

動作による情感伝達を目的としたロボットハンド

星野 聖[†] 城間 智大^{††} 川淵 一郎^{†††}

情感や感性を手指動作により伝達可能なロボットハンド実現を目的として、第1に、ヒューマノイドのための小型軽量なロボットハンドを、必要最小限の運動機能を抽出して実装する方針で開発した。第2に、動作の基本特性を実験的に検討し、速度制御に基づく簡潔なフィードフォワード制御機構を設計し、任意の形状の関節時系列変化指令に追従可能なシステムを実現した。第3に、システム評価のため、周波数の異なる正弦波入力に対する追従特性を検討し、空間的および時間的な精度を検討した。第4に、手指動作による情報発信の例として、手話の指文字動作を再現させた。一連の結果は、本件が比較的高精度かつ高速に、動作を通して情報発信できるロボットハンドであることを示していた。

A Humanoid Robotic Hand for Transmitting Feelings through Motions

KIYOSHI HOSHINO,[†] TOMOHIRO SHIROMA^{††}
and ICHIRO KAWABUCHI^{†††}

Our purpose is to develop the humanoid robotic hand which can transmit feelings, emotions and impressions to human observers through the hand motions or the gestures. In this study, a compact and light robotic hand was developed for the humanoid robots by extracting and mounting necessity minimum function in human hand motions. And basic dynamics and controllabilities to the time-series signals in the joints were experimentally examined, through which a compact feed-forward control system was implemented. The controllabilities were investigated to sinusoidal input with different periods and to frequency modulation input as the system evaluation. And finally, the sign language motions were produced as an example of nonverbal communication of the robotic hand.

1. はじめに

人間の作業・生活空間において、人間と協調・共存して複雑な作業を行うことが可能な人間協調・共存型ロボットの実現を目指して、さまざまなロボットシステムが開発されてきた。1996年12月に開発されたホンダの2足歩行人間型ロボットP2に続き、P3, ASIMO, 早稲田大学のWABIAN, ソニーのSDR-3X, SDR-4X, 東京大学のH6, H7, 富士通のHOAP, HRPプロジェクトのHRP-2Pなどが相次いで発表され¹⁾、とくにロボットの歩行能力については、一応完成の域に到達したといえる。

人間協調共存環境での動作や情報伝達を可能にするため、上述のほとんどのシステムは移動のための2脚

やカメラやマイクなどの視聴覚入出力装置を備えているだけでなく、2腕も備えている。しかし、ハンド部における機能は、多くは対象物の把持や持ち上げ、レバーの押し上げや押し下げに限定されており、歩行技能と比較して、マニピュレーション機能や手指に配置された自由度はきわめて小さい。高機能の遠隔操作を目的として、各指に3自由度を配した4指ロボット²⁾なども開発されている。しかし、マニピュレーション技術そのものが発展途上であるだけでなく、外観上もヒト5指と異なっていたり、重量が2倍以上であったりする。実用に耐えうる機能を持ったハンドの実現が切望されている。

一方、従来は機械を知的にするための認識機能といった観点から研究が行われてきたが、人間には知覚を通じて「美しい」「心地好い」と感じる感性があり、機械がそのような感性を備えることにより人間と機械が共生できる新たな社会が構築できるとの指摘もある³⁾。また、日常会話では、情報の7%が言語、38%が声、55%が表情・身振りによって伝達されるという報告もある⁴⁾。したがって、身振りからヒトの気持ちや感

[†] 筑波大学機能工学系
University of Tsukuba

^{††} 琉球大学工学部
University of the Ryukyus

^{†††} 株式会社テック・エキスパート
TechExperts, Inc.

性を理解したり、反対に、自分の動作に情感を込められたりするような人間と共生可能なロボットシステムを設計するためには、大きさや重さ、関節構造といった外観や形状が類似していることと、ヒト手指とほぼ等価な機能を持っていることの2条件が求められる。

ヒト手指機能を高度に実現するロボットハンドと、ヒト並みの大きさや重さのヒューマノイドとの結合は、いまだ見られていない。その主な原因は、ヒト型ロボットハンドの設計目標に人間並みの運動性能を盛り込むと、現在のモータや減速機を用いる限り、大きく重くなりがちであり、細く長く軽量なヒト型ロボットアームの先端でそれを保持することが困難になるからである。また、ハンドのみを小形軽量化するのであれば、動力源をハンドの外部に置き、その動力をリンクやワイヤで指先まで伝達させる方法もあるが⁵⁾、動力伝達機構が大きくなるために、システム全体としては小形軽量化にそぐわない。

そこで本研究では、情感や感性を手指動作により伝達可能なロボットハンド実現を目的として、ヒューマノイドのための小型軽量のロボットハンドを、必要最小限の運動機能を抽出して実装する方針で開発した。そして、動作の基本特性を実験的に検討し、任意の形状の関節時系列信号による比較的高精度のフィードフォワード関節制御を実現したので、報告する。

2. ロボットハンド構成

2.1 要求仕様

表1に、本システムにおける要求仕様を示す。基本的な仕様として、ヒト手指とほぼ同様の形状と運動機能を有したうえで、成人の手とほぼ同等の構造質量と、小さめの手に相当する大きさを目指した。ここでの構造質量には、エンコーダ付きモータや減速機など、基本的な機構を構成する機械要素を含み、モータ制御用アンプ、付加的なセンサ、外部との接続ケーブルなどの電装系を含まないものとする。また、手首関節の周囲には、その回転運動を駆動する機構のための空間を要するので、指先から付根までの長さを、その空間の分を差し引いた185mm以下とした。

2.2 能動関節の配置

ロボットハンドの機構空間を最も非妥協的に占有するのが、エンコーダ付きモータと減速機であるため、機構を大胆に小型軽量化するためには、それらの僅少化が有効である。そこで、要求仕様の3番目を満たす必要最小限の能動関節配置方法を以下に示す。

拇指を除く4指には、MP関節、PIP関節、DIP関節と呼ばれる3つの関節がある。MPは指の屈伸とア

表1 要求仕様

Table 1 Specification required.

