

# ソーラー電力セイルによる木星圏サンプルリターン計画にむけた超高速再突入カプセルの研究開発

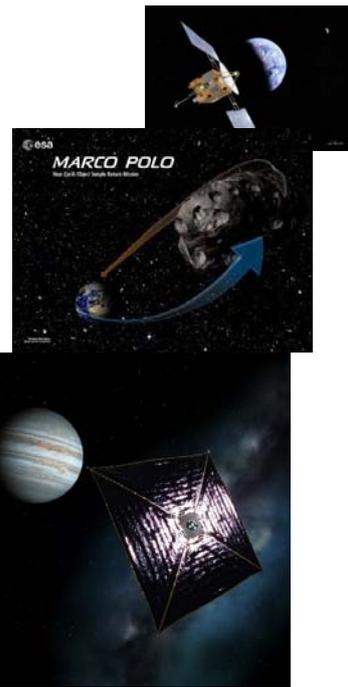
山田和彦、山田哲哉、下田孝幸、安部隆士 (JAXA/ISAS)、藤田和央、鈴木俊之、高柳大樹 (JAXA/ARD)

## 研究背景

「はやぶさ」のサンプルリターンの成功をうけて、惑星探査において、サンプルリターンミッション要求が高まっている。さらには、ソーラー電力セイルによるトロヤ群からのサンプルリターン計画をはじめとして、はやぶさが往復した小惑星(火星圏)より遠い惑星からのサンプルリターン計画も多く提案されている。

木星圏のような深宇宙からのサンプルリターンを実現するためには、「はやぶさ」よりも**超高速(～15km/s)で大気圏に突入する再突入カプセルが必須**となる。

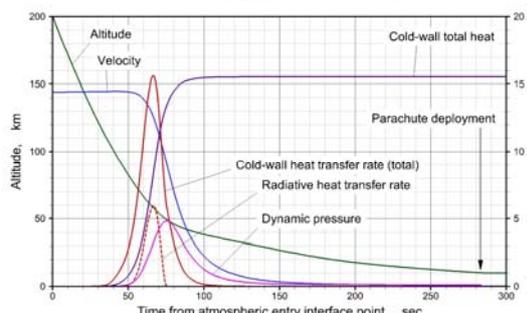
「はやぶさ」で得たヘリテージを最大限に生かしつつ、次世代の惑星探査を支えるため、超高速再突入カプセルの設計を一つの目標としてより高性能な次世代の再突入カプセルの開発を進める。



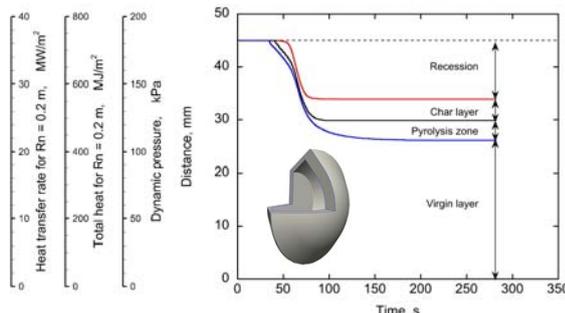
## はやぶさヘリテージの範囲内でのカプセル設計

### 1) はやぶさカプセルと同形状、同重量、同サイズで超高速(速度:14.5km/s、経路角11.4deg)で再突入した場合

＜再突入軌道と空力加熱環境履歴＞



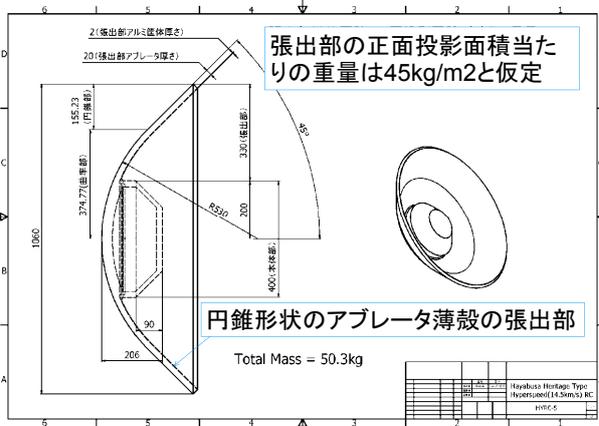
＜アブレータ解析の一例＞



**最大加熱率は30MW/m<sup>2</sup>超、総加熱量は600MJ/m<sup>2</sup>超と、はやぶさカプセルの2倍以上**の厳しい加熱を経験する。それに伴い、**アブレータのリセション量は10mm以上になり、はやぶさカプセルに比べ桁大きくなる**ことが示唆された。計算上、アブレータの厚さ、重量が大幅に増大し、ペイロード重量、体積を圧迫する。さらに、この領域は、はやぶさアブレータは性能が確認されていない→**現状、単にアブレータ厚さを増すだけというのは、設計解とできない。**

