

元素戦略の新展開について

平成23年7月

目次

1. 現状認識	2
1-1. 元素戦略の概念	2
1-2. 元素戦略の新たな展開の必要性	2
2. 今後の展開のあり方	3
2-1. 我が国の資源確保を巡る状況の変化と新規事業の方向性	3
2-2. 新規事業の目的と課題	7
3. 新規事業の設計	9
3-1. 基本的骨格	9
3-2. 達成目標	10
3-3. 研究体制の構成要素	11
3-4. 事業実施に関する留意事項	12

1. 現状認識

1-1. 元素戦略の概念

元素戦略の概念は、平成19年3月の元素戦略検討会報告書において、「物質・材料の特性・機能を決める元素の役割を解明し利用する観点から材料の創成につなげる研究」であると示されている。すなわち、材料の「機械的特性、化学的特性、電気的特性、光学的特性など材料の特性・機能は多岐にわたり、かつ相互に関連しあっており、これらの特性の発現に関わる元素の組合せと発現のメカニズムを理解することは、極めて困難で挑戦的な課題」であるが、それに正面から取り組むことにより、「金属、セラミックス、半導体、高分子材料などの多様な材料研究の知恵を結集していくとともに、物理や化学などの基礎学問をも取り込んだ、融合的な研究分野の構築」を目指すものである。

1-2. 元素戦略の新たな展開の必要性

上記の元素戦略の概念に従って、文部科学省は内局委託事業として平成19年度より「元素戦略プロジェクト」を開始し、経済産業省の「希少金属代替プロジェクト」とも連携して、平成21年度までに合計16課題を採択してきた。これらの課題は、材料の構成元素がその特性の発現にどのような役割を果たしているかを徹底的に解明した上で、豊富で無害な元素あるいは物質による代替技術、戦略元素の有効機能の高度活用技術、及び、元素有効利用のための実用材料設計技術を開発することを目指している。「元素戦略プロジェクト」開始から5年を経た現在、主なものとして、以下の成果が挙げられる。まず、磁石材料については、ディスプロシウム(Dy)を使用しない磁石の開発に向けて、有望な技術シーズが生み出されている。また、電池材料については、物質創成から部材評価まで一貫した研究システムが確立され、我が国の新たな強みとなることが期待されている。磁気メモリーに関しては、酸化物系材料による革新的メモリー機構が確立されつつある。さらに、電子部材ではメゾスコピック解析・設計などオリジナルな視点が展開されている。以上のとおり、技術的達成度の観点からは、初期の目標が着実に達成されつつあるが、基礎研究への深化から実用機能の追求までという幅広い目標の中で、どこまで活動を展開していくかは、各課題のリーダーの意欲と力量に委ねられているのが実際である。つまり、技術の革新性と実用可能性の追求の度合いは個々の課題で異なっているため、今後は、それら二つの軸を徹底して追求し、新たな材料創製に結びつけることが求められている。

一方で、希少元素の代替技術に対する社会からの要請はいささかも衰えておらず、むしろ希少元素の供給逼迫への対応は、産業分野によっては一刻の猶予も許されない状況を迎えつつある。天然資源に恵まれる中国をはじめとする新興国が、現在、我が国が強みとしている先端素材分野に、将来、進出することが想定され、新興国での希少元素の需要増大によって、我が国への供給が不安定化するリスクが高まる中で、希少元素に依存しない材料の開発は、我が国にとって国家的な最重要課題の一つとなってきた。第4期科学技術基本計画の策定に向けた諮問第11号「科学技術に関する基本政策について」に対する答申(平成22年12月24日総合科学技術会議)においても、「レアメタル、レアアース等の代替材料の創出」が重要課題の一つに挙げられている。また、経済産業省においては、平成21年7月に「レアメタル確保戦略」を公表し、代替材料開発を4つの柱の一つに位置付けていたところであるが、平成22年下期の中国によるレアアース輸出規制強化を受けて、平成22年10月に発表した「レアアース総合対策」では、代替材料・使用量低減技術開発の重要性について改めて強調されており、代替材料技術開発を加

速することが求められている。

このような状況に鑑みれば、他国に真似のできない全く新しい切り口で突破口を開くための取組を抜本的に強化することが重要である。そのためには、元素戦略のそもそもの考え方である「物理や化学などの基礎学問をも取り込んだ、融合的な研究分野の構築」をさらに強力に推進すべく、材料科学、金属学、物理学、化学、先進機器解析等を結集した取組によって、新たな物質・材料創製の枠組みを構築し、革新的な材料技術とそれらを将来的に支え続けていく人材を育成していく必要がある。このような枠組みには、産業界の視点も取り入れてイノベーションの創出に直結する高い達成目標を設定すること、分野の融合による基礎科学の領域を拡大すること、学問的な課題を解決することが組み込まれなければならない。

このような枠組みの在り方については、文部科学省と経済産業省が平成23年3月に共同で開催した「元素戦略/希少金属代替材料開発 第5回合同シンポジウム」において、学問的にも産業的にも高い目標の達成には、「志のある研究」によって、革新的な成果を生み出し続ける仕掛けが必要であり、若手が主役となって先導するべきであると指摘されている。また、材料機能を生み出す鍵は物質のナノ構造、界面、欠陥、異常原子等の「構造」にあり、これらの設計を可能にする「新物質科学・材料科学」の創成のためには、これまでの金属、セラミックス、高分子などの材料分野ごとに形成されていた科学が、物理学、化学等の基礎科学と強く連携していかなければならないことも強調されている。

