

戦略的創造研究推進事業
発展研究（SORST）

研究課題

「見まねにより手話や舞踊動作が
可能なヒト型ロボット」

研究期間：平成14年3月1日～平成17年3月31日

研究代表者

星野 聖

筑波大学大学院システム情報工学研究科 助教授

1．研究テーマ

- (1)研究領域 : 発展・継続研究
- (2)研究総括 :
- (3)研究代表者 : 星野聖
- (4)研究課題名 : 見まねにより手話や舞踊動作が可能なヒト型ロボット
- (5)研究期間 : 平成14年2月～平成17年3月

2．研究実施の概要

ロボットとヒトが共存するような環境では、ロボットがいかに動作するかについての指令をヒトが逐一与えるよりは、ロボット自らがヒトを観察して動作を自己獲得できることが望ましい。ヒトの運動能力の巧みさや知能は、「手」や指の動作に顕著に現れる。しかし、ヒトの手は形状が複雑で、変形も大きく、しかも何らのセンサを装着せずにカメラ映像だけで運動推定を行おうとすると、自分の体の部分によって他の部分を隠してしまう自己遮蔽の問題が存在する。ヒト動作の見まねにより動作を自己獲得するためには、高速かつ高精度に手の形状推定を行い、それをもとにロボット自らが動作を生成できるアルゴリズムが不可欠となる。他方、現状のロボットハンド技術では、ヒトの手のような豊富な能動自由度を配置しようとする、重くて大きな機械になってしまう。ヒトの手の生理学と機械工学の知識を活用して、ヒトの手のように器用で知的に動く新しいヒト型ロボットハンドの開発も切望されている。

本研究の狙いは、見まね（非接触的方法）によりヒト手指動作を高速かつ高精度に再現できるロボットハンドシステムの実現にあった。この目標達成のためには、画像処理技術と機構設計の双方における大きなブレークスルーが前提となった。

本研究目標の実現のために第一に行ったことは、高速かつ高精度のヒト手指形状推定システムの開発であった。従来手指形状システムでは、手の形状に関する先験的な知識をあらかじめ計算機内部にモデルとして構築し、入力画像をモデルに当てはめる方式を採っていた。この方法では、高い精度は得られるものの、長い演算時間を必要とし、ロボットハンドを実時間で動かせるほどの速い処理は不可能であった。そこで本研究では発想を変え、形状が複雑であろうと自己遮蔽があろうと、膨大な量の「手」類似画像をデータベースとしてあらかじめ用意しておき、そこから類似画像を高速検索してロボットを制御する方式を採用した。とくに、大規模データベースを簡単に構築でき、手形状の個人差にも対応できる方法として、データグループにより手指関節動作を計測し、同データからコンピュータグラフィクス（CG）の手を生成する手法を採用した。骨の長さや関節可動範囲などの設定を変えることで、少ない計測データから大量の「CGの手」画像を獲得した。手の画像は、各画像のなかに、どれくらいの傾きの線分が、どれくらい豊富に含まれているかを、高次局所自己相関を用いて特徴化した。また、主成分分析を用いて、使用する特徴量の大幅な低減を図った。その結果、比較的高い仕様のPCを用いれば、指関節の推定誤差が数度程度で、50～60fps程度の速さのヒト手指形状指定が

実現できた。高速検索された類似画像は、データグローブを用いて計測された関節データから生成されたCGであるため、検索結果をもとに即座にヒトと同じ動作をロボットハンドに再現させることも可能であった。

第二に行ったことは、重くて固い物体をしっかりと把持できるだけでなく、薄くて柔らかく壊れやすい物体を指先で安定してつまむことのできるヒト型ロボットハンドの設計と開発であった。先行する科学技術振興機構さきがけ研究21において、ヒトの手と同じ重さ、および同じ大きさで、ヒトの手と等価な動作生成が可能なヒト型ロボットハンドを設計済みであった。同ハンドは、手話や舞踊動作などの器用な動作を発現することができたが、物体の操作、とくに薄いものや小さい物体の操作は不得意であった。そこで本研究では、第一に、ハンドのそれぞれの指先に、小さなモータにより駆動する独立自由度を配置した。また、その指先関節の可動閾を、屈曲だけでなく、手の甲側に反ることまで可能な機構にした。その結果、机の上に置いてある1枚の名刺をつまみ上げることも可能となった。第二に、母指にねじりの自由度を配置し、母指の指腹と他の指の指腹とが正対するようにして、安定した指先つまみを実現した。新しく設計試作したヒト型ロボットハンドは、指先での名刺操作や、ペンを持つての書字やペン操作が可能であった。

