

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 —

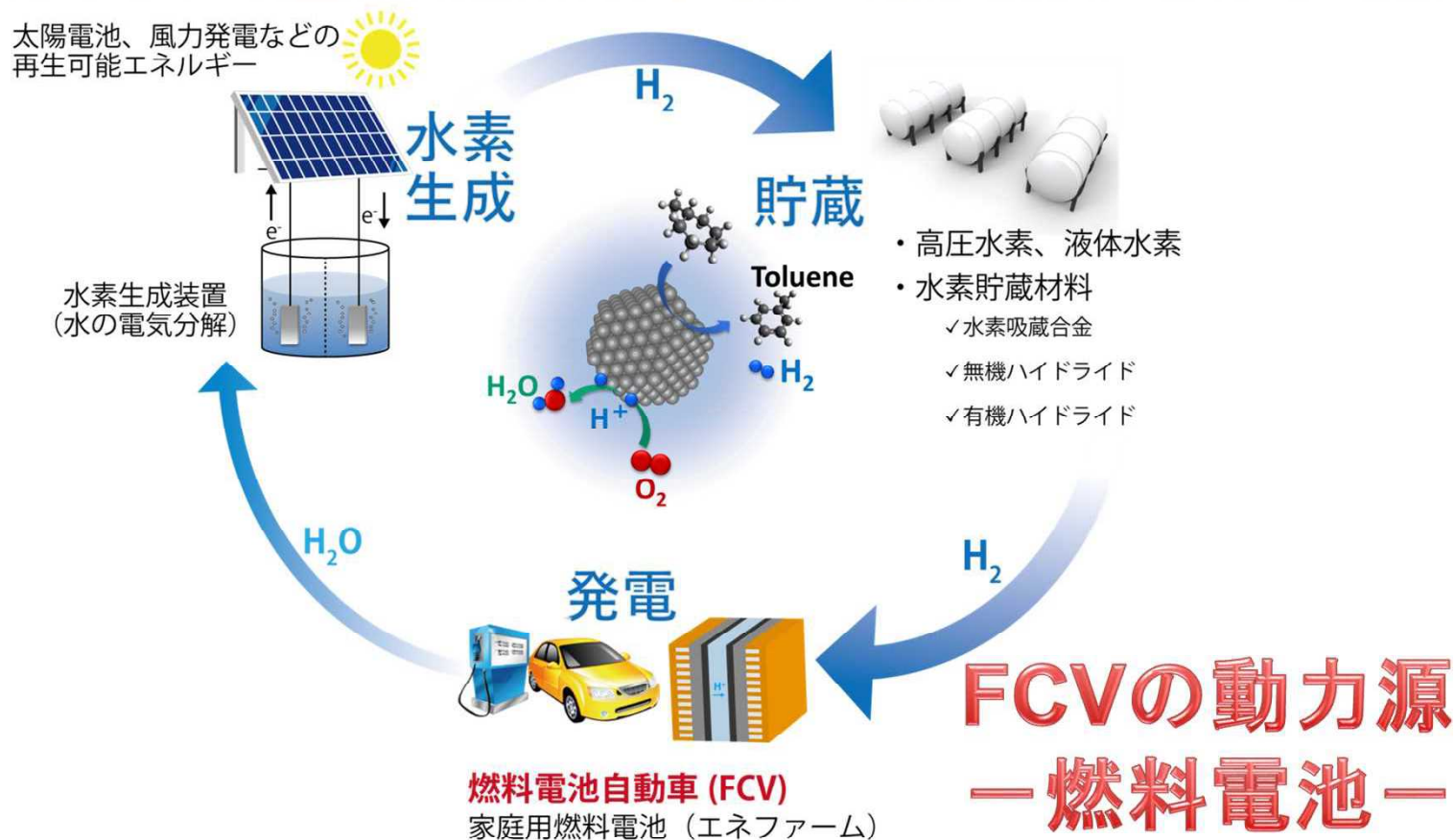
東北大学大学院環境科学研究科

和田山智正

水素社会の実現と研究開発



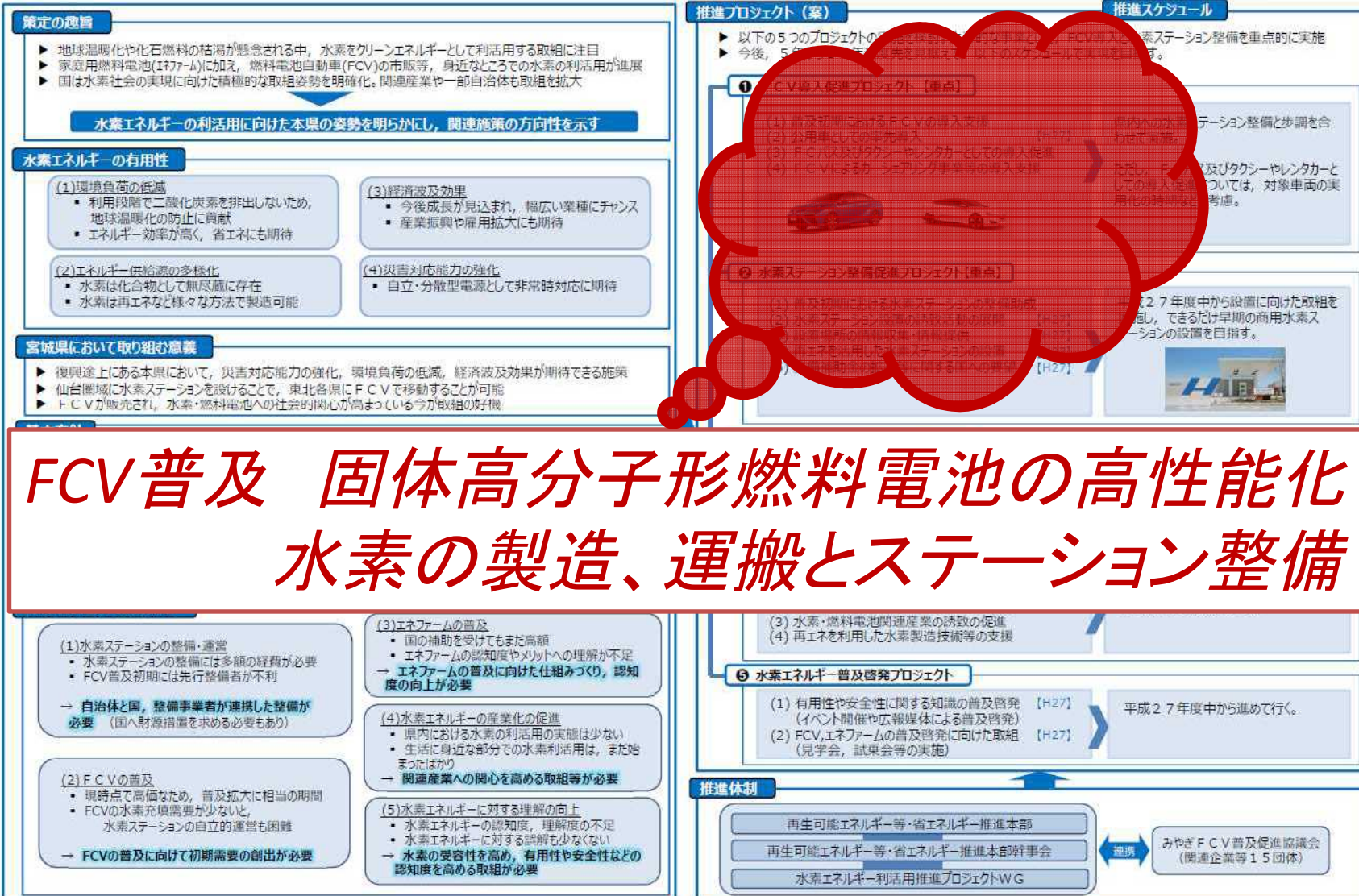
水素(H₂)をエネルギー媒体の中心と考え、研究開発、インフラ投資



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



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

産



Fuel-cell vehicle (FCV)

