

## 2016 年度

東京大学 人工物工学研究センター  
人工物と人との相互作用研究部門

### 移動ロボティクス研究室 (太田研究室) 研究紹介

〒277-8568 千葉県柏市柏の葉 5-1-5  
東京大学柏キャンパス総合研究棟 5F

#### TEL

教授室 509 : 04-7136-4252  
助教室 564 : 04-7136-4272  
研究室 559, 561 : 04-7136-4260  
研究室 534A, 535A : 04-7136-4276

#### FAX

: 04-7136-4242

URL: <http://otalab.race.u-tokyo.ac.jp>

#### メンバー

教授	太田 順
助教	緒方 大樹
特任研究員	白藤 翔平, Jose Ildefonso Udang Rubrico, 黄 之峰, 从 飛云
博士課程学生	Jorge David Figueroa Heredia, 姜 平, 木村 宣隆, Veerachart Srisamosorn, 上西 康平
修士課程学生	片山 貴裕, 白石 匠, Hamdi Sahloul, 林 静思, 伊藤 拓, 松井 尚孝, Becky Su, De Jong Anner Warrer, 菅野 俊介, 陳 臻怡, 陳 毅冰
学部 4 年生	伊藤 達真, 霧生 和樹
研究生	Yalcin Akin, 彭 澤榮
秘書	田村 美香, 中村 綾子

## 研究の概要

我々は 1989 年から群知能ロボットの研究を行ってきました。我々は、「ある空間に滞在し、動作している人間」、「人間を支援する知的エージェントとしてのロボット」、「ロボットと人間が相互作用する環境」の三者から構成される系を考えてきました。我々は、動作計画手法、進化的計算、最適化学、制御工学等を理論的基盤として、ロボット工学、サービス工学、生産システム工学に関する研究プロジェクトを遂行しています。最終的には人間と相互作用し人間を支援するエージェントの知能並びに運動・移動機能を解明し、人を含むマルチエージェントシステム設計論の構築を目指します。現在は「マルチエージェントロボット」、「大規模生産／搬送システム設計と支援」「移動知、人の解析と人へのサービス」という 3 つの分野において研究を行っています。

具体的には以下のテーマについて研究を進めています。

### マルチエージェントロボット

大型の物体をマニピュレーションするための移動ロボットのアーム部の開発  
複数ロボットへの教示手法

3 次元シーンにおける ICP の外れ値からの 効率的な前景のセグメンテーション手法  
高齢者の感情の推定のためのクアドロータを用いた顔自動追従システム

### 大規模生産／搬送システム設計と支援

ピッキングを対象とした画像認識における撮影環境と認識処理プロセスの自動設計

### 移動知、人の解析と人へのサービス

人間同士の時間的共創過程の解明  
複数の症状を再現可能な患者ロボットの開発  
時間遅れを考慮した筋骨格モデルの起立姿勢制御  
スマートフォンログの解析による不安度の予測

## 大型の物体をマニピュレーションするための移動ロボットのアーム部の開発

小型の移動ロボットは狭い空間でも自由に移動できるといった利点がある一方で、一般的に大きな力を環境に作用させることが難しい。これは大きな力を発生させた場合に生じる大きな反力が小型の移動ロボットを転倒させたり、滑りを生じさせたりするためである。一方で、小型の移動ロボットが大きな力を環境に作用させることができれば、つかむ場所のないような、大きく重い物体をも含む、様々な物体をマニピュレーションすることが可能になる。例えば、重く大きな物体を傾け、その下に台車を置き移動させる[1]ことや、大きな障害物を転がし、取り除くことなども可能である。

本研究では大きな力を環境に作用させることができる移動ロボットを開発するため、ロボットの機構やロボットと環境との間の摩擦などの要因による、移動ロボットが環境に作用させることができる力の制約の解析をおこなった。これを踏まえ、図 1 のように直道アクチュエータが受動回転関節を通して移動ロボット本体に接続された機構を提案した。この受動回転関節があることによって、ロボット本体を回転させるようなモーメントがロボット本体には伝わらないことから、ロボットは転倒のリスクがない。これによって、ロボットは未知の重く大きな物体であっても転倒を気にせず、試行錯誤的にマニピュレーションすることができる。例えば、図 2 は提案した移動ロボットが未知の物体の滑りを生じさせることなく押すことのできる方向を試行錯誤で探している様子である。結果として、この実験では押すことのできる方向を発見し、80.0kg という重く大きな物体を移動ロボットで傾けることができた[2]。

