NEDO水素・アンモニア成果報告会2025

発表No.P2-31 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／共通課題解決型基盤技術開発／

高温低加湿作動を目指した革新的低白金化技術開発

団体名：学校法人同志社、石福金属興業株式会社、東北大学、産業技術総合研究所、千葉大学

発表日：2025年7月16日

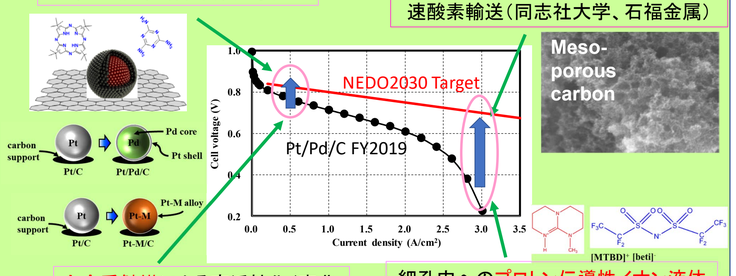
研究開発の概要

触媒金属内部構造および表面修飾

含窒素有機物修飾による高活性化（産総研、千葉大学）

カーボン担体中の物質移動促進

連通孔を有するカーボン担体による高速酸素輸送（同志社大学、石福金属）



合金系触媒による高活性化（東北大学、同志社大学、石福金属）

細孔内へのプロトン伝導性イオン液体含浸→高温（100℃）低加湿対応（同志社大学、千葉大学）

- MPCのメソ孔内に担持した触媒
- プロトン伝導性イオン液体含浸
- 有機物表面修飾

→ 触媒の置かれる反応場を疎水化し、高活性化、高耐久化を狙う

実施体制（2024年度）

NEDO（PM, PL, SPL）

委託 ／ 指示・協議

GL
・所属　学校法人同志社　同志社大学
・役職名　教授
・氏名　稲葉　稔

触媒粒子、担体、イオン液体含浸による高特性化

学校法人同志社　実触媒
・同志社大学理工学部（京都）
・研究項目：高温低加湿に対応可能な高酸素拡散性を有する高活性触媒の開発

（株）SCREENホールディングス(共同実施)
・彦根事業所（滋賀）
・研究項目：開発した触媒を用いたMEA作製技術の最適化　MEA

石福金属興業株式会社　実触媒
・草加工場（埼玉）
・研究項目：新規触媒の少量生産技術およびMEA評価技術の開発

国立大学法人　東北大学　モデル電極
・大学院環境科学研究科(宮城)
・研究項目：酸化物および硫化物ミクロ構造制御による高温対応モデル触媒開発

国立大学法人　島根大学（再委託）
・材料エネルギー学部（島根）
・研究項目：Pt－高エントロピー合金の表面劣化挙動解析

有機物修飾による水吸着抑制による高活性化

国立研究開発法人　産業技術総合研究所　実触媒
・電池技術研究部門（大阪）
・研究項目：高温低加湿に対応可能な有機物修飾による触媒高活性化技術の開発

国立大学法人　大阪大学（再委託）
・大学院基礎工学研究科（大阪）
・研究項目：高温低加湿に対応可能な有機物修飾による触媒高活性化技術の開発

国立大学法人　千葉大学　モデル電極
・大学院工学研究院（千葉）
・研究項目：高温で高ORR活性を発現する活性化因子の解析

連携・サンプル評価

PEFC評価解析プラットフォーム
自動車メーカー（LOI：トヨタ、ホンダ、東芝、Panasonic）
共同研究：東洋炭素、ILメーカー

プロジェクト開発目標

●本研究開発の全体目標

中間目標（2023年度）	最終目標（2024年度）
高活性触媒，MPC，プロトン伝導性ILを組み合わせ ・RDE: ≧ 1200 A/g-PGM@0.9 V ・MEA: ≧ 0.84 V@0.2 A/cm², ≧ 0.60 V@3.0 A/cm² (80℃, 30~60% RH) ・耐久性：同程度の粒径のPt/Cの2倍	プロジェクト内で開発された高活性化技術を組み合わせ ・RDE：1500 A/g-PGM) ・MEA：0.84V@0.2A/cm², ≧ 0.60 V@3.0 A/cm² （>100℃低加湿, 50kPaG加圧） ・耐久性：同程度の粒径のPt/Cの3倍

