

NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026

プログラムNo.603-2-13

水素利用拡大に向けた共通基盤強化のための研究開発事業/
次世代燃料電池・水電解の要素技術開発/
3次元メソポーラスグラフェンを用いた高性能、高耐久電極触媒
の研究開発

発表：2026年7月22日

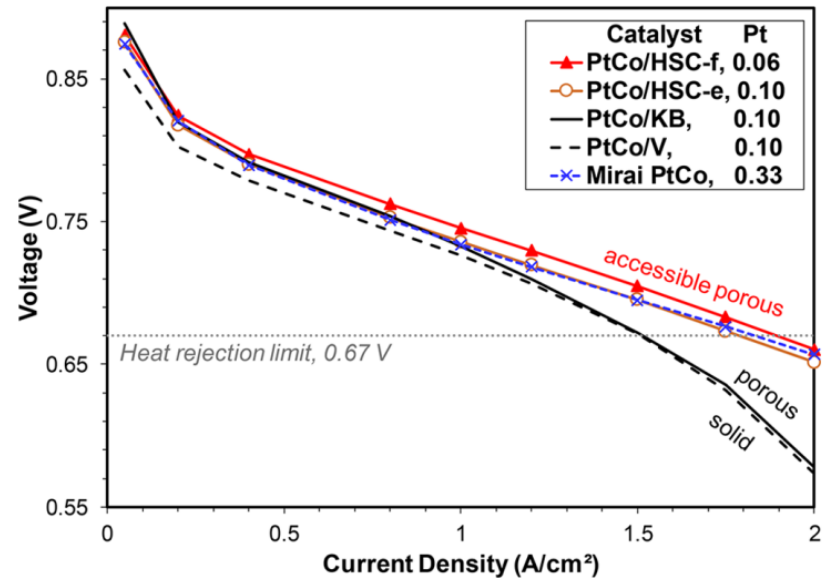
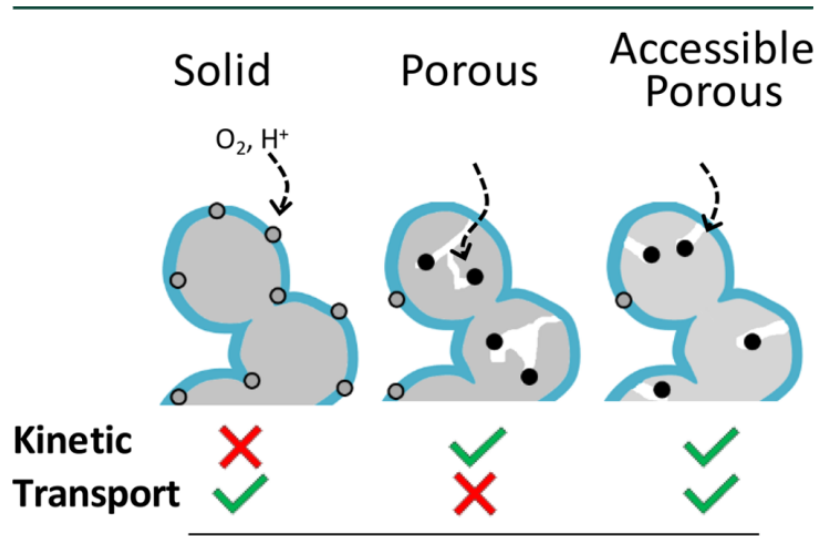
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名： 西原洋知

*団体名（企業・大学名など）： 国立大学法人東北大学

問い合わせ先 東北大学 E-mail: hirotomo.Nishihara.b1@tohoku.ac.jp TEL: 022-217-5627

1. 事業の位置付け・必要性



ACS Energy Lett. 3, 618-621 (2018).

連通孔を有するメソポーラスカーボン(MPC)担体により、発電性能は大きく向上
→現在のNEDO標準材料にもMPCが採用

一方で、システム小型化のため、運転条件はより過酷($120^{\circ}C$, 30%RH)に
⇒発電性能の向上に加え、MPCには高い耐久性も求められる

1. 事業の位置付け・必要性

産業界のニーズ：触媒の高活性化と高耐久性の両立



我々の提案(ソリューション)

3次元メソポーラスグラフェン

特許第6460448号

Graphene MesoSponge® (GMS) を担体とする触媒開発

数nmの連通孔

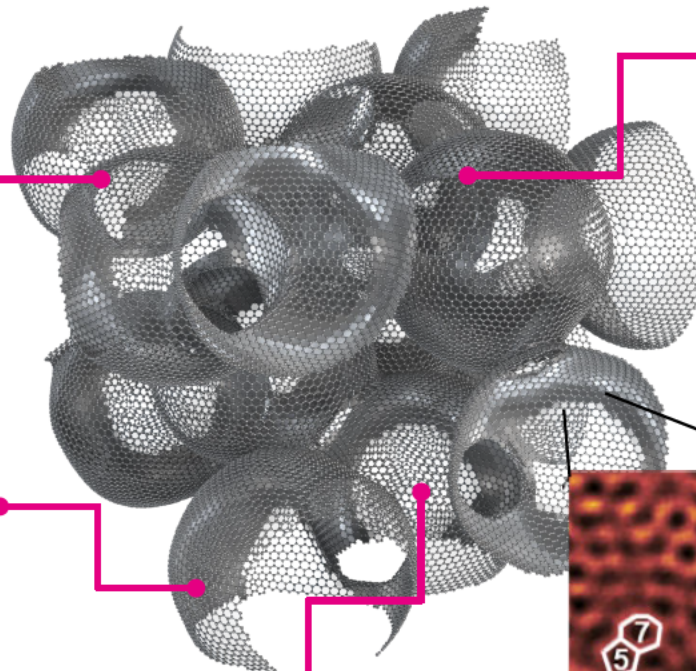


- ・出力向上(物質移動促進)
- ・高活性(アイオノマー被覆防止)

積層数で弾性を調整可能



硬さ/柔らかさは自在



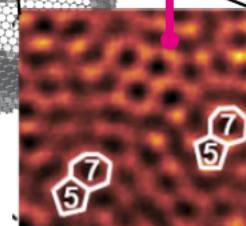
端(エッジ)がない



高耐久性
(酸化劣化し難い)



高活性
(触媒を高分散)

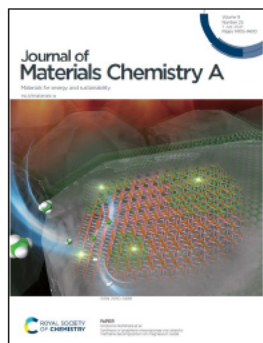


ヘテロ原子導入可能



更なる高活性化・高耐久化を狙う

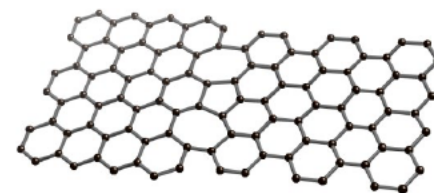
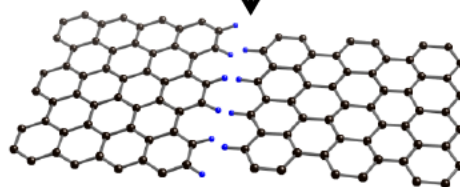
2. GMSの特徴と優位性：合成法



J. Mater. Chem. A,
9, 14296 (2021).

グラフェン約1層で
均一に被覆

端(エッジ)



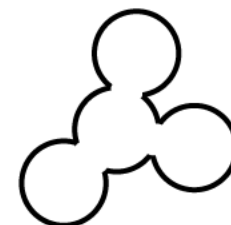
CVD



鋳型除去

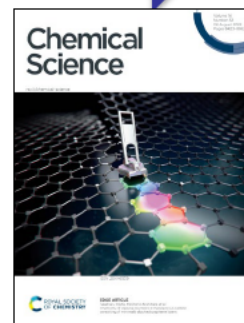


ジッピング
反応



シームレスな
グラフェン構造体

Adv. Funct. Mater.
26, 6418-6427 (2016).



Chem. Sci. **14**, 8448 (2023).

熱安定性の高い鋳型材



Al_2O_3 *Adv. Funct. Mater.* **26**, 6418-6427 (2016).

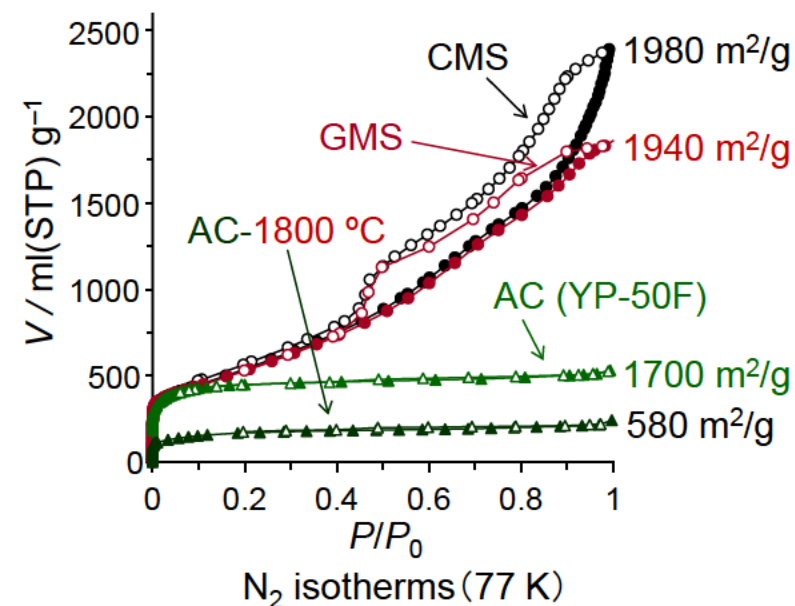
MgO *J. Mater. Chem. A*, **9**, 14296 (2021).

