

水素エネルギー再び

～今なぜ水素なのか？～

(国研)産業技術総合研究所 企画本部 総合企画室
(省エネルギー研究部門 熱利用グループ)

平野 聰

目 次

1. エネルギー需給状況
2. 再生可能エネルギーの特徴
3. 水素経済の考え方
4. 産総研の取り組み

いろいろなエネルギー

- エネルギー

仕事をする能力(例:位置、運動、電磁波、熱)

- **有効エネルギー (エクセルギー)**

有効に仕事に変換できる能力(例:熱いお湯ほど何かと役に立つ)

- **一次エネルギー**

自然から得られたままのエネルギー(例:石炭、天然ガス、河川水等)

- **二次エネルギー**

一次エネルギーを転換したエネルギー(例:電気、**水素**等)

- **化石エネルギー**

地質時代までの動植物の死骸が变成した燃料(例:石炭、石油等)

- **自然エネルギー**

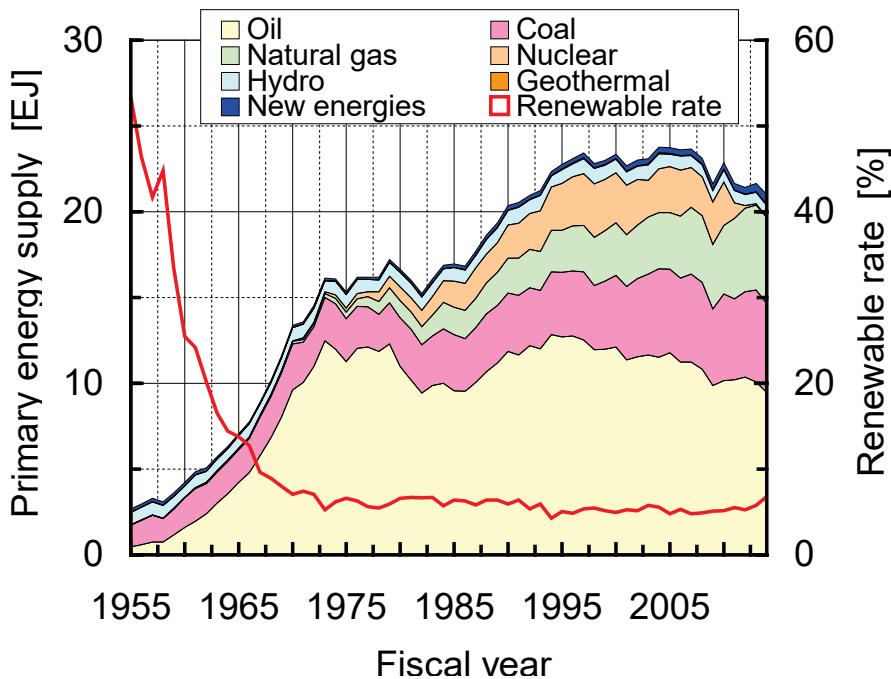
自然由来の非化石、非原子力エネルギー(例:太陽熱、地熱等)

- **再生可能エネルギー**

比較的短期間に再生されるエネルギー(例:風、バイオマス等)

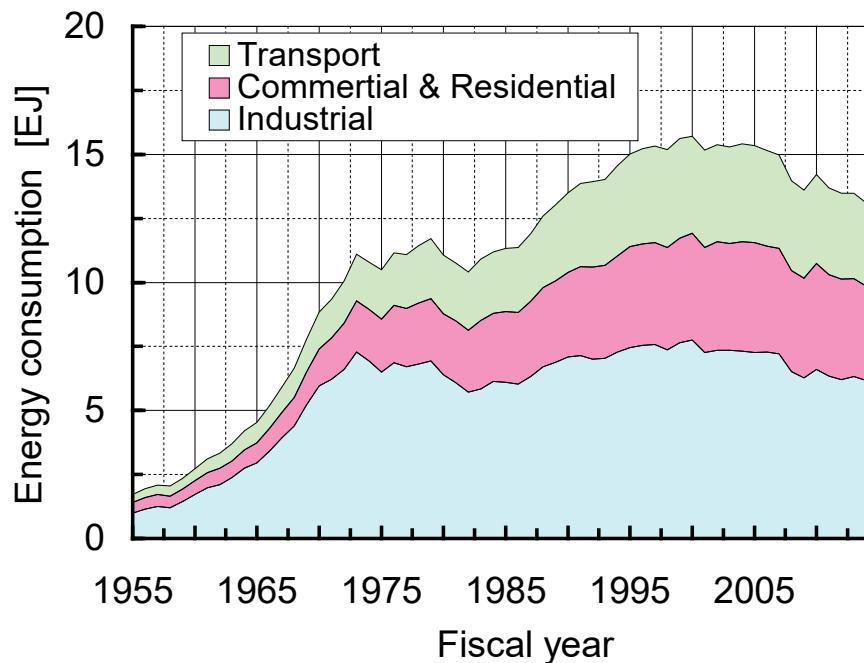


1. エネルギー需給状況



我が国の一次エネルギー総供給量

天然ガスの供給量が増加、再生可能エネは沈滞

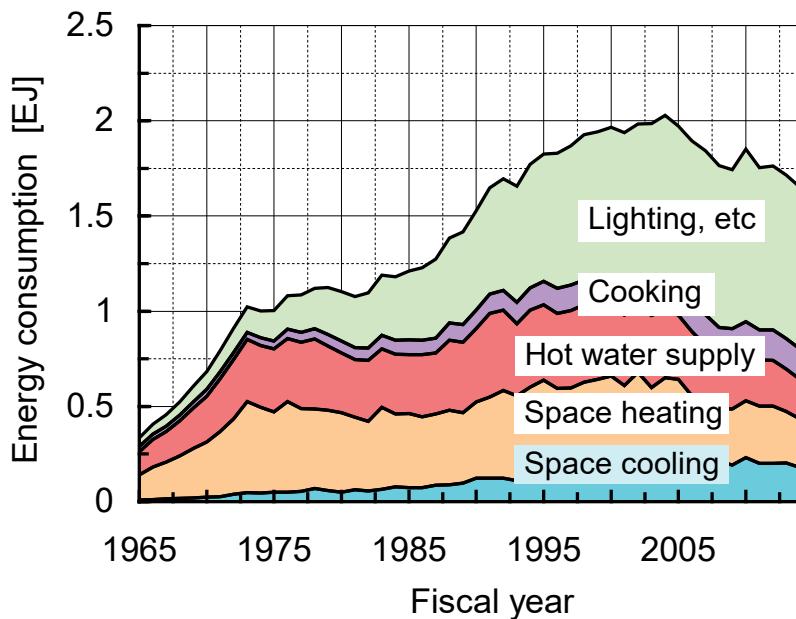


我が国の部門別最終エネルギー消費量

2006年以降微減、産業部門での減少が大きい

データ元: 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット編, EDMC／エネルギー・経済統計要覧, 省エネルギーセンター, 東京, (2004)～(2016).

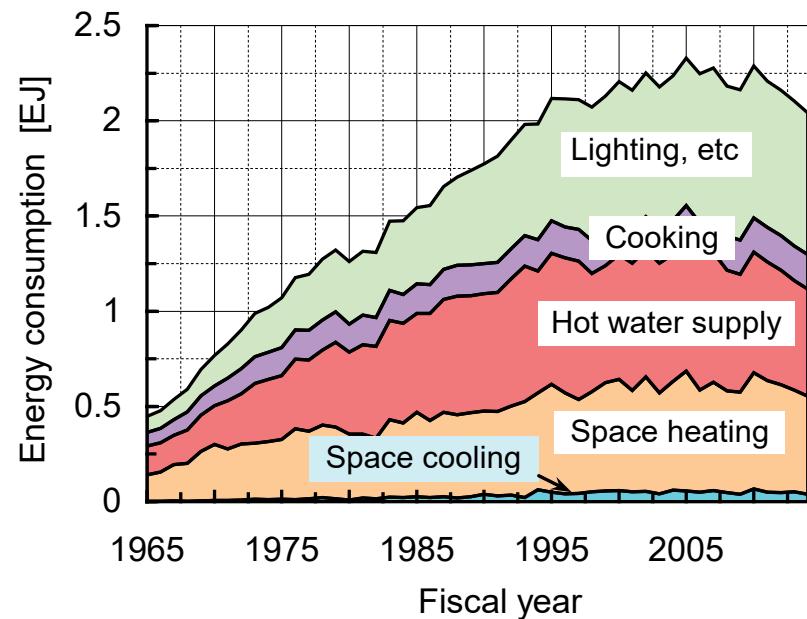
用途別の最終エネルギー消費



業務用途別最終エネルギー消費量の変遷(日本)

