

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25年 4月25日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500186

 研究課題名（和文） 双腕拘束作業における人間の力感覚・運動相互作用の解明と
 デバイス反力設計への応用

 研究課題名（英文） Analysis of human sensory-motor interaction for reaction force in
 bimanual constrained task with application to the design of
 operational force property

研究代表者

田中 良幸 (Yoshiyuki TANAKA)

広島大学・工学研究院・助教

研究者番号：40336920

研究成果の概要（和文）：

両手による円軌道追従時の操縦反力負荷に対する知覚測定テストを実施し、知覚量は反力負荷の大きさに対してほぼ線形的に増加するとともにバラつきが大きくなるが、動作の有無に大きく影響はされないことを示した。そして、ステアリング操舵時の反力知覚特性を明らかにするとともに、人間の感覚・運動特性に基づいて自動車運転時の操縦負担感の推定評価と操縦反力設計を支援するためのシミュレータを開発した。

研究成果の概要（英文）：

A resistance perception test was carried out in the circle-tracking test by bimanual, and demonstrated that perceived operational-load is almost proportion to force reaction and almost unrelated to arm motion. Similar test was conducted in the steering operation by bimanual, and revealed perception characteristics in steering. Then, a computer simulator was developed to assist biomechanical and psychological analysis of driving loads and to design the mechanical properties of vehicle driving interfaces.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：ロボット工学，人間工学

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：(1) 双腕作業，(2) 感覚・運動特性，(3) 反力設計，(4) 人間—機械系

1. 研究開始当初の背景

(1)近年のロボット技術の発展に伴い、アクチュエータとセンサを活用した運動アシスト福祉器具や次世代自動車ステアリングなど、知的操縦デバイスの研究開発が活発にされている。しかしながら、操作感に大きな影響

を与える操縦特性の設計に関しては十分ではない。真に人間と一体となって可動する操縦デバイスを実現するには、操作者の運動能力と微妙な感覚心理までを考慮した、新しい操縦特性の設計法を開発する必要がある。

(2) これまでに研究代表者は、人間は少ない筋負担で大きな力を発揮しやすい方向にはデバイス反力負荷を実際よりも小さく感じ、操作感覚が良い拘束条件に対しては効率的な手先運動を随意的に選択することを突き止めた。そして、それら知見に基づいた操縦デバイスの反力設計および制御手法を開発してきた。しかしながら、両手による荷物運搬時や自動車ステアリング操作などを想定すると、双腕作業では各手先における感覚・運動相互作用に加えて、左右手先作業による干渉効果を十分に考慮する必要がある。そこで本研究では、これまでの単腕時の研究成果に基づいて、双腕拘束作業における人間の運動制御メカニズムの解明とその応用を目指す。

2. 研究の目的

双腕拘束作業における人間の力感覚・運動特性を組込んだデバイス反力設計の開発を目的とし、以下2項目を手段とする。

(1) 双腕拘束作業時の力感覚・運動特性およびそれら相互作用の解明

二次元平面における両手協調作業を可能とする双腕拘束運動解析装置を構築する。ロボット制御技術（可変インピーダンス制御法）を駆使し、運動解析装置には左右操縦デバイスを仮想的な棒状および円状で連結（拘束）させる機能を持たせる。そして、両腕姿勢と拘束軌道上の操縦特性を変化させ、双腕拘束作業時における運動特性（手先力・速度パターン）と力感覚特性を測定する。そして、力感覚と運動特性の相互作用とともに、左右干渉による影響までも含めて解析する。

(2) 人間特性に基づいたデバイス反力設計法への応用

実験結果に基づいて、双腕拘束作業時の力感覚特性と運動特性を、両腕姿勢と反力負荷から予測する数理モデルを構築する。そして、数理モデルを用いて、双腕拘束作業時の人間特性を組込んだ操縦デバイスの反力設計法を考案するとともに、左右手先運動の分担率と干渉効果に関係なく良好な操作感を提示できる反力制御アルゴリズムを考案する。

3. 研究の方法

双腕拘束作業における環境知覚と運動制御の関係を詳細に調べた研究は報告されていないため、実際に人間がどのような特性を示すかを実測して明らかにする必要がある。そこで本研究では、まずロボット機器を活用して両手による協調作業を提示可能とする双腕拘束運動解析装置を構築する。次に、両手先運動の干渉や操縦軌道などの拘束条件を運動解析装置に設定し、双腕拘束作業における反力負荷に対する力感覚・運動特性の計測

実験とデータ解析を実施する。そして、得られたデータ資料を基にして、両腕の干渉効果と力感覚-運動特性の相互関係を考慮した生体運動制御戦略をモデル化する。最後に、双腕拘束作業における人間特性を考慮したデバイス反力設計法の開発するとともに、その有用性について検証する。

