

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04059

研究課題名(和文)人間の運動センシングを導入した医療機器操作教授法の確立

研究課題名(英文) Establishment of teaching method of manipulation of medical equipment introducing human motion sensing.

研究代表者

武藤 伸洋 (MUTO, Shin-yo)

日本大学・工学部・教授

研究者番号：10500788

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、センサ・ロボット・ICT技術を導入し、操作者の運動情報による作業熟練度の定量化と、遠隔作業支援システムを構築することで、医療機器操作の教授法を確立することを目的とした。人工呼吸器操作を対象とした手首部・指部・頭部の運動、視線の計測システムを構築し、被験者実験により、手首部角速度や加速度、視線移動量など習熟に伴い共通的な変化を示す特徴量と、指運動の運動性など個別の変化を示す特徴量があることを明らかにした。さらに、サーバクライアント構成をベースとしたシステムにより、映像音声通信と並行して、プロジェクタ、マニピュレータ、移動ロボット、カメラの遠隔操作を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

少子高齢化・医療機器の高度化の進む中、医療機器を扱う技術者のニーズは高く、その技術習得の効率化や技術の維持、技術者を支援する環境が重要となる。本研究では、これまで操作年数等で判断していた医療機器操作の熟練度を、操作者の動作から定量的にとらえることを目的とし、習熟に伴い共通的に変化する運動特徴量や個人個人で異なる変化を示す特徴量を明らかにした。これにより、操作時の動作に基づく定量的で客観的な習熟の基準への基礎データを得た。また、災害時やコロナ対策での移動制限の状況にも対応可能な、遠隔地での医療機器操作を、映像音声とロボットで物理的・情報的に支援する遠隔作業支援システムを構築した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to establish a teaching method for medical device operation by introducing sensors, robots, and ICT technology, quantifying work proficiency based on operator motion information, and constructing a remote work support system. It was decided. We constructed a wrist / finger / head movement and gaze measurement system for ventilator operation, and showed common changes with mastery such as wrist angular velocity, acceleration, and gaze movement amount by subject experiments. It was clarified that there are feature quantities that show individual changes such as the interlocking of finger movements. Furthermore, a system based on a server-client configuration has realized remote control of projectors, manipulators, mobile robots, and cameras in parallel with video and audio communication.

研究分野：ロボット工学

キーワード：習熟度 視線情報 画像処理 医療機器操作 遠隔作業支援 ネットワーク 指運動 ロボット

1. 研究開始当初の背景

高齢化の進展に伴い、医療機器利用の需要が増加していく一方で、生命維持に関わる医療機器を操作する技術者である臨床工学技士の育成も重要となる。日本臨床工学技士会集中治療業務検討委員会の2012年の実態調査報告によれば、1施設当たりの平均臨床工学技士正職員数は7.59名、10名以下の施設が75%を占め、ベッド数100床あたりに換算すると、臨床工学技士正職員数は1.87名。集中治療関連業務でリスクの高い生命維持管理装置で臨床工学技士が即座に対処できない体制は問題があるとしている。さらに集中治療関連業務は24時間体制で行われるため、臨床工学技士にも24時間体制で臨むという状況となっている。ここで利用する生命維持管理装置は、人工呼吸器、人工透析器、人工心臓などに代表されるが、機器の多様化が進み、その機器の習熟にも時間を要する。

このような状況にありながら、医療機器操作の習熟の度を定量的に評価することで教育を効率化したり、ネットワーク環境を活用した臨床工学技士の遠隔作業支援システムの研究については、ほとんど報告されていないのが実情であった。

2. 研究の目的

(1) 目的1：医療機器操作の習熟度の定量的評価と臨床工学技士の教育の効率化

申請者はこれまでの多種類のセンサ情報をXML技術等を用いて統合的に扱い、人間の動作の段階的な評価実験を効率的に行うシステムを構築してきた。本研究により、医療機器操作の習熟度を運動情報から定量的に評価することで、臨床工学技士の教育に寄与できると考えられる。

(2) 目的2：臨床工学技士派遣の効率化

本研究で開発した統合的な遠隔作業支援システムは、マルチロケーションで治療所をもつ病院での遠隔地からの医療機器操作、将来的には、被災地や在宅医療での遠隔医療機器操作などの展開が期待できるものである。また、本研究成果は、臨床工学技士の教育段階での利用から、マルチロケーションで治療所をもつ病院での遠隔地からの医療機器操作作業の支援、将来的には、被災地や在宅医療での遠隔地からの医療機器操作などの展開が期待できるものである。