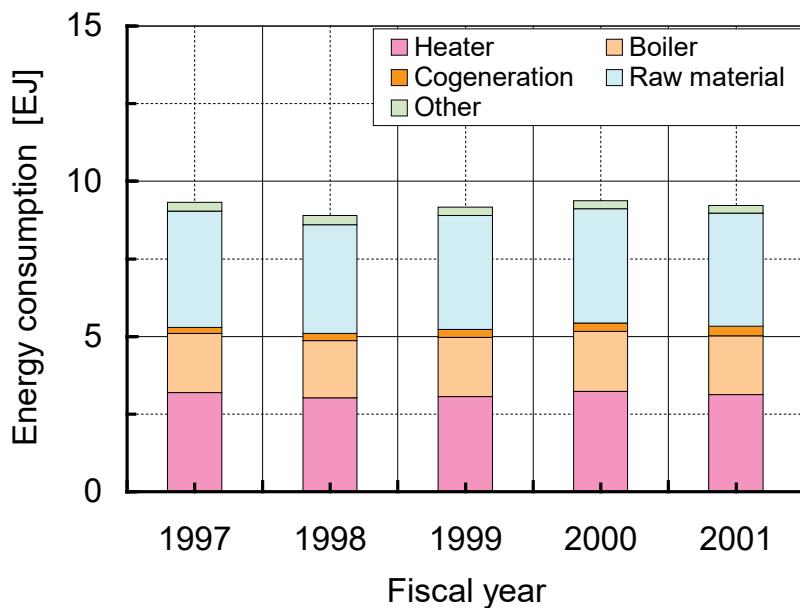
(データ元:EDMC Handbook of Energy & Economic Statistics in Japan, The Energy Conservation Center)

業務用のエネルギー利用の約50%は熱需要
(冷暖房、給湯、厨房)



家庭用途別最終エネルギー消費量の変遷(日本)

家庭用のエネルギー利用の約65%は熱需要
(冷暖房、給湯、厨房)



産業用途別最終エネルギー消費量の変遷(日本)

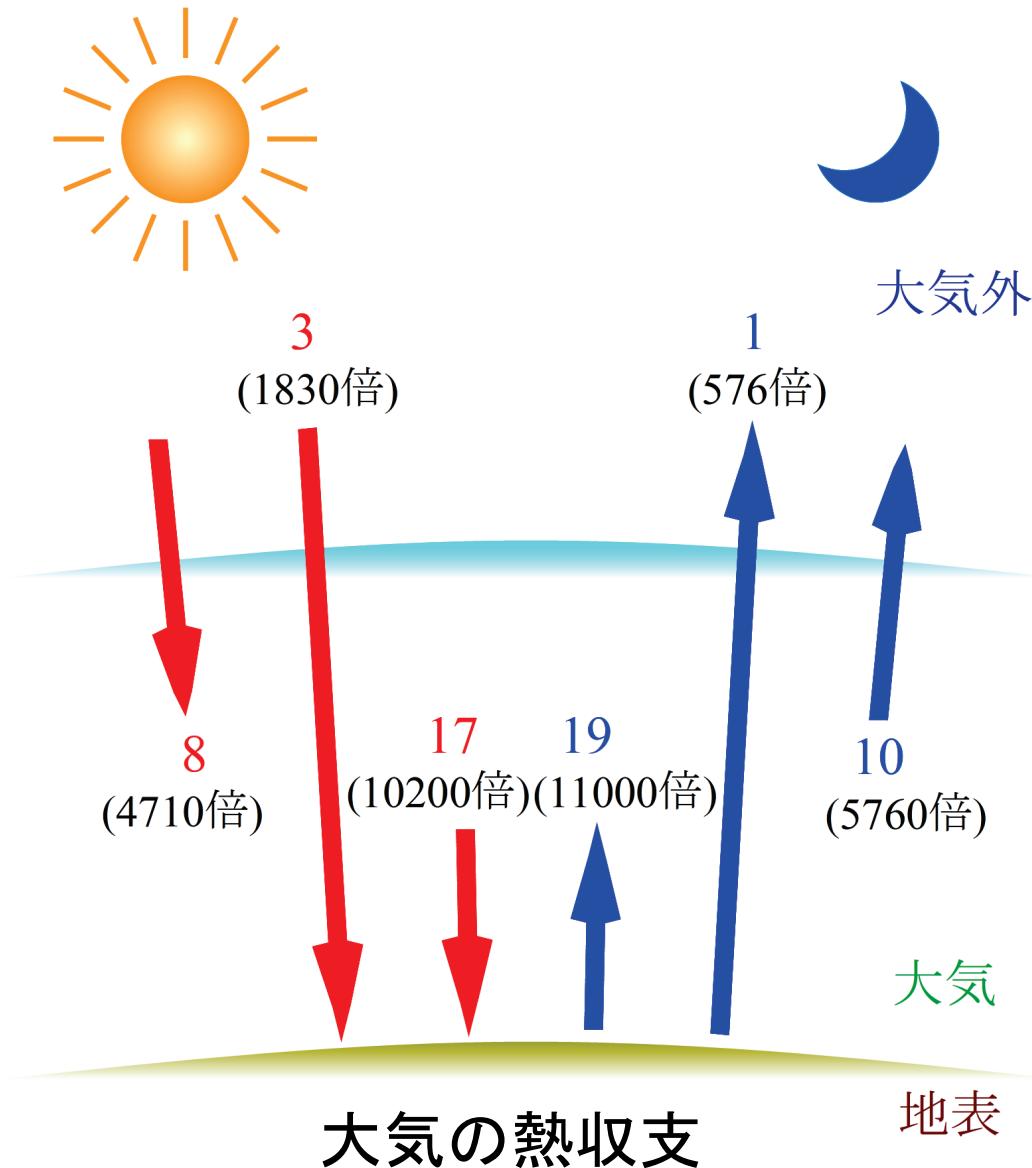
産業用のエネルギー利用の約55%は、直接加熱・ボイラーア用

(データ元: 経済産業省経済産業政策局調査統計部
産業統計室, (3)燃料の用途別消費量, 平成13年石油等消費構造統計確報, 経済産業省)



エネルギー利用の過半は加熱用

2. 再生可能エネルギーの特徴



大量に降り
注ぐ自然熱

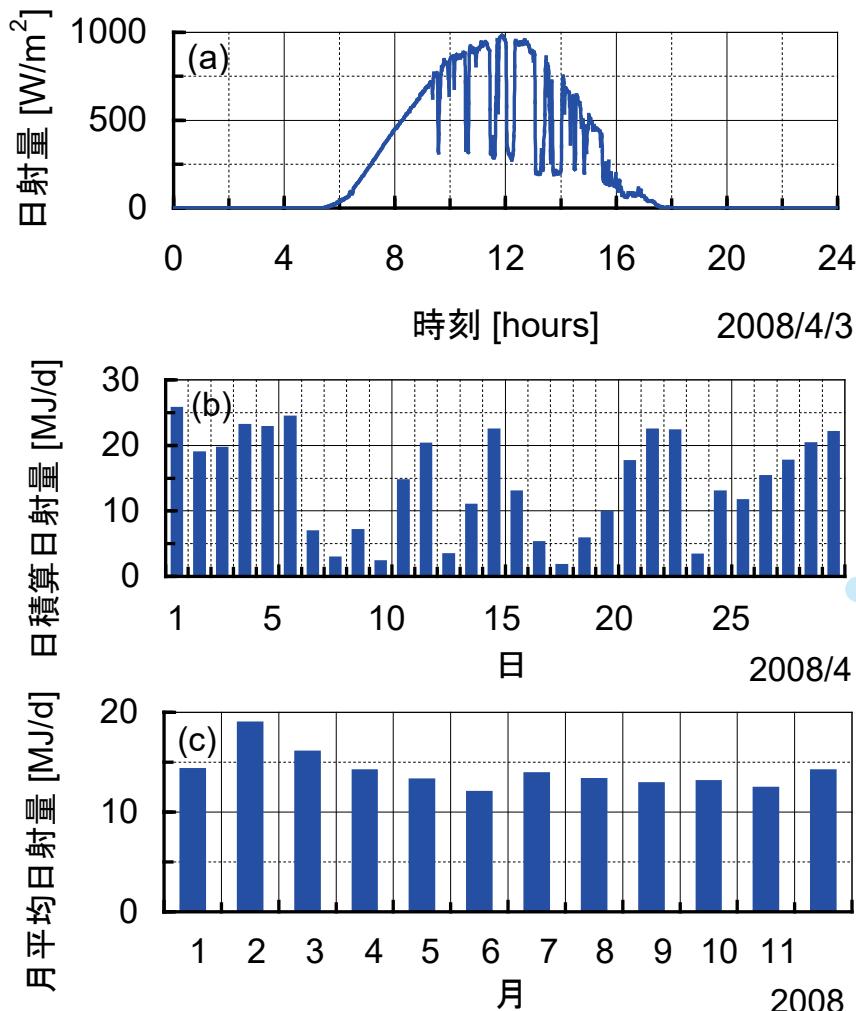
上段の数値:

地表からの大気外放射に
対する比率

下段の倍率:

