

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760198

研究課題名(和文) 力覚を有する遠隔操作システムにおける新たな操作性指標の提案と制御系設計への応用

研究課題名(英文) A proposal of a new index about force sensitivity for tele-operation system

研究代表者

只野 耕太郎 (Tadano, Kotaro)

東京工業大学・精密工学研究所・准教授

研究者番号：90523663

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、マスタスレーブシステムにおける力覚感度を表すパラメータを数値的に表現するための指標を提案した。被験者実験により提案する指標値の変化と被験者の知覚変化の傾向が概ね一致することを確認し、力覚感度指標としての有効性を示した。

また、力の大きさや方向の知覚精度を向上させるため、指先への温度提示装置や空気噴流刺激装置を開発し、力の情報を温度や空気流量に変換して提示する方法を提案した。実験により、これらの方法によって力の知覚精度が向上することを確認した。

研究成果の概要(英文)：In this research, a new index that indicates force sensitivity of tele-operation systems is proposed. Experimental results show correspondence of tendency between the value of the index and subjects' perception. Also, in order to enhance perception of force, methods to transform force information into thermal or air-jet stimulation of finger tips are proposed. Experimental results confirmed improvements of force perception by the proposed methods.

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：力覚提示

### 1. 研究開始当初の背景

マスタスレーブシステムにおいて、インピーダンス制御を行うことで、操作中の機械的インピーダンスを任意に設定することができる。作業内容や操作者の好みに合わせたインピーダンスの設定を行うことで、操作性や安全性が向上することが期待される。しかし、力覚提示機能を有するマスタスレーブシステムにおいて、インピーダンスの設定によっては操作者の力覚感が低下し、操作者が物体の接触を知覚することが困難になってしまう。

操作者に反力を十分に知覚させるには、スレーブ側の作業反力を拡大してマスタ側に提示することが考えられるが、インピーダンスの影響を考慮した力覚感度の設計方法は確立されていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、システムの機械インピーダンスの影響を考慮して、操作者がどれだけ敏感に反力を感じられるかを示す力覚感度の指標を提案する。本指標により、力覚感度を維持しつつ操作性を上げる等のパラメータ設計が可能になると考えられる。力覚感度を、Stevens の法則に従うという仮定の下で数式的に表現する。さらに、インピーダンスの変化による数式の値の変化と実際の人の力覚感度変化の傾向を比較し、数式の力覚感度指標としての有効性を評価する。

### 3. 研究の方法

はじめに、指標構築のための実験データを収集するため、図1に示すような1軸の力覚提示装置を製作した。本装置は前後の直線運動を入力するものとなっており、DCモータのトルクをラック&ピニオン機構により提示反力に変換する構造としている。

本装置を用いて、コンピュータ内の仮想の物体に触れることができるシステムを構築



図1 製作した実験装置

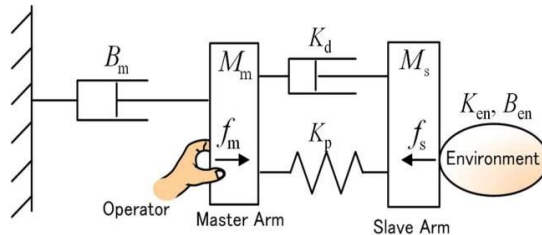


図2 マスタスレーブシステムにおけるインピーダンス制御の概念図

し、図2に示す接触対象物の硬さやインピーダンス制御のパラメータ、伝達比などの条件を個々に変えながら、被験者に物体と接触させる動作を行わせる。このとき、対象物と接触した際に、被験者がそれを手からの力覚情報によって知覚できるかを調べる。視覚による判断ができないよう被験者には対象物や手の位置を見せずに操作させる。被験者へのアンケート調査に加え、操作中の手先の運動や力などの情報を計測、解析する。

本研究では、人が主観的に感じる刺激の量に関する経験的な近時則である Stevens のべき法則を基に、力覚の感じやすさを接触前後の力の比として定式化する。本指標が実際に操作者の力覚の感じやすさを再現できているかを同様の実験によって複数の被験者に対して評価する。

