

# 文部科学省として取り組むべき元素戦略 (議論のたたき台)

## 1. 元素戦略の背景

### (1) 希少元素をとりまく社会的背景(参考資料1)

- 需要の高まり→日本の先端産業は世界の3割以上消費し拡大傾向
- 価格の高騰→最近の5年間で急騰(タングステン2倍、インジウム10倍)
- 供給の不安→枯渇性、資源偏在と困り込み <資源戦略の必要性>

### (2) 希少元素と環境負荷

- 希少元素採掘による環境負荷
- 有害元素、有害物質による環境問題

### (3) 科学技術基本計画: 戦略重点科学技術

#### ○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

元来資源が少ない日本においては、資源問題は我が国が直面する大きな課題である。希少資源や不足資源に対する抜本的解決策として、それらの資源の代替材料技術の革新は必須であり、省資源問題の中でも、最も材料技術に期待されているところである。日本あるいは世界で資源枯渇の影響のない持続可能な社会の確立を図るためにも、集中配分による技術開発は必須となる。

## 2. 元素戦略の目標

### (1) 希少資源・不足資源代替並びに効率的利用技術

- 産業応用で重要な材料機能を担う希少・不足元素を、豊富に存在し環境低負荷な元素を用いて、代替あるいは効率的利用する材料技術開発や、製造・プロセス技術開発することにより、希少資源・不足資源枯渇の影響のない持続可能な社会の確立に貢献する。

### (2) 有害物質・材料対策に資する材料技術

- 有害物質の使用量を劇的に低減できる材料技術、およびその機能を担う代替技術を実現する。

## 3. 具体的なターゲットとなりうる元素の例

### ○インジウム(In)

液晶の透明電極用に需要拡大、価格高騰。早くて2011年に枯渇不安(科学新聞060428)。リサイクルのみでは、今後の需要はカバーできない(NEDO報告書)。

### ○白金族(Pt, Ru, Rh, Pd, Os, Ir)

自動車用排ガス触媒、燃料電池用触媒、耐熱合金の添加元素、磁気記録材料など日本の国際競争力が高い分野で有用されている。白金(プラチナ)は南アフリカに偏在(75%)。各社代替材料や使用量削減に取り組みつつも有望な代替材料がないと言われている。

### ○希土類(La, Ce, Nd, Dy等のランタノイド元素およびY, Sc)

デジタル製品やハイブリッドカーのモーター用磁石など、引き合いが活発。しかし、主産国の中国が資源保護政策強化し減産(Dyは去年の1/3)。磁石は価格値上げも困難で、リサイクルも進んでいない。

### ○タングステン(W)

プリント基板の加工、自動車の部品切削などに使う超硬工具の主原料で需要好調だが、主産国の中国が輸出抑制。備蓄、安定調達への取り組みも始まっているが、決定的な解決策はない。

### ○鉛(Pb)

広くエレクトロニクス分野で実用化されている鉛系圧電材料は、鉛、Cd、Hg、6価Cr等の電子部品への使用を禁止するRoHS規制(2006.7.1～)の対象であり、非鉛系材料の開発と実用化が急務。

### ○ニッケル(Ni)

ステンレス鋼の持つ耐食性、耐熱性、意匠性、加工性を発揮するには、高Ni化が効果的だが、Ni価格高騰、生体適合性等から、脱Ni鋼の需要が高くなっている。精錬、組織制御による要素技術提案あり。

## 4. 研究振興の観点からみた元素戦略

### (1) 元素戦略とナノテクノロジー・材料研究の関係

- 材料研究を資源問題に切り込める重要かつ魅力的な研究分野とするための新たな切り口
- ナノテクノロジー・材料研究の潜在能力を元素戦略に結集(先端分野融合+産学官連携)

