

レアメタルフリー材料の実用化及び超高保磁力・超高靱性等の新規目的機能を目指した原子配列制御等のナノスケール物質構造制御技術による物質・材料の革新的機能の創出

(平成 22 年度設定)

1. 戦略目標名

レアメタルフリー材料の実用化及び超高保磁力・超高靱性等の新規目的機能を目指した原子配列制御等のナノスケール物質構造制御技術による物質・材料の革新的機能の創出

2. 本戦略目標の具体的な内容

平成 19 年度より文部科学省が実施している元素戦略プロジェクトは、「物質・材料の特性・機能を決める特定元素の役割を理解し有効利用するという観点から従来の材料研究を再構成し、希少元素・有害元素の代替、戦略的利用のための技術基盤を確立する」ことを目的としている。プロジェクト開始から 3 年が経過し、順調に成果が得られつつある。

上記のような元素戦略の目的に資する研究開発のアプローチとしては、大きく分けて以下のようなパターンが考えられる。

1. 代替型：目的機能を有する材料が既に存在しているが、希少・有害元素を含むため、経験的に同等の特性が得られると推定されるユビキタス元素を用いて目的材料を得ようとする開発。
2. 改良型：既にユビキタス元素を活用、もしくは希少・有害元素を削減してある程度の目的機能が得られている材料に着目してその機能の発現原理を追求し、製造プロセス等を最適化してより高い機能を有した材料を得ようとする開発。
3. 創成型：着手前に目的機能を発現させるナノスケールの構造要素（原子配列、磁区構造、分子構造等）が予備的に検討されており、研究開発段階で、その物質構造を材料に持たせることによって目的機能を発現させる開発。

上記の 1. のケースでは、代替元素の選択肢が限られており、希少元素等を含む既存の材料の機能を超えられない場合が多い。2. のケースでは、既存の材料の機能発現原理が判明したとしても、その原理の範囲内で動かせる条件には限りがあるため、大幅な機能の向上が難しい。それに対し、3. の「創成型」のケースでは、目的とする機能の発現原理の本質を抉り出し、それを実現するためのアプローチを開発するため、既存の機能元素にとらわれることなく目標に到達できる可能性が高く、近年期待が高まっているところである。

本戦略目標は、「希少元素・有害元素の代替、戦略的利用のための技術基盤を確立する」という目標達成に向け、目的とする材料機能の発現原理を検証・把握し、ナノスケールの物質構造（原子配列、磁区構造、分子構造等）を制御することによって、単なる「希少元素・有害元素の代替」にとどまらない、「革新的機能材料」の創成を目指すものである。

本戦略目標においては、以下のように研究開発を進めていくことが想定される。

- (1) 目的とする材料機能（例：磁性、触媒機能、強度・靱性、耐食性等）を設定し、それを実現するための発現原理を、微視的観点で検討する
- (2) その発現原理を具現化するためのナノスケールの物質構造（例：原子配列、格子欠陥状態、結晶粒、磁区構造、分子構造、表面・界面構造等）をデザインする
- (3) デザインされたナノスケール構造を有する材料を創成し、その機能の発現を確認・検証する
- (4) 目的とした機能に達しない場合、その原因を考察して発現原理の再検討（詳細検討）を行う。以後、(2)へ立ち返り、最終目的とする材料創成を目指す。

上述のようなナノスケール物質構造制御に基づいた本戦略目標から想定される成果の例としては、

- ・次世代自動車を支える高保磁力・高磁束密度を発揮するディスプレイウム／ネオジウム完全フリー高性能磁性材料、貴金属完全フリー触媒、ユビキタス元素による二次電池等
- ・次世代電子機器に資するレアメタルフリー不揮発性メモリー等
- ・エネルギーの回収・再生に資する有害元素フリー高効率熱電変換材料等
- ・来たる水素社会に資するユビキタス元素しか用いない水素貯蔵材料等
- ・構造物のメンテナンスフリー、安全性、加工等に資する各種高性能材料（ニッケルフリー表面改質型耐食材料、ユビキタス元素による耐熱構造材料、タングステン／コバルトによらない新超硬材料等）

等が考えられる。

3. 政策上の位置付け

本戦略目標は、第3期科学技術基本計画の重点推進4分野の1つであるナノテクノロジー・材料分野における「True Nano」に相当する、革新的材料開発を伴わなければ解決困難な課題と国際競争の優位を確保するための課題の解決を目指すもので、同分野の戦略重点科学技術として挙げられている「資源問題解決の決定打となる希少資源・不足資源代替材料革新技術」につながる重要施策である。資源が少ない我が国が直面する資源問題という大きな課題の抜本的解決策として、社会・産業からの要請も強い。加えて、本戦略目標が目指す希少元素の代替・戦略的利用については、革新的技術戦略において「レアメタル代替材料・回収技術」として革新的技術に選定されている。

さらに本戦略目標は、「新成長戦略（基本方針）」（平成21年12月30日閣議決定）の「(1) グリーン・イノベーションによる環境・エネルギー大国戦略」に掲げられた「レアメタル、レアアース等の代替材料などの技術開発」に資するものである。

なお、本戦略目標は、「物質・材料の特性・機能を決める特定元素の役割を理解し有効利用するという観点から従来の材料研究を再構成し、希少元素・有害元素の代替、戦略的利

用のための技術基盤を確立する」という目標達成に向け、革新的材料の創成というアプローチを採るものであり、前出の第3期科学技術基本計画の重点4分野のナノテクノロジー・材料分野における以下の戦略重点科学技術にもつながる可能性を有する。