2013年の世界の一次エネ
ルギー消費量[石油換算
136億トン]に対する倍率)

変動性



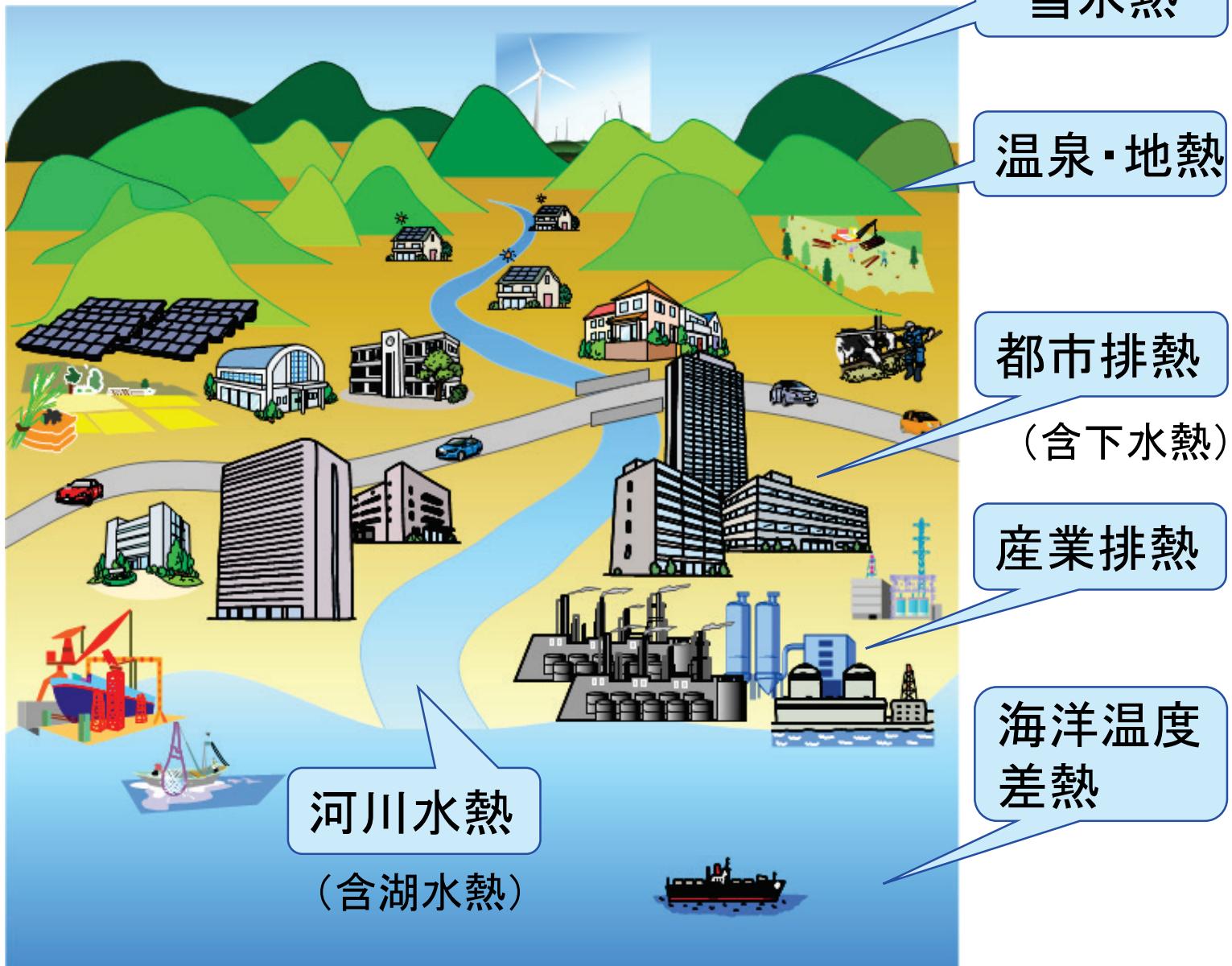
再生可能エネルギーは
時間的に変動する場合
が多い

日射量の時間変化(茨城県つくば市小野川、方位南、傾斜角45°)
(a)日射量、(b)日積算日射量、(c)月積算日射量

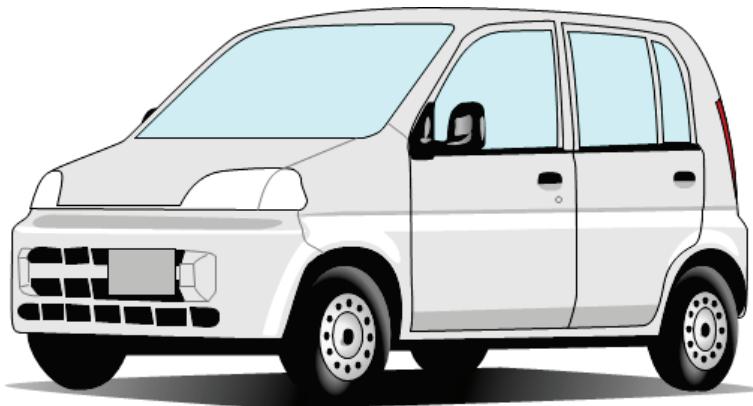
再生可能エネルギーの種類と供給量の特徴、用途

種類	供給量等の特徴	用途
太陽	大量、 分散 、 不安定	照明、冷暖房・給湯、加熱、発電
風力	大量、 分散 、 不安定	換気、搬送、発電
水力	偏在 、高密度、安定	搬送、発電
地熱	低温：大量、 分散 、安定 高温： 偏在 、高密度、安定	冷暖房、冷蔵、給湯、加熱、発電
生物(バイオマス)	貯蔵・輸送容易、量的制約	燃料(厨房、冷暖房・給湯、搬送、発電)
海洋	大量、 分散 、安定	発電
(大気)	大量、 分散 、 不安定	冷暖房、給湯
(雪氷)	偏在 、高密度、 季節変動	冷蔵、冷房

