

自動機械に対する動作模倣による人間の身体認知の拡張条件の検討

Considerations about the Extension of Human's Body Cognition to Autonomous Machine by Imitation of Motion

嶋野 太一 *¹ 篠沢 一彦 *^{2,3} 今井 倫太 *¹
 Taichi Sono Kazuhiko Shinozawa Michita Imai

*¹慶應義塾大学理工学部情報工学科 *²大阪教育大学
 Dept. of Information and Computer Science, Keio Univ. Osaka Kyoiku University

*³ATR 知能ロボティクス研究所
 Intelligent Robotics and Communication Laboratories, Advanced Telecommunications Research Institute International

The manipulation of the human body substitute robot, for example robot arms, has the problem of the lack of substitute effect caused by the manipulation used human hands or arms. On the other hand, autonomous human body substitute robots have the lack of operational feeling and immersions. Therefore, we study about ensuring operational feelings and immersions by extension of human's body cognition to autonomous machines. In this research, we considered about the possibility and the terms of the extension of human's body cognition to autonomous machines.

In this paper, we composed some frameworks of the verification of the extension of human's body cognition to autonomous machines, and examined about some terms including imitation of motions. As a result, we drew more circumstantial conditions and substantiated the possibility of high contribution of the predictability of motions of autonomous machines.

1. 導入

ロボットアームやテレプレゼンスロボットなど、人の身体の一部や存在全体を代替する機械が広まってきている。ロボットアームやテレプレゼンスロボットは、ユーザの逐次的な操作を必要とする物や、一定の動作を自動的に繰り返すよう制御されているもの等がある。ユーザの逐次的な操作を必要とするものの場合、操作にユーザの身体が使われてしまい、代替としての存在意義が薄れてしまうことが考えられる。一方で、単純に自動化されたものでは、操作感や没入感が欠如してしまう。よって、自動化された、人間の身体の代替となるロボットに対して、人間の、自身の身体であるという認識である、身体認知を拡張することで、操作感や没入感を担保した上で、身体の代替としての意義を強くすることを考える。

身体認知の拡張は、道具の獲得の過程で発生することが従来から示されており、発生の過程や条件についての研究も多くなされている [2][1]。機械に対しての身体認知の拡張についても、図 1 のように、機械を操作できる割合や、操作などに対する反応の速度、身体認知の拡張が可能な部位などの多くの条件が考えられる。故に、機械に対する身体認知の拡張の条件を策定することが問題となる。

機械を使った物理的な身体拡張については、6 本目の指 [3] を初めとした様々な研究がある。身体認知の拡張を扱った研究としては、人間の手を模倣した機械について、指の曲げ具合を測定、機械側に反映する、マスタースレーブ方式による操作を行った上で、機械の手に対する不快刺激に反応するかどうかを検証した研究がある [5]。実際の機械だけでなく、画面上の手に対して、ユーザの操作に対する随伴性と身体認知の拡張の関係性を検証した研究も存在する [6]。画面上の手は、ユーザがじゃんけんの手を何かしら提示した際に、設定された確率によって、ユーザ

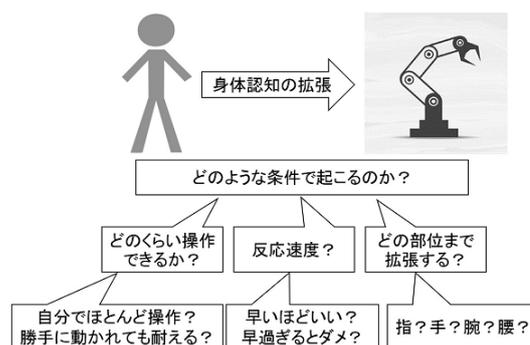


図 1: 研究要旨

の手と不一致した手となるよう実装されている。

以上に上げた従来研究において、未解決である点を述べる。まず、物理的な身体拡張の研究については、身体部位の追加、拡張による人間の作業支援を主題としている物が多く、部位の付加、拡張による身体認知の変化については扱っていない。次に、機械の手について、マスタースレーブ方式での操作対応を行った上で、身体認知の拡張を扱った研究では、人間の操作と対応した機械についての検証はされているが、人間の操作とは独立した、自律機械に対する身体認知の拡張についてが扱われていない。ユーザの操作に対する随伴性と身体認知の拡張の関係性を扱った研究では、随伴性が低い状態、ですなわち、ユーザが出した手と異なる手をだす場合は、システムが自動で手を選択していると言えるが、ユーザの挙動があって初めて動作するので、完全に人間の操作と独立であるとはいえない。

