

平成21年 4月 7日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2005～2008  
 課題番号：17300184  
 研究課題名（和文） 予知・牽引機能によりメンタルイメージ生成を支援する指先誘導マニピュレータ  
 研究課題名（英文） Direction-Indicating Fingertip Guiding Manipulator to Support Mental Image Creation  
 研究代表者 野村 由司彦（Yoshihiko Nomura）  
 三重大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号：00228371

## 研究成果の概要：

“ノブつまみタイプ”の4自由度運動覚ディスプレイ（指先誘導マニピュレータ）を開発した。水平、垂直、±45度の4本の線分を組み合わせた図形であれば、110秒で認識できた。次に、ばね剛性を制御して、物体の角を“なろう”感覚が提示できるようにした。さらに、実際に指を平面に置いて、平面を“なぞる”ことを可能とする“指先スライドガイドタイプ”を考案し、認識率や探索時間は従来タイプと同程度であったが、腕を持ち上げる負担が軽減された。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	3,900,000	0	3,900,000
2006年度	2,900,000	0	2,900,000
2007年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
総計	10,800,000	1,200,000	12,000,000

研究分野：メカトロニクス，ロボット工学，認知科学

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：福祉工学，視覚代替，メンタルイメージ，マニピュレータ，予知，牽引

## 1. 研究開始当初の背景

**国内外の関連する研究の中での当該研究の位置づけ**

“特別な手助けが必要な人のためにコンピュータを援用する技術に関する国際会議” ICCHP の講演数（採択率 56%）の分布を述べ、本研究の位置付けを明らかにする。その中で、視覚障害者に関する論文は、移動支援 8 件、点字インタフェース 4 件、文書アクセス 8 件、数学アクセス 13 件、その他、教育 7 件が発表されている。これに対して、本研究の属する“図形アクセス”は 10 件を数え、

一定の存在感を示していることが認められる。しかし、その内、触覚ピンディスプレイは有効性が認められていることもあって 8 件もあり圧倒的多数を占める。しかし、この技術は既に商品があることに象徴されるように、成熟しつつある。しかも、商品は 68 万円もし、容易に購入できない。また、提示範囲は約 6cm 四方、 $24 \times 32 = 768$  点と小さく、単純な図形に限られている。この他の論文では、音声のみを利用するものも 1 件あるが、この方式はすでに申請者他、以前より行われており、性能の点でかなり難しいと思われる。

この他、普及している商品にドットプリンタがある。これはドット数（解像度）など性能の点では十分であるが、数百万円と一段と高価である。これに対して、マニピュレータ援用方式は我々の論文のみであり、その先導性と上記②に述べた着眼点の独創性高い。さらに申請者のシステムは単に誘導するのみでなく、触覚ディスプレイによる“予知”とそれに基づく能動的運動の誘発と記憶に際しての記銘作用など、一段とユニークな仕組みが組み込まれている。

## 科学研究費の交付を希望する期間内に何をどこまで明らかにしようとするのか

私たちが街を歩くとき、通常、道路のそれに面した店などの配置図を思い描き、それを頭の中で参照して照合している。移動という意味では建物内、あるいは部屋内でも同様な心的過程は行われている。移動ということではなく、様々なものの形、すなわち図形情報を伝え、これを知覚し、記憶し、さらには照合するなどの心理過程は重要なものであることは論を待たない。先の心理的な地図は**メンタルマップ**と呼ばれているが、それを図形一般に拡張して**メンタルイメージ**と呼ぶ。もし、介助者がいて、視覚障害者に図形情報を伝えるならば、下左図のように、視覚障害者の手を取って“手導き”をしながら、そこに何ががあるか“口述する”だろう。