### (2) 元素戦略推進の方法論: 研究振興の観点から

- 逼迫した需要・供給関係に対応した資源戦略としての元素戦略(経済産業省)
  - 喫緊の課題となっている特定元素に対する集中的な資源の投入
- 中長期的な基盤技術の研究開発としての元素戦略(文部科学省)(参考資料2)
  - 元素を特定することなく「横串」で基盤的技術を研究振興  
材料研究の潜在能力を活用する観点から、広く研究を公募する

## 5. 実用化・社会貢献に向けての工夫

- 基盤となる研究を振興する観点から早期に具体的な実用化にこだわらない。
- しかし、元素戦略の目的からして、実用化を目指した研究の方向性は堅持する。
- 生み出されたシーズについて、経済産業省の資源戦略と密接に連携することで実用化につなげていく。
- 国全体の戦略として、元素戦略の全体像を経済産業省等とも連携しながら構想していくことが重要。

## 6. 考えられる元素戦略「研究」の切り口 (参考資料3)

### (1) ありきたりの元素からなる高機能材料(ユビキタス元素戦略)

豊富に存在し(クランク数の大きいO, Si, Al, Fe, Ca, Mg, C等)、環境低負荷な元素、資源供給において時間的、空間的な制限を受けない(資源の可採年数、偏在や囲い込みの不安のない)元素を用いて、独特の構造や組織を形成することで、希少元素の担う機能を発揮させる材料技術。たとえば、籠状構造(フラーレンや $C_{12}A_7$ )に(通常では安定に結晶構造に入らない)活性化した原子を存在させ、導電性、化学反応性などの機能を発揮させる。あるいは、合金元素を使わずに組織制御によって材料の機械的性質の革新をはかる技術など。

### (2) 計算機マテリアルデザイン(材料DBと機能設計)

希少元素・有害物質と同等以上の機能を有する元素代替物質・材料の計算機を使った設計。これまでのナノテクノロジー・材料研究で蓄積した材料DB(データベース)により第一原理計算の守備範囲拡大、シミュレーション技術や組成探索技術が現実的な系で効果を発揮しつつある。複雑なプロセスや高額な実験の効果的实施、開発方向性呈示、未知の材料についての機能設計、構造設計手法等を開拓し、検証する。

### (3) 素機能限界の追及(使用量大幅削減し必要機能発揮)

使用量を大幅低減し必要な機能を発揮させる技術、および素機能の発現機構解明。たとえば、白金族元素の触媒機能や耐食機能を発揮させる材料の厚さ、形状の極限值、そしてその製造プロセスの追求、コーティングによる機能の分担や融合による最適機能設計技術等。

### (4) 表界面原子層の電子状態操作(表面アルケミー)

表面や界面を構成する数原子層の電子状態を操作し、下地の材料では実現できない新たな機能を付与。下地の材料の化学的性質等を維持しつつ、表面や界面の原子のケミカルシフト等により、化学反応性、触媒特性、磁性特性等を付与。表界面の非合金化等の化学的処理やプラズマや原子間力などの物理的処理を駆使することが期待される。

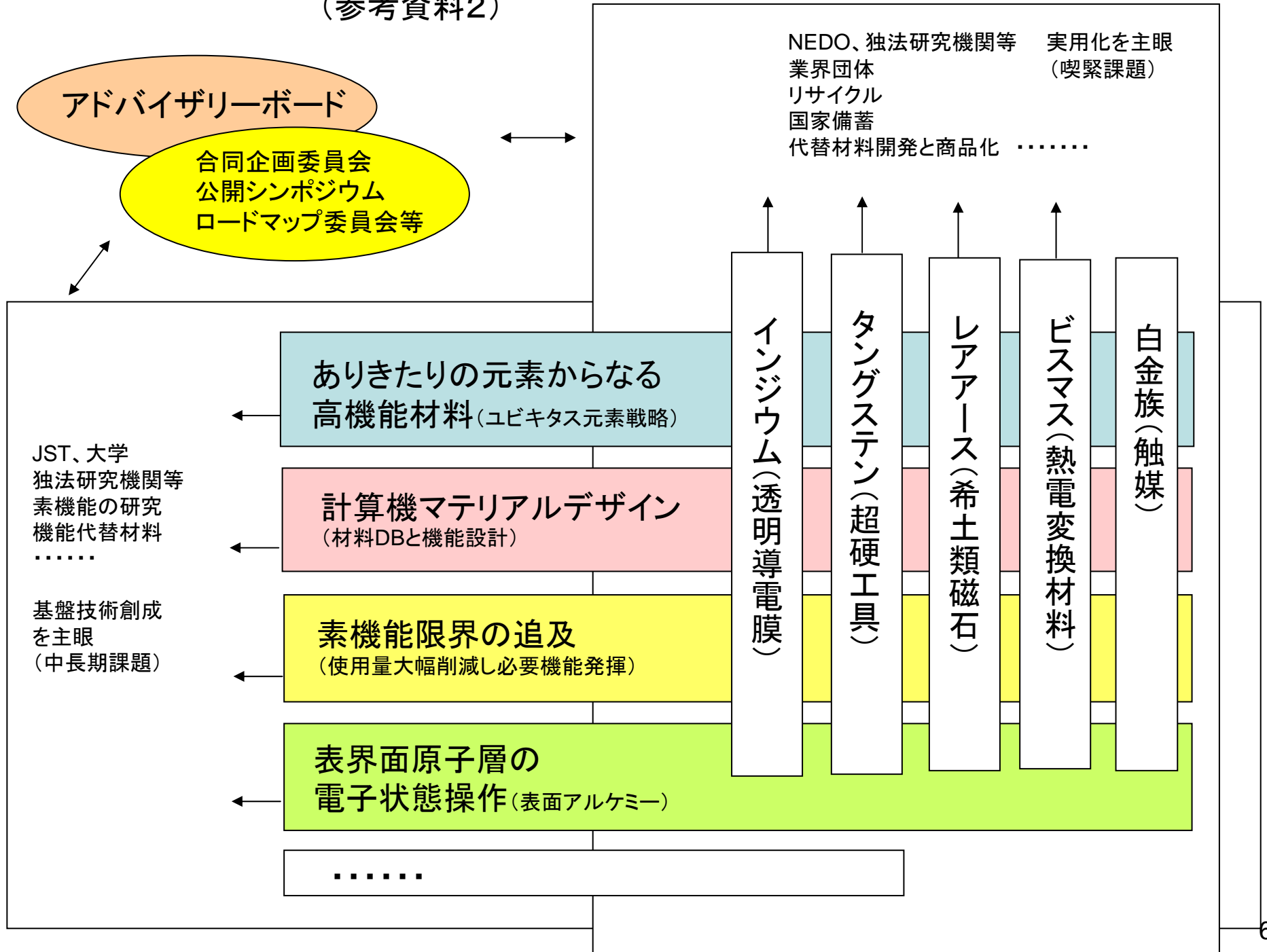
## (参考資料1)

