



## 1. 研究開始当初の背景

ヒトは身体の多くの自由度を同時に操作し、タスクに応じた巧みな運動を生成することができる。しかし、その運動がどのような制御メカニズムで実現されているか、未だ定説がないのが現状である。ただし、熟練した身体運動には各部位間に定型化された協調パターンが見られることが知られており、この協調パターンを1つの運動単位として身体運動を考察することで、古典運動制御モデルの抱える問題を解決できる可能性が示唆されている。

こうした身体運動の表現問題は、その明示的な記述が求められるロボット工学やゲームアニメーションにおいて顕著な形となって現れる。現在、こうした分野では、特定のタスクに対して運動モデルを立て、ある条件下で逆運動学を解いたり、設計者がヒトの運動計測データを参考に時々刻々の関節角を手作業で与えることでその解決を図っており、動作生成のプログラミングに莫大な計算と作業を要している。また、その動作の多様化となれば、更なる労力が必要となっている。

## 2. 研究の目的

本研究では、ロボットやゲームキャラクターの動作生成におけるプログラマの労力軽減を目的に、運動生成統合開発環境「モーション・シンセサイザー」の開発を行う。ここでは、運動を記述する運動単位を見直し、一連の動作をフェーズ毎に分割して得られる各種運動フレーズを運動要素として記憶、ライブラリー化し、これらの呼び出し、切り替え、組み合わせ、修飾によって、ロボットやゲームキャラクターの動作を容易かつ汎用的にプログラミングできる開発環境を整える。

さらに、応用事例として、実際のロボットに開発システムを実装し、ライブラリー化した運動要素を切り替え・組み合わせ・修飾することで、多彩な動作を実現するロボットシステムの構築を目指す。

## 3. 研究の方法

統合開発環境「モーション・シンセサイザー」は3つのサブシステム(シーケンサ部、コントローラ部、駆動部)から構成される。以下、それぞれのサブシステムの開発方法について述べる。

### (1) シーケンサ部の開発

典型的な3つの運動タスク(上肢:到達運動タスク、クランク運動タスク、下肢:歩行タスク)に対し、複数被験者で運動計測を行ない、対象動作の標準的運動指標(モーションキャプチャ、筋活動、推定関節トルク)をデータベース化する。また、この運動データベース情報を用いて、ロボットやCGキャラクタに所望の動作を再現(再生機能)させる他、その修飾により新規運動の生成(切替機能、合成機能)を実現する動作開発環境を構築する。

### (2) コントローラ部の開発

ユーザの直感的操作が可能であるミキサー型MIDIコントローラをロボットプログラミング用に改良し、複数スライダーにロボットプログラミング機能をアサインすることでユーザの操作性向上をはかる。また、デバイスタイプのコントローラとは別に、ユーザの生体情報(筋電位情報)を用いたインタフェースの開発も行い、その有用性を検討する。

### (3) 駆動部の開発

(1)、(2)によって生成される運動指令を受けて、ロボットやCGキャラクタを実際に動かすインタフェースを開発する。また、統合開発環境を評価するために必要となるロボットやCGキャラクタの製作も本工程に含まれる。

最後にこれらのサブシステムをまとめ、1つの統合開発環境として完成させる。

## 4. 研究成果

本課題では、先述の3つのサブシステムに対応する3つの成果を得ることができた。また、これらの成果の統合により、当初の目標どおり、ユーザの直感的な操作によってロボットの運動生成が可能な動作プログラミング開発環境を構築することができた。以下、その詳細を述べる。

### (1) 運動要素抽出アルゴリズムの開発

人の運動時における複数筋群に働く筋電位情報から、動作表現の基本単位となる「運動要素」を抽出するアルゴリズムの開発を行った(図1)。抽出された運動要素を数種類組み合わせるだけで時変かつ冗長な複数筋群の活動を全て表現することができ、運動情報の高圧縮に成功した。これらの情報は、モーションキャプチャによる運動学情報と関連づけられデータベース化されている。本成

果は学会発表、特許出願の形でまとめられている。



図 1. 筋電位計測と運動要素の抽出  
(左：到達運動、右：歩行運動)

## (2) 動作プログラミングに適したユーザインタフェースの開発

ユーザが直感的にロボットやゲームキャラクターを操作可能な2つのインタフェースを開発した。

### ミキサー型インタフェース

市販フィジカル MIDI コントローラが出力する MIDI プロトコルをロボット制御用通信プロトコルに実時間で自動変換するソフトウェアの開発を行ない、スライダの直観的操作でロボットコントロールが可能となるインタフェースを開発した。これらの信号は先述の運動単位の修飾に利用されている。

### 筋電インタフェース

ユーザの複数筋群に働く筋電位情報から運動要素を抽出し、その組み合わせによって、ロボットに所望の動作を生成させるユーザインタフェースを開発した。これにより、ユーザが行った動作をロボットへ容易に移植することが可能となった。人と同構造を有するロボットに対して運動学情報のみならず、動力学情報も移植できる点が大きな特徴である。

## (3) 開発環境を用いたロボット動作プログラミング

開発環境を用いたロボットプログラミングを行うにあたり、まずその対象として、人を模した筋骨格構造のロボット(アーム型、レッグ型)の開発を行った(図2)。ロボットの駆動源である空気圧式人工筋肉を先述の運動要素の組み合わせによって制御することで、所望の運動を生成することが可能である。また、本ロボットをコンピュータ上でも表現できるように筋骨格シミュレータの開発も行った。