1. 人間と同様の形状と運動機能を有すること。
2. 構造質量が500g以下、指先から手首付根までの長さが185mm以下であること。
3. 体の把持や手話のジェスチャ等が可能であること。具体的には、各指の屈伸機能、拇指を他の指と向き合わせる対立機能、および、拇指以外の4指どうしの開閉(アブダクション; abduction)機能を有すること。また、その運動可動域が十分であり、たとえば5指を握り締めたり、拇指と他の4指それぞれ指先とで、輪を作ったりすることが可能であること。
4. 先や掌内部に、力センサや制御回路を埋めこむための空間的余裕を有すること。
5. 上を満足したうえで、できる限り大きなモータと、堅牢な減速機を内蔵すること。

ブダクション機能のための2自由度を有し、PIPとDIPは指の屈伸のためのそれぞれ1自由度を有する。ヒトのPIPとDIPは運動して動くことが多いため、ロボットハンドでも両者を1つのモータで運動させている場合が多い⁶⁾。本システムでは、この考え方をさらに進めて、屈伸時のMP、PIP、DIPの3関節すべてを運動させた。弊害として、物を把持するときに指先力の方向を任意に変更できない問題があるが、指先で物体をつまむことが困難になる以外には、一般的な把持状況の再現能力や、大部分の手話表現には問題ないと思われた。

同様に、運動再現能力に大きな問題を与えないという見地から、アブダクションのためのMPの運動も、4指を運動させた。また、アブダクションの際に中指が掌に対して比較的動かないことから、中指は掌に固定とした。

拇指には、根元からCM関節、MP関節、IP関節と呼ばれる3つの関節が存在する。MPとIPは多くの場合において運動する。また、CMは2自由度を有する。そこで本システムでも、CMに2自由度、MPとIPの運動に1自由度を配置した。なお、ヒトのCMは複雑な形状の鞍関節(Saddle Joint)であるが、同形式を小さな機構で構成することは困難なので、2つの回転関節の直列配置で実現した。

以上のような検討に基づき、本システムの自由度を合計8とした。図1に関節配置を、表2に、1つの自由度に対応する能動関節または関節群とそれらを表す記号とを示す。

2.3 指の屈伸機構

指の機構開発における最大の問題の1つが、拇指を除く4指において、2つの回転軸が直交するMP関節の機構をいかに合理的に設計するか、という点であ

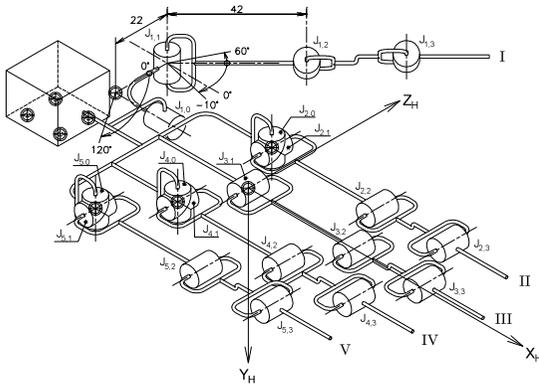


図1 関節の配置

Fig. 1 Configuration of joints.

表2 能動関節の配置

Table 2 Configuration of joints.

能動関節または関節群	記号
1 拇指 CM (根元から1番目)	$J_{1,0}$
2 拇指 CM (根元から2番目)	$J_{1,1}$
3 拇指 MP + IP	$J_{1,2} + J_{1,3}$
4 示指 MP + PIP + DIP	$J_{2,1} + J_{2,2} + J_{2,3}$
5 中指 MP + PIP + DIP	$J_{3,1} + J_{3,2} + J_{3,3}$
6 薬指 MP + PIP + DIP	$J_{4,1} + J_{4,2} + J_{4,3}$
7 小指 MP + PIP + DIP	$J_{5,1} + J_{5,2} + J_{5,3}$
8 アブダクション	$J_{2,0} + J_{4,0} + J_{5,0}$

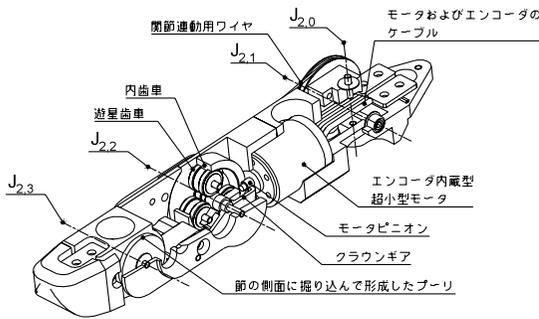


図2 指関節の駆動機構

Fig. 2 Mechanism of a finger joint.

