

審査の結果の要旨

氏名 大野 剛

MASTER OF ENGINEERING 大野剛提出の論文は、「Optimal Attitude and Orbit Control of a Spinning Solar Sail by Spin Rate Control（スピンレート制御によるスピン型ソーラーセイルの最適姿勢・軌道制御）」と題し、本文7章及び付録から成っている。

ソーラーセイルとは、太陽光圧を利用することで推力を得て推進する宇宙機である。JAXAによって開発・運用された「IKAROS」での飛行実証が、ソーラーセイルの実現性を大きく推進したことで、近年その姿勢および軌道制御法について世界中で多くの研究が進められている。

本論文では、まず、小惑星探査機「はやぶさ」にて導入され、IKAROSにも採用された、受動的な太陽指向姿勢運動のメカニズムを考察し、ロール軸周りの角速度、すなわちスピンレートのみを制御入力とした、姿勢軌道運動に関わるダイナミクスの記述が行われている。この「姿勢ドリフト運動」と呼ばれる運動は、太陽光圧によって生じるピッチ・ヨー軸周りのトルク積すなわち角運動量変化と、ロール軸周りの全角運動量との比によって支配される。従ってスピンレート、すなわち全角運動量を制御することで、姿勢ドリフト運動が能動的に操作されることが数学的に記述されている。ソーラーセイルでは、太陽に対する姿勢によって、軌道に影響を与える増速度およびその方向が変化するため、スピンレートを制御することで、姿勢ドリフト運動を介して、間接的に姿勢及び軌道の両方を同時に制御することが可能である。本論文では、まず、この一連の制御手法を概観し、姿勢軌道制御への適用方法を論じている。

第1章は、序論であり、本研究の目的と意義を述べている。スピン型ソーラーセイルの姿勢運動と軌道運動の6自由度制御を、1自由度の制御入力で行える点が重要であると説明している。それは、同種の宇宙機に究極のバックアップ姿勢軌道制御手段を提供し、同時に、また究極のシステム簡素化のソリューションである。

第2章は、姿勢ドリフト運動のダイナミクスを考察し、その運動方程式を導出し、また太陽と探査機の2体問題を仮定した軌道変化に関わる運動方程式を導出している。

第3章では、スピンレート制御による加減速マヌーバ制御の最適化が議論されている。変分法による解析結果と数値計算による比較と確認が行われており、最大・最小スピンレートを切り替えるバンバン制御の最適解が提案されている。

第4章では、軌道要素ごとに、このソーラーセイル宇宙機による制御の最適化が行われている。軌道傾斜角最大化、軌道離心率最大化、遠日点最大化、近日点最小化という問題が、解析的及び数値的に解かれて、比較検証が行われている。その結果、最大・最小スピンレートを切り替え、さらにはその切り換えが、軌道運動に合わせて生じることが示され、スピンレートのバンバン制御という最適解が提案されている。

第5章では、姿勢ドリフト運動が、非ホロノミックシステムの1つである双線形システムとして記述されること、また「厳密な線形化」という手法を適用することで、数学的にも厳密に線形化されることが示され、劣駆動システムの制御手法が適用可能であることが議論されている。双線形システムを等価な線形システムに置き換えること

で、初期・終端時刻での境界条件を満たす最適制御問題が解析的に解けることが結論されている。同章では、さらに、結果が姿勢制御マヌーバへ適用され、最適スピンレート制御則が具体的に導出されることが示され、この手法の有効性が示されている。

第 6 章では、2 つの円軌道間の移行問題が検討され、制御操作量のペナルティの下での最適解が議論されている。変分法に基づく解析解とその適用結果が数値最適化の結果と比較され、最適解の妥当性を確認することに成功している。さらに、制御操作量のペナルティを無くした場合については、軌道半径の最大化問題が、数値的な例証を目的に行われ、整合性の高い結果が提示されている。同章では、スピンレートという 1 自由度だけの制御入力の下で、円軌道間の移行という 6 自由度のマヌーバが可能であることが示されている。

以上のように、本論文の主要な成果は、スピン型ソーラーセイルの姿勢運動と軌道運動の 6 自由度制御を、スピンレートという 1 自由度の制御量で行う方法が提案された点、また、これらが、解析解と数値計算を通じて確認され、構築された点にある。本論文は、スピン型ソーラーセイルの姿勢・軌道制御における、究極で最小の制御システムを提供することから、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。