

2021 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, Enrico Piovanelli, 高御堂 良太
博士課程学生	井上 麗子, 李 冬冬, 田村 佳宏, 曾 帆, 尾村 優一郎
修士課程学生	後藤 広樹, 鈴木 暖, 金 棟植, 盧 佳希, 江藤 人拓, 清水 智壮
学部 4 年生	栗原 怜也, 出分 康太郎, 今村 知美
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、最適化工学、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
- ハンドアイカメラを用いたロボットキャリブレーションにおける計測ポーズの最適化
- 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
- 前庭脊髄路を考慮した神経系コントローラによる ヒトの姿勢制御のモデル化
- ヒトの歩行における筋緊張を考慮可能な神経筋骨格モデルの提案
- 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
- スマートフォンを用いたユーザの状態推定

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。

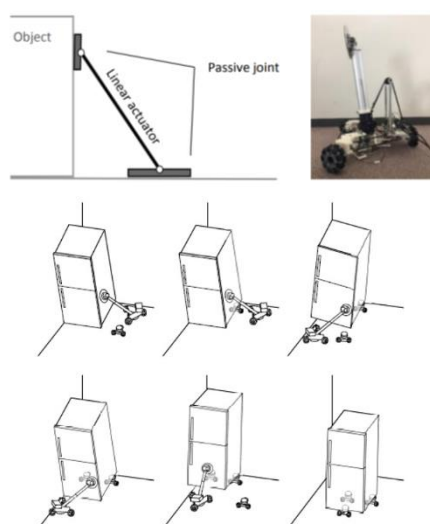


Fig. 1 開発したロボットと協調マニピュレーションの例

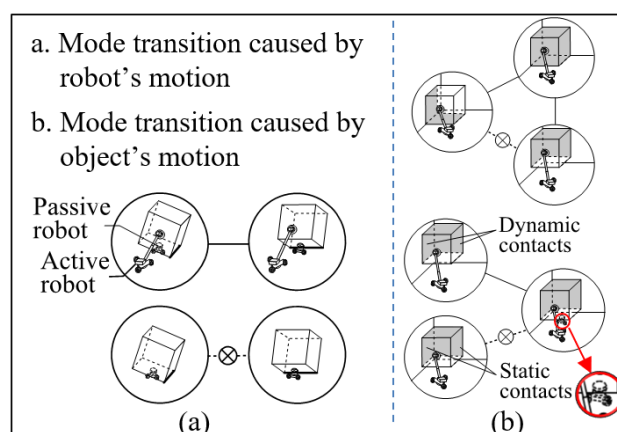


Fig. 2 モードの遷移にもとづくマニピュレーションの計画、また、遷移における制約

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．

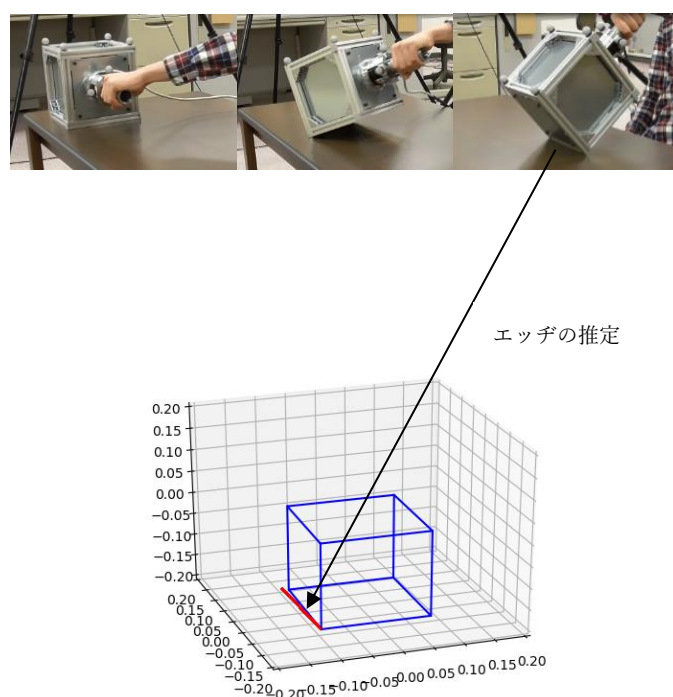


Fig. 1 実験と結果

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] Seiya Ishikawa, Shouhei Shirafuji, and Jun Ota: "Objective Functions of Principal Contact Estimation from Motion Based on the Geometrical Singular Condition," Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Las Vegas, NV, USA (Virtual), pp.9465-9471, October, 2020.
- [2] 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

