

産学共創基礎基盤研究プログラム
技術テーマ「革新的次世代高性能磁石創製の指針構築」
テーマ中間評価報告書

1. 総合所見

総合評価：A

永久磁石は、電力発電などの大型機器から磁気記録などの超マイクロデバイスに至る広範な産業分野で極めて重要な役割を果たす材料部品であり、従来その研究開発及び産業化に関しては日本が指導的役割を果たしてきた。

本技術テーマは革新的次世代永久磁石の創製のための基盤技術とそれに繋がる指針確立を目標とするものであり、産官学の英知を結集し、現在実用化されている磁石材料の特性改善および新規高性能磁石材料の実現を図ると共に、新たな磁石関連の評価解析技術の開発を目指し研究開発を進めてきた。

本技術テーマの研究課題の中で、現在開発が進められつつある評価解析技術は新たな磁石材料の探索に、またフェライトにおける磁気異方性向上技術は現用のフェライト磁石の性能向上に多大な寄与が期待されることから、今後の産業競争力強化に繋がる技術として高く評価される。

しかしながら、新磁石(原理は既知)および新原理に基づく磁石材料の探索、開発に関しては、一部には開発指針が見え始めてはいるものの、バルク磁石材料への応用に向けた明確な展望は未だ見えていない。これらの研究課題はいずれも極めて挑戦性が高く、容易に開発および実用化に向けての指針が得られるとは考えられないが、計算科学を積極的に導入して、電子状態から出発し原理にさかのぼって磁石材料を検討するという新たな試みをしており、その成果が徐々に得られつつあることから、今後その成果が研究課題の進展に活かされることを期待したい。

本技術テーマの運営に関しては、サイトビジットと産学共創の場を有効活用して、産業界からの視点及びニーズを研究課題の実施に反映させる努力がなされ、また、適宜に研究開発内容の軌道修正も行われるなど、総合的に見て、健全かつ効果的に進められており、高く評価される。今後、さらに産学双方向の議論を活性化する一層の具体的施策を期待する。

本技術テーマの実施に関し、JST に「PO をサポートする体制の強化」および「知的財産戦略強化」に関し以下のご検討をお願いしたい。

PO は、産業界とアカデミア間の研究に対する意識の差異の調整、各研究課題の進捗状況の指導・助言等で多忙すぎると思われる。このため PO と共に各研究課題の進捗状況を注意深く見守り、常時細部に渡って指導・助言して PO を直接的にサポートするサブ・プログラムオフィサーの設置が必要であると考え。実用化に込め得る新技術の開発には、目標設定のみならず極細部に渡るマネジメントが必要不可欠であることから、PO をサポートする体制の強化の検討をお願いしたい。

また、本技術テーマの特許申請数は現在 2 件にとどまっている。これは研究者の

知的財産権取得の必要性、重要性に関する認識の低さが最大の原因であるが、その手続きの煩雑さおよび費用なども障害となっていると考えられる。知的財産権は、企業が実用化しようとする際に極めて重要であるので、その取得に関し手続き方法の簡便化、申請費用の別途予算化の検討をお願いしたい。

2. 技術テーマのねらい（目標）と課題の選考

1. 技術テーマのねらい(目標)と課題選考方針

本技術テーマは、革新的次世代高性能磁石の創製への指針構築を目的として、永久磁石の革新に繋がる新評価技術、現在主流のNdFeB磁石およびフェライト磁石の飛躍的性能改善、およびこれら磁石の性能を大きく上回る新磁石開発に繋がる基盤技術の開発の3つを具体的な目標としており、これら目標の達成に向けたPOのねらいおよび課題選考方針は、いずれもこれに沿うものであり、また産業界の技術力向上への配慮もなされていることから、適切であると判断する。

