

# 宇宙航空研究開発機構契約報告

## JAXA Contract Report

---

超小型衛星ミッションサクセスのための  
Lessons & Learned事例分析  
Lessons & Learned for Mission Success of Microsatellites

2022年1月

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

超小型衛星ミッションサクセスのための  
Lessons & Learned事例分析

Lessons & Learned for Mission Success of Microsatellites

作成元 特定非営利活動法人大学宇宙工学コンソーシアム  
University Space Engineering Consortium, UNISEC

2022年1月

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

## 【執筆者リスト】

### ○編集担当

鶴田 佳宏 帝京大学 講師  
古本 政博 東京都立大学 助教

### ○以下五十音順

五十里 哲 東京大学 助教  
石川 智浩 北海道教育大学 准教授  
稲守 孝哉 名古屋大学 准教授  
栞原 聡文 東北大学 准教授  
坂本 啓 東京工業大学 准教授  
坂本 祐二 北海道大学 特任准教授  
佐原 宏典 東京都立大学 教授  
趙 孟佑 九州工業大学 教授  
中須賀 真一 東京大学 教授  
能見 公博 静岡大学 教授  
藤田 伸哉 東北大学 特任講師  
船瀬 龍 東京大学 准教授  
宮崎 康行 日本大学 特任教授  
宮田 喜久子 名城大学 准教授  
山崎 政彦 日本大学 准教授

(Authors' name and affiliation in English)

Yoshihiro Tsuruda Teikyo University, Lecturer  
Masahiro Furumoto Tokyo Metropolitan University, Assistant Professor  
Satoshi Ikari The University of Tokyo, Assistant Professor  
Tomohiro Ishikawa Hokkaido University of Education, Associate Professor  
Takaya Inamori Nagoya University, Associate Professor  
Toshinori Kuwahara Tohoku University, Associate Professor  
Hiraku Sakamoto Tokyo Institute of Technology, Associate Professor  
Yuji Sakamoto Hokkaido University, Associate Professor  
Hironori Sahara Tokyo Metropolitan University, Professor  
Mengu Cho Kyushu Institute of Technology, Professor  
Shinichi Nakasuka The University of Tokyo, Professor  
Masahiro Nohmi Shizuoka University, Professor  
Shinya Fujita Tohoku University, Lecturer  
Ryu Funase The University of Tokyo, Associate Professor  
Yasuyuki Miyazaki Nihon University, Professor  
Kikuko Miyata Meijo University, Associate Professor  
Masahiko Yamazaki Nihon University, Associate Professor

## 【概要】

本報告は、日本の大学・高等専門学校による超小型衛星（50kg以下）の開発・運用プロセスの「信頼性」を底上げし、目的／目標としたミッションを成功させるためのベストプラクティスを検討するための基礎となる情報の調査結果である。国内大学・高等専門学校等における超小型衛星の開発状況と、打ち上げ済みの場合はその運用結果、ミッションや衛星・搭載機器等の成功／失敗の状況について調査を行った。なお、「成功」／「失敗」の事例については、「ミッション全体」のみではなく、サブシステムやコンポーネント（例えば、機器の不具合や運用のトラブル、マネジメントの停滞等）も対象に含めて調査を行った。その結果、32機の衛星数について208件の事例情報（うち、成功事例72、失敗事例136）を取得し、分析・評価した。更にこれらの結果を基に、超小型衛星のミッションサクセスのための要件項目（超小型衛星ミッションを成功させるために最低限行っておくべき事項）を抽出し、プロジェクトマネジメント、衛星設計、試験の3つの観点で分類した。

## 【Abstract】

The University Space Engineering Consortium (UNISEC) is a non-profitable organization (NPO) established in 2003 with the purpose of supporting the “realization of practical space engineering activities,” and providing supports to Universities and research institutions.

Through the past space engineering activities, UNISEC has accumulated practical experiences and achievements from more than 50 micro- and nano-satellite projects of the academic partners, which also includes the two world-first-CubeSats launched in 2003. Following the recent drastic increase of academic space development and utilization activities all over the world, UNISEC has recently conducted a survey on the lessons learned of mission assurance of these satellites, to distill the best practices to ensure the mission success of the satellites. The survey contains replies from 15 researchers of 10 institutions with information about 32 satellites, 36 projects, 208 individual success and failure cases. In this presentation, the contents and results of the survey will be introduced, including the analysis of the mission success and failure causes, penetration level of the JAXA common technical documents to the micro and nano-satellite community, influences of project management to the success rate, cost spend to increase the mission reliability, individual lessons learned cases, and recommendation remarks about the best practices for the mission success of micro and nano-satellites.



## <目次>

1. はじめに	1
2. 事例分析実施機関について	1
3. 調査対象／分析方法	2
4. 実施プロセス（スケジュール）	2
5. 実施成果	3
5.1 国内超小型衛星の成功／失敗事例の調査と要因分析・体系化	3
5.1.1 国内超小型衛星の成功／失敗事例の調査	3
5.1.1.1 調査方法	3
5.1.1.2 調査対象と各校の活動	12
5.1.1.2.1 九州工業大学	12
5.1.1.2.2 静岡大学	15
5.1.1.2.3 東京大学	16
5.1.1.2.4 東北大学	19
5.1.1.2.5 日本大学	22
5.1.1.2.6 その他	23
5.1.1.3 調査結果	23
5.1.1.3.1 「成功事例」の整理	24
5.1.1.3.2 「失敗事例」の整理	52
5.1.2 成功／失敗事例の調査と要因分析・体系化	95
5.1.2.1 成功事例	95
5.1.2.1.1 事例分析	95
5.1.2.1.2 検討	151
(1) 成功の主要な要因	151
(2) 設計・製造段階における信頼性確保の方法	156
(3) コストダウンのポイント	157
5.1.2.2 失敗事例	158
5.1.2.2.1 事例分析	158
5.1.2.2.2 検討	237
(1) 失敗の主要な要因	237
(2) 当該衛星やその後のプロジェクト等に反映された修正処置、是正処置等の効果、改善すべきと考えられる点	244
5.1.3 機構の文書のうち「JAXA 共通文書」の活用事例	246
5.1.3.1 活用状況	246
5.1.3.1.1 事例毎の活用状況	246
5.1.3.1.2 文書ごとの活用事例数	246
5.1.3.2 検討	253

5.1.4	マネジメントの方法、及びその方法の長所／短所、もしくは課題	254
5.1.4.1	成功事例におけるマネジメント方法	254
5.1.4.2	失敗事例におけるマネジメント方法	272
5.1.4.3	大学・高専衛星におけるマネジメントの特徴（長所／短所、課題）	305
5.1.5	開発コスト、運用コスト等のうち、信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報	310
5.1.5.1	信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報	310
5.1.5.2	信頼性を高めるために要したコストに関する検討	329
5.1.6	「成功」や「失敗」を通して得られた教訓等	334
5.1.6.1	成功を通して得られた教訓	334
5.1.6.2	失敗を通して得られた教訓	334
	【5.1章 参考文献】	418
5.2	超小型衛星のミッションアシュアランスのための要件項目の抽出	421
	【5.2章 参考文献】	434

## 1. はじめに

近年、超小型衛星の開発・利用が急速に増加している。日本では2002年の千葉工業大学の鯨衛星以降、50機を超える超小型衛星が打ち上げられてきているが、国内大学・高等専門学校における質量50kg以下の超小型衛星のミッション成功率は50%を下回るものとなっている(図1)(文献[1-1])。

今後の超小型衛星活用を進めるためには、ベンチャー企業等による超小型衛星産業の発展や超小型衛星を用いた学術研究促進のためには、それらの基盤となっている国内大学・高等専門学校の超小型衛星の成功率を向上させ、ミッション成功を確実なものとする必要がある。

そのためには、日本の大学等の超小型衛星(50kg以下)の開発・運用プロセスの「信頼性」を底上げし、成功率を向上させるためのベストプラクティスを確立することが望まれる。

本検討では、ベストプラクティス策定の一助として、はじめに国内大学・高専等が自身で開発・運用した超小型衛星の成功/失敗の状況やJAXA共通技術文書の活用状況等について調査を行い、成功/失敗事例の要因分析・体系化を行い、次に、調査結果を基に、国内大学・高専等の超小型衛星ミッションを成功させる上で必要な要件項目(超小型衛星を開発・運用する上で最低限実施すべき事項)を抽出した。

なお、本検討は「2020年度 超小型衛星の成功率向上に向けたJAXA知見を活用した支援方法の調査検討」(JAXA調達仕様書:JX-PSPC-530505)に基づいて実施した。

### 【1章 参考文献】

[1-1] 趙 孟 佑, 増井 博一, 超小型衛星信頼性向上のBest Practice, 第60回宇宙科学技術連合講演会講演集, 3G09 (JSASS-2016-4450)

## 2. 事例分析実施機関について

本調査は特定非営利活動法人大学宇宙工学コンソーシアム(UNISEC)が担当し、UNISEC加盟団体の超小型衛星について、Lessons & Learned事例を調査した。

UNISECは大学生・高等専門学校学生による実践的な宇宙工学活動を支援することを目的とするNPO法人である。国内大学・高等専門学校から52団体が加盟しており、国内で超小型衛星の開発・製造・

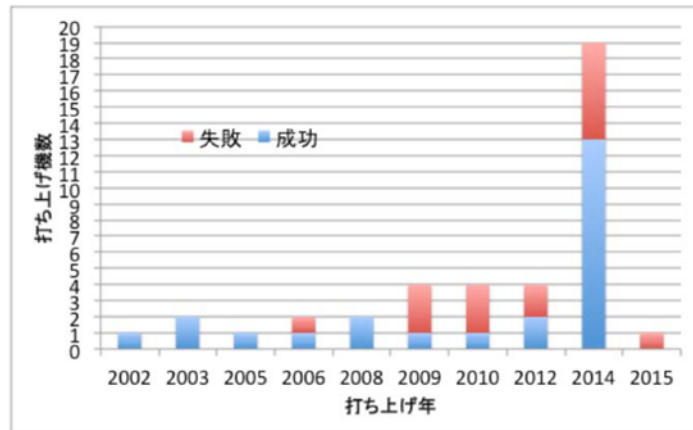


図1 日本の大学衛星のミッション成功率(文献[1-1])  
(九州工業大学調べ)

運用・試験等の実績を有する国内大学・高等専門学校をほぼ全て網羅している。UNISEC の組織構成・加盟団体等の詳細は文献 [2-1] を参照されたい。

## 【2章 参考文献】

[2-1] UNISEC ホームページ, <http://unisec.jp/> (最終アクセス日: 2021年8月6日)

### 3. 調査対象／分析方法

UNISEC は 2020 年度に自社内で “Lessons & Learned 共有会” を実施した。これは、超小型衛星の開発・運用経験を有する教員がこれまでに得られた Lessons & Learned 情報を共有し、UNISEC 加盟団体全体の技術レベルを向上させることを目的として開催したものである。

Lessons & Learned 共有会の参加教員を調査対象として「成功」／「失敗」の事例について「アンケート調査」を行い、必要に応じ、関係者へのメールや聞き取り・文献等で調査を行った。なお、「成功」／「失敗」の事例については、「ミッション全体」のみではなく、サブシステムやコンポーネントも調査対象とした（例えば、機器の不具合や運用のトラブル、マネジメントの停滞等、も調査対象とした。）

アンケートに対して 10 校の教員 15 名から回答があり、衛星数は 32 機（プロジェクト数としては 36 件）、事例数は 208 件（うち、成功事例 72、失敗事例 136）を取得し、分析・評価した。上記の結果を基に、追加のヒアリング調査も行い、超小型衛星のミッションを成功させるための要件項目（最低限行っておくべき事項）を抽出し、プロジェクトマネジメント、衛星設計、試験の 3 つの観点で分析した。

### 4. 実施プロセス（スケジュール）

2021 年 1 月 11 日に作業を開始し、UNISEC 教員へのアンケートを主体とした「国内超小型衛星の成功／失敗事例の調査」を 2021 年 2 月中旬に完了した。引き続き、成功／失敗事例の要因分析・体系化及び JAXA 共通技術文書の活用状況等に関する追加ヒアリング等の作業を 2021 年 2 月末に完了した。これらの結果を基に、「超小型衛星のミッションを成功させるための要件項目」抽出を 2021 年の 3 月中旬に完了した。

## 5. 実施成果

### 5.1 国内超小型衛星の成功／失敗事例の調査と要因分析・体系化

#### 5.1.1 国内超小型衛星の成功／失敗事例の調査

##### 5.1.1.1 調査方法

国内大学・高等専門学校等における超小型衛星の開発状況と、打ち上げ済みの場合はその運用結果、ミッションや衛星・搭載機器等の成功／失敗の状況について、関係者へのメールや聞き取り、論文等に基づき調査を行った。

具体的には、以下に示す「調査事例フォーム」を用いて、超小型衛星の開発・運用経験を有する教員にアンケート調査を行い、必要に応じ、関係者へのメールや聞き取り、論文、ホームページ等の調査を行った。なお、「成功」の事例については、必ずしも「ミッション全体」の成功事例のみではなく、サブシステムやコンポーネントの正常作動等の事例も含めて調査した。同様に「失敗」事例についても、必ずしも「ミッションの失敗」のみではなく、機器の不具合や運用のトラブル、マネジメントの停滞等、を含めて調査した。

要求仕様での調査要求項目と「調査事例フォーム」の設問項目との対応は表 5.1.1.1-1 の通りである。アンケートに用いた「調査事例フォーム」を「表 5.1.1.1-2 調査事例フォーム（成功事例）」及び「表 5.1.1.1-3 調査事例フォーム（失敗事例）」に示す。両表の青字は記入インストラクションである。なお、「成功」事例と「失敗」事例とでは、JAXA 殿の要求仕様に適合させて設問項目を変えている。また、「失敗」事例については、要求仕様に従い、衛星名やプロジェクト名等は「匿名可」とした。

表 5.1.1.1-1 調査項目と調査事例フォームの対応

<b>調査項目</b>	<b>「調査事例フォーム」の該当項目</b> ・表 5.1.1.1-2 調査事例フォーム (成功事例) ・表 5.1.1.1-3 調査事例フォーム (失敗事例)
<b>4.3.1 項 (1)</b> <b>国内超小型衛星の成功／失敗事例の調査</b>  ・国内大学・高等専門学校等における超小型衛星の開発・運用状況等の調査	<b>【1】基本情報</b> (一部【3】個別事例詳細情報)
<b>4.3.1 項 (2) の 1) 及び 2)</b> <b>成功／失敗事例の調査と要因分析・体系化</b>  ・成功事例及び失敗事例を調査と要因分析と整理	<b>【3】個別事例詳細情報</b>
<b>4.3.1 項 (2) の 3)～6)</b> <b>成功／失敗事例の調査と要因分析・体系化</b>  以下の事項の調査 ・「JAXA 共通文書」の活用事例 ・マネジメントの方法 ・信頼性を確保に関するコスト情報 ・教訓等	<b>【2】共通質問事項</b>
<b>4.3.2 項</b> <b>超小型衛星のミッションアシュアランスのための要件項目</b>	<b>【4】まとめ (得られた教訓)</b> ※個別衛星や個別プロジェクトを横断した総括のまとめは、本報告書の 5.2 項 (超小型衛星のミッションアシュアランスのための要件項目の抽出) で考察する。

表 5.1.1.1-2 調査事例フォーム（成功事例）（1/4）

【1】基本情報	プロジェクトNo.	(事務局で記入しますので記入不要です)	
	1. プロジェクト名(衛星名)	プロジェクト名(衛星名)	・プロジェクト名/衛星名 プロジェクト名と衛星名を記入して下さい(一方でも構いません)。公開情報(HPや論文等)で、当該プロジェクトや衛星が特定できるよう正式名称は必ず含めて下さい。
		責任機関(実施の中心機関)	・中心となった機関(大学名)。可能ならば研究室レベルまで
	2. 機能・仕様等の概要	ミッション概要/衛星サイズ/質量	・ミッション概要(匿名でも可とします) プロジェクトの目的など概要を記して下さい。
			・1U,3U,6U、9U、50cm級、(その他)
		・質量 単位はkgをお願い致します。	
		財源の種類(資金元/資金額) (匿名でも可とします)	・資金元:(例)科研費、他国政府、企業等(匿名でも可とします。非公開の場合はその旨記入下さい) ・資金額:総額、開発費、運用費 (非公開の場合はその旨記入して下さい。)
	3. 参加機関、役割分担	参加機関(組織図)	・プロパー教員(大学雇用教員/職員 大学教員・職員でプロジェクトに関与した人数とそのエフォート率を記して下さい。
			・専任教員/専任スタッフの人数 このプロジェクトに専任で従事した教員、職員の数を記入して下さい。
			・関与した学生数 延べ人数で構いません。 可能であれば、総数〇〇人(うち、開発〇〇人、運用〇〇人)とフェーズで 区分けて下さい。
・関与した学生の大学院生(修士/博士)比率 上記の学籍数にうち大学院生の比率を、修士〇〇%、博士〇〇%で記入 して下さい。			
参加機関の役割分担	各参加機関の役割を簡単に期して下さい		
回答者の役割の概要	プロジェクトにおける回答者の役割を記述して下さい		

表 5.1.1.1-2 調査事例フォーム（成功事例）（2/4）

【2】共通質問事項	1. 「JAXA共通文書」の活用事例	左記文書の活用事例を示してください。	実際に衛星開発や運用でJAXA共通文書を活用した事例、及び、開発・運用後、結果的に活用すべきであったと判断された事例、衛星開発・運用に携わる学生・大学院生の教育への活用事例等を含みます。JAXAの〇〇文書はみたく使えなかった、も可(但し、理由も明示してください) なお、参照・活用した文書番号・文書名を記載して下さい。
	2. 開発コスト、運用コスト等のうち、信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報	2-1. 開発費(衛星納入までに要した総コスト)、運用費各々の概算を示してください。その中でどの程度の額を信頼性を高めるために割り当てたでしょうか？	開発コストのうち：●●%(可能であれば金額も) 信頼性を高めるために実施した事項 1..... 2.....  運用コストのうち：●●%(可能であれば金額も) 信頼性を高めるために実施した事項 1..... 2.....
		2-2. 信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例があれば、記述してください。	信頼性を高める作業がプロジェクトを圧迫した事例。 1..... 2.....
	3. 得られた教訓(気づき事項)	3-1. 開発(衛星納入まで)	1)開発してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)
2)開発を工夫することで、より多くの成果をあげることができたと思うか？			
3)その場合、どのような工夫があればよかったか			
3-2. 運用	1)運用してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なものを含みます)		
	2)運用を工夫することで、より多くの成果をあげることができたと思うか？		
	3)その場合、どのような工夫があればよかったか？		
3-3. その他	その他、得られた成果や気づき事項があれば自由に記述してください。		
4. その他	信頼性向上に関する事項	日本の大学・高専の超小型衛星の信頼性向上について提言があれば記述してください。(JAXAへの提言も含みます。)	



表 5.1.1.1-2 調査事例フォーム（成功事例）（3/4）

【3】個別事例詳細情報	1.発生年月日	事例の発生年月日／発生期間	事例の発生年月日、発生期間等の時間情報を記述して下さい。
	2.区分	システム／サブシステム／コンポーネント／運用／その他、の区分	以下に記述する事例が「システム」「サブシステム」「コンポーネント」「（左記の）運用」、に関することかを識別して下さい。「その他」に関することは具体的に内容を記載して下さい
	3.成功事例	成功事例の具体的内容	成功事例の概要を簡単に記して下さい。 (極力5W2H(What(何を?)／When(いつ?)／Who(誰が?)／Where(どこで?)Why(なぜ?)／How(どうやって?)／How much(いくらで))が含まれるようにして下さい。)
	4. 成功のキーとなった要因  【注記】 ※当てはまらない項目については空欄でも構いません。  ※要因区分が困難な場合はお手数ですが重複して記入下さい。	4-1.技術的要因	なぜ成功できたのか。成功させるために工夫した点はどのような点か。例えば、各要素や部品に宇宙実績のあるものを極力用いた、要素技術の一部を別の衛星に組み込んで先行実証した、海外機関やJAXAのレビューを受けた等、各自が「技術面で成功のキーとなった」と考えることを記入して下さい。
		4-2.人的要因	なぜ成功できたのか。人的な面からの成功要因を分析して下さい。例えば、特殊工程については熟練した人を配置(or外注)した、学生が均等な作業を行えるよう定期的に教育訓練を行った、ヒューマンエラー防止のため、ダブルチェックや指差し呼称を義務付けた、外国人研修生は必ず日本人学生と組ませ、情報伝達の齟齬が起きないようにした等、「これをやっておいてよかった。他の大学にも推奨する」という観点での記述をお願いします。
		4-3.組織的要因	なぜ成功できたのか。成功させるためにどのような組織を組み、運営しましたか？例えば、教員をトップダウンとし、優秀な学生をリーダーとした作業班体制とした。あるいは学生主体とした組織とし、学生に責任を持たせて作業効率を上げた、メーカーを組織に組み込み得意部分を担当させた等、成功のために「この組織で良かった」という点を強調して下さい。
		4-4.時間的要因	なぜ成功できたのか。成功させるために時間配分やスケジュール管理／進捗管理で工夫した点を記入して下さい。開発期間や運用期間／運用時間等の設定／配分の適切性をどのように考えたかがわかると助かります。 →作業全体の時間配分概略を別紙1にご記入下さい。(別シートです。事例に応じて適宜コピーしてお使い下さい。)
		4-5.その他	その他、成功するためのポイントがあれば記述して下さい(例えば、情報伝達漏れがないようにチェックの方法を工夫した、●●作業は不要と判断し省略したことにより、不安要因対処に時間を割くことができた、この文献が信頼性向上に有効であった、〇〇のアドバイスにより作業効率が高められた等。開示可能な範囲で他校等への推奨事項も記述して下さい。)
	5. 設計・試験・製造・運用段階における信頼性確保の方法	5-1.設計段階における信頼性確保の方法	設計段階において信頼性確保のために実施した事項を記入してください。1項と重複する内容があっても構いません
		5-2. 試験実施における信頼性確保の方法	各種の試験実施において、信頼性確保のために実施した事項(例えば、治工具による校正の高精度化等)を記入してください。1項と重複する内容があっても構いません
5-3. 製造段階における信頼性確保の方法		製造段階において信頼性確保のために実施した事項を記入してください。1項と重複する内容があっても構いません	
5-4.運用段階における信頼性確保の方法		運用段階において信頼性確保のために実施した事項を記入してください。1項と重複する内容があっても構いません	
6.コストダウンのポイント	信頼性を確保したまま、コストを上げない(あるいは下げた)事例	左記事例があれば、記入してください。例えば、冗長系組む必要があったが制御回路を工夫することにより部品点数を減らし、信頼性を維持したままコストダウンに成功した例等	
7. 個別事例におけるマネジメントの方法、及びその方法の長所／短所、もしくは課題	当該事例に関するマネジメント方法	成功事例のマネジメント方法の概要について記述して下さい。①の「組織的要因」と重複しても構いません。チームではなく単独(一人)で活動した場合でも、インタフェース調整、他者とのコミュニケーションや仕事の進め方など、自己業務のマネジメントについて記述して下さい。	
	実施体制	教員と学生、学外関係者(メーカー等)との役割分担、責任体制等を記述して下さい。	
	採用した方法の長所	回答者が行ったマネジメントの長所を記述して下さい。	
	採用した方法の短所	回答者が行ったマネジメントの短所を記述して下さい。	
	課題	マネジメントにおける課題があれば記述して下さい。	

表 5.1.1.1-2 調査事例フォーム（成功事例）（4/4）

【4】まとめ	1. 個別事で得られた教訓(気づき事項)	1-1.開発フェーズ	1)開発してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)
			2)開発を工夫することで、より多くの成果をあげることができたと思うか?
			3)その場合、どのような工夫があればよかったか
	1-2. 運用フェーズ	1)運用してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	
		2)運用を工夫することで、より多くの成果をあげることができたと思うか?	
		3)その場合、どのような工夫があればよかったか?	
	1.3その他	その他、得られた成果や気づき事項があれば自由に記述してください。	
2.その他	信頼性向上に関する事項	個別事例で得られた経験や成果に基づき、信頼性向上について提言があれば記述してください。 失敗を防ぐために具体的に何をすべきだったかがわかる場合は記述してください。 また、他大学やJAXA等への推奨事項も記述してください。	

表 5.1.1.1-3 調査事例フォーム（失敗事例）（1/4）

【1】基本情報	プロジェクトNo.	(事務局で記入しますので記入不要です)	
	1. プロジェクト名(衛星名)	プロジェクト名(衛星名)	・プロジェクト名/衛星名 プロジェクト名と衛星名を記入して下さい(一方でも構いません)。公開情報(HPや論文等)で、当該プロジェクトや衛星が特定できるよう正式名称は必ず含めて下さい。
		責任機関(実施の中心機関)	・中心となった機関(大学名)。可能ならば研究室レベルまで
	2. 機能・仕様等の概要	ミッション概要/衛星サイズ/質量	・ミッション概要(匿名でも可とします) プロジェクトの目的など概要を記して下さい。
			・1U,3U,6U、9U、50cm級、(その他)
		・質量 単位はkgをお願い致します。	
		財源の種類(資金元/資金額) (匿名でも可とします)	・資金元:(例)科研費、他国政府、企業等(匿名でも可とします。非公開の場合はその旨記入下さい) ・資金額:総額、開発費、運用費 (非公開の場合はその旨記入して下さい。)
	3. 参加機関、役割分担	参加機関(組織図)	・プロパー教員(大学雇用教員/職員 大学教員・職員でプロジェクトに関与した人数とそのエフォート率を記して下さい。
			・専任教員/専任スタッフの人数 このプロジェクトに専任で従事した教員、職員の数を記入して下さい。
			・関与した学生数 延べ人数で構いません。 可能であれば、総数〇〇人(うち、開発〇〇人、運用〇〇人)とフェーズで区分けて下さい。
・関与した学生の大学院生(修士/博士)比率 上記の学籍数にうち大学院生の比率を、修士〇〇%、博士〇〇%で記入して下さい。			
参加機関(組織図)	参加機関を記してください。可能であれば組織図で示してください。なお、回答者がそのプロジェクトでどの機関(あるいは役割や担当範囲)がわかるように記載してください。(非公開の機関が含まれる場合は当該機関をA社、B研究所等の表記をお願いします。)		
参加機関の役割分担	各参加機関の役割を簡単に期して下さい		
回答者の役割の概要	プロジェクトにおける回答者の役割を記述して下さい		

表 5.1.1.1-3 調査事例フォーム（失敗事例）（2/4）

【2】共通質問事項	1. 「JAXA共通文書」の活用事例	左記文書の活用事例を示してください。	実際に衛星開発や運用でJAXA共通文書を活用した事例、及び、開発・運用後、結果的に活用すべきであったと判断された事例、衛星開発・運用に携わる学生・大学院生の教育への活用事例等を含みます。JAXAの〇〇文書はみたく使えなかった、も可(但し、理由も明示してください) なお、参照・活用した文書番号・文書名を記載して下さい。
	2. 開発コスト、運用コスト等のうち、信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報	2-1. 開発費(衛星納入までに要した総コスト)、運用費各々の概算を示してください。その中でどの程度の額を信頼性を高めるために割り当てたでしょうか？	開発コストのうち：●●%(可能であれば金額も) 信頼性を高めるために実施した事項 1..... 2..... 運用コストのうち：●●%(可能であれば金額も) 信頼性を高めるために実施した事項 1..... 2.....
		2-2. 信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例があれば、記述してください。	信頼性を高める作業がプロジェクトを圧迫した事例。 1..... 2.....
	3. 得られた教訓(気づき事項)	3-1. 開発(衛星納入まで)	1)開発してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)
2)開発を工夫することで、より多くの成果をあげることができたと思うか？			
3)その場合、どのような工夫があればよかったか			
3-2. 運用	1)運用してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なものを含みます)		
	2)運用を工夫することで、より多くの成果をあげることができたと思うか？		
	3)その場合、どのような工夫があればよかったか？		
3-3. その他	その他、得られた成果や気づき事項があれば自由に記述してください。		
4. その他	信頼性向上に関する事項	日本の大学・高専の超小型衛星の信頼性向上について提言があれば記述してください。(JAXAへの提言も含みます。)	

表 5.1.1.1-3 調査事例フォーム（失敗事例）（3/4）

【3】個別事例詳細情報	1.発生年月日	事例の発生年月日／発生期間	事例の発生年月日、発生期間等の時間情報を記述して下さい。
	2.区分	システム／サブシステム／コンポーネント／運用／その他、の区分	以下に記述する事例が「システム」「サブシステム」「コンポーネント」「(左記の)運用」に関することかを識別してください。「その他」に関することは具体的に内容を記載してください
	3.失敗事例	失敗事例の具体的内容	失敗事例の概要を簡単に記述してください。 (極力5W2H(What(何を?)／When(いつ?)／Who(誰が?)／Where(どこで?)／Why(なぜ?)／How(どうやって?)／How much(いくらで?))が含まれるようにしてください。)
	4. 失敗のキーとなった事項  【注記】 ※当てはまらない項目については空欄でも構いません。  ※要因区分が困難な場合はお手数ですが重複して記入下さい。  ※企業名、個人名については実名を出すのが問題ある場合、名を伏せた記述して下さい。 (例えば、〇〇を担当したA社、△△を担当したB氏、といった表記)	4-1. 技術的要因	なぜ失敗したのか。技術的にどのような問題があったのか。それは「何故」発生したのか／解決できなかったのか、記述してください。
		4-2. 人的要因	なぜ失敗したのか。人的要因にどのような問題があったのか。それは「何故」発生したのか／解決できなかったのか、記述してください。(例えば、外国人研修生と日本人学生との英語でのコミュニケーションが不足していた場合、なぜそのような状態でプロジェクトを進めることになったのか、といった等、できる限り根本要因の記述をお願い致します。)
		4-3. 組織的要因	なぜ失敗したのか。組織にどのような問題があったのか、なぜそのような組織でプロジェクトを運営してしまったのか、なぜ改善できなかったのか、分析してください。
		4-4. 時間的要因	なぜ失敗したのか、時間的要因(開発期間や運用期間／運用時間等の設定／配分の適切性)の観点から分析して下さい。 例えば、時間がかかりすぎた場合、なぜ時間がかかったのか、どこを削減できたか考えるか? 時間配分が適切に行えなかった、あるいは、時間が不足した場合)どうすれば、なぜその事態が発生したのか、改善できなかった理由はどのようなものが考えられるか。 → 作業全体の時間配分概略を別紙1にご記入ください。 (別シートです。事例に応じて適宜コピーしてお使い下さい。)
		4-5 その他	その他上記で網羅できないような要因、例えば、横断的なプロジェクトマネジメント上の要因、外的要因(天災、大学等の政策変更等)はここに含めてください。
	5. 個別事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法マネジメントの方法、及びその方法の長所／短所、もしくは課題	5-1. 当該事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法	マネジメント方法の概要について記述してください。3項と重複しても構いません。チームではなく単独(一人)で活動した場合でも、インタフェース調整、他者とのコミュニケーションや仕事の進め方など、自己業務のマネジメントについて記述してください。
		5-2. 実施体制	教員と学生、学外関係者(メーカー等)との役割分担、責任体制等を記述してください。
5-3. 採用した方法の長所		回答者が行ったマネジメントの長所を記述してください。	
5-4. 採用した方法の短所		回答者が行ったマネジメントの短所を記述してください。	
5-5. 課題		マネジメントにおける課題があれば記述してください。	
6. 当該衛星に反映された「修正処置」	修正処置: 検出された不適合を除去するための処置	例えば、開発中の衛星の手直し(後戻り作業)や衛星運用中に一時的にとられた対策等	
7. 当該衛星やその後のプロジェクトに反映された「是正処置」	是正処置: 不適合の原因を除去し、再発を防止するための処置	例えば、試験の1回目で発生した不具合が2回目以降にははげしないようにした対策、初号機で発生した不適合が2号機以降で発生しないよう恒久的にとられた対策等	
8. その他、改善事項		体制の見直し、スキルアップ等、開発や運用の信頼性を高めるために行った改善処置があれば、記述してください。	

表 5.1.1.1-3 調査事例フォーム（失敗事例）（4/4）

【4】まとめ	1. 個別事で得られた教訓(気づき事項)	1-1.開発フェーズ	1)開発してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの) 2)開発を工夫することで、より多くの成果をあげることができたと思うか？ 3)その場合、どのような工夫があればよかったか
		1-2. 運用フェーズ	1)運用してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの) 2)運用を工夫することで、より多くの成果をあげることができたと思うか？ 3)その場合、どのような工夫があればよかったか？
		1.3その他	その他、得られた成果や気づき事項があれば自由に記述してください。
	2.その他	信頼性向上に関する事項	個別事例で得られた経験や成果に基づき、信頼性向上について提言があれば記述してください。 失敗を防ぐために具体的に何をすべきだったかがわかる場合は記述してください。 また、他大学やJAXA等への推奨事項も記述してください。

### 5.1.1.2 調査対象と各校の活動

5.1.1.1 項の調査フォームを用いて調査依頼を行った国内の大学や高専（超小型衛星の開発状況と打ち上げ済みの場合はその運用結果等）のうち、10校の教員15名から回答があった。

主要な研究機関（複数衛星の中心機関となり、かつ、複数衛星についての回答があった学校）の活動概略（2021年3月1日現在）を以下に示す。

#### 5.1.1.2.1 九州工業大学

##### (1) 超小型衛星の開発状況

これまで、19機の超小型衛星の開発実績・打ち上げ・運用実績を有する（表5.1.1.2.1-1）。

##### (2) 超小型衛星の運用結果

軌道投入した超小型衛星19機のうち、BIRDS-2以降の衛星を運用中である。



表 5.1.1.2.1-1 九州工業大学の衛星実績(1/2) (九州工業大学提供)

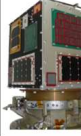

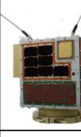











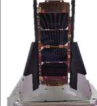


衛星詳細	主なミッション・特徴など	打ち上げ	結果(成果)
 <p>名称 HORVU-II 団体 九州工業大学 質量 7kg 状態 運用停止</p>	<p>1 九州工業大学の正課課程の大学院教育プログラムとしての実施システム工学に於いた1からのシステムの開発や、学生によるプロジェクトリーダーを育成するプログラム 2 属龍一号で開発してきたバス機器の実証 3 世界初の300V発電 中・大型衛星では他のミッション機器に多大な影響を与える可能性があるが、小型衛星ではそのリスクが小さく 大型衛星ではなかなか出来ない実験を行う事ができる 4 地域貢献、衛星データ利用のために人材育成プログラム 宇宙クラブ(小中学生向けの宇宙利用講座) 画像処理講座入門(高~社会人向け) 宇宙ベンチャー創生塾(高~社会人向け)</p>	<p>日付 2012年5月18日 打ち上げ機 H-2A 国 日本 射場 種子島</p>	<p>宇宙太陽光発電の世界最高電圧(350V)を達成 査読付き学術雑誌論文11編を発表</p>
 <p>名称 しんえん2 団体 九州工業大学/鹿児島大学 質量 17.8kg 状態 運用停止</p>	<p>深宇宙通信技術の確立、超軽量衛星構造の開発技術確立を目的とした50cm級の小型探査機(奥山研究室が開発) ミッション 月軌道周辺にある超小型宇宙機と地上との通信技術確立 超軽量衛星構造の開発技術確立 地球周辺からパレン帯を経て月軌道に至るまでの宇宙放射線の空間分布の計測 直径約500mmの半球形状であり、周面は太陽電池で覆われている。実験機は、構造部、姿勢制御部、熱制御部、衛星制御部、通信部、電源部のバス系、およびミッション部から構成される。</p>	<p>日付 2014年12月3日 打ち上げ機 H-2A 国 日本 射場 種子島</p>	<p>230万kmからの信号受信に成功 宇宙放射線に関するデータを取得</p>
 <p>名称 HORVU-IV 団体 九州工業大学 質量 10kg 状態 運用中</p>	<p>1 放電取得実験 (Discharge) - DIS (メインミッション) 2 放電抑制実験 (High voltage solar array) - HVSA 3 放電劣化実験 (Solar cells performance degradation due to arcing)-DEG 4 プラズマ密度計測 (Double Langmuir probe) - DLP 5 真空アークスラスタ (Vacuum arc thruster) - VAT 6 あぶり出し (Isotret ink) - INK 7 光電子電流計測 (Photoelectrons current measurement) - PEC 8 地球撮影 (Camera for Earth photography) - CAM 9 デジシンガー (Dig-singer) - SNG</p>	<p>日付 2016年2月17日 打ち上げ機 H-2A 国 日本 射場 種子島</p>	<p>軌道上の高電圧太陽電池における放電劣化像と電流波形の取得 世界で初めて成功 査読付き学術雑誌論文16編を発表</p>
 <p>名称 AOBA VELOX-III 団体 九州工業大学/シンガポール (NTU) 質量 2kg 状態 大気圏突入により運用停止</p>	<p>1 PPT(Pulsed Plasma Thruster)の軌道上海証 2 MCU(Micro Computer Unit)放射線耐久試験 メインミッションであるPPTの軌道上海証はシンガポールの南洋理工工科大学からの提供であり、軌道上海証を行うことにより今後の衛星の軌道寿命延長を目指す。MCU放射線耐久試験では、Hs等のMCUの放射線耐性及び対策を検討。 衛星の開発を学部1年から4年で実施。また、シンガポールの南洋理工工科大学との共同開発を行っている。</p>	<p>日付 2017年1月26日 打ち上げ機 HTV6 国 日本 射場 種子島</p>	<p>衛星との通信を確立</p>
 <p>名称 MicroDragon 団体 東京大学、慶応大学、北海道大学、東北大学、九州工業大学、VNSO 質量 50kg 状態 運用中</p>	<p>ベトナム (VNSO) 研究員の衛星開発教育、ベトナム海岸線の撮像 (九大からは超研究室・奥山研究室が参加)</p>	<p>日付 2019年1月18日 打ち上げ機 イpsilon 国 日本 射場 内之浦</p>	<p>VNSOの研究者36名が5大学に分かれて修士課程を修了し、衛星も完成。 打ち上げ後、正常動作確認、姿勢制御も行って、3日後に画像取得</p>
 <p>名称 TOKI 団体 九州工業大学 質量 1kg 状態 大気圏突入により運用停止</p>	<p>5機の1UのCubeSat (1kg 10cm 立方) 発展途上国のための衛星開発 九州工業大学の大学院生によって行われるプロジェクト 参加国 日本、ガーナ、モンゴル、ナイジェリア、バングラデシュ、タイ、台湾 バスシステムは宇宙で実証済みの属龍2号のものを使用 世界中の7箇所の地上局で運用 ガーナ、モンゴル、バングラデシュは国で初めての衛星</p>	<p>日付 2017年7月7日 打ち上げ機 SoX-11 国 アメリカ 射場 ケネディ宇宙センター</p>	<p>衛星からのビーコン信号を受信</p>
 <p>名称 QhanaSat1 団体 九州工業大学/ガーナ (ANU) 質量 1kg 状態 大気圏突入により運用停止</p>	<p>5機の1UのCubeSat (1kg 10cm 立方) 発展途上国のための衛星開発 九州工業大学の大学院生によって行われるプロジェクト 参加国 日本、ガーナ、モンゴル、ナイジェリア、バングラデシュ、タイ、台湾 バスシステムは宇宙で実証済みの属龍2号のものを使用 世界中の7箇所の地上局で運用 ガーナ、モンゴル、バングラデシュは国で初めての衛星</p>	<p>日付 2017年7月7日 打ち上げ機 SoX-11 国 アメリカ 射場 ケネディ宇宙センター</p>	<p>ガーナ初の衛星として軌道上での生存を確認 衛星からのビーコン信号を受信</p>
 <p>名称 Mazaalai 団体 九州工業大学/モンゴル (モンゴル国立大学) 質量 1kg 状態 大気圏突入により運用停止</p>	<p>5機の1UのCubeSat (1kg 10cm 立方) 発展途上国のための衛星開発 九州工業大学の大学院生によって行われるプロジェクト 参加国 日本、ガーナ、モンゴル、ナイジェリア、バングラデシュ、タイ、台湾 バスシステムは宇宙で実証済みの属龍2号のものを使用 世界中の7箇所の地上局で運用 ガーナ、モンゴル、バングラデシュは国で初めての衛星</p>	<p>日付 2017年7月7日 打ち上げ機 SoX-11 国 アメリカ 射場 ケネディ宇宙センター</p>	<p>モンゴル初の衛星として軌道上での生存を確認 衛星からのビーコン信号を受信</p>
 <p>名称 BRC Onnesha 団体 九州工業大学/バングラデシュ (BRAC大学) 質量 1kg 状態 大気圏突入により運用停止</p>	<p>5機の1UのCubeSat (1kg 10cm 立方) 発展途上国のための衛星開発 九州工業大学の大学院生によって行われるプロジェクト 参加国 日本、ガーナ、モンゴル、ナイジェリア、バングラデシュ、タイ、台湾 バスシステムは宇宙で実証済みの属龍2号のものを使用 世界中の7箇所の地上局で運用 ガーナ、モンゴル、バングラデシュは国で初めての衛星</p>	<p>日付 2017年7月7日 打ち上げ機 SoX-11 国 アメリカ 射場 ケネディ宇宙センター</p>	<p>バングラデシュ初の衛星として軌道上での生存を確認 衛星からのビーコン信号を受信</p>
 <p>名称 Nigeria Edusat1 団体 九州工業大学/ナイジェリア (連邦工科大学アクト校) 質量 1kg 状態 大気圏突入により運用停止</p>	<p>5機の1UのCubeSat (1kg 10cm 立方) 発展途上国のための衛星開発 九州工業大学の大学院生によって行われるプロジェクト 参加国 日本、ガーナ、モンゴル、ナイジェリア、バングラデシュ、タイ、台湾 バスシステムは宇宙で実証済みの属龍2号のものを使用 世界中の7箇所の地上局で運用 ガーナ、モンゴル、バングラデシュは国で初めての衛星</p>	<p>日付 2017年7月7日 打ち上げ機 SoX-11 国 アメリカ 射場 ケネディ宇宙センター</p>	<p>衛星からのビーコン信号を受信</p>

表 5.1.1.2.1-1 九州工業大学の衛星実績(2/2) (九州工業大学提供)

衛星詳細		主なミッション・特徴など	打ち上げ		結果(成果)	
	名称	3機の1UのCubeSat (1kg, 10cm 立方) 発展途上国のための衛星開発 九州工業大学の大学院生によって行われるプロジェクト メインミッション: ストア&フォワード(Store & Forward) 参加国 日本、フィリピン、ブータン、マレーシア バスシステムは宇宙で実証済みのBRDS-1のものを使用 世界中の10箇所の地上局で運用 ブータンは国で初めての衛星	日付	2018年8月10日	衛星からのUHF、VHFビーコン信号を受信 ブータン初の衛星として軌道上での生存を確認	
	団体		九州工業大学/ブータン	打ち上げ機		SoX-15
	質量		1kg	国		アメリカ
	状態		運用中	射場		ケネディ宇宙センター
	名称	3機の1UのCubeSat (1kg, 10cm 立方) 発展途上国のための衛星開発 九州工業大学の大学院生によって行われるプロジェクト メインミッション: ストア&フォワード(Store & Forward) 参加国 日本、フィリピン、ブータン、マレーシア バスシステムは宇宙で実証済みのBRDS-1のものを使用 世界中の10箇所の地上局で運用	日付	2018年8月10日	衛星からのUHF、VHFビーコン信号を受信	
	団体		九州工業大学/フィリピン	打ち上げ機		SoX-15
	質量		1kg	国		アメリカ
	状態		運用中	射場		ケネディ宇宙センター
	名称	3機の1UのCubeSat (1kg, 10cm 立方) 発展途上国のための衛星開発 九州工業大学の大学院生によって行われるプロジェクト メインミッション: ストア&フォワード(Store & Forward) 参加国 日本、フィリピン、ブータン、マレーシア バスシステムは宇宙で実証済みのBRDS-1のものを使用 世界中の10箇所の地上局で運用	日付	2018年8月10日	衛星からのUHF、VHFビーコン信号を受信 衛星との通信を確認	
	団体		九州工業大学/マレーシア	打ち上げ機		SoX-15
	質量		1kg	国		アメリカ
	状態		運用中	射場		ケネディ宇宙センター
	名称	1 CSAC (チップスケール原子時計)の軌道上での実証。 2 フロクレーズとしてCSACを使用した55変調467MHz Txの軌道上でのデモ。 3 第2のUHF帯域に対する400MHzのTxおよびRxの軌道上での実証。 4 地上でのスペクトラム拡散信号の復調。 5 複数の地上局の時間同期。 6 単一衛星の搬送波位相(400MHzおよび467MHz)を読み取る。 シンガポール・南洋理工大(NTU)との共同プロジェクトとして開発	日付	2018年10月8日	衛星との通信を確認 超小型原子時計の動作を確認 UHF基準電波信号を受信	
	団体		九州工業大学/シンガポール(NTU)	打ち上げ機		H7V7
	質量		2kg	国		日本
	状態		運用中	射場		種子島
	名称	低軌道上の様々な環境観測を行い、次世代の衛星開発や現在運用中の衛星にも有益なデータを提供することを主な目的とした超小型人工衛星 (泰山研究室が開発)	日付	2018年10月29日	衛星との通信を確認 各種実験データを取得	
	団体		九州工業大学	打ち上げ機		H-2A
	質量		22.3kg	国		日本
	状態		運用中	射場		種子島
	名称	1. PPTIによる姿勢制御と軌道維持の確認 2. 高感度カメラによる地平線上空大気並びに夜間の撮影 ルーナーホライズンロー(LHO)撮影を目的した、パルスプラズマスラスタ(PPT)によるCubeSatの姿勢・軌道制御と超高層大気撮像高感度カメラの実証を目的とした人工衛星 シンガポール・南洋理工大(NTU)との共同プロジェクトとして開発	日付	2019年1月18日	衛星との通信を確認 高感度カメラの撮影画像を取得 軌道上制御データを取得	
	団体		九州工業大学/シンガポール(NTU)	打ち上げ機		イpsilon4号機
	質量			国		日本
	状態		運用中	射場		内之浦
	名称	3機の1UのCubeSat (1kg, 10cm 立方) 発展途上国のための衛星開発 九州工業大学の大学院生によって行われるプロジェクト メインミッション: ADCSミッション、OPLDを用いたソフトウェア定義のバス基板、LoRa基板実証 参加国 日本、スリランカ、ネパール 世界中の12箇所の地上局で運用	日付	2019年4月18日	衛星との通信を確認 OPLD基板の動作確認 地球撮影画像を取得 LoRa基板の動作確認 姿勢制御データを取得	
	団体		九州工業大学	打ち上げ機		シグナス-11(NG-11)
	質量		1kg	国		アメリカ
	状態		運用中	射場		バージニア州 NASAフロ
	名称	3機の1UのCubeSat (1kg, 10cm 立方) 発展途上国のための衛星開発 九州工業大学の大学院生によって行われるプロジェクト メインミッション: ADCSミッション、LoRa基板実証 参加国 日本、スリランカ、ネパール 世界中の12箇所の地上局で運用 スリランカは国で初めての衛星	日付	2019年4月18日	スリランカ初の衛星として軌道上での生存を確認 衛星との通信を確認 地球撮影画像を取得 LoRa基板の動作確認 姿勢制御データを取得	
	団体		九州工業大学/スリランカ	打ち上げ機		シグナス-11(NG-11)
	質量		1kg	国		アメリカ
	状態		運用中	射場		バージニア州 NASAフロ
	名称	3機の1UのCubeSat (1kg, 10cm 立方) 発展途上国のための衛星開発 九州工業大学の大学院生によって行われるプロジェクト メインミッション: ADCSミッション、LoRa基板実証 参加国 日本、スリランカ、ネパール 世界中の12箇所の地上局で運用 ネパールは国で初めての衛星	日付	2019年4月18日	ネパール初の衛星として軌道上での生存を確認 衛星との通信を確認 地球撮影画像を取得 LoRa基板の動作確認 姿勢制御データを取得	
	団体		九州工業大学/ネパール	打ち上げ機		シグナス-11(NG-11)
	質量		1kg	国		アメリカ
	状態		運用中	射場		バージニア州 NASAフロ



### 5.1.1.2.2 静岡大学

#### (1) 超小型衛星の開発状況

これまで3機の超小型衛星（「はごろも（STARS-C）」、「STARS-Me」、「Stars-A0」）を打ち上げ、現在、運用中である。また、2020年度下期打ち上げ（ISSからの放出）を目指し「STARS-Me2」を開発中である（表5.1.1.2.2-1）。

#### (2) 超小型衛星の運用結果

(1)項の3機の超小型衛星を運用中である。なお、表5.1.1.2.2-1に示した3機のうち、STARS-Cは部分的成功。Stars-A0、及びSTARS-Meは運用中、但しミッションは未実施である。

表 5.1.1.2.2 -1 静岡大学の超小型衛星実績（静岡大学提供）

衛星詳細		主なミッション・特徴	打ち上げ		
	名称	<ul style="list-style-type: none"> <li>・親子衛星の分離および100[m]のテザー伸展</li> <li>・テザー伸展挙動に関するデータ取得</li> <li>・重力傾斜安定によるテザー伸展維持</li> <li>・リール機構による張力制御</li> </ul>	日付(放出日)	2016年12月19日	
	団体		静岡大学 工学研究科 航空宇宙講座	打ち上げ機	H-IIBロケット6号機
	質量		2.48kg	国	日本
	状態		運用中	射場	種子島
	名称	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軌道エレベーターの小規模デモ</li> <li>・2機体衛星+クライマーの構成の実証評価</li> <li>・コンベックステザー伸展</li> <li>・クライマー移動</li> </ul>	日付	2018年9月23日	
	団体		静岡大学	打ち上げ機	H-IIB
	質量		約2.3kg	国	日本
	状態		運用中	射場	種子島
	名称	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軌道上宇宙撮影/天体観測</li> <li>・大容量撮影画像データの高速ダウンリンク通信</li> </ul>	日付	2018年10月29日	
	団体		静岡大学	打ち上げ機	H-IIA
	質量		約1.5kg	国	日本
	状態		運用中	射場	種子島
	名称	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軌道エレベーターの小規模デモ</li> <li>・TU CubeSatにクライマー収納</li> <li>・コンベックステザー伸展</li> <li>・クライマー移動</li> </ul>	日付	2020年下期	
	団体		静岡大学	打ち上げ機	未定(ISS放出)
	質量		約1.3kg	国	日本
	状態		運用前	射場	きぼう

### 5.1.1.2.3 東京大学

#### (1) 超小型衛星の開発状況

これまで、14機の超小型衛星の開発実績を有し、2機を開発中である(表5.1.1.2.3-1)。

#### (2) 超小型衛星の運用結果

すでに11機の打ち上げ運用に成功し、大気突入などで運用終了した衛星を除き、現在9機の超小型衛星を運用中である。それに加えて1機は打ち上げ機の失敗により、軌道に到達していない。尚、初号機(世界初のCubeSatの1つ)は16年半運用を行っている。

軌道上に上がった衛星はすべて運用に成功し、ミッション・サクセスしている。軌道に届かなかったTRICOM-1は、軌道上運用できなかったが、ロケットからの分離後、海面に落ちるまでの300秒間、運用に成功している。

表 5.1.1.2.3-1(1/2) 東京大学の超小型衛星実績 (東京大学提供)

衛星詳細		主なミッション・特徴	打ち上げ	
	名称 XI-IV	衛星/バス技術の実証と地球画像の取得	日付	2003年6月30日
	団体 東京大学		打ち上げ機	ロケット+Breeze-KM
	質量 1.00kg		国	ロシア
	状態 後期運用中		射場	プレセツク
	名称 XI-V	ミッション1: CIGS 太陽電池セルなど、新規太陽電池の軌道上実証実験 ・新型のCIGS (CuInGaSe <sub>2</sub> )太陽電池セルを搭載し、軌道上での発電量をモニター。 ・CIGSセルは放射線による劣化が少ないと考えられており、XI-Vで長期的にデータを取得することによって劣化の傾向を評価。 その他XI-Vでは、次期衛星PRISIMに搭載予定のGaAs太陽電池セルも搭載し、その性能を評価。 ミッション2: 地球の撮影 ・より美しい地球画像を取得すべく、XI-IVで搭載したカメラ制御用ソフトウェアを変更し、XI-IVの倍のサイズの画像の取得や、最短0.2秒周期の連続撮影モード(衛星の姿勢運動推定用)などが可能。 ミッション3: メッセージ送信 ・XI-VではXI-IVの機能を拡張し、保存するメッセージを地上からのコマンドによって書き換える機能と、FMパケットとCW信号の両方でメッセージを送信する機能を実現。	日付	2005年10月27日
	団体 東京大学		打ち上げ機	COSMOS-3M <small>(ヨーロッパの学生衛星SESAT-EX/PRESSYD77から改竄された後、その衛星PP000から放出)</small>
	質量 1.00kg		国	ロシア
	状態 後期運用中		射場	プレセツク
	名称 PRISIM (ひとみ)	・柔らかい「伸展ブーム」を鏡筒に用いた望遠鏡による画像取得技術試験と実証 ・民用品を利用した超小型衛星用要素の技術試験・実証 ・アマチュア無線サービスの実施	日付	2009年1月23日
	団体 東京大学		打ち上げ機	H-IIA-15
	質量 8.5kg		国	日本
	状態 後期運用中		射場	種子島
	名称 ARTSAT1: INVADER	・衛星データ(テレメトリ)の芸術利用 ・衛星データ活用のためのオープン・プラットフォーム「ARTSAT API」( <a href="http://api.artsat.jp/">http://api.artsat.jp/</a> )の設計と多摩美地上局上での実装 ・衛星をメディアとしたインタラクティブ作品の制作 ・Arduino互換Mission0BC「Monikawa」搭載 ・地上からのコマンドによる音声や音楽の生成 ・ElizaベースのChatterbotによる衛星との会話 ・INVADER VMの搭載による軌道よりプロの実現 ・芸術作品を通じたアウトリーチの展開・衛星芸術に関連した展覧会やイベントの開催 Web (Basic Information) <a href="http://artsat.jp">http://artsat.jp</a> Facebook (Latest Information) <a href="http://www.facebook.com/artsat">http://www.facebook.com/artsat</a> Twitter (Reception Report List) <a href="http://twitter.com/INVADER_ARTSAT">http://twitter.com/INVADER_ARTSAT</a> GitHub (Monikawa and TamabiGS software) <a href="https://github.com/ARTSAT/">https://github.com/ARTSAT/</a>	日付	2014年2月28日
	団体 多摩美術大学 × 東京大学		打ち上げ機	H-IIA-23
	質量 1.8 kg		国	日本
	状態 運用中		射場	種子島
	名称 UNIFORM-1	・可視カメラおよび熱赤外カメラによる地球観測 ・ほどよし衛星で培われた技術のスピノフ ・海外諸国に50kg級の衛星の製造・運用を教えるためのベース機	日付	2014年5月24日
	団体 UNIFORMプロジェクト (代表: 和歌山大学)		打ち上げ機	H-IIA 24号機
	質量 50kg		国	日本
	状態 運用中		射場	種子島
	名称 Hodoyoshi-3 ほどよし3号	ほどよしプロジェクトの各種成果実証 ・高精度姿勢制御 ・ほどよしバスおよびその機器の実証 ・40m、240m分解能カメラの実証 ・レンタルスペース ・Store & Forward	日付	2014年6月19日 (日本時間20日)
	団体 東京大学		打ち上げ機	DNEPR(ドニエプル)
	質量 60kg		国	ロシア
	状態 後期運用中		射場	ヤスネ(YASNY)
	名称 Hodoyoshi-4 ほどよし4号	ほどよしプロジェクトの各種成果実証 ・高精度姿勢制御 ・ほどよしバスおよびその機器の実証 ・0m分解能カメラの実証 ・レンタルスペース ・イオン推進実験 ・高速バンドダウンリンク実験	日付	2014年6月19日 (日本時間20日)
	団体 東京大学		打ち上げ機	DNEPR(ドニエプル)
	質量 66kg		国	ロシア
	状態 後期運用中		射場	ヤスネ(YASNY)
	名称 ほどよし1号	リアクションホイール、スターセンサー、MEMSジャイロ、GPS受信機などが搭載されており高度な3軸姿勢制御を行うほか、新規開発された過酸化水素水を推進剤とする推進装置による軌道制御の実証も行う。ミッション機器として、地上分解能約7m、観測幅約28kmの画像を取得できる光学センサーが搭載され、高度500kmの太陽同期軌道から地球を観測する。RGBとNIRの合計4波長でのプッシュブルーム撮像を行う。	日付	2014年11月6日
	団体 東京大学		打ち上げ機	ドニエプル
	質量 60kg		国	ロシア
	状態 運用中		射場	ヤスネ

表 5. 1. 1. 2. 3-1 (2/2) 東京大学の超小型衛星実績 (東京大学提供)

衛星詳細		主なミッション・特徴	打ち上げ	
 <p>名称 ARTSAT2:DESPATCH 団体 多摩美術大学×東京大学 ARTSAT 衛星芸術プロジェクト 質量 33kg 状態 運用終了</p>	<p>・深宇宙彫刻の実現 (3Dプリンタ造形物の宇宙機搭載実証)</p> <p>・宇宙生成詩の創作 (各種センサーデータから搭載プログラムが生成したテレメトリ送信)</p> <p>・ソーシャルネットワークを用いたテレメトリ共同受信 (協調ダイバシティ通信実験)</p> <p><a href="http://despatch.artsat.jp">http://despatch.artsat.jp</a> <a href="http://artsat.jp">http://artsat.jp</a></p>	日付	2014年12月3日	
	打ち上げ機	H-IIA 26号機		
	国	日本		
	射場	種子島		
 <p>名称 PROCYON 団体 東京大学 質量 65kg 状態 交信終了</p>	<p>・深宇宙における航法誘導制御・通信技術実証、サイエンスミッション</p>	日付	2014年12月3日	
	打ち上げ機	H-IIA 26号機		
	国	日本		
	射場	種子島宇宙センター		
 <p>名称 TRICOM-1 団体 東京大学 質量 3.2kg 状態 ロケットの失敗で軌道投入できず</p>	<p>・3Uサイズのバスの実証とStore and Forward機能、民生デバイスによるカメラの実証</p>	日付	2017年1月15日	
	打ち上げ機	SS-520-4		
	国	日本		
	射場	内之浦		
 <p>名称 TRICOM-1R 団体 東京大学 質量 3.2kg 状態 6か月半後大気突入</p>	<p>・3Uサイズのバスの実証とStore and Forward機能、民生デバイスによるカメラの実証、自律機能による即時観測の</p>	日付	2018年2月3日	
	打ち上げ機	SS-520-5		
	国	日本		
	射場	内之浦		
 <p>名称 MicroDragon 団体 東京大学、慶応大学、北海道大学、東北大学、九州工業大学、VNSC 質量 50kg 状態 運用中</p>	<p>・ベトナム (VNSC) 研究員の衛星開発教育、ベトナム海岸線の撮像</p>	日付	2019年1月18日	
	打ち上げ機	エプシロン		
	国	日本		
	射場	内之浦		
 <p>名称 RWASAT-1 団体 東京大学、株式会社スペースエッジラボ、ルワンダ 質量 3.2kg 状態 運用中</p>	<p>・ルワンダへの教育支援とStore and Forward機能の実証、カメラ機能の実証</p>	日付	打ち上げ 2019/9/24 放出 2019/11/20	
	打ち上げ機	H-IIB、ISS放出		
	国	日本		
	射場	種子島		
 <p>名称 G-Satellite 団体 東京大学 質量 3kg 状態</p>	<p>2020年3月にISSに輸送し、4から5月ごろ放出予定。 ガンダムとザクのフィギュアを載せ、電光掲示板のメッセージとともに宇宙空間でその撮像を行ってダウンリンクし、オリンピックを応援することを目的とした衛星。</p>	日付	2020年4～5月予定	
	打ち上げ機			
	国			
	射場			
<p>名称 EQUULEUS 団体 東京大学 質量 11kg 6Uサイズ 状態</p>	<p>NASAの新型有人ロケットの初号機に13機の6U衛星が相乗りするうちの1機として2020年～2021年に打ち上げ予定。スイングバイを繰り返して地球一月のラグランジュ点に向かう工学実証がメインミッションで、複数の宇宙科学ミッションも搭載</p>	日付	2020年～2021年予定	
	打ち上げ機			
	国			
	射場			

#### 5.1.1.2.4 東北大学

##### (1) 超小型衛星の開発状況

これまで12機の超小型衛星を開発してきており、このうち、7機は国内大学や他国との共同プロジェクトとして、また4機は企業との共同プロジェクトとして開発してきている(表5.1.1.2.4-1)。

##### (2) 超小型衛星の運用結果

12機の超小型衛星のうち、11機が打ち上げられ、8機が運用中、3機が運用を終了している。

表 5.1.1.2.4-1 (1/2) 東北大学の超小型衛星実績 (東北大学提供)

衛星詳細		主なミッション・特徴	打ち上げ	
	名称	雷神(SPRITE-SAT)	日付	2009年1月23日
	団体	東北大学	打ち上げ機	H-IIA-15
	質量	50.00kg	国	日本
	状態	運用中	射場	種子島
		スプライト等の超高層大気発光現象を宇宙空間から真下に見下ろすように観測し、その水平構造および全球分布を明らかにする。 雷/スプライト等と地上起因ガンマ線放射との関係を明らかにする。		
	名称	RAIKO	日付 (打上/放出)	打上:2012年7月21日 放出:2012年10月5日
	団体	和歌山大学/東北大学	打ち上げ機	HTV3号機(H2B打上) 放出:ISS「きぼう」
	質量		国	日本
	状態	運用終了(2013年8月6日 に高度150kmに達し、その後 大気圏に突入し消失)	射場	種子島
		膜展開による軌道降下実験・魚眼カメラによる地球撮像等 サクセスレベル等、衛星詳細その他:2Uサイズの衛星。今後の超小型衛星開発に必要な技術やノウハウの実証等を行う。		
	名称	雷神2 (RISING-2)	日付	2014年5月24日
	団体	東北大学・北海道大学	打ち上げ機	H-IIA-24号機
	質量	43kg	国	日本
	状態	運用中	射場	種子島
		・多波長望遠鏡による高解像度地球観測 □径10cm、焦点距離1m、解像度5mの超小型衛星搭載用望遠鏡を新規開発。 カラー画像に加え、液晶波長可変フィルタによる波長切替で、650-1050nmの任意の波長を観測。 ・近赤外ホロメータアレイセンサによる積乱雲の雲頂高度観測 ・高精度三軸姿勢制御による定地点連続撮像 ・積乱雲の高解像度ステレオ撮像 ・スプライトなどの高高度放電発光現象観測		
	名称	S-CUBE	日付 (打上/放出)	打上:2015年8月19日 放出:2015年10月17日
	団体	千葉工業大学/東北大学	打ち上げ機	打上:H-II B 5号機 放出:HTV5「こうのとり」
	質量	4kg	国	日本
	状態	2016年11月23日 軌道 離脱(大気圏突入)	射場	種子島宇宙センター
		可視カメラと紫外線センサによる流星観測		
	名称	MicroDragon	日付	2019年1月18日
	団体	東京大学、慶応大学、北海道大学、東北大学、九州工業大学、VNSC	打ち上げ機	エプシロン
	質量	50kg	国	日本
	状態	運用中	射場	内之浦
		ベトナム(VNSC)研究員の衛星開発教育、ベトナム海岸線の撮像		
	名称	DIWATA-1	日付	2016年4月27日
	団体	東北大学/北海道大学 / フィリピン科学技術省 先端科学研究所 (DOST-ASTI)/ フィリピン大学ディリマン校	打ち上げ機	ISS放出
	質量	52.4 kg	国	N/A
	状態	定常運用中	射場	N/A
			[開発体制] ・フィリピン共和国初の国産衛星 ・JAXA初の50kg級衛星のISS放出 ・フィリピン大学ディリマン校からの留学生(修士課程)を中心とした衛星開発 ・開発期間約1年間  [ミッション] ・高解像度4バンド望遠鏡(GSD約3m)による自然災害調査 ・590バンドマルチスペクトルカメラ(GSD約10m)による植生・海洋観測 ・モノクロ魚眼カメラ(GSD約7km)による気象観測	



表 5.1.1.2.4-1 (2/2) 東北大学の超小型衛星実績 (東北大学提供)

衛星詳細		主なミッション・特徴	打ち上げ	
	名称	FREEDOM	日付	2017年1月16日
	団体	(株)中島鉄工所/東北大学	打ち上げ機	ISS放出
	質量	1.3 kg	国	N/A
	状態	運用終了(大気圏再突入済)	射場	N/A
		[ミッション] ・膜展開式軌道離脱機構(DOM)の実証実験		
	名称	DIWATA-2	日付	2018年10月29日
	団体	東北大学/北海道大学 / フィリピン科学技術省 先端科学研究所 (DOST-ASTI)/ フィリピン大学ディリマン校	打ち上げ機	H-IIA F40
	質量	57.4 kg	国	日本
	状態	常運用中	射場	種子島宇宙センター
		[開発体制] ・DIWATA-1の後継機 ・フィリピン大学ディリマン校からの留学生(修士課程)を中心とした衛星開発  [ミッション] ・高解像度4バンド望遠鏡(GSD約5m)による自然災害調査 ・590バンドマルチスペクトルカメラ(GSD約10m)による植生・海洋観測 ・モノクロ魚眼カメラ(GSD約7km)による気象観測 ・アマチュア無線中継		
	名称	RISAT	日付	2019年1月19日
	団体	東北大学/北海道大学等	打ち上げ機	イプシロンロケット F4
	質量	59 kg	国	日本
	状態	常運用中	射場	内之浦宇宙空間観測所
		[ミッション] ・高解像度630バンドマルチスペクトル望遠鏡(GSD約4m)による地球観測・天文観測 ・4バンド海洋観測カメラ(GSD約70m)による海洋観測 ・上層大気における雷放電観測 ・軌道上の放射線環境測定 ・広角カラーカメラによる衛星全周撮影 ・衛星-地上間レーザ通信技術の実証 ・膜展開式軌道離脱機構(DOM)の実証		
	名称	ALE-1	日付	2019年1月19日
	団体	(株)ALE/東北大学	打ち上げ機	イプシロンロケット F4
	質量	68 kg	国	日本
	状態	軌道制御運用中	射場	内之浦宇宙空間観測所
		[ミッション] ・世界初の人工流れ星の生成 ・分離型膜展開式軌道離脱機構(SDOM)を用いた軌道制御実験		
	名称	ALE-2	日付	2019年12月6日
	団体	(株)ALE/東北大学	打ち上げ機	Electron F10
	質量	75 kg	国	ニュージーランド
	状態	初期運用中	射場	LC-1
		[ミッション] ・世界初の人工流れ星の生成 ・コールドガスジェットスラスタを用いた軌道制御実験		

## 5.1.1.2.5 日本大学

## (1) 超小型衛星の開発状況

これまで4機の超小型衛星を開発し、打ち上げ機の失敗により軌道不達の1機を除き、3機の打ち上げ・運用に成功している(表5.1.1.2.5-1)。

## (2) 超小型衛星の運用結果

2機の超小型衛星を運用中である。

表 5.1.1.2.5-1 日本大学の超小型衛星実績(日本大学提供)

衛星詳細		主なミッション・特徴	打ち上げ	
	名称	SEEDS (FM1)	日付	2006年7月27日
	団体	日本大学	打ち上げ機	ドニエプル
	質量	1.00kg	国	ロシア
	状態	ロケット失敗により軌道不到達	射場	バイコヌール
		民生品を用いた衛星のバス技術実証		
		デジトーカーによるアマチュア無線サービス		
	名称	SEEDS (FM2)	日付	2008年4月28日
	団体	日本大学	打ち上げ機	PSLV-C9
	質量	1.00kg	国	インド
	状態	運用中	射場	サティシュダワン
		民生品を用いた衛星のバス技術実証		
		デジトーカー・SSTVによるアマチュア無線サービス		
		マイクロフィルム搭載によるアウトリーチ		
	名称	SPROUT	日付	2014年5月24日
	団体	日本大学	打ち上げ機	H-IIA-24
	質量	7.1kg	国	日本
	状態	運用終了	射場	種子島
		複合膜面構造物展開の宇宙実証と設計手法の検証		
		数kg級衛星用姿勢決定・制御技術の実証		
		複合膜面構造物による軌道降下率変化の予測		
		アマチュア無線家によるカメラ撮影等の衛星利用		
	名称	NEXUS	日付	2019年1月18日
	団体	日本大学	打ち上げ機	イプシロン4号機
	質量	1.24kg	国	日本
	状態	運用中	射場	内之浦
		超小型送信機の技術実証		
		CubeSat用トランスポンダの技術実証		
		超小型カメラシステムの技術実証		
		定常運用終了後はアマチュア無線家による衛星運用を予定(衛星の民間利用)		



### 5.1.1.2.6 その他

調査対象とし、かつ、調査フォームでの回答が得られた学校(衛星プロジェクト実施校)としては以下がある。

- ・ 東京工業大学
- ・ 九州大学
- ・ 香川大学
- ・ 東京都立産業技術高等専門学校

### 5.1.1.3 調査結果

アンケートについて、10校の教員15名から回答があり、衛星数は32機(プロジェクト数としては36件)、事例数は208件(うち、成功事例72、失敗事例136)を取得した。

プロジェクトNo.	プロジェクトもしくは衛星名	責任機関(実施の中心機関)	成功事例数	失敗事例数
1	OrigamiSat-1/F0-98	東京工業大学 動設計学研究室(坂本研)、および中西研究室	1	11
2	HODOYOSHI-3, 4	東京大学中須賀研究室, 次世代宇宙システム技術研究組合(NESTRA)	6	-
3	ほどよし1号機・推進系	東京都立大学 佐原研究室	1	-
4	ほどよし3号機・推進系	東京都立大学 佐原研究室	1	-
5	UNIFORM-1	東京大学中須賀研究室, 次世代宇宙システム技術研究組合(NESTRA), 和歌山大学	5	-
6	XI-IV	東京大学中須賀・船瀬研究室	1	-
7	PRISM/ひとみ	東京大学中須賀・船瀬研究室	8	-
8	TRICOM-1, 熱真空試験	東京大学中須賀・船瀬研究室	1	-
9	TRICOM-1R	東京大学中須賀・船瀬研究室	1	-
10	PROCYON	東京大学中須賀・船瀬研究室	6	9
11	MicroDragon	東京大学中須賀・船瀬研究室	3	4
12	50 kg 級衛星ミッション機器開発		1	-
13	KKS-1(輝汐)	東京都立産業技術高等専門学校	2	9
14	QSAT-EOS	九州大学	2	-
15	RISESAT	東北大学吉田・栗原研究室/北海道大学高橋研究室	1	19
16	SPRITE-SAT(別名: RISING, 雷神)	東北大学吉田研究室・北海道大学高橋研究室	-	4

17	RAIKO	東北大学吉田研究室	-	2
18	RISING-2 (雷神 2)	東北大学吉田研究室・北海道大学高橋研究室	-	3
19	NEXUS	日本大学宮崎研究室	1	2
20	STARS	香川大学能見研究室	6	4
21	STARS-II	香川大学能見研究室	6	4
22	STARS-C	静岡大学能見研究室・山極研究室	4	3
23	Stars-A0	静岡大学能見研究室	4	1
24	STARS-Me	静岡大学	3	4
25	鳳龍弐号	九州工業大学衛星開発プロジェクト (九州工業大学趙・豊田研究室)	4	5
26	鳳龍四号	九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー	2	2
27	Birds-1	九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー	-	2
28	Birds-2	九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー	-	3
29	Birds-3	九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー	2	1
30	匿名 1		-	13
31	匿名 2		-	10
32	匿名 3		-	1
33	匿名 4		-	3
34	匿名 5		-	6
35	匿名 6		-	10
36	匿名 7		-	1

以降、アンケート結果を整理・評価する。なお、アンケート原稿については、明確な誤記、参考文献番号の修正以外は原則としてオリジナルのまま収録した。

#### 5.1.1.3.1 「成功事例」の整理

成功事例を表 5.1.1.3-1-1～表 5.1.1.3-1-24 に示す。各表には、衛星全体の情報として、以下が記載されている。

##### 【プロジェクト（衛星）情報】

- ・ 成功事例整理のための通し番号（プロジェクト No.）
- ・ 概要（プロジェクト名もしくは衛星名、責任機関、ミッションの概要、衛星サイズ・質量）、資金元、資金額、参加人員数、
- ・ 参加機関・役割分担

また、各プロジェクトにおいて複数の事例が紹介されており、事例識別のための以下の情報が記載されている。

**【事例情報】**

- ・ 当該プロジェクトにおける各成功事例の通し番号（事例 No.）
- ・ 事例の発生年月
- ・ 事例区分（システム、サブシステム／系、運用、等の事例の識別）
- ・ 事例概要（発生した事例の概要）

なお、5.1.2 項以降の分析において、上記の「プロジェクト No.」と「事例 No.」で、各事例を識別している。

表 5.1.1.3-1-1 OrigamiSat-1/F0-98 成功事例概要

プロジェクト No.	1
概要	<p>プロジェクト名 (衛星名) OrigamiSat-1/F0-98</p> <p>責任機関 (実施の中心機関) 東京工業大学 動設計学研究室 (坂本研)、および中西研究室</p> <p>ミッション概要 多機能展開膜実証、宇宙実験プラットフォーム実証、アマチュア無線ミッション</p> <p>衛星サイズ 3U 質量 (kg) 4.1</p> <p>資金元 文部科学省宇宙航空科学技術推進委託費、科研費、学内資金</p> <p>資金額 5,000 万円</p>
参加人員	<p>プロパー教員数 3 エフオート率 (%) 20</p> <p>専任教員/スタッフ数 0</p> <p>のべ関与学生数 40</p> <p>うち修士 (%) 90 うち博士 (%) 0</p>
参加機関・役割分担	<p>東京工業大学 (バス系開発・ミッション系開発) (学生 13 名×2 期)</p> <p>株式会社ウェルリサーチ (ミッション系開発) (学生なし)</p> <p>サカセ・アドテック株式会社 (ミッション系開発) (学生なし)</p> <p>日本大学 (ミッション系実験・バス系助言) (学生なし) 宇宙科学研究所 (ミッション系機器提供) (学生なし)</p> <p>首都大学東京 (現・都立大学) (アドバンストミッション系開発) (学生 1 名) ”</p>
成功事例	
事例 No.	1
発生年月	2019 年 1 月 18 日
区分	運用
事例概要	初期運用で地上局でのテレメトリ取得、コマンドアップリンクに成功した。

表 5.1.1.3-1-2 HODOYOSHI-3, 4 成功事例概要

プロジェクト No.	2		
概要	HODOYOSHI-3, 4 東京大学中須賀研究室, 次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA) 「ほどよし信頼性工学」に基づく超小型衛星の実証、イメージャーによる地球観測を含むマルチミッション 50cm 級 質量 (kg) 50 内閣府最先端研究開発支援プログラム 非公開		
参加人員	プロパー教員数	5~6	エフオー ト率 (%) 10~20
	専任教員/スタッフ数	15	
	のべ関与学生数	30	
	うち修士 (%)	97	うち博士 (%) 3
参加機関・役割分担	東京大学・NESTRA: バス開発, ミッション機器 IF 東京理科大学: 搭載コンピュータ 日本大学: 要素技術 (他, ミッション機器担当)		
成功事例			
事例 No.	1	2	3
発生日月	2014 年 6 月	2014 年 6 月	2014 年 6 月
区分	運用	運用	運用
事例概要	継続的な S 帯通信の確立	スピントラッキングの継続的な達成	3軸姿勢制御による太陽指向
			3軸姿勢制御による地球指向
			ミッションデーターダウンリンク
			軌道上での運用モード再定義

表 5.1.1.3-1-3 ほだよし1号機 推進系 成功事例概要

プロジェクト No.	3		
概要	プロジェクト名 (衛星名)	ほだよし1号機 推進系	
	責任機関 (実施の中心機関)	東京都立大学 佐原研究室	
	ミッション概要	推進系の軌道上実証	
	衛星サイズ	質量 (kg) 60	
	資金元	(衛星全体) 内閣府最先端研究開発支援プログラム「日本発『ほだよし信頼性工学』を導入した超小型衛星による新しい宇宙開発・利用パラダイムの構築」	
資金額	(全体) 41,0500 万円		
参加人員	プロパー教員数	1	エフォート率 (%) 10
	専任教員/スタッフ数	0	
	のべ関与学生数	3	
	うち修士 (%)	100	うち博士 (%) 0
参加機関・役割分担	東京都立大学 (当時, 首都大学東京) : 推進系		
成功事例			
事例 No.	1		
発生日月	2014 年~2020 年		
区分	サブシステム (推進系)		
事例概要	一液式推進系について, 上記の期間内で複数回, 本学と AXELSPACE の共同で軌道上作動を行い, これに成功した。また衛星軌道の変化も観察された。		

表 5.1.1.3-1-4 ほどよし3号機 推進系 成功事例概要

プロジェクト No.	4		
概要	ほどよし3号機 推進系		
プロジェクト名 (衛星名)	東京都立大学 佐原研究室		
責任機関 (実施の中心機関)	推進系の軌道上実証		
ミッション概要	50cm 級		
衛星サイズ	質量 (kg)	60	
資金元	(衛星全体) 内閣府最先端研究開発支援プログラム「日本発『ほどよし信頼性工学』を導入した超小型衛星による新しい宇宙開発・利用パラダイムの構築」		
資金額	(全体) 41,0500 万円		
参加	プロパー教員数	1	エフォート率 (%)
人員	専任教員/スタッフ数	0	
	のべ関与学生数	3	
	うち修士 (%)	100	うち博士 (%)
			0
参加機関・役割分担	東京都立大学 (当時, 首都大学東京) : 推進系		
成功事例			
事例 No.	1		
発生年月	2014 年~2015 年		
区分	サブシステム (推進系)		
事例概要	一液式推進系について, 上記の期間内で複数回, 本学と NESTRA 等の共同で軌道上作動を行い, これに成功した.		

表 5.1.1.3-1-5 UNIFORM-1 成功事例概要

プロジェクト No.	5				
概要	UNIFORM-1				
プロジェクト名 (衛星名)	UNIFORM-1				
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀研究室, 次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA), 和歌山大学				
ミッション概要	Wildfire 監視を目的とした熱異常検知, 標準化した衛星開発プロセスによるキャパシティビルディングの展開				
衛星サイズ	50cm 級	質量 (kg) 50			
資金元	文部科学省				
資金額	非公開				
プロパー教員数	5~6	エフオート率 (%) 10~20			
専任教員/スタッフ数	15				
のべ関与学生数	30				
うち修士 (%)	97	うち博士 (%) 3			
参加機関・役割分担	東京大学・NESTRA: バス開発, ミッション機器 IF 東京理科大学: 搭載コンピュータ 日本大学: 要素技術 北海道大学: 搭載ミッション機器 他, 要素技術				
成功事例					
事例 No.	1	2	3	4	5
発生年月	2014 年 5 月	2014 年 5 月	2014 年 6 月	2014 年 6 月	2014 年 5 月
区分	運用	運用	運用	運用	運用
事例概要	継続的な S 帯通信の確立	スピントラッキングの継続的な達成	3 軸姿勢制御による太陽指向	3 軸姿勢制御による地球指向	ミッションデータダウンロード

表 5.1.1.3-1-6 XI-IV 成功事例概要



プロジェクト No.	6	
概要	プロジェクト名 (衛星名)	XI-IV
	責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀・船瀬研究室
	ミッション概要	世界初の 1 kg の CubeSat のバスの軌道上実証 アマチュアバンドによる低分解能地球画像の取得とダウンリンク 小型民生カメラによる低分解能地球画像の取得とダウンリンク
	衛星サイズ	1U 質量 (kg) 1
	資金元	衛星開発は科研費など競争的資金で、打ち上げ費は主として個人のポケットマネー
	資金額	850 万円 (予備機・運用設備込)
参加人員	プロパー教員数	1 エフオー ト 率 (%) 20
	専任教員/スタッフ数	0
	のべ関与学生数	20
	うち修士 (%)	50 うち博士 (%) 25
参加機関・役割分担	東京大学がすべてを実施 成功事例	
事例 No.	1	
発生前年	N/A	
区分	N/A	
事例概要	(プロジェクト全体の成功に関する分析)	

表 5. 1. 1. 3-1-7 PRISM 成功事例概要

プロジェクト No.	7							
概要	プロジェクト名 (衛星名) Pico-satellite for Remote-sensing and Innovative Space Missions (PRISM) /ひとみ							
	責任機関 (実施の中心機関) 東京大学中須賀・船瀬研究室							
	ミッション概要 1. 進展式屈折望遠鏡によって地表分解能 30m 程度で地球を撮影し、当技術の試験と実証を行うこと 2. 低価格な民生品を使用した超小型衛星要素の技術試験と実証を行うこと 3. アップリンク系を一部開放するなどより多様なアマチュア無線サービスの実施すること							
	衛星サイズ	20cm 立方体 + 伸展ブーム + 展開パネル					質量 (kg)	8.5
	資金元	科研費、JAXA との共同研究資金						
	資金額	3000 万円						
参加人員	プロパー教員数	1					エフオート率 (%)	20
	専任教員 / スタッフ数	0						
	のべ関与学生数	30						
	うち修士 (%)	67					うち博士 (%)	17
参加機関・役割分担 東京大学がすべてを実施								
成功事例								
事例 No.	1	2	3	4	5	6	7	8
発生年月	2009 年	2009 年	2009 年	2009 年	2009 年	2009 年	2009 年	N/A
区分	運用	運用	運用	運用	運用	運用	運用	N/A
事例概要	初期運用後、望遠鏡のための伸展ブームの展開に成功した。	伸展ブームによる望遠鏡を用いて 30m (20m) 分解能の地上画像取得に成功した。	初期運用時において磁気トルカ (Bodt 則) により能動的に角速度レートを低減することに成功した。	初期運用時において磁気トルカ (クロスプロダクト則) により能動的に角速度レートを低減することに成功した。	残留磁気モーメントの推定	残留磁気モーメントの補償	ジャイロセンサー・磁気センサー・キャリブレーション	(プロジェクト全体の成功に関する分析)

表 5.1.1.3-1-8 TRICOM-1, 熱真空試験 成功事例概要

プロジェクト No.	8	
概要	TRICOM-1, 熱真空試験	
プロジェクト名 (衛星名)	東京大学中須賀・船瀬研究室	
責任機関 (実施の中心機関)	民生部品を用いた小型宇宙機システムの軌道上実証, S&F 実験	
ミッション概要		
衛星サイズ	3U	質量 (kg) 3.2
資金元	経済産業省	
資金額	非公開	
参加 人員	プロパー教員数	3
	専任教員/スタッフ数	0
	のべ関与学生数	2
	うち修士 (%)	50
	うち博士 (%)	0
参加機関・役割分担	東京大学(システム), 名古屋大学(解析, 試験立案, 試験環境提供)	
成功事例		
事例 No.	1	
発生前月	2016 年 11 月	
区分	地上試験	
事例概要	FM システムでの熱数学モデル検証および低温真空環境下動作試験	

表 5.1.1.3-1-9 TRICOM-1R 成功事例概要

プロジェクト No.	9	
概要	TRICOM-1R	
プロジェクト名 (衛星名)	TRICOM-1R	
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀・船瀬研究室	
ミッション概要	JAXA の観測ロケット SS-520 を軌道上ロケットに転用した SS-520-5 の実証のペイロードとしての衛星の位置づけ 地上の弱い電波を受信する Store and Forward 実験 民生カメラによる広角画像の取得 衛星の自律運用の実験	
衛星サイズ	質量 (kg)	3
資金元	経産省から JAXA にロケット開発+衛星開発についての資金を JAXA から再委託で受けて実施。運用は一部キヤノン電子からの共同研究費を利用	
資金額	3000 万円	
参加 人員	プロパー教員数	1
	専任教員/スタッフ数	2
	のべ関与学生数	0
	うち修士 (%)	0
参加機関・役割分担	東京大学がすべてを実施	
成功事例		
事例 No.	1	
発生年月	N/A	
区分	N/A	
事例概要	(プロジェクト全体の成功に関する分析)	

表 5.1.1.3-1-10(1/2) PROCYON 成功事例概要

プロジェクトNo.	10	
概要	プロジェクト名 (衛星名) PROCYON 責任機関 (実施の中心機関) 東京大学中須賀・船瀬研究室 ミッション概要 世界初の 60kg 級超小型深宇宙探査機 衛星サイズ 50cm 級 質量 (kg) 65 資金元 JAXA/ISAS との共同研究 資金額 非公開	
参加人員	プロパー教員数 2 専任教員/スタッフ数 1 のべ関係員/学生数 15 うち修士 (%) 50	エフォート率 (%) 60~80 うち博士 (%) 17
参加機関・役割分担	東京大学と JAXA/ISAS が中心となり、その他の要素で北大、日大、理科大、立教大、明星大などと協力して開発 組織図あり	
成功事例		
事例 No.	1	2
発生年月	2014 年 12 月 3 日の打ち上げ	2014 年 12 月 4 日以降
区分	システム	推進系サブシステム+ 姿勢制御サブシステム
事例概要	PROCYON の打ち上げに成功し、打ち上げ直後の第一可視で電波の受信に成功。 第一可視で取得したテレメトリから、太陽電池が正しく展開、太陽捕捉姿勢制御が成功し電力収支もプラスであることが確認できた。 探査機温度も想定範囲内に入っており、探査機生存に必要な基本機能が全て満足していることが確認できた。 ヒーター制御、バッテリー充電などの健全性も確認した。	CGJ 推進系による RW アンローディングに成功した。以降、探査機全体の角運動量を適切に管理できるようになった
		2014 年 12 月 6 日から 2014 年 12 月 9 日 姿勢制御サブシステム 太陽捕捉姿勢状態でスターセンサの電源投入・正常動作確認に成功し、三軸姿勢制御モードに入った。三軸姿勢制御モード状態での目標姿勢変更に成功し、MGA (Middle Gain Antenna) を地球に指向させ、地上局と通信することに成功した。

表 5.1.1.3-1-10(2/2) PROCYON 成功事例概要

プロジェクト No.		10		(PROCYON 続)	
成功事例					
事例 No.	4	5	6		
発生年月	2014 年 12 月 11 日以降	2014 年 12 月 28 日から 2015 年 3 月中旬	運用期間中		
区分	姿勢制御サブシステム、ミッションサブシステム	推進系	システム		
事例概要	カルマンフィルタを用いた高精度姿勢決定系の動作に成功し、目標である姿勢安定度(0.02deg@200 秒、0.003deg@10 秒)を達成した。 その後、搭載している望遠鏡でコロナの撮像、彗星から放出する水素の撮像、天体写真の撮像、地球・月の撮像に成功した	イオンエンジンの動作に成功し、360uN の推力で合計 223 時間の運転に成功した。	様々なトラブルが発生したが、適切に対処し、探査機損失を回避することに成功した。 (詳細は失敗事例参照)		

表 5. 1. 1. 3-1-11 MicroDragon 成功事例概要

プロジェクト No.	11	
概要	プロジェクト名 (衛星名)	MicroDragon (略称: MDG)
	責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀・船瀬研究室
	ミッション概要	ベトナム人若手技術者人材育成、地球観測技術実証
	衛星サイズ	50 cm 級 質量 (kg) 50
	資金元	他国宇宙機関/政府系
参加人員	資金額	非公開
	プロパー教員数	5~6 エフオート率 (%) 10~20
	専任教員/スタッフ数	3~4
	のべ関与学生数	30~40 (留学生)
	うち修士 (%)	100 うち博士 (%) 0
参加機関・役割分担	東京大学: バス開発(学生受入なし) 慶應義塾大学: システム全体・バス開発 (学生 5-6 名×3 期) 九州工業大学: 構造系、試験系全般 (学生 2-3 名×3 期) 東北大学: ミッション系、姿勢制御系 (学生 2-3 名×3 期) 北海道大学: ミッション系 (学生 2-3 名×3 期)	
成功事例		
事例 No.	1	2
発生年月	2019 年 1 月	2019 年 1 月
区分	運用	運用
事例概要	初期運用で太陽電池パドルの展開に成功した	初期運用で 3 軸姿勢制御の達成に成功した
	た	初期運用で 2 種類の地球観測画像の試験撮 影に成功した

表 5.1.1.3-1-12 50 kg 級衛星ミッション機器開発 成功事例概要

プロジェクト No.	12		
概要	プロジェクト名 (衛星名)	50 kg 級衛星ミッション機器開発	
	責任機関 (実施の中心機関)	非公開	
	ミッション概要	学生が提案した中性子観測機器の開発	
	衛星サイズ	質量 (kg) 50	
	資金元	文部科学省	
資金額	非公開		
参加人員	プロパー教員数	5~6	エフォート率 (%) 0~5
	専任教員/スタッフ数	5	
	のべ関与学生数	6	
	うち修士 (%)	100	うち博士 (%) 0
	参加機関・役割分担	大学: ミッション機器開発 (バス機器開発支援) (バス開発は企業)	
成功事例			
事例 No.	1		
発生前年	2016 年 1 月		
区分	地上試験		
事例概要	FM ミッション機器およびミッション機器放熱システムの熱数学モデル構築および検証試験		



表 5.1.1.3-1-13 KKS-1 成功事例概要

プロジェクト No.	13
概要	<p>プロジェクト名 (衛星名) KKS-1 (輝汐)</p> <p>責任機関 (実施の中心機関) 東京都立産業技術高等専門学校</p> <p>ミッション概要 マイクロロスタスタ動作実証が主たる目的。地球のカメラ撮影やリアクションホールの単体制御も副目的。</p> <p>衛星サイズ 15cm x 15cm x 15cm 質量 (kg) 3.17</p> <p>資金元 東京都立産業技術高等専門学校, 首都大学東京, 東京都, 荒川区商工会議所, 荒川区市民の寄付金</p> <p>資金額 非公開</p>
参加人員	<p>プロパー教員数 3 エフォート率 (%)</p> <p>専任教員/スタッフ数 0</p> <p>のべ関与学生数 40</p> <p>うち修士 (%) 0 うち博士 (%) 0</p>
参加機関・役割分担	東京都立産業技術高等専門学校のみ
成功事例	
事例 No.	1
発生年月	2009 年 1 月
区分	運用
事例概要	2009 年 1 月 H2A ロケット無償相乗りの打ち上げ後に、自作の分離機構で衛星を分離できた。
	2009 年 1 月 H2A ロケット無償相乗りの打ち上げ後に、衛星はアンテナ展開して、CW 送信してきた。

表 5.1.1.3-1-14 QSAT-EOS 成功事例概要

プロジェクト No.	14
概要	<p>プロジェクト名 (衛星名) QSAT-EOS</p> <p>責任機関 (実施の中心機関) 九州大学</p> <p>ミッション概要 地球光学観測、理学磁気観測、微小デブドリ観測、九州地方の地場宇宙産業醸成</p> <p>衛星サイズ 50cm 級 質量 (kg) 50</p> <p>資金元 文科省 超小型衛星研究開発事業</p> <p>資金額 非公開</p>
参加	プロパー教員数 3~10
人員	専任教員/スタッフ数 0
	のべ関与学生数 30~40
	うち修士 (%) 50
	うち博士 (%) 30
参加機関・役割分担	九州大学:人工衛星本体とバス系、地球観測ミッション系、微小デブドリ観測、地球磁場観測 佐賀大学:地球観測ミッション系 鹿児島大学:人工衛星との宇宙通信、局地的な集中豪雨予測サブミッション 九州工業大学:人工衛星宇宙環境試験 QPS 研究所:超小型人工衛星インテグレーション支援
成功事例	
事例 No.	1
発生年月	2014年11月~
区分	運用
事例概要	1年以上にわたりSバンドによるコマンド・テレメトリの送受信ができた
	2
	2015年10月
	運用
	リアクションホイールによる三軸姿勢制御

表 5.1.1.3-1-15 (1/2) RISESAT 成功事例概要

プロジェクト No.	15
プロジェクト名 (衛星名)	RISESAT
責任機関 (実施の中心機関)	東北大学吉田・栗原研究室/北海道大学高橋研究室
ミッション概要	<p>国際理学観測衛星</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高空間分解能マルチスペクトル撮像技術の確立による新規地球環境計測及び農林水産鉱業市場の開拓と海外衛星利用市場の拡大</li> <li>・ 国際理学観測 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 4波長海洋観測</li> <li>・ 小型望遠鏡による天文観測</li> <li>・ 上層大気発光現象観測を通じた流星検出</li> <li>・ 宇宙放射線計測 (線量計測、粒子観測)</li> <li>・ 地球磁場観測</li> </ul> </li> <li>・ 工学ミッション <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高精度三軸姿勢制御</li> <li>・ 衛星-地上局間光通信</li> <li>・ 小型広角デジタルモニタカメラの軌道上実証</li> <li>・ 柔軟且つ拡張性の高い超小型衛星バスシステム技術の構築</li> <li>・ 膜展開式軌道離脱装置の軌道上実証</li> <li>・ Store&amp;Forward 技術の軌道上実証</li> </ul> </li> </ul>
衛星サイズ	60kg 級
質量 (kg)	59.2
資金元	平成 21～25 年度、内閣府最先端研究開発支援プログラム (FIRST)：「日本の「ほどよし信頼性工学」を導入した超小型衛星による新しい宇宙開発・利用パラダイムの構築」、研究代表者：中須賀真一
資金額	38086.6 万円
参加人員	
プロパー教員数	6
専任教員/スタッフ数	3
のべ関与学生数	34
うち博士 (%)	88
エフオー ト率 (%)	10～100
うち博士 (%)	12

表 5.1.1.3-1-15(2/2) RISESAT 成功事例概要

プロジェクト No.	15	(RISESAT 続)
参加機関・役割分担		<p>           東北大学：全体取りまとめ、バスシステム開発、システムインテグレーション、運用            北海道大学：ペイロード開発(高解像度マルチスベクトル望遠鏡)            京都大学：理学機器制御装置の開発            東京大学：プロジェクト支援            東京理科大学：ペイロード開発(マイクロモタカメラシステム)            九州工業大学：環境試験支援            情報通信研究機構 NICT：ペイロード開発(VSOTA 光送信装置)            次世代宇宙システム技術研究組合：搭載機器開発支援            National Central University (台湾)：ペイロード開発(小型望遠鏡)            National Cheng Kung University (台湾)：ペイロード開発(上層大気発光現象観測カメラ)            台湾海洋大学：ペイロード開発(海洋観測カメラ)            Hungarian Academy of Science, Centre for energy Research：ペイロード開発(放射線センサ(線量計測))(途中で脱退)            Czech Technical University in Prague, Institute of Experimental and Applied Physics：ペイロード開発(放射線センサ(粒子観測))            Angstrom Space Technology Center：ペイロード開発(地球磁場計測)(途中で脱退)         </p>
成功事例		
事例 No.	1	
発生年月	2016年2月	
区分	サブシステム	
事例概要		衛星の計装に使用するコネクタにD-Subコネクタを採用したことにより、作業性の向上を図ることができた。

表 5. 1. 1. 3-1-16 NEXUS 成功事例概要

プロジェクト No.	19
概要	<p>プロジェクト名 (衛星名) NEXUS</p> <p>責任機関 (実施の中心機関) 日本大学宮崎研究室</p> <p>ミッション概要 3 種類の新規アマチュア衛星用通信機 (π/4 シフト QPSK 送信機, 送信速度可変 FSK 送信機, リニアトランスポンダ) の宇宙実証</p> <p>衛星サイズ 1U 質量 (kg) 1.24</p> <p>資金元 大学校費</p> <p>資金額 1380 万円</p>
参加人員	<p>プロパー教員数 1</p> <p>専任教員/スタッフ数 0</p> <p>のべ関与学生数 13</p> <p>うち修士 (%) 92.3</p> <p>エフォート率 (%) 0</p> <p>うち博士 (%) 0</p>
参加機関・役割分担	<p>日本大学 (衛星バス部開発および全体インテグレーション, 地上局開発)</p> <p>JAMSAT (ミッション用通信機の開発, 地上局開発)</p> <p>JARL (法的手続き)</p>
成功事例	
事例 No.	1
発生日月	N/A
区分	N/A
事例概要	(プロジェクト全体の成功に関する分析)

表 5. 1. 1. 3-1-17 STARS 成功事例概要

プロジェクト No.		20	
概要			
プロジェクト名 (衛星名)	STARS		
責任機関 (実施の中心機関)	香川大学能見研究室		
ミッション概要	親子衛星、テザー衛星、ロボット衛星		
衛星サイズ	10 kg 級	質量 (kg)	8
資金元	科研費、NEDO、概算要求		
資金額	非公開		
参加人員	プロパー教員数	1	エフオート率 (%)
	専任教員/スタッフ数	0	40
	のべ関与学生数	10	
	うち修士 (%)	50	うち博士 (%)
			0
参加機関・役割分担			
香川大学+地域企業、地域アマチュア無線家、地域アマチュア技術家 http://stars.eng.shizuoka.ac.jp/thanks.html 参照			
成功事例			
事例 No.	1	2	3
発生年月	2009年1月	2009年4月	2009年2月
区分	運用	運用	運用
事例概要	初期運用 太陽電池パドル展開、CW受信、FMアップリンク・ダウンリンク、Bluetooth衛星間通信に成功	親子同時CW受信に成功、親子識別したアップリンク&ダウンリンクに成功	カメラ撮影&ダウンリンク カメラ撮影に成功、太陽光入射を踏まえた撮影に成功、地球が写った画像のダウンリンク成功
		4	5
		2009年3月	2009年4月
		運用	運用
		テザー伸展に成功 初回に失敗したが、数度のトライにより成功	ロボットアーム動作確認成功 角度指令の動作確認後に、姿勢フィードバックに応じたロボットアームの制御に成功
			6
			2019年1月
			運用
			CW受信成功 (打ち上げ10年後)

表 5. 1. 1. 3-1-18 STARS-II 成功事例概要

プロジェクト No.	21					
概要	STARS-II					
プロジェクト名 (衛星名)	香川大学能見研究室					
責任機関 (実施の中心機関)	香川大学能見研究室					
ミッション概要	1. 重力傾斜を利用したテザー伸展 2. EDTIによる電流収集 (ペアテザー) 3. 重力傾斜によるテザー張力を利用した TSR 制御 4. 張力制御によるテザー伸展回収					
衛星サイズ	10 kg 級	質量 (kg) 8				
資金元	科研費、学内資金					
資金額	非公開					
プロパー教員数	1	エフオート率 (%) 40				
専任教員/スタッフ数	0					
のべ関与学生数	10					
うち修士 (%)	50	うち博士 (%) 0				
参加機関・役割分担	香川大学+地域企業, 地域アマチュア無線家, 地域アマチュア技術家 http://stars.eng.shizuoka.ac.jp/thanks.html 参照					
成功事例						
事例 No.	1	2	3	4	5	6
発生年月	2014/2	2014/3	2014/3	2014/3	2014/3	2014/3
区分	コンポーネント	運用	運用	運用	運用	運用
事例概要	スプール式で収納した導電性テザーの搭載、フィラメントを用いたテザー電流収集を目的とした電子エミッター装置の搭載に成功した。	初期運用で親衛星および小衛星の CW 受信とくに子機 CW が強力な電波であった。子機は新規開発フィルムアンテナであり、その性能確認ができた。	CW データから、メイン CPU 起動を確認	テザー伸展に成功。300m 伸展できたことを推定。大気圏再突入までの期間短縮に成功	大気圏再突入の周回を確認した	望遠鏡による光学観測に成功

表 5. 1. 1. 3-1-19 STARS-C 成功事例概要

プロジェクト No.	22	
概要	<p>プロジェクト名 (衛星名) STARS-C</p> <p>責任機関 (実施の中心機関) 静岡大学能見研究室・山極研究室</p> <p>ミッション概要</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・テザーの伸展 (100m以上)</li> <li>・静岡大学衛星開発体制構築</li> </ul> <p>衛星サイズ 2U 質量 (kg) 2.66</p> <p>資金元 科研費、学内資金</p> <p>資金額 非公開</p>	
参加人員	プロパー教員数	2
	専任教員/スタッフ数	2
	のべ関与学生数	20
	うち修士 (%)	70
参加機関・役割分担	<p>静岡大学が主実施機関</p> <p>東京アマチュア無線家：回路設計</p> <p>香川アマチュア無線家：通信系</p> <p>地域企業：加工品製造</p>	
成功事例		
事例 No.	1	2
発生年月	2016/12	2017/4
区分	運用	運用
事例概要	初期運用において、親子CW受信成功	初期段階にパドル展開不良が推定されたが、完全展開に成功。電力不足による再起動により、展開ができたこととなる。
	4	3
	2016/12-2017/11	2017/9
	運用	運用
	<p>望遠鏡による光学観測に成功。動画撮影結果からは、姿勢変動推定をすることができた。</p>	



表 5. 1. 1. 3-1-20 STARS-A0 成功事例概要

プロジェクト No.	23		
概要	プロジェクト名 (衛星名)	Stars-A0	
	責任機関 (実施の中心機関)	静岡大学能見研究室	
	ミッション概要	・ 軌道上宇宙撮影/天体観測 ・ 大容量撮影画像データの高速ダウンリンク通信	
	衛星サイズ	1U	質量 (kg) 1.33
	資金元	学内資金, 寄附金	
参加人員	資金額	非公開	
	プロパー教員数	1	エフオート率 (%) 10
	専任教員/スタッフ数	10	
	のべ関与学生数	10	
	うち修士 (%)	0	うち博士 (%) 0
参加機関・役割分担	アマチュア技術家によるプロジェクト主導 学生は学部生がメインとなり、アマチュア技術家の指導を受けて作業を実施。		
成功事例			
事例 No.	1	2	3
発生年月	2018/10	2018/10	2018/11
区分	運用	運用	運用
事例概要	ロケットへの搭載ができた	初期運用において非常に強い、CW 信号を受信できた。 FM パケットによるコマンド送信 および受信に成功した。	軌道上における通信系設定操作に成功した。コールサイン書換等。
			数カ月の電波停止後に復旧に成功した。

表 5. 1. 1. 3-1-21 STARS-Me 成功事例概要

プロジェクト No.	24	
概要	プロジェクト名 (衛星名) STARS-Me 責任機関 (実施の中心機関) 静岡大学 ミッション概要 軌道エレベーターの小規模デモ, 2機体衛星+クライマーの構成の実証評価, コンバックステザー伸展, クライマー移動 衛星サイズ 2U 質量 (kg) 2.66 資金元 科研費, 企業 資金額 非公開	
参加人員	プロパー教員数	4
	専任教員/スタッフ数	0
	のべ関与学生数	5
	うち修士 (%)	50
参加機関・役割分担	エフォート率 10~30 (%) うち修士 (%) 0 静岡大学: 主開発期間 日本大学: クライマー開発 大林組; 資金協力 地域企業: 加工メイン	
成功事例		
事例 No.	1	2
発生年月	2018/10	2018/10
区分	運用	運用
事例概要	初期運用で CW 受信に成功	コマンド送信を受信したことを CW から確認 ミッションCPUの起動に成功

表 5.1.1.3-1-22 鳳龍式号 成功事例概要

プロジェクト No.	25			
概要	鳳龍式号			
プロジェクト名 (衛星名)	九州工業大学衛星開発プロジェクト			
責任機関 (実施の中心機関)	実質的に九州工業大学趙・豊田研究室で開発した。研究室外の学生は1名のみ			
ミッション概要	高電圧技術実証(低軌道上で300Vを超えて太陽電池で発電させる。発電した際の発電発生状況を調べる。衛星帯電防止素子の実証。衛星帯電センサの実証) 学生のシステム工学教育			
衛星サイズ	30cm	質量 (kg) 7		
資金元	自己資金+明専会 (九工大の同窓会組織)			
資金額	2000万円			
プロパー教員数	3	エフオート率 (%) 10~15		
専任教員/スタッフ数	1			
のべ関与学生数	15			
うち修士 (%)	75	うち博士 (%) 0		
参加機関・役割分担	九州工業大学のみ			
成功事例				
事例 No.	1	2	3	4
発生年月	2012年7月	2019年1月	2019年1月	
区分	運用	運用	運用	運用
事例概要	メインミッションである高電圧発電に成功した。	ミッションの一つである軌道上でのプラズマ干渉による高電圧太陽電池の発電検知に成功した。	ミッションの一つである軌道上での受動的電子放出素子の実証実験に成功した	電源系が機能し続けた

表 5.1.1.3-1-23 鳳龍四号 成功事例概要

プロジェクト No.	26	鳳龍四号
概要	プロジェクト名 (衛星名)	鳳龍四号
	責任機関 (実施の中心機関)	九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー
	ミッション概要	高電圧技術実証 (低軌道上で 300V を超えて太陽電池で発電させる。発電した際の放電発生状況を調べる。衛星帯電防止素子の実証。衛星帯電センサの実証) 学生のシステム工学教育
	衛星サイズ	30cm 質量 (kg) 10.6
	資金元	科研費
	資金額	16000 万円
参加人員	プロパー教員数	4
	専任教員/スタッフ数	4
	のべ関係与生数	30
	うち修士 (%)	54
参加機関・役割分担	九州工業大学	うち博士 (%) 36
	0BC のプログラムを QPS 研究所に外注	
成功事例		
事例 No.	1	2
発生年月	2016 年 2 月	打上げ後～現在
区分	運用	電源系
事例概要	メインミッションである太陽電池放電の電流計測と画像取得に成功した。(文献 [5.1-1])	衛星のリセットがうまく機能した。 鳳龍四号の場合、H8 マイコンの度重なる SEL (シングルイベントトラッチアップ) により、衛星運用の中断を余儀なくされたが、鳳龍四号では衛星のリセットは多数発生したものの、その度に衛星は無事に立ち上がっている。

表 5.1.1.3-1-24 BIRDS-3 成功事例概要

プロジェクト No.	29
概要	<p>プロジェクト名 (衛星名) BIRDS-3</p> <p>責任機関 (実施の中心機関) 九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー</p> <p>ミッション概要 教育ミッションは以下の通り 新興国の宇宙人材育成 (留学生向け) 留学生との国際協働作業を通じた国際人材の育成 (日本人学生向け) 技術ミッションは以下の通り 1) LoRa モジュールの軌道上実証 2) オンボードカメラによる地球撮影 3) ソフトウェアにより配線が定義された底面基板の軌道上実証 4) 磁気トルカを用いた姿勢安定</p>
衛星サイズ	1U 質量 (kg) 1
資金元	ネパール: Nepal Academy of Science and Technology (NAST) スリランカ: Arthur C Clarke Institute for Modern Technologies (ACCIMT) 文科省委託費
資金額	2900 万円 (打ち上げ含む)
参加人員	<p>2 エフォート率 20 (%)</p> <p>2 専任教員/スタッフ数</p> <p>8 のべ関係与生数</p> <p>75 うち修士 (%) 12.5</p>
参加機関・役割分担	九州工業大学 NAST, ACCIMT が運用で参加, BIRDS-1、BIRDS-2 に参加した各機関が運用で参加
成功事例	
事例 No.	1
発生年月	2019 年 6 月 19 日 (放出から 2 日後)
区分	通信系
事例概要	衛星との通信 (アップリンク、ダウンリンク) 確立に成功した システム 衛星バスが正常に動作。ミッションも磁気トルカを除いて成功。(参考文献[5.1-2])

#### 5.1.1.3.2 「失敗事例」の整理

失敗事例を表 5.1.1.3-2-1～表 5.1.1.3-2-36 に示す。

各表には、衛星全体の情報として、以下が記載されている。

##### 【プロジェクト（衛星）情報】

- ・ 失敗事例整理のための通し番号（プロジェクト No. ,）
- ・ 概要（プロジェクト名もしくは衛星名、責任機関、ミッションの概要、衛星サイズ・質量）、資金元、資金額、参加人員数、
- ・ 参加機関・役割分担

また、各プロジェクトにおいて複数の事例が紹介されており、事例識別のための以下の情報が記載されている。

##### 【事例情報】

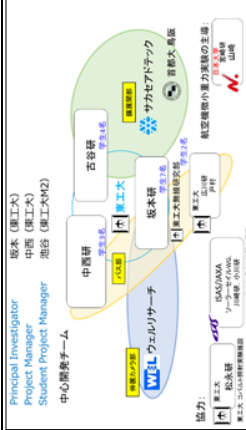
- ・ 当該プロジェクトにおける各失敗事例の通し番号（事例 No.）
- ・ 事例の発生年月
- ・ 事例区分（システム、サブシステム／系、運用、等の事例の識別）
- ・ 事例概要（発生した事例の概要）

なお、5.1.2 項以降の分析において、上記の「プロジェクト No.」と「事例 No.」で、各事例を識別している。

アンケート結果については、執筆者を集めての会議を開催し更なるヒアリング、及び文献調査を行い、成功／失敗事例の調査と要因分析・体系化を行った。5.1.2 項以降に結果を示す。

表 5. 1. 1. 3-2-1 (1/5) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例概要

プロジェクト No.	1
概要	<p>プロジェクト名 (衛星名) OrigamiSat-1/F0-98</p> <p>責任機関 (実施の中心機関) 東京工業大学 動設計学研究室 (坂本研)、および中西研究室</p> <p>ミッション概要 多機能展開膜実証、宇宙実験プラットフォーム実証、アマチュア無線ミッション</p> <p>衛星サイズ 3U 質量 (kg) 4.1</p> <p>資金元 文部科学省宇宙航空科学技術推進委託費、科研費、学内資金</p> <p>資金額 5,000 万円</p>
参加人員	<p>プロパー教員数 3 エフオートルール率 (%) 20</p> <p>専任教員/スタッフ数 0</p> <p>のべ関与学生数 40</p> <p>うち修士 (%) 90 うち博士 (%) 10</p>
参加機関・役割分担	<p>東京工業大学 (バス系開発・ミッション系開発) (学生 13 名 × 2 期)</p> <p>株式会社ウェルリサーチ (ミッション系開発) (学生なし)</p> <p>サカセ・アドテック株式会社 (ミッション系開発) (学生なし)</p> <p>日本大学 (ミッション系実験・バス系助言) (学生なし)</p> <p>宇宙科学研究所 (ミッション系機器提供) (学生なし)</p> <p>首都大学東京 (現・都立大学) (アドバンストミッション系開発) (学生 1 名) ”</p>
事例 No.	1
発生年月	2016 年 8 月ごろから衛星引き渡し 2018 年 11 月 23 日の引き渡しまで
区分	システム
事例概要	<p>バス系の基本ソフト開発の遅れ</p> <p>バスのソフトウェア全般のフライトモデル版を東工大の坂本研・中西研で開発していたが、2018 年 11 月 23 日の引き渡し直前まで完成しなかった。結果としてフライトソフトウェア最終版の長時間動作試験を実施しないまま引き渡しを行うこととなり、失敗事例 No. 11, No. 12 に記載する軌道上の不具合の見落としにつながった。ハードウェアで不具合が続出したため、ソフトウェアの人員を著しく割いてしまっており、ソフトウェア開発が停滞していることに対して手を打たなかった。ハードウェアの不具合が解決次第、ハードウェアの人員をソフトウェアに移動させて対応する、という開発手順を取ってしまった。これによりミッションのほぼ全損につながる不具合の見落としという結果をもたらしした。</p>



## 失敗事例

表 5.1.1.3-2-1 (2/5) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例概要

プロジェクト No.	(OrigamiSat-1 続)	
事例 No.	失敗事例	
発生年月	2018年8月ごろから衛星引き渡し2018年11月23日の引き渡しまで	
区分	システム	
事例概要	<p>バス系開発の遅れの軽視</p> <p>下図のように OrigamiSat-1 では開発はミッション系が大幅に先行し、2015年～2017年にミッション系はEMまで完成していたが、バス系の開発は2017年にはまだBBMで、ミッション系が完成してから後追いでバス系を作る形の開発手順となっていた。2016年8月にバス開発の遅れは審査会で開発者たち自身が指摘していたが改善しなかった。これにより衛星システムが複雑化し、開発末期に多くの不具合をもたらした。</p>  <p>ミッション部： BBM/EM, BBM, FM バス部・統合： BBM, FM</p>	
事例 No.	失敗事例	
発生年月	2017年12月25日～27日 (EM 振動試験)	
区分	その他：環境試験	
事例概要	<p>EM 振動試験における現地トラブル</p> <p>福井県工業技術センターで主に東工大学生たちが実施した EM 振動試験の最中に2つの不具合があり対策に追われ、現地での試験実施が遅延した。(i) 準静的加速度試験において試験機が停止して試験ができず、(ii) ランダム振動試験において、加速度密度の試験公差を逸脱してしまふ、である。これにより半日程度の試験が遅延したが、スケジュールマージンで吸収でき、予定の範囲内で試験自体は完了できた。</p>	
事例 No.	失敗事例	
発生年月	2018年7月10日～12日 (第1回 FM 振動試験)	
区分	その他：環境試験	
事例概要	<p>FM 振動試験におけるインヒビット動作不良および放出検知ピンの固着</p> <p>衛星 FM を組み上げ、宮城県産業技術総合センターにおいて東工大学生らの手により3日間の FM 振動試験を実施した。振動試験の結果、(i) インヒビットスイッチのリターンの2つが固着し動作しない、という大きな放出検知ピン(3つのうちの2つ)が固着し動作しない、という大きな不具合が発生した。また(ii) レール部のハーネスの噛み込みが原因とわかかった。(ii)、(iii)については改修した。(iii)のハードアノダイズ再処理に5週間の納期を要した。後日、FM 再振動試験を実施した。対応に時間を要し、安全審査 Phase 3 が遅延し、FM 引き渡しの時期を延期してもらう結果となった。</p>	
事例 No.	失敗事例	
発生年月	2018年3月20日 (CDR) ～2018年7月10日 (第2回 FM 振動試験)	
区分	システム	
事例概要	<p>FM 統合時の CI 基板 (通信・インヒビット制御基板) での不具合の多発</p> <p>バス系の中で購入コンポーネントの間をつなぐ役割をした CI 基板は、OrigamiSat-1 の信頼を一手に担う重要な基板だった。しかし CI 基板は、FM 振動試験でのインヒビット不具合、および最終ソフトウェア書き込み段階で OBC (通信系 OBC) への書き込みが不安定になるなど、開発の最終で不具合が多発した。東工大の担当学生 (学生プロマネ) がほぼ一人で開発を担当し、彼一人に重責が集中した。またたびたびの基板の作り直しで予算的にも超過した (200万円程度の予算オーバー)。</p>	



表 5. 1. 1. 3-2-1 (3/5) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例概要

プロジェクト No.		1 (OrigamiSat-1 続)	
失敗事例			
事例 No.	6		7
発生年月	2018年7月10日 (第1回FM振動試験)		2018年2月24日 (JAXAへの相談) ~2018年10月4日 (放出試験報告書の提出)
区分	その他：環境試験		サブシステム
事例概要	FM振動試験におけるキューブサット挿入方向の反転 衛星FMを組み上げ、宮城県産業技術総合センターにおいて3日間のFM振動試験を実施した。今回はJAXAより初めて振動試験用E-SSODの提供を受けた。このとき現地でE-SSODに衛星を逆方向(別添図-1(表5.1.1.3-2-1(5/5)参照)に示すとおり衛星をY軸周りに180度回転)に挿入するほうが良いことがわかり、急ぎ挿入方向を変更した。安全審査資料のうち、引き渡し時の作業手順書を書き換えた。		FMキューブサット構体のレール長さの不足 EM統合試験の段階で、ロケット適合性文書の解釈を東工大側が誤っており、ICSに要求されるレールの長さに28mm足りないことがわかり、即座にJAXA革新Gへ相談をした。FM引き渡し直前の2019年9月にロケットメーカーとの協議の場が設けられ、追加の放出試験が課せられることとなった。何度か試験をやり直すことが要求され、開発スケジュールを圧迫した。
失敗事例			
事例 No.	8		9
発生年月	2018年9月~10月22日~11月6日		2018年11月23日~24日 (衛星引き渡し日およびその翌日)
区分	サブシステム		システム
事例概要	5.8GHz送信系の不具合の見逃しによるFM分解 2018年9月の2度目のFM振動試験後、東工大での機能検証中に5.8GHz通信機に通信不具合が生じ、衛星を分解して接触不良を修理後、再組立てを実施した(2018年10月22日)。JAXA安全審査会へ再組立ての検証報告(手順書による復帰確認)を行う必要が生じた(2018年11月6日に再組立ての追加文書提出を持ってPhase 3通過)。		衛星引き渡し時の安全審査規定電圧の超過 東工大チームが内之浦での引き渡しに赴いた際に、リターン側のインヒビットスイッチで安全審査書類に規定したCI基板3.3Vライン電圧1.5Vという基準を超過する電圧が観察された。超過が問題ないことを示し、安全審査書類を改訂する必要が生じた。 この原因はバッテリーをフル充電(8.3V)した状態では試験を実施しておらず、バッテリー電圧により電圧が変動することを認識していなかったこと、および合否基準が根拠なく過大に安全マージンをとったものとなっていたことによる。

表 5. 1. 1. 3-2-1 (4/5) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例概要

プロジェクト No.		1		(OrigamiSat-1 続)	
失敗事例					
事例 No.	10	11			
発生年月	2019年1月19日 (打上げ翌日) 軌道上不具合発生	2019年1月24日 (打上げ7日目) 軌道上不具合発生			
区分	システム	システム			
事例概要	<p>衛星モード変更時の通信停止の不具合の見逃し</p> <p>衛星打ち上げ後、2度、24時間程度、衛星からの信号が途絶えた時間帯があった。この2度の通信停止を受けて東工大で実施した地上実験で、Saving Mode 移行時に VHF/UHF 無線機に初期設定が為されない不具合があった。RX COBC (受信用通信系 OBC) のプログラムにおいてディスプレイが小さすぎることが原因だった。EM 統合試験でも、FM 統合試験でも、このバグが見逃されていた。試験の際、外部基板を用いて検証したことにより見落とした。24時間後に異常検知によるマイコンのリセットによりこの停波は解消することも分かった。</p>	<p>I2C 衝突回避アルゴリズムの無限ループの見逃し</p> <p>衛星が打ち上げられて7日目の2019/1/24 20:11、地上局への FM HK データダウンリンク中に衛星からの信号が突如途絶え、おおよそ2年間停止し続けていた(注:2021年1月25日に復活し運用再開中)。</p> <p>この長期間の停止により、衛星はいまだ主要なミッションを実行できていない。地上に残した EM による実験から、複数のマイコンが日に盛り同時に同時アクセスするときの I2C 衝突回避アルゴリズムに無限ループがあり、ウォッチドックタイマも24時間/1週間のリセット機能も効果がない可能性が示唆されている。</p>			

表 5. 1. 1. 3-2-1 (5/5) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例概要

プロジェクト No.	1	(OrigamiSat-1 続)	
事例 No.	6」の別添図-1		
衛星放出方向の変更	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>当初の放出方向</p> <p>変更後の放出方向</p> <p>CubeSat座標系</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>変更前</p> <p>変更後</p> </div> </div> <p><b>E-SSODには、衛星放出面側のガイドレール端に約10mm長さの切り欠きがある。</b></p> <p><b>当初の放出方向だと、このガイドレール切り欠きよりOrigamiSat-1のレールのほうが短い。結果、衛星+Zsc端部が自由境界条件に近くなり、構造解析の境界条件と大きく異なってしまう。</b></p> <p><b>対策：</b> 放出方向を衛星X軸周りに180度回転させることとした。このコンフィグレーションでFM振動試験を実施した。</p> <p>放出方向を逆転させると、Zsc面側のレールは、E-SSODガイドレール切り欠きより長いため、並進・回転ともに拘束が見込み、構造解析の境界条件に近くなる。</p>		
衛星をE-SSODに挿入する際の手順	<p>ORIGAMI PROJECT</p> <p>フライトピン1a</p> <p>フライトピン1b</p> <p>フライトピン2</p> <p>フライトピン3</p> <p>外部接続コネクタ (フライトピン2をとりつけ)</p> <p>放出検知スイッチ1</p> <p>放出検知スイッチ3</p> <p>Z<sub>sc</sub></p> <p>X<sub>sc</sub></p> <p>Y<sub>sc</sub></p> <p>Z<sub>sc</sub>面</p> <p>放出検知スイッチ</p>		
E-SSODへの挿入方向の変更に伴い、E-SSOD挿入後にはアクセス窓からフライトピン1aと1bに直接アクセスが不可となる。	<p>一方、フライトピン2にはアクセス可能である。 ※3つのピンはどれもRBFピン</p> <p>これを踏まえ、以下のように衛星をE-SSODへ挿入することで、常に2系統の電源遮断を実現する手順を取る。</p>		
(1) 放出検知スイッチ2と3のピンをカプトンテープで押下げる。	<p>(2) 放出検知スイッチ手動作を防止するフライトピン1a, 1b, および外部接続コネクタに取り付けているフライトピン2を取り外す。</p> <p>(3) 衛星をE-SSODに挿入後、E-SSODアクセス窓からフライトピン2を再び取り付ける。</p> <p>(4) 放出検知スイッチ2と3のテープを片側ずつ取り外し、E-SSODの扉を片側ずつ閉める。</p> <p>(5) フライトピン2を取り外す。</p>		

表 5.1.1.3-2-2(1/2) PROCYON 失敗事例概要

プロジェクト No.	10	
概要	PROCYON	
プロジェクト名 (衛星名)	PROCYON	
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀船瀬研究室	
ミッション概要	世界初の 60kg 級超小型深宇宙探査機	
衛星サイズ	50cm 級	質量 (kg) 65
資金元	JAXA/ISAS との共同研究	
資金額	非公開	
参加 人員	プロパー教員数 専任教員/スタッフ数 のべ関与学生数 うち修士 (%)	2 1 15 50 エフォート率 (%) 60~80 うち博士 (%) 17
参加機関・役割分担	東京大学と JAXA/ISAS が中心となり、その他の要素で北大、日大、理科大、立教大、明星大などと協力して開発	
失敗事例		
事例 No.	1	2
発生年月	2014 年 FM 開発期間中	2014 年 FM 開発期間中
区分	電源-通信-姿勢制御サブシステム	姿勢制御サブシステム
事例概要	RW を回転させると通信系コンポにノイズが混入し、地上局とのキャリアロックが外れてしまう。その後、RW 電源ラインにノイズフィルタを挿入し、通信機の DCDC コンバータもノイズに強いものに交換することで、本問題を解決したため、致命的なものにはならなかった。	太陽センサは視野角が±55 度という仕様のもを購入手使っていたが、太陽センサ単体試験において「入射太陽角が+55 度を超えると、出力が急に-55 度に飛ぶ」という現象が発生した。
		2014 年 FM 開発期間中 推進系サブシステム
		イオンエンジン内蔵 CPU が行う制御シーケンスに不具合があり、イオンエンジンを自動シークモードで動かすことができない、

表 5.1.1.3-2-2 (2/2) PROCYON 失敗事例概要

プロジェクト No. 10		(PROCYON 続)	
失敗事例			
事例 No.	4	5	6
発生年月	2014 年 12 月 5 日くらい 運用中	2014 年 12 月 5 日くらい 運用中	2014 年 12 月 5 日くらい 運用中
区分	姿勢制御サブシステム	姿勢制御サブシステム	姿勢制御サブシステム
事例概要	三軸姿勢制御において制御ゲインが高すぎ、姿勢のオーバーシュートと振動が発生した	RW の制御遅れを考慮しなかったことで、制御精度が悪化して RW の回転数が不用意に増減していた。	恒星センサが正常に姿勢決定できたというフラグとともに、明らかに異常な姿勢決定結果を出力する時がある。
失敗事例			
事例 No.	7	8	9
発生年月	2015/2/5 運用中	2015 年 3 月中旬	2015 年 12 月 4 日
区分	姿勢制御サブシステム	推進系サブシステム	システム
事例概要	F0G が永久故障し、姿勢制御コンポーネントとして使えなくなった。	イオンエンジンの 233 時間作動したところで動作を停止し、その後運転できなくなった	PROCYON との通信ができなくなった

表 5.1.1.3-2-3 MicroDragon 失敗事例概要

プロジェクト No.	11	
概要	プロジェクト名 (衛星名)	MicroDragon (略称: MDG)
	責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀・船瀬研究室
	ミッション概要	ベトナム人若手技術者人材育成、地球観測技術実証
	衛星サイズ	50 cm 級 質量 (kg) 50
	資金元	他国宇宙機関/政府系
	資金額	非公開
参加 人員	プロパー教員数	5~6 エフオート率 (%) 10~20
	専任教員/スタッフ数	3~4
	のべ関与学生数	30~40 (留学生)
	うち修士 (%)	100 うち博士 (%) 0
参加機関・役割分担	東京大学: バス開発(学生受入なし) 慶應義塾大学: システム全体・バス開発 (学生 5-6 名×3 期) 九州工業大学: 構造系、試験系全般 (学生 2-3 名×3 期) 東北大学: ミッション系、姿勢制御系 (学生 2-3 名×3 期) 北海道大学: ミッション系 (学生 2-3 名×3 期)	
失敗事例		
事例 No.	1	2
発生年月	2019 年 1 月	2017 年 8 月
区分	運用	サブシステム, 試験
事例概要	初期運用時の磁気トルカの極性設定ミスによる衛星のスピンアップ	卓上電気試験時の衛星コンポーネントへの過電圧供給による破損
		システム, 試験 FM 熱真空試験時の試験前準備中の FM バッテリ短絡
		システム, 試験 FM 熱真空試験時の試験時の S-band 通信機の故障



表 5. 1. 1. 3-2-4(1/2) KKS-1 失敗事例概要

プロジェクト No.	13	
概要	<p>プロジェクト名 (衛星名) KKS-1 (輝汐)</p> <p>責任機関 (実施の中心機関) 東京都立産業技術高等専門学校</p> <p>ミッション概要 マイクロスラスタ動作実証が主たる目的。地球のカメラ撮影やリアクションホイールの単体制御も副目的。</p> <p>衛星サイズ 15cm x 15cm x 15cm 質量 (kg) 3.17</p> <p>資金元 東京都立産業技術高等専門学校, 首都大学東京, 東京都, 荒川区商工会議所, 荒川区市民の寄付金</p> <p>資金額 非公開</p>	
参加人員	プロパー教員数	3 エフオート率 (%)
	専任教員/スタッフ数	0
	のべ関係与生数	40
	うち修士 (%)	0 うち博士 (%)
参加機関・役割分担	東京都立産業技術高等専門学校のみ	
失敗事例		
事例 No.	1	2
発生年月	2008 年	2008 年
区分	その他 (組立作業の事象)	その他 (組立作業の事象)
事例概要	EM 衛星をすべて組立後に電源投入後に短絡を確認。EM 衛星組立作業中。2007 年 12 月, 学生作業員による組み立て。学校クリーンブース内作業。短絡は衛星からの匂いで気が付き, すぐに電源を遮断。	EM 衛星一部組立中に, 基板が短絡を起こしていることに気づく。2008 年 1 月, 学生作業員による EM 組立て。学校クリーンブース内作業。短絡は直流電源の電流値が急に上がることで気が付き, すぐに電源を遮断。
		3 2008 年 3 月 システム, 試験 逆差しができない構造のコネクタを電源基板上に無理やり差し込んで短絡。EM 衛星組立作業中。2008 年 3 月, 学生作業員による組み立て。学校クリーンブース内作業。

表 5.1.1.3-2-4(2/2) KKS-1 失敗事例概要

失敗事例		失敗事例	
事例 No.	4	5	6
発生年月	2008年5月	2008年4月	2008年7月
区分	システム, 試験	システム, 試験	システム, 組立
事例概要	EM 振動試験でポテンシング忘れ, 足つきコンデンサがすべて取れる. 2008年5月, 振動試験は群馬県産業技術センターにて, 組立は校内クリールーム, 学生組立.	EM 衛星分離スイッチが振動試験で固着. 2008年4月, 振動試験は群馬県産業技術センターにて, 組立は校内クリールーム, 学生組立.	FM 衛星組立最中に指で太陽電池破損させる. 2008年4月, 組立は校内クリールーム, 学生組立.
失敗事例		失敗事例	
事例 No.	7	8	9
発生年月	2008年5月	2008年10月	2009年2月
区分	試験	試験	衛星運用, システム
事例概要	振動試験中に分離機構のシャープエッジで配線が切れて短絡した. EM 試験中, 学生によるセッティング作業.	FM 衝撃試験でラッチングリレーが反転・故障. 打ち上げ3か月前 (JAXA 最終審査1か月前), 場所は JAXA つくば.	衛星打ち上げ後, 衛星は CW 送信しているが, 地上局からの電波を受信できない状態になった. 産業技術高専地上局にて.