偏在性



希薄性

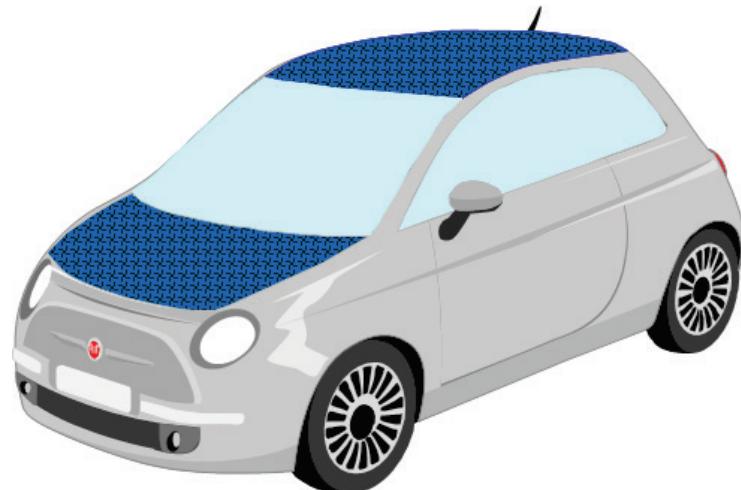


軽自動車

50~60馬力

普通乗用車

100~300馬力

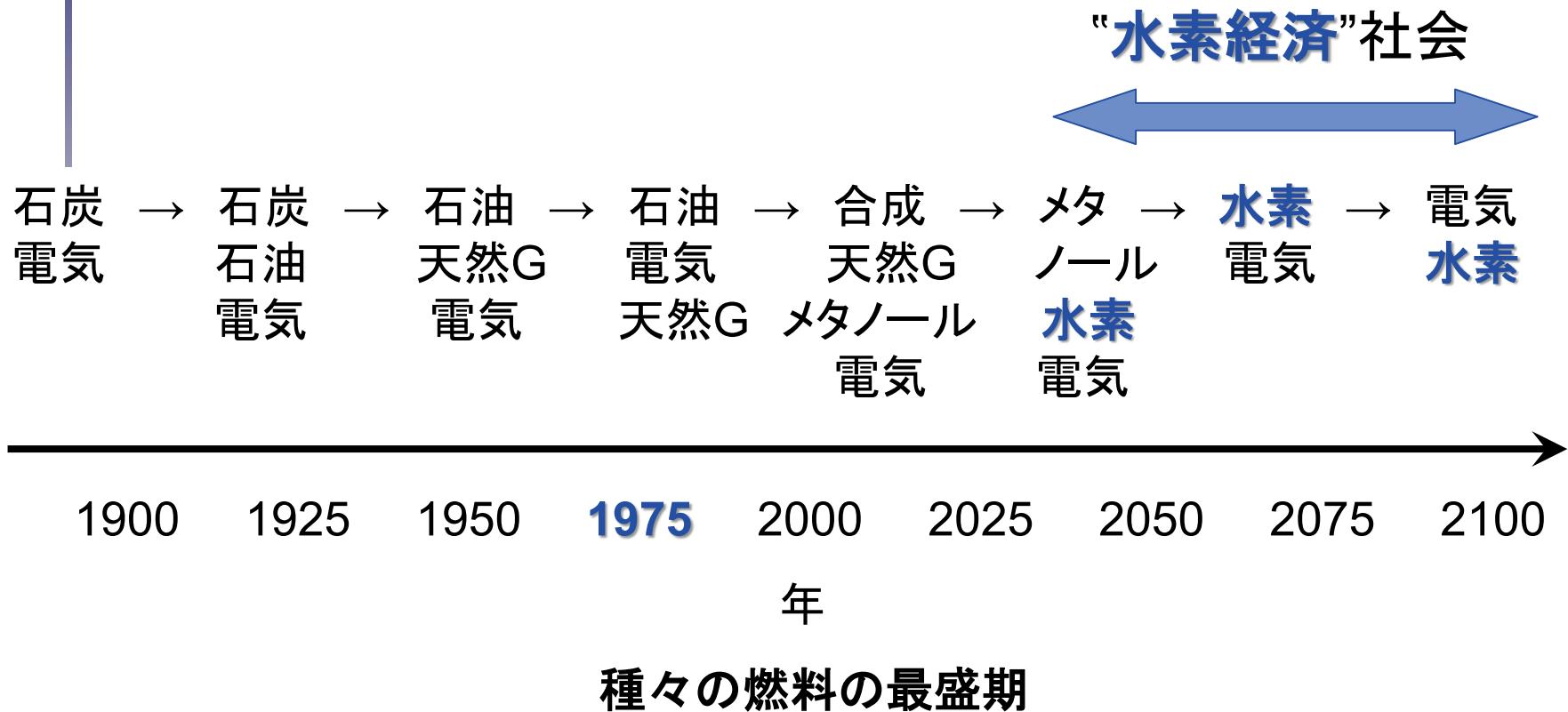


ソーラーカー

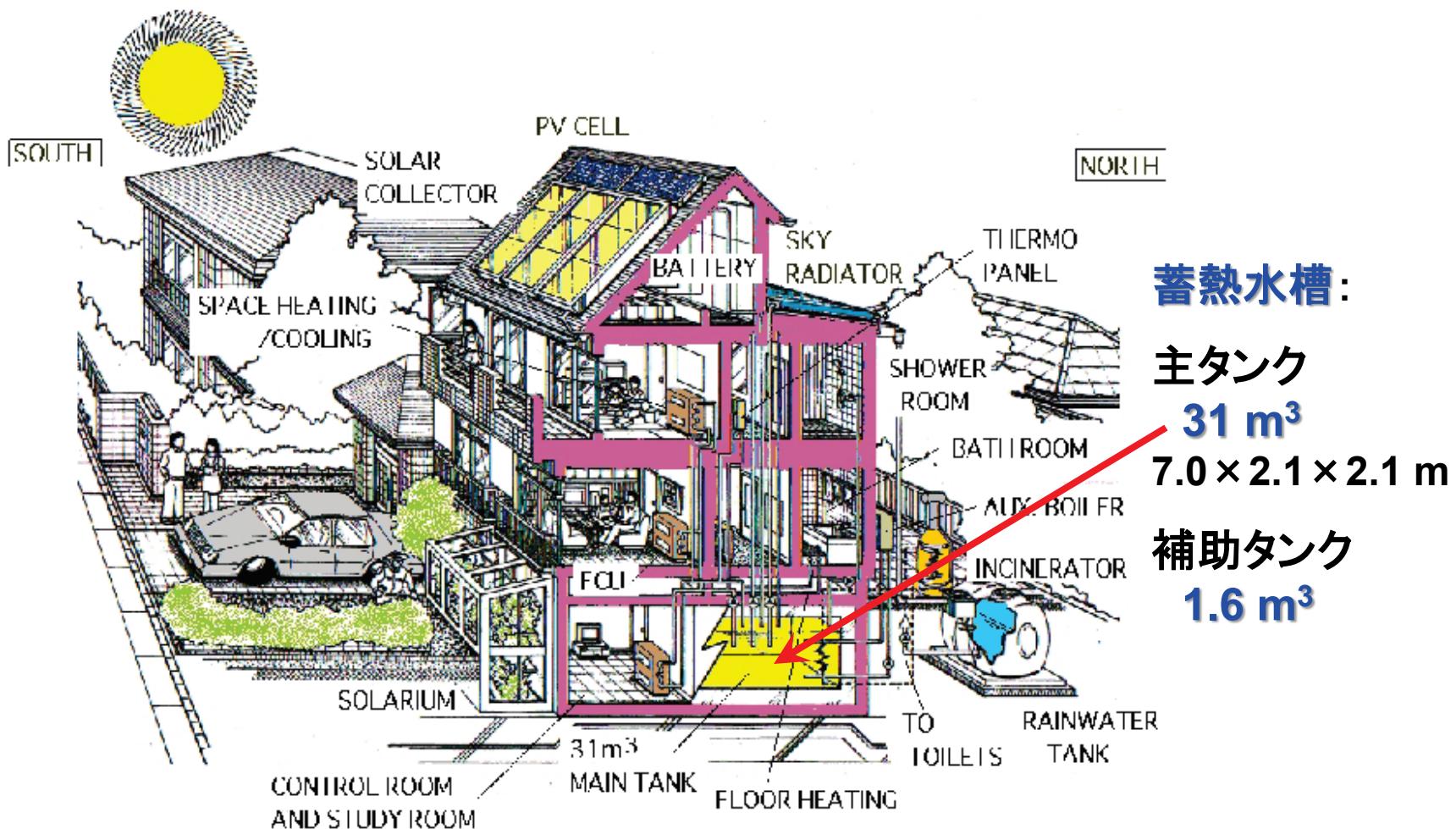
1~3馬力

3. 水素経済の考え方

J. O'M. Bockris著, 喜多英明・魚崎浩平訳,
"Energy Options エナジーオプション," 技報堂出版, 1982.

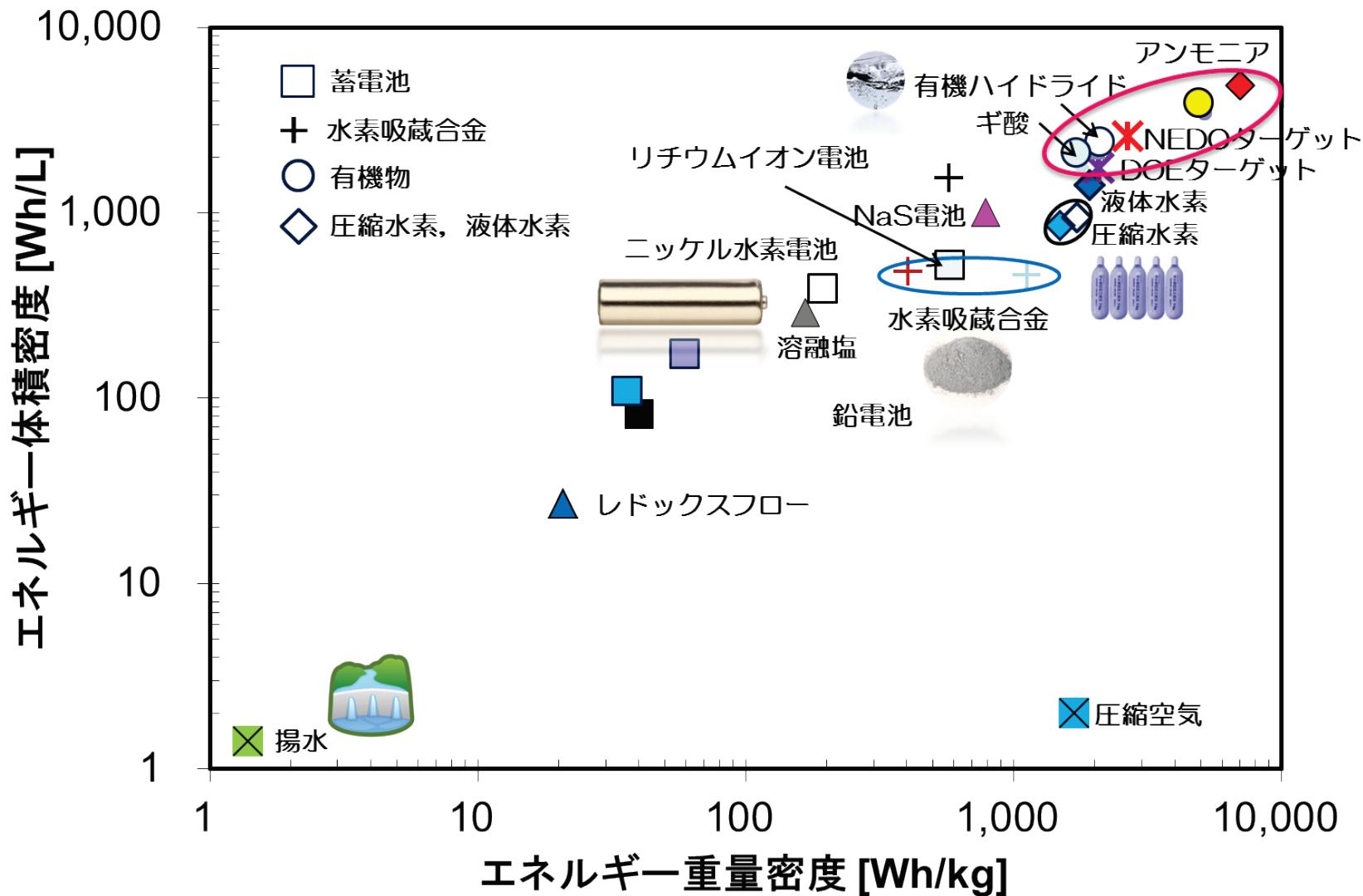


水蓄熱のエネルギー自立ハウス



エネルギー自立ハウス（仙台、個人宅、1996年～稼働中）

エネルギーキャリアの貯蔵密度



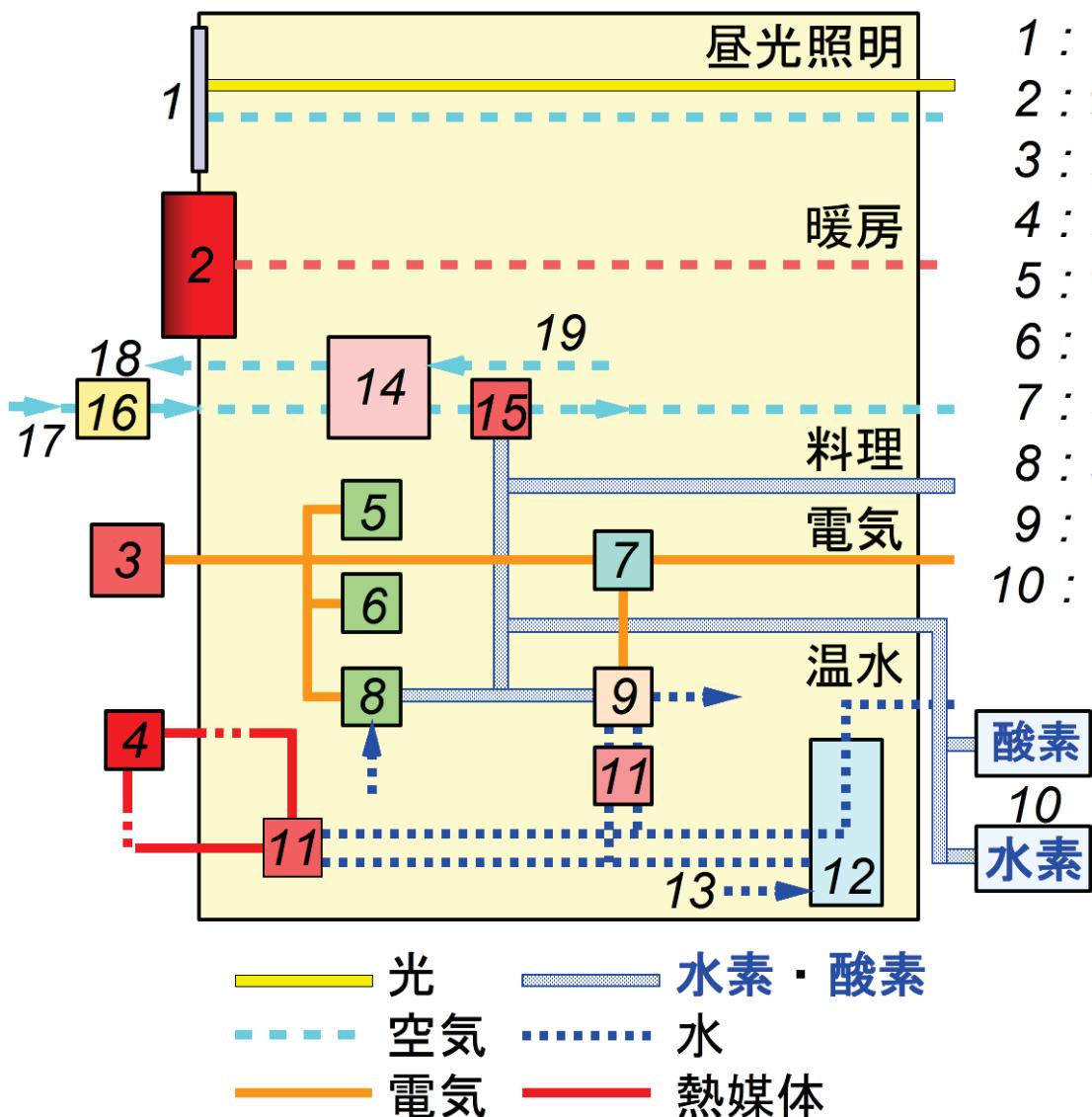
(出典: 産総研 FREIA 資料)

水素貯蔵のエネルギー自立ハウス



エネルギー自立ハウス（フランツホーファー太陽エネルギー
システム研究所、フライブルク、ドイツ）

（1992年～1995年稼働）（写真は1995年当時）



- | | |
|---------------|-------------|
| 1 : 窓 | 11 : 熱交換器 |
| 2 : 透明断熱材 | 12 : 貯湯槽 |
| 3 : 太陽光発電 | 13 : 水道水 |
| 4 : 太陽熱集熱器 | 14 : 換気熱交換器 |
