

CO2 フリー水素チェーン実現に向けた 構想研究

成果報告書

平成 24 年 3 月



財団法人 エネルギー総合工学研究所

CO2 フリー水素チェーン実現に向けた構想研究会

CO2フリー水素チェーン実現に向けた構想研究 成果報告書 目次

	頁
1 構想研究会設立の背景・主旨	1
2 構想研究会の体制・メンバー	2
3 構想研究会の達成目標	2
4 成果の総括と課題	2
4.1 成果の総括	2
4.2 課題	7
5 成果の詳細	8
5.1 共通認識の醸成	8
1) エネルギー・環境に関する課題	8
2) 低炭素社会実現による課題解決への貢献	10
3) CO2フリー水素エネルギーシステムによる課題解決への貢献	12
5.2 シミュレーションによる水素需要推算	13
5.3 CO2フリー水素チェーン構想の立案	15
1) CO2フリー水素チェーンパス	15
2) CO2フリー水素チェーンの技術成熟度評価(試行)・マッピング(例)	15
3) CO2フリー水素チェーン構想の立案	18
4) 定量的検討(例)	19
6 エネルギー政策への反映についての提言	22
7 成果の公表について	23

添付

- 添付2-1 : メンバー・出席者
- 添付4.1-1: 構想研究会の総括
- 添付5.2-1: GRAPREによる水素需要推算
- 添付5.3-1: 低炭素・CO2フリーエネルギーチェーンパス
- 添付5.3-2: 技術成熟度評価試行結果のマッピング
- 添付5.3-3: 技術成熟度評価試行結果の一覧
- 添付6-1 : エネルギー政策への反映についての提言

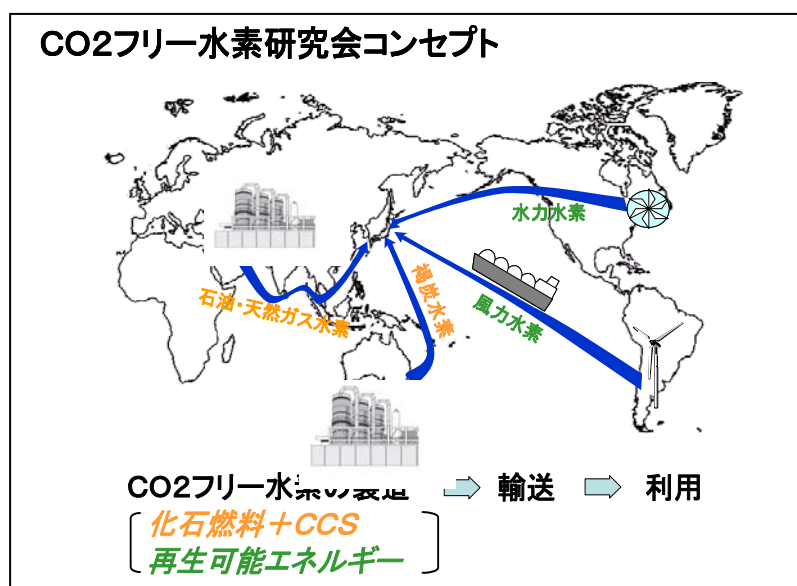
はじめに

本資料は、平成23年3月～24年2月にかけて、エネルギー総合工学研究所の『CO₂フリー水素チェーン実現に向けた構想研究会』（以下、構想研究会と称す）が行ったCO₂フリー水素チェーン実現に向けた構想研究の成果報告書であり、将来のエネルギー社会における水素エネルギー社会の実現に向けた水素製造・輸送・供給・利用システムのあり方に関する検討結果報告書である。

