

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19500377  
 研究課題名 多自由度電動義手のための表面筋電位信号に基づく複合動作実時間制御の実現  
 研究課題名（英文） Realtime and multiple degree-of-freedom electric hand system based on electromyogram signals  
 研究代表者  
 田中 和世（TANAKA KAZUYO）  
 筑波大学・大学院図書館情報メディア研究科・教授  
 研究者番号：70344207

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、筋電電動義手ための基本技術の開発を行った。これは人の筋電位信号からその動作の意図を識別する手法に基づくものである。特徴抽出において筋電位信号の周波数特性を追加することの有効性を示し、サポートベクターマシンを用いた動作識別法が有効で頑健であることを示した。また、本手法を実装した筋電インタフェースによりロボットハンドを実時間制御できることを実証した。筋電義手への応用では多数の前腕切断者を被験者として実現可能性を検証した。

## 研究成果の概要（英文）：

This research has developed basic techniques for operating electrical hands by Myoelectric interface which uses electromyogram(EMG) signals measured from human hands. Experimental results using developed techniques reveal that frequency characteristics of EMG signals are effective for signal pattern recognition and Support Vector Machine is robust for several EMG measuring environments. A prototype system of controlling a robot hand using EMG signals has also developed. The research has totally shown well feasibility of constructing an electrical hands system through experimental tests for forearm amputees.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：知能情報処理・信号処理

科研費の分科・細目：人間医工学 医用生体工学・生体材料学

キーワード：筋電位信号、ユーザインタフェース、機械学習、信号処理、パターン認識

## 1. 研究開始当初の背景

人間が四肢を動作させる場合、脳が発する指令に応じて筋肉に微弱な電流が流れ、筋肉が収縮し、意図した動作が実現される。その際、筋肉の収縮の程度に応じた筋電位信号が発生する。筋電位信号の計測には、筋肉に電極を刺し、筋電位信号を直接取得する方法と、電極を皮膚表面に貼付し表面筋電位信号を計測する方法がある。ここでは、体を傷付けず、手軽に計測可能な表面筋電位信号を対象とする。表面筋電位信号は、手足が不自由な身障者にとっては電動義肢のためのインタフェースへの利用が、また健常者にとっては新しい形態のヒューマン=マシンインタフェースへの応用が期待されている。しかし実際に四肢を動かす場合、複数の関節と筋肉が同時に動作するため、各筋で発生する筋電位は加重和として計測され、複数関節の動作を個別に判別することは難しい。また筋電位信号には筋肉の付き方や皮膚の状態によって個人差がある等、多くの研究開発課題がある。

しかしながらこれまで、手首を曲げながら指を握るといった同時に実行する複数の動作要素から構成される複合動作の識別と関節角度推定を実現した研究はない。そこで我々は、手軽に計測可能な表面筋電位信号を利用し、複数動作の実時間識別・関節角度推定手法の実現を目指す。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、人間の皮膚表面から得られる筋肉の活動を表す表面筋電位信号から、ユーザの意図する動作を実時間で推定しつつ、自然な感覚で多自由度電動義肢またはロボット等を操作可能なインタフェースを構築することである。

具体的には、以下の3項目を実現する手法の確立を目指す。

- (1) 動作識別率向上に有効な筋電位信号からの特徴量抽出手法の開発。
- (2) 多数の被験者や長時間の使用に耐える頑健な筋電位信号識別処理手法の開発。
- (3) 筋電位信号を計測抽出して、ロボットハンドなどを実時間動作させるシステ

ムの構築。

## 3. 研究の方法

本研究の目的を実現する具体的方法としては、次の3項目について開発を進める。

- (1) 動作識別率向上に有効な筋電位信号からの特徴量抽出手法の開発。表面筋電位信号を計測するための電極の最適な貼付位置について検討。これらにより、可能な限り電極の数を少なくし、より多くの関節動作を高い認識精度で実現することを目指す。
- (2) 同一ユーザであっても長時間の使用により、筋肉疲労や電極のずれ等が原因で、筋電位信号の出方に変化が現れる。そこで被験者データを数多く収集し、その要因を明らかにすることにより、経時変化に頑健な学習手法の確立を目指す。
- (3) 多様な物体に対し様々な作業を行うには、関節角度情報と力情報を的確に実現する必要がある。そこで複数の電極から得られる筋電位信号から抽出される様々な特徴量とその組み合わせにより、関節角度と力の関係を明らかにし、数理モデルとして実現する。これに基づいて実際のロボットハンドの制御をおこなう。