また、近年の新型コロナウイルス感染症拡大防止のため、人の移動を抑制するという観点から、遠隔地から医療機器操作に関して情報的な支援、物理的な支援を実現する遠隔作業支援システムの重要性が高まっている状況となっている。

3. 研究の方法

(1) 研究1：作業者の運動情報を利用した医療機器操作習熟度の解明

医療機器操作中の手、腕、上体の運動情報をセンサにより計測し、運動情報の特徴量に基づく習熟度の定量評価を行う。

具体的には、指の変位および手首部の9軸情報（加速度・角速度・方位）、並びに頭部の運動情報、視線情報を主要パラメータとして、医療機器操作の習熟度の定量化モデルを構築する。被験者による医療機器操作実験での計測データを基に、基本統計量に加え、指の動作と手首部の動作、視線の動きの協調性等をパラメータ化し、同一操作者での繰り返し実験等により、習熟度の定量化モデルを評価する。

(2) 研究2：センサ、ロボット、ICTを統合化した支援システムの開発

特定の医療機器に習熟した熟練者が、緊急時にすぐに直接操作できないケースは、災害地の避難所や島部や過疎地などでの対応だけでなく、都市部でも夜間の対応などが考えられる。このようなケースで遠隔地からでも熟練者が的確に指示することで、現場の非熟練者を遠隔支援し、迅速かつ正確に医療機器を操作できる遠隔作業支援システムを開発する。

具体的には、医療機器を操作する作業者の音声、映像、運動情報をネットワークを介して遠隔地に情報伝達し、遠隔地から熟練者が現場の状況を把握して適切に指示を行えることを目指したシステムを構築する。さらに遠隔からロボットを制御することにより、作業者の物理的支援を実現する遠隔操作系を構築する。音声・映像・運動情報・ロボット制御情報を選択的に伝達することにより、各情報の有無による作業時間や作業の正確性、状況伝達の正確性等を評価し、各作業におけるそれぞれの情報の特性を分析し、統合的な遠隔作業支援システムを開発する。

4. 研究成果

(1) 研究1：作業者の運動情報を利用した医療機器操作習熟度の解明

本研究では、具体的な医療機器の例として人工呼吸器（Ventilator740）を対象に、操作中の指の変位および手首部の9軸情報（加速度・角速度・方位）、並びに頭部の運動情報、視線情報の計測システムを構築した。人工呼吸器の操作パネルの操作による設定パラメータの変更作業を対象に、被験者による操作実験を実施し、各被験者10回の試行の中で短縮される操作時間 T_{op} と、運動情報の相関を分析した。

図1に操作時間 T_{op} と手首部Y軸方向（横方向）加速度の標準偏差 W_{ay} との相関を示す。横軸

が T_{op} であり、試行が進むにつれて短縮される。各被験者 T_{op} と W_{ay} はおおむね弱い相関から強い相関を示しており、 T_{op} の短縮に伴い W_{ay} が大きくなり、手首の加減速が大きくなる傾向があると言える。

図2は T_{op} と視線センサを用いて操作中に操作パネル外を注視している時間の割合の関係を示した図である。操作パネルの上に操作を説明する説明資料が配置されており、注視時間はほぼ説明資料を見ている時間の割合となる。試行が進むにつれて、操作パネル外の注視時間が減少していることがわかる。

図3は、視線センサの座標系でみた、視点位置の分布の変化の例を示している。試行が進むにつれて、視線の分布が視線センサの座標系の中心部に集中している。図4は、各被験者の視線の分布を定量化するため、各試行における視線センサ座標系の原点から視線位置の距離の平均値 L を計算し、 T_{op} と L 相関を求めた図である。5名の各被験者は弱い相関から強い相関を示しており、 T_{op} の短縮に伴い L が小さくなり、視点が中心部に集まる傾向が見られた。

表1は操作時間 T_{op} と各指の屈曲進展の運動の相関係数を示した表である。角速度、角加速度それぞれの標準偏差と操作時間に関しては、人差し指、中指、薬指、小指に相関あり、最大で-0.62となった。角速度、各加速度それぞれの平均と操作時間に関して相関は見られなかった。

