

# 人間の運動情報獲得による医療機器操作教授法に関する研究

○武藤伸洋（日大工・機械） 片岡則之（日大工・機械） 入谷隆一（日大工・電気）  
遠藤央（日大工・機械） 柿崎隆夫（日大工・機械）  
涌井靖章（日大工・機械・院生，現キヤノン(株)）  
吉田忠明（日大工・機械・学生，現フォーラムエンジニアリング(株)）

## 1. 緒言

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<sup>1)</sup>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名であり、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。また、今後、在宅医療の拡大や、避難所等での医療機器の利用、複数の診療所をもつ病院での技術者の配置などを想定すると、ネットワーク環境等を利用して医療機器の操作を支援するシステムが重要となる。

本研究では、センサによる人間の動作計測技術、ロボットおよびICT技術を導入し、操作者の運動情報による作業習熟度の定量化と、その情報伝達による遠隔作業支援システムを実現することで、医療機器操作の教授法を確立することを目的とした。機器操作に関する人間の習熟度をセンサで評価する研究やICT技術による遠隔作業支援に関する研究として、運転熟練者と初心者の加速度情報から運転技能の特徴抽出を試みる研究<sup>2)</sup>や、看護師に傾斜角等のセンサを装着し一日の業務を計測している研究<sup>3)</sup>、通信設備の保守作業を対象とした遠隔作業支援システムに関する研究<sup>4)</sup>がある。しかしながら、医療機器操作の習熟の度合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。

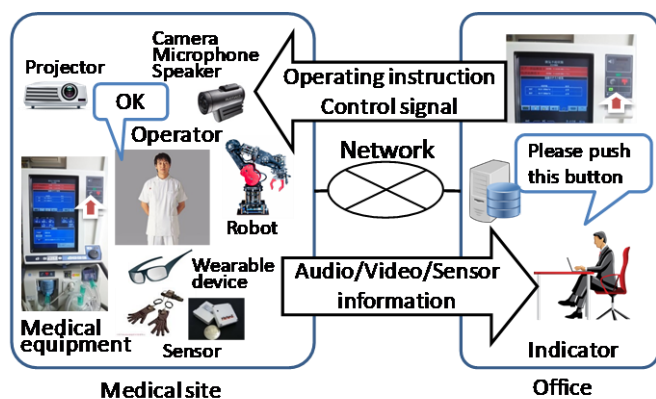


Fig.1 Concept of the remote clinical assist system

本報告では、人工呼吸器の操作を対象に作業者の運動情報として視線情報、頭部加速度情報・角速度情報等を利用した、操作習熟度の定量化の基礎実験と、映像音声通信機能とプロジェクション技術を基本とした遠隔地からの作業支援システムの効果について検討した結果を報告する。

## 2. 基本システムの構成

本研究では、センサ・ICT・ロボット技術を導入し、習熟度の定量化と、情報伝達による遠隔作業支援を可能とするシステムを開発する。Fig.1にシステム構成を示す。構成する要素として、以下の5つのサブシステムを基本とする。

- (1) センササブシステム：操作者の運動情報を計測・蓄積することで、作業習熟度を定量的に評価する。
- (2) 映像音声通信サブシステム：医療現場と指示者のいる環境を映像音声通信で接続する。
- (3) ウェアラブル端末サブシステム：ウェアラブル端末を使用し、操作者にハンズフリーで指示者側とコミュニケーションする環境を実現する。
- (4) ロボットサブシステム：指示者側からの遠隔操作で物理的支援を可能とするロボットシステム。
- (5) プロジェクタサブシステム：指示者側からの情報を、医療機器など操作者の環境に投影するサブシステム。

上記のシステムにより得られる効果は、臨床工学技士の教育の効率化だけでなく、将来的に、在宅医療・避難所で医療機器利用の訓練や、操作の習得や伝達に時間がかかる箇所から医療機器インタフェースの問題点抽出をするなど多角的な効果を想定している。以下では、第一段階として構築した、視線情報、頭部加速度情報・角速度情報と音声映像情報を同期して記録可能なセンササブシステムと、映像音声通信サブシステムとプロジェクタサブシステムにより、人工呼吸器の操作を対象に実験的な検証を行った結果を示す。