**Keywords:** mobile robot, large force, pushing manipulation

### Reference

1. 大橋 二紗夫, 上西 康平, Figueroa Jorge, 加藤 裕基, 太田 順: “台車とアウトリガを用いた複数台の小型移動ロボットによる大型 重量物搬送,” 第 27 回自律分散システム・シンポジウム論文集, pp. 209-210, 2015
2. 寺田 悠理, 白藤 翔平, 太田 順: “小型移動ロボットによる大型物体のマニピュレーションのための機構開発,” 2016 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 857-858, 2016

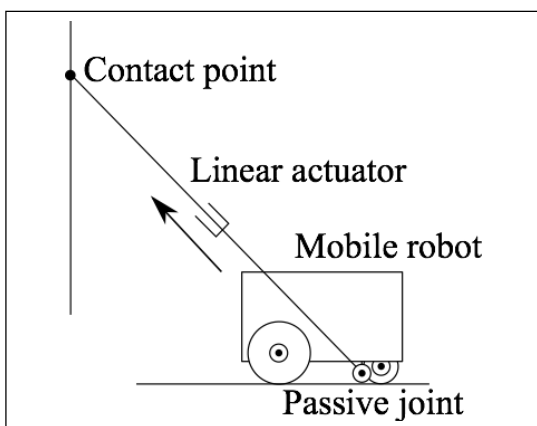


図 1 提案した受動関節を持つ移動ロボット



図 2 試行錯誤で思い物体を傾ける実験の様子

## 複数ロボットへの教示手法

本研究では、1 人の人が作業を複数の小型ロボットに教示するための新しいフレームワークを提案している<sup>[1]</sup>。特に、1 人の人がある作業を達成するために必要な動作の例をロボットに直接的に示した際に、この動作から得られた情報を、いかに複数ロボットによる物体操作の情報へと変換することに焦点を当てて研究を進めている。これまでに提案した手法では、人の行動を検出し、作業のクラスを分類、これを教示するのに必要なロボットの数と種類を決定するという、一連の教示過程を経て情報がまずはじめに抽出、分析される。そのうえで目的の作業を達成するのに必要な要求に合わせ、ロボットの動作を単一のロボットの動作と複数のロボットの協調動作に分類し、各ロボットのプログラムの生成がおこなわれる。この教示システムの全体像を示すため、複数ロボットへの教示の 1 例を図 1 に示す。