このような新しいアプローチを実行していくためには、卓越したリーダーの下、優れた若手研究者が、自由度を持ち、その独創性を最大限発揮して「志のある研究」を行うための体制が求められる。

2. 今後の展開のあり方

2-1. 我が国の資源確保を巡る状況の変化と新規事業の方向性

平成19年に元素戦略に関する報告書が取りまとめられて以来、我が国の資源確保を巡る状況は激変している。国際的に優位にあった我が国の産業の多くは、中国をはじめとする新興国とのコスト競争に打ち勝つために、製品加工基地を海外に移転し、日本でしか製造できない先端性を備えた部材のみを輸出の形で供給する体制を構築した。その結果、消費市場に直接つながる完成品事業については新興国の主導力が高まり、日本は部材供給の国際的なサプライチェーン（供給網）におけるボトルネック（隘路）を押さえることで市場への影響力を確保しているのが現状である。天然資源を豊富に産出する新興国にしてみれば、このボトルネックを解消できれば、自国の資源を活用して、より一層多くの利益を得ることができるため、日本の強みと言われてきた先端素材分野での研究開発を活発化させている。例えば、中国における材料科学に関する学術論文は、質・量ともに、すでに日本を抜き、今後、イノベーションを先導する可能性も高い。また、人件費の安さや税制面での優遇などのコスト面での有利さに、資源調達の容易さも加わって、日本の先端素材メーカーの海外流出が加速されることも懸念されている。

先端素材の高度な特性発現に不可欠な希少元素は、レアメタルと呼ばれるものである。レアメタルについては、鉱業審議会が「地球上の存在が稀であるか、技術的・経済的な理由で抽出困難な金属」のうち、工業需要が現に存在する、あるいは今後見込まれるため、安定供給の確保が政策的に重要であるものと定義しており、現在31鉱種（レアアースは1小鉱種）が指定されてい

る。レアメタルを含めた主な金属について、2050年までに予想される消費量と現有埋蔵量及び現在鉱物学的に存在が確認されている資源量(埋蔵量ベース)の比較を示したものが図1である。ここに示された元素のほとんどについて、2050年までの消費量が現有埋蔵量を超え、さらにその多くの消費量が埋蔵量ベースに近づく、あるいは超えると予想されており、将来深刻な資源不足問題に直面する可能性が高いことが示されている。

2050年には現有埋蔵量の数倍の金属資源が必要になる。

2050年に現有埋蔵量をほぼ使い切るもの: Fe, Cr, Mo, W, Co, Pt, Pd

2050年までに現有埋蔵量の倍以上の使用量となるもの: Mn, Zn, Pb, Cu, Ni, Sn, Sb, Li, Ag, In, Au, Ga

2050年までに埋蔵量ベースをも超えるもの: Zn, Pb, Cu, Ni, Sn, Sb, Ag, Pt, In, Au, Pd

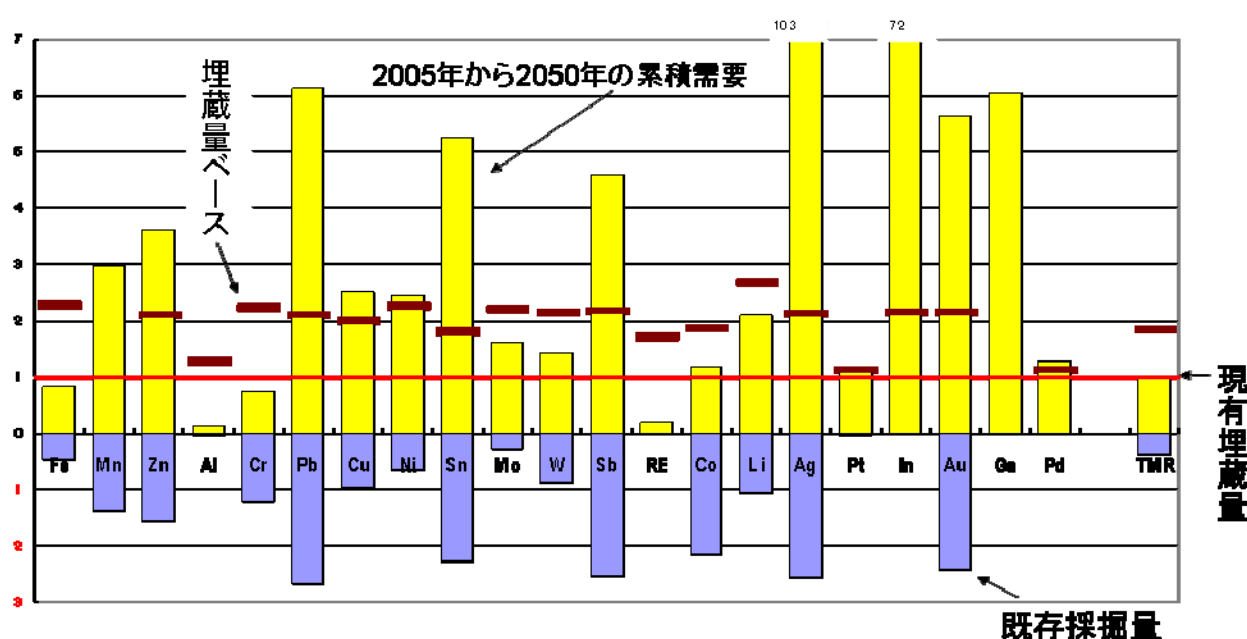


図1 主な金属に関する、現有埋蔵量と埋蔵量ベースに対する2050年までの累積需要量 (出典：原田幸明、河西純一著「動き出したレアメタル代替戦略」日刊工業新聞社 2010年)

