

平成22年4月12日現在

研究種目：若手研究スタートアップ

研究期間：2008～2009

課題番号：20860066

研究課題名（和文）人指の巧みに寄与する解剖学的下位メカニズムの力学の解明

研究課題名（英文）Clarification of anatomical mechanism contributing to human hand dexterity

研究代表者

井上 貴浩（INOUE TAKAHIRO）

岡山県立大学・情報工学部・准教授

研究者番号：60453205

研究成果の概要（和文）：ヒトの運動制御系を模倣するロボットの開発を試みる場合、両者の最大の差異は制御周期の違いであるといえる。ロボットの 1ms 周期に対してヒトは数十から 100ms 程度の神経生理学的遅れを持つ。本研究では、ロボットハンドによる視覚フィードバックシステムを開発し、従来不可能であった視覚情報が大幅に遅れた制御系においても、柔軟指と拇指示指対向把持形態を採り入れることで、把持物体の巧みな姿勢制御タスクを誤差なく成功させることができた。

研究成果の概要（英文）：When trying to mimic the human control system to robots, a most important difference between them is the sampling time in control. Usually, the robots move at the interval of 1ms, while the human has a large time delay induced by neurophysiological aspects. This study develops a multi-fingered robotic hand on the basis of the visual feedback technology. This system includes extremely large updating delay such as 100 ms that is associated with the image processing. Even in this delayed system, the developed robot can achieve dexterous manipulation robustly.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,330,000	399,000	1,729,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,530,000	759,000	3,289,000

研究分野：バイオロボティクス

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：柔軟指、ロボットハンド、視覚、リアプノフ関数、神経生理学、2段階制御、解剖学、巧みな操り

1. 研究開始当初の背景

近年ヒューマノイドロボットやヒトの部位ごとにその形状を模倣したロボットの研

究開発が盛んに進んでいる。しかし、神経生理学的見地からヒトの運動制御システムを考慮した場合、それを的確に模倣できている

とは言えない。ヒトの運動制御系を模倣するロボットの開発を試みる場合、両者の最大の差異は制御周期の違いであるといえる。ロボットの 1ms 周期に対してヒトは数十から 100ms 程度の神経生理学的遅れを持つ。このような問題を明らかにすると同時に、形状的模倣のみならずヒト運動制御系の機能的模倣を試みる事が不可欠であると考えていた。

2. 研究の目的

ロボットハンドの研究は運動学や幾何学をベースとした理論的探求が先行しその理解を深め、操り制御という観点からは把持力と対象物変数（位置や姿勢）のハイブリッド制御手法が確立し多大な成果を残している。また、実機による操り動作の検証も行われ、それらの制御手法の妥当性が示されている。にもかかわらず、ロボットハンドでこの能力を獲得し実用化され、把持対象物の自由で素早い巧みな操りを実現した例は未だにないのが現状である。このような実情を踏まえ、本研究ではロボット工学的アプローチに依存する従来研究に加えて、ヒトの手や前腕に関する筋骨格系のバイオメカニクスや解剖学的知見を新たに取り入れる。これによって、実際の筋骨格構造に基づいたよりリアルな手の構造モデルを導出し、把持対象物を含めた系全体のダイナミクスを解明することが目的であった。

3. 研究の方法

ヒトの手指の巧みな操作能力をロボットが獲得するためには、手指の内外構造の理解が必須である。1年目には、「皮膚指先の物理的柔軟性」と「手と前腕の筋骨格構造」を工学的に整理することができた。よって2年目は、それらがもたらす実際の操りタスクへの影響を制御の立場から検証する。つまり、巧みで器用な操り能力を実現するための制御則の単純化に焦点を絞る。また、これまで把

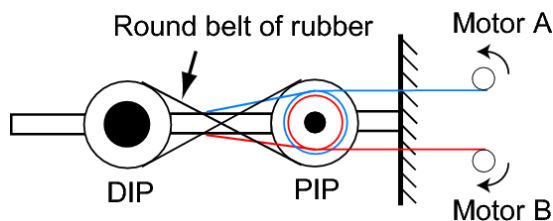


図 1. 丸ベルト機構模式図

持物体の姿勢制御に限定していたタスクを、物体と環境との接触が存在する応用タスクまで拡張する。そのための手段として、指の自由度を増やした構造を採用する。本研究は拇指と示指との対向把持形態を想定しているため、拇指として2自由度、示指として3自由度の構成を考慮する。同時に、2指5自

