

炭素担体の表面改質による 電極触媒の性能向上と省白金化

量子科学技術研究開発機構

高崎量子技術基盤研究所

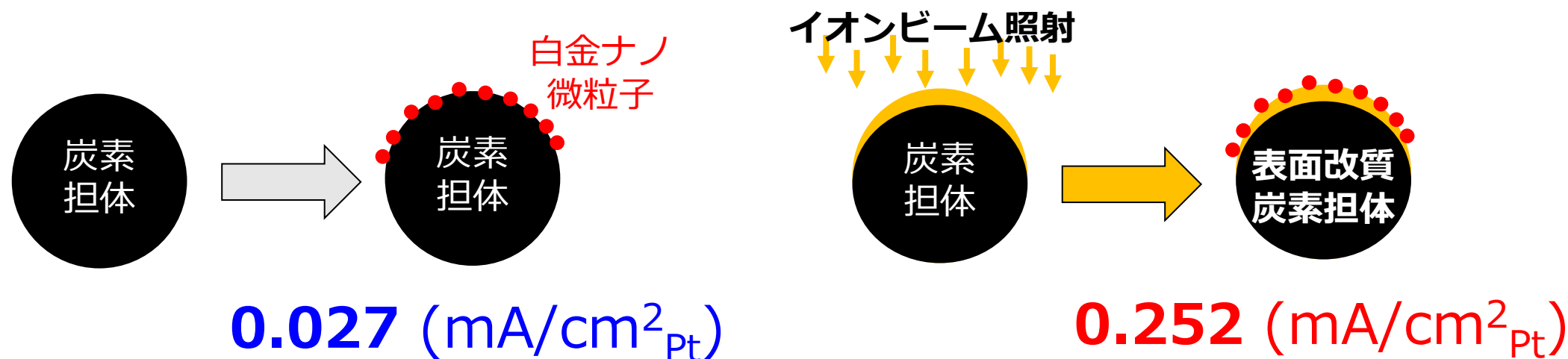
先端機能材料研究部

主任研究員 岡崎 宏之

2025年2月6日

本技術の概要

燃料電池に実装されている白金触媒の担体として用いられる炭素粉体を**イオンビーム照射**により改質することで、担持した白金触媒の性能を最大で**約10倍向上**させる技術である。



これにより、触媒の**白金使用量を1/10程度に低減**できるため、燃料電池の**低コスト化**、さらには**普及拡大**につながる。

燃料電池の社会的位置づけ

世界的にカーボンニュートラル実現に向けて水素関連施策を強力に推進

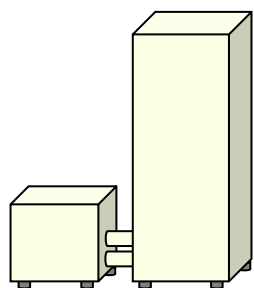
燃料電池は水素の利活用で高いエネルギー効率を示す

コージェネレーション

3兆3536億円（2020年）

7.2%/年の成長予測

2040年には約4倍



例：エネファーム

- 固体高分子形燃料電池（PEFC）
- 固体酸化物形燃料電池（SOFC）

燃料電池自動車（FCV）

859億円（2023年）

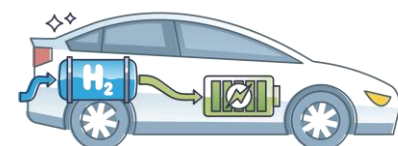
10兆8580億円（2040年）

2040年には約130倍

急速に発展する分野

例：MIRAI

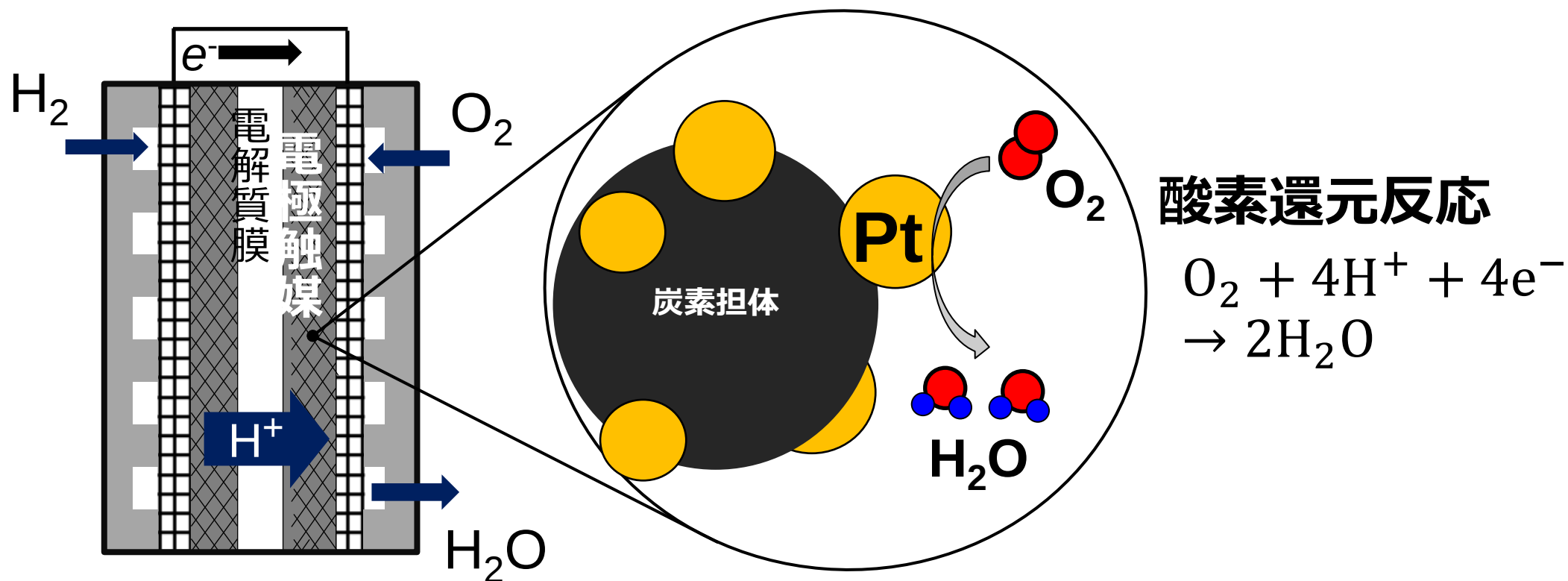
- 固体高分子形燃料電池（PEFC）



出典：Adobe Stock

FCV等に使われている燃料電池

固体高分子形燃料電池 (PEFC)



燃料電池自動車の現状

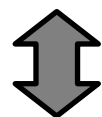
固体高分子形燃料電池を搭載した燃料電池自動車
が既に実用化されているが、

白金使用によって高コスト化してしまう

問題があり、全く普及していない。

水素基本戦略（2023.6更新）

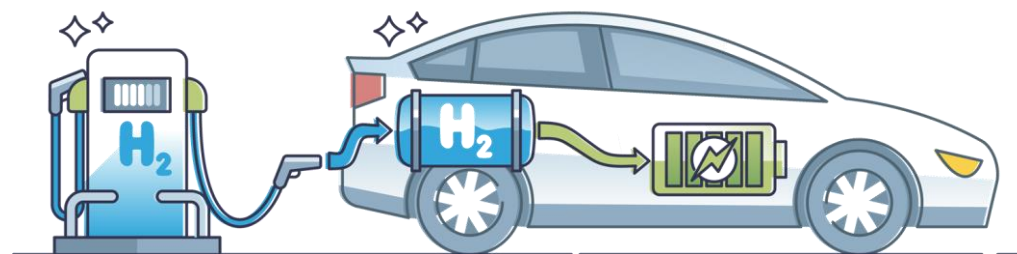
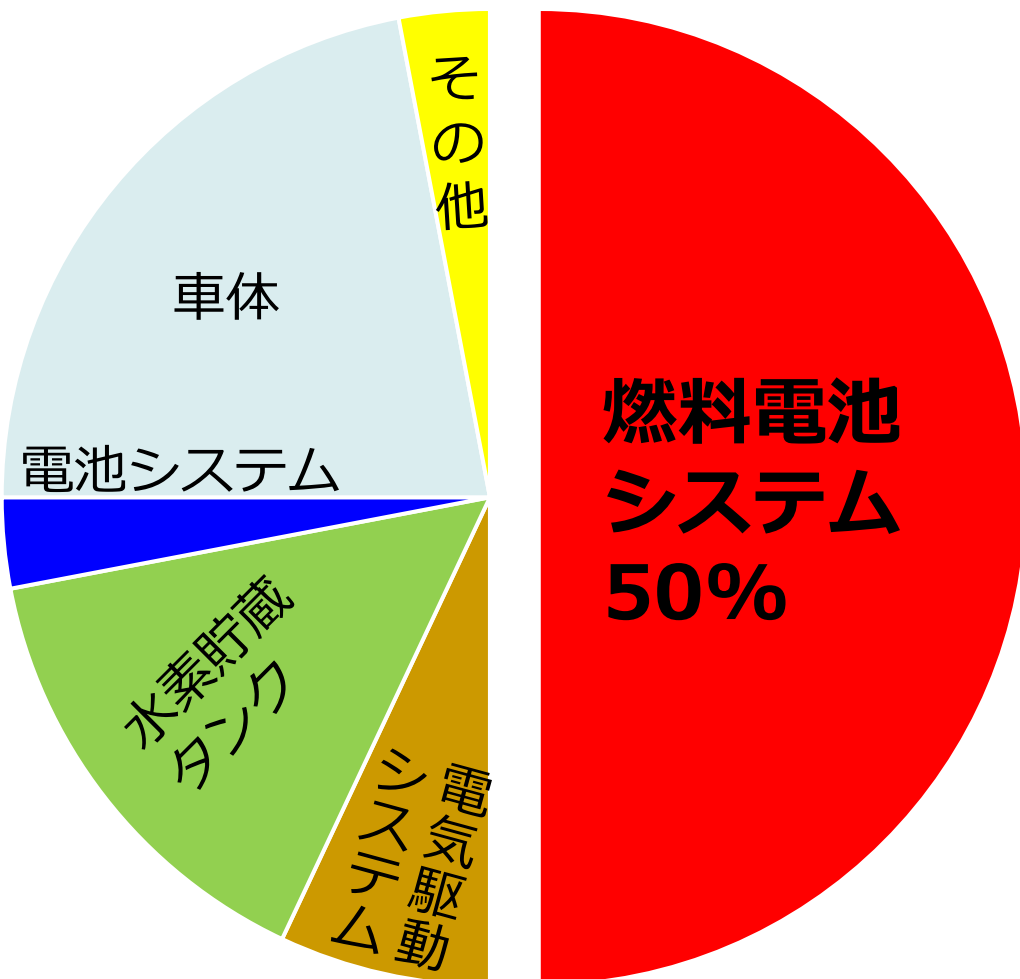
“2030年までに燃料電池自動車**80万**台程度の普及を目指す”