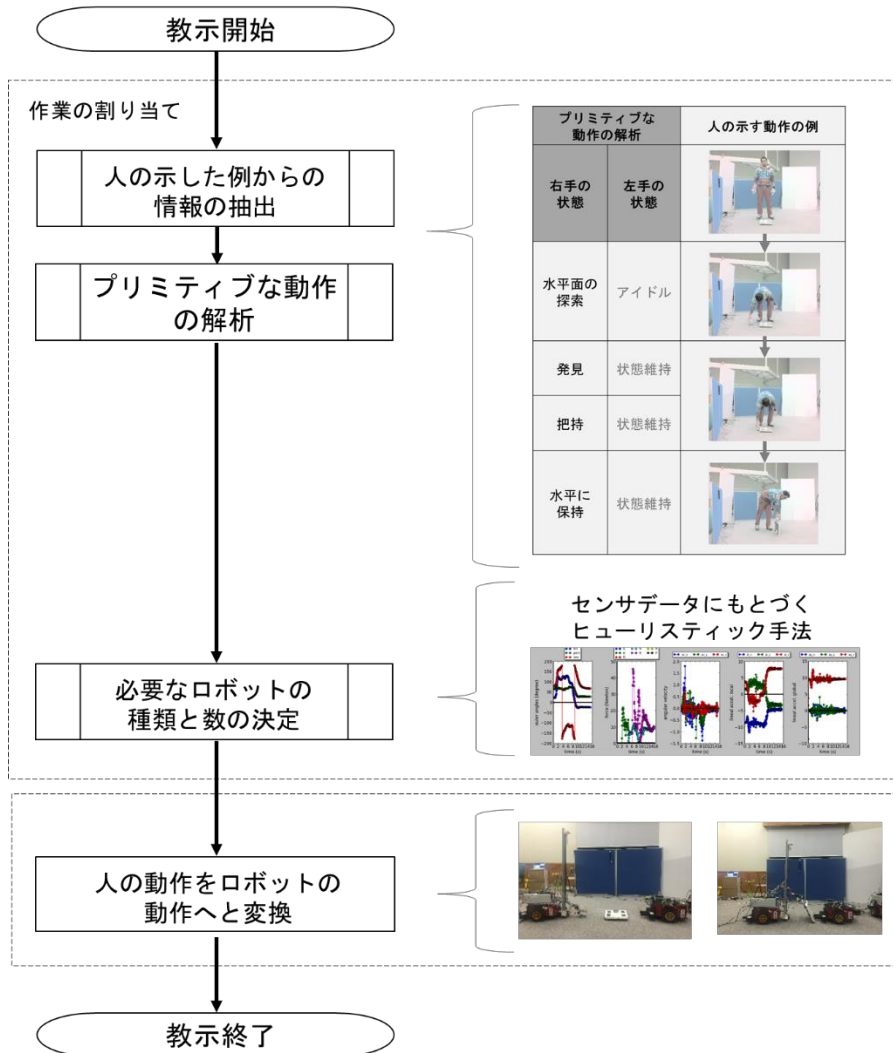


図 1. 人が例を示すことによってロボットのタスクを教示する例。ここでは体重計をひっくり返す動作を教示している。

<sup>[1]</sup>Figuroa Heredia Jorge David, Rubrico Jose I. U., Ota Jun, “Teaching multiple robots by a human”, Proceeding of the ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI 2016), (pp. 613-614). Christchurch, New Zealand.

### 3次元シーンにおけるICPの外れ値からの 効率的な前景のセグメンテーション手法

カメラによって撮影されたシーンから動いている物体のモデルを再構築するには、いかに背景と前景をセグメンテーションするかが重要である。前景は3次元点群の位置合わせに用いられる一般的な手法 Iterative Closest Point (ICP) の結果の外れ値として現れる。多くの研究では、モフォロジカルフィルタやグラフ最適化といった手法でこれらの外れ値からノイズを除去して前景を取得する。通常はこれらの外れ値がどのように選択されたかを気にすることはなく、単にICPの外れ値として単一的に扱う。

本研究では動いているRGB-Dセンサを用いて環境を3次元的に再構築する。新しいフレームと、それまでに統合したサーフェイスとの位置合わせは、ICPアルゴリズムによって達成される。そのうえで、前景にある物体はICPの結果の外れ値(図1b)から意味のあるセグメントを取り出すことで得られる。セグメント化された前景は静的な再構築のプロセスとは独立した、前景の構築のプロセスとして、前景オブジェクトを追従しながら新しく得られたサーフェイスを統合していく。

本研究では、既存の研究では区別されていなかった、ICPの外れ値の判断基準である5種類の要因を陽に区別してICPの結果を調査した。結果としてノイズを除去した後の前景は主に、距離に起因した外れ値の領域にあることを確かめた(図1c)。これを踏まえ、距離に起因した外れ値から遠距離の点群を切り捨てたものを抜き出し、これにバイラテラルフィルタを適用する手法を用いることで、実時間処理で既存の手法に比べ12%評価値の高いセグメンテーションの結果が得られた(図2)。詳細はこの手法に関する論文を参照のこと<sup>[1]</sup>。

ここでの結果は、遠距離にある点群や角度、空間に関する外れ値を除いたほうが、前景のセグメント化のプロセスは、時間、質ともに向上することを表している。さらにここでは、グラフカットといったグラフ理論を用いた抽出画像の洗練化手法も意味がないことも確かめた。現在は、物体が動き始めてすぐに静的な環境からセグメント化できるように研究を進めている。

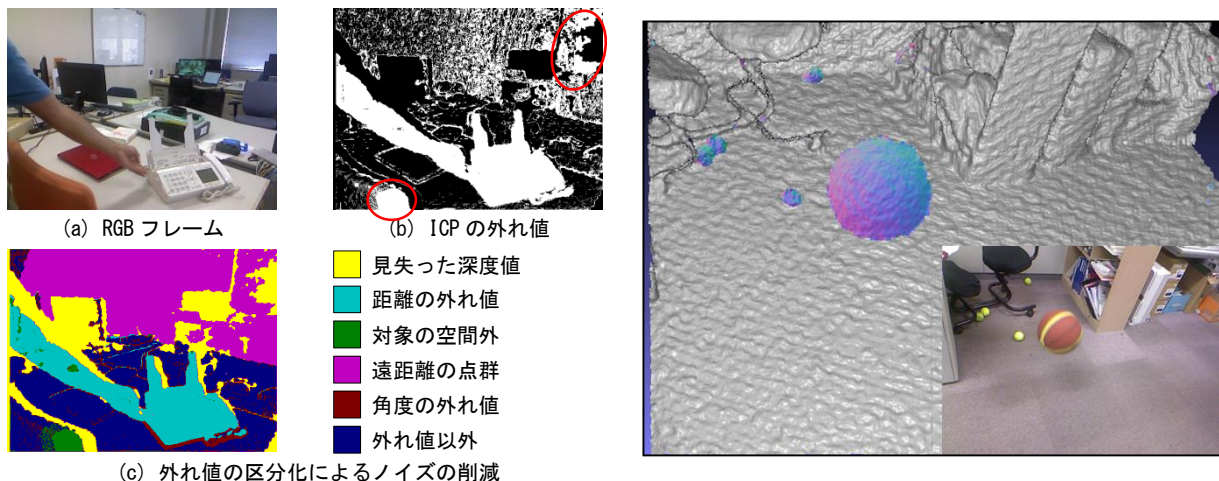


図1. 用いたRGBデータと位置合わせの結果得られたICPの外れ値。(a) 動いている物体が写ったRGB画像。(b) 対応するICPの外れ値。(c) 外れ値の区分を表すカラーマップ。距離の外れ値(緑がかった青色)が提案手法で用いた外れ値。

