



*Japan Atomic Energy Agency Sector of Nuclear Science Research  
Advanced Science Research Center*

# 水素社会に向けたJAEAの挑戦

— 水素、そして重水素が創る新しい未来 —

保田 諭

日本原子力研究開発機構

先端基礎研究センター

- **地球温暖化が人類に与える影響**
- **日本の新たな成長戦略**
  - GXの方向性とJAEAの役割
  - 水素とは？
  - 水素社会の意義
- **水素社会実現に向けたJAEAの取り組み**
  - 高温ガス炉によるカーボンフリー水素の製造技術の確立
  - HTTRを用いた熱利用技術の開発
  - 水素社会実現に向けたJAEAの取り組み
  - 高温ガス炉水素製造システムの実現に向けて
- **重水素が開く新しい未来**
  - 重水素とは？
  - 重水素の用途
  - 重水素の課題
  - 水素と重水素を分ける新しい材料・技術の開発
  - 水素・重水素分離デバイスの構築
- **まとめ**

# 地球温暖化が人類に与える影響

二酸化炭素などの温室効果ガスの排出量が増加



地球温暖化による急激な気候変動

(平均気温: +1.45°C, 平均海面 +11cm @2023年)

\*1850-1900年比

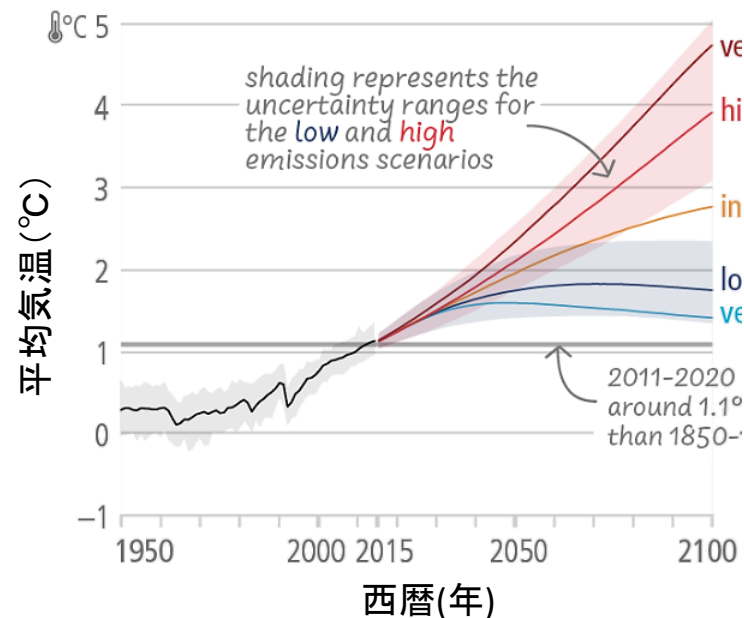


森林火災、干ばつ、洪水の増加

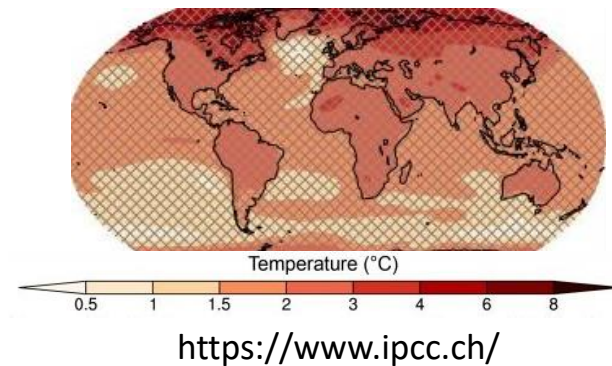


- ・生物種の減少 (+4°Cで半減)
- ・食糧生産 (作物、魚介類) の減少
- ・住居地の減少 (海面上昇、洪水...)
- ・健康被害の増加 (高温、高湿度、感染症...)
- ・パンデミック、戦争の増加

放置すると温暖化が暴走し人類の滅亡に関わる  
壊滅的ダメージ



平均気温2度増加した場合



- ・人が安心して暮らせる持続可能な環境を確保する機会が急速に減っている。
- ・現在の我々の今の選択と行動が、何千年にもわたって影響を与えるかどうかの分岐点。



# 日本の新たな成長戦略

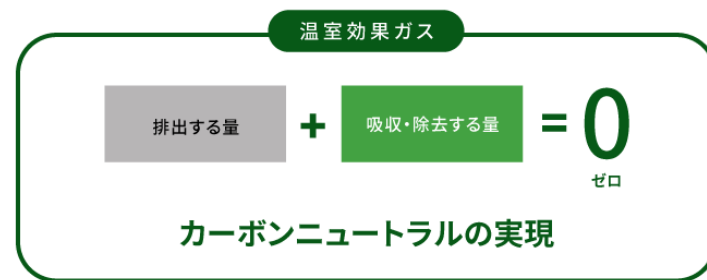
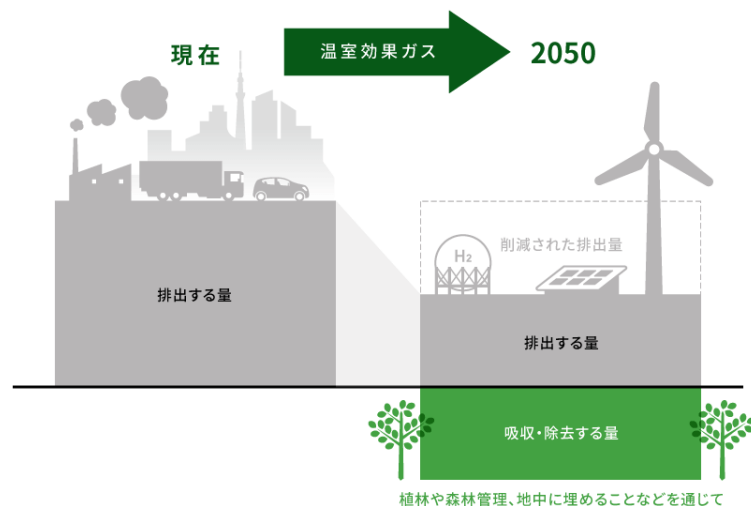
2015年にパリ協定により、気温上昇を1.5°Cに抑えることを目標にした国際的な制度が終結。