## 需給リスク

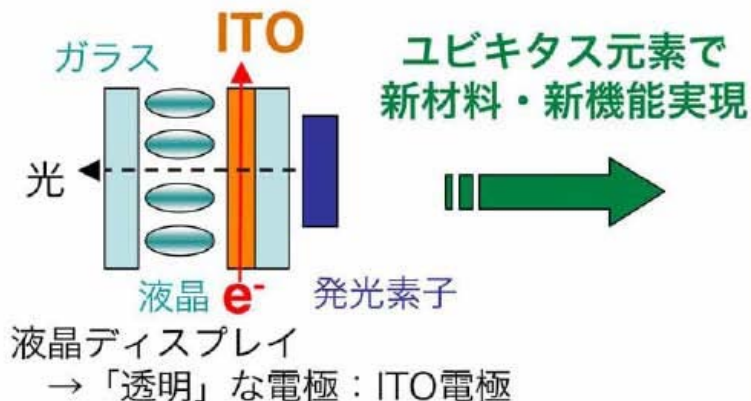
リスク大●● リスク中● リスク小△

元素名	クラーク数	供給	価格	需要	リサイクル
	地表の元素重量%	可採年数、埋蔵国、生産国、輸入相手国の集中度	価格上昇、価格変動／10年	世界需要、国内需要、特定分野の需要の伸び率／5年	備蓄、リサイクル
プラチナ(Pt)	5x10 <sup>-7</sup>	● 南アに88%偏在	●● 白金輸入価格↑	●● 201~225% 触媒(自動車、化学)	△ リサイクルあり
インジウム(In)	1x10 <sup>-5</sup>	●	● 2002年から急騰	●● 211~233% 透明電極	●● 研究開発段階
ヨウ素(I)	3x10 <sup>-5</sup>	●	●	●● 偏光フィルム	● 研究開発中
アンチモン(Sb)	5x10 <sup>-5</sup>	●● 100%中国から輸入	●	△	●●
ジスプロジウム(Dy)	4x10 <sup>-4</sup>	●	●	● 希土類磁石	●●
サマリウム(Sm)	6x10 <sup>-4</sup>	●	●	● 希土類磁石	●●
ゲルマニウム(Ge)	6.5x10 <sup>-4</sup>	●	●	●	●●
タンタル(Ta)	1x10 <sup>-3</sup>	●	●	●● 151~227% 超硬工具、電子機器	●●
ランタン(La)	1.8x10 <sup>-3</sup>	●	△	● コンデンサ、水素吸蔵合金	●●
ニオブ(Nb)	2x10 <sup>-3</sup>	●● 90%ブラジルから輸入	△	● 超硬工具添加剤	●
ネオジウム(Nd)	2.2x10 <sup>-3</sup>	●	●	● 希土類磁石	●●
イットリウム(Y)	3x10 <sup>-3</sup>	●	●	●● 182% 光学レンズ	●●
タングステン(W)	6x10 <sup>-3</sup>	●● 100%中国から輸入	● 最近5年で2倍	●● 208% 超硬工具/中国内需拡大	△ 国家備蓄
リチウム(Li)	6x10 <sup>-3</sup>	△	△	●● 202% Liイオン電池、耐熱ガラス	●●
ニッケル(Ni)	0.01	●	●● Ni塊の輸入価格↑	△	△ 国家備蓄
クロム(Cr)	0.02	△	●● Cr鉱石輸入価格↑	● 耐熱合金、磁気記録膜	△ 国家備蓄
マンガン(Mn)	0.09	●	●● FeMn輸入価格↑	● 鋼材、Al合金添加	△ 国家備蓄

(参考資料2)



