

## 6.3. 効率的衛星開発に向けた試験検証に関する 一考察

三菱電機株式会社 鎌倉製作所

世古 博巳 氏

## 効率的衛星開発に向けた試験検証に関する一考察

三菱電機(株)鎌倉製作所  
宇宙システム第二部 世古博巳

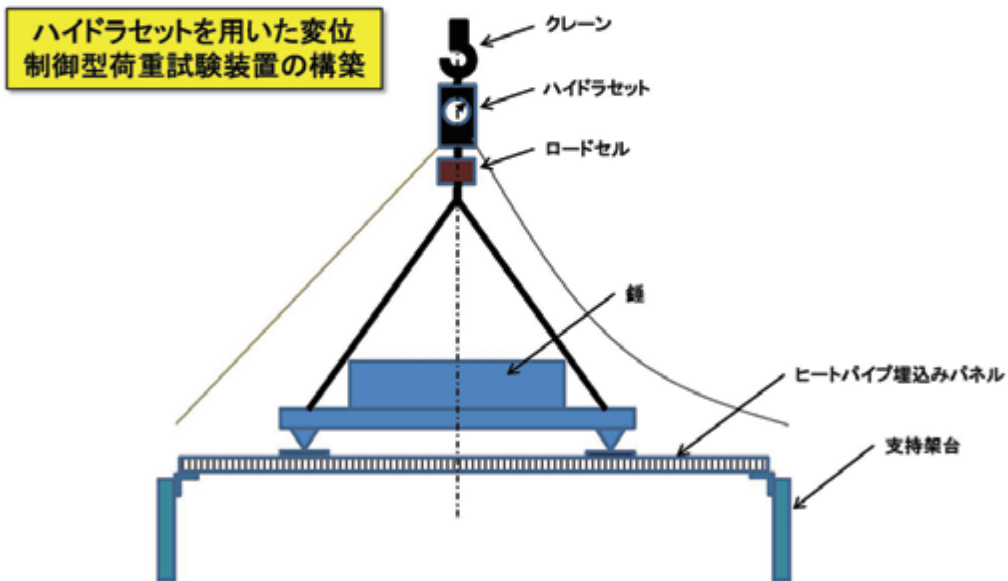
三菱電機株式会社

### 内 容

1. これまで実施してきた試験例の紹介
2. 衛星開発効率化に向けた試験検証法の提案
3. 積み残し技術課題
4. まとめ

1. これまで実施してきた試験例
  - 1) 部材・部分モデル荷重試験
  - 2) ヒートパイプパネル埋め込みパネルプルーフ荷重試験
  - 3) ハニカムサンドイッチパネルインサートプルーフ荷重試験
  - 4) 宇宙機(SFU)システムモールドルサーベイ
  - 5) セントラルシリンダ荷重試験
  - 6) 衛星スリングポイントプルーフ荷重試験