表 5.1.1.3-2-5(1/4) RISESAT 失敗事例概要

プロジェクトNo.	15																
概要	<p>RISESAT</p> <p>東北大学吉田・萩原研究室/北海道大学高橋研究室</p> <p>国際理学観測衛星</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高空間分解能マルチスペクトル撮像技術の確立による新規地球環境計測及び農林水産鉱業市場の開拓と海外衛星利用市場の拡大</li> <li>・国際理学観測 <ul style="list-style-type: none"> <li>・4波長海洋観測</li> <li>・小型望遠鏡による天文観測</li> <li>・上層大気発光現象観測を通じた流星検出</li> </ul> </li> <li>・宇宙放射線計測(線量計測、粒子観測)</li> <li>・地球磁場観測</li> <li>・工学ミッション <ul style="list-style-type: none"> <li>・高精度三軸姿勢制御</li> <li>・衛星-地上局間光通信</li> <li>・小型広角デジタルモニタカメラの軌道上実証</li> <li>・柔軟且つ拡張性の高い超小型衛星バスシステム技術の構築</li> <li>・膜展開式軌道離脱装置の軌道上実証</li> <li>・Store&amp;Forward 技術の軌道上実証</li> </ul> </li> </ul>																
衛星サイズ	60kg 級																
質量 (kg)	59.2																
資金元	平成 21～25 年度, 内閣府最先端研究開発支援プログラム(FIRST): 「日本発の「ほどよし信頼性工学」を導入した超小型衛星による新しい宇宙開発・利用パラダイムの構築」, 研究代表者: 中須賀真一																
資金額	38086.6 万円																
参加人員	<table border="1"> <tr> <td>プロパー教員数</td> <td>6</td> <td>エフォート率 (%)</td> <td>10～100</td> </tr> <tr> <td>専任教員/スタッフ数</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>のべ関与学生数</td> <td>34</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>うち修士 (%)</td> <td>88</td> <td>うち博士 (%)</td> <td>12</td> </tr> </table>	プロパー教員数	6	エフォート率 (%)	10～100	専任教員/スタッフ数	3			のべ関与学生数	34			うち修士 (%)	88	うち博士 (%)	12
プロパー教員数	6	エフォート率 (%)	10～100														
専任教員/スタッフ数	3																
のべ関与学生数	34																
うち修士 (%)	88	うち博士 (%)	12														

表 5.1.1.3-2-5(2/4) RISESAT 失敗事例概要

プロジェクト No.	15 (RISESAT 続)
参加機関・役割分担	<p>東北大学：全体取りまとめ、バスシステム開発、システムインテグレーション、運用</p> <p>北海道大学：ペイロード開発(高解像度マルチスペクトル望遠鏡)</p> <p>京都大学：理学機器制御装置の開発</p> <p>東京大学：プロジェクト支援</p> <p>東京理科大学：ペイロード開発(マイクロモタカメラシステム)</p> <p>九州工業大学：環境試験支援</p> <p>情報通信研究機構 NICT：ペイロード開発(VSOTA 光送信装置)</p> <p>次世代宇宙システム技術研究組合：搭載機器開発支援</p> <p>National Central University (台湾)：ペイロード開発(小型望遠鏡)</p> <p>National Cheng Kung University (台湾)：ペイロード開発(上層大気発光現象観測カメラ)</p> <p>台湾海洋大学：ペイロード開発(海洋観測カメラ)</p> <p>Hungarian Academy of Science, Centre for energy Research：ペイロード開発(放射線センサ(線量計測))(途中で脱退)</p> <p>Czech Technical University in Prague, Institute of Experimental and Applied Physics：ペイロード開発(放射線センサ(粒子観測))</p> <p>Angstrom Space Technology Center：ペイロード開発(地球磁場計測)(途中で脱退)</p>
失敗事例	
事例 No.	1
発成年月	2016年2月
区分	サブシステム
事例概要	<p>RISESAT 衛星のイプシロンロケット相乗り打上げが確定するタイミングで、予定していた国際理学観測ペイロードのうちの2機関がプロジェクトから脱退する決断を下した。これは選定したペイロードの台数がプロジェクトの処理能力を超過し、該当する機関との調整作業を満足に実施できない状況となり、ペイロードの開発と資金管理に支障を来したことが主な原因と考えられる。</p>

表 5. 1. 1. 3-2-5 (3/4) RISESAT 失敗事例概要

プロジェクト No. 15		(RISESAT 続)	
失敗事例			
事例 No.	2	3	4
発生年月	2016年11月	2016年2月	2016年2月
区分	システム/サブシステム(構造)	コンポーネント	コンポーネント
事例概要	RISESAT 衛星の構造モデル (Mechanical Test Mode) を用いたラシダム振動試験においてQTレベルを加振したところ、衛星のボトムパネルと内部の主柱とを締結するボルトに緩みが生じたり、ボルトの頭が破断するなどの故障が発生した。 [5.1-3]	展開パネルの保持開放機構に購入品を使用することに対応が長引き、衛星設計の確定に時間を要した。 参考文献[5.1-3, 5.1-4]	X帯送信機、及びX帯送信アンテナの設計方針を誤り、X帯送信系統を1系統無駄にしてしまった。 参考文献[5.1-4]
事例 No.	6	7	8
発生年月	2016年2月	2016年2月	2019年1月
区分	サブシステム	システム	コンポーネント
事例概要	衛星構造設計において、衛星の中央に箱型の主柱を配置し、その中に電源系を配置する設計としたが、作業効率が悪く、FMの組み立て評価作業の工数が増え、長時間を要した。 参考文献[5.1-3]	FMでの質量特性試験に関するプロジェクトスケジュール管理の不徹底 参考文献[5.1-4]	恒星センサのバツフル性能の不足 参考文献[5.1-4]
事例 No.	9	5	5
発生年月	2019年1月	2016年2月	2016年2月
区分	コンポーネント	コンポーネント	コンポーネント
事例概要	Store & Forward 実験用に選定した周波数が、運用時には使用できない状況となってしまった。 参考文献[5.1-4]		不適切なUHFアンテナの配置、及びその周辺機器の配置がアンテナパターンが悪化を導いた。 参考文献[5.1-4]

表 5. 1. 1. 3-2-5(4/4) RISESAT 失敗事例概要

プロジェクト No.		15		(RIESAT 続)	
失敗事例					
事例 No.	10	11	12	13	
発生年月	2018 年 10 月	2018 年 10 月	2019 年 5 月	2019 年 6 月	
区分	システム, 試験	サブシステム, 試験	サブシステム	システム	
事例概要	FM システム電気試験時、RW-ON と共にバス電源が短絡し、バッテリーから 10A 以上が数秒間放電され、過負荷により衛星が強制 OFF される事象	精太陽・地球センサ内部の短絡により上位の姿勢制御コンピュータユニット内のスイッチ IC が焼損した事象	GPSR ファームウェアのバグにより測位結果に対するタイムスタンプが秒単位でずれる	FOG の Z 軸センサが打ち上げ後約半年を経過したタイミングで故障し、当該軸の角速度の計測ができなくなった。冗長系の角速度センサは搭載されており日陰中における姿勢決定が不可となった。	
失敗事例					
事例 No.	14	15	16	17	
発生年月	2018 年 10 月	2018 年 6 月	2019 年 1 月	2018 年 6 月	
区分	コンポーネント	システム	コンポーネント	システム, 輸送・ロケット IF	
事例概要	姿勢センサの一部機器 (FOG, RW, 精太陽・地球センサ) が ON/OFF できかないことが FM システム試験の直前に発覚した	STT を衛星主構造に組みつける際に位置決めピンが抜けなくなる事象が発生した	衛星メインコンピュータ (SCU) 内の SRAM 不具合により HK データの保存ができないう事象	システムと結合するためのインターフェースリングのボルトが破損し、衛星が輸送用コンテナから取り外せなくなった事象	
失敗事例					
事例 No.	18	19			
発生年月	2019 年 1 月	2020 年 6 月			
区分	運用	運用			
事例概要	初期運用中、地球観測運用のリハーサルとしてミッション機器と姿勢制御系の立ち上げ手順を確認していたところ、ミッション機器の想定外の OFF が発生した	ストアードコマンドの誤送信により不正な運用シーケンスが登録され、UVC レベルにまで電力が消費された事象			

表 5.1.1.3-2-6(1/2) SPRITE-SAT 失敗事例概要

プロジェクト No.	16																
概要	<p>プロジェクト名 (衛星名) SPRITE-SAT (別名: RISING, 雷神)</p> <p>責任機関 (実施の中心機関) 東北大学吉田研究室・高橋研究室</p> <p>ミッション概要 東北大における50kg級理学観測衛星の初号機である。重力傾斜安定のための86cmの伸展マストを搭載し、磁気センサと磁気トルカで姿勢制御する。雷放電に伴うsprite発光現象および地球起源のガンマ線観測を目的とする。H-IIAの相乗り衛星として2009年1月に高度661kmの太陽同期円軌道に投入。ミッションは夜間の緯度±20degで実施する。sprite観測のために、740-830nmおよび762nmの撮像カメラを搭載する。ガンマ線観測のために、共同研究者(ISAS)が提供するガンマ線カウンタ、スタンフォード大提供のVLF観測機を搭載する。残念ながら、運用開始からわずか12日間で機能停止に陥る結果となった。以後は、無変調の搬送波のみを出力し、コマンドに応答しない状態である。</p>																
衛星サイズ	質量 (kg) 43.9																
資金元	平成19～22年度科学研究費補助金(特別推進研究) 「マイクロサテライト・地上観測連携による高々度放電発光と地球ガンマ線現象の解明」(研究代表者 高橋幸弘)																
資金額	44057万円																
参加人員	<table border="1"> <tr> <td>プロパー教員数</td> <td>4</td> <td>エフォート率 (%)</td> <td>10～70</td> </tr> <tr> <td>専任教員/スタッフ数</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>のべ関与学生数</td> <td>6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>うち修士 (%)</td> <td>100</td> <td>うち博士 (%)</td> <td>0</td> </tr> </table>	プロパー教員数	4	エフォート率 (%)	10～70	専任教員/スタッフ数	0			のべ関与学生数	6			うち修士 (%)	100	うち博士 (%)	0
プロパー教員数	4	エフォート率 (%)	10～70														
専任教員/スタッフ数	0																
のべ関与学生数	6																
うち修士 (%)	100	うち博士 (%)	0														
参加機関・役割分担	<p>東北大学: バス開発、ペイロード開発、システム全体</p> <p>宇宙研: ペイロード提供</p> <p>スタンフォード大学: ペイロード提供</p>																

表 5.1.1.3-2-6(2/2) SPRITE-SAT 失敗事例概要

プロジェクト No.		16		(SPRITE-SAT 続)		失敗事例	
事例 No.	1	2					
発生年月	2009年1月	2009年2月					
区分	運用	運用					
事例概要	<p>充放電制御の設計不良 … 充放電制御(NiMH バッテリ)の設計不良により、運用時に満充電停止が機能しないことが軌道上にて発覚。運用初日の12時間経過時に、バッテリー温度がセンサ上限(58℃)を示していることに気づいた。その後、負荷電力を上げること正常化したため、バッテリー自動充電停止が適切に動作していないことに気づいた。以後、12日間、発電と放電が均衡するように、手動で内部機器の負荷を調整し、充電超過を避けるように運用継続した。</p>	<p>伸展マス展開時のバッテリー容量の枯渇 … 運用開始から12日目。伸展マストを延ばした瞬間に影が太陽電池セルを覆い、該当の直列セルからの出力が著しく低下した。それまで、バッテリーの自動充電停止が機能しない不具合のため、「日照時バッテリー充電量 = 日陰時バッテリー放電量」のバランスを維持していたが、予期せぬタイミングで「充電量 &lt; 放電量」になったため、その後12時間後の通信パスにて、搭載コンピュータが正常動作しない不具合が生じていることを発見した。これは、いったんバッテリー残量が枯渇して、システムの再起動が正常に実施されないと判定した。</p>					
事例 No.	3	4					
発生年月	2009年2月	2009年2月					
区分	運用	運用					
事例概要	<p>テレコマ処理部搭載FPGAの初期化不具合 … 運用開始から12日目、充放電不良、マスト伸展に伴うバッテリー枯渇の不具合後に、日照によりバッテリー容量は上昇したが、中央制御装置(SCU)の搭載FPGAの初期化不良により、テレコマ処理が開始せず、コマンド不通のため、衛星の機能を消失することになった。</p>	<p>太陽電池発電によるコイル効果および姿勢への外乱 … 軌道投入後、磁気トルカによるデスパン制御を実施。効果は確認できるが、放置をしていると、スピニング速度が自然と上昇する現象を確認。</p>					

表 5.1.1.3-2-7 RAIKO 失敗事例概要

プロジェクト No.	17
概要	<p>プロジェクト名 (衛星名) RAIKO</p> <p>責任機関 (実施の中心機関) 東北大学吉田研究室</p> <p>ミッション概要 和歌山大学が予算を負担し(文科省事業費の一部)、東北大学にて衛星開発と運用を実施。工学技術実証のための 2U サイズキューブサット。2012 年 10 月 4 日に宇宙ステーションから高度 419km に放出、2013 年 8 月 6 日に大気圏再突入のため運用を終了。</p> <p>50kg 級衛星に活用できるバス系技術(カメラ撮像、スターセensa、膜展開)の技術実証。50kg 級衛星 RISING-2(当時、打上前)の開発技術をスピノフ。また、鹿児島大学との共同実験として、Ku 帯送信機を搭載し、微弱電波受信試験を実施。</p> <p>衛星サイズ 質量 (kg) 2.6</p> <p>資金元 H22 年度-H26 年度、文科省、超小型衛星研究開発事業 総額約 14 億円(他衛星 PJ 含む)</p> <p>資金額 1500 万円</p> <p>参加 プロパー教員数 1</p> <p>専任教員/スタッフ数 0</p> <p>のべ関与学生数 3</p> <p>うち修士 (%) 100</p> <p>東北大学: バス開発、ペイロード開発、システム全体</p>
参加機関・役割分担	失敗事例
事例 No.	1
発生年月	2012 年 10 月
区分	運用
事例概要	<p>太陽電池パドル兼、展開型 UHF コマンドアンテナの展開に失敗。仕様では、分離後から 30 分後に自動展開、失敗時はコマンドにて展開リトライ可能。しかし、初期運用にて、パドル展開成功を検出できず(後日、運用終了の 2 か月前に、自然に開いたことを確認)。</p> <p>運用 2012 年 10 月</p> <p>S 帯送信機をオンにすると、S 帯受信機が干渉を受けて、コマンドが不通になる。</p>



表 5.1.1.3-2-8(1/2) RISING-2 失敗事例概要

プロジェクト No.	18																
概要	<p>RISING-2 (雷神2)</p> <p>東北大学吉田研究室・北海道大学高橋研究室</p> <p>2014年5月、H-IIA ロケットで高度 628km の円軌道に投入 (降交点地方時 12 時)。</p> <p>前号機 SPRITE-SAT (雷神, RISING) に続く、超小型理学観測衛星 (リモセン衛星) である。①高解像度多波長望遠鏡システム HPT を搭載。分解能は 5m。後続機を含めて本開発品の一番最初の宇宙実証であり、400 波長を即時に切り替えられる液晶可変フィルタの初の宇宙実証機会となる。従来の大型衛星に匹敵、もしくは超える高解像度スペクトル計測を確立することを目的とする。②中間赤外線センサーであるボロメータアレイを搭載し、積乱雲構造の観測を実施。③SPRITE-SAT に搭載したものと同式のイメージャを再度搭載し、スプライト発光現象を観測する</p>																
衛星サイズ	質量 (kg) 43.2																
資金元	H21 年度 超小型衛星研究開発事業 (文科省) 「50kg 級超小型衛星フライトモデル RISING-2 及びマルチスペクトル望遠撮像系の開発 総額 3 億 8700 万円 (東北大 54%, 北大 46%)																
資金額	37800 万円																
参加 人員	<table border="1"> <tr> <td>プロパー教員数</td> <td>6</td> <td>エフオート率 (%)</td> <td>10~70</td> </tr> <tr> <td>専任教員/スタッフ数</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>のべ関与学生数</td> <td>7</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>うち修士 (%)</td> <td>100</td> <td>うち博士 (%)</td> <td>0</td> </tr> </table>	プロパー教員数	6	エフオート率 (%)	10~70	専任教員/スタッフ数	0			のべ関与学生数	7			うち修士 (%)	100	うち博士 (%)	0
プロパー教員数	6	エフオート率 (%)	10~70														
専任教員/スタッフ数	0																
のべ関与学生数	7																
うち修士 (%)	100	うち博士 (%)	0														
参加機関・役割分担	東北大: バス開発、システム全体 北大: ペイロード開発																



表 5.1.1.3-2-8(2/2) RISING-2 失敗事例概要  
(RISING-2 続)

プロジェクト No.	18	失敗事例		
事例 No.	1	2	3	
発生年月	2014年6月	2014年6月	2014年7月	
区分	運用	運用	運用	
事例概要	<p>CPUの永久故障と、一部データハンドリング機能の喪失 … 運用開始から約1か月後に発生。不可視時間帯に過大電流がバス系に発生し、約1時間後に、CPU機能が停止したことを、不可視時のログデータから確認した。以後は、FPGA部のみでデータハンドリングを継続している。</p>	<p>スターセンサー検出精度の成績の悪さ … 本衛星はスターセンサーの正常動作をもって、目標地点に対する指向誤差を0.1度未満で達成する仕様であったが、そのスターセンサーが実用に耐えるレベルで動作せず、0.1度未満の目標は未達成となった。</p>	<p>姿勢制御ソフトウェアのバグと、CPU故障によるパッチ機能消失により、目標地点の撮像が実行できない事態</p>	

表 5.1.1.3-2-9 NEXUS 失敗事例概要

プロジェクト No.	19
概要	NEXUS
プロジェクト名 (衛星名)	日本大学宮崎研究室
責任機関 (実施の中心機関)	3 種類の新規アマチュア衛星用通信機 (π/4 シフト QPSK 送信機, 送信速度可変 FSK 送信機, リニアトランスポンダ) の宇宙実証
ミッション概要	1U
衛星サイズ	質量 (kg) 1.24
資金元	大学校費
資金額	1380 万円
参加人員	1 0 13 92.3
参加機関・役割分担	エフオート率 (%) うち修士 (%) 0 日本大学 (衛星バス部開発および全体インテグレーション, 地上局開発) JAMSAT (ミッション用通信機の開発, 地上局開発) JARL (法的手続き)
失敗事例	
事例 No.	2
発生年月	2019 年 2 月
区分	運用
事例概要	レベルの低い話で恐縮ですが、運用の際、誤ったコマンドを送り、消費電力量が大きくなり、衛星が一時期、充電モードに入ってしまった。 [5.1-5]
	衛星搭載ソフトウェアにバグがあることが、打ち上げ 2 週間後の運用の際に発覚しました。バグは、予約コマンドが 3.5 時間先までしかできないというものでした。これは、予約時間の変数の byte 数がプログラム内での型変換により少なくなってしまうことが原因です。実際、コードの書き方次第でこのようなバグが発生することを誰も知らなかったことが根本的な原因です (ごくごく簡単なコードで、一見ただけでは、そのコードに問題があるとは誰も気づきませんでした)。 [5.1-5]

表 5.1.1.3-2-10 STARS 失敗事例概要

プロジェクト No.		20	
概要			
プロジェクト名 (衛星名)	STARS		
責任機関 (実施の中心機関)	香川大学能見研究室		
ミッション概要	親子衛星、テザー衛星、ロボット衛星		
衛星サイズ	10 kg 級	質量 (kg)	8
資金元	科研費、NEDO、概算要求		
資金額	非公開		
参加人員	プロパー教員数	1	エフオート率 (%)
	専任教員/スタッフ数	0	40
	のべ関与学生数	10	
	うち修士 (%)	50	うち博士 (%)
			0
参加機関・役割分担	香川大学+地域企業、地域アマチュア無線家、地域アマチュア技術家 <a href="http://stars.eng.shizuoka.ac.jp/thanks.html">http://stars.eng.shizuoka.ac.jp/thanks.html</a> 参照		
失敗事例			
事例 No.	1	2	3
発生年月	2009年2月	2009年2月	2009年4月
区分	運用	運用	運用
事例概要	初期運用から、FMパケットによるテレメトリデータを解析したところ、満充電状態で電力センサーがトリップしていることが判明した。(ゼロか最大値)	テザー伸展をリールロックされたまま実行した。実際には、実行後にテレメトリから伸展できなかつたことが判明し、ロックが外れていなかったと推定。その後の復帰運用でロックを外す努力をしたところテザー伸展に成功、これよりロックが解除できたためにテザー伸展ができたと推定。	テザー張力を利用したロボット制御が実施できなかつた。計画では、テザー伸展中にリールの回転速度制御により張力を発生させ、その張力を利用したロボット姿勢制御を実施する予定であった。しかしながら、初期テザー伸展失敗、復旧のために講じた対策が原因で十分なテザー伸展初速度を得られず、張力をかけた減速フェーズを儲けることができなかった。
			半年~1年程度で、メインCPUへのコマンドが通らなくなった。原因は不明であるが、H8/3052 であり、放射線による劣化と推定している。

表 5.1.1.3-2-11 STARS-II 失敗事例概要

プロジェクト No.	21	
概要	STARS-II	
プロジェクト名 (衛星名)	香川大学能見研究室	
責任機関 (実施の中心機関)	香川大学能見研究室	
ミッション概要	1. 重力傾斜を利用したテザー伸展 2. EDT による電流収集 (ペアテザー) 3. 重力傾斜によるテザー張力を利用した TSR 制御 4. 張力制御によるテザー伸展回収	
衛星サイズ	10 kg 級	質量 (kg) 8
資金元	科研費、学内資金	
資金額	非公開	
参加人員	プロパー教員数	1
	専任教員/スタッフ数	0
	のべ関与学生数	10
	うち修士 (%)	50
参加機関・役割分担	香川大学+地域企業, 地域アマチュア無線家, 地域アマチュア技術家 http://stars.eng.shizuoka.ac.jp/thanks.html 参照	
失敗事例		
事例 No.	1	2
発生年月	2014/3	2014/3
区分	運用	運用
事例概要	軌道投入から 2-3 日後にメイン CPU の電源 ON コマンドを送信、その後メイン CPU へのコマンドを送信したが応答がなく、その後複数回試したが応答はなかった。	初期段階において、子機 CW は非常に強い電波、親機 CW は電波が弱い状態であった。しかしながら、子機 CW 電波は数日で弱くなり、聞こえなくなった。親機電波は、数日後に初号機と変わらない信号強度となった。
	3	4
	2014/3	2013/安全審査フェーズ II
	運用	システム
	複数天文台において望遠鏡による光学観測を行い撮影に成功したが、テザー伸展による親子分離を確認できなかった。	自作ポッドを用いていたが、ポッド展開の電磁干渉による誤動作指摘で搭載回路を認められなかった。

表 5.1.1.3-2-12 STARS-C 失敗事例概要

プロジェクト No.	22	
概要	プロジェクト名 (衛星名) STARS-C 責任機関 (実施の中心機関) 静岡大学能見研究室・山極研究室 ミッション概要 ・テザーの伸展 (100m以上) ・静岡大学衛星開発体制構築	
衛星サイズ	質量 (kg)	2.66
資金元	科研費、学内資金	
資金額	非公開	
参加人員	プロパー教員数	2
	専任教員/スタッフ数	2
	のべ関与学生数	20
	うち修士 (%)	70
	うち博士 (%)	0
参加機関・役割分担	静岡大学が主実施機関 東京アマチュア無線家：回路設計 香川アマチュア無線家：通信系 地域企業：加工品製造	
失敗事例		
事例 No.	1	2
発生年月	2016/12	2016/12-2017/11
区分	運用	運用
事例概要	初期運用における CW 信号が弱かった パドル展開に失敗と推定	メイン CPU からの FM パケット受信確率が著しく低かった。 このため CW データ以外のデータ取得はできていない。
		テザー伸展が、目標 100m に対し数十 m と推定される。

表 5.1.1.1.3-2-13 STARS-A0 失敗事例概要

プロジェクト No.	23
概要	<p>プロジェクト名 (衛星名) Stars-A0</p> <p>責任機関 (実施の中心機関) 静岡大学能見研究室</p> <p>ミッション概要</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・軌道上宇宙撮影/天体観測</li> <li>・大容量撮影画像データの高速ダウンリンク通信</li> </ul> <p>衛星サイズ 1U 質量 (kg) 1.33</p> <p>資金元 学内資金, 寄附金</p> <p>資金額 非公開</p>
参加人員	<p>プロパー教員数 1 エフオート率 (%) 10</p> <p>専任教員/スタッフ数 10</p> <p>のべ関与学生数 10</p> <p>うち修士 (%) 0</p> <p>うち博士 (%) 0</p>
参加機関・役割分担	アマチュア技術家によるプロジェクト主導 学生は学部生がメインとなり、アマチュア技術家の指導を受けて作業を実施。
失敗事例	
事例 No.	1
発生年月	2018/11
区分	運用
事例概要	メインGPU起動コマンドを送信した結果、CWが停止した。基本的にはCWは継続するはずである。またメインGPU起動も確認している。

表 5.1.1.3-2-14 STARS-Me 失敗事例概要

プロジェクト No.	24	
概要	STARS-Me 静岡大学	
責任機関 (実施の中心機関)	軌道エレベーターの小規模デモ, 2機体衛星+クライマーの構成の実証評価, コンベックステザー伸張, クライマー移動	
ミッション概要	2U 質量 (kg) 2.66	
衛星サイズ	科研費, 企業 非公開	
資金元		
資金額		
プロパー教員数	4	エフォート率 (%) 10~30
専任教員/スタッフ数	0	
のべ関与学生数	5	
うち修士 (%)	50	うち博士 (%) 0
参加機関・役割分担	静岡大学: 主開発期間 日本大学: クライマー開発 大林組; 資金協力 地域企業: 加エメイン	
失敗事例		
事例 No.	1	2
発生年月	2018/10	2018/10
区分	運用	運用
事例概要	初期運用において CW 信号が非常に弱い。 および FM パケットを受信できない。	ISS 放出直前に台風により地上系アンテナが破損
		レール長さのミス。 フライト品の部品確認で発見。前回 ISS 放出では単独放出であることから認められていたスプリングブランジャー使用について、今回は単独でないため他衛星に影響を与えなかったため不可。これが反映できていなかった。
		2018/6
		サブシステム
		サブシステム
		2018/7
		サブシステム
		4
		2018/7
		サブシステム
		フィットチェック時のデプロイメントスイッチの破壊。 レール側面にデプロイメントスイッチを設置。レバー方向によっては、ポッド挿入時に引っ掛かることになる。挿入時に十分な確認を行っていないために発生。

表 5.1.1.3-2-15(1/2) 鳳龍式号 失敗事例概要

プロジェクト No.	25	
概要	鳳龍式号	
プロジェクト名 (衛星名)	九州工業大学衛星開発プロジェクト	
責任機関 (実施の中心機関)	実質的に九州工業大学趙・豊田研究室で開発した。研究室外の学生は1名のみ	
ミッション概要	高電圧技術実証 (低軌道上で 300V を超えて太陽電池で発電させる。発電した際の放電発生状況を調べる。衛星帯電防止素子の実証。衛星帯電センサの実証) 学生のシステム工学教育	
衛星サイズ	30cm	質量 (kg) 7
資金元	自己資金+明専会 (九工大の同窓会組織)	
資金額	2000 万円	
参加人員	プロパー教員数	3
	専任教員/スタッフ数	1
	のべ関与学生数	15
	うち修士 (%)	75
	うち博士 (%)	0
参加機関・役割分担	九州工業大学のみ	
失敗事例		
事例 No.	1	2
発生年月	EM システム試験の初期	2012 年 3 月
区分	EM の振動試験/衝撃試験	PAF239M
事例概要	多くの電子部品の脱落 アンテナの外れ (円周上に巻いた UHF アンテナを外側から VHF アンテナで抑え込むようにしていたが、振動試験で、内側の UHF アンテナの先端が外側に飛び出した) コネクタ外れ (無線機につないでいた JST コネクタが外れかかった)	マルマクランパバンドの変形 JAXA からの支給品であった。回復不可能となったために、代替品を至急送ってもらい、打ち上げには間に合った。しかしながら、JAXA に現物で返済することとなり、メーカーから変形部品を購入したが、200 万円以上の費用が発生した。
		2011 年 12 月～2012 年 1 月
		FM 熱真空試験
		ノイズ混入



表 5.1.1.3-2-15(2/2) 鳳龍式号 失敗事例概要

プロジェクト No.		25		(鳳龍式号 続)	
失敗事例					
事例 No.	4	5			
発生年月	打ち上げから3週間後(2012年6月5日)	打ち上げ直後から3週間			
区分	C&DH、電源系	姿勢系			
事例概要	衛星からのビーコン信号の一部が更新されず(ハウスキーパーピングデータが更新されていない)、センサーデータダウンリンクのコマンドに対しては、コマンド受信のACKしか返ってこない。リセットコマンドへも応答せず。 6月30日には、ACKも返ってこなくなった。 7月3日 衛星が正常に復帰	衛星の放出時に最大で20度/秒程度の回転があったが、3週間以上たっても、安定しなかった。永久磁石とヒステリシスダンパーにより、予想では1日程度で安定するはずであり、大きな違いがあった。 [5.1-6]			

表 5.1.1.3-2-16 鳳龍四号 失敗事例概要

プロジェクト No.	26
概要	<p>プロジェクト名 (衛星名) 鳳龍四号</p> <p>責任機関 (実施の中心機関) 九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー</p> <p>ミッション概要 高電圧技術実証 (低軌道上で 300V を超えて太陽電池で発電させる。発電した際の放電発生状況を調べる。衛星帯電防止素子の実証。衛星帯電センサの実証) 学生のシステム工学教育</p> <p>衛星サイズ 30cm 質量 (kg) 10.6</p> <p>資金元 科研費</p> <p>資金額 16000 万円</p>
参加人員	<p>プロパー教員数 4 エフオート率 (%) 5~20</p> <p>専任教員 / スタッフ数 4</p> <p>のべ関与学生数 30</p> <p>うち修士 (%) 54 うち博士 (%) 36</p>
参加機関・役割分担	九州工業大学 OBC のプログラムを QPS 研究所に外注
失敗事例	
事例 No.	1
発生年月	2015 年 9 月
区分	電源系
事例概要	<p>SEL (シングルイベントラッチアップ) 対策のために C&amp;DH の H8 マイコンにつながついている 3.3V ラインを過電流保護回路 (OCP) で遮断して、立ち上げ直そうしても半死の状態でしか立ち上がらず、ゾンビ状態になる。納入まで 4 ヶ月を切った時点の念のための放射線試験で、SEL 対策を検証した際に発覚した。</p> <p>2 打上げ後から数ヶ月間 通信系 S-band による 100kbps の通信を試みたが、パケットエラーが多数発生し、実質的に 10kbps を下回るスピードしか出なかった。原因は二つある。一つは、打上げ初期に衛星の姿勢が安定していなかったために S-band パッチアンテナからの信号強度が弱い、または変動が激しかったため。もう一つは、最初に使用していた復調器のドップラーシフトへの対応が上手にできていなかったため。</p>

表 5.1.1.3-2-17(1/2) BIRDS-1 失敗事例概要

プロジェクト No.	27
概要	BIRDS-1
プロジェクト名 (衛星名)	九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー
責任機関 (実施の中心機関)	・教育ミッションは以下の通り 新興国の宇宙人材育成 (留学生向け) 留学生との国際協働作業を通じた国際人材の育成 (日本人学生向け)
ミッション概要	・技術ミッションは以下の通り 参加国の写真をとる アウトリーチのためのデジシッター (音楽センサーによる音声通信) Single Event Latch-up の観測 衛星位置の精密決定 大気密度計測 地上局ネットワークによるコンステレーション運用
衛星サイズ	1U 質量 (kg) 1
資金元	All Nations University (ANU, Ghana), National University of Mongolia (NUM, Mongolia), Brac University (Brac, Bangladesh), Federal University of Technology Acure (Futa, Nigeria)
資金額	総額 4000 万円 (打ち上げ含む)
参加 人員	2 エフォート率 (%) 20~25
	2 のべ関係員/スタッフ数
	15 のべ関係員/学生数
	73.3 うち修士 (%) 26.7
参加機関・役割分担	九州工業大学 UKM(マレーシアの大学) がパッチアンテナ設計 ANU, NUM, Brac, FUTA が運用で参加 NCKU(台湾)、KMUTNB(タイ) も運用で参加

表 5.1.1.3-2-17 (2/2) BIRDS-1 失敗事例概要

プロジェクト No.		27		(BIRDS-1 続)	
失敗事例					
事例 No.	1	2			
発生年月	2017 年 7 月 7 日 (放出) 以降、最後まで	2017 年 7 月 7 日 (放出) 以降、最後まで			
区分	通信系	通信系			
事例概要	CW のビーコン強度が弱い	VHF アップリンクが成功しなかった			

表 5. 1. 1. 3-2-18(1/2) BIRDS-2 失敗事例概要

プロジェクト No.	28																
概要	<p>BIRDS-2</p> <p>九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・教育ミッションは以下の通り</li> <li>新興国の宇宙人材育成（留学生向け）</li> <li>留学生との国際協働作業を通じた国際人材の育成（日本人学生向け）</li> <li>・技術ミッションは以下の通り</li> </ul> <p>APRS Digipeater Demonstration on Cubesat (APRS-DP)</p> <p>Store &amp; Forward</p> <p>カメラ撮影</p> <p>民生 GPS チップの実証</p> <p>Single Event Latch-up (SEL)の検知</p> <p>磁力計の実証</p>																
衛星サイズ	1U 質量 (kg) 1																
資金元	ブータン情報通信省 (DITT)、マラエ科大学(UiTM)、フィリピン科学技術省 (DOST)																
資金額	総額 3000 万円 (打ち上げ含む)																
参加人員	<table border="1"> <tr> <td>プロパー教員数</td> <td>2</td> <td>エフォート率 (%)</td> <td>20~25</td> </tr> <tr> <td>専任教員/スタッフ数</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>のべ関与学生数</td> <td>11</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>うち修士 (%)</td> <td>81.8</td> <td>うち博士 (%)</td> <td>18.2</td> </tr> </table>	プロパー教員数	2	エフォート率 (%)	20~25	専任教員/スタッフ数	2			のべ関与学生数	11			うち修士 (%)	81.8	うち博士 (%)	18.2
プロパー教員数	2	エフォート率 (%)	20~25														
専任教員/スタッフ数	2																
のべ関与学生数	11																
うち修士 (%)	81.8	うち博士 (%)	18.2														
参加機関・役割分担	<p>九州工業大学</p> <p>DITT, UiTM, DOST(実質はUPD：フィリピン大学ディルマン校)が運用で参加</p> <p>BIRDS-1に参加した ANU (ガーナ), NUJM (モンゴル), Brac (バングラデシュ) が運用で参加</p> <p>NCKU(台湾)、KIMUTNB(タイ) も運用で参加</p>																

表 5.1.1.3-2-18(2/2) BIRDS-2 失敗事例概要

プロジェクト No.		(BIRDS-2 続)	
失敗事例			
事例 No.	1	2	3
発生年月	EM 段階 (2017 年夏頃)	EM 段階 (2017 年夏ごろ)	2018 年 8 月 10 日 (放出) から 2019 年 7 月 22 日までの約 1 年間
区分	コンポーネント PCB 基板	構造系	通信系
事例概要	BIRDS-2 は BIRDS-1 の設計を引き継いで、Back Plane 方式を採用し、50pin コネクタを有した 90x90mm の基板を底面基板に挿すようになっている。学生が PCB 基板の実装を P 板.com に依頼した際に、基板の裏表を間違えて発注してしまった。	フレームだけなら POD に入るのに、太陽電池パネルをつけると入らない。パネルをつけることで、衛星フレームに歪みが生じた。	アップリンクが UHF, VHF 共に通らなかつた。UHF のアップリンク成功までに

表 5.1.1.3-2-19 BIRDS-3 失敗事例概要

プロジェクト No.	29
プロジェクト名 (衛星名)	BIRDS-3
責任機関 (実施の中心機関)	九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー
ミッション概要	教育ミッションは以下の通り 新興国の宇宙人材育成 (留学生向け) 留学生との国際協働作業を通じた国際人材の育成 (日本人学生向け) 技術ミッションは以下の通り 1) LoRa モジュールの軌道上実証 2) オンボードカメラによる地球撮影 3) ソフトウェアにより配線が定義された底面基板の軌道上実証 4) 磁気トルカを用いた姿勢安定
衛星サイズ	1U 質量 (kg) 1
資金元	ネパール; Nepal Academy of Science and Technology (NAST) スリランカ; Arthur C Clarke Institute for Modern Technologies (ACCIMT) 文科省委託費
資金額	2900 万円 (打ち上げ含む)
参加 人員	プロパー教員数 2 エフォート率 (%) 20 専任教員/スタッフ数 2 のべ関与学生数 8 うち修士 (%) 75 うち博士 (%) 12.5
参加機関・役割分担	九州工業大学 NAST, ACCIMT が運用で参加, BIRDS-1、BIRDS-2 に参加した各機関が運用で参加
失敗事例	
事例 No.	1
発生年月	2019 年 7 月
区分	姿勢系 (磁気トルカ)
事例概要	磁気トルカによる姿勢安定実験に失敗。衛星はその後、空気抵抗により回転が収まってきている。

表 5.1.1.3-2-20(1/2) (匿名) 失敗事例概要

プロジェクト No.	30		(匿名)
概要	プロジェクト名 (衛星名)	(非公開)	
	責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)	
	ミッション概要	(非公開)	
	衛星サイズ	50cm 級	質量 (kg) 50
	資金元	(非公開)	
	資金額	(非公開)	
参加人員	プロパー教員数	5~6	エフオート率 (%) 10~20
	専任教員/スタッフ数	15	
	のべ関与学生数	30	
	うち修士 (%)	97	うち博士 (%) 3
参加機関・役割分担	(非公開)		
失敗事例			
事例 No.	1	2	3
発生年月	2014年6月	2015年5月	2012年10月
区分	運用	運用	システム, 試験
事例概要	太陽センサの地球アルベド検知・姿勢決定異常	光ファイバジャイロの過電流検知による起動不具合	S帯通信機の電気信号ラインのコネクタピン配列の製造ミス
			2017年9月
			コンポーネント, 設計
			地磁気センサの TID 試験中の出力異常
失敗事例			
事例 No.	5	6	7
発生年月	2012年1月	2013年5月	2013年7月
区分	コンポーネント, 設計	コンポーネント, 設計	コンポーネント, 試験
事例概要	RWの寿命試験中における異常動作停止	地磁気トルカの振動試験	地磁気トルカの性能試験ミス
			システム, コンポーネント設計
			S帯受信機から発行されるPCUリセット信号のIF不整合



表 5. 1. 1. 3-2-20 (2/2) (匿名) 失敗事例概要

プロジェクト No.		30		(匿名)		失敗事例	
事例 No.	9	10	11	12	13		
発生年月	2014年7月	2014年7月	2014年7月	2014年7月	2014年6月		
区分	運用	運用	運用	システム, 射場作業	システム, 対外 IF		
事例概要	恒星センサによる軌道上での姿勢決定	軌道上でのリプログラミング機能検証	軌道上での想定外のモード遷移	搭載ソフトウェアのバージョン管理	周波数干渉による運用制限		

表 5.1.1.3-2-21 (匿名) 失敗事例概要

プロジェクト No.	31		(匿名)
概要	プロジェクト名 (衛星名)	(非公開)	
	責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)	
	ミッション概要	(非公開)	
	衛星サイズ	質量 (kg)	50
	資金元	(非公開)	
	資金額	(非公開)	
参加人員	プロパー教員数	エフォート率 (%)	10~20
	専任教員/スタッフ数	15	
	のべ関与学生数	30	
	うち修士 (%)	うち博士 (%)	3
参加機関・役割分担	(非公開)		
失敗事例			
事例 No.	1	2	3
発生年月	2014年5月	2015年11月	2012年10月
区分	運用	運用	システム, 試験
事例概要	太陽センサの地球アルベド検知・姿勢決定異常	光ファイバジャイロの過電流検知による起動不具合	S帯通信機の電気信号ライシンのコネクタピン配列の製造ミス
			コンポーネント, 設計
			2017年9月
			2012年1月
			コンポーネント, 設計
			RWの寿命試験中における異常動作停止
失敗事例			
事例 No.	6	7	8
発生年月	2013年5月	2013年7月	2013年3月
区分	コンポーネント, 設計	コンポーネント, 試験	システム, コンポーネント設計
事例概要	地磁気トルカの振動試験	地磁気トルカの性能試験	S帯受信機から発行されるPCUリセット信号のIF不整合
			ミス
			2014年7月
			運用
			2014年7月
			運用
			軌道上での運用モード組み換え不具合

表 5.1.1.3-2-22 (匿名) 失敗事例概要

プロジェクト No.	32	(匿名)
概要	プロジェクト名 (衛星名)	(非公開)
	責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)
	ミッション概要	(非公開)
	衛星サイズ	50cm 級 質量 (kg) 50
	資金元	(非公開)
	資金額	(非公開)
参加 人員	プロパー教員数	5~6 エフオート率 (%) 0~5
	専任教員/スタッフ数	5
	のべ関与学生数	6
	うち修士 (%)	100 うち博士 (%) 0
参加機関・役割分担	(非公開)	
失敗事例		
事例 No.	1	
発生年月	2014年6月	
区分	地上試験	
事例概要	模型による熱設計基礎設計確認試験中における供試体の過加熱	

表 5.1.1.3-2-23 (匿名) 失敗事例概要

プロジェクト No.	33	(匿名)
概要	プロジェクト名 (衛星名) (非公開)	
	責任機関 (実施の中心機関) (非公開)	
	ミッション概要 (非公開)	
	衛星サイズ 20cm 級	質量 (kg) 8.5
	資金元 (非公開)	
	資金額 (非公開)	
参加 人員	プロパー教員数 1	エフオート率 (%) 20
	専任教員/スタッフ数 0	
	のべ関与学生数 30	
	うち修士 (%) 67	うち博士 (%) 17
参加機関・役割分担	(非公開)	
失敗事例		
事例 No.	1	2
発生年月	2009 年	2010 年
区分	サブシステム、運用	サブシステム、運用
事例概要	磁気トルカが想定と反対に取り付けられており、磁気トルカの動作確認運用において、想定と反対方向のトルクが発生した。	太陽センサー動作時に太陽方向の計測値が不連続に大きく変化し正確でない太陽方向を出力してしまう。(太陽センサー内のリニアセンサーの出力プロファイルから迷光によるものと断定)
		3 2011 年 サブシステム、運用 軌道上で uplink した関数を実行させる関数の動作不良

表 5.1.1.3-2-24 (匿名) 失敗事例概要

プロジェクト No.	34	(匿名)
概要	プロジェクト名 (衛星名)	(非公開)
	責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)
	ミッション概要	(非公開)
	衛星サイズ	50cm 級 質量 (kg) 50
	資金元	(非公開)
	資金額	(非公開)
参加人員	プロパー教員数	3~10 エフォート率 5~20 (%)
	専任教員/スタッフ数	0
	のべ関与学生数	30~40
	うち修士 (%)	50 うち博士 (%) 30
参加機関・役割分担	(非公開)	
失敗事例		
事例 No.	1	2
発生年月	2014年11月	2014年11月
区分	システム	サブシステム
事例概要	電源の供給状態と姿勢が安定しなかった(頻りに電源が落ちる)	溜め込まれたHKデータが電源が切れると消失する設計となっていた。また、そのことが打ち上げ後までメンバ間で認識されていなかった。
失敗事例		
事例 No.	4	5
発生年月	2015年11月	2015年1月
区分	コンポーネント・運用	その他(地上局)
事例概要	リアクションホイールが故障した。推定された。原因は誤ったコマンド操作(制御基板よりモータ電源を先に入れてしまった)。	ケーブル損傷により数ヶ月間通信が安定しなかった
事例 No.	6	6
発生年月	2015年	2015年
区分	マネジメント	マネジメント
事例概要	運用から参加した学生(学部低学年)に対し十分な教育ができなかった	

表 5. 1. 1. 3-2-25 (1/2) (匿名) 失敗事例概要

プロジェクト No.	35	(匿名)
概要	プロジェクト名 (衛星名) 責任機関 (実施の中心機関) ミッション概要 衛星サイズ 資金元 資金額	(非公開) (非公開) (非公開) 1U (非公開) (非公開)
参加人員	プロパー教員数 専任教員/スタッフ数 のべ関与学生数 うち修士 (%)	1 0 30 100 うち博士 (%) 0
参加機関・役割分担		(非公開)
失敗事例		
事例 No.	1	2
発生年月	2006年10月	2007年
区分	システム・開発	サブシステム
事例概要	1号機の設計の知識・技術継承が2号機の開発メンバにうまく引き継がれずに、設計開発が長期化。(部分的に0JTによる伝達はあったが1か月ほど)	EM基板の設計図ミスによる半田不良・衛星動作の不具合
事例 No.	4	5
発生年月	2007年	2007年
区分	サブシステム、試験	システム
事例概要	放射線試験時の衛星の動作不具合による設計・開発の後戻り	構体組立時に配線を切断したたことによる衛星動作の不具合
事例 No.	6	6
発生年月	2007年	2007年
区分	サブシステム	サブシステム
事例概要		EM試験時のサブシステム単体で動作させることが難しく、全サブシステムと担当者がいないと動作ができない設計仕様になっていったため、効率的な作業ができなかった。

表 5.1.1.3-2-25 (2/2) (匿名) 失敗事例概要

プロジェクト No.	35		(匿名)		失敗事例	
事例 No.	7	8	9	10		
発生年月	2008年	2008年	2008年	2008年		
区分	運用	運用	運用	運用		
事例概要	太陽電池の発電量の推定量ミスによる、軌道上での過充電	初期運用時の地上局のハードウェア設定ミスによる衛星のテレメトリデータ異常.	地上局からのコマンドミスによる衛星の停波	温度センサの貼り付けミスによるバッテリーの残量推定ミス		

表 5.1.1.3-2-26 (匿名) 失敗事例概要

プロジェクト No.	36	(匿名)
概要	プロジェクト名 (衛星名) 責任機関 (実施の中心機関) ミッション概要 衛星サイズ 資金元 資金額	(非公開) (非公開) (非公開) 50cm 級 (非公開) (非公開)
		質量 (kg) 50
参加人員	プロパー教員数 専任教員／スタッフ数 のべ関与学生数 うち修士 (%)	1 0 2 100 エフオートルール率 (%) 10 うち博士 (%) 0
参加機関・役割分担		(非公開)
失敗事例		
事例 No.	1	
発生年月	①2013年2月 ②2013年4月	
区分	サブシステム (推進系)	
事例概要	①FMの単体振動試験の際、既製品である電磁弁の製品に付属している配管が抜けた。 ②FMの単体振動試験の際、配管が破断した。	



## 5.1.2 成功／失敗事例の調査と要因分析・体系化

5.1.1 で調査した事例に基づき、成功事例及び失敗事例について要因分析を行い、体系的に整理した。なお、失敗事例については、衛星名・機関名等は一部匿名とした。

成功事例及び失敗事例についての分析を、それぞれ5.1.2.1項及び5.1.2.2項に示す。

### 5.1.2.1 成功事例

#### 5.1.2.1.1 事例分析

表5.1.2.1-1～表5.1.2.1-24に成功事例の事例分析結果を示す。

各表には、衛星全体の情報として、以下が記載されている。

##### 【プロジェクト（衛星）情報】

- ・ 成功事例整理のための通し番号（プロジェクトNo.）：5.1.1.3項(1)の1) 参照
- ・ プロジェクト名（もしくは衛星名）
- ・ 責任機関、ミッションの概要、衛星サイズ・質量）、資金元、資金額、参加人員数、
- ・ 参加機関・役割分担
- ・ 事例No.（当該プロジェクトにおける各成功事例の通し番号）
- ・ 発生年月
- ・ 区分（システム、サブシステム／系、運用、等の事例の識別）
- ・ 成功事例
- ・ 要因分析

（成功した要因を技術的要因と人的要因、組織的要因、時間的要因、その他、に分け要因事項の洗い出し）

- ・ 設計・試験・製造・運用段階における信頼性確保の方法

（設計段階、試験実施、製造段階、運用段階において信頼性をどのように確保したかの、その方法を分析）

- ・ コストダウンのポイント

（コストダウンのために配慮した事項）

事例分析結果の更なる検討については、本項（5.1.2.1項）の「(2)検討」で実施する。

表 5.1.2.1-1(1/3) OrigamiSat-1/F0-98 成功事例分析

プロジェクト No.	1	
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98	
責任機関（実施の中心機関）	東京工業大学 動設計学研究室（坂本研）、および中西研究室	
事例 No.	1	
発生年月	2019年1月18日	
区分	運用	
成功事例	初期運用で地上局でのテレメトリ取得、コマンドアップリンクに成功した。	
要因分析	技術的要因	<p>OrigamiSat-1 で成功した範囲では、下記のように多くの宇宙実績のある要素を組み合わせていた。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・展開アンテナのテグス溶断機構については日本大学のキューブサット SEEDS の設計を参考にした。また、JAXA 文書「小型衛星非金属ロックワイヤに関わる安全チェックリスト」に基づく設計を行った。</li> <li>・東大中須賀研の設計を真似て、「神 PIC」を他のマイコンよりも上位に置き、通常時でも1週間に1回、異常時は1日に1回の強制リセットを行う設計とした。PIC だけで最低限の情報のやり取りが地上局と衛星でできるようにした。</li> <li>・使用した UHF/VHF 無線機は東大が過去に西無線と共同開発したものをを用いた。</li> <li>・地上局の設備・ソフトウェアは、東工大松永研の 2003 年 CUTE-I 以降の実績のあるものを、わずかに OrigamiSat-1 用に更新した程度の変更しか行っておらず、高い信頼性があった。</li> </ul> <p>また、システム安全審査 Phase 3 を通過するため、第 1 回目の FM 振動試験で発生した電源インヒビットの製造不具合を改修し、再度の FM 振動試験によって機能検証した。つまりこの審査により、不具合を発見し改修することができた。</p>
	人的要因	<p>CDR までは大量の資料を準備して長時間のプレゼンを行う形で審査会を実施していたが、その後は審査会を開催する余裕がなくなり、衛星開発経験者に個別に相談する機会を複数回持つようになった。これはそれまで多くの審査員に来ていただいて審査会を開催していた場合よりも得ることが多かったように感じる。1 度に大量のポイントのレビューを受けても、サブシステムを担当している学生たちは当事者意識を持って助言を聞きにくい。それぞれの学生がそれぞれ必要なタイミングで経験者と直接対話することで、学生の当事者意識をより高める方向に機会を用いることができた。</p> <p>このように現場にいる学生中心の目線で開発プロセスを組み立てると、大型衛星の審査会方式（PPP）とは異なる開発プロセスのほうが適していると上記経験から考えている。</p>
	組織的要因	<p>開発の終盤では、学生プロジェクトマネージャが、学生の目線でタスク管理を行うようになった。これにより学生たちの当事者意識が増し、「自分たちの衛星だ」という意識が強くなったと感じている。教員は学生たちが動きやすいような「場」を作ること（人的ネットワークを駆使して相談できる専門家に仲介する）に注力し、学生と教員間の関係が改善した。教員から言われたことをやるだけでは学生のモチベーションを引き出すことはできないと感じる。</p>
	時間的要因	<p>別表（3/3）参照。時間配分はうまく行っていなかったと感じるが、上述の通り宇宙実績のある要因を組み合わせることが成功の主要因と思える。</p>
	その他	<p>UHF/VHF 展開アンテナの機構開発をたいへんに丁寧に実施した学生がいた。その学生は複数のタスクをこなすほど器用ではなかったが衛星開発ではほぼ展開アンテナ専属であった。しかし初期プロトタイプからフライトモデルの調整までをほぼ一人で担ってくれた。誰しもが複数のサブシステムを掛け持ちしたり、システム全体の信頼性を考えながらバランスを取る感覚を有するわけではない。それぞれのサブシステムに愛着を持って丁寧に作業する人の存在は欠かせない。したがって、(i) 適材適所を考え、別にシステム全体を見ているから偉いわけではなく、互いが互いの仕事を尊重しあえる場を作ること。それでいながら、(ii) 丁寧に作業をする学生が、複雑化の方向にいかないよう、常に最もシンプルな解をまずは確実に実行するよう促し続けること。こういった教員の態度がシステム全体の信頼性を決定すると今では考えている。(iii) 最も警戒すべきは、文書で綺麗なダイアグラムだけを書いて、実機で試験を行わないような態度であり、そのような態度は開発現場から早めに排除することである。とにかく実装して試験すること、その重要性を教員は言い続けたい。</p>

表 5.1.2.1-1(2/3) OrigamiSat-1/F0-98 成功事例分析

(続)	プロジェクト No.	1	事例 No.	1
信頼性確保の方法 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	踏襲できるものがある部分ではできるだけ宇宙実績のあるものを踏襲するよう心掛けた。また、MDR、PDR、CDR を実施し、シニアからレビューを受けた。		
	試験実施	システム安全審査に要する振動試験・衝撃試験に加え、恒温槽試験、熱真空試験を実施した。		
	製造段階	BBM、EM、FM と 3 度のシステム統合試験により製造の不備を検知した。民生用部品を多く用いており部品レベルでの管理には限界があると考え、サブシステム、システムレベルに統合してから、試験で製造不具合についても見出す方針とした。テグスについては JAXA 文書「小型衛星非金属ロックワイヤに関わる安全チェックリスト」のノウハウを大いに活用した。		
	運用段階	重要な初期運用については、地上局ソフトウェアを作成した学生がコマンド送信を担当し、他の学生がそのコマンドに間違いがないか相互にレビューしあう体制とした。次第に運用をしながら他の運用者もコマンド送信ができるようになるよう運用メンバーのシフトを熟練者＋新人の組み合わせとした。		
コストダウンのポイント	展開機構で溶断するテグスの張力の管理は難しい。かといって信頼性の高い火工品などを用いることはコスト増につながる。今回 OrigamiSat-1 では、テグスをボビンで巻き取ることで張力制御ができる機構を用い、コストを上げずにテグスを用いた保持・解放機構の信頼性を高めることを狙った。			

表 5.1.2.1-1 (3/3) OrigamiSat-1/F0-98 成功事例分析

プロジェクト No.		1		事例 No.		1	
時間配分							
期間設定／時間配分で特に注意した事項		初期運用で地上局でのテレメトリ取得、コマンドアップリンクの信頼性向上のための工数					
		人	日	人日	各フェーズで重点をおいた事項	特徴	
基本検討	ミッション定義			0	本検証には非該当		
設計	概念検討	1	30	30	展開アンテナの宇宙実績のある設計を参考にし て応用	学生主体で実施	
	基本設計	1	30	30	3D プリンタでモックアップを使って展開アン テナ試作・評価	学生主体で実施	
	詳細設計	1	60	60	特注品のコンベックステープによる展開アンテ ナ試作・評価	学生主体で実施	
	維持設計	1	10	10	再現性のある展開アンテナの収納手順の構築	学生主体で実施	
	その他	2	90	180	既存の地上局の更新	学生主体で実施	
製造	BBM	1	10	10		学生主体で実施	
	EM	1	10	10		学生主体で実施	
	PM				非該当		
	FM (orPFM)	1	10	10		学生主体で実施	
試験	電氣的機能試験	4	30	120	マイコンプログラムの検証	学生主体で実施	
	熱真空試験	6	14	84	低温下でのテグス溶断・高温／低温時の Avionics 動作	学生主体で実施	
	振動試験	7	9	63	テグス強度の検証	学生主体で実施	
	衝撃試験	4	1	4	テグス強度の検証	学生主体で実施	
	音響試験				本検証には非該当		
	放射線試験				本検証には非該当		
	通信試験	4	30	120		学生主体で実施	
	その他				本検証には非該当		
	展開機構単体動作試験	1	7	7	アンテナの巻き癖の評価	学生主体で実施	
システム展開動作試験	3	2	6	アンテナ展開テグス溶断の電源系の評価	学生主体で実施		

表 5.1.2.1-2(1/5) HODOYOSHI-3, 4 成功事例分析

プロジェクト No.	2	
プロジェクト名	HODOYOSHI-3, 4	
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀研究室, 次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA)	
事例 No.	1	
発生年月	2014 年 6 月	
区分	運用	
成功事例	継続的な S 帯通信の確立	
要因分析	技術的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 経験者, ISAS 研究者・技術者の助言に基づいたメーカー選定, 機器仕様策定</li> <li>・ モックアップを用いたアンテナパターンの実測</li> <li>・ 振動, 放射線試験などの環境試験の実施</li> <li>・ 長期温度サイクル試験の実施</li> <li>・ アンテナパターン, 搭載機器仕様・実測値, 地上局機器実測値などを用いた回線成立性検討の精査</li> <li>・ 地上局担当者 (RF, ソフトウェア) との綿密な調整および局設置品と同等の機器による地上電気試験</li> <li>・ CCSDS の機能ブロック図から整理をした段階的な組み合わせ試験の実施</li> </ul>
	人的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 試験計画策定や機器仕様確定などにおいて経験者やメーカー, ISAS 研究者などの有識人の助言を求めた</li> <li>・ 経験者等が少ない試験の初動においては, 経験者・有識人の参加を依頼した</li> <li>・ 重要な試験は 2 人以上で実施し, 結果の確認を行った</li> <li>・ 機器インターフェイスなどに関して齟齬が無いように関係者との調整を密に行った</li> </ul>
	組織的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ チーム内の情報共有は密にし情報集約がシングルポイントとならないようにした。また, プロジェクトマネージャーに情報を集約, 情報共有を密にし, 全体計画との齟齬がないことを確認しつつ進めた</li> <li>・ 少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, システム間の不整合などの発生は排除できた。</li> </ul>
	時間的要因	N/A
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ チーム内, チーム間の密な情報共有を行うために平日の朝夕に情報共有会を実施した。</li> <li>・ 複数システムの重複担当, 複数工程の単一責任者による遂行などによりシステムの不整合要因が排除できた</li> </ul>
信頼性確保の方法 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ JAXA 規定文書などを用いた設計の精査</li> <li>・ 経験者, ISAS 研究者・技術者の助言に基づいたメーカー選定, 機器仕様策定</li> </ul>
	試験実施	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ モックアップを用いたアンテナパターンの実測</li> <li>・ 振動, 放射線試験などの環境試験の実施</li> <li>・ 長期温度サイクル試験の実施</li> <li>・ 地上局担当者 (RF, ソフトウェア) との綿密な調整および局設置品と同等の機器による地上電気試験</li> <li>・ CCSDS の機能ブロック図から整理をした段階的な組み合わせ試験の実施</li> <li>・ 経験者, ISAS 研究者・技術者の助言に基づいた検証項目の確認</li> </ul>
	製造段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ メーカーへの過度な製造過程記録要求の排除</li> <li>・ 統合可能な機器に関する EM の統合</li> </ul>
	運用段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アンテナパターン, 搭載機器仕様・実測値, 地上局機器実測値などを用いた回線成立性検討の精査および運用条件の策定</li> <li>・ 経験者の助言に基づいた運用会議</li> </ul>
コストダウンのポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 民生素子の利用</li> <li>・ システム, 機器リセットを許容する運用設計 (放射線対策など)</li> <li>・ セーフモードの確実な実現による高次モードへの検証負荷の低減</li> </ul>	



表 5. 1. 2. 1-2 (2/5) HODOYOSHI-3, 4 成功事例分析

プロジェクト No.	2	
プロジェクト名	HODOYOSHI-3, 4	
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀研究室, 次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA)	
事例 No.	2	
発生年月	2014 年 6 月	
区分	運用	
成功事例	スピン太陽指向の継続的な達成	
要因分析	技術的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 経験者, 研究者・技術者の助言に基づいた機器仕様策定</li> <li>・ 使用機器の機能, 環境試験</li> <li>・ 独自整備の制御ロジック, ソフトウェア検証システムによるロジックおよびソフトウェアの検証</li> <li>・ 独自整備の制御ロジック, ソフトウェア検証システムを用いた運用訓練</li> <li>・ 多角的なレビューによるセーフモードの設定</li> <li>・ 実機試験などを用いたモンテカルロシミュレーションによる安全性確認とモード以降手順, パラメータ設定</li> <li>・ 先行プロジェクトの運用状況のフィードバック</li> </ul>
	人的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 姿勢制御, システム設計に関する大学, メーカーの有識者からレビューを受けることができた</li> <li>・ 主担当者の転職により, 協力機関の学生補助員に遠隔指令を行う形態でのソフトウェア検証試験を行ったため, 模擬遠隔運用訓練と同等な効果をうち上げ前に実施できた</li> <li>・ 主要開発メンバーが類似衛星の開発にもかかわっており, その運用成果を良い形でフィードバックすることができた</li> </ul>
	組織的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 姿勢制御, システム設計に関する大学, メーカーの有識者が組織内に存在しており, よい議論ができていた</li> </ul>
	時間的要因	N/A
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運用会議を念入りに行い, システム設計情報や運用方針, ソフトウェア設計情報などの共有を事前に実施することができた</li> </ul>
信頼性確保の方法 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンピュータシミュレーションによるロジック検討, 同一環境モデルを用いたソフトウェア検証環境の利用, 実機を含める統合システム検証という流れができるシステムを独自に整備し活用した</li> <li>・ 最低限の機能の達成を保証するシステム設計を実施した</li> <li>・ 複数回におよぶ多角的なレビューによる設計, 製造検証</li> </ul>
	試験実施	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンピュータシミュレーションによるロジック検討, 同一環境モデルを用いたソフトウェア検証環境の利用, 実機を含める統合システム検証という流れができるシステムを独自に整備し活用した</li> </ul>
	製造段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンピュータシミュレーションによるロジック検討, 同一環境モデルを用いたソフトウェア検証環境の利用, 実機を含める統合システム検証という流れができるシステムを独自に整備し活用した</li> <li>・ 最低限の機能の達成を保証するシステム設計を実施した</li> <li>・ 複数回におよぶ多角的なレビューによる設計, 製造検証</li> </ul>
	運用段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運用会議を念入りに行い, システム設計情報や運用方針, ソフトウェア設計情報などの共有を事前に実施することができた</li> <li>・ 主要開発メンバーが類似衛星の開発にもかかわっており, その運用成果を良い形でフィードバックすることができた</li> </ul>
コストダウンのポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 民生素子の利用</li> <li>・ システム, 機器リセットを許容する運用設計 (放射線対策など)</li> <li>・ セーフモードの確実な実現による高次モードへの検証負荷の低減</li> </ul>	

表 5. 1. 2. 1-2 (3/5) HODOYOSHI-3, 4 成功事例分析

プロジェクト No.	2	
プロジェクト名	HODOYOSHI-3, 4	
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀研究室, 次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA)	
事例 No.	3	4
発生年月	2014 年 6 月	2014 年 6 月
区分	運用	運用
成功事例	3 軸姿勢制御による太陽指向	3 軸姿勢制御による地球指向
要因分析	技術的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 経験者, 研究者・技術者の助言に基づいた機器仕様策定</li> <li>・ 使用機器の機能, 環境試験</li> <li>・ 独自整備の制御ロジック, ソフトウェア検証システムによるロジックおよびソフトウェアの検証</li> <li>・ 独自整備の制御ロジック, ソフトウェア検証システムを用いた運用訓練</li> <li>・ 多角的なレビューによるセーフモードの設定</li> <li>・ 実機試験などを用いたモンテカルロシミュレーションによる安全性確認とモード以降手順, パラメータ設定</li> <li>・ 機器動作状態を反映したシミュレーションモデルの更新, 再検証, 運用方針再設計が可能だった</li> </ul>
	人的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 姿勢制御, システム設計に関する大学, メーカーの有識者からレビューを受けることができた</li> <li>・ 主担当者の転職により, 協力機関の学生補助員に遠隔指令を行う形態でのソフトウェア検証試験を行ったため, 模擬遠隔運用訓練と同等な効果をうち上げ前に実施できた</li> <li>・ 主要開発メンバーが類似衛星の開発にもかかわっており, その運用成果を良い形でフィードバックすることができた</li> <li>・ 姿勢制御系担当者がシステム設計や運用計画立案に対してもコアメンバーとなっており, モード設定や運用手順策定も可能だった</li> </ul>
	組織的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, 突発的な不具合対応に対しても個人で閉じる形で迅速に対応を検討可能であった</li> </ul>
	時間的要因	N/A
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運用会議を念入りに行い, システム設計情報や運用方針, ソフトウェア設計情報などの共有を迅速に実施することができた</li> </ul>
信頼性確保の方法 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンピュータシミュレーションによるロジック検討, 同一環境モデルを用いたソフトウェア検証環境の利用, 実機を含める統合システム検証という流れができるシステムを独自に整備し活用した</li> </ul>
	試験実施	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンピュータシミュレーションによるロジック検討, 同一環境モデルを用いたソフトウェア検証環境の利用, 実機を含める統合システム検証という流れができるシステムを独自に整備し活用した</li> </ul>
	製造段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンピュータシミュレーションによるロジック検討, 同一環境モデルを用いたソフトウェア検証環境の利用, 実機を含める統合システム検証という流れができるシステムを独自に整備し活用した</li> <li>・ 最低限の機能の達成を保証するシステム設計を実施した</li> <li>・ 複数回におよぶ多角的なレビューによる設計, 製造検証</li> </ul>
	運用段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運用会議を念入りに行い, システム設計情報や運用方針, ソフトウェア設計情報などの共有を事前に実施することができた</li> <li>・ 主要開発メンバーが類似衛星の開発にもかかわっており, その運用成果を良い形でフィードバックすることができた</li> <li>・ シミュレータに対する軌道上データのフィードバックの実施と再設計, 検証が迅速に実施できた</li> </ul>
コストダウンのポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 民生素子の利用</li> <li>・ システム, 機器リセットを許容する運用設計 (放射線対策など)</li> <li>・ セーフモードの確実な実現による高次モードへの検証負荷の低減</li> </ul>	

表 5.1.2.1-2 (4/5) HODOYOSHI-3, 4 成功事例分析

プロジェクト No.	2	
プロジェクト名	HODOYOSHI-3, 4	
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀研究室, 次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA)	
事例 No.	5	
発生年月	2014 年 6 月	
区分	運用	
成功事例	ミッションデータダウンリンク	
要因分析	技術的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 経験者, ISAS 研究者・技術者の助言に基づいたメーカー選定, 機器仕様策定</li> <li>・ モックアップを用いたアンテナパターンの実測</li> <li>・ 振動, 放射線試験などの環境試験の実施</li> <li>・ アンテナパターン, 搭載機器仕様・実測値, 地上局機器実測値などを用いた回線成立性検討の精査</li> <li>・ 地上局担当者 (RF) との綿密な調整および局設置品と同等の機器による地上電気試験</li> <li>・ CCSDS の機能ブロック図から整理をした段階的なかみ合わせ試験の実施</li> </ul>
	人的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 試験計画策定や機器仕様確定などにおいて経験者やメーカー, ISAS 研究者などの有識人の助言を求めた</li> <li>・ 経験者等が少ない試験の初動においては, 経験者・有識人の参加を依頼した</li> <li>・ 重要な試験は 2 人以上で実施し, 結果の確認を行った</li> <li>・ 機器インターフェイスなどに関して齟齬が無いように関係者との調整を密に行った</li> </ul>
	組織的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 十分な検証試験の実施, 実績のあるメーカーの選定</li> </ul>
	時間的要因	N/A
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 複数システムの重複担当, 複数工程の単一責任者による遂行などによりシステムの不整合要因が排除できた</li> </ul>
信頼性確保の方法 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ JAXA 規定文書などを用いた設計の精査</li> <li>・ 経験者, ISAS 研究者・技術者の助言に基づいたメーカー選定, 機器仕様策定</li> </ul>
	試験実施	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ モックアップを用いたアンテナパターンの実測</li> <li>・ 振動, 放射線試験などの環境試験の実施</li> <li>・ 長期温度サイクル試験の実施</li> <li>・ 地上局担当者 (RF) との綿密な調整および局設置品と同等の機器による地上電気試験</li> <li>・ CCSDS の機能ブロック図から整理をした段階的なかみ合わせ試験の実施</li> <li>・ 経験者, ISAS 研究者・技術者の助言に基づいた検証項目の確認</li> </ul>
	製造段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ メーカーとの密な打合せ</li> </ul>
	運用段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アンテナパターン, 搭載機器仕様・実測値, 地上局機器実測値などを用いた回線成立性検討の精査</li> </ul>
コストダウンのポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 民生素子の利用</li> <li>・ システム, 機器リセットを許容する運用設計 (放射線対策など)</li> <li>・ セーフモードの確実な実現による高次モードへの検証負荷の低減</li> </ul>	



表 5. 1. 2. 1-2 (5/5) HODOYOSHI-3, 4 成功事例分析

プロジェクト No.	2	
プロジェクト名	HODOYOSHI-3, 4	
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀研究室, 次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA)	
事例 No.	6	
発生年月	2014 年 6 月	
区分	運用	
成功事例	軌道上での運用モード再定義	
要因分析	技術的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 経験者, 研究者・技術者の助言に基づいた機器仕様策定</li> <li>・ 使用機器の機能, 環境試験</li> <li>・ 独自整備の制御ロジック, ソフトウェア検証システムによるロジックおよびソフトウェアの検証</li> <li>・ 独自整備の制御ロジック, ソフトウェア検証システムを用いた運用訓練</li> <li>・ 多角的なレビューによるセーフモードの設定</li> <li>・ 実機試験などを用いたモンテカルロシミュレーションによる安全性確認とモード以降手順, パラメータ設定</li> <li>・ 機器動作状態を反映したシミュレーションモデルの更新, 再検証, 運用方針再設計が可能だった</li> <li>・ 軌道上での運用モード更新を視野に入れたパラメータ, ソフトウェア構成の設計を行っており, 迅速な対応が可能であった</li> </ul>
	人的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 姿勢制御, システム設計に関する大学, メーカーの有識者からレビューを受けることができた</li> <li>・ 担当者の転職により, 協力機関の学生補助員に遠隔指令を行う形態でのソフトウェア検証試験を行ったため, 模擬遠隔運用訓練と同等な効果をうち上げ前に実施できた</li> <li>・ 主要開発メンバーが類似衛星の開発にもかかわっており, その運用成果を良い形でフィードバックすることができた</li> <li>・ 姿勢制御系担当者がシステム設計や運用計画立案に対してもコアメンバーとなっており, モード設定や運用手順策定も可能だった</li> </ul>
	組織的要因	・ 少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, 突発的な不具合対応に対しても個人で閉じる形で迅速に対応を検討可能であった
	時間的要因	N/A
	その他	・ 運用会議を念入りに行い, システム設計情報や運用方針, ソフトウェア設計情報などの共有を事前に実施することができた
信頼性確保の方法	設計段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンピュータシミュレーションによるロジック検討, 同一環境モデルを用いたソフトウェア検証環境の利用, 実機を含める統合システム検証という流れができるシステムを独自に整備し活用した</li> <li>・ 最低限の機能の達成を保証するシステム設計を実施した</li> <li>・ 複数回におよぶ多角的なレビューによる設計, 製造検証</li> </ul>
	試験実施	・ コンピュータシミュレーションによるロジック検討, 同一環境モデルを用いたソフトウェア検証環境の利用, 実機を含める統合システム検証という流れができるシステムを独自に整備し活用した
	製造段階	・ コンピュータシミュレーションによるロジック検討, 同一環境モデルを用いたソフトウェア検証環境の利用, 実機を含める統合システム検証という流れができるシステムを独自に整備し活用した
	運用段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運用会議を念入りに行い, システム設計情報や運用方針, ソフトウェア設計情報などの共有を事前に実施することができた</li> <li>・ 主要開発メンバーが類似衛星の開発にもかかわっており, その運用成果を良い形でフィードバックすることができた</li> </ul>
コストダウンのポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 民生素子の利用</li> <li>・ システム, 機器リセットを許容する運用設計 (放射線対策など)</li> <li>・ セーフモードの確実な実現による高次モードへの検証負荷の低減</li> </ul>	

表 5.1.2.1-3 ほどよし 1号機・推進系 成功事例分析

プロジェクト No.	3	
プロジェクト名	ほどよし 1号機・推進系	
責任機関（実施の中心機関）	東京都立大学 佐原研究室	
事例 No.	1	
発生年月	2014 年～2020 年	
区分	サブシステム（推進系）	
成功事例	一液式推進系について、上記の期間内で複数回、本学と AXELSPACE の共同で軌道上作動を行い、これに成功した。また衛星軌道の変化も観察された。	
要因分析	技術的要因	・ JAXA 文書を十分に読み込み、打上機は Dnepr であったが、適用した。
	人的要因	・ 本衛星に搭載までに当研究室内での基礎研究の一環として、十分な推進系のシステム検討と推進剤に関する知見、経験を教員及び学生が有していた。
	組織的要因	・ 開発の責任は教員のみが有し、学生は自身の学位論文のための研究として開発及び試験に専念できた。
	時間的要因	・ 製作や購入、輸出に係る手続きは AXELSPACE 社にて行って頂いたことで、経験の浅い当方が行うよりも必要期間の短縮ができた。
	その他	・ 先行していた UNIFORM-1 のための推進系で JAXA での安全審査及び貴重な助言等、またこの推進系の開発失敗は、以後の開発のための Lessons Learned として大きく貢献している。
信頼性確保の方法	設計段階	・ 先行していた UNIFORM-1 推進系での知見、経験を活用、反映した。 ・ 電磁弁システム、タンクシールの冗長化により、内部・外部リークに対するフェイルセーフを確保した。 ・ 電子系については、フラグ&プレイ（プラグ&プレイではない）を適用した。
	試験実施	N/A
	製造段階	・ 内製は極力減らした。
	運用段階	・ 当初は短秒時噴射に留めた。そのデータを十分吟味した上で、後日、長秒時噴射を行った。
コストダウンのポイント	・ EM を FM 化した。即ち、当初より EFM として製造したことでコストダウンを図った（但し、UNIFORM-1 ではこのことが原因で開発失敗となる。本推進系ではその原因箇所を改善している）。	

表 5.1.2.1-4 ほどよし 3号機・推進系 成功事例分析

プロジェクト No.	4	
プロジェクト名	ほどよし 3号機・推進系	
責任機関（実施の中心機関）	東京都立大学 佐原研究室	
事例 No.	1	
発生年月	2014 年～2015 年	
区分	サブシステム（推進系）	
成功事例	一液式推進系について、上記の期間内で複数回、本学と NESTRA 等の共同で軌道上作動を行い、これに成功した。	
要因分析	技術的要因	・ JAXA 文書を十分に読み込み、打上機は Dnepr であったが、適用した。
	人的要因	・ 本衛星に搭載までに当研究室内での基礎研究の一環として、十分な推進系のシステム検討と推進剤に関する知見、経験を教員及び学生が有していた。
	組織的要因	・ 開発の責任は教員のみが有し、学生は自身の学位論文のための研究として開発及び試験に専念できた。
	時間的要因	・ 製作や購入、輸出に係る手続きは NESTRA にて行って頂いたことで、経験の浅い当方が行うよりも必要期間の短縮ができた。
	その他	・ 先行していた超小型衛星のための推進系で JAXA での安全審査及び貴重な助言等、またこの推進系の開発失敗は、以後の開発のための Lessons Learned として大きく貢献している。
信頼性確保の方法 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	・ 先行していた超小型衛星推進系での知見、経験を活用、反映した。 ・ 電磁弁システム、タンクシールの冗長化により、内部・外部リークに対するフェイルセーフを確保した。 ・ 電子系については、フラグ&プレイ（プラグ&プレイではない）を適用した。
	試験実施	N/A
	製造段階	・ 内製は極力減らした。
	運用段階	・ 当初は短秒時噴射に留めた。そのデータを十分吟味した上で、後日、長秒時噴射を行った。
コストダウンのポイント	・ EM を FM 化した。即ち、当初より EFM として製造したことでコストダウンを図った（但し、先行していた超小型衛星ではこのことが原因で開発失敗となる。本推進系ではその原因箇所を改善している）。	

表 5.1.2.1-5(1/4) UNIFORM-1 成功事例分析

プロジェクト No.	5	
プロジェクト名	UNIFORM-1	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀研究室，次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA)，和歌山大学	
事例 No.	1	
発生年月	2014 年 5 月	
区分	運用	
成功事例	継続的な S 帯通信の確立	
要因分析	技術的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 経験者，ISAS 研究者・技術者の助言に基づいたメーカー選定，機器仕様策定</li> <li>・ モックアップを用いたアンテナパターンの実測</li> <li>・ 振動，放射線試験などの環境試験の実施</li> <li>・ 長期温度サイクル試験の実施</li> <li>・ アンテナパターン，搭載機器仕様・実測値，地上局機器実測値などを用いた回線成立性検討の精査</li> <li>・ 地上局担当者（RF，ソフトウェア）との綿密な調整および局設置品と同等の機器による地上電気試験</li> <li>・ CCSDS の機能ブロック図から整理をした段階的なかみ合わせ試験の実施</li> </ul>
	人的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 試験計画策定や機器仕様確定などにおいて経験者やメーカー，ISAS 研究者などの有識人の助言を求めた</li> <li>・ 経験者等が少ない試験の初動においては，経験者・有識人の参加を依頼した</li> <li>・ 重要な試験は 2 人以上で実施し，結果の確認を行った。</li> <li>・ 機器インターフェイスなどに関して齟齬が無いように関係者との調整を密に行った</li> </ul>
	組織的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ チーム内の情報共有は密にし，情報集約がシングルポイントとならないようにした。また，ミッション責任者に情報を集約，情報共有を密にし，全体計画との齟齬がないことを確認しつつ進めた</li> <li>・ 少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため，システム間の不整合などの発生は排除できた。</li> </ul>
	時間的要因	N/A
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ チーム内，チーム間の密な情報共有を行うために平日の朝夕に情報共有会を実施した。</li> <li>・ 複数システムの重複担当，複数工程の単一責任者による遂行などによりシステムの不整合要因が排除できた</li> </ul>
信頼性確保の方法 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ JAXA 規定文書などを用いた設計の精査</li> <li>・ 経験者，ISAS 研究者・技術者の助言に基づいたメーカー選定，機器仕様策定</li> </ul>
	試験実施	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ モックアップを用いたアンテナパターンの実測</li> <li>・ 振動，放射線試験などの環境試験の実施</li> <li>・ 長期温度サイクル試験の実施</li> <li>・ 地上局担当者（RF，ソフトウェア）との綿密な調整および局設置品と同等の機器による地上電気試験</li> <li>・ CCSDS の機能ブロック図から整理をした段階的なかみ合わせ試験の実施</li> <li>・ 経験者，ISAS 研究者・技術者の助言に基づいた検証項目の確認</li> </ul>
	製造段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ メーカーへの過度な製造過程記録要求の排除</li> <li>・ 統合可能な機器に関する EM の統合</li> </ul>
	運用段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アンテナパターン，搭載機器仕様・実測値，地上局機器実測値などを用いた回線成立性検討の精査および運用条件の策定</li> <li>・ 経験者の助言に基づいた運用会議</li> </ul>
コストダウンのポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 民生素子の利用</li> <li>・ システム，機器リセットを許容する運用設計（放射線対策など）</li> <li>・ セーフモードの確実な実現による高次モードへの検証負荷の低減</li> </ul>	

表 5.1.2.1-5 (2/4) UNIFORM-1 成功事例分析

プロジェクト No.	5	
プロジェクト名	UNIFORM-1	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀研究室，次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA)，和歌山大学	
事例 No.	2	
発生年月	2014年5月	
区分	運用	
成功事例	スピン太陽指向の継続的な達成	
要因分析	技術的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・経験者，研究者・技術者の助言に基づいた機器仕様策定</li> <li>・使用機器の機能，環境試験</li> <li>・独自整備の制御ロジック，ソフトウェア検証システムによるロジックおよびソフトウェアの検証</li> <li>・独自整備の制御ロジック，ソフトウェア検証システムを用いた運用訓練</li> <li>・多角的なレビューによるセーフモードの設定</li> <li>・実機試験などを用いたモンテカルロシミュレーションによる安全性確認とモード以降手順，パラメータ設定</li> <li>・綿密な初期運用訓練</li> </ul>
	人的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・姿勢制御，システム設計に関する大学，メーカーの有識者からレビューを受けることができた</li> <li>・主担当者の転職により，協力機関の学生補助員に遠隔指令を行う形態でのソフトウェア検証試験を行ったため，模擬遠隔運用訓練と同等な効果をうち上げ前に実施できた</li> <li>・ミッション担当者を中心とした綿密な初期運用訓練を行うことができた</li> </ul>
	組織的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・姿勢制御，システム設計に関する大学，メーカーの有識者が組織内に存在しており，よい議論ができていた</li> </ul>
	時間的要因	N/A
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運用会議を念入りに行い，システム設計情報や運用方針，ソフトウェア設計情報などの共有を事前に実施することができた</li> </ul>
信頼性確保の方法 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンピュータシミュレーションによるロジック検討，同一環境モデルを用いたソフトウェア検証環境の利用，実機を含める統合システム検証という流れができるシステムを独自に整備し活用した</li> <li>・最低限の機能の達成を保証するシステム設計を実施した</li> <li>・複数回におよぶ多角的なレビューによる設計，製造検証</li> </ul>
	試験実施	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンピュータシミュレーションによるロジック検討，同一環境モデルを用いたソフトウェア検証環境の利用，実機を含める統合システム検証という流れができるシステムを独自に整備し活用した</li> </ul>
	製造段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンピュータシミュレーションによるロジック検討，同一環境モデルを用いたソフトウェア検証環境の利用，実機を含める統合システム検証という流れができるシステムを独自に整備し活用した</li> <li>・最低限の機能の達成を保証するシステム設計を実施した</li> <li>・複数回におよぶ多角的なレビューによる設計，製造検証</li> </ul>
	運用段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運用会議を念入りに行い，システム設計情報や運用方針，ソフトウェア設計情報などの共有を事前に実施することができた</li> </ul>
コストダウンのポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・民生素子の利用</li> <li>・システム，機器リセットを許容する運用設計（放射線対策など）</li> <li>・セーフモードの確実な実現による高次モードへの検証負荷の低減</li> </ul>	



表 5.1.2.1-5(3/4) UNIFORM-1 成功事例分析

プロジェクト No.	5	
プロジェクト名	UNIFORM-1	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀研究室，次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA)，和歌山大学	
事例 No.	3	4
発生年月	2014 年 6 月	2014 年 6 月
区分	運用	運用
成功事例	3 軸姿勢制御による太陽指向	3 軸姿勢制御による地球指向
要因分析	技術的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 経験者，研究者・技術者の助言に基づいた機器仕様策定</li> <li>・ 使用機器の機能，環境試験</li> <li>・ 独自整備の制御ロジック，ソフトウェア検証システムによるロジックおよびソフトウェアの検証</li> <li>・ 独自整備の制御ロジック，ソフトウェア検証システムを用いた運用訓練</li> <li>・ 多角的なレビューによるセーフモードの設定</li> <li>・ 実機試験などを用いたモンテカルロシミュレーションによる安全性確認とモード以降手順，パラメータ設定</li> <li>・ 機器動作状態を反映したシミュレーションモデルの更新，再検証，運用方針再設計が可能だった</li> </ul>
	人的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 姿勢制御，システム設計に関する大学，メーカーの有識者からレビューを受けることができた</li> <li>・ 主担当者の転職により，協力機関の学生補助員に遠隔指令を行う形態でのソフトウェア検証試験を行ったため，模擬遠隔運用訓練と同等な効果をうち上げ前に実施できた</li> <li>・ 主要開発メンバーが類似衛星の開発にもかかわっており，その運用成果を良い形でフィードバックすることができた</li> <li>・ 姿勢制御系担当者がシステム設計や運用計画立案に対してもコアメンバーとなっており，モード設定や運用手順策定も可能だった</li> </ul>
	組織的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため，突発的な不具合対応に対しても個人で閉じる形で迅速に対応を検討可能であった</li> </ul>
	時間的要因	N/A
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運用会議を念入りに行い，システム設計情報や運用方針，ソフトウェア設計情報などの共有を迅速に実施することができた</li> </ul>
信頼性確保の方法 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンピュータシミュレーションによるロジック検討，同一環境モデルを用いたソフトウェア検証環境の利用，実機を含める統合システム検証という流れができるシステムを独自に整備し活用した</li> </ul>
	試験実施	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンピュータシミュレーションによるロジック検討，同一環境モデルを用いたソフトウェア検証環境の利用，実機を含める統合システム検証という流れができるシステムを独自に整備し活用した</li> </ul>
	製造段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンピュータシミュレーションによるロジック検討，同一環境モデルを用いたソフトウェア検証環境の利用，実機を含める統合システム検証という流れができるシステムを独自に整備し活用した</li> <li>・ 最低限の機能の達成を保証するシステム設計を実施した</li> <li>・ 複数回におよぶ多角的なレビューによる設計，製造検証</li> </ul>
	運用段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運用会議を念入りに行い，システム設計情報や運用方針，ソフトウェア設計情報などの共有を事前に実施することができた</li> <li>・ 主要開発メンバーが類似衛星の開発にもかかわっており，その運用成果を良い形でフィードバックすることができた</li> <li>・ シミュレータに対する軌道上データのフィードバックの実施と再設計，検証が迅速に実施できた</li> </ul>
コストダウンのポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 民生素子の利用</li> <li>・ システム，機器リセットを許容する運用設計（放射線対策など）</li> <li>・ セーフモードの確実な実現による高次モードへの検証負荷の低減</li> </ul>	

表 5.1.2.1-5(4/4) UNIFORM-1 成功事例分析

プロジェクト No.	5	
プロジェクト名	UNIFORM-1	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀研究室，次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA)，和歌山大学	
事例 No.	5	
発生年月	2014 年 5 月	
区分	運用	
成功事例	ミッションデータダウンリンク	
要因分析	技術的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 経験者，メーカー関係者との調整による機器仕様策定</li> <li>・ モックアップを用いたアンテナパターンの実測</li> <li>・ 振動，放射線試験などの環境試験の実施</li> <li>・ アンテナパターン，搭載機器仕様・実測値，地上局機器実測値などを用いた回線成立性検討の精査</li> <li>・ 地上局担当者（RF）との綿密な調整および局設置品と同等の機器による地上電気試験</li> <li>・ CCSDS の機能ブロック図から整理をした段階的なかみ合わせ試験の実施</li> </ul>
	人的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 試験計画策定において経験者やメーカーを中心とした検証計画を立案し，不具合改修が容易な体制を構築した</li> <li>・ 機器インターフェイスなどに関して齟齬が無いように関係者との調整を密に行った</li> </ul>
	組織的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 十分な検証試験の実施，実績のあるメーカーの選定</li> </ul>
	時間的要因	N/A
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 複数システムの重複担当，複数工程の単一責任者による遂行などによりシステムの不整合要因が排除できた</li> </ul>
信頼性確保の方法 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ JAXA 規定文書などを用いた設計の精査</li> <li>・ メーカー，ミッション関連機器担当者を主導としたサブシステムクローズド試験</li> <li>・ 地上局でのかみ合わせ試験</li> </ul>
	試験実施	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ モックアップを用いたアンテナパターンの実測</li> <li>・ 振動，放射線試験などの環境試験の実施</li> <li>・ 長期温度サイクル試験の実施</li> <li>・ 地上局担当者（RF）との綿密な調整および局設置品と同等の機器による地上電気試験</li> <li>・ CCSDS の機能ブロック図から整理をした段階的なかみ合わせ試験の実施</li> <li>・ 経験者，メーカー技術者を中心とした検証試験の実現</li> </ul>
	製造段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ メーカーとの密な打合せ</li> </ul>
	運用段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アンテナパターン，搭載機器仕様・実測値，地上局機器実測値などを用いた回線成立性検討の精査</li> </ul>
コストダウンのポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 民生素子の利用</li> <li>・ システム，機器リセットを許容する運用設計（放射線対策など）</li> <li>・ セーフモードの確実な実現による高次モードへの検証負荷の低減</li> </ul>	

表 5.1.2.1-6(1/2) XI-IV 成功事例分析

プロジェクト No.	6	
プロジェクト名	XI-IV	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀・船瀬研究室	
事例 No.	1	
発生年月	N/A	
区分	N/A	
成功事例	(プロジェクト全体の成功に関する分析)	
要因分析	技術的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・初めてのプロジェクトであるので、凝ったミッションを狙わず、バスが生き残るための設計に全力を傾けたことが勝因</li> <li>・限られたリソースの中で、相互監視など最大限のサバイバビリティの追及をおこなったこと</li> <li>・放射線試験を早期に実施して、耐放射線性の高いCPUを選べた。</li> <li>・カメラミッションは入れていたが、間に合わなければ搭載しないという厳しい条件をつけて実施した。結果としては採用した。</li> </ul>
	人的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・世界初の1kg衛星の開発をやっているというフロンティアスピリットが強いモチベーションにつながり、学生がこの開発に集中した</li> <li>・ほとんど研究はそっちのけで、衛星開発に集中した時期が結構あった（合計で1年くらい）。</li> </ul>
	組織的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・教員も学生も初めての衛星開発だったので、一緒になって勉強して進めていった。</li> <li>・学生に意思決定の主体にならせることで、学生に責任感を持たせ、逆に自分の意志で新しいことに挑戦できる自由度があったことも重要。</li> </ul>
	時間的要因	N/A
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発内容を開発途中から仕様書に記載していき、全員でそれを共有した。</li> <li>・外部の専門家に来てもらって PDR、GDR などのレビュー会を実施し、フィードバックをもらった</li> </ul>
信頼性確保の方法 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・衛星の軌道上でのサバイバビリティに徹したことで、衛星は17年を超えて健康に生き続けている。以下にそのいくつかを載せる</li> <li>ーPIC プロセッサ (PIC16F877) を3台、C&amp;DH、送信機、受信機に配置し、それぞれのサブシステムの作業をすると同時に他の系の動作を監視し、異常時（ハングアップ時）にはその系の電源系を OFF-ON（リセット）することで健全性を維持（相互監視）。また、過電流も同様に相互監視し、見つかったら迅速にリセットをかけて SEE に対策。（図参照）</li> <li>・全体の発生電力の見込みが平均 0.8W(食も考慮)なので、その中ですべての作業を実施すべく、小消費電力機器の利用に心がけた。特に PIC16F877 は数mW の消費電力であり、3個あっても非常に小さい。また、NASDA の Cf の放射線試験装置での実験で、非常に耐放射線性が高いことが分かったので、それを採用した。実際に軌道上で17年間にわかり放射線現象は一回もなし。</li> </ul>
	試験実施	<ul style="list-style-type: none"> <li>・必要な環境試験はほぼすべて実施した。熱真空は1kg衛星で必要かどうか議論があったが、外部の人の助言もあり宇宙研で実施させてもらった。</li> <li>・通信が企業との新規開発品だったので、気球で40kmまで上げた衛星モデルと東大局の間で直線500kmの通信実験を実施し、システム設計なども含めて大きな自信を得る子tができたことが大きかった</li> </ul>
	製造段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・クリーンブースの利用（100万円以下で自前で作った）</li> <li>・クリーンシャツなどは企業からお古をもらって使った</li> </ul>
	運用段階	N/A
コストダウンのポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・冗長系は廃止し（もともとサイズが小さいので冗長系は無理）、機能冗長とリセットを多用した</li> </ul>	



表 5.1.2.1-6(2/2) XI-IV 成功事例分析

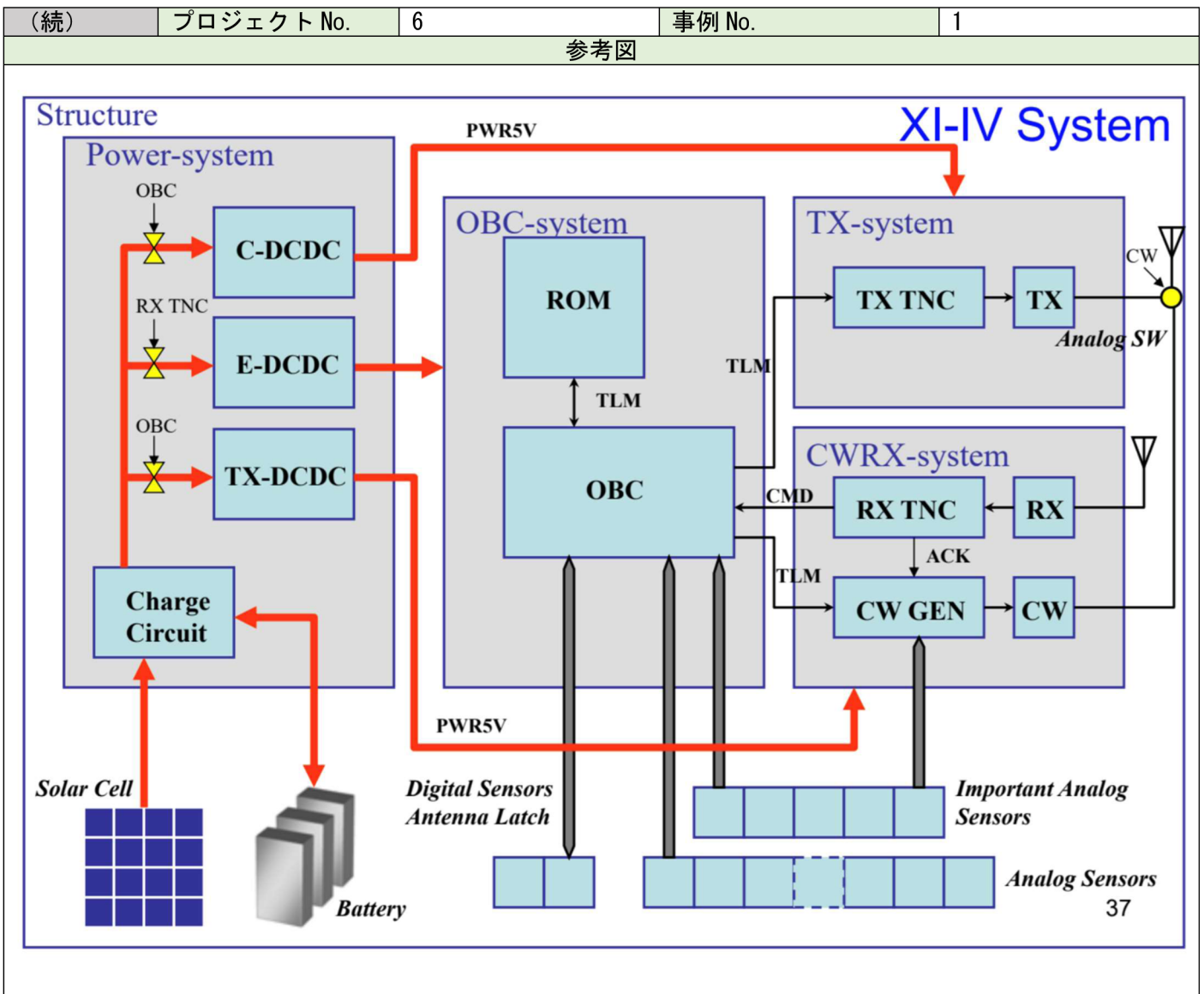


表 5.1.2.1-7(1/5) PRISM 成功事例分析

プロジェクト No.		7	
プロジェクト名		PRISM/ひとみ	
責任機関（実施の中心機関）		東京大学中須賀・船瀬研究室	
事例 No.		1	2
発生年月		2009 年	2009 年
区分		運用	運用
成功事例		初期運用後、望遠鏡のための伸展ブームの展開に成功した。	伸展ブームによる望遠鏡を用いて 30m(20m) 分解能の地上画像取得に成功した。
要因分析	技術的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ PDR, CDR にてレビューを受けたこと</li> <li>・ 展開試験を何度も実施し展開挙動の把握につとめた。最終的には OG 環境におけるパラボリックフライトでの展開試験を実施し展開挙動を確認した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 全ての不具合を記録し漏れなく解決したこと →不具合管理表により不具合を再現可能なように記録をとり抜けなく全ての不具合を解消するよう努めた。</li> <li>・ 打ち上げ後、不具合を想定し慎重に運用を進めたこと →電源を入れるコンポーネントの順番などを検討し、動作させる場合も万が一に備えて成功可否に関わらず停止させるなど慎重に運用を進めた。</li> </ul>
	人的要因	各要素を自分達の研究テーマと関連づけることで、自分達の衛星という意識を持つことができ、モチベーションを維持できた。	各要素を自分達の研究テーマと関連づけることで、自分達の衛星という意識を持つことができ、モチベーションを維持できた。
	組織的要因	学生が開発の主体となる衛星であり、自分達の衛星という意識で開発を進めることができた。開発に必要な予算については教員で十分に準備して頂き学生が心配する必要はなかった。	学生が開発の主体となる衛星であり、自分達の衛星という意識で開発を進めることができた。開発に必要な予算については教員で十分に準備して頂き学生が心配する必要はなかった。
	時間的要因	重要な試験（パラボリックフライト等）においては、短期的にタスクをこなすチームを編成し作業を集中して行った。	マイルストーンを設定し必ず守るように作業を進めることができた。（一部守れなかったところについては開発メンバーで互いに助け合った）
	その他	N/A	最後に重要なのは熱意だと思います。
信頼性確保の方法 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	PDR や CDR を実施し、過去に超小型衛星を開発した経験のある先輩の研究者やエンジニアの方のレビューを受けた。	PDR や CDR を実施し、過去に超小型衛星を開発した経験のある先輩の研究者やエンジニアの方のレビューを受けた。
	試験実施	OG 環境のパラボリックフライトによる伸展ブームの展開試験を実施するなど、ミッション達成に重要な項目については比較的 E2E に近い試験を実施した	OG 環境のパラボリックフライトによる伸展ブームの展開試験を実施するなど、ミッション達成に重要な項目については比較的 E2E に近い試験を実施した
	製造段階	N/A	MOBC など衛星動作に重要な素子については放射線耐性を確認したロット管理品を使用することで放射線耐性確保に努めた。
	運用段階	N/A	打ち上げ後、不具合を想定し慎重に運用を進めた。
コストダウンのポイント		N/A	N/A

表 5.1.2.1-7(2/5) PRISM 成功事例分析

プロジェクト No.		7	
プロジェクト名		PRISM/ひとみ	
責任機関 (実施の中心機関)		東京大学中須賀・船瀬研究室	
事例 No.		3	4
発生年月		2009 年	2009 年
区分		運用	運用
成功事例		初期運用時において磁気トルカ (Bodt 則) により能動的に角速度レートを低減することに成功した。	初期運用時において磁気トルカ (クロスプロダクト則) により能動的に角速度レートを低減することに成功した。
要因分析	技術的要因	・原理上、制御ゲインの符号を正に設定することはないが、万が一に備えてゲインの符号を正に設定できるようにしておいた。結果的には磁気トルカが想定と反対に取り付けられており、制御ゲインの符号を反対に設定することで Bodt 則による角速度レート低減に成功した。	・ジャイロセンサー、磁気センサーなどシステムブロック図からどの部分をループシミュレータで確認しどの部分を実験で確認するのか試験計画を綿密にたてた。 ・時間がなくても可能な限り簡易化したループシミュレータを構築し、ソフトウェアの動作を試験により確認した。
	人的要因	・開発課程で多くの失敗や不具合があり、軌道上でも同じような不具合が生じる可能性を考慮することができた。	担当学生の修士論文の研究テーマと内容が近く、担当学生のモチベーションを維持することができた。
	組織的要因	姿勢決定制御系を担当したのは最終的にはほぼ 1 名~2 名であり、開発人数としては決して多くはなかった。ただしモチベーションのある学生が担当した。	姿勢決定制御系を担当したのは最終的にはほぼ 1 名~2 名であり、開発人数としては決して多くはなかった。ただしモチベーションのある学生が担当した。
	時間的要因	時間がなかったが、開発課程で多くの失敗や不具合があることを考慮し、慎重に考える時間を設けた。(手を抜かなかった)	開発や試験のための時間は不足していたが、その状況を早めに認識していた。他プロジェクトより借用したシミュレータを改造してループシミュレータを準備することで、必要な時間の短縮を図った。
	その他	N/A	N/A
信頼性・試験の方法 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	・失敗や不具合が起きることを想定して、可能な限り多くのパラメータを可変に変更範囲を大きくするように設定しておいた。	数値シミュレーションにより、H/W 要求を定量化し機器を選定した。
	試験実施	・時間がなくても可能な限り簡易化したループシミュレータを構築し、ソフトウェアの動作を試験により確認した。 ・ループシミュレータにより不具合時にパラメータを変更して対処する試験も数回だが実施しておいた。 ・衛星を手動で回転させ意図した磁気モーメントが出力することを確認し可能な限り E2E に近い状況での試験を行った。	・時間がなくても可能な限り簡易化したループシミュレータを構築し、ソフトウェアの動作を試験により確認した。  ・衛星を手動で回転させ意図した磁気モーメントが出力することを確認し可能な限り E2E に近い状況での試験を行った。
	製造段階	ゲインなどのパラメータを本来設定しない負の値にも設定できるようにして、万が一に備えておいた	ゲインなどのパラメータを本来設定しない負の値にも設定できるようにして、万が一に備えておいた
	運用段階	打ち上げ後、はじめに姿勢決定系だけを ON して正常動作を確認、さらに磁気トルカを短時間 ON して様子を見るなど慎重に運用を進めて姿勢制御系の成功に繋がった。	打ち上げ後、はじめに姿勢決定系だけを ON して正常動作を確認、さらに磁気トルカを短時間 ON して様子を見るなど慎重に運用を進めて姿勢制御系の成功に繋がった。
コストダウンのポイント		他の衛星プロジェクトから姿勢決定制御系のシミュレータを借用し共用できたことで、コスト (時間) を抑えることができた。	他の衛星プロジェクトから姿勢決定制御系のシミュレータを借用し共用できたことで、コスト (時間) を抑えることができた。

表 5.1.2.1-7(3/5) PRISM 成功事例分析

プロジェクト No.	7		
プロジェクト名	PRISM/ひとみ		
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀・船瀬研究室		
事例 No.	5	6	
発生年月	2009 年	2009 年	
区分	運用	運用	
成功事例	残留磁気モーメントの推定	残留磁気モーメントの補償	
要因分析	技術的要因	事前に外乱トルク計算を入念に実施し、磁気外乱トルクが大きな効果をもつことを把握しておいたため、作業開始時期は遅くなったものの、検討など準備を進めておくことができた。	磁気外乱トルクの補償に簡易な構造で可動部のない磁気トルカを用いた。一定出力で磁気モーメントを補償可能なので複雑なソフトウェアも必要なく簡易なソフトウェアを用いることができた。
	人的要因	担当学生の修士論文の研究テーマと内容が近く、担当学生のモチベーションを維持することができた。	担当学生の修士論文の研究テーマと内容が近く、担当学生のモチベーションを維持することができた。
	組織的要因	姿勢決定制御系を担当したのは最終的にはほぼ 1 名～2 名であり、開発人数としては決して多くはなかった。ただしモチベーションのある学生が担当した。	姿勢決定制御系を担当したのは最終的にはほぼ 1 名～2 名であり、開発人数としては決して多くはなかった。ただしモチベーションのある学生が担当した。
	時間的要因	教科書を鵜呑みにせず、自分で計算し予め検討するなど準備しておいたこと。時間は厳しかったが慌てず開発を進めることができた。	シッパメント直前の開発となったが、アルゴリズム自体は単純であったため、簡易な搭載ソフトウェアの開発のみで済ませることができた。
	その他	N/A	N/A
信頼性確保の方法 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	関連するパラメータは全てアップリンクで変更可能となるようにした。	関連するパラメータは全てアップリンクで変更可能となるようにした。
	試験実施	N/A	N/A
	製造段階	ループシミュレータにより動作を確認した。	実機で磁気トルカを一定出力させ、指令した磁気モーメントを出力できているかガウスメータで確認した。
	運用段階	キャリブレーション前にそもそもセンサーの出力値に極性間違いがないか、センサー出力値同士を比較して確認した。	磁気トルカ出力時に最初から大きな磁気モーメントを出力するのではなく、小さな磁気モーメントをテストで出力して衛星姿勢挙動を確認した。
コストダウンのポイント	N/A	N/A	

表 5.1.2.1-7(4/5) PRISM 成功事例分析

プロジェクト No.	7	
プロジェクト名	PRISM/ひとみ	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀・船瀬研究室	
事例 No.	7	
発生年月	2009 年	
区分	運用	
成功事例	ジャイロセンサー・磁気センサーキャリブレーション	
要因分析	技術的要因	過去の文献を早めに調査し従来手法とその課題をまとめておいたこと。また、一部のセンサーが動作しないときのことも想定してアルゴリズムを組んでおいた。
	人的要因	担当学生の修士論文の研究テーマと内容が近く、担当学生のモチベーションを維持することができた。
	組織的要因	姿勢決定制御系を担当したのは最終的にはほぼ1名～2名であり、開発人数としては決して多くはなかった。ただしモチベーションのある学生が担当した。
	時間的要因	シップメント直前の開発となったが、概念検討を終わらすことができ実施すべきタスクまで分解できていたので効率よく作業を進めることができた。
	その他	N/A
設計・試験・製造・運用段階における信頼性確保の方法	設計段階	一部のセンサーが動作しない場合の対処も考えておいた。（実際には太陽センサー参照情報として用いることができず、IGRF モデルを参照情報とした）
	試験実施	N/A
	製造段階	キャリブレーションアルゴリズムについては、手で衛星筐体をうごかすことで姿勢変化に感度のあるパラメータを推定可能であることを確認した。E2E に近い試験を実施することができた。
	運用段階	キャリブレーション前にそもそもセンサーの出力値に極性間違いがないか、センサー出力値同士を比較して確認した。
コストダウンのポイント	N/A	



表 5.1.2.1-7(5/5) PRISM 成功事例分析

プロジェクト No.		7
プロジェクト名		PRISM/ひとみ
責任機関 (実施の中心機関)		東京大学中須賀・船瀬研究室
事例 No.		8
発生年月		N/A
区分		N/A
成功事例 (プロジェクト全体の成功に関する分析)		
要因分析	技術的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 前に行ったプロジェクトでのヘリテージをできるだけ活用し、新しく入れる部分は、信頼性に十分配慮した。PICによる監視などがその例</li> <li>・ 限られたリソースの中で、相互監視など最大限のサバイバビリティの追及をおこなったこと</li> <li>・ 新規に使う CPU などは放射線試験を早期に実施して、耐放射線性のある程度ある CPU を選べた。SH2 は数日に一回の SEE が予想されたが運用に支障がないと考えて採用した</li> </ul>
	人的要因	N/A
	組織的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 衛星開発経験者はサブシステムリーダーとしてサブシステムの設計製作に全責任を持って進め、その中でモチベーションが高い学生がプロマネを実施した。経験の少ない学生はまずはサブシステムの一員となって衛星開発を勉強した。</li> <li>・ 経験者が未経験者に教えていく文化が定着してきているので、それも効果的であった</li> </ul>
	時間的要因	N/A
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 開発内容を開発途中から仕様書に記載していき、全員でそれを共有した。</li> <li>・ 外部の専門家に来てもらって PDR、CDR などのレビュー会を実施し、フィードバックをもらった</li> </ul>
設計・試験・製造・運用段階における信頼性確保の方法	設計段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ XI-IV, XI-V で軌道上実証し、非常に強いことが判明している PIC プロセッサ (PIC16F877) を 2 台、最も大事な受信機制御の CPU に配置し、受信機だけ冗長系にした。新たに搭載した H8 プロセッサ (送信機と電源制御系に入れる) と SH2 プロセッサ (姿勢制御系) の動作を監視し、異常があったらそれをリセットする役割をこの PIC には与えた。逆向きの監視は行わない。この PIC を「神」と呼んで、ここに全幅の信頼をおいた。(図参照)</li> <li>・ XI-IV, XI-V での開発経験やノウハウを最大限生かした。</li> </ul>
	試験実施	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 伸展ブームは新規開発要素が多かったため、その試験を十分行った。地上での試験だけでなく、JAXA の競争的資金に応募し、パラボリックフライトにより無重量下での挙動を試験し、再現性がある展開ができることを確認できたのは大きかった</li> </ul>
	製造段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ クリーンブースの利用 (XI シリーズで作ったものを利用)</li> <li>・ クリーンシャツなどは企業からお古をもらって使った</li> </ul>
	運用段階	N/A
コストダウンのポイント		N/A

表 5.1.2.1-8 TRICOM-1, 熱真空試験 成功事例分析

プロジェクト No.	8	
プロジェクト名	TRICOM-1, 熱真空試験	
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀・船瀬研究室	
事例 No.	1	
発生年月	2016年11月	
区分	地上試験	
成功事例	FM システムでの熱数学モデル検証および低温真空環境下動作試験	
要因分析	技術的要因	最小限の試験構成の検討, 目的を絞った試験計画を立案, 遂行することで少人数・短かい準備・試験期間であっても意味のある試験が実施できた
	人的要因	人員は不足, 日程はギリギリであった
	組織的要因	試験装置は違ったが, 類似試験の経験者によるチームであった
	時間的要因	N/A
	その他	N/A
信頼性確保の方法 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	N/A
	試験実施	技術文書, 過去の知見などから試験項目の精査を実施した
	製造段階	既存治具や過去の経験などを精査し, 事前に手順と目的を共有することによって検証がきちんと行えるようにした
	運用段階	JAXA 基準文書や他のプロジェクトの情報などから必要最小限の試験検証項目・条件を精査した 経験者への助言・作業への参加を求めた
コストダウンのポイント	N/A	

表 5.1.2.1-9 TRICOM-1R 成功事例分析

プロジェクト No.	9	
プロジェクト名	TRICOM-1R	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀・船瀬研究室	
事例 No.	1	
発生年月	N/A	
区分	N/A	
成功事例	（プロジェクト全体の成功に関する分析）	
要因分析	技術的要因	・ シンプルな設計で、冗長系を廃し、リセットを多用したことがよかった。 ・ 宇宙実績品を使った。そうでない、SH3だけがしばらくして使えなくなり（多分、放射線の影響）それに関するミッションができなくなったが、それ以外のミッションは問題なく実施できた。CPU も分けておいたのがよかった。
	人的要因	・ 宇宙研の構造系の教員（峯杉先生）が特に構造に関してレビューしてくれ、アドバイスをくれたことはよかった。
	組織的要因	N/A
	時間的要因	N/A
	その他	N/A
設計・試験・製造・運用段階における信頼性確保の方法	設計段階	N/A
	試験実施	N/A
	製造段階	N/A
	運用段階	N/A
コストダウンのポイント	N/A	



表 5.1.2.1-10 (1/2) PROCYON 成功事例分析

プロジェクト No.	10	
プロジェクト名	PROCYON	
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀・船瀬研究室	
事例 No.	1	2
発生年月	2014 年 12 月 3 日の打ち上げ	2014 年 12 月 4 日以降
区分	システム	推進系サブシステム+姿勢制御サブシステム
成功事例	PROCYON の打ち上げに成功し、打ち上げ直後の第一可視で電波の受信に成功。第一可視で取得したテレメトリから、太陽電池が正しく展開、太陽捕捉姿勢制御が成功し電力収支もプラスであることが確認できた。探査機温度も想定範囲内に入っており、探査機生存に必要な基本機能が全て満足していることが確認できた。ヒーター制御、バッテリー充放電などの健全性も確認した。	CGJ 推進系による RW アンローディングに成功した。以降、探査機全体の角運動量を適切に管理できるようになった
事例 No.	3	4
発生年月	2014 年 12 月 6 日から 2014 年 12 月 9 日	2014 年 12 月 11 日以降
区分	姿勢制御サブシステム	姿勢制御サブシステム、ミッションサブシステム
成功事例	太陽捕捉姿勢状態でスターセンサの電源投入・正常動作確認に成功し、三軸姿勢制御モードに入った。三軸姿勢制御モード状態での目標姿勢変更に成功し、MGA(Middle Gain Antenna)を地球に指向させ、地上局と通信することに成功した。	カルマンフィルタを用いた高精度姿勢決定系の動作に成功し、目標である姿勢安定度(0.02deg@200秒、0.003deg@10秒)を達成した。その後、搭載している望遠鏡でジオコロナの撮像、彗星から放出する水素の撮像、天体写真の撮像、地球・月の撮像に成功した
事例 No.	5	6
発生年月	2014 年 12 月 28 日から 2015 年 3 月中旬	運用期間中
区分	推進系	システム
成功事例	イオンエンジンの動作に成功し、360uNの推力で合計 223 時間の運転に成功した。	様々なトラブルが発生したが、適切に対処し、探査機損失を回避することに成功した。(詳細は失敗事例参照)

表 5.1.2.1-10 (2/2) PROCYON 成功事例分析

(続)	プロジェクト No.	10	事例 No.	1~6
要因分析	技術的要因	<p>多くの部品がほどよし衛星で使われていたものと同じであり、ほどよし衛星での事前試験による不具合の洗い出しなどが終わった状態であった。</p> <p>しかし、それを全て鵜呑みにせず、自分たちで詳細な噛み合わせ試験を実施し新たな不具合を発見したことも重要なことと言える。</p> <p>JAXA/ISAS からのレビューは PDR と LRR の二回のみだったが、それとは別に各サブシステムが高頻度に ISAS の専門家とミーティングを行い、気になる点を潰していった。姿勢系ソフトウェアにおいては、SILS/HILS を使った FDIR 機能も含めた試験を行った。(姿勢系機器がどれか一つ壊れても太陽捕捉できることを徹底的に確認した)</p> <p>別の箇所でも記述したように、全ての機能を十分に検証してから打ち上げることがそもそも不可能なプロジェクトであったため、軌道上で容易にソフトウェアを再構成できる OBC のソフトウェアアーキテクチャであったことが、この短期間の開発プロジェクトの成功要因の 1 つであると思われる。</p> <p>(事例 2 特有の事項) この事象特有のこととして、衛星に推進系を組み込んだ状態での E2E 推進系作動試験を行っていたことがポイントだと思う</p> <p>(事例 5 特有の事項) この事象特有のこととして、衛星に推進系を組み込んだ状態での E2E 推進系作動試験を行っていたことがポイントだと思う</p>		
	人的要因	<p>特殊工程であるはんだ付け、ハーネス作成(圧着など)は全て外注したので、従来の大学衛生よりも信頼性は高かったと言えるだろう。(ただし、お金・時間は従来よりも増えてしまうので、必ずしもおすすめできない)</p> <p>各種試験において、「ログを残すこと」と「少しでも気になる事象は不具合リストに登録すること」は学生に教育訓練を行っていた。そして、不具合リストはプロマネが管理し、引き渡しまでの時間制約の中で特に重要な不具合から重点的に解決していくように試験工程自体の管理とあわせてマネジメントを行っていた。</p>		
	組織的要因	<p>教員がプロマネ(トップ)で、かつチーム全体の状況を適切に理解していた。</p> <p>各サブシステムのリーダーはやる気のある学生が務めていた。更に、各サブシステムにはアドバイザーとして ISAS の専門家や他大学の教員がついており、気軽に相談できる状態であった。</p> <p>スケジュール管理や発注管理など、学生が苦手な部分は専門職員に入ってもらい、管理してもらった。</p> <p>上記のような組織が成功の秘訣だと思う。</p>		
	時間的要因	<p>時間管理・スケジュールという意味では、PROCYON はかなり厳しかったので、成功要因とは言えない。各人が PROCYON に全てを捧げたので、なんとかスケジュールに収まったということであり、本来はもっと余裕のあるスケジュールを建てるべきである。</p>		
	その他	<p>細かい部分は五十里の LL 資料をご参照いただきたいです。</p>		
ける信頼性確保の方法 設計・試験・製造・運用段階にお	設計段階	<p>ほどよし衛星をベースに設計を行うことで、最低限の信頼性を確保することができた。</p>		
	試験実施	<p>(記述済みだが)各種試験において、「ログを残すこと」と「少しでも気になる事象は不具合リストに登録すること」は学生に教育訓練を行っていた。そして、不具合リストはプロマネが管理し、特に重要な不具合から重点的に解決していくようにマネジメントを行っていた。</p>		
	製造段階	<p>ほどよし衛星で行った製造方法をベースに製造を行うことで、最低限の信頼性を確保することができた。</p>		
	運用段階	<p>運用前後にパス前・パス後ブリーフィングを行い、運用内容の意識合わせ、コマンドに問題が無いかの確認を行った。運用は常に 5 名程度の体制で行い、各系の異常が見つかったらすぐさま対応を行えるよう、異常時専用コマンドリストなどを準備していた。</p>		
コストダウンのポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 民生素子の利用</li> <li>・ システム、機器リセットを許容する運用設計 (放射線対策など)</li> <li>・ セーフモードの確実な実現による高次モードへの検証負荷の低減</li> </ul>			

表 5.1.2.1-11(1/3) MicroDragon 成功事例分析

プロジェクト No.	11	
プロジェクト名	MicroDragon (略称: MDG)	
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀・船瀬研究室	
事例 No.	1	
発生年月	2019年1月	
区分	運用	
成功事例	初期運用で太陽電池パドルの展開に成功した	
要因分析	技術的要因	先行プロジェクト (Hodoyoshi-3/4, UNIFORM-1, PROCYON) で実績のある方式 (ヒンジ、展開機構、展開シーケンスのための電源システム、コマンド、チェック機能) をそのまま適用した。 一部、MDG プロジェクトで再利用する際に、入手困難となった部品の代替品を検討する際にシステム側の電気 I/F 仕様に変更点が生じたが、システム&電気系担当であった回答者が、予めバス機能&システムハーネスの中に組み込んでおいたバックアップ用の余剰信号線を転用することで大幅な改修を要せずに、展開機構側の電気信号 I/F の変更に対応できた。システム内に余剰リソースを内包している設計コンセプトが実証できた事例である。(例: 電源コンポのバックアップ電源ポートが 3-4 ポート、信号系も複数 Ch のデジタル/アナログの予備ポートが使えるようにハーネスの余剰部分に隠してあった。)
	人的要因	開発者である学外エンジニアと連携して、事前のかみ合わせ、組み立て後のシステムレベルでの展開試験を実施した。 設計は COTS (民生品) ベースで行われているが、過去のプロジェクトで温度条件や電源条件の多くの組み合わせで十分な量と質の検証を行っていたため、MDG では比較的最小の労力で実装と運用まで実現できた。
	組織的要因	実務作業に余計な関係者がいない、システム&電気系担当者と展開機構開発者の最小限の情報交換と作業の実現。  ※この点は翻すと、学生の教育向けの直接的な教材には含めなかった、というポイントになる。 学生には、展開機構のコンセプトや設計事例、地上試験、運用シーケンスなどの情報を座学的なレクチャーでは伝達したが、実務上の実装作業は教員/専任スタッフ-学外エンジニアだけで閉じていた。
	時間的要因	表 (3/3) 参照
	その他	N/A
信頼性・試験・製造・運用段階における設計・試験の方法	設計段階	先行プロジェクト (Hodoyoshi-3/4, UNIFORM-1) において、設計する際に、様々な経験のあるシニアのエンジニアとのレビューを十分に実施し、最終設計に反映した。MDG プロジェクトで再利用する際に、入手困難となった部品の代替品を検討する際のチェックも、教員・メンター・学外エンジニアで連携して、十分な情報を収集した上で、レビューを行い決定できた。
	試験実施	先行プロジェクト (Hodoyoshi-3/4, UNIFORM-1) において、単体での機能試験、システムに組み込んだ後の展開試験を実施する際に、機械的なチェックだけではなく、通電回路の電気的特性 (定常、過渡) も十分にデータを取得して評価した。また、動作温度範囲に対しての疑義が生じた際に、実際に温度を変えて熱真空チャンバ内での動作試験を繰り返し実施し、実装方法と調整仕様の相関を取得し最終仕様に反映させた。
	製造段階	過去に 4 つの衛星で実績のある展開機構の設計・実装・検証を経験したことがあるエンジニアが担当した。また、同エンジニアが適切に管理している材料や消耗品を同一ロットで使い続けた。
	運用段階	実際に展開コマンドを発出するまえのバス HK のチェックポイントと条件分岐の検討を十分に行い、適切な前提条件が達成できていることを確認した後で展開コマンドを実行できた。
コストダウンのポイント	使用した部品自体は COTS (民生品) であったが、過去のプロジェクトから連続して検証データを蓄積しているため、宇宙用部品と同程度までの確度が達成できている。 実装上の工夫として、担当エンジニアの技術依存の箇所は、同じエンジニアが同じ材料と手順で行うことで洗練されている。	

表 5.1.2.1-11(2/3) MicroDragon 成功事例分析

プロジェクト No.		11	
プロジェクト名		MicroDragon (略称: MDG)	
責任機関 (実施の中心機関)		東京大学中須賀・船瀬研究室	
事例 No.	2		3
発生年月	2019 年 1 月		2019 年 1 月
区分	運用		運用
成功事例	初期運用で 3 軸姿勢制御の達成に成功した		初期運用で 2 種類の地球観測画像の試験撮影に成功した
要因分析	技術的要因	<p>先行プロジェクト (Hodoyoshi-3/4, UNIFORM-1, PROCYON) で実績のある方式 (姿勢センサ、アクチュエータ) をそのまま適用した。</p> <p>アルゴリズムは先行プロジェクト事例をベースにしつつ、MDG での独自開発したソースコードであったが、事前の SILS/HILS 検証で追い込めたことが功を奏した。</p>	<p>先行プロジェクト (Hodoyoshi-3/4, UNIFORM-1, PROCYON) で実績のある方式 (姿勢センサ、アクチュエータ) をそのまま適用した。アルゴリズムは先行プロジェクト事例をベースにしつつ、MDG での独自開発したソースコードであったが、事前の SILS/HILS 検証で追い込めたことが功を奏した。2 種の地球観測カメラは、東北大・北海道大の過去の衛星プロジェクトでの実績のある要素を含んでおり、比較的確度の高い設計となっていた。ミッションデータ転送用の X-band 系通信システムは、先行プロジェクト (UNIFORM-1) で実績のある方式をそのまま適用した。地上系も含めて確度の高い通信 &amp; データ確認システムが構築できていた。</p>
	人的要因	<p>先行プロジェクト (Hodoyoshi-3/4, UNIFORM-1) の姿勢制御系の実装とレビューに十分な経験を持っている教員/専任スタッフが学生のアルゴリズムのコーディングの HILS 試験結果を十分な頻度と質でチェックできた。</p>	N/A
	組織的要因	<p>ベトナム人学生は、修士課程の留学生として参加していたので、プロジェクト活動以外の単位取得の講義選択の点でも、姿勢制御系の基礎知識となるダイナミクス関連の講義などを受講してきちんと基礎知識を深めていた。</p> <p>留学生受け入れの教育カリキュラムとプロジェクト活動がうまく連携できていた。</p>	N/A
	時間的要因	N/A	N/A
	その他	<p>先行プロジェクトにおける不具合事例を学生のアルゴリズム検討の際に適切に伝達することができた。</p>	N/A
運用・設計・製造・試験段階	設計段階	N/A	N/A
	試験実施	N/A	N/A
	製造段階	N/A	N/A
	運用段階	N/A	N/A
コストダウンのポイント	N/A	N/A	N/A

表 5.1.2.1-11(3/3) MicroDragon 成功事例分析

プロジェクト No.		11			事例 No.		1	
時間配分								
期間設定／時間配分で特に注意した事項				太陽電池パドルの展開確度向上のための工数				
		人	日	人日	各フェーズで重点をおいた事項	特徴		
設計	概念検討	2	30	60	想定する使い方と衛星システム条件をレビュー	システム&電気系担当、展開機構担当の2名で実施		
	基本設計	2	30	60	方式の妥当性を試作品でチェック、関係者レビュー	システム&電気系担当、展開機構担当の2名で実施		
	詳細設計	1	60	60	図面の詳細化と実装方法の反映、関係者レビュー	展開機構担当の外部メーカーエンジニア1名の作業		
	維持設計	1	10	10	部品変更に対応するモデルチェンジの設計	展開機構担当の外部メーカーエンジニア1名の作業		
製造	BBM	1	60	60		展開機構担当の外部メーカーエンジニア1名の作業		
	EM	1	60	60		展開機構担当の外部メーカーエンジニア1名の作業		
	FM (orPFM)	1	40	40		展開機構担当の外部メーカーエンジニア1名の作業		
試験	電氣的機能試験	2	10	20	機構内部調整状況チェックと電氣的 I/F チェック			
	熱真空試験	3	14	42	温度依存性、ニクロム線接触部分のコンディションチェック			
	振動試験	1	6	6	意図せず開かないこと、パネルの歪みチェック			
	衝撃試験	4	2	8	意図せず開かないこと、パネルの歪みチェック			
	展開機構単体動作試験	2	7	14	電気特性、温度依存性検証			
	システム展開動作試験	3	2	6	End-to-End 機能、展開挙動撮影			



表 5.1.2.1-12 50 kg 級衛星ミッション機器開発 成功事例分析

プロジェクト No.	12	
プロジェクト名	50 kg 級衛星ミッション機器開発	
責任機関（実施の中心機関）	非公開	
事例 No.	1	
発生年月	2016 年 1 月	
区分	地上試験	
成功事例	FM ミッション機器およびミッション機器放熱システムの熱数学モデル構築および検証試験	
要因分析	技術的要因	最小限の試験構成の検討，事前の検証試験の機器の使い回しなどが行うことができ，目的を絞った試験計画を立案，遂行することで少人数・短かい準備・試験期間であっても意味のある試験が実施できた
	人的要因	研究員 2 名および補助学生 1 名での試験遂行であり，人員計画としては無理があったので，あまり推奨はしない
	組織的要因	試験装置は違ったが，類似試験の経験者によるチームであった
	時間的要因	N/A
	その他	N/A
信頼性確保の方法 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	技術文書，過去の知見などから試験項目の精査を実施した
	試験実施	既存治具や過去の経験などを精査し，事前に手順と目的を共有することによって検証がきちんと行えるようにした
	製造段階	JAXA 基準文書や他のプロジェクトの情報などから必要最小限の試験検証項目・条件を精査した 経験者への助言・作業への参加を求めた
	運用段階	N/A
コストダウンのポイント	N/A	

表 5.1.2.1-13(1/4) KKS-1 成功事例分析

プロジェクト No.	13	
プロジェクト名	KKS-1 (輝汐)	
責任機関 (実施の中心機関)	東京都立産業技術高等専門学校	
事例 No.	1	
発生年月	2009年1月	
区分	運用	
成功事例	自作の分離機構で衛星を分離できた。	
要因分析	技術的要因	あらゆる方向から分離失敗を想定して製作したから成功できたと感じる。機械部位では3軸方向の振動に対して、部品の脱落や曲げに対して十分な耐力になるように設計。稼働部位はひっかかり、材料ひずみによる稼働停止などをマークしながら、最低でも200回以上の分離テストを行った。200回以上分離をやると、摩耗部品が見つかり、どこの部品を何回目か交換すると良いということがわかるようになる。実際に摩耗した部品は真鍮の傘車で、歯が摩耗して分離時のモータ電流が大きくなるのがわかり、交換のタイミングの閾値とした(衛星分離機構で唯一のアクチュエータ)。また衛星分離スイッチが当たる面の微小な高さ調整ができるようにしたことも開発速度を上げた。
	人的要因	毎日夕会を行うことで情報共有や問題点を出していた。教員と学生とで分離失敗の検討はかなりの数を行った。トルク管理は2名で行い、最初は1名で行うが、途中で二人目が交代。二人目が増し締めするがそこで締めていないねじが発見されることもあった。分離機構組立手順書を作成し、もしいつもの担当者が風邪で不在でも手順書通りに組み立てられるように、学生ら全員が分離機構組立作業者となっていた。
	組織的要因	BBMとEM段階では教員は衛星システムと分離機構システムの全てを把握し、学生1名1名と都度会議を行い、学生がコンポーネントを作成していた。FM段階からは教員はトラブル処理係となり、学生リーダーを立てて作業を行っていた(FM段階から教員はほぼ衛星や分離機構に触れていない)。実際にトラブルは衛星よりも、分離機構に多く発生。分離機構は2か月に及ぶトラブルがあり結果的にEFMとなったため、問題点を消せないままFM段階に。そのため最後まで振動試験・衝撃試験でそれぞれ重大な不具合に追われることになった。そのたびに教員と担当学生でトラブル対応をしていたため、衛星と分離機構それぞれに学生リーダー制にして正解だった。
	時間的要因	前倒しというキーワードで開発を行っていたため、トラブルは生じたが衛星引き渡しに間に合った。衛星分離機構のトラブル対応から解決までに要した時間は振動試験で2か月、衝撃試験で1か月丸々かかっており、前倒しで得た時間はすべてなくなり余裕はなくなった。当初の計画では衛星運用試験・衛星分離機構試験を最低一か月以上必ず確保する計画だった。 留年がかかった定期テストや補習、就職・進学活動の時間配分をどうするか多く悩んだが、その点は学生らに悩んで決めてもらった。
	その他	分離機構における想定外による故障想定をリスト化した。デバック作業を長期間行った。わざと電池電圧を下げて分離するなど分離不全と分離成功の境目をはっきりさせた。分離機構の部品摩耗に対する部品交換のタイミングを実験的に求めた。
信頼性確保における方法	設計段階	入手性の良い部品を選ぶ(希少品は在庫は電話で必ず確認してから注文)。できれば信頼性があるが低価格なものを探す(いわゆる汎用品)。工数の少ない設計図面を書く(複雑化すると信頼性も下がり、コストは上がる)。
	試験実施	校正測定器を使う。消磁された工具(磁化しない工具)か確認。振動・衝撃試験時のねじ固定部の目視確認。衛星分離スイッチの固着の確認。
	製造段階	ネジ・ボルトの使用回数の管理。分離機構の部品の使用回数の管理。トルク増し締めはもう一人目が行う(トルクかけ忘れ防止)。
	運用段階	運用がないため、非該当
コストダウンのポイント	衛星構造では、切削工程が少ない形状を選択することで切削コストを下げた。構造材料はできる限り汎用定尺を用いることで仕入れコストを下げた。電子基板の外注は、面付けにより1枚で4種類以上の基板を取り出すことでコストを下げた(不足した電子基板はこのタイミングで補充した)。その他、信頼性確保にはつながらないが、はんだ付けは全て自分たちで行いコストを下げている。	

表 5.1.2.1-13(2/4) KKS-1 成功事例分析

プロジェクト No.	13	
プロジェクト名	KKS-1 (輝汐)	
責任機関 (実施の中心機関)	東京都立産業技術高等専門学校	
事例 No.	2	
発生年月	2009 年 1 月	
区分	運用	
成功事例	衛星はアンテナ展開して、CW 送信してきた。	
要因分析	技術的要因	CW や無線機の設定は PIC マイコンが行う。PIC マイコンの他にメインとなるマイコンがある。衛星分離直後はメインマイコンは正常動作しており、アンテナ展開を行った。その後は PIC マイコンが独立して CW を送信を行うため、後にメインマイコンのプログラムミスが発生したが、PIC から CW 送信を続けることができた。
	人的要因	毎日夕会を行うことで情報共有や問題点を出していた。定期テストや勉強時間の確保など計画的に行っていた。衛星を打ち上げるという共通の目的で、学生たちの結束は強かった。衛星組立手順書を作成し、もしいつもの担当者が風邪で不在でも手順書通りに組み立てられるように、学生ら全員が衛星組立作業員となっていた。
	組織的要因	BBM と EM 段階では教員は衛星システムと分離機構システムの全てを把握し、学生 1 名 1 名と都度会議を行い、学生がコンポーネントを作成していた。FM 段階からは教員はトラブル処理係となり、学生リーダーを立てて作業を行っていた (FM 段階から教員はほぼ衛星や分離機構に触れていない)。実際にトラブルは衛星よりも、分離機構に多く発生。分離機構は 2 か月に及ぶトラブルがあり結果的に EFM となったため、問題点を消せないまま FM 段階に。そのため最後まで振動試験・衝撃試験でそれぞれ重大な不具合に追われることになった。そのたびに教員と担当学生でトラブル対応をしていたため、衛星と分離機構それぞれに学生リーダー制にして正解だった。
	時間的要因	前倒しというキーワードで開発を行っていたため、トラブルは生じたが衛星引き渡しに間に合った。衛星分離機構のトラブル対応から解決までに要した時間は振動試験で 2 か月、衝撃試験で 1 か月丸々かかっており、前倒しで得た時間はすべてなくなり余裕はなくなった。当初の計画では衛星運用試験・衛星分離機構試験を最低一か月以上必ず確保する計画だった。 留年がかかった定期テストや補習、就職・進学活動の時間配分をどうするか多く悩んだが、その点は学生らに悩んで決めてもらった。
	その他	衛星引き渡し 3 か月前くらいの時期に、衛星や分離機構がトラブルに見舞われるさ中に、次のシステムプログラムの開発方針を切り替えている。「衛星は分離後に確実に電源が入り、アンテナ展開でき、CW が出る設計に集中する」(衛星の生存が確認できないと分離機構の成功確認すらできなくなると学生らに指示)。
信頼性確保における方法	設計段階	入手性の良い部品を選ぶ (希少品は在庫は電話で必ず確認してから注文)。できれば信頼性があるが低価格なものを探す (いわゆる汎用品)。工数の少ない設計図面を書く (複雑化すると信頼性も下がり、コストは上がる)。
	試験実施	校正測定器を使う。消磁された工具 (磁化しない工具) か確認。振動・衝撃試験時のねじ固定部の目視確認。衛星分離スイッチの固着の確認。
	製造段階	ネジ・ボルトの使用回数の管理。分離機構の部品の使用回数の管理。トルク増し締めはもう一人目が行う (トルクかけ忘れ防止)。
	運用段階	CW 受信しかできなかったため、非該当
コストダウンのポイント	衛星構造では、切削工程が少ない形状を選択することで切削コストを下げた。構造材料はできる限り汎用定尺を用いることで仕入れコストを下げた。電子基板の外注は、面付けにより 1 枚で 4 種類以上の基板を取り出すことでコストを下げた (不足した電子基板はこのタイミングで補充した)。 その他、信頼性確保にはつながらないが、はんだ付けは全て自分たちで行いコストを下げている。	



表 5.1.2.1-13(3/4) KKS-1 成功事例分析

プロジェクト No.		13			事例 No.		1, 2	
時間配分								
期間設定/時間配分で特に注意した事項					<ul style="list-style-type: none"> <li>・振動試験・衝撃試験での不具合の原因追及, 解決策検討.</li> <li>・衛星・分離機構が完成してからの運用練習日数(分離機構は十分に実験時間を確保できたが, 衛星側は2週間も得られなかった)</li> </ul>			
		人	日	人日	各フェーズで重点をおいた事項	特徴		
基本 検討	ミッション定義	2	30	60	マイクロスラスタの推力測定方法, 姿勢制御装置選定	教員主体で決定		
設計	概念検討	6	30	180	衛星分離方法, マイクロスラスタ推 力測定方法, 姿勢制御方法	衛星と分離機構両方とも, 教員が中心となり, 学生と ともに指導しながら検討.		
	基本設計	6	30	180	衛星バスシステムとミッションを空 間分けする設計. 衛星分離機構はモ ータ1個だけで展開する機構にする. マイクロスラスタは1軸方向の み発破し, リボルバー式はやめた. 推力は角速度変化を逆算するシス テムとするため, 容量の大きいSRAMを 用いてサンプリングタイムを短くす る設計	衛星と分離機構両方とも, 教員が中心となり, 学生と ともに指導しながら検討.		
	詳細設計	6	60	360	システム統合とCWパターンの検討, 振動・衝撃試験に耐える設計. 衛星 分離機構は分離成功率を高める.	衛星と分離機構両方とも, 教員が中心となり, 学生と ともに指導しながら検討.		
製造	BBM	14	150	2100	テーブルサテライト完成			
	EM	10	90	900	各機器の衛星搭載とアンテナ展開, マイクロスラスタの耐環境試験, SRW の耐環境試験. 分離機構の無重力実 験と分離方向確認試験.			
	FM (orPFM)	12	120	1440	振動試験での不具合対処. 衝撃試験 で分離機構回路の一部に故障があ り, その対処が衛星引き渡し一か月 前まで続いた. 衛星システムについ ては学生らで組み上げていた.			