- ・クリーンなエネルギーの飛躍的なコスト削減を可能とする革新的材料技術
- ・イノベーション創生の中核となる革新的材料技術
- ・生活の安全・安心を支える革新的ナノテクノロジー・材料技術

4. 本研究事業の位置付け、他の関連施策との切り分け、政策効果の違い

本戦略目標は、ナノテクノロジー・材料分野における施策の中核の1つを担う。希少元素・有害元素をユビキタス元素で置き換えるという施策としては、平成19年度より実施されている文部科学省の「元素戦略プロジェクト」及び経済産業省の「希少金属代替材料開発プロジェクト」がある。前者の文部科学省の「元素戦略プロジェクト」は、「物質・材料の特性・機能を決める特定元素の役割を理解し有効利用するという観点から従来の材料研究を再構成し、希少元素・有害元素の代替、戦略的利用のための技術基盤を確立する」ことを目標とした施策である。本事業では、産官学の連携による提案を義務づけ、基礎から実用化につなげる課題を精選して推進している。後者の経済産業省の「希少金属代替材料開発プロジェクト」は、「非鉄金属資源の代替材料及び使用量低減技術の確立」を目的として、特に、緊急な対応が求められる元素に絞って現実的な削減目標を設定し、集中的な研究開発を進めるものである。これまで、元素種としてIn、Dy、W、Pt、Eu、Tb、Ceを特定した材料開発を推進している。これら2つのプロジェクトは、主として既存の材料を活用した「代替型」及び「改良型」アプローチにより、希少元素・有害元素の代替材料研究開発を行うものである。

それに対し本戦略目標は、前出の「元素戦略プロジェクト」との共通目標達成に向け、目標とする材料機能を発現させるナノスケール物質構造（原子配列、磁区構造、分子構造等）を材料に持たせることによって革新的機能材料の創成を狙う「創成型」という新しいアプローチにより研究開発を行うものである。このようなナノスケールの物質構造の制御という視点に立った材料機能創成の必要性については、元素戦略／希少金属代替材料開発シンポジウム等でも提言されているところである。

5. 将来実現しうる成果等のイメージ

ナノテクノロジーは、科学技術の新しい世界を切り拓き、産業競争力の強化や新産業の創出に結びつく技術である。第3期科学技術基本計画の分野別推進戦略では、ナノ領域で初めて発現する特有の現象・特性を活かすナノテクノロジーの中で、特に従来の延長線上ではない不連続な進歩が期待される創造的な研究開発、大きな産業応用が見通せる研究開発を「True Nano」と定義している。本戦略目標は、ナノスケールの物質構造デザインによって革新的な高機能を作り出し、既存の物質・材料やありふれた元素に旧来考えられなか

ったような新しい特性を発揮させるとともに、眠っている未知の機能を引き出すこと等を行おうとするものである。すなわち、天然資源に乏しい我が国が、これまで要素的に蓄積されてきたナノテクノロジー・材料科学技術の成果に立脚し、ユビキタス元素を巧みに駆使することで有用機能を実現し、重要な社会的課題の解決を目指すものであり、いわば我が国のナノテクの真価を具体的に問うものと位置づけられる。したがって本戦略目標は「True Nano」の実践を明確に視野に入れたものであり、特定の材料や元素に固有であると経験的に考えられてきた機能を、固定観念にとらわれず、材料・物質の様々な形態を駆使して新しい機能を見いだす研究開発を促す、ナノテクノロジー・材料分野の根幹を支える緊急性の高いものである。

6. 本研究事業実施期間中に達成を目指す研究対象の科学的裏付け

(1) 関連研究例

近年、目標とする材料機能の発現原理となるナノスケールの物質構造の制御という視点に立った材料開発の例が見られるようになり、期待が高まっている。その典型的な開発例として、透明電極材料や鉄系超伝導材料等が挙げられる。前者は、典型的なセメント成分である $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ がその結晶構造中に持つ直径 0.5 ナノメートルのカゴの中にある酸素イオンを電子で置き換えることにより、金属と同じような高い電気伝導性を付与することに成功したものである。後者は、電気絶縁性の層 (LaO 層) と金属的伝導を示す層 (FeAs 層) からなり従来は超伝導性を示さなかった層状化合物 (LaOFeAs) において、絶縁性層である LaO を構成する酸素イオン (O) の格子サイトにフッ素イオン (F) をあてることで超伝導を付与したものである。いずれも、ナノスケールでの構造制御を行い、材料に対して全く新しい機能が付与されたものである。

一方、「ナノテクノロジー・材料分野 科学技術・研究開発の国際比較 2009 年版」(JST 研究開発戦略センター) によれば、本戦略目標において取り組むナノスケールの物質構造制御に関連する研究開発としては、上記の例のほか、スピントロニクス材料を中心とした磁性材料の開発等が挙げられ、これらの分野は日本が世界の先端を進んでいるとしている。

(2) 本研究分野の発展の可能性

文部科学省が開催する「元素戦略検討会」や、JST 研究開発戦略センターにおける新材料設計探索ワークショップ等において研究開発のコンセプト、取り組むべき課題の議論がなされており、研究者コミュニティに対する働きかけも行われた。それに応える形で、日本化学会、セラミクス協会、日本金属学会、日本鉄鋼協会、材料戦略委員会、応用物理学会等の学協会が、研究シーズの大規模な自発的調査やシンポジウム等を開催し、大きな議論が始まっている。産業界に対して優れた材料の提案が多くなされ、本研究分野が大きく発展することが見込まれる。