

発表No. A-70

大項目: 燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官
連携研究開発事業

中項目: 共通課題解決型基盤技術開発

小項目: **ラジカル低減機能と燃料欠乏耐性を有するアノード触媒の研究開発**

発表者: 内田裕之

国立大学法人山梨大学、
国立大学法人岩手大学（再委託 国立大学法人弘前大学）、
国立大学法人信州大学、国立大学法人東北大学

発表日 7月29日

連絡先：
内田裕之（山梨大学）
h-uchida@yamanashi.ac.jp

事業概要

1. 期間

開始 : 2020年9月、 終了 (予定) : 2025年2月

2. 最終目標

2030年以降の高性能・高耐久性の固体高分子形燃料電池に実装され得るアノード触媒を開発する。低貴金属量で高い水素酸化 (HOR) 活性を維持しつつ、

- 1) ラジカル発生による電解質膜およびアイオノマーの化学分解を抑制して耐久性を向上させる H_2O_2 発生抑制機能を有するアノード触媒と触媒層、
- 2) 燃料欠乏時の高電位耐性を有するアノード触媒と触媒層を研究開発する。

これら触媒の作用機構、劣化機構を電気化学的、触媒科学的、計算科学的に解明する。

目標を達成した開発触媒は触媒メーカーと協力して量合成法を確立するとともに、協力機関の実機サイズに近いMEAでの評価を受けて有用性の実証を行う。

3. 成果・進捗概要

1. 過酸化水素発生抑制と高酸化耐性を有するPt合金触媒の合成と作用機構の解明 (山梨大学)

- ・ H_2O_2 発生抑制触媒第一候補のPtCo/ C_{HT} 触媒を評価解析PFに提供し、in situ XAS法により H_2O_2 発生が抑制される機構に関する新しい知見を得た。
- ・アノード触媒層に酸化物ナノ粒子を加えることにより、低RHでのオーム抵抗の減少とI-V特性の大幅な向上を伴いつつ、電解質膜の劣化を抑制できることを見出した。
- ・CFDE法で燃料欠乏時の高電位を模擬した電位ステップサイクルにより、基準となる市販Pt/GCB (黒鉛化カーボンブラック) 触媒の諸特性の変化を明確にできた。

2. 高活性・燃料欠乏耐性の白金/酸化物担体触媒の開発と作用機構の解明 (岩手大学)

- ・Ti系導電性酸化物を複数種グラム単位で合成し、白金触媒を担持した。白金担持率を最適化した。
- ・最適化したPt/酸化物アノード触媒を用いた単セルの加圧OCV試験において、市販Pt/Cアノード触媒セルに比べ電解質膜の寿命が顕著に向上することを見出した。
- ・Pt/酸化物触媒の水素欠乏耐性を評価するため、協力機関に提供した。

3. 劣化耐性に優れた高活性・低白金複合触媒の開発とその作用・劣化機構の解明 (信州大学)

- ・ WO_3 微粒子を市販Pt/Cに微量添加した $\text{WO}_3(6\text{wt}\%)\text{-Pt/C}$ をRRDE法で評価し、 WO_3 の添加により H_2O_2 生成速度が抑制されることを確認した。
- ・ IrO_2 ナノシートを市販Pt/Cに微量添加した $\text{IrO}_2(\text{ns})(5\text{wt}\%)\text{-Pt/C}$ が、半電池および単セル試験で高い燃料欠乏耐性を示すことを確認できた。

4. 計算科学に基づくOHラジカルの発生及び酸化劣化を抑制可能なアノード触媒の理論的設計 (東北大学)

- ・酸化物担体 (SnO_2 、 RuO_2 、 TiO_2 、 Ti_4O_7) に水素原子を吸着させたPtナノ粒子を分散した触媒上では、 H_2O_2 生成反応に対する活性化エネルギーが増加し、 H_2O_2 生成反応が抑制されることが第一原理計算により示された。
- ・Ptスキン-PtCo合金ナノ粒子、Ptスキン-PtNi合金ナノ粒子がPtナノ粒子よりも H_2O による酸化反応に対する耐性が向上することを示した。

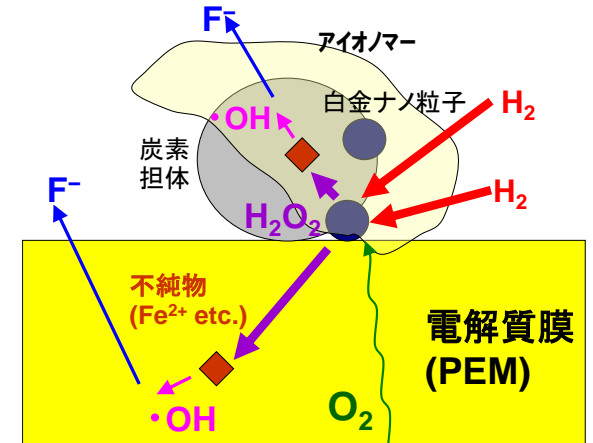
1. 事業の位置付け・必要性

①ラジカルによる電解質膜とアイオノマーの化学分解を抑制して耐久性を向上させるH₂O₂発生抑制機能を有するアノード触媒と触媒層の開発

・FCV及び定置用PEFCの電解質膜（PEM）は、オーム損の低減とカソード生成水の逆拡散促進のため、益々薄膜化が進んでいる。他方、薄膜化により、H₂とO₂の透過速度が大きくなるため、カソード電位の低下とH₂利用率低下のみでなく、PEMの化学劣化（OHラジカルによる分解）が激しくなる。

・化学劣化を抑制するためにCe³⁺等のラジカル捕捉剤がPEMに添加されているが、Ce³⁺イオン交換により、PEMのプロトン伝導率が低下してオーム損が増大する。さらに、運転中にCe³⁺/Ce⁴⁺イオンがカソード側へ移動してラジカル捕捉効果が低下するのみでなく、カソード側アイオノマーのプロトン伝導率低下によって酸素還元反応活性が低下する問題がある。

・本研究では、低貴金属量で従来触媒と同等以上の水素酸化(HOR)活性を有し、ラジカル発生源となるH₂O₂発生速度を抑制可能なアノード触媒と触媒層を研究開発する。これにより、PEMの耐久性の向上とともに、ラジカル捕捉剤を必要最小限に削減してPEMのプロトン伝導率とカソード性能を向上できる。



PEMの化学劣化機構

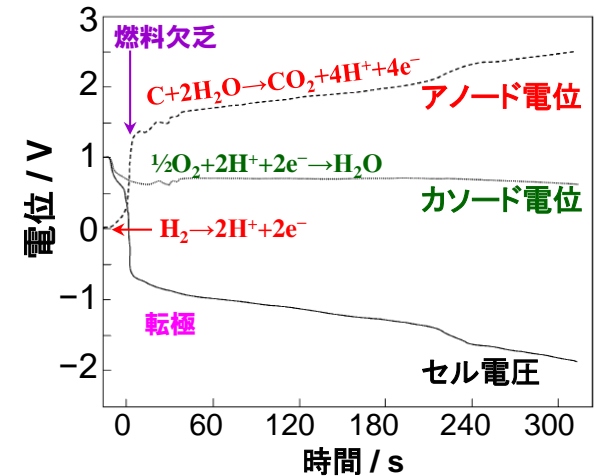
②燃料欠乏時の高電位耐性を有するアノード触媒と触媒層の開発

・スタックの一部のセルで燃料欠乏が起こると、アノードでは本来のHORが進行する代わりに炭素担体の酸化が起こる。ごく短時間の燃料欠乏でも従来のPt/Cアノード触媒は致命的なダメージを受ける。そのため、過剰に燃料を供給して燃料欠乏を回避するほかに、個々のセルやブロック毎の電圧モニター等の劣化抑制機器を必要としている。高電位耐性アノード触媒により、効率の向上とシステムの簡略化による低コスト化が可能になる。

