

補助事業番号 2024M-358

補助事業名 2024年度 外力に対する肢位保持課題を定量化するDXシステムの研究開発

補助事業者名 北海道大学 量子集積エレクトロニクス研究センター・教授・池辺将之

## 1 研究の概要

本研究で定量化を試みる「外力に対する肢位保持課題」は、外部から被験者へ加えられた負荷に抗して、関節肢位を保持する能力を評価する課題であり、感覚-運動連関機能を評価する代表的な手法であるが、実臨床においては定性的な評価しかできない現状がある。本研究では、「外力に対する肢位保持課題」を小型かつ安価な機器で定量化するシステムを開発する。

## 2 研究の目的と背景

運動パフォーマンス中に刻々と変化する身体各関節に加わる外力を知覚し、外力の変化に応じて運動出力を制御する能力(以下:感覚-運動連関機能)は、ヒトの運動やスポーツ動作の習熟過程において重要である。この感覚-運動連関機能は、靭帯損傷や脳卒中などの疾患で機能低下を示すことが研究室レベルで明らかとされている。しかし、高価かつ大型の測定機器が必要なため実臨床においては信頼性・妥当性を担保した評価方法が確立されていないため、効果的な介入方法が確立できていない現状がある。

そこで本事業を通じ、研究開発を進め、「外力に対する肢位保持課題」を定量化可能な小型かつ安価な機器を開発する。

## 3 研究内容

### (1)肢位保持課題の定量化に向けたセンシングシステムの研究

<https://www.rciqe.hokudai.ac.jp/education/labo/iqs/jkaresearch.html>

本テーマのセンサレイでは、センシング対象の計測レンジ数：100g~100kgとなる。そのため、高感度特性による飽和を引き起こさない状態でのセンシング特性が必要である。感圧材による制御は可能であるが、配線パターン制御の方が容易である。このとき、センシングされた応力ベクトルを計測するサブチャネル形状は、同心円型が独立チャネル型よりも感度特性が高くなる(図1)。本センサのようなダイナミックレンジが広いセンサの場合は、感度調節により、あえて感度を低下させることで、応力に対する飽和を防ぐ設計も重要となる。

単位セル内のチャネル数を増やした場合は、もちろん感度は低下する。これは、単位面積当たりの荷重が減少するためである。このとき配線密度の増加には、低加圧時と高加圧時において出力値が逆転する現象が見られる。高密度化による単位面積内のセンサ反応領域が縮小したことによる影響とみられる(図2)。

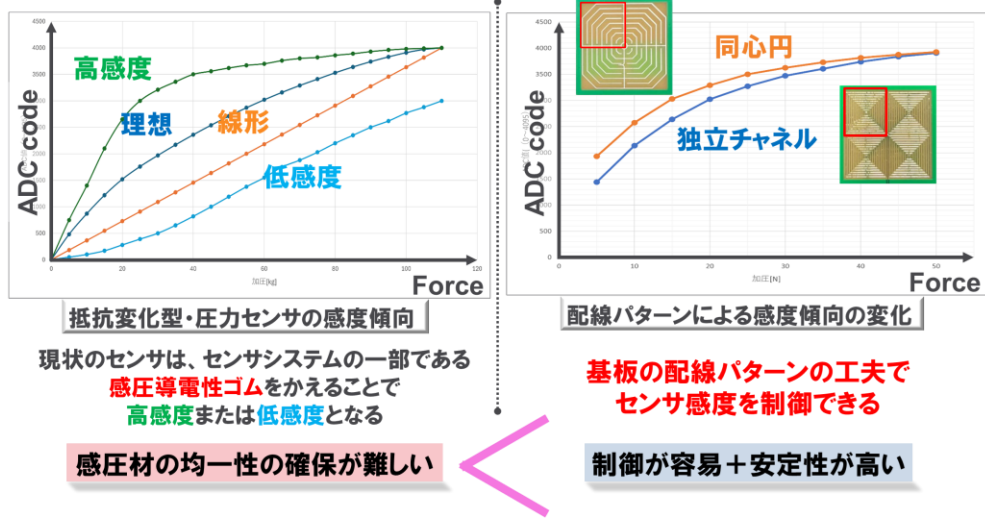
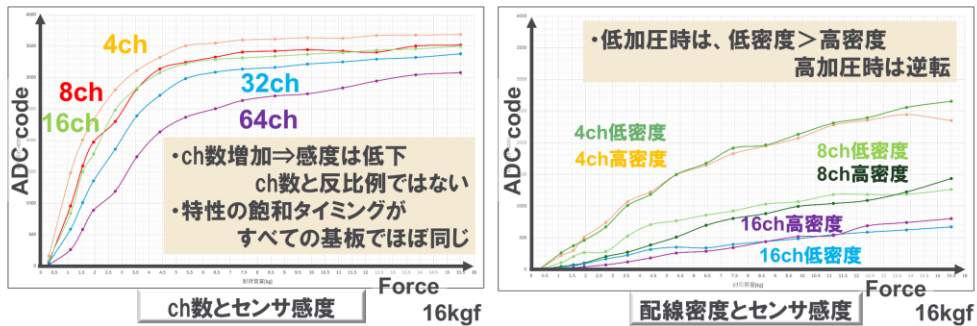