1. これまで実施してきた試験例
  - 1) ヒートパイプパネル埋め込みパネルプルーフ荷重試験





1. これまで実施してきた試験例の紹介

TD4-15-110



1. これまで実施してきた試験例

2) 部材・部分モデル荷重試験: センtralシリンダローコーン部破壊試験

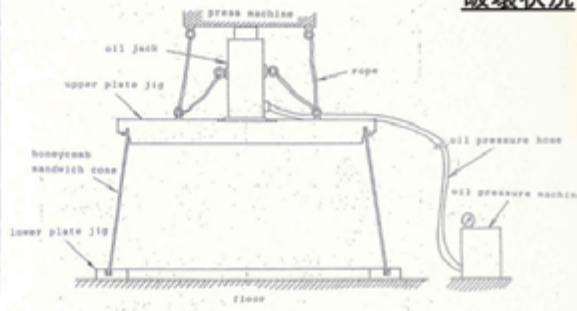
プレス加工機と油圧ジャッキを組合せた荷重制御型荷重試験装置の構築



試験セットアップ



破壊状況



©2015 Mitsubishi Electric Corporation

5



1. これまで実施してきた試験例の紹介

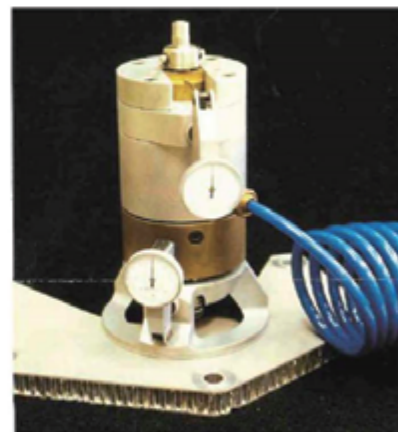
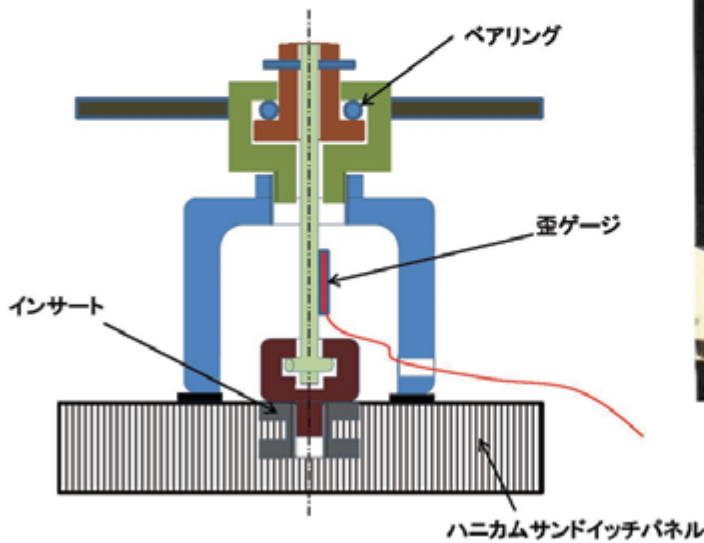
TD4-15-110



1. これまで実施してきた試験例

3) ハニカムサンドイッチパネルインサートプルーフ荷重試験

インサート引抜荷重試験装置を製作



市販のインサート荷重試験装置 (参考)

©2015 Mitsubishi Electric Corporation

6

1. これまで実施してきた試験例  
4) 宇宙機(SFU)システムモデルサーベイ

46<sup>th</sup> International Astronautical Congress (IAC)  
"Modal Tests and Dynamic Mathematical Model  
Verification of Space Flyer Unit (SFU)" より抜粋

支持治具を直接コンクリート床に  
アンカーで固定した剛境界条件の実現

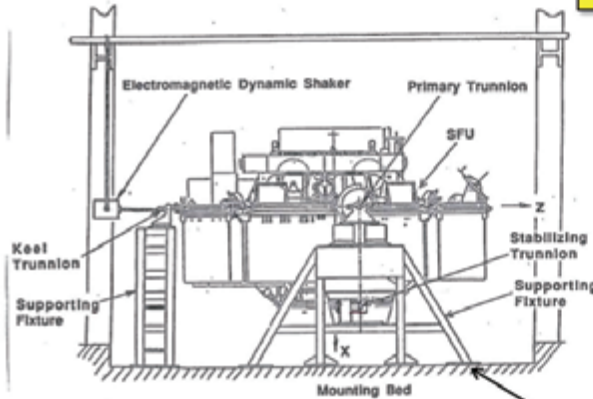
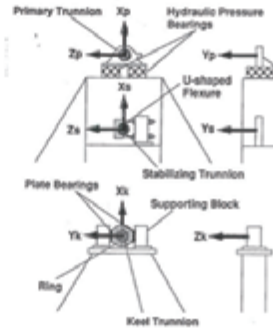


