

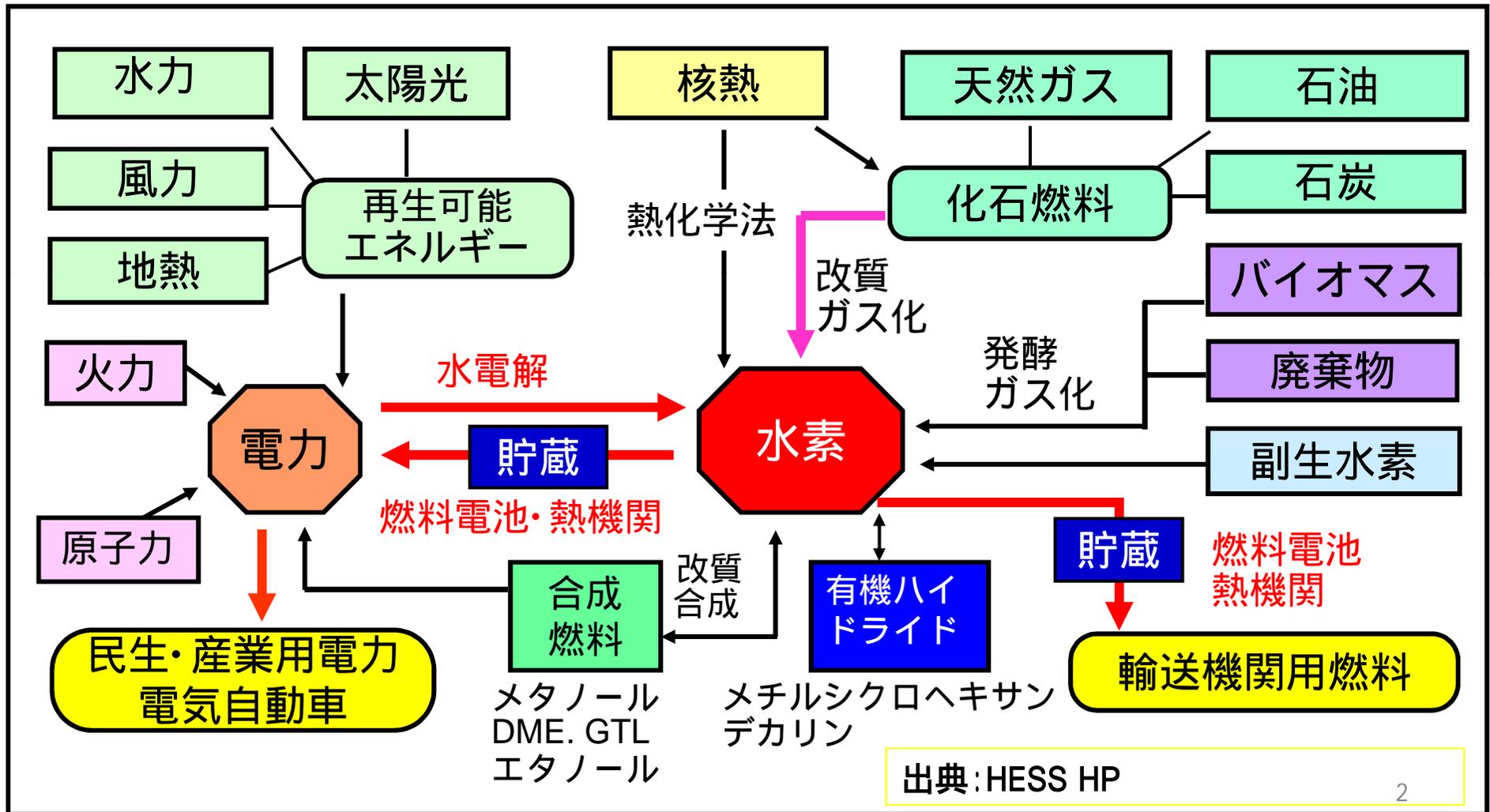
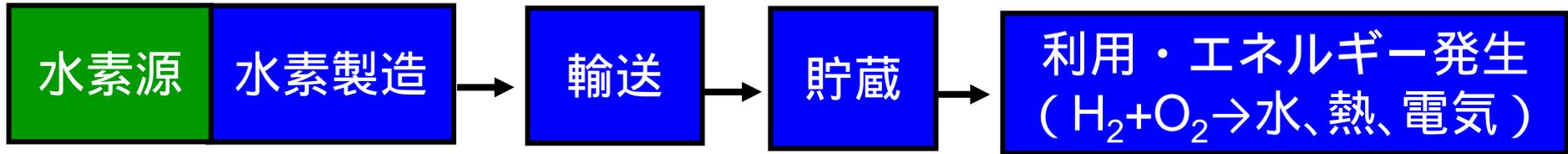


神奈川発 水素革命 次世代エネルギーの主役は水素だ
レジリエントな社会の構築のための水素の重要性

平成25年4月19日

水素エネルギー協会 (HESS) 会長
東京農工大学 産業技術専攻・応用化学専攻 教授
亀山秀雄

水素エネルギーシステム



エネルギー・環境問題と水素技術開発の歴史(1)

1970

1975

1980

1985

1990

国際情勢

▼73 第1次石油ショック、第4次中東戦争
石油代替エネルギーとして水素への期待が芽生える

▼79 第2次石油ショック、イラン革命

▼88 第1回気候変動に関する政府間パネル(IPCC)

欧米の研究開発

再生可能エネルギー
利用水素技術開発
プロジェクト

EQHHP(水力/水素) ▼86~98
(EUとカナダ)

SWB(太陽/水素) ▼86~99
(ドイツ)

HYSOLAR(太陽/水素) ▼86~95
(ドイツ/サウジアラビア)

▼86 →

水素関係 団体設立

海外

▼74 国際水素エネルギー協会(IAHE)設立
▼76 第1回世界水素エネルギー会議(WHEC)開催

▼89 全米水素協会(NHA)設立
各国水素協会設立

日本

▼73 水素エネルギー研究会設立
(後のHESS:水素エネルギー協会)

日本の 研究開発

▼74~93 サンシャイン計画(石油代替クリーンエネルギー技術開発)

▼78~93 ムーンライト計画(省エネルギー技術開発)

本格的燃料電池開発の推進

エネルギー・環境問題と水素技術開発の歴史（2）

1995 2000 2005 2010 2015

地球環境問題の国際活動

- ▼92 UNCED(南米リオ)
- ▼92 地球サミット(気候変動枠組み条約締結)
- ▼95 COP1
- ▼97 COP3(京都)
- ▼95 IPCC第2次報告書(地球温暖化は化石燃料消費によるCO₂濃度上昇が原因との結論)
- ▼05 IPCC CO₂ 隔離特別報告書
- ▼07 COP13
- ▼09 COP15
- ▼10 COP16

欧米の研究開発

欧州

欧州のFCV, FCバス
デモプロジェクト
Lighthouse Projects

- ▼02 FP6
- ▼02~05 CUTE
- ▼04~10 Zero Regio
- ▼05~15 北歐 HyNor, SHHP
- ▼07~13 FP7 Framework Program
- ▼06~09 HyFLEET CUTE
- ▼10~16 CHIC FC Bus

米国

ドイツ

- ▼92 米国DOE Hydrogen Program
- HTAP(水素技術諮問委員会)発足。
大々的水素技術開発が進展

- ▼02~16 CEP
- ▼07~16 ドイツNIP Program
- ▼09~ H2 Mobility

- ▼03 米国大統領のH₂ Fuel Initiative
- ▼03~FutureGenプロジェクト(石炭ガス化IGCCとCCS)
- ▼05~09 DOE-FCVデモ

