

第 66 回宇宙科学技術連合講演会 に参加して

永澤 昌也

Masaya NAGASAWA

機械システム工学専攻修士課程 2022 年度修了

1. はじめに

11 月 1 日から 4 日まで熊本県の熊本城ホールで開催された第 66 回宇宙科学技術連合講演会のポスター発表（発表日 11 月 2 日）に参加した。

2. 目的および背景

再突入カプセルは、激しい空力加熱からサンプルを保護するように設計されている。はやぶさ再突入カプセル形状は半頂角 45 度の鈍頭円錐である。すなわち、前面は、円弧と傾斜線の組み合わせによって決定される。この輪郭は、双曲線で近似でき、円弧と直線の接合部の 2 階微分で不連続になることを避けるため、圧力分布などの改善が期待できる。本研究では、超音速領域で、カプセルの前面部に双曲線の輪郭を使用した形状を作成し、空力特性を CFD 解析と風洞実験で明らかにし、空力特性の改善を目的とする。

3. 解析モデルおよび数値解析手法

3.1 解析モデルおよび試験模型

カプセルの輪郭は次の双曲線で設計した。

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

この式は、パラメータ b によらずに、 $(0, 1)$ を通る双曲線となっているため、底面半径の大きさが一定となる。また、漸近線の傾きの大きさが b となるため、漸近線の傾きは、はやぶさ再突入カプセルの円錐部分の半頂角とは異なる。

図 1 に式(1)の b を 1.00～0.60 まで変化させたときのカプセル前面部の輪郭を示す。また、作成した模型寸法は半径 40mm、背面部の厚さ 12mm とした。

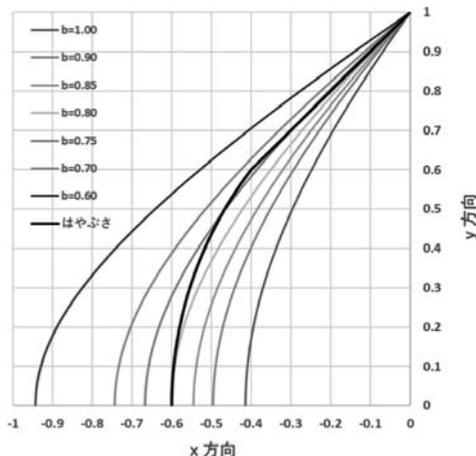


図 1 式 (1) を用いたカプセル前面部形状

3.2 数値解析手法

本解析に用いた支配方程式は、圧縮性 3 次元 Navier-Stokes 方程式を用いた。熱化学モデルは完全気体を想定した。層流粘度は Sutherland の式によって推定され、乱流モデルには Spalart-Allmaras モデルを選択した。CFD 解析には、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が開発した CFD コード FaSTAR を使用した。本研究では、再突入カプセルの圧力分布を予測するために HLLE スキームを選択した。計算グリッドは、JAXA が開発したコード、Hexa-Grid v1.1 を使用して作成した。HexaGrid は、六面体グリッドに基づく自動グリッドジェネレーターを用いた。解析には、HLLE スキームを用い、空間 2 次精度で解析を行なった。

実験と解析はマッハ数 2 とマッハ数 3 で行った。

4. 実験および解析結果と考察

4.1 圧力分布の比較

図 2 に迎角 0° のカプセル表面の圧力分布の比較結果を示す。

はやぶさ形状と双曲線形状カプセル ($b=0.8$) の結果を示した。まず、はやぶさ形状と双曲線形状カプセルともに淀み点では、解析値と実験値の差は小さく、肩部にかけて差が大きくなったが、概ねよく一致している。また、はやぶさの先端部分の鈍頭部

