

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560256

研究課題名（和文）人間どうしの協調特性解析と機械の操縦制御系への応用

研究課題名（英文） Analysis of cooperation characteristics of humans and its application to operational control system

研究代表者 池浦 良淳（IKEURA RYOJUN）

三重大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20232168

研究成果の概要：

人間は他の人間とスムーズに協調して作業を実行できる。本研究の目的は、このような人間のスムーズな協調特性をロボットなどの制御に応用し、人間にとって親しみのある動作を作ることにある。そのため、人間どうしの協調特性を解析し、協調動作中の固有のタイミング、動作パターンがあり、それらを再現することで非常にスムーズな運動を作り出せることを示すとともに、その制御方法を開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：機械工学，制御工学，人間工学

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：人間機械系，人間どうしの協調，躍度最小軌道，操縦制御系

1. 研究開始当初の背景

車のハンドル，飛行機の操縦桿，宇宙遠隔操作ロボットの操作器，手術ロボットの操作器，など，人間が機械を操縦するシステムにおいては，操作のし易さを決定する操作性の向上はシステムが現場に受け入れられるかどうかを左右する重要な要素といえる。しかしながら，操作性は人間の感覚によるところが大きく，その評価はアンケート調査などの主観的なものに限られ，客観的な評価は難しいとされてきた。そのため，操縦システムの設計には主観評価と設計変更，試作改良の膨大な試行錯誤の繰り返しが必要となっている。今後の高齢化社会を見ると，高齢者と若年者，男性と女性，筋力の強い人と弱い人，

など様々な人間が機械を操縦することとなり，操縦者個々の身体的特性や好みを受け入れる必要がある。そのためには，操作性の客観的評価とそれに基づく操作器の設計手法を確立することが急務といえる。

国内外において操縦システムの操作性を評価，向上させる例はいくつか報告されている。例えば，国外においては，H.Kazerooni[1995]が荷物を運搬するパワーアシストロボットの開発をしており，その中で操縦システムの操作性向上を検討している。国内では，福田[1991]，園田[1999]，永井[1999]もパワーアシスト型ロボットの開発を行っており，操作性についての検討を行っている。このように操作性向上に関する研究

は古くから行われているが、その手法の確立には至っていない。その原因として、今まで述べてきた、操作性の向上のためのモデルの提案が仮定に基づいたものであり、設計、評価、改良のサイクルが永遠と続くために膨大な時間と労力がかかっているためと考えられる。

人間の特性を考慮した設計の例としては、国外においては、Y.F.Zheng[1997]が人間とロボットの協調運搬作業を実現しており、ロボットの制御系設計に人間の運動特性を組み込んでいる。国内では、小菅[1999]がダンスロボットの開発において人間のダンス時の協調動作を解析し、その特性をロボットに適用している。これらは人間の特性を組み込んでいるものの、操縦系の設計モデルを構築するには至っていない。

また、林原[1999]や積際[2002]は人間どうしの協調特性を解析し、人間とロボットの協調運搬作業を実現するための制御手法を検討している。申請者は1991年に人間どうしの協調特性を操縦システムに応用するための基本概念を発表しており、林原や積際の研究はその後追い、確認研究となっている。

このように当研究構想は申請者が先駆的に提案してきたものであり、学術的にも認められている。

2. 研究の目的

人間は他の人間と非常にスムーズに協調して作業することができる。例えば、1つの荷物を数人で運ぶ運搬作業を考えると、他の人間の動きに合わせて実に巧みに協調しながら自己の運動を決定している。本研究の全体構想はこのような人間のスムーズな協調制御特性を操縦システムの制御に適用し、非常に操作性の良い操縦システムを開発することである。このような構想の下、本研究課題では、次に示すことを明らかにすることを目的とした。

- (1) 人間どうしの協調運動を力学的に表現できる3次元モデルを作成し、モデルに基づいてスムーズに協調するための力学的解釈を行う。
- (2) 先の力学的解釈に基づき操縦システムに適用可能な制御手法を開発し、その有効性を操縦システムにおいて検証する。