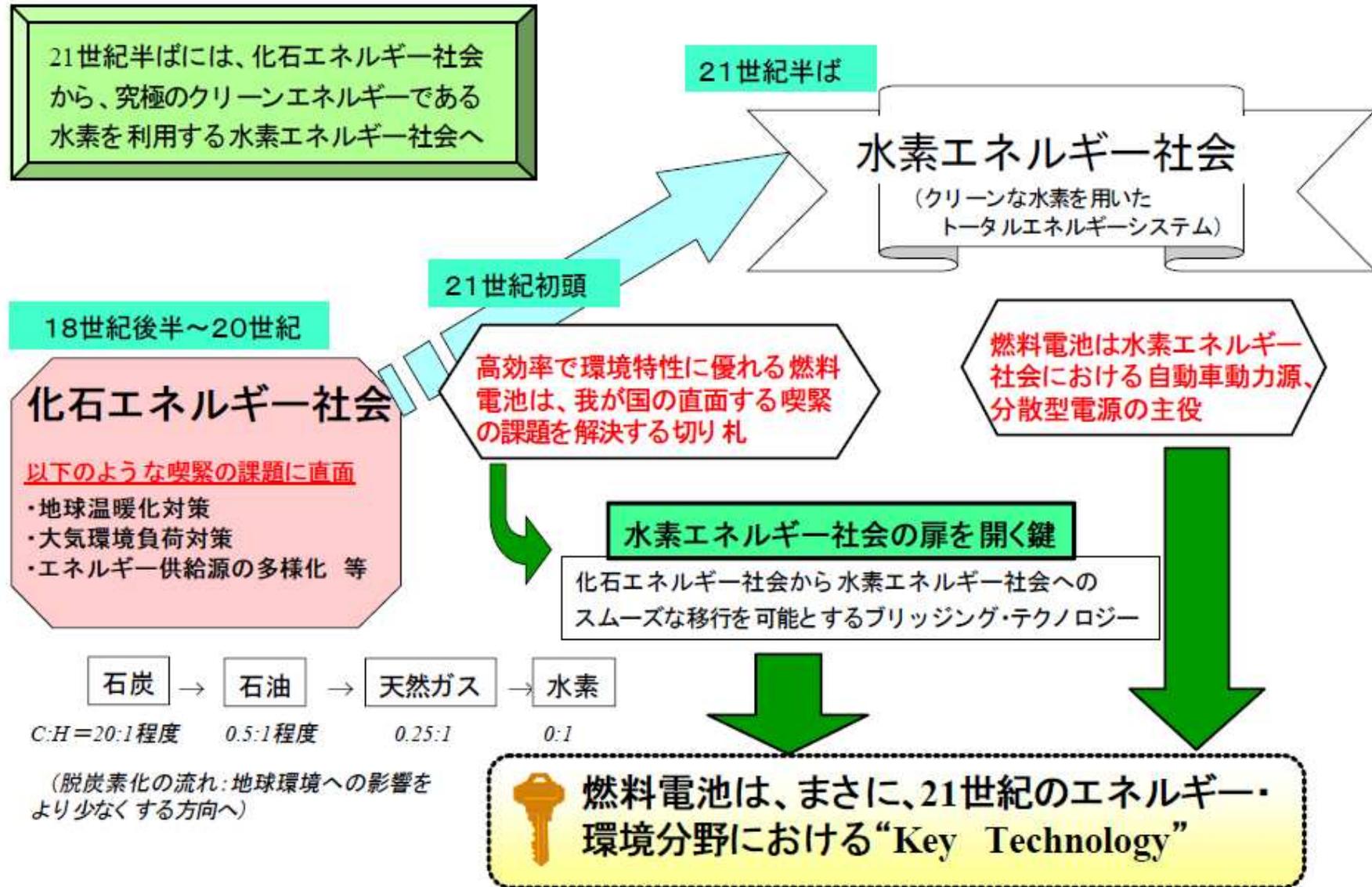
日本の研究開発

- ▼93~00 ニューサンシャイン計画
(太陽光、風力、燃料電池、水素技術開発)
- ▼93~02 WE-NET水素プロジェクト
(大規模水素システムの技術開発)

- ▼02~05 JHFC I
- ▼03~07 水素安全利用等基盤技術開発
- ▼05~09 水素社会構築共通基盤事業
- ▼06~12 水素先端科学基盤研究事業
- ▼07~11 水素貯蔵材料先端基盤研究事業
- ▼08~12 水素製造・輸送・貯蔵システム技術開発
- ▼08 COOL EARTH50
- ▼06~10 JHFC II

COP: Conference of the Parties, 気候変動枠組み条約締結国会議

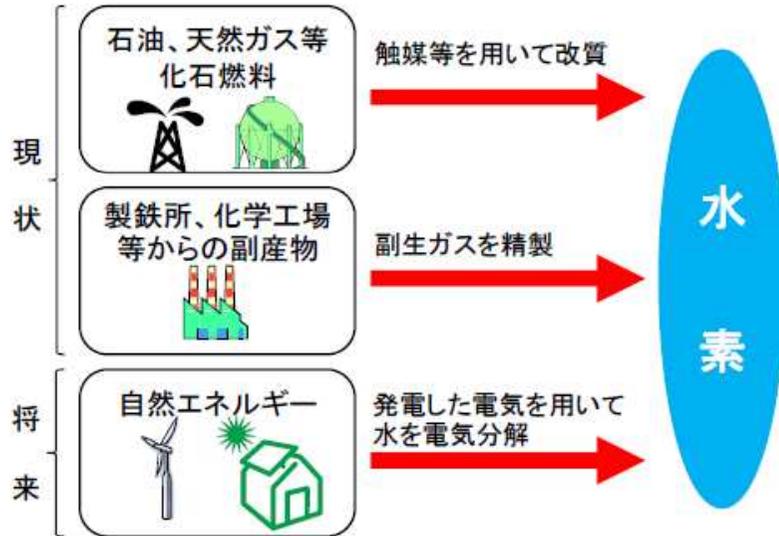
21世紀の水素エネルギー社会の扉を開く燃料電池



1. 水素・燃料電池の導入意義

- ◆水素は多様なエネルギー源から製造が可能でエネルギーセキュリティに貢献。
- ◆また、燃料電池による水素の利用により、分散型電源としてピークカットにも貢献し、熱も活用するため高いエネルギー効率から地球温暖化対策としても有効。

