

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 21 日現在

機関番号：34428

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21700227

研究課題名（和文） 身体動作インタフェースと近似人間動作による直感的操作系の実現

研究課題名（英文）

The Intuitive Interface based on Human Body Motion Interface and Pseudo Human Motion

研究代表者

横田 祥 (YOKOTA SHO)

摂南大学・理工学部・講師

研究者番号：40434386

研究成果の概要（和文）：本研究は、直感的操作系を可能とするために、身体動作インタフェースを提案した。身体動作インタフェースは、人間の随意運動に伴う、身体の動きを利用しているため、直感的なインタフェースであることが分かった。また、人間と異なる機械の動きを人間に近づけることができれば、より直感的に機械を操作できると考え、機械の拘束動作を人間動作に近づける近似人間動作の実現法を見出した。

研究成果の概要（英文）：This research proposed the Human Body Motion Interface(HBMI) to realize intuitive control interface. It was confirmed that the HBMI is the intuitive interface, because it uses the body movement caused by voluntary action or movement. In addition, the pseudo human motion was derived which is the exemplar motion to the machine approximating to human motion. because we considered that if we let the machine's motion approximate human motion, more intuitive operation would be possible. After that, the pseudo human motion was implemented to the machine, and then we were able to let the machine's motion approximate to the human motion.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：感覚行動システム、身体動作インタフェース、人間動作、

1. 研究開始当初の背景

機械が高度化するにつれて、その操作用インタフェースは複雑化する。このため、人間はインタフェースの操作に関して事前学習を必要とする。また、その後でも複雑な操作を実現するためには、高度な推論を要求されることがある。一方、研究代表者の先行研究により、電動車いすを例にとり、機械の動作

が通常パターンの範疇内という条件の下で、操作者をいわゆるハンズフリーの状態にして、機械操作と同時に他の作業ができるようにすれば、作業効率の向上のみならず作業ストレスを軽減できるという知見を得ている。

このアイデアを具現化する類似した研究として、機械の知能化や生体情報インタフェースがある。前者は人間・機械の関係を考

察するものではなく、後者は単にインタフェースの入力信号の種類を増やしているものであり、本研究の趣旨である直感的操作を可能とするインタフェースの実現に関する研究とは内容が異なる。

人間が自身の四肢の直感的動作を可能としているのは、長い年月を経て自身の四肢を自認して、その機構を暗黙知として熟知した上で、その操作法をやはり暗黙知として習得しているからである。一方、機械の動作は人間よりも自由度が少なく、拘束された動作（拘束動作）を示すため、当然、人間とは動作が異なる。このため、インタフェースを介して人間は機械を操作せざるを得ない。しかも、インタフェース操作の事前学習と操作中の推論が要求される。

そこで、機械の拘束動作の範疇で、人間の直感的動作に近づける一連の動作のパッケージ（近似人間的動作と称する）を見出すことができれば直感的操作系が可能となる、というのが本研究の主張である。

2. 研究の目的

本研究は、人間のように動作する機械(近似人間動作を示す機械)と随意運動に伴う自然な体の動きを利用した身体動作インタフェースにより、直感的な操作系が実現できると考える。したがって、本研究の目的は、機械の拘束動作を人間動作に近づける近似人間動作の実現法とその評価法を見出すことと、身体動作インタフェースの実現である。この目的を次の(1)~(4)の研究テーマに細分化した。

- (1) 機械動作の拘束条件を考慮した近似人間動作の実現法の研究
- (2) 身体動作センシングの研究
- (3) 身体動作から近似人間動作へのマッピング方法の研究
- (4) 実機を用いた直感的操作性の評価

3. 研究の方法

(1)「機械動作の拘束条件を考慮した近似人間動作の実現法の研究」

近似人間動作を実現するために、まず、機械動作の手本となる人間動作（これを標準人間動作と称す）を用意した。そして標準人間動作を機械動作に実装することで、機械動作が人間の動きに近づくことができ、近似人間動作が実現される。