図1に、表面筋電位信号を用いた動作識別手法の処理の流れを示す。表面筋電位信号計測器、特徴抽出器、学習器、学習結果に基づく動作識別器から構成される。

最初、被験者は複数の健常者と対象とし、提案する識別手法の有効性を確認し、次に複数の前腕切断者を対象として、提案手法の応用性と実用性を確認し、段階的に研究開発を進めることとする。

動作識別器には、高い汎化性能を有するサポートベクターマシン（以後 SVM）を採用し、他の識別器についても実装し、識別性能の比較を行う。

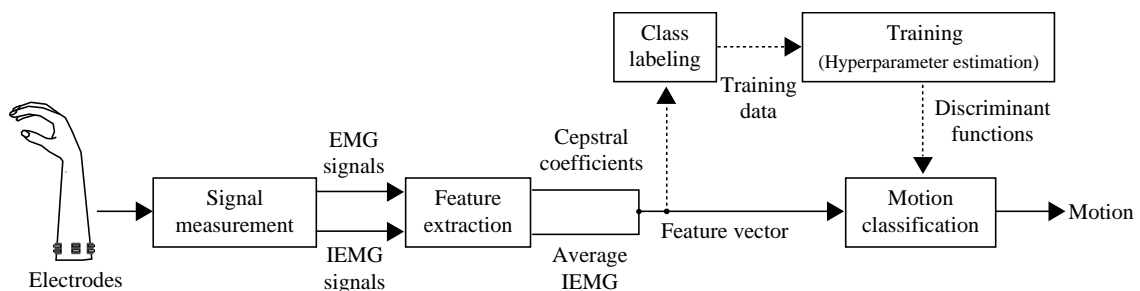


図1: 表面筋電位信号を用いた動作識別法の処理の流れ

#### 4. 研究成果

平成 19 年度は、健常者を対象に収集した筋電位信号から抽出した特徴量データの比較結果に基づき設計した複数手動作の動作識別器と、関節角度推定器およびそれらの学習器等を設計した。学習器と動作識別器は、SVM を用い設計した。図 2 に示すように、7 動作を識別とした。表面筋電位信号を計測する電極は、前腕部に 4 つ装着した。

8 人の健常者を対象とした動作識別実験結果を表 1 に示す。平均 94.6% の高い識別率が得られた。

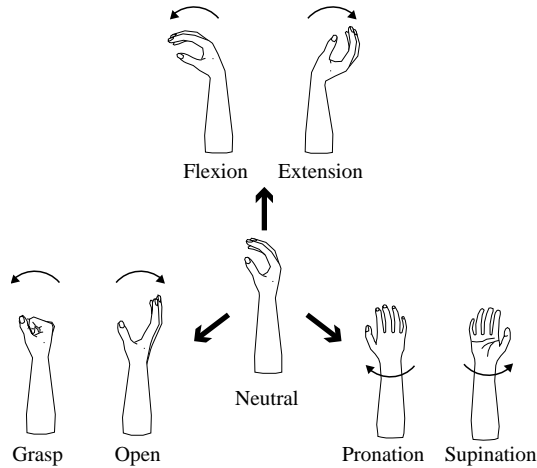


図 2: 識別対象の 7 動作 (健常者)

表 1: SVM による動作識別率 (健常者)

Subject	NE	FL	EX	GR	OP	PR	SU	Total
A	90.6	99.6	99.8	98.7	98.8	97.2	94.6	97.0
B	90.9	98.9	95.9	97.5	95.6	90.0	97.7	95.2
C	87.3	97.4	98.6	99.1	94.4	96.3	94.0	95.3
D	93.8	95.3	97.4	93.2	97.2	95.1	93.2	95.0
E	89.7	98.6	98.5	98.1	97.6	96.8	98.5	96.8
F	94.6	90.5	93.0	90.7	96.0	93.3	96.6	93.5
G	91.8	98.2	91.7	90.7	93.1	88.6	83.2	91.1
H	90.7	97.5	97.2	92.5	94.9	97.6	81.1	93.1
Mean	91.2	97.0	96.5	95.1	96.0	94.4	92.4	94.6