・本研究では、燃料欠乏時の高電位耐性を有するアノード触媒ならびに触媒層を研究開発する。

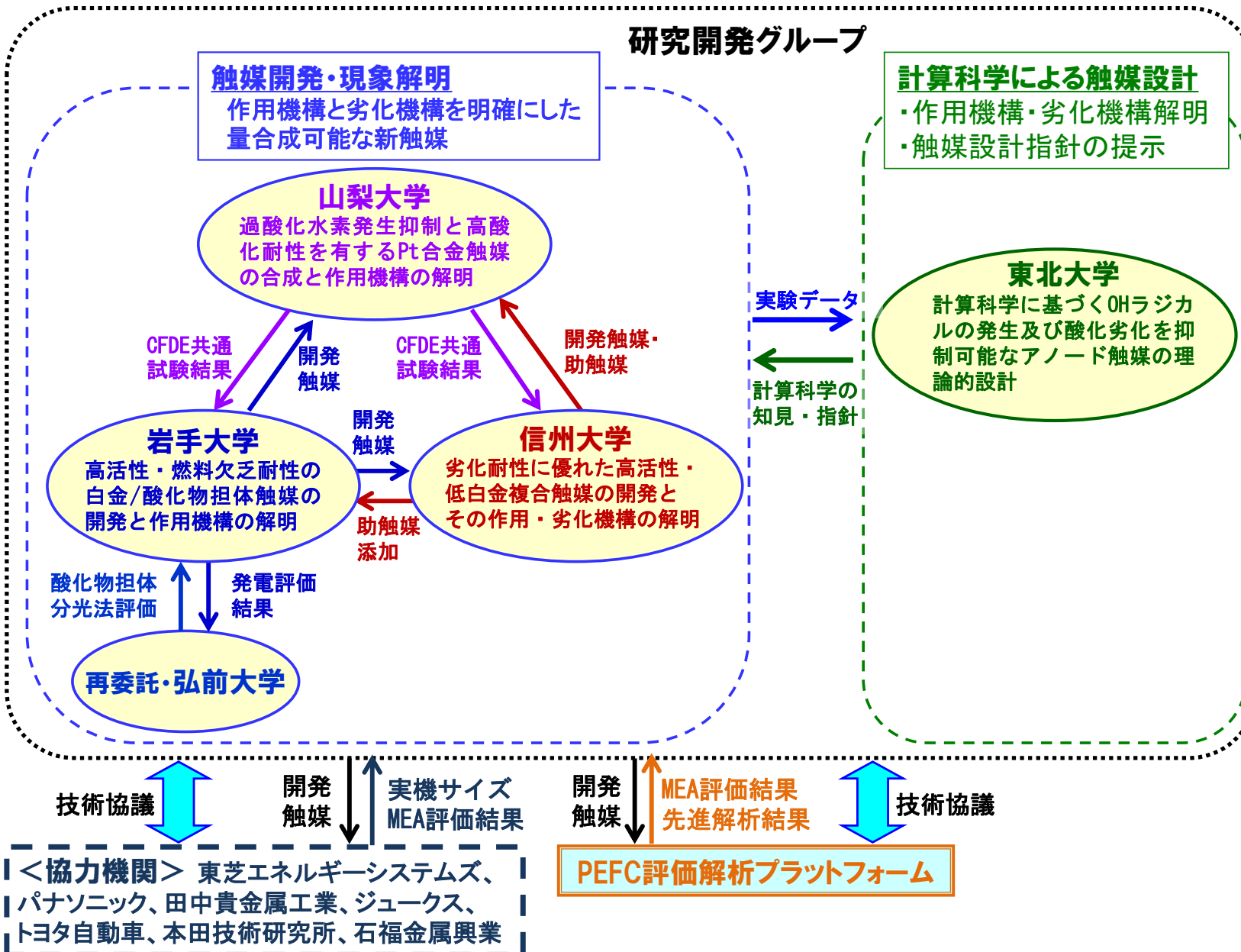
・産業界等のニーズに対する研究開発目標レベルの妥当性

本研究開発のアノード触媒が備える新機能（ラジカル低減機能と燃料欠乏耐性）と研究開発目標は、産業界（自動車メーカーとシステムメーカー）との議論を経て提案したものであり、ニーズに合致している。目標を達成した開発触媒は触媒メーカーと協力して量合成法を確立し、協力機関の実サイズに近いMEA評価で有用性の実証を行うことが特徴である。



研究開発項目	中間目標（2022年度6月）	最終目標（2024年度）
<p>過酸化水素発生抑制と高酸化耐性を有するPt合金触媒の合成と作用機構の解明 【山梨大学】</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・チャンネルフロー二重電極（CFDE）法によりPEFC実用温度域でのHOR質量活性、H_2O_2抑制率と電位サイクル耐久性に対する合金組成、粒径、炭素担体の効果を明確にし、第一候補触媒をPEFC評価解析PFに提供する。また、アノード触媒層の含水率を高く保ち、ラジカル捕捉能も有する酸化物ナノ粒子の効果を単セル加圧OCV試験で明らかにする。 ・CFDE法、$0.02 \Leftrightarrow 1.5$ V各10秒保持の電位ステップサイクルで、PtCo/GCBの耐久性を市販Pt/GCBに対して定量的に示す。同様にして、プロジェクト内の開発触媒の耐久性を評価してフィードバックする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・広作動域での水素酸化反応（HOR）質量活性、H_2O_2抑制率が市販Pt/C触媒よりも高く、触媒作用機構と劣化機構を明確にしたPt合金アノード触媒を開発し、触媒メーカーと連携して量合成法を確立する。開発触媒は、協力機関の実機サイズ・単セルでの評価を受け、電解質膜耐久性2倍以上の向上を実証する。 ・単セルの標準的作動条件（自動車メーカー等の協力機関と協議）でのHOR質量活性が市販Pt/GCB（黒鉛化カーボンブラック）以上で、燃料欠乏耐性2倍以上を見通すアノード触媒を開発し、作用機構を明確にする。
<p>高活性・燃料欠乏耐性の白金／酸化物担体触媒の開発と作用機構の解明 【岩手大学（再委託 弘前大学）】</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・高いHOR活性を維持しつつH_2O_2発生を抑制するPt/酸化物担体触媒の開発指針を示す。山梨大学へ候補となる開発触媒を提供し、CFDE共通試験法で評価されたHOR質量活性・H_2O_2抑制率・電位変動耐久性をもとに触媒を改良する。そして岩手大学にて小型MEAで発電性能を評価したうえで、PEFC評価解析PFへ第一次候補触媒を提供する。 ・MEAにおいて$0.02 \Leftrightarrow 1.5$ V各10秒保持の電圧ステップサイクルを実施し、高電位におけるPt/酸化物触媒の劣化機構を解明する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・市販Pt/C触媒と同程度のHOR活性を維持したうえでH_2O_2発生を抑制するPt合金／酸化物担体触媒を開発する。開発触媒は、協力機関の実機サイズに近い単セルでの評価を受け、電解質膜の耐久性が2倍以上となることを見通す。 ・市販Pt/GCB触媒に比べ2倍以上の燃料欠乏耐性を見通すため、Pt合金／酸化物触媒の高電位における劣化機構を解明する。

研究開発項目	中間目標（2022年度6月）	最終目標（2024年度）
<p>劣化耐性に優れた高活性・低白金複合触媒の開発とその作用・劣化機構の解明 【信州大学】</p>	<ul style="list-style-type: none"> 透過O_2と最も反応しやすいOPD (Overpotentially deposited)水素の形成を抑制する水素スピルオーバー助触媒を検討し、HOR質量活性、H_2O_2抑制率と電位サイクル耐久性に効果を示す助触媒候補を挙げる。 0.02\leftrightarrow1.5 V各10秒保持の電位ステップサイクルで、IrO_2ナノ構造を含む開発触媒の耐久性を市販Pt/Cに対して定量的に示す。 	<ul style="list-style-type: none"> H_2O_2発生抑制に対する作用機構と劣化機構を明確にした水素スピルオーバー助触媒を含むアノード触媒を開発し、MEAで評価可能な量の合成法を確立する。協力機関やPEFC評価解析PFに触媒を提供し、単セルで電解質膜耐久性2倍以上の向上を実証する。 HOR活性と酸化耐性が市販Pt/GCB触媒より高い触媒構造を検討し、酸化耐性が向上する支配因子を特定する。MEAで評価可能な量の開発触媒を提供できる合成法を開発し、協力機関やPEFC評価解析PFに触媒を提供して、単セルで燃料欠乏耐久性2倍以上の向上を実証する。
<p>計算科学に基づくOHラジカルの発生及び酸化劣化を抑制可能なアノード触媒の理論的設計 【東北大学】</p>	<ul style="list-style-type: none"> 純Ptナノ粒子及びPt合金ナノ粒子と担体種[カーボン、酸化物]という制御変数の組み合わせの中から6種類以上のPt合金ナノ粒子触媒モデルを選択し、それらのモデルに対する酸素の吸着サイト、および吸着酸素からのH_2O_2生成に対する反応経路を第一原理計算によって解明する。 燃料欠乏時の高酸化耐性を有するPt合金ナノ粒子触媒を明らかにするために、純Ptナノ粒子及びPt合金ナノ粒子の中から3種類以上のモデルを選択し、水による酸化反応と、酸化したPt合金ナノ粒子の水素による還元反応における反応経路を第一原理計算によって解明する。 	<ul style="list-style-type: none"> H_2O_2を生成させにくいPt合金ナノ粒子触媒モデルの中から5種類以上を選択し、水による酸化および酸化からの回復プロセスを第一原理計算によって計算し、担体がPt合金ナノ粒子の水による酸化および酸化からの回復プロセスに与える影響を解明する。 これまでに解明した劣化機構に基づき、OHラジカルを発生させず、燃料欠乏状態でも高い酸化耐性を有するアノード触媒を計算科学的に設計するためのシミュレーション技術を確立する。



○企業との連携

- 自動車メーカー、システムメーカー、触媒メーカー等と企業と定期的に技術協議を行っている。研究の方向性を確認し、連携関係を構築している。
- 目標を達成した開発触媒は触媒メーカーと協力して量合成法を確立し、協力機関の実サイズに近いMEA評価で有用性の実証を行う。

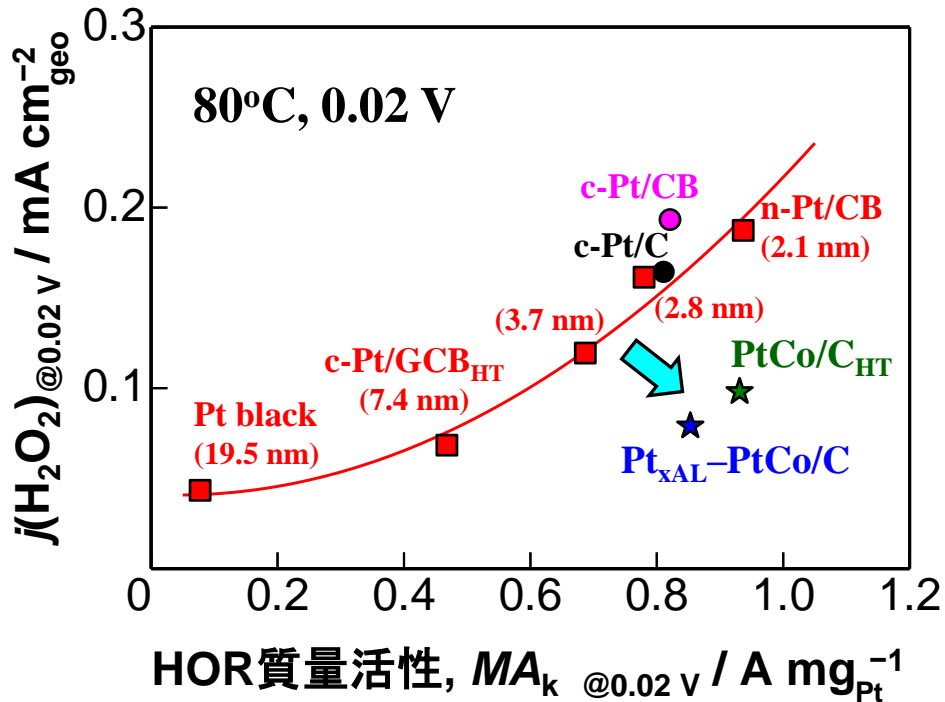
○知財戦略

知財の取得、活用に励み、その成果を関連産業の育成、雇用の増大に結びつけることを目指す。プロジェクト全体で、5年間5件の特許出願を目標とする。国内以外の対象国は、欧州と米国を想定している。

そのために、知財およびデータの取り扱いについての合意書を令和2年9月に締結した。これに基づき、知財の管理・運営に関し、各機関の担当者からなる知財運営委員会を開催している。

3. 研究開発成果について

【Pt触媒の H_2O_2 発生速度 $j(H_2O_2)$ とHOR質量活性に対する粒径効果の解明】

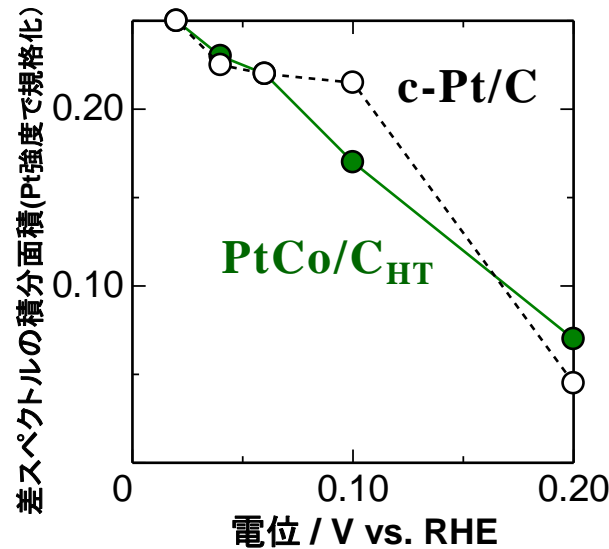
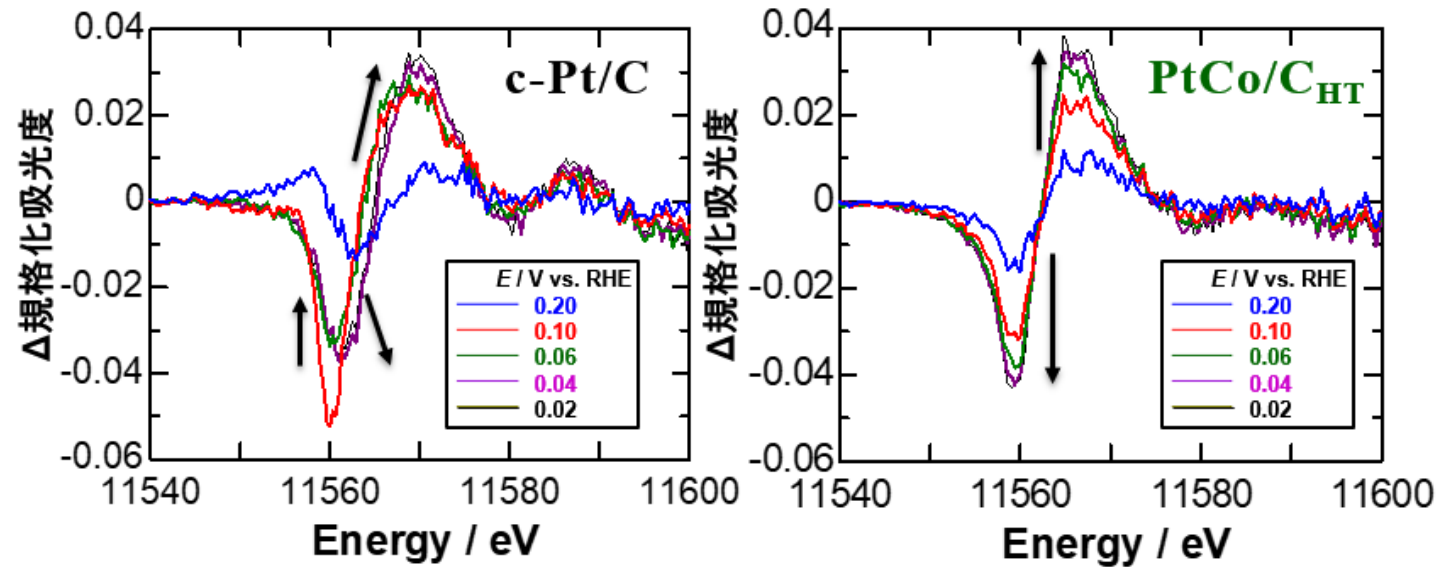


H. Uchida et al., *J. Electrochem. Soc.*, 169, 014516 (2022).

- $j(H_2O_2)$ は d_{Pt} に反比例[ECAに対して直線関係]: H_2O_2 生成は O_2 と H_{ad} との表面反応支配。
- $j(H_2O_2)$ は温度上昇とともに減少: H_{ad} の吸着性の低下。ただし、PEMの分解速度自体は温度とともに顕著に増大。
- HOR質量活性はECAの増大(d_{Pt} の減少)とともに増加。

Ptでの H_2O_2 発生速度とHOR質量活性のTrade-off関係を打破するPt合金触媒の開発が重要。

【PEFC評価解析プラットフォームでのPtCo/C_{HT}触媒での吸着水素 H_{ad} のXAFS解析:
 H_2O_2 生成抑制機構の解明】



$\Delta\mu$ XAFSから求めた水素被覆率

PEFC評価解析プラットフォームでのin situ XAFS測定 (Arパージ0.1 M HClO₄)

- c-Pt/C: H_{ad} 被覆率が增大すると、新たなサイトに吸着(OPD?)。
 - PtCo/C_{HT}: H_{ad} 吸着サイトに变化無し。
 - 水素被覆率の電位依存性より、PtCoの方が H_{ad} 吸着エネルギーが小さい。
- ◎ H_{ad} の吸着を弱めると H_2O_2 生成を抑制できる。

開発触媒の H_2O_2 生成抑制機構を解明し、更なる高性能化に繋がる重要な成果が得られた。

3. 研究開発成果について

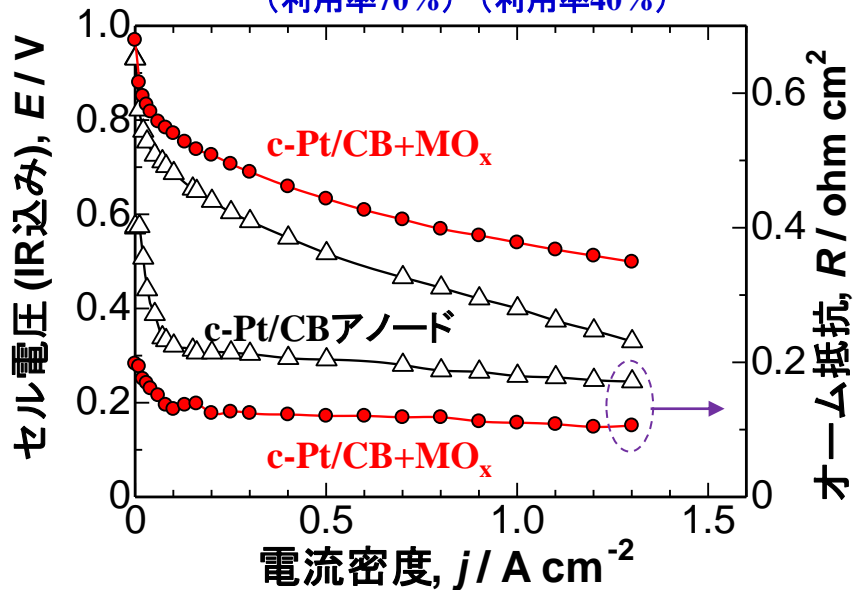
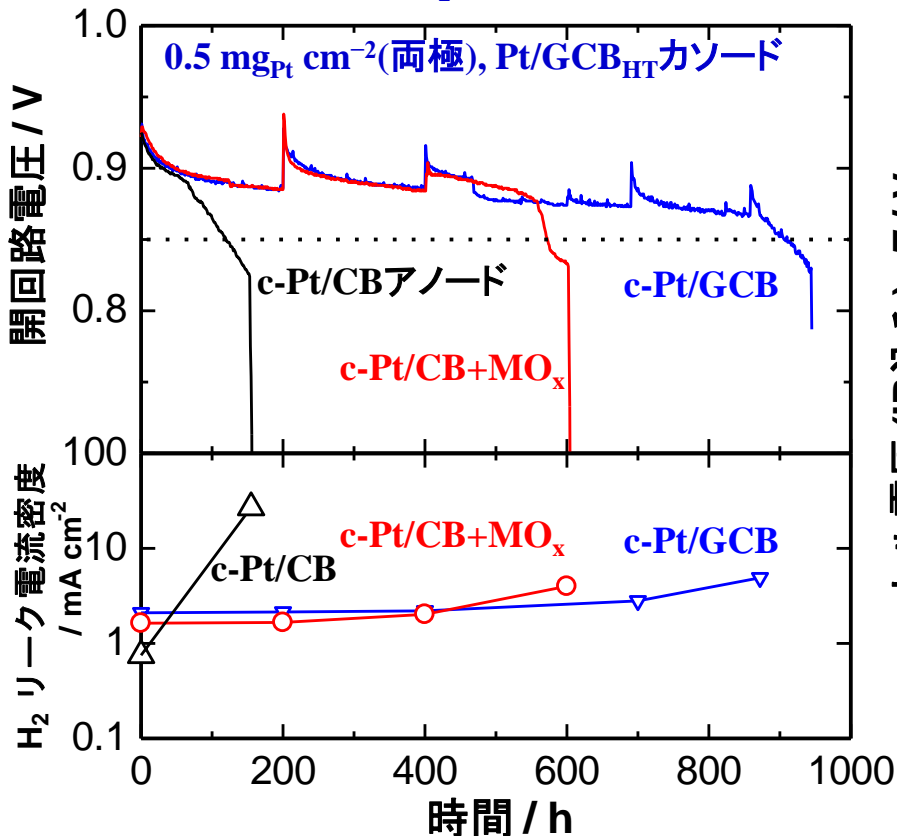
【種々のPtアノード触媒を用いた加圧OCV試験: 触媒層への酸化物添加とGCB担体の効果】

90°C, 160 kPa-G, H₂ 40%RH/Air 40%RH, NRE211,

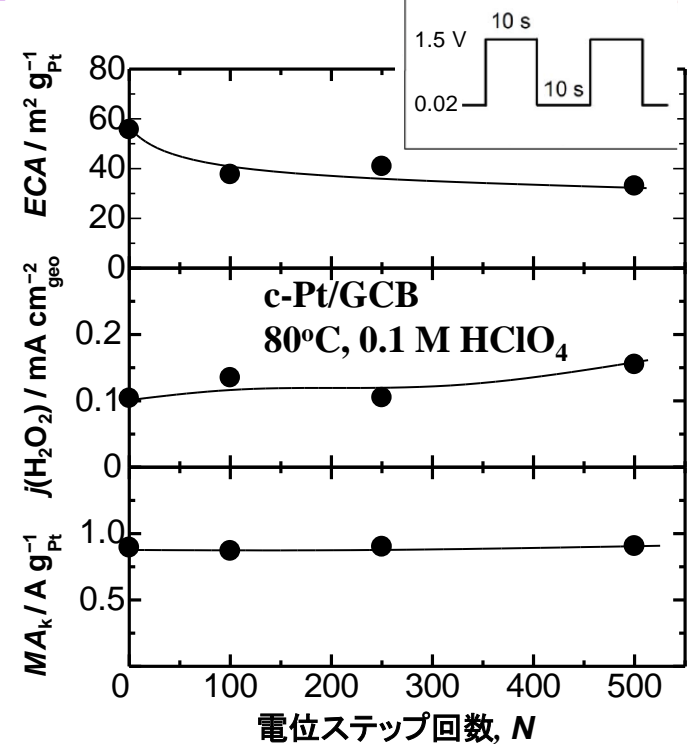
90°C, 常圧, NRE211, 0.5 mg_{Pt} cm⁻²(両極),

Pt/GCB_{HT}カソード

H₂ 20%RH / O₂ 40%RH
(利用率70%) (利用率40%)



【アノード触媒の燃料欠乏耐性のCFDE試験】



CFDE法、c-Pt/GCB触媒への0↔1.5 Vの電位ステップサイクルにより、

- ECA減少 (Pt粒径増大)。
- H₂O₂発生速度 *j*(H₂O₂)増加 (GCBの酸化による官能基増加)。
- 水素酸化MA_kはほぼ一定。

燃料欠乏耐性アノード触媒のスクリーニング法が確立できた。

• アノード触媒層への酸化物MO_xの微量添加により、電解質膜 (PEM) の寿命が顕著に向上 (約3倍)。低加湿運転で、オーム抵抗の減少とI-V特性の大幅な向上を確認 (含水率向上による触媒利用率向上)。

これまでのラジカル捕捉剤とは異なる、電解質寿命と出力性能の両立 (特許出願済み)

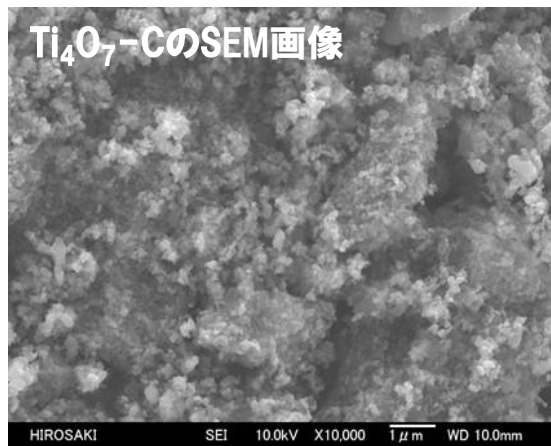
• CB担体に替えて、黒鉛化度の高いGCB担体を用いることにより、PEMの寿命が顕著に向上 (約5倍): CFDEの測定結果と良く一致。表面の酸素官能基の減少によるH₂O₂抑制と考えられる。

3. 研究開発成果について

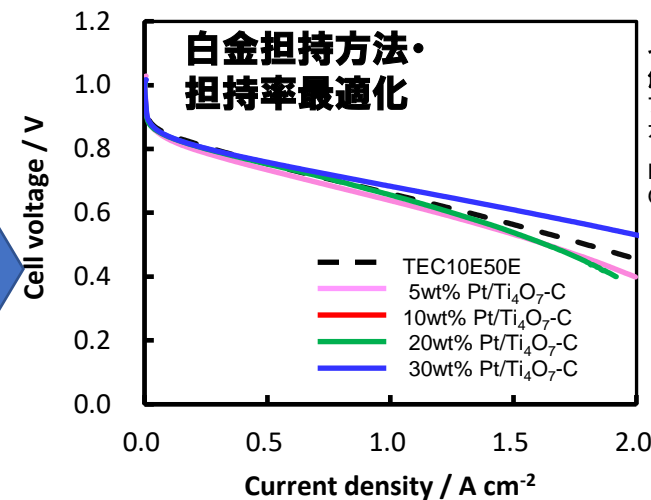
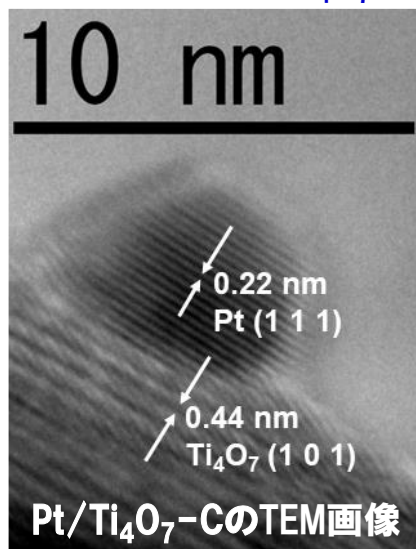
高活性・燃料欠乏耐性の白金／酸化物担体触媒の開発と作用機構の解明（岩手大学）

【高いHOR活性を維持しつつH₂O₂発生を抑制する白金／酸化物担体触媒の開発】

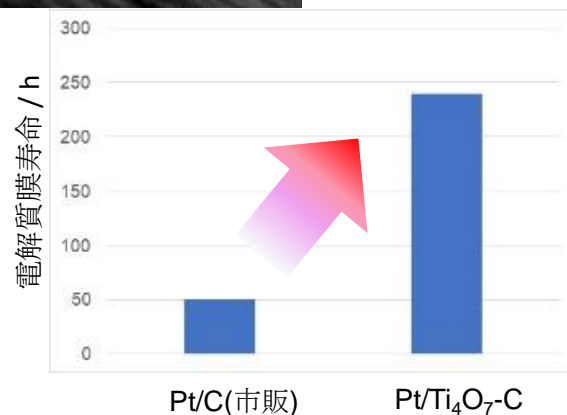
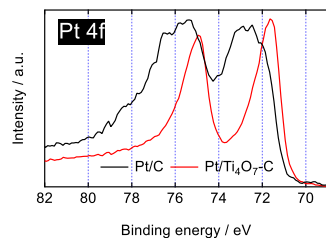
担体開発: 組成・合成温度最適化により、カーボンまたはバナジウムを利用してTi₄O₇担体をグラムスケールで合成することに成功



触媒開発: 開発Ti₄O₇担体に適したエタノール還元法により、白金ナノ粒子担持に成功



作用機構の探索: XPSにより、白金—Ti₄O₇間の強い相互作用を示唆するPt 4fコアレベルシフトを確認



Pt/Ti₄O₇-Cをアノードに用いた加圧OCV試験でPt/C触媒利用時に比べ4倍超の電解質膜寿命

通説とは異なり、本研究開発のPt/Ti₄O₇-CによるH₂O₂生成抑制を示唆：東北大学の計算結果とも一致。

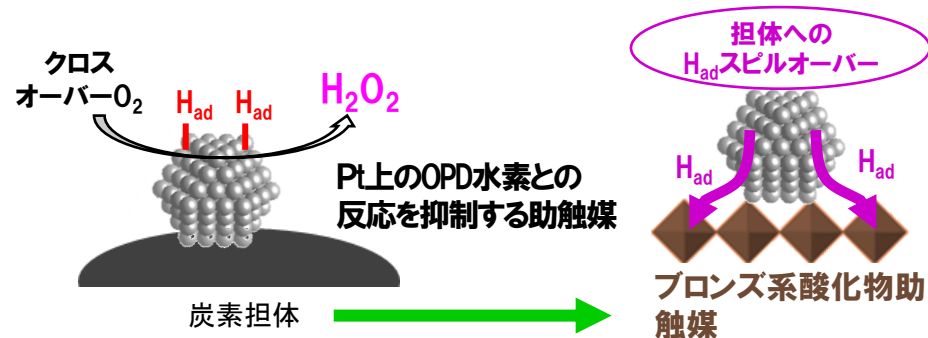
MEAで市販Pt/C触媒と同等以上のHOR活性を示し、4倍超の電解質膜寿命を得た。