学

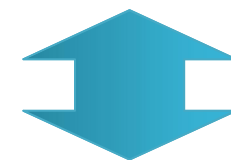
オールジャパンでの取組

官

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

実験

・物質輸送

・構造解析

・反応モデル

・モデル触媒

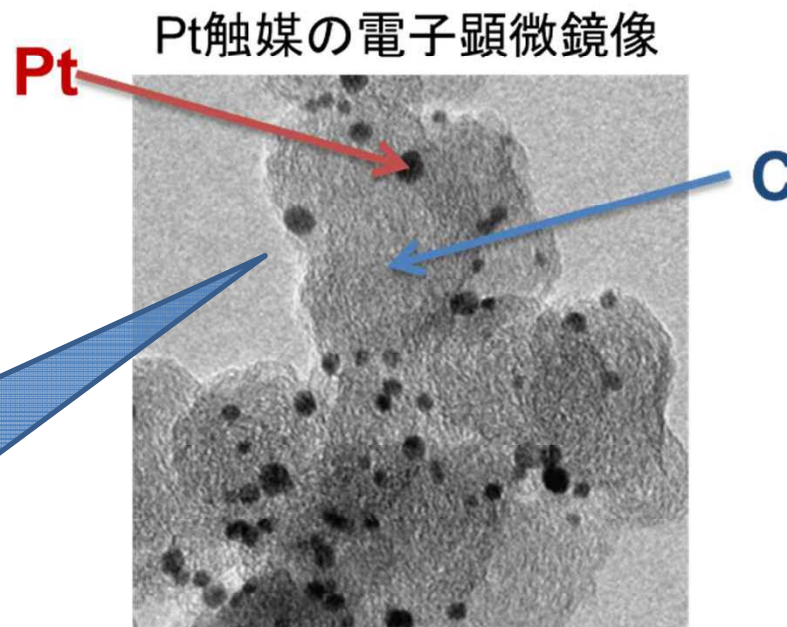
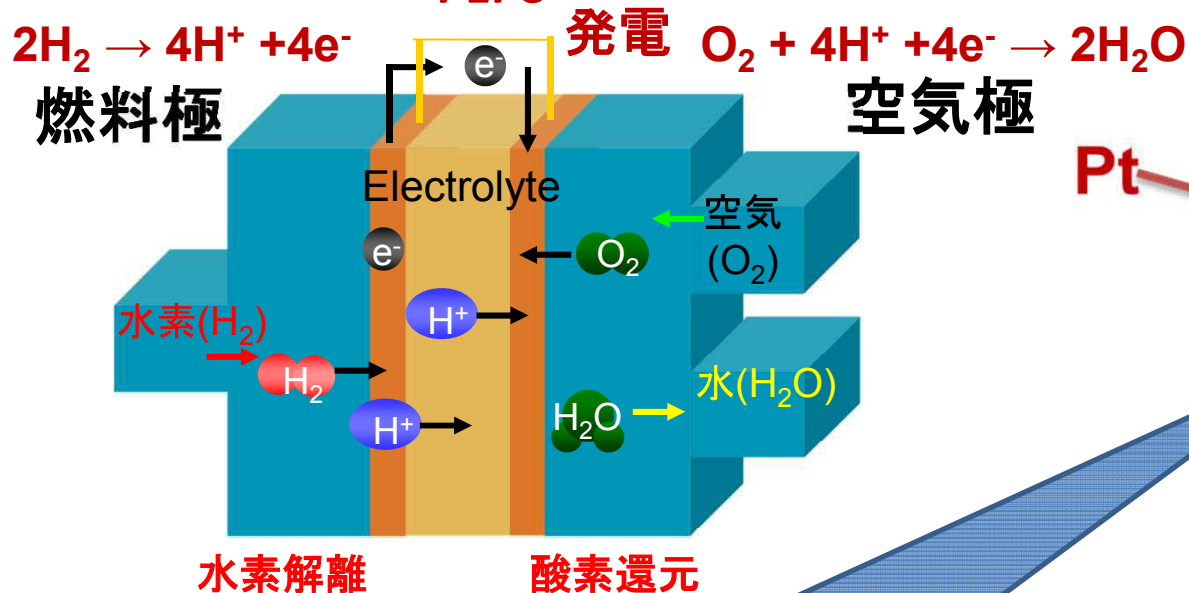
複雑で多様な技術的・学問的課題の克服が不可欠

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

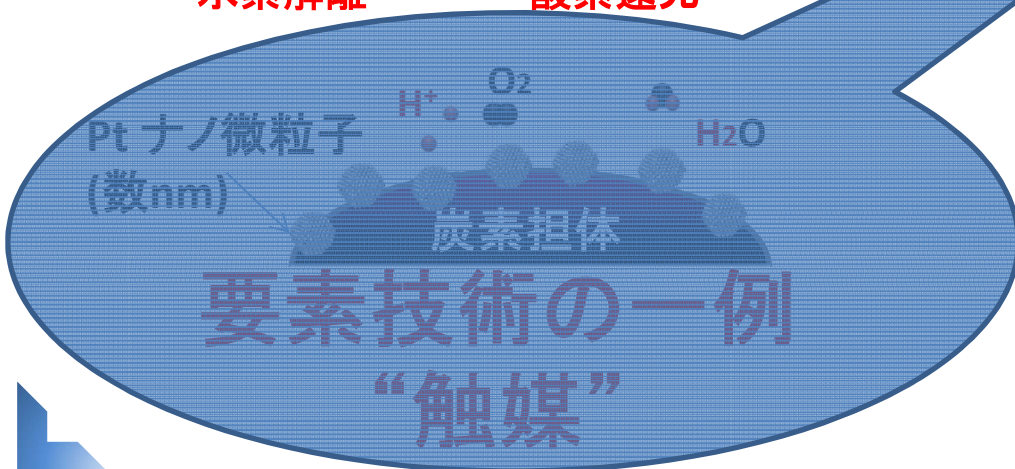
PEFC



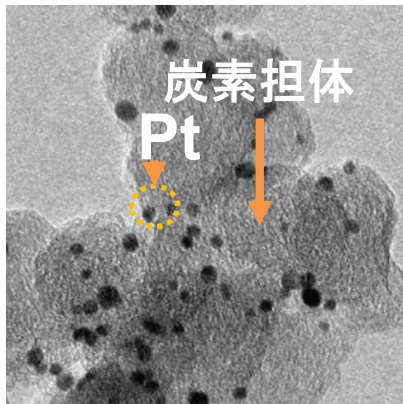
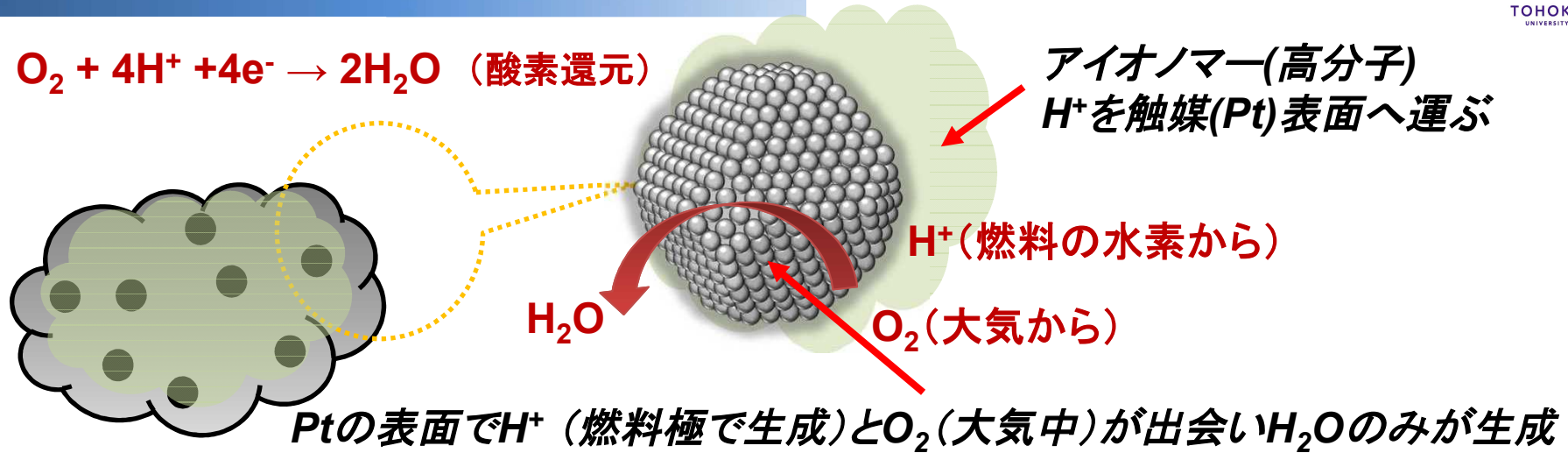
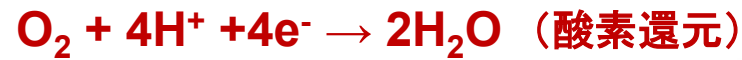
K. Sykes Mason et al., ECS Trans, 159 (12) F873 (2012)

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O₂(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H₂O(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 ($6\text{m} \times 6\text{m} \times 6\text{m} = 216\text{m}^3$)

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

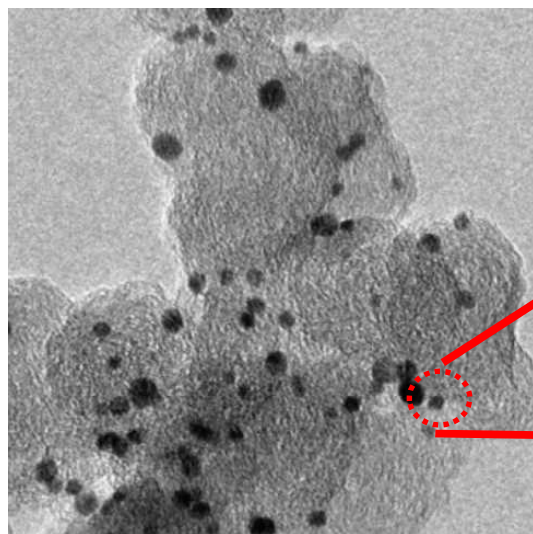
FCV1台あたり現状で約
50gの白金が必要：
燃料電池を自動車動力源
として置き換えるために必
要な白金量は膨大



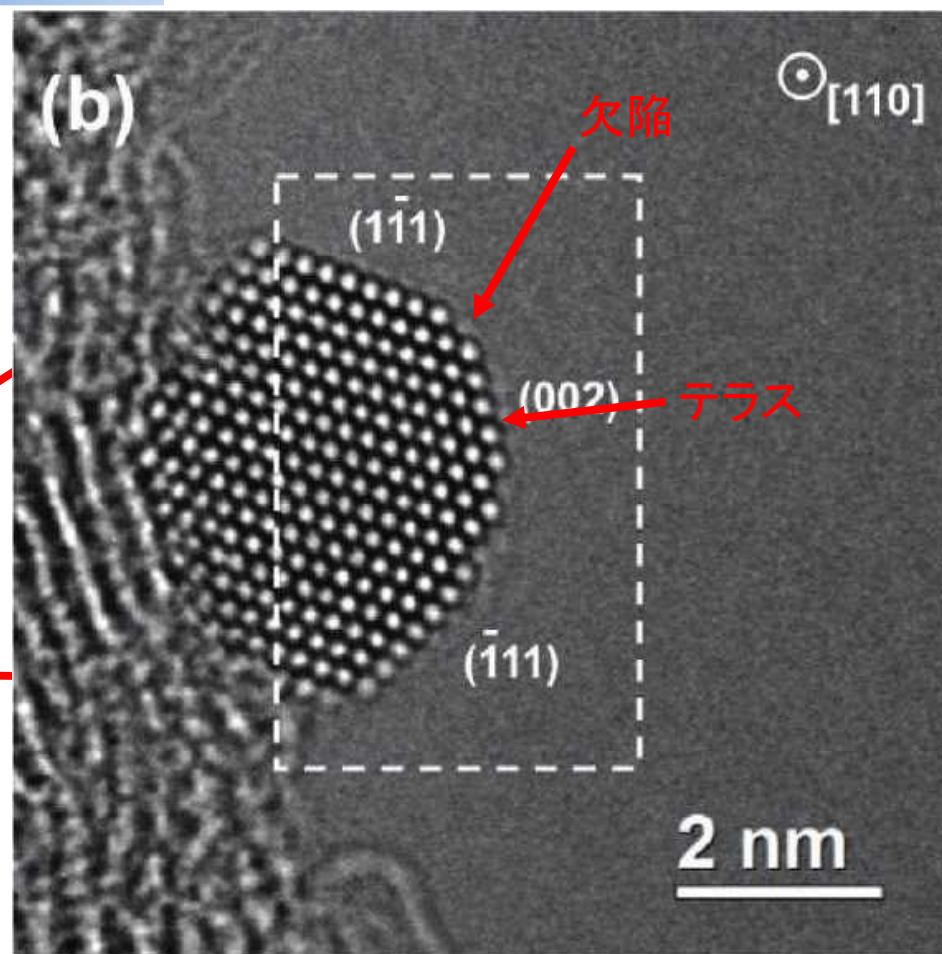
2013年(1月～12月)グローバル販売台数

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)

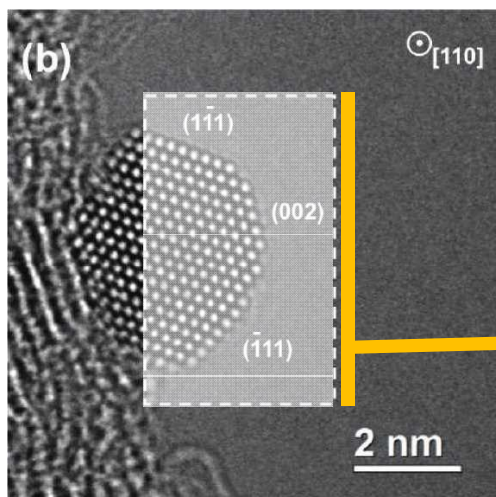


L. Gan et al., J. Phys. Chem. Lett., 3 (2012) 934-938.

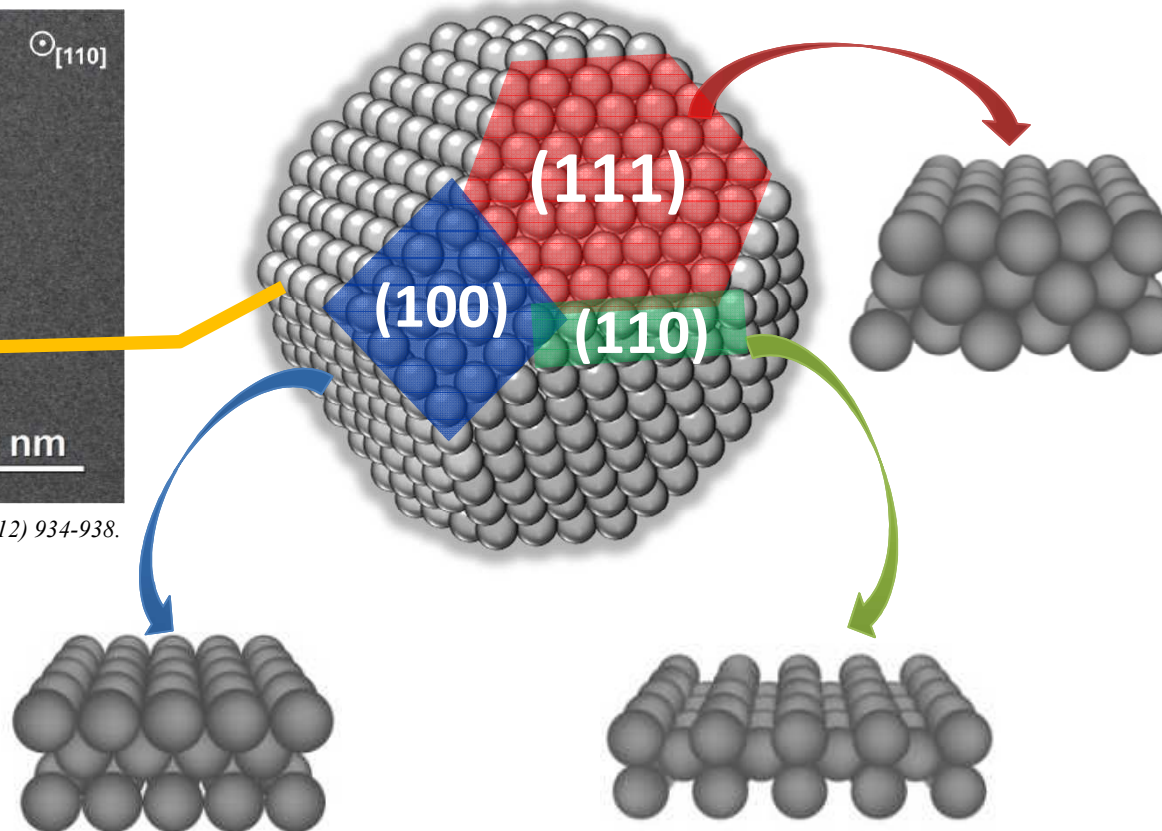
炭素粉末(カーボンブラック)担持Ptナノ微粒子(Pt/C触媒)の表面構造
きわめて複雑なナノ構造:

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)

