

戦略的イノベーション創出推進プログラム (S-イノベ)
研究開発テーマ「スピン流を用いた新機能デバイス実現に向けた技術開発」
中間評価報告書

総合所見

本研究開発テーマのねらいはスピン流制御デバイス技術を核とした応用デバイスの創出であり、2つの研究開発課題、「3次元磁気記録ストレージアーキテクチャのための技術開発」(3次元磁気記録)と「トンネル磁気抵抗素子を用いた心磁図および脳磁図と磁気共鳴像の室温同時磁測定装置の開発」(心・脳磁計)が採択された。本テーマは日本が得意とするスピエレクトロニクス技術を核に置き、新たな産業を興す可能性を秘めており、S-イノベのテーマとしてふさわしい。以上の観点から、本テーマの目標設定は新規かつ時宜を得たものあり、選考方針は妥当である。

研究開発課題「3次元磁気記録」では、これまで数多くの磁気記録限界説に挑んだ技術とは異なり、記録、再生が記録媒体とSTO(Spin Torque Oscillator)の相互作用による強磁性共鳴現象を利用して3次元記録を可能とする技術を基盤としており、磁気ストレージ技術におけるイノベーション候補といえる。STOデバイスは、高感度磁気センサとしてのMTJ(Magnetic Tunnel Junction)研究から導き出された高度なデバイスであり、我が国の多くの技術者が牽引できる研究開発分野でもある。今後、磁気記録媒体とSTOデバイスの強磁性共鳴相互作用について詳細な知見が得られことが期待される。

研究開発課題「心・脳磁計」は、MTJ(TMR:Tunnel Magneto Resistance)デバイスを心磁図・脳磁図、およびMRI(Magnetic Resonance Imaging)装置に応用する研究開発課題で、磁気記録技術で培われたMTJデバイスのさらなる高感度化をねらう流れに沿ったものであるが、技術的に高いハードルを超えることが求められている。さらにこれを高直列・並列に配置したセンサデバイスにまとめる試みは従来なかったものであり、低ノイズ・超高感度磁気センサの新しいページを開く高度技術と認められる。このデバイスは、MRI図を測定できる核磁気同調型MTJ-NMR(Nuclear Magnetic Resonance)磁気センサとして開発する指針も示されており、研究成果を期待したい。

二つの研究開発課題の推進体制並びにそれらの研究マネジメントについては、技術的には難しい課題を多く含む中でPOの采配の下での確な運営が図られてきたと認められる。特に「3次元磁気記録」における東北大学と産総研のチームは、超高度なスピデバイス試作・評価が行える開発拠点として特筆しておきたい。また「心・脳磁計」では、医師や医療機器企業も参画しており、研究開発体制に懸念はない。両課題間の密な情報交換は共有技術の観点で重要であり、今後の進展によっては、STOデバイス技術とMTJ-NMRデバイス技術で共通に利用できる新規な知見が見出される可能性も考えられる。また将来の産業化、競争力強化を考えると、デバイスや材料に関するプロセス・構造の特許出願だけでなく、方式全体、アーキテクチャ全体等についても戦略的特許出願を検討すべきである。

技術の確立に向けては両課題ともに真摯に取り組んでおり、「3次元磁気記録」においては、2層膜媒体モデルにおいて強磁性共鳴により分離読み出しできる可能性の実証、「心・脳磁計」では、アレイ状TMRデバイスによる微小磁場検出など、順調に計画が進んでいると

判断される。先進的なスピン流技術に基づく STO デバイス、および MTJ (TMR) 技術は、例えばストレージ機器の大容量化の実現等、我が国の産業創出、競争力強化にとって重要であり、また新規な MTJ センサ技術は、医療機器産業分野で、心磁図・脳磁図、MRI 装置等の事業参入や事業拡大において大きな意義を持つ。しかし、どちらの研究開発課題においても実現の可能性が見出されたとき、いち早くパートナー企業の手によって社会実装のための開発・製造体制を検討・確立することが、新産業創出の鍵となると考えられる。技術開発には成功しても産業化(ビジネス化)では外国企業に負けてしまうことのないように、開発推進体制を構築してほしい。

1. 研究開発テーマのねらい(目標)と課題の選考について

産業創出の礎となりうる技術を確立し、イノベーションの創出を図るためには、できるだけ産業的・社会的インパクトの大きい課題を採択すべきであり、ひいては日本がモノづくり大国として復権することにもつながると期待される。また、このために学理の面では、極めて挑戦的にならざるを得ない。したがって、PO が重視しているスピン流制御デバイス技術を核とした研究開発テーマのねらいは大変合理的であるといえる。