図5は、習熟に伴う各指運動の連動性を分析した図で、 T_{op} と各指運動の相関係数を図にしたものである。この図で被験者 b については、 T_{op} との短縮に伴い指同士の相関係数が上昇する傾向にあるが、被験者 f については、 T_{op} との短縮に伴い指同士の相関係数が下降する傾向が見られた。このように各指の連動性については、人によって習熟に伴い現れる連動性は異なる傾向が見られた。

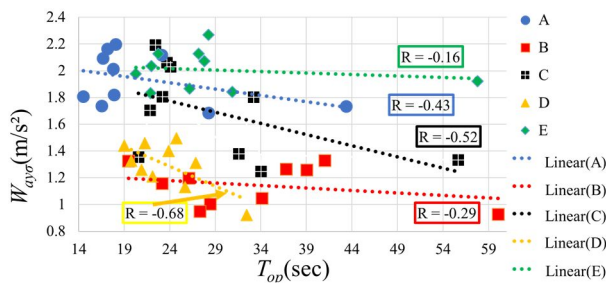


図1 T_{op} と W_{ay} の関係

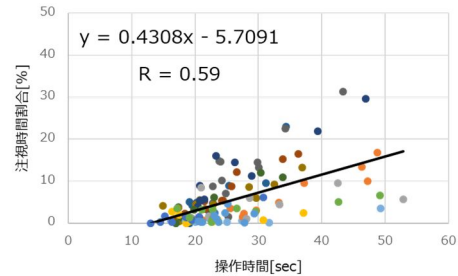


図2 T_{op} と注視時間割合

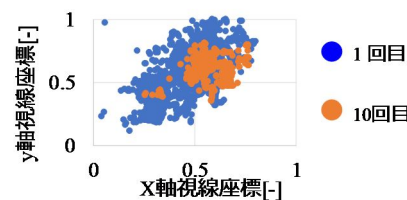


図3 視線分布の変化例

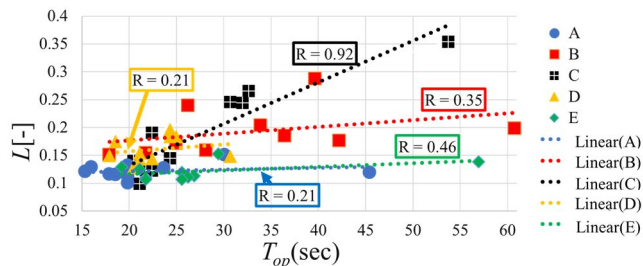
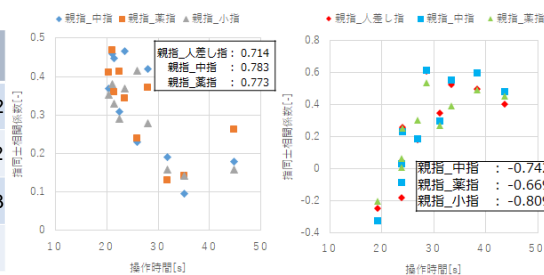


図4 T_{op} と視線平均距離 L の関係

表1 各指運動と操作時間の関係

| | 親指 | 人差し指 | 中指 | 薬指 | 小指 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 角速度の平均 | -0.12 | -0.07 | 0.04 | 0.02 | 0.12 |
| 角速度の標準偏差 | -0.27 | -0.54 | -0.42 | -0.57 | -0.62 |
| 角加速度の平均 | -0.15 | 0.06 | -0.16 | -0.19 | -0.23 |
| 角加速度の標準偏差 | -0.26 | -0.51 | -0.47 | -0.59 | -0.61 |



(a) 被験者 b

(b) 被験者 f

図5 各指の連動性の推移

(2) 研究2：センサ、ロボット、ICT を統合化した支援システムの開発

本研究では、プロジェクタサブシステム、ウェアラブル端末サブシステム、ロボットサブシステムをベースに、接続サーバにより統合した遠隔作業支援システムを開発した。図6に遠隔作業支援システムの概略図を示す。

プロジェクタサブシステムに関しては、映像・音声通信に加え、図7に示すような操作方法を図示する情報を操作対象機器に投影するシステムを構築し、被験者6名による実験で作業支援効果を検証した。

ウェアラブル端末サブシステムについては、人工呼吸器操作の遠隔作業支援を映像音声通信によりヘッドマウントディスプレイ(HMD)、タブレット、パソコン、モニタを介して行うシステムを構築し、基礎実験を行った。15名の遠隔作業支援実験では、タブレットは277.6秒、HMDは261.2秒、モニタは235.7秒となった。現状のHMDでは作業への負担が大きく、HMDそのものへの慣れが必要な状況と考えられる。

