

論文提出者氏名 寺本 進

修士(工学)寺本進提出の論文は、” Computational Study on the Dynamic Stability of a Blunt Reentry Capsule at Transonic Speeds” (邦題:「遷音速域における再突入カプセルの動的不安定現象に関する数値解析」)と題し、8章で構成されている。

現在、小惑星のサンプルを地上に持ち帰るなどのいわゆるサンプルリターンミッションが各国の研究機関で進められている。このようなミッションなどでは再突入速度が高速になるため、対流加熱を抑えることを目的として鈍頭で平たいカプセル形状が選択されるが、このようなカプセルは熱的に有利な反面、遷音速域で動的に不安定になり大振幅の自励振動に入ることがあり、動的安定性の確保はカプセル設計上重要な課題になっている。これまでは風洞やバリスティック・レンジを用いた試験によって動的安定性を複数のカプセル候補形状に対して比較し形状を決定するなど、試行錯誤的な研究による経験的な設計指針に頼っており、動的不安定性のメカニズムに着目した研究は少なかった。最近になって風洞試験で自励振動のメカニズムが調べられるようになったが、カプセル背圧が動的不安定を引き起こしていることが明らかになっただけで、詳細なメカニズムは理解されていない。このような観点から、本論文は鈍頭カプセルまわりの流れを数値シミュレーションにより解析し、カプセルが動的に不安定になるメカニズムを明らかにすることを目的としたものである。

第1章の概要では研究の背景について述べ、過去の研究についてまとめている。これらによって、研究の対象とするカプセル振動現象の特徴や、現象について既に分かっている部分・未知の部分が明らかになり、研究の着目点および意義が明確にされている。

第2章では流れ場のモデル化について述べている。本論文ではカプセルの運動をピッチ方向の1自由度のみで議論している。この章ではこのようなモデル化が研究の対象となっているカプセル運動を反映した妥当な近似であることを説明している。

第3章では、まず数値シミュレーションに用いた手法やモデルを説明し、これらの手法によって振動するカプセルまわりの非定常な流れ場を議論することが十分可能であることを示している。また、非定常シミュレーションの結果得られる大量の流れ場データからカーブフィットや周波数フィルタを用いて必要とする情報を抽出し、流れ場を把握する手法についても述べている。

第4章ではカプセルをピッチ方向に強制振動させたシミュレーション結果について考察している。カプセル背圧は迎角が正のとき頭下げモーメントを発生するが、

背圧はピッチ角変化よりも遅れて変動している。カプセルが振動するとき、背圧の遅れによってカプセルに働く空力モーメントにヒステリシスが生じ、これがカプセルの動的不安定を誘起している。背圧はカプセル下流の再圧縮衝撃波の根元付近（ネックポイント）の流れ場と同期して変動していることから再圧縮衝撃波の根元付近の流れ場と背圧との関連を調べることで、動的不安定のメカニズム解明の鍵であることを示している。

第 5 章では、ピッチ角を固定したカプセルに働く空気力と、強制振動するカプセルに働く空気力を比較している。両者の変動は基本的に同じであり、強制振動するカプセルに働く空気力は、ピッチ角固定時と同じ空気力が一定時間遅れてカプセル背面に作用すると仮定した「時間遅れモデル」で表現できることが示されている。さらに、この「時間遅れモデル」を利用することで強制振動するカプセルまわりの流れ場よりも解析しやすいピッチ角固定の流れ場を議論することで動的安定性の議論ができることを示し、これ以降の章ではピッチ角固定の流れ場について主に議論を行うことが述べられている。

第 6 章では、ピッチ角を固定したカプセルまわりの流れについて、流れ場と背圧の関連について考察している。カプセル背後には強い渦構造が存在し、それによって作られる逆流域がカプセル背面に衝突する位置で背圧分布が決まる。カプセル背後の渦は、変形したリング状の渦と下流に伸びる縦渦対から構成されており、両者が干渉することでリング渦が変形しカプセル背圧の分布を変えていることが明らかにされている。

第 7 章では、前章までの結果を踏まえ、動的不安定の原因である背圧遅れのメカニズムについて考察している。カプセルピッチ角が変化したとき、背圧は直ちに变化するわけではなく、まず縦渦対が変化し、縦渦対の変化が下流のネックポイント付近の流れ場まで伝播してリング渦と干渉し、さらにカプセル背後の流れ場が変化して初めて背圧が変化する。この一連の伝播に要する時間分、背圧の変動が遅れることを示した。さらに、このメカニズムを検証する数値実験を行い、このメカニズムが正しいことを確認している。

第 8 章は結論であり、本研究において得られた結果を要約している。

以上要するに、本論文では従来明らかにされていなかった鈍頭再突入カプセルの遷音速域における動的不安定のメカニズムを数値シミュレーションによって解明している。これは、カプセル背後の遷音速流れの基本的な構造を明らかにすると同時に、カプセルを設計する上で有用な知見を与えるものであり、航空宇宙工学上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。