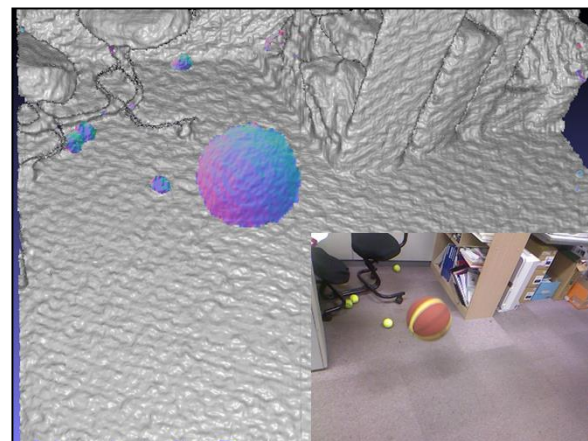


図2. (中央) 再構築した環境にフォンシェーディングを適用した表面。色付けたものが前景。いくつかのボールがバウンドするシーンから明確に前景を抜き出していることがわかる。(右下) 対応するRGB画像。

[1] Hamdi Sahloul, Jorge Figueroa, Shouhei Shirafuji, and Jun Ota, "Foreground segmentation with efficient selection from ICP outliers in 3D scene," in *2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, Zuhai, China, Dec 2015, pp. 1371-1376.

## 高齢者の感情の推定のためのクアドロータを用いた顔自動追従システム

介護施設内において高齢者の方に適切な介護を行うためには、顔の表情を定期的に観察する必要がある。現在は、介護士が高齢者の顔を確認し、その顔に笑顔があるかどうかを判断基準とした観察が経験的におこなわれている。しかし、介護の必要な高齢者の数に対し介護士の数は十分とは言えず、定期的な観察が必要なこの手法は非効率であり介護士に大きな負担を強いている。そのため、人の顔を追跡しながら、表情の計測を行うことのできる何らかのシステムがあれば介護士の負担を減らすことができる。そこで、本研究は環境カメラと移動カメラを併用して人間の顔の追跡を行い、顔画像を撮影するシステムの構築を目的とする。

提案手法では、人の顔画像を取得し、その人の感情の推測をおこなうことのできる、小型のカメラが搭載されたクアドロータを用いる（図1）。また、空間上での各人の位置・姿勢を測定するため Kinect カメラ（Microsoft 社）を必要な領域が収まるように環境に配置する。カメラから得られた人の顔の位置と向きの情報を用いて、顔から一定距離離れた場所でカメラが顔の正面へ向くように、クアドロータの目標位置、姿勢を定める。クアドロータ自体の位置は Kinect センサの深度画像から、その姿勢はクアドロータに実装された慣性計測装置（IMU）から取得する。これらの情報から、対象の人の顔画像の撮影が可能となる目標位置へと、クアドロータが移動するよう制御される。図2は5台の Kinect と1台のクアドロータを用い、横3メートル、縦3.5メートルのエリア内で1人の対象者の顔を追跡した実験の様子である。

**Keywords:** quadrotor, Kinect, human tracking, face tracking

### Reference

- [1] Srisamosorn, V., Kuwahara, N., Yamashita, A., Ogata, T., and Ota, J. “Automatic Face Tracking System using Quadrotors: Control by Goal Position Thresholding”. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2014)*, pp. 1314-1319, Dec 2014.
- [2] 太田順, 桑原教彰, 山下淳, 緒方大樹, Veerachart Srisamosorn: クアドロータを用いた高齢者の表情の計測, 2015 年度サービス学会 第3回 国内大会, 2015