第三に行ったことは、ロボットハンドを装着して伸縮させるためのロボットアームの設計であった。本研究では、排気がきれい、突発的出力が出にくいいため安全であり、駆動時の騒音も小さくて済むという利点を持っているため、動力源として空気に着目した。ところが従来の空気圧式アクチュエータでは、正確な位置決めが難しく、任意の位置でピストンを動かすにくくすること、すなわち剛性形成が困難という欠点を持っていた。しかし本研究では、流体シリンダへの流体の入出を止めたり、また流体シリンダに接続された流体の流路を細めたりすることによって生じるスプリング効果（圧縮される流体の反発力）やダンパ効果（入出する流体の流量抵抗）を利用することにより、ピストン運動の抵抗となる受動的な抗力を生み出す機構を開発した。ヒト上肢と同じように7自由度を持つヒト型ロボットアームに空気圧式アクチュエータと剛性形成可能な制御バルブとを配置し、制御実験を行ったところ、ヒトの動作と同じように、音楽に合わせての二拍子、三拍子、四拍子の指揮動作を行うことも可能であった。

3. 研究構想

第一の研究の柱である「ヒト手指形状推定システム」では、平成14年度には、使用すべきパラメータやゲインの値などを設計者が指示しなくても、ヒト動作獲得装置（本研究ではデータグローブ）と多自由度機械（本研究ではヒト型ロボットハンド）とのあいだの対応を自動的に関係付けてくれるシステムの設計を行った。これにより、設計者はゲイン調節などの仕事から解放されるだけでなく、近い将来において、違った機構や構造、自由度数の動作獲得装置や多自由度機械が出現したとしても、両者の入出力関係を自動的に対応付けすることが可能となる。平成14年度および15年度には、データグローブ・データを用いてCGにより多数の

「手の画像」を生成するシステムの開発を行った。データグローブを装着して動作することでデータ獲得が可能なので、短時間に大量の手CGを創り出すことができる。さらには、骨の長さや関節の可動角度の設定を変えることで、手形状の個人差を含んだ大規模データベースを簡単に構築する方法を開発した。平成15年度および16年度には、大量の画像から高速かつ高精度に類似画像を検索する手法について検討した。最終的には、特徴量の表現が簡単な高次局所自己相関を用い、かつ主成分分析、データベースの事前並び替え、過去の履歴の使用などを通して、高速化と高精度化の両立を図った。平成16年度後半からは、さらに大規模のデータベースでも実時間推定が可能なデータベース構築法を開発中であり、これが実現すれば、撮像環境の制限や、前腕回旋などの動作制限を気にせずに被験者はCCDカメラの前で動作することが可能になる。

第二の研究の柱である「指先つまみが可能なヒト型ロボットハンド」では、平成14年度には、ガタなどが発生せず、安定して指先での精細把持や側方把持を実現できる機構が何であるかを検討した。その結果、従来のロボットハンドでは指の第三関節（先端）の重要性は小さいと見なし、能動自由度の配置を行わない場合が多かった。しかし、指先では小さな発生力でも十分なことを考えれば、小さいモータを配置することで、ガタなしに安定した力制御が可能であることが明らかになり、それを活かす機構設計を行った。同機構は、薄くて軽い物体の指先つまみだけでなく、大きく重い物体の握力把持にも効果的であり、第一関節で物体を固定しながら、同時に、第三関節の小さな発生力で物体が滑り落ちるのを防ぐ効果も得られる。平成15年度には、ヒトの手の大きさのなかに機構および部品を納めるため、CADによる設計と、とくに通信方式と電源供給方法の検討を行った。最終的に、自動車などで使われているCAN方式を採用して通信の安定化を図り、また専用のアンプBOXをなくすことに成功した。平成16年度には、試作機を完成させ、さらに名刺操作やペンを持つての書字などの制御実験を行った。

第三の研究の柱である「空気圧式ロボットアーム」では、平成14年度に、制御バルブの機構設計を行った。とくに、任意の位置での剛性形成をいかに実現するかについて重点的に検討を行った。最終的に、流体シリンダへの流体の入出を止めたり、また流体シリンダに接続された流体の流路を細めたりすることによって生じる圧縮流体の反発力や、入出する流体の流量抵抗を利用することにし、同原理を実現する機構について設計を行った。平成15年度には試作機の完成、平成16年度には、正確な位置決め制御を可能にする制御則について検討を行い、パラメータ推定やゲイン調節を行い、空気圧駆動での応答性の悪さを克服できる制御則を実現した。