多種多様なエネルギーから製造可能
→ **エネルギーセキュリティ**に貢献

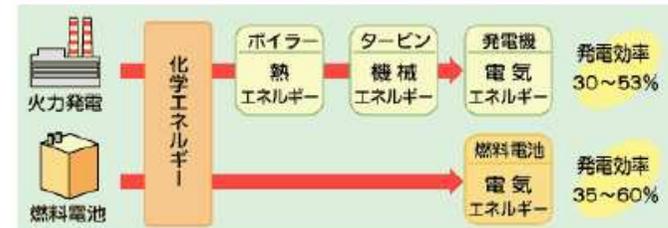


分散電源として需要サイトで利用
→ **系統電力の需給緩和**に貢献



燃料電池

電気と熱の両方を有効に利用するため、総合エネルギー効率が高い
→ **省エネ、それに伴うCO2削減**に寄与



資源エネルギー庁第28回基本問題委員会
平成24年7月5日 配付資料 より引用

燃料電池の多様なアプリケーション

定置用燃料電池

家庭用分散エネルギー



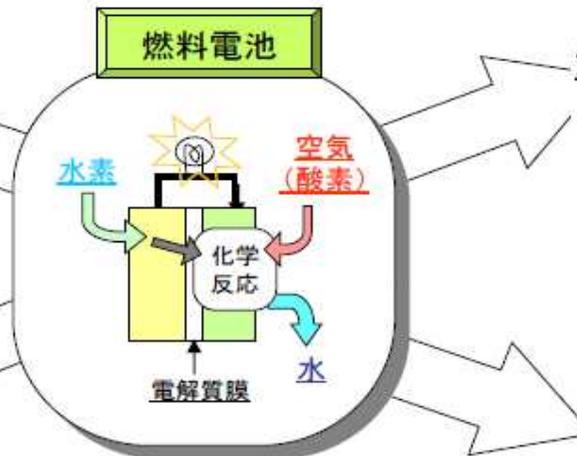
携帯用燃料電池

長時間使用可能な
革新的電源



燃料電池自動車

環境に優しい究極の車



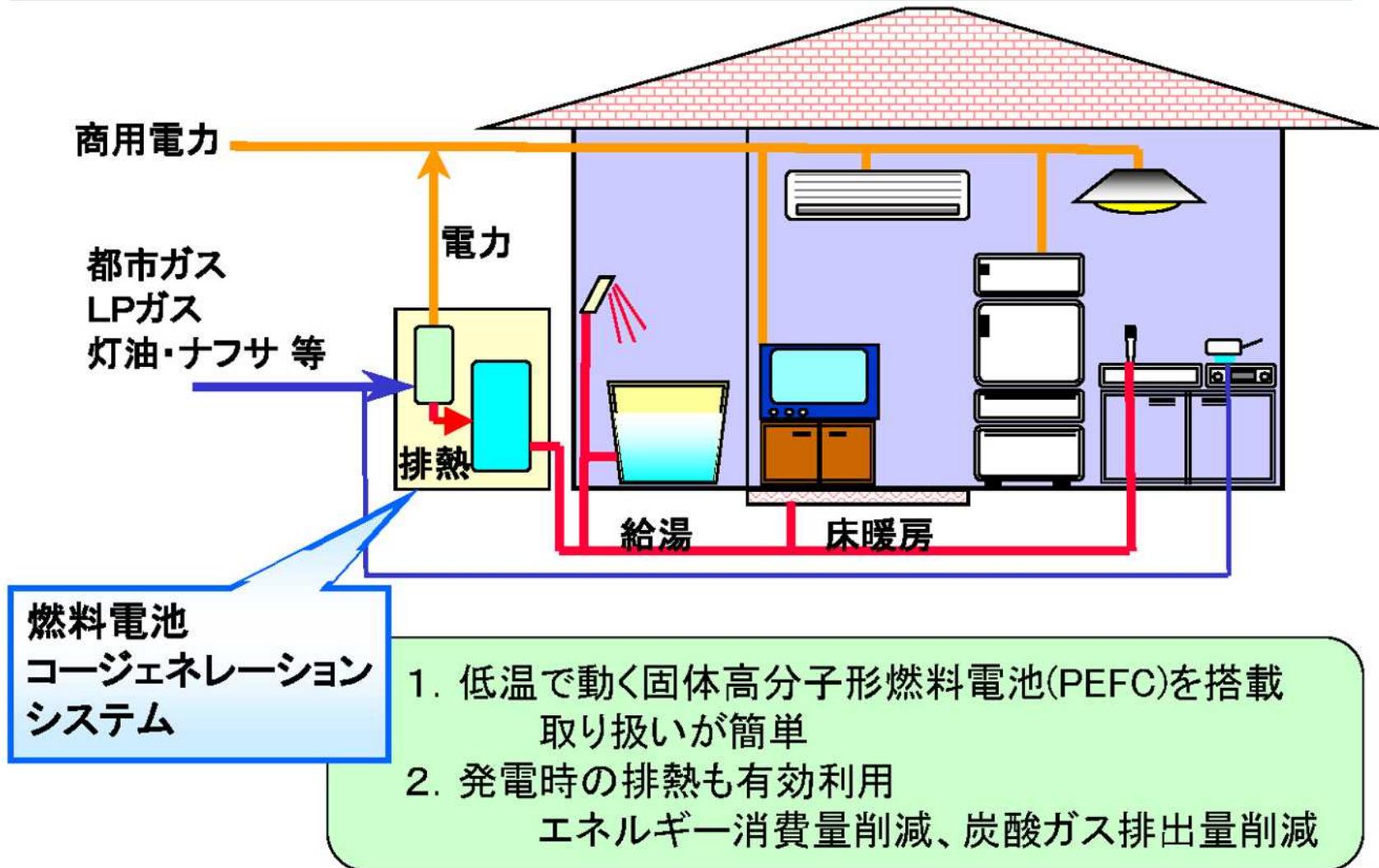
高温形燃料電池

発電効率が高い事業所
向け革新的エネルギー源



- 環境問題への対応
- エネルギーセキュリティの確保
- 新規産業の創出

家庭・小規模業務用燃料電池システム

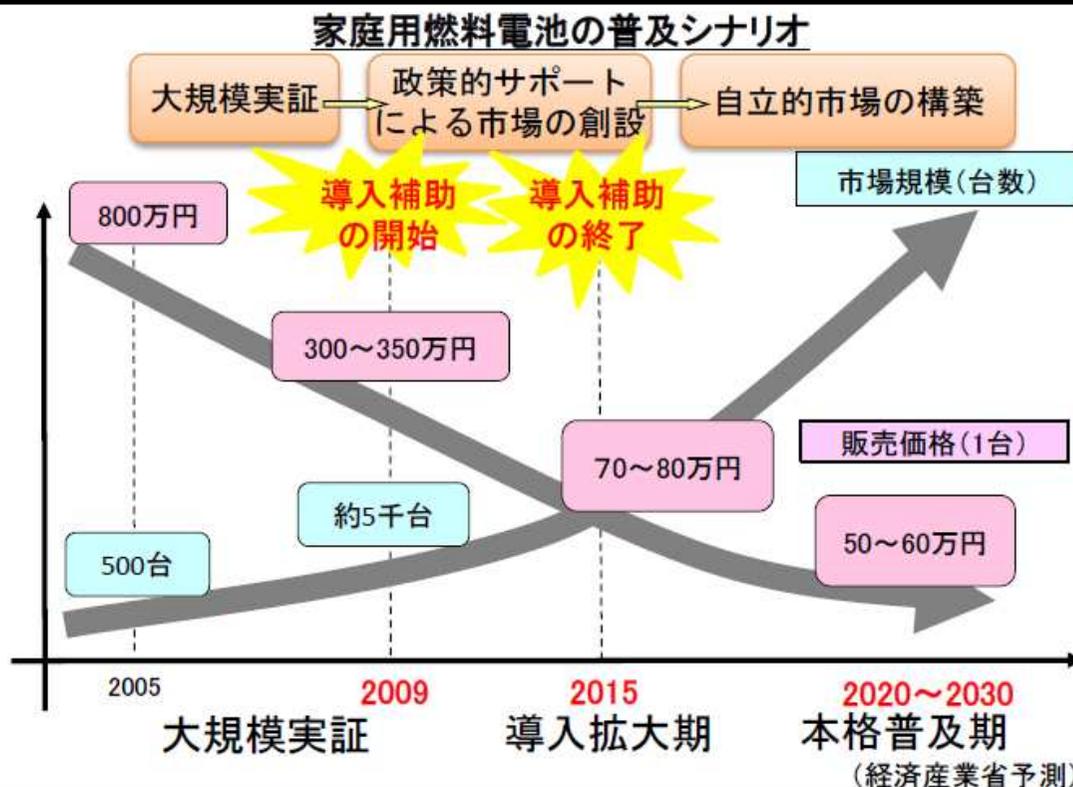


家庭用燃料電池

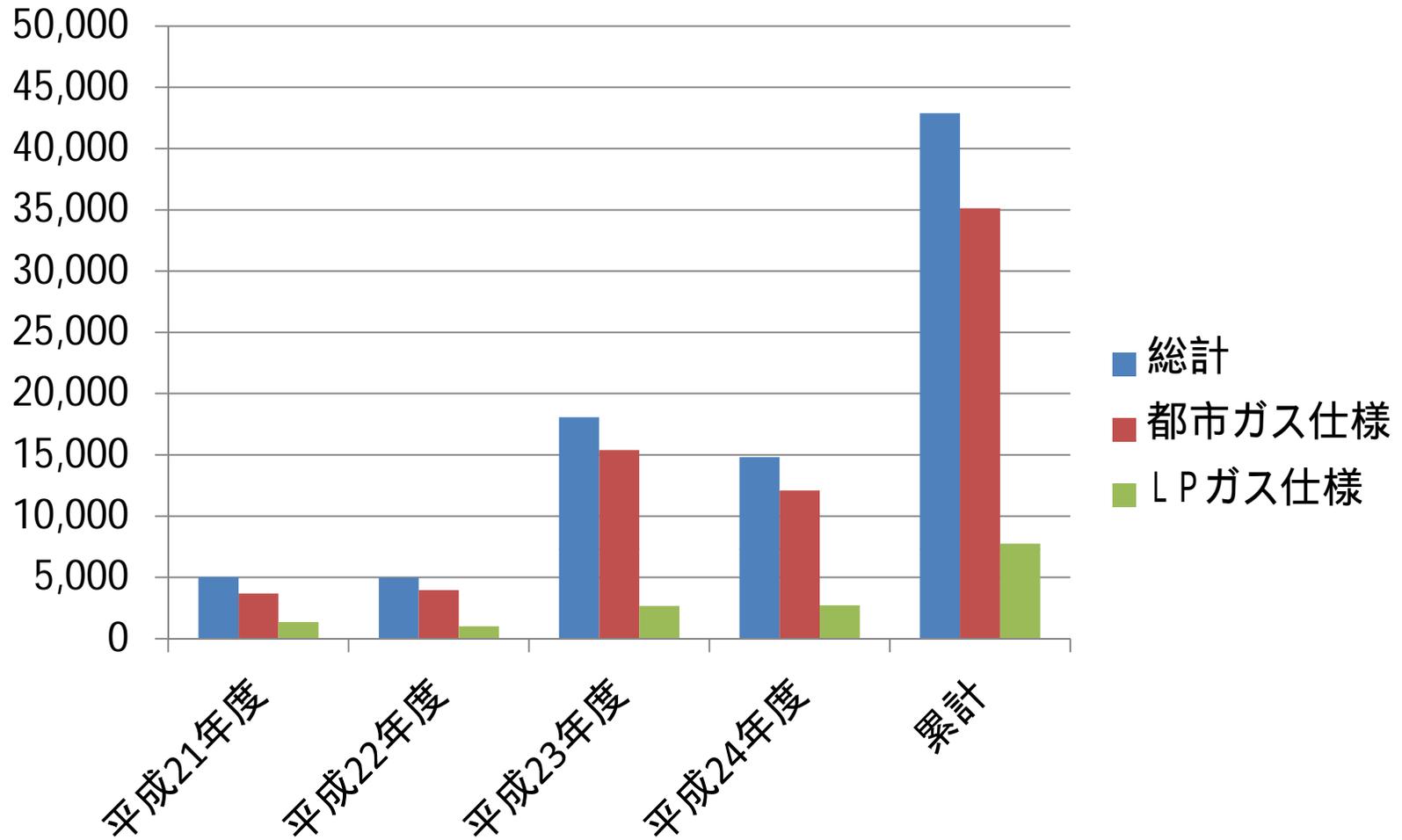
- ◆家庭用燃料電池(エネファーム)は、総合効率が非常に高く(80%以上)、省エネ(通常の給湯器等の利用に比して23%削減)、CO2削減(年間38%削減)に貢献。
- ◆2012年6月末現在、累積で約2万台普及。2030年の家庭用燃料電池の普及台数は、累積で530万台の見通し。
- ◆量産効果等により2016年以降には1台当たり70~80万円の販売価格の見通し。
- ◆現在は固体高分子形燃料電池※1(PEFC)が市場に多く流通しているが、昨年度より、発電効率が高い固体酸化物形燃料電池※2(SOFC)が商業化。

