（ 様式D－２ ）
（ 別　　紙 ）

# 令和６年度　海外派遣研究員研究報告書

令和６年９月２８日

日本大学理事長　　殿
日本大学学長　　殿

所　　属　　理工学部（理工学研究所）
資格・氏名　　准教授　小林　伸彰

■本報告書の内容を公表することは，了承しております。
□本報告書の内容を公表することは，差し控えください。
**※いずれかにチェックし(■)提出すること**

令和６年度海外派遣研究員（短期Ｂ）の研究実績を，下記のとおり報告いたします。

記

１　区　　分　　短期Ｂ

２　研究課題

| |
|---|
| ブレイン・マシン・インタフェースに関する調査 |

３　派遣期間　　西暦２０２４年　７月２９日　～　２０２４年　８月２９日

４　派　遣　先　　アメリカ合衆国

５　研究目的

【研究の背景】要介護者の行動制約を緩和することは，要介護者の QoL を向上させるだけでなく，介護職従事者の負担を軽減し，かつ，日本，ひいては世界中の少子化問題を抱える国々における介護職就労者の減少を救う一助となり得る。

【具体的な目的】上下肢に機能障害を抱えるような要介護者にとって居住環境の快適性と QoL には密接な関係がある。家電製品や機械を脳活動のみの情報で制御するブレイン・マシン・インタフェース（BMI）を介護現場で活用することにより，要介護者の行動制約の緩和やストレスの軽減が期待でき，かつ，介護職従事者の仕事量を減らすことになる。本研究では，長時間使用可能・応答遅延を最小限に抑えられる BMI を IoT 向けエッジデバイス上で実現する。非侵襲式 EEG 計測で得られた脳波信号を深層学習により高精度に識別し，制御信号を無線で対象機器に送出する。一連の処理をデバイス上で完結させるエッジコンピューティングにより高効率な BMI 型 IoT-Dev を開発する。

（ 様式D-２ ）

6　研 究 概 要

① 研究の方法

これまでに，BMI は，脳活動を電気的に計測する Electroencephalography（EEG）を主流として，開頭手術によって脳神経細胞に直接電極を埋め込む侵襲式と，頭皮上に電極を設置する非侵襲式の 2 つの方式で発展してきた。非侵襲式は外科手術を必要としない利便性があるが，環境ノイズの影響を受けやすく，SN（Signal-to-Noise）比が低いため，脳活動の識別精度が低下する。近年では深層学習技術の発展により，非侵襲 EEG 信号の識別精度が格段に向上している。EEG 信号の識別精度を向上させるには，計測時の EEG 信号の SN 比の向上と深層学習による識別精度の向上，双方での取り組みが肝要である。また，BMI に用いる脳活動として多種の候補が挙げられるが，ここでは介護の現場で活用することを考慮し，使用者の負担を極力軽減するため，装置を出来得る限り小さく，軽量で構成するために，特別な刺激呈示装置を別途必要としない，想起のみで誘発される脳活動に注目する。想起に用いられるイメージには多くの候補が挙げられるが，ここでは高精度な識別に重要な特徴量の顕在化が他のイメージよりも高いと言われている運動イメージの想起（運動想起）によって誘発される電位（MI: Motor Imagery）を採用する。本想起は上下肢に機能障害を抱えるような要介護者のリハビリテーションに多く用いられている実績があり，将来的に介護に応用されることが期待されている手法の一つである。よって，介護現場での普及も見込めることから本研究との親和性が高く，採用するに至った。

② 渡航先での活動内容

本研究では上記に関する知見を調査するため，2 つの研究室を訪問した。最初に非侵襲式の MI 計測において高い SN 比を達成する知見を得るため，アメリカ合衆国コロラド州・コロラド州立大学コンピューターサイエンス学科の Chuck Anderson 教授が主宰する研究室を訪ねた。また，MI を用いた BMI 装置を実際に開発し，介護やリハビリテーションの現場で応用するための実証実験を多く行っているアメリカ合衆国テキサス州・テキサス州立大学 José del R. Millán 教授の主宰する研究室を訪ね，同デバイスを介護やリハビリテーションに普及させるために必要な知見の収集，意見交換を行った。