### 2) はやぶさカプセルと同じ空力加熱環境(最大加熱率、総加熱量)になるように、カプセルのサイズを決めた場合

はやぶさカプセルで使用したアブレータがそのまま使えるように、張出部を付加することで弾道係数を下げて空力加熱環境を緩和する設計を検討。



再突入速度: 14.5km/s  
突入経路角: 11.3deg  
(↑高度200kmにて)  
カプセル外形: はやぶさ相似形  
カプセル本体重量: 16.3kg  
カプセル本体直径: 40cm  
(↑はやぶさ1と同等)  
**張出部直径: 106cm**  
張出部重量: 34kg  
張出部アブレータ厚さ: 20mm  
最大空力加熱: 15MW/m<sup>2</sup>  
(対流8.5MW/m<sup>2</sup>)  
(輻射6.5MW/m<sup>2</sup>)  
総加熱量: 273MJ/m<sup>2</sup>  
**総重量: 50.3kg**

**直径106cm、重量50.3kgのリソースがあれば、(熱空力的設計に関しては)はやぶさアブレータを使って、14.5km/sの再突入速度に耐えうるカプセルの設計が可能。**

**この設計は極めて保守的なベースラインを示している。**  
この設計を最低ラインとし、予測手法の改善(輻射加熱予測、背面、肩部の加熱分布予測)による設計精度の向上や高性能アブレータ(軽量、耐高空力加熱)の開発に取り組み、次世代の再突入カプセルのかたちを模索する。

厳しい環境のカプセルの設計を想定することにより、再突入熱空力技術全体のレベルを押し上げることを目指す。  
\* アブレータ自体の開発→アブレーション現象の理解  
\* 超高速環境での空力加熱予測→高速流体现象の理解  
\* 高速&高加熱環境の評価→地上試験装置の高性能化

## 次世代アブレータの研究開発

アブレータの性能(重量、許容加熱率)はカプセル全体の性能に直結。

### 1) アブレータ自体の軽量化

耐熱性能はおとさず、アブレータの軽量化をめざす。  
→新しいアブレータの製作手法を検討  
→高性能な断熱材等と組み合わせた多層構造化

### 2) 高空力加熱環境へ適用

高空力加熱環境でのアブレータの挙動の理解が必要であるが、**国内には、はやぶさ以上の加熱環境を実現する地上装置が存在せず、耐熱材料の高空力加熱環境での性能評価ができない。これがカプセル設計の大きな制約となっている。**

\* 国外設備の利用(例えば、NASA/AMESのアーク風洞)

\* レーザー加熱装置の利用

→近年、高出力の半導体レーザーが比較的容易に利用可能  
→加熱形態が違うので、結果の評価手法を確立する必要がある  
→既存アーク風洞との組み合わせることができないか?

JAXA調布5kW半導体レーザーを使ったアブレータ加熱の予備試験を実施



## 超高速流での空力加熱予測、流体现象の理解

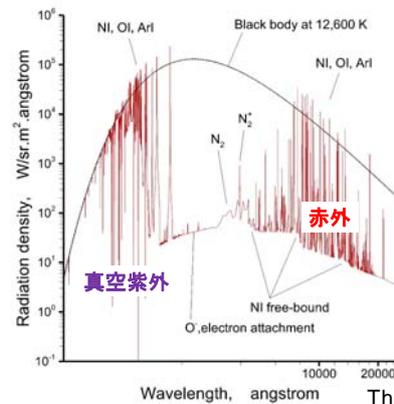
加熱予測モデルの確認が必要。秒速15kmは実験的には未踏な領域。

1) 超高速(～15km/s)では輻射による加熱、熱輸送が重要な要素  
→実験的に輻射モデルの正しさの検証が必要(特に真空紫外域)。  
→実験からフィードバックした輻射モデルの検証、修正。

2) カプセル背面や肩部の正確な加熱率予測(対流&輻射)も重要な課題

現状の輻射解析モデル(SPRADIAN)による高速再突入時のスペクトル(赤外域、真空紫外域が主要)

衝撃波の高速化を並行して進めている JAXA調布と相模原の衝撃波管装置



JAXA相模原の衝撃波管 →現状13.5km/sまで到達