

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」  
追跡評価報告書

## 1. 総合所見

永久磁石は我が国の産業を支える重要な要素部品である。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を確立することを目指した研究開発であった。我が国の磁石及びその製造技術は世界をリードしているが、他国も激しく追いついてきており、技術優位性の継続的な確保は必要不可欠である。また、技術テーマ設定の背景には、高性能磁石の原料である希土類物質の資源リスクもあった。技術テーマ設定後、希土類資源問題は一時的には緩和されたが、今後のEVや風力発電等での永久磁石の需要を考慮すれば、資源リスクの回避は今後も重要な課題である。これらの状況により高性能永久磁石は今後益々その重要性を増すと予測されることから、当該技術テーマの設定は適切であったと評価する。技術テーマが終了して1年半を経過した現時点で、採択13課題のうち9課題で研究が継続されていることは、この傍証でもある。

本技術テーマの成果は、(1)革新的材料評価技術の開発、(2)新規希土類フリー磁石のポテンシャルの明確化と実現、(3)既存磁石の飛躍的な特性改善指針の構築にまとめることができる。これら3点で次世代磁石の開発を可能とする基礎的知見と次世代磁石の開発指針が示された。

材料評価技術において、放射光を利用した磁石評価技術が進展したことは大きな成果である。研究課題の目標として設定はされていなかったが、大規模マイクロマグネティクスシミュレーションや機械学習が磁石開発に利用されるようになったことも本技術テーマの波及効果である。希土類フリー磁石であるFeCo基合金、 $L1_0$ -FeNi基合金については、本技術テーマの各課題の研究を通じて、そのポテンシャルが理論的・実験的に明確にされ、その後の研究加速に大きな役割を果たした。本技術テーマの研究支援期間中は、薄膜での研究開発でありバルク化までは実現されなかったが、バルク磁石実現への道筋が見えつつあり、今後の研究開発の進展が期待できる。既存磁石であるNdFeB系磁石、フェライト磁石、SmCo系磁石については、本技術テーマの実施により、高異方性発現や高保磁力化のメカニズムが明確となり、次世代磁石に繋がる開発指針が確立された。重希土類の使用量を低減しつつ高保磁力・高残留磁化を達成したNdFeB系磁石の開発など、開発指針の具現化も進んだ。

また、本技術テーマの設定によって、永久磁石を研究対象とするアカデミアの研究者が増えたことも、長期的に我が国の技術力の向上につながる大きな成果である。

技術テーマ終了後1年半を経過した現時点では、革新的な新材料が市場に出るまでに

は至っていない。しかしながら、新材料の商品化には長期間を必要とすることを考えれば、新材料が市場に出ていないことが本技術テーマの成果を否定するものではない。

上記の成果達成を支える研究支援制度として、産業界からのアドバイザーが参加して毎年行うサイトビジット及び産業界からの参加者と研究者が議論を行う産学共創の場を設けて、産業界からの視点を取り入れることを可能とする研究支援が実施された。このサイトビジットにより、研究現場での研究実施者と産業界のアドバイザーとの密な意見交換を通じて、産業界のニーズを研究計画に反映させることが可能となり、研究遂行上極めて有効であった。これらは、産学共創プログラムの制度設計の有効性を示している。一方で、課題も残った。企業間の競争領域に近い研究課題については、アドバイスが企業の技術開発の方向性や核心に触れる可能性があり、産業界からのアドバイスの内容に限界があった。今後、産業界とアカデミアが参加する研究プラットフォーム等の共同研究体制が進むことを期待したい。

## 2. 研究開発成果の発展状況や活用状況

本技術テーマの成果は、(1)革新的材料評価技術の開発、(2)新規希土類フリー磁石のポテンシャルの明確化と実現、(3)既存磁石の飛躍的な特性改善指針の構築にまとめることができる。

(1)においては、放射光を用いて永久磁石の構成元素の化学マッピング及び元素識別磁区観察を 10 ナノメートルオーダーの空間分解能で行う技術、中性子小角散乱技術を用いてバルク磁石の磁化反転領域サイズを決定する技術、走査型ラウエ顕微鏡の開発などが進んだ。放射光を用いた磁石材料の評価技術は、電子線を用いた評価技術では得られなかった情報を得ることを可能とするなど、今後の磁石材料開発に大きく寄与すると期待される。

(2)においては、理論計算を通じて FeCo 基合金、 $L1_0$ -FeNi 基合金の高いポテンシャルが明確化されるとともに、薄膜プロセスによりこれらの合金が実現された。これらの合金のポテンシャルを理論的・実験的に明確にしたことが、その後の合金磁石開発の研究に繋がっている。現時点でバルク化は実現されていないが、FeCo 基合金については、添加元素等によるバルク化への検討が進んでいる。 $L1_0$ -FeNi 基合金については、新しい製造方法である窒素挿入及びトポタクチック抽出による粉末製造法が開発されており、今後の進展が期待される。