表 5.1.2.1-13(4/4) KKS-1 成功事例分析

プロジェクト No.		13			事例 No.		1, 2	
時間配分								
		人	日	人日	各フェーズで重点をおいた事項	特徴		
試験	電氣的機能試験	10	10	100	衛星電氣的 I/F チェックとプログラム動作のチェック			
	熱真空試験	4	25	100	通信, カメラ, 電池, ホイール, マイクロスラスタの試験前後の状態			
	振動試験	4	60	240	衛星分離スイッチの誤動作がないか, 部品脱落の確認			
	衝撃試験	4	45	180	意図せず開かないこと, パネルの歪みチェック			
	通信試験	6	20	120	山と校舎屋上間の通信実験, 電波暗室での通信実験.			
	衛星分離機構 (無重量実験)	6	30	180	分離方向, 分離速度の測定. 無重量状態での分離.			
調整作業	周波数手続き	1	20	20	資料作成や, 担当者との受け答えに要した合計日数.	教員が 1 名で行った		
	JAXA との調整 (安全審査等)	1	40	40	資料作成や, 担当者との受け答えに要した合計日数.	教員が 1 名で行った		
運用	運用計画策定	4	20	80	地上局運用スケジュールや CW 列の決定など.			
	初期運用 (7日間)	4	6	24	打上 3 日後から CW に異常があることがわかる.			
	定常運用 (5年間)	0	0	0	非該当(CW 受信とアップリンク送信しかできないため)			
	異常時対応	3	600	1800	CW データの解析とアップリンクの試行が 5 年間続けられた. 放課後の CW 受信と解析とアップリンク検討			

表 5.1.2. 1-14 QSAT-EOS 成功事例分析

プロジェクト No.		14	
プロジェクト名		QSAT-EOS	
責任機関（実施の中心機関）		九州大学	
事例 No.		1	2
発生年月		2014 年 11 月～	2015 年 10 月
区分		運用	運用
成功事例		1 年以上にわたり S バンドによるコマンド・テレメトリの送受信ができた	リアクションホイールによる三軸姿勢制御
要因分析	技術的要因	衛星の試験の際、各コンポーネントの試験であっても直接デバッグポートからコマンドを出すのではなくできるだけ通信系を介し（場合によっては同軸ケーブル経由での変復調も行って）コマンド送信をして試験していた。そのため多数の不具合やクセが洗い出され、テレコマ系の信頼性向上につながったと考えられる。	予めシミュレートした軌道・姿勢情報を擬似的なセンサ観測値として姿勢制御ユニットに入力できるソフトウェアを開発したことで、想定通りのアクチュエータ出力が出るかを実測する試験を行えた。（フィードバック機能はないのでHILSとまではいかない） これにより、地上で十分に試験を実施することができ、リアクションホイールに関しては故障したスタートラッカを除いて概ね設計通りの姿勢推定・制御ができた。
	人的要因	・細部の実装、コーディングにあたっては宇宙以外の機器で実績豊富なメーカ各社を中心に進められた ・運用にあたった学生のうち数人は、試験段階でコマンドの送受信をずっと行っており、十分に習熟していた。	人工衛星の姿勢に関して十分な知識を持つ博士学生が開発時から打ち上げ後まで姿勢系を一貫して担当していた。 また、姿勢系 HW の実装は防衛用機器等でも実績のあるメーカが担当していた。
	組織的要因	・九大名誉教授、OB を中心に構成される QPS 研究所が統括的立場となっており、実質的には大学に不在の専任スタッフのような立場で学生を指揮指導していただけた	・九大名誉教授、OB を中心に構成される QPS 研究所が統括的立場となっており、実質的には大学に不在の専任スタッフのような立場で学生を指揮指導していただけた
	時間的要因	N/A	N/A
	その他	N/A	N/A
信頼性・試験の方法 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	N/A	N/A
	試験実施	衛星の試験の際、各コンポーネントの試験であっても直接デバッグポートからコマンドを出すのではなくできるだけ通信系を介し（場合によっては同軸ケーブル経由での変復調も行って）コマンド送信をして試験していた。そのため多数の不具合やクセが洗い出され、テレコマ系の信頼性向上につながったと考えられる。	予めシミュレートした軌道・姿勢情報を擬似的なセンサ観測値として姿勢制御ユニットに入力できるソフトウェアを開発したことで、想定通りのアクチュエータ出力が出るかを実測する試験を行えた。（フィードバック機能はないのでHILSとまではいかない） これにより、地上で十分に試験を実施することができ、リアクションホイールに関しては故障したスタートラッカを除いて概ね設計通りの姿勢推定・制御ができた。
	製造段階	N/A	N/A
	運用段階	N/A	N/A
コストダウンのポイント		N/A	N/A

表 5.1.2.1-15 RISESAT 成功事例分析

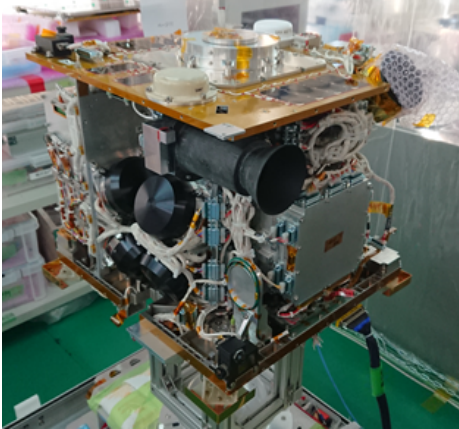
プロジェクト No.	15	
プロジェクト名	RISESAT	
責任機関（実施の中心機関）	東北大学吉田・乗原研究室/北海道大学高橋研究室	
事例 No.	1	
発生年月	2016年2月	
区分	サブシステム	
成功事例	衛星の計装に使用するコネクタに D-Sub コネクタを採用したことにより、作業性の向上を図ることができた。	
要因分析	技術的要因	<p>衛星搭載機器の小型軽量化の観点から、衛星内部のハーネスに使用するコネクタを MDM コネクタにするか、D-Sub コネクタにするか技術的な検討を行い、作業性、入手性、価格の面で D-Sub コネクタを採用することとした。MDM コネクタは小型軽量である一方で、高価で長納期である。RISESAT プロジェクトではそれに対し、廉価で入手性がよく、ユーザーが自分で組み立てることができる圧着端子式の D-Sub コネクタを標準搭載部品として選定した(図参照)。MDM が装備されている搭載機器についても外部の計装で一旦 D-Sub コネクタに変換して使用した。これにより、搭載機器開発期間の短縮、作業性の向上、開発期間の短縮、試験治具製作の自由度の向上を図ることができた。これは MDM コネクタを採用することによって得られる小型軽量化のメリットに勝るものであったと評価する。</p> 
	人的要因	N/A
	組織的要因	N/A
	時間的要因	N/A
	その他	N/A
信頼性確保 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	D-Sub コネクタの脱着に必要なとなる空間を十分に確保できるように衛星搭載機器の配置と組立手順を定義した。
	試験実施	N/A
	製造段階	コネクタの部品の大部分はプロジェクトで一括して購入し、計装の大部分の製作作業は業者に発注することで短納期と信頼性確保を実現した。
	運用段階	N/A
コストダウンのポイント	質量軽減を追求しすぎることなく、コネクタ選定のトレードオフを行い、開発工程の短縮や作業性の向上を図ることによってその分評価にかけられる時間、その作業性を確保し、システム全体として信頼性向上と、価格低減を実現した。	

表 5.1.2.1-16(1/3) NEXUS 成功事例分析

プロジェクト No.	19
プロジェクト名	NEXUS
責任機関（実施の中心機関）	日本大学宮崎研究室
事例 No.	1
発生年月	N/A
区分	
成功事例	
要因分析	
技術的要因	<p>(1) 技術的に背伸びをしないこと（「究極のOJT」であることを念頭に、限られた時間の中で、どこまでなら自分たちで開発可能かをよく見極めること）</p> <p>(2) かといって、易しすぎる衛星にしないこと（易しい衛星だと、開発メンバーのモチベーションや危機意識を維持しづらい）</p> <p>(3) 開発の初期段階でレビューを受けること（面倒なことでも、外部の人から問題点を指摘されると、「じゃあ、対策を考えようか」という気持ちになりやすい。ただし、開発が進んだ段階ではレビューを受けても開発に反映させることが容易ではないので、レビューを受けるなら初期段階がよい）。</p>
人的要因	<p>(1) BBM 段階から、「理由付けをしながら自分で決断する」癖をつける（マインドセットをつくる）こと（例えば、週に一度のミーティングの際の開発方針の決定・変更や、各種試験でのトラブル時の対策などで、常に、「なぜそうするのか？」を問いながら決断すること）。それがあれば、EM や FM 段階でトラブルが起こっても速やかに対処できるようになる。</p> <p>(2) 常に「終わり」を意識して理由付けをする癖をつけること（いま、何をすればちゃんと動く衛星を期日までに納品することができるかを考えて決断する癖をつけること）。</p> <p>(3) 同様に、「終わり」を意識して、臨機応変に対応する癖をつけること</p> <p>(4) 体調面で無理はしないこと（「終わり」までを意識して、長丁場の体調管理計画を常にたてること）</p>
組織的要因	<p>(1) 隠し事のないチームづくり（「ミス」は許容し、「ごまかし」を問題視するチーム運営）</p> <p>(2) 「期日までにミッションを成功させられる衛星をつくること」を最上位概念としたチーム運営（何か行動する／しないを決定する際には、「それをすれば／しなければ成功するのか？」を確認して決定したこと）</p> <p>(3) 仕様書を作成し、更新し続けたこと（仕様書を更新する度に、メンバーが自身や他のメンバーの活動内容を確認でき、衛星システム全体として辻褄の合わないところを認識できる）。</p> <p>(4) 通信の「プロ」であるアマチュア無線家の方々と通信系を共同開発したこと</p>
時間的要因	<p>(1) 定期的なミーティング（本衛星の場合は1週間に1回の研究室内 MTG と、2週間に1回の JAMSAT との合同 MTG）で FM 納品までのスケジュールを確認・更新すること（「スケジュールは『守るもの』ではなく、常にベストなものに更新するのが当たり前」という癖をつけること。ただし、当然ですが、FM 納品時期は動かさない）</p> <p>(2) 定期的なミーティングでスケジュール遅延を起こしそうなところやその不安要因を確認しておくこと（心の準備をしておくこと）</p> <p>(3) 常に代替案を考えながら開発を進めていくこと</p> <p>(4) 不安なことは先送りせず、すぐに確認できることは、他の作業を止めてでも確認すること</p> <p>(5) トラブルに素早く対応すること（常に(3)の代替案（Plan B, Plan C）を考えていればよいだけ）</p>
その他	アマチュア無線帯を使う衛星の場合、JARL と JAMSAT と良好な関係を築くことは必須。技術的にも必須であるし、JARL・JAMSAT が総務省対応をしてくれるという意味でも重要。



表 5.1.2.1-16 (2/3) NEXUS 成功事例分析

(続)	プロジェクト No.	19	事例 No.	1
設計・試験・製造・運用段階における 信頼性確保の方法	設計段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ロケットからの要求や安全要求等，打ち上げ機側からの要求事項を全て洗い出し，自分たちの設計がそれらの全てに対応していることを確認すること（仕様書をつくって，要求と機能の対応表をつくれればいだけ）。</li> <li>・電子部品に関しては，ディレーティングを考慮して選定すること（ギリギリは狙わないこと）。</li> </ul>		
	試験実施	<p>理屈（理論計算等）と試験とが対応していることを確認すること（対応していなければ，対応しないリーズナブルな原因を明らかにすること。明らかにならない限り，前に進まないこと）。言い換えれば，全ての試験結果に理由付けをすること（理由付けをして納得できるまで前に進まないこと。「誤差だろう」，「たまたまだろう」などといった推測に逃げないこと）。</p>		
	製造段階	<p>当たり前ですが，基板や構体，ミッション機器等のハードウェアについては，CADでの干渉チェック等はもちろん，3Dプリンタ等でモックアップをつくって，搭載性・作業性等を確認した後で製造すること（作業性が悪いと，人為的ミスで不具合を起こしやすいので）。</p>		
	運用段階	<p>打ち上げ前，あるいは，打ち上げ後に，地上のEMで動作確認したコマンドのみアップリンクすること</p>		
コストダウンのポイント	<p>特にはないですが，強いて言えば，FMでトラブルが起きると，スケジュールの遅れをカバーするためにコストが一気にかさむことになるので，「EMでは少々のコスト増には目をつむって衛星と開発メンバーの両方のレベルアップをはかり，FMの段階ではトラブルを起こさない確率の高いものをつくること」，くらいでしょうか。</p>			

表 5. 1. 2. 1-16 (3/3) NEXUS 成功事例分析

プロジェクト No.		19		事例 No.		1	
時間配分							
期間設定／時間配分で特に注意した事項				・安全審査や引き渡しのタイミングに合わせて、終わらせるべきことを終わらせること（先送りしないこと）			
		人	日	人	日	各フェーズで重点をおいた事項	特徴
基本検討	ミッション定義	8	60		480	アマチュア無線家の方々が使ってくれそうな衛星にすること	学生と JAMSAT 有志で実施
	概念検討	6	180		1080	・必要十分なシステム構成の検討 ・開発メンバーの衛星設計・開発に関する基本的な知識の蓄積	学生主体で実施
	基本設計	7	50		350	・BBM で確認できたことをベースとした設計（わからないまま設計しないこと） ・ミッション部とのインターフェース調整調整 ・開発メンバーの設計能力向上	バス部およびインターフェースは学生主体で実施。ミッション部は JAMSAT.
設計	詳細設計	7	20		140	・EM でシステム全体を動作確認できたものを図面化・コード化すること（やっていないことは組み込まない。組み込みたいものはやってから組み込む）	ミッション通信機の中身（電子基板）を除いて全て学生が実施
	BBM	6	90		540	開発メンバーの基本的なスキルの向上	全て学生が実施
	EM	7	30		210	開発メンバーの衛星開発に関する経験値（トラブルに対する対応力も含めて）の向上	全て学生が実施
製造	FM (orPFM)	7	20		140	・衛星の完成度を高めること ・完成度の高い衛星をつくる感覚を養うこと（100点の狙い方を体得すること）	ミッション通信機そのものの製作を除いて全て学生が実施
	電氣的機能試験	8	20		160	機能要求から導かれた全ての動作確認項目を適切な温度条件で確認すること	全て学生が実施
	熱真空試験	8	14		112	特になし（ロケット側からの要求通りに実施・確認すること）	全て学生が実施
試験	振動試験	8	30		240	特になし（ロケット側からの要求通りに実施・確認すること）	全て学生が実施
	衝撃試験	8	6		48	特になし（ロケット側からの要求通りに実施・確認すること）	全て学生が実施
	放射線試験	5	10		50	問題が起こりそうな電子部品の洗い出し、試験方法および試験結果の妥当性の確認	全て学生が実施
	通信試験	5	50		250	通信に関する知識・経験の向上	学生と JAMSAT 有志が連携して実施（JAMSAT 有志が学生に教えながら実施）
調整作業	周波数手続き	3	10		30	・IARU, JAMSAT, JARL, 総務省との良好な関係の構築・維持 ・国内で大学衛星がリニアトランスポンダを運用できる道を拓くこと	大学と JAMSAT と JARL の3者がタッグを組んで実施
	活動法関連手続き	3	10		30	特になし（強いて言えば、安全審査関連書類の再利用による作業効率の向上）	
運用	運用計画策定	10	30		300	・衛星の特徴と考えるトラブルを考慮した初期運用手順（衛星を生き延びさせる初期運用）の策定	学生が主導で、JAMSAT 有志の要望を聞きながら策定
	初期運用（10日間）	5	10		50	・スピード（いかに早く衛星の状態を把握するか） ・動作実証をすればいいだけのミッションは初期運用中でもどんどん遂行すること	全て学生が実施
	定常運用（2年間）	2	456		912	・打ち上げ前に掲げたミッション内容・サクセスクライテリアに忠実に運用を進めること（ごまかさないこと）	JAMSAT の要望を反映しながら全て学生が実施



表 5.1.2.1-17(1/4) STARS 成功事例分析

プロジェクト No.	20	
プロジェクト名	STARS	
責任機関（実施の中心機関）	香川大学能見研究室	
事例 No.	1	
発生年月	2009 年 1 月	
区分	運用	
成功事例	初期運用 太陽電池パドル展開、CW 受信、FM アップリンク・ダウンリンク、Bluetooth 衛星間通信に成功	
要因分析	技術的要因	通信系は東大の実績を活用した。 パドル展開は地域企業のメカ技術、また電氣的にもインヒビット構成などを十分に検証、これにより CW 送信に成功したと考える。これに伴い、アップリンクも成功した。Bluetooth 通信は電子系の開発を十分に行うとともに、地上実験においても多用してきたことから、地上でのノウハウ、試験が十分であった。
	人的要因	通信系については、東大に依頼できたことが大きい。 その他は、地域企業の協力が大きい、最初に直接会い、十分に話し合っ、積極的に協力してくれる企業と連携できたことが大きい。 また通信に関しては、やはりアマチュア無線家の協力が大きかった。大学衛星がアマチュア無線を利用することは問題も指摘されているが、応援してくれる人たちも多いので、コミュニケーションが重要と考える。
	組織的要因	地上大学であることから、とくに地域企業との連携は重要であり、地域の大学が人工衛星を打ち上げることで、地域貢献の意味も含めて協力してくれている。 地域企業は、学生との交流も重要視しているため、学生が協働できる体制とすることも重要である。ある意味、インターンシップにもつながることがある。
	時間的要因	安全審査を大学で対応しており、外部に依頼した各サブシステム担当は関与していない。この体制であると、担当部分の開発に注力できるため、安全審査に追われることなく確実なものが開発できるのではないかと？
	その他	全体会議を実施し、各サブシステムのインターフェースを確認することは重要（2 回程度の開催だったかと思うが、非常に有効に機能したと考えている）
	信頼性確保の方法	設計段階
試験実施		実際に地上局と衛星の通信試験で検証していった。また、地上試験環境をアマチュア無線家が専任で担当してくれた。
製造段階		組み合わせ試験が重要であったと考える。
運用段階		多くのアマチュア無線家に同席してもらい、無線機の使用法からいろいろ学生にマンツーマン指導をしてもらった。
コストダウンのポイント	超小型衛星の初期であったことから、積極的に参加してくれる地域企業、アマチュア無線家が多かった。費用度外視で協力してくれた。	

表 5.1.2.1-17(2/4) STARS 成功事例分析

プロジェクト No.		20	
プロジェクト名		STARS	
責任機関 (実施の中心機関)		香川大学能見研究室	
事例 No.		2	3
発生年月		2009 年 4 月	2009 年 2 月
区分		運用	運用
成功事例		親子同時 CW 受信に成功、親子識別したアップリンク & ダウンリンクに成功	カメラ撮影 & ダウンリンク カメラ撮影に成功、太陽光入射を踏まえた撮影に成功、地球が写った画像のダウンロード成功
要因分析	技術的要因	CW の周波数は親子それぞれ割り当てて頂いていた。地上局で 3 系統の受信設備を準備した。八木アンテナは 1 系統、水平指向のプレーンアンテナ、上方指向のアンテナを準備した。無線機周波数を変更すれば各アンテナで CW 受信は可能。FM は八木アンテナで親子個別に運用した。	はじめ、太陽光が強く、真っ白な画像であった。または真っ黒な画像で合った。タイマー機能を付けることにより、軌道上の位置で太陽光の入射を考えた位置での撮影で地球の雲、海などを識別できる写真が取得できた。 カメラレンズにフィルターを付けて、親子合計四台のカメラをそれぞれ違うパラメーターとした。 RAW データおよび JPEG 圧縮の機能も付けていた。
	人的要因	アマチュア無線家の発案で地上設備を準備した。運用は 3 人以上のオペレーターを配置した。	アマチュア無線家と学生の共同運用とし、1200bps の通信速度であったが、時間をかけてダウンロード 100 枚以上の写真を取得した。
	組織的要因	アマチュア無線家の協力が大きい。	カメラ系の担当企業を一つとし、カメラ系開発に専念して頂いた。企業からの提案もあり、共同開発とすることができた。
	時間的要因	CW については十分に練習した。	早くから開発を開始することにより、十分な時間が取れた。開発は、打ち上げ決定と同時期。
	その他	N/A	N/A
設計・試験・製造・運用段階における信頼性確保の方法	設計段階	実績のある大学に通信系を依頼。各設計を地上ではあるが得意技術を持つ企業に依頼することができた。	専用担当のカメラ系企業とした。
	試験実施	実際に地上局と衛星の通信試験で検証していった。また、地上試験環境をアマチュア無線家が専任で担当してくれた。	単体試験、組み合わせ試験、E2E 試験をじっしした。
	製造段階	組み合わせ試験が重要であったと考える。	サブシステムの中で最初に開発したことから、コネクタなども自由に選定した。頑丈なものとした。
	運用段階	多くのアマチュア無線家に同席してもらい、無線機の使用法からいろいろ学生にマンツーマン指導をしてもらった。	二値化によるグレースケール判別により、何か写っている写真を選別できるようにした。
コストダウンのポイント		超小型衛星の初期であったことから、積極的に参加してくれる地域企業、アマチュア無線家が多かった。費用度外視で協力してくれた。	地域企業のボランティア的な協力が大きかった。

表 5.1.2.1-17(3/4) STARS 成功事例分析

プロジェクト No.		20	
プロジェクト名		STARS	
責任機関（実施の中心機関）		香川大学能見研究室	
事例 No.		4	5
発生年月		2009年3月	2009年4月
区分		運用	運用
成功事例		テザー伸展に成功 初回に失敗したが、数度のトライにより成功	ロボットアーム動作確認成功 角度指令の動作確認後に、姿勢フィードバックに応じたロボットアームの制御に成功
要因分析	技術的要因	宇宙開発経験メーカーに機構開発を依頼した。モーターは真空仕様とした。ベルトなどを用いていたが、熱真空試験で動作確認した。	
	人的要因	設計者が運用に参加することで、メカ的構造やコマンドの種類等を十分に把握できおり、初回失敗をリカバリーすることができた。	
	組織的要因	宇宙機器開発メーカーに依頼したことと、大学との共同開発としたことにより、大学内で設計方針から把握していた。	
	時間的要因	早くから開発を開始したため、とくに問題は発生していない。	
	その他	特注品で外注した。	
設計・試験・製造・運用段階における信頼性確保の方法	設計段階	専任で担当企業が受け持った。	
	試験実施	来学して頂き、試験を実施した。	
	製造段階	担当企業の責任で製造。	
	運用段階	大学で設計段階からかかわった人が運用に参加。	
コストダウンのポイント		ここは課題である。	

表 5.1.2.1-17(4/4) STARS 成功事例分析

プロジェクト No.	20	
プロジェクト名	STARS	
責任機関（実施の中心機関）	香川大学能見研究室	
事例 No.	6	
発生年月	2019 年 1 月	
区分	運用	
成功事例	CW 受信成功（打ち上げ 10 年後）	
要因分析	技術的要因	電源系および通信系について、十分な設計を行った。電源系は地上民生技術活用であるが、宇宙環境を十分に想定して設計した。通信系は宇宙実績のある東大に設計を依頼した。 充電回路はシャント方式であり、完全満充電とならないことが長寿命化に繋がったと解析している。
	人的要因	アマチュア無線家の協力で、確認できている。開発時点での学生は全て卒業しており、10 年経過時点で参加していないが、アマチュア無線家は同じ人が参加してくれている。
	組織的要因	長期間参加が可能なアマチュア無線家が参加してくれている。
	時間的要因	早くから開発を開始したため、とくに問題は発生していない。
	その他	アマチュア無線周波数帯を使用していることから、アマチュア無線家の受信協力が長年継続できている。
信頼性確保の方法	設計段階	専任で担当企業が受け持った。
	試験実施	来学して頂き、試験を実施した。
	製造段階	担当企業の責任で製造。
	運用段階	大学で設計段階からかかわった人が運用に参加。
コストダウンのポイント	ここは課題である。	

表 5.1.2.1-18(1/3) STARS-II 成功事例分析

プロジェクト No.		21	
プロジェクト名		STARS-II	
責任機関（実施の中心機関）		香川大学能見研究室	
事例 No.		1	2
発生年月		2014/2	2014/3
区分		コンポーネント	運用
成功事例		スプール式で収納した導電性テザーの搭載、フィラメントを用いたテザー電流収集を目的とした電子エミッター装置の搭載に成功した。	初期運用で親衛星および小衛星の CW 受信とくに子機 CW が強力な電波であった。子機は新規開発フィルムアンテナであり、その性能確認ができた。
要因分析	技術的要因	導電性テザーについては JAXA 研究開発本部、電子エミッターについては静岡大学山極研究室と共同開発とし、各共同研究先のこれまでの研究成果に基づく設計とした。	子機アンテナは、アンテナの専門家による発案であり、アンテナシミュレーションによる評価を入念に実施、製造後の実物試験も軌道上の状態を模擬して実施した。 親機アンテナは、初号機と同じものを再現した。
	人的要因	各ミッションの専門家と連携した。	子機新規アンテナは、アマチュア無線家の中でも、アンテナを得意とする人が担当、他アマチュア無線家と学生をマネージして進めた。 また初号機参加のアマチュア無線家が引き続き参加してくれており、初号機と同じアンテナである親機アンテナを製造した。
	組織的要因	超小型衛星開発経験を持つ香川大学と、ミッションの専門知識を持つ JAXA および静岡大学と共同研究とした体制とした。	アマチュア無線家との連携、学生を含めて普段からアマチュア無線イベントに参加するなど、コミュニケーションを密に取っていた。
	時間的要因	バス系は初号機のを踏襲し、ミッション機器開発に専念することにより、時間を確保することができた。	基本的には初号機と同じ構成であるため、時間的には問題なかったと考える。
	その他	JAXA および静岡大学との共同研究としたことが功を奏したと考える。	アマチュア無線家の協力が大きい。
おける信頼性確保の方法	設計段階	これまでの研究成果を十分に活用し、初号機の超小型衛星技術を踏まえた設計とした。	初号機と同じバス系とし、ミッション部のみ新規開発とした。
	試験実施	各共同研究先で、これまでの研究ノウハウによる試験方法を用いて実施した。	初号機の経験を踏まえて、地上局との E2E 試験を実施。
	製造段階	コンポーネントは各研究機関で製造、衛星搭載時には設計者および製造者が各機関から香川大学に来て行った。	初号機の経験を継承
	運用段階	N/A	アマチュア無線家の協力を得た。
コストダウンのポイント		共同研究という枠組みにより、JAXA の研究開発成果を利用できた。	アマチュア無線機器の利用。

表 5.1.2.1-18(2/3) STARS-II 成功事例分析

プロジェクト No.	21		
プロジェクト名	STARS-II		
責任機関（実施の中心機関）	香川大学能見研究室		
事例 No.	3	4	
発生年月	2014/3	2014/3	
区分	運用	運用	
成功事例	CW データから、メイン CPU 起動を確認	テザー伸展に成功。 300m 伸展できたことを推定。 大気圏再突入までの期間短縮に成功	
要因分析	技術的要因	初号機の経験を踏まえ、CW データに各サブシステムへの電力情報をのせ、とくに電流値を載せることにより、メイン CPU の反応がない場合でも電源が入ったことを確認できるようにした。	ヒーターカッターは、初号機の実証品を利用。 テザー繰り出しのスプール方式は、十分な地上実験を実施した。
	人的要因	N/A	ヒーターカッターは、手先の器用なアマチュア技術家が、初号機のノウハウを活かして製作。 テザー伸展は、JAXA 研究開発本部で、経験豊富な研究者のもとで試験を実施した。
	組織的要因	N/A	TLE 取得および解析は香川大学、軌道降下シミュレーションは JAXA と分担して実施。
	時間的要因	N/A	N/A
	その他	運用自体はアマチュア無線家の協力を得ている。	メイン CPU が動作しない不具合がある中で、ミッション成果をあきらめずに得ようとした。
お造設計・運用試験・製造・運用段階に信頼性を確保	設計段階	CW データは動作に関する信頼性が高いので、ここにトラブル時にも状況を把握できるデータを載せた。	初号機技術の継承。 これまでの研究成果を踏まえた設計。
	試験実施	N/A	N/A
	製造段階	初号機の経験を継承	初号機の経験を継承
	運用段階	アマチュア無線家の協力を得た。	アマチュア無線家の協力を得た。
コストダウンのポイント	アマチュア無線機器の利用。	アマチュア技術家の協力により、費用が発生しないヒーターカッター製造ができた。	



表 5.1.2.1-18(3/3) STARS-II 成功事例分析

プロジェクト No.		21	
プロジェクト名		STARS-II	
責任機関（実施の中心機関）		香川大学能見研究室	
事例 No.	5		6
発生年月	2014/3		2014/3
区分	運用		運用
成功事例	大気圏再突入の周回を確認した		望遠鏡による光学観測に成功
要因分析	技術的要因	初号機で実績のある通信系および電源系を引き継いだ。	全国公共天文台の協力による。 各天文台のスタッフの技術による。
	人的要因	アマチュア無線家の協力のもと、学生も参加した運用。	各天文台を訪問し、プロジェクト、衛星を丁寧に説明し協力をお願いした。
	組織的要因	アマチュア無線家の協力が大きい。 大学地上局の設置、整備、運用前設定にも積極的に協力してくれた。	公共天文台であることから、都合があればボランティア的に協力してくれる。全国各地に天文台があるため、各地で観測してくれた。
	時間的要因	軌道投入から大気圏再突入まで2カ月程度、集中して運用できた。	観望会などと重なる時間帯の場合は厳しい。 が天文台の数が多いため、観測可能な天文台は観測を実施してくれた。
	その他	TLE 軌道情報は常に細かくモニターしていた。	北海道陸別町の銀河の森で、初号機を観測できたことから、超小型衛星でも光学観測で捉えられることが確認でき、今回の試みを実行した。
おける信頼性確保 設計・試験・製造・運用段階に	設計段階	N/A	N/A
	試験実施	N/A	N/A
	製造段階	N/A	N/A
	運用段階	アマチュア無線家による、運用前の準備、地上局動作確認。	N/A
コストダウンのポイント	アマチュア無線家の協力のため、コスト発生なし。		N/A



表 5.1.2.1-19 (1/2) STARS-C 成功事例分析

プロジェクト No.	22	
プロジェクト名	STARS-C	
責任機関 (実施の中心機関)	静岡大学能見研究室・山極研究室	
事例 No.	1	2
発生年月	2016/12	2017/4
区分	運用	運用
成功事例	初期運用において、親子 CW 受信成功	
要因分析	技術的要因	通信系および電源系を香川衛星と同じ設計とした。アンテナ調整はアマチュア無線家が遠隔指示であったが、破損はしていなかったと推定される。
	人的要因	電源基板設計は香川衛星の設計を踏襲、通信系は香川衛星のもの、アンテナ設計も香川衛星を継続、香川衛星の実証技術を用いた。
	組織的要因	香川衛星経験者の外部協力があった。
	時間的要因	N/A
	その他	過去の実績を踏襲した。
おける信頼性確保	設計段階	通信には実証技術を用いた。
	試験実施	E2E 試験を実施、また 100km 離れた通信試験を実施。
	製造段階	N/A
	運用段階	N/A
コストダウンのポイント	香川衛星実績品の使用	ヒーターカッターは低コストで実現できる。

表 5.1.2.1-19 (2/2) STARS-C 成功事例分析

プロジェクト No.		22	
プロジェクト名		STARS-C	
責任機関 (実施の中心機関)		静岡大学能見研究室・山極研究室	
事例 No.		3	4
発生年月		2017/9	2016/12-2017/11
区分		運用	運用
成功事例		親子を分離し、テザーを伸展することに成功。 FM パケットによる詳細データを取得できなかったが、ヒーターカッターによる親子分離コマンドを数回送信、分離に成功しテザー伸展を行うことができた。テザー伸展結果は TLE による軌道降下から確認。	望遠鏡による光学観測に成功。 動画撮影結果からは、姿勢変動推定をすることができた。
要因分析	技術的要因	地上局整備および 100km 遠隔通信試験により、コマンドが確実に送信できることを確認。 ヒーターカッターについては、十分な熱量が発生できないが、運用で繰り返すことによりテグスを切断できたと推定する。	全国各地の天文台に依頼、専用マーリングリストを作成して情報交換、各地天文台の独自技術により撮影を行った。
	人的要因	設計および製造をした人が運用にも参加していたこと、運用を当番制で継続できたこと。	日本公共天文台協会に参加、プロジェクト概要を説明した。STARS-II で各天文台と交流していたこともスムーズに進めることができた。
	組織的要因	運用体制を学生当番制とし、継続的にかつ絶え間なく実施したこと。	日本公共天文台協会への参加により、情報伝達、情報収集が効率的にできた。
	時間的要因	N/A	N/A
	その他	あきらめないこと	アマチュア無線家との交流と同様、アマチュア天文家、天文台との交流が重要であり、功を奏した。
お造設計・運用試験・製造 ける・信頼性 確に	設計段階	ヒーターカッターは実績品を使用。 繰り返し使用できる構造にしていた。	N/A
	試験実施	テグス切断試験は実施していた。	N/A
	製造段階	過去の実績を活用。	N/A
	運用段階	学生による継続的、連続的運用。	STARS-II 観測経験をベースにした。
コストダウンのポイント		ヒーターカッターは低コストで実現できる。	既存の天文台を利用

表 5.1.2.1-20 STARS-A0 成功事例分析

プロジェクト No.		23			
プロジェクト名		Stars-A0			
責任機関（実施の中心機関）		静岡大学能見研究室			
事例 No.	1	2	3	4	
発生年月	2018/10	2018/10	2018/11	2019/3	
区分	運用	運用	運用	運用	
成功事例		ロケットへの搭載ができた	初期運用において非常に強い CW 信号を受信できた。FM パケットによるコマンド送信および受信に成功した。	軌道上における通信系設定操作に成功した。コールサイン書換等。	数カ月の電波停止後に復旧に成功した。
要因分析	技術的要因	基本的には STARS 衛星バス系を用い、アマチュア技術家に回路設計等の専門家がいたために、本衛星に適合するよう改良した。	アマチュア無線家がアンテナ調整を行い、通信系を熟知していることから、また過去の実績も活用した。	通信コントローラーについて、過去の衛星では購入品であったが、本衛星ではアマチュア無線家が自作していたため、細かいところまで設計が分かっていた。	同左。さらに通信系以外も自作であったことから、原因究明ができた。
	人的要因	アマチュア技術家に専門知識を有する方が、それぞれの得意分野で活躍した。			
	組織的要因	アマチュア技術家で開発体制を整えた。			
	時間的要因	ここはうまく機能したとは言えない。基本月一回の東京でのミーティングとして進めた。打ち上げが近くなった時期でも、アマチュア技術家の各都合でアンドを取る必要があり、月一回のペースで合った。			
	その他	手作り感のある開発体制であった。			
信頼性確保の方法	設計段階	過去の実績を活用した。			
	試験実施	十分でなかった。基本過去の実績を頼りにして、理屈で押し切ったところが多かった。			
	製造段階	アマチュア無線家がメンバーにいたため、通信系については専任で任せていた。			
	運用段階	N/A			
コストダウンのポイント		基本的にコスト的には抑えたプロジェクトであった。専門技術が必要な作業について、アマチュア技術家の協力により、人件費がかからなかった。			

表 5.1.2.1-21 STARS-Me 成功事例分析

プロジェクト No.		24		
プロジェクト名		STARS-Me		
責任機関（実施の中心機関）		静岡大学		
事例 No.	1	2	3	
発生年月	2018/10	2018/10	2018/11	
区分	運用	運用	運用	
成功事例	初期運用で CW 受信に成功	コマンド送信を受信したことを CW から確認	ミッション CPU の起動に成功	
要因分析	技術的要因	通信制御基板および無線機は実績品を利用。その他バスシステムも実績品であり、手堅い設計としていた。アンテナが新規開発で、ここがトラブルの原因となった。	同左 なお、アンテナ不調および地上局不調から、テレメトリ受信には至っていない。	同左
	人的要因	過去衛星開発者がバス機器構成を担当した。		
	組織的要因	教員トップダウン		
	時間的要因	実績品を使用しているため、最低限の試験で成功できた。		
	その他	衛星搭載アンテナおよび地上局は不調であった。		
信頼性確保の方法 設計・試験・製造・運用段階における	設計段階	過去衛星実績品の使用		
	試験実施	アンテナ測定試験は十分に行った。		
	製造段階	衛星組立経験者によるアッセンブリ。		
	運用段階	N/A		
コストダウンのポイント	過去衛星実績品の使用			

表 5.1.2.1-22(1/4) 鳳龍弐号 成功事例分析

プロジェクト No.	25		
プロジェクト名	鳳龍弐号		
責任機関 (実施の中心機関)	九州工業大学衛星開発プロジェクト		
事例 No.	1	2	
発生年月	2012 年 7 月	2019 年 1 月	
区分	運用	運用	
成功事例	メインミッションである高電圧発電に成功した。	ミッションの一つである軌道上でのプラズマ干渉による高電圧太陽電池の放電検知に成功した。	
要因分析	技術的要因	ミッション機器（高電圧発電、放電検知）の開発を行う上で、EM の衛星システム全体を真空容器の中に入れ、実際にプラズマ中で信号がとれるかどうかを検証した。(参考文献[5.1-26])このようなミッション機器の開発検証ができるのは、サイズの小さい超小型衛星ならではだと思ふ。地上局からコマンドを送り、実際に衛星でミッション機器を動作させ、そのデータを地上局に送り返してデータの中身を確認するというプロセスを実施した。衛星ミッションの幹をまず細いながらも確立させ、その幹を太くする（信頼性を増やす）、枝葉をつける（様々なオプションをつける）というやり方がうまくいった。Test as you fly という言葉があるように、できるだけ実際の飛行状態に近い状態で試験をすることが大事。	
	人的要因	研究室の中でも、一番優秀な学生にタスクを割り振った。運用の際には、開発を行った学生は卒業していたが、引き継ぎがうまくいった。	研究室の中でも、一番優秀な学生にタスクを割り振った。学生は 4 年生の時に高電圧放電の実験を行っており、どういふ実験をしないといけないか、理解をしていた。運用の際には、開発を行った学生は卒業していたが、引き継ぎがうまくいった。
	組織的要因	衛星プロジェクトは学生主導で行なったが、ミッション機器の開発は、卒論・修論の一環でもあったので、教員が衛星帯電の専門家の観点から常に指導を行なった。修論として文書化したので、引き継ぎもうまくいった。	
	時間的要因	東日本大震災により打ち上げが半年延びた。それにより開発時間に余裕がもてた。もし、当初通りのスケジュールであったら、信頼性をここまで高められなかったと思う。	
	その他	N/A	
設計・試験・製造・運用段階における信頼性確保の方法	設計段階	高電圧発電や太陽電池の放電は、研究室のメインテーマであり、実験室で多くの実験を繰り返してきた。その知見にもとづいて、ミッション機器を設計できたことが成功要因としてある。	
	試験実施	同 技術的要因	
	製造段階	電子回路は設計までは学生が行うが、実装は P 板.com に依頼した。放電防止のために、宇宙用接着剤で露出金属部を徹底的に覆った。	
	運用段階	同 技術的要因 このミッションは、衛星がシングルイベントから復帰した直後に実施した。衛星がまたいつ死ぬかわからなかったので、復帰後はこの実験を最優先とした。	同 技術的要因
コストダウンのポイント	N/A		

表 5.1.2.1-22(2/4) 鳳龍弐号 成功事例分析

プロジェクト No.	25	
プロジェクト名	鳳龍弐号	
責任機関（実施の中心機関）	九州工業大学衛星開発プロジェクト	
事例 No.	3	
発生年月	2019 年 1 月	
区分	運用	
成功事例	ミッションの一つである軌道上での受動的電子放出素子の実証実験に成功した	
要因分析	技術的要因	ミッション機器の開発を行う上で、EM の衛星システム全体を真空容器の中に入れ、実際にプラズマ中で信号がとれるかどうかを検証した。[5.1-26]このようなミッション機器の開発検証ができるのは、サイズの小さい超小型衛星ならではだと思ふ。地上局からコマンドを送り、実際に衛星でミッション機器を動作させ、そのデータを地上局に送り返してデータの中身を確認するというプロセスを実施した。衛星ミッションの幹をまず細いながらも確立させ、その幹を太くする（信頼性を増やす）、枝葉をつける（様々なオプションをつける）というやり方がうまくいった。Test as you fly という言葉があるように、できるだけ実際の飛行状態に近い状態で試験をすることが大事。
	人的要因	ポスドク 1 名と大学院生 1 名のペアがミッション機器の開発を行った。ポスドクがミッション機器開発に責任をもち、学生の卒論・修論として徹底して実験を行った。（文献 [5.1-25]）
	組織的要因	衛星プロジェクトは学生主導で行なったが、ミッション機器の開発は、卒論・修論の一環でもあったので、教員が衛星帯電の専門家の観点から常に指導を行なった。
	時間的要因	東日本大震災により打ち上げが半年延びた。それにより開発時間に余裕もてた。もし、当初通りのスケジュールであったら、信頼性をここまで高められなかったと思う。
	その他	N/A
信頼性確保の方法 における 設計・試験・製造・運用段階	設計段階	この素子は、研究室で長年にわたって研究を行なってきたもので、動作特性や測定回路を熟知していた。その知見に基づいて、ミッション機器を設計できたことが成功要因としてある。
	試験実施	同 技術的要因
	製造段階	電子回路は設計までは学生が行うが、実装は P 板.com に依頼した。放電防止のために、宇宙用接着剤で露出金属部を徹底的に覆った。
	運用段階	衛星がプラズマによって帯電する状況が生まれないとこの素子は動作しない。そのために、オーロラ予測データを毎日チェックして、ミッションを実施する日程をくんだ
コストダウンのポイント	N/A	



表 5.1.2.1-22(3/4) 鳳龍弐号 成功事例分析

プロジェクト No.	25	
プロジェクト名	鳳龍弐号	
責任機関 (実施の中心機関)	九州工業大学衛星開発プロジェクト	
事例 No.	4	
発生年月		
区分	運用	
成功事例	電源系が機能し続けた	
要因分析	技術的要因	<p>単純な設計と徹底的な試験</p> <p>太陽電池パネルはシャープから二重接合太陽電池を無償で提供してもらった。軌道上データを渡すという条件つき。太陽電池パネルの自作は学生のハンドスキルを考えると論外であった。企業に外注するのもお金がかかった。たまたまシャープが薄膜型二重接合太陽電池を開発したばかりで、ラミネート加工された太陽電池パネルを提供してもらった。通常の電極等がむきだしてになったカバーガラス付き太陽電池に比べて、取り扱いが非常に容易であり、学生にハンドリングさせても安心であった。</p> <p>バッテリーは入手性を考えて、市販のエネループを採用した。ロバストな電池であり、現在も九工大衛星はエネループを使用している。バッテリーは完全に断熱する設計としたが、軌道上データは 10°C±数°Cをキープしており、非常に安定した温度であった。</p> <p>バッテリーがゼロであっても、光が当たっている限り再充電可能な簡単な設計にした。その検証も地上で実際に何回も試験を行っていた。太陽電池アレイシミュレータを使って電力消費の時間プロファイルに合わせた充放電試験を繰り返し、電源系の検証は徹底的に行った。この設計がシングルイベントラッチアップからの復帰に有効であった。</p>
	人的要因	大学院生 2 名が、卒論・修論のテーマとして、徹底して試験を行った。
	組織的要因	学生に卒論・修論テーマとしたことが大きい。修論として文書化したので、引き継ぎもうまくいった。
	時間的要因	N/A
	その他	N/A
信頼性確保の方法 おける設計・試験・製造・運用段階に	設計段階	バッテリーがゼロからでも回復するように、アナログ素子だけで構成するようこころがけた。立ち上がり時にデジタル機器が半死の状態になって、電源系が立ち上がらなくなることを恐れた
	試験実施	同 技術的要因
	製造段階	電子回路は設計までは学生が行うが、実装は P 板.com に依頼した。放電防止のために、宇宙用接着剤で露出金属部を徹底的に覆った。 太陽電池パネルについては、技術的要因参照
	運用段階	N/A
コストダウンのポイント	N/A	



表 5.1.2.1-22(4/4) 鳳龍弐号 成功事例分析

プロジェクト No.	25	事例 No.				
時間配分						
鳳龍弐号で実施した試験。数字は実施順						
試験項目	回数	STM	EM	EM ver. 2	FM	
アンテナパターン	1	1				
振動	7	2, 3	8, 11	16, 18	27	
電気インターフェース	3		4	13	20	
通信	3		5	17	23	
熱平衡	1		6			
衝撃	6	7	10	15, 19	28, 29	
熱真空	4		9	14	22, 24	
機能	3		12		26*b	
ベーキング	1				30	
End-to-End	1				31	
フライト品検査	2				21, 25	
鳳龍弐号で実施した試験にかかった延べ日数。数字は人・日						
試験項目	計	STM	EM	EM ver. 2	FM	
アンテナパターン	90	90				
振動	294	110	90	63	31	
電気インターフェース	45		5	26	14	
通信	124		89	23	12	
熱平衡	120		120			
衝撃	185	9	60	50	66	
熱真空	492		74	169	249	
機能	31		8		23	
ベーキング	59				59	
End-to-End	81				81	
フライト品検査	51				51	
ミッションペイロード	577					
地上局運用リハーサル	62					
合計	2289	209	446	331	586	

表 5.1.2.1-23 鳳龍四号 成功事例分析

プロジェクト No.		26	
プロジェクト名		鳳龍四号	
責任機関 (実施の中心機関)		九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー	
事例 No.		1	2
発生年月		2016年2月	打上げ後～現在
区分		運用	電源系
成功事例		メインミッションである太陽電池放電の電流計測と画像取得に成功した。[5.1-7]	衛星のリセットがうまく機能した。鳳龍弐号の場合、H8 マイコンの度重なる SEL (シングルイベントラッチアップ) により、衛星運用の中断を余儀なくされたが、鳳龍四号では衛星のリセットは多数発生したものの、その度に衛星は無事に立ち上がっている。
要因分析	技術的要因	鳳龍弐号のメインミッションと同様である。開発にあたっては、衛星のシステム全体を真空容器の中に入れて、できるだけ実際に近い環境の中で行った。Test as you fly が大事である。このようなミッション機器の開発検証ができるのは、サイズの小さい超小型衛星ならではのと思う。地上局からコマンドを送り、実際に衛星でミッション機器を動作させ、そのデータを地上局に送り返してデータの中身を確認するというプロセスを実施した。衛星ミッションの幹をまず細いながらも確立させ、その幹を太くする (信頼性を増やす)、枝葉をつける (様々なオプションをつける) というやり方がうまくいった。Test as you fly という言葉があるように、できるだけ実際の飛行状態に近い状態で試験をすることが大事。	鳳龍四号の C&DH の基本は鳳龍弐号と同様に二つの H8 マイコンがデータ処理と通信を各々担当している。鳳龍四号では、Watch PIC (いわゆる神 PIC) を導入し、各 H8 からの信号が途絶した際にパワーリセットをかけられるようにしている。また、過電流保護回路については、閾値を SEL 発生時の電流よりも下にして、実際の放射線試験で動作を確認した。さらに、地上からの L-band によるリセット回線を用意した。(ただし、L-band は結局今まで一度もしようしていない) Watch PIC、OCP の役割が大きかった。
	人的要因	ミッション機器の開発に専念するスタッフを1名雇用した。このミッション機器の開発は学生では荷が重かったと思われる。	技量を信頼できる学生にリセット回路の設計を担当させた
	組織的要因	上記の専任スタッフに加えて、開発を補佐する学生を1名つけ、2人体制で行った。最終的にこの学生は、打上げ後の後期運用のプロマネに成長した。	N/A
	時間的要因	鳳龍弐号の経験から、打上げ後1週間で速やかにメインミッションを実施した。	N/A
	その他	N/A	実際の放射線試験により、対策を検証したことが大きい。
設計・試験・信頼性確保・製造・運用方法	設計段階	高電圧発電や太陽電池の放電は、研究室のメインテーマであり、実験室で多くの実験を繰り返してきた。その知見にもとづいて、ミッション機器を設計できたことが成功要因としてある。	同 技術的要因
	試験実施	同 技術的要因	同 技術的要因
	製造段階	電子回路は設計までは大学で行うが、実装は P 板.com に依頼した。衛星はハーネスが多数存在したが、ハーネスへのコネクタの半田付けも外注した。	学生が回路設計を行なったが、実装は P 板.com に依頼した。
	運用段階	鳳龍弐号の経験から、打上げ後1週間で速やかにメインミッションを実施した。	N/A
コストダウンのポイント		N/A	N/A

表 5.1.2.1-24 BIRDS-3 成功事例分析

プロジェクト No.		29	
プロジェクト名		BIRDS-3	
責任機関（実施の中心機関）		九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー	
事例 No.		1	2
発生年月		2019年6月19日（放出から2日後）	2019年6月17日から2021年3月（現在まで）
区分		通信系	システム
成功事例		衛星との通信（アップリンク、ダウンリンク）確立に成功した	衛星バスが正常に動作。ミッションも磁気トルカを除いて成功。（参考文献[5.1-2]）
要因分析	技術的要因	BIRDS-2のLessons Learned(表5.1.2.2-18)を参照。BIRDS-2に比べてリンクバジェットを17.7dB向上させた。[5.1-7]	衛星バスが正常に動作。ミッションも磁気トルカを除いて成功。（参考文献[5.1-2]）
	人的要因	チーム内に通信系に非常に精通した学生がいた。BIRDS-1, BIRDS-2の地上系・通信系担当と合わせ、3名で非常に強力なチームを組んで問題に対処した。	N/A
	組織的要因	N/A	N/A
	時間的要因	N/A	少数精鋭であったため、ミッションを絞り込んだ。そのことがうまくいった要因だと思う。
	その他	N/A	N/A
設計・試験・製造・運用段階における信頼性の確保の方法	設計段階	表5.1.2.2-18「修正処置」参照	N/A
	試験実施	フライトモデルの長距離のEnd-to-End試験を実施して、回線計算が正しいことを徹底的に検証した。	N/A
	製造段階	N/A	N/A
	運用段階	N/A	N/A
コストダウンのポイント		N/A	N/A

### 5.1.2.1.2 検討

#### (1) 成功の主要な要因

表 5.1.2.1-25、図 5.1.2.1-1 に成功事例の報告件数とその比率を示す。個別成功事例報告は 68 件、衛星全体の成功要因分析が 4 件報告された。これらの事例を、「ミッションの達成」「衛星の基本バス機能の実証（通信、電源）」「衛星の高度なバス機能の実証（姿勢制御）」「地上試験による成果」「その他」に分類した。「衛星の基本バス機能の実証（通信、電源）」に関するものが最も多く、次いで「ミッションの達成」に関するものが挙げられた。なお衛星全体の成功を分析する 4 件の回答についても「ミッションの達成」にカウントしている。この集計では、「ミッションの達成」と分類しているもののうち、各衛星のサクセスクライテリアにおいてどの項目まで達成しているかは区別していない。

表 5.1.2.1-25 成功事例の件数と比率

区分	件数	比率 [%]
ミッションの達成	22	30.6
衛星の基本バス機能の実証（通信、電源）	24	33.3
衛星の高度なバス機能の実証（姿勢制御）	15	20.8
地上試験による成果	5	6.9
その他	6	8.3
計	72	100.0

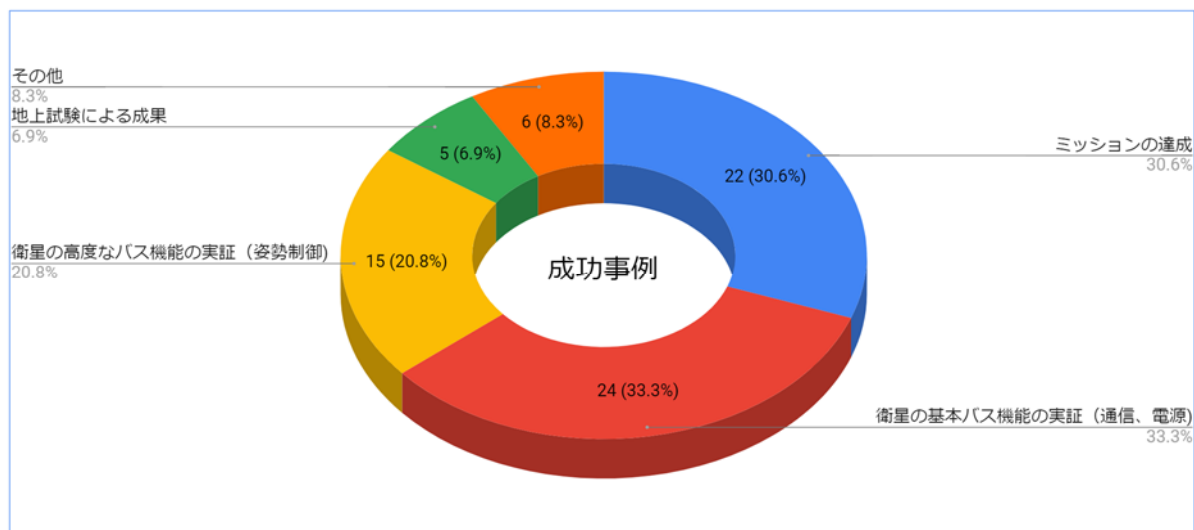


図 5.1.2.1-1 成功事例の件数比較

次に、今回の分析では、上記の成功事例分類のうち多くの事例が報告された「ミッションの達成」と「衛星の基本バス機能の実証（通信、電源）」について、回答者が成功要因として挙げている文章の中から主な要素を抽出し、集計した。1つの事例から、複数の要因を抽出したケースも有るため、その合計値は、事例の報告件数の合計値よりも大きな値を取っている。

表 5.1.2.1-26、図 5.1.2.1-2 に技術的項目に関する成功事例の要因分析の集計結果を示す。「ミッションの達成」においては、『地上試験』を主な要因として挙げているものの件数が最も多く 15 件であった。「衛星の基本バス機能の実証（通信、電源）」については、『実績の活用』が最も多く 12 件であり、『地上試験』『経験者・専門家』が 9 件とそれに次ぐ順位で挙げられている。

表 5.1.2.1-26 成功事例の要因分析（技術的項目）

成功要因の記述文章から抽出された主な要素	ミッションの達成 件数と全 22 件に対する比率		衛星の基本バス機能の実証（通信、電源） 件数と全 24 件に対する比率	
	報告件数	全報告件数比 [%]	報告件数	全報告件数比 [%]
地上試験	15	68.2	9	37.5
経験者・専門家	6	27.3	9	37.5
実績の活用	6	27.3	12	50.0
不具合管理	3	13.6	2	8.3
システム単純化	3	13.6	1	4.2
回線設計	2	9.1	3	12.5
相互監視	2	9.1	2	8.3
軌道上リプログラミング	2	9.1	2	8.3
レビューの実施	1	4.5	0	0.0
運用の工夫	1	4.5	1	4.2
要素技術	1	4.5	5	20.8
安全審査	0	0.0	1	4.2
サブ CPU	0	0.0	3	12.5

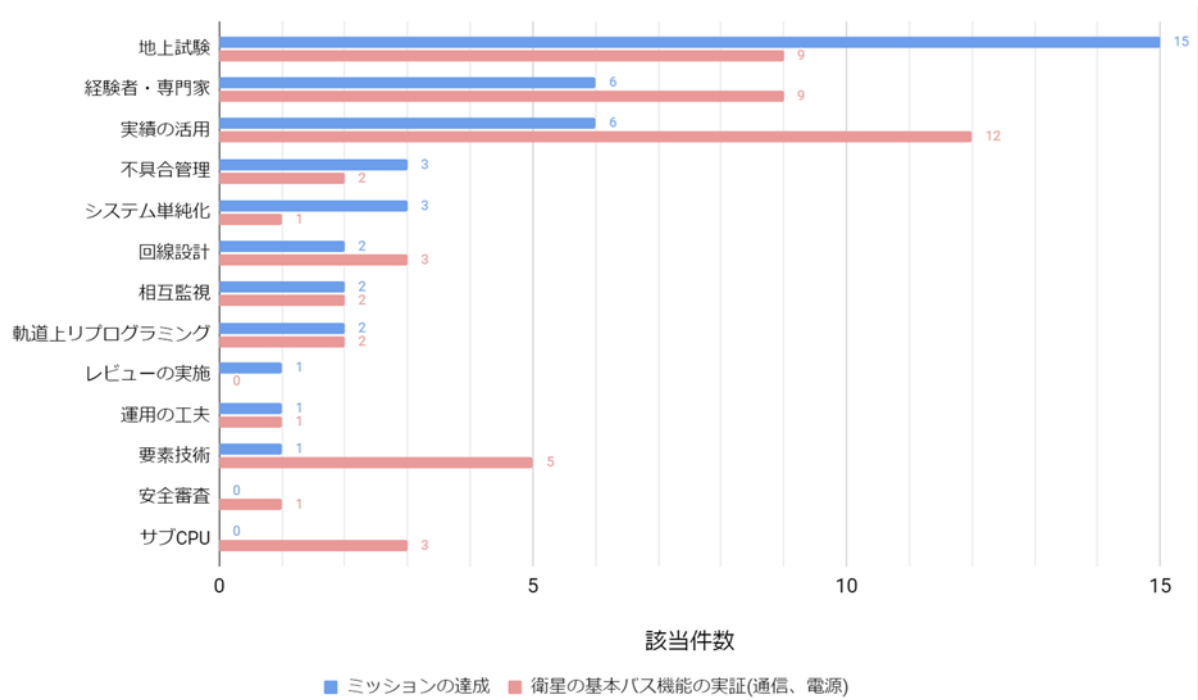


図 5.1.2.1-2 成功事例の要因分析結果の件数比較 (技術的項目)

表 5.1.2.1-27、図 5.1.2.1-3 に人的項目・組織的項目に関する成功事例の要因分析の集計結果を示す。「ミッションの達成」においては、『専門家への外注』を主要な要因として挙げているものの件数が最も多く 9 件であった。「衛星の基本バス機能の実証（通信、電源）」については、『経験者の指導』が最も多く 18 件であり、『教員指導』が 7 件、『専門家への外注』が 6 件とそれに次ぐ順序で挙げられている。

表 5.1.2.1-27 成功事例の要因分析（人的項目・組織的項目）

成功要因の記述文章から抽出された主要要素	ミッションの達成 件数と全 22 件に対する比率		衛星の基本バス機能の実証（通信、電源） 件数と全 24 件に対する比率	
	報告件数	全報告件数比 [%]	報告件数	全報告件数比 [%]
専門家への外注	9	40.9	6	25.0
経験者の指導	8	36.4	18	75.0
学生の意識	6	27.3	4	16.7
学生主導	5	22.7	2	8.3
教員主導	5	22.7	7	29.2
学生の研究テーマ	5	22.7	1	4.2
文書化	3	13.6	2	8.3
設計者と運用者の一致	3	13.6	0	0.0
コミュニケーション	2	9.1	4	16.7
不具合管理	2	9.1	2	8.3
学生の技量	2	9.1	2	8.3
ダブルチェック	1	4.5	3	12.5
少人数チーム	1	4.5	3	12.5
シフト管理	1	4.5	1	4.2
学生間の指導体制	1	4.5	0	0.0
試験での習熟	0	0.0	1	4.2



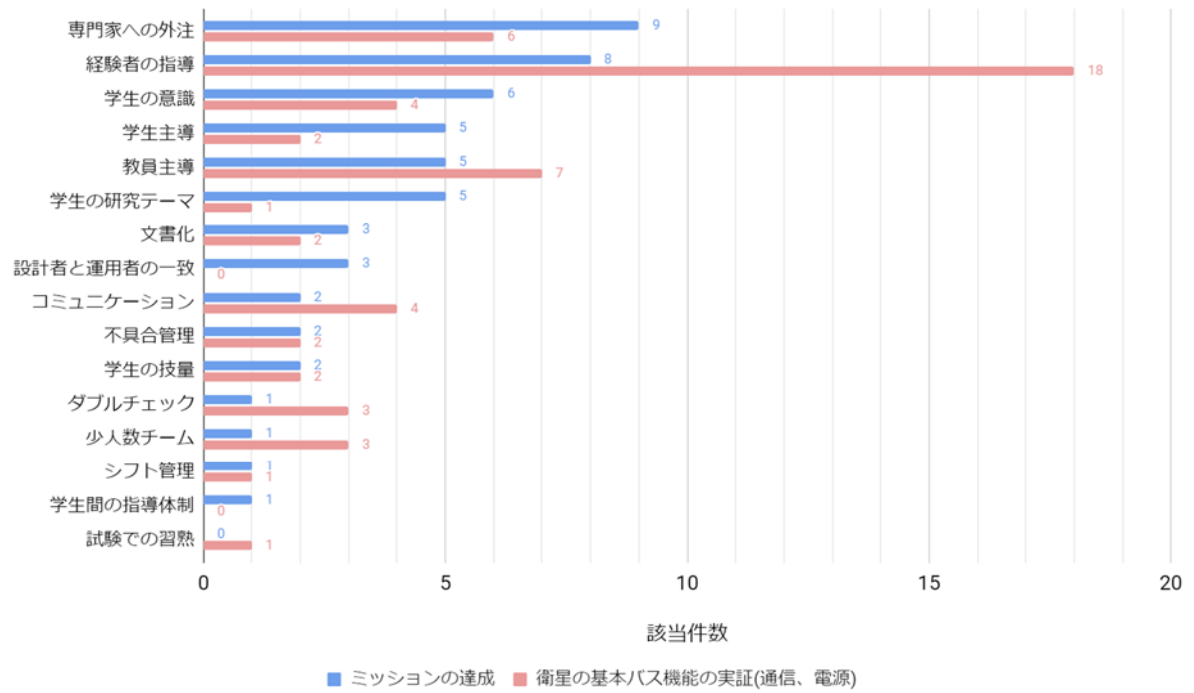


図 5.1.2.1-3 成功事例の要因分析の件数比較（人的項目・組織的項目）

## (2) 設計・製造段階における信頼性確保の方法

設計・製造段階における信頼性確保の方法としては、成功事例の分析があった 24 件のプロジェクトのうち半数以上の 16 件で過去の実績または衛星開発経験者の知見を活用したと記述があり、1) での成功要因分析と同様の傾向が確認できる。また、表 5.1.2.1-27 に抜粋したように放射線耐性の高い PIC (Peripheral Interface Controller) を利用した監視システムを複数のプロジェクトが信頼性確保の方法として挙げている。これらの衛星はいずれもミッションを成功しており、放射線耐性の高い PIC を利用した監視システムが信頼性確保に寄与していることを裏付けている。

表 5.1.2.1-27 信頼性確保に PIC を利用した事例

プロジェクト No.	プロジェクト名	事例抜粋
6	XI-IV	(前略)PIC プロセッサ(PIC16F877)を 3 台、C&DH、送信機、受信機に配置し、それぞれのサブシステムの作業をすると同時に他の系の動作を監視し、異常時(ハングアップ時)にはその系の電源系を OFF-ON (リセット)することで健全性を維持(相互監視)。また、過電流も同様に相互監視し、見つかったら迅速にリセットをかけて SEE に対策。(後略)
7	PRISM/ひとみ	XI-IV, XI-V で軌道上実証し、非常に強いことが判明している PIC プロセッサ(PIC16F877)を 2 台、最も大事な受信機制御の CPU に配置し、受信機だけは冗長系にした。新たに搭載した H8 プロセッサ(送信機と電源制御系に入れる)と SH2 プロセッサ(姿勢制御系)の動作を監視し、異常があったらそれをリセットする役割をこの PIC には与えた。逆向きの監視は行わない。この PIC を「神」と呼んで、ここに全幅の信頼をおいた。(後略)
26	鳳龍四号	鳳龍四号の C&DH の基本は鳳龍弐号と同様に二つの H8 マイコンがデータ処理と通信を各々担当している。鳳龍四号では、Watch PIC(いわゆる神 PIC)を導入し、各 H8 からの信号が途絶した際にパワーリセットをかけられるようにしている。また、過電流保護回路については、閾値を SEL 発生時の電流よりも下にして、実際の放射線試験で動作を確認した。さらに、地上からの L-band によるリセット回線を用意した。(ただし、L-band は結局今まで一度もしていない) Watch PIC、OCP の役割が大きかった。

## (3) コストダウンのポイント

コストダウンのポイントとしては、民生品の利用（3件）、冗長系の削減・工夫（3件）が複数のプロジェクトにおいて挙げられている。表 5.1.2.1-28 に抜粋を示す。

表 5.1.2.1-28 コストダウンのポイント事例 抜粋

コストダウンのポイント	プロジェクト No.	プロジェクト名	事例抜粋
民生品の利用	2	HODOYOSHI-3, 4	民生素子の利用（後略）
	5	UNIFORM-1	民生素子の利用（後略）
	11	MicroDragon	使用した部品自体は COTS (民生品) であったが、過去のプロジェクトから連続して検証データを蓄積しているため、宇宙用部品と同程度までの確度が達成できている。 実装上の工夫として、担当エンジニアの技術依存の箇所は、同じエンジニアが同じ材料と手順で行うことで洗練されている。
冗長系の削減・工夫	6	XI-IV	・冗長系は廃止し（もともとサイズが小さいので冗長系は無理）、機能冗長とリセットを多用した
	7	PRISM/ひとみ	”・冗長系は廃止し（もともとサイズが小さいので冗長系は無理）、機能冗長とリセットを多用した ・ただし、最も大事な受信機だけは冗長系にし、その制御には軌道実績のある PIC を利用”
	10	PROCYON	超小型衛星では冗長系を組むことが難しいので、適切なりセットシステム設計とその試験が重要である。PROCYON では H/W 部分はほどよしのリセットシステムを踏襲しつつ、S/W 部分では CDH 系、電源系と姿勢制御系が連携した階層的な FDIR システムを組むことで、より強固なりセットシステムを構築した。 また、姿勢制御系では機器冗長ではなく、ソフトウェア的な機能冗長を積極的に取り込み、故障に強くした。一方で、RW 等機能冗長が難しい部分では機器冗長を選択するなど、個別に設計を行った。

## 5.1.2.2 失敗事例

### 5.1.2.2.1 事例分析

表 5.1.2.2-1～表 5.1.2.2-26 に失敗事例の事例分析結果を示す。

各表には、衛星全体の情報として、以下が記載されている。

#### 【プロジェクト（衛星）情報】

- ・ 失敗事例整理のための通し番号（プロジェクト No.）：5.1.1.3 項(2)の1) 参照
- ・ プロジェクト名（もしくは衛星名）
- ・ 責任機関、ミッションの概要、衛星サイズ・質量）、資金元、資金額、参加人員数、
- ・ 参加機関・役割分担
- ・ 事例 No.（当該プロジェクトにおける各失敗事例の通し番号）

・ 発生年月

・ 区分（システム、サブシステム／系、運用、等の事例の識別）

・ 失敗事例

・ 要因分析

（失敗した要因を技術的要因と人的要因、組織的要因、時間的要因、その他、に分け要因事項の洗い出し）

・ 修正処置

・ 是正処置

・ その他改善事項

失敗事例分析結果の更なる検討については、本項（5.1.2.2 項）の「(2) 検討」で実施する。

表 5.1.2.2-1(1/14) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例分析

プロジェクト No.	1	
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98	
責任機関 (実施の中心機関)	東京工業大学 動設計学研究室 (坂本研)、および中西研究室	
事例 No.	1	
発生年月	2016年8月ごろから衛星引き渡し 2018年11月23日の引き渡しまで	
区分	システム	
失敗事例	<p>バス系の基本ソフト開発の遅れ</p> <p>バスのソフトウェア全般のフライトモデル版を東工大の坂本研・中西研で開発していたが、2018年11月23日の引き渡し直前まで完成しなかった。結果としてフライトソフトウェア最終版の長時間動作試験を実施しないまま引き渡しを行うこととなり、失敗事例 No. 11, No. 12 に記載する軌道上の不具合の見落としにつながった。ハードウェアで不具合が続出したため、ソフトウェアの人員を著しく割いてしまっており、ソフトウェア開発が停滞していることに対して手を打たなかった。ハードウェアの不具合が解決次第、ハードウェアの人員をソフトウェアに移動させて対応する、という開発手順を取ってしまった。これによりミッションのほぼ全損につながる不具合の見落としという結果をもたらした。(注：上記執筆後の2021年1月より通信が復帰し運用再開している。)</p>	
要因分析	技術的要因	<p>(i) 放出直後のアンテナ展開と通信受信、(ii) HK データ生成、(iii) 衛星モードの切り替え、の3つについてのソフトウェアは特に重要度が高いが、OrigamiSat-1についてはEMでのソフトウェアの完成度が低く、実装を後回しにした。これにより、FMでの長期動作試験を実施できず、軌道上での不安定な挙動に直結した。ハードウェアの不具合に対しては振動試験といった明確なメ切が存在したため、そちらの対応に人員を割き、ソフトウェア専属の学生は数か月間1名だけという状態だった。しかしその担当者は未経験者でありうまく開発を進められていなかったが、その停滞した状況について手を打たず、「ハードウェアの目途が立ったらハードウェアの人員をソフトウェアに移行して大人数で解決する」という甘い見通しを立ててしまっていた。</p>
	人的要因	<p>そもそもBBM、EMの段階で、フライトと同等のソフトウェアがなくては開発を次のステップに進めない、という強いリーダーシップが必要だったと思うが、教員はそのような形では介入しなかった。EMまでのソフトウェアは不完全な部分が多く、FMになって大幅にソフトウェアを更新しなくてはいけない状態のものしかなかった。</p> <p>OrigamiSat-1ではEMまではミッション系とバス系がある程度2つの研究室(坂本研/中西研)に分かれて活動してしまっていたため、バス系の開発の遅れに対してミッション系の人員を割くという対応ができていなかった。2016年8月のSDRですでにその問題点を自分たちで指摘していたが、対策を取らなかった。2017年12月のEM振動試験に準備が間に合わない、という状態になってようやく開発拠点を1研究室に集約した。一方で上述の通り、ハードウェアの不具合の対応に追われソフトウェア開発が後回しとなりその遅れを取り戻せなかった。</p>
	組織的要因	<p>BBM、EM段階での教員のリーダーシップの欠如にある。4-2に書いた通り(下図も参照)、当初はバス系とミッション系が別々の研究室が担当としており、隣の建物で作業の様子は見えない。このためバス系の窮境に対し、開発が順調に進んだミッション系の人員を割くことをしなかった、というセクショナリズムに囚われていた。</p> <p>Principal Investigator 坂本 (東工大)                  Project Manager 中西 (東工大)                  Student Project Manager 池谷 (東工大M2)</p> <p>中心開発チーム</p> <p>協力:                  東工大 松永研 (東工大 コバルト照射実験施設)                  ISAS/JAXA ソーラーセイルWG, 川崎研, 小川研 (その他多くの機関の皆様)                  東工大 無線研究室 (学生2名)                  東工大 広川研 戸村                  航空機微小重力実験の主導: 日本大学 宮崎研 山崎</p>

表 5.1.2.2-1(2/14) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例分析

(続)	プロジェクト No.	1	事例 No.	1
要因分析	時間的要因	<p>下図のように OrigamiSat-1 では開発はミッション系が大幅に先行し、最初の 2 年間で新規開発のミッション機器が EM まで完成できていた。一方でバス系は最初の 2 年間で BBM から EM へ移行できず、ミッション系の人員をバス系に移動してから EM 開発が始まる状態だった。この不適切な開発手順が、バス系ソフトウェア開発の遅れをもたらした。</p> <p>このような時間配分になってしまった理由は、バス系開発だけを担当する学生たちの当事者意識を引き出すことができなかったことにある。ミッション系開発は華々しく、学会発表にもつながりやすいため学生たちは自分の時間を割くことに意義を見出しやすい。一方でバス開発は地味であり、自分の時間を割く意義が低いと感じられるため、教員に頼まれたことを最低限のふんだけ空き時間にやる、という対応にしかならなかった。バス系は衛星の命であるから、何としてもこの衛星を自分たちの手で打ち上げるのだ、という気概のあるメンバーがシステム統合の面倒を見るのでなければ衛星全体の信頼性向上にはつながらない。</p> <p>ミッション部： <span style="display: inline-block; width: 100px; height: 15px; background-color: #c8e6c9; border: 1px solid black;"></span> BBM/EM <span style="display: inline-block; width: 50px; height: 15px; background-color: #bbdefb; border: 1px solid black;"></span> FM</p> <p>バス部・統合： <span style="display: inline-block; width: 100px; height: 15px; background-color: #ffe0b2; border: 1px solid black;"></span> BBM <span style="display: inline-block; width: 50px; height: 15px; background-color: #c8e6c9; border: 1px solid black;"></span> EM <span style="display: inline-block; width: 50px; height: 15px; background-color: #bbdefb; border: 1px solid black;"></span> FM</p> <p style="text-align: center;"> <span style="display: inline-block; width: 100%; border-bottom: 1px solid black; margin-bottom: 5px;"></span> <span style="display: inline-block; width: 20%; text-align: left;">2015. 1.</span> <span style="display: inline-block; width: 20%; text-align: left;">2016. 1.</span> <span style="display: inline-block; width: 20%; text-align: left;">2017. 1.</span> <span style="display: inline-block; width: 20%; text-align: left;">2018. 1.</span> <span style="display: inline-block; width: 20%; text-align: left;">2019. 1.</span> </p>		
		その他	<p>OrigamiSat-1 は機械系の研究室で開発したため、ハードウェア開発を楽しむ一方、ソフトウェア開発の経験者は少なかったため、ソフトウェア開発の重要性や、ソフトウェア開発に要する時間を甘く見積もってしまう傾向があった（経験・知識の欠如）。</p>	
修正処置	<p>FM 振動試験は 2 回目までずれこんだが何とか完了でき、その後、衛星引き渡しまでほぼ全メンバーでソフトウェア開発を集中的に実施し、引き渡しまでにソフトウェアを作成した。（しかし試験が足りずバグが残っていた。）</p>			
是正処置	<p>OrigamiSat-1 メンバーが開発に取り組んでいる HELIOS 5G 系ミッション機器では、BBM 段階から End-to-end 試験を繰り返し行い、フライト用のソフトウェアを BBM の試験時から段階的に発展させて作っていく体制を取っている。</p>			
その他改善事項	<p>FM 開発の際、開発拠点を 1 か所に集約することで開発が大幅に加速した。たとえ隣同士の建物でも、他のメンバーの作業が見えない場合は大幅なコミュニケーションロスがあるとわかった。</p>			



表 5.1.2.2-1(3/14) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例分析

プロジェクト No.	1	
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98	
責任機関（実施の中心機関）	東京工業大学 動設計学研究室（坂本研）、および中西研究室	
事例 No.	2	
発生年月	2016年8月ごろから衛星引き渡し 2018年11月23日の引き渡しまで	
区分	システム	
失敗事例	<p>バス系開発の遅れの軽視</p> <p>下図のように OrigamiSat-1 では開発はミッション系が大幅に先行し、2015年～2017年にミッション系はEMまで完成していたが、バス系は2017年にはまだBBMで、ミッション系が完成してから後追いでバス系を作る形の開発手順となってしまった。2016年8月にバス開発の遅れは審査会で開発者たち自身が指摘していたが改善しなかった。これにより衛星システムが複雑化し、開発末期に多くの不具合をもたらした。</p> <p>ミッション部： BBM/EM FM</p> <p>バス部・統合： BBM EM FM</p> <p>2015.1. 2016.1. 2017.1. 2018.1. 2019.1.</p>	
要因分析	技術的要因	OrigamiSat-1ではバス機器の多くはClyde SpaceとGomSpaceという海外メーカから購入する方針とした。英語の仕様書を読みながら自分たちで統合する作業は、機器がブラックボックスである部分が多く困難が多かった。想定と異なる動作をしたとき、それが自分たちの使い方が間違っているのかそういう仕様なのか、機器が故障しているのかわからず、購入機器を使用すること特有の技術的困難さがあった。
	人的要因	海外メーカの機器を使用するという方針は教員からトップダウンで開発学生に知らされたため、学生たちは大量の英語マニュアルを読み、海外メーカの技術者に英語で質問することに高いモチベーションを見出すことが難しかったと推察している。一番苦勞をする学生たちが基本方針を考えると参加しなくては、当事者意識を持ちにくく、開発が進みにくい。 一方で教員側には、完成した基板を購入するのだから、ひとたび使い方がわかれば開発は迅速化するだろうという甘い見通しがあり、開発の遅れを軽視していた。
	組織的要因	失敗事例 No. 1に書いた通り、開発当初はバス系とミッション系は別々の研究室（隣の建物）で分担して開発をしていたため、バス系開発の遅延をミッション系開発メンバーが積極的に支援することをしなかった。早い段階で開発拠点を1か所に集約し、互いの活動を毎日見れるようにするべきだったが、そういう解決策があることに思いが至らなかった。
	時間的要因	失敗事例 No. 1に書いた通り、開発開始から2年間ほどバス系開発が進まない状態が放置されていた。開発の順序が逆（バス系の確保が先）であったが、その逆転が衛星全体の信頼性の低さに直結するという意識を教員が持っていなかった。
	その他	N/A
修正処置	2017年12月、EM振動試験の前のシステム統合から、開発拠点を1か所に集約し、状況が大幅に改善した。バス系とミッション系、という分断がない開発の「場」を当初から意識するべきだった。	
是正処置	衛星のミッションを何としても実施したいという当事者が、End-to-endで責任を持つこと。当然教員はその意識が必須だが、同時にすべての学生たちもその全体像を理解するよう、開発の「場」を工夫したり、繰り返し教員やプロマネが話すことが重要である。OrigamiSat-1メンバーが開発に取り組んでいるHELIOS 5G系ミッション機器では、BBM段階からEnd-to-end試験を繰り返し行い、バス系・ミッション系と分断せずシステム全体の信頼性を意識する開発手順を取っている。	
その他改善事項	Slackによるチャットで問題はリアルタイムに協議して解決していき、その状況を共有することで全サブシステムの開発状況がリアルタイムに可視化されるよう工夫した。	



表 5.1.2.2-1(4/14) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例分析

プロジェクト No.	1	
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98	
責任機関 (実施の中心機関)	東京工業大学 動設計学研究室 (坂本研)、および中西研究室	
事例 No.	3	
発生年月	2018年3月20日 (CDR) ~2018年7月10日 (第2回 FM 振動試験)	
区分	サブシステム	
失敗事例	FM (フライトモデル) 統合時の CI 基板での不具合の多発 バス系の中で購入コンポーネントの間をつなぐ役割をした CI 基板 (通信・インヒビット制御基板) は、OrigamiSat-1 の信頼を一手に担う重要な基板だった。しかし CI 基板は、FM 振動試験でのインヒビット不具合、および最終ソフトウェア書き込み段階で COBC (通信系 OBC) への書き込みが不安定になるなど、開発の終盤で不具合が多発した。東工大の担当学生 (学生プロマネ) がほぼ一人で開発を担当し、彼一人に重責が集中した。またたびたびの基板の作り直しで予算的にも超過した (200 万円程度の予算オーバー)。	
要因分析	技術的要因	EM の基板から FM 段階で基板を設計変更し、検証が手戻りした。もともと、英国 Clyde Space 社からの購入品のバッテリーと EPS の間に、開発する CI 基板を挿入するとしたが、主に以下の 2 つの理由で CI 基板設計を確定するまでに困難が多かった。すなわち (i) 購入品にはブラックボックスな部分が多く詳細な仕様が不明であったこと、(ii) 問い合わせと修理対応に時間を要し、数週間~数か月の遅延がたびたび生じたこと、である。これにより最終仕様を EM で固められず、FM になってもまだ設計変更を行った。
	人的要因	BBM 段階でフライト仕様で長時間動作をさせてみる、といった検証を行うことなしに EM 開発に移行した教員のマネジメントの誤りがあった。CI 基板の仕様の不確定性が、最終段階での基板の度重なる設計変更につながり、信頼性を損なった。
	組織的要因	開発責任者 (私) は電気的な知識が希薄だが、適切に学習したり、知識のある専門家に迅速に相談することを怠った。結果として現場の学生が孤立し、最終段階での手戻りにつながった。 大きな問題がないと考えていたが、それは問題が可視化されるはずの End-to-end 試験をそもそも実施していないから問題が見えていなかっただけであり、そもそも試験をおろそかにして開発を進めるという選択肢はないという覚悟を有していなかった。開発責任者のそのような態度は学生たちにも誤って伝わり、開発末期まで課題が放置された。
	時間的要因	Clyde Space および GomSpace からの購入品は、不具合が生じて連絡してもメールにはなかなか返事が来ず、直接電話しても担当者まで電話をつなげてもらうことも困難だった。したがって軽微な不具合で数週間~1 か月以上の遅延につながるものが頻発した。遠方にあるメーカーから機器を購入して使用することはたいへんリスクが高く、そのリスクをどう回避するかの方策を持った上で使用することが重要だった。
	その他	専門家の知識はレビュー会でまとめて尋ねるのではなく、随時質問に行くマインドセットを持っておかなければ時間ばかりが過ぎてしまう。「餅は餅屋」で、現場ではわからないことも、専門家に聞けば常識的な知識の範囲であることがたびたびある。
修正処置	FM (フライトモデル) で (安全を損なわない範囲での) 設計改修を実施し、再度試験を行った。安全には影響がない旨を安全審査 Phase 3 で審査してもらった。	
是正処置	OrigamiSat-1 メンバーが開発に取り組んでいる HELIOS 5G 系ミッション機器では、BBM 段階から End-to-end 試験を繰り返し行い、フライト仕様の設計を決め、検証するための試験だと教員が言い続けている。	
その他改善事項	開発過程で不明点があれば、即座に専門家に問い合わせる 1 日単位で不明点は持ち越さない、スピード感のある問題解決を試みるようになった。ある程度気軽に相談できる、心理的安全性のあるコミュニティを築くことが衛星の信頼性にも影響があるとわかり、普段からのコミュニティづくりを重視するようになった。	

表 5.1.2.2-1 (5/14) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例分析

プロジェクト No.	1	
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98	
責任機関（実施の中心機関）	東京工業大学 動設計学研究室（坂本研）、および中西研究室	
事例 No.	4	
発生年月	2017年12月25日～27日（EM 振動試験）	
区分	その他：環境試験	
失敗事例	EM 振動試験における現地トラブル 福井県工業技術センターで主に東工大学生たちが実施した EM 振動試験の最中に2つの不具合があり対策に追われ、現地での試験実施が遅延した。(i) 準静的加速度試験において試験機が停止して試験ができない、(ii) ランダム振動試験において、加速度密度の試験公差を逸脱してしまう、である。これにより半日程度の試験が遅延したが、スケジュールマージンで吸収でき、予定の範囲内で試験自体は完了できた。	
要因分析	技術的要因	(i)については試験機の性能からの制約であり、振動数を当初計画の15Hzから50Hzに上げることで対応できた。(ii)については衛星の固有振動数と異なることから試験結果への影響はないと判断できる。いずれの不具合も、JAXAの「振動試験ハンドブック」には記述されており、勉強不足が原因。
	人的要因	下記2点ができていなかった。試験前にハンドブックを自分事として読み込んでおく。経験者にとっては当たり前のトラブルでも、初心者では現地で試験続行の判断ができなくなることを想定しておく。 とはいえ本当にその状況にならなくては、何が重要かを理解してあらかじめ対応しておくことは難しい。したがって、ある程度は現地で対応できるようにしておくことは重要である。試験に立ち会って下さったJAXA革新Gの方にご指導をいただき、迅速に対応できたため大事に至らなかった。
	組織的要因	振動試験を遠方で実施したこともあり、振動試験の経験のあるメンバーを帯同しなかった。現地で対応を協議する事象が起きうるとそもそも想定できていなかった。
	時間的要因	EMの統合に手間取り、振動試験自体の手法の準備には時間を割けていなかった。しかし振動試験計画書をSED様にレビューしていただけていたので、最低限の準備はできていた。JAXAの方が立ち会って下さるという幸運がなければ対応にもっと時間がかかっていただろう。
	その他	N/A
修正処置	現地でJAXAの方に促され、「振動試験ハンドブック」を再読して対応を協議し対応できた。	
是正処置	以降、FMの振動試験では現地トラブルを想定した試験計画を作成した。具体的には、FM振動試験前に治具だけで試験手順を確認する予備試験を試験現場で実施した。	
その他改善事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ FM 振動試験の際には予備試験を行った。</li> <li>・ EM でのトラブルのおかげで「振動試験ハンドブック」の理解度が高まった。</li> </ul>	

表 5.1.2.2-1(6/14) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例分析

プロジェクト No.	1
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98
責任機関（実施の中心機関）	東京工業大学 動設計学研究室（坂本研）、および中西研究室
事例 No.	5
発生年月	2018年7月10日～12日（第1回FM振動試験）
区分	その他：環境試験
失敗事例	<p>FM振動試験におけるインヒビット動作不良および放出検知ピンの固着 衛星FMを組み上げ、宮城県産業技術総合センターにおいて東工大学生らの手により3日間のFM振動試験を実施した。振動試験の結果、(i) インヒビットスイッチのリターン側がOFFできない、(ii) 振動試験後に放出検知ピン（3つのうちの2つ）が固着し動作しない、という大きな不具合が発生した。また(iii) レール部のハードアノダイズ処理層が摩耗する不具合も発生。(i)は組立て時のハーネスの噛み込みが原因とわかった。(ii)、(iii)については改修した。(iii)のハードアノダイズ再処理に5週間の納期を要した。後日、FM再振動試験を実施した。対応に時間を要し、安全審査Phase3が遅延し、FM引き渡しの時期を延期してもらう結果となった。</p>
要因分析	<p>技術的要因</p> <p>インヒビットのリターンスイッチが切れない不具合(i)は、最終的には不適切な組み立てによるハーネスの噛みこみが原因だったが、CI基板の動作が十分検証されていなかったため、原因の特定が難しかった。放出検知ピン（3つのうち2つ）が固着してしまう不具合(ii)は、(a) ピンに傷がつき摩擦が増加していたこと、(b) 組立て時の調整不足、が原因だった。(iii) レール部のハードアノダイズ処理層が摩耗する不具合については、表面粗さを表面処理後に調整したことで層が薄くなってしまっていたことが原因だった。</p> <p>そもそも OrigamiSat-1 は極めて組立て工程が複雑であり、組立て状態での検証が困難だった。組立て工程の簡素化は、システム検証の容易さに直結することを認識する。単体試験と組立て状態での試験を反復する必要があるという想定をして設計すること。(ii) 放出検知ピンについては、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2 部品には傷がつかないように細心の注意を払う</li> <li>2 摺動面には片側（ピン側）に二硫化モリブデン処理を施す</li> <li>2 機構はわずかな製造・組立て誤差が影響することを認識することが重要である。</li> </ul>
	<p>人的要因</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・(i)について、複雑な組立工程が衛星の信頼性にどのように帰結するかを認識できていなかった。常にシンプルさを希求してはいなかった。</li> <li>・(ii)について、機構部品の取り扱いを現場で厳格に検査する体制にはできていなかった。審査会においてシニアメンバーから助言をもらってはいたが、その助言を実際の作業時に活かせる体制にはできていなかった。</li> <li>・(iii)については、ロケット適合性の確認がFM加工後となり、応急処置をしたため生じた不具合である。EM段階でロケット適合性を厳格に評価しなかったしわ寄せがFM段階で露呈した。</li> </ul> <p>この衛星の要求は何で、それを完遂する最もシンプルな方法は何で、そのためには何が必要で、EM段階でそれがきちんと試験で確かめられているかを、リーダーが厳格に学生たちに伝え、学生たちがそれを自分事として実行できる場を作るのでなくてはならなかった。</p>
	<p>組織的要因</p> <p>すべての原因の根幹に、組立て手順の複雑さがあるとすると、その設計の素案を経験者に見せて意見をもらうといったことをしなかったことに大もとの原因があると考えられる。構造の組立て手順はスケジュールを大きく支配し、全サブシステムに影響をもたらすのだから、手書きレベルの素案から多くの経験値を注入することが大切だった。しかし実際は、ミッション系機器が先に開発されてしまい、バス系機器を実際に作るのは後回しだったため、構造系も手戻りが難しかった。バス系とミッション系の開発が分断され、バス系の開発が遅れていることにミッション系が手を差し伸べなかった開発初期の開発体制・組織の問題が、FMになって表面化した。</p> <p>構造も含め、End-to-end試験で設計を検証する、という方法が徹底されておらず、開発が遅れているバス系を置き去りにミッション系が開発を進めてしまった。</p>

表 5.1.2.2-1(7/14) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例分析

(続)	プロジェクト No.	1	事例 No.	5
要因分析	時間的要因	失敗事例 No. 1、No. 2 に書いた通り、バス系の開発が開発開始から2年間進捗が悪く、その間にミッション系機器がEMまで完成してしまったことが、バス系の設計を複雑なものにしてしまった。		
	その他	組立ての構造精度を、3次元計測器で評価する、と安全審査 Phase 0/1 で自分たちで宣言したことが開発スケジュールを圧迫した面がある。実際は、ロケット適合性の検査ではフィットチェック用のE-SSODを用いるわけだから、それ以上の精度で組み立てても利点はなかった。引き渡し時の検査法よりも高い精度で組み立てる必要はなかった。早い段階でフィットチェック用のE-SSODのタミー品を製作してそれを用いて組立て評価を実施したほうが良かった。		
修正処置	FMの組立て最終段階で、JAXAよりフィットチェック用のE-SSODが初めて届いた。実はこの検証方法で組立て精度を確認すれば良かったとようやく気づき、フィットチェックを繰り返しながら組立てを行うことで、組立て手順を簡素化できた。			
是正処置	N/A			
その他改善事項	以降、二硫化モリブデン処理をした放出検知ピンのしゅう動面には傷が入らないよう管理した。			



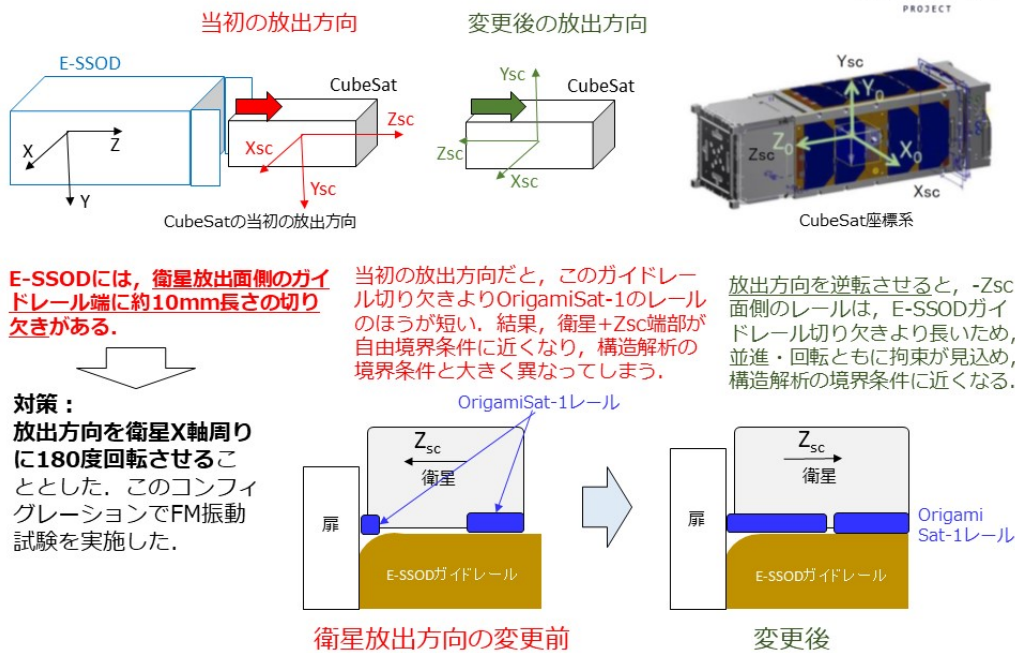
表 5.1.2.2-1(8/14) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例分析

プロジェクト No.	1	
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98	
責任機関（実施の中心機関）	東京工業大学 動設計学研究室（坂本研）、および中西研究室	
事例 No.	6	
発生年月	2018年7月10日（第1回 FM 振動試験）	
区分	その他：環境試験	
失敗事例	FM 振動試験におけるキューブサット挿入方向の反転 衛星 FM を組み上げ、宮城県産業技術総合センターにおいて3日間の FM 振動試験を実施した。今回は JAXA より初めて振動試験用 E-SSOD の提供を受けた。このとき現地で E-SSOD に衛星を逆方向（図に示すとおり衛星を Y 軸周りに 180 度回転）に挿入するほうが良いことがわかり、急ぎ挿入方向を変更した。安全審査資料のうち、引き渡し時の作業手順書を書き換えた。	
要因分析	技術的要因	下図に示すとおり、FM 振動試験で初めて使用した E-SSOD には、事前に知らされていなかった入口のポッド側レールの切り欠きがあり、OrigamiSat-1 の膜展開部側のレールがその切り欠きにはまってしまつて自由境界条件になってしまうことが分かった。衛星の放出方向を逆にするとこの課題を解決できると、振動試験場で JAXA 革新 G の皆さんと協議し、放出方向の反転を決定した。 引き渡し時の手順もその場で協議して考案した（下図）。
	人的要因	ポッド側のレールに切り欠きがあることは、JAXA 担当者も認識しておらず、現物合わせで初めて発覚したものである。（フィットチェック用の E-SSOD にはこの切り欠きは模擬されていなかった。）EM の振動試験にはまだ振動試験用 E-SSOD が提供されなかったため、この FM での不具合につながった。
	組織的要因	代替の放出ポッドを用いて EM の検証を行うという JAXA の方針にリスクがあった。そういうリスクを予期し、余裕を持ったスケジュールで開発を進めるべきだった。
	時間的要因	振動試験用 E-SSOD が東工大に届いた直後にポッド挿入試験を行っておけば、振動試験場に行く前にこの不具合に気づくことができたが、実際は振動試験場でのセットアップ時に気づいたため、振動試験開始の遅延につながった。フィットチェック用と振動試験用の E-SSOD では内部に違いがある可能性を予期できていなかった。  OrigamiSat-1 は組立てが非常に困難だったため、試験前には常に時間が足りない状態で、そういった余裕のなさが見落としにつながった。
	その他	EM の振動試験は福井県だったが、FM の振動試験は、CI 基板の改修の遅れが原因で福井県の振動試験機の予約が取れていない時期に延期することとなり、急ぎよ宮城県産業技術総合センターにて実施することとした。治具による予備試験は行ったものの、慣れない環境への移動、その後の作業、といったことも余裕のなさにつながった。
修正処置	衛星の放出方向を反転するよう手順書などを書き換えた。	
是正処置	N/A	
その他改善事項	現物で検証するまでは検証されたとは簡単に信じないよう、教員から学生に声掛けをするようになった。	

表 5.1.2.2-1 (9/14) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例分析

(続)	プロジェクト No.	1	事例 No.	6
参考図				

### 衛星放出方向の変更



### 衛星をE-SSODに挿入する際の手順

E-SSODへの挿入方向の変更に伴い、E-SSOD挿入後にはアクセス窓からフライトピン1aと1bに直接アクセスが不可となる。

一方で、フライトピン2にはアクセス可能である。 ※3つのピンはどれもRBFピン

これを踏まえ、以下のように衛星をE-SSODへ挿入することで、常に2系統の電源遮断を実現する手順を取る。

- (1) 放出検知スイッチ2と3のピンをカプトンテープで押下げる。
- (2) 放出検知スイッチ動作を防止するフライトピン1a, 1b, および外部接続コネクタに取り付けているフライトピン2を取り外す。
- (3) 衛星をE-SSODに挿入後、E-SSODアクセス窓からフライトピン2を再び取り付ける。
- (4) 放出検知スイッチ2と3のテープを片側ずつ取り外し、E-SSODの扉を片側ずつ閉める。
- (5) フライトピン2を取り外す。

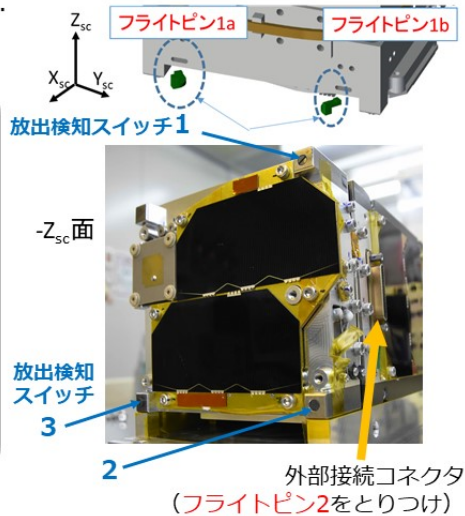


表 5.1.2.2-1(10/14) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例分析

プロジェクト No.	1	
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98	
責任機関（実施の中心機関）	東京工業大学 動設計学研究室（坂本研）、および中西研究室	
事例 No.	7	
発生年月	2018年2月24日（JAXA への相談）～2018年10月4日（放出試験報告書の提出）	
区分	サブシステム	
失敗事例	FM キューブサット構体のレール長さの不足 EM 統合試験の段階で、ロケット適合性文書の解釈を東工大側が誤っており、ICS に要求されるレールの長さに 28mm 足りないことがわかり、即座に JAXA 革新 G へ相談をした。FM 引き渡し直前の 2019 年 9 月にロケットメーカーとの協議の場が設けられ、追加の放出試験が課せられることとなった。何度か試験をやり直すことが要求され、開発スケジュールを圧迫した。	
要因分析	技術的要因	構造設計担当学生は、レールの一部にざぐりを入れてもレールと見なされると勘違いして構造設計をしたが、ICS の定義によるとレールとはみなされないと規定されている。教員（開発責任者）は学生が設計で想定したレール長さだけを見て問題ないと判断してしまっており、図面と ICS を厳密に見比べることをしていなかった。 EM 組立て途中で現物を見ながら「このざぐりはレールなのか？」と雑談になり、調査してみてもこの ICS 要求の解釈の誤りに気付いた。
	人的要因	PDR にて設計図面を出していたが、開発チームは「これこれの理由で ICS を準拠している」などの定量的な評価を説明しなかった。したがって審査会の機会を活用できず、開発チームもレール長さの定義の勘違いを見落とししたままだった。
	組織的要因	教員や複数の開発メンバーで ICS 要求を厳格にダブルチェックすることを怠っていた。これにより、開発メンバー1名の勘違いが、そのまま残ってしまう結果となった。  また、EM 段階で不備について JAXA 革新 G には共有していたが、対応が求められたのは FM 引き渡し直前だったため、信頼性を高める作業が圧迫された。
	時間的要因	2017 年 9 月の PDR、まだ EM が図面だった段階できっちりと要求文書の適合を厳格に評価していれば、2019 年に引き渡し前に放出試験を課せられ、大きな時間ロスを生じることにはなかっただろう。
	その他	N/A
修正処置	水平放出・垂直放出試験の 2 種の実験を EM 機+振動試験用 E-SSOD を用いて実験し、レールから問題なく滑り出すことを地上実験で示した。	
是正処置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・要求文書の見落としがないよう、審査会などの場を利用して自分たちを律することが重要である。</li> <li>・要求文書に適合することが困難な場合は早めに関係者に相談し、影響を最小限にとどめる交渉を行う。</li> </ul>	
その他改善事項	N/A	



表 5.1.2.2-1(11/14) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例分析

プロジェクト No.	1	
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98	
責任機関（実施の中心機関）	東京工業大学 動設計学研究室（坂本研）、および中西研究室	
事例 No.	8	
発生年月	2018年9月～10月22日～11月6日	
区分	サブシステム	
失敗事例	5.8GHz 送信系の不具合の見逃しによる FM 分解 2018年9月の2度目のFM振動試験後、東工大での機能検証中に5.8GHz通信機に通信不具合が生じ、衛星を分解して接触不良を修理後、再組立てを実施した（2018年10月22日）。JAXA安全審査会へ再組立ての検証報告（手順書による復帰確認）を行う必要が生じた（2018年11月6日に再組立ての追加文書提出を持ってPhase3通過）。	
要因分析	技術的要因	再振動試験前から接触不良が生じていたと考えられるが、通信の機能検証を音でだけ判断し、ターミナルに文字出力をしていない、という不適切な検証法を使用していた。ひと手間省いていたことが不具合の見落としにつながった。  機能検証はEnd-to-endで行わないと見逃しが生じる。また、先述したOrigamiSat-1の複雑な組立て工程がスケジュールを圧迫し続けたので、この時期の余裕のなさにつながった。
	人的要因	スケジュールが遅れる中、検証を少しでも簡便に済ませようと「音だけで健全性を判断」という作業の簡易化を行ってしまっていた。実際は、「音は出ても文字出力できない」という故障モードがあり、それを見逃す結果となった。
	組織的要因	End-to-endの確認作業を自動化するようBBM、EM段階から工程を作り上げておけば、FM段階の検証を簡素化できた。開発の初期段階で、運用を模擬した環境構築を怠ってきたことが、このFM統合試験段階に影響した。開発序盤から厳格にEnd-to-endを行うよう教員がリーダーシップを取ることができなかった。
	時間的要因	時間を節約するために検証を簡素化したことが、結局はFMの再組立て、安全審査の追加など、さらなる時間のロスにつながってしまった。
	その他	N/A
修正処置	いちど衛星（FM）を分解し、接触不良を修理したのちに、手順書にのっとり再組立てを行った。	
是正処置	地上局で運用することを想定して機能検証を行わなくては、かえって手戻りが生じて開発時間が無くなる、ということを開発学生全員が認識できた事象だった。	
その他改善事項	N/A	

表 5.1.2.2-1(12/14) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例分析

プロジェクト No.		1
プロジェクト名		OrigamiSat-1/F0-98
責任機関（実施の中心機関）		東京工業大学 動設計学研究室（坂本研）、および中西研究室
事例 No.		9
発生年月		2018年11月23日～24日（衛星引き渡し日およびその翌日）
区分		システム
失敗事例		衛星引き渡し時の安全審査規定電圧の超過 東工大チームが内之浦での引き渡しに赴いた際に、リターン側のインヒビットスイッチで安全審査書類に規定したCI基板3.3Vライン電圧1.5Vという基準を超過する電圧が観察された。超過が問題ないことを示し、安全審査書類を改訂する必要が生じた。 この原因はバッテリーをフル充電（8.3V）した状態では試験を実施しておらず、バッテリー電圧により電圧が変動することを認識していなかったことだった。
要因分析	技術的要因	安全審査の基準値には根拠のないマージンを積んでしまっており、状況（バッテリーの充電状況）によっては充足できない値に規定してしまっていた。安全審査資料には、本当に安全上問題がある真の値を記載する。 また、引き渡し時に慌てないように、引き渡し状態での検証を事前に実施する。
	人的要因	安全審査作成の際、実験によらない数字を文書に規定したうえ、その数字の根拠を追加実験で確かめることもしなかった。そこにリスクがあるとは開発メンバーは気づいていなかった。
	組織的要因	安全審査資料の数値の一つ一つをチームでダブルチェックする体制とはしていなかった。できるだけ実験的に数字を決めなくては引き渡しできないリスクがあるという認識を持っていなかった。
	時間的要因	他の多くの不具合で衛星引き渡しまでのスケジュールは極めて密で、引き渡しの練習を事前に行う時間的余裕が持てなかった。
	その他	衛星引き渡しの様子がわからないままだったので、経験者にもっと話を聞いておくことができれば良かったが、そこにリスクがあることすら認識していなかったため、情報収集すら怠ってしまっていた。
修正処置		引き渡し時に電圧を超過してしまった理由を説明し、この値の超過は安全上問題ない範囲であることを説明する追加文書を JAXA へ提出することで引き渡しを受領してもらった。またしても多くの関係者の時間を浪費させてしまった。
是正処置		N/A
その他改善事項		N/A

表 5.1.2.2-1(13/14) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例分析

プロジェクト No.	1	
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98	
責任機関（実施の中心機関）	東京工業大学 動設計学研究室（坂本研）、および中西研究室	
事例 No.	10	
発生年月	2019年1月19日（打上げ翌日）軌道上不具合発生	
区分	システム	
失敗事例	衛星モード変更時の通信停止の不具合の見逃し 衛星打ち上げ後、2度、24時間程度、衛星からの信号が途絶えた時間帯があった。この2度の通信停止を受けて東工大で実施した地上実験で、Saving Mode 移行時に VHF/UHF 無線機に初期設定が為されない不具合があった。RX COBC のプログラムにおいてディレイが小さすぎることが原因だった。EM 統合試験でも、FM 統合試験でも、このバグが見逃されていた。試験の際、外部基板を用いて検証したことにより見落としした。24時間後に異常検知によるマイコンのリセットによりこの停波は解消することも分かった。	
要因分析	技術的要因	CI 基板の開発に不具合が多発し、最終仕様の FM 基板を用いての試験に時間が費やせなかった。EM 統合時にはモード切替えのソフトウェア実装は完了しておらず、FM において大幅に書き換えられた。EM 基板を用いた FM ソフトウェア開発時には VHF/UHF 無線機の初期設定を外部回路で行っており、フライトのコンフィグレーションとは異なる構成だった。  ソフトウェア開発については「失敗事例 No. 1 バス部の基本ソフト開発の遅れ」に記述した通りである。フライト状態と同一な（外部回路を接続しない）構成で FM を用いた衛星モード切替えの試験を十分行わないと、致命的な不具合の見逃しが起こりうると認識する。
	人的要因	開発した学生たちも、できるだけフライト状態と同じ環境で検証をしなくてはならないという認識はあったが、CI 基板の開発が遅れていたことから、プログラムの検証を一部外部基板を用いながら行うことを避けられなかった。このディレイ関数の値が、衛星の信頼性に大きな影響があるという可能性は想像できていなかった。
	組織的要因	CI 基板はたびたび設計変更が入ったことで、ソフトウェアの実装にも影響が出た。CI 基板が衛星の最上位のマイコンを有することを考えると、そのハードウェアとソフトウェアは BBM の時には大枠は検証できており、少なくとも EM においてフライト仕様のものでできていないと、衛星の信頼性を確保することは難しい。そのような認識をリーダーシップを取った教員 2 名が学生たちに言い続ける必要があったができていなかった。
	時間的要因	BBM、EM で CI 基板の設計も、ソフトウェアの最終形態もたどり着けていなかったもので、すべては FM 開発時にしわ寄せがきて、著しく時間の余裕がない開発となってしまった。これでは何のために時間を使って BBM、EM を作ったのかわからない。
	その他	衛星を作るときはまずマイコンと通信機をつなぎ、地上局と通信をしてみるところから次第に肉付けしていくと良い、とキューブサット開発経験者から助言をいただいていたにも関わらず、それとは真逆の開発手順（ミッション系が先に完成し、つじつまを合わせるようにバス系を作る）を取った。適切な開発手順を踏まずに信頼性を確保することは難しい。
修正処置	N/A	
是正処置	フライト状態と同じ状態で試験しないと見落としがある、という実感を得ることができた。こういう常識を肌感覚として持つメンバーを増やすことが重要とわかった。	
その他改善事項	N/A	

表 5.1.2.2-1(14/14) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例分析

プロジェクト No.	1	
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98	
責任機関（実施の中心機関）	東京工業大学 動設計学研究室（坂本研）、および中西研究室	
事例 No.	11	
発生年月	2019年1月24日（打上げ7日目）軌道上不具合発生	
区分	システム	
失敗事例	I2C 衝突回避アルゴリズムの無限ループの見逃し 衛星が打ち上げられて7日目の2019/1/24 20:11、地上局へのFM HK データダウンリンク中に衛星からの信号が突如途絶え、おおよそ2年間停止し続けていた（注：2021年1月25日に復活した）。この長期間の停止により、衛星はいまだ主要なミッションを実行できていない。地上に残したEMによる実験から、複数のマイコンが目盛りと同時にアクセスするときのI2C 衝突回避アルゴリズムに無限ループがあり、ウォッチドックタイムも24時間/1週間のリセット機能も効果がない可能性が示唆されている。	
要因分析	技術的要因	I2C 衝突の際の処理が不適切であった可能性がある。しかしEMでは停止の現象が極めて稀にしか起きないため、FMの基板とEMの基板では条件が異なる可能性がある。FMを用いて長時間動作試験を行っていなかったため、無限ループの見逃しが起きた。
	人的要因	これまで記述した通りCI基板とソフトウェアの開発遅れにより、打ち上げ前には長時間動作試験を行う人的/時間的リソースがなかった。
	組織的要因	I2C 衝突の課題は知られており、開発の早い段階で専門家にヒアリングに行くことでより信頼性の高いシステムを構築できた可能性はあるが、外部の専門家の知見を積極的に活用する開発体制ではなかった。
	時間的要因	これまで記述した通りCI基板とソフトウェアの開発遅れにより、打ち上げ前には長時間動作試験を行う人的/時間的リソースがなかった。
	その他	N/A
修正処置	N/A	
是正処置	N/A	
その他改善事項	N/A	

表 5.1.2.2-2(1/3) PROCYON 失敗事例分析

プロジェクト No.		10		
プロジェクト名		PROCYON		
責任機関（実施の中心機関）		東京大学中須賀・船瀬研究室		
事例 No.	1	2	3	
発生年月	2014年 FM 開発期間中		2014年 FM 開発期間中	
区分	電源-通信-姿勢制御サブシステム	姿勢制御サブシステム	推進系サブシステム	
失敗事例	RW を回転させると通信系コンポにノイズが混入し、地上局とのキャリアロックが外れてしまう。 その後、RW 電源ラインにノイズフィルタを挿入し、通信機のDCDCコンバータもノイズに強いものに交換することで、本問題を解決したため、致命的なものにはならなかった。	太陽センサは視野角が±55度という仕様のもを購入し使っていたが、太陽センサ単体試験において「入射太陽角が+55度を超えると、出力が急に-55度に飛ぶ」という現象が発生した	イオンエンジン内蔵 CPU が行う制御シーケンスに不具合があり、イオンエンジンを自動シーケンスモードで動かすことができない	
要因分析	技術的要因	電磁ノイズ対策が十分でなかった	太陽センサ製造メーカーのソフトウェア上のミス	イオンエンジン内蔵プログラム開発メーカーが、フライト品に書き込む S/W のバージョンを間違え、古いものを書き込んだことが原因。この現象が発覚したときには、衛星組上げ後でプログラムを書き換えることができない状態だった。
	人的要因	各系で EMC に関する規定を設けておらず、完成後実機かみ合わせで問題ないことを確認するという流れであったため、この時初めてこの問題が発覚した。	同上	製造メーカー内での S/W バージョン管理が適切に行っていない。 コンポーネント受け取り後の確認不足。
	組織的要因	超小型衛星開発全般において、EMC 対策は十分検討できていない。経験不足。	同上	同上
	時間的要因	N/A	N/A	N/A
	その他	N/A	N/A	N/A
修正処置	RW 電源ラインにノイズフィルタを挿入し、通信機のDCDCコンバータもノイズに強いものに交換することで、本問題を解決したため、打ち上げ・運用時には問題は発生しなかった。	事象をメーカーに説明し、原因特定を行ってもらい、修正したファームウェアを書き込んでもらうことで解決した。以降、打ち上げ・運用時も含めてこの問題は発生しなくなった	イオンエンジン内蔵 CPU の S/W は書き換えることができない状況であったため、メイン OBC 側でイオンエンジンをシーケンシャルに動かすよう、急遽制御ソフトウェアを実装した。その後、実装した制御 S/W で動作確認をおこない、打ち上げ後も正常に動作した。	
是正処置	その後のプロジェクトでも RW が生み出すノイズには最新の注意を払い、早期に試験を行うようにしている。	全てのプロジェクトを通じて、製造メーカーの仕様を鵜呑みにせず、自分たちで徹底した試験を行い、このような事象を早期発見できるようにしている。	全てのプロジェクトを通じて、製造メーカーの仕様を鵜呑みにせず、自分たちで徹底した試験を行い、このような事象を早期発見できるようにしている。	
その他改善事項	N/A	N/A	N/A	



表 5.1.2.2-2(2/3) PROCYON 失敗事例分析

プロジェクト No.		10		
プロジェクト名		PROCYON		
責任機関（実施の中心機関）		東京大学中須賀・船瀬研究室		
事例 No.	4	5	6	
発生年月	2014年12月5日くらい 運用中	2014年12月5日くらい 運用中	2014年12月5日くらい 運用中	
区分	姿勢制御サブシステム	姿勢制御サブシステム	姿勢制御サブシステム	
失敗事例	三軸姿勢制御において制御ゲインが高すぎ、姿勢のオーバーシュートと振動が発生した	RW の制御遅れを考慮しなかったことで、制御精度が悪化してRW の回転数が不用意に増減していた。	恒星センサが正常に姿勢決定できたというフラグとともに、明らかに異常な姿勢決定結果を出力する時がある。	
要因分析	技術的要因	事前のシミュレータでのゲイン調整が十分できていなかった	制御シミュレータに制御遅れを入れ込んでいなかった	恒星センサ製造メーカーにおけるソフトウェアバグだと思われるが、原因究明はできていない。 また、この不具合を打ち上げ前に見つけることができなかったのは、恒星センサの地上試験が難しいためでもある
	人的要因	アルゴリズム開発者の経験不足も一因	開発者の経験不足、RW の特性を十分把握できていなかった。	N/A
	組織的要因	N/A	N/A	N/A
	時間的要因	全体的に開発時間が短く、特に衛星の生命に直結する太陽捕捉制御の部分の検証に力をいれていたため、三軸姿勢制御のゲイン調整まで時間を取れなかった。	N/A	N/A
	その他	N/A	N/A	N/A
修正処置	制御ゲインはコマンドで変更できるようにしていたため、再度地上でシミュレータを用いてゲイン調整を行い、適切なゲインをアップリンクして修正した。	シミュレータにRW 制御遅れを組み込み、ゲインやトルク分配束を調整することでRW 回転数がほぼ一定に落ち着くようになり、制御精度も改善した。軌道上でもこの修正がうまくいき、高精度な制御が可能となった	恒星センサ自体を修正することはできないため、恒星センサからのデータを処理するソフトウェアの部分をリプログラムし、異常なQuaternion が出力された場合その Quaternion を信じず、恒星センサの電源をリセットするようなFDIRシステムを組んだ	
是正処置	事前シミュレーションで徹底的に確認する	事前シミュレーションで徹底的に確認する	センサ単体の信号を信じずに、他の情報と合わせて成否判定するようなFDIRを組む	
その他改善事項	N/A	N/A	N/A	

表 5.1.2.2-2(3/3) PROCYON 失敗事例分析

プロジェクト No.		10		
プロジェクト名		PROCYON		
責任機関（実施の中心機関）		東京大学中須賀・船瀬研究室		
事例 No.	7	8	9	
発生年月	2015/2/5 運用中	2015年3月中旬	2015年12月4日	
区分	姿勢制御サブシステム	推進系サブシステム	システム	
失敗事例	FOGが永久故障し、姿勢制御コンポーネントとして使えなくなった。	イオンエンジンが233時間作動したところで動作を停止し、その後運転できなくなった	PROCYONとの通信ができなくなった	
要因分析	技術的要因	その後の製造メーカーの調査の結果放射線が原因の故障と結論付けられた。つまり、事前の放射線試験が十分でなかったことが主要因である	おそらくグリッド間ショートが原因と考えられている	
	人的要因	N/A	N/A	
	組織的要因	N/A	N/A	原因不明なのでわからない
		N/A	N/A	原因不明なのでわからない
	時間的要因	事前に十分な放射線試験を行う時間がなかった	十分な長時間動作試験を行う時間がなかった	原因不明なのでわからない
その他	N/A	N/A	原因不明なのでわからない	
修正処置	FOGは永久故障したものの、実装していたFDIR機能により、衛星はFOGなしで太陽捕捉姿勢に入ることができ、衛星喪失を免れた。その後、FOG無しで三軸姿勢制御できるようにリプログラミングを行い、その後のミッションに影響がないレベルまで衛星機能を回復させることができた	PROCYONとしては、このイオンエンジンの運転を諦めるしか手はなかった	原因調査のためFTA等をも地板故障解析をおこなったが、確実なものはわからなかった。冗長系を持っていないので、通信機、電源制御基板、OBCが故障するとこの様に完全故障になりえる	
是正処置	その後の放射線試験で、問題の箇所を見つけ、コンポーネントとしては修正済み。	イオンエンジンを製造した研究室で原因究明と改良を行っている	検討中	
その他改善事項	N/A	N/A	N/A	



表 5.1.2.2-3(1/2) MicroDragon 失敗事例分析

プロジェクト No.		11	
プロジェクト名		MicroDragon (略称: MDG)	
責任機関 (実施の中心機関)		東京大学中須賀・船瀬研究室	
事例 No.		1	2
発生年月		2019年1月	2017年8月
区分		運用	サブシステム, 試験
失敗事例		初期運用時の磁気トルカの極性設定ミスによる衛星のスピンアップ	卓上電気試験時の衛星コンポーネントへの過電圧供給による破損
要因分析	技術的要因	磁気トルカ極性設定 S/N とピンアサインメント +・- とソフトウェアでの極性設定 S/N の関係性が統一管理できていなかった。 磁気トルカのコネクタの極性反転防止設計が抜けていた。	電源コンポーネントの誤接続防止不備  +28V 系のコネクタが、 +5V 系のコネクタにも挿せてしまう設計が残っていた
	人的要因	上記、S/N 極、通電 +・- の情報管理が旧情報と入り混じり最新情報としてトレースできていなかった。  メンターとベトナム人とのコミュニケーションは英語だったが、参照した過去プロジェクト(ほどよし)の情報は日本語だったため、情報のチェックに手間を要した(日本人メンターが英訳する必要が生じた)。	ダブルチェック漏れ 教員1名で作業を実施してしまった
	組織的要因	プロジェクトマネジメントの不完全さ 学生の留学期間と役割分担・作業項目配分の不備  デタンプリングのアルゴリズムまで含めた SILS/HILS 検証の時期にベトナム人学生が国内に残っておらず ベトナムからの遠隔デバッグ・試験となってしまった。  詳細なコードの実証状況を日本人メンターがチェックできていなかった。	2名でのチェック体制の不備 先行作業からの引き継ぎ漏れ
	時間的要因	システム SHIPPING までに SILS/HILS 検証を行う予定で割り当てていた時間が 遠隔での作業対応の追加処置で想定よりも多く費やされたためソフトウェア名の中身のチェックの時間が減ってしまった。	時間的には余裕のある試験フェーズでの作業であった ので人の気の緩み 慣れからくる慢心
	その他	開発スケジュールと年度を跨ぐ可能性を十分に配慮していなかった。	挿入を複数人で実施すれば避けられた可能性はある。挿入状態を確認する人。
修正処置		SOP (衛星運用手順書: スプレッドシート) の中に極性反転コマンドを実装し、デタンプリングがうまく減速側に進行することを確認できた	破損したコンポーネントのメーカーへの返送、 電源 I/F 回路の改修
是正処置		SOP (衛星運用手順書: スプレッドシート) の中に極性反転コマンドを恒久的に追加し、以降のデタンプリング運用で再利用した。	試験治具の設計・製造のチェックポイントへ反映 該当作業を1名で行わないように徹底する
その他改善事項		学生への周知・教育事例へ反映	学生への周知・教育事例へ反映

表 5.1.2.2-3 (2/2) MicroDragon 失敗事例分析

プロジェクト No.		11	
プロジェクト名		MicroDragon (略称: MDG)	
責任機関 (実施の中心機関)		東京大学中須賀・船瀬研究室	
事例 No.		3	4
発生年月		2018年6月	2017年9月
区分		システム, 試験	システム, 試験
失敗事例		FM 熱真空試験時の試験前準備中の FM バッテリ短絡	FM 熱真空試験時の S-band 通信機の故障
要因分析	技術的要因	コネクタの誤接続防止不備  バッテリーの HOT/RTN 間をショートできてしまう設計が、試験ケーブル・試験治具に残っていた	確定要因は不明 仮説 1: 太陽電池模擬電源の電源入力部の電圧が意図せず上昇した  仮説 2: 同軸ケーブルがシュラウドに接触するように配置しており、同軸ケーブルを通じて S-band 通信機の内部の回路が極端に冷やされ回路が破損した
	人的要因	ダブルチェック漏れ 教員 1 名で作業を実施してしまった  作業者が疲労気味だった	仮説 1 については、太陽電池模擬電源の設定/操作を 作業者が誤った可能性  仮説 2 については、真空チャンバ内の同軸ケーブル敷設に対する作業者の理解不足
	組織的要因	少ない教員メンバーで熱真空試験を実施しなければならなかった	試験は、メンター 3-4 名、学生 5-6 名と十分な人数で実施していた
	時間的要因	熱真空試験の後に別の試験会場を予約した試験が決まってお り 試験準備に費やせる時間が短かった	試験時間も比較的余裕のあるタイムテーブルを設けてあった
	その他	誤接続は必ず発生する 原則、設計でその発生を予防すべき  焦って作業することのないように十分に余裕のあるタイムテーブルを確保する	特殊な試験 (熱真空等) のセットアップ/試験中の操作は 正しい理解を持った上で 十分に注意しながら行うべきである
修正処置		バッテリーの取り外し、メーカーでのチェック、内蔵ヒューズの交換	破損したコンポーネントのメーカーへの返送、改修
是正処置		試験治具の設計・製造のチェックポイントへ反映 該当作業を 1 名で行わないように徹底する	熱真空試験の再実施を行ったが、S-band 通信機の不具合は再現せず FM コンポ 1 台のみのため、原因調査を深入りせず 後日 EM での検証を行う方針とした
その他改善事項		学生への周知・教育事例へ反映	学生への周知・教育事例へ反映

表 5. 1. 2. 2-4(1/4) KKS-1 失敗事例分析

プロジェクト No.		13	
プロジェクト名		KKS-1 (輝汐)	
責任機関 (実施の中心機関)		東京都立産業技術高等専門学校	
事例 No.	1	2	3
発生年月	2008 年	2008 年	2008 年 3 月
区分	その他 (組立作業の事象)	その他 (組立作業の事象)	システム, 試験
失敗事例	EM 衛星をすべて組立後に電源投入後に短絡を確認. EM 衛星組立作業中. 2007 年 12 月, 学生作業員による組み立て. 学校クリーンブース内作業. 短絡は衛星からの匂いで気が付き, すぐに電源を遮断.	EM 衛星一部組立中に, 基板が短絡を起こしていることに気づく. 2008 年 1 月, 学生作業員による EM 組立て. 学校クリーンブース内作業. 短絡は直流電源の電流値が急に上がることで気が付き, すぐに電源を遮断.	逆差しができない構造のコネクタを電源基板に無理やり差し込んで短絡. EM 衛星組立作業中. 2008 年 3 月, 学生作業員による組み立て. 学校クリーンブース内作業.
要因分析	技術的要因	新しく修正した電源基板の GND がねじ頭と構造に挟まれ, 短絡を起こした. 基板修正, 基板再発注の時間を失う. 基板へのはんだ付けの時間 (2 日間) と労力が失われた.	基板の端から少しコネクタが出ている場合, 無理やり差し込むと逆差しが可能であることがわかった. 事故後, バッテリ交換と基板交換の必要が生じた.
	人的要因	締めた学生はいつもとは違う学生が組立てた. 外部電源を用いておらず, 外部支援装置での電流監視も行わないまま, 衛星分離スイッチが解放されていることにも気づかずリチウムイオン電池から電流が供給されてしまった.	クリーンルーム内で, 衛星の電氣的接続作業に不慣れな学生が, 先輩学生が違う作業をしている内に作業を行った.
	組織的要因	構造組立作業しながら短絡チェックすることも必要. 配線が挟まっていないかのチェックも作業手順に必要. トルク締め時の注意事項を記述するようなルールや資料がなかった.	クリーンルーム内は狭く, 2 名しか入れない状態. 作業の並列化で作業効率を上げていたことが問題だった. 過去の JAXA 資料にも書いてあるような事象で, 組織的に過去のノウハウを活かせない体制が問題.
	時間的要因	EM 完成は当初 2007 年 9 月の予定だったが, 2008 年 6 月となった (9 か月間の遅れ). 衛星側の設計段階・組立時の短絡事故による電源回路のリカバリー作業がプロジェクト進行を遅らせた (短絡による回路再発注と製作で 2~3 週間遅延). 2017 年後半には分離機構は無重力実験の必要性が出てきて (適合性審査関連の分離速度と分離方向が設計通りかどうかの確認) 2008 年 2 月に実施. また振動試験時の衛星分離スイッチの故障や分離機構の不具合解消までに時間がかかった (2008 年 1~6 月はすべて衛星と分離機構の振動試験). また FM 機の衝撃試験 2008 年 10 月に発生した分離機構回路部のラッチングリレーの故障により, 最後ようやく確保した衛星運用試験の一月間がなくなる.	
その他	N/A	N/A	N/A
修正処置	配線, バッテリ, 電源回路のすべてを交換.	基板の一部再設計. 再発注	別基板にて再はんだ付け. 地上支援装置側の補修.
是正処置	部品の個別振動試験の実施.	設計段階での基板実体配線図のチェックリストの用意と時間をかけたダブルチェック体制.	設計後のチェックリストの用意とダブルチェック体制.
その他改善事項	衛星開発前に JAXA 資料などノウハウを先に習得することを徹底したほうがよい. 学生教育の体制を整える.		

