

# 多様体上の安定化論に基づいた冗長ロボットと劣駆動ロボットの運動制御

橋口 宏衛

ロボットの運動をコントロールする指令値、つまり"制御則"と呼ばれる信号が、そのロボットにとって妥当であるかどうかを判断するには、その制御則とロボットのダイナミクスから成る閉ループダイナミクスの解のふるまいを解析しなければならない。従来のロボット制御の方法論は、ロボットの質量や慣性モーメント、リンク長などの物理パラメータの具体的なスケールに無関係な（コンテキストフリーな）制御法を見出そうとしていた。例えば、幾何学的な構造が同じであれば、全長がメートルサイズのロボットアームと、数センチメートルサイズの指ロボットを全く同じ方法で制御しようと試みてきた。普遍的、汎用的な制御法を得たいと望むために、個々の目的にかなうベストな運動性能が出せないまま終わっていた。

本研究では、有本らによって提案された"多様体上の安定化論"に注目する。この安定化論では、ロボットの物理パラメータのスケールを慎重に吟味しながら閉ループダイナミクスの解の動きを追跡する。制御則の妥当性は、従来の数学的な議論だけではなく、物理パラメータを参照し、対象系のダイナミクスに基づいた数値シミュレーションで動きを観察しながら確認する。本安定化論の有効性は、これまで、指ロボットによる物体把持・操作の制御法において使用され実績を上げてきたが、指ロボット以外のこれまで安定解析ができないとされてきた領域に光を当て、明確にすることが本研究の目標である。

本論文では、人間の書字動作を模倣する冗長マニピュレータと、鉄棒の上で体操運動を行う劣駆動ロボットを具体例として取り上げ、多様体上の安定化論による運動解析を行う。冗長書字ロボットでは、作業自由度よりも関節自由度が高いときの冗長問題を解くために人工的なコスト関数を導入せずに、自然なペン書き動作ができる簡便な制御則を提案する。劣駆動体操ロボットでは、足首関節が駆動力を持たないために、そのままでは転倒してしまうロボットについて、トルクバランスと姿勢をダイナミックに制御する手法を提案する。そして、多様体上の安定化論による解析に加えて、それぞれの提案制御則の頑健性と大域的な有効性を、ロボット設計時のパラメータを使用した数値シミュレーションと、実際に設計・製作したロボットの動作実験によって検証する。