4. 研究成果

(1) 両手による協調作業を提示可能とする双腕拘束運動解析装置を開発した。具体的には、2軸リニアモータ1台と1軸リニアモータ2台を直交配置して左右独立で二次元平面運動を可能とし、操縦ハンドルにはリスト型6軸力覚センサを取り付けて手先力の計測・記録を可能とした。また、運動解析装置にはロボットインピーダンス制御を実装し、さまざまな反力負荷や仮想拘束条件を左右独立に実現させる機能を持たせた。これにより、双腕拘束作業における反力負荷に対する力感覚・運動特性の計測実験を可能とする環境を整備した（図1参照）。

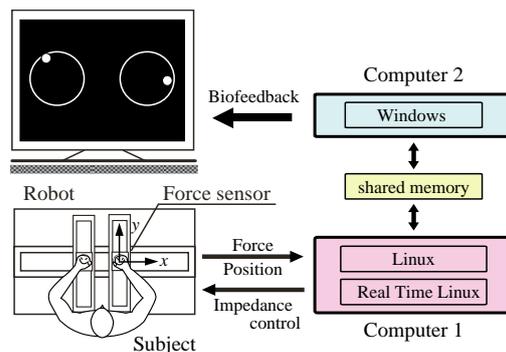


図1：双腕拘束運動解析装置

(2) 被験者（健常者な男子大学生5名）には正面に設置したディスプレイ画面を見ながらビープ音によるリズムに合わせて一定速度で左右独立に円軌道を描くようにハンドルを動かす一方で、インピーダンス制御で任意に設定したハンドルの操縦反力負荷（粘性負荷量）を知覚するように教示した。なお、反力負荷に対する知覚特性の測定実験はマグニチュード推定法とマッチング法を組み合わせて行い、右側ハンドルに設定した反力負荷（2.5, 5, 10 [Ns/m]）と比較して、左側ハンドルにランダムで設定した反力負荷（0, 2.5, …, 20 [Ns/m]）の大きさをパーセンテージで口頭試問形式にて回答させた。ここで、反力負荷の大きさは粘性値を変化させて設定した。今回設定した実験条件においては、①手先運動特性に関しては操縦負荷（手先速度）の大きさにかかわらず、各手による円軌道の追従精度はほぼ変化しないことを全被験者で確認した。そして、②反力負

荷に対する知覚特性に関しては、被験者の知覚量は反力負荷の大きさに対してほぼ線形的に増加するとともにバラつきが大きくなり、上肢運動における左右間の反力知覚特性は単腕時と大きく異なる事などを示す実験結果を得られた。このことはつまり、今回の実験条件においては③ヒトの反力負荷の感じ方は動作の有無に大きく影響はされないことを示唆している（図2参照）。

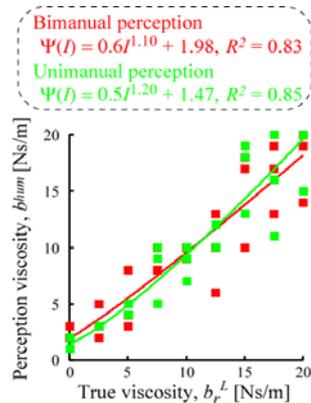
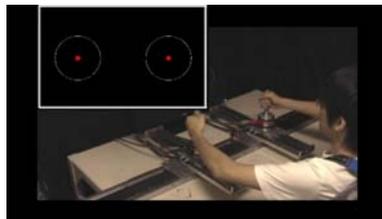


図2：円軌道追従双腕作業時の反力知覚特性

(3)工学応用例として、両手によるステアリング操作時の反力知覚特性の測定実験を行った。実験では被験者に両手でハンドルを握らせて一定の基準姿勢を取らせた後、ステアリング角度を変化させて反力負荷をランダムに提示した。基本的には二次元平面上における場合と同じく、反力負荷に対する知覚特性はウェビナー・フェフィナーの法則にほぼ従うことを確認した。しかしながら、ステアリング角度が大きくなるにつれ異なる傾向を示すことも観測された。これは、ステアリング角度が大きくなると両腕が伸びて関節可動域限界付近となるため、提示反力を上手く感じ取れないのが主因と思われる。何れにしても、操縦インタフェースの機構が反力知覚特性に影響を与え得ることが示された（図3参照）。

(4)自動車運転時を想定して、運転姿勢から手足における反力知覚特性と四肢の関節負荷を解析するためのシミュレータを開発した。シミュレータには測定結果に基づいて数理モデル化した反力知覚特性と運動インピーダンス特性、そしてステアリングやペダルと言った自動車操縦系の反力特性、エンジン