ハンドアイカメラを用いたロボットキャリブレーションにおける計測ポーズの最適化

ロボットを制御する際の運動学モデルは、リンク長や関節のオフセットといった運動学パラメータをもとに構築される。しかし、運動学パラメータはロボットの加工・組立のバラつきや熱膨張といった要因により誤差が生じるため、運動学モデルにも誤差が生じ正確な運動ができなくなってしまう。そこで運動学パラメータの補正、すなわちロボットキャリブレーションが必要となる。従来のロボットキャリブレーションではレーザートラッカーなどの高精度で大掛かりな計測装置が用いられていたが、近年では簡便に計測するためにロボット手先のハンドアイカメラを用いる手法が注目を集めている。しかしながら、カメラの計測精度は比較的低く、キャリブレーションの精度も低下してしまう。つまり、カメラ計測の簡便さと精度はトレードオフの関係にある。

一方で、ロボットキャリブレーションの精度は計測ポーズに依存する、すなわちロボットにどのようなポーズを取らせて計測するかによって変わるということも報告されている。この点に関しては、計測ポーズと運動学パラメータの関係を感度解析することにより、一定の制約化で計測ポーズを最適化している研究がある。しかし、この手法はハンドアイカメラを用いたロボットキャリブレーションに対してそのまま適用することはできない。なぜなら、ハンドアイカメラによる計測ではキャリブレーションマーカを撮影できなければならず、マーカの設定場所に応じてロボット手先の制約も変化するためである。

以上の背景から、ハンドアイカメラを用いたロボットキャリブレーションにおいて高精度を達成するため、我々はハンドアイカメラによる制約を考慮した計測ポーズの最適化手法を提案する。提案手法のアプローチは、カメラ・マーカ間の相対ポーズを固定するという制約下で、運動学パラメータの推定誤差を最小化するようにマーカの設定場所およびロボットの計測ポーズを最適化するというものである。

シミュレーションによる検証の結果、Fig. 1 のように最適化された計測ポーズが得られ、キャリブレーション精度の向上が確認された。今後は、カメラ・マーカ間の相対ポーズを最適化することにより更なる精度向上を目指す。

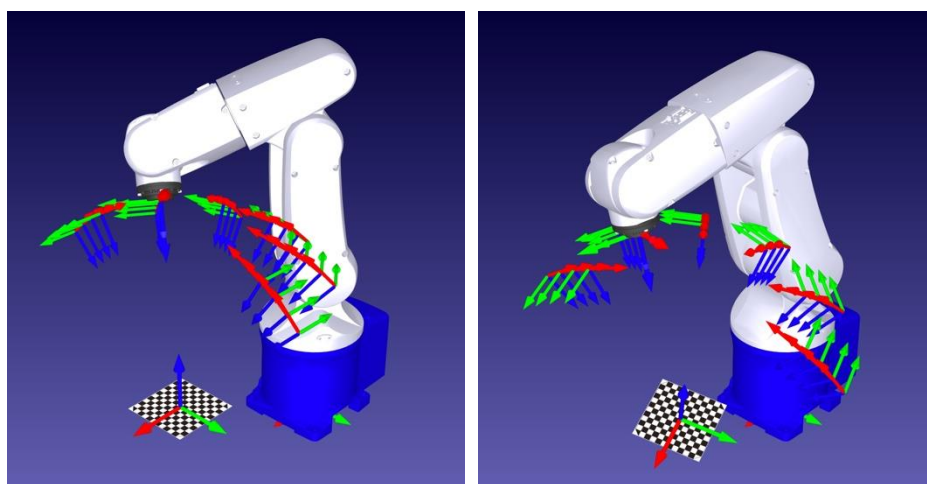


Fig. 1 (左図) 初期計測ポーズ. (右図) 最適化された計測ポーズ.

Keywords: ロボットキャリブレーション, 最適化, ハンドアイカメラ, 絶対位置決め精度

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、問題を簡単化する、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、関節の間に生じる運動を、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。

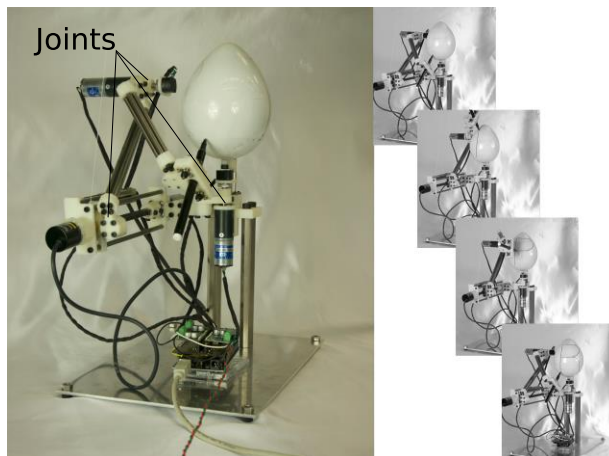
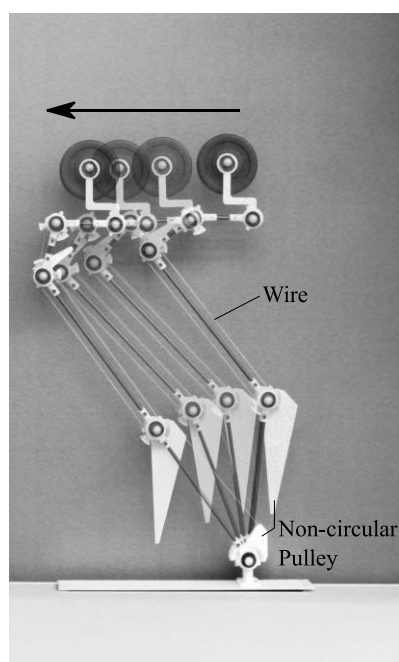