### ありふれた元素でつくる新構造 -脱インジウム液晶ディスプレイへの道

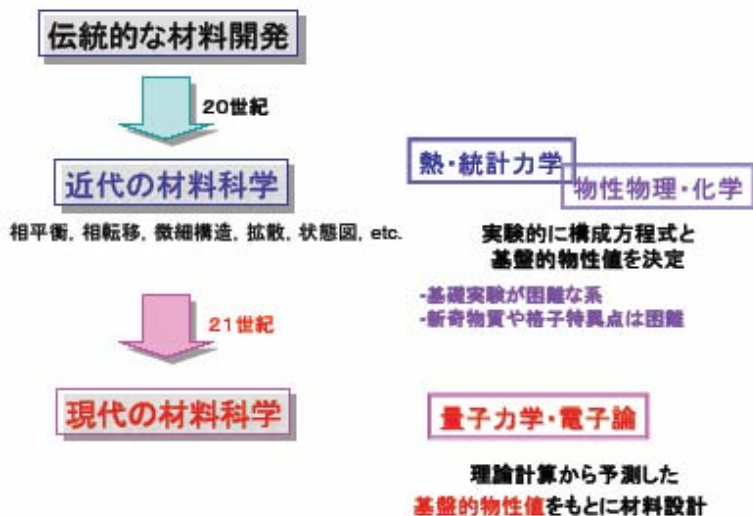


透明で電気を良く通す物質は、電極材料として液晶ディスプレイなどあらゆるディスプレイ類や太陽電池になくてはならない。この材料として独占的に使用されてきたITOは枯渇が懸念される希少元素インジウム(In)の酸化物(O)に少量のスズ(Sn)をドープしたものである。最近、東工大の細野教授らは、消石灰とアルミナというごくありふれた、代表的な絶縁体の物質だけから、世界で初めて透明電極の代替材料の開発に成功した。「ゼロから一をつくる」現代の「錬金術」により新材料が発見された好例である。この材料により、電子の通路として働くカゴ状構造に電子を閉じこめるといふ新しい原理により、「光で電線を描く」といふ夢の新技术も実現されそうである。

(細野, Nature 2002)

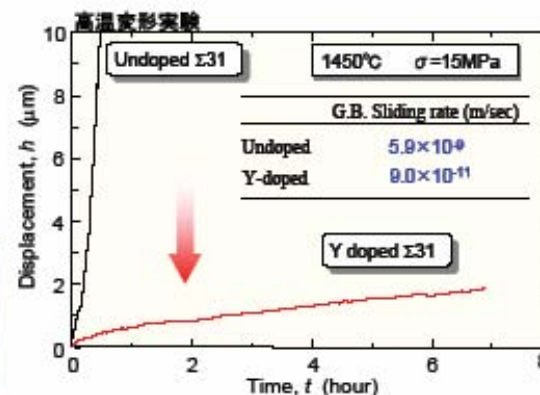
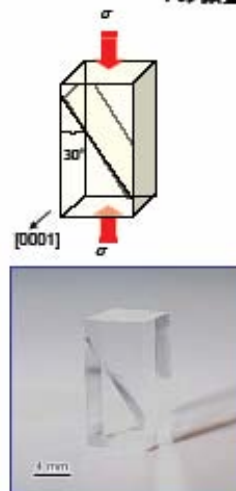
東工大 細野教授

第一原理計算の守備範囲が拡大し、格子振動のみならず偏析や機能元素の形態など、機能材料の設計に大きく寄与する段階になっている。

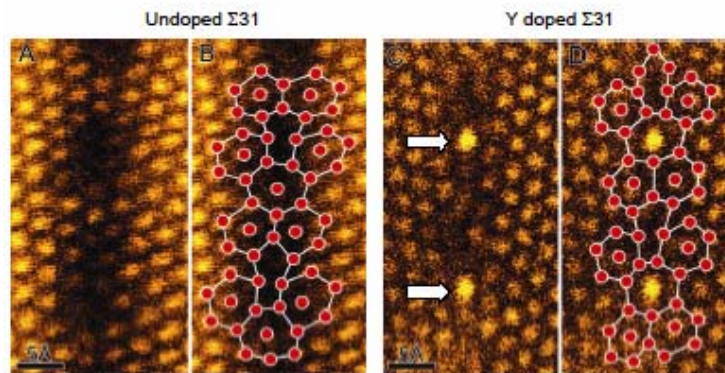


格子特異点における機能元素

酸化アルミニウム双結晶のクリープ変形抵抗が Yの数量添加により100倍に (幾原ら)