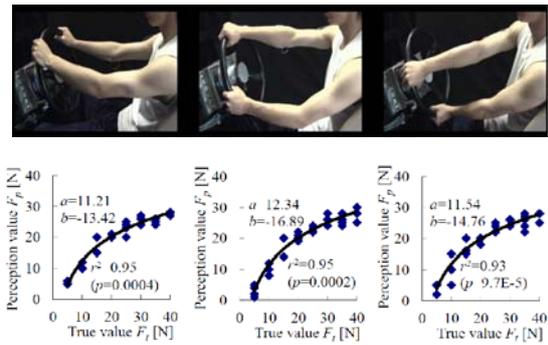


図3：ステアリング操作時の反力知覚特性

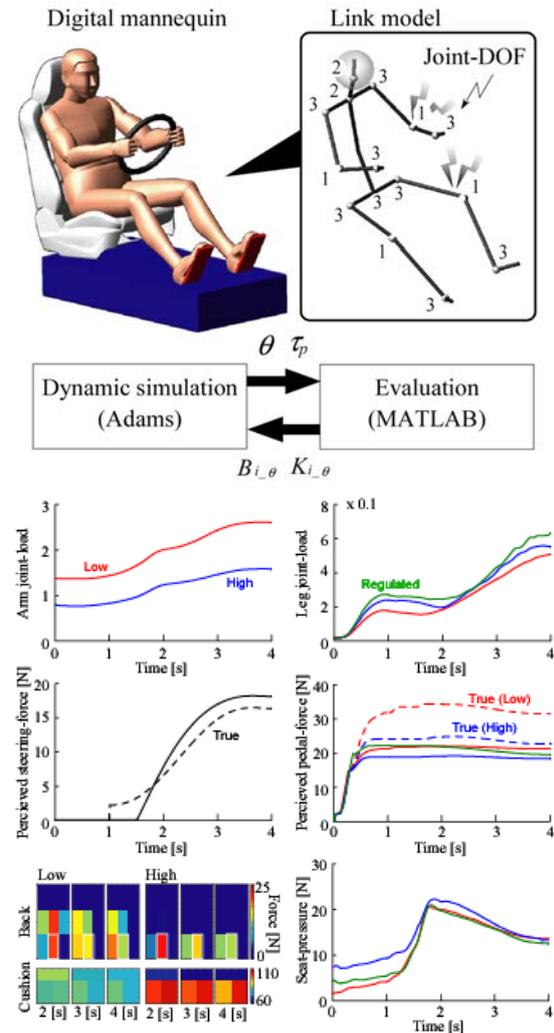


図4：感覚・運動特性に基づく運転負担評価

特性、シート粘弾性をデータベースに組み込んだ。今回は特にアクセルペダル操作によるカーブ加速時を想定したシミュレーション解析を実行し、所望のペダル反力知覚量を感じ取るためにはペダル反力特性をはじめとして、シート特性とエンジン特性をどのようにバランスよく調節すべきかを探索した。そして、運転姿勢の違いによる操作感の変化を抑えるために、新しい機械操縦特性のデザイン

ン手法を考案すると共にその有効性を検証した。このように、本研究課題で主題とした、人間の感覚特性（特に反力知覚特性）を実験により得られた知見に基づいてシステム工学的に明らかにすることで、さまざまな操縦システムのさらなる高機能化に役立つ事を示唆した（図4参照）。

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竹村 和紘, 山田 直樹, 岸 篤秀, 農沢隆秀, 田中 良幸, 栗田 辻, 人間の主観的な力知覚モデルの提案とステアリング操作系への応用, 日本機械学会論文集, 2012, Vol. 78, No. 795, pp. 3705-3714, 査読有.
<http://dx.doi.org/10.1299/kikaic.78.3705>

〔学会発表〕（計3件）

- ① 井上 晴仁, 田中 良幸, 辻, 両腕による円軌道追従タスクにおける協調運動特性の解析, 日本人間工学会中国・四国支部九州・沖縄支部合同開催支部大会, 倉敷市, 2012年12月15日, pp. 142-143.
- ② 成末充宏, 田中良幸, 大坪智範, 沖山浩, 田中松広, 西川一男, 農沢隆秀, 辻, 車両挙動に対する操縦負担感の生体力学的解析システム, 第45回日本人間工学会中国・四国支部大会, 下関市, 2011年11月26日, pp. 164-165.
- ③ Yoshiyuki Tanaka, Haruhito Inoue, Toshio Tsuji, Nobuaki Imamura, A Motor-control Training Method for Smoothness and Timing of Voluntary Arm Movements in a Virtual Tennis Task, The 33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS, Boston, U.S.A, 2011年8月30日~9月3日, pp. 1717-1722.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 良幸 (YOSHIYUKI TANAKA)
広島大学・工学研究院・助教
研究者番号：40336920

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()
研究者番号：