これらの筋骨格ロボットおよび筋骨格シミュレータの実験を通し、タスクに応じた運動要素を適切に組み合わせることで到達運動や歩行運動の再現や新規パターンの合成が瞬時に行えることを検証した。

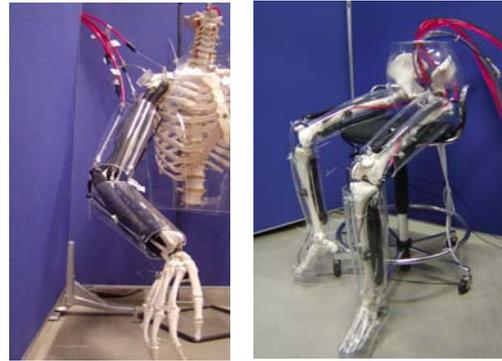


図 2. 筋骨格ロボット(左：アーム型、右：レッグ型)

また、これらの結果を統合し、1つのシステムにまとめることで、筋電インタフェースを用いた筋骨格ロボットのマスタ・スレーブ制御を実現し(図3)、提案システムの有効性を確認した。本成果は特許出願の形でまとめられている。



図 3. 筋電位情報を用いた筋骨格ロボットのマスタ・スレーブ制御

本研究で開発した運動要素抽出アルゴリズムは、対象の運動推定・運動生成において、その身体モデルを同定することなしに、冗長筋群の活動を数個の運動パターンに圧縮可能であり、低コストな計算でリアルタイム処理を容易とする。ここでは、筋拮抗比・筋活性化度という新概念を導入することで、前述の運動推定・運動生成を実現しており、他に類のない発明となっている。また、本技術を応用したロボット開発システムは極めて革新的である。

今後は、本発明を中核として、筋骨格構造を有する人の運動評価や運動支援へ展開を図り、スポーツ・リハビリテーション分野における新たな運動教示法の確立を目指したいと考える。

5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

上羽亮平、Pham T. T. Hang、平井宏明、宮崎文夫、人のクランク協調運動における動力学的役割分担、日本ロボット学会誌、2010。(査読有・採録決定)

天岡侑己、下平順、平井宏明、宮崎文夫、主成分分析を用いたヒトのスキルの再現とロボットへの移植、日本ロボット学会誌、2010。(査読有・採録決定)

平井宏明、宮崎文夫、人間から学ぶ：巧みな運動、日本ロボット学会誌、26(3)、234-237、2008。(査読無・招待論文)

[学会発表](計8件)

平井宏明・上羽亮平・Pham T. T. Hang・宮崎文夫、ヒトとロボットの協働作業における動力学的役割分担、第27回日本ロボット学会、2009年9月15-17日、横浜国立大学。

松居和寛、平井宏明、宮崎文夫、筋拮抗比に着目した筋電図による筋協調の解析、第27回日本ロボット学会、2009年9月15-17日、横浜国立大学。

河越祥平、松居和寛、平井宏明、宮崎文夫、筋拮抗比を用いたヒト上肢運動の動作解析、第27回日本ロボット学会、2009年9月15-17日、横浜国立大学。

天岡侑己・平井宏明・宮崎文夫、動作解析に基づいたヒトのスキルのロボットへの移植、第27回日本ロボット学会、2009年9月15-17日、横浜国立大学。

Ryohei Ueha, Pham T. T. Hang, Hiroaki Hirai, and Fumio Miyazaki, A Simple Control Design for Human-Robot Coordination Based on the Knowledge of Dynamical Role Division, Proc. of the 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 3051-3056, 11-15 October, 2009, St. Louis, USA.

Ryohei Ueha, Pham T. T. Hang, Hiroaki Hirai, and Fumio Miyazaki, Dynamical Role Division between Two Subjects in a Crank-Rotation Task, Proc. of 2009 IEEE 11<sup>th</sup> International Conference on Rehabilitation Robotics, 701-706, 23-26 June, 2009, Kyoto, Japan.

上羽 亮平・平井 宏明・宮崎 文夫、クランク協調運動における動力学的役割分担、第26回日本ロボット学会、2008年9月9-11日、神戸大学。

谷口遼太郎、平井宏明、宮崎文夫、足関節機能を支援する装着型ロボット装具のデザインと評価、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 講演会論文集 CD-ROM、1P1-D13、2008年6月5-7日、ビッグハット、長野。

[産業財産権]  
出願状況(計2件)

名称：インターフェース  
発明者：宮崎文夫、平井宏明、河越祥平、松居和寛、中野貴之  
権利者：国立大学法人大阪大学  
種類：特許権  
番号：特願 2010-029194  
出願年月日：平成 22 年 2 月 12 日  
国内外の別：国内

名称：筋シナジー評価及びその装置  
発明者：宮崎文夫、平井宏明、河越祥平、松居和寛  
権利者：国立大学法人大阪大学  
種類：特許権  
番号：特願 2009-212149  
出願年月日：平成 21 年 9 月 14 日  
国内外の別：国内

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

平井 宏明 (HIRAI HIROAKI)  
大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教  
研究者番号：60388147

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者

### 研究協力者

宮崎 文夫 (MIYAZAKI FUMIO)  
大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授  
研究者番号：20133142