4. 研究成果

(1) 研究内容及び成果

第一に、図1に示すように、誤差数度で60fps程度の速さで動作可能な「ヒト手指形状推定」

システムを実現した。同システムの出力先をロボットハンドにすることにより、図2に示すように、CCDカメラの前方で動作する人間と同じ動作を、遅延なく高精度に再現することができる。

第二に、ヒトのように器用で巧みな動作が可能な「ロボットハンド」を実現した。図3に示すように、指先での名刺操作や、ペンを持つての書字動作が生成可能である。

第三に、ヒトのように腕を固くしたり、反対にしなやかに動作することのできる「空気圧式ロボットアーム」を設計した。図4に示すように、指揮者のように、音楽に合わせて二拍子・三拍子・四拍子の動作をしなやかにすることも可能である。また、ロボットハンドを装着することにより、図5のように、子供たちと動作遊びをすることも可能である。



図1 50fps以上の速さで誤差が数度の手指形状推定システム。

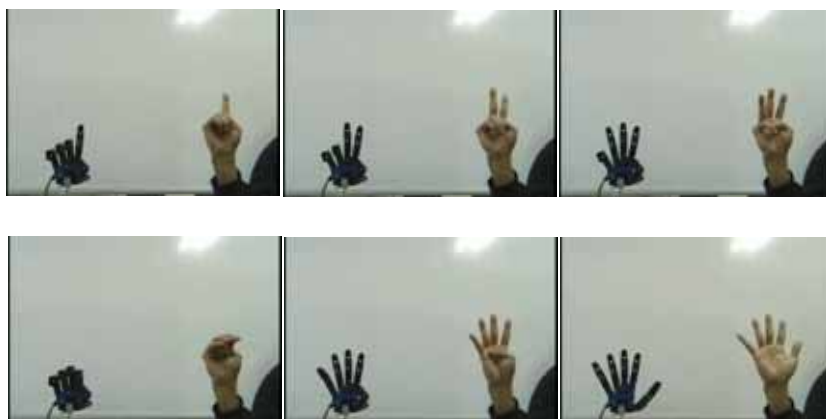


図2 即座にヒト手指動作を再現できるロボットハンドシステム。



図3 薄いものや壊れやすいものを安定して把持することのできるヒト型ロボットハンド。



図4 正確な位置決めと関節の剛性調節が可能な空気圧式ロボットアーム。
音楽に合わせて、二拍子、三拍子、四拍子の指揮動作を行っている。



図5 「ジャンケンポン!! あっち向いてホイッ!!」。子供と遊ぶロボット。

(2) 研究成果の今後期待される効果

第一の成果の今後の展開見込みについては、手形状推定システムのみ、あるいは他にジェスチャ推定システムと組み合わせることにより、たとえば「教師3次元CGと学習者運動データの併描画」による運動教育用映像ツールや体感型ゲームの開発に利用することが可能となる。細かな手や指の動きの習得が求められる運動にはとくに効果的であり、運動練習者は、手指を含めた教師の動作を任意の視点から観察できるだけでなく、自分の動作との比較も行うことが可能になる。体感型ゲームでは、モニタ上の疑似物を指先でこねたり操作したりすることも可能になり、多くのヒト動作をゲームシステムへの入力や指令に使うことが可能となる。

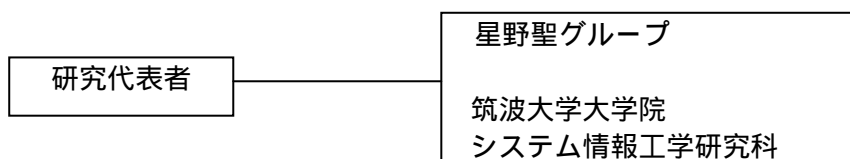
第二の成果の科学技術への波及効果については、次のように考える。昨今のロボット工学では、自律二足歩行と視聴覚機能はまずまずの技術レベルに到達したが、5指を持った器用な「マニピュレーション」能力については、ヒトの4～6歳児の水準であると言われる。本研究では、より高い年齢の動作能力を実現できる機構を実現した。それだけでなく、本研究の設計思想は、ヒトの動作の本質を失わない範囲で、なるべく自由度を低減する手法にあるため、小型で軽量であるにも関わらず、ヒト手指における柔らかさや器用さの本質を工学的に利用する上での重要な知見を提供する。