研究開発課題は、STO 技術に基づく「3次元磁気記録」と MTJ デバイスを用いた「心・脳磁計」の2つで構成される。それぞれ独立に運用されているように思えるが、技術が確立されていく過程では3次元磁気記録用 STO デバイス技術と核磁気共鳴像用 MTJ デバイス技術は共通の課題や成果の活用が考えられる分野であり、PO が研究開発マネジメントするにふさわしい課題構成といえる。

「3次元磁気記録」と心・脳磁計の両研究開発課題で基盤となる MTJ 技術は、HDD (Hard Disk Drive) 技術の高密度化過程において、GMR (Giant Magneto Resistance) 技術 (1988 年に報告、2007 年ノーベル物理学賞) よりさらに高密度化を実現し、磁気記録の高密度化を大きく牽引している。HDD 産業は、従来の電荷のみに着目する半導体エレクトロニクスから電子スピン流を制御するスピネレクトロニクス技術を孵化させたといっても過言ではない。MRAM (Magnetoresistive Random Access Memory) 技術においても、MTJ は中核技術となっている。

「3次元磁気記録」においてキーデバイスであるスピン流注入による STO は、マイクロ波デバイス技術単独としても注目される MTJ 技術である。この STO デバイスによるマイクロ波発振と磁気記録媒体中に誘起される強磁性共鳴現象を選択的記録・選択的再生に利用することによって、磁気記録を3次的に行うことをねらっており、学理的にも技術的にも非常に挑戦的な課題である。

「心・脳磁計」では、MTJ 高感度磁界検出デバイスの心磁図・脳磁図、および MRI 装置への応用をねらいとしている。微細化が進む高密度磁気記録の読み取りを可能にした室温で動作する超高感度 TMR デバイスを人体の心磁図、脳磁図や核磁気共鳴像を得るための装置に適用する試みであり、従来の超伝導量子干渉デバイス (SQUID) を用いた装置より安価で小型化でき、理にかなうと同時に新規な医療機器産業創出の芽を想起させる。

この二つの研究開発課題は、我が国がスピネレクトロニクス・デバイス技術では世界をリードする研究者、技術者群を擁していることを考えると真に時宜を得たものであり、

選考方針は妥当である。また、本研究開発テーマに従事する産総研、東北大、東芝、ユニカミノルタ等のそれぞれの担当者の研究発表実績もレベルの高さを実証している。

また、アドバイザーはP0の研究マネジメントを補佐することがミッションとされている。その意味で、スピネレクトロニクス・スピネ流研究者と共に、MRAMやHDD磁気記録技術からビジネスにまで精通した企業研究者・技術者で的確に構成されている。今後、企業が事業の拡充を図る場合には、例えば3次元磁気記録では将来の大容量データストレージ機器の使用価値を創造できるアドバイザーを加えることが圧倒的な機能獲得につながる、より実用的な研究テーマ創出が可能となるのではないかと考えられる。

2. 研究開発テーマのマネジメントについて

いずれの研究開発課題においても、研究開発は計画以上に進んでいると評価できる。その意味で、P0はこの挑戦的な研究開発課題をきめ細かくモニタリングし、全体をよく把握していると評価する。開発分担についても各研究機関の得意分野を組み合わせしており、チーム間の連携にも今のところ齟齬はないと思われる。

研究開発課題の進捗の中で、知財権獲得についてはもう少し多くの特許提案がなされても良いように思われる。ステージIIにおいては、今後、社会へのインパクトを考えた時、出願国がより多く設定されるべきであり、特許発明者が1グループに限られた発明の他に、できれば複数グループ連携による出願も技術的範囲の大きさを示すものとして望ましいように思われる。次のステージでは、テーマ推進会議の中に知財権獲得戦略会議が含まれるといった、各グループ間の更なる連携が取られることが重要である。アドバイザーを含む全員のブレインストーミング合宿はユニークであり、今後とも活用してほしい。

「3次元磁気記録」については、磁気記録と書き込み機構の専門家を追加し、望ましい体制になった。マイクロ波アシストの研究は磁性の国際会議でも注目されているので、日本からの成果を加速するためにも参画は重要である。実用化へはどの程度進んでいるのか、またMAMR(Microwave Assisted Magnetic Recording)、HAMR(Heat Assisted Magnetic Recording)等他の競合技術と比較したポテンシャル等も説明して行くことも必要である。

研究開発課題内の連携については両課題とも十分に機能していると判断できる。チーム間のコミュニケーションは非常に重要である。研究開発課題名から両課題間の連携は難しいように見えるが、両課題の共通技術はTMJデバイスにあり、エッチング装置の導入や、微細加工プロセスの改善など、実質的な連携が図られていることは評価できる。これは、最先端の研究者同士が会うことにより新しい発見が生まれる好例といえる。この研究開発課題間の融合により、新たなアイデアやテーマが生まれることを期待する。