Fig. 4 Modal Survey Test Configuration



Primary Trunnion		
Direction	STS Interface Condition	Test Fixture Stiffness (N/mm)
Zp	Constraint	$3.54 \times 10^7$
Yp	Free	$1.06 \times 10^7$
Xp	Constraint	$2.52 \times 10^7$

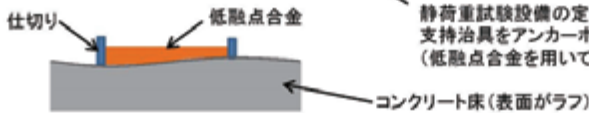
  

Stabilizing Trunnion		
Direction	STS Interface Condition	Test Fixture Stiffness (N/mm)
Xs	Free	25
Ys	Free	2
Zs	Constraint	$5.0 \times 10^7$

Keel Trunnion		
Direction	STS Interface Condition	Test Fixture Stiffness (N/mm)
Xk	Free	Free
Yk	Constraint	$3.28 \times 10^7$
Zk	Free	Free

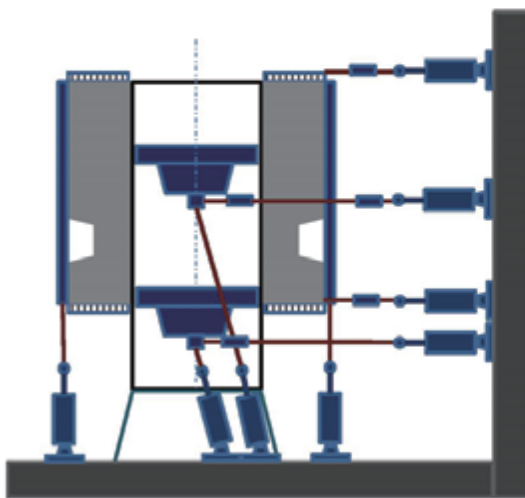
Fig. 5 Test Fixture Stiffness



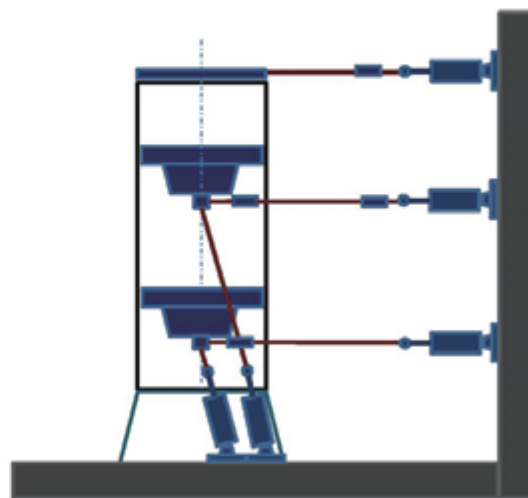
静荷重試験設備の定盤を撤去し、コンクリート床に  
支持治具をアンカーボルトにて固定  
(低融点合金を用いてコンクリート床の凹凸を矯正)