表 5.1.2.2-4(2/4) KKS-1 失敗事例分析

プロジェクトNo.		13		
プロジェクト名		KKS-1 (輝汐)		
責任機関 (実施の中心機関)		東京都立産業技術高等専門学校		
事例No.	4	5	6	
発生年月	2008年5月	2008年4月	2008年7月	
区分	システム, 試験	システム, 試験	システム, 組立	
失敗事例	EM 振動試験でポッティング忘れ. 足つきコンデンサがすべて取れる. 2008年5月. 振動試験は群馬県産業技術センターにて. 組立は学校内クリーンルーム. 学生組立.	EM 衛星分離スイッチが振動試験で固着. 2008年4月. 振動試験は群馬県産業技術センターにて. 組立は学校内クリーンルーム. 学生組立.	FM 衛星組立最中に指で太陽電池破損させる. 2008年4月. 組立は学校内クリーンルーム. 学生組立.	
要因分析	技術的要因	当時, 大容量コンデンサは体積が大きく, 表面実装部品では見つからず, 足つきの DIP 品を用いていた. ポッティングせずに振動試験を行った結果, コンデンサのみすべて脱落していた.	市場で売られている民生品の中から衛星分離スイッチに適切な部品を探したが, スイッチ単体での振動試験をやっていた. この問題から新規に分離スイッチの選定作業として 6 種類の振動試験を行ったが, 1つだけ振動で固着したスイッチがあったが, それは衛星搭載しようとしていたスイッチだった.	衛星のねじを締める際に, トルクドライバーでしっかり締めたいという気持ちから衛星構造を手で押さえたときに太陽電池を強く抑えてしまった. 原因は十字ネジを用いたため. 十字ネジはその構造からトルクが逃げやすい. 十字ネジを使用した理由は突起が包絡域を超えることを恐れたため.
	人的要因	完全なチェックミス. しかも複数で作業しながら気が付かず. チェックリストの重要性を理解していなかった.	部品単体の振動試験を行うことを怠っていた. 振動試験が未経験でその準備よりも衛星開発を優先してしまった (振動で故障することはないという過信が招いた).	人為的問題よりも初期設計ミスが原因であると考え.
	組織的要因	過去の JAXA 資料にも書いてあるような事象で, 組織的に過去のノウハウを活かせない体制が問題.	部品単体の振動試験を行うことを怠っていた. 振動試験が未経験でその準備よりも衛星開発を優先してしまった (振動で故障することはないという過信が招いた). 過去の JAXA 資料にも書いてあるような事象で, 組織的に過去のノウハウを活かせない体制が問題.	初期設計ミス. 実は六角穴付ボルトでも包絡域には問題がなかった. 突起させない設計を優先させてしまった. また太陽電池保護板がなかったことも破損につながった. 過去の JAXA 資料にも書いてあるような事象で, 組織的に過去のノウハウを活かせない体制が問題.
	時間的要因	EM 完成は当初 2007 年 9 月の予定だったが, 2008 年 6 月となった (9 か月間の遅れ). 衛星側の設計段階・組立時の短絡事故による電源回路のリカバリー作業がプロジェクト進行を遅らせた (短絡による回路再発注と製作で 2~3 週間遅延). 2017 年後半には分離機構は無重力実験の必要性が出てきて (適合性審査関連の分離速度と分離方向が設計通りかどうかの確認) 2008 年 2 月に実施. また振動試験時の衛星分離スイッチの故障や分離機構の不具合解消までに時間がかかった (2008 年 1~6 月はすべて衛星と分離機構の振動試験). また FM 機の衝撃試験 2008 年 10 月に発生した分離機構回路部のラッチングリレーの故障により, 最後までよく確保した衛星運用試験の一月間がなくなる.		
その他	N/A	N/A	N/A	
修正処置	コンデンサの交換作業. 振動試験別日程調整. 再試験.	衛星の分離スイッチの故障により, 衛星構造の再設計・再発注.	太陽電池保護板の設置. 六角穴付ボルトを用いる. 十字ねじを使わなければならないときの注意点の教育とマニュアル作成.	
是正処置	組立作業チェックリストの用意とダブルチェック体制.	部品の個別振動試験の実施.	組立作業チェックリストの用意とダブルチェック体制.	
その他改善事項	衛星開発前に JAXA 資料などノウハウを先に習得することを徹底したほうがよい. 学生教育の体制を整える.			



表 5.1.2.2-4(3/4) KKS-1 失敗事例分析

プロジェクト No.		13	
プロジェクト名		KKS-1 (輝汐)	
責任機関 (実施の中心機関)		東京都立産業技術高等専門学校	
事例 No.		7	8
発生年月		2008 年 5 月	2008 年 10 月
区分		試験	試験
失敗事例		振動試験中に分離機構のシャープエッジで配線が切れて短絡した。EM 試験中。学生によるセッティング作業。	FM 衝撃試験でラッチングリレーが反転・故障。打ち上げ3か月前 (JAXA 最終審査1か月前)。場所は JAXA つくば。
要因分析	技術的要因	振動試験機の衛星を乗せ、加振中のデータを測定していたが、ケーブルが振動試験の角部にあたり、ケーブル側が短絡 (信号線短絡) を起こした。分離機構側のシャープエッジ対策が十分ではできていなかった。角を落とす作業は手作業でしていたが、やすり掛けが不十分で表面が粗く、鋭角で切れたというよりも摩擦が生じて切れた。	衝撃のロードパスとなる軸に、ラッチングリレーを配置した。ラッチングリレーは3個。ポッティング済みだった。ポッティングは十分に行われていたがそれでも衝撃の強さがあり、2つが反転・故障してしまった。
	人的要因	角を落とすというだけで、落とした面の粗さを気にしていなかった。チェックも目視のみとなっていた。結果的にケーブルが当たる角部の部分に対して養生テープをテープングすることで対処した。	製造上、試験場の人的要因はなかった。
	組織的要因	過去の JAXA 資料にも書いてあるような事象で、組織的に過去のノウハウを活かせない体制が問題。以後、シャープエッジ対策は神経質なほど行った。	衝撃試験は初体験だが、火工品を用いた衝撃試験が一般的であると把握していたが想定より違う方式の衝撃試験であった。衝撃試験がどのように行われるかが不明な状態で分離機構の設計・製造、振動試験が終わっていた (FM 以降後に試験方法がわかり、初期設計段階で問題があることがわかる)。結果的にラッチングリレーの機能部を FET に置き換えることで問題なく試験は終了した。 本事象の今後の対策として次が推測される。そもそもラッチングリレーを用いない設計が良い。ラッチングリレーを載せた分離機構基板を設置する場所はロードパスの遠い地点が良い (衝撃緩衝される)。ポッティングのみでは緩衝不足だった。1.6mm 厚の基板の上にラッチングリレーを載せないほうが良かった (10mm スペーサーの上に基板を固定)。ラッチングリレーを基板に載せた状態での衝撃試験の単体試験はしていない (振動試験はクリアしている)。
	時間的要因	EM 完成は当初 2007 年 9 月の予定だったが、2008 年 6 月となった (9 か月間の遅れ)。衛星側の設計段階・組立時の短絡事故による電源回路のリカバリー作業がプロジェクト進行を遅らせた (短絡による回路再発注と製作で 2~3 週間遅延)。2017 年後半には分離機構は無重力実験の必要性が出てきて (適合性審査関連の分離速度と分離方向が設計通りかどうかの確認) 2008 年 2 月に実施。また振動試験時の衛星分離スイッチの故障や分離機構の不具合解消までに時間がかかった (2008 年 1~6 月はすべて衛星と分離機構の振動試験)。また FM 機の衝撃試験 2008 年 10 月に発生した分離機構回路部のラッチングリレーの故障により、最後ようやく確保した衛星運用試験の1か月間がなくなる。	
	その他	N/A	N/A
修正処置		ケーブル補修作業や原因究明作業が発生して、1 時間ほど試験時間が取られ、翌日に追加試験となってしまった。	分離機構基板の再設計・再発注となった。衝撃試験の試験日再設定もあり、試験合格まで 3 週間のスケジュール後退となった。
是正処置		振動試験マニュアルへの記載。	機械部品はできるだけ搭載しない設計が良い。
その他改善事項		衛星開発前に JAXA 資料などノウハウを先に習得することを徹底したほうがよい。学生教育の体制を整える。	

表 5.1.2.2-4(4/4) KKS-1 失敗事例分析

プロジェクト No.		13
プロジェクト名		KKS-1 (輝汐)
責任機関 (実施の中心機関)		東京都立産業技術高等専門学校
事例 No.		9
発生年月		2009年2月
区分		衛星運用, システム
失敗事例		衛星打ち上げ後, 衛星はCW送信しているが, 地上局からの電波を受信できない状態になった. 産業技術高専地上局にて.
要因分析	技術的要因	プログラムが原因だと推測している. 多重割込 (割込みのさらに割込みを重ねること) を用いており, 割込みに対する管理ができていなかった. 地上からの電波を受信してもメイン関数側に行かずに, そのまま受信をし続けるモードになってしまった. 本事象が生じるのは衛星電源投入から2, 3日経った後に生じるバグだったが, 衛星運用試験は丸一日しかできなかったため, バグを見つけることができなかった. (EMでの再現試験を数十回行ったが原因決定に至っていない).
	人的要因	開発時間が不足して, 学生間でお互いのプログラムを見合う余裕はなかった. 教員側もFM最終期は衝撃試験のトラブル対応でほとんど不在であった. またプログラムは割込みが多重 (割込みのさらに割込みを重ねること) で入っており, 見づらい状態だった. フローチャートを作ることもしていたがすぐに更新され, 形骸化していた.
	組織的要因	組織的には完全に経験不足が原因. 振動試験3か月・衝撃試験1か月のトラブルにより全体スケジュールが全4か月遅れたことが大きい. 開発時間や人的リソースが一気に枯渇. FM機完成後は3か月間は運用試験を行うつもりが, 結果丸一日しか衛星運用試験ができなかった. 結果, 十分にバグを取れていないことに気づかず衛星を打ち上げることとなった (学生らも満足なデバッグができなく不安を抱えていた).
	時間的要因	EM完成は当初2007年9月の予定だったが, 2008年6月となった (9か月間の遅れ). 衛星側の設計段階・組立時の短絡事故による電源回路のリカバリー作業がプロジェクト進行を遅らせた (短絡による回路再発注と製作で2~3週間遅延). 2017年後半には分離機構は無重力実験の必要性が出てきて (適合性審査関連の分離速度と分離方向が設計通りかどうかの確認) 2008年2月に実施. また振動試験時の衛星分離スイッチの故障や分離機構の不具合解消までに時間がかかった (2008年1~6月はすべて衛星と分離機構の振動試験). またFM機の衝撃試験2008年10月に発生した分離機構回路部のラッチングリレーの故障により, 最後ようやく確保した衛星運用試験の一か月間がなくなる.
	その他	N/A
修正処置		打ち上げ後のトラブル発見であったため, 後戻りができない状態. 衛星運用で原因特定も推定でしかない.
是正処置		プログラムの可視化. プログラム製作体制の見直し.
その他改善事項		プログラム製作やデバッグ作業は, 衛星システム完成後の作業であるため, 様々なトラブルのしわ寄せがくる. このことを早い段階で全体的に周知して, ノウハウ資料を元に勉強会を必ず行うこと. 基板単位でのシステム完成を早期に行う. トラブル想定をしたストレステストリストを作成して, バグを早期に取り除く.

表 5.1.2.2-5(1/13) RISESAT 失敗事例分析

プロジェクト No.		15
プロジェクト名		RISESAT
責任機関（実施の中心機関）		東北大学吉田・栗原研究室/北海道大学高橋研究室
事例 No.		1
発生年月		2016年2月
区分		サブシステム
失敗事例		RISESAT 衛星のイプシロンロケット相乗り打上げが確定するタイミングで、予定していた国際理学観測ペイロードのうちの2機関がプロジェクトから脱退する決断を下した。これは選定したペイロードの台数がプロジェクトの処理能力を超過し、該当する機関との調整作業を満足に実施できない状況となり、ペイロードの開発と資金管理に支障を来したことが主な原因と考えられる。
要因分析	技術的要因	国外で開発されるペイロード機器との技術調整には予想以上の労力を有した。インターフェースの調整、及び運用計画において、遠隔作業で共通認識を確立することは極めて困難であった。全ての理学機器でバスシステムとのインターフェースの共通化を図ろうとしたが、使用を予定していた搭載機器の技術的完成度が低く、また輸出規制問題でソフトウェアが使用できないなどの状況が発生し、機器間のインターフェースの調整は難航を極めた。機械的、電氣的インターフェースをもう少し明確に定義できていれば、結果は違っていたと思われる。
	人的要因	衛星のミッション策定時に、国際理学観測衛星として、ペイロードを広く国際的に公募し、応募してきた機関の中から選定する形をとった。その際、ペイロードの新規性や工学的な意義の大きさを判断基準に選定を行ったが、実際にプロジェクトが処理できる容量を超える数のペイロードを(楽観的に)選定してしまったことが問題である。国際調整や、インターフェース調整・管理、共同開発、システム電気試験など、国際プロジェクトを遂行する上での数々の課題解決に対する労力を過小評価してしまっていたこと、プロジェクト、及びプロジェクトマネージャーの能力を過大評価してしまっていたことが失敗の人的原因と言える。
	組織的要因	参画機関が非常に多く、ステークホルダー(ペイロード開発機関)が多かったために、全体の調整が星形となってしまう、中央に位置するシステム取りまとめ機関の労力が過大になってしまった。
	時間的要因	N/A
	その他	上述の通り、予期せぬ輸出規制の適用により、予定していたソフトウェアが使用できなくなったことも一因である。
修正処置		結果的に、ペイロードの搭載を断念する機関が現れ、プロジェクトの能力の範囲内で実施できる規模にプロジェクトの規模が縮退した。逆に言えば、ペイロードの数をプロジェクト後半で削減することによってプロジェクトスケジュールが成立するように調整を行った。
是正処置		以降の衛星プロジェクトにおいては、ペイロードの選定において開発期間内で実施可能なものに絞ると共に、ペイロード開発担当者には衛星技術についてある程度の知識を有する者を配置する方針とした。その後国際プロジェクトには着手していないが、今後国際プロジェクトを実施する際には国際調整に要する作業量を十分余裕をもって見積もり、プロジェクト始動当初から具体的、且つ現実的なプロジェクトスケジュールを策定すると共に、該当する機器間の電氣的インターフェースには公知の汎用技術を使用することとする。
その他改善事項		衛星の打ち上げ機会が確定した後は、ほぼ毎朝に朝会を実施し、プロジェクトマネージャーと開発担当学生、関連メーカーで短時間のミーティングを実施し、日々の作業内容の相互確認を実施することによって開発作業の効率化、高速化を図ると共に、プロジェクト関係者のプロジェクト全体への理解度促進と、最新の情報の共有に努めた。



表 5.1.2. 2-5 (2/13) RISESAT 失敗事例分析

プロジェクト No.	15
プロジェクト名	RISESAT
責任機関 (実施の中心機関)	東北大学吉田・栗原研究室/北海道大学高橋研究室
事例 No.	2
発生年月	2016年11月
区分	システム/サブシステム(構造)
失敗事例	RISESAT 衛星の構造モデル(MTM: Mechanical Test Model)を用いたランダム振動試験においてQT レベルを加振したところ、衛星のボトムパネルと内部の主柱とを締結するボルトに緩みが生じたり、ボルトの頭が破断するなどの故障が発生した。 参考文献[5.1-3]
要因分析	<p>打上げロケットから提示されたランダム振動試験レベルは、当初衛星の設計時に想定していた振動試験レベルを上回るものであったが、衛星の主構造の設計上は問題ないという判断に基づき振動試験を行ったところ、衛星の主構造に損傷は見られなかったものの、ボトムパネルと衛星の主柱とを締結する M4 のネジに緩みや破断が生じる結果となった(図参照)。これは先行する同様の 50kg 級の人工衛星プロジェクトにおいて、該当箇所に M4 のネジを使用していたことを継承し、追加検討無く M4 のネジを使い続けていた。強度設計上は問題ないこととなっていたが、緩みが生じることは想定されていなかった。これは問題が発生した箇所の近傍に、比較的質量の大きいリアクションホイールが 4 台搭載されていたことが大きく影響していると考えられた。先行する衛星(約 40kg)に比べ、RISESAT の質量は約 60kg へと、約 50%程度増加していることを考えると、該当のネジもよりサイズの大きいもの(M5 等)に選定し直すのが適切であったと考えられる。その後、ロケット側で振動試験レベルが高く設定されすぎたことが判明し、振動レベルが緩和されたために、衛星の設計を変更する必要はなくなり、M4 のネジの使用を継続することとなった。</p> 
人的要因	従前の衛星プロジェクトで実績があるからといって、十分な検討を実施することなく、設計を踏襲することには危険が内在している可能性がある。従前のプロジェクトでの解析結果、適用範囲に関する評価結果等を十分に把握したうえで、必要であれば改めて十分なマージンを追加するなどして、信頼性の確保に努める必要がある。尚、該当箇所のネジを M4 から M5 に変更することによる衛星システムへの影響は極めて軽微なものであり、予算的な圧迫も生じないものであったことから、当初からそのような判断ができていればよかったと反省された。
組織的要因	衛星構造の設計開発は学生が担当することが多く、プロジェクトごとに入れ替わりがあると共に、毎年のように引継ぎが発生する。そのため、従前のプロジェクトでの実績が書類からしか読み取れないものも多く、ノウハウの継承が課題となる。
時間的要因	N/A
その他	イプシロンロケットでの超小型衛星の相乗りの機会はこれが初めてであったため前例が無く、当初ロケット側で設定された環境試験の条件に大き目のマージンが含まれていたことが考えられる。打上げ担当機関から提示されたからといって、そのままを鵜呑みにせず、独自に定量的によく吟味する姿勢が必要である。
修正処置	損傷した構造モデル(MTM)は部分的に修理と再製作を実施することとなった。その後振動試験レベルが緩和され、設計変更の必要が無くなったことを考えると、この事故に起因する作業は、プロジェクトとしては全て出戻りとなった。FM は MTM/EM での検証結果に基づき製作し、このような問題は発生しなかった。
是正処置	衛星のボトムパネルと主柱との締結力を強化するための対策の検討を行い、部分的に実装した。まず、ファスナーに使用するワッシャを特注し、厚みを 2mm にすることで圧縮荷重の伝達効率を高めた。ロックヘリサートを 1.0D 相当から 2.0D にサイズアップした。そのほか、ネジのサイズアップや、締結トルクの強化、などの対策を検討した。
その他改善事項	50kg 級人工衛星の該当箇所には以後 M5 を使用することとし、質量クラスに応じて使用するファスナーサイズを見直すこととした。

表 5.1.2.2-5(3/13) RISESAT 失敗事例分析

プロジェクト No.		15	
プロジェクト名		RISESAT	
責任機関 (実施の中心機関)		東北大学吉田・栗原研究室/北海道大学高橋研究室	
事例 No.		3	4
発生年月		2016年2月	2016年2月
区分		コンポーネント	コンポーネント
失敗事例		展開パネルの保持開放機構に購入品を使用することにより、安全審査対応が長引き、衛星設計の確定に時間を要した。 [5.1-3, 5.1-4]	X帯送信機、及びX帯送信アンテナの設計方針を誤り、X帯送信システムを1系統無駄にしまった。参考文献[5.1-4]
要因分析	技術的要因	展開パネルの保持開放機構に、宇宙用市販品を使用することとした。安全設計の観点から、展開パネルはハザードとして識別されたため、保持開放機構にかかわる電気システムには3インヒビットを、機械部品についてはリスク最小化設計の適用を基本としつつ、内部の一部の構成要素が(2重)冗長設計となっていることが求められた。しかしながら、本機構は購入品であり、内部の詳細な設計は開示されていないことから、安全審査対策のために国外のメーカーから追加情報を開示していただく手続きが必要となった。また、内部の一部の構成要素に対する環境試験の実績についても個別に提示する必要が生じたが、ユーザー側の責任で追加で実施できる内容の試験ではなかったため、対応の可否はメーカーの判断に委ねられる事態となった。そのため、場合によっては本機構そのものを2台搭載する必要が生じることから、保持開放機構はパネルごとに2台、左右のパネル併せて合計4台を搭載することができるよう、衛星のシステム設計を実施する必要が生じた。それにより、電気系、機械系の設計をEMからFMに向けて一部変更する必要が生じた。FMにおける安全審査の結果、メーカーの協力もあり、1枚の展開パネルにつき1台の保持開放機構で安全設計上は問題がないという結論となったため、FMで実施した設計変更、及び安全を見て4台購入したうちの2台の装置は無用ということとなった。予算的には全体で500万円程度の余計な出費となった。	RISESAT衛星は研究チームとして初めてX帯送信機を搭載する衛星であった。従来の衛星ではS帯送信アンテナを衛星の上下面に2台搭載し、2出力を有するS帯送信機の出力をそれぞれ個別に接続しており、地上局に対する衛星の姿勢に応じて切替え方式で出力していた(切り替えはS帯送信機の内部で行われる)。これにより衛星が自由回転中においても、状況に応じてアンテナを切り替えることにより、基本的には常時通信ができる状況であった。そのため、X帯についても同様の仕様として実装してしまった。しかしながら、X帯の通信に求められる衛星姿勢の地上局への指向精度はS帯よりも厳しく、自由回転中は通信がほとんど成立しないため、片方のアンテナを正確に地上局に指向している状況でのみでしか通信が成立しないことが分かった。そのため、デフォルトのアンテナとして衛星の下面に搭載されている送信システムを残し、衛星背面に搭載したアンテナは打ち上げ前に取り除くこととした。これにより、X帯送信機に搭載された、2系統目の送信回路は不要となってしまった。最初からこの部分を実装しなければ、衛星システムの開発コストも、X帯送信機の価格も削減できていたと思われる。
	人的要因	N/A	従前の設計を継承する際には、一度その内容に疑問を持ち、改善、変更の必要が無いか、よく検討する姿勢が重要である。特に通信系に関しては打ち上げてみないとわからない部分があるため、衛星プロジェクトをシリーズとして、知見を継承すること、及び他のプロジェクト、他の機関であっても、なるべく情報共有、経験の共有を促進することが重要だと思う。
	組織的要因	N/A	N/A
	時間的要因	N/A	N/A
	その他	N/A	N/A
修正処置		N/A	FMにおいて、アンテナ一台、及びそれに付属するケーブルの搭載を取りやめた。X帯送信機の使用しない出力ポートについては50Ωで終端処理し、使用しないこととした。実際に、運用において不都合はなかった。
是正処置		展開構造物の保持開放機構は極力内製する方針となった。	他のプロジェクトにおいてもX帯については同様の設計方針とすることにした。
その他改善事項		保持開放機構の設計ノウハウについては文書化し、プロジェクト間で情報共有を行った。	N/A

表 5.1.2.2-5(4/13) RISESAT 失敗事例分析

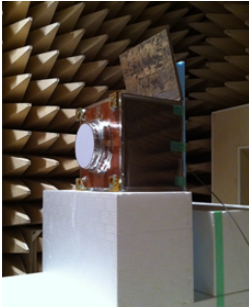
プロジェクト No.	15
プロジェクト名	RISESAT
責任機関（実施の中心機関）	東北大学吉田・乗原研究室/北海道大学高橋研究室
事例 No.	5
発生年月	2016年2月
区分	コンポーネント
失敗事例	不適切な UHF アンテナの配置、及びその周辺機器の配置がアンテナパターンの悪化を導いた。 参考文献[5.1-4]
要因分析	<p>RISESAT 衛星は底面に 4 素子からなる UHF 帯のターンスタイルアンテナが搭載されている。地球観測センサも衛星の底面向きに搭載されており、その視野を確保する目的から、4 素子のアンテナは衛星の底面の四隅から少し外にはみ出すように配置することとした（図参照）。しかしながら、UHF 帯は波長が長いので衛星の構体全体を電波の反射板としてみなす必要がある。衛星の形状やアンテナ素子の配置、周辺の搭載機器がアンテナパターンの遠方界に影響を与える。このような観点から、アンテナ素子を衛星底面の四隅に、しかも飛び出るような形で搭載すると、電波が適切に反射せず、アンテナとしての特性が落ちることが後にわかった。理想的には搭載面の辺の中央、且つある程度面の内部に入り込んだ箇所に搭載することが望ましいことがわかった。しかしながら、このことが判明した時点では既に衛星の底面にはところ狭しと搭載機器が配置されており、アンテナの搭載位置を変更することも、それに合わせてアンテナ素子の形状を変更することもできない状況であった。ターンスタイルアンテナはそれぞれの位相を 90 度ずつずらすことによって円偏波とすることができるが、素子ごとのエネルギーが適切に放射されない状況においては、円偏波として成立していないことがわかった。設計変更は不可能であったことから、従前の SPRITE-SAT、RISING-2 衛星においても同様なアンテナを使用した実績があったため、そのままの仕様で打ち上げる決断をした。結果としては幸いにも通信は成立したため事なきを得たが、エンジニアリング的には理想ではなかった。またターンスタイルアンテナの位相は、接続するケーブルの順番を誤ると円偏波の右旋・左旋の向きが反転してしまうことから、注意が必要である。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>UHF帯アンテナの搭載位置</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>UHF帯アンテナパターン計測</p> </div> </div>
人的要因	従前の衛星での実績があったため、疑うことなく設計を継承してしまった。
組織的要因	N/A
時間的要因	N/A
その他	N/A
修正処置	このことに気づいた時点では設計の変更・修正はできない状況であったため、そのままフライトに臨んだ。
是正処置	次号期ではアンテナの形状を変更すると共に、理想的な搭載箇所に配置するようにした。また、電波暗室を使用し、予め電波的等価モデルを用いてアンテナパターンを測定することとした。
その他改善事項	外部の専門家の指導を受けることとした。



表 5.1.2.2-5(5/13) RISESAT 失敗事例分析

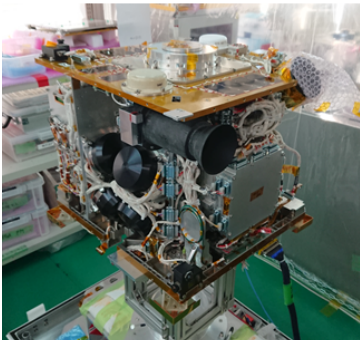
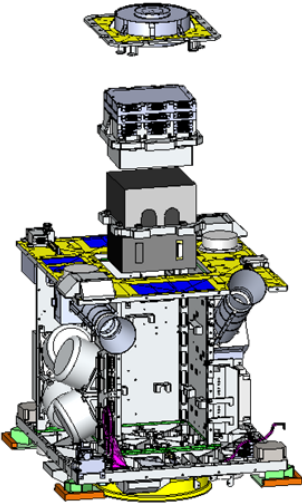
プロジェクト No.	15
プロジェクト名	RISESAT
責任機関（実施の中心機関）	東北大学吉田・栗原研究室/北海道大学高橋研究室
事例 No.	6
発生年月	2016年2月
区分	サブシステム
失敗事例	衛星構造設計において、衛星の中央に箱型の支柱を配置し、その中に電源系を配置する設計としたが、作業効率が悪く、FMの組み立て評価作業の工数が増え、長時間を要した。参考文献[5.1-3]
要因分析	<p>衛星の構造設計において、従前のプロジェクトからの実績を継承し、衛星の内部に箱型の支柱を配置する設計とした(図参照)。また、最も温度範囲が厳しいバッテリーを、熱的に最も安定する支柱内部に搭載することとし、それに合わせて電源制御装置も支柱内部に搭載することとした。衛星の構造の内部に搭載するために、専用の組み立て用治具を用意するなどした。熱的には最適な設計と思われたが、この設計方針には以下の点で問題があることがわかった。①まず、電源制御装置は安全審査の観点からロケット分離前の3インヒビット機能と密接に関係しているため、分離スイッチ、及びフライトコネクタに至る計装があるが、電源制御装置が衛星内部に搭載されているため、衛星外部からアクセスが可能である必要があるこれらのスイッチ及びコネクタまでの計装の長さが長くなってしまい、その経路の電圧ドロップが大きくなってしまった。RISESATでは問題の無いレベルであったが、大電流が流れる場合には電圧ドロップ、及び消費電力ロスが無視できないレベルに至る可能性があるため注意が必要である。②第二に、電源制御装置には宇宙用 One Time Antifuse FPGA を搭載していたが、その焼きこみに先立ち、民生用 FPGA を搭載した状態で衛星に組み付け、衛星全体のシステム電気試験を実施する計画であった。そのため、衛星を1度組み立てた後に、FPGAの載せ替え作業をするために、衛星の大部分を再度解体する必要が生じてしまった。衛星の組み立て効率を考えると、電源制御装置はすぐに取り外せる箇所に搭載しておくべきであった。</p>
技術的要因	 
人的要因	N/A
組織的要因	N/A
時間的要因	N/A
その他	N/A
修正処置	このことに気づいた時点では設計の変更・修正はできない状況であったため、そのままフライトに臨んだ。
是正処置	次号期においても支柱構造を引き継ぐこととなったが、電源制御装置、及びバッテリーに関しては支柱の外側に搭載することとし、問題を解決した。
その他改善事項	衛星の概念設計時において機器の搭載位置が決まることが多いと思うが、ハーネスのルーティングやロケット分離装置の配置も含め、組み立て時の作業性を最大限考慮にいれておく必要があり、衛星の組み立て作業の経験者を交えて設計を進める必要がある。

表 5.1.2.2-5(6/13) RISESAT 失敗事例分析

プロジェクト No.	15	
プロジェクト名	RISESAT	
責任機関（実施の中心機関）	東北大学吉田・栗原研究室/北海道大学高橋研究室	
事例 No.	7	
発生年月	2016年2月	
区分	システム	
失敗事例	FMでの質量特性試験に関するプロジェクトスケジュール管理の不徹底 参考文献[5.1-4]	
要因分析	技術的要因	衛星のスピン安定性を担保するため、及びロケットからの要求のため、質量特性計測を実施した。EMにて予備計測を行って手順を確認すると共に、FMにおいても計測を実施し、その結果に基づきカウンターウェイトを追加して質量特性の合わせこみを行った。FMでの質量特性試験は、フライトと同形態において行わなければ意味をなさないため、理想的にはFMの組み立てを完全に終了した状態で実施できるとよい。しかしながら、質量特性を計測するだけでなく、カウンターウェイトでの合わせこみを行う場合には衛星を一旦解体する必要性が生じるため、組み立ての再現性を確保する必要がある。また、質量特性計測実施の段階で、必ずしも衛星の開発評価が予定通り終了できているかについては不確実性があり、計測後にも一部を解体して電気試験等を実施する必要がある可能性もある。また、その結果、場合によっては質量特性計測を再度実施しなければならない状況に陥る危険性もある。このような背景から、質量特性計測の時間計画はFMの最終組み立て評価作業において影響が大きく、前後の工程も含めて適切に管理しなければプロジェクトスケジュールが破綻するリスクをはらんでいる。質量特性に関する情報が安全審査や適合性審査に必要な情報である場合には、FM最終組み立て作業よりも比較的早い時期に実施する必要性が生じる。RISESAT衛星においてはFMでの質量特性計測実施前に衛星の組み立て評価を終えることはできなかったため、文書で組み立て作業の再現性を確保する対策をとった。FMの質量特性計測試験までには、少なくとも、FMの大部分の本組み立てが終了している必要があることを、スケジュールリングの上で計算に入れておく必要がある。
	人的要因	質量特性試験を経験したことがない技術者が時間計画を立てたため、FMの最終組立作業との時間的な前後関係が曖昧なままプロジェクトが進行してしまった。
	組織的要因	N/A
	時間的要因	N/A
	その他	N/A
修正処置	このことに気づいた時点ではプロジェクトスケジュールや開発方針を変更できる状況では無かったため、特段の対策をとることはできず、FMの開発、組立評価作業をなるべく前倒しで実施できるように努めた。	
是正処置	後続の衛星においては、出張式の質量特性計測サービスを利用した。これにより、計測設備の予約に関して時間的な自由度が高まり、プロジェクトスケジュールの管理が容易になった。しかしながら、質量特性計測の時点でFM組立を完全に終了することは難しいと共に、推薬などは充填した状態で計測することはできないため、ドライマスでの計測値に解析による修正を加えた値を打上げ時の特性とするなどの工夫が必要であるということに気づいた。	
その他改善事項	N/A	

表 5.1.2.2-5(7/13) RISESAT 失敗事例分析

プロジェクト No.		15	
プロジェクト名		RISESAT	
責任機関（実施の中心機関）		東北大学吉田・栗原研究室/北海道大学高橋研究室	
事例 No.	8	9	
発生年月	2019年1月	2019年1月	
区分	コンポーネント	コンポーネント	
失敗事例	<p>恒星センサのバッフル性能の不足(図参照) 参考文献[5.1-4]</p>  <p>恒星センサバッフル</p>	<p>Store &amp; Forward 実験用に選定した周波数が、運用時には使用できない状況となってしまった。 参考文献[5.1-4]</p>	
要因分析	技術的要因	<p>独自に研究開発した恒星センサを搭載したが、バッフルの設計、及び遮光性能評価が不十分であり、軌道上で十分な遮光性能を発揮せず、センサが使用できる条件に大きな制約が課された</p>	<p>Store &amp; Forward 実験用に選定した周波数が、国際的に使用しづらい状況となり、日本国内では予定していた実験を実施できなくなりました。</p>
	人的要因	<p>予算的な観点からバッフルを独自に設計開発する判断となったが、専門の業者に設計内容をレビューしてもらったり、アドバイスを求めたりするなどすることで、性能を改善できていた可能性がある。衛星の搭載機器を独自開発しなければならないという判断が下されたような場合にも、柔軟な思考を保ち、有識者、専門家へのヒアリングやアプローチを怠らないようにするのがよい。</p>	N/A
	組織的要因	N/A	N/A
	時間的要因	N/A	N/A
	その他	N/A	N/A
修正処置	<p>軌道上運用において判明したため、修正処置を講じることはできなかった。運用を工夫することで対応した。</p>	<p>プロジェクト後半において判明したため、処置を講じることはできなかった。</p>	
是正処置	<p>恒星センサの次のモデルからは、専門の業者に開発していただくこととなった。今後遮光が必要となる光学機器の開発時には特に注意することとした。</p>	<p>周波数選定に関しては、5年後、10年後の利用可能性を確認した上で選定することが必要である。</p>	
その他改善事項	N/A	<p>周波数については国際的な動きがあるので、確定的な情報を入手するのが困難な側面もある。</p>	

表 5.1.2.2-5(8/13) RISESAT 失敗事例分析

プロジェクト No.		15
プロジェクト名		RISESAT
責任機関（実施の中心機関）		東北大学吉田・栗原研究室/北海道大学高橋研究室
事例 No.		10
発生年月		2018年10月
区分		システム, 試験
失敗事例		FM システム電気試験時、RW-ON と共にバス電源が短絡し、バッテリーから 10A 以上が数秒間放電され、過負荷により衛星が強制 OFF される事象
要因分析	技術的要因	RW 用の電源制御基板を固定するネジが基板上の HOT パターンと接触  基板の不備により固定ネジの下が「ベタ HOT」となるように設計されていた。パターンはレジストのみにより絶縁されている状態のところ、ネジを締めつけた際のワッシャの擦れでレジストが剥離し、HOT と基板固定ネジが導通した。基板固定ネジは筐体と導通、筐体は衛星本体 GND と導通しており、RW-ON と同時にバス電源が短絡するに至った。テーブルサット状態ではユニットの筐体と衛星本体の GND が絶縁されており（ユニット筐体を GND として積極的に使用する設計ではないため）、FM システムとして構体に組み込むまで判明しなかった。
	人的要因	組み立て時の設計確認漏れ、ダブルチェック漏れ 担当学生 1 名が RW 電源制御ユニットの組み立て作業を実施した。当該のユニットを設計した学生は既に研究室を離れており、組み立て手順書や基板設計資料が残されていない状況であった。ネジ下にパターンが存在することを十分に確認せずに組み立てを実施した。また、その組み立て作業を確認する体制となっていなかった。
	組織的要因	チェック体制の不備、組み立て手順や設計資料の共有不足
	時間的要因	FM 組立作業の時間が不足しており、複数人で作業を実施できる状況ではなかった。予算が十分ではなく、組み立て作業を専門家に外注できる状況ではなかった。
	その他	N/A
修正処置		原因が究明されるまで、短絡が生じない RW のみでシステム熱真空試験を続行。 システム熱真空試験完了後、該当ユニットを取り外し詳細な調査を実施⇒不具合箇所を発見。 短絡による大電流で PCU が破損する可能性があるかをメーカーに確認⇒問題なしと判断。 該当基板を新品と交換、短絡の危険のある HOT パターンは厚手のカプトンフィルムを挟み絶縁。
是正処置		次号機以降の組み立て時には必ず絶縁用のカプトンフィルムを使用する手順とした。
その他改善事項		必要な予算を確保し、次号機以降は組み立て作業を経験豊富な外部メーカーに外注することとした。



表 5.1.2.2-5(9/13) RISESAT 失敗事例分析

プロジェクト No.		15	
プロジェクト名		RISESAT	
責任機関（実施の中心機関）		東北大学吉田・栗原研究室/北海道大学高橋研究室	
事例 No.	11	12	
発生年月	2018年10月	2019年5月	
区分	サブシステム, 試験	サブシステム	
失敗事例	精太陽・地球センサ内部の短絡により上位の姿勢制御コンピュータユニット内のスイッチ IC が焼損した事象	GPSR ファームウェアのバグにより測位結果に対するタイムスタンプが秒単位でずれる	
要因分析	技術的要因	筐体と精太陽・地球センサユニットの内部の電源の短絡  研究室内で開発した精太陽・地球センサユニットの内部に電源の短絡があるにも関わらずそれに気づかず、姿勢制御コンピュータユニット ACU の FM に接続し電源を ON したため、ACU 内のスイッチ IC に過電流が流れ焼損した。 ソフトウェア的な過電流防止機能が存在したが反応速度が遅く、CPU が当該スイッチを OFF する前に焼損した。	搭載している A 社製 GPSR のファームウェアの不具合により、測位結果に対し遅れた時刻のタイムスタンプが付与される。遅延の量は不定で、数週間連続動作させると事象が発生しやすい傾向にあるが、再起動直後から遅延が生じる場合もある。
	人的要因	組み立て作業時の不注意 設計者ではない経験の浅い修士課程学生 1 名のみで組み立て作業を実施し、作業の監督が不十分だった。  コンポーネント単体試験の状況共有が不十分 単体での動作試験が実施されていない情報が事前に共有されず、FM システム試験が実施され、上位の機器が破損した。 機器単体での試験結果の報告が不十分なままに「組立が完了した」という報告だけで上位システムとのかみ合わせを実施してしまった。組立作業に対する認識のレベルに学生間で差があることに気づかず、組み立てが完了したということは単体での動作試験まで含めて完了しているものという誤解がシステム電気試験担当者との間で発生した。	実績ある購入品に対する過信  複数の超小型衛星で実績のあるセンサで、東北大でもこれまで複数使用してきたことから、不具合はないものと考えていた。実際には性能の評価が不十分で、本衛星だけでなく他の衛星に搭載した受信機でも同様の不具合が生じていた。
	組織的要因	チェック体制の不備、組み立て手順や設計資料の共有不足	N/A
	時間的要因	FM 組立作業の時間が不足しており、複数人で作業を実施できる状況ではなかった。  不十分なスケジュールの中で衛星組み立て作業を行う必要があり、学生への教育が行き届かないまま組み立て作業が優先されてしまった。	N/A
	その他	N/A	N/A
修正処置	精太陽・地球センサユニットそのものには故障はなし。 予備基板を利用して ACU の再組み立てを実施した。オープンモードでスイッチ IC が故障したため、更に上位側への故障の波及はなし。	A 社に問い合わせを行うも原因不明。1 週間ごとに GPSR を再起動することにより改善されるが、完全な対策ではない。一度正常に動作させることができれば数日間は正常に動き続けることが多い。	
是正処置	新型の ACU ではソフトウェアブレーカではなく反応の早いハードウェアブレーカを使用する方針とした。	根本的な対策ができないため、次号機以降は別メーカーの GPSR に変更した。	
その他改善事項	学生への周知・教育事例へ反映	N/A	

表 5.1.2.2-5(10/13) RISESAT 失敗事例分析

プロジェクト No.		15	
プロジェクト名		RISESAT	
責任機関（実施の中心機関）		東北大学吉田・栗原研究室/北海道大学高橋研究室	
事例 No.	13	14	
発生年月	2019年6月	2018年10月	
区分	システム	コンポーネント	
失敗事例	FOGのZ軸センサが打ち上げ後約半年を経過したタイミングで故障し、当該軸の角速度の計測ができなくなった。冗長系の角速度センサは搭載されておらず日陰中における姿勢決定が不可となった。		姿勢センサの一部機器（FOG, RW, 精太陽・地球センサ）がON/OFFできないことがFMシステム試験の直前に発覚した
要因分析	技術的要因	FOG内部の素子が劣化しZ軸のみの計測が不可となった（詳細非公表）。XY軸は継続して使用可能。角速度の計測については本FOGを信頼するシステム設計となり、故障時のバックアップセンサが用意されていなかった。 日陰中の姿勢決定は、日照中に計測した姿勢をFOGから得られる角速度で積分する設計となっており、Z軸の角速度が計測できないことにより日陰中の姿勢決定機能を喪失した。	
	人的要因	冗長設計に関する検討不足	前任者からの引継ぎ不足、EM開発に集中しFM試験がおろそかになった  ACUのハードウェアは担当学生1名が前任者から引き継ぎ、前任者は研究室から既に離れていた。ACUのEM, FMは既にほぼ組み立てが完了した状態で引き継がれたため、新たな担当学生はFM基板の一部の部品の追加実装が必要であることを把握していなかった。ACU-EMは既に動作しており、担当学生はEM基板のみを使用して姿勢制御ソフトウェアの開発に専念している状態であった。EMで開発したソフトウェアをFMに書き込めば、すぐにFMもEM同等に使用可能になるとご認識しており、FMの動作確認が不十分であった。
	組織的要因	N/A	チェック体制の不備、組み立て手順や設計資料の共有不足
	時間的要因	N/A	N/A
	その他	N/A	N/A
修正処置	日照中については太陽センサと磁気センサから得られた姿勢を微分することにより角速度を求める機能が衛星に実装済みであった。精度は大きく低下するものの、制御パラメータを調整し、日照中であれば姿勢制御ができるよう機能を回復させた。		FMシステム試験を中断し、ACU-EMとFMの基板を比較することで未実装のFETがあることを確認した。そのFETだけを未実装とした理由は不明であったが、設計時の資料を基に部品を追加で実装した。この不具合に伴う他機器の故障や大きなスケジュールの遅延はなかった。
是正処置	FOG内部についてはメーカーにて対策がなされた。 次号機以降は本FOGに加えて比較的精度の高いMEMSジャイロを搭載することでバックアップとした。		本衛星以降、同一のACU基板は衛星に使用されていない。次号機以降から使用され始めた新型ACUについては、ハードウェアの製造を長期的に関係のある外部メーカーに委託することで、研究室内での引継ぎ漏れを防いでいる。
その他改善事項	N/A		N/A

表 5.1.2.2-5(11/13) RISESAT 失敗事例分析

プロジェクト No.		15	
プロジェクト名		RISESAT	
責任機関（実施の中心機関）		東北大学吉田・榎原研究室/北海道大学高橋研究室	
事例 No.		15	16
発生年月		2018年6月	2019年1月
区分		システム	コンポーネント
失敗事例		STT を衛星主構造に組みつける際に位置決めピンが抜けなくなる事象が発生した	衛星メインコンピュータ (SCU) 内の SRAM 不具合により HK データの保存ができない事象
要因分析	技術的要因	衛星主構造側の位置決め穴の精度の不足により、市販の位置決めピンが固く刺さり抜けなくなった	RISESAT はバッテリーの電圧や消費電流、温度等の基本的な HK データを一定時間間隔で SRAM に記録する HK-REC 機能をメインコンピュータ SCU 内に有する。同じ SCU を使用し、先に軌道上にあった 2 機の衛星では正常に動作していたが、RISESAT に限っては HK-REC が記録できない（同じデータが延々と続く）ことが運用開始後に発覚した。他の SCU では再現させることができず、FPGA もしくは SRAM の個体差であると判断している。
	人的要因	他の箇所でも位置決めピンが固いことがあることは確認されていたが、それに対する対策はなされていなかった	打ち上げ前の地上試験で HK-REC 機能の確認を実施していなかった。他の衛星で実績があったため今回も問題はないと考えていた。
	組織的要因	N/A	N/A
	時間的要因	N/A	N/A
	その他	N/A	N/A
修正処置		FM 振動試験の直前であったため、振動試験および打ち上げ時の振動で脱落しないよう接着剤で固着した。その後も取り外していない。	HK-REC はその後も使用できていないが、SCU の外部の機器にも HK データを記録する機能を実装していたため、運用に大きな支障はない。
是正処置		位置決めピンには潤滑剤を塗布してから使用することとした。	その後の衛星では地上試験の項目に HK-REC の確認を取り入れた。 正し、不具合発生時の対策は明らかになっていない。
その他改善事項		N/A	N/A

表 5.1.2.2-5(12/13) RISESAT 失敗事例分析

プロジェクト No.		15
プロジェクト名		RISESAT
責任機関（実施の中心機関）		東北大学吉田・栗原研究室/北海道大学高橋研究室
事例 No.		17
発生年月		2018年6月
区分		システム, 輸送・ロケット IF
失敗事例		ロケットと結合するためのインターフェースリングのボルトが破損し、衛星が輸送用コンテナから取り外せなくなった事象
要因分析	技術的要因	<p>インタフェース側のネジ穴（ロックヘリサート）の劣化によりボルトが抜けない状態となった</p> <p>ロケット ICD の規定により、当該のネジ穴には潤滑剤を塗布してはならないこととなっており、それに従い作業を行っていた。輸送や振動試験時にインターフェースリングと輸送用コンテナ台車とは着脱を繰り返しており、潤滑剤が塗布されていないロックヘリサートは劣化が進行していた（当時は気づかず）。最終的には JAXA でのフィットチェック作業を行うために大学から搬出作業を行っていた最中、1本のボルトが抜きかけの状態にネジ穴に噛み、抜くことも戻すこともできなくなった。当該ボルトにはランニングトルク許容値が設定されていたが、日々の作業においては毎回計測を行っておらず、劣化に気付かなかった。</p>
	人的要因	<p>ランニングトルク計測に対する理解不足</p> <p>ロケット ICD 上に規定された値を日々の作業の中でも順守すべきであることを理解していなかった。最終的に適合すれば問題ないという考えがあった。</p> <p>潤滑剤を使用してはならないということを盲目的に受け入れてしまった</p> <p>他のネジと比べて固いことは認識されていたが ICD を優先した。ICD 上の潤滑剤不使用の規定は本不具合の後に改訂され、潤滑剤の使用が可能となった。</p>
	組織的要因	N/A
	時間的要因	N/A
	その他	N/A
修正処置		ボルト頭を機械的に削り落とし、輸送用コンテナから取り外せる状態とした。インターフェースリングは衛星主構造から取り外せる構造であったため、リングを取り外し新規に同じものを再製作した。
是正処置		<p>インターフェースリングを保護するため、輸送時や組み立て時にはもう1段保護用のリングを挿入し、当該ネジ部の着脱を可能な限り抑えた（振動試験と引き渡し作業のみで使用する）。</p> <p>該当のボルトについては、毎回ランニングトルクの管理を行った。</p> <p>ロケット側と調整し、当該ネジ部に潤滑剤を塗布することとした。</p>
その他改善事項		N/A



表 5.1.2.2-5(13/13) RISESAT 失敗事例分析

プロジェクト No.		15	
プロジェクト名		RISESAT	
責任機関 (実施の中心機関)		東北大学吉田・乗原研究室/北海道大学高橋研究室	
事例 No.		18	19
発生年月		2019年1月	2020年6月
区分		運用	運用
失敗事例		初期運用中、地球観測運用のリハーサルとしてミッション機器と姿勢制御系の立ち上げ手順を確認していたところ、ミッション機器の想定外の OFF が発生した	ストアードコマンドの誤送信により不正な運用シーケンスが登録され、UVC レベルにまで電力が消費された事象
要因分析	技術的要因	過負荷による想定外の DCDC コンバータの停止  日陰中に多数のペイロードと姿勢制御機器を ON したことにより、一時的にバス電圧が設計下限以下に低下し、ミッション機器制御コンピュータ (SHU) 内の DCDC コンバータ入力下限値を下回り、DCDC コンバータからの出力が止まりコンピュータが強制的に OFF された。この強制 OFF によりミッション機器の負荷が減りバス電圧が回復し、SHU 内のコンピュータ部分のみが再起動された。	RISESAT は通常ストアードコマンドを衛星に登録することにより自動的にシーケンスを実行する。実行できるストアードコマンドは 1 系統で、新しいストアードコマンドを登録する際には必ず現在実行中のストアードコマンドを停止させた上で、地上からコマンドの送信を行わなければならない。 その日の運用ではストアードコマンドを停止させずに新たなストアードコマンドを上書きしたため、ストアードコマンドのポインタはそのまま維持され、途中からストアードコマンドが実行される事態に陥った。想定外のシーケンスが実行され、消費電力が大きなモードで衛星が動作し続けたためバッテリー残量が低下し、UVC 判定がなされたことで安全な状態に自動的に移行した。
	人的要因	地上試験以外の構成での運用 地上試験時はバッテリーの消耗を抑えるため、太陽電池シミュレータを接続し日照時を想定したテストを行っていた。また、地球観測のための運用であるため、日照中のみで機器立ち上げることしか考慮をしていなかった。しかし実際には初期運用中に動作手順を確認するために、日陰の可視パス中に機器を立ち上げる試験が軌道上で初めて行われ、DCDC コンバータの想定外の停止に至った。 衛星の運用開始から約 10 日が経過し、運用への慣れによる過信があったことが考えられる。	運用者はテレワークのため一人で運用を実施中であった。ストアードコマンド送信中は異常に気付かず、アップロード完了後に普段と異なるストアードコマンドの挙動であることを初めて認識した。その際、実はそのまま放置すれば問題が深刻化しなかったにもかかわらず、ストアードコマンドを緊急で停止させる措置をとったため、地上局に対して指向する姿勢制御を停止させるコマンドが発行されなくなり、可視領域から出たあとも制御が継続されてしまった。
	組織的要因	N/A	N/A
	時間的要因	FM 開発フェーズの運用を想定した地上試験が不十分であった。 プロジェクト予算の不足のため、RW や観測機器は FM と同じ EM 機器が地上に残されており、打ち上げ後に地上で今回の手順を追加検証することは困難であった。	その運用パスでは AOS 時点から地上局機器に不具合が生じており、対策のためにパスの前半を消費していた。重要な観測ミッションのためのストアードコマンドを送信する必要があり、不十分な残り時間の中でストアードコマンドをアップロードしなければならないという焦りがあった。そのため、ストアードコマンドを停止させずに新しいアップロードを行う、異常に対する措置としてストアードコマンドを停止させてしまう、という二重のミスを引き起こした。
その他	N/A	N/A	
修正処置	不具合事象をプロジェクト関係者に共有した。 同時に ON する機器を減らして初期運用を継続し、成立する ON 条件を軌道上にて実験した。	不具合事象をプロジェクト関係者に報告した。受信専用のキルナ局で状況の確認を試みた。 設計通りに衛星の UVC 機能が働き、衛星に深刻な問題は生じなかった。	
是正処置	次号機以降は日陰中に可能な操作と不可能な操作を地上試験の段階で識別し試験した。	ストアードコマンドを停止せずに新たなアップロードを禁止する仕組みを開発中の衛星に適用した。	
その他改善事項	N/A	N/A	

表 5.1.2.2-6(1/3) SPRITE-SAT 失敗事例分析

プロジェクトNo.		16
プロジェクト名		SPRITE-SAT(別名: RISING, 雷神)
責任機関(実施の中心機関)		東北大学吉田研究室・高橋研究室
事例No.		1
発生年月		2009年1月
区分		運用
失敗事例		充放電制御の設計不良 … 充放電制御(NiMH バッテリー)の設計不良により、運用時に満充電停止が機能しないことが軌道上にて発覚。運用初日の12時間経過時に、バッテリー温度がセンサ上限(58℃)を示していることに気づいた。その後、負荷電力を上げることで正常化したため、バッテリー自動充電停止が適切に動作していないことに気づいた。以後、12日間、発電と放電が均衡するように、手動で内部機器の負荷を調整し、充電超過を避けるように運用継続した。
要因分析	技術的要因	バッテリー充電停止を固定値電圧に設定していたため、温度上昇時にバッテリー電圧が同容量でも低下し、いつまでも充電停止しない熱暴走モードに突入するためである。
	人的要因	設計不足、システム評価手法の知見の欠如。構造試験や熱真空試験へのエフォートに対し、電気系試験は「何をすればよいかわからない」という次元であった。軌道上での充放電サイクルを地上試験治具で再現して適用していれば、この事故の現象はすぐに気づいたはずである。
	組織的要因	開発チームのシステム設計能力の欠如。ハードとソフトの両面の設計・組立・試験における経験不足。各機器のメーカーは、個別に単体試験を実施して、良いと判定している。しかし、機器間を組み合わせると総合的に電気試験しなければ、不具合は発見できない。各機器メーカーが想定しない不具合は、必ず存在する。
	時間的要因	地上試験の圧倒的な不足。
	その他	N/A
修正処置		バッテリーの自動充電停止は機能しないものとし、バッテリー残量が適度な状態で、「日照時バッテリー充電量 = 日陰時バッテリー放電量」のバランスを維持するように、各負荷をON/OFF調整した。
是正処置		<p>後続機 RISING-2 では、バッテリー電圧、温度、充電電流の3つの値から、25℃換算かつトリクル充電時における「温度補償バッテリー電圧」値を計算し、この値に対して充電停止を判定することで、高安定な電源システムを達成することに成功した。</p> <p>後続機開発では、真っ先に、電源系の不具合検証、抜本的に設計を見直して、十分な試験を繰り返し実施し、安定した電源システムを完成させることができた。これは50kg級衛星として2号機となる「RISING-2 (2014)」以降、6台の50kg級衛星に搭載され、すべてにおいて、不具合を生じない堅実な電源機能を提供している。</p> <p>また電気試験において、太陽電池シミュレータ、バイポーラ電源(バッテリー模擬)、電子負荷(搭載機器模擬)をソフトウェアから制御して、64分日照、32分日陰の「充放電サイクル試験」を繰り返し実行することで、不具合の発見が可能になった。2018年当時、8直セルから10直セルに変更した時に、時々、満充電判定直後にMPPTのデューティ比が変動しなくなり、充放電制御が不具合を生じることを発見した。従来成果を過信せず、代々継承した手順書を何度も繰り返し実行することで、信頼性を確保している。</p>
その他改善事項		N/A



表 5.1.2.2-6(2/3) SPRITE-SAT 失敗事例分析

プロジェクト No.		16
プロジェクト名		SPRITE-SAT(別名: RISING, 雷神)
責任機関(実施の中心機関)		東北大学吉田研究室・高橋研究室
事例 No.		2
発生年月		2009年2月
区分		運用
失敗事例		<p>伸展マスト展開時のバッテリー容量の枯渇 … 運用開始から12日目。伸展マストを延ばした瞬間に影が太陽電池セルを覆い、該当の直列セルからの出力が著しく低下した。それまで、バッテリーの自動充電停止が機能しない不具合のため、「日照時バッテリー充電量 = 日陰時バッテリー放電量」のバランスを維持していたが、予期せぬタイミングで「充電量 &lt; 放電量」になったため、その後12時間後の通信パスにて、搭載コンピュータが正常動作しない不具合が生じていることを発見した。これは、いったんバッテリー残量が枯渇して、システムの再起動が正常に実施されていないと判定した。</p>
要因分析	技術的要因	<p>太陽電池セルは40枚程度を直列結合しており、一部のセルの発電が落ちると、バイパスダイオードがないため、すべての発電が停止する状態になることを、軌道上の事故が起きるまで、正しく認識していなかった。これはセルの特性の理解不足が起こした設計上のミスであるとともに、発電能力を確認する地上試験も計画と実施を怠っていた。</p> <p>バッテリー満充電時に自動充電停止しない不具合に伴い、低電圧時に負荷を自動的に遮断する機能をコマンドでオフにした。これは、この機能が発動すると、ほぼすべての機器がOFFになり、「発電量&gt;&gt;放電量」のバランスとなり、バッテリーの過充電が再発するためである。最後のフェールセーフを自主的にオフにしていた状態である。これが、バッテリー枯渇に至る過放電が発生したもう1つの要因である。</p>
	人的要因	太陽電池セルの取り扱い、発電の仕組み、バイパスダイオードの役割、などを十分に理解している大学側メンバがいなかったため、安易に過去の他の衛星の実績品だからと過信して、同じ方式を取り入れたことで安心感を得ていた。
	組織的要因	開発チームのシステム設計能力の欠如。電力系の各要素に対する理解不足。
	時間的要因	地上試験の圧倒的な不足。
	その他	N/A
修正処置		リカバリ策は無し。
是正処置		<p>後続機 RISING-2 では、各並列を8直列、かつバイパスダイオード付きのセルを採用することで、同様の事故が起きない対策を施した。また、模擬太陽光ランプを購入し、各並列単位で発電能力を確認する地上試験を導入し、環境試験の前後に実施するようにした。</p>
その他改善事項		N/A

表 5. 1. 2. 2-6(3/3) SPRITE-SAT 失敗事例分析

プロジェクト No.		16	
プロジェクト名		SPRITE-SAT(別名: RISING, 雷神)	
責任機関(実施の中心機関)		東北大学吉田研究室・高橋研究室	
事例 No.		3	4
発生年月		2009年2月	2009年2月
区分		運用	運用
失敗事例		テレコマ処理部搭載 FPGA の初期化不具合 … 運用開始から12日目、充放電不良、マスト伸展に伴うバッテリー枯渇の不具合後に、日照によりバッテリー容量は上昇したが、中央制御装置(SCU)の搭載FPGAの初期化不良により、テレコマ処理が開始せず、コマンド不通のため、衛星の機能を消失することになった。	太陽電池発電によるコイル効果および姿勢への外乱 … 軌道投入後、磁気トルカによるデスパン制御を実施。効果は確認できるが、放置をしていると、スピン角速度が自然と上昇する現象を確認。
要因分析	技術的要因	搭載FPGAは外部ROMを読み込んで回路を初期化する方式であり、これが中途半端な電源投入時には、正常に初期化が終了せずに、動作不良に陥ることが、後日の地上検証で明らかとなった。また、複数の電圧を供給する方式のため、一部の電圧が残ったままでは正常に再起動しないことも確認した。特にバッテリー電圧は完全にゼロにならずに、徐々に外部機器が順番に停止していくため、そのたびに負荷が軽くなり、低電流の系統がいつまでもオフにならないモードに入る。当初は日陰時もバッテリーが完全放電しないため、完全なオフ状態になることがなかったが、数年後にはバッテリーも充放電できなくなり、日照時のみ電源オンする衛星となった。しかし、その後もコンピュータが正常に復帰できるようにはならなかった。	各面が1並列であるため、電流の回り方により、巨大な電磁コイルを生成し、これが姿勢スピンに無視できない外乱を及ぼすことを運用を通じて認識した。磁気トルカでデスパン制御をしない限り、0.9deg/s/dayの割合で上昇する。
	人的要因	本パートは大学側のメンバは関与せず、理解していなかった。すべて機器開発メーカー側の裁量にゆだねられていた。当然ながら、このような中途半端な電力低下時に、再起動が正常にできることが仕様として要求されていなかった。そのため、該当のテストも実施されていない。	本現象はまったく想定しておらず、外部のレビューを受けていれば、指摘を受けて改善できた可能性はある。
	組織的要因	開発チームのシステム設計能力の欠如。データ処理部の起動動作に関する理解不足。	N/A
	時間的要因	地上試験の圧倒的な不足。特に中央制御装置(SCU)の開発は遅れに遅れ、大学側メンバも十分な知見がないため、スケジュールキープのために、どのような要素を削って、妥協して完成を急げばよいか、明確な指示ができなかった。	N/A
	その他	N/A	N/A
修正処置		リカバリ策は無し。事故後の表面上の状態は、中途半端な再起動後、送信機はオンを継続し、無変調の搬送波のみを送信する状態に陥った。すべてのコマンド信号を解釈実行できない。よって、オンボードコンピュータが正常動作していないと判定した。継続して毎日、コマンドを送ってみるが、反応は得られなかった。	放置すれば0.9deg/s/dayの割合で上昇するので、定期的なデスパン制御は必要となる。ただし、本衛星自体は12日時点で機能喪失したため、それ以降の措置はなし。無変調信号をモニタすることで、衛星の回転速度を計測することが実施できた。ある程度までは上昇すると、平衡状態となり、無限に角速度が上昇するわけではないことがわかった。
是正処置		後続機RISING-2では、外部電圧がある閾値を下回ると、FPGAに供給する全電圧をシャットオフする、また、電源投入時にも、不安定な時間帯が生じないように周辺回路に工夫を設けることとした。特にラッシュカレントを嫌って鈍らせるように電圧が上がると、不具合を生じるパターンがある。	後続機では、発電流ループによるコイル効果を避けるために、並列ごとの電流の時計回り、反時計回りを厳密に管理し、各軸で両者の数が等しくなるように配置した。
その他改善事項		N/A	N/A

表 5. 1. 2. 2-7(1/2) RAIKO 失敗事例分析

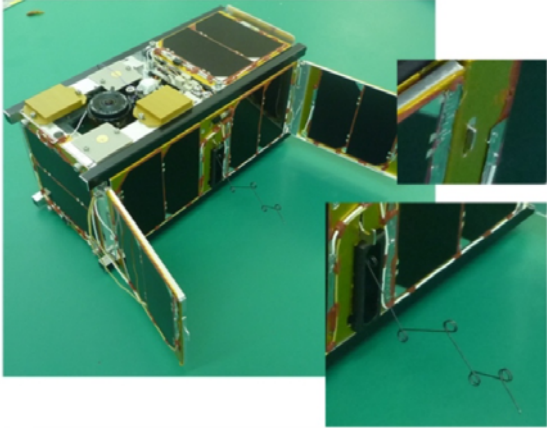
プロジェクト No.		17
プロジェクト名		RAIKO
責任機関 (実施の中心機関)		東北大学吉田研究室
事例 No.		1
発生年月		2012 年 10 月
区分		運用
失敗事例		太陽電池パドル兼、展開型 UHF コマンドアンテナの展開に失敗 … 仕様では、分離後から 30 分後に自動展開、失敗時はコマンドにて展開リトライ可能。しかし、初期運用にて、パドル展開成功を検出できず(後日、運用終了の 2 か月前に、自然に開いたことを確認)。
要因分析	技術的要因	<p>パネルに金属フックをかけて、ワイヤを溶断するとレバーが回転して外れる仕組みであったが、内側からのバネ状 UHF アンテナがパネルを押し出す力を与え、薄板のパネルが微小変形、ゆえにフック部の摩擦が上昇するし、外れなくなると推測される。</p> <p>一度のトリガ(ワイヤ溶断)で、パネルもアンテナも展開する、という「シンプル化」策が、逆に機構の安定性を下げてしまった。別々の機構であれば、バネ状アンテナの展開力がパネルを内側から変形させることを防げたと考える。</p> <p>レバーとパネルの接触面積が大きく、展開時に摩擦を受ける点が、外れにくい状態の原因である。設計を練ることで、より摩擦の小さい展開方式は検討できたと反省する。(下図参照)</p> 
	人的要因	原因は、設計の不備、および構成部品の製造の遅れ。
	組織的要因	N/A
	時間的要因	地上での展開試験が不十分で対策と修正を適用する時間がなかったこと。および地上試験で 5 回に 1 回はフックが引っかかることを認識したが、改善する時間は残されていなかった。この程度の成功率では、軌道上では失敗する、という教訓が得られた。
	その他	N/A
修正処置	<p>別にバックアップ目的で S 帯コマンドパッチアンテナを搭載していたため、コマンド送信を実施できた。鹿児島大学局からしか衛星に送信できなかったため、仙台の運用室から、まず鹿児島を經由してコマンドを送信し、仙台で衛星からテレメトリを受信する、という形式を日常的に実施した。必然的に、ネットワーク運用を余儀なくされ、運用技術の向上につながった。ただ、S 帯コマンド系にも衛星送受信機のトラブルにより、不自由な制限を受けている(別トラブル)。</p> <p>パドル展開失敗でも、電力系が破綻しない設計にしていたため、必要最小限のリソースで運用は継続できた。データハンドリング部は CPU レスの FPGA のみで構成し、省電力のためにオン(30 秒)とオフ(5 分)の間欠動作を繰り返す仕様で、タイミングの乱れはなく、安定度は高かった。オンの時間帯に追加のコマンドを受信すれば、オフまでの時間が 12 分に延長される仕組みである。また、各送信機も、6 分または 12 分で強制オフになる仕様であったため、消しそびれ(OFF コマンド不通)によるバッテリー枯渇を回避できた。また、S 帯コマンド受信機も、5 分オン・5 分オフの間欠動作を標準としており、1 パスの間に、コマンド通信可能な時間が必ず存在する対策を取っていた。先行の SPRITE-SAT の失敗経験であるバッテリー枯渇を何としても回避しようと、安全策を複数講じていたことが功を奏した。</p>	
是正処置	N/A	
その他改善事項	N/A	

表 5.1.2.2-7(2/2) RAIKO 失敗事例分析

プロジェクト No.	17	
プロジェクト名	RAIKO	
責任機関（実施の中心機関）	東北大学吉田研究室	
事例 No.	2	
発生年月	2012 年 10 月	
区分	運用	
失敗事例	S 帯送信機をオンにすると、S 帯受信機が干渉を受けて、コマンドが不通になる	
要因分析	技術的要因	キューブサットゆえに衛星側のアンテナおよび送受信機の距離が近く、特にコマンド受信系が送信系から干渉を受けやすい状態になる。 このようなトラブルを予見しての地上試験を全く実施しておらず、メーカーからの個別機器の試験成績をもって、良しと判定していたことが原因。衛星組立後に、どの程度の干渉が発生するかを、計測することは必須であった。
	人的要因	N/A
	組織的要因	展開パネルおよび展開アンテナは学生の自主的開発にゆだねる一方で、S 帯受信系は冗長として用意していた。ただし、冗長としての出番を想定して、十分な地上試験を実施できたとは言いがたい。バックアップを用意しても、どれも中途半端な試験では、意味がない。幸い、本衛星では S 帯受信系が多少利用できたため、ミッションが壊滅することはなかったが、運任せな開発をしたことは、反省すべきである。
	時間的要因	N/A
	その他	N/A
修正処置	送信機オン直後の 1 コマンドのみは実行できた。また、1 つのコマンドで複数のタスクを連動して実行するマクロコマンドを数多く衛星側に事前実装していたため、「リアルタイム撮像→ダウンロード」や、「メモリ読込→ダウンロード」といったタスクは実行できた。コマンドが通りづらい状況に対する備えは事前に検討しており、コマンド数を少なくする思想により、一定のミッションを達成できた。	
是正処置	以後の衛星では、搭載機器をオンにした時に受信系に干渉が生じないか、電気試験を繰り返す手順を取っている。また軌道上の運用においても、初期運用時に、各機器のオンオフをスケジュールコマンド(ストアードコマンド)で実行し、その間に、コマンド不通が生じないかをまず確認する試験を実施する。これは、オン後にコマンド不通になると、衛星が永続的に制御不能に陥る危険性があるためである。	
その他改善事項	N/A	



表 5.1.2.2-8(1/3) RISING-2 失敗事例分析

プロジェクト No.	18	
プロジェクト名	RISING-2 (雷神 2)	
責任機関 (実施の中心機関)	東北大学吉田研究室・北海道大学高橋研究室	
事例 No.	1	
発生年月	2014 年 6 月	
区分	運用	
失敗事例	CPU の永久故障と、一部データハンドリング機能の喪失 … 運用開始から約 1 か月後に発生。不可視時間帯に過大電流がバス系に発生し、約 1 時間後に、CPU 機能が停止したことを、不可視時のログデータから確認した。以後は、FPGA 部のみでデータハンドリングを継続している。	
要因分析	技術的要因	<p>地上試験時に、2~3 回、過大電流が突然流れる現象は目視していたが、その原因を詳細に究明しなかった。よって、宇宙環境ゆえに発生した不具合ではなく、FPGA ロジック回路のタイミング不良などにより、長期的に CPU を継続利用すると、異常停止するバグが潜在的に存在していたと考えている。FPGA は CPU と多くの配線を結び、複数のメモリを選択してつなぐなどの機能を果たしている。排他的選択が必須な場所で、両方をつなぐことで、予期せぬ事態が生じるリスクはある。FPGA のどのロジックが直接的な原因かは特定できていないが、「気のせい」と見過ごしていた地上試験時のトラブルを重大にとらえ、専門家と相談して再現試験を試みるなどしていれば、改善できた可能性はある。</p> <p>コンピュータ機器の内部で、カレントリミットが十分に配置されていないことも、対策ができなかった要因である。ショートするほどの大電流であれば、電力制御器から電流が吸い出せずにシステム全体が落ちることで救われることもあるが、CPU の暴走は中途半端な電流値であったため、停止するすべがなかった。事前に事故要因を精査していれば、ハングアップの回避はできずとも、検出時に CPU オフを実行する機構を追加することは可能だったはずである。</p>
	人的要因	N/A
	組織的要因	N/A
	時間的要因	N/A
	その他	N/A
修正処置	RAIKO (FPGA のみで動作、CPU レス) との同時開発も功を奏し、FPGA だけでも撮像とダウンロードは実行できた。失われた機能は地上局から非可視時間帯にコマンド実行する「ストアードコマンド機能」であり、これを必須としたスプライト観測、および、日本以外における望遠鏡観測などは実行不可となった。	
是正処置	後続機のメインコンピュータは、本衛星のコンピュータを継承せずに、機能面の思想のみを継承して、新規設計としている。以後は、CPU の自動停止は放射線等により発生することはあっても、暴走状態を継続するといった致命的の不具合は生じていない。	
その他改善事項	N/A	

表 5.1.2.2-8(2/3) RISING-2 失敗事例分析

プロジェクト No.		18
プロジェクト名		RISING-2 (雷神 2)
責任機関 (実施の中心機関)		東北大学吉田研究室・北海道大学高橋研究室
事例 No.		2
発生年月		2014 年 6 月
区分		運用
失敗事例		スターセンサ検出精度の成績の悪さ … 本衛星はスターセンサの正常動作をもって、目標地点に対する指向誤差を 0.1 度未満で達成する仕様であったが、そのスターセンサが実用に耐えるレベルで動作せず、0.1 度未満の目標は未達成となった。
要因分析	技術的要因	スターセンサはヘッド部は CCD センサのみで、星像を数値解析する姿勢決定は、姿勢コンピュータ側で処理している。地上試験ではスターシミュレータ環境を構築し、星検出動作を作りこみ、夜間の夜空観測でも動作することを確認していた。しかしながら、実際の軌道上では、明光対策が甘く、フードのエッジに反射した光が終止、画像のふちに入り込む現象が続いた。また、搭載したスターカタログが不十分(～4.5 等星)、放射線による白傷を無視する解析手順が不十分、誤った姿勢を検出した時に排除する手順が不十分であるなど、多くの不備を抱えた。このような不具合はいずれも想定外であり、事前に搭載した処理系では実用レベルで姿勢決定できないと判定した。
	人的要因	N/A
	組織的要因	N/A
	時間的要因	N/A
	その他	N/A
修正処置		当初の目標誤差は達成できないが、姿勢決定は磁気センサ・太陽センサによる粗姿勢決定を主とした。目標地点そのものを撮像に納めることは難しかったが、その近傍を撮影することは可能となった。
是正処置		本スターセンサは、姿勢決定の数値だけでなく、撮像画像をダウンロードすることも可能である。後継衛星に向けて、星撮像を継続し、その蓄積データをもとに、前述のような不備のある画像からどのようにして姿勢を検出するか、処理の手順や画像解析を再考することで、多くの知見が得られた。本衛星の後継機においても、スターセンサは改良を継続し、依然として内製センサを搭載している。これは、商用部品が安価になったとはいえ、スターセンサは依然として高価であり、かつ海外製品に依存しているため、衛星全体のコストバランスを考えたときに、内製センサを継続利用せざるを得ない状況もある。一方で、評価技術の知見も深まるため、商用センサを購入しても、目的とする能力を有しているか否か、正しく判定できる点も本チームの優位点である (後続の衛星で、商用スターセンサの採用実績はある)。
その他改善事項		N/A



表 5.1.2.2-8(3/3) RISING-2 失敗事例分析


プロジェクト No.		18
プロジェクト名		RISING-2 (雷神 2)
責任機関 (実施の中心機関)		東北大学吉田研究室・北海道大学高橋研究室
事例 No.		3
発生年月		2014 年 7 月
区分		運用
失敗事例		姿勢制御ソフトウェアのバグと、CPU 故障によるパッチ機能消失により、目標地点の撮像が実行できない事態
要因分析	技術的要因	スターセンサの代替として、粗姿勢決定である磁場・太陽方式の使用を試みるが、数学モデルが簡易的であり、かつアルベドの誤検出も大きな外乱となり、事前に搭載したプログラムでは、目標地点へ姿勢マヌーバすることは難しいと判断した。
	人的要因	N/A
	組織的要因	N/A
	時間的要因	N/A
	その他	N/A
修正処置		<p>姿勢制御プログラムは、センサ情報を入力し、各種モデルを元に演算し、衛星のホイールの回転速度を up/down 制御するものである。よって、この演算部を地上局運用ソフトウェア側に搭載し、リアルタイムに閲覧するステータス情報に含まれる姿勢センサ値から、その場でホイールの回転速度増減を演算し、コマンドで衛星に逐次送ることで、衛星の姿勢を目標地点に向けることに成功した(ソフト導入の翌日に目標達成した)。制御周期も 1~2 秒であり、十分な速度である。運用ソフト側で指向地点の目標からのずれを可視化し、手動トリガでも撮像できるし、誤差がある閾値以下になると自動撮像することも可能である。姿勢制御系の拡張機能を運用ソフト側の実装することで、オンボード自律機能の実証はかなわなくとも、ミッションを成立することで、後続機の開発につながる成果を得られた。</p> 
是正処置		<p>RISING-2 の運用経験により、姿勢センサはいつも正しい値を出力するとは限らず、多くのエラーデータの中から、どれが正しい姿勢か判定するロジックが重要であるという知見が得られた。また、事前に用意する姿勢計算はパッチでアップデートするか、各種モデル値の変更または取捨選択を自在に制御できるように、CPU が使用する値の一覧をコマンドで自在に修正できるようにする仕組みが必要であると考えた。</p> <p>後続機では FOG を搭載し、たまに 1 回でもスターセンサによる姿勢決定が成功すれば、FOG 積分により、しばらくは高い精度で軌道決定が継続する仕様とした。磁気センサの値は、スターセンサの計測値が正しいか間違っているかを判断する、大きな指標となる。三種の姿勢決定値(スターセンサ or 太陽磁場センサ or FOG 積分)を常に演算し、もっとも確からしい姿勢を選択する仕様とした。</p>
その他改善事項		N/A

表 5.1.2.2-9(1/2) NEXUS 失敗事例分析

プロジェクト No.		19
プロジェクト名		NEXUS
責任機関（実施の中心機関）		日本大学宮崎研究室
事例 No.		1
発生年月		2019年1月31日（打ち上げ2週間後）
区分		衛星搭載ソフトウェア
失敗事例		衛星搭載ソフトウェアにバグがあることが、打ち上げ2週間後の運用の際に発覚しました。バグは、予約コマンドが3.5時間先までしかできないというものでした。これは、予約時間の変数のbyte数がプログラム内での型変換により少なくなってしまっていたからです。実際、コードの書き方次第でこのようなバグが発生することを誰も知らなかったことが根本的な原因です（ごくごく簡単なコードで、一見ただけでは、そのコードに問題があるとは誰も気づきませんでした）。[5.1-5]
要因分析	技術的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3時間の予約コマンドが問題なくとも半日の予約コマンドに問題が起こる可能性があることに思い至らなかったこと</li> <li>・打ち上げ前の end-to-end 試験の際、3時間程度先までの予約コマンドしか確認していなかったこと</li> </ul> <p>このバグが問題となるのはエクストラサクセスに関する運用のときだけであり、他の運用では問題にならないことと、end-to-end 試験の計画を立てる際、フルサクセスまでに必要な運用については実際の運用通りに実施したものの、エクストラサクセスに関しては重視せず、試験時間を短縮してしまったことから、打ち上げ前はもちろんのこと、打ち上げ2週間後までこのバグに気づきませんでした。エクストラサクセスは、3.5時間での予約コマンドでも、時間をかければ達成できるので、「解決できなかった」わけではないですが、ミッション成功までに余計な時間を要することとなりました。</p>
	人的要因	一言で言えば、教員も含めたメンバーの知識不足
	組織的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「エクストラサクセスだから」といって、長時間の予約コマンドの確認を end-to-end 試験の必須項目にしなかったこと。</li> <li>・end-to-end 試験の詳細な内容を教員が把握していなかったことと、「実際の通りに運用することが重要」という、基本中の基本を教員が学生メンバーに伝えていなかったこと（知識が不足していても、こういう当たり前のことをやっていれば、このバグは防げた）。</li> </ul>
	時間的要因	N/A
	その他	N/A
修正処置		運用方法の変更
是正処置		N/A
その他改善事項		N/A

表 5.1.2.2-9(2/2) NEXUS 失敗事例分析

プロジェクト No.		19
プロジェクト名		NEXUS
責任機関（実施の中心機関）		日本大学宮崎研究室
事例 No.		2
発生年月		2019年2月
区分		運用
失敗事例		レベルの低い話で恐縮ですが、運用の際、誤ったコマンドを送り、消費電力量が大きくなり、衛星が一時期、充電モードに入っていました。文献 [5.1-5]
要因分析	技術的要因	運用ソフトの開発の際、コマンドミス想定せず、ダブルチェック機能を搭載しなかったため、衛星は充電モードから回復し、また、この後、ダブルチェック機能を追加したため、特に「解決できなかった」わけではないですが、例えば衛星の運用終了コマンドを誤って送信してしまう可能性もあったわけで、一歩間違えば衛星喪失の危険がありました。
	人的要因	運用ソフト開発担当者が、コマンドミス想定しないという、ありえないことをやってしまったこと、ならびに、周りのメンバーもそれが問題であることに気づけなかったこと、そして、教員がそのことを知らなかったこと（教員のチェック不足、学生は、特に問題ないと思込んでおり、教員に細かく報告していなかった。教員は、過去の衛星ではダブルチェック機能を搭載していたのだから、今回も搭載しているだろうと思込んでいた）。
	組織的要因	教員が、「開発しているのは、これまで衛星を開発したことのない学生である」ことを十分に理解できておらず、さらに、「ダブルチェック機能をつけることなど、教えなくてもわかる、当たり前のこと」と思込んでしまっていたこと。
	時間的要因	N/A
	その他	N/A
修正処置		運用ソフトウェアの改修
是正処置		N/A
その他改善事項		N/A

表 5.1.2.2-10(1/2) STARS 失敗事例分析

プロジェクト No.		20	
プロジェクト名		STARS	
責任機関（実施の中心機関）		香川大学能見研究室	
事例 No.		1	2
発生年月		2009 年 2 月	2009 年 2 月
区分		運用	運用
失敗事例		初期運用から、FM パケットによるテレメトリデータを解析したところ、満充電状態で電力センサーがトリップしていることが判明した。（ゼロか最大値）	テザー伸展をリールロックされたまま実行した。 実際には、実行後にテレメトリから伸展できなかったことが判明し、ロックが外れていなかったと推定。その後の復帰運用でロックを外す努力をしたところテザー伸展に成功、これよりロックが解除できたためにテザー伸展ができたことと推定。
要因分析	技術的要因	原因は特定できていない。マルチプレクサを使用しているが、その IC に起因すると考えられる。日陰に入ると復帰する。太陽光発電は、少ないことを想定して開発、多い場合は想定していなかった。実際には発電量過多の際に発生している。	ロック解除フラグがテレメトリから確認できない状態で、テザー伸展をじっししてしまった。ダウンリンクの状況が悪かったためであるが、その原因が特定できず、推定判断で実施してしまった。
	人的要因	N/A	地上局の機能試験は、別の軌道上衛星などを用いたものは CW 受信のみであった。このため、FM パケットの受信成功確率などのノウハウがなく、内部での話し合いのみでテザー伸展実施を決めてしまった。他大学との運用に関する情報交換を十分にすべきであった。
	組織的要因	N/A	運用体制として、オペレーター、解析担当、ミッション実施判断者などを明確にすると、防げる可能性は上がるとも考えられる。
	時間的要因	N/A	N/A
	その他	後に、太陽発電は軌道上では地上よりも大きい情報を他大学の例からも得た。	後のアンテナ調査で、（FM 受信確率が低いために調査）、ケーブルへの浸水を発見。再整備して浸水を防ぐようにすると通信が改善した。
修正処置		N/A	N/A
是正処置		N/A	N/A
その他改善事項		N/A	N/A

表 5.1.2.2-10 (2/2) STARS 失敗事例分析

プロジェクト No.		20	
プロジェクト名		STARS	
責任機関 (実施の中心機関)		香川大学能見研究室	
事例 No.	3	4	
発生年月	2009 年 4 月	209 年 9 月	
区分	運用	運用	
失敗事例	<p>テザー張力を利用したロボット制御が実施できなかった。</p> <p>計画では、テザー伸展中にリールの回転速度制御により張力を発生させ、その張力を利用したロボット姿勢制御を実施する予定であった。</p> <p>しかしながら、初期テザー伸展失敗、復旧のために講じた対策が原因で十分なテザー伸展初速度を得られず、張力をかけた減速フェーズを儲けることができなかった。</p>		<p>半年～1 年程度で、メイン CPU へのコマンドが通らなくなった。</p> <p>原因は不明であるが、H8/3052 であり、放射線による劣化と推定している。</p>
要因分析	技術的要因	<p>ロックは、テザーリールの溝に凸型治具の機械的なものであった。ロック状態でテザー伸展をすると、バネ力により噛んでしまっ外れなくなる。バネを圧縮する機構を準備していたが、復旧作業ではこの機構を手順通りに使用していないため、バネ圧縮が十分にできていなかった。</p>	<p>トータルドーズ試験を実施していなかった。</p> <p>シングルイベントのみ実施していた。</p>
	人的要因	N/A	<p>放射線に関する知見に乏しく、最初にシングルイベントの試験を調べたために実施したが、トータルドーズの必要性を理解していなかった。</p>
	組織的要因	N/A	N/A
	時間的要因	N/A	<p>放射線試験は初期の段階に実施したが、打ち上げスケジュールに入ったところから安全審査関連に重点をおいて、振動試験、熱真空試験は実施していったが、放射線のトータルドーズは実施できなかった。</p>
	その他	<p>後に、太陽発電は軌道上では地上よりも大きい情報を他大学の例からも得た。</p>	<p>後のアンテナ調査で、(FM 受信確率が低いために調査)、ケーブルへの浸水を発見。再整備して浸水を防ぐようにすると通信が改善した。</p>
修正処置	N/A	N/A	
是正処置	N/A	N/A	
その他改善事項	N/A	N/A	



表 5.1.2.2-11(1/2) STARS-II 失敗事例分析

プロジェクト No.		21	
プロジェクト名		STARS-II	
責任機関（実施の中心機関）		香川大学能見研究室	
事例 No.	1	2	
発生年月	2014/3	2014/3	
区分	運用	運用	
失敗事例	軌道投入から 2-3 日後にメイン CPU の電源 ON コマンドを送信、その後メイン CPU へのコマンドを送信したが応答がなく、その後複数回試したが応答はなかった。		初期段階において、子機 CW は非常に強い電波、親機 CW は電波が弱い状態であった。しかしながら、子機 CW 電波は数日で弱くなり、聞こえなくなった。親機電波は、数日後に初号機と変わらない信号強度となった。
要因分析	技術的要因	原因は不明であるが、放射線による破壊があったのではないかと推定はある。軌道投入直後に、太陽活動が活発化したとこのことを含めての推定である。 なお CW データから、メイン基板への供給電圧は ON となっていること、消費電流も仕様通りであることから、CPU の不具合と推定している。	太陽電池パドル（アンテナを搭載）が十分に展開できていなかったと推定している。子機は新規開発アンテナであり、アンテナ性能は非常に高いため、完全展開できていない状態でも強い信号を出すことが可能と推定、しかしながらフィルムアンテナというものであり、フィルムによる太陽光の遮蔽効果が大きかったため発電が十分でなく、電力不足に陥ったと推定している。親機はパドル展開が十分でなかったことから当初信号強度が弱かった。が、テザー伸展によりパドルの完全展開ができ、その後通常の信号を送信できたと推定している。
	人的要因	初号機と同じ基板であったことから、とくに試験を実施していないことが要因の一つと考えられる。	子機パドル展開不良は、アンテナの同軸ケーブルが原因であったと推定している。同軸ケーブルがパドルと本体に繋がれており、予想以上にケーブル剛性が強く、展開の妨げとなったと考える。アンテナは組立最後に調整することから、その時点で懸念事項にはなかったが、組付け状態で最善の状態としたことで問題ないと考えたが、展開し検討を十分にすべきであった。
	組織的要因	初号機と同じバスシステムであり、PDR や CDR を実施していなかった。	アマチュア無線家の技術はハイレベルであるが、課題解決などは個人の技量に頼ることが多く、組織的な対策ができていない場合がある。引き渡しスケジュールの関係から、打ち合わせなどを十分に行う時間がなかったことも原因である。
	時間的要因	N/A	上述
	その他	原因が特定できていない。	N/A
修正処置	なし。 なお、のちのトータルドーズ試験では1年程度の寿命との結果を得ているが、これにより説明がつく事象ではない。	アマチュア無線家の受信協力を広くお願いした。	
是正処置	バス系 CPU とミッション系 CPU を分ける設計を採用することとした。ただしミッション系 CPU は PIC などの頑強なものとし、ミッションが PIC などで成立する場合のみに可能な手法である。	フィルムアンテナは、以降使用していない。	
その他改善事項	N/A	N/A	



表 5.1.2.2-11(2/2) STARS-II 失敗事例分析

プロジェクト No.		21	
プロジェクト名		STARS-II	
責任機関（実施の中心機関）		香川大学能見研究室	
事例 No.	3	4	
発生年月	2014/3	2013/安全審査フェーズII	
区分	運用	システム	
失敗事例	複数天文台において望遠鏡による光学観測を行い撮影に成功したが、テザー伸展による親子分離を確認できなかった。		自作ポッドを用いていたが、ポッド展開の電磁干渉による誤動作指摘で搭載回路を認められなかった。
要因分析	技術的要因	原因は以下の三つが考えられる。 十分な解像度がなかった、 観測方向がテザー伸展方向と一致していた、 テザーが絡まって十分な親子間距離となっていなかった、 なお、公共天文台の協力による初の試みであり、本来は GPS データによる解析が主であり、こちらは補助的な利用であった。	FET を使用した 3 インヒビットを用いていたが、NASA からの指摘により電磁干渉についての対策が必要となった。 フェーズ II 段階であり時間的に余裕がなく、電磁干渉に関する試験は十分な環境で実施する必要がある、万が一環境による問題で検証できなかった場合に再試験を実施する時間はないと考え、機械式リレーを用いたシステムへと変更した。
	人的要因	とくに問題なしと考えている。	初号機では問題なかったため、問題なしと考えていた。 相乗りでは主衛星への安全確保が要求されるため、主衛星が異なる場合は異なる安全要求となることを考慮すべき。
	組織的要因	初の試みであることから、天文関係を十分に知っておらず、日本公共天文台協会の存在なども知らなかったため、協力依頼が個別となってしまった。	上記
	時間的要因	N/A	時間が十分にあれば電磁干渉試験を実施す可能性も検討できるが、コスト的な観点からも再設計製造の方が結果的には安くなることも考えられる。
	その他	各天文台では、天候、観望会、などにより、観測できる機会が制限されるため、常時複数天文台での観測は難しい。	JAXA との事前調整では指摘がなかった（初号機での実績システム）こともあり、配慮していなかったが、主衛星が NASA もかかわっていることから、予期せぬ指摘を受けた印象である。
修正処置	N/A	N/A	
是正処置	N/A	N/A	
その他改善事項	N/A	N/A	

表 5.1.2.2-12 STARS-C 失敗事例分析

プロジェクト No.		22		
プロジェクト名		STARS-C		
責任機関（実施の中心機関）		静岡大学能見研究室・山極研究室		
事例 No.	1	2	3	
発生年月	2016/12	2016/12-2017/11		
区分	運用	運用		
失敗事例	初期運用における CW 信号が弱かった パドル展開に失敗と推定	メイン CPU からの FM パケット受信確率が著しく低かった。 このため CW データ以外のデータ取得はできていない。	テザー伸張が、目標 100m に対し数十 m と推定される。	
要因分析	技術的要因	ヒーターカッターの加熱時間が短かった。 ヒーターカッター試験による時間設定としたが、電力との兼ね合いから最適とする必要があった。地上試験で切断試験を実施して決定したが、環境によりバラつきがあり、試験が十分でなかったと推定される。	地上局の整備が十分でなかったこと、衛星搭載アンテナの調整が十分でなかった。地上局は再整備して 100km 遠隔通信試験を行い問題がないことを確認したが、400km-1500km での回線確保が十分か？衛星搭載アンテナの再試験の実施はできず。また、TNC の愛称の問題も発生し、最適な設定パラメーターを評価して設定したが成功には繋がらなかった。	2U CubeSat であるが、1U ずつの衛星であった。2U で打ち上げるためパドルは 2U 分の大きさのものにした。 これを展開した状態での親子分離試験を実施していなかったため、パドルによる分離速度の減少、またタンブリングによる減少を未考慮であったため、十分なテザー伸張距離が出なかったと推定している。
	人的要因	学生が試験を実施した。 試験方法を習得するまでに時間がかかった。	通信系については、香川衛星を参考に設計製造したが、今回は CubeSat であるため香川衛星より一回り小さく、最終調整を静大内部で行っており、香川アマチュア無線家が立ち会えなかった。	N/A
	組織的要因	N/A	香川アマチュア無線家の指導により、静大浜松の学生が製造した。直接の対面指導ができなかったため、ノウハウが十分に指導しきれなかった反省がある。	外部評価を十分に実施していなかった。
	時間的要因	ヒーターカッターは実績のある方法であるため、試験実施時間を十分に確保していなかった。	N/A	N/A
	その他	N/A	指導者と学生の距離的問題は大きい。	実験室内で可能な分離実験は行っていたが、外部有識者の指摘の機会が少なかったことも影響しているか、分離速度の減少原因をしっかりと詰めていなかった。
修正処置	成功事例参照			
是正処置	成功事例参照			
その他改善事項	成功事例参照			

表 5.1.2.2-13 STARS-A0 失敗事例分析

プロジェクト No.		23
プロジェクト名		Stars-A0
責任機関（実施の中心機関）		静岡大学能見研究室
事例 No.		1
発生年月		2018/11
区分		運用
失敗事例		メイン CPU 起動コマンドを送信した結果、CW が停止した。基本的には CW は継続するはずである。またメイン CPU 起動も確認している。
要因分析	技術的要因	RF に関する安全要求から、メイン CPU によるソフト的なインヒットを設けた。その誤作動から、軌道投入後でもメイン CPU が起動すると CW による RF 放射を停止させるシーケンスが走ってしまった。
	人的要因	通信系と電子系の連携がうまくできていなかった可能性がある。お互いの要求を場当たりの出していて、統合して信頼性を向上させる算段ができていなかった。
	組織的要因	各アマチュア技術家のスキルに頼り切っていた。
	時間的要因	メイン CPU ソフト開発が遅れた。 このため最終的な E2E 試験を十分に実施できていなかった。
	その他	メイン CPU による CW 再開コマンドは準備していたことから、これを実施することで復帰できることは確認した。しかしながら、メイン CPU が起動後に不定期に通信系にシリアル信号を送出する別の不具合が発見され、これによりタイミングをうまく取らないと復帰できず、恒常的に復帰することが困難な状況となっている。
修正処置		成功事例参照
是正処置		成功事例参照
その他改善事項		成功事例参照

表 5.1.2.2-14(1/2) STARS-Me 失敗事例分析

プロジェクト No.		24	
プロジェクト名		STARS-Me	
責任機関（実施の中心機関）		静岡大学	
事例 No.	1	2	
発生年月	2018/10	2018/10	
区分	運用	運用	
失敗事例	初期運用において CW 信号が非常に弱い。および FM パケットを受信できない。	ISS 放出直前に台風により地上系アンテナが破損	
要因分析	技術的要因	衛星搭載アンテナはアンテナ性能としては高機能なものとなったが、構造的に問題があり破損した可能性が高い。	台風によりアンテナが破損した。四本設置していたが、二本が使用できなくなった。使用本数を変更して最適な指向性を出すことを計画していたため、二本でも運用は可能であった。
	人的要因	アンテナの専門家にアンテナ開発を依頼したが、宇宙機の観点および構造設計の観点から十分な評価ができていなかった。	
	組織的要因	教員間の役割分担が十分にできていなかった。アンテナ担当教員はアンテナ性能の専門家であるが、構造の専門家ではないことなどを配慮した組織とするべきであった。	
	時間的要因	アンテナ調整をフライトモデルで行う必要があるとのことで、その試験に時間を要した。EM で十分な評価ができるものを開発しておけば、時間短縮ができた可能性がある。アンテナ試験の時間が、構造検証の時間を圧迫した。	
	その他	各専門性の認識を事前に十分にしておくべき、それをもとに体制を管理、マネジメント管理すべき。	
修正処置	打ち上げ後であるため処置不可		
是正処置	アンテナ性能設計と構造設計の密な連携。宇宙環境を十分に踏まえたアンテナ設計。		
その他改善事項	N/A		

表 5.1.2.2-14(2/2) STARS-Me 失敗事例分析

プロジェクト No.		24	
プロジェクト名		STARS-Me	
責任機関（実施の中心機関）		静岡大学	
事例 No.		3	4
発生年月		2018/6	2018/7
区分		サブシステム	サブシステム
失敗事例		レール長さのミス。 フライト品の部品確認で発見。前回 ISS 放出では単独放出であることから認められていたスプリングプランジャー使用について、今回は単独でないため他衛星に影響を与えるため不可。これが反映できていなかった。	フィットチェック時のデプロイメントスイッチの破壊。 レール側面にデプロイメントスイッチを設置。レバー方向によっては、ポッド挿入時に引っ掛かることになる。挿入時に十分な確認を行っていないために発生。
要因分析	技術的要因	図面確認のミス。	ポッド挿入手順書に注意書きがなく、フィットチェックでもあったため、挿入力が十分に把握できていなかったこともあり、無理な力で挿入してしまった。
	人的要因	前回 ISS 放出衛星の構造担当学生が設計。加工は当該学生卒業後であったため、十分な検証ができていなかった。	作業者が挿入を十分に把握していなかった。本衛星のデプロイメントスイッチとしては、初めての作業であった。
	組織的要因	学生の引継ぎができていない。ドキュメント管理などで回避するしかないか？	挿入手順書を複数での確認ができていなかった。できれば EM 等で挿入作業を試みるべきであった。
	時間的要因	年度を跨いだ開発で、学生間引継ぎを十分とする余裕がなかった。本来は年度内での完成を計画していたが、間に合わなかった。	N/A
	その他	開発スケジュールと年度を跨ぐ可能性を十分に配慮していなかった。	挿入を複数人で実施すれば避けられた可能性はある。挿入状態を確認する人。
修正処置		自作のネジを製作、レールに継ぎ足した。レール端面積を確保することが難しかったが、自作ネジにより対応。取り付け後に ICD 確認して、再加工して合わせる方法とした。	デプロイメントスイッチの交換。 交換手順書が必要となり、さらにロックタイト除去剤の準備など、作業が多く発生した。
是正処置		図面と ICD の整合性確認の徹底。	挿入手順に十分注意を払い、今回の経験を反映した手順書を作成。
その他改善事項		N/A	N/A

表 5.1.2.2-15(1/3) 鳳龍弐号 失敗事例分析

プロジェクト No.		25	
プロジェクト名		鳳龍弐号	
責任機関 (実施の中心機関)		九州工業大学衛星開発プロジェクト	
事例 No.		1	2
発生年月		EM システム試験の初期	2012 年 3 月
区分		EM の振動試験/衝撃試験	PAF239M
失敗事例		多くの電子部品の脱落 アンテナの外れ (円周上に巻いた UHF アンテナを外側から VHF アンテナで抑え込むようにしていたが、振動試験で、内側の UHF アンテナの先端が外側に飛び出した) コネクタ外れ (無線機につないでいた JST コネクタが外れかかった)	マルマンクランプバンドの変形 JAXA からの支給品であった。回復不可能となったために、代替品を至急送ってもらい、打ち上げには間に合った。しかしながら、JAXA に現物で返済することとなり、メーカーから変形部品を購入したが、200 万円以上の費用が発生した。
要因分析	技術的要因	背の高い電子部品 (キャパシタや電流センサ) をハンダでとめただけだった。 アンテナの止め方に対する設計の不備。 JST コネクタを差し込んだだけで、保持する力が乏しかった。	衛星を PAF239M に締結するためのマルマンクランプバンドを締め付ける作業で、JAXA から提供された作業手順書通りに作業を行わなかった。本来挿入すべき部品を挿入せずに、トルクをかけていった。トルクをかけても締まらないので、規定以上のトルクをかけていき、部品が変形したことに気づいて作業を停止したが、すでに変形は回復しなかった。
	人的要因	基本的に、人工衛星が受ける機械環境に対する理解が足りなかった。(本格的な環境試験をしたのが初めてだったため)	作業手順書通りに作業を行う、作業手順書の項目をチェックしながら行う、ということができなかった。複数で作業を行っていたが、トルクを締めていくのを止められなかった。 担当の学生は、PAF の締結作業を何回もしており、自分の作業に過信があったと思われる。
	組織的要因	実装された基板を経験者が見て、これはダメという判断をすればよかったが、そういう体制になっていなかった。	作業手順書通りに作業しなければならないという教育が不足していた。
	時間的要因	N/A	納入前のギリギリの時間的に余裕のない状態での作業であった。その中で焦りがあったと思われる。
	その他	N/A	N/A
修正処置		背の高い部品は、足を追った上で基板に差し込み、半田付け後に接着剤にて固定する処置を施した。これ以降、全ての衛星ではその方法をとっている。 足の曲げられない電流センサは部品を変更した。 アンテナを保持する部品の設計変更 JST コネクタを接着剤どめ	JAXA から代替品を支給してもらった。
是正処置		今にして思えば、衝撃試験で衛星に運動量を与えずぎていたと思われる。当時はロープでぶら下げた板の上に衛星をおき、その板をハンマーで叩いていたが、衛星に運動量が与えられており、現実には起き得ない状況を作っていたと思われる。衝撃試験のやり方を再考するきっかけにもなった。 「宇宙環境試験」や「衛星工学入門」という講義を大学院でしているが、授業で必ずこの事例を紹介している。	大学院の「宇宙環境試験」の講義で PAF239M が出てきた時に、この話を毎回しており、200 万円以上の損害が発生したことを学生の意識に刷り込んでいる。 JAXA からの借り物、支給品については、最大限のケアをするように学生に周知。 作業手順書へのチェックマークをつけることの徹底
その他改善事項		N/A	N/A



表 5.1.2.2-15(2/3) 鳳龍弐号 失敗事例分析

プロジェクト No.		25	
プロジェクト名		鳳龍弐号	
責任機関 (実施の中心機関)		九州工業大学衛星開発プロジェクト	
事例 No.		3	4
発生年月		2011年12月~2012年1月	打ち上げから3週間後(2012年6月5日)
区分		FM熱真空試験	C&DH、電源系
失敗事例		ノイズ混入	衛星からのビーコン信号の一部が更新されず(ハウスキーピングデータが更新されていない)、センサーデータダウンリンクのコマンドに対しては、コマンド受信のACKしか返ってこない。リセットコマンドへも応答せず。 6月30日には、ACKも返ってこなくなった。 7月3日 衛星が正常に復帰
要因分析	技術的要因	FM熱真空試験を行なっている際に、衛星からキャリア周波数からでてこず、変調信号が出てこなかった。衛星のOBCに外部のPCからケーブルをつなげたまま試験をしていたので、そこからノイズが侵入していた。ケーブルを外して、孤立系で試験をしたところ、問題が解決した。この問題を解決するのに1ヶ月以上を要した。	詳しくは参考文献[5.1-6]を参照。 C&DHが二つのH8マイコンで構成されているが、最初に一つのマイコンがSEL(ラッチアップ)をおこし、センサーデータの取得ができていなかった。コマンドに対する応答は、通信用のもう一つのマイコンが担当しているため、応答信号は返すが、実際のコマンド処理はSELをおこしたマイコンが担当していたため、なんの仕事もできなかった。 6/30に、通信を司る2個目のマイコンもSELを起こし、応答信号も返さなくなった。 2個目のマイコンがSELを起こしたことにより、消費電力が増大し、バッテリーが枯渇して、衛星が再起動され、復活した。 SELは過電流保護回路で防げるはずで、実際に過電流保護回路も入れていた。しかし、その動作閾値の設定を学生に任せていた。その動作閾値が500mAで、実際のSEL発生時の150~200mAに比べて高すぎて、動作しなかった。
	人的要因	熱真空試験のやり方が確立していなかった。 EMではうまく行ったので、FMでもその方法でよいと思い込んでいた。	N/A
	組織的要因	要因特定のFTAを行ったが、ノイズという原因を思い描けなかった。FTAをやるにしても、チーム内の経験値に左右される	SELの動作閾値の設定は、電源系担当の学生が決めた。JAXAの方に相談して、「500mAくらいでいいのでは？」という根拠のないコメントにより決定した。その決定過程に教員も含め、ほかのメンバーが関与していなかった。
	時間的要因	N/A	N/A
	その他	N/A	N/A
修正処置		バッテリー充電用のケーブル以外は全て外して、孤立系で試験を行った。	衛星が復帰して、すぐにメインミッションを実施した。衛星がその後、いつSELを起こしてハングアップ状態にはいるかわからないので、正常に動いているときは、各ミッション(軌道上実験)を速やかに実施できるようにした。
是正処置		これ以降、FMの熱真空試験では、衛星とのやりとりは電波信号で行うようにしており、余計なケーブルは繋がないようにしている。	これ以降、SELによる過電流については、細心の注意を払った設計を行っている。SELが発生した際の、電流上昇値の測定、過電流保護回路による遮断後に衛星が再起動することの確認を、実際に放射線をあてて確認するようにしている。 H8マイコンがSELに弱いことがわかった。Watch PICまたはReset PICと称して、放射線に強いPICマイコンを監視役(いわゆる神PIC)にして、C&DHのマイコンがハングアップした時に再起動するようにしている。
その他改善事項		N/A	FTAを実施し、候補を6件ほどに絞り込み、実験等で徹底的に確かめた。SELについても、京都大学の原子炉実験所にてカリフォニウム照射試験を行い、現象が再現することを確認した。

表 5.1.2.2-15(3/3) 鳳龍弐号 失敗事例分析

プロジェクト No.		25
プロジェクト名		鳳龍弐号
責任機関（実施の中心機関）		九州工業大学衛星開発プロジェクト
事例 No.		5
発生年月		打ち上げ直後から3週間
区分		姿勢系
失敗事例		衛星の放出時に最大で20度/秒程度の回転があったが、3週間以上たっても、安定しなかった。永久磁石とヒステリシスダンパーにより、予想では1日程度で安定するはずであり、大きな違いがあった。（参考文献[5.1-7]参照）
要因分析	技術的要因	永久磁石並びにヒステリシスダンパーの特性値を測定しきれなかった。また残留磁気の影響も評価していなかった。実機の状態での地球磁場中での回転減衰を検証できればよかったが、試験を実施するノウハウや設備がなかった。
	人的要因	学生が姿勢系を担当したが、担当学生、教員も含め、永久磁石を用いた受動制御に対する知見が足りなかった。
	組織的要因	姿勢制御に強く依存するミッションがあまりなかった（強いていえば、カメラくらい）ために、永久磁石とヒステリシスダンパーは単なるおまじない程度の認識だった。
	時間的要因	N/A
	その他	N/A
修正処置		N/A
是正処置		特になし。このことが、同様に受動的姿勢制御を採用した鳳龍4号に影響を及ぼした。
その他改善事項		N/A

表 5.1.2.2-16 鳳龍四号 失敗事例分析

プロジェクト No.		26	
プロジェクト名		鳳龍四号	
責任機関 (実施の中心機関)		九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー	
事例 No.	1	2	
発生年月	2015 年 9 月	打上げ後から数ヶ月間	
区分	電源系	通信系	
失敗事例	SEL (シングルイベントラッチアップ) 対策のために C&DH の H8 マイコンにつながっている 3.3V ラインを過電流保護回路 (OCP) で遮断して、立ち上げ直そうしても半死の状態でしか立ち上がらず、ゾンビ状態になる。納入まで 4 ヶ月を切った時点の念のための放射線試験で、SEL 対策を検証した際に発覚した。	S-band による 100kbps の通信を試みたが、パケットエラーが多数発生し、実質的に 10kbps を下回るスピードしか出なかった。原因は二つある。一つは、打上げ初期に衛星の姿勢が安定していないために S-band パッチアンテナからの信号強度が弱い、または変動が激しかったため。もう一つは、最初に使用していた復調器のドップラーシフトへの対応が上手にできていなかったため。	
要因分析	技術的要因	C&DH には 3.3V の他に 5V のラインも供給されている。マイコンにつながる 3.3V ラインだけを OCP で遮断しようとした際、5V ラインからのセンサ系などを介して漏れ電流により、3.3V ラインの電圧が完全にゼロにはおちず、1.2V 程度にまでしか落ちなかった。そのため H8 マイコンが半死の状態になり、3.3V に復活してもハングアップした状態が続いた。回路が複雑になり、様々なラインが PCB 上を這っているため、電流の廻り込みが発生した。	鳳龍四号では、鳳龍弐号と同様に永久磁石とヒステリシスダンパによる沿磁力線制御を採用した。鳳龍弐号と同様に姿勢が安定するまでに 1 ヶ月以上を要した。衛星の姿勢が安定した後は、北側を向く面に S-band のパッチアンテナを配し、31 度の軌道傾斜角の鳳龍四号からは九工大地上局が常に北に見えるので、パッチアンテナは常に地上局を向く設計にしていた。しかしながら、実際は衛星の首振り運動がおさまるのに時間を要し、安定して地上局を向くまでに時間がかかった。ドップラーシフトに対する通信試験を地上で実施できず、復調器のドップラーシフト対応の問題を打上げ前に洗い出すことができなかった。
	人的要因	N/A	復調器については、衛星デジタル通信の経験の浅い業者に任せたのが問題であると思う。衛星に搭載する送信機と復調器はペアで同じ業者に頼むべきという考えから送信機を発注した業者に頼んだが、業者の選定を誤ったとしか言いようがない。担当した学生が英語しかはなせず、業者が日本語しかできないために、コミュニケーションにも多大な問題があった。S-band 通信を担当していた学生がプロジェクトを途中で抜けてしまった。送信機については、スタッフが引き継いだら、地上局側は衛星通信の素人の学生に任せざるを得なかった。学生の力量不足であった。学生は多数いたが、学生のタスクの割り振りの際に、学生の力量や性格 (チームプレイができるか、人を助けられるか、わがままいわないか、責任感があるか、根性があるか) の見極めを十分に行えなかった。
	組織的要因	N/A	同上
	時間的要因	N/A	N/A
	その他	N/A	N/A
修正処置	3.3V と 5V の OCP を同期させ、3.3V の OCP が起動すれば、5V の OCP も起動するようにした。FM 品はすでに納入されていたために、ジャンパ線で対応した。	衛星の姿勢については、安定するのを待つしかなかった。結局 2 ヶ月以上かかった。ドップラーシフトについては、別の業者のアドバイスを受けて、S-band に対応する市販の ICOM の通信機を復調器とアンテナの間にかませ、ICOM の通信機の受信周波数を外部 PC から制御する形で対応させた。その後、70MHz の中間周波数に一旦落とし、さらに 10MHz に落としてから復調器に挿入した。パケットエラー率が減少し、実質的な通信容量が 4 倍に増加した。	
是正処置	次の衛星 (BIRDS-1) からは、OCP の同期をジャンパ線ではなく、PCB 上のパターンで直結。	N/A	
その他改善事項	N/A	N/A	

表 5.1.2.2-17 BIRDS-1 失敗事例分析

プロジェクト No.	27		
プロジェクト名	BIRDS-1		
責任機関（実施の中心機関）	九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー		
事例 No.	1	2	
発生年月	2017年7月7日（放出）以降、最後まで		
区分	通信系	通信系	
失敗事例	CW のビーコン強度が弱い	VHF アップリンクが成功しなかった	
要因分析	技術的要因	パッチアンテナのゲインが低すぎたフライト品を使っての電波試験を実施しなかった。	パッチアンテナのゲインが低すぎたフライト品を使っての電波試験を実施しなかった。
	人的要因	N/A	N/A
	組織的要因	EMでの長距離通信試験ではうまく行くと学生から報告を受けていたが、通信系に長けた学生がチームにおらず、今となってはその結果は怪しい。試験のセットアップ等をきっちりと吟味しておくべきであった。	EMでの長距離通信試験ではうまく行くと学生から報告を受けていたが、通信系に長けた学生がチームにおらず、今となってはその結果は怪しい。試験のセットアップ等をきっちりと吟味しておくべきであった。
	時間的要因	パッチアンテナの製作は外注した。フライト品が衛星納入のギリギリになって納入されたために、フライト品を使っての試験を実施することができなかった。	パッチアンテナの製作は外注した。フライト品が衛星納入のギリギリになって納入されたために、フライト品を使っての試験を実施することができなかった。
	その他	N/A	N/A
修正処置	運用中に発覚したために何もできず。	高仰角で固定してのアップリンク等、の対策を施したが、どれもうまくいかなかった。	
是正処置	BIRDS-2 からは、テグスで焼き切る形の展開アンテナに変更した。 BIRDS-2 以降はフライト品での電波試験を実施することにした。	BIRDS-2 からは、テグスで焼き切る形の展開アンテナに変更した。 BIRDS-2 以降はフライト品での電波試験を実施することにした。	
その他改善事項	N/A	N/A	

表 5.1.2.2-18(1/2) BIRDS-2 失敗事例分析

プロジェクト No.		28	
プロジェクト名		BIRDS-2	
責任機関 (実施の中心機関)		九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー	
事例 No.		1	2
発生年月		EM 段階 (2017 年夏頃)	EM 段階 (2017 年夏ごろ)
区分		コンポーネント PCB 基板	構造系
失敗事例		BIRDS-2 は BIRDS-1 の設計を引き継いで、Back Plane 方式を採用し、50pin コネクタを有した 90x90mm の基板を底面基板に挿すようになっている。学生が PCB 基板の実装を P 板.com に依頼した際に、基板の裏表を間違えて発注してしまった。	フレームだけなら POD に入るのに、太陽電池パネルをつけると入らない。パネルをつけることで、衛星フレームに歪みが生じた。
要因分析	技術的要因	底面基板のメスコネクタ (50ピン) が対称形であり、そのコネクタにさす基板の向きがわかりづらい。	衛星を組み上げた時に、微妙な歪みが発生する。
	人的要因	N/A	N/A
	組織的要因	基板を発注した学生の不注意であるが、チーム内での基板設計のクロスチェックが欠けていた。	N/A
	時間的要因	N/A	N/A
	その他	N/A	N/A
修正処置		N/A	N/A
是正処置		基板が左右対称であったために、向きを間違えやすい。そのため、BIRDS-3 からは、基板の一方の角をきりとることにした。	N/A
その他改善事項		N/A	N/A



表 5.1.2.2-18(2/2) BIRDS-2 失敗事例分析

プロジェクト No.	28	
プロジェクト名	BIRDS-2	
責任機関（実施の中心機関）	九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー	
事例 No.	3	
発生年月	2018年8月10日（放出）から2019年7月22日までの約1年間	
区分	通信系	
失敗事例	衛星の放出時に最大で20度/秒程度の回転があったが、3週間以上たっても、安定しなかった。永久磁石とヒステリシスダンパーにより、予想では1日程度で安定するはずであり、大きな違いがあった。（参考文献[5.1-7]）	
要因分析	技術的要因	EMの長距離試験では芳しい結果が得られなかったが、電波暗室の試験ではそれなりの性能がでていたので、その結果を鵜呑みにしていた。運用開始後に見直したところ、電波暗室試験で使った参照アンテナに10dBのアッテネータが入っていたのを見逃していた（実際よりも10dB強い信号でアップリンクを送っていた）、衛星を孤立系で試験せず衛星内部からのノイズの影響をうけにくい状態だった。衛星内部（電源系と思われる）からのノイズがアップリンク信号と干渉し、S/Nを低下させていた。システムのEnd-to-End試験でその問題を洗い出せなかった。
	人的要因	EMで展開アンテナの担当者と通信機の担当者が別の人間であり、それぞれが個々の担当項目（展開アンテナの設計と試験、新規通信機のソフトのデバッグ）にかかりきりになり、アンテナと通信機を統合した試験が十分にできなかった。
	組織的要因	11人と少数のチームで開発を行っていた。通信系を担当した学生はかなりの力量があったが、他に通信系に精通した人間がおらず、負荷が集中した。そのため、試験結果に問題があっても、誰もそれを指摘できず、それがそのままになっていた。
	時間的要因	BIRDS-2からIARUの方針が代わり、VHFでのコマンドアップリンクが使えなくなった。そのため、BIRDS-1で使用していた西無線の通信機からアドニクス製の送受信機に変更した。新規品であったために、EMの納入に時間がかかり、結局システム試験の時間を圧迫した。BIRDS-1の運用開始後（2018年7月）に急遽パッチアンテナを展開アンテナに変更した。そのため、システムとしての通信試験に十分な時間を避けなかった。
	その他	N/A
修正処置	1年遅れで開発していたBIRDS-3衛星の通信系の設計の見直しを行った。 ダイポールアンテナの採用 アンテナが置かれた面のグランド面積の増加 直線偏波から円偏波への変更 電源基板、受信機をシールドで覆う 地上からの送信電力の増加（免許申請を14Wから50Wに変更） アップリンクの通信速度の低減（9600bps → 4800bps） 地上局アンテナを交換し、ゲインを3dB増加 地上局のローテータを交換し、ポインティング精度を向上 高仰角でのドップラーシフトの変化をよりスムーズにできるように、ドップラーシフト補正の方法を変更	
是正処置	BIRDS-3からは、フライト品を使った長距離でのEnd-to-End試験を実施している。フライトモデルで、孤立系で通信（アップリンク）が確立することを確認する。 回線計算で用いるしきい値は、実測値を使用する。	
その他改善事項	N/A	



表 5.1.2.2-19 BIRDS-3 失敗事例分析

プロジェクト No.	29	
プロジェクト名	BIRDS-3	
責任機関（実施の中心機関）	九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー	
事例 No.	1	
発生年月	2019 年 7 月	
区分	姿勢系（磁気トルカ）	
失敗事例	磁気トルカによる姿勢安定実験に失敗。衛星はその後、空気抵抗により回転が収まってきている。	
要因分析	技術的要因	磁気トルカのコイルを太陽電池パネルの PCB にパターンとして描きこんだが、十分な巻き数がとれず、トルクが足りなかった。Hardware-in-the-loop 試験により確かめたかったが、待機中ではエアベアリングテーブルの上に載せたとしても、空気の摩擦抵抗によるトルクよりも強いトルクを出せないために、検証を十分にできなかった。
	人的要因	担当学生の力不足
	組織的要因	担当学生の力不足であるが、結局は指導する教員の力不足でもある。指導する教員がエキストラミッションだからと重きをおいて指導をしなかった。
	時間的要因	N/A
	その他	N/A
修正処置	BIRDS-4 でも磁気トルカを搭載している。BIRDS-3 の結果をうけ、太陽電池パネルにパターンで配線する方法を諦め、面積の大きな空芯コイルを作って磁気トルカの巻き数を増やした。エアベアリングテーブルを真空容器の中に入れ、空気の摩擦抵抗を除去して磁気トルクを計測できる装置を開発した。	
是正処置	N/A	
その他改善事項	N/A	