標準人間動作を用意する場合、どの被験者動作を手本とすべきかという問題がある。通常、同じ動作を行う場合でも、個人の身体的特徴や癖により、様々な動作パターンが存在する。

一方、機械に標準人間動作を実装する近似人間動作は、機械に直接指令するため、時間軸で表現されたある特定の1つの動作パタ

ーンであることが必要である。

これら2つの問題点を解決するために、本研究は以下の方針を立てた(図1)。

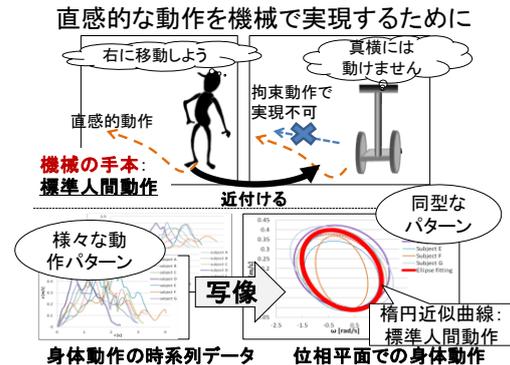


図1. 標準人間動作の表し方

個人ごとに異なる時系列で表現された動作パターンを位相平面に写像し、各個人動作に共通する基本動作を取り出すことを考え、それを標準人間動作とする。このために、まず、時系列の計測データから計測誤差等の高調波を取り除き、動作の基本パターンを見出すことと、位相平面への写像を容易にするため、離散フーリエ変換(DFT)を用いて基本波成分を抽出する。そして、それを位相平面に写像することで時間空間では個人毎に異なる動作も、位相平面では、ほぼ同様なパターンとなることを示す。最後に、この位相平面における各個人の動作パターンを最小二乗近似で1つの楕円曲線に当てはめ、これを人間の直観的な動作と捉え機械動作の手本となる標準人間動作とする。

近似人間動作の実現のためには、位相平面の軌道を時間空間に逆写像し、時系列の動作データを導出する。この時系列のデータが機械への制御入力となり、個別の動作に対応してあらかじめパッケージ化される。このあらかじめ用意された動作データを機械に実装することで、人間の動きに近づけた機械動作が実現する。

以上の方針のもと、対象とする機械として、非ホロノミック系の移動車両を取り上げた。図2は、非ホロノミック系の移動車両である。

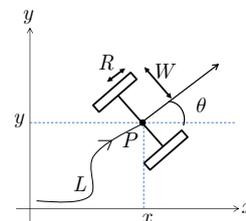


図2. 対象とする機械システム

この車両の制御入力は、進行方向の速度 $v = \dot{L}$ と角速度 $\omega = \dot{\theta}$ の2つである。この対象システムにおいて近似人間動作を見出すとは、ある

特定の動作における、これら2つの制御入力を人間の動きに近づけた形で表現することである。

人間の動きに近づけるためには、人間の動きを計測し数値処理を施し、制御入力を決定する必要がある。このために、人間のどの身体部位の動きを利用すべきかという点を、予備実験を通して明らかにした。

予備実験では、モーションキャプチャシステムを用いて、被験者が直進→右折→左折という動作(図3)を行ったときの、被験者の肩、腰、左右大腿部の位置と姿勢を記録した。

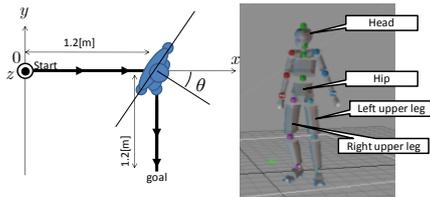


図3. 予備実験動作

予備実験の結果、人間の移動運動において、腰の姿勢角を中心に、頭の姿勢角の位相が進み、大腿部の位相が遅れるという特徴が現れた。そのため、人間動作の計測部位として、腰の位置・姿勢を採用した。