赤字は2022年6月SGで追加あるいは修正

●年度毎目標

年度	RDE質量活性 (A/g-PGM@0.9V)	MEA評価条件	MEA触媒活性 @0.2 A/cm2	MEA出力特性 @0.6 V	耐久性 0.6-0.95 V
2020年7月	750	80℃, RH100%	0.80 V	2.4 A/cm2	-
2022年6月	1000	80℃, RH100%	0.84 V	3 A/cm2	-
2023年度末	1200	80℃, RH30-60%	0.84 V	3 A/cm2	Pt/Cの2倍
2024年度末	1500	100℃, RH30-60%	0.84 V	3 A/cm2	Pt/Cの3倍

高酸素拡散性を有するメソポーラスカーボン担体の検討(同志社大学)

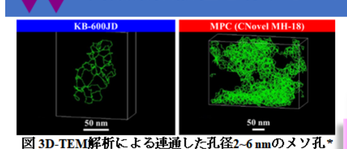


図 3D-TEM解析による連通した孔径2~6 nmのメソ孔*
*日産アーク@PF

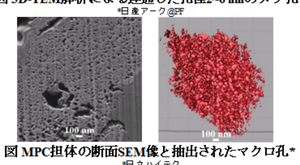


図 MPC担体の断面SEM像と抽出されたマクロ孔*
*日立ハイテク

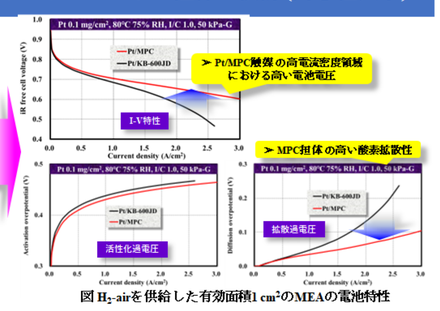


図 H_2-airを供給した有効面積1 cm²のMEAの電池特性

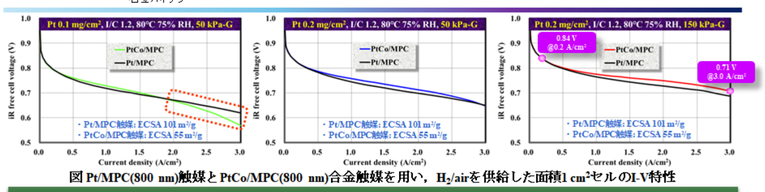


図 Pt/MPC(800 nm)触媒とPtCo/MPC(800 nm)合金触媒を用い，H_2/airを供給した面積1 cm²セルのI-V特性

➢ Pt目付量0.1 mg/cm²では，高電流密度領域の電池電圧はECSA(ラフネスファクター)が大きいPt/MPC触媒が有利.
➢ PtCo/MPC合金触媒においてPt目付量0.2 mg/cm²，150 kPa-G加圧で目標達成(Pt/MPC触媒でもほぼ達成).

高酸素拡散性を有するメソポーラスカーボン担体の検討(同志社大学)

➢ 100℃ 35% RH環境でI-V特性が大きく悪化　➢ 100℃ 35% RH環境でECSA減少は大きく緩和されるが，出力が大きく低下

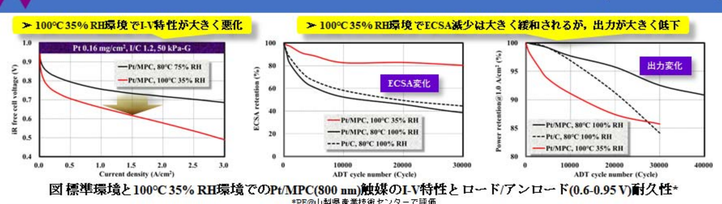


図 標準環境と100℃ 35% RH環境でのPt/MPC(800 nm)触媒のI-V特性とロード/アンロード(0.6-0.95 V)耐久性*
*PF@山梨県産業技術センターで評価

