

Title	ALS当事者の身体表現の補完のための身体同化型ロボットアバターのモーション設計
Sub Title	Motion design of assimilative robotic avatars to complement body expression of ALS patients
Author	味岡, 俊嘉(Ajioka, Toshihiro) 南澤, 孝太(Minamizawa, Kōta)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2024
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2024年度メディアデザイン学 第1136号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002024-1136

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2024 年度

ALS 当事者の身体表現の補完のための
身体同化型ロボットアバターのモーション設計



慶應義塾大学
大学院メディアデザイン研究科

味岡 俊嘉

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士(メディアデザイン学)授与の要件として提出した修士論文である。

味岡 俊嘉

研究指導コミッティ：

南澤 孝太 教授 (主指導教員)

石戸 奈々子 教授 (副指導教員)

論文審査委員会：

南澤 孝太 教授 (主査)

石戸 奈々子 教授 (副査)

Matthew Waldman 教授 (副査)

修士論文 2024 年度

ALS 当事者の身体表現の補完のための 身体同化型ロボットアバターのモーション設計

カテゴリ：デザイン

論文要旨

筋萎縮性側索硬化症（ALS）は、脳や脊髄から筋肉へ指令を送る神経に障害が生じ、身体の動きが徐々に困難になる進行性の疾患であり、世界に約 35 万人の患者がいる。病気が進行すると手足が動かなくなり、歩行や日常の身体動作が制限されるだけでなく、意識が正常に保たれるため、他者との意思伝達が困難になり、非常な精神的苦痛を引き起こす。この問題に対し、テクノロジーを活用した支援が進められており、近年ではロボットアバター技術が注目されている。ロボットを用いて身体の欠損や機能を補完し、失われた身体表現やボディランゲージを取り戻すことで、相手との感情伝達を可能にすることが期待される。

本研究では、ALS 当事者がロボットアームを装着する際に、その上からウェアと呼ばれる衣服を纏うことで、装着者の身体とロボットアームを視覚的に同化させるアプローチをとる。これにより、ロボットアームが動く際に、本人と他者から見て装着者本人の身体の一部だと認識できる状態を実現し、失われた身体表現を取り戻し、ALS 当事者の表現能力を補完する。フィールドワークを通じて、専用のモーション作成フローとツールを設計・開発し、当事者のフィードバックを反映させながら、ロボットを活用した身体表現による他者との交流の可能性を探る。

キーワード：

ALS, 身体表現, 身体拡張, ロボットアバター, モーション設計, 身体性メディア

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

味岡 俊嘉

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2024

Motion Design of Assimilative Robotic Avatars
to Complement Body Expression of ALS Patients

Category: Design

Summary

Amyotrophic lateral sclerosis (ALS) is a progressive disease that damages the nerves controlling muscles, gradually making movement difficult. As it advances, patients lose mobility, affecting daily activities and communication, leading to emotional distress. To address this, technologically driven support, particularly robotic avatar technology, is being explored. By supplementing lost physical functions and body language, robots can enable emotional communication with others.

This study introduces a method to visually assimilate a robotic arm with the ALS patient's body using a specialized garment called “wear.” This integration allows both the wearer and others to perceive the robotic arm as part of the body, restoring physical expression. Through fieldwork, This study aims to develop motion creation tools and refine the system based on user feedback to enhance interaction through robot-assisted expression.

Keywords:

ALS, body expression, body augmentation, robot avatar, motion design,
embodied media

Keio University Graduate School of Media Design

Toshihiro Ajioka

目 次

第 1 章 Introduction	1
1.1. 身体の動きが失われていく病 ALS	1
1.2. テクノロジーを用いたコミュニケーションの補完	2
1.3. ロボットアバターを活用した身体表現の拡張	5
1.4. 本研究の目的	6
1.5. 本論の構成	7
第 2 章 Literature Review	8
2.1. ウェアラブルデバイスとロボットによる身体拡張	8
2.1.1 身体の部位や機能の補綴	8
2.1.2 新たな身体部位の獲得	9
2.2. 障害当事者の社会参画に向けた技術的アプローチ	11
2.2.1 日常生活支援のためのデザイン	11
2.2.2 ロボットを活用したアプローチ	12
2.2.3 ALS 当事者のためのコミュニケーション支援技術	13
2.3. ロボットのモーションを活用した身体表現の設計	14
2.3.1 ロボットを活用したコミュニケーション	14
2.3.2 ロボットのモーション設計手法	15
2.4. 本章のまとめ	16
第 3 章 Concept Design	17
3.1. Brain Body Jockey プロジェクト	17
3.2. 身体表現によるコミュニケーションの補完	18
3.3. 身体同化型ロボットアバター	19

3.3.1	コンセプト概要	19
3.3.2	MOVE WEAR システム	19
3.3.3	ロボットアーム	20
3.3.4	モーションの記録と再生方法	22
3.4.	フィールドワークによる予備調査	23
3.4.1	目的と概要	23
3.4.2	個人の存在感が現れるモーション	23
3.4.3	モーションへのデフォルメの適用	25
3.4.4	モーション入力 of 課題	26
3.5.	モーション作成における設計要件	27
3.6.	モーション作成フローの提案	28
3.6.1	目的と概要	28
3.6.2	モーション作成フロー	29
3.7.	日常での使用に向けたモーション作成ツールの設計	30
3.7.1	システム設計	31
3.7.2	実装	32
第4章	Proof of Concept	33
4.1.	ALS 当事者の身体表現の補完の実証	33
4.1.1	概要と目的	33
4.1.2	MOVE FES の概要	34
4.2.	モーション設計の実装	35
4.2.1	MOVE FES における身体表現の使用シーン	35
4.2.2	当事者とのモーションの共創	35
4.2.3	モーションの作成	36
4.2.4	作成した MOVE FES モーション	38
4.3.	MOVE FES での実証	40
4.3.1	イベントの全体像	40
4.3.2	ロボットアバターを用いた身体表現	41
4.4.	インタビューおよび考察	43

4.4.1 ユーザーへのインタビュー	43
4.4.2 観客へのインタビュー	43
4.4.3 考察	44
4.5. ALS 当事者の日常生活における利用可能性の検証	45
4.5.1 手や腕の動作でモーションを作成するシステム	45
4.5.2 目的と概要	45
4.5.3 検証内容	46
4.5.4 検証の実施	46
4.5.5 フィードバック	48
4.5.6 考察	48
4.6. フィールドワークに基づくモーション設計の考察	49
第 5 章 Conclusion	51
謝辞	53
参考文献	55

目 次

1.1	ALS の影響を受けた筋肉の変化	1
1.2	ALS 当事者と宇宙飛行士の共通点についての描写	3
1.3	コエステーション	4
1.4	OriHime eye	4
1.5	Brain Body Jockey プロジェクトにおけるパフォーマンスの様子	6
2.1	Finch	9
2.2	MetaLimbs	10
2.3	Arque	11
2.4	Cybethron Arm Prosthesis Race	12
2.5	SlideFusion	13
2.6	PINOKY	15
2.7	Stylized gaits designed with our interactive procedural animation technique	16
3.1	目標とする日常生活での利用のイメージ	18
3.2	MOVE WEAR システムの概要	20
3.3	ロボットアームとロボットハンド	21
3.4	手動によるロボットアームの動作記録	22
3.5	ALS 当事者 西牧氏による MOVE WEAR の体験の様子	23
3.6	イベントでの MOVE WEAR の体験の様子	24
3.7	ALS 当事者 高野氏による MOVE WEAR の体験の様子	26
3.8	モーション作成における各役割ごとのタスク	30
3.9	システムの概要図	31

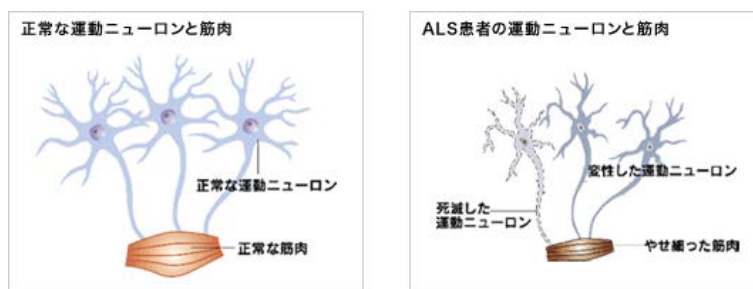
3.10	TouchDesigner によるシステムの実装	32
4.1	作成した Hands Up モーション	36
4.2	作成した Peace Sign モーション	37
4.3	作成した Clap Hands モーション	37
4.4	作成した EYE VDJ モーションの様子	38
4.5	作成した Talk Show モーションの様子	39
4.6	MOVE FES 当日のライブの様子	40
4.7	Wave Hand モーションによるステージ登場時の様子	41
4.8	Clap Hands モーションによる EVE VDJ 時の様子	41
4.9	共同アーティストと同じ Peace Sign のモーションをとる	42
4.10	当事者本人によるモーション作成の様子	46
4.11	当事者を長年支えるヘルパーによるモーション作成の様子	47

第 1 章

Introduction

1.1. 身体の動きが失われていく病 ALS

体が徐々に動かせなくなる筋萎縮性側索硬化症（英語名称: Amyotrophic Lateral Sclerosis、ALS）という神経の病がある。ALS は、脳や脊髄の運動神経が徐々に機能を失い、筋肉が萎縮していく進行性の神経疾患である [1]。脳から命令を受け取る運動ニューロンが侵されることで筋肉を動かす信号が伝わらなくなり、手や足の筋肉が麻痺し、動かしくくなるほか、筋肉がやせ細る (図 1.1)。



(<https://www.sanofi-als.jp/about>)

図 1.1 ALS の影響を受けた筋肉の変化

初期症状として手足の筋力低下や話しづらさが現れ、次第に歩行や手を使った作業、嚥下、呼吸等が困難になる。進行が進むと目も動かすことができなくなり、最終的には完全閉じ込め症候群（英語名称; Totally Locked-in Syndrome、TLS）と呼ばれる状態に至る。しかし、意識や認知機能は保たれるため、ALS 患者は意識があるにもかかわらず、話すことも動くこともできなくなる。そのため、身体的な苦痛に加え、意思を伝えられないことによる精神的な苦痛は計り知れない。

不自由になっていく身体が今日も動くのかを、毎日確認することが習慣になっていると話す当事者もいる。

現在、世界で約 35 万人もの患者がいる。日本でも、ALS は国が定める指定難病の一つとされている。しかし、2025 年の現在においても、その明確な発症原因や根本的な治療法は解明されていない。そのため、ALS 当事者は進行する身体の制約と向き合いながらも、家族や医療・介護スタッフの支援を受けながら生活が続けている。コミュニケーション手段としては、介助者が透明文字盤を用い、当事者のわずかな目の動きや表情、文字盤上の指示を通じて意思を受け取っている。

ALS が進行すると、次第に呼吸に関わる筋肉が衰え、その結果、呼吸困難や窒息のリスクが生じる。しかし、ALS の進行によって当事者が息苦しくなっても、自力で呼吸を整えたり、「助けて」と声を上げたりすることはできない。そのため、突然窒息し、家族もそれに気付けないまま死に至るケースが発生している。それを防ぐためには、気管切開を行い人工呼吸器を装着する必要がある。しかし、その際に声帯の切断を余儀なくされ、それはつまり、自分の「声」を失うことを意味する。また介護等の周囲のケアなどが大変となるため人工呼吸器装着の意思決定は非常に困難であり、当事者は心理的葛藤に直面する [2]。実際に気管切開を行い、呼吸器装着を決め、延命治療を行う患者は日本で約 3 割しかいないと言われている [3]。ALS は、当事者から身体のみでなく、話すこと、表現すること、コミュニケーションを取ることといった“人間らしさ”までも奪っていく病気であると言えるかもしれない。

1.2. テクノロジーを用いたコミュニケーションの補完

ALS とテクノロジーを用いて共生することについてのストーリーは、小山による漫画作品「宇宙兄弟」¹にも描かれている。本作は、主人公たちが宇宙飛行士として宇宙を目指す物語であり、ALS に関するエピソードも含まれている。ALS は単なる病気として描かれるのではなく、科学技術や人々の支援が ALS 患者の可能性を広げることに焦点が当てられている。また、病気による制約があっても、人

1 <https://sbyomu.lp.koyamachuya.com/>

は夢を持ち続け、挑戦し続けられるというメッセージが、キャラクターやストーリーを通して伝えられている。

作中には、次のようなセリフがある。「ALS 患者は、宇宙飛行士と似ています。コミュニケーションをとるために特殊な技術や装置を使うところはまるで NASA の交信みたいです。それから人工呼吸を信頼して、“最新技術”と一体となって生きています。宇宙服を信頼して船外へ出る宇宙飛行士と同じです。」(図 1.2)。続けて、「病による身体の制約があっても、宇宙飛行士が宇宙服を着て宇宙で活動できるように、テクノロジーと一体化することで活動は可能になる。また、視力が落ちたらメガネをかけ、それが体の一部となる。それと同じように、息ができなくなったら“呼吸器”をつければいい」といった内容のセリフを語る。このことから、ALS によって失われる身体の動きや機能を補完するテクノロジーが患者の身体と一体となれば、ALS が進行しても、人とのコミュニケーションや「人間らしさ」を失わずに済むのではないか。



(<https://landing-page.koyamachuya.com/serikafund/>)

