



# 水素社会の実現に向けた要素技術 －東北大学における取り組み例－

東北大学大学院環境科学研究科

和田山智正

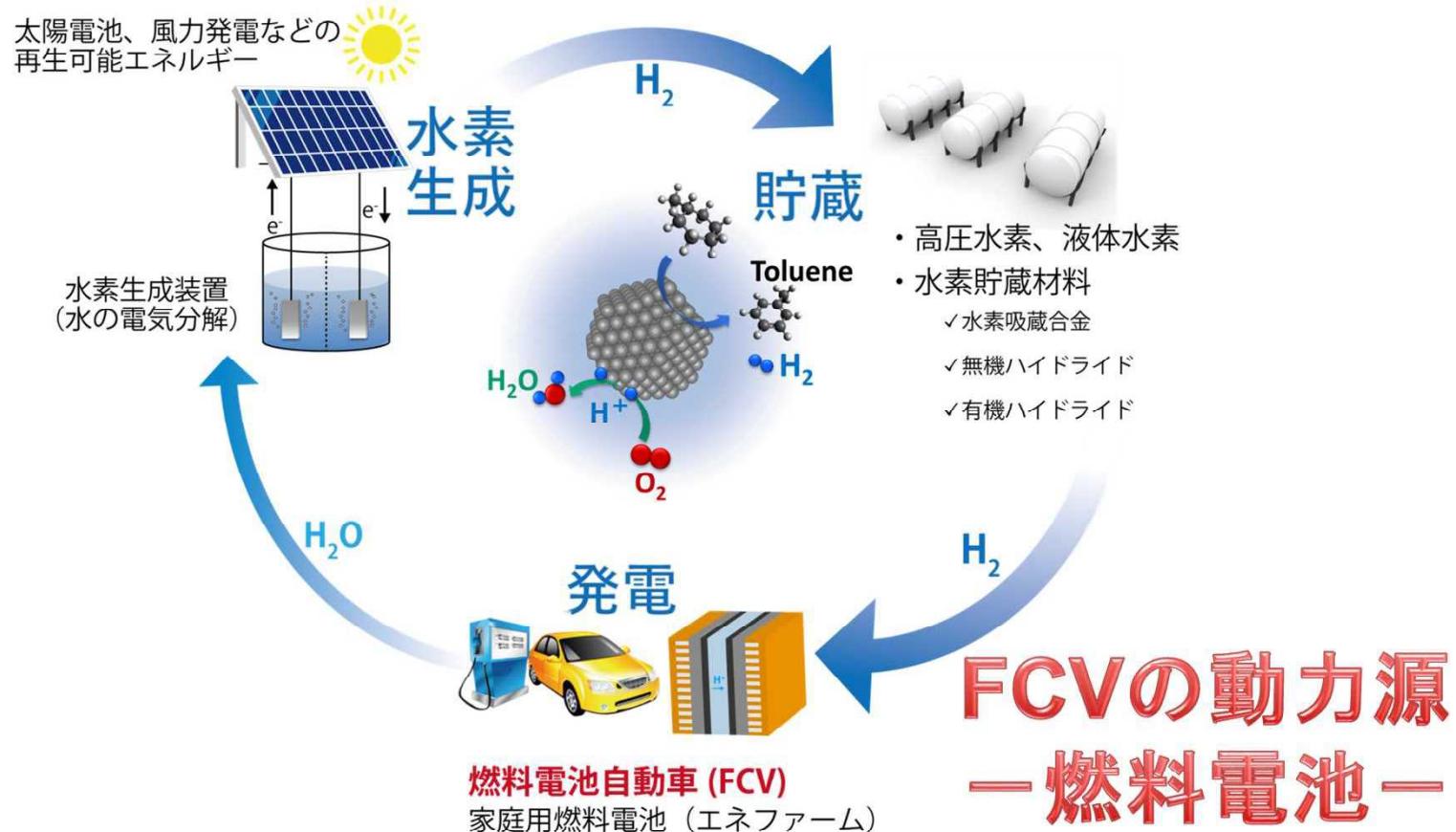
2015/11/20 みやぎ水素エネルギーインポジウム 勝山館



# 水素社会の実現と研究開発



水素(H<sub>2</sub>)をエネルギー媒体の中心と考え、研究開発、インフラ投資



内燃機関(熱エネルギー→機械エネルギー)を  
化学デバイス(化学エネルギー→電気エネルギー)へ代替

# 宮城県さんの取り組み

**みやぎ水素エネルギー利活用推進ビジョン 概要版**

**策定の趣旨**

- ▶ 地球温暖化や化石燃料の枯渇が懸念される中、水素をクリーンエネルギーとして利活用する取組に注目
- ▶ 家庭用燃料電池(エネファーム)に加え、燃料電池自動車(FCV)の市販等、身近なところでの水素の利活用が進展
- ▶ 国は水素社会の実現に向けた積極的な取組姿勢を明確化。関連産業や一部自治体も取組を拡大

**水素エネルギーの利活用に向けた本県の姿勢を明らかにし、関連施策の方向性を示す**

**水素エネルギーの有用性**

- (1)環境負荷の低減
  - 利用段階で二酸化炭素を排出しないため、地球温暖化の防止に貢献
  - エネルギー効率が高く、省エネにも期待
- (2)エネルギー供給源の多様化
  - 水素は化合物として無尽蔵に存在
  - 水素は再エネなど様々な方法で製造可能
- (3)経済波及効果
  - 今後成長が見込まれ、幅広い業種にチャンス
  - 産業振興や雇用拡大にも期待
- (4)災害対応能力の強化
  - 自立・分散型電源として非常時対応に期待

**宮城県において取り組む意義**

- ▶ 復興途上にある本県において、災害対応能力の強化、環境負荷の低減、経済波及効果が期待できる施策
- ▶ 仙台圏域に水素ステーションを設けることで、東北各県にFCVで移動することが可能
- ▶ FCVが販売され、水素・燃料電池への社会的关心が高まっている今が取組の好機