## 3. 習熟度と視線情報の関係性に関する実験

### 3.1 計測システム

Fig.2に人工呼吸器（ネルコアピューリタン製ベンチレータ 740）操作時の情報計測システムの概略を示す。眼鏡型のセンサ<sup>5)</sup>を利用し、視線情報、頭部加速度情報・角速度情報を計測する。視線情報としては、視野中の視点位置の座標値と、眼鏡に取り付けられたカメラの映像に重畳して視線位置をマークした情報が記録される。さらに機器操作中の映像音声をPCに記録する。

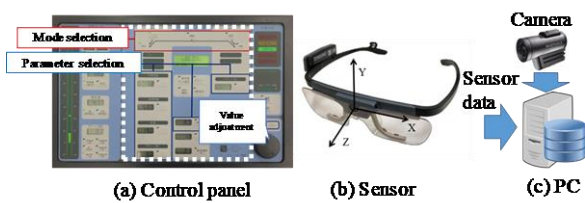


Fig.2 Measurement system.

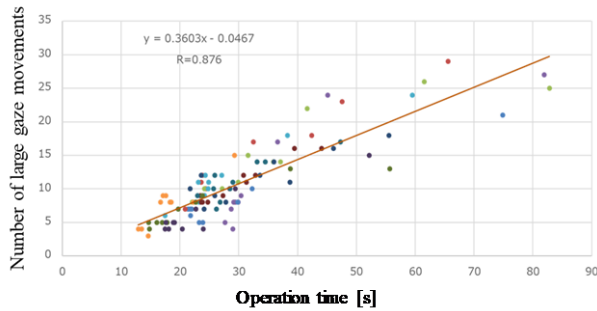


Fig.3 Number of large gaze movement

### 3.2 医療機器操作時の運動情報計測実験

実験では、人工呼吸器のパネルを操作して、設定値を変更する操作を対象とした。主な操作は、右手での操作パネル(Fig. 2)のボタン押下と、ノブ回転である。被験者は、学生11名とし、それぞれ10回の機器操作時のデータを計測した。

Fig. 3 に結果の一例として、操作時間  $T_{op}$  と視線の移動回数の散布図を示す。  $T_{op}$  は操作の迅速さを示す一つの指標として用いた。視線の移動回数は、コントロールパネルの中央部 (Fig. 2 破線内) より視線位置が外れた回数をカウントすることにより求めた。図より、  $T_{op}$  と視線の移動回数に高い相関 (相関係数 0.876) があることが確認できる。これまでの同様の操作実験にて、手首に加速度・角速度・地磁気の9軸センサ<sup>6)</sup>を装着し運動情報を計測した場合に、  $T_{op}$  にやや相関がみられた情報は、手首をひねる方向の角速度の標準偏差で相関係数は-0.629であった<sup>7)</sup>。以上により、今回対象とした操作の範囲で視線の移動回数が習熟に関連がある見通しが得られた。今後は、視線情報と手腕の運動情報と合わせて多角的な観点からの習熟度の検討を進める。

## 4. プロジェクション技術を利用した遠隔作業支援に関する実験

### 4.1 遠隔作業支援システムの構成

Fig. 4 に、映像音声通信サブシステムとプロジェクタサブシステムより構成した遠隔作業支援システムの構成を示す。本システムでは映像音声通信に加えて、作業者の使用する機器にプロジェクタによりポインタを投影することで作業を支援する機能を構築する。これにより「あの」や「その」などの指示語を用いた音声による直感的な指示が可能となる。このシステムでは、ネットワークカメラ、プロジェクタ、PC2台を使用する。2台のPCはそれぞれ指示者側、作業側で使用される。指示