1. これまで実施してきた試験例  
5) 構体主要荷重経路荷重試験

フライトに供する主構造体の  
ブルーフ荷重試験



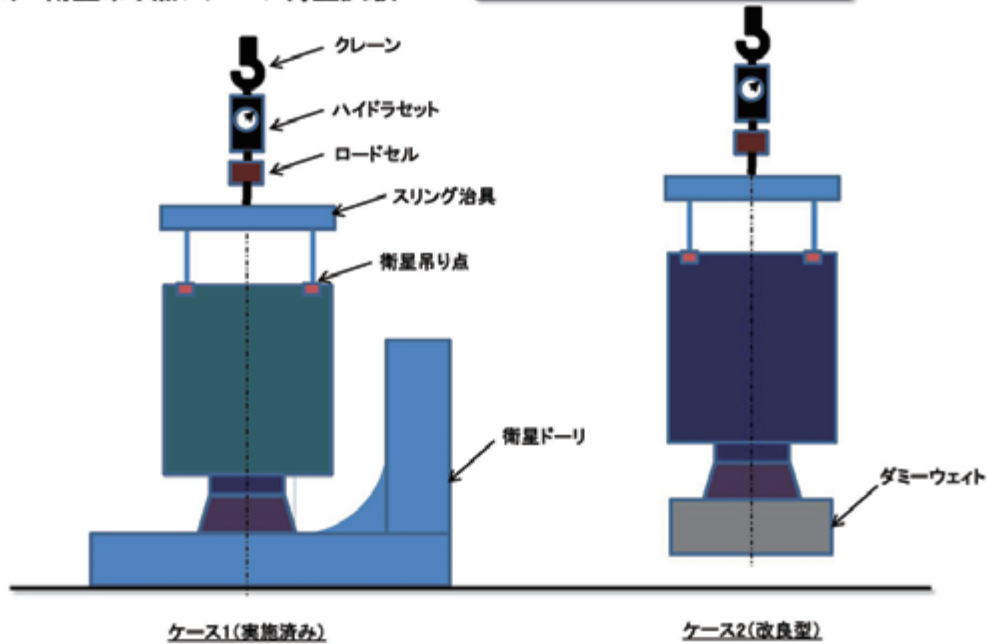
構体系主要荷重経路荷重試験



セントラルシリンダ荷重試験

1. これまで実施してきた試験例  
6) 衛星吊り点プルーフ荷重試験

衛星システムの吊り荷重に対するプルーフ荷重試験



2. 衛星開発効率化に向けた試験検証法の提案

- ◆キーワード
- A) 費用を掛けずに
  - B) フットワーク軽く、リターンを早く
  - C) 必要なことは全てきっちり
  - D) 効率・付加価値を上げる

- ◆効率化に向けた対策案
- 1) 開発試験の効率化
  - 2) PFMによる設計検証
  - 3) 射場安全要求検証試験
  - 4) 新規試験技術の導入
  - 5) 古い試験技術の活用



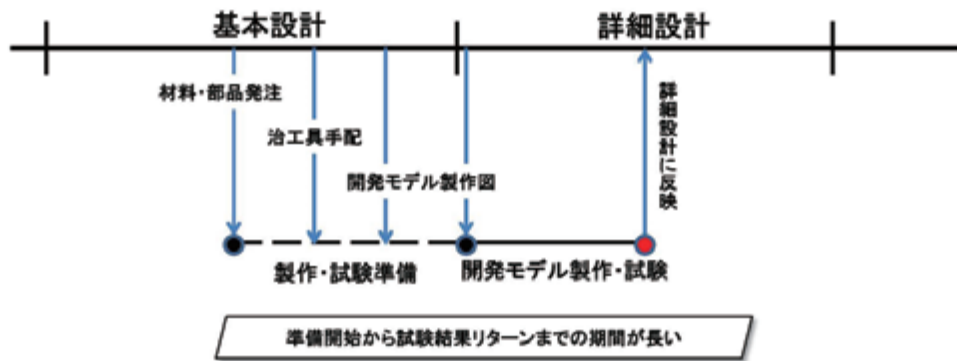
2. 衛星開発効率化に向けた試験検証法の提案

1) 開発試験の効率化

■開発試験の問題点

開発試験は基本設計に基づいて開発モデル製作を行い、試験による検証を行って設計検証を行うとともに、設計に有用なデータ取得を行って詳細設計にフィードバックすることを目的として実施される。

実際には、開発期間の制約から、基本設計作業と並行して、開発モデル製作図作成、材料・部品の発注、製作・試験治具の手配を行わなければならない、開発モデル製作が目的化してしまい、設計作業の深化が不十分となり、主客転倒してしまうことが懸念される。