※1: 固体高分子膜を電解質とし、作動温度が低く(70℃~80℃)、起動性等に優れ、携帯機器や自動車用にも適する。

※2: セラミックスを電解質とし、作動温度が高く(700℃~1000℃)、多様な燃料にも適応でき、業務用や発電用に適する。



※1台当たり0.7~1.0kW



民生用燃料電池導入支援補助金 申込受理台数
 一般社団法人 燃料電池普及促進協議会ホームページより引用

平成23年5月

■京浜臨海部のポテンシャル

京浜臨海部コンビナート高度化等検討会議

東京都

川崎駅

川崎市撮影の航空写真
(2009年1月撮影)

京浜港や羽田空港に近接

羽田空港

多摩川

素材・エネルギー系
産業がフルセットで集積

神奈川県

京浜運河

豊富な労働力

川崎港

理化学研究所横浜研究所

研究開発拠点の集積

横浜港

首都圏大消費地に近接

川崎港

臨海部立地企業による再生可能エネルギーの取組として以下のようなものがある。

- ・メガソーラー発電（東京電力(株)）

東京電力(株)は、川崎市と共同で、浮島地区と扇島地区に合計出力約 2 万 k w となる国内最大級の整備を進めており、平成 23 年に運転開始が予定されている。

- ・風力発電（J X 日鉱日石エネルギー(株)）

J X 日鉱日石エネルギー(株)では、扇島に 2000 k w 級の風力発電を整備し、平成 22 年から運転を開始している。

- ・バイオマス発電（川崎バイオマス発電(株)）

川崎バイオマス発電(株)では、扇町で建築廃材等の木屑チップをリサイクル燃料とした電力供給事業を推進している。

■メガソーラー発電
(東京電力(株))



■風力発電
(J X 日鉱日石エネルギー(株))



■バイオマス発電
(川崎バイオマス発電(株))

