



Title	SPACE ENVIRONMENT ADAPTATION TECHNOLOGY OF ROBOT MANIPULATORS
Author(s)	Iwata, Toshiaki
Citation	大阪大学, 1994, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3097826
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	岩 田 敏 彰
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 1 5 0 4 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 6 年 6 月 3 0 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 名	ロ ボ ッ ト マ ニ プ ュ レ ー タ の 宇 宙 環 境 適 応 技 術 の 研 究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 辻 三 郎 (副査) 教 授 吉 川 孝 雄 教 授 宮 崎 文 夫 教 授 辻 本 良 信 教 授 土 屋 和 雄

論 文 内 容 の 要 旨

宇宙ロボットの適応すべき宇宙環境を真空と無重力と捉え、いかに適応させるかを本研究の目的とした。

まず、真空中での駆動技術を論ずる。人工衛星のアンテナを駆動する場合などと異なり、宇宙ロボットのアクチュエータは大きなトルクの伝達を必要とする。そのときに真空中での潤滑でもっとも苛酷となると考えられるのは歯車部分である。そこで歯車の材料選定と潤滑法の確率をもっとも重要なものと考え、まずこれを行う。次に緊急時にどうしても必要となるブレーキの摩擦・摩耗特性の取得を行う。ブレーキ材料は軽量で摩擦粉を出さず、耐真空性・耐熱性・耐放射線性が要求される。

さらに、そのような個々の要素研究だけではわからないアクチュエータ全体の動作特性を得るため、上の基礎試験の成果を踏まえて実際にアクチュエータを試作し、真空中で試験を行う。精密な作業をする1m程度のマニピュレータを駆動する関節機構と、大質量のペイロードを扱う10m程度の大型マニピュレータを駆動する関節機構を取り上げる。

これらの技術的な裏付けを得たうえで、無重力下での制御技術を論ずる。ここでは自律的に動作するロボットに必要な制御則について、力学モデルに基づいて考察する。さらに、一連のまとまった作業をさせるときに必要な制御則について論ずる。

第1章 序論では本論文の背景、目的、構成について述べた。

第2章では歯車の材料としては耐摩耗性の観点からは窒化鋼とステンレス鋼の組み合わせが優れ、摩擦損失の安定性からはステンレス鋼どうしの組み合わせが優れていることを示した。これらは歯車表面の特性の違いによるものであることが明らかとなった。また、歯車の潤滑法として PFPE グリースと二硫化モリブデン焼成膜について調べたが、寿命特性では PFPE グリースが優れていること、底面圧で寿命を限定すれば二硫化モリブデン焼成膜が PFPE グリースより摩擦トルクを低減できることを示した。また潤滑剤を用いた場合でも摩耗特性については材料の特性がそのまま反映されていることがわかった。さらに、アクチュエータのブレーキ材料について6種類の材料について調べたが、ポリイミド複合材料 (PbO) が相手材料・温度にほとんど依存せず、安定した摩擦係数を示すことを確かめた。これはこの材料が相手材料に移着しやすい性質を持っているため、母材のポリイミドの性質を反映したものであることが確か

められた。

第3章ではアクチュエータの小型軽量化を考慮して、小型および大型マニピュレータのアクチュエータを設計・試作した。小型マニピュレータのアクチュエータとしてハーモニックドライブを取り上げ、モータのベアリングには固体潤滑、PFPE グリースのいずれも適用可能であること、スプライン部歯面の潤滑には PEPE グリースが適当であること、ウエーブジェネレータのボールベアリングの潤滑には、固体潤滑が適当であることがわかった。大型マニピュレータのアクチュエータとして3K 不思議遊星歯車を選び、第2章の結果を踏まえて設計・試作し、実用動作寿命（1,000 時間以上）を確認した。これにより、第2章の結果は十分設計データとして利用できることが確かめられた。これらの成果は宇宙ステーション日本モジュールのマニピュレータ開発が活かされている。