➢ 80℃ 95% RH環境でI-V特性が大きく悪化　➢ KB担体添加により80℃ 95% RH環境のI-V特性が大きく改善

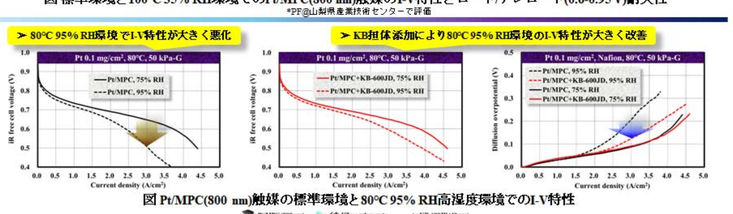


図 Pt/MPC(800 nm)触媒の標準環境と80℃ 95% RH高湿度環境でのI-V特性

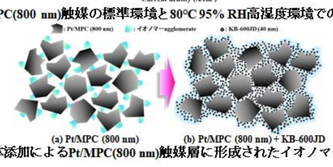


図 Pt非担持炭素担体添加によるPt/MPC(800 nm)触媒層に形成されたイオノマーagglomerateの吸収

メソポーラスカーボン担体触媒を用いたMEA作製技術の最適化(SCREEN)

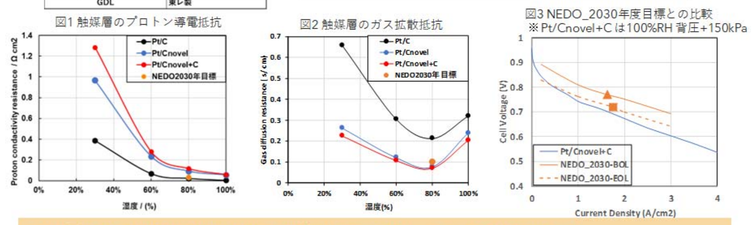
量産に近い製造プロセスで作製したMEAをNEDOセル評価解析プロトコルに準拠した電気化学測定法で、触媒層の物性評価を行った。

表1-1 MEA評価条件

測定条件	電極サイズ	1 x 3 cm
	セル温度	80℃
Ca層	触媒	Pt/Cnovel or Pt/C
	PGM目付量	0.2mg/cm2-Pt
	アイオノマー	EW800～900
	電解質膜	12 μm
An層	触媒	Pt/C
	PGM目付量	0.05mg/cm2-Pt
	アイオノマー	EW800～900
GDL		東レ製

表 1-2 Pt/MPCと標準Pt/C触媒のMEAでのECSAとORR活性および2030年NEDO目標値

触媒	ECSA (m²/g)	ORR質量活性 (A/g@0.9 V)
Pt/MPC (800 nm)	72	406
標準Pt/C (TEC10E50E)	66	185
2030年NEDO目標	60	1740



- 触媒層のガス拡散抵抗はNEDO_2030年度目標より下回っており、非常に良好な結果であった
- 2030年度のNEDO目標達成においては触媒活性の向上、触媒層のプロトン導電抵抗の改善が課題である。
- 電気化学測定法によって上記の課題が明確化され、継続して最適化に取り組んでいく。

新規触媒の少量生産技術およびMEA評価技術の開発（石福金属興業）

表 100 g/バッチでの試作結果

触媒	製法	Pt担持率 (wt.%)	Pt粒子径 (nm)	iR free Cell Voltage (V) @0.2 A/cm²	iR free Cell Voltage (V) @3.0 A/cm²	作製量 (g/バッチ)
Pt/MPC	改良液相還元法	46.6	2.1	0.80	0.64	100
Pt/MPC	改良液相還元法+後処理	52.5	2.3	0.80	0.65	100
Pt/MPC (Reference)	含浸熱分解法	52.0	2.5	0.80	0.65	7

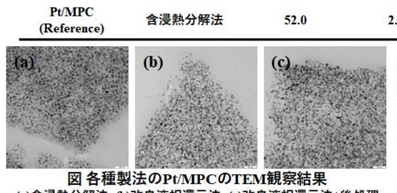


図 各種製法のPt/MPCのTEM観察結果
(a)含浸熱分解法, (b)改改液相還元法, (c)改改液相還元法+後処理

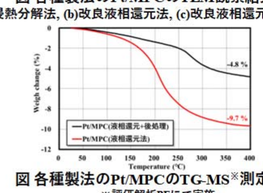


図 各種製法のPt/MPCのTG-MS※測定結果
※評価解析PFにて実施

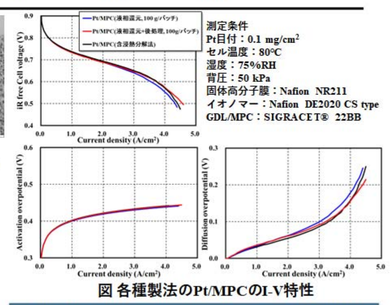


図 各種製法のPt/MPCのI-V特性

❖開発した量産技術にて100 g/batchでの試作を実施
→ReferenceのPt/MPCと同等の特性が得られた

新規触媒の少量生産技術およびMEA評価技術の開発（石福金属興業）

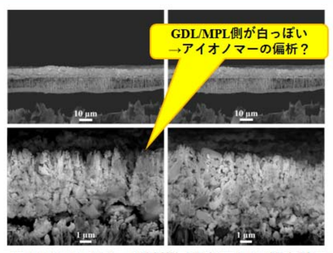


図 Pt/MPCカソード触媒層の断面SEM観察結果

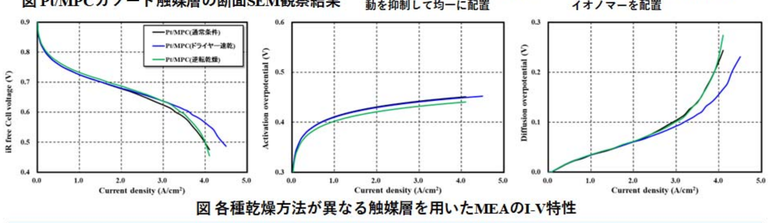
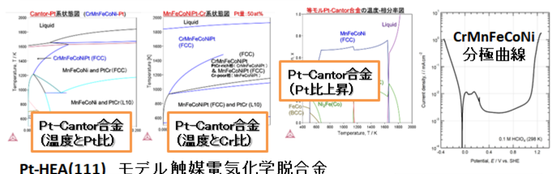


図 各種乾燥方法が異なる触媒層を用いたMEAのI-V特性

❖触媒層の乾燥方法によってイオノマーの配置をコントロールし、I-V特性が改善できる可能性を示唆

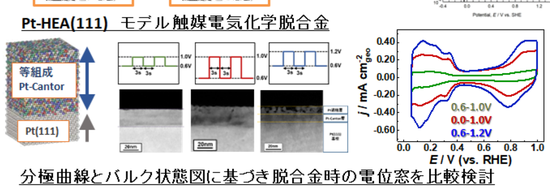
酸化物ミクロ構造制御による高温対応モデル触媒開発（東北大　再委託　島根大）

Pt-HEA（バルク）状態図計算と分極曲線（島根大）



- Pt-Cantor合金は二相（PtCrとその他）に分離傾向
- Cr比の低下（Pt比の増加）FCC全率固溶領域は拡大、Cr表面偏析を低下（緩和）

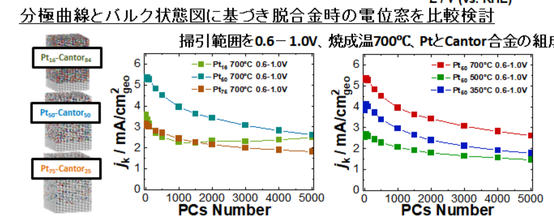
Pt-HEA(111)　モデル触媒電気化学脱合金



脱合金Pt-Cantor合金
- 脱合金後の表面ミクロ構造：電位窓に敏感（条件により表面にPtのナノ多孔質が形成）

分極曲線とバルク状態図に基づき脱合金時の電位窓を比較検討

掃引範囲を0.6－1.0V、焼成温700℃、PtとCantor合金の組成比を変化



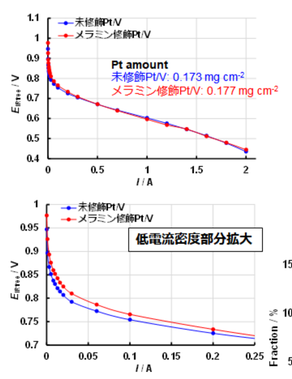
- Pt_{50}–Cantor合金50
  焼成温度　700℃
  電位窓 0.6－1.0V

→ 最も高ORR特性
焼成温度、電位窓が特性を決める

AIST　MEAでのメラミンの活性と耐久性に対する効果（産総研）

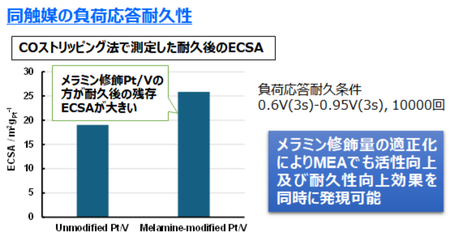
MEAで高活性化と高耐久化の両立するメラミン修飾量の検討

メラミン86μmol/g修飾Pt/VのIV特性



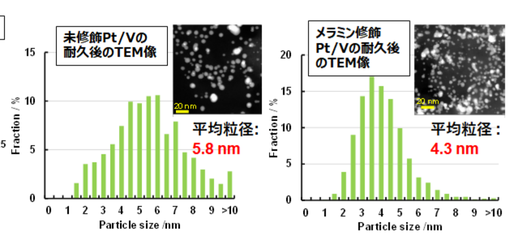
この条件ではLCD部分においてIV特性の上昇がみられる

同触媒の負荷応答耐久性



負荷応答耐久条件
0.6V(3s)-0.95V(3s), 10000回

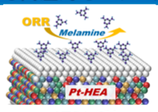
メラミン修飾量の適正化によりMEAでも活性向上及び耐久性向上効果を同時に発現可能



酸化物ミクロ構造制御による高温対応モデル触媒開発（東北大　再委託　島根大）

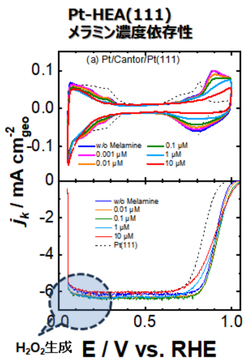
Pt-HEA＋メラミン　シナジー

相乗効果によるORR特性向上

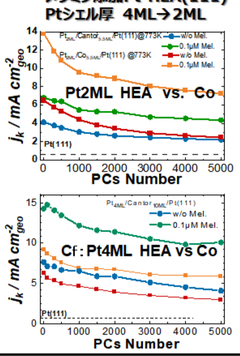


有機物修飾：
"外"からの特性向上
✕
HEA化：
"内"からの特性向上

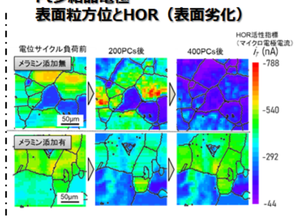
Pt-HEA(111)
メラミン濃度依存性



メラミン添加Pt-HEA(111)
Ptシェル厚　4ML→2ML



Pt多結晶電極
表面粒方位とHOR（表面劣化）



添加無：表面構造劣化　添加有：劣化抑制（HOR活性低下）：
電位サイクル負荷により顕著に進行

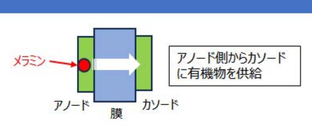
活性のメラミン濃度依存性
過酸化水素生成も抑制
（膜劣化抑制効果有）

表面Ptシェル　4ML→2ML
メラミンによるORR活性・耐久性向上効果
（表面Pt安定化、合金化元素溶出抑制）

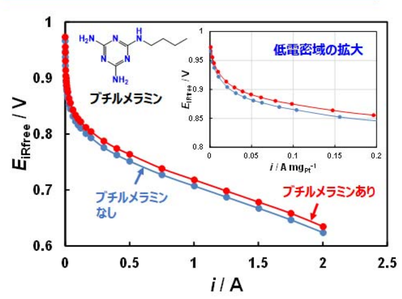
Pt表面酸化の抑制
表面結晶粒方位に依存
（単結晶低指数面とも傾向一致）

AIST　MEAでのメラミンの活性と耐久性に対する効果（産総研）

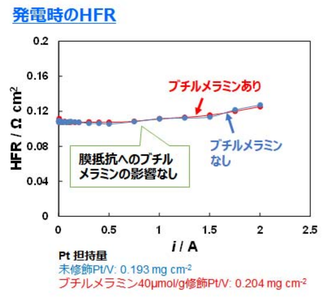
メラミンをカソード触媒に供給する手法の検討



プチルメラミンをアノード側から供給した場合のIV特性



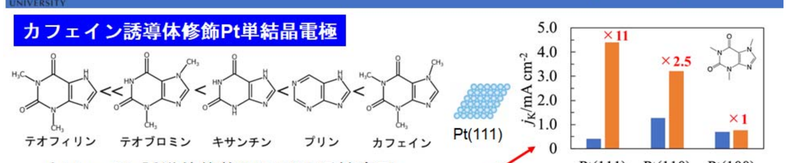
発電時のHFR



- アノード側から修飾有機物を適量供給することで、広い電流密度範囲で発電特性が向上した
- 活性向上に最適な有機物量では、膜抵抗に対する悪影響は認められなかった

ORRを活性化させる構造規整電極と有機物の組合せ(千葉大学)

カフェイン誘導体修飾Pt単結晶電極

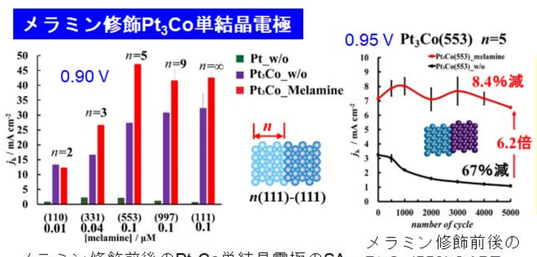


カフェイン誘導体修飾Pt(111)の活性序列

カフェイン＋Pt(111)の組み合わせが最大活性

Pt(111)の面積比活性が11倍に増大

メラミン修飾Pt_3Co単結晶電極



メラミン修飾前後のPt_3Co単結晶電極のSA

メラミン修飾前後の$Pt_3Co(553)$のADT

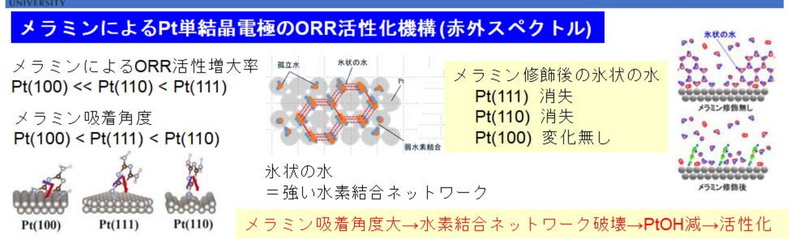
メラミン修飾後
活性・耐久性ともに
$Pt_3Co(553)$ n=5が最大
活性：Pt(553)の23倍
(MA = 11×10⁴ A/g-PGM)
耐久性：6.2倍

有機物の吸着配向・水構造とORR活性の相関解析(千葉大学)

メラミンによるPt単結晶電極のORR活性化機構(赤外スペクトル)

メラミンによるORR活性増大率
Pt(100) << Pt(110) < Pt(111)

メラミン吸着角度
Pt(100) < Pt(111) < Pt(110)



メラミン修飾後の氷状の水
Pt(111)　消失
Pt(110)　消失
Pt(100)　変化無し

氷状の水
＝強い水素結合ネットワーク

メラミン吸着角度大→水素結合ネットワーク破壊→PtOH減→活性化

超高真空中におけるメラミンと水の共吸着

小さなドメインサイズの吸着水
→メラミンが吸着水の水素結合ネットワーク形成を阻害

- ステップに優先的にメラミン吸着
→Pt原子の溶出を防止し耐久性向上
- テラス上の水吸着を阻害
→ORR活性の向上に寄与

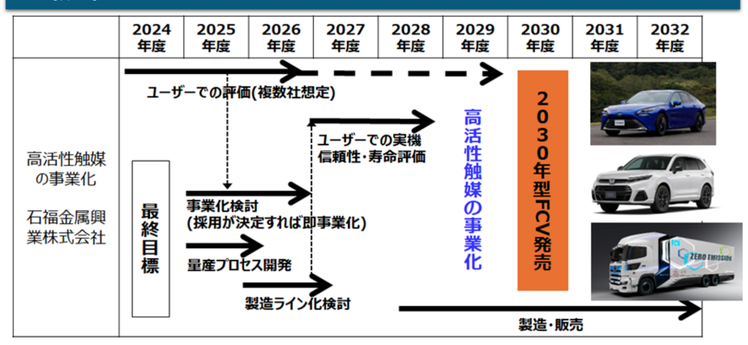
今後の見通しについて（事業化計画）

- 外部発表

学会講演	論文文献	特許	プレス発表	受賞
202	35	26	8	15

- 実用化計画

Pt/MPC触媒：2030年型FCVへの搭載に向けて事業化を進める。
有機物修飾：次期プロ5年で実用化に向けた開発を進め、2035年FCV, HDVへの搭載を目指す。



連絡先：同志社大学　稲葉　稔
minaba@mail.doshisha.ac.jp