

2015 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

URL: <http://www.race.u-tokyo.ac.jp/otalab/index-j.htm>

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
博士課程学生	Jorge David Figueroa Heredia, 姜 平, 木村 宣隆
修士課程学生	Veerachart Srisamosorn, 片山 貴裕, 白石 匠, Hamdi Sahloul, 林 静思, 伊藤 拓, 松井 尚孝
学部 4 年生	行澤 大悟, 寺田 悠理
研究生	
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

複数の移動ロボットによる台車とアウトリガを用いた重量物搬送の実現
小型移動ロボットによる台車を用いた大型物体の搬送
複数の移動ロボットによる大型物体変形作業のための機構開発
ヒトによる複数のロボットへの教示
クアドロータを用いた高齢者の表情の計測

大規模生産／搬送システム設計と支援

製造ラインにおける画像認識の処理手順の最適化手法を用いた生成

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
看護スキル学習用のロボット患者開発
起立姿勢維持制御モデルに関する研究
小脳部分除去ラットの歩行における小脳部位特異性の定量的評価
マイクロブログに投稿される内容と天気コンテキストの関係の検証

複数の移動ロボットによる台車とアウトリガを用いた重量物搬送の実現

少子高齢化による労働力不足の深刻化が懸念される中、従来人間が行ってきた作業を代行するロボットへの期待は大きくなりつつある。とりわけ、大型物体の搬送を行う作業については人間の身体への負担は大きく、家庭やオフィスといった身近な環境でその作業をロボット化することができれば、我々の生活はより便利で快適なものになるであろう。従来研究にて物体傾斜ロボットと台車を用いて大型物体を搬送する手法の提案がなされているが、同手法では重量物を扱った際、反力によってロボットに転倒、または滑りの生じる危険性があった。そのため、本研究ではそのような転倒・滑りを抑制し、重量物の搬送を可能とするための手法の構築を目的とする。

本研究では、アウトリガを用いてロボットの転倒・滑りを抑制する手法の提案を行う。アウトリガをロボット後方に取り付け、物体傾斜の際に展開しロボットを支えることを行う(Fig.1)。そして、実機実験により、実際に 35kg の重量物の搬送が可能であることを示した(Fig.2)。

[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



Fig.1 アウトリガ

Fig.2 アウトリガを取り付けたロボットによる大型物体搬送実験

複数の移動ロボットによる大型物体変形作業のための機構開発

上述する通り、比較的小型のロボットによって大型の物体を搬送するための手法については多く提案がなされている。しかしながら、会議室のセッティング等の作業を考えると、物体をただ搬送するだけでなく、使用に適した形状へ変形させる必要があることが分かる。例えば、折り畳み椅子や机がこれにあたる。本研究では、比較的小型の移動ロボットが複雑な軌道の力を生成し、大型の物体を変形させるための機構について検討を行う。

本研究の提案手法は、車輪による移動を含めた自由度構成とケーシングのためのエンドエフェクタ機構である。軌道生成のために必要な自由度を得つつも、できるだけシンプルな構造とすることで大きな力を発生させることが可能となる。一方で細かい制御を行うことは難しくなるので、位置誤差を吸収するために、ケーシングマニピュレーションを用いる。実機実験として折り畳み椅子の展開作業を行い、提案手法の有効性を示した(Fig. 3)。

[2] 松井 尚孝, Jorge Figueroa, 大橋 二紗夫, 黄 之峰, 緒方 大樹, 太田 順, 複数の小型移動ロボットによる大型物体変形作業のための機構開発, 2015年度精密工学会春季大会学術講演会論文集, pp. 957-958, 2015.