このような希少元素の需給予測を踏まえて資源確保戦略が推進されてきており、上述の通り希少元素代替・使用量削減技術開発はその柱の一つとなっているが、特に、この技術開発のうち革新性の高いものについては、上述の元素戦略の概念を必要とするものであり、資源政策及び産業政策を担当する経済産業省との緊密な連携の下、文部科学省が主導して取り組む必要がある。

次に、希少元素代替の観点から重要となる材料について述べる。図2に、新成長戦略(平成22年6月18日閣議決定)と関連付けて、戦略的に研究開発に取り組むべきと考えられる部材例を整理したものを示している。また、次々ページの枠囲みには、特に、次世代自動車の普及の見通しと今後重要となる素材について記述している。

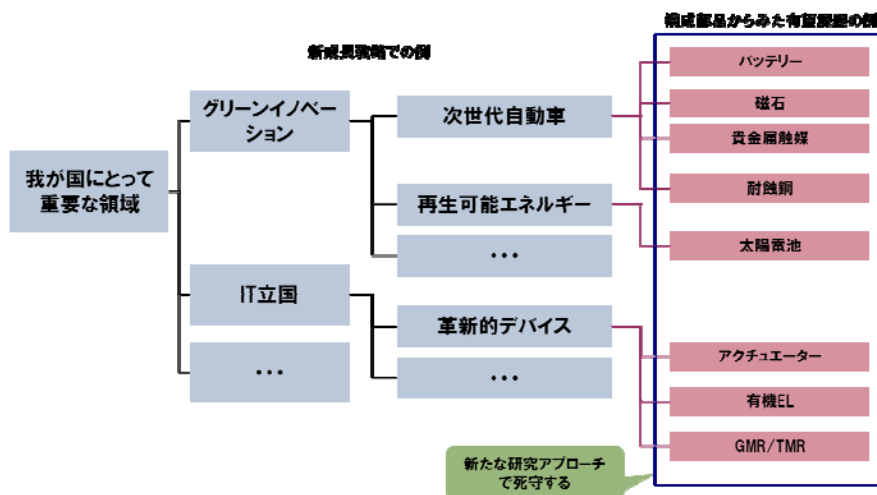


図2 新成長戦略に照らして戦略的に重要となる部材例

(出典：中山、JST-CRDS、「元素戦略検討会」エビデンス調査報告、2011年7月)

図2に示された材料群は、磁石材料、触媒・電池材料、構造材料、電子材料の4つの材料領域に整理できる。これまで日本が先導的に市場投入してきた大型液晶パネル、パワーエレクトロニクス関連システム、デジタルカメラなどにおいても、これらの材料領域について、ほぼ同様に戦略的重要性が認められており、我が国の優位性を維持するために、より一層の高性能化、高信頼性化を進める必要がある。

これらの材料分野で要求される高度な特性(保持力・磁化特性、酸素反応特性、強度・延性、導電性、静電容量等)を得るためには、現時点においては、

- ・ 永久磁石については、ディスプレイウム、ネオジウム等のレアアース
- ・ 二次電池については、リチウム、コバルト
- ・ 排ガス浄化用触媒については、白金、ロジウム等の白金族元素
- ・ 自動車車体用鉄鋼材料については、ニオブ、モリブデン
- ・ 透明電極、高機能性電子材料については、インジウム、タンタル

といった希少元素をそれぞれの素材製造において使用せざるを得ない。いずれも我が国では産出されず、中国(レアアース、インジウム)、南アフリカ(白金族)、ブラジル(ニオブ、タンタル)等の国々に大きく偏在している。

今後、中国、インドをはじめとする新興国の急速な成長が予測される中で、我が国の基幹産業が発展を続けていくためには、上述のような希少元素を使用せずとも十分に高度な特性を発揮する材料の開発により、他国の追随を許さないような技術的優位性を確立する必要がある。そのための取組に研究資源を集中的に投入し、イノベーションが継続的に生み出されることを支援することが、まさに今求められているのである。

以上述べたような、産業競争力に直結する高機能素材の創製という国家的な課題解決を、真の分野融合研究による基礎科学の展開によって実現することが元素戦略の新展開となる事業の基本的な考え方である。

[自動車産業の将来の見通しと戦略的に重要となる素材]

かつて我が国で主力産業と言われた半導体デバイス、電力機器などが空洞化に見舞われる中、自動車産業は鉄鋼やエレクトロニクス産業をはじめとした一次素材・部材産業のサプライチェーンを国内に抱えるとともに、世界全体の市場規模及び我が国が占めるシェアがともに大きく、我が国経済を支える基幹産業と言える。資源に恵まれない我が国の発展のためには、このような産業の競争力の維持・向上を図らなければならない。表1は、経済産業省が平成22年4月にまとめた「次世代自動車戦略2010」において示された乗用車車種別普及見通し（政府目標）である。これによると、2030年時点において従来型の化石燃料の燃焼動力によるレシプロ・エンジンを主導力とした従来車が、依然、30%～50%のシェアを占めると予想されている一方で、ハイブリッド車が30～40%に至っており、次世代自動車に位置づけられる電気自動車・プラグイン・ハイブリッド車は20～30%、クリーンディーゼル車は5～10%を占めるとされている。