表 5.1.2.2-20(1/4) (匿名) 失敗事例分析

プロジェクト No.		30	(匿名)		
プロジェクト名		(非公開)			
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)			
事例 No.	1	2	3		
発生年月	2014 年 6 月	2015 年 5 月	2012 年 10 月		
区分	運用	運用	システム, 試験		
失敗事例	太陽センサの地球アルベド検知・姿勢決定異常	光ファイバジャイロの過電流検知による起動不具合	S 帯通信機の電気信号ラインのコネクタピン配列の製造ミス		
要因分析	技術的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地上での単体検証試験の不足</li> <li>・ソフトウェアの処理の不足</li> <li>・設計ミス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地上での単体環境試験結果の精査不足</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・メーカーの経験値不足, プロジェクト側の情報提示方法の不備 (MDM を初めて使うメーカーに対し, ピンアサイン図を別のジェンダーのもので提示した)</li> <li>・上記により, ピン番号が対称となっていた</li> </ul>	
	人的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・メーカーとの情報共有の不足 (全面に太陽センサがついている状態で出力データを統合する前提であったが, その情報が共有されていなかった)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・担当者間での情報共有不足 (プロジェクト体制が変わる中での引継ぎ欠如. )</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・メーカーの経験値不足, プロジェクト側の情報提示方法の不備 (MDM を初めて使うメーカーに対し, ピンアサイン図を別のジェンダーのもので提示した)</li> <li>・上記により, ピン番号が対称となっていた</li> </ul>	
	組織的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・初期のシステム設計担当の誤解, 機器選定者からの引継ぎ不足</li> <li>・軌道上実績品に対する単体機能試験を実施しないというプロジェクトの決断 (決断者の途中離脱)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地上での単体環境試験結果の精査不足</li> </ul>	N/A	
	時間的要因	N/A	N/A	N/A	
	その他	N/A	N/A	N/A	
修正処置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・可変パラメータの定期コマンドによる更新により, データ処理側にて無効データを排除し運用を続行</li> </ul>				
是正処置	不具合機器情報の PJ 間での共有				
その他改善事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>・状況に応じた人員再配置などは行われたが, 特に後半は教育の実施余力はなく未経験者は各自自習によるキャッチアップとなっていた</li> <li>・欠員に対して補充は不足していた.</li> </ul>				

表 5.1.2.2-20(2/4) (匿名) 失敗事例分析

プロジェクト No.		30	(匿名)		
プロジェクト名		(非公開)			
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)			
事例 No.	4	5	6	7	
発生年月	2017年9月	2012年1月	2013年5月	2013年7月	
区分	コンポーネント, 設計	コンポーネント, 設計	コンポーネント, 設計	コンポーネント, 試験	
失敗事例	地磁気センサの TID 試験中の出力異常	RW の寿命試験中における異常動作停止	地磁気トルカの振動試験	地磁気トルカの性能試験ミス	
要因分析	技術的要因	・地上での環境試験における機器搭載部品選定ミス	・機器実装設計時における部品の選定ミス	・機器実装設計時の設計ミス(接着など)	・メーカーでの単体環境試験の条件確認ミスによる仕様値逸脱
	人的要因	・担当者の実績品素子に対する知識の欠如 ・TID での不具合発生は起こらないという思い込み	・プロジェクト側担当者, メーカーの実装担当者間の認識不整合 (プロジェクト側が当たり前と思っていたことがメーカーでは違っていた)	・プロジェクト側からの指示の不足	・確認体制の不備
	組織的要因	・TID での不具合発生は起こらないという思い込み	・プロジェクト側担当者, メーカーの実装担当者間の認識不整合 (プロジェクト側が当たり前と思っていたことがメーカーでは違っていた)	・該当試験項目では不具合発生がないとの思い込み	・確認体制の不備
	時間的要因	N/A	N/A	N/A	N/A
	その他	N/A	N/A	N/A	N/A
修正処置	・代替候補品素子に対する TID 試験の実施 ・素子載せ替え, メーカーによる性能再評価	・メーカー, PJ での不具合要因検証 ・是正措置の実施 ・使用部品の変更	・メーカー, PJ での不具合要因検証 ・是正措置の実施 ・固着手法の変更	・新仕様での設計システムの整合性について数値シミュレーションベースで再検証を行い, 新仕様にてプロジェクトを継続した	
是正処置	・使用素子の変更	・是正措置の実施 ・使用部品の変更	・是正措置の実施 ・固着方法の変更	・新規対策なし	
その他改善事項	N/A	N/A	N/A	N/A	

表 5.1.2.2-20(3/4) (匿名) 失敗事例分析

プロジェクト No.		30	(匿名)	
プロジェクト名		(非公開)		
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)		
事例 No.	8	9	10	
発生年月	2013年3月	2014年7月	2014年7月	
区分	システム, コンポーネント設計	運用	運用	
失敗事例	S帯受信機から発行されるPCUリセット信号のIF不整合	恒星センサによる軌道上での姿勢決定	軌道上でのリプログラミング機能検証	
要因分析	技術的要因	・PCU担当者のIF仕様の勘違い	・ソフトウェアの処理の不足	・地上検証試験の不足
	人的要因	・メーカーIFが1人のみであった	・メーカーとの情報共有の不足 ・運用開始後に性能調整のための未定義コマンド群が開示された	・試験人員および期間の不足
	組織的要因	・メーカーIFが1人のみであった	・未定義コマンドはフィルタリングするという搭載ソフトウェア仕様の影響で, 追加コマンド群を機器に送信できなかったため性能が得られなかった	・該当項目試験時に十分な人員が確保できず, 他の項目の試験の優先順位もあがったことから地上での事前検証が不足してしまった
	時間的要因	N/A	N/A	N/A
	その他	N/A	N/A	N/A
修正処置	・該当信号ラインを接続せずに割当コマンドも運用外コマンドと設定し運用で使用しないこととした. システムリセットポリシーが当初設計の通りには実装できなくなった	・恒星センサが使用できないことが前提とする運用, 機器調整の実施	N/A	
是正処置	N/A	不具合機器情報のPJ間での共有	N/A	
その他改善事項	N/A	N/A	N/A	

表 5.1.2.2-20(4/4) (匿名) 失敗事例分析

プロジェクト No.		30	(匿名)	
プロジェクト名		(非公開)		
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)		
事例 No.	11	12	13	
発生年月	2014 年 7 月	2014 年 7 月	2014 年 6 月	
区分	運用	システム, 射場作業	システム, 対外 IF	
失敗事例	軌道上での想定外のモード遷移	搭載ソフトウェアのバージョン管理	周波数干渉による運用制限	
要因分析	技術的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>軌道上での運用方針変更に関連して衛星立ち上げ時のモード遷移, 制御パラメータの変更が必要であったが, 一部項目の更新を失念していた</li> <li>条件の見落としによる不具合モードへの移行が発生したが, 当初の想定と異なるモード遷移を実行してしまい衛星をより危険な動作状態にしてしまった</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業作業時に現地作業員による姿勢制御系コンピュータのソフトウェアアップデートが行われたが, 運用チーム, 日本の姿勢系担当者に情報共有がされなかった</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>周波数調整担当者の作業遅れ, 見込みの甘さ</li> </ul>
	人的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>確認体制の不備・担当者の疲労</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>バージョン管理の重要性の周知不足</li> </ul>	N/A
	組織的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>専任担当者の不在</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>確認体制の不備, 担当者の疲労</li> </ul>	N/A
	時間的要因	N/A	N/A	N/A
	その他	N/A	N/A	N/A
修正処置	N/A	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器間通信データ量の変化による動作不具合に対応するための禁止事項の追加</li> <li>リプログラミング系の更新</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>運用期間の制限, 制限解除のための超過事務処理の発生</li> </ul>	
是正処置	N/A	N/A	N/A	
その他改善事項	N/A	N/A	<ul style="list-style-type: none"> <li>早期に事象が判明していたら, 機器仕様変更などにより運用制限回避が可能であった</li> </ul>	

表 5.1.2.2-21(1/3) (匿名) 失敗事例分析

プロジェクト No.		31	(匿名)		
プロジェクト名		(非公開)			
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)			
事例 No.	1	2	3		
発生年月	2014年5月	2015年11月	2012年10月		
区分	運用	運用	システム, 試験		
失敗事例	太陽センサの地球アルベド検知・姿勢決定異常	光ファイバジャイロの過電流検知による起動不具合	S帯通信機の電気信号ラインのコネクタピン配列の製造ミス		
要因分析	技術的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地上での単体検証試験の不足</li> <li>・ソフトウェアの処理の不足</li> <li>・設計ミス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地上での単体環境試験結果の精査不足</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・メーカーの経験値不足, プロジェクト側の情報提示方法の不備(MDMを初めて使うメーカーに対し, ピンアサイン図を別のジェンダーのもので提示した)</li> <li>・上記により, ピン番号が対称となっていた</li> </ul>	
	人的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・メーカーとの情報共有の不足(全面に太陽センサがついている状態で出力データを統合する前提であったが, その情報が共有されていなかった)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・担当者間での情報共有不足(プロジェクト体制が変わる中での引継ぎ欠如.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・メーカーの経験値不足, プロジェクト側の情報提示方法の不備(MDMを初めて使うメーカーに対し, ピンアサイン図を別のジェンダーのもので提示した)</li> <li>・上記により, ピン番号が対称となっていた</li> </ul>	
	組織的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・初期のシステム設計担当の誤解, 機器選定者からの引継ぎ不足</li> <li>・軌道上実績品に対する単体機能試験を実施しないというプロジェクトの決断(決断者の途中離脱)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地上での単体環境試験結果の精査不足</li> </ul>	特になし	
	時間的要因	N/A	N/A	N/A	
	その他	N/A	N/A	N/A	
修正処置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・可変パラメータの定期コマンドによる更新により, データ処理側にて無効データを排除し運用を続行</li> </ul>		メーカー返送のち設計通りに改修		
是正処置	不具合機器情報のPJ間での共有		情報提示方法の改善		
その他改善事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>・状況に応じた人員再配置などは行われたが, 特に後半は教育の実施余力はなく未経験者は各自自習によるキャッチアップとなっていた</li> <li>・欠員に対して補充は不足していた.</li> </ul>		N/A		



表 5.1.2.2-21 (2/3) (匿名) 失敗事例分析

プロジェクト No.		31	(匿名)		
プロジェクト名		(非公開)			
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)			
事例 No.	4	5	6	7	
発生年月	2017年9月	2012年1月	2013年5月	2013年7月	
区分	コンポーネント, 設計	コンポーネント, 設計	コンポーネント, 設計	コンポーネント, 試験	
失敗事例	地磁気センサの TID 試験中の出力異常	RW の寿命試験中における異常動作停止	地磁気トルカの振動試験	地磁気トルカの性能試験ミス	
要因分析	技術的要因	・地上での環境試験における機器搭載部品選定ミス	・機器実装設計時における部品の選定ミス	・機器実装設計時の設計ミス(接着など)	・メーカーでの単体環境試験の条件確認ミスによる仕様値逸脱
	人的要因	・担当者の実績品素子に対する知識の欠如 ・TID での不具合発生は起こらないという思い込み	・プロジェクト側担当者, メーカーの実装担当者間の認識不整合 (プロジェクト側が当たり前と思っていたことがメーカーでは違っていた)	・プロジェクト側からの指示の不足	・確認体制の不備
	組織的要因	・TID での不具合発生は起こらないという思い込み	・プロジェクト側担当者, メーカーの実装担当者間の認識不整合 (プロジェクト側が当たり前と思っていたことがメーカーでは違っていた)	・該当試験項目では不具合発生がないとの思い込み	・確認体制の不備
	時間的要因	N/A	N/A	N/A	N/A
	その他	N/A	N/A	N/A	N/A
修正処置	・代替候補品素子に対する TID 試験の実施 ・素子載せ替え, メーカーによる性能再評価	・メーカー, PJ での不具合要因検証 ・是正措置の実施 ・使用部品の変更	・メーカー, PJ での不具合要因検証 ・是正措置の実施 ・固着手法の変更	・新仕様での設計システムの整合性について数値シミュレーションベースで再検証を行い, 新仕様にてプロジェクトを継続した	
是正処置	・使用素子の変更	・是正措置の実施 ・使用部品の変更	・是正措置の実施 ・固着方法の変更	・新規対策なし	
その他改善事項	N/A	N/A	N/A	N/A	

表 5.1.2.2-21 (3/3) (匿名) 失敗事例分析

プロジェクト No.		31	(匿名)
プロジェクト名		(非公開)	
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)	
事例 No.	8	9	10
発生年月	2013 年 3 月	2014 年 7 月	2014 年 7 月
区分	システム, コンポーネント設計	運用	運用
失敗事例	S 帯受信機から発行される PCU リセット信号の IF 不整合	恒星センサによる軌道上での姿勢決定	軌道上での運用モード組み換え不具合
要因分析	技術的要因	・ PCU 担当者の IF 仕様の勘違い	・ ソフトウェアの処理の不足
	人的要因	・ メーカー IF が 1 人のみであった	・ メーカーとの情報共有の不足 ・ 運用開始後に性能調整のための未定義コマンド群が開示された
	組織的要因	・ メーカー IF が 1 人のみであった	・ 未定義コマンドはフィルタリングするという搭載ソフトウェア仕様の影響で, 追加コマンド群を機器に送信できなかったため性能が得られなかった
	時間的要因	N/A	N/A
	その他	N/A	N/A
修正処置	・ 該当信号ラインを接続せずに割当コマンドも運用外コマンドと設定し運用で使用しないこととした. システムリセットポリシーが当初設計の通りには実装できなくなった	・ 恒星センサが使用できないことが前提とする運用, 機器調整の実施	N/A
是正処置	N/A	N/A	N/A
その他改善事項	N/A	N/A	N/A

表 5.1.2.2-22 (匿名) 失敗事例分析

プロジェクト No.	32	(匿名)
プロジェクト名	(非公開)	
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)	
事例 No.	1	
発生年月	2014 年 6 月	
区分	地上試験	
失敗事例	模型による熱設計基礎設計確認試験中における供試体の過加熱	
要因分析	技術的要因	N/A
	人的要因	N/A
	組織的要因	N/A
	時間的要因	N/A
	その他	N/A
修正処置	N/A	
是正処置	N/A	
その他改善事項	N/A	

表 5. 1. 2. 2-23 (匿名) 失敗事例分析

プロジェクト No.		33	(匿名)	
プロジェクト名		(非公開)		
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)		
事例 No.	1	2	3	
発生年月	2009 年	2010 年	2011 年	
区分	サブシステム, 運用	サブシステム, 運用	サブシステム, 運用	
失敗事例	磁気トルカが想定と反対に取り付けられており、磁気トルカの動作確認運用において、想定と反対方向のトルカが発生した。	太陽センサー動作時に太陽方向の計測値が不連続に大きく変化し正確でない太陽方向を出力してしまう。(太陽センサー内のリニアセンサーの出力プロファイルから迷光によるものと断定)	軌道上で uplink した関数を実行させる関数の動作不良	
要因分析	技術的要因	磁気トルカの極性確認にガウスメータを用いていた。このガウスメータの説明書の極性が逆に示されていて間違っていた。説明書の記載を信じていたため、磁気トルカの取り付け方向が想定と逆となってしまった。	太陽センサーのリニアセンサーにおいて、太陽光以外にも迷光によりピークがたつてしまい、太陽方向を誤検知してしまった。	オンボードソフトウェアで打ち上げ後に uplink した関数を関数ポインタを用いて呼び出し実行させる関数において、実際に軌道上で uplink した関数を呼び出して実行させることができなかった。
	人的要因	人間が作成したガウスメータの説明書の記述を信じてしまっていた。ガウスメータ以外の極性確認方法を検討しなかった。	太陽センサー単体での試験は実施し、また組み込んだ状態でもコリメータを用いた出力値の試験を実施したが、太陽光ライトなどで衛星全体に太陽光と同じ強度の光を照射して出力値を確認する試験は実施しなかった。	そもそも不具合時に用いるアノマリ状況での使用を想定しており開発の優先度が下がった。(そもそも開発の意識が低かった) ただし、開発遅れのあるサブシステムでは、軌道上でソフトウェアの機能を追加できるこの機能を頼りにする一面もあった。
	組織的要因	開発スケジュールが遅れており、他の確認方法を検討する手間をかけることができなかった。	開発スケジュールが遅れており、試験のための時間が十分になかった。	開発には情報処理系の深い理解が必要で、そもそも開発できるメンバーが限られていた。また深い理解のあるメンバーはノミナルケースで動作させるべき機能に関する不具合解決に注力せざるを得なかった。したがって開発が大きくおくれた。
	時間的要因	開発スケジュールが遅れており、他の試験により極性を確認する検討や実施のための時間をとれなかった。	開発の段階でサブシステムの動作確認、不具合対処に多くの時間を取られてしまった。これによりシステムをインテグレートした後の試験実施の時間を十分に確保することができなかった。	開発のスケジュールが遅れているなかで、地上試験の時間を十分に確保することができなかった。
	その他	N/A	N/A	N/A
修正処置	N/A	N/A	N/A	
是正処置	N/A	N/A	N/A	
その他改善事項	N/A	N/A	N/A	

表 5.1.2.2-24(1/3) (匿名) 失敗事例分析

プロジェクト No.		34	(匿名)
プロジェクト名		(非公開)	
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)	
事例 No.		1	2
発生年月		2014 年 11 月	2014 年 11 月
区分		システム	サブシステム
失敗事例		電源の供給状態と姿勢が安定しなかった (頻繁に電源が落ちる)	溜め込まれた HK データが電源が切れると消失する設計となっていた。また、そのことが打ち上げ後までメンバ間で認識されていなかった。
要因分析	技術的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 静定状態を想定した電力見積もりとなっており、タンプリング状態では供給不足・消費過大であった</li> <li>・ 電源投入から GPS の情報同期までに時間を要したこと、姿勢制御ユニットとメインユニットの CAN 通信が不安定であったことから姿勢がなかなか安定しなかった</li> <li>・ 姿勢不安定が続き、MTQ によるデタンプリングがなかなか終了せず消費電力が過大となった</li> <li>・ 最大限節電につとめ電力確保のみを目的とするモードがなかった</li> <li>・ 姿勢制御アルゴリズムや軌道情報を運用によりアップデートしても電源断によりリセットされる設計のため調整が難しかった</li> </ul>	SD カードに HK データを溜め込むようになっていたが、電源投入すると上書きされるような設計となっていた
	人的要因	N/A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 該当箇所のコーディングはメーカ側の方が行なったが、衛星に関して経験豊富な方ではなかったためか電源が頻繁に落ちることを想定していなかった (電源 ON の間データ保持すれば良いと思っていた)</li> <li>・ 他方、大学 (教員・学生) では SD カードは不揮発性であるし電源再起動後も保持されるだろうと思い込んでおり、再起動後のデータダウンリンク試験は行なっていなかった</li> </ul>
	組織的要因	当初は研究室プロジェクトだったが、途中から有志学生のみ参加となったため学生人数が少なくなっていた。 開発はメーカと共同で行っていたが、上記理由から開発後期には学生の担当のいない系 (メーカのみで開発・試験している状態) が発生しており各系間の連携が十分でなかった可能性がある。	当初は研究室プロジェクトだったが、途中から有志学生のみ参加となったため学生人数が少なくなっていた。 開発はメーカと共同で行っていたが、上記理由から開発後期には学生の担当のいない系 (メーカのみで開発・試験している状態) が発生しており各系間の連携が十分でなかった可能性がある。
	時間的要因	N/A	N/A
	その他	N/A	N/A
修正処置		電源制御ユニット内の過電流閾値をほぼ 0 として、過電流検知を強制的に引き起こすことで電源を落とすことを想定していないコンポーネントまで強制的に電源断とし、節電することで充電を行なった	修正できず、長期的データはほぼ取得できなかった
是正処置		以降開発された衛星では、セーフモードでの節電の徹底、乱回転状態でも電源確保できることを念頭に開発された。	以降開発の衛星ではデータが消えないよう意識統一が図られた
その他改善事項		N/A	N/A

表 5.1.2.2-24(2/3) (匿名) 失敗事例分析

プロジェクト No.		34	(匿名)
プロジェクト名		(非公開)	
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)	
事例 No.		3	4
発生年月		2015 年	2015 年 11 月
区分		サブシステム	コンポーネント・運用
失敗事例		カメラ撮像ができなかった	リアクションホイールが故障した。推定された原因は誤ったコマンド操作 (制御基板よりモータ電源を先に入れてしまった)。
要因分析	技術的要因	N/A	・リアクションホイールはまず制御基板、次にモータ電源を立ち上げるのが正常手順であったが、コマンドの組み合わせによっては逆順の立ち上げも可能となっていた。これは、試験用の電源を個別に on/off するコマンドが運用時にも使用できたため。
	人的要因	N/A	電源投入順序を間違えた場合の危険性を、執筆者を含め運用学生が把握していなかった。 また、正常手順で立ち上げるコマンドが別で存在していたにもかかわらず、試験用コマンドに対して慣れから漠然とした信頼感があったため、そちらを使用することが常態化していた。
	組織的要因	N/A	運用時にはハードウェア細部を把握しているのが製造メーカーの方のみであり、機動的な打ち合わせや運用したコマンドの把握が難しかった (故障までに数回不正なコマンド操作を行っていたが、メーカー側は運用ログを常時確認してはいなかったので事前の指摘ができなかった)
	時間的要因	N/A	N/A
	その他	画像はビーム幅の狭い Ku バンドでしか送信できないようになっており、また一度に全て送信することしかできないようになっていた。 このため、姿勢・電力が不安定で画像ダウンリンクがなかなかできない状況では、データ量増大をおそれ「ひとまず撮影してみよう」という試みができなかった	N/A
修正処置		N/A	当該衛星では誤った操作をしないよう運用方針を徹底。
是正処置		N/A	以降開発の衛星では、同じ目的に対し複数のコマンドが存在しないよう心がけた
その他改善事項		N/A	N/A



表 5.1.2.2-24(3/3) (匿名) 失敗事例分析

プロジェクト No.		34	(匿名)
プロジェクト名		(非公開)	
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)	
事例 No.	5	6	
発生年月	2015 年 1 月	2015 年	
区分	その他 (地上局)	マネジメント	
失敗事例	ケーブル損傷により数ヶ月間通信が安定しなかった	運用から参加した学生 (学部低学年) に対し十分な教育ができなかった	
要因分析	技術的要因	アンテナ作動部と固定部の間のケーブル引き込み口に鋭利部があり、数ヶ月の運用でケーブルの被覆が損傷しノイズが入った。また、原因特定に時間を要した。	N/A
	人的要因	N/A	0JT により回答者を含めた開発経験者で教育を行う計画であったが、毎日の運用に追われたこともあり、軌道力学から衛星システムまでの広範な知識を教育することは不可能であった (低学年のためそれらに関する講義も未履修であった) 結果的にそれらの学生が運用計画などを主体的に考えられるようになるには至らず、シフト管理などの雑用を押し付ける形となってしまう、その後衛星関係に進んだ学生がごく少数であったことを考えると教育的観点からは失敗であったと言わざるを得ない。
	組織的要因	N/A	運用の中心となるメンバが少なく (院生 3 名、スタッフと企業関係者合わせて 4 名前後)、そのため打ち上げ直前に募集を行って新規の学生を入れたが時間的にも人数的にも教育まで手を回せなかった。 また、打ち上げ直前にメンバを募集したことで新規学生は実際の衛星を見ることができなかったことも理解を阻害した。
	時間的要因	N/A	N/A
	その他	N/A	N/A
修正処置	ケーブルを交換し、引き込み口及びケーブルに養生を行なった	N/A	
是正処置	N/A	N/A	
その他改善事項	N/A	N/A	

表 5.1.2.2-25(1/3) (匿名) 失敗事例分析

プロジェクト No.		35	(匿名)	
プロジェクト名		(非公開)		
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)		
事例 No.	1	2	3	
発生年月	2006年10月	2007年	2007年	
区分	システム・開発	サブシステム	システム, 試験	
失敗事例	1号機の設計の知識・技術継承が2号機の開発メンバーにうまく引き継がれずに、設計開発が長期化。(部分的にOJTによる伝達はあったが1か月ほど)	EM基板の設計図ミスによる半田不良・衛星動作の不具合	アンテナ展開のためのヒートカットによる電圧降下を原因とする衛星の予期せぬ電源OFF, 展開失敗	
要因分析	技術的要因	知識・技術の継承を前提とした開発(設計情報の残し方も含めた)になっていなかったためではないか。設計書はあるが、伝達を前提としたものではなく、当時の開発メンバーの記録用になっていたため、当時の開発メンバーの中では残る設計の思想や、設計・開発の詳細(詳細は情報として残すのが面倒な部分もある)が残っていないかった。	基板の設計図の不良のため、半田不良が起きた。素子(抵抗, コンデンサ)の基板上のパターンが、半田付けを代行してくれる業者の最小パターンより小さく電氣的な不具合が生じた。	ニクロム線を用いたヒートカットを高温・低温環境・真空環境下で試験した際に予期せぬ電源OFFやニクロム線によるヒートカットを失敗し展開ができなかった。そのため、再設計・再試験が生じた。
	人的要因	入れ替わりのある衛星システム開発の経験不足	・知識・経験不足 開発するメンバーは初めて衛星を開発するメンバーであり、メンターとしていた開発経験者も経験していない・または想定しなかったトラブルだった。	・経験・知識不足: 対象とするシステムがおかれる状態を考慮した設計を行っていなかった。具体的には、予期せぬ電源OFFは、バッテリーの温度低下が要因。ヒートカット失敗は、ニクロム線と把持していたケーブルとの間の熱の伝達状況が変化していること、バッテリーの温度低下が要因。
	組織的要因	入れ替わりのある衛星システム開発の経験不足	・知識・経験不足 ・組織の情報の伝達・共有・仕組み不足	・知識・経験不足 ・組織の情報の伝達・共有・仕組み不足
	時間的要因	開発期間の長期化(開発の経験不足, 打ち上げ機会)	業者に依頼すれば半田付けトラブルがないと考えていたが、業者と開発者の間の設計図にトラブル原因が出るとは想定していなかった。	N/A
	その他	N/A	N/A	N/A
修正処置	部分的な設計資料と予備機を用いてのシステム同定作業	コンポーネントのメーカーへの持参による理由の確認, 再設計, 再基板発注, 再半田付け。	ニクロム線の長さ・取り付け方法の再設計・ソフトウェアの修正	
是正処置	N/A	基板の設計図のチェック会のチェック項目を増やす	ニクロム線と把持用のケーブルの接触の目視確認, 状態を考慮したサブシステムレベルでの試験の実施	
その他改善事項	N/A	学生間の情報共有	学生間の情報共有	

表 5.1.2.2-25(2/3) (匿名) 失敗事例分析

プロジェクト No.		35	(匿名)	
プロジェクト名		(非公開)		
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)		
事例 No.	4	5	6	
発生年月	2007 年	2007 年	2007 年	
区分	サブシステム, 試験	システム	サブシステム	
失敗事例	放射線試験時の衛星の動作不具合による設計・開発の後戻り	構体組立時に配線を切断したたことによる衛星動作の不具合	EM 試験時のサブシステム単体で動作させることが難しく, 全サブシステムと担当者がいないと動作ができないう設計仕様になっていたため, 効率的な作業ができなかった.	
要因分析	技術的要因	放射線環境下では動作が不安定になるコンポーネントが含まれており動作の不具合が起き, 設計・開発に後戻りが発生した. 放射線試験だけではなくシステムレベルでの環境試験時に顕在化するコンポーネントレベルで排除できそうな不具合は多々あった.	衛星内部の配線経路が決まっておらず, 組立ごとに毎回担当学生の立ち合いのもと行っていたが, 担当学生がいないタイミングで組立をする必要があり組み立てた際に, 衛星が動作しなかった. 配線経路が定まっていなかったことと, 担当学生 1 名しか組み立て方を理解していなかったことが原因.	知識・経験不足から, EM 試験時の状況を想定していなかったこと.
	人的要因	知識・経験不足から, 放射線を考慮した素子選定を当初行っておらず, サブシステムの開発を進めていたが, 試験の結果影響が大きいことが判明.	担当者と他のメンバーとのコミュニケーション不足. また, 経験不足から担当者も他のメンバーも共有すべき事項であることや, 機能そのものがあることに気づいていなかったため.	N/A
	組織的要因	・知識・経験不足 ・組織の情報の伝達・共有・仕組み不足	学生プロジェクトであったため教員の介入は少なく, また, コミュニケーション面での改善はできるようにな雰囲気ではなかった.	N/A
	時間的要因	N/A	スケジュールのマネジメントがうまくいかなかったため, 担当学生が来れない日程となってしまった. スケジュールの遅延には技術・知識不足も影響していた.	N/A
	その他	N/A	N/A	N/A
修正処置	動作不安定なコンポーネントの変更と周辺回路の再設計	配線の再作成	新たに動作させるための基板を作ったり, BBM レベルのものと接続させるなどして並行して EM の作業が出来るようにしたが, BBM との接続には知識共有不足もあり困難があった.	
是正処置	部品レベルでの環境試験不足. システム, サブシステム統合前の個々のコンポーネントレベルの段階で疑わしいモノはスクリーニング試験にかける. (ただし, コストもかかるので真空槽や恒温槽などの比較的实施しやすい試験も併用した)	配線経路の決定	あらかじめ想定し, サブシステム単体で検証できる機能を持たせた.	
その他改善事項	N/A	N/A	N/A	

表 5.1.2.2-25(3/3) (匿名) 失敗事例分析

プロジェクトNo.		35	(匿名)		
プロジェクト名		(非公開)			
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)			
事例 No.	7	8	9	10	
発生年月	2008 年	2008 年	2008 年	2008 年	
区分	運用	運用	運用	運用	
失敗事例	太陽電池の発電量の推定量ミスによる、軌道上での過充電	初期運用時の地上局のハードウェア設定ミスによる衛星のテレメトリデータ異常.	地上局からのコマンドミスによる衛星の停波	温度センサの貼り付けミスによるバッテリーの残量推定ミス	
要因分析	技術的要因	1号機までの設計の大部分を継承していたが、1号機に使用していた太陽電池が入りできなかったため、別の太陽電池を使うことになり、過充電になることが予想されたが、想定を上回ったため、運用時に常に電力を消費させる必要があった。また、地上試験では設備の関係で十分な地上試験・評価ができていなかった。	衛星から送信されるテレメトリデータのプロトコル解析をハードウェアにより行っていたが、初期運用に入る前に予備機での地上試験をプロトコル設定を OFF にして実験してしまい、そのまま初期運用に突入してしまった。地上局の設定を担当者一人に頼っており、機能が OFF になっていたことに気づけなかった。	運用の負担軽減から新人を運用に携わらせていたが、メインの担当者が OJT をしながら、運用をまわしていたため、地上局のコマンドをミスして送ってしまった。地上局ソフトの GUI の設計ミスもあった。また、昼夜をまたぐ運用でメンバーの入れ替わりがあり、引継ぎ事項も多かったため作業にも負担がおおかったことも原因。	経験・知識不足から温度センサのバッテリーへの取り付け方法、バッテリーの残量を推定するための地上試験方法を間違っていた。打ち上げ後の運用で残量推定がうまくいっていないことからしか気づけなかった。地上の熱真空試験は軌道上と同じ条件であったが、残量指定の機能が準備不足だったため確認していなかった
	人的要因	N/A	担当者とのコミュニケーション不足。また、経験不足から担当者も他のメンバーも共有すべき事項であることや、機能そのものがあることに気づいていなかったため。	N/A	N/A
	組織的要因	N/A	学生プロジェクトであったため教員の介入は少なく、また、コミュニケーション面での改善はできるようにな雰囲気ではなかった。	N/A	スケジュールマネジメント不足。知識・経験不足という技術的な要因もあり、スケジュールの遅延
	時間的要因	N/A	打ち上げまでに実施する項目も多く、担当者が一人で予備機を用いて実験を行うなど、分業になってしまっていた。	N/A	システム設計の構造化不足。確認すべき機能が可視化できていなかった。
	その他	N/A	N/A	N/A	N/A
修正処置	過充電を想定し搭載したオートシャント機能と運用も比較的大電力なものを選び実施した。そのため、運用内容に影響が出た。	地上局ハードウェアのプロトコル機能の ON	一定時間たてばなおるため、待機し、その後衛星の健康状態、回線を確認	当該機能をせずに、精度の別の方法で推定	
是正処置	ミーティングによる情報の共有、報告書への記入(ただし、報告書は引継ぎが不十分になった)	機能の理解、原因の把握	状況の共有、地上局ソフトの GUI の修正	ミーティングによる情報の共有、報告書への記入(ただし、報告書は引継ぎが不十分になった)	
その他改善事項	N/A	N/A	N/A	N/A	

表 5.1.2.2-26 (匿名) 失敗事例分析

プロジェクト No.	36	(匿名)
プロジェクト名	(非公開)	
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)	
事例 No.	1	
発生年月	①2013年2月 ②2013年4月	
区分	サブシステム (推進系)	
失敗事例	①FMの単体振動試験の際、既製品である電磁弁の製品に付属している配管が抜けた。 ②FMの単体振動試験の際、配管が破断した。	
要因分析	技術的要因	①同箇所はカシメによる接続であったものが、振動によって緩み、抜けた。以後、電磁弁単体での試験を含み検証した結果、この抜けは不可避のものであると判断した。 ②配管の突き合わせ溶接の箇所が疲労により破断した。FMでの単体環境試験の回数に上限を設けなかったため、疲労が蓄積していた。
	人的要因	①カシメであることの脆弱性に気付かなかった。 ②①の試験失敗の対応に追われて累積疲労にまで気が回らなかった。
	組織的要因	少人数であることへの対応力と知見の不足があった。
	時間的要因	①の試験失敗後、②の試験まで1ヶ月余であったため、十分な分析や対応をする時間がなかった。
	その他	当方での最初の衛星搭載推進系の開発であったため知見が不足していた。
修正処置	上記記載のことによって本推進系は(匿名:当初搭載予定の衛星)搭載を断念した。本推進系で経験した全てを、ほぼ並行していた(匿名:他の2機の衛星)のための推進系開発に活用した。	
是正処置	本推進系で経験した全てを、ほぼ並行していた(匿名:他の2機の衛星)のための推進系開発に活用し、その時点で以後の作業に対するフロントローディングを行い、事前対処した。	
その他改善事項	フロントローディングの重要性を理解すること。	



## 5.1.2.2.2 検討

### (1) 失敗の主要な要因

表 5.1.2.2-27、図 5.1.2.2-1 に打上げ前に確認された失敗事例の報告件数とその比率を示す。全 65 件の内、最も多かったものは、「電源系」にまつわる失敗事例で比率は約 20%であった。次いで、「姿勢系」にまつわる失敗事例が約 15%、「通信系」にまつわる失敗事例が約 9%、「CDH(搭載オンボードコンピュータ、ソフトウェア)」にまつわる失敗事例が約 8%となっている。通信・電源・CDH・姿勢という衛星のコアな『バス機能』を合計した失敗事例の報告件数比率は、約 52%であり、回答全体のおよそ 5 割が衛星バス機能に関する失敗を打上げ前に経験している事がわかる。打上げ前の事例においては、ミッションにまつわる失敗事例の件数は、約 1~2%程度である。

打上げ前に特筆すべき要素として、「計装・ハーネス」「基板設計」「実装・組立」「安全審査・ロケット I/F」「マネジメント」という要素が挙がっており、「安全審査・ロケット I/F」に関連する失敗事例は、約 12%と「電源系」「姿勢系」に次ぐ多さとなっている。また、計装・ハーネス・基板設計・実装・組立といった打上げまでには必ず修正処置を施される構成要素については、その合計比率が約 17%となっており、安全審査・ロケット I/F にまつわるものと同程度の比率を有している事がわかる。マネジメントに関しては、スケジュール調整、役割分担等がうまくいかなかったことが失敗として報告されており、約 5%程度の比率である。その他の要素として、地上局、学生教育に関連するものが数件報告されている。



表 5.1.2.2-27 打上げ前に確認された失敗事例件数と比率

大区分	小区分	件数	比率 [%]
ミッションの失敗		1	1.5
衛星バス機能の失敗 40件 (61.5%)	通信	6	9.2
	電源	13	20.0
	CDH	5	7.7
	姿勢	10	15.4
	熱制御	1	1.5
	構造	4	6.2
	展開/機構	1	1.5
その他の失敗 24件 (36.9%)	計装・ハーネス	2	3.1
	基板設計	4	6.2
	実装・組立	5	7.7
	安全審査・ロケット I/F	8	12.3
	マネジメント	3	4.6
	地上局	1	1.5
	学生教育	1	1.5
計		65	100.0

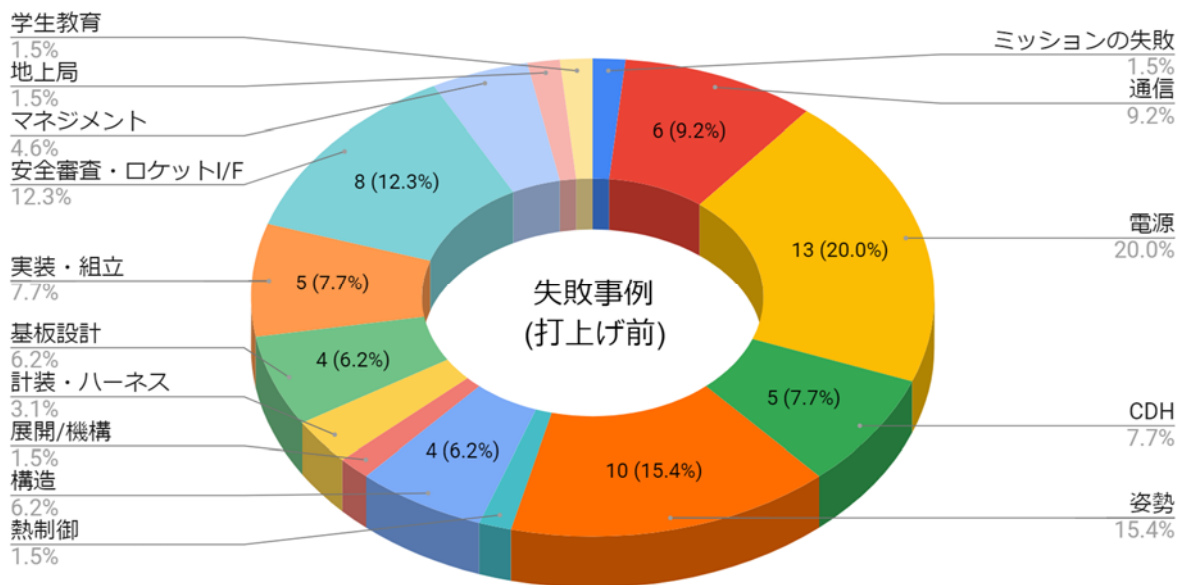


図 5.1.2.2-1 打上げ前の失敗事例の件数比較

表 5.1.2.2-28、図 5.1.2.2-2 に打上げ後に確認された失敗事例の報告件数とその比率を示す。全 71 件の内、最も多かったものは、「姿勢系」にまつわる失敗事例で比率は約 30%であった。次いで、「通信系」にまつわる失敗事例が約 23%、「CDH(搭載オンボードコンピュータ、ソフトウェア)」にまつわる失敗事例が約 17%、「電源系」にまつわる失敗事例が約 9%となっている。通信・電源・CDH・姿勢という衛星のコアな『バス機能』を合計した失敗事例の報告件数比率は、約 79%であり、回答全体のおよそ 8 割が衛星バス機能に関する失敗を打上げ後・運用中において経験している事がわかる。ミッションにまつわる失敗事例の件数は、約 10%程度であった。その他の要素として、周波数調整、人的運用ミス、地上局、学生教育に関連するものが数件報告されている。今回実施したアンケートでは、打上げ後の失敗事例には、熱制御系や構造系に関連する報告は 0 件であった。

表 5. 1. 2. 2-28 打上げ後に確認された失敗事例件数と比率

大区分	小区分	件数	比率 [%]
ミッションの失敗		7	9.9
衛星バス機能の失敗 57 件 (80.3%)	通信	16	22.5
	電源	6	8.5
	CDH	13	18.3
	姿勢	21	29.6
	熱制御	0	0
	構造	0	0
	展開/機構	1	1.4
その他の失敗 7 件 (9.8%)	周波数調整	2	2.8
	人的運用ミス	2	2.8
	地上局	2	2.8
	学生教育	1	1.4
計		71	100.0

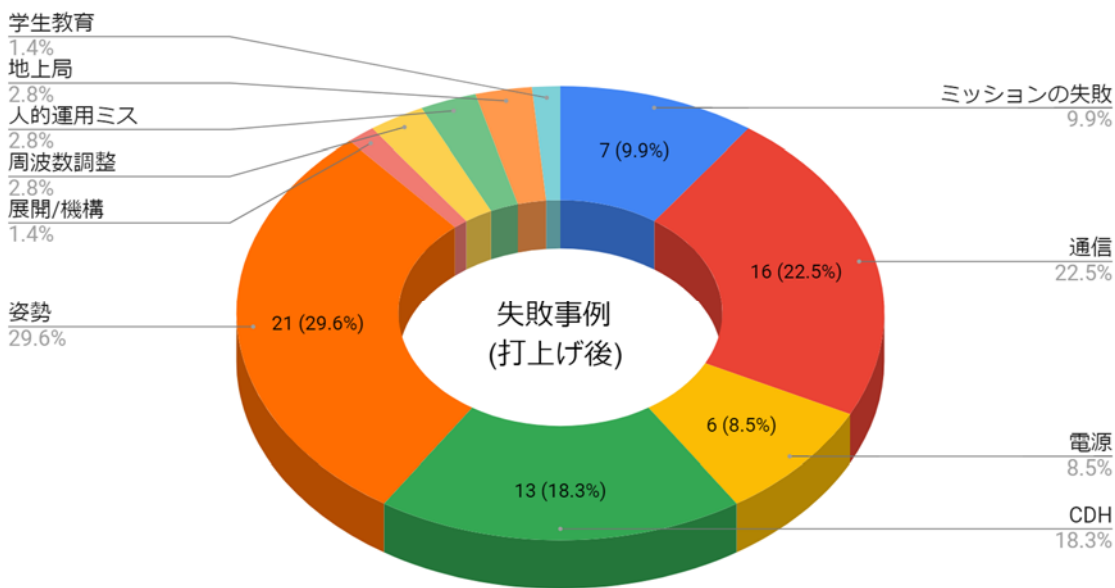


図 5. 1. 2. 2-2 打上げ後の失敗事例の件数比

次に、上記の打上げ後の失敗事例 71 件、打上げ前の失敗事例 68 件の分類のうち、今回の分析では、打上げ後の失敗事例 71 件について、回答者が失敗要因として挙げている文章の中から主な要素を抽出し、集計した。1つの事例から、複数の要因を抽出したケースもあるため、その合計値は、事例の報告件数の合計値よりも大きな値を取っている。

表 5.1.2.2-29、図 5.1.2.2-3 に技術的項目に関する打上げ後の失敗事例の要因分析の集計結果を示す。『ハードウェアの設計・実装の不備』に関係するものが最も多く 21 件であり、『ソフトウェアの設計・実装の不備』『地上試験の不足』がそれに次ぐ順位で挙げられている。

表 5.1.2.2-29 打上げ後の失敗事例に関する要因分析（技術的項目）

失敗要因の記述文章から 抽出された主な要素	該当件数と全報告件数 71 件 に対する比率	
	報告件数	全報告件数比 [%]
ハードウェア設計・実装の不備	21	29.6
ソフトウェア設計・実装の不備	20	28.2
地上試験の不足	19	26.8
電子基板設計・実装の不備	11	15.5
地上試験データの評価の不備	8	11.3
地上試験装置の不備	7	9.9
電力収支不安定	7	9.9
人的運用ミスへの対策不備	7	9.9
シミュレーションの不備	5	7.0
対放射線耐性の検証不足	5	7.0
電子部品固有のトラブル	2	2.8
周波数調整結果と運用要求/装置仕様の不一致	2	2.8
ソフトウェアバージョン管理の不備	2	2.8
電氣的短絡現象	1	1.4
通信状態不安定	1	1.4
原因不明	1	1.4

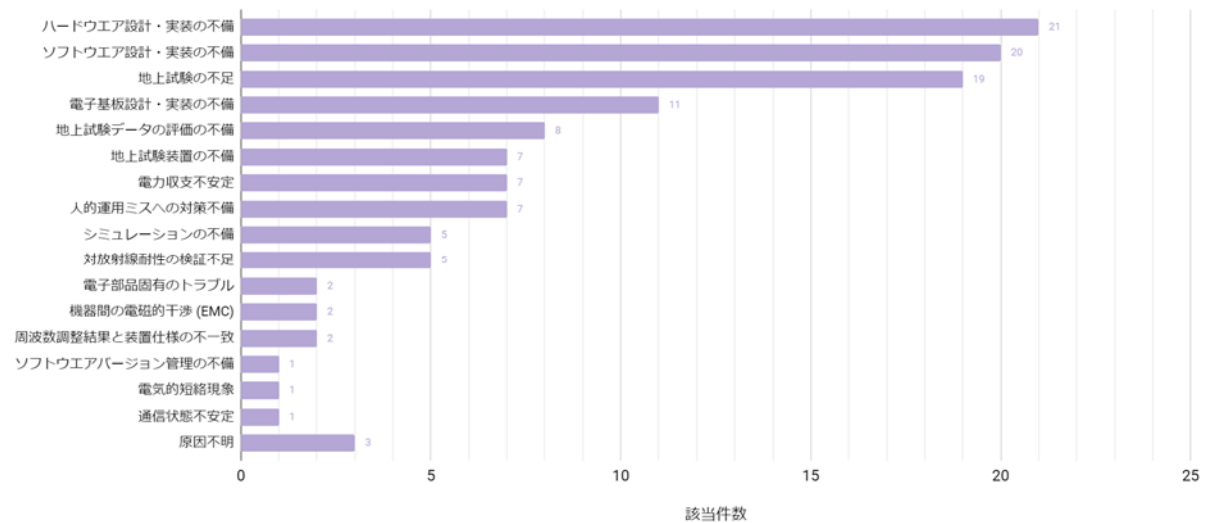


図 5.1.2.2-3 打上げ後の失敗事例の要因分析結果の件数比較（技術的項目）

表 5.1.2.2-30、図 5.1.2.2-4 に人的項目・組織的項目に関する打上げ後の失敗事例の要因分析の集計結果を示す。『メンバーの知識・経験不足』が最も多く 27 件であり、『学生一教員間のコミュニケーション不足・齟齬』が 13 件、『メーカーとの情報共有不足・齟齬』が 12 件、『メンバー間の情報共有不足・齟齬』『専門家・経験者からのレビュー不足』が 11 件、『人的リソースの不足』が 9 件と、それに次ぐ順序で挙げられている。

表 5.1.2.2-30 打上げ後の失敗事例に関する要因分析（人的項目・組織的項目）

失敗要因の記述文章から 抽出された主要素	報告件数と全報告件数 71 件に対する比率	
	報告件数	全報告件数比 [%]
メンバーの知識・経験不足	27	38.0
教員－学生間のコミュニケーションの不足・齟齬	13	18.3
メーカーとの情報共有不足・齟齬	12	16.9
メンバー間の情報共有不足・齟齬	11	15.5
専門家・経験者からのレビュー不足	11	15.5
人的リソースの不足	9	12.7
仕様や作業に対する思い込み/過信	6	8.5
前任者からの引継不足	4	5.6
UNISEC/他大学/外部機関との情報共有不足	4	5.6
開発スケジュール遅れ	4	5.6
メンバー間の役割分担の不明確さ	2	2.8
メンバーの途中離脱	2	2.8
メンバー間言語(日本語－英語)	2	2.8
メンバーの疲労・疲弊	1	1.4
地上検証装置仕様の誤解	1	1.4
原因不明	1	1.4

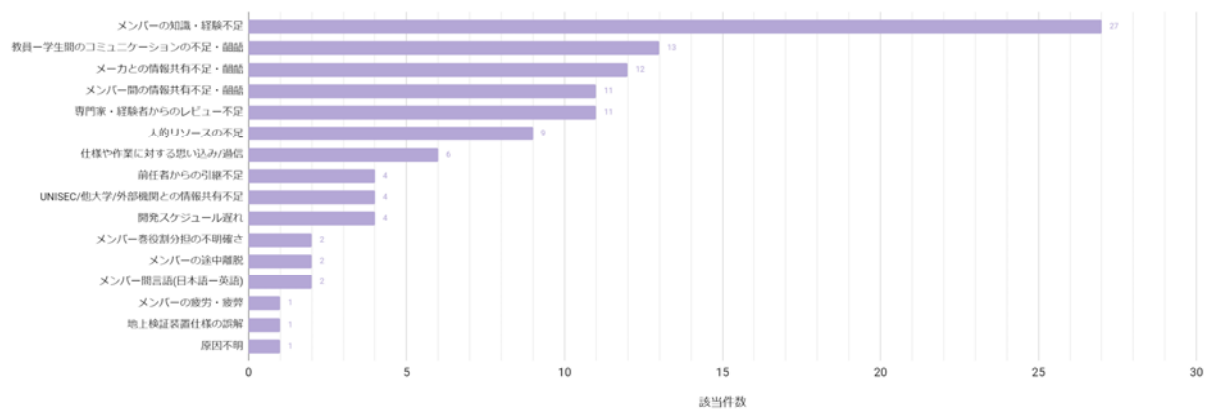


図 5.1.2.2-4 打上げ後の失敗事例の要因分析結果の件数比較（人的項目・組織的項目）



## (2) 当該衛星やその後のプロジェクト等に反映された修正処置、是正処置等の効果、改善すべきと考えられる点

打上げ前に確認された失敗事例全 65 件については、打上げまでの期間に何らかの修正措置/是正措置が取られており、原因不明・対処不可能となっているものは 0 件であった。

打上げ後に確認された失敗事例全 71 件について、運用期間中に根本的な解決に至らなかったものが 41 件あり、その中で、ミッション機器が動作できない状態であったものが 2 件、当該の衛星ミッションではその要素を復旧の不可能な永久故障として許容した上で運用を継続したケースが 27 件、運用休止が発生したケースが 4 件、運用終了に至ったケースが 8 件であった。表 5.1.2.2-31 に打上げ後に確認された失敗事例全 71 件から抜粋した対策・改善事例を示す。

表 5.1.2.2-31 打上げ後に確認された失敗事例全 71 件から抜粋した対策・改善事例

区分	代表的な事例紹介（複数の個別事例より抜粋・まとめたものを掲載）
運用期間中に改善もしくは何らかの代替手段を取ることで、運用が継続されたもの	<p>[事例] <b>太陽センサの地球アルベド検知・姿勢決定異常</b>：データ処理で無効データを排除するコマンド処理を追加登録することで修正、運用を続行した。</p> <p>[事例] <b>磁気トルカの取付け方向ミス・電源極性ミス等による想定と反対方向の磁気トルク発生・逆方向へのスピン</b>：コマンドにより設定パラメータ等を逆転させる等の対応で運用を継続した。</p>
運用期間中には改善できなかったが、運用が継続されたもの	<p>[事例] <b>光ファイバジャイロの過電流発生</b>：データ処理で無効データを排除し運用を続行した。複数の衛星に搭載された同一型番のコンポで発生したことから、該当機器の情報をプロジェクト間で共有し、メーカーとともに原因調査・改善案の検討が実施された。</p> <p>[事例] <b>リアクションホイールの永久故障</b>：運用者のミスによる電源投入順序のコマンド発行誤りによってリアクションホイールの電源回路が永久故障。以降使用できなくなった。</p> <p>[事例] <b>テレメトリダウンリンクは取得できているが、コマンドアップリンクを受け付けられない状態</b>：取得されたテレメトリデータから、CPU の永久故障、通信経路上のトラブル、受信機のトラブルの可能性が推定されているケースが数件報告有り。</p> <p>[事例] <b>推進系運転停止</b>：200 時間超の運転テレメトリデータから原因推定がなされたが、復旧は実現せず。以降推進系の運用が停止された状態で運用が行われた。</p>
運用休止期間が発生したもの	<p>[事例] <b>周波数干渉による運用制限</b>：周波数調整・無線局免許の制約から他の衛星との干渉を回避するために、運用できない期間が生じた。もしくは、その周波数帯が打上げ後に日本国内では限定されたところでしか使用できないことが明らかになった。衛星プロジェクト側ではこれを受け入れて運用された。事前に時間的余裕があれば、該当周波数を避けるように通信機の仕様変更を行えた可能性が言及されている。</p> <p>[事例] <b>地上設備トラブルによる運用休止期間の発生</b>：ケーブルの損傷や台風等による設備の損傷で、一時的に運用ができない期間が生じたケースが数件報告されている。</p> <p>[事例] <b>電力収支と姿勢状態の不安定による充電待機期間の発生</b>：電力確保モードの定義忘れ、運用者のミスによる意図しない消費電力の増加等でバッテリー電圧が回復するまでの期間、消費電力の大きな運用が継続できなかったケースが数件報告されている。</p>
運用終了に至ったもの	<p>[事例] <b>衛星との通信ができなくなった、衛星からのダウンリンク信号が受信できなくなった等</b>：原因解明に至っていないケースが数件の衛星で報告あり。突然途絶したケースや、徐々に信号の強度が弱くなっていったケースも有り、打上げ後数日～1 年程度と発生した期間は様々だが、打上げ直後からダウンリンク信号の受信が1 度もできなかった衛星は本調査では0 件であった。打上げ前の試験データ、設計情報の見直しから、CPU の放射線耐性やアンテナの電波特性的な設計不備・地上検証不備が報告されているケースも有る。</p>

### 5.1.3 機構の文書のうち「JAXA共通文書」の活用事例

実際の衛星開発や運用で JAXA 共通文書（JMR 及び JERG）を活用した事例を示す。なお、開発・運用後、結果的に活用すべきであったと判断された事例、衛星開発・運用に携わる学生・大学院生の教育への活用事例等を含めて調査を行った。

#### 5.1.3.1 活用状況

##### 5.1.3.1.1 事例毎の活用状況

JAXA 共通文書（JMR 及び JERG）の活用状況を調査した。表 5.1.3.1-1 に JAXA 共通文書活用状況を示す。

上表では、以下を記載している。

- ・プロジェクト No.
- ・プロジェクト名
- ・責任機関（実施の中心機関）
- ・事例（成功／事例の両方での記載があるか、成功事例、あるいは失敗事例の記載のみか、の区分）
- ・使用した JMR/JERG 文書（使用した JMR/JERG 文書の文書番号）

##### 5.1.3.1.2 文書ごとの活用事例数

JAXA 共通文書（JMR 及び JERG）の活用状況を文書毎に集計した。表 5.1.3.1-2 に文書ごとの活用状況を示す。なお、成功事例と失敗事例の場合とで表を区分した。

上表では、以下を記載している。

- ・JAXA 共通文書の文書番号
- ・文書名
- ・使用したプロジェクト No.
- ・合計件数

表 5.1.3.1-1(1/8) JAXA 共通文書活用状況

プロジェクト No.	1 (成功事例/失敗事例共通 No.)	2 (成功事例 No.)	3 (成功事例 No.)
プロジェクト名 責任機関 (実施の中心機関)	OrigamiSat-1/F0-98 東京工業大学 動設計学研究室 (坂本研)、および中西研究室	HODOYOSHI-3, 4 東京大学中須賀研究室, 次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA)	ほどよし1号機・推進系 東京都立大学 佐原研究室
事例	成功/失敗	成功	成功
使用した JMR/JERG 文書	JMR-001 JMR-002B JMR-003C JERG-2-213A JERG-2-130-HB001 JERG-2-130-HB003 JERG-2-130-HB005	JERG-2-411 JERG-0-031	JERG-0-001C JERG-1-007A JMR-002B JMR-003B JERG-0-025 JERG-2-320A JERG-2-130-HB002

表 5.1.3.1-1(2/8) JAXA 共通文書活用状況

プロジェクト No.	4 (成功事例 No.)	5 (成功事例 No.)	8 (成功事例 No.)
プロジェクト名 責任機関 (実施の中心機関)	ほどよし3号機・推進系 東京都立大学 佐原研究室	UNIFORM-1 東京大学中須賀研究室, 次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA), 和歌山大学	TRICOM-1, 熱真空試験 東京大学中須賀・船瀬研究室
事例	成功	成功	成功
使用した JMR/JERG 文書	JERG-0-001C JERG-1-007A JMR-002B JMR-003B JERG-0-025 JERG-2-320A JERG-2-130-HB002	JERG-2-411 JERG-0-031	JERG-2-130-HB005

表 5. 1. 3. 1-1 (3/8) JAXA 共通文書活用状況

プロジェクト No.	11 (成功事例/失敗事例共通 No.)	12 (成功事例 No.)	15 (成功事例/失敗事例共通 No.)
プロジェクト名 責任機関 (実施の中心機関)	MicrDragon (略称: MDG) 東京大学中須賀・船瀬研究室	50 kg 級衛星ミッション機器開発 非公開	RISESAT 東北大学吉田・萩原研究室/北海道大学 高橋研究室
事例	成功/失敗	成功	成功/失敗
使用した JMR/JERG 文書	JMR-001 JMR-002 JMR-003 JERG-2-025 JERG-2-100 JERG-2-130-HB001 JERG-2-130-HB003	JERG-2-130-HB005	JMR-001 JMR-002 JMR-003 JERG-1-007C JERG-2-213A JERG-2-320

表 5. 1. 3. 1-1 (4/8) JAXA 共通文書活用状況

プロジェクト No.	16 (失敗事例 No.)	17 (失敗事例 No.)	18 (失敗事例 No.)
プロジェクト名 責任機関 (実施の中心機関)	SPRITE-SAT (別名: RISING, 雷神) 東北大学吉田研究室・高橋研究室	RAIKO 東北大学吉田研究室	RISING-2 (雷神 2) 東北大学吉田研究室・北海道大学高橋 研究室
事例	失敗	失敗	失敗
使用した JMR/JERG 文書	JMR-001 JMR-002 JMR-003	JMR-001 JMR-002 JMR-003	JMR-001 JMR-002 JMR-003

表 5.1.3.1-1(5/8) JAXA 共通文書活用状況

プロジェクト No.	19(成功/失敗事例共通 No.)	20(成功/失敗事例共通 No.)	21(成功/失敗事例共通 No.)
概要	NEXUS	STARS	STARS-11
プロジェクト名	日本大学宮崎研究室	香川大学能見研究室	香川大学能見研究室
責任機関(実施の中心機関)	成功/失敗	成功/失敗	成功/失敗
事例	JMR-002B_N1 JMR-003C JERG-0-042B JERG-2-144 JERG-2-213A JERG-2-214 JERG-2-320-A	JERG-1-007 JMR-002 JMR-003	JERG-1-007 JMR-002 JMR-003

表 5.1.3.1-1(6/8) JAXA 共通文書活用状況

プロジェクト No.	23(成功/失敗事例共通 No.)	25(成功/失敗事例共通 No.)	26(成功/失敗事例共通 No.)
概要	STARS-A0	鳳龍式号	鳳龍四号
プロジェクト名	静岡大学能見研究室	九州工業大学衛星開発プロジェクト	九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー
責任機関(実施の中心機関)	成功/失敗	成功/失敗	成功/失敗
事例	JMR-002 JMR-003 JERG-1-007C JERG-2-213A JERG-0-001D JERG-0-042	JERG-1-007A JMR-002B JMR-003A	JERG-1-007A JMR-002B JMR-003A



表 5.1.3.1-1 (7/8) JAXA 共通文書活用状況

プロジェクト No.	30 (失敗事例 No.)	31 (失敗事例 No.)	32 (失敗事例 No.)
概要	(非公開)	(非公開)	(非公開)
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)	(非公開)	(非公開)
事例	失敗	失敗	失敗
使用した JMR/JERG 文書	JERG-2-411 JERG-0-031	JERG-2-411 JERG-0-031	JERG-2-130-HB005

表 5.1.3.1-1 (8/8) JAXA 共通文書活用状況

プロジェクト No.	36 (失敗事例 No.)
概要	(非公開)
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)
事例	失敗
使用した JMR/JERG 文書	JERG-0-001C JERG-1-007A JMR-002B JMR-003B JERG-0-025 JERG-2-320A JERG-2-130-HB002"

表 5.1.3.1-2(1/2) 文書ごとの活用状況（成功事例）

JAXA 文書番号	成功事例	件数	
		プロジェクトNo.	
JMR-001	システム安全標準	1, 11, 15,	3
JMR-002	ロケットパイロロード安全標準	1, 3, 4, 11, 15, 19, 20, 21, 23, 25, 26,	11
JMR-003	スペーススデブリ発生防止標準	1, 3, 4, 11, 15, 19, 20, 21, 23, 25, 26,	11
JERG-0-001C	宇宙用高圧ガス機器技術基準	3, 4, 23,	3
JERG-0-025	ロケット・人工衛星の機械部品及び構造材料選定基準	3, 4,	2
JERG-0-031	回線設計標準	2, 5,	2
JERG-0-039	宇宙用はんだ付工程標準	11,	1
JERG-0-040	宇宙用電子機器接着工程標準	11,	1
JERG-0-041	宇宙用電気配線工程標準	11,	1
JERG-0-042B	プリント基板と組立品の設計標準	19, 23,	2
JERG-1-007C	射場・飛行運用安全技術基準	3, 4, 15, 20, 21, 23, 25, 26,	8
JERG-2-025	公募小型副衛星 ハザード解析ハンドブック	11,	1
JERG-2-100	システム設計標準	11,	1
JERG-2-130-HB001	衝撃試験ハンドブック	1, 11,	2
JERG-2-130-HB002	音響試験ハンドブック	3, 4,	2
JERG-2-130-HB003	振動試験ハンドブック	1, 11,	2
JERG-2-130-HB005	熱真空試験ハンドブック	1, 8, 12,	3
JERG-2-144	微小デブリ衝突耐性評価基準	19,	1
JERG-2-200	電気設計標準	11,	1
JERG-2-212	ワイヤデザインング標準	11,	1
JERG-2-213A	絶縁設計標準	1, 15, 19, 23,	4
JERG-2-214	電源系設計標準	11, 19,	2
JERG-2-215	太陽電池パドル系設計標準	11,	1
JERG-2-320	構造設計標準	3, 4, 15, 19,	4
JERG-2-411	RF 通信系設計標準	2, 5,	2

表 5.1.3.1-2(2/2) 文書ごとの活用状況 (失敗事例)

JAXA 文書番号	失敗事例	プロジェクト No.	件数
JMR-001	システム安全標準	1, 11, 15, 16, 17, 18,	6
JMR-002	ロケットペイロード安全標準	1, 11, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 26, 36,	13
JMR-003	スペースデブリ発生防止標準	1, 11, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 26, 36,	13
JERG-0-001C	宇宙用高圧ガス機器技術基準	23, 36,	2
JERG-0-025	ロケット・人工衛星の機械部品及び構造材料選定基準	36,	1
JERG-0-031	回線設計標準	30, 31,	2
JERG-0-039	宇宙用はんだ付工程標準	11,	1
JERG-0-040	宇宙用電子機器接着工程標準	11,	1
JERG-0-041	宇宙用電気配線工程標準	11,	1
JERG-0-042B	プリント基板と組立品の設計標準	19, 23,	2
JERG-1-007C	射場・飛行運用安全技術基準	15, 20, 21, 23, 25, 26, 36,	7
JERG-2-025	公募小型副衛星 ハザード解析ハンドブック	11,	1
JERG-2-100	システム設計標準	11,	1
JERG-2-130-HB001	衝撃試験ハンドブック	1, 11,	2
JERG-2-130-HB002	音響試験ハンドブック	36,	1
JERG-2-130-HB003	振動試験ハンドブック	1, 11,	2
JERG-2-130-HB005	熱真空試験ハンドブック	1, 32,	2
JERG-2-144	微小デブリ衝突耐性評価基準	19,	1
JERG-2-200	電気設計標準	11,	1
JERG-2-212	ワイヤデイルレーティング標準	11,	1
JERG-2-213A	絶縁設計標準	1, 15, 19, 23,	4
JERG-2-214	電源系設計標準	11, 19,	2
JERG-2-215	太陽電池パドル系設計標準	11,	1
JERG-2-320	構造設計標準	15, 19, 36,	3
JERG-2-411	R F 通信系設計標準	30, 31,	2

### 5.1.3.2 検討

JAXA 共通文書は、2021年3月10日時点で合計90件がWebサイトに公開されており、大学衛星プロジェクト関係者においても、自由に閲覧・参照することが可能になっている。本アンケートでは、30件の利用実態が報告された。言及された数の多かったものを抜粋して表5.1.3.2-1に示す。アンケート中の記述を見ると、大部分のケースが、『安全審査・ロケット I/F』での要求や基準値への理解を深めるために用いられている。数件のケースでは、衛星のシステム設計やサブシステム・コンポーネント設計、および、実装技術・地上検証方法のための参考知識・ノウハウを調査するためのリファレンスとして使用された事例も報告されている。

表 5.1.3.2-1 JAXA 共通文書のうち報告の多かった上位 5 件の公開文書

JAXA 文書番号	文書名	参照されたプロジェクト数
JMR-002	ロケットペイロード安全標準	15
JMR-003	スペースデブリ発生防止標準	15
JERG-1-007C	射場・飛行運用安全技術基準	9
JMR-001	システム安全標準	6
JERG-2-320	構造設計標準	5

注) 匿名案件も含む

なお、使用頻度では、上位に入っていないが、教員へのヒアリングで、特に有用性が高いと認識されているのが、「JERG-2-130-HB001 衝撃試験ハンドブック」「JERG-2-130-HB002 音響試験ハンドブック」「JERG-2-130-HB003 振動試験ハンドブック」「JERG-2-130-HB005 熱真空試験ハンドブック」の各種試験ハンドブックである。ヒアリングでは、これらのハンドブックは技術的内容が充実しており、非常に重要で精読が必要であるとの意見がだされている。但し、学生や初心者には難しいので、これらのハンドブックが読めるようになるまでの教育やガイド、及び、実施に試験をして学習させる機会の創出が重要と考えている。

また、これらのハンドブックに限らず、今後、JAXA 殿で「標準文書の適用に際しての考え方や解説・要点等」に関する教育やガイドの機会を創出していただけると有益と考える。

## 5.1.4 マネジメントの方法、及びその方法の長所／短所、もしくは課題

### 5.1.4.1 成功事例におけるマネジメント方法

成功事例におけるマネジメント方法を表 5.1.4.1-1～表 5.1.4.1-20 に示す。

各表には以下の事項が記載されている。

- ・ プロジェクト No.
- ・ プロジェクト名
- ・ 責任機関（実施の中心機関）
- ・ 事例 No.
- ・ 発生年月
- ・ 区分（設計段階、試験段階、運用段階等の区分）
- ・ 成功事例（成功事例の概要）
- ・ マネジメント方法
- ・ 実施体制
- ・ 採用した方法の長所
- ・ 採用した方法の短所
- ・ 課題

表 5.1.4.1-1 OrigamiSat-1/F0-98 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	1	
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98	
責任機関（実施の中心機関）	東京工業大学 動設計学研究室（坂本研）、および中西研究室	
成功事例におけるマネジメント方法		
事例 No.	1	
発生年月	2019年1月18日	
区分	運用	
成功事例	初期運用で地上局でのテレメトリ取得、コマンドアップリンクに成功した。	
マネジメント方法	開発の最終段階で、下記の5人の学生が、同一開発場所で極めて緊密に作業を実施した。「PICマイコン回路とUHF/VHF無線機の回路ハードウェアの担当（＝学生プロマネ）」「PICマイコンのプログラム担当」「UHF/VHF展開機構の担当」「地上局～衛星間の通信試験の担当」「地上局ソフトウェアの開発担当」。冒頭の学生プロマネ（＋教員）がシステム全体のバランスを取りつつ、5人がスクラムを組んで実装・試験をした。開発途中にはあまり文書を作成せず、ホワイトボード上の議論で十分だった。ある段階であまりに文書がないので、教員がヒアリングをして回り、最低限の文書を作って他の学生へ共有する、という作業を行った。	
実施体制	学生プロマネ1名、サブシステム担当学生4人が開発の実働となり、進捗管理も学生プロマネが行っていた。教員は課題に直面した学生の話聞いて、助言がもらえる人に一緒に相談する役割を担った。また、文書化しきれていない部分をヒアリングして代筆する役割を担った。展開アンテナ（特注品のコンベックステープ）の製造業者、基板作成業者、無線機製造業者らとのやり取りも基本は学生が主体的に実施していた（責任者は教員だが、学生に大きな権限を任せた）。	
採用した方法の長所	5人程度のチームであれば同一拠点で共に作業することでコミュニケーションの齟齬が起きにくく、文書化の負荷を感じずに作業ができる。また、文書化はやはり教員が一番得意なので、適材適所の人員配置である。	
採用した方法の短所	学生プロマネの負担が極めて大きい。作業をしながらシステムも見れるような逸材がいることが前提のマネジメントになってしまっている。	
課題	学生が見る範囲が衛星の部分になればなるほど、衛星開発に対し当事者意識が希薄となり、「キツイ労働」となってしまう。したがって、担当の分担を行いつつもかつ、その学生が衛星開発に打ち込めるよう、個々の人となりに応じた文脈での作業分担が重要となる。	



表 5.1.4.1-2(1/2) HODOYOSHI-3, 4 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	2	
プロジェクト名	HODOYOSHI-3, 4	
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀研究室, 次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA)	
成功事例におけるマネジメント方法		
事例 No.	1	2
発生年月	2014 年 6 月	2014 年 6 月
区分	運用	運用
事例概要	継続的な S 帯通信の確立	スピン太陽指向の継続的な達成
マネジメント方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最終的には, 1 人の技術責任者にほぼすべての情報を集約する少人数のチームでの開発体制におちついた.</li> <li>・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行った.</li> </ul>	
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プロジェクト専任技術者が, 設計開発試験担当となりメーカーインターフェイスもになった. 一部の博士課程学生以外は基本的には責任者ではなく, 開発補助要員としての参加となった.</li> </ul>	
採用した方法の長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, システム間の不整合などの発生は排除できた.</li> </ul>	
採用した方法の短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, 過負荷となる人員が増加した.</li> </ul>	
課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・短期間集中プロジェクトの場合, 少人数チームでの即応的な開発が望ましいが, 個々人の負荷がまし, チームの崩壊や人的要因によるボトルネックが発生しスケジュール遅延も起こりやすい</li> </ul>	
成功事例におけるマネジメント方法		
事例 No.	3	4
発生年月	2014 年 6 月	2014 年 6 月
区分	運用	運用
事例概要	3 軸姿勢制御による太陽指向	3 軸姿勢制御による地球指向
マネジメント方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最終的には, 1 人の技術責任者にほぼすべての情報を集約する少人数のチームでの開発体制におちついた.</li> <li>・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行った.</li> </ul>	
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プロジェクト専任技術者が, 設計開発試験担当となりメーカーインターフェイスもになった. 一部の博士課程学生以外は基本的には責任者ではなく, 開発補助要員としての参加となった.</li> </ul>	
採用した方法の長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・不具合対応策の検討実施がほぼ個人で閉じていたため, 遠隔地でも時間等にこだわらずに遂行できた</li> </ul>	
採用した方法の短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・確認会議などは開催していたが, ほぼ個人で閉じていたため, 判断ミスが見逃される可能性はあった</li> </ul>	
課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運用時における開発チームの維持など</li> </ul>	

表 5.1.4.1-2(2/2) HODOYOSHI-3, 4 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	2	
プロジェクト名	HODOYOSHI-3, 4	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀研究室, 次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA)	
成功事例におけるマネジメント方法		
事例 No.	5	6
発生年月	2014 年 6 月	2014 年 6 月
区分	運用	運用
事例概要	ミッションデータダウンリンク	軌道上での運用モード再定義
マネジメント方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最終的には, 1 人の技術責任者にほぼすべての情報を集約する少人数のチームでの開発体制におちついた.</li> <li>・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行った.</li> </ul>	
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プロジェクト専任技術者が, 設計開発試験担当となりメーカーインターフェイスもになった. 一部の博士課程学生以外は基本的には責任者ではなく, 開発補助要員としての参加となった.</li> </ul>	
採用した方法の長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, システム間の不整合などの発生は排除できた.</li> </ul>	
採用した方法の短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, 過負荷となる人員が増加した.</li> </ul>	
課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・短期間集中プロジェクトの場合, 少人数チームでの即応的な開発が望ましいが, 個々人の負荷がまし, チームの崩壊や人的要因によるボトルネックが発生しスケジュール遅延も起こりやすい</li> </ul>	

表 5.1.4.1-3 ほどよし 1号機・推進系 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	3	
プロジェクト名	ほどよし 1号機・推進系	
責任機関（実施の中心機関）	東京都立大学 佐原研究室	
成功事例におけるマネジメント方法		
事例 No.	1	
発生年月	2014 年～2020 年	
区分	サブシステム（推進系）	
事例概要	一液式推進系について、上記の期間内で複数回、本学と AXELSPACE の共同で軌道上作動を行い、これに成功した。また衛星軌道の変化も観察された。	
マネジメント方法	・開発の責任は教員のみが有し、学生は自身の学位論文のための研究として開発及び試験に専念できた。	
実施体制	教員 1 名：推進系及び電子系の設計、製造、各種試験、射場作業、運用 学生 3 名：各種試験、射場作業、運用（運用は内 1 名のみ）	
採用した方法の長所	学生には開発の責任を追わせられない現状には合致していた。	
採用した方法の短所	学生は全容を理解していない部分があった。	
課題	学生を参加させる場合は、責任を課さない一方で、全容を把握させることは必要であった。	

表 5.1.4.1-4 ほどよし 3号機・推進系 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	4	
プロジェクト名	ほどよし 3号機・推進系	
責任機関（実施の中心機関）	東京都立大学 佐原研究室	
成功事例におけるマネジメント方法		
事例 No.	1	
発生年月	2014 年～2015 年	
区分	サブシステム（推進系）	
事例概要	一液式推進系について、上記の期間内で複数回、本学と NESTRA の共同で軌道上作動を行い、これに成功した。	
マネジメント方法	・開発の責任は教員のみが有し、学生は自身の学位論文のための研究として開発及び試験に専念できた。	
実施体制	教員 1 名：推進系及び電子系の設計、製造、各種試験、射場作業、運用 学生 3 名：各種試験、射場作業、運用（運用は内 1 名のみ）	
採用した方法の長所	学生には開発の責任を追わせられない現状には合致していた。	
採用した方法の短所	学生は全容を理解していない部分があった。	
課題	学生を参加させる場合は、責任を課さない一方で、全容を把握させることは必要であった。	

表 5.1.4.1-5 UNIFORM-1 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	5			
プロジェクト名	UNIFORM-1			
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀研究室，次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA)，和歌山大学			
成功事例におけるマネジメント方法				
事例 No.	1	2	3	4
発生年月	2014 年 5 月	2014 年 5 月	2014 年 6 月	2014 年 6 月
区分	運用	運用	運用	運用
事例概要	継続的な S 帯通信の確立	スピン太陽指向の継続的な達成	3 軸姿勢制御による太陽指向	3 軸姿勢制御による地球指向
マネジメント方法	・最終的には，類似衛星との差分の検証試験項目をミッション系主導で開発していく体制となった。		・最終的には，類似衛星との差分の検証試験項目をミッション系主導で開発していく体制となった。	
実施体制	・プロジェクト専任技術者が，設計開発試験担当となりメーカーインターフェイスもになった。一部の博士課程学生以外は基本的には責任者ではなく，開発補助要員としての参加となった。		・プロジェクト専任技術者が，設計開発試験担当となりメーカーインターフェイスもになった。一部の博士課程学生以外は基本的には責任者ではなく，開発補助要員としての参加となった。	
採用した方法の長所	・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため，システム間の不整合などの発生は排除できた。		・不具合対応策の検討実施がほぼ個人で閉じていたため，遠隔地でも時間等にこだわらずに遂行できた	
採用した方法の短所	・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため，過負荷となる人員が増加した。		・確認会議などは開催していたが，ほぼ個人で閉じていたため，判断ミスが見逃される可能性はあった	
課題	・短期間集中プロジェクトの場合，少人数チームでの即応的な開発が望ましいが，個々人の負荷がまし，チームの崩壊や人的要因によるボトルネックが発生しスケジュール遅延も起こりやすい		・運用時における開発チームの維持など	
成功事例におけるマネジメント方法				
事例 No.	5			
発生年月	2014 年 5 月			
区分	運用			
事例概要	ミッションデータダウンリンク			
マネジメント方法	・最終的には，類似衛星との差分の検証試験項目をミッション系主導で開発していく体制となった。			
実施体制	・プロジェクト専任技術者が，設計開発試験担当となりメーカーインターフェイスもになった。一部の博士課程学生以外は基本的には責任者ではなく，開発補助要員としての参加となった。			
採用した方法の長所	・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため，システム間の不整合などの発生は排除できた。			
採用した方法の短所	・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため，過負荷となる人員が増加した。			
課題	・短期間集中プロジェクトの場合，少人数チームでの即応的な開発が望ましいが，個々人の負荷がまし，チームの崩壊や人的要因によるボトルネックが発生しスケジュール遅延も起こりやすい			

表 5.1.4.1-6 PRISM 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	7				
プロジェクト名	PRISM/ひとみ				
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀・船瀬研究室				
成功事例におけるマネジメント方法					
事例 No.	1	2			
発生年月	2009 年	2009 年			
区分	運用	運用			
事例概要	初期運用後、望遠鏡のための伸展ブームの展開に成功した。	伸展ブームによる望遠鏡を用いて 30m(20m) 分解能の地上画像取得に成功した。			
マネジメント方法	学生 1 名がそれぞれ 2 つのサブシステムを担当し、サブシステム MTG を実施した際に、その場で他のサブシステムの状況把握が容易となるようにした。	学生 1 名がそれぞれ 2 つのサブシステムを担当し、サブシステム MTG を実施した際に、その場で他のサブシステムの状況把握が容易となるようにした。			
実施体制	教員 1 名~2 名 学生 1 名 (学生プロマネ) 学生 約 1 名 (バス部、ミッション部開発)	教員 1 名~2 名 学生 1 名 (学生プロマネ) 学生 約 11 名 (バス部、ミッション部開発)			
採用した方法の長所	サブシステム間の I/F 調整が比較的容易となる。	サブシステム間の I/F 調整が比較的容易となる。			
採用した方法の短所	1 人では見ることができる範囲が限られており、一つのサブシステムをより深くみることができにくくなる傾向にあると思われる。	1 人では見ることができる範囲が限られており、一つのサブシステムをより深くみることができにくくなる傾向にあると思われる。			
課題	N/A	N/A			
成功事例におけるマネジメント方法					
事例 No.	3	4	5	6	7
発生年月	2009 年	2009 年	2009 年	2009 年	2009 年
区分	運用	運用	運用	運用	運用
事例概要	初期運用時において磁気トルカ (Bodt 則) により能動的に角速度レートを低減することに成功した。	初期運用時において磁気トルカ (クロスプロダクト則) により能動的に角速度レートを低減することに成功した。	残留磁気モーメントの推定	残留磁気モーメントの補償	ジャイロセンサー・磁気センサーキャリブレーション
マネジメント方法	サブシステム内での担当学生の人数が少なく、担当者間での意思疎通や意思決定に時間を必要としなかった。				
実施体制	教員 1 名~2 名 学生 1 名 (学生プロマネ) 学生 1 名				
採用した方法の長所	サブシステム間の I/F 調整が比較的容易となる。				
採用した方法の短所	1 人では見ることができる範囲が限られており、一つのサブシステムをより深くみることができにくくなる傾向にあると思われる。				
課題	N/A				

表 5.1.4.1-7 TRICOM-1, 熱真空試験 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	8	
プロジェクト名	TRICOM-1, 熱真空試験	
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀・船瀬研究室	
成功事例におけるマネジメント方法		
事例 No.	1	
発生年月	2016年11月	
区分	地上試験	
事例概要	FM システムでの熱数学モデル検証および低温真空環境下動作試験	
マネジメント方法	N/A	
実施体制	N/A	
採用した方法の長所	地上試験の重要性をプロジェクト側に理解していただき, 実施できた	
採用した方法の短所	N/A	
課題	N/A	



表 5.1.4.1-8 PROCYON 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	10	
プロジェクト名	PROCYON	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀・船瀬研究室	
成功事例におけるマネジメント方法		
事例 No.	1	2
発生年月	2014 年 12 月 3 日の打ち上げ	2014 年 12 月 4 日以降
区分	システム	推進系サブシステム+ 姿勢制御サブシステム
事例概要	<p>PROCYON の打ち上げに成功し、打ち上げ直後の第一可視で電波の受信に成功。第一可視で取得したテレメトリから、太陽電池が正しく展開、太陽捕捉姿勢制御が成功し電力収支もプラスであることが確認できた。</p> <p>探査機温度も想定範囲内に入っており、探査機生存に必要な基本機能が全て満足していることが確認できた。</p> <p>ヒーター制御、バッテリー充放電などの健全性も確認した。</p>	<p>CGJ 推進系による RW アンローディングに成功した。以降、探査機全体の角運動量を適切に管理できるようになった</p>
事例 No.	3	4
発生年月	2014 年 12 月 6 日から 2014 年 12 月 9 日	2014 年 12 月 11 日以降
区分	姿勢制御サブシステム	姿勢制御サブシステム、ミッションサブシステム
事例概要	<p>太陽捕捉姿勢状態でスターセンサの電源投入・正常動作確認に成功し、三軸姿勢制御モードに入った。三軸姿勢制御モード状態での目標姿勢変更にも成功し、MGA (Middle Gain Antenna) を地球に指向させ、地上局と通信することに成功した。</p>	<p>カルマンフィルタを用いた高精度姿勢決定系の動作に成功し、目標である姿勢安定度 (0.02deg@200 秒、0.003deg@10 秒) を達成した。</p> <p>その後、搭載している望遠鏡でジオコロナの撮像、彗星から放出する水素の撮像、天体写真の撮像、地球・月の撮像に成功した</p>
事例 No.	5	6
発生年月	2014 年 12 月 28 日から 2015 年 3 月中旬	運用期間中
区分	推進系	システム
事例概要	<p>イオンエンジンの動作に成功し、360uN の推力で合計 223 時間の運転に成功した。</p>	<p>様々なトラブルが発生したが、適切に対処し、探査機損失を回避することに成功した。(詳細は失敗事例参照)</p>
マネジメント方法	N/A	
実施体制	<p>教員: 全体を広く浅く把握、不具合管理、スケジュール・人員管理、全体方針ぎめ</p> <p>学生: 担当部分を狭く深く理解、実際に手を動かして各種試験を行う</p> <p>学外関係者(専門家): 学生に寄り添った(同じチームと考えることができるような)アドバイザー</p> <p>学外関係者(メーカー): ほぼ全てが国産コンポだったこともあり、不具合などに関して親身に相談に乗ってくれた</p>	
採用した方法の長所	<p>姿勢系のマネジメントとしては、これまでに書いたとおり「ISAS 専門家+やる気のある学生」でうまく連携できるように定期的ミーティングの質の向上に努めた。また、学生の中では、同じ時間帯に一緒に作業を行い疑問点などをクイックに潰していくようにした</p>	
採用した方法の短所	<p>PROCYON 全体に言えるが、時間が無く昼夜問わず試験を行いブラックだった</p>	
課題	<p>衛星開発のブラック体質を是正するため、各種作業の効率化・合理化が必要だと思う</p>	

表 5.1.4.1-9 MicroDragon 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	11	
プロジェクト名	MicroDragon(略称：MDG)	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀・船瀬研究室	
成功事例におけるマネジメント方法		
事例 No.	1	2
発生年月	2019年1月	2019年1月
区分	運用	運用
事例概要	初期運用で太陽電池パドルの展開に成功した	初期運用で3軸姿勢制御の達成に成功した
マネジメント方法	実績のある方式、ハードウェア、運用手順を維持し続けることを選択した。システム側が展開機構の I/F 要求を熟知しており、展開機構側からの変更の要望の意図を確実に汲み取ってシステム側に反映した。システム側－展開機構側は常に同じ人通しの1対1のコミュニケーションで間にノイズが入らない。	
実施体制	教員/専任スタッフ 1名（システム&電気系担当） 学外エンジニア 1名（展開機構ハードウェア設計、実装、試験） 学生は開発・地上検証には、不参加だが、仕様を理解した上で運用手順に反映した	教員/専任スタッフ 3-4名（システム&電気系担当、姿勢制御系担当） 学生 2名（ベトナム人：ベトナムから遠隔参加）
採用した方法の長所	必要最小限の人数で、効率的にやり取りが行える	
採用した方法の短所	どちらかが欠けると成立しない、人に依存している	
課題	長期的視点での技術継承、伝達方法の構築	

表 5.1.4.1-10 50 kg 級衛星ミッション機器開発 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	12	
プロジェクト名	50 kg 級衛星ミッション機器開発	
責任機関（実施の中心機関）	非公開	
成功事例におけるマネジメント方法		
事例 No.	1	
発生年月	2016 年 1 月	
区分	地上試験	
事例概要	FM ミッション機器およびミッション機器放熱システムの熱数学モデル構築および検証試験	
マネジメント方法	N/A	
実施体制	ミッション機器開発責任者（特任教員），電子回路設計者（メーカー），構造設計・解析（技術職員），機器くみ上げ，検証試験（特任教員，研究員），環境試験（研究員 2 名，特任教員 1 名），試験補助員（学生 2 名）	
採用した方法の長所	ミッション機器についてはそれぞれ担当箇所について責任をもち，計画立案遂行をおこなった。	
採用した方法の短所	システム・バス開発チームとの情報共有ができなかった	
課題	複数組織でのプロジェクトを行う場合は，現場レベル・組織レベルでのプロジェクト目標や連携に対する認識が共有されていないとうまくいかない	

表 5.1.4.1-11 KKS-1 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	13	
プロジェクト名	KKS-1（輝汐）	
責任機関（実施の中心機関）	東京都立産業技術高等専門学校	
成功事例におけるマネジメント方法		
事例 No.	1	2
発生年月	2009 年 1 月	2009 年 1 月
区分	運用	運用
事例概要	2009 年 1 月 H2A ロケット無償相乗りの打ち上げ後に，自作の分離機構で衛星を分離できた。	2009 年 1 月 H2A ロケット無償相乗りの打ち上げ後に，衛星はアンテナ展開して，CW 送信してきた。
マネジメント方法	毎日教員と学生が 1 対 1 グループで会議を行う。毎日学生間中心で夕会を行う。	
実施体制	教員と学生 12 名（衛星打上最終年度）。	
採用した方法の長所	BBM や EM 段階では学生によって技術力が違うため，会議をしながら時間をかけて教育指導ができる。教員側は全体の把握がしやすい。学生側は教員から教育を受けながら，いつまで何をすべきか理解することができる。	
採用した方法の短所	教員が多忙時，不在時は，学生が自分で動けないときも。学生間での情報共有がやや少なくなる（補うために夕会を行った）。	
課題	全くの初心者からの基礎技術の効率的な習得。学業との両立。長期的視点での技術継承、伝達方法の構築。	

表 5.1.4.1-12 QSAT-EOS 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	14	
プロジェクト名	QSAT-EOS	
責任機関（実施の中心機関）	九州大学	
成功事例におけるマネジメント方法		
事例 No.	1	2
発生年月	2014年11月～	2015年10月
区分	運用	運用
事例概要	1年以上にわたり S バンドによるコマンド・テレメトリの送受信ができた	リアクションホイールによる三軸姿勢制御
マネジメント方法	メーカーと学生、教員が月に2度程度のミーティングを行い情報を共有する	
実施体制	コーディングやハードの設計製造はメーカー中心、試験は学生と QPS 研究所が中心となり担当	
採用した方法の長所	メーカーとの共同開発であったことで、専門的知見が得られ、また学生がいなくなってもプロジェクト全体としてはスムーズに引き継ぎが可能であった。これらのことから、衛星の成功に対しては共同開発は一定の成果があったと考える。	
採用した方法の短所	打ち合わせの機会に限られる。また、教育的観点からはメーカーに頼った開発となることで学生の理解・主体性が損なわれる。	
課題	N/A	

表 5.1.4.1-13 RISESAT 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	15	
プロジェクト名	RISESAT	
責任機関（実施の中心機関）	東北大学吉田・栗原研究室/北海道大学高橋研究室	
成功事例におけるマネジメント方法		
事例 No.	1	
発生年月	2016年2月	
区分	サブシステム	
事例概要	衛星の計装に使用するコネクタに D-Sub コネクタを採用したことにより、作業性の向上を図ることができた。	
マネジメント方法	専任助教がプロジェクトマネジメントを担当し、電源系及びハーネスの設計についても同一の助教が主担当を務め、衛星運用の経験を有する別の助教がサポートを行った。電源系の設計に関しては外部の有識者に助言を求めた。	
実施体制	専任の助教1名がプロジェクトマネジメント及び開発主任を務め、その助教が指導する学生がバスシステムの開発とシステムインテグレーションを担当した。コンポーネントの開発においてメーカーに外注を行ったもの、またメーカーから既存品を調達したものがある。ペイロード担当機関との調整は専任の助教が個別に時分割的に対応する形とせざるを得なかった。開発の責任はプロジェクトマネージャーにあり、定期的なプロジェクト会議で、関係者の助言を聞いて遂行する形をとった。	
採用した方法の長所	プロジェクトマネージャーがプロジェクト、及びシステムの全てを掌握する形で進めることができ、決定事項の一貫性を保つことができた。	
採用した方法の短所	プロジェクトマネージャーのみが全体を見渡せる状況となり、機器開発担当機関とのインターフェースを一手に担う形となり、労力が一点に集中した。	
課題	システム全体を理解するエンジニアが複数人存在することが肝要と思われる。プロジェクトマネージャーが細かな調整を一人で隔々まで実施することは、能力的には可能であっても、時間的に克服できない壁があることを認識しておく必要があった。	

表 5.1.4.1-14 STARS 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	20		
プロジェクト名	STARS		
責任機関（実施の中心機関）	香川大学能見研究室		
成功事例におけるマネジメント方法			
事例 No.	1	2	3
発生年月	2009 年 1 月	2009 年 4 月	2009 年 2 月
区分	運用	運用	運用
事例概要	初期運用 太陽電池パドル展開、CW 受信、FM アップリンク・ダウンリンク、Bluetooth 衛星間通信に成功	親子同時 CW 受信に成功、親子識別したアップリンク&ダウンリンクに成功	カメラ撮影&ダウンリンク カメラ撮影に成功、太陽光入射を踏まえた撮影に成功、地球が写った画像のダウンリンク成功
事例 No.	4	5	6
発生年月	2009 年 3 月	2009 年 4 月	2019 年 1 月
区分	運用	運用	運用
事例概要	テザー伸展に成功 初回に失敗したが、数度のトライにより成功	ロボットアーム動作確認成功 角度指令の動作確認後に、姿勢フィードバックに応じたロボットアームの制御に成功	CW 受信成功(打ち上げ 10 年後)
マネジメント方法	搭載品製造は各担当企業に任せ、横の連携とコミュニケーションを持つ場を設け、統合試験はアマチュア無線家の協力を得て、各サブシステムを学生が担当、全期間（フェーズ）を通じて参加している。		
実施体制	教員は 1 名、全体を把握。 サブシステムに学生を最低 1 名配置。 学生は、外注先からの指導で試験実施、運用ではアマチュア無線家に指導してもらう。学生を通じて外部の方も全体が見えていたかもしれない。		
採用した方法の長所	各サブシステムに学生を配置、外部との連携を図った。		
採用した方法の短所	外部無償協力を頼りすぎた。		
課題	長期視点での技術継承（とくにノウハウ的なもの）		

表 5.1.4.1-15 STARS-II 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	21		
プロジェクト名	STARS-II		
責任機関（実施の中心機関）	香川大学能見研究室		
成功事例におけるマネジメント方法			
事例 No.	1	2	3
発生年月	2014/2	2014/3	2014/3
区分	コンポーネント	運用	運用
事例概要	スプール式で収納した導電性テザーの搭載、フィラメントを用いたテザー電流収集を目的とした電子エミッター装置の搭載に成功した。	初期運用で親衛星および小衛星の CW 受信とくに子機 CW が強力な電波であった。子機は新規開発フィルムアンテナであり、その性能確認ができた。	CW データから、メイン CPU 起動を確認
マネジメント方法	共同研究の枠組みがうまく作用させることができた。	アマチュア無線家およびアマチュア技術家と連携。	
実施体制	各機関、研究者一名、学生 1-2 名。研究者が主導し、学生指導により開発を進めた。	同上	
採用した方法の長所	共同研究契約がうまく作用した。	同上	
採用した方法の短所	N/A	アマチュア無線家の勘に頼り、試験等が十分でないこともある。	
課題	継続的な共同研究が必要。	N/A	
成功事例におけるマネジメント方法			
事例 No.	4	5	6
発生年月	2014/3	2014/3	2014/3
区分	運用	運用	運用
事例概要	テザー伸展に成功。300m 伸展できたことを推定。大気圏再突入までの期間短縮に成功	大気圏再突入の周回を確認した	望遠鏡による光学観測に成功
マネジメント方法	アマチュア無線家およびアマチュア技術家と連携。		各天文台で試行錯誤して観測を実施。各天文台固有のノウハウ、技術を活用してもらった。
実施体制	同上		メールおよび HP での運用情報の公開。
採用した方法の長所	同上		ボランティアで参加してくれ、各地に点在するため数が多いので、観測できる可能性もアップする。
採用した方法の短所	アマチュア無線家の勘に頼り、試験等が十分でないこともある。		興味を持つスタッフのいる天文台は積極的、そうでない場合は余計な仕事となるため難しい。
課題	N/A		天文台スタッフが興味を持つようにアピールすること。



表 5.1.4.1-16 STARS-C 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	22	
プロジェクト名	STARS-C	
責任機関（実施の中心機関）	静岡大学能見研究室・山極研究室	
成功事例におけるマネジメント方法		
事例 No.	1	2
発生年月	2016/12	2017/4
区分	運用	運用
事例概要	初期運用において、親子 CW 受信成功	初期段階にパドル展開不良が推定されたが、完全展開に成功。電力不足による再起動により、展開ができたことになる。
マネジメント方法	香川アマチュア無線家の参加を遠隔で行った。	運用体制の管理。
実施体制	システムは教員が設計、アンテナおよび地上局はアマチュア無線家が設計、学生が作業を行った。	教員と学生が主体となって設計製造。
採用した方法の長所	衛星開発経験のあるアマチュア無線家の参加が功を奏した。	学生が製造したが、テグス切断試験を繰り返し、徹底的に行った。
採用した方法の短所	香川アマチュア無線家の協力であったため、遠隔となり、学生への直接指導ができなかった。	自主製作、自主試験とし、外部評価を行っていない。
課題	遠隔指導による製造技術の指導。	ヒーターカッターに関する情報収集運土を十分にできていなかった。
成功事例におけるマネジメント方法		
事例 No.	3	4
発生年月	2017/9	2016/12-2017/11
区分	運用	運用
事例概要	親子を分離し、テザーを伸展することに成功。 FM パケットによる詳細データを取得できなかったが、ヒーターカッターによる親子分離コマンドを数回送信、分離に成功しテザー伸展を行うことができた。テザー伸展結果は TLE による軌道降下から確認。	望遠鏡による光学観測に成功。 動画撮影結果からは、姿勢変動推定をすることができた。
マネジメント方法	運用体制の管理。	アマチュア無線家との交流と同様、アマチュア天文家、天文台との交流が重要であり、功を奏した。
実施体制	教員と学生が主体となって設計製造。	既存の全国公共天文台協会での交流。
採用した方法の長所	学生が製造したが、テグス切断試験を繰り返し、徹底的に行った。	コミュニケーション
採用した方法の短所	自主製作、自主試験とし、外部評価を行っていない。	個々の天文台との交流を全て行うことが難しい。積極的な天文台とは有益な情報交換により実施ができた。
課題	ヒーターカッターに関する情報収集運土を十分にできていなかった。	超小型衛星観測への興味を持ってもらうこと。

表 5.1.4.1-17 STARS-A0 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	23	
プロジェクト名	STARS-A0	
責任機関（実施の中心機関）	静岡大学能見研究室	
成功事例におけるマネジメント方法		
事例 No.	1	2
発生年月	2018/10	2018/10
区分	運用	運用
事例概要	ロケットへの搭載ができた	初期運用において非常に強い CW 信号を受信できた。 FM パケットによるコマンド送信および受信に成功した。
事例 No.	3	4
発生年月	2018/11	2019/3
区分	運用	運用
事例概要	軌道上における通信系設定操作に成功した。コールサイン書換等。	数カ月の電波停止後に復旧に成功した。
マネジメント方法	アマチュア技術家で、得意なところを担当して頂き、適任の人がいない場合は基本過去の実績を踏襲した。基本的にはうまくいったが、学生の参加にハードルがあったような気もする。また、静大教員のみ離れていたことで、作業進捗が十分に把握できていなかったため、試験などの時間にしわ寄せがいった感じがある。	
実施体制	教員 1 名でマネジメント、アマチュア技術家が各担当を受け持ち、学生はアマチュア技術家の指導により作業を行った。運用は学生中心であった。	
採用した方法の長所	協力体制はよかった。	
採用した方法の短所	遠隔で、技術者と学生が分かれていたことで、教育含めた進め方が難しかった。	
課題	N/A	

表 5.1.4.1-18 STARS-Me 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	24		
プロジェクト名	STARS-Me		
責任機関（実施の中心機関）	静岡大学		
成功事例におけるマネジメント方法			
事例 No.	1	2	3
発生年月	2018/10	2018/10	2018/11
区分	運用	運用	運用
事例概要	初期運用で CW 受信に成功	コマンド送信を受信したことを CW から確認	ミッション CPU の起動に成功
マネジメント方法	N/A		
実施体制	教員トップダウン。 宇宙開発経験メーカーへの外注。		
採用した方法の長所	教員トップダウンで短期間に開発できた。		
採用した方法の短所	多くの目での検証が不足していた。		
課題	教員間の連携。		

表 5.1.4.1-19 鳳龍弐号 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	25		
プロジェクト名	鳳龍弐号		
責任機関（実施の中心機関）	九州工業大学衛星開発プロジェクト		
成功事例におけるマネジメント方法			
事例 No.	1	2	3
発生年月	2012年7月	2019年1月	2019年1月
区分	運用	運用	運用
事例概要	メインミッションである高電圧発電に成功した。	ミッションの一つである軌道上でのプラズマ干渉による高電圧太陽電池の放電検知に成功した。	ミッションの一つである軌道上での受動的電子放出素子の実証実験に成功した
マネジメント方法	N/A		
実施体制	衛星プロジェクトは学生主導で行なったが、ミッション機器の開発は、卒論・修論の一環でもあったので、教員が衛星帯電の専門家の観点から常に指導を行なった。修論として文書化したので、引き継ぎもうまくいった。	衛星プロジェクトは学生主導で行なったが、ミッション機器の開発は、卒論・修論の一環でもあったので、教員が衛星帯電の専門家の観点から常に指導を行なった。	太陽電池パネルを外部から供給してもらった。
採用した方法の長所	N/A		
採用した方法の短所	N/A		
課題	N/A		

表 5.1.4.1-20 鳳龍四号 成功事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	26	
プロジェクト名	鳳龍四号	
責任機関（実施の中心機関）	九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー	
成功事例におけるマネジメント方法		
事例 No.	1	2
発生年月	2016年2月	打上げ後～現在
区分	運用	電源系
事例概要	メインミッションである太陽電池放電の電流計測と画像取得に成功した。(参考文献[5.1-10])	衛星のリセットがうまく機能した。鳳龍弐号の場合、H8マイコンの度重なるSEL(シングルイベントラッチアップ)により、衛星運用の中断を余儀なくされたが、鳳龍四号では衛星のリセットは多数発生したものの、その度に衛星は無事に立ち上がっている。
マネジメント方法	N/A	衛星のリセット機能については、重点項目として教員が常に注意を払っており、学生に随時進捗状況を個別に聞いていた。
実施体制	専任スタッフに加えて、開発を補佐する学生を1名つけ、2人体制で行った。最終的にこの学生は、打ち上げ後の後期運用のプロマネに成長した。	N/A
採用した方法の長所	N/A	
採用した方法の短所	N/A	
課題	N/A	

#### 5.1.4.2 失敗事例におけるマネジメント方法

失敗事例におけるマネジメント方法を表 5.1.4.2-1～表 5.1.4.2-18 に示す。  
各表には以下の事項が記載されている。

- ・ プロジェクト No.
- ・ プロジェクト名
- ・ 責任機関（実施の中心機関）
- ・ 事例 No.
- ・ 発生年月
- ・ 区分（設計段階、試験段階、運用段階等の区分）
- ・ 失敗事例（失敗事例の概要）
- ・ マネジメント方法
- ・ 実施体制
- ・ 採用した方法の長所
- ・ 採用した方法の短所
- ・ 課題

表 5.1.4.2-1(1/5) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	1	
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98	
責任機関（実施の中心機関）	東京工業大学 動設計学研究室（坂本研）、および中西研究室	
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法		
事例 No.	1	2
発生年月	2016年8月ごろから衛星引き渡し2018年11月23日の引き渡しまで	2016年8月ごろから衛星引き渡し2018年11月23日の引き渡しまで
区分	システム	システム
事例概要	<p>バス系の基本ソフト開発の遅れ バスのソフトウェア全般のフライトモデル版を東工大の坂本研・中西研で開発していたが、2018年11月23日の引き渡し直前まで完成しなかった。結果としてフライトソフトウェア最終版の長時間動作試験を実施しないまま引き渡しを行うこととなり、失敗事例 No. 11, No. 12 に記載する軌道上の不具合の見落としにつながった。ハードウェアで不具合が続出したため、ソフトウェアの人員を著しく割いてしまっており、ソフトウェア開発が停滞していることに対して手を打たなかった。ハードウェアの不具合が解決次第、ハードウェアの人員をソフトウェアに移動させて対応する、という開発手順を取ってしまった。これによりミッションのほぼ全損につながる不具合の見落としという結果をもたらした。</p>	<p>バス系開発の遅れの軽視 OrigamiSat-1 では開発はミッション系が大幅に先行し、2015年～2017年にミッション系は EM まで完成していたが、バス系の開発は 2017年にはまだBBM で、ミッション系が完成してから後追いでバス系を作る形の開発手順となってしまった。2016年8月にバス開発の遅れは審査会で開発者たち自身が指摘していたが改善しなかった。これにより衛星システムが複雑化し、開発末期に多くの不具合をもたらした。</p>
マネジメント方法	振動試験といったメ切が明確なハードウェア開発を優先し、ソフトウェアをフライトモデル仕様にするのを後回しにしてしまった。	フライト仕様の End-to-end が実施できなくても、ハードウェアの基本的な機能が確認できたことで各種試験をパスしたと判定しており、それでも後から取り返せるという認識があった。
実施体制	EM および FM 開発のハードウェア不具合対応に追われ、ソフトウェア担当の人員を減らして最終的には学生1名のみが OBC ソフト開発の専属だった。その担当者の開発は停滞していたが、教員および学生プロマネはフォローしきれなかった。	開発当初はバス系開発を担う研究室とミッション系開発を担う研究室は別で、隣の建物に開発拠点が毎日顔を合わせる環境になかった。それぞれの研究室の2人の教員のコミュニケーションも密ではなく、セクショナリズムがあった。
採用した方法の長所	特に長所は思いつかない。	大型衛星のようなインターフェース要求が明確に規定されていれば分担もできるだろうが、キューブサットで3つの異なるミッションを行うという挑戦的な開発を行う際、バス系開発だけを分断することには長所はなかった。
採用した方法の短所	BBM、EM 段階でフライト仕様のソフトウェアを開発していない時点で、それ以降の開発を進めるべきではない。FM で初めて現れる不具合が多すぎ、対応しきれなくなるリスクが高すぎる。	ミッション系が先に完成してしまうと、バス系がそのつじつまを合わせるように設計され、システムが大幅に複雑化してしまい、開発が難航し試験が十分できず、信頼性低下につながった。
課題	BBM、EM の開発を2拠点に分け、バス系の開発が滞っていることにミッション系を担当していたメンバーが手を差し伸べられなかったという意味で、開発責任者でありミッション系側の担当教員だった私の開発方針が誤っていた。誤ったリーダーシップがある開発現場で衛星が信頼性を高めることは難しい。	失敗事例 No. 1 に書いた通り、誤ったリーダーシップがある開発現場で衛星が信頼性を高めることは難しい。



表 5.1.4.2-1(2/5) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクトNo.	1	
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98	
責任機関(実施の中心機関)	東京工業大学 動設計学研究室(坂本研)、および中西研究室	
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法		
事例No.	3	4
発生年月	2018年3月20日(CDR)~2018年7月10日(第2回FM振動試験)	2017年12月25日~27日(EM振動試験)
区分	サブシステム	その他:環境試験
事例概要	FM(フライトモデル)統合時のCI基板での不具合の多発 バス系の中で購入コンポーネントの間をつなぐ役割をしたCI基板は、OrigamiSat-1の信頼を一手に担う重要な基板だった。しかしCI基板は、FM振動試験でのインヒビット不具合、および最終ソフトウェア書き込み段階でCOBCへの書き込みが不安定になるなど、開発の終盤で不具合が多発した。東工大の担当学生(学生プロマネ)がほぼ一人で開発を担当し、彼一人に責任が集中した。またたびたびの基板の作り直しで予算的にも超過した(200万円程度の予算オーバー)。	EM振動試験における現地トラブル 福井県工業技術センターで主に東工大学生たちが実施したEM振動試験の最中に2つの不具合があり対策に追われ、現地での試験実施が遅延した。(i)準静的加速度試験において試験機が停止して試験ができない、(ii)ランダム振動試験において、加速度密度の試験公差を逸脱してしまう、である。これにより半日程度の試験が遅延したが、スケジュールマージンで吸収でき、予定の範囲内で試験自体は完了できた。
マネジメント方法	失敗事例No.2と同じく、フライト仕様のEnd-to-endが実施できなくても、ハードウェアの基本的な機能が確認できたことで各種試験をパスしたと判定しており、それでも後から取り返せるという誤った認識があった。これらがCI基板の開発末期での度重なる設計変更につながり、信頼性を低下させた。	・振動試験の経験者は試験には帯同せず、初心者ばかりがSED様にチェックしてもらった振動試験計画書を頼りに試験を実施した。(当時は福井県工業技術センターに振動試験が導入された日が浅く、センターの方も経験が少なかった。) ・JAXA革新Gの方がたまたま試験に同席して下さり助言をくれた。
実施体制	海外メーカーの機器を使用すると教員がトップダウンで決め、CI基板の担当学生1名がそのつじつまを合わせるように基板開発を行った。	バス系とミッション系の統括の教員2名(東京工業大学)、東工大の学生5名程度が試験を主導した。振動試験機の操作は福井県工業技術センターの方にお願いした。また加速度ピックアップのデータ取得はウエルリサーチ株式会社の方1名に依頼した。
採用した方法の長所	その学生の成長は著しく、学生プロマネに名乗り出て最終的にはOrigamiSat-1の全システムを細かに理解する唯一の学生となった。衛星開発の過程をActa Astronauticaに第一著者としてジャーナル投稿し掲載された。その成果もあり米国トップスクール大学院のPh.D.課程に合格した。そのような「任せられる」人材を輩出できる場となった。	トラブルはあったが、スケジュールマージンの中で吸収できる数時間だけの遅延で済んだ。
採用した方法の短所	逸材の登場に依存し、そしてそのような逸材がいてさえも高い信頼性は到達できないという、極めて理不尽な状況に開発現場を追い込んだ。	たまたまJAXAの方が現地にいる、という偶然がなければ、1日程度の遅延につながっていた可能性がある。現地トラブルを事前に想定した試験体制とはなっていないかった。
課題	経験の少ない学生たちも自ら、「End-to-end試験で地上局での運用を意識しながら信頼性を確保することが重要」と感じれるスキルをどう体得していけるのか、まだ模索中である。	事前に「振動試験ハンドブック」の勉強会などを開催しておけばもっと落ち着いて対応ができただろうが、そのようなマネジメントは行えていなかった。

表 5.1.4.2-1(3/5) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクトNo.	1	
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98	
責任機関（実施の中心機関）	東京工業大学 動設計学研究室（坂本研）、および中西研究室	
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法		
事例No.	5	6
発生年月	2018年7月10日～12日（第1回FM振動試験）	2018年7月10日（第1回FM振動試験）
区分	その他：環境試験	その他：環境試験
事例概要	FM振動試験におけるインヒビット動作不良および放出検知ピンの固着 衛星FMを組み上げ、宮城県産業技術総合センターにおいて東工大学生らの手により3日間のFM振動試験を実施した。振動試験の結果、(i)インヒビットスイッチのリターン側がOFFできない、(ii)振動試験後に放出検知ピン(3つのうちの2つ)が固着し動作しない、という大きな不具合が発生した。また(iii)レール部のハードアノダイズ処理層が摩耗する不具合も発生。(i)は組立て時のハーネスの噛み込みが原因とわかった。(ii)、(iii)については改修した。(iii)のハードアノダイズ再処理に5週間の納期を要した。後日、FM再振動試験を実施した。対応に時間を要し、安全審査Phase3が遅延し、FM引き渡しの時期を延期してもらう結果となった。	FM振動試験におけるキューブサット挿入方向の反転 衛星FMを組み上げ、宮城県産業技術総合センターにおいて3日間のFM振動試験を実施した。今回はJAXAより初めて振動試験用E-SSODの提供を受けた。このとき現地でE-SSODに衛星を逆方向（添付図表No.3に示すとおり衛星をY軸周りに180度回転）に挿入するほうが良いことがわかり、急ぎ挿入方向を変更した。安全審査資料のうち、引き渡し時の作業手順書を書き換えた。
マネジメント方法	担当学生2名が熟練するまで組立作業を繰り返し、逐次、3次元計測を実施して組立て精度を確認しながら組立てを進めてもらった。	振動試験用E-SSODのレールは、フィットチェック用と同じだろうという想定で開発を進めてきており、現物を確認することなく振動試験場へやってきていた。
実施体制	学生2名が組立てを担当。3次元計測には教員1名が立ち会った。	学生4名が試験を実施。教員2名が責任者として付き添った。振動試験機の操作も宮城県産業技術総合センターの指導のもと、学生が行った。また加速度ピックアップのデータ取得はウェルリサーチ株式会社の方1名に依頼した。
採用した方法の長所	組立ての精度を確認しながら組み立てたことで、組み立てを支援する治具を考案でき、時間はかかるものの、高い精度で組立てできるようになった。	振動試験場にて、JAXA革新Gと協議し午前中のうちに結論を出した。結果として最善の策だったと考える。
採用した方法の短所	組立てが非常に複雑な工程であるので、本不具合事象であるハーネスの噛みこみ、機構の調整不足、といった衛星の信頼性に直結するミスを誘発する環境となっていた。	試験場で余裕のない中の協議・決断だったので、クリティカルな見落としがあった場合により大きなトラブルをもたらした可能性もある。
課題	構体はすべてのサブシステムの進捗に影響するので、できるだけ簡易に組み立つのではなくてはならないと経験者から繰り返しフィードバックをもらえる体制で開発を進めることが重要である。	EMでは現物で確認ができないとき、事前に図面を提示してもらう等代替の方法で検証を依頼すべきだった。

表 5.1.4.2-1(4/5) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	1	
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98	
責任機関（実施の中心機関）	東京工業大学 動設計学研究室（坂本研）、および中西研究室	
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法		
事例 No.	7	8
	2018年2月24日（JAXA への相談）～ 2018年10月4日（放出試験報告書の 提出）	2018年9月～10月22日～11月6日
	サブシステム	サブシステム
	FM キューブサット構体のレール長さ の不足 EM 統合試験の段階で、ロケット適合性 文書の解釈を東工大側が誤っており、 IGS に要求されるレールの長さに 28mm 足りないことがわかり、即座に JAXA 革 新 G へ相談をした。FM 引き渡し直前の 2019年9月にロケットメーカーとの協 議の場が設けられ、追加の放出試験が 課せられることとなった。何度か試験 をやり直すことが要求され、開発スケ ジュールを圧迫した。	5.8GHz 送信系の不具合の見逃しによ る FM 分解 2018年9月の2度目の FM 振動試験後、 東工大での機能検証中に 5.8GHz 通信 機に通信不具合が生じ、衛星を分解し て接触不良を修理後、再組立てを実施 した（2018年10月22日）。JAXA 安全 審査会へ再組立ての検証報告（手順書 による復帰確認）を行う必要が生じた （2018年11月6日に再組立ての追加 文書提出を持って Phase 3 通過）。
マネジメント方法	審査会前に内部でまず厳格にレビュー をしてから外部の審査員にお見せす る、という体制にできておらず、この ような見落としが残った。	BBM、EM では運用を模擬した環境で機 能の検証を行っていなかったため、検 証の環境が FM になっても自動化され ていなかった。その状況を許容してし まっていた。
実施体制	構造設計を担当した学生1名、バス系 のとりまとめ教員1名、そして開発責 任者の教員1名がいた。教員2名がチ ェックする、あるいは学生チームに相 互チェックを促す体制を作ることを実 施すべきだった。	5.8GHz 系の担当学生と、学生プロジェ クトマネージャーの学生2名が共に作 業を行い、開発責任教員が責任者とし て介在した。
採用した方法の長所	審査会まで開きながら内部でダブルチ ェックすらしないというのは短所しか ない。	検証システムの自動化なしには追い込 みがきかず、長所はない。
採用した方法の短所	FM 引き渡し前に放出試験を課された ほうだけでなく、それにご対応いただ いた JAXA 革新 G の皆さんとロケット メーカーの皆さんに多くの労力をかけ てしまった。現場の見落としが大きく 波及してしまうことを理解する必要が あった。	前述のとおり、時間を節約するために 検証を簡素化したことが、結局は FM の 再組立て、安全審査の追加など、さら なる時間のロスにつながってしまった。
課題	N/A	N/A



表 5.1.4.2-1(5/5) OrigamiSat-1/F0-98 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクトNo.	1		
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98		
責任機関(実施の中心機関)	東京工業大学 動設計学研究室(坂本研)、および中西研究室		
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法			
事例No.	9	10	11
発生年月	2018年11月23日~24日 (衛星引き渡し日およびその翌日)	2019年1月19日(打上げ翌日) 軌道上不具合発生	2019年1月24日(打上げ7日目) 軌道上不具合発生
区分	システム	システム	システム
事例概要	衛星引き渡し時の安全審査規定電圧の超過 東工大チームが内之浦での引き渡しに赴いた際に、リターン側のインヒビットスイッチで安全審査書類に規定したCI基板3.3Vライン電圧1.5Vという基準を超過する電圧が観察された。超過が問題ないことを示し、安全審査書類を改訂する必要が生じた。 この原因はバッテリーをフル充電(8.3V)した状態では試験を実施しておらず、バッテリー電圧により電圧が変動することを認識していなかったことだった。	衛星モード変更時の通信停止の不具合の見逃し 衛星打ち上げ後、2度、24時間程度、衛星からの信号が途絶えた時間帯があった。この2度の通信停止を受けて東工大で実施した地上実験で、Saving Mode移行時にVHF/UHF無線機に初期設定が為されない不具合があった。RX COBCのプログラムにおいてディレイが小さすぎるのが原因だった。EM統合試験でも、FM統合試験でも、このバグが見逃されていた。試験の際、外部基板を用いて検証したことにより見落とされた。24時間後に異常検知によるマイコンのリセットによりこの停波は解消することも分かった。	I2C衝突回避アルゴリズムの無限ループの見逃し 衛星が打ち上げられて7日目の2019/1/24 20:11、地上局へのFM HK データダウンリンク中に衛星からの信号が突如途絶え、おおよそ2年間停止し続けていた(注:2021年1月25日に復活した)。この長期間の停止により、衛星ははまだ主要なミッションを実行できていない。地上に残したEMによる実験から、複数のマイコンが目盛りと同時にアクセスするときのI2C衝突回避アルゴリズムに無限ループがあり、ウォッチドックタイマも24時間/1週間のリセット機能も効果がない可能性が示唆されている。
マネジメント方法	実験的に検証していない過大にマージンを取った判定基準を安全審査書類に書き、その数字を引き渡しまでに実験検証することもなかった。	開発手順として先にミッション系が完成し、そのあとその間を縫うようにしてバス系を開発した。結果、東工大で独自に開発する(設計の自由度が唯一ある)CI基板の開発が困難なものとなり、基板がないなかでソフトウェアの開発をする必要があり、不十分な検証環境が利用された。	長時間CW HKを出し続けられるハードウェア・ソフトウェアかどうか、BBMの段階から運用を模擬した試験を行う開発手順を取るべきだったが、そういう開発手順を取ることはなかった。
実施体制	電源系担当の学生1名(学生プロマネ)、安全審査を統括していたバス系担当教員1名、開発責任者教員1名、の3名で文書作成を行っていた。	FM開発最終段階では構造系2名以外の学生はほぼ全員(7名)がソフトウェア開発に回っていた。うち1名が学生プロマネ、教員2名が活動を率いた。	マネジメントは主に教員2名が実施し、学生10名程度と共にFMを開発した(うち学生プロマネ1名)。
採用した方法の長所	根拠のないマージンに長所はない。	長所は感じられないがしいて言うなら追い込まれたことにより1拠点で集中的に学生たちが活動し、10人程度の学生が極めて有機的に連携する状態が初めて構築できたことがある。	N/A
採用した方法の短所	安全審査資料に記入した根拠のないマージンにより、衛星が引き渡せなくなるリスクがある。	ミッション系がすでに先にあったため、それを動かすためのバス系は複雑化し、開発が難しくスケジュールを圧迫した。	BBM、EMの検証不足がFMのリスクとなり、さらにFMではフライト状態と同じ環境でない状態で検証しており、さらに長時間動作も行わず、ソフトウェアのバグが残った。
課題	N/A	N/A	N/A

表 5.1.4.2-2 PROCYON 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	10		
プロジェクト名	PROCYON		
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀・船瀬研究室		
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法			
事例 No.	1	2	3
発生年月	2014 年 FM 開発期間中	2014 年 FM 開発期間中	2014 年 FM 開発期間中
区分	電源—通信—姿勢制御サブシステム	姿勢制御サブシステム	推進系サブシステム
事例概要	RW を回転させると通信系コンポにノイズが混入し、地上局とのキャリアロックが外れてしまう。 その後、RW 電源ラインにノイズフィルタを挿入し、通信機の DCDC コンバータもノイズに強いものに交換することで、本問題を解決したため、致命的なものにはならなかった。	太陽センサは視野角が±55 度という仕様のものを購入し使っていたが、太陽センサ単体試験において「入射太陽角が +55 度を超えると、出力が急に -55 度に飛ぶ」という現象が発生した	イオンエンジン内蔵 CPU が行う制御シーケンスに不具合があり、イオンエンジンを自動シーケンスモードで動かすことができない
事例 No.	4	5	6
発生年月	2014 年 12 月 5 日くらい 運用中	2014 年 12 月 5 日くらい 運用中	2014 年 12 月 5 日くらい 運用中
区分	姿勢制御サブシステム	姿勢制御サブシステム	姿勢制御サブシステム
事例概要	三軸姿勢制御において制御ゲインが高すぎ、姿勢のオーバーシュートと振動が発生した	RW の制御遅れを考慮しなかったことで、制御精度が悪化して RW の回転数が不用意に増減していた。	恒星センサが正常に姿勢決定できたというフラグとともに、明らかに異常な姿勢決定結果を出力する時がある。
事例 No.	7	8	9
発生年月	2015/2/5 運用中	2015 年 3 月中旬	2015 年 12 月 4 日
区分	姿勢制御サブシステム	推進系サブシステム	システム
事例概要	FOG が永久故障し、姿勢制御コンポーネントとして使えなくなった。	イオンエンジンが 233 時間作動したところで動作を停止し、その後運転できなくなった	PROCYON との通信ができなくなった
マネジメント方法	N/A		
実施体制	教員:全体を広く浅く把握、不具合管理、スケジュール・人員管理、全体方針ぎめ 学生:担当部分を狭く深く理解、実際に手を動かして各種試験を行う 学外関係者(専門家):学生に寄り添った(同じチームと考えることができるような)アドバイザー 学外関係者(メーカー):ほぼ全てが国産コンポだったこともあり、不具合などに関して親身に相談に乗ってくれた		
採用した方法の長所	姿勢系のマネジメントとしては、これまでに書いたとおり「ISAS 専門家+やる気のある学生」でうまく連携できるように定期的ミーティングの質の向上に努めた。また、学生の中では、同じ時間帯と一緒に作業を行い疑問点などをクイックに潰していくようにした		
採用した方法の短所	PROCYON 全体に言えるが、時間が無く昼夜問わず試験を行いブラックだった		
課題	衛星開発のブラック体質を是正するため、各種作業の効率化・合理化が必要だと思う		

表 5.1.4.2-3 MicroDragon 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	11			
プロジェクト名	MicroDragon			
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀・船瀬研究室			
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法				
事例 No.	1	2	3	4
発生年月	2019年1月	2017年8月	2018年6月	2017年9月
区分	運用	サブシステム, 試験	システム, 試験	システム, 試験
事例概要	初期運用時の磁気トルカの極性設定ミスによる衛星のスピニングアップ	卓上電気試験時の衛星コンポーネントへの過電圧供給による破損	FM 熱真空試験時の試験前準備中の FM バッテリ短絡	FM 熱真空試験時の S-band 通信機の故障
マネジメント方法	遠隔で作業する学生からの進捗を定期的（週1程度）に教員・メンターとの mtg でレビュー・チェックする方式	学生担当者と教員/メンターが同じ部屋で作業を一緒行う	この試験には学生は参加せず、教員/メンターのみで実施した	学生担当者と教員/メンターが同じ部屋で作業を一緒行う
実施体制	教員/メンター：コーディングのチェック、試験支援 学生：コーディング、SILS/HILS の実施	教員/メンター：設備全体の管理、支援 学生：試験実施	教員/メンター：設備全体の管理、支援、試験実施	教員/メンター：設備全体の管理、支援 学生：試験準備作業、試験中の操作
採用した方法の長所	教育的効果も意識した教員と学生の分担 学生が自発的に取り組む雰囲気醸成	N/A	N/A	N/A
採用した方法の短所	実際に作業する学生の理解度に 完成度・達成度が依存してしまうことを許容して進めなければならぬ  ※メーカー等学外の作業者の工数/チェック/レビュー等が行われなかったプロセスだった	N/A	N/A	N/A
課題	学生が本当に理解できているかどうかのチェックの難しさ 行った作業に抜けや理解不足がないかのレビューの難しさ	学生が本当に理解できているかどうかのチェックの難しさ	N/A	学生が本当に理解できているかどうかのチェックの難しさ



表 5.1.4.2-4 KKS-1 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	13		
プロジェクト名	KKS-1 (輝汐)		
責任機関 (実施の中心機関)	東京都立産業技術高等専門学校		
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法			
事例 No.	1	2	3
発生年月	2008 年	2008 年	2008 年 3 月
区分	その他 (組立作業の事象)	その他 (組立作業の事象)	システム, 試験
事例概要	EM 衛星をすべて組立後に電源投入後に短絡を確認。EM 衛星組立作業中。2007 年 12 月, 学生作業員による組み立て。学校クリーンブース内作業。短絡は衛星からの匂いで気が付き, すぐに電源を遮断。	EM 衛星一部組立中に, 基板が短絡を起こしていることに気づく。2008 年 1 月, 学生作業員による EM 組立て。学校クリーンブース内作業。短絡は直流電源の電流値が急に上がることで気が付き, すぐに電源を遮断。	逆差しができない構造のコネクタを電源基板に無理やり差し込んで短絡。EM 衛星組立作業中。2008 年 3 月, 学生作業員による組み立て。学校クリーンブース内作業。
事例 No.	4	5	6
発生年月	2008 年 5 月	2008 年 4 月	2008 年 7 月
区分	システム, 試験	システム, 試験	システム, 組立
事例概要	EM 振動試験でポットिंग忘れ。足つきコンデンサがすべて取れる。2008 年 5 月, 振動試験は群馬県産業技術センターにて。組立は学校内クリーンルーム。学生組立。	EM 衛星分離スイッチが振動試験で固着。2008 年 4 月, 振動試験は群馬県産業技術センターにて。組立は学校内クリーンルーム。学生組立。	FM 衛星組立最中に指で太陽電池破損させる。2008 年 4 月, 組立は学校内クリーンルーム。学生組立。
事例 No.	7	8	9
発生年月	2008 年 5 月	2008 年 10 月	2009 年 2 月
区分	試験	試験	衛星運用, システム
事例概要	振動試験中に分離機構のシャープエッジで配線が切れて短絡した。EM 試験中。学生によるセッティング作業。	FM 衝撃試験でラッチングリレーが反転・故障。打ち上げ 3 か月前 (JAXA 最終審査 1 か月前)。場所は JAXA つくば。	衛星打ち上げ後。衛星は CW 送信しているが, 地上局からの電波を受信できない状態になった。産業技術高専地上局にて。
マネジメント方法	教員と学生で毎日夕会を行った。詳細は教員と担当学生で 1 対 1 で行った。		
実施体制	教員は教育, プロマネ, 安全審査, 周波数獲得を担当 学生: 設計, 製作, 試験, 評価, 組立を担当。		
採用した方法の長所	基本, 教育しながら衛星を作るスタイルとなったため, マンツーマン指導が最適だった。		
採用した方法の短所	学生間の情報共有が不足。補うために夕会を作ったが, 専門用語での説明が多く, 互いに理解できない報告が多かったのではないかと思います。特に新規参加学生が大変だったと感じる。		
課題	後輩学生の指導。自分で勉強できるような教材がない。		