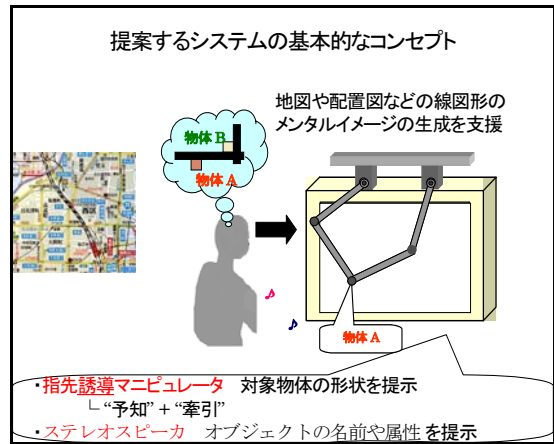


しかし、そのような作業には介助者にも障害者にも心理的負担は大きい。

## 2. 研究の目的

本研究の目的はこのような負担を軽減することであり、以下の事項を実施する（下図参照）。

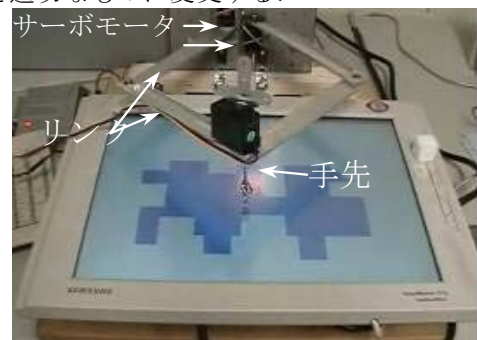
- ・ 健常者、視覚障害者のメンタルイメージ生成過程の認知科学的な研究、
- ・ 実際に、介助者に代わってこのような仕事を行うことのできるメカトロニクスシステムの開発

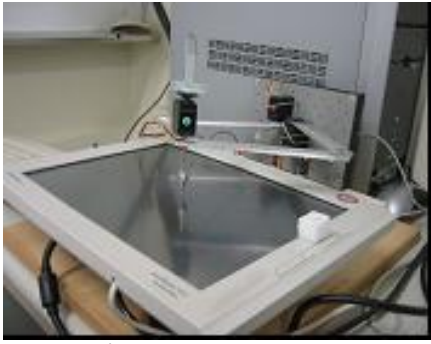


## 3. 研究の方法

### 運動覚ディスプレイによる牽引機能（下図のものを改良）

パンタグラフ様の平行リンクマニピュレータ（下図参照）を運動覚ディスプレイとし、アクチュエータには、これまでラジコン用サーボを用いてきた。これは低価格であったが、ミリ秒オーダーで正確に制御することはできず、結果として直線に沿って正確に動かそうとしても、若干、波打つようにしか、動かせなかった。実用に際しては、波打ちが知覚されないように細かく指令値を送信することでその問題を回避してきた。この問題を解決するため、機構部品の改良、ラジコン用サーボからステップモータに変更する。また、手先の支持部や関節部などのベアリングを適切なものに変更する。





### 触覚ディスプレイによる予知機能

風向計を連想すると分かり良いと思われるが、風向計に類似したつまみをモータで回転駆動する形式で予知マニピュレータの第一次試作機を製作する。このモータは、誘導マニピュレータの先端に固定されており、誘導マニピュレータの回転を補償するように動作させる必要がある。この技術はこの後で必要となる先端部の触覚ディスプレイの台座として、すなわち**方向提示台座システム**として応用される。

### 認知心理学

最も重要な検討項目は、以下の二つの効果を確認することである。

<p><b>触覚を介してノブの向きを知覚</b>→ 指先が誘導される向きを予測→輪郭を<b>予知(心理的仮想的体験)</b>と 予知に基づいて<b>能動的に</b>指先を動かそうとする<b>身体的行為が記憶を強化</b> →輪郭“予知”→<b>能動的記憶機能(予習効果)</b></p>
<p><b>運動覚を介して指先位置を知覚</b>→ 指先はパラレルリンクマニピュレータにより輪郭に沿って<b>受動的に牽引される</b>→ <b>身体的“実”体験による再認が記憶を促進</b> → 輪郭“牽引”→<b>受動的再認機能(復習効果)</b></p>

これらの効果を確認するため、

- ・ 提案の指先誘導マニピュレータで予知機能と牽引機能を使用、
- ・ 予知機能は取り外して、牽引機能だけを使用、
- ・ そして従来法の代表として位置付けられるレーザーライタ

の3つの方式間で認知性能を比較する。

知覚することと、それを脳裏に焼き付け、記憶することとは似ていて非なるものがある。さらに、記憶には、短期記憶の他に長期記憶がある。通常の実験では短期記憶を測ることがほとんどであるが、心理的、実際的な体験を通すことにより、より深く記憶され、長期記憶の性能が上がることも期待される。そのような観点での研究も行いたい。

