

## 我が国の研究の生産性を高める研究アプローチとは？

### 研究手法

これから主流となるニーズから発想した設計、機能発現の原理の理解に基づく研究手法の強化が必要である。いわゆる「機能設計」を行う。

- 原子分子レベルからナノ・メソスケールに至る機能発現の階層構造の定量的理解に基づく機能設計
- 第1原理シミュレーション、先端計測、高度製造技術、コンビナトリアル等、研究手法の融合・統合利用
- 電子分布、電子軌道の制御による機能の理解・創出
- 産業ニーズから機能ニーズに落とし込む目標設定

### 研究体制

異なる分野の研究者の力を活用することによって、重要な分野の成長を加速することが必要である。単に資金を集中するだけではなく、知見を総合してテーマが広がっていく、分野融合を促す仕組み作りが必要。

- 異分野の研究者からなるチームを形成
- 研究者が新しい研究分野に挑戦することを促す制度
  - 当該分野の実績がない研究者のチャレンジも認めるファンディングの仕組みや人事制度
  - 他分野への展開も出来る研究者の育成

# 米国エネルギー省“Center for Inverse Design”

- エネルギー省の国立再生可能エネルギー研究所<sup>(注1)</sup>が設置したEFRC<sup>(注2)</sup>内のセンター

設立目的 <sup>*1,2</sup>	逆設計という、目的に見合った特性をもつ新材料を量子理論、高パフォーマンスコンピュータを用いて意図的に設計する(下図)。
研究対象 <sup>*2</sup>	<input type="checkbox"/> 一般的な半導体で、光学特性、電気特性を有するもの。特に以下の機能を有するもの。 <ul style="list-style-type: none"> <li>● 電子/ホール伝導性の透明性伝導体</li> <li>● 太陽光吸収体</li> <li>● エネルギー安定性をもつナノ構造</li> </ul>
代表的なパートナー <sup>*1</sup>	Northwestern University, Oregon State University, SLAC National Accelerator Laboratory
費用に関する情報	<input type="checkbox"/> 国内の46の研究機関にエネルギーフロンティア研究センターが設置され、全体で3億7,700万US\$を支出。内、2億7,700万US\$は連邦政府の緊急経済対策、残りはエネルギー省の年度予算による。 <sup>*3</sup> <input type="checkbox"/> エネルギー省は、太陽エネルギーのための新材料開発に5年間で2,000万US\$を支出予定と発表。 <sup>*3</sup> <input type="checkbox"/> 2010年度の国立再生可能エネルギー研究所の予算は、3億1,100万US\$(資料では、議会の承認前となっている)。 <sup>*4</sup> <input type="checkbox"/> 2011年度のエネルギー省の予算要求額は284億US\$。内、エネルギー効率と再生エネルギー対策(EERE)は24億US\$。 <sup>*5</sup> <input type="checkbox"/> 2012年度のエネルギー省の予算要求額は295億US\$。内、エネルギー効率と再生エネルギー対策(EERE)は32億US\$。2010年度の支出額22億US\$を44%上回った。 <sup>*6</sup>

(注1)国立再生可能エネルギー研究所(National Renewable Energy Laboratory:NREL)

(注2)エネルギーフロンティア研究センター(Energy Frontier Research Center:EFRC)

出典: A TCTATAAGA

\*1 “DOE to establish Energy Frontier Research Center at NREL”,  
<http://www.nrel.gov/news/press/2009/693.html>

\*2 “Center for Inverse Design”, <http://centerforinversedesign.org/>

\*3 “Business Journal – NREL gets \$20M from DOE for solar”,  
[http://centerforinversedesign.org/pdfs/business\\_journal\\_nrel\\_solar.pdf](http://centerforinversedesign.org/pdfs/business_journal_nrel_solar.pdf)

\*4 “Obama budget proposal increases annual NREL funding by 8 percent”,  
<http://coloradoindependent.com/28500/obama-budget-proposal-increases-annual-nrel-funding-by-8-percent#>

\*5 “US Government Budget Proposals Increase Clean Energy Funding”,  
<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2010/02/us-government-budget-proposals-increase-clean-energy-funding>

\*6 “DOE Requests \$3.2 Billion for Renewable Energy, Efficiency in FY 2012”,  
<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2011/02/doe-requests-3-2-billion-for-renewable-energy-efficiency-in-fy-2012>

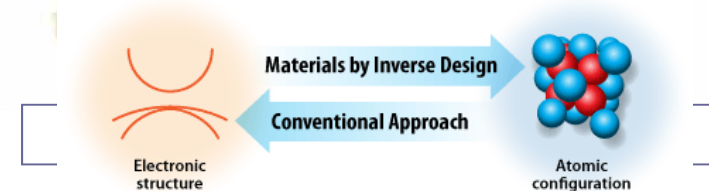
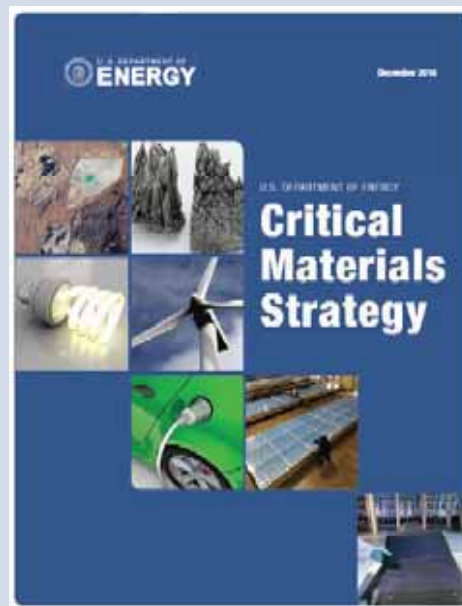


図 逆設計によるアプローチ (the materials by inverse design) と慣習的なアプローチ (the conventional approach) の比較<sup>\*2</sup>

## 米国“Critical Materials Strategy(重要物質戦略)”

- 米国エネルギー省 (DOE) が2010年12月15日に発表した戦略レポート
  - レアアースの一部を含む鉱物(14種類)を対象に広範な分析、評価を実施。
    - ランタン、セリウム、プラセオジウム、ネオジウム、サマリウム、ユウロピウム、テルビウム、ジスプロシウム、イットリウム、インジウム、ガリウム、テルル、コバルト、リチウム
  - 特に風力発電、電気自動車、太陽電池、高効率蛍光灯の4つの技術で用いられる重要材料に焦点。
  - 重要物質の国内生産の許可、国家備蓄、外交分野などに関して提言。
  
- クリーンエネルギー技術としての需要および供給リスクの観点から重要度が極めて高い物質(6種類)
  - ジスプロシウム、ネオジウム、テルビウム、ユウロピウム、イットリウム、インジウム (Dy,Nd,Tb,Eu,Y,In )



- ・クリーンエネルギー技術における重要材料の利用
- ・重要材料の歴史的な供給、需要及び価格
- ・米国政府内の既存プログラム
- ・他国での材料戦略
- ・供給需要予測
- ・プログラム及び政策の方向性
- ・元素別評価、市場占有率仮定及び材料内容推測

- ・第111回レアアース議会及び重要材料法
- ・2010 TREM会議
- ・クリーンエネルギー技術のレアアース元素研究開発における日米討論会議題
- ・未来のクリーンエネルギーのためのレアアース及び他の重要材料に関する大西洋ワークショップ
- ・ARP-Aワークショップ議題

# 米国“Materials Genome Initiative”

- 米国NSTCより2011年6月末に発表した戦略レポート
  - 実験室での新材料の発見から、開発、製造までのスピードを2倍にする野心的計画。
  - 材料設計技術、コンピュータ能力の向上、データ管理、の統合的アプローチによる。
  - 特に計算科学と分析技術がkey
  - 材料開発のインフラ、データ共有、解析。
- Genomeに「設計図(情報を含んでいる)」の意味を持たせている
  - 遺伝子を実際に使うとは言っていない。
- 国家の競争力維持、先端材料の発見に資する。
- クリーンエネルギー、国家安全保障、生活向上、のために必須。
- Materials Deployment という表現を使用。
- FY2012予算要求
  - \$100million
  - DOE, DOD, NSF, NISTが対象



出典:U.S. NSTC: “Materials Genome Initiative ” (June, 2011) を元にJAT研究開発戦略センターが作成

Center for Research and Development Strategy - JST



独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター



# 元素戦略関連記事の例

「元素戦略」が初めて提唱された、JSTワークショップの記事

NATURE MATERIALS 2011年3月

commentary

## Managing the scarcity of chemical elements

The issues associated with the supply of rare-earth metals are a vivid reminder to all of us that natural resources are limited. Japan's Element Strategy Initiative is a good example of a long-term strategy towards the sustainable use of scarce elements.