Pt-Ti₄O₇間の強い相互作用によりH₂O₂生成が抑制されたと考えられる。

3. 研究開発成果について 劣化耐性に優れた高活性・低白金複合触媒の開発とその作用・劣化機構の解明（信州大学）

【電解質膜劣化抑制触媒（膜劣化物質発生抑制触媒）】

指導原理



Pt上で生成したOPD水素とO₂の反応を抑制するために水素スピルオーバー助触媒を用いる。

【成果】

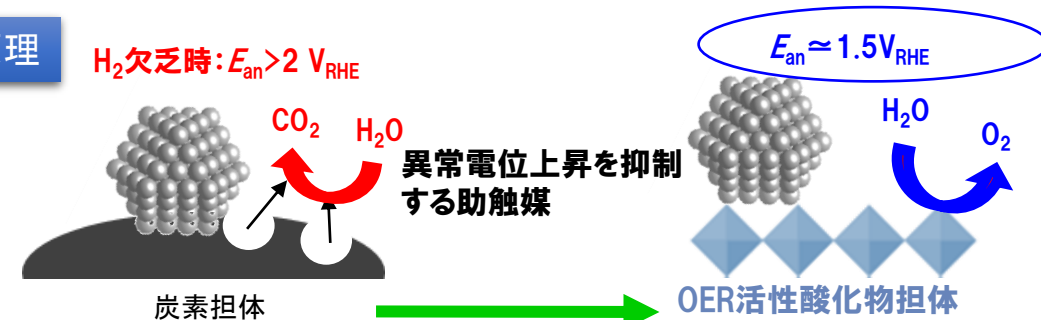
- HORとH₂中でのWO₃の水素スピルオーバー効果(CO酸化助触媒効果)を確認した。
- RRDEにて、Pt/CよりもWO₃-Pt/CがH₂O₂発生量が少ないことを見出した。

【意義】

- OPD水素の生成を抑制するという新しいコンセプトがおおむね立証できた(POCほぼ完成)。
- 標準性能Pt/Cに助触媒を添加するという簡便な触媒調製法であり、他の開発技術の掛け合わせも容易であり、早期の実装に適している。

【酸化耐性向上アノード（H₂欠乏（酸化耐性）対応触媒）】

指導原理



OER過電圧が低いIrO₂ナノシートにPtを担持した触媒。IrO₂によりアノード触媒層の異常電位上昇を抑制する。

【成果】

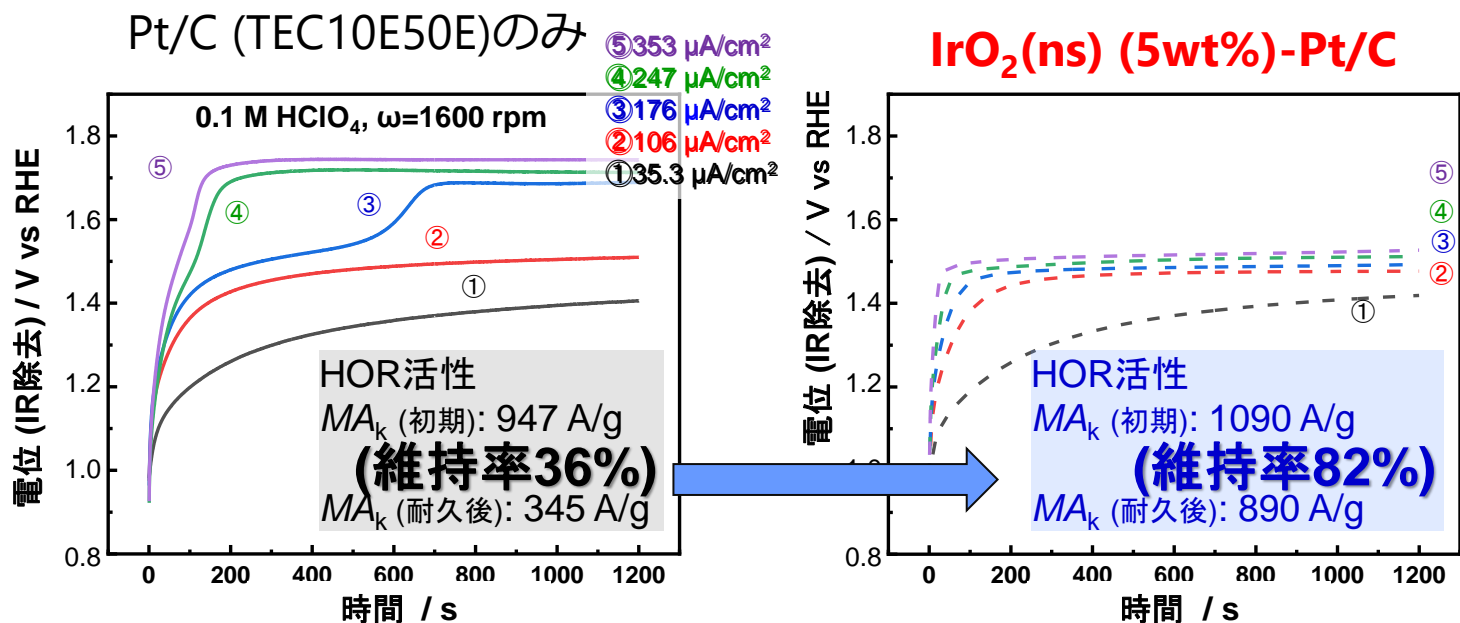
- 高電位実験でIrO₂(ns)の電位上昇抑制効果を確認。
- 耐久試験後、Pt/C比で2.5~3倍の水素酸化(HOR)活性を維持。
- 協力機関にて、市販Pt/C触媒とIrO₂(ns)添加Pt/C触媒を用いた単セルの燃料欠乏耐性試験を行い、IrO₂(ns)の有効性が確認。

【意義】

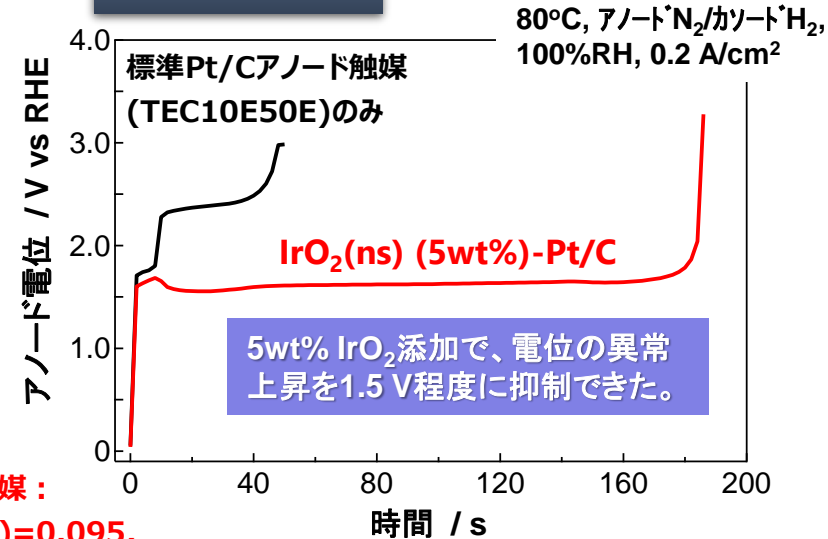
- IrO₂(ns)はIrO₂(np)よりも少ない担持量で同程度の性能を発揮できる。
- IrO₂(ns)はIrO₂(np)よりも安定であると期待できる。
- 今後の担持方法の工夫により、さらに高性能化に期待。