る。指機構にモータとエンコーダを搭載するため、この関節に少なくともモータ用に2本、エンコーダ用に4本の、合計6本の配線を通過させなければならない。そして、関節の大きな回転によって配線が突っ張らないようにするためには、配線の経路が2軸の交点を通過することが理想である。そこで、根元関節内に減速機を置かず、2軸の交点周りに配線用の空間を設けた。2軸の回転動力は、ワイヤやリンク機構により外部から与えられるようにした。

図2に、示指の内部構造を示す。他の3指も同構造

である。MPとPIPの2関節を結び基節内に、できる限り大きいモータとして、Faulhaber社製エンコーダ付きDCコアレスモータ(ミニモータ1516SR,最大出力0.52W)を内蔵した。減速機はPIPに内蔵され、同関節を駆動する。この位置に減速機を内蔵した理由は、第1に、MIPに次いで外形が太くて内蔵空間が得られやすいため、第2に、被駆動関節への動力伝達経路が最短となり、ガタや剛性低下の悪影響が現れにくいため、第3に、PIPは連動する3関節の中で最も回転角が大きい関節なので、被駆動関節への伝達機構が減速かつ増力効果を発揮し、強力かつ安定に駆動するのに有利なためである。

減速機は、クラウンギアと2段の遊星歯車機構とした。最適なモータの内蔵形式として、モータ軸を指の軸に対して平行に配置したため、モータの回転軸と関節軸が直交する。一般的に直交用の歯車機構は剛性が低くてガタが現れやすいので、関節出力での悪影響が最も現れにくくなるように、モータから見た1段目において、クラウンギアを用いて直交動力を取り出した。本システムで実現した減速比は1/350であり、最大関節トルクは5.5 kgf-cmである。

動力伝達機構にはワイヤプリー機構を採用し、指の側面にプリーの形状を掘り込んで構成した。本機構を指側面に薄く配置したことで、PIPから先の機構内部の多くを、センサや電装品の内蔵のために自由に利用可能となる。同等の伝達機構を、リンク機構でも構成可能であるが、90度程度の回転角を円滑に伝達するためには、機構配置の制限を生じて大きくなりがちなため採用しなかった。ワイヤプリー機構の伝達の比率は、ヒトの指の回転運動を1自由度で模倣する観点から、PIPからMPに対して7/10、PIPからDIPに対して5/7とした。

最大曲げ状態を図3に示す。十分な可動域を実現していることが分かる。とくに拇指の根元には、この減速機を有する2つの能動関節をコンパクトに配置したため、図4に示すように、拇指と小指の先端で輪を作ること可能な、十分な運動可動域を実現した。また、モータ空転時には、指先に数十gfの力を与えることで、軽く、ガタなく受動運動させることが可能である。

2.4 アブダクション駆動機構

示指、薬指、小指の連動機構として、それらの回転角が小さいため、リンク機構を採用した。掌の甲側から見たそのリンク機構と、その運動可動域を図5に示す。モータで直接駆動する関節は薬指の付根である。少ない歯車列の段数で大きな減速比を得るため、図6

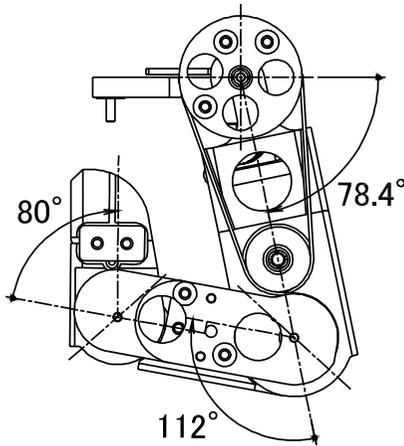


図3 最大曲げ状態

Fig. 3 Maximum bending.

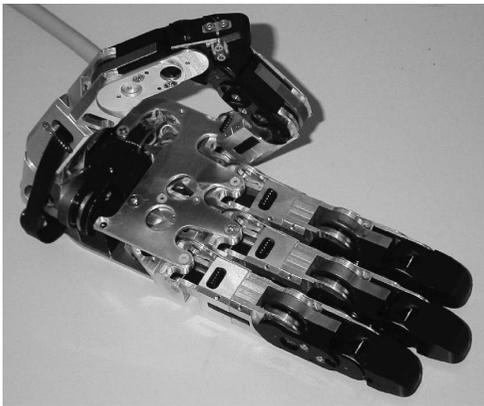


図4 拇指と小指との指先の接触

Fig. 4 Contact in thumb and pinky.

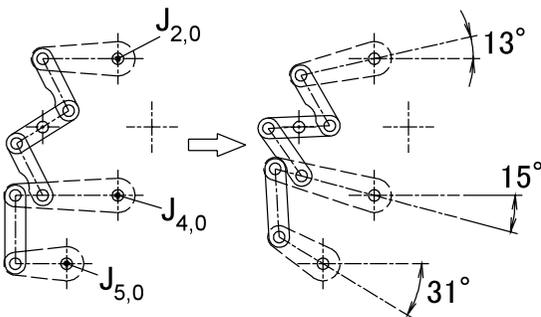


図5 アブダクション運動機構

Fig. 5 Linking mechanism in fingers abduction.

