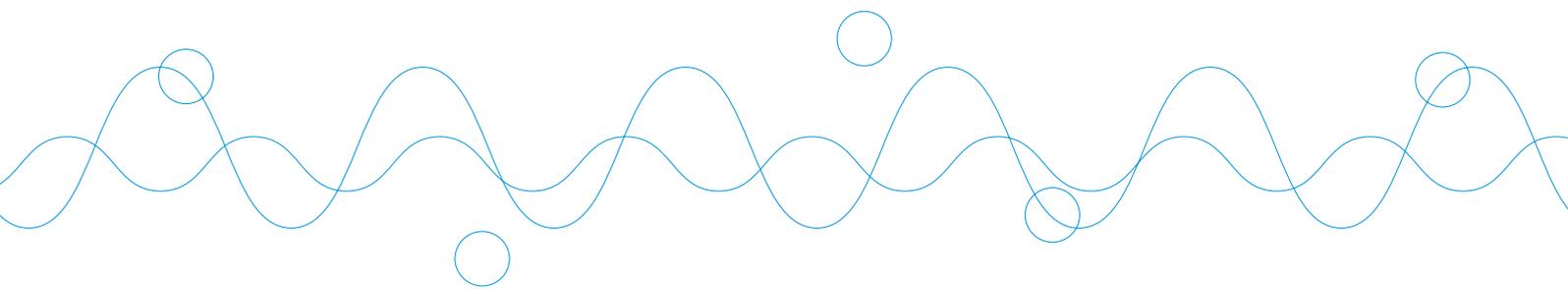


ATTAATC A AAGA C CTAAC TCTCAGACC  
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT  
CTCGCC AATTAATA  
TTAATC A AAGA C CTAAC TCTCAGACC  
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC  
TGA C CTAAC TCTCAGACC

戦略イニシアティブ  
「元素戦略」

0101 000111 0101 00001  
001101 0001 0000110  
0101 11  
0101 000111 0101 00001  
001101 0001 0000110  
0101 11  
00110 11111100 00010101 011



研究開発戦略センターでは、国として重点的に推進すべき研究領域や課題を選び、以下3種類いずれかの戦略プロポーザルとして発行している。

**戦略イニシアティブ**

国として大々的に推進すべき研究で、社会ビジョンの実現に貢献し、科学技術の促進に寄与する

**戦略プログラム**

研究分野を設定し、各チームが協調、競争的に研究することによって、その分野を発展させる

**戦略プロジェクト**

共通目的を設定し、各チームがこれに向かって研究することによって、その分野を発展させると同時に共通の目的を達成する

## エグゼクティブサマリー

希少元素・規制元素の使用量を極限まで低減すること、豊富で無害な元素により目的機能を代替すること、さらには種々の元素が発揮するこれまでにない新機能を設計や探索することを通して、特定の元素に依存せずに材料の担う様々な機能を実現できれば、資源小国である我が国のためのみならず地球規模の資源・環境問題に対して、非常に有効な解決策を与えることが可能になる。この「元素戦略」イニシアティブは、その中心に位置するコンセプトとして、また、我が国発の研究開発戦略として、速やかに、そして息の長い取り組みとして推進されるべき指針である。

「元素戦略」とは、種々の元素がこれまでにない機能を発揮する新材料を開拓することによって、資源を持たない我が国が持続可能社会の実現に寄与する、新たな物質材料科学を構築する戦略である。元素の持つ機能を深く理解し利用することにより、希少元素・規制元素の使用量の極限までの少量化や、豊富で無害な元素による目的機能の代替、種々の元素が発揮するこれまでにない新機能の設計・探索等を行い、特定の元素に依存せずに材料の担う様々な機能を実現することを目的とする。また従来の成果も踏まえ、新しい材料研究の開拓を目指す。目的とする新材料・新機能の設計を、持てる全ての知見を総動員して行き実現する流れは、今後の研究開発の中心の流れの一つとなるであろう。資源を持たない我が国の基本戦略として有効であると同時に、新材料・新機能の設計や探索に関する研究開発の中核もなす。

元素戦略は、

- (1) 希少元素・有害元素の使用量を極限まで低減する「減量戦略」。
- (2) 特定の元素に依存することなく、豊富で無害な元素により目的機能を代替する「代替戦略」。
- (3) 希少元素の循環利用や再生を推進する「循環戦略」。
- (4) これらの減量・代替・循環を駆使して、規制という高いハードルを乗り越えることでイノベーションを目指す「規制戦略」。

の4戦略によって構成される。さらに、元素の特性に基づく新しい領域を拓き、新しい材料を創成することも一つの柱である。

通常「資源戦略」では、資源の困り込みによる解決を連想する。しかし本戦略は、我が国が世界に誇る材料科学技術によって、地球規模の資源・環境問題に対して、有効な解決策を与えようとする我が国発の技術戦略である。これらを推進し達成するためには、府省連携や民間企業の参画等、大きな枠組みでの推進が望まれる。

「元素戦略」における研究開発には、これまでの試行錯誤的なアプロー

ちから脱却して、新しい材料を合理的に設計・探索する方法が必要である。それを実現するために、材料設計の基礎となる元素の特性に立脚した科学的知見の上で、最先端のナノテクノロジーの知見、計算科学やマテリアルインフォマティクス、超高速探索法（ハイスループットテクノロジー、コンビナトリアルテクノロジー等）等の推進も有用であり、新しい物質・材料研究の方策を提供すると考えられる。

## 目 次

### エグゼクティブサマリー

1. 「元素戦略」とは .....	1
2. 「元素戦略」に投資する意義 .....	4
3. 具体的な研究開発課題 .....	5
4. 研究開発の推進方法 .....	9
5. 科学技術上の効果 .....	10
6. 社会・経済的効果 .....	12
7. 時間軸に関する考察 .....	13
8. 検討の経緯 .....	15
【付録】 .....	21

# 1. 「元素戦略」とは

元素戦略とは、「元素」に焦点を当て、「サイエンス」に基づいて、新たな物質材料科学の基盤を築く戦略である。元素の持つ機能を深く理解し利用することにより、希少元素・規制元素の使用量の極限までの少量化や、豊富で無害な元素による目的機能の代替、種々の元素が発揮するこれまでにない新機能の探索等を行い、特定の元素に依存せずに材料の担う様々な機能を実現することを目的とする。機能の素単位に立ち返り、材料の機能を構築していくことを戦略の中心技術としている。これまで行われてきた経験的な元素利用も含むが、むしろ新しい研究開発手法のパラダイムを創出すること、及び、それによりイノベーションを創出することを意図する。従来成果も踏まえ、新しい材料研究の開拓を目指すのが元素戦略の大きな目的である。材料を構成する元素の働きや相互作用を、より深く理解し利用することができれば、新材料を設計・構築する上で、試行錯誤から脱却した新しい方法が見いだせる。(図1)

## 1. **資源限界を超えて持続可能な社会を目指す戦略**

- 産業に資する材料セキュリティ、鉱物資源セキュリティ
- 省エネ・環境に資する材料技術
- 「元素」に焦点 → **サイエンスベース**で目的を達成

## 2. **新たな物質材料基盤技術をひらく戦略**

- 「新材料設計・探索」手法の確立
- ナノ・材料分野における研究開発のための、日本固有の戦略
- 強力なリーダーと、融合・連携・横断を推進する新体制

## 3. **世界から尊敬され、かつ国益をもたらす戦略**

- サイエンスをベースとした人類や世界への貢献

図1 元素戦略の目標

元素戦略の構成として、「減量戦略」、「代替戦略」、「循環戦略」、「規制戦略」の4つと、新材料・新機能の創成が考えられる。(図2)

