

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：機械宇宙システム	専攻	申請学位(専攻分野)：博士	(工学)
Department of		Academic Degree Requested	Doctor of
学籍番号：		指導教員(主)：	小田 光茂
Student ID Number		Academic Advisor(main)	
学生氏名：	山隅 允裕	指導教員(副)：	松永 三郎
Student's Name		Academic Advisor(sub)	

要旨(和文 2000 字程度)
Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

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ド制御」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、短期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。

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を2部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 2 copies of 800 Words (English).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	機械宇宙システム	専攻	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested	(工学) Doctor of
学籍番号： Student ID Number			指導教員 (主)： Academic Advisor(main)	小田 光茂
学生氏名： Student's Name	山隅 允裕		指導教員 (副)： Academic Advisor(sub)	松永 三郎

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

For the future manned space missions, a space robot which helps or alternates astronauts' works is required for reducing costs and risks and a self-configurable tether robot called as the Astronaut Support Robot (Astrobot) is expected as an mobile robot which realizes a spatial locomotion which achieves a mobile range as well as astronauts and ensures a safety, a redundancy and an acceptance of failure enough to avoid or to work through a hazard. Therefore, an orbital robot experiment mission named "Robot Experiment on JEM (REX-J)" has been conducting by Japan Aerospace Exploration Agency to demonstrate a spatial locomotion concept using self-configured tethers in space facility, named "Tether based locomotion".

To accomplish a "Tether based locomotion" mission in REX-J and to realize a spatial locomotion using tethers, this research proposes a tether control method for space robot suspended by the minimum configuration of tethers in microgravity environment which can avoid hazards for robot and reels caused by slacks of tethers.

This thesis is composed of six chapters.

Chapter 1, "Introduction", describes the research backgrounds, purposes and scopes of paper. Chapter 2, "Tether based locomotion", discusses a mathematical model for the tether based locomotion draws as an under-actuated Cable Driven Parallel Manipulator (CDPM) which is less tethers suspended model than common models.

Chapter 3, "Control method", proposes a model based control using statics analysis to avoid slacks of all tethers. Then trajectory-based control method for autonomous control system and simple feedback control method to assign target velocities and currents for tele-operation are proposed and verified in CDPM dynamics simulator.

Chapter 4, "Ground experiment", shows demonstrations of intra-vehicular activity to verify the proposed control methods using a tether robot mockup which is located on gravity canceller system. Locomotion is measured by imagery analysis and results are evaluated.

Chapter 5, "Orbital experiment", shows the details of REX-J experiments. In REX-J, proposed methods are demonstrated to verify the space robot mobility using self-configured tethers. REX-J analysis model are developed and the results evaluated by CDPM dynamics simulator and a REX-J ground test bed are discussed. Then the results of orbital experiments are shown and evaluated.

Chapter 6, "Conclusion", summarizes conclusions and future tasks of this thesis.

Finally, this research realizes a tether control method for "Tether based locomotion" and makes contributions to the future manned space missions by demonstrating locomotion of a self-configurable tether robot in REX-J missions.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 2 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 2 copies of 800 Words (English).