具体的には下記の方法で実験を行う。被験者は力覚提示装置の操作部を持って手前の端からおよそ 100mm 前方まで、速度をできる限り 50mm/s で一定に保ちながら押し込む。被験者は上記操作を連続で2回行う。前方 50mm の位置に接触対象が設定されており、1

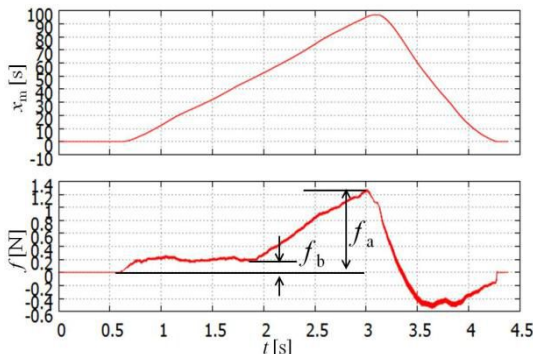


図3 物体との接触前後の位置と力の応答

回目と 2 回目で制御インピーダンスまたは接触対象のインピーダンスのうち、どれか 1 つを変化させる。なお、接触対象は単純なバネ・ダンパ系とする。1 度の試行を終えた後、被験者に

1. 1 回目と比べて 2 回目の方が接触対象からの反力を知覚し易くなった
  2. 1 回目と 2 回目で接触対象からの反力の知覚し易さは変化しなかった / 分からなかった
  3. 1 回目と比べて 2 回目の方が接触対象からの反力を知覚し難くなった
- の 3 つの中から 1 つを回答させる。

図 3 は上記動作における操作者の手の位置(上)と反力(下)の時間応答の 1 例である。力覚感度を表す量  $C$  を、図 3 に示される対象物に接触する前の力  $f_b$  と接触後のピーク反力  $f_a$  の比として

$$C = f_a / f_b$$

と定義する。この  $C$  が力覚感度を表す量として妥当であるかどうかを、各試験ごとにアンケートの結果と比較する。アンケート結果は、下記のように 1 回目と 2 回目の反力の感じ易さの差としてスコアをつけ集計する。ある反力の組について、被験者の回答が 1. の時を +1 点、2. の時を 0 点、3. の時を -1 点とする。反力の組 1 つにつき 5 回ずつ試行を行い、5 回の合計スコアをその組における感じ易さの差とする。これにより得られた  $C$  とスコアを同一平面上にプロットし、変化の傾

向を比較することで  $C$  の力覚感度としての妥当性を評価する。

#### 4. 研究成果

被験者による指標の評価実験の結果の例を図 4 および図 5 に示す。図 4 は図 1 における  $K_p$ 、図 5 は図 1 における  $B_m$  を変化させたときの提案する指標値  $C$  と、アンケート結果をスコアリングしたものとの比較である。一部の場合を除いて、指標とアンケート結果によるスコアは同様の傾向を示し、提案する指標が実際の力の知覚しやすさを表現できていることが確認された。

また、接触対象の剛性の低下によって力覚感度が低下した場合でも、定式化した力の指標が一定に保たれるよう他のパラメータを調整することで、元の剛性の場合と同等の力覚感度を維持できることも実験的に確認した。