モデル触媒(単結晶)アプローチ



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



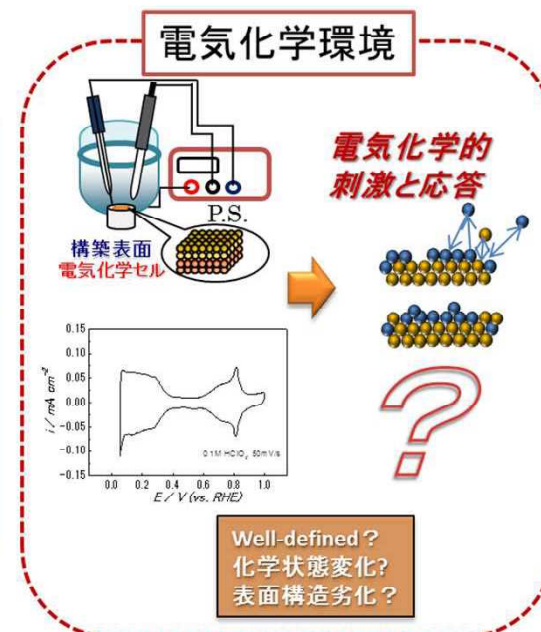
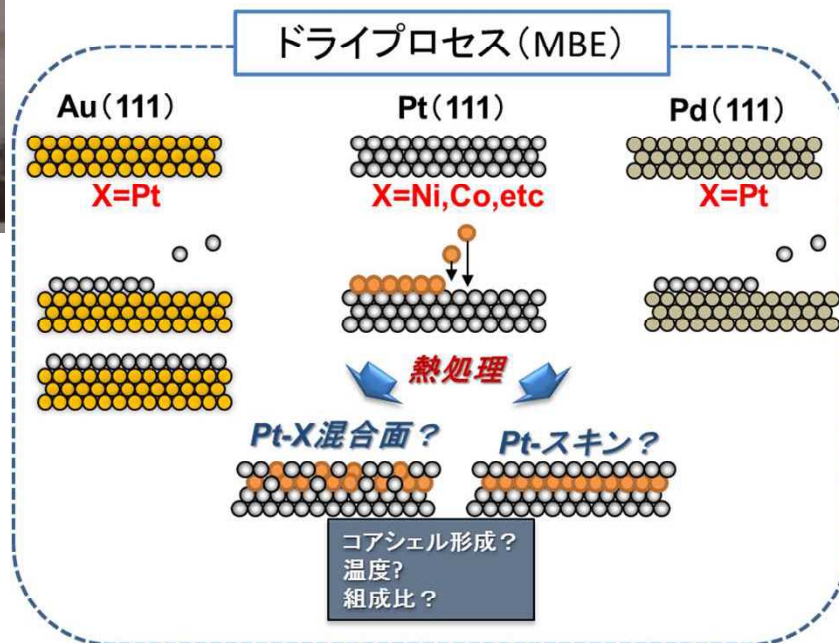
きわめて複雑なナノ構造(触媒)を工業製品として成立させる

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

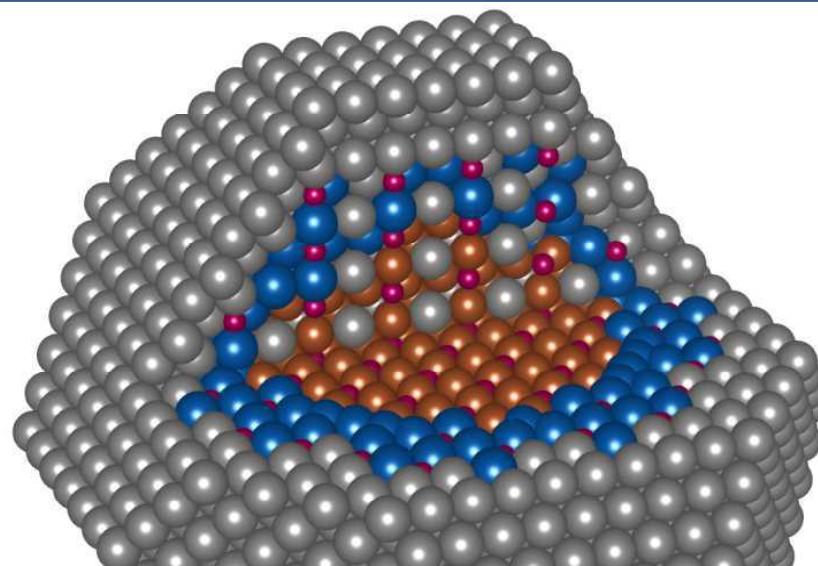
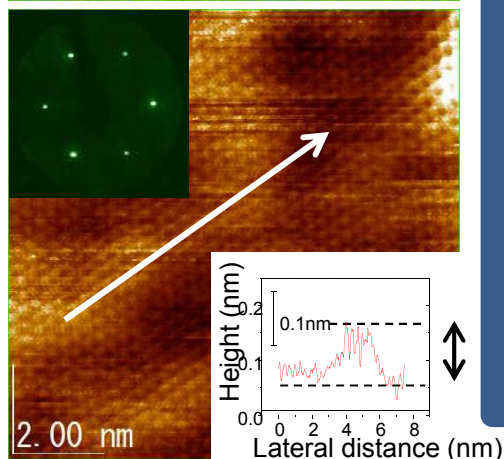
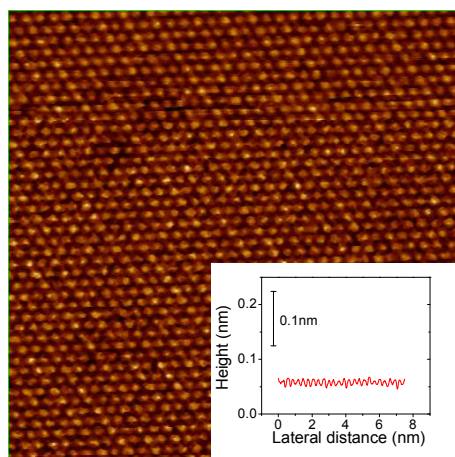
Well-defined (よく規定された) な表面系を構築
 ナノ構造と活性の関係を議論
 動作環境を模擬した電気化学的刺激を与え劣化現象を解明