現実はたった 約 **7,600** 台 （2023年末時点）

高コストの要因

トヨタ MIRAI 740万円以上

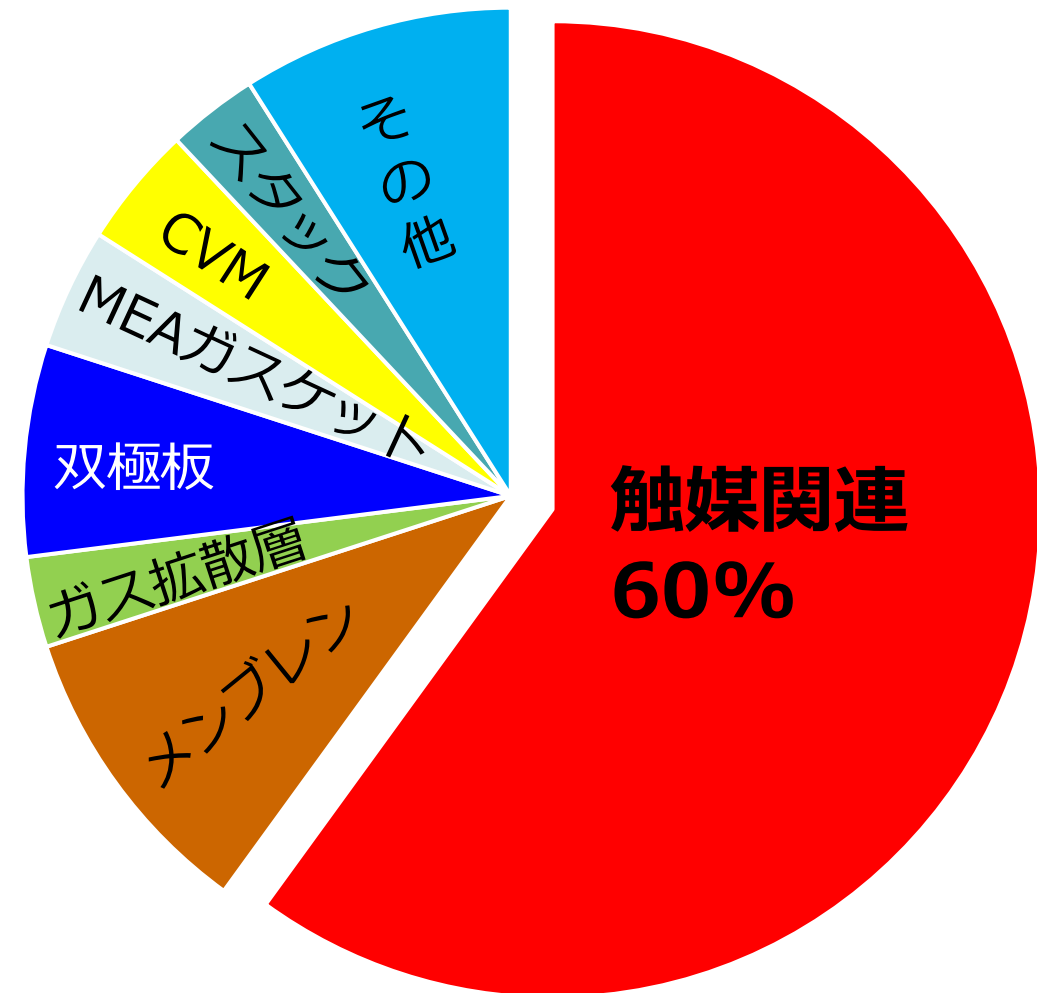


出典：Adobe Stock

燃料電池自動車価格の燃料電池システムの占める割合は全体の**50%以上**

出典：NEDO燃料電池技術開発ロードマップ
(NEDO 2022年3月)

高コストの要因



燃料電池システムの中の
触媒に関わるコストが**60%**

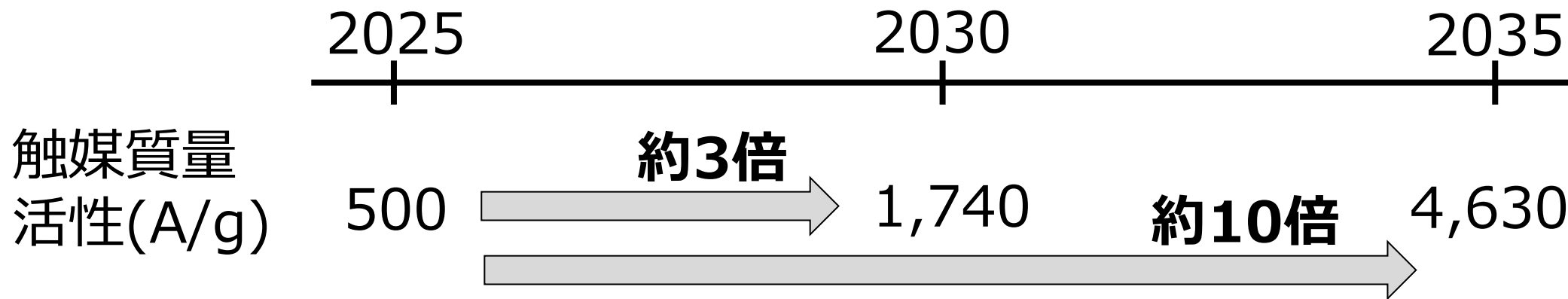
出典：NEDO燃料電池技術開発ロードマップ
(NEDO 2022年3月)

白金の触媒性能を向上させ、
使用量を低減することが求め
られている

電極触媒の開発指針

一般用自動車ではFCVに加え、電気自動車（EV）などの普及も進んでいるため、燃料電池は世界的に大型・商用モビリティ（HDV）への展開が顕著

高い出力が出せるように電池性能向上が求められている



出典：FCV・HDV用燃料電池技術開発ロードマップ（NEDO 2024年3月）

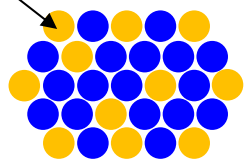
触媒性能を10倍以上向上させることが必要

従来技術と我々の研究指針

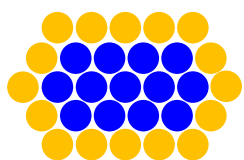
触媒性能を向上させる技術開発が必要

- ナノ微粒子の構造制御

白金原子



合金化



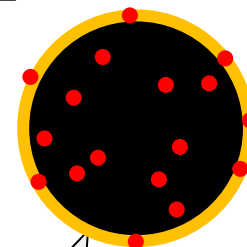
コアシェル化

- 担体の工夫

白金ナノ微粒子



メソポーラスカーボン
担体材料の変更



表面改質

白金ナノ
微粒子

白金-炭素
相互作用制御

改質部分

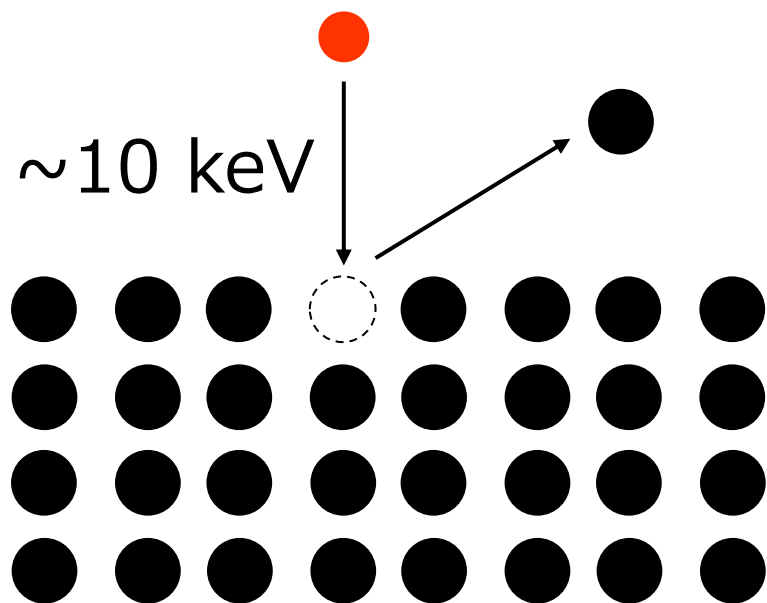
未改質部分

イオンビーム照射の特徴

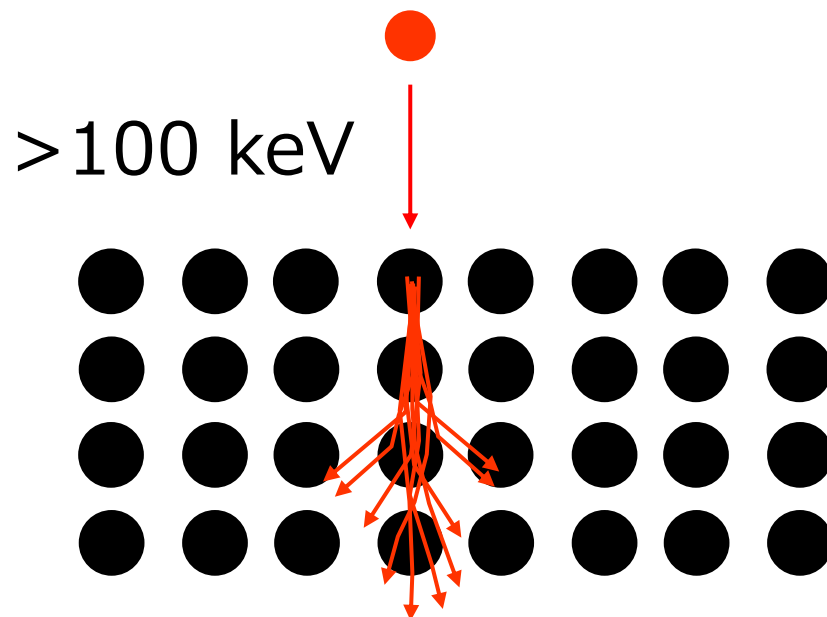
効率よく物質改質可能

- 深さ制御可能
- 結晶から非晶質まで変化可能

イオンビーム照射効果



表面付近の原子にエネルギーを付与して弾き飛ばす



相互作用してエネルギー付与しながら内部まで侵入する
照射物質表面に非平衡な構造変化をもたらす

30~380 keV

イオン注入装置



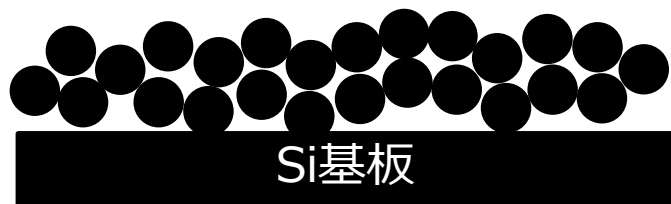
0.8~18 MeV

1 H																	2 He																													
3 Li	4 Be															5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne																									
	12 Mg															13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar																									
19 K																					22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni							32 Ge							36 Kr					
																						41 Nb	42 Mo											47 Ag					51 Sb			54 Xe				
55 Cs	57-71 La-Lu												74 W																	83 Bi																
																57 La	58 Ce	59 Pr											63 Eu	64 Gd											68 Er			70 Yb		

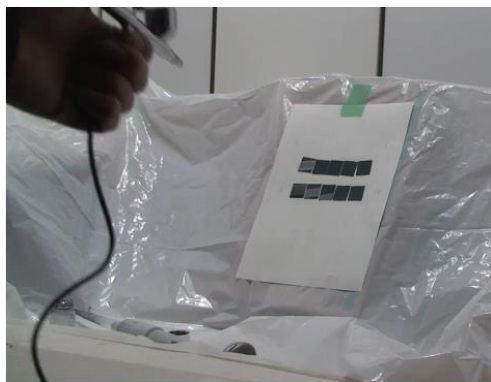
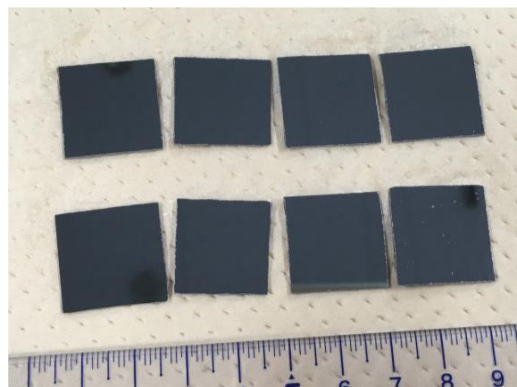
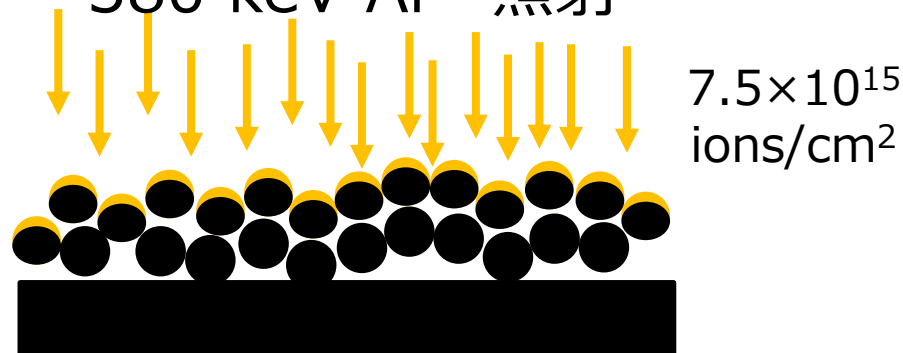
本技術では炭素と化合しないアルゴンを選択し、スパッタするより高いエネルギーで照射

担体へのイオンビーム照射

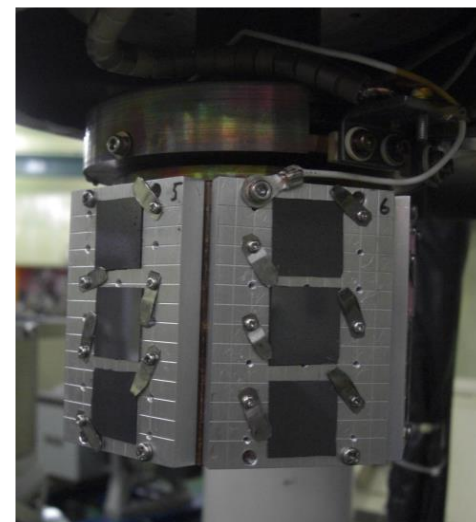
グラッシーカーボン
(GC) 粉末



380 keV Ar⁺ 照射



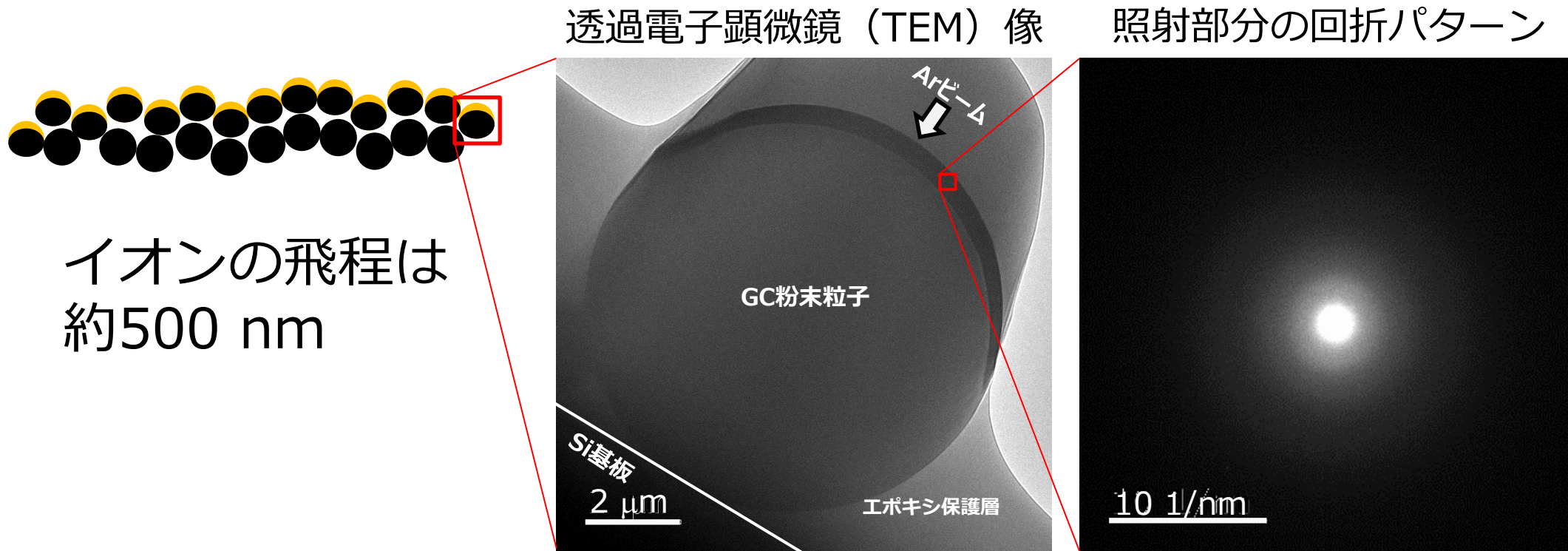
エタノール溶液に攪拌させ、
2cm×2cmのSi基板上にスプレ
ー塗布



6面
照射
可能

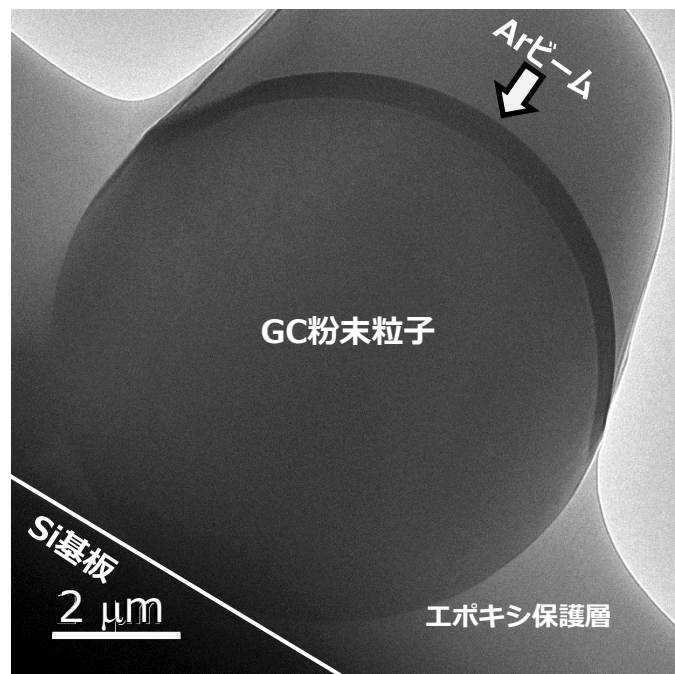
イオン注入装置に設置して、
真空中でイオンビーム照射

照射粉末の構造解析

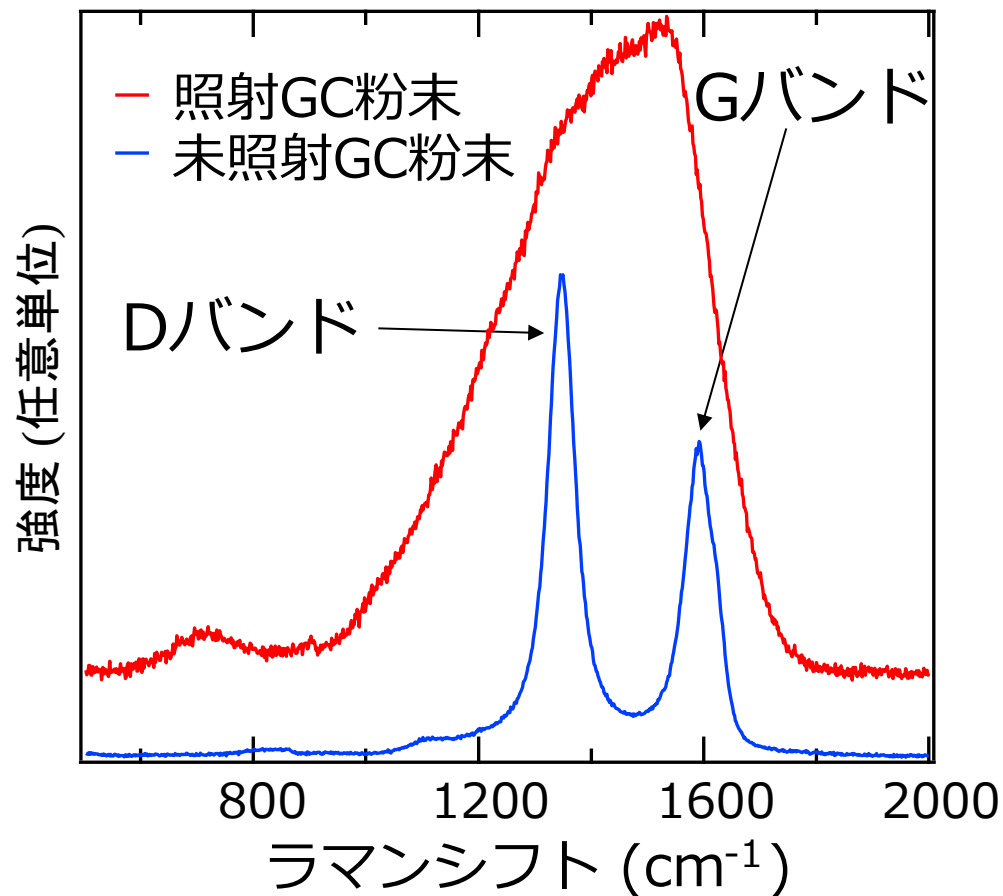


炭素の回折パターンがハローを示すことから
表面は非晶質化

担体表面の非晶質化



ラマン分光スペクトル

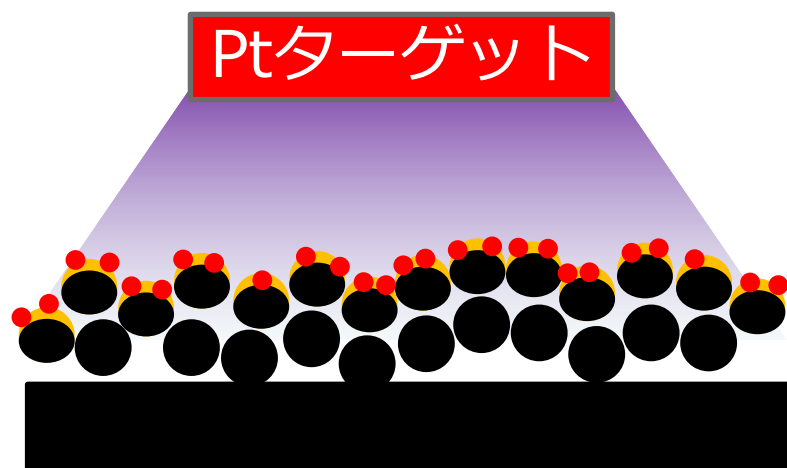


GバンドとDバンドに特徴づけられる結晶から
ブロードピークを示す非晶質な炭素へ表面改質

白金ナノ微粒子担持

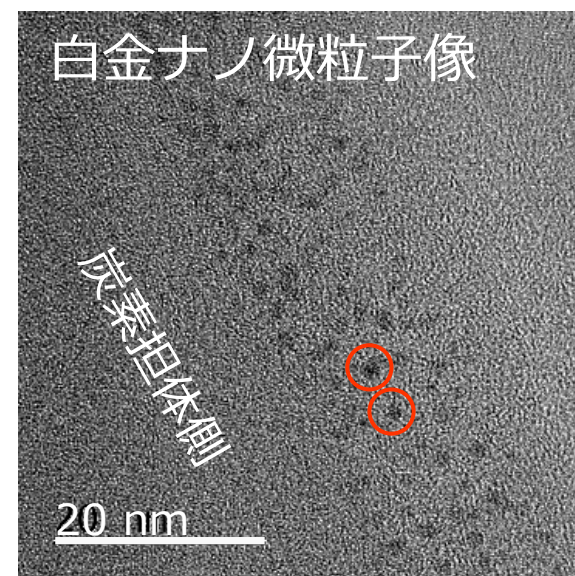
改質表面のみに白金を担持させたいため、
蒸着によって白金ナノ微粒子を担持させる

1. Ptスパッタ蒸着



2. 蒸着後Si基板から回収する

透過電子顕微鏡（TEM）像



白金粒径2~20 nm

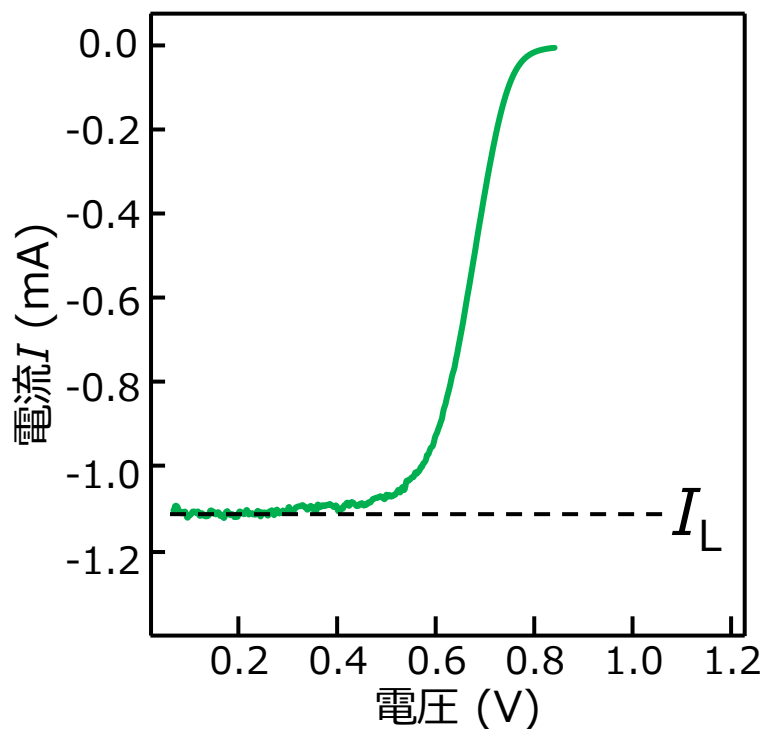
触媒性能の比較基準

今回の白金触媒は蒸着法で作製されているため、白金の重さ当たりの電流値 (A/g) に変換できない

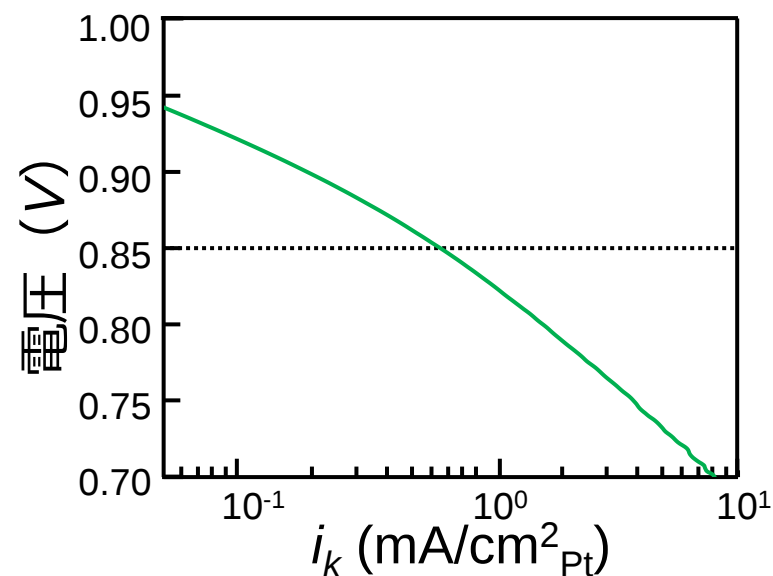
そこで白金の面積当たりの電流値 ($\text{mA}/\text{cm}^2_{\text{Pt}}$) で比較

酸素還元電流測定

リニアースweepボル タンメトリー (LSV)



ターフェルプロット



白金表面積で規格化

活性化支配電流 I_k (mA)

$$I_k = \frac{I \cdot I_L}{I_L - I}$$

基準極
(Ag/AgCl)

対極
(Pt)

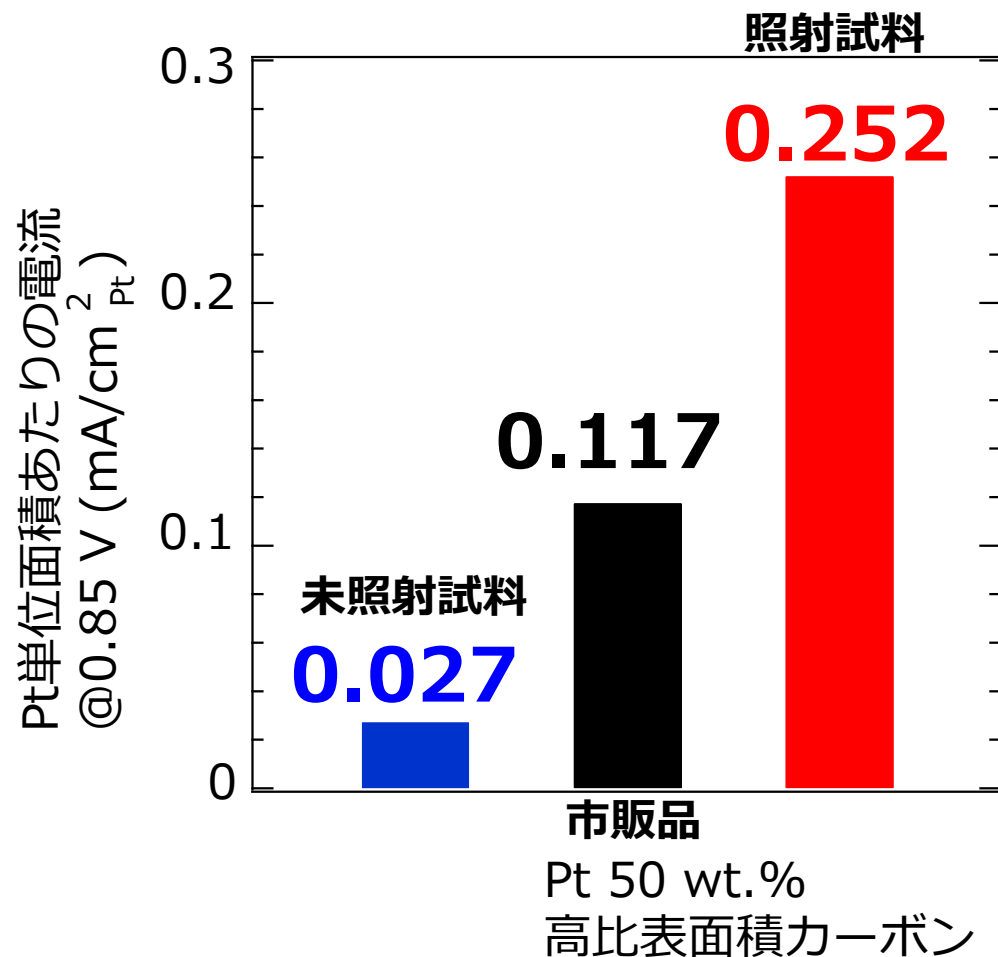
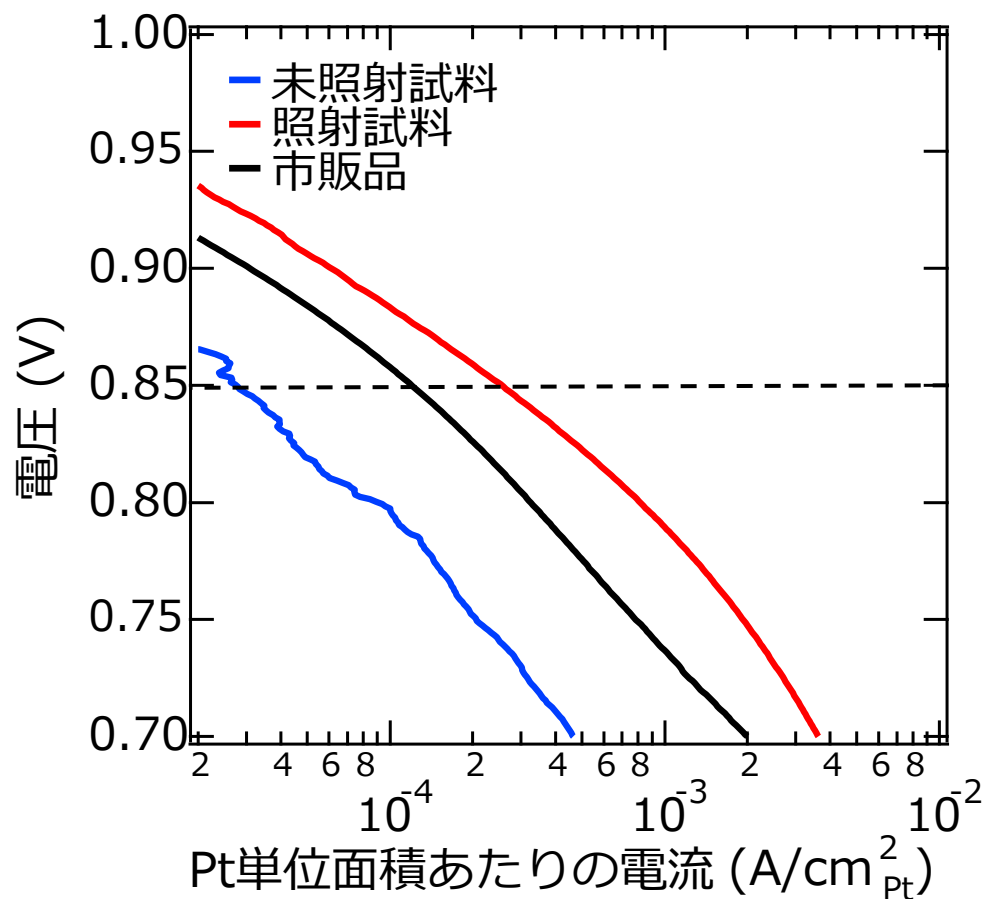
作用極
試料

0.1M HClO₄

窒素
/酸素

電極面

触媒性能の比較



担体表面を非晶質化することで**約10倍の電流**が得られ、市販品よりも2倍高い電流が得られた

新技術の特徴

- 触媒本体の白金ナノ微粒子の制御ではなく、**炭素担体表面の改質**を行った。
- 改質方法が**イオンビーム照射**である。
- 従来作製方法の試料に比べて**約10倍**、市販品に比べて2倍まで性能向上ができた。