図 1.2 ALS 当事者と宇宙飛行士の共通点についての描写

実際に、ALS 当事者は病の進行によって失われていく身体の動きや声、呼吸など、生命維持や他者とのコミュニケーションを補完するために、さまざまなテクノロジーを活用している。呼吸を維持するための人工呼吸器や、意思や言葉を伝えるための透明文字盤は、現在も多くの人に使用されている。

2019 年には、ALS の進行により発話が困難になる患者を支援すること目的に「ALS SAVE VOICE プロジェクト²⁾」が開始した。本プロジェクトは、音声合成プラットフォーム「コエステーション³⁾」(図 1.3)と視線入力装置「OriHime eye⁴⁾」(図 1.4)を組み合わせ、ALS 患者が自身の声を保存・再現し、意思伝達に活用できる仕組みを提供するものである。従来の音声合成技術は高コストや利便性の課題があったが、本プロジェクトはこれらを克服し、手軽に利用できる音声保存サービスを実現した。これにより、ALS 患者は病状が進行した後も、自身の声を用いたコミュニケーションを維持できるようになり、自己表現の手段を失うことなく、より自分らしい生活を送ることが可能となっている。このように、テクノロジーを活用することで、ALS 当事者の身体機能の補完を目的としたさまざまな取り組みが進められている。今後もより多くの ALS 当事者が自分の意思を自由に伝え、充実した生活を送れる環境の推進が期待されている。



図 1.3 コエステーション



図 1.4 OriHime eye

2 <https://withals.com/post/?id=395>

3 <https://coestation.jp/>

4 <https://orylab.com/>

1.3. ロボットアバターを活用した身体表現の拡張

ALS 当事者である武藤将胤氏は、ALS においても誰もが自分らしく生きられる社会を目指して、テクノロジー、エンターテインメント、ヒューマンケアの分野において活動する一般社団法人 WITH ALS⁵を創設した。武藤氏は、世界とつながり続けるために、罹患前から続けている DJ（ディスクジョッキー）としての音楽による表現活動や ALS に対応する先端テクノロジーの活用を追求している。具体的には、視線入力装置を活用してボーダレスの服をデザインする取り組みや、視線による DJ と VJ のパフォーマンス「EYE VDJ」を実施している。一般的な DJ 機材は扱うことができないが、視線での操作を実現することで、会場に流れる音楽と映像をコントロールするのである。これにより、障害を抱えていても自分らしく生き、自分らしさを表現できることを世界に証明している。武藤氏は 2016 年より ALS 啓発のための音楽イベント「MOVE FES」を開始し、ALS の啓発とボーダレスなエンターテインメント体験の創出を実践している。本イベントは先端テクノロジーのライブパフォーマンスとしても注目を集めている。

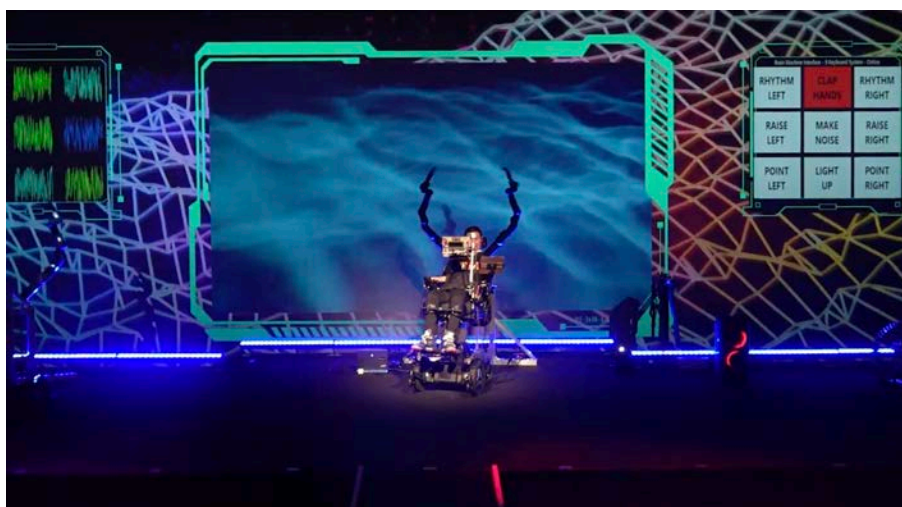
武藤氏は近年、ロボットアバターを脳波検知デバイスによって操作する技術の活用にも取り組んでいる。ロボットアバターとは、人間の身体とロボットを接続し、ロボットを自身の身体のように操作する技術である。これにより、あたかも自分自身の延長であるかのようにロボットを動かすことができ、身体の限界や制約を超えた活動の実現が期待されている。武藤氏は 2022 年には「Brain Robot Store⁶」を実施し、脳波検知デバイスの信号により分身ロボット OriHime-D⁷を操作し、観客とのジャンケンなどのインタラクションを実現した。2023 年には、武藤氏が脳波を用いて複数のロボットアーム（xArm）を VDJ の音楽パフォーマンスと同時に動作し、観客との身体的なコミュニケーションを実現する「Brain Body Jockey プロジェクト⁸ -We Can Expand-」を実施した (図 1.5)。

5 <https://withals.com/>

6 <https://withals.com/post/?id=475>

7 <https://orylab.com/product/orihime-d/>

8 <https://cybernetic-being.org/works/brain-body-jockey/>



(<https://www.youtube.com/watch?v=v9znQxaOdeI>)

図 1.5 Brain Body Jockey プロジェクトにおけるパフォーマンスの様子

武藤氏は、ロボットアバターを活用することで、身体の制約を超え、ALSにおいても自分らしく身体的な表現やコミュニケーションを拡張する取り組みを実践している。その取り組みは、ALSの未来における可能性を示すとともに、身体の制約に直面する人々だけでなく、健常者を含む多くの人々にも希望を与えている。また、テクノロジーの活用によって、身体機能の一部を補完するだけでなく、新たな身体のあり方や社会参画の可能性を提示している。

1.4. 本研究の目的

ロボットアバターを身体とつなぐことで、ALS当事者もロボットのモーションを通じて身体の動きや機能を補完し、身体表現を取り戻すことができる可能性がある。本研究では、ALSにより身体を十分に動かすことができない当事者を対象に、身体とロボットアバターを視覚的に同化させるアプローチを採用し、腕や手の動作の補完による身体表現の拡張を試みる。これにより、ロボットアバターのモーションが、本人および周囲の他者から見て、当事者自身の身体が実際に動いているかのように認識される状態の実現を目指す。

特に、本研究ではロボットアバターのモーション設計に着目し、当事者自身や周囲の人々が、ロボットのモーションを当事者の身体的な動作や表現として自然に認識できるモーションの設計を目的とする。

具体的には、ALS 当事者である武藤氏の活動を対象に、ロボットアバターとそのモーションを活用することで、身体表現を用いたコミュニケーションが生じるのかを検証する。また、日常使用を想定し、技術的な専門知識を持たない一般の人々でも当事者の「らしさ」を感じられるモーションを簡単に作成できるモーション入力ツールを設計・開発する。フィールドワークを通じて、このツールが実際の生活環境でどのように機能し、どの程度当事者の身体表現を支援できるのかを検証する。

1.5. 本論の構成

本論文は5つの章で構成される。本章では、ALS という病の症状と精神的苦痛、テクノロジーを活用した当事者のコミュニケーションの補完、ロボットアバターを活用した身体表現の拡張の取り組みについて述べた上で、本研究の目的について述べた。第2章では、本研究の関連研究として、ウェアラブルデバイスとロボットを用いた身体拡張技術と障害当事者の社会参画に向けた技術的アプローチ、ロボットのモーションを活用した身体表現の設計について述べ、本研究の位置付けを述べた。第3章では、フィールドワークで得た知見をもとに、当事者らしいと感じるモーション作成の設計要件を定義し、モーション作成フローと日常での利用を想定したモーション入力ツールを設計・開発した。第4章では、開発したモーション作成フローとモーション入力ツールについて、ALS 当事者を対象に検証を実施し、提案手法の効果と本研究の目的が達成されたかについて論じた。第5章では、本研究の結論と将来の展望について述べた。

第 2 章

Literature Review

第2章では、まず、身体を拡張するウェアラブルデバイスおよびロボットに関する研究について述べる。次に、障害当事者の社会参画を支援する技術的アプローチに関する研究を紹介する。最後に、ロボットのモーションを活用した身体表現の設計に関する研究を述べ、本研究の位置付けを明確にする。

2.1. ウェアラブルデバイスとロボットによる身体拡張

2.1.1 身体の一部や機能の補綴

視力を補うメガネやコンタクトレンズ、聴力を支援する補聴器などのデバイスは、身体機能を補綴する代表的なツールとして、現代では多くの人々が日常的に使用している。これにより、視力や聴力の低下による生活の質の低下を防ぎ、社会参加やコミュニケーションの円滑化に大きく寄与している。近年では、視力や聴力以外にも様々な身体機能を補綴する技術が開発されている。

まず、身体機能の拡張について、全身の筋力を増強するマッスルスーツ（筋力補助スーツ）が挙げられる。栗田ら [4] は電動装置を使用せず、人工筋肉を用いた軽量で柔軟な構造を持つ、非電源型パワードスーツを試作しその効果の検証を実施した。歩行や日常動作の支援を目的としており、実験結果から、低圧駆動型の空気圧人工筋肉が実用的な補助力を提供できることが示され、将来的なリハビリテーションや介護分野での応用が期待されている。

前田ら [5] は皮膚振動センサと振動触覚フィードバックを組み合わせたウェアラブルな触覚拡張システム「HapticAid」を開発した。指の中節骨に装着された皮

膚振動センサで触覚情報をリアルタイムに検出し、処理された信号を手首に装着されたアクチュエータを通じてユーザーにフィードバックすることで、ユーザーは触覚体験を強化・拡張し、触覚感覚を向上できる。日常における触覚感覚が低下した高齢者の触知覚の再取得やより高い触覚フィードバックの知覚が必要なインターフェースにおいて活用が期待されている。

腕の欠損を補完する義手について、吉川 [6] は軽量・低価格でありながら作業性、操作性、装着性に優れた電動義手「Finch」を開発した（図 2.1）。従来の義手の課題を克服するため、3D プリンタを活用して製造コストを削減し、義手全体の軽量化を実現した。Finch は 3 本の指を用いた多様な物体の把持が可能で、簡単に着脱できる独自のソケットシステムと筋隆起センサにより操作性を向上させた。こうした研究により、多くの人が義手を用いることが容易になりつつある。ウェアラブルデバイスを活用し身体機能を増強・補綴する技術や、ロボット技術を応用した義手による腕の欠損を補完する研究が進められている。身体と接続するテクノロジーを活用することで、身体的制約を克服することが可能になりつつある。

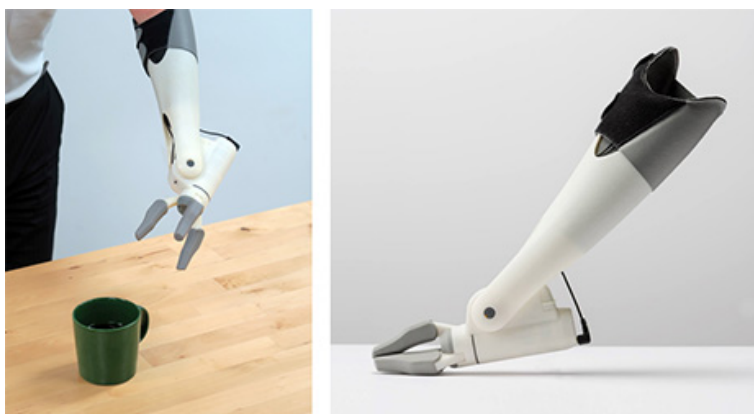


図 2.1 Finch

2.1.2 新たな身体部位の獲得

身体機能の補綴にとどまらず、新たな身体部位の獲得や拡張を目指した研究が進められている。佐々木ら [7] は、二本のロボットアームを背中に装着し、センサーが足の動作をリアルタイムで検知し、それをロボットアームに反映すること

が可能なシステムを開発した(図 2.2)。これにより、手が不足する状況や複数のタスクを同時に処理する場面において、新たに 3 本目、4 本目の腕の使用が可能となり、ロボットを通じた身体の拡張の可能性を提示している。身体の動作範囲や身体像を拡張することで装着者は、自身の体の一部としてロボットアームを知覚し、自在に動かすことができる。「Fusion」[8] は、ユーザーが肩や背中にロボットを装着し、それを遠隔の他者が操作することで、装着者と身体が一体となっている状態で遠隔の他者と協調動作が可能となるシステムを実現している。



図 2.2 MetaLimbs

鍋島 [9] は身体に装着可能かつ動物の尾を模した形状と機能を持つ尻尾型ロボット「Arque」を提案した(図 2.3)。この尻尾型のロボットは、内部のアクチュエーターとセンサーによって動的なバランス補助や動作支援を行うことができ、動物の尾が果たすバランスの調整や推進力の補助といった役割を人間の身体に付与し、動きにくい環境での身体能力を補完することを可能にしている。また、身体像に尾を付加することで、自分の身体の一部であると感じる身体所有感や自分の身体図式においても新しい身体部位が増えた感覚を感じ取ることができる。このように、ロボットを活用して従来の身体には存在しない部位を拡張し、新たな機能や感覚を獲得する研究が進められている。