標準人間動作と近似人間動作を見出すために、図4に示す動作(姿勢を変えて真横に移動する)を例題として取り上げた。

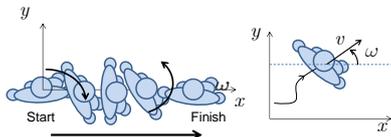


図4. 対象動作

7人の被験者を用いて図4の動作を行ったときの腰の速度と角速度の時間変化を計測した。その結果の例として腰の角速度変化を図5に示す。

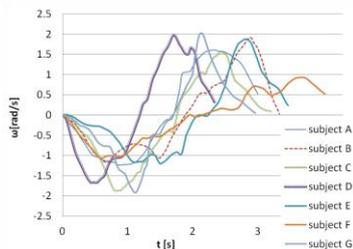


図5. 被験者ごとの腰の角速度変化

被験者ごとに身体パラメータが異なるため、動作時間や振幅が当然異なることが分かる。本研究の目的は、この人間動作から機械の手

本となる動きを見出し、それを機械に実装させ人間のような動きを機械で実現することである。しかしながら、計測結果から1つの手本を選ぶことは、動作時間や振幅が被験者ごとに異なることから、難しい。

そのため、計測データから時間要素を取り除き、見通し良く、検討できるように、時間軸で表現された計測データを位相平面に写像する。ただ、計測データには、ノイズや歩行周期の成分が含まれるため、計測データを直接位相平面に写像しても見通し良く位相関係を把握できない。よって、計測データから離散フーリエ変換(DFT)により基本波成分を取り出す(図6)。

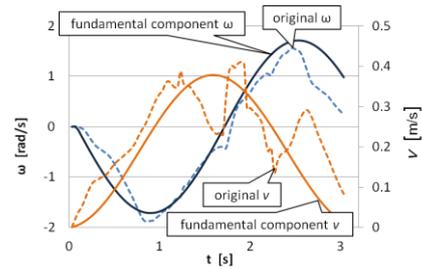


図6. DFTによる基本波成分の抽出

この操作を7人の被験者の動作データに施した後、位相平面(横軸：角速度、縦軸：速度)に写像した(図7)。

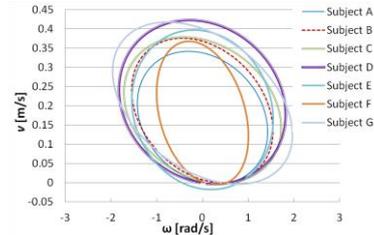


図7. 位相平面上の各被験者の動作

これにより、時間軸で見ると、異なる動作も、位相平面ではおおよそ同じような軌跡で描かれることが分かる。したがって、図7に示す位相平面上の動きの平均をとり、それを機械の手本となる人間動作である標準人間動作とする。平均の求め方としては、最小二乗近似による楕円への当てはめを採用した。当てはめた楕円を図8に示す。

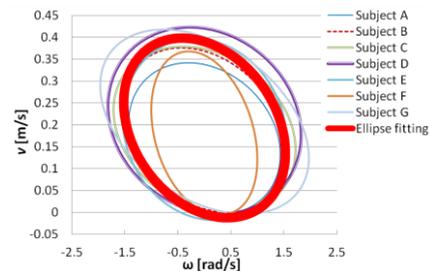


図8. 平均の動作(近似楕円)標準人間動作

この図において、赤色の太線が近似楕円であ

る。この楕円が対象動作における人間の共通する動作であると考えられ、これを機械の手本となる標準人間動作とした。

最後に、この動きを機械に実装させ、人間のように動作する機械の動作である近似人間動作を実現させる。機械を動作させるためには、機械への制御入力には時間を基準にした形で表現されなければならない。そこで、図8の標準人間動作を時間空間に逆写像し、それを近似人間動作とした。逆写像にあたっては、動作時間を設定する必要があるため、今回は7人の被験者の動作時間の平均値である3.3秒とした。逆写像し得られた近似人間動作を図9に示す。