2. アドバイザー(AD)構成

ADの構成は、産業界とアカデミアがほぼ半々であり、構成メンバーについても、アカデミアを代表する物性論、計算科学および磁性材料学の第一人者、ならびに磁石業界を代表する専門家が揃っており問題はないが、産業界からのADとして自動車やモータなどの応用関連業界からの参加、またアカデミア関係では、産業界とアカデミアとの立場の違いにより研究に対する考え方に大きな差異があることから、企業とアカデミア双方の実情を熟知している研究者の参加も望まれる。

3. 採択課題の構成、追加採択

採択課題の構成は、新評価技術が4課題、NdFeB磁石が2課題、フェライト磁石が3課題、希土類フリー磁石が4課題であり、POのねらいに対応する課題がバランスよく採択されている。

また、適宜に採択研究の進捗状況をチェックし、内容修正もしくは終了、希土類資源の供給状況の変化に鑑みNdFeB磁石の飛躍的特性改善を目標とするテーマを追加採択したことは、運営上高く評価できる。

3. 技術テーマのマネジメント

1. POのテーマ運営方針

POの掲げた6項目の運営方針は、十分に熟考されており妥当であると考えられる。磁石材料関連の研究者数が多くない現状を考慮して、他分野からの新たな研究者の参入を促す方針は、この分野の将来を展望する上でも極めて重要である。運営をJSTおよびPOで合議検討しながら進める方針は妥当である。

2. 研究費の配分

予算ベースでは新評価技術が約4.5億円、NdFeB磁石が約3億円、フェライト磁石が約3億円、希土類フリー磁石が約4億円であり、バランスよく配分されている。研究提案書を基に研究費配分を行うのは基本であるが、研究の必要性および重要性

を評価し、研究の進捗状況を把握し、場合によっては研究を加速するための重点配分も実施されており、研究費の配分に柔軟な対応が見られ評価できる。ただ、できれば期間の途中でも、研究実施の状況および進捗状況を見て、PO 自身の裁量で、ある程度の配分調整ができるなどの権限を PO に与えることが望ましい。

3. 産学共創の場の運営と活用

サイトビジット、産学共創の場および成果報告書により研究の進捗状況、および本技術テーマの運営上の問題点などに関する情報の把握がなされている。

サイトビジットは、PO、AD、研究実施者の間で詳細で深い議論がなされ、産業界からの視点を全員で共有する機会として極めて有効であることから、高く評価できる。

産学共創の場では、産業界からの AD だけでなく、磁石応用関連業界からの意見も聞くことができ、幅広い視点での議論ができたと考えられる。この際アンケート形式の書面で意見・アドバイスを集約して研究実施者にフィードバックする方法が採用され、多くの産業界からの参加者の視点や意見の相違点が明確になるなど、見識ある適切で実り多い運営がなされたものと推定する。また、これらの議論は PO による指導にも反映され、研究計画が適切に変更されるなど本技術テーマの運営上大変有効に機能したと考えられる。

4. テーマの進捗状況の把握

PO は、成果報告書、サイトビジットおよび産学共創の場を通して、多面的なテーマの進捗状況の把握を行っているのは適切である。当初設定した研究目標に照らし合わせての進捗状況把握が基本であるが、研究目標の難易度を考慮して妥当な判断をすることが PO 求められ、その責任は重要であるが、PO は十分にその役割を果たしている。

5. 研究課題の評価と評価結果に基づく指導

各研究課題によって達成のハードルの高さが異なるため、研究目標の達成度のみによる画一的評価は見誤る危険性がある。この点、研究目標の達成度に加え将来的な産業競争力強化への貢献度、産業力強化に資する基礎的な研究としての新たな知見の創出、研究を継続したときに期待される成果について、サイトビジットと産学共創の場での議論を取り入れ、研究の方向性の指導、総合的評価を行っており、また目標達成のため、研究項目の廃止、修正、追加、順序変更、組織の追加や研究の追加が適宜行われており、適切なマネジメントがなされている。