**推進プロジェクト（案）**

- ▶ 以下の5つのプロジェクトの実現を目指す。  
FCV導入促進プロジェクト、水素ステーション整備を重点的に実施
- ▶ 今後、5年～10年で実現される、以下のスケジュールで実現を目指す。

**① FCV導入促進プロジェクト【重点】**

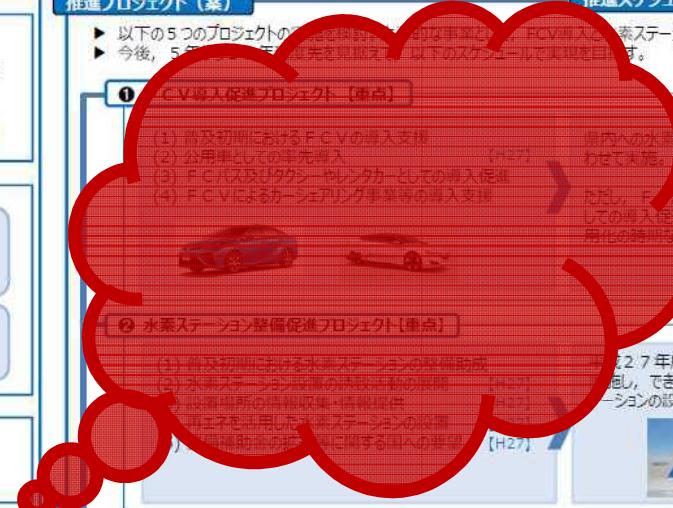
- 1) 普及初期におけるFCVの導入支援
- 2) 公用車としての導入
- 3) FCバス及びタクシーやレンタカーとしての導入促進
- 4) FCVによるカーシェアリング事業者等の導入支援

場内への水素ステーション整備と歩調を合わせて実施。  
ただし、FCバス及びタクシーやレンタカーとしての導入促進については、対象車両の実用化の時期を踏まえ考慮。

**② 水素ステーション整備促進プロジェクト【重点】**

- 1) 普及初期における水素ステーションの整備助成
- 2) 水素ステーションの運営体制の整備
- 3) 設置場所の情報収集・情報提供
- 4) ハイブリッド車等を活用した水素ステーションの設置

平成27年度中から設置に向けた取組を実施し、できるだけ早期の商用水素ステーションの設置を目指す。



## FCV普及 固体高分子形燃料電池の高性能化 水素の製造、運搬とステーション整備

**(1)水素ステーションの整備・運営**

- 水素ステーションの整備には多額の経費が必要
- FCV普及初期には先行整備者が不利

→ **自治体と国、整備事業者が連携した整備が必要**（国へ財源措置を求める必要もあり）

**(2) FCVの普及**

- 現時点では高価なため、普及拡大に相当の期間
- FCVの水素充填需要が少ないと、水素ステーションの自立的運営も困難

→ **FCVの普及に向けて初期需要の創出が必要**

**(3)エネファームの普及**

- 国の補助を受けてもまだ高額
- エネファームの認知度やメリットへの理解が不足

→ **エネファームの普及に向けた仕組みづくり、認知度の向上が必要**

**(4)水素エネルギーの产业化の促進**

- 県内における水素の利活用の実績は少ない
- 生活に身近な部分での水素利活用は、まだ始まったばかり

→ **関連産業への関心を高める取組等が必要**

**(5)水素エネルギーに対する理解の向上**

- 水素エネルギーの認知度、理解度の不足
- 水素エネルギーに対する誤解も少なくない

→ **水素の受容性を高め、有用性や安全性などの認知度を高める取組が必要**

**③ 水素・燃料電池関連産業の誘致の促進**

- 再エネを利用した水素製造技術等の支援

**④ 水素エネルギー普及啓発プロジェクト**

- 1) 有用性や安全性に関する知識の普及啓発  
(イベント開催や広報媒体による普及啓発)
- 2) FCV、エネファームの普及啓発に向けた取組  
(見学会、試乗会等の実施)

平成27年度中から進めて行く。

**推進体制**

- 再生可能エネルギー等・省エネルギー推進本部
- 再生可能エネルギー等・省エネルギー推進本部幹事会
- 水素エネルギー利活用推進プロジェクトWG

連携

みやぎFCV普及促進協議会  
(関連企業等15団体)