また、心理的疲労の要因も重要であるし、腕を動かすことによる身体的疲労も生じう

る。これらについても注意して実験を行う。

### 4. 研究成果

#### 2005 4自由度運動覚ディスプレイの開発と性能評価

4自由度運動覚ディスプレイを開発した。その4自由度は、パラレルリンクマニピュレータの2自由度、同パラレルリンクマニピュレータの先端に取付けた上下運動アクチュエータの1自由度、さらに上下運動アクチュエータの上下運動部に取付けた回転型アクチュエータの1自由度から成る。従来型はパラレルリンクマニピュレータの2自由度と回転型アクチュエータの1自由度のみであり、平面的な一筆書き図形の呈示に限られていた。これに対して、今回開発した拡張型は、凹凸線図形を提示でき、これにより一筆書きのみならず多筆図形も呈示できる。さらには、音声呈示も併用することにより、図形の筆順や交わりなどの属性情報も呈示できる。これらの複合的機能を統合し、より効果的にメンタルイメージ生成を支援することができる。このマニピュレータを使用してレリーフのような、凹凸状の3次元物体の表現も期待される。さらに、音声誘導の機能も付加した。様々な実験の結果、以下の知見が求められた。

- ・ メンタルレリーフとして図形を提示する際に必要な手先上下量及び速度は、実験により 5mm 以上の上下移動量、速度 1.0cm/s 以上であれば確実に認識できる
- ・ 絶対回転角度知覚、および相対回転角度知覚の実験の結果、呈示図形は 45 度単位の角度をもつ線分の組み合わせであれば、ほぼ認識できることがわかった。
- ・ 予備実験の結果に基づいて、水平、垂直、±45 度の 4 本の線分を組み合わせた図形を取り上げて、指先誘導マニピュレータとレーザーライタとで認識性能比較実験を目隠しした晴眼者に対して行った。その結果、指先誘導マニピュレータの認識時間は 110 秒であるのに対して、レーザーライタの認識時間は約 220 秒であり、比べて良好な結果が得られた。

#### 2006 運動覚ディスプレイ(指先誘導マニピュレータ)による牽引機能

先に 2 自由度 (2DOF) パラレルリンクマニピュレータと 1DOF 回転型アクチュエータを装備した、3DOF 指先誘導マニピュレータを報告したが、これは平面的な一筆書き図形の呈示に限られていた。今回は、新たに上・下運動と音声誘導の機能を付加し、拡張型指先誘導マニピュレータを開発した。拡張型は凹凸線図形を提示でき、これにより一筆書きのみならず多筆図形も呈示できる。さらには、音声呈示も併用することにより、図形の筆順や交わりなどの属性情報も呈示できるようになった。

2006 指先誘導マニピュレータを用いたなぞる感覚の提示

従来は、平面的な図形の提示において、被験者はただ誘導されるだけの受動型指先誘導マニピュレータであったのに対して、能動型は自分の意志で図形を探索することができる能動型指先誘導マニピュレータの研究を行った。これにより、提示するために要する時間の短縮も期待できる。能動型指先誘導マニピュレータは、

- ・ 溝に沿う方向では、関節等の摩擦抵抗のみでほぼ無抵抗で自由に移動させることができる、
  - ・ 溝に垂直な方向には仮想的な側壁が設定されており、この側壁を越えるときに一定値以上の力を要する、
- ように、コンプライアンス（ばね剛性, compliance）を巧みに制御することにより、指先が物体の角を“なぞる”感覚を提示できる”。

2007 指先誘導マニピュレータを用いたなぞる感覚の提示

初めに、従来、被制御量である平面上の二つの位置と制御量である二つのアクチュエータ回転角が、2対2の非線形連立方程式で関係付けられるマニピュレータ構造であったのに対して、新たに、被制御量と被制御量と1対1の線形式で関係付けられる直動型マニピュレータを開発した。

これを用いて、従来は、平面的な図形の提示において、被験者はただ誘導されるだけの受動型（全誘導）指先誘導マニピュレータであったのに対して、自分の意志で図形を探索することができる能動型（無誘導）指先誘導マニピュレータ、および受動・能動切替型（半誘導）指先誘導マニピュレータの研究を行った。なお、受動・能動切替型では折れ線図形の頂点に到達すると、そこからある範囲において、受動型と同じ制御をする。その範囲を過ぎると、能動型と同じ動作を行う。これにより、被験者は、頂点までは、自分の速度で移動でき、頂点からどの方向へ行くか迷うことなく、提示図形を認識できる可能性がある。その結果、一般的には、全誘導が最も有効的であるという実験結果が得られた。しかし、被験者が装置の扱いに慣れば慣れる程、全誘導、無誘導、半誘導ともに、認識率や認識時間の向上するのは当然であるが、半誘導における認識率と認識時間の向上は、他の手法の向上に比べて著しいと考えられることが分かった。ここから、指先誘導の実用化として、普段あまり使わないものになるならば、単純な能動的提示法がよく、よく使われるものになるならば、能動提示と受動提示が混在する手法の方が認識手法として好ましい例もあるのではないかと考えられる。