に示すような、できる限り大きな半径の円弧歯車を薬指に固定し、それを小歯車で駆動した。実現した減速比は 1/400 である。また、円弧歯車の半径の距離を有効に用いて、駆動用モータを掌の外縁に寄せることで、掌内空間のほぼ半分を電装系のための空間として利用

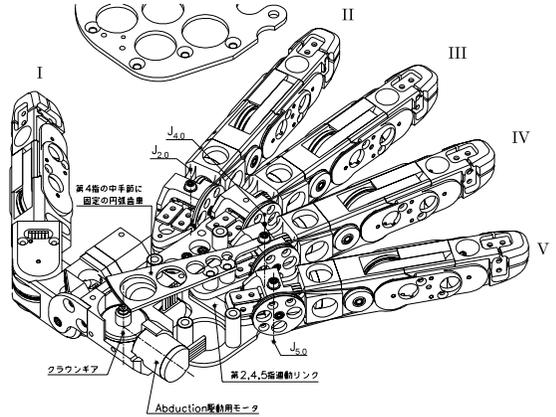


図6 掌内部の機構

Fig. 6 Inside mechanism in the palm.

可能とした。図3に示した各指を最大に曲げた状態においても、指先と掌との間のクリアランスを確保することで、アブダクション運動を独立に可能としたため、ジャンケンなどのチョキ動作などの再現が可能である。

3. 運動特性の検討

3.1 位置決め制御

ヒトと同程度のマニピュレーション能力を実現するため、第1に、ヒトの技能をしっかりと解析して技能実行のためのアルゴリズムを設計者が構成する方法、第2に、ヒト技能の自律的修得能力をロボットに与える方法とがある。本研究では、前者の手法を採用した。

ステップ状に入力指令を与えた際の関節応答特性の例を図7に示す。同図は中指屈曲で、最大可動角度まで到達した時点で入力ゼロになるように制御してあるが、それぞれの入力電圧値に対して線形に関節角度が変化している、すなわち電圧と角速度とが比例しており、サーボアンプの局所的な制御形態が速度制御モードになっているのが分かる。そこで図8に示すように、さまざまなステップ状電圧入力に対する関節角速度の関係を、1次式によりパラメータ推定した。残差2乗和で示すように、良好なあてはめ精度が得られた。

1次式へのあてはめにより得られた各関節屈伸パラメータの傾き a_{ij} 、 y 軸切片 b_{ij} に基づき、全関節を伸ばした初期状態から、次式に基づき制御実験を試みた。

$$V(t)_i = \text{sgn}(j) \cdot (\dot{\theta}_d(t) - b_{ij}) / a_{ij} \quad (1)$$

ここで、 $V(t)_i$ は時刻 t における各関節への指令電圧、 $\text{sgn}(j)$ は屈曲時に 1、伸展時に -1 をとる二値関数、 $\dot{\theta}_d(t)$ は時刻 t における目標角速度、 i は関節番号、 j は屈曲/伸展の状態を表す。角速度が限界に達するまで

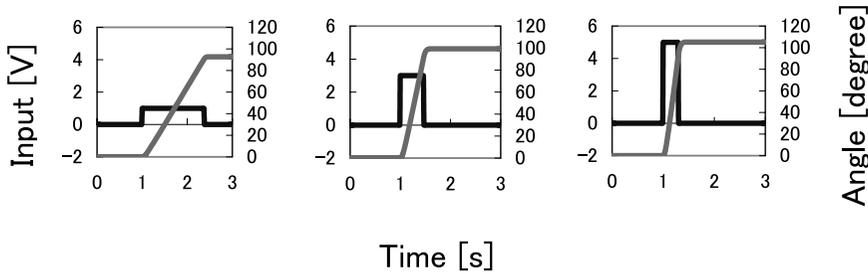


図7 中指屈曲時のステップ応答

Fig. 7 Examples of step responses in middle finger flexion.

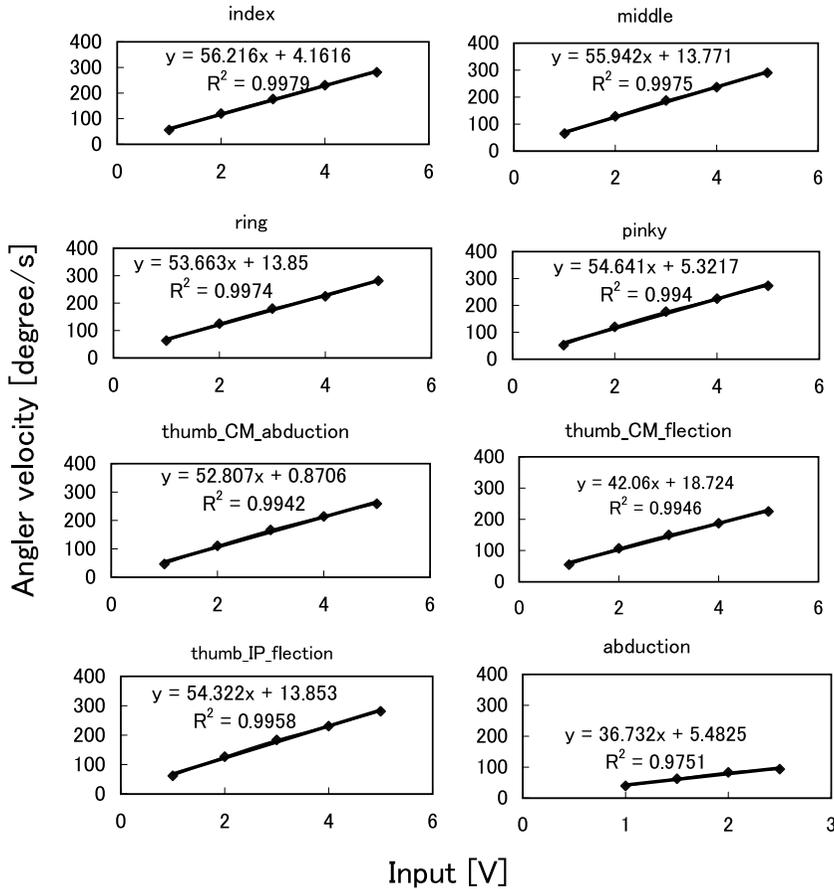


図8 指令電圧に対する各関節屈伸時の角速度

Fig. 8 Angular velocities in each joint flexion for input voltages.