産



学

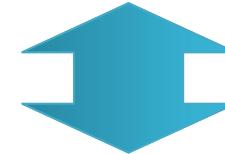
官

オールジャパンでの取組

## クリアすべき技術課題

- 電解質膜(有機)
- 触媒(金属・セラミクス・無機)
- セパレーター(金属・セラミクス)
- 水素貯蔵・運搬(ガス・無機・有機)
- システム

## 関連材料開発と物性研究



### 計算科学

- ・物質輸送
- ・反応モデル

### 実験

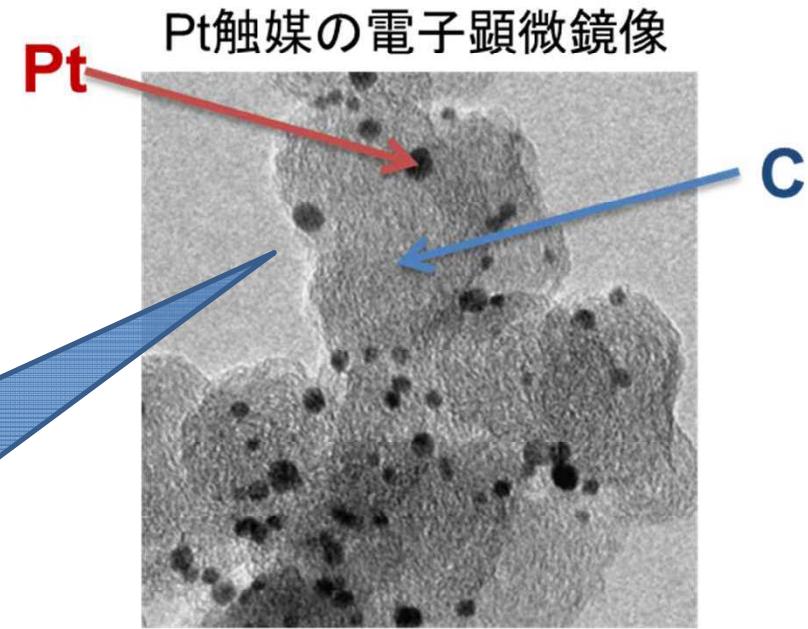
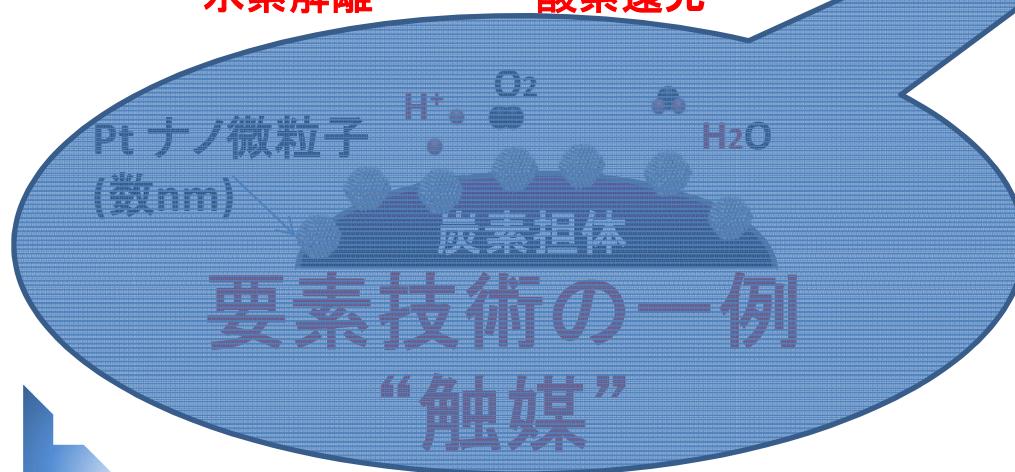
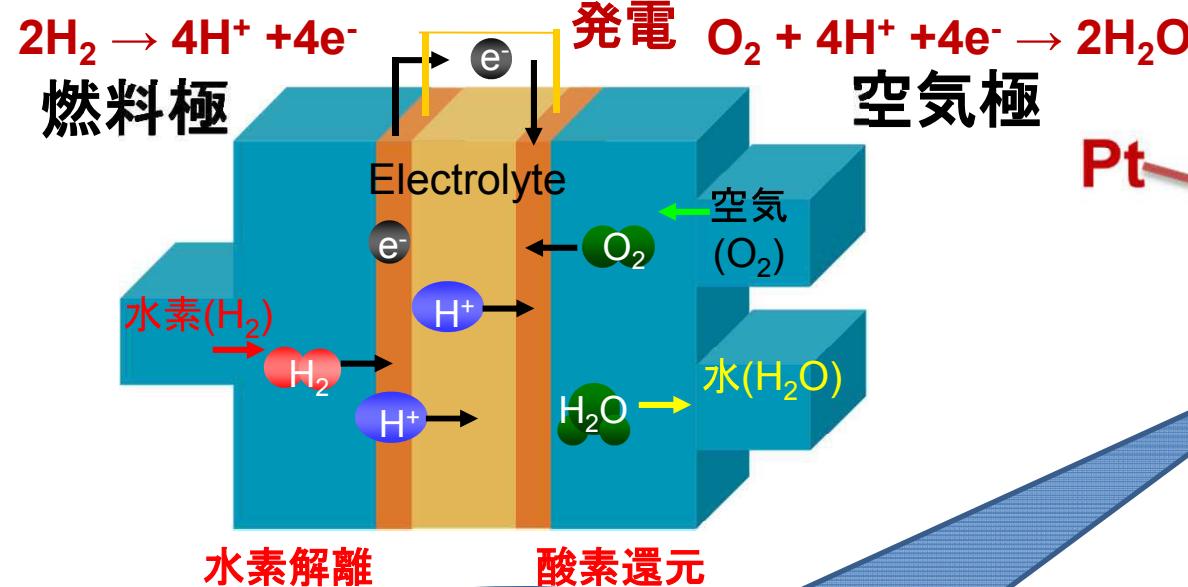
- ・構造解析
- ・モデル触媒

複雑で多様な技術的・学問的課題の克服が不可欠

# 燃料電池自動車(FCV,FCEV)

## 固体高分子形燃料電池

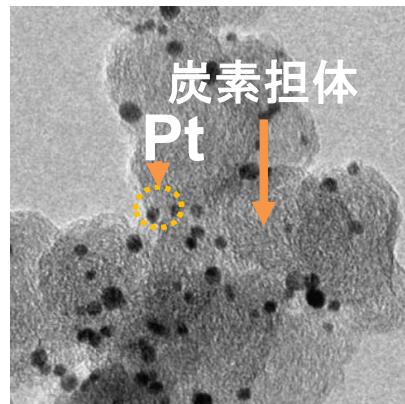
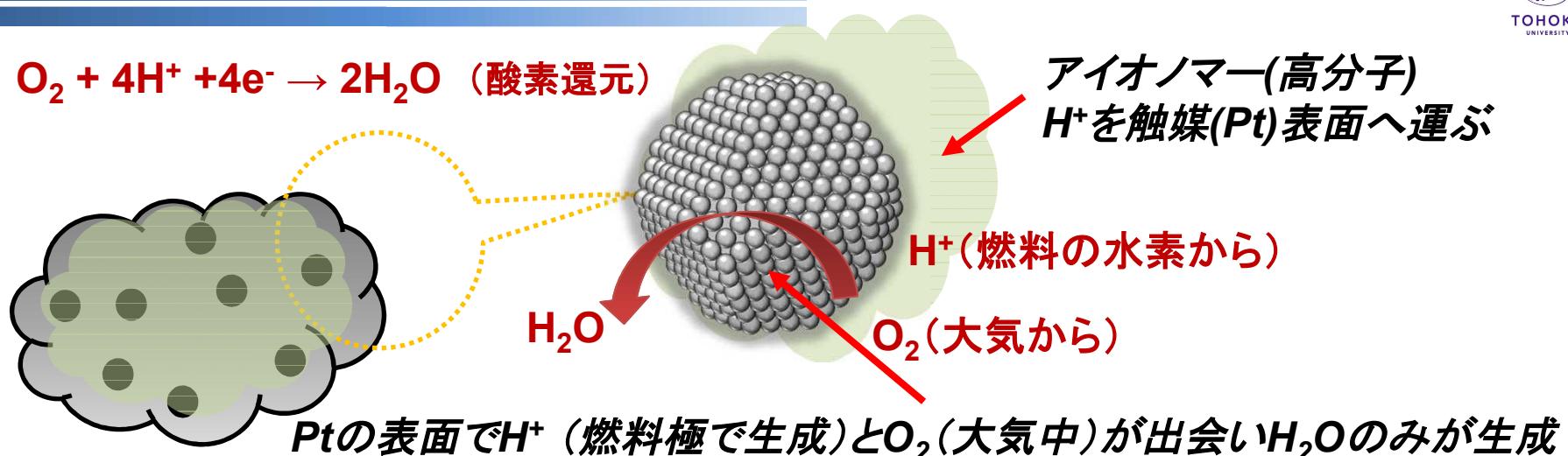
“内燃機関”から“化学デバイス”を用いて発電しモーター駆動  
**PEFC**



