

# 自律機械に対する人間の身体性拡張の条件に関する検討

## Considerations about the Terms of Extension of Human Embodiment to Autonomous Machine

嶋野 太一<sup>1\*</sup> 篠沢 一彦<sup>2,3</sup> 今井 倫太<sup>1</sup>  
Taichi Sono<sup>1</sup> Kazuhiko Shinozawa<sup>2,3</sup> Michita Imai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 慶應義塾大学

<sup>1</sup> Keio University

<sup>2</sup> 大阪教育大学

<sup>2</sup> Osaka Kyoiku University

<sup>3</sup> ATR 知能ロボティクス研究所

<sup>3</sup> Intelligent Robotics and Communication Laboratories, Advanced Telecommunications Research Institute International

**Abstract:** Human have the cognition that their body is the own one, the embodiment, and some cognitive science study shows that the embodiment is expanded to the tool which mans accustomed to using. In this research, we considered about the terms of extension of embodiment to autonomous machines. we assumed that the extension is occurred to humans following to the robot arm independent action by manipulation, and shows the confirmation method of embodiment.

### 1 導入

ロボットアームやテレプレゼンスロボットなど, 人の作業や存在を代替, 支援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. 本研究では, 人間の代替, 支援を行う機械について, 没入感や操作性の向上に対して有用であると考えられる, 身体認知の拡張を考えていく.

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

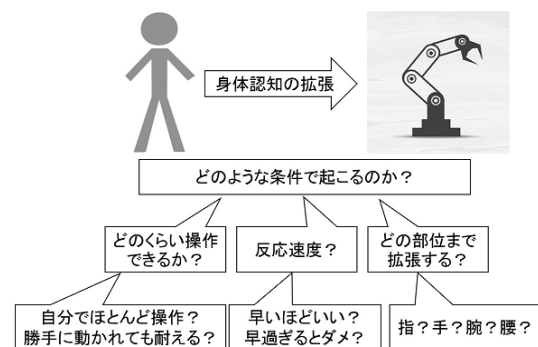


図 1: 研究要旨

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

\*連絡先: 慶應義塾大学理工学部情報工学科今井研究室  
神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1  
E-mail: sono@ailab.ics.keio.ac.jp

スレーブ方式での操作対応を行った上での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では、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。

## 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がある。

### 2.3 ラバーハンド錯覚

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、ラバーハ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ハ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]。ラバーハンド錯覚は、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じゃんけんの手を提示することでゲームを行い、ゲーム後に、ラバーハ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な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の確認として、不快刺激の提示に対するユーザの反応を指標とする。

## 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2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、被験者とは無関係に動作する。被験者には、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、被験者がある程度追従できるようになったことを確認し、不快刺激を加え、刺激に対する被験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。

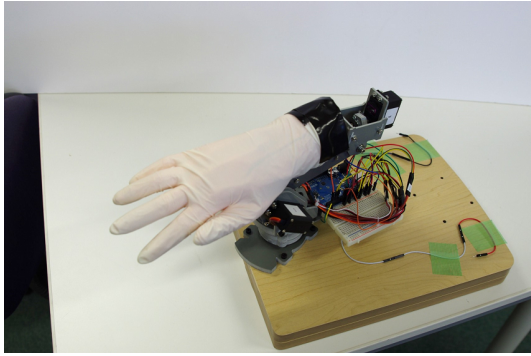


図 2: 実験機器

### 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、ロボットアー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被験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では、被験者は動作の予測が可能であるため、動作に問題なく追従できる。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追従となる。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、従来のラバーバ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、被験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、従来のラバーバンド錯覚と同じ試行となる。

## 4 予備実験

検証の予備実験として、検証対象とした条件のうち、条件 4 について、身体認知の拡張が発生するかどうかを確認した。

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	
	動作の追従	パターン動作	3	4
		ランダム動作	5	6

### 4.1 実験条件

条件 4 は、一定のパターンに則って動作しているロボットアームに被験者が追従した後、動作の軌道上に不快刺激となる物体を出現させる試行である。今回の予備実験では、図 3 に示す動作パターンについて追従し、図 3 における、ロボットアームが右下から右上の状態に移行する動作の軌道上に、不快刺激となる、彫刻刀の刃先をロボットアームに向けて出現させることとした。

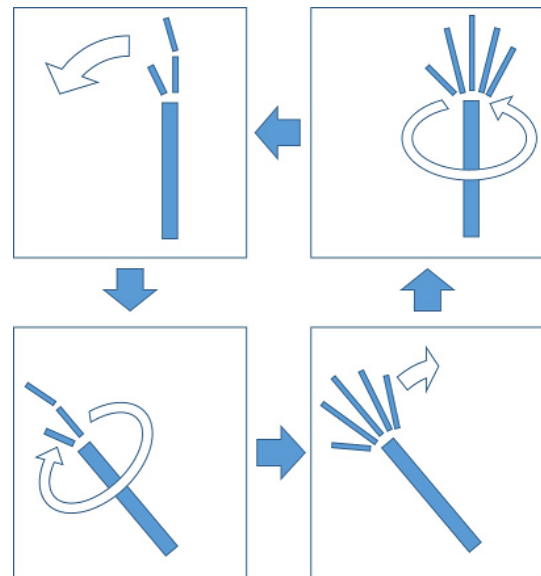


図 3: 予備実験における動作パターン

### 4.2 結果

幾つかの、ロボットアームの動作と不快刺激のタイミング以外の条件を変動させた実験の結果、ロボットアーム

ムの軌道上に彫刻刀を出した際、被験者が動作の追従を引き戻すような反応を示すことが確認できた。当該反応が示された環境条件の要素は、以下の様なものであった。

1. 被験者自身の腕が被験者から見えない。
2. 被験者が十分に動作の追従が出来ている。
3. 被験者の視点はロボットアームに向いているが、周囲からの会話に意識が行っている。

要素1に関しては、従来のラバーハンド錯覚でも同様の要件が云われているため、本研究が目的とする検証でも重要となりうる。要素2,3については、本研究の形式において確認された事項といえるため、今後の検証における条件の要因とするべきである。

## 5 今後の展望

### 5.1 検証条件の策定

本稿にて提示したアプローチは、従来のラバーバンド錯覚に対して、自動で動作する機械において検証すべきと考えられる項目についての大枠の提示にとどまっている。故に、実際に検証を行うためには、策定すべき条件が存在する。特に、ロボットアームの動作の設定に関してより詳細にするべきであると考えられる。ロボットアームの動作が機械的にすぎるものであった場合、動作の追従をさせたとしても、ロボットアームの印象もまた機械的なものとなる可能性がある。故に、ロボットアームの動作についても、ある程度に人が追従するにあたり、不自然な動きを要求しないものを策定するべきである。

### 5.2 不快刺激の多様化

本稿で提示したアプローチについて、ケーススタディや実証実験を行うにあたり、順序効果や個人差の影響を除く方法を考案する必要がある。順序効果については、受動的、能動的問わず、不快刺激を一度経験してしまうと、それ以降の試行について刺激のタイミングや内容が予測できてしまうため、刺激への反応が薄れてしまうことが考えられる。よって、被験者一人について、受動的と能動的の各一回の不快刺激の試行のみに留めるのが妥当であると考えられるが、被験者一人の試行回数を減らしてしまった場合、個人差の影響が強くなる事が考えられる。故に、不快刺激に関して、回避反応に差がない範囲で、複数種類用意する必要がある。

## 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た。今後、提示した手法について、詳細な条件の策定と必要となる拡張を行った上で、検証実験を行っていく。

## 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.