Figure 1. 関節の非円形プーリによる拘束. **Figure 2.** 最小の関節数で複雑な局面に文字を描く機構.

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ている (Fig. 1)。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している。Fig. 2 に示すような対象に対する数値実験により、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 (文献[1], [2], [3])。将来的には、提案したバッファ設計アプローチを改良し、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。

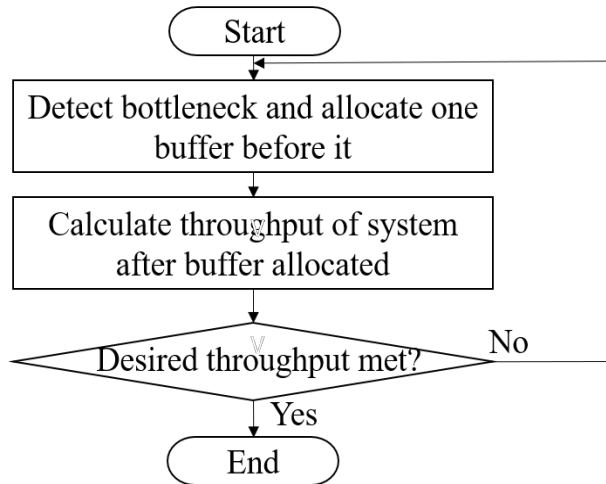


Fig. 1 提案アルゴリズムのフレームワーク

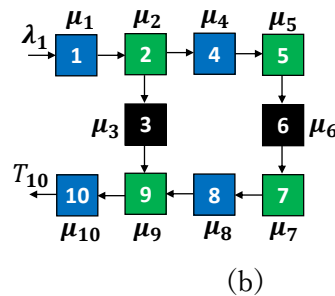
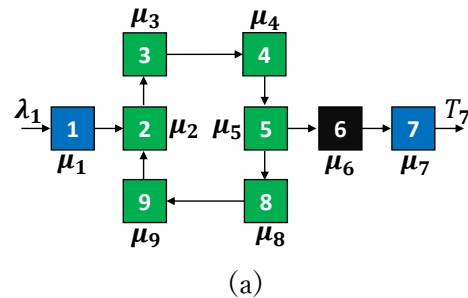


Fig.2 解く対象の例

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, Sixiao, Higashi, Toshimitsu, Kobayashi, Toyokazu, Taneda, Kosuke, & Ota, Jun. (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.
- [2] Gao, Sixiao, Rubrico, Jose, I.U., Higashi, Toshimitsu, Kobayashi, Toyokazu, Taneda, Kosuke, & Ota, Jun. (2019). Efficient throughput analysis of production lines based on modular queues. IEEE Access 7, 95302-95314, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2928309.
- [3] Gao, Sixiao, Higashi, Toshimitsu, Kobayashi, Toyokazu, Taneda, Kosuke, Rubrico, Jose, I.U., & Ota, Jun. (2020). Buffer allocation via bottleneck-based variable neighborhood search. Applied Sciences, 10(23), 8569, 1-22. doi:10.3390/app10238569.

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。我々は、生理学的知見に基づいて立位姿勢制御のための神経系コントローラモデルを構築し、それを用いて筋骨格モデルを制御することで、その機序を調べている。これまでに我々は、様々な方向への外力が与えられても、筋骨格モデルの立位姿勢を維持できるような、神経系コントローラモデルを提案した[1]。この神経系コントローラモデルを用いて、外力に対する反応について調べている。例えば、筋緊張と姿勢制御戦略との関係を調べたものが[2]である。ここでは、筋緊張が大きくなるほど、腰の動きよりも足首の動きを中心として、立位姿勢の維持がなされる可能性が示された。

