

2020 年度

東京大学 大学院工学系研究科 人工物工学研究センター

移動ロボティクス研究室  
(太田研究室)  
研究紹介

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1  
東京大学 本郷キャンパス

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

メンバー

教授	太田 順
助教	白藤 翔平
特任研究員	上西 康平, 范 長湘, 高 思霄
博士課程学生	井上 麗子, Enrico Piovanelli, 李 冬冬, 田村 佳宏
修士課程学生	小林 雅史, 鐘 志航, 尾村 優一郎, 姚 文昊, 石川 誠也, 濱野 雅史, 後藤 広樹, 鈴木 暖, 金 棟植
学部 4 年生	江藤 人拓, 藤波 徹柊
秘書	村上 史朋子, 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「ロボットシステム設計」、「大規模生産／搬送システム設計と支援」「人の解析と人へのサービス、超適応の科学」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。

- ・ ロボットシステム設計
  - 小型移動ロボットの開発とマニピュレーション計画
  - 運動情報を用いた物体と環境の接触状態推定
  - 最適化によるタスクに応じた機構の設計手法
  
- ・ 大規模生産／搬送システム設計と支援
  - 倉庫システムにおけるバッファ設計
  
- ・ 人の解析と人へのサービス、超適応の科学
  - 外力に対するヒトの立位姿勢制御の筋骨格シミュレーション
  - 計算機モデルを用いたパーキンソン病患者の姿勢異常の表現
  - 手指関節角度計測のためのウェアラブルデバイスの開発
  - MRI と EMG からの筋活動推定手法
  - 患者ロボットを用いた車椅子移乗動作の学習
  - ウェアラブルセンサを用いた看護動作評価のための多注意機構 Deep Recurrent Neural Network

(以下、原辰徳氏（東京大学大学院 工学系研究科 主幹研究員／慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科 特任准教授）との共同研究)

- 顧客の行動論理を包摂したサービスエコシステムデザイン手法

## 小型移動ロボットの開発とマニピュレーション計画

家庭環境や倉庫などの環境での物体の操作にロボットを用いると、人は多くの煩雑な作業から解放され、他の作業に従事することができる。しかし、狭い空間では、大型のロボットは使用できないため、小型ながらさまざまな作業が可能な小型移動ロボットが必要とされている。

本研究では、移動ロボット[1, 2]に受動関節を採用した機構を用いることで、ロボットと被操作物との間にモデル化の観点から理想的な拘束を実現し、対象物を操作する際のモデル化や制御の単純化を実現した。また、安定した物体操作には、ロボットが操作をおこなううえで十分な拘束力が発揮できるかを判断する必要がある。そのためには接触状態を正しく知る必要がある。開発した機構とそれによる単純な接触モデルにより、接触状態を容易に把握することができ、マニピュレーションの計画が容易になった。

さらに、本研究で対象とするような状況では、ロボットと操作対象、および環境との間で生じる接触が複雑に変化するため、マニピュレーションの計画が非常に難しい。そこで、本研究では階層的にマニピュレーションを計画する手法を提案した。ロボット、物体、環境間の接触の集合にもとづいて抽象的なモードを定義することで、モード間のシーケンスを先に決定したうえで、詳細な動きを決定するモーダルプランニングを提案、実現した[3]。提案手法では、マニピュレーションの安定性を確保するためにロボットの数を最初に決定し、対象物と環境間のモード遷移を決定する。さらに、事前に必要な拘束数を検討することで、モードの数とその遷移の組み合わせを減らすことができ、決定されたモードのシーケンスは、詳細な運動の探索により計画の際の指針として利用することができる。

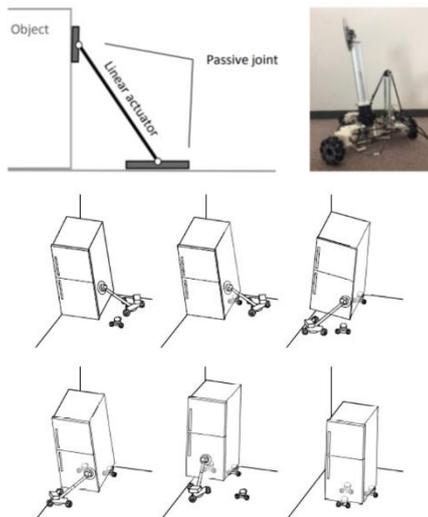


Fig. 1 開発したロボットと協調マニピュレーションの例

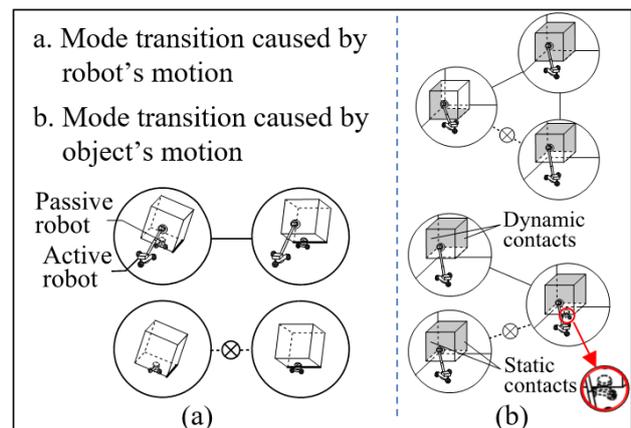


Fig. 2 モードの遷移にもとづくマニピュレーションの計画、また、遷移における制約

**Keywords:** 移動ロボット, 単純な接触モデル, マニピュレーション計画, モーダルプランニング

### References

- [1] S. Shirafuji, et al. Mechanism allowing large-force application by a mobile robot, and development of ARODA. *Robotics and Autonomous Systems*, 2018, 110: 92-101.
- [2] T. Ito, S. Shirafuji, J. Ota. Development of a Mobile Robot Capable of Tilting Heavy Objects and its Safe Placement with Respect to Target Objects. In *Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2018)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 12–15 December 2018; pp. 716–722.
- [3] C. Fan, S. Shirafuji, J. Ota. Modal Planning for Cooperative Non-Prehensile Manipulation by Mobile Robots. *Applied Sciences*, 2019, 9.3: 462.

## 運動情報を用いた物体と環境の接触状態推定

物体と周囲の環境との接触を上手に扱うことで人はさまざまな作業を遂行できる。例えば倉庫等における荷物の積み下ろし作業では、荷物を滑らせるなどの方法で単純に持ち上げるのと比較して力を節約した作業が可能となる。こうした環境を利用したマニピュレーションはロボットにとっても有用である。

不必要な力を加えることなくこうしたマニピュレーションを実現するには、操作対象物体と環境がどのように接触するか（接触している面や辺など）を知る必要がある。そのため物体を把持しているロボットの手先位置の変化などから、物体と環境との接触状態を推定することが重要となる。

本研究では未知形状物体と未知形状環境が接触する際の接触状態の推定手法を提案した。物体の運動情報から接触している面や辺を推定するアルゴリズムを提案し、モーションキャプチャを用いた実験によりその有用性を検証した。

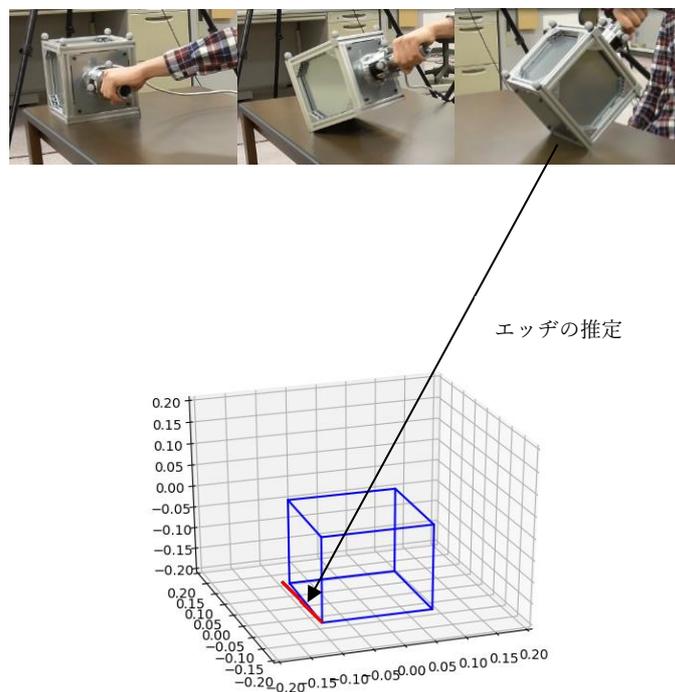


Fig. 1 実験と結果

**Keywords:** 接触状態推定, コンプライアントモーション, マニピュレーション

### References

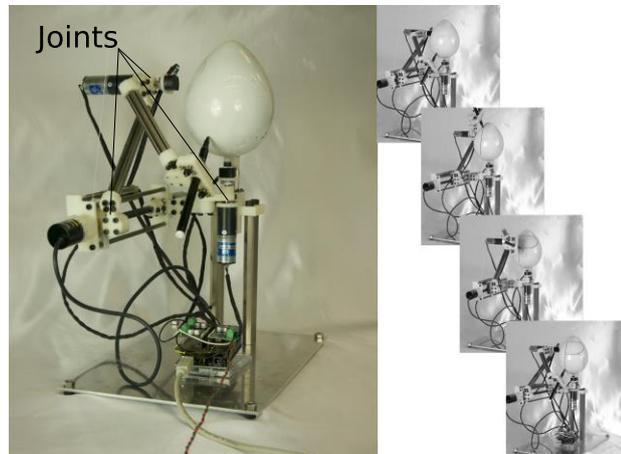
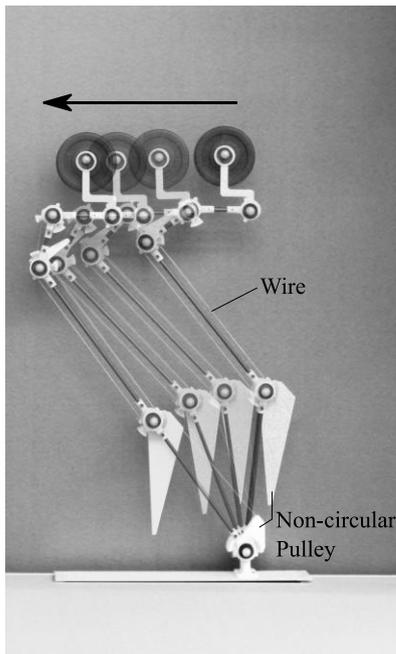
- [1] Ishikawa, S., Shirafuji, S. & Ota, J. (2019). Kinematics Analysis for Estimation of Contact Conditions in Teaching, Proceedings of the 2019 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Hiroshima, Japan, June 5-8, 2019

## 最適化によるタスクに応じた機構の設計手法

多くのロボット工学の研究では、与えられた機構をいかに制御し、目的の課題を達成するかに重点が置かれている。一方で、一部のロボットに課される課題は、制御ではなく、その機構そのものを工夫することで、問題を単純化する、または問題そのものを解決することが可能である。本研究では、与えられた課題に対して、適切な機構を運動学の観点から計算により求める方法を提案している。

その一つが、関節の間で生じる運動を、ワイヤとそのワイヤが通る経路を工夫することで拘束する手法である。拘束された関節のペアは、複雑な連動を見せる。本研究では、関節に固定された非円形プーリ（ワイヤの通る経路）の形状を目的の関節間連動に合わせて設計する手法を提案した[1]。その一つの応用が、Fig.1に示すロボットの脚機構である。非円形プーリで拘束された関節を組み合わせることで、このロボットは、制御することなく上体に加わる力を支えながら前方に進むことができる。

他にも、ロボットマニピュレータの関節の配置を、課題に合わせて計算により求める研究もおこなっている。これまでに、少ない数のアクチュエータで、目的の手先軌道を実現するマニピュレータの関節配置を最適化により求める手法を提案した[2]。目標軌道と実現される軌道との間の誤差を計算する手法を工夫することで、少ない計算量で関節配置を設計することが可能となった。Fig.2は、卵型の物体の表面に文字を描くという例題に対し、提案手法によって計算で求められた機構で、一般的なマニピュレータよりも少ない関節数で目的の課題を達成することができる。



**Figure 1.** 関節の非円形プーリによる拘束. **Figure 2.** 最小の関節数で複雑な局面に文字を描く機構.

**Keywords:** ロボット設計, 最適化, キネマティックシンセシス, ワイヤ, 非円形プーリ

### References

- [1] Shouhei Shirafuji, Shuhei Ikemoto, and Koh Hosoda: "Designing Non-circular Pulleys to Realize Target Motion between Two Joints," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol.22 no.1, pp.487-497, 2016.
- [2] Shouhei Shirafuji and Jun Ota: "Kinematic Synthesis of a Serial Robotic Manipulator by Using Generalized Differential Inverse Kinematics," IEEE Transactions on Robotics, vol.35 no.4, pp.1047-1054, 2019.

## 倉庫システムにおけるバッファ設計

バッファの設計は、倉庫システムの設計、最適化、管理において非常に重要な問題である。倉庫システムでは、ジョブの引き渡しのための一時的な保管場所としてバッファが使用される。バッファが過剰になるとシステムの冗長性が増し無駄なコストが発生する一方で、バッファが不足するとブロッキングが起き、生産効率は低下する。そのため、バッファは適切に設計されるべきである。しかしながら、倉庫システムでは、ジョブの流れは複雑で常に変動するため、モデル化もバッファ設計も非常に難しい。加えて、サービスディシプリン等の他の要因が、倉庫システムの分析難易度を高めている。

本研究の目的は、倉庫システムにおいて適切なバッファ更新位置を効率的に決定し、適切にバッファサイズを増加させることで、望ましいスループットを満たすことである。我々は、バッファを割り当て、倉庫システムのバッファ設計解を得るために、ボトルネックベースの可変近傍探索アルゴリズムを提案した。このアルゴリズムでは、バッファ設計解の有効性を効率的に評価するために、キューモジュールベースのスループット計算アプローチを提案する。数値例では提案アルゴリズムが倉庫システムのバッファ設計に効果的に適用できることが示された。将来的には、提案したバッファ設計アプローチを改良し、超大規模な倉庫システムへも適用することを目指している。

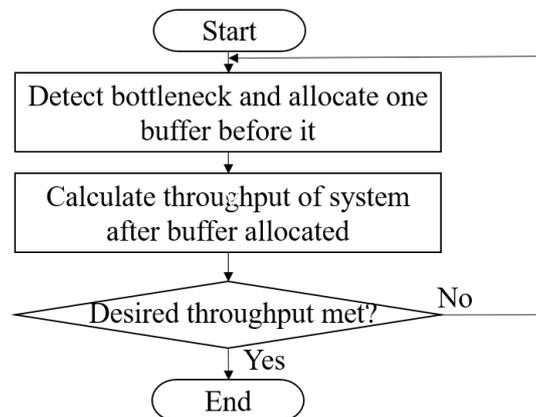


Fig. 1 提案アルゴリズムのフレームワーク

**Keywords:** バッファ設計, 倉庫システム, ボトルネック, 可変近傍探索

### References

- [1] Gao, S., Rubrico, J. I. U., Higashi, T., Kobayashi, T., Taneda, K., & Ota, J. (2019). Efficient Throughput Analysis of Production Lines Based on Modular Queues. *IEEE Access*, 7, 95314-95326.
- [2] Gao, S., Higashi, T., Kobayashi, T., Taneda, K., & Ota, J. (2018). Fast buffer size design of production lines for meeting the desired throughput, *Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2018)*, December 12-15, 2018, Kuala Lumpur, Malaysia, (pp. 1413-1418).
- [3] Schmidt, L. C., & Jackman, J. (2000). Modeling recirculating conveyors with blocking. *European Journal of Operational Research*, 124(2), 422-436.

## 外力に対するヒトの立位姿勢制御の筋骨格シミュレーション

ヒトは外力を受けた際、足首や腰の動きを使ってバランスを取る。足首のみの動きを使う場合 ankle strategy、腰の動きも動員される場合 hip strategy と呼ばれる。これら姿勢制御戦略は、外力の大きさによっても使われ方が変わるが、外力の大きさが同じであっても、個人間で使われ方が異なることが知られている。姿勢制御戦略をどのように使うかは、転倒を予測する等の指標として使われうるものである。しかしながら、個人間のいずれのパラメータの違いが、姿勢制御戦略の使われ方に影響してくるかは不明である。我々は、筋骨格モデルを用いた順動力学シミュレーションとヒトを対象とした実験を通して、これを調べている。

我々はまず、神経系コントローラモデルを用いて筋骨格モデル (Fig. 1) を立たせ、床面を様々な方向に動かした<sup>[1]</sup>。床面の移動に対して立位姿勢を維持させることに成功し、またその際の筋の反応の特徴は、先行研究におけるヒトの反応の特徴と一致した。これにより、これらのモデルが外力に対するヒトの姿勢制御シミュレーションに有用であることを確認した。そして、筋量・感覚ノイズ量・筋緊張の程度を変えながら、後方への床面移動に対する姿勢制御シミュレーションを行った<sup>[2]</sup>。結果、筋量や筋緊張が姿勢制御戦略に影響しうることを確認した (Fig. 2)。ヒトを対象とした実験でも、筋緊張が姿勢制御戦略に影響する傾向が確認されている<sup>[3]</sup>。

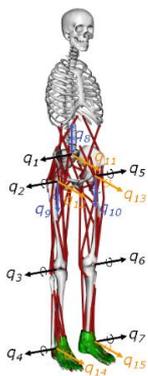


Fig. 1 筋骨格モデル

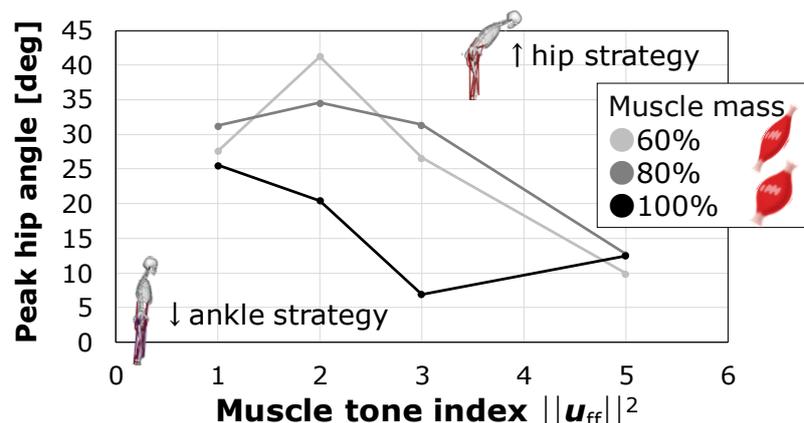


Fig. 2 筋緊張指標  $\|u_{ff}\|^2$  と姿勢制御戦略指標 peak hip angle の関係。筋緊張が大きいつき  $\|u_{ff}\|^2$  は大きく、姿勢制御戦略が hip strategy に近いとき peak hip angle は大きくなる。グラフが右肩下がりになっており、筋緊張が大きいつきに姿勢制御戦略が hip strategy に寄る結果となった。

**Keywords:** 姿勢制御戦略, 筋骨格モデル, 順動力学シミュレーション

### References

- [1] K. Kaminishi, P. Jiang, R. Chiba, K. Takakusaki, and J. Ota, "Postural control of a musculoskeletal model against multidirectional support surface translations," PLoS One, vol. 14, no. 3, p. e0212613, 2019.
- [2] K. Kaminishi, R. Chiba, K. Takakusaki, and J. Ota, "Investigation of the effect of tonus on the change in postural control strategy using musculoskeletal simulation," Gait & Posture, vol. 76, pp. 298-304, 2020.
- [3] 上西 康平, 千葉 龍介, 高草木 薫, 太田 順. 床面水平外乱時の筋緊張が姿勢制御戦略に及ぼす影響. 第32回自律分散システム・シンポジウム資料, HA6, 2020.

## 計算機モデルを用いたパーキンソン病患者の姿勢異常の表現

パーキンソン病(PD)は姿勢異常・運動機能障害等を伴う神経変性疾患である。高齢者の増加に伴う罹患者の増加が危惧されているが、その病理メカニズムの完全な解明には至っていない。そこで、メカニズム解明の方法論として、我々はPDの特徴である姿勢異常に着目し、PDの姿勢制御の計算機モデルの構築を目標としている。本研究[1]では、その初期段階として姿勢異常の計算機モデル上での表現を目的とする。

我々は、筋骨格モデル(Fig. 1)を直立立位姿勢(Fig. 2(A))で維持可能な神経系コントローラモデル(Fig. 3)を提案している[2]。筋骨格モデルは、頸部を含む17自由度94筋とすることで姿勢異常に必要な構成とする。神経系コントローラモデルは立位姿勢維持に必要な定常的な筋活動(筋緊張)を出力するフィードフォワード制御と、感覚入力に基づくフィードバック制御からなる。これらを用い、PDの異常姿勢(Fig. 2(B))を目標姿勢とする立位維持可能な神経系姿勢制御モデルのパラメータを最適化により求める。その結果、異常姿勢においても立位の維持に成功し、姿勢異常を計算機モデル上で表現可能であることを確認した。また、異常姿勢を目標姿勢とした場合、立位維持可能な筋緊張の値の増加が見られ、異常姿勢を呈することによって立位維持に必要な筋緊張が増加すると考えられる。

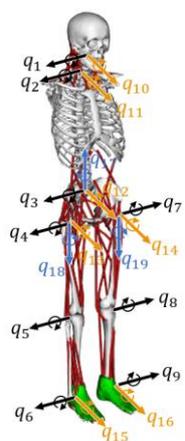
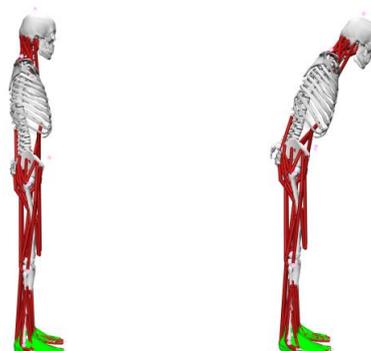


Fig. 1 筋骨格モデル



(A) 直立姿勢

(B) 異常姿勢

Fig. 2 目標姿勢

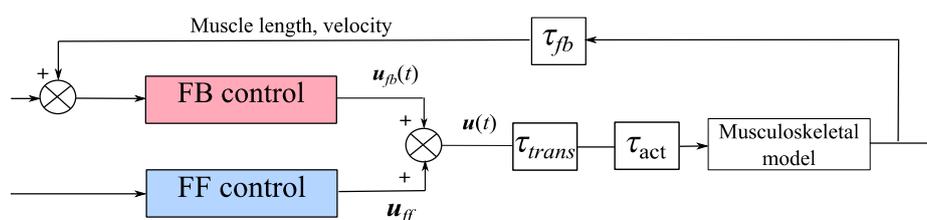


Fig. 3 神経系コントローラモデル.  $u_{fb}(t), u_{ff}, u(t)$ : フィードバック出力, フィードフォワード出力, 筋への出力,  $\tau_{fb}, \tau_{trans}, \tau_{act}$ : 神経回路における, 信号伝達, フィードバック, 筋活性による時間遅れ

**Keywords:** パーキンソン病, 姿勢制御モデル, 異常姿勢

### References

- [1] Y. Omura, K. Kaminishi, R. Chiba, K. Takakusaki, and J. Ota, "Representation of Abnormal Posture in Computational Model for Constructing Posture Control Model of Parkinson's Disease", 自律分散システムシンポジウム, Tokyo, Japan, Jan., 25-26, 2020
- [2] P. Jiang, R. Chiba, K. Takakusaki, and J. Ota, "Generation of the human biped stance by a neural controller able to compensate neurological time delay," PLoS One, vol. 11, no. 9, 2016.

## 手指関節角度計測のためのウェアラブルデバイスの開発

ウェアラブルデバイスによる手指の運動計測は、バーチャルリアリティ (VR) 技術や遠隔操作などを代表とするヒューマン・マシン・インターフェイス (HMI) やリハビリテーションなど様々な用途への利用が期待されている。しかし、現在主流である光ファイバや伝導性インクを用いたウェアラブルな計測には、センサの出力する角度が指の大きさや形状に依存してしまうという特徴がある。そのため、計測者が変わるたびに、指の実際の関節角度とセンサの出力を合わせるためのキャリブレーションの作業が必要不可欠だ。このキャリブレーションには時間がかかり、手に疾患を抱えた人は十分なキャリブレーションが行えないため計測の感度が悪くなるなどのデメリットがある。そこで我々は、指の大きさや形状に依存せず指の関節角度が計測できるウェアラブルデバイスの開発を目的として研究を進めている。

手法としては、指の上に一定の間隔で糸を重ねて張り、それぞれの糸の変位を計測することで関節角度を推定できる (Fig. 1)。それぞれの糸の関節部における回転半径の違いを利用することで、指の形状や大きさに依存せず関節角度を計測することが可能となる。糸の間にはソフトポリ塩化ビニル製のベルトを挟むことで、曲率の大きい指の曲げに対しても柔軟に曲がることができ、糸同士の間隔を一定に保っている。本手法の妥当性を示すため、シリアルリンク機構による指の屈曲伸展の運動を模したモデルを開発した (Fig. 2)。モデルの上に糸とベルトを張ることで実験をし、本手法により十分な精度で計測できることを示した。今後は、実験で得られた知見をもとにして装着可能なグローブ型のデバイスを開発する。

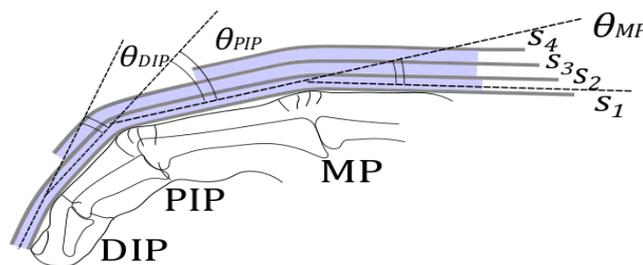


Fig. 1 指の関節に対する糸とベルトの配置。指の関節は先端から DIP 関節 (Distal Interphalangeal joint), PIP 関節 (Proximal Interphalangeal joint), MP 関節 (Metacarpophalangeal joint) と呼ぶことにする。4本の糸のうち、下から1, 2番目の糸を指の先端から、3番目の糸を DIP 関節と PIP 関節の間から、4番目の糸を PIP 関節と MP 関節の間から通すことにより各関節角度を同時に計測することができる。

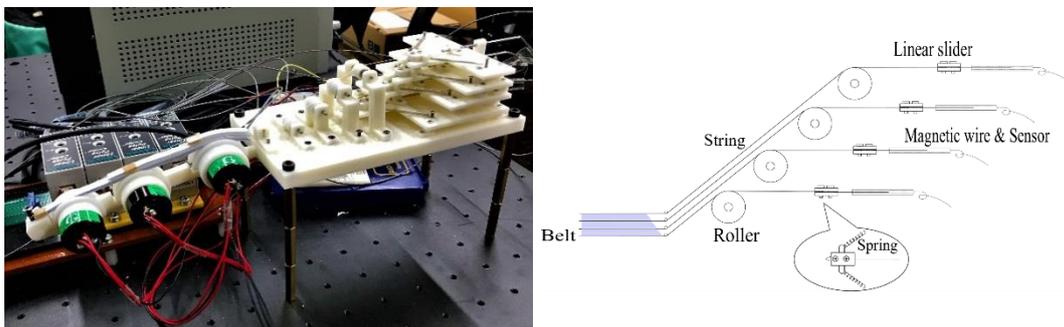


Fig. 2 (左図) 実験で使用したシリアルリンク機構の指のモデル。各関節にはポテンショメータを組み込み、関節角度の真値を計測した。(右図) 糸のセンサまでの経路。各糸はローラを経由し直動スライダにつながれている。直動スライダは糸と磁性体ワイヤを接続する役割を持っており、磁性体ワイヤの変位をセンサで計測する。

**Keywords:** データグローブ, ウェアラブルデバイス, 指関節角

## MRI と EMG からの筋活動推定手法

神経筋変性疾患の研究や、その治療におけるリハビリテーション療法の開発において、筋活動をモニタリングすることは、疾患の性質を理解し、治療による筋活動の変化をフィードバックするために重要である。また、疾患の結果として、身体構造や筋肉の動作に変化が現れることも珍しい。したがって、疾患の状態を十分に理解するためには、筋の形態と筋の活性化状態を同時に把握する重要である。筋の形態情報を取得する典型的な方法は、体内で起こっている解剖学的・生理学的現象を見るための画像診断技術である MRI (Magnetic Resonance Imaging) である。一方で、筋肉の状態に関する時間的な情報を取得するためには、表面筋電図 (sEMG) と呼ばれる筋肉の収縮による電位変化を読み取る方法が最も一般的な手法です。sEMG を用いた最新の手法では、運動単位レベルまでの筋活動を推定することが可能であるが、深部筋の活動の推定は未だに困難な課題である。

本研究では、MRI で得られた筋の形態情報と sEMG から得られた動的情報を融合させ、深層筋と表層筋の活動を直接推定する方法を提案した。この方法では、MRI 画像に含まれる形態情報を利用して導電体の電氣的ネットワークモデルを構築し、高密度の sEMG 電極を前腕に巻き付けて収集した筋電位信号から筋活動を推定する逆問題の解法を提案している。

この方法により、sEMG の時間分解能で筋活性化の推定を可能にし、診断時に臨床医へ提供する情報の品質を向上させることが可能になる。特に、提案した方法は、リハビリテーションの分野で重要な貢献ができると考えている。

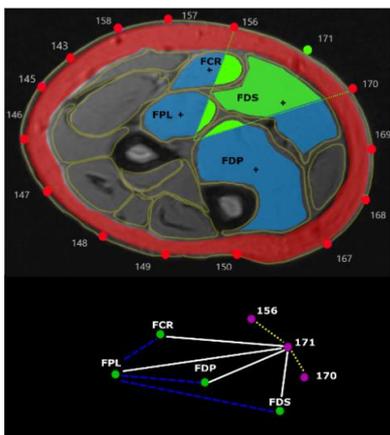


Fig. 1 MRI 画像から得られた回路網の例

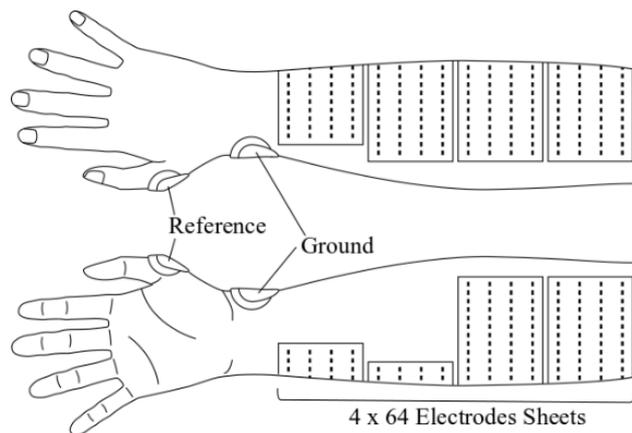


Fig. 2 sEMG 電極の配置

**Keywords:** 神経筋制御, 筋電図, MRI, 高密度 sEMG, ヒューマンマシンインターフェース

### References

- [1] Piovaneli, E., Piovesan, D., Shirafuji, S., & Ota, J. (2019). A Simple Method to Estimate Muscle Currents from HD-sEMG and MRI using Electrical Network and Graph Theory. In 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) (pp. 2657–2662).
- [2] Piovaneli, E., Piovesan, D., Shirafuji, S., & Ota, J. (2019). Estimating Deep Muscles Activation from High Density Surface EMG using Graph Theory. In 2019 IEEE 16th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR) (pp. 3–8).
- [3] Piovaneli, E., Piovesan, D., Shirafuji, S., Su, B., Yoshimura, N., Ogata, Y., & Ota, J. (2020). Towards a simplified estimation of muscle activation pattern from MRI and EMG using electrical network and graph theory. *Sensors (Switzerland)*, 20(3), 1–20.

## 患者ロボットを用いた車椅子移乗動作の学習

現在、病院での高齢者や患者の看護にあたっては、経験豊富な看護師が重要な役割を果たしている。多くの統計によると、学校での実習が不足しており看護学生が患者の看護経験を積む機会がほとんどない。実習不足への対処方法として、多くの研究者が教育用シミュレータを提案している。しかし、提案されているシミュレータのほとんどは単一タイプの患者しか再現できないため、多様な患者について学習することは難しい。また、学生の学習効果は測定されていない。そこで文献[1]では、看護学生が患者の移動能力を習得するために2種類の患者を模した患者ロボットを開発し、その学習効果を評価することを目的とした。患者の日常生活維持のために重要な動作であり看護師と患者の間の協力が必要な、車椅子移送スキルの改善を目標とした。看護学校の教員との議論に基づいて、「腕の負傷により痛みを感じている患者」「片麻痺患者」という患者を対象とした。前者は怪我による痛覚、後者は運動障害に関連している。看護学生の学習効果を観察するため、患者ロボットを開発し、看護学生を対象として、事前テスト、患者ロボットでの練習、事後テストからなる実験を行った。事前・事後テストにおける学生の動作を評価することで、提案システムの有効性を示した。また文献[2]においては、患者側に埋め込んだセンサ情報から、看護師のスキルの良し悪しを判断できる可能性を検討している。この結果より新しい患者ロボットシステムに役立てることが期待できる。

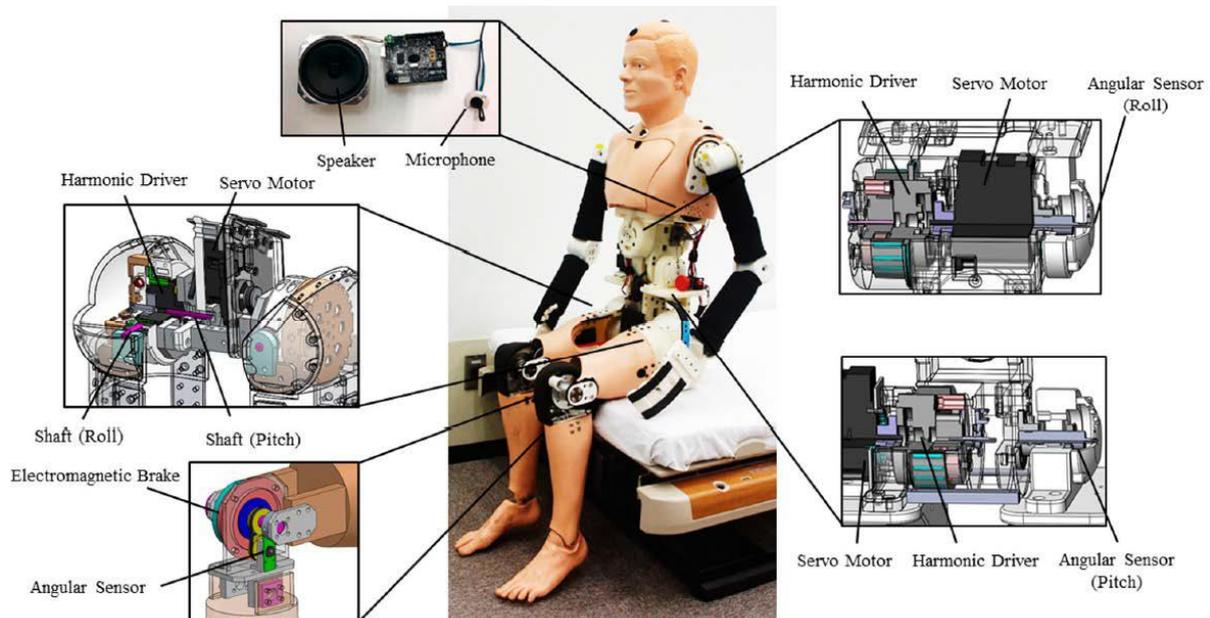


Fig. 1 患者ロボットの詳細

**Keywords:** 患者ロボット, 看護教育, 機械設計

### References

- [1] Lin, Chingszu, Huang, Zhifeng, Kanai-Pak, Masako, Maeda, Jukai, Kitajima, Yasuko, Nakamura, Mitsuhiro, Kuwahara, Noriaki, Ogata, Taiki, & Ota, Jun. (2019). Effect of practice on similar and dissimilar skills in patient transfer through training with a robot patient. *Advanced Robotics*, 33(6), 278-292. doi: 10.1080/01691864.2019.1578689.
- [2] Lin, Chingszu, Ogata, Taiki, Kanai-Pak, Masako, Maeda, Jukai, Kitajima, Yasuko, Nakamura, Mitsuhiro, Kuwahara, Noriaki & Ota, Jun. (2018). Translational acceleration, rotational speed, and joint angle of patients related to correct/incorrect methods of transfer skills by nurses. *Sensors*, 18(9), 2975, 1-28. doi:10.3390/s18092975.

## ウェアラブルセンサを用いた看護動作評価のための 多注意機構 Deep Recurrent Neural Network

科学技術の進展により、医療機関では高度で複雑な治療・処置が行われるようになっており、看護師には高度で的確な看護動作スキルの習得が望まれている。現状の看護基礎教育カリキュラムでは、学生が基礎的知識を習得する時間が限られているため、学生が看護動作スキルを自習できるシステム構築が望まれる。ここでは、看護学生の看護動作に対する評価システム構築を目指す。その第一ステップとして、学生が看護ケア遂行時に正しい看護動作を行った場合と誤った看護動作を行った場合を識別する機能実現を目的とする。この実現のための認識アルゴリズムにおいては、正しい動作と誤った動作の差が大きいいためそれらの微妙な差異を高精度に識別する必要がある。さらには拡張性の観点からできるだけアルゴリズム適用時のパラメータチューニングの手間を減らす必要がある。

上記の要件を満たすために、リカレントニューラルネットワークベースのアーキテクチャに注意メカニズムを適用した多注意機構 (Multi-Attention) Deep Recurrent Neural Network (MA-DRNN) を提案した (Figure 1)。提案手法の有効性を検証するために、患者移乗スキルにおける二種類の動作 (立ち上がり動作と旋回動作) とを対象とした。これらの動作識別を遂行するために正しい動作と誤った動作をとった際にデータサンプルを収集し、学習と評価を行った。結果として、提案された手法により約 96% の認識精度を達成したことを示した。これは、従来提案されてきたウェアラブルセンサベースの認識方法より優れており、提案手法の有効性を示せた。

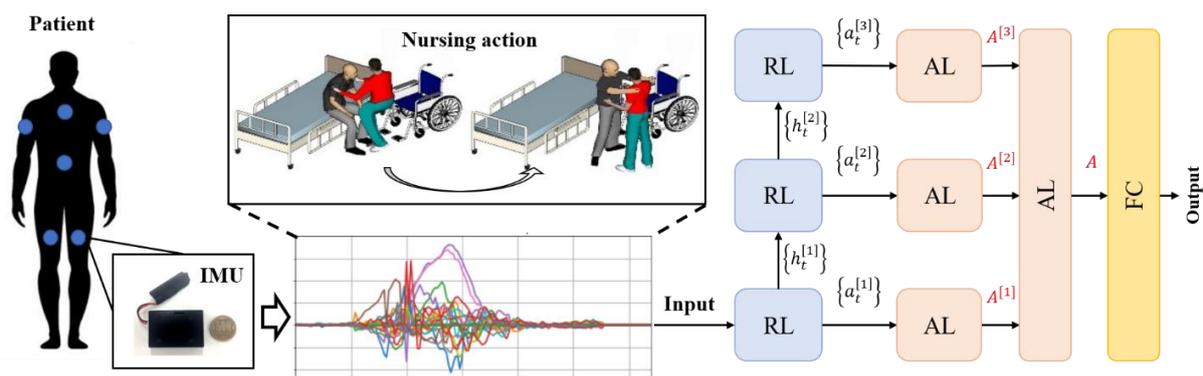


Fig.1 Nursing 看護動作評価システム: 患者の各部位に 6 つの IMU センサを装着することで患者動作を計測できる。提案認識モデル MA-DRNN において、RL はリカレントレイヤーを、AL は注意レイヤを、FC は全結合レイヤを、それぞれ表している。

**Keywords:** 看護スキル評価, fine-grained action recognition (きめ細かい動作認識), リカレントニューラルネットワーク, 注意機構

### References

- [1] Zhong, Z., Lin, C., Ogata, T., & Ota, J. (2020, March). Multi-attention deep recurrent neural network for nursing action evaluation using wearable sensor. In Proceedings of the 25th International Conference on Intelligent User Interfaces (pp. 546-550).

## 顧客の行動論理を包摂したサービスエコシステムデザイン手法

顧客の逸脱行動は、サービス提供者の労働量増加、疲弊につながり得る。しかし、サービスエコシステムデザインの分野で、顧客の逸脱行動を未然に防ぐためのデザイン手法の研究は少ない。本研究では、顧客の逸脱行動がサービスエコシステムの他のアクタに与える影響を分析するデザイン手法を提案した。

顧客の逸脱行動の発生度合いを分析するため、ゴール指向モデリング手法である i\* に顧客の行動論理を組み込んだ。構築されたサービスエコシステムのモデルに、ゴール指向解析手法である GRL を適用することで、顧客逸脱行動による各アクタへの影響を定量評価した。顧客の行動論理による逸脱行動への影響度合いは、アンケート結果から共分散構造分析により算出された。

宅配サービスエコシステムにおける事例研究を通して、本デザイン手法が顧客の逸脱行動による他のアクタへの影響を分析できることを示したと共に、顧客の逸脱行動の発生率軽減、サービス提供者の労働量軽減に寄与する可能性が示唆された。

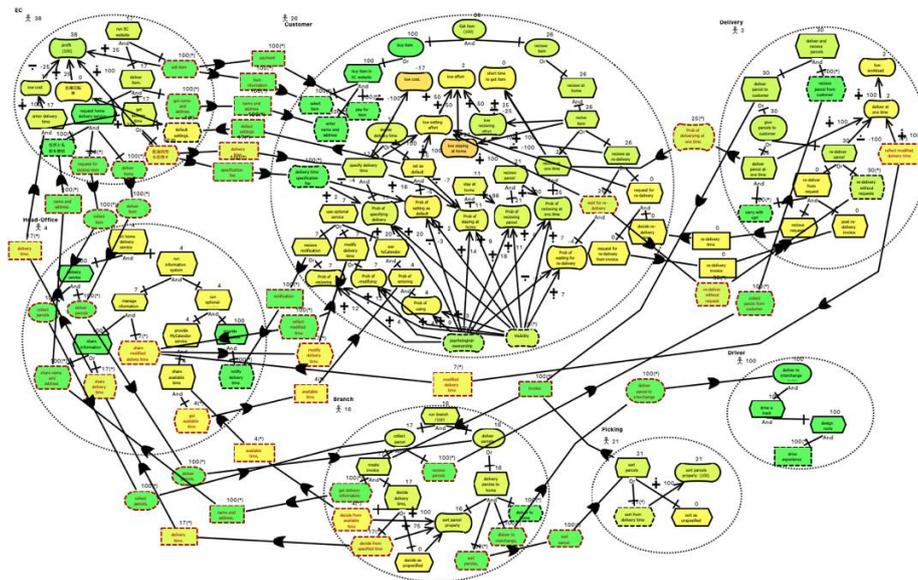


Fig.1 Analysis results about the effects of behavioral logics on each actor's goal by GRL

**Keywords:** サービス設計, サービスエコシステム, 行動論理, Dysfunctional Customer Behavior

### References

- [1] Masafumi Hamano, Bach Q. Ho, Tatsunori Hara, Jun Ota: Service Ecosystem Design Using Social Modeling to Incorporate Customers' Behavioral Logic, Serviceology for Services (7th International Conference, ICServ 2020), T. Takenaka et al (Eds.), CCIS 1189, pp.217-234, Springer, 2020
- [2] 濱野雅史, ホーバック, 原辰徳, 太田順: 宅配サービスの利便性が顧客心理と行動にもたらす影響の分析, サービス学会第 7 回国内大会予稿集, B-12-04, 2019.
- [3] Bach Q. Ho, Yuna Murae, Tatsunori Hara and Yukihiro Okada: Consumer Experience as Suppliers on Value Co-Creation Behavior. Journal of Serviceology, Vol.4, No.1, pp.1-7, 2019.
- [4] Yuna Murae, Bach Q. Ho, Tatsunori Hara, Yukihiro Okada: Two Aspects of Customer Participation Behaviors and the Different Effects in Service Delivery: Evidence from Home Delivery Services. Journal of Marketing Development and Competitiveness, Journal of Marketing Development and Competitiveness, Vol.13, No.1, pp.45-58, 2019.