

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	宇宙ロボットのテザーを用いた移動手法に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	山隅允裕
Author(English)	Mitsuhiro Yamazumi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9290号, 授与年月日:2013年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小田 光茂,松永 三郎,大熊 政明,福島 E 文彦,野田 篤司
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9290号, Conferred date:2013/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	山隅 允裕		
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	小田 光茂	教授	審査員	古谷 寛	准教授
	審査員	松永 三郎	教授		野田 篤史	連携准教授
		大熊 政明	教授			
		福島E. 文彦	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「宇宙ロボットのテザーを用いた移動手法に関する研究」と題して、全6章で構成されている。

第1章「序論」では、本研究の背景と目的を述べている。すなわち今後の宇宙活動の拡大に伴い、宇宙飛行士に期待する作業が増える中で、宇宙放射線の被曝等に対する宇宙飛行士の安全確保のためには、宇宙飛行士に代わって各種の長時間に渡る作業を行う「宇宙飛行士支援ロボット」が必要であること、そして、同ロボットに必要な移動機能の実現方法として多関節型ロボットアームや不揮発性ガスの噴射を利用する方法等があるものの、移動距離に係らず機器を小型にできること、機器故障時においても機器を保持し続けられる等の利点があることからテザーを利用した空間移動方法を検討すると述べている。なお、同種の研究例として、陸上競技場等の空撮用システムのように撮影機器をテザーで天井等から吊下げて高速で移動させる方法があるが、本方式は重力を利用してテザーのたわみを解消しているため、宇宙の微小重力環境では使用できないと述べている。

そこで本論文では、宇宙の微小重力環境で動作可能なテザーを利用したロボットの空間移動方法を提案すると共に、同実験装置を用いた実験等を行うmmのである。

第2章「テザー移動ロボット」では、テザーの展開を含むテザーによる移動手法と移動環境である宇宙施設の特徴を述べることで、本論文で扱うテザー移動ロボットの構成と移動の数理モデルを定義している。すなわち、① テザーの数は空間に対してロボット本体を拘束する最小数である4本とし、(2) 移動中に全てのテザーに緩みがない状態を制御の条件とし、(3) ケーブルで構成されたパラ1レルマニピュレータの数理モデル(ロボット本体、テザー、壁面で構成)を元にテザー移動ロボットの運動学・動力学を定式化している。

第3章「テザー移動ロボットの移動制御」では、従来のケーブル駆動マニピュレータで適用されていたテザーが7本以上ある場合に成立する逆運動学解に基づくテザー長制御に対して、宇宙ロボットの場合、安全確保のため高速動作は一般に望まれていないことから、テザーに緩みがない状態として静安定の状態を仮定し、目標位置に対する安定姿勢と望ましいテザー長をロボットの動作環境モデルから算出してテザー長制御を行う「静安定解析によるモデルベース制御」を提案している。テザー4本の構成で静安定解を導出する手法として、反復法により運動方程式を満たす位置、姿

勢、テザー長を算出する方法を提案し、解の収束性は演算回数と精度が対数比例するため、短時間で計算を打ち切れて実用的であることを確認したと述べている。また、テザーの制御方式として、①目標の位置に対する移動軌跡に対して静安定解析を逐次実施しテザー長を制御する汎用性が高い手法と、②移動の始点と終点に対してテザー長を算出し、テザー長の変化が最も大きいテザーを定負荷制御して緩みの発生を抑制し、残りをテザー長の差分値に対するフィードバック制御する低コストな制御手法を提案し、数値シミュレーションにより移動範囲およびロボットの大きさに対して十分小さい誤差で移動出来ることを確認したと述べている。

第4章「テザー移動ロボットの地上実験」では、提案するテザー移動ロボットの制御手法を検証するため、宇宙の微小重力環境を模擬したテザー移動ロボットのための地上実験装置を製作し、その結果についてまとめている。微小重力環境の模擬は実験機器、及びカウンターウェイトをワイヤーで繋いで滑車を介して吊り下げる自重補償方式を用いているが、1立方メートル程度の移動範囲であれば、数メートル程度の吊り下げで容易に微小重力環境を模擬できると述べている。また、本実験装置を用いて、移動実験を実施し、数値シミュレーションの結果と実験で計測した結果を比較し良好な一致結果を得たと述べている。

第5章「テザー移動ロボットの軌道上実験」では、2012年7月に国際宇宙ステーションに運ばれ実施したJAXAの「EVA支援ロボット実証実験（REX-J）」の一部として実施したテザーによる移動実験において本研究で提案するテザー移動ロボットの制御手法が適用されその結果は良好であったと述べている。なお、REX-Jのテザー移動は実験スペースの制約から三本のテザーで張られた平面上を移動する方式となっているがREX-Jのテザー移動実験では、平面移動には四本のテザーを必要とするため、本論文で提案する静安定解析によるモデルベースド制御によるテザースールの回転角度制御によるテザー長制御と、テザースールの電流制御による定負荷制御を組み合わせた協調制御によって、ロボット本体の位置制御を行うものであり、その有効性はREX-Jの基本実験および発展実験の一部として実施され、いずれも狙い通りの成果を挙げていると述べている。

第6章「結論」では、本論文の結論をまとめている。

以上を要するに、本論文は、テザーにより空間内を移動するこれまでに例のない宇宙ロボットの実現に必要なテザーの制御則を提案し、数値シミュレーション、地上実験装置での実験、及び実際の宇宙環境での実験でその有効性を確認し今後の同種ロボットの実用化と応用への道を拓いたものであり、工学上、及び工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があると認められる。

(2183字)