



ENEX2023

# カーボンニュートラルを目指した 水素製造・利活用

一般財団法人 電力中央研究所  
エネルギートランスフォーメーション研究本部  
水素エネルギー研究戦略担当 研究参事

市川 和芳

2023年2月3日

 電力中央研究所

# 発表内容

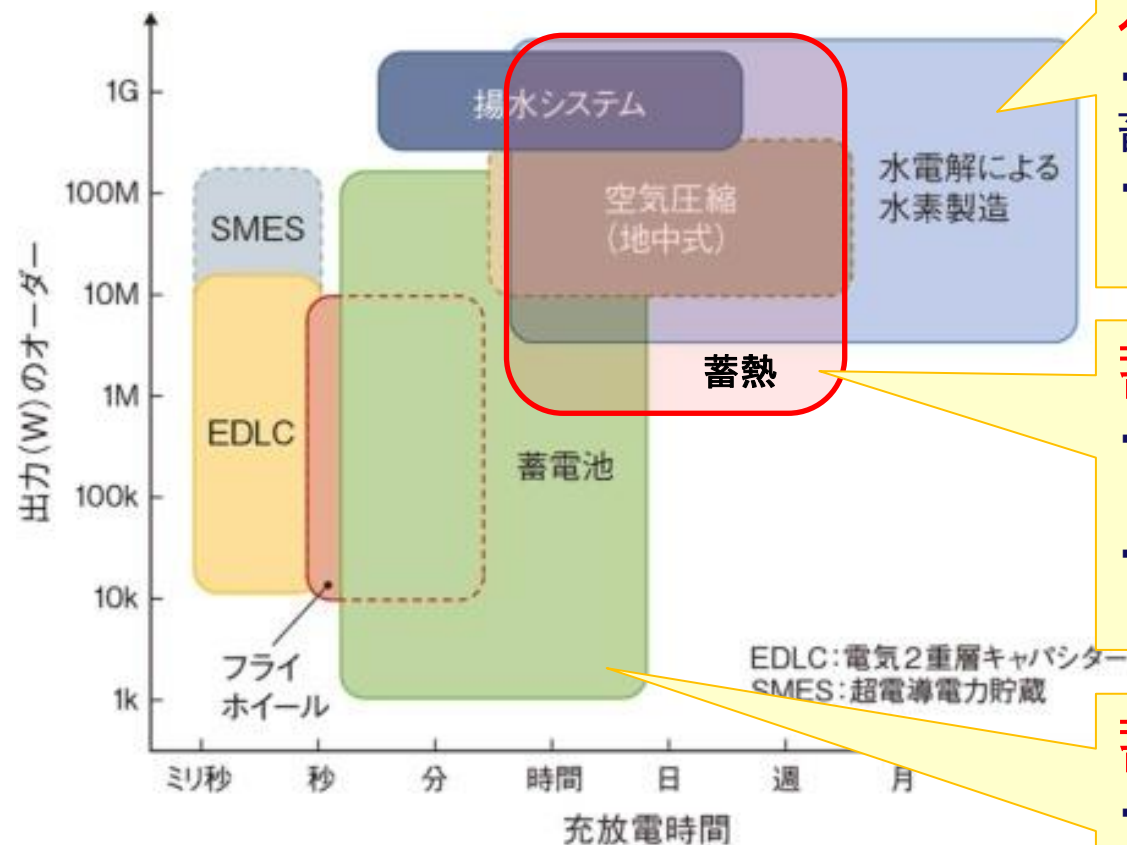
1. エネルギーシステムにおける水素の位置づけと利用の意義
  - ◆ 各種エネルギー貯蔵技術の比較
  - ◆ 水素製造・貯蔵・利用の意義
2. 我が国の水素政策の動向
  - ◆ グリーン成長戦略
  - ◆ 第6次エネルギー基本計画
3. 電中研の研究構想と取り組み
  - ◆ 水素研究構想
  - ◆ 水素・アンモニアサプライチェーン関連
  - ◆ 電解による水素製造技術関連
  - ◆ 水素・アンモニア混焼技術関連
  - ◆ その他
4. まとめ

# 水素とは

- 水素分子( $H_2$ )は無色無臭の気体で気体・液体・固体のいずれにおいても、最も軽い物質(比重は0.0695)。宇宙の中で最も豊富な物質であり、通常は、水やアミノ酸・炭化水素などの化合物として存在
- 可燃性だが、他の可燃性ガスのように炎の色を見ることはできない。
- 気体の中では拡散率が最大(=最も拡がりやすいガス)。
- 水の電気分解により製造可能。



# 各種エネルギー貯蔵技術の比較



## 水素、PtoX

- ・水素およびその化合物として長期の蓄エネに利点。
- ・長距離のエネルギー輸送やCCUの原料としても重要視されている。

## 蓄熱

- ・世界では、揚水の次に普及している蓄エネ技術である。
- ・原料が安く、ローテクであるため、信頼性が高く、早期に導入が可能。

## 蓄電池

- ・数秒～数時間程度の比較的短期の需給調整に適している。
- ・定置用だけでなく、モバイル機器、モビリティ用としても使われ用途が広い。

## 蓄電時間と蓄電容量で棲み分け

出典：NEDO TSC Foresight Vol.20(2017)の表記に蓄熱を加筆

# 各種エネルギー貯蔵技術の比較

| 方式                         | ユニット容量 |     |       |        |     | 設備コスト<br>[千円/kWh] | 設備コスト<br>[千円/kW] | エネルギー密度<br>[Wh/L]    | サイクル効率<br>[%] | 需給調整時間幅 |   |   |   |
|----------------------------|--------|-----|-------|--------|-----|-------------------|------------------|----------------------|---------------|---------|---|---|---|
|                            | 100kWh | MWh | 10MWh | 100MWh | GWh |                   |                  |                      |               | 分       | 時 | 日 | 月 |
| 蓄電池                        | ●      | ●   | ●     | ●      |     | 32-682            | 33-385           | 20-400               | 75-95         | ●       | ● | ● |   |
| 揚水式水力                      |        |     |       | ●      | ●   | 28-47             | 55-506           | 0.1-0.2              | 50-85         | ●       | ● | ● |   |
| 水素化<br>(Power to Gas) to P |        |     | ●     | ●      | ●   | 48-96<br>(変換のみ)   | 55-83            | 600<br>(200barの圧縮水素) | 22-50         |         | ● | ● | ● |
| 圧縮空気貯蔵<br>(CAES)※地中式       |        |     | ●     | ●      | ●   | 7-14              | 55-165           | 2-6                  | 27-70         | ●       | ● | ● |   |
| 液化空気貯蔵<br>(LAES)           |        |     | ●     | ●      | ●   | 29-58             | 99-209           | —                    | 55-85         | ●       | ● | ● |   |
| フライホイール                    | ●      |     |       |        |     | 858-968           | 14-55            | 20-80                | 90-95         | ●       |   |   |   |
| 超電導電力貯蔵<br>(SMES)          | ●      | ●   |       |        |     | 77,000            | 14-57            | 6                    | 90-95         | ●       |   |   |   |
| 電気二重層キャパシタ<br>(ELDC)       | ●      |     |       |        |     | 1,100             | 14-57            | 10-20                | 90-95         | ●       |   |   |   |
| 蓄熱発電                       |        | ●   | ●     | ●      | ●   | 10-30             | 10-40            | 150-300              | 20-45         | ●       | ● | ● |   |