3. 研究の方法

本研究では、上記の研究目的に対し、次の4項目について研究を行った。

(1) 人間どうしの協調物体運搬動作解析

図1に示すように、2人の人間が物体を運搬する作業を行うときの、物体の動かし方や力のかけ具合などの運搬協調特性と人間どうしのコミュニケーション特性について解析した。

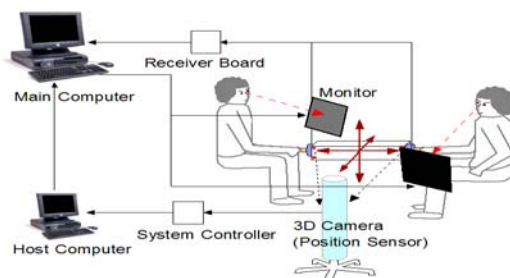


図1 人間どうしの物体協調運搬実験

(2) 腕の筋骨格モデルに基づく協調動作解析

先に示した協調特性は物体の運搬動作という現実に近い運動であるが、筋肉がどのように力を発生しているかなどのモデル化については困難となる。そこで、図2に示すような肘周りでの協調動作に限定して、筋骨格モデルに基づき協調動作の解析を行った。

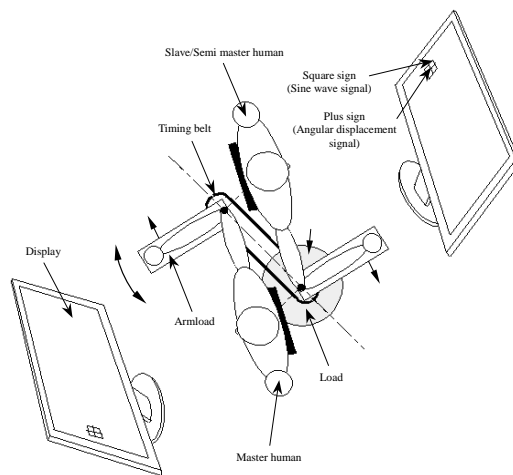


図2 人間どうしの肘周りの協調運動実験

(3) 受動要素を用いたインピーダンス制御手法の解析

人間どうしの協調特性をパワーアシストなどに応用するためには、人間のインピーダンス特性を再現する必要があるが、従来の制御手法では制御系の不安定な問題から、適用が困難となっていた。そこで、図3に示すように指のパワーアシストを例に取り、ばねなどの受動要素を用いたインピーダンス制御手法を開発し、その有効性をシミュレーションにより検討した。

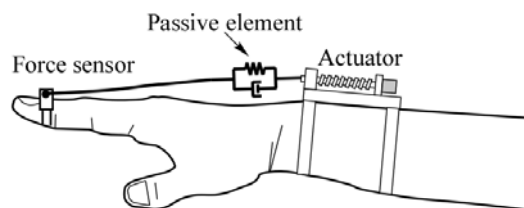


図3 受動要素を用いたインピーダンス制御手法

(4) 人間の重量知覚特性の解析

人間の協調動作のみならず、人間の重量知覚特性もパワーアシスト制御系の操縦性向上の重要なファクターであることが分かり、その特性についての解析も行った。これには、図4に示す簡易型1自由度直動型のパワーアシスト装置を試作し、実際の物体とパワーアシストされた物体の重量知覚特性を比較した。