図 2.3 Arque

2.2. 障害当事者の社会参画に向けた技術的アプローチ

2.2.1 日常生活支援のためのデザイン

伊藤 [10] は、車椅子ユーザーの外出率は健常者よりも低いことを示している。また、その障壁には (1) 物理的障壁 (2) 制度的障壁 (3) 意識的障壁 (4) 文化・情報面障壁の 4 つがあるとしている。織田 [11] は、車椅子利用者のためのユーザー投稿型バリアフリーマップアプリ「WheeLog!」を開発し、車椅子利用者が実際に走行した経路や利用した施設に関する情報を記録・共有する仕組みを提供している。情報の共有にとどまらず、車椅子ユーザー自身がマップへの情報の記録・共有を担う役割を持つことで、意識的障壁の緩和が期待される。また、文化・情報面の障壁の解消にも寄与する可能性がある。畠山 [12] は障害を持つ音楽家が自らの表現力を拡張する義手楽器「Musiarm」を提案した。Musiarm はピアノやギター、ドラムといった楽器を義手に融合させることで、身体障害を余白と捉えユニークな音楽演奏のポテンシャルとして身体障害をポジティブに捉えることを実現している。義手に対してユーザーや周囲の人々の意識を変容させるデザインであるとする。

Cyathlon [13] は、障害者と支援技術の開発者が協力して日常生活での課題解決を競う国際競技会である (図 2.4)。競技会は 2016 年に始まり、義手や義足、電動車椅子、脳波コントロール技術、歩行アシストデバイスなど、最先端の支援技術が実際にどれだけ実用的で効果的であるかを測る場を提供している。競技を通じて技術開発を促進し、障害者が直面する具体的な課題に対するソリューションを追求することを目的としており、各競技では、階段の昇降、狭い通路の通過、物の持ち上げといった、日常生活の動作を再現した課題が中心である。技術そのものの性能ではなく、現実世界での実用性が重視される点が特徴的である。Cyathlon は、障害者自身が支援技術进行操作するアプローチを採用しており、技術開発者が直接的なフィードバックを得る機会にもなっている。この取り組みは、障害者の生活の質を向上させ、社会参画を促進するための新たな可能性を示している。



(<https://cyathlon.com/en/event/disciplines/arm>)

図 2.4 Cybethron Arm Prosthesis Race

2.2.2 ロボットを活用したアプローチ

Takeuchi ら [14] は、障害当事者が接客などの身体的な作業に従事できるテレワーク「Avatar Work」を提案した。自身の障がいに応じて、マウスや視線入力でロボットアバター OriHime-D を操作することで遠隔就労を実施した。その結

果、障害当事者にとって精神的な充実感につながる事が明らかになった。さらに、実験カフェの作業内容は、社会参加を求めるさまざまな障害当事者にとって適切であるだけでなく、雇用不足問題の解決にも寄与する可能性が示唆された。

Ando ら [15] は、車椅子ユーザーの外出や作業を支援するために、遠隔の他者がロボットを操作し支援する技術である Fusion を車椅子と一体化した「SlideFusion」を提案した（図 2.5）。視線入力を活用したシステムの開発により、ユーザーと支援者が直感的に意思共有を行えるようになり、身体的制約を持つユーザーがロボットを通じて遠隔の他者と協調することが可能となった。



図 2.5 SlideFusion

2.2.3 ALS 当事者のためのコミュニケーション支援技術

ALS 患者のコミュニケーション支援に関する研究は、視線や脳波を活用することで多様化している。大矢ら [16] は、眼電図を利用した ALS 当事者向けの入力システムを開発し、眼球運動によるコミュニケーションの可能性を示した。伊藤ら [17] は、低コストの視線入力装置を用いた意思伝達環境を構築し、視線操作による直感的な入力方法を提案した。Smith ら [18] は、脳波を用いたシステムを開発し、身体の動きを失った ALS 当事者でも意思伝達が可能な手法を提示した。

Kano [19] の研究では、完全閉じ込め症候群（TLS）となった ALS 患者が、脳波を利用して意思伝達を行うためのスマートフォンアプリを開発した。ALS の進

行により音声や身体の動きによるコミュニケーションが困難になるため、視線や脳波を活用した新たな意思伝達手段が求められている。脳波信号をリアルタイムで解析し、ユーザーの意図を選択肢として表示することで、ALS 当事者と周囲の人とのコミュニケーションを可能にする。

ALS 当事者の武藤将胤氏と筆者らが共同で実施する Brain Body Jockey プロジェクト [20] は、DJ として活動する ALS 当事者と技術者、研究者の協力体制のもと、人間拡張技術を活用し、ステージパフォーマンスの向上を目指す取り組みである。ALS 当事者が身体の延長となるロボットアームを操作しステージ上でパフォーマンスを行うことで、観客に音だけではない身体表現を観客に伝達するコミュニケーションを実現している。

Klebne ら [21] は ALS 当事者の生活を支援するロボットを開発し、その使いやすさや効果を調べた。ALS は日常生活の自立が困難になることから、ロボットが当事者の動作を助けられるかを評価し、改良の方向性を探った。結果として、ロボットが生活の質を向上させる可能性があることがわかったが、さらなる改善や実用化に向けた課題も指摘された。これらの研究では、ALS を含む障害当事者が様々な技術的を用いたアプローチから、社会に参画するための手法の検討が行われている。

2.3. ロボットのモーションを活用した身体表現の設計

2.3.1 ロボットを活用したコミュニケーション

身体表現やボディランゲージの効果について、高木ら [22] の研究では、非言語的要素が人間のコミュニケーションにおいて重要な役割を果たすことを示しており、特に表情と身体動作は相互に補完し合うことでメッセージの内容や感情の伝達をより効果的にすることがわかっている。表情は、怒り、喜び、悲しみ、驚きといった感情を瞬時に伝える手段として機能し、相手に対する感情や意図を視覚的に伝達する役割を持ち、身体動作は身振りや手振り、姿勢は、言語的メッセージを補完し、強調する役割を果たしている。

石黒らは、人間の所作に特化したロボットとのインタラクション「Shosa」[23]や、ロボット演劇[24]を提案し、ロボットと人間の感情的なつながりや心を通じたコミュニケーションの可能性を探求している。

また、人間の身体動作は個人によって異なり、同じ動作でも初期姿勢と到達姿勢が一致していても、その間の経路には無数のバリエーションが存在する[25]。このことから、同じ動作であっても個人ごとに特有の違いがあり、それをロボットの動作に反映することで、操作者の個性やその人らしさを表現できる可能性があると考えられる。

2.3.2 ロボットのモーション設計手法

杉浦ら[26]は、ぬいぐるみの手足や尻尾などの部位を動かすことができるリング型デバイス「PINOKY」を開発した。このデバイスをぬいぐるみに装着することで、外部から動作を付与することが可能となる。ユーザーは、直接ぬいぐるみを操作することで動きを記録・再生でき、直感的にモーションを作成できる。ロボットモーションのプログラミングの必要がなく、誰でも簡単にぬいぐるみのモーションを設計することができる。物理的なカードを用いてロボットの動作を直感的に指示するインターフェース「Magic Cards」[27]は、ユーザーがカードを配置・組み合わせることで、ロボットに対して複雑な動作指示を簡単に行うことができる。



図 2.6 PINOKY

Hopkins ら [28] は、ロボットキャラクターに多様な歩行スタイルを付与する研究を行っている。物理的なロボットに同様のスタイルを適用する際には、運動学的および動力学的な制約が存在し、キャラクターの表現豊かな歩行モーションのデザインの実現が難しかった。しかし、アニメーターがリアルタイムで物理的またはシミュレーション上のロボットに対して、キャラクターの動きを生成できるインタラクティブな編集ツールを開発したことにより、ロボットキャラクターの歩行をアニメーターがデザインすることが可能となった。

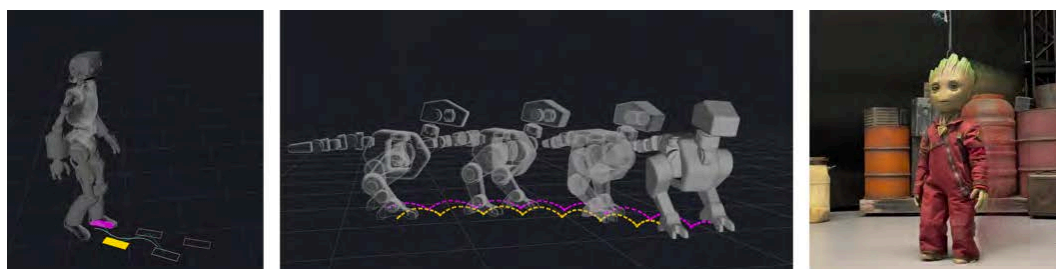


図 2.7 Stylized gaits designed with our interactive procedural animation technique

2.4. 本章のまとめ

本章では、ウェアラブルデバイスとロボットによる身体拡張の研究と、障害当事者の社会参画に向けた技術的アプローチの事例を紹介し、ロボットのモーションを活用した身体表現の設計について述べた。身体の欠損を補完するロボット義手や、人形型・人型ロボットのモーション設計手法、身体表現に関する研究は進められているものの、障害当事者が活用する身体拡張ロボットにおける身体表現のためのモーションに関する研究や事例はほとんど存在しない。本研究では、ALS 当事者がロボットを用いて身体表現を補完し、コミュニケーションを実現するためのモーション設計に関する研究を行う。

第 3 章

Concept Design

第3章では、ALS 当事者が病によって失われた身体表現をロボットアームのモーションによって取り戻す際に、その人らしいと本人や他者が感じることのできるモーションの設計の要件を探求するために、筆者が行った取り組みを述べる。はじめに、ロボットアバターを身体と同化する手法とシステムについて述べる。その後、フィールドワークを実施し、モーションの設計要件について述べた上で、開発したモーションの設計手法について提案を行う。

3.1. Brain Body Jockey プロジェクト

本研究は、ALS 当事者であり EYE VDJ として活動する一般社団法人 WITH ALS 代表理事の武藤将胤氏、分身ロボットを活用した障がいの克服を推進する株式会社オリィ研究所所長の吉藤健太郎氏、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 Embodied Media Project と東京大学に所属する脳科学者の荻野幹人氏と連携して行う Brain Body Jockey プロジェクトと合わせて実施する。本プロジェクトはロボットアバターや BMI を活用し、武藤氏をはじめとした ALS 当事者が身体をテクノロジーによって拡張し、新たな身体像や社会参画の方法を探ることを目的とした産学連携のプロジェクトである。図 3.1 はプロジェクトが公開する動画のワンシーンで、武藤氏がロボットアバターを用いた身体拡張を日常生活で活用する未来を描写している。また、アウトプットとして、武藤氏が VDJ としても主催する ALS 啓発音楽イベントである MOVE FES にて、ロボットアームを装着し、ステージ上から観客に手を振る、音楽に合わせて手拍子をする等の身体表現を行うことをマイルストーンの 1 つとして設定した。



(<https://www.youtube.com/watch?v=oXTWZUv5-BA>)

図 3.1 目標とする日常生活での利用のイメージ

プロジェクトの各組織の役割としては、武藤氏は、提案されたロボットアームシステムを操作しながら VDJ パフォーマンスを実施し、身体表現を取り入れたライブパフォーマンスを行う。吉藤氏は、ロボットアームとウェアを組み合わせることで身体とロボットアバターを同化させる手法「MOVE WEAR」を提案し、その開発を担当している。荻野氏は武藤氏の脳波を読み取る BMI を用いたセンサーシステムを担当する。慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 Embodied Media Project は、本プロジェクトにおけるロボットアームと脳波センサーを統合したシステムの実装、またロボットアームモーションのデザインと実装を担う。筆者は本研究に基づく、ロボットアームモーションの作成および実装を担当する。

3.2. 身体表現によるコミュニケーションの補完

ALS 当事者は、声や腕をはじめとする身体機能や動作を失うことで、他者とのコミュニケーションや意思伝達が極めて困難になる。日常生活では介助が必要となり、思いや感情、意思を十分に伝えられないことが、精神的に大きな苦痛を伴う要因となる。視線入力装置や音声機器の活用により、会話が可能となる技術が広まりつつある一方で、ALS 当事者自身が身体の動作を補完するための支援技術は、依然として十分に確立されていない。Mehrabian [29] の研究によれば、感情や態度の伝達において、言語情報はわずか 7% に過ぎず、音声（トーンや抑揚）が

38 %、表情やジェスチャーといった視覚情報が 55 %を占めるとされている。コミュニケーションには視覚的な要素が極めて重要であることがわかる。したがって、ALS 当事者が他者と円滑に意思疎通するには、失われた身体表現を補い、身体の一部として自然に使えるテクノロジーの開発が必要不可欠である。

3.3. 身体同化型ロボットアバター

3.3.1 コンセプト概要

本研究では、ユーザーの身体の動きによる身体表現を取り戻す手法として、ロボットのモーションによる動きの再現に着目する。そこで「身体同化型ロボットアバター」という新しいアプローチを採用する。これは、ロボットアームをユーザーの身体と視覚的に一体化させることで、ロボットの動きをユーザー自身の身体の動きとして本人や周囲が自然に認識できるようにする手法である。そのため、人間の腕のようなモーションを可能とするロボットアームを用いる。そのため、産業用の大掛かりなロボットアームではなく、障害当事者の身体や車椅子に取り付けが可能で、比較的軽量かつ人の腕の身体表現を実現できる自由度と形状を持つロボットアームが必要となる。

3.3.2 MOVE WEAR システム

本研究では吉藤氏の提案する「MOVE WEAR」というシステムとそのロボットアームを使用する。MOVE WEAR は、衣服（ウェア）と一体化したロボットアームをユーザーの身体と視覚的に同化させることで、ロボットアームのモーションをそのユーザーの身体の動きのように周囲に認識させることができるシステムである（図 3.2）。

ロボットアームの車椅子への固定に関しては車椅子の種類と形状によって固定位置や方法は異なるが、まずロボットアームを固定するためにアームのジョイントとなるアルミフレームをロボットアームと結合させる。次にロボットアームの肩をユーザーの肩に近い横の位置に移動する。そして椅子後部の柱もしくは手す

りに3関節を持つフリクションアームを用いたクランプでロボットアームのジョイントのアルミフレームの部分を固定する、それによりロボットアームのモーション時の揺れや外部からの力が加わった際にも、落ちることも傾くこともなく固定することができる。ロボットアームをクランプを通じて車椅子に取り付けた後に、ロボットアームにウェアを通す。最後に視覚的にロボットアームとウェアがユーザーの身体と連続的に見えるようにアームやウェアの位置の微調整を行う。

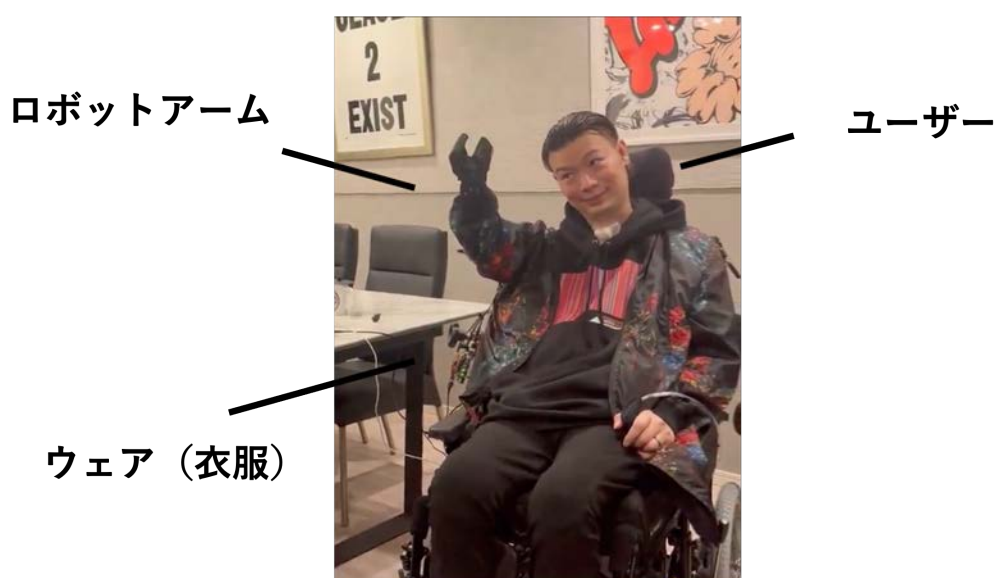


図 3.2 MOVE WEAR システムの概要

3.3.3 ロボットアーム

本研究で使用するロボットアームとハンドを図 3.3 に示す。人の腕の運動を再現するために8軸 (腕7自由度 + 手の開閉1自由度、motor: DYNAMIXEL XM430-W350-R x 5, XM540-W150-R x 3) で構成されており、右手と左手は左右対称の設計が施されている。パーツは全て3Dプリンタで印刷が可能である。プロトタイプでは、コントロールシステムはArduinoによって制御されている。ロボットアームの3Dプリントパーツは、初期段階ではPLA (ポリ乳酸) を使用して作成し、試作や形状確認を行った。後に、耐久性や強度を考慮し、カーボン素材を用

いた製造に移行した。これにより、部品の剛性が向上し、実用性が高まった。カラーリングについては、白色、黒色、灰色など様々なバージョンを試作した。

本研究では、ハンド（手の部分）に関して、吉藤氏が設計したロボットアームに加え、新たに 株式会社 SPLINE DESIGN HUB¹ が設計したロボットハンドを組み合わせたロボットアームの2種類を併用し、研究を実施した。吉藤氏が設計したロボットアームのハンドは左右ともに1自由度により開閉する機構である。SPLINE DESIGN HUB が設計したロボットハンドは、左右によって役割と機構が異なる設計で、右手は2自由度によって4指を持つハンドで、指差しやピースサイン、親指を上にするグッドサイン等のジェスチャーが可能である。左手は1自由度によって開閉する機構で、コップ等の何か物を把持する役割を担う。本研究では、後に実施するフィールドワークによる予備調査では吉藤氏の設計したハンドを用い、実証を行う武藤氏主催の MOVE FES と日常利用可能性の検証の際のフィールドワークでは SPLINE DESIGN HUB の設計したハンドを用いた。



図 3.3 ロボットアームとロボットハンド

1 <https://www.spline-d.com/>

3.3.4 モーションの記録と再生方法

ロボットアームのモーションの記録と再生の方法について、図 3.4 のようにロボットアームを手動で直接動かすことでモーションを記録するシステムを採用する。具体的には、コントロールボードの記録開始ボタンを押す、ロボットアームを手動で直接動かすことでモーションを記録する。この際、各モータの回転値の変異を時系列のテキストデータとして記録・保存する。モーション再生時には、コントロールボードの再生ボタンを押すと、プログラムが保存データを読み込み、ロボットアームが記録通りに動作する。また、複数のモーションを記録・保存でき、使用時に任意のモーションを選択し再生することも可能である。

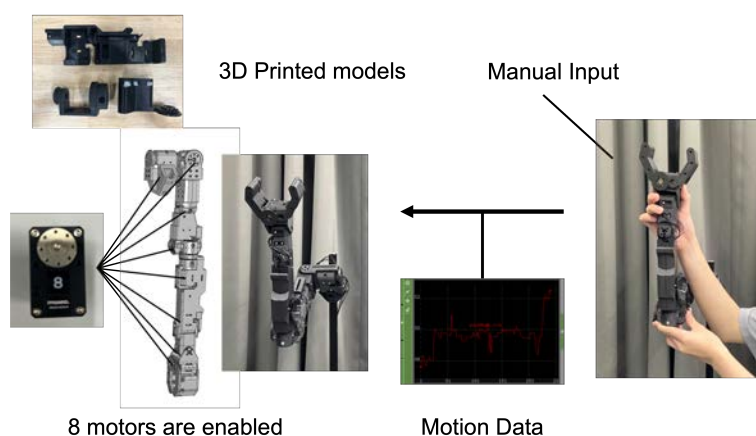


図 3.4 手動によるロボットアームの動作記録

モーションの作成方法として、ロボットアームを手動で動作させ、その動作を入力・記録するシステムを採用した理由は、非エンジニアでもロボットアームのモーションを作成できるようにするためである。これにより、ALS 当事者のモーションを自宅や病院などの現場で、家族や介護者が必要な動きを即座に作成でき、実用性と拡張性が高いと考えられる。また、武藤氏は再生ボタンを押すことで、本人の好きな動きを好きなタイミングで実行できるようになり、自身の手や腕、さらには身体が動いているように認識できることが期待される。

3.4. フィールドワークによる予備調査

3.4.1 目的と概要

ALS 当事者に適したモーションを作成するには、どのような要素や工程が必要かを明らかにする必要がある。そこで、本研究では、ロボットアームシステム MOVE WEAR を用い、ALS 当事者を含む障害当事者や健常者を対象にフィールドワークを実施した。

バリアフリー系イベントやオープンラボでの技術デモ、ALS 当事者の自宅訪問などを行い、延べ 50 人に MOVE WEAR の体験を実施した。ロボットアームの手動操作による動作記録・再現方法を調査し、様々なモーションや作成方法を試行錯誤しながら、体験者のフィードバックや反応を観察した。その結果、モーションを作成する上で重要な要素と工程を導出した。

3.4.2 個人の存在感が現れるモーション

2024 年 10 月 2 日、ALS 当事者である西牧和音氏の自宅を訪問し、MOVE WEAR の体験を実施した (図 3.5)。訪問時間は約 2 時間で、家族の方にも同席してもらい体験を行なった。



図 3.5 ALS 当事者 西牧氏による MOVE WEAR の体験の様子

その人らしさや個性の表出されるモーションの内容について検討するために、どのような身体動作をロボットアームで再現したいかを西牧氏と同席された家族に伺った。話の後に、ALSに罹患する以前の腕がよく動いていた時の写真を見せていただき、その写真のポーズを確認しながらロボットアームのモーションを作成した。具体的には西牧氏の腕を組んでいる写真や両手でポーズをとっている写真を参考にしてモーションを作成した。そして西牧氏に MOVE WEAR を装着してもらい作成したモーションを再生したところ、家族の方から非常に前向きな反応が見られた。西牧氏本人も撮影した動画と参考にした写真を同時に見て、自分らしさを感じたと話し大変喜んでいて。このことから、個人ごとに個性の現れる動作が存在し、それぞれに特有の表現や動きがある可能性が示唆された。

2024年6月9日に愛知県名古屋市の愛・地球博記念公園にて行われた ALS 啓発イベント「世界 ALS デー in Nagoya～みんなでゴロンしよう!²」において、MOVE WEAR の体験デモを実施した（図 3.6）。体験者は ALS 等の障害当事者や子供から大人など幅広い年代と属性であった。体験では本人がロボットアームで行いたい動作の内容を質問し、可能であればその動作を本人にジェスチャーで実施してもらった。



図 3.6 イベントでの MOVE WEAR の体験の様子

2 <https://goron.jp/>

体験者に行いたい動作の内容を質問をすると、手を振るモーションやコップを把持して乾杯を行う動作や、子供の体験者からはバイバイと手を振る動作や自分の顔をロボットアームで触れてみる動作、えいえいおー！といった動作のリクエストがあった。障害当事者からは目の前の相手と握手をしたい等というリクエストが得られた。そして体験者本人にジェスチャーでその動作を行なってもらい、実施者である筆者がその動作を目視で観察しロボットアームにその動作を入力した。その後、入力したロボットアームのモーションを再生し体験者に見てもらった。その結果、同じ手を振るモーションでも、肩や肘を使って大きく手を振る人や手首で小さめに手を振る人など、人それぞれ動作のクセであったり、緩急や軌跡が異なることがわかった。例えば、コップを持って乾杯するモーションでは、コップを前に出す人と上に出す人がいることが観察された。そのモーションをロボットアームで再生したところ、動きの違いを見てとることができた。同じ動作であっても個人ごとにクセや特徴があり、それをロボットアームのモーションに反映することで、その個性が認識可能であることが示唆された。

3.4.3 モーションへのデフォルメの適用

2024年7月23日、ALS当事者である高野元氏の自宅を訪問し、MOVE WEARの体験デモを実施した(図3.7)。訪問時間は約2時間で、高野氏のヘルパーにも同席してもらい体験デモを実施した。また、今回はパントマイムなどの表現技術に優れ、身体表現について詳しい浅見氏にも同席してもらい、ロボットアームのモーション作成を実施した。浅見氏は身体表現について詳しいことから、ロボットアームにモーションを入力するスキルが非常に高く、人の動きのようになめらかさのあるモーションを作成できる。そのため今回の訪問において、高野氏に体験してもらうMOVE WEARのモーションの作成を担当してもらった。筆者は、MOVE WEARのシステムセットアップと本研究のための聞き取りや観察を行った。



図 3.7 ALS 当事者 高野氏による MOVE WEAR の体験の様子

高野氏はロボットアームを用いて、飲み物を自分の手で飲みたい、音声ソフトと合わせた手の動きを行いたいと話した。浅見氏は、動作に抑揚をつけたり、曲線的な軌跡を加えたりするなどのデフォルメを行なって、ロボットアームにモーションを入力した。その結果、これまでのデモと比べ、よりモーションが体験者らしいと感ずることができた。モーションに抑揚や軌跡にデフォルメを適切に加えることで、よりその人らしく感ずることができる可能性が示唆された。

3.4.4 モーション入力 of 課題

フィールドワークを通じて、その人らしいと感ずるモーションを作成する際に重要となる要素について導出することができた。一方で、手動でロボットアームを動かしモーションを入力する手法には課題があった。作成したい手や腕の動きをイメージし、その通りにロボットアームの肩、肘、手首、指を同時に手動で教示する手法は、デモを行った筆者自身でも非常に難しく感ずられた。さらに、モーションを再生すると、イメージと異なり違和感を覚える場面もあった。この手法を日常生活で ALS 当事者や家族、介護者が活用し、本人らしいモーションを作成するには、ロボットアームの構造理解やモーション作成の練習が必要となり、負担が大きい可能性がある。負担を軽減しつつ、知識や練習がなくても、本人らしいモーションを簡単に作成できる方法を検討する必要があることが示唆された。

3.5. モーション作成における設計要件

MOVE WEAR のフィールドワークを通じて、日常での活用や本人らしいモーション作成における重要な要素と課題を明らかにすることができた。その結果、本研究で提案するモーション作成手法において、以下の3つを必要な設計要件として設定した。

- 個人の存在感の現れるモーション
- モーションへのデフォルメの適用
- 自然な動作を簡単に作成できるシステム

個人の存在感の現れるモーションについて、ユーザーごとに個性が現れる特有の動作がそれぞれにあり、同じ動作であってもクセや特徴があることである。これは、モーションの内容からその人の存在感や本人らしさを感じ取れることを意味する。例えば、ユーザーが手を振る動作に特徴があり、その特徴を知る関係性の人物はその手を振る動きを見てそのユーザーらしさを感じ取ることができる可能性がある。

モーションへのデフォルメの適用について、ロボットアームのモーションを作成する際に、動作の軌跡や抑揚を強調するなどのデフォルメを加えることで、よりその人の動きらしく感じられることがある。人間の腕や手とロボットアームは構造が異なるため、同じ動作を再現しても、周囲の人々が本人の動きと同じように認識するとは限らず、違和感を覚える可能性がある。そのため、実際の動作とは異なるが、動きを滑らかにしたり、誇張したりするデフォルメを加えることで、ロボットアームと本人の身体が一体化して見え、まるで本来の腕のように感じられる効果が期待できる。

自然な動作を簡単に作成できるシステムについて、日常生活において、ロボットアームの専門知識やモーション入力の実験がなくても、当事者の家族や介助者が本人らしいモーションを作成できることが重要である。現状の入力システムは、ロボットアームを手動で動かすことでモーションを作れることから、プログラムやロボットの知識がなくてもモーションを作成できるというメリットがある一方

で、腕のように見える動きを手動で入力することは難しい。1つの動作を記録する際にも、肩や肘、手首、指といった8自由度を持つロボットアームの各関節を同時に動かし、エンドエフェクター（手の部分）だけでなく、肩や肘の動きも含めて記録する必要がある。そのため、日常生活において簡単にモーションを作成でき、かつ本人の腕の動きとして自然に見えるモーション作成ツールが求められると考えられる。

上記の3要件を満たす手法を本研究で提案する。設計要件である、個人の存在感の現れるモーションと、モーションへのデフォルメの適用については、ALS当事者とモーション作成者がどのような手順と方法でモーションを作成するのかについて、専用のモーション作成フローを提案する。また、設計要件の3つ目の自然な動作を簡単に作成できるシステムについては、現状の手動でロボットを動作してモーションを記録するシステムとは異なるモーションの記録システムの設計・開発を行う。

3.6. モーション作成フローの提案

3.6.1 目的と概要

MOVE WEARにおけるユーザーらしいモーションの作成に向け、設計要件をもとにモーション作成のワークフローを設計する。具体的には、個人の存在感の現れるモーションの共有と決定、モーションへのデフォルメの適用の工程を含むワークフローで、ALS当事者とモーション作成者が協働し、当事者らしいモーションを作成できるフローを提案する。ALS当事者の家族や介護者が、どのような手順や工程に沿ってモーションを作成すればよいかを示すガイドラインとなる。これにより、ロボットに関する専門知識がなくても、ALS当事者のロボットアームによる身体表現を日常生活の中で作成できることを目的とする。

3.6.2 モーション作成フロー

設計要件である「個人の存在感の現れるモーション」を実現するため、ALS当事者とモーション作成者が協働でモーションを作成する。まず、取り戻したい・実現したい身体表現について話し合い、作成するモーションの内容を決定する。次に、ALS罹患前の当事者の身体動作や理想とする身体表現の写真・動画を共有し、同じ動作であっても個人特有のクセや特徴を把握する。このプロセスを通じて、当事者の個性を反映したロボットアームのモーションを決定する。

設計要件である「モーションへのデフォルメの適用」について、まずデフォルメなしのモーションを作成し、当事者に確認してフィードバックを得る。これを踏まえ、動作のスピードや強弱などの抑揚、大きさの調整、軌跡の誇張といったデフォルメを決定する工程をフローに組み込む。以下に、提案するワークフローの手順を示す。

1. ロボットアームで再生するモーションの内容の決定。ロボットアームを用いて身体表現を行う状況を想定し、再生するモーションのイメージを固める。
2. モーションのイメージを具現化。決定したモーションをロボットアームと同じ側の手でジェスチャーする。もしくは、イメージと近いモーションの写真や動画をモーション作成者に共有する。
3. イメージしたモーションのロボットアームへの入力。モーション作成者がそのモーションを忠実にロボットアームに入力し、記録する。
4. モーションの再生と比較。記録したモーションを見て、ALS当事者のイメージする身体表現との比較を行う。
5. デフォルメの適用。イメージに沿うように、抑揚や軌跡をデフォルメしたモーションを入力する。
6. モーションのチェック。再びモーションを確認し、ALS当事者のイメージする身体表現と一致するまで4から6の工程を繰り返す。

ワークフローの工程2について、ALS当事者が腕を動かすことができない場合は、イメージする身体表現について言葉やそのイメージと重なる写真や動画をモーション作成者に共有することでモーションのイメージの具現化を行うものとする。

以下に、上記のワークフローについての ALS 当事者とモーション作成者ごとのタスクの流れについて示す (図 3.8)。

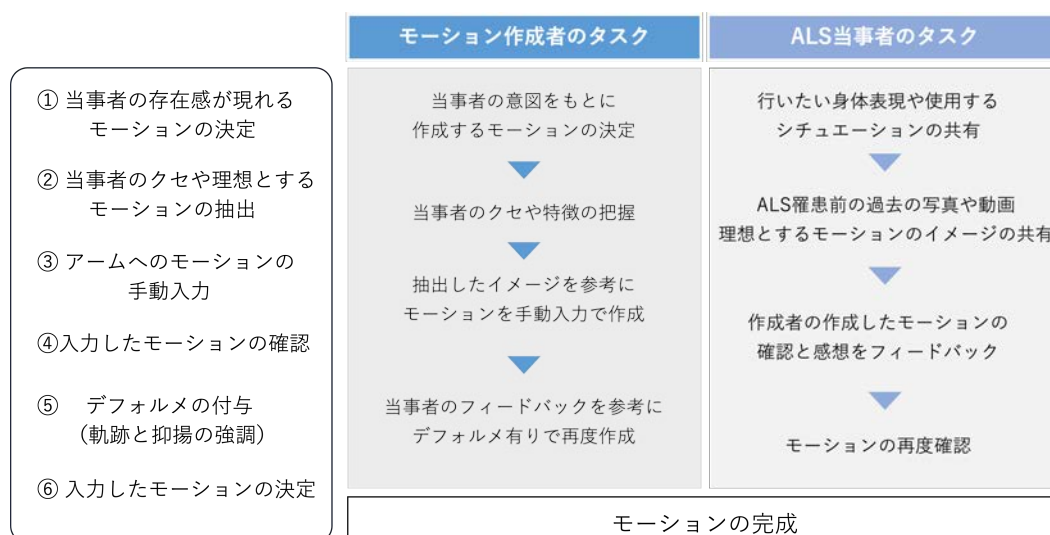


図 3.8 モーション作成における各役割ごとのタスク

3.7. 日常での使用に向けたモーション作成ツールの設計

設計要件である「自然な動作を簡単に作成できるシステム」について、フィールドワークで手動によるモーション入力を試みた結果、当事者のイメージする腕の動作をロボットアームで再現する難しさが明らかとなった。また、両腕のモーションを同時に記録する場合、1人での記録は不可能で最低でも2人の人員が必要となる。田中ら [30] の研究では、モーションキャプチャを活用することで、専門知識がなくてもロボットのモーション作成が可能であることが示されている。これを踏まえ、手や腕の動きに連動してロボットアームが動作し、そのモーションを記録できるツールの設計が求められる。

3.7.1 システム設計

図3.9のように、ロボットアームをコントローラーでリアルタイムに1対1対応で操作し、その動作を記録できるシステムを設計した。本システムでは、腕に装着するトラッカーとコントローラーを用いてユーザーの動作をロボットアームに反映する仕組みを採用した。トラッカーを肘に装着し、そのx、y、z座標をロボットアームの肩関節および肘関節に割り当てることで、腕の位置や曲がり具合をロボットに伝達する。また、コントローラーの回転情報を手首の回転に適用し、トリガー操作を手先の開閉や指の動作に割り当てる。ロボットアームとコントローラーの初期位置を基準とし、相対変位に応じて動作し、同時にその動きを記録するシステムを構築する。これにより、ユーザーは直感的にロボットアームを操作し、その動作を記録することができる。

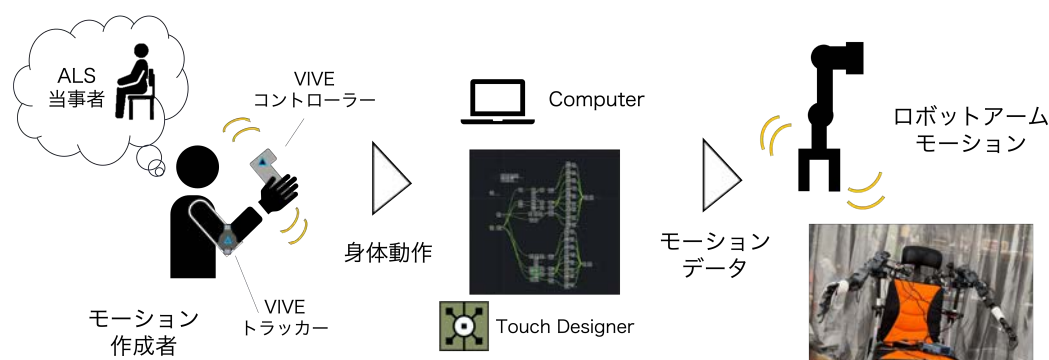
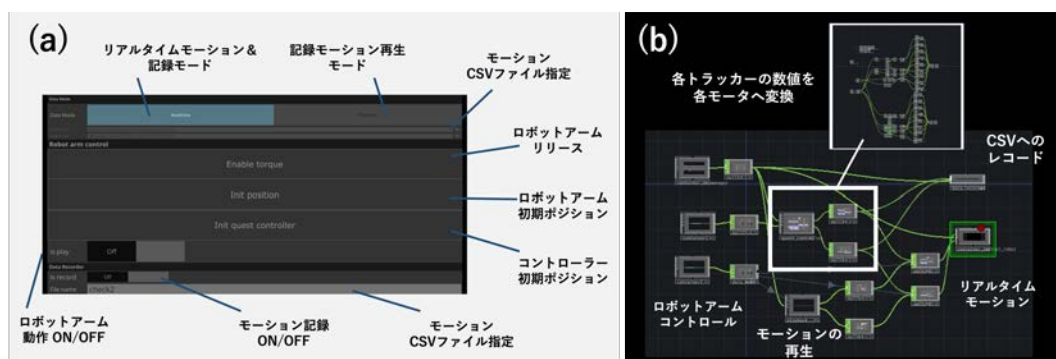


図 3.9 システムの概要図

ALS 当事者の本人らしい身体表現を再現するため、家族や介護者がモーション作成者となり、トラッカーを肘に巻き、コントローラーを手に握ることで、作成者の腕とロボットアームが連動して動作する環境を構築する。これにより、腕の動きによるロボットアームのモーション作成が可能となる。一般的に、リアルタイム制御にはエンドエフェクターの位置を基準に肩や肘の動きを逆算する Inverse Kinematics（逆運動学）が用いられる。しかし、本研究では、個人のクセや特徴を反映するため、手先の位置ではなく腕の各部位の位置を基準にロボットアームを制御する手法を採用した。

3.7.2 実装

モーション作成ツールの設計後、システムの実装を行った。ビジュアルプログラミング環境の TouchDesigner³を使用し、モーション作成者の腕に取り付けた VIVE トラッカー⁴とコントローラーをロボットアームの各モーターに割り当て、トラッカーの変位に応じてモーターが動作するプログラムを実装した（図 3.10）。



((a) 操作パネル、(b) プログラムの一部)

図 3.10 TouchDesigner によるシステムの実装

まず、トラッカー・コントローラー・ロボットアームの初期位置を 0 に設定し、動作開始ボタンを押すと、腕の動きに応じてロボットアームが連動して動作する。モーションレコードボタンを押せば、その動作を記録・保存し、後に再生できる。当初は肩と肘にトラッカーを装着したが、取得値が不安定でロボットアームの制御が難しかった。そのため、肩のトラッカーを除き、肘の x 、 y 、 z 座標をロボットアームの肩関節の縦・横、および肘の曲げ伸ばしに割り当てた。また、肘と手首の回転もロボットアームの肘・手首の回転に対応させた。これにより、比較的スムーズな動作が可能となったが、イメージ通りの理想的なモーションの作成は難しかった。そこで今回は、作成するモーションに応じて動作の必要なモーターの位置と腕および手の位置を調整し、ロボットアームの動作を記録・再生するシステムを実装した。

3 <https://derivative.ca/>

4 <https://www.vive.com/jp/accessory/tracker3/>

第 4 章

Proof of Concept

第4章では、コンセプトで提案したモーション設計手法の実証を行う。モーション作成フローの実証については、ALS 当事者の武藤氏を対象にモーション作成フローを用いて実証する。具体的には武藤氏が主催する ALS 啓発音楽イベント MOVE FES にて身体同化型ロボットアバターによる身体表現を観客に対して行い、その効果を検証する。日常での使用に向けたモーション作成ツールの実証については、ALS 当事者へのフィールドワークを実施し、当事者や家族、介護者等が当事者本人らしいモーションを作成できるかについて検証する。

4.1. ALS 当事者の身体表現の補完の実証

4.1.1 概要と目的

ALS 当事者が身体同化型ロボットアバター MOVE WEAR を用いて、本人らしいモーションによって身体表現を行い、他者とのコミュニケーションを促進できるかについて検証する。これが実現すれば、身体同化型ロボットアバターは、メガネや人工呼吸器のように身体の一部として機能するテクノロジーとなり、ALS 当事者の身体表現を補完する役割を果たすことができる。そのため、ALS 当事者が自身と周囲の双方にとって、自分らしいと感じられるモーションを用いることで、身体表現を通じた相手や他者とのコミュニケーションが実現可能かを検証する。

本検証では、提案するモーション作成フローを用いて、武藤氏の身体の一部であると本人と周囲の人々が感じられるモーションを設計および作成する。そして作成したモーションによる身体表現を用いて対面のコミュニケーションを実施する。武藤氏は視線入力装置で作曲し DJ を行う EYE VDJ としての音楽活動を行っている。その活動の中で、武藤氏は多くの観客とコミュニケーションを行っている。そして、本研究で身体表現を拡張する身体同化型ロボットアバターによってこれまでのコミュニケーションと比較し武藤氏や観客の印象にどのような変化が生じるのか、武藤氏本人とコミュニケーション相手である観客に対してアンケートとヒアリング調査を実施し、モーションの効果や感想をまとめる。

4.1.2 MOVE FES の概要

本検証は 2024 年 11 月 24 日に LINE CUBE SHIBUYA で武藤氏が主催する ALS 啓発音楽イベント MOVE FES 2024¹において実施する。本イベントは、音楽とテクノロジーを融合させたアプローチを通じて、ALS 当事者が直面する課題やその存在を社会に広く啓発することを目的としている。MOVEFES の特徴は ALS 当事者がテクノロジーを活用してパフォーマンスを行う点にあり、武藤氏自身が人間拡張技術や脳波技術を用いることで、身体的な制約を超えた活動を行う。そして観客に強いインパクトを与え、ALS 当事者の社会参画の可能性を示している。MOVE FES に Brain Body Jockey Project はロボットアームを用いたパフォーマンスにおける拡張肢システムと脳波技術の担当として参画している。

1 <https://withals.com/post/?id=512>

4.2. モーション設計の実装

4.2.1 MOVE FES における身体表現の使用シーン

MOVE FES において武藤氏はある 1 曲のときを除いて、舞台への登場シーンから最後の終幕のシーンまで、ロボットアーム MOVE WEAR を装着してパフォーマンスやステージ上での振る舞いを行う。その中で、大きく 2 つの利用シーンがある。1 つ目は武藤氏の EYE VDJ 時で、頭部に装着した脳波計より 3 択のロボットアームモーションを選択できるようになっており、武藤氏は 3 種類のモーションを用いて EYE VDJ 時に身体表現を行う。もう 1 つは、ステージ上での MOVE FES の出演アーティストやテクノロジストとのトークショーの時で、登壇者との会話の中で武藤氏は 6 択のロボットアームのモーションをイヤホンの音声と右手の指先のセンサーによって選択し、会話と合わせてロボットアームのモーションを再生することが可能である。

4.2.2 当事者とのモーションの共創

提案するモーション作成フローに則って、モーションの作成を行う。まず、今回の役割について、ALS 当事者は武藤氏が、モーション作成者は筆者が担う。そのため、筆者は武藤氏とコミュニケーションをとってモーションを設計および作成を行う。前述のように MOVE FES で武藤氏は EYE VDJ の時とトークショーの時に MOVE WEAR を用いた身体表現を行う。そのため、武藤氏に MOVE FES で EYE VDJ の時とトークショー時に実施したい身体表現のモーションや、ALS 罹患前の過去の写真や理想とするモーションのイメージを共有してもらい、作成するモーションの決定の工程を行い、次に、武藤氏の動きのクセや理想とするモーションの抽出の工程を行なった。

4.2.3 モーションの作成

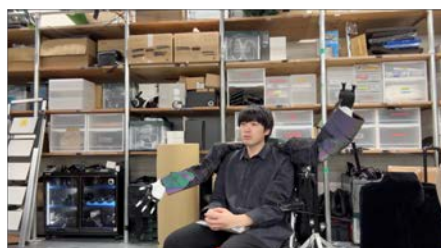
モーション作成の工程を行う。MOVE FES では、EYE VDJ モーションと Talk Show モーション、合計9つのモーションを作成する。その中から、3つのモーション作成の過程を以下に示す。

Hands Up モーションの作成

音楽パフォーマンス時の観客との一体感を表現する「Hands Up」のモーションを作成した。観客が真似しやすいように、縦に振るモーションであることと、「Eminem - Lose Yourself²」という動画のDJパフォーマンスの動きが理想という武藤氏の要望を抽出し、モーション作成者が動画のような Hands Up のモーションを作成した。この動きを再現するために、手首を固定し、肩と肘のモーターで縦振りのモーションを表現し、スピードに限界はあるものの、リズム感も模倣した(図 4.1)。



Eminem - Lose Yourself の Hands Up



作成した Hands Up モーション

図 4.1 作成した Hands Up モーション

2 <https://www.youtube.com/watch?v=yhyp-hX2s>

Peace Sign モーションの作成

武藤氏がステージ上で行いたい身体表現として「Peace Sign」のモーションを作成した。ALS 罹患前の武藤氏のピースサインの写真を参考に、肘の角度などを調整した。また、MOVE FES で共演するアーティストが楽曲の最後に手の甲を前に出すタイプのピースサインで武藤氏とコラボレーションしたいという要望を受け、それに合わせたモーションも作成した (図 4.2)。



図 4.2 作成した Peace Sign モーション

Clap Hands モーションの作成

音楽のリズムを観客に伝える身体表現として、「Clap Hands」のモーションを作成した。武藤氏の「滑らかな動きが良い」という要望を受け、試行錯誤の末、肘を下げながら手首を内側にしならせるデフォルメを加えることでモーションを作成した (図 4.3)。



図 4.3 作成した Clap Hands モーション

4.2.4 作成した MOVE FES モーション

最終的に MOVE FES で使用する 3 つの EYE VDJ モーション (図 4.4)、6 つの Talk Show モーション (図 4.5) を作成した。武藤氏はロボットアームを用いて VDJ の際には 3 つのモーション、トークショーの際には 6 つのモーションの身体表現を行い、観客と身体性のあるコミュニケーションを行う。

EYE VDJ モーション (Point Finger のみ 2 パターン)

1. 「Hands Up」 目的：観客との一体感や曲のエネルギーや情熱を表現する。
2. 「Clap Hands」 目的：観客へ曲のリズムやビートを伝達する。
3. 「Point Finger(nomal)」 目的：観客への呼びかけやメッセージを投げかける。
4. 「Point Finger(KURO)」 目的：KURO 氏との楽曲の終了時の同じポーズングをする。

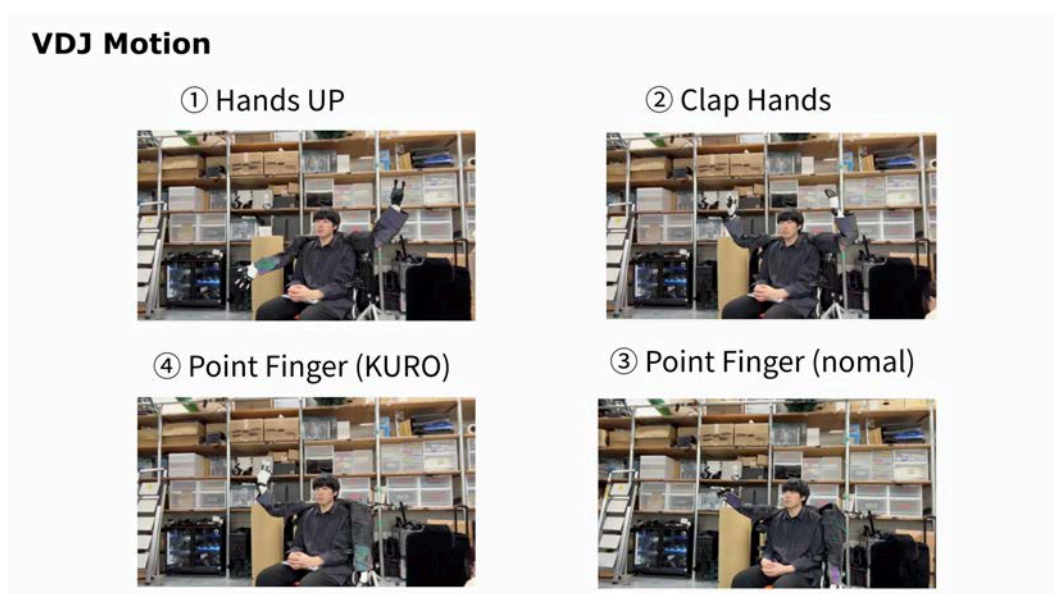


図 4.4 作成した EYE VDJ モーションの様子

Talk show モーション

1. 「Wave Hand」 目的：観客に向かって手を振る動作を用い、登場や退場時の挨拶を表現する。
2. 「Raise Hand」 目的：手を挙げるジェスチャーを通じて、会話への参加や発言の意志を示す。
3. 「Point Finger」 目的：指を指す動作を決めポーズとして活用し、視線誘導や強調表現を行う。
4. 「Peace Sign」 目的：写真撮影時のポーズや、親しみやすさを演出するジェスチャーとして用いる。
5. 「See Screen」 目的：観客にスクリーンの内容を指し示し、視線誘導を行うジェスチャーとして活用する。
6. 「Shake Hand」 目的：登壇者との対話中に握手を交わし、交流や親和性を表現する。

Talk Show Motion

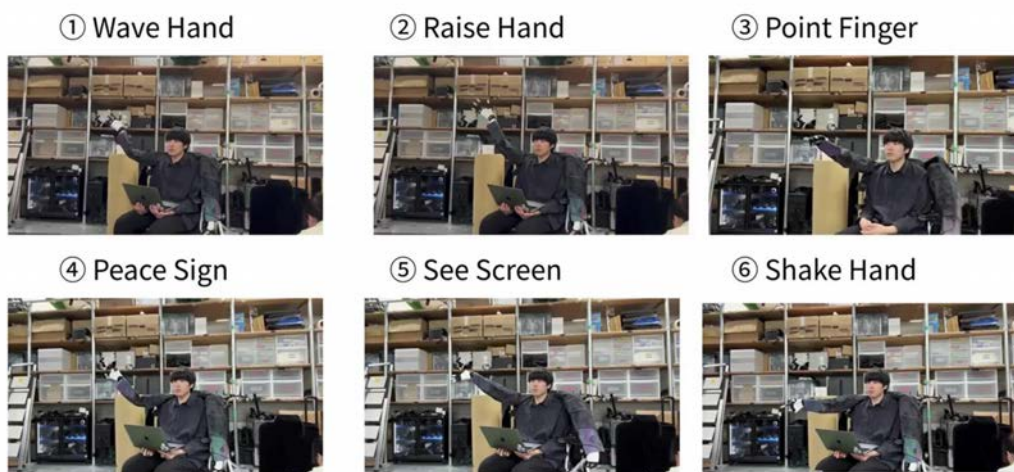


図 4.5 作成した Talk Show モーションの様子

4.3. MOVE FES での実証

4.3.1 イベントの全体像

2024 年 11 月 24 日、LINE CUBE SHIBUYA にて MOVE FES が開催され、武藤氏は、身体同化型ロボットアバター MOVE WEAR を纏い、作成したモーションを用いた EYE VDJ パフォーマンスや、登壇者とのトークセッションを行った。さらに、参加アーティストとのコラボレーションも実施し、音楽と視覚的演出が融合したステージパフォーマンスを披露した。ロボットアームを活用したパフォーマンスでは、音楽のリズムに合わせたモーションを駆使し、武藤氏が身体表現を通じて自身の感情を観客に表現する場面が多く見受けられた。

当日は、現地とオンライン配信を合わせて 1300 人以上がリアルタイムで視聴し、観客をはじめ場内は武藤氏らのパフォーマンスに大いに盛り上がりを見せた。



図 4.6 MOVE FES 当日のライブの様子

4.3.2 ロボットアバターを用いた身体表現

Wave Hand - 観客に向かって手を振る

武藤氏がステージ上に登場する際に、観客に向けてロボットアームで手を振りながら登場し、観客席からは大きな歓声が上がった (図 4.7)。



図 4.7 Wave Hand モーションによるステージ登場時の様子

Clap Hands - 音楽パフォーマンスのリズムを表現

EYE VDJ のパフォーマンスでは、音楽のタイミングに合わせて Hands Up や Clap Hands などのモーションをロボットアームで再現し、武藤氏が音楽やリズムに同調し、感情を表現しているかのような光景が見られた。(図 4.8)。



図 4.8 Clap Hands モーションによる EVE VDJ 時の様子

Point Finger(KURO) - 共演アーティストと同じポージング

アーティストの KURO 氏との共演の際の Point Finger モーションについて、楽曲の最後に手の甲を前にした Peace Sign でポーズを揃えたいという武藤氏の要望から、KURO 氏のパフォーマンス専用の Peace Sign モーションをあらかじめ作成した。そして、武藤氏は楽曲の最後に Peace Sign モーションを発動し、KURO 氏と同じポーズを取った (図 4.9)。共演者とのシンクロした身体表現を武藤氏はロボットアームによって実現した。



図 4.9 共同アーティストと同じ Peace Sign のモーションをとる

その他の武藤氏が行なった身体表現

トークショーの際の See Screen モーションでは、登壇者がスクリーンを使って話している際に、観客に「スクリーンに注目ください」という意図をモーションで伝達していた。また、観客席に向かって指をさす Point Finger モーションを多用していた。武藤氏は観客への強調したいメッセージとしての身体表現を Point Finger モーションに込めており、そのため、観客に呼びかけるようにモーションを使用していたと考えられる。

4.4. インタビューおよび考察

MOVE FES 実施後、ユーザーである武藤氏と MOVE FES を観覧した観客に対して、武藤氏のロボットアームと専用のモーションを用いた身体表現についてアンケートとヒアリング調査を実施し、考察を述べる。

4.4.1 ユーザーへのインタビュー

武藤氏は、MOVE FES においてロボットアームを用いた身体表現を実施し、「ロボットアームが自身の身体の一部であると感じるか？」という質問に対し、「非常に感じた」と回答した。その理由として、ロボットアームの振動を全身で感じることができ、さらに視覚的にもその動きを確認できたことで、身体の一部として認識しやすかったと述べた。また、今回の MOVE FES で実装したモーションの中で、特に EYE VDJ 時の Clap Hands モーションが、周囲の反応が最も大きいと感じたと答えている。

「どのような時にロボットアームのモーションを発動したくなるか？」という質問には、「相手に反応してほしい時」と回答した。さらに、「自分らしい、自分の身体であると感じるモーション」については、ピースサインや指差しなど相手に向けたポジティブなサインが自分らしさを感じると述べた。これらは観客へのコールアンドレスポンスがアームのモーション、すなわち武藤氏の身体表現によって行われていることを意味していると考えられる。

4.4.2 観客へのインタビュー

MOVE FES を鑑賞し、アンケートに回答いただいた 13 名を対象に調査を実施した。武藤氏の MOVE FES でのロボットアームの動作について印象に残った点を尋ねたところ、「登場時の手を振る挨拶」「脳波を用いたロボットアームの操作による交流」「デフォルメによってカーブをつけた動きや滑らかな動作」などが挙げられた。

武藤氏らしいと感じたロボットアームのモーションについて質問したところ、13人中10人が「あった」と回答し、特に EYE VDJ 時の Clap Hands のモーションや観客を煽る・盛り上げるモーションが最も多く挙げられた。その理由として、武藤氏が DJ として活動しており、音楽に対するイメージが強いことが影響していると考えられる。多くの観客が武藤氏を以前から知っており、今回、武藤氏の身体表現を初めて目の当たりにしたことで、これまでとは異なる新たな印象を受けた可能性が示唆された。

アンケートの後、より詳細な意見を収集するため、協力を得た7名に追加でインタビュー調査を実施した。MOVE FES における武藤氏のロボットアームを用いた身体表現について、鑑賞者視点からの具体的な意見を聞くことができた。インタビューの結果、ある鑑賞者は、武藤氏がロボットアームで手を振るモーションを行った際に、思わず手を振り返したと述べ、その瞬間に武藤氏とコミュニケーションが取れたように感じ、嬉しかったと語った。他の鑑賞者からも、同様に手を振り返したとの意見が複数寄せられ、ロボットアームを介したインタラクションが実際に生じたことが確認された。

一方で、指差しのモーションに関しては、「誰を指しているのかわかりにくかった」「動作が場面や状況と一致していない時があり、不自然に感じた」との指摘もあった。ロボットアームのモーションが文脈に適合していない場合、鑑賞者に不安感を与える可能性があることが示唆された。

4.4.3 考察

ALS 当事者における身体同化型ロボットアバターのモーション設計による身体表現がコミュニケーションにどのような効果があるのか、武藤氏のロボットアームモーションを作成し、MOVE FES にてその効果を検証した。その結果、観客から見て、ロボットアームのモーションが武藤氏らしく感じられたという回答が多く得られた。その要因としては、EYE VDJ の武藤氏の Clap Hands のモーションが武藤氏の DJ のイメージと一致していたことと、モーションになめらかさが加わるデフォルメを適用したことで、機械的で直線的な動きではなく、人間の身体動作のような曲線感のあるモーションが観客に伝わったからであると考えられる。

また、武藤氏が手を振った際に、多くの観客が手を振り返したことから、身体同化型ロボットアバターを用いて当事者らしいモーションを発動することで、相手や他者と身体表現を通じたコミュニケーションが可能であることが示唆される。

4.5. ALS 当事者の日常生活における利用可能性の検証

4.5.1 手や腕の動作でモーションを作成するシステム

提案する日常生活での使用に向けたモーション作成ツールの実証を行う。本研究におけるモーション作成における設計要件である、自然な腕や手の動作を簡単に作成できることについて、ロボットの知識やモーション入力の実験がなくても、その ALS 当事者らしいモーションを本人や家族、ヘルパーが作成できることが必要である。そのために、モーション作成者が腕にトラッカーを、手のひらにコントローラーを装着し、腕と手の動作によってロボットアームを動かし、同時にモーションを作成できるシステムを設計および開発した。

しかし、システムの実装の結果、ロボットアームは腕のトラッカーと手のひらのコントローラーによって、1対1対応で、腕や手を動かすと同時に、対応させたモータは動作するが、複雑な身体動作のモーションを作成することは困難であった。そのため、検証する身体動作は複雑なものではなく、現状のモーション記録システムで思うように動かせる簡単な身体動作によるモーションの作成を通して検証を実施する。

4.5.2 目的と概要

本検証では開発した腕と手の動作によって、モーションを作成するツールを ALS 当事者本人やその家族やヘルパーの方に使用してもらい、ALS 当事者本人らしいモーションを作成してもらう。その後に体験者にアンケートを実施し、本モーション作成システムは日常で利用可能であるか、また、本モーション作成システムの日常生活での活用における利点と課題を明らかにすることを目的とする。

4.5.3 検証内容

日常生活で当事者本人やその家族やヘルパーが使用可能であるかを検証を実施する。本検証では、シンプルなモーションの作成を実施する。具体的には、「手を振る」、「乾杯」、当事者の希望するモーションの3つのモーションの作成を本検証では実施する。

ALS 当事者の西牧和音氏と江村俊彦氏の自宅に訪問するフィールドワークにおいて検証を実施した。西牧氏、江村氏は予備調査のフィールドワークで手でロボットアームのモーションを作成するシステムについて1度体験していただいているため、提案する腕や手の動作によるモーション作成システムの利点と課題を最も明確に把握できると考えた。

4.5.4 検証の実施

まだ腕や手が動く当事者が自身の動きを記録する

2024年1月13日にALS当事者の西牧和音氏の自宅を訪問し検証を実施した。西牧氏は、まだ手や腕を動かすことができ、本システムのコントローラーを持つことができた。そのため西牧氏本人のモーションを記録してもらった(図4.10)。



図 4.10 当事者本人によるモーション作成の様子

「手を振る」モーションについて、西牧氏がコントローラーを横に振ると同時にロボットアームが横に振られ、手首もある程度連動して動作していた。「乾杯」モーションではコップを持って、コップを前に突き出すことが難しかった。しかし、上に上げることは可能であった。最後に西牧氏が作成したいモーションを記録する際に、拳を上にするガッツポーズのモーションを作成したいとの希望から、ガッツポーズのモーションの作成を試みた結果、拳を上にすることはできたが、そこに行き着くまでに30秒ほどの時間を要した。ロボットアームを動かしている際、西牧氏はロボットアームの動作に集中してコントローラーでモーションを作成していた。ロボットアームは手や腕とある程度連動はしていたが、思ったようにモーションを作成することはまだ難しかった。それでも、記録したロボットアームのモーションを再生した際には、西牧氏からポジティブな反応が見られた。

当事者を長年支えるヘルパーが当事者の動きを記録する

2024年1月16日にALS当事者の江村俊彦氏の自宅を訪問し検証を実施した。当日は江村氏とヘルパーの工藤氏に体験してもらった。工藤氏は長年、江村氏のヘルパーをしており、江村氏らしいモーションを一番作成できる人物であると考え、コントローラーによる記録システムを体験してもらった(図4.11)。



図 4.11 当事者を長年支えるヘルパーによるモーション作成の様子

「手を振る」モーションでは手を動かし、うまく記録できる場面もあったが、「乾杯」モーションを作成する際にはコップが後ろに傾くほど肘が曲がるアクシデントがあった。また、「手を振る」モーションをヘルパーの工藤氏が入力している際に、江村氏は横で工藤氏の動かしているロボットアームのモーションを見て笑みを浮かべていた。最後に江村氏が作成したいモーションを質問したところ、ヘッドロックのようなジェスチャーをしたいという希望があり、複雑なモーションは現状のシステムでは難しいが、ゆっくりな速度でそのモーションを作成することができた。

4.5.5 フィードバック

体験後に西牧氏と工藤氏にアンケートを実施した。「ロボットアームのモーションを自ら作成したいか？」という質問に対し、両者が「とてもそう思う」と回答した。その理由として、自分らしい動きや、介護をするその当事者らしい動きを再現したい、という回答が挙げられた。一方で、手や腕の動作で希望するモーションを作成できたかについては、「難しく、うまく作成できず残念だった」という回答や、「実際にアームを直接動かすよりも、より自然な動きが作れると感じた」という回答があった。また、「今後、手や腕の動作によるロボットアームのモーション作成システムが日常生活で利用できると思うか？」という質問には、両者とも「そう思う」と回答した。その理由として、ロボットを手動で動かすよりも、より自然な動きを作れる可能性があるという回答が得られた。

4.5.6 考察

手や腕の動作によってモーションを記録するシステムの検証を行なった結果、シンプルな動作は腕や手の動きで自然にモーションを作成できるが、肩や肘、手首が同時に動くことが必要となる複雑なモーションは作成が難しかった。モーション作成時に、腕や手を自然に動かすのではなく、ロボットアームの動きを意識しながらモーションを入力する場面もあった。それでも、モーション作成の精度が向上すれば、本システムの方が自然でその人らしいモーションを作ることができ

そうだと感じるという回答が得られた。また、自らもしくは当事者をよく知る人の作成したモーションの方が、その当事者の動きらしく感じることができそうといった感想を聞くことができた。体験者から、手や腕の動作によるモーション作成の方が、より当事者らしい動きを再現しやすいと感じたという意見が得られた。これを踏まえ、日常生活での活用に向けて、手や腕の動きを負担なく正確に記録できるシステムの構築が求められる。

4.6. フィールドワークに基づくモーション設計の考察

本研究では、フィールドワークによって得られた知見から、ALS 当事者が本人らしいロボットアームのモーションを作成するフローと、日常でも簡単に利用可能なモーションの入力ツールを提案し、検証を実施した。

モーション作成フローでは、ALS 当事者である武藤氏とモーション作成者である筆者が協働してコミュニケーションをとり、武藤氏らしいモーションを決定し、モーションに対するクセや理想について抽出し、モーションの入力やデフォルメの適用を行い、作成したモーションによる身体表現を MOVE FES で実施した。その結果、ロボットアームのモーションによる武藤氏の手を振る動作に観客が手を振り返したり、武藤氏の VDJ パフォーマンス時の Clap Hands のモーションに武藤氏らしさを感じとることができたことから、ロボットアームのモーションが武藤氏の身体であるかのように認識していたと判断できる。武藤氏は観客に対してロボットアームのモーションによる身体表現で様々な感情を伝達し、観客はそれに反応している。つまり、コールアンドレスポンスが成立していて、武藤氏の身体表現により観客とのコミュニケーションが行われていたことを示している。

モーション入力ツールでは、腕や手の動作を記録するシステムを設計し、ALS 当事者が日常生活で本人らしいロボットアームの動きを作成する手法を検討した。本人またはその家族やヘルパーが、ロボットの専門知識やモーション作成の練習を必要とせず、トラッカーを肘に巻き、コントローラーを手のひらで握ることで腕や手の動作からモーションを生成するツールを提案し、ALS 当事者の協力のもと検証を行った。その結果、日常生活での利用においては、腕や手の動きとロボッ

トアームの動作が高精度に一致する必要性が、本システムの課題として挙げられた。しかし、精度が向上すれば手や腕の動作による入力の方が、より当事者本人らしい動きを実現できる可能性が体験者のフィードバックにより明らかになった。また、ヘルパーの工藤氏から食事会で乾杯を行う時に、ALS 当事者の江村氏は代わりにヘルパーの工藤氏に乾杯の動きを行ってもらっているという話を伺った。これまでは、ALS 当事者の腕や手の動作をヘルパーや家族が代行することで、身体表現を補完してきた。しかし、身体同化型ロボットアバターと、本人らしいモーションを即座に設計できるツールがあれば、最も本人の動きを理解している家族やヘルパーが、日常的にその身体表現を補完することが可能となると考えられる。

一方で、MOVE FES の楽曲におけるリズムを強調する Clap Hands のように、動作の細部にこだわりたい場合には、手動でモーションを入力するシステムが適している。これは、軌跡を丁寧に描くことや、動きに滑らかさを加えるデフォルメの適用が容易にできるためである。したがって、作成するモーションの内容や使用場面に応じて、適切なモーション記録の手法を使い分けることが重要である。フィールドワークを実施した結果、当事者のモーション作成に関する課題と有効な手法が明らかになった。

第 5 章

Conclusion

本論文では、ALS 当事者が身体と同化するロボットアームのモーションによって、当事者の身体であると本人と周囲の人々が認識できるようなモーションの設計について提案を行なった。

第 1 章では、ALS という病の症状と当事者の身体的および精神的苦痛を述べ、それに対して身体と一体となるテクノロジーを用いて身体の機能や他者とのコミュニケーションを補完していることを紹介した。その後、ALS 当事者であり、ロボットアバターを用いて身体を用いたコミュニケーションを拡張している武藤氏の取り組みと期待されるロボットアバターによる身体拡張について述べた。

第 2 章では、これまで開発されてきたウェアラブルデバイスやロボットを用いた身体拡張についてや障害当事者の社会参画に向けた技術的アプローチ、ロボットのモーションによる身体表現の研究についてまとめた。そして本研究が目的とする ALS 当事者が活用する身体拡張ロボットにおける身体表現のためのモーション設計について、研究や事例が未だ十分ではないことを示した。