ドライプロセスによる
 Pt-X合金、コアシェル構造構築

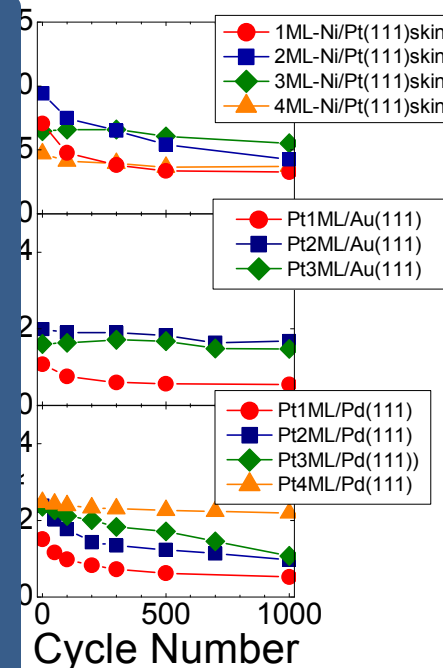
電気化学的刺激による
 特性(活性)変化

モデル触媒を用いた成果例



合金ナノ微粒子ターゲット構造

表面原子配列とシェル層制御



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 徳増研究室
燃料電池 物質輸送 計算科学

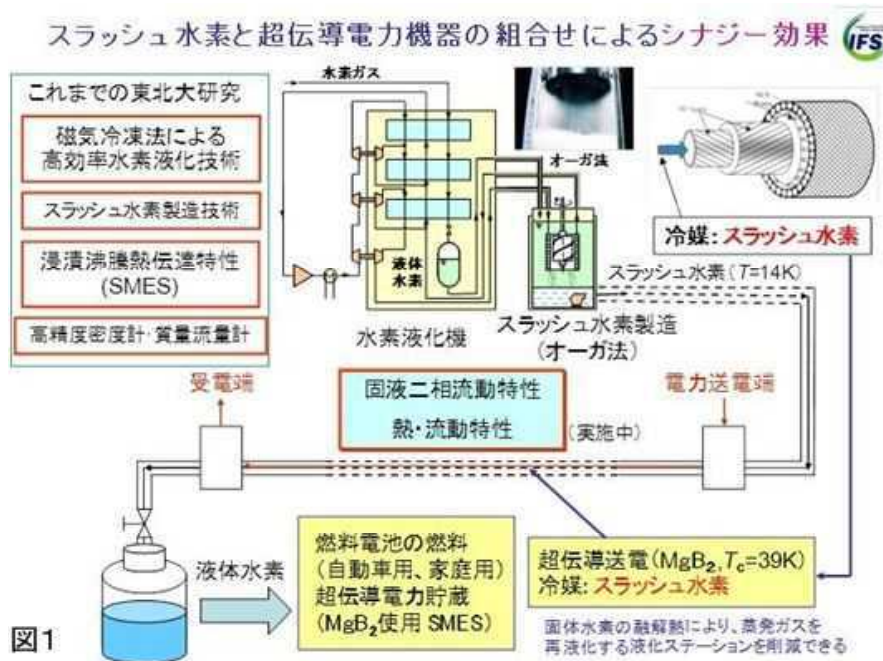
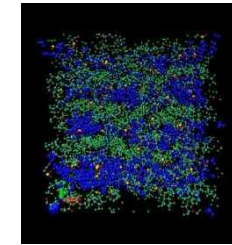
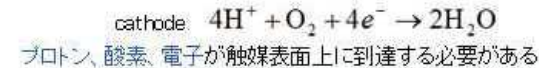
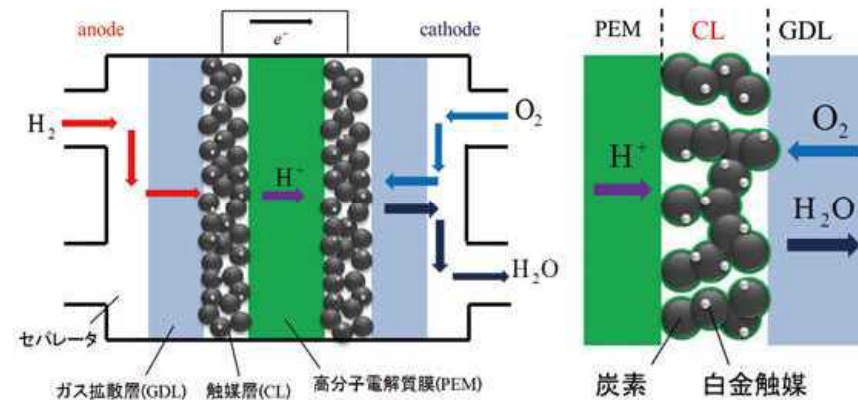