# 水素製造・貯蔵・利用の意義

## 火力のカーボンフリー発電、CCUS

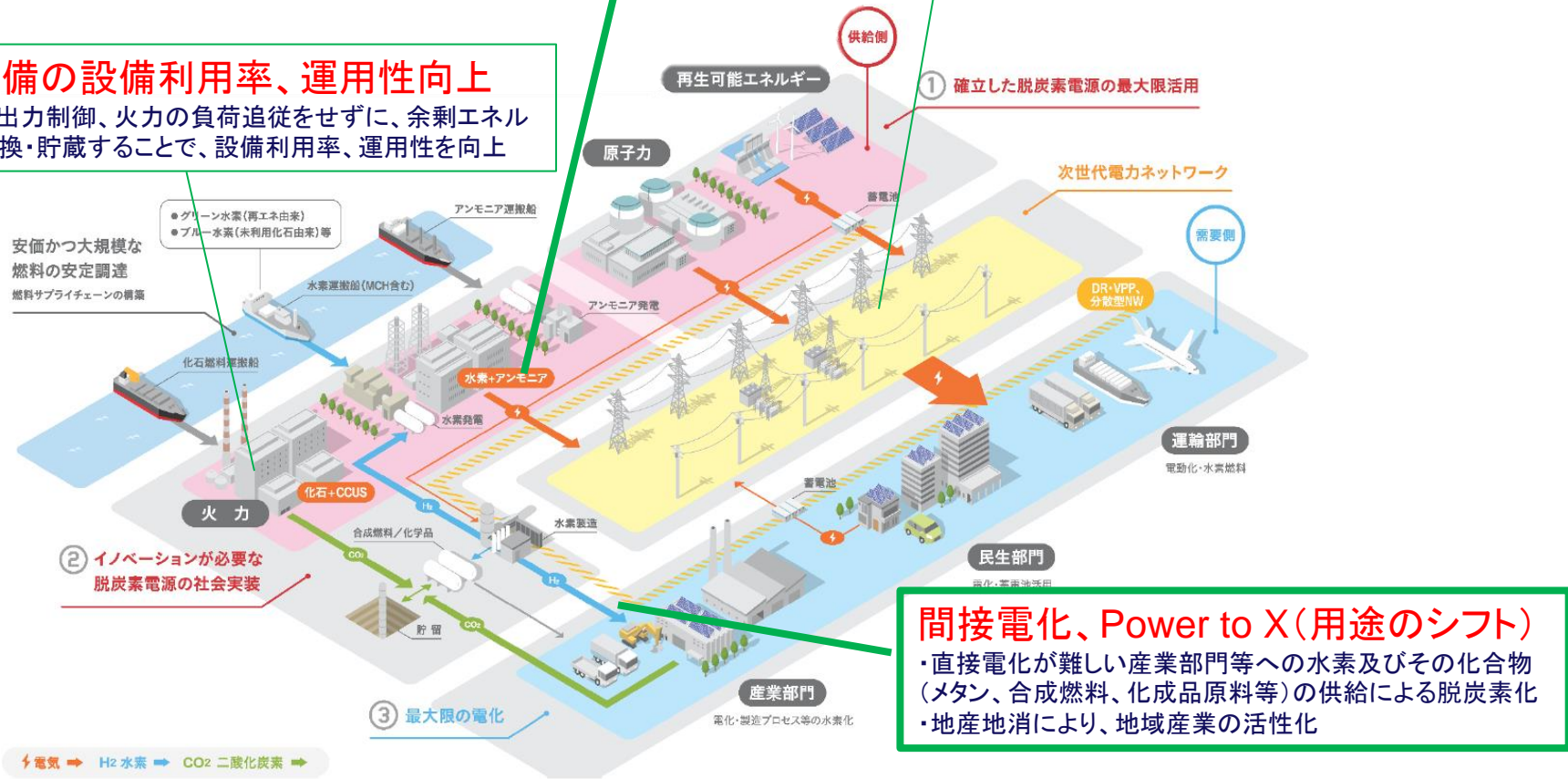
- ・グリーン水素及びその化合物によるCF発電、環境価値創出
- ・排出CO<sub>2</sub>と水素から合成したメタン、合成燃料等の供給