図1 チャンネル形状による感度特性の傾向

- 1辺1,2,4,8,16cm⇒全体で4,8,16,32,64chの5枚の基板の感度を比較
- 4,8,16ch×高配線密度と低配線密度の6枚の基板の感度を比較



- ◆ 1ch毎のセンササイズ縮小が感度低下の要因
- ◆ 感圧材の中で、異なるch同士の電流経路の共有が起きているか⇒ch間の距離にも着目
- ◆ 低加圧時 ⇒高密度化により、1セルあたりセンササイズが縮小したことが原因か

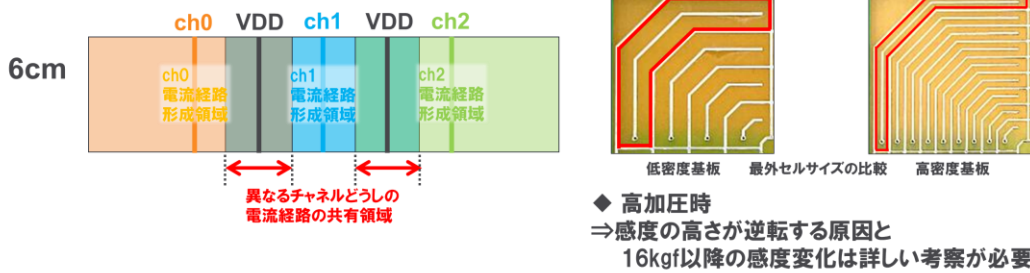


図2 配線形状による感度特性の傾向

本テーマでは、理学療法専門家によるフィードバックにより、様々なセンサを開発し、使用感を含めて検証を行った。最終センサ形状は短冊状フィッシュボーン形態のセンサ部8cm×20cmとなる。各センサ部が独立で位置ずれに対応できるため、プラスチック変形による違和感を生じない(図3)。

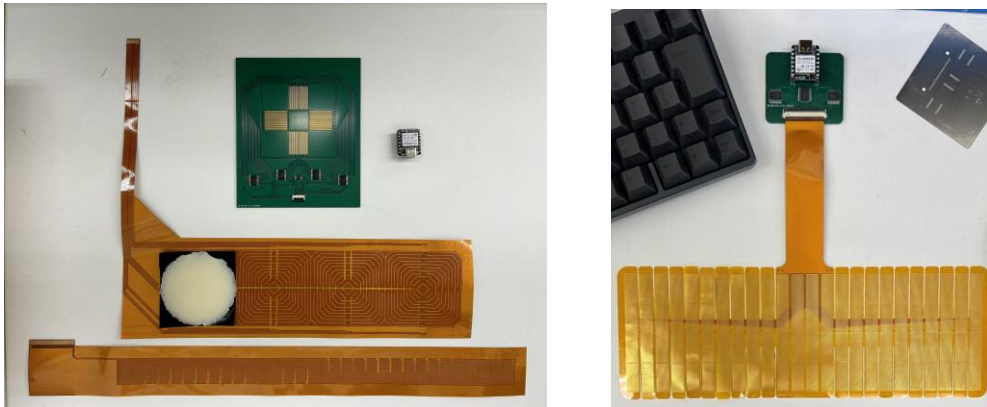


図3 補助事業にて開発したセンサ

上：単位セル確認センサと使用Bluetooth LE 右：フィッシュボーンセンサ

中：4cm×20cm, 配線引き出し20cmセンサ+圧子

下：2cm×30cmセンサ

また、本テーマでは、各センサチャンネルでの応力ベクトルのリアルタイム表示を実現する可視化システムの開発を行った。単位セルのHeatmapと各チャンネルのベクトル表示および全体統合ベクトル表示を実現する。フレームレートは30フレーム毎秒を確保する（図4）。残る課題として、手首と足首のサイズが異なるため、同一センサでの使用において、センサセルが重なる部分の信号処理となる。本課題は継続的に開発を進めて解決に挑む。