表1 2020年～2030年の乗用車車種別普及目標（政府目標）

		2020年	2030年
従来車		50～80%以上	30～50%
次世代自動車		20～50%	50～70%
	ハイブリッド自動車	20～30%	30～40%
	電気自動車 プラグイン・ハイブリッド車	15～20%	20～30%
	燃料電池自動車	～1%	～3%
	クリーンディーゼル自動車	～5%	5～10%

*経済産業省「次世代自動車戦略2010」より

上述のように、近年急激にシェアを上げつつあるハイブリッド車は、2030年時点でさらに普及することが予想されているが、ガソリン車に匹敵する出力を得るためには主動力駆動モーターに希土類元素を用いた強力な永久磁石が必須である。モーターの駆動電源は車載された大容量の二次電池から供給される事になる。排ガス触媒を必要とする自動車（従来車、ハイブリッド車、プラグイン・ハイブリッド車、クリーンディーゼル車）はこの時点においても市場の多くの部分を占めることが示されている。さらに、化石燃料燃焼にともなって排出される温室効果ガス発生抑制に向けて車体軽量性がさらに要求され、そのためには高強度ながらも従来並の高い加工性能を有する自動車車体用構造材料が必要である。運転時における快適性の向上という付加価値を高める各種電気機器（GPS等）も重要な要素部材である。

以上のことから、今後の我が国の自動車産業の発展にとって、

- ・永久磁石
- ・二次電池
- ・排ガス浄化用触媒
- ・自動車車体用構造材料
- ・透明電極、高機能性電子材料

等の高性能素材の開発が原動力となることは間違いないものと考えられる。

2-2. 新規事業の目的と課題

上述の基本的考え方に基づき、新規事業は磁石材料、触媒・電池材料、構造材料、電子材料の4つの材料領域について、希少元素を使わない全く新しい材料を、元素それぞれの特質に立脚して機能設計し、物質創成から、デバイス化あるいは部材試作までを一貫して行うことを目的とする。以下では、各材料領域について、研究開発を巡る状況と新たに挑むべき課題を述べる。

[磁石材料]

現在、最高特性を有する希土類磁石について、高保持力およびキュリー温度確保のために重希土類元素であるディスプレイウムの使用が必須となっている。この高性能磁石はそもそも我が国で生まれた技術であり、我が国の製品が市場を席卷している。歴史的に見ても、KS鋼、アルニコ磁石など、世界を先導する磁石材料が我が国で次々と生み出されてきており、日本の強みを今後も発揮できる分野と期待できる。

研究開発の現状としては、基礎物理学と材料学の課題意識や研究指向が必ずしも一致していないことが連携の深化を妨げており、またそれぞれの分野のコミュニティーが縮小している。しかし相対的に見ればそれぞれは個別に深化し国際的にも優位にある。素材産業自体は世界トップの生産体制を有しているが、その応用技術は維持されつつも空洞化の危機にさらされている。

磁石材料の高性能化はたゆまず続けられているが、そのプロセスは製造工程の試行錯誤の中で積み上げているものであり、科学的に磁石特性の発現機構を解明し、そこから設計された特性を実現しているわけではない。磁石特性を解明する基礎科学分野は磁性物理学である。電子のスピンの配向を支配する電子相関は、結晶の格子位置に帰属される磁気モーメントとして量子力学黎明期に見いだされた交換相互作用に研究の端を発したが、金属磁性における磁気モーメントは相関する電子に統計性を持たせた概念としての遍歴電子に帰属されなければならない、それを記述する理論は、平均場近似から電子相関を本質的に扱う系へと発展してきている。さらに原子レベルでの精密解析技術やスーパーコンピュータの活用により、理論予想された磁石特性を材料設計に反映させることが可能となりつつある。従って、このような理論解析手法を駆使し、磁石特性を規定する飽和磁化、キュリー温度、保磁力の源の一つとしての結晶磁気異方性を記述し、さらにはそれを設計して新たな磁石材料の創製に挑むことが必要である。また、材料科学側から基礎物理学へ明確な課題提示を行うために、保磁力の発現機構の要因を分析し、磁区・結晶組織の解析力を高めるべきである。

これらの取り組みにより目指すべき磁石材料は、まずディスプレイウムを用いなくても現状の動作温度で保磁力を保てる材料である。次にネオジウムを含めた希土類元素の機能の原理を追求し、その代替を目指さなければならない。さらには希土類合金化によって低下している物質としての磁気モーメントを高めた全く新しい磁石の研究を最終目標に取り組むべきであろう。

[触媒および電池材料]

分子性触媒については、クロスカップリング反応に代表されるよう精密合成触媒の研究が世界的にも優位である。また、固体触媒においては、排気ガスによる深刻な大気汚染問題を経験してきた我が国が、先導的に材料開発を進めてきた。触媒物質の表面のみで反応が進むので、白金、ロジウムなどの化学的に安定な貴金属が比表面積を稼ぐために微粒子化され、体積を節約しながら担体に修飾・担持され、実用に供されてきた。世界的に貴金属の消費量が増大する一方、地

