

双曲線形状を用いた大気圏再突入カプセルの空力特性に関する研究

辻 本 凌 我

Ryoga TSUJIMOTO

機械システム工学専攻修士課程 1年

1. はじめに

はやぶさ再突入カプセルが2010年6月と2020年12月に遠方の惑星からサンプルを地球に持ち帰ったことはよく知られています。再突入カプセルは、サンプルを激しい空力加熱から保護するように設計されています。これは、再突入カプセルの形状を設計する上で最も重要な問題の一つです。

はやぶさ再突入カプセルは、45°の鈍角ノーズコーンをベースに設計されています。このカプセルの前面部の輪郭は、弧と傾斜線の組み合わせによって決定されます。このタイプの形状は、双曲線で近似することができます。双曲線は弧（ノーズエリア）と傾斜線（コーンエリア）をスムーズに繋ぐことができ、ノーズの鈍角とコーンの半角も簡単に変更できます。参考文献1では双曲線形状を用いることで圧力分布が大きく変化することが観察されました。はやぶさ再突入カプセルの場合、鈍頭部と円錐部の接続部で、局所的な最小圧力が観察されました。一方、双曲線形状の場合、圧力は淀み点で最大であり、縁部にかけて単調に減少します¹⁾。

しかし、これらの傾向はCFDの結果でのみ観察され、実験的には確認されていません。本研究では、ISASの超音速風洞を用いて双曲線形状の有効性を確認する超音速風洞実験を行いました。実験ではカプセルの表面圧を測定しました。

2. 超音速風洞実験

2.1 双曲線形状を用いた再突入カプセルの設計

本研究では、双曲線の漸近線の傾きを制御するため、パラメータ b を持つ式 (1) を選択しました。図1は b を 0.70 から 0.85 に変化した場合の式 (1)

を用いて設計したカプセルの形状を示します。

$$\left(x - \sqrt{1 + \frac{1}{b^2}}\right)^2 - \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1 \quad (0 < x < 1) \quad (1)$$

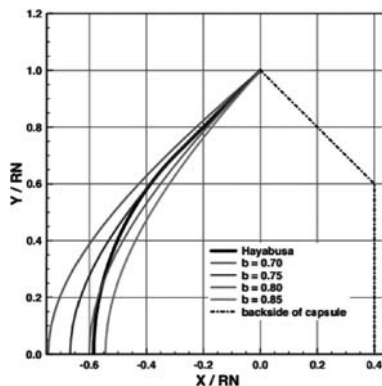


図1 双曲線形状カプセル

2.2 実験概要

図2にテストモデルを示します。試験体の前面に5つの圧力計測用の穴を準備しました。

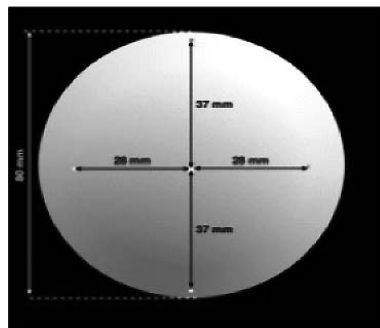
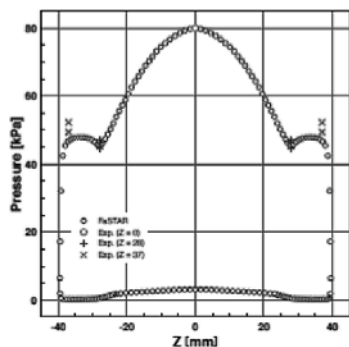


図2 テストモデルの正面図

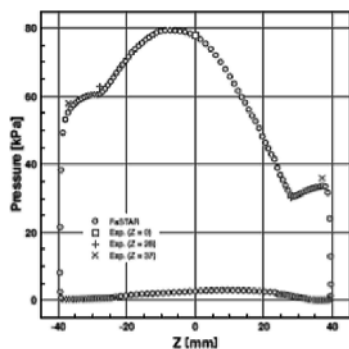
3. 結果

図3は対称面上の表面に沿ってはやぶさ再突入カプセルの圧力分布を示します。図3a及び3bはそれぞれ迎え角0°及び10°の結果です。図3aから最大圧力が淀み点付近で、かつ最小の圧力が $Z = \pm 28$ [mm] の位置で正確に観察されました。

図4は対称面上の表面に沿って $b = 0.70$ のカプセルの圧力分布を示します。図4a及び4bはそれぞれ迎え角0°及び10°の結果です。これらの図から、



(a) AoA 0 deg.



(b) AoA 10 deg.

図3 はやぶさカプセルの表面圧力

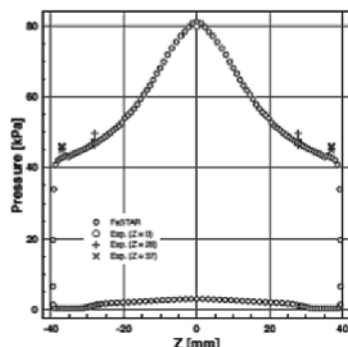
圧力が淀み点で最大であり、縁部にかけて単調に減少することが観察されました。圧力の局所的な最低点は見られず、はやぶさ再突入カプセルとは異なった傾向を示しました。

4. まとめ

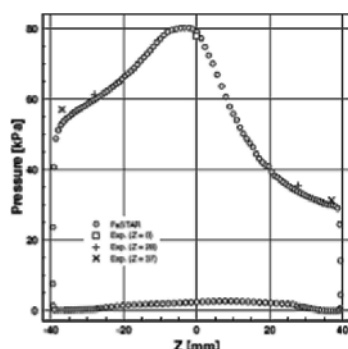
本研究では、超音速風洞を用いて双曲線形状の有効性を確認する超音速風洞実験を行いました。圧力分布は、はやぶさカプセルと双曲線形状の両方について CFD の結果と同様の正確な測定ができました。

5. おわりに

本研究では、「第33回宇宙技術および科学の国際シンポジウム」内での発表のため、英語で試料を作成し、当日は英語で質疑応答に臨みました。英語での受け答えは想像以上に困難で、流暢な英語の質問



(a) AoA 0 deg.



(b) AoA 10 deg.

図4 $b=0.70$ カプセルの表面圧力

かつオンライン会議の音声である為うまく聞き取れず、なんと返してよいのか、頭を悩ませました。また、会議中にはマイクのトラブルが生じ、せっかく質問に来てくださった方に応答できないこともありました。

すべてが英語の発表、そしてオンライン開催ということもあり、普段の研究発表よりも大変ではありましたが、無事に終わったことは幸いです。指導教員である大津広敬教授には、質疑応答の時に同じルームに入ってサポートしていただいたり、資料作成の際には添削をしていただくなど、様々な面でサポートしていただきました。心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) H. Otsu, Aerodynamic Characteristics of Re-Entry Capsules with Hyperbolic Contours., Aerospace 2021, 8, 287. <https://doi.org/10.3390/aerospace8100287>