(3)においては、フェライト磁石、NdFeB 磁石、SmCo 磁石が研究の対象となった。La-Co 置換 Sr フェライト磁石の研究では、単結晶を用いた詳細な研究により、巨視的異方性増大のための指針が明確にされ、次世代磁石の創製に繋がる開発指針が確立された。今後、省 Co 化が実現されれば、産業界への貢献は大きいと評価される。NdFeB 磁石で

は、マルチスケールの解析手段を駆使して高保磁力化メカニズムが明らかにされ、重希土類の使用量を低減しつつ高保磁力・高残留磁化を達成した磁石が開発されるなど、重希土類フリーNdFeB 磁石開発への道筋が示された。

### 3. 研究開発成果から生み出された科学技術的、社会的及び経済的な効果・効用及び波及効果

技術テーマ終了後1年半を経過した現時点では、革新的な新材料の磁石が市場に出るまでには至っていない。しかしながら、新材料の商品化には長期間を必要とすることを考えれば、新材料が市場に出ていないことが本技術テーマの成果を否定するものではない。

革新的材料評価技術の開発を通じて、放射光を用いた永久磁石の解析技術が大きく進歩した。また、他の研究プロジェクトで、X線MCD顕微鏡による磁区観察技術や微小試料の3次元磁区観察技術も開発されており、これらも含めて放射光を用いた磁石材料の評価技術が大きく進歩したことは、今後の磁石材料開発に大きく寄与すると期待される。放射光の利用には大型研究施設が必要である。今後、産学の連携が一層加速されることを期待したい。

研究テーマの目標として設定はされていなかったが、大規模マイクロマグネティクスシミュレーションや機械学習が永久磁石開発に利用されるようになったことも本技術テーマの波及効果である。

新規希土類フリー磁石については、FeCo 基合金、L1<sub>0</sub>-FeNi 基合金の高いポテンシャルが明確となり、これらの合金磁石の開発が加速された。本技術テーマでは薄膜磁石が研究対象であったが、L1<sub>0</sub>-FeNi 基合金については、すでに粉末製造法が開発されており、今後の進展が期待される。一方、希土類フリー磁石は、希土類磁石に比べて保磁力が低いため、磁石を利用するモータ等の設計変更も必要である。今後、モータ産業等との連携が期待される。

既存の主力の磁石であるNdFeB系磁石、フェライト磁石、SmCo系磁石については、当該技術テーマ終了後も、着実に研究が進展している。フェライト磁石において次世代磁石の創製に繋がる開発指針が確立されたこと、希土類磁石の研究においてマルチスケールの解析手段を駆使して高保磁力化のメカニズムが明確にされたことは、今後も磁石メーカーの磁石開発に有効に利用されると期待される。

本技術テーマの設定によって、永久磁石を研究対象とするアカデミアの研究者が増えたことも、長期的には、我が国の技術力の向上につながる大きな成果である。

ゼロエミッション自動車社会実現のための化石燃料車からEV車への移行や脱炭素社会実現のための風力発電の大規模導入には、高性能の永久磁石が必要不可欠である。本技術課題の成果は、今後、益々その重要性を増すと考えられる。

#### 4. 研究開発成果に対する制度支援の効果

本プログラムでは、産業界からのアドバイザーが参加して毎年行うサイトビジット及び産業界からの参加者と研究者が議論を行う産学共創の場の機会を通じて、研究実施者が産業界からの視点を取り入れることを可能とする研究支援制度が導入された。サイトビジットにより、研究現場での研究実施者と産業界のアドバイザーの密な意見交換を通じて、産業界のニーズを研究計画に反映させることが可能となり、研究の遂行上極めて有効であった。産学共創の場では、産業界の多様な視点からのアドバイスを得ることができた。産業界からのアドバイスの有効性については、研究遂行の過程や事後評価時のアンケートでも明確に示されている。また、アドバイザーとの意見交換や企業からの磁石材料の提供等が契機となって企業との共同研究が促進されていることも、産学共創プログラムの重要な成果である。これらは、産学共創プログラムの制度設計の有効性を示している。

一方で、企業間の競争領域に近い研究課題については、アドバイスが企業の技術開発の方向性や核心に触れる可能性があり、アドバイスの内容に限界があった。JSTは、共創の場でのパネルディスカッションや招待講演等の設定により企業の問題意識をアカデミアに示すことに努力されたが、問題意識の公開、共有には限界があった。今後、産業界とアカデミアが参加する研究プラットフォーム等の共同研究体制が進むことを期待したい。

以上