球環境の悪化を抑制するために排ガス触媒の更なる普及が不可欠であり、代替材料の開発は急務である。

電池については、リチウム電池がハイブリッド車やモバイル家電の電源の主流となっている。世界市場から見れば狭い領域ではあるが、日本で独自に発達した家電類に多用されることから、これも我が国が優位を保っている研究分野となっている。リチウムはこれまで比較的豊富にあると見なされてきたが、今後の二次電池の急速な普及により、資源量が不足することが予測されており、代替材料開発を急がなければならない。

研究開発の現状としては、基礎科学としての量子化学は、国際的には優位に立っている。しかし、その研究成果を事業化していく橋渡しプロセスは必ずしも強くはない。一方で、二次電池のような要素学問を融合して技術化された産業の分野では国際的に先行し、先端技術を持つ中小企業が育っており、研究ノウハウやインフラが拡充されてきている。

触媒、電池材料ともに、固体表面における気相あるいは液相の化学反応が基礎科学の課題である。反応物質の電子状態は量子化学で記述され、離散的であるため個々の電子の状態が比較的明瞭に識別できるエネルギー準位が高い精度で計算できる。これに対して触媒物質は無限系や半無限系の電子状態で記述され、その反応位置は個々の座標による電子状態で表現せざるを得ない状況にある。反応物質、触媒物質を統合的に記述するための量子化学と固体物理学の連携・融合がこれまで不十分であったため、機能設計に基づく材料創成は十分にはなしていなかった。一方で、我が国では精密合成触媒の研究が牽引力となって量子化学の発展が著しい。従って、今、世界に先駆けて量子化学と固体物理学の連携・融合を進め、無限系やナノ系である触媒と相互作用しながら変化していく孤立分子の電子状態の記述や温度効果など、実用を見据えた反応ダイナミクスの記述を可能とし、それに基づき機能設計を行うことができれば、我が国の触媒、電池研究の優位性を飛躍的に高めることができる。

これらの取り組みにより目指すべき触媒および電池材料は、まず電池では希少元素化しているリチウムをナトリウムに、コバルトを鉄などに代替した電池の実用研究に取り組まなければならない。この材料はすでに国際的にも研究としての競争が激しくなっており、先行する我が国が遅れを取るようなことがあってはならない。さらには、より安定化し資源的にも身近な元素を用いた燃料電池や空気電池も実用性を考慮しつつ視野に入れていくべきであろう。触媒では、取り組みが進んでいる卑な遷移金属の触媒性能の技術確立を推し進めるとともに、化合物や有機物を用いた固体触媒の研究も進めるべきである。

[構造材料]

構造材料は、社会基盤を支えるものとしてその生産量が膨大であり、強度と加工性という相反する2つの機能の両立発現のために添加される希少元素の消費量が極めて多くなる。高強度材に用いられるニオブ、耐熱鋼に用いられるモリブデン、耐食めっきに用いられる亜鉛など、その消費量の9割以上が構造材料に用いられている。

研究開発の現状としては、基礎科学への指向が弱くイノベーションの機会が少ない。高い生産性が研究開発の足かせになる場合もあるが、一方で企業研究が強く、現象論ベースでのプロセス研究の国際優位性は高い。

この領域が基礎科学から離れているのは、評価される特性が材料のバルクの総体に渡って発現するものであって個々の原子の挙動と直接結びつけにくいことが、理由の一つであると考えら

れる。一方で、構造材料の強度と加工性を現実的に支配するのは、金属でいえば転位、セラミックスでいえば格子欠陥や粒界など、完全結晶からみた欠陥の物性であることは一般認識でもある。今日、固体物理学が進展してきた結果、格子欠陥論やメゾスコピック解析の分野において融合させる活動が徐々に盛んになってきている。加工プロセスあるいは破壊プロセスへの、固体物理学と融合した格子欠陥論やメゾスコピック解析の適用に基づく材料創製について他国に先んじて取り組むべきである。

これらの取り組みにより目指すべき構造材料は、まず添加物に頼らなくとも「強く、加工しやすく、しかも壊れにくい」材料である。金属であれば加工組織や結晶方位など、セラミクスであれば粒界設計など、理想組織像を描いて制御を精緻化し、また成形のための加工手法への適合性を考慮しなければならない。高分子材料や繊維強化プラスチックなどでは成形方法そのものが簡便化される。希少元素を用いなくともデザイン性を備えながら巨大地震に耐える建造物の骨材や、空気抵抗を低減する複雑形状を得ながら剛性を持つ自動車、高速鉄道、航空機や風力発電機躯体などの実現に取り組むべきである。

[電子材料]

電子材料という領域は広範であるが、かつては半導体、今日では電極、光機能材など短い周期での機能開発が市場競争力を支配する、言い換えれば、技術開発主導型の事業創出が主となる分野である。これらの材料の先端的な機能は、希少元素の添加によって発現することが一般的であった。

研究開発の現状としては、光機能分子の量子化学研究のポテンシャルが極めて高く、世界的に優位であるが、その成果が産業界へ十分に橋渡しされず、開発が進められていない。企業の国際的な合従連衡が激しい中で、国内企業は部材提供の役割に甘んじている。知財戦略の面で日本は立ち遅れているところがあるが、大学発や大企業が分社化したベンチャー企業が多く見られる。