Eiichi Nakamura and Kentaro Sato

For chemists and materials scientists, the period from the 1960s to the 1980s was an era when pioneers were racing through the unexplored and fertile wilderness of the periodic table, searching for treasure suitable for technical applications. Indeed, a number of new materials found in this "element hunt" have been successfully used in high-tech products that now play an indispensable role in our lives. The element hunt was not only prevalent in materials science, but was also being hotly pursued in the field of synthetic organic chemistry. For example, in the palladium-catalysed organic synthesis process developed at that time by Heck, Negishi and Suzuki, for which they were awarded the 2010 Nobel prize in chemistry, the properties of palladium, zinc and boron are used to

the full. These functions cannot easily be provided by other elements. A few decades on, we are in a crisis, as the seeming abundance as well as availability of many elements turns out to be an illusion. One of the most imminent issues to have drawn attention is that of the rare-earth elements. The properties of these elements are similar, but their uses and outputs differ. Cerium is essential for the glass-polishing process in lens manufacturing, neodymium and dysprosium in manufacturing strong magnets, and yttrium and europium as laser light sources. Although, contrary to their name, rare earths are not that rare in the Earth's crust, their supply is limited. China, which produces 97% of all rare-earth elements<sup>1</sup>, has gradually reduced its export quotas

and at the same time raised export taxes. In September 2010, the country announced a 40% reduction in rare-earth exports, and in December, an increase in tariff rates caused a shock throughout the world. In response, the United States decided to reopen the Mountain Pass mine<sup>2</sup> and Japan, one of the largest consumers of rare-earth metals, started emergency efforts to develop mineral veins through international cooperation. Other countries are also taking various measures to address the situation. Concerns are not just limited to these rare earths. Phosphorus, which is not generally regarded as scarce, is one of the elements considered to be in possible danger of depletion. One report<sup>3</sup> indicates that if the population continues to increase and the global economy continues to grow at the current pace, the quantity of phosphate ore that is available for mining might become depleted in the next 50 years. A shortage of phosphorus fertilizer would cause significant damage to agriculture, resulting in an immediate food crisis. As phosphate ore is also widely used for industrial purposes such as in incombustible materials, rust-prevention agents and food additives, a wide range of industries would not be able to continue their operations if the supply stopped. From 2006 to 2008, the price of phosphorus rose sharply because of the biofuel boom and the Sichuan earthquake in China, which occurred near phosphate mines<sup>4</sup>. It seems likely that the supply of phosphorus will never be without significant economic risk in the future. Some rare elements are not only scarce in their output but also imbalanced in their distribution among countries, making the issues more complicated. For example, the production of platinum group metals, important as catalysts, is concentrated in South Africa and Russia; niobium, which is used as a steel additive, is mostly produced in Brazil and Canada. The tantalum used in capacitors is almost exclusively produced in Australia and Brazil.



Figure 1 | Science and Technology Future Strategies (a Materials Science division) Workshop participated in by leading Japanese materials scientists, held in April 2004 in Hakone (Japan). Front row includes the author (E.N.) (third from right), Kohei Tamao, representative coordinator of the workshop and current director of the RIKEN Advanced Science Institute (sixth) and Shuji Murai, president of the workshop and Principal Fellow in Chemistry/Materials Science at the JST (seventh); second row includes Koichi Kitazawa, the current President of JST (fourth from right), and Hideo Hosono (seventh from right).

朝日新聞 社説 2011年2月10日

### 元素戦略

少し加えるだけで磁石の力を強めたり、光を出したり、レアアース（希土類）はまるで魔法のような元素だ。その魔法は、ハイブリッドカーのモーターやさまざまな電子部品など、日本が得意とするハイテク製品に欠かせない。だが困ったことに量が限られ、また主要な産出国である中国が輸出を制限し始め、価格が急騰している。天然資源が乏しい日本にとって、深刻な問題だ。

もし、地球上で最もありふれた元素である鉄で、その魔法を実現できたらどうだろう。それこそ夢のような話だが、決して夢ではないかもしれない。科学者たちが「元素戦略」と銘打って、「元素をよこごん研究する」として、新たな機能を引き出したり、希少な元素の代替をしたりする研究を進めようとしている。文部科学省、経済産業省なども後押しし、3月にはシンポジウ

ムが開かれる。大いに進めてほしい。決してやさしくないが、困難だからこそ挑戦したいという研究者もいるはずだ。資源の制約は希土元素に限らない。たとえば、植物に必須のリン酸である窒素、リン酸、カリウムのうち、空気中の窒素を使って工場での肥料にできる窒素を除けば、資源はやはり限られている。とりわけリン酸については、中国が原料となるリン鉱石の輸出を制限し始めている。液晶パネルに欠かせないインジウムなどのレアメタル（希少金属）も、むろん資源は限られている。銅などのこともありふれた元素も代替が難しく、盗難が相次ぐ事態になっている。こうした材料をめぐる技術は、産業界も含めて日本のお家芸だ。たとえばハイブリッドカーにも欠かせない、レアアースであるネオジムを使った強力な磁石は1980年代、住友特殊金属

## 資源の制約に知恵で挑む

（当時）の佐川真人さんが世界に先駆けて開発した。細野秀雄・東工大教授は、鉄を使って超伝導物質を開発し、世界的に注目されている。しかし、安閑とはしていられない。物質・材料分野の重要論文の数では昨年、中国に抜かれてしまった。元素戦略は、日本の強みを生かしてさらに飛躍しようと、中村栄一・東大教授が2004年に提案した。大気中の窒素を肥料にする技術は19世紀末、「窒素肥料が足りなくなったから餓死者が出る。化学者は空気中の窒素を利用できるようにすべきだ」と英国の化学者が呼びかけた。東工大の細野さんは「意欲のある若い研究者にぜひ挑戦してほしい」という。地球の資源が有限であることを考えれば、元素をよこごん生かす研究は人類にとって重要だ。資源小国の日本から、この花を大きく咲かせたい。

大気中の窒素を肥料にする技術は19世紀末、「窒素肥料が足りなくなったから餓死者が出る。化学者は空気中の窒素を利用できるようにすべきだ」と英国の化学者が呼びかけた。東工大の細野さんは「意欲のある若い研究者にぜひ挑戦してほしい」という。地球の資源が有限であることを考えれば、元素をよこごん生かす研究は人類にとって重要だ。資源小国の日本から、この花を大きく咲かせたい。

大気中の窒素を肥料にする技術は19世紀末、「窒素肥料が足りなくなったから餓死者が出る。化学者は空気中の窒素を利用できるようにすべきだ」と英国の化学者が呼びかけた。東工大の細野さんは「意欲のある若い研究者にぜひ挑戦してほしい」という。地球の資源が有限であることを考えれば、元素をよこごん生かす研究は人類にとって重要だ。資源小国の日本から、この花を大きく咲かせたい。

## 我が国の「元素戦略プロジェクト」と「希少金属材料代替開発プロジェクト」

### ■ 第3期科学技術基本計画

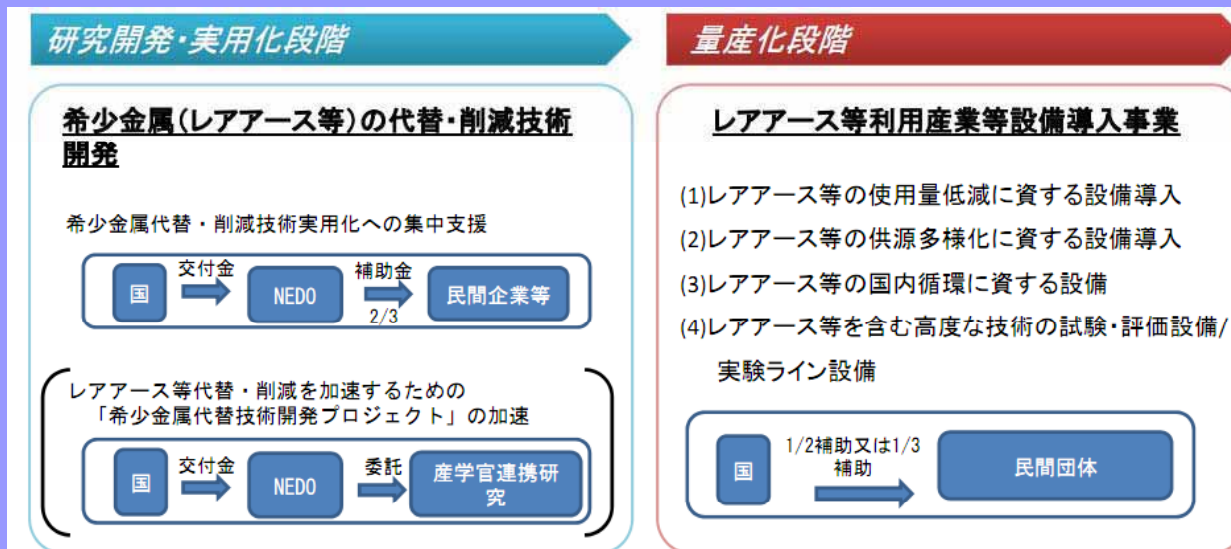
- 「ナノテク・材料分野」の「戦略重点科学技術」に位置づけ  
“資源問題解決の決定打となる希少資源・不足資源代替材料革新技術”

### ■ 文部科学省の取組:「元素戦略プロジェクト」

- 「物質・材料を構成し、その機能・特性を決定する元素の役割・性格を研究し、物質・材料の機能・特性の発現機構を明らかにすることで、希少元素や有害元素を使うことなく、高い機能をもった物質・材料を開発する。」
  - (ア) 豊富で無害な元素による代替材料の研究
  - (イ) 戦略元素の有効機能の高度活用
  - (ウ) 元素有効利用のための実用材料設計技術
- 具体的なファンディング
  - JST:戦略的創造研究推進事業(CREST、さきがけ)
  - JSPS:科学研究費補助金(時限付き分科細目)