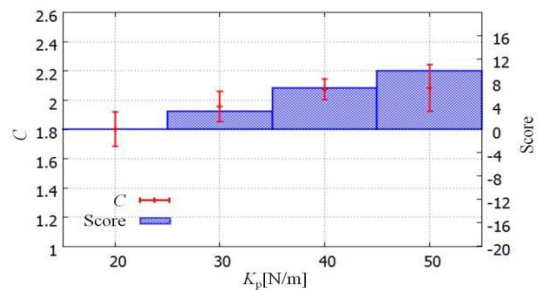


図 4  $K_p$  を変化させたときの感度指標  $C$  とアンケート結果の比較

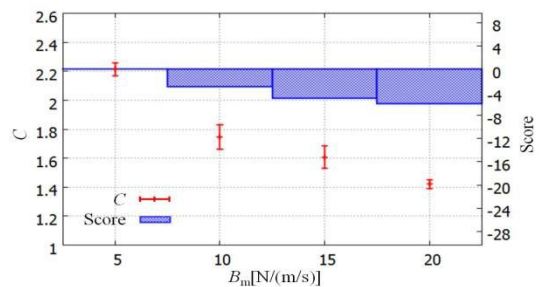


図 5  $B_m$  を変化させたときの感度指標  $C$  とアンケート結果の比較



図 6 指先への温度提示装置

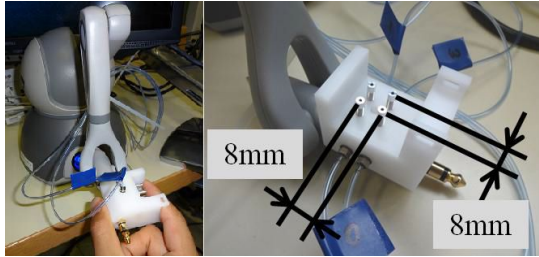


図 7 空気流れによる指先刺激装置

一方、力の知覚感度の向上を目的として、操作力を温度として提示することを試み、図 6 に示すペルチェ素子を用いた指先への温度提示装置の開発を行った。開発した温度提示装置を用い指先へ温度提示を行うことによって知覚精度が向上することが実験的に確認された。

また、力の大きさだけでなく方向に対する知覚感度を向上させることを目的として、指先に空気噴流刺激を与える方法を提案した。はじめに、小型で力覚提示装置の先端に取り付け可能な空気流れによる指先刺激装置（図 7）を開発した。提案する空気による指先刺激の有無による力の方向の知覚分解能を被験者実験によって調べた結果、力の方向提示を行うことによって、力の方向の知覚分解能が力覚提示のみの場合より向上したことを確認した。

## 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）

〔学会発表〕(計 5 件)

1. HangJie Jiang, Hiroyuki Yoshida, Kotaro Tadano, Kenji Kawashima, A Study of Force Display Using Visual Information and EMG on Surgical Robot, 12th International Conference on Fluid Control, Measurements and Visualization (FLUCOME 2013), OS4-02-4, Nov. 22nd, 2013, Nara
2. 矢島拓実, 只野耕太郎, 川嶋健嗣, 香川利春:指先への空気噴流刺激を用いた手術ロボットの操作性向上, 平成 25 年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.91-93, 2013 年 11 月 8 日, 神戸
3. 江航傑, 只野耕太郎, 川嶋健嗣, 香川利春:空気圧駆動手術ロボットにおける温度感覚を用いた力提示に関する研究, 平成 25 年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.76-78, 2013 年 11 月 8 日, 神戸
4. 江航傑, 吉田浩之, 只野耕太郎, 川嶋健嗣: EMG を用いた異なる力覚タイプに対するフォーススケールリングファクタの調整, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '13, 1A2- R08, 2013 年 5 月 13 日, つくば
5. 大久保晃佑, 只野耕太郎, 川嶋健嗣: 遠隔操作システムの力覚感度に関する指標の提案, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '13, 1A2-R02, 2013 年 5 月 13 日, つくば

〔産業財産権〕

出願状況（計 2 件）

名称：指先刺激システム

発明者：只野耕太郎，他

権利者：東京工業大学

種類：特許

番号：特願 2013-228100

出願年月日：2013 年 11 月 1 日

国内外の別： 国内

名称：指先刺激システム

発明者：只野耕太郎，他

権利者：東京工業大学

種類：特許

番号：特願 2013-228277

出願年月日：2013 年 11 月 1 日

国内外の別： 国内

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

只野 耕太郎 ( TADANO, Kotaro )

東京工業大学・精密工学研究所・准教授

研究者番号：90523663