

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 28 日現在

機関番号：82404

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350691

研究課題名(和文) 触指文字ロボットによる盲ろう者の情報獲得自立支援技術の開発

研究課題名(英文) Development of a hand robot that signs tactile Japanese finger alphabets for independent information access for the deafblind.

研究代表者

森 浩一 (Mori, Koichi)

国立障害者リハビリテーションセンター(研究所)・研究所 感覚機能系障害研究部・研究部長

研究者番号：60157857

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：聴覚と視覚の重複障害を持つ盲ろう者のうち、聴覚障害の後に、あるいは成人後に視覚障害を受障した盲ろう者(ろうベース盲ろう者)は点字の学習が比較的困難なため、情報獲得の手段が触手話や指文字などに限られることが多い。しかし、これらの手段は触手話通訳者等による人的介助が不可欠であるため、自立した情報獲得が困難であり、生活の質(quality of life: QOL)の低下の大きな要因となっている。本研究では、ろうベースの盲ろう者が自立して情報獲得できることを目指し、人の右手を模した多自由度ロボットハンドおよびアームを用い、テキストから触指文字を順に出力できるロボットの試作を行った。

研究成果の概要(英文)：The deafblind persons who have suffered visual impairment after hearing impairment or both after adulthood experience relative difficulty in learning Braille, so that the means of information acquisition tend to be limited to tactile sign language or finger spelling and the like. However, since these means are dependent on human assistance including tactile sign language interpreters, it is difficult to acquire information independently, which is a major cause of deterioration of quality of life (QOL). The aim of this research was to enable those deafblind people who cannot use Braille, independent information acquisition with a signing robot hand. A hand and arm robot that mimicked a human right hand and arm with multiple degrees-of-freedom was developed that can produce tactile finger letter signs sequentially as output from a text entered at the console or from a text file.

研究分野：リハビリテーション医学

キーワード：福祉・介護用ロボット 盲ろう者 触指文字 自立支援 制御工学 情報獲得 意思伝達装置 触手話

1. 研究開始当初の背景

盲ろう(視覚・聴覚重複障害)の成人は全国に22,000人(平成18年度実態調査)おり、その44%はろうが先行し、小児期に手話を中心としたコミュニケーションが確立した後に、あるいは成人期まで視聴覚が正常で、それ以降に視覚障害が生じた者であり、盲ろう者の85%が60歳以上であるため、新規に点字を習得するのは困難で、触指文字の方が獲得が容易であることが多い。しかし、触指点字ないし触手話による情報獲得には手話を理解する介助者(一般には手話通訳者)が必須であり、自立して情報を得ることができない。通訳派遣は時間制限があるため、生活すべてにわたって情報を十分に獲得することは不可能であり、また、予定表やメモ、医者への指示など、随時・繰り返し読む必要がある場合にも不便がある。この問題を解決するためには人の手の代わりに、触手話で文字情報を呈示する触指文字ロボットが必要であり、高機能電動義手として開発されているロボットを元にした開発を提案する(図1)。



図1. 触指文字ロボット

本研究では、両手を必要としない指文字の表示を目標とした。自由度は当初の計画のままでは不足することが判明したため、増やしたものを製作した。

触指文字ロボットは米国の先例がある(Jaffe, 1994)。この装置は、手首が固定され、手掌から先のみが可動であり、「J」等一部以外のアルファベットをほぼ正確に表示できる。指の衝突を回避しながら高速に表示するため、2文字のあらゆる組み合わせの連結動作を別個にプログラムに加えている。それにかかわらず、触指文字としての認識率は70%程度しかないという問題があった。これは、手掌部を移動させられないため、文字の表示中と切り替え中を区別しにくいこと、文字の強弱を表現できないことが認識率の低迷の原因となっていた可能性が考えられる。また、固くて自由度が低い指のため、文字の切り替え時に使用者の指を挟むと危険であるなどの問題もある。

