

平成 21 年 6 月 2 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19860031  
 研究課題名（和文） ブレインマシンインタフェースへの応用に向けた運動軌道生成システム  
 開発  
 研究課題名（英文） Trajectory formation system of reaching movement for brain-machine  
 interface application  
 研究代表者  
 神原 裕行（KAMBARA HIROYUKI）  
 東京工業大学・精密工学研究所・助教  
 研究者番号：50451993

## 研究成果の概要：

本研究では、将来のブレインマシンインタフェースへの応用を目指し、人間らしい運動軌道を生成するシステムの開発を目指した。特に、腕の二点間到達運動を様々な運動を構成する基本的な要素単位（運動プリミティブ）と仮定し、それらを適切に組み合わせることにより経由点が存在する複雑な到達運動に関して人間と同様の特徴を持った軌道を生成できることが確かめられた。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,120,000	0	1,120,000
2008年度	1,220,000	366,000	1,586,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,340,000	366,000	2,706,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 知能機械学・機械システム

キーワード：計算論的神経科学, 知能ロボティクス, ユーザインタフェース, 機械力学・制御

## 1. 研究開始当初の背景

(1)脳活動のデータから使用者の意図を推定し、コンピュータやロボットを制御するブレインマシンインタフェース（BMI）の研究が盛んに行われており、将来には、脊髄・末梢神経を介さない義肢やロボットアームの随意的な制御が行える可能性がある。一方、脳活動を計測する装置の空間的・時間的分解能

の問題から、「手を伸ばす」のような動作自体は推定できたとしても、「手の伸ばし方」のような動作の詳しい情報を推定するのは困難である。したがって、ロボットアームを制御するためには、推定した動作に応じた運動軌道を計画する必要があるが、使用者に違和感を感じさせないためにも人間らしい軌道を計画することが望ましい。

(2)これまでの研究において、脳内の運動制

御メカニズムの解明を目指し、腕の二点間到達運動に関する計算論的な運動制御モデルの開発を行ってきた。このモデルを用いることにより、運動の始点と終点を結ぶ目標軌道を計画することなく、人間らしい運動軌道を再現できることをコンピュータシミュレーションやゴム人工筋を持つロボットアームを用いて確かめてきた。

## 2. 研究の目的

本研究では、腕の随意運動に関する人間らしい運動軌道を複雑な最適化計算などを行わずに生成するシステムの開発を目指す。現在までにも、腕の到達運動に関する目標軌道計画モデルはいくつか提案されている。しかし、人間のような滑らかな運動軌道を計画するためには、たとえ二点間到達運動のような単純な運動であっても腕のダイナミクスを考慮した複雑な最適化計算が必要となり、オンラインでロボットへの目標軌道を生成することは困難である。そこで本研究では、ある点から別の点に手先を動かす「二点間到達運動」を、複雑な運動を構成する基本的な要素である「運動プリミティブ」と仮定し、「二点間到達運動」を組み合わせることでより複雑な到達運動を実現する計算論的な運動計画・制御モデルを構築する。そして、構築したモデルを用いて計算機上の仮想腕を制御した結果得られる運動軌道と人間の運動軌道を比較し、人間らしい軌道を再現できるかを検証する。

## 3. 研究の方法

(1) 本研究では、人間の被験者に肩を含む矢状面において経由点の一つ存在する到達運動を行ってもらい、その運動軌道を三次元位置計測装置で計測する。その後、二点間運動を運動プリミティブとして組み合わせた運

