安全保障技術研究推進制度　令和６年度終了課題　終了評価結果

1.　評価対象研究課題

（１）研究課題名：全脳ネットワークを活用した革新的脳ダイナミクスイメージング法

（２）研究代表者：株式会社国際電気通信基礎技術研究所　山下　宙人

（３）研究期間　：令和４年度～令和６年度

2.　終了評価の実施概要

日時　　：令和７年１２月１２日

場所　　：ＴＫＰ新橋カンファレンスセンター

評価委員：未来工学研究所　理事長、上席研究員

東京大学　名誉教授

平澤　泠（委員長）

リモート・センシング技術センター　理事

岩野　和生

玉川大学　名誉教授

大森　隆司

東京工業大学（現　東京科学大学）　名誉教授

佐藤　誠

兵庫県立大学大学院　情報科学研究科　教授

田中　俊昭

千葉商科大学　特定教授

筑波大学　名誉教授

東京工業大学（現　東京科学大学）　名誉教授

寺野　隆雄

札幌市立大学　理事長、学長

中島　秀之

山口大学　大学院創成科学研究科　教授

西井　淳

産業技術総合研究所　人間社会拡張研究部門　上級主任研究員

長谷川　良平

福井工業大学　経営情報学部長・主任教授

大阪大学　名誉教授・特任教授

馬場口　登

（委員長以外は五十音順・敬称略）

3.　研究と成果の概要

研究の概要

全脳ネットワークダイナミクスモデルを活用した電流源推定法の開発により、非侵襲でありながら、脳深部活動を含めた全脳の神経集団活動を高い時間・空間分解能で可視化する「革新的脳ダイナミクスイメージング手法」を開発する。そしてヒト脳イメージング研究にパラダイムシフトを起こし、神経疾患や精神疾患の革新的な診断・治療技術またはブレイン・マシン・インタフェース技術の創出に貢献することを目標とする。

成果の概要

大規模実験データに基づき、安静時における複数の実験計測事実を再現する大脳皮質および視床70領野から構成される標準全脳ネットワークダイナミクスモデルの開発に成功した。リンクモデルを導入した動的電流源推定問題の理論的枠組みを提案し、アンサンブルカルマンフィルタを参考にした独自の動的電流推定アルゴリズムを開発し、データ解析に必要な運用ルールの整備とともにプログラム実装した。シミュレーションデータ・実データ解析による精度検証、再現性検証、応用可能性検証、社会実装可能性検証を通して、提案コンセプトの実証に成功し、プライマリゴールの達成を確認した。また、観測ノイズのモデリングにおいても、コレントロピー最大化基準によるノイズロバストネスを兼ね備えた電流源推定法アルゴリズムの開発に成功した。さらに、将来展開を見据えた第 2 世代脳磁場計測を活用した先進的な研究を実施し、新型計測用キャップの開発、キャリブレーションアルゴリズムの開発、およびブレイン・マシン・インタフェースへの応用可能性の基礎検討において、いずれも期待以上の成果を得た。

- 革新的脳ダイナミクスイメージング手法の開発
  - 安静時における複数の実験計測事実を再現する大脳皮質および視床 70 領野から構成される標準全脳ネットワークダイナミクスモデルの開発に成功。
  - リンクモデルを導入した動的電流源推定問題の理論的枠組みを提案。
  - アンサンブルカルマンフィルタを参考にした独自の動的電流推定アルゴリズムを開発とデータ解析に必要な運用ルールの整備、プログラム実装。
  - シミュレーションによる精度検証。「提案法は脳深部である視床の活動を統計的に有意な精度で推定することが出来る。皮質領域においても、既存手法に比べて大幅に精度が向上し、特に既存手法で観察された推定精度の不均一性が大幅に改善される」ことを示した。
  - CamCAN データ 617 名の安静時 MEG データ解析による再現性検証。グループ平均では 0.6～0.8 の高い皮質-視床結合の再現性。しかし、個人レベルではチャンスレベルよりは有意に高いが 0.01 を切る再現性。

- CamCAN データ 617 名の安静時 MEG データ解析による応用可能性検証。機能結合を特徴量として、そのヒトの年齢や知能テストスコアを予測するという問題において、既存法を有意に上回る精度を達成。予測モデル解析により皮質-視床結合の関与を示唆。
- 当ラボの第 2 世代脳磁場計測で計測した安静時 MEG データ解析による社会実装可能性検証。既存に比べて個人間のばらつきが抑えられている傾向を発見。
- 最大コレントロピー基準に基づく観測ノイズ分布誤差ロバストネスを兼ね備えた電流源推定法を提案。既存法に比べて、電流源推定精度及びデコーディング解析精度を改善。

● 第 2 世代脳磁場計測に関する先進的な研究
  - 被験者の非拘束性と実験の利便性向上を両立した計測キャップの開発。
  - 計測キャリブレーションのソフトウェアソリューションの提案。
  - ブレイン・マシン・インタフェースのための基礎実験。予備検討の結果、シングルトライアルデコーディングの精度はまだ低いが、グループ解析による左半球言語野をまたぐ内的発話ダイナミクスを解明。

● 脳振動ダイナミクスの精神疾患による変容。約 800 名の安静時 fMRI データの動的モード分解解析により、うつ病患者と健常者で、滞在頻度の違う脳振動モードを見出した。

4. 終了評価の評点

A　相応の研究成果をあげた。

5. 総合コメント

当初の計画通りに研究が着実に実施され、脳領域の数では世界の先端には劣るものの、全脳ネットワークモデルを用いて実施した点を評価できる。開発中であった脳磁場に関する全脳計測法を用い、脳深部の電流活動を復元する新たな方法にチャレンジしており、その成果で解像度においては既存の方法を凌駕できていないが、ダイナミックスを追跡できるところに特色が見られる。大脳と相関のある活動が脳深部の視床でも確認できた点は、将来に期待できる成果であり評価できる。

一方で、具体的な革新的発見や新しい手法と、その波及効果や発展性について整理するとともに、研究成果や意義を一般向けに分かりやすくアピールできるよう、内容のまとめ方を検討いただきたい。さらに、データと手法を公開し、公に広く使用できるよう検討いただきたい。

より制約を緩和した場合のモデル構築や、デジタルツインのような応用面での適

用可能性の検証、オープンデータだけではなく、自前で新しい発見につながる実験を行うなど、今後の発展を期待する。

6. 主な個別コメント

- 研究内容は挑戦的であったが、道半ばの成果であった。
- 今後の研究の発展につながる技術を開発した点を評価できる。
- 研究目標を概ね達成しており高く評価する。
- モデルベースのダイナミクスイメージング法の可能性を初めて示した。
- デジタル脳研究の発展に寄与していただきたい。
- 具体的に設定した研究目標を達成し、今後の研究展開にも期待される。