従来では、図形情報を触覚する方法として、

受動提示が研究されてきた。本研究では、装置により能動的に指先を誘導する能動提示をとりあげ、さらに、その誘導による錯覚を考察した。その結果、指先の誘導速度などを調整し故意に操作者に寸法知覚に関する錯覚を生起させることに成功した。

2008 指先誘導マニピュレータを用いたなぞる感覚の提示

まず、点字を読むように平面を滑る動作で、提示したものを読み取ることのできる補助具として指先スライドガイドを作成した。これは、直径60mm、厚さ0.5mmの亚克力製円板の中心から20mmの円周上に周期的に穴をあけたものである。そして、マニピュレータの先端部で、円板の中心に立てた直径6.0mmの亚克力円柱をステップモータと連結させてある。使用者は、円柱を挟むようにして穴に指を置いて使用するので、手全体を提示画面に適度に付けつつ、マニピュレータによって示された軌跡を読み取ることができる。この装置を用いた実験の結果、認識率や探索時間については従来の親指と人差し指でノブをつまむ形式のものとは有意差はなかったが、指を平面に置くことで、腕を持ち上げる負担が軽減され、使用感が大幅に改善された。

さらに、受動型(Passive)と能動型(Active)、両者の利点を併せ持たせるべく、三次元力覚入出力デバイス、PHANTOM Omni (SensAble Technologies社)を用いて、次の受動・能動動作切り替え機能を有するシステムを構築した。

- ① 能動機能: ある平面の上に仮想的なビルや家を、四角柱などで表現したような空間を用いることで、部屋のレイアウトを呈示する。利用者の意思で自由に操作できる。
  - ② 受動機能: 予め設定した時間だけ停留すると、次の地点に向けて力覚を発生させることを連続して行うことで、誘導ルートに沿って機械により受動的に道程を呈示する
- 実験の結果、①受動動作は、道順などの提示に適するが、部屋の全体図や複雑な図形の提示に向かない、一方、②能動動作は、自由に動けるため複雑な図形提示に適するが、道順などの提示には不向きであることがわかった。

## 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)

[雑誌論文] (計5件)

- ① Syed Muammar Najib Syed Yusoh, Yoshihiko Nomura, Naomi Kokubo, Tokuhiro Sugiura, Hirokazu Matsui, and Norihiko Kato, Dual Mode Fingertip Guiding Manipulator for Blind Persons Enabling Passive/Active Line-Drawing

Explorations, Proceedings of the 11th International Conference on Computers Helping People with Special Needs, 査読有, 2008, 851-858

- ② Yoshihiko Nomura, Yuki Yagi, Tokuhiko Sugiura, Hirokazu Matsui, Norihiko Kato, A Fingertip Guiding Manipulator for Mental Image Creation of Multi-Stroke Drawings, *Microsystem Technologies*, 査読有, 2006, ISSN 0946-7076 (Print) 1432-1858 (Online)
- ③ Yoshihiko Nomura, Yuki Yagi, Tokuhiko Sugiura, Hirokazu Matsui, and Norihiko Kato, Fingertip Guiding Manipulator: Haptic Graphic Display for Mental Image Creation, Proceedings of 9th Annual International Conference ICCHP 2006 (Computers Helping People with Special Needs), 査読有, LNCS4061, 2006, 1131~ 1138
- ④ Yoshihiko Nomura, Yuki Yagi, Tokuhiko Sugiura, Hirokazu Matsui, Norihiko Kato, A Fingertip Guiding Manipulator for Mental Image Creation of Multi-Stroke Drawings, CD-ROM Program and Extended Abstracts of MIPE 2006 (Micromechatronics for Information and Precision Equipment 2006), 査読有, S22\_03, 2006, 1~ 3
- ⑤ Yoshihiko NOMURA, Maki OMOTO, Tokuhiko SUGIURA, Hirokazu MATSUI, Norihiko KATO, Direction-Indicating, Traction Manipulator to Support Mental Image Creation of Line Drawings, Proc. 11th Intern. Conf. On Human-Computer Interaction, 査読有, CD-ROM Proc. 2005, 1~ 6