4. 技術テーマとしての産業競争力強化に繋がる技術の確立に向けた状況

1. 各研究課題の設定目標に対する達成状況

各各研究課題の設定目標に対する達成状況は、以下の通りである。

(1) 従来技術では得られない情報取得を可能とする新評価技術の開発とその利用

X線顕微鏡を用いて 10nm オーダーの高い空間分解能で元素を識別して磁区構造を観察する新たな技術の開発に成功すると共に、中性子小角散乱によるバルク磁石内部の磁気構造解析への取り組みを行うなど従来技術では得られない情報取得に向けての進展が見られる(課題番号 02^{(注)課題番号は表 1 参照})。また、走査型ホール素子

顕微鏡 (SHPM) や磁気力顕微鏡 (MFM) の分解能の向上にも成功した (課題番号 04)。これらの高度な観測技術と大規模な計算機シミュレーション技術の融合により、NdFeB 磁石の保磁力機構解明を目指す研究 (課題番号 02) は、産業界に貢献する可能性が高く、多大な成果と言える。今後、これら高度観測技術と大規模計算機シミュレーション技術をいかに融合し、磁石開発に実際に応用して保磁力機構解明にどれだけ迫れるか期待が持たれる。

(2) 既存磁石の飛躍的特性改善を可能とする基礎的知見の明確化と特性改善に向けた指導原理の提示

LaCo 置換Srフェライトの性能改善に向けては、原子占有サイトの明確化や電子状態変化の解明といった基礎研究に立ち返り、Co 置換サイトの明確化を通じて性能決定要因 (Fe^{2+} 発生量) を抽出すると共に、その発生量の制御指針を確立しつつある (課題番号 06,08)。フェライト磁石の飛躍的特性改善に向けて有用な知見が数多く得られており、フェライト磁石の産業競争力強化が期待できる。一方、NdFeB 磁石の特性を飛躍的に改善する可能性があると言われて久しい NdFeB と α Fe のナノコンポジット磁石は、特性改善への指針は見え始めているが、実現へのハードルは未だ高い課題である (課題番号 03)。界面物性制御の重要性は認めるが、最終ゴールである指針構築に向けたシナリオの作成とブレークスルーポイント (どこを突破したら実現できるのか) の解明が今後期待される。

(3) 新磁石 (原理は既知) のポテンシャルの明確化と実用化に向けた指針の提示

希土類フリーの FeCo 合金 (課題番号 01) および FeNi 合金 (課題番号 05) を磁石化しようという試みがなされた。企業で取り組むことが難しいハードルの高い課題に正面から挑戦していることは評価できるが、従来の枠組みを大きく超えるものではなく、実用化に向けた指針提示には至っていないことから、目標を達成したとまでは評価できない。しかしながら、FeCo 合金への Al 置換に伴う磁気異方性向上 (課題番号 01)、巨大ひずみ加工技術 (HPT) による高磁気異方性 L10 型 FeNi 規則合金の微量生成の確認など、有用な知見がいくつか得られたことは評価でき、これらについては今後の進展が期待される。

(4) 新原理に基づく磁石材料の開発指針の提示

Mn 合金に侵入型元素を導入して結晶を歪ませて磁化を向上させる研究 (課題番号 07,13)、スピネルフェライトをヤーンテラー効果で歪ませて磁気異方性を高める研究 (課題番号 09) などは、いずれも企業で取り組むことが難しいハードルの高い課題であり、これに挑戦していることは評価できる。これらの課題では、共通して歪み量と磁気物性の関係の明確化、歪み導入の実現性がカギとなる。まずは第一原理計算などで目標とする磁気物性実現に必要な歪み量を把握することと、それを実現可能にするプロセスが存在するかを見極めることが重要である。

2. 産業競争力強化に繋がる技術の確立に資する成果および最終目標達成の可能性

「新評価技術の開発」は概ね順調進捗し、現状では未だ磁石材料開発に実際に「利用」できる状況には至っていないが、将来の産業競争力強化に繋がる技術の確立に資する成果として評価される。