第三の成果の今後の展開見込みについては、現有のエアシリンダ自体が工業目的で製造されており、材質はステンレス製で、重くて固く、衝撃に対して割れやすいため、人間が周囲で生活する環境では使いづらい。そこで、変形したり衝撃を受けても復元可能な、軽くて丈夫な工

アシリンダを設計・試作する計画である。この技術が実現すれば、従来技術の3分の1程度の軽さで運動機械を実現できるため、医用福祉など各分野での利用が可能となる。また、従来の空気圧式の弱点であった剛性低下や、ばね定数が小さいことによる応答性低下を大幅に改善することができる機構も開発する計画である。

5 . 研究実施体制

(1)体制



(2)メンバー表

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
				平成 年 月 ~ 平成 年 月

6 . 研究期間中の主な活動

(1)ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
平成16年 8月7~8 日	ジュニアサイエンス アカデミー「頭脳」	新潟県 柏崎市	4万人	ヒト型ロボットの展示, 説明, デモ
平成16年 12月17~19 日	SICEシステムインテグ レーション部門講演会	茨城県 つくば市		オーガナイズドセッション においてJST発展・星野 プロジェクトの成果発表

(2)招聘した研究者等

なし

7 . 主な研究成果物、発表等

(1)論文発表 (国内 8 件、海外 件)

- 1) K.Hoshino: "Interpolation and extrapolation of repeated motions obtained with magnetic motion capture", IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communic

ations and Computer Sciences, E87-A, 9, pp.2401-2407, 2004

- 2) K.Hoshino and I.Kawabuchi: "Robotic hand system for non-verbal communication", IEICE Transactions on Information and Systems, E87-D, 6, pp.1347-1353, 2004
- 3) S.Odo and K.Hoshino: "Pointing device based on estimation of trajectory and shape of a human hand in a monocular image sequence", Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 8, 2, pp.140-149, 2004
- 4) S.Kamisato, S.Odo, Y.Ishikawa and K.Hoshino: "Extraction of motion characteristics corresponding to sensitivity information in dance pattern", Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 8, 2, pp.168 - 180, 2004
- 5) 星野 聖, 城間智大, 川渕一郎: "動作による情感伝達を目的としたロボットハンド", 情報処理学会論文誌, 44, 11, pp.2718-2727, 2003
- 6) S.Odo and K.Hoshino: "Hand shape identification using higher-order local autocorrelation features of log polar coordinate space", Journal of Robotics and Mechatronics, 15, 3, pp.534-540, 2003
- 7) 星野 聖, 小渡 悟, 神里志穂子, 新垣武士: "自己遮蔽にロバストな上肢3次元運動推定", 映像情報メディア学会誌, 56, 10, pp.1624-1628, 2002
- 8) 小渡 悟, 神里 志穂子, 星野 聖: "時間情報が弁別の手がかりとなる手話単語の解析", 映像情報メディア学会誌, 56, 2, pp.302-306, 2002

(2)口頭発表

招待、口頭講演 (国内 25 件、海外 4 件)

ポスター発表 なし

プレス発表 なし

国際会議発表:

- 1) K.Hoshino, I.Kawabuchi, Y.Ueyama and H.Nii: "Humanoid robot hand with fingertip-pinching function", Proc. IEEE Technical Exhibition Based Conference on Robotics and Automation 2004, pp.47-48, 2004
- 2) K.Hoshino and I.Kawabuchi: "Pinching function with fingertips in humanoid robot hand", Proc. IEEE Robot and Human Communication, 13, OS-YN6, pp.1-6, 2004
- 3) K.Hoshino and T.Tanimoto: "Real time search for similar hand images from database for robotic hand control", Proc. IEEE Robot and Human Communication, 13, OS-YN5, pp.1-6, 2004
- 4) K.Hoshino: "Control of dexterous robot hand by data glove", Proc. Intl. Tech. Conf.