NE:Neutral FL:Flexion EX:Extension GR:Grasp OP:Open  
PR:Pronation SU:Supination

またリアルタイムで動作識別を行った被験者 A の実験結果を図 3 に示す。リアルタイムで手の動作を識別し、同時に関節角度も推定できていることがわかる。図 4 に作製したシステムを示す。

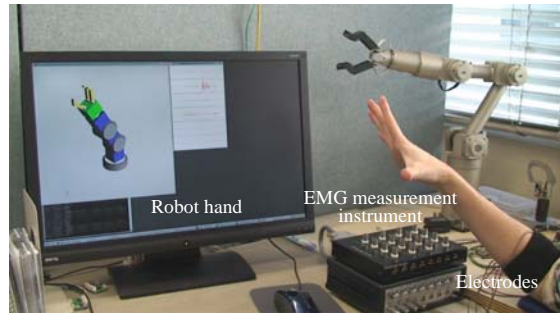


図 4: 筋電インタフェースシステムによるロボットハンド制御の様子

平成 20 年度は、国立障害者リハビリテーションセンターの協力の下、前腕切断者の筋電位信号のデータ収集を実施した。被験者は筋電位を意図通りに制御するための特別な訓練経験はなく、年齢、切断からの経過時間、断端長、幻肢の有無等の条件は様々であった。その人数は 7 名と、世界的にも多数の被験者を対象としたデータを収集することができた。収集した筋電位信号データと平成 19 年度の成果に基づき、平成 20 年度では身障者に適した筋電位信号特徴量を新規に検討し、同時に新規設計した動作識別器を用いた識別実験を実施した。

ただし健常者に比べて前腕切断者の表面筋電位信号は得にくいことと、誤動作の少ない高い識別率 (高い実用性) を考慮し、識別対象とする動作は、図 5 に示す 5 動作とした。被験者が電極を装着している様子を図 6 に示す。

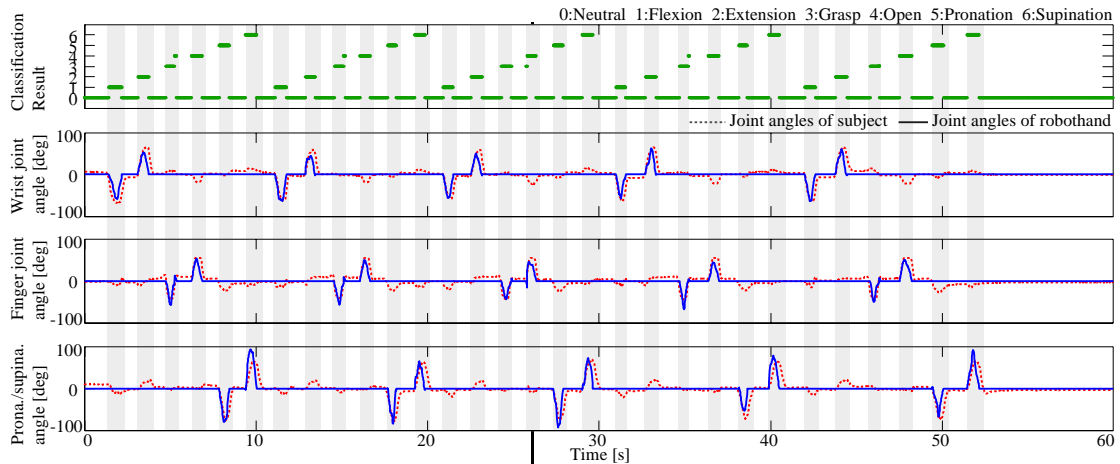


図 3: 被験者 A (健常者) のリアルタイム動作識別の例

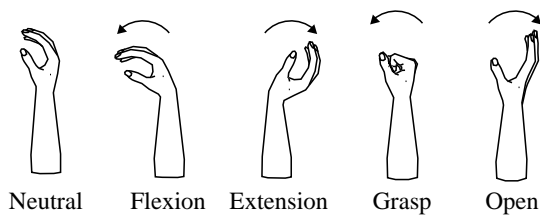


図 5: 識別対象の 5 動作 (前腕切断者)