ロボットサブシステムに関しては、図8に示す運搬作業や点検作業などの作業支援を目的としたマニピュレータ搭載型移動ロボットの遠隔操作システムを構築した、これら高度化したサブシステムに対し、図9のようなグローバルIPアドレスを付与した統合サーバを大学内ネットワークに設置し、インターネット上からクライアントとなるサブシステムが双方向に情報通信可能なサーバクライアントシステムを構築した。

さらにサーバクライアントシステムをベースに遠隔作業支援に必要なクライアント機能を構築した、マニピュレータ手先に対するカメラ自動追従機能、書画カメラで撮影した操作者手首部の画像特徴点から制御目標値を生成するシステム、操作者手首部の運動のセンシングから制御目標値を生成するシステム、移動ロボットに関しては、障害物回避機能、カメラ画像認識による標識に応じた自動運転機能、ジョイスティックによる遠隔操作機能等を構築した。

上記のシステムとZoomの映像音声通信機能を利用し、東京 福島間での遠隔操作実験を実施し、その基本的な機能を確認した。

なお本研究の実験は、日本大学工学部倫理審査委員会の承認を得て実施した(承認番号 2017-03 および 2017-04 (2018~2021年度継続承認済))。

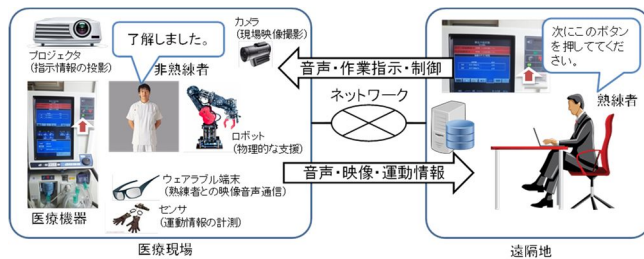


図6 遠隔作業支援システム

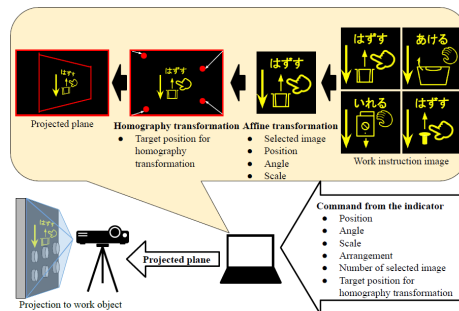


図7 プロジェクタサブシステム



図8 ロボットサブシステム

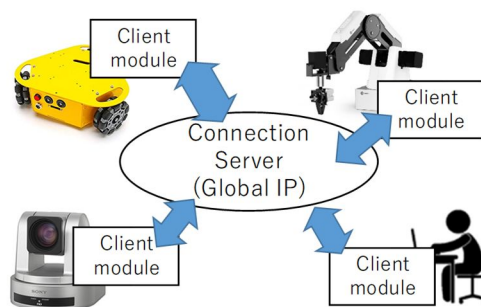


図9 クライアントサーバシステム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 細谷 寛明, 武藤 伸洋 |
| 2. 発表標題 医療機器操作における習熟度と運動情報の関連性に関する研究 |
| 3. 学会等名 第21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 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 村上拓也, 石橋優祐, 武藤伸洋 |
| 2. 発表標題 医療機器操作における習熟度と運動情報の関連性に関する研究-教示用プリントの注視時間割合の自動取得化- |
| 3. 学会等名 平成30年度日本大学学部連携研究推進シンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 村上拓也, 石橋優祐, 武藤伸洋 |
| 2. 発表標題 医療機器操作における習熟度と運動情報の関連性に関する研究 |
| 3. 学会等名 情報処理学会DICO2019 |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|---|------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 柿崎 隆夫 (Kakizaki Takao) (10586556) | 日本大学・工学部・教授 (32665) | |

6. 研究組織（つづき）

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 遠藤 央 (Endo Mitsuru) (50547825) | 日本大学・工学部・講師 (32665) | |

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|---|--|----|
| 研究協力者 | 片岡 則之 (Kataoka Noriyuki) (20250681) | 日本大学・日本大学工学部・教授 (32665) | |
| 研究協力者 | 入谷 隆一 (Iritani Ryuichi) (70794212) | 日本大学・日本大学工学部・特任教授 (32665) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
| | |