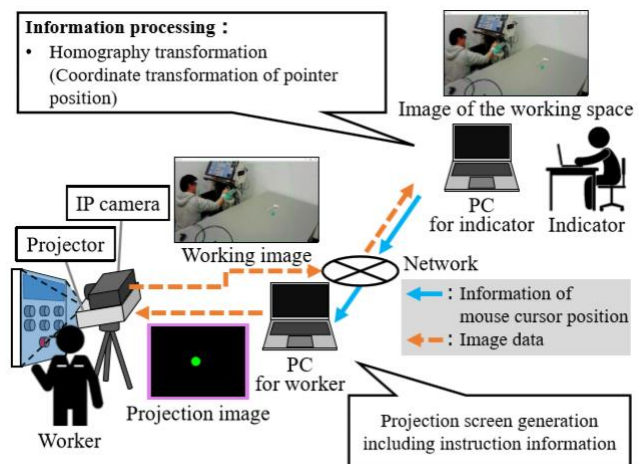


Fig.4 Remote support system



(a) Before operation

(b) After operation

Fig.5 Summary of circuit assembly operation

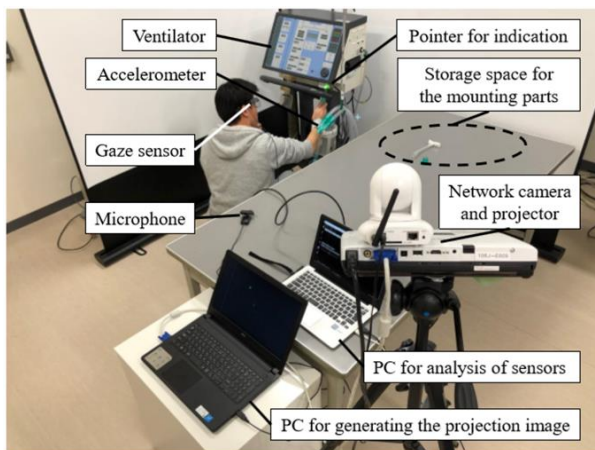
者側のPCでは、作業者の作業の様子をネットワークカメラから映像を取得して表示する。指示者は画面上の映像の任意の位置をマウスカーソルで指し示すことができ、指し示した座標は作業側側のPCへ送信される。作業側側のPCでは指示者側のPCから受信した座標を、ポインタとして指し示すためにプロジェクタで投影する映像を描画する。ネットワークカメラとプロジェクタ間の座標のずれに関しては、マウスカーソルの座標をホモグラフィ行列を用いて投影ポインタの座標に変換することで解決している。

### 4.2 医療機器操作支援効果に関する実験

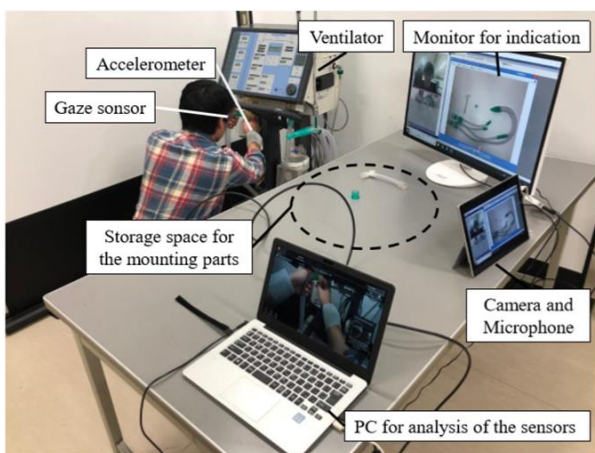
Fig. 5 に本実験の作業内容である人工呼吸器の回路組み立て動作の開始と終了の状態を示す。本実験では、人工呼吸器の隣のテーブルに配置してある回路を接続する。

実験では、モニタを利用した作業支援システムとプロジェクションによる支援情報を提示する作業支援システムを用いて人工呼吸器の回路組み立て作業を実施し、支援効果を比較検証する。Fig. 6 にモニタを用いた遠隔作業支援、およびプロジェクション技術を用いた遠隔作業支援の実験装置概観を示す。プロジェクション技術を用いた遠隔作業支援では、立体的な作業空間に支援情報を投影可能なシステムを利用する。被験者はモニタと提案システムでそれぞれ5名と4名の男女で、作業時





(a) Projection system



(b) Monitor system

Fig.6 Experimental environment.