CaO *Green Chem.*, **26**, 6051 (2024); *Catal. Today*, **437**, 114763 (2024).

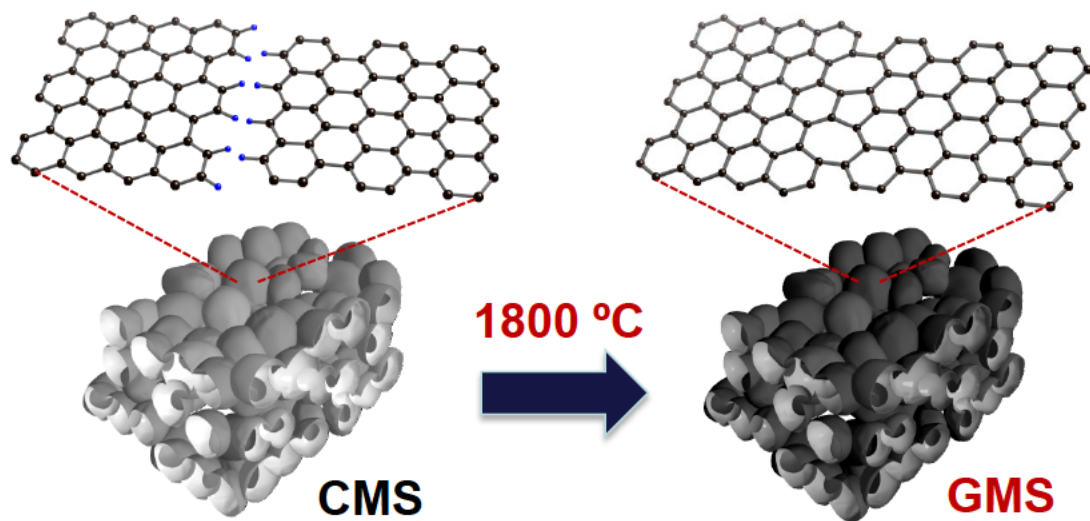
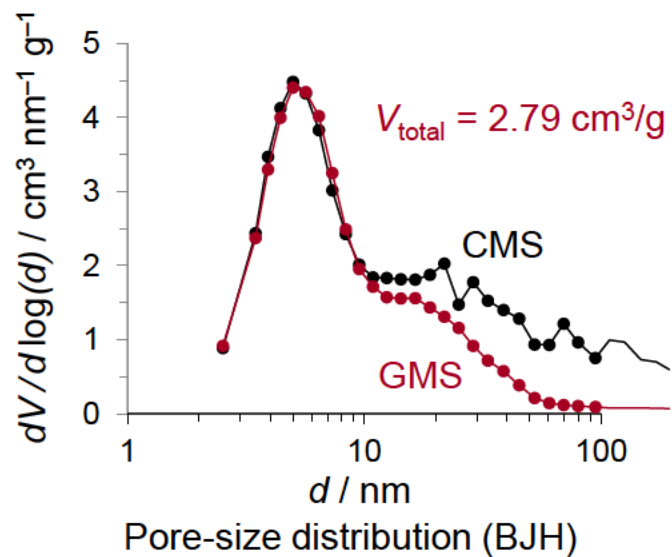
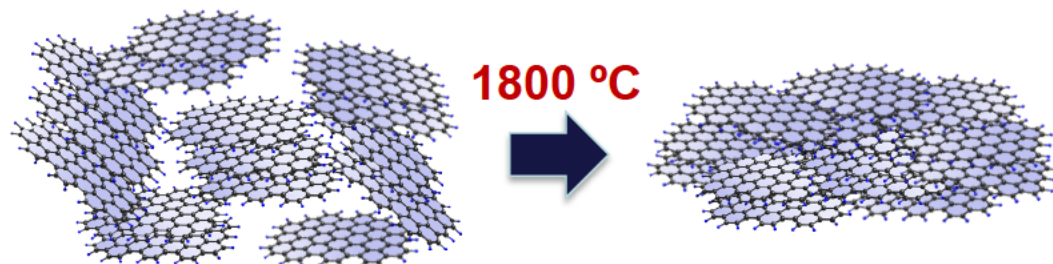
SiO_2 *Small*, **20**, 2306325 (2024).

2. GMSの特徴と優位性：多孔性とエッジフリーの両立

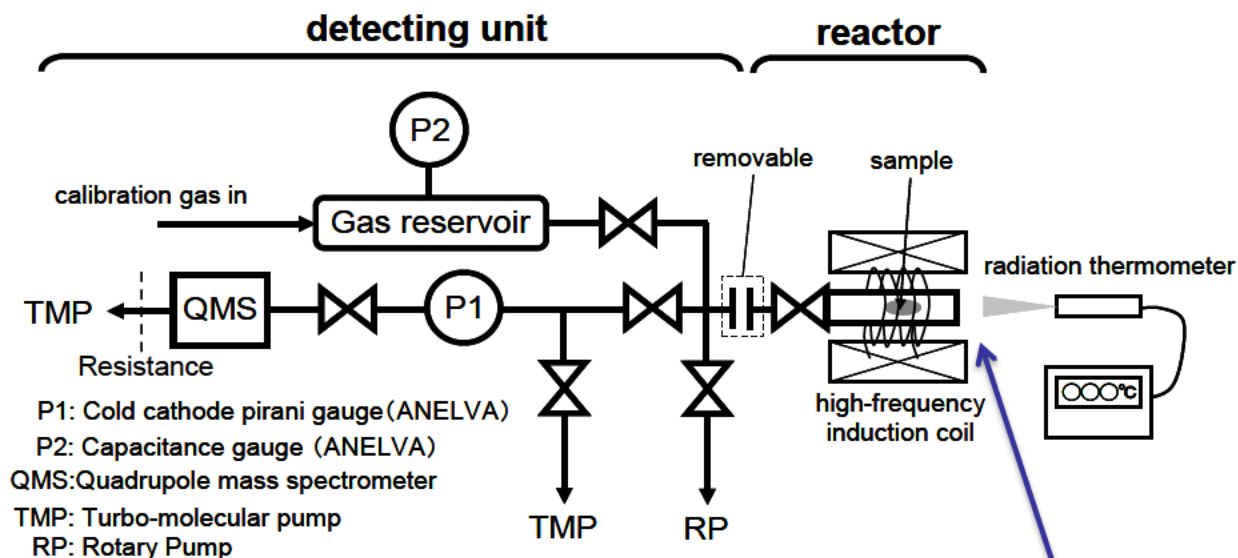
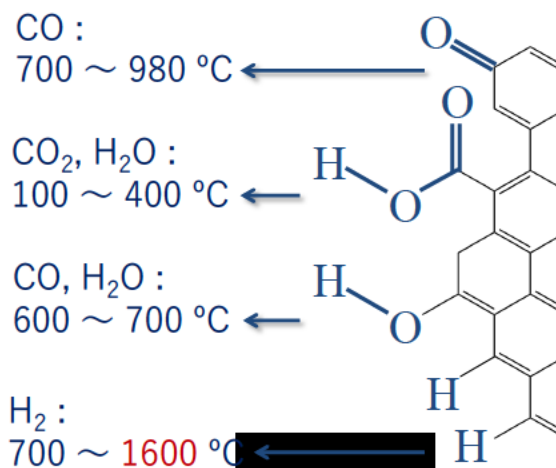
Adv. Funct. Mater. **26**, 6418-6427 (2016).