## 電力系統混雑の解消(時間のシフト)

- ・再エネに対応した系統増強の最小化
- ・需給調整市場へのΔkW、マイナスΔkWの供給
- ・非常時のkWhの供給 ⇒ レジリエンスの確保

## 発電設備の設備利用率、運用性向上

- ・再エネの出力制御、火力の負荷追従をせずに、余剰エネルギーを変換・貯蔵することで、設備利用率、運用性を向上



## 間接電化、Power to X(用途のシフト)

- ・直接電化が難しい産業部門等への水素及びその化合物(メタン、合成燃料、化成品原料等)の供給による脱炭素化
- ・地産地消により、地域産業の活性化

# 発表内容

## 1. エネルギーシステムにおける水素の位置づけと利用の意義

- ◆ 各種エネルギー貯蔵技術の比較
- ◆ 水素製造・貯蔵・利用の意義

## 2. 我が国の水素政策の動向

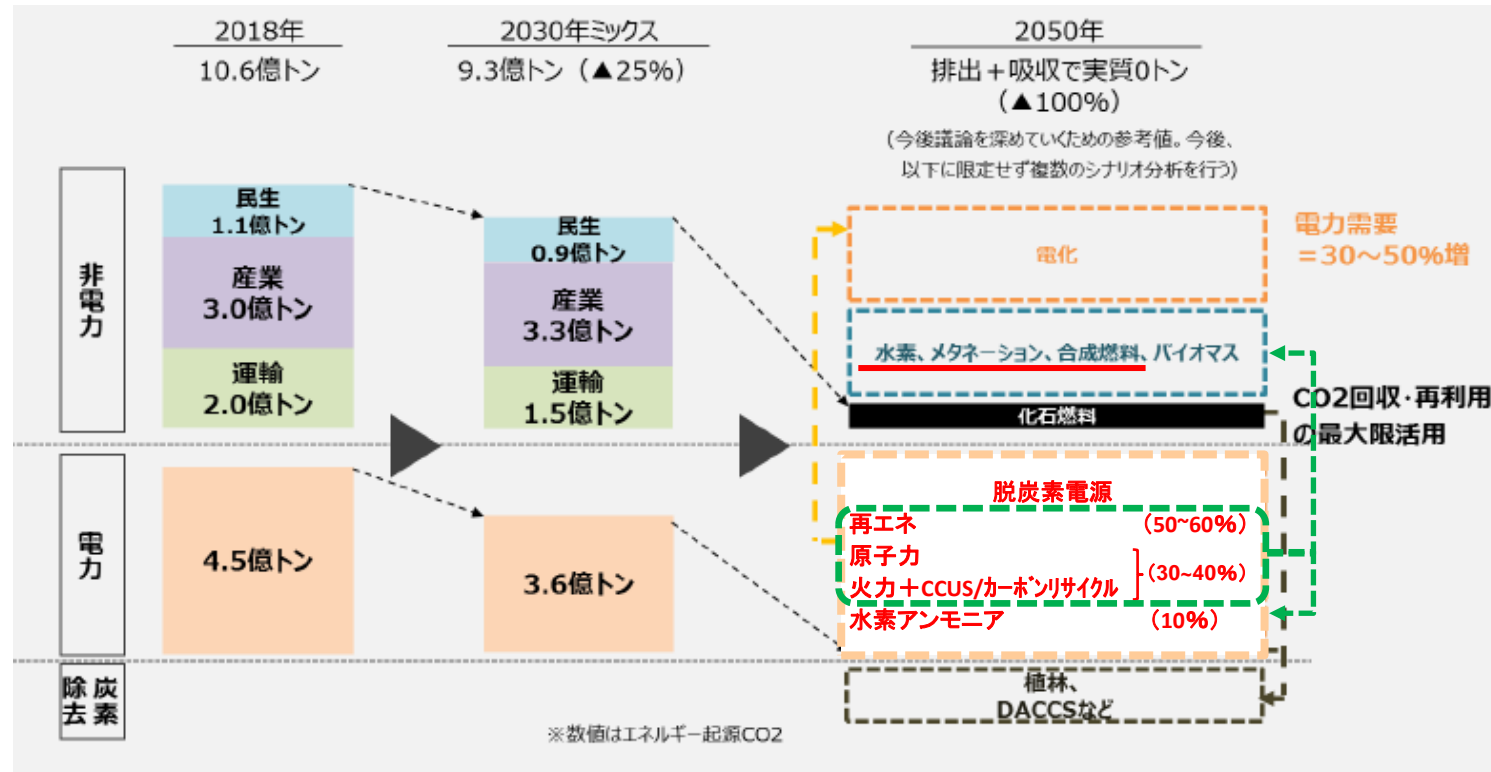
- ◆ グリーン成長戦略
- ◆ 第6次エネルギー基本計画

## 3. 電中研の研究構想と取り組み

- ◆ 水素研究構想
- ◆ 水素・アンモニアサプライチェーン関連
- ◆ 電解による水素製造技術関連
- ◆ 水素・アンモニア混焼技術関連
- ◆ その他

## 4. まとめ

# 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 におけるカーボンニュートラル実現のイメージ

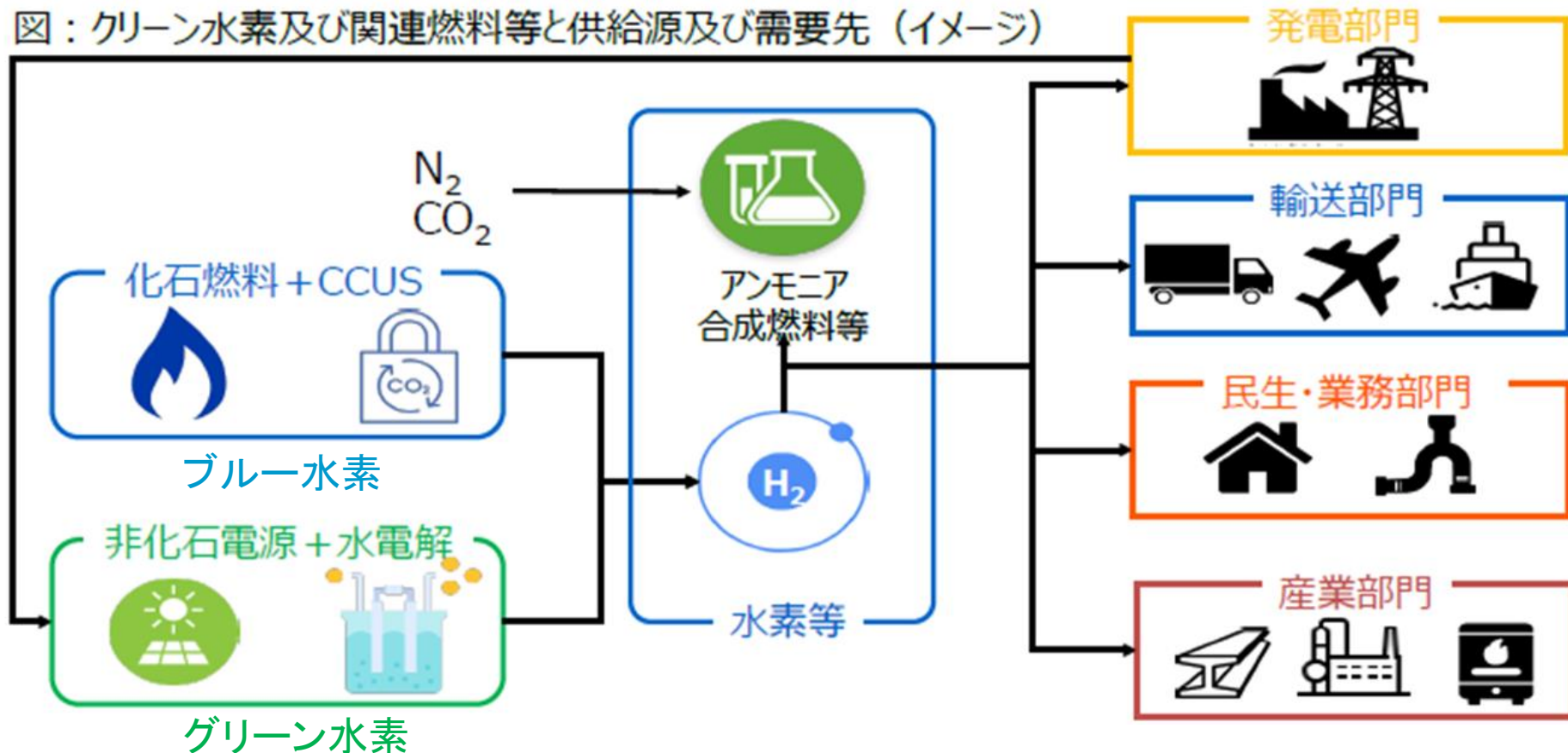


需要サイド（電化）、発電サイド（脱炭素電源）の両面において、水素の位置づけが示される



# CN実現を目指した水素活用イメージ

図：クリーン水素及び関連燃料等と供給源及び需要先（イメージ）



# 第6次エネルギー基本計画(1)

## 2030年に向けた政策対応のポイント【水素・アンモニア】

- ◆カーボンニュートラル時代を見据え、水素を新たな資源として位置付け、社会実装を加速
- ◆需要サイド（発電、運輸、産業、民生部門）における水素利用を拡大
- ◆大量の水素需要が見込める発電部門では、2030年までに、ガス火力への30%水素混焼や水素専焼、石炭火力への20%アンモニア混焼の導入・普及を目標に、混焼・専焼の実証の推進や非化石価値の適切な評価ができる環境整備を行う。また、2030年の電源構成において、水素・アンモニア1%を位置付け

# 第6次エネルギー基本計画(2)

## 水素コスト、供給量の目標

水素の供給コストを、化石燃料と同等程度の水準まで低減させ、供給量の引上げを目指す。

|            | 現在                   | 2030年                    | 2050年                       |
|------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 水素供給コスト    | 100円/Nm3<br>水素ST販売価格 | 30円/Nm3<br>※CIF価格        | 20円/Nm3以下                   |
| 水素発電コスト    | —                    | 17円/kWh                  | 12円/kWh                     |
| 水素供給量      | 約200万トン/年            | 最大300万トン/年               | 2,000万トン/年程度                |
| アンモニア需要    | —                    | 300万トン/年<br>(水素換算約50万トン) | 3,000万トン/年<br>(水素換算約500万トン) |
| アンモニア供給コスト | —                    | 10円代後半/Nm3<br>(熱量等価水素換算) | —                           |

出典:「エネルギー基本計画の概要」、資源エネルギー庁、2021年10月

# 発表内容

## 1. エネルギーシステムにおける水素の位置づけと利用の意義

- ◆ 各種エネルギー貯蔵技術の比較
- ◆ 水素製造・貯蔵・利用の意義

## 2. 我が国の水素政策の動向

- ◆ グリーン成長戦略
- ◆ 第6次エネルギー基本計画

## 3. 電中研の研究構想と取り組み

- ◆ 水素研究構想
- ◆ 水素・アンモニアサプライチェーン関連
- ◆ 電解による水素製造技術関連
- ◆ 水素・アンモニア混焼技術関連
- ◆ その他

## 4. まとめ

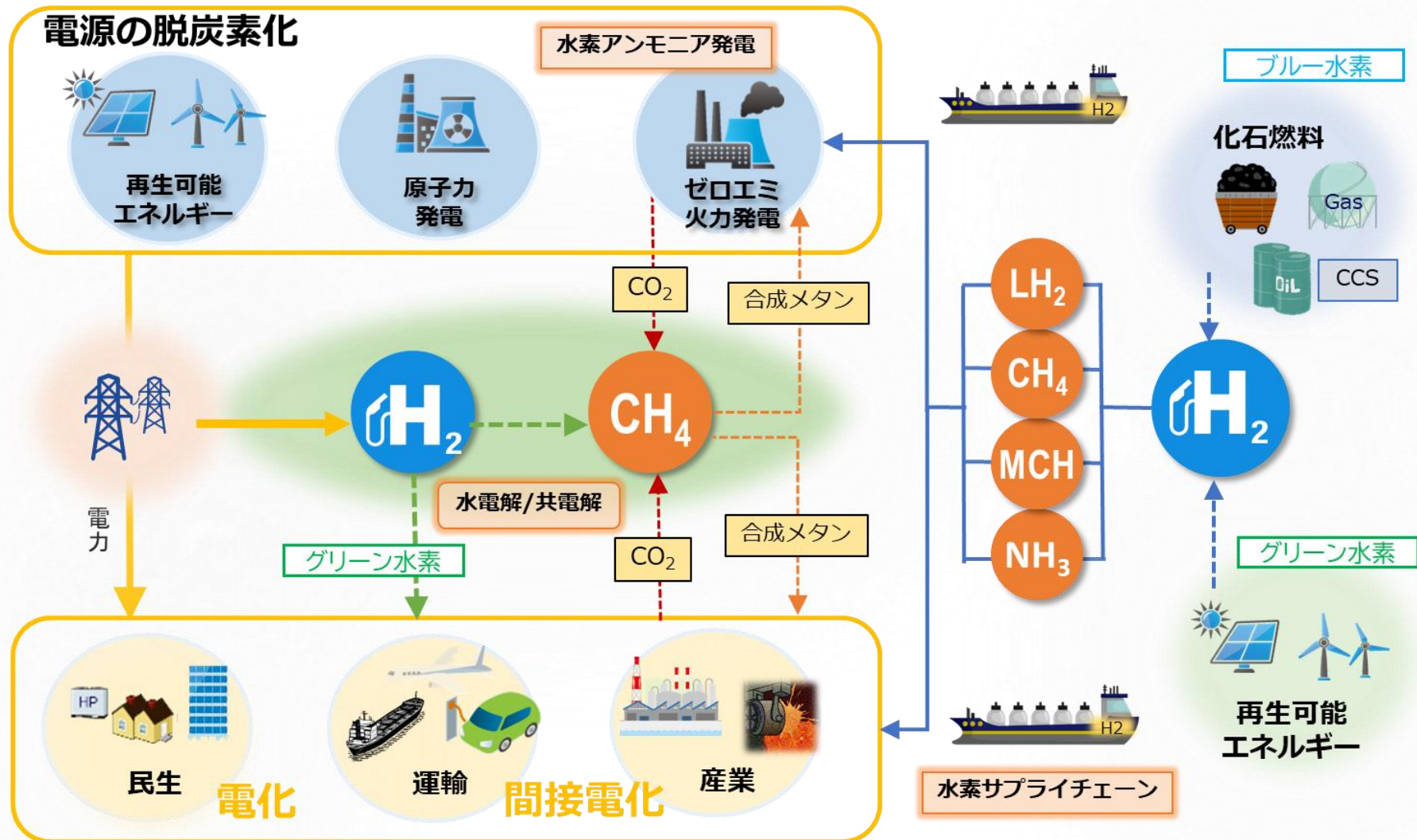
# 中期経営計画「7つの目標」における 水素の位置づけ



中期経営計画(2019/11)における7つの目標

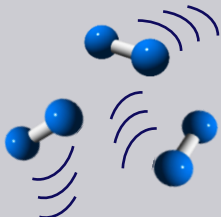
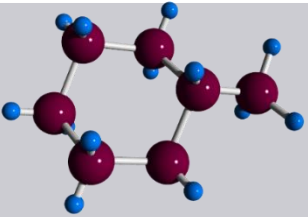
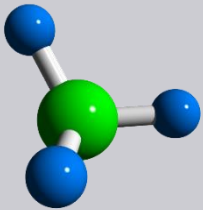
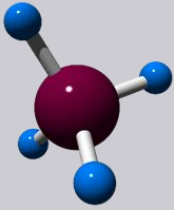
「水素」は7つの目標全てと密接に関係することから「戦略研究」として重点的に実施

# 水素利用社会の絵姿



# 水素・アンモニアサプライ チェーン関連

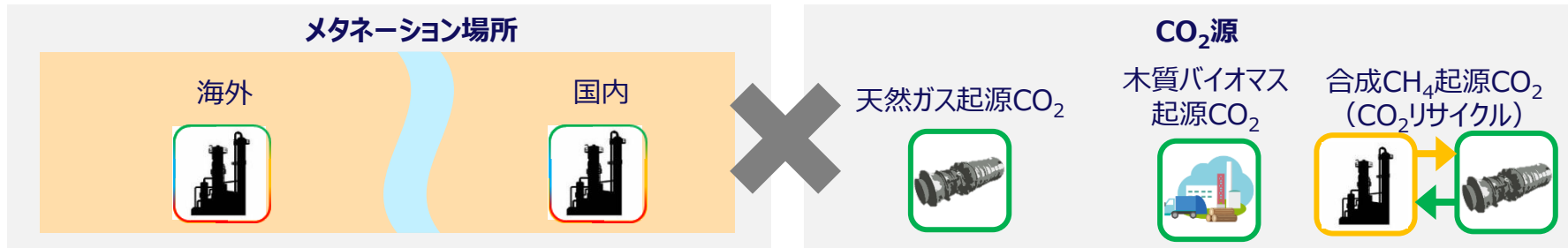
# 海外水素調達時の水素キャリア候補比較

|               | 液体水素  | MCH  | アンモニア   | メタネーション   |
|---------------|---|--|---|---|
|               |  |  |  |  |
| 体積(対常圧水素)     | 約1/800  | 約1/500   | 約1/1300   | 約1/600  |
| 液体となる条件、毒性    | -253°C、常圧<br>毒性無  | 常温常圧<br>トルエンは毒性有   | -33°C、常圧等<br>毒性、腐食性有  | -162°C、常圧<br>毒性無  |
| 直接利用の可否       | N.A.(化学特性変化無)   | 現状不可   | 可(石炭火力混焼等)  | 可(都市ガス代替)   |
| 高純度化のための追加設備  | 不要  | 必要   |   |   |
| 特性変化等のエネルギーロス | 現在:25-35%<br>将来:18%   | 現在:35-40%<br>将来:25%  | 水素化:7-18%<br>脱水素:20%以下  | 現在:-32%   |
| 既存インフラの活用可否   | 国際輸送は不可(要新設)。国内配送は可   | 可(ケミカルタンカー等)   | 可(ケミカルタンカー等)  | 可(LNGタンカー、都市ガス管等)   |
| 技術的課題等        | 大型海上輸送技術(大型液化器、運搬船等)の開発が必要  | エネルギーロスの更なる削減が必要   | 直接利用先拡大のための技術開発、脱水素設備の技術開発が必要   | 製造地における競争的な再エネ由来水素、CO <sub>2</sub> 供給が不可欠   |



# メタネーションCH<sub>4</sub>利用時の経済性および環境性評価

- 2050年を想定した技術諸元を基に、メタネーション場所およびCO<sub>2</sub>源の組合せによる6つの合成CH<sub>4</sub>サプライチェーンを評価
- 合成CH<sub>4</sub>起源のCO<sub>2</sub>をリサイクルし海外で合成CH<sub>4</sub>を製造するケースが経済性および事業成立性の観点から有用と考えられる。



|                               | 海外合成CH <sub>4</sub> (海外でメタネーション) |                          |                       | 国内合成CH <sub>4</sub> (国内でメタネーション) |                          |                       |
|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------|
|                               | 天然ガス起源CO <sub>2</sub>            | 木質バイオマス起源CO <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> リサイクル | 天然ガス起源CO <sub>2</sub>            | 木質バイオマス起源CO <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> リサイクル |
| (経済性) 発電コスト                   | ○                                | ○                        | ○                     | ×                                | ×                        | ×                     |
| (環境性) 直接CO <sub>2</sub> 排出原単位 | ×                                | ○                        | △                     | ×                                | ○                        | △                     |
| (事業成立性) CO <sub>2</sub> 調達量   | △                                | ×                        | ○                     | △                                | ×                        | ○                     |

環境性を向上させるためには、木質バイオマス起源のCO<sub>2</sub>の調達が必要である

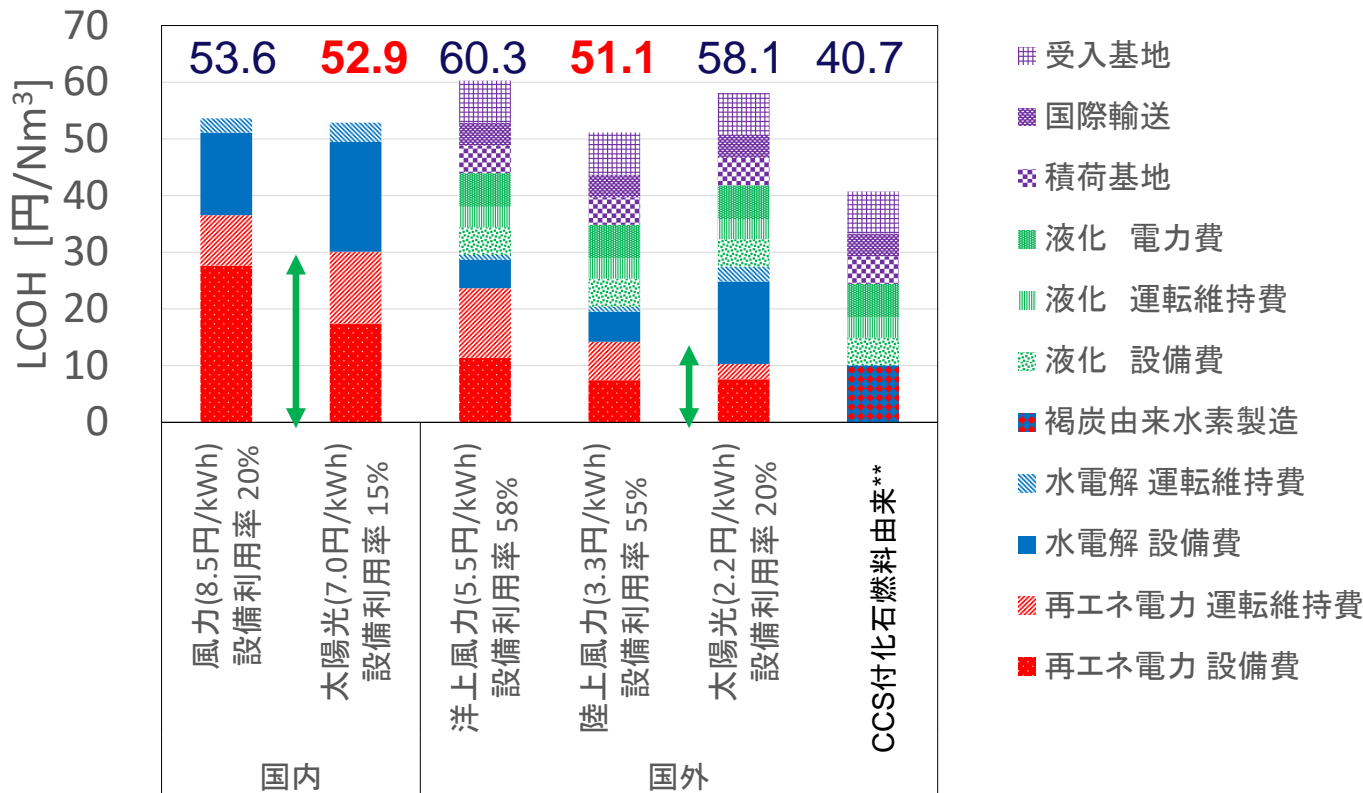
有用な合成CH<sub>4</sub>サプライチェーンと考えられる

液化水素輸送のため高価格

※想定ケース間の比較結果を良好な順に○△×と記載

# 国内/国外再エネ水素の比較

国内グリーン水素（風力、太陽光）は、国内再エネコストの半額程度の再エネに由来する海外（豪州を想定）グリーン水素に対して2030年時点で価格競争力がある。



- 【計算諸元】**
- ◆ 国内外の再エネ価格は最新目標値/予測値を採用 (国外はIRENA2030年の最も技術進展した場合)
  - ◆ 水電解諸元は国内のアルカリ形目標値を採用
  - ◆ 液化および積地貯蔵に要する電力価格および国際液化輸送船による輸送距離は、豪州を想定
  - ◆ 海外輸入水素の輸送手段は液化水素、国内は圧縮水素
  - ◆ 生産国および国内の配送は未考慮

# 電解による水素製造技術関連

# 各種電解技術の研究開発

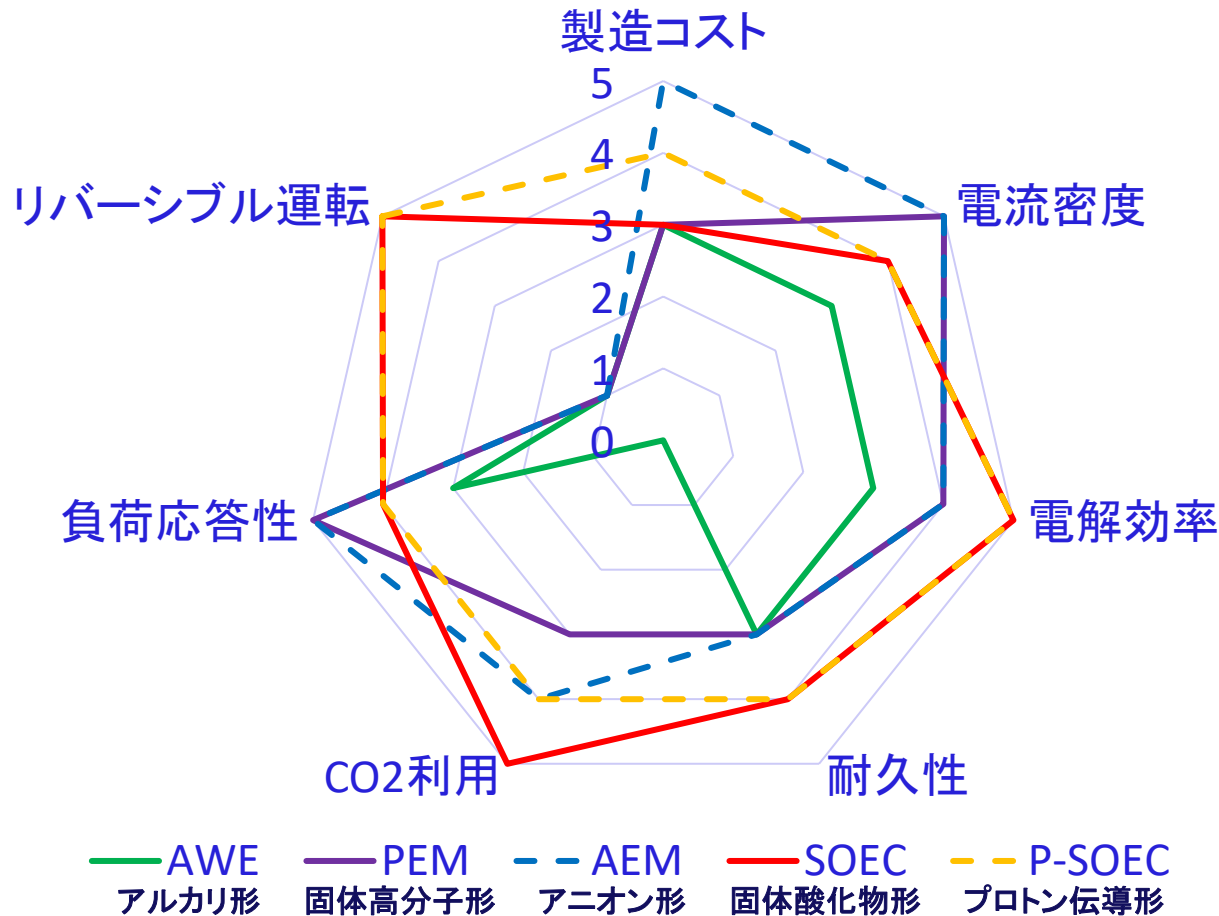


図 各種電解技術の特徴比較(イメージ)

当所は、アルカリ形、固体高分子形セルの基本性能、耐久性等の評価を行うとともに、発電とメタン/水素合成のリバーシブル運転が可能かつCO<sub>2</sub>利用が図れる固体酸化物形セルの開発を行っている。また、将来的なコスト削減を目指してアニオン交換膜形、プロトン伝導形セルの基礎研究に着手している。

注) AEM, P-SOECについては2050年までに実証されるであろう性能を記載。その他は実証済みもしくは2030年までに実証される性能を基に記載。

# アルカリ形/PEM形電解技術評価

電解技術について、性能、耐久性等の評価技術を確立し、システム全体の効率、経済性の評価を行う。

アルカリ形/PEM形電解装置の評価技術の確立

- ◆ 性能評価
- ◆ 耐久性(寿命)評価



アルカリ形水電解  
単セル評価装置の外観

<システム評価>

- ◆ 投入熱量などを含めたシステム全体効率
- ◆ 熱交換器など周辺設備容量最適化による低コスト化

<再エネ水素経済性評価>

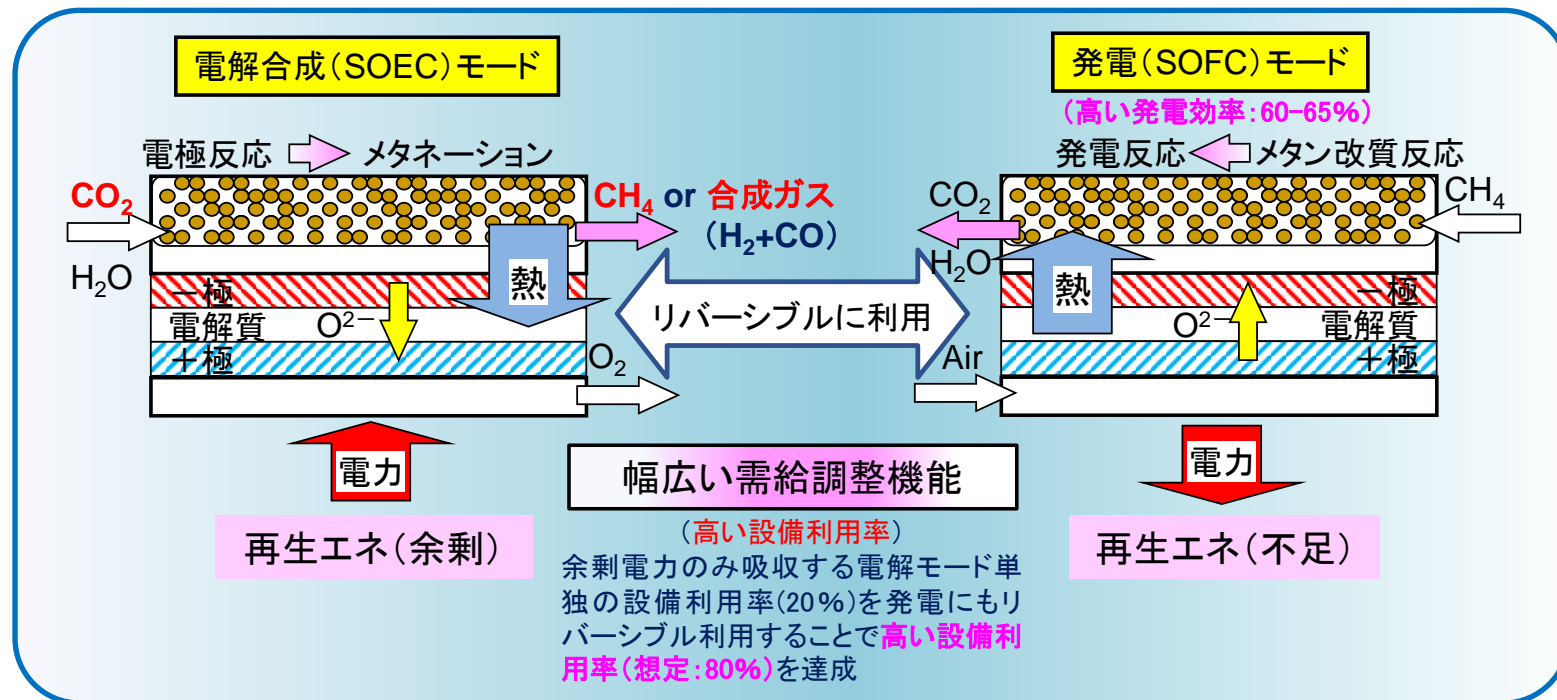
- ◆ (保守、部材交換を含めた)寿命からの経済性評価
- ◆ 周辺設備の寿命、保守

<最適運転法の提案>

- ◆ 劣化要因特定
- ◆ 運転条件からの劣化因子回避策

# リバーシブル固体電解質セルの開発

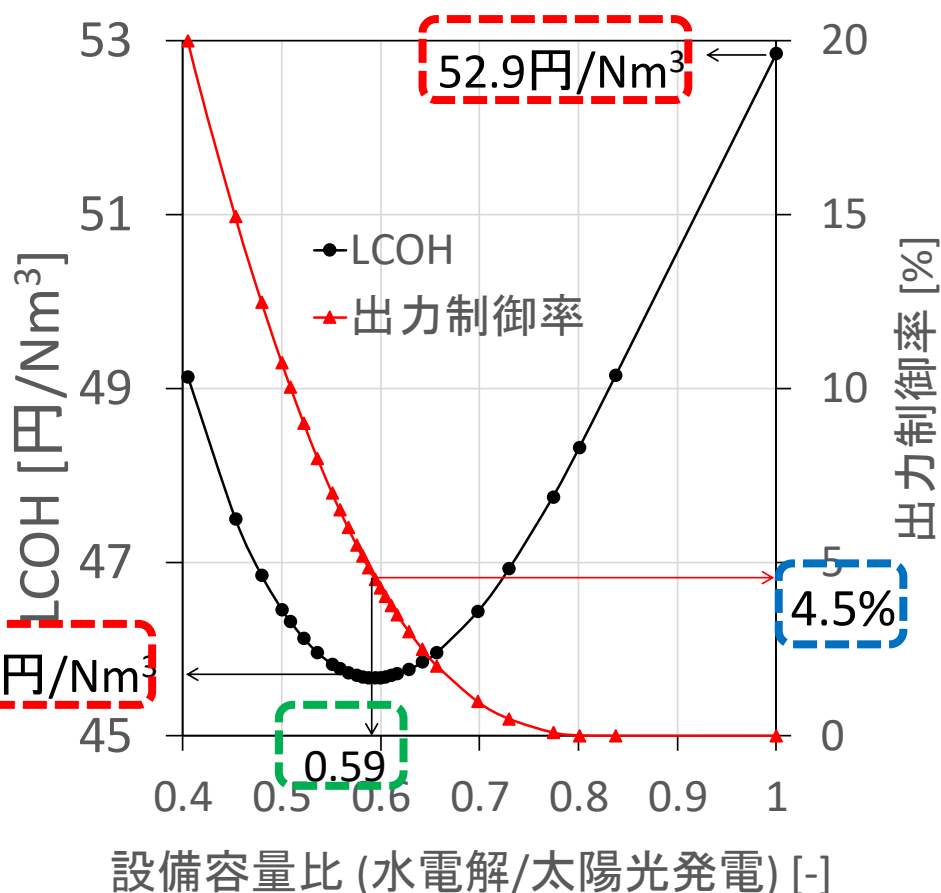
- (1)発電とメタン/水素を合成する**リバーシブル運転が可能**なため、**高い設備利用率**  
 (2)セルと改質部を一体化することで、発電時の発熱をメタンの分解に利用し、電解時に必要な熱をメタネーションによる発熱で供給するため**高効率運転が可能**



★低炭素化に向けた高効率エネルギー変換技術や水素利用技術の適用性検討に展開  
 一部、NEDOプロ「 $\text{CO}_2$ 電解リバーシブル固体酸化物セルの開発」(2020-2022)において、コア技術となるリバーシブル固体酸化物セルの基礎技術開発を推進中

# 水電解設備容量の最適化によるLCOH低減効果

出力制御に応じた最適な水電解設備容量を選択することにより水素製造コストを最小化することが可能となる



- 水電解装置の設置容量を約6割に抑えた場合、太陽光発電の出力制御により、制御した電力価格が発電価格に還元されるが、設備利用率の向上により、再エネ水素製造コストが最低価格となる。
- この場合約4.5%の出力制御率となり、水電解装置設備容量の削減効果が大きく、出力制御率なし(0%)に比べて7.2¥/Nm<sup>3</sup>程度LCOHが低減できると試算された。

- ◆ 国内2018年時点の太陽光価格目標値(7¥/kWh)を採用。
- ◆ 国内のアルカリ形水電解装置2030年目標値(5.2万円/kW)を採用。

# 水素発電技術関連



# 石炭火力におけるアンモニア混焼技術の開発(1)

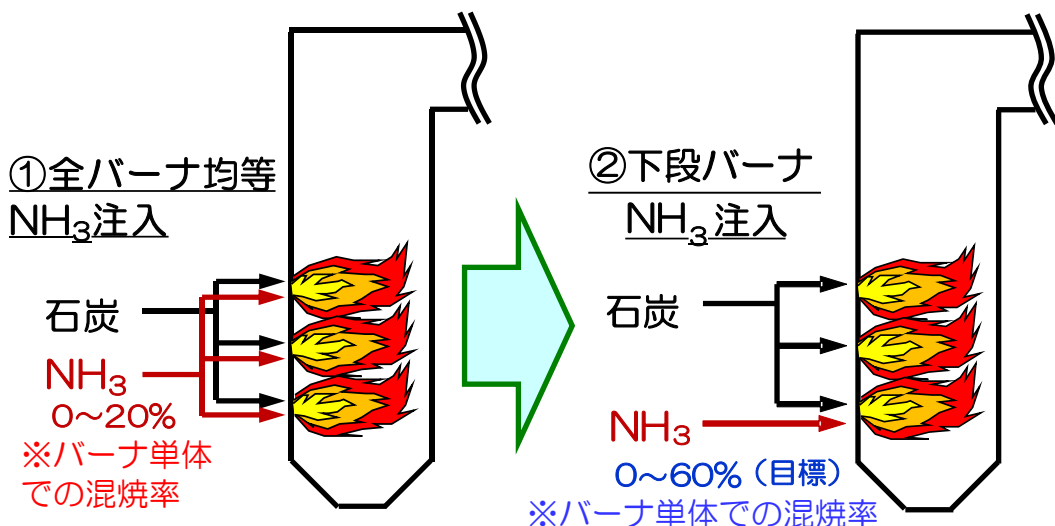
(2015～2018年度SIP、2019～2020NEDOプロ)

・2015～2018年度：戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)

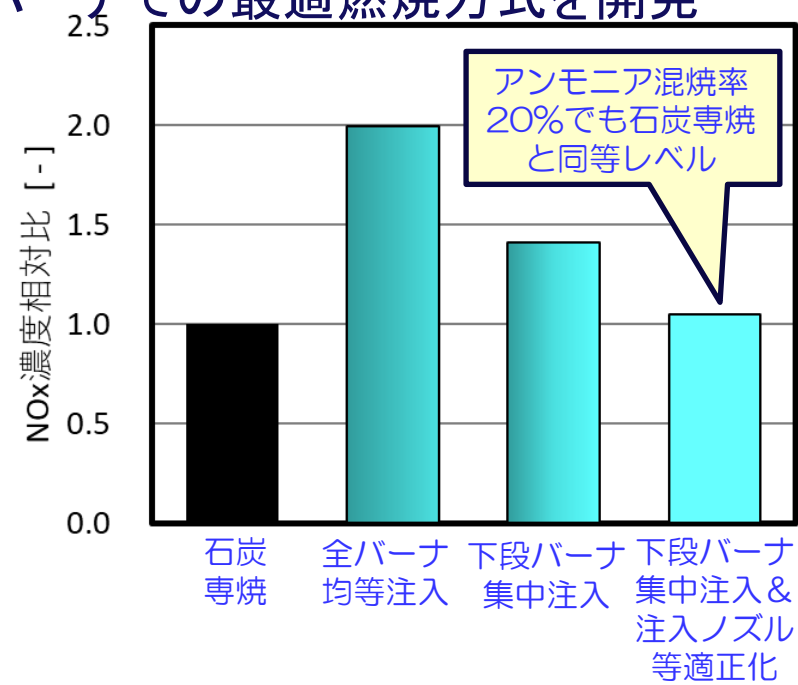
⇒石炭とアンモニアの混焼技術の開発に世界で初めて本格的に取り組み、  
アンモニア混焼時の燃焼特性を解明

・2019～2020年度：NEDO次世代火力発電技術推進事業

⇒実機ボイラでの適用を念頭においたマルチバーナでの最適燃焼方式を開発



一部のバーナへアンモニアを集中供給



アンモニア混焼率20%を目標とした燃焼技術は、実機適用への見通しが立った段階

# 石炭火力におけるアンモニア混焼技術の開発(2)

## (2021～2023年度、NEDOプロ)

- 2021～2023年度：NEDOアンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業「CO<sub>2</sub>フリー燃料アンモニアの火力発電所での利用に向けた研究開発」(電源開発、中外炉工業、大阪大学、産総研との共同実施)

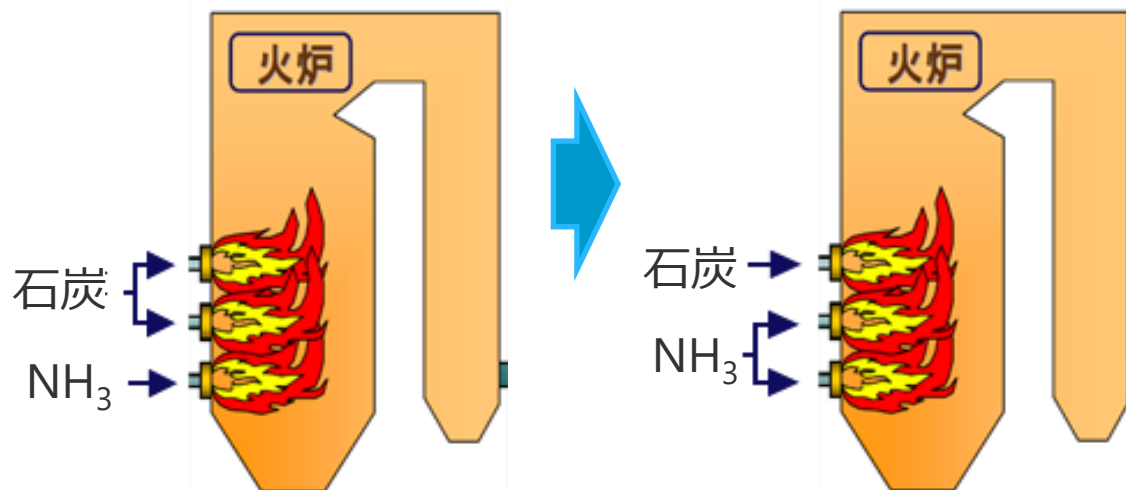
⇒工業炉向けアンモニアバーナを大容量化し、既設石炭火力でのアンモニア混焼率拡大に向けた技術開発を実施

アンモニア燃焼バーナ大型化

アンモニア最適燃焼方法検討(数値解析評価も実施)



100kW級⇒760kW級



アンモニア混焼率:33%

アンモニア混焼率:67%

本技術は、様々なボイラ形式に適用できる汎用性があり、混焼率も拡大可能

# その他 地域水素利活用モデル関連

# 地域水素利活用モデルの構築

カーボンニュートラルの実現には、電力と水素を上手に使い分けることが重要。地域において水素を地産地消する場合の経済的、環境的価値を明らかにし、効果的な水素導入のあり方を明らかにする。



# やまなし地産地消型グリーン水素製造・利活用トータルシステムの構築及び実現に向けたマスタープラン策定

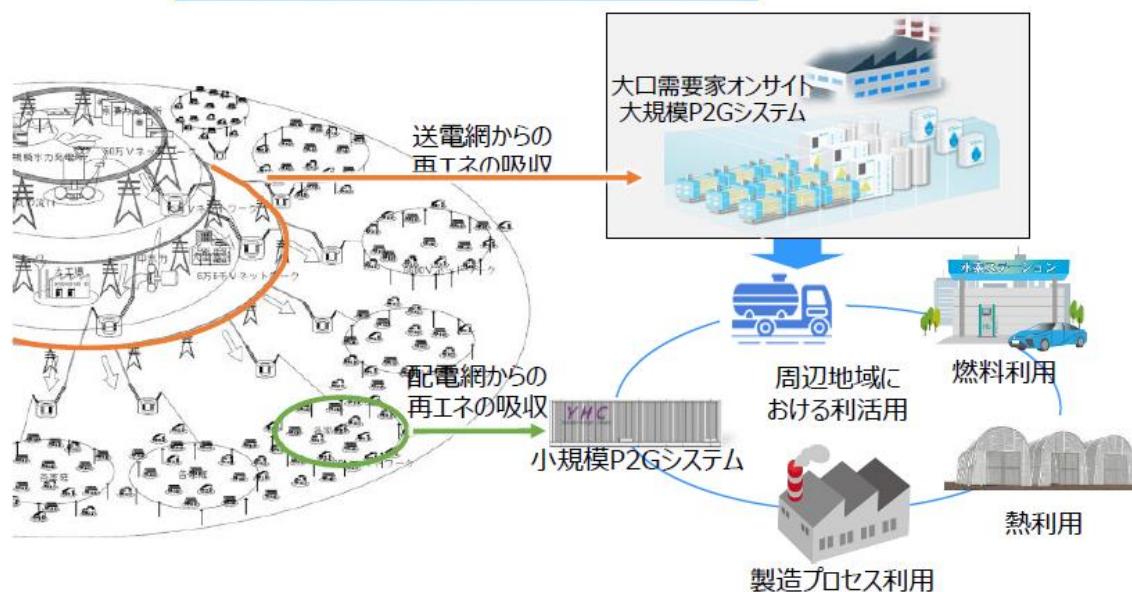
## 背景

- GI基金事業では、16MW級PEM型水電解装置を大口需要家オンサイトに設置し、熱需要の脱炭素化を推進
- 大規模な水電解装置は、地域における新たな水素供給基盤として、近隣での利活用も可能

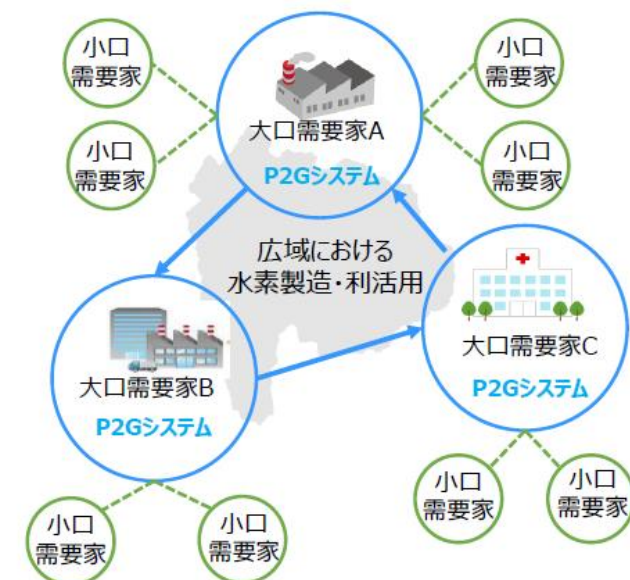
## 目的

- 大口需要家に設置する大規模P2Gシステムを活用し、比較的小規模な産業・業務部門の熱需要や原料利用など電化による脱炭素化が困難な分野を中心とした利活用を検討
- 地域等の再エネを余すことなく活用し、非電力部門を含めた地域の脱炭素化に貢献する社会実装モデルの構築

### 大口需要家周辺地域での水素利活用

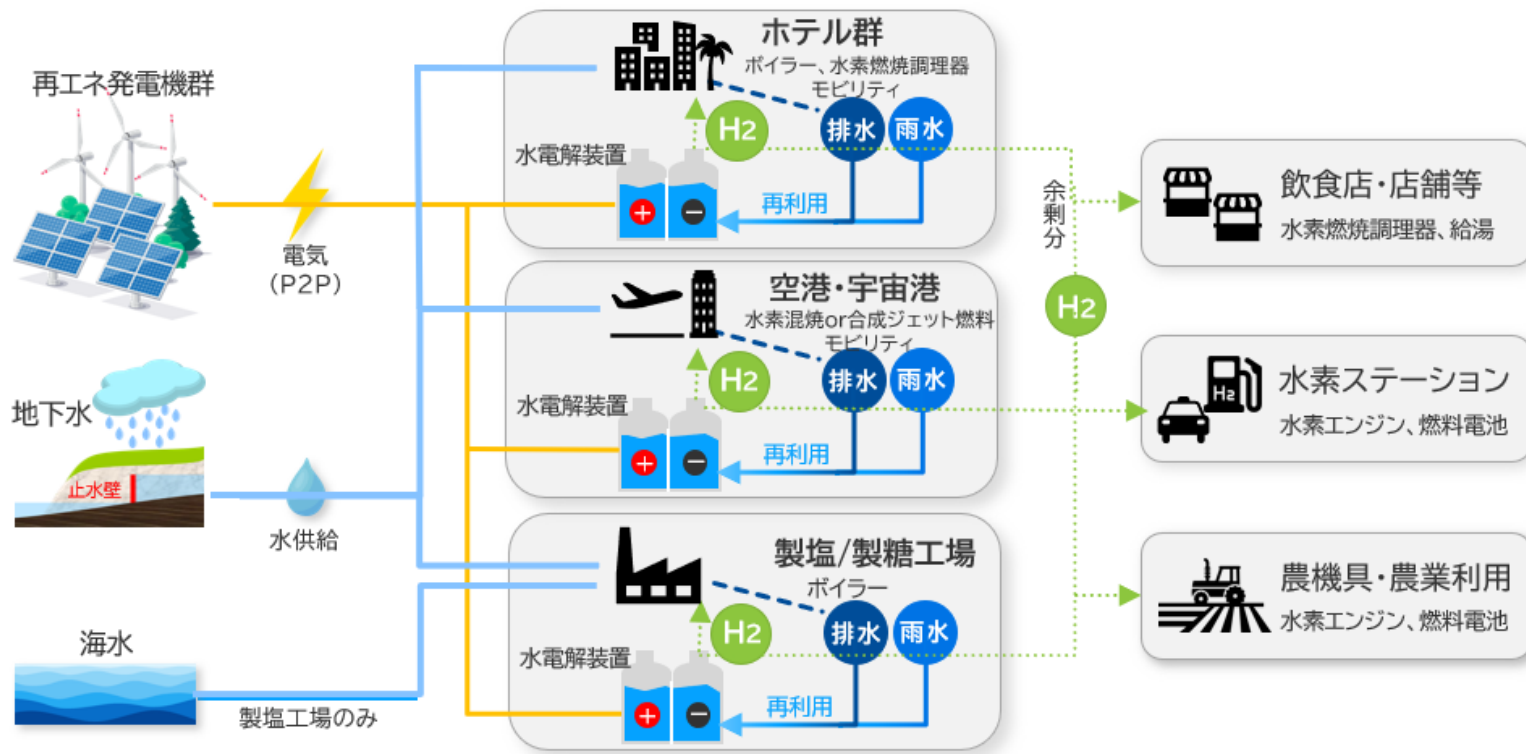


### 大口需要家を核とした広域での水素利活用



# 宮古島エリアにおけるグリーン水素・水循環利用社会（離島型水素製造・利活用モデル）構築に向けた実現可能性調査

再エネ導入と観光開発の進む宮古島を対象として、水資源の循環利用と再エネからの水素の製造および利活用による、地域振興促進が一体となった水素の地産地消モデルを構築し、実現可能性を調査する。



離島型水素地産地消モデルのイメージ

## まとめ

- ・カーボンニュートラルの実現に向け、水素の位置づけ、役割は確実に大きなものになっており、世界各国は、**戦略的な水素供給力確保、用途拡大、関連技術開発**へと一層注力していくものと予想される。
- ・我が国も気候変動対策としては、勿論、**エネルギーセキュリティの確保、国産技術競争力の維持・強化**に向け、水素の社会実装に一層取り組んでいく必要がある。
- ・当所は、**カーボンニュートラル社会の実現**にむけて、今後も**水素関連研究の取り組み**を強化していく所存である。