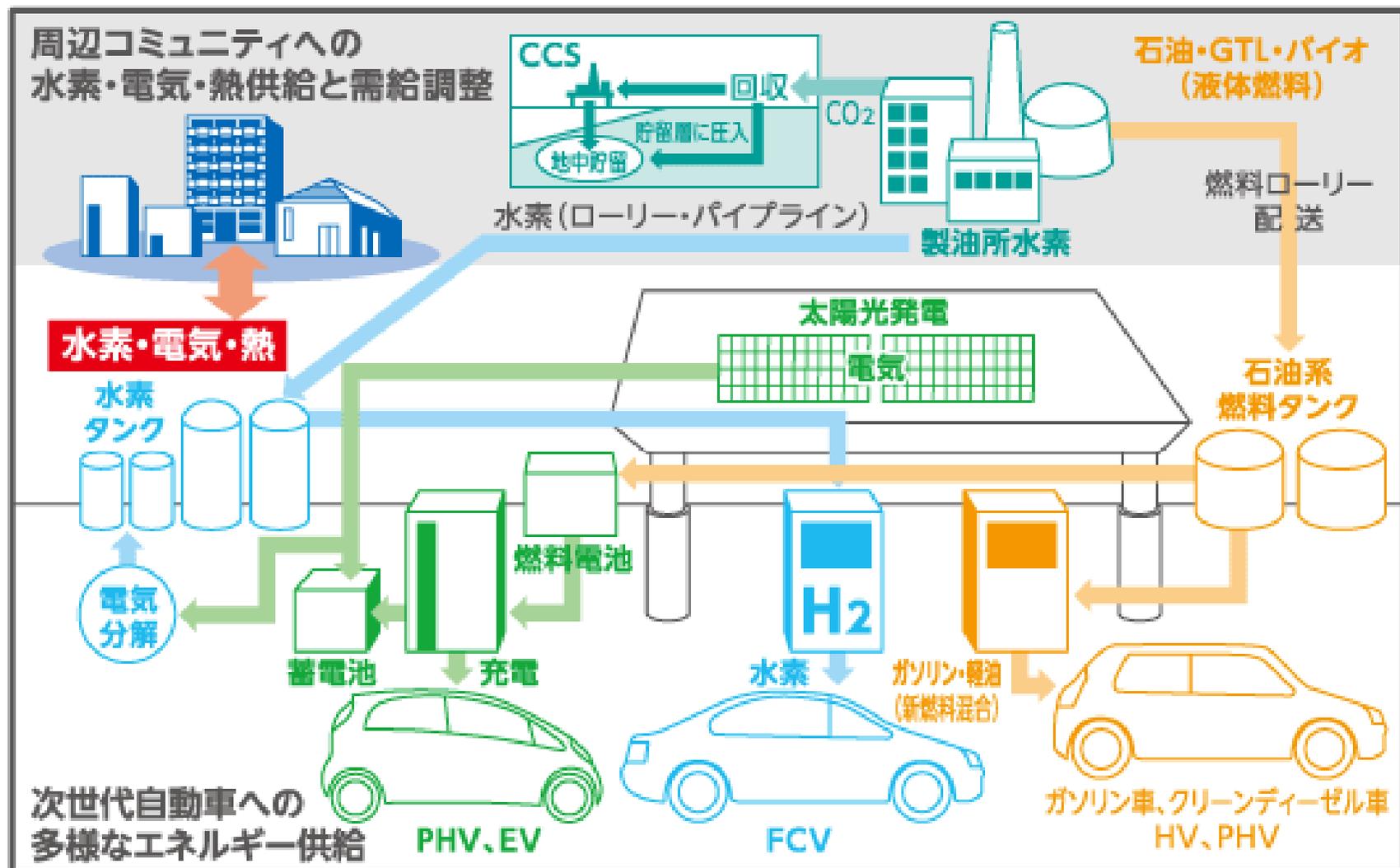


各業界の水素供給ポテンシャル

単位億Nm³/年

業界	装置	水素	2005	2020年頃
石油業界	接触改質装置	副生水素量	85	82
	水素製造装置	生産能力水素量	104	104
		自家消費量	125	140
		余力生産水素	64	47
石油化学業界	エチレン装置等	副生余剰水素量	13	11
ソーダ業界	塩電解装置	副生余剰水素量	11	10
アンモニア業界	アンモニア合成装置	生産能力水素量	42	42
		自家消費量	32	10
		余力生産水素	10	32
鉄鋼業界	コークス炉(COG)	副生水素量	86	64
水素供給ポテンシャル	合計		184	164

マルチステーションの概念図



JX日鉱日石エネルギー(株)のホームページから引用

ドイツの水素インフラ構築とH2 MOBILITY

2009年、国と民間の共同推進組織H2-Mobilityを設立
参加者：NOW(政府組織)、Daimler、Linde、EnBW、APCI、OMV、
Vattenfall、TOTAL、SHELL、Air Liquid。

水素ステーション建設計画

Ph.1：事業計画立案

Ph.2：建設の実施

- ・ 2年後150カ所
- ・ 5年後500カ所
- ・ 7~8年後1,000カ所



6月20日のDaimlerの発表

Daimlerは2015年までに水素STを現在の
15から50カ所に増やす覚書を政府と取り
交わしたことを発表。投資額は€40M。

DaimlerとLindeが水素
ST20カ所の建設を発表。



米国における水素インフラ構築の動き

カリフォルニア州

水素STは現在**20**カ所。

2010.10に**CEC**が**11**カ所の水素ステーションを公募。

- **APCI社**：新設**7**、改良**1**カ所
 - **Linde社**：新設**1**、改良**2**カ所
- 2012**年も**12**カ所を新公募。
インフラ予算**\$40M.**を計上。



ハワイ州オアフ島

Hawaii Clean Energy

Initiativeの**CO₂**削減に協力。

GMが燃料電池車を供給するほかプロジェクトを支援。

水素は都市ガス会社が製造。

オアフ島水素ハイウエー

西部：6カ所、東部：15カ所



その他多数の州で水素インフラ構築の動きがある。

- **CT**州から**フロリダ**の東海岸に**SunHydro**が水素STを**11**カ所建設中。
- **NY**州は**2015**年にSTを**20**カ所、更に**\$50M**を投入し**100**カ所計画。

「エネルギー基本計画」の見直しに関する主要な論点

資源エネルギー庁第29回総合資源エネルギー調査会 配布資料平成24年7月より

次世代のエネルギー社会の構築と新たな成長基盤の確保

水素については、世界に先駆けて家庭用燃料電池を商用化しているなど我が国の技術優位性を踏まえ、スマートコミュニティにおいてエネルギー貯蔵手段(エネルギーキャリア)として水素エネルギーを有効活用するための技術開発を加速化するとともに、特に燃料電池自動車については、2015年の世界的な商用化が見込まれる中で、水素供給インフラの整備を加速化すべきではないか。

日本再生戦略 2012年7月

エネルギー・環境政策の再設計

(1) 原発からグリーンへ

(重点施策: 次世代自動車での世界市場獲得)

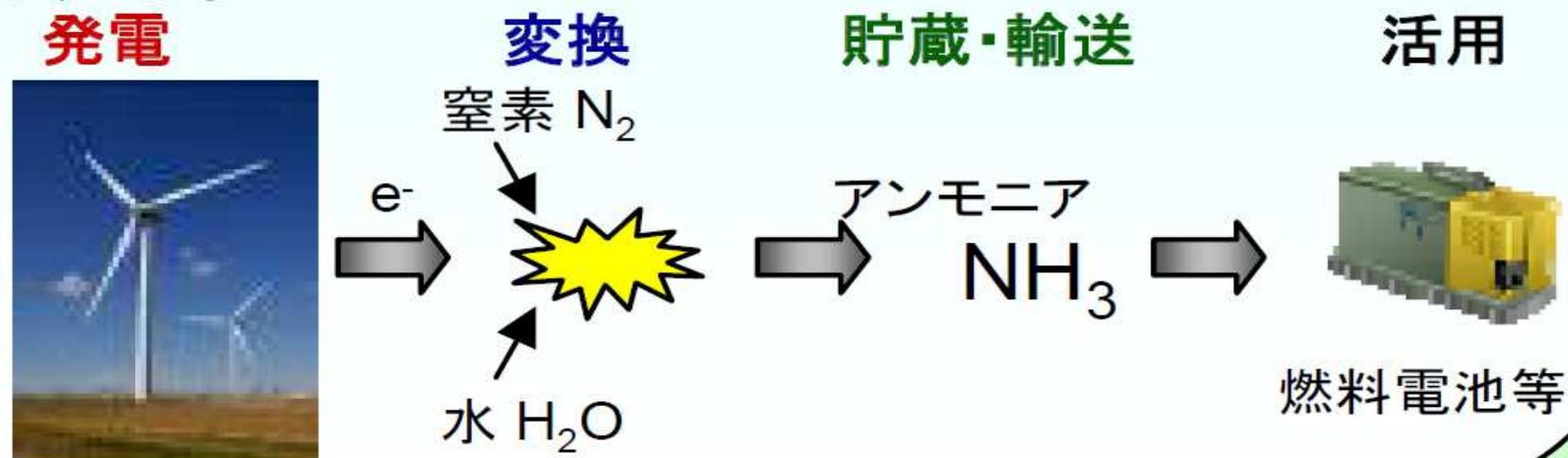
我が国自動車産業は、次世代自動車(ハイブリッド自動車、電気自動車、プラグインハイブリッド自動車、燃料電池自動車、クリーンディーゼル自動車、CNG自動車等)は世界に先行している一方、海外勢との競争は激化している。我が国のグリーン成長の鍵を握る次世代自動車分野において、世界市場を獲得するため、他国を圧倒する性能・品質を実現し、次世代自動車の潜在的価値を発信することで世界的な潜在市場の掘り起こしを図る。

グリーンイノベーション

目指すべき社会の姿	政策課題	重点的取組
豊かで活力のある持続可能な成長を実現するエネルギー・環境先進社会	クリーンエネルギー供給の安定確保	① 技術革新による再生可能エネルギー利用の飛躍的拡大
		② エネルギー供給のクリーン化
	分散型エネルギーシステムの拡充	③ 革新的なエネルギー供給・貯蔵・輸送システムの創出
	エネルギー利用の革新	④ 技術革新によるエネルギー消費量の飛躍的削減
	社会インフラのグリーン化	⑤ 地球環境情報のプラットフォーム構築
		⑥ エネルギー・環境先進まちづくり

エネルギーキャリア研究加速プロジェクト (再生可能エネルギーをアンモニア等化学物質に変換するエネルギー貯蔵・輸送・利用技術の開発)

- 再生可能エネルギーの時間・空間的な偏在を補完し、その安価かつ安定な利用を可能とするため、太陽光・風力等の再生可能エネルギーを変換し貯蔵するアンモニア等のエネルギーキャリアに関する研究開発を推進する。



水素とアンモニアの化学エクセルギー

標準とする環境状態に存在しない水素とアンモニアの場合:

自由エネルギー変化が等温下での最大有効仕事に等しいことを用いる



・水素のエクセルギー収支

$$G(\text{H}_2) + 1/2 G(\text{O}_2) = (-G_f^\circ) + G(\text{H}_2\text{O})$$

今、 $G(\text{H}_2\text{O})=0$ 、 $G(\text{O}_2) = 0.94$ から

$$\begin{aligned} G(\text{H}_2(g)) &= (-G_f^\circ) - 1/2 G(\text{O}_2) = 235.3 \text{ kJ/mol} \\ &= 117.6 \text{ kJ/g} \end{aligned}$$

・アンモニアのエクセルギー収支



20 でアンモニアを8.46気圧まで加圧すると液化する。

$$\text{NH}_3(g) = \text{NH}_3(l) \quad G = 5.4\text{kJ}$$

$$G^\circ(\text{NH}_3(g)) = 336.6 \text{ kJ/mol} = 19.8 \text{ kJ/g}$$

$$G^\circ(\text{NH}_3(l)) = 342.0 \text{ kJ/mol} = 20.1 \text{ kJ/g}$$

各種水素貯蔵・輸送媒体との比較

	液体アンモニア	メタノール	液体水素	圧縮水素(305気圧)	水素吸蔵合金	有機ハイドライド(メチルシクロヘキサン)	LNG
水素含有率(wt%)	17.6	12.5	100	100	1.4	6.2	25.0
水素密度(kg-H ₂ m ⁻³)	121	99.5	70.8	23.3	98.6	47.4	106
沸点()	-33.4	64.7	-253	-253	-	101	-162

エネルギーキャリアプロジェクト 文科省・経産省 実施体制(案)

ガバナリングボード 文科省、経産省、JST、NEDO、学識経験者、経済団体、関連企業 等

文科省事業
ALCA特別重点プロジェクト

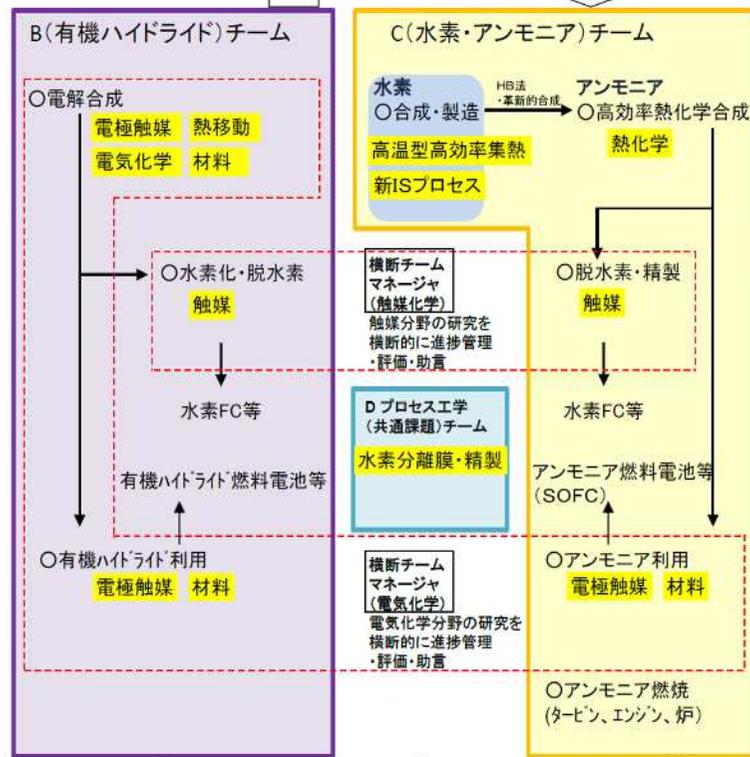
経産省事業
再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発

【文科省】
Aチーム(研究機関中心)
各キャリアのシステム設計、
LCA・EPT評価・分析

トータルシステムシナリオ検討

【経産省】
ポテンシャル調査、シナリオ検討

- ・再生可能エネ貯蔵・輸送システムの導入シナリオ検討
- ・シナリオ実現に向けた技術課題等の明確化
- ・技術課題についてはPJ運営に適切に反映



成果の橋渡し

基礎的課題の立ち回り研究

水素製造技術開発

低コスト水素製造技術開発 (アルカリ水電解 等)

- 電流密度の向上等による、設備コスト低減(現状コストの1/3程度を実現)
- 変動する再生可能エネルギーからの電力を効率よく直流に変換する技術等

高効率水素製造技術開発(水蒸気電解 等)