現在我々が注目しているのは、外力が与えられ、身体が揺れたときの、腕の動きである。腕は、振ってバランスを取る、手すり等を掴む、頭部を守る等、様々な目的のために動かされる。そのため、実験的に観察した腕の動きが、何を目的として発生したのか、切り分けることは難しい。我々の筋骨格シミュレーションでは、こうした目的の切り分けが容易であり、腕の動きを研究するために有用である。腕の有る筋骨格モデルと腕の無い筋骨格モデルを立たせ、外力を与えたときの重心の動きの軌跡を示したのが、Fig. 1 である[3]。ここでは腕自体の制御はしていないものの、腕が存在するだけで身体の揺れが小さくなることが示された。これは立位姿勢を維持するための腕の役割の重要性を示すものである。

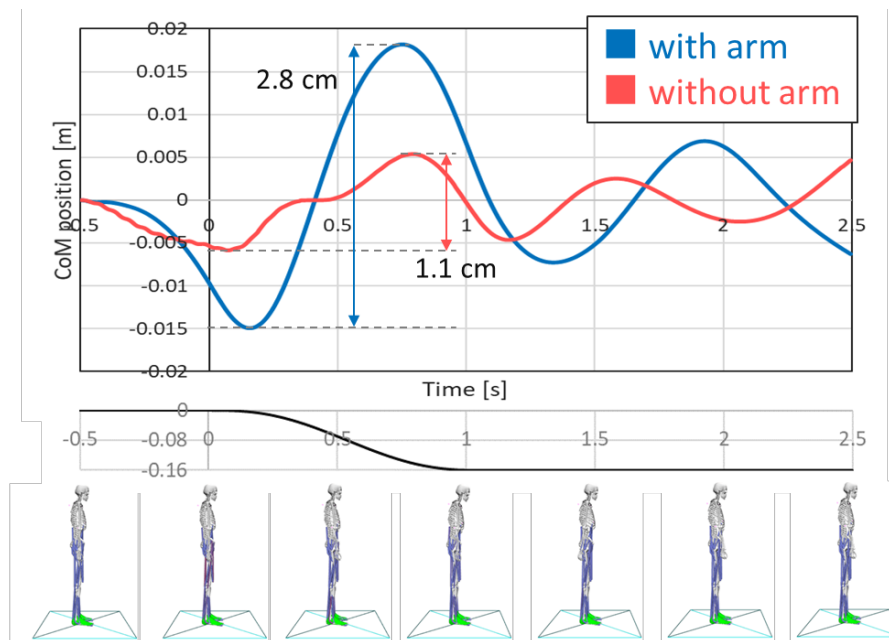


Figure 1. 腕の有る/無い筋骨格モデルに外力を与えた際の前後方向の重心動揺。

Keywords: 姿勢制御, 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, & J. Ota. (2019). Postural control of a musculoskeletal model against multidirectional support surface translations. PLoS ONE, 14.(3): e0212613. doi: 10.1371/journal.pone.0212613.
- [2] K. Kaminishi, R. Chiba, K. Takakusaki, & J. Ota. (2020). Investigation of the effect of tonus on the change in postural control strategy using musculoskeletal simulation. Gait & Posture, 76, 298-304, doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.12.015.
- [3] 上西 康平, 千葉 龍介, 高草木 薫, 太田 順. (2020). 外力に対する立位姿勢維持における腕の役割を理解するための筋骨格シミュレーション. 第 38 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, RSJ2020AC1H3-04, (pp. 1-2), オンライン, 2020 年 10 月 9 日~11 日.

前庭脊髄路を考慮した神経系コントローラによる ヒトの姿勢制御のモデル化

ヒトは常に立位を維持するために必要な身体の制御である，姿勢制御を行っている．そのため，加齢や疾患によって姿勢制御が障害されると生活が大きく制限される．このような生活の制限を緩和するためには，姿勢制御のメカニズムを解明することが重要である．立位姿勢制御は様々な神経の経路によって信号が伝達されることで達成されている．動物による実験などから，立位姿勢制御には身体の固さ（筋緊張）を調節する網様体脊髄路，身体を垂直に保つ前庭脊髄路と呼ばれる経路が大きな役割を果たしていることが分かっている．しかし，これらの経路がヒトの姿勢制御において果たす役割は，詳細には未だ明らかになっていない．そこで我々は，これらに着目して計算機モデルを構築することで，ヒトの姿勢制御のメカニズム解明を目指している．

我々は，筋骨格モデルと網様体脊髄路・前庭脊髄路を模した制御を含む神経系コントローラからなる計算機モデルを構築した (Fig.1)．数理モデルの妥当性をヒトの実験結果と比較することで検証し，特に前庭脊髄路が姿勢制御において果たす役割の調査を行った．その結果，前庭脊髄路を模した制御により，筋骨格モデルがより低い筋緊張で立位可能であることが確認された．また，前庭脊髄路を模した制御がない場合は姿勢の揺れが大きくなることが確認された (Fig.2)．このことから，前庭脊髄路が低い筋緊張での安定した立位を可能にすること，前庭脊髄路の障害が姿勢動揺の増加に関係していることが示唆された[1]．