日本語の五十音を表示する指文字では、「手の向きを変える」「掌を見せる」「手の甲を見せる」など、手首を固定してはできない動きが必要であり、濁音では手を手掌面に平行に動かし、小字は手を引くなどの「手の位置を変える」動作も必要である(国リハ, 2005)。このため、アルファベットのみに比べて大幅に運動自由度を増す必要がある(表1)。また、2文字間の移動では指の衝突回避処理がアルファベットに比べて膨大な組み合わせに対応する必要がある。衝突回避処理が不十分であると、親指が他の指にひっかかって開かないために正しい指文字にならないというような問題が生じる。

| 部位             | 必要な運動自由度  |
|----------------|---|
| 母指             | 橈側外転・内転<br>掌側外転・内転<br>MP関節の伸展・屈曲<br>IP関節の伸展・屈曲  |
| 示指, 中指, 薬指, 小指 | MP関節の伸展・屈曲<br>MP関節の外転・内転<br>PIP関節およびDIP関節の伸展・屈曲 |
| 手首             | 掌屈・背屈<br>橈屈・尺屈                                  |
| 前腕             | 回内・回外   |
| 肘              | 屈曲・伸展   |
| 肩              | 屈曲・伸展<br>外転・内転<br>外旋・内旋                         |

表1. 触指文字・触手話に必要な運動自由度

2. 研究の目的

盲ろう(聾)者の情報獲得手段はほぼ触覚に限定されるが、盲ろう者の半数近くは難聴が先で視覚障害を後で生じた者(ろうベース)のため、点字の習得が容易でなく、手話を触って理解する触手話の方が容易である。また、近年は糖尿病などにより中年以降に視聴覚両方の感覚が低下する症例も増えていて、高齢化と糖尿病による皮膚感覚の低下も伴い、点字の習得が困難な盲ろう者が増えている。しかしPCから出力できる点字と異なり、触手話による情報獲得は手話通訳者の介在が必須であり、ニュースを聞いたりメモを読むことすら自立して行うことができない。

この困難を軽減するため、触手話で指文字(触指文字)を提示し、ろうベース盲ろう者が自立して情報獲得できる装置を開発するのが目的である。このような試みは世界的にも稀である。必要とされる仕様としては、手指の複雑な動作を高速に連続して長時間、家庭環境で安定して行い、かつ盲ろう者にも安全に使用できるものでなければならないというチャレンジがある。安全性と耐久性の相反などの工学的問題をハード・ソフトにわたって解決する。

これに関連して、すでにプロトタイプの手指文字ロボットを製作しているが、人の手の

形をした干渉駆動のロボットハンドを採用した。このロボットは高機能電動義手として開発が進められているものであるが、これを選択した理由は以下である。(a)動作の自由度が高いために複雑な指文字の動作の実現に適する。(b)ポリエチレン繊維のワイヤ駆動になっており、関節はワイヤの張力で保持されている。これにより弾性と可撓性があるために、強い外力が加わっても壊れずに変形し(「脱臼」)、外力が除去されると復旧する。このため、指を握り込まれても簡単に外すことができ、かつ故障が起きない。(c)3次元印刷によるプラスチック部品で作られているため、触れることで怪我をしにくい。(d)出力が比較的低く、柔構造のため、動きによって人を傷つける心配が少ない。(e)人の手と腕の形をしているため、見えない人に形が想像しやすい、など。

しかしながら、プロトタイプでは、動作が緩慢で、かつ一部の指文字が正確な表示ができないなどの問題点が発見され、試用試験に至っていない。また、ソフトウェアとしては、かなを1文字ずつ処理する方式のため、通常の日本語の漢字かな混じり文をそのまま表示することができない。これらのプロトタイプの問題点を整理して解決し、実用可能な形で試用できる装置を作成することが今回の研究の目標である。

### 3. 研究の方法

(1) 触指文字提示のストラテジー：触指文字(触手話)による伝達方法は、単に文字を表示するだけでは伝達率が必ずしも高くないため、実際にどのような伝達がされているのかを調査する。

具体的には、盲ろう通訳者や盲ろう者から指文字の提示に関してのノウハウを聴取して、駆動ソフトウェアに反映させる。特に、文字間の推移や単語の提示方法について調査する。

(2) ハードウェア：現有のプロトタイプの問題点を明らかにしながら、試用研究に使える触指文字ロボットのハードウェアを作成する。

目標速度は、現プロトタイプは1文字に1~3秒かかっているが、暫定的に1秒2文字に設定した。方法としては、駆動モデルを構築して駆動のハードウェアならびにソフトウェアの動作を最適化することと、駆動用のモーターを強化することと、駆動の動作を見直すことなどが考えられる。

