



Title	学習方式によるロボットの運動制御
Author(s)	川村, 貞夫
Citation	大阪大学, 1986, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/773">https://hdl.handle.net/11094/773</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏名・(本籍)	かわ	むら	さだ	お
学位の種類	川	村	貞	夫
学位記番号	工	学	博	士
学位授与の日付	第	7292	号	
学位授教の要件	昭和61年3月25日			
	基礎工学研究科	物理系専攻		
	学位規則第5条第1項該当			
学位論文題目	学習方式によるロボットの運動制御			
論文審査委員	(主査)	教 授 有本 卓		
	(副査)	教 授 濑口 靖幸	教 授 鈴木 良次	

### 論文内容の要旨

多くのロボットは作業空間を広く取り、多種多様な作業を実現させるために多自由度の関節構造型のものが利用されている。これらのロボットは、多自由度でありダイナミクスが非線形性を有するために、その制御が著しく難しいものとなっている。それではこのような特性をもつロボットに対して、どのような制御方式が適しているのであろうか。従来の制御理論に着目してみると、古典制御理論における安定性の解析や現代制御理論における最適性の解析の基本は、時間無限大でのシステムの応答の厳密な説明であり、必ずしも過渡的なシステムの応答を直接操作し得るとは言い難い。一方、ロボットの運動制御については、時間無限大での運動の様子よりもむしろ有限時間区間での過渡的な応答を目標パターンに一致させることが重要となる。従って、従来の制御手法をそのままロボットの運動制御に適用するよりは、ロボットの運動特性に適した制御方式を開発する方が望ましい制御性能が期待できる。

有限時間区間でのロボット運動を目標パターンに近づけるための制御手法を考えるとき我々人間がひとつつの運動フォームを獲得する方法が大きなヒントを与えてくれる。それは、目標運動パターンが有限な時間区間で与えられるが故に、何度も実際の運動を繰り返すことが可能となり、この繰り返しによって、目標運動パターンを実現するようないわゆる学習能力である。我々は色々な運動フォームを学習することによって獲得していると考えられる。本研究の目的は、このような運動についての学習能力をロボットに付加することである。即ち、与えられた目標パターン（理想的な運動フォーム）を試行を繰り返すことによって実現するものである。具体的に、一般の制御システムについて述べれば、パラメータが推定されていないシステムの入力と出力のみに注目し、目標出力と毎回の試行時のシステムの出力の差により、入力を修正して目標出力を達成するものである。このような制御方式が構成できればシステ

ムについてパラメータを同定する必要はなく毎回の試行の繰り返しによって、制御対象について学習することが可能となる。このことはロボットダイナミクスを正確に推定する必要なく、ロボットが試行を繰り返すうちに目標運動パターンを実現することを示している。従って、経年変化や把持する対象物の違いにより起こるパラメータの変化についても学習方式によって克服することができるものと思われる。本研究では、ロボット運動の速度信号と加速度信号に基づく2つのタイプの学習方式を提案し、その各々の方式によって確実に目標運動パターンが実現できることを数学的に厳密に証明する。また、本方式の有効性を示すためにいくつかのシミュレーション結果と実験結果が紹介される。まず、7自由度の2足歩行ロボットが本方式によって高速な歩行を実現できることが実験的に示される。次に、3自由度のロボットマニピュレータについて関節角制御ばかりでなくカーテンアン座標系などの作業座標系での制御が実行され、高速な目標運動パターンが高精度に実現されることがシミュレーションおよび実験によって明らかにされる。さらに、この方式は実際の作業に必要なロボットの力制御にも応用できることが理論的に証明され、マニピュレータを使った実験によってその有効性が示される。

### 論文の審査結果の要旨

本論文は、ロボットアームの運動制御に二つのタイプの学習制御方式を提案し、繰返し試行によってロボットの運動が必ず良い方向に改善できることを理論的に示すとともに、実際のロボットに適用して、ロボットに学習能力を付与できることを実験的にも確かめたものである。

多自由度の関節型ロボットのダイナミクスは非線形であり、かつ関節変数間には干渉があるので、その運動の制御は難しいものとされてきた。次々と位置決めを行って運動させるP T P制御やゆっくりと軌道追従するC P制御には、重力補償を行った上で局所的かつ独立なP Dフィードバック制御が十分に機能する。しかし、速い運動にはこのような閉ループ方式では偏差が大きくなってしまって、精度のいい運動が実現できないことが指摘されている。そこで、必要な関節トルクをダイナミクスに基づいて完全に計算させるダイナミクス法が提案されているが、これは現在のマイクロコンピュータ技術でも実現は困難である上に、ロボットの物理パラメータを正確に同定しなければならないこともあって、実用的にも問題がある。

このような技術環境のもとで、本論文では与えられた目標軌道を自動的に練習することによって完全に追従できる学習制御方式を提案し、その有効性を実証している。すなわち、実際の軌道を測定すれば目標軌道との誤差が求まるが、これを簡単にP I D調節して前回の制御入力に加えて修正することにより、次回では目標軌道により近づくような運動が得られることが示されている。ここでは速度誤差とその微分を修正項として使うP D方式と、速度誤差とその積分（位置）を修正項に使うP I方式を提案している。前者では繰り返しによって誤差が零に収束することをロボットの非線形ダイナミクスのモデルに基づいて理論的に証明している。後者では、そのような学習の収束性が成立することを目標軌道の周りで線形化したシステムのもとで証明している。また、これらの方の有効性を示すために、いくつか

のシミュレーション結果と実験結果を与え、高速な目標軌道が高精度に実現されることを実証している。また、3自由度のロボットアームについて関節角制御ばかりでなく、作業座標に基づいた経路制御にもこの学習制御方式が有効に機能することを確めている。最後にこの方式がロボットの力制御にも適用できることを理論的に予測するとともに、これを実験的にも確認している。

このように、本論文はロボット工学及び機械制御の分野に新しい知見を知え、機械工学に大きく貢献したものであり、よって学位論文として価値あるものと認める。