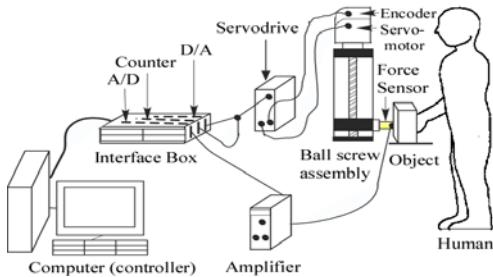


図4 1自由度パワーアシストシステム

4. 研究成果

先に示した4つの項目について、それぞれ以下に結果を示す。

(1) 人間どうしの協調物体運搬動作解析

人間どうしの協調特性を躍度最小軌道と言われる最も動きがスムーズな軌道と比較した。その結果、物体を上下、左右に運搬する比較的力の伝達が少ない作業においては、スタートの合図、目標点が分かると、人間が本来から持つ運動パターンを再生することで、人間どうしが非常にスムーズに協調していることが分かった。これは、制御の分野ではフィードフォワード制御が重要であり、フィードバック制御を行うと、スムーズな運動パターンが生成されないことが分かった。このような特性を、人間とロボットと協調動作に適用するには、人間どうしと同じく、スタートの合図、目標点をロボットに伝えることで、ロボットは人間の動作を観測することなく、人間本来が持っているパターンを再生すればよく、非常に簡便な制御手法になると推測される。

(2) 腕の筋骨格モデルに基づく協調動作解析

人間の腕の筋骨格モデルに基づいて協調動作を解析した結果、腕の力を抜いて相手に協調する場合は、筋肉のばね、摩擦特性により、スムーズな協調動作が実現されていることが分かった。従来、筋骨格特性は粘弾性特性が重要と言われていたが、粘性特性はあまり重要でないという新しい知見を得ることができた。さらに、力を入れた状態で協調する場合には、ばね特性も消滅し、摩擦と一定トルクによる協調する特性が得られた。

(3) 受動要素を用いたインピーダンス制御手法の解析

シミュレーションにより、受動要素を利用することによる有効性を検証した。その結果、指先が硬い物体にさわった場合、従来のインピーダンス制御手法では不安定になるが、本提案手法では安定となることが示された。また、指先がフリーの場合は、従来の手法とほぼ変わらない性能をしめることも示された。従って、人間どうしで得られたインピーダンス特性をロボットに組み込む場合の有用な手法の1つであることが分かった。

(4) 人間の重量知覚特性の解析

先に示した簡易型1自由度直動型のパワーアシスト装置による人間の重量知覚特性を調べた結果、人間は自分の重量知覚に基づいて、物体に加える力の変化率を変更していることが分かった。これは、パワーアシスト系の制御手法に適用できる従来にない新しい知見である。

今後の課題として、解析した人間の特性を組み込んだパワーアシスト操縦系の筋骨格特性に基づく評価が上げられる。

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 2 件)

- ① Nan Zhang, Ryojun Ikeura, Yuanzin Wang, Kazuki Mizutani and Hideki Sawai, "Characteristics of the human arm based on a musculoskeletal model of cooperative motion between two humans", Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol. 3, No. 1, pp. 50-61, 2008, 査読有
- ② 池浦良淳, 森口智貴, 水谷一樹, "人間どうしの協調運動における腕の可変インピーダンス特性とロボット制御への適用", 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 73, No. 725, pp. 251-257, 2007. 査読有

[学会発表] (計 16 件)

- ① 半田祐一郎, Shahrman Abu Bakar, 矢野岳水, 池浦良淳, "人間どうしの3次元協調運動の特性解析", 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2008/12/6, 岐阜市.
- ② 矢野岳水, Shahrman Bin Abu Baker, 半田祐一郎, 池浦良淳, "人間どうしの物体運搬協調解析", 日本人間工学会東海支部 2008 年研究大会, 2008/10/18, 刈谷市.
- ③ Shahrman Bin Abu Bakar, Ryojun Ikeura, Yuichiro Handa, Takemi Yano and Hideki Sawai, "Study of visual assist effect to vertical plane hand movement during