表 5.1.4.2-5(1/5) RISESAT 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.		15
プロジェクト名		RISESAT
責任機関 (実施の中心機関)		東北大学吉田・乗原研究室/北海道大学高橋研究室
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法		
事例 No.	1	2
発生年月	2016年2月	2016年11月
区分	サブシステム	システム/サブシステム(構造)
事例概要	RISESAT 衛星のイプシロンロケット相乗り打上げが確定するタイミングで、予定していた国際理学観測ペイロードのうちの2機関がプロジェクトから脱退する決断を下した。これは選定したペイロードの台数がプロジェクトの処理能力を超過し、該当する機関との調整作業を満足に実施できない状況となり、ペイロードの開発と資金管理に支障を来したことが主な原因と考えられる。	RISESAT 衛星の構造モデル(Mechanical Test Model)を用いたランダム振動試験において QT レベルを加振したところ、衛星のボトムパネルと内部の主柱とを締結するボルトに緩みが生じたり、ボルトの頭が破断するなどの故障が発生した。 参考文献[5.1-3]
マネジメント方法	専任の助教1名がプロジェクトマネジメントを担当し、ペイロード担当機関との技術的な調整を一手に引き受けていた。	専任助教がプロジェクトマネジメントを担当し、学生が構造系を担当していた。
実施体制	専任の助教1名がプロジェクトマネジメント及び開発主任を務め、その助教が指導する学生がバスシステムの開発とシステムインテグレーションを担当した。コンポーネントの開発においてメーカーに外注を行ったもの、またメーカーから既存品を調達したものがある。ペイロード担当機関との調整は専任の助教が個別に時分割的に対応する形とせざるを得なかった。開発の責任はプロジェクトマネージャーにあり、定期的なプロジェクト会議で、関係者の助言を聞いて遂行する形をとった。	専任の助教1名がプロジェクトマネジメント及び開発主任を務め、その助教が指導する学生がバスシステムの開発とシステムインテグレーションを担当した。コンポーネントの開発においてメーカーに外注を行ったもの、またメーカーから既存品を調達したものがある。ペイロード担当機関との調整は専任の助教が個別に時分割的に対応する形とせざるを得なかった。開発の責任はプロジェクトマネージャーにあり、定期的なプロジェクト会議で、関係者の助言を聞いて遂行する形をとった。
採用した方法の長所	プロジェクトマネージャーがプロジェクト、及びシステムの全てを掌握する形で進めることができ、決定事項の一貫性を保つことができた。	プロジェクトマネージャーがプロジェクト、及びシステムの全てを掌握する形で進めることができ、決定事項の一貫性を保つことができた。
採用した方法の短所	プロジェクトマネージャーのみが全体を見渡せる状況となり、複数するペイロード担当機関との調整を並行して実施することが困難な状況となった。ペイロード担当機関とのインターフェースを調整する主担当をプロジェクト内に設けられれば状況は改善したと思われるが、予算的な観点から難しい状況であった。	構造系の設計開発・評価の技術的知見を学生間で継承する状況であり、その過程でうまく継承しきれない部分が発生する。
課題	システム全体を理解するエンジニアが複数人存在することが肝要と思われる。プロジェクトマネージャーが細かな調整を一人で隅々まで実施することは、能力的には可能であっても、時間的に克服できない壁があることを認識しておく必要があった。	衛星開発機関としては、構造系の技術の文書化に努めると共に、技能面での引継ぎを入念に実施する必要があると思われる。外部の構造系の専門家の支援を得られるような場合には、新しい学生が担当になるたびに、その教育指導を依頼するのも一つの方法であると思われる。UNISEC としてこの機能を提供することは有意義であると思われる。特に、CubeSat と 50kg 級衛星とでは構造設計の難易度が大きく異なる。

表 5.1.4.2-5(2/5) RISESAT 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	15		
プロジェクト名	RISESAT		
責任機関（実施の中心機関）	東北大学吉田・桑原研究室/北海道大学高橋研究室		
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法			
事例 No.	3	4	5
発生年月	2016年2月	2016年2月	2016年2月
区分	コンポーネント	コンポーネント	コンポーネント
事例概要	展開パネルの保持開放機構に購入品を使用することにより、安全審査対応が長引き、衛星設計の確定に時間を要した。 参考文献[5.1-3, 5.1-4]	X帯送信機、及びX帯送信アンテナの設計方針を誤り、X帯送信システムを1系統無駄にしてしまった。 参考文献[5.1-4]	不適切なUHFアンテナの配置、及びその周辺機器の配置がアンテナパターンの悪化を導いた。 参考文献[5.1-4]
マネジメント方法	専任助教がプロジェクトマネジメントを担当し、学生が構造・機構系を担当していた。開発に要する労力が不足していると判断し、保持開放機構は購入品に頼る（お金で解決する）という決断をプロジェクトマネージャー（専任助教）が下した。	専任助教がプロジェクトマネジメントを担当し、通信系の設計についても同一の助教が主担当を務め、衛星運用の経験を有する別の助教がサポートを行った。通信系の設計に関しては外部の有識者に助言を求めた。	専任助教がプロジェクトマネジメントを担当し、通信系の設計についても同一の助教が主担当を務め、衛星運用の経験を有する別の助教がサポートを行った。通信系の設計に関しては外部の有識者に助言を求めた。
実施体制	専任の助教1名がプロジェクトマネジメント及び開発主任を務め、その助教が指導する学生がバスシステムの開発とシステムインテグレーションを担当した。コンポーネントの開発においてメーカーに外注を行ったもの、またメーカーから既存品を調達したものがある。ペイロード担当機関との調整は専任の助教が個別に時分割的に対応する形とせざるを得なかった。開発の責任はプロジェクトマネージャーにあり、定期的なプロジェクト会議で、関係者の助言を聞いて遂行する形をとった。		
採用した方法の長所	プロジェクトマネージャーがプロジェクト、及びシステムの全てを掌握する形で進めることができ、決定事項の一貫性を保つことができた。		
採用した方法の短所	経験の浅い助教では、宇宙業界の有識者から広く意見や知見をすぐに求めることはできない。助教が開発の主担当を務める場合においても、上席者がそれをサポートし、定期的に状況を確認、情報共有する体制で臨むべきである。		
課題	経験が浅いチームでは、エンジニアリング的な判断に悩む場合に誰に助言を求めればよいのかわからない。構造、機構、電気、など、その分野のメンタ的な人物の存在が周知されていて、気軽に問い合わせができる状況であることが、コミュニティとしては理想な環境だと言える。また、安全審査の細かな内容は機微情報としてなかなか共有されない傾向にあるため、日ごろから可能な範囲で、コミュニティの間で情報を共有できる環境を整えること、また、それらの情報を集約し、広くアクセス可能な状態で管理しておくことが重要だと思われる。		

表 5.1.4.2-5(3/5) RISESAT 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	15			
プロジェクト名	RISESAT			
責任機関（実施の中心機関）	東北大学吉田・桑原研究室/北海道大学高橋研究室			
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法				
事例 No.	6	7	8	9
発生年月	2016年2月	2016年2月	2019年1月	2019年1月
区分	サブシステム	システム	コンポーネント	コンポーネント
事例概要	衛星構造設計において、衛星の中央に箱型の支柱を配置し、その中に電源系を配置する設計としたが、作業効率が悪く、FMの組み立て評価作業の工数が増え、長時間を要した。 参考文献[[5.1-3]	FMでの質量特性試験に関するプロジェクトスケジュール管理の不徹底 参考文献[5.1-4]	恒星センサのバッフル性能の不足 参考文献[5.1-4]	Store & Forward 実験用に選定した周波数が、運用時には使用できない状況となってしまった。 参考文献[5.1-4]
マネジメント方法	専任助教がプロジェクトマネジメントを担当し、電源系の設計についても同一の助教が主担当を務め、衛星運用の経験を有する別の助教がサポートを行った。電源系の設計に関しては外部の有識者に助言を求めた。	専任助教がプロジェクトマネジメントを担当し、構造系は学生が担当した。	専任助教がプロジェクトマネジメントを担当し、恒星センサ、及びそのバッフルの設計についても同一の助教が担当した。	専任助教がプロジェクトマネジメントを担当し、通信系の設計についても同一の助教が主担当を務め、衛星運用の経験を有する別の助教がサポートを行った。通信系の設計に関しては外部の有識者に助言を求めた。
実施体制	専任の助教1名がプロジェクトマネジメント及び開発主任を務め、その助教が指導する学生がバスシステムの開発とシステムインテグレーションを担当した。コンポーネントの開発においてメーカーに外注を行ったもの、またメーカーから既存品を調達したものがある。ペイロード担当機関との調整は専任の助教が個別に時分割的に対応する形とせざるを得なかった。開発の責任はプロジェクトマネージャーにあり、定期的なプロジェクト会議で、関係者の助言を聞いて遂行する形をとった。			
採用した方法の長所	プロジェクトマネージャーがプロジェクト、及びシステムの全てを掌握する形で進めることができ、決定事項の一貫性を保つことができた。			
採用した方法の短所	経験の浅い助教では、宇宙業界の有識者から広く意見や知見をすぐに求めることはできない。助教が開発の主担当を務める場合においても、上席者がそれをサポートし、定期的に状況を確認、情報共有する体制で臨むべきである。			
課題	経験が浅いチームでは、エンジニアリング的な判断に悩む場合に誰に助言を求めればよいのかわからない。構造、機構、電気、など、その分野のメンタ的な人物の存在が周知されていて、気軽に問い合わせができる状況であることが、コミュニティとしては理想な環境だと言える。また、安全審査の細かな内容は機微情報としてなかなか共有されない傾向にあるため、日ごろから可能な範囲で、コミュニティの間で情報を共有できる環境を整えること、また、それらの情報を集約し、広くアクセス可能な状態で管理しておくことが重要だと思われる。			



表 5.1.4.2-5(4/5) RISESAT 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	15		
プロジェクト名	RISESAT		
責任機関 (実施の中心機関)	東北大学吉田・乗原研究室/北海道大学高橋研究室		
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法			
事例 No.	10	11	
発生年月	2018 年 10 月	2018 年 10 月	
区分	システム, 試験	サブシステム, 試験	
事例概要	FM システム電気試験時、RW-ON と共にバス電源が短絡し、バッテリーから 10A 以上が数秒間放電され、過負荷により衛星が強制 OFF される事象	精太陽・地球センサ内部の短絡により上位の姿勢制御コンピュータユニット内のスイッチ IC が焼損した事象	
事例 No.	12	13	
発生年月	2019 年 5 月	2019 年 6 月	
区分	サブシステム	システム	
事例概要	GPSR ファームウェアのバグにより測位結果に対するタイムスタンプが秒単位でずれる	FOG の Z 軸センサが打ち上げ後約半年を経過したタイミングで故障し、当該軸の角速度の計測ができなくなった。冗長系の角速度センサは搭載されておらず日陰中における姿勢決定が不可となった。	
事例 No.	14	15	16
発生年月	2018 年 10 月	2018 年 6 月	2019 年 1 月
区分	コンポーネント	システム	コンポーネント
事例概要	姿勢センサの一部機器 (FOG, RW, 精太陽・地球センサ) が ON/OFF できないことが FM システム試験の直前に発覚した	STT を衛星主構造に組みつける際に位置決めピンが抜けなくなる事象が発生した	衛星メインコンピュータ (SCU) 内の SRAM 不具合により HK データの保存ができない事象
マネジメント方法	毎日の朝会で進捗と直近の課題を学生+教員の開発チーム全体で確認し、担当学生が個別に作業を実施する。必要に応じて口頭やメールでサブシステム毎の詳細な情報交換を行う。		
実施体制	教員：プロジェクト全体の管理、システム電気試験の監督 学生：機器開発、コンポーネント単位の試験実施、システム電気試験の補佐		
採用した方法の長所	N/A		
採用した方法の短所	N/A		
課題	N/A		

表 5. 1. 4. 2-5 (5/5) RISESAT 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	15		
プロジェクト名	RISESAT		
責任機関（実施の中心機関）	東北大学吉田・衆原研究室/北海道大学高橋研究室		
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法			
事例 No.	17	18	19
発生年月	2018年6月	2019年1月	2020年6月
区分	システム, 輸送・ロケット IF	運用	運用
事例概要	ロケットと結合するためのインターフェースリングのボルトが破損し、衛星が輸送用コンテナから取り外せなくなった事象	初期運用中、地球観測運用のリハーサルとしてミッション機器と姿勢制御系の立ち上げ手順を確認していたところ、ミッション機器の想定外の OFF が発生した	ストアードコマンドの誤送信により不正な運用シーケンスが登録され、UVCレベルにまで電力が消費された事象
マネジメント方法	この輸送作業には教員および学生が参加した。ボルトとり外し作業には固定された担当者はおらず、チーム内で手が空いているものが対応した。	運用計画担当の学生1名が運用計画を立案し、メールにて教員を含む関係者全員に共有した。EM システムを使用して事前に計画を検証する場合は、担当学生の裁量に任されていた。	運用担当の教員1名が運用を計画し、コマンドを送信していた。
実施体制	教員：作業の監督 学生：ボルトの取り外し	教員：運用計画の確認 学生：運用計画の立案と運用の実施	教員：運用計画の立案と運用の実施。
採用した方法の長所	輸送作業はある程度人員が多いほど時間を短縮することができる。	N/A	N/A
採用した方法の短所	当時はランニングトルクが定量化されておらず、また作業も定まっていなかったため、ネジ穴の劣化に気付かなかった。	N/A	N/A
課題	N/A	N/A	N/A



表 5.1.4.2-6 NEXUS 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	19	
プロジェクト名	NEXUS	
責任機関（実施の中心機関）	日本大学宮崎研究室	
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法		
事例 No.	1	2
発生年月	2019年1月31日（打ち上げ2週間後）	2019年2月
区分	衛星搭載ソフトウェア	運用
事例概要	衛星搭載ソフトウェアにバグがあることが、打ち上げ2週間後の運用の際に発覚しました。バグは、予約コマンドが3.5時間先までしかできないというものでした。これは、予約時間の変数のbyte数がプログラム内での型変換により少なくなってしまうからです。実際、コードの書き方次第でこのようなバグが発生することを誰も知らなかったことが根本的な原因です（ごくごく簡単なコードで、一見しただけでは、そのコードに問題があるとは誰も気づきませんでした）。（文献[5.1-5]）	レベルの低い話で恐縮ですが、運用の際、誤ったコマンドを送り、消費電力量が大きくなり、衛星が一時期、充電モードに入ってしまった。（文献[5.1-5]）
マネジメント方法	学生メンバーがゆるやかな役割分担をして開発し、学生メンバーが教員に毎日報告しつつ、1週間に1回、全体ミーティングを行って予定を組んでいく。なお、学生メンバーが教員に毎日報告するのは、教員が状況を把握するためということもないわけではないですが、基本的には、学生メンバーが毎日、頭の整理をするためです。	
実施体制	開発は学生。普段は、教員はミーティング等で議論するのみ。振動試験等、重要な試験には教員も立ち会う。	
採用した方法の長所	学生を育てることに適したマネジメント方法だと思います。	
採用した方法の短所	教員に高い人材育成能力が要求されますので、教員の能力が低いと上述の通り、ミスが起きますね・・・	
課題	Lessons Learned の継承によるマインドの醸成（結局、知識不足はどうしようもないので、Lessons Learned を継承することで、新規開発者のマインドセットをつくっていくしかない？）	Lessons Learned の継承によるマインドの醸成

表 5.1.4.2-7 STARS-II 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	21			
プロジェクト名	STARS-II			
責任機関（実施の中心機関）	香川大学能見研究室			
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法				
事例 No.	1	2	3	4
発生年月	2014/3	2014/3	2014/3	2013/安全審査フェーズⅡ
区分	運用	運用	運用	システム
事例概要	軌道投入から 2-3 日後にメイン CPU の電源 ON コマンドを送信、その後にメイン CPU へのコマンドを送信したが応答がなく、その後複数回試したが応答はなかった。	初期段階において、子機 CW は非常に強い電波、親機 CW は電波が弱い状態であった。しかしながら、子機 CW 電波は数日で弱くなり、聞こえなくなった。親機電波は、数日後に初号機と変わらない信号強度となった。	複数天文台において望遠鏡による光学観測を行い撮影に成功したが、テザー伸展による親子分離を確認できなかった。	自作ポッドを用いていたが、ポッド展開の電磁干渉による誤動作指摘で搭載回路を認められなかった。
マネジメント方法	バスシステムは初号機と同じ、ミッションシステムを新規開発、ミッションシステムに重点を置いた開発とした。			
実施体制	教員 1 名が全体取り纏め、学生 5 名程度、アマチュア技術家 10 名程度、外部メーカーがサブシステムは担当。ミッション機器については、各機関、研究者一名、学生 1-2 名。			
採用した方法の長所	アマチュア技術家の協力体制が充実していた。JAXA・静岡大とは共同研究体制でミッション機器開発が可能であった。	アマチュア技術家の中に、天文に興味を持たれている方もいらっしゃる、光学観測プロジェクトを進めるにあたり、積極的に動いてくれた。	アマチュア技術家の協力体制が充実していた。JAXA・静岡大とは共同研究体制でミッション機器開発が可能であった。	
採用した方法の短所	組織体制、とくに指令系統が十分に確立できていなかった。アマチュア技術家とは並列な関係であり、学生はアマチュア技術家との交流を深められたが、課題発生時の対応が感覚的であったことは問題と感じる。			
課題	上記、長所の維持と短所の克服を両立させる組織づくり。			

表 5.1.4.2-8 STARS-C 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	22		
プロジェクト名	STARS-C		
責任機関（実施の中心機関）	静岡大学能見研究室・山極研究室		
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法			
事例 No.	1	2	3
発生年月	2016/12	2016/12-2017/11	
区分	運用	運用	
事例概要	初期運用における CW 信号が弱かった パドル展開に失敗と推定	メイン CPU からの FM パケット受信確率が著しく低かった。 このため CW データ以外のデータ取得はできていない。	テザー伸張が、目標 100m に対し数十 m と推定される。
マネジメント方法	香川アマチュア無線家の参加を遠隔で行った。 運用体制の管理。 アマチュア無線家との交流と同様、アマチュア天文家、天文台との交流が重要であり、功を奏した。		
実施体制	システムは教員が設計、アンテナおよび地上局はアマチュア無線家が設計、学生が作業を行った。 教員と学生が主体となって設計製造。 既存の全国公共天文台協会での交流。		
採用した方法の長所	衛星開発経験のあるアマチュア無線家の参加が功を奏した。 学生が製造したが、テグス切断試験を繰り返し、徹底的に行った。 コミュニケーション		
採用した方法の短所	香川アマチュア無線家の協力であったため、遠隔となり、学生への直接指導ができなかった。 自主製作、自主試験とし、外部評価を行っていない。 個々の天文台との交流を全て行うことが難しい。積極的な天文台とは有益な情報交換により実施ができた。		
課題	遠隔指導による製造技術の指導。 ヒーターカッターに関する情報収取運土を十分にできていなかった。 超小型衛星観測への興味を持ってもらうこと。		

表 5.1.4.2-9 STARS-A0 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	23	
プロジェクト名	STARS-A0	
責任機関（実施の中心機関）	静岡大学能見研究室	
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法		
事例 No.	1	
発生年月	2018/11	
区分	運用	
事例概要	メイン CPU 起動コマンドを送信した結果、CW が停止した。基本的には CW は継続するはずである。またメイン CPU 起動も確認している。	
マネジメント方法	アマチュア技術家で、得意なところを担当して頂き、適任の人がいない場合は基本過去の実績を踏襲した。基本的にはうまくいったが、学生の参加にハードルがあったような気もする。また、静大教員のみ離れていたことで、作業進捗が十分に把握できていなかったため、試験などの時間にしわ寄せがいった感じがある。	
実施体制	教員 1 名でマネジメント、アマチュア技術家が各担当を受け持ち、学生はアマチュア技術家の指導により作業を行った。運用は学生中心であった。	
採用した方法の長所	協力体制はよかった。	
採用した方法の短所	遠隔で、技術者と学生が分かれていたことで、教育含めた進め方が難しかった。	
課題	N/A	

表 5.1.4.2-10 STARS-Me 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	24			
プロジェクト名	STARS-Me			
責任機関（実施の中心機関）	静岡大学			
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法				
事例 No.	1	2	3	4
発生年月	2018/10	2018/10	2018/6	2018/7
区分	運用	運用	サブシステム	サブシステム
事例概要	初期運用において CW 信号が非常に弱い。および FM パケットを受信できない。	ISS 放出直前に台風により地上系アンテナが破損	レール長さのミス。フライト品の部品確認で発見。前回 ISS 放出では単独放出であることから認められていたスプリングプランジャー使用について、今回は単独でないため他衛星に影響を与えるため不可。これが反映できていなかった。	フィットチェック時のデプロイメントスイッチの破壊。レール側面にデプロイメントスイッチを設置。レバー方向によっては、ポッド挿入時に引っ掛かることになる。挿入時に十分な確認を行っていないために発生。
マネジメント方法	アンテナ開発を専門家教員が担当、その他はメイン教員、およびその他の教員で協力して行っていた。		学生が構造設計図面を作成、地域加工メーカーに製造を依頼、やり取りして加工部品を作っていた。	年度を跨いだために、参加学生が減ってしまっていた。
実施体制	教員トップダウン方式。		教員は図面確認、学生が作図、地域企業が加工。	教員は図面確認、学生が作図、地域企業が加工。
採用した方法の長所	教員トップダウンであったため、短期で開発ができた。		とくに問題はない	とくに問題はない
採用した方法の短所	教員間の連携が甘かった。		N/A	N/A
課題	教員間での連携を密にとっていくこと。		N/A	N/A

表 5.1.4.2-11(1/2) 鳳龍弐号 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	25	
プロジェクト名	鳳龍弐号	
責任機関（実施の中心機関）	九州工業大学衛星開発プロジェクト	
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法		
事例 No.	2	3
発生年月	2012年3月	2011年12月～2012年1月
区分	PAF239M	FM熱真空試験
事例概要	マルマンクランプバンドの変形 JAXAからの支給品であった。回復不可能となったために、代替品を至急送ってもらい、打ち上げには間に合った。しかしながら、JAXAに現物で返済することとなり、メーカーから変形部品を購入したが、200万円以上の費用が発生した。	ノイズ混入
マネジメント方法	現場作業を学生に任せるマネジメント。	N/A
実施体制	現場作業を学生に任せていた。PAF239MはJAXAからの提供品で、一番最初にJAXAから人がやってきて、講習会を行なった。	試験は学生が全て実施。
採用した方法の長所	N/A	学生のプロマネが非常に詳細に経過を記録していたため、少しは論理的な原因究明ができ、最終的には問題解決につながった。
採用した方法の短所	代替品費用の負担について、JAXAと話しあった時に、JAXAが負担しないと決めた最大の理由は、「手順書にチェックマークもはいつておらず、作業手順書に準拠して作業を行なった形跡もない。そのような状況では、教育のためとか、初心者だからという言い訳はきかない」と言われた。まさにその通りである。	FTAは教員も参加したが、現場をちゃんと理解していないために、十分なアドバイスができていなかった。
課題	N/A	N/A



表 5.1.4.2-11(2/2) 鳳龍弐号 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	25	
プロジェクト名	鳳龍弐号	
責任機関（実施の中心機関）	九州工業大学衛星開発プロジェクト	
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法		
事例 No.	4	5
発生年月	打ち上げから3週間後(2012年6月5日)	打ち上げ直後から3週間
区分	C&DH、電源系	姿勢系
事例概要	衛星からのビーコン信号の一部が更新されず（ハウスキーピングデータが更新されていない）、センサーデータダウンリンクのコマンドに対しては、コマンド受信の ACK しか返ってこない。リセットコマンドへも応答せず。6月30日には、ACK も返ってこなくなった。7月3日 衛星が正常に復帰	衛星の放出時に最大で20度/秒程度の回転があったが、3週間以上たっても、安定しなかった。永久磁石とヒステリシスダンパーにより、予想では1日程度で安定するはずであり、大きな違いがあった。（参考文献[5.1-7]）
マネジメント方法	N/A	学生が担当していたが、当該学生の卒論・修論のテーマとしてやっていたわけではなく、姿勢系についての優先度が低かった。
実施体制	N/A	
採用した方法の長所	N/A	
採用した方法の短所	N/A	
課題	放射線試験をしないという決定は確証があったわけではなく、「シールドしてれば大丈夫」「過電流保護回路いれてるから大丈夫」「定期的リセットいれてるから大丈夫」という「大丈夫だろう」という思い込みからの決定であった。 放射線試験について「**だろう」とか「多分***」という決め方はすべきでなかった。開発当初に、開発や試験の方針を定めたが、その際になんとか「大丈夫だろう」と思い込んでいた。人間は自分のよくわからないことに、「たぶん大丈夫」という正常化バイアスをしがちである。その時に、いろんな人からの意見を聞くべきであり、開発や試験の方針を定める際に、経験者のコメントを真摯に受け止める工夫が必要。ただし、そのコメントの良し悪しを判断できるだけの力量と経験が必要。 放射線対策として、シールド、過電流保護、定期的リセットという対策をとっていたが、結局それらの対策の効果について十分に検証していなかった。特に放射線で不具合が発生した状況を再現し、それからいかにして復帰できるかということを確認しておくべきであった。	N/A

表 5.1.4.2-12(1/3) (匿名) 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	30			
プロジェクト名	(非公開)			
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)			
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法				
事例 No.	1	2	3	4
発生年月	2014年6月	2015年5月	2012年10月	2017年9月
区分	運用	運用	システム, 試験	コンポーネント, 設計
事例概要	太陽センサの地球アルベド検知・姿勢決定異常	光ファイバジャイロの過電流検知による起動不具合	S帯通信機の電気信号ラインのコネクタピン配列の製造ミス	地磁気センサのTID試験中の出力異常
マネジメント方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>サブシステム毎に担当者を割り振り, 各種搭載機器についてはもサブシステム担当者が実施した</li> <li>姿勢系担当者3名は専任1名, 通信系責任者と兼務, 他プロジェクトマネージャー兼務となっており, コンポーネント数に比べてマンパワーは不足していた</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>サブシステム毎に担当者を割り振り, 各種搭載機器についてはもサブシステム担当者が実施した</li> <li>通信系責任者と姿勢制御系兼務</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>サブシステム毎に担当者を割り振り, 各種搭載機器についてはもサブシステム担当者が実施した</li> <li>姿勢系担当者3名は専任1名, 通信系責任者と兼務, 他プロジェクトマネージャー兼務となっており, コンポーネント数に比べてマンパワーは不足していた</li> </ul>	
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>プロジェクト専任技術者が, 設計開発試験担当となりメーカーインターフェイスにもなった. 一部の博士課程学生以外は基本的には責任者ではなく, 開発補助要員としての参加となった.</li> </ul>			
採用した方法の長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, システム間の不整合などの発生は排除できた.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, システム間の不整合などの発生は排除できた.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>経験が浅いものに対する教育的な側面もあり実施された試験においての不具合発覚であった.</li> </ul>	
採用した方法の短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, 過負荷となる人員が増加した.</li> </ul>			
課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>短期間集中プロジェクトの場合, 少人数チームでの即応的な開発が望ましいが, 個々の人の負荷がまし, チームの崩壊や人的要因によるボトルネックが発生しスケジュール遅延も起こりやすい</li> </ul>			

表 5.1.4.2-12(2/3) (匿名) 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	30		
プロジェクト名	(非公開)		
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)		
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法			
事例 No.	5	6	7
発生年月	2012年1月	2013年5月	2013年7月
区分	コンポーネント, 設計	コンポーネント, 設計	コンポーネント, 試験
事例概要	RW の寿命試験中における異常動作停止	地磁気トルカの振動試験	地磁気トルカの性能試験ミス
マネジメント方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サブシステム毎に担当者を割り振り, 各種搭載機器についてはもサブシステム担当者が実施した</li> <li>・姿勢系担当者3名は専任1名, 通信系責任者と兼務, 他プロジェクトマネージャー兼務となっており, コンポーネント数に比べてマンパワーは不足していた</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・経験値のある企業に依頼した機能, 性能確認試験については条件等についての確認を省いていた</li> </ul>
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プロジェクト専任技術者が, 設計開発試験担当となりメーカーインターフェイスもになった. 一部の博士課程学生以外は基本的には責任者ではなく, 開発補助要員としての参加となった.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・プロジェクト専任技術者が, 設計開発試験担当となりメーカーインターフェイスもになった. 一部の博士課程学生以外は基本的には責任者ではなく, 開発補助要員としての参加となった</li> </ul>
採用した方法の長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, システム間の不整合などの発生は排除できた.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・経験値のある企業に依頼した機能, 性能確認試験については条件等についての確認を省いていたため, 検証試験のスケジュールが短縮できた</li> </ul>
採用した方法の短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, 過負荷となる人員が増加した.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・メーカーの申告がなければ仕様不整合に気づけなかった</li> </ul>
課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・短期間集中プロジェクトの場合, 少人数チームでの即応的な開発が望ましいが, 個々人の負荷がまし, チームの崩壊や人的要因によるボトルネックが発生しスケジュール遅延も起こりやすい</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・信頼関係等がないと成り立たない</li> </ul>

表 5.1.4.2-12(3/3) (匿名) 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.		30		
プロジェクト名		(非公開)		
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)		
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法				
事例 No.	8	9	10	11
発生年月	2013年3月	2014年7月	2014年7月	2014年7月
区分	システム, コンポーネント設計	運用	運用	運用
事例概要	S帯受信機から発行されるPCUリセット信号のIF不整合	恒星センサによる軌道上での姿勢決定	軌道上でのリプログラミング機能検証	軌道上での想定外のモード遷移
マネジメント方法	・サブシステム毎に担当者を割り振り, 各種搭載機器についてはもサブシステム担当者が実施した	・サブシステム毎に担当者を割り振り, 各種搭載機器についてもサブシステム担当者が実施した	・本機能検証時にはプロジェクト雇用期間が終了しており, 開発チームの該当項目担当者がプロジェクトからの直接雇用でなくなっていた。(本務の合間での対応)	
実施体制	・プロジェクト専任技術者が, 設計開発試験担当となりメーカーインターフェイスもになった. 一部の博士課程学生以外は基本的には責任者ではなく, 開発補助要員としての参加となった	・プロジェクト専任技術者が, 設計開発試験担当となりメーカーインターフェイスもになった. 一部の博士課程学生以外は基本的には責任者ではなく, 開発補助要員としての参加となった.	・本機能検証時にはプロジェクト雇用期間が終了しており, 開発チームの該当項目担当者がプロジェクトからの直接雇用でなくなっていた。(本務の合間での対応)	
採用した方法の長所	・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, システム間の不整合などの発生は排除できた.	・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, システム間の不整合などの発生は排除できた.	N/A	
採用した方法の短所	・プロジェクト専任技術者が, 設計開発試験担当となりメーカーインターフェイスもになっていたため, 確認体制は万全ではなかった	・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, 過負荷となる人員が増加した.	N/A	
課題	・確認体制の不備	・短期間集中プロジェクトの場合, 少人数チームでの即応的な開発が望ましいが, 個々人の負荷がまし, チームの崩壊や人的要因によるボトルネックが発生しスケジュール遅延も起こりやすい	・運用期間を見据えた開発チームの保持, 技術項目の引継ぎの難しさ	

表 5.1.4.2-13(1/3) (匿名) 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	31			
プロジェクト名	(非公開)			
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)			
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法				
事例 No.	1	2	3	4
発生年月	2014年5月	2015年11月	2012年10月	2017年9月
区分	運用	運用	システム, 試験	コンポーネント, 設計
事例概要	太陽センサの地球アルベド検知・姿勢決定異常	光ファイバジャイロの過電流検知による起動不具合	S帯通信機の電気信号ラインのコネクタピン配列の製造ミス	地磁気センサのTID試験中の出力異常
マネジメント方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サブシステム毎に担当者を割り振り, 各種搭載機器についてはもサブシステム担当者が実施した</li> <li>・姿勢系担当者3名は専任1名, 通信系責任者と兼務, 他プロジェクトマネージャー兼務となっており, コンポーネント数に比べてマンパワーは不足していた</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・サブシステム毎に担当者を割り振り, 各種搭載機器についてはもサブシステム担当者が実施した</li> <li>・通信系責任者と姿勢制御系兼務</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サブシステム毎に担当者を割り振り, 各種搭載機器についてはもサブシステム担当者が実施した</li> <li>・姿勢系担当者3名は専任1名, 通信系責任者と兼務, 他プロジェクトマネージャー兼務となっており, コンポーネント数に比べてマンパワーは不足していた</li> </ul>
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プロジェクト専任技術者が, 設計開発試験担当となりメーカーインターフェイスもになった. 一部の博士課程学生以外は基本的には責任者ではなく, 開発補助要員としての参加となった.</li> </ul>			
採用した方法の長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, システム間の不整合などの発生は排除できた.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, システム間の不整合などの発生は排除できた.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・経験が浅いものに対する教育的な側面もあり実施された試験においての不具合発覚であった.</li> </ul>	
採用した方法の短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, 過負荷となる人員が増加した.</li> </ul>			
課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・短期間集中プロジェクトの場合, 少人数チームでの即応的な開発が望ましいが, 個々人の負荷がまし, チームの崩壊や人的要因によるボトルネックが発生しスケジュール遅延も起こりやすい</li> </ul>			



表 5.1.4.2-13(2/3) (匿名) 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	31			
プロジェクト名	(非公開)			
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)			
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法				
事例 No.	5	6	7	8
発生年月	2012年1月	2013年5月	2013年7月	2013年3月
区分	コンポーネント, 設計	コンポーネント, 設計	コンポーネント, 試験	システム, コンポーネント設計
事例概要	RW の寿命試験中における異常動作停止	地磁気トルカの振動試験	地磁気トルカの性能試験ミス	S 帯受信機から発行される PCU リセット信号の IF 不整合
マネジメント方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>サブシステム毎に担当者を割り振り, 各種搭載機器についてはもサブシステム担当者が実施した</li> <li>姿勢系担当者 3 名は専任 1 名, 通信系責任者と兼務, 他プロジェクトマネージャー兼務となっており, コンポーネント数に比べてマンパワーは不足していた</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>経験値のある企業に依頼した機能, 性能確認試験については条件等についての確認を省いていた</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>サブシステム毎に担当者を割り振り, 各種搭載機器についてはもサブシステム担当者が実施した</li> </ul>	
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>プロジェクト専任技術者が, 設計開発試験担当となりメーカーインターフェイスもになった. 一部の博士課程学生以外は基本的には責任者ではなく, 開発補助要員としての参加となった.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>プロジェクト専任技術者が, 設計開発試験担当となりメーカーインターフェイスもになった. 一部の博士課程学生以外は基本的には責任者ではなく, 開発補助要員としての参加となった.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>プロジェクト専任技術者が, 設計開発試験担当となりメーカーインターフェイスもになった. 一部の博士課程学生以外は基本的には責任者ではなく, 開発補助要員としての参加となった.</li> </ul>	
採用した方法の長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, システム間の不整合などの発生は排除できた.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>経験値のある企業に依頼した機能, 性能確認試験については条件等についての確認を省いていたため, 検証試験のスケジュールが短縮できた</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, システム間の不整合などの発生は排除できた.</li> </ul>	
採用した方法の短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため, 過負荷となる人員が増加した.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>メーカーの申告がなければ仕様不整合に気づけなかった</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>プロジェクト専任技術者が, 設計開発試験担当となりメーカーインターフェイスもになっていたため, 確認体制は万全ではなかった</li> </ul>	
課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>短期間集中プロジェクトの場合, 少人数チームでの即応的な開発が望ましいが, 個々人の負荷がまし, チームの崩壊や人的要因によるボトルネックが発生しスケジュール遅延も起こりやすい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>信頼関係等がないと成り立たない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>確認体制の不備</li> </ul>	



表 5.1.4.2-13(3/3) (匿名) 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	31	
プロジェクト名	(非公開)	
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)	
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法		
事例 No.	9	10
発生年月	2014年7月	2014年7月
区分	運用	運用
事例概要	恒星センサによる軌道上での姿勢決定	軌道上での運用モード組み換え不具合
マネジメント方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>サブシステム毎に担当者を割り振り、各種搭載機器についてもサブシステム担当者が実施した</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本機能検証時にはプロジェクト雇用期間が終了しており、開発チームの該当項目担当者がプロジェクトからの直接雇用でなくなっていた。(本務の合同での対応)</li> </ul>
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>プロジェクト専任技術者が、設計開発試験担当となりメーカーインターフェイスもになった。一部の博士課程学生以外は基本的には責任者ではなく、開発補助要員としての参加となった。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本機能検証時にはプロジェクト雇用期間が終了しており、開発チームの該当項目担当者がプロジェクトからの直接雇用でなくなっていた。(本務の合同での対応)</li> </ul>
採用した方法の長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため、システム間の不整合などの発生は排除できた。</li> </ul>	N/A
採用した方法の短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>少人数の責任者および実務担当者のチームによるプロジェクト遂行を行ったため、過負荷となる人員が増加した。</li> </ul>	N/A
課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>短期間集中プロジェクトの場合、少人数チームでの即応的な開発が望ましいが、個々人の負荷がまし、チームの崩壊や人的要因によるボトルネックが発生しスケジュール遅延も起こりやすい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>運用期間を見据えた開発チームの保持、技術項目の引継ぎの難しさ</li> </ul>

表 5.1.4.2-14 (匿名) 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	32
プロジェクト名	(非公開)
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法	
事例 No.	1
発生年月	2014 年 6 月
区分	地上試験
事例概要	模型による熱設計基礎設計確認試験中における供試体の過加熱
マネジメント方法	学生を主体としたマネジメント体験も含む実習
実施体制	学生 4 人 (マネージャー 1 名), 研究員 1 人 (全体統括)
採用した方法の長所	失敗経験を積むことによる教育的効果
採用した方法の短所	失敗による試験装置の故障, 改修による全体開発項目の遅延
課題	N/A

表 5.1.4.2-15 (匿名) 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	33		
プロジェクト名	(非公開)		
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)		
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法			
事例 No.	1	2	3
発生年月	2009 年	2010 年	2011 年
区分	サブシステム, 運用	サブシステム, 運用	サブシステム, 運用
事例概要	磁気トルカが想定と反対に取り付けられており、磁気トルカの動作確認運用において、想定と反対方向のトルクが発生した。	太陽センサー動作時に太陽方向の計測値が不連続に大きく変化し正確でない太陽方向を出力してしまう。(太陽センサー内のリニアセンサーの出力プロファイルから迷光によるものと断定)	軌道上で uplink した関数を実行させる関数の動作不良
マネジメント方法	姿勢決定制御系の担当はほぼ 1 名-2 名であり、サブシステム作業の計画、マイルストーン設定などを開発者で行っていた。また開発時間が不足していたこともあり、動作確認方法について他メンバーから意見をもらう機会が少なかった。	姿勢決定制御系の担当はほぼ 1 名-2 名であり、サブシステム作業の計画、マイルストーン設定などを開発者で行っていた。	担当はほぼ 1 名であり、サブシステム作業の計画、マイルストーン設定などを開発者で行っていた。
実施体制	教員 1 名~2 名 学生 1 名 (学生プロマネ) 学生 1 名		
採用した方法の長所	N/A		
採用した方法の短所	N/A		
課題	時間が無い中でどの作業を優先するべきか、何のレビューを受けるべきか渦中にいると正確な判断が難しくなる。		

表 5.1.4.2-16 (匿名) 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	34		
プロジェクト名	(非公開)		
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)		
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法			
事例 No.	1	2	4
発生年月	2014 年 11 月	2014 年 11 月	2015 年 11 月
区分	システム	サブシステム	コンポーネント・運用
事例概要	電源の供給状態と姿勢が安定しなかった(頻繁に電源が落ちる)	溜め込まれた HK データが電源が切れると消失する設計となっていた。また、そのことが打ち上げ後までメンバ間で認識されていなかった。	リアクションホイールが故障した。推定された原因は誤ったコマンド操作(制御基板よりモータ電源を先に入れてしまった)。
マネジメント方法	電源系の開発はメーカ主体で実施、姿勢系はソフトウェアを主に博士学生、ハードウェアはメーカ主体で開発 週一回程度の全体ミーティングを実施	通信系は、開発はメーカ主体、試験は学生が参加して行なった	試験時から参加の学生 2, 3 名と A 社スタッフが、運用時から参加の学生 5 名前後に OJT を行いつつ運用 技術者・教員と学生は 1~2 週に 1 回程度のミーティング
実施体制	同上		N/A
採用した方法の長所	メーカとの共同開発であったことで、専門的知見が得られ、また学生がいなくなってもプロジェクト全体としてはスムーズに引き継ぎが可能であった。これらのことから、衛星の成功に対しては共同開発は一定の成果があったと考える。		N/A
採用した方法の短所	打ち合わせの機会に限られる。また、教育的観点からはメーカに頼った開発となることで学生の理解・主体性が損なわれる。		OJT だけでは新規学生メンバが十分に衛星システムを把握するまでに至らなかった
課題	同上		N/A
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法			
事例 No.	5	6	
発生年月	2015 年 1 月	2015 年	
区分	その他(地上局)	マネジメント	
事例概要	ケーブル損傷により数ヶ月間通信が安定しなかった	運用から参加した学生(学部低学年)に対し十分な教育ができなかった	
マネジメント方法	アンテナ整備及び管理は基本的に業者に委託 大学の技術職員がカバーを外し確認したことで判明	開発経験学生 3 名とスタッフ数名により 5 名前後の学部生に対し OJT を行った	
実施体制	N/A		
採用した方法の長所	N/A		
採用した方法の短所	N/A		
課題	N/A		

表 5.1.4.2-17(1/3) (匿名) 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	35			
プロジェクト名	(非公開)			
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)			
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法				
事例 No.	1	2	3	4
発生年月	2006 年 10 月	2007 年	2007 年	2007 年
区分	システム・開発	サブシステム	システム, 試験	サブシステム, 試験
事例概要	1号機の設計の知識・技術継承が2号機の開発メンバにうまく引き継がれずに, 設計開発が長期化。(部分的にOJTによる伝達はあったが1か月ほど)	EM基板の設計図ミスによる半田不良・衛星動作の不具合	アンテナ展開のためのヒートカットによる電圧降下を原因とする衛星の予期せぬ電源OFF, 展開失敗	放射線試験時の衛星の動作不具合による設計・開発の後戻り
マネジメント方法	OJTによる知識・技術の伝達	メンバ全員で設計図の確認会を行い, 配線がすべて適切に接続されていることを確認.	この試験は学生のみで実施した	試験は学生のみで実施した 通常は週1回程度の全体ミーティングにより進捗を定期的に共有, 打ち上げが近い段階では1日1解程度の個別に数人が集まったの状況確認により学生間で情報共有. 教員には不定期で状況説明.
実施体制	学生: 設計・開発・運用 教員: 相談役	学生: 設計・開発・運用 教員: 相談役	学生: 設計・開発・運用 教員: 相談役	学生: 設計・開発・運用 教員: 相談役
採用した方法の長所	細かな情報伝達や伝達された学生の早い成長	配線の接続, GNDの共通化に関しては確認がとれていた.	ミーティングの負担は比較的少なく, 1週間単位では情報の共有が行えていたこと. ミーティングの頻度を上げる必要がある場合には状況に応じてコントロールしていた.	ミーティングの負担は比較的少なく, 1週間単位では情報の共有が行えていたこと. ミーティングの頻度を上げる必要がある場合には状況に応じてコントロールしていた.
採用した方法の短所	網羅的な情報共有ができない	配線とGNDに関しては問題ないが, パターンにまでは意識がなかった. メンバ全員が参加することから負担が多かった.	網羅的な情報共有ができない	網羅的な情報共有ができない
課題	新しく加わったメンバに対する知識・技術の共有方法	N/A	N/A	N/A

表 5.1.4.2-17(2/3) (匿名) 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	35		
プロジェクト名	(非公開)		
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)		
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法			
事例 No.	5	6	7
発生年月	2007 年	2007 年	2008 年
区分	システム	サブシステム	運用
事例概要	構体組立時に配線を切断したことによる衛星動作の不具合	EM 試験時のサブシステム単体で動作させることが難しく、全サブシステムと担当者がいないと動作ができない設計仕様になっていたため、効率的な作業ができなかった。	太陽電池の発電量の推定量ミスによる、軌道上での過充電
マネジメント方法	情報共有は場当たりのに行われており、網羅的には行われていなかった。通常は週 1 回程度の全体ミーティングにより進捗を定期的に共有、打ち上げが近い段階では 1 日 1 解程度の個別に数人が集まったの状況確認により学生間で情報共有。教員には不定期で状況説明。	通常は週 1 回程度の全体ミーティングにより進捗を定期的に共有、打ち上げが近い段階では 1 日 1 解程度の個別に数人が集まったの状況確認により学生間で情報共有。教員には不定期で状況説明。	通常は週 1 回程度の全体ミーティングにより進捗を定期的に共有、打ち上げが近い段階では 1 日 1 解程度の個別に数人が集まったの状況確認により学生間で情報共有。教員には不定期で状況説明。
実施体制	学生：設計・開発・運用 教員：相談役	学生：設計・開発・運用 教員：相談役	学生：設計・開発・運用 教員：相談役
採用した方法の長所	ミーティングの負担は比較的少なく、1 週間単位では情報の共有が行えていたこと。ミーティングの頻度を上げる必要がある場合には状況に応じてコントロールしていた。	ミーティングの負担は比較的少なく、1 週間単位では情報の共有が行えていたこと。ミーティングの頻度を上げる必要がある場合には状況に応じてコントロールしていた。	ミーティングの負担は比較的少なく、1 週間単位では情報の共有が行えていたこと。ミーティングの頻度を上げる必要がある場合には状況に応じてコントロールしていた。
採用した方法の短所	網羅的な情報共有ができない	網羅的な情報共有ができない	網羅的な情報共有ができない
課題	N/A	レッスンプラントを残す仕組みがなかったこと	レッスンプラントを残す仕組みがなかったこと

表 5.1.4.2-17(3/3) (匿名) 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクトNo.	35		
プロジェクト名	(非公開)		
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)		
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法			
事例 No.	8	9	10
発生年月	2008 年	2008 年	2008 年
区分	運用	運用	運用
事例概要	初期運用時の地上局のハードウェア設定ミスによる衛星のテレメトリデータ異常.	地上局からのコマンドミスによる衛星の停波	温度センサの貼り付けミスによるバッテリーの残量推定ミス
マネジメント方法	通常は週 1 回程度の全体ミーティングにより進捗を定期的に共有, 打ち上げが近い段階では 1 日 1 解程度の個別に数人が集まったの状況確認により学生間で情報共有. 教員には不定期で状況説明.	運用日誌を用いて運用メンバー間での情報共有, 週 1 回程度の全体ミーティングにより進捗を定期的に共有, 打ち上げが近い段階では 1 日 1 解程度の個別に数人が集まったの状況確認により学生間で情報共有. 教員には不定期で状況説明.	週 1 回程度の全体ミーティングにより進捗を定期的に共有, 打ち上げが近い段階では 1 日 1 解程度の個別に数人が集まったの状況確認により学生間で情報共有. 教員には不定期で状況説明.
実施体制	学生: 設計・開発・運用 教員: 相談役	学生: 設計・開発・運用 教員: 相談役	学生: 設計・開発・運用 教員: 相談役
採用した方法の長所	ミーティングの負担は比較的少なく, 1 週間単位では情報の共有が行えていたこと. ミーティングの頻度を上げる必要がある場合には状況に応じてコントロールしていた.	ミーティングの負担は比較的少なく, 1 週間単位では情報の共有が行えていたこと. ミーティングの頻度を上げる必要がある場合には状況に応じてコントロールしていた.	ミーティングの負担は比較的少なく, 1 週間単位では情報の共有が行えていたこと. ミーティングの頻度を上げる必要がある場合には状況に応じてコントロールしていた.
採用した方法の短所	初期運用間近には全体ミーティングが毎日必要であったができていなかった.	運用日誌の情報量が少なく, また情報のインターフェースとしてもすぐれているわけではなかったのでメンバー間で情報共有がうまくいかないこともあった	スケジュールマネジメントが難しい
課題	レッスズラウンドを残す仕組みがなかったこと	新しく加わったメンバーに対する知識・技術の共有方法 レッスズラウンドを残す仕組みがなかったこと	N/A



表 5.1.4.2-18 (匿名) 失敗事例におけるマネジメント

プロジェクト No.	36	
プロジェクト名	(非公開)	
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)	
個別の失敗事例が発生するまでに取っていたマネジメント方法		
事例 No.	1	
発生年月	①2013年2月 ②2013年4月	
区分	サブシステム (推進系)	
事例概要	①FMの単体振動試験の際、既製品である電磁弁の製品に付属している配管が抜けた。 ②FMの単体振動試験の際、配管が破断した。	
マネジメント方法	教員1名が設計、試験のほぼ全てを担当していた。学生はスラスタの性能評価に専念していた。	
実施体制	教員1名：推進系及び電子系の設計、製造、各種試験 学生2名：スラスタの性能評価	
採用した方法の長所	責任の所在は教員に限定されるようにしていた。	
採用した方法の短所	複数の視点での検討や確認ができていなかった。	
課題	学生であっても教員とともに検討や確認を行わせる。	

### 5.1.4.3 大学・高専衛星におけるマネジメントの特徴（長所／短所、課題）

表 5.1.4.3-1 に、典型的なマネジメントスタイルの区分と該当するプロジェクトの分類を示す。大学が参加する衛星プロジェクトのスタイルには、アンケート回答から下記の3つの区分が抽出された。

1. **教員中心+学生が参加するスタイル**：教員が予算獲得、チーム編成、プロジェクトマネジメントを積極的に行い、学生メンバーは、その体制に研究活動の一環やサークル活動の一環として参加する。原則的に、教員が衛星システム全体の統括とマネジメントに強いイニシアチブを発揮する。一方で参加する学生は個々の要素開発の専門的な深い部分を担当することもあれば、教員の役割をサポートするような立場でシステム全体の統括やマネジメントのチームに参加する場合もある。
2. **学生中心+教員がアシストするスタイル**：学生がミッション定義、衛星プロジェクト遂行の中心的な役割を担い、教員は原則として予算獲得や設備利用などのアシストに注力する。学生は代々プロジェクトマネージャやサブシステムのリーダーを次の世代に引き継いでいく。原則、学生チーム内でミッションの検討/要求定義やシステム全体の設計・統括を行いつつも、個別のサブシステムや要素開発を学生チーム内で自発的に分担して進めていくケースが多い。このスタイルは、CanSat(トレーニングのための空き缶サイズの模擬人工衛星)や衛星設計コンテスト等の学生独自の取り組みから延長してスタートすることが多い。
3. **大学+大学外組織との共同開発スタイル**：大学と大学以外の組織(民間企業/研究機関)との役割を分担して実施するスタイル。大学側の教員や学生は、大学外組織との連携でプロジェクトを実施し、大学側に主導権の比率が高いプロジェクト、大学外組織側に主導権の比率が高いプロジェクトと状況に応じて変わる。一般的に、大学外組織のメンバーはプロジェクトのライフサイクル全体を通じてほぼ同じメンバーで固定されていることが多い。

※注) ここでは、大学外の組織が単なる外注メーカーではなく、マネジメント・ミッション・システムレベルでの役割を担っているケースをこの区分に識別する。

これらの分類は、とあるプロジェクトがそのライフサイクル全てを通じて同じスタイルによって遂行されている場合もあれば、とあるPhaseまでは、[2]のケース主体で進められるプロジェクトが、とあるPhaseから[1]や[3]のケースに移行するという場合も見られる。また、これらの分類の中間的なハイブリッドなスタイルであるケースも有り、きっちりとした線引をすることが難しい場合もあるが、今回のアンケートでは、各回答者の視点で該当の衛星プロジェクトがどのスタイルに最も近いかをコメントしてもらい分類した。

表 5.1.4.3-1 マネジメントスタイルの区分と該当するプロジェクト分類

プロジェクトの マネジメントスタイルの区分	該当プロジェクト分類
[1] 教員中心+学生が参加	SPRITE-SAT、RAIKO、RISING-2、RISESAT（東北大学）、MicroDragon（東京大学）、KKS-1（EMまで）（東京都立産業技術高等専門学校）
[2] 学生中心+教員はアシスト	XI-IV、PRISM（東京大学）、NEXUS（日本大学）、HORYU-2/4、Birds-1/2/3（九州工業大学）、OrigamiSat-1（東京工業大学）、STARTS-I/II（香川大学）、STARTS-C/AO/ME（静岡大学）、KKS-1（FMから）（東京都立産業技術高等専門学校）、（匿名衛星）
[3] 大学（教員+学生）+大学 外の組織との共同開発	HODOYOSHI-3/4、UNIFORM-1、PROCYON、TRICOM-1R（東京大学）、QSAT-EOS（九州大学）

プロジェクトマネジメントのスタイルによっては、メンバーのモチベーション維持のための視点、技術継承・引継ぎ・学生教育の視点、開発要素の設計情報・検証情報の再利用の視点、2号機/3号機への発展の視点等で、その特徴や長所・短所が異なっているが、大学が関わるプロジェクトの特異な点として「**教員と学生の特徴・立場上の制約等の理解**」が必要である。下記に本調査で得られた情報から抽出したまとめを示す。

・**教員**：プロジェクトの方向づけ、資金調達、官公庁手続き、設備利用支援、対外的な有識者・専門家等との連携支援を主として行う。時として、教員が中心で進める競争的研究資金等による研究活動と関連付けて遂行されることもあり、この場合に、上記[1]のスタイルによるプロジェクトマネジメントが実施されるケースが多い。1名の教員の専門分野だけで衛星プロジェクトの全ての技術範囲をカバーできない場合、別の専門分野の複数の教員が参加するケースも有る。状況によっては、この教員チームが1大学内だけではなく、他大学間の共同研究チームの体制で担保されている場合もある。また、学生としてとある大学の衛星プロジェクトに参加していた経験を有する人材が、それ以降、その大学の常勤教員、別の大学の常勤教員になり、新しい衛星プロジェクトを主導しているケースが少なからず存在している。今回のアンケートで回答のあった17名の教員の内、12名が過去にUNISECに学生として所属しており何らかの衛星プロジェクトに参加していた経験を有する教員である。大学の教育研究活動と並行してプロジェクトの業務を行うため、常時プロジェクトにエフォートを割けないという制約下でプロジェクトに参加する。エフォート率は今回のアンケート回答の平均的な範囲では、およそ15~35%程度と定義されているケースが多い。

・**学生**：プロジェクトの主な実行メンバーとなるが、単純な労働力としてではなく、教育対象としてのプロジェクト成果の受益者と定義される場合もあり、衛星プロジェクトへの参加を通して、単位取得や卒業論文研究、修士論文研究、博士論文研究の全て、またはその一部を遂行するケースもある。常勤の教員やスタッフとは異なり、必ず世代交代が発生する。在籍期間は、短いと学部の1年間程度であり、長い学生でも学部から博士修了までで5年～9年程度であり、10年間を超えて1つの大学プロジェクトに関わり続けられるケースは殆どない。学生は、研究室や学生サークルに所属するメンバーとして、衛星プロジェクトに参加する。時として、学生が独自に獲得した資金を元に遂行されるケースもあるが、教員が中心で獲得した競争的研究資金等による衛星プロジェクトに比べるとその割合は少ない。学生によって持っているスキルや経験値にはレベル差がある場合があり、大学でのプロジェクト参加前に工業高校や高専出身、中学/高校の部活動等で、電子工作やプログラミングに触れている機会の多い学生の場合は、即戦力として自発的な取り組みを進めていく場合も有る。一方で、プロジェクト内部で新人教育の活動が実施されている場合、大学入学時まで、ものづくり経験の少ない学生を対象として、学生のスキルを育成しながら枠割分担を学年ごとに継承して進めていくケースも存在している。学生への教育がプロジェクトの主目的に明示的に定義されている場合もあれば、明文化はされていないが、慣習的に学生へのOJT (On The Job Training) や実践教育題材として取り扱われている場合もある。多くの場合、上級生から下級生へ指導や新人教育が行われる。数年間に渡ってプロジェクトに参加するケースでは、学年が上がるにつれて、より責任の重いサブシステムリーダーや学生プロジェクトマネージャの役割を担当する。

また、学生と常勤教員の間接的な役割として、**ポスドク・専任教員**が雇用される場合もある。

・**ポスドク・専任教員**：エフォート率が、原則100%でそのプロジェクトに従事することになる専任スタッフ。同一大学内で修士課程・博士課程学生からの延長で参加する場合もあれば、別の大学・組織から新しく招聘されるケースも有る。ポスドクや専任教員によって衛星プロジェクトのマネジメントやシステム全体の技術的統括が主導される場合、学生と常勤教員だけで構成されているプロジェクトと比較すると、人的リソースの観点で問題が生じにくいケースが多い。一方で、ポスドクや専任教員が十分な人数参加するためには、プロジェクト予算規模との相関が有り、予算額の規模に応じて、ポスドク・専任教員の雇用数が増減する傾向にある。今回のアンケート回答では、プロジェクト予算額の回答のあった15件のうち、人数は0～4人と幅があり、予算額に対するポスドク・専任教員数は、正の相関を有している(図5.1.4.3-1参照)。また、予算額が多いプロジェクトの場合でも、専任スタッフの雇用数が0であるケースも有るが、これは連続するプロジェクトなどですでに元から潤沢なスタッフがいて新しく雇用する必要がなかったケースや、試験装置の導入や衛星の

開発費に多くの予算が割り当てられ、専任スタッフの雇用が行われなかったケースもあることが現れている。

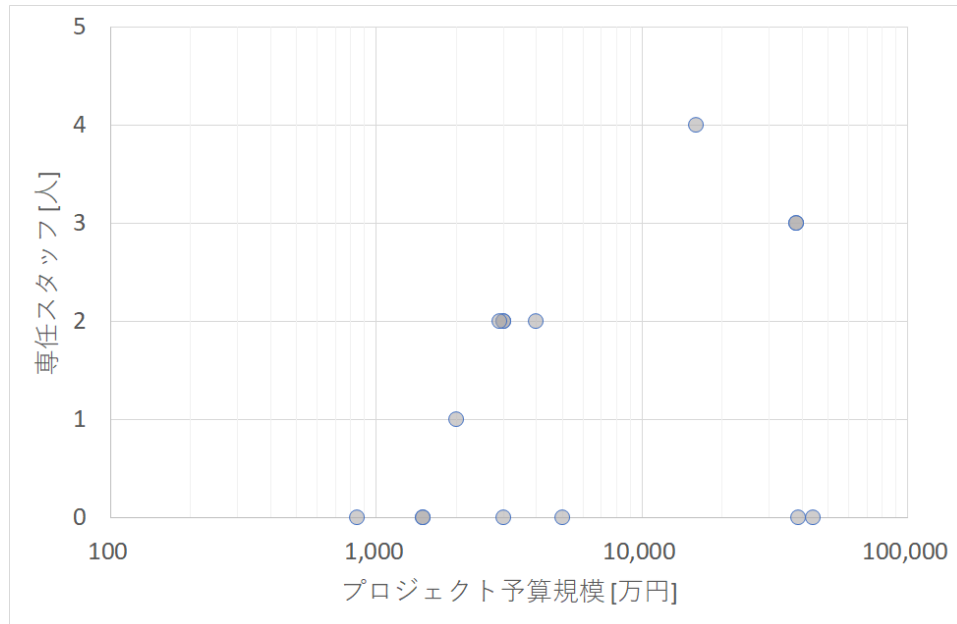


図 5.1.4.3-1 プロジェクト予算規模に対する専任スタッフ数

表 5.1.4.3-2 に今回のアンケートで回答を得られたプロジェクトの、常勤教員、専任教員・スタッフ(ポスドク含む)、学生(述べ人数、修士学生比率、博士学生比率)の集計結果を示す。延べ関与学生数は、プロジェクト全期間において参加した学生の合計人数である。延べ関与学生数が0のプロジェクトは、常勤教員・専任教員・ポスドク等のスタッフのみで実施されたプロジェクトである。専任教員は、0~15人と幅があるが平均値は、2.2人である。15人のケースは、プロジェクト予算額が他のプロジェクトの規模よりも1桁以上大きいHODOYOSHI-3/4, UNIFORM-1のケースである。述べ関与学生数に対する修士課程学生比率を見ると、最小値は0、最大値は100と広く分布が有ることがわかる。また、修士課程学生比率の平均値は70%程度であることから、多くのプロジェクトが学生が研究室に所属した後、学部4年一修士課程学生として取り組むケースが多いということを示している。博士課程学生の比率は、0~36%の範囲であり、平均は7%程度である。このことから、学生プロジェクトにおける主力は修士課程学生であるケースが最も多いということが伺える。

表 5.1.4.3-2 プロジェクト構成員人数・エフォート率の比較

項目	単位	最小	平均	最大
常勤教員数	[人]	1	2.8	6
常勤教員エフォート率	[%]	0~5	15~35	60~100
専任教員・スタッフ数	[人]	0	2.2	15
延べ関与学生数	[人]	0	17.3	40
修士学生比率	[%]	0.0	71.2	100.0
博士学生比率	[%]	0.0	7.5	36.0



### 5.1.5 開発コスト、運用コスト等のうち、信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

#### 5.1.5.1 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報を表 5.1.5.1-1～表 5.1.5.1-24 に示す。

上表には以下の事項をまとめている。

- ・プロジェクト No.
- ・プロジェクト名
- ・責任機関（実施の中心機関）
- ・開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額
- ・信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例

表 5.1.5.1-1 OrigamiSat-1/F0-98 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	1
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98
責任機関（実施の中心機関）	東京工業大学 動設計学研究室（坂本研）、および中西研究室
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>信頼性を (A) ミッション系の開発、(B) バス系の開発、(C) 安全審査/ロケット適合性確認達成のために区分して考察する。開発費の総額約 5000 万円、運用費は既存の地上局設備で学生が実施しており追加費用は少ない。(A)～(C)を合計すると開発コストのうち 8% (約 400 万円) が信頼性を高める試験に用いられた。</p> <p>(A) ミッション系開発 (約 2000 万円) で信頼性を高める活動は下記であった。微小重力試験を除けば、約 100 万円のコストであった。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・航空機を用いた微小重力環境における膜展開試験 (日本大の別予算を用いたため衛星開発費には含めていない)</li> <li>・大型真空層内での膜展開試験 (日本大が所有する真空槽を無償で使用させていただき実施)</li> <li>・地上で重力懸架しての膜展開実験を多数回実施</li> <li>・後述の熱真空試験の中でミッション系機能試験を実施</li> <li>・2 つのミッション機器単体 EM の振動試験をそれぞれ福井県工業技術センターで実施した (それぞれ 1 日の計 2 日)。</li> </ul> <p>(B) バス系開発 (約 2800 万円) で信頼性を高める活動は下記であった。開発費と試験費を切り分けるのは困難だが、100 万円程度のコスト。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・熱真空試験 (ミッション系開発を発注した株式会社ウェルリサーチの設備を学生に使用させてもらって実施)</li> <li>・恒温槽試験 (東工大の既存の恒温槽を使用)</li> <li>・実験室内での機能試験</li> </ul> <p>(C) システム安全/適合性確認のために以下の活動を行った。(C のコストは概ね 200 万円程度)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・振動試験を EM は福井県工業技術センター、FM は宮城県産業技術総合センターで 2 回実施。(遠方で実施したため旅費が 150 万円程度)</li> <li>・衝撃試験を熊本大・波多先生を東大に装置とともに招き丸 1 日を掛けて実施した。(旅費のみの負担)</li> <li>・ESSOD 放出試験をフィットチェック用 ESSOD (イプシロンロケット搭載のキューブサット放出ポッド) を用いて実施した。(東工大にて学生が実施のため費用負担は軽微)</li> </ul>
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	<p>2-1 で記述した (C) システム安全/適合性確認において以下の事例があった。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. OrigamiSat-1 は、FM の振動試験 1 回目において、電源インヒビット系に製造の不具合があり健全性を示すことができなかった。スケジュールのマージンはすでになかったため、JAXA への衛星引き渡しを遅らせていただき、FM 振動試験 2 回目を実施し健全な製造に修正できた。つまり信頼性を高めることができた一方でスケジュールを圧迫した。</li> <li>2. また、この FM 振動試験で初めて JAXA 提供の ESSOD を用いたが、レールの仕様が想定と異なっていた (図面にはない切り欠きがレールに存在した)。このため衛星の放出方向を逆にする設計に変更し、その設計でも安全であることを証明し、引き渡し手順書を作り替えるなどの作業が発生した。つまり EM の試験条件が FM と異なったことにより適切に EM において不具合要因を除去できていなかった。</li> <li>3. FM 開発の段階になって、キューブサットのレールの長さがロケット適合性要求を逸脱する (ねじのざぐりぶんレールが短すぎる) ことがわかり、ロケット側より追加の放出試験が課せられスケジュールを圧迫してしまった。EM、あるいはその以前の段階から、適合性の確認に漏れがない仕組みとできていなかった。</li> </ol>

表 5.1.5.1-2 HODOYOSHI3, 4 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	2
プロジェクト名	HODOYOSHI-3, 4
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀研究室, 次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA)
開発費 (衛星納入までに要した総コスト)、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	開発時に信頼性を高めるために実施した事項 <ul style="list-style-type: none"> <li>・新規開発機器の詳細な単体環境耐性試験</li> <li>・機器仕様変更, 改修</li> <li>・独自の姿勢系搭載ソフトウェア検証システムの構築および構築システムを用いた検証</li> <li>・定期的な設計審査会, 試験レビューの実施</li> </ul> 運用時に信頼性を高めるために実施した手順 <ul style="list-style-type: none"> <li>・新規運用支援システムの導入</li> <li>・定期的な運用会議</li> <li>・姿勢系搭載ソフトウェア検証システムによる運用手順の検証</li> </ul>
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新規開発機器の環境耐性試験期間の延長によるスケジュール遅延</li> <li>・独自の姿勢系搭載ソフトウェア検証システムの構築遅延によるスケジュール遅延</li> <li>・上記 2 つのスケジュール遅延による実績品機器機能確認試験の省略</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新規運用支援システムの開発遅延により, 別システムを用いた地上局整備を行ったため, 作業の戻りやスケジュール遅延が発生</li> </ul>

表 5.1.5.1-3 ほどよし 1号機 推進系 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	3
プロジェクト名	ほどよし 1号機 推進系
責任機関 (実施の中心機関)	東京都立大学 佐原研究室
開発費 (衛星納入までに要した総コスト)、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	金額は AXELSPACE 社に一任していたため回答者には不明だが, 以下のことを反映している. <ul style="list-style-type: none"> <li>・電磁弁を 2 直列 2 並列としてオープン故障・クローズド故障の両方に対してフェールセーフ数 1 を確保した (Dnepr 側の了解済).</li> <li>・衛星の寿命内もしくは当初充填の推進剤が全て分解したときの圧力上昇によってもタンクが破裂しないために十分な安全余裕を設定した.</li> <li>・電磁弁に付属の配管が打上時機械環境環境によって破損せぬように固定具を取り付けた.</li> <li>・当推進系の作動には当方独自のフラグ&amp;プレイ (プラグ&amp;プレイではない) を採用した.</li> </ul>
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	N/A

表 5.1.5.1-4 ほどよし 3号機 推進系 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	4
プロジェクト名	ほどよし 3号機 推進系
責任機関 (実施の中心機関)	東京都立大学 佐原研究室
開発費 (衛星納入までに要した総コスト)、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	金額は NESTRA に一任していたため回答者には不明だが, 以下のことを反映している. <ul style="list-style-type: none"> <li>・電磁弁を 2 直列 2 並列としてオープン故障・クローズド故障の両方に対してフェールセーフ数 1 を確保した (Dnepr 側の了解済).</li> <li>・衛星の寿命内もしくは当初充填の推進剤が全て分解したときの圧力上昇によってもタンクが破裂しないために十分な安全余裕を設定した.</li> <li>・電磁弁に付属の配管が打上時機械環境環境によって破損せぬように固定具を取り付けた.</li> <li>・当推進系の作動には当方独自のフラグ&amp;プレイ (プラグ&amp;プレイではない) を採用した.</li> </ul>
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	N/A

表 5.1.5.1-5 UNIFORM-1 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	5	
プロジェクト名	UNIFORM-1	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀研究室, 次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA), 和歌山大学	
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>開発時に信頼性を高めるために実施した事項</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新規開発機器の詳細な単体環境耐性試験</li> <li>・機器仕様変更, 改修</li> <li>・独自の姿勢系搭載ソフトウェア検証システムの構築および構築システムを用いた検証</li> <li>・定期的な設計審査会, 試験レビューの実施</li> </ul> <p>運用時に信頼性を高めるために実施した手順</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新規運用支援システムの導入</li> <li>・定期的な運用会議</li> <li>・姿勢系搭載ソフトウェア検証システムによる運用手順の検証</li> </ul>	
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新規開発機器の環境耐性試験期間の延長によるスケジュール遅延</li> <li>・独自の姿勢系搭載ソフトウェア検証システムの構築遅延によるスケジュール遅延</li> <li>・上記2つのスケジュール遅延による実績品機器機能確認試験の省略</li> </ul> <p>・地上局機器, ソフトウェアの整備を同時に行ったため検証項目が多くなっていた</p>	

表 5.1.5.1-6 XI-IV 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	6	
プロジェクト名	XI-IV	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀船瀬研究室	
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<ul style="list-style-type: none"> <li>・XI-IV と XI-V を同時に同じ設計で2機平行開発した。その総コストは400万円程度</li> <li>・信頼性を高めるための費用は切り出しは難しいが、設計や試験はほぼすべて、サバイバリティを強化するために行った</li> </ul>	
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	<ul style="list-style-type: none"> <li>・信頼性を得て軌道上で長期に運用すること自体をミッションと定義しているので、ミッション遂行と信頼性向上は相反しない。そのようにミッションを定義したことがよかったと考える</li> </ul>	

表 5.1.5.1-7 PRISM 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	7
プロジェクト名	PRISM/ひとみ
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀・船瀬研究室
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>開発費は 3000 万円で、信頼性に関する部分の比率は不明</p> <p>信頼性を (A) ミッションサクセスのための事項 と (B) 安全審査/ロケット適合性確認達成のための事項でまとめると</p> <p>(A)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・不具合管理表を作成し全ての不具合を解消した</li> <li>・簡単でもループシミュレータを自前で準備し姿勢制御系の検証を実施した</li> <li>・ SHIPPING 前に長期運用試験を繰り返しログに全て記録した。不審な点を見逃さず全て再現試験の上、対処した。</li> <li>・パラボリックフライトにより 0G 環境での伸展ブームの展開試験を行い展開挙動を確認した。</li> </ul> <p>(B)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・3 インビットを達成するためマイクロスイッチを 3 つ直列に搭載したが、スイッチ故障に備えて全て 2 並列とした。(計 6 個搭載した)</li> <li>・三菱重工株式会社名古屋誘導推進システム製作所にて放出機構を含めた振動試験を実施した。</li> </ul>
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	<p>(A)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・不具合を管理することになれていなかったため、仕組みを作るのに手間がかかった。(何を不具合とするか、どのタイミングで誰と共有するかなど)</li> <li>・姿勢決定・制御系のループシミュレータによる確認が必要であり、打ち上げ用ソフトウェア fix までの期限に間に合わなかった。</li> </ul> <p>(B)</p> <p>マイクロスイッチの冗長系により、試験での確認事項が増加した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・JAXAb の安全審査にこたえるために、特に打ち上げ時の 3 インビットが厳しかった。衛星を放出する POD の蓋をナイロン線で固縛し、それを切ることで蓋を開くが、このナイロン線を 2 重にするか、3 重にするかの議論を行い、最終的には 2 重で認めてもらった。</li> <li>・安全審査に向けて、試験の結果などを報告する必要があるため、そのために作成した報告書のページ数が数百ページ程度になり、学生を一人それぞれ対応に割り当てざるをえなかった。その作業は莫大であった。</li> </ul>

表 5.1.5.1-8 TRICOM-1, 熱真空試験 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	8
プロジェクト名	TRICOM-1, 熱真空試験
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀・船瀬研究室
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>開発時に信頼性を高めるために実施した事項</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・システム熱真空試験の実施</li> <li>・経験者への助言依頼</li> <li>・関連 PJ 文書などの精査 (JAXA 基準も含)</li> </ul>
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	N/A



表 5.1.5.1-9 TRICOM-1R 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	9	
プロジェクト名	TRICOM-1R	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀・船瀬研究室	
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	開発費は 3000 万円で、信頼性に関する部分の比率は不明。一年前に TRICOM-1 を打ち上げたがロケットの失敗で軌道上までは届かなかった。その成果を利用しての TRICOM-1R は FM だけを開発した。したがって、トータルの開発費は 5~6000 万円になる。	
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	N/A	

表 5.1.5.1-10 PROCYON 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	10	
プロジェクト名	PROCYON	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀・船瀬研究室	
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	開発開始から打ち上げ（引き渡し）まで 1 年強のプロジェクトであったため、信頼性を十分に高めるために活動したというよりは、時間的な制約の中でいかに効率的に軌道上で発揮すべき必要な機能を検証して打ち上げられるか（必要な機能全てを事前検証することは不可能で、いかに効率的に検証して生存可能性を最大化するか）という考え方であったため、明示的に「これは信頼性を高めるための活動」というものは意識しておらず、全ての開発行為が「検証することでより生存可能性を高めるためのもの」であった。	
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	1. PROCYON 以前の中須賀研地球周回衛星では、宇宙はんだ付け講習を受講した学生がフライト品のはんだ付けを行ったり、ハーネスの圧着作業を行っていた。しかし、PROCYON では学生によるはんだ付け・ハーネス作業は行わず、全て業者に頼んだ。これにより、信頼性は上がったと思われるが、開発費の増大、業者とのスケジュール調整の負担は増大した。	



表 5.1.5.1-11 MicroDragon 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	11
プロジェクト名	MicroDragon (略称: MDG)
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀・船瀬研究室
開発費 (衛星納入までに要した総コスト)、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>信頼性を (A) ミッションサクセスのため と (B) 安全審査/ロケット適合性確認達成のために区分して考察すると、</p> <p>(A) が主目的となる活動には、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・熱真空試験を 2 回行ったこと (1 回目の熱真空試験@九工大でのトラブルが改善したことを、2 回目の熱真空試験@早稲田で再確認)</li> <li>・姿勢制御系の HILS 検証を SHIPPING 前に実施したこと (学生 2 名がベトナムから遠隔参加、教員 4 名が日本から支援、レビューに参加)</li> <li>・太陽電池展開パドルの検証に学外エンジニアを招き丸 1 日を掛けて実施したこと (教員 2 名とエンジニア 1 名で実施、学生不参加)</li> <li>・初期運用に参加する学生メンバー (日本に期間限定で来日したベトナム人) に運用前の事前教育 (1 週間ほど) を実施したことが挙げられる</li> </ul> <p>(B) が主目的となる活動には、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・振動試験を 2 回実施したこと (1 回目@九工大、2 回目@つくば宇宙センター)</li> <li>・衝撃試験を熊本大・波多先生を東大に装置とともに招き丸 1 日を掛けて実施したこと (教員 3 名が参加、学生不参加)</li> <li>・作業中の不具合で破損した FM バッテリ内蔵ヒューズの交換作業 (メーカへ返送、実費発生)</li> <li>・ロケット側が実施したダイナミックバランス試験に相乗りし、スピン中の衛星の健全性、前後でのインヒビット健全性を確認 (教員 3 名、3 日)</li> </ul> <p>それぞれの活動で、人を招くための謝金/料金、試験のための人件費、設備費、衛星の移動コストが発生した。 (東大内部の限定情報のため具体的金額は、回答者は不明)</p>
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	<p>信頼性を (A) ミッションサクセスのため (B) 安全審査/ロケット適合性確認達成のために区分して考察すると、</p> <p>(A) では、上記で挙げたもののうち、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・熱真空試験を 2 回行う必然性が生じたことによるスケジュール追加 (準備期間も含めて +2 ヶ月程度)</li> <li>・姿勢制御系の HILS 検証での想定期間の超過: +2 週間程度</li> </ul> <p>が挙げられる。</p> <p>(B) では、上記で上げたもののうち、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2 回目の振動試験が、場所と時間の制約からつくば宇宙センターを利用したことによる追加コスト</li> <li>・作業中の不具合で破損した FM バッテリ内蔵ヒューズの交換作業の追加コスト</li> </ul> <p>が挙げられる。</p>

表 5.1.5.1-12 50 kg 級衛星ミッション機器開発 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	12
プロジェクト名	50 kg 級衛星ミッション機器開発
責任機関 (実施の中心機関)	非公開
開発費 (衛星納入までに要した総コスト)、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>開発時に信頼性を高めるために実施した事項</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・単体動作、単体環境耐性試験</li> <li>・有識者からの助言を求めた</li> <li>・バス開発チームへのコンタクト</li> </ul> <p>運用時に信頼性を高めるために実施した手順</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・なし (ミッション機器動作段階に到達せず)</li> </ul>
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バス開発チームからの作業依頼の増加</li> </ul>

表 5.1.5.1-13 KKS-1 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	13
プロジェクト名	KKS-1 (輝汐)
責任機関 (実施の中心機関)	東京都立産業技術高等専門学校
開発費 (衛星納入までに要した総コスト)、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	無重量実験は MPLAB で 30 万円程度。衛星分離機構の分離速度・分離角度を知るためにかけた費用・旅費含む。 振動試験・衝撃試験は群馬県産業技術センターまで 12 回行った。試験費は 12 回×4 時間×3000 円程度かけ、そこに往復旅費がかかった。
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	信頼性を高める作業より、環境試験時の不具合対応のほうがプロジェクトを圧迫した。

表 5.1.5.1-14 QSAT-EOS 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	14
プロジェクト名	QSAT-EOS
責任機関 (実施の中心機関)	九州大学
開発費 (衛星納入までに要した総コスト)、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	当時学生であり予算管理する立場になかったため詳細は不明。 信頼性に関しては、一般的な衛星の試験を実施したことに加え、特筆すべき事項としては、 打ち上げが数回 (当初予定から合計して約 2 年) 遅れたため、特にテレコマ系、姿勢系、スケジューラ系などのソフトウェア系に関しては 1 年以上の時間を使い試験を行うことができた。 これにより様々な不具合を洗い出すことが可能であった。 一方で参加機関・企業が多岐に亘ったことによりスケジュール調整が難しく、発電まわりなどハードウェア関係は頻繁な試験はできなかった。
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	N/A

表 5.1.5.1-15(1/2) RISESAT 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	15
プロジェクト名	RISESAT
責任機関 (実施の中心機関)	東北大学吉田・栗原研究室/北海道大学高橋研究室
開発費 (衛星納入までに要した総コスト)、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>開発費：総額 380,866 千円 (ペイロードの開発費は別)          運用費：大学職員の人件費のみ(1人/年)、及び学生 別途設備の維持管理費(基本的には電気代)(100万円未満)          開発コスト：</p> <p>(A) Mission Assurance</p> <p>A-1 先行するプロジェクトでの実績 (SPRITE-SAT の起動上実績、及び RISING-2 の地上評価実績) を最大限に活用した。          A-2 通信系の仕様に関し、基幹部分はそのまま継承しつつ、機能を拡充してより複雑なデータ処理が可能となるようにした。          A-3 電源系のバッテリーと電源制御装置に関し、電源制御系の基本機能は継承しつつ、交互充電機能を追加することでバッテリーの 2 並化(大容量化)を達成した。(新規開発 1000 万円程度)          A-4 衛星内主要電算装置間の通信規格、及び電算装置の基本機能は下位に位置する FPGA に実装するという設計方針を継承しつつ、上位の CPU の電算装置の能力を向上することで、データ処理能力の向上を達成した。また、これにより、CPU が動作不良に陥った際にも FPGA を介して衛星の基本機能が制御できることになり、信頼性向上に寄与した。          A-5 発電能力向上のために展開パネルを搭載することとしたが、展開パネルを展開しない状態でも電力収支が成立する設計とし、初期運用時の信頼性を担保した。          A-6 電源制御装置を衛星内で最高信頼性を有する装置としてシステム設計を行い、比較的高価な宇宙用 FPGA (RTSXSU) を適用することとした。また、これにより電源制御装置の電源はロケットからの分離時に電源投入された後はリセットを行わない設計とし、システムを簡略化した。(200 万円程度)          A-7 宇宙用 FPGA を活用する箇所については、開発の柔軟性を高めるため、民生用 FPGA に同一のフットプリント (208QFP) があるものを採用した。出戻りが無いよう、高価だが若干大き目のゲートサイズを選定した。(100 万円程度)          A-8 衛星の主電算装置の設計を変更し、CPU と FPGA 間の通信をバス通信からシリアル通信に変更して基板を分離できるように工夫すると共に、CPU の FPGA 依存度を下げ、要求に応じて CPU ボードを交換可能となるようにした。また、CPU ボードを 2 台搭載して待機冗長設計とし、永久故障への対策を講じることで信頼性向上に努めた。(1000 万円程度)          A-9 姿勢制御系の電算装置に System-on-Chip (SoC) 設計を適用し、1 台の FPGA にソフト CPU コアと機器インターフェースロジックを実装し、全装置と直接インターフェースをとれるようにすることで構成部品点数を削減し、信頼性向上に努めた。(1500 万円程度)          A-10 理学機器制御装置に Plug-and-Play インターフェースを採用し、全てのペイロード機器とのインターフェースを統一することで、ソフトウェアの共通化をも図り、信頼性の向上に努めた。(2000 万円程度)          A-11 新規設計となった展開パネルについては、民間の衛星構造・機構系開発経験者の知見に頼り、技術的なサポートを依頼した。(100 万円程度)          A-12 姿勢制御系の搭載装置には最大限の冗長設計、機能冗長を適用した。恒星センサ 2 台、RW4 台、地球センサ 4 台。(500 万円程度)          A-13 RW については、ゼロクロス割け、ベアリングの寿命を向上できるよう、4 台を 4-skew 配置とした。(300 万円程度。A-12 に含まれる)          A-14 地上評価環境も衛星の開発と並行して開発に着手し、地上でのシステム電気試験を入念に実施することで信頼性向上に努めた。(1000 万円程度)          A-15 UHF 帯のコマンド通信が周辺国からの電波との干渉で不安定であるという問題に対応するために、プロジェクトの後半で S 帯アップリンク機能を追加し、信頼性向上に努めた。(250 万円程度)          A-16 電源制御装置に衛星中央電算装置のウォッチドックタイマ機能を統合し、中央電算装置の動作不良時には自動リセットをかける設計とした。(A-6 に同じ)          A-17 打上げロケットが、当初予定していた H-IIA からイプシロンロケットに変更となったが、ロケット分離検出スイッチについては設計変更をせず、従来の実績を活用できるように JAXA/ロケットと技術調整を行った。          A-18 衛星に搭載する光学機器にはアライメントキューブを搭載することとし、地上においてミスアライメントを計測し、取り付け誤差の校正を行った。(100 万円程度)          A-19 質量特性計測を行い、カウンターウェイトを用いて衛星の質量特性を調整し、スピン安定性の向上を図った。(200 万円程度)          A-20 各種一連の環境試験を実施した。(500 万円程度)</p> <p>(B) 安全設計</p> <p>B-1 各種一連の環境試験を実施した。(金額にして 500 万円程度と見積もる。A-20 に含まれる。)          B-2 展開パネルの保持開放機構には高価だが商用デバイスを用いることとした。(金額にして 600 万円程度と見積もる)          B-3 当初提示された環境試験レベルで振動試験を実施したところ、主構造の一部が損傷したため修理した。後日、環境試験レベルは低減されることとなった。(金額にして 100 万円程度と見積もる)          B-4 当初提示された通りロケットとの結合箇所のボルトを取り扱ったところ、潤滑不足のため、雄ネジと雌ネジが噛みあい、分離できなくなったため、ロケットインターフェースリングを再製作した。後日、該当箇所のボルトの取り扱い方法が変更され、潤滑材の使用が可能となった。(金額にして 100 万円程度と見積もる)</p> <p>運用コスト(コストは運用に要する期間で評価することにする)：</p> <p>C-1 軌道上で恒星センサと光学機器とのアライメント校正を行った。(約 1 か月程度)          C-2 軌道上で光学センサのラジオメトリック校正を行った。(毎月 5 日程度、1 年間程度)          C-3 搭載 GPS 受信機の性能/精度評価を行った。(毎月 5 回程度、1 年間程度)</p>

表 5.1.5.1-15 (2/2) RISESAT 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	15	(RISESAT 続)
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	以下の事例で圧迫された。	
	A-9 姿勢制御系の電算装置に System-on-Chip (SoC) 設計を適用し、1 台の FPGA にソフト CPU コアと機器インターフェースロジックを実装し、全装置と直接インターフェースをとれるようにすることで構成部品点数を削減し、信頼性向上に努めた。(1500 万円程度)	
	FPGA のロジックを VHDL 言語である Verilog で開発を行ったが、特殊な開発環境と、長いコンパイル時間、不十分なデバッグ環境などが原因で開発に時間がかかり、後半においては技術者を追加で雇用する必要が生じた。	
	A-10 理学機器制御装置に Plug-and-Play インターフェースを採用し、全てのペイロード機器とのインターフェースを統一することで、ソフトウェアの共通化をも図り、信頼性の向上に努めた。(2000 万円程度)	
	当初は購入品で済まされると思われた Plug-and-Play 対応の搭載機器(スウェーデン製)であったが、米国の輸出規制のため入手困難となり、独自に開発を行うこととなった。搭載機器の販売業者と協力したものの、ソフトウェアの追加開発評価費用、相互の行き来に要する旅費、追加で必要となる機材等に費用がかかると共に、開発時間が大幅(5 年程度)に超過した。	
	A-12 姿勢制御系の搭載装置には最大限の冗長設計、機能冗長を適用した。恒星センサ 2 台、RW4 台、地球センサ 4 台。(500 万円程度)	
	搭載センサの一部は研究課題として学生が担当した。修士課程生約 3 名程度、延べ 6 年程度の開発期間を要した。	
	A-15 UHF 帯のコマンド通信が周辺国からの電波との干渉で不安定であるという問題に対応するために、プロジェクトの後半で S 帯アップリンク機能を追加し、信頼性向上に努めた。(250 万円程度)	
	UHF 帯の問題はプロジェクト開始当時は存在せず、後半で判明したものであった。プロジェクト終盤の判断であったため、衛星の設計変更には大きな影響を与えた。搭載予定であった X 帯アンテナを 1 台、太陽センサを 1 台、搭載を断念した。	
	A-17 打上げロケットが、当初予定していた H-IIA からイプシロンロケットに変更となったが、ロケット分離検出スイッチについては設計変更をせず、従来の実績を活用できるように JAXA/ロケットと技術調整を行った。プロジェクト後半で打ち上げロケットが変更となったために、関連個所の構造設計の変更の必要が生じた。ハーネスのルーティングにも影響が及び、大きな設計変更を要した。	
A-18 衛星に搭載する光学機器にはアラインメントキューブを搭載することとし、地上においてミスアラインメントを計測し、取り付け誤差の校正を行った。(100 万円程度)		
アラインメントキューブは高価であると共に、アラインメント計測用の専用のセオドライトの入手性が悪く、調整に時間を要した。		
A-19 質量特性計測を行い、カウンターウェイトを用いて衛星の質量特性を調整し、スピン安定性の向上を図った。(200 万円程度)		
質量特性計測用の治具を新規製作する必要が生じた。試験設備への衛星の搬送に費用を要した。EM での事前検証、及び FM 実機での作業が必要なことから、FM 開発の最終段階での作業工程が増え、プロジェクトマネジメントを圧迫した。		
B-2 展開パネルの保持開放機構には高価だが商用デバイスを用いることとした。(金額にして 600 万円程度と見積もる)		
安全審査にはデバイスの内部構造に踏み込んだ議論が必要となり、業者から情報を開示してもらう必要が生じた。また、場合によっては業者の協力が必須な追加試験を求められる可能性もあり、時間、必要経費、交渉の面でプロジェクトの負担が大きくなる。独自開発したデバイスの方が、安全審査対策の観点からは柔軟な対応が可能となる。		
B-3 当初提示された環境試験レベルで振動試験を実施したところ、主構造の一部が損傷したため修理した。後日、環境試験レベルは低減されることとなった。(金額にして 100 万円程度と見積もる)		
よかれと思って試験を実施したが、損傷してしまったために出戻りが大きくなった。実績の無い試験については事前に慎重に検討が必要である。		
B-4 当初提示された通りロケットとの結合箇所のボルトを取り扱ったところ、潤滑不足のため、雄ネジと雌ネジが噛みあい、分離できなくなったため、ロケットインターフェースリングを再製作した。後日、該当箇所のボルトの取り扱い方法が変更され、潤滑材の使用が可能となった。(金額にして 100 万円程度と見積もる)		
ロケットとのインターフェース(ボルト、面精度等)の規定を甘く考えていたことが原因。ファスナーのトルク管理や抜き差し回数など、初回組み立て時から管理を要する項目があるため、予め確認が必要である。		



表 5.1.5.1-16 SPRITE-SAT 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	16
プロジェクト名	SPRITE-SAT (別名: RISING, 雷神)
責任機関 (実施の中心機関)	東北大学吉田研究室・高橋研究室
開発費 (衛星納入までに要した総コスト)、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>予算管理担当ではないため、厳密には把握していない。東北大衛星シリーズの場合、おおまかにはバス系1億、ペイロード系1億を要する。本衛星は第一号機のため、アンテナ設備の学内移設や、運用設備のリファービッシュを必要とし、追加で地上局系1億を要している。</p> <p>1号機であるため、信頼性向上のための追加の作業は、特別に実施していない。</p> <p>環境試験の実績は以下の通り。          ※下記のいずれもつくば宇宙センターの小型衛星試験棟にて実施。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ MTM 質量特性計測 (3 日間)+MTM 振動試験 (16 日間)</li> <li>・ FM 分離衝撃試験 (6 日間)</li> <li>・ フィットチェック計測 (2 日間) (図 1)</li> <li>・ FM 振動試験 (11 日間)</li> <li>・ FM 質量特性計測 (3 日間) (図 1)</li> <li>・ FM 再振動試験 (4 日間)</li> <li>・ 熱真空試験 (1 週間 x 2 回) 兼ベーキング (図 2)</li> </ul>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <p style="text-align: center;">図 1 SPRITE-SAT のフィット チェック計測と質量特性計測</p> <p style="text-align: center;">図 2 SPRITE-SAT の熱真空試験</p> <p>図は参考文献 [5.1-8] による。</p>
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	<p>以下の試験は、初経験ゆえに時間を過剰に要している。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ MTM 振動試験 (16 日間) … FM 用パネル (セルなし)+ダミーマスの組み合わせで実施。振動試験では 2 度の不具合により、期間が長期化した。いずれも解体・改修・再組立てが必要となったが、不具合は解消された。1 度目の不具合はダミーマス固有の問題であり、バーの両端から各 1 本で締結しており、緩みやすい構造であった。ネジ本数を増量して解消した。</li> <li>・ FM 振動試験 (11 日間) … 正弦波、正弦波バースト、ランダム。いずれも AT。電気試験治具を持ち込んで、システム電気試験も実施したため、総日数は長引いた。フライト用の分離結合部 (PAF239M) を使用したため、結合担当者の作業時間も要した。</li> <li>・ FM 再振動試験 (4 日間) … 再試験の理由は、最初の試験の時に 1 点の機器の搭載が間に合っていないためである。再試験のため、ランダム AT 加振のみで許容された。</li> <li>・ 熱真空試験 (1 週間 x 2 回) 兼ベーキング … JAXA 東大阪オフィスにて実施。-200°C のチャンバに FM を收容し、衛星を覆う IR ヒータによりパネル温度を 37°C に上げ、アウトガス量を計測。温度は 36 点計測、宇宙空間での放射熱入力を模擬して実施。</li> </ul>

表 5.1.5.1-17 RAIKO 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	17
プロジェクト名	RAIKO
責任機関（実施の中心機関）	東北大学吉田研究室
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>大まかに、搭載電子基板（電力制御、通信機）に 800 万円、膜展開部に 300 万円、構造設計および製造に 200 万円を要す。その他、大学内製の DH 基板 (FPGA)、ペイロード基板に 200 万円を要す。</p> <p>環境試験の実績は以下の通り。 ISS 輸送のため、4Grms のランダム試験のみ、EM と FM で各 1 日、負担は小さかった。県試験場での振動試験に加え、学内でベーキング 72 時間、熱真空試験 4 日間、以上のべ 9 日間で環境試験は完了。衛星が小型であるため、大学保有の恒温槽と真空容器で熱真空試験が実施できた点は労力を低減できた。これらの試験のノウハウは、先行開発の RISING-2 を継承したものである。</p>
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	N/A

表 5.1.5.1-18 RISING-2 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	18
プロジェクト名	RISING-2（雷神 2）
責任機関（実施の中心機関）	東北大学吉田研究室・北海道大学高橋研究室
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>大まかに、バス系 1.8 億、ペイロード系 1.8 億、その他 0.3 億程度である。本衛星では EM と FM を別個体で製造したため、SPRITE-SAT よりもコストが増えている。</p> <p>環境試験の実績は、以下の通り</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ MTM 振動試験 (EM パネル+アルミダミー+セルなし) 県試験場で 1~2 日の試験を 4 回実施</li> <li>=&gt; 合計 16ch の加速度計測装置を導入し、どの試験場でも、同条件で応答波形(周波数、レベル)を計測できるようにした。これにより、各試験場のセンサの特性に寄らず、安全安心に試験を実施することが可能になった。</li> <li>・ EM 熱真空試験 (ヒーターを外面パネルに直貼り+セルなし) JAXA 相模原で実施。約 1 週間。衛星外面はアルミ無垢であるため、チャンバ内壁との熱結合は弱いと想定。ヒータ入力、各パネル中央にセラミックヒータを貼り付けて実施。主にパネル間の熱伝達係数の同定を目的とした。また、EM 機器に対する、低温・高温試験も実施。</li> <li>・ EM 振動試験 (EM パネル+EM 機器+セルなし) 九州大学にて実施。MTM 試験で問題個所の処置は終了していたため、トラブルなく、1 週間以内に完了</li> <li>・ FM 分離衝撃試験 つくば宇宙センターにて実施。問題は生じなかった。</li> <li>・ FM 温度試験 九州工業大学にて、5 日間で実施。内部機器は -5℃~+40℃、外部パネルは -20℃~+55℃、バッテリーはヒータ過熱。本試験の結果は、安全審査における膜展開機構の温度試験も兼ねる。低温時に搭載機器の温度計測機能に不具合を発見し、設計上の不備と特定、解決した。失敗として、結露対策が十分でなく、衛星に多くの汚れが付着してしまった。幸い、機器の損傷には至っていない。熱真空試験よりも装置運転の負担が楽な一方、FM 衛星にとってはリスクが高いことを体験した。</li> <li>・ FM 熱真空ベーキング作業 九州工業大学にて、4 日間で実施。電気試験は実施せず、ベーキング(ガス抜き)に専念した。打上機主衛星がコンタミを嫌うため。結果的に、FM 衛星に対しては、真空下における高温低温試験は実施せず、恒温槽での温度試験の結果で代用した。</li> <li>・ FM 振動試験 九州工業大学にて、5 日間で実施。正弦波バースト、正弦波加振、ランダム加振を実施。</li> </ul>
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	N/A



表 5.1.5.1-19 NEXUS 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	19
プロジェクト名	NEXUS
責任機関（実施の中心機関）	日本大学宮崎研究室
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>開発に関しては、信頼性を高めるための特段の作業は行っていませんが、試験検証と言う意味では、以下の通りです。</p> <p>(1) EM 振動試験（トラブルがあったため、計 3 回実施）：治具等も含め、91 万円  (2) EM 衝撃試験（トラブルがあったため、計 2 回実施）：20 万円  (3) EM 熱真空試験：57 万円  (4) FM バッテリ振動試験（Li-ion 電池の健全性確認等）：治具等も含め、55 万円  (5) FM バッテリ衝撃試験：25 万円  (6) FM 振動試験（ちょっとしたミスがあり、計 2 回実施）：71 万円  (7) FM 衝撃試験：25 万円  (8) FM ベークアウト：16 万円</p> <p>運用に関しても、特に信頼性を高めるための作業は行っていません（アンプの増設など、必要な性能を得るための作業はしましたが）。</p>
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	<p>上記の通り、信頼性を高めるための特段の作業は行っていないため、プロジェクトを圧迫した事例はありません（そもそも、最低限の信頼性要求については打ち上げ機側から提供されているので、概念設計の段階で考慮しておけば、特にプロジェクトを圧迫することはない気がします。もちろん、「後出し」で追加の信頼性要求が課せられれば圧迫されますが、本衛星に関してはそういうことはありませんでした）。</p>

表 5.1.5.1-20 STARS 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	20
プロジェクト名	STARS
責任機関（実施の中心機関）	香川大学能見研究室
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>この時期固有と思われるが、国際宇宙ステーション地上公募研究があり、採択された場合に研究費以外に実験実施を準備してくれる制度があった。これを使用して、放射線試験&amp;熱真空試験@つくば、落下&amp;航空機実験を実施した。  東大阪施設@JAXA が相乗り衛星は利用できたため、振動試験およびアウトガス試験を実施した。  衝撃試験はつくばで実施した。  以上、各種試験コストはほぼかからない状況、ただし学生を多く動員しており旅費は相応に発生した。</p> <p>なお、初の衛星開発であるため、開発環境を整えるコストが総コストの半分くらい占めた。</p>
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	<p>安全審査のフェーズⅡくらいから、資料作成、試験等に時間を取られ、初めてのことで工数配分の見通しもできておらず、ミッションの試験を実施することができなかった。ミッション試験は BBM 段階で実施したのみとなった。EM レベルでもする計画であったが、マンパワー的にできなかった。</p>

表 5.1.5.1-21 STARS-II 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	21	
プロジェクト名	STARS-II	
責任機関（実施の中心機関）	香川大学能見研究室	
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>衛星部品費は 1000 万円程度。 初号機の予備品等を多用しており、これらは上記に含んでいない。上記以外に旅費等は相応に発生した。</p> <p>信頼性を高めるコストは、とくにミッション機器に注力したが、参加主要機関の JAXA 研開本部、静岡大山極研、それぞれ手弁当であった。</p>	
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	N/A	

表 5.1.5.1-22 STARS-C 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	22	
プロジェクト名	Stars-A0	
責任機関（実施の中心機関）	静岡大学能見研究室	
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>開発コストのうち：40%</p> <p>信頼性を高めるために実施した事項</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 通信機器を実績あるメーカーから購入</li> <li>2. 宇宙用太陽電池セルを購入</li> </ol>	
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	N/A	

表 5.1.5.1-23 STARS-A0 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	23	
プロジェクト名	STARS-C	
責任機関（実施の中心機関）	静岡大学能見研究室・山極研究室	
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>太陽電池セルは宇宙用を静岡大学が準備した。</p> <p>通信系について無線機は実績のあるものを静大で購入、通信制御系はアマチュア技術家が開発したのでコスト的にはかかっていない。</p>	
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	N/A	

表 5.1.5.1-24 STARS-Me 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	24	
プロジェクト名	STARS-Me	
責任機関（実施の中心機関）	静岡大学	
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>開発コストの50%</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・宇宙機器開発実績メーカーに外注</li> <li>・太陽電池、無線機、通信基板は実績品を購入</li> </ul>	
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	通信系を万全にする方針で、静岡大学の電気電子の教員に依頼。アンテナ測定など最後の調整に時間を要した。	

表 5.1.5.1-25 鳳龍弐号 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	25	
プロジェクト名	鳳龍弐号	
責任機関（実施の中心機関）	九州工業大学衛星開発プロジェクト	
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>衛星プロジェクトの全体コストは、Non-recurring Cost(インフラ投資)を含んで 2000 万円です。</p> <p>衛星のハードウェアは多分 500 万円程度。</p> <p>太陽電池は、軌道上データと引き換えに、宇宙用太陽電池メーカーからセルをつないだ状態にしたものをもらったので、費用ゼロ。</p> <p>ミッション機器の開発・試験にかなり費やしています。たぶん 1000 万くらいインフラ費は 500 万円くらい？</p> <p>運用は学生がやっているの、運用中のアンテナ・補修メンテナンスの実費くらいですが、50 万もかかってない。</p>	
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	<p>火工品を用いた衛星分離衝撃試験以外の全ての試験は学内で行なった。超小型衛星試験センターが始まったばかりで、自分たちで一通りの衛星試験のノウハウを得るのに必要と思われたので、試験は徹底的に行なった。試験にかけた日数は 2289 人・日にもなった。</p> <p>学内での試験は苦にはならなかったが、FM の分離衝撃試験をつくばで行ったため、衛星の輸送と学生の旅費に 50 万円近くの費用がかかった。</p>	

表 5.1.5.1-26 鳳龍四号 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	26	
プロジェクト名	鳳龍四号	
責任機関（実施の中心機関）	九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー	
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>衛星プロジェクトの全体コストは、1 億 6000 万円</p> <p>人件費 (OBC の外注費も含む) が 6000 万円ほど</p> <p>S-band 地上局の新設に 3000 万円ほどかかっている。</p> <p>ミッション機器の開発・試験にかなり費やした。</p> <p>試験は、超小型衛星試験センターが本格稼働したので、試験費用は内部で吸収した。</p> <p>運用は学生とスタッフがやっている。S バンドの受信が当初の機器ではうまく行かなかったため、別会社から急遽受信機をレンタルする等の手配を行った (50 万円ほど)</p>	
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	<p>外部で行なった試験は、放射線試験 (京都大学で 2 回)、分離衝撃試験 (筑波で 1 回) だけで、その旅費と輸送費がかかったが、外部試験にかかった費用は 50 万から 100 万円の間。</p>	

表 5.1.5.1-27 BIRDS-1 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	27	
プロジェクト名	BIRDS-1	
責任機関（実施の中心機関）	九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー	
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>4000 万円のうち、打ち上げ費用が 1500 万円。</p> <p>残り 2300 万円は開発費に使用</p> <p>地上局の新設に 200 万円。運用は学生が行なったので、地上局設置以外にはほとんどお金がかかっていない。</p>	
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	N/A	

表 5.1.5.1-28 BIRDS-2 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	28
プロジェクト名	BIRDS-2
責任機関（実施の中心機関）	九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	3000 万円のうち、打ち上げ費用が 900 万円。 運用で地上局の改修等で 200 万円程度を使用。運用は学生が行なったので、それ以外にはほとんどお金がかかっていない。 残り 1900 万円は開発費に使用
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	N/A

表 5.1.5.1-29 BIRDS-3 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	29
プロジェクト名	BIRDS-3
責任機関（実施の中心機関）	九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	2900 万円のうち、打ち上げ費用が 900 万円。 地上局の既設のものを使用。運用は学生が行なったので、それ以外にはほとんどお金がかかっていない。 残り 2000 万円は開発費に使用
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	N/A

表 5.1.5.1-30（匿名） 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	30
プロジェクト名	（非公開）
責任機関（実施の中心機関）	（非公開）
開発費（衛星納入までに要した総コスト）、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	開発時に信頼性を高めるために実施した事項 ・新規開発機器の詳細な単体環境耐性試験 ・機器仕様変更, 改修 ・独自の姿勢系搭載ソフトウェア検証システムの構築および構築システムを用いた検証 ・定期的な設計審査会, 試験レビューの実施  運用時に信頼性を高めるために実施した手順  ・新規運用支援システムの導入 ・定期的な運用会議 ・姿勢系搭載ソフトウェア検証システムによる運用手順の検証
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	・新規開発機器の環境耐性試験期間の延長によるスケジュール遅延 ・独自の姿勢系搭載ソフトウェア検証システムの構築遅延によるスケジュール遅延 ・上記 2 つのスケジュール遅延による実績品機器機能確認試験の省略  ・新規運用支援システムの開発遅延により, 別システムを用いた地上局整備を行ったため, 作業の出戻りやスケジュール遅延が発生

表 5.1.5.1-31 (匿名) 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	31	
プロジェクト名	(非公開)	
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)	
開発費 (衛星納入までに要した総コスト)、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>開発時に信頼性を高めるために実施した事項</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新規開発機器の詳細な単体環境耐性試験</li> <li>・機器仕様変更, 改修</li> <li>・独自の姿勢系搭載ソフトウェア検証システムの構築および構築システムを用いた検証</li> <li>・定期的な設計審査会, 試験レビューの実施</li> </ul> <p>運用時に信頼性を高めるために実施した手順</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新規運用支援システムの導入</li> <li>・定期的な運用会議</li> <li>・姿勢系搭載ソフトウェア検証システムによる運用手順の検証</li> </ul>	
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新規開発機器の環境耐性試験期間の延長によるスケジュール遅延</li> <li>・独自の姿勢系搭載ソフトウェア検証システムの構築遅延によるスケジュール遅延</li> <li>・上記 2 つのスケジュール遅延による実績品機器機能確認試験の省略</li> </ul> <p>・新規運用支援システムの開発遅延により, 別システムを用いた地上局整備を行ったため, 作業の戻りやスケジュール遅延が発生</p>	

表 5.1.5.1-32 (匿名) 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	32	
プロジェクト名	(非公開)	
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)	
開発費 (衛星納入までに要した総コスト)、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>開発時に信頼性を高めるために実施した事項</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・単体動作, 単体環境耐性試験</li> <li>・有識者からの助言を求めた</li> <li>・バス開発チームへのコンタクト</li> </ul> <p>運用時に信頼性を高めるために実施した手順</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・なし (ミッション機器動作段階に到達せず)</li> </ul>	
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バス開発チームからの作業依頼の増加</li> </ul>	



表 5.1.5.1-33 (匿名) 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	33
プロジェクト名	(非公開)
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)
開発費 (衛星納入までに要した総コスト)、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>信頼性を (A) ミッションサクセスのための事項 と (B) 安全審査/ロケット適合性確認達成のための事項でまとめると</p> <p>(A)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・不具合管理表を作成し全ての不具合を解消した</li> <li>・簡単でもループシミュレータを自前で準備し姿勢制御系の検証を実施した</li> <li>・ SHIPPING前に長期運用試験を繰り返しログに全て記録した。不審な点を見逃さず全て再現試験の上、対処した。</li> <li>・パラボリックフライトにより 0G 環境での伸展ブームの展開試験を行い展開挙動を確認した。</li> </ul> <p>(B)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・3 インヒビットを達成するためマイクロスイッチを3つ直列に搭載したが、スイッチ故障に備えて全て2並列とした。(計6個搭載した)</li> <li>・三菱重工株式会社名古屋誘導推進システム製作所にて放出機構を含めた振動試験を実施した。</li> </ul>
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	<p>(A)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・不具合を管理することになれていなかったため、仕組みを作るのに手間がかかった。(何を不具合とするか、どのタイミングで誰と共有するかなど)</li> <li>・姿勢決定・制御系のループシミュレータによる確認が必要であり、打ち上げ用ソフトウェア fix までの期限に間に合わなかった。</li> </ul> <p>(B)</p> <p>マイクロスイッチの冗長系により、試験での確認事項が増加した。</p>

表 5.1.5.1-34 (匿名) 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	34
プロジェクト名	(非公開)
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)
開発費 (衛星納入までに要した総コスト)、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<p>当時学生であり予算管理する立場になかったため詳細は不明。 信頼性に関しては、一般的な衛星の試験を実施したことに加え、特筆すべき事項としては、 打ち上げが数回(当初予定から合計して約2年)遅れたため、特にテレコマ系、姿勢系、スケジューラ系などのソフトウェア系に関しては1年以上の時間を使い試験を行うことができた。 これにより様々な不具合を洗い出すことが可能であった。 一方で参加機関・企業が多岐に亘ったことによりスケジュール調整が難しく、発電まわりなどハードウェア関係は頻繁な試験はできなかった。</p>
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	N/A



表 5.1.5.1-35 (匿名) 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	35	
プロジェクト名	(非公開)	
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)	
開発費 (衛星納入までに要した総コスト)、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱真空試験を2回行ったこと(知識不足からくる準備工程の長期化, 試験機不足からくる1回目の試験では試験機が不十分で試験失敗, 2回目の試験では別の場所で試験をし成功)</li> <li>・長期運用試験(学生5名が1か月ほど朝から晩まで作業, バグが出るとやりなおし)</li> <li>・設計レビュー会(教員1名と学生)</li> <li>・海外コーディネータ, 打ち上げだったため, 海外のコーディネータの機関に赴き振動試験を実施(学生3名)</li> </ul>	
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱真空試験を2回行う必然性が生じたことによるスケジュール追加</li> <li>・長期運用試験の不具合と再試験</li> </ul>	

表 5.1.5.1-36 (匿名) 信頼性を高めるために要したコストに関する概略情報

プロジェクト No.	36	
プロジェクト名	(非公開)	
責任機関 (実施の中心機関)	(非公開)	
開発費 (衛星納入までに要した総コスト)、運用費各々の概算と、その中で信頼性を高めるために割り当てた額	N/A	
信頼性を高めるための作業がプロジェクトを圧迫した事例	<p>当方での最初の衛星搭載推進系の開発であったため, 全てが模索状態であった。そのため識者からの助言を多く頂いたが, 開発が先行していたものは後戻りができないため, 対処療法となった。この一連の不手際が当方にとって重圧と圧迫として感じられた。</p>	

### 5.1.5.2 信頼性を高めるために要したコストに関する検討

表 5.1.5.2-1 に回答のあった衛星プロジェクト予算規模の分類に基づく統計情報を示す。最小値は、1U CubeSat のケースで、衛星の開発費のみで 400 万円、打上げ費用、地上局設置費用を含めて 850 万円である。最大値は、50kg 級衛星のケースで、4 億 4000 万円である。平均値を見ると、1 億 3400 万円であり、多くのプロジェクトが数千万円～数億円の規模で実現されていることが推測されるが、中央値を取ると 3000 万円であり、衛星の規模も 1～10kg 級の 3 件が該当している。

表 5.1.5.2-1 プロジェクト予算規模分類

項目	値	備考
対象報告件数	15 件	非公開/不明の回答、および HODOYOSHI-3/4、UNIFORM-1、を除く
最小値	400 ～ 850 万円	1U CubeSat のケース 打上げ費用・地上局費用を含む場合、含まない場合の範囲
平均値	1 億 3400 万円	
中央値	3000 万円	1 ～ 10kg 級衛星 3 件が該当
最大値	4 億 4000 万円	50kg 衛星のケース

信頼性を高めるための活動のなかでコストを要したものとして、下記のような事例が報告されており、具体的な金額のあるものは下記のとおりである。

#### 1UCubeSat

- [XI-IV] 全予算額 850 万円のうち、打上げ費用が 250 万円程度、地上局系に 200 万円、複数 (2 機) の 1U CubeSat 合わせて**開発費 400 万円程度**
- [Birds-1] 全予算額 4000 万円のうち、打上げ費用 1500 万円、地上局系に 200 万円、**開発費 2300 万円**、複数 (5 機) の 1U CubeSat が開発された事例 1
- [Birds-2] 全予算額 3000 万円のうち、打上げ費用 900 万円、地上局系に 200 万円、**開発費 1900 万円**、複数 (3 機) の 1U CubeSat が開発された事例 2
- [Birds-3] 全予算額 2900 万円のうち、打上げ費用 900 万円、**開発費 2000 万円**、複数 (3 機) の 1U CubeSat が開発された事例 3

- **[NEXUS] 試験/検証に掛かる費用の例 合計金額：360万円**
  - (1) EM 振動試験（計 3 回実施）：治具等も含め，91 万円
  - (2) EM 衝撃試験（計 2 回実施）：20 万円
  - (3) EM 熱真空試験：57 万円
  - (4) FM バッテリー振動試験（Li-ion 電池の健全性確認等）：治具等も含め，55 万円
  - (5) FM バッテリー衝撃試験：25 万円
  - (6) FM 振動試験（計 2 回実施）：71 万円
  - (7) FM 衝撃試験：25 万円
  - (8) FM ベークアウト：16 万円

XI-IV、Birds-1/2/3 の事例を見ると、1U CubeSat 1 機あたりの開発費単価は、開発費を衛星の機数で除して、それぞれ、200 万円、460 万円、633 万円、666 万円程度となる。複数の部品や基板を同時に設計・製造・検証することによるコスト低減効果も見込まれるため、単純な比較はできないが、実績を示す一例として、1U CubeSat は、おおよそ 200～700 万円の開発費（試験や検証のためのコスト、地上局設備のコスト、打上げ費用を除いたもの）で実現されているケースが多いということが分かる。また、NEXUS の例に報告のあった全 8 件の検証にかかるコストを合算すると概ね 360 万円程度となり、1U CubeSat の衛星の開発費に対して、同水準程度のコストを費やす必要があることが分かる。また、打上げ費用についても、衛星の機数で除算すると 1U CubeSat は、250～300 万円程度であるが、2020 年時点における商業的な 1U の打上げの 1 機体あたりの相場を考慮するとこれ以上の額になることも報告があり、打上げ費用についても同水準程度のコストが妥当であると言える。

このような観点から、これまでの成功実績を元に考慮すると、開発費、地上検証費、打上げ費を 1：1：1 程度のバランスで見積って定義することが「身の丈にあった」ミッションを行うための一つの目安となるのではないかと考察される。

### 3～10kg 級衛星

- [KKS-1] 無重量実験：30万円程度（衛星分離機構の分離速度・分離角度を知るためにかけた費用・旅費含む）、振動試験・衝撃試験試験費：12回×4時間×3000円程度（約14万円）＋往復旅費
- [OrigamiSat-1] 開発費の総額約5000万円のうち8%（約400万円）が信頼性を高める試験に用いられた、(A) ミッション系開発（約2000万円）(B) バス系開発（約2800万円）(C) システム安全／適合性確認（概ね200万円程度）
- [STARS-II] 衛星開発費1000万円程度
- [RAIKO] 搭載電子基板（電力制御、通信機）：800万円、膜展開部：300万円、構造設計および製造：200万円、大学内製のDH基板（FPGA）・ペイロード基板：200万円

今回のアンケートで回答を得られた事例の中の3～10kg級の衛星では、開発費の規模が数千万～1億円未満の範囲にあることが報告されており、どの要素にどの程度のコストを割り振るかは、衛星プロジェクトごとの方針、ミッションの特徴などで傾向が異なっている。これは、1Uという最小単位のCubeSat規格の場合と比較すると、2Uや3UのCubeSat、その他のCubeSat規格には準じていない10kg級以下の衛星では、衛星のコンフィギュレーションの自由度が高く、2機に分離することを前提としたシステム設計、展開要素の収容体積が大きいシステム設計、内蔵されたミッション機器の体積・形状に違いがあるシステム設計など様々なシステムの特徴が存在していることが反映されているのではないかと考察される。1U以上の複雑度の高い衛星システムにおいては、開発費、検証費、打上費に法則を見出すことは現時点の分析では難しいが、今後より多くの事例を収集し議論を継続していかれることを期待したい。

### 50kg 級衛星

分析対象として、RISATの事例より金額情報を抜粋して抽出する。RISAT(表5.1.5.1-15)のこの項目の内、具体的な金額情報の含まれる項目(A-3, A-6, A-7, A-8, A-9, A-10, A-11, A-12, A-14, A-15, A-18, A-19, A-20)から抜粋したまとめを表5.1.5.2-1に示す。大学衛星でも、信頼性を高めるために必要があるという判断においては、宇宙用部品が選定されるケースもあり、RISATの事例では、CDH(データ処理)のカテゴリにおいて、宇宙用FPGAを適用するために比較的比率の高いコストが費やされたことが報告されている。どのサブシステムにどの程度の追加コストをかける必要が生じるかという判断は、連続するプロジェクトの過去の実績とのかねあい決定される部分もあるため単純な比較はできないが、他の50kg級のプロジェクトにおいても、CDH(データ処理)のOBC(On Board Computer)や基板、電子部品の機能を冗長化したという事例が複数件、報告されており、電子基板上の要素、データ処理関連の機能は冗長化によるコストを追加で掛ける事例が多い傾向にあると考察される。

表 5.1.5.2-2 50kg 級衛星における信頼性向上のために要した金額の一例  
(RISAT (表 5.1.5.1-15) より抽出)

区分	金額概算 [万円]	対象項目
通信	250	A-15
電源	1200	A-3, A6
CDH (データ処理)	4600	A7, A-8, A-9, A-10
姿勢制御	500	A-12
展開/機構	100	A-11
地上検証・試験	1800	A-14, A-18, A-19, A-20

具体的な金額として明示的に示されていないものもあるが、アンケートの回答より、信頼性を高めるためにコスト (= 時間、工数) を費やすべき下記の要素も抽出された。

- ・有識者/経験者によるレビュー/設計審査 (打上げ前)
- ・冗長系の導入：特に通信系、電源系、OBC 等のコアな要素を複数搭載した事例が多い
- ・地上試験、環境試験、特に機能試験、パラボリックフライト/落下/無重量試験 (数件)
- ・システム試験に加え、機器単体試験に時間/労力をかけた事例
- ・姿勢系搭載ソフトウェア検証システムの構築や HILS 試験
- ・ハーネスの製作やはんだ付けなどの外注、ワークマンシップエラーの提低減
- ・実績のある (高価な) 搭載機器の利用

また、信頼性を高めるために時間を費やして実施されたことが報告されているが、大学において金銭的なコスト換算が難しい要素として、下記のような活動も報告されている。

- ・会議などのマネジメント/情報共有に伴う活動
- ・不具合表管理、文書管理

大学において、これらのマネジメント活動を「誰」が「どのような前提」で実施しているかが定量的なコスト評価のためのポイントとなるが、学生が主体で行う場合、教員・専任スタッフが主体で行う場合、また、学生に対し教員や専任スタッフが教育的な指導を行いながら実施する場合という様々なスタイルや状況が存在しているため、その時に費やされている人の工数的な金額を適切に見積もることは、「5.1.4.3 大学・高専衛星におけるマネジメ

ントの特徴」で述べたような大学ならではのコンテキストの理解が必要である。単純に外注のスタッフに依頼して作業をこなしてもらった成果物以外の教育的な効果、その取組みを通じて学生の教育につなげるための事前の配慮に伴う調整活動などにも掛かるコストがあることが大学におけるコスト分析の勘所であることが、複数の教員からの分析事例からも抽出された。大学における活動において、金額に換算できないコストを試算するためには、費やした時間の定量的な分析が必要となるが、今回のアンケート回答の中では十分な数の時間配分に関するレポートを収集することができなかつたため、今後継続して定量的な情報を収集し、分析を継続することが必要であると考察する。



## 5.1.6 「成功」や「失敗」を通して得られた教訓等

### 5.1.6.1 成功を通して得られた教訓

成功を通して得られた教訓等を表 5.1.6.1-1～表 5.1.6.1-24 に示す。

これらの表には以下の事項をまとめてある。

- ・プロジェクト No.
- ・プロジェクト名
- ・責任機関（実施の中心機関）
- ・「成功」を通して得られた教訓（プロジェクト全体を通して得られた教訓）  
（開発や運用を通して得られた気づき事項、工夫すべき事項、信頼性向上に対する提言）

### 5.1.6.2 失敗を通して得られた教訓

失敗を通して得られた教訓等を表 5.1.6.2-1～表 5.1.6.2-26 に示す。

これらの表には以下の事項をまとめてある。

- ・プロジェクト No.
- ・プロジェクト名
- ・責任機関（実施の中心機関）
- ・「失敗」を通して得られた教訓（プロジェクト全体を通して得られた教訓）  
（開発や運用を通して得られた気づき事項、工夫すべき事項、信頼性向上に対する提言）

これらの教訓、ならびに、5.1.2 項～5.1.5 項までの調査結果を基に、超小型衛星ミッションを成功させる上で必要な要件項目（超小型衛星を開発・運用する上で最低限実施すべき事項）を抽出した。

抽出した内容について、5.2 項にまとめた。

表 5.1.6.1-1(1/2) OrigamiSat-1/F0-98 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.	1	
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98	
責任機関（実施の中心機関）	東京工業大学 動設計学研究室（坂本研）、および中西研究室	
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	<p>OrigamiSat-1 は打ち上げから 2 年経ってもまだ 4 つあるミニマムサクセスクライテリアの 1 つを達成したのみで、フルサクセスクライテリア 3 つは 1 つも達成できていない、失敗の多い衛星となった（注：上記執筆後の 2021 年 1 月に信号が復活しミッション再開運用中）。したがって開発責任者として、開発してわかった気づきは非常に多くある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・技術的な気づきとして最大のものは、「小型衛星システムはシンプルに作る事が最重要」であることで、OrigamiSat-1 開発は開発責任者の考えが浅かったため、衛星は開発過程でどんどん複雑になってしまった。システムが複雑だと開発に時間がかかり、時間が足りないと試験がおろそかとなり、信頼性が下がり軌道上での不具合につながる。そしてシンプルなシステム作りには正しい方法論が（おそらく）あることである。</li> <li>・マネジメント的なものとしては、学生に給料を（ほとんど）払わないことで開発における人件費がかからないが、一方で学生のモチベーションを引き出す仕組みが重要ということである。OrigamiSat-1 は開発の末期にようやく学生たちの本気（当事者意識）を引き出すことができたが、少し遅すぎた。そして単に当事者意識を持てるようにするだけでなく、皆が「シンプルなモノづくり」を志すようにマネージャーが明確な方向付けを行わなくてはいけない。単に当事者意識が高まっただけであれば、自分の担当部分の信頼性だけを上げるためにシステムを複雑化する方向に個々の学生たちのマインドは行きがちになる。これをシステム全体の視点から方向転換するよう促すようなマネジメントが重要である。OrigamiSat-1 ではこのようなマネジメントは欠如しており、したがって学生たちは本気になったものの、システム全体としては信頼性が高いシステムとはできなかった。</li> </ul>
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	<p>上述の通り、開発の過程は完成するシステムの信頼性に直結する。信頼性の低いシステムができてしまったのは、開発のプロセスの誤りであったと考えている。開発を工夫することでより多くの成果をあげることができたことは間違いない。</p>
	その場合、どのような工夫があればよかったか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・技術的な工夫としては、信頼性を冗長系で高めるアプローチは基本的に排除し、1 系だけの信頼性をとにかく高めること、そして万が一不具合が起きてもしリセットで初期状態に戻れるようにすることでその 1 系のロバスト性を高めること、である。とにかく多くの試験で 1 系だけを強くするアプローチを取るべきだった。OrigamiSat-1 には多くの冗長な機能があり、まだミニマムサクセスのシステムもできていない中でアドバンストサクセスのシステムの開発にスケジュールを割くなどしてしまっていた。まずは最低限のことができる目途が立つてから、枝葉へ手を伸ばすのではなくてはいけない。</li> <li>・マネジメント的なものとしては、学生のモチベーションを引き出しつつ、システム全体のシンプルさを追及すること、を両立することである。まずきちんと学生たちに仕事を任せること。自分が居なくてはこの衛星は打ちあがらない、そしてそこに時間を費やすことは自分の人生にとって重要なことだ（だから体はハードでも心は楽しい）と思ってもらわなくてはいけない。したがってライバル校との切磋琢磨や、先輩後輩の良い関係などが、完成する衛星の信頼性のキーとなる。そして PI はとにかくシステム全体のシンプルさを言い続けること。「最低限のことが確実にできるシステムを作るのだ」と誰かが強く言い続けなくては、少なくとも学生新メンバーはそれが重要だとは通常、実感しえないだろう。</li> </ul>

表 5.1.6.1-1(2/2) OrigamiSat-1/F0-98 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.		1	(OrigamiSat-1/F0-98 続)
成功を通して得られた教訓			
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	<p>運用は衛星の重要な一部であり、まさに地上と宇宙のインターフェース部分なので、運用シーケンスは最初に設計され、その設計に基づき衛星が設計されるくらいでなくてはならなかった。OrigamiSat-1 では運用経験者がほとんどいなかったため、開発審査会で指摘を受けていたにも関わらずその意味を理解できず、衛星の設計に反映されることはできなかった。具体的には下記 2 点である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・HK データとして何をダウンリンクするかを最初にすべて言い当てることのできるのはよほどの経験者だけであり、通常は試験を通して「このデータもあったほうが良さそう」と気づいていく。したがってHK データのドラフトは開発の初期に決定し、開発の過程で何度も模擬運用を行って運用のしやすい衛星を作っていくのではなくてはいけない。</li> <li>・マネジメント的なものとして、まずは開発者全員がなるだけ開発の早い段階で（他の類似の衛星の）地上局運用を経験してみる。そして、BBM でも、EM でも、模擬運用を地上局のコンソール前で実施すること。それにより、自分が開発している部分が、衛星が宇宙に行ってから地上からどのようにアクセスできるかが初めてイメージできる。また、この手順が、自分の活動の重要性を理解し当事者意識を高める活動となりうる。OrigamiSat-1 で開発の終盤に学生たちが当事者意識を高めたのはやはり、「この衛星は宇宙に行くんだ」と実感できる環境だったからだと思う。</li> </ul>	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	もう衛星が宇宙に行ってしまうてからは、OrigamiSat-1 については運用側で工夫できることはあまりなかった。地上局から衛星のプログラムを書き換えられるように設計すればまた異なった体験となったと思うが、それについてはまだ経験がなくわからない。	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	地上局から衛星のプログラムを書き換えられるようにすることで、運用の自由度を高められる可能性はあると思うが、開発の難易度は高まるように思われ、経験の蓄積を要すると感じる。	
その他	<p>OrigamiSat-1 の開発が本格化してから、学生たち（主に修士課程）は自分たちの修士論文に割ける時間は大幅に減ってしまったはずにも関わらず、修士論文の質はどんどんと高まっていったと感じている。これには二つの要因があると考え。第一に、学生たちの当事者意識が高まり、「自分がここでがんばることには確かに意味がある」と感じられるようになったからだと思う。宇宙は教科書や画面の向こうの世界ではなく、自分の手が届く場所となった。自己効用感の高まりが、キューブサット開発以外の方向にも向いたのだと思う。第二に、単純に優秀な学生が集まるようになった、ことである。優秀な、というのは、単に「お勉強」ができるだけでなく、自分の手を動かして何かを変えようという意欲・経験があり、かつ一人だけではできないことをチームで実現しよう、というマインドがある、という意味である。衛星開発をしていると学内外に知れ渡ること、そのような学生が私の研究室に集まるようになった。</p>		
信頼性向上に関する提言	<ul style="list-style-type: none"> <li>・EM の段階で、ミッションに関しては End-to-End 試験が完了していること、そしてロケット適合性要求が確実に達成できる見込みであること、を厳格に評価しあうコミュニティがあると良いと考える。OrigamiSat-1 では EM 段階での見落とし（なあなあにしていた課題）が FM に蓄積し、スケジュールを圧迫した。ロケット側にも EM 段階では確定していなかった要求（試験用ポッドがない）もあったが、そのリスクを私は正しく認識できていなかった。</li> <li>・運用体験を行ってから衛星設計をしていく、というリバースエンジニアリングのような教育には大きな価値があると感じる。（UNISEC では HEPTA-Sat キットを用いて実現を目指している。）まずは森を見てから、一つ一つの木を見ていくのではなくては、システムの複雑化を避けることが難しい。</li> <li>・信頼性の高いバス機器の共通化。このバスの上に自由なミッションを載せる、ようにすれば、システム全体の信頼性は相当上がるだろう。</li> </ul>		

