

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名：トンネル磁気抵抗素子を用いた心磁図および脳磁図と核磁気共鳴像の室温同時測定装置の開発

2. プロジェクトマネージャー：安藤 康夫（東北大学 大学院工学研究科 教授）

3. 課題の概要

生体からの微小磁場検出装置の開発を行う。従来の SQUID による生体磁気計測では、液体ヘリウム容器が障害となりセンサーを生体に密着できなかった。本研究では、室温で動作する多数のトンネル磁気抵抗素子を錐状に配置し、胸・頭部の皮膚に密着させて心磁図・脳磁図を得ることができる装置を開発する。これにより、近接計測による空間分解能を格段に向上できるため、安価で実用的な医療機器として飛躍的普及が期待できる。

4. 評価結果

(1) 研究開発の進捗状況と今後の見込みについて

設定されたステージ II 目標は、本評価を行った時点においても既に高い達成度に至っており、今後、ステージ II 終了時までには完全に達成されることが見込まれる。さらに、室温におけるリアルタイム心磁信号検出の成功、 α 波起因の脳磁信号検出の成功など、世界初となる顕著な成果を複数得ていることは高く評価される。

本課題の開発が、参加企業の研究者がプロジェクトマネージャーの研究室に常駐する形で行われていることもあり、プロジェクトマネージャーは開発リーダーとの連携のもと、強いリーダーシップを発揮している。また本課題の成功に不可欠な医学部メンバーとの医工連携にもリーダーシップが十分に発揮されている。なお本課題は、ステージ II 開始直後に、本課題の強力な推進者であった開発リーダーを交通事故により失うという不幸に見舞われたが、プロジェクトマネージャーの奔走によって速やかな研究開発体制の再構築が行われ、当該開発リーダーの夢を実現するという固い決意を研究開発チームが共有するに至ったことが、ステージ II の成功の一因といえる。

ステージ II までに得た成果をベースに、ステージ III では脳磁信号の検出に重点を置くとの方針が出され、それに沿って脳疾患種類ごとに必要となる検出可能磁場とそれを実現すべき時期が定量的に設定されていることは評価される。またステージ II 後半からは、参加企業の事業展開ビジョンが研究開発チーム内で強く意識されるようになってきたが、それを受けて、ステージ III ではより事業化に近いポジションの技術者が開発リーダーに就任することが想定されていることも評価される。

(2) 研究開発成果の現状と今後の見込みについて

高磁界感度素子の開発においては、目標を上回る $115\%/Oe$ の性能を有する TMR 素子の開発に成功し、単素子で磁界検出感度 $20nT$ と世界最高の感度を実証した。TMR 素子アレイの開発においては、ほぼ 100% に近い歩留まりで TMR 素子アレイを作製できるプロセスを開発し、 $7mm$ 角の面積内に $10,000$ 個の TMR 素子を集積化したアレイ素子を実現した。これにより、当初の目標を上回る $7.9 \times 10^{-19} V^2/Hz$ と、低周波領域においては世界最高性能の低いノイズパワーを実現した。これらの要素技術をベースに、 $7mm$ 角の微小センサーモジュールを作製するとともに、医学研究科メンバーと協力して、心磁場・脳磁場計測のための装着ユニットを作製し、人体を対象とする臨床評価を行い、心磁場のマッピングデータを得るとともに、TMR 磁場センサーを用いたリアルタイムの心磁場信号検出に世界で初めて成功した。また脳磁場計測に関しても、 α 波起因による脳磁場

信号の検出に世界で初めて成功した。さらに、核磁気共鳴装置の開発に関しても、世界で初めて TMR 素子を用いたプロトンの NMR 信号の検出に成功した。これらの成果は、16 件の招待講演をはじめとする、多数の論文発表、学会発表、プレス発表および特許申請に結びついている。以上のことから、ステージ III への移行のために必要な成果は十分に得られていると評価できる。

ステージ III の重点目標である脳磁場計測のための手掛かりは、ステージ II で十分に得られているため、ステージ III 目標の達成可能性は高いと期待されるが、脳磁場信号を安定に検出するための課題は多く残っている。新型 TMR 素子の開発、量産装置を用いた TMR 素子の性能向上、センサーモジュールを用いた生体磁場測定用実装ユニットの開発、そしてこれらを用いた臨床評価等の実施計画が適切に設定されているが、物理学的な機構解明も含めた TMR 磁場センサー感度の究極化の追求、並びにアレイ素子の最適化によるシステム性能の向上加速は重要なポイントとなろう。脳磁図との同時測定可能な核磁気共鳴図測定技術の開発は、特に難易度が高いと思われるので、開発チーム内における協力体制のより一層の強化が望まれる。

(3) 競合技術、当該技術の海外での開発状況、社会情勢との比較について

脳磁図評価自体はすでに保険診療の対象であり、その社会的重要性は明らかである。しかしながら、現時点においても依然としてその計測は液体 He を用いる SQUID センサーによるものが一般的であり、普及の妨げになっているばかりでなく、空間的分解能にも大きな問題を抱えている。よって、この問題を、室温で計測可能な高感度 TMR 磁場センサーの開発により解決しようとする本課題の価値は高い。

競合技術に関しては適切な調査がなされており、TMR 磁場センサーの位置づけが明確にはなっているが、光ポンピングや NV センターを利用する競合技術の性能向上も著しいので、引き続き競合技術とのベンチマーキングに十分配慮すべきである。

高感度 TMR 磁場センサーの開発に関しては、現時点においては本課題グループが世界的にも最も優れた成果を上げていることは、論文や学会発表のエビデンスにより明確である。

市場規模に関しては、ステージ II において参加企業が TMR 磁気センサーが適用可能な心臓・脳疾患診断用途とその市場規模の推定を行なったため、将来の事業展開へのビジョンが明確になった。また、本課題で開発する TMR 磁場センサーの波及効果として、非医療分野への応用も考慮されていることも評価できる。

(4) 課題間での情報共有の活用状況と今後の見込みについて

ステージ II における重要課題の一つは、高感度なアレイ素子の作製技術の開発であった。その実現のための鍵となる TMR 素子の微細加工技術を高度化する目的で、当該技術に高い実績を誇る産業技術総合研究所（同研究開発テーマの別課題「3次元磁気記録新ストレージアーキテクチャのための技術開発」実施メンバー）の実験装置を用いた共同研究が行われた。これによりアレイ素子作製技術が大きく進歩したことは、課題間協力の大きな成果であったと評価される。

ステージ II における、東北大学と産業技術総合研究所の間の課題間協力の有効性から、ステージ III においてもこの協力・情報交換関係を継続することが望ましい。

(5) 総合評価

ステージ目標を上回る成果を得ており、次ステージで更なる進展が期待される。次ステージへ移行させても良い。

以上の結果から、総合評価を S とする。