K. Sykes Mason et al., ECS Trans, 159 (12) F873 (2012)

動作環境下におけるナノ構造の制御  
 ↓  
 究極の技術課題

# 燃料電池の空気極触媒層で起こる現象



K. Sykes Mason et al., ECS Trans, 159  
(12) F873 (2012)

- 複雑な構造(ナノ)の中を $H^+$  (イオン)や $O_2$  (ガス)がスムーズに移動し触媒表面で高効率で反応、さらに生成した $H_2O$  (液体)を速やかに排出する
- 自動車の動作環境で安定した性能と工業製品としての耐久性を担保する

} 両立

## 燃料電池の性能

触媒(微粒子)、担体、アイオノマー、酸素や水素イオンの物質輸送のすべてに依存

# 触媒 白金(Platinum)



白金の資源量  
地球上の白金をかき集めても



プール1杯分(6mx6mx6m=216m<sup>3</sup>)

量産によるコスト低減とは無関係な“資源”  
FCVの広範な普及には低白金・非白金が必須

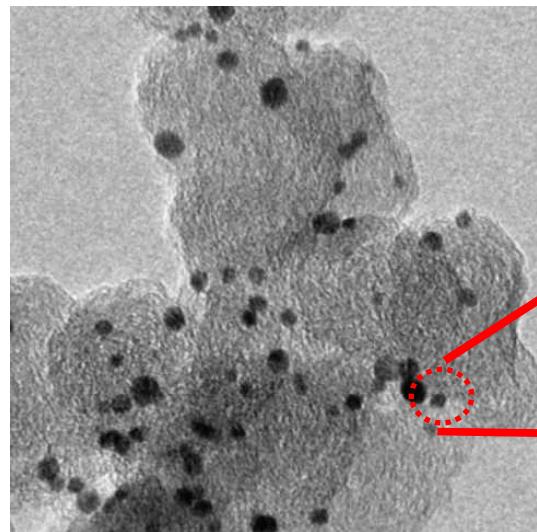
4000～5000円/g

FCV1台あたり現状で約  
50gの白金が必要：  
燃料電池を自動車動力源  
として置き換えるために必  
要な白金量は膨大

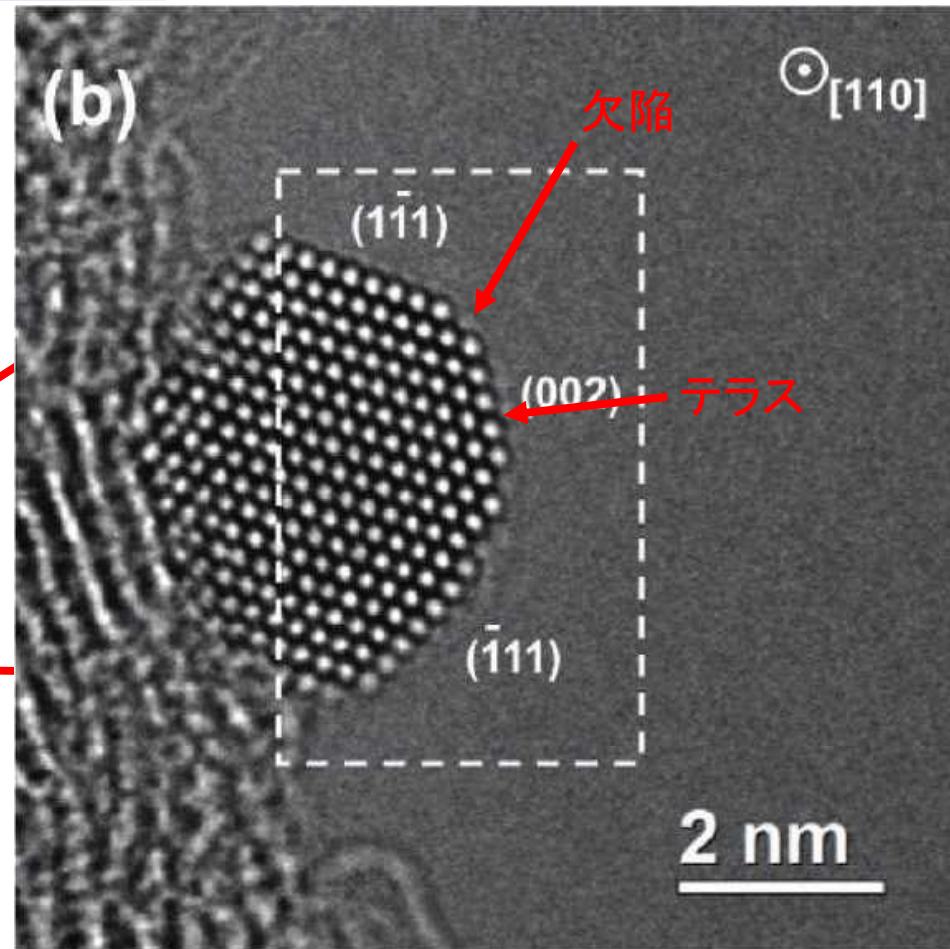
2013年(1月～12月)グローバル販売台数

|                  |       |
|------------------|-------|
| トヨタ自動車グループ       | 998万台 |
| フォルクスワーゲングループ    | 973万台 |
| GMグループ           | 971万台 |
| ルノー・日産グループ       | 826万台 |
| 現代自動車グループ        | 746万台 |
| フォード             | 633万台 |
| フィアット・クライスラーグループ | 440万台 |

# 触媒の電子顕微鏡観察



K. Sykes Mason et al., ECS Trans, 159 (12) F873 (2012)

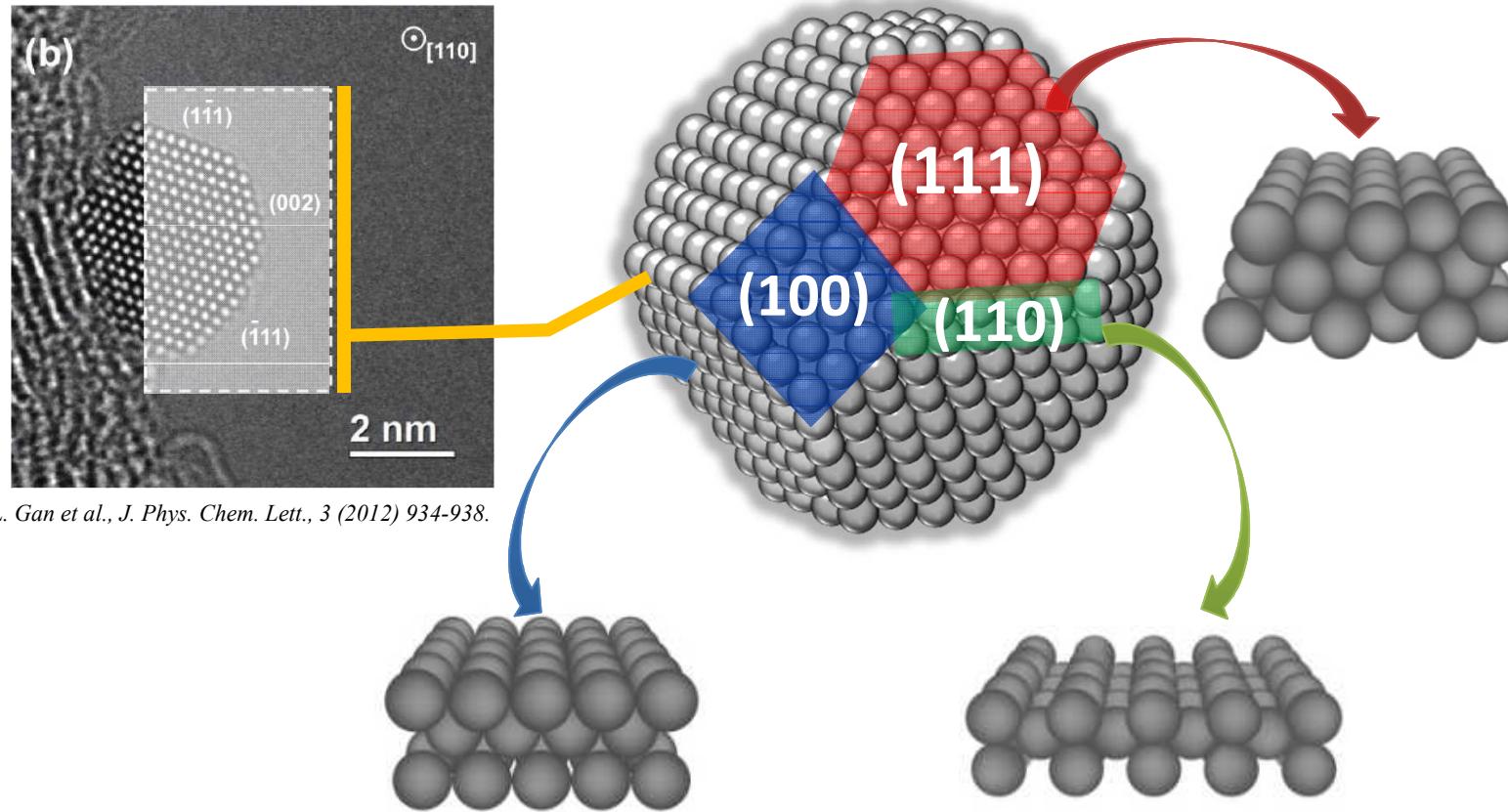


L. Gan et al., J. Phys. Chem. Lett., 3 (2012) 934-938.

炭素粉末(カーボンブラック)担持Ptナノ微粒子(Pt/C触媒)の表面構造  
きわめて複雑なナノ構造:

動作環境(起動停止、アクセルのオンーオフ)で構造が変化(劣化)<sub>8</sub>

# モデル触媒(単結晶)アプローチ

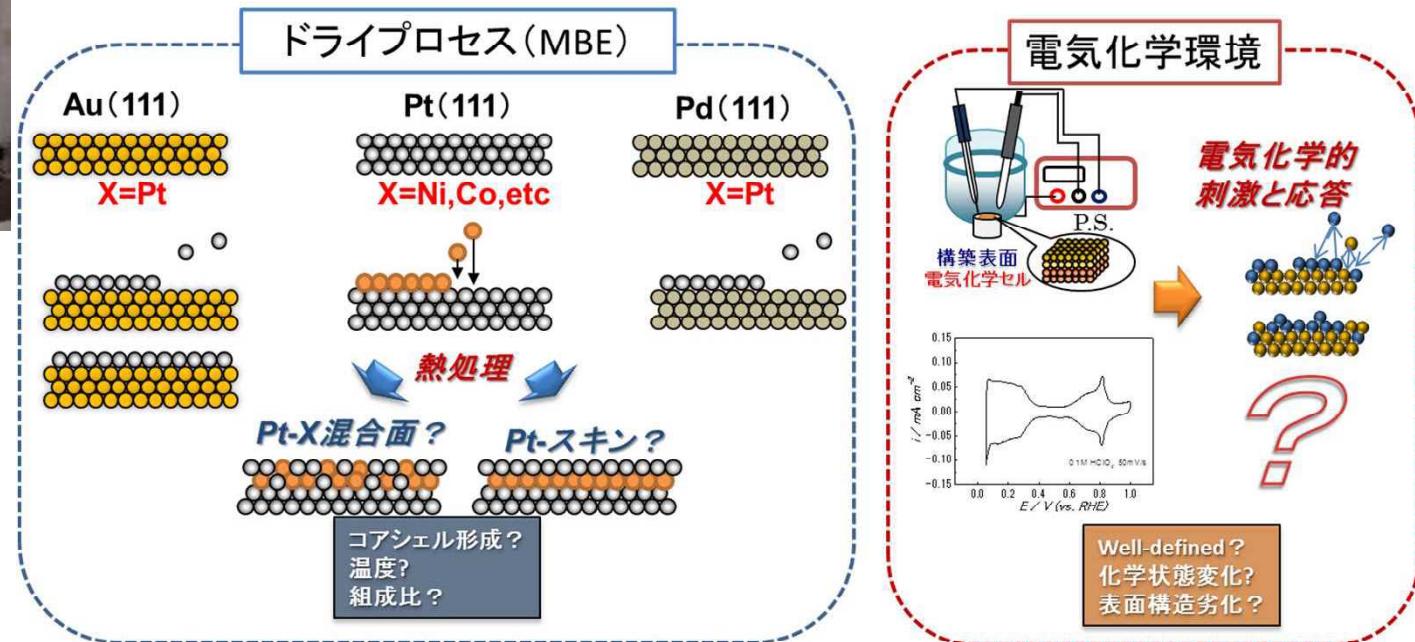


きわめて複雑なナノ構造(触媒)を工業製品として成立させる

ナノ粒子の“表面”モデルを構築、その触媒能を評価  
**ナノ粒子構造を制御する**

# モデル触媒研究

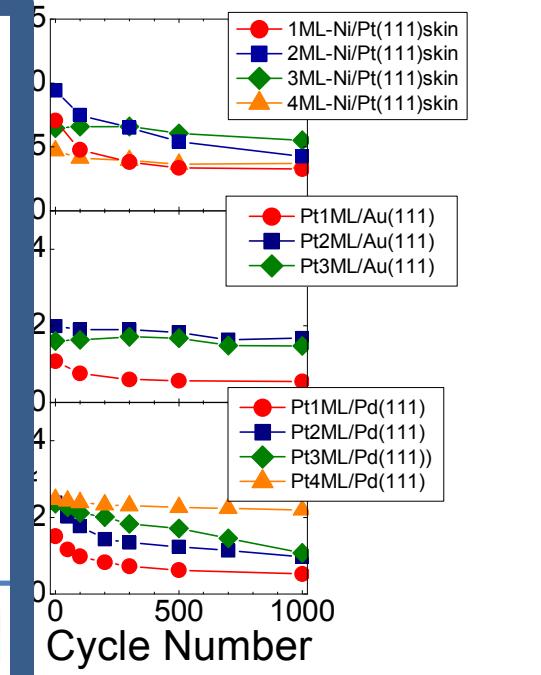
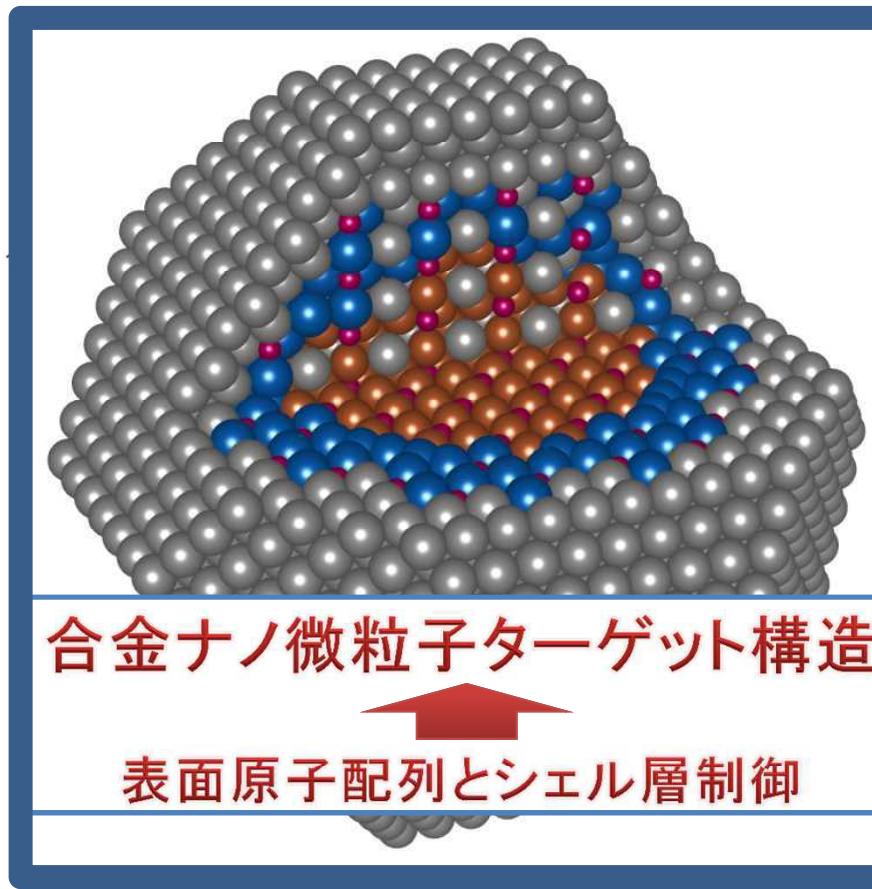
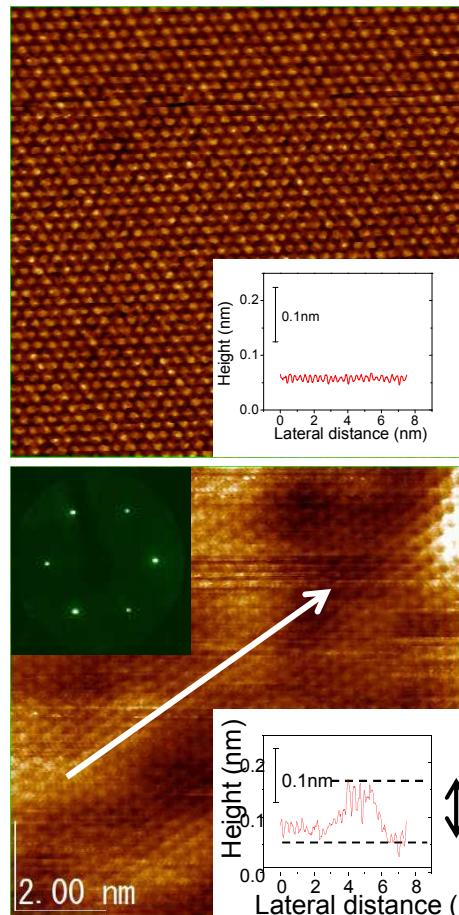
Well-defined(よく規定された)な表面系を構築  
 ナノ構造と活性の関係を議論  
 動作環境を模擬した電気化学的刺激を与え劣化現象を解明