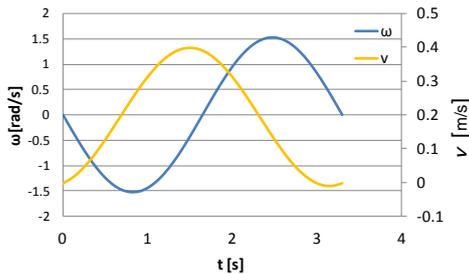


図9. 対象動作の近似人間動作

以上の方法により、機械の動きを人間動作に近づけた近似人間動作を見出した。

(2) 「身体動作センシングの研究」

身体動作インタフェースは、随意運動によって生じる体の動きをインタフェースへの入力として利用するものである。このことにより、通常のインタフェースのような操作器を操る意識や感覚がないため、直感的なインタフェースであるといえる。ここでは電動車いすの操作を例題として身体動作インタフェースの実現を考えた。

このために、まず、身体動作の計測方法と計測箇所の検討を行った。車いす乗車時の身体の動きは主に上半身であることから、上半身の動きを計測し、インタフェースへの入力とする。様々な計測方法から、本研究は、無拘束で計測できることと、ユーザは常に車いすと物理的接点をもつことから、椅子の圧力分布情報を利用することとした。

ただ、椅子と上半身との大きな接点として、座面と背もたれの2つがあり(図10)どちらの圧力分布を利用すべきかという問題があった。このことを予備実験を実施し明らかにした。

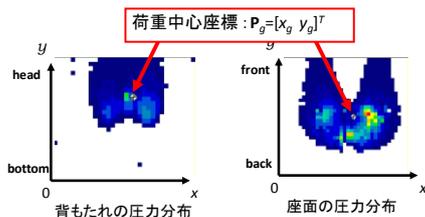


図10. 座面と背もたれの圧力分布
このために、図11に示す上半身に取り付けた傾斜計で測定した上半身の傾斜に対する圧力分布の荷重中心座標の変化を測定した。

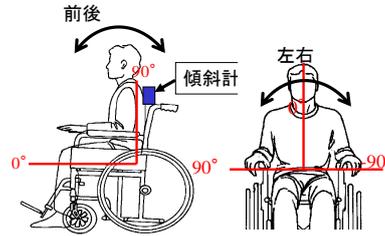


図11. 上半身の傾斜計

予備実験の結果、背もたれの圧力分布が座面と比べより顕著に上半身の動きを表すことが分かった。

次に、この結果に基づき、試作機を製作した。この試作機は、図12に示すとおり、市販の電動車いすをベースにし、背もたれに圧力センサの情報に応じて、電動車いすを操作するものである。

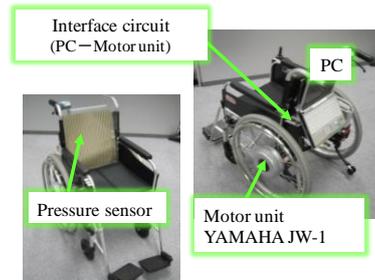


図12. 試作機の外観

試作機を用いて、身体動作インタフェースにより車いすを操作できることが確認された。

(3) 「身体動作から近似人間動作へのマッピング方法の研究」

近似人間動作は、直進・後進・右折・旋回等の一連の動作を標準人間動作に基づいてあらかじめ用意した制御入力のパッケージである。(1)の例では、右への移動という一連の動作の近似人間動作の例を示した。)身体動作を用いて近似人間動作を示す機械を操作するためには、これらの動作のパッケージと身体動作を1対1で対応付ける必要がある。この時、人間の動作は、精密な動き(繰り返し精度や位置決め精度)を実現することが難しいため、ユーザが同じ動作を意図して体を動作させたとしても、身体動作の計測値は、必ずしも一致しない。したがって、近似人間動作の動作パッケージと身体動作を単純に1対1で対応付けることはできない。仮に行うとすれば、誤った対応付けが行われる可能性があり、機械の動きと操作意図との間に違いが生じ意図のミスマッチが起こる。

このため、身体動作から曖昧性を吸収し、動作パッケージに対応して、ユーザの身体動作を分類することで、身体動作と近似人間動作をマッピングすることが可能となると考えた。