以上の未解決点にアプローチするため、本稿では、自動で動作し続ける機械に対して、ユーザが追従して動作することで、身体認知の拡張が発生するかの検証方法を提示する。一定のパターンで動作するロボットアームについて、人間側が一定時間追従して動作した後、一定の刺激を与える。刺激に対する反応

を計測することで、身体認知の拡張が発生したかを検証する。
本研究では、従来のラバーバンド錯覚の方法を一部採用した、危険と思われる刺激が唐突に現れる場合の予備検討と、唐突に危険刺激が現れた際の、単なる驚きと、身体認知の拡張があったがゆえの回避反応を区別するための、危険と思われる物体が最初から視界に存在する場合の実験を行った。

2. 背景

2.1 道具の獲得と身体認知

身体認知の拡張は、古くから道具の身体化として議論され、認知科学的側面や、計算論的側面など多くの視点からの研究が存在する。[2]では、道具の身体化について、人間側を生命システムと考えた上で、認知科学と、生命現象の解説を試みる理論である生命理論の両面からの解釈を行うことを試みている。[1]では、道具の身体化が発生する要因について、計算論からの解釈を行い、サルや人間などの、身体化の主体となる存在がどのような情報処理を行わなければならないかを検証している。本研究も、機械を道具とすれば、道具の身体化としての身体認知の拡張の一知見であるといえる。

2.2 身体拡張型の作業支援機械

身体認知とは別にして、機械による物理的な身体の部位の拡張や、人間の身体全体を包括する形での補助の研究は、作業支援を目的として多く行われている。[3]や[4]では、人間の手指について、6本、7本に拡張することでの把持動作の支援を行っている。両研究ともに、ユーザの手の握り具合を認識することで、ユーザの手の動きに合わせた支援を行っている。また、[8]では、全身の動作を補助するよう、アーマー型の拡張機械の開発を行っている。以上の例では、人間の身体の拡張を行っているが、身体認知の拡張に対する検討はされていない。身体認知の拡張が行われない場合、ユーザが、身体の範囲が変わったことに適応できないため、障害物への衝突といったトラブルを引き起こす可能性がある。よって、身体拡張型の支援機械の普及の面でも、身体認知の拡張についての検討を行う必要性がある。

2.3 ラバーバンド錯覚

身体認知の拡張の一例として、実物の手を視界から隠した状態で、偽物の手が見えるようにし、同時に同箇所に刺激を加えることを繰り返すことで、偽物の手を自身の身体の一部と錯覚し、偽物の手に与えた不快刺激に対して、実物の手において回避を行うようになるという、ラバーバンド錯覚が知られている[7]。受動的な刺激以外に、能動的な動作の対応でもラバーバンド錯覚が発生するかどうかについて検証した研究が存在する[5]。ラバーバンド錯覚は、身体認知の拡張があったかどうかについての指標としてしばしば用いられることがある。[6]では、画面上の腕のエージェントについて、ユーザの手に対応してジャンケンの手を提示することでゲームを行い、ゲーム後に、ラバーバンド錯覚の確認と同じように、画面上の手に対して不快刺激を加えた際の生理反応と、ユーザへのアンケートから、身体認知の拡張があったかどうかを検証している。この研究では、画面上の手は、ユーザの出した手に一致した手を出す確率が段階的に設定されており、段階に応じて、ユーザの生理反応と主観的印象に変化があるかを検証している。本研究でも、身体認知の拡張の発生を確認として、不快刺激の提示に対するユーザの反応を指標とする。しかしながら、ラバーバンド錯覚については、不快刺激の提示について、危険な物体が視界に突然現れた場合、反射的に実物の手を回避してしまうのではないかとという反論が存在する。よって、本研究では、検証項目の一部に、深