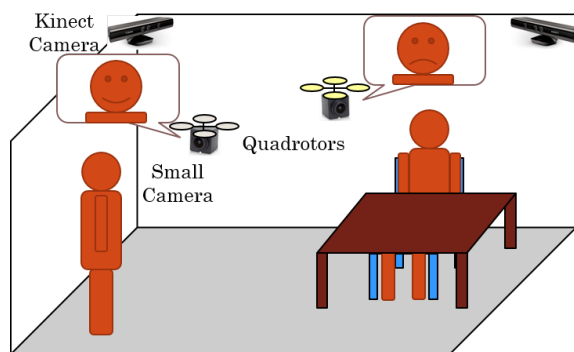


図1 システムのイメージ



図2 人を追跡するクアドロータ

# ピッキングを対象とした画像認識における 撮影環境と認識処理プロセスの自動設計

生産能力の向上や生産コストの削減のため、製品の組立や検査など多くの作業において、画像認識技術が用いられている。画像認識を行うためには、まず、画像を取得するための撮影環境を適切に設定する必要がある。次に、その画像中から認識対象の物体種類、位置、角度などを認識をするための処理プロセスを設計することが必要となる。画像認識には、画像変換・特徴抽出・識別という3つの処理が一般的に含まれる。これら、撮影環境と画像認識処理の設計は専門家によって成されるが、環境設定と画像認識に含まれる処理とパラメタの組み合わせは膨大であり、かつ、それらが相互依存関係にあるため、多くの時間と労力を要する。

本研究では、製造ラインにおけるピッキング作業を例にとり、認識対象の物体種別、位置、角度を認識するための、撮影環境と画像認識処理を同時に自動設計することを試みている (Fig. 1)。撮影環境として、カメラと認識対象との距離、および、照明の明るさ (RGBそれぞれの明度) を考慮する。また、画像認識処理には、現在、局所特徴量を利用した認識手法を用い、その前処理パラメタと特徴量を用いた識別機の設計を対象としている。以上を実機ベース最適化問題として定式化し、メタヒューリスティクスを用いて導解することを試みる。実験ベース最適化を用いる理由は、現実世界における撮影環境の不確実性のためである。この不確実性のため、理論的な導解、もしくは、計算機実験だけによる導解が非常に困難である。Fig. 2 と Fig. 3 それぞれに、実際の実験の概念図と、提案したアルゴリズムを示す。実験の結果、妥当な時間内に十分な認識精度をもった解を導出できることが確認された。

**Key words:** automatic design, optimization, image recognition, image acquisition environment

## Reference

- [1] K. Tsujimoto, *et al.*: "Simultaneous Design of Image Conversion Parameters and Classifier in Object Recognition for a Picking Task," Proc. Int. Conf. Robotics Biomimetics (ROBIO2014), pp. 457-462, 2014.
- [2] 行澤大吾, 緒方大樹, 高田俊之, 植山剛, 太田順: ピッキングを対象とした撮影環境を含む画像認識システムの自動設計, 2016年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 野田, 3月15-16日, p.155, 2016