- 高効率・長寿命なセル・スタック開発、特性評価
- システムコンセプト実証機の試作等

水素周辺技術開発

- 液化水素タンクの貯蔵期間向上
- 水素液化システムの容量、効率向上等

エネルギーキャリアシステム研究

- アンモニア、有機ハイドライド等の各種エネルギーキャリアシステムの材料・要素機器の評価 等
- 小規模なシステム実証を行い、性能・経済性、開発課題を把握 等

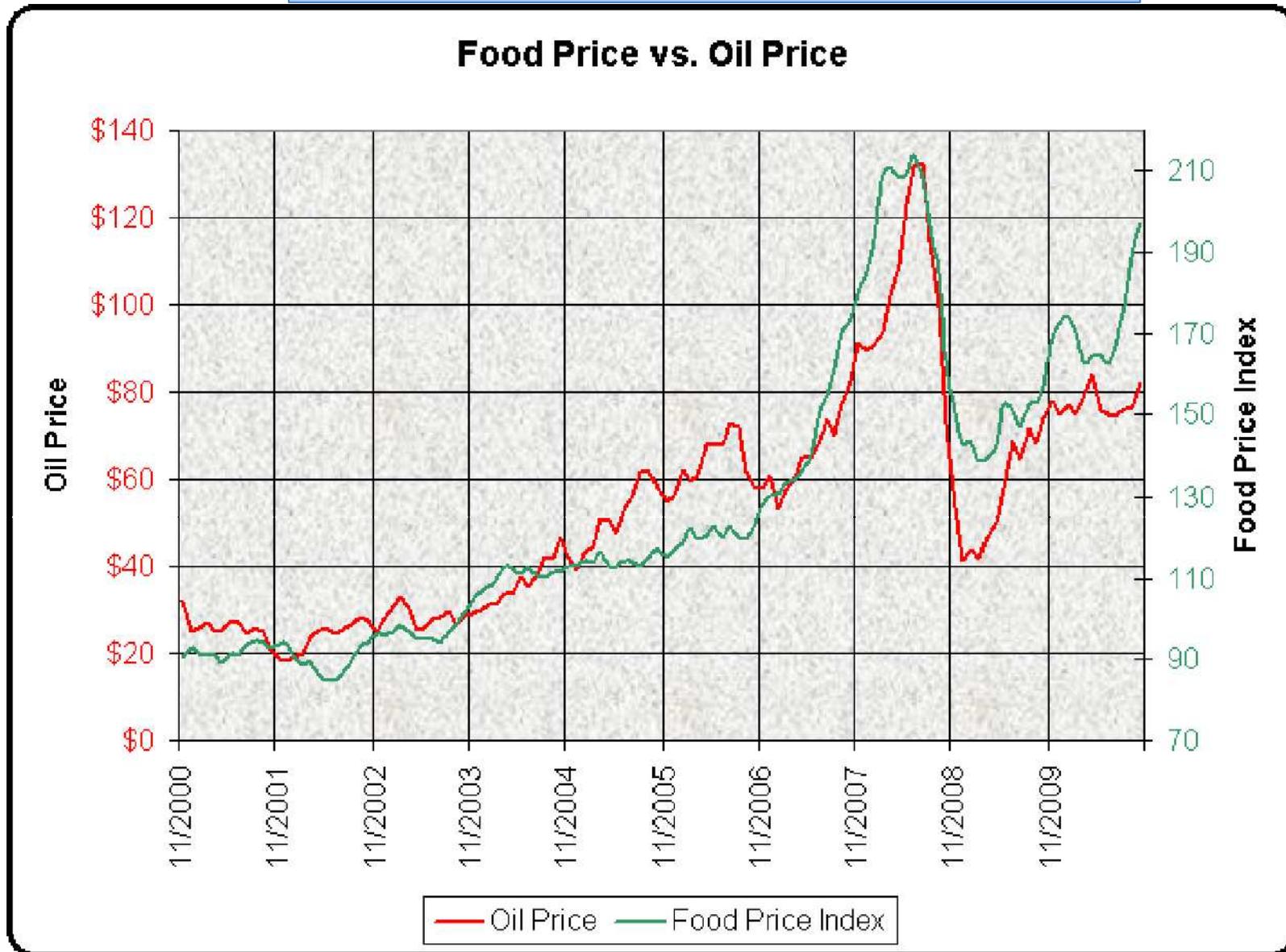
上記A~Dチームの他に、既知または新規のエネルギーキャリアについて分野融合による基礎的・基盤的な研究開発を実施するための枠組みを検討中。

電気化学	既知キャリア直接電解合成、既知キャリア直接電解水素化、新規キャリア電解合成、炭酸ガス還元、直接燃料電池	プロセス工学	反応器設計、合成・燃焼トータルシステム
触媒化学	既知キャリア合成触媒、水素化触媒、脱水素触媒、新規キャリア合成触媒	材料科学	新規エネルギーキャリア・新規触媒・電極・反応場の材料創製

エネルギーキャリア安全性評価

水素を含むエネルギーキャリアの安全性評価を実施

食料価格指数とエネルギー価格が連動している



---原油価格 ---FAO食料価格指数

食料価格指数と原油価格がリンク

出典：(参考文献1) Paul Chefurka "Conecting the Dots: Food, Fossil Fuel and Popuration"(January 31, 2011)