CPU、ディスプレイ、携帯電話などの情報通信機器の基本性能は電子材料の機能によって決定されるが、その機能は物質の電子構造の制御によって支配されるため、基礎理論からの予測・設計精度が不可欠である。同時に、提示された機能を実現する物質の製造プロセスの開発も求められている。ここで適用されるべき学問は熱力学、統計力学などの現象論に必要なものである。材料機能の温度特性は、固体物理学、量子化学では状態エネルギーのエントロピー微分と表現されるが、今日の基礎理論は精緻な状態エネルギーの計算に注力しているものの、エントロピーの評価が現象論の域をなかなか脱していない。一方で、格子振動、電子比熱、格子規則性などの取り込みを地道に試行し丹念な検証を現象論的に行う活動による熱力学・統計力学の急速な発展によって、エントロピーの詳細な評価が可能となる環境が整いつつある。従って、固体物理学、量子化学と熱力学、統計力学の融合により、温度特性をはじめとする材料機能を設計し、新規材料の創製に挑むべきである。

上記の取り組みにおいては、我が国の産業が国際的優位性を確保するための材料を戦略的に選択すべきであるが、特にこの領域に関連する産業においては、開発された新規部材の知的財産が確実に保護されることがサプライチェーンの安定性の観点から強く要求されるため、知財戦略も極めて重要である。

3. 新規事業の設計

3-1 基本的骨格

2-2に示したような希少元素代替材料に関する研究開発は、一研究室、あるいは分散した少数の研究室の連携による体制では、たとえ個々には優れた能力を有していたとしても到底実行しえない。1-1節で示した元素戦略の概念である、「金属、セラミックス、半導体、高分子材料などの多様な材料研究の知恵を結集していくとともに、物理や化学などの基礎学問をも取り込んだ、融合的な研究分野の構築」を可能とする体制が必要である。言い換えれば、

- ① 材料特性の発現機構を支配する物理因子の特定と機能設計を通じた新物質提案
- ② ①を具現化するための材料構造設計と製造プロセスの開発
- ③ ②によって得られた材料の構造解析と実用を見据えた機能評価

という「3つの歯車」がそれぞれ力強く噛み合い、相乗効果を生み出す組織を新たに編成しなければならない。これを実現するための一つの方法としては、磨き抜かれた物質観を持って材料開発全体にわたり本質的課題を見極める洞察力と、異分野の人材を統率して新しい課題への挑戦に誘導するマネジメント能力を兼ね備えたリーダーの下で、上記の「3つの歯車」に対応する分野の若手研究者が結集し、共同で研究活動を行う拠点を形成することが考えられる。

上述のような若手研究者が主たる牽引力となる研究体制は、新たな科学領域の開拓において特に重要になる。先達はそれぞれが権威となる分野を萌芽の時期から築き上げてきたのであり、若手研究者はその実績をただ単に踏襲してはならない。自らの分野を独自の科学的視点により構築するべきであり、異分野融合はまさにその機会を与えるものである。

新規事業の時間軸に関しては、本事業が基礎科学の新しい展開を起こしつつ物質創成から部材試作・機能評価までを一貫して行うという極めて幅広い範囲を対象としていることと、若手研究者が主力となる環境の中で、産業面でも科学面でも革新性の高い成果を生み出すことを目指していることを考慮すれば、10年程度の長期的かつ継続的な取り組みが必要となるであろう。

さらに、新規事業の規模に関しては、上記のような優れた人材が結集する拠点を形成すること、未解明の物理現象等の計測やこれまで試みられたことのない物質合成などのために全く新しい解析・加工装置の開発等が必要となることから、文部科学省の既存の競争的資金の規模等を考慮して適切な規模の資金が措置されるべきである。

3-2 達成目標

各材料領域の研究活動については、基礎科学の展開に関する高い新規性に加えて、その成果を革新的な希少元素代替材料の開発に結びけるための目的指向性が求められる。従って、事業期間終了時の達成目標としては、以下の課題を念頭において、科学的新規性と目的指向性を兼ね備えたものが設定されるべきである。

1) 磁石材料領域

電子論に立脚した磁気モーメント、キュリー温度、結晶磁気異方性の定量記述。マイクロマグネティクスとの連成により組織に依存する磁区構造のシミュレーション。異相組成、磁区解析機器の開発による保磁力機構の検証。

これらにより、ディスプレイウムフリー磁石を試作し、機能を実証する。さらに希土類フリー磁石や、これらの希土類磁石を超える磁気モーメントが高くキュリー温度も高い磁石の探索を実施する。

2) 触媒・電池材料領域

固体物理学と量子化学の整合のとれた連成による反応機構の定量記述。電子状態の温度効果の記述あるいは統計力学的取扱いの導入。反応物質の安定性の検証。触媒反応システムの試作。

これらにより、ナトリウム電池を試作し、機能を実証する。さらにこれを超える安定な汎用元素を用いた電池の探索を実施する。触媒では遷移金属触媒の実用を見据えた試作を行い機能を実証する。さらに汎用元素化合物や有機物などを用いた触媒を探索する。

3) 構造材料領域

電子論に立脚した完全結晶からの欠陥のダイナミズムの理論解析・シミュレーション。弾性／塑性競合の最適化。高強度と成形性を両立させる設計指針。破壊プロセスの原子配列に基く解析。メゾスコピック解析との連成。