Fig.3 2台の移動ロボットによる折り畳み椅子展開実験

ヒトによる複数のロボットへの教示

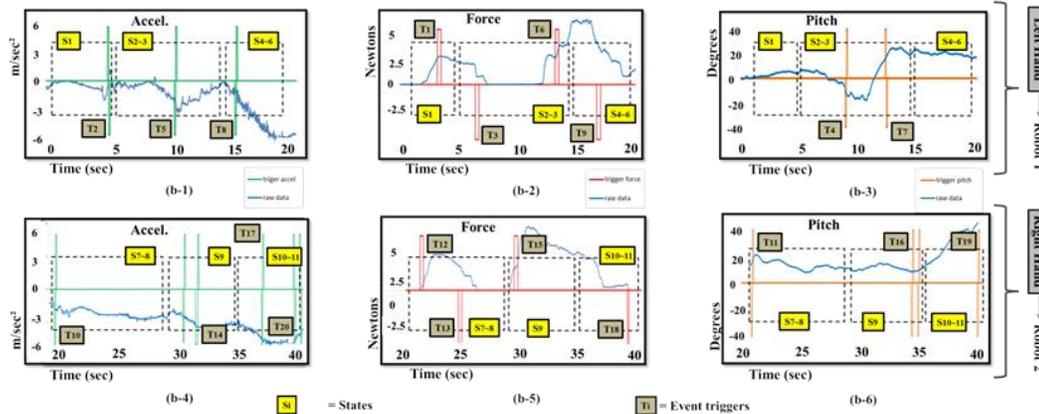
家庭や職場においてヒトが単独でおこなうタスクは、複数の小型ロボットが協調するサービスシステムでも実現可能である。そのなかで、ユーザが複数のロボットに対して、タスクをどのように達成するかを教示できるようにすることが本研究の目標である。そのために、ユーザがある物体に対してある操作を実行する場合にどのような運動をおこない、どの位の力が手を通して生じているかという運動学データをロボットへの教示の際に用いる。システムはこのデータとロボットの能力を比較することで、何台のロボットがタスクを完了するのに必要で、各ロボットがどのようなサブタスクを実行すればよいのかを決定する。

図1は折りたたまれた椅子を広げるといふタスクをロボットに教える際のプロセスを示している。図1(a)は地面にたたくで置かれた椅子をヒトが単独広げる際の一連の運動である。その際の運動学データから図1(b)のように教示データが生成される。ここで生成されたデータは図1(c)のように、タスクの分割に必要なロボットの数と個々のロボットのプログラムを決定するのに用いられる。

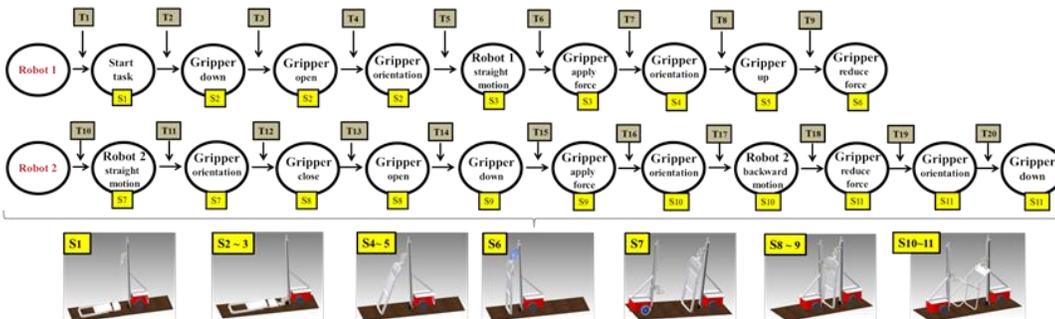
参照 FIGUEROA, Jorge, SAHLOUL, Hamdi, OTA, Jun, "Teaching Multiple Robots by a Human - Teaching Data Generation -", IEEE international conference on Robotics and Biomimetic (ROBIO), 2014, pages 2121 - 2126, Bali, Indonesia.



(a) 実演: 教示データを生成するためヒトが単独で折りたたまれた椅子を広げる。ここではその中の11の状態(S1~S11)を示している



(b) センサの値から教示データの作成: ヒトの左手から得られたデータ(b-1, b-2, b-3)はロボット1のプログラムに用いられ、ヒトの右手から得られたデータ(b-4, b-5, b-6)はロボット2のプログラムに用いられる。教示データには生のデータとイベントトリガ(T1~T20)が含まれ、ロボットがすべき動作の決定に用いられる。各状態が生じるタイミングもここで示している。



(c) 得られた情報をどのように用いるか: 椅子を広げる際には単独のロボットの能力を超えるため、タスクは2台のロボットのタスクへと分割された。ここでは提案手法を検証するためデータに基づき手動で各ロボットの運動を割り当てた。各イベントトリガで生じる状態の変化はTiとSiで示している。

図1. ヒトがどのように単独で折りたたまれた椅子を広げるかをロボットに教示する実験

クアドロータを用いた高齢者の表情の計測

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、介護士自らが被介護者の顔を一人一人観察し、笑顔で生活を送っているかどうかの判断を行っているが、被介護者に対する介護士の割合は不足しており、この手法で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、人間の顔を追跡しながら、表情の計測を行うことのできる新しいシステムが必要である。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、小さなカメラが搭載されたクアドロータを用い、人間を追跡して顔画像の撮影を行うことで表情の計測を行う(図1)。環境カメラを用いて人間の位置・姿勢及びクアドロータの位置を計測し、人間の顔の正面から一定距離離れた場所へクアドロータを位置決め制御する。そして、その位置でカメラを顔に向けることで、顔画像の撮影が可能となる。図2に1台のKinectと1台のクアドロータ(左上)を用い、1人の人間の顔を追跡する実験を行った様子を示した。

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

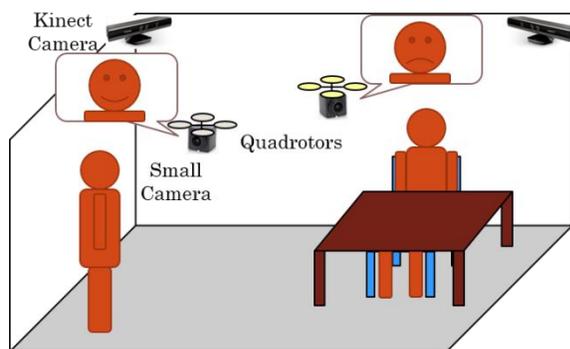


図1 システムのイメージ



図2 人間を追跡しているクアドロータ

製造ラインにおける画像認識の処理手順の最適化手法を用いた生成

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が自動化されており、そのために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、画像中から認識対象を見つけ、識別の基準である特徴をもとに見つけた認識対象を識別することが必要となる。そのため、画像変換・特徴抽出・識別という3つの処理が一般的に行われ、これらの処理を適切に設計することで画像認識を行うことができる(Fig. 1)。この設計は専門家によって成されているが、画像変換のための処理の組み合わせが膨大でありさらに各処理の変数(画像変換パラメータ)を調整する必要があることや、画像変換の処理の違いによって認識対象を識別するために相応しい基準および基準値(識別辞書)が変わること、そして設計した処理手順の適切さが認識結果、さらには作業が達成可能かどうかでしか評価できないことなどにより、多くの時間と労力を要してしまう。

本研究では、製造ラインにおいてロボットが物体を把持する作業のために物体の形状および位置を認識することを例に取り(Fig. 2)、画像変換パラメータと識別辞書にのみ焦点を当て、画像変換パラメータを調整しながら識別辞書を生成する手法を提案する(Fig. 3)。提案手法では、識別辞書ではなく認識対象の画像をあらかじめ与えることで、画像変換の処理ごとに適切な識別辞書を生成することができる。目的関数として、第一に形状の認識率を最大化すること、第二に位置誤差の最大値を最小化することを定め、最適化を行う。識別辞書をあらかじめ与え、画像変換パラメータ毎に決定しない手法と比較して、認識率の観点から良い結果を得られることを示した(Fig. 4)。

Key words: optimization, image recognition, parameter tuning, identification dictionary

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.