装置は他の工業用の硬いロボットと比べて安全性が非常に高い。しかし、盲ろう者が使うことを考慮して、さらに安全性の点検と対策を行った。

ロボットは骨と関節と駆動用のワイヤからなっており、触感が必ずしも良いものではない。プロトタイプはシリコンゴム製の手袋を装着してさらに木綿の手袋を被せること

で触感を改善しているが、それでも指が骨格のみのために細すぎる。触感をさらに人の手に近づけるため、肉付けがある手袋をロボットの骨格の上に被せることを計画した。

(3) ソフトウェア：プロトタイプを駆動するソフトウェアは、漢字に対応しておらず、かな文字を1文字ずつ処理するため、普通の漢字かな混じり文を読むことができない。また、指の衝突防止のために、1文字ごとに中間位置に戻していることが、読み取りにくさを生んでいる可能性が指摘されている。これらを改善する方法を開発し、駆動ソフトウェアに組み込む。

### <引用文献>

1. Jaffe, D.L.: Evolution of Mechanical Finger spelling Hands for People who are Deaf-blind, *J Rehab Res Dev*, 31:236-44, 1994.
2. 国立障害者リハビリテーションセンター：リハビリテーションマニュアル 17 「盲ろう者と触手話」. 2005, <http://www.rehab.go.jp/whoclbc/japanese/pdf/J17.pdf>

### 4. 研究成果

#### (1) 触指文字による伝達のストラテジー

手話の専門家等の意見を聴取して、以前に製作したプロトタイプの問題点を抽出し、触指文字ロボットのハードウェアの仕様決定と動作改善に役立てた。

触手話マニュアル(国リハ, 2005)によると、触って疲れにくいようにするためには、手の位置をなるべく動かさないようにする必要があり、これに対応した仕様を設定し、ロボットに反映した(ハードウェアの節に詳述)。

通訳者と盲ろう者による触指文字の伝達についてのストラテジーの聴取はまだ少数ではあるが、制御ソフトの改善に役立つ意見を得ることができた。

指文字で単語を提示する場合は、1文字毎に表示が整ったことについての情報は付加せず、連続で文字の提示を行うことがわかった。この場合、文字から文字へ移行する部分では読み取れない手の形も出現することになるが、単語単位での動きを読み取るような学習が行なわれていると考えられる。そのため、単語については1文字毎に中間的な位置に戻さないで提示する必要があることが判明した。Jaffe (1994)では高速化のために連続動作をできるようにしたようであるが、触手話に慣れた者にとっては、単語などの意味のつながりを理解するためにも連続表示が必要であることがわかった。これについてはソフトウェアの開発に生かすことにする。

触手話では通常の手話で使われる口形その他の顔面の動きを利用することができな

いため、通訳者と盲ろう者の間で伝達のためのいろいろな取り決めをしていることがわかった。しかしこの取り決めは一般的なルールとしてはまとめられておらず、また、指文字では手話の手形のみのような多義性が問題になることは少ないはずなので、口形についての取り決めの必要性は低いと考えられる。また、その他の顔面の動きで伝えられる情報（仮定や疑問など）については、指文字が日本語を前程とするため、ほとんどの場合は文字化して伝達することが可能と思われる。そのため、この部分を装置に反映させることは今回の研究では行わないこととした。

手話単語のうち、片手で容易に伝達できるものについては、導入できれば指文字での伝達より効率が良い可能性がある。このためには、かな文字の1文字に対して1つの動作という提示方法を修正して、単語認識の機能をソフトウェアで実現する必要がある。今回の研究では手話単語を導入するまでには至っていないが、構文解析機能を追加したことで、単語単位で指文字を提示するだけでなく、単語登録をすれば、手話提示も可能になる仕組みを組み込んだ（ソフトウェアの項参照）。

## (2) ハードウェア

指文字の精確さを改善するため、ワイヤ干渉駆動による指の位置の制御を力学的にモデル化した（図2）。それに基づいて指位置を駆動すると、誤差が15%以内になることがわかった（Seki et al, 2014）。実際の指の形については、おおまかなパラメータ設定の上で表示を見ながら細かく設定を調整しているが、位置のフィードバックがなくても理論的に調整位置から大きくずれることがないことが示されたことになる。