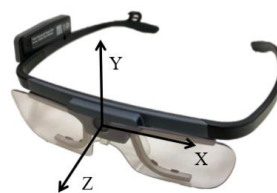


Fig.7 Presentation image on the displays

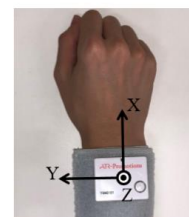
間や視線センサ<sup>5)</sup>、9軸センサ<sup>6)</sup>を用いて動作を計測する。ネットワークカメラはプロジェクタの上に固定し、作業支援に必要な領域が撮影および投影可能な右後方の位置に設置する。実験では、指示内容を固定するためにシナリオを準備する。モニタを用いた実験では、Fig.

7に例示する提示画像を用いた。回路組立ての一連の作業に対して、12枚の教示用の提示画像を用意する。特徴として、注意点を赤丸で囲ったり、指のイラストや文章を挿入したりした。プロジェクタからは緑色のポインタを投影し、取付部品の位置や装置への接続箇所を計12回、指し示すことで作業支援を行う。

実験は同じLAN内の完全に分離した隣り合った部屋でそれぞれ指示者と業者側のシステムを構築して実施した。Fig.8に視線センサと加速度・角速度・地磁気の9軸センサの座標系を示す。視線センサでは視線の三次元座標および頭部の加速度、角速度を計測する。9軸センサは両手首に取り付け、加速度、角速度を計測する。以上のセンサの情報から、支援情報提示手法の違いによる視線の動きや手や頭部の動作の違いを検証する。



(a) Gaze sensor



(b) Accelerometer

Fig.8 Coordinate system of sensors

Table 5 Results of gaze measurement

	Total time [s]	Distance [m]	Average speed [m/s]
Projection	205.75	1163.45	5.65
Monitor	233.20	1454.59	6.21

Table1に作業時間および視線の計測結果を示す。作業時間はモニタが233.20秒、プロジェクタが205.75秒となり、11.8%短縮した。また、視線の移動距離は20%、平均速度は9%短縮したことがわかる。Fig.9に両手首、および頭部の角度変位を示す。これらより、一連の回路組立作業を完遂するまでに要した角度変位を確認する。このとき角度変位 $\Delta D$ は、次式で求める。

$$\Delta D = \int_{T_0}^{T_1} |\omega(t)| dt \quad (1)$$

ここに、 $\omega$ は角速度、 $t$ は時間、 $T_0$ は作業支援の開始時間、 $T_1$ は作業支援の終了時間である。角度変位は、右手首のY軸回り以外においてプロジェクタのほうがモニタよりも小さい値となった。

また、頭部の角度変位はプロジェクタではX軸、Y軸、Z軸においてそれぞれ36.0%、32.7%、26.7%減少している。これらより、指示内容に視線を移す必要があるモニタと比較して提案システムでは指示内容が手元に投影されるため、視線の移動が効率化されたといえる。また、特に頭部の見下ろす動作、横方向に頭を回転させ視線を移動する動作が減少したため作業時間が短縮したと考えられる。

