

[別紙 2]

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 松本道弘

修士(工学)松本道弘 提出の論文は「月への飛行における重力捕捉のメカニズムとその応用に関する研究」と題し、本文5章と、付録3項よりなる。

月・惑星探査において、燃料消費量を抑え、より多くのペイロードを運ぶことは、実用化をはかる上で最も大きな課題の1つである。

重力捕捉とは、複数の天体の重力の複合作用にて、周回機の投入をはかる当該天体の影響圏の外から進入してきた物体が、その天体周りに一時的にとどめおかれる現象・効果を指し、応用されると、周回機投入への軌道変換に要する修正速度量、燃料消費量を抑えることができる有用な輸送方策につながる。重力捕捉に関する研究は古くから行われており、一部実ミッションにも適用されてきている。本論文では、この手法を月周回軌道上への輸送に適用している。理想的な、弾道飛行のみによる重力捕捉の応用においては、一切の軌道制御なしで、月へ無限遠相対速度を減少させ、到着時点にて軌道エネルギーを負、すなわち楕円軌道相当のエネルギーにまで低下させて会合させることをはかる。しかし、この条件が満たされる良好な飛行機会は非常に限定的にしか存在しない。このため、この弾道飛行による重力捕捉を可能とする打ち上げの機会は極端に少なく、実利用は、これまで非常に稀であった。かつ、それらの打ち上げ機会に関する設計情報も十分には整理されておらず、応用をはばんできたところである。加えて、捕捉に関わるメカニズムは、探査機自身を含む4体問題としての解析を通じてのみ現れる現象・効果であって、捕捉メカニズムに果たす太陽潮汐力の寄与、および人為的な推進加速度の果たす役割への理解が難しく、軌道設計において与えるべき評価指標の適切な設定法も確立されてこなかったため、系統立てられた設計は極めて困難な工学的な課題として残っていた。

本論文が扱っている主題は、重力捕捉方策の月周回機投入ミッションへの適用で、その実用性の向上、現象のメカニズムの解明と軌道設計法への応用である。後者は、すなわち、制限4体問題としての解析手法を明らかにし、同問題を扱う上で指針となる保存量の導出を行って、重力捕捉現象を新しい観点から紐解き、それを陽に考慮した軌道設計法を確立することに成功している。

第1章は序論であり、本研究で取り扱う重力捕捉の現象について概観してお

り、過去の研究にて未解明の課題を整理し、本研究の目的と得られる成果について述べている。

第2章では、弾道飛行による月への重力捕捉軌道の打上げ機会を数値的に整理し、弾道飛行による場合での軌道設計の指針を提供している。重力捕捉の方策については、弾道での軌道設計についてすら、系統立てられた設計チャートは発表されたことはなく、本研究により初めて提供されている。

第3章では、前章で提供された方策の適用がきわめて特別の打ち上げ窓に限定されている課題を克服すべく、低推力推進機関を用いた打ち上げ窓の拡張法とその成果を提供している。その結果、月周回軌道へのペイロード輸送能力の大幅な改善と、連続的に常時打ち上げ窓を確保することに成功しており、前章の結果とともに、重力捕捉方策利用の実用性の向上に強く貢献している。

第4章は、本論文の主たる議論の展開となっている。同章では、まず制限4体問題という近似的な手法を導入し、それによって、重力捕捉のメカニズムを明らかにして、太陽潮汐力と探査機推進加速度の寄与を陽に抽出した飛行力学的な解釈を進めることに初めて成功している。また、従来は、重力捕捉方策を軌道設計に導入する上で、評価指標として何を最適化すべきかが明確化されていなかったが、本章での検討により、制限4体問題における拡張 Jacobi 積分を評価にいった数値最適化法が提案され、その実施に成功し、初めて具体的な評価指標を数学的に明らかにしている。さらに、得られた解軌道の力学的な特徴を解析し、振動的な推進加速度の操舵が重力捕捉に重要な役割を果たしていることが明らかにされている。同章は、最後に、拡張 Jacobi 積分の評価が2次型式で記述されうることを見だし、それを利用した最適解をフィードバックの型式で得ることに成功しているが、これは実時間での機上誘導則への実用化につながる成果となっている。

第5章は結論で、本研究の成果を要約している。

以上要するに、本論文は、重力捕捉方策の実用性の向上と、同現象のメカニズムの解明と軌道設計法への応用に成功しているといえる。前者では、設計上有用な整理された数値的指針と、常時応用可能な実用性の高い打ち上げ窓の拡張結果が提供され、また後者では、制限4体問題としての解析法を明らかにし、拡張 Jacobi 積分を導入して、同捕捉現象への普遍的で新たな解析結果とその解釈を提供して、それを陽に考慮した軌道設計法を確立し、実応用への展開法を述べている。これらの成果は、宇宙工学上寄与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。