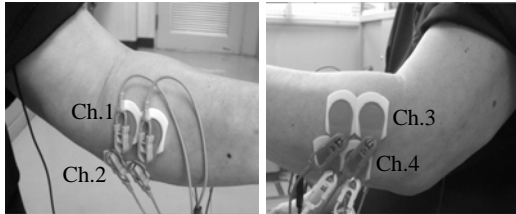


図 6: 電極装着位置の例 (前腕切断者)

7 人の前腕切断者を対象とした動作識別実験結果を表 2 に示す。その結果、被験者平均で 94.1% と高い識別率を示し、識別率が最も高い被験者で 98.0%、最も低い被験者でも 90.9% と非常に高い動作識別結果が得られ、我々の動作識別器の有効性が証明できた。

また義肢装具士の協力の下、軽量な材質、簡単な機構、安価なロボットハンドの試作も行った。本ロボットハンドは、メンテナンス性も考慮した実用的なものである。

表 2: SVM による動作識別率 (前腕切断者)

Subject	NE	FL	EX	GR	OP	Total
A	92.8	98.8	88.7	97.7	95.1	94.6
B	90.2	99.4	98.2	95.6	96.6	96.0
C	93.5	97.6	84.1	91.7	89.3	91.2
D	93.7	92.5	96.2	89.4	94.5	93.3
E	94.2	99.5	98.3	98.6	99.2	98.0
F	94.5	95.5	88.0	98.1	78.5	90.9
G	87.1	94.6	97.6	94.9	97.6	94.4
Mean	92.3	96.8	93.0	95.1	93.0	94.1

NE: Neutral FL: Flexion EX: Extension GR: Grasp OP: Open

平成 21 年度では、本研究の提案である SVM に基づく動作識別器に加え、ベイズ決定法 (BDR)、k-最近傍法 (k-NN)、ニューラルネットワーク (MLP) といった代表的な識別器との詳細な性能比較や、誤認識の分析等を行い、本提案手法の有効性をさらに詳しく検証し、その有効性を確かめた。

健常者と前腕切断者に対して、各識別器の識別率の比較をそれぞれ図 7, 8 に示す。いずれの場合も、SVM がもっとも高い識別率が得られ、有効性が示された。また、電極を長時間装着し、各識別器の識別率がどのように変化するかを検討した。その識別率の時間に

対する変化を図 9 に示す。

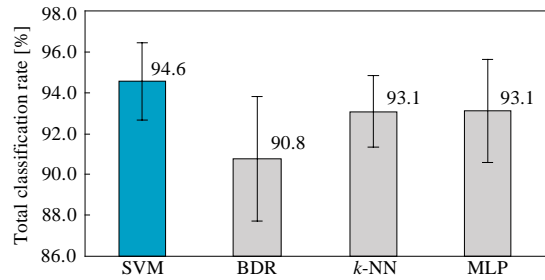


図 7: 各識別法における総識別率の比較 (健常者)

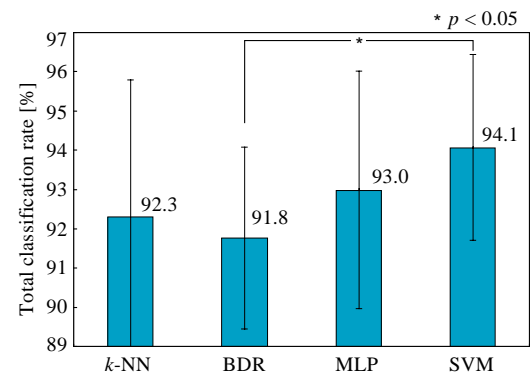


図 8: 各識別法における総識別率の比較 (前腕切断者)