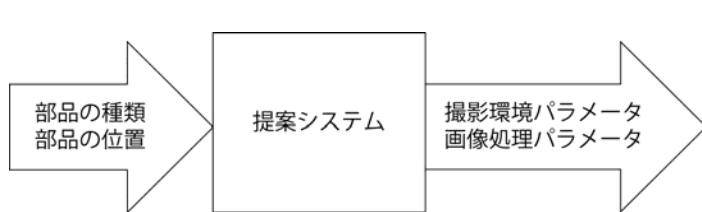


Fig. 1 問題設定

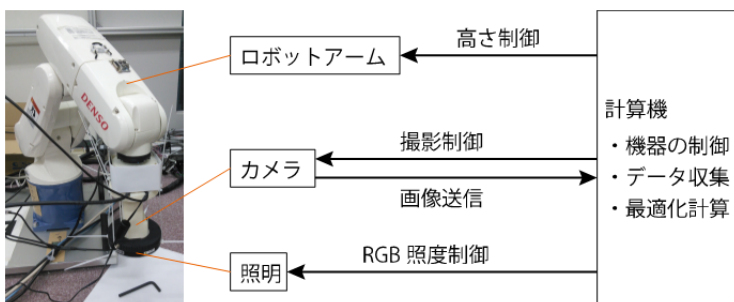


Fig.2 実験ベース最適化による導解のための実験概念図

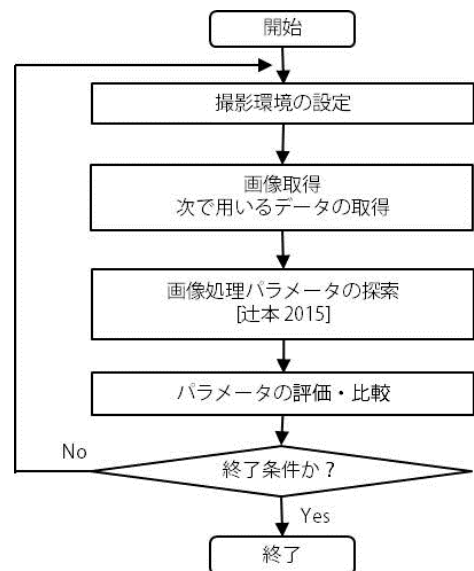


Fig.3 導解アルゴリズム

## 人間同士の時間的共創過程の解明

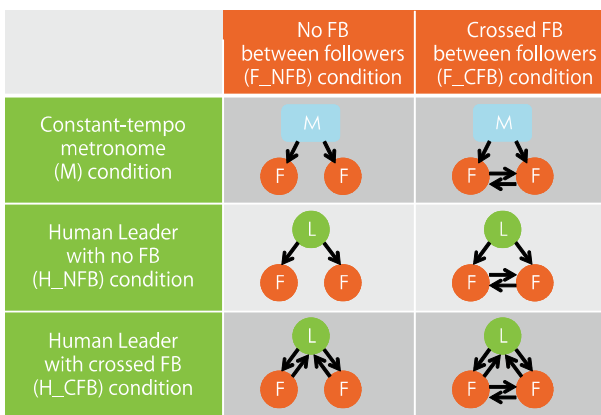
スポーツやオーケストラに見られるように、人間は、多者間で協調しながら行動することができる。そこには、感覚情報の処理と統合、運動指令から運動の遂行、および、他者との協調などにかかる複数の時間遅れが存在しているが、それにもかかわらず、人間は他者と協調してリアルタイムに運動を生成している。このような人間の共創的コミュニケーションは、ヒューマンインタフェースやヴァーチャルリアリティなどの分野に見られるように、人間と人工物の協調が問題となる人工物の設計を考える上でも重要である。

そこで、心理学的な行動実験を用いて、共創的なプロセスの特徴とメカニズムを明らかにすることを目標としている。具体的には、指タッピングによる3者間の協調的リズム生成課題を用いている。結果、人間のリーダに2人が同時に合わせるリズム生成は、メトロノームに2人で合わせる時よりも、テンポが速くなりやすいことが明らかとなった。これは、人間が外界の刺激よりも無意識のうちに早く指をタップすることと、人間のリーダは、追従する二人の生成するリズムを無視するように言われていたにもかかわらず、無意識のうちに影響を受けていたためと考えられる。また、メトロノームとのリズム生成においては、メトロノームに追従してリズムを生成する傾向があるのに対して、人間同士でリズムを生成するとき、他者の作るタイミングを予期的にとらえていることが示唆された。

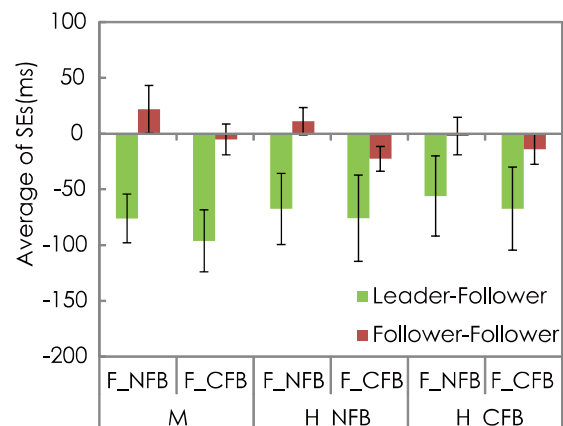
**Keywords:** 時間的共創、多者間コミュニケーション、協調的リズム生成

### References

- 1) T. Ogata, T. Katayama, Y. Miyake and J. Ota, Cooperative Rhythm Production between Three People through Auditory Signals. In Proceedings of 23<sup>rd</sup> International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science, pp. 456—459, Nagoya, Nov. 2012.
- 2) 片山貴裕、緒方大樹、三宅美博、太田順、3者間リズム生成課題を用いた複数の他者との時間的協調の観察とモデル化. 第25回自律分散システムシンポジウム資料, pp. 215—220, 仙台, 2013



**Fig. 2** テンポを一定に保つリーダの条件とそれに合わせてリズムを生成するフォロワ2人の条件。矢印の方向にタイミング情報が伝えられることを意味している。



**Fig. 3** 同期誤差 (SE) の結果。フォロワはリーダに対して早打ちする傾向がある。人間同士の方がその傾向は小さい。



## 複数の症状を再現可能な患者ロボットの開発

患者の車椅子移乗に見られるように、看護師は日々、身体的負荷が高い技能を様々な患者に対して行っている。この患者の移乗動作は、非常に複雑かつ困難な技能であり、その獲得には多くの練習と経験を必要とするものである[1]。しかしながら、看護教育の現場においては十分な練習が行える状況ではない。実際には、等身大の人形や他の学生を患者役として練習を行っている。そのため、健常者よりもはるかに移乗することが困難な実際の患者の移乗を練習することができていない。例えば、麻痺の症状を呈する患者に対する車椅子移乗動作は、非常に困難な例の一つである。また、麻痺患者にも、麻痺の種類や重症度などが異なり、それぞれの患者に対して適切に車椅子移乗を行うことが肝要である。そこで本研究では、複数の麻痺の症状を再現可能な患者ロボットを開発することを試みている。