表 5.1.6.1-2 HODOYOSHI-3, 4 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.	2	
プロジェクト名	HODOYOSHI-3, 4	
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀研究室, 次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA)	
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった 気づき事項 (技術 的なもの、マネジ メント的なもの)	目的意識をもって試験を実施することの重要性。 大学関係者、企業などの OB、新卒学生を中心としたチームであった。プロジェクト自体の目的にも関連していたが、バックグラウンドに関連する技術レベルや認識・優先度や設計思想の差異に折り合いをつけること、それに伴う学習や意識合わせに多くの時間を要した。個人的には貴重な経験であったが、期間内での効率的な衛星開発・納入という観点からは無駄も多かったかと思う。 マネジメントについては、個々人が概ね目的に則した構成を果たしていたが、構成要員の自身の認識する立ち位置と求められる立ち位置との乖離や、個人の特性とは合致していない人員配置なども発生していた。
	開発を工夫すること により多くの成 果を挙げることが できたと思うか?	工夫の余地はあった
	その場合、どのよ うな工夫があれば よかったか	衛星開発・納入とは別の目的のゴールも設定されていたため、途中の段階まではチームの構成員が認識するゴールに差異が発生していた。このあたりの認識のギャップを埋める工夫があった方がよかったかもしれない。
運用	運用してわかった 気づき事項 (技術 的なもの、マネジ メント的なもの)	運用訓練の重要性、事前試験での検証が必須。無理のない継続的な運用には、長期的な視点による運用チームの構築が必須。
	運用を工夫すること により多くの成 果を挙げることが できたと思うか?	思う
	その場合、どのよ うな工夫があれば よかったか	プロジェクトの雇用期間が開発期間までであったため、開発メンバーが運用には専念しにくかった側面があった。運用計画見直しなどに十分な時間が取れなかったため長期的な視点による運用チームの構築ができていれば、より効率的な運用が可能となった可能性が高い。
その他	・限られたリソース下においてスケジュール保持と検証計画の遂行を両立させるのは難しかった	
信頼性向上に関する提言	JAXA ロケットへの相乗りの際の安全審査において、ロケット・主衛星に対する安全という視点だけでなく、宇宙機の正常・継続的な動作という視点からの助言が必要な組織も多いかと思う。	



表 5.1.6.1-3 ほどよし 1号機 推進系 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.	3	
プロジェクト名	ほどよし 1号機 推進系	
責任機関 (実施の中心機関)	東京都立大学 佐原研究室	
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった 気づき事項 (技術 的なもの、マネジ メント的なもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・推進系を搭載するに当たっての法令や規制、指針について開発に伴い修得、適用することができたが、これは大きな資産となり、以降の開発に極めて有効である。即ち、一度でも開発経験を得ることは、次以降での迷走を大幅に低減することができる。</li> <li>・当推進系の作動に採用した当方独自のフラグ&amp;プレイ (プラグ&amp;プレイではない) は、確実な動作又は停止に対して極めて有効であった。</li> </ul>
	開発を工夫すること により多くの成 果を挙げることが できたと思うか?	<ul style="list-style-type: none"> <li>・圧力容器について、「JERG-0-001C 宇宙用高圧ガス機器技術基準」の「免除規定」を適用した。これによりタンクの開発に関する工数・工程を大幅に低減できたと考えている。またこれにより、既製品ではない、任意形状のタンクを自主開発することができるようになった。</li> <li>・ほぼ同時期に開発していた UNIFORM-1 及びほどよし 3号機のための推進系と多くの部品を共通化していたが、製作物や配管の仕様が微妙に異なっていたことから、各部のモジュール化等の工夫を導入すれば良かった。</li> </ul>
	その場合、どのよ うな工夫があれば よかったか	推進系の各部の共通化またはモジュール化、例えばスラストやタンクの部品を共通化するなどが考えられる。
運用	運用してわかった 気づき事項 (技術 的なもの、マネジ メント的なもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軌道上噴射時のスラスト内温度の測定を熱電対にて行っていたが、出力電圧をアンプにて増幅しているだけであったためノイズが極めて大きく、有意な履歴を取得できないことが多かった。地上試験ではそれでも何とかデータ取得できていたのでそのまま打ち上げたのだが、地上試験でのノイズの大きさは把握していたのでその点で改善すべきであった。</li> </ul>
	運用を工夫すること により多くの成 果を挙げることが できたと思うか?	<ul style="list-style-type: none"> <li>・推進系の軌道上実証の優先度は高くなかったため、噴射回数が限定されていた。運用計画を工夫して噴射回数を確保することができれば、噴射総時間を長くすることができた。</li> </ul>
	その場合、どのよ うな工夫があれば よかったか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・衛星の全体的な運用計画に当初から推進系作動を組み込む。</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Dnepr ロケットの打上時機械環境は H-IIA と比べて極めて静穏であった。超小型衛星にとっては静穏環境が好まれるであろうから、今後の打上競争ではこの点も重要視されるであろう。</li> </ul>	
信頼性向上に関する提言	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一部でも短期間でも衛星開発及び会議に参加して、現場を経験することが必要であると思われる。開発全体で得られる経験に比べれば僅かではあっても、机上のお勉強では得られない、現場での一声一声が大いに鍛錬になると思われる。</li> </ul>	

表 5.1.6.1-4 ほどよし 3号機 推進系 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.	4	
プロジェクト名	ほどよし 3号機 推進系	
責任機関 (実施の中心機関)	東京都立大学 佐原研究室	
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった 気づき事項 (技術 的なもの、マネジ メント的なもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 推進系を搭載するに当たっての法令や規制、指針について開発に伴い修得、適用することができたが、これは大きな資産となり、以降の開発に極めて有効である。即ち、一度でも開発経験を得ることは、次以降での迷走を大幅に低減することができる。</li> <li>・ 当推進系の作動に採用した当方独自のフラグ&amp;プレイ (プラグ&amp;プレイではない) は、確実な動作又は停止に対して極めて有効であった。</li> </ul>
	開発を工夫すること により多くの成 果を挙げることが できたと思うか?	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 圧力容器について、「JERG-0-001C 宇宙用高圧ガス機器技術基準」の「免除規定」を適用した。これによりタンクの開発に関する工数・工程を大幅に低減できたと考えている。またこれにより、既製品ではない、任意形状のタンクを自主開発することができるようになった。</li> <li>・ ほぼ同時期に開発していた UNIFORM-1 及びほどよし 1号機のための推進系と多くの部品を共通化していたが、製作物や配管の仕様が微妙に異なっていたことから、各部のモジュール化等の工夫を導入すれば良かった。</li> </ul>
	その場合、どのよ うな工夫があれば よかったか	推進系の各部の共通化またはモジュール化、例えばスラスタやタンクの部品を共通化するなどが考えられる。
運用	運用してわかった 気づき事項 (技術 的なもの、マネジ メント的なもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 軌道上噴射時のスラスタ内温度の測定を熱電対にて行っていたが、出力電圧をアンプにて増幅しているだけであったためノイズが極めて大きく、有意な履歴を取得できないことが多かった。地上試験ではそれでも何とかデータ取得できていたのでそのまま打ち上げたのだが、地上試験でのノイズの大きさは把握していたのでその点で改善すべきであった。</li> </ul>
	運用を工夫すること により多くの成 果を挙げることが できたと思うか?	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 推進系の軌道上実証の優先度は高くなかったため、噴射回数が限定されていた。運用計画を工夫して噴射回数を確保することができれば、噴射総時間を長くすることができた。</li> </ul>
	その場合、どのよ うな工夫があれば よかったか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 衛星の全体的な運用計画に当初から推進系作動を組み込む。</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Dnepr ロケットの打上時機械環境は H-IIA と比べて極めて静穏であった。超小型衛星にとっては静穏環境が好まれるであろうから、今後の打上競争ではこの点も重要視されるであろう。</li> </ul>	
信頼性向上に関する提言	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 一部でも短期間でも衛星開発及び会議に参加して、現場を経験することが必要であると思われる。開発全体で得られる経験に比べれば僅かではあっても、机上のお勉強では得られない、現場での一声一声が大いに鍛錬になると思われる。</li> </ul>	



表 5.1.6.1-5 UNIFORM-1 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.	5	
プロジェクト名	UNIFORM-1	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀研究室，次世代宇宙システム技術研究組合 (NESTRA)，和歌山大学	
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	目的意識をもって試験を実施することの重要性。 大学関係者，企業などの OB，新卒学生を中心としたチームであった。プロジェクト自体の目的にも関連していたが，バックグラウンドに関連する技術レベルや認識・優先度や設計思想の差異に折り合いをつけること，それに伴う学習や意識合わせに多くの時間を要した。個人的には貴重な経験であったが，期間内での効率的な衛星開発・納入という観点からは無駄も多かったかと思う。 マネジメントについては，個々人が概ね目的に則した構成を果たしていたが，構成要員の自身の認識する立ち位置と求められる立ち位置との乖離や，個人の特性とは合致していない人員配置なども発生していた。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	工夫の余地はあった
	その場合，どのような工夫があればよかったか	衛星開発・納入とは別の目的のゴールも設定されていたため，途中の段階まではチームの構成員が認識するゴールに差異が発生していた。このあたりの認識のギャップを埋める工夫があった方がよかったかもしれない。
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	運用訓練の重要性，事前試験での検証が必須。無理のない継続的な運用には，長期的な視点による運用チームの構築が必須。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	思う
	その場合，どのような工夫があればよかったか	プロジェクトの雇用期間が開発期間までであったため，開発メンバーが運用には専念しにくかった側面があった。運用計画見直しなどに十分な時間が取れなかったため長期的な視点による運用チームの構築ができていれば，より効率的な運用が可能となった可能性が高い。
その他	・限られたリソース下においてスケジュール保持と検証計画の遂行を両立させるのは難しかった	
信頼性向上に関する提言	JAXA ロケットへの相乗りの際の安全審査において，ロケット・主衛星に対する安全という視点だけでなく，宇宙機の正常・継続的な動作という視点からの助言が必要な組織も多いかと思う。	

表 5.1.6.1-6(1/2) XI-IV 成功を通して得られた教訓

プロジェクトNo.	6	
プロジェクト名	XI-IV	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀・船瀬研究室	
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	<p>開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・モチベーションの重要性：世界初の1kg衛星を開発するというマインドは強いモチベーションを生み、それが力となった</li> <li>・当時はWEB上にはCubeSat用機器はなく、ほとんどの装置が自分たちでの開発、民生品の改造、企業と共同での開発（通信機）であったが、それが各機器の深い理解につながり、次のミッションにも経験・知見としてつながった</li> <li>・マネジメントでは、学生は2つのサブシステムに所属することで、各サブシステムの会議をやれば、他のすべてのサブシステムとのインターフェースはわかる状態であり、これは効率につながった。週1のサブシステムMTG、サブシステムリーダーの全体会合も2週間に1回程度</li> <li>・教員は、資金調達、開発のインフラ整備とコンサルテーションに徹し、学生が自分で考え、意思決定も自分で行わせることを取って実施した。学生は其中で急速に成長した</li> <li>・設計通りには動かないので、動くまでの洗練化に時間が予想以上にかかる。</li> <li>・打ち上げがなかなか決まらなかったため、ほぼ完成状態から1年ほど時間があり、その時間を利用して様々な運用試験を実施できたことで、ソフトを中心としたバグ出市が十分できた。この時間余裕は非常に重要。</li> </ul>	
	<p>開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・衛星の軌道上でのサバイバビリティに徹したことで、衛星は17年を超えて健康に生き続けている。以下にそのいくつかを載せる</li> <li>一PICプロセッサ (PIC16F877) を3台、C&amp;DH、送信機、受信機に配置し、それぞれのサブシステムの作業をすると同時に他の系の動作を監視し、異常時（ハングアップ時）にはその系の電源系をOFF-ON（リセット）することで健全性を維持（相互監視）。また、過電流も同様に相互監視し、見つかったら迅速にリセットをかけてSEEに対策。（図参照）</li> <li>・全体の発生電力の見込みが平均0.8W(食も考慮)なので、その中ですべての作業を実施すべく、小消費電力機器の利用に心がけた。特にPIC16F877は数mWの消費電力であり、3個あっても非常に小さい。また、NASDAのCfの放射線試験装置での実験で、非常に耐放射線性能が高いことが分かったので、それを採用した。実際に軌道上で17年間にわかり放射線現象は一回もなし。</li> <li>・CanSatなどモノづくりのプロジェクトを事前にやっていたことが大きな効果</li> <li>・外部にコンサルテーションしてくれる人を探し(NASDA、宇宙研、企業などで)、電子系、通信など不得手な分野のノウハウをたくさん教えていただいたこともよかった。</li> </ul>
その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	

表 5.1.6.1-6(2/2) XI-IV 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.		6	(XI-IV 続)
成功を通して得られた教訓			
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・東大に設置したアマチュア局（八木アンテナ、VHF アップリンク、UHF ダウンリンク）による運用。</li> <li>・打ち上げた直後に 8 個の衛星が同時放出され、NORACD 上で OBJECT A~I まで表示が出た中で、どれが自分の衛星かを見極める作業が 4, 5 日かかった。その間、世界中のアマチュア無線家の中で「どれがどの衛星か」の議論が行われ、非常に盛り上がったことを記憶している。</li> <li>・この作業は、AOS, LOS の時刻とドップラーシフト量が OBJECT A から I の軌道が正しいと考えたときの予測値と、実際の計測値の関係を使って探索した。液晶発信機が温度安定性の関係で周波数にバイアスを持ったため、ドップラーが完全に一致するものはなかったが、バイアスをもって平行移動するものがあったので、それを参考に探索し、4, 5 日後に見つかった。</li> <li>・AOS, LOS の時刻を参考にして、軌道を推定する方法は日本航空宇宙学会の論文に出した。小田靖久、中須賀真一、Fernando Priya、アマチュア無線機材を用いた超小型衛星の軌道要素補正手法の研究、Space Technology, Vol. 7, pp. 33-36, 2008</li> </ul>	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	<ul style="list-style-type: none"> <li>・NORAD の軌道情報を最大限利用。それで全く問題なかった。</li> <li>・最初の数日はどの OBJECT であるかは不明であったが、いずれもほぼそばにいたので、間違った OBJECT を追いかけても問題なかった。</li> <li>・運用は初期は 5, 6 名で 3 台の端末で運用していたが、1 年後には 1 名にでき、自動化ソフトもだいぶ整備された。</li> <li>・研究室の新人に運用を当番制でやらせることで、衛星運用の肌感覚をつかませる運用訓練を教育の一部として使った。</li> </ul>	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	
その他	N/A		
信頼性向上に関する提言	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自身の能力を的確に把握し、身の丈にあったミッションや複雑度の衛星開発を目指すこと</li> <li>・事前に CANSAT などモノづくりプロジェクトを行って十分な経験を持って実施する事</li> <li>・モノ作りだけでなく、宇宙環境、軌道、姿勢制御、通信など、様々な基礎の勉強をしっかり行った上で開発を開始する事</li> <li>・経験者のコンサルテーションを受けること</li> </ul>		

表 5.1.6.1-7(1/2) PRISM 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.		7
プロジェクト名		PRISM/ひとみ
責任機関（実施の中心機関）		東京大学中須賀・船瀬研究室
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ XI-IV と同様の開発手法を取った。学生は XI-IV, XI-V で開発経験を持っている学生が各サブシステムのリーダーとプロマネを行ったので、開発は比較的スムーズに進んだ</li> <li>・ 同時に別の衛星の開発が始まったため、その 2 プロジェクトで学生の取り愛が始まり、非常に陰湿な雰囲気になったこともあった。それを緩和して前向きな意識に変えるのに非常に苦労したので、学生が参加するプロジェクトは一つであるべきであると感じた</li> <li>・ 学生を中心とした開発チームの場合、3 年で開発メンバーの多くが入れ替わる。引継ぎには大きなコストが必要となるため、学生主体の場合 3 年程度が衛星プロジェクトの期限となると思われる。PRISM でも 3 年以上のプロジェクトとなったため、以前に設計された電子基板の一部の設計根拠が分からず再設計となった箇所があった。</li> </ul>
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ XI-IV, XI-V で軌道上実証し、非常に強いことが判明している PIC プロセッサ (PIC16F877) を 2 台、最も大事な受信機制御の CPU に配置し、受信機だけ冗長系にした。新たに搭載した H8 プロセッサ (送信機と電源制御系に入れる) と SH2 プロセッサ (姿勢制御系) の動作を監視し、異常があったらそれをリセットする役割をこの PIC には与えた。逆向きの監視は行わない。この PIC を「神」と呼んで、ここに全幅の信頼をおいた。(図参照)</li> <li>・ XI-IV, XI-V での開発経験やノウハウを最大限生かした。</li> <li>・ 不具合管理表の導入や姿勢系用ループシミュレータの導入など早めに気がつき作業できていれば、FM フェーズにおけるシップメント直前での負担が軽減できたと思われる。</li> </ul>
	その場合、どのような工夫があればよかったか	EM フェーズ、FM フェーズなどの切り替え、年度末などに忙しくても開発チーム内で反省する機会があるとよかった。またプロジェクトマネジメントについても衛星開発で経験豊富な方にレビュー頂く方法もあったと思われる。
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 東大に設置したアマチュア局（八木アンテナ、VHF アップリンク、UHF ダウンリンク）による運用。</li> <li>・ 地上で試していないことは軌道上では基本的には動作しない。</li> <li>・ 打ち上げたら考える暇がないため、打ち上げ前に運用ツールの充実、運用者の訓練が必須である。</li> </ul>
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ NORAD の軌道情報を最大限利用。それで全く問題なかった。</li> <li>・ 運用は XI シリーズの運用経験があるアマチュア無線利用だったので、スムーズに行えた。</li> <li>・ 研究室の新人に運用を当番制でやらせることで、衛星運用の肌感覚をつかませる運用訓練を教育の一部として使った。</li> </ul> <p>地上で試験を実施したと思っていて信用できる機能であっても、最初に軌道上で動作させる際には念には念をいれて衛星が死なない仕組みを入れておく必要がある。(最初に動作させる機能についてはある時間が経過したら自動で OFF にするなど)</p> <p>これにより衛星の全損をある程度防ぐことができるとと思われる。</p>
	その場合、どのような工夫があればよかったか	例えば軌道上で最初に MTQ を動作させる場合、MTQ の動作不良を想定して MTQ の ON から軌道 1 周回後に MTQ を停止する運用計画をたてておく。これによりたとえ MTQ が逆極性で衛星角速度が増大しても、MTQ を停止を軌道一周回後には自動的に停止でき、不具合があったとしても復旧が容易となる。
その他	特に初期運用では作業量が多く運用者の負担が大きい。ミスが減らすため地上局ソフトウェアを充実させておくことが重要である。	
信頼性向上に関する提言	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 自身の能力を的確に把握し、身の丈にあったミッションや複雑度の衛星開発を目指すこと</li> <li>・ 事前に CANSAT などモノづくりプロジェクトを行って十分な経験を持って実施する事</li> <li>・ モノ作りだけでなく、宇宙環境、軌道、姿勢制御、通信など、様々な基礎の勉強をしっかりと行った上で開発を開始する事</li> <li>・ 経験者のコンサルテーションを受けること</li> </ul> <p>成功事例は比較的簡単に情報を得られるが失敗事例や反省などなかなか大学間で共有されない。このような失敗事例の共有の枠組みがあるととても有益と思う。</p>	



表 5.1.6.1-7(2/2) PRISM 成功を通して得られた教訓

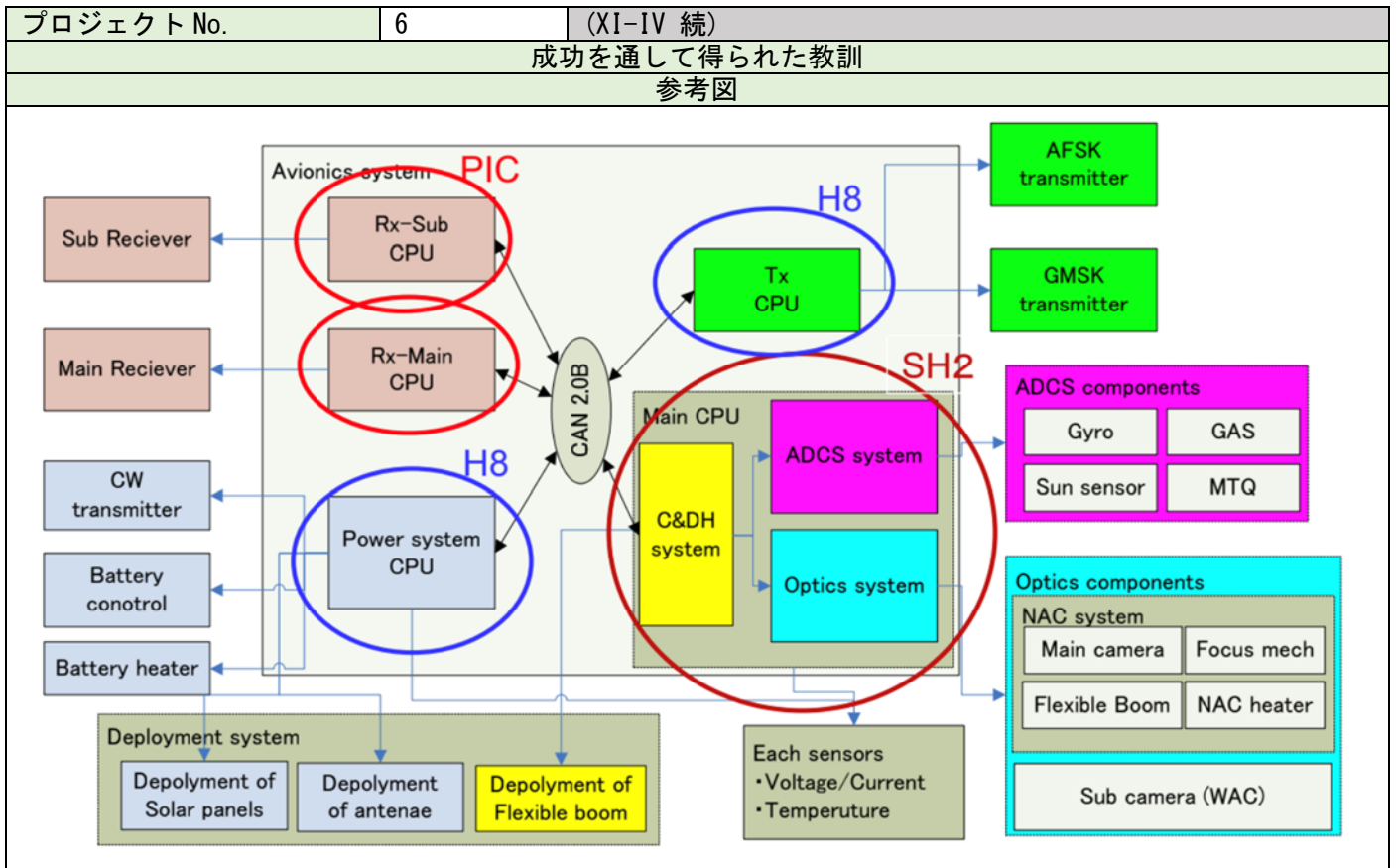


表 5.1.6.1-8 TRICOM-1, 熱真空試験 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.		8
プロジェクト名		TRICOM-1, 熱真空試験
責任機関 (実施の中心機関)		東京大学中須賀・船瀬研究室
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	・ 少人数, 近距離での開発チームへの遠隔参加の難しさ (情報共有など)
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A
	その場合, どのような工夫があればよかったか	・ 会議など以外による積極的な情報収集
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	N/A
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A
	その場合, どのような工夫があればよかったか	N/A
その他		N/A
信頼性向上に関する提言		N/A
個別事例から得られた教訓		
事例 No.		1
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	複数組織でのプロジェクトを行う場合は, 情報共有や優先度などの認識合わせが難しい
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	複数組織でのプロジェクトを行う場合は, 情報共有や優先度などの認識合わせが難しい
	その場合, どのような工夫があればよかったか	N/A
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	N/A
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A
	その場合, どのような工夫があればよかったか	N/A
その他		N/A
信頼性向上に関する提言		N/A



表 5.1.6.1-9 TRICOM-1R 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.	9	
プロジェクト名	TRICOM-1R	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀・船瀬研究室	
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	開発メンバーがほどよしPJのメンバーなので、様々なコンセプトはほどよしPJのものを活用。極めて少人数で実施し、文書も最小で、開発者の頭の中にシステム設計ができていく形態であった。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	プロマネ兼システム設計者の頭の中にシステムが出来上がることは、無駄なペーパーワークが減る点での効果は大きく、限られた時間の中で開発が要請されたことを考えると致し方ない点も多いが、文書で設計や試験をもっと残すことを実施すべきであったと反省。
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	内之浦にセットした八木アンテナと電機大局を主局として運用。衛星が高速でスピンしている状態で切り離され、それがやがてフラットスピンになった。アンテナの向きが高速で変わるので、運用面で多少難しいところはあったが、おおむね運用は予定通りできた。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ NORAD の軌道情報を最大限利用。それで全く問題なかった。</li> <li>・ 運用ソフトは自前で作成。問題なく利用できた。</li> </ul>
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
その他	N/A	
信頼性向上に関する提言	N/A	

表 5.1.6.1-10 PROCYON 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.	10	
プロジェクト名	PROCYON	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀・船瀬研究室	
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった 気づき事項（技術 的なもの、マネジ メント的なもの）	地球周回衛星の開発・運用経験はあったが、深宇宙探査機の開発は初めてであったので、深宇宙探査機ならではの部分は多く学べた。  姿勢制御の技術的な部分では、磁気センサ・磁気トルカなど地球周回超小型衛星で使われる信頼性の高いコンポーネントが使えない中で、如何に姿勢制御の信頼性を高めるかといった姿勢系 FDIR 設計を学ぶことができた。 また、推進機でのアンローディングが必須となるので、推進系の信頼性を高めるための地上試験・バスと推進系のかみ合わせ試験の重要性も学べた。  マネジメントの部分では、ISAS の先生たちから適切なアドバイスを貰えたのがとても参考になった。「経験豊富な先生・技術者+やる気のある学生」という組み合わせはよい効果をもたらすと思う。ただし、上記の良い関係性はレビュー会など低頻度で緊張感のある(チーム外の人と議論するような雰囲気)会議では生まれず、「二週間に一度程度のチームとしての議論」の中で生まれるものと考えている。
	開発を工夫すること により多くの成果 を挙げることが できたと思うか？	PROCYON の場合は、開発期間が 1.2 年程度とかなり厳しく、これ以上効率的な開発は不可能と思われるので、やれることはやったと考えている。  時間があつたなら、電気推進系の長期作動試験などを行えば電気推進系の軌道上不具合を事前に見つけることができたかもしれない。
	その場合、どのよ うな工夫があれば よかったか	適切な開発時間の確保
運用	運用してわかった 気づき事項（技術 的なもの、マネジ メント的なもの）	開発期間が短かったので、運用訓練を十分行うことができず、運用を理解しているのが学生 2 名のみでその 2 名に負担が集中した。 運用訓練の時間を十分確保すること、運用支援ツールを事前に開発しておくことの重要性を改めて感じた。
	運用を工夫すること により多くの成果 を挙げることが できたと思うか？	運用体制は厳しかったものの、やるべきことはやったと思うので、特に無い。
	その場合、どのよ うな工夫があれば よかったか	N/A
その他	PROCYON をきっかけに、超小型衛星で深宇宙探査ができることを多くの人(特に ISAS 内部の人)が理解し、その後の EQUULEUS や OMOTENASHI などにつながったのは、大きな成果であったと言える。	
信頼性向上に関する提言	データ、ノウハウ、ソフトウェアなどをどんどん共有していくべきだと思う。 また、独自に 0 からバス開発を行うのはやめ、国内外の安定したバスを再利用することを考えたほうが良いと思う。 その時に、中身がわからないバスを使いたくないということは有ると思うので、上記の情報共有が重要になってくる。	

表 5.1.6.1-11 (1/2) MicroDragon 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.	11	
プロジェクト名	MicroDragon (略称: MDG)	
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀・船瀬研究室	
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	このプロジェクトは、先行して検証された Hodoyoshi-3/4 号機、UNIFORM-1 の資産を活用して実施したプロジェクトだったので、先行プロジェクトで得られた知見や開発/実証済みのコンポーネントを再利用することで、ベトナム人学生の教育に特化したプロジェクトが実現できたと言える。一部の要素で、先行プロジェクトで残った課題や軌道上で発生した不具合を是正する措置を検証しなければならず、それらの新規開発が発生する要素は、ベトナム人学生への教育コンテンツにはほとんど含めずに、教員や専任スタッフが外部のメーカと協力して再設計、再検証を実施した。教育的な取り組みを主とする場合、新規開発の要素が多すぎると破綻するリスクが有ると感じ、MDG での回答者の主観として衛星のバス系に関して言えば、完全な新規要素の構成比率は 10-20%程度だったと感じている。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	開発上の工夫としては、ベトナム人学生を受け入れる前に、日本人側の教員や専任スタッフにおけるコンテンツの英語化作業を行っておけば、なお良い取り組みにつながったのではないかと考察する。MDG では、日本語は話せない、英語/ベトナム語のみの学生が留学生として日本の大学に所属し、その大学チームでの教育を軸とする衛星開発を行った。このため、既存のプロジェクト資産である日本語の設計情報をそのままの形では、学生教育コンテンツに使えず、担当する教員やメンターが都度都度、英訳したりサマリーを作ったものを使って学生への解説を行っていた。ここが時として、アドホック的になってしまい、十分な情報を学生に伝えきることができなかった状況も発生していた。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	日本語ネイティブではない、留学生を含むプロジェクトや海外の大学・期間との取り組みも生じることは少なからず今後の日本の大学での衛星プロジェクトでも発生するため、予め英語化しておくコンテンツ作りも大事だが、回答者が MDG を通じて感じたのは、言語に依存しない情報体型・マニュアルの整備: アイコン化、ユニバーサルデザインを意識した試験/インテグレーション環境内の表示や指示が効果的だったことである。必ずしも英語が満足に使える留学生ばかりとも限らず、日本語&英語両方が不安な学生への対応も考慮しておくことがさらなる改善点としては挙げられる。

表 5.1.6.1-11 (2/2) MicroDragon 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.		11	(MicroDragon 続)
成功を通して得られた教訓			
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	このプロジェクトでは、資金の不足から、打上げ後の初期運用 1 週間のみを超短期集中的に取り組むスタイルで運用されたこともあって、運用前の 1-2 週間程度～打上げ後の 1-2 週間程度の約 1 ヶ月程度の期間に、運用に参加したベトナム人学生（約 6 名）と参加した教員/メンター（約 6 名）との間で密な情報共有、カリキュラムとしての運用準備と運用訓練&運用手順書づくり、運用後のレビュー、考察等が比較的うまく実施できたと考える。ベトナム人学生は、ノミナルの留学期間が終わった後で一度ベトナムへ帰国しなければならなかったが、打上げ日時は、全てのベトナム人が帰国した後に設定されていたため、ベトナム人留学生帰国後 (FM の途中)～ SHIPPING & 各種手続き/安全審査対応は、各大学に所属している教員/専任スタッフが実施した。この Phase では、ベトナム人学生に直接的な教育を行うことはできなかったが、このときの教員/専任スタッフの体験を、運用直前に来日したベトナム人に座学の講義形式でレクチャーすることで補った。教育的な効果としては、不十分であったかもしれないが、Kickoff から初期運用までのなんとかつなげることができたと感じる。運用局の整備や、日本の省庁関係の手続きはどうしても教員/専任スタッフのみで行わなければならなかったが、このときの苦労やポイントもレクチャーには含める事ができたので、そこで構築できた教育向けの資料や情報体系は今後も別のところで活用できると考える。	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	(非公開)	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	(非公開)	
その他	<p>運用が遅延してしまう、進行が止まってしまうことはプロジェクト遂行上はマイナス要因だが復旧可能なトラブルであれば、教育的効果は大きい (失敗から学ばせる)。</p> <p>発生してしまったら絶対に取り返しのつかない大きな失敗は絶対に避けなければならないが、リカバー可能な小さな失敗・ヒヤリハットは、学生の教育的観点からはある程度経験させ、その対応を自分自身で考え出すことに価値があると感じる。</p> <p>学生が本気で「まずい！」と心からヒヤリとする体験を与える、かつ、そこからのリカバリー体験を与えて復帰できたことを経験するアレンジをプロジェクトに持たせるためには、教員や専任スタッフは十分に経験を積みプロジェクトの方向づけを水面下で行える思慮が必要。</p>		
信頼性向上に関する提言	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同一製品の再利用、国内国外大学/高専での横通しでの情報交換、不具合レポートの共有</li> <li>・コンポーネント情報のロコミ共有</li> <li>・運用継続の仕組み/運用協力体制</li> </ul>		

表 5.1.6.1-12 50 kg 級衛星ミッション機器開発 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.		12
プロジェクト名		50 kg 級衛星ミッション機器開発
責任機関（実施の中心機関）		非公開
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	・目的意識の違う複数組織間での連携の難しさ
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	思う
	その場合、どのような工夫があればよかったか	・バス側からの情報の提示が不足していたため、開発が思うように進まなかった
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	・情報共有の大切さ
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	思う
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
その他		（・バス系の不具合事象については担当からの情報共有が不十分であるため共有ができない）
信頼性向上に関する提言		JAXA ロケットへの相乗りの際の安全審査において、ロケット・主衛星に対する安全という視点だけでなく、宇宙機の正常・継続的な動作という視点からの助言が必要な組織も多いかと思う。
個別事例から得られた教訓		
事例 No.		1
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	複数組織でのプロジェクトを行う場合は、現場レベル・組織レベルでのプロジェクト目標や連携に対する認識が共有されていないとうまくいかない
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	複数組織でのプロジェクトを行う場合は、現場レベル・組織レベルでのプロジェクト目標や連携に対する認識が共有されていないとうまくいかない
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	適切な情報共有がなされないとリソースが有効的に利用できない
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	適切な情報共有がなされないとリソースが有効的に利用できない
その他		N/A
信頼性向上に関する提言		N/A



表 5.1.6.1-13 KKS-1 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.	13	
プロジェクト名	KKS-1 (輝汐)	
責任機関 (実施の中心機関)	東京都立産業技術高等専門学校	
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった 気づき事項 (技術 的なもの、マネジ メント的なもの)	環境試験は衛星構造 BBM でもいいので早めに一度経験すること。電源基板は各系で使うためたくさんあったほうが良い。直流電源は早めに使わないようにして、使用するバッテリーと電源基板で動作させる (代わりに電源基板側で電圧・電流がモニタできる基板を用意すること、できれば短絡遮断や LED 点灯やブザーなどで短絡がすぐわかるシステムがいい)。
	開発を工夫すること により多くの成 果を挙げることが できたと思うか?	思う。開発の工夫はやはり教育にあると感じる。案として衛星開発のノウハウを集約して、開発前に事前に勉強会を開き、何かテストのようなものを実施して一定以上の点数が取れたら衛星を開発に参加できる。とか学習の徹底を行うほうが後戻りが少なく、衛星開発は健全になると感じる。
	その場合、どのよ うな工夫があれば よかったか	アップリンクの暗号化はソフトウェア開発を複雑化し且つ衛星がうまくいくことを想定してプログラムをしていた。アップリンク方法は考えすぎずシンプルのほうがよい (開発スケジュールに余裕があれば十分検証の上で、暗号化に着手すればよい。余裕がないのに難しいことにチャレンジしすぎた)。
運用	運用してわかった 気づき事項 (技術 的なもの、マネジ メント的なもの)	アップリンクに暗号を用いたが、暗号の鍵として衛星内部の RTC 日付を用いた。しかしその RTC が不調となり、アップリンクを 16 通り上げなければならなくなった。
	運用を工夫すること により多くの成 果を挙げることが できたと思うか?	アップリンク通信方法はシンプルに工夫したほうがよい。これにより衛星通信の成立がなされ、成果を挙げられる。
	その場合、どのよ うな工夫があれば よかったか	アップリンクの暗号化はソフトウェア開発を複雑化する。衛星内部のハードウェアが全てうまくいくことを想定してプログラムをしていた。アップリンク方法は考えすぎずシンプルのほうがよい (開発スケジュールに余裕があれば十分検証の上で、暗号化に着手すればよい。余裕がないのに難しいことにチャレンジしすぎた)。
その他	N/A	
信頼性向上に関する提言	ヒヤリハット集はすべて吸い上げておく。学生への基礎勉強資料を残しておけば、後輩指導の負担が軽減される。	



表 5.1.6.1-14 QSAT-EOS 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.		14	
プロジェクト名		QSAT-EOS	
責任機関 (実施の中心機関)		九州大学	
成功を通して得られた教訓			
プロジェクト全体を通して得られた教訓			
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	N/A	
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発・地上試験に参加せず運用から参加した学生 (学部低学年主体) を OJT で主体的に運用計画に関わるレベルまで引き上げることは困難だった。結果的に運用人員の層が卒業でどんどん薄くなっていった。</li> <li>・開発期間が長期間にわたっていた (プロジェクト開始は 2005 年前後) ため、開発の中心 (特に仕様決定レベル) となった学生はほとんどが打ち上げ前に卒業していた。そのため各サブシステムについて一番詳しいのは OB か企業担当者という状態であり、機動的な議論が難しかった。</li> </ul>	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	意思決定をもっとスピーディに行うことができればよかった	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	2021 年現在であれば slack での常時コミュニケーションや zoom での遠隔運用参加などメンバ全体の状況理解度を向上する方策がいくつか思いつく (運用当時可能であったかは別)	
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>※運用終了後のミーティングで挙げた、記入者以外の意見も含む。</li> <li>・電源が落ちても継続する別電源のタイマーがあると運用の幅が広がる</li> <li>・プログラムや定数はできるだけ後から書き換え可能としておく</li> <li>・ビーコンにもデータを載せておくべきだった</li> <li>・画像の送信方法は複数用意しておくべきだった</li> </ul>		
信頼性向上に関する提言		N/A	
個別事例から得られた教訓			
事例 No.		1	2
開発		N/A	
運用		N/A	
その他	N/A	QSAT-EOS では姿勢系がもっとも想定通りの動作をしたといえるが、その一因は開発運用一貫して姿勢について十分に理解していた博士学生が関わっていたことがあると考える。このことから、学生が参加するならば衛星開発と研究テーマが多少なりとも関連していることが望ましいと感じる。	
信頼性向上に関する提言		<p>当たり前のことながら、改めて試験の回数と信頼性は密接に関係すると感じる。本事例で挙げたように、目的が個別コンポーネントの試験であってもできるだけ衛星全体を動かして実機に近い状態で試験することで、結果的に各部の試験回数を効率よく増やせたことになり、通信の成功につながったと考える。</p>	<p>フィードバックを含む HILS の導入のハードルは高いが、シミュレータ→仮想センサデータ→姿勢制御ユニット→アクチュエータ という一方向の検証であっても十分有効であったので、開発資源が十分でない場合には是非とも導入すべき開発手法であると考えます。</p>

表 5.1.6.1-15(1/2) RISESAT 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.		15
プロジェクト名		RISESAT
責任機関 (実施の中心機関)		東北大学吉田・榎原研究室/北海道大学高橋研究室
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・衛星開発は単発の衛星の研究開発としてではなく、できる限り複数の衛星から成る衛星開発プログラムとして計画し、必要な技術を少しずつ段階的に、戦略的に軌道上実証していくのが最も効率が良い取り組み方だと思う。取り組む技術レベルのギャップが大きすぎると、予算や期間を読み誤り、打上げの機会を逃すばかりか、全体として出戻りが多くなる。</li> <li>・経験者の知見に頼ることを躊躇するべきではない。</li> <li>・超小型衛星のプロマネはシステムの全てを把握できる範囲で計画を立てるべきである。そうすることで常に迅速な判断を下し、超小型衛星ならではの廉価短期間での研究開発を実現することができる。</li> <li>・50kg 級の衛星で最先端の技術実証を目指す、億円単位の予算が必要になる。</li> </ul>
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	与えられた予算、人員、期間、機会の中で最大限の最適化を図ったと思う。一方、搭載電算装置に関して、新規技術の実証にこだわらず、手堅い開発手順をとってれば、ミッションデータの取得効率を現状よりも向上できていたと思われる。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	工学系の研究機関ではどうしても新規技術の実証を盛り込まなければプロジェクトの意義を示しにくい側面がある。一方、理学観測の観点からは既存の枯れた技術でも十分な個所がある。超小型衛星プロジェクトではそれらのバランスを熟考し、目標設定とプロジェクト設計において判断を見極めることが重要だと思う。
運用	運用してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・衛星の効率的な運用には支援ソフトウェアを充実させる必要がある。例えばコマンドの自動生成機能や、データの自動ダウンリンク機能、観測対象地点の雲量予測機能、衛星上に保存されているミッションデータの内容の地上での管理機能、複数の衛星の運用を念頭に入れたコマンドアップリンクのタイミング最適化機能、などがそれぞれにあたる。これらは軌道上で継続的に運用する衛星を持った時に初めてその必要性を認識する類のものであり、衛星開発時には優先度が下がってしまうため配慮が必要である。</li> <li>・軌道上での校正機能は、高度な観測を実施するためには必要不可欠であり、衛星の機能や搭載ソフトウェアについて、校正作業を想定したものにしておく必要がある。</li> <li>・恒星センサは繊細な装置であり、その運用条件、パラメータ設定には初期運用時にある程度の時間を要することを想定しておく必要がある。</li> <li>・RISESAT は一つのセットのストアドコマンドを実行している最中には別のセットのストアドコマンドをアップリンクすることはできない。これは運用上大きな制約となるため、衛星には複数のセットのストアドコマンドをアップリンクできるようにしておくのがよいと思われる。</li> <li>・衛星のテレメトリ送信用アンテナは、衛星の相反する面に2台搭載して、1)両者を結合して全方位的に用いる場合と、2)地上からのコマンドでの切替方式で用いる場合が考えられるが、2)の方が通信を成立させることができる時間帯が長いことを経験的に知った。</li> <li>・コマンド局が1局であっても、データのダウンリンクをできる局がコマンド局から離れた位置に複数存在すると運用の効率が格段に上がる。</li> <li>・高速データダウンリンクがうまくいかない状況に遭遇した際、その原因が衛星側の姿勢制御にあるのか、地上局側の設備及びソフトウェアの設定にあるのか、迅速に見極められる仕組みが必要。問題が解決しない限りはすぐに本格的な観測再会ができなくなるので注意が必要。</li> </ul>
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	各ペイロードの研究開発段階では詳細な運用計画を立てられるだけの具体的な運用シナリオを立てることができず、またペイロード間のマシーンタイム(バスシステム占有時間)の調整を行える状況ではなかった。これは主にペイロード側のエンジニアが超小型衛星バスシステムに馴染みがないこと、及び特に衛星の姿勢制御能力の観点からの運用に関する知見が無いこと、及び国際理学観測プロジェクトの性質上、関係者が一堂に集うことが困難であったことに依る。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	打ち上げ前により具体的な運用計画を立案することができていれば、運用の効率を高めることができていたと思う。運用計画を立案する上で重要となるのは、各ペイロードの軌道上実証のステップ、衛星の姿勢制御系の能力と軌道上実証のステップ、各ペイロードの季節の影響(太陽の角、地上の日陰・日照領域)、各ペイロードの周期的な観測要求、各ペイロードの担当機関の季節ごとの作業従事時間の変動などが挙げられる。このような状況では、自分の能力を過信せず、経験者、専門家の意見を頼ることで状況を打開できる可能性があることを知っておくべきである。

表 5.1.6.1-15(2/2) RISESAT 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.		15	(RISESAT 続)
プロジェクト全体を通して得られた教訓			
その他		衛星のプロジェクトマネジメントは、一度全プロセスを経験した人間でないと適切な判断を下すことができない。若手エンジニア/技術者/研究者のうちから、プロジェクトの全ライフサイクルを経験できるよう、実施責任側も、参画側も配慮が必要だと思ふ。また、プロマネの他に、ペイロードの取りまとめを行う主担当者を一人配置できていたら、運用計画の立案など、より柔軟に対応できていたと思われる。特に、プロマネがバスシステム、及びシステムインテグレーションを専門とする場合、サブプロマネとしてペイロードの主担当を配置するのが有効と思われる。	
信頼性向上に関する提言		各機関の経験と知見を集約し、超小型衛星の Mission Assurance に関するエッセンスの抽出と技術水準の確立に努めると共に、それらを公に入手可能なものとして、水平展開を図るべきである。	
個別事例から得られた教訓			
事例 No.		1	
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	必要なコネクタをすぐに手元でアセンブリできることのメリットは大変大きい。MDM コネクタの場合は仕様を決め、発注すると数か月はかかってしまうと共に、非常に高価である。一品物となりがちな超小型人工衛星においては、D-Sub コネクタを採用するメリットは大変大きい。	
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	N/A	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	
その他		N/A	
信頼性向上に関する提言		超小型衛星では小型軽量化が必須と唱えられるが、適切なトレードオフによって、それらを若干犠牲にしても、入手性、作業性を重視して搭載機器・装置を選定することで、プロジェクトの円滑な遂行を実現できる要素があることを知っておく必要がある。	

表 5.1.6.1-16(1/2) NEXUS 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.		19
プロジェクト名		NEXUS
責任機関（実施の中心機関）		日本大学宮崎研究室
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	<p>以下、学生衛星ならではの話で、当たり前のことばかりですが、NEXUS は日大にとって 4 機目の衛星であり、「当たり前のことをふつうにこなすことが大事」ということを改めて感じたプロジェクトでした。</p> <p>(1) 学生衛星の開発は「究極の 0JT」, すなわち, ①初心者が開発のコアメンバーになるという、通常であればありえないようなことをやっており, ②BBM, EM, FM と段階的な開発を通じてレベルアップし, まともな FM を作り上げるという活動になっています。したがって, BBM, EM の段階ではトラブルがあってもぐっと我慢して, 常に「FM をベストなものにする」ことを意識することが大切。</p> <p>(2) トラブル（というか, ミス）はあるのが当たり前なので, 常に「終わり」（=安全審査の時期や引き渡し時期）を頭に入れて, Plan B, Plan C を考えておき, いつ Plan B や Plan C に切り替えるか, デッドラインを事前に決めておくことが大切。</p> <p>(3) 最初に立てたタイムラインにこだわらず, 「終わり」だけを fix して, 途中は臨機応変に対応する柔軟性をもつことが大事。</p> <p>(4) 電源系を性能のいい, タフなものにしておくと, 全ての開発が楽になる。</p> <p>(5) その上で, 衛星通信系と地上局の検証をきちんとすることは大事（通信系がイマイチだと, データ取得の効率が下がり, ミッションが滞る。NEXUS は過去の 3 機と比べてこの点に注力したので, 運用がすごく楽になった）。</p>
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	<p>特にはないです。</p> <p>ただ, NEXUS では 1 つ, エクストラサクセスに関連した部分でソフトウェアのバグがあり, そのミス運用でカバーしている状況なので, 開発を工夫するといえますか, 「手を抜かない」ことでこのミスを回避できたかもしれない, とは思います。</p>
	その場合, どのような工夫があればよかったか	<p>end-to-end 試験での運用シーケンスのチェックの際, エクストラサクセスに関しては時間を短縮してチェックをしていました（実際は半日先に実行するような予約コマンドもありましたが, それを 3 時間先くらいに短縮してチェックをしていた）。しかし, ソフトウェアにバグがあり, 3 時間半以上先に実効する予約コマンドを送っても予約ができないようになっていました。その意味で, エクストラといえども「手を抜かずに, ちゃんと運用シーケンスに沿って時間通りのチェックをすればよかった」と改めて感じました（すみません。これは, 「工夫」というよりは, ただ単に「手を抜かない」ってことなので, この質問への回答にはなってないかもしれませんが）。</p>
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	<p>打ち上げ後でもいいので地上局の性能は高いものにすることが大事。NEXUS の <math>\pi/4</math> シフト QPSK 送信機は, 「こんなに電力が小さくても運用できますよ」ということをアピールしたかったがゆえに, 出力電力を絞りすぎてしまい, 運用してみたら, S/N が足りないことがわかりました。かなりお恥ずかしい話でして, 半分, あきらめかけましたが, 地上局をいろいろ工夫することで, 今では普通に通信できるようになっています。その意味では, 改めて, 地上局は大事だということを実感しました。</p>
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	<p>コロナの状況なので, 遠隔運用・自動運用をもっと工夫すれば, より多くというか, より早く成果をあげることができたと思います（今は, 遠隔運用は比較的簡単な運用モードでの運用にしか対応しておらず地上局がある大学に学生が入構できないと, ミッション遂行が滞る状況にあります。それゆえ, 去年, 定常運用を終える予定が, 結局, 今年度末までかかりそうな状況にあります）。</p>
	その場合, どのような工夫があればよかったか	<p>コロナ下での遠隔運用・無人運用環境の強化</p>



表 5.1.6.1-16(2/2) NEXUS 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.	19	(NEXUS 続)
成功を通して得られた教訓		
その他	<p>「餅は餅屋」。通信に関しては、「アマチュア無線家」という名のプロの方々に教えを乞うことができたのがラッキーでした。実際、国内だけでなく、海外の方と良い関係を築いていると、地上局ソフトの開発の際にアドバイスをさせていただいたりして、すごく楽になると思います。</p>	
信頼性向上に関する提言	<p>大学衛星は教員次第だと思います。「成功させるにはどうすればいいか？ 限られたリソースの元でどうやればより信頼性の高いものをつくれるか」と本気で考えるマインドが教員にないと失敗すると思います。逆に、そういうマインドがあれば、仮に宇宙工学や衛星に関する知識・経験のない方が指導することになったとしても、学生と一緒に知識・経験を積んでいき、身の丈に合った衛星開発ができるようになると思います。</p> <p>しかし、上述の「限られたリソース」というのが問題で、「お金がないから」、「人手が足りないから」ということを理由に、「ベストエフォート」で逃げてしまう雰囲気は失敗する大学衛星には感じられます。言うまでもなく、やるべきことをやらなければ失敗する確率は高くなるわけですので。</p> <p>その意味では、「低コストで信頼性（というか、品質）を向上させるにはどうすればいいか？」をみんなで考えることが大事かもしれません。</p> <p>個人的なことで恐縮ですが、私の父は現役時代、食品会社で新製品開発や品質管理の仕事をしていた時期が長く、「いかに安く、厚労省の衛星管理基準やNASAのHACCP、自社の基準を満たすものをつくるか」というセンスで仕事をしており、「お金をかければ品質管理なんて誰でもできる。一方で、お金がないからといって品質管理を怠ると、問題が生じて、会社の信用が失墜して、会社がつぶれる。限られた予算と時間の中できちんと品質管理をするのが利益を上げるためには重要。そこが技術屋の腕の見せ所」とよく言っていましたし、昔の森永乳業の問題のときには、ニュース映像をみて、「あそこをこうしていれば、ほとんどお金をかけずに品質を保てたのに・・・品質が悪くなる根本的な理由が何なのかを理解していないから、効果的な対策が立てられず、結果、ああいうことになる」とも言っていました。こういうセンスは超小型衛星開発には必要な気がします。</p>	

表 5.1.6.1-17 STARS 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.		20
プロジェクト名		STARS
責任機関（実施の中心機関）		香川大学能見研究室
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	初めての相乗りであったこともあると思うが、安全審査に関して大変ではあったものの、JAXA の支援も大きかった。打ち上げが決まると、安全審査スケジュールに乗せられてしまう、衛星側のスケジュールをしっかりと自分たちで管理しないとミッション成功の試験などがおろそかになる。外注先は技術はもちろんであるが、宇宙への意気込みも重要である。他大学等、横のつながりも重要で、コミュニケーションをとり、情報共有、ギブアンドテイクを意識していくことが重要。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	試験機での E2E 試験を十分に行うとともに、テレメトリからの解析まで実施しておく。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	地上試験では、衛星状態を見れてしまうため、無意識に衛星状態を目視で確認することが発生してしまいます。衛星状態を目視しない、という制約を意識して設け、テレメトリのみから衛星状態を解析する試験を実施することが重要と考える。
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	アマチュア無線を利用した。太平洋側と大陸側でアップリンクの通り方が違った。太平洋側がよく通った。東大、東工大の衛星を利用して、受信実験をしてきたが、CW のみの受信であったため、FM での練習があまりできなかった。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	FM 受信に関しても練習しておくべきだった。試験機等を利用して、テレメトリから分かることを明確にしておくことが重要。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	衛星開発に追われてしまうため、プロジェクト管理が難しいが、運用中の衛星の情報を調査し、FM 受信練習もしておくことよい。アップリンクは難しいが。
その他	あきらめずにトライすることは非常に重要。親子衛星の分離状態の写真について、衛星状態が十分に把握できていなかったため、どの写真に撮影されているかが不明な状態となったが、あきらめずにダウンリンクしたことで、分離を証明する写真を取得することができた。	
信頼性向上に関する提言		N/A
個別事例から得られた教訓		
事例 No.		1~6
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	N/A
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	N/A
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
その他	N/A	
信頼性向上に関する提言		安全審査が開始される前に、とくにミッション達成のために必要な試験を策定し、計画しておくこと。かつ実施すること。



表 5.1.6.1-18 STARS-II 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.		21
プロジェクト名		STARS-II
責任機関（実施の中心機関）		香川大学能見研究室
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	初号機に参加した学生が卒業していて、研究室内引継ぎが不十分であった。 が、外部協力に関しては継続していたため（バス系）、こちらは継続して初号機のノウハウを継承できた。  安全審査は前に OK でもダメな場合がある。主衛星が変わることからの原因であったが、これが一番大きなインパクトであった。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	バス系は初号機を同じにしたことから、ミッション機器開発に注力できた。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	学生のノウハウの引継ぎは、永遠の課題かもしれない。
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	アマチュア無線家の協力は重要である。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
その他		初号機では CanSat から取り組んだ学生が初めての衛星として積極的に取り組んでいった。二号機は過去の衛星ノウハウに頼りすぎていて、自ら考えて行う様子が少なかったかもしれない。
信頼性向上に関する提言		二回目以降の開発では、初号機の経験を活用することは重要であるが、初号機の実績に頼りすぎてはいけない。 同じ設計製造方法でも、必須の試験と不要な試験を見極めることが重要。
個別事例から得られた教訓		
事例 No.		1~6
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	N/A
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	N/A
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
その他		N/A
信頼性向上に関する提言		アンテナは最終的な調整が重要であるが、EM 等でもしっかり調整し、試験を行っておくことが必要である。

表 5.1.6.1-19 STARS-C 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.		22
プロジェクト名		STARS-C
責任機関（実施の中心機関）		静岡大学能見研究室・山極研究室
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	学生主体のプロジェクトとした。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	学生主体とし、基本的には学生主導で進めることで、自分たちで考え、自分たちで進められたと考える。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	教員二名が共同責任者であったが、役割分担が明確でなかった。
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	学生が自分たちで進めた。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	学生間での温度差があった。
その他	教員二名の責任の分担が不明確、学生は二研究室であったが十分なコミュニケーションが取れていたと思うが、各学生での温度差が出るのは仕方がないことか？ 静岡大学学生では初めての試みで、香川大学のノウハウを学生間で話す機会がなかったことはマイナスであったかもしれない。	
信頼性向上に関する提言		N/A

表 5.1.6.1-20 STARS-A0 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.		23
プロジェクト名		Stars-A0
責任機関（実施の中心機関）		静岡大学能見研究室
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	アマチュア技術家の方は東京の方が中心となり、学生は浜松であるため、遠隔でのコミュニケーションが、教える立場と教わる立場であったことと、アマチュア技術家の方は安全審査の対応に追われていたことなどで、学生の参加が中々難しかった。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	オンライン活用などを積極的に導入すべきであった。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	現在のようにオンライン中心の社会であるとスムーズだったかもしれない。
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	アマチュア技術家が中心に開発したが、地球局は浜松キャンパスに設置、学生が運用した。このため、衛星の設計を熟知していない学生が運用しているため、その場対応などがスムーズに行かなかった。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	オンラインでアマチュア技術家と繋いだ運用など。
その他	開発がアマチュア技術家@東京、学生は浜松であるため、とくに学生への指導は難しかった。	
信頼性向上に関する提言		アマチュアと学生のコラボ衛星であった。地域が異なる場合はコミュニケーションが重要となる。現在はオンラインが世の中の的に発展したので、スムーズな開発ができるかもしれない。

表 5.1.6.1-21 STARS-Me 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.	24	
プロジェクト名	STARS-Me	
責任機関（実施の中心機関）	静岡大学	
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	CubeSat レベルだと、参加機関が多いことで生じる調整時間が割と要した。とくに最終段階での実機に触る必要がある場合、時間管理が難しいこと、また遠隔の場合は日時調整も大変となる。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	EM 試験機を FM 相当で作ることが重要。都合により簡略化等を行うと、チリも積もれば山となって、同じものにはならなかった。このため、アンテナ調整が大変であった。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	上記
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	地上局整備が不十分であった。 初期段階から通信状況が悪かったが、アンテナ担当者が運用に参加できなかったため、改善も難しかった。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	運用まで継続参加してくれるメンバーが重要。
その他	専門家の知識は重要であるが、宇宙開発の経験を踏まえて、有効に活用していくことが重要である。	
信頼性向上に関する提言	バランスの取れた開発が重要。 本衛星は通信系に力を入れたつもりが、アンテナ機能開発に引っ張られ、アンテナ構造開発が十分でなかった。	

表 5.1.6.1-22(1/2) 鳳龍弐号 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.	25
プロジェクト名	鳳龍弐号
責任機関 (実施の中心機関)	九州工業大学衛星開発プロジェクト
成功を通して得られた教訓	
プロジェクト全体を通して得られた教訓	
開発	<p>開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)</p> <p>1. 九工大としては初めての衛星であった。超小型衛星試験センターは2010年に始めたが、自分たちで最初から最後まで衛星を作ってみて初めてきづくことが多いので、非常によい経験となった。</p> <p>2. 大学衛星の場合、EM 段階を経るのは学生に対して非常に良いトレーニングとなる。各種試験にかかった時間を計測したが (参考文献 [5.1-6] の表 2 参照)、回を追うごとに試験にかかる時間が短くなった。衛星ハードウェアの取り扱い等にも慣れ、代えのきかない FM の組み立てに入る前に EM の組み立て、統合、試験を経験するのは良い。</p>
	<p>開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?</p> <p>プロジェクト開始時に、開発と試験に関する大枠の方針を定めた。</p> <p>1. 時間がないので、それまで経験のあった鳳龍 1 号 (結局打ち上げなかった) の設計を引き継ぐ</p> <p>2. 学生の技術レベルを超えることはしない。(展開はアンテナのみ。姿勢制御は受動的、熟練作業が必要な半田付け、機械加工、太陽電池パネル政策等は外注)</p> <p>3. スケジュールをコストに優先させる。複数部品を購入して、BBM、EM、FM 等の各段階で同じ基板を 3 枚作成し、基板の取り合いが起きないようにした。自作基板 (P 板.com に発注) は複数作っても、費用はそれほど変わらない。</p> <p>4. 超小型衛星試験センターでの試験習熟度をあげるために、できるだけ試験をする。ただし、放射線試験はしない。放射線試験をしないという決定は確証があっただけでなく、「シールドしてれば大丈夫」「過電流保護回路いれてるから大丈夫」「定期的リセットいれてるから大丈夫」という「大丈夫だろう」という思い込みからの決定であった。</p>
	<p>その場合、どのような工夫があればよかったか</p> <p>放射線試験について「**だろう」とか「多分***」という決め方はすべきでなかった。開発当初に、開発や試験の方針を定めたが、その際になんとか「大丈夫だろう」と思い込んでいた。人間は自分のよくわからないことに、「たぶん大丈夫」という正常化バイアスをしがちである。その時に、いろんな人からの意見を聞くべきであり、開発や試験の方針を定める際に、経験者のコメントを真摯に受け止める工夫が必要。ただし、そのコメントの良し悪しを判断できるだけの力量と経験が必要。放射線対策として、シールド、過電流保護、定期的リセットという対策をとっていたが、結局それらの対策の効果について十分に検証していなかった。特に放射線で不具合が発生した状況を再現し、それからいかにして復帰できるかということを確認しておくべきであった。</p>
運用	<p>打ち上げ後、最初の 3 週間は絶好調であり、初めての衛星ということもあって、テレメータを見てただけで毎日が嬉しかった。温度が 24 時間周期で変動するなど、今になっても不明なことがあるが、軌道上データならではの醍醐味があった。しかし、それにかまけて、メインミッション (高電圧発電) を行うのがずるずると後回しになった。</p>
	<p>運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?</p> <p>メインミッションは衛星分離後、できるだけ早くに実施すべきである。超小型衛星はいつ死ぬかわからない。</p>
	<p>その場合、どのような工夫があればよかったか</p> <p>衛星の打ち上げ (または ISS 放出) の前に、運用計画をきっちり立てておくことが大事。いついつまでに、どのミッションを行うという目安をたてておく。出たところ勝負があった。</p>

表 5.1.6.1-22(2/2) 鳳龍式号 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.	25	(鳳龍式号 続)																																																																																										
プロジェクト全体を通して得られた教訓																																																																																												
その他	<p>ちゃんと試験をすれば民生部品で作った衛星でも十分に機能することがわかった。同時に放射線を甘くみてはいけないことを痛切に感じた。衛星の生き残りのための設計戦略を作り、それをしっかりと検証することが必要</p> <p>2010年に始まった九工大の大学院のシステム工学・プロジェクトマネジメント教育の一環として実施した。学生が主導的にプロジェクトを実施する中で、システム工学的視野を育成し、プロジェクトマネジメントの経験を得ることが目的であった。前の世代の鳳龍1号は、出入り自由のサークル的な活動でやったが、なかなか前に進まず、学生の気合の入れ方も今ひとつであり、また開発も泥縄式であった。学生には要求管理、リスク管理、検証計画等、多少形式的ではあっても、システム工学手法の演習をやるような形でプロジェクトを実施させた。その後の衛星プロジェクトの運営に至る基礎を作ることができた。</p>																																																																																											
信頼性向上に関する提言	<p>鳳龍1号(1U)の設計を踏襲したとはいえ、構体を含め多くが初の設計であった。EM試験において非常に多くのバグ出しを行え、学生の試験習熟度にも役立った。</p> <p>学生の卒論・修論とリンクさせ、研究室の活動としてやったことが、こじんまりしたチームでコミュニケーションを密にとりながら行うことにつながったと思う。</p> <p>出荷前に End-to-End 試験を衛星と地上局の間で1週間以上行ったが、ソフトのバグ出し(ただし、バグが見つかって書き換え時のミスを防ぐために修正はしなかった。)、運用リハーサルとして非常に有意義であった。</p>																																																																																											
個別事例から得られた教訓																																																																																												
事例 No.	1~4																																																																																											
開発	開発してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	<p>大学衛星の場合、EM段階を経るのは学生に対して非常に良いトレーニングとなる。各種試験にかかった時間を計測したが(下表、参考文献[5.1-6])、回を追うごとに試験にかかる時間が短くなった。衛星ハードウェアの取り扱い等にも慣れ、代えのきかないFMの組み立てに入る前にEMの組み立て、統合、試験を経験するのは良い。</p> <p style="text-align: center;">数字は人・日</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>試験項目</th> <th>計</th> <th>STM</th> <th>EM</th> <th>EM ver. 2</th> <th>FM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>アンテナパターン</td> <td>90</td> <td>90</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>振動</td> <td>294</td> <td>110</td> <td>90</td> <td>63</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>電気インターフェース</td> <td>45</td> <td></td> <td>5</td> <td>26</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>通信</td> <td>124</td> <td></td> <td>89</td> <td>23</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>熱平衡</td> <td>120</td> <td></td> <td>120</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>衝撃</td> <td>185</td> <td>9</td> <td>60</td> <td>50</td> <td>66</td> </tr> <tr> <td>熱真空</td> <td>492</td> <td></td> <td>74</td> <td>169</td> <td>249</td> </tr> <tr> <td>機能</td> <td>31</td> <td></td> <td>8</td> <td></td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>ベーキング</td> <td>59</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>59</td> </tr> <tr> <td>End-to-End</td> <td>81</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>81</td> </tr> <tr> <td>フライト品検査</td> <td>51</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>51</td> </tr> <tr> <td>ミッションペイロード</td> <td>577</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>地上局運用リハーサル</td> <td>62</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>2289</td> <td>209</td> <td>446</td> <td>331</td> <td>586</td> </tr> </tbody> </table>	試験項目	計	STM	EM	EM ver. 2	FM	アンテナパターン	90	90				振動	294	110	90	63	31	電気インターフェース	45		5	26	14	通信	124		89	23	12	熱平衡	120		120			衝撃	185	9	60	50	66	熱真空	492		74	169	249	機能	31		8		23	ベーキング	59				59	End-to-End	81				81	フライト品検査	51				51	ミッションペイロード	577					地上局運用リハーサル	62					合計	2289	209	446	331	586
試験項目	計	STM	EM	EM ver. 2	FM																																																																																							
アンテナパターン	90	90																																																																																										
振動	294	110	90	63	31																																																																																							
電気インターフェース	45		5	26	14																																																																																							
通信	124		89	23	12																																																																																							
熱平衡	120		120																																																																																									
衝撃	185	9	60	50	66																																																																																							
熱真空	492		74	169	249																																																																																							
機能	31		8		23																																																																																							
ベーキング	59				59																																																																																							
End-to-End	81				81																																																																																							
フライト品検査	51				51																																																																																							
ミッションペイロード	577																																																																																											
地上局運用リハーサル	62																																																																																											
合計	2289	209	446	331	586																																																																																							
運用	N/A																																																																																											
その他	N/A																																																																																											
信頼性向上に関する提言	N/A																																																																																											



表 5.1.6.1-23 鳳龍四号 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.	26
プロジェクト名	鳳龍四号
責任機関 (実施の中心機関)	九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー
成功を通して得られた教訓	
プロジェクト全体を通して得られた教訓	
開発	<p>開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)</p> <p>鳳龍弐号に続く 2 番目の衛星だったので、衛星開発プロジェクトの全体の流れがわかっており、いつまでに何をしないといけないかはわかっていた。ただし、鳳龍弐号が教育がメインの衛星で「失敗してもよい」衛星であったのに対し、鳳龍四号は額も大きく「失敗できない」衛星になった。</p> <p>ミニマムサクセスクライテリア (放電電流計測と放電画像取得) が明確にあった。教育的配慮はするが、研究成果を重視し、できないものがあるときは、その部分を落とすなどの対応をとった。それでも、学生がやっていることをバツサリと切り落とすことは難しかった。</p> <p>鳳龍弐号の教訓に基づいて、SEL (Single Event Latchup) への対応と初期運用計画を立てることに気をつけた。また、何が起きても、衛星機能喪失 (通信途絶) を防ぎ、ミニマムサクセス (放電電流計測と放電画像取得) だけは達成できるようにすることを考えた。そのため、衛星の自主開発にこだわらず、外注できるところは外注することを考えた。</p>
開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	<p>教育的側面と研究的側面の両立が難しい。</p> <p>当時立ち上がった宇宙工学国際コースで多くの留学生が入ってきたために、彼らに Hands-on の機会を与える、学生にプロジェクトの中で修士論文、博士論文をかかせると言ったことを考えたために、参加学生が増え、ミッションも増えた。そのためプロジェクト管理が大変であった。いっそのこと、研究衛星にして、ミッションを絞り込み、スタッフだけで衛星開発をするべきだったかとも思う。ただ、それだと、やはりマンパワーが足りず、1 億 6000 万円あっても衛星は作りきれなかったと思う。</p> <p>一方で鳳龍四号のプロジェクトをネタにして博士論文を書いた学生が 7 名おり、その意味では教育プロジェクトとしても成功したといえ、苦労した甲斐はあったかもしれない。</p> <p>参加する学生のレベルにばらつきがあり、人の配置が難しい。力量を見極めた上でタスクを割り振る必要があるが、留学生の場合は力量や性格 (チームプレイができるか、人を助けられるか、わがままいわないか、責任感があるか、根性があるか) の見極めに時間がかかる。</p>
その場合、どのような工夫があればよかったか	<p>プロジェクトに参加する学生の人数を絞り込むべきであった。</p> <p>留学生の場合、Hands-on の経験を得るために参加している学生の場合、研究テーマと連動していないために、途中でプロジェクトを抜けた学生がいて、人のやりくりにも苦労した。</p>
運用	<p>運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)</p> <p>S-band で運用したが、高速通信をしようとした際に衛星の姿勢が大事ということを痛感した。衛星のデジタル通信の経験が浅いメーカーに衛星搭載 S-band 送信機と地上復調系を外注したが、ドップラーシフトへの対応がうまくいかず、満足な性能が得られなかった。こちらの経験のなさもあり、そのような時は、経験のあるメーカーに外注しないといけない。</p>
運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A
その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
その他	<p>鳳龍弐号の時は教員-学生の 2 段構造で、チーム内は学生のプロマネがいたが、基本的に水平体制で、言語も日本語であり、学生達の年は 3 歳くらいの幅しかないので、開発チームないの風通しはよかった。チームの人数も 15 人程度であり、人間関係での問題がそれほど発生しなかった。</p> <p>鳳龍四号の時は、教員-スタッフ-学生の 3 段構造で、スタッフの位置付けが難しかった。スタッフの一人がプロマネとして運営したが、スタッフの中での序列を明確に決めておくべきだった。また、言語が英語と日本語の併用、学生達の年は最大で 10 歳程度離れており、開発チーム内での風通しが悪かった。さらには人数も 40 人くらいおり、ほかの研究室に所属する学生が 10 名ほどいて、付き合いが浅かった。カルチャーギャップの問題もあって、人間関係での問題が多く発生した。この後に始まった BIRDS プログラムでは、このチームないの人間関係をスムーズにすることをまず考えた。</p> <p>大学において、留学生と日本人学生が共同で対等の立場で衛星を開発するというのは初めての試みであったと思う。この経験があったので、次の BIRDS プロジェクトを実施することができた。</p> <p>鳳龍四号に関連して、15 編の査読付きジャーナル論文が出版され (文献 [5.1-10~5.1-14])、7 名が博士号を取得した。科学観測衛星であればもっと論文がでたかもしれないが、技術実証衛星としてはそれなりの数であり、若手研究者の育成という観点ではうまくいったと思われる。</p>
信頼性向上に関する提言	<p>鳳龍弐号の時と同様にミッション機器 (プラズマに関連したもの) の開発は、衛星のシステム全体を真空容器の中に入れて、できるだけ実際に近い環境の中で行った。Test as you fly が大事である。</p>



表 5.1.6.1-24 BIRDS-3 成功を通して得られた教訓

プロジェクト No.		29
プロジェクト名		BIRDS-3
責任機関（実施の中心機関）		九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー
成功を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	鳳龍式号以来使ってきたルネサスの H8 マイコンが製造中止となったので、C&DH 系を PIC マイコンで置き換えた。基本アーキテクチャは変わらず、通信を行う PIC16 マイコンと、データ処理を行う PIC18 マイコン（処理量が通信系より多いため、PIC18 にした）に神マイコンとしてもう一個の PIC16 がリセットを担当する形にした。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	ダウンリンク、アップリンクともに成功した。実際の成功確率やダウンリンク電波強度の計測等を通じて、回線計算を再確認することができた。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
その他	BIRDS プロジェクトも 3 世代目であり、設計も固まってきたので、7 人の少数で 3 個の衛星を作ることができた。BIRDS-1, BIRDS-2 の教訓から、通信系、それもアップリンクの成功に全力を投入した。少数精鋭であったため、ミッションを絞り込んだ。そのことがうまくいった要因だと思う。 LoRa モジュールの軌道上実証を行うということで、IARU に申請を出したが、LORA は Encrypted 信号なので、アマチュア無線帯を使ってはいけないということがわかった。LoRa 通信実験を非アマチュア帯で実施するので大丈夫かと思ったが、非アマチュア業務を行う衛星の制御（アップリンク）をアマチュア無線を使って行ってはいけないと言われた。非アマチュア業務とアマチュア業務は完全に切り分けないといけないということがわかった。結局、LoRa モジュールについては、送信機と受信機をケーブルで直結し、外部には一切電波を出さず、通信実験ではなく、電子機器として軌道上環境に耐えるかどうかの実証試験をすることになった。	
信頼性向上に関する提言		N/A
個別事例から得られた教訓		
事例 No.	1	2
その他	BIRDS-1 では、展開アンテナの失敗を恐れるがあまり、パッチアンテナを採用して失敗に終わった。結局、BIRDS-2, BIRDS-3 では計 6 機が全て展開に成功している。徹底的な展開試験を行うことで、展開アンテナの信頼性を高めることができる。 （本項は、3/14 に BIRDS-4 が放出されて展開に失敗したら書き直すこととなります。）	BIRDS バスの健全性を実証することができた。3 機の同一設計の衛星を使うことで、軌道上動作時間実績を増やすことができた。 文科省の委託費事業で、BIRDS バスを教育衛星プロジェクトとして使えるバスとして使えることを念頭において開発を進め、教科書や ICD も出版・公表できた。
信頼性向上に関する提言	1U キューブサットのような 3 密のシステムではノイズが多大な影響を与える。衛星に到達した時点でアップリンク信号は非常に弱いのでノイズに負けてしまう可能性がある。 衛星内のノイズを正しく評価する。 衛星を孤立させた状態での End-to-End の通信試験を行う 試験に使う機器をよく理解する。	N/A

表 5.1.6.2-1(1/8) OrigamiSat-1/F0-98 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.	1	
プロジェクト名	OrigamiSat-1/F0-98	
責任機関 (実施の中心機関)	東京工業大学 動設計学研究室 (坂本研)、および中西研究室	
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	<p>OrigamiSat-1 は打ち上げから 2 年経ってもまだ 4 つあるミニマムサクセスクライテリアの 1 つを達成したのみで、フルサクセスクライテリア 3 つは 1 つも達成できていない、失敗の多い衛星となった (注: 上記執筆後の 2021 年 1 月に信号が復活しミッション再開運用中)。したがって開発責任者として、開発してわかった気づきは非常に多くある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・技術的な気づきとして最大のものは、「小型衛星システムはシンプルに作る事が最重要」であることで、OrigamiSat-1 開発は開発責任者の考えが浅かったため、衛星は開発過程でどんどん複雑になってしまった。システムが複雑だと開発に時間がかかり、時間が足りないと試験がおろそかとなり、信頼性が下がり軌道上での不具合につながる。そしてシンプルなシステム作りには正しい方法論が (おそらく) あることである。</li> <li>・マネジメント的なものとしては、学生に給料を (ほとんど) 払わないことで開発における人件費がかからないが、一方で学生のモチベーションを引き出す仕組みが重要ということである。OrigamiSat-1 は開発の末期にようやく学生たちの本気 (当事者意識) を引き出すことができたが、少し遅すぎた。そして単に当事者意識を持てるようにするだけでなく、皆が「シンプルなモノづくり」を志すようにマネージャーが明確な方向付けを行わなくてはいけない。単に当事者意識が高まっただけであれば、自分の担当部分の信頼性だけを上げるためにシステムを複雑化する方向に個々の学生たちのマインドは行きがちになる。これをシステム全体の視点から方向転換するよう促すようなマネジメントが重要である。OrigamiSat-1 ではこのようなマネジメントは欠如しており、したがって学生たちは本気になったものの、システム全体としては信頼性が高いシステムとはできなかった。</li> </ul>
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	<p>上述の通り、開発の過程は完成するシステムの信頼性に直結する。信頼性の低いシステムができてしまったのは、開発のプロセスの誤りであったと考えている。開発を工夫することでより多くの成果をあげることができたことは間違いない。</p>
	その場合、どのような工夫があればよかったか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・技術的な工夫としては、信頼性を冗長系で高めるアプローチは基本的に排除し、1 系だけの信頼性をとにかく高めること、そして万が一不具合が起きてもしリセットで初期状態に戻れるようにすることでその 1 系のロバスト性を高めること、である。とにかく多くの試験で 1 系だけを強くするアプローチを取るべきだった。OrigamiSat-1 には多くの冗長な機能があり、まだミニマムサクセスのシステムもできていない中でアドバンストサクセスのシステムの開発にスケジュールを割くなどしてしまっていた。まずは最低限のことができる目途が立つてから、枝葉へ手を伸ばすのではなくてはいけない。</li> <li>・マネジメント的なものとしては、学生のモチベーションを引き出しつつ、システム全体のシンプルさを追及すること、を両立することである。まずきちんと学生たちに仕事を任せること。自分が居なくてははるこの衛星は打ちあがらない、そしてそこに時間を費やすことは自分の人生にとって重要なことだ (だから体はハードでも心は楽しい) と思ってもらわなくてははいけない。したがってライバル校との切磋琢磨や、先輩後輩の良い関係などが、完成する衛星の信頼性のキーとなる。そして PI はとにかくシステム全体のシンプルさを言い続けること。「最低限のことが確実にできるシステムを作るのだ」と誰かが強く言い続けなくては、少なくとも学生新メンバーはそれが重要だとは通常、実感しえないだろう。</li> </ul>

表 5.1.6.2-1(2/8) OrigamiSat-1/F0-98 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		1 (OrigamiSat-1/F0-98 続)
成功を通して得られた教訓		
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	<p>運用は衛星の重要な一部であり、まさに地上と宇宙のインターフェース部分なので、運用シーケンスは最初に設計され、その設計に基づき衛星が設計されるくらいでなくてはならなかった。OrigamiSat-1では運用経験者がほとんどいなかったため、開発審査会で指摘を受けていたにも関わらずその意味を理解できず、衛星の設計に反映されることはできなかった。具体的には下記2点である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・HKデータとして何をダウンリンクするかを最初にすべて言い当てることのできるのはよほどの経験者だけであり、通常は試験を通して「このデータもあったほうが良さそう」と気づいていく。したがってHKデータのドラフトは開発の初期に決定し、開発の過程で何度も模擬運用を行って運用のしやすい衛星を作っていくのでなくてはならない。</li> <li>・マネジメント的なものとして、まずは開発者全員がなるだけ開発の早い段階で（他の類似の衛星の）運用を経験してみる。そして、BBMでも、EMでも、模擬運用を地上局のコンソール前で実施すること。それにより、自分が開発している部分が、衛星が宇宙に行ってから地上からどのようにアクセスできるかが初めてイメージできる。また、この手順が、自分の活動の重要性を理解し当事者意識を高める活動となりうる。OrigamiSat-1で開発の終盤に学生たちが当事者意識を高めたのはやはり、「この衛星は宇宙に行くんだ」と実感できる環境だったからだと思う。</li> </ul>
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	もう衛星が宇宙に行ってしまうからは、OrigamiSat-1については運用側で工夫できることはあまりなかった。地上局から衛星のプログラムを書き換えられるように設計すればまた異なった体験となったと思うが、それについてはまだ経験がなくわからない。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	地上局から衛星のプログラムを書き換えられるようにすることで、運用の自由度を高められる可能性はあると思うが、開発の難易度は高まるように思われ、経験の蓄積を要すると感じる。
その他	OrigamiSat-1の開発が本格化してから、学生たち（主に修士課程）は自分たちの修士論文に割ける時間は大幅に減ってしまったはずにも関わらず、修士論文の質はどんどんと高まっていったと感じている。これには二つの要因があると考えている。第一に、学生たちの当事者意識が高まり、「自分がここでがんばることは確かに意味がある」と感じられるようになったからだと思う。宇宙は教科書や画面の向こうの世界ではなく、自分の手が届く場所となった。自己効用感の高まりが、キューブサット開発以外の方向にも向いたのだと思う。第二に、単純に優秀な学生が集まるようになった、ことである。優秀な、というのは、単に「お勉強」ができるだけではなく、自分の手を動かして何かを変えようという意欲・経験があり、かつ一人だけではできないことをチームで実現しよう、というマインドがある、という意味である。衛星開発をしていると学内に知れ渡ること、そのような学生が私の研究室に集まるようになった。	
信頼性向上に関する提言	<ul style="list-style-type: none"> <li>・EMの段階で、ミッションに関してはEnd-to-End試験が完了していること、そしてロケット適合性要求が確実に達成できる見込みであること、を厳格に評価しあうコミュニティがあると良いと考える。OrigamiSat-1ではEM段階での見落とし（なあなあにできてしまっていた課題）がFMに蓄積し、スケジュールを圧迫した。ロケット側にもEM段階では確定していなかった要求（試験用ポッドがない）もあったが、そのリスクを私は正しく認識できていなかった。</li> <li>・運用体験を行ってから衛星設計をしていく、というリバーシエンジニアリングのような教育には大きな価値があると感じる。（UNISECではHEPTA-Satキットを用いて実現を目指している。）まずは森を見てから、一つ一つの木を見ていくのではなく、システムの複雑化を避けることが難しい。</li> <li>・信頼性の高いバス機器の共通化。このバスの上に自由なミッションを載せる、ようにすれば、システム全体の信頼性は相当上がるだろう。</li> </ul>	



表 5.1.6.2-1 (3/8) OrigamiSat-1/F0-98 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		1 (OrigamiSat-1/F0-98 続)	
個別事例から得られた教訓			
事例 No.		1	2
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	BBM、EM 段階でフライト仕様のソフトウェアが完成していないと、FM で不具合が多発しバグを修正しきことは難しい。	技術的には、購入したコンポーネントはブラックボックス要素が高く特有の困難さがある。しかしそういうものだと認識し、それを克服することには意味があるというモチベーションが明確となるようなマネジメントをすることが求められる。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	適切な開発手順というものがあり、そこから外れた開発を行ってしまうと信頼性を損なうのは明らかである。	FM 開発時にはセクションナリズムは軽減したことから、BBM、EM 開発時から対策を取っておけばより多くの成果が上げられたと考えている。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	BBM から End-to-end を意識し、地上局のコンソールの前でどんな情報を宇宙から得ながら運用をするかというイメージが皆で共有しながらソフトウェアを段階的に洗練させていく、など。	バス系開発だけを分断して開発することは困難である。なるだけミッション系と同一拠点で共に歩調をそろえて開発し、各サブシステムの開発状況がリアルタイムに実態としても (すぐ隣で作業する)、チャットツールのオンラインでも、可視化されること。
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	No. 11, No. 12 に記載する軌道上の不具合を運用中に経験し、衛星バス部の中核のソフトウェアにバグがあると、せつかく作りこんだミッション系も動作できず、多くの努力が報われない。開発は信頼性の高いバスの開発・確保を優先し、その基盤の上にてできるだけシンプルなミッション系を搭載するのが良い。	No. 11, No. 12 に記載する軌道上の不具合を運用中に経験し、衛星バスの信頼性が低いと、せつかく作りこんだミッション系も動作できず、多くの努力が報われない。開発は信頼性の高いバスの開発・確保を優先し、その基盤の上にてできるだけシンプルなミッション系を搭載するのが良い。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	運用時にできる工夫はほとんどなかった。	運用時にできる工夫はほとんどなかった。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	運用時を意識して開発を進めておくこと。	運用時を意識して開発を進めておくこと。
その他	審査会でたびたびシニアメンバーから開発の不適切さを指摘されていたが、改善しなかった。「いまはハードウェアの不具合に追われているが、これが終われば人員配置を変えよう」という状態に陥ってしまった時点で取り返すことが困難だった。そのような状態に陥らない開発手順を取っていないと、せつかくのレビューを活かすこともできない。	プロジェクトマネージャーと PI を分けるという開発体制が今回の開発には合っていなかったと感じる。まずは「この衛星の信頼性を何としても高める」と一番覚悟を決めた一人がにらみをきかせる独裁制のほうが信頼性は向上しただろう。そういう視点に立てる人材を開発過程で何人生み出していけるか、という点も重要である。OrigamiSat-1 では FM 開発で初めて学生たちもそういう覚悟を持ったが、本来 BBM 開発時からリーダーがそういう覚悟を見せ続けて学生を育てるべきだった。	
信頼性向上に関する提言	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リーダーシップをとる人物が信頼性を高めるための基本的なステップを理解すること。</li> <li>・End-to-end で運用を意識した試験を開発当初 (BBM) から繰り返し、いい加減にしか試験できない場合は次のステップには進まず、試験が実施できるまでしっかり粘ること。これはハードウェアだけでなく、ソフトウェアも全く同等、あるいはよりソフトウェアのほうが重要度が高いと意識すること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・信頼性は End-to-end で評価するものであるから、特に中核となるバス系だけを分断して別拠点で開発することは、技術的にも、そして何より人的な内発性動機観点から難しい。</li> <li>・可能な限り開発環境は一拠点に集約する。難しい場合でもオンラインツールなどで模擬的に同一拠点開発を模擬すべきだろう。それをやらないなら、大型衛星と同じ徹底したインターフェース管理が必須となるように思われる。</li> </ul>	

表 5.1.6.2-1(4/8) OrigamiSat-1/F0-98 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		1	(OrigamiSat-1/F0-98 続)
個別事例から得られた教訓			
事例 No.		3	4
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	技術的には、購入したコンポーネントはブラックボックス要素が高く特有の困難さがあるのでシステム全体として整合性の取れているかはハード/ソフトの両面からBBM段階で End-to-end 試験で検証しておかないと、すべてのしわ寄せはFM製造時の統合試験で統合できないという結果に帰結してしまう。	経験が浅いメンバーで振動試験を行うと、ハンドブックに載っているような既知の事象に対しても戸惑い、試験進行が遅延する。そのような状況を十分想定した試験体制・試験計画を設けることが重要である。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	CI 基板の不具合をBBM、EMで解決できるような開発プロセスを用いていれば、FMでは試験に注力でき、信頼性の高い衛星を作ることができただろう。	事前にトラブルの想定があれば、もっと落ち着て行動ができただろう。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	BBM、EM 段階での試験結果の厳格な判定。不明点があったときに専門家にその場その場で相談していくスピード感。	現地に経験者がいないことはリスクだと認識し、現地で迅速に経験者に相談できる体制を作っておくべきだった。
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	No. 11, No. 12 に記載する軌道上の不具合は CI 基板が原因と考えている。	N/A
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	運用時にできる工夫はほとんどなかった。	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	運用時を意識して開発を進めておくこと。	N/A
その他		ほぼ無報酬で作業する学生たちは、一人一人異なるモチベーションで動いている。それぞれの目線で参加する意義が感じられる開発の場を作り上げることで、学生たちのパワーを最大限に衛星の信頼性向上へつなげられる。	ハンドブックを読んだ気になっていても、実際に経験をしてみるまではその記述の重要性はなかなかわからない。経験を通して学んでいくものであるから、トラブルを恐れず、たとえ初心者だけでもどんどん経験していく姿勢を崩さないこと。
信頼性向上に関する提言		<ul style="list-style-type: none"> <li>・早い段階で専門家に相談し、不明な点は早め早めに解決していくこと。</li> <li>・設計完了は、End-to-end 試験の結果を見てから判断すること。スペックシートでできそうだからということと、実際にできることの間には大きな差がある。</li> <li>・海外メーカーのコンポーネントを用いるときは保守対応に時間がかかることを十分に考慮に入れた開発手順を取ること。</li> <li>・学生一人一人の個性にあった活躍の場を皆で作っていける雰囲気醸成すること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・振動試験の現場で困らないよう、現地でのトラブルを想定した試験計画を立案すること。</li> <li>・振動試験もノウハウなので、経験者が現場で対応できることが望ましい。</li> <li>・1度でも経験した者は「振動試験ハンドブック」を改めて読み込んで、自分の経験を、体系的な知識として昇華しておく努力が有効と考える。</li> </ul>

表 5.1.6.2-1 (5/8) OrigamiSat-1/F0-98 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		1	(OrigamiSat-1/F0-98 続)
個別事例から得られた教訓			
事例 No.		5	6
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	構体の組み立ては、開発過程で何度も実施されるものであるから、その工程をできるだけ簡素化することは開発過程で多くの時間を生み出すことになり、より試験に時間を割けて信頼性向上につながる。組み立てを複雑にすると構体担当者の負担が増え、クリティカルな見落としを誘発する。	悪意はなくても図面などには反映されていなくて、現物を見て初めて開示されるインターフェース情報もある（例：E-SSOD 内部のレールの切り欠き）。常に現物ありきで考え、余計な仮定が極力入っていない検証を心掛けなくては思わぬ見落としがあり得る。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	組立てが簡素な構体であればより多くの試験が行えて信頼性は向上しただろう。	時間的余裕がないと不測の事態に対応が難しくなるため、常にスケジュールマージンを持つことは信頼性の確保につながっただろう。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	ミッション系機器の冗長系を廃して少しでも容積を小さくし、構体が無理をしなくても組み立つ設計にすること。ミッション系が先に完成してしまうとこの調整ができないため、まず構体設計を先に固めてからミッション系を開発するのでなくては衛星全体の信頼性を確保することは難しい。	組立てを簡素な設計にする、BBM・EM のときから CI 基板の設計変更を最小にする、などのプロセスを経ていけば振動試験が延期することもなく、したがって EM 振動試験と同じ環境で試験できたはずで、同じトラブルに対しても余裕をもって対応できただろう。
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	N/A	N/A
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	N/A
その他	N/A	N/A	N/A
信頼性向上に関する提言		<ul style="list-style-type: none"> <li>・構体が大きな労力をかけずとも組み立つ設計にすることは、システム全体の信頼性に大きく影響する。</li> <li>・機構は組立て精度や小さな傷がクリティカルな影響をもたらすので細心の注意を要する。</li> <li>・組立て時はハーネスの噛みこみに注意。</li> <li>・組立て精度を、ロケット側はどのような方法で評価するのかを先に知り、その方法で開発者も検証しながら組み立てるのが良い。（具体的には、フィットチェック用の POD を最初に作って手元に持つことが重要。）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・悪意はなくても図面などには反映されていなくて、現物を見て初めて開示されるインターフェース情報もある。常に現物ありきで考え、余計な仮定が極力入っていない検証を心掛けなくては思わぬ見落としがあり得ると心がけよ。</li> <li>・時間的余裕がないと不測の事態に対応が難しくなるため、常にスケジュールマージンを持つことは信頼性の確保につながっただろう。EM で確認できていないことは、FM ではあらゆるものがリスクになりえる。</li> </ul>



表 5.1.6.2-1 (6/8) OrigamiSat-1/F0-98 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		1	(OrigamiSat-1/F0-98 続)
個別事例から得られた教訓			
事例 No.		7	8
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	要求文書の規定をよく読んで勘違いなどがないことを入念に確認しておかないと、FM 引き渡し時に関係各位に多大な迷惑をかけてしまい、自分たちの時間も奪われて衛星の信頼性低下につながる。最悪、衛星がロケットに載らない結果となる（契約違反）。	BBM、EM では運用を模擬した環境で機能の検証を行い、検証環境を自動化しておかないと、FM 試験時の手間が増えてしまい、検証の見落としが生じる可能性が増えて、信頼性を低下させる。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	見落としがなく初めから ICS 適合できていれば FM 引き渡し前の騒動は回避できていた。	BBM、EM から徹底した検証を自動で行える環境があれば、FM での機能検証が大いに簡素だったと考える。これにより、より徹底した試験が行えていただろう。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	審査会などの機会を大いに活用し、開発メンバーたちが自分たちで要求文書の適合性などを綿密にチェックし、後々トラブルを起こさないよう自分たちで気を付けるべきである。	衛星を作るだけでなく、FM での検証の環境についても、BBM、EM から順次作っていく。
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	N/A	N/A
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	N/A
その他		開発学生たちはそれぞれ悩んで様々な作業をしている。機会さえあれば教員は個々人と雑談し、学生たちの懸念事項をリアルタイムに捉えるよう工夫することが重要である。	N/A
信頼性向上に関する提言		<ul style="list-style-type: none"> <li>・要求文書の不適合は、後の開発のスケジュールを圧迫する結果となりうる。（最悪、衛星がロケットに搭載されない結果となる。）</li> <li>・要求文書の見落としがないよう、審査会などの場を利用して自分たちを律することが重要である。</li> <li>・要求文書に適合することが困難な場合は早めに関係者に相談し、影響を最小限にとどめる交渉を行うこと。</li> <li>・学生たちの懸念をリアルタイムに把握できるよう、雑談をしあう環境を積極的に維持することが重要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・時間がないからと言って検証の手順を飛ばしてしまうと大きな見落としにつながる。</li> <li>・BBM、EM の試験の際から、試験が自動で進むような環境構築をしておくことで、FM の試験を簡素化し、より丁寧な試験を実施できるようになる。これにより、FM の信頼性を上げることができる。</li> </ul>

表 5.1.6.2-1(7/8) OrigamiSat-1/F0-98 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		1	(OrigamiSat-1/F0-98 続)
個別事例から得られた教訓			
事例 No.		9	10
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	引き渡し時に安全審査の最後の確認を行うが、その状況を想定した文書の記載にしておかないと現地で充足できないで立ち往生しうる。	N/A
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	関係各位に迷惑をかけることが回避できたと考える。	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	安全審査の基準値には根拠のないマージンを積むことなく、本当に安全上問題がある真の値を記載するべきである。また、引き渡し時に慌てないよう、引き渡し状態での検証を事前に実施すること。	N/A
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	N/A	地上に EM が残っていることは非常に重要である。FM が想定外の動作をしたとき、地上にある EM による試験により初めてそれを理解できる。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A	世界中のアマチュア無線家の方々がどのように協力して下さるかもわかってきたので、24 時間でリセットし復帰することを理解したうえでミッションを行えるだろうとは考えた。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	Saving mode に入ることが一時的な停波を引き起こすのだから、モード切替の閾値電圧を変えるアップリンクを行い停波の確率を減らすコマンド送信を想定し始めていた。（しかしその後、2 年間の停波のため未実行。）
その他		ロケット組立ての皆さんは緊張感の中作業していらっしゃる。その現場を垣間見させてもらえたことはたいへんに貴重な経験となった。安全審査などが厳格であるべき意味は、そういう場に赴いて初めて体感できた。（逆に言えばそれまで文書から意味を実感できていなかった。）	不具合が発生したとき HK データの履歴だけが原因究明の頼りとなる。そういう状況を想定して HK データ構成を考えることはできていなかった。審査会で構成を相談することもできていなかった。運用を想定した End-to-end 試験から衛星開発を始めるという手順にはできていなかった。
信頼性向上に関する提言		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ロケット作業の現場の現実から安全審査の要求は課せられているものである。その意味を理解し、無根拠なマージンを積むことはないように。</li> <li>・引き渡しの練習をしておかないと、現地で想定外の事象が起きえる。</li> <li>・ロケット打ち上げの現場を見ることは、安全審査の意味を理解することに役立つ。百聞は一見に如かず。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軌道上で不具合を起こしたとき HK データから原因究明をすることになる。その状態を開発段階で想定した試験を行っておくことが望ましい。</li> <li>・モード切替えという基本的な動作を長時間動作試験で検証することは重要である。</li> <li>・衛星に異常検知時は 24 時間に 1 回のリセット、正常でも 24 時間に 1 回のリセット、を行う機能を実装していたことによりモード切替時のバグがあっても何とか初期運用が継続できた。</li> <li>・フライト状態で実施していないと思わぬ不具合要因の見落としが起きる。外部基板は取り外すこと。</li> </ul>

表 5.1.6.2-1(8/8) OrigamiSat-1/F0-98 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		1	(OrigamiSat-1/F0-98 続)
個別事例から得られた教訓			
事例 No.		11	
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	N/A	
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	衛星からの信号が途絶してしまうと、情報がなく原因究明は難しい。	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	衛星からの信号が途絶しかつ膜展開コマンドを送っても軌道降下はなかった。この状態に陥ってしまうと成果を上げることは難しい。	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	
その他		N/A	
信頼性向上に関する提言		<ul style="list-style-type: none"> <li>・EM 基板と FM 基板でも動作が異なるため、必ず FM 基板で長時間の動作、全シーケンスの確認試験を行っておく。</li> <li>・衛星がソフトウェアのバグで停止してしまうようなモードがないか、打ち上げ前に丁寧に確認しておく。</li> </ul>	

表 5.1.6.2-2 PROCYON 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.	10	
プロジェクト名	PROCYON	
責任機関（実施の中心機関）	東京大学中須賀・船瀬研究室	
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった 気づき事項（技術 的なもの、マネジ メント的なもの）	地球周回衛星の開発・運用経験はあったが、深宇宙探査機の開発は初めてであったので、深宇宙探査機ならではの部分は多く学べた。  姿勢制御の技術的な部分では、磁気センサ・磁気トルカなど地球周回超小型衛星で使われる信頼性の高いコンポーネントが使えない中で、如何に姿勢制御の信頼性を高めるかといった姿勢系 FDIR 設計を学ぶことができた。 また、推進機でのアンローディングが必須となるので、推進系の信頼性を高めるための地上試験・バスと推進系のかみ合わせ試験の重要性も学べた。  マネジメントの部分では、ISAS の先生たちから適切なアドバイスを貰えたのがとても参考になった。「経験豊富な先生・技術者+やる気のある学生」という組み合わせはよい効果をもたらすと思う。ただし、上記の良い関係性はレビュー会など低頻度で緊張感のある(チーム外の人と議論するような雰囲気)会議では生まれず、「二週間に一度程度のチームとしての議論」の中で生まれるものと考えている。
	開発を工夫すること により多くの成果 を挙げることが できたと思うか？	PROCYON の場合は、開発期間が 1.2 年程度とかなり厳しく、これ以上効率的な開発は不可能と思われるので、やれることはやったと考えている。  時間があつたなら、電気推進系の長期作動試験などを行えば電気推進系の軌道上不具合を事前に見つけることができたかもしれない。
	その場合、どのよ うな工夫があれば よかったか	適切な開発時間の確保
運用	運用してわかった 気づき事項（技術 的なもの、マネジ メント的なもの）	開発期間が短かったので、運用訓練を十分行うことができず、運用を理解しているのが学生 2 名のみでその 2 名に負担が集中した。 運用訓練の時間を十分確保すること、運用支援ツールを事前に開発しておくことの重要性を改めて感じた。
	運用を工夫すること により多くの成果 を挙げることが できたと思うか？	運用体制は厳しかったものの、やるべきことはやったと思うので、特に無い。
	その場合、どのよ うな工夫があれば よかったか	N/A
その他	PROCYON をきっかけに、超小型衛星で深宇宙探査ができることを多くの人(特に ISAS 内部の人)が理解し、その後の EQUULEUS や OMOTENASHI などにつながったのは、大きな成果であったと言える。	
信頼性向上に関する提言	データ、ノウハウ、ソフトウェアなどをどんどん共有していくべきだと思う。 また、独自に 0 からバス開発を行うのはやめ、国内外の安定したバスを再利用することを考えたほうが良いと思う。 その時に、中身がわからないバスを使いたくないということは有ると思うので、上記の情報共有が重要になってくる。	

表 5.1.6.2-3(1/3) MicroDragon 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.	11	
プロジェクト名	MicroDragon (略称: MDG)	
責任機関 (実施の中心機関)	東京大学中須賀・船瀬研究室	
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメンタ的なもの)	このプロジェクトは、先行して検証された Hodoyoshi-3/4 号機、UNIFORM-1 の資産を活用して実施したプロジェクトだったので、先行プロジェクトで得られた知見や開発/実証済みのコンポーネントを再利用することで、ベトナム人学生の教育に特化したプロジェクトが実現できたと言える。一部の要素で、先行プロジェクトで残った課題や軌道上で発生した不具合を是正する措置を検証しなければならず、それらの新規開発が発生する要素は、ベトナム人学生への教育コンテンツにはほとんど含めずに、教員や専任スタッフが外部のメーカと協力して再設計、再検証を実施した。教育的な取り組みを主とする場合、新規開発の要素が多すぎると破綻するリスクが有ると感じ、MDG での回答者の主観として衛星のバス系に関して言えば、完全な新規要素の構成比率は 10-20%程度だったと感じている。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	開発上の工夫としては、ベトナム人学生を受け入れる前に、日本人側の教員や専任スタッフにおけるコンテンツの英語化作業を行っておければ、なお良い取り組みにつながったのではないかと考察する。 MDG では、日本語は話せない、英語/ベトナム語のみの学生が留学生として日本の大学に所属し、その大学チームでの教育を軸とする衛星開発を行った。このため、既存のプロジェクト資産である日本語の設計情報をそのままの形では、学生教育コンテンツに使えず、担当する教員やメンターが都度都度、英訳したりサマリーを作ったものを使って学生への解説を行っていた。ここが時として、アドホック的になってしまい、十分な情報を学生に伝えきることができなかった状況も発生していた。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	日本語ネイティブではない、留学生を含むプロジェクトや海外の大学・期間との取り組みも生じることは少なからず 今後の日本の大学での衛星プロジェクトでも発生するため、予め英語化しておくコンテンツ作りも大事だが、回答者が MDG を通じて感じたのは、言語に依存しない情報体型・マニュアルの整備: アイコン化、ユニバーサルデザインを意識した試験/インテグレーション環境内の表示や指示が効果的だったことである。必ずしも英語が満足に使える留学生ばかりとも限らず、日本語&英語両方が不安な学生への対応も考慮しておくことがさらなる改善点としては挙げられる。



表 5.1.6.2-3(2/3) MicroDragon 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		11	(MicroDragon 続)
プロジェクト全体を通して得られた教訓			
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	このプロジェクトでは、資金の不足から、打上げ後の初期運用 1 週間のみを超短期集中的に取り組むスタイルで運用されたこともあって、運用前の 1-2 週間程度～打上げ後の 1-2 週間程度の約 1 ヶ月程度の期間に、運用に参加したベトナム人学生（約 6 名）と参加した教員/メンター（約 6 名）との間で密な情報共有、カリキュラムとしての運用準備と運用訓練&運用手順書づくり、運用後のレビュー、考察等が比較的うまく実施できたと考える。ベトナム人学生は、ノミナルの留学期間が終わった後で一度ベトナムへ帰国しなければならなかったが、打上げ日時は、全てのベトナム人が帰国した後に設定されていたため、ベトナム人留学生帰国後 (FM の途中)～ SHIPPING & 各種手続き/安全審査対応は、各大学に所属している教員/専任スタッフが実施した。この Phase では、ベトナム人学生に直接的な教育を行うことはできなかったが、このときの教員/専任スタッフの体験を、運用直前に来日したベトナム人に座学の講義形式でレクチャーすることで補った。教育的な効果としては、不十分であったかもしれないが、Kickoff から初期運用までのなんとかつながることができたと感じる。運用局の整備や、日本の省庁関係の手続きはどうしても教員/専任スタッフのみで行わなければならなかったが、このときの苦労やポイントもレクチャーには含める事ができたので、そこで構築できた教育向けの資料や情報体系は今後も別のところで活用できると考える。	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	(非公開)	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	(非公開)	
その他	<p>運用が遅延してしまう、進行が止まってしまうことはプロジェクト遂行上はマイナス要因だが復旧可能なトラブルであれば、教育的効果は大きい (失敗から学ばせる)。</p> <p>発生してしまったら絶対に取り返しのつかない大きな失敗は絶対に避けなければならないが、リカバー可能な小さな失敗・ヒヤリハットは、学生の教育的観点からはある程度経験させ、その対応を自分自身で考え出すことに価値があると感じる。</p> <p>学生が本気で「まずい！」と心からヒヤリとする体験を与える、かつ、そこからのリカバリー体験を与えて復帰できたことを経験するアレンジをプロジェクトに持たせるためには、教員や専任スタッフは十分に経験を積みプロジェクトの方向づけを水面下で行える思慮が必要。</p>		
信頼性向上に関する提言	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同一製品の再利用、国内国外大学/高専での横通しでの情報交換、不具合レポートの共有</li> <li>・コンポーネント情報のロコミ共有</li> <li>・運用継続の仕組み/運用協力体制</li> </ul>		



表 5.1.6.2-3(3/3) MicroDragon 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		11	(MicroDragon 続)
個別事例から得られた教訓			
事例 No.		1	
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	N/A	
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	学生の理解度やチェック方法も不完全であったとしても、その方向性がミッションを終わらせてしまうほどの深刻なものなのか？ある程度管理できるものなのか？ は教員/メンターが分かった上で手綱をコントロールしなければならない	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	運用が遅延してしまう、進行が止まってしまうことはプロジェクト遂行上はマイナス要因だが復旧可能なトラブルであれば、教育的効果は大きい（失敗から学ばせる）  発生してしまったら絶対に取り返しのつかない大きな失敗は絶対に避けなければならないが、リカバー可能な小さな失敗・ヒヤリハットは、学生の教育的観点からはある程度経験させること、そのものに価値があると感じる	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	学生が本気で「まずい！」と心からヒヤリとする体験を与える、かつ、そこからのリカバリー体験を与えて復帰できたことを経験することが何よりも学びの効果が大きいと感じる。	
その他	N/A		
信頼性向上に関する提言		同一製品の再利用、国内国外大学/高専での横通しでの情報交換、不具合レポートの共有	
個別事例から得られた教訓			
事例 No.		2, 3	
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	N/A	
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	試験時にコンポーネントの破損を生じることはプロジェクト遂行上はマイナス要因だが復旧可能なトラブルであれば、教育的効果は大きい（失敗から学ばせる）  破損してしまったら絶対に取り返しのつかない大きな破損は絶対に避けなければならないが、リカバー可能な小さな失敗・ヒヤリハットは、学生の教育的観点からはある程度経験させること、そのものに価値があると感じる	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	N/A	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	
その他	N/A		
信頼性向上に関する提言		N/A	

表 5.1.6.2-4 KKS-1 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.	13		
プロジェクト名	KKS-1 (輝汐)		
責任機関 (実施の中心機関)	東京都立産業技術高等専門学校		
失敗を通して得られた教訓			
プロジェクト全体を通して得られた教訓			
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	環境試験は衛星構造 BBM でもいいので早めに一度経験すること。電源基板は各系で使うためたくさんあったほうが良い。直流電源は早めに使わないようにして、使用するバッテリーと電源基板で動作させる (代わりに電源基板側で電圧・電流がモニタできる基板を用意すること、できれば短絡遮断や LED 点灯やブザーなどで短絡がすぐわかるシステムがいい)。	
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	思う。開発の工夫はやはり教育にあると感じる。案として衛星開発のノウハウを集約して、開発前に事前に勉強会を開き、何かテストのようなものを実施して一定以上の点数が取れたら衛星を開発に参加できる。とか学習の徹底を行うほうが後戻りが少なく、衛星開発は健全になると感じる。	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	アップリンクの暗号化はソフトウェア開発を複雑化する且つ衛星がうまくいくことを想定してプログラムをしていた。アップリンク方法は考えすぎずシンプルのほうがよい (開発スケジュールに余裕があれば十分検証の上で、暗号化に着手すればよい。余裕がないのに難しいことにチャレンジしすぎた)。	
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	アップリンクに暗号を用いたが、暗号の鍵として衛星内部の RTC 日付を用いた。しかしその RTC が不調となり、アップリンクを 16 通り上げなければならなくなった。	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	アップリンク通信方法はシンプルなるほうに工夫したほうがよい。これにより衛星通信の成立がなされ、成果を挙げられる。	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	アップリンクの暗号化はソフトウェア開発を複雑化する。衛星内部のハードウェアが全てうまくいくことを想定してプログラムをしていた。アップリンク方法は考えすぎずシンプルなるほうがよい (開発スケジュールに余裕があれば十分検証の上で、暗号化に着手すればよい。余裕がないのに難しいことにチャレンジしすぎた)。	
その他	N/A		
信頼性向上に関する提言	ヒヤリハット集はすべて吸い上げておく。学生への基礎勉強資料を残しておけば、後輩指導の負担が軽減される。		
個別事例から得られた教訓			
事例 No.	1, 2	3	4
開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	設計者も組立業者も短絡によるインパクトを知り、マニュアル作成やダブルチェックの大切さを知ることが大事。	万一逆差しをしても VCC の位置が変わらない設計をする。設計者も組立業者も短絡によるインパクトを知り、マニュアル作成やダブルチェックの大切さを知ることが大事。	設計者も組立業者もマニュアル作成やダブルチェックの大切さを知ることが大事。
個別事例から得られた教訓			
事例 No.	5~7	8	9
開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	部品単体の試験を実施すること。ノウハウである JAXA 資料を必ず一読すること。	機械部品はできるだけ搭載しない設計が良い。	基板システムの早期完成でプログラムのデバックも早期に。

表 5.1.6.2-5(1/8) RISESAT 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		15
プロジェクト名		RISESAT
責任機関 (実施の中心機関)		東北大学吉田・栗原研究室/北海道大学高橋研究室
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・衛星開発は単発の衛星の研究開発としてではなく、できる限り複数の衛星から成る衛星開発プログラムとして計画し、必要な技術を少しずつ段階的に、戦略的に軌道上実証していくのが最も効率がよい取り組み方だと思う。取り組む技術レベルのギャップが大きすぎると、予算や期間を読み誤り、打上げの機会を逃すばかりか、全体として出戻りが多くなる。</li> <li>・経験者の知見に頼ることを躊躇すべきではない。</li> <li>・超小型衛星のプロマネはシステムの全てを把握できる範囲で計画を立てるべきである。そうすることで常に迅速な判断を下し、超小型衛星ならではの廉価短期間での研究開発を実現することができる。</li> <li>・50kg級の衛星で最先端の技術実証を目指す、億円単位の予算が必要になる。</li> </ul>
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	与えられた予算、人員、期間、機会の中で最大限の最適化を図ったと思う。一方、搭載電算装置に関して、新規技術の実証にこだわらず、手堅い開発手順をとっていれば、ミッションデータの取得効率を現状よりも向上できていたと思われる。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	工学系の研究機関ではどうしても新規技術の実証を盛り込まなければプロジェクトの意義を示しにくい側面がある。一方、理学観測の観点からは既存の枯れた技術でも十分な個所がある。超小型衛星プロジェクトではそれらのバランスを熟考し、目標設定とプロジェクト設計において判断を見極めることが重要だと思う。
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・衛星の効率的な運用には支援ソフトウェアを充実させる必要がある。例えばコマンドの自動生成機能や、データの自動ダウンリンク機能、観測対象地点の雲量予測機能、衛星上に保存されているミッションデータの内容の地上での管理機能、複数の衛星の運用を念頭に入れたコマンドアップリンクのタイミング最適化機能、などがそれにあたる。これらは軌道上で継続的に運用する衛星を持った時に初めてその必要性を認識する類のものであり、衛星開発時には優先度が下がってしまうため配慮が必要である。</li> <li>・軌道上での校正機能は、高度な観測を実施するためには必要不可欠であり、衛星の機能や搭載ソフトウェアについて、校正作業を想定したものしておく必要がある。</li> <li>・恒星センサは繊細な装置であり、その運用条件、パラメータ設定には初期運用時にある程度の時間を要することを想定しておく必要がある。</li> <li>・RISESAT は一つのセットのストアドコマンドを実行している最中には別のセットのストアドコマンドをアップリンクすることはできない。これは運用上大きな制約となるため、衛星には複数のセットのストアドコマンドをアップリンクできるようにしておくのがよいと思われる。</li> <li>・衛星のテレメトリ送信用アンテナは、衛星の相反する面に2台搭載して、1)両者を結合して全方位的に用いる場合と、2)地上からのコマンドでの切替方式で用いる場合が考えられるが、2)の方が通信を成立させることができる時間帯が長いことを経験的に知った。</li> <li>・コマンド局が1局であっても、データのダウンリンクをできる局がコマンド局から離れた位置に複数存在すると運用の効率が格段に上がる。</li> <li>・高速データダウンリンクがうまくいかない状況に遭遇した際、その原因が衛星側の姿勢制御にあるのか、地上局側の設備及びソフトウェアの設定にあるのか、迅速に見極められる仕組みが必要。問題が解決しない限りはすぐに本格的な観測再会ができなくなるので注意が必要。</li> </ul>
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	各ペイロードの研究開発段階では詳細な運用計画を立てられるだけの具体的な運用シナリオを立てることができず、またペイロード間のマシンタイム(バスシステム占有時間)の調整を行える状況ではなかった。これは主にペイロード側のエンジニアが超小型衛星バスシステムに馴染みがないこと、及び特に衛星の姿勢制御能力の観点からの運用に関する知見が無いこと、及び国際理学観測プロジェクトの性質上、関係者が一堂に集うことが困難であったことに依る。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	打ち上げ前により具体的な運用計画を立案することができていれば、運用の効率を高めることができていたと思う。運用計画を立案する上で重要となるのは、各ペイロードの軌道上実証のステップ、衛星の姿勢制御系の能力と軌道上実証のステップ、各ペイロードの季節の影響(太陽の方角、地上の日陰・日照領域、各ペイロードの周期的な観測要求、各ペイロードの担当機関の季節ごとの作業従事時間の変動などが挙げられる。このような状況では、自分の能力を過信せず、経験者、専門家の意見を頼ることで状況を打開できる可能性があることを知っておくべきである。



表 5.1.6.2-5(2/8) RISESAT 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		15	(RISESAT 続)
プロジェクト全体を通して得られた教訓			
その他	衛星のプロジェクトマネジメントは、一度全プロセスを経験した人間でないと適切な判断を下すことができない。若手エンジニア/技術者/研究者のうちから、プロジェクトの全ライフサイクルを経験できるよう、実施責任側も、参画側も配慮が必要だと思う。		
信頼性向上に関する提言	各機関の経験と知見を集約し、超小型衛星の MissionAssurance に関するエッセンスの抽出と技術水準の確立に努めると共に、それらを公に入手可能なものとして、水平展開を図るべきである。		
個別事例から得られた教訓			
事例 No.		1	
開発	開発してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	外部機関からのペイロード機器を受け入れる場合、本来であれば機関ごとにシステム担当側内部担当者をアサインすることが望ましい。ペイロード開発機関はそれぞれの開発手法というものを持っており、システム担当の手法、またはロケットから指示のある手法・手順での調整について連携を図るのには、相手方が宇宙ミッションの経験者であってもかなりの労力を有することを想定しておく必要がある。	
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	本件に関してはペイロード機器の台数を減らし、評価レベル、運用準備レベルを高めることで、より効率のよい、短期間で軌道上実証を達成できたものと考えられる。しかしながら、より多岐にわたる技術の Proof of Concept を獲得したいという観点からは、ペイロード機器の種類を維持することが望ましいため、バスシステムとのインターフェースを簡易化するなどして、システムインテグレーションに要する時間を削減することが望ましかったと思われる。	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	RISESAT プロジェクトでは、衛星バスシステムの汎用性を高めるために、ペイロード機器のインターフェースを統一することを目標の一つと掲げていたため、ペイロード担当機関側でも、従来のレガシーインターフェースの変更作業など、追加開発項目が発生した。これに対する対策の一つとして、ペイロード側のインターフェースはレガシーインターフェースをそのまま受け入れることで相手機関側の開発要素を削減し、システム側でそれらを吸収するようにメーカーと調整する方法が挙げられると考えられる。これにより、新規開発項目が含まれる機器の台数を削減することが可能となり、開発期間短縮を実現できるものと考えられる。	
運用	運用してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	ペイロード機器で取得したデータの評価には、担当機関で時に数週間の時間を要する。そのため、その期間に他のペイロード機器の観測運用が理論上は可能になる。しかしながら、そのために必要な姿勢制御モードの調整や事前検証、運用計画の立案と軌道上実証にも数週間単位の時間を要するため、ペイロードを切り替えながら効率よく観測を実施していくことは、特に初期運用時は困難である。よって、現実問題としては、ペイロード機器ごとに1,2か月程度のまとまった評価期間を設定することになるが、例えば6種類のペイロード機器があれば、ペイロードによっては1年後に初めて実証の機会が回ってくるものが出てきてしまう。実際には季節の影響や軌道上データのダウンリンク状況なども影響するため、実運用において見通しよく運用計画を立てられるのは2ヶ月先程度であり、複数のペイロード担当機関間のマシンタイムの調整は非常に困難となる。この点について、プロジェクトの初期段階から、具体的な時間配分、優先度について取り決め、合意を得ておくことが望ましい。	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	プロジェクト全体の教訓に同じ	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	プロジェクト全体の教訓に同じ	
その他	ペイロード担当機関間の交流と、チームとしての認識の醸成もプロジェクトマネージャー、システムとりまとめ機関の役割であると考えられる。共によりプロジェクトを作り上げていくという雰囲気づくりと連携強化を促進するべきである。それにより、例えば異なる複数の観測機器の同時運用を実施することにより、付加価値のある観測データの取得が可能になるというようなメリットが生まれてくる。		
信頼性向上に関する提言	電気的な動作を保証するという観点からは、プロジェクト早期の EM 開発段階で国外ペイロード担当機関についても数週間程度のまとまった期間日本(システムとりまとめ担当機関)に滞在し、協力して電気試験を実施することが望ましい。この際、もしペイロード機器に不具合が見られるような場合には日本国内で対応することが困難な場合もあるため、十分に相互に移動・輸送し合えるだけのプロジェクト予算を確実に確保しておく必要がある。		

表 5.1.6.2-5(3/8) RISESAT 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		15	(RISESAT 続)
個別事例から得られた教訓			
事例 No.		2	3
開発	開発してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	衛星プロジェクトの始動当初から打上げロケットが確定していることが望ましい。ロケットの変更の可能性があるような場合には特に十分な安全余裕を持たせて設計しておくのが得策である。	安全審査の対象となる機器については、できるだけ内部の構造や機構、及び試験データなどが入手できるものを選定するのがよい。展開構造物保持開放機構については、可能であれば独自に開発することが一番だと思う。購入品は高価である一方、独自開発品は比較的安価に抑えられる可能性が高い。独自に開発する場合は地上検証を十分に実施する必要があることに注意が必要である。今回選定した保持開放機構は他の衛星において JAXA の安全審査を通過したことがあるものであるという情報を頼りに、安全審査が速やかに進行することを期待して採用したものであったが、結果的には反対の効果となってしまった。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A	プロジェクトチームは保持開放機構の設計開発のノウハウを有していたため、最初から独自に開発をするという判断をとるべきであった。安全審査に関する経験が不十分であったために避けることができなかった判断ミスだと言える。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	他の人工衛星における安全設計事例、安全審査対策事例に関する情報を協力機関間で共有することができれば、このような事案を割けることができると思う。例えば設計審査会を開催し、同様な特徴を有する他のプロジェクトの経験者を招聘して意見を伺うなどの工夫を、積極的に行うとよいと思う。
運用		N/A	N/A
その他		N/A	N/A
	信頼性向上に関する提言	主構造を締結するファスナーのサイズアップは、質量増加のデメリットよりも、構造強度上の安全余裕への寄与のメリットの方が大きいため、荷重が流れる経路に配置されるファスナーについては、そのサイズの選定に関しよく検討を要する。特に横倒しで打ち上げられる相乗り打上げ機会も増えてきており、ロケットと衛星の結合部に近い箇所に配置されているファスナーには十分な締結力が求められることを意識しておく必要がある。このファスナーの選定は、衛星構造の肉厚やリブの大きさなどに影響を与え、その変更は衛星の設計に大きな出戻りを生じさせる可能性があるため、プロジェクト当初よりの確な判断が求められる。	超小型衛星における保持開放機構は、ナイロン製、ポリエチレン製等の非金属ロックワイヤを使用した設計で十分に要求を満足できるものがほとんどである。よってその取扱いについて十分な情報を蓄積し、内製により対応できることが望ましい。

表 5. 1. 6. 2-5(4/8) RISESAT 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		15	(RISESAT 続)
個別事例から得られた教訓			
事例 No.		4	5
開発	開発してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	高速データ通信は衛星の姿勢制御精度に依存するため、姿勢制御技術の軌道上実証実績の無い機関が導入するのはハードルが高い。しかしながら、このような状況でのシステム設計においては、姿勢制御が成立することを仮定する必要があり、その仮定の下においては、実装が不要な搭載機器が存在するというを示唆している。また、同じ通信系であっても、ある周波数帯の通信で有効な設計が、他の周波数帯にも同様に当てはまるわけではないことをよく示している。	従前の衛星で実績のある技術であっても、それが最適な解なのか、検証・確認をする視点をもてるとよい。波長の長い周波数のアンテナに対しては、衛星構体もアンテナの一部として機能することを意識する必要がある。特に UHF 帯の波長は 50kg 級衛星の構体サイズが 1 波長に近い場合、展開パネルなどの有無がアンテナパターンに大きく影響を及ぼす可能性があるため注意が必要である。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	衛星上面に X 帯アンテナを搭載することに意味がないことを早期に気づいていれば、衛星下面に高利得と低利得の二種類のアンテナを搭載するようにシステム設計できた可能性がある。そうすることにより、衛星の姿勢制御精度が低い場合には低利得アンテナで広域に放射し、姿勢制御精度が高い場合には高利得アンテナでエネルギーを絞って通信することができる。このように、姿勢制御系の制御精度に係る不確定性を吸収することができる。	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	上記に同じ	N/A
運用	運用してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	運用においては、高速通信に要する姿勢制御精度は十分に達成することができ、衛星の下面の搭載アンテナ 1 台で要求を満たすことを確認した。	コマンドアップリンクは正常に動作した。ただし、これは地上からのアップリンク出力が 50W と比較的高出力であったからである可能性もある。テレコマ系の通信用途ではなく、電波強度の測定などが使用目的であるような場合には、今回のような大雑把な設計は許容することはできない。また、アンテナの性能が向上できれば、地上からのアップリンク出力を絞っても通信が成立する可能性もあり、地上局の省力化にもつながると思われる。
		N/A	N/A
		N/A	N/A
その他		N/A	N/A
信頼性向上に関する提言		衛星搭載コンポーネントの点数は少なければ少ないほど故障確立が減り、信頼性が高まる。冗長で搭載を検討するのは特に、本当にそれが必要であり、信頼性向上に寄与するのか、十分に検討をする必要がある。	テレコマ系の通信は衛星の死活問題であり、アンテナを含め、その仕様を従前の物から変更することは抵抗があるのは事実だが、エンジニアリング的な根拠に基づき、よりよいもの、より確実なものへと改良を加えることを惜しまない姿勢が重要だと思われ、その姿勢があれば、従前の仕様に含まれている可能性のある不具合、問題にも気づけるのではないかと思う。



表 5.1.6.2-5(5/8) RISESAT 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		15	(RISESAT 続)
個別事例から得られた教訓			
事例 No.		6	7
開発	開発してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	衛星の搭載機器の搭載位置は、物理的な干渉を確認することだけで満足してはならず、ハーネスのルーティングを含めた作業性まで考慮しておく必要がある。これを怠ると、作業を最小にしたいFMにおける組み立て評価作業においても煩雑な作業を強いられることになると共に、その開発工程が複雑化、長期化してしまう。組み立て作業においては、電源系の計装は他の計装と束ねる形で同一固定点に結束されたり、主計装として複数の機器からの計装が一体化していることもあり、作業が煩雑になる傾向があるため注意が必要である。	衛星の開発スケジュールは、EM段階の開発評価時間が予定よりも長くかかるなどして、FMの開発評価時間が短くなるのが経験則的に多々発生する。そのような場合にはFMの開発評価スケジュールは非常にタイトになり、時間的なマージンや自由度が無くなるため、特に環境試験のスケジュールリングは的確な判断力が求められる。その際、質量特性計測試験についても環境試験と同様に緻密な時間計画・作業計画が必要であることを念頭に置いておく必要がある。
		N/A	N/A
		N/A	N/A
運用		N/A	N/A
その他		N/A	N/A
信頼性向上に関する提言		電源制御系の搭載箇所、及びハーネスのルーティングは物理的な干渉の有無だけで判断せず、衛星組み立て作業、特にFMの組み立て評価手順にも配慮して決定していくべきである。	質量特性計測の実施に関してはその要否を慎重に検討すること。FMでの計測が必要な場合は前後の環境試験、最終組立作業、衛星評価スケジュールとの時間的・作業内容的インターフェースを詳細に確認し、スケジュールと作業工程に反映させる必要がある。

表 5.1.6.2-5(6/8) RISESAT 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		15	(RISESAT 続)
個別事例から得られた教訓			
事例 No.		8	9
開発	開発してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	バッフルの遮光性能の計測は地上で実施してはいたが、大雑把な評価に終わってしまっており、入射光量の、センサーの感度を考慮した定量的な評価は実施できていなかった。また、シミュレーションなどを用いた評価も実施できなかった。夜空を観測して、姿勢が検出されることを確認することで、性能評価については満足してしまっていて、バッフルの遮光性能の詳細な評価についてはおろそかになっていた。	これまで使用できていた周波数が、今後でも使用を継続できる保証はないことを、念頭に入れておく必要がある。衛星の開発着手と運用までの時間はなるべく短い方がよい。周波数申請から運用終了までを最短時間で実施できるとよい。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	開発人員がもう少し多ければ、評価に割く時間をもう少し確保することができたかもしれない。	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	開発人員確保の努力ができたのかもしれないが、研究室の限られたリソース、及び予算の都合で、現実的には無理だった。	N/A
運用	運用してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	恒星センサの利用可能範囲が狭くなると、運用に大きな影響を与える。今回は恒星センサそのものの動作確認自体も研究開発の対象であったため、開発に時間をとられてしまったが、本来であれば機能することが保証された恒星センサを使用することを前提に、定常運用時になるべく利用可能時間を増やすという観点から、バッフルの遮光性能評価は最も重要な評価項目の一つであるべきだと、理解を新たにした。	N/A
		N/A	N/A
		N/A	N/A
その他		N/A	N/A
信頼性向上に関する提言		恒星センサは高度な姿勢制御と安定したミッション遂行のためには必要不可欠なセンサであり、そのバッフルの遮光性能はミッション成功の鍵となる重要な評価項目であることを理解しておく必要がある。	周波数選定に関しては、5年後、10年後の利用可能性を確認した上で選定することが必要である。