指令値を大きくした場合の示指の関節応答特性を図9に示すが、線形性が成り立つ範囲で式(1)に基づく速度制御が可能となる。

現実には式(1)で関節動作制御を行うと、指令角速度が大きくなると慣性が作用しオーバシュートを発生させることが予想される。そこで、正弦波様の指令値に追従させたときに角速度ゼロとなる地点で変位誤差が最小になるように、第1項からある比率を差し引く制

御を追加した。制御実験を行うと、図10に示すように角速度に応じて凸の2次関数であてはめが可能であったため、最終的には次式のような制御則を採用した。

$$V(t)_i = \text{sgn}(j) \cdot (\alpha_i + g(\dot{\theta}_d(t)) \cdot \alpha_i) \quad (2)$$

ここで、 $\alpha_i = (\dot{\theta}_d(t) - b_{ij})/a_{ij}$ 、 $g(\dot{\theta}_d(t)) = C_{ij} \cdot \beta^2 + d_{ij} \cdot \beta + e_{ij}$ 、 $\beta = \dot{\theta}_d(t)$ 、である。パラメータ推定で得られた c_{ij} 、 d_{ij} 、 e_{ij} の値の例は、図10に示すと

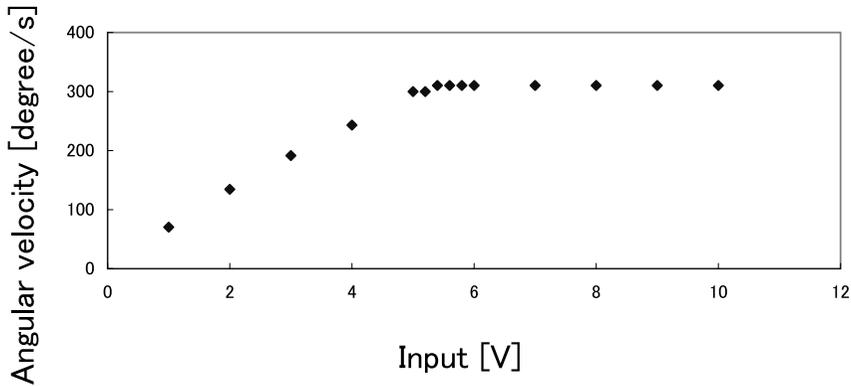


図9 中指における角速度の限界
Fig. 9 Limit to angular velocity in middle finger.

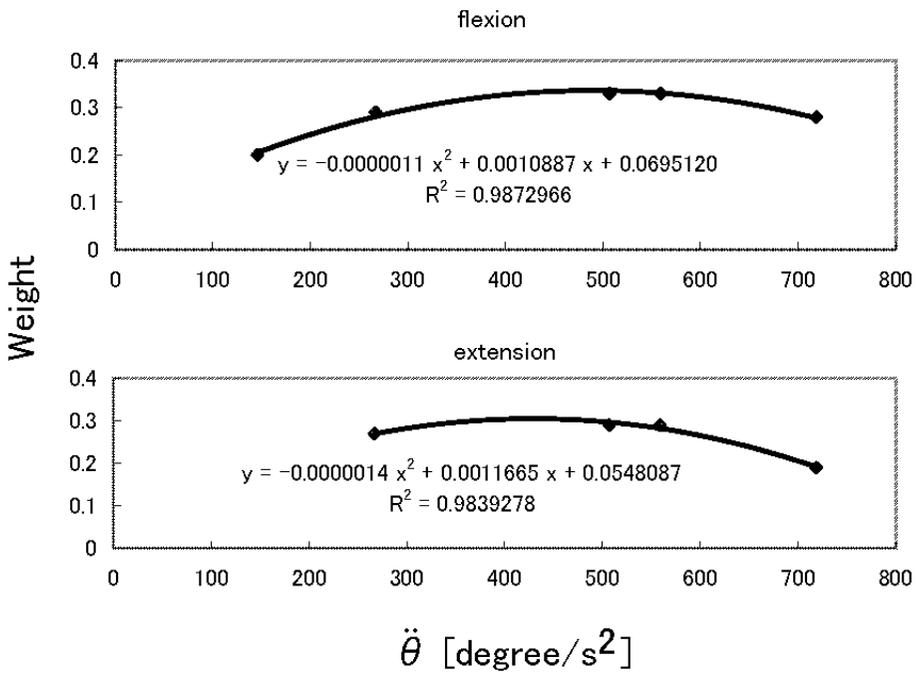


図10 慣性力の抑制
Fig. 10 Identification for inertia control.