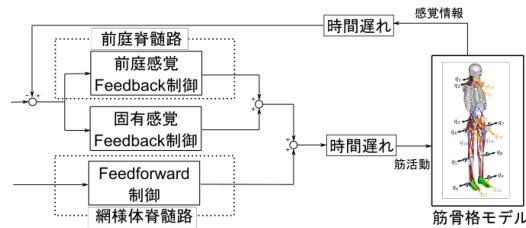


Figure 1. 神経系コントローラモデル．図中赤色部が前庭脊髄路を模した制御，FF 制御が網様体脊髄路を模した制御である． K_{ves}, K_p, K_d は頭部運動情報・筋の伸展速度・筋の長さに対する FB ゲインである． $u_{fb}(t), u_{ff}$ は FB 出力・FF 出力である． $\tau_{fb}, \tau_{trans}, \tau_{act}$ は神経回路における信号伝達・FB・筋活性による時間遅れである

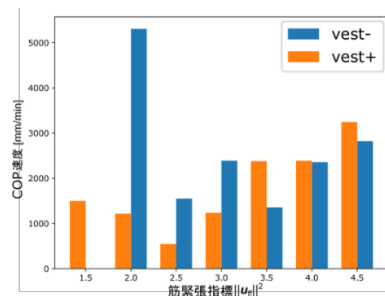


Figure 2. 各筋緊張・前庭脊髄路の有無における COP 速度．青色が前庭脊髄路なし，橙色が前庭脊髄路ありの条件のときの結果を示す．

Keywords: Posture control, Vestibulospinal tract, Muscle tone

References

- [1] 尾村 優一郎, 上西 康平, 千葉 龍介, 高草木 薫, 太田 順, “前庭脊髄路を考慮した神経系コントローラによるヒトの姿勢制御のモデル化”, 第 33 回自律分散システム・シンポジウム, オンライン, 2021 年 3 月

ヒトの歩行における筋緊張を考慮可能な神経筋骨格モデルの提案

高齢社会において、ヒトの歩行に関する課題解決の重要性が高まっている。その課題の 1 つに歩行と筋緊張の関係に問題があるものがある。そこで、本研究ではヒトの歩行において筋緊張の変化による運動変化を計算機上で表現・評価可能な脳神経筋骨格モデルを提案する。本数理モデルは 70 筋を有する筋骨格モデルおよび筋緊張を表現可能な神経系コントローラモデルを用いる。当該モデルの妥当性を判断する仮説として、高い筋緊張のとき歩行維持困難になり歩幅狭小化が生じると設定した。

1470 個に上るパラメータを、筋緊張を変化させた各試行それぞれに 3 日程度時間を用いて最適化（10 コアのプロセッサ 2 つの計算機使用）を行った結果、高い筋緊張の条件では歩行維持時間が短くなり、歩幅は被験者実験の値と比較して不自然に小さな値となった。したがって、高い筋緊張のときに歩行維持困難および歩幅狭小化という当該モデルの妥当性判断に用いるとしていた仮説は立証された。また他にも膝関節の角度・足圧中心の移動距離・足の接地回数・前方への足の振り出す距離・各歩行の規則性や周期性・足圧の二峰性においても変化の傾向を評価し不自然でないことを確認した。以上のことから、本研究で提案した歩行制御の脳神経筋骨格モデルは適切であったと結論付けた。

今後は、立位と歩行を切り替える歩き出しに関して数理モデルを拡張し、立位・歩き出し・歩行をシームレスにかつ統一的に検証可能な数理モデルを提案する。

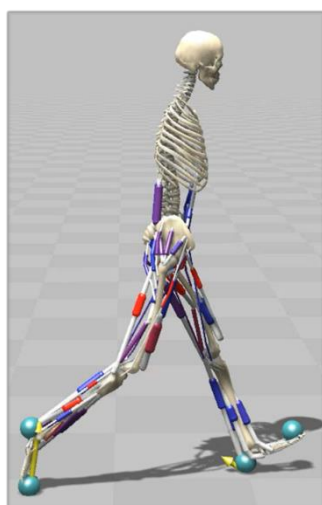


Figure 1. 筋骨格モデル.

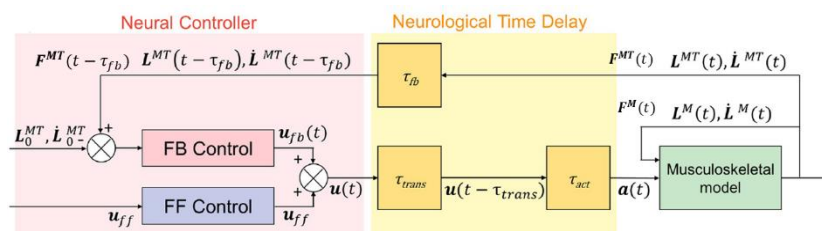


Figure 2. 神経系コントローラモデル.

Muscle Tension	Walking Maintenance Time(s)	Pace(m)
1	5.00	0.648
5	5.00	0.806
10	4.94	0.514
20	1.30	

Figure 3. 歩行の計算機シミュレーションの結果

Keywords: 歩行制御, 筋骨格モデル, 神経系コントローラ, 順動力学シミュレーション, SCONE

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。

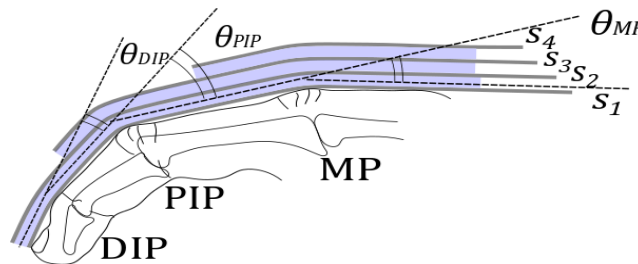


Fig. 1 指の関節に対する糸とベルトの配置。指の関節は先端から DIP 関節 (Distal Interphalangeal joint), PIP 関節 (Proximal Interphalangeal joint), MP 関節 (Metacarpophalangeal joint) と呼ぶことにする。4 本の糸のうち、下から 1, 2 番目の糸を指の先端から、3 番目の糸を DIP 関節と PIP 関節の間から、4 番目の糸を PIP 関節と MP 関節の間から通すことにより各関節角度を同時に計測することができる。

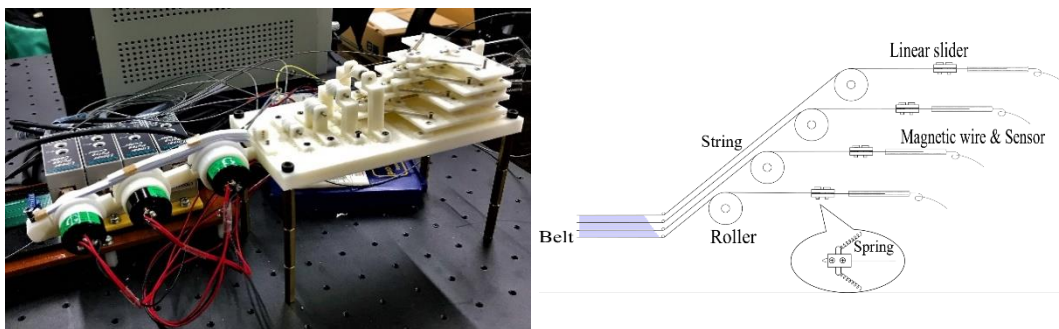


Fig. 2 (左図) 実験で使用したシリアルリンク機構の指のモデル。各関節にはポテンショメータを組み込み、関節角度の真値を計測した。(右図) 糸のセンサまでの経路。各糸はローラを経由し直動スライダにつながれている。直動スライダは糸と磁性体ワイヤを接続する役割を持っており、磁性体ワイヤの変位をセンサで計測する。

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くない。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。