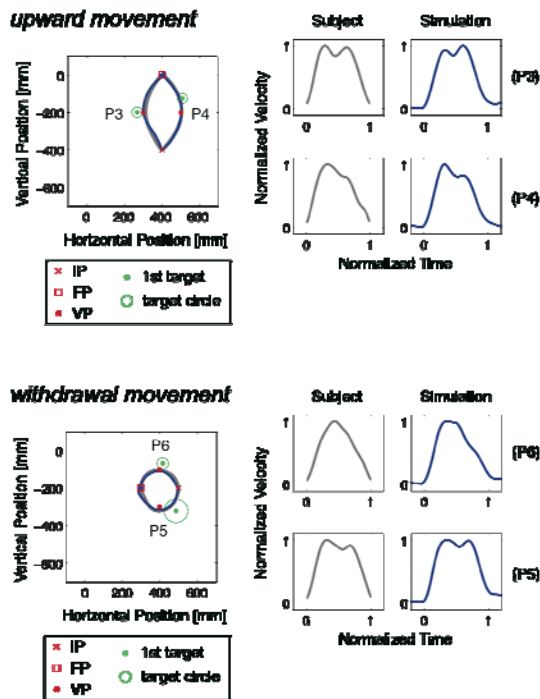
動によって、被験者の運動軌道を計算機上で再現できるかを検証する。

(2) これまでに構築した二点間到達運動の制御モデルでは、運動の終点が目標位置として入力されると、仮想腕の状態に応じた制御指令を出力する。この制御指令に応じて仮想腕の状態を毎時刻更新することにより二点間到達運動が実現される。経由点が存在する場合、目標位置を運動の開始時は経由点、運動中のいずれかのタイミングで運動の終点に切り替えることにより手先が経由点を通る到達運動が実現される。ただし、速度を保ったまま経由点を滑らかに通過するには、手先が経由点に到着する前に目標位置を運動の終点に切り替える、あるいは目標位置を実際の経由点とは異なる位置に設定するなどが必要となる。本研究では、運動開始時の目標位置、および目標位置を運動の終点に切り替えるタイミングという二つのパラメータを操作し、計算機上の仮想腕を用いて経由点のある到達運動をシミュレーションする。

## 4. 研究成果

(1) 計測実験において、肩を含む矢状面内において、始点と終点の間に経由点がある到達運動の手先の軌道を計測した。その結果、始点と終点を結ぶ直線に対して対称に配置されたそれぞれの経由点を通る二つの到達運動では、手先の軌跡が対称とならないこと、また手先の速度波形も異なる特徴を持つことが確かめられた(図1)。この実験結果は、水平面内における到達運動において従来から確かめられてきたものと同様の傾向を示しており、到達運動が腕の動特性を考慮して生成されていることが示唆された。

(2) また、計算機実験では、始点と経由点、および経由点と終点を結ぶ二つの二点間到達



図：人間とシミュレーションにおける到達運動時の手先の軌跡とその速度波形

達運動を時間的にシリアルにつなげることにより、計測実験で得られた人の運動軌道が計算機上で再現できることを確かめた。この際、運動開始時の目標位置、および目標位置を運動の終点に切り替えるタイミングという二つのパラメータを、運動の軌跡がなるべく被験者のものと近くなるように最適化した。その結果、人間が行っているような滑らかな運動を生成するためには、運動開始時の目標点を実際の経由点と少しずつらした位置に設定すること、また実際に手先が前半の運動の目標点に到達する前に後半の運動に切り替える必要があることが確かめられた。これは、経由点のある滑らかな到達運動を二つの二点間到達運動をつなげて生成するために、前半の運動の目標位置および二つの運動を切り替えるタイミングという二つのパラメータを始点、経由点、終点の位置に応じて適切に決定すれば良いことを示す結果であり、運動の開始から終了までの各時刻の目標

軌道を決定しなければならない従来の運動計画モデルよりもはるかに少ないパラメータで人間の到達運動が再現できる可能性があることを示すことができた。

## 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 1 件)

1. Hiroyuki KAMBARA, Kyoungsik KIM, Duk SHIN, Makoto SATO, Yasuharu KOIKE, Learning and generation of goal-directed arm reaching from scratch, *Neural Networks*, 2009 (In press) 査読有

[学会発表] (計 5 件)

- ①. Hiroyuki KAMBARA, Kyoungsik KIM, Yasuharu KOIKE, Comparing muscle activation patterns in movements with computational model prediction, *Neuroscience 2008*, 2008.11.17, Washington Convention Center
- ②. 神原裕行, 金敬植, 小池康晴, 経由点を含む二点間到達運動に関する運動制御モデルの提案, 日本神経回路学会第18回全国大会, 2008.9.24, 産業技術総合研究所
- ③. 神原裕行, 塚本雄大, 金敬植, 辛徳, 佐藤 誠, 小池 康晴, 試行錯誤な学習を可能とする腕の到達運動制御モデル, 計測自動制御学会, 2007.11.26, 国立オリンピック記念青少年総合センター
- ④. H. Kambara, K. Tsukamoto, K. S. Kim, D. Shin, M. Sato, Y. Koike, Learning of arm reaching task in a trial-and-error manner, *JSPS 日伊合同セミナー*, 2007.11.15, 京都大学
- ⑤. H. KAMBARA, K. KIM, D. SHIN, M. SATO, Y. KOIKE, Arm reaching movements generated by the "final point control" with internal models, *Neuroscience 2007*, 2007.11.4, San Diego Convention Center

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神原 裕行 (KAMBARA HIROYUKI)  
東京工業大学・精密工学研究所・助教  
研究者番号：50451993

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし