

令和2年度学内公募研究（萌芽型）  
〔研究論文〕

ニューノーマル時代のための  
モーションインタフェースの研究開発

室山 真徳<sup>1)</sup>, 小野寺充喜<sup>1)</sup>, 木村 純<sup>1)</sup>, 高橋 優樹<sup>1)</sup>,  
西村 健志<sup>1)</sup>, 齋藤 昂生<sup>1)</sup>, 佐竹 佑太<sup>1)</sup>

Research and Development of  
Motion Interface in the Era of New Normal

Masanori MUROYAMA<sup>1)</sup>, Mitsuki ONODERA<sup>1)</sup>, Jun KIMURA<sup>1)</sup>, Yuki TAKAHASHI<sup>1)</sup>,  
Kenshi NISHIMURA<sup>1)</sup>, Takao SAITOU<sup>1)</sup>, Yuta SATAKE<sup>1)</sup>

Abstract

In this paper, we proposed a framework for motion interface in the era of new normal since 2020. The proposed interface has a technological hierarchy of fundamental, elemental, and application technology layers. As the fundamental technology, we researched an exoskeleton technology, and 3D device design and its fabrication for fitting complex shapes such as human body. As the elemental technology, we proposed motion sensing and feedback display methods. Finally, as the application technology, combination of a motion sensing and display technology through a virtual reality (VR) platform was developed. The paper presents an overview of the above proposed framework and the details of an exoskeleton device/systems and a motion sensing by using a sensor glove based sensing system.

## 1 はじめに

今後のニューノーマル時代においては、密に集まって行う作業にはリスクが伴うため、非接触での生活が基本となり、遠隔コミュニケーションやロボットによる人間の代替作業が求められる。本研究では、手や腕などを中心として、ヒトやロボットのモーションの情報の取得と刺激出力に関する研究開発を行った。これにより、物理的接触のリスクを低減しつつ、工場での作業のロボットによる自動化、遠隔会議の質の向上、およびオンラインやVR（仮想現実）での新たなコミュニケーション方法の提示が期待できる。

本論文の構成は以下のとおりである。まず、2章では3層構造からなるモーションインタフェースのフレームワークを提案し、その技術の概要を説明する。続く章では、いくつ

---

1) 東北工業大学 工学部 電気電子工学科

Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Tohoku Institute of Technology

かの技術について詳細を述べる。具体的には、3章で外骨格デバイスを用いた腕や手のモーションセンシング・提示技術を示し、4章ではグローブ型モーションセンシングを応用した人の動作認識について記載する。最後に5章でまとめる。

## 2 モーションインタフェースのフレームワークとその概要

モーションインタフェースのフレームワークを提案し、関連するモーションセンシングとフィードバック提示技術を研究開発した。また、これらの技術を支える外骨格デバイスと設計技術も開発した。モーションインタフェースにおいてセンシングと提示をVR (Virtual Reality: 仮想現実) により連携させる技術開発も行った。これらの関係は以下の図1のようになる。以下では技術階層ごとにその概要を説明する。

### 2.1 基盤技術層

基盤技術層においては、まず、ヒトの身体に取り付けるための外骨格デバイスの開発を行った [6]。外骨格デバイスはセンシングおよびフィードバック提示のプラットフォームデバイスである。具体的には、モーションインタフェースにおいて、外骨格を用いることで①腕や手の動きの取得 (センシング) と②腕や手を自動的に動かしたり力や振動の提示 (アクチュエーション) を行ったりすることができる。

もうひとつの基盤技術として、ヒトの身体形状に合わせたデバイスの作製を目的として、3次元設計・製造技術を開発した [4]。ヒトの身体のモーションを正確に取り、違和感なく設置し、フィードバックによる提示を効率的に行うためには、各人の身体形状に合わせたデバイスが必要となるため、各人の身体形状をモデル化し、そのモデルに合わせたデバイスの設計ならびに3Dプリンタによる製造方法を開発した。

### 2.2 要素技術層

要素技術層としては、モーションセンシング技術として、グローブ型センサを用いた手の動作の高速・高精度センシング [3] とロボット指に付けたMEMS (Micro Electro Mechanical Systems: 微小電気機械システム) -LSI集積化触覚センサデバイスによるア

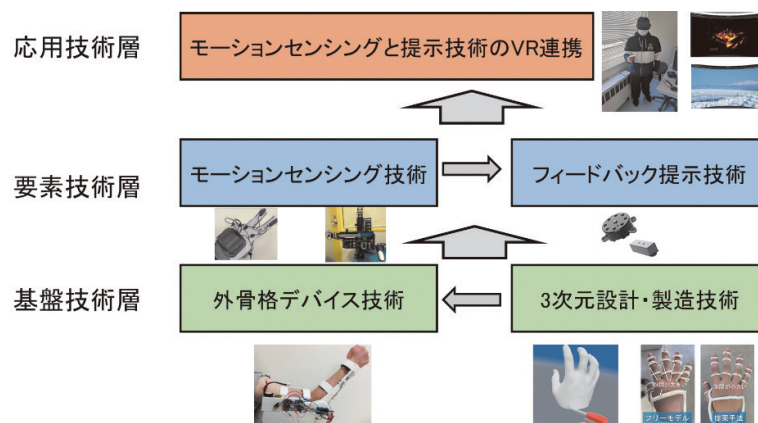


図1：提案するフレームワークとモーションセンシング技術の階層構造

クティブセンシング技術 [5] を開発した。これにより、手の動き、力加減とそのときの対象物の反応が分かるようになった。

フィードバック提示技術として、ミネビアミツミ社のレゾナントデバイス (Linear Resonant Actuator : LRA) を用いた触覚提示技術を開発した [1]。レゾナントデバイスに入力する振動の周波数と振幅を独立に制御しその出力特性を得た。さらに、PWM 制御信号パターン制御により、臨場感の高い出力提示を行う基礎技術を確立した。

### 2.3 応用技術層

応用技術層として、モーションセンシングの結果を基にそのフィードバック提示を VR 空間上で行う技術を開発した [2]。2 種類のデモンストレーションシステムを開発した。

ひとつは温度センシングと温度表示システムである。このシステムでは、実際の接触温度と異なる表示を VR の画面上に表示することで視覚と触覚のどちらが優勢になるのかを調べた。結果、熱いお湯が入ったコップを持っていても寒さを表す画面表示の方が優先されて体感的に寒く感じ、視覚優位であることがわかった。

もうひとつは、身体に取り付けた加速度センサで自身の傾きをセンシングし、表示ではより傾きが大きくなるように VR 内のキャラクターが動作するシステムである。実験の結果、画面内の表示方法に関わらず実際の傾きを適切に感じることができ、体性感覚優位であることが判明した。

## 3 外骨格デバイス・システムによるモーションインタフェースの実現

モーションインタフェースのプラットフォームとして外骨格デバイス・システムを作製した。外骨格デバイス・システムとは、ヒトの身体に装着し装着したヒトに対して機械的な支援による身体拡張を実現するハードウェアとソフトウェアからなるシステムである。近年、外骨格デバイス・システムはリハビリテーション、介護、重量物の運搬等での分野で利用されつつある。

外骨格デバイス・システムにおいて、プライマリ (いわゆるマスター) とセカンダリ (いわゆるスレーブ) が存在し、プライマリの動作に従ってセカンダリの動作が決まる関係にある。プライマリとセカンダリが同じハードウェアにある場合と異なる場合がある。たとえば、CYBERDYNE 社の HAL の場合は、プライマリとセカンダリが全く同じハードウェアに実装されており、自身の動作を増幅する形で外骨格デバイスが動作する。一方で、Intuitive Surgical 社のダヴィンチ・システムでは、操縦者がプライマリであるサージョンコンソールを用いて離れた場所にあつて患者を手術するロボットアーム (セカンダリ) を動かす。

上記のいずれの場合においても、プライマリの動作を正確かつ素早く認識し、その結果をセカンダリの動作に反映させる必要がある。本研究では、違和感がなく安全な外骨格デバイス・システムを実現するため、外骨格デバイスを試作し、プライマリ・セカンダリ間の応答性能とデバイス装着感を評価した。

図 2 に今回作製した外骨格デバイス・システムの構成図を示す。左腕 (プライマリ) の動作を基に右腕に装着した外骨格デバイス (セカンダリ) を動かすシステムである。左腕には曲げセンサ (Spectra symbol 社の Flex Sensor 112mm) を装着し、左腕を曲げた角度によって変化する抵抗を抵抗分割方式のアナログ電圧によって読み出している。右腕の

外骨格デバイスにも同じ曲げセンサを装着し、外骨格（右腕）の動作角度を検出する。Arduino nanoにより角度の差を計算して、その差が0近くになるように外骨格デバイスの肘あたりに取り付けたサーボモーター（Power HD社のLW-20MG, トルク20kg-cm）の回転を制御した。なお、図2にはPCが接続されているがデバッグのためであり、実際にはArduino nanoに書込んだプログラムで動作するため、下記デバイスはスタンドアロンでの動作が可能である。図3には試作した外骨格デバイス・システムを示す。

開発したシステムを用いて、プライマリ・セカンダリ間の応答速度を計測・比較した。図4のように、重力の影響を考慮した実験を行うため地面に対して基準軸を4種類取って実験した。プライマリは腕を完全に伸ばした場合を0°として90°まで曲げる動作をし、0°から90°までの時間を0.5秒（高速）、1秒、3秒（低速）で変化させて実験した。図5の実験の結果から以下のことが判明した。プライマリの移動速度が3秒の場合は、いずれも違和感が生じるような大きな遅延は発生しなかった。0.5～1秒の場合には違和感を生じるずれがある場合があった。特に重力に対して逆らう動作を行う水平と下向きの場合、遅延が大きく0.3～0.4秒程度の遅れが生じ、体感的にも違和感を生じた。高負荷時に必要なトルクに対してサーボモーターの性能が不足していたためと推測される。ただし、サーボモーターはトルク性能、応答性、消費電力、安全性など様々な特性を考慮する必要があるため、適切なものを選択する必要がある。

次に、外骨格デバイスの装着具合を評価した。本デバイスは4つのバンドで腕に装着されており、動作時にかかる腕への圧力を各バンドに取り付けた感圧センサにて評価した。

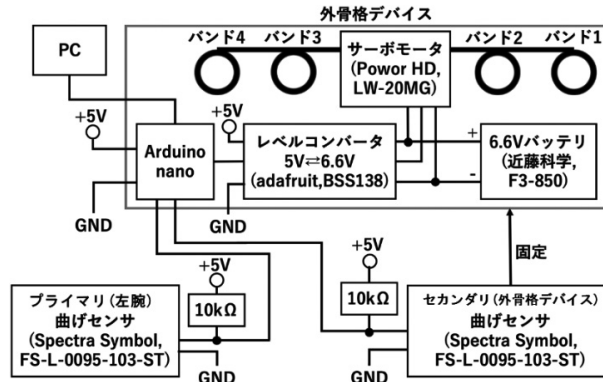


図2：外骨格デバイス・システムの構成図

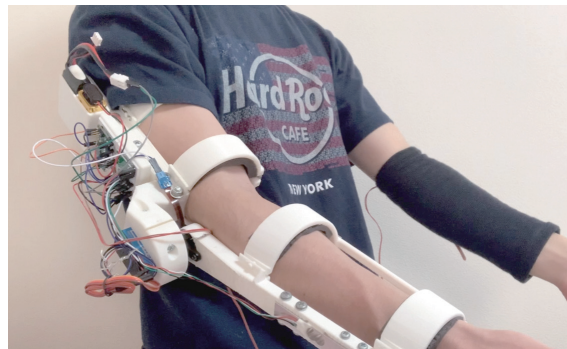


図3：作製した外骨格デバイス（左腕：プライマリ，右腕：セカンダリ）



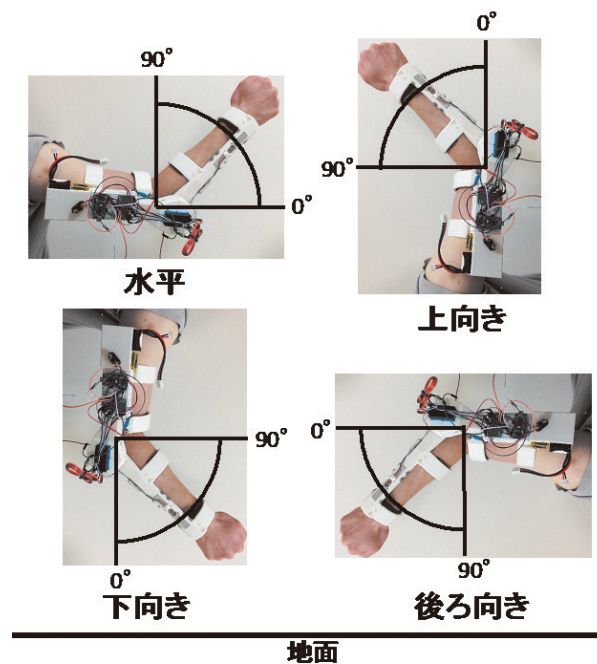


図4：重力の影響を考慮した外骨格デバイスの実験

用いた感圧センサはTekscan社のFlexiForce 1lbsである。図6に実験の結果を示す。表の結果から、バンド1にかかる箇所を持ち上げ／持ち下げに負荷がかかることがわかる。またバンド4において持ち上げ時の負荷が大きい理由は、筋肉の形状変化（盛り上がり）を硬いバンドが吸収できずに大きな力がかかったためである。これらの結果から、确实な固定のためにバンド2, 3は硬い材料で形成し、稼働時に力が集中するバンド1は面積を大きくするなどして皮膚への負荷を分散させ、筋肉の変化が大きいバンド4は柔軟な材料で形成するなどの方法を取る必要があることが分かった。