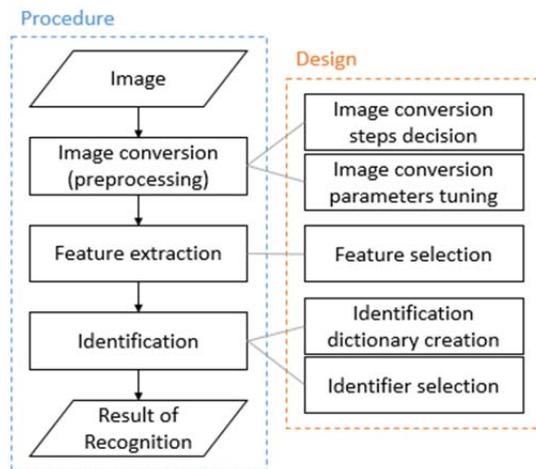


Fig.1 画像認識の手順およびその設計

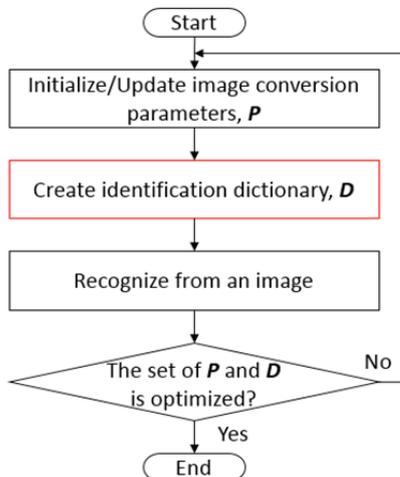


Fig. 3 提案手法

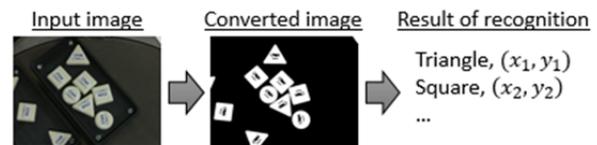


Fig. 2 画像認識の対象作業

Method	Evaluation index	
	Recognition rate (F-measure)	Maximum position error [pixel]
Proposed method	1	4.04
Comparative method	0.875	4.04

Fig. 4 認識結果の比較

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的としている。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 23rd 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

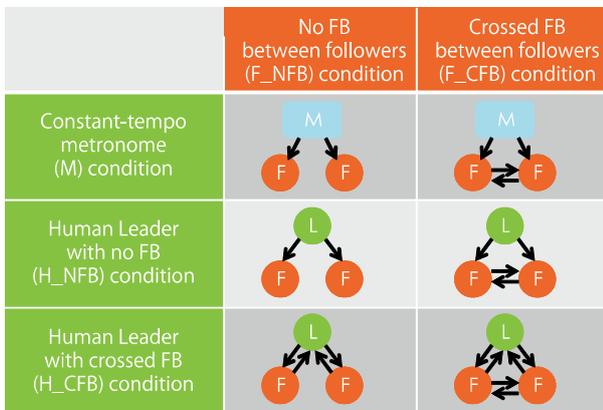
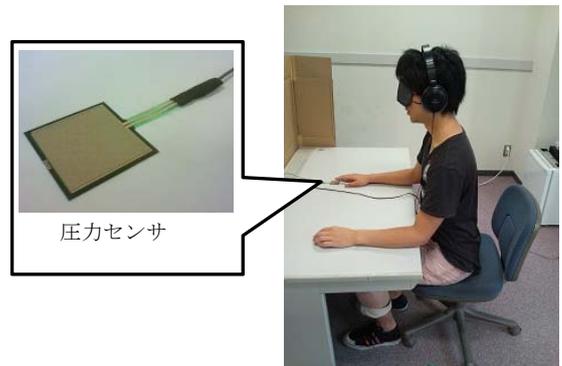


Fig. 2 テンポを一定に保つリーダの条件とそれに合わせてリズムを生成するフォロワ2人の条件。矢印の方向にタイミング情報が伝えられることを意味している。

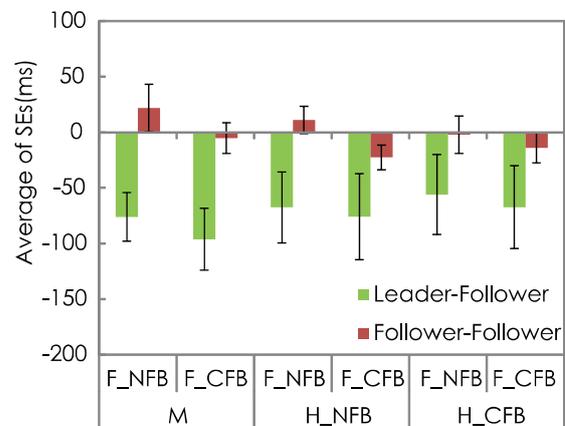


Fig. 3 同期誤差 (SE) の結果。フォロワはリーダに対して早打ちする傾向がある。人間同士の方がその傾向は小さい。

看護スキル学習用のロボット患者開発

看護ケアには、入浴介助や着衣交換など、患者の身体を対象としたスキルが多く存在する。患者と看護師双方の安全のために、適切にスキルを習得することが求められる。看護教育の現場においては、マネキン、もしくは、健常者を模擬患者として訓練が行われる。しかしながら、マネキンでは患者の関節を正確に再現できず、また、健常者においては麻痺患者や筋力の低下した患者を再現できないため、実際の患者に対応したスキルを獲得することが困難な状況である。

本研究では、人間の関節の動きを再現可能であり、かつ、看護学生と最低限の相互作用を可能とするロボット患者の開発を行っている。2つのタイプのロボット患者を開発しており、1つは車いす移乗学習用のロボットであり (Fig. 1, 2) , もう一方は寝衣交換学習用のロボットである (Fig. 3, 4) 。前者では、四肢と腰部の関節を、後者では、上肢の関節の再現を試みている。また、前者では、使用者からの声かけにより、関節のロックとアンロックが切り替わるといった相互作用を達成している。さらに、複数の麻痺症状を再現可能にするために、単一の機構で、制御によって痙攣性麻痺と弛緩性麻痺の双方の関節状態を再現することを目指している (Fig. 5) 。

Key Words : 患者ロボット, 教育システム, 看護スキル, スキル習得, 麻痺症状再現

References

- [1] Zhifeng Huang, *et.al.* "Robot patient for nursing self-training in transferring patient from bed to wheel chair," *Proc. HCI International 2014*, Crete, pp. 246–254, 2014.
- [2] Ayanori Nagata, *et.al.* "Mannequin robot to measure movement of patient's arm by nurse during exchange of the patient's wear on bed," *Proc. 2014 JSPE Spring Conference*, Tokyo, pp. 895–896, 2014.
- [3] 片山ら "複数の症状を再現可能な患者ロボットを用いた看護動作教育システム" 精密工学会2014年春季大会講演論文集. pp. 897–878, 2014.