研究費の配分状況については、両研究開発課題ともに予算削減もあり、限られた予算範囲内ではあるがP0により、各課題のメンバーが目標達成に対する挑戦意欲が削がれることのない無難な配分調整が行われた。

3. 研究開発テーマとしての産業創出の核となる技術の確立に向けた状況

本研究開発テーマのねらいである3次元磁気ストレージ技術や、心・脳磁図と核磁気共鳴像技術開発において、ステージIの目標値は達成している。ステージIIに向けて、それらの原理的・基礎的な技術開発は順調に進んでいる。

「3次元磁気記録」においては、2層膜媒体モデルにおいて強磁性共鳴により分離読み出しできる可能性を実証した成果は高く評価できる。マイクロ波アシスト記録では、マイクロ波アシスト磁化反転を実証したので、今後は層間の選択的磁化反転（記録）についても確認してほしい。また多層膜にこだわらず、まず2層媒体で実際のSTOとの強磁性共鳴による書き込み、読み取りの検証、そして記録・再生HDDシステムアーキテクチャの構築を確実に行ってほしい。

「心・脳磁計」においては、磁気抵抗感度について目標レベルに到達し、アレイ状TMRデバイスにより100pT程度の微小磁場検出に成功している。本研究開発課題では、磁気抵抗感度の目標達成と、TMRアレイ化実現のための歩留まり向上が鍵とされるが、今後は歩留まりを救済するための回路手法の開発も並行して検討してほしい。また核磁気同調型MTJ-NMR磁気センサでは、試作デバイスの評価結果が待たれる。

情報ストレージ産業は、技術進展の結果限られた企業にしかできない事業環境になったが、そのコア技術の多くは未だ日本勢が保有している。産業創出の核となる技術の観点から見ると、その一つである先進的なスピン流技術に基づくSTOデバイス、及びMTJ（TMR）技術を更に発展させることによって、ストレージ機器の大容量化を実現することは我が国の産業創出、競争力強化にとって重要である。また、MRI装置など我が国の競争力が必ずしも強くない医療機器産業分野で、新規なMTJセンサ技術を核として心磁図・脳磁図、MRI装置事業に参入あるいは事業拡大できることは大きな意義を持ち、大変望ましいことである。ただし、現行の競合技術もその進捗状況を注視し、ベンチマークを十分に意識してほしい。

ステージI終了時点で、多層磁気記録媒体、STOデバイス、あるいはMTJデバイスアレイ技術の進捗状況をみると、これまでの研究実績からみて最終目標達成の可能性は高いと判断したい。多数のMTJデバイスからなるアレイ状デバイスでは、デバイスの欠陥などを信号処理などで回復する技術等のリスク回避技術も併せて開発する必要がある。

多層磁気記録媒体、STOセンサ技術の開発に目途が立った時、産業創出の観点からは誰がどのようにビジネス創出を行うかが鍵となる。企業戦略適合性については、早い段階で部品レベルの実現を考えたパートナーシップの構築が必要であり、このためには新たな設備投資などの経済的な側面の検討も必要になる。医療機器の市場性については、世界各国の機器認可に関する障壁なども今後考慮すべき課題である。また、研究成果が製造技術や製造設備等のノウハウとして組み込まれてしまったとき、資金力・投資意欲のある国へ産業化が移ってしまうことのないようにしてほしい。

4. その他

HDDは、様々なブレークスルーで今日まで性能を伸ばしてきた歴史がある。3次元磁気記録も新しく且つ挑戦的な課題であり、従来技術とその延長技術との競合、あるいは製造インフラ投資における障壁など、イノベーション創出には幾多の困難も予想される。このような状況の中で、革新的技術開発に挑戦している関係各位に敬意を表したい。

インターネット網に乗った情報量は爆発的に増大し、これまで以上にHDDストレージの大容量化が求められている。しかし、情報社会の発展はしばしばセキュリティ面で弊害ももたらしている。このような視点で、HDDストレージシステムが情報社会を安全に制御で

きるような大容量ストレージの新しい利用形態の提案も本研究開発テーマから生まれても良いだろう。

心・脳磁計では、計測界における MTJ デバイスの高度利用に先鞭をつけ、さらに多く分野への応用が広がることを期待する。また、さらに多くの物理現象の利用が対象となることも期待したい。

今後は、共同研究の中から特許を多く出していくことが予想される。出願体制の観点で、参加企業・大学などの独自貢献や共同による出願など、具体的な局面では PO が調整に苦労する場合もあるだろうが、是非とも大きな視点に立って連携し強い特許群を構築してほしい。

また、スピン流を利用したデバイス開発について日本が新しい機能デバイスを開発し、世界に先駆けて実用化の可能性を十分に示すためにも、最終目標実現に対して課題によっては十分な予算ではないかもしれないが、研究開発テーマの意に沿った挑戦的な分野での更なるテーマ選定とそれらの推進を期待する。