## 我が国の「元素戦略プロジェクト」と「希少金属材料代替開発プロジェクト」

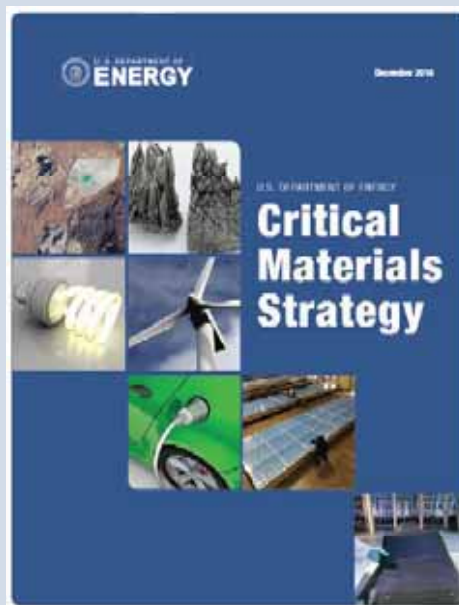
- 経済産業省の取組:「レアアース総合対策」
  - 代替材料・使用量低減技術開発
    - 代替材料技術開発の加速、国際共同研究協力の推進(国際クリーン・エネルギー技術協力)
  - 日本を世界のレアアース・リサイクル大国に
    - リサイクルに係る技術開発、設備投資促進等
  - レアアース等利用産業の高度化
    - レアアース等を利用した高度技術に係る産業の国内での安定的な事業継続を確保するため、レアアース等の供給リスクへの当該産業の耐性向上に必要な設備導入等を支援。
  - 鉱山開発・権益確保／供給確保
    - 中国以外の供給源の開発と権益確保の推進





## 米国“Critical Materials Strategy(重要物質戦略)”

- 米国エネルギー省 (DOE) が2010年12月15日に発表した戦略レポート
  - レアアースの一部を含む鉱物(14種類)を対象に広範な分析、評価を実施。
    - ランタン、セリウム、プラセオジウム、ネオジウム、サマリウム、ユウロピウム、テルビウム、ジスプロシウム、イットリウム、インジウム、ガリウム、テルル、コバルト、リチウム
  - 特に風力発電、電気自動車、太陽電池、高効率蛍光灯の4つの技術で用いられる重要材料に焦点。
  - 重要物質の国内生産の許可、国家備蓄、外交分野などに関して提言。
- クリーンエネルギー技術としての需要および供給リスクの観点から重要度が極めて高い物質(6種類)
  - ジスプロシウム、ネオジウム、テルビウム、ユウロピウム、イットリウム、インジウム (Dy,Nd,Tb,Eu,Y,In )



- ・クリーンエネルギー技術における重要材料の利用
- ・重要材料の歴史的な供給、需要及び価格
- ・米国政府内の既存プログラム
- ・他国での材料戦略
- ・供給需要予測
- ・プログラム及び政策の方向性
- ・元素別評価、市場占有率仮定及び材料内容推測

- ・第111回レアアース議会及び重要材料法
- ・2010 TREM会議
- ・クリーンエネルギー技術のレアアース元素研究開発における日米討論会議題
- ・未来のクリーンエネルギーのためのレアアース及び他の重要材料に関する大西洋ワークショップ
- ・ARP-Aワークショップ議題

## 米国 “Materials Genome Initiative”

- 米国NSTCより今年6月末に発表した戦略レポート
  - 実験室での新材料の発見から、開発、製造までのスピードを2倍にする野心的計画。
  - 材料設計技術、コンピュータ能力の向上、データ管理、の統合的アプローチによる。
  - 特に計算科学と分析技術がkey
  - 材料開発のインフラ、データ共有、解析。
- Genomeに「設計図(情報を含んでいる)」の意味を持たせている
  - 遺伝子を実際に使うとはっていない。
- 国家の競争力維持、先端材料の発見に資する。
- クリーンエネルギー、国家安全保障、生活向上、のために必須。
- Materials Deployment という表現を使用。
- FY2012予算要求
  - \$100million
  - DOE, DOD, NSF, NISTが対象



## 米国“Critical Materials Strategy”におけるプロジェクト内容

- レアアース材料と磁石の代替となりうる物質に関する研究費としてOffice of Science, ARPA-E, Office of Energyの3つの研究機関に2010年度1,500万US\$の支援を行う。
- レアアースを使用しない次世代バッテリーに関するプロジェクトに3,500万US\$の追加支援を行う (ARPA-E)。

部署	Office of Science	Advanced research projects Agency-Energy (ARPA-E)	Office of Energy, Efficiency and Renewable Energy
方針	他二部署に比べ、最も基礎科学的な研究を担う。	主に実行可能性調査及び技術開発実践を通じた応用研究を支援する。	主にバッテリー、太陽電池、照明の研究開発を支援する。
内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ The materials Science and Engineering Division:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● Office of scienceのBasic Energy Sciencesプログラムの1部門である。</li> <li>● 広範囲にわたる基礎材料調査を支援する。</li> <li>● 革新的デザイン、合成、プロセスを通じて材料特性と挙動、許容できるコストでの材料性能の改善など元素の基礎を明らかにすることを模索している。</li> <li>● こうした調査に対し2010年度は約500万US\$を支援する。</li> </ul> </li> <li>□ Ames Laboratory:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● Office of scienceの国立研究所である。元はマンハッタン計画の一環として設立された。</li> <li>● 物質合成と加工、現象論的挙動調査と特性評価を支援する。</li> <li>● 磁場によって温度、形状、電気抵抗が変化するレアアースの研究に重点を置いている。</li> <li>● 単結晶と多結晶の先進的な合成法を研究しており、とりわけ中性子散乱と磁気X線散乱、第一原理モデリングに焦点を当てている。</li> </ul> </li> <li>□ Material Preparation Center:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● エイムス研究所のプログラムである。</li> <li>● 純度の高い金属元素 (レアアース、ウラン、トリウム、バナジウム、クロム) と金属間化合物、耐火物、無機化合物と特殊合金の提供。</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ レアアース磁石の代替物質開発を目標とする2つの初期プロジェクトを支援している。                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 最終目標はネオジム鉄ボロンの2倍に及ぶ磁気エネルギー密度を持つ次世代永久磁石の開発 (440万US\$)。</li> <li>● GEが研究している重要なレアアースの含有率が低い次世代永久磁石の開発 (220万US\$)。</li> </ul> </li> <li>□ レアアースとクリティカル材料を含むバッテリー分野の課題に取り組んでいる。                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● とりわけハイブリッド車やEVといった交通輸送のための電力貯蔵バッテリーに関するプログラムを支援。(3,500万US\$)</li> <li>● 新バッテリー及び貯蔵性質、構造、技術についての初の実証試験。</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 高パフォーマンスで費用対効果の良い埋込磁石同期モータ (IPMSM) の製造法に焦点 (200万US\$)。                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 先進的電気自動車に役立てることを目標にしている。</li> </ul> </li> <li>□ 異方性磁石開発                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 高温で熱減磁しない、あらかじめデザインされた異方性磁石のためのレアアース合金の研究。</li> <li>● 短期的なニーズに応えるものであり、長期的ニーズのためにレアアースを用いない構成の磁石の開発もプロジェクトに含まれている。</li> </ul> </li> <li>□ 車両技術プログラム (合計140万US\$)。                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● レアアース永久磁石を使用しないモーターの設計 (Oak Ridge National Laboratory)。</li> <li>● 永久磁石モーターに匹敵する磁束結合モーターの開発。</li> </ul> </li> <li>□ その他の車両技術プログラムとしてリチウムイオン車両バッテリーのリサイクル施設を建設 (950万US\$)。</li> <li>□ 高磁束密度磁石開発による磁石サイズ縮小に関するプログラム (39万8,000US\$余り)。</li> </ul>

出典: U.S. Department of Energy: “Critical Materials Strategy” (Dec. 2010) を元に作成

# 米国NSF “Materials Research Science and Engineering Centers (MRSEC)”

## ■ National Science Foundation (NSF) のDivision of Materials Research (DMR) 内の研究・

<p>設立目的</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 学際的、複数の専門領域を対象とする材料の研究や教育を支援し推進する             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 材料に関して知的な面及び技術的な面において重要である基本的な研究トピックが対象</li> <li>● 大学と他のセクター間の連携を推進することで国の優先的な課題に貢献する</li> <li>● 大学ベースの研究センターによって規模及び学際性の利点を追求する</li> </ul> </li> <li>□ 当該大学内だけでなく、他機関や他のセクターと連携して学際的な教育と人材開発を促進</li> <li>□ 参加者間の知の移転の促進</li> <li>□ 大学ベースの研究とその応用との間でリンクを強化すべく産業界との連携</li> <li>□ 国際的な研究協力と教育活動を立ち上げるための効果的なエフォートの推進、セミナーの開催</li> </ul>
<p>研究対象</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 9つの研究群に分類している             <ul style="list-style-type: none"> <li style="width: 50%;">● 生体分子 / 生物模倣材料</li> <li style="width: 50%;">● ナノ構造 / ナノ粒子</li> <li style="width: 50%;">● 物性物理学</li> <li style="width: 50%;">● 高分子</li> <li style="width: 50%;">● エネルギー / 持続可能性</li> <li style="width: 50%;">● 半導体 / フォトニクス / 有機エレクトロニクス</li> <li style="width: 50%;">● 材料力学</li> <li style="width: 50%;">● 軟質材料 / コロイド</li> <li style="width: 50%;">● 強磁性強誘電体 / 磁性体 / スピントロニクス</li> </ul> </li> <li>□ MRSECに参加している大学・研究機関が学際的な研究グループInterdisciplinary research groups (IRGs)として、上の9つの研究群の1つまたは複数に所属し、活動することとなる             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 小規模の研究機関は通常1つの材料の特定のトピックに関するIRGから構成される</li> <li>● 大規模な研究機関になると複数のIRGを含み、研究と教育のより広いプログラムを実施する</li> </ul> </li> </ul>
<p>研究拠点</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 米国内の大学27校が協力</li> <li>□ それぞれの大学が36個のカテゴリーの施設 (CVD・原子プローブ・電子顕微鏡など) を共有しあう</li> </ul>
<p>予算と支援制度</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ DMRの予算の20～25%程がMRSECに割かれている、2009年度は6700万ドル             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 予算規模の大きさを反映して、研究プログラムは非常に膨大な選考過程を経て、慎重に選ばれる</li> <li>● 補助は最大6年間であり、評価次第で最大2期分延長される。プログラムの延長も他の新規提案と同列に選考を受けなければならず、毎年幾つかのセンターは打ち切り (フェードアウト) になり、新規のものに入れ替わっている</li> </ul> </li> </ul>
<p>評価</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 評価委員: MRSEC成果評価委員20名、固体科学委員14名、物理・天文科学委員19名</li> <li>□ 評価項目: 研究、施設、教育・アウトリーチ、企業連携、技術移転などの10年間の実績</li> <li>□ 評価結果: 目標に対し機能している。離散的なセンター間の協力が不十分、支援予算額はインフレ率を考慮すると、10年間で10%減少</li> <li>□ 勧告: 今後10年間に予想される材料研究の質的な変化に対応するためにセンター機能の強化には、リソースのより効率的な利用とプログラムの再構築が必要</li> </ul>

## 米国エネルギー省“Center for Inverse Design”

- エネルギー省の国立再生可能エネルギー研究所<sup>(注1)</sup>が設置したエネルギーフロンティア研究センター<sup>(注2)</sup>。

設立目的 <sup>*1,2</sup>	逆設計という、目的に見合った特性をもつ新材料を量子理論、高パフォーマンスコンピュータを用いて意図的に設計する(下図)。
研究対象 <sup>*2</sup>	<input type="checkbox"/> 一般的な半導体で、光学特性、電気特性を有するもの。特に以下の機能を有するもの。 <ul style="list-style-type: none"> <li>● 電子/ホール伝導性の透明性伝導体</li> <li>● 太陽光吸収体</li> <li>● エネルギー安定性をもつナノ構造</li> </ul>
代表的なパートナー <sup>*1</sup>	Northwestern University, Oregon State University, SLAC National Accelerator Laboratory
費用に関する情報	<input type="checkbox"/> 国内の46の研究機関にエネルギーフロンティア研究センターが設置され、全体で3億7,700万US\$を支出。内、2億7,700万US\$は連邦政府の緊急経済対策、残りはエネルギー省の年度予算による。 <sup>*3</sup> <input type="checkbox"/> エネルギー省は、太陽エネルギーのための新材料開発に5年間で2,000万US\$を支出予定と発表。 <sup>*3</sup> <input type="checkbox"/> 2010年度の国立再生可能エネルギー研究所の予算は、3億1,100万US\$(資料では、議会の承認前となっている)。 <sup>*4</sup> <input type="checkbox"/> 2011年度のエネルギー省の予算要求額は284億US\$。内、エネルギー効率と再生エネルギー対策(EERE)は24億US\$。 <sup>*5</sup> <input type="checkbox"/> 2012年度のエネルギー省の予算要求額は295億US\$。内、エネルギー効率と再生エネルギー対策(EERE)は32億US\$。2010年度の支出額22億US\$を44%上回った。 <sup>*6</sup>

(注1)国立再生可能エネルギー研究所(National Renewable Energy Laboratory:NREL)

(注2)エネルギーフロンティア研究センター(Energy Frontier Research Center:EFRC)

出典: A TCTATAAGA

\*1 “DOE to establish Energy Frontier Research Center at NREL”,  
<http://www.nrel.gov/news/press/2009/693.html>

\*2 “Center for Inverse Design”, <http://centerforinversedesign.org/>

\*3 “Business Journal – NREL gets \$20M from DOE for solar”,  
[http://centerforinversedesign.org/pdfs/business\\_journal\\_nrel\\_solar.pdf](http://centerforinversedesign.org/pdfs/business_journal_nrel_solar.pdf)

\*4 “Obama budget proposal increases annual NREL funding by 8 percent”,  
<http://coloradoindependent.com/28500/obama-budget-proposal-increases-annual-nrel-funding-by-8-percent#>

\*5 “US Government Budget Proposals Increase Clean Energy Funding”,  
<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2010/02/us-government-budget-proposals-increase-clean-energy-funding>

\*6 “DOE Requests \$3.2 Billion for Renewable Energy, Efficiency in FY 2012”,  
<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2011/02/doe-requests-3-2-billion-for-renewable-energy-efficiency-in-fy-2012>

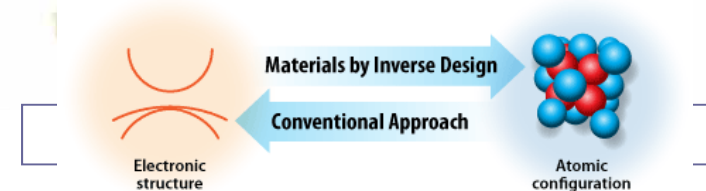


図 逆設計によるアプローチ (the materials by inverse design) と慣習的なアプローチ (the conventional approach) の比較<sup>\*2</sup>

## 米国“Critical Materials Strategy”からみた各国の資源戦略

国	目標	事業方針	研究開発方針	関心のある物質	その他
日本	国内産業のため、原料の安定供給を確保する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 国際的鉱物探査への資金面での支援</li> <li>- 高リスクの鉱物プロジェクトへの債務保証</li> <li>- 備蓄</li> <li>- 情報収集</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- METIとMEXTの資金提供による代替物質調査</li> <li>- JOGMECの資金提供による探査、採掘、製錬、安全性調査</li> </ul>	Ni, Mn, Co, W, Mo, V	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 政策: METI、実施: JOGMEC, JBIC</li> <li>- JOGMECの活動内容</li> <li>- 事例: ベトナム(豊田通商)、カザフスタン(住友商事)</li> <li>- 調査プロジェクトへの資金面での支援: METI, MEXT, NEDO</li> </ul>
EU	物質の潜在的な供給不足による欧州経済への影響を制限する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 国際的な公開市場についての鉱物貿易方針</li> <li>- 情報収集</li> <li>- 土地許可の合理化</li> <li>- リサイクル規制の推進</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 応用による物質効率の向上</li> <li>- 代替物質の特定</li> <li>- 製品回収とリサイクル・プロセスの向上</li> </ul>	Sb, Be, Co, Ga, Ge, In, Mg, Nb, REEs, Ta, W, 蛍石, グラファイト、(PGMs) * 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 供給不足の影響を制限するため、欧州委員会はRaw Materials Initiativeを立ち上げ、同イニシアチブの3本柱は以下の通り。</li> <li>・国際市場での原材料へのアクセスを維持: WTO貿易方針などの強化</li> <li>・原料の持続可能な国内供給促進のためのEUの枠組み構築</li> <li>・原料使用の削減のため、資源効率とリサイクルの増加</li> <li>- 最近、クリティカル物質の評価調査を公表。41物質のうち14物質を特定。</li> <li>- 欧州委員会は、深海鉱業、代替物質、クリティカル物質のリサイクルと回収に関して、少なくとも3,450万US\$の資金提供を求める予定。</li> </ul>
中国	産業強化、過剰生産緩和、違法貿易の削減を通じた国内利用のための原料の安定供給維持。	<ul style="list-style-type: none"> <li>- レアアース輸出への関税と割当</li> <li>- 海外企業のレアアース採掘禁止</li> <li>- 産業強化</li> <li>- 価格枠組みの統一化</li> <li>- 生産割当</li> <li>- 2011年中頃まで新規鉱業権の一時停止</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- レアアース分離技術と新規レアアース機能素材の模索</li> <li>- レアアース冶金: レアアースの光学、電気、磁性特性、レアアースの基礎理化学</li> </ul>	Sb, Sn, W, Fe, Hg, Al, Zn, V, Mo, REEs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- レアアース業界への管理を強化している一方、違法採掘、密輸など数多くの課題が残っている。</li> <li>- 環境及び鉱業規制は地域によって異なり、レアアース鉱山に関連し重大な環境悪化につながっている。</li> <li>- 中国政府は、国内資源保護のため、相当量の備蓄を計画中。2010年10月、Bautou Steel社が今後5年間で300,000tのレアアース獲得計画を報告。</li> <li>- 1950年代よりレアアースの研究開発を支援し、現在2つの主要な国家調査プログラムと4つの州研究所を支援。</li> </ul>
韓国	韓国主力産業にクリティカル物質の安定供給確保。	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 海外鉱山での韓国企業への資金面での支援</li> <li>- 資源豊富な国々との自由貿易協定またはMOU</li> <li>- 備蓄</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 最終製品のリサイクルリサイクル性のデザイン</li> <li>- 代替物質</li> <li>- 生産効率性</li> </ul>	As, Ti, Co, In, Mo, Mn, Ta, Ga, V, W, Li, REEs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 「レアメタルの安定調達計画」という政策計画では、希少元素の国内鉱山開発と1,200tのレアアース確保のため、2016年までに1,500万US\$を費やす予定。</li> <li>- 韓国では、11種の「戦略的にクリティカルな鉱種」を含め、56元素に関心がある鉱種として特定。</li> <li>- 4つのアプローチを通じて、輸入原料への高依存を減らそうとしている。</li> <li>- KORESは、2010年、海外鉱山の開発に2億8,520万US\$を費やす予定。</li> <li>- 研究開発に関しては、最終製品からの希少元素回収が特に重要とされている。</li> </ul>

## 米国“Critical Materials Strategy”からみた中国の資源戦略

政策目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 中国経済のために材料を安定供給する。</li> <li>● 国内資源の不法な採掘、過剰生産、密輸を減らす。</li> </ul>	
レアアース研究開発方針	<ul style="list-style-type: none"> <li>● レアアース精製、冶金技術及び、レアアースの新しい機能を模索する。</li> <li>● レアアースの光学・電気・磁性特性、レアアース基礎理化学を調査する。</li> </ul>	
レアアースに関する国家調査プログラム	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 863計画（国家ハイテク研究発展計画）</li> <li>● 973計画（国家重点基礎研究発展計画）</li> </ul>	
国家重点実験室の研究拠点	State Key Laboratory of Rare Earth Materials Chemistry and Applications（稀土材料化学及应用国家重点實驗室）	基礎研究と基礎からの応用を行っている。レアアースが他金属を伴って産出されるため高い純度で単体分離する方法の研究。新しい光・電気・磁気特性を持つように特徴付けたデザインの材料研究を行っている。
	Changchun Institute of Applied Chemistry（中国科学院长春应化所）	高分子材料と希少元素の研究と開発の中で勢力となること、基礎研究、応用研究、技術革新組み合わせ、最高の集学研究所と成長することを目的とする。
上記以外の研究拠点	Baotou Research Institute（包头稀土研究院）	レアアース冶金、環境保護、伝統的工業における新材料と特性について研究する。レアアースの分解、処理、新材料開発、非晶質・磁石・熱的性質・光学的性質など極めて多岐にわたる研究を実施している。
レアアース以外に関心のある物質	アンチモン、スズ、タングステン、鉄、水銀、アルミニウム、亜鉛、バナジウム、モリブデン	

## 中国 863計画・973計画

	863計画 (国家ハイテク研究発展計画)	973計画 (国家重点基礎研究発展計画)
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ ハイテク産業技術の開発を目的とした応用技術研究開発</li> <li>□ 鄧小平国家主席の決断で1986年3月に実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 将来の発展に役立つ基礎研究の強化</li> <li>□ 朱鎔基総理により1997年3月に実施</li> </ul>
目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 21世紀初頭に、ハイテク分野で世界レベルに追いつくこと               <ul style="list-style-type: none"> <li>● 選定した分野で自国の原始イノベーション能力と集積イノベーション能力を一層強化</li> <li>● 重点ハイテク産業の核心的競争力を大幅に向上させて国家のハイテク研究開発体系を形成する</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 基礎研究を推進することにより、国家経済と社会発展において生じる科学問題を深い次元と広い領域で解決</li> <li>□ 中国の自主イノベーション能力と重大問題の解決能力をより高め、国家の発展に科学的な支援を提供する</li> </ul>
予算	□2006年の予算執行額は38億元	□2006年の予算執行額は13.5億元
内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 情報技術、生物と医薬技術、新材料技術、先進製造技術、先進エネルギー技術、資源環境技術、海洋技術、現代農業技術、現代交通技術、地球観測と航行誘導技術など10分野</li> <li>□ 2008年度の希少元素研究としてはA2B7型希土類系水素吸蔵材料、希少元素高純度化技術、希少元素傾向材料、半導体用希少元素化学機械研磨剤、希少元素新材料、環境技術などが挙げられている。</li> <li>□ そもそも中国は1927年から60年代までの間は希少元素の競争上の優位性に関心を払っていなかったが、この863計画により長期戦略へと舵を切り、原石の採掘から、分離、加工、半製品の製造に至るまで希少元素の開発分野において恒久的な支配を目指すようになった。<sup>[1]</sup></li> <li>□ とりわけ中国希少元素の父と呼ばれる徐光憲の働きは大きく、次頁に示す稀土化学与物理重点实验室の前身を発足させ、包头稀土研究院を強化する体制を整えた。同様に次ページの稀土材料化学及应用国家重点实验室も徐光憲によって発足された。<sup>[1]</sup></li> <li>□ 鉍山周辺の自然環境と鉍山労働者の健康を犠牲にすることで価格競争力で優位に立ち、現在の地位を確立した。<sup>[1]</sup></li> </ul> <p>[1] ル・モンド・ディプロマティーク日本語・電子版2010年11月号より</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 農業、エネルギー、情報、資源環境、人口と健康、材料、複合分野、重要科学先端分野において重大科学研究計画が指定されている。               <ul style="list-style-type: none"> <li>● 材料分野において                   <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 「レアアース磁石とレアアース光学材料の基礎研究」として希少元素をテーマにした研究がある。未来の産業が求めるであろう材料機能のために結晶構造のような多階層の複合形状や微細構造、電子とエネルギーレベル、磁気特性、表面と界面などの材料機能を深く理解し、新しい材料を作ることとを目的としている。この研究は次頁の稀土材料化学及应用国家重点实验室が担うところが大きく、稀土化学与物理重点实验室も参画している。</li> </ul> </li> <li>● 重要科学先端分野において                   <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 「環境保護のための高品質で高効率な活用のための豊富なレアアース元素の基礎研究」がある。</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>



## 中国の希少元素研究拠点

施設	稀土材料化学及应用国家重点实验室 State Key Laboratory of Rare Earth Materials Chemistry and Applications	中国科学院长春应用化学研究所 Changchun Institute of Applied Chemistry (CIAC)	包头稀土研究院 Baotou Research Institute of Rare Earth (BRIRE)
背景	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 北京大学の系列下の国家重点実験室である</li> <li>□ 12の研究グループを持つ</li> <li>□ 1995年に設立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 6つの研究グループを持ち、3つが国家重点実験室</li> <li>□ その内の中科院稀土化学与物理重点实验室 (CAS Key Laboratory of Rare earth Chemistry and Physics) が希少元素の研究を行う</li> <li>□ CIACは1948年12月に設立、CAS Key Laboratory of Rare earth Chemistry and Physicsは1987年設立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 内モンゴル自治区包头市に置かれている</li> <li>□ 包头市は希少元素を豊富に産出する</li> <li>□ 1963年設立</li> </ul>
内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 5つの研究方針                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 中国の多様な希少元素の産出を受けて純粋かつ多量の重希土類抽出のために多成分系から成分抽出する一般的な理論の開発</li> <li>● 希少元素の光・電気・磁気特性と構造の相関性の研究とナノレンジ・形態学的 (morphology) な新しい構造制御方法の探究</li> <li>● 新しい希少元素錯体のデザイン・合成、膜状の機能性molecule-based材料と複合デバイスの研究とその応用</li> <li>● 希少元素中の電子構造の研究による希少元素機能材料の特性と挙動を説明するための相対論的汎密度関数に基づいた極めて正確な計算方法の確立</li> <li>● 分子デザインに基づいた抽出メカニズム理論の提供と様々な分光法による微細構造と希少元素を含む化合物の反応過程の研究</li> </ul> </li> </ul>	<p>CAS Key Laboratory of Rare earth Chemistry and Physics</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ 3つの研究方針                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 希少元素固体化学と物理                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 希少元素合成と欠陥、ルミネッセンスと分子工学、薄膜と界面、材料シュミレーションとデザイン、希少元素軽合金、ナノコーティングと微細構造</li> </ul> </li> <li>● 希少元素の生物無機化学とケミカルバイオロジー                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 希少元素化合物と生体分子間の特異的認識、蛋白質発現と核酸の化学、ハイスループットスクリーニングと薬剤メカニズム、生体分子の構造と機能の調節</li> </ul> </li> <li>● 希少元素分離化学                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ クリーンな希少元素分離技術、希少元素分離による化学と環境問題、希少元素調整と分離の統合</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>□ 5つの研究フィールド                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 希少元素ルミネッセンス化学</li> <li>● マグネシウム-希少元素合金の研究と応用</li> <li>● ガスタービンの遮熱コーティング材料</li> <li>● 低温バッテリーの正極材料</li> <li>● 希少元素と関連元素の生物無機化学とケミカルバイオロジー</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 18の研究トレンド                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 希少元素鉱物分解、分離、精製</li> <li>● 希少元素湿式精錬による廃棄物処理</li> <li>● 希少元素複合粉体材料</li> <li>● 希少元素触媒</li> <li>● 希少元素ファインケミカルと希少元素アシスタント</li> <li>● 蒸着フィルムコーティング材料</li> <li>● 希少元素の合金粉末、ワイヤー、ロッド、特殊形状材料</li> <li>● 希少元素永久磁石材料</li> <li>● アモルファス材料</li> <li>● 希少元素加熱材料</li> <li>● ルミネッセンス材料</li> <li>● 磁気冷凍材料</li> <li>● 磁気歪み材料</li> <li>● 水素吸蔵材料</li> <li>● 磁気応用材料</li> <li>● 希少元素精錬のための材料調製</li> <li>● 希少元素精錬のための設備開発</li> <li>● 解析とテスト方法の研究</li> </ul> </li> <li>□ 希少元素を含む酸化物や純粋金属、希少元素合金、NdFeBなどの生産物の販売も行っている</li> </ul>

## 米国“Critical Materials Strategy”からみた韓国の資源戦略

<b>研究開発方針</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 最終製品のリサイクル、リサイクル性デザイン:3項目のうち、特に重要とされている。韓国環境省は、“Policy for recyclability at the production”において、生産者としてリサイクルフレンドリーな製品をデザインすること、生産者自身がリサイクルの可能性についてテストと改良を行うこと、材料と構造に関するガイドラインの作成が望ましいとしている。</li> <li>● 代替物質の模索</li> <li>● 生産性効率の向上</li> </ul>	
<b>政策プロジェクト<sup>(*1)</sup></b>	“レアメタルの安定調達計画”（後述の希少金属素材産業発展総合対策のことか）において、国内鉱山開発と1,200tのレアアース確保のため、2016年までに1,500万US\$を費やす。	
<b>関心ある物質<sup>(*2)</sup></b>	ヒ素、チタン、コバルト、インジウム、モリブデン、マンガン、タンタル、ガリウム、バナジウム、タングステン、リチウム、希土類元素含む15種類の金属	
<b>韓国の希少元素関連の獲得情報詳細</b>	<b>政府</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 1,200tのレアアース確保のため、2016年までに1,500万US\$を費やす。</li> </ul>
	<b>韓国鉱物資源公社 (KORES)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● リチウム、ニッケル、ウラン、銅、マンガン獲得のため、アフリカとラテンアメリカに2億5,000万US\$を投資する予定である。</li> <li>● KORESと韓国の鉄鋼メーカーPOSCOは共同で、中国のYongxinレアアース金属会社の企業支配権を獲得。中国の輸出割り当てを無視して、合法的に直接購入できるようになった。</li> <li>● ボリビアでのリチウム鉱開発共同推進のため、KORESがボリビア国営鉱業公社とMOUを締結した。</li> </ul>
	<b>韓国生産技術研究院 (Korea Institute of Industrial Technology)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 40のコアテクノロジーに焦点をあて、研究を行う計画がある。</li> </ul>
	<b>その他</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● サムスン物産と鉄鋼メーカーPOSCOは、チリAtacama塩湖地区のリチウム鉱区の持分30%を確保。</li> </ul>

出典: DOE: “Critical Materials Strategy”, Chapter 6.5–Republic of Koreaを元に作成

\*1 DOEはAP通信”Nation wary of dependence on China’s rare earths”が出所と推測される。

\*2 Defense National Stockpile Centerが報告した”Reconfiguration of the National Defense Stockpile Report to Congress”が根拠と推測される。

## 韓国の希少元素確保戦略

- 韓国生産技術研究院 (KITECH) のJung-Chang Bae所長がAPS Workshop (2010/4/29) にて韓国の希少元素に対する確保戦略方針をプレゼンテーションしている。

### 1. 現状分析

- 1.1 レアメタルについて
- 1.2 韓国の現状分析
  - 1.2.1 産業
  - 1.2.2 技術
  - 1.2.3 産業構造

### 2. レアメタル確保戦略

- 2.1 天然資源の確保
- 2.2 研究開発の強化
  - 2.2.1 戦略的要素と重要コアテクノロジーの決定
  - 2.2.2 各セクションでのロードマップの作製
  - 2.2.3 レアメタル技術と研究開発プログラムのサポート

### 3. 代替材料の循環

- 3.1 ゴール・ターゲット・都市鉱山について
- 3.2 レアメタル流通の活性化

### 4. レアメタル産業のためのインフラの構築

- 4.1 レアメタル産業の政府委員会を組織
- 4.2 韓国レアメタルセンター (KRMC) を組織
- 4.3 レアメタル商業化センターの地域指定



## 韓国の希少元素に関する研究開発の強化方針

2009年12月に韓国知識経済部がレアメタル確保の方針として「希少金属素材産業発展総合対策」を発表した

- 2018年までに
  - リチウムやインジウムなどレアメタル10種の自給率を現在の12%から80%に引き上げる
  - 3,000億ウォン(約222億円)を投じ、レアメタル10種についての素材化やリサイクル関連の新技术40種類を開発する
    - リソース開発技術:7 材料技術:16 代替材料・リサイクル技術:7 製品技術:10 の計40技術
  - レアメタルを扱う企業を現在の25社から100社に増やし、技術の向上を図る
- 各セクションでのロードマップを作製する
  - 商業化に先立ち、供給者と需要先の間で(In,Ru,Rh,Pd,Os,Ir,Pt)の共同研究開発を行う
  - 先端産業のためにLi, RE, Tiの研究開発を国家が主導する
- レアメタル技術と研究開発プログラムのサポート
  - 戦略元素の需要の増加と低技術レベルに対応すべく精錬精製技術の研究開発
  - レアメタル素材化のためにプロセスと処理技術の開発を行う
  - レアメタル偏在と枯渇が懸念される戦略的要素6種類のために代替と削減技術の開発を行う
  - レアメタルリサイクル技術の研究を行う



## 韓国の希少元素確保戦略「代替材料 インフラ構築」

### ■ 材料の循環

ゴール・ターゲット・都市鉱山について

- 国内での効率的な材料利用の増加が目標
- 産業生産の間に生まれるスクラップのリサイクル
- 生産終了品 (e-waste) の削減とリサイクル
- 都市鉱山としての廃棄品収集とリサイクル

### ■ レアメタル流通の活性化

- リサイクルシステムを統制
  - 電化製品、自動車、副産品
- 効率的なレアメタル消費の促進
- 含有物表示制度の導入

- 6つの戦略元素のために携帯電話、デジタルカメラ、MP3プレーヤー、ナビゲーションなどのIT製品に“レアメタル表示制度”を義務付け

### ■ レアメタル産業のためのインフラの構築

レアメタル産業の政府委員会を組織

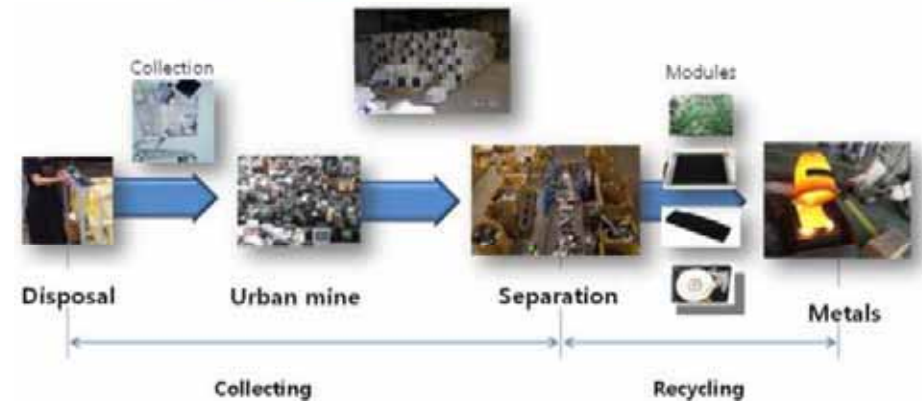
- 韓国政府のレアメタルポリシーの調整とコンサルティング
- 知識経済部、産業界、大学、研究機関がメンバーとなる

韓国レアメタルセンター (KMRC) を組織

- レアメタル戦術上の技術的問題点を決定
- 研究開発プログラムの統制

レアメタル商業化センターの地域指定

- 江原道(カンウォンド) : Mg, Ti
- 忠清道(チュンチョンド) : In, Pt
- 全南(チョンナム) : Mg, Ni



## 米国“Critical Materials Strategy”からみた欧州の資源戦略

<p>政策目標</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 国際的な競争相手として同じ状態で、世界市場で原材料の入手権を維持 (WTO貿易政策及び資源豊富国への開発援助提供の強化)。</li> <li>● 原材料の安定的な国内供給を促進するEU構成条件を設立 (加盟国間での鉱物安定供給の合同データ及び採掘規則の維持、採掘のための用地許可申請の簡素化、採掘及び加工の研究援助、鉱業科学のための大学教育プログラムの新設)。</li> <li>● 原材料の消費を減らすための資源効率とリサイクルの増進 (材料を削減した製品デザイン、全ての加盟国において生産終了製品の回収によるリサイクル、及び材料代替に関する基礎研究、資源ごみ輸出規制強化)。</li> </ul>
<p>研究開発方針 (*1,2)</p>	<p>欧州委員会は「深海採掘」「材料代替」「重要材料のリサイクル及び回収」の研究提案を求める計画を立てている。全ての研究における資金調達額は少なくとも3,450万US\$となる見込み。</p>
<p>関心のある物質 (*3)</p>	<p>欧州委員会は、ヨーロッパ経済にとって重要な材料として、41の材料から以下の14種を選別。 アンチモン、ベリリウム、コバルト、螢石、ガリウム、ゲルマニウム、グラファイト、インジウム、マグネシウム、ニオブ、白金族金属、レアアース金属、タンタル、タングステン</p>

出典:

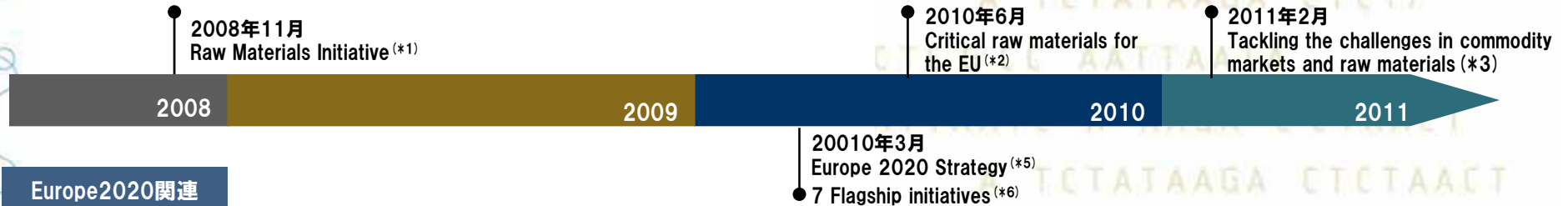
\*1 DOE: “Critical Materials Strategy”, Chapter 6.4-European Union

\*2 Commission of the European communities (2008), “The raw materials initiative – meeting our critical needs for growth and jobs in Europe”.

\*3 European Commission: “Enterprise and industry.2010 –Critical raw materials for the EU”, Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials.