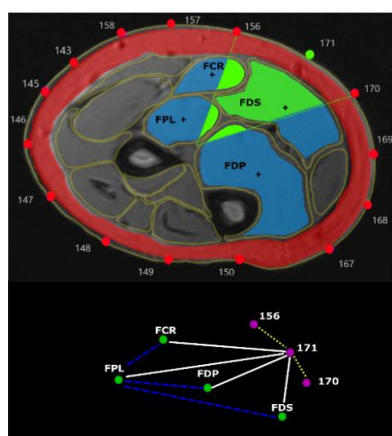


Fig. 1 MRI 画像から得られた回路網の例

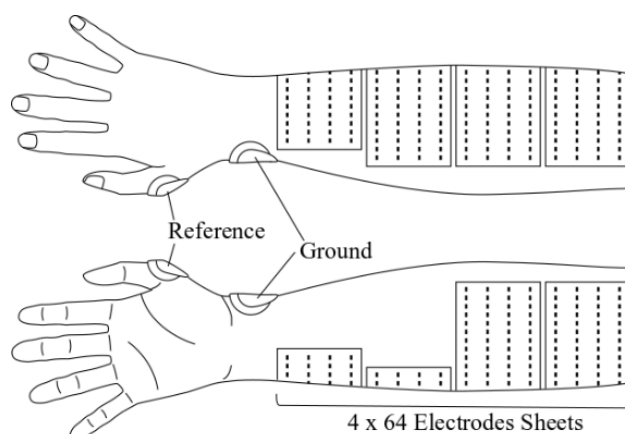


Fig. 2 sEMG 電極の配置

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

近年、看護師が看護動作を習得するトレーニングツール開発の必要性が増大している。本研究では、身体負荷を伴う看護師の看護教育に利用できる患者ロボットの開発を目指している。当該ロボットを用いて看護学生が車椅子移乗動作を行い、その際にロボットから得られる情報を用いることで、看護学生の、移乗過程における適正な動作個所、改良が必要な動作個所を自動判断できるシステム作りを目指している。文献[1]では、看護師がロボット患者に対して車椅子移乗動作を遂行した際に、人間を相手に行った時と差異がないかどうかを検証した。ロボットから得る運動情報として、ロボット腰部の並進加速度、胸部の回転速度、肩・腰・膝の関節角度を設定し、これらのパラメータを計測するために、ロボット患者に慣性計測ユニット（IMU）と角度位置センサを取り付けた。その結果、ほとんどの移乗過程において、模擬患者とロボット患者は同じ効果を得ることができ、ロボット患者が実際の患者の代わりとして適していることを示した。文献[2]においては、コンプライアントユニットを備えた能動関節から構成される下肢を有するロボットを開発した。患者の座位から立位への変更する際に、看護師がそれを支援する看護ケアを対象として、患者の動きを再現する患者ロボットの制御法を提案している。これを用いて看護師が正しい動作を行った場合と誤った動作を行った場合を比較した際に、ロボットに加わるトルクとロボットが発生するトルクに違いが生じることを明らかにした。この結果当該ロボットが車椅子移乗動作の学習システムとして利用できる可能性を示した。

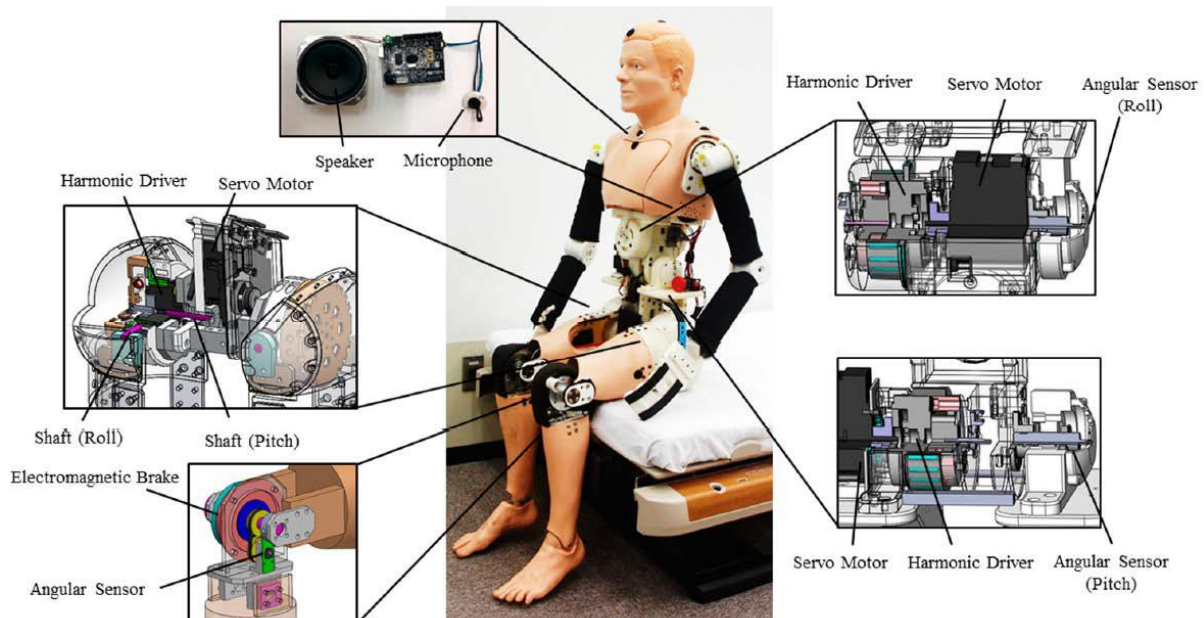


Fig. 1 患者ロボットの詳細

Keywords: 患者ロボット, 看護教育, 機械設計

References

- [1] Lin, Chingszu, Zhong, Zhihang, Kanai-Pak, Masako, Maeda, Jukai, Kitajima, Yasuko, Nakamura, Mitsuhiro, Kuwahara, Noriaki, Ogata, Taiki, & Ota, Jun. (2020). Development and validation of robot patient equipped with an inertial measurement unit and angular position sensors to evaluate transfer skills of nurses. *Int J of Soc Robotics*. <https://doi.org/10.1007/s12369-020-00673-6>.
- [2] Lin, Chingszu, Ogata, Taiki, Zhong, Zhihang, Kanai-Pak, Masako, Maeda, Jukai, Kitajima, Yasuko, Nakamura, Mitsuhiro, Kuwahara, Noriaki, & Ota, Jun. (2021). Development of robot patient lower limbs to reproduce the sit-to-stand movement with correct and incorrect applications of transfer skills by nurses. *Applied Sciences*, 11(6), 2872, 1-24. doi:10.3390/app11062872.

