

## 超音速環境下での再突入飛行体 バルートの変形の実験的調査 に参加して

福本 智也

Tomoya FUKUMOTO

機械システム工学専攻修士課程 2021 年度修了

### 1. はじめに

私は、2022 年 3 月にオンライン形式で、第 33 回宇宙技術および科学の国際シンポジウム (ISTS) に参加した。以下に発表した内容を記載する。

### 2. バルートについて

バルートは気球とパラシュートを組み合わせた造語であり、ガスによって膨張した構造を使用して、より高い高度で再突入飛行時において抗力を増加させるように設計されている。図 1 にバルートの概略図を示す。装置の構造としては、再突入カプセル、バルート、およびケーブルで構成されており、バルートは複数のケーブルで再突入カプセルに接続されている。バルートの空力特性は、ケーブルの長さを変更することで調整でき、メリットのひとつである。

しかしデメリットとして、ガスによって構造が膨張するため、バルート内のガス圧が十分に高くない

場合、バルートは、バルート表面に作用する空気力によって変形する可能性がある。表面圧力によってバルートの形状が変化すると、バルートによる抗力も変化し、抗力の変化は弾道の変化につながる。したがって、バルートの変形とバルートの抗力に対する変形の影響を推定することが重要である。

本研究では、超音速風洞実験を行い、柔軟なバルートの変形を観察し、柔軟性がバルートの抗力に与える影響を測定した。

### 3. 実験モデルの詳細

本研究では、八角形とトーラスの正面形状のバルートを用意した。図 2 a および 2 b に、実験モデルの概略図を示す。実験モデルはバルートの変形に対する内部ガス圧の影響を調査するために、膨張可能な構造で作成する必要がある。超音速風洞の動圧が高いため、ガスによる膨張式構造を使用して壊れない柔軟な実験モデルを作成することは非常に困難であるため、硬質ゴムなどの柔軟な素材を使用したバルートを使用して、インフレータブルモデルの柔軟性を概算した。超音速風洞実験用のフレキシブルバルートは、3D プリンター Form3 を使用してフレキシブル UV 樹脂で作成した。

バルートの正面形状は、半径 50 mm のトーラスと八角形で設定されており、柔軟な UV 樹脂のヤング率は 4.63 MPa と推定した。実験モデルの断面

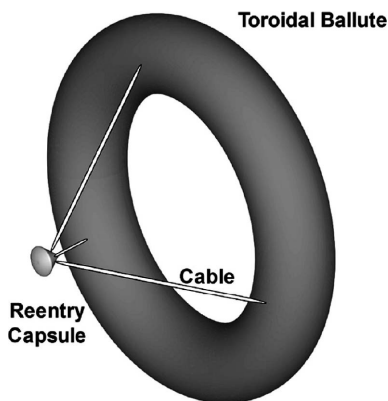


図 1 バルートの概略図



(a) トーラス (b) 八角形  
図 2 実験モデルの概略図

は円筒となっており，外径を  $d_{out}$ ，内径を  $d_{in}$  として定義する． $d_{in}=0$  の場合の断面は円である． $d_{out}$  は 20 mm に統一している．この時， $d_{in}$  の大きさを変えることで，バルートの断面二次モーメント  $I$  を変化させ，曲げ剛性を変化させている．曲げ剛性に使用した断面二次モーメントの定義式を以下に示す．

$$I = \frac{\pi}{64} (d_{out}^4 - d_{in}^4)$$

## 4. 実験結果

### 4.1 柔軟性と変形量の関係

実験条件はそれぞれ静圧，静温，マッハ数は 6.675 kPa, 107 K, 3.0 である．図 3 は通風中の異なる  $d_{in}$  での実験モデルの静止画である．この図から  $d_{in}$  が増加するにつれて変形量も増加することが観察された．また八角形モデルにおいても同じ傾向である．

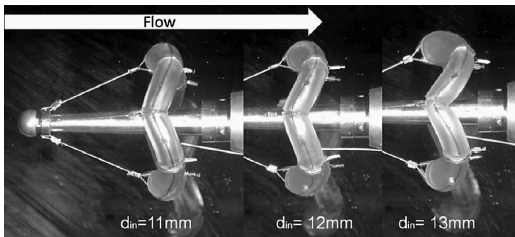


図 3 通風中のトーラス型バルートの様子

### 4.2 柔軟性と抗力値の関係

図 4 に実験で測定されたバルートの内径と抗力値の関係を示す．エラーバーは 95% の精度で除した標準偏差である．トーラスバルートの抗力値は約 360 N であり， $d_{in}=12$  m 以下では，内径の大きさによって効力値の大きさに変化はなかった．八角形の場合，抗力値は約 330 N であり， $d_{in}=12$  m 以下では，内径の大きさによって抗力値の大きさに変化はなかった．以上の結果から，ある程度の変形量であれば，抗力値の大きさに影響はないが，バルートの変形が過度に大きくなると，抗力値が減少することが

分かった．

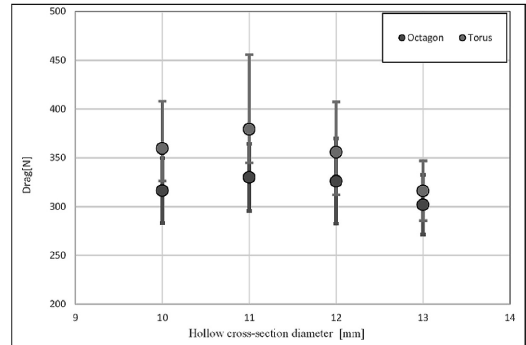


図 4 内径と抗力値の関係

## 5. まとめ

本研究では，超音速風洞実験を行い，柔軟なバルートモデルの変形を再現し，バルートの柔軟性と抗力の影響を測定した．その結果， $d_{in}$  が増加するにつれて変形量が増加することがわかった．抗力の結果はバルートの変形量が十分に小さければ，抗力の大きさに影響は受けませんが，過度な変形になると，得られる抗力値は減少したことが分かった．

これらの結果は，再突入カプセルシステムへのバルートの実際の適用のために，バルートの変形および抗力に対するバルートの柔軟性の影響を評価する必要があることを示唆している．

## 6. おわりに

今回の学会はオンラインで行われ，かつ英語を使って発表と質疑応答を行いました．学会で英語を主体に受け答えをしたことは初めてだったので，苦労はしましたが，大学生 3 年生の時にアメリカに 3 週間ほど滞在していたこともあり，リスニングに関しては聞き取れることが出来ていたもので，その時の経験が役に立ったと実感できました．しかし，スピーキングが思うように出来なかったもので，悔しい思いもありますが，今後英語を学ぶ良い機会でもあったので，とても有意義な時間を過ごすことが出来た．