これらにより、添加元素を抜本的に減らした、加工性に優れる高強度材料を試作し機能を実証する。さらに先進的な成形手法に適合した、金属、セラミクス、高分子構造材料を探索する。

4) 電子材料領域

電子論に立脚した導電性、透明性、静電容量等の特性の理論解析・シミュレーション。クラーク数が高いありふれた元素(H、C、N、Al、Si、Fe等)を用いて希少元素を含む材料を代替する新規化合物・合金・有機物などの物質を設計し、新物質の合成、材料試作および機能を実証する。これらにより、普遍的な設計指針を確立する。

3-3 研究体制の構成要素

3-1に示された研究体制を実現するためには、各材料領域について「3つの歯車」に対応する研究チームとそれらの活動の総体としてのプロジェクトを率いる卓越したリーダー、さらには各材料領域の異分野融合を、個別の学問分野を代表する立場を持って強力に後押しする有識者からなる運営統括会議が必要である。これらの構成要素の具体的機能は以下の通りである。

(1) 研究チーム

各材料領域のプロジェクトは、次の3つの機能を持つ研究チームの協力の下で実施する。特に、これらの異なる学問分野を専門とするチームの真の融合を図るため、各チームの若手研究者をプロジェクトリーダーが所属する機関に結集させ、拠点を形成する。この拠点において、プロジェクトリーダーの指導の下、各チームの若手研究者が日々アイデアと問題意識をぶつけ合い、切磋琢磨しながらそれぞれの課題を探求する。

① 電子軌道・原子配列等制御チーム

遍歴電子の電子相関、触媒反応機構、原子結合力・格子欠陥挙動、固体電子物性・光物性・バンド構造などの機能発現要因を決める電子・分子軌道に着目し、定量記述から特性予測・設計に導く。

② 材料構造制御チーム

「電子軌道・原子配列等制御チーム」の提案を取り入れつつ、目的機能を有する最終バルク材料の構造設計、製造プロセス開発などを実施し、電子論チーム、機能評価チームとの一貫した連携を確保する。

③ 構造制御・使用性能評価チーム

新規材料の実用的な特性を見据えた評価により、デバイス化、部材化の見通しと問題点を総

合的に検討し、その結果を電子軌道・原子配列等制御チーム及び材料構造制御チームにフィードバックし、次の研究ステップを提言する。

なお、上記の研究チームについては、実用化の視点を活動に反映させるために、民間企業の研究者が構成員あるいはアドバイザーとして参画することが望まれる。

(2) プロジェクトリーダー

プロジェクトリーダーは、各チームのリーダーとの強い信頼関係をベースとして、3つの研究チームを実質的に統括する。真の分野融合をもたらす研究計画・体制を立案すると同時に、全体の研究成果に責任を持つ。その結果として期待される新たな物質・材料科学の創成をプロジェクト運営の重要課題とし、先鋭的な達成目標の追求とともに幅を持たせた成果認定を積極的に心掛ける必要がある。

また、プロジェクトリーダーには、優れた人材を集める求心力と指導力も要求される。プロジェクト参加者に対して、新領域創成の一翼を担う者としての自覚を促し、その挑戦を誘導する。拠点活動の中核を担う研究者に対しては、異分野の研究者との連携により着実に成果を生み出すマネジメントの能力を身につけさせるように訓練する。

(3) 「元素戦略」運営統括会議

真の分野融合の実現を目指して、各拠点に結集する異分野の研究者間の活発な相互作用を促進するために、各分野の学会を代表する一流の科学者が、プロジェクトリーダーと協力して、積極的な後押しを行う。また、実用可能性を追求する観点から、関連する産業を代表する一流の技術者も参画する。一般的なアドバイザーボードと異なり、評価の実施やその結果の資源配分への反映等を通じて、各チームの研究活動に強く関与し、優れた研究者からなるチームの集団としての創造性を最大限引き出すよう誘導する。

3-4 事業実施に関する留意事項

(1) 既存施策との関係

元素戦略に関連する既存の主な施策としては、文部科学省が実施する「元素戦略プロジェクト」、独立行政法人 科学技術振興機構(JST)が実施する「戦略的創造研究推進事業(元素戦略関係領域)」、経済産業省が実施する「希少金属代替材料開発プロジェクト」が挙げられる。図3に、これら既存事業と新規事業との関係を示す。

すなわち、現在進行中の「元素戦略プロジェクト」、「希少金属代替材料開発プロジェクト」については、材料研究戦略と資源確保戦略の接点に関わる研究課題に関し、前者は基礎段階のものでリスクはあるが革新性の高い成果が期待されるものを、後者は緊急な対応が求められる元素について削減目標を設定したものを、両省の連携の下、それぞれ推進している。「戦略的創造研究推進事業」は、元素戦略の概念に基づき、基礎的課題に取り組む研究の中で優れたものを採択している。これら既存の事業に対して新規事業の枠組みは、1-2で述べたとおり、「元素戦略プロジェクト」を実施してきた中でその可能性が捉えられてきた、物質の電子状態の定量的記述から機能予測・設計、材料の創成、さらには実用化を見据えた構造・機能評価を一貫して実施する新たな研究スキームである。

新規事業には、上記の既存施策の実施者が参画することも当然考えられるが、その際には適

切なエフォート管理が行われる必要がある。さらに、様々な分野から、高い意欲を持つ若手研究者が集まり、実質的に研究活動を牽引することが重要であることから、上記の既存施策に参加していない研究者が積極的に参画することが強く望まれる。