ドライプロセスによる  
Pt-X合金、コアシェル構造構築

電気化学的刺激による  
特性(活性)変化

# モデル触媒を用いた成果例



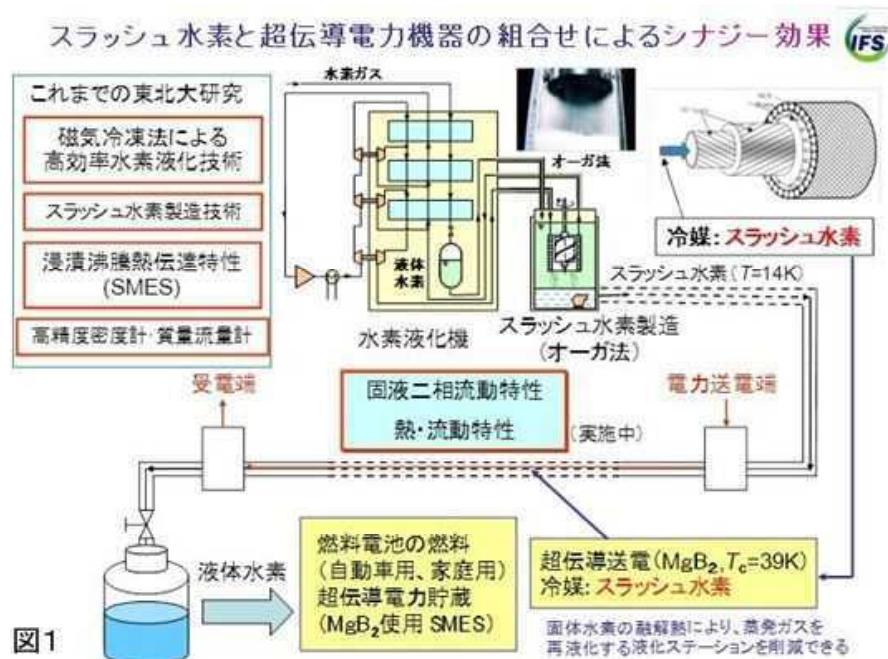
単結晶触媒の耐久性  
 以上でPtシェル表面が安  
 合金元素(コア)溶出が抑  
 制され耐久性向上

Pt-Mコアシェル触媒開発へ向けた成果: Pt-Mモデル触媒のドライプロセス合成と表面科学的解析技術に  
 立脚したORR活性・耐久性研究手法を確立

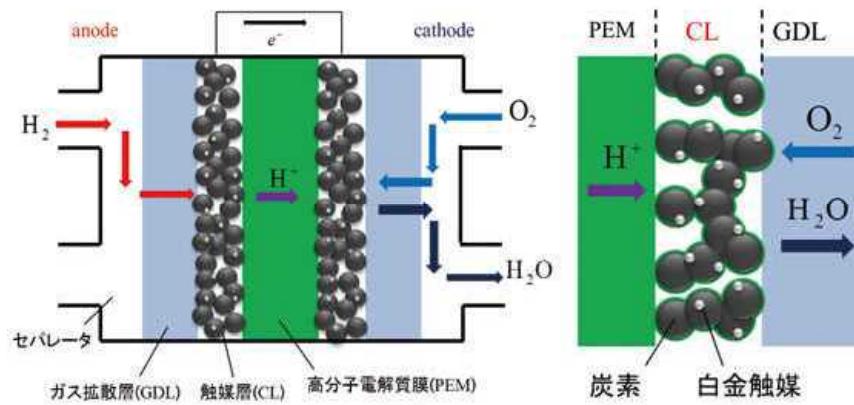
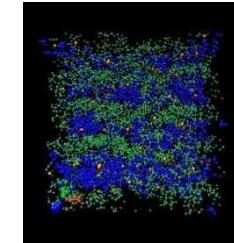
- ・高活性化因子 (111)原子配列を基本としたPtシェルによるコア(M)の完全被覆
- ・高耐久化因子 3原子層以上のPtシェル層

# 東北大学における水素関連研究例

流体研究所 大平研究室  
 スラッシュ水素(極低温高密度水素)