3. 研究開発成果について 劣化耐性に優れた高活性・低白金複合触媒の開発とその作用・劣化機構の解明（信州大学）

【酸化耐性向上アノード（H₂欠乏（酸化耐性）対応触媒）】



単セル試験



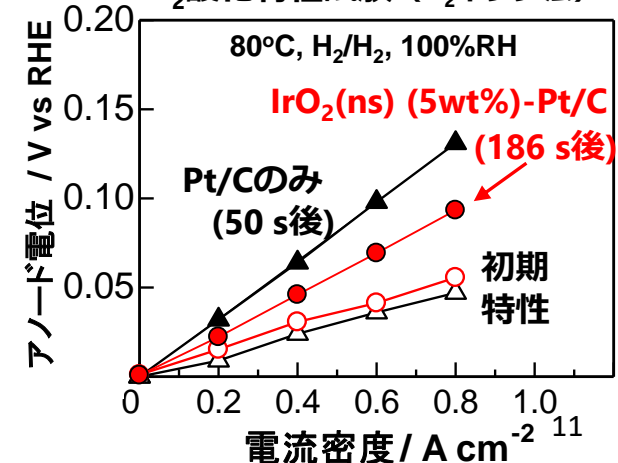
開発アノード触媒：
Ir/Pt(質量比)=0.095,
Pt 44 wt%, IrO₂ 5 wt%

- 電解液中の定電流印加による高電位試験で**IrO₂ (ns)の電位上昇抑制効果を確認**。本試験法で単セルの転極を模擬できた(標準プロトコルとして提案予定)。
- 高電位試験後 Pt/CのHOR質量活性MA_kは初期値の36%まで低下。
5 wt%-IrO₂添加により80%以上のMA_kを維持。

- 協力機関にて単セルでのH₂ガス欠乏試験を実施した結果、**Ptの10 wt%未満のIr添加でアノードの電位上昇を顕著に抑制**できた。**水素酸化特性の劣化も抑制**された。

電極面積: 25 cm², アノード/カソード:
TEC10E50E(アノード0.11/カソード0.5 mg_{Pt}/cm²),
電解質膜: NRE211、GDL: カーボン

H₂酸化特性試験 (H₂ポンプ法)



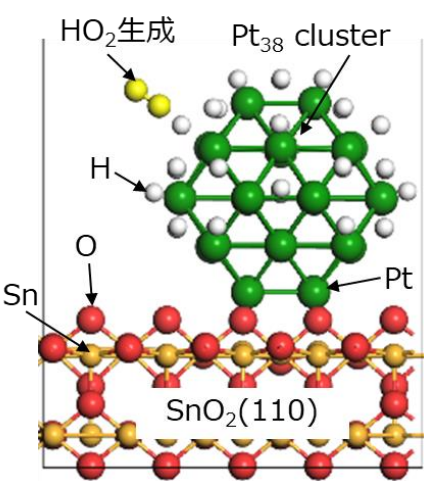
3. 研究開発成果について 計算科学に基づくOHラジカルの発生及び酸化劣化を抑制可能なアノード触媒の理論的設計 (東北大学)

【OHラジカル発生の原因となるH₂O₂生成反応の解析】

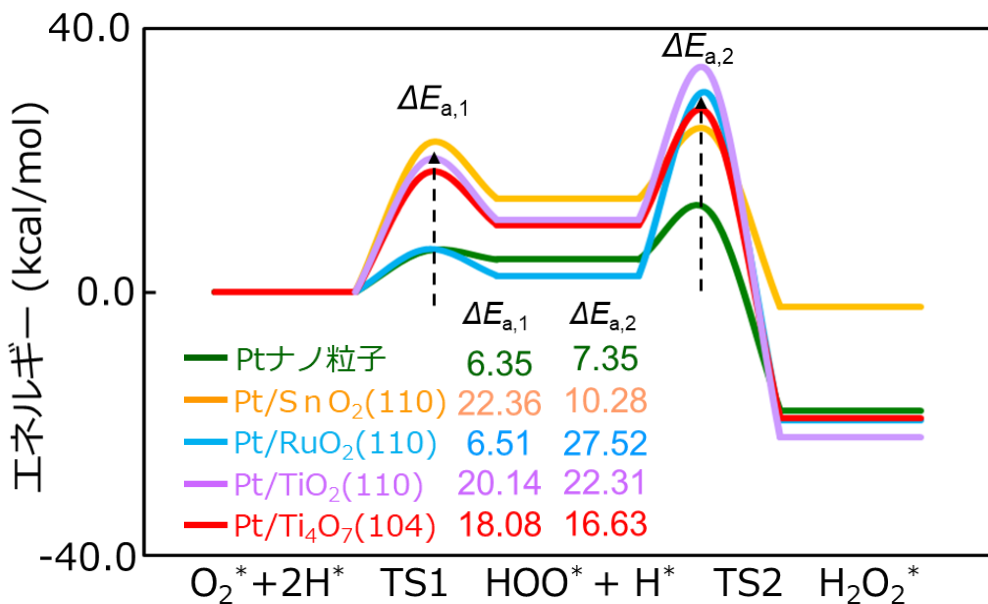
Pt、Pt/MO_x (MO_x=RuO₂、SnO₂、TiO₂、Ti₄O₇) の触媒モデル上におけるH₂O₂生成の反応経路を第一原理計算により解明

H₂O₂生成抑制可能な触媒の提案

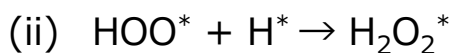
Pt₃₈/SnO₂(110)上のH₂O₂生成反応モデル



H₂O₂生成反応のエネルギープロファイル



H₂O₂の生成プロセス



エネルギー原点は触媒とO₂が吸着した状態

*は触媒への吸着状態を示す

H₂O₂生成の活性化エネルギー
Pt/酸化物担体 > Pt



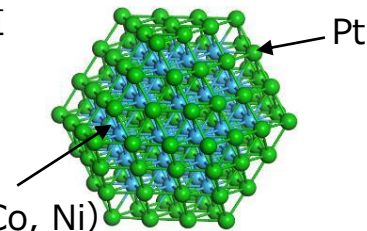
今回検討した酸化物はPt上におけるH₂O₂生成抑制に有効と考えられる

【燃料欠乏状態で高酸化耐性を有するアノード触媒の設計指針の導出】

Ptナノ粒子, Ptスキン/PtM (M=Co, Ni)

Pt合金ナノ粒子モデル

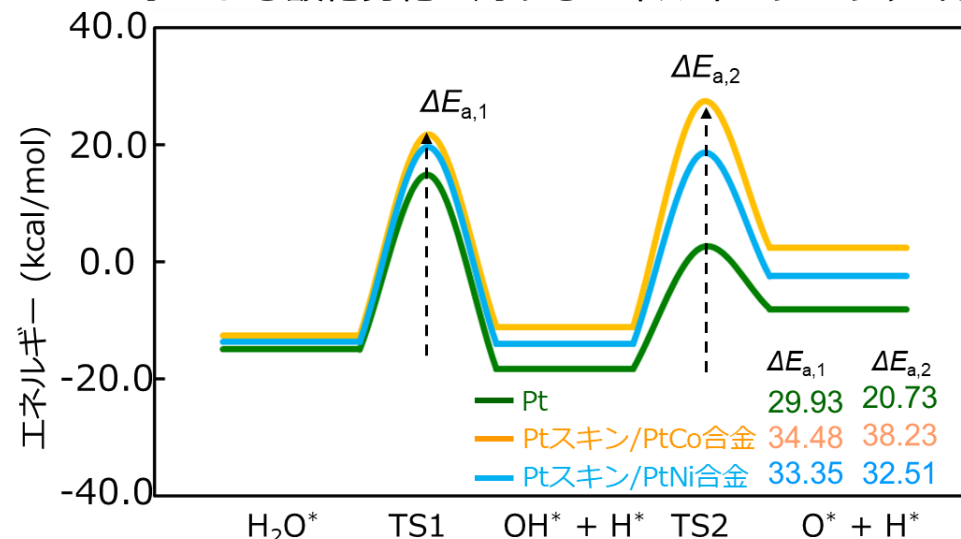
合金ナノ粒子の水による酸化劣化反応を計算



高酸化耐性を有する触媒構造を提案

M(M=Co, Ni)

