

審査の結果の要旨

氏名 サイスッチャリット ポンサトーン

修士（工学）サイスッチャリット・ポンサトーン提出の論文は、「マルチテザーによる遠心力展開型柔軟構造物上の移動ロボットの誘導制御」と題し、7章からなっている。

宇宙太陽発電衛星をはじめ、超大型の宇宙アンテナ、発熱が大きい衛星の放熱膜やデブリ掃除装置など、宇宙空間で大面積を必要とする構造物が将来重要になると予想される。そのような大面積宇宙構造物の実現法の一つとして、折り畳んで収納された大きな網や膜等を、軌道上でスピンさせて遠心力で展開させる方式が有力であり、すでに、ソーラーセイル用の軽量な膜を展開する技術は、2010年に IKAROS により宇宙空間で実証されている。さらに、網や膜の隅に衛星を配置し、大面積を獲得すると同時に向きや軌道の制御を行う「ふろしき衛星」のアイデアが提案され、観測ロケットを使っての宇宙空間での網の展開実験などが実施されている。その応用として、網や膜のいくつかの場所に表が太陽電池、裏がマイクロ波送信機のパネルを分散配置することで太陽発電衛星を構成するアイデアは、レトロディレクティブ方式の通信技術と相まって、太陽発電衛星の有力な候補として注目されている。また、上記のパネルを送受信アンテナに変えることで、フェイズドアレイアンテナ方式の大規模通信衛星への応用も検討されている。

そのような分散されたパネルに配置・修理・取替えなどの各種サービスを実施するには、網や膜面上を移動するロボットが必須であり、特にその移動方式の研究が重要である。その一つの方策として、端の衛星とつないだ複数のテザーをロボットが手繰ることによって任意の場所に移動する方式を本論文では提案している。同様のロボットの移動機構は、国際宇宙ステーション上で実験予定の JAXA の REXJ によって提案されている。しかし REXJ では、テザーの端点が固定点でロボットの動作も慣性系でのダイナミクスとみなせるのに対し、「ふろしき衛星」のように回転する柔軟構造プラットフォームは、端の衛星が自由端でありテザーにかけられる張力に制限が加わる点、回転する系でのコリオリ力や遠心力を考慮しないといけない点などから、全く異なったダイナミクスを持っており、それに対応する誘導・制御アルゴリズムが要請される。

本研究はこのような回転系・自由端システム上での移動ロボットのダイナミクスと制約条件を定式化し、特定の位置にロボットを誘導しそこに維持する誘導・制御アルゴリズムを提案するものである。誘導に関しては、数値的な最適解の導出、仮想ポテンシャル法、PID 制御の応用など複数の手法を提案して比較検討し、また、定点にロボットの位置を保持するパーシング制御手法、面外の振動を止める制御手法も提案し、シミュレーションにより確認している。最後にそれらを統合して、本移動ロボットのフィージビリティを検証している。

第 1 章では、大規模宇宙構造物が必要とされている理由を述べ、軌道上で大面積を確保できる遠心力展開型柔軟構造物の概念をまとめている。また、大規模宇宙構造物の軌道上構築用として提案されている各種宇宙作業ロボットの概念やその移動機構の概要と問題点

について言及し、ロボットの移動方法の検討が必須であると、研究目的を明確にしている。

第 2 章では、宇宙ロボットの移動手段の一つとして、テザーを手繰って移動するロボットの概念を取り上げ、JAXA の REXJ を発展させる形で、回転する柔軟構造物上での移動を行う MTR(Multi Tethered Robot)を提案し、その特徴や REXJ との相違点をまとめている。

第 3 章では、MTR の回転・自由端システム上でのダイナミクスを定式化し、テザーの柔軟性やダイナミクスを考慮に入れたモデル化手法を詳細に述べている。また、そのモデルを使った数値シミュレーションにより本システムのダイナミクス上の特徴を明確化している。

第 4 章では、ロボットの誘導問題を、宇宙機を連続低推力システムで移行させる際の誘導問題との類似性について議論した後、まず、最適制御問題として定式化している。静止系及び回転系における最短時間や消費パワー最小などの最適解軌道を数値解法によって求め、システムパラメータへの感度について考察している

第 5 章では、従来の宇宙機の誘導問題との類似性に基づいた誘導方法や仮想ポテンシャル法及び PID 制御を応用した面内での誘導方法を提案し、それらを比較考察して PID 法が優れていると結論している。また、定点にロボットの位置を保持するバーシング制御手法を提案し、数値シミュレーションでその有効性を示している。

第 6 章では、MTR に面外方向の微小振動が発生することを理論的に示し、運動エネルギーの観点から既存のセンサーを利用した面外振動の制御手法をシミュレーションで検証している。

第 7 章は、結論であり、本研究で得られた成果をまとめ、今後の課題と展望を述べている。

以上要するに、本論文は、ふろしき衛星のような柔軟で大規模な網や膜を回転させて展開するシステム上をテザーを手繰って移動するロボットの概念を提案し、回転系・自由端システム上でのダイナミクスを新規に定式化し、その誘導・制御アルゴリズムを体系的に構築しており、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。