| 5 : 制御計測器 | 15 : 触媒燃焼器 |
| 6 : 蓄電池 | 16 : 地中熱交換器 |
| 7 : パワコン | 17 : 外気 |
| 8 : 水電解装置 | 18 : 排気 |
| 9 : 燃料電池 | 19 : 戻り空気 |
| 10 : 水素/酸素タンク | |

エネルギー自立ハウスのエネルギーフロー

(参考文献: The Self-Sufficient Solar House, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, (1993).)

建築面積: 111 m²、総床面積: 332 m²、総容積: 1027 m³

太陽電池アレイ面積: 36 m²(単結晶シリコン、84モジュール)

蓄電池容量: 19 kWh (2 V鉛 × 24 = 48 V)

太陽集熱器面積: 12 m²(管型真空両面集熱器)

蓄熱水量: 1 m³(温度成層型)

水電解装置: 1200 NL/h H₂、水素タンク容量 15 m³(30 bar、

1.4 GWh)(酸素タンク容量 7.5 m³、計画のみ)

燃料電池定格出力: 1 kW(アルカリ型、不調)

水素循環

取得太陽エネルギー: 断熱窓から 11 GJ/year、

透明断熱壁から 11 GJ/year、太陽集熱器から 14 GJ/year

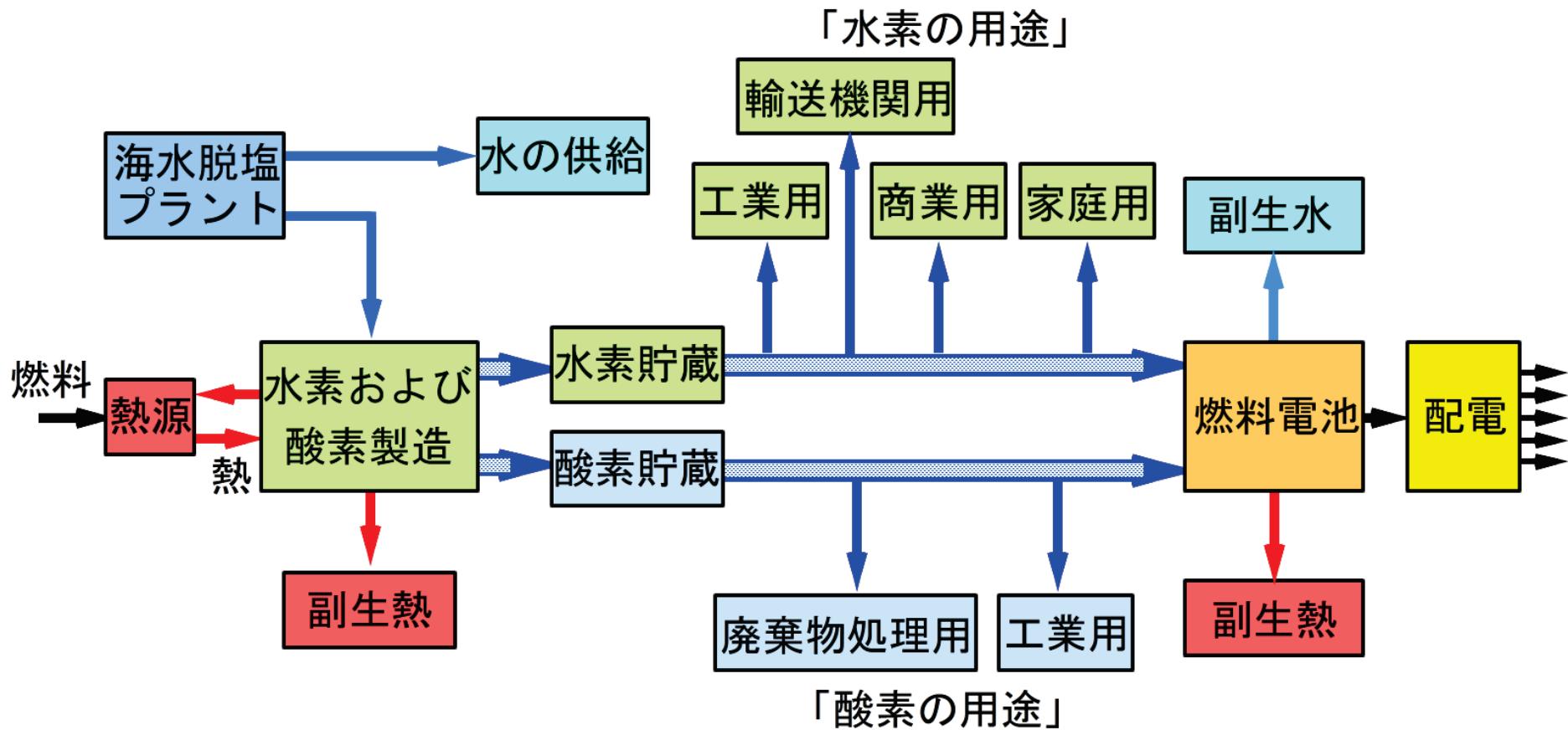
太陽光発電システムから 4500 kWh/year (16.2 GJ/year)