各国で脱炭素・カーボンニュートラルに向けた開発・投資競争が激化。

日本の取り組み：グリーントランスフォーメーション(GX)

化石燃料をできるだけ使わず、クリーンなエネルギーを活用した社会を実現する活動



<https://journal.meti.go.jp/p/19456/>

- 2030年までに温室効果ガスを2013年度比で46%削減、2050年までにカーボンニュートラルを実現ことが目標。
- GXにより脱炭素、エネルギー安定供給、経済成長の3つを同時に実現し、日本経済の産業競争力・経済成長につなげていく。

# GXの方向性とJAEAの役割

## 2050年に向けて成長が期待される14の重点分野を選定




・高い目標を掲げ、技術のフェーズに応じて、実行計画を着実に実施し、国際競争力を強化。・2050年の経済効果は約290兆円、雇用効果は約1,800万人と試算。

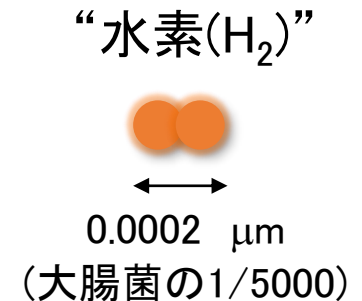


[https://www.meti.go.jp/policy/energy\\_environment/global\\_warming/ggs/index.html](https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/index.html)

- ・ 10年間で**150兆円**のGX投資。
- ・ “水素”を利用した“**水素社会**”はカーボンニュートラルを実現する**GXの柱の一つ**。(水素関連で、10年間で**~7兆円**の投資)
- ・ **JAEAは原子力+水素でGXに貢献**することが求められている。  
2030年までに高温ガス炉における水素製造に係る要素技術を確立。  
(ITER活動・国際連携を通じた核融合R&Dの着実な推進。)

# 水素とは？

	原子記号	質量 (u)	天然存在比 (%)	
	水素	H ( $^1\text{H}$ )	1.007	99.985 %
	重水素	D ( $^2\text{H}$ )	2.014	0.015 %
	三重水素	T ( $^3\text{H}$ )	3.016	微量



\* uは原子質量単位で1uは $1.66 \times 10^{-24}\text{g}$

- 主に3種類の仲間(水素同位体)のうちの一つ.
- 最も軽い気体で無色、無臭.
- “水素”と呼ばれているのは、Hが二つくっ付いた $\text{H}_2$ のこと(厳密には水素分子).
- 地球上では $\text{H}_2$ としてはほとんど存在しない.
- ほとんど水 (water :  $\text{H}_2\text{O}$ )の形態で存在している.



# 水素社会の意義

## 水素社会とは？

普段の生活・経済活動で水素をエネルギー源として使うことが浸透した社会。



[https://www.env.go.jp/seisaku/list/ondanka\\_saisei/lowcarbon-h2-sc/citizen/index.html#Section-Hydrogen](https://www.env.go.jp/seisaku/list/ondanka_saisei/lowcarbon-h2-sc/citizen/index.html#Section-Hydrogen)  
化石燃料(ガソリン、LP・プロパンガス)の代替として水素を利用する。

## 水素社会が実現すると？

- 温室効果ガスの**二酸化炭素を排出しない**(\*ただし、製造方法による)  
→カーボンニュートラル・脱炭素化に大きな貢献。
- 水素は豊富にあり、**様々な方法で製造**できる(化石燃料、再エネ+水、**原子力**…)
- 産業材料として利用できるだけでなく**貯蔵や運搬も可能**。  
→エネルギー源の調達・供給リスクの低減、持続可能な社会に貢献。

- 地球温暖化が人類に与える影響
- 日本の新たな成長戦略
  - GXの方向性とJAEAの役割
  - 水素とは？
  - 水素社会の意義
- **水素社会実現に向けたJAEAの取り組み**
  - 高温ガス炉によるカーボンフリー水素の製造技術の確立
  - HTTRを用いた熱利用技術の開発
  - 水素社会実現に向けたJAEAの取り組み
  - 高温ガス炉水素製造システムの実現に向けて
- **重水素が開く新しい未来**
  - 重水素とは？
  - 重水素の用途
  - 重水素の課題
  - 水素と重水素を分ける新しい材料・技術の開発
  - 水素・重水素分離デバイスの構築
- まとめ

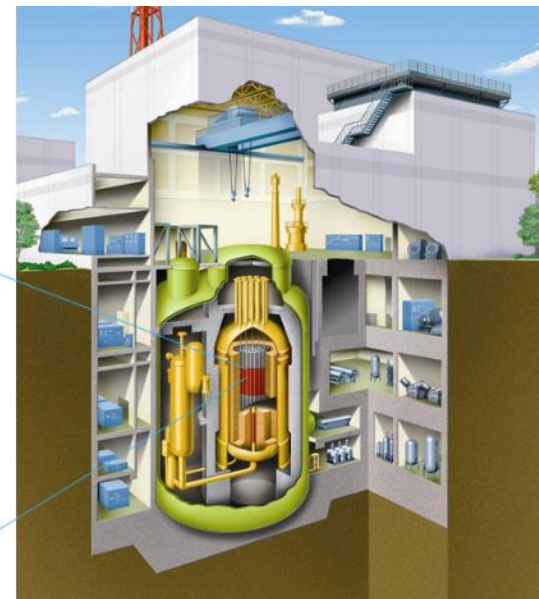
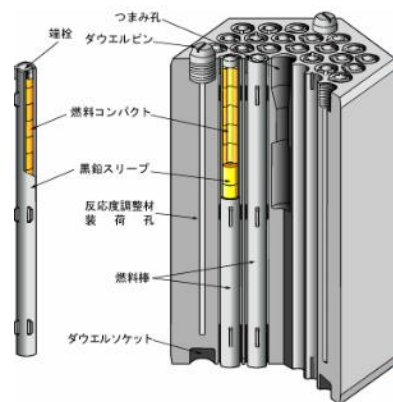