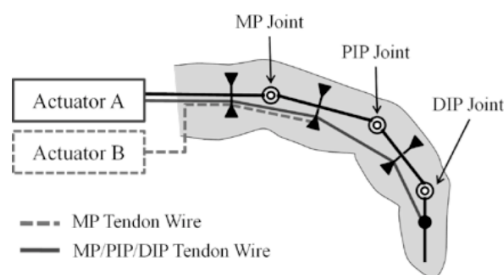


図2. 指のワイヤ腱駆動モデル

理論的検討から、駆動速度の改善を目指して、指関節の保持トルク向上のために駆動機構の改良（駆動機構の形状変更と干渉駆動を導入）を行った。また、中手指節間関節（MP）関節および母指手根中手関節（CM関節）の関節構造を変更し、関節可動域および動作の改善を行った。

プロトタイプの前連続長時間動作によって、強度が十分でない部分が見つかり、構造を改良した。

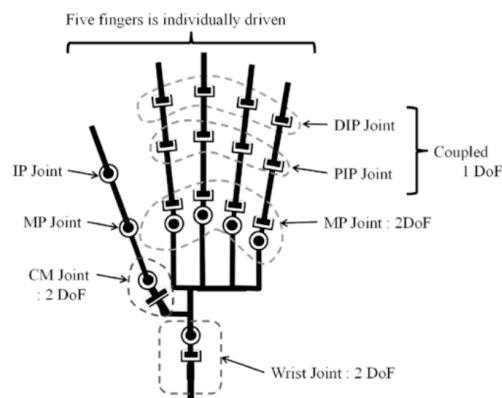
触指文字ロボットの手の表示位置のぶれを小さくするため、腕を駆動するサーボモ

ータを大型で強力なものに交換し、かつ、腕の長さを指文字表示に差し支えない範囲で短くした。これによって、プロトタイプと比べて、手の位置を安定して提示できるようになった。後述のように手首の自由度を追加したことで、不自然な方向に腕を動かして手の自由度の不足を補う必要がなくなり、これも手の表示位置の安定に役立った。さらに、文字列を表示させて指文字の提示位置ができるだけ揃うようにパラメータの調整を行った。

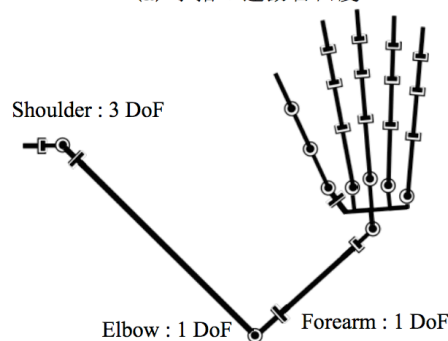
研究開始時のプロトタイプでは、すべての指文字を正確に生成するためには運動自由度が不足していたため、第II指と第III指の交差動作を追加し、また、手首の自由度として、これまでは屈曲と進展の1自由度のみであったが、手掌面に平行な内外転と前腕を軸とする回内・回外（回旋）の自由度を追加した。これら3自由度すべてを手首部分で行うことが困難であったため、回旋は上腕で行うこととした（図3）。

手の大きさとしては、プロトタイプでは成人男性を基準にしていたため、手を包み込んで手の形を認識するにはやや大きすぎるので、小さくする必要があった。まず小児サイズの手を検討したが、このサイズでは必要な自由度が確保できないことが判明したため、成人女性のサイズを採用することとした。

以上を解決できるように改良したハードウェアを設計し、その仕様に従って触指文字ロボットを製作した。



(a) 手指の運動自由度



(b) アーム部の運動自由度

図3. 触指文字に必要な運動自由度の設定

触感の向上のため、人の手で型取りしたエラストマーの手袋をロボットの骨格上に被せることにした。これにより、人の手に近い弾力性をと適度な太さ・厚さを持った手となった。エラストマーは物の把持に使えるようにやや摩擦が大きいため、触手話の使用に際しては、木綿の手袋を重ねて滑らかな触感を得られるようにした。

安全性の向上のため、緊急停止用の大型の押しボタンスイッチを設置した。指の振り回しによる万が一の怪我の可能性を排除するため、動作スピードを1秒に2文字程度よりは速くしないことを決定した。さらに、残った唯一の危険箇所である肘への挟み込みを防止するため、安全カバーを設計して設置できるようにした。

