

## 審査の結果の要旨

論文提出者名 飯塚 宣行

修士(工学)飯塚宣行提出の論文は、「Study of Mach number Effect on the Dynamic Stability of a Blunt Re-entry Capsule」(鈍頭型再突入カプセルの動的不安定に与えるマッハ数効果に関する研究)と題し、英文で書かれ本文8章から構成されている。

高速で惑星大気へ突入する飛翔カプセルには熱防御などの観点から、鈍頭で平たい弾道係数の小さな形状が利用されることが多い。このようなカプセル形状は、遷音速付近で空気力学的要因による動的不安定性から自励振動を起こすことが知られている。再突入カプセルの動的不安定性に関してはこれまでも多くの研究が行われてきたが、動的安定特性を遷音速域の亜音速側から超音速側まで統一的に説明した研究は見受けられない。また、カプセルの動的安定性を推測できる手法の確立が望まれるが、特性を把握するための実験データに頼っているのが現状である。

このような観点から、著者は本論文において、遷音速領域におけるカプセル動安定特性を明らかにすることを目的とし、遷音速域における主流マッハ数の大きさによるカプセル周りの流れの変化とピッチングモーメント特性の変化、結果として起こる動安定特性の変化について考察し、それをもとにカプセルの動的安定特性の予測手法を提案している。

第1章は序論で、過去に行われたカプセルの動的安定性に関する研究を概観し、過去の研究によって明らかになった現象と、残された課題、改善点を示し、本論文の目的と意義を定義している。

第2章では、カプセル運動のモデル化と問題設定が述べられている。カプセルの動的不安定性を、ピッチング運動のみを対象とした流れ解析結果をもとに行うことの妥当性を確認し、過去に詳細な研究が行われたカプセル形状を解析対象とした問題設定を行っている。

第3章では、解析に用いる数値計算手法について述べている。

第4章では、固定ピッチ角での流れ場解析を行っている。時間平均場に着目した場合、亜音速では超音速に比べ、ピッチ角変化に伴う後流変化が少ないという特性を示し、亜音速では高いピッチ角まで時間平均での背面ピッチングモーメントが上昇し続けることを明らかにしている。また、カプセル背後に働くピッチングモーメントの時間変動は、亜音速側ではカプセルエッジから放出される剪断層の不安定性により大きくなるのに対し、超音速側では膨脹波による安定化効果により小さくなることを示している。

第5章では、カプセルの強制振動シミュレーションを行っている。カプセル背面のピッチングモーメントは亜音速側であっても超音速側と同様の予測モデルで表されることを確認している。また、カプセル前面のピッチングモーメントは、超音速側から亜音速側に変化すると振動減衰効果が急激に大きくなり、加えて、ピッチ角の上昇と共に減少する傾向が強くなることを示している。

第6章では、ピッチ角固定時の非定常データからピッチ角運動時の背面ピッチングモーメン

トを予測するモデルを提案し、そのモデルの予測可能性について議論している。また、提案されたモデルから過去のモデルも導出できることを示すことで、ここで提案しているモデルがこれまでより広義なモデルであることが示されている。

第7章では、カプセルの動安定について議論している。リミットサイクル時の振幅について再考し、減衰係数がピッチ角のみの関数であり、かつ、空力的復元力に比べて十分小さいという条件下では、リミットサイクル時の振幅が振動数と無関係に決まることを明らかにしている。また、動安定のマッハ数特性についても触れ、亜音速側では、前面の減衰係数が大きくなることがカプセルの振動が安定化される要因であることを示している。そして、過去の実験で観測されている高亜音速側の2種類の振動が、カプセル前面と背面効果が組み合わされることによる複雑な減衰係数によるものである可能性を示している。この結果は、一方の大振幅の振動が超音速側の大振幅振動とほぼ同じ現象に由来したものであり、他方の小振幅の振動が亜音速側での特異な強い時間変動に由来するという過去の研究成果を支持したものとなっている。

第8章は、結論であり本研究で得られた結果をまとめている。

以上要するに、本論文は、亜音速から超音速にかけてのカプセル振動特性の変化を統一的な議論によって明らかにし、カプセル振動時の背面ピッチングモーメント変化をピッチ角固定によるデータから推測する方法を提案したものである。この結果は、カプセルを実際に振動させることなく、カプセル振動時の動的安定性の推測を可能としている。これらの成果は再突入カプセルの今後の設計に有用なものであり、今後の航空宇宙工学に貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。