#### 4 グローブ型モーションセンシングを応用したヒトの動作認識

作業において最も精密な動作が可能で、よく利用されるのがヒトの手である。ヒトの手の動作を正確にセンシングすることで、遠隔地のロボットを精密に動作させることができる。また、生産性の高い作業実績管理や技能教育を行うためにヒトの手の動作センシングは有望である。これまでに画像情報を用いた行動解析手法が提案されている[7]。しかし、繊細な手作業のデータ取得には不向きで、画像データ量(1,024×768ピクセル, 30fps, 10秒間で660MB)と計算量が多く、プライバシーの問題も残る。一方で曲げセンサ等を内蔵したグローブ型モーションセンシングシステムを用いれば、手の動作を正確に取得でき、データ量も少なく(16秒間で335KB)、プライバシーの問題もほぼなくなる。本研究においては、MANUS社のPRIME II HAPTICを用いる(図7)。このデバイス・システムは、両手の各指の動きデータを約100サンプル/秒で取得でき、ひとつの指に3つの曲げセンシングが可能であり、装着時の違和感が少なく作業時の支障が少ない、といった特徴を有する。

本研究ではMANUS社が提供するSoftware Development Kit (SDK)のC++版v1.5.0

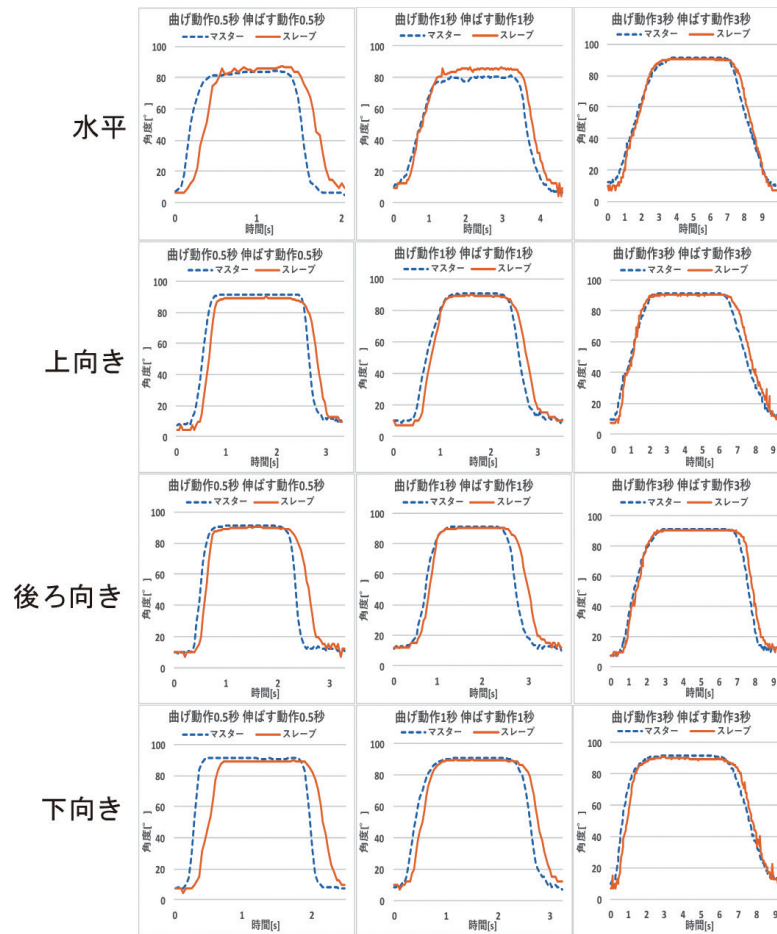
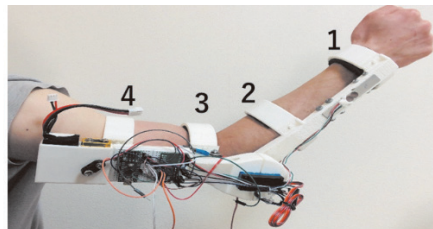