スマートフォンを用いたユーザの状態推定

ストレスチェックが義務化される等、近年メンタルヘルスケアへの関心は高まっている。人の状態を把握するために、アンケートが広く使われてきた。しかし、アンケートを頻繁にとることは、煩雑であり、負担が大きい。そのため我々は、日常的に使っているスマートフォンの利用パターンから、ユーザの状態を推定することを目指している。スマートフォンには様々なセンサが組み込まれており、パッシブセンシング手段として有用である。また、スマートフォンが非常に広く普及していることは言うまでもない。この推定を実現することで、人々のセルフケアを促し、日々の精神健康を見守ることができると期待される。

推定プロセスの例を Fig. 1 に示す。実験参加者に定期的にアンケートに答えてもらい、同時にスマートフォンの利用に関するデータを取得する。アンケートスコアの変動に応じてデータにラベリングを行い、正解データとする。スマートフォンログから、日単位・週単位の特徴量を計算する。それら正解データと特徴量を元に、教師あり学習を行い、スマートフォンログからアンケートスコアの変動を推定するモデルを作成する。

これまでに、The Positive and negative Affect Scales, Flourishing Scale, The Subjective Well-being Inventory といった、QOL・Well-being に関するアンケートのスコア変動を推定することに成功している[1]。特にスマートフォンを頻繁に使うユーザに対しては、80%を超える精度で、1週間前と比較してアンケートスコアが増加したか・減少したかを推定できている。また、アンケートではなく、ストレスと関連する心拍数変動指標である LF/HF を対象とした推定モデルの作成も行っている[2]。

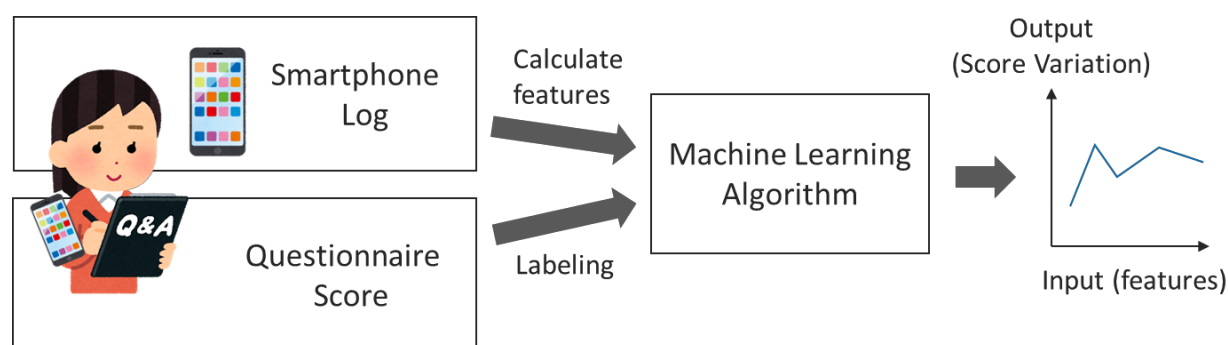


Figure 1. スマートフォンログからユーザの状態を推定するプロセス。

Keywords: メンタルヘルスケア, スマートフォン, 機械学習

References

- [1] 姚 文昊, 上西 康平, 山本 直樹, 濱谷 尚志, 山田 祐樹, 河田 隆弘, 檜山 聡, 沖村 宰, 寺澤 悠理, 前田 貴記, 太田 順. (2021). メンタルヘルスケアに向けたスマートフォンログデータによる QOL 及び Well-being の推定, 情報処理学会研究報告, 2021-MBL-98 (14) (pp. 1-7), オンライン, 2021 年 3 月 1~2 日.
- [2] 霧生 和樹, 上西 康平, 山本 直樹, 濱谷 尚志, 落合 桂一, 深澤 佑介, 木本 勝敏, 沖村 宰, 寺澤 悠理, 前田 貴記, 太田 順. (2019). 対人交流を考慮したスマートフォンログによるストレス推定, 情報処理学会研究報告, 2019-MBL-90 (45) (pp. 1-6), 東京, 2019 年 3 月 4~5 日.