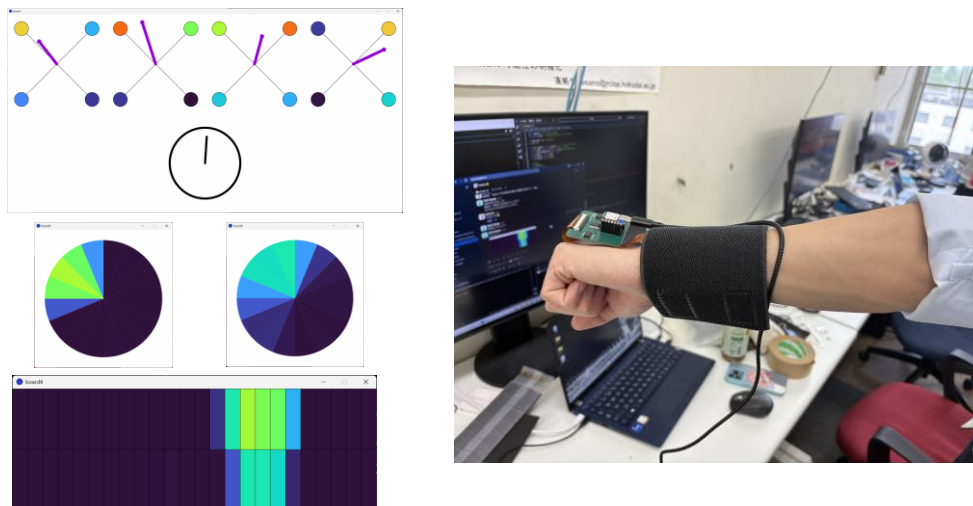


図4 可視化アプリ（定量化情報はログとして取得可能）

左上：セルアレイ表示例①（ベクトル・統合）左中：表示例②（応力・方向のセル表現）

左下：フィッシュボーン表示（セル表現）

右：センサ活用シーン（手首の計測）

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

外力に対する肢位保持能力を定量評価可能とするセンサは、リハビリテーション領域において高く期待されている。特に高齢者や脳卒中患者の筋力維持・回復の定量的指標となり、個別最適化された介入が可能となる。運動療法の効果検証やAIによる介入自動化の基盤にもなり、在宅リハや遠隔医療においても活用が進むと見込まれる。このとき、次にあげるシステム開発が両輪として働く。

力の加わる方向や大きさ、肢位との関係をリアルタイムで可視化するシステムは、リハビリ現場における理解とフィードバック精度を飛躍的に高める。患者自身の動作認識力向上やモチベーション維持に寄与し、セラピストの指導負荷軽減にもつながる。将来的には、ARやVRとの統合により没入型のリハビリ体験を提供でき、教育現場やロボティクス制御系への応用も視野に入る。感覚・運動統合のトレーニング支援としても展開が期待される。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本事業は、医学と工学の専門家が分野横断的に連携して行われたものであり、事業終了後も継続して行われる。そこでの教育は、シーズの追求に対してニーズの直接フィードバックがなされる好循環を形成しており、学生にとっても本事業の研究開発は、現場に密接した社会貢献を伴うものとなっている。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

【特許】発明の名称: 圧力センサ及び遠隔圧力検出システム

出願番号: PCT/JP2024/031702

出願日: 2024/09/04 (PCT出願をした日付)

#### 【学会発表】

山田 由菜、戸田 創、浅野 柊、奥山 恵伍、川原 良太、青木 信裕、片寄 正樹  
「力調節運動の試行回数が肩関節等尺性屈曲運動時の force steadiness および force accuracy に及ぼす影響」 第 51 回 学術集会 日本臨床バイオメカニクス学会 2025/11

和田 滉汰、池辺 将之、他 「Tongue-Cleaning Simulator for Oral Care Assistance」, 31st International Display Workshops, 2025/12 (関連研究)

#### 7 補助事業に係る成果物

##### (1) 補助事業により作成したもの

応力ベクトル検出センサおよびフィッシュボーン型センサとその可視化システム

<https://www.rciqe.hokudai.ac.jp/education/labo/iqs/jkaresearch.html>

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 北海道大学 (ホッカイドウダイガク)

住 所: 〒060-0813

札幌市北区北13条西8丁目

担 当 者: 教授 池辺将之 (イケベマサユキ)

担 当 部 署: 量子集積エレクトロニクス研究センター

(リョウシシュウセキエレクトロニクスケンキュウセンター)

E - m a i l: ikebe@ist.hokudai.ac.jp

U R L: <https://www.rciqe.hokudai.ac.jp/>