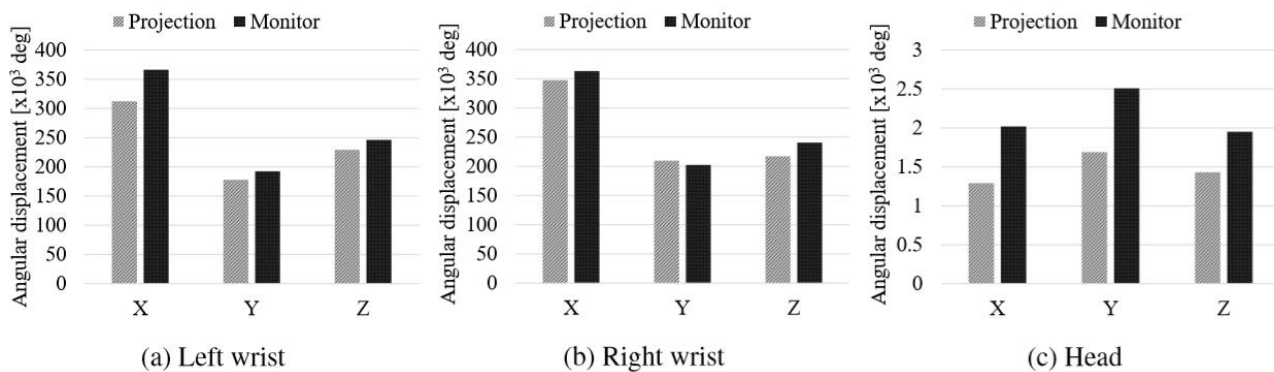


Fig.9 Angular displacement of 3-axes of left wrist, right wrist, and head

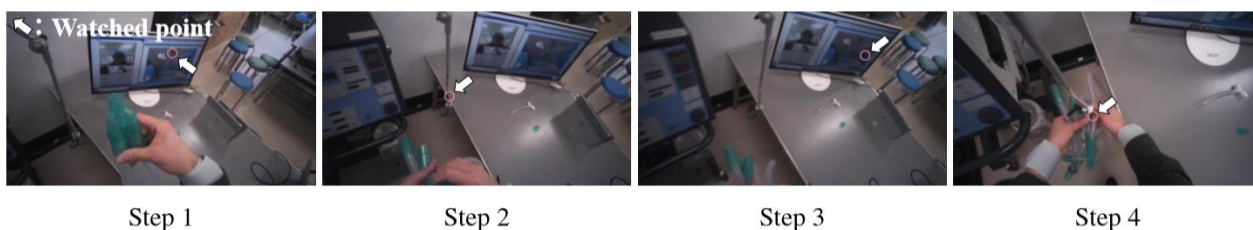


Fig.10 Movement of watched points with remote work support using monitor



Fig.11 Movement of watched points with remote work support using projection technique

Fig. 10, Fig. 11 にモニタとプロジェクションのそれぞれの特徴的な視線を示す。図より、実際にモニタでは提示画像と手元を交互に確認しながら作業しているのに対し、プロジェクションでは作業する場所にポインタがあるため、大きな視線の移動や頭部の動きが少ないことが確認できる。以上のことから、提案システムを用いた遠隔作業支援の有用性が示された。

## 5. 結言

本報告では、人工呼吸器の操作を対象に作業者の運動情報として視線情報等を利用した操作習熟度の定量化の基礎実験と、映像音声通信機能とプロジェクション技術を基本とした遠隔地からの作業支援システムの効果について検討した結果を報告した。今後は各サブシステムを拡張し、腕や指の動作や、それらの協調性等の多角的な評価を検討するとともに、医療機器の種類や被験者数を増やし継続的なデータ蓄積を行う。

人工呼吸器パネル操作における習熟度定量化の実験およびプロジェクションによる作業支援効果の検証実験は、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, 2017-04）。本研究は工学部研究費の助成を受けたものです。

## 参考文献

- (1) 木村他, 臨床工学技師集中治療実態調査報告, 日本臨床工学技師会集中治療業務検討委員会, 2012.
- (2) 多田他, 加速度センサを用いた行動計測に基づく運転動作解析手法, 情報処理学会インタラクシオン, 2007.
- (3) 桑原他, ウェアラブルセンサによる看護業務の自動行動計測手法, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.11, pp2638-2648, 2003.
- (4) 三河他, コミュニケーション端末 CTerm を用いた遠隔作業コミュニケーション支援システム, 日本機械学会論文集, pp.48-54, 2003
- (5) Tobii Pro グラス 2, トビー・テクノロジー <https://www.tobii.com/ja/product-listing/tobii-pro-glasses-2/>
- (6) ATR-Promotions, 小型無線多機能センサ TSND121/151, <http://www.atrp.com/products/TSND121.html>
- (7) 武藤他, 医療機器操作の習熟度と運動情報の関係性に関する検討, 信学会全国大会, 情報・システム講演論文集 1, p.109, 2017