おりである．示指に 1 Hz と 0.5 Hz の正弦波角度指令 $\theta_d(t)$ を与えたときの追従特性を図 11 に示す．ゆっくりとした動作指令だけでなく，比較的速い動作指令に対しても，良好な追従特性を示した．さらに，周波数が連続的に変化する FM 変調様の角度指令に対する関節角度の追従性を図 12 に示す．オープンループでの指関節角度が最大でも 7~8 度程度の誤差はおおむね良好な結果と判断でき，しかも同図下段に示す誤差の主要な原因がむしろ 1 時刻程度の遅延によっていることも理解できる．要求される周波数特性が変化することで，振幅誤差が 5 度程度増加しているが，オーブ

ンループでの制御であること，またパラメータ推定をさらに厳格に行うことで補正可能な誤差範囲と考えられる．

3.2 初期位置決め

前節までの制御が指令値の角度変化（角速度）に基づくフィードフォワード制御であるため，任意の形状の角度変化指令値が与えられた場合，第 1 にすべきことは，なるべく短時間に初期の関節角度まで駆動すること，すなわち初期位置決め動作である．なるべく滑らかに，かつ短い所要時間で目標角度にまで動かす方法としては，シグモイド関数や高次のスプライン補間

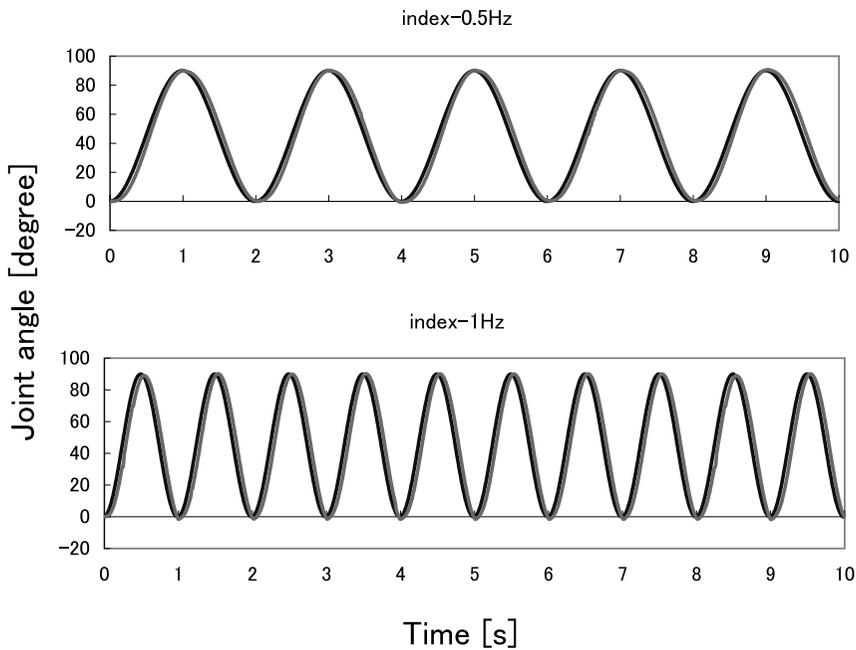


図 11 角度指令値に対する追従特性

Fig. 11 Tracking performance for sinusoidal input.

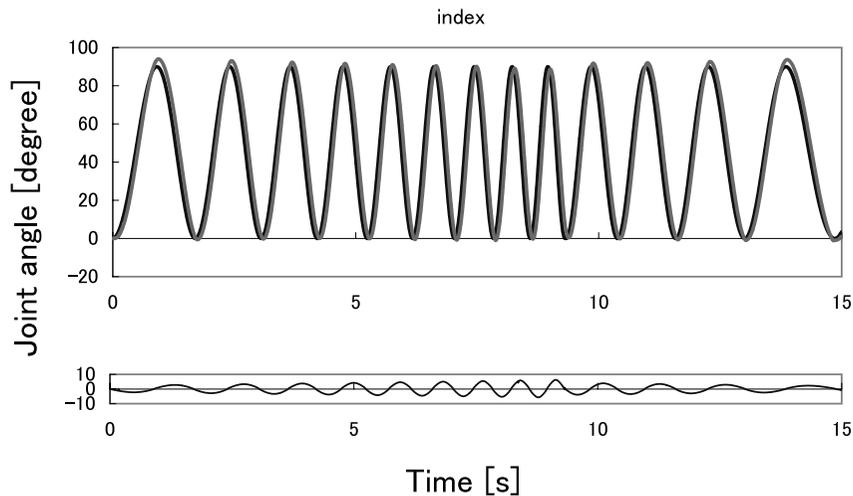


図 12 FM 変調波の指令値に対する追従特性

Fig. 12 Tracking performance for frequency modulation input.