流体科学研究所 德増研究室  
 燃料電池 物質輸送 計算科学



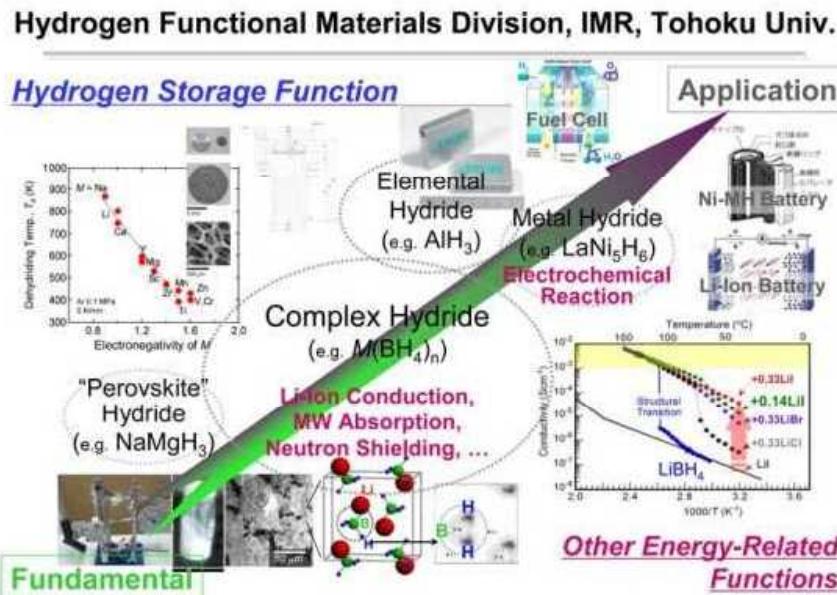
cathode  $4H^+ + O_2 + 4e^- \rightarrow 2H_2O$   
 プロトン、酸素、電子が触媒表面上に到達する必要がある  
**反応効率が理論値より低い**  
 → cathode側触媒層の酸素輸送現象の低下

# 東北大学における水素関連研究例

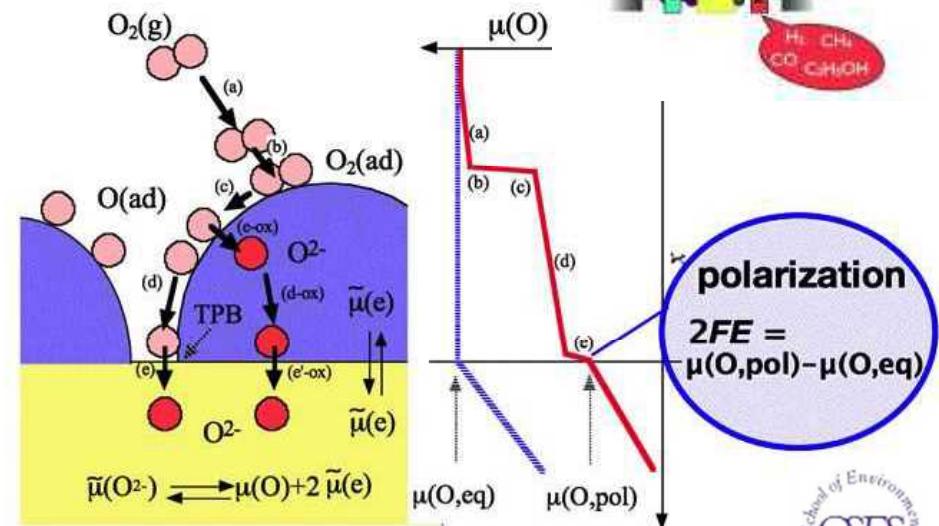
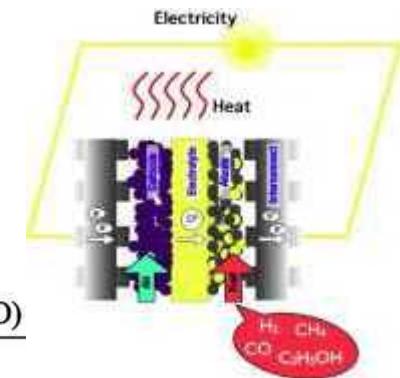
WPI(金属材料研究所) 折茂研究室  
 水素化物の合成と物性



 IMR  
 東北大学金属材料研究所  
 Institute for Materials Research, Tohoku University

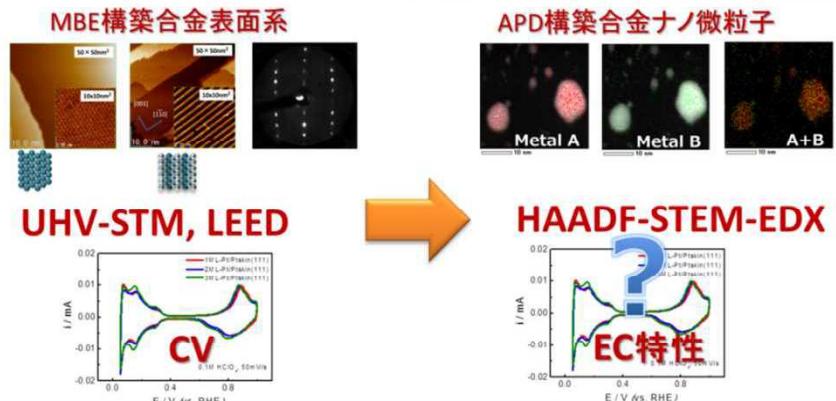


環境科学研究科 川田研究室  
 固体酸化物燃料電池 セラミックス



# まとめ

東北大学大学院  
環境科学研究所  
環境材料表面科学分野



固体高分子形燃料電池、エネルギー  
キャリア(有機ハイドライド)などを  
ターゲット

ドライプロセスによる表面合金モデル  
の構築と電極触媒(ORR)特性を検討

小粒でもピリリと辛い山椒

水素社会の実現のために、产学研官連携のもと、  
多様な視点からの研究開発が不可欠：  
東北大学においても学生を含む多くの研究者が  
様々な課題に取り組んでいます。

