

戦略的イノベーション創出推進プログラム 研究開発テーマ
「超伝導システムによる先進エネルギー・エレクトロニクス産業の創出」
中間評価報告書

総合所見

POとして掲げている目標は、技術的には優れているものの現時点では大きな産業には至っていない超伝導技術を、2050年の時点で社会を支える大きな技術群に育てることを目指しており、この点において極めて的を射たものである。

「S-イノベ」事業ではステージアップのマイルストーンは設定しているが、中間評価の結果、研究開発の中止となるような課題はなかった。平成23年度までの研究開発期間中に東日本大震災があったため、やむを得ないところもあるが、部分的な中止あるいは研究費の減額も検討すべき課題もあったと考えられる。一方、優れた研究成果を出している課題もあり、課題間で連携を取ることで、研究の進め方に関しても相互理解が深まるであろう。

5課題を比較した場合、研究費投入の費用対効果に関してはかなりの差があるように見受けられる。極めて高い研究成果を出している課題に対しては、他の課題の予算の縮小が必要であったとしても、加速的研究資金を投入する価値がある。

既にPOとして取り組みを開始している共通的な要素技術に関する課題横断の情報交換は極めて優れた取り組みである。是非、その中から、世界的なデファクトスタンダードとなるような技術あるいは設計思想を生み出してほしい。高温超伝導機器の通電安定性の考え方、冷却系の運転信頼性がどのように機器全体の運転信頼性に影響するかなどの考え方は、直ぐにでも世界に通用する最先端の研究成果が期待される。

実用機器・システムから超伝導を考える研究者が非常に少ないことが気がかりである。各プロジェクトとも研究発表を精力的に行ってきたことは評価されるが、そのほとんどが低温・超伝導関連学会である。応用機器・システムを主体とする学会での発表や投稿が望まれる。特許出願も進められているが、なお一層の推進を期待する。

課題別評価の概略を以下に示す。

①「高温超伝導SQUIDを用いた先端バイオ・非破壊センシング技術の開発」

高温超電導積層型SQUID研究に関しては低温超伝導との棲み分け等を考慮した世界的にも優れた研究であり高く評価できる。プロジェクト内部の開発にとどまることなく、広く内外のSQUID研究機関へのSQUIDセンサー提供などによる外部評価や、より多様な応用開発へ提供し、国際的にもスタンダードとしての認知を得ることが必要である。

SQUIDを用いたセンシング技術は、感度の点で他の追従を許さない技術ではあるものの、冷却が必要であることがネックになり、これまでは一気に応用範囲が拡大することはなかった。今回の研究開発でも、この懸念はあるものの、現在の高温超伝導SQUIDの実力を最

大限に発揮できる研究開発体制で取り組んでおり、最終目標の達成を含めて、今後の研究成果が期待できる。

②「大出力超伝導回転機器に向けたキーハードの開発」

概念設計の結果としては、総合効率 99%（冷却損を含む）や現在世界最高のトルク密度などを得ているが、そのような設計値が実用化・産業創生の観点からどのような判断で受け入れられるものになっているかについての検討が不可欠である。

既にマッチングファン方式のステージⅢに入っているが、社会的影響のある研究成果はまだ出ていないようである。内航船への応用に当面の応用先を絞っているようであるが、内航船が有利となる技術導入シナリオが明示されていないため、産業創出の鍵となる技術であるかどうかの判断は難しい。また、将来的には外航船への応用も言及されているが、こちらに対しても超伝導モータの適用が有利になる技術導入シナリオが不可欠である。

③「高温超伝導を用いた高機能・高効率・小型加速器システムへの挑戦」

高温超伝導マグネット技術としてハードルの高い要素技術が前提となっていて、テーマの達成度については、最終的には開発途上の線材の工業的製造技術に負うところが多いように思われる。長尺性・均一性・信頼性・低コスト性などの観点から実用化に向けての要求条件の明確化とその条件の達成時期の予測についても検討が必要である。

またプロジェクト終了時の達成目標の考え方として、プロジェクト終了後に実用機に向けたスケールアップや、更なる技術革新のための投資を企業自体がなすレベルの成果を出すための方策と開発体制の構想が必要である。

④「高温超伝導材料を利用した次世代 NMR 技術の開発」

各ステージでの研究計画は堅実であり、これまでのところステージⅠの全般的な進捗状況は概ね良好であるが、ステージⅠにおける要素的研究、特に導体磁化の抑制技術、接続技術、コイルの保護技術などのシステムの性能に直接的に関わる要素技術の開発状況は、現時点では十分ではない。今後、ステージⅡでの目標に対して、具体的な技術課題解決のシナリオを作成してコイル開発を進めることが必要である。

⑤「次世代鉄道システムの創る超伝導技術イノベーション」

鉄道システムに超伝導ケーブルを導入するメリットは明示されているが、それを実現するために現在の研究開発体制が適しているかどうかの説明が十分ではない。また、産業化する上で想定する市場は国内あるいは国外のどこかをある程度考える必要がある。適用場所により開発すべき技術内容が変わる可能性があるためである。