などを利用する方法が考えられる。しかし、前節までの実験で、周波数応答性が比較的良好なことが分かっており、また三角関数を使うことで過度に大きい角速度や角加速度を発生させなくて済み、計算量も多くないため、ハンド関節の初期状態から要求される角度変化の初期値までを正弦波の半周期で補間する方法を採用した。図 11 で示した実験結果で、振幅 90 度を 1 Hz 程度の速度で動かしても良好な追従特性が得られることが分かっているため、次式のような $180^\circ/\text{s}$ の半周

期の正弦波に追従させて初期位置決めを行った。

$$\theta_d(\tau)_i = \sin(2\pi fT) \cdot A \quad (3)$$

ここで

$$f = 90/|\theta_{fin} - \theta_{init}|$$

$$T = \tau/100$$

$$\tau = 0 \rightarrow \frac{1}{2f}$$

$$A = |\theta_{fin} - \theta_{init}|$$

$\theta_d(\tau)_i$ は時刻 τ における目標角度である。

図 13 に、初期状態の関節角度が 0 度のときに 90 度の初期位置決めが必要な事態が発生した場合の動作特性を示す。移動必要量が 90 度であるため、所要時間 0.5 秒を掛けて高速かつ滑らかに初期位置決めを行っている。同処理は、指令値と関節角度の誤差が許容範囲以上になった場合の補正処理にも使用することができる。

4. 手話動作の生成例

手指動作による情報発信の例として、本ロボットハンドを用いて手話の指文字を生成させる実験を行った。具体的な例として、ジャンケンの中のチョキと同じ動作の「数詞の 2」。拇指と小指で輪を作った状態で示指、中指、薬指の 3 指を立て、そのまま折り曲げる動作の「数詞の 30」の 2 つを生成させた。

数詞動作の生成例のスナップショットを図 14 に示す。数詞 2 では、拇指が作る間隙をすり抜けながら、アブダクションしながら示指と中指が伸展しなければならない。数詞 30 の場合も、拇指と小指で輪を作り、他の 3 指がアブダクションしながら伸展し、しかる後に適当な角度まで屈曲しなければならない難しさがある。本システムは、2 つの動作とも、手話の数詞として判別可能な精度を保ちながら敏速に動作生成を行っている。同図のフレーム番号で示すように、数詞 2 の

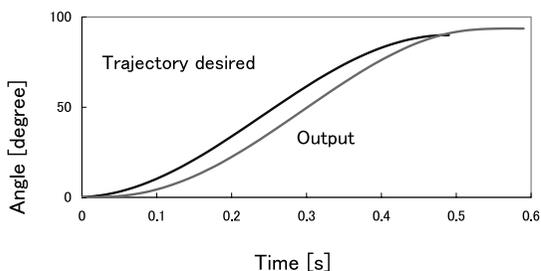


図 13 初期位置決め処理のための指令曲線

Fig. 13 Input curve interpolated for initial positioning.

所要時間は 1 秒強、数詞 30 のそれは約 2 秒である。また、両動作を発現させる際に生成した各関節角度変化指令を図 15 に示す。関節変化時系列パターンに応じた動作を本ロボットハンドが生成していることが分かる。

一般に、把持などの力の制御が必要な場合と異なり、位置決め制御の場合はそれほどしっかりした制御系を構築しない場合が多い⁷⁾。本システムの場合も、簡単な制御系にもかかわらず、フィードフォワード制御により敏速ながら比較的高精度の位置決め制御を実現できているといえる。

それでは、ロボットハンドでどのような動作が生成できれば「情感が伝達できた」といえるのか？ アメリカ手話の分析によると、指の動かし方の微妙な時間的变化と空間的变化が動詞を修飾して、さまざまな副詞的意味変化を起こさせることが報告されている⁸⁾。ここでの時間的变化とは、所要時間の違いであり、また停止の有無を含んだ運動の反復を意味する。また、空間的变化とは、運動の幾何学的形状の変化を意味する。これらにより、たとえば「言う」「ずっと言い続ける」「強く主張する」など細かいニュアンスが表現できる。

意味微分法 (SD 法; Semantic differential Method) を使った感性評価実験で形容詞対や副詞対が評価語に多用されるように、感性や情感は形容詞的意味変化や副詞的意味変化と等価であると考えられる。すなわち、ロボットハンドによる手話動作生成においても、動作における「時間的变化と空間的变化」が人間側の意図するおりに制御できれば、情感が伝達されることになる。その意味では、本ロボットハンド・システムは比較的高い精度で時間と位置決め制御が可能であり、動作による情感伝達の可能性を示しているといえる。

前述の報告とは反対に、同じ動作あるいは類似の動作でありながら、所要時間が異なると「重い」「安心」「おとなしい」のように、意味そのものに違いが生じ

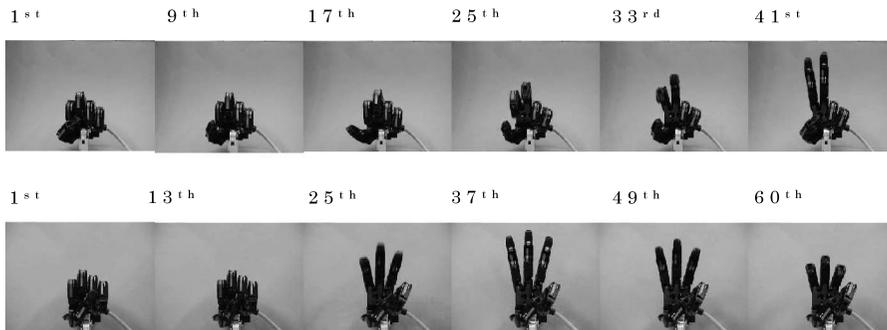


図 14 手話動作の生成例

Fig. 14 Examples of the sign language motions.