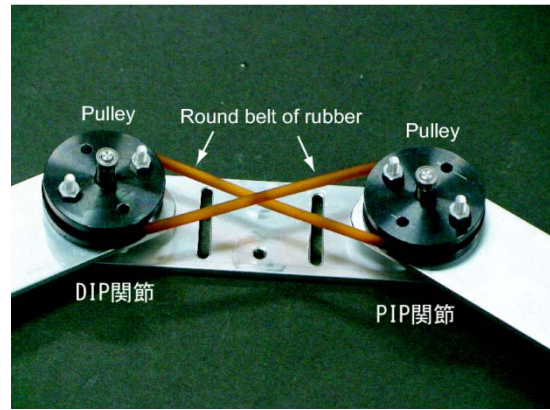


図 2. プーリと丸ベルト機構

由度ロボットハンドの製作にも取り掛かり、残された課題を解明していく。このことによって、手指の筋骨格構造の理解と手指モデルへの応用、ならびにそのモデルに基づいたより簡潔な制御則の提案を行った。

4. 研究成果

2指5自由度柔軟指ハンドの設計と製作を行った。ヒト指の拇指以外の指で見受けられる指節間関節（遠位指節間関節:DIP 関節と近位指節間関節:PIP 関節）の連動動作を模擬した示指ロボットと、連動動作を含まない拇指ロボットを製作し2指柔軟指ロボットハンドを構築した。示指では連動動作を実現するために丸ゴムベルトを2つのプーリを介して八の字に配置し（図 1 参照）、それは別に PIP 関節を駆動するために拮抗型の腱駆動機構を DC モーター 2 個を用いることで導入している。実際に製作した試作機での八の字

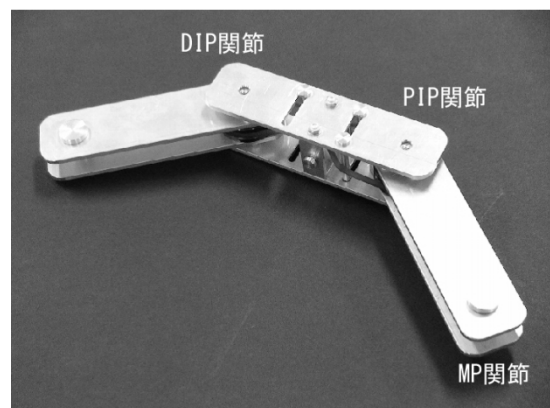


図 3. 動作確認用プロトタイプ

機構の拡大図が図 2 であり、図 3 に示す 3 リンク機構の動きを高速カメラで計測することによって各関節間で 1 対 1 の連動動作を実現できることを確認した。ただし、本試作機は連動動作の確認用途に限った設計であったため、続けて実際の操り制御用の示指ロボットを製作した。ここでは、モータを 4 個用いその内の 2 個を MP 関節の駆動に、残り