# 高温ガス炉によるカーボンフリー水素の製造技術の確立

## 高温ガス炉とは？

- ・次世代の原子炉で**高い安全性**を有し、炉心溶融が起こらない設計が可能。
- ・**高温熱**( $\sim 900^{\circ}\text{C}$ )の供給が可能で、発電以外にも熱を工業利用できる。  
→**水素製造**、地域暖房、海水淡水化など

## 高温工学試験研究炉(HTTR)

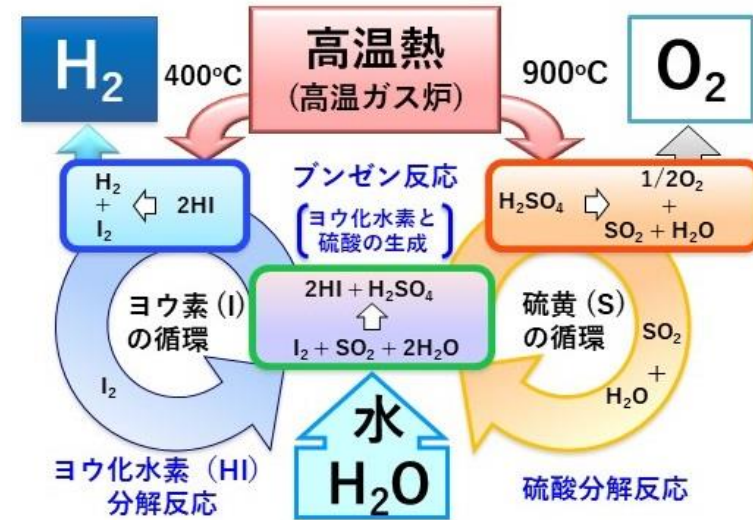


<https://www.jaea.go.jp/04/o-arai/nhc/jp/faq/htrr.html>

- ・ 世界最高温度 $950^{\circ}\text{C}$ を達成(2010年3月)

# HTRを用いた熱利用技術の開発

## 熱化学法ISプロセスによる水素製造法の開発



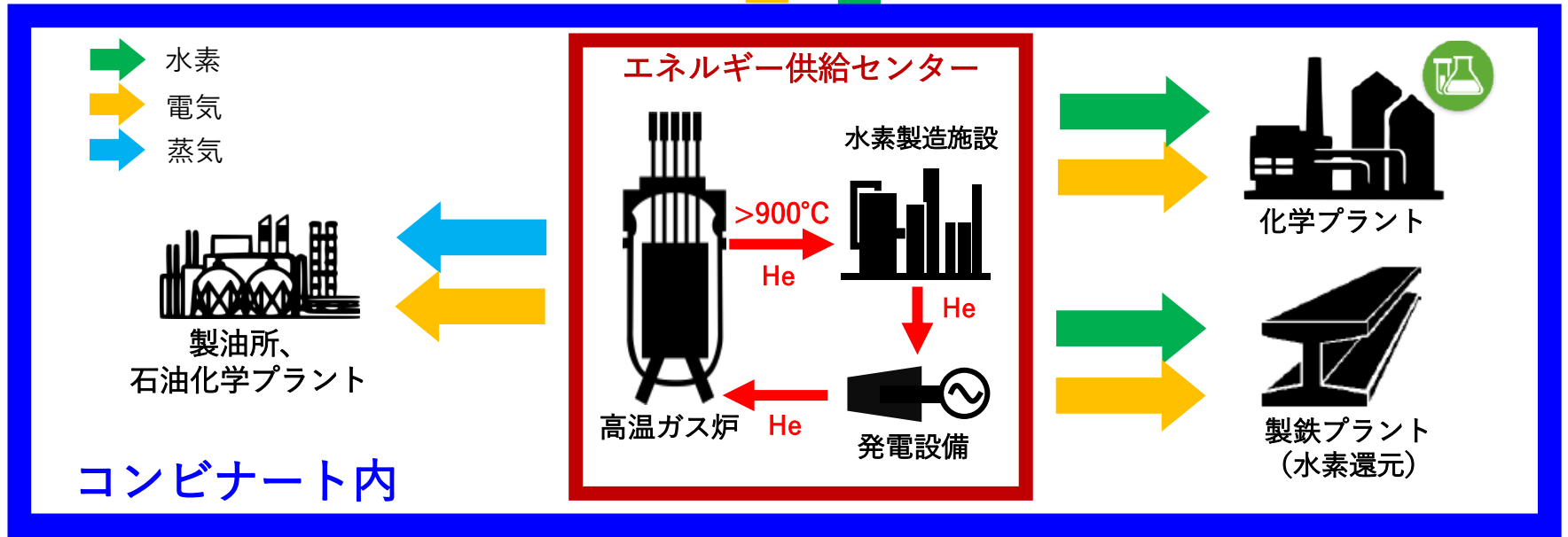
<https://www.jaea.go.jp/04/o-arai/nhc/jp/faq/htrr.html>

[https://www.jaea.go.jp/04/o-arai/nhc/jp/faq/is\\_process.html](https://www.jaea.go.jp/04/o-arai/nhc/jp/faq/is_process.html)

<https://www.jaea.go.jp/04/o-arai/nhc/jp/index.html>

- 熱とヨウ素、硫黄の反応サイクルにより、水を熱分解して水素を製造するプロセス。
- 二酸化炭素を一切排出せず、効率的に大量の水素を製造することが可能。
- 2019年に、長時間運転の目安となる150時間の連続水素製造(最大で30L/h)に成功。

# 水素社会実現に向けたJAEAの取り組み



## 新しい社会価値の提供

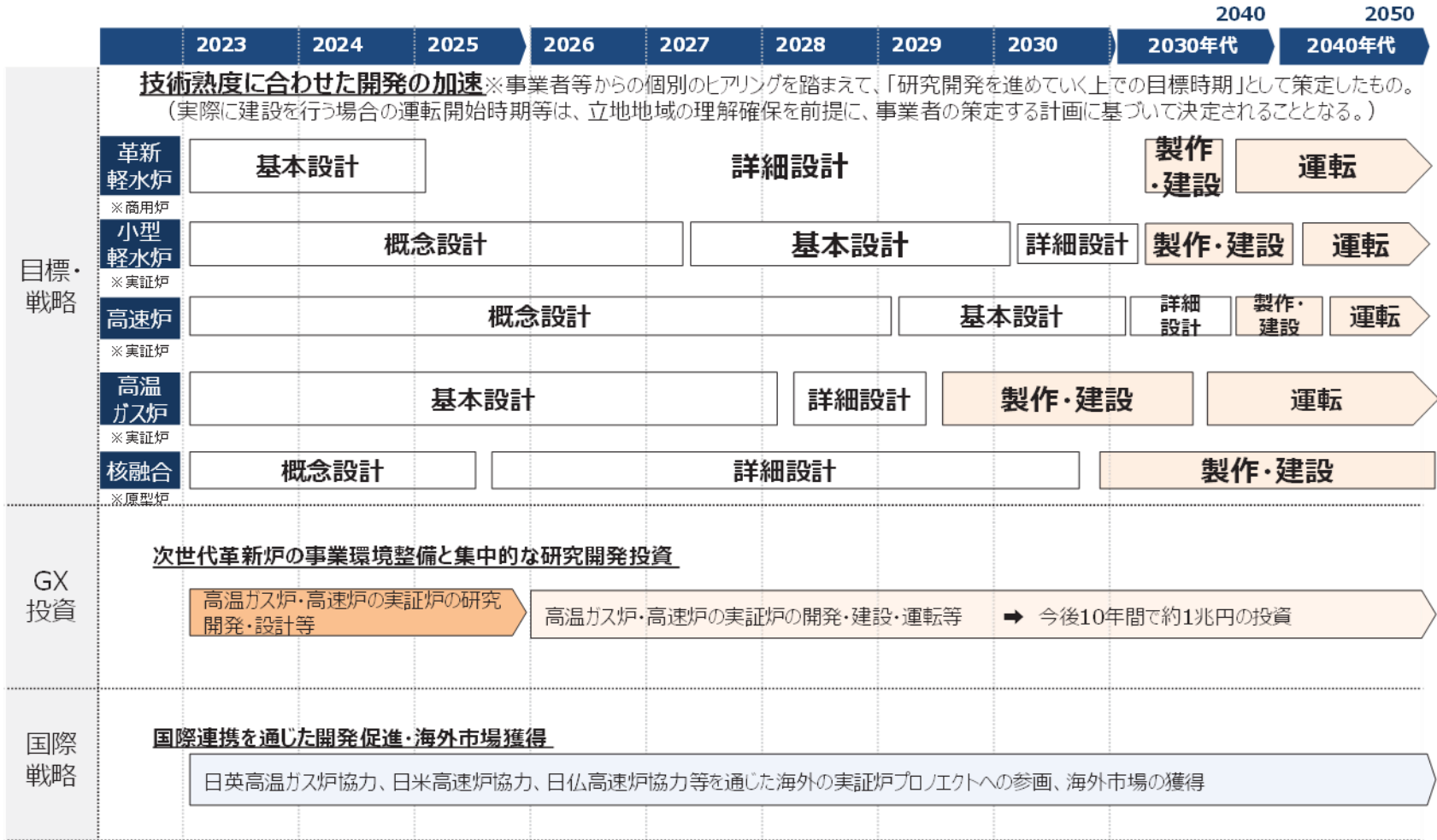
多排出産業の  
カーボンニュートラル実現

カーボンニュートラル社会システムの  
レジリエンス強化

※一部の図は、資源エネルギー庁新エネルギーシステム課/水素・燃料電池戦略室、水素社会実現に向けた社会実装モデルについて」のものを使用



# 高温ガス炉水素製造システムの実現に向けて



GX実現に向けた基本方針（案）参考資料から抜粋  
[https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002\\_3.pdf](https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002_3.pdf)

<https://www.jaea.go.jp/jaea-houkoku18/>  
 報告1「水素社会への貢献を目指して」のスライドから抜粋。

- 2030年代後半の運転開始を目指して高温ガス炉の実証炉を開発。



# 高温ガス炉水素製造システムの実現に向けて

The image shows a screenshot of the JAEA website. At the top, there is a navigation bar with the JAEA logo and the text '高温ガス炉と水素・熱利用研究'. Below the navigation bar is a large group photo of approximately 30 people, mostly men in white lab coats, standing in front of a modern building. Below the photo is a 'ニュース&トピックス' (News & Topics) section with a list of recent news items and two video thumbnails. The first video thumbnail is titled 'カーボンニュートラル実現への架け橋' (Bridge to Carbon Neutrality) and the second is '2050年カーボンニュートラルに向けて' (Towards Carbon Neutrality by 2050). At the bottom of the screenshot is a '研究開発の紹介' (Introduction to Research and Development) section.


<https://www.jaea.go.jp/04/o-arai/nhc/jp/index.html>

**YouTubeでも配信されています！**

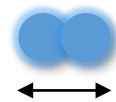


- 地球温暖化が人類に与える影響
- 日本の新たな成長戦略
  - GXの方向性とJAEAの役割
  - 水素とは？
  - 水素社会の意義
- 水素社会実現に向けたJAEAの取り組み
  - 高温ガス炉によるカーボンフリー水素の製造技術の確立
  - HTTRを用いた熱利用技術の開発
  - 水素社会実現に向けたJAEAの取り組み
  - 高温ガス炉水素製造システムの実現に向けて
- **重水素が開く新しい未来**
  - 重水素とは？
  - 重水素の用途
  - 重水素の課題
  - 水素と重水素を分ける新しい材料・技術の開発
  - 水素・重水素分離デバイスの構築
- まとめ

# 重水素とは？

		原子記号	質量 (u)	天然存在比 (%)
	水素	H ( <sup>1</sup> H)	1.007	99.985 %
	重水素	D ( <sup>2</sup> H)	2.014	0.015 %
	三重水素	T ( <sup>3</sup> H)	3.016	微量

“重水素(D<sub>2</sub>)”



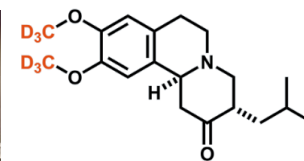
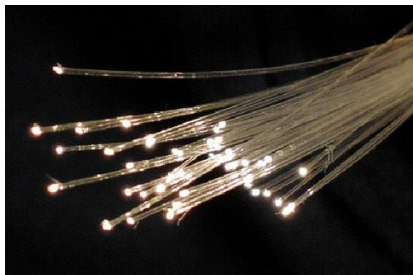
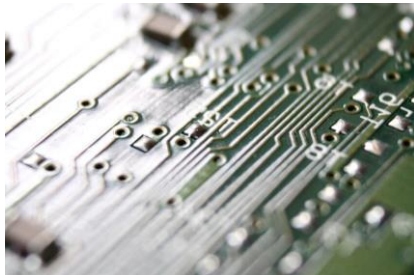
0.0002 μm  
(大腸菌の1/5000)

\* uは原子質量単位で1uは1.66 x 10<sup>-24</sup>g

- 主に3種類の仲間(水素同位体)のうちの一つ.
- 無色、無臭、放射性は無い.
- 一般に“重水素”と呼ばれているのは、Dが二つくっ付いたD<sub>2</sub>のこと(厳密には重水素分子).
- 地球上にわずかに存在(Hの1/7000程度).
- ほとんど水(HDO)の形態で存在している.



# 重水素の用途

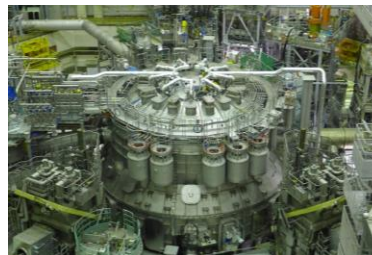
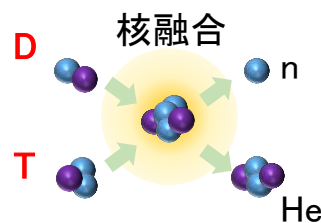


Deutetrabenazine[Austedo®, SD-809]

出典: 重医薬品 (heavy drug) | 用語集 | 重水素学 学問創出プロジェクト (kyoto-u.ac.jp)

- ✓ 半導体・有機ELの高耐久化
- ✓ 光ファイバーの長距離伝搬化

- ✓ 薬用効果が長い重水素化医薬品



[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shinkou/fusion/](https://www.mext.go.jp/a_menu/shinkou/fusion/)

- ✓ 核融合のエネルギー源

- 半導体・電子材料部品、医薬品開発で必須の材料.
- 将来のエネルギー源になる可能性.
- 世界市場は2億ドル程度(2021年)、年率5.2%程度で成長.

# 重水素の問題

## 重水素の国産製造の重要性

- 製造法にコストがかかり、すべて輸入に頼っている.
- 価格コントロールされており安定供給面でリスク大.



## JAEAでの取り組み

原子力エネルギーにより製造した水素中に含まれる微量の重水素を利用.

- 完全国産化による重水素の安定供給を実現
- 国内の半導体・医薬産業の競争力強化と保護
- 将来のエネルギー安全保障の強化
- 原子力エネルギーにより製造した水素の低コスト化にも貢献可能.

# 水素と重水素を分ける新しい材料・技術の開発

## グラフェンとは？

### 2010年ノーベル物理学賞

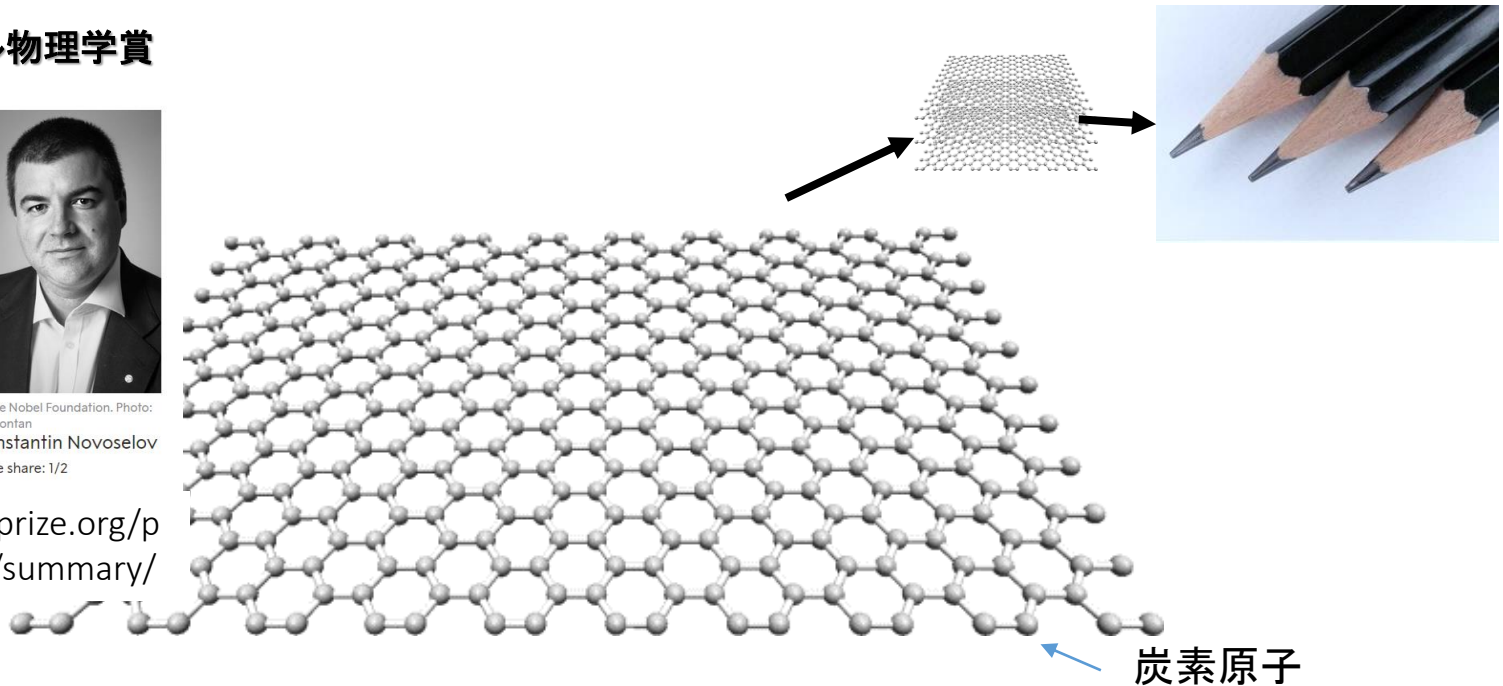


© The Nobel Foundation. Photo: U. Montan  
Andre Geim  
Prize share: 1/2



© The Nobel Foundation. Photo: U. Montan  
Konstantin Novoselov  
Prize share: 1/2

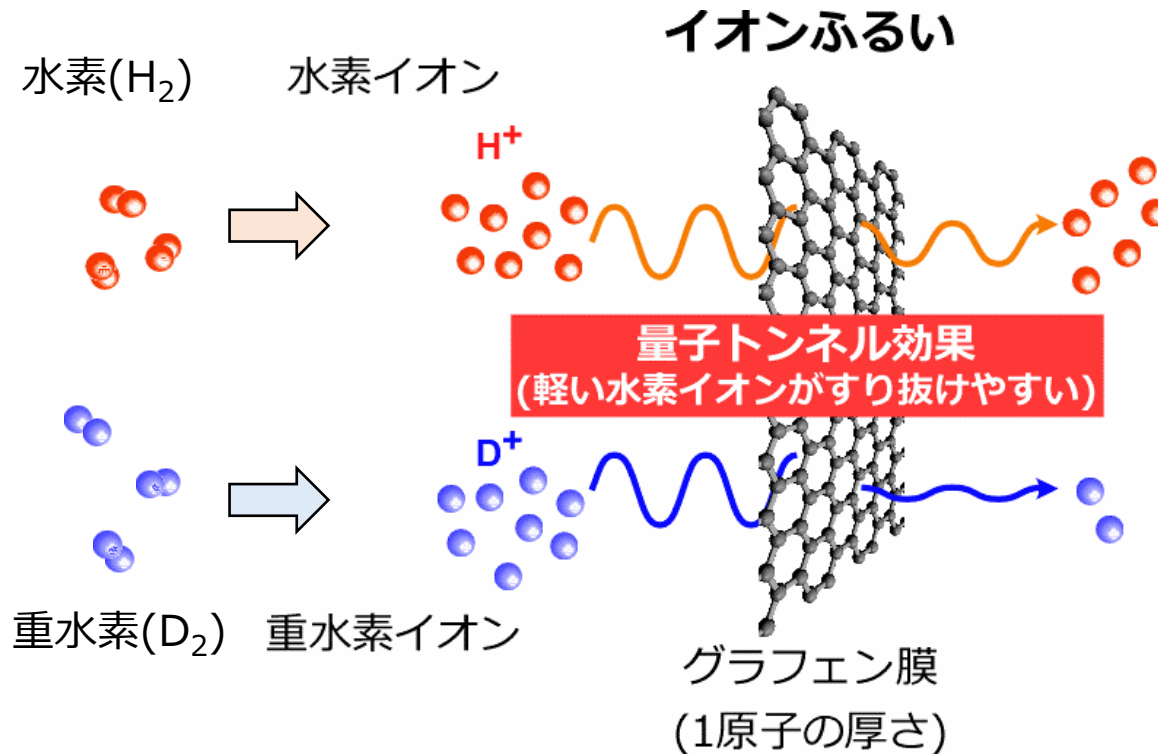
<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2010/summary/>



- 鉛筆の芯の材料. (グラフェンを数多く重ねたものが黒鉛)
- 炭素原子1個の厚さしかない世界で最も薄い膜.
- 優れた性質(電気、熱、強度、分離膜など)により世界で注目されているナノ材料. \*2010年のノーベル物理学賞受賞の対象材料

# 水素と重水素を分ける新しい材料・技術の開発

水素イオンと重水素イオンを見分ける



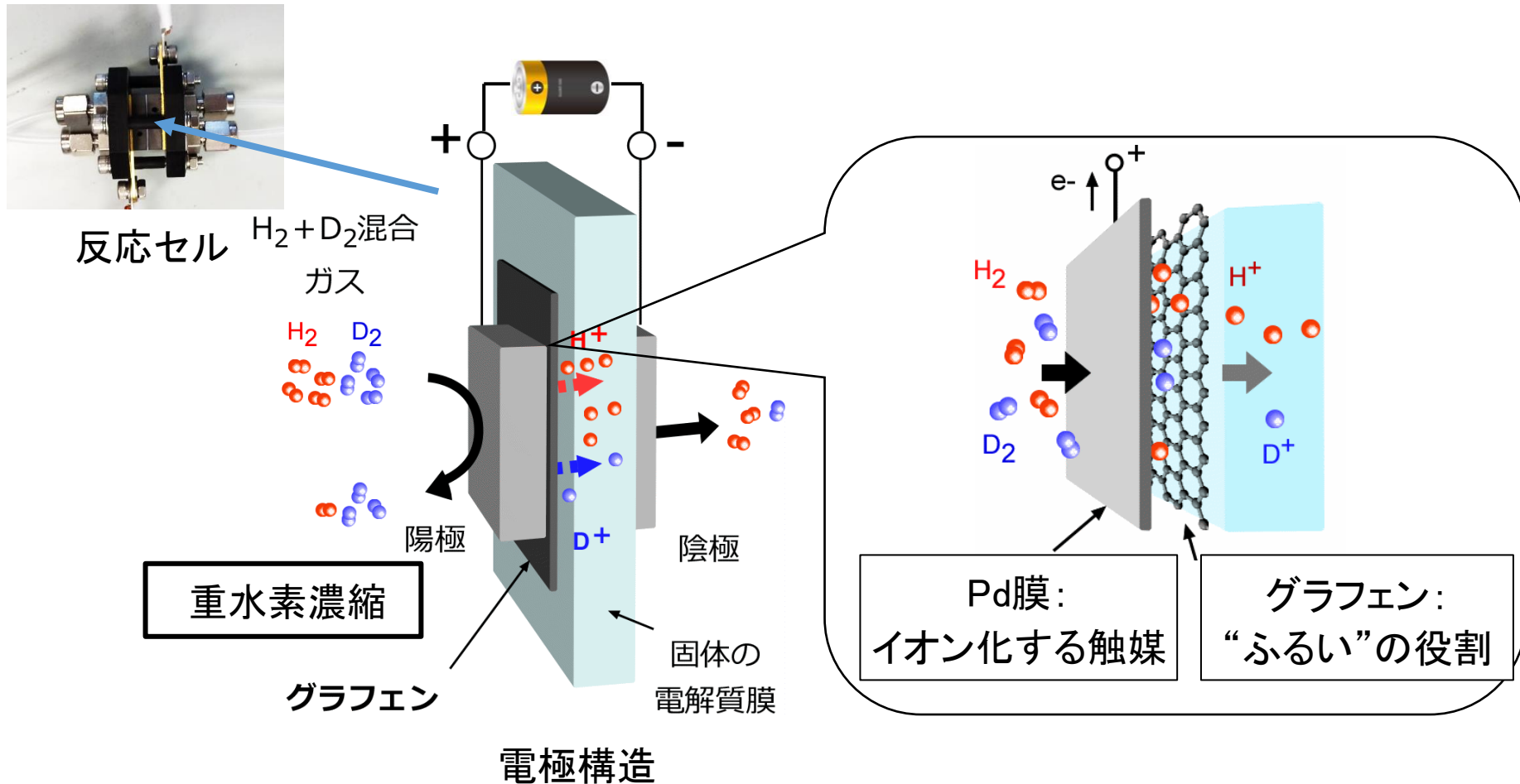
- 身近な材料である「グラフェン」を用いて水素と重水素を分けることが可能.

水素中に含まれる重水素を低コストで取り出す技術になる可能性.

<https://www.jaea.go.jp/02/press2022/p22083101/>

# 水素・重水素分離デバイスの開発

## 電池反応の技術を使った分離デバイスの開発

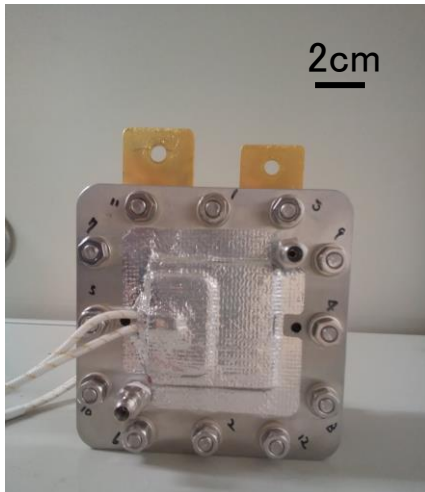
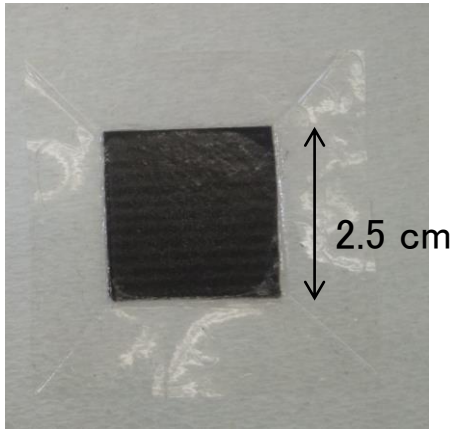


- ・電池反応の技術を使うと、水素と重水素を簡単にイオンにできる。
- ・すべて“固体”でできているので、グラフェンを貼り付けることができる。
- ・すでに市販化されている技術(燃料電池など)なので、デバイス化して実装化が容易。