2. 衛星開発効率化に向けた試験検証法の提案

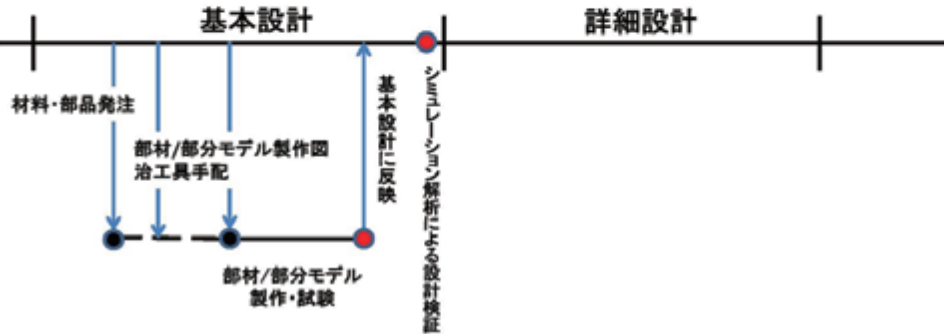
1) 開発試験の効率化(続き)

■効率化に向けた基本的な考え方

- ・試験は検証方法の一つであり、他の検証方法との組合せにより合理的な検証計画を構築する。
- ・設計の精度向上に資するデータの取得を行う。
- ・設計検証をタイムリーに(基本設計終了前が理想的)行う。

■開発試験の理想形

- ・設計の精度向上に資するデータの取得を部材あるいは部分モデル試験を行う。
- ・ハードウェアを忠実に表現できる解析モデルを作成し、試験で取得されたデータを解析に反映して、精度を高め、試験に代わる机上のシミュレーションを行い、細部に渡る検証を行う。
- ・組立性(組立手順、寸法精度の妥当性、治工具とのフィットチェック)については、3D CADを活用して、机上検証を行う。



2. 衛星開発効率化に向けた試験検証法の提案

2) PFMによる試験検証:

PFMは認定試験に相当するものであり、基本的にPFMを用いて設計検証されるが、構体系の静荷重試験については一般的に開発モデル(STM)を用いて設計検証が行われている。このため、構体系の「認定」行為の位置づけが曖昧である。PFMを用いて静荷重試験を行うのが望ましいと考えるが、フライトモデルに荷重負荷を行うため、下記配慮が必要。

- 構体系全体コンフィギュレーションへの荷重負荷が困難と思われるため、試験検証が必須となる部分を特定し、振動試験や解析等の他の検証方法と組合せた整合性を図る
- 荷重負荷インタフェースを予め考慮しておく
- 部分的にリファーマッシュを行うことを計画しておく

3) 射場安全要求検証試験:

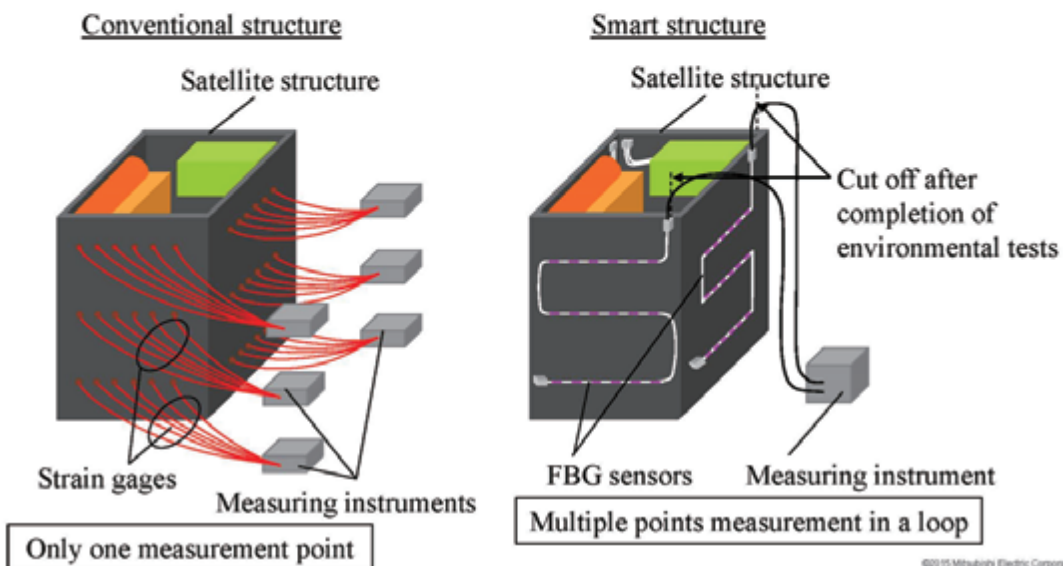
射場作業時の安全性を保証することは必須要求であるが、試験計画の中では明記されないことが多く、抜けが無いよう要求を明確に規定し、確実に実施する必要がある。  
試験はフライトモデルのプルーフ荷重試験として実施されることが基本であるため、フライトモデルに荷重負荷を行うインタフェースを予め考慮しておく必要がある。