(参考文献: The Self-Sufficient Solar House and Annual Report
1993, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, (1993).)

技術的障壁、建設・運転・破壊コスト、環境影響、
 資源循環、社会的経済効果を考慮した
 水素エネルギー・システムの価値の考察例

エネルギー・システム	価値度
太陽熱－水素	100
太陽電池－水素	100
バイオマス－水素	50
風力－水素	25
OTEC－水素	10
石炭－LH ₂ (CO ₂ 海中投棄)	10
石炭－水素(同上)	10
石炭－LNG	5
石炭－ガソリン	1
風力－水素	0

(出典: J. O'M. Bockris著, 喜多英明・魚崎浩平訳,
 "Energy Options エナジーオプション," 技報堂出版, 1982.)



“水素経済”のエネルギーフロー

(参考文献: J. O'M. Bockris著, 喜多英明・魚崎浩平訳,
"Energy Options エナジーオプション," 技報堂出版, 1982.)

日本の“水素社会”への取り組み例

- ・ **WE-NET**研究開発事業(1993年～2002年)

通産省工業技術院ニューサンシャイン計画

水素利用国際クリーンエネルギー・システム技術

(World Energy Network, **WE-NET**) 研究開発事業

- ・ **エネルギー基本計画**(2014年4月)

“水素社会”の実現に向けた取組の加速

(1) 定置用燃料電池(エネファーム等)の普及・拡大

(2020年140万台、2030年530万台導入目標)

(2) 燃料電池自動車の導入加速に向けた環境整備

(水素ステーションの整備)

(3) 水素の本格利活用に向けた水素発電等新技術実現

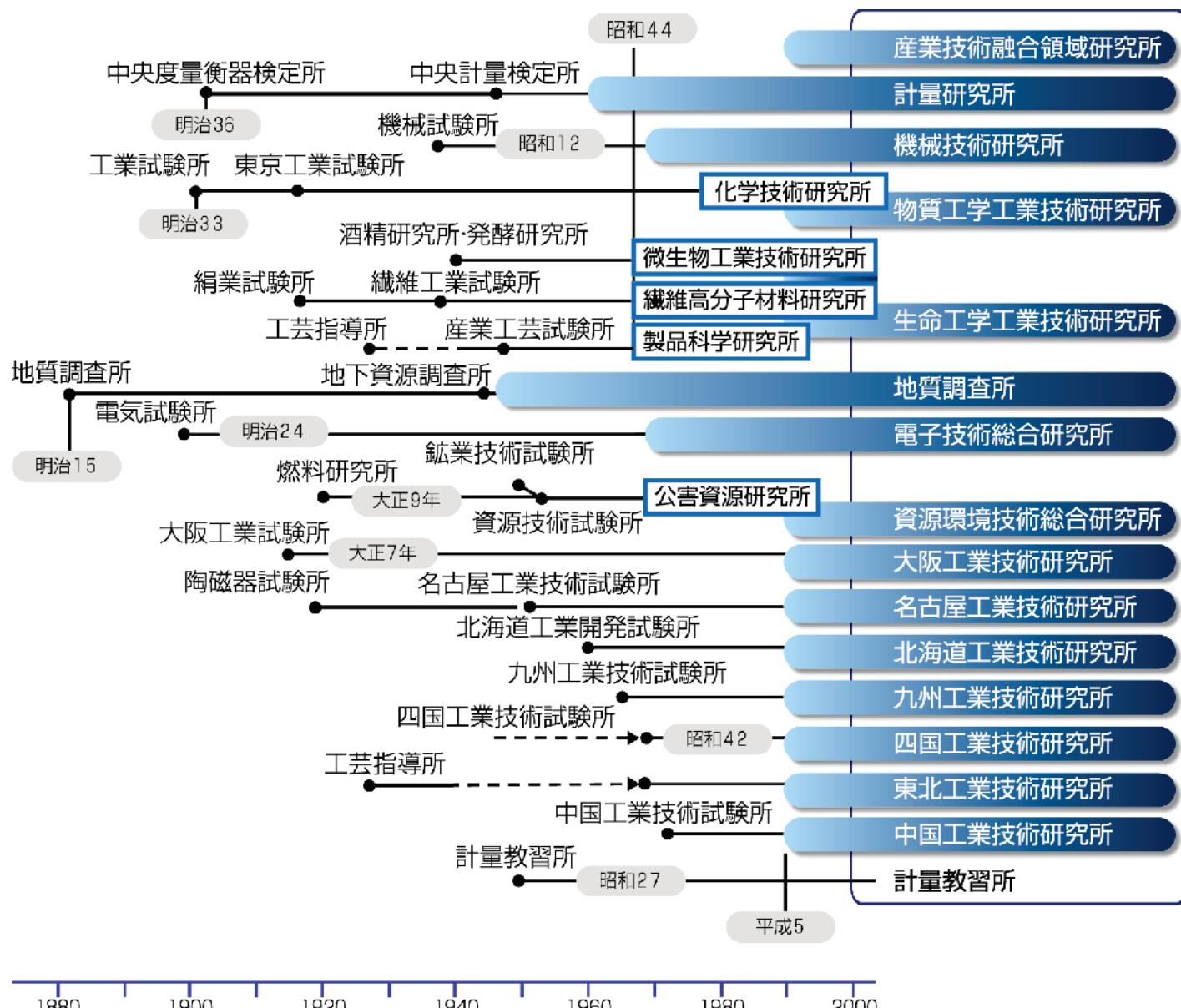
(4) 水素の安定供給に向けた製造、貯蔵・輸送技術開発推進

(水素輸送船、有機ハイドライド、アンモニア等の化学物質や
液化水素への変換)

(5) “水素社会”の実現に向けたロードマップの策定

4. 産総研の取り組み

産業技術総合研究所

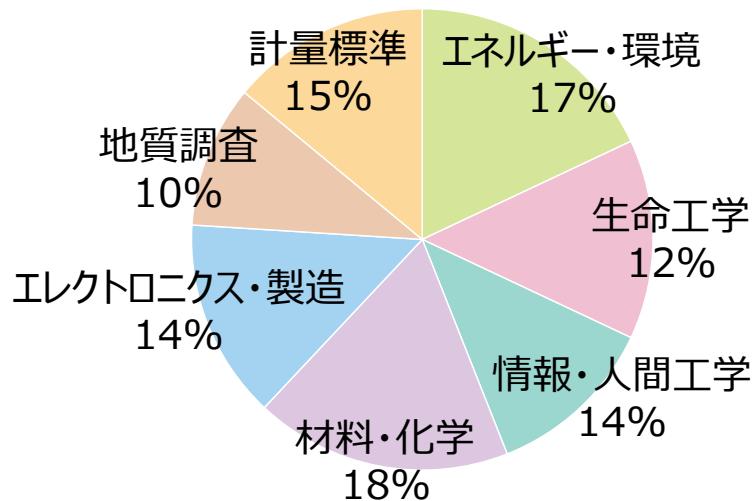


産総研の人員・研究領域

研究活動を実施している人員

研究職員 :	2,282名
ポスドク等 :	1,921名
大学・企業等からの外来	
研究員等 (2015年度) :	4,716名
合計 :	8,862名

研究職員の領域別構成
(2016年10月1日現在)