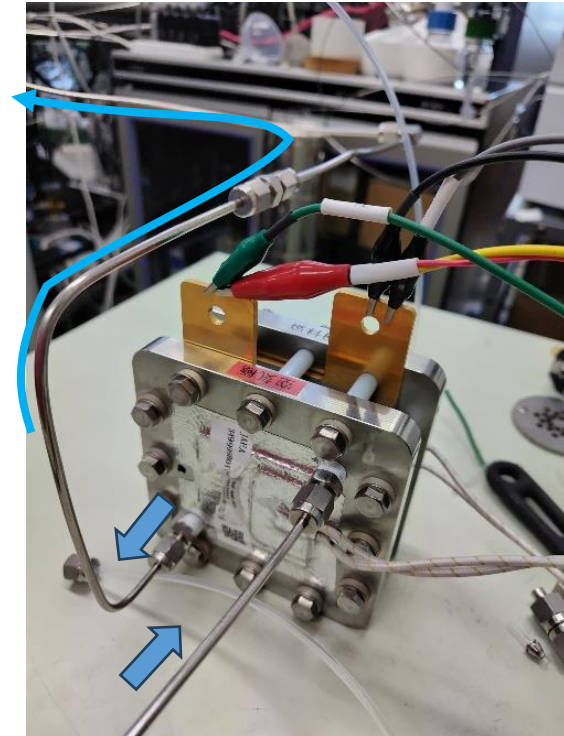


# 水素・重水素分離デバイスの開発

## 実際の電極とセルと分離システムの構造



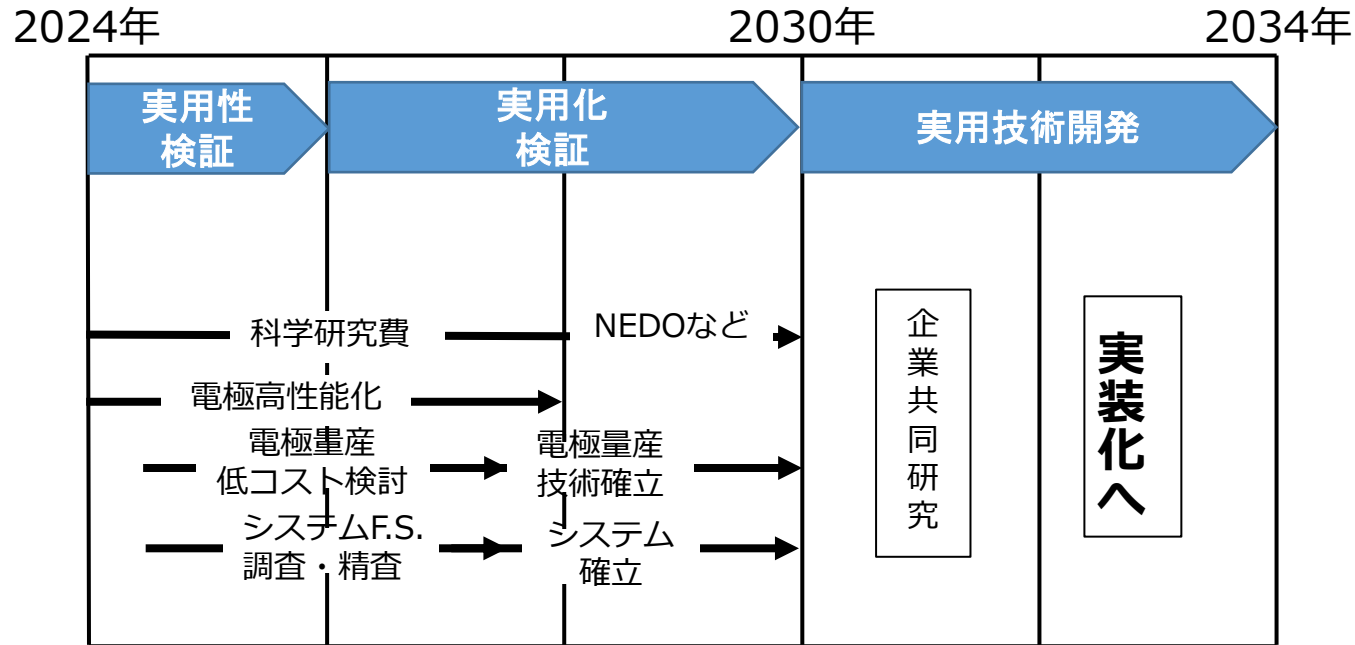
ガス排出  
(濃縮)



ガス供給

・グラフェンを含む電極をデバイスに組み込み、実際に重水素が濃縮されることを実証。

# 水素・重水素分離デバイスの実現に向けて



- 重水素の精製・製造の研究開発拠点を構築.
- 重水素の低コスト製造技術を確立し、JAEAの水素製造技術と組み合わせることを目指す.



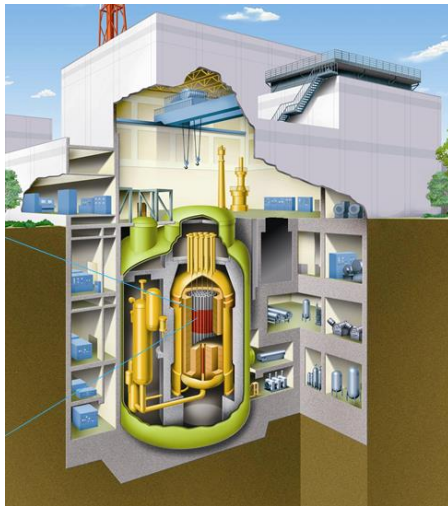
- **地球温暖化が人類に与える影響**
- **日本の新たな成長戦略**
  - GXの方向性とJAEAの役割
  - 水素とは？
  - 水素社会の意義
- **水素社会実現に向けたJAEAの取り組み**
  - 高温ガス炉によるカーボンフリー水素の製造技術の確立
  - HTTRを用いた熱利用技術の開発
  - 水素社会実現に向けたJAEAの取り組み
  - 高温ガス炉水素製造システムの実現に向けて
- **重水素が開く新しい未来**
  - 重水素とは？
  - 重水素の用途
  - 重水素の課題
  - 水素と重水素を分ける新しい材料・技術の開発
  - 水素・重水素分離デバイスの構築
- **まとめ**

# まとめ

## 水素社会への貢献を目指したJAEAの取り組み

### 高温ガス炉による水素製造

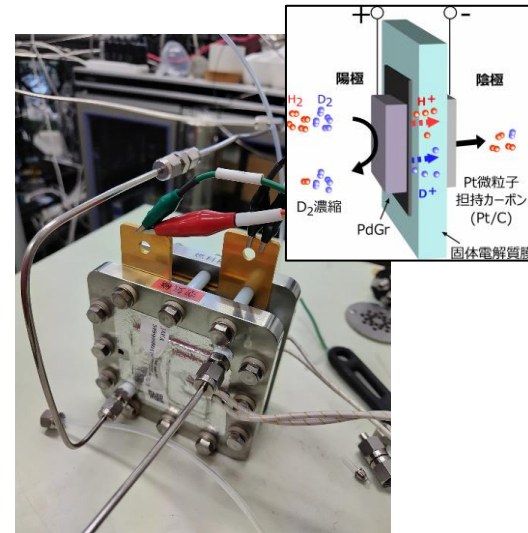
- ・国内の水素製造
- ・大量・安定した水素製造
- ・カーボンフリー水素の製造



<https://www.jaea.go.jp/04/o-arai/nhc/jp/faq/htrr.html>

### 水素・重水素分離デバイスによる重水素製造

- ・重水素製造の国産化
- ・産業分野への低コスト供給
- ・水素製造コストの低減



**JAEAの英知を終結し、人々が安全・快適な生活を送れる持続可能な水素社会の実現に貢献します！**