

P-165 はやぶさ2 再突入カプセルの開発

○吉原圭介, 山田哲哉, 山田和彦, 下田孝幸(JAXA)

概要

はやぶさ2の再突入カプセルは、開発スケジュールおよびコストに係わる厳しい制約のもと、初号機に対してシステムとしての信頼性を向上させるため、初号機帰還カプセルの分析(アブレータ, パラシュート)および、はやぶさ2の新たな設計条件(環境条件、設計基準、安全要求等)の適用評価を詳細に行った上で、

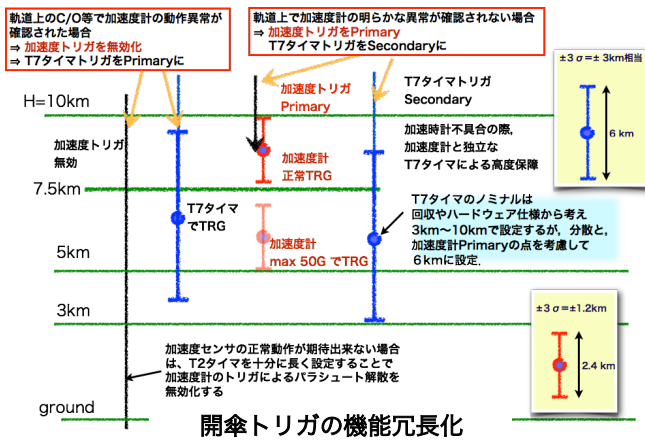
- 1) 基本となる機体設計(空力形状、主構造等)は初号機の設計を踏襲
- 2) ヒートシールド材料の再評価、
- 3) 搭載機器使用部品の信頼性向上
- 4) パラシュート開傘トリガの機能冗長化
- 5) 地上検証試験の充実

などの方針により開発を行った。また、工学データ取得を目的として再突入中の環境および機体運動の計測を行う機能を新たに追加搭載した。本発表では以上に述べたアプローチを踏まえたはやぶさ2 CPSLの開発結果を報告する。

信頼性向上へのアプローチ

はやぶさ2の至上命題である信頼性の向上のため、新たに規定された設計標準等への適合性評価や帰還カプセル ヒートシールドのpost flight analysisの結果を含めてCPSL全系の設計の再確認を行った。その上で、技術リスクや重量や形状といった物理的な制約や開発期間やコストなどのマネジメント上の制約も考慮し、設計上の改良を施す項目を選定した。改良点の例を以下に示す。

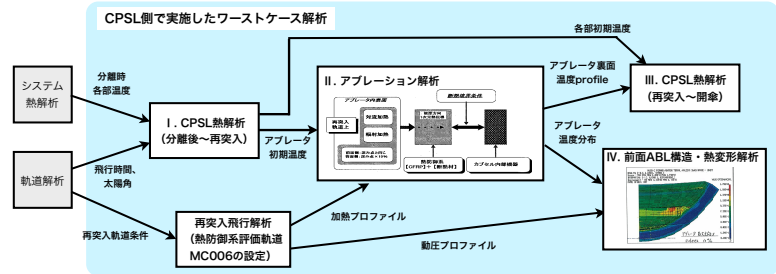
- CPSL搭載機器の使用部品の高信頼性部品への置き換え。一般部品の使用が必要な場合には、十分なロット品質確認試験・スクリーニング試験等の実施。(加速度センサについては、上記に加えて複合環境での特性試験も実施)
- パラシュート開傘トリガの機能冗長化(加速度センサによるトリガ + 独立したタイマによるトリガ: 下図参照)
- SCIにおける開発中の不具合を踏まえた分離プーラの燃焼ガス漏洩防止処置



地上検証(解析・試験)の充実

◆再突入運用ワーストケース解析

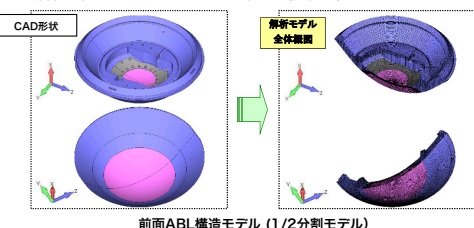
再突入中に高温に晒されるヒートシールドの損耗や温度上昇を評価するためのアブレーション解析に加え、ヒートシールド内の温度勾配に起因する熱変形や、再突入中に受ける圧力(動圧)に対するヒートシールドの強度評価、カプセル内部の重要部位(サンプルを収納するエリアや制御回路)の温度上昇について、より緻密な検討を行い、安全に再突入が可能な軌道(経路)の範囲を明確にした。



総加熱量ワーストケース軌道におけるヒートシールド構造解析

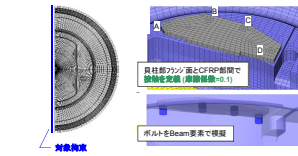
■ 解析モデル

材料特性は試験での実測値ベース(強度は試験データ平均-3σ値)
接着材は高温で強度を持たない(剛性小)



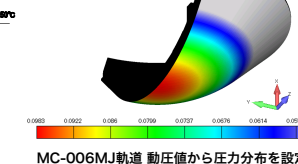
■ 拘束条件

全体の剛体運動を抑制し、具柱部の拘束が厳しめとなるような設定とした。
・対象境界面: 対象拘束(並進Y, 回転X,Z)
・具柱部: 具柱フランジを完全拘束
・具柱フランジとCFRP間の接触を定義し、ボルトをBeam要素で模擬