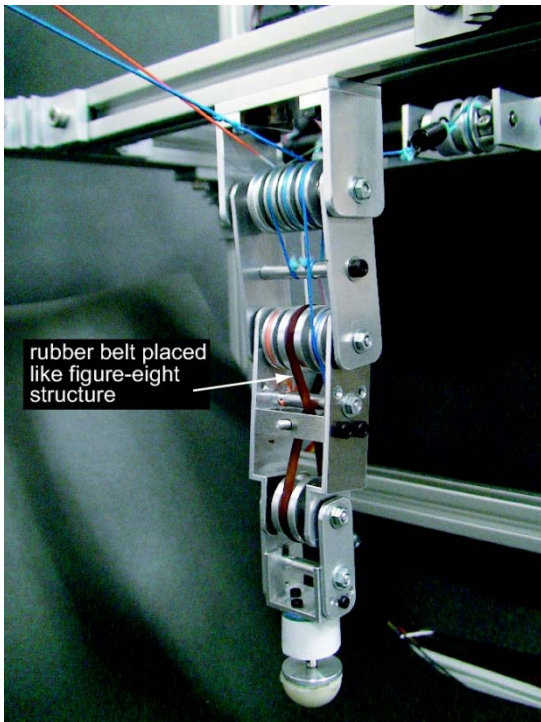


図 4. 示指ロボット

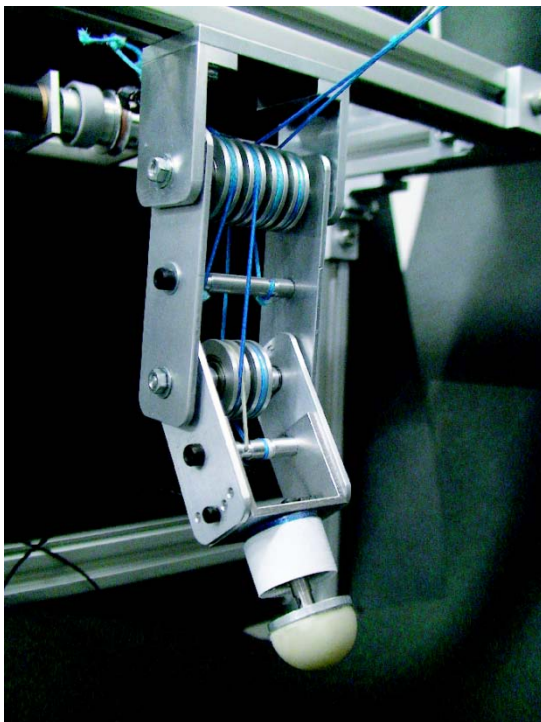


図 5. 拇指ロボット

の 2 個を PIP 関節の駆動に利用した. その試作機が図 4 である. 拇指ロボットには連動機構を採用していないため, 指節間関節 (IP 関節) と中手指節間関節 (MP 関節) にそれぞれモータを 2 個ずつ拮抗的に配した構造になっている (図 5 参照). また, 2 指ハンドの全体

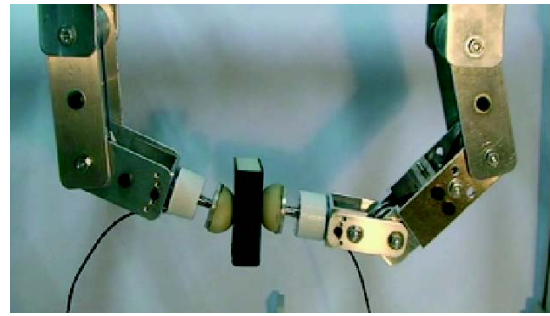


図 6. 2 指 5 自由度ロボットハンド

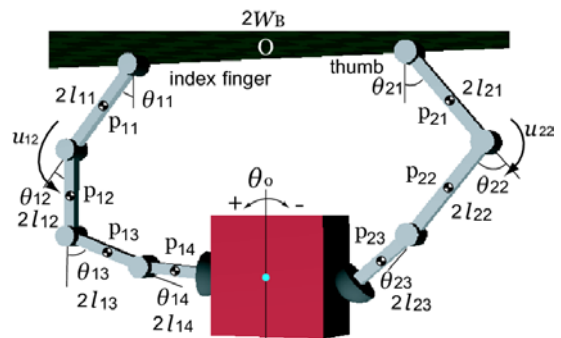


図 7. 姿勢制御タスクのアニメーション

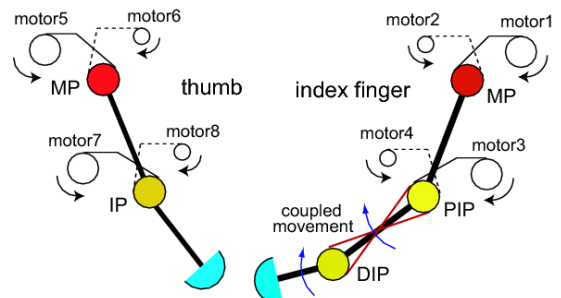


図 8. ロボット制御の概略図

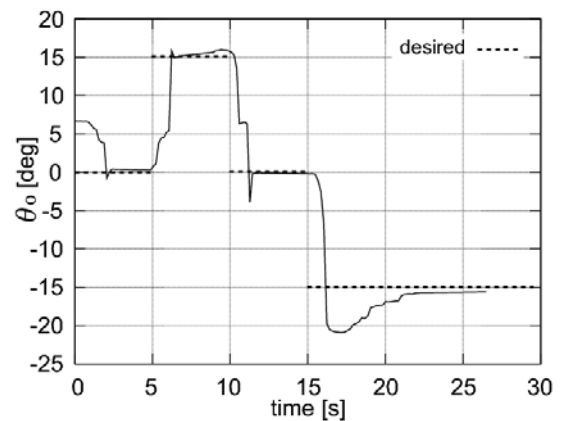


図 9. 把持物体の姿勢制御実験結果

図が図 6 に相当し, 両指先端には直径 20mm の半球形状の柔軟指を取り付けている. 示指と拇指の全長はそれぞれ 200mm と 156mm である. また, 腱駆動用ワイヤとして低伸度の釣り糸 (PE ライン) を採用し, ワイヤのたわみを防ぐために線形ばねを 8 本のワイヤすべてに 1 個ずつ挿入している. 製作したロボットハンドに与えるタスクは把持物体の