7つの研究領域

エネルギー・環境領域

創エネルギー、電池技術、省エネルギー、環境管理、安全科学、太陽光発電、再生可能エネルギー、先進パワーエレクトロニクス

生命工学領域

創薬基盤、バイオメディカル、健康工学、生物プロセス、創薬分子プロファイリング

情報・人間工学領域

情報技術、人間情報、知能システム、自動車ヒューマンファクター、ロボットイノベーション、人工知能

材料・化学領域

機能化学、化学プロセス、ナノ材料、無機機能材料、構造材料、触媒化学融合、ナノチューブ実用化、機能材料コンピュテーショナルデザイン、磁性粉末冶金

エレクトロニクス・製造領域

ナノエレクトロニクス、電子光技術、製造技術、スピントロニクス、フレキシブルエレクトロニクス、先進コーティング技術、集積マイクロシステム

地質調査総合センター

活断層・火山、地図資源環境、地質情報、地質情報基盤センター

計量標準総合センター

工学計測、物理計測、物質計測、分析計測、計量標準普及センター

産総研の水素利用研究(目的基礎研究)

- ・**WE-NET**研究開発事業
 - ・水素-酸素燃焼システム、水素燃焼タービンの研究開発
 - ・固体高分子形燃料電池(**PEFC**)の研究
 - ・固体酸化物形燃料電池(**SOFC**)の研究
 - ・高温水蒸気電解セル／固体酸化物形電解セル(**SOEC**)の研究

最近のトピックス

- ・水分解用の**酸化物光電極**中で最も高い太陽エネルギー変換効率(1.35%)を達成(2012年3月)
- ・水素の大量製造を可能にする**酸化物ナノ複合化陽極材料**を開発
電解効率99%、電流密度2.3A/cm²(従来比3倍)(2016年11月)
→ **高温水蒸気電解の実用化に近づく性能**

産総研地域センターの活動

つくばセンターに加えて9つの研究拠点



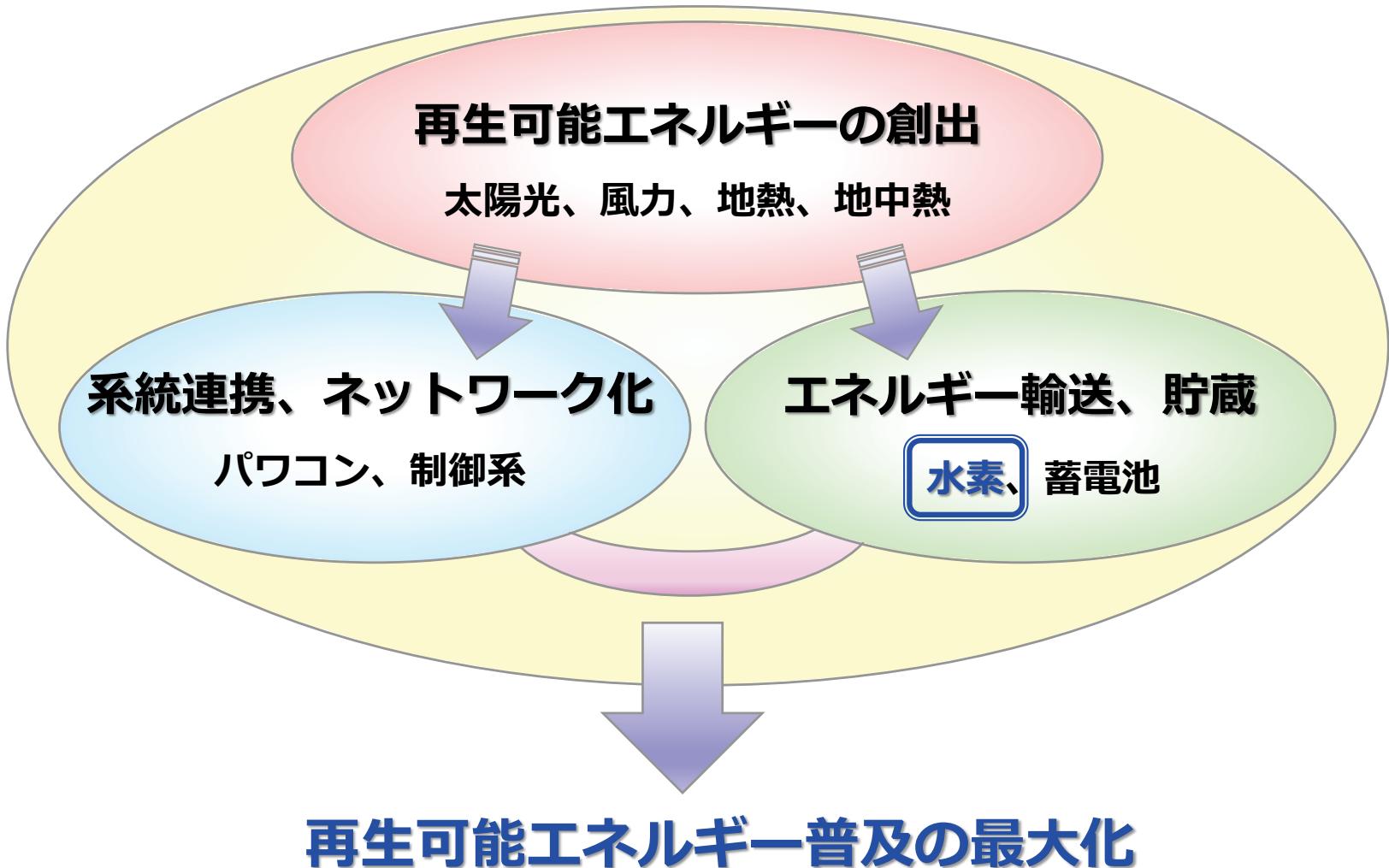
北海道センター	バイオものづくり
東北センター	化学ものづくり
中部センター (含石川サイト)	機能部材
関西センター (含福井サイト)	電池技術、医療技術
中国センター	バイオマス利用技術
四国センター	ヘルスケア
九州センター	製造プラント診断
臨海副都心センター	バイオ・IT融合
福島再生可能エネルギー研究所	再生可能エネルギー

福島再生可能エネルギー研究所(FREA)

FUKUSHIMA RENEWABLE ENERGY INSTITUTE, AIST

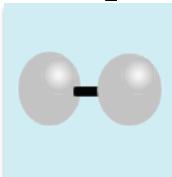


總人員：371名（常勤職員57名、契約職員82名、外部共同研究者232名） 2016.6.1現在
研究予算：2015年度29億円





高圧水素
(H₂)

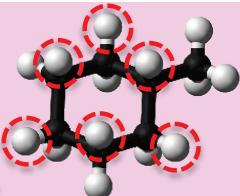


トルエン

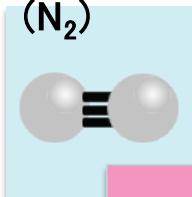


水素放出・吸収

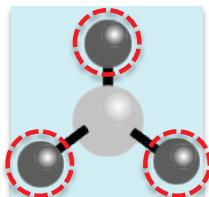
MCH



窒素
(N₂)

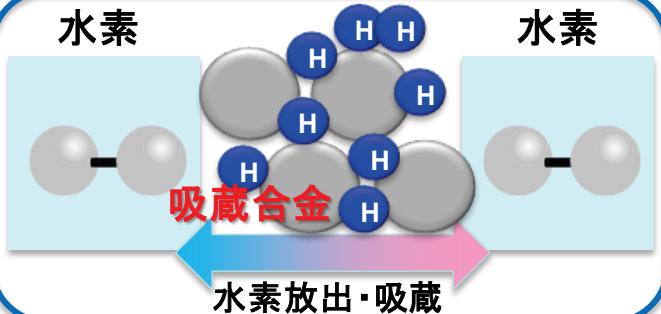


アンモニア



水素吸収

水素

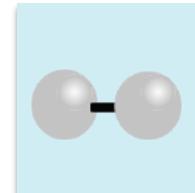


水素放出・吸蔵

水素



液体水素
(LH₂)