on Circuits/Systems, Computers and Communications, 6F3L-5, pp.1-4, 2004

- 5) K.Hoshino and T.Tanimoto: "A dexterous robot hand imitating human behavior", Proc. Intl. Tech. Conf. on Circuits/Systems, Computers and Communications, 6F3L-6, pp.1-4, 2004
- 6) K.Hoshino: "Three-dimensional gesture recognition in the sign language with monocular CCD camera", Proc. Intl. Tech. Conf. on Circuits/Systems, Computers and Communications, 7F3P-45, pp.1-4, 2004
- 7) K.Hoshino and I.Kawabuchi: "A humanoid robotic hand performing the sign language motions", Proc. 2003 Intl. Sympto. on Micromechatronics and Human Science, pp.89-94, 2003
- 8) K.Hoshino and I.Kawabuchi: "Compact humanoid robotic hand with abduction-adduction fingers", Proc. Intl. Tech. Conf. on Circuits/Systems, Computers and Communications, 2, pp.860-865, 2003
- 9) K.Hoshino: "Interpolation and extrapolation of human 3-D movement for the emergent of dance motions", 2002 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, pp.238-242, 2002
- 10) K.Hoshino: "Quantitative analysis of motions and impressions for the emergent of dance motions", 2002 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, pp.243-247, 2002
- 11) K.Hoshino: "Interpolation and extrapolation of motion capture data", Proc. 7th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence, WS-3, pp.40-45, 2002
- 12) K.Hoshino: "Dance CGA animation synthesizer", Proc. 6th World Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, 13, pp.70-74, 2002
- 13) S.Odo and K.Hoshino: "Recognition of human hand gesture from a monocular image sequence for human-machine communication system", International Workshop on Entertainment Computing, pp.220-227, 2002
- 14) K.Hoshino: "CGA synthesizer interpolating and extrapolating motion data", International Workshop on Entertainment Computing, pp.334-341, 2002

(3)特許出願 (国内 10 件、海外 3 件)

“ 発明者、発明の名称、出願番号、出願日等。但し、出願予定の特許は含めない。 ”

- 1) 星野 聖, 川淵一郎: ロボットハンド, PCT/JP2005/6403, 出願日2005年3月31日
- 2) 星野 聖, 川淵一郎: ロボットハンド, 特願2005-105202, 出願日2005年3月31日
- 3) 星野 聖, 川淵一郎: 流体シリンダを用いたアクチュエータ及びその制御方法, 特願2005-

105110, 出願日2005年3月31日

- 4) 星野 聖, 谷本貴頌: データベースの高速検索方法及び該高速検索方法を用いたロボットの駆動方法, 特願2005-78256, 出願日2005年3月17日
- 5) 星野 聖, 谷本貴頌: ロボットの駆動方法, PCT/JP2004/016968, 出願日2004年11月15日
- 6) 星野 聖, 川淵一郎: 流体シリンダを用いたアクチュエータ及びその制御方法並びにチョークバルブ装置, PCT/JP2004/016553, 出願日2004年11月8日
- 7) 星野 聖: ロボットの駆動方法, 特願2004-173268, 出願日2004年6月10日
- 8) 星野 聖, 川淵一郎: 人型ロボットハンド, 特願2004-107754, 出願日2004年3月31日
- 9) 星野 聖, 川淵一郎: ロボットの表皮に動きを生じさせる方法, ロボット及び形状記憶素子ネット, 特願2004-108468, 出願日2004年3月31日
- 10) 星野 聖: ロボットの駆動方法, 特願2003-384402, 出願日2003年11月13日
- 11) 星野 聖, 川淵一郎: 流体シリンダを用いたアクチュエータ及びその制御方法, 特願2003-379205, 出願日2003年11月7日
- 12) 星野 聖, 小渡 悟: 画像に含まれる身体形状を判定する方法及び非接触型ポインティング・デバイスの実現方法, 特願2003-357082, 出願日2003年10月16日
- 13) 星野 聖: 多指ロボットハンドの制御方法及び装置, 特願2003-183586, 出願日2003年6月26日

(4)新聞報道等

新聞報道

受賞

その他

河合塾「わかる! 学問 理科系の最先端」の「人工知能とパターン認識」部門(pp.98-99)にて, 星野研究室が全国3ユニーク講座のひとつとして紹介される (Nov., 2003)

(5)その他特記事項

なし

8 . 結び

工学系分野では通常、「査読付き国際会議発表」は「原著論文」と同じ重さで評価されます。（しかも、国内開催か海外開催かといった開催場所も重要ではありません）。常日頃そういう価値基準で成果発表を行っているため、JSTの報告書で、国際会議発表を国内発表（多くは査読なし）と同程度の軽さで記載を求められ、かつ扱われるのには、何とも嫌な感じがします。

以下、本研究で設計試作した装置のスナップ写真を示します。



設計したヒト型ロボットハンドのデータグローブによる制御。人間の手と同じ細かい動きが遅延なく再現できます。



空気圧式ロボットアームにおいて正確な位置決めと関節の剛性調節を可能にする制御バルブ。



設計開発したロボットハンドとロボットアームを接続させて動作させている風景 .すばやく , かつ滑らかに動きます .