姿勢角制御である。

まずはじめに、ターゲット（黒く塗りつぶした消しゴム）を柔軟指に把持させ任意の姿勢を保つ（図6参照）。このとき、両指のMP関節のモータにはわずかのバイアストルクを加えておく。これは以下に述べる操りタスクにおいて常に一定である。次に、実際の姿勢制御タスクのために示指のPIP関節と拇指のIP関節には新提案の2段階制御則の制御トルクを入力する。（図7参照）。CCDカメラによる画像処理によって把持対象物の実軌道を取得する。本研究では拮抗型モータ配置を採用しているため、図8のように、モータ3とモータ7へのみ、姿勢制御のための2段階制御則を入力している。したがって、このとき他の6つのモータには何らかの定数バイアストルクが加わっているだけである。姿勢制御タスクに対する実験結果である図9から分かるように、従来ロボット制御に不可欠であったヤコビ行列や把持力（内力）が存在しない簡潔な制御則であっても、容易に把持物体の姿勢が目標軌道に大きな定常偏差なく追従できることをはじめて明らかにした。

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）

〔雑誌論文〕（計2件）

- ① 井上貴浩, 松井俊樹, 平井慎一, 視覚情報遅れを考慮した2指1自由度対ロボットハンドによる対向操り動作計測自動制御学会論文集, 査読有, Vol.45, No.12, 2009, pp.678-687
- ② 井上貴浩, 平井慎一, 柔軟指による把持物体の姿勢制御, 日本機械学会論文集C編, 査読有, Vol.75, No.757, 2009, pp.2537-2546

〔学会発表〕（計9件）

- ① 井上貴浩, 滝澤大佑, 平井慎一, 指関節連動運動を備えた2指多自由度ロボットハンドによる物体姿勢非ヤコビ制御, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2010/6/15, 旭川
- ② Y. Yamazaki, T. Inoue, and S. Hirai, Two-Phased Controller for a Pair of 2-DOF Soft Fingertips Based on the Qualitative Relationship between Joint Angles and Object Location, IEEE, ICRA, May 6, 2010, Alaska, USA
- ③ 井上貴浩, 滝澤大佑, 谷川弘典, 平井慎一, 指関節連動運動を実現する腱駆動2指ハンドの設計, 計測自動制御学会SI部門, 2009/12/24, 芝浦工業大学

- ④ 井上貴浩, 西山修二, CORBAを用いた多言語間ロボット制御プラットフォームの開発, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2009/5/25, 福岡
- ⑤ T. Inoue, S. Hirai, Parallel-Distributed Model in Three-Dimensional Soft-Fingered Grasping and Manipulation, IEEE ICRA, May 15, 2009, Kobe
- ⑥ T. Inoue, S. Hirai, Parallel-Distributed Model of Soft Fingertips in Three-Dimensional Grasping and Manipulation, IEEE ROBIO, December 16, 2008, Bangkok, Thailand
- ⑦ T. Inoue, S. Hirai, Task-selection Control by Thumb and Forefinger Based on Softfinger Contact, AISM, August 29, 2008, Sapporo
- ⑧ 平井慎一, 井上貴浩, 柔軟指による3次元把持と操作, 日本ロボット学会学術講演会, 2008/9/10, 神戸大学
- ⑨ 井上貴浩, 平井慎一, 摘みタスクにおける非ヤコビ制御, 精密工学会 知能メカトロニクスワークショップ, 2008/9/8, サンポート高松

〔図書〕（計1件）

- ① T. Inoue and S. Hirai, Springer-Verlag, Mechanics and Control of Soft-fingered Manipulation, 2008, 254

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 貴浩 (INOUE TAKAHIRO)
岡山県立大学・情報工学部・准教授
研究者番号：60453205

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：