※メチルシクロヘキサン(MCH): 6重量%の水素を有する常温常压で液体の有機化合物
1 LのMCHで500 Lの水素ガスを貯蔵

※アンモニア: 17重量%の水素を有する窒素化合物、1 Lのアンモニアで1300 Lの水素ガスを貯蔵

※ギ酸: 4重量%の水素を有する常温常压で液体の有機化合物

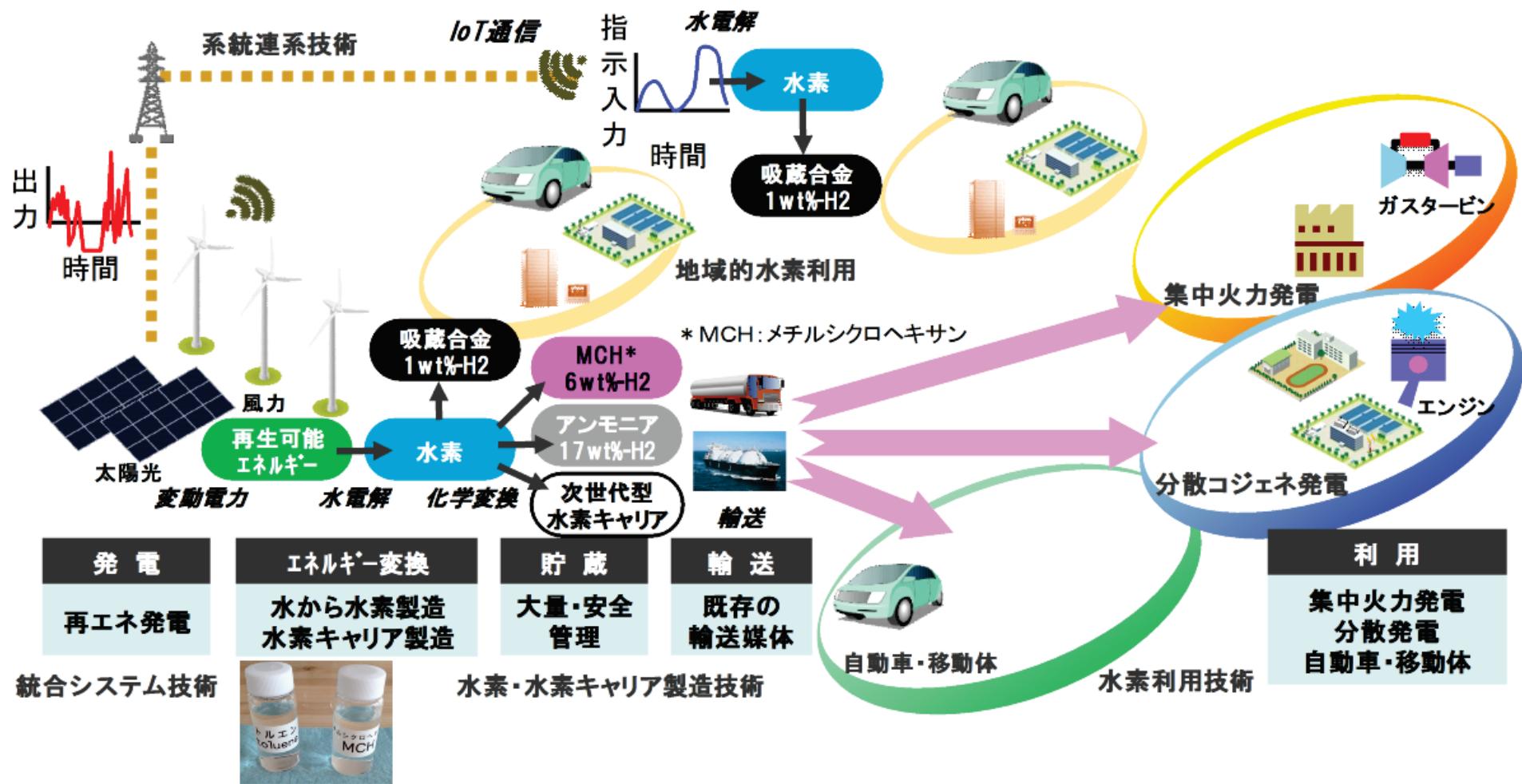
※水素吸蔵合金: 水素だけを合金中へ可逆的に吸蔵・放出、重量密度は小だが体積密度は大

※液体水素: 1 Lの液体水素で800 Lの水素ガスを貯蔵。水素の純度が非常に高い。

(出展: 産総研 FREA 資料)



水素によるエネルギー貯蔵・利用の流れ



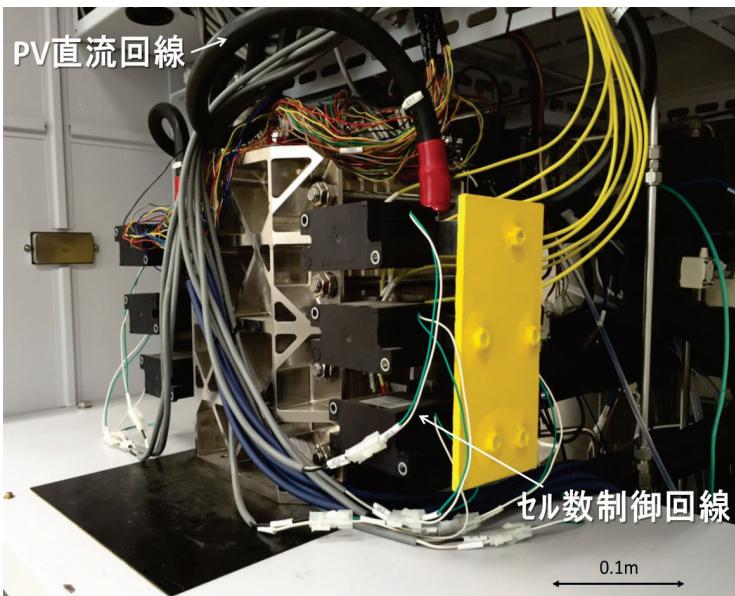
太陽光、風力等の天候により出力が変動する再生可能エネルギーを水素に転換して貯蔵し、安定的にさまざまな形で産業・社会に利用

(出展: 産総研  FREA 資料)

太陽電池－水電解水素製造システム



電解用太陽電池 20 kW



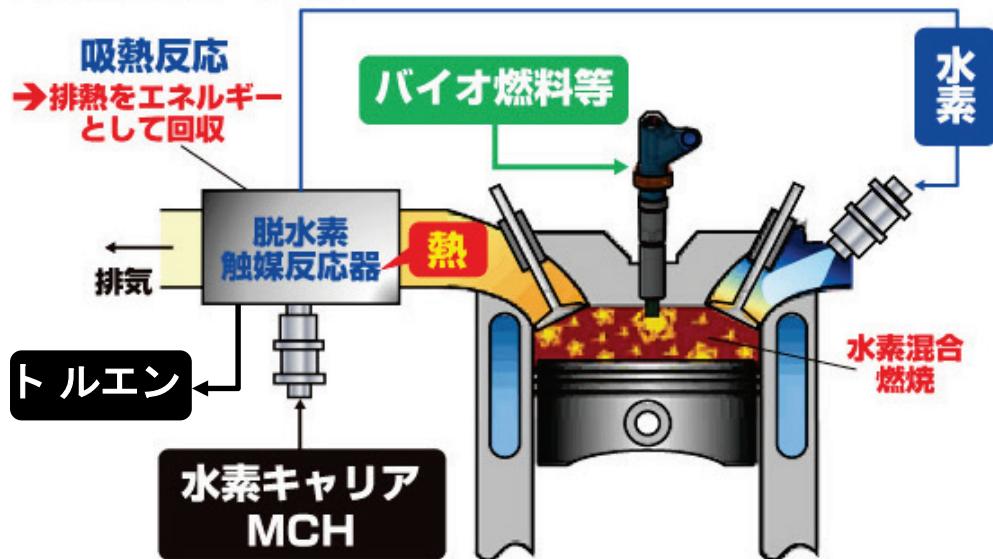
5 Nm³/h 規模水電解装置
(燃料電池機能付)

太陽電池出力を直流のまま、
電解セル数を制御できる
水電解装置に直結し、
変動電力で高効率電解を達成

- 変動電力に対応する水電解装置制御技術を開発
- 太陽エネルギーを高効率に水素に変換(約15%)

(出展: 産総研  FREA 資料)

MCHを利用する次世代コーチェネエンジン



- 水素キャリアとしてのMCH(メチルシクロヘキサン)の脱水素反応熱を実エンジン排ガスで回収
- 脱水素ガス流量290 NL/min(水素割合60%)を実現(世界最高水準)

- 水素の激しい燃焼性をコントロールし、発電機エンジンにおいて水素割合(熱量)60%(当初20%、最終目標80%)を実現(世界最高水準)
- 水素と軽油の混焼エンジンにおいて、熱効率40%超の高効率かつ高排気温を実現

(出展: 産総研  FREA 資料)

小型ガスタービンアンモニア発電



- アンモニアの燃料利用として、小型ガスタービンにおいて灯油との混焼に挑戦
- 灯油燃料の30%(熱量換算)をアンモニアとして21 kWの混焼での発電に、世界で初めて成功(燃焼器は産総研+東北大学の研究成果)☆2014/9/18 プレス発表☆
- アンモニア専焼や天然ガスとの混焼に成功
☆2015/9/17 プレス発表

(出展: 産総研  FREA 資料)

未来に向けて

- 再生可能エネルギーの利用拡大には
水素エネルギー利用が求められる
- しかし、水素エネルギーは二次エネルギー
(一次エネルギーからの変換ロスが伴う)
→ 基本は一次エネルギーを上手く直接利用すること
- 化石エネルギーはいずれ枯渇する
→ 枯渇前に持続可能なシステムの構築が必須

End