[学会発表] (計 12 件)

- ① 行方章人, 野村由司彦, 小久保尚躬, S. M. Najib, 視覚障害者地図ナビゲーションシステムの研究 —指先スライドガイドの有用性について, 電子情報通信学会 (IEICE) ヒューマンコミュニケーショングループ (HCG) 福祉情報工学 (WIT) 研究会, WIT2008-65, pp. 49~52, 2009年2月21日, 愛媛大学
- ② 大西正敏, 田宮直: カラーライントレース機能を用いた誘導支援装置の検討, 日本機械学会 2008 年度年次大会後援論文集 vol. 7, pp. 237-238, 2008年8月5日, 横浜国大

- ③ 田宮直, 高橋信介, 大西正敏: : マインドストームを用いたロボット実習教材の検討, 日本機械学会 2008 年度年次大会後援論文集 vol. 7, pp. 175-176 (2008年8月4日, 横浜国大)
- ④ 今井雄也, 松井博和, 加藤典彦, 野村由司彦, 図形情報を触覚提示するアクティブインディケータの提案 (ハードとソフトの開発) 日本機械学会 IIP2008 情報・精密機器部門講演会講演集, No. 08-3, pp183-188, 2008年3月17日, 東京工大
- ⑤ 村上宙之, 松井博和, 加藤典彦, 野村由司彦, 触覚アクティブインディケータにおいて錯覚を利用する認識率と認識速度の向上の検討, 日本機械学会 IIP2008 情報・精密機器部門講演会講演集, No. 08-3, pp111-112 2008年3月17日 東京工大
- ⑥ 大西正敏, 田宮直, 手指障害者向けロボットハンド用ファイバ型曲げセンサ, 第 25 回日本ロボット学会学術講演会講演概要集 3J12, 2007年9月13~15日, 千葉工大
- ⑦ 大西正敏, 田宮直, 野村由司彦, ファイバ型曲げセンサを用いた関節角計測装置に関する検討, 福祉工学シンポジウム 2007 講演集, pp. 254-255, 2007年10月1日~3日, 産業技術総合研究所つくばセンター
- ⑧ 大西正敏, 田宮直, ロボットと人のための歩行重心呈示システムの検討, 日本機械学会 2007 年度年次大会講演集 vol. 7, pp. 287-288, 2007年9月9日~12日, 関西大学
- ⑨ 野村由司彦, 八木祐樹, 杉浦徳宏, 加藤典彦, 松井博和, 指先誘導マニピュレータ: メンタルイメージ生成のためのハプティックディスプレイ, 日本機械学会 2006 年度年次大会講演, No. 06-1, 2006, 589-590, 熊本大学
- ⑩ 小口 将太郎, 小野 誠治 (指導教官 大西 正敏), 歩行バランス呈示システムの一検討, 日本機械学会東海学生会第 38 回学生員卒業研究発表講演会 講演前刷集, 講演番号 604, 2007, 168-169, 静岡大学浜松キャンパス
- ⑪ 八木祐樹, 野村由司彦, 杉浦徳宏, 加藤典彦, メンタルリリース生成を支援する指先誘導マニピュレータ, 計測自動制御学会中部支部平成 17 年度三重地区計測制御研究講演会講演集, 2005, B2-1~B2-4, 三重大学



- ⑫ 尾本真希, 野村由司彦, 上田幹男, 松井博和, 加藤典彦, 指先誘導マニピュレータの視覚障害者への有効性に関する調査, 計測自動制御学会中部支部平成17年度三重地区計測制御研究講演会講演集, 2005, B3-1~B3-4, 三重大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野村 由司彦 (Yoshihiko Nomura)  
三重大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：00228371

(2) 研究分担者

加藤 典彦 (Norihiro Kato)  
三重大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：70185859

松井 博和 (Hirokazu Matsui)  
三重大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号：10303752

杉浦 徳宏 (Tokuhiro Sugiura)  
三重大学・総合情報処理センター・准教授  
研究者番号：50335147

大西 正敏 (Masatoshi Ohnishi)  
愛知工科大学・工学部・教授  
研究者番号：50410882