最先端の電子顕微鏡技術と第一原理計算の連携



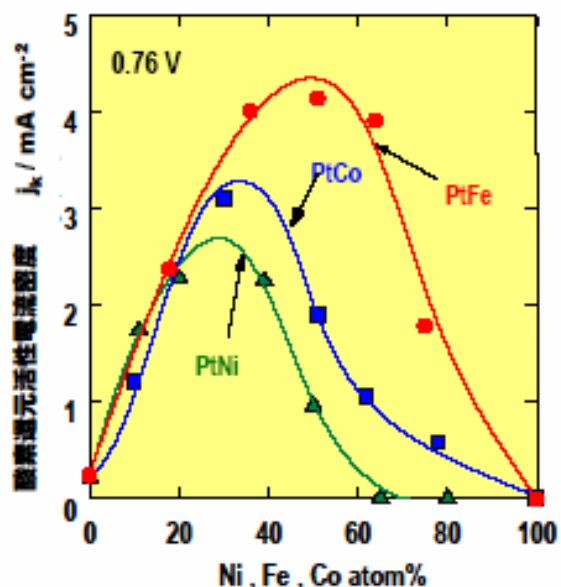
粒界に偏析したY原子像と計算結果

幾原ら Science 2006



表界面数原子層の電子状態操作(例)

### 高活性合金カソード触媒の開発

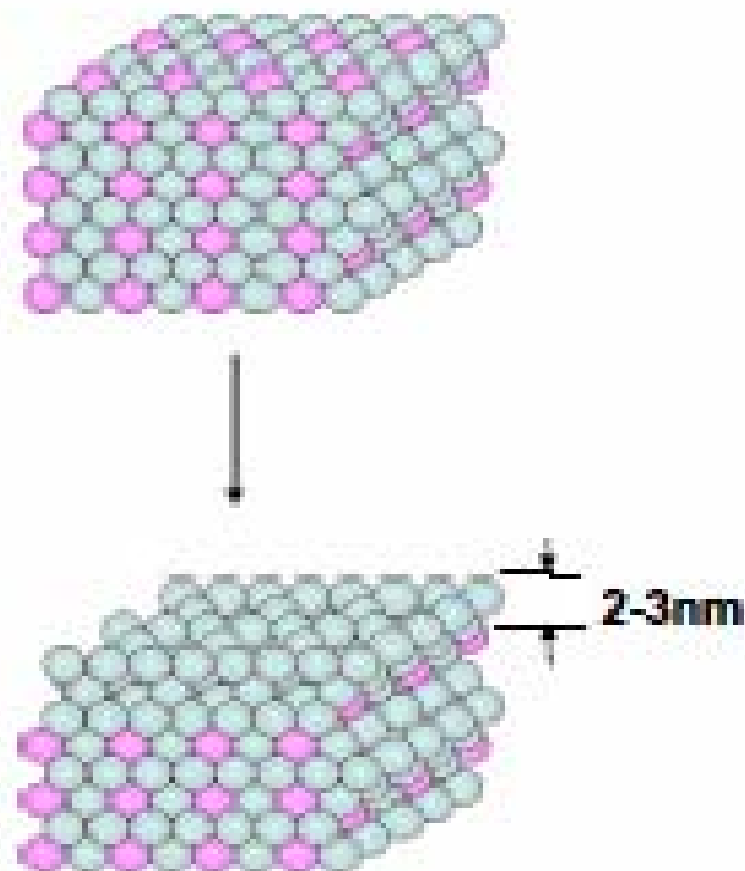


単味Ptの約20倍もの  
高活性触媒を開発

合金表面Pt皮膜の電  
子状態変化による活  
性増大機構を提案



チャンネルフロー二重  
電極法により活性の温  
度依存性、反応機構を  
詳細検討



燃料電池アノードのCO被毒等で酸素極のロスが80%にもなり、燃料電池効率向上の壁となっている。高活性カソード触媒開発と電極設計法の確立が急務であるが、有効なシーズを発見した。Pt-Fe表面からFeを溶出し、Pt 2~3原子層の超薄膜で残すと、このPt膜は下地の合金の影響でケミカルシフトがみられ電子状態が純粋のPtと異なることがわかった。電子を少なく持っている状態なのでCOが吸着しにくい。Ptの電子構造の修飾(電子密度の低下)で、反応が促進される新しい触媒の設計理論として提案中。