また、鉄道事業者によるアドバイザー委員会から導入意義等のコメントを直接に受け取る体制があるので、鉄道システムへの導入のための条件（要求仕様、高機能性、低コスト

性、導入範囲・規模など)の明確化と達成予測を具体的にした計画立案が期待される。

以上を総じていえることは、今後の取り組みとしては、是非、2050年の社会像の検討を進めてほしい。いずれにしても、POとして是非強力なリーダーシップの発揮を期待したい。さらに、POへの権限付与やPOへのサポート体制も明確にすべきであろう。

1. 研究開発テーマのねらい(目標)と課題の選考について

POとして掲げている目標は、技術的には優れているものの現時点では大きな産業には至っていない超伝導技術を2050年の時点で社会を支える大きな技術群に育てて行くことを目指しており、この点において極めて的を射たものである。

研究開発テーマを構成する5課題は戦略的にはそれぞれが重要であるが、公募をもとに採択された研究開発内容であり、必ずしも整合的ではないことはやむを得ないところである。アドバイザー陣は超伝導に関して経験豊富な方々ばかりであるので、POとしてアドバイザーからの協力も得つつ、個々の課題の研究開発内容および研究推進方法に関与することが期待される。しかしながら、アドバイザーの役割としては、実用化への展望に関するアドバイスも重要であり、実用機器・システムの観点を持つアドバイザーを含めるべきである。

2. 研究開発テーマのマネジメントについて

「S-イノベ」事業ではステージアップのマイルストーンは設定しているが、中間評価の結果、研究開発の中止となるような課題はなかった。平成23年度までの研究開発期間中に東日本大震災があったため、やむを得ないところもあるが、部分的な中止あるいは研究費の減額も検討すべき課題もあったと考えられる。一方、優れた研究成果を出している課題もあり、課題間で連携を取ることで、研究の進め方についても相互理解が深まるであろう。

研究費に関しては、特にステージが上がる際にはゼロベースで見直してはどうであろうか。5課題を見回した場合、研究費投入の費用対効果に関してはかなりの差があるように見受けられる。極めて高い研究成果を出している課題に対しては、他の課題の予算の縮小が必要であったとしても、加速的研究資金を投入する価値がある。

既にPOとして取り組みを開始している共通的な要素技術に関する課題横断の情報交換は極めて優れた取り組みである。是非、その中から、世界的なデファクトスタンダードとなるような技術あるいは設計思想を生み出してほしい。高温超伝導機器の通電安定性の考え方、冷却系の運転信頼性がどのように機器全体の運転信頼性に影響するかなどの考え方は、直ぐにでも世界に通用する最先端の研究成果が期待される。

その他の事項として、実用機器・システムから超伝導を考える研究者が非常に少ないことが気がかりである。各プロジェクトとも研究発表を精力的に行ってきたことは評価されるが、そのほとんどが低温・超伝導関連学会である。応用機器・システムを主体とする学会への投稿が望まれる。特許出願も進められているが、なお一層の推進を期待する。

「次世代鉄道システムの創る超伝導技術イノベーション」のステージⅠの成果を見ると、開発リーダーを中心とした超伝導ケーブル応用技術開発と大学の研究者を中心とした超伝導線材開発の二つに分離しているように見える。したがって、両者が一体化されて初めて産業化に結びつく鉄道用超伝導ケーブル実用化の観点からは技術展開が良く見えないものとなっている。課題評価に関しては均一的にAレベルとなっている。このことは、より一層詳細かつ厳密な評価の必要性を示唆している。

今後の取り組みとしては、是非、2050年の社会像の検討を進めてほしい。いずれにしても、POとして是非強力なリーダーシップの発揮を期待したい。さらに、POへの権限付与やPOへのサポート体制も明確にすべきであろう。

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

まず、5つの研究課題について、産業創出の核となる技術の確立に向けた状況を評価する。

①「高温超伝導SQUIDを用いた先端バイオ・非破壊センシング技術の開発」

高温超電導積層型 SQUID 研究に関しては低温超伝導との棲み分け等を考慮した世界的にも優れた研究であり高く評価できる。また、プロジェクト内部の開発にとどまることなく、広く内外の SQUID 研究機関への SQUID センサー提供などによる外部評価や、より多様な応用開発へ提供し、国際的にもスタンダードとしての認知を得ることが必要である。

SQUID の応用研究については、心磁計測以外では、エンドユーザとの共同作業が低調である。

応用研究では、エンドユーザとの共同研究を積極的に推進し、ユーザからの厳しい要求仕様を満たすように目標設定を具体的かつ定量的に定める必要がある。

応用分野の各研究チームは、ステージⅢのマッチングファンドで引き受けてもらえる企業を早期に見つけ、共同研究などをステージⅡの段階から進めるべきである。

免疫診断等の応用分野については、蛍光法ほか現在利用されている方式の改良も急速に進展しているため、最新の動向を踏まえて、優位性を検討する必要がある。

低磁場 NMR の研究は低磁場における優位性を示す研究をもっと具体的に進め、バイオや医学系研究機関、企業との連携を進める必要がある。

SQUID を用いたセンシング技術は、感度の点で他の追従を許さない技術ではあるものの、冷却が必要であることがネックになったり、SQUID 程の感度が無くても実用上は十分な他のセンシング技術があったりするため、これまでは一気に応用範囲が拡大することはなかった。今回の研究開発でも、この懸念はあるものの、現在の高温超伝導 SQUID の実力を最大限に発揮できる研究開発体制で取り組んでおり、最終目標の達成を含めて、今後の研究成果が期待できる。