表 5. 1. 6. 2-5(7/8) RISESAT 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		15	(RISESAT 続)	
個別事例から得られた教訓				
事例 No.		10	11	12
開発	開発してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	プリント基板のレジストのみでは絶縁は有効ではなく、用途に関わらずネジ等の下にパターンを引くことは不適切であることを再認識した。テーブルサット状態では発覚しない不具合が存在することを前提に、なるべく早い段階でFM全体をくみ上げ、試験を実施する必要がある。	反応の遅いソフトウェアブレーカは素子の保護には不適である。  機器単体の組み立て完了後は報告書の作成を待ってから上位システムへの結合作業を行うことが理想である。スケジュール上それが許されないのであれば、その機器を上位システムと結合して試験する際には機器担当者の同席を必須とし、単体試験での結果を再確認する必要がある。	GPSR 受信機は地上での評価が行いにくい、GPSR シミュレータを利用した精度の検証は不可欠である。短時間では生じない不具合もあり、コンポーネント単体だけではなく、衛星システムの組み立て後も評価を継続可能なような構成を検討する必要がある。
運用		N/A	N/A	N/A
その他		N/A	N/A	N/A
	信頼性向上に関する提言	基板設計に際してはプリント基板設計標準に対する理解を深めることが必要である。テーブルサット状態では発覚しない不具合が存在することを前提に、なるべく早い段階でFM全体をくみ上げ、試験を実施する必要がある。	手間はかかるが、機器単体の組み立て手順書、組み立て報告書、試験手順書、試験報告書の文書化は必要。厳密なフォーマットにこだわることは必須ではないが、手書きでも良いので文書化すると不足点を認識することは多い。	新たな搭載機器を選定する際に「実績品」から選ぶことは多いが、「実績品」という言葉に惑わされて自分たちでの評価をおろそかにしがちである。実績品の実績が正しいかどうかは常に疑いの目をもって自ら検証する必要がある。また自分たちの実証結果は積極的に開示していくことがコミュニティの発展につながる。
個別事例から得られた教訓				
事例 No.		13	14	15
	信頼性向上に関する提言	「ほどよし」的思想では角速度計測はFOGを信頼し、万が一の対策としてソフトウェア的に推定する機能を設ける、という思想は必ずしも誤りではなかった。どこまで故障時の対策を用意するかは非常に難しい。	超小型衛星の搭載機器はコスト削減のため学生を中心に研究室内で開発されることも多いが、プロジェクトが想定以上に長期化したり、後継機でも同じ機器を使用する場合に、設計や製造に関する細かな情報が欠落してしまう。研究室内で単発で使用する機器開発を行うことは問題ないが、繰り返し製造する可能性がある機器については長期的な付き合いが可能なメーカーと協力し、安定した製造品質を維持しなければ、過去の実績の価値が失われてしまう。	位置決めピンのようにFMシステム全体の組み立て時以外に使用しない部品は、クリティカルなタイミングでトラブルを発生させがちである。組み立て手順書に明記し、文書として引き継がれる工夫が必要である。また日頃から自分の作業内容について考え、作業が引き起こすリスクについて常に意識しておかなければならない。

表 5.1.6.2-5(8/8) RISESAT 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.	15	(RISESAT 続)
個別事例から得られた教訓		
事例 No.	16	17
信頼性向上に関する提言	個体差があり、他の機器では再現しない不具合は対策は困難である。早い段階でFMの動作確認を行い不具合対策を施すことが理想だが、スケジュール的に叶わない場合も多い。プランBを用意しておき他の機能で代替できるような設計にしておくことが求められる。	ネジ締め時にトルクドライバでトルクを管理することは行っていたが、ランニングトルクを計測せずに最終的な締め付けトルクだけを固定することはネジ固定に対する理解が不十分。常にランニングトルクを計測し、適切な軸力がかかるように締め付けトルクを考えなければならない。
個別事例から得られた教訓		
事例 No.	18	19
信頼性向上に関する提言	開発スケジュールが不十分なとき、機器毎の開発作業（ソフトウェアの作りこみ等）が優先され、システム全体での運用訓練がおろそかになりがちである。機器開発の担当者は視野が狭くなりがちであるため、システム試験の責任者を独立して立て、“Test as You Fly, Fly as You Test”の徹底が求められる。 プロジェクトメンバに限られ独立した責任者が用意できない場合は、実施すべき地上試験のリストを整理し常に確認することで、自らを律する必要がある。	運用のミスは衛星側の保護機能によって最終的には救われた。衛星設計時には決して行わないであろうと思っている操作が、数年運用を継続していると発生することがある。個々のミスを食い止める機能を衛星や運用システムに組み込むこと（今回の場合はストアードコマンド実行中に新しいアップロードを受け付けられないソフトウェア設計であれば良かった）があるのが理想だが、網羅的な対策は超小型衛星のプロジェクト規模では難しい場合がある。UVC機能のような最後の砦の機能を要所要所に用意しておくことが「ほどよし」的な思想と考えられる。

表 5.1.6.2-6 (1/3) SPRITE-SAT 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.	16
プロジェクト名	SPRITE-SAT (別名: RISING, 雷神)
責任機関 (実施の中心機関)	東北大学吉田研究室・高橋研究室
失敗を通して得られた教訓	
プロジェクト全体を通して得られた教訓	
開発	<p>開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)</p> <p>(構造系試験)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造試験のノウハウ不足ゆえに、JAXA 職員(同打上にて「まいど衛星」を担当)の協力を多大に受けて、主に試験はつくば宇宙センターにて実施させていただいた。</li> </ul> <p>(構造設計)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・上下側面の 6 枚に軽量高剛性なハニカムパネルを採用したが、早期に設計を確定しないと製造が開始できない、追加工性の悪さなど、扱いづらさが目立った。何より、次号機開発時に価格を大幅に上昇され、これは代わりに依頼できる会社がありませんがゆえに起きた(図 1, 2)</li> </ul> <p>(熱真空試験)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・熱真空試験のノウハウがなく、JAXA 東大阪の試験場において、並行して開発が進んでいた「まいど 1 号」の開発者の指導を受けながら、実施した。しかし、明瞭な計画がないまま開始したため、進行結果を見ながら熱解析をリアルタイムでやり直す作業のため、熱解析担当者が毎日 16 時間作業に参加するなど、かなりの人的負担が生じた。また、外面放射と内部の熱伝達係数の同定はかなり困難であり、事前の数値解析不足もあって、十分な成果が得られなかった。</li> <li>・SPRITE-SAT では、十分な理解なく、とりあえず内部パネルと搭載機器外面を黒塗りにして放射熱結合を強くしていた</li> <li>・宇宙用黒色塗料としてアストロブラックを採用したことも、パネルの加工工程が長引くことになった。</li> </ul> <p>(チーム体制)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・理学研究科チームが機器開発メーカーの手配をし、工学研究科チームが試験および評価をするという立場であったが、システム評価のノウハウ不足のため、十分に体系的な検証ができなかった。それ故に、軌道上にて多くのトラブルが生じた。</li> <li>・宇宙研主導衛星の機器開発に参加した実績のあるメーカーが集っていたが、あくまで体系的な評価、バグ出しは、大学側のタスクであることを正しく認識していなかった。機器メーカーが仕様通りに作りまし、というのは、システムとしてかみ合わせて動くことを何も保証しておらず、バグがゼロであることは、運任せの世界である。</li> <li>・ソフトウェアを外注したことで、当初計画の納期に間に合わずに、システム電気試験の開始が遅延した。外注において、大学自身が仕様を明確に定義し、遅延の場合は何を犠牲にしてスケジュールを守るか、適切に指導する力がなかった。</li> </ul> <p>(伸展マストの開発)</p> <p>本衛星は重力傾斜安定による地心方向の常時指向を狙った設計である。伸展マストにより、1m 程度、遠方にマスを配置する仕様である。打ち上げ時のランダム加振に対する耐性を上げるために、多大な試験と改良を要した。通算 18 日間(各 1~2 日間)の振動試験を実施し、その都度、構造的な改良を適用した。加振時は把持レバーを拘束するワイヤが緩まないこと、かつ、加振後は、レバーがスムーズに外れ、マストが噛むことなくバネ力で伸びることを実証しなければならない。特に先端マストとマスト部を収納するケース、把持レバー部、レバーヒンジ部に、寸法や表面処理の加工を試行錯誤した。加振中に生じる金属粉や傷により、伸展時の摩擦が増加するケースも生じた。接触部品相互の素材選定、隙間距離の適切なサイジングが重要であることを理解した。</p> <p>この機構部品の開発に、多くの時間を投入したことで、限られた人員のシステム全体に対するケアが薄れたことも、間接的に、システム評価の時間を十分に確保できなかった要因となる。(図 3)</p>



表 5.1.6.2-6 (2/3) SPRITE-SAT 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.	16	(SPRITE-SAT 続)
開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの) 参考図		

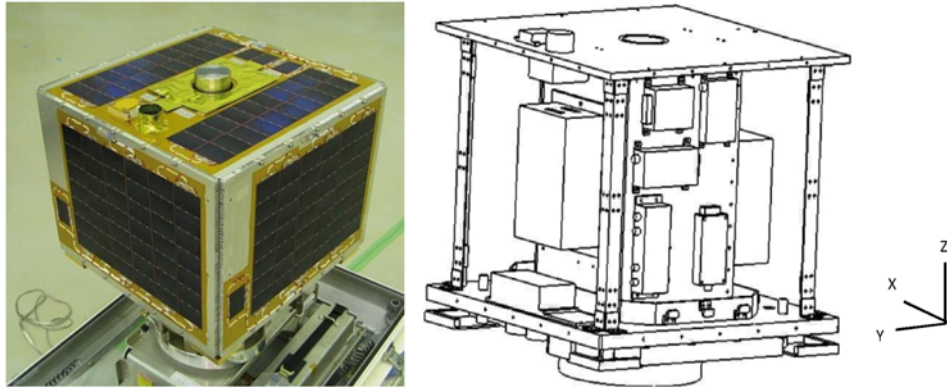


図 1

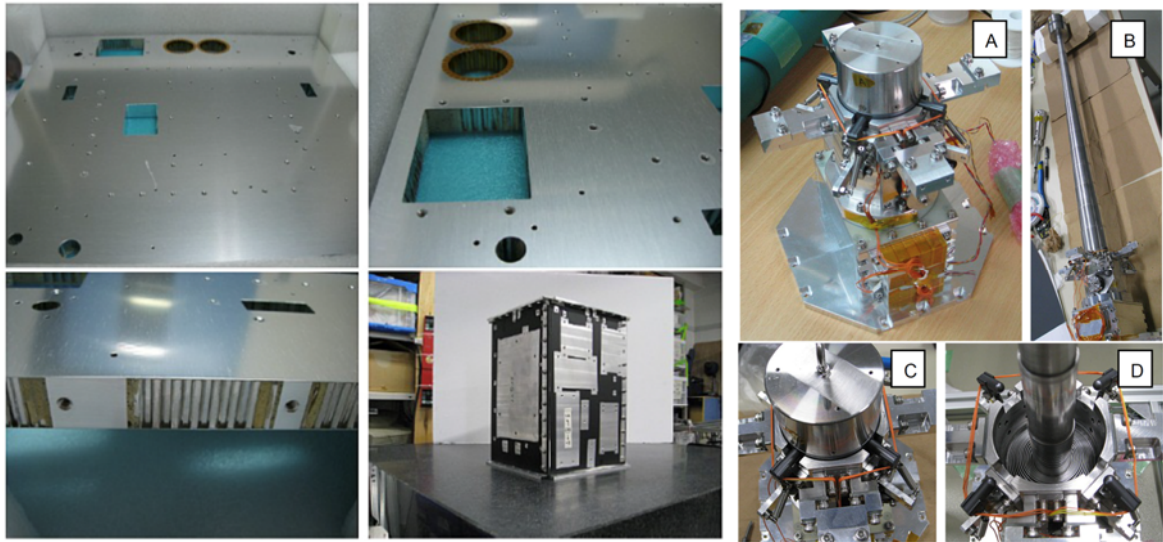


図 2

図 3



表 5.1.6.2-6(3/3) SPRITE-SAT 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.	16	(SPRITE-SAT 続)
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	<p>(構造系試験) 本衛星の経験を踏まえ、以下のような改善が後続機では実施されている。 ・MTM 振動試験は失敗ありきで考え、大学近郊の試験場にて、複数回(4回程度)のやり直しを事前に想定して実施。1回の試験を2~3日の数日で計画し、それを1か月おきに設定、十分な設計検証と変更時間を確保した。かつ、MTM~EM 段階はクリーン環境を努力目標とし、大学近郊の県の試験場を積極的に利用する方針とした。MTM 振動試験に十分な時間をかけて取り組むことで、EM 振動試験は単にダミーマスをEM 機器に交換するのみで、1回で簡潔に終了する段取りが実現できた。 ・ダミーマスであっても、締結のゆるみは試験進行の大きな障害となるため、片側1点支持を絶対にせず、2点以上のボルトで留める。 ・フィットチェック計測は、以後の相乗り衛星打上ではJAXA 側の判断で省略されている。 ・FM 振動試験は、解体を想定しない試験であるため、現地での電気試験は不要であると割り切る。加振前、加振後の電気試験は大学で実施し、試験場では、加振および外観確認のみにとどめ、日程を最小限に抑える。 ・PAF はJAXA 側が「試験用 PAF」を提供するようになり、取り扱いの負担が軽減した。また、バンドの締めと解体、締め力の管理は、大学側で管理できるようにノウハウを蓄積した。</p> <p>(構造設計) ・後続機からは製造会社の代替が効くアルミグリッドパネルに変更した。</p> <p>(熱真空試験) ・本試験の反省を踏まえ、後続機からは、熱解析モデルを同定する試験と、各搭載機器の高温低温の動作を検証するための試験は、明確に目的を分けて実施する時間を設けるとともに、外面放射結合はモデル値が正しいという前提のもと、熱伝達係数の同定のみを試験の目的とすることで、モデル同定の精度を上げられるように改善された。 ・後続機からは、原則としてアルミ面を残して、放射結合を排除し、中央部と外面パネルの熱結合を小さくすることで、魔法瓶のように中央部の平均温度を上げる設計に変更した。後続機の成果により、これは発電の小さな超小型衛星では理にかなった方針であると確信を得られた。 ・後続機からは、アルマイト処理、またはブラックカプトン貼り付けで対処することにした。</p> <p>(チーム体制) ・メーカーが最初に納める物品はバグが当然あるものと考え、どのようにシステム評価をすれば確認が得られるか、大学メンバで十分に議論して、試験手順書を作成する。 ・大学は専門知識を必要とする分野においても、仕様の理解に努め、機器メーカーの提案をうのみにすることなく、大学側の責任として、正しい要求を与える。 ・ソフトウェア開発は、機器開発と異なり、代替が効かない分野である。仕様からコーディングまで、大学の財産として、内製で取り組む方針とする。そうしなければ、リポート時に請求額が跳ね上がることを避けられない。</p> <p>(伸展マストの開発) ・機構系の開発は、衛星システム全体の統括以上に、時間とコストが読めずに多大なエフォートを必要とすることを理解する。覚悟を持って、予算と開発期間を設定し、システム全体の統括に影響が出ない範囲で役割分担をしっかりと定義する。</p>
運用	運用してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	(運用) 初号機衛星のため、初期運用で何をどのように計画してよいのか、未知数のまま運用を開始した。太陽同期軌道衛星で、昼パスの計画、夜パスの計画を、一人の担当でコマンド計画するため、かなりの人的負担となった。心労が焦りにつながり、計画においても、結果を急いで十分な確認を怠った場面もあった。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	(運用) 後続機においては、初期運用の実績を積み上げ、まずどのような手順で各動作を試行すれば、どの程度の日数で最初の姿勢制御およびテスト撮像が可能になるのか、定型手順が出来上がった。運用計画も、各タスクのテンプレートコマンドが形成され、ゼロから検討する負担は軽減された。 衛星は長期運用を想定するので、初観測からの数日で焦って多くのことを実行する必要はない。日曜は休む、夜間のパスは多少手抜きをするなど、運用計画者の負担を軽減することは重要である。
その他		N/A
信頼性向上に関する提言		N/A

表 5.1.6.2-7 RAIKO 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.	17	
プロジェクト名	RAIKO	
責任機関（実施の中心機関）	東北大学吉田研究室	
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった 気づき事項（技術 的なもの、マネジ メント的なもの）	衛星開発経験としては3機目になるため、想定外のことは特別にはない。  50kg 級衛星 SPRITE-SAT (2009 年打上)、RISING-2 (2009 年より開発開始、当時打上前)の開発技術を継承し、通信機やデータハンドリング系 (FPGA 回路、運用ソフトウェア等)のコンポ技術を共通化しつつ、キューブサットに納めるための小型化に注力した。特に並行開発の RISING-2 と試験手順書、FPGA コード、運用ソフトを共通化することで、開発の負担を軽減するとともに、開発評価技術の信頼度を向上させた。
	開発を工夫すること でより多くの成 果を挙げることが できたと思うか？	N/A
	その場合、どのよ うな工夫があれば よかったか	同上
運用	運用してわかった 気づき事項（技術 的なもの、マネジ メント的なもの）	連日、運用室に出向いてテレコマ運用する人的労力が増大 … 東北大地上局は、アンテナ直下の運用室まで片道徒歩 8 分の距離にある。また ISS 放出衛星は通過時間帯が安定せず、深夜に集中することもある。このような環境で、運用担当の学生への負担が増した。特に、地上局設備の角度計測が時々ハングアップする不具合があり、発生頻度が高くないと言えども、角度計測が停止したままモータ制御が継続すると、重大なローテータ機構の破損につながるため、運用者が現地で常時監視する必然性が生じていた。
	運用を工夫すること でより多くの成 果を挙げることが できたと思うか？	この負担を軽減するための、地上局ハードとソフトの改修や、ネットワークを通じた遠隔運用を支援するソフト開発へのモチベーションが高まった。角度計測システムの安定化を向上し、監視測定系による異常検知とモータ強制停止など、細かなフェイルセーフ機能も追加した。この結果、2014 年 5 月の RISING-2 運用開始時には、運用室で常時見張らなくても、遠隔で運用システムを操作・監視できる体制が完成し、運用者は地上局の動作を意識することなく、衛星とのデータ通信に専念できる環境が完成した。2014 年 5 月以降、2021 年 2 月現在まで、2 年に 1 回程度のトラブルは生じつつも、アンテナシステムは連日安定稼働を継続している。
	その場合、どのよ うな工夫があれば よかったか	同上
その他	N/A	
信頼性向上に関する提言	N/A	

表 5.1.6.2-8(1/2) RISING-2 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.	18	
プロジェクト名	RISING-2 (雷神 2)	
責任機関 (実施の中心機関)	東北大学吉田研究室・北海道大学高橋研究室	
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・前号機 SPRITE-SAT では、大学チーム側に衛星開発の知見が少なく、各メーカーから購買した個々の部品を結合した時に、正しく性能を評価する手段を知らなかった。また、RISING-2 開発当初に、過去の実績品を再度調達しようとしたところ、2 倍の価格を提示される場面もあり、継続すれば部品は安価になる、という想定が間違いであることを実感した。</li> </ul>
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	<ul style="list-style-type: none"> <li>・前号機と異なり、バス機器開発では、大学内部での開発(設計、製造、評価)の経験を積むことに注力した。テレコマ用コンピュータ(ハードはメーカー製造、FPGA ロジック、CPU プログラムは大学内部)、姿勢制御コンピュータ(ハードソフトのすべてを大学内部)、スターセンサ、MEMS ジャイロセンサ、PSD 太陽センサ、リアクションホイール、などを新規に開発した。自力でも開発できる、という実績は、民生商品を購入する上においても、価格などの条件を有利に進めるうえで重要であるし、民生商品の性能を正しく理解して評価できる力もつく。(図 1)</li> <li>・後続機でも姿勢制御コンピュータとスターセンサは継続して開発している。その他は、国内でも安価かつ高性能な商品が供給されだしたため、民生品の購買に切り替えている。民生商品を組み合わせる場合でも、開発過程で生まれた試験手順者や試験評価装置(姿勢制御シミュレータ、スターセンサシミュレータ、動的姿勢シミュレータなど)は、研究室の財産として受け継がれている。また、中央のコンピュータを内製できることで、多くのインタフェースが異なるセンサ・アクチュエータを、統合することができ、後続機開発でも自由度が高まる。</li> <li>・構造パネルは、前号機で採用したハニカムパネルをやめて、重さは犠牲になるが、アルミグリッドパネル(アルミ削り出し)を主構造パネル全体に採用した。これにより、設計開始から組立完了まで 1.5 年程度の開発においては、製造時間を短縮し、改良も即時かつ低コストに解決できる。以後ハニカムパネルは、必要に応じて、部分的に選択することとした(軽量展開パドルなど)。</li> <li>・太陽電池パドルは搭載せず、前号機と同様にボディマウントセルのみとした。これは前号機の伸展マスト開発にかなりのエフォートを必要としたため、機構部品の新規開発に躊躇したことが要因である。一方で、発電力は日照 47.6W で大きくはなく、ホイール制御を観測時のみに制限し、普段は衛星を自由回転することで、省電力運用を実行することとした。この方式はバッテリー放電深度も抑制し、安定したルーチンで実行することができた。後続機でも、地球観測用途においては、同様の方式を取り入れている。</li> <li>・前号機と異なり、搭載ソフトウェアおよび FPGA ロジック開発は、一から勉強してでも大学内製にすべき、というポリシーで開発している。ソフトウェア開発を外注する場合、メーカー側のスケジュールキープ能力と、成果物の安定性に関して、確実な見通しが得られない。また、仕様書を書く、プログラムを書く(搭載用・運用用)、動作試験(単体・複合)をする、運用ソフトと一体で評価する、など、分業することは開発工数をいたずらに増やし、スケジュール通りに進行できないリスクが高まる。よって、機器ごとの「仕様書 + プログラム(搭載・運用) + 結合評価」を一人のタスクに集約することで、完成度を高める試みとした。これを、テレコマ系、姿勢系、ペイロード系、という区分で分業することは、並列作業で効率上がる。搭載コンピュータを各系に 1 台ずつ分散して配置することで、お互いに開発時に取り合いになることもない。冗長としてのコンピュータ分散ではなく、開発効率の面で、機能別にコンピュータを分けて搭載することのメリットを活かした。・前号機の発電系の不具合を受けて、太陽電池セルをバイパスダイオード式に、各面あたり 8 直 4~6 並列で、一部のセルが出力を落としても、全体の発電量がゼロにならないように工夫した。前号機で発生した発電流ループによるコイル効果を避けるために、並列ごとの電流の時計回り、反時計回りを厳密に管理し、各軸で両者の数が等しくなるように配置した。</li> </ul>
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A



表 5.1.6.2-8(2/2) RISING-2 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.	18	(RISING-2 続)
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	特になし。運用システムは RAIKO の運用を通して、完成している。追跡アンテナおよび送受信機のドップラ周波数補正はすべて全自動であり、運用者は、運用室から離れた居室からリモートで接続し、衛星とのデータ送受信に専念できる。 初期運用としては、手順の試行錯誤はあった。特に、目標とする姿勢制御が、搭載ソフトウェアでは達成できず、やみくもに繰り返すも、断念の判断をするまでに時間を要した。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	SPRITE-SAT の反省を踏まえ、初期運用を焦って進めることは、運用計画者を疲弊させるだけでなく、誤った判断をしてしまうリスクを高めると認識し、本 RISING-2 衛星では、十分に休養を挟みつつ、スローペースで落ち着いて初期運用を実施した。これにより、同じ太陽同期軌道で昼夜 2 回の運用機会がある衛星ではあるが、運用者への負担は軽減した。 衛星搭載ソフトウェアによる姿勢制御を断念して、地上側の運用ソフトの拡張機能として、リアルタイムで受信するステータスデータ (姿勢センサ計測値) を元に、リアクションホイールに与える目標値を逐次計算してコマンドとして送信する方式に変更した。この方法がうまく機能して、目標とする撮像に成功した。詳細は失敗事例に述べる。 (図 2)
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
その他	N/A	
信頼性向上に関する提言	N/A	

参考図

目標能力: 0.1 deg 指向誤差, 0.01 deg/s 安定度

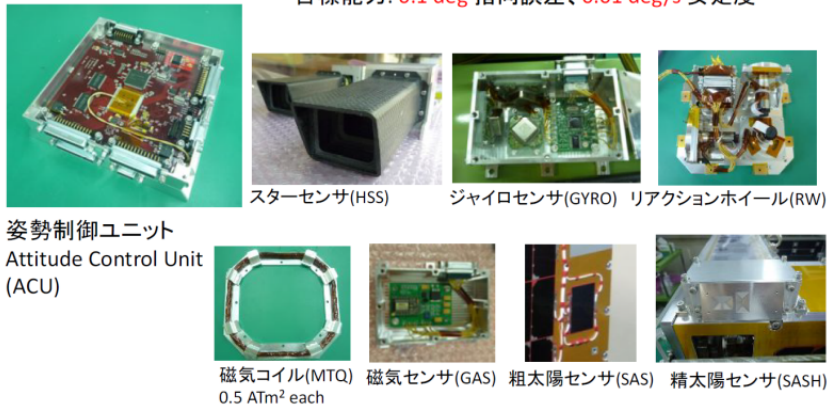


図 1



図 2

表 5.1.6.2-9(1/2) NEXUS 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		19
プロジェクト名		NEXUS
責任機関（実施の中心機関）		日本大学宮崎研究室
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	<p>以下、学生衛星ならではの話で、当たり前のことばかりですが、NEXUS は日大にとって 4 機目の衛星であり、「当たり前のことをふつうにこなすことが大事」ということを改めて感じたプロジェクトでした。</p> <p>(1) 学生衛星の開発は「究極の 0JT」, すなわち, ①初心者が開発のコアメンバーになるという、通常であればありえないようなことをやっており, ②BBM, EM, FM と段階的な開発を通じてレベルアップし, まともな FM を作り上げるという活動になっています。したがって, BBM, EM の段階ではトラブルがあってもぐっと我慢して, 常に「FM をベストなものにする」ことを意識することが大切。</p> <p>(2) トラブル（というか, ミス）はあるのが当たり前なので, 常に「終わり」（=安全審査の時期や引き渡し時期）を頭に入れて, Plan B, Plan C を考えておき, いつ Plan B や Plan C に切り替えるか, デッドラインを事前に決めておくことが大切。</p> <p>(3) 最初に立てたタイムラインにこだわらず, 「終わり」だけを fix して, 途中は臨機応変に対応する柔軟性をもつことが大事。</p> <p>(4) 電源系を性能のいい, タフなものにしておくと, 全ての開発が楽になる。</p> <p>(5) その上で, 衛星通信系と地上局の検証をきちんとすることは大事（通信系がイマイチだと, データ取得の効率が下がり, ミッションが滞る。NEXUS は過去の 3 機と比べてこの点に注力したので, 運用がすごく楽になった）。</p>
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	<p>特にはないです。</p> <p>ただ, NEXUS では 1 つ, エクストラサクセスに関連した部分でソフトウェアのバグがあり, そのミスを利用でカバーしている状況なので, 開発を工夫するといえますか, 「手を抜かない」ことでこのミスを回避できたかもしれない, とは思います。</p>
	その場合, どのような工夫があればよかったか	<p>end-to-end 試験での運用シーケンスのチェックの際, エクストラサクセスに関しては時間を短縮してチェックをしていました（実際は半日先に実行するような予約コマンドもありましたが, それを 3 時間先くらいに短縮してチェックをしていた）。しかし, ソフトウェアにバグがあり, 3 時間半以上先に実効する予約コマンドを送っても予約ができないようになっていました。その意味で, エクストラといえども「手を抜かずに, ちゃんと運用シーケンスに沿って時間通りのチェックをすればよかった」と改めて感じました（すみません。これは, 「工夫」というよりは, ただ単に「手を抜かない」ってことなので, この質問への回答にはなってないかもしれませんが）。</p>
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	<p>打ち上げ後でもいいので地上局の性能は高いものにすることが大事。NEXUS の <math>\pi/4</math> シフト QPSK 送信機は, 「こんなに電力が小さくても運用できますよ」ということをアピールしたかったがゆえに, 出力電力を絞りすぎてしまい, 運用してみたら, S/N が足りないことがわかりました。かなりお恥ずかしい話でして, 半分, あきらめかけましたが, 地上局をいろいろ工夫することで, 今では普通に通信できるようになっています。その意味では, 改めて, 地上局は大事だということを実感しました。</p>
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	<p>コロナの状況なので, 遠隔運用・自動運用をもっと工夫すれば, より多くというか, より早く成果をあげることができたと思います（今は, 遠隔運用は比較的簡単な運用モードでの運用にしか対応しておらず地上局がある大学に学生が入構できないと, ミッション遂行が滞る状況にあります。それゆえ, 去年, 定常運用を終える予定が, 結局, 今年度末までかかりそうな状況にあります）。</p>
	その場合, どのような工夫があればよかったか	<p>コロナ下での遠隔運用・無人運用環境の強化</p>

表 5.1.6.2-9(2/2) NEXUS 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.	19	(NEXUS 続)
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
その他	「餅は餅屋」。通信に関しては、「アマチュア無線家」という名のプロの方々に教を乞うことができたのがラッキーでした。実際、国内だけでなく、海外の方といい関係を築いていると、地上局ソフトの開発の際にアドバイスをしていただけたりして、すごく楽になると思います。	
信頼性向上に関する提言	<p>大学衛星は教員次第だと思います。「成功させるにはどうすればいいか？ 限られたリソースの元でどうやればより信頼性の高いものをつくれるか」と本気で考えるマインドが教員にないと失敗すると思います。逆に、そういうマインドがあれば、仮に宇宙工学や衛星に関する知識・経験のない方が指導することになったとしても、学生と一緒に知識・経験を積んでいき、身の丈に合った衛星開発ができるようになると思います。</p> <p>しかし、上述の「限られたリソース」というのが問題で、「お金がないから」、「人手が足りないから」ということを理由に、「ベストエフォート」で逃げてしまう雰囲気は失敗する大学衛星には感じられます。言うまでもなく、やるべきことをやらなければ失敗する確率は高くなるわけですので。</p> <p>その意味では、「低コストで信頼性（というか、品質）を向上させるにはどうすればいいか？」をみんなで考えることが大事かもしれません。</p> <p>個人的なことで恐縮ですが、私の父は現役時代、食品会社で新製品開発や品質管理の仕事をしていた時期が長く、「いかに安く、厚労省の衛星管理基準やNASAのHACCP、自社の基準を満たすものをつくるか」というセンスで仕事をしており、「お金をかければ品質管理なんて誰でもできる。一方で、お金がないからといって品質管理を怠ると、問題が生じて、会社の信用が失墜して、会社がつぶれる。限られた予算と時間の中できちんと品質管理をするのが利益を上げるためには重要。そこが技術屋の腕の見せ所」とよく言っていましたし、昔の森永乳業の問題のときには、ニュース映像をみて、「あそこをこうしていれば、ほとんどお金をかけずに品質を保てたのに・・・品質が悪くなる根本的な理由が何なのかを理解していないから、効果的な対策が立てられず、結果、ああいうことになる」とも言っていました。こういうセンスは超小型衛星開発には必要な気がします。</p>	
個別事例から得られた教訓		
事例 No.	1	
(開発) どのような工夫があればよかったか	工夫というよりは、当たり前のことですが、「実際に想定している運用通りに、打ち上げ前に一度は運用練習をしてみる」ということでしょうか。	
個別事例から得られた教訓		
事例 No.	2	
その他気づき事項	当たり前のことですが、「人はミスをする」ことを前提に設計・開発・運用を行うこと、でしょうか。	



表 5.1.6.2-10 STARS 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		20
プロジェクト名		STARS
責任機関（実施の中心機関）		香川大学能見研究室
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	初めての相乗りであったこともあると思うが、安全審査に関して大変ではあったものの、JAXA の支援も大きかった。打ち上げが決まると、安全審査スケジュールに乗せられてしまう、衛星側のスケジュールをしっかりと自分たちで管理しないとミッション成功の試験などがおろそかになる。外注先は技術はもちろんであるが、宇宙への意気込みも重要である。他大学等、横のつながりも重要で、コミュニケーションをとり、情報共有、ギブアンドテイクを意識していくことが重要。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	試験機での E2E 試験を十分に行うとともに、テレメトリからの解析まで実施しておく。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	地上試験では、衛星状態を見れてしまうため、無意識に衛星状態を目視で確認することが発生してしまいます。衛星状態を目視しない、という制約を意識して設け、テレメトリのみから衛星状態を解析する試験を実施することが重要と考える。
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	アマチュア無線を利用した。太平洋側と大陸側でアップリンクの通り方が違った。太平洋側がよく通った。東大、東工大の衛星を利用して、受信実験をしてきたが、CW のみの受信であったため、FM での練習があまりできなかった。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	FM 受信に関しても練習しておくべきだった。試験機等を利用して、テレメトリから分かることを明確にしておくことが重要。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	衛星開発に追われてしまうため、プロジェクト管理が難しいが、運用中の衛星の情報を調査し、FM 受信練習もしておくことよい。アップリンクは難しいが。
その他	あきらめずにトライすることは非常に重要。親子衛星の分離状態の写真について、衛星状態が十分に把握できていなかったため、どの写真に撮影されているかが不明な状態となったが、あきらめずにダウンリンクしたことで、分離を証明する写真を取得することができた。	
信頼性向上に関する提言		N/A
個別事例から得られた教訓		
事例 No.		1~4
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	N/A
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	N/A
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
その他	N/A	
信頼性向上に関する提言		安全審査が開始される前に、とくにミッション達成のために必要な試験を策定し、計画しておくこと。かつ実施すること。

表 5.1.6.2-11 STARS-II 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		21
プロジェクト名		STARS-II
責任機関（実施の中心機関）		香川大学能見研究室
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	初号機に参加した学生が卒業していて、研究室内引継ぎが不十分であった。 が、外部協力に関しては継続していたため（バス系）、こちらは継続して初号機のノウハウを継承できた。  安全審査は前に OK でもダメな場合がある。主衛星が変わることからの原因であったが、これが一番大きなインパクトであった。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	バス系は初号機を同じにしたことから、ミッション機器開発に注力できた。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	学生のノウハウの引継ぎは、永遠の課題かもしれない。
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	アマチュア無線家の協力は重要である。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
その他		初号機では CanSat から取り組んだ学生が初めての衛星として積極的に取り組んでいった。二号機は過去の衛星ノウハウに頼りすぎていて、自ら考えて行う様子が少なかったかもしれない。
信頼性向上に関する提言		二回目以降の開発では、初号機の経験を活用することは重要であるが、初号機の実績に頼りすぎてはいけない。 同じ設計製造方法でも、必須の試験と不要な試験を見極めることが重要。
個別事例から得られた教訓		
事例 No.		1~4
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	N/A
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	N/A
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
その他		N/A
信頼性向上に関する提言		アンテナは最終的な調整が重要であるが、EM 等でもしっかり調整し、試験を行っておくことが必要である。

表 5.1.6.2-12 STARS-C 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.	22	
プロジェクト名	STARS-C	
責任機関（実施の中心機関）	静岡大学能見研究室・山極研究室	
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	学生主体のプロジェクトとした。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	学生主体とし、基本的には学生主導で進めることで、自分たちで考え、自分たちで進められたと考える。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	教員二名が共同責任者であったが、役割分担が明確でなかった。
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	学生が自分たちで進めた。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	学生間での温度差があった。
その他	教員二名の責任の分担が不明確、学生は二研究室であったが十分なコミュニケーションが取れていたと思うが、各学生での温度差が出るのは仕方がないことか？ 静岡大学学生では初めての試みで、香川大学のノウハウを学生間で話す機会がなかったことはマイナスであったかもしれない。	
信頼性向上に関する提言	N/A	

表 5.1.6.2-13 STARS-A0 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.	23	
プロジェクト名	Stars-A0	
責任機関（実施の中心機関）	静岡大学能見研究室	
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	アマチュア技術家の方は東京の方が中心となり、学生は浜松であるため、遠隔でのコミュニケーションが、教える立場と教わる立場であったことと、アマチュア技術家の方は安全審査の対応に追われていたことなどで、学生の参加が中々難しかった。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	オンライン活用などを積極的に導入すべきであった。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	現在のようにオンライン中心の社会であるとスムーズだったかもしれない。
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	アマチュア技術家が中心に開発したが、地球局は浜松キャンパスに設置、学生が運用した。このため、衛星の設計を熟知していない学生が運用しているため、その場対応などがスムーズに行かなかった。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	オンラインでアマチュア技術家と繋いだ運用など。
その他	開発がアマチュア技術家@東京、学生は浜松であるため、とくに学生への指導は難しかった。	
信頼性向上に関する提言	アマチュアと学生のコラボ衛星であった。地域が異なる場合はコミュニケーションが重要となる。現在はオンラインが世の中の的に発展したので、スムーズな開発ができるかもしれない。	

表 5.1.6.2-14 STARS-Me 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.	24	
プロジェクト名	STARS-Me	
責任機関（実施の中心機関）	静岡大学	
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	CubeSat レベルだと、参加機関が多いことで生じる調整時間が割と要した。とくに最終段階での実機に触る必要がある場合、時間管理が難しいこと、また遠隔の場合は日時調整も大変となる。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	EM 試験機を FM 相当で作ることが重要。都合により簡略化等を行うと、チリも積もれば山となって、同じものにはならなかった。このため、アンテナ調整が大変であった。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	上記
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	地上局整備が不十分であった。初期段階から通信状況が悪かったが、アンテナ担当者が運用に参加できなかったため、改善も難しかった。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	運用まで継続参加してくれるメンバーが重要。
その他	専門家の知識は重要であるが、宇宙開発の経験を踏まえて、有効に活用していくことが重要である。	
信頼性向上に関する提言	バランスの取れた開発が重要。 本衛星は通信系に力を入れたつもりが、アンテナ機能開発に引っ張られ、アンテナ構造開発が十分でなかった。	



表 5.1.6.2-15(1/3) 鳳龍弐号 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		25
プロジェクト名		鳳龍弐号
責任機関 (実施の中心機関)		九州工業大学衛星開発プロジェクト
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	<p>1. 九工大としては初めての衛星であった。超小型衛星試験センターは2010年に始めたが、自分たちで最初から最後まで衛星を作ってみて初めてきづくことが多いので、非常によい経験となった。</p> <p>2. 大学衛星の場合、EM 段階を経るのは学生に対して非常に良いトレーニングとなる。各種試験にかかった時間を計測したが (参考文献1の表2参照)、回を追うごとに試験にかかる時間が短くなった。衛星ハードウェアの取り扱い等にも慣れ、代えのきかない FM の組み立てに入る前に EM の組み立て、統合、試験を経験するのは良い。</p>
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	<p>プロジェクト開始時に、開発と試験に関する大枠の方針を定めた。</p> <p>1. 時間がないので、それまで経験のあった鳳龍1号 (結局打ち上げなかった) の設計を引き継ぐ</p> <p>2. 学生の技術レベルを超えることはしない。(展開はアンテナのみ。姿勢制御は受動的、熟練作業が必要な半田付け、機械加工、太陽電池パネル政策等は外注)</p> <p>3. スケジュールをコストに優先させる。複数部品を購入して、BBM、EM、FM 等の各段階で同じ基板を3枚作成し、基板の取り合いが起きないようにした。自作基板 (P 板.comに発注) は複数作っても、費用はそれほど変わらない。</p> <p>4. 超小型衛星試験センターでの試験習熟度をあげるために、できるだけ試験をする。ただし、放射線試験はしない。放射線試験をしないという決定は確証があったわけではなく、「シールドしていれば大丈夫」「過電流保護回路いれてあるから大丈夫」「定期的リセットいれてあるから大丈夫」という「大丈夫だろう」という思い込みからの決定であった。</p>
	その場合、どのような工夫があればよかったか	<p>放射線試験について「**だろう」とか「多分***」という決め方はすべきでなかった。開発当初に、開発や試験の方針を定めたが、その際になんとか「大丈夫だろう」と思い込んでいた。人間は自分のよくわからないことに、「たぶん大丈夫」という正常化バイアスをしがちである。その時に、いろんな人からの意見を聞くべきであり、開発や試験の方針を定める際に、経験者のコメントを真摯に受け止める工夫が必要。ただし、そのコメントの良し悪しを判断できるだけの力量と経験が必要。放射線対策として、シールド、過電流保護、定期的リセットという対策をとっていたが、結局それらの対策の効果について十分に検証していなかった。特に放射線で不具合が発生した状況を再現し、それからいかにして復帰できるかということを確認しておくべきであった。</p>
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	<p>打ち上げ後、最初の3週間は絶好調であり、初めての衛星ということもあって、テレメータを見てただけで毎日が嬉しかった。温度が24時間周期で変動するなど、今になっても不明なことがあるが、軌道上データならではの醍醐味があった。しかし、それにかまけて、メインミッション (高電圧発電) を行うのがずるずると後回しになった。</p>
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	<p>メインミッションは衛星分離後、できるだけ早くに実施すべきである。超小型衛星はいつ死ぬかわからない。</p>
	その場合、どのような工夫があればよかったか	<p>衛星の打ち上げ (または ISS 放出) の前に、運用計画をきっちり立てておくことが大事。いついつまでに、どのミッションを行うという目安をたてておく。出たところ勝負があった。</p>

表 5.1.6.2-15(2/3) 鳳龍弐号 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		25	(鳳龍弐号 続)	
プロジェクト全体を通して得られた教訓				
その他		<p>ちゃんと試験をすれば民生部品で作った衛星でも十分に機能することがわかった。同時に放射線を甘くみてはいけないことを痛切に感じた。衛星の生き残りのための設計戦略を作り、それをしっかりと検証することが必要</p> <p>2010年に始まった九工大の大学院のシステム工学・プロジェクトマネジメント教育の一環として実施した。学生が主導的にプロジェクトを実施する中で、システム工学的視野を育成し、プロジェクトマネジメントの経験を得ることが目的であった。前の世代の鳳龍1号は、出入り自由のサークル的な活動でやったが、なかなか前に進まず、学生の気合の入れ方も今ひとつであり、また開発も泥縄式であった。学生には要求管理、リスク管理、検証計画等、多少形式的ではあっても、システム工学手法の演習をやるような形でプロジェクトを実施させた。その後の衛星プロジェクトの運営に至る基礎を作ることができた。</p>		
信頼性向上に関する提言		<p>鳳龍1号(1U)の設計を踏襲したとはいえ、構体を含め多くが初の設計であった。EM試験において非常に多くのバグ出しを行え、学生の試験習熟度にも役立った。</p> <p>学生の卒論・修論とリンクさせ、研究室の活動としてやったことが、こじんまりしたチームでコミュニケーションを密にとりながら行うことにつながったと思う。</p> <p>出荷前に End-to-End 試験を衛星と地上局の間で1週間以上行ったが、ソフトのバグ出し(ただし、バグが見つかって書き換え時のミスを防ぐために修正はしなかった。)、運用リハーサルとして非常に有意義であった。</p>		
個別事例から得られた教訓				
事例 No.		1	2	
開発	開発してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	実際に試験をして問題を洗い出すことが重要。	宇宙用製品は高い。それらを扱う時には細心の注意が必要。 代替品の製作のためにメーカーに連絡をとったときに、あまりの金額に呆然とした。 「アカデミックディスカウント」について尋ねたが、「そんなものはない」とにべもない返事で、現実を思い知った。	
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A	N/A	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	N/A	
運用	運用してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	N/A	N/A	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A	N/A	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	N/A	
その他		その後の電子部品の実装方法についての知見が得られた。	作業手順書通りに作業をする、作業手順書に完了項目のチェックを入れていくというのは、基本中の基本である。	
信頼性向上に関する提言		一度でも衛星を作った大学は、これらの知識を身につけていると思うが、初心者の方では振動環境に対する理解が浅い。実用的な知識として、ほかに展開するのがよい。	N/A	



表 5.1.6.2-15(3/3) 鳳龍式号 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		25	(鳳龍式号 続)		
個別事例から得られた教訓					
事例 No.		3	4	5	
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	ノイズはどこから入ってくるかわからない。問題が発生した際に、論理的に問題を洗い出すことが大事。	衛星開発において、「***だろう」とか「多分**」は禁物。確証が得られるまで、努力する。	永久磁石とヒステリシスダンパを用いた受動的制御は最終的には安定するが、予測通りにはいかない。	
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A	N/A	N/A	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	N/A	N/A	
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	N/A	超小型衛星はいつ死ぬかわからない。軌道上にあがったら、速やかにメインミッションを実施すべきである。	N/A	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A	N/A	N/A	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	N/A	N/A	
その他		N/A	N/A	N/A	
信頼性向上に関する提言		N/A	N/A	姿勢系は、実際のシステムを使った Hardware in the Loop による試験が重要。超小型衛星はサイズが小さいので可能と思われるが、それでも発生トルクが小さい場合は、HIL による検証は厳しい。	

表 5.1.6.2-16(1/2) 鳳龍四号 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		26
プロジェクト名		鳳龍四号
責任機関 (実施の中心機関)		九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	<p>鳳龍弐号に続く 2 番目の衛星だったので、衛星開発プロジェクトの全体の流れがわかっており、いつまでに何をしないとイケないかはわかっていた。ただし、鳳龍弐号が教育がメインの衛星で「失敗してもよい」衛星であったのに対し、鳳龍四号は額も大きく「失敗できない」衛星になった。</p> <p>ミニマムサクセスクライテリア (放電電流計測と放電画像取得) が明確にあった。教育的配慮はするが、研究成果を重視し、できないものがあるときは、その部分を落とすなどの対応をとった。それでも、学生がやっていることをバツサリと切り落とすことは難しかった。鳳龍弐号の教訓に基づいて、SEL (Single Event Latchup) への対応と初期運用計画を立てることには気をつけた。また、何が起きても、衛星機能喪失 (通信途絶) を防ぎ、ミニマムサクセス (放電電流計測と放電画像取得) だけは達成できるようにすることを考えた。そのため、衛星の自主開発にこだわらず、外注できるところは外注することを考えた。</p>
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	<p>教育的側面と研究的側面の両立が難しい。</p> <p>当時立ち上がった宇宙工学国際コースで多くの留学生が入ってきたために、彼らに Hands-on の機会を与える、学生にプロジェクトの中で修士論文、博士論文をかかせると言ったことを考えたために、参加学生が増え、ミッションも増えた。そのためプロジェクト管理が大変であった。いっそのこと、研究衛星にして、ミッションを絞り込み、スタッフだけで衛星開発をするべきだったかとも思う。ただ、それだと、やはりマンパワーが足りず、1 億 6000 万円あっても衛星は作りきれなかったと思う。</p> <p>一方で鳳龍四号のプロジェクトをネタにして博士論文を書いた学生が 7 名おり、その意味では教育プロジェクトとしても成功したといえ、苦労した甲斐はあったかもしれない。参加する学生のレベルにばらつきがあり、人の配置が難しい。力量を見極めた上でタスクを割り振る必要があるが、留学生の場合は力量や性格 (チームプレイができるか、人を助けられるか、わがままいわないか、責任感があるか、根性があるか) の見極めに時間がかかる。</p>
	その場合、どのような工夫があればよかったか	<p>プロジェクトに参加する学生の人数を絞り込むべきであった。</p> <p>留学生の場合、Hands-on の経験を得るために参加している学生の場合、研究テーマと連動していないために、途中でプロジェクトを抜けた学生がいて、人のやりくりで苦労した。</p>
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	<p>S-band で運用したが、高速通信をしようとした際に衛星の姿勢が大事ということを感じた。</p> <p>衛星のデジタル通信の経験が浅いメーカーに衛星搭載 S-band 送信機と地上復調系を外注したが、ドップラーシフトへの対応がうまくいかず、満足な性能が得られなかった。こちらの経験のなさもあり、そのような時は、経験のあるメーカーに外注しないとイケない。</p>
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
その他		<p>鳳龍弐号の時は教員-学生の 2 段構造で、チーム内は学生のプロマネがいたが、基本的に水平体制で、言語も日本語であり、学生達の年は 3 歳くらいの幅しかないので、開発チームないの風通しはよかった。チームの人数も 15 人程度であり、人間関係での問題がそれほど発生しなかった。</p> <p>鳳龍四号の時は、教員-スタッフ-学生の 3 段構造で、スタッフの位置付けが難しかった。スタッフの一人がプロマネとして運営したが、スタッフの中での序列を明確に決めておくべきだった。また、言語が英語と日本語の併用、学生達の年は最大で 10 歳程度離れており、開発チーム内での風通しが悪かった。さらには人数も 40 人くらいおり、ほかの研究室に所属する学生が 10 名ほどいて、付き合いが浅かった。カルチャーギャップの問題もあって、人間関係での問題が多く発生した。この後に始まった BIRDS プログラムでは、このチームないの人間関係をスムーズにすることをまず考えた。</p> <p>大学において、留学生と日本人学生が共同で対等の立場で衛星を開発するというのは初めての試みであったと思う。この経験があったので、次の BIRDS プロジェクトを実施することができた。</p> <p>鳳龍四号に関連して、15 編の査読付きジャーナル論文が出版され [5.1-7~5.1-21]、7 名が博士号を取得した。科学観測衛星であればもっと論文がでたかもしれないが、技術実証衛星としてはそれなりの数であり、若手研究者の育成という観点ではうまくいったと思われる。</p>
信頼性向上に関する提言		<p>鳳龍弐号の時と同様にミッション機器 (プラズマに関連したもの) の開発は、衛星のシステム全体を真空容器の中に入れて、できるだけ実際に近い環境の中で行った。Test as you fly が大事である。</p>

表 5.1.6.2-16(2/2) 鳳龍四号 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		26	(鳳龍四号 続)		
個別事例から得られた教訓					
事例 No.		1		2	
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	実際に試験をして問題を洗い出すことが重要。放射線による SEL を模擬した状態で試験をしないとこの問題は発覚しなかった。		N/A	
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A		N/A	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A		N/A	
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	N/A		パッチアンテナのような指向性の高いアンテナでは衛星の姿勢系が大事になる。幸い、衛星の姿勢が安定したあとでも衛星の運用ができたが、衛星が早期に死んでいた場合、十分なデータが取れなかった可能性がある。 ドップラシフトへの対応を打ち上げ前に確かめることが重要	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A		N/A	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A		N/A	
その他		大学において、留学生と日本人学生が共同で対等の立場で衛星を開発するというのは初めての試みであったと思う。プロジェクトは日本語と英語を併用して行なったが、プロマネの超人的な働きがなければ、空中分解していたと思う。次の BIRDS プロジェクトからは、日本人をマイノリティーにして英語で実施しようと思うに至った。日本において英語で衛星を作る際に、国内の外部機関や業者とのやりとりで多大な困難が発生することを思い知った。業者とのやりとり、安全審査文書、周波数調整、無線免許等々は日本語が必要な局面が多々あり、日本語がわかる人間がいないと日本では衛星が作れないことを実感した。		N/A	
信頼性向上に関する提言		N/A		業者選定の際には、その経験を十分に吟味した上で選定すべき。	

表 5.1.6.2-17(1/2) BIRDS-1 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		27
プロジェクト名		BIRDS-1
責任機関 (実施の中心機関)		九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	<p>鳳龍四号(10kgの衛星)で使用したOBCとEPSを、1Uキューブサットの基板に変更した。予想以上の高密度基板となった。鳳龍四号の回路図を業者(相模通信工業)に渡して、基板のパターン設計と実装をやってもらった。ここはプロの腕が重要であった。学生にやらせては、難しかったと思う。</p> <p>全く同じ設計の衛星を5基同時平行で作るということをやった。組み立てを各国の学生にやらせたが、同じ設計、同じ組み立て手順でも、学生のハンドスキルや性格によって、出来が異なった。</p> <p>キューブサットであれば、70平米サイズのクリーンルームに衛星1個に机1個を与えて、平行して製作できることがわかり、コンステレーション衛星を作るということの意味がわかった。</p> <p>鳳龍四号の経験からチーム内のコミュニケーション・人間関係が重要であるとの教訓から、開発に携わる学生の居室を一つの部屋に集約し、全員が1年以上に亘って、同じ部屋で過ごすように務めた。コミュニケーションロスを防ぐにはこの方法が有効である。</p>
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	<p>衛星の設計の基本方針を明確にすべきであった。</p> <p>5個の衛星によるコンステレーションであった。全く同じ設計にすることで、1個の衛星が失敗しても他が生き残ることが期待できた。しかしながら、各国初の衛星という意味もあって、どの衛星も成功することを考えて、ハンドスキルの差がでない設計を採択した。その例が、以下の二つである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 底面基板インターフェースによるハーネスを最小にし、組み立てを簡単にする</li> <li>2. UHF(低速1200bps。実績のある西無線製を使用)ダウンリンクとVHFアップリンクのアンテナを展開型ではなく、パッチアンテナにする</li> </ol> <p>一方で、高速(9600bps。アドニクス製を使用)ダウンリンク用のUHFアンテナはモーターを使って衛星内部からアンテナを繰り出すという挑戦的なものを選んだ。</p> <p>底面基板の採用は、衛星製作初心者の学生が組み立てる上で非常に有効であった。</p> <p>しかし、アンテナの選択がミッションの成否を決めた。UHF/VHFパッチアンテナはこれまで実績がなかった。採用した理由は、展開失敗をなくしたかったためである。一方、内部からのアンテナ展開を採用したのは、衛星の外側をすっきりさせて、太陽電池の枚数をかせぎたいという理由からであった。</p> <p>このアンテナの選択については、複数の人間で話しあって、冷静に考えて議論すれば矛盾したことをやっているのがわかったが、衛星の設計基本方針を議論せず、P/I(趙)の一存で決めただけであった。これが最大の教訓である。教員が頂点にたつて、経験の浅い学生が下にいるという体制だとこの問題が起き得る。</p>
	その場合、どのような工夫があればよかったか	<p>全てのアンテナをテグスを焼き切る展開アンテナにしていれば、少々できが悪くても5個の衛星のうち数個は展開に成功していたはずである。新技術を採用するのであれば、例えば1基か2基は新技術(パッチアンテナ)を使い、残りを従来のテグス展開型にすべきであった。ただし、この方法をとると、衛星の設計が二つあることになり、開発期間の問題、どの衛星がリスクをとるかといった問題が発生したと思う。</p>



表 5.1.6.2-17(2/2) BIRDS-1 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		27	(BIRDS-1 続)
プロジェクト全体を通して得られた教訓			
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	UHF/VHF でパッチアンテナはやめた方がよい。少なくともメインのビーコンにしようするのはやめた方がよい。バックアップのアンテナとして、いざという時の生存確認にする、送信電力を増やすなどをしないとイケない。単体の試験ではうまくいったが、システムとしてうまくいかどうかは別ものである。また、パッチアンテナは個体差が大きく、フライトモデルを衛星に取り付けて、電波試験をしないとイケない。複数の国の地上局を使って、各国でデータをとることはできたが、運用を自動化する、リモートオペレーションすることはできなかった。やはり、生半可なことではうまくいかない。	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	UHF パッチアンテナのゲインが低く、CW ビーコン信号の強度が極めて弱かった。コンピュータによるデコードは難しく、人間の耳によるデコードに頼った。デコードが難しかったせいもあり、九工大局以外での運用へのモチベーションが下がっていった。	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	モルス信号の耳デコ、目デコの経験を衛星放出前により積ませておくべきだった。ビーコン信号の強度は運用のモチベーションを保つのに重要である。	
その他	<p>結局、5個の衛星はどれもアップリンクに成功しなかった。ビーコン信号の受信には成功したので、5個はどれも軌道上で最低限の動作はしたと言える。ただ、それでも1個の衛星は1週間ほどでビーコンが途絶え、Non-moving Part だけで構成される衛星でも個体差があることがわかった。5個ともにアップリンクが成功しなかったという事実は、設計が誤っていたことを示している。EM品を使っての設計の確認を徹底的にやるべきであった。</p> <p>5つの違った国(タイの学生も日本チームとして参加していたので、6カ国)の学生が参加すると、文化的背景の違いからチーム内での諍いも発生する。ただ、文化の違いというよりは、個人的性格も多分にあったのかもしれない。学生間の問題は、できるだけ学生間で解決させたが(時に教員が「神の声」を発する必要があった)、プロマネに調整能力のある学生を配置したことがよかった。プロマネを選ぶ前に学生を知る時間が必要。「やりたい」だけではだめで、ある程度の観察期間が必要。プロマネの選択は成功したと思う。</p> <p>4カ国の機関と国際契約を行なったが、国際契約は一筋縄ではいかない。国毎に事情が異なり、非常によい経験となった。また、宇宙条約の批准状況や電波規則も各国で異なっており、宇宙条約について理解をしてもらうことから始めないとイケなかった。</p> <p>同じ設計の衛星を5個、EMも含めると6セットの衛星システムを作ったが、総額2300万円で収まった。スケールメリットにより、衛星のハードウェアコストを下げることは可能である。</p> <p>衛星初心者の集まりであっても、学生にモチベーション(国で最初の衛星を作る)さえあれば、1年ちょっとで衛星納入まで達成することは可能である。</p> <p>教育プログラムとして、2年間で運用までもっていくことは大事(修士の2年間におさめる)。そのためには、定期便のあるISSが最適な打ち上げ手段であり、有償でお金を支払って打ち上げスロットを確保するのが肝要。</p> <p>その国で初の衛星というのが、どれだけニュースインパクトを持つかを、放出前後の各国の報道ぶりを見て実感した。</p>		
信頼性向上に関する提言	衛星のアップリンクは生命線である。ビーコン信号を受け取ってよしとするのではなく、衛星は運用できてなんぼのものである。フライトモデルでアンテナのチューニングとアップリンク試験をすべきである。		
個別事例から得られた教訓			
事例 No.	1	2	
開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	衛星の基本設計方針については、衛星のミッション要求と設計の整合性を、複数の人間で話しあって、冷静に議論して決定すべきである。一人の教員が頂点にたつて、経験の浅い学生が下にいるという体制の場合、特に注意が必要である。トップにいる教員は、セカンドオピニオンを求める姿勢をもたないとイケない。		
その他気づき事項	複数の衛星の場合、どれか1基でも生き残る設計にすべきである。		

表 5.1.6.2-18(1/2) BIRDS-2 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		28
プロジェクト名		BIRDS-2
責任機関（実施の中心機関）		九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	BIRDS-1 プロジェクトの開始から 1 年でプロジェクトを開始した(2016 年 10 月)。BIRDS-1 衛星の設計を多く踏襲し、BIRDS-1 メンバーが全員残っている状況の中で、兄弟プロジェクトとしてノウハウ継承がドキュメントではなく、現場レベルでなされた。衛星プロジェクトをオーバーラップさせることで、学生メンバー同士が同時期に大学に在学すれば、ノウハウ継承がうまくなされることを実感した。 設計当初はアンテナはパッチアンテナを想定していたが、BIRDS-1 の打ち上げ後(2017 年 7 月)にパッチアンテナがうまく動かないことを知ったのち、急遽展開アンテナに設計を変更した。当時は、EM のシステム試験を行っており、アンテナの設計変更により 2 ヶ月程度を要した。CDR を 2017 年 10 月半ばに行なっている。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	BIRDS-1 の教訓から、急遽アンテナを展開型に変更し、3 個ある衛星のどれか 1 個でも生き残ればよいという方針に変更した。 アンテナの展開が成功するかどうかについて、試験を多数おこなった。その結果、3 個の衛星共にアンテナの展開には成功している。しかし、アップリンクを成功させるまでに 1 年を要した。通信系の End-to-End 試験を十分に実施できずに、問題を洗い出せなかったことに起因している。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	通信系の End-to-End 試験をより入念にするべきであった。BIRDS-1 でフライトモデルの通信試験をすべきという教訓があったにも関わらず、それを徹底させることができなかった。
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	展開アンテナに変えて、最初のビーコン信号を受けた時、BIRDS-1 のビーコン信号との強度の違いに驚いた。はるかに鮮明であった。アップリンクは 1 年間通らなかつたが、その間、ビーコン信号に含まれるハウスキーピングデータから電源系がしっかりと動作していることは確認できた。 衛星の通信系に問題があると、打ち上げ後は地上系を工夫するしか手段がない。アンテナのゲインの改善、送信機の変更、送信アンプの変更、送信タイミングの変更、等々様々な工夫をして、回線計算のマイナスのマーヅを一個ずつつぶしていき、最終的に 3 個の衛星のうち、2 個の衛星に対してアップリンクを通すことができた。しかしながら、アップリンクの成功回数は計 4 回だけで、衛星の運用をまともにはできなかった。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
その他		1 年かかったが、最終的に衛星にアップリンクを通すことができた。論理的に問題要因を一個ずつ片付けていく上で、回線計算の大事さが身にしみてわかった。回線計算のゲイン、ロスの各項目を見直して、一つ一つの項目について、改善をはかっていくことが大事。 アップリンクが通らなくても、1 年間に亘り努力を続けた学生の頑張りを素直に褒めたい。ただ、ひたすら同じようにアップリンクボタンを押すのではなく、常に改善への努力を怠らなかつたことが、最終的なアップリンクの成功につながった。
信頼性向上に関する提言		それまで、回線計算でマーヅを計算する際、Eb/No で計算していた。しかし、ノイズフロアの値 No をキューブサツで計測または予測することは難しい。通信に成功する信号強度 S の閾値を測定し、それに基づいて回線計算をたてるべきである。特にアップリンクにおいては重要。信号強度 S の閾値も、実際にシステムを組んだ状態で測定すべきである。メーカー推奨の値は、ケーブルを通信機に直結し、通信機単体で測定した理想的な場合が大きい。そのようにして測定された信号強度とシステムで測定される（アンテナを介して空中線で信号を送った場合）信号強度の間には 10dB くらいの差がありかねない。



表 5.1.6.2-18(2/2) BIRDS-2 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.	28	(BIRDS-2 続)	
個別事例から得られた教訓			
事例 No.	2		3
信頼性向上に関する提言	<p>衛星を全て組んでみたら POD に入らないということは、他の衛星でもよくおきている。EM の組み立てが完了した段階で POD とのフィットチェックを行うことを薦める。POD がない場合は、POD の内寸に合わせたゲージのようなものを作るという案もある。アコモデーションハンドブックには 100mm±0.1mm と書かれているが、安全のためには、100mm-0.1mm と考えた方がよい。</p>		<p>1U キューブサットのような 3 密のシステムではノイズが多大な影響を与える。衛星に到達した時点でアップリンク信号は非常に弱いのでノイズに負けてしまう可能性がある。衛星内のノイズを正しく評価する。衛星を孤立させた状態での End-to-End の通信試験を行う試験に使う機器をよく理解する。</p>

表 5.1.6.2-19 BIRDS-3 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		29
プロジェクト名		BIRDS-3
責任機関（実施の中心機関）		九州工業大学宇宙環境技術ラボラトリー
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	鳳龍弐号以来使ってきたルネサスの H8 マイコンが製造中止となったので、C&DH 系を PIC マイコンで置き換えた。基本アーキテクチャは変わらず、通信を行う PIC16 マイコンと、データ処理を行う PIC18 マイコン（処理量が通信系より多いため、PIC18 にした）に神マイコンとしてもう一個の PIC16 がリセットを担当する形にした。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
運用	運用してわかった気づき事項（技術的なもの、マネジメント的なもの）	ダウンリンク、アップリンクともに成功した。実際の成功確率やダウンリンク電波強度の計測等を通じて、回線計算を再確認することができた。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか？	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
その他		BIRDS プロジェクトも 3 世代目であり、設計も固まってきたので、7 人の少数で 3 個の衛星を作ることができた。BIRDS-1, BIRDS-2 の教訓から、通信系、それもアップリンクの成功に全力を投入した。少数精鋭であったため、ミッションを絞り込んだ。そのことがうまくいった要因だと思う。 LoRa モジュールの軌道上実証を行うということで、IARU に申請を出したが、LORA は Encrypted 信号なので、アマチュア無線帯を使ってはいけないということがわかった。LoRA 通信実験を非アマチュア帯で実施するので大丈夫かと思ったが、非アマチュア業務を行う衛星の制御（アップリンク）をアマチュア無線を使って行ってはいけないと言われた。非アマチュア業務とアマチュア業務は完全に切り分けないといけないということがわかった。結局、LoRa モジュールについては、送信機と受信機をケーブルで直結し、外部には一切電波を出さず、通信実験ではなく、電子機器として軌道上環境に耐えるかどうかの実証試験をすることになった。
信頼性向上に関する提言		N/A
個別事例から得られた教訓		
事例 No.		1
信頼性向上に関する提言		姿勢系については、Hardware-in-the-loop による原理検証が必要である。Software シミュレーションだけでは、実際に発生するトルクを正確に知ることが難しい。

表 5.1.6.2-20(1/2) (匿名) 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		30	
プロジェクト名		(非公開)	
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)	
失敗を通して得られた教訓			
プロジェクト全体を通して得られた教訓			
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	目的意識をもって試験を実施することの重要性。 大学関係者、企業などの OB、新卒学生を中心としたチームであった。プロジェクト自体の目的にも関連していたが、バックグラウンドに関連する技術レベルや認識・優先度や設計思想の差異に折り合いをつけること、それに伴う学習や意識合わせに多くの時間を要した。個人的には貴重な経験であったが、期間内での効率的な衛星開発・納入という観点からは無駄も多かったかと思う。マネジメントについては、個々人が概ね目的に則した構成を果たしていたが、構成要員の自身の認識する立ち位置と求められる立ち位置との乖離や、個人の特性とは合致していない人員配置なども発生していた。	
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	工夫の余地はあった	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	衛星開発・納入とは別の目的のゴールも設定されていたため、途中の段階まではチームの構成員が認識するゴールに差異が発生していた。このあたりの認識のギャップを埋める工夫があった方がよかったかもしれない。	
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	運用訓練の重要性、事前試験での検証が必須。無理のない継続的な運用には、長期的な視点による運用チームの構築が必須。	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	思う	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	プロジェクトの雇用期間が開発期間までであったため、開発メンバーが運用には専念しにくかった側面があった。運用計画見直しなどに十分な時間が取れなかったため長期的な視点による運用チームの構築ができていれば、より効率的な運用が可能となった可能性が高い。	
その他		・限られたリソース下においてスケジュール保持と検証計画の遂行を両立させるのは難しかった	
信頼性向上に関する提言		JAXA ロケットへの相乗りの際の安全審査において、ロケット・主衛星に対する安全という視点だけでなく、宇宙機の正常・継続的な動作という視点からの助言が必要な組織も多いかと思う。	
個別事例から得られた教訓			
事例 No.		1	2, 3
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	・「軌道上実績品」の取り扱いの難しさ ・少人数短期開発の利点と欠点	・少人数短期開発の利点と欠点
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	思う	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	・並行業務の優先度の設定	
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	・初期段階から継続的な運用体制を構築する意識づくりが必要	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	思う	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	・コアシステム開発者以外でも運用計画立案、不具合検証などを補助できるようなドキュメントと教育体制の準備	
その他		N/A	
信頼性向上に関する提言		不具合機器情報の PJ 間での共有	

表 5.1.6.2-20(2/2) (匿名) 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		30	(続)		
個別事例から得られた教訓					
事例 No.		4~8	9	10	
開発	開発してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「高い経験値」に起因する思い込みによる不具合発生要因の見逃し可能性</li> <li>・単体環境試の重要性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「軌道上実績品」の取り扱いの難しさ</li> <li>・少人数短期開発の利点と欠点</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運用期間を見据えた開発チームの保持, 技術項目の引継ぎの難しさ</li> </ul>	
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	思う			
	その場合, どのような工夫があればよかったか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・並行業務の優先度の設定</li> </ul>			
運用	運用してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・初期段階から継続的な運用体制を構築する意識づくりが必要</li> </ul>			
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	思う			
	その場合, どのような工夫があればよかったか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コアシステム開発者以外でも運用計画立案, 不具合検証などを補助できるようなドキュメントと教育体制の準備</li> </ul>			
その他		N/A			
信頼性向上に関する提言		不具合機器情報のPJ間での共有			

表 5.1.6.2-21(1/2) (匿名) 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		31
プロジェクト名		(非公開)
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	目的意識をもって試験を実施することの重要性。 大学関係者、企業などの OB、新卒学生を中心としたチームであった。プロジェクト自体の目的にも関連していたが、バックグラウンドに関連する技術レベルや認識・優先度や設計思想の差異に折り合いをつけること、それに伴う学習や意識合わせに多くの時間を要した。個人的には貴重な経験であったが、期間内での効率的な衛星開発・納入という観点からは無駄も多かったかと思う。 マネジメントについては、個人が概ね目的に則した構成を果たしていたが、構成要員の自身の認識する立ち位置と求められる立ち位置との乖離や、個人の特性とは合致していない人員配置なども発生していた。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	工夫の余地はあった
	その場合、どのような工夫があればよかったか	衛星開発・納入とは別の目的のゴールも設定されていたため、途中の段階まではチームの構成員が認識するゴールに差異が発生していた。このあたりの認識のギャップを埋める工夫があった方がよかったかもしれない。
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	運用訓練の重要性、事前試験での検証が必須。無理のない継続的な運用には、長期的な視点による運用チームの構築が必須。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	思う
	その場合、どのような工夫があればよかったか	プロジェクトの雇用期間が開発期間までであったため、開発メンバーが運用には専念しにくかった側面があった。運用計画見直しなどに十分な時間が取れなかったため長期的な視点による運用チームの構築ができていれば、より効率的な運用が可能となった可能性が高い。
その他	・限られたリソース下においてスケジュール保持と検証計画の遂行を両立させるのは難しかった	
信頼性向上に関する提言		JAXA ロケットへの相乗りの際の安全審査において、ロケット・主衛星に対する安全という視点だけでなく、宇宙機の正常・継続的な動作という視点からの助言が必要な組織も多いかと思う。
個別事例から得られた教訓		
事例 No.		1
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	・「軌道上実績品」の取り扱いの難しさ ・少人数短期開発の利点と欠点
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	思う
	その場合、どのような工夫があればよかったか	・並行業務の優先度の設定
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	・初期段階から継続的な運用体制を構築する意識づくりが必要
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	思う
	その場合、どのような工夫があればよかったか	・コアシステム開発者以外でも運用計画立案、不具合検証などを補助できるようなドキュメントと教育体制の準備
その他	N/A	
信頼性向上に関する提言		不具合機器情報の PJ 間での共有



表 5.1.6.2-21 (2/2) (匿名) 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		31	(続)	
個別事例から得られた教訓				
事例 No.		4~8	9	10
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「高い経験値」に起因する思い込みによる不具合発生要因の見逃し可能性</li> <li>・単体環境試の重要性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「軌道上実績品」の取り扱いの難しさ</li> <li>・少人数短期開発の利点と欠点</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運用期間を見据えた開発チームの保持, 技術項目の引継ぎの難しさ</li> </ul>
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	思う		
	その場合, どのような工夫があればよかったか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・並行業務の優先度の設定</li> </ul>		
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・初期段階から継続的な運用体制を構築する意識づくりが必要</li> </ul>		
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	思う		
	その場合, どのような工夫があればよかったか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コアシステム開発者以外でも運用計画立案, 不具合検証などを補助できるようなドキュメントと教育体制の準備</li> </ul>		
その他		N/A		
信頼性向上に関する提言		不具合機器情報の PJ 間での共有		

表 5.1.6.2-22 (匿名) 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		32	
プロジェクト名		(非公開)	
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)	
失敗を通して得られた教訓			
プロジェクト全体を通して得られた教訓			
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・目的意識の違う複数組織間での連携の難しさ</li> </ul>	
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	思う	
	その場合, どのような工夫があればよかったか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バス側からの情報の提示が不足していたため, 開発が思うように進まなかった</li> </ul>	
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・情報共有の大切さ</li> </ul>	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	思う	
	その場合, どのような工夫があればよかったか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・情報共有の大切さ</li> </ul>	
その他		(・バス系の不具合事象については担当からの情報共有が不十分であるため共有ができない)	
信頼性向上に関する提言		JAXA ロケットへの相乗りの際の安全審査において, ロケット・主衛星に対する安全という視点だけでなく, 宇宙機の正常・継続的な動作という視点からの助言が必要な組織も多いかと思う。	



表 5.1.6.2-23 (匿名) 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		33
プロジェクト名		(非公開)
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	3年が開発メンバーの多くが入れ替わる。引継ぎには大きなコストが必要となるため、学生主体の場合、3年程度が衛星プロジェクトの期限となると思われる。PRISMでも以前の設計根拠が分からず再設計となった箇所があった。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	不具合管理表の導入など早めに気がついていれば、最後のシッパメント直前での負担が軽減できたと思われる。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	忙しくても定期的に反省するような機会があるとよかった。またプロジェクトマネジメントについても経験豊富な方にレビュー頂く方法もあったかもしれません。
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	試していないことは軌道上で動作しない。 ・MTQの極性が反対⇒地上試験においてE2EでMTQの動作を確認していなかった。 ・太陽センサーの迷光⇒衛星筐体に組み込んだ状態で太陽光の強度で太陽センサー値を取得していなかった。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	地上で試験を実施したと思っていても念には念をいれたガードを入れておく。これにより衛星の全損をある程度防ぐことができると思われる。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	MTQの動作不良を想定してMTQのONから軌道1周回後にMTQを停止する運用計画をたてておいた。これによりMTQが逆極性で衛星角速度が増大していたが、MTQを停止結果的に復旧させることができた。
その他		特に初期運用では作業量が多く運用者の負担が大きい。ミスを減らすため地上局ソフトウェアを充実させておくことが重要
信頼性向上に関する提言		失敗事例や反省などなかなか大学間で共有されない。このような事例の共有の枠組みがあるととても有益と思います。(UNISEC LLは大変有意義でした。)
個別事例から得られた教訓		
事例 No.		1, 2 3
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	説明書などの人の手が加わったものを試験で真とする情報とするべきでないこともある。人の手が加わっていない信頼できる情報を入念に探すべき
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	開発フェーズにおいて時間が恒常的に不足していた。予算状況にもよるが外注できることは外注して、なるべく時間をつくる方法もあったかもしれない。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	開発フェーズにおいて何を自分達で実施し、何を外注するかの指針作りが重要
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	開発中に時間がなく苦しくなると、軌道上でのソフトウェア書き換えなどに期待してしまうこともでてくる。たとえば不具合が生じても軌道上のリプログラミングで修復できるなど期待してしまう。ただし実際に運用すると、軌道上で実施できることは地上で実施できることよりとてもすくなく、実施できることはほぼない。運用に期待せず開発をしっかり進めることが重要である。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	運用経験者に運用の経験をきくなどの機会があると甘い考えを一掃できたかもしれない。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
その他		N/A
信頼性向上に関する提言		不具合で得られた知見の共有は非常に重要と思います。

表 5.1.6.2-24(1/2) (匿名) 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		34	
プロジェクト名		(非公開)	
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)	
成功を通して得られた教訓			
プロジェクト全体を通して得られた教訓			
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	N/A	
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発・地上試験に参加せず運用から参加した学生 (学部低学年主体) を OJT で主体的に運用計画に関わるレベルまで引き上げることは困難だった。結果的に運用人員の層が卒業でどんどん薄くなっていった。</li> <li>・開発期間が長期間にわたっていた (プロジェクト開始は 2005 年前後) ため、開発の中心 (特に仕様決定レベル) となった学生はほとんどが打ち上げ前に卒業していた。そのため各サブシステムについて一番詳しいのは OB か企業担当者という状態であり、機動的な議論が難しかった。</li> </ul>	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	意思決定をもっとスピーディに行うことができればよかった	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	2021 年現在であれば slack での常時コミュニケーションや zoom での遠隔運用参加などメンバ全体の状況理解度を向上する方策がいくつか思いつく (運用当時可能であったかは別)	
その他		<ul style="list-style-type: none"> <li>※運用終了後のミーティングで挙げた、記入者以外の意見も含む。</li> <li>・電源が落ちても継続する別電源のタイマーがあると運用の幅が広がる</li> <li>・プログラムや定数はできるだけ後から書き換え可能としておく</li> <li>・ビーコンにもデータを載せておくべきだった</li> <li>・画像の送信方法は複数用意しておくべきだった</li> </ul>	
信頼性向上に関する提言		N/A	
個別事例から得られた教訓			
事例 No.		1	2
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	N/A	・仕様に対する「思い込み」があっけはいけない。必要な機能は必ず試験で確認する。また、メーカー任せではいけない。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A	きちんと試験をしておけば事前に意識のズレに気づけた。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	様々な状況を想定した網羅的な試験手順の確認
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・衛星が正常に動作し続けることを前提とした設計はしてはいけない。姿勢不安定、頻繁なリセットを想定する。</li> <li>・大学衛星としてはメーカー任せとならないよう学生の教育と自発性が重要</li> </ul>	N/A
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	N/A
その他		(当たり前かもしれないが) 常に最悪の状態を想定した設計と運用が重要。制御パラメータなどはできるだけ地上から書き換えられるようにすべき、またそれらは不揮発性とすべき	・試験段階で、どうしても花形的なミッション運用などに意識が向きがちであり、電源が落ちた後どうするかと言った試験を行えていなかった。後から考えてみれば、うまくいっていない場合の試験こそ重要であった。
信頼性向上に関する提言		N/A	N/A

表 5.1.6.2-24(2/2) (匿名) 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		34	(続)	
個別事例から得られた教訓				
事例 No.		3	4	6
開発	開発してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	N/A	・仕様に対する「思い込み」があってはいけない。必要な機能は必ず試験で確認する。また、メーカー任せではいけない。	N/A
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A	きちんと試験をしておけば事前に意識のズレに気づけた。	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	様々な状況を想定した網羅的な試験手順の確認	N/A
運用	運用してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	・衛星が正常に動作し続けることを前提とした設計はしてはいけない。姿勢不安定、頻繁なリセットを想定する。 ・大学衛星としてはメーカー任せとならないよう学生の教育と自発性が重要	N/A	衛星実機を地上で見えない学生が運用から参加することは困難であり、またモチベーションの維持も難しいと感じた。 これを解消するためには、計画的な人員の補充と毎年の学生間での教育・引継ぎ体制が(特に有志学生によるプロジェクトでは)重要であると考える。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A	N/A	N/A
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	N/A	N/A
その他		S バンドで画像送信できる、送る画像を選べるなど、複数の画像送信手段を用意しておけばよかった。	・故障の危険性がある動作を、特に運用時にはできないようコマンド送信ソフトに工夫が必要 ・開発者と運用者が異なる場合、密なコミュニケーションにより「行ってはいけないこと」を事前にしっかりと把握しておかなくてはならない	N/A
信頼性向上に関する提言		N/A	N/A	N/A

表 5.1.6.2-25 (匿名) 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		35
プロジェクト名		(非公開)
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	開発中は5名程度の少人数のチームで、それぞれが大きな領域を担っていたため、プロジェクトをマネジメントするためには、担当系を超えて理解や議論が必要であると感じた。マネジメントも含めて全員が取り組む姿勢が重要ではないかと感じた。 開発メンバーの入れ替わりが多々あり、設計の思想や詳細な設計情報が引き継ぎできていない部分があり、工夫が必要と感じた。
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	・マネジメントへの中心メンバの参加。 ・設計情報の口伝以外の実現可能性のある伝達方法の構築。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	・マネジメントに全員が参加 (発言・決定) する形をとったことで、個々の系ごとの最適化だけでなく、マネジメントも含めた衛星開発の全体の最適化に試みることができ、スムーズな開発につながるのではないかと感じた。 ・現在も試みているが、システムの設計情報全体をシステム言語を使ってつなぐことができればよかった。実現には、情報と開発メンバとの間の適切なインターフェースや情報の整理方法を開発していく必要がある。
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	・開発メンバと運用メンバが異なることがあり、設計からくる運用ノウハウのようなコアな運用方法の知識・技術伝達が疎かになってしまった。 ・開発メンバと運用メンバが異なるため、運用側のモチベーション維持も難しいと感じた。
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	・開発と同様に、設計から運用に至るまでの情報をつなぎ・可視化する仕組みがあれば伝達に苦労が減ったと感じた。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	・現在も試みているが、システムの設計情報全体をシステム言語を使ってつなぐことができればよかった。実現には、情報と開発メンバとの間の適切なインターフェースや情報の整理方法を開発していく必要がある。
その他		・現実感のある (現実で起きている) 問題 (失敗など、真剣に取り組まなければいけない問題であればなおさら) を分析し問題を解く過程の教育効果が大きい。 ・個々の行動や設計の最適化が、全体にとっては最適な行動・設計に繋がっていないことを現実の問題をとおして知ることの教育効果が大きい。 ・上記の二項目の過程で、個々人やプロジェクト・組織のシステムをうまく成功させる方法が構築され、衛星開発の実践的なシステムズエンジニアリングが構築されていくように思う。
信頼性向上に関する提言		・個々・プロジェクト・組織間の知識・技術継承に向けた取り組み
個別事例から得られた教訓		
事例 No.		1
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	・設計情報を伝達があることを前提に残すことが重要ではないかと感じた。 ・設計情報が十分に残っていない衛星の実機 (予備機) から情報を引き出す行為は、教育効果が大きいと感じた。
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	新しく加わったメンバーに設計思想からはじまり詳細な設計までを適当に伝えることが難しく、運用に支障をきたすことが多かった。人の入れ替わりが開発と運用でもあるため、知識・技術継承も意識して開発を行っていく必要があると感じた。
		N/A
		N/A
その他		ミーティング等でも、知識・技術共有が不十分であると経験者・担当者のみしか議論に参加できない状況があった。 要素同士の相互関係や、階層的な構造の理解を構造化・可視化する実現可能な表現が必要だと感じた。
信頼性向上に関する提言		レッスズラウンドの共有



表 5.1.6.2-25(2/2) (匿名) 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		35	(続)
個別事例から得られた教訓			
事例 No.		2~10	
開発	開発してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	衛星の設計・開発・運用のフェーズも変化し、また、メンバーも変化するなど、新たな技術・知識、関係者も増加する中で、全てを成立させるために時間がかかることが多く、間に合わずに顕在化してしまった。成立に係わる要素間の関係性が増え扱いが難しくなった。 モデル(地図)が大きく・複雑になりチームでマネージしきれなくなる(更新がされないまま開発が進む)。 また、全体のモデルを意識しないで開発してしまう場合もあり、部分的な最適化につながりちぐはぐな設計・開発になっていたこともあり、モデルが更新されていることを意識・共有・更新できるようにする必要があった。	
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	実現可能なモデルを用いて可視化しておくことが必要だったと感じた。	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	実現可能なモデルを用いて可視化しておくことが必要だったと感じた。	
運用	運用してわかった気づき事項(技術的なもの、マネジメント的なもの)	新しく加わったメンバーに設計思想からはじまり詳細な設計までを適当に伝えることが難しく、運用に支障をきたすことが多かった。人の入れ替わりが開発と運用でもあるため、知識・技術継承も意識して開発を行っていく必要があると感じた。	
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A	
	その場合、どのような工夫があればよかったか	N/A	
その他		ミーティング等でも、知識・技術共有が不十分であると経験者・担当者のみしか議論に参加できない状況があった。 要素同士の相互関係や、階層的な構造の理解を構造化・可視化する実現可能な表現が必要だと感じた。	
信頼性向上に関する提言		レッスズラウンドの共有	

表 5.1.6.2-26 (匿名) 失敗を通して得られた教訓

プロジェクト No.		36
プロジェクト名		(非公開)
責任機関 (実施の中心機関)		(非公開)
失敗を通して得られた教訓		
プロジェクト全体を通して得られた教訓		
開発	開発してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	・ 工程の後戻りは極めて大変である.
	開発を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	・ フロントローディングによる工程後戻りの抑制
	その場合, どのような工夫があればよかったか	・ 当初段階での十分な調査や勉強, 識者からの助言を得ること.
運用	運用してわかった気づき事項 (技術的なもの、マネジメント的なもの)	N/A
	運用を工夫することでより多くの成果を挙げることができたと思うか?	N/A
	その場合, どのような工夫があればよかったか	N/A
その他		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ フロントローディングの重要性</li> <li>・ ほぼ同時期であったが後続の (匿名: 他の 2 機の衛星) での推進系開発に対して本推進系の教訓, 経験は大いに活かされた.</li> </ul>
信頼性向上に関する提言		マスタースケジュールの遵守は第一であるが, そのために設計や製造を急いでしまうのではなく, たとえ遅れが発生したとしてもフロントローディングに努めなければならない.



**【5.1章 参考文献】**

- [5.1-1] Tatsuo Shimizu, Hiroshi Fukuda, Kazuhiro Toyoda, Mengu Cho, Solar Array Electrostatic Discharge Current and Image Captured in Orbit, JOURNAL OF SPACECRAFT AND ROCKETS, Vol. 54, No. 2, pp.497-499, March-April 2017
- [5.1-2] Withanage Dulani Chamika, Mengu Cho, George Maeda, Sangkyun Kim, Hirokazu Masui, Takashi Yamauchi, Sanath Panawannege, Sunil Babu Shrestha, BIRDS Partners, IAC-19, B4, 6B, 6, x50575, 70th International Astronautical Congress (IAC), Washington D. C., United States, 21-25 October 2019.
- [5.1-3] Yoshihiro Tomioka, Kazuya Yoshida, Yuji Sakamoto, Toshinori Kuwahara, Kazufumi Fukuda, Nobuo Sugimura, Lessons Learned on Structural Design of 50kg Micro-satellites based on Three Real-life Micro-satellite Projects, Proceedings of 2012 IEEE/SCIE Symposium on System Integration, Fukuoka, Japan, December 16-18, 2012, 319-324,
- [5.1-4] 栗原聡文, Lessons Learned 共有会資料, 2020
- [5.1-5] NEXUS 運用報告, [http://sat.aero.cst.nihon-u.ac.jp/nexus/3\\_WeeklyNews.html](http://sat.aero.cst.nihon-u.ac.jp/nexus/3_WeeklyNews.html)
- [5.1-6] 趙孟佑; 増井 博一; 九州工業大学 衛星開発プロジェクト、「超小型衛星「鳳龍式号」の試験・検証と軌道上不具合原因究明」、航空宇宙技術、Vol. 12, pp.17-24, 2013.
- [5.1-7] 増井博一, 世利祐樹, 濱田朗充, 趙孟佑, 「超小型衛星「鳳龍式号」の熱設計・検証手法と軌道データ解析」, 航空宇宙技術, Vol. 64 (2016) No. 5 p. 270-275, <http://doi.org/10.2322/jjsass.64.270>
- [5.1-8] Makiko Kishimoto et al, "Improvement of Communication System for 1U CubeSat", [SSC20-WKVIII-03], Small Satellite Conference, 2020
- [5.1-9] 吉田和哉, 坂本祐二, 坂野井健, 高橋幸弘「東北大学スプライト観測衛星 (SPRITE-SAT) の開発完了および打上報告」日本航空宇宙学会北部支部 2009 年講演会, 仙台市, 2009 年 3 月 11-12 日
- [5.1-10] Tatsuo Shimizu, Hiroshi Fukuda, Kazuhiro Toyoda, Mengu Cho, "Solar Array Electrostatic Discharge Current and Image Captured in Orbit", Journal of Spacecraft and Rockets, <http://dx.doi.org/10.2514/1.A33622>, 2016
- [5.1-11] M. T. Islam, Mengu Cho, M. Samsuzzaman, and S. Kibria, "Compact Antenna for Small Satellite Applications", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 57, No. 2, April 2015, pp.30-36
- [5.1-12] M. Samsuzzaman, M. T. Islam, S. Kibria, and M. Cho, "A compact circularly polarized high gain S-band nanosatellite antenna using ramped

- convergence particle swarm optimization,” *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 57, pp. 1503–1508, 2015,
- [5.1–13] Tatsuo Shimizu, Hiroshi Fukuda, Kazuhiro Toyoda, Mengü Cho, “Development of an In-Orbit High-Voltage Experimental Platform: HORYU-4 ”, *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 43, no. 9, pp. 3027–3040, 2015. doi: 10.1109/TPS.2015.2453330
- [5.1–14] Kateryna Aheieva, Shingo Fuchikami, Masayoshi Nakamoto, Kazuhiro Toyoda, and Mengü Cho, “Development of a Direct Drive Vacuum Arc Thruster Passively Ignited for Nanosatellite”, *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol. 44, no. 1, pp. 100–106, 2016. doi: 10.1109/TPS.2015.2500601
- [5.1–15] Mohamed Yahia Edries, HORYU-IV Team, Mengü CHO, “Design and Testing of Electrical Power Subsystem of a Lean Satellite, HORYU-IV” , *TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN 14(ists30)*, Pf\_7–Pf\_16, 2016
- [5.1–16] Kateryna Aheieva, Kazuhiro Toyoda, Mengü Cho, “Vacuum Arc Thruster Development and Testing for Micro and Nano Satellites” , *Transactions of JSASS, Aerospace Technology Japan*, Vol. 14 (2016) No. ists30, Pb\_91–Pb\_97, 2016
- [5.1–17] Taiwo R. Tejumola, Atomu Tanaka, Arifur Khan, HORYU-IV Project Team, Mengü Cho, “Development of Low Cost Double Probe Plasma Measurement System for a Lean Satellite HORYU-IV” , *Transactions of JSASS, Aerospace Technology Japan*, Vol. 14 (2016) No. ists30, Pr\_39–Pr\_60, 2016
- [5.1–18] Pauline Faure, Atomu Tanaka, Mengü Cho, “Toward lean satellites reliability improvement using HORYU-IV project as case study” , *Acta Astronautica*, Volume 133, April 2017, Pages 33–49
- [5.1–19] Shimizu, Tatsuo; Fukuda, Hiroshi; Nguyen, Su; Iwata, Minoru; Toyoda, Kazuhiro; Cho, Mengü, “Initial Results from an In-Orbit High-Voltage Experimental Platform: HORYU-IV” , *IEEE Transaction on Plasma Science*, 2017, Vol. 45, No. 6, Digital Object Identifier: 10.1109/TPS.2017.2688725
- [5.1–20] Dmytro Faizullin, Koju Hiraki, HORYU-IV team, Mengü Cho, “IMPROVEMENT OF SUN ANGLE ACCURACY FROM IN-ORBIT DATA OF A QUADRANT PHOTODIODE SUN SENSOR” , *International Journal of Research - Granthaalayah*, Vol. 5 (Iss. 5), 2017, DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.583886>
- [5.1–21] Taiwo Raphael Tejumola, Guillermo Wenceslao Zarate Segura, Sangkyun Kim, Arifur Khan, Mengü Cho, “Validation of Double Langmuir Probe in-Orbit Performance onboard a Nano-Satellite” , *Acta Astronautica* 144 (2018) 388–396.

- [5.1-22] Dmytro Faizullin, Koju Hiraki, HORYU-IV team, Mengü Cho, “OPTIMIZATION OF A SUN VECTOR DETERMINATION FOR PINHOLE TYPE SUN SENSOR”, International Journal of Research - Granthaalayah, Vol.5 (Iss.7), 2017, DOI: 10.5281/zenodo.838573
- [5.1-23] Hiroshi Fukuda, Tatsuo Shimizu, Kazuhiro Toyoda and Mengü Cho, “ESD Experiment Results on Ground Using Experiment Model of HORYU-IV”, Journal of Spacecraft and Rockets, Published Online:5 Aug 2019<https://doi.org/10.2514/1.A34497>
- [5.1-24] D. Faizullin, K. Hiraki, M. Cho, “Estimating Sun Vector Based on Limited In-Orbit Data”, International Review of Aerospace Engineering (I.RE.AS.E), Vol. 12, N. 2, April 2019
- [5.1-25] A. R. Khan, N. Matsumoto, T. Sumida, R. Shibagaki, M. Iwata, K. Toyoda, M. Cho and S. Tomonari, “In-orbit Demonstration of Newly Developed Passive Electron-emitting Film for Spacecraft Charging Mitigation”, Journal of Spacecraft and Rockets, Vol.50, pp.853-859, 2013.
- [5.1-26] Yoke, Tatsuya; Iwai, Shunsuke; Khan, Arifur; Masui, Hirokazu; Iwata, Minoru; Toyoda, Kazuhiro; Cho, Mengü, “Development of Mission Payloads onboard High Voltage Technology Demonstration Satellite HORYU-II”, accepted for publication, IEEE Transaction on Plasma Science, Vol.41, No.12, 3477-3486, 2013

## 5.2 超小型衛星のミッションアシュアランスのための要件項目の抽出

今回調査対象とした衛星には、技術ミッション（通信の確立といった単なるバス機器の動作でなく、ミッションペイロードの動作を伴うもの）のうち少なくともミニマムサクセスを達成したものは多数ある。それらの衛星の成功要因、並びに成功に至らなかった衛星の失敗要因を分析した結果に基づいて、超小型衛星ミッションを成功させる上で必要な要件項目を抽出した。それらの要件項目を、プロジェクトマネジメント、衛星設計、試験の3つの観点に分類した上で以下に述べる。最後に、今回の調査で浮かび上がった今後の課題を述べる。

### <プロジェクトマネジメント>

#### プログラムとしての視点

個々の衛星プロジェクトではなく、一連のプログラムとして衛星バスやミッション機器の改善をはかっていく姿勢が重要である。そのためには、開発段階だけでなく、**運用段階で得られた教訓を次の衛星開発に活かす**努力をしなければならない。

衛星プログラムとして着実に成果をあげていくためには、得られた教訓、知見、ノウハウをどのような形で蓄積していくかを十分に考えなければならない。大学衛星の場合、個々の大学や教員の状況により、一概に正解があるわけではないが、教訓を文書で残すだけでなく、**肌で知った人間が残る**ことが望ましい。しかし、大学衛星では学生は卒業するので、それはほぼ不可能である。教員またはスタッフにその教訓を残さざるを得ない。スタッフの場合も、ポスドクなどの場合、雇用のための資金の継続的な確保、学内規則による任期、若手研究者としてのキャリア等の課題がある。教員に蓄積するには、教員がプログラムディレクターとして、各衛星プロジェクトに関与し続けることが必要である。

その他にも、**学生の間に集団で残していく方法**として、各世代の衛星プロジェクトをオーバーラップさせ、同時期に複数のプロジェクトが進行する中で先行プロジェクトの運用結果に基づいて、先輩が後輩に伝授する方法もある。ただし、この方法は自転車操業に陥る可能性があり、教員は、よほどの覚悟を決めて資金獲得等の努力をしないとイケない。

**持続可能な教訓の伝承体制**を、責任教員の直下に学生だけがいる体制で構築するのは、教員に多大な負担を強いることになるため難しいと思われる。ポスドクや助教が中間層となって支えていくことが望まれるが、それら**若手人材がアカデミックなキャリアを形成**できるような工夫が必要である。また、何回もの軌道上経験を経て技術が成熟したのちには、**設計やノウハウを企業等に移管**する、オープンソース化するなど、社会に還元する取り組みが望ましい。

企業においても、New Space の場合は、人の入れ替わりが激しい。そのため、**企業存続の手段としても文書化は必須**である。また、文書は残しつつも、集団知として各衛星プロジェクトの教訓をメンバーの中で共有化し、次のプロジェクトに活かすことが大事である。

### 運用を見据えたチーム体制

軌道上で開発時に見過ごしていた問題が発覚した場合、運用で回復するしかない。できることは限られているものの、衛星の設計を熟知していることにより、とりうる対策の幅は広がり、時には絶望的な状態から回復することもありうる。

開発開始から打ち上げまで3年以上を要すると、大学衛星の場合、運用時には衛星の設計に精通した学生やスタッフがいないということが起こり得る。専任スタッフを雇用する際には、開発完了まででスタッフの雇用期間を区切るのではなく、**運用も見据えた雇用期間**とすべきである。

### 周波数調整の入念な準備

衛星の開発が順調に進んでいたとしても、周波数調整の結果、基本設計の変更、ミッションの変更、衛星納入の遅れ、衛星ミッションの断念、衛星運用の制限などに追い込まれることがある。特に、アマチュア無線と非アマチュア無線の併用、一次割り当てでない周波数の使用等については、注意が必要である。国際周波数調整並びに無線免許申請は電波法と電波関係の専門知識を必要とするので、特定のメンバーに仕事が集中しがちである。プロマネを始めとする複数のメンバーが**周波数調整の進行状況を常にモニタ**しておく必要がある。周波数調整作業を外部コンサルタントに依頼することも厭わない姿勢をもつことが重要である。また、外部コンサルタントに依頼したとしても、プロジェクト側の人間が状況を常にモニタしておかなければいけないのは当然である。

### 学生のモチベーションの維持・向上

大学衛星プロジェクトは、たとえ専任のスタッフを雇ったとしても、学生の労働力なしには成り立たない。学生のプロジェクトへの参加は、学生個々に異なるモチベーションによって支えられている。その**モチベーションの維持・向上の責任は全て教員にある**ことを、教員は肝に命じるべきである。

研究室プロジェクトの場合、学生の卒論・修論・D論とリンクさせることができるが、そうでない場合は学生にプロジェクトに参加する意義を見出させる必要がある。特に少人数・短期集中開発は学生も精神的に追い込まれる。**ゴールの先に得られるものを学生が明確に意識**できるようにしなければならない。

サークル活動の場合、学生の出入りは基本的に自由であり、学部低学年であることも多く、教員と学生のつながりも研究室プロジェクトほどには太くない。普通の部活動と異なり、対外試合があるわけでもなく、コンテストのように数ヶ月先に明確なゴールが見えているわけでもない。教員側が積極的に関与する姿勢を見せ、学生の懸念を早期に拾い上げる努力をしなければ、学生間のつながりだけでモチベーションを維持するのは難しい。

学生のモチベーションを維持する上で、**打ち上げが決まっている**ことが何よりも重要で

あり、打ち上げの決まらない学生衛星プロジェクトは漂流することになる。ただし、打ち上げが決まれば、信頼性のある衛星を学生が作るわけではなく、教員が常に「打上げ日までに衛星を間に合わせるのが成功ではなく、打ち上げ後に予定していたミッションを実施できて初めて成功と言える」ということを言い続けることが必要である。**教員が「信頼性が大事」と言い続けなければ、学生はついてこない。**

また、衛星の開発期間があまりに長すぎると、学生は衛星プロジェクトの一部しか経験できず、モチベーションを持たせることが難しい。**開発から運用までの一連のプロセスをすべて体験できることがモチベーションにつながる。**そのためには、プロジェクト立ち上げから運用までを**3年以内に実施**することが望ましい。

### チームの力量の把握と身の丈にあったミッション

超小型衛星は少人数での迅速な開発が基本である。チームの構成員の知見やスキルが衛星の開発・運用に必要なすべての範囲をカバーしていることは、まずあり得ない。また、予算も限られている。ミッションを策定する場合には、そのような**制約条件を強く意識**すべきである。

大学衛星においては、時には衛星をすべて自分で作るのではなく、外注するところは外注するという割り切りが必要である。外注する予算がないから内製するという判断は、スケジュール遅延やミッションの失敗につながる。新規にスタッフを雇用して足りないタレントを外部から導入するという考えも、必要となる人材を確保できる保証はない。学生の成長に期待しすぎるのも危険である。用意できる予算と人員で実施可能な「**身の丈にあったミッション**」を策定すべきである。また、教育目的の衛星においては、新規開発の要素が多すぎるとプロジェクトが破綻する危険性があることに留意すべきである。

大学衛星において、**ハンドスキル**が必要とされる場所（ハーネス、太陽電池パネル、半田付け等々）を学生にさせるかどうかは、慎重に判断すべきである。ハンドスキルに優れた学生も中にはいるので、それらの学生を見出して作業をさせることも可能であるが、それらの人材を見極める自信がなければ、外注をするのが良い。大学における教育目的の衛星プロジェクトは、ハンドスキルを身につけるのが目的ではなく、**システム工学とプロジェクトマネジメントを実践で学ぶ**のが目的である。

### 自己の限界を認める

大学衛星は教員次第である。教員が背伸びをしても、学生がついてこれないことがある。また、**教員も神ではない**ので、全てを知っているわけではない。自分の足りないところを率直に認め、外部の助けを請う、自分の不得意なところで無理をしない、といったことが重要である。外部に助けを請う時は、経験者のコメントを真摯に受け止める姿勢が大事であるが、その前提としてコメントの良し悪しを判断できるだけの力量が必要であり、それらを身につける努力を怠るべきではない。



大学衛星では、P/I (Principal Investigator)である教員の判断が最優先されるが、重要事項の判断はP/Iの教員が一人で行うのではなく、複数の人間で話しあって、冷静に議論した上で決めるべきである。教員には、**他者の意見を受け入れる度量の広さ**が求められる。大学衛星で、学生・ポスドク・若手教員がプロマネをする場合、上席教員（通常はP/I）は状況を常に把握し、必要であれば外部に助けを乞う。学生やポスドクではなかなか外部とのチャンネルもなく、助けを得難い。そのため、**適切なチャンネルを外部との間に作るのも上席教員の役割**である。教員は学生やポスドクに丸投げすべきではない。

### 移動とコミュニケーションの効率化

超小型衛星においては、**ムダを省いた迅速な開発**が求められる。衛星プロジェクトにおいては、「**移動**」と「**待ち**」でムダが発生しやすい。そのムダを削減し、得られた余剰の時間を信頼性確保等の**衛星の価値を向上させる活動**に振り分けるべきである。同じキャンパスの中で開発する場合であっても、チームの所在地が分散している場合、ミーティングや組み立て・統合・試験作業のために一箇所に集まるだけでも、そのための移動時間は、衛星の価値を向上させないムダである。衛星運用においても、地上局までの移動時間はムダである。コロナ禍において遠隔作業やコミュニケーションは大きく進化したが、それでも対面で行う作業やコミュニケーションに対して効率は大きく劣る。開発現場に試験設備がない時は、試験実施場所までの衛星の輸送や人員の移動はムダな時間である。メールによるコミュニケーションは、返信が来るまでの時間は「待ち」であって、価値の向上に繋がらない。チーム全員が同じ部屋に滞在して、細々としたコミュニケーションは口頭で行うことで、時間が大きく節約される。記録として残すべき事項については、テキストメッセージ化するなどの使い分けをすべきである。移動とコミュニケーションを効率化するには、**居室、作業室、試験設備、地上局を同一建屋内に集約**することが望ましい。

### リスクマネジメント

システム全体を見渡せるのがプロマネ 1 人である体制は、そのプロマネに事故などがあつた時に非常なリスクを抱えている。システム全体に精通した人材を複数用意しておく。また、チーム内でも情報の共有を進めておく。1 人の人間に依存したプロジェクトマネジメントはすべきでない。そのためにも、平常時から**チーム全員が一つの部屋で過ごす**ような開発体制が望ましい。

また、逆にいうと、プロマネ 1 人でシステム全体を見渡せないようなシステムは超小型衛星とは言い難い。また、システムが複雑になればなるほど、超小型衛星開発の経験者（システムライフサイクルの全てを経験した者）がプロマネになるのが望ましい。

## **文書化作業を学生に任せるには工夫が必要**

文書化作業を好きな学生がいるとは期待しない方がよい。大学衛星における知識伝承は大きな課題であるが、学生にいくら「知識伝承は大事。文書で残せ」といっても、それで学生は動かない。プロジェクト関連の文書を残していく方法として、以下のようなオプションが考えられる。

### 1. 教員が行う

教員は普段から文書書きに追われており、まがりなりにも論文作成の経験はあるので、文書作りの素養は学生よりもはるかにある。教員が「これも仕事」と割り切って文書仕事に励む。ただ、この場合も教員の個々の性格に依存する。また、教員の職階があがるにつれて文書仕事に費やす時間がとれなくなることに留意すべきである。

### 2. スタッフを雇用する

スタッフを雇用する際に、明確に「文書作成」を仕事として、スタッフを雇用する。ただし、多くの衛星プロジェクトがポスドク等、「衛星を作りたい」若手研究人材を雇用しているので、「文書作成」だけを業務内容とした場合には、おそらく人は集まらない。衛星に関する専門知識が必要であり、事務担当者では難しい。結局、これも担当スタッフの性格による。

### 3. 文書化せざるを得ない環境にする

プロジェクト発足時に安全審査関連の文書作成を重要タスクの一つとして学生に割り振る。学生にタスクの重要性を理解させた上で、「この仕事の成否によって衛星が打ち上がるかどうかが決まる」といったモチベーションを与える。少なくとも、安全審査関連書類はこれにより文書化される。当然、学生が作成する安全審査関連書類のチェックは教員・スタッフがしないとイケない

### 4. 卒論・修論のテーマとする

理工系の学生にとって、卒業論文、修士論文は必須である。衛星プロジェクトにおいて、ある系やコンポーネントの開発または試験を卒論・修論のテーマとして実施すると、卒論・修論では否応無しにそれらのことを書かないとイケない。体系的な文書作成にはならないが、特定分野においては、非常に詳細な設計文書ができあがることになる。例えば、アンテナ展開機構を学生の卒論とした場合、学生は、アンテナの基礎から、どのようにしてテグスを結び、どのような試験条件でどれだけ試験をおこない、その成功率はいくらであったか、失敗したとしたらその要因等々、自分のやった事項について非常に詳細な記録を残すことになる。

## **EM から FM への移行**

EM 段階で衛星機能の完成と開発チームのスキルアップに、注力する。そのためには、機能的に FM と同等（太陽電池を除く全てのコンポが実装されている）の FM 予備機に相当するような EM を製作し、徹底的な試験を行う。実際の衛星システムをチームが触り、試験を

行うことにより、衛星を取り扱う作業の練度も確実にあがる（このことは未経験者が多数をしめる大学衛星では重要）。EM 段階でシステムとして**最低限のミッションが達成できる**ことを End-to-End 試験で確認し、FM 移行後に根幹の部分での戻りがないようにする。

EM 段階で確認されていない機能は、ミッション達成に絶対必要でない限り、FM に搭載しないという思い切りが必要。FM 移行後でも新たな不具合は当然起きるが、不具合への対処は、金銭的・時間的・精神的に高くつく。FM 移行時に発覚した不具合は、**ミッション達成にクリティカルでないものは切り捨て**、重要度の高いミッション項目に資源を集中させるなどの覚悟も必要。

このような判断をするためにも、ミッションが複数ある場合、どのミッションの優先度が高いか、「最低限達成しないといけないことは何か」をプロマネのみならずチーム全体で共有することが必要。

### ベンダー選択

コンポーネントの購入先として海外ベンダーを選択する場合は、納期・アフターサービス・インターフェース適合の観点から注意を払う。単純な価格だけで海外ベンダーを選択するプロジェクトはないと思われるが、他のコンポーネントとの間でインターフェース不適合の問題が発生した際のベンダーとの調整に多大な時間を要することを理解すべきである。ただし、国内ベンダーであっても、経験の浅いベンダーの場合は注意を要する。技術力があっても、納期に難のあるベンダーもある。ベンダー選択の際、**入手性、取り扱いの用意さ**（インターフェースのわかりやすさ）などに、より注意を払うべきである。それらは時に、サイズ・金額・機能を上回る価値をもつ。

特に新規開発要素のあるコンポーネントの場合、ベンダーとの間での作業項目のインターフェース境界をはっきりさせ、どこまでをベンダー側でやり、どこまでをシステム（衛星プロジェクト側）でやるのかを明確にしておくこと。衛星プロジェクトをプログラムとして捉え、バス機器については、できるだけ仕様を変えず、2号機・3号機はコンポーネントベンダー側での開発要素をなくし、同一品を納入してもらう体制が、納期短縮の観点から望ましい。

共同開発であったとしても、最終的にはベンダー側に設計やノウハウを移管し、ベンダー側が責任をもってコンポーネントを供給できる**持続可能なサプライチェーン体制**を構築することが望まれる。安定した製品品質を維持することを維持するには、長期的な付き合いが可能なベンダーを選択すべきである。

### 不具合管理

衛星の開発作業中には必ず不具合が発生する。それらの不具合への対処を怠らないよう、プロマネまたは担当者に不具合情報を集約し、抜けがないような取り組みが必要である。このような取り組みは衛星が複雑になればなるほど大事である。不具合管理表を採用して管

理していくことの有効性がいくつかの衛星で示されている。ただし、様々な不具合に対してミッション達成に対する影響に基づいて優先順位をつけ、リソースが分散しないような注意が必要である。

### **安全要求への適合性**

安全要求項目への適合性について、FM に移行する前に打ち上げ事業者と確認をとっておくべきである。FM 段階で安全要求不適合が発覚し設計見直しが必要になると、最悪の場合は打ち上げに間に合わずダミーマス搭載という事態になりうる。実際に、そのような事例が過去にいくつか起きている。そのためにも、よほど安全適合性に自信がない限りは、安全審査 Phase 0/1/2 と安全審査 Phase3 を切り分けるべきである。概念設計の段階で、安全適合性の課題を抽出すべきである。そのためには、外部の専門家に設計をレビューしてもらうことも一案である。安全審査においては、どのような方法で安全要求への適合性を検証するかが問われるが、最小限の-effortで検証できる手法を打ち上げ事業者との間で合意すべきである。過剰な約束をすると、あとで自らを苦しめることになりかねない。安全要求への適合性の検証は必ず実施しないといけないことではあるが、衛星の価値を高めるものではない。必要最小限の-effortにとどめ、**信頼性向上や機能向上など衛星の価値を高める別の作業にリソースを割り振るべきである。**

### 〈設計〉

#### **死なない衛星を心がける**

どのようなことがあっても**衛星全損の危険から抜け出すシステムとしての工夫**を設計に盛り込む。多くの大学衛星が、いわゆる「神 PIC<sup>1</sup>」を搭載し、衛星のパワーリセット機能を搭載している。また、バッテリーが枯渇しても再充電される工夫や低電圧時に確実にセーフモードに移行する仕組みを取り入れている。姿勢の喪失または太陽電池パドルの展開失敗に直面しても、最低限の動作を保證するだけの電力バジェットにすべきである。更に、体積的に余裕があれば通信回線を冗長にすることも考えられる。

ただし、これらの設計を行ったとしても、設計通りにシステムが全損の危険から抜け出せることを検証することが必須である。衛星がパワーリセットから立ち上がる時に、中途半端な状態でシステムが半死の状態に陥ることもある。軌道上での不具合状態を想定した試験を行い、衛星システムがパワーリセットから完全に立ち上がることを確かめるべきである。バッテリーの枯渇状態からの復活は、ソーラーアレイシミュレータを使うなどして、軌道上の発電状態を模擬して確かめるべきである。セーフモードへの移行も実機を用いて試験を行うべきである。電力バジェットについても、最悪の電力状態でのシステムの動作を確認する

---

<sup>1</sup> 放射線耐性の高さが軌道上で実証されている PIC16F877 を指す（表 5.1.2.1-7 (5/5) 参照）

べきである。通信系についても、冗長系の通信試験を怠るべきではない。

また、ミッションの一部に失敗したとしても、「死なない衛星」として軌道上の運用データを取り続けることが、次の衛星の設計に運用上の教訓を反映する上でも大事である。

### **衛星運用の経験に基づいた衛星設計**

衛星設計においては、どのようにミッションを実施するかをイメージし、過去の運用経験から得られた教訓を最大限盛り込んだ上で、「**運用しやすい衛星**」を心がけるべきである。例えば、ストアードコマンド（予約コマンド）機能は、日本上空以外の地球上の任意の箇所での衛星ミッションを可能にする。更に一連の動作をあらかじめ予約しておくことで、全動作項目の動作を一つずつアップリンクする必要がなくなる。また、ダウンリンクを別の地上局で実施することも可能になる（ただし、周波数調整時に注意が必要）ので、データ量の増加にもつながる。

アップリンクコマンドはシンプルなものとし、アップリンクの成功率を向上させるためにも、少ないバイト数でコマンドをアップする工夫をすべきである。また、コマンドの暗号化は、アップリンクの成功率を下げるだけなので、秘匿性の低い大学衛星においては得られる利益は少ない。

運用人員が減ってきても運用できるよう、地上局ソフトウェアが遠隔操作・自動運用に対応できるように設計することが望ましい。

### **衛星のミッション要求と設計の整合性**

衛星のミッション要求と設計に整合性がとれていなければならない。これは衛星の概念設計の際に、複数の人間で冷静に議論をして決定すべきである。外部の専門家・経験者に議論に加わってもらうのもよい。例えば、衛星のミッションが教育に主眼を置いていけば、「確実に動く衛星」を作ることにより、運用を経験させることが望まれる。そのような時に、研究開発要素の高いコンポーネント（例えば、全く新たな設計のアンテナ）を採用することは、ミッション要求に反することになる。設計要求は、上位のミッション要求に適合しなければいけないが、時に大学研究者の「色気」がでてきて、ついついシステム開発の基本を忘れがちである。そのような時は、別メンバーまたは外部からの指摘により、目を覚ます必要がある。

逆に、ミッション要求のレベルが高いのに、それにそぐわない設計を行う場合もある。最大通信容量を前提として通信回線を設計し、それに基づいてミッションが要求するデータをダウンリンク可能としがちであるが、実際の運用において最大通信容量がでる場合はほとんどない。このような場合も、概念設計の段階で外部からの指摘が役に立つ。



## 正常化バイアスとの戦い

人間は自分のよくわからないことに、「たぶん大丈夫」という正常化バイアスをしがちで、意味もなくその判断を正当化しがちである。衛星開発において、「多分\*\*」や「\*\*だろう」は禁物である。確固とした根拠に基づいた設計が必要である。特に、衛星の生死やミッションの成否を決めるクリティカルな設計項目では、自らが納得するまで設計根拠を理解する努力を怠るべきではない。わからない時にはいろいろな人からの意見を聞くべきであり、設計や検証の方針を定める際に経験者のコメントを真摯に受け止める工夫が必要である。わからないことを「わからない」と自覚することが大事である。

### <試験>

#### 全系組み立て後の End-to-End 長期運用試験

失敗した多くの衛星が、失敗要因として、環境試験の際に発生した不具合の対応に追われて、衛星納入前に FM の全系を統合した状態での End-to-End の長期運用試験を実施できなかったことをあげている。FM の End-to-End の長期運用試験には次のような側面がある。

##### 1. フライトソフトウェアのバグ出し

FM までにすでに EM でシステムとしての機能試験は行われているはずであるが、FM 以降後に付け加えられた細々としたソフトウェアアップデートを検証しなければならない。ハードウェアと直結した組み込みソフトウェアはプログラム用のシミュレータ PC の上で動いたとしても、実際のシステムで動く保証はない。衛星が軌道以上に放出された瞬間から定常状態に至り、初期運用で実施する全てのオペレーション、定常運用で実施する全てのオペレーションモードを試し、正常に機能することを確認しなければならない。また、定期的に行われるリセットの実施と復帰、非常時のリセットとそれからの復帰、セーフモードへの移行とそれからの回復等々、衛星が迎えるあらゆる局面を想定してソフトウェアが正常に機能することを確認しなければならない。ソフトウェアにバグはつきものであり、時間が経つにつれて、バグの発見頻度は小さくなるが、長期運用試験はすればするだけ、衛星の信頼度は向上する。ただし、ソフトウェアの書き換えは、それ自体が新たなバグをもたらす危険性を秘めている。納入前のある時点を過ぎたら、たとえバグが見つかったとしても、重要度によっては書き直さないという判断も必要である。

##### 2. 運用リハーサル

End-to-End 長期運用試験は、地上局の操作ソフトウェアを使ってなされるべきである。衛星とのやりとりは基本的にはアップリンク・ダウンリンク信号によってのみ行う。それにより、衛星から送られてくるハウスキーピングデータから衛星の状態を知る術を見につけ、ミッションデータの処理方法を習得する。更に、アップリンクコマンドに対する衛星の応答



を知ることができる。地上局操作ソフトウェアを使うことにより、**運用チームの練度を向上させる**ことができる。衛星が目に見えるうちに運用訓練を積むことで、見えない衛星と電波だけでやりとりする不安を解消させることができる。

### 3. 地上局-衛星間の通信の確認

End-to-End 長期運用試験において、衛星と地上局の間は、できるだけ電波信号でやりとりすべきである。もちろん免許の問題をクリアするか、そうでなければ電波暗室で実施するしかないが、実際に電波でやりとりすることにより、**通信回線計算を確認**することができる。超小型衛星の通信回線計算において、正確に知ることが難しいのは、衛星側のアンテナ-通信機間の損失と通信機のノイズフロアである。アンテナ-通信機間の損失はアンテナおよび周辺回路の製作と取り付けのハンドスキルに左右される。また、キューブサットの場合は各機器が隣接しており、通信機周辺のノイズ環境は複雑を極めている。特に、アップリンク信号は空間損失によって衛星到達時には極めて弱くなっており、上記の二つの要素はアップリンクの成功率を大きく左右する。通信回線が成り立つかどうかを試すには、FM の実機に対して強度のわかったアップリンク信号を空中電波によって送り、アップリンクの成功/不成功を測定するのが実際の環境に即している。さらに、実際の飛行状態ではドップラーシフトの影響が加わり、アップリンクの成功率は更に低下することを考慮すべきである。

#### **アップリンク通信試験**

FM を使った End-to-End 長期運用試験で衛星内のノイズによりアップリンクが通じないことがわかって手遅れである。そのため、EM の段階で**十分な通信マージンがアップリンク回線で成立**することを試験において確認すべきである。まず、通信機の EM が納入された時点で、その受信感度を理想的な状態で計測する。通信機をシールドボックスに入れ、外部から RF ケーブルにてシグナルジェネレータ等で駆動した信号を入力し、受信機がアップリンク信号をデコードできる最低の信号強度を測定する。この信号強度は受信機が自らが出すノイズフロアにおいてデコードできる信号強度の最低値を意味する。実際に通信機が衛星内で組み込まれ、アンテナを取り付けられた状態では、ノイズフロアが上がることはあっても下がることはない。またアンテナで受信することにより、様々な追加損失（ライン損失、偏波損失、ポインティング損失、反射損失等々）が発生する。これらを考慮すると、受信機単体がノイズフリーでケーブルを直結して計測した理想的な状態でかなりのマージンがなければ、通信は成立しない。キューブサットであれば、衛星全体をシールドボックスに入れて、他の機器によるノイズの影響を評価できるので、ぜひ実施すべきである。また、キューブサットよりも大きな衛星であっても、電波暗室であれば、アンテナ損失のいくつかの項目も加味した試験が実施可能である。これらの試験は、通信系の設計が要求を満たすかどうかを検証するために EM 段階で実施すべきである。

### End-to-End ミッション試験

EM 段階において、地上局との間での End-to-End 試験を実施して、最低限のミッションが達成できることを確認すべきである。この End-to-End 試験では、地上局からコマンドを衛星に送り、衛星の受信機でコマンドを受信して、それを C&DH 系に送り、C&DH 系からミッションペイロードにコマンドが送られ、ミッションを実施したあとにそのデータを送信機に送り、送信機から地上局にデータが転送され、地上局のコンピュータでミッションデータを可視化できることを確認する。例えば、地球撮影ミッションであれば、シャッターコマンドを地上局から送り、地上局で画像を確認できるところまでを指す。このように**ミッションの幹の部分**を先に完成させ、それが実施できることを試験により確認したのちに枝葉の作り込みにかかる。

### 展開試験

展開系を伴う多くの超小型衛星がミッション失敗に終わっている。多くのキューブサットがテグスでアンテナを保持する展開型の UHF/VHF アンテナを搭載しているが、大学発キューブサットの 1/4 程度が DoA (Dead on Arrival) に終わっている [5. 2-1] ことを考えると、このアンテナの展開に失敗している可能性も少なからずある。アンテナだけでなく、太陽電池パドルの展開に失敗している衛星も数あり、膜展開や親機・子機分離を伴う衛星も成功率は高くない。

これらを考えるに、**地上での展開試験が不足しているのではないかと**思われる。微小重力・真空という地上と異なる環境で可動部品を動作させるのは確かに難しいが、コンピュータシミュレーションが難しい分野であるがゆえに、EM や FM という**現物を用いた検証**が欠かせない。EM においては、あらゆる悪条件を想定した上での試験を繰り返すべきであるし、できるだけ軌道上環境に近づけた条件での試験を行うべきである。テグスをヒートカッターで切るタイプの展開アンテナは、衛星分離・放出直後でバッテリー容量が低下している状態且つヒートカッターが低温にさらされた状態でも展開可能であることを確かめるべきである。展開機構は、複雑になればなるほど多くの試験が必要であるが、試験のしやすさを考慮した設計、試験回数の上限に余裕をもたせた設計とすべきである。試験環境も、微小重力・真空環境に近づける努力を怠るべきではない。

### Test as you fly

**実際の飛行状態に近い条件で試験を実施**すべきである。システム試験を行う時には、実際の運用コマンドを送り、それに対する衛星からのデータを地上局ソフトで解析して、衛星の状態やミッションの成否を判断すべきである。飛行時には衛星には外部ケーブルがついていないので、システム試験においては、外部ケーブルは極力外すことが望ましい。ミッション機器については、真空環境において衛星システムに組み込まれた状態で機能する（単にスイ

ッチが入って模擬データを送るのではなく、実際に測定したりデータの中継したりする) ことを確認すべきである。

### **外部試験機関を使った試験では準備を入念に**

試験設備を全て自前で揃えている機関は限られており、外部機関での試験を余儀なくされるプロジェクトが多い。試験に関しての経験が乏しいプロジェクトの場合、**衛星設計や試験についての助言をできるだけ経験をもった試験機関を選ぶのが望ましい**。外部での試験は、決められた時間内に所定の試験を終わらせることが求められる。そのためには、事前に試験機関と試験仕様書なり試験計画書を使った打ち合わせが欠かせない。試験目的と試験条件を明確にし、どのような機材を持ち込む必要があるのか、試験機関から得られるサポートを、事前の遠隔会議などを通じて明確にしておくべきである。

### **試験結果の整合性を正しく評価**

試験結果の整合性を正しく評価する努力を怠るべきではない。よくない試験結果、気になる試験結果をそのままにしておくと、思わぬバグが潜んでいる可能性がある。事前に試験の Pass/Fail criteria を明確にしておくのは当然であるが、時に許容範囲ギリギリのどちらとも言い難い結果がでることがある。そのような時は、なぜノミナルの値からずれたのか、自分達で説明を試みるべきである。また、不可解な事象がランダムに起きる場合（熱真空試験等で多い）、気づき事項は必ず記録に残し、解明を試みるべきである。電波試験等においては、専門的な器材を用いることが多く、器材の操作を間違えて電波信号強度を読み誤ることなどもある。一人の人間に試験セットアップを丸投げすると、間違いに気づかずにいる危険がある。**試験計画書並びに試験報告書を複数で吟味する体制が望まれる**。

〈今後の課題〉

### **データ、ノウハウ、ソフトの共有**

超小型衛星のミッション成功のためには、それを支える衛星バスが確実に機能することが必須である。衛星バスの不具合によりミッションが達成できなかった例があまりにも多い。先進的ミッションを達成するためには、先進的バス技術が必要となるが、全てのバス機器を新規に開発し直す理由にはならない。軌道上実績を積み重ねた衛星バスについては、データ、ノウハウ、ソフトをコミュニティで共有して、「**枯れた技術**」を使うことが望まれる。「データ、ノウハウ、ソフトをコミュニティで共有する」というのは、「言うは易く行うは難し」である。情報共有プラットフォームを立ち上げるとしても、その維持には誰かが汗をかなければならず、その労をボランティアで賄えるかは不明である。ボランティアで賄えないとすれば、いかにその共有作業を**持続可能**にすべきか、良いアイデアが待たれる。

### 属人的な超小型衛星プログラムからの脱却

超小型衛星は少人数で開発されるが故に、その技術やノウハウは多分に属人的なものとなる。特定のチームメンバーが抜けるとプロジェクトが瓦解することもあり得る。また後継機を開発しようとしても、前プロジェクトのメンバーがぬけたがために技術が継承されず、一からやり直しという場合がある。そういった事態を防ぐためには、技術伝承を長期的な視野で捉える必要がある。企業に技術を残すのは一案であるが、企業側に何らかのメリットがなければ技術を維持するモチベーションがわからない。いかにして**企業側に技術維持のモチベーションを持たせる**かは、今後の課題である。

### JAXA と超小型衛星コミュニティの付き合い方

超小型衛星が実用の域に達した今、国家宇宙プログラムの一部を超小型衛星が担う時代も間近にきている。そのような時に JAXA と超小型衛星コミュニティ（大学だけでなく New Space も含む）がどのような連携関係をもっていくかが課題である。JAXA 自身が超小型衛星を作らない場合でも、超小型衛星コミュニティを外部専門家として助けることは可能である。特にプロジェクト発足時（概念設計段階）で、**専門家として設計全般のレビュー**をしてもらえれば、非常に助かる。このような枠組みを、どのようにして作ればよいか、お互いに知恵を出し合いたい。

### プロジェクトマネージャー

超小型衛星のプロジェクトマネジメントは個性があっても良い。衛星プロジェクト毎に事情も異なる。P/I の教員がリーダーシップをとる場合でも、現場のプロジェクトを切り盛りするプロジェクトマネージャーは別である場合が殆どである。プロマネの選び方もまた千差万別で、選び方におそらく正解はないが、プロマネの選定がプロジェクトの成否、即ちミッションの成否、に影響を与えることは確かである。**プロマネ選定にあたっての留意点**などは整理しておいた方がよい。これらについては、超小型衛星コミュニティで再度議論を試みたい。

### 持続可能な大学衛星プログラム

リスクを許容する超小型衛星においては、個々の衛星の成否ではなく、衛星プログラムとしてみていくことが大事である。しかし、大学において持続可能な大学衛星プログラムとするには多くの課題がある。

大学衛星の予算は、科研費や文科省委託事業など単発のプロジェクトに対して措置されるものがほとんどであり、プログラム化が保証されたものではない。1号機はどの大学も執行部からの財政支援をうけることができるが、2号機からは支援は大きく減る。責任教員が自転車操業的に資金集めに奔走することになるが、それでは持続可能とは言い難い。大学の

教育カリキュラムの一環として PBL (Project Based Learning) の一部として組み込むことはできるが、衛星製作費はなんとかなくても、打ち上げ費用までをカバーするのは、通常の大学では厳しい。またそのためには、研究室の枠を超えた活動が必要となり、逆に学生のモチベーションの維持・向上が課題となる。

持続可能な大学衛星プログラムとしていくためには、「教訓、知見、ノウハウ」の蓄積・継承だけでなく、人員の継続性（スタッフの雇用維持）、財政的裏付けなどの多くの面で課題があり、打開策を文科省などの関連機関も巻き込みながら大学衛星コミュニティで話しあっていきたい。

### **ミッション失敗の Root Cause**

今回の調査において、大学衛星を中心に成功事例・失敗事例を多く収集することができた。衛星納入前に長期間の End-to-End 試験をやればよかったというのは多くの失敗事例で教訓として語られている。やるべきだとわかっていたことがなぜできなかったのか、できるためにはどうすればよかったのか、その根本のところは今回の調査ではまだ十分に解明されていない。

また、衛星納入前にコンポーネント・サブシステム・システムで多くの不具合が見つまっているが、それら個々の不具合がどのように関連しあい、それらが軌道上でのミッションの失敗にどのように繋がったのか、あるいはミッションの失敗原因は地上で見つかった不具合とは別のところにあったのか、を明らかにすることも、**ミッション失敗の Root Cause** を明らかにする上で重要と思われる。幸いにして、今回の調査で多くの事例が集まったので、再度これらの事例を深掘りし、必要であれば再調査を行なって、**ミッション失敗の Root Cause** を究明する取り組みが必要と思われる。

### **【5.2章 参考文献】**

- [5.2-1] Michael Swartwout and Clay Jayne, “University-Class Spacecraft by the Numbers: Success, Failure, Debris. (But Mostly Success.)”, Small Satellite Conference, 2016  
<https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/2016/TS13Education/1/>

宇宙航空研究開発機構契約報告 JAXA-CR-21-002

JAXA Contract Report

超小型衛星ミッションサクセスのためのLessons & Learned事例分析

Lessons & Learned for Mission Success of Microsatellites

---

発行 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7-44-1

URL: <http://www.jaxa.jp/>

発行日 2022年1月24日

電子出版制作 松枝印刷株式会社

※本書の一部または全部を無断複写・転載・電子媒体等に加工することを禁じます。

Unauthorized copying, replication and storage digital media of the contents of this publication, text and images are strictly prohibited. All Rights Reserved.

---



