

グラフェンを活用した水素・重水素の 新規精製装置

日本原子力研究開発機構
先端基礎研究センター
保田 諭

2023年6月1日

自己紹介

- 2001年 筑波大学 大学院工学研究科修了（博士（工学））
- 2005年 - 2009年 産業技術総合研究所にて研究開発
NEDO「CNTキャパシタ開発PJ」に参加
→カーボンナノチューブ(CNT)量産化技術
- 2009年 - 2017年 北海道大学にて研究開発
→CNT・グラフェン合成と燃料電池用の触媒開発
- 2011年 - 2015年 JST さきがけに採択
- 2017年 - 現在 日本原子力研究開発機構
→CNT・グラフェン合成と触媒・水素同位体分離の開発
- 2021年- 2022年 NEDO 燃料電池関連の研究開発（電解質膜）

カーボンナノ材料の合成と電気化学・分離物性を専門.

重水素(D)とその用途

	原子記号	組成		質量	天然存在比 (%)
		陽子	中性子		
水素	H (^1H)	1	0	1.007	99.985 %
重水素	D (^2H)	1	1	2.014	0.015 %
三重水素	T (^3H)	1	2	3.016	trace

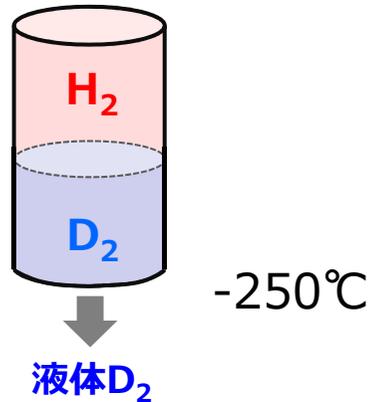
主要な用途

- 半導体集積回路の高耐久化
 - 有機EL材料の高耐久化
 - 光ファイバーの伝搬能力の向上
 - 長い薬用効果をもつ重水素化医薬品の開発
 - 核融合のエネルギー源
- 水素の安定同位体で放射性は無し.
 - 電子材料部品、医薬品開発で必須の材料.
 - 世界市場は2億ドル程度(2021年)、年率5.2%程度で成長.

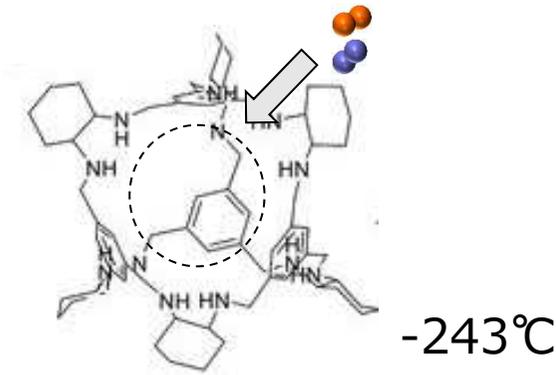
従来技術とその問題点

製造・精製法

深冷蒸留法

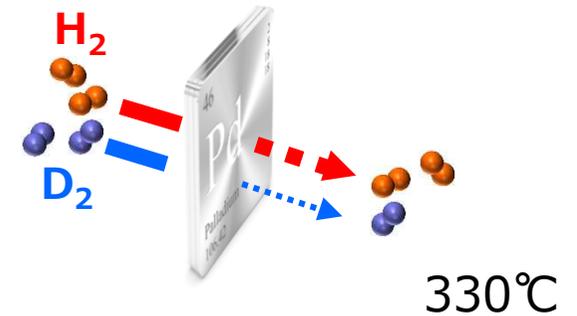


化学親和性吸着法



M. Liu et al.,
Science 366, 613 (2019)

金属透過法



R. Kiyose et al.,
J. Nuc. Sci. Tech., 16, 923 (1979)

- 物理化学的性質が似ているため分離能が悪く、一般に極低温・高温環境が必要。このため、製造・精製コストが高い。
- 多くを輸入に頼っているが、戦略物質であるため供給リスク大。