また、エンドユーザとの共同研究が低調と思われるので、エンドユーザに関連した学会発表を増やすべきである。

②「大出力超伝導回転機器に向けたキーハードの開発」

概念設計の結果としては、総合効率 99%（冷却損を含む）や現在世界最高のトルク密度などを得ているが、そのような設計値が実用化・産業創生の観点からどのような判断で受け入れられるものになっているかについての検討が不可欠である。

既にマッチングファン方式のステージⅢに入っているが、社会的影響のある研究成果はまだ出ていないようである。内航船への応用に当面の応用先を絞っているようであるが、内航船が有利となる技術導入シナリオが明示されていないため、産業創出の鍵となる技術であるかどうかの判断は難しい。将来的には外航船への応用も言及されているが、こちらに対しても超伝導モータの適用が有利になる技術導入シナリオが不可欠である。

また、研究成果をモータ、電気推進船関連学会へ積極的に投稿し、このことは産業界とのつながりを作る上でも意義がある。

③「高温超伝導を用いた高機能・高効率・小型加速器システムへの挑戦」

高温超伝導マグネット技術としてハードルの高い要素技術が前提となっていて、テーマの達成度については、最終的には開発途上の線材の工業的製造技術に負うところが多いように思われる。長尺性・均一性・信頼性・低コスト性などの観点から実用化に向けての要求条件の明確化とその条件の達成時期の予測についても検討が必要である。

加速器用超伝導マグネットは他の応用マグネットと違い高い電流密度と機械的強度が必要であるので、Y系導体の技術的応用可能性を検討すべきである。

多くのテーマで相互の関連がわかりにくく、また加速器の応用先として、多岐にわたる応用を想定している。例えば、高レベル放射性廃棄物の処理を想定して、使用部材の放射化まで研究範囲を広げるのは時期尚早ではないか。

超伝導加速器を高温超伝導化するための技術開発は進んでいるが、産業化の見通しを得るための需要想定を厳密に行うべきである。そのためにも応用関連学会での発表と議論も役に立つであろう。

またプロジェクト終了時の達成目標の考え方として、プロジェクト終了後に実用機に向けたスケールアップや更なる技術革新のための投資を企業自体がなすレベルの成果を出す方策と開発体制の構想が必要である。

④「高温超伝導材料を利用した次世代 NMR 技術の開発」

この分野は世界的に開発競争状態にあり、本格的な事業化計画を踏まえて研究開発内容の確認が必要である。各ステージでの研究計画は堅実であり、これまでのところステージⅠの全般的な進捗状況は概ね良好であるが、ステージⅠにおける要素的研究、特に導体磁化の抑制技術、接続技術、コイルの保護技術などのシステムの性能に直接的に関わる要素技術の開発状況は現時点では十分ではない。今後、ステージⅡでの目標に対して、具体的な技術課題解決のシナリオを作成して確実にコイル開発を進めることが必要である。

⑤「次世代鉄道システムの創る超伝導技術イノベーション」

鉄道システムに超伝導ケーブルを導入するメリットは明示されているが、それを実現するために現在の研究開発体制が適しているかどうかの説明が十分ではない。また、産業化する上で想定する市場は国内あるいは国外のどこかをある程度考える必要がある。適用場所により開発すべき技術内容が変わってくるからである。

一方、鉄道事業者によるアドバイザー委員会から導入意義等のコメントを直接に受け取る体制があるので、鉄道システムへの導入のための条件（要求仕様、高機能性、低コスト性、導入範囲・規模など）の明確化と達成予測をさらに具体的にした計画が期待される。

以上の5課題に関して総じていえることは、高温超伝導材料の特性改善を注視しつつ、応用分野（エンドユーザー）との交流も強化しながら具体的な研究開発シナリオを再点検してほしい。また、世界的な動向も踏まえた上で、戦略的にステージⅢのマッチングファンド方式への準備を進めることが重要である。

4. その他

S-Iノベは長期間の研究開発であり、研究継承の中で研究者の新陳代謝も必要である。

技術革新から産業創出は、超伝導技術に関して大きな課題である。しかし、それを達成している分野も多い。このことを念頭に置いた議論が必要である。「超伝導材料・線材の性能が期待するほど進展しなかったため、良好な成果を得られなかった」あるいは、「超伝導材料、超伝導線、超伝導マグネットの研究は進展したが、実用化は進まなかった」とならないように進めてほしい。