図5：プライマリ（マスター）の移動速度とセカンダリ（スレーブ）の腕の軸を変えたときの結果



バンド番号の割り当て

バンド番号	計測位置	曲げ伸ばし	最大圧力(g)	最大圧力時の角度(°)
バンド1	上側	0° → 90°	104	45.7
		90° → 0°	134	51.0
バンド1	下側	0° → 90°	130	15.5
		90° → 0°	118	16.5
バンド2	上側	0° → 90°	3.23	90.6
		90° → 0°	3.32	90.5
バンド2	下側	0° → 90°	66.5	90.6
		90° → 0°	63.9	90.6
バンド3	上側	0° → 90°	13.3	27.6
		90° → 0°	12.4	25.6
バンド3	下側	0° → 90°	22.4	90.4
		90° → 0°	19.7	90.5
バンド4	上側	0° → 90°	404	90.5
		90° → 0°	159	90.5
バンド4	下側	0° → 90°	10.4	87.3
		90° → 0°	8.37	90.1

図6：装着具合測定のためのバンド割り当て（上図）と圧力測定結果（下図）

を改変して各関節の曲げ情報を正規化した値で出力させるようにした。曲げセンサの  $100^\circ$  を  $1.0$ ,  $-100^\circ$  を  $-1.0$  に正規化し,  $\pm 100^\circ$  を超える出力は飽和させた。したがって各指 (指あたり関節3箇所) は  $-3 \sim 3$  の値を取る。指を手のひら側に曲げると  $+3$  に, 指をそらせると  $-3$  に近づく。

まず, じゃんけんのポーズを使って時間情報を考慮しない静的な動作モニタリングを行った。左手のみセンシングし, グー, チョキ, パーのポーズを一定時間保持し, そのときの曲げセンシングデータを取得した (図8)。このとき, 各関節において500回以上測定したデータの平均値を取得している。図8より, 正しく指の曲げ情報をセンシングでき, じゃんけんの各ポーズの特徴を抽出できていることがわかる。

次に, 動的な動作モニタリングを行った。この実験においても左手にグローブを装着した。10cm立方体の箱の5回移動させたときの各指の動きを取得した。図9に取得したセンシング値を示す。箱の把持および手放しの状態を明確に区別できるデータが得られてい