この分類のため、本研究では、自己組織化マップ(SOM)を用いた。SOMの学習パラメータは、学習半径 500,000, 学習率 0.02, 半径 6, マップサイズ 20×20 とした。

分類する身体動作は、(2)の例題で用いた身体動作インタフェースによる電動車いすを想定し、この操作のために必要な7つ(中立, 前傾, 後傾, 右傾, 左傾, 右ひねり, 左ひねり)とした。

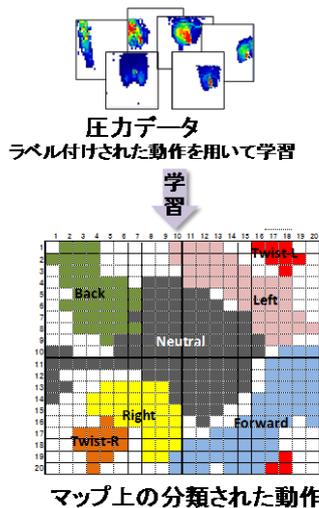


図 13. 分類された7つの動作

図 13 に示す結果のとおり、身体動作を7つの動作に部類することができた。これにより、人間の曖昧な動作を吸収することができ、ユーザの身体動作を機械操作に必要な7つに集約することができた。

(4) 「実機を用いた直感的操作性の評価」

直感的操作性を評価するために、(2)で述べた身体動作インタフェースによる電動車いすの操作性を直感性または操作意図が操作に反映されているかという点について評価した。このことを評価する方法として、官能評価手法が妥当と考え、本インタフェースの評価法として、感性工学やインタフェースの評価で広く利用されている SD(Semantic Differential)法を採用した。

本評価実験において、10名の被験者(20代男性、本システムによる走行が未経験)による走行実験を行った。各被験者は1回の試行(5分間)中に、屋内の平面な床の上(4m×4m)を自由走行する。このとき、走行回数に制限は設けない。試行の直後、操作感に対するアンケート調査を行い SD 法により評価した。アンケート用紙では以下の形容語対

を5段階で記した。

- 複雑⇔単純
- 間接的⇔直感的
- 不便⇔便利
- 難しい⇔やさしい
- 思い通りでない⇔思い通り
- 反抗的⇔素直な

図 14 が被験者回答の平均である。

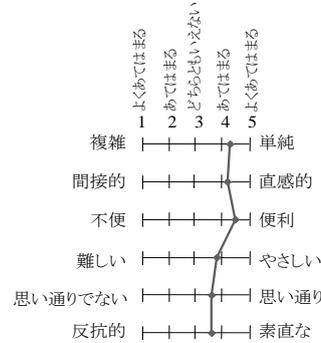


図 14. SD プロフィール

この結果から提案した操作系は肯定的な感触を得ていることが分かる。さらに分析を進めるために、因子分析を行った。上記の各形容語間の相関係数を基に主因子解法により因子負荷量を求めたのち、バリマックス回転により因子抽出を行った。このときの因子の抽出基準は固有値 1.0 以上とした。因子分析の結果、2つの因子が抽出され、第1因子は、「直感的、単純」を表し、第2因子は「思い通り」を表すことがわかった。この2つの因子を2軸とした平面に各被験者の因子得点をプロットし、各被験者の印象の傾向を得たものが、図 15 である。