新技術の特徴

ACS NANO

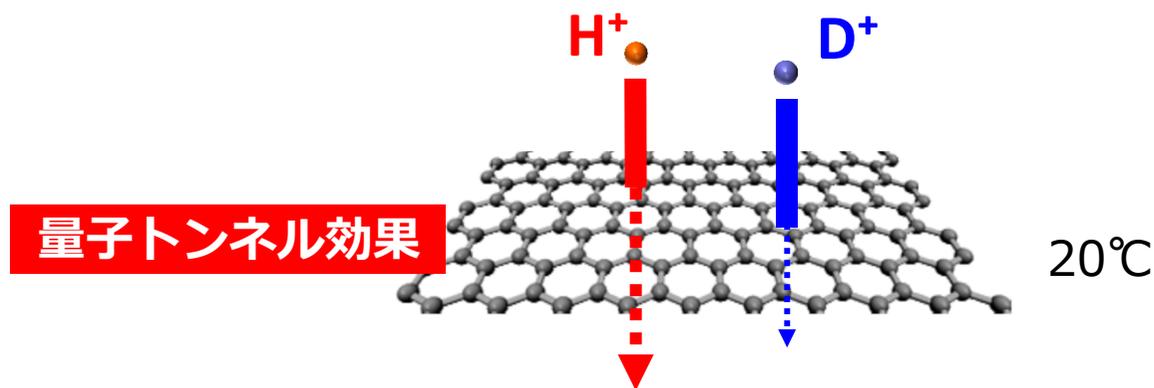
ACS Nano 2022, 16, 9, 14362–14369

<https://doi.org/10.1021/acsnano.2c04655>

Efficient Hydrogen Isotope Separation by Tunneling Effect Using Graphene-Based Heterogeneous Electrocatalysts in Electrochemical Hydrogen Isotope Pumping

Satoshi Yasuda*, Hisayoshi Matsushima, Kenji Harada, Risako Tanii, Tomo-o Terasawa, Masahiro Yano, Hidehito Asaoka, Jessiel Siaron Gueriba, Wilson Agerico Diño, and Katsuyuki Fukutani

グラフェン透過法



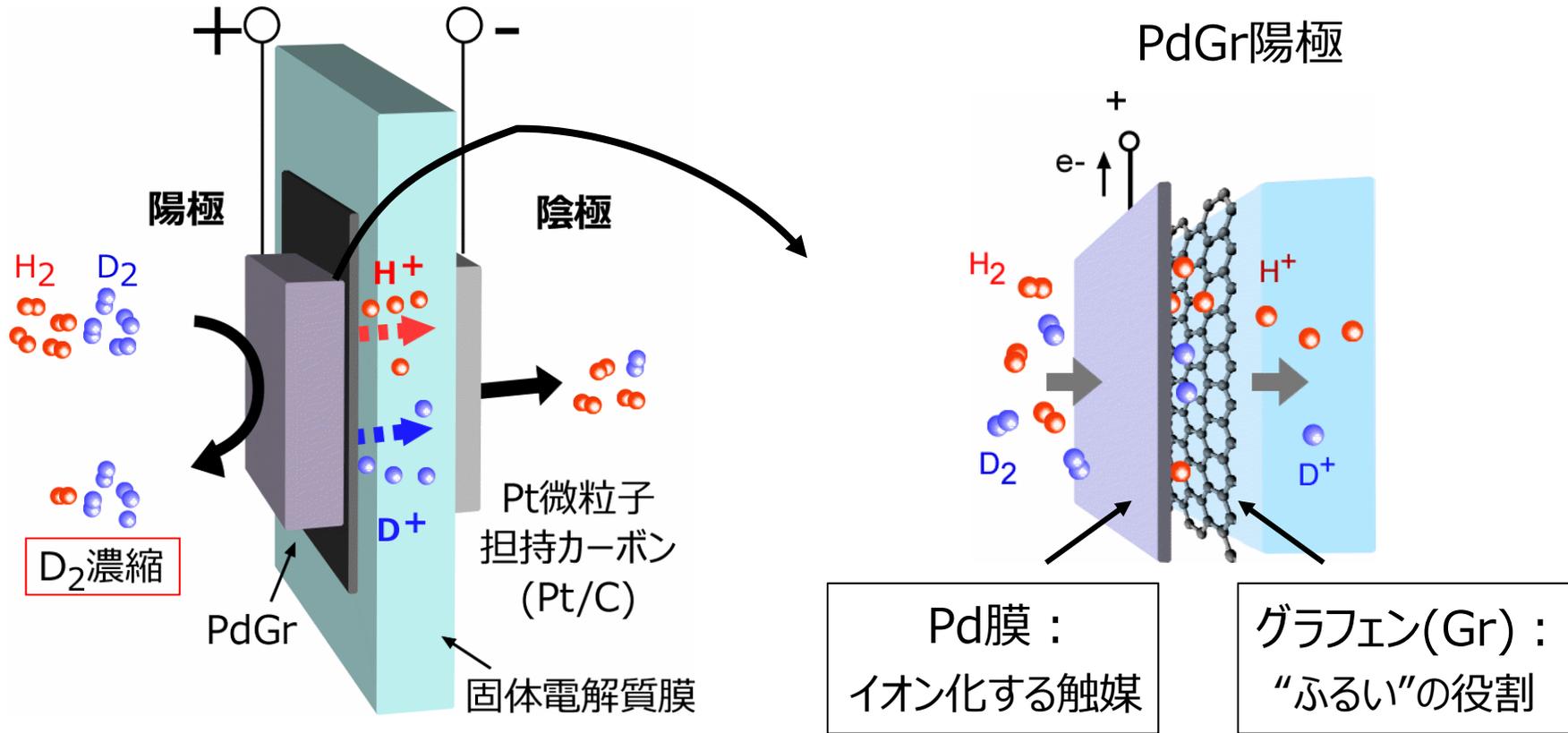
- 理論と実験から、量子トンネル効果により常温で高い分離能が発現するのを実証.

従来技術との比較

手法	分離機構	分離能	駆動温度	システム、材料
深冷蒸留	沸点の差	2	-250℃	蒸留器
化学親和性吸着	吸着平衡の差	2	20℃	金属錯体
		8	-240℃	ポーラス材料
金属透過	溶解度・拡散性の差	1.5	330℃	Pd合金
グラフェン透過	量子トンネル効果	8~20	20℃	グラフェン

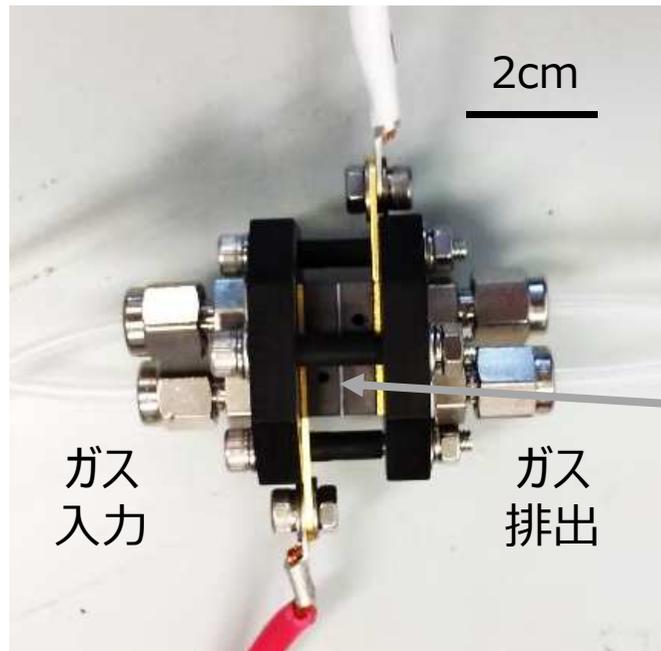
- 常温で高い分離能を示す。

新技術の特徴①



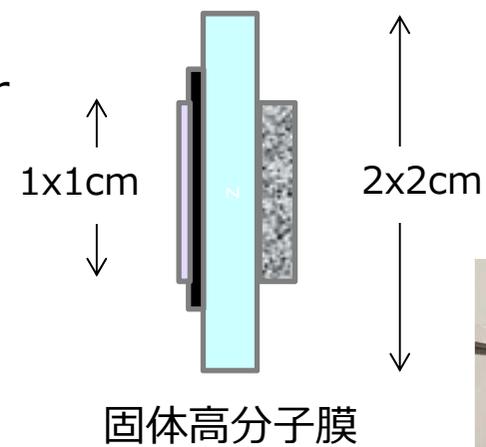
- 電気化学反応でH⁺とD⁺イオンの流れを作り、その中にグラフェンを設置してイオンを“ふるい”にかけるデバイス。

新技術の特徴②

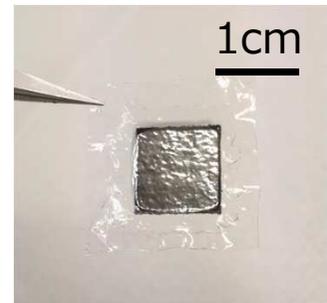


膜電極集合体
(PdGr - MEA)

陽極
PdGr



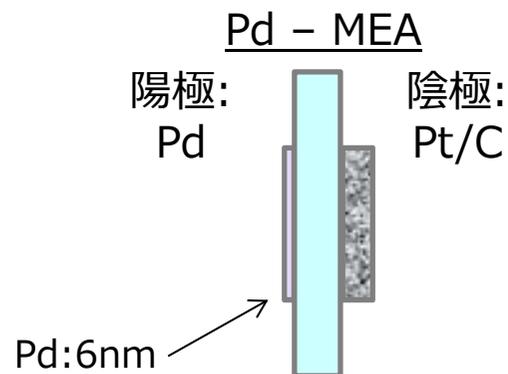
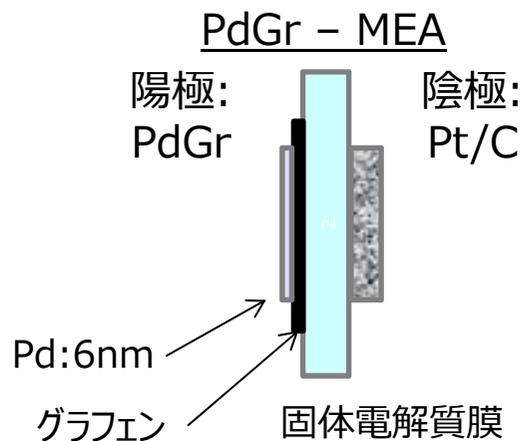
陰極
Pt/C



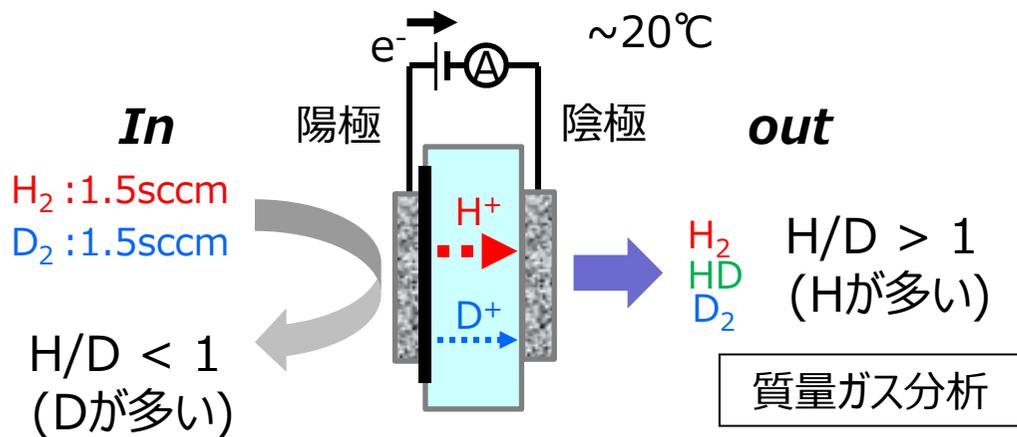
燃料電池や水電解で利用されている固体高分子形電気化学デバイス
を利用するため実装化が容易.

新技術の基礎データ

作製した膜電極集合体



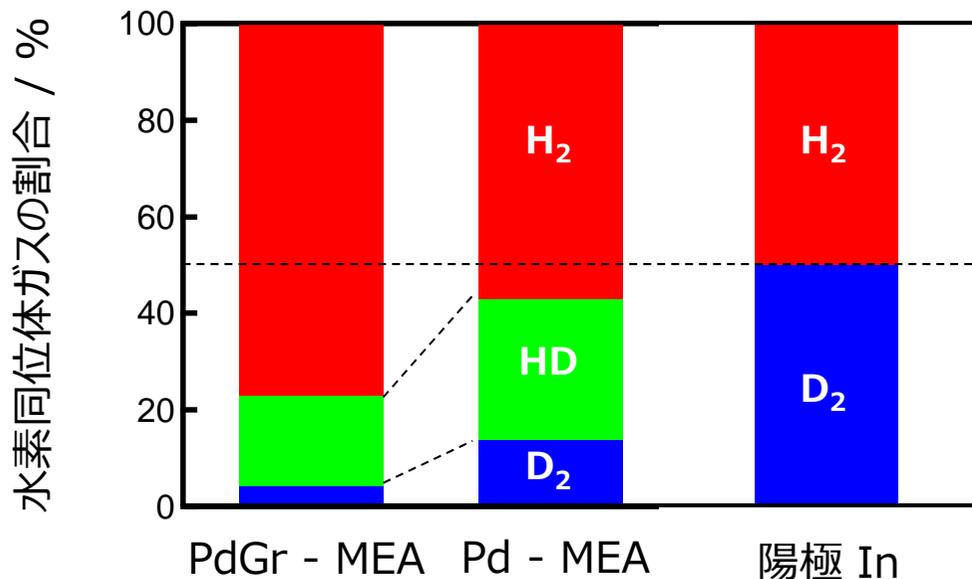
分離能評価



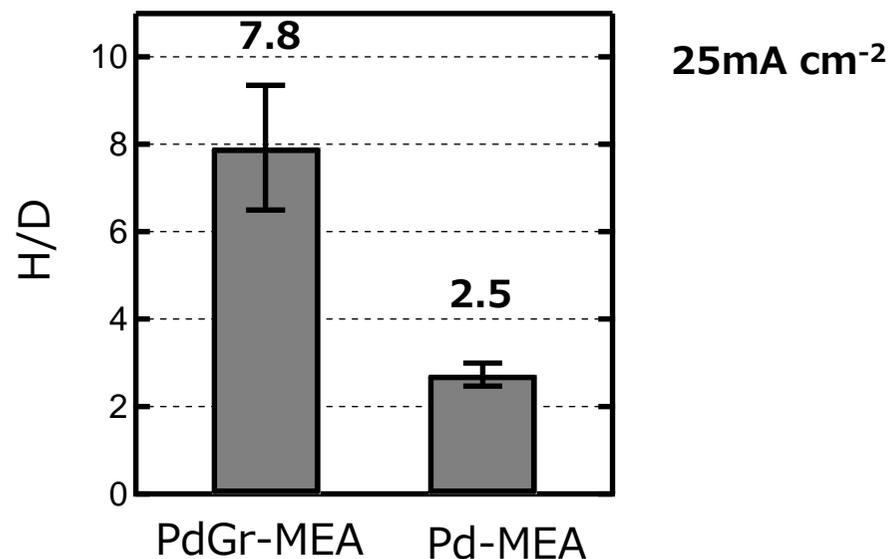
$$H/D = \frac{\left[\frac{H}{D}\right]_{Out}}{\left[\frac{H}{D}\right]_{In}}$$

新技術の基礎データ

ガス種の割合



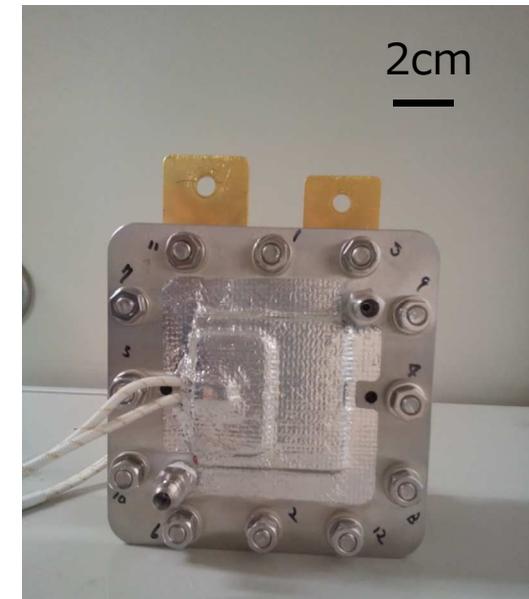
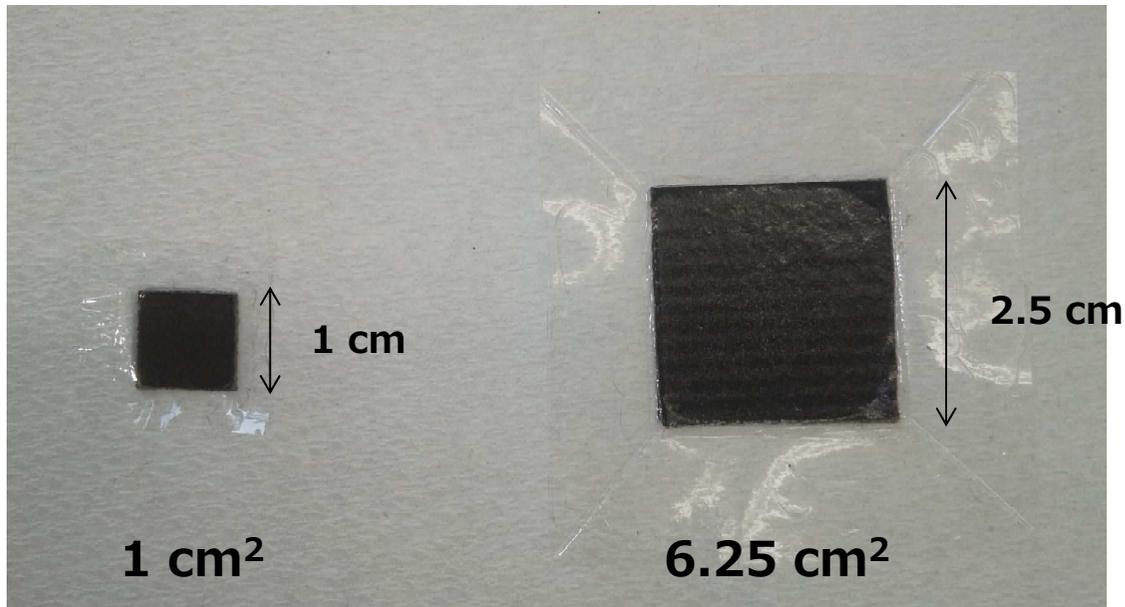
H/D 分離能



手法	分離機構	分離能	駆動温度	システム、材料
深冷蒸留	沸点の差	2	-250℃	蒸留器
化学親和性吸着	吸着平衡の差	2 8	20℃ -240℃	金属錯体 ポラス材料
金属透過	溶解度・拡散性の差	1.5	330℃	Pd合金
グラフェン透過	量子トンネル効果	8~20	20℃	グラフェン

新技術の基礎データ

膜電極集合体のスケールアップ



- 膜電極集合体のスケールアップ化を検証する段階。
 - 膜電極集合体の最適化が課題.

想定される用途

- 工業用の重水素ガスの高純度化(不純物である水素の除去)
 - ✓ 半導体集積回路の高耐久化
 - ✓ 有機EL材料の高耐久化
 - ✓ 光ファイバーの伝搬能力の向上
 - ✓ 長い薬用効果をもつ重水素化医薬品の開発
- 再生可能エネルギーで製造したグリーン水素中からの重水素ガスの精製.

実用化に向けた課題

小型のプロトタイプで基礎的な動作を実証したのみ。

【精製能力の向上】

電極の精製能力の向上が必要。

デバイスの多段接続による精製能力向上についても検証が必要。

【電極のスケールアップ化】

反応電流を増やすため、電極のスケールアップが必要。現在は検討する段階。

【耐久性の評価】

連続運転で分離能や精製能力がどれぐらい維持できるのかを検証する必要。

企業への期待

- 産業応用に向けた共同研究や、様々な外部予算を共同で取得可能な企業との共同研究を希望.
- 高コストのグリーン水素に付加価値をつけることにも興味があり議論できる企業を希望.
- 本内容以外にも企業との連携に興味。CNTやグラフェン、電気化学、触媒などの知識があるので相談可能.

本技術に関する知的財産権

同位体濃縮する電極材料

- 発明の名称 : 水素同位体濃縮装置
- 出願番号 : 特開2022-139472
- 出願人 : JAEA、北海道大学
- 発明者 : 保田諭、朝岡秀人、松島 永佳

省エネルギーで同位体濃縮するシステム

- 発明の名称 : 水素同位体濃縮装置
- 出願番号 : 特開2022-139473
- 出願人 : JAEA、北海道大学
- 発明者 : 保田諭、朝岡秀人、松島 永佳

*USAとカナダにも国際特許を出願中。

お問い合わせ先

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

JAEAイノベーションハブ

T E L 029-284-3420

e-mail seika.riyou@jaea.go.jp