「既存磁石の特性改善」では、フェライト系磁石の特性改善に向けた新たな指針が得られている点も、将来の産業競争力強化に繋がる技術の確立に資する成果として

高く評価される。

Nd 系磁石では結晶粒と粒界の相互作用活用による特性改善の指針は見え始めているが、バルク磁石特性の改善確認までは至っておらず、今後もう一段の努力が必要と思われる。

新磁石(原理は既知)の開発では、薄膜技術を活用した結晶格子歪導入等で特性改善効果が確認されているが、バルク材料応用に向けた展開展望が開けるまでには至っていない。これらの研究はいずれも難度の高い開発目標であり、今後の研究の進展が期待される。

新原理に基づく磁石材料の開発は、挑戦性が高い技術課題であり、可能性実証のためには更に行わなければならない実験項目数も多い。薄膜技術(濃度傾斜技術など)、分析技術、原理予測技術などを有機的に活用して、効率的に研究を進め、技術飛躍に結び付ける必要がある。

上記の新磁石(原理は既知)および新原理に基づく磁石材料開発に関しては、新材料の組成・構造・形成プロセスが明確化されればその産業化は可能となるわけであるが、現実的には従来の研究開発手法だけではその解を得ることは困難である。本研究課題では新たな研究手法として近年注目されている計算科学および物性論を積極的に活用し、第一原理計算により材料の電子状態から出発して原理にさかのぼって新たな高性能磁石材料の実現を図る試みをしており、その成果が徐々にではあるが得られつつあることから、今後その成果が上記研究課題で大きく花開き結実することを期待したい。

5. その他

1. PO への希望

(1) 薄膜材料研究の有効利用

本技術テーマは高性能バルク磁石の実現に繋がる技術開発を目標としているが、バルク磁石材料を作製する装置・設備を現有しているアカデミアの研究者は極めて限られる。一方薄膜作製装置に関しては、ほとんどの材料研究者は既に所有している。このような現状を考慮し、磁石材料として過去にない新たな化合物を探索する場合には、薄膜であっても磁石の革新的研究に繋がる知見が得られることも期待され、また、研究課題によってはバルク材を念頭に置いた薄膜材での研究・評価でも構わないと思われる(例えば課題番号 09 のフェライト磁石はバルク化が必須だが、課題番号 07 および 13 の Mn 系については、まずは存在証明が優先されることから薄膜でも良いと考えられる。)ものもあり、必要以上にバルク材料を意識する必要はない。

(2) 研究課題成果および成果の公表

本邦の磁石関係研究者数があまり多くはないという現状を踏まえると、出来るだけ多くの分野の研究者に本技術テーマに興味を持ってもらい、如何にこのテーマの推進に協力してもらえる体制を築くかが成否の鍵を握り、この分野の将来の発展をも決定づけることに成る。PO も既にこの考え方に沿って、電気学会、日本磁気学会で研究成果の公表などを行っているが、それら学会以外にも応用物理学会、金属学会等の物性科学に関係する研究会、学会などで、積極的に幅広く本技術テーマの趣旨

および研究成果を公表することが必要である。

本技術テーマの成果報告書を一読した印象では、問題点記述を避けて表面的に良く見える成果を強調した例も見受けられ、産業界での技術ボトルネック解消のためには、問題点の指摘、失敗例なども極めて重要な情報であることから、良い悪いにかかわらず得られたデータは全て報告書に載せて頂きたい。

実現すればインパクト絶大だが、極めてハードルが高い研究課題については、計画していた数値目標が達成できなくても、ねらい、手段、結果を明確にした上で、「ここを掘ったが宝はなかった」という知見も、同じ試行を繰り返す無駄を省く意味でも極めて有益であり、評価項目に加えて頂きたい。