活性炭(AC)の場合



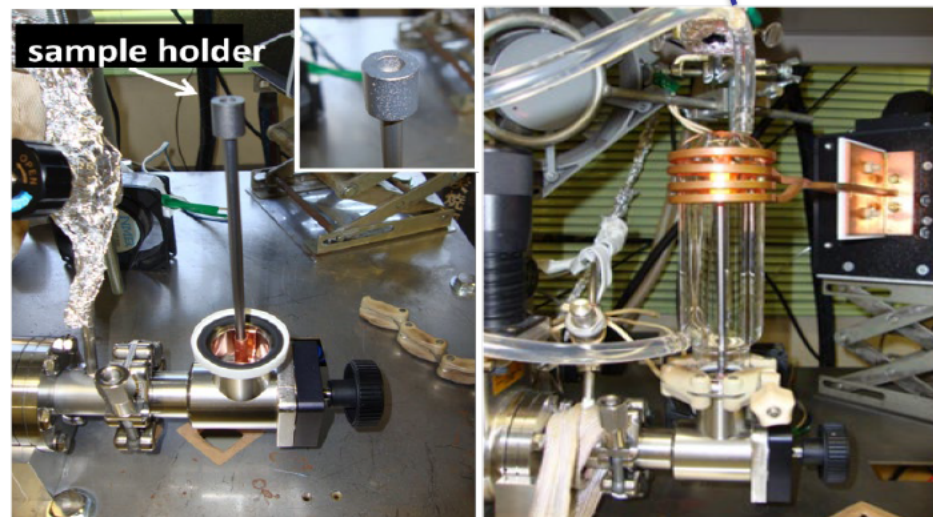
2. GMSの特徴と優位性：エッジの定量法



i) >

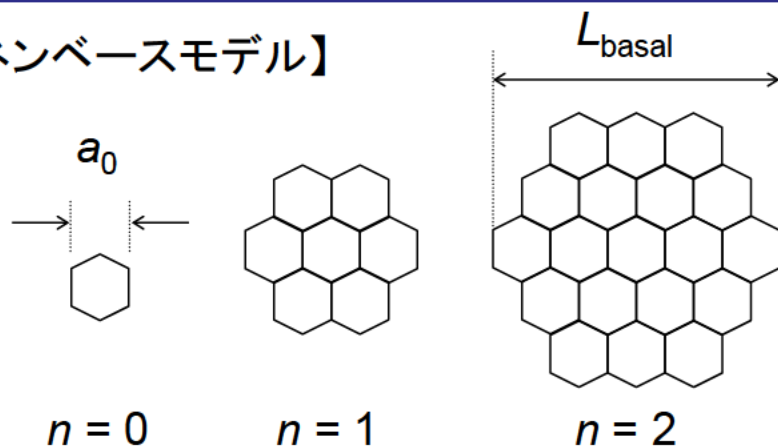


量存在する
可能



2. GMSの特徴と優位性：HT-TPDによる網面サイズ計測

【コロネンベースモデル】



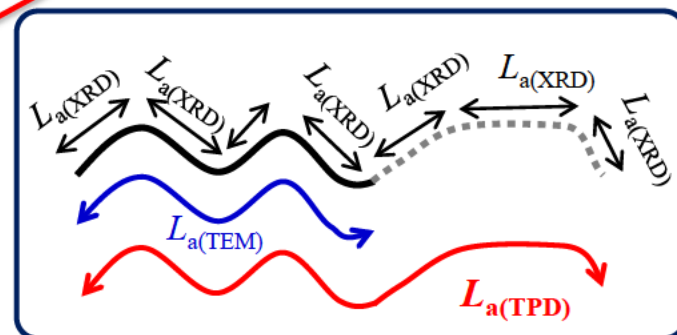
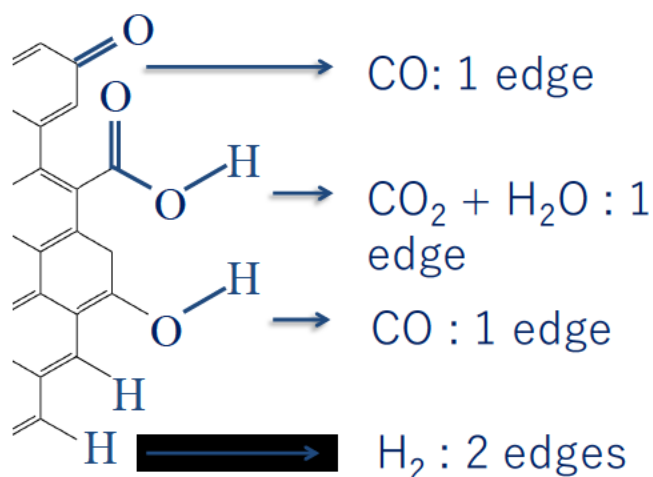
$$L_{\text{basal}} = a_0(2n + 1) \doteq \frac{2 C a_0}{N_{\text{edge}}}$$

C: 炭素量, 83264 $\mu\text{mol/g}$

a_0 : 0.2461 nm

$$L_{\text{basal}} [\text{nm}] \doteq \frac{40920}{N_{\text{edge}} [\mu\text{mol/g}]}$$

HT-TPDでエッジサイト数 N_{edge} を定量



HT-TPDで求めるベーサル面の平均網面サイズ $L_{a(\text{TPD})}$ は、XRDやTEMから求める網面サイズより正確

2. GMSの特徴と優位性：多孔性とドメインサイズの両立

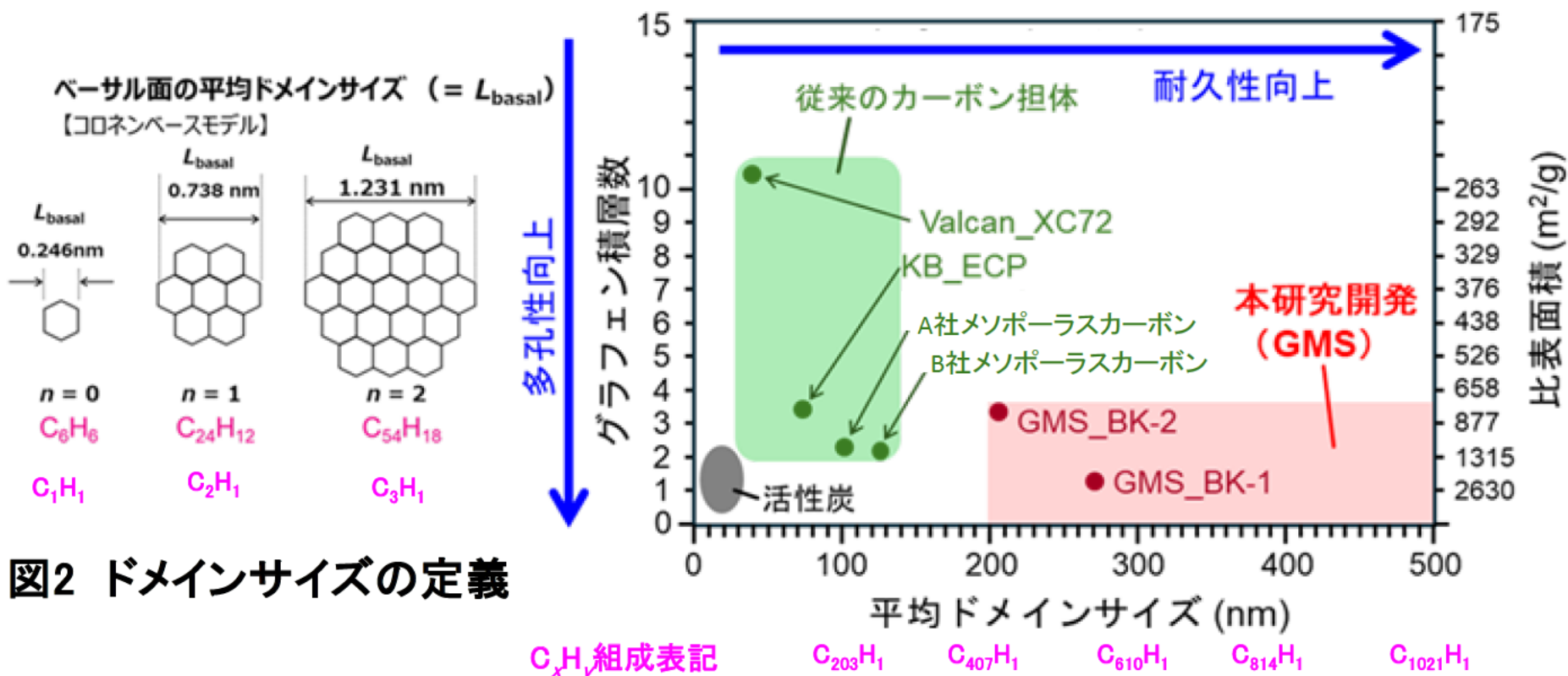
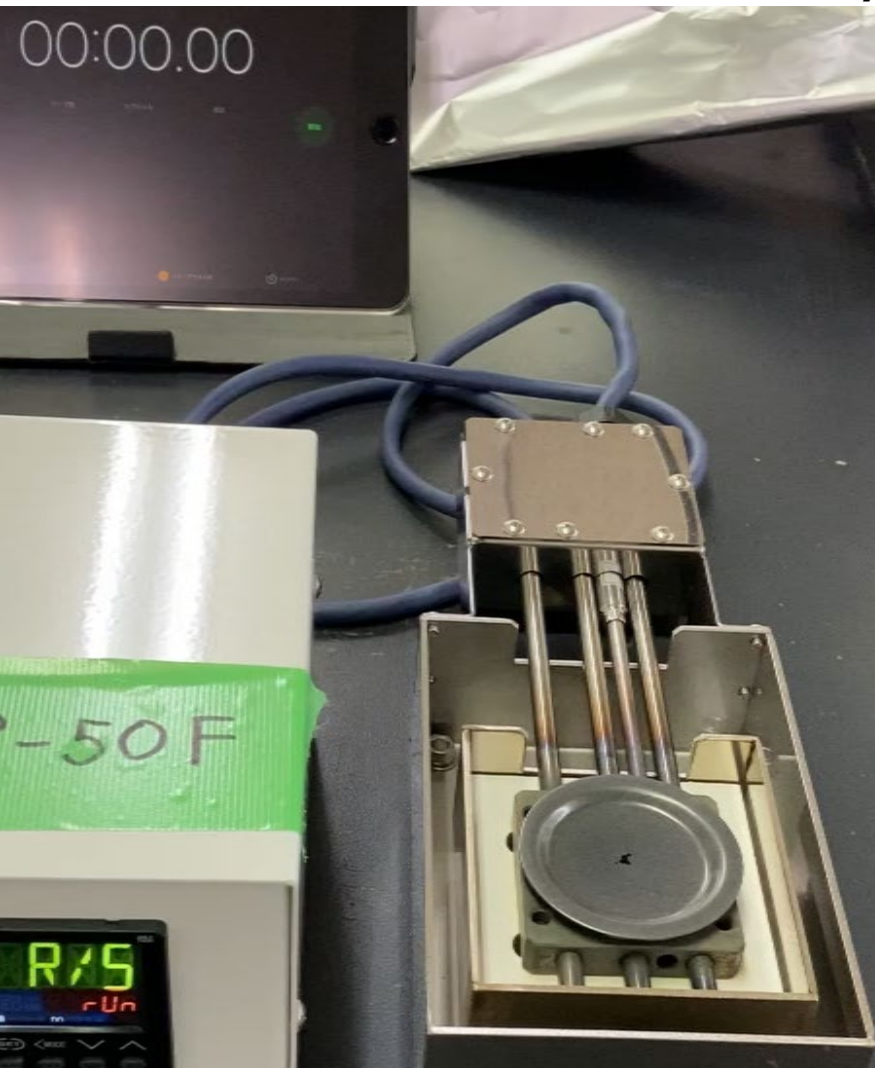


図2 ドメインサイズの定義

GMSはメソポーラスカーボンの中でも、
耐久性と多孔性を高いレベルで両立可能

2. GMSの特徴と優位性：多孔性と耐酸化性の両立

Activated carbon 1700 m²/g

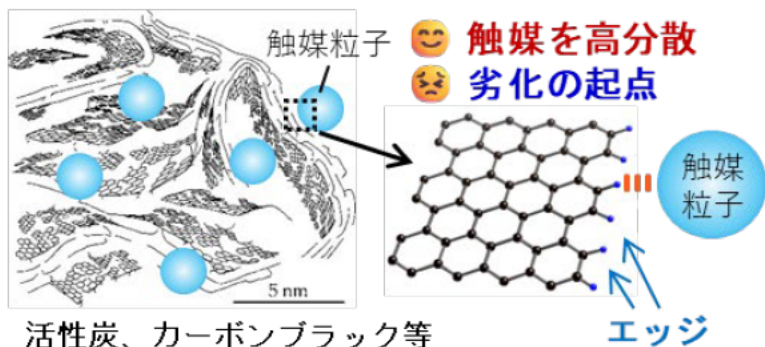


GMS 1940 m²/g

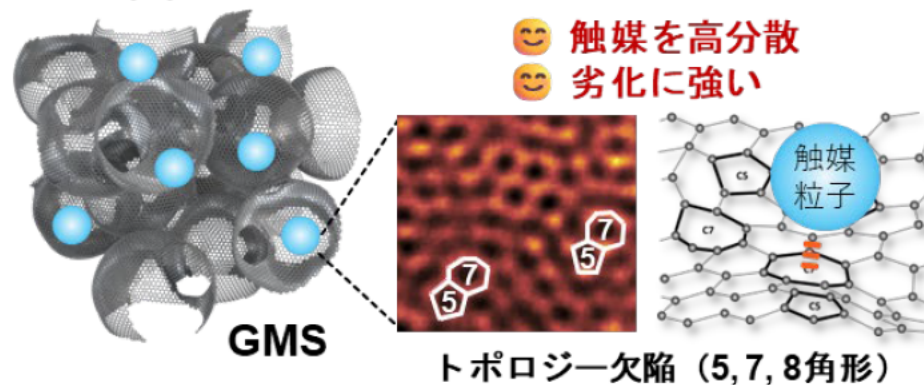


2. GMSの特徴と優位性：特異な触媒アンカーサイト

(a) 従来のカーボン：エッジを利用



(b) GMS：トポロジー欠陥を利用

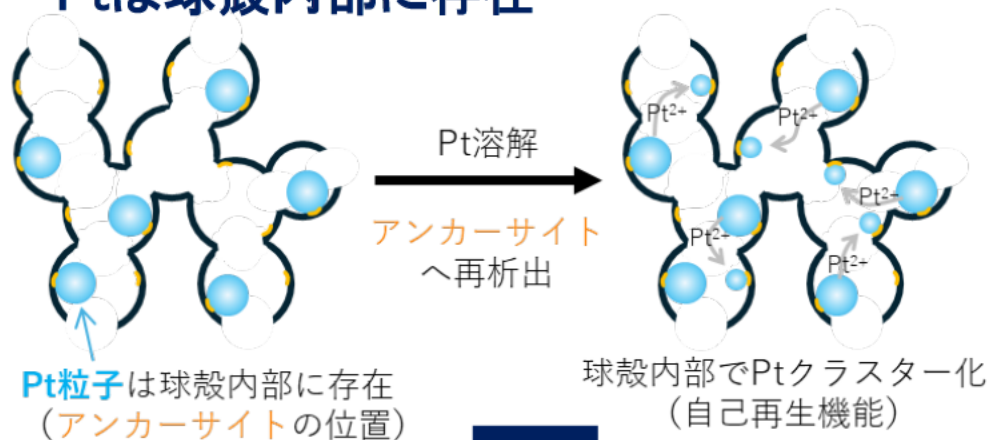


高活性と高耐久性の両立が可能



Electrochimica Acta 370 (2021) 137705.

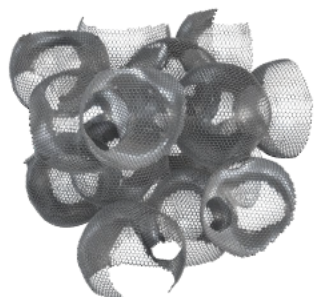
Ptは球殻内部に存在



アイオノマー被覆防止効果あり。長寿命化も狙う。

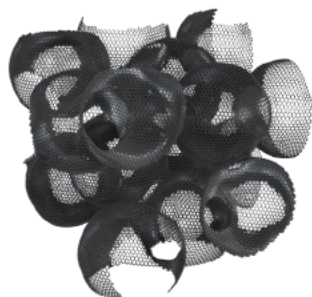
2. GMSの特徴と優位性：構造の制御性

Å～nm レベルの構造



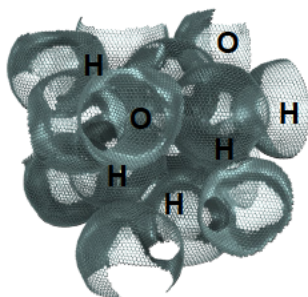
GMS

Adv. Funct. Mater.
26, 6418-6427 (2016).



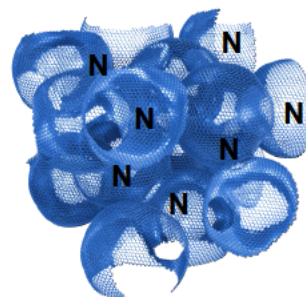
¹³C-GMS

Appl. Catal. B
383, 126030 (2025)



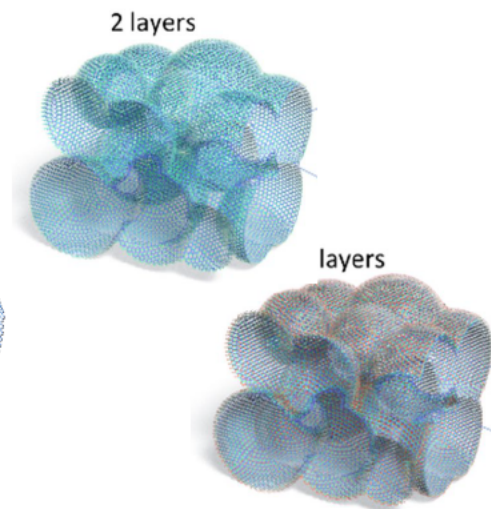
H,O-GMS

Adv. Funct. Mater.
26, 6418-6427 (2016).



N-GMS

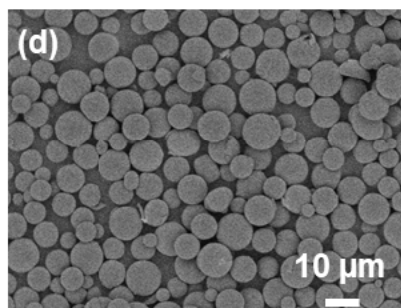
Small **20**, 2308066 (2024).



Multi layers

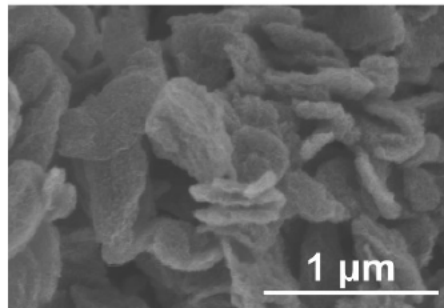
Electrochim. Acta, **429**,
141009 (2022).

100 nm ～ 100 μm レベルの構造



単分散球状粒子

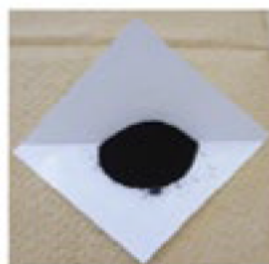
Small **20**, 2306325 (2024).



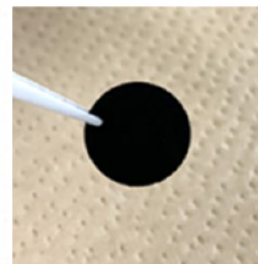
ナノプレート

Electrochimica Acta
484, 144034 (2024).

> 100 μm レベルの構造

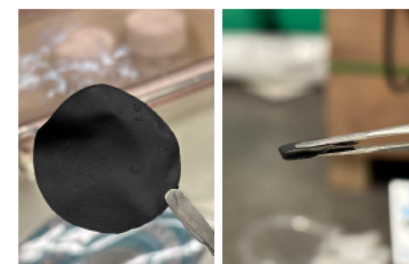


粉末



自立膜

Adv. Energy Mater.
14, 2303055 (2024).



柔軟シート

3. 研究開発マネジメントについて

- 実施体制

GMS担体開発実施体制

委託先

東北大学

協力機関

石福金属興業(株)

(株)3DC

FCプラットフォーム

FC3



大学概要 学部・大学院・研究所 教育・学生支援 研究・産学連携 国際交流 社会連携 情報公開・広報 入試情報

要約 アクセス お問い合わせ 日本語 English

ホーム 受験生 一般・地域 企業・研究者 同窓生 在学生 教職員



The Romance of Research

美しき細胞内輸送

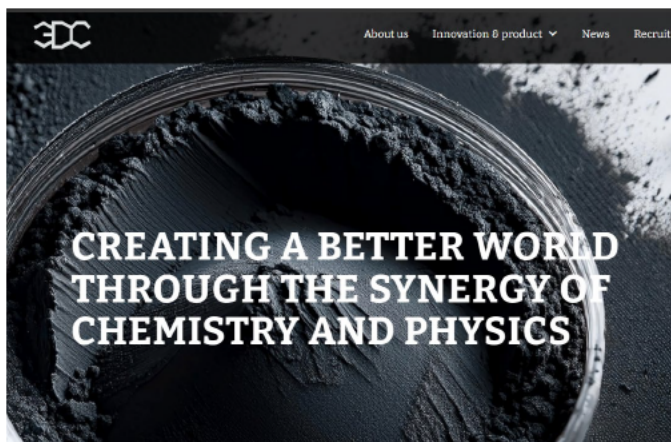
Kyoko Chiba
千葉 杏子

先端科学フロンティア研究所 (FRIS) 助教



ISHIFUKU

貴金属地金 売買・積立 製品・サービス 会社情報 サステナビリティ お問い合わせ



FC・Platform PEFC評価解析プラットフォーム



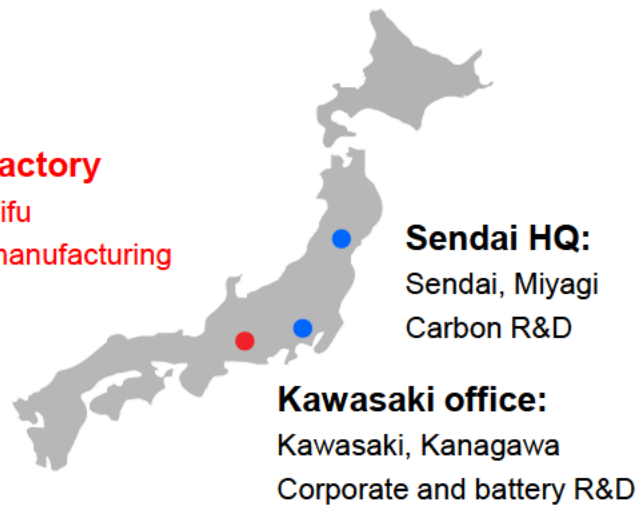
4. GMSの量産性について



- Added carbon coat with CVD process. Process temperature is under 1,000 degree in Celsius
- The template is dissolved with acid
- Separate template residue and carbon material by filtration
- Removing residual acid
- The graphite walls are formed by firing at high temperatures over 1,000 degree in Celsius



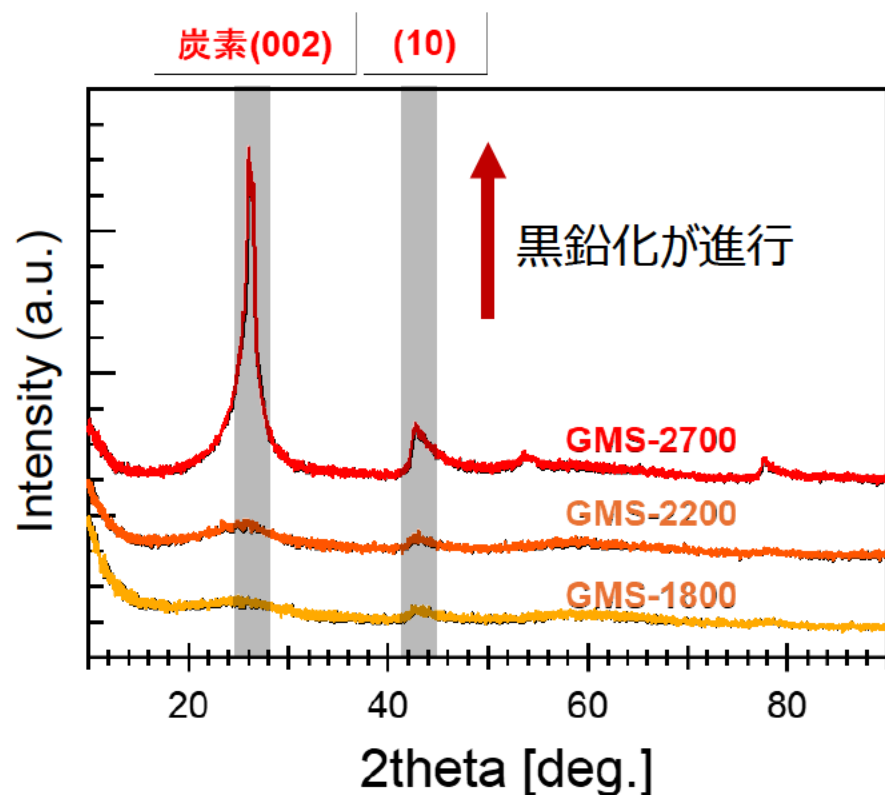
Toki factory
Toki, Gifu
GMS manufacturing



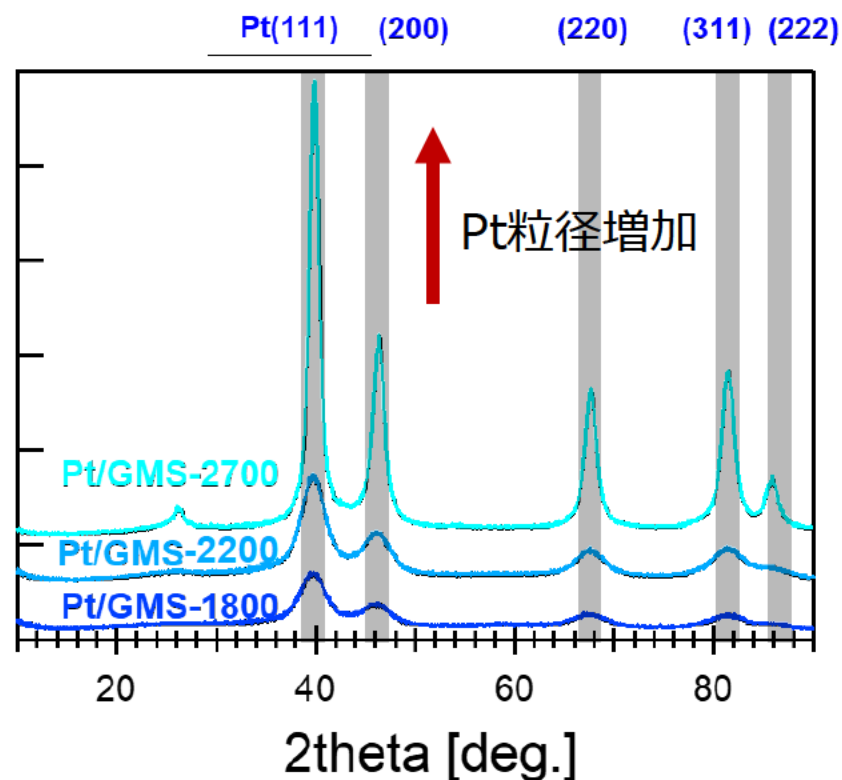
Scale-up plan

- 2026: ~100 kg/y
- 2027: 1 to 15 t/y
- 2028~: 15 to 100 t/y

5. 研究開発成果について

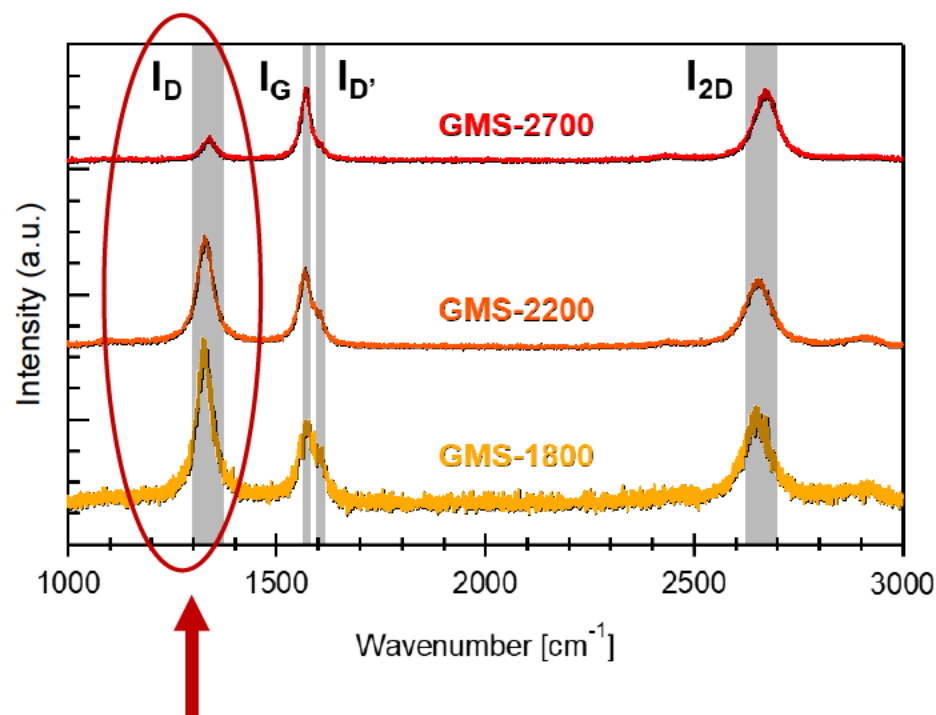


トポロジー欠陥の減少に伴い、Pt粒径が増加

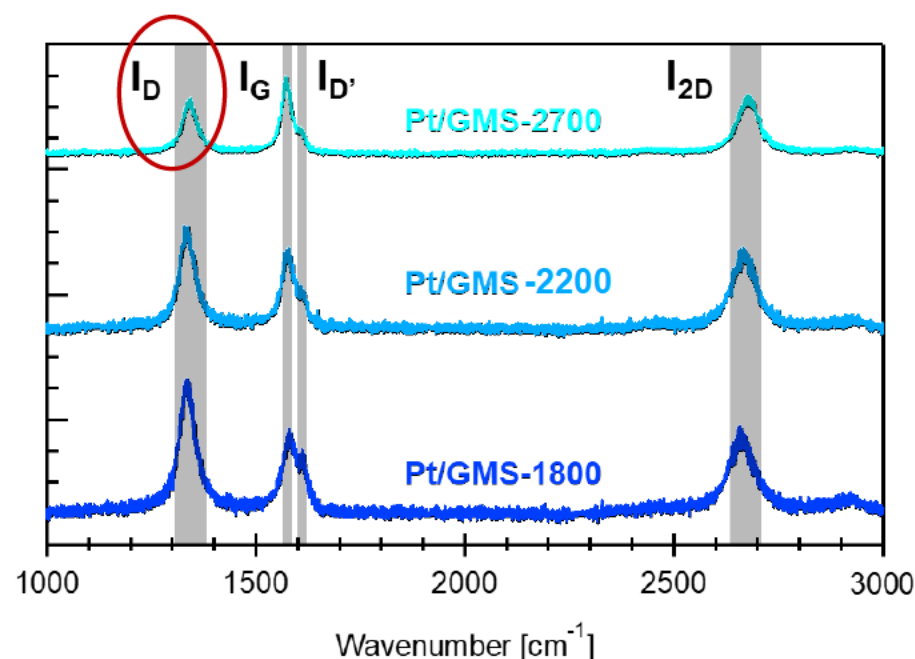


	(CO吸着) Pt比表面積	Ptサイズ
GMS-1800	91.4 m ² /g	3 nm
GMS-2200	72.0 m ² /g	3.4 nm
GMS-2700	30.5 m ² /g	6.6 nm

5. 研究開発成果について



GMSシリーズのエッジサイト量は無視小
→Dバンドはトポロジー欠陥の量に対応
→熱処理により、トポロジー欠陥は減少



Pt/GMS-2700の I_D が、
GMS-2700より極めて強い

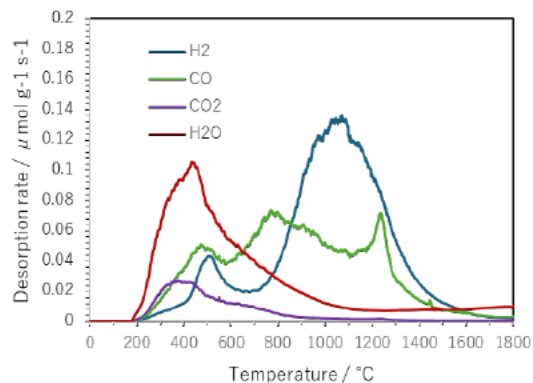


Ptによる表面増強ラマン効果
= トポロジー欠陥がアンカーサイト

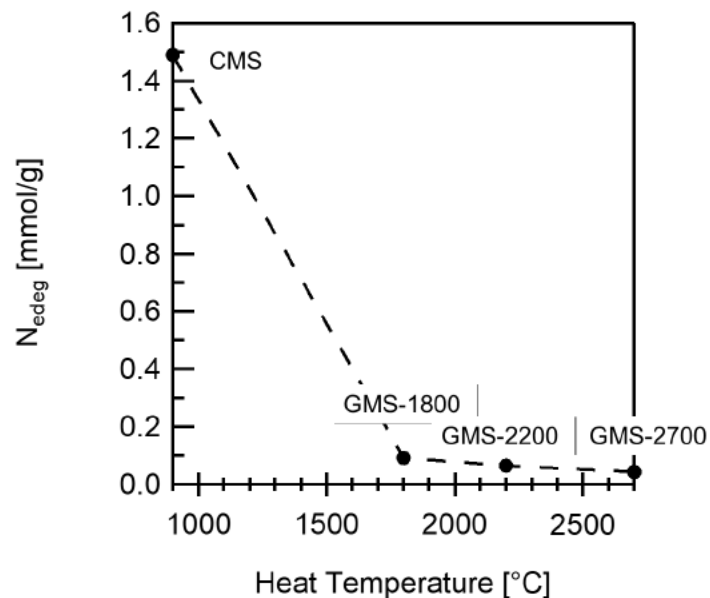
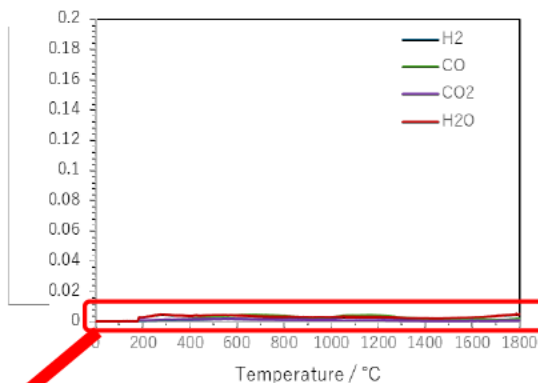
5. 研究開発成果について

エッジサイトは1800℃で下がり止まる

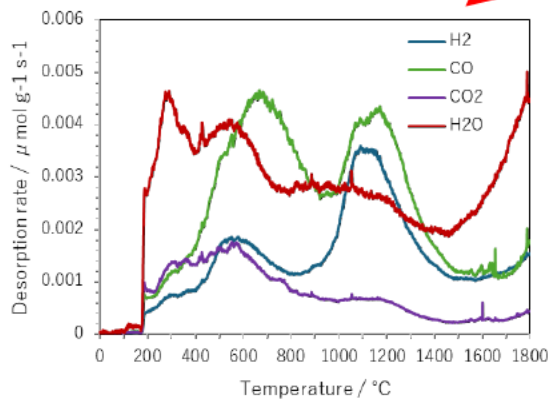
(a) CMS



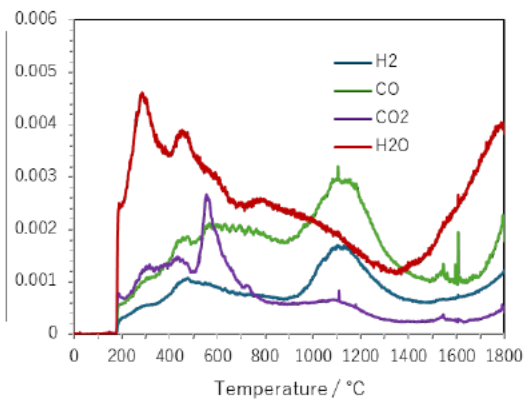
(b) GMS-1800



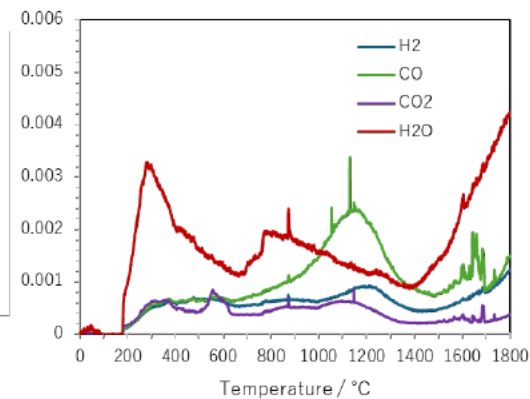
(a) GMS-1800



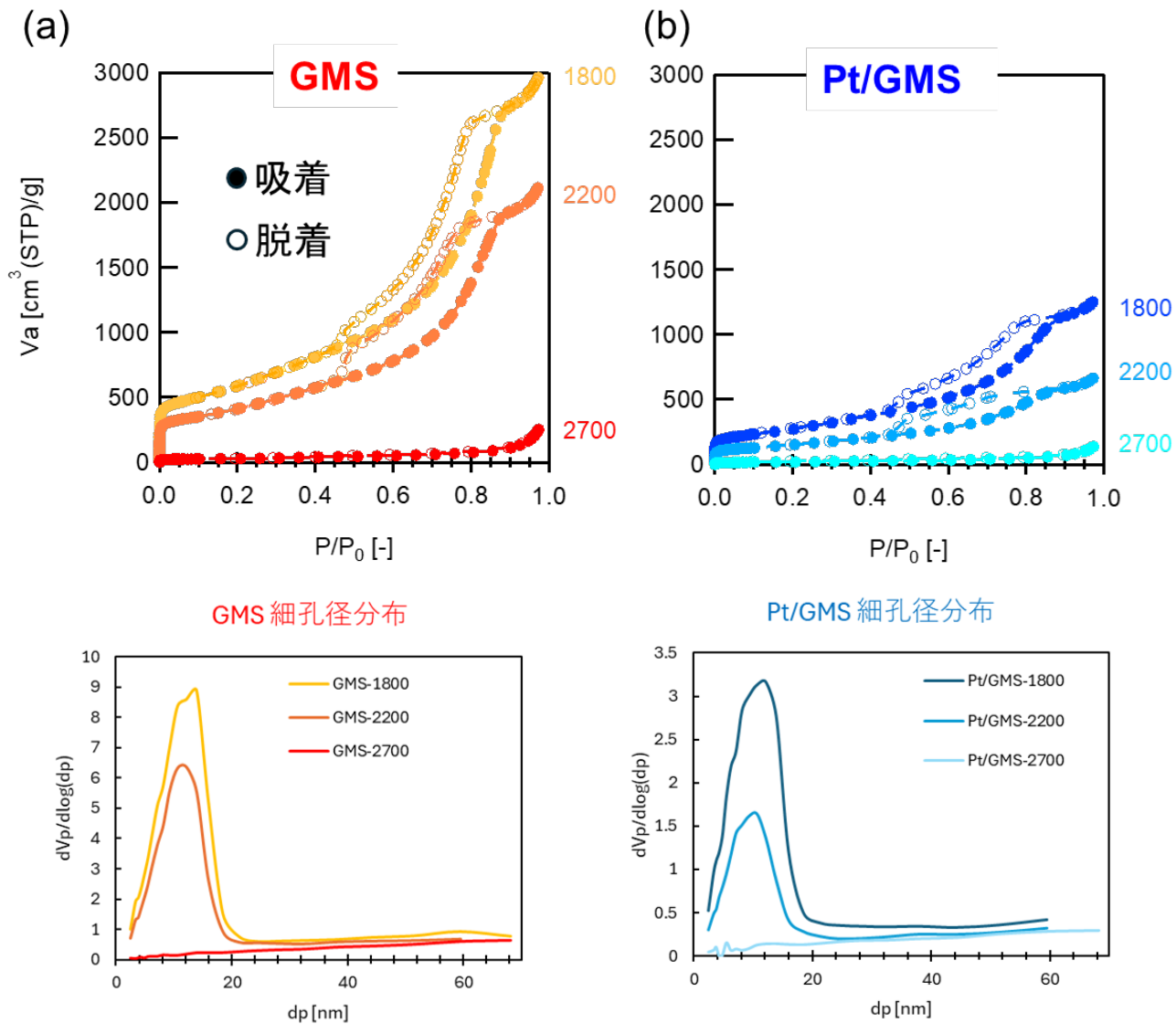
(b) GMS-2200



(c) GMS-2700



5. 研究開発成果について



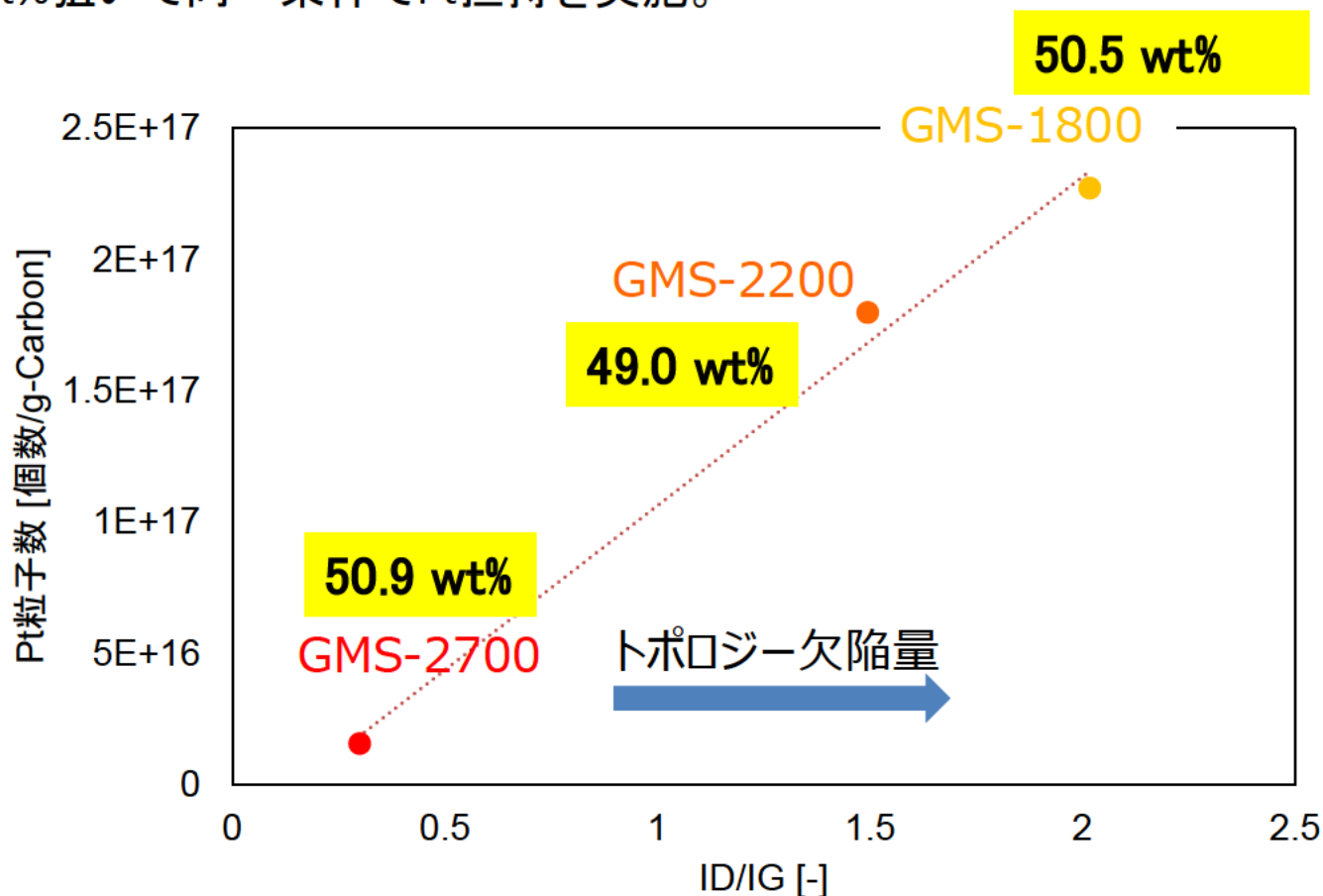
高温処理により、比表面積は徐々に減少

5. 研究開発成果について

※GMSを2200°C、2700°Cでアニールしてトポロジー欠陥量を減少させたサンプルを調製

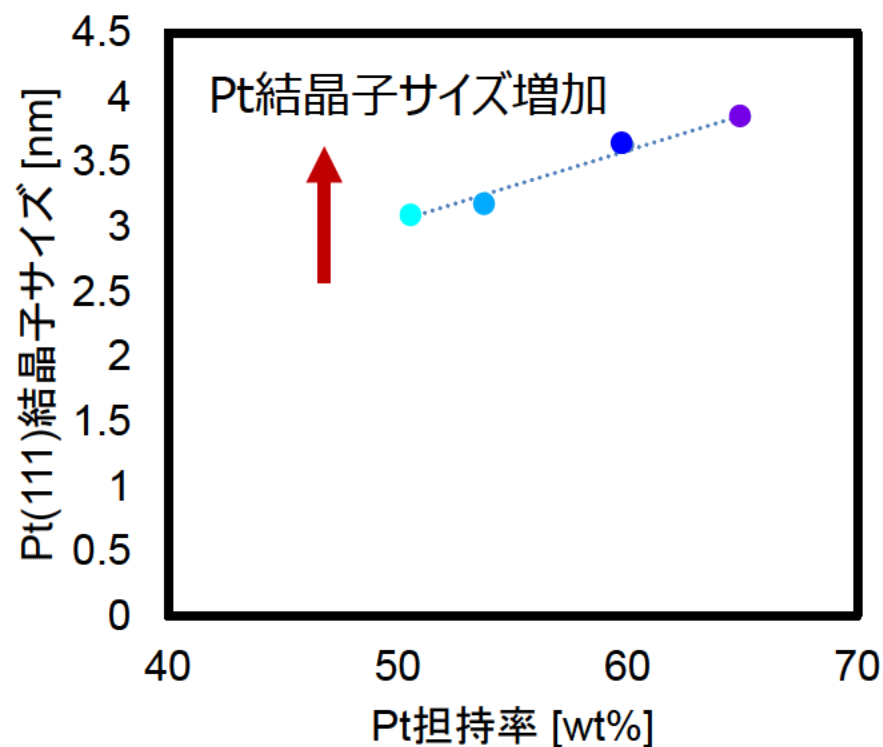