2. 衛星開発効率化に向けた試験検証法の提案

4) 新規試験技術の導入: 光ファイバセンサによる歪・温度計測

- Features of FBG: thin, lightweight, multi-point sensor, immune to EMI
- Advantage of smart structure: labor cost reduction, shortening of the term of works

29<sup>th</sup> Aerospace Testing Seminar  
"Development of Smart Structure for Spacecraft by using FBG Sensors" より抜粋







2. 衛星開発効率化に向けた試験検証法の提案

TD4-15-110

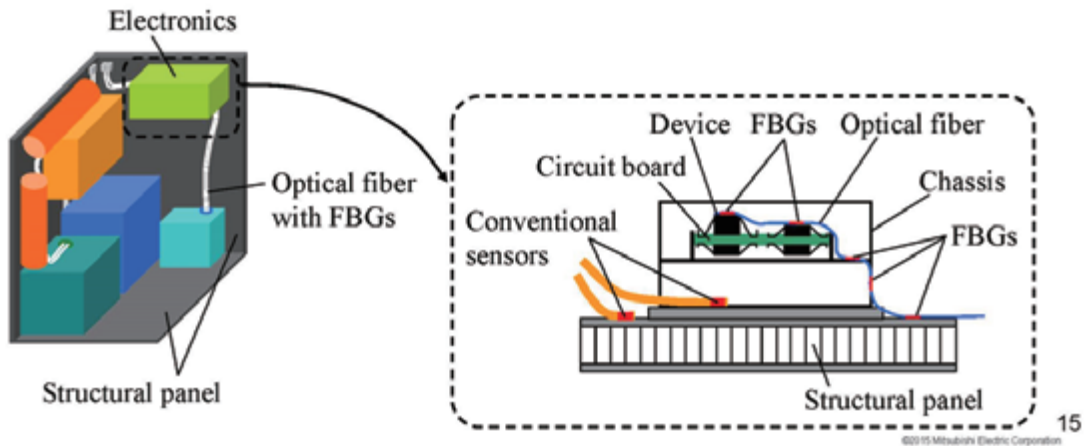


4) 新規試験技術の導入:光ファイバセンサによる歪・温度計測

29th Aerospace Testing Seminar  
"Development of Smart Structure for  
Spacecraft by using FBG Sensors" より抜粋

- Advantage of smart structure :
  - temperature measurement of internal parts and narrow spot
  - accurate temperature measurement at many points(immune to EMI, thermal leak, thermal block)
- ⇒better correlations between analysis and test
- ⇒reduction of excessive margin of thermal and structure design

