博士学位論文 審査結果の要旨

芝浦工業大学大学院 理工学研究科 博士（後期）課程

博士学位論文審査委員会

主　　査	菅谷 みどり
審査委員	木村 昌臣
審査委員	杉本 徹
審査委員	加納 慎一郎
*審査委員	田谷 昭仁
*審査委員	江口 佳那

氏　　名	鈴木 圭
論文題目	脳波信号と機械学習を用いた精神疾患の評価 -評価モデルの構築とバイオマーカーの探索-

〔論文審査の要旨〕

本論文は，精神疾患に対する客観的な評価をするための機械学習を応用した研究である．具体的には，脳の活動を脳波計により計測し，脳波信号の特徴を定量化した指標を機械学習モデルに学習させ，診断のサポートに用いることで定量的なデータに基づいた客観的な評価を提供するものである．脳波信号は，人の精神を担う脳の電気的な活動を計測した信号であり，生物学的な脳波信号を機械学習モデルに学習させることで，生物学的・客観的・定量的な評価を提供する．これにより多くの人が容易に精神疾患の診断支援を受けることができる利点があることから，本研究は有用である．近年では機械学習モデルの評価理由を人間に理解しやすくするexplainable artificial intelligence(XAI)技術などにより評価に有益だと考えられるバイオマーカーを発見することが可能であり，本研究ではこの適用にあたり3つの課題を克服することを目的とした．課題は，1) 利用可能性の制限，2)判別が困難な精 神疾患の存在，3)予防への未応用である．1)では，単一電極の脳波信号を画像へ変換した脳波信号を画像認識に有益なモデルである Swin Transformer により,画像認識技術の恩恵を受け ROC AUC 評価指標において平均 96%を達成した．また，簡易脳波計の研究では，16 個の周波数帯から,複数種類の脳波指標(パワー・左右非対称性・複雑度・機能的結合)を抽出し，そこから多様な脳波指標を特徴量選択により，Macro F1 評価指標において平均 91.6%を達成した． XAI 技術を適用することで，前頭部の一部における β 周波数帯(13−30Hz)の微分エントロピーなどが評価に有効であることを示した．これらの 研究により，導入がしやすいと考えられる単一電極や簡易脳波計でも高い性能で達成できることを示すことで，技術の利用可能性の制限の解消に貢献した．また，2)の判別が困難な精神疾患に関する症状の類似性があり，成果が十分ではなかったが，分析により課題を示した 3)予防への未応用に関し，現状のアプローチでは病の発症後の評価に応用に限られており，病の発症前の予防には応用が制限されている問題について，alexithymia の性格特性の評価にこのアプローチを応用した．その結果客観的な評価が可能であることを示した．

最終審査会では，本研究が脳波と機械学習を使用した精神疾患の評価という異分野にまたがる研究であり，異なる領域についての専門知識を求められるテーマに取り組んでいることが高く評価された．また，機械学習の特徴量選択により精神疾患の判定に有効な電極を見いだすなど，実用的な成果を挙げており，学位に十分な水準に達しているとされた．また，最終審査では予備審査の指摘事項を反映し論文の質が上がったことが確認された．さらに，予備審査で指摘された事項に対しての検討がなされていることが確認された．

一方で，分析手法の選択理由や，分析結果の普遍性については質問者の納得いく回答ができていない様子もあり，研究目的に沿った手法選択の理由や，得られた結果が真と言える正しい条件の明確な記載を論文へ追記するように指摘された．このような指摘はあったものの，総じて課題を克服し，研究に対する客観的なアプローチを実現し，かつ内省により改善が行われることを前提として，論文は博士（工学）の学位を授与するに十分な内容を備えていると判断し，全員一致で合格と判定された．