い刺激を突然提示するものに対して、最初から視界に不快刺激となりうるものが存在する環境を設定する。

2.4 認知レベルによる解釈

身体認知の拡張には、認知のレベルによって、2つの方面からの発生が考えられる(図2)。一つは、自分の身体動作やコマンドに対応するという高次の認知機能による認識と、与えられた刺激に対しての反応という形で現れる、生理的反応レベルでの身体感覚である。身体の物理的な延長の研究[3][4][8]は、身体認知の延長の面での認知レベル処理を考えると、高次の認知機能による身体延長認識のレベルを導入していると考えられる。従来のラバーバンド錯覚は、受動的な刺激の共有によって身体認知の延長を発生させている面から、生理的反応レベルでの身体感覚の延長を導入しているといえる。高次の認知機能での身体認知の延長と、生理的反応レベルでの身体感覚の延長は、一方を導入として、他方に影響することが考えられ、例えば、能動的な動作によるラバーバンド錯覚の発生の研究[5]では、自分の動作と対応するという高次の認知機能による身体延長認識から、危険刺激の回避という、生理的反応レベルの身体延長の認識への影響があったといえる。また、[6]では、高次の認知機能と生理的反応レベルを分けた評価がされており、結果、高次の認知レベルでは、随伴性に比例して、身体認知の延長とが発生したと主観的に評価されるが、生理的反応レベルでは、随伴性が、完全な対応から少しでも低くなると、身体認知の拡張が発生したと見られる反応が見られないという結果が示されている。本研究でも、検証の際に、どちらの面を導入として、一方、もしくは両方の面からの評価をするのかを考えて検証する必要がある。



図2: 認知レベルによる解釈

3. アプローチ

本研究では、自動動作をする機械に対して、人間側が追従して動作することで、身体認知の拡張が発生するかの検証を目的としている。以下に具体的な検証方法と検証項目を提示する。

3.1 検証方法

本研究で使用する自動機械は、図3に示す、ロボットアームに右手の模型を装着したものである。ロボットアームは、予め実装された動作プログラムに従って、実験参加者とは無関係に動作する。実験参加者には、ロボットアームの動作を真似るように指示する。ロボットアームの動作に対して、実験参加者がある程度模倣できるようになったことを確認し、不快刺激を加え、刺激に対する実験参加者の反応を観測することで、身体認知の拡張が発生していたかを検証する。

3.2 検証項目

従来のラバーバンド錯覚では、動作しない偽物の手に対して不快刺激を加える手法が取られている。本稿では、ロボットア

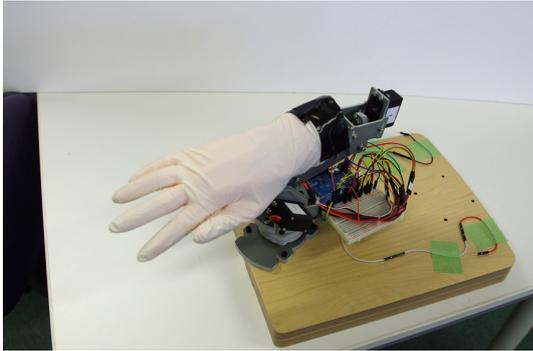


図 3: 実験機器

ムの動作軌道に不快刺激の発生源が出現し、発生源に向かってロボットアームが移動し、能動的に不快刺激を得ようとするケースを検証項目に加えることを提案する。能動的な不快刺激の提示によって、受動的な不快刺激とは異なる実験参加者の反応が得られる可能性がある。

また、ロボットアームの動作について、一定のパターンに則るものと、複数の動作セットの中からランダムに選ばれたものを行うことを想定している。一定のパターンに則って動作している場合には、実験参加者は動作の予測が可能であるため、動作に問題なく模倣できる。一方、動作セットがランダムで出現する場合、動作セットの推測に時間を要し、また、選ばれた動作セットを、最初の動作から予測した上での模倣となる。パターンに則る動作とランダムな動作の差は、ロボットアームの印象に影響し、また、身体認知の拡張の発生にも大きく影響すると考えられる。

以上の検証項目について、不快刺激の与え方と身体拡張の発生方法、ロボットの動作内容を組合せた場合の、検証対象となりうる試行は以下の表 3.2 のように、6 条件となる。表中の”同時刺激’は、従来のラバーハンド錯覚の研究と同様に、視覚的に見えているロボットアームに対して、実験参加者の手の同じ場所に同時に刺激を加えることによる身体認知の拡張方法である。よって、条件 1 については、従来のラバーハンド錯覚と同じ試行となる。本研究では、身体認知の拡張について、動作の追従による手法を用いる一部の条件について、実際に検証を行った。

表 1: 検証対象とするべき条件

		不快刺激		
		受動的	能動的	
身体認知の拡張方法	同時刺激	1	2	
	動作の模倣	パターン動作	3	4
		ランダム動作	5	6

4. ランダム動作実験

本研究では、検証対象とした条件のうち、条件 6 について、最初から危険と思われる物体が実験参加者の視界に存在する環境を設定して検証を行った。

4.1 実験条件

条件 6 は、動作にランダム性を持ったロボットアームに対して、実験参加者が模倣を行った後、動作の軌道上に存在、または出現する不快刺激となる物体に能動的にロボットアームが接触する試行である。今回の参加者実験では、図 4 に示すように、腕振りランダムな角度で行っているロボットアームに対して、実験参加者が模倣を行い、図 4 の右上にある、最初から参加者に提示されているダミーナイフに対して、ロボットアームが接触寸前まで動作することで、不快刺激の提示とした。ランダム動作実験では、検証項目として、ランダム動作時の、停止位置の予測性を設定した。ロボットアームの動作について、腕振りの一端に移動する際に、停止前に減速を行うケース（減速あり条件）と、減速せずに急停止するケース（減速なし条件）で、ロボット動作に予測可能性に差異を設けた。

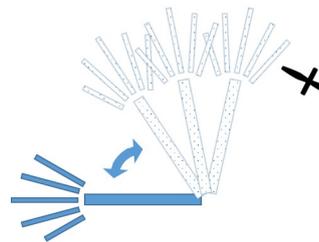


図 4: ランダム実験における動作パターン

実験参加者は、20~40 代で、男性 7 人、女性 2 人に対して行った。参加者に対して、最後にナイフ寸前まで移動することを教示しないため、減速あり条件と減速なし条件のうち片方の条件のみ、一回のみの実施とした。減速あり条件では 5 人、減速なし条件では 4 人に対して実施した。評価は、実験参加者に対するヒアリングによって行った。ヒアリングは以下の 6 項目について、7 段階で行った。

- 停止位置の予測性
- 自己操作感
- 自己身体感
- 不快刺激への驚愕
- 不快刺激への恐怖
- 不快刺激の不快性

認知レベルから考えると、身体認知の拡張の手法、評価手法ともに、高次の認知機能の面からの拡張を扱っている。

4.2 結果と考察

図 5 に項目ごとのヒアリング結果のグラフを示す。

グラフの通り、自己操作感以外の項目について有意な差は見られなかった。特に、停止位置の予測性について、減速あり条件が僅かに高いもの、有意な差が見られていない。停止位置の予測性に有意に差が見られなかった原因として、実験参加者にイ

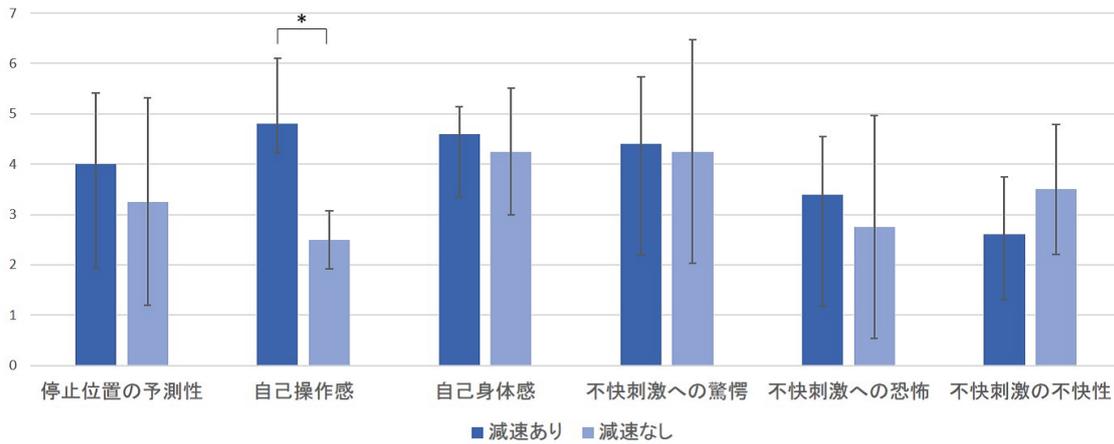


図 5: ランダム実験の結果

インタビューを行ったところ、減速あり条件において、減速の表現がわかりにくく、停止位置の予測性の評価が低下し、また、減速なし条件において、パターンが少なかったために、同じパターンが連続で出現したために、予測可能となったケースが存在したため、停止位置の予測性の評価が高くなったことが判明した。同じパターンが連続するために、減速なしでも予測が可能になることについては、参加者の増加や、ランダムパターンの増加で対応可能である。減速の表現については、ロボットアームの動作の調整が必要となる。

自己操作感については、減速あり条件で有意に高い評価となった。人間は、動作の予測が可能な物体に対して動作追従を行うと、動作の先回りを行うようになり、結果、物体を自身が操作している感覚を得るといわれている。よって、動作が予測可能となりやすい減速あり条件で、自己操作感が高くなったと考えられる。動作の予測可能性自体には有意差はなかったが、操作感に有意差が出る結果となったので、動作の予測性の寄与は大きいと考えられる。

5. 今後の展望

本稿で示した予備実験とランダム動作実験において、予備実験においては、参加者が腕を引き戻す動作を行ったかという生理的反応レベルの事象を評価指標として扱い、ランダム動作実験においては、参加者に対してのヒアリングによる身体認知の拡張の検証という、高次認知機能の面からの評価を行った。[6]においては、一つの実験において、同時に二つの面からの評価を行っており、生理的反応レベルと高次認知機能レベルでは、身体認知の拡張があったとされる条件に差異が存在している。本研究の拡張としても、2つの面からの評価を行い、条件による変化をモデル化することが有用であるといえる。

6. 総括

本稿では、人間の操作とは独立した自動機械について、身体認知の拡張が発生するかの検証を行う手法として、ラバーハンド錯覚の発生を元にした、動作の追従による身体認知の拡張と検証の手法を提示し、一部条件についての検討を行った。今後、提示した手法について、身体認知の拡張についての、生理的反応レベルと高次認知機能レベルの2面からの評価を行う実験系を構築し、さらなる検証、モデル化を行うべきである。

参考文献

- [1] 鍋島厚太; 國吉康夫. 対象同定に基づく道具身体化の計算論. 日本ロボット学会誌, 2007, 25.6: 897-905.
- [2] 大坪牧人. 道具の身体化: 生命理論による解釈の試み. デザイン学研究. 研究発表大会概要集, 2003, 50: 24-25.
- [3] PRATTICHIZZO, Domenico, et al. The sixth-finger: a modular extra-finger to enhance human hand capabilities. In: *The 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*. IEEE, 2014. p. 993-998.
- [4] Wu, Faye Y. and Harry Asada. "Bio-Artificial Synergies for Grasp Posture Control of Supernumerary Robotic Fingers." in *Robotics: Science and Systems X*, July 12-16, 2014, University of California, Berkeley, USA.
- [5] ARATA, Jumpei, et al. Robotically enhanced rubber hand illusion. *IEEE transactions on haptics*, 2014, 7.4: 526-532.
- [6] 渡邊翔太; 川合伸幸. 操作対象の随伴性が対象への自己感に及ぼす影響. 2015年度日本認知科学会第32回大会, 2015, os05-6: 798-801.
- [7] 本間元康. ラバーハンドイリュージョン: その現象と広がり. 認知科学, 2010, 17.4: 761-770.
- [8] MARCHESCHI, Simone, et al. Body extender: whole body exoskeleton for human power augmentation. In: *Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on. IEEE*, 2011. p. 611-616.