Ptナノ粒子, Ptスキン/PtM(M=Co, Ni)合金ナノ粒子の水による酸化劣化に対するエネルギープロファイル



エネルギー原点は触媒とH₂Oが十分に離れた状態 *は触媒への吸着状態を示す

水によるナノ粒子の酸化劣化に対する活性化エネルギーの序列

Ptナノ粒子 < Ptスキン/Pt合金ナノ粒子

Co及びNi合金化によって水によるPtナノ粒子の酸化劣化を抑制できることを示唆。

3. 研究開発成果について

特許、論文、学会発表、広報

特許出願

1. 千坂光陽, 竹口竜弥 [出願人: 弘前大学, 岩手大学], “導電性チタン酸化物、金属担持導電性チタン酸化物、膜電極接合体、固体高分子形燃料電池、導電性チタン酸化物の製造方法、及び金属担持導電性チタン酸化物の製造方法”, 特願2021-146229 (2021.9.8).
2. 杉本 渉, ティンウェイ ホワン [出願人: 信州大学], “酸化イリジウムナノシートを助触媒として含む電極触媒”, 特願2021-192613 (2021.11.28).

論文

1. 内田裕之, “新規アノード触媒の研究開発: 電解質膜の劣化抑制機能、高い水素酸化活性、耐CO被毒性と耐酸化性の発現”, 水素エネルギーシステム (水素エネルギー協会会誌), **46** (2), 63-70 (2021.5).
2. M. Chisaka, K. Nagano, B. Delgertsetseg, T. Takeguchi, “Inexpensive Gram Scale Synthesis of Porous Ti_4O_7 for High Performance Polymer Electrolyte Fuel Cell Electrodes”, *Chem. Commun.*, **57** (95), 12772 (2021.11) : **査読付き**.
3. H. Uchida, G. Shi, M. Imran, D. A. Tryk, “Particle Size Effect of Pt Anode Catalysts for Fuel Cells on H_2O_2 Production Rate and H_2 Oxidation Activity at 20 to 80 °C”, *J. Electrochem. Soc.*, **169** (1), 014516 (2022.1). : **査読付き**.

学会発表

1. 内田裕之, G. Shi, M. Imran, D. A. Tryk, “Pt/C水素アノード触媒の過酸化水素発生速度に対する粒径と温度の効果”, 第88回電気化学会 (2021.3.24).
2. 内田裕之, “高性能・高耐久燃料電池: カソードおよびアノード触媒の研究開発”, 第143回表面技術協会 (2021.3.4) : **招待講演**.
3. N. Ozawa, K. Yoshida, M. Kubo, “Effect of SnO_2 Support on Degradation of Pt Anode in Polymer Electrolyte Fuel Cell: First-Principles Study”, ANSCSE24 (2021.4.28) : **招待講演**.
4. 尾澤伸樹, 吉田賢統, 久保百司, “高電位状態の固体高分子形燃料電池アノードにおけるPt合金ナノ粒子触媒の酸化プロセスの第一原理計算に基づく解析”, 第128回触媒討論会 (2021.9.16).
5. T-W. Huang, 杉本 渉, “Half-cell Study of IrO_2 Nanosheet-Pt/C as a Cell Reversal Tolerant Anode”, 第62回電池討論会 (2021.12.1).
6. 尾澤伸樹, 吉田賢統, 久保百司, “固体高分子形燃料電池アノードにおけるPtナノ粒子/酸化物複合触媒における H_2O_2 生成反応の第一原理計算による検討”, 電気化学会第89回大会 (2022.3.17).
7. 内田裕之, M. Imran, 松本匡史, 荒尾正純, 今井英人, “PtCo/C水素アノード触媒の過酸化水素発生抑制機構の解析”, 電気化学会第89回大会 (2022.3.17).
8. M. R. Berber, M. Imran, 内田裕之, “Effect of Pt-loading and Carbon Support of Pt/C Anode Catalysts on the Durability of Nafion Electrolyte Membrane”, 電気化学会第89回大会 (2022.3.17).
9. 内田裕之, “燃料電池用電極触媒の現状と課題”, 日本化学会第 102 春季年会 (2022.3.23) : **招待講演**.

広報

1. 山梨大学, 田中貴金属工業, “燃料電池の劣化を大幅に抑制する白金-コバルト合金水素極触媒”, 人とくるまのテクノロジー展2021名古屋 (2021.6).
2. 弘前大学, 岩手大学, “【弘大・岩手大技術開発】燃料電池新素材 大量・安価に”, プレスリリース, 東奥日報, 陸奥新報 (2021.11).

4. 今後の見通しについて

【事業化のイメージ】

本研究開発のアノード触媒が備える新機能（ラジカル低減機能と燃料欠乏耐性）は、産業界（自動車メーカーとシステムメーカー）との議論を経て提案したものであり、ニーズに合致している。目標を達成した開発触媒は触媒メーカーと協力して量合成法を確立し、協力機関の実サイズに近いMEA評価で有用性の実証を行うことが特徴である。

なお、本研究開発でのラジカル発生低減は、基本計画のPEFC耐用年数向上に直接貢献する。ラジカル捕捉剤の削減による電池電圧（カソード電位向上とオーム損低減）の向上と、燃料欠乏耐性による燃料利用率の向上は、変換効率の向上(航続距離延長)に貢献する。さらに制御補機の省略によるシステム全体コストの削減にも貢献できる。

【事業化想定時期と事業化想定機関】

2025～2029年頃に、世界最先端の生産技術を有する日本国内の触媒メーカーによる量産化と、国内自動車メーカーやシステムメーカー等の実用条件での検証を経て、2030年頃に高性能・高耐久性PEFCのアノードに実装されることを想定している。

これらのメーカーによるFCVや定置用燃料電池のみでなく、バス、トラック、フォークリフト、鉄道車両、船舶、航空機用などの幅広い用途に活用されると考えられる。

【研究開発の最終目標】

- ・水素酸化質量活性と H_2O_2 抑制率が市販触媒よりも高い触媒の量合成法を確立し、実機サイズセルで耐久性を実証する。
- ・燃料欠乏耐性が2倍以上で作用機構・劣化機構が明確な触媒を開発し、実機サイズセルで燃料欠乏耐性を実証する。
- ・これらアノード触媒を計算科学的に設計するためのシミュレーション技術を確立する。

これらの目標は、基本計画のPEFC耐用年数向上に直接貢献する。さらに、変換効率の向上（航続距離の延長）と、システム全体コストの削減に貢献する。

【事業化に向けた課題】

本研究では、触媒作用機構と劣化機構を明確にした、新規アノード触媒を開発し、触媒メーカーと連携して量合成法を確立することを目標としている。また、長年の協力機関である定置用燃料電池のシステムメーカー（パナソニック（株）、東芝エネルギーシステムズ（株））の実機サイズMEAでの評価を受け、効果を実証する計画である。

本研究では白金及び白金合金触媒を開発する。白金は高価であるが、本研究で使用量の削減を目指している。さらに、スムーズな実用化を目指して簡便な量合成法を開発するので、触媒メーカーでの製造時の大きな制約はほとんどないと考えられる。