「減量戦略」は、希少元素や規制元素の使用量を極限まで減らす取組である。元素の特性を理解した上で、機能の発現の最小単位を把握し、使用量の大幅低減を図ることを目的とする。

「代替戦略」は、元素戦略の中心に位置する取組である。希少元素や規制元素の豊富で無害な元素による代替、別ルートによる同一機能の実現、ありふれた元素による新機能の実現等を目的とする。ナノテクノロジーのみならず、計算機によるマテリアルデザインや、モデリング・シミュレーション、ハイスループット実験手法等を駆使して、真の機能代替の実現を目指す。長期的には、炭素資源を代替することも視野に入れる。

「循環戦略」は、希少元素の循環利用や再生を推進する取組である。膜分離やコンビナトリアル手法等を使った分離技術の高度化や、マテリアルフローの追求による物質循環の最適化、ナノテクノロジーを用いて瞬時に原材料に戻したり同一素材のみで多機能を発現させたりするようなナノリサイクル技術が中心となる。また、劣悪な鉱山からの高純度資源生産技術の開発等も重要である。

「規制戦略」は、上述の減量・代替・循環を駆使して規制という高いハードルを乗り越えることで、イノベーションを目指す戦略である。環境保護の観点からも重要な取組である。サイエンスを総動員して有害元素代替技術等の将来の到達予測を行い、そこに法規制等のハードルを設けて目標を達成することも含む。結果は世界に還元され、高い目標を達成したことによる尊敬の獲得と、高い技術力による国益増進を目指す。

さらに、元素の特性に基づく新しい領域を拓き、新しい材料を創成することも一つの柱である。

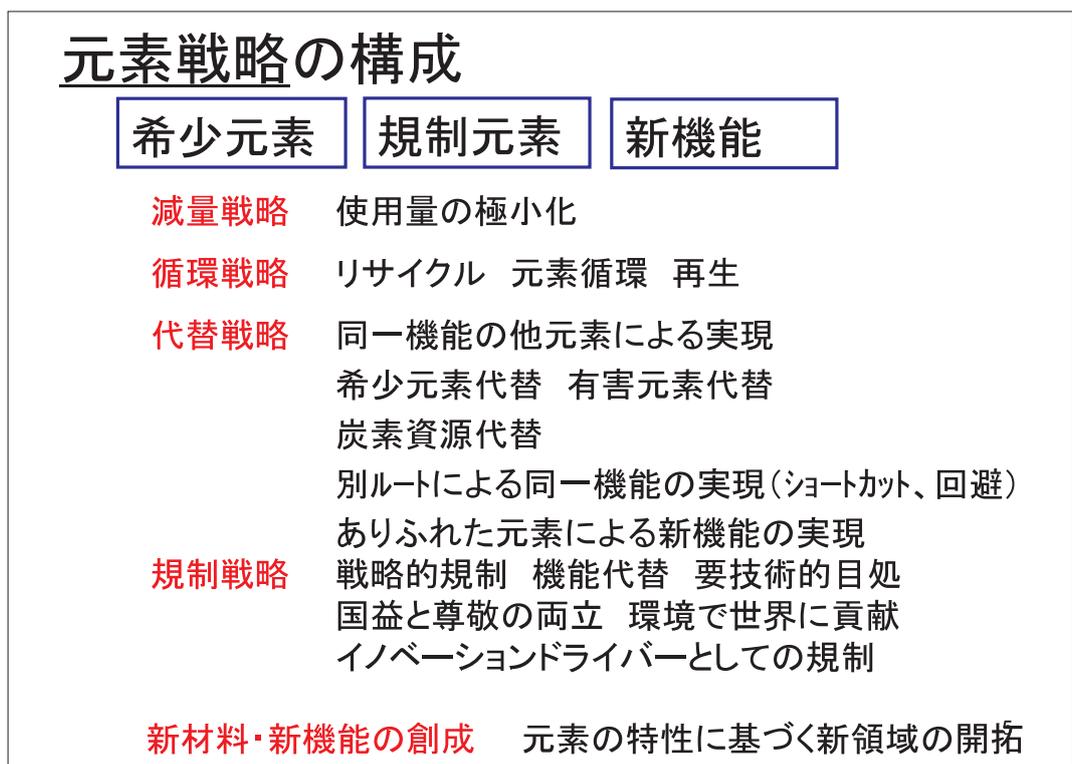


図 2 元素戦略の構成

材料の特性は、バルク、分子、原子等の諸構造から電子状態に至るまで、あるいはマクロ・ミクロレベルからナノレベルに至るまでのあらゆる状態に由来している。元素戦略は、これらすべての状態に対し、多分野にまたがる多くの知見を集約して駆使し、材料の特性を新しい切り口で捉え直しデザインすることで、特定の元素に頼らなくても材料の担う様々な機能を実現することを狙う。いわば、分野融合と知識集約による材料技術の総力戦である。「True Nano」という言葉が、第3期科学技術基本計画の分野別推進戦略内で定義されている。今後、文字通り真のナノテクノロジー研究の進展により、ナノスケールのデザインによって初めて現れる機能を作り出すことや、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こと、眠っている未知の機能を引き出すこと等が求められている。元素や特定の材料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他の元素や材料の様々な物理的状态を駆使して代替することや、元素や材料の全く新しい機能を見いだす研究開発が最近になって徐々にではあるが現実味を帯び、これらによって、元素戦略という切り口が可能になってきている。

## 2. 「元素戦略」に投資する意義

第一の意義は、資源・環境問題に対する、有効な解決策の提示である。希少元素・規制元素の使用量を極限まで低減すること、豊富で無害な元素により目的機能を代替すること、さらには種々の元素が発揮するこれまでにない新機能を探索すること等を通して、特定の元素に依存せずに材料の担う様々な機能を実現することができれば、資源小国である日本のためのみならず地球規模の資源・環境問題に対して、非常に有効な解決策を与えることができる。

第二の意義は、材料研究開発の変革を促すことである。特性や機能を発揮する元素に着目した研究開発は、機能から新材料を設計・構築するという、より根源的かつ高次元の視点が必要である。材料開発において、「新材料設計探索」のような、革新的な取組みが行われることによって、材料研究開発に対する新たな潮流が生まれうる。

### 3. 具体的な研究開発課題

我々の身の周りに存在する何十種類もの元素は、材料中においてそれぞれ固有の重要な機能を担っているが、埋蔵量の少ない希少元素や使用を規制されている有害な元素も少なくない。例えばインジウムは、液晶パネル等に必要な透明導電膜の原材料として広く用いられているが、需給の逼迫が予想される元素である。これまで他の元素で同様の機能を実現することは難しかったが、最近、各種セラミック、金属酸化物等による代替の可能性が示唆され始めている<sup>1, 2)</sup>。元素戦略に属する研究開発は、物質・材料・ナノテクノロジーを大きく包含する研究分野の中で、非常に広範囲に及び、目指す成果も様々である。

上記は一例にすぎないが、元素戦略として推進されるべき研究とは、材料の特性を担う元素に着目し、その元素のもつ多様な特性と相互作用を原子や分子レベルから明らかにし、新概念、新機能、新構造の材料を設計・構築することである。結果として、材料研究の新しい展開につながることを期待される。材料特性データの不足を補うものや、既存データの他元素への応用等、従来の経験的な元素利用ではない。このような研究において重要な役割を果たすのが、ナノテクノロジーである。ナノスケールの粒子や界面での現象の理解、その解析技術、制御技術により、物質・材料の特性や機能を発揮する元素に焦点をあてる。

#### 減量戦略

希少元素を有効利用するために、元素の機能の高度活用を行うのが減量戦略である。機械的性質、化学的性質、電気的性質、光学的性質等、材料の機能や特性を決める元素の役割や状態の変化を解明し、その機能限界を追求し、元素を効率的に利用する技術を開発する。これによって、機能発現の必須成分、その量的最小限発現単位を明らかにし、希少元素の使用量の大幅低減が期待できる。また、元素のもつ有効機能の活用研究を通じて、新しい機能の発見や新機能材料の開拓なども期待される。

#### 代替戦略

元素戦略の中心に位置する研究開発であり、以下の研究を包含する。これらは相互に排他的な関係ではなく、内容が重複する場合や、相互に補完する関係にある。

- (1) 希少元素や有害元素の豊富で無害な元素による代替
- (2) 別ルートによる同一機能の実現、ありふれた元素による新機能の実現

### (3) 新材料の設計・探索技術

#### (1) 希少元素や規制元素・有害元素の豊富で無害な元素による代替

希少元素とは、資源埋蔵量が相対的に少なく、需給が逼迫する恐れがあり、資源の偏在による供給リスクが高い等の問題がある元素を指す。また、産業からの要請により、人体や環境に有害である可能性が高い元素が材料中に使用されることも多い。このような元素を、できるだけ豊富で環境や生態系に悪影響を与えない元素で代替するための技術開発を進めることは、人類にとって必要不可欠の課題である。

ここで狙う代替は、単なる結晶構造の大きな変化を伴わない他元素での置換にとどまらず、希少元素や規制元素が担う機能を他の独特の構造や組織で代替することである。

結晶の包囲やサイズ、界面や表面のコントロールや電子状態操作、格子や欠陥の制御等によって目的機能を発揮させることも含む。

#### (2) 別ルートによる同一機能の実現、ありふれた元素による新機能の実現

別ルートによる同一機能の実現とは、特定の反応やある材料の持つ固有の機能を、別の反応や機能の組み合わせで実現することを指す。固有の触媒系によらない新たな反応系や反応経路の開拓による、有機化合物等の合成等が含まれる。貴金属を含む触媒の低減や代替にも直結する。

ありふれた元素による新機能代替とは、材料の特性を新しい切り口で捉え直しデザインすることで、特定の元素に頼らなくても材料の担う様々な機能を実現することを指す。極めて挑戦的な課題を多く含む研究開発であり、分野融合と知識集約による材料技術の総力戦である。

#### (3) 新材料の設計・探索技術

計算機によるマテリアルデザインや、モデリング・シミュレーション、ハイスループット実験手法等を駆使した、真の機能代替を実現するための設計・探索技術の構築を行う。ナノスケールからの様々な形態制御や構造制御技術、計測技術等を動員し物性理論のモデリングや計算機シミュレーションと組み合わせ、新機能や代替機能を発揮する革新的材料の実現を目指す。

結晶格子や分子・配向の制御（格子の設計や固溶・欠陥導入による局在性・周期性の実現、圧電素子の欠陥制御、超分子電荷移動体のエントロピー制御、磁性材料のアモルファス構造の制御など）、表面構造の制御（表面加工、イオンビーム照射、表面アルケミーによる機能性表面の実現）、ポーラス構造の制御（ナノ、マイクロ、ミリのマルチスケールポーラス構造で、

高比強度、高靱性、選択透過性・反応性などを実現)等による知見と、物質・材料の機能支配因子との関係づけにより、「設計」という境地の材料探索を実施する。

### 循環戦略

希少元素の循環利用や再生へ向けた取り組みは多く行われている。現況では最も現実的な取り組みで、触媒からの貴金属回収技術、エレクトロニクス製品からの希少元素の回収等々、企業での研究開発も盛んである。

これを元素戦略としてさらに高度化させる。膜分離やコンビナトリアル手法等を使った分離技術の高度化や、マテリアルフローの追求による物質循環の最適化、ナノテクノロジーを用いて瞬時に原材料に戻したり同一素材のみで多機能を発現させたりするようなナノリサイクル技術が中心となる。また、劣悪な鉱山からの高純度資源生産技術の開発等も重要である。

### 規制戦略

越えなければならない高いハードルを自ら設定し、目標達成型の研究開発を行う戦略である。希少元素の削減割合や、環境への放出等、越えなければいけない基準値を宣言することにより、研究開発のレベルを飛躍的に高めることを図る。

例えば、1970年代のマスクー法は、米国において、その数年後に排ガス排出に厳しい規制を課す法律であった。これをいち早く乗り越えたのは日本の研究開発である。また、1960年代には、化学産業に対して環境保全への厳しい努力が求められたが、企業努力の結果、我が国の化学産業の環境保全技術は世界のトップクラスとなった。他の産業に比しても、利益率は非常に高い状態である。昨今では欧州を中心に、化学物質の使用やリサイクル等に関して、種々の戦略的規制が実施されつつある。また、二酸化炭素の排出をある規準で制限することに関して、国際的な合意形成が前進している。(参考：図3)

困難や目標値を乗り越え、優れた技術を生み出せば、知財や技術の輸出も可能になる。環境保全に対する強いメッセージを世界に与え、世界からの尊敬も得ることが可能である。

課題の採択には、上記に加え、以下のような点に留意すべきである。

- ・ 構造や組成を工夫した物質によって機能を発揮する元素に着目しているか。
- ・ 製造プロセスや実用化を見据えた、役に立つ材料を目指しているか。
- ・ 有害性は定量的な観点を入れて検討しているか。

- ・ 確かな要素研究に基づいていれば、先鋭的な提案、常識を覆す提案、挑戦的な課題も採択できるようにすることが望ましい。

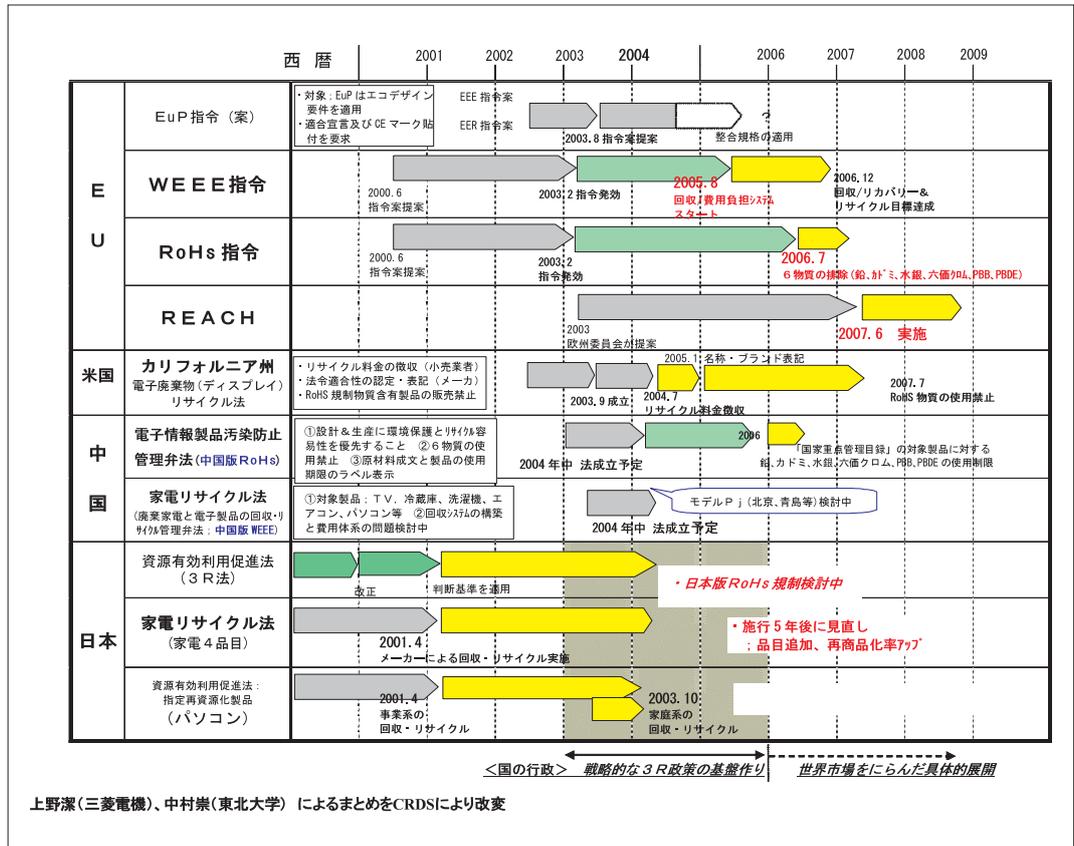


図3 戦略的規制に関する国内外の制度的な枠組の動き

## 4. 研究開発の推進方法

元素戦略を推進、あるいは達成するためには、極めて多方面からの取り組みや検討が必要であり、研究開発が行われる分野や目指すべき材料の特性も様々である。むしろ、研究の多様性の担保が重要である。様々な新物質・新材料の創製が提案されると思われるが、研究領域や目標設定が研究者のそれぞれの考え方に左右され、研究の方向性が拡散することは避けねばならない。

元素戦略は、革新的な材料技術の創成を目指す基本構想であり、ナノテクノロジー・材料分野を中心とする研究の潜在能力を結集することが肝要である。これは特定の学協会に限定された問題ではなく、化学、金属、鉄鋼、セラミックス、応用物理、資源、環境、エネルギーなど、広範囲の分野に関係する。また、資源問題や材料技術開発の観点から産業界への影響も大きい。また、府省と民間の一体的な取り組みが望まれる。内閣府による府省間を横断する施策の一体的な推進、文科省による基礎基盤的な研究やイノベーションに向けた研究開発、経産省による産業化や直近に迫る不足資源の代替・減量に向けた研究開発、その他、資源外交施策や、環境対応施策、知的財産戦略等も、一体として取り組むべきである。民間企業の取り組みや協力も不可欠である。具体的な元素戦略のニーズを持つ企業と、大学や独法研究機関が協力や共同して研究開発を進めるプロジェクトが多くあることが望ましい。また、資源問題や規制戦略における合意形成のため、諸外国との関係がますます重要になる。(図4)

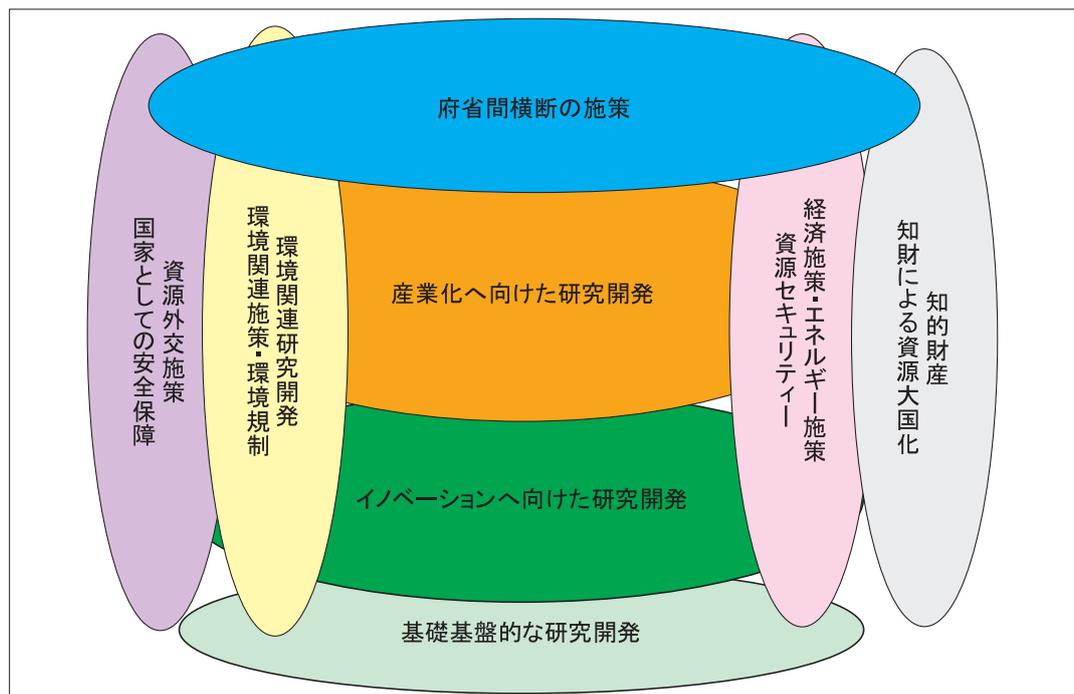


図4 「元素戦略」で期待される横断的な取組み

## 5. 科学技術上の効果

「元素戦略」を推進するにあたって、従来の材料研究とは一線を画し、新しい考えに基づく材料研究を目指す考えが根底にある。

従来の材料の研究開発においては、多くは元素の無数の組み合わせと特性評価を試行錯誤的に繰り返すことで材料の性能向上が図られてきた。材料の構成元素を原子・分子レベルで個々に解析する計測技術が未発達な段階では、機能向上のためのメカニズムを理解することは難しく、経験と勘に頼らざるを得なかった。

「元素戦略」における特性や機能を発揮する元素に着目した研究は、目的機能から出発して新材料を設計・構築するという、より根源的かつ高次元の視点が必要である。いわゆる、「逆問題を解く」試みである。材料の特性・機能は、機械的特性、化学的特性、電気的特性、磁気的特性、光学的特性など極めて多岐に亘り、かつ相互に関連しているので、これら特性の発現に関わる元素の組み合わせとメカニズムを合理的に予想する試みは、極めて挑戦的な課題である。

そのようなアプローチの「新材料設計・探索」には、図5に示され得ているように、次の要件が必要である。

- (1) 深い学術的専門知識と研ぎ澄まされた固有の物質観(勘)を持つリーダーの存在(属人的要素)。
- (2) 既存の物質科学、材料技術、実験の集積を整理したデータベース、高い演算能力のコンピュータ、計算手法、等を融合した計算科学の発展。
- (3) 作製パラメータの高速スキャンによる系統的かつ高速の試作合成・評価法の開発(コンビナトリアル・アプローチ)。

過去の新物質探索の数少ない成功例においては、(1)を主としつつも、(2)、(3)が自然かつ適当に組み合わされていることが多い。

従って、本イニシアティブが、俯瞰的な物質観を有する真のリーダー選出の仕組みや、物理・化学、有機・無機などの融合を促進するメカニズムを有する研究体制下で運営されれば、資源・エネルギーや環境問題の解決に貢献する成果が生み出されるだけでなく、新物質を設計・探索するという学術的な新しい領域が拓かれるものと期待される。

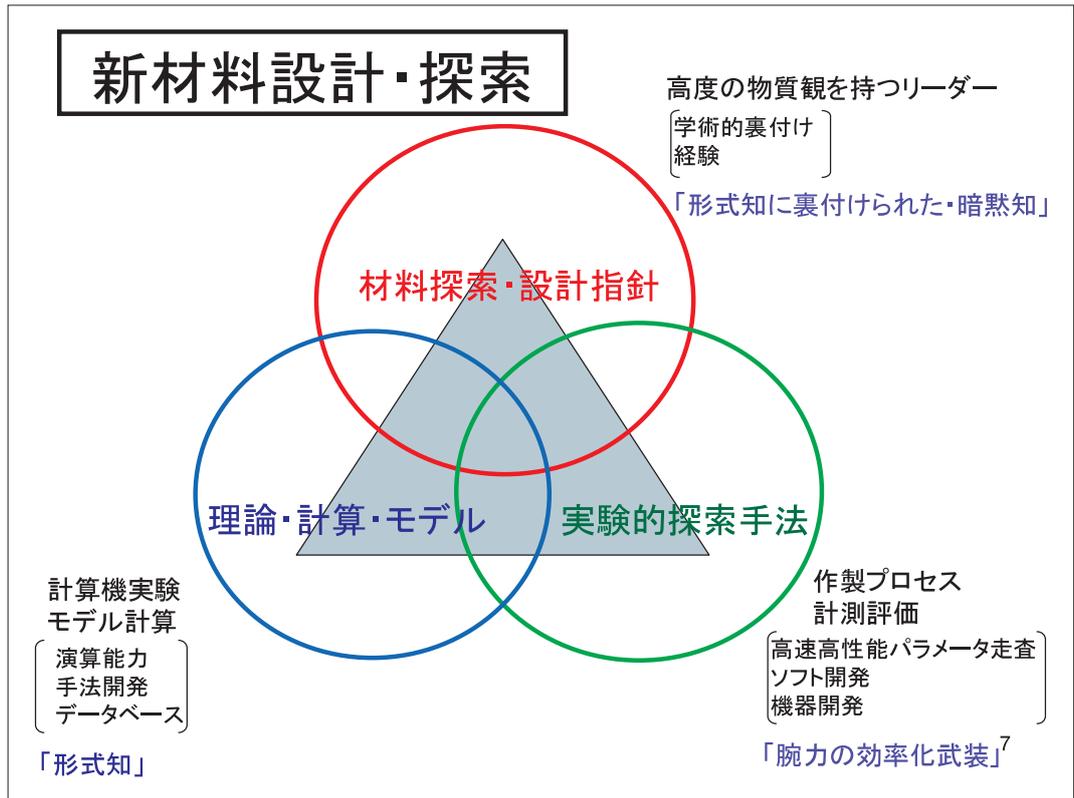


図5 「新材料設計・探索」へのアプローチ

「元素戦略」とは

「元素戦略」に  
投資する意義

具体的な  
研究開発課題

研究開発の推進方法

科学技術上の効果

社会・経済的効果

時間軸に関する考察

検討の経緯

参考文献

付録

## 6. 社会・経済的効果

元素戦略の背景には、極めて強い社会ニーズが存在する。

元素戦略を我が国が先駆けて推進することにより、希少資源の代替や効率的な利用技術、有害物質の使用量低減や無害化技術を世界に提供できる。これにより、先端産業で必要不可欠な材料の高度化に寄与することができ、また、材料中で様々な活用がなされている希少資源の需給問題に対する一つの解決策を与える。

希少金属をめぐる社会の動きは急である。BRICs 諸国による使用量の急増、産出国による希少資源の囲い込み、各種産業構造の変化等が、これまでの需給関係を大きく変化させている。また、石油メジャーと同様に資源メジャーが台頭し、市場支配を始めている<sup>8)</sup>。一方、有害元素不使用の流れも各国各地域で加速している。例えば、RoHS 指令（使用禁止規制）や REACH（化学物質管理システム）、京都議定書（炭酸ガス排出規制）等が挙げられる。これらは、有害であると考えられる元素や物質を規制やコントロールすることが主目的であるが、同時に、国や地域の利益のための戦略としても捉えられる。

元素戦略は、材料セキュリティ、鉱物資源セキュリティという観点から考えると、希少資源の備蓄に近い働きも担うと考えられる。「石油危機」に匹敵する「元素危機」とも言うべき社会的背景の中で、資源限界を超えて持続可能な社会を目指すための手段として、資源小国である我が国にとって重要な取り組みである。省エネルギーや環境問題の解決に資する材料技術としても、有効な回答を提供することができる。さらには、知的財産としての資源を輸出する資源大国になることも不可能ではない。

21 世紀を迎え人類の活動が拡大を続ける中、持続的な発展を支えることは科学技術の使命であり、材料研究も、環境問題、資源の枯渇の問題に真剣に向き合わなければならない。元素戦略は、断片的な取り組みは別として、世界に類例があまりない日本発のコンセプトである。極めてハードルの高い取り組みではあるが、現行にとらわれない新しい科学技術分野をも構成しうる。科学技術の将来のみならず、人類にとって重要な希少元素・希少資源・有害元素等の代替を考えた戦略である。

## 7. 時間軸に関する考察

元素戦略は、様々な既存の取り組みの成果をうけて、現在のナノテクノロジーの進歩を包含することにより成り立つ。(図6、図7)

既存の取り組みとしては、非常に多様な物質材料に関する基盤的な研究が中心として存在する。研究開発の取り組み以外でも、3R戦略(Reduce, Reuse, Recycle)、レアメタルの備蓄制度等が挙げられる。これらを基盤にする形で、循環戦略、減量戦略、代替戦略、規制戦略が構築される。

短期的には(短期決戦型として、5~10年程度で実用化)、緊急性のある規制元素・有害元素への対応、希少元素の少量使用化、代替戦略の一部、循環戦略等への取り組みが考えられる。

中長期型(10~20年程度での社会貢献)として、本格的な代替戦略や、規制戦略への取り組みが考えられる。

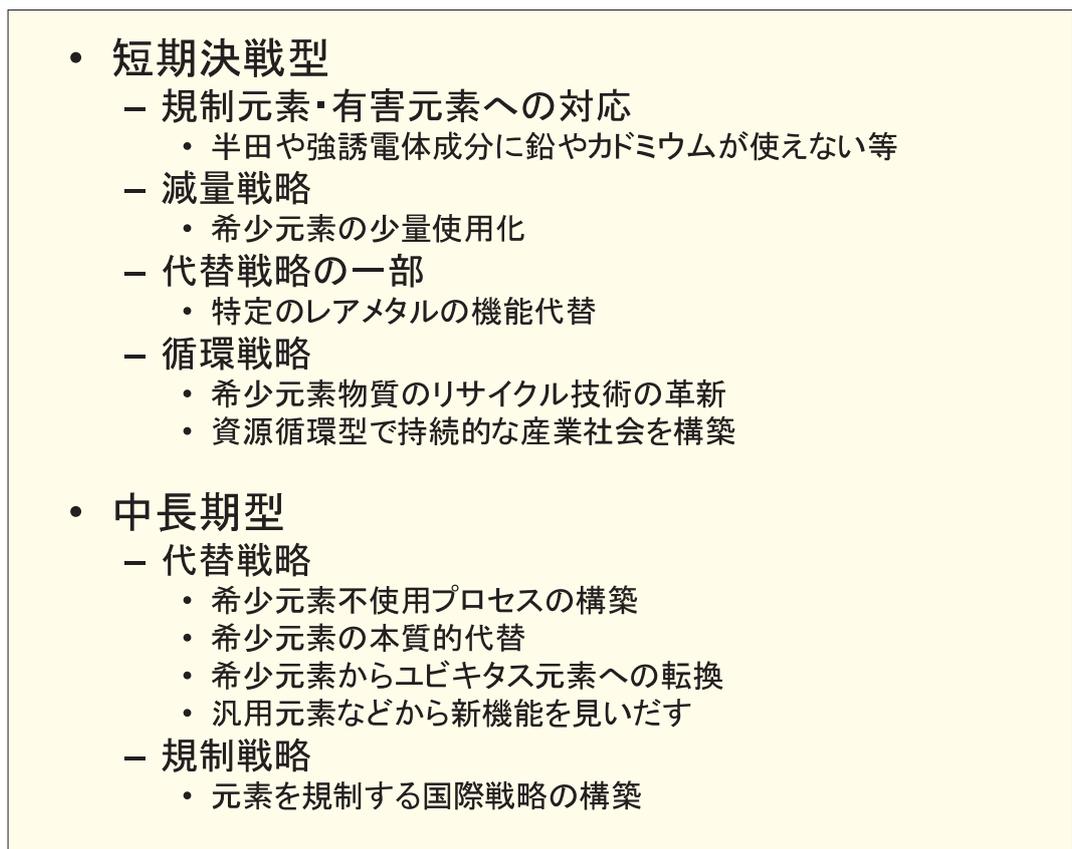


図6 元素戦略のおおよその流れ

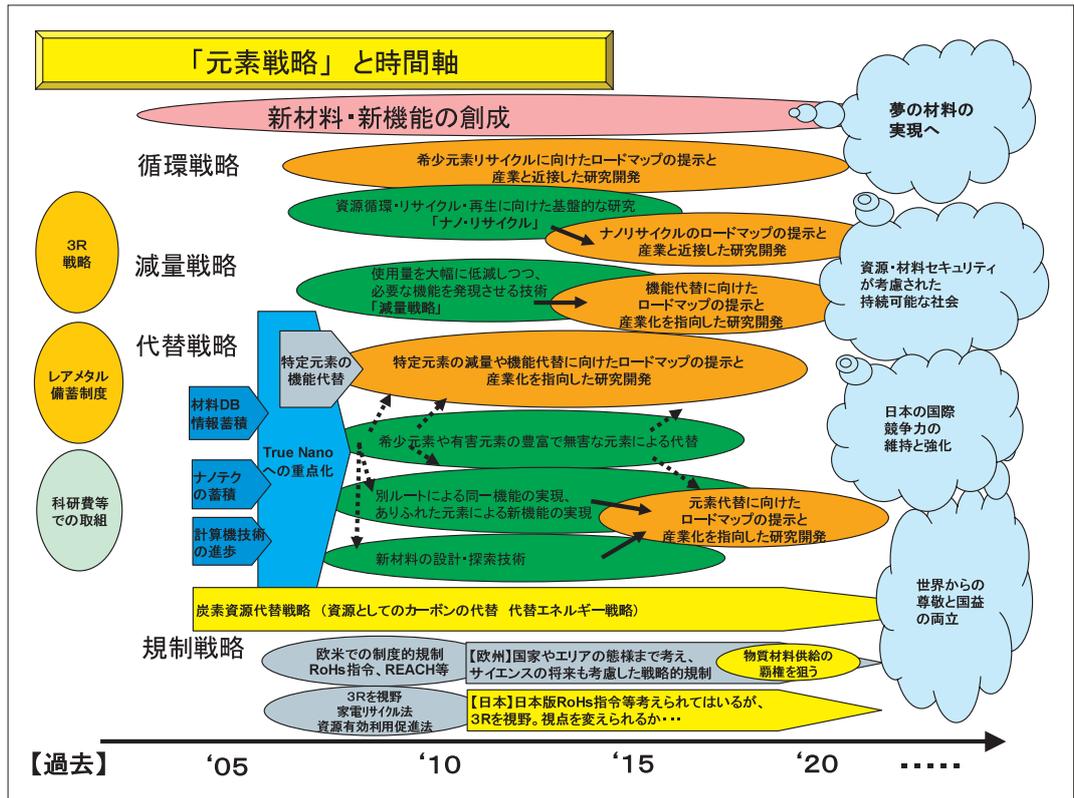


図7 「元素戦略」と時間軸

## 8. 検討の経緯

科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センターでは、ナノテクノロジー・材料分野における重要課題を見いだしていく活動の一環として、「元素戦略」というコンセプトの形成に取り組んできた。また、国の科学技術政策においても、希少元素、何らかの規制がなされた元素、有害元素等の代替へ向けた取り組みの重要性が認識され始め、第3次科学技術基本計画（内閣府総合科学技術会議、平成18年3月、閣議決定）の分野別推進戦略において、希少資源代替研究の重要性が戦略重点科学技術として明示された（図8）<sup>3)</sup>。それを受ける形で、現在、経済産業省による希少金属を代替するための研究開発の施策推進、文部科学省による元素代替へ向けた基盤技術創出のための研究開発の施策推進が、極めて緊密な連携の下、同時並行で進められている。施策の企画段階から省間連携がなされており、今後、科学技術の政策形成過程の重要な先例になるとと思われる。

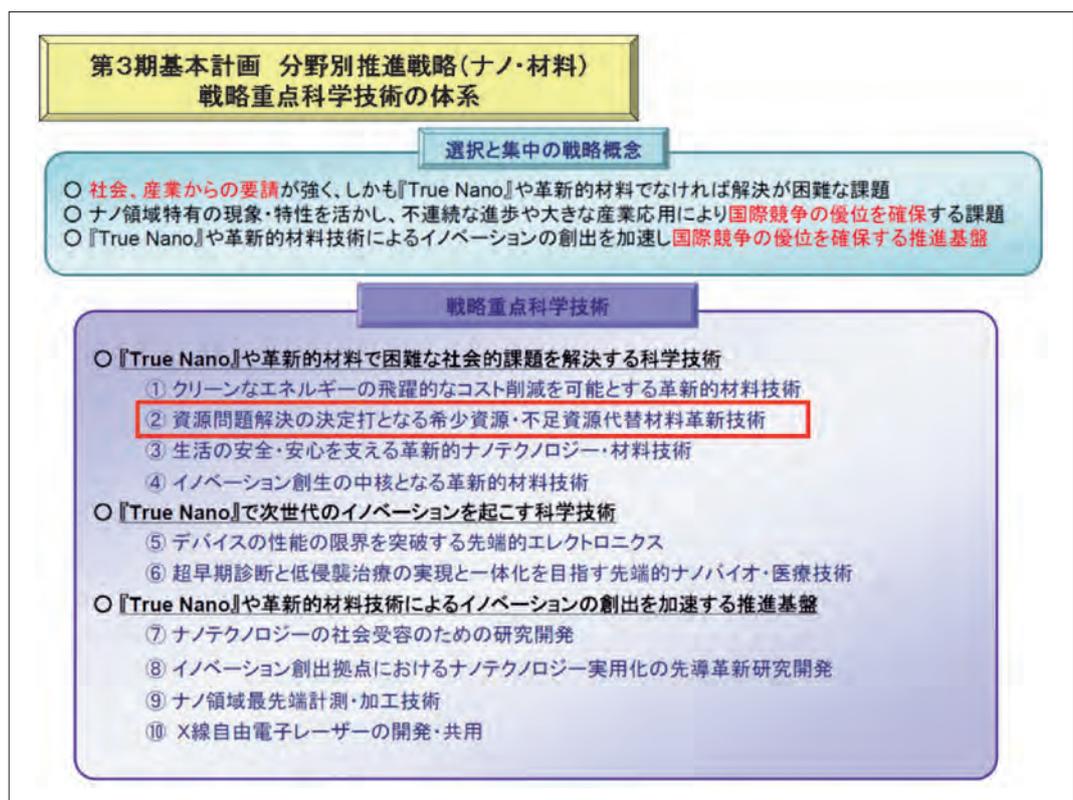


図8 第3期科学技術基本計画 分野別推進戦略（ナノテクノロジー・材料分野）戦略重点科学技術の体系<sup>3)</sup>

## 8-1 JSTのこれまでの動き

JST 研究開発戦略センターでは、「元素戦略」のコンセプト形成に数年前より取り組んできた。

まず、第一段階として「科学技術未来戦略ワークショップ（夢の材料の実現へ）（平成16年4月）」<sup>4)</sup>が開催され、「元素戦略」という表現と基本的なコンセプトが提案された。玉尾皓平教授（当時は京都大学・現在は理化学研究所フロンティア研究システム長）をコーディネーターとし、約40名の専門家が集結してセミクローズ形式で集中的な議論を行った。「元素戦略」というネーミングとコンセプトの案出には中村栄一教授（東京大学）らが中心的役割を担われた。

次に、元素戦略の具体例の議論や汎用元素の戦略的利用に関する議論を「分野融合戦略ワークショップ（平成17年6月）」にて行い、引き続き「ナノテクノロジー・材料分野トップ有識者会合（平成17年7月）」<sup>5)</sup>にて元素戦略の重要性を再確認した。さらに、「新材料設計・探索ワークショップ（平成17年11月）」<sup>6)</sup>が開催された。元素戦略も含めて新材料探索のためのより普遍的な方策の議論がなされ、この中で、「現代の錬金術」や「ユビキタス元素戦略」（汎用元素から新機能を見いだす元素の戦略的利用）等の考えが、細野秀雄教授（東京工業大学）らによって検討された。

これらの議論を集約する形で、「元素戦略」検討会（平成18年5月）<sup>7)</sup>が、村上正紀教授（京都大学）をコーディネーターとして開催された。この検討会は、経済産業省や文部科学省の協力も得て行われ、両省の連携をより深める要因にもなったと考えられる。これまでの数回のワークショップ、検討会を通じて形成されてきた「元素戦略」のコンセプトは、本検討会において初めて具体的議論に入ったと言える。現代の多くの科学技術が問題解決型であり、社会からの求めに応じて解を提供する活動が目的指向として尊重されているが、一方、新しい科学技術の世界を創出することを視野に入れた活動も極めて重要であることが、本検討会で示された。

## 8-2 政府内の動き

### 8-2-1 内閣府

第3次科学技術基本計画の分野別推進戦略において、希少資源代替研究の重要性が戦略重点科学技術として明示された。この分野別推進戦略は、重点4分野（ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料）及び推進4分野（エネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティア）に対して策定され、今後5年間で集中投資すべき課題を「戦

略重点科学技術」として挙げている。

この中で、ナノテクノロジー・材料分野の分野別推進戦略の策定の発端は、内閣府総合科学技術会議に有識者議員の勉強会として組織された「ナノテクノロジー構想検討会（平成16年9月～平成17年5月・細野秀雄主査（東京工業大学）」と、「材料分野研究開発検討会（平成16年12月～平成17年5月・岡田益男主査（東北大学）」まで遡る。これらの検討会を受けて、「ナノテクノロジー・材料合同検討会（平成17年4月～平成17年5月）」<sup>9)</sup>が開催された。この3つの検討会の結果として、「ナノテクノロジー・材料分野の研究推進に関する意見集約」<sup>9), 10)</sup>が平成17年8月に策定された。これが、分野別推進戦略のたたき台になったとも言えるものである。この中で、「True Nano」の考えや、「希少資源代替」等の原案が謳われている。

その後、「ナノテクノロジー・材料分野推進戦略プロジェクトチーム（平成17年12月～平成18年3月、阿部博之座長（総合科学技術会議議員・東北大学名誉教授）、中村道治主査（株式会社日立製作所副社長）」が内閣府総合科学技術会議基本政策専門調査会の中に組織され、ナノテクノロジー・材料分野の分野別推進戦略<sup>3)</sup>が策定された。

## 8-2-2 経済産業省

経済産業省においては、第3期科学技術基本計画の分野別推進戦略の検討状況を踏まえ、「レアメタル戦略調査委員会（平成18年2月～3月）」<sup>11)</sup>が開催された。この委員会には文部科学省やJSTも参加し、省を横断する取り組みであることが内外に示された。ここでは、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）や産業技術総合研究所が中心となり、レアメタルの需給や国際状況の綿密な調査の基に、タングステン、インジウム、レアアース等に当面のターゲットを絞る議論がなされた。この委員会の議論を受けて、「希少資源代替材料開発プロジェクト」として、平成19年度の施策として結実した。経済産業省は中長期的な視野で希少金属種を重要視する活動を行っており、国家備蓄を始めとする安定供給に向けた種々の取り組みが、資源エネルギー庁や石油・天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）等を中心に継続的になされている。「希少資源代替」等への取組みはその大きな流れの中に位置付けられるが、一方、産業志向の強い経済産業省において基礎的な研究も重視する画期的な取組みでもある。また、産業技術総合研究所においても、「レアメタルタスクフォース」が分野横断的に組織され、積極的な取組がなされている。

### 8-2-3 文部科学省

文部科学省においては、「ナノテクノロジー・材料委員会（平成17年12月）」において最初の公の議論が行われた。有識者等への綿密な聞き取り調査、JSTが行ってきた各種検討や「元素戦略」検討会（平成18年5月）、各学協会への働きかけの取り組み等が行われた。また、ナノテクノロジー・材料委員会内に、「元素戦略検討会」が平成18年10月に組織された。コンセプトの更なる具体化に向けて、ナノテクノロジー・材料委員に加えて、経済産業省、NEDO、JST、各学協会、企業等から参加者を得て、今後へ向けた議論が行われている。さらに、日本化学会、応用物理学会、日本金属学会、日本鉄鋼協会を始めとする各学協会内でも自発的に議論が行われ、施策の形成に大きく貢献している。これらを基に、分野別推進戦略の内容も受けつつ、「元素戦略」プロジェクトとして平成19年度の施策として結実した。また、物質・材料研究機構においても、「元素戦略勉強会」が組織横断的に構成され、活発な議論が展開されている。

現在検討されている施策は、元素種を具体的に示さず、分野を横断的に捉え、独創的かつ基盤的なテーマに取り組むことを特徴とする。考え方によっては、「元素戦略」はナノテクノロジーと同じかそれを凌駕するほどの規模を持つという可能性を視野に入れて議論がなされている。

### 8-2-4 関係府省の連携について

内閣府総合科学技術会議のナノテクノロジー・材料分野関連の各会合や委員会には、関係各省も同席しており、席上で各委員と多くのやりとりが行われた。特に第3期科学技術基本計画へ向けた初期の議論を行った「ナノテクノロジー構想検討会」や「材料分野研究開発検討会」においては、府省からの出席者の議論も非常に積極的に行われ、省を横断して取り組む理解が広まったのだと考えられる。最終的に、「ナノテクノロジー・材料分野推進戦略プロジェクトチーム」の会合後に文部科学省と経済産業省との話し合いが行われ、「希少資源代替」等の施策や企画に関して、構想段階から歩調を合わせ協力して推進していくことが合意された。

既に述べたように、経済産業省や文部科学省における施策立案が、極めて緊密な連携の下、同時並行で進められている。両省の委員会に相互乗り入れの形で関係者が出席し、多くの考えが共有されている。

さらに、内閣府、文部科学省、経済産業省が合同で全体像を議論する委員会（「元素戦略・希少金属代替材料研究開発合同戦略会議」）が立ち上がり、府省を横断する議論が開始された。この合同戦略会議が主催する形で、「元素戦略・希少金属代替材料研究開発 公開シンポジウム」も開催された。

その上で上述のように、文部科学省、経済産業省の両省において、平成

19年度の施策として実施されるに至った。両省からの合同公募として、合同説明会、審査委員会への相互乗り入れや合同戦略会議での合同採択発表まで行われ、今後の府省連携のひな型になるような取り組みとなった。

両省の施策の内容をしてみると、経済産業省は元素種を決めた取り組み、いわば縦串で、文部科学省はそれらを横断し、基盤を固める横串のような位置付けになっている。今後も、施策の進捗に応じて、柔軟に相互交流や相互乗り入れが図られる予定である。

「元素戦略」とは

「元素戦略」に  
投資する意義具体的な  
研究開発課題研究開発の  
推進方法科学技術上の  
効果社会・経済的  
効果時間軸に  
関する考察

検討の経緯

参考文献

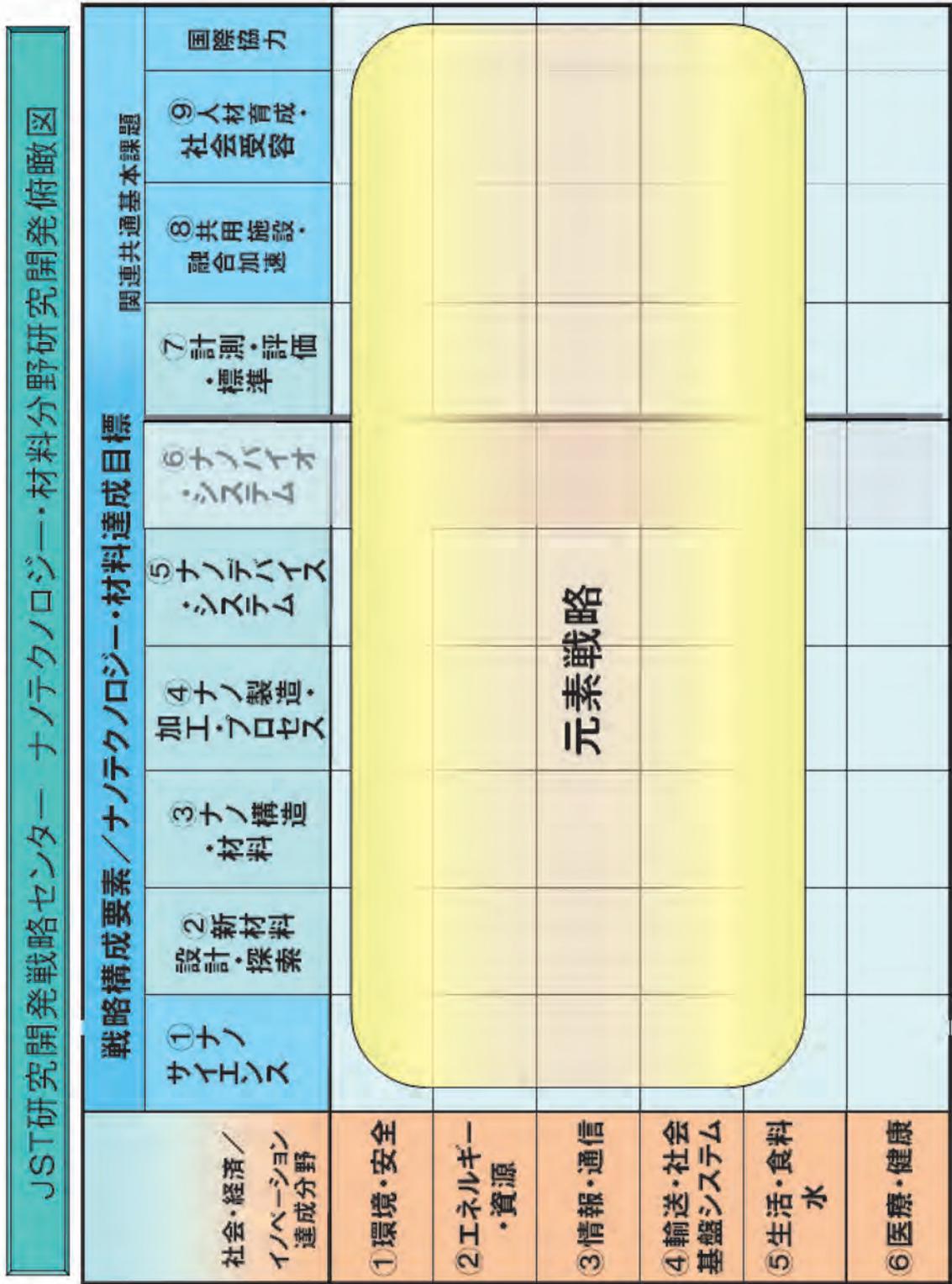
付録

## 参考文献

- 1) 細野秀雄, 工業材料, 5, 30-36 (2005).
- 2) Y. Furubayashi, T. Hitosugi, Y. Yamamoto, K. Inaba, G. Kinoda, Y. Hirose, T. Shimada, and T. Hasegawa, APPLIED PHYSICS LETTERS, 86, 252101 (2005)
- 3) “第3期科学技術基本計画” 例えば 内閣府総合科学技術会議ホームページ等
- 4) “科学技術未来戦略ワークショップ(夢の材料の実現へ) 報告書”、JST 研究開発戦略センター編 (2005) (CRDS-FY2005-WR-03)
- 5) “俯瞰ワークショップ(ナノテクノロジー・材料分野トップ有識者会合) 報告書” JST 研究開発戦略センター編 (2005) (CRDS-FY2005-WR-09)
- 6) “科学技術未来戦略ワークショップ(新材料設計・探索) 報告書” JST 研究開発戦略センター編 (2006) (CRDS-FY2006-WR-01)
- 7) “「元素戦略」検討会報告書” JST 研究開発戦略センター編 (2006) (CRDS-FY2006-WR-05)
- 8) 例えば、“非鉄金属資源の安定供給確保に向けた戦略” 資源戦略研究会報告書, 資源エネルギー庁 (2006)
- 9) ナノテクノロジー・材料合同検討会, “ナノテクノロジー・材料分野の研究推進に関する意見集約”, 内閣府総合科学技術会議ナノテクノロジー・材料分野推進戦略プロジェクトチーム(第2回) 資料, 内閣府総合科学技術会議ホームページ
- 10) 森本立男, 藤居俊之, 鈴木博之, 梶原将, マテリア, 45, 125-130 (2006)
- 11) “各種レアメタルに関するリスク評価及び重要元素に関する需給の現状と課題” NEDO 平成 17 年度調査報告書 (2006)

# 付 録

JST 研究開発戦略センターにおける、ナノテクノロジー・材料分野研究開発俯瞰図



「元素戦略」とは

「元素戦略」に投資する意義

研究開発課題 具体的な研究開発課題

研究開発の推進方法

科学技術上の効果

社会・経済的効果

時間軸に関する考察

検討の経緯

参考文献

付 録

**戦略イニシアティブ**

**「元素戦略」**

**CRDS-FY2007-SP-04**

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

平成19年10月

---

〒102-0884 東京都千代田区二番町3番地

電話 03 (5214) 7481

ファクス 03 (5214) 7385

<http://crds.jst.go.jp/>

平成19年10月

©2007 JST/CRDS

許可なく複写・複製することを禁じます。  
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

---