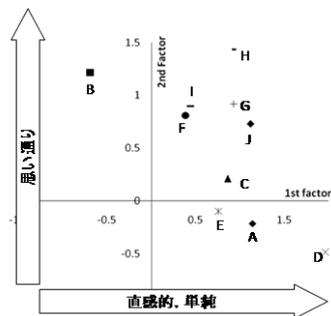


図 15. 各被験者の因子得点分布

この図から、提案した操作系が直感的で単純、かつ思い通りであるということが分かった。

4. 研究成果

本研究は、研究目的を大きく4つのサブテーマに分類し、研究を推進した。以下にそれぞれのサブテーマで得られた成果について述べる。

(1) 「機械動作の拘束条件を考慮した近似人間動作の実現法の研究」

次の2点が得られた成果となる。このことは、主に5節〔学会発表〕①の文献に掲載し、公表した。

①人間動作の表現方法：通常動作は時間軸で表現されるが、これを3節で示した方法により、時間軸では異なる動作も、統一的に表現できることが分かった。

②近似人間動作の設計方法：①で得た表現を逆写像し、機械に実装することで人間の動きの基本成分を再生することができ、機械の動きを人間の動きに近づけることができる。

(2)「身体動作センシングの研究」

次の2点について知見を得た。このことは主に5節〔雑誌論文〕①, ③〔学会発表〕③, ④の文献に掲載し、公表した。

①人間の移動動作における動作の中心は、位相の観点から腰であること。

②いすの圧力分布において、背もたれの圧力分布が座面の圧力分布より、顕著に身体動作を表す。

(3)「身体動作から近似人間動作へのマッピング方法の研究」

次の点について成果を得て、主に5節〔雑誌論文〕①, ③〔学会発表〕②, ③の文献に掲載し、公表した。

①自己組織化マップにより、身体動作から曖昧性を除去し、機械動作に応じた分類数に、身体動作を分類し、身体動作を機械動作にマッピングすることができる。

(4)「実機を用いた直感的操作性の評価」

次の点について成果を得て、主に5節〔雑誌論文〕③に掲載し、公表した。

・身体動作インタフェースは、直感的なインタフェースであり、有用性が認められる。

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 4 件)

- ① 橋本洋志, 横田 祥, 新妻美保子”人間支援機器の設計と開発動向”, 日本設計工学会誌「設計工学」, 査読無, Vol.46, No. 4, pp. 175-183, April. 2011
- ② Sho Yokota, Hiroshi Hashimoto, Yasuhiro Ohyama, Jinhua She, "Electric Wheelchair Controlled by Human Body Motion - Classification of Body Motion and Improvement of Control Method -", Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol.22 No.4, pp. 439-446, Augsut 2010, <http://www.fujipress.jp/JRM/>
- ③ 横田 祥, 橋本洋志, 大山恭弘, しゃ錦

華, "身体動作インタフェースを利用した電動車椅子の操作", 電気学会論文誌 C, 査読有, Vol.129-C, No.10, pp. 1874-1880, 2009

〔学会発表〕(計 15 件)

- ① 横田 祥, 橋本 洋志, 中後 大輔, 大山 恭弘, "位相平面に基づく標準人間動作の生成 ~非ホロノミック系移動プラットフォームを例題に~", 第12回(社)計測自動制御学会S I 部門講演会論文集 pp. 865-868, 2011年12月23日, 京都大学
- ② Sho Yokota, Hiroshi Hashimoto, Yasuhiro Ohyama, Daisuke Chugo, Jinhua She, Hisato Kobayashi, "Absorption of Ambiguous Human Motion on Human Body Motion Interface", 2011 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2011), 査読有, pp.853-858, 2011年6月28日, ポーランド, グダンスク
- ③ Sho Yokota, Hiroshi Hashimoto, Yasuhiro Ohyama, Jinhua She, Daisuke Chugo, Hisato Kobayashi, "Distinction of Intention and Improvement of Operation on Human Body Motion Interface", Proc. of the 19th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication RO-MAN 10, 査読有, pp. 515-520, September, 2010, イタリア, ヴィアレージョ
- ④ S. Yokota, H. Hashimoto, Y.Ohyama, J. She, H.Kobayashi, P. Blazevic, "The Electric Wheelchair Controlled by Human Body Motion", Proc. of 2nd IEEE/IES International Conference on Human System Interaction, 査読有, pp.247-250, 2009, イタリア, カターニャ

6. 研究組織

(1)研究代表者

横田 祥 (YOKOTA SHO)

摂南大学・理工学部機械工学科・講師
研究者番号：40434386

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし