

GA CCC
CC AAAA GGCC
ATAAGA CTCTAACT CI
AA TAATC

元素戦略の今後の推進に関する検討

AAT A TCTATAAGA CTCT/
CTC GCC AATTATA
ATTAATC A AAGA C CTA
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

2011年7月28日

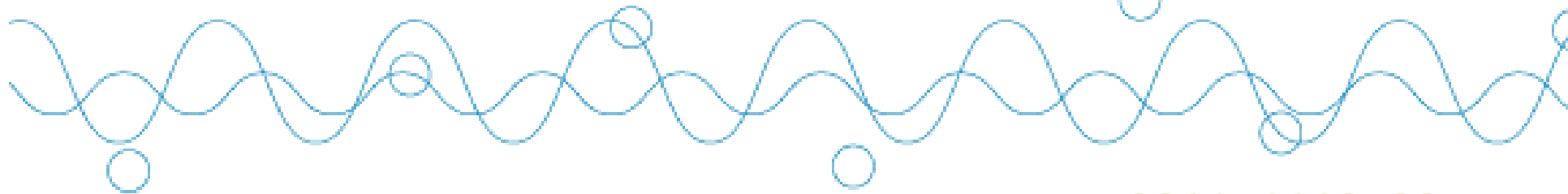
ナノテクノロジー・材料科学技術委員会

文科省「元素戦略プロジェクト」プログラムオフィサー

JST研究開発戦略センター フェロー／エキスパート

中山智弘

CTC GCC AATTATA
TTAATC A AAGA C CTA
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
ATTAATC A AAGA C CTA
GA C CTA ACT CTCAGAC
0011 1110 000



Center for Research and Development Strategy - Japan Science and Technology Agency

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

0011 1110 00
00 11 001

AT A TCTATAAGA CTCTAACT

TCTATAAGA CTCTAACT
 GCC AATTAATA
 ATC A AAGA C C
 A TCTATAAGA
 AATC A AAG
 C CTAACT C
 1 1110 00
 11 0010

TCTATAAGA CTCTAACT
 GCC AATTAATA
 ATC A AAGA C C
 A TCTATAAGA CTCTAACT
 AATTAATE A AAGA C C T
 GA C CTAACT CTCAGACC
 1110 000
 11 001010 1
 1110 000
 0011 1110 000
 00 11 001010 1
 11 1110 000

1. 元素及び材料科学研究の全体状況

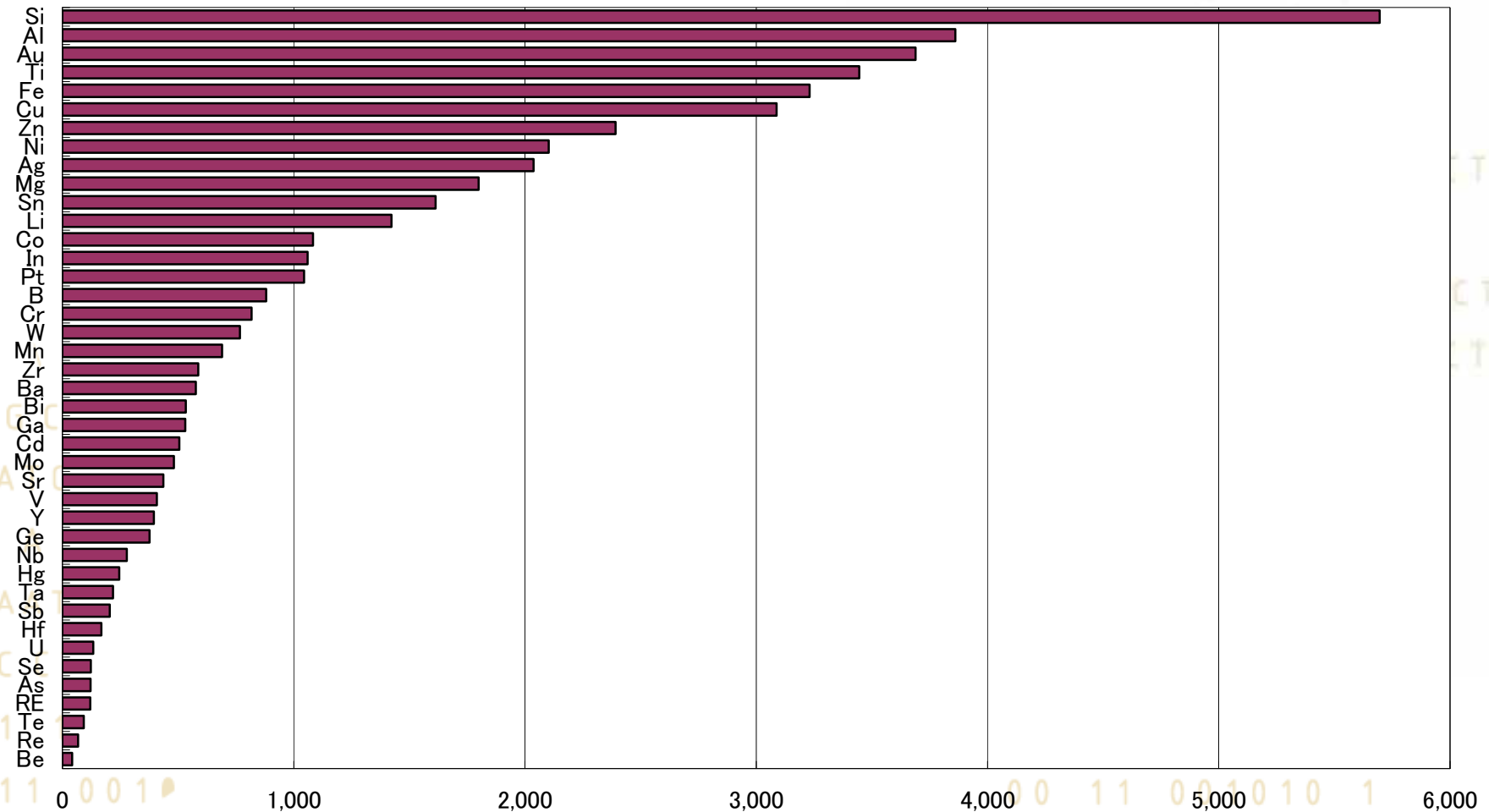
TCTATA
 GCC AATTAATA
 ATC A AAGA C C
 A TCTATAAGA
 AATC A AAG
 C CTAACT C
 1 1110 00
 11 0010



AT A TCTATAAGA CTCTAACT

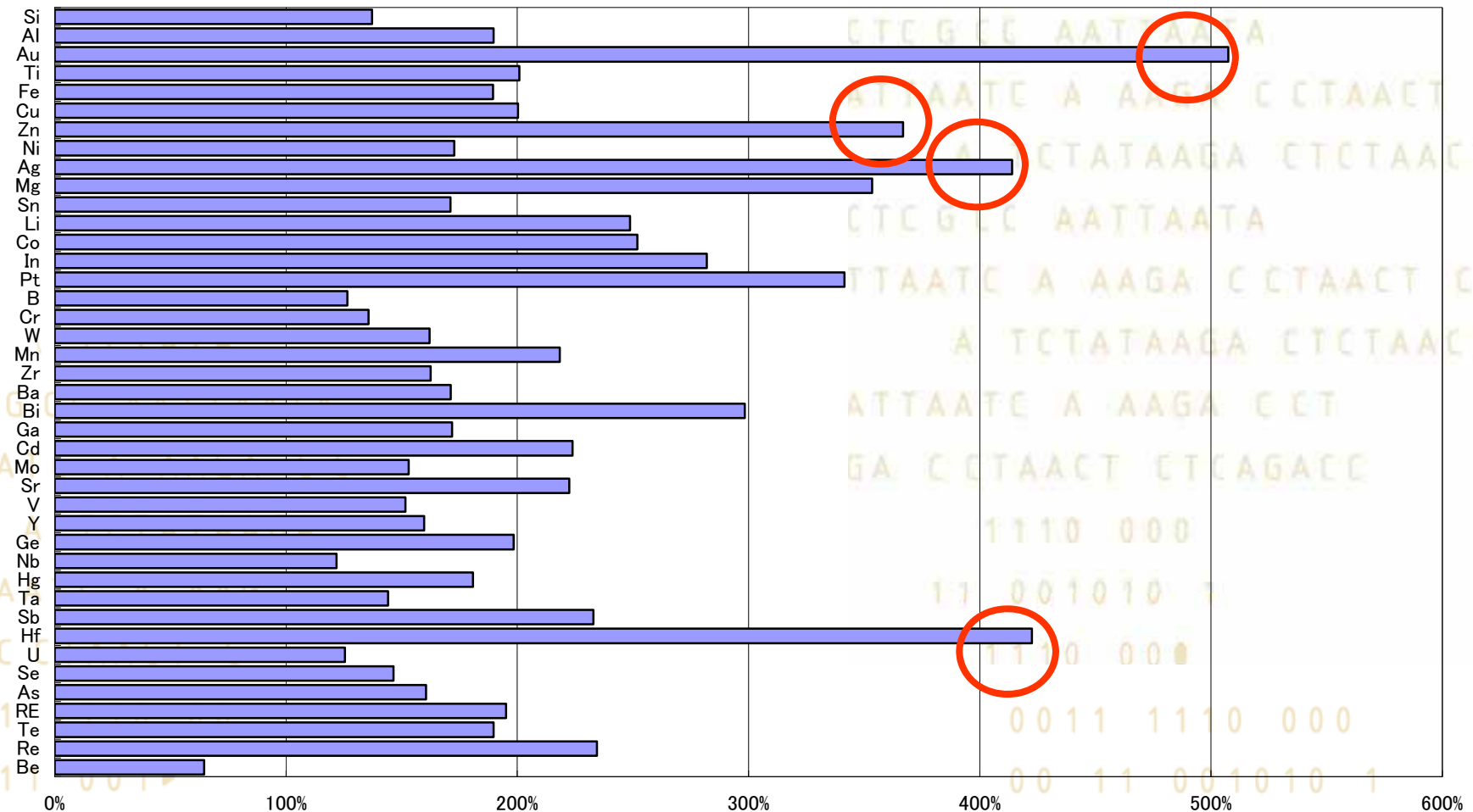
各元素に関連した世界の論文の発行数ほどの程度か？

- 2010年における、元素名(正式名称)を書誌に含む論文数を集計した。
- **材料科学分野の論文の中で、元素名を文字列に含む論文を抽出**
- 元素毎の違いが大きく、Siの論文が抜きん出て多い。



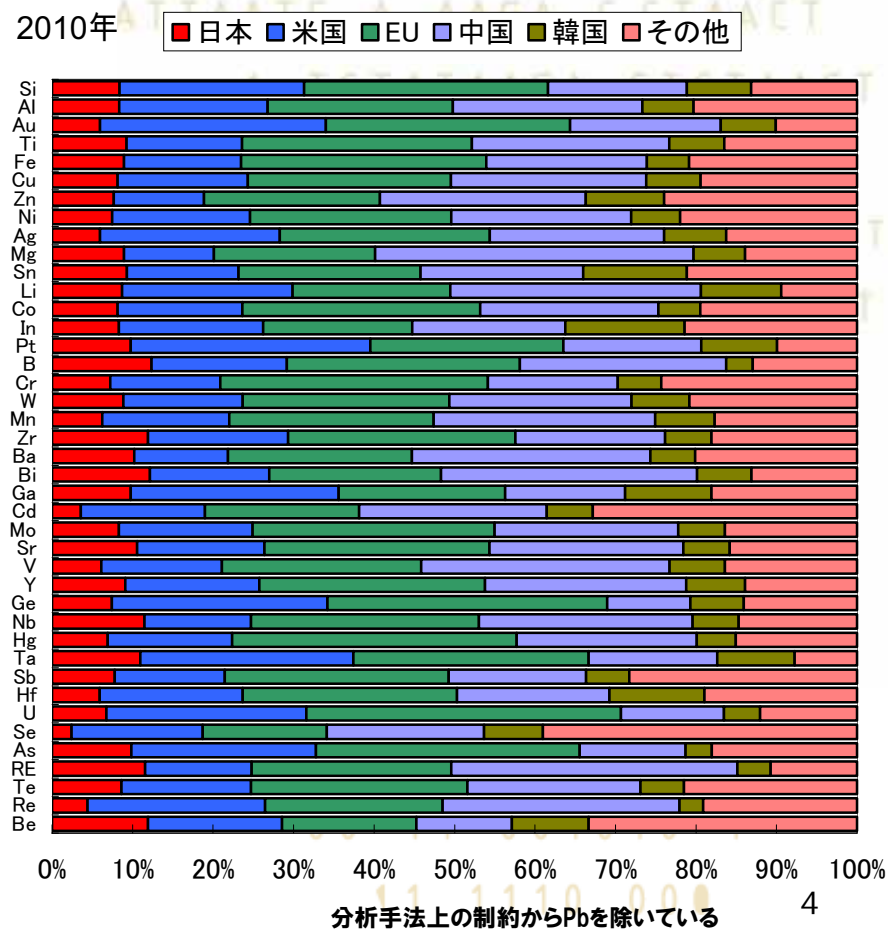
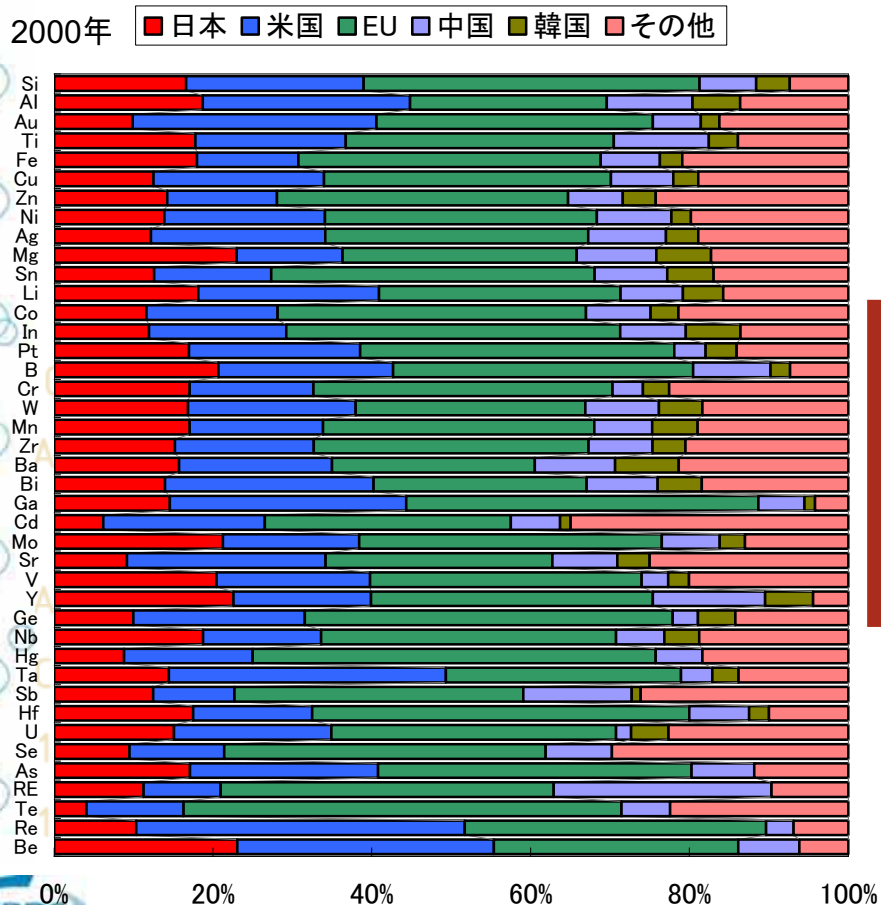
各元素に関連した世界の論文の発行数はどの程度か？

- 2000年から2010年の、元素名(正式名称)を書誌に含む論文数の伸び率を集計した。
- Au、Hf、Ag、Zn、Mg、Ptが10年で3倍(300%)以上に急増している。



各元素から見た研究アクティビティが高い国は？(1)

- 2000年、2010年における、各元素の論文シェアを示す。
- 2000年では、EUの存在感が大きいですが、中国の存在感はまだ小さく、日本はほとんどの元素で1~2割の論文シェアとなっている。
- 2010年では、EU、中国の存在感が大きく、日本はほとんどの元素で1割内外の論文シェアとなっている。



出典: Thomson Reuters Web of Knowledge による検索結果から作成

AT A TCTATAAGA CTCTAACT

各元素から見た研究アクティビティが高い国は？(2)

- 日米欧中韓の中での順位を計算。
- 2000年時点では、日本はほとんどの元素で2位または3位となっていた。
- 2010年時点では、日本は、Be(中国と同数3位)以外、国・地域別シェアで3位以上になる元素はない。逆にMn、Zn、Ag、Au、Hf、In、Gaなど、韓国の後塵を拝している元素も増えている。
- 欧米日が競っていた状態から、欧米中が競っている状態に変化している。

2000年

元素名	Si	Al	Au	Ti	Fe	Cu	Zn	Ni	Ag	Mg	Sn	Li	Co	In	Pt	B	Cr	W	Mn	Zr	Ba	Bi	Ga	Cd	Mo	Sr	V	Y	Ge	Nb	Hg	Ta	Sb	Hf	U	Se	As	REE	Te	Re	Be
1位	EU	米	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	米	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	米	米
2位	米	EU	米	米	日	米	日	米	米	日	米	米	米	米	米	米	日	米	日	米	米	米	米	米	日	米	日	米	日	米	EU	中	日	米	米	米	中	米	EU	EU	
3位	日	日	日	日	米	日	米	日	日	米	日	日	日	日	日	日	日	米	日	米	日	日	日	中	日	米	日	米	米	日	米	日	日	日	米	日	日	日	中	日	日
4位	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	-	中	中	中	中	韓	中	中	米	中	韓	中	中	米	日	中	中	
5位	韓	韓	韓	韓	韓	韓	韓	韓	韓	韓	韓	韓	韓	韓	韓	-	韓	韓	韓	韓	韓	韓	韓	韓	韓	韓	韓	韓	中	韓	韓	韓	韓	韓	中	韓	韓	韓	韓	韓	韓



2010年

元素名	Si	Al	Au	Ti	Fe	Cu	Zn	Ni	Ag	Mg	Sn	Li	Co	In	Pt	B	Cr	W	Mn	Zr	Ba	Bi	Ga	Cd	Mo	Sr	V	Y	Ge	Nb	Hg	Ta	Sb	Hf	U	Se	As	REE	Te	Re	Be	
1位	EU	中	EU	EU	EU	EU	中	EU	EU	中	EU	中	EU	中	米	EU	EU	EU	中	EU	中	中	米	中	EU	EU	中	EU	EU	EU	EU	EU	EU	EU	中	EU	中	EU	中	EU	米	
2位	米	EU	米	中	中	中	EU	中	米	EU	中	米	中	EU	EU	中	中	中	EU	中	EU	EU	EU	EU	中	中	EU	中	米	中	中	米	中	中	米	米	米	EU	中	EU	米	-
3位	中	米	中	米	米	米	米	中	米	米	EU	米	米	中	米	米	米	米	米	米	米	米	中	米	米	米	米	中	米	米	中	米	米	中	EU	中	米	米	-	中	日	
4位	日	日	韓	日	日	日	韓	日	韓	日	韓	日	韓	日	日	日	日	韓	日	日	日	韓	韓	日	日	韓	日	日	日	日	日	日	韓	日	韓	日	日	日	日	日	-	-
5位	韓	韓	日	韓	韓	韓	日	韓	日	韓	日	日	韓	日	韓	韓	韓	日	韓	韓	韓	日	日	韓	韓	日	韓	韓	韓	韓	韓	韓	韓	日	韓	日	韓	韓	韓	韓	韓	韓

出典: Thomson Reuters Web of Knowledge による検索結果から作成



材料科学研究における研究アクティビティが高い国は？(1)

- 材料科学の論文数では、特に中国の急速な増加に日本は取り残されている。

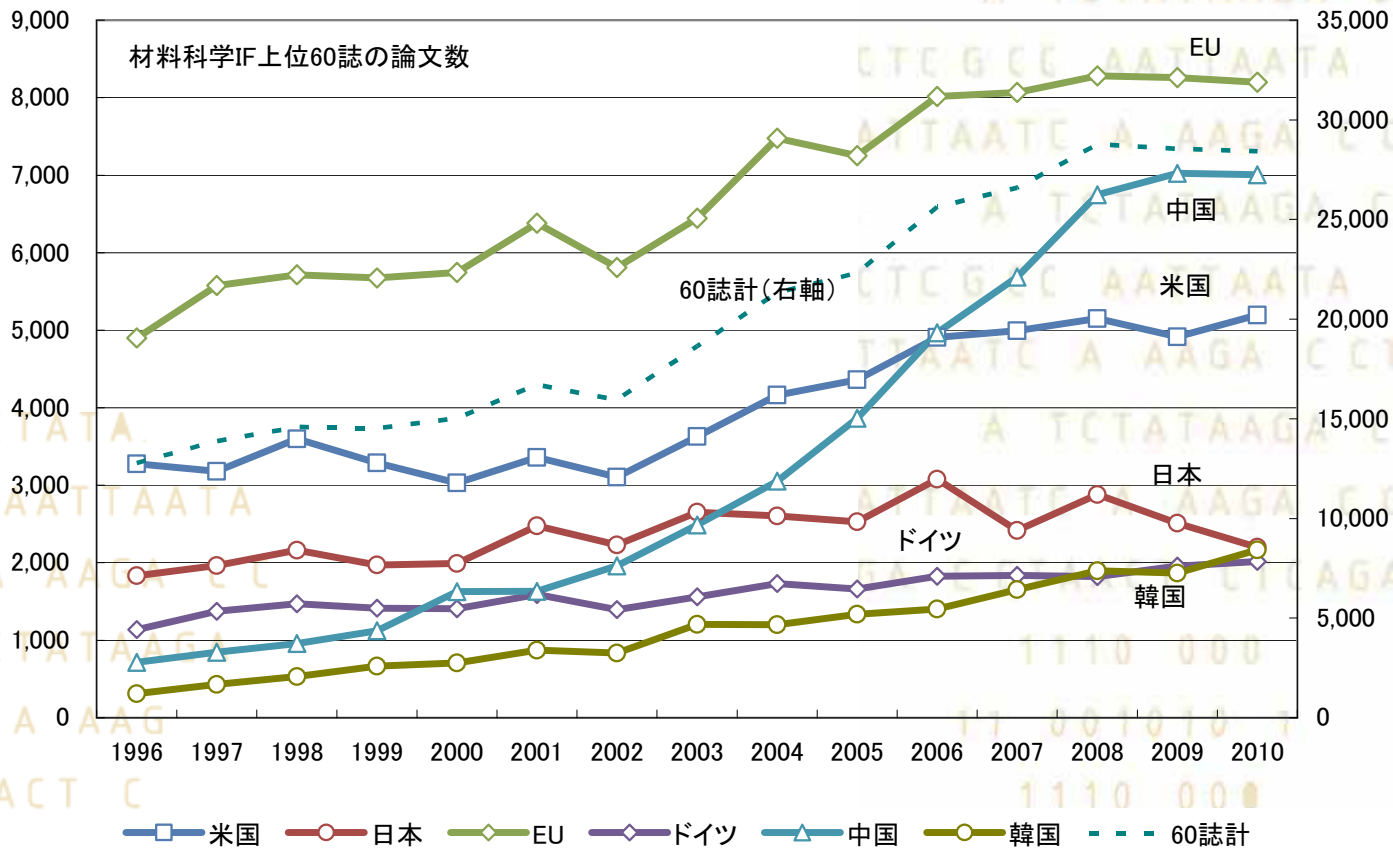


図: IF上位60誌の論文数

出典: Thomson Reuters Web of Knowledge による検索結果から作成

※IF: Impact Factor(引用数から導いた雑誌の影響度指標)



材料科学研究における研究アクティビティが高い国は？(2)

- インパクトファクター(IF)の高い雑誌における米国、EUの存在感は非常に大きい。
- 日本は10%以下。中国と大きな差をつけられており、上位1～10誌ではドイツにも及ばない。

IFとシェアの関係(材料科学分野、2008～2010年)

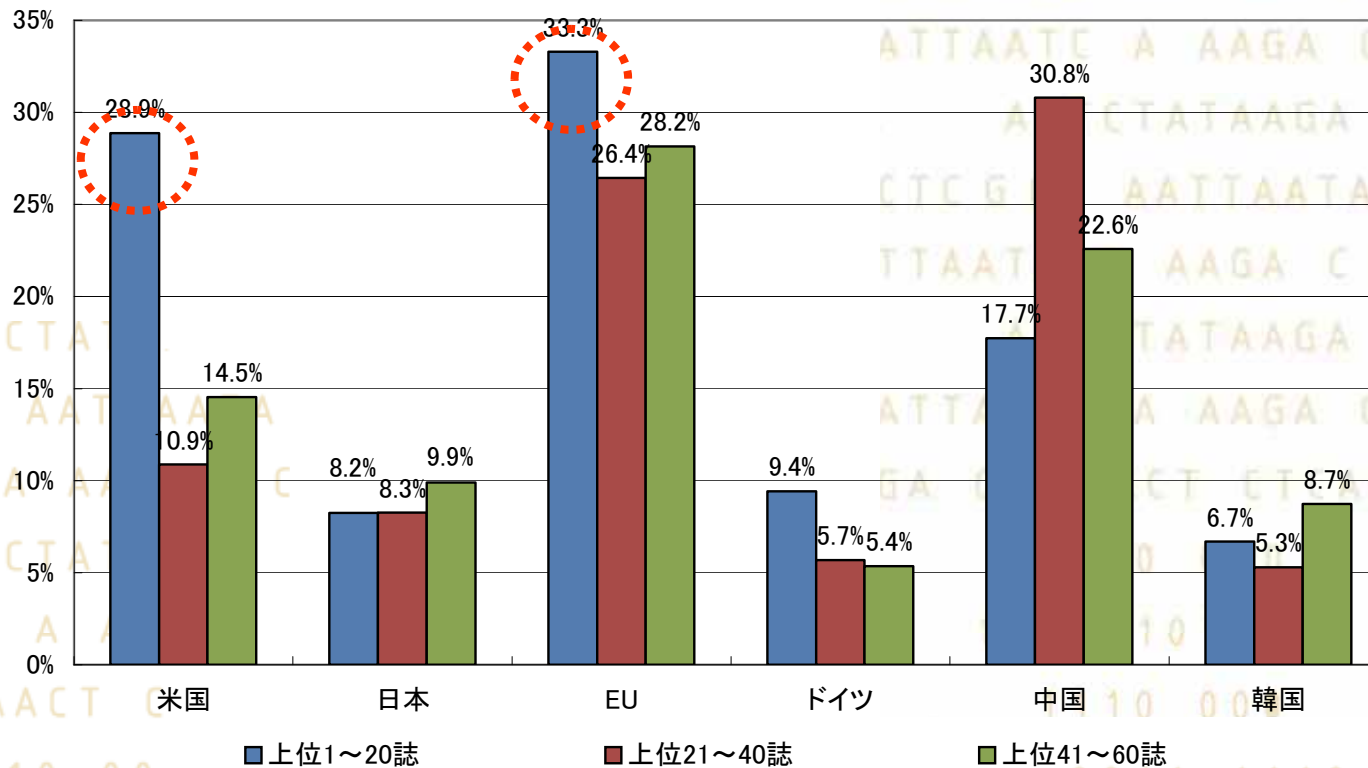


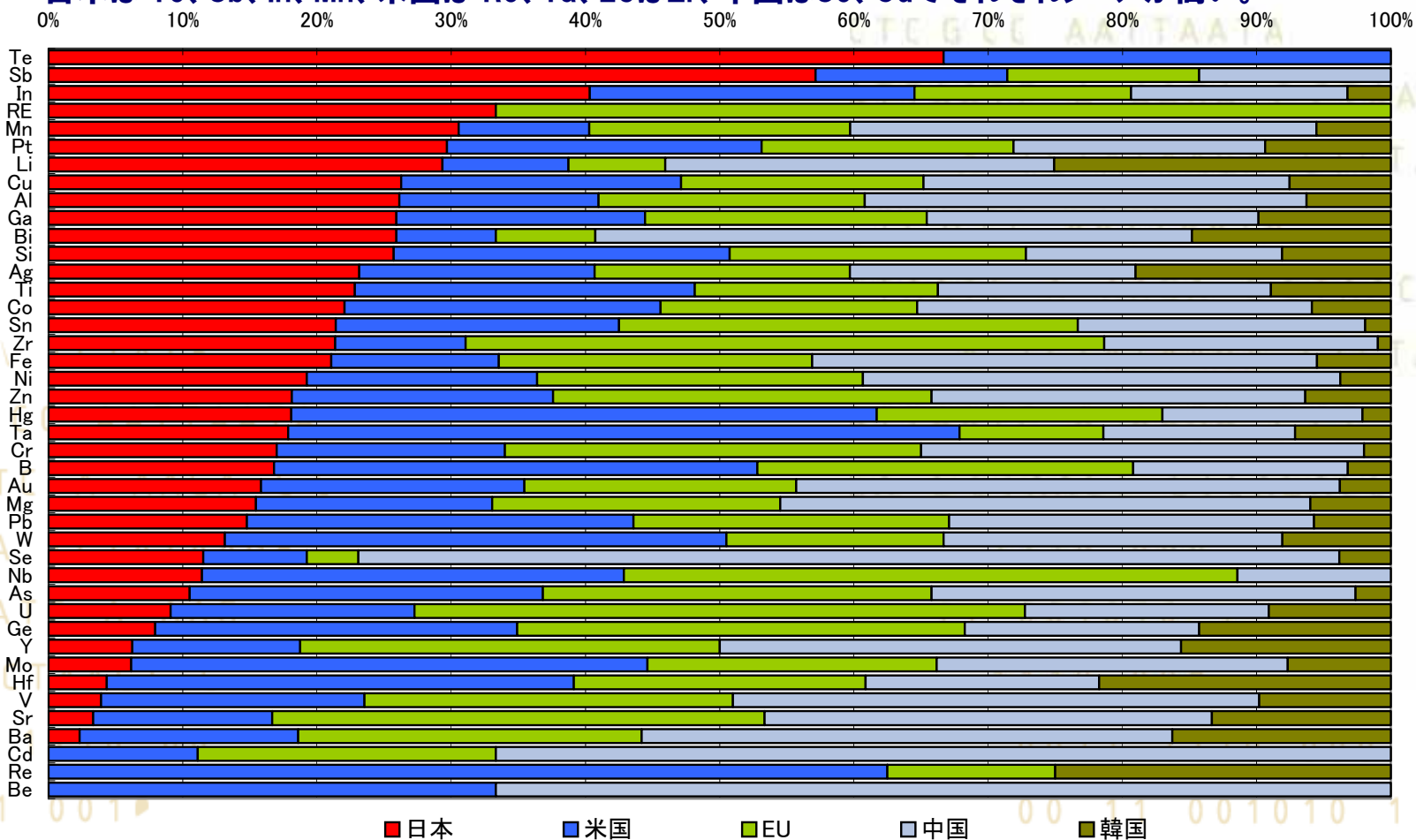
図:IFとシェアの関係(材料技術分野、2008～2010年)

出典:Thomson Reuters Web of Knowledge による検索結果から作成

※Web of Knowledgeにおける材料科学分野の収録誌数は120。

各元素について特許出願数が多い国は？(総出願)

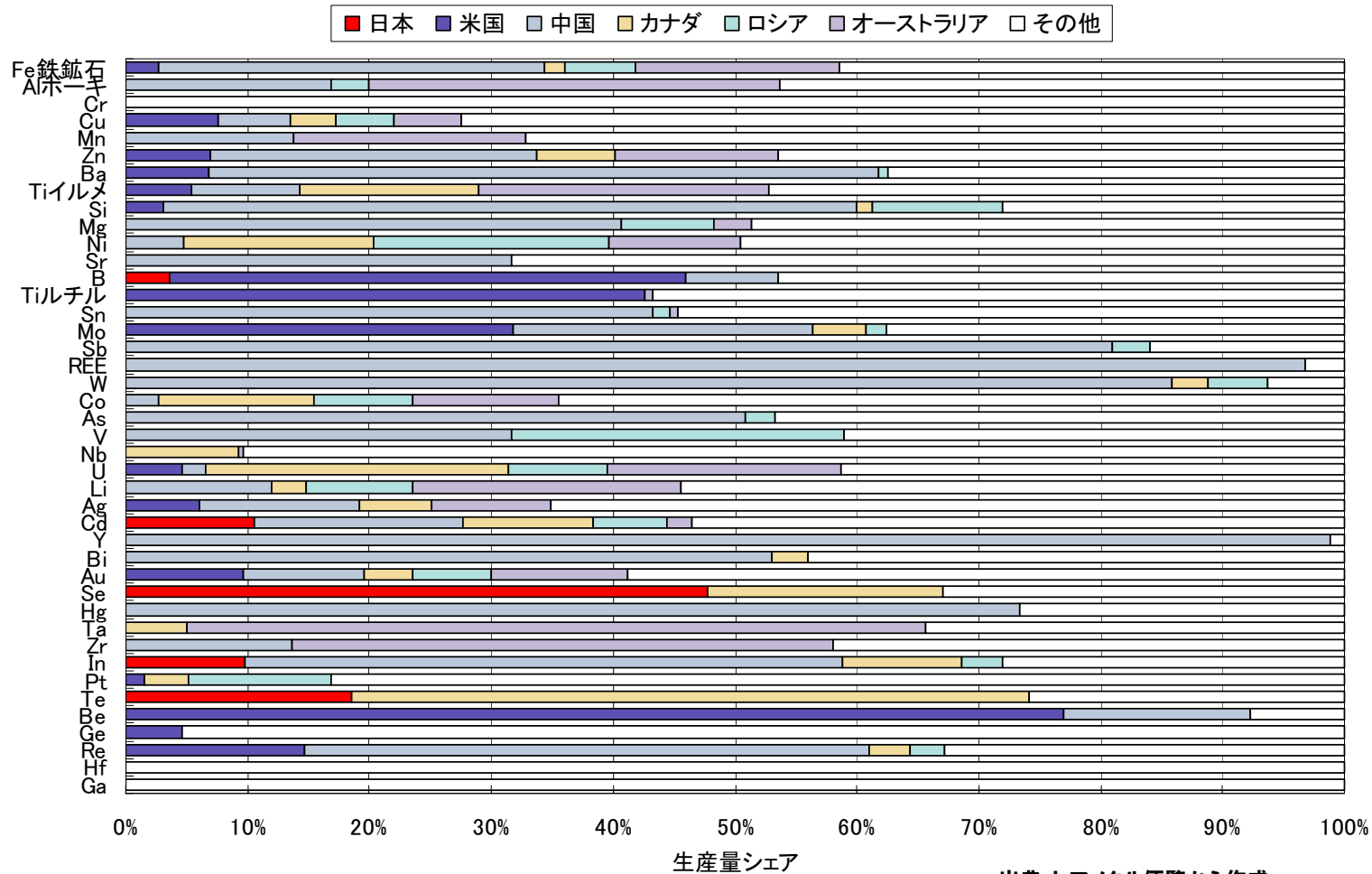
- 論文と比較して特許では日本の存在感は依然大きい。ただし、中国の存在感も大きい。
- 日本は Te、Sb、In、Mn、米国は Re、Ta、EUはZr、中国はSe、Cdでそれぞれシェアが高い。



元素の順序は日本のシェアによる。

(参考)元素の世界生産量シェアはどの国が大きいか？

- いくつかの元素については、特定の国に生産が集中する傾向がある。
- 中国や米国は多くの元素で高いシェアを持つ主要な生産国である。



AT A TCTATAAGA CTCTAACT

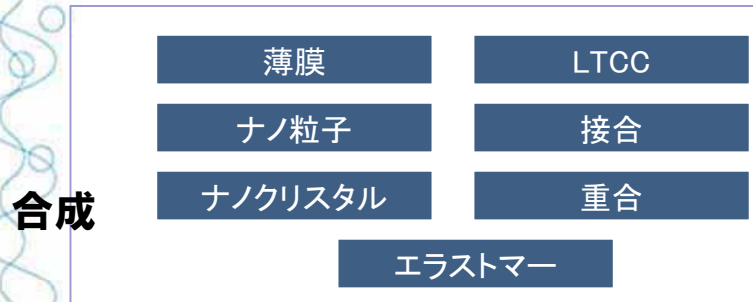
TCTATAAGA CCCC
 GCC AAAA GGCC
 ATATAA CTCTAACT C
 AA TAATC
 A TCTATAAGA CTCTA
 CTC GCC AATTAATA
 ATTAATE A AAGA CCTAACT
 A TCTATAAGA CTCTAACT
 CTC GCC AATTAATA
 AAGA CCTAACT CTC
 A TCTATAAGA CTCTAACT
 ATTAATE A AAGA CCT
 GA CCTAACT CTCAGACC
 1110 000
 11 001010 1
 1110 000
 0011 1110 000
 00 11 001010 1
 11 1110 000

2. テーマ・手法別の研究動向

TCTATA
 GCC AATTAATA
 ATC A AAGA CC
 A TCTATAAGA
 AATC A AAG
 CCTAACT C
 1 1110 00
 11 001

材料分野ではどのようなテーマの研究が行われているのか？(主要テーマ)

- 各機能の主要テーマについて、各機能の代表例を分析する。



熱的・力学的機能

炭素繊維

建築材料

クリープ

鋼板

破壊・摩耗

耐火物

電気的機能

誘電体

アクチュエーター

超伝導体

導電性高分子

CNT/グラフェン

半導体

レーザー

光機能

有機EL

電子ペーパー

太陽電池

光触媒

スピントロニクス材料

GMR/TMR

磁石

バッテリー
(電池・電極)

磁氣的機能

理論・設計

SEM/TEM

コンビナトリアル

ハイスループット

第一原理計算

XAFS

化学的機能

触媒

生体適合性材料・医用材料

CO₂分離

排ガス浄化

錯体

AT A TCTATAAGA CTCTAACT

どのような機能にどのような元素が関わっているのか？

- 産業的に重要な機能である電極・電池、磁石、蛍光材、触媒、高強度材料等に関連する元素では、中国、南ア、米国等が生産量トップである。

中国が生産第1位

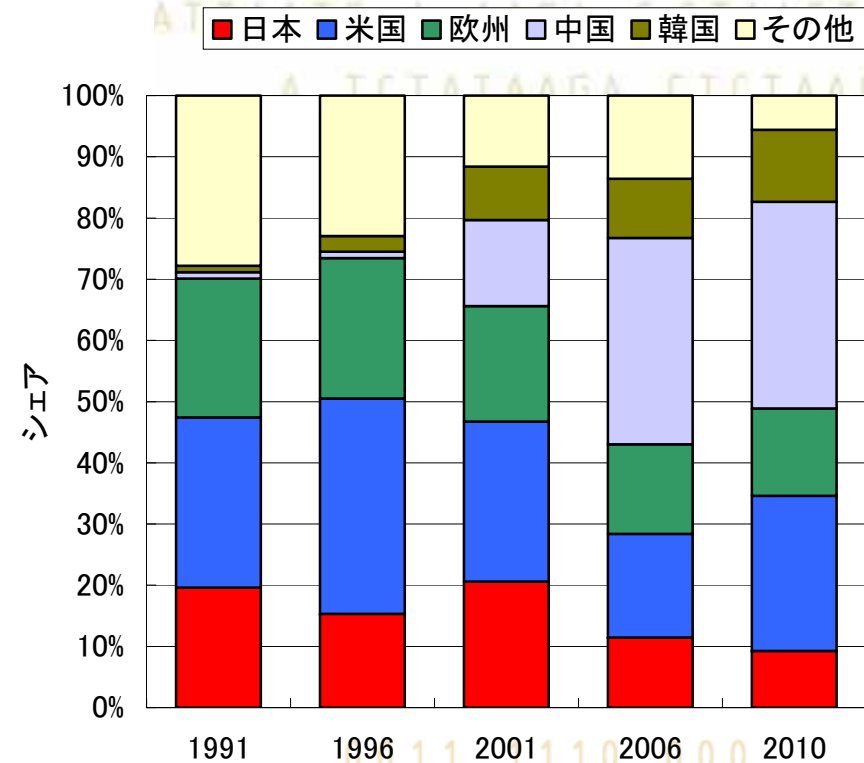
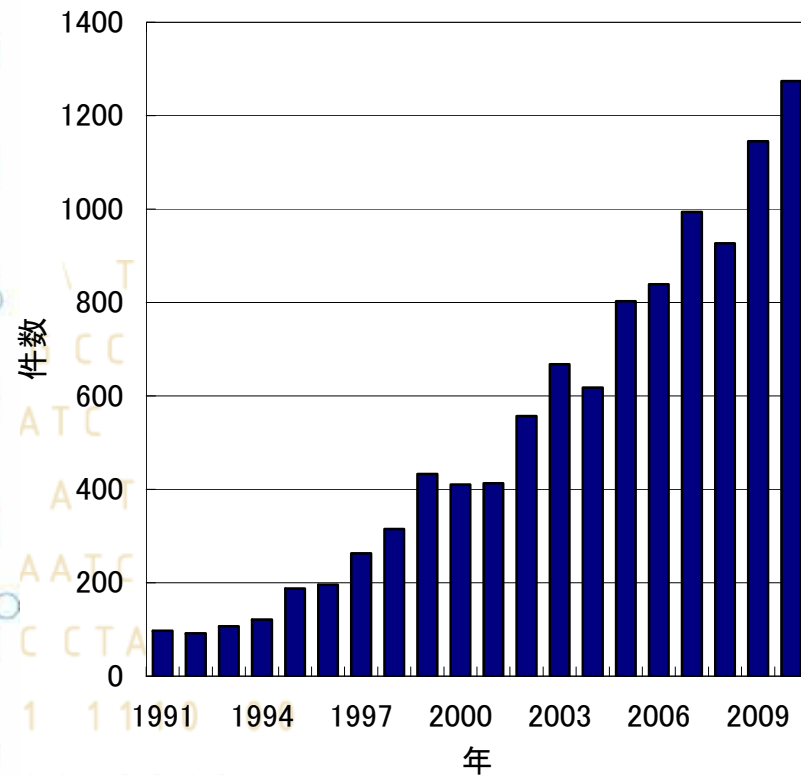
南アが生産第1位

機能・用途	In	Ga	Co	W	RE	Sb	As	Hg	Bi	Si	Sn	Ba	Mg	Y	Re	Mn	V	Cr	PGM	Hf	Mo	Ge	Be	B	Ni	Au	Al	Zr	Ta	Ti	Te	U	Nb	Sr	Cd	Li	Se	Ag	Ca	Cs	Tl	Na	P						
電氣的機能	電極・電池	○	○	○		○	○	○								○		○							○	○								○	○	○		○											
	半導体	○	○				○			○																○																		○					
	導電性・ハンダ 熱電変換							○		○	○															○																							
磁氣的機能	磁石					○																			○										○	○													
	光機能	蛍光材	○	○											○											○																							
化学的機能	顔料・塗料・着色						○			○		○																																					
	透明性 感光剤	○																																															
	触媒					○	○									○		○	○	○	○	○																											
熱的・力学的機能	医薬品 生体親和性					○											○																																
	高弾性・高強度・高靱性				○								○			○					○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	耐熱材料 防蝕性・耐食性									○					○			○											○																				
	超硬合金 熱伝導性				○	○																																											
	加工性																																																
その他	脱酸剤・還元剤												○																																				
	研磨剤																																																
	メッキ																																																
	原子炉 原子時計																																																

青色はレアメタル備蓄対象

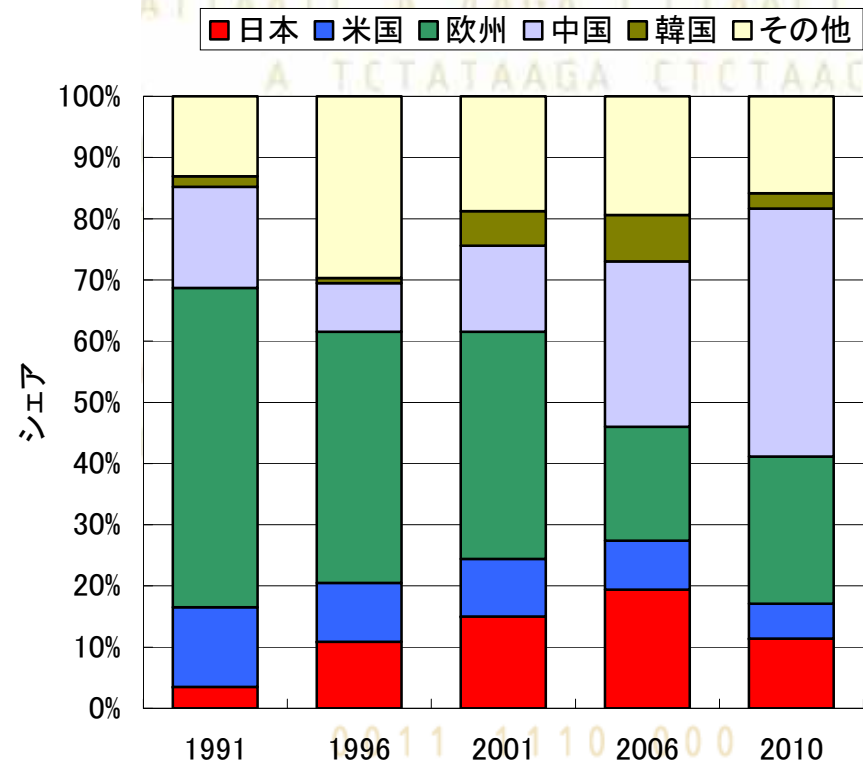
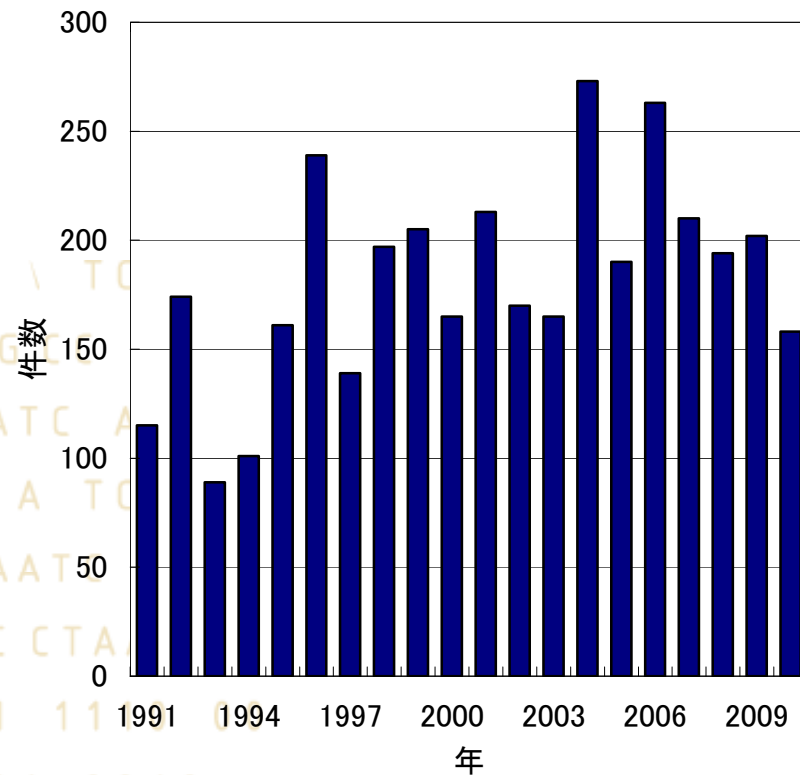
主要テーマの日本の論文シェアはどのようになっているか？(バッテリー)

- 材料分野の文献集合から、バッテリー(batter*) 関連の文献を検索。
- 年間論文数は一貫して増加傾向。
- 日本は2001年頃までは存在感を持っていたが、近年ではシェアが低下。
 - 中国はもちろん、韓国にもシェアで逆転されている。



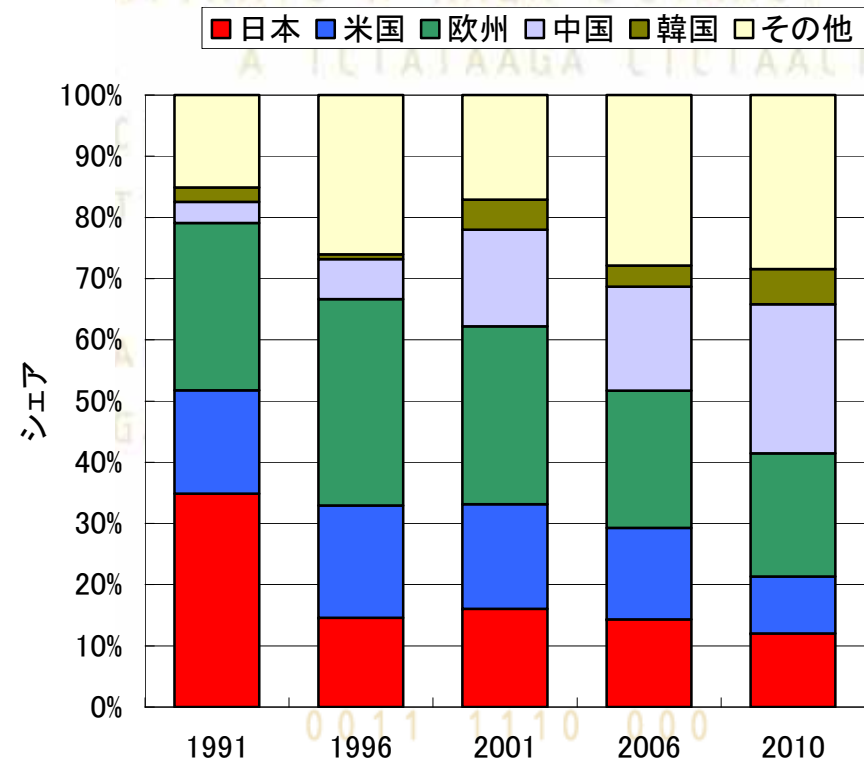
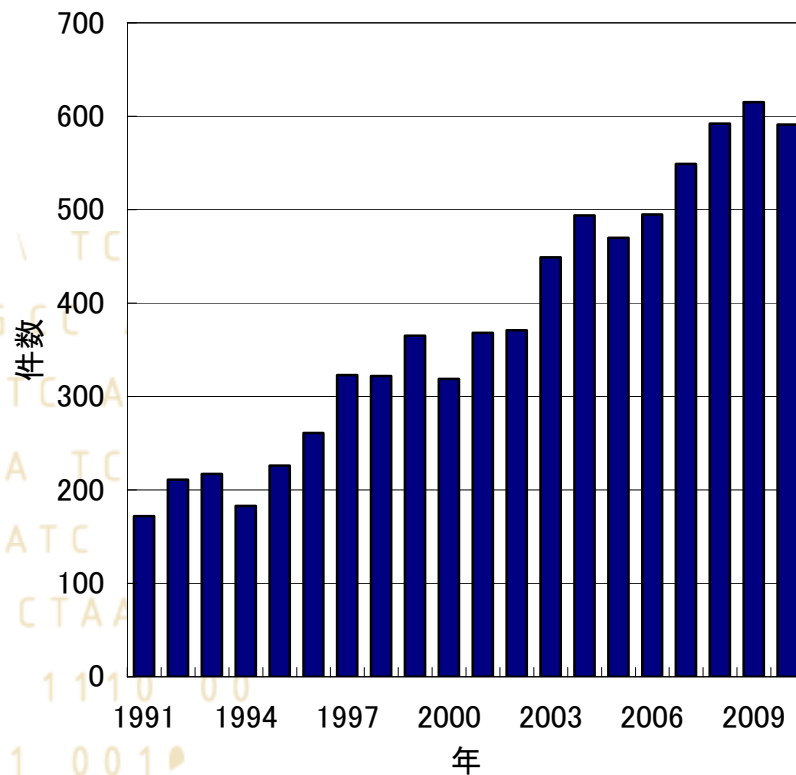
主要テーマの日本の論文シェアはどのようになっているか？ (Nd磁石)

- 材料分野の文献集合から、Nd磁石(magnet* & Nd) 関連の文献を検索。
- 年間論文数の変化は緩やか。
- 日本は当初シェアが低かったが、次第に存在感を高め、2001年以後トップクラスのシェア。
 - 直近は中国の爆発的シェア拡大に押され気味。



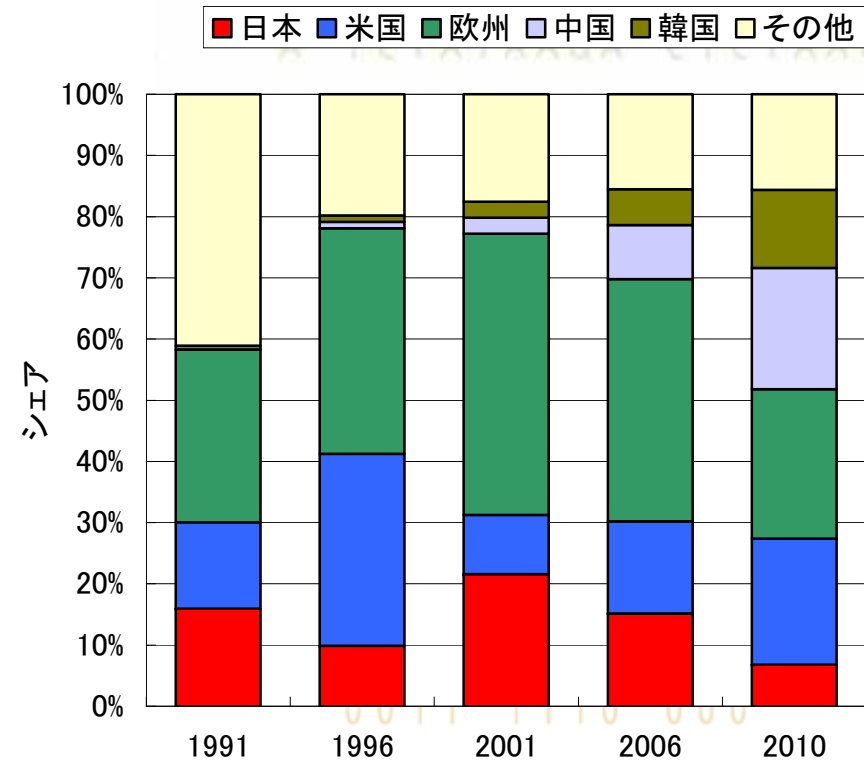
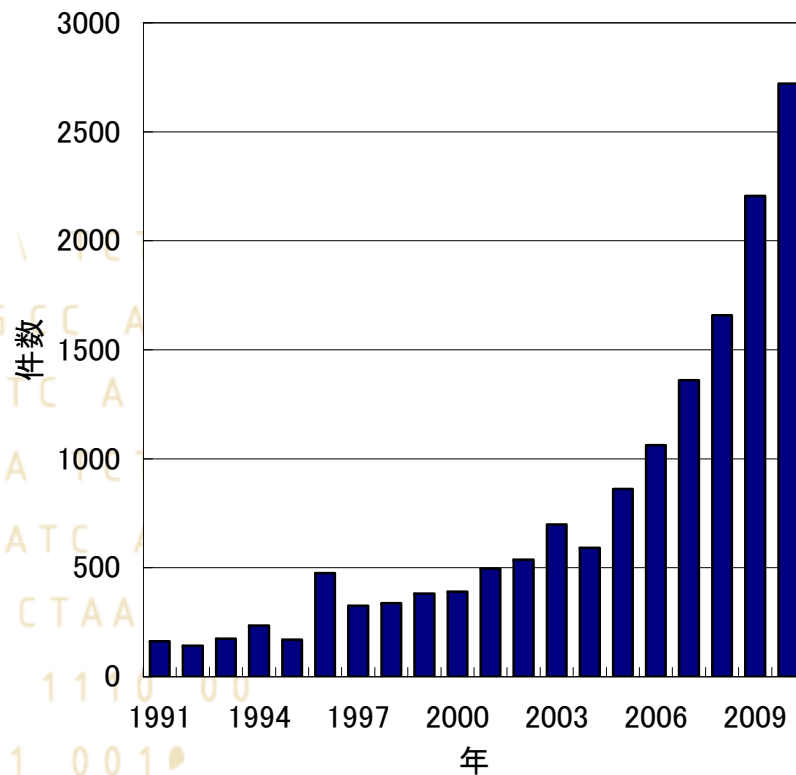
主要テーマの日本の論文シェアはどのようにになっているか？ (耐蝕鋼)

- 材料分野の文献集合から、耐蝕鋼(Steel,SUS & Ni) 関連の文献を検索。
- 年間論文数は堅調に増加。
- 日本は1991年には圧倒的存在感を持っていたが1996年にシェアが急落した。しかしながら以後は一定のシェアを維持している。



主要テーマの日本の論文シェアはどのようにになっているか？ (太陽電池)

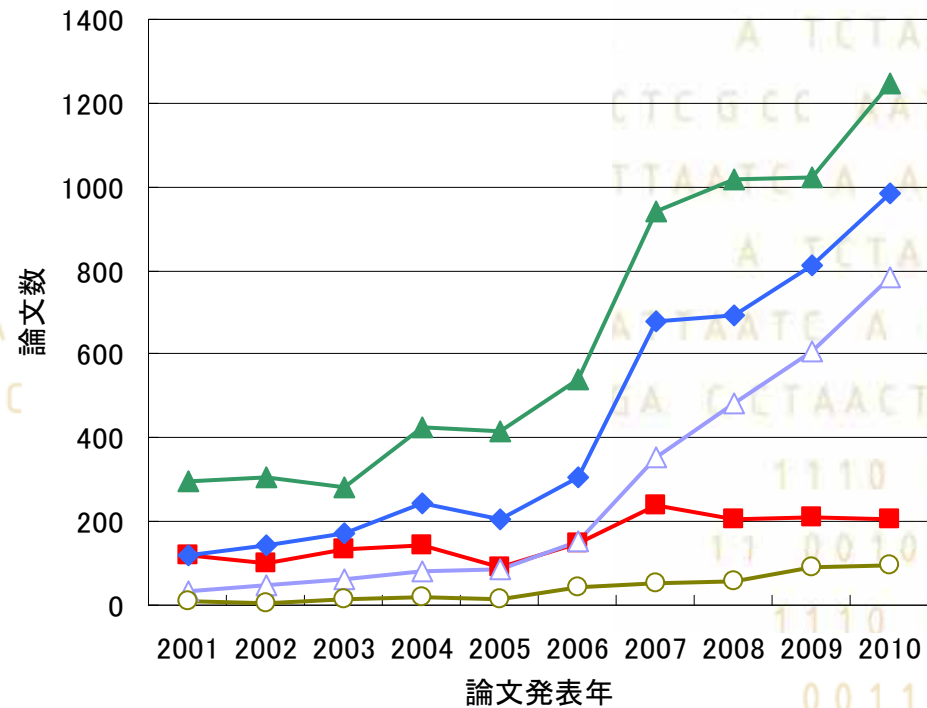
- 材料分野の文献集合から、太陽電池(solar cel*) 関連の文献を検索。
- 年間論文数は2004年頃から急増している。
- 日本は1991年には高いシェアを持っていたが1996年にシェアが急落した。その後一時期シェア拡大を果たしたが、近年の急増に対応できず、シェアが落ち込んでいる。



AT A TCTATAAGA CTCTAACT

研究加速ツールに関する日本の論文シェアはどのようになっているか？ (第1原理計算)

- 物質科学分野における第1原理計算の論文は、過去、欧州・米国と日本の差は僅かであった。
- 00年代中盤の急速な論文数の伸びに対応できず、大きく水をあけられた。また、欧米中の躍進が驚異的。

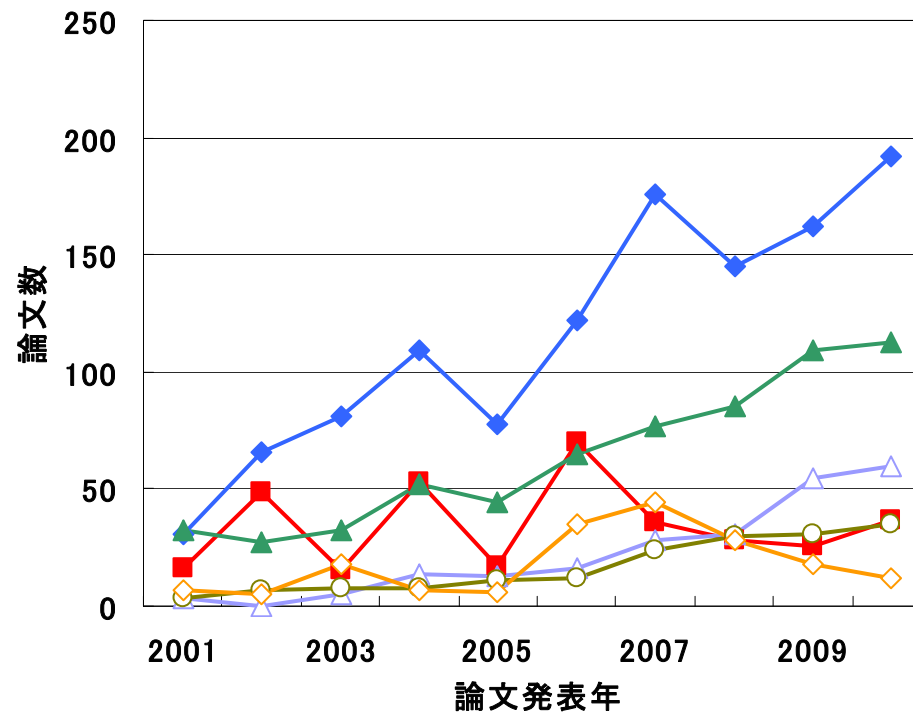


■ 日本 ■ 米国 ■ 欧州 ▲ 中国 ○ 韓国 ◇ その他

出典: Thomson Reuters Web of Knowledge 検索結果から作成

研究加速ツールに関する日本の論文シェアはどのようになっているか？ (コンビナトリアル&HTS手法)

- コンビナトリアル&HTS手法を物質科学に活用した論文は、堅調に増加している。
- 日本は00年代中ごろまでは上位に入っていた。その後、欧米と大きな開きができた。中韓にも逆転されつつある。

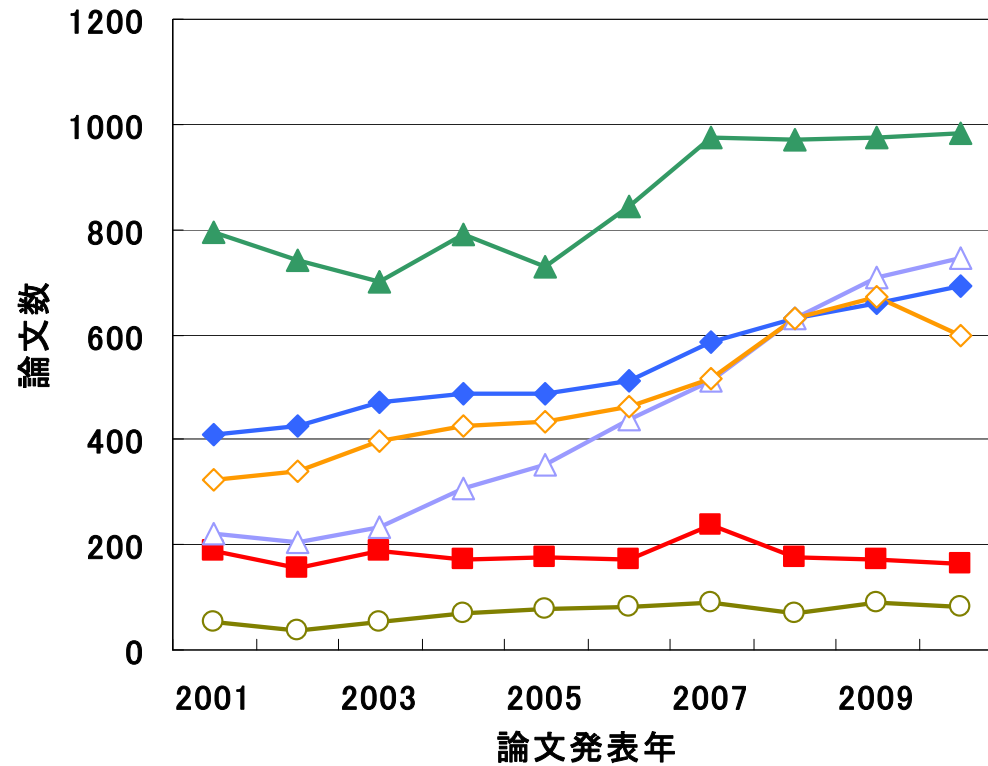


■ 日本 ■ 米国 ▲ 欧州 ▲ 中国 ○ 韓国 ◇ その他

出典: Thomson Reuters Web of Knowledge 検索結果から作成

研究加速ツールに関する日本の論文シェアはどのようになっているか？」 (理論&実験)

- 理論と実験の両方を扱った論文を見ても、日本の論文数は増えていない。



■ 日本 ■ 米国 ■ 欧州 ▲ 中国 ○ 韓国 ◇ その他



日本はどのような状況におかれているのか？（調査のまとめ）

- 産業では力を維持しているものの、資源は乏しく、研究の相対的な優位性も脅かされている。

		日本	米国	欧州	中国	韓国	状況
研究(論文数)	元素関連	○	○	◎	◎	△	欧米日から欧米中の3極へ。
	材料分野	△	○	○	◎	△	全体、特に中国の増加に日本は追従できず。
	(同上:トップ論文)	△～○	◎	○	○	△～○	質の面で米国は優位性を維持するが、日本は中国に抜かれた。
	機能別	右の分野のいずれでも優位性が脅かされている	バッテリー 貴金属触媒 太陽電池 アクチュエーター 有機EL	Nd磁石 貴金属触媒 耐蝕鋼 太陽電池 アクチュエーター 有機EL GMR/TMR	バッテリー Nd磁石 貴金属触媒 耐蝕鋼 太陽電池 有機EL	有機EL GMR/TMR	10～20年前に存在した日本の優位性が脅かされている。
	手法	右の分野のいずれでも優位性が脅かされている	第一原理計算 コンビナトリアル&HTS 手法 XAFS 理論&実験	第一原理計算 コンビナトリアル&HTS 手法 XAFS 理論&実験	第一原理計算 理論&実験		5～10年前に存在した日本の優位性が脅かされている。
	関連分野	△	○	○	○	△	日本は材料関連の分野で他の分野より強い。
資源	元素生産量	△	○	△	◎	△	
産業(特許)	元素関連	◎	◎	◎			
政策	研究	削減・代替、リサイクル	削減・代替、リサイクル	削減・代替、リサイクル	希少元素活用	削減・代替、リサイクル	中国以外、特に韓国は日本を意識してリサイクルを強化。

AT A TCTATAAGA CTCTAACT

TCTATAAGA CCCC
 GCC AAAA GGCC
 ATATAA CTCTAACT C
 AA TAATC
 A TCTATAAGA CTCTA
 CTC GCC AATTAATA
 ATTAATE A AAGA CCTAACT
 A TCTATAAGA CTCTAACT
 CTC GCC AATTAATA
 ATTAATE A AAGA CCTAACT CTCTA
 A TCTATAAGA CTCTAACT
 ATTAATE A AAGA CCT
 GA CCTAACT CTCAGACC
 1110 000
 11 001010 1
 1110 000
 0011 1110 000
 00 11 001010 1
 11 1110 000

3. 「元素戦略」の今後のシナリオ

TCTATA
 GCC AATTAATA
 ATC A AAGA CC
 A TCTATAAGA
 AATC A AAG
 CCTAACT C
 1 1110 00
 11 0010



主要国の資源制約へのアプローチは？

- 希少資源への対応について、各国はそれぞれ自国の強みを活かした異なるアプローチを展開
- 日本は、材料・素材化に係わる高い技術力を強みとしており、その基盤が崩れた場合にはわが国の資源制約へのアプローチは大きく方向転換をせざるを得ない。

資源制約へのアプローチ	
日本	<p>“技術開発”アプローチ (技術開発)</p> <p>「減量」「代替」「循環」技術を開発・普及することで希少資源への依存度を減らす。</p>
米国	<p>“安全保障”アプローチ (国力背景に調達)</p> <p>国防の観点(特に防衛関連装備の維持)から希少資源のサプライチェーンを再建する。</p>
EU	<p>“基準・規制”アプローチ (貿易協定、標準・基準)</p> <p>不公平取引を条約で制限したり、非合法出荷を規制する等により、安定的な希少資源供給を実現する。</p>
中国	<p>“資源独占”アプローチ (輸出制限)</p> <p>希少資源を政治・外交ツールとして活用し、資源的メリットを経済的メリットにつなげる。</p>
韓国	<p>“出口強化”アプローチ (製品から部材へ)</p> <p>製造業(最終製品)の国際競争力を活かし、部材シェアの向上を狙うが、資源制約が立ちはだかる。</p>

各国の有する”強み”

材料・素材化に係わる**技術力**

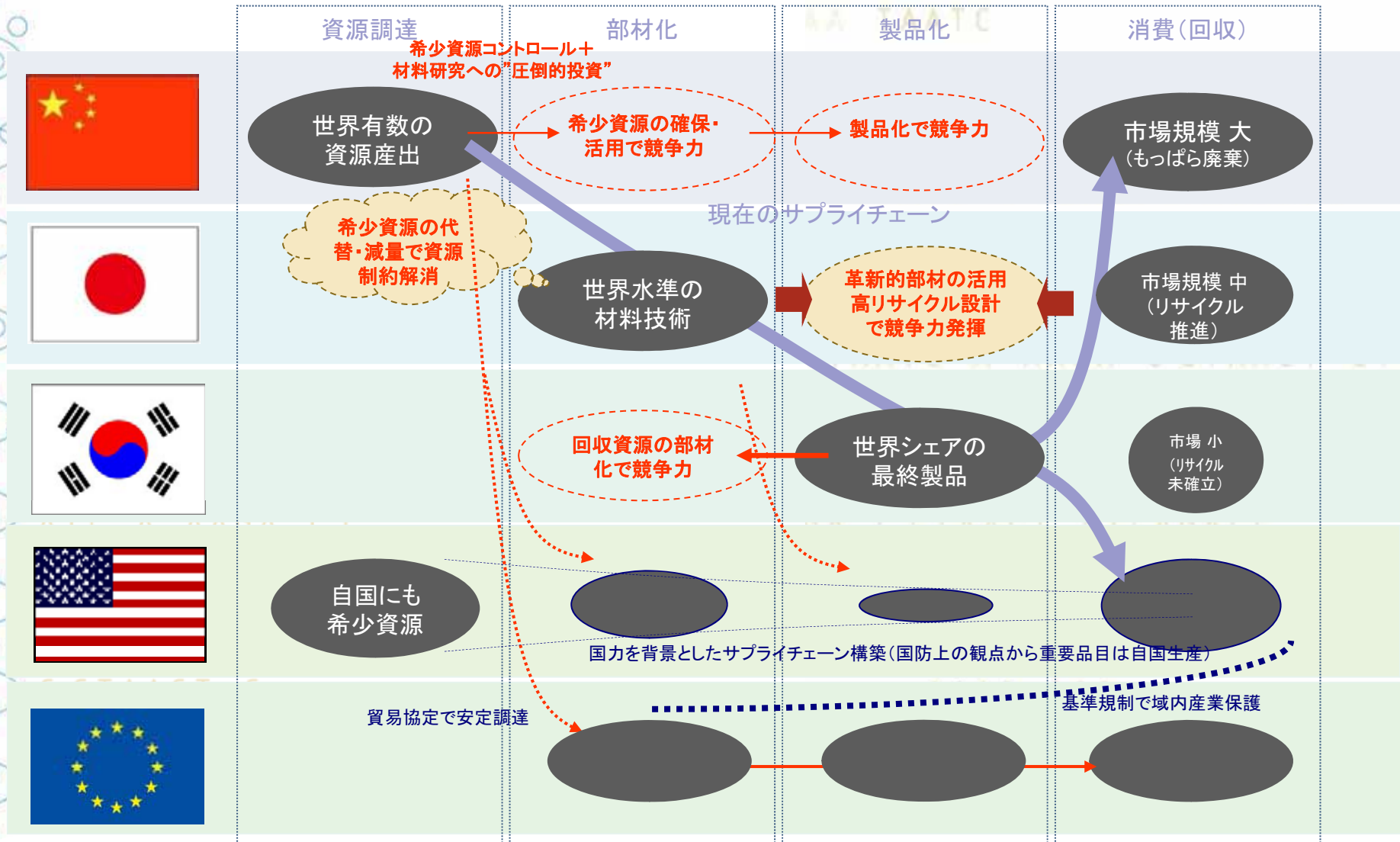
国力を背景とした資源国との外交力

ルール策定の場における**「投票数」**

資源埋蔵国としての独占的供給力

最終製品(出口)の市場シェア

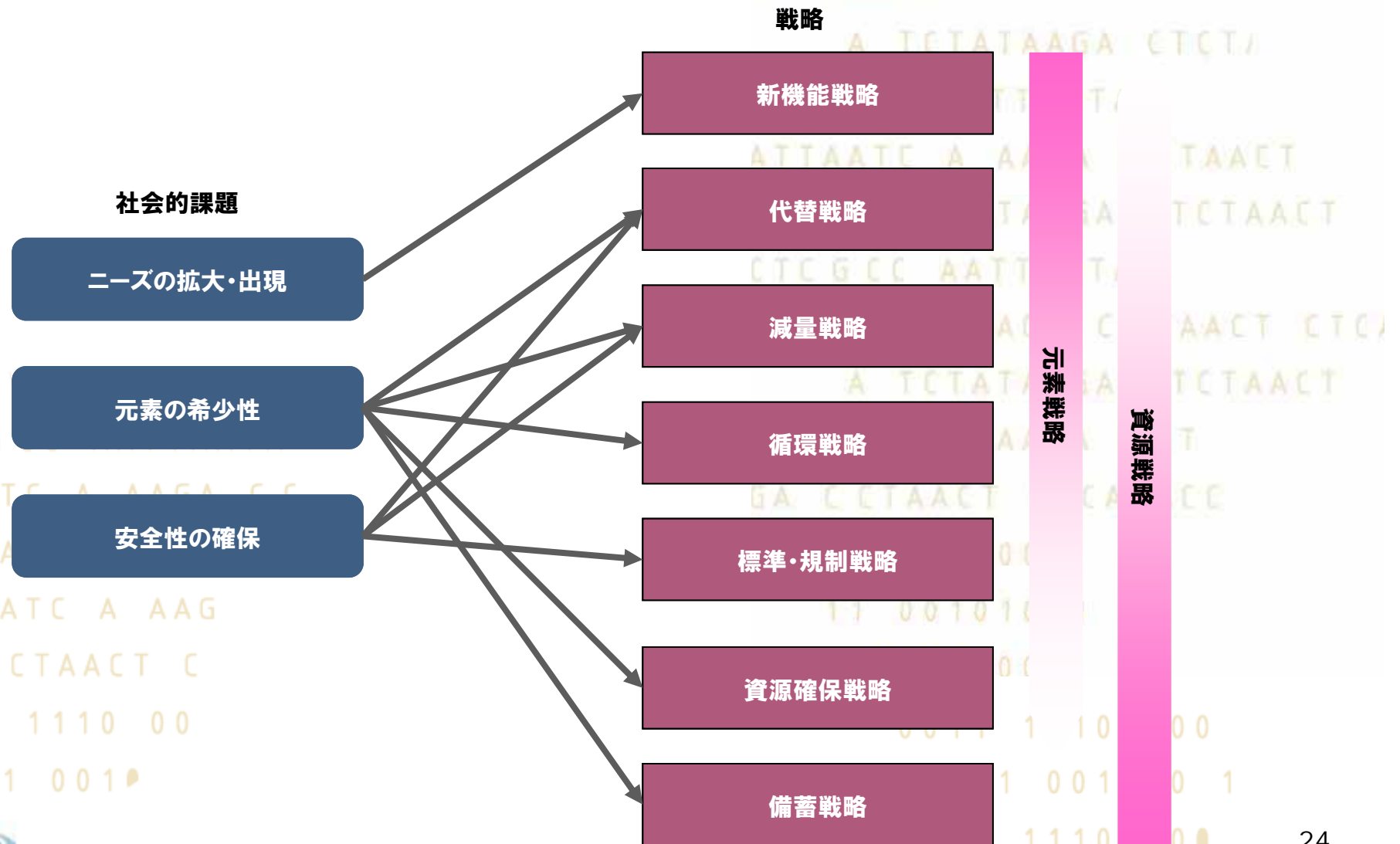
サプライチェーンの観点から見た元素戦略の重要性



AT A TCTATAAGA CTCTAACT

元素戦略全体のフレーム

- 社会的課題に対応して、7つの戦略が求められる。



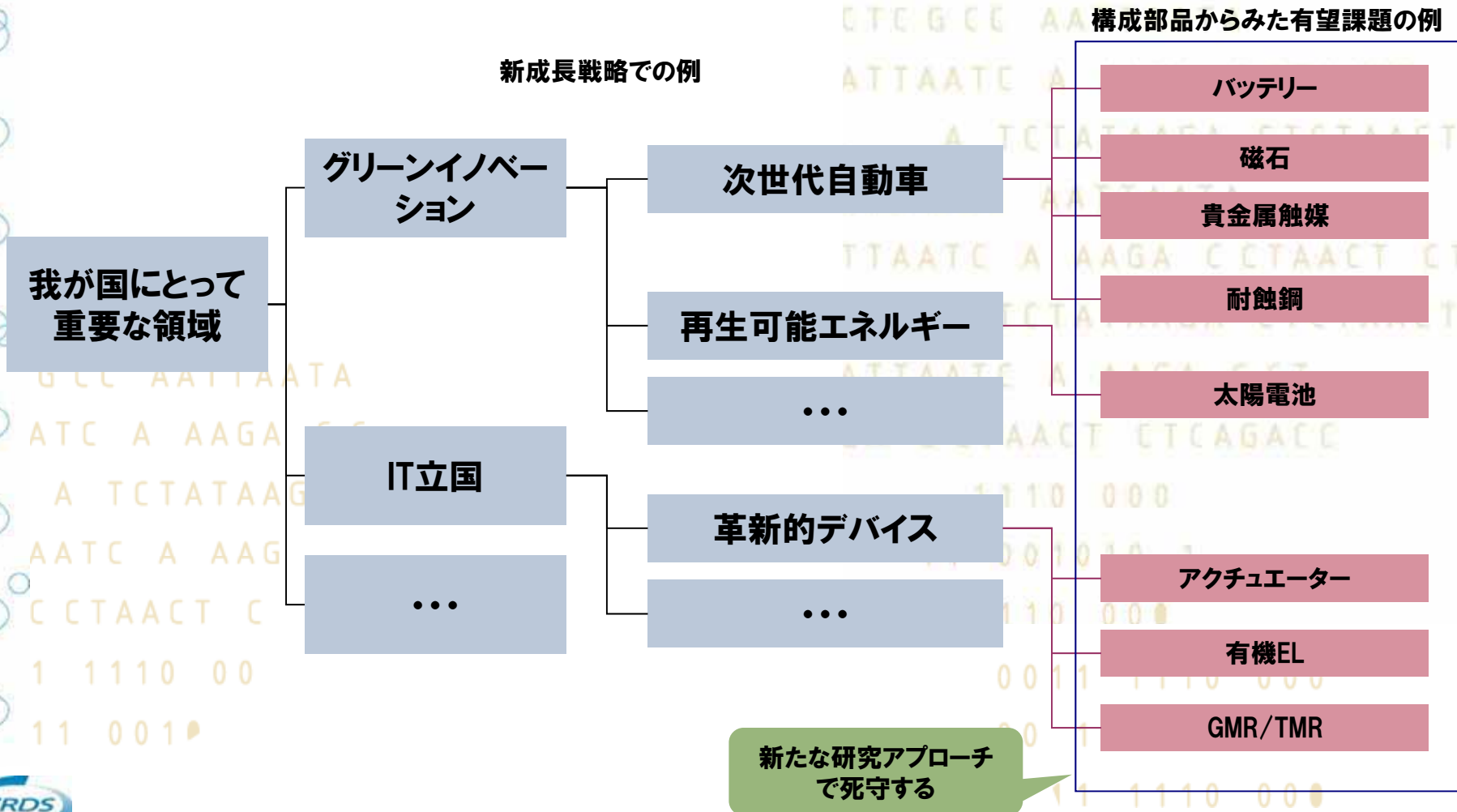
元素戦略に関連する国の役割

- これら7つの戦略をオールジャパンとして推進していく必要がある。
- 文部科学省の役割は、**基礎的、基盤的観点から、長期的な課題解消**に注力すること。

		文部科学省	経済産業省	厚生労働省・ 環境省	外務省 ほか
新機能戦略	ありふれた元素から今までにない機能を引き出すことによって、新たな活用を生み出す。	◎			
代替戦略	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を目指す。	◎完全代替が可能な基盤的な研究	◎具体的な元素を対象に早急な対応が必要な実用化技術開発		
減量戦略	希少元素や規制元素の使用量を極限まで減らす。	◎大幅削減が見込まれる基盤的な研究	◎具体的な元素を対象に早急な対応が必要な実用化技術開発		
循環戦略	希少元素の循環利用や再生を推進する。	○	◎	◎	◎外交
標準・規制戦略	標準・規制という高いハードルを自らに課して乗り越えることで、イノベーションを目指す。		◎	◎	
資源確保戦略	資源外交、資源開発で元素を確保することによって不足に対応する。		◎		
備蓄戦略	元素を備蓄することによって、不足に対応する。		◎		

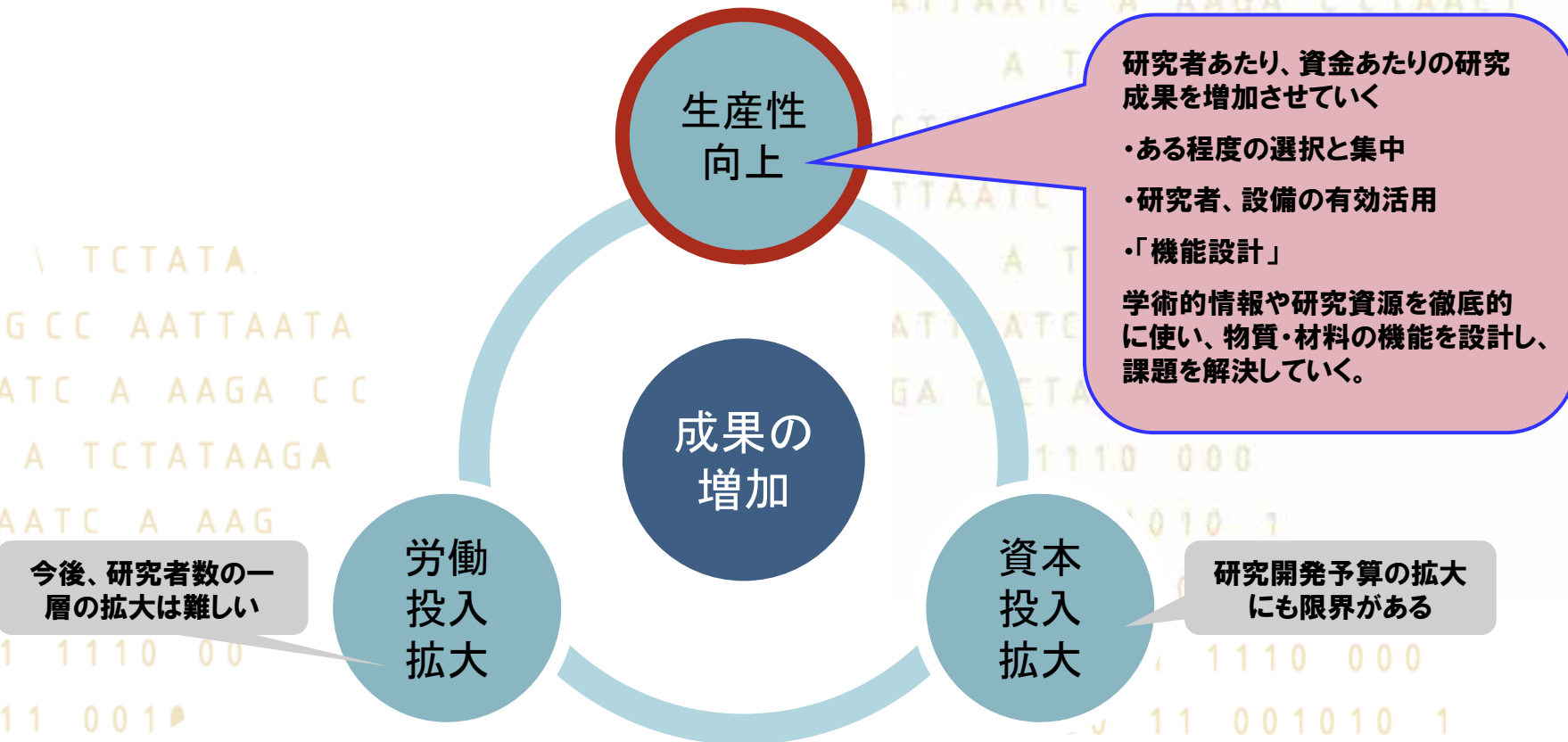
社会的課題に合致する研究課題とは？

- 日本が競争力を持つ製品や新産業の発展に資する、資源調達リスクの解消につながる、環境負荷低減につながるといった、**社会課題に合致する研究課題**が求められる。
- たとえば、新成長戦略等に掲げられた分野では以下のように挙げることができる。



なぜ研究アプローチを転換する必要があるのか？

- 新興国では今後研究者も研究開発予算が増加していくことが考えられるが、我が国は、人的、物的な量の拡大が期待できない。
- これまでの研究アプローチでは研究の競争力を維持するのは難しく、特定領域に特化していくか、研究者・設備をより一層効果的に活用していくしか選択肢がない。



JST研究開発戦略センター 『戦略イニシアティブ「元素戦略」』 より (2007年発行)

新材料設計・探索

材料探索・設計指針

高度の物質観を持つリーダー

学術的裏付け

経験

「形式知に裏付けられた・暗黙知」

理論・計算・モデル

実験的探索手法

計算機実験

モデル計算

演算能力

手法開発

データベース

作製プロセス

計測評価

高速高性能パラメータ走査

ソフト開発

機器開発

「形式知」

「腕力の効率化武装」

AT A TCTATAAGA CTCTAACT

元素戦略の位置づけ

- 「元素戦略」は目的指向型材料研究として位置づけられる。