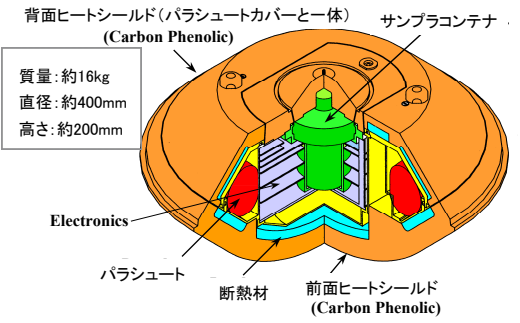
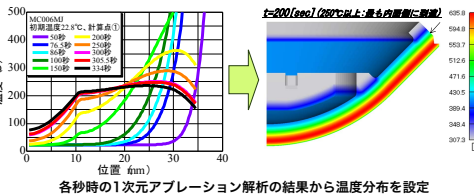


■ 圧力条件

t = 86[sec] 動圧最大時の例



■ 温度条件



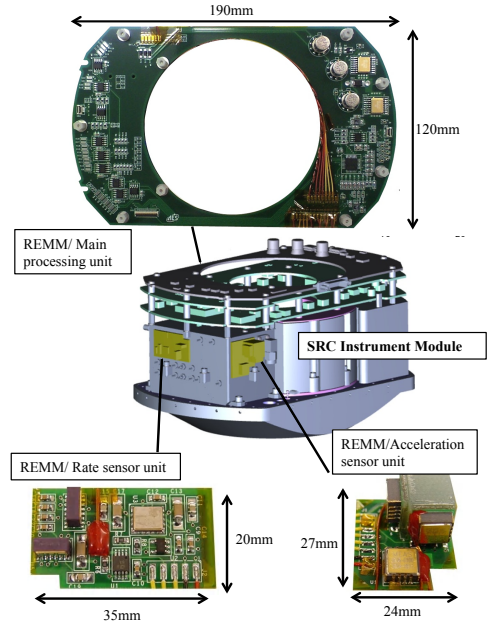
はやぶさ2 CPSLの構成

新機能の追加(再突入飛行計測モジュール: REMM)

再突入の加熱環境やそれに対するヒートシールド設計、希薄流~低亜音速域の広い領域での空力安定性を有する機体設計の妥当性を評価するため、はやぶさ2 CPSLでは、再突入中の各部の温度ならびに機体運動を計測するための機能を追加した。REMM(Reentry flight Environment Measurement Module: 再突入飛行計測モジュール)はこのために新たに開発された。厳しい質量制約のもと、約70g(一次電池除く)に必要な機能を詰め込んでいる。

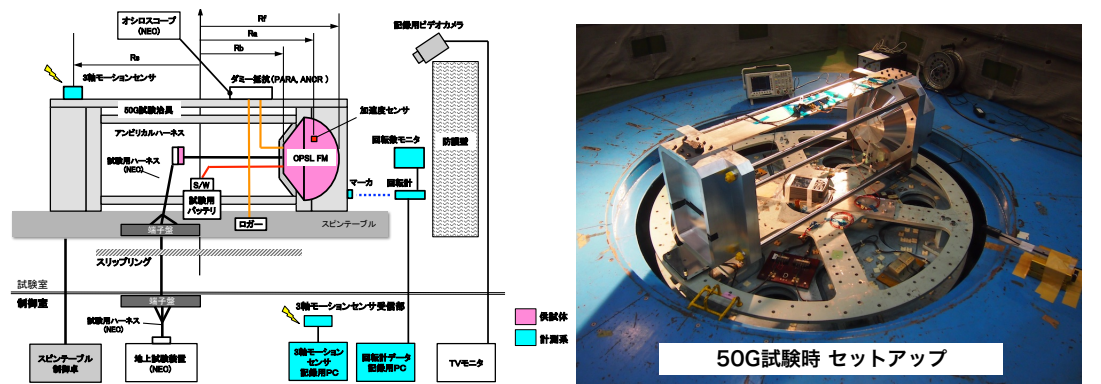
REMM主要仕様

Acceleration	Range	-50 to +50 G (3axis)
	Sample rate	125 Hz
	Meas. error	Random < 0.1 G (1sigma) Bias < 0.25 G Nonlinearity < 1%
Angular rate	Range	-200 deg/s to +200deg/s (3axis)
	Sample rate	125Hz
	Meas. error	Random < 0.1 deg/s (1sigma) Bias < 1 deg/s Nonlinearity < 0.5%
Temperature	Channel number	13ch (9ch for SRC, 4ch for REMM internal use)
	Range	-50 to +600 degC
	Sample rate	1 Hz
	Meas. error	+/- 5degC (-50 to +400degC) +/- 10degC (+400 to +600 degC)
Measurement duration		420 sec
Data storage		Flash Memory 8 Mbit x 2 (redundancy)
Power supply		Primary cell used separately from the power source for SRC bus electronics.



◆ CPSL FMを用いた50G試験

CPSLの総合的な機能性能試験の一環として、加速度センサによるパラシュート開傘トリガ機能を含むシーケンス動作の全体の確認を行うことを目的とした50G試験を実施した。構造機能試験棟のスピンテーブルを用いて、機体に印加される加速度(減速)環境下において、CPSLの構造体に問題が無いこと、および、搭載機器が健全に動作することを確認した。



◆ CPSL分離試験

CPSLの分離特性(分離による姿勢擾乱)をより詳細に把握するため、分離接手および分離スプリングを用いた分離試験を実施し、分離機構の健全性および姿勢擾乱に対する要求を満足することを確認した。

接手分離試験

- マルマンバンド挙動(解放後の2度打ち)と姿勢擾乱への影響評価
- 火工品発火による、サンブラシル部への衝撃入力の評価

分離スプリング特性試験

- CPSL重心ずれや、分離スプリング/CPSL本体I/F部の摩擦特性の変化に対する分離特性の感度評価
- 上記を含めたスプリング特性の総合評価