# 欧州の資源戦略と主なレポート

## 原材料戦略関連



## Europe2020関連

	戦略名、プロジェクト名	内容
原材料戦略関連	Raw Materials Initiative (*1)	原材料の安定供給を目的とし、①国際市場からの安定供給、②EU諸国内資源からの調達、③資源効率と再生利用促進の三本柱のアプローチについて説明している。
	Critical raw materials for the EU (*2)	Raw Materials Initiativeの一環として、「EUにとって不可欠な原材料」を決定した。41鉱種の重要鉱物候補について詳細分析を行い、EUにとってクリティカルな14鉱種の鉱物資源を選定した。
	Tackling the challenges in commodity markets and raw materials (*3)	エネルギー、食品、鉱物を含んだ原材料の安定供給戦略に関して、背景、政策、今後の方向性などについて説明している。
	7 <sup>th</sup> Framework Programme (*4)	食物、情報伝達技術、健康、エネルギー、環境など10分野に関する研究プロジェクト。ナノテクノロジー、マテリアル、製造技術 (NMP) という分野がある。
欧州2020	Europe 2020 Strategy (*5)	今後10年間のEU経済発展を目的とし、R&D投資、教育、エネルギー、気候変動、雇用、貧困問題を取り扱う。本戦略は、7 Flagship Initiativesに基づいており、とくにそのうちの「安定成長-4. 欧州の資源効率の向上」は、Raw Materials Initiativeと密接な関係があるとの記述が文献*3にある。
	7 Flagship Initiatives (*6)	次の7つの最重要施策が挙げられている。高機能戦略(1. 欧州のためのデジタルアジェンダ、2. イノベーションユニオン、3. 若者の活動に関して)、安定成長(4. 欧州の資源効率の向上、5. グローバリゼーションのための産業政策)、包括的成長(6. 新しい技術及び仕事のための検討課題、7. 貧困問題に対するヨーロッパの基盤)である。

出典:

\*1 Commission of the European communities (2008), "The raw materials initiative – meeting our critical needs for growth and jobs in Europe".

\*2 European Commission: "Enterprise and industry.2010 –Critical raw materials for the EU", Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials.

\*3 Commission of the European communities (2011), Tackling the challenges in commodity markets and raw materials.

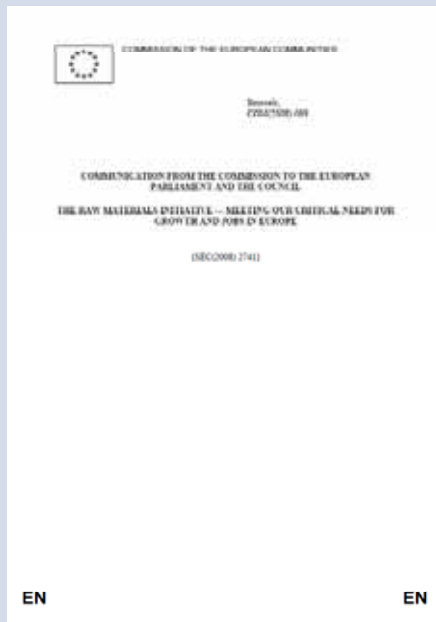
\*4 "FP7: the future of European Union research policy", [http://ec.europa.eu/research/fp7/index\\_en.cfm](http://ec.europa.eu/research/fp7/index_en.cfm)

\*5 "European commission Europe 2020", [http://ec.europa.eu/europe2020/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/europe2020/index_en.htm)

\*6 "European commission Europe 2020-Flagship initiatives", [http://ec.europa.eu/europe2020/tools/flagship-initiatives/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/europe2020/tools/flagship-initiatives/index_en.htm)

## 欧州の鉱物資源戦略 “Raw Materials Initiative“

- 2008年11月に重要な需給のある原材料に対し新戦略を発表した。
- 次の3つの柱に基づくアプローチを主張している。
  1. Access to raw materials on world markets at undistorted conditions
  2. The right framework to foster sustainable supply of raw materials from EU sources
  3. Increase resource efficiency and promoting recycling in the EU



### 導入

1. 非エネルギー原材料における供給と需要分析
  - 1.1. 自給から高い輸入依存にわたるヨーロッパの供給状況
  - 1.2. EUが直面する国際市場の根本的な変化
    - 1.2.1. 原材料の安定供給と価格発達
    - 1.2.2. 新産業戦略と逆機能する国際市場のリスク
2. 政策応答: 統合戦略
  - 2.1. 第一の柱: 貿易歪曲のある国際市場での原材料入手
    - A. 各国の強化
    - B. 需要増加をもたらす健全な投資熱の促進
    - C. 原材料の安定管理の促進
  - 2.2. 第二の柱: ヨーロッパ資源からの原材料の安定供給の促進
  - 2.3. 第三の柱: EUによる一次原材料消費の減少
3. 今後



## 欧州の鉱物資源戦略“Raw Materials Initiative“における3本柱の アプローチ

- 以下の表は、Raw Materials Initiativeで掲げられている3本柱のアプローチ詳細。

アプローチ	目標	実施内容
1. 国際市場からの公平かつ安定的な原材料供給	関税や、輸入時の政府補助、価格操作、限定的な投資法などがもたらす、国際市場での不公平取引や不安定な原材料供給といった貿易課題を解決する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 二国間以上の交渉において貿易条約を提案。</li> <li>● 対話を通じた貿易障壁への取り組み。</li> <li>● G8、G20、OECD、UNCTADのような国際フォーラムでの意識改革。</li> </ul>
2. ヨーロッパ資源からの安定供給の促進	EU諸国内での採掘による安定供給の促進。特に、法律的な権利や規制の枠組みを制定し、主要課題となっている採掘権を解決する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 地質学調査ネットワークや、衛星を利用した情報システムGMESなどを通じたEU諸国内の鉱石知識データベースの改良。</li> <li>● 原材料の採掘と処理に関する研究(第7次研究枠組み計画による)。</li> </ul>
3. 資源効率と再生利用の促進	金属原材料の資源効率の向上、及び再生利用を促進する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● EU各国から非OECD国への非合法出荷を規制するための廃棄物規則施行。</li> </ul>

## 欧州の鉱物資源戦略 “Raw Materials Initiative”

- 以下の表は、2008年11月発表の新戦略に関する2008年時点での検討項目及びその状況。

		EC	各国	産業
1	重要原材料の決定	X	X	X
2	主な産業先進国と資源豊富国とのEUの戦略的原材料外交開始	X	X	
3	全ての二国間以上の貿易協定に原材料の入手権と安定管理条約を盛り込み、適切な対話を通じた調整	X	X	
4	WTO交渉、文藻解決、市場参入協力を含む全ての利用可能な機構、手段を用いた第三国によってとられた貿易歪曲処置への確認及び識別 (EUの不利益に対し、開かれた国際市場の土台を最も壊すものへの優先順位を決定する) 利害関係者からのデータを適切に引用した貿易面での実施事項について年間のプログレスレポートを発行し、プロセスを監視する。	X	X	X
5	予算支援、共同戦略などを通じ外交政策分野での原材料安定調達促進の促進	X	X	
6-1	土地使用権に関連する規制の枠組みの改良		X	
6-2	環境保護Natura2000分野の近辺で採掘活動の仲裁方法を明瞭にするガイドラインの展開	X		
7	EUの知識基盤増加を狙った国際地質学調査間のより優れたネットワークの奨励		X	
8	革新的な探査、採掘技術、リサイクル、物質代替、資源効率に焦点を当てた研究及び技術の促進	X	X	X
9	資源効率と原材料代替の促進	X	X	X
10	リサイクルとEU諸国内での二次元材料使用の促進	X	X	X

出典：“European commission proposes new strategy to address EU critical needs for raw materials”,  
<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/08/1628&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

## 欧州の鉱物資源戦略 “Raw Materials Initiative”

- 2010年6月、Raw Materials Initiativeの一環として、「EUにとって不可欠な原材料 (Critical raw materials for the EU)」を発表。
- 41鉱種の重要鉱物候補について詳細分析を行い、EUにとってクリティカルな14鉱種の鉱物資源を選定。分析の視点は鉱種毎の①産業重要度、②供給リスク、③環境リスクである。

### 1) EUでの経済的重要度

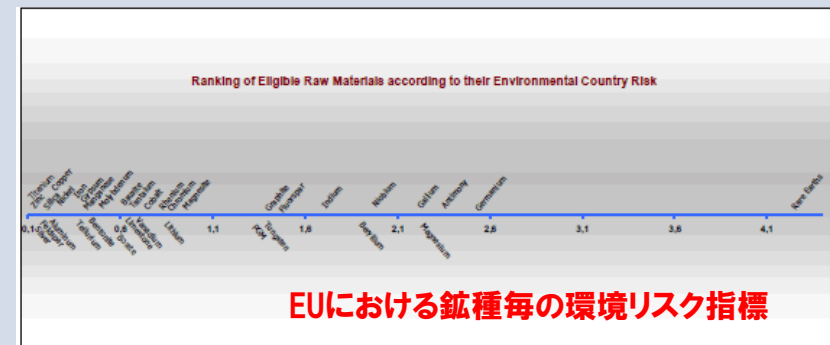
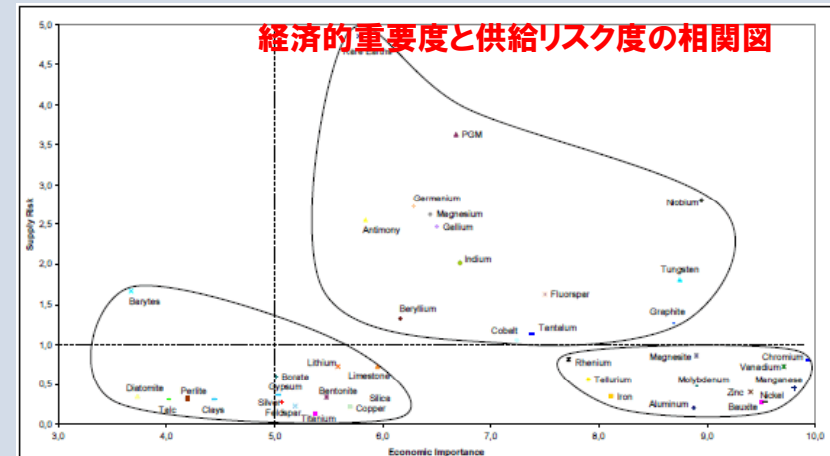
- 各原材料の産業毎の経済的重要度とその消費割合を乗じて、EUのGDPに対する比率で評価。
- クロム、マンガン、バナジウムが最も高く、ニッケル、亜鉛、ボーキサイト、ニオブ、モリブデン、タングステン、アルミニウムの順となっている。

### 2) 供給リスク度

- ①原材料生産国の安定度、②原材料代替度、③原材料のリサイクル度の3つで評価

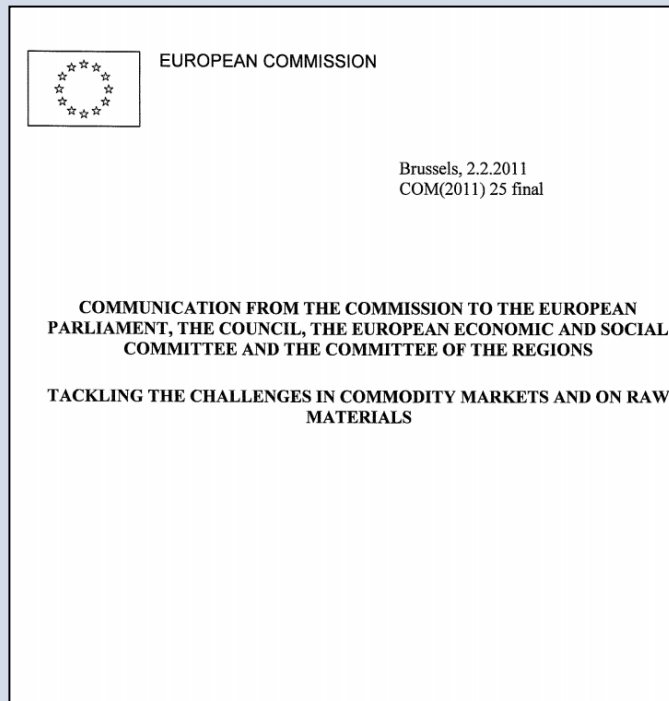
### 3) 輸入相手国の環境リスク度

- 供給リスクの評価に用いた原材料代替度、リサイクル度と国別環境パフォーマンス指数 (アメリカ・エール大学公表) から算出。



## 欧州の鉱物資源戦略 “Raw Materials Initiative”

- 2011年2月に新戦略を発表
- 主にエネルギー、食品などの原材料の安定供給戦略に関して、背景、政策、今後の方向性などについて説明している。



- 世界的規模の商業市場の発達
  - 物質市場の発達
    - エネルギー（石油、電気ガス）
    - 農業と食物供給の安全性
    - 原材料
  - 商品の相互依存成長および関連する金融市場
- 商業市場の発達へのEUの政策対応
  - 物質市場
    - エネルギー（石油、電気ガス）
    - 農業と食物供給の安全性
  - 金融市場の規制
  - 物質と金融商品市場間の作用
- ヨーロッパの原材料戦略
  - 重要な原材料の判別
  - 原材料のためのEU貿易戦略の実行
  - 計器開発
  - 新しい研究、革新、技術の機会
- 原材料戦略の将来の方向性
- 今後

## EuMaT (先端デバイス工学研究プラットフォーム)

- ETP (European Technology Platforms) はEUの研究プラットフォームであり、現在は研究分野別に36のプラットフォームが活動している
- EuMaT (Advanced Engineering Materials and Technologies) はその1つであり、2006年として発足

<p>概要</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 先端デバイス工学の分野におけるR&amp;Dのプライオリティ確立の過程において、産業界と、他の利害関係者の最善の関わり合いを請合うべく発足             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 産業界、公共企業体、アカデミックコミュニティ、他のEUプロジェクトのためのコンソーシア、金融界、そしてユーザーとコンシューマーを含む市民社会ら異なった分野の参加者をまとめる役割を担う</li> <li>● 産業界と研究者及び研究機関の間を取り持ち、最高の関係の構築と対話に貢献することで、国内及び欧州レベルでの連携と相乗効果の改善を狙う</li> </ul> </li> </ul>
<p>研究対象</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 部品、システム、最終製品など、産業製品ライフサイクルの全要素をカバー             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 先進材料の技術開発とデザイン</li> <li>● 先進的生産法、プロセス、製造法</li> <li>● 材料とコンポーネントのテスト</li> <li>● 衝撃、廃棄、信頼度、危険度、リスクとリサイクル性を含めたライフサイクルの考慮</li> </ul> </li> <li>● 材料の選択と効率的な利用</li> <li>● あらゆるスケールでの先進モデル製作</li> <li>● 解析ツールとデータベースのサポート</li> </ul>
<p>主目的</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 第一目標はStrategic Research Agenda (SRA)を提示することである             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 産業界とその他利害関係者が適切な関わり合いを行い、ニーズを確認し、先端デバイス工学におけるプライオリティの確立という目的に基づいて提供</li> </ul> </li> <li>□ 加えてEuMaTは以下を推進している             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 学際的な教育と訓練、技術移転と技術革新</li> <li>● R&amp;Dが社会に与える事柄の考察（例：公衆への安全性、環境リスクへの影響）</li> <li>● 国際協力とイニシアチブの促進</li> </ul> </li> </ul>
<p>Strategic Research Agenda</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ プライオリティの確立を目指す5つの研究エリア             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 勾配性質を持つ多機能材料</li> <li>● 困難な応用条件に対応可能な工業素材</li> <li>● 従来の材料と構造的な材料を併せ持ったハイブリッド先端材料</li> <li>● 生産技術に関連するもの</li> <li>● マルチスケールでのモデリング</li> </ul> </li> <li>□ SRAと「ビジョン」をロードマップとして発表しており、短期、中期、長期で課題が設定されている</li> <li>□ 2030年までの目標として次のターゲットが掲げられている             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 加工機器・機器のインフラとライフサイクルコスト30%削減、50%のエネルギー消費の削減、より効率的な素材の開発と導入</li> <li>● システム停止時間（ダウンタイム）の25%削減による資産・資材の生産性の向上、より信頼性のある素材の開発</li> <li>● 素材の生産プロセスの内部化による環境保護（金属性素材の95%、その他の先端工業素材の平均70%をリサイクルして素材生産に再利用するなど）</li> <li>● 既存の知識を収集し、次世代の工業素材を開発すべき要員の効果的な教育環境とその能力の構築</li> </ul> </li> </ul>

## EuMaT Working Groups

- EuMaTは研究分野別に7つのワークグループに分かれている

	WG1 Modelling and Multiscale	WG5 Lifecycle, Impacts, Risk
議長	Amaya Igartua (仏 Tekniker社)	Aleksander Jovanovic (独 Steinbeis Advanced Risk Technologies社)
目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 材料のモデリングと変形プロセスに関わる側面を扱う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ とりわけ先進/新材料と材料テクノロジーに対する、製品がプロセスにて環境負荷を改善させることを優先した、全ライフサイクル段階での解析への貢献</li> </ul>
内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ WG1が扱う材料モデリングに関連する4つの側面                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 材料特性をシュミレーションしたモデリング(微細構造、組織、内部応力、物理的・力学的特性、吸音、耐腐食・磨耗、ライフサイクル...)</li> <li>● 産業プロセスのシュミレーション(凝固、強化剤を使う場合と使わない場合での三次元注入、繊維、異方性...)及びシステム(実際の正確な製造、伝導ポジション)</li> <li>● 製品ライフサイクルのモデリング:環境への影響とコストへの影響の統合、製品あるいはプロセス発展がもたらすライフサイクルを終えた後の影響</li> <li>● マルチスケールのモデリングと特性決定:伝統的な方法と革新的な方法の両方からコストを下げる方法の発展が鍵となる挑戦である。ナノマテリアルは実験と技術テストによる計算モデリングの統合であり、統合された一般的な産業用コンセプトデザインである。統合されたMultiscale Collaborative Frameworksは現実の統一モデリングを可能にし、Multiscale Information Spaceコンセプトとメソッドによって実験とテスト戦略の助けになる。これは化学と物理の構造と、構造に関連する特性、性能、プロセス関連と相互依存関係をあらゆる時間と空間において記述し、言語を開発することを意味する。</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ WG5が扱う5つのリスク解析                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● イノベーションにおけるリスク解析(期待されない側面など)</li> <li>● 期待を下回るパフォーマンス、ノンパフォーマンスに対するリスク解析(システムやコンポーネントの欠陥)</li> <li>● 期待に反する効果、影響のリスク解析(環境あるいは人体への影響)</li> <li>● ライフサイクルを終えた製品、技術によるリスク解析(廃棄やリサイクル段階での期待されない側面など)</li> <li>● R&amp;Dと新しいテクノロジー志向のプロジェクトのプロジェクトリスク</li> </ul> </li> <li>□ WG5によって言及される主要規格はISO14044とEUのガイドライン(ILCD/ELCD)であり、以下の面を主にカバーしている                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 研究のゴールと範囲をはっきりさせる</li> <li>● 環境への流入と流出をふまえた製品ライフサイクルモデルの構築(ライフサイクルの目録・LCIの段階)</li> <li>● 環境に対し適切な流入と流出を考えること(ライフサイクルの影響評価、LCIAの段階)</li> <li>● 結果の解釈</li> </ul> </li> </ul>