	電流値 (mA/cm ² _{Pt})
未照射試料	0.027
市販品	0.117
照射試料	0.252

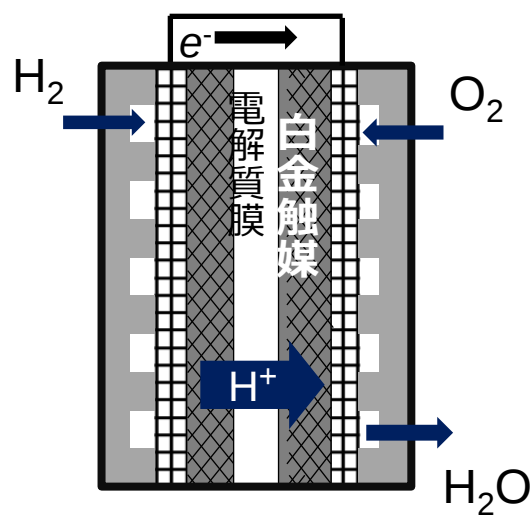
従来技術との比較

	従来技術	本技術
手段	化学手法	イオンビーム照射
何を制御	白金ナノ微粒子 担体材料	担体表面
触媒活性		未照射試料の10倍 市販品の2倍
耐久性		?
生産性	○	△
展開	Pt/C触媒のみ	他触媒にも展開可能

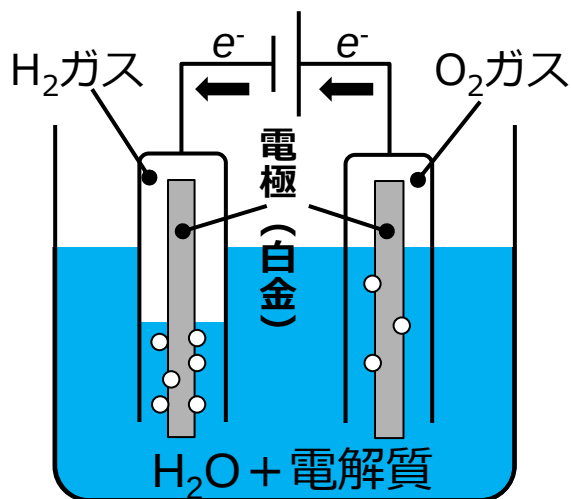
想定される用途

- 本技術の特徴を生かすことで、白金使用量を1/10に減らした固体高分子形燃料電池を作製できると考えられる。
- 固体高分子形燃料電池だけでなく、水分解用電極触媒や電気化学的物質変換デバイスなどにも展開することも可能と思われる。

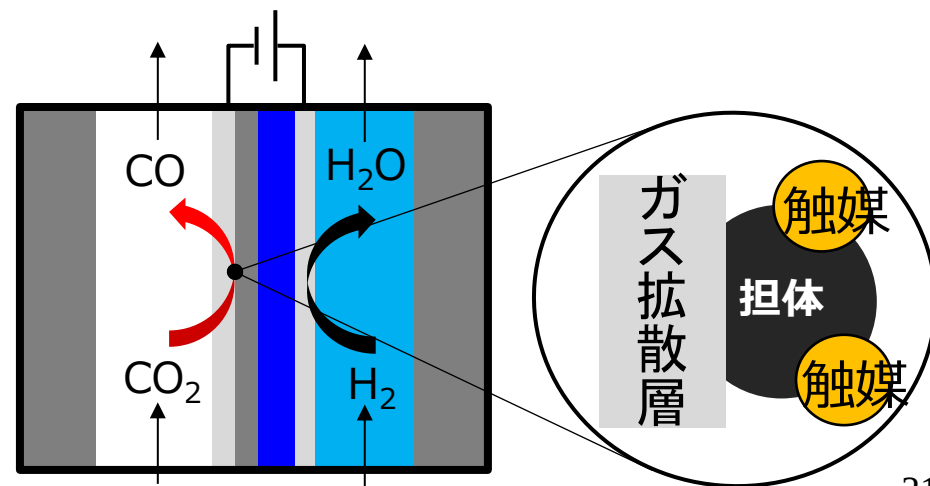
固体高分子形燃料電池



水電解

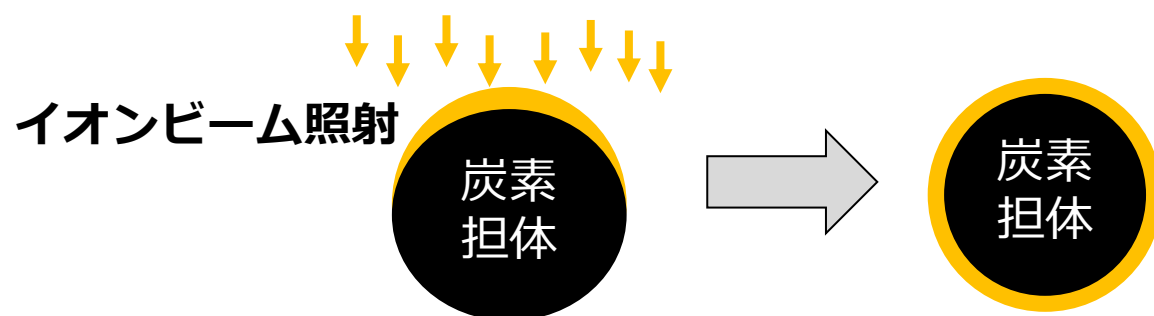


電気化学的物質変換デバイス



実用化に向けた課題

- 現在、炭素粉末の一部非晶質化が可能であるが、粉末全表面の非晶質化ができていない。炭素粉末全表面の非晶質化が必要である。



- 活性だけでなく耐久性評価も行う必要がある。
- 白金以外の触媒性能を有する他元素への展開も期待される。
- 他の炭素粉末に応用することでさらなる触媒性能向上が期待される。

企業への期待

- 炭素粉末全表面へイオンビーム照射ができる装置を企業との共同開発したい。
- 本技術を燃料電池分野への展開を考えている企業との共同研究を希望。
- さらなる触媒活性向上を考えている電気化学材料を取り扱う企業との共同研究を希望。
- イオンビーム以外で炭素の構造や特性の制御に長けている企業との炭素に関する共同研究。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：電極触媒、燃料電池用電極、
および燃料電池
- 出願番号：特願2024-056842
- 出願人：国立研究開発法人量子科学技術
研究開発機構
- 発明者：岡崎宏之、山本春也、越川博、
出崎亮、八巻徹也

お問い合わせ先

量子科学技術研究開発機構
イノベーション戦略部 知的財産活用課

T E L 043-206-3027
e-mail chizai@qst.go.jp