図1



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

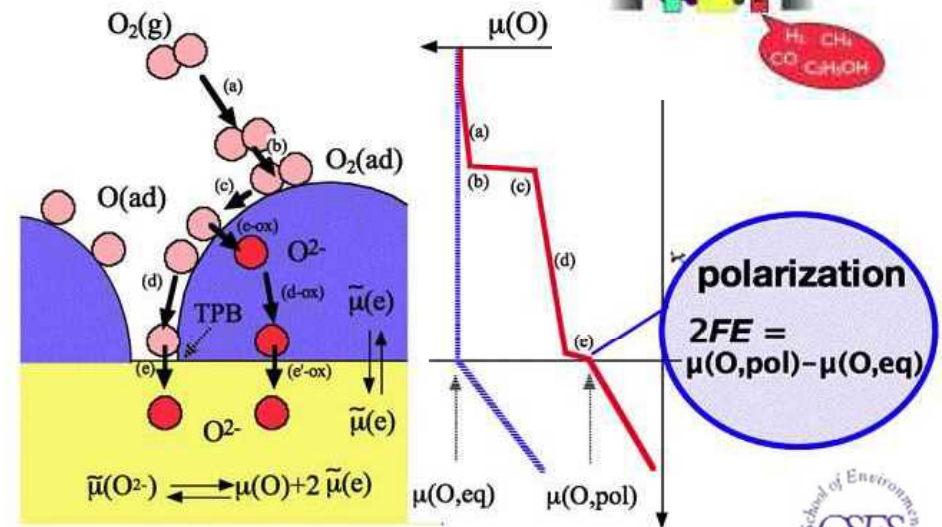
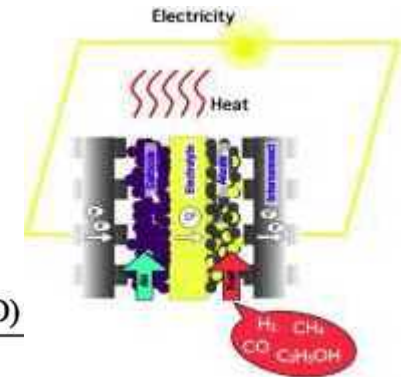
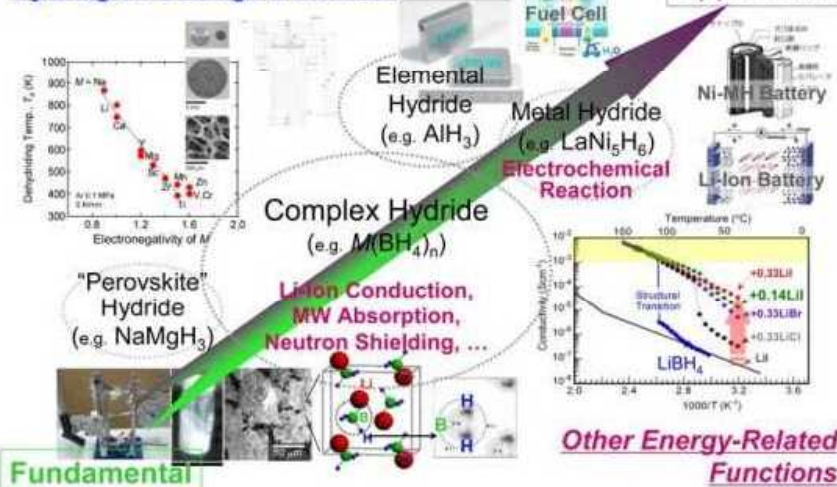


環境科学研究科 川田研究室
固体酸化物燃料電池 セラミックス



Hydrogen Functional Materials Division, IMR, Tohoku Univ.

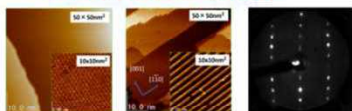
Hydrogen Storage Function



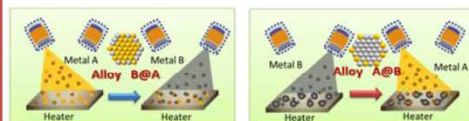
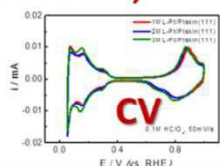
まとめ

東北大学大学院
環境科学研究科
環境材料表面科学分野

MBE構築合金表面系



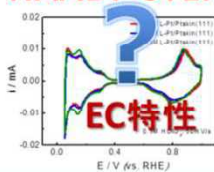
UHV-STM, LEED



APD構築合金ナノ微粒子



HAADF-STEM-EDX



単結晶表面解析に基づくナノ微粒子合金系の創出とEC特性

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、産学官連携のもと、
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。