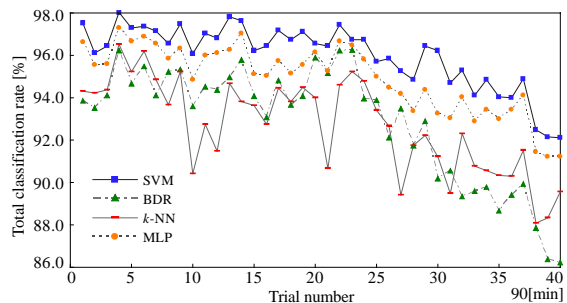


図 XX: 長時間実験での総識別率の変化

## 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)

- ①吉川雅博、三田友記、三河正彦、田中和世、“前腕切断者を対象とした筋電位信号に基づく手の動作識別法に関する基礎的研究”、人間工学 (日本人間工学会誌)、Vol. 46. No. 3, pp. 197-207, 2010. 査読有
- ②吉川雅博、児島宏明、田中和世、“頸部から計測した筋電位信号を利用した発話認識”、ヒューマンインタフェース学会論文誌 Vol. 11. No. 3, pp. 293-302, 2009. 査読有

③吉川雅博, 三河正彦, 田中和世, “筋電位を利用したサポートベクターマシンによる手のリアルタイム動作識別,” 電子情報通信学会論文誌D, vol. J92-D, No. 1, pp. 93-103, 2009. 査読有

[学会発表] (計9件)

査読付国際会議論文:

① Masahiko Mikawa, Masahiro Yoshikawa, Takeshi Tsujimura, Kazuyo Tanaka, “ Librarian Robot Controlled by Mathematical AIM Model, ” ICROS-SICE International Joint Conference 2009 (ICCAS-SICE 2009, Fukuoka International Congress center, Japan, pp.1200-1205, Aug.18, 2009.

② Masahiko Mikawa, Masahiro Yoshikawa, Takeshi Tsujimura, Kazuyo Tanaka, “ Intelligent Perceptual Information Parallel Processing System Controlled by Mathematical AIM Models, ” IEEE-RAS 7th International Conference on Humanoids Robots (Humanoids 2007), pp.389-403, Pittsburg, America, Nov.27, 2007.

③ Masahiro Yoshikawa, Masahiko Mikawa, Kazuyo Tanaka, “A Myoelectric Interface for Robotic Hand Control Using Support Vector Machine, ” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2007), San Diego Sheraton Hotel, America, pp. 2723-2728, Oct. 2, 2007.

④ Masahiro Yoshikawa, Masahiko Mikawa, Kazuyo Tanaka, “Hand Pose Estimation Using EMG Signals , ” Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2007), Lyon Convention Center , France , pp. 4830-4833, Aug. 23, 2007.

学会・研究会発表(査読なし)

⑤ 吉川雅博, 三河正彦, 三田友記, 田中和世, “筋電義手のための筋電位信号に基づく手の動作意図の推定,” 第22回バイオエンジニアリング講演会, 岡山理科大, pp.183, 2010-1-9.

⑥ 吉川雅博, 三田友記, 三河正彦, 田中和世, “筋電に基づく手の動作識別法の前腕切断者を対象とした有効性の検討,” 福祉工学シンポジウム講演論文集, pp.135-136, 高知工科大, 2009-9-24.

⑦ 三河正彦, 吉川雅博, 三田友記, 田中和世, “前腕切断者の筋電位を用いた手の動作意図の推定,” 第26回東海ファジィ研究会, 日間賀島公民館, 2009-2-21.

⑧ 吉川雅博, 三河正彦, 田中和世, “筋電を利用したリアルタイム動作推定,” 義手を語る会 in Mihara 2nd 講演予稿集, pp.17-22,

県立広島大, 2007-12-7.

⑨ 吉川雅博, 児島宏明, 三河正彦, 田中和世, “表情筋および頸部の筋電位信号を利用した日本語母音の識別,” 福祉工学シンポジウム 2007 講演論文集, pp.80-83, 産総研, 2007-10-1.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田中 和世 (TANAKA KAZUYO)  
筑波大学・大学院図書館情報メディア研究科・教授  
研究者番号: 70344207

### (2) 研究分担者

三河 正彦 (MIKAWA MASAHIKO)  
筑波大学・大学院図書館情報メディア研究科・准教授  
研究者番号: 40361357