7　研究結果・成果

コロラド州立大学コンピューターサイエンス学科 Chuck Anderson 教授が主宰する研究室では，手の五本指それぞれの動きを想起している時の MI を深層学習により高精度に分類する手法について取り組んでいる。従来，運動想起には空間的特徴が大きく異なるイメージが用いられることが一般的である。例えば，左腕と右腕それぞれを大きく動かす運動イメージを想起した場合，左腕の動きを想起している時は脳の右半球が，右腕の動きを想起している時は脳の左半球が大きく活性化するため，それぞれの空間的特徴が大きく異なる。よって，この空間的特徴の違いを利用することでそれぞれの MI を高精度に分類することが可能となる。しかし，五本指それぞれの動きを対象とした場合，左右の違いを設けないとすると，それぞれの想起時の MI の空間的特徴，周波数的特徴は非常に似通うため，その分類は非常に困難となり，精度が低下する。この特徴が似た MI を高精度に分類するには，その空間的特徴・周波数的特徴の僅かな差を正確に捉える必要がある。侵襲式の計測であればノイズをほぼ含まない高い SN 比の EEG 信号が得られるため，この特徴量の僅かな差を検出することが可能であるが，非侵襲式の計測の場合，この僅かな差が計測過程でノイズによって埋もれてしまい，高精度な分類が難しくなる。そこで，同研究室では三極リング電極（図 1）と呼ばれる特殊な電極を用いることで，計測時に頭皮と電極間で発生する高い接触インピーダンスの影響を極力小さくし，非侵襲式計測でも，この僅かな特徴量の差を検出することに成功している。三極リング電極を用いて五本指それぞれを動かした時の 5 種類の MI を計測し，深層学習モデルにて学習した場合，約 90%以上の高い精度で 5 種類の MI の分類が可能であることが分かった。従来から一般的に用いられているフラット電極を用いる場合は約 60%程度の分類精度であることと比較すると 30%以上の精度の向上が認められた。以上の知見を今回の訪問により得ることができた。今後は同研究室の Chuck Anderson 教授と共同で研究を行い，実際に動作している時の MI ではなく，想起時の MI を三極リング電極にて計測し，深層学習にて分類した場合にどの程度の分類精度が得られるかの検証を行うことを検討している。

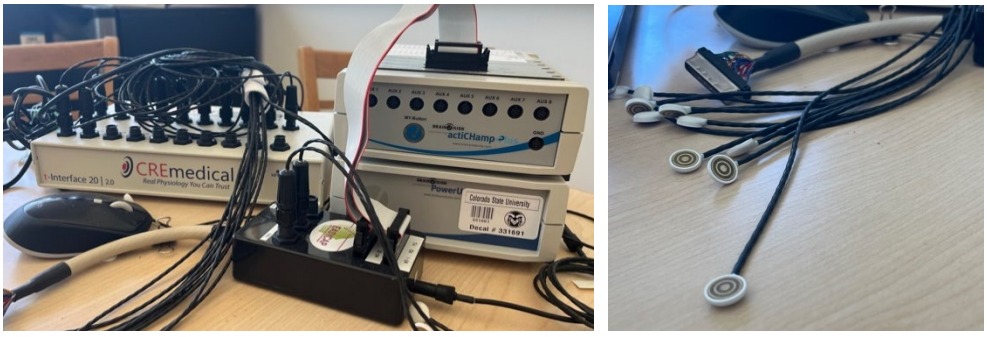



図 1 三極リング電極を採用した脳波計測装置

テキサス大学オースティン校の José del R. Millán 教授が主宰する研究室では，MI を用いた BMI を実際の介護現場で活用すべくリハビリテーション用デバイスに本手法を応用している。実際に 3D プリンタを用いて同デバイスのプロトタイプを開発（図 2）し，脳卒中等で上下肢に機能障害を抱える要介護者を被験者とした実証実験を数多く行っており，デバイス開発の流れや被験者募集に関して，知見を深めることができた。通常，本研究課題のような場合，被験者を多く集めるのが困難であるが，同大学はテキサス州立病院との連携も豊富で，被験者としての協力を多く得られるとのことであった。本学は医学部やこれに附属する病院を擁することからも，本学の強みを活かすべく，医学部や附属病院の協力が得られれば，実際に開発したデバイス等を用いた実証実験を行うことも可能であり，今後の本研究課題の方向性を検討する上でも，医学部等との連携が必要であるとの認識を深めた。



図 2　BMI を用いた五指リハビリテーション装置

以　　上