第 3 章では、まず、ALS によって生身の腕を動かすことができなくても、衣服を組み合わせたロボットアームを視覚的に身体と同化することで、その当事者が動いているように感じ取ることができる身体同化型ロボットアバターの手法と MOVE WEAR について述べた。次に、MOVE WEAR を用いたデモとフィールドワークを複数回実施し得た知見から、その当事者らしいと本人と他者が感じ取れるモーション作成のフローの設計と、日常において当事者本人と家族やヘルパーがイメージしたモーションを思い通り入力するためのモーション入力の手法とツールの提案をした。

第4章では、障害当事者のコミュニケーション促進の検証として、武藤氏が主催する MOVE FES において、提案したモーション作成フローに基づき、武藤氏のロボットアーム用モーションを作成した。武藤氏は、身体同化型ロボットアバターを用いて、音楽パフォーマンスやトークショーを実施し、観客に向けて状況や意思に応じた身体表現を行った。その結果、VDJ パフォーマンス時の音楽に合わせた身体表現が「武藤氏らしい」と認識され、手を振るモーションに多くの観客が手を振り返す等、身体表現を通じたコミュニケーションの実現が示唆された。

日常生活での活用の可能性に関する検証として、2名の ALS 当事者にフィールドワークを実施し、提案するモーション入力ツールの体験を行なった。その結果、思い通りのモーションを腕や手の動作から作成することは難しかったが、当事者らしいモーションを作れそうであるという感想が体験者から得ることができ、モーション入力の精度を高めていくことが日常生活での活用において求められる。また、状況や文脈に応じたモーション入力手法の選択の必要性についても示唆された。

本研究を通じて、身体と同化するロボットアバターとそのモーションを用いることで、ALS 当事者が失われた身体表現を補完できる可能性が示唆された。しかし、日常生活において十分な形で普及させるためには、まだ多くの課題が存在する。まず、ロボットアームの安全性確保が挙げられる。ロボットアームが誤って人を傷つけないようリスク対策が不可欠である。また、モーション作成のフローやツールだけでなく、個人ごとに異なる身体動作や表現の特徴を可視化し、それを正確にモーションへと反映する技術の導入も求められる。これにより、個人の特性に合ったロボットアームの動作が実現できると考えられる。

一方で、ALS によって失われる身体の動きやコミュニケーション、「本人らしさ」を構成する要素には、単なる身体動作の内容だけでなく、その動作が行われる文脈や、身体表現を通じて伝えられる当事者の人間性も含まれる。これらの要素は、見る側の解釈によっても影響を受け、適切な身体表現があれば、当事者の意図や個性をより伝達しやすくなる可能性がある。身体の制約という課題に直面する私たちにとって、身体表現が持つ伝達の力や、それを補完するテクノロジーは、単なる動作の再現にとどまらず、コミュニケーションや人の存在感の表現など、多様な分野に新たな可能性をもたらすと考えられる。

謝 辞

本研究の指導教員であり、深い知見と本質を突いたご指摘、貴重な研究環境や多くの機会を頂きました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の南澤孝太教授に心から感謝いたします。多様なビジョンで研究に真摯に取り組む Embodied Media Project に参加できよかったと思います。

研究の方向性について様々な助言や指導をいただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の石戸奈々子教授、Matthew Waldman 教授に心から感謝いたします。幅広い知見からのアドバイス、大変参考にさせていただきました。

ロボットアームの開発指導や貴重なフィールドワークの機会を頂きました株式会社オリィ研究所の吉藤オリィさんに心から感謝いたします。インターンとしてもオリィさんから学ばせていただいたことは今後活かして参ります。

MOVE FES という素晴らしい舞台にて研究活動を行わせていただきました一般社団法人 WITH ALS の武藤将胤さんに心から感謝いたします。武藤さんと共にロボットアームのモーションを設計できたこと、非常に光栄に思います。

入学当初から多くのアドバイスを頂きました株式会社 AXELEAL の安藤良一さん、Brain Body Jockey プロジェクトを共に進めてくださいました Zhou Songchen 先輩、東京大学の荻野幹人さん、有限会社 LIBRA の平野裕加理さん、クラウン協会の浅見洋平さんに心から感謝いたします。尊敬できる皆さんと共に活動でき、たくさんの刺激をいただきました。

本研究において多くのアドバイスを頂きました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の萩原隆義先輩、吉田貴寿特任助教、脇坂崇平特任助教、川口碧元特任助教、神山洋一研究員、Giulia Barbareschi 特任助教に心から感謝いたします。未熟で至らないことばかりの自分でしたが、たくさん助けていただきました。このご恩は今後お返しできたらと思います。

本研究でのフィールドワークに快く承諾とご協力いただき、貴重な時間と意見を頂きました ALS 当事者の江村俊彦さん、高野元さん、西牧和音さんに心から感謝いたします。本研究で得た知見と経験は、今後の活動や研究に活かして参ります。

学部から大学院まで導いてくださった金沢工業大学の平本督太郎教授、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の池田梨花先輩に心から感謝いたします。KMD で研究活動ができてよかったと思います。これまで得た経験は今後の活動に活かして参ります。

同期をはじめ、Embodied Media Project、KMD で共に学生生活を送ってくださった皆さんに心から感謝いたします。素晴らしい同年代の人たちと出会えて、共に楽しんだり励まし合いながら2年間活動できてよかったと思います。

最後に、どんな時も常に一番に支えてくれた両親、家族に心から感謝いたします。また、関わって応援してくださった全ての方へも心から感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] Matthew C Kiernan, Steve Vucic, Benjamin C Cheah, Martin R Turner, Andrew Eisen, Orla Hardiman, James R Burrell, and Margaret C Zoing. Amyotrophic lateral sclerosis. *Lancet*, Vol. 377, No. 9769, pp. 942–955, 2011.
- [2] 北村弥生. 呼吸器装着に関する意思決定における筋萎縮性側索硬化症 (als) 患者の心理的葛藤とその解決. 国立障害者リハビリテーションセンター, No. 22, 2001.
- [3] 森朋子, 湯浅龍彦. 筋萎縮性側索硬化症患者の心理 -人工呼吸器装着の意思決定-. 国立医療学会誌, Vol. 60, No. 10, pp. 637–643, 2006.
- [4] Kazunori Ogawa, Chetan Thakur, Tomohiro Ikeda, Toshio Tsuji, and Yuichi Kurita. Development of a pneumatic artificial muscle driven by low pressure and its application to the unplugged powered suit. *Adv. Robot.*, Vol. 31, No. 21, pp. 1135–1143, November 2017.
- [5] Tomosuke Maeda, Roshan Peiris, Masashi Nakatani, Yoshihiro Tanaka, and Kouta Minamizawa. Wearable haptic augmentation system using skin vibration sensor. In *Proceedings of the 2016 Virtual Reality International Conference*, New York, NY, USA, March 2016. ACM.
- [6] Masahiro Yoshikawa and Noritaka Kawashima. 電動義手 finch の製品化と普及への取り組み. 日本ロボット学会誌, Vol. 38, No. 2, pp. 131–134, 2020.
- [7] Tomoya Sasaki, Mhd Yamen Saraiji, Charith Lasantha Fernando, Kouta Minamizawa, and Masahiko Inami. MetaLimbs: multiple arms interaction

- metamorphism. In *ACM SIGGRAPH 2017 Emerging Technologies*, New York, NY, USA, July 2017. ACM.
- [8] MHD Yamen Saraiji, Tomoya Sasaki, Reo Matsumura, Kouta Minamizawa, and Masahiko Inami. Fusion: full body surrogacy for collaborative communication. In *ACM SIGGRAPH 2018 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '18, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3214907.3214912.
- [9] Junichi Nabeshima, Mhd Yamen Saraiji, and Kouta Minamizawa. Arque: artificial biomimicry-inspired tail for extending innate body functions. In *ACM SIGGRAPH 2019 Posters*, New York, NY, USA, July 2019. ACM.
- [10] 伊藤達明, 阿部裕文, 小長井俊介, 市川裕介. 各種バリアフリー情報を一体的に提供可能なルート案内システムの提案および実現. 情報処理学会論文誌 デジタルプラクティス, Vol. 3, No. 4, pp. 1–13, 10 2022.
- [11] 織田友理子, 織田洋一, 佐藤耕介, 金井節子, 宗土淳, 大内宏友. 車いすプロローブ情報『wheelog!』を用いた新宿駅のアクセシビリティに関する評価手法の提案. 日本建築学会技術報告集, Vol. 25, No. 60, pp. 995–999, 2019. doi:10.3130/aijt.25.995.
- [12] Kaito Hatakeyama, Mhd Yamen Saraiji, and Kouta Minamizawa. MusiArm: Extending prosthesis to musical expression. In *Proceedings of the 10th Augmented Human International Conference 2019*, New York, NY, USA, March 2019. ACM.
- [13] 栗田雄一, 石原茂和, 稲見昌彦. サイバスロンと人間拡張工学. バイオメカニズム学会誌, Vol. 12, No. 2, pp. 105–113, 2016.
- [14] Kazuaki Takeuchi, Yoichi Yamazaki, and Kentaro Yoshifuji. Avatar work: Telework for disabled people unable to go outside by using avatar robots. In *Companion of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, New York, NY, USA, March 2020. ACM.

- [15] Ryoichi Ando, Kouta Minamizawa, and MHD Yamen Saraiji. Slidefusion: Surrogacy wheelchair with implicit eyegaze modality sharing. In *ACM SIGGRAPH 2020 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '20, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/3388534.3407299.
- [16] 大矢哲也, 川澄正史. 眼電図による als コミュニケーションツールの入力動作の研究. 生体医工学, Vol. 43, No. 1, pp. 172–178, 2005.
- [17] 伊藤史人. 低コスト視線入力装置による意思伝達環境の構築. *ALS Japan Research Report*, 2017.
- [18] Kuniaki Ozawa, Masayoshi Naito, Naoki Tanaka, and Shiryu Wada. A word communication system with caregiver assist for amyotrophic lateral sclerosis patients in completely and almost completely locked-in state. 2020. arXiv: 2004.10933.
- [19] 加納尚之. 完全閉じ込め症候群 (tls) となった als 患者のコミュニケーション – 脳波 (erp) を用いた android スマートフォンアプリの開発 –. 日本神経科学教育研究会誌, Vol. 6, No. 2, pp. 63–78, 2019.
- [20] Giulia Barbareschi, Songchen Zhou, Ando Ryoichi, Midori Kawaguchi, Mark Armstrong, Mikito Ogino, Shunsuke Aoiki, Eisaku Ohta, Harunobu Taguchi, Youichi Kamiyama, Masatane Muto, Kentaro Yoshifuji, and Kouta Minamizawa. Brain body jockey project: Transcending bodily limitations in live performance via human augmentation. In *The 26th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, Vol. 1, pp. 1–14, New York, NY, USA, October 2024. ACM.
- [21] Robert Klebbe, Stefan Scherzinger, and Cornelia Eicher. Assistive robots for patients with amyotrophic lateral sclerosis: Exploratory task-based evaluation study with an early-stage demonstrator. *JMIR Rehabil. Assist. Technol.*, Vol. 9, No. 3, p. e35304, August 2022.

- [22] 高木幸子. コミュニケーションにおける表情および身体動作の役割. 心理学研究, Vol. 86, No. 2, pp. 95–110, 2015.
- [23] Moehi Sato, Ryu Mikata, Kurima Sakai, Hidenobu Sumioka, Satoshi Funayama, Takashi Minato, Hiroshi Ishiguro, Kaito Sakuma, Akane Kikuchi, and Kazuya Horibe. 移動エントロピーを用いたロボットとの非言語インタラクションの解析. 第38回人工知能学会全国大会論文集, pp. 4E3–GS–8–02. 一般社団法人 人工知能学会, 2024.
- [24] 石黒浩, 平田オリザ. ロボット・アンドロイド演劇の工学・科学・芸術における意味. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム論文集, Vol. 7, No. 4, pp. 326–329, 2010.
- [25] Tomoyuki Yamamoto and Yasuo Kuniyoshi. Global dynamics: a new concept for design of dynamical behavior. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Epigenetic Robotics*, pp. 177–180, 2002.
- [26] Yuta Sugiura, Calista Lee, Masayasu Ogata, Anusha Withana, Yasutoshi Makino, Daisuke Sakamoto, Masahiko Inami, and Takeo Igarashi. Pinoky: a ring that animates your plush toys. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, p. 725–734, New York, NY, USA, 2012. Association for Computing Machinery. doi:10.1145/2207676.2207780.
- [27] Yuta Sugiura, Takeo Igarashi, and Masahiko Inami. Magic cards: A card-based interface for implicit robot control. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 173–182. ACM, 2009. doi:10.1145/1518701.1518730.
- [28] Michael A Hopkins, Georg Wiedebach, Kyle Cesare, Jared Bishop, Espen Knoop, and Moritz Bächer. Interactive design of stylized walking gaits for robotic characters. *ACM Trans. Graph.*, Vol. 43, No. 4, pp. 1–16, July 2024.

- [29] A Mehrabian and M Wiener. Decoding of inconsistent communications. *J. Pers. Soc. Psychol.*, Vol. 6, No. 1, pp. 109–114, May 1967.
- [30] 田中健一, 鈴木大輔, 佐藤誠. モーションキャプチャを用いたロボット作業指示システムの開発. 第 64 回自動制御連合講演会, pp. 1171–1176. 自動制御学会, 2022.