

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 10604号
------	--------------

氏 名 東郷 俊太

### 論文題目

Analysis of Joint Coordination in Human Multi-joint Movements  
and Modeling of Synergistic Control of Redundant Joints

(身体運動の関節間協調の解析及び冗長多関節を制御するシナジーモデルの構築)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	宇野 洋二
委員	名古屋大学	教授	早川 義一
委員	名古屋大学	教授	大西 昇
委員	名古屋大学	准教授	田地 宏一

## 論文審査の結果の要旨

東郷俊太君提出の論文「Analysis of Joint Coordination in Human Multi-joint Movements and Modeling of Synergistic Control of Redundant Joints (身体運動の関節間協調の解析及び冗長多関節を制御するシナジーモデルの構築)」は、システムの冗長性と運動の多様性という観点から人間の運動協調メカニズムにアプローチし、身体各部の調和のとれた巧みな動きを定量的に解析するとともに、多関節アームの協調制御のモデルを提案するものであり、全9章より構成されている。

第1章は序論であり、身体の運動制御メカニズムに関する研究の背景をまとめ、特に冗長な多関節を制御する上での問題点を指摘した後、研究の目的を述べている。

第2章では、コップの水をこぼさずに運ぶ動作に着目し、非制御多様体 (Uncontrolled Manifold) 解析を用いて、身体各部位の運動の分散を詳細に調べた。その結果、手先のジャーク (jerk: 加速度の変化率) を小さくし、コップの角度が一定となるように身体の各関節が協調して手先振動を抑制していることを見出した。

第3章では、コップを保持しながらの歩行中に一定時間視覚情報を遮断する心理物理実験を通じて、手先振動の抑制における視覚情報の役割がコップ角度の間欠的なキャリブレーションであることを示した。

第4章では、水平方向の正弦波振動を発生させる揺動装置を製作して、被験者の足首、あるいは膝関節を装具で固定した場合に揺動台上でのコップ保持の実験を行い、身体の拘束により運動の自由度が減少させられると関節間の協調が高まることを見出した。

第5章では、筋の弾性特性の観点から手先振動抑制の制御モデルを提案した。さらに、このモデルの制御シミュレーションと揺動台上でのコップ保持実験の結果とを比較し、腕のダイナミクスの平衡点の調整により手先の振動が抑えられる可能性を示した。

第6章では、2～5章で述べた身体運動の解析結果から示唆される協調制御のメカニズムを基にして、UCM参照フィードバック制御と名付けた方法を提案した。これは各関節の運動のばらつきを許容しながら、運動タスクの成否に関わる変数に対しては高い精度を実現する新しい制御法である。さらに、この制御法を3リンクの実機ロボットアームに適用し、外乱等に対して柔軟に対応できることを検証した。

第7章では、運動タスクを達成する運動要素から成る空間をニューラルネットワークによって表現し制御する方法を考案し、計算機シミュレーションにより多リンクアームの制御が可能であることを示した。

第8章では、UCM参照フィードバック制御法と腕の平衡点調節法とを組み合わせた制御モデルを提案し、人間の腕の冗長な方向の運動のばらつきを再現することに成功した。

第9章では、本研究を総括し今後の課題について述べている。

以上のように本論文は、身体運動を解析し評価するとともに、各関節の動きが多少ばらついても全体として協調的に動作して運動タスクを達成する柔軟な制御法を提案し、計算機シミュレーションとロボット実機の制御実験によりその有効性を確認した。本論文の研究成果は多関節ロボットだけでなく、様々な冗長システムの制御へ応用可能であり、学術上、工業上寄与するところが大きい。よって、本論文提出者東郷俊太君は博士 (工学) の学位を受けるに十分な資格があると判定した。