Fig.1. 車いす移乗学習用患者ロボット



Fig.2. ロボット患者を用いた車いす移乗の様子

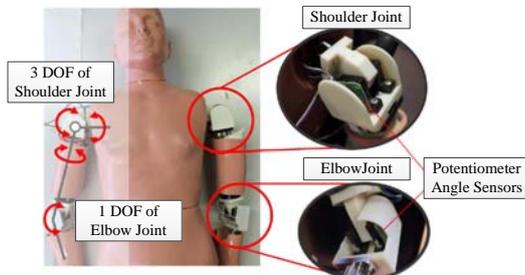


Fig.3. 寝衣交換学習用患者ロボット

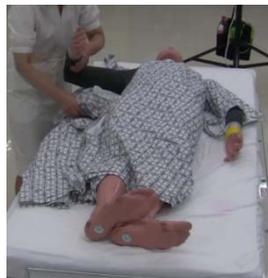


Fig.4. ロボット患者を用いた寝衣交換



Fig.5. 試作したロボットの肘関節

起立姿勢維持制御モデルに関する研究

起立姿勢制御のメカニズムを明らかにするために、生理学的な知見に基づいて構築した神経コントローラにより、筋骨格系の力学モデルを起立させることは重要であると考えられる。従来の研究者は人間の姿勢制御モデルとして逆振り子モデルを適用しているが、それには筋骨格系の複雑さが充分には考慮されていない。一方、神経時間遅れは姿勢制御へ大きく影響するが、それに関する議論も不十分と考えられる。

本研究では姿勢制御における二つの重要な要素である筋骨格系及び神経時間遅れに着目した。まず、人間の姿勢制御における時間遅れである100ms同程度の時間遅れにおいて、70個の筋肉を含んだ筋骨格モデルを起立させるための生理学的に妥当な神経コントローラ(Fig. 1)を提案した。そして、動力学シミュレーションで筋骨格モデルを起立させることができるかを確認してきた。さらに神経コントローラにおけるフィードフォワード制御によって姿勢を安定させる役割を調べている。

Keywords: Postural control, Musculoskeletal model, biological simulation

References

- [1] Jiang, Chiba, Takakusaki, Ota: Stance postural control of a musculoskeletal model able to compensate neurological time delay, In Proc. Int. Conf. Robot. Biomim. (ROBIO 2014), pp.1130-1135, 2014.

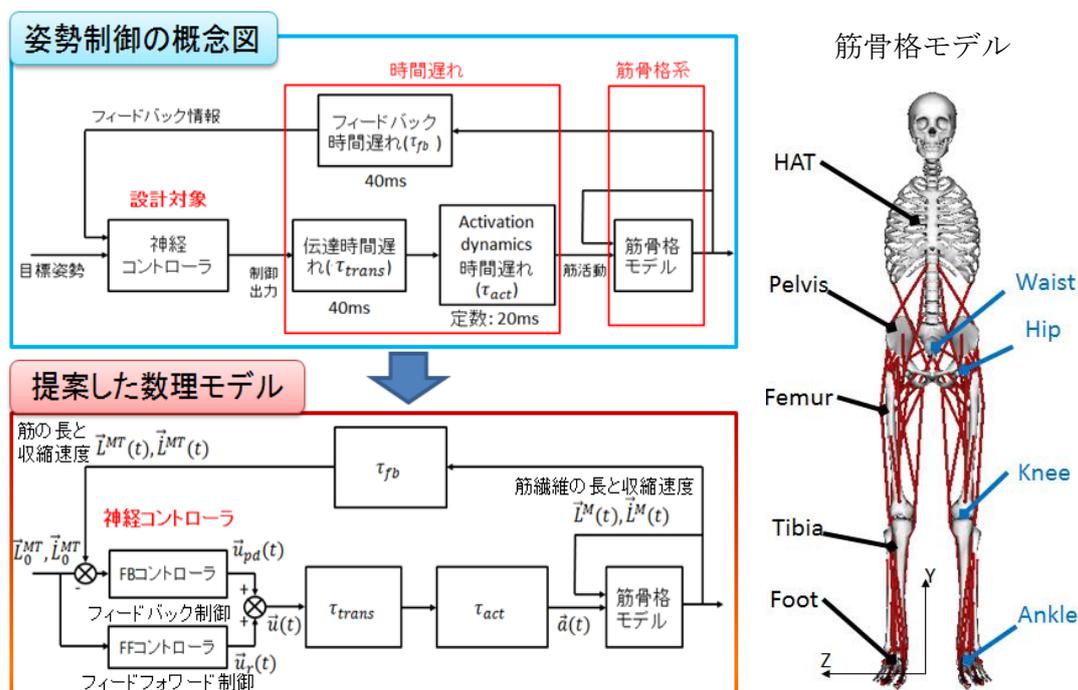


Fig.1 起立姿勢制御モデル

小脳部分除去ラットの歩行における小脳部位特異性の定量的評価

小脳疾患は運動障害の一因とされ、なかでも小脳疾患による歩行障害は特に問題となっている。それらの運動障害を低減するためには、診断・治療やリハビリ・予防などといったサポートが求められるが、それらのサポートの方法論を考えるためには運動障害の症状および小脳の機能を明らかにすることが大きな補助となり得る。また、小脳には機能の部位特異性があり、障害部位によって発生症状が異なることが臨床例や小脳障害動物の実験によって知られている。しかし、小脳の部位特異性についての研究は不十分といえ、特に障害部位と歩行に関する研究は乏しく定性的な評価にとどまっており、各小脳部位の障害による歩行運動への影響の定量的評価が必要であると言える。

そこで本研究では、部分的に小脳を除去したラットを用いて歩行における小脳障害部位特異性に関する運動機能への影響を定量的に評価する手法を提案することを目的とする。小脳中央部や外側部の除去を行ったラットを作成し、各部位の障害が特に姿勢異常や筋緊張低下・運動速度低下・情動機能・平衡機能へ影響するという知見を基に、ラットの歩行実験 (Fig.1) を行い体幹・四肢の関節軌道の計測と筋電計測、トレッドミルの追従速度の測定、自発的運動量の測定、体幹動揺を計測した。特に、体幹・四肢の関節軌道の計測では歩行中の首・肩・肘・手首・腰・腿の付け根・膝・足指の関節位置を計測した (Fig.2)。その結果、中央部除去個体の 5 匹中 4 匹、外側部除去個体の 3 匹中 2 匹、全域除去個体の 2 匹中 2 匹は後肢の立脚相における膝関節角が小脳未除去の個体よりも有意に小さいという結果が得られ (Fig.3)、関節角度による筋緊張低下の定量的計測の可能性が示唆された。

Keywords: Cerebellar Gait Ataxia, Ablation, Site Specificity of Cerebellum, Posture Control

References

- 1) 白石 匠, 高草木 薫, 千葉 龍介, 太田 順, 小脳部分切除ラットの歩行運動における四肢の軌道・伸筋の筋電計測による部位特異性の考察, 第 26 回自律分散システム・シンポジウム資料, pp.303-304, 2014
- 2) 白石 匠, 高草木 薫, 千葉 龍介, 緒方 大樹, 太田 順, ラットの小脳部位特異性解明のための動作・筋電計測による傾斜面歩行解析, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 893-894, 2014

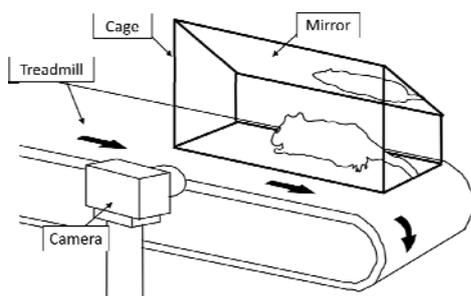


Fig. 1 Illustration of walking experiment.

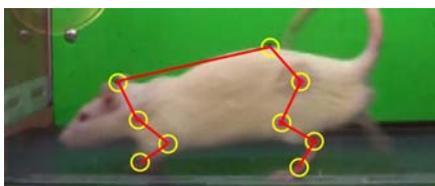


Fig. 2 Tracking of motion of joints in rat.

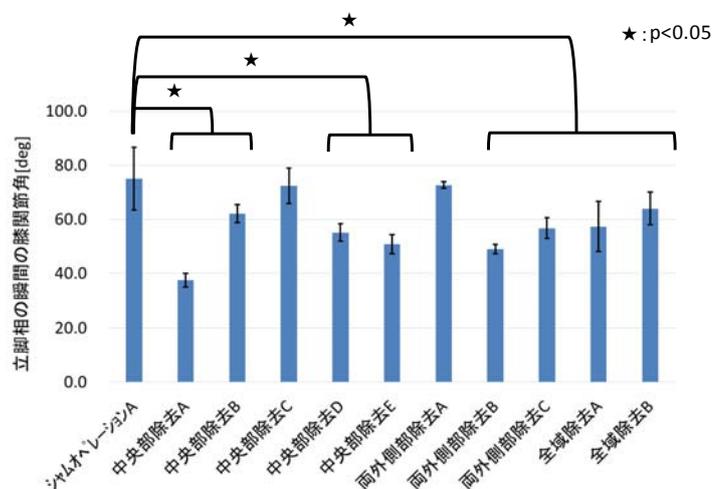


Fig.3 Measurement of knee angle when mid-stance.

マイクロブログに投稿される内容と天気コンテキストの関係の検証

近年、人々は様々な種類の問題を解決するため、日常生活において様々なメディアから推薦情報を受信する機会が増加している。たとえば、Amazon.com社では、顧客の購買に伴うあらゆる行動に基づき顧客の興味を推測、関連する商品が推薦される。このような推薦を行うためには、ユーザの趣味嗜好を知る必要があり、もっとも単純な手段としてはPOSデータを利用することが考えられるが、全てのサービス提供者が平等に情報を得られるわけではない。

そこでTwitterなどのマイクロブログからユーザの趣味嗜好を推定する研究が行われており、同じ単語であっても異なる目的がある場合が存在し（「lose weight」という単語のトピックが、「beauty」である場合と「health」である場合がある）、それを判別するトピックモデルと呼ばれる、単語をトピッククラスターに分類するモデルの研究が存在する。さらに、ユーザのトピックは天気というコンテキスト（文脈情報）によって大きく左右すると考えられるため、目的を「トピックモデルを用いて、マイクロブログに投稿される内容と天気コンテキストの関係を検証する」こととする。気温のコンテキストとトピック、トピックと単語との関係の例をFigure 1に示す。また、結果のトピックをFigure 2に示す。

Key Words: context-aware, recommendation, topic model, weather-context, Twitter

Reference

[1] 伊藤 拓, 深澤 佑介, 朱 丹丹, 太田 順, Tweet内容に影響を与える気象条件と特徴語の抽出, 情報処理学会, 2014-MBL-73, No.1, 2014.

[2] Taku Ito, Yusuke Fukazawa, Dandan Zhu and Jun Ota, Climate Condition that Mostly Affects the Change of the Tweet Content, International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2015), 20 Jan 2015.

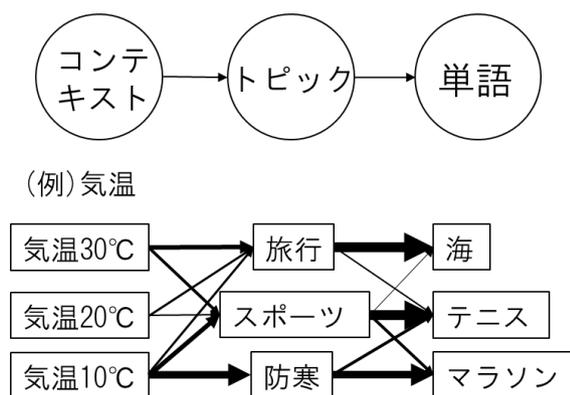


Figure 1: Relationship between temperature-context, topics, and words

22度付近 9月上旬のトピック

28°C付近 9月上旬のトピック

単語	重み係数
ヨーグルト	0.150690
ピッツァ	0.082197
食パン	0.068498
サバ	0.068498
漬物	0.054799

単語	重み係数
抹茶	0.191786
牛肉	0.123292
かき揚げ	0.095895
ハチミツ	0.082197
ソフトクリーム	0.041101

Figure 2: Topic clusters of different weather