図7：グローブ型モーションセンシングシステムの概要

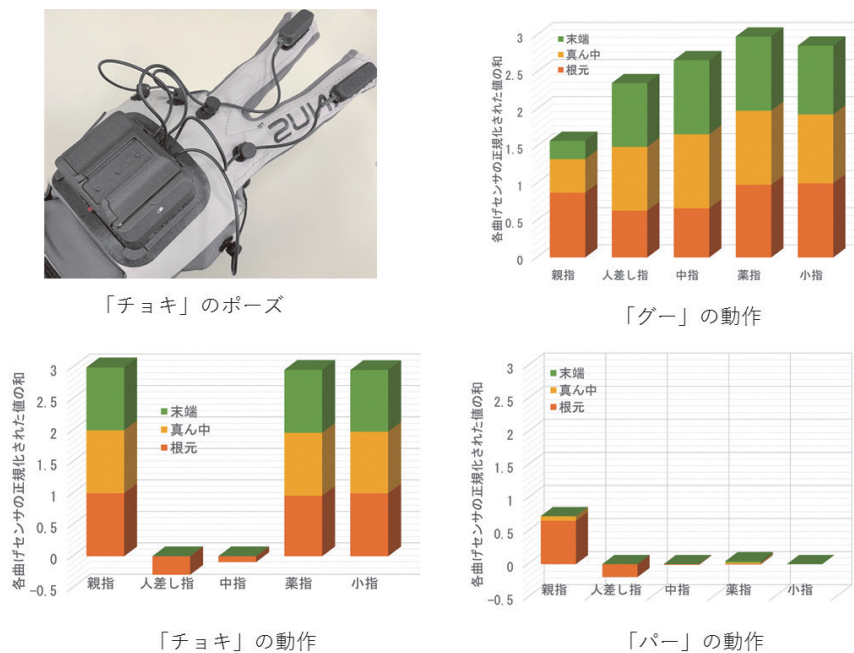


図8：じゃんけんを用いた静的動作モニタリング結果



- ハコを把持して5回移動
- 10cm×10cm×10cm

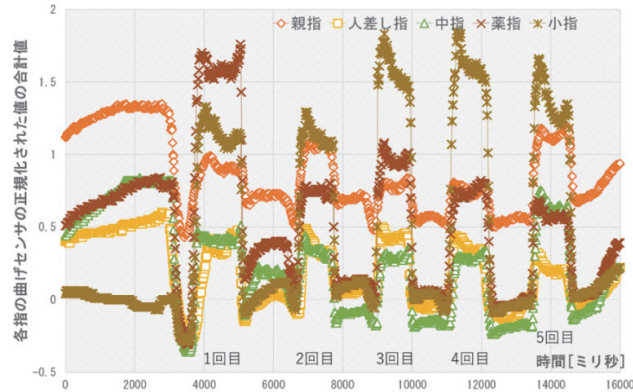


図9：箱の移動による動的動作モニタリング結果

ることが分かる。また、本実験においては親指、薬指と小指の変化が大きく、今回のサイズの箱を把持するのに必要な掴み方の特徴が得られた。実験の結果により、作業内容の概要、作業回数の把握と作業時の特徴が得られる可能性が示された。

## 5 おわりに

本稿では、ニューノーマル時代におけるモーションインタフェース技術のためのフレームワークを提案した。提案するフレームワークは以下の3層からなる。基盤技術層（外骨格デバイス、3次元設計・製造技術）、要素技術層（モーションセンシング、フィードバック提示技術）、および応用技術層（VRを用いたモーションセンシングと提示技術の連携）である。同じ層における技術と技術の間には強い依存関係があるが、現時点では個別に研究開発を行っており、今後統合させていく。また、異なる層においては、上位層が下位層の技術を取り込むことでその性能や臨場感が格段に向上することが見込まれる。ここでも、現時点において異なる層間は連携していない。今後は、各層の深化を行いつつ、同層および異層間の技術を高度に有機的に統合して、真のモーションインタフェース技術のためのフレームワークを構築する。

本論文では特に、外骨格デバイス・システムによるモーションインタフェースのプラットフォーム技術とグローブ型モーションセンシングによるヒトの動作認識について詳細を述べた。今後は、この技術をより洗練化し、ヒトおよびロボットの手や腕の細やかな動きを取得し、分類・認識する。また、外骨格デバイス・システムや遠隔ロボットと連携することで、自身に取り付けたデバイスの自然な制御や遠隔ロボットの操作などへと繋げていく予定である。



## 謝辞

本研究は主に、令和2年度東北工業大学学内公募研究（萌芽型）の助成を受けて実施された。ただし、研究の一部は、NEDO「次世代人工知能・ロボット中核技術開発／革新的ロボット要素技術分野」、JST COI 若手研究連携研究ファンド デジタル分野 連携研究 (JPMJCE1303) ならびに JSPS 科研費 18K04256 の支援もを受けて行われた。

## 参考文献

- [1] 小野寺充喜, 室山真徳, “臨場感向上のためのレゾナントデバイスを用いた触覚提示法の開発,” 令和3年東北地区若手研究者発表会, pp. 141-142, 2021.
- [2] 木村純, 室山真徳, “現実の触覚刺激と擬似視覚提示との関係性を調査するための環境構築,” 令和3年東北地区若手研究者発表会, pp. 143-144, 2021.
- [3] 高橋優樹, 室山真徳, “グローブ型モーションセンシングシステムによる人の動作把握の可能性検討,” 令和3年東北地区若手研究者発表会, pp. 145-146, 2021.
- [4] 西村健志, 室山真徳, “VRを用いた立体直描による個人の身体形状を考慮した装着型デバイスの形状設計方法の開発と評価,” 令和3年東北地区若手研究者発表会, pp. 147-148, 2021.
- [5] 齋藤昂生, 田中秀治, 室山真徳, “集積化触覚センサを用いたアクティブセンシングによるテキスト認識の検討,” 令和3年東北地区若手研究者発表会, pp. 149-150, 2021.
- [6] 佐竹佑太, 室山真徳, “曲げセンサを用いたマスタースレーブ操作型外骨格デバイスの試作と評価,” 令和3年東北地区若手研究者発表会, pp. 151-152, 2021.
- [7] Roitberg Alina, Somani Nikhil, Perzylo Alexander, Rickert Markus, Knoll Alois, “Multimodal Human Activity Recognition for Industrial Manufacturing Processes in Robotic Workcells,” ICMI '15: Proceedings of the 2015 ACM on International Conference on Multimodal Interaction, 2015.