### (3) ソフトウェア

研究開始時のプロトタイプの動作としては、指文字間は一定の中間状態を経由して文字を表示している。これによって指の衝突は確実に防げるが、速度が犠牲になっているため、衝突を回避しつつ、中間状態を通らないですむ駆動方法を開発する。

日本語五十音の衝突回避を考えた場合、アルファベットと比べて一桁多い組み合わせを考える必要がある。これを人手で作成し確認するのはほぼ不可能なため、アルゴリズム上で解決する方法を考案した。例えば、指の握り込みについては、親指と他の指の間での衝突が問題になる。これらの開閉を順次行うこととし、親指が他の指の外になるか中になるかに応じて、この順番を変更するようにした。しかし、どのような場合に衝突が起きえるのかを自動的に悉皆検出する方法がないため、この種の規則の追加については、今のところは発見的に対応している。

日本語対応については、日本語構文解析のソフトウェアモジュールを組み込み、漢字かな混じり文を文法的に分析して内部でかなに変換して提示することができるようになった。構文解析の情報を用いることで、平文から単語を抽出することが可能になり、単語に対応するロボットの動きのデータを追加すれば、単語単位でまとまった表示ができる仕組みとなった。これを使うと、指文字の単語単位での円滑な表示だけでなく、片手で表示できる手話単語を代わりに使うことができ、文字だけの提示にくらべて伝達の効率を上げることが可能になった。

### (4) 結論と今後の課題

この研究により、日本語平文（漢字かな混じり文）か、かなと数字のみの文字列をコンソールに入力するか、あらかじめ準備したファイルを読み込むと、右手の触指文字として提示する装置が開発された。この研究に先立つプロトタイプの開発において、キーボードからのスピード調整や繰り返しなどの操作ができるようにしてあるため、補助者が文書

の準備をするなどをすれば、盲ろう者が触指文字でテキストを読み取ることが可能になった。

今後の課題としては、衝突回避がすべての音の連続についてできていないために、単語内の連続した文字の表示が円滑に行えないという問題と、盲ろう者による自宅等での使用評価がまだであることがある。

当初の目的として、ろうベースの盲ろう者の家庭での情報獲得の自立を目指しているが、真の自立のためには補助者が文書を用意するのではなく、盲ろう者が自らウェブやメールからテキストを読めるようにできることが望ましい。視覚障害者のための音声読み上げソフト等ではこの機能を持つソフトウェアはすでに広く利用されているので、技術的には大きな問題はないものと考えられる。これらについては今回の研究の範囲外となっているので、今後の課題としたい。

一方、中高年以降に視覚と聴覚の両方を失った方の場合、点字の習得が容易ではないことがあるため、触指文字の学習からリハビリテーションを開始する場合がある。触指文字が使われるのは、手の平に文字を書くなどにくらべて伝達効率が高いためである。しかし、触指文字の読みとり訓練には指文字が使える人が必要になるため、長時間の訓練が困難であり、触指文字の習得も実際上の困難がある。今回製作したロボットは、同じ文字列を繰り返し提示することが簡単にできるため、高齢の盲ろう者のリハビリテーションで、触指文字を学習するための練習装置として使える可能性もある。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計1件）

- ① Seki T, Jiang Y, Yokoi H: Approximate model for interactive-tendon driven mechanism of a multiple-DoFs myoelectric prosthetic hand. In: Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2014), 査読有, 2014-12-05/12-10 2014; Bali (Indonesia), IEEE; 2014, pp. 999-1004, doi: 10.1109/ROBIO.2014.7090463.

〔学会発表〕（計1件）

- ① 關達也, 森浩一, 横井浩史: ろうベースの盲ろう者の自立した情報獲得を目指した触手話ロボットの開発: 人を模した五指多自由度ロボットハンド・アームの利用. 複視情報工学研究会. 2017-03-11, 筑波技術大学(茨城県・筑波市), 電子情報通信学会技術報告2017, pp. 103-106.

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

森 浩一 (MORI, Koichi)

国立障害者リハビリテーションセンター（研究所）・研究所 感覚機能系障害研究部・研究部長

研究者番号：60157857

### (2) 研究分担者

横井 浩史 (YOKOI, Hiroshi)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：90271634

### (3) 連携研究者

### (4) 研究協力者

關 達也 (SEKI, Tatsuya)