2. JST への希望

(1) PO をサポートする体制の強化

本技術テーマへの参加はアカデミアが主体であり、興味の主体が真理探究に偏りがちであることから、産業化・実用化を強く意識した運営が必要となる。また、アカデミアは結果の良い点にだけに目を向けがちであるが、産業界ではボトルネック解消のための技術開発を重要視する傾向があることから、この立場の違いを調整すると共に、各研究課題の進捗状況を見守り指導を行う PO の役割は極めて重要であり、また多忙を極める。福永 PO は広範な磁性関連の学術知識を保有し適任ではあるが、一人で全ての課題に対しこれらを行うことは物理的に無理であり負担が大きすぎる。このため PO と共に各研究課題の進捗状況を注意深く見守り、常時細部に渡って指導・助言して PO を直接的にサポートする数名のサブ・プログラムオフィサーの設置が必要である(AD 組織とは別である)。実用化に応え得る新技術開発には、目標設定のみならず細部に渡るマネジメントが極めて大切であることに留意して、上記体制の実現が望まれる。

(2) 知的財産戦略の強化

本技術テーマの特許申請数が 2 件にとどまっていることは、大きな問題である。本技術テーマには既にかかなりの金額が投入され、企業が実用化の際に拠り所とするところが知的財産権であることから、研究開発成果の権利化は極めて重要である。アカデミアの研究者は、一般に知的財産権に対する意識が希薄であるので、課題研究者に本研究プログラムの趣旨を十分に認識してもらい、知的財産権取得の必要性、重要性を周知徹底すると共に、その手続き方法の簡便化、申請費用の別途予算化を図るなどの方策の立案が望まれる。

表1 採択課題一覧

採択年度	課題番号 (末尾2桁)	研究 代表者名	中間・事後評価時の 所属及び役職	研究課題名
23年度	01	石尾 俊二	秋田大学 教授	L ₂ FeCo 及び L ₁₀ FePt-bccFeCo に着目した革新的磁石創成に関する基礎研究
23年度	02	小野 寛太	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 准教授	磁気構造可視化に基づく保磁力モデルの構築
23年度	03	加藤 宏朗	山形大学 教授	ナノスケール構造制御による高性能磁石創製への指針獲得
23年度	04	小林 久理眞	静岡理工科大学 教授	3次元磁区構造観察装置を用いた、永久磁石の微構造と磁区構造の相互作用の研究
23年度	05	高梨 弘毅	東北大学 教授	貴金属フリーL ₁₀ 型規則合金磁石創製の指針構築
23年度	06	中村 裕之	京都大学 教授	鉄系酸化物磁石の飛躍的高機能化を目指した微視的評価技術の開発と保磁力機構の解明
26年度	07	嶋 敏之	東北学院大学 教授	ラティスエンジニアリングによる高磁化磁性材料の創製および高性能永久磁石材料の開発
26年度	08	中村 裕之	京都大学 教授	遷移金属元素の価数に着目した鉄系酸化物磁石の実用材周辺の基礎科学とその高性能化に向けた物質設計指針の提案
26年度	09	柳原 英人	筑波大学 准教授	電子論に基づいたフェライト磁石の高磁気異方性化指針の確立
28年度	10	齊藤 準	秋田大学 教授	磁石破断面の3次元磁場イメージングが可能な高分解能・交番磁気力顕微鏡の開発による保磁力機構の解明
28年度	11	中村 哲也	高輝度光科学研究センター 副主席研究員	永久磁石の微細組織とその局所磁気特性の解析による高保磁力化の指針構築
28年度	12	宝野 和博	物質・材料研究機構 磁性・スピントロニクス材料研究拠点 フェロー・拠点長	ネオジム磁石の超微結晶化による高温磁石特性の飛躍的改善
28年度	13	嶋 敏之	東北学院大学 教授	軽元素添加による高磁化磁性材料の創製ならびに革新的永久磁石材料の開発