(2) 成果の展開と人材流動の促進

新規事業で得られた研究成果は、達成目標に対して副次的に生じたものを含めて、その実用可能性の高さや社会ニーズの強さを考慮しつつ、実施期間の途中であっても随時、経済産業省のプロジェクトや民間企業が独自に実施する実用化研究に展開すべきである。一方、実用化研究の中で改めて基礎科学に落とし込み要素研究としての深掘りを行うことが必要となった課題について、実用化研究の実施者と元素戦略の実施者が協力して本質を見極めるまで検討し直すことは、本来の元素戦略の概念にも合致する連携活動である。さらに、新規事業に参加する若手研究者や学生が、本事業での経験を通じて優れた研究能力を身につけ、経済産業省のプロジェクトや民間企業の実用化研究において活躍の機会を得ることも期待される。このような観点から、新規事業においても、経済産業省と文部科学省は、評価や成果の展開に関する調整、実施者間の交流などを通じて、引き続き密接に連携すべきである。

(3) 知的財産の運用に関する留意事項

事業実施に当たっては、得られた成果の実用化を見据え、開発された新規材料の特許等、知的財産が確実に保護されるよう、その運用には十分留意するべきである。従って、各拠点において知的財産創出の機会を確実に捉える配慮をする必要があり、運営統括会議としても事業化を見据えた知的財産ポートフォリオの構築のための関与を心掛けるべきである。

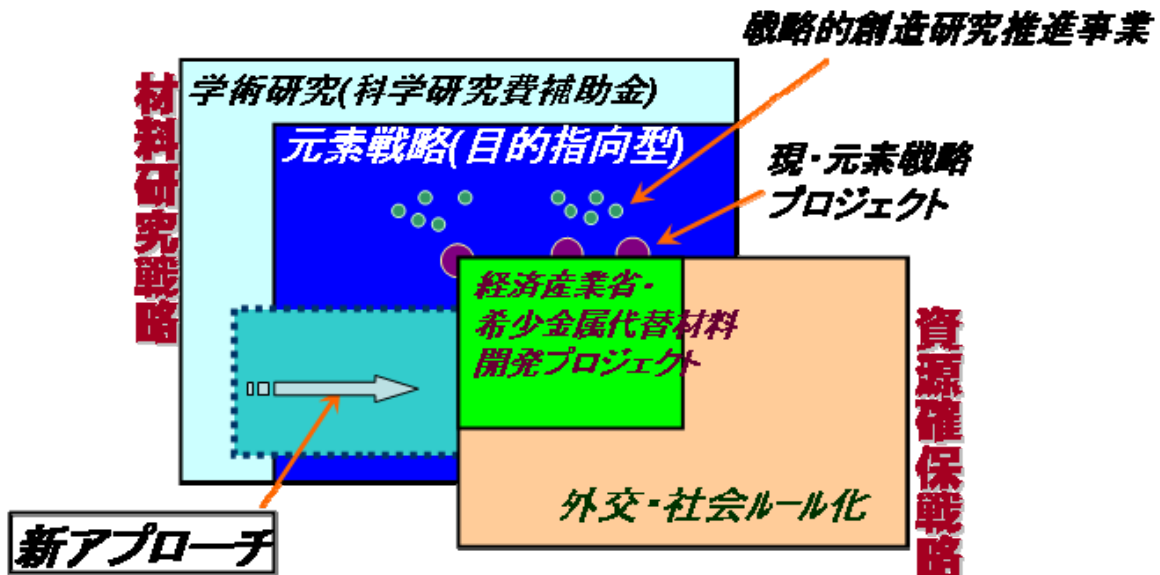


図3 既存の施策と新規事業の関連性

元素戦略検討会 構成員およびオブザーバー

(1) 委員および主査

射場 英紀	トヨタ自動車株式会社 電池研究部 部長
田中 一宜	科学技術振興機構 上席フェロー
玉尾 皓平	独立行政法人理化学研究所 基幹研究所 所長
福山 秀敏	東京理科大学 副学長
宝野 和博	物質・材料研究機構 磁性材料センター長
細野 秀雄	東京工業大学 フロンティア研究センター 教授
三島 良直	東京工業大学 フロンティア研究機構長
主査 村井 眞二	奈良先端科学技術大学院大学 理事・副学長

(2) 事務局

倉持 隆雄	文部科学省 研究振興局長
柿田 恭良	文部科学省 研究振興局 基盤研究課長
坂本 修一	文部科学省 研究振興局 基盤研究課ナノテクノロジー・材料開発推進室長
馬場 大輔	文部科学省 研究振興局 基盤研究課ナノテクノロジー・材料開発推進室室長補佐
本間 穂高	文部科学省 研究振興局 基盤研究課ナノテクノロジー・材料開発推進室調査員

(3) オブザーバー

馬場 寿夫	内閣府 政策統括官付 政策企画調査官
北岡 康夫	経済産業省 製造産業局 非鉄金属課 産業戦略官
中山 智弘	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー

開会経過

元素戦略検討会

平成23年7月11日 報告書の審議

「元素戦略の今後の推進に関する検討」エビデンス調査報告 (中山)

「元素戦略の新展開について(案)」報告書 (坂本、本間)

上記検討会に先立ち、非公式検討会を平成22年10月から4回開催