対象とする麻痺は、片麻痺と四肢麻痺である。以前、我々が作成した力の弱った患者ロボット[2]を元として、新たにそれぞれの麻痺症状を再現できるロボットの構築を行っている[3]。具体的には、以前のロボットにはなかった腰部の関節の再現を行った[3]。これにより、片麻痺患者が麻痺側に体幹が傾いていくと行った、麻痺患者の体幹の不安定な動きを再現可能となる。腰部は前後と左右の二つの自由度をもち、コンプライアントジョイントを用いて作成した (Fig. 1)。コンプライアントジョイントとは、バネを内蔵した関節であり、看護学生が患者ロボットに力を加えたとき、人間の関節に近い特性で動くと考えられる。Fig. 2に作成した患者ロボットを示す。動画には、実際に患者ロボットを動かしているときの様子を示す。展望として、この患者ロボットの教育効果について検証してゆく。

*Key Words:* Robot patient, Education system, Nursing skill, Skill acquisition, Paralysis simulation

### Reference

- [1] Kjellberg, K., Lagerström, M., & Hagberg, M. Patient safety and comfort during transfers in relation to nurses' work technique. *Journal of advanced nursing*, 47(3) (2004), 251-259.
- [2] Huang, Z., Katayama, T., Kanai-Pak, M., Maeda, J., Kitajima, Y., Nakamura, M., & Ota, J. Design and evaluation of robot patient for nursing skill training in patient transfer. *Advanced Robotics* 29(19) (2015) 1269-1285.
- [3] 緒方大樹ら. 患者の多様な状況を考慮した患者ロボットの開発. 2015年度サービス学会第3回国内大会講演論文集, 神戸, 3月 (2016) 187-188.

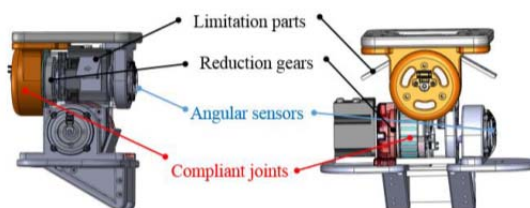


Fig.1. 腰部のメカニカルデザイン



Fig.2. 患者ロボット

## 時間遅れを考慮した筋骨格モデルの起立姿勢制御

神経コントローラを生理学的な知見に基づいて構築することで、起立姿勢制御の本質を捉えることが可能になる。従来の研究者は人体の表現に逆振り子モデルを用いていたが、逆振り子モデルに筋肉は反映されていない。実際の筋活動がどのように起立姿勢保持を実現しているか、十分に検討はされていなかった。

本研究では、70個の筋肉を持ち、解剖学的要素を反映した筋骨格モデルを採用している。まず、140msの時間遅れ条件下で筋骨格モデルを起立させる神経コントローラ (Fig. 1) を提案した。動力学シミュレーションで、この神経コントローラにより、筋骨格モデルが起立姿勢を保持できることが確認されている。さらに、生理学的に妥当な活動が神経コントローラによって再現できているかを確認している。

**Keywords:** Postural control, Musculoskeletal model, biological simulation

### References

- [1] Jiang,P., Chiba,R., Takakusaki,K., & Ota,J. Generation of biped stance motion in consideration of neurological time delay through forward dynamics simulation. Proc. IEEE Int. MHS2015, pp. 205-208, 2015