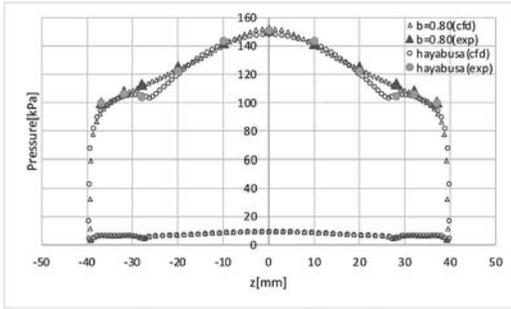


図2 はやぶさと双曲線形状の圧力比較 (迎角 0°)

分と円錐部分の接続領域近傍で圧力が局所的に低下し、その後肩部にかけて圧力がゆるやかに上昇する分布を実験でも精度良く計測することができた。また、双曲線形状の淀み点から肩部にかけて単調に減少するような圧力分布を実験でも精度良く計測することができた。これは、本実験で使用した試験模型作成方法で精度良く圧力を計測できていることを示す。

4.2 空力特性の比較

図3にマッハ数2の迎角と抗力係数の関係を示し、図4にマッハ数3の迎角と抗力係数の関係を示す。この結果から、迎角が大きくなるほど、解析値と実験値の差が大きくなることがわかる。また、マッハ数2の方が全体的に解析値と実験値の差が小さくなることがわかる。また、パラメータ b が大きくなるにつれて、抗力係数が増加していることがわかる。これは、カプセル形状が予想された結果と一致する。また、 $b=0.80\sim 0.75$ の結果の間にはやぶさの抗力係数があるため、これははやぶさ形状が $b=0.80$ の形状に近いことから予想できた結果といえる。また、マッハ数3の方がパラメータ b を変化させたときの抗力係数の変化度合いが大きく、マッハ数が多いほど、形状変化に対する抗力への影響が大きいことがわかる。

5. まとめ

本研究では、双曲線形状を用いた再突入カプセルの基礎的な空力特性の検討を風洞実験と数値流体解析で行なった。その結果パラメータ b を大きくす

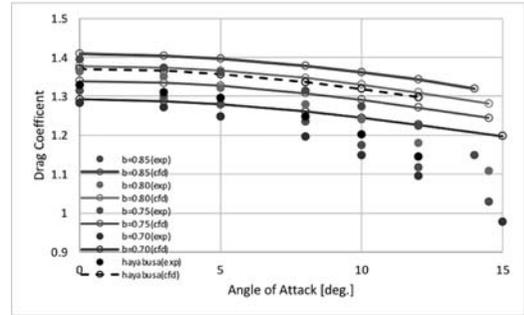


図3 迎角と抗力係数の関係 (Mach2)

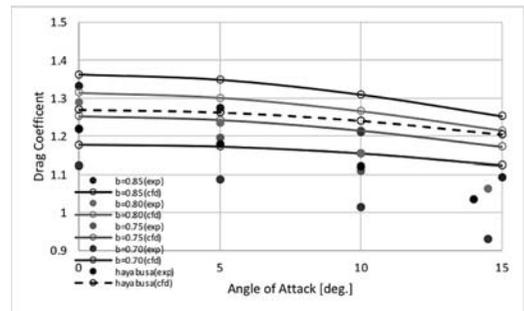


図4 迎角と抗力係数の関係 (Mach3)

ると、抗力係数が増加し、 $b=0.8$ 近傍でははやぶさ形状とほぼ同様の空力特性となることが明らかとなった。上記の傾向は数値流体解析および風洞実験により検証することができた。また、3Dプリンタにより作成した模型で圧力計測を行い、数値流体解析結果と良い一致をみることができ、本模型作成方法が有効であることが示された。今後は、極超音速、遷音速領域など幅広い領域での検討を行い、総合的に検討したい。

6. おわりに

今回の学会は熊本で行われ、修士になって初めて学会らしい体験をすることが出来た。以前までの学会はコロナ禍という事もあり、オンラインでの開催で有識者の方からのアドバイスや意見の交わし合いが困難であった。しかし、初めて現地開催での学会に参加して、多くの有識者の方との会話の中で研究の課題点が見つかり、次の研究に活かせるアドバイスを多く頂いた。様々な角度からの意見をもらい、とても有意義な学会にすることが出来た。