- human-human cooperative task”, International Conference on Control, Automation and Systems 2008, 2008/10/17, 韓国ソウル.
- ④ Shahrman Abu Bakar, Ryojun Ikeura, Yuichiro Handa, Takemi Yano and Kazuki Mizutani, “Analyzing the characteristics of horizontal and vertical plane hand movement in human-human cooperative task”, 2008 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2008/10/13, シンガポール.
- ⑤ 和阪学弘, 中村創一, 池浦良淳, 水谷一樹, 澤井秀樹, “受動要素を利用したロボットのインピーダンス制御の構成”, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 2008/9/11, 神戸市.
- ⑥ 野邊雅也, S.M. Mizanoor Rahman, 池浦良淳, 澤井秀樹, “パワーアシスト装置の操作における人間の重量知覚特性”, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 2008/9/11, 神戸市.
- ⑦ Soichi Nakamura, Ryojun Ikeura, Takahiro Wasaka, Kazuki Mizutani, Hideki Sawai and Hitoshi Hirata, “A Study on Impedance Control using Passive Elements for Human-Assist System”, SICE Annual Conference 2008, 2008/8/21, 調布市.
- ⑧ 中村創一, 池浦良淳, 和阪学弘, 水谷一樹, “受動要素を利用したロボットのインピーダンス制御系の構成(シミュレーションを用いた安定性に関する一考察)”, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門講演会 2008, 2008/6/6, 長野市.
- ⑨ Nan Zhang, Ryojun Ikeura, Yuanxin Wang, Kazuki Mizutani and Hideki Sawai, “Analysis of human arm characteristics based on musculoskeletal model in human-human cooperative task”, 第8回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2007/12/22, 広島市.
- ⑩ Nan Zhang, Ryojun Ikeura, Yuanxin Wang, Kazuki Mizutani, Hideki Sawai, “Characteristics of human arm based on musculoskeletal model in human-human cooperative task”, The International Conference on Mechatronics and Information Technology, 2007/12/6, 岐阜市.
- ⑪ Shahrman Abu Bakar, Ryojun Ikeura, Yuichiro Handa, Takemi Yano and Kazuki Mizutani, “Human-human cooperative task characteristics and motion analysis based on human visual and auditory senses”, The International Conference on Mechatronics and Information Technology, 2007/12/6, 岐阜市.
- ⑫ 半田裕一郎, Shahrman Abu Bakar, 矢野岳水, 池浦良淳, 水谷一樹, “人間どうしの協調運動特性解析と視覚と聴覚による影響”, 計測自動制御学会中部支部平成19年度三重地区計測制御研究講演会, 2007/12/5, 津市.
- ⑬ 西尾和徳, 張楠, 王元新, 池浦良淳, 澤井秀樹, “人間の腕の回転一自由度協調特性解析”, 計測自動制御学会中部支部平成19年度三重地区計測制御研究講演会, 2007/12/5, 津市.
- ⑭ 王元新, 張楠, 池浦良淳, 水谷一樹, 澤井秀樹, “人間の腕の筋骨格モデルに基づく協調運動特性解析”, 第28回バイオメカニズム学術講演会, 2007/11/10, 岐阜市.
- ⑮ Shahrman Bin Abu Bakar, Handa Yuichiro, Takemi Yano, Ryojun Ikeura and Kazuki Mizutani, “Motion Analysis for Force Characteristic of Cooperative Task between Two Humans”, International Conference on Control, Automation and Systems 2007, 2007/10/20, 韓国ソウル.
- ⑯ 王元新, 池浦良淳, 水谷一樹, 澤井秀樹, “人間の腕の筋骨格モデルに基づく協調運動特性解析”, 日本人間工学会東海支部2007研究大会, 2007/10/20, 名古屋市.
- [その他] (計2件)
- ① 池浦良淳, “人間-機械協調システムにおける人間運動理解と制御系設計”, 科学技術交流財団 第6回『人間-機械協調システムにおける人間行動解析とシステム設計への応用』研究会, 2008年10月8日, 名古屋市.
- ② 池浦良淳, “人間-ロボット協調システムのモデリングと制御”, システム制御情報チュートリアル講座 2007「実システムを指向したモデリングと制御」, 2007/6/19, 大阪市.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池浦 良淳 (IKEURA RYOJUN)
 三重大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：20232168

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし