



水素社会実現に向けた動向と課題

－ CO₂フリー水素と無機膜の役割 －

岡崎 健

Ken OKAZAKI

東京工業大学 特命教授

科学技術創成研究院

グローバル水素エネルギー研究ユニット

未来を拓く無機膜 環境・エネルギーシンポジウム

RITE 地球環境産業技術研究機構

東京大学 伊藤謝恩ホール

2017年11月7日(火)



内 容

1. 水素社会実現に向けた課題

- ・地球環境問題、エネルギーセキュリティー
- ・量的寄与、エネルギー源の多様化、エネルギーベストミックス

2. 水素利活用の展開

- ・燃料電池自動車、一般家庭用コジェネ(エネファーム)の社会普及
- ・燃料電池以外の多様な大量水素利用技術への展開
(水素発電、変動電力平準化、エクセルギー増進)

3. METI CO₂フリー水素WG検討概要

- ・再生可能エネルギー由来CO₂フリー水素の導入促進
(地域の電力需要や送電系統空き容量を超える再エネ発電設備導入を可能とする仕組み)
- ・CO₂フリー水素の定義と環境価値認証制度設計に向けて

4. CO₂フリー水素サプライチェーンのグローバル展開

5. 要素技術としての無機膜への期待

(改質、ガス化、キャリア脱水素 等における反応促進と水素精製)

6. まとめ

安倍首相の施政方針演説

2017/1/20



首相官邸ホームページより

水素エネルギーは、エネルギー安全保障と温暖化対策の切り札です。これまでの規制改革により、ここ日本で、未来の水素社会がいよいよ幕を開けます。

3月、東京で、世界で初めて、大容量の燃料電池バスが運行を始めます。
・・・神戸で水素発電による世界初の電力供給が行われます。
・・・世界初の液化水素船による大量水素輸送にも挑戦します。
生産から輸送、消費まで、世界に先駆け、国際的な水素サプライチェーンを構築します。その目標の下に、各省庁にまたがる様々な規制をすべて洗い出し、改革を進めます。

4/11 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議にて水素の重要性を再度強調

『・・・生産から輸送、消費に至る国際的な水素サプライチェーンの構築を牽引するのは、大量かつ安定的な水素需要を生む水素発電です。サプライチェーンの構築と水素発電の本格導入に向けて、多様な関係者の連携の基礎となる共通シナリオを策定してください。・・・』

西村元彦、東工大グローバル水素コンソーシアム 第6回ワークショップ 2017 6/26

3



水素エネルギー利活用の意義

- 多様な一次エネルギーからの製造、あらゆる形態での輸送・貯蔵が可能な水素は、従来の二次エネルギー構造を大きく変革するポテンシャルを有する。
※「将来の二次エネルギーでは、電気、熱に加え水素が中心的役割を担うことが期待され」、「水素社会」の実現に向けた取組の加速が必要（「エネルギー基本計画」（2014年4月））。
- 多岐にわたる分野において水素の利活用を抜本的に拡大することで、①大幅な省エネルギー、②エネルギーセキュリティの向上、③環境負荷低減に大きく貢献できる可能性がある（3E+S）。

水素エネルギー利活用の意義

①省エネルギー

燃料電池の活用によって高いエネルギー効率が可能

②エネルギーセキュリティ

水素は、副生水素、原油随伴ガス、褐炭といった未利用エネルギーや、再エネを含む多様な一次エネルギー源から様々な方法で製造が可能であり、地政学的リスクの低い地域からの調達や再エネ活用によるエネルギー自給率向上につながる可能性

③環境負荷低減

水素は利用段階でCO₂を排出しない。さらに、水素の製造時にCCS（二酸化炭素回収・貯留技術）を組み合わせ、又は再エネを活用することで、トータルでのCO₂フリー化が可能

④産業振興

日本の燃料電池分野の特許出願件数は世界一位である等、日本が強い競争力を持つ分野

水素エネルギー利活用の形態



資源エネルギー庁 新エネルギーシステム課 山澄克、東工大水素シンポ 2016.10.5



水素社会実現に向けた課題

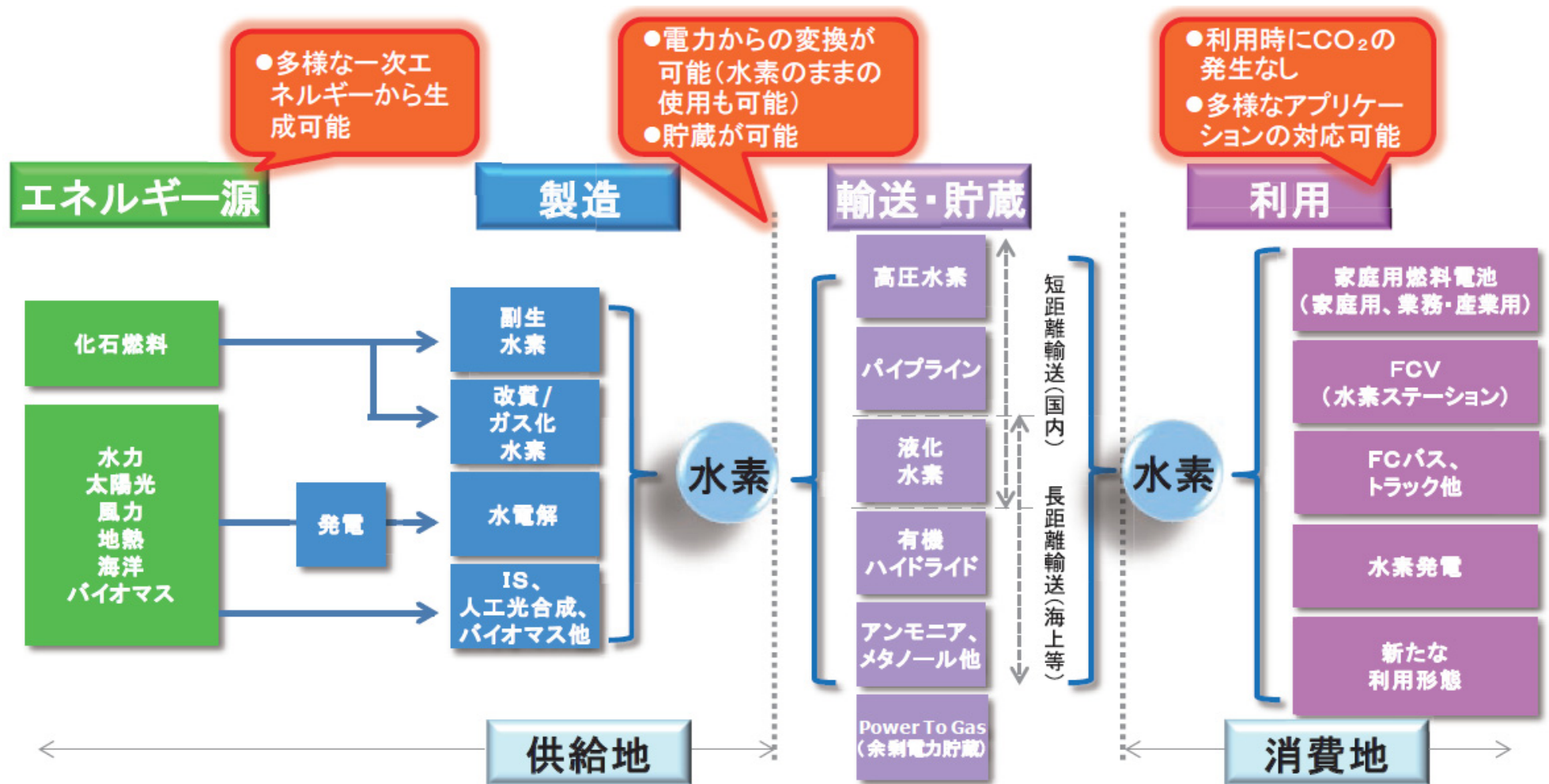
1. 水素社会とは？

- ・小規模水素利用が拡大し、産業基盤をも支えるエネルギーとして、**エネルギー消費全体の20%程度以上**が二次エネルギーとしての水素を利用する社会
- ・エネルギーセキュリティーと地球環境保全に対する十分な**量的寄与**

2. 水素社会実現のためのキーワード

- ・個別技術の成熟（開発→実証→商用化→用途拡大、安全対策）
- ・社会からの認知、許容（社会システムの中での水素の役割の明確化、**多様な付加価値**）
- ・需要の飛躍的拡大
 - FCV+水素ステーション、エネファームのユーザーの飛躍的拡大
 - 水素発電**（水素タービン、ガスエンジン、水素ボイラ（混焼を含む））
- ・需要に応える大量水素のサプライチェーン構築
 - 国内の再生可能エネルギー起源CO₂フリー水素、P2G**
（変動平滑化、過大発電分エネルギー貯蔵、コスト高対策、**アンシラリーサービス**）
（**事業者の自主参加**を促す制度上の仕組み、グリーン証書、グリーンボンド・・・）
 - 海外の未利用エネルギー起源CO₂フリー水素**（水素キャリアの正しい選択、棲み分け）
- ・適切な導入中間シナリオ（一挙に大量導入不可能、小規模の普及・拡大）
- ・水素固有の特徴を活用した水素利用技術（水素・酸素燃焼タービン、エクセルギー増進）
- ・エネルギー源のベストミックス（水素源としての**石炭の活用**の拡大）
- ・全体システムを統括するリーダー（**産官学の有機的連携**、**ハード含むトータルシステム**）
- ・国際連携、枠組み（ガラパゴス化しないように）

水素エネルギーシステム バリューチェーン



水素エネルギーシステムの概要と水素の特徴

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2015)

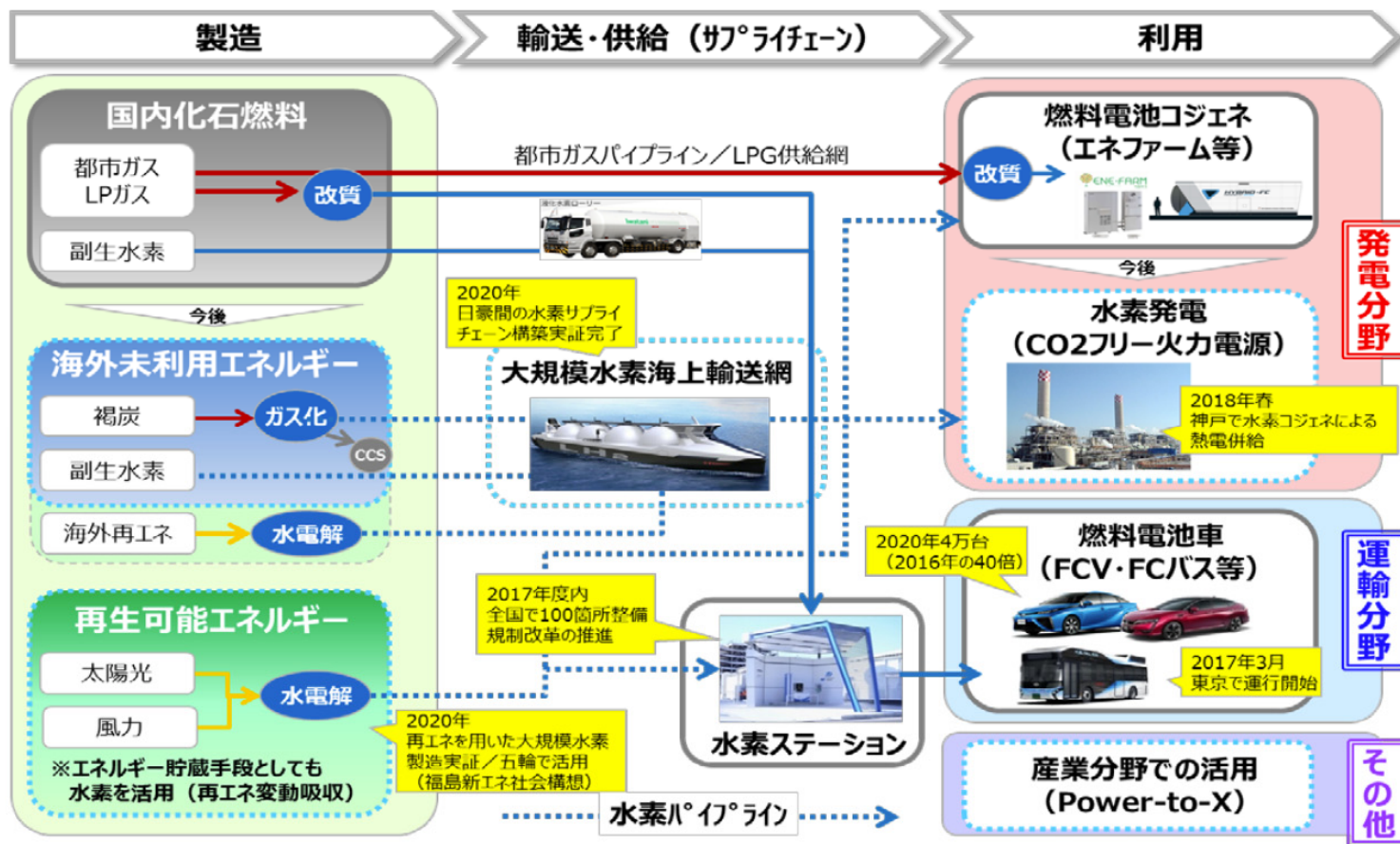
NEDO水素技術戦略 (2015.10)



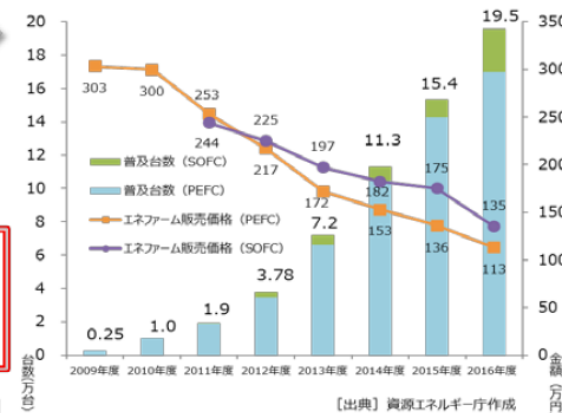
経済と環境の両立：水素社会の実現に向けた取組の方向性

- 水素は、エネルギー安全保障と地球温暖化対策の切り札。
- 水素社会の実現に向け、以下の3つのフェーズの取組を進める。(ロードマップ改定、2016.3)

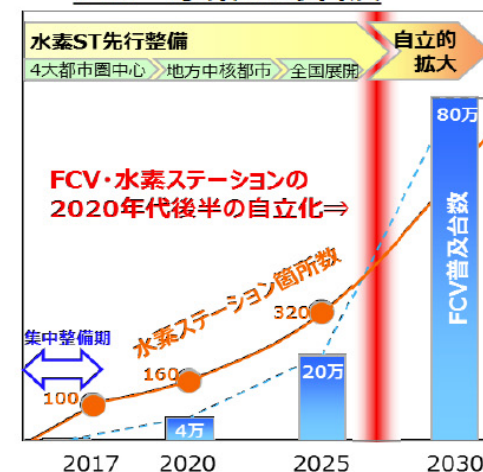
フェーズ1:FCV・水素ステーション、エネファーム等の利用拡大 (現在～)
 フェーズ2:水素発電の本格導入／大規模な水素供給システムの確立 (2030年頃)
 フェーズ3:トータルでのCO2フリー水素供給システムの確立 (2040年頃)



エネファームの普及



FCV・水素STの普及



現状を踏まえて今後特に検討を進めるべき項目

(2017年3月10日第8回水素・燃料電池戦略協議会)

- 水素・燃料電池ロードマップの進捗状況を踏まえ、足元で重点的に検討すべき項目を設定し、水素社会実現に向けた取組を更に加速する。

特に検討を進めるべき項目

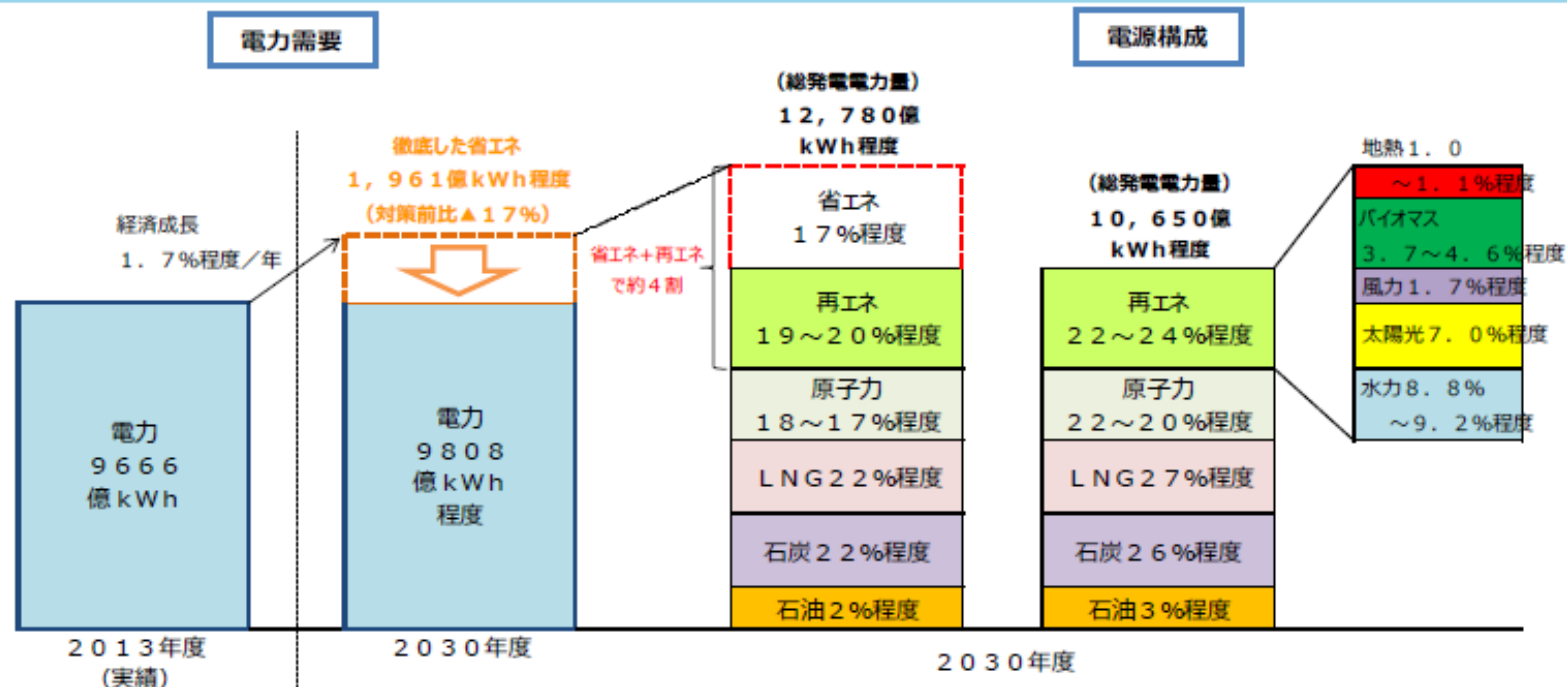
フェーズ 1	エネファーム <ul style="list-style-type: none">➢ 機器価格の低減及びマーケットの更なる拡大
	FCV／水素ST <ul style="list-style-type: none">➢ 現状においても購買需要を満足できていないFCVの販売拡大とボリュームゾーン向けFCVの投入に向けた計画の検討➢ 水素STの自立化に向けた整備費・運営費低減のための規制見直しの推進➢ 水素STの戦略的配置及び整備促進を目指した新たな枠組みの構築
フェーズ 2	水素発電 <ul style="list-style-type: none">➢ 2030年以降の水素発電の本格的導入に向けた戦略的シナリオ➢ その際必要となる商用水素サプライチェーン関連実証事業の着実な推進
フェーズ 3	CO2フリー水素 <ul style="list-style-type: none">➢ CO2フリー水素の利活用を促進する制度等に関する検討➢ Power-to-gasに関する実証事業の推進

資源エネルギー庁 新エネルギーシステム課 山影雅良、東工大水素シンポ 2017.10.16

8

再生可能エネルギーを取り巻く状況

- 「長期エネルギー需給見通し」（2015年7月）では、2030年度における再生可能エネルギー比率を22～24%と見込んでいる。



【2030年における導入見込量】

	総発電電力量 (億 kWh)	発電電力量 (億 kWh)	導入量 (万 kW)		
再エネ	2,366～2,515			自然変動電源	
		水力	939～981		4,847～4,931
		太陽光	749		6,400
		風力	182		1,000
		バイオマス	394～490		602～728
		地熱	102～113	140～155	

【出典】長期エネルギー需給見通し/小委

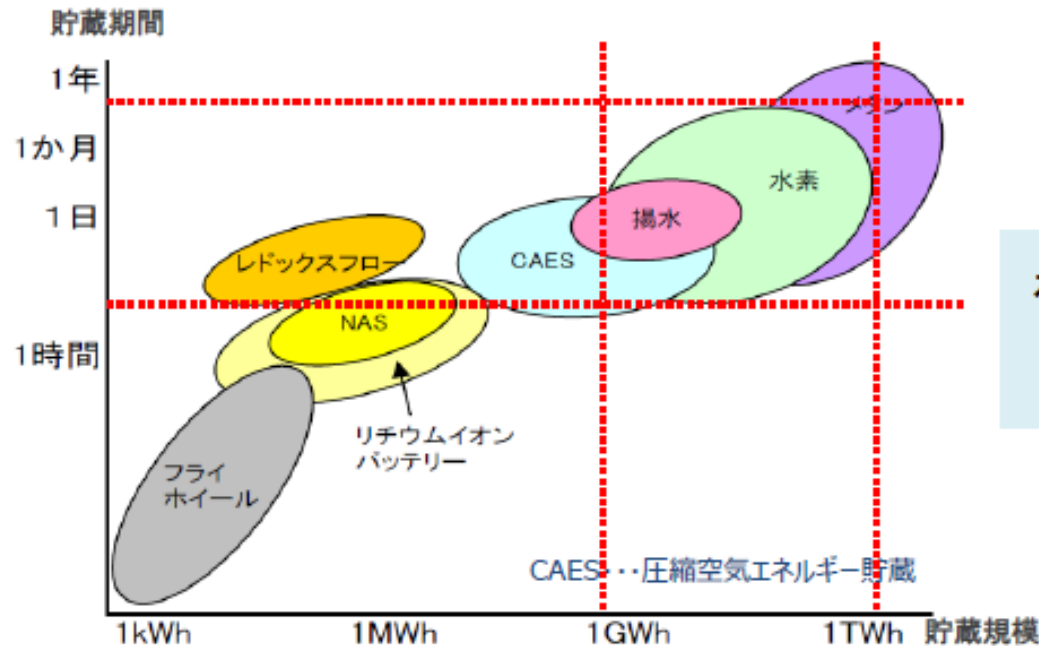
資源エネルギー庁 新エネルギーシステム課 CO2フリー水素WG 第2回資料 2016.6.22



P2G技術の特徴

- 水電解＋水素タンクの複合システムは、競合する蓄電池技術との比較優位の観点では、時間経過によるロスが少なく、水素タンクなどの拡張性が高いなどの理由から、現在、大規模かつ長期間の蓄エネ領域における適用可能性が高いと見られている。
- 今後我が国において再生可能エネルギーの導入が拡大していく中で、系統連系等の問題への対応策の有望なアイテムの一つになりうると期待される。

各種電力貯蔵技術の位置づけ



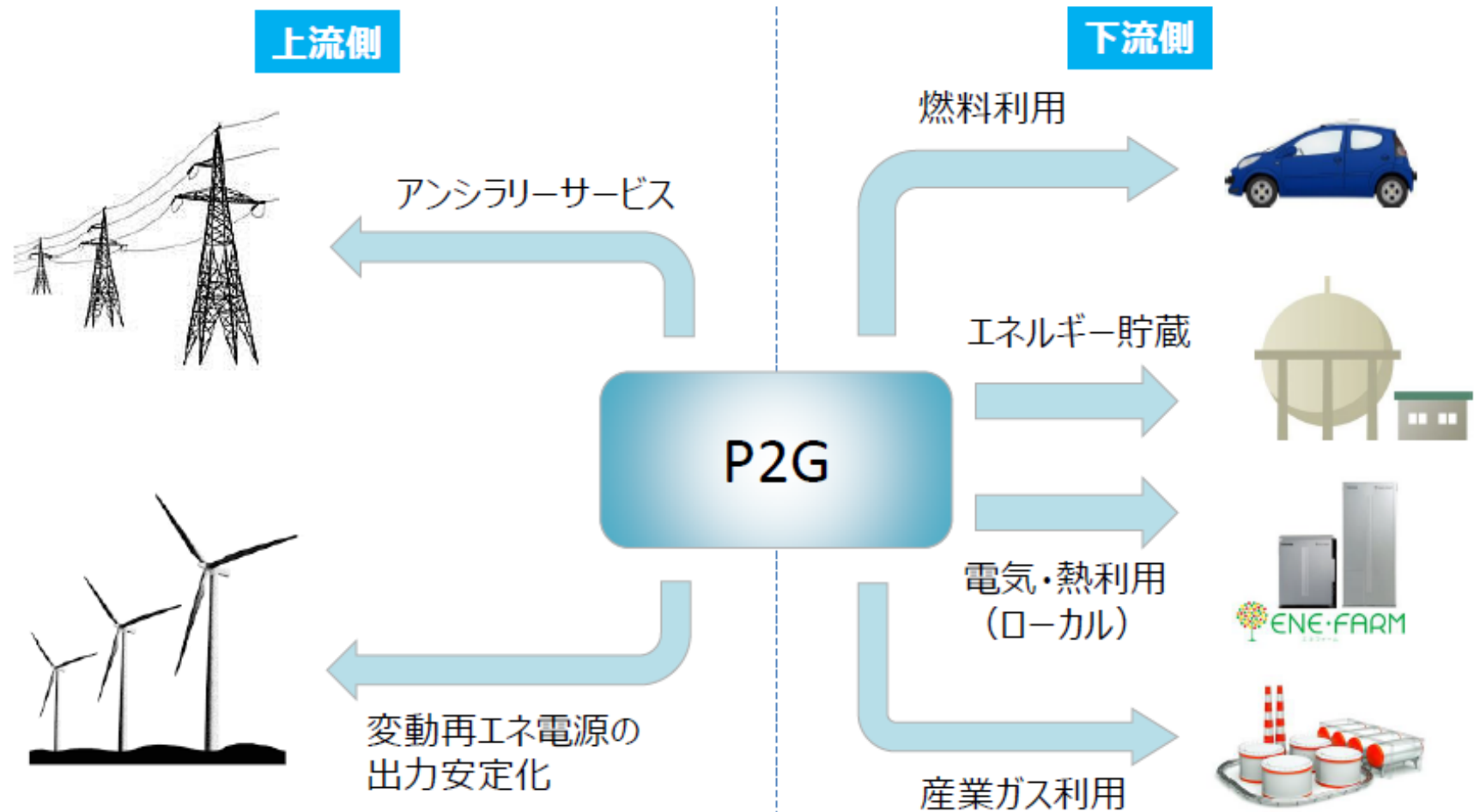
水素 (P2G) によるエネルギー貯蔵の特徴

- ・大規模かつ長期のエネルギー貯蔵で有利
- ・地形や地質など、環境条件による影響小

[出典] " Energieträger der Zukunft – Potenziale der Wasserstofftechnologie in Baden-Württemberg (ZSW,2012)"を基に資源エネルギー庁作成

Power-to-gasの付加価値創出の源泉

- P2Gの付加価値は、大別すると、P2Gの上流（アンシラリーサービスの提供）と下流（CO2フリーガスの供給）において創出される。



資源エネルギー庁 新エネルギーシステム課 CO2フリー水素WG 第3回資料 2016.8.9



フェーズ1：水素利用の飛躍的拡大（現在～）

1. 定置用燃料電池（エネファーム／業務・産業用燃料電池）

- ✓ エネファームの将来的な目標価格を明確化 ⇒ 2020年頃に自立的普及
 - PEFC（固体高分子形燃料電池）型：2019年までに**80万円**
 - SOFC（固体酸化物形燃料電池）型：2021年までに**100万円**

2. 燃料電池自動車（FCV）

- ✓ 普及台数目標を明示
 - **2020年までに4万台程度、2025年までに20万台程度、2030年までに80万台程度**
- ✓ 2025年頃に、より多くのユーザーに訴求するため、ボリュームゾーン向けの燃料電池自動車の投入を目指す。

3. 水素ステーション

- ✓ 整備目標を明示・自立化目標を明示
 - **2020年度までに160箇所程度、2025年度までに320箇所程度**
※2030年時点のFCV普及台数目標に対し、標準的な水素供給能力を持つ水素ステーション換算で900基程度が必要。
 - **2020年代後半までに水素ステーション事業の自立化を目指す。**
それ以降はFCVの普及に対応して十分なステーションを整備。

フェーズ2：水素発電の本格導入等（2020年代後半に実現）

4. 水素発電

- ✓ 昨年度とりまとめた水素発電検討会の報告書を反映し、記載を具体化。

フェーズ3：CO2フリー水素供給システムの確立（2040年頃に実現）

5. 再生可能エネルギー由来水素の利活用

- ✓ 導入に関する技術面・経済面の具体的課題についてWGを立ち上げ検討を行い、2016年度中に結論を得る旨を記載。
- ✓ 改革2020プロジェクトや福島新エネ社会構想といった先進的取組の推進について記載。

第8回水素・燃料電池戦略協議会
事務局提出資料

CO2フリー水素ワーキンググループ
報告書概要

平成29年3月10日



経済産業省

【I章】水素・燃料電池戦略ロードマップでの位置づけ

／WGの設置趣旨

【II章】再生可能エネルギー普及拡大への対応

【III章】水素サプライチェーンの低炭素化

【IV章】海外からのCO2フリー水素の調達

【V章】CO2フリー水素の利活用拡大に向けた取組の方向性

【VI章】今後の課題と取組の方向性

【I章】水素・燃料電池戦略ロードマップでの位置づけ及びWGの設置趣旨

CO2フリー水素の位置づけ

- 水素・燃料電池戦略ロードマップでは、フェーズ3として、CO2の排出が少ない水素供給構造を実現していくこととしている。現段階では、国内では化石燃料由来の水素が主に用いられており、水素の製造段階でCO2が発生するため、将来的には、CCS等を組み合わせることや、再生可能エネルギーを活用して水素製造することで、よりCO2の排出が少ない水素供給構造を実現していくことが求められる。

現状と課題

- 一方、エネルギーミックスにおいては、2030年度の電源構成比で再生可能エネルギーが22～24%を占めるとされているが、近年の再生可能エネルギーの急速な導入拡大に伴い、導入が集中しがちな地方での系統の空き容量不足や、火力電源等の調整力不足といった課題が顕在化している。

課題解決の方向性

- 国内外において、電気エネルギーを大規模かつ長期的に貯蔵可能な「水素」が注目されており、今後、Power-to-gas技術の低コスト化・高効率化・耐久性向上・大規模化等の進歩により、電力系統の安定化対策や再生可能エネルギー導入拡大に貢献できる可能性がある。

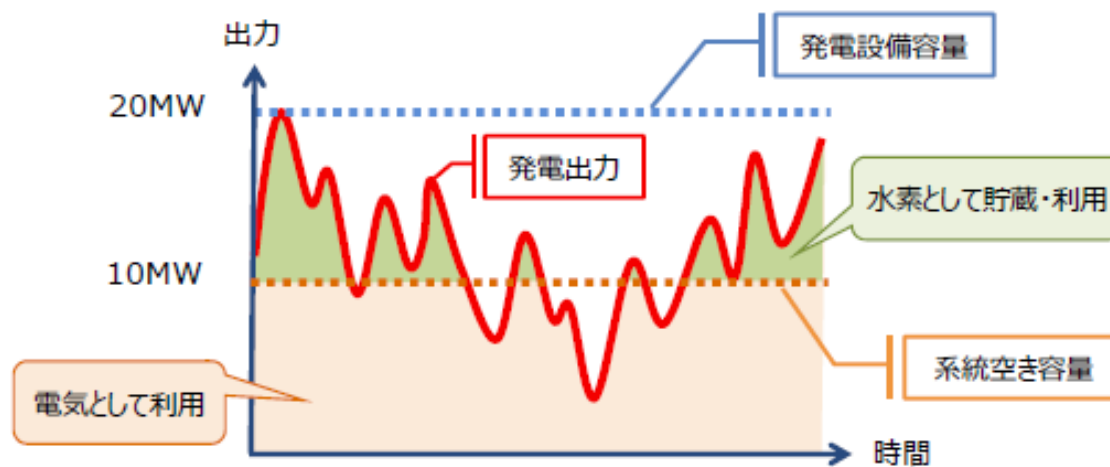
検討趣旨

- 上記のような目下の社会課題への対処にPower-to-gas技術を応用しつつ、将来のCO2フリー水素の利活用拡大に向けた足がかりとしていくため、現状の課題等を整理するとともに、産学官における今後の対応の方向性について検討を重ね、報告書として取りまとめた。

【Ⅱ章】余剰電力の考え方

- 「余剰電力※」とは、送電線・変電所の空き容量不足や、調整力不足に伴う出力制御指令による発電制限等により、本来の発電ポテンシャルを発揮できていない未利用のエネルギーと言える。
- 再生可能エネルギーの導入拡大に伴い、局所的なシステムの容量不足や、システム全体の調整力不足などの問題が生じているが、将来的にPower-to-gas技術が社会実装可能な状況となれば、余剰電力を水素として利用することにより、上記の課題を解決し、再生可能エネルギーの利用量拡大の一助になると考えられる。
- 現状、電気としての利用を前提として再生可能エネルギー発電設備の規模に応じた系統対策が実施されているが、Power-to-gas技術の実装段階には、水素としての利用を前提として、系統の空き容量を超える発電設備の導入を許容する仕組みを検討すべきではないか。

系統空き容量を超える発電設備の導入イメージ



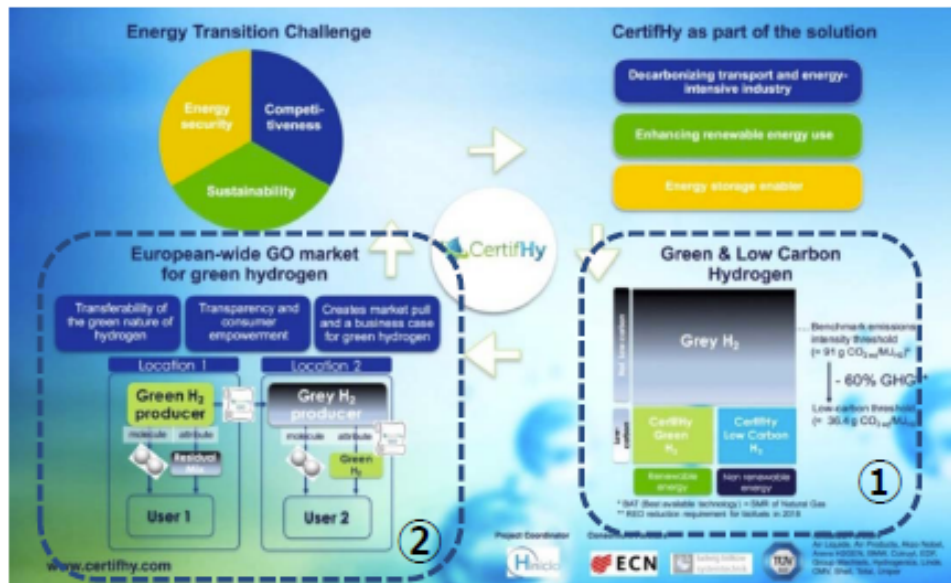
[出典] 資源エネルギー庁作成

- ✓ 系統の空き容量が10MWの場合に、20MWの発電設備と10MW分の発電容量を吸収可能なPower-to-gas設備を導入するケース。
- ✓ 10MW以上の発電が行われた場合には系統に流さず、水素としてエネルギー貯蔵を行う。

※本書において記載する「余剰電力」とは、「未活用である電力」を指し、FITの10kW未満の太陽光発電に係る「余剰電力（余剰売電）」とは異なる。

【V章】環境価値取引推進に向けた取組

- 水素は利用段階ではCO2を排出しないが、製造や輸送の段階まで含めたライフサイクルで見た場合、必ずしもトータルでCO2フリーとは言えないため、ライフサイクルでのCO2排出量にも着目した評価が必要と考えられる。
- 「CO2フリー水素」という呼称は環境価値の高い水素を指すことが想定されるが、日本での統一的な考え方や、CO2排出量に係る算定方法はまだ存在しない。したがって、水素のCO2排出量の評価に当たりどのような境界条件を設定し、CO2フリー水素と呼ぶか、その定義が問題となる。
- 欧州では、“CertifHy Project”により、環境価値の高い水素についての議論が行われ、定義に関する整理が既になされたことを踏まえ、日本でも、水素の環境価値を顕在化し、円滑に取引がなされるよう、CO2フリー水素の定義について、官民での検討を進めるべきではないか。



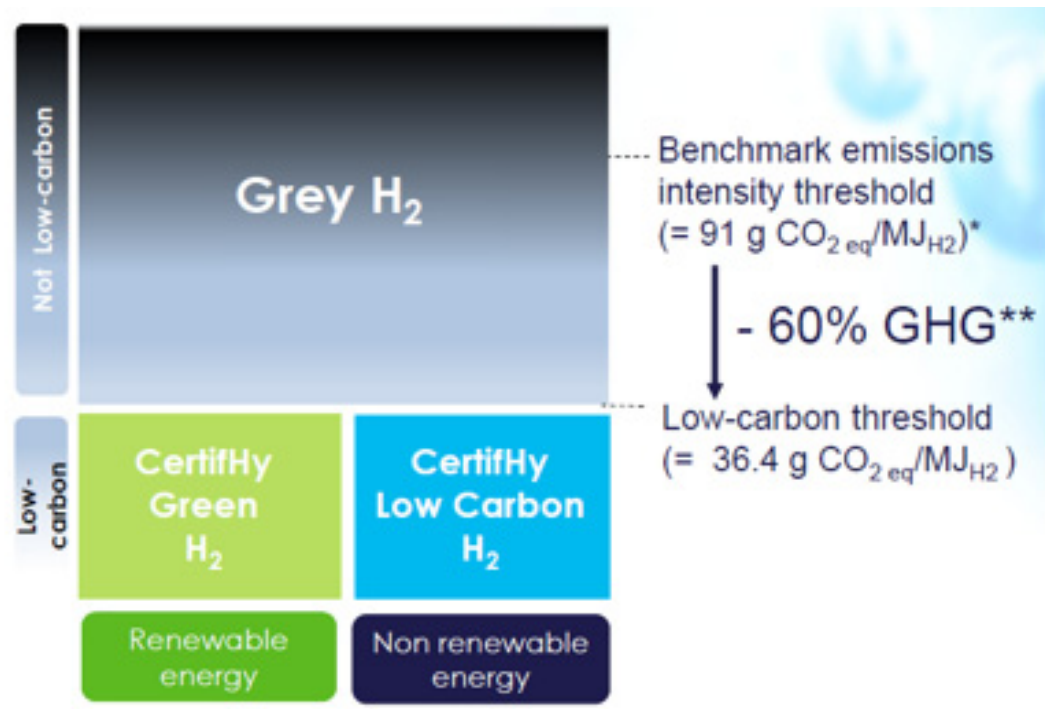
[出典] FCHJU webサイトより

① “Green & Low Carbon Hydrogen”の定義

- ✓ 欧州においては、環境価値の高い水素の認証を行うスキームを検討するに当たり、水素製造に係るCO2排出量について、一定の閾値（ $36.4\text{g}_{\text{CO}_2}/\text{MJ}_{\text{H}_2}$ ）を下回った水素を“Premium Hydrogen”として定義した。
- ✓ なお、この算定に当たっては水素の輸送や各々のプロセスにおいて使用される機器製造に係るCO2排出量までは評価されていない。

② 証書取引に係るスキーム検討

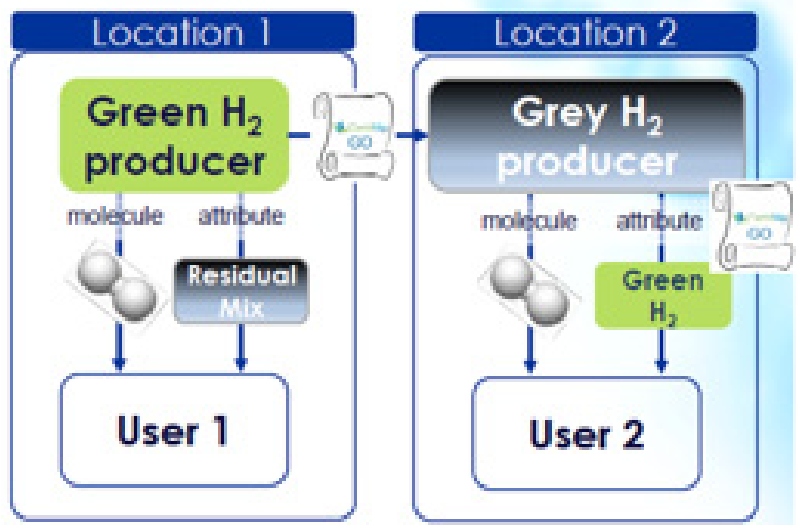
- ✓ Premium Hydrogenとして認証されると、そのまま環境価値の高い水素として取引できるほか、環境価値を証書の形で分離し、当該証書のみを取引することも可能となる。
- ✓ 認証を受けていない水素（Grey Hydrogen）であっても、この証書を組み合わせることで、Premium Hydrogenと主張することが可能になる。



* Best Available Technology = Natural gas steam methane reforming,
 = >95% of the provided merchant hydrogen market
 ** cfr RED reduction requirement for biofuels in 2018

7

After GO transfer

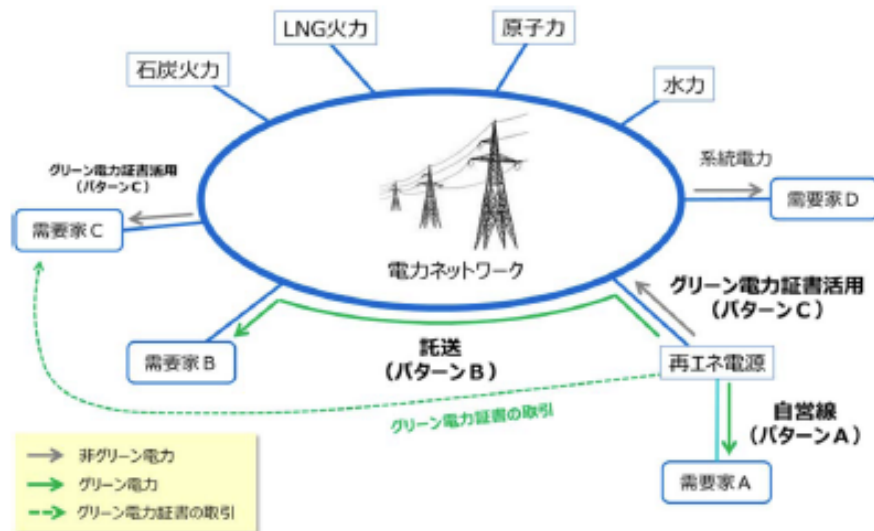


METI CO2フリー-WG 第5回資料
 トヨタ小島、2017 10/25

【V章】CO2フリー水素利活用拡大に向けた今後の取組

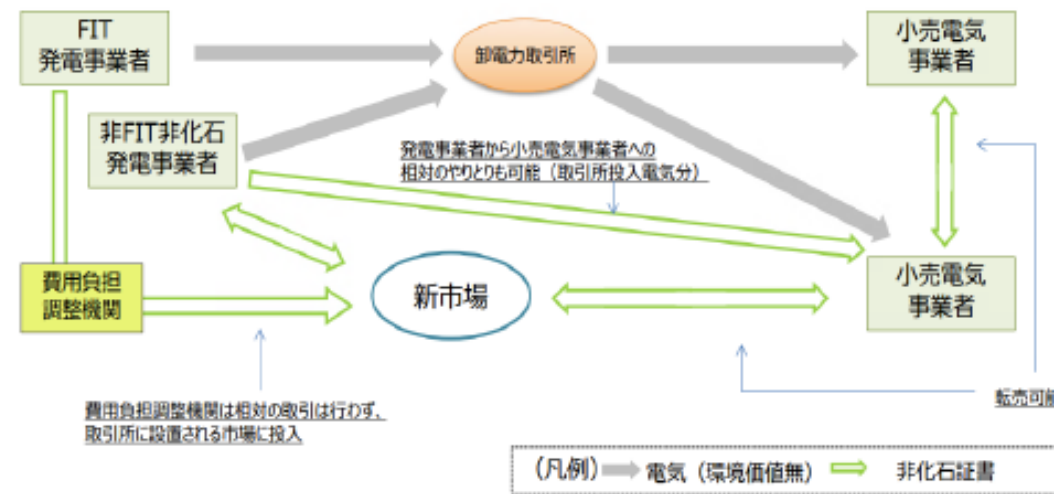
- CO2フリー水素の利活用拡大に向けては、再生可能エネルギーを活用した水素製造を推進するとともに、**①託送供給制度、②グリーン電力証書、③J-クレジット制度等を活用**することで量的な課題の解決を図り、CO2フリー水素を広く認知してもらうことが重要になる。
- さらに、CO2フリー水素の持つ**環境価値を取引することのできる仕組み**が整備されれば、より一層のCO2フリー水素利活用拡大につながると考えられる。
- 「エネルギー革新戦略」では、**省エネ法やエネルギー供給構造高度化法**を通じて電力分野でのCO2削減目標実現の後押しをすることとしており、こうした制度における**水素エネルギーの取扱い**について検討が進むことが期待される。

グリーン電力の概念図



【出典】資源エネルギー庁作成（第3回CO2フリー水素ワーキンググループ資料）

非化石価値取引イメージ



【出典】電力システム改革貫徹のための政策小委員会 第3回市場整備ワーキンググループ資料



【V章】CO2フリー水素利活用拡大に向けた今後の取組

- CO2フリー水素のバリューチェーンには、分野横断的に様々なプレーヤーが各々の目的に基づき複雑に関与する。CO2フリー水素の利活用を拡大させていくためには、需要の喚起（インセンティブ設計）のみならず、関係するプレーヤーの役割の整理が必要。
- 併せて、地方や離島における余剰電力活用モデル、工業団地等の大規模需要地における利活用モデル、地方の再生可能エネルギーを都市で使うモデル等といった様々なCO2フリー水素の利活用拡大に向けたシナリオも具体的に検討していく必要がある。

CO2フリー水素に係るプレーヤーと取組の方向性

アウトカム	電力グリッド安定化	再生エネ導入拡大	低炭素水素の利用拡大
論点	・ P2Gシステムの調整力としての活用可能性	・ 電力系統に設けない電力の活用（マクロ・ローカル両面の系統制約克服）	・ CO2フリー水素の定義、環境価値取引を促進する仕組み ・ 再生エネ送電/グリーン電力証書を活用した水素製造 ・ 海外水素サプライチェーン構築
プレーヤー			
送配電事業者	調整力としての活用検討 ※ 製造する水素は非CO2フリー	系統の空き容量を超える再生エネ設備の導入を許容する仕組みの検討	
再生エネ事業者			P2G設備近傍で製造する水素の利用方法の検討（地産地消/運搬地への輸送）
水素サプライヤー			サプライチェーンの低炭素化 輸入水素のCO2フリー化
設備メーカー	調整力として活用可能な水電解装置の開発、応答性・エネルギー変換効率向上、コスト低減 水電解システムの低コスト化（26万円/Nm ³ /h）（約5万円/kW）	変動再生エネへの対応（耐久性確保・オーバーロード対応）	
制度面論点	調整力市場（調整力公募、リアルタイム市場、容量市場等）の制度検討注視	系統の空き容量を超える再生エネ設備の導入を許容する仕組み	環境価値の高い水素の取引円滑化

【出典】資源エネルギー庁作成

想定されるCO2フリー水素導入シナリオ

(a) 地方、離島における再生可能エネルギー余剰電力活用モデル

離島における電力系統は、本島と比較すると小規模であり、なおかつ他の連系線とつながっていないため、再生可能エネルギー発電の出力変動の影響を受けやすい状況にある。Power-to-gas技術の社会実装に当たっては離島が先事例となる可能性があり、離島における水素需要や島外に輸送する場合のコスト等を踏まえた分析を行っていくことが必要である。

(b) 工業団地等の大規模需要地における再生可能エネルギー・水素利用モデル

工場や空港などエネルギー需要の大きいエリアでは、水素を用いたエネルギーシフトや、ボイラやフォークリフトといった熱・燃料需要に対してCO2フリー水素を活用するモデルが想定される。

また、苛性ソーダ等の製造過程で発生する副生水素には、大気放出される、あるいは単純に燃やされているような未利用の水素も存在すると考えられる。こうした副生水素を活用することで、将来的なCO2フリー水素の利活用拡大につながると思われる。

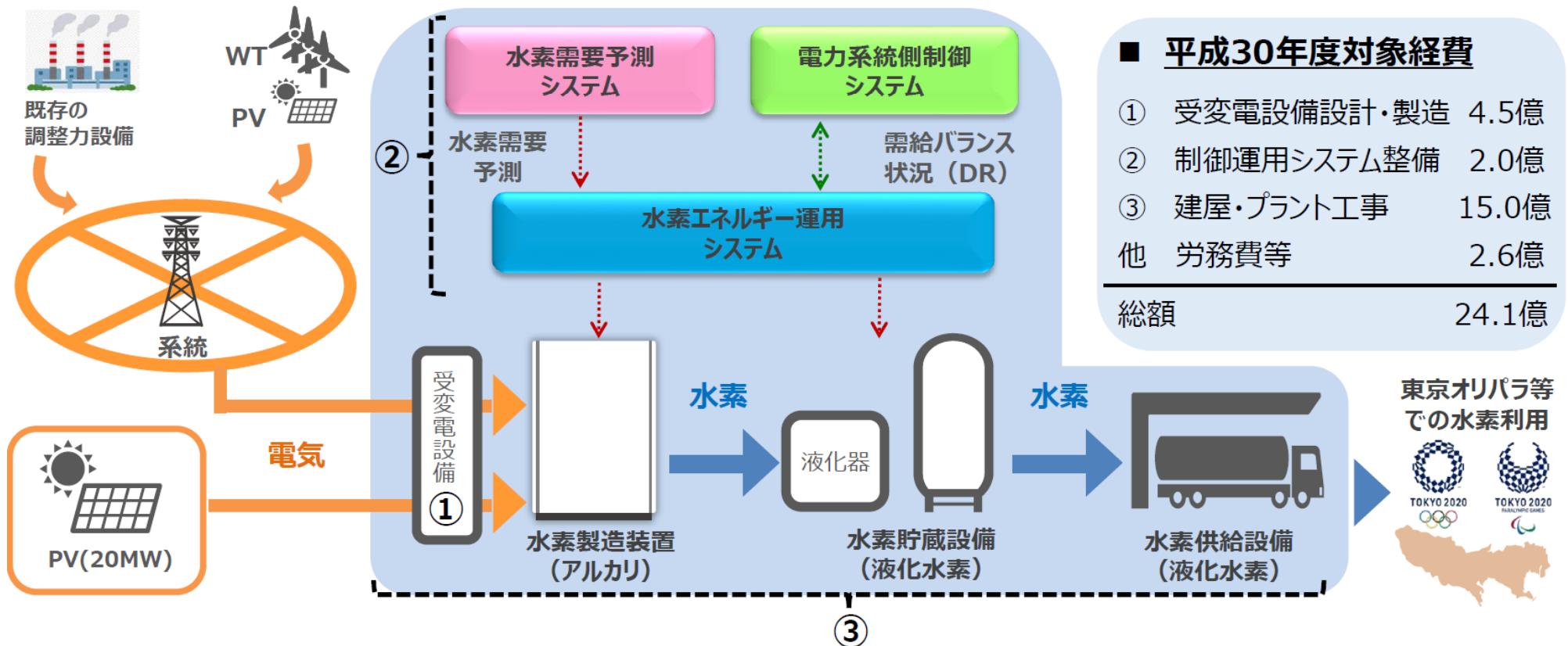
(c) 地方の再生可能エネルギーを都市で使う将来モデル

将来的に再生可能エネルギーとPower-to-gas技術が十分に導入された社会では、再生可能エネルギーのポテンシャル高い地域において大量の水素を製造し、水素需要の大きい都市部へと輸送することで、国内における水素供給構造をより低炭素なものにすることが可能となるのではないかと考えられる。

再エネ由来水素製造（Power to Gas）に係る取組

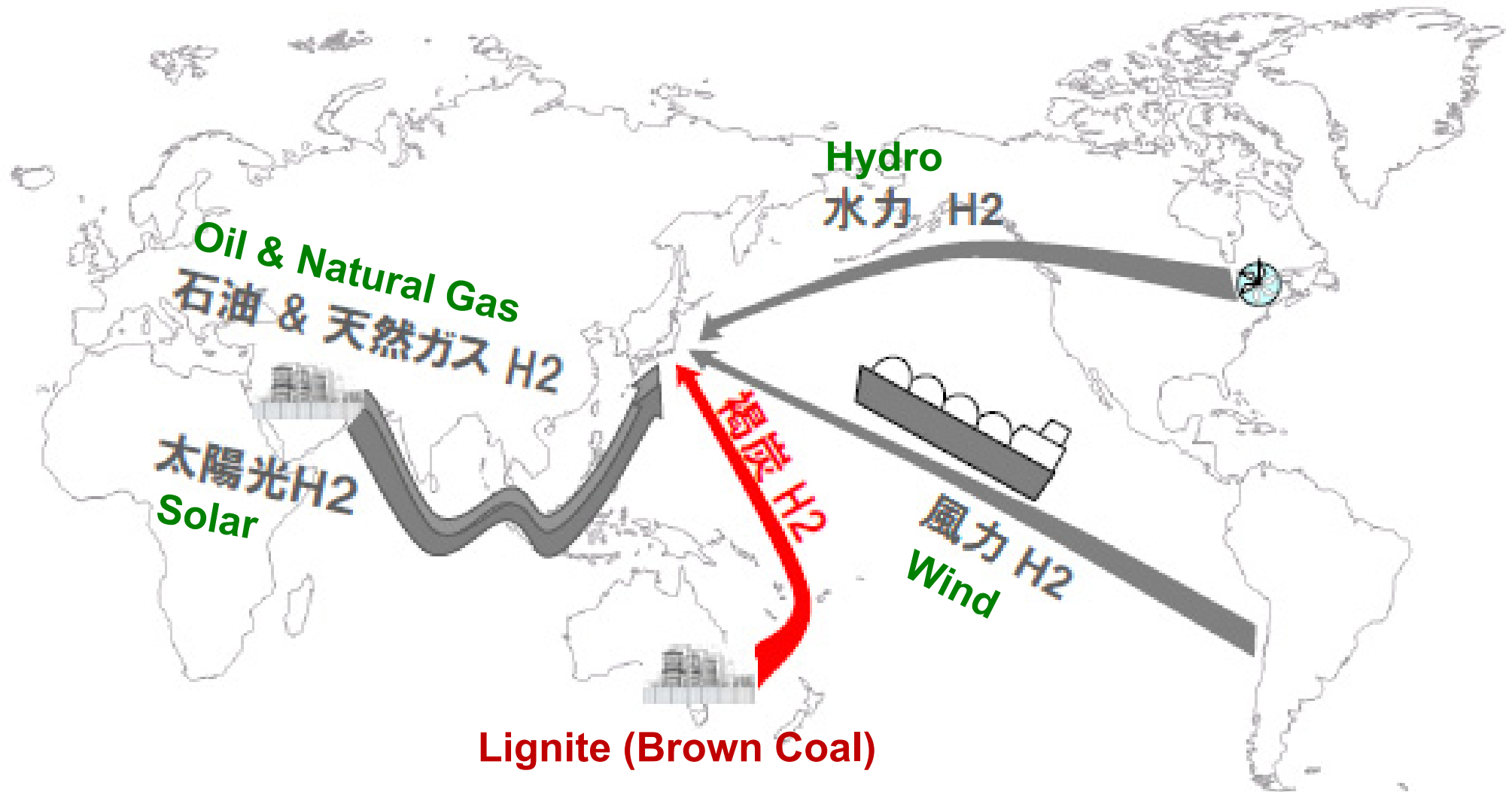
- 水素は利用段階ではCO2を排出しないクリーンなエネルギー。製造時に再エネを活用すること等により、製造から利用まで、トータルでCO2フリーとすることが可能。また、余剰再エネが生じた場合に、水素に変換し、貯蔵・利用することで、再エネの有効活用が可能。
- 福島新エネ社会構想に基づき、福島県浪江町において2017年8月から大規模水素製造実証事業を実施。世界最大級となる1万kWの水電解装置により再生可能エネルギーから大規模に水素を製造し、福島県内のみならず、2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会の際にも活用することを目指す。

実証の概要



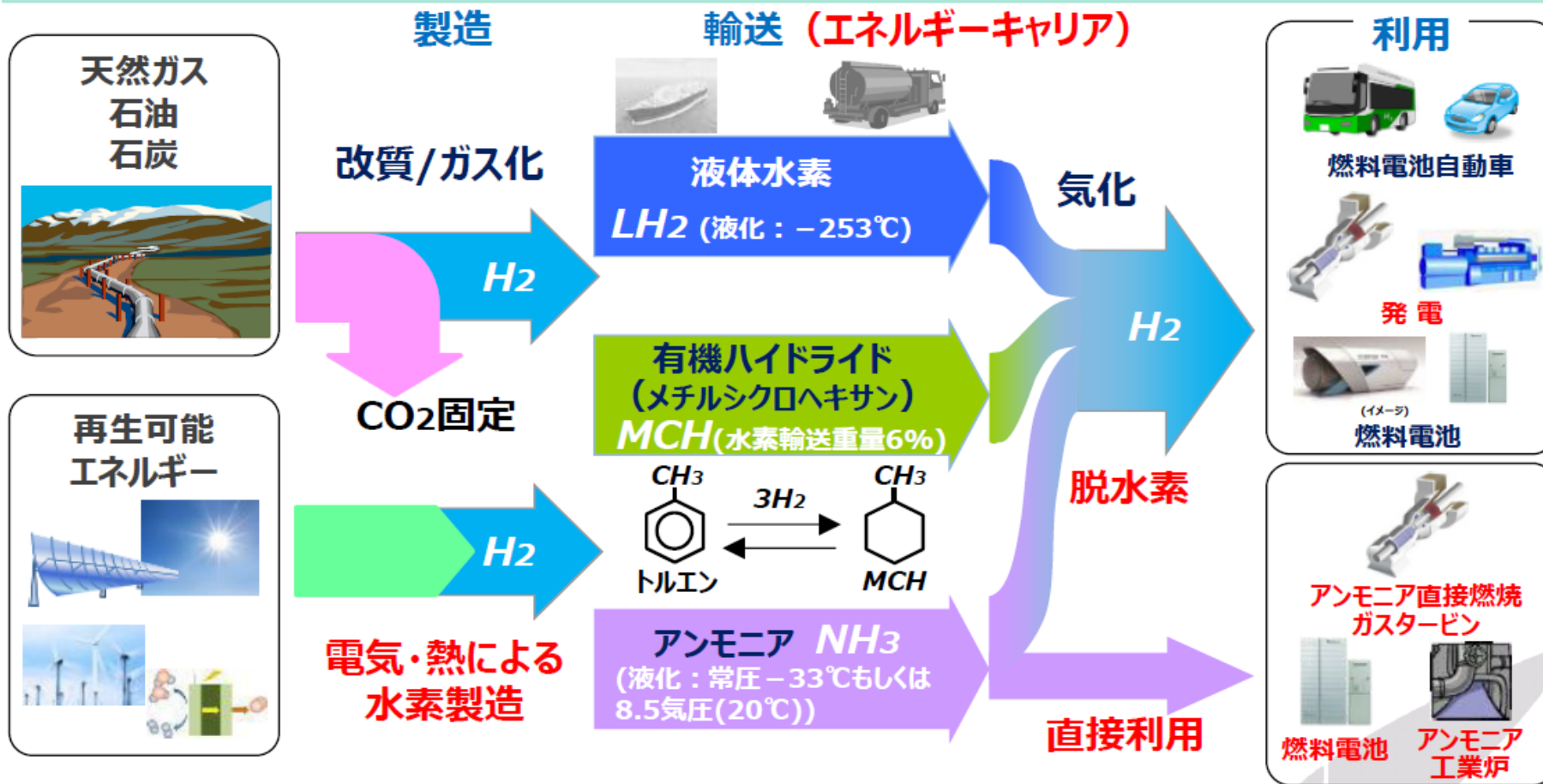
資源エネルギー庁 新エネルギーシステム課 山影雅良、東工大水素シンポ 2017.10.16

海外からのCO₂フリー水素チェーン構想



IAE-CO₂フリー水素チェーン-アクションプラン研究会

計画の概要～「エネルギーキャリア」課題の取組み～ 〈CO₂フリー水素バリューチェーンの構築〉



- 水素は様々なエネルギー源から製造可能で、燃料にも電気にもなる。
 (大幅なCO₂排出削減が可能)
- 水素は低熱量の気体であり、運搬・貯蔵が困難。水素を大量輸送する技術
 (エネルギーキャリア) や水素をエネルギー源として利用する関連技術の開発が重要。

村木茂、エネルギー・資源学会 2016 2/2

海外のCO₂フリー水素

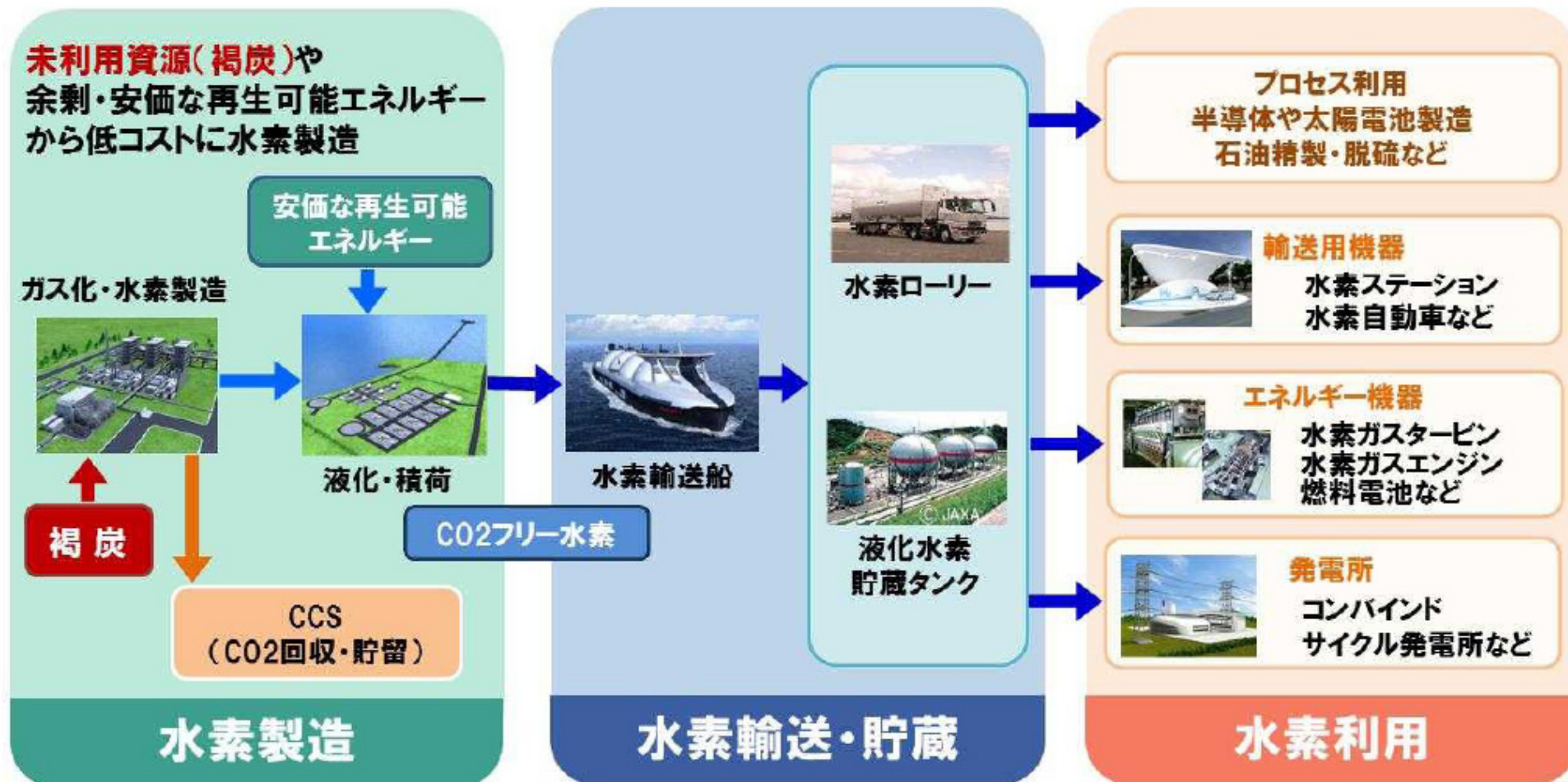
(液体水素輸送の例)



— CO₂の排出を抑制しながらエネルギーを安定供給 —

資源国 (豪州)

利用国 (日本)



水素の製造方法と課題

1. 石油、天然ガス等化石燃料の改質

改質反応の**高効率化**、FC用に**精製**必要、CO₂フリー化

2. バイオマス由来のメタノールやメタンガスの改質

改質反応の**高効率化**、FC用に**精製**必要

3. 石炭、バイオマスガス化＋水性ガスシフト

シフト反応の**高効率化**、FC用に**精製**必要

無機膜を用いた
メンブレンリアクターにより
課題解決の可能性

4. 再生可能エネルギー＋水電解

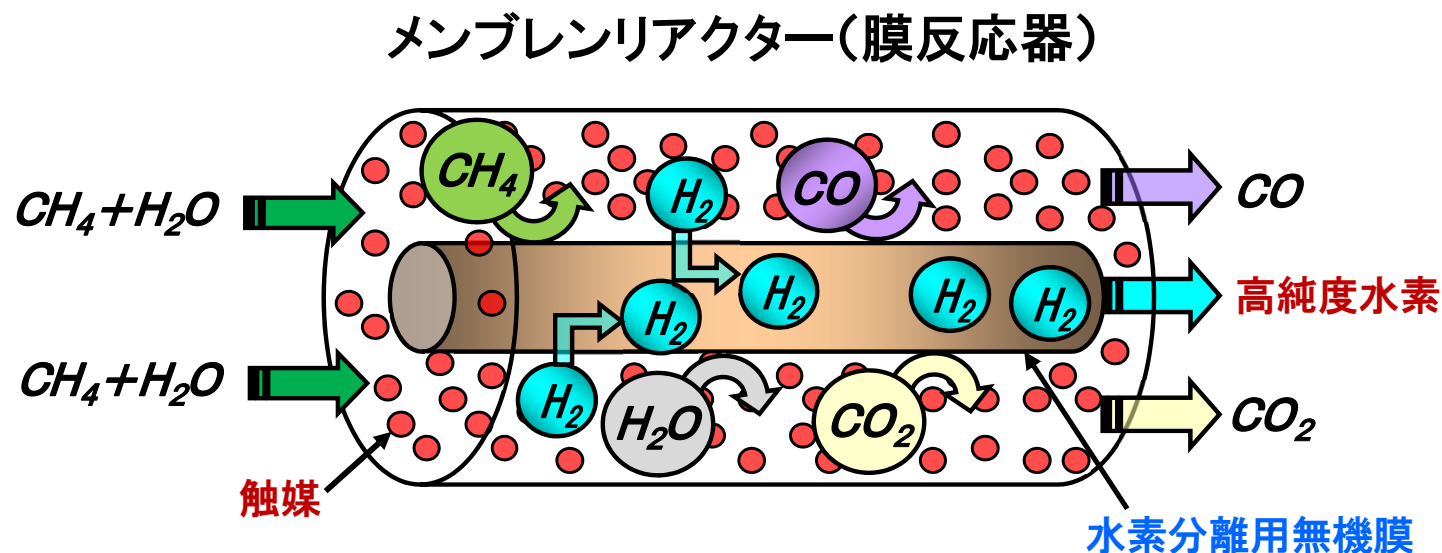
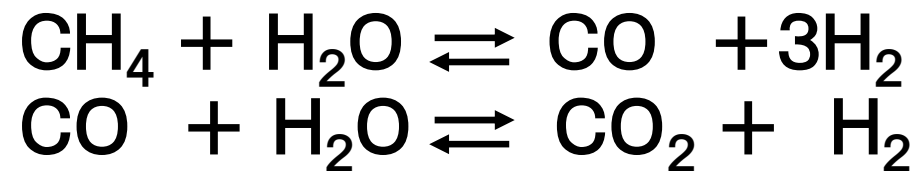
低コスト化、再エネ負荷変動対策

5. その他、新技術(光触媒、ISプロセスなど)

現状、研究開発段階

改質反応、シフト反応へのメンブレンリアクターの適用

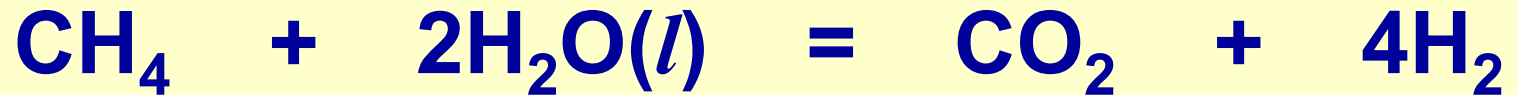
例：メタンの水蒸気改質



- ・非平衡反応促進による転化率の向上
→ 反応温度低減 (800°C以上→600°C以下)
- ・1ステップで高純度水素が得られる
→ PSA等が不要で装置のコンパクト化が可能

炭化水素系燃料の水蒸気改質

メタンの水蒸気改質反応式(吸熱反応)



$\Delta_f H^0$:	-74.9	-285.8	-393.5	0
$\Delta_f G^0$:	-50.8	-237.1	-394.4	0
(kJ/mol)			(標準物質 : C, H ₂ , O ₂ , N ₂ , (S))	

$$\Delta H = (-393.5) - (-74.9 - 285.8 \times 2) = 253.0$$

$$\Delta G = (-394.4) - (-50.8 - 237.1 \times 2) = 130.6$$

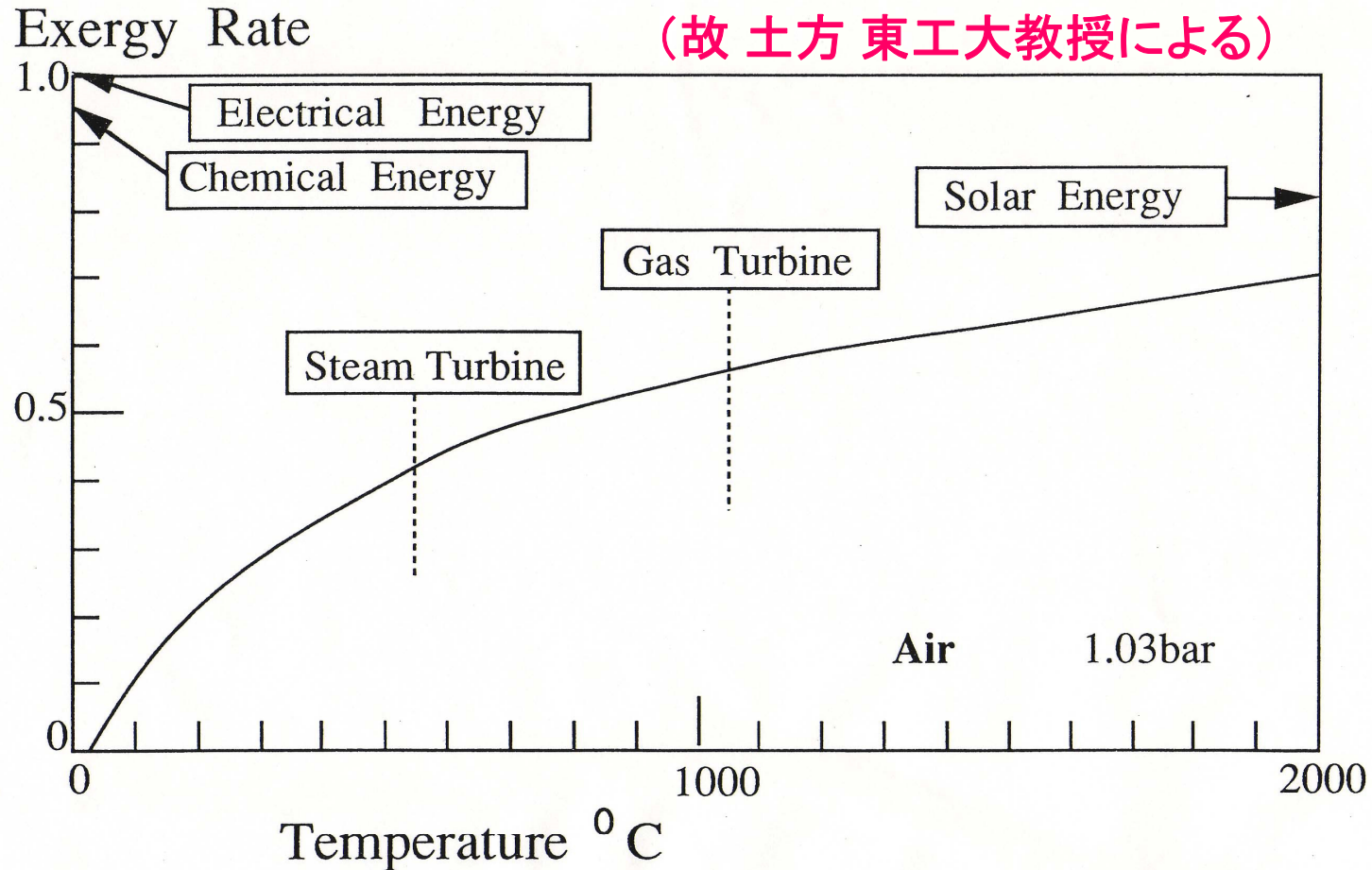
$$\Delta G / \Delta H = 130.6 / 253.0 = 0.52 = 52 \% (800^\circ\text{C})$$

メタンの水蒸気改質にはエクセルギー率52%以上の熱が必要

メタノールの水蒸気改質 : 6 % (90°C) (後述)

エネルギーの質

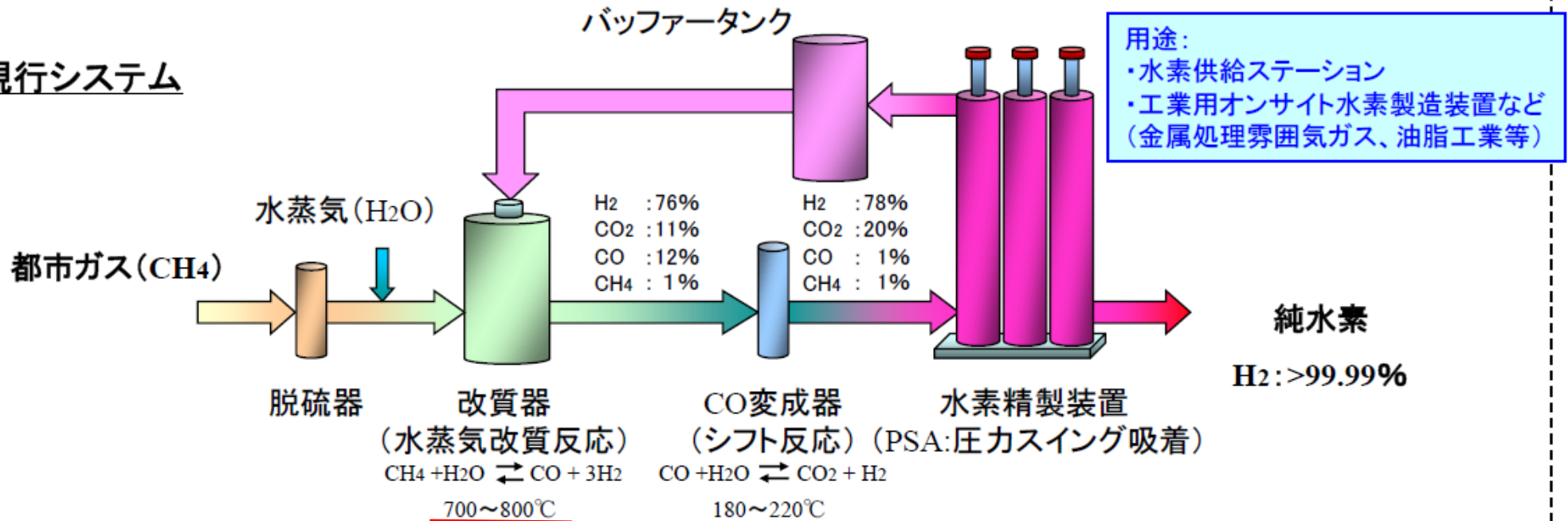
Energy Quality based on Exergy Rate



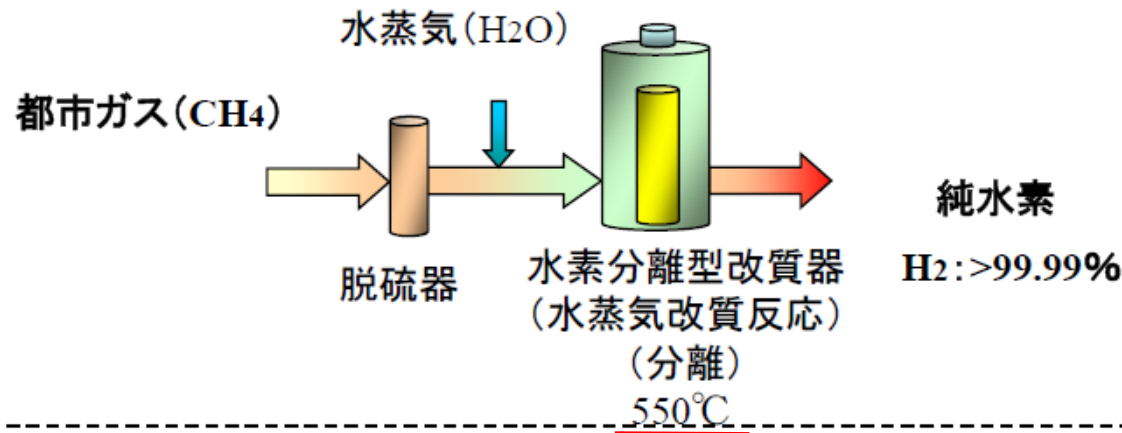
Energy quality (exergy rate) against temperature

都市ガスからの水素製造技術

現行システム



水素分離型改質システム(メンブレンリフォーマ)