社会的背景

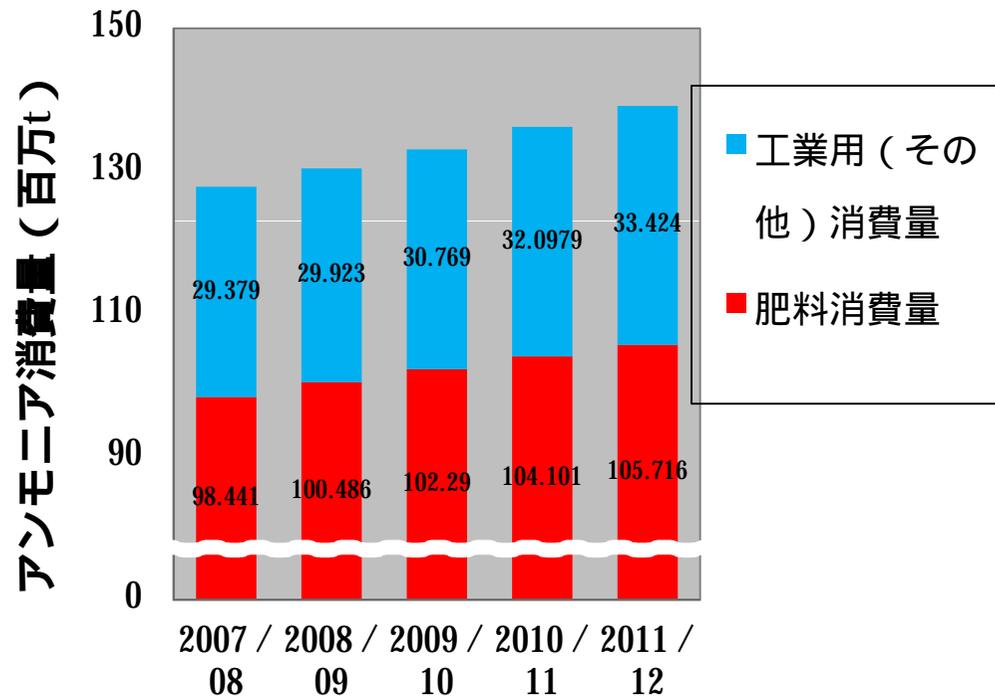
国際的な食糧不足

肥料を用いた農作物の増産

海外の再生可能エネルギーに対する期待

水素キャリアとしての利用

アンモニア
の需要増加



毎年およそ3百万t増加

大きなCO₂問題が生じる

20年後にはおよそ2億tに達する原料を天然ガスとすると、5億tのCO₂発生に相当する。これは、現在の世界のCO₂発生量の1.7%に相当する。

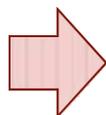
Fig.1 過去5年間に於けるアンモニア消費量推移
出典：国連食糧農業機関

「Current world fertilizer trends and outlook to 2011/12」

ありたい姿

■ 既存の合成法に課題（ハーバー・ボッシュ法）

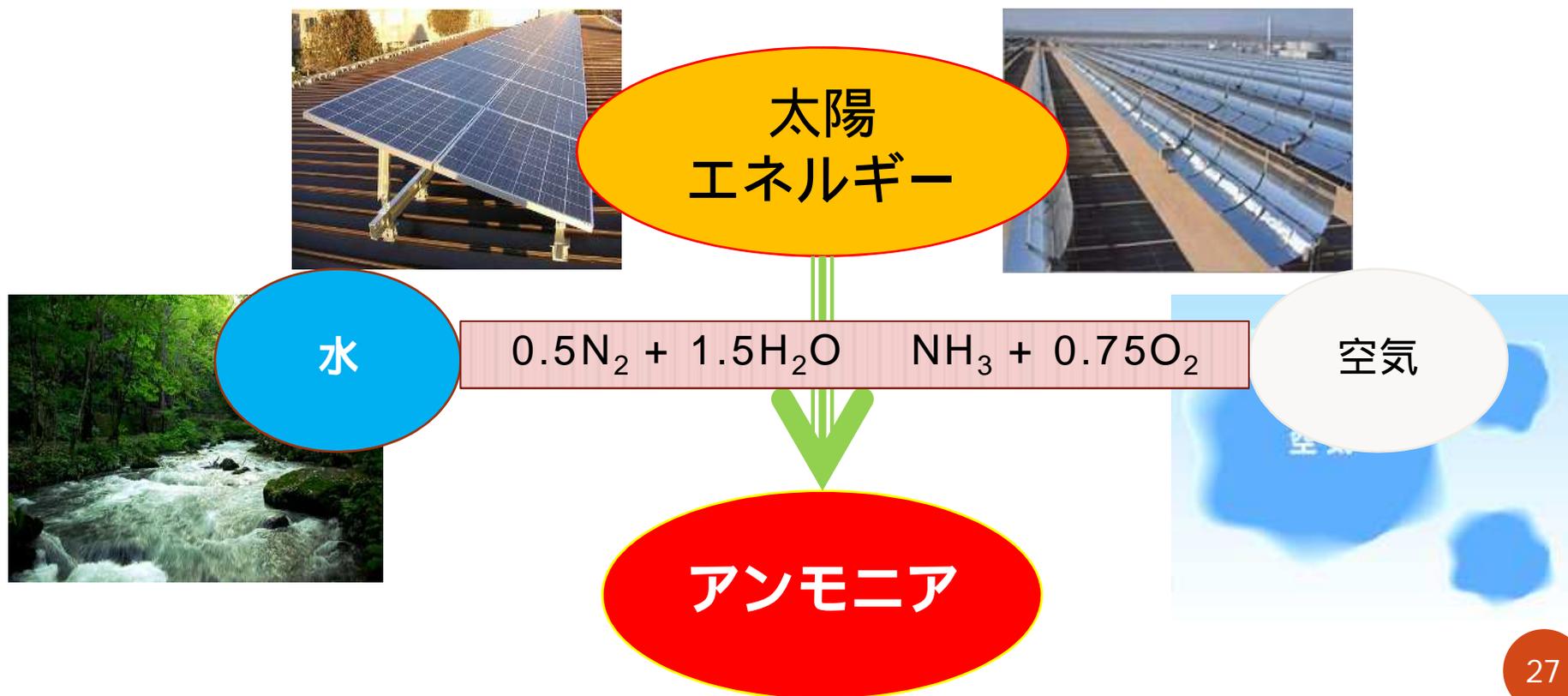
化石燃料を原料



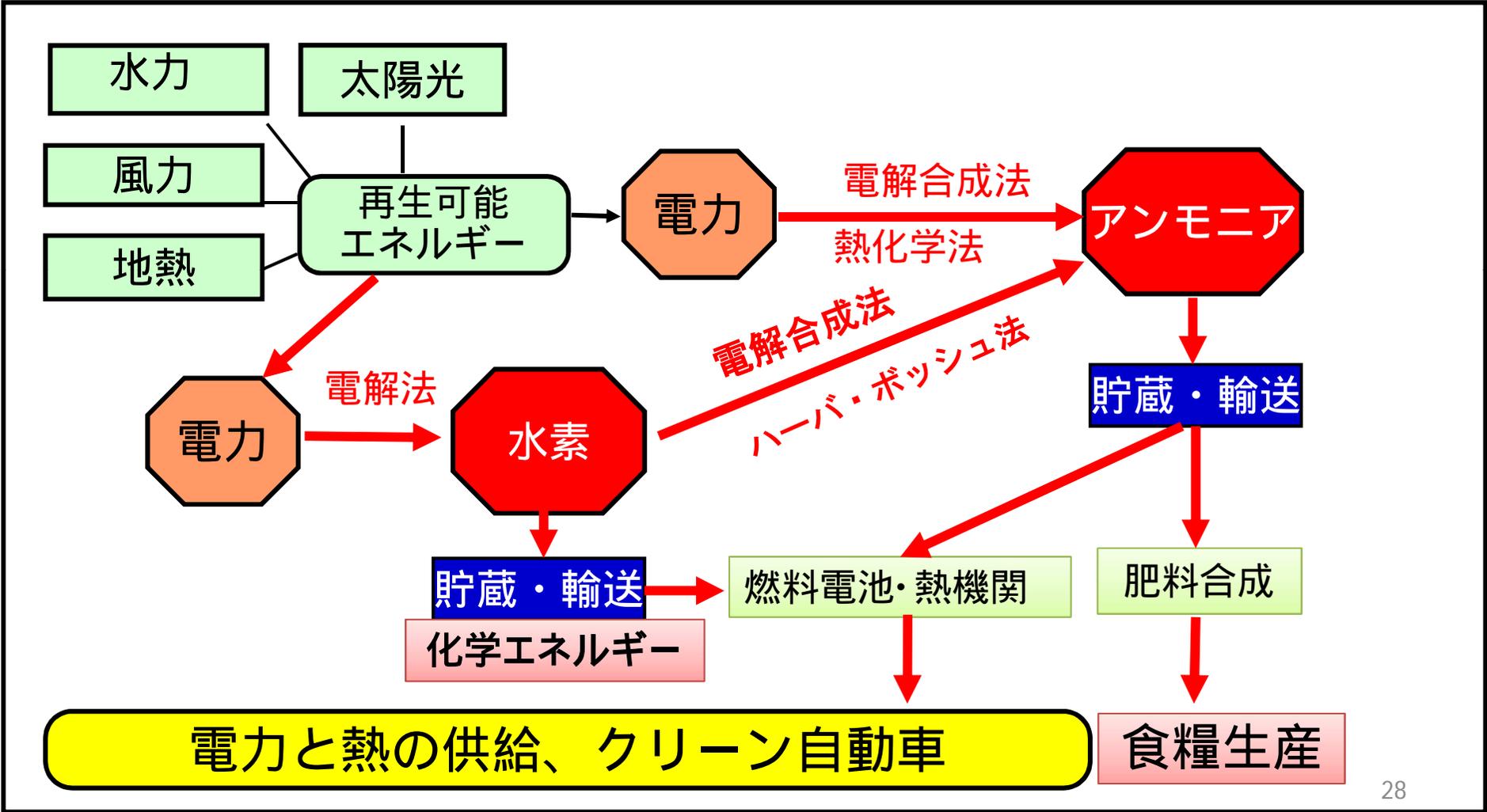
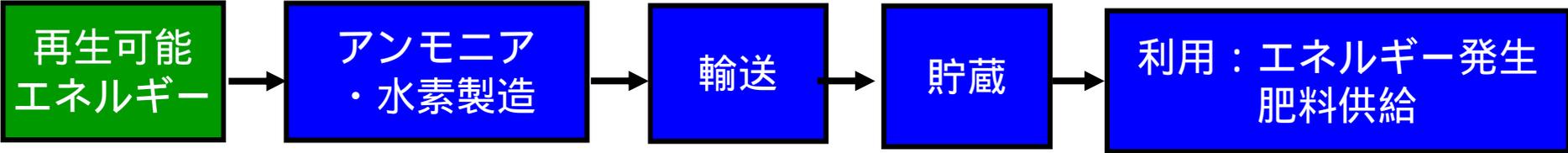
資源の枯渇

温室効果ガス

化石燃料に依存しない低コストで持続的な合成方法が必要



再生可能エネルギーを用いたアンモニア・水素エネルギーシステム



東京農工大学 工学府
産業技術専攻・応用化学専攻
亀山研究室



- <http://www.tuat.ac.jp/~kameyama/>

水素エネルギー協会 (HESS) ホームページ
http://www.hess.jp/hess_contents/