Temperature measurement of electronics in smart structure



©2015 Mitsubishi Electric Corporation



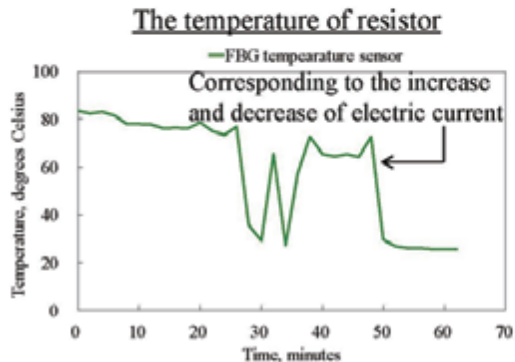
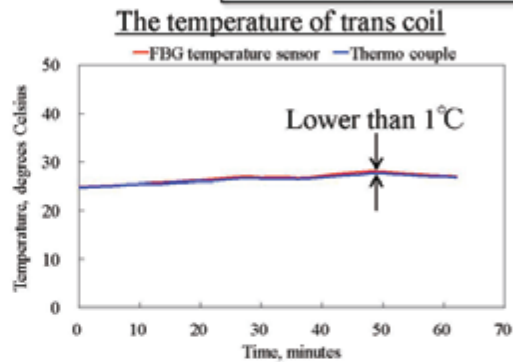
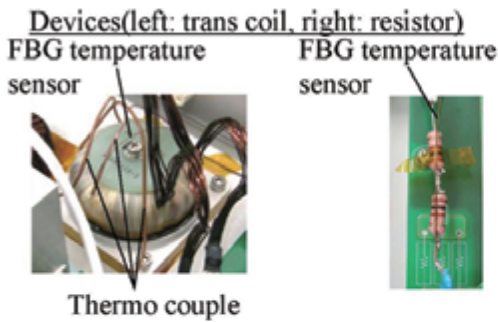
2. 衛星開発効率化に向けた試験検証法の提案

TD4-15-110



4) 新規試験技術の導入:光ファイバセンサによる歪・温度計測

29th Aerospace Testing Seminar  
"Development of Smart Structure for  
Spacecraft by using FBG Sensors" より抜粋



- FBG temperature sensors were installed in devices of electronics
- FBG temperature sensors were able to measure the temperature of devices accurately

©2015 Mitsubishi Electric Corporation


## 2. 衛星開発効率化に向けた試験検証法の提案

## 5) 古い試験技術の活用


**最新の技術が整備されていなかった時代の創意工夫・  
知恵を掘り起こして活用することも重要！**

## 3. 積み残し技術課題


## 1) 衝撃環境予測：

 開発試験レスに向けた環境整備

## 2) 高周波帯域(音響、衝撃)環境下での搭載機器耐性評価：

 スペックオーバーした場合の定量的評価による品質信頼性向上

## 3) 光ファイバセンサによる歪ベースの機械環境評価：

 歪ベースの直接的強度評価とFBGセンサを用いたセンサ実装性向上による試験工期短縮化

- 過去に実施した試験例に於ける工夫点等について紹介させて頂いた。
- 特に開発試験の成果を最大化するための効率的実施案を示させて頂いた。
- 現在取り組んでいるFBGセンサを用いた試験の効率化案について紹介させて頂いた。
- 今後解決すべきと考えている試験技術課題を提示させて頂いた。
- 試験の効率化の参考になれば幸甚です。

# 温故知新

ご静聴有難うございました。



## 質疑応答

### 質問者① JAXA 山本理事

光ファイバを使った技術について非常に興味深いと考えている。もし分かれば、この技術の研究、実用レベルの世界的な動向について教えて頂きたい。

### 発表者

ESA でも研究を行っており、実際の衛星プロジェクトにて宇宙に打ち上げてデータを取得した事例があると聞いているが、その後の最新動向については把握していない。今年の10月に Aerospace Corporation にて発表した際も、興味深く質問頂いた為、注目すべき技術だと考えている。

### 質問者② JAXA 環境試験技術ユニット 河崎様

ダミーウェイトを用いた衛星吊り点プルーフ荷重試験のコンフィギュレーションについて、スリングの治具とロードセルの関係で供試体が振れてしまうことはないのか。

### 発表者

実際に衛星を吊り上げるコンフィギュレーションなので振れは発生しないと考えている。スリングが天秤のようになっており、吊り上げる時に重心が通るように天秤の位置を調整し、傾かないような治具を使うようにしている。