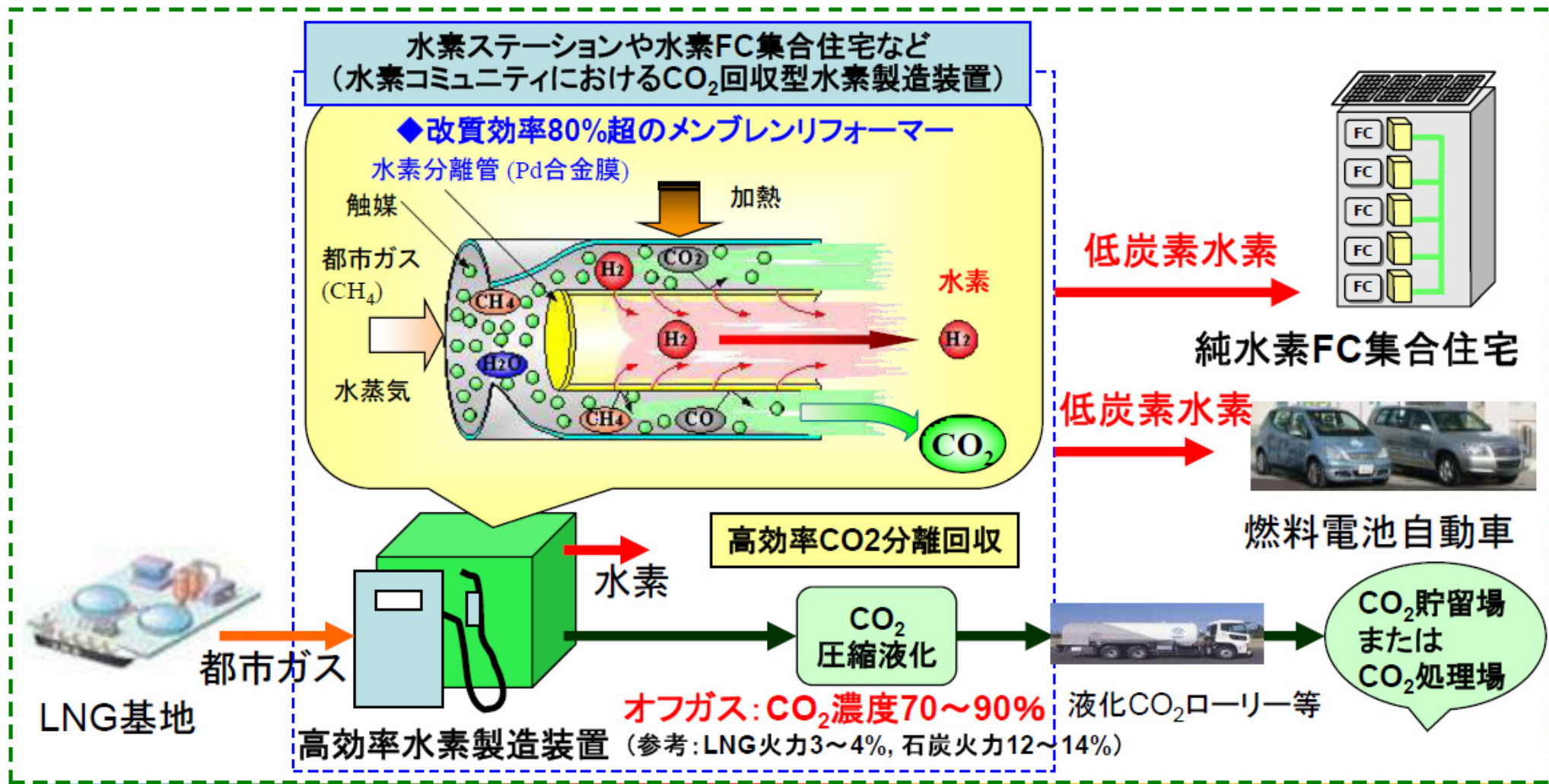


- ・コンパクト
- ・シンプル
- ・高効率



CO₂回収型MRFによる低炭素水素供給 エネルギー・フロンティア TOKYO GAS

水素分離膜を活用し、オフガスに含まれる高濃度のCO₂を圧縮液化することで、
超高効率のCO₂分離回収とローカル水素ネットワークへ低炭素水素を供給



水素の輸送・貯蔵方法と課題

1. 高圧水素

圧縮機や高圧貯蔵タンクの**低コスト化**が必要

2. 液体水素

輸送時の**ボイルオフガス対策**が必要

3. 有機ハイドライド、アンモニア

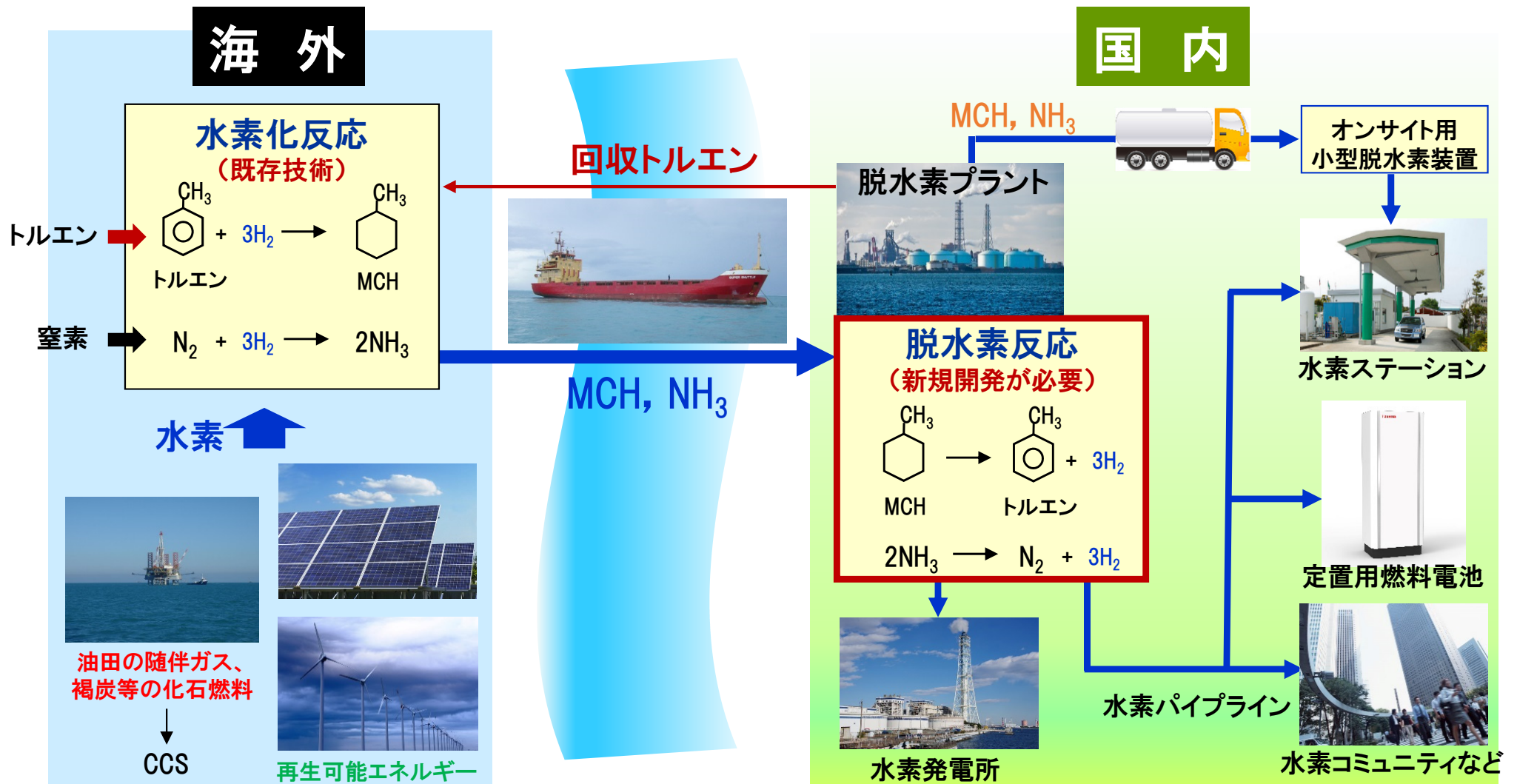
効率的な脱水素・精製技術の開発が必要

無機膜を用いた
メンブレンリアクターにより
課題解決の可能性

4. パイプライン

パイプライン整備に**大規模な初期投資**が必要

水素キャリア・脱水素反応へのメンブレンリアクターの適用



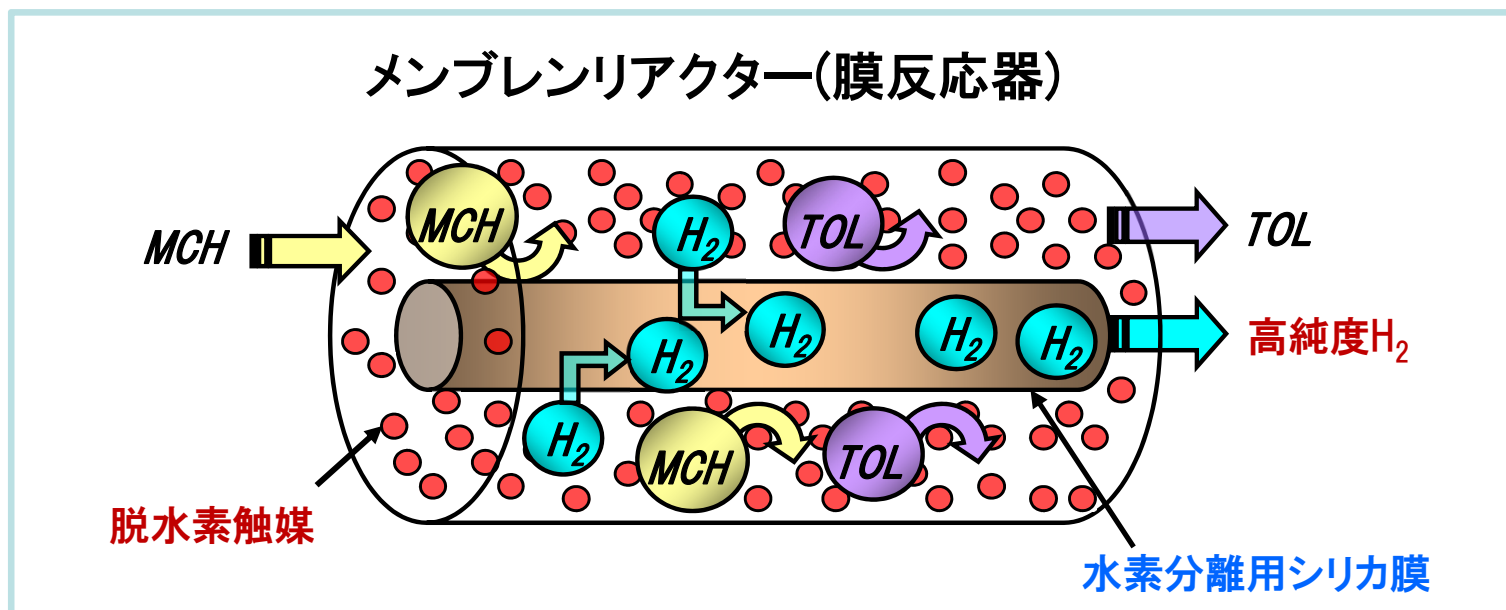
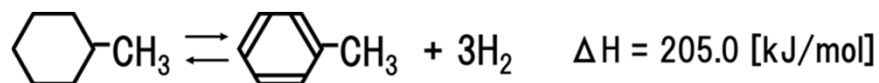
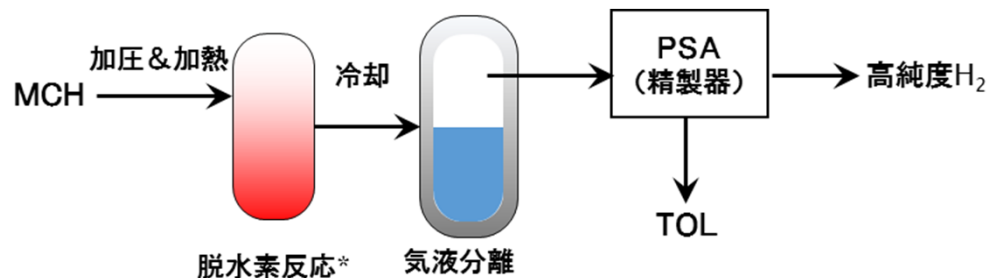
高効率な脱水素・精製プロセスが不可欠 → メンブレンリアクターの開発が重要



MCHからの高純度水素製造

従来法(脱水素反応+PSAなど)

課題: 大容積、低効率、高コスト



従来法(脱水素反応+PSAなど)より、

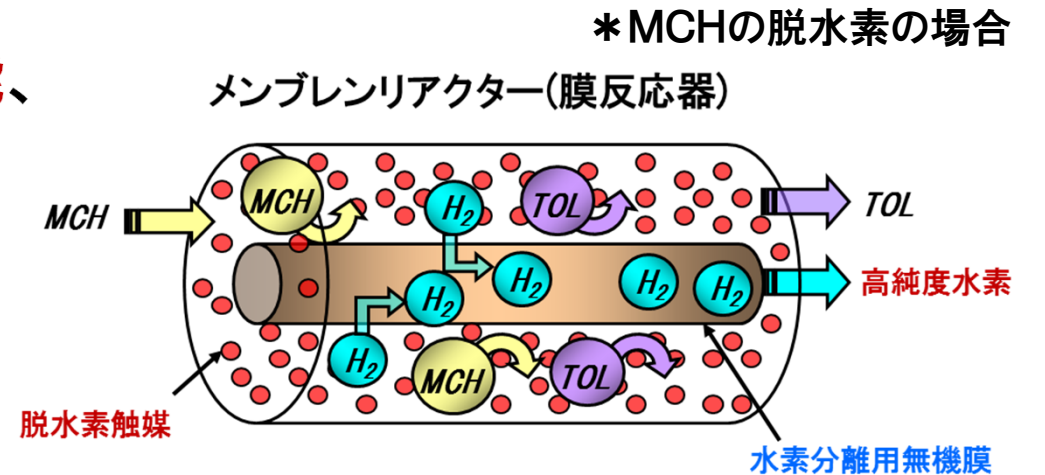
装置のコンパクト化、反応温度の低温化、低コスト化
が期待できる。

無機膜への期待

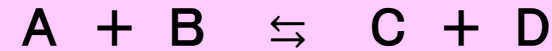
無機膜 シリカ膜、ゼオライト膜、炭素膜、パラジウム膜など
水素と他の物質を分離し、**高純度水素**が得られる

有機膜と比較して、**高い分離性能**、
優れた耐熱性、化学的安定性、
耐酸・塩基性を有する

- **幅広い環境条件で使用可能**
- 触媒と組合せ、**反応と分離の一体プロセス**である**メンブレンリアクター**の構築も可能



平衡シフト効果



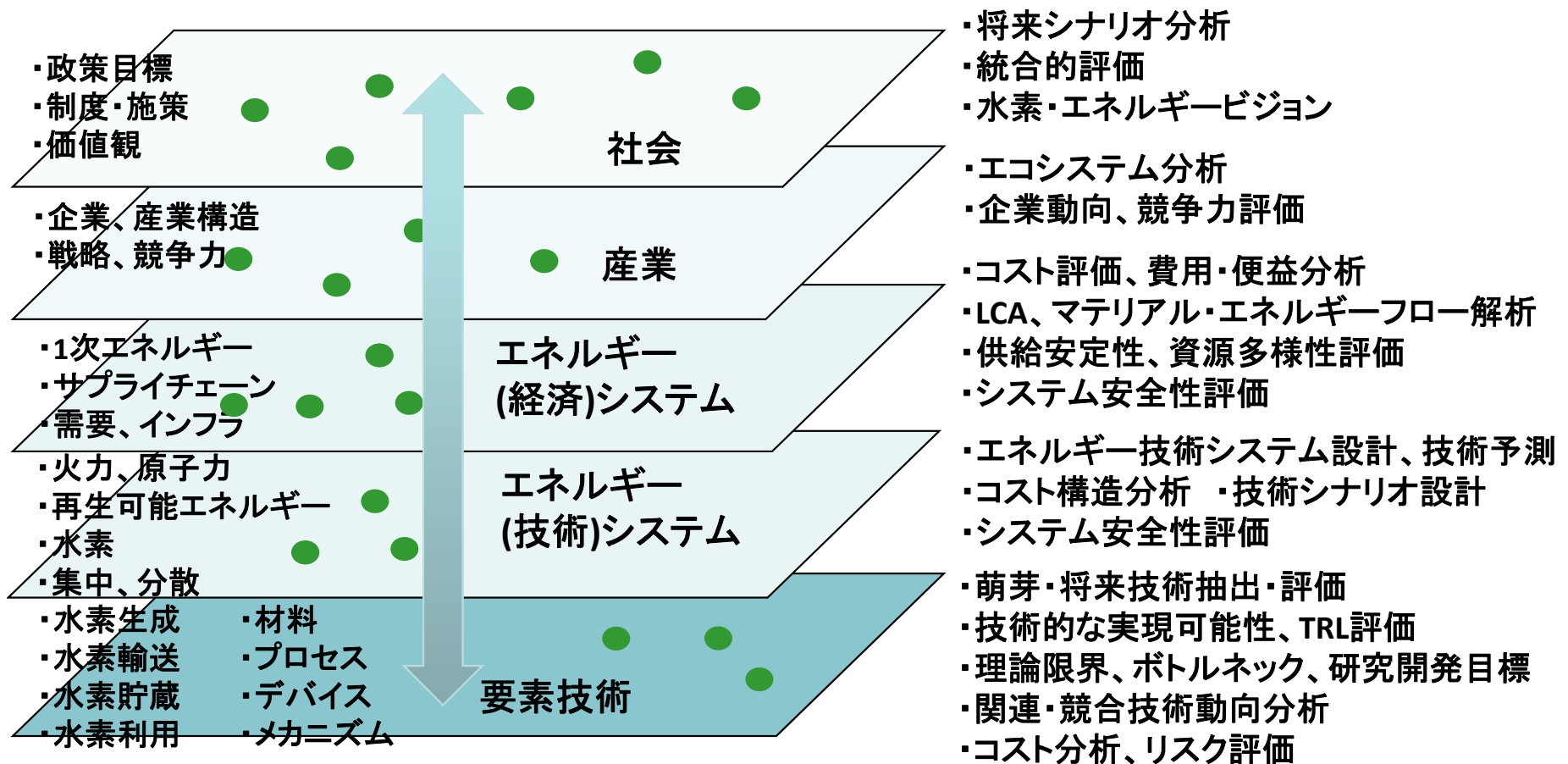
非平衡による反応促進 ⇒ **転化率が向上**

水素の**効率的な製造、輸送・貯蔵**に貢献することが期待される

33

技術開発シナリオの作成 (産総研・エネ総工研・東工大)

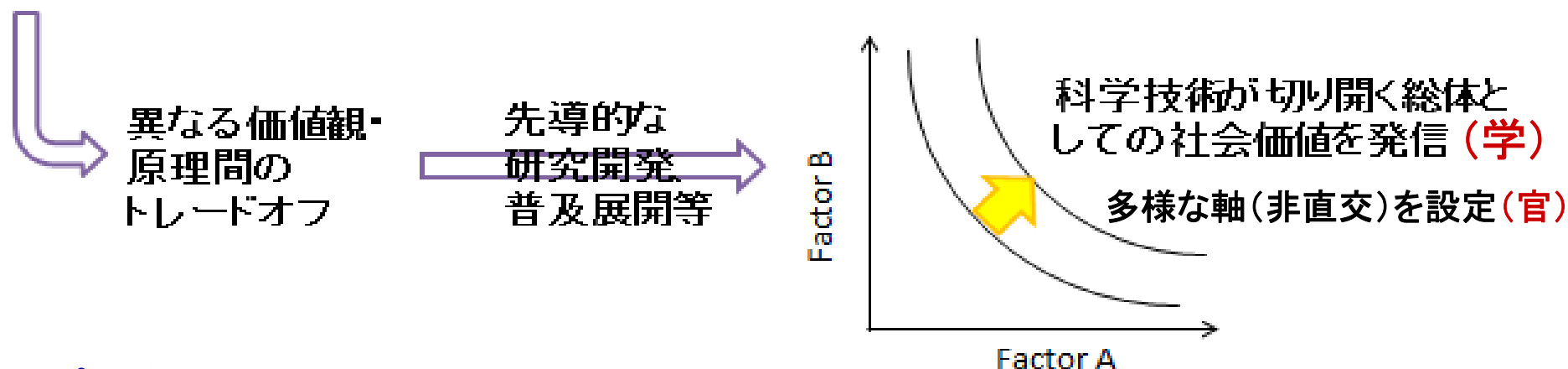
- マクロ分析と多様な評価軸分析による**水素エネルギーの位置づけの明確化**
- ケーススタディーによる**具体的導入形態の例示と、開発中の技術の位置づけの明確化**
- ケーススタディーと技術の将来予測による**強化すべき領域の例示**



水素エネルギー社会により形作られる多様な社会価値

水素エネルギーの社会的価値に着目した体系的なレビューを実施

- ✓ 気候変動等のグローバルな環境問題解決への貢献 Environmental safeguard
- ✓ クリーンな排気ガス等のローカルな環境問題解決への貢献 Economic efficiency
- ✓ 電力・エネルギー価格の低廉化への貢献 Energy security
- ✓ 再生可能エネルギー由来のエネルギー貯蔵等の電力の安定供給 Safety
- ✓ エネルギー資源の多様化等によるエネルギー安全保障 Industrial development
- ✓ エネルギーシステムの安全性 International contribution
- ✓ 水素エネルギーに関する新たな産業創造による経済成長
- ✓ 日本が強みを有する技術の海外展開による国際的貢献



NEDOプロジェクト「トータルシステム」(東工大・梶川)

まとめ

1. 水素導入の本質的意義は、将来的には大量導入されて、地球環境保全やエネルギーセキュリティに、十分な量的寄与が出ることであり、グローバルな視点で議論することが重要である。
2. 燃料電池以外の多様な水素利活用技術を含め、エネルギーキャリアとしての水素の優れた特徴と、水素エネルギー社会の多様な社会的付加価値を正しく評価することが重要である。
3. 国内の再生可能エネルギー起源CO₂フリー水素の導入拡大に向けて、P2G技術の確立・コストダウンと導入促進のための制度上の仕組みづくりが急務である。さらに、地域活性化への貢献が期待されている。
4. 大量水素導入に向けて、海外の未利用エネルギーを水素に変換して日本に輸送するグローバルなスケールでのCO₂フリー水素サプライチェーンの構築と水素発電の実用化が重要である。
5. 水素社会の実現には、水素社会のイメージを正しく把握し、個別技術開発から全体システムの成立性、社会システムとの融合、国際連携を踏まえて、長期的な視点に立った具体的な戦略が必要である。
6. RITE無機膜研究センターの水素社会実現への貢献に期待する。