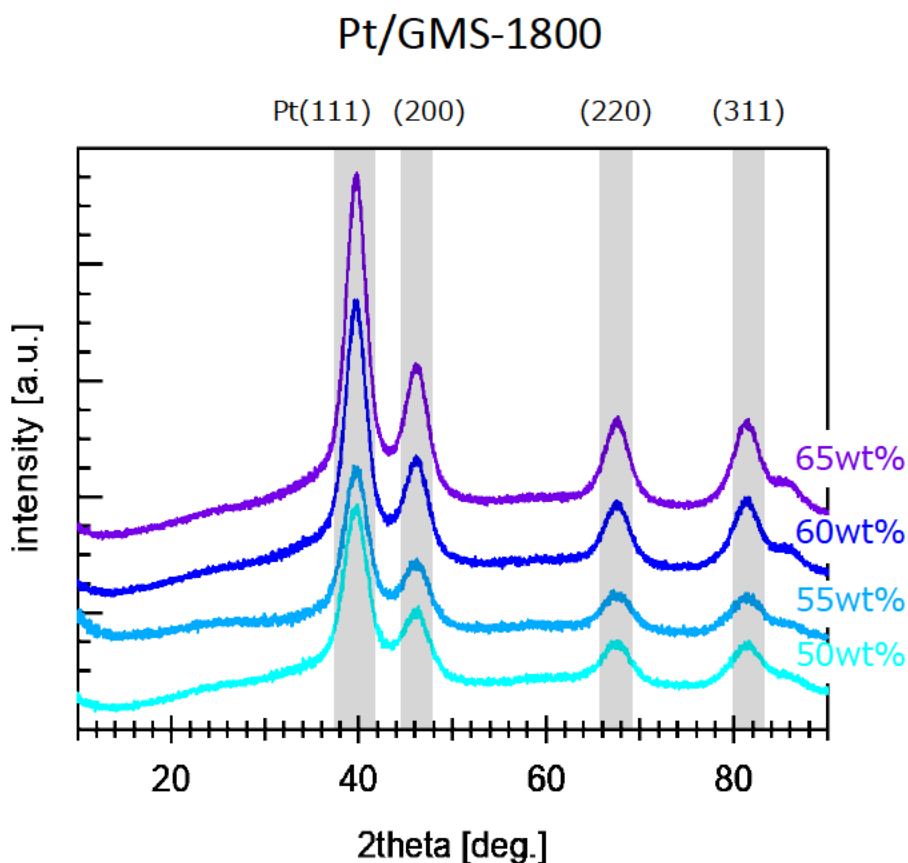
※TPDでエッジ「無視小」を確認 ⇒ ラマン I_D/I_G はトポロジー欠陥量の指標に使える。

※Pt 50 wt%狙いで同一条件でPt担持を実施。



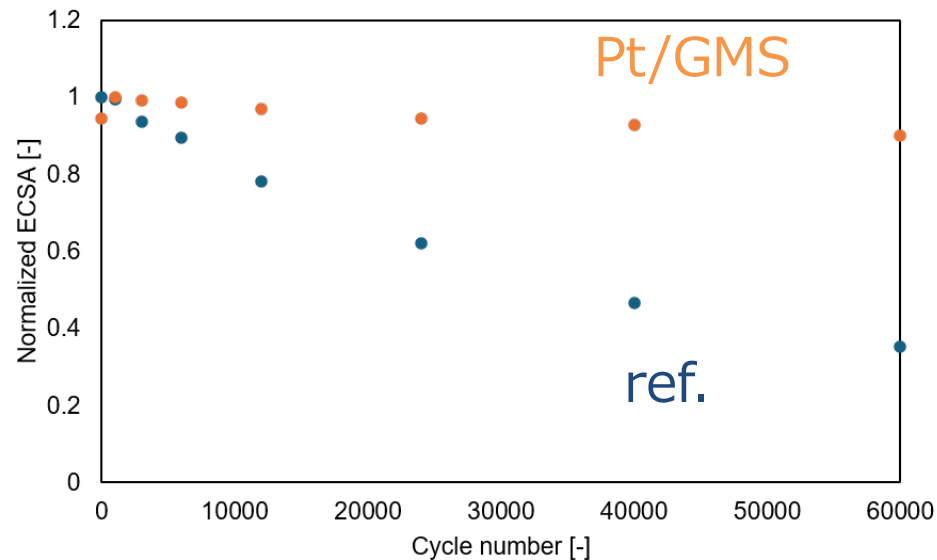
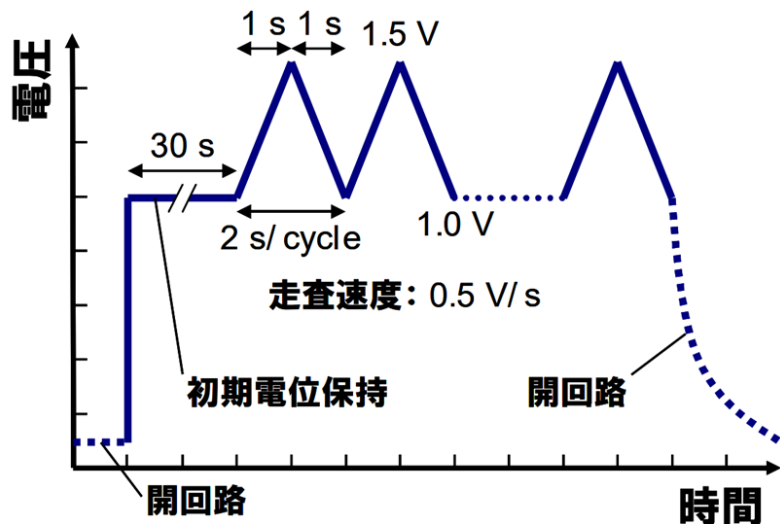
トポロジー欠陥の増加により担持されるPt粒子数が増加

5. 研究開発成果について



Pt担持率の増加に伴い、Pt結晶子サイズが増加
65 wt%程度まで増加可能か

5. 研究開発成果について



起動停止耐久試験において、きわめて高いECSA維持率を示した

6. 開発状況と今後の予定

- ・Pt担持GMSのMEA評価結果は、特許申請のため今回は非公開
- ・2026年夏に特許を申請予定
- ・GMSを用いた触媒層の最適化を進める
- ・低RH性能向上に向けたGMS改良を行う
- ・更なる活性と耐久性の向上に向けたGMSの構造最適化を進める