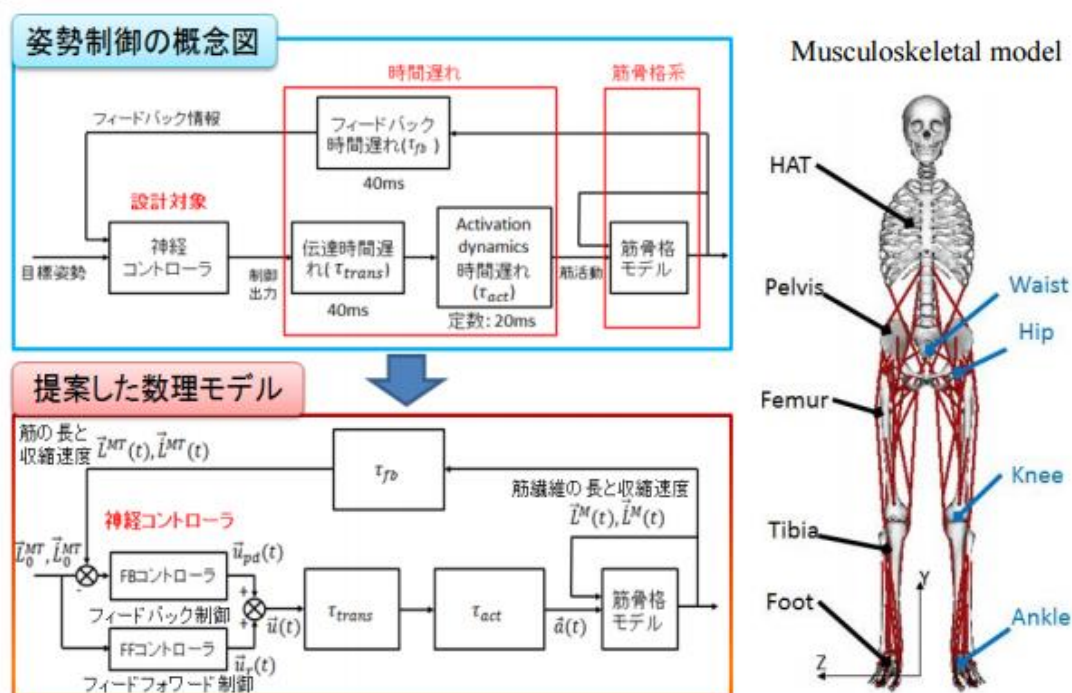


Fig. 1 Stance postural control model and musculoskeletal model

## スマートフォンログの解析による不安度の予測

近年、メンタルヘルスへの関心が高まっている。日本では2015年12月から、50名以上の労働者を抱える事業所では、労働者のストレスチェックが義務化されている。労働者の世親状態を維持することが重要視されている、しかし現状では、ストレスは年に1回もしくは2回の自身によるアンケート調査によって行われており、労働者の負担になるほか、連続的な評価ができないという問題がある。

負担の少ない連続的な精神状態の評価を行うために、スマートフォンを利用した精神状態推定の研究がなされている。スマートフォンは個人が所有するものであり、常に身に付けていることが多いため、搭載されているセンサを用いて精神状態を推定するために有用である。研究においては、得られたデータから特徴量を抽出し、精神状態を推定する方法がとられている。特徴量抽出においては、推定する精神状態に関係する症状に応じて、それが日常におけるスマートフォンの利用に反映されやすい特徴量であることが求められ、課題として残されている。

本研究では、精神疾患の中でも不安に着目し、実験を行っている。スマートフォンから得られるセンサログや、アプリケーションの使用履歴から、不安と関係のあると考えられる複数の特徴量を提案し、特徴量の学習によって不安度を予測することを目指す。スマートフォンによる不安度予測のイメージをFigure 1に示す。不安度予測にあたっては、過去何日分のログを使えば十分な精度で予測できるかという問題がある。現在は、データ日数と不安度予測精度との関係を調べている。問題のイメージをFigure 2に示す。

本研究の成果は、5月に学会にて発表予定である。

Key Words: Mental health, anxiety, smartphone, sensor logs, application history

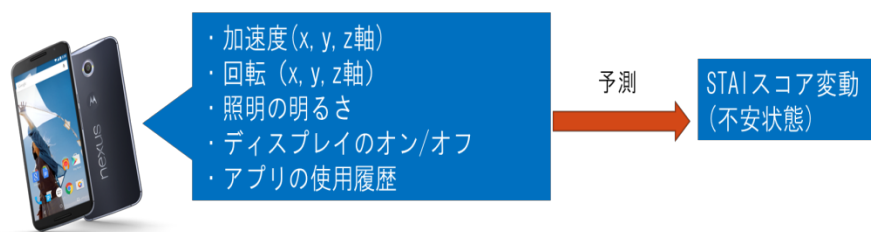


Figure 1: Prediction of anxiety by smartphones

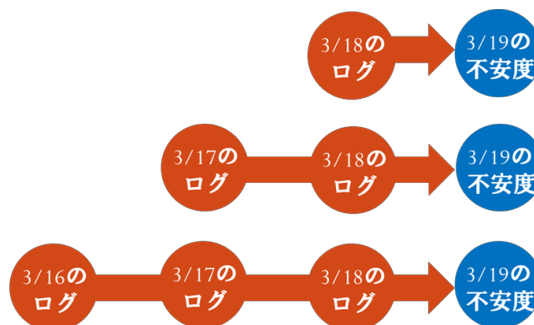


Figure 2: The image of anxiety prediction problem