第4章では軌道上が無重力であるため、ロボットにとっては足場のない環境であり、対象物も浮遊した状態で存在するので、その制御法について考察した。このような状況で扱うため、スラスタを備えた双腕のロボットをモデルとし、運動方程式に基づいて分解加速度制御を基本とする制御について述べ、腕の一方を姿勢制御に使えることを示した。また、シミュレーションにより複数の制御則を組み合わせることで、具体的なタスクが実行可能であることを示した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、宇宙環境の特徴を真空と無重力と捉え、宇宙ロボットのアクチュエータとその機構要素、さらに制御システムについての研究結果を述べる。

宇宙マニピュレータ機構要素の耐真空性についての基礎研究では、歯車の材料・潤滑とブレーキ材料の選択の問題をとりあげる。宇宙では、地上のように容易には潤滑剤の補給ができないので、潤滑剤がなくなった場合も考慮した設計が必要である。地上では、金属どうしが触れ合っても表面に酸化膜が直ちに形成されるが、宇宙では清浄な表面が接触する。そこで、無潤滑での摩擦摩耗特性を調べ、耐摩耗性からは窒化鋼とステンレス鋼との組み合わせが優れ、摩耗損失の安定性からはステンレス鋼どうしの組み合わせが優れていることを実験的に明らかにした。

潤滑法については、真空内で使用するため固体潤滑剤（二硫化モリブデン）とフッ素系の低蒸気圧の油（PFPE）とポリ四フッ化エチレン（PTFE）を使ったグリースを候補として選び、潤滑性能と耐久性に着目し、寿命ではグリースが優れ、底面圧で寿命を限定すれば二硫化モリブデン焼成膜が優れていることを明確にした。

さらに、緊急停止や姿勢保持のブレーキ材料の摩擦・摩耗特性を検討する。真空内使用のため、質量減少率1%以下、再凝縮物質質量比0.1%以下を基準にし、さらに宇宙環境の他の条件を考慮して材料を選定して特性を比較し、酸化鉛とPTFEを含むポリイミド複合材料が相手材料・温度にほとんど依存せず、安定した摩擦係数を示すことを明らかにした。

以上の基礎研究の結果に基づき、実際に宇宙マニピュレータに用いるアクチュエータについての研究を行う。長さ1m程度のマニピュレータ用の小型ハーモニックドライブアクチュエータにたいして、モータのベアリングには固体潤滑、PFPE グリースのいずれもが適用可能であり、スプライン部歯面には、PFPE グリースが、ウエーブジェネレータのボールベアリングには固体潤滑が適当であることを示した。

長さ10m程度の大型マニピュレータに対しては、その肩部分の高トルクアクチュエータに用いる3K 不思議遊星歯車機構を対象に、材料・潤滑法は基礎研究の成果を利用し、アクチュエータレベルの評価を行う。歯車の加重分担の均一化とグリースの補給能力の向上を試み、さらに寿命を延ばす検討を行い、実用動作寿命（1,000 時間以上）を実証した。また、ブレーキについても、300 回以上の使用に対して安定した摩擦係数を持つことを示した。

無重力環境での制御問題の研究では、2本の3関節の腕を持ち、スラスタで移動する2次元での自由飛行ロボットを対象にする。腕を動かすと、ロボット本体も移動する場合の制御問題のひとつの解決法として、他方の腕で姿勢変化を補償することが分解加速度制御の手法を適応すれば可能なことを明らかにした。

質量未知の飛行物体を捕捉し、繫留点まで運搬し、固定する一連の動作に対して、各フェーズで必要となる制御則を

明らかにし、シミュレーションにより実行可能なことを示した。

本論文は、以上のように宇宙空間におけるロボット技術を、機構要素の基礎研究からアクチュエータの試作による実証、さらに制御技術まで重要な問題に多くの新しい知見を与えたもので、学位論文として十分価値のあるものと認める。