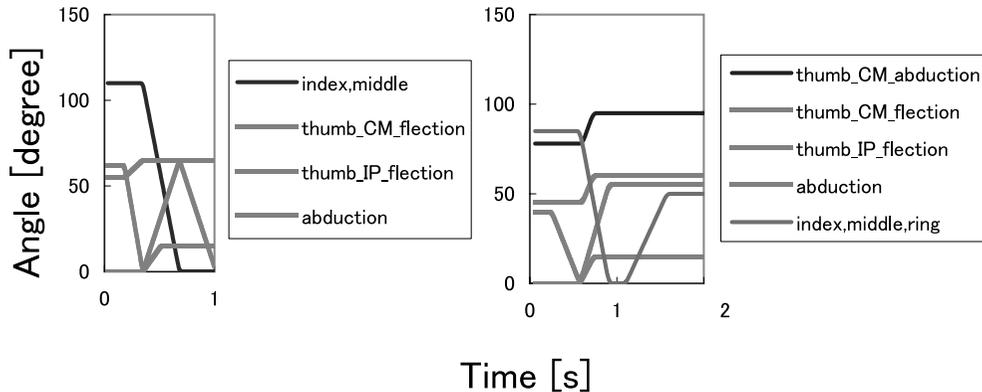


図 15 数詞操作を生成するための指令パターン

Fig. 15 Input patterns for generating the sign language gestures.

る手話単語の例も報告されている⁹⁾。3 単語の弁別で鍵となる動作時間は、聾啞者の場合、おおよそ各々0.3秒以下, 0.4~0.7秒, 0.7秒以上, であると読み取ることができる。ロボットハンドでこの程度の精度を持った時間制御ができれば間違った情報を伝達することはない。本システムは十分にこの条件を満たしているといえる。

5. おわりに

情感や感性を手指動作により伝達可能なロボットハンド実現を目的として, 第1に, ヒューマノイドのための小型軽量なロボットハンドを, 必要最小限の運動機能を抽出して実装する方針で開発した。第2に, 動作の基本特性を実験的に検討し, 速度制御に基づく簡潔なフィードフォワード制御機構を設計し, 任意の形状の関節時系列変化指令に追従可能なシステムを実現した。第3に, システム評価のため, 周波数の異なる正弦波入力に対する追従特性を検討し, 空間的および時間的な精度を検討した。第4に, 手指動作による情報発信の例として, 手話の指文字動作を再現させた。一連の結果は, 本件が比較的高精度かつ高速に, 動作を通して情報発信できるロボットハンドであることを示していた。

謝辞 本研究の一部は, 文部科学省科学研究費特定領域(A)「脳研究の総合的推進に関する研究」および通信・放送機構(TAO)ギガビットネットワーク活用研究開発制度の援助を受けて行われた。

参 考 文 献

1) 井上博允, 加賀美聡: ロボットの知能とシステム統合: ヒューマノイドを例にとって, 日本ロボット学会誌, Vol.20, No.5, pp.464-469 (2002).

- 2) 平井和雄, 仲山茂人: ロボットプラットフォームの製作および高機能ハンドの開発, 日本ロボット学会誌, Vol.19, No.1, pp.8-15 (2001).
- 3) 文部科学省特定領域研究「ITの深化の基盤を拓く情報学研究」. <http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/Informatics-A03/Background.htm>
- 4) Mehrabian, A.: Communication without words, *Psychology Today*, Vol.2, No.4, pp.52-53 (1968).
- 5) Jacobsen, S.C., Wood, J.E., Knutti, D.F. and Biggers, K.B.: The UTAH/M.I.T Dextrous Hand: Work in Progress, *Intl. J. of Robotics Research*, Vol.3, No.4, pp.21-50 (1984).
- 6) Gifu Hand. <http://www.kk-dainichi.co.jp/>
- 7) 星野 聖, 城間智大, 川淵一郎: アブダクション可能な小形ヒト型ロボットハンドの制御, 信学技報, HIP 2002-82, pp.31-36 (2003).
- 8) Klima, E. and Bellugi, U.: *The Sign Language*, Cambridge Harvard University Press (1979).
- 9) 小渡 悟, 神里志穂子, 星野 聖: 類似動作で意味が異なる手話単語の所要時間が弁別に及ぼす影響, 映情誌, Vol.56, No.2, pp.302-306 (2002).

(平成 15 年 4 月 14 日受付)

(平成 15 年 9 月 5 日採録)



星野 聖(正会員)

平成5年東京大学大学院医学系研究科博士課程修了。同年東京医科歯科大学医学部助手。平成7年琉球大学工学部助教授。平成14年筑波大学機能工学系助教授。平成10年より科学技術振興事業団さきがけ研究21,平成14年より同事業団・基礎的研究発展推進事業の研究者を兼任,現在に至る。平成5年博士(医学)。平成8年博士(工学)。視覚系の情報処理機構,聴覚補助代行,ヒト運動解析等の研究に従事。電子情報通信学会,ME学会,ロボット学会等各会員。



川淵 一郎

平成11年東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了。博士(工学)。同年(株)テック・エキスパーツ入社。現在特機事業部長。平成13年~15年科学技術振興事業団研究員として,東京大学情報理工学系研究科館研究室に所属し,遠隔操縦型ヒューマノイドの研究を行う。現在は,研究機関向けのロボットや実験装置等の設計,とくに小形で多自由度な運動系のための新規な機構の設計開発や,機構開発に関する研究支援に従事。日本機械学会,日本ロボット学会各会員。



城間 智大

平成14年琉球大学工学部情報工学科卒業。現在,同大学大学院理工学研究科修士課程在学中。ヒト型ロボット制御に関する研究に従事。