1 構想研究会設立の背景・主旨

構想研究会設立の背景・主旨は以下の通りである。

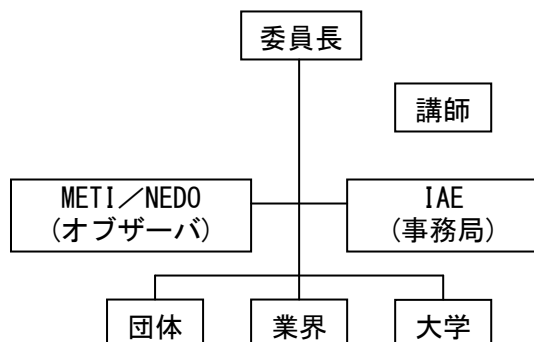
2010年6月18日に我が国の新成長戦略及びエネルギー基本計画が閣議決定されたこと、新成長戦略においては世界ナンバーワンの環境・エネルギー大国を目指すと言われていること、エネルギー基本計画においては水素エネルギー社会の目指すべき姿としてよりCO₂の削減を意識したCO₂フリー水素の開発が奨励されていること、将来のスマートコミュニティ実現に向け実証事業が現在展開されており、その中で、水素の製造・輸送・貯蔵の研究も進められていること、当面は国内の水素利用インフラの整備が推進され、その次のステップとして、海外でCO₂フリー水素を大量に製造し、日本へ海上輸送し、スマートコミュニティで利用することによって、国内でのCO₂排出量を大幅に削減できる可能性があること（イメージ：下図）、利用に関しても、現状のFCV普及計画以外の需要について、最終顧客のニーズを改めて把握することも重要と考えられること、等の状況の下、まずは、産官学の関係者が集まり、CO₂フリー水素チェーンについての情報・意見交換、検討を行い、構想、技術および経済性評価等について認識を共有することが必要と考え、自主的な研究会の設立を企画した。



そして、2010年10月より2010年12月にかけて研究会メンバー候補を訪問し、上記主旨説明を行った結果、多くの賛同が得られ、2011年3月11日（金）の午前に第1回の構想研究会を開催するに至った。

2 構想研究会の体制・メンバー

構想研究会は以下の体制の下、2011年3月11日から2012年2月16日までの間に、計4回実施した。なお、講師講演は実施しなかったが、現在計画中の次期研究会（暫定略称：アクションプラン研究会）で行う予定である。



構想研究会のメンバー・出席者は、添付2-1の通りである。

3 構想研究会の達成目標

構想研究会で設定した達成目標は以下の通りである。

1) 共通認識の醸成

- ①エネルギー・環境に関する課題
- ②低炭素社会実現による課題解決への貢献
- ③CO₂フリー水素エネルギーシステムによる課題解決への貢献

2) CO₂水素チェーン構想の立案

具体的な成果物として以下を設定した。

- ①シミュレーションによる水素需要推算
- ②可能性のあるCO₂フリー水素チェーンパス
- ③CO₂フリー水素チェーンの技術成熟度評価（試行）・マッピング（例）
- ④エネルギー政策への反映についての提言（第3回研究会で達成目標として追加）

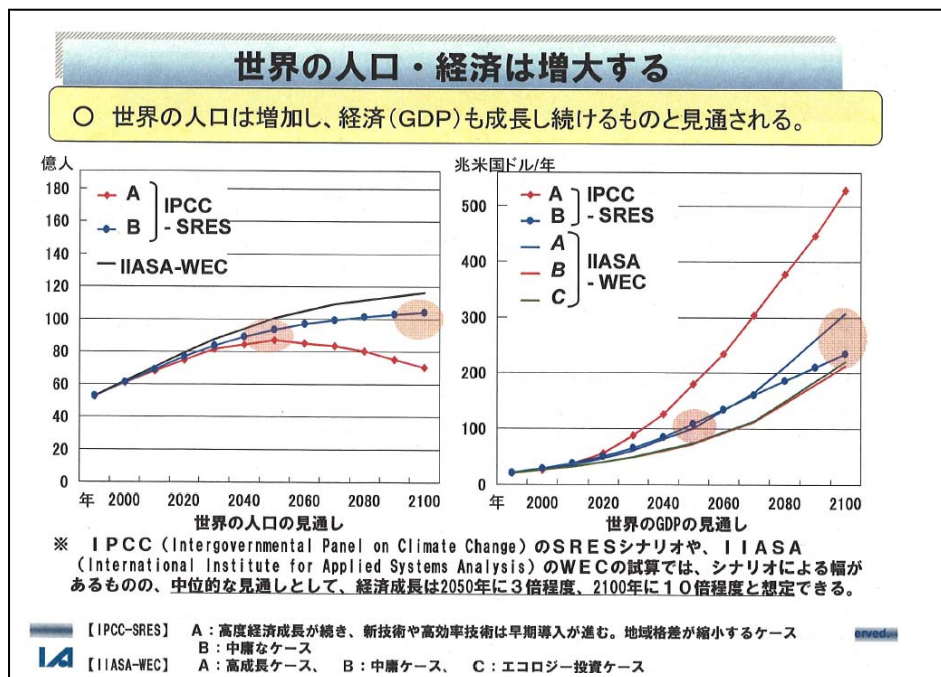
4 成果の総括と課題

4.1 成果の総括

添付4.1-1「構想研究会の総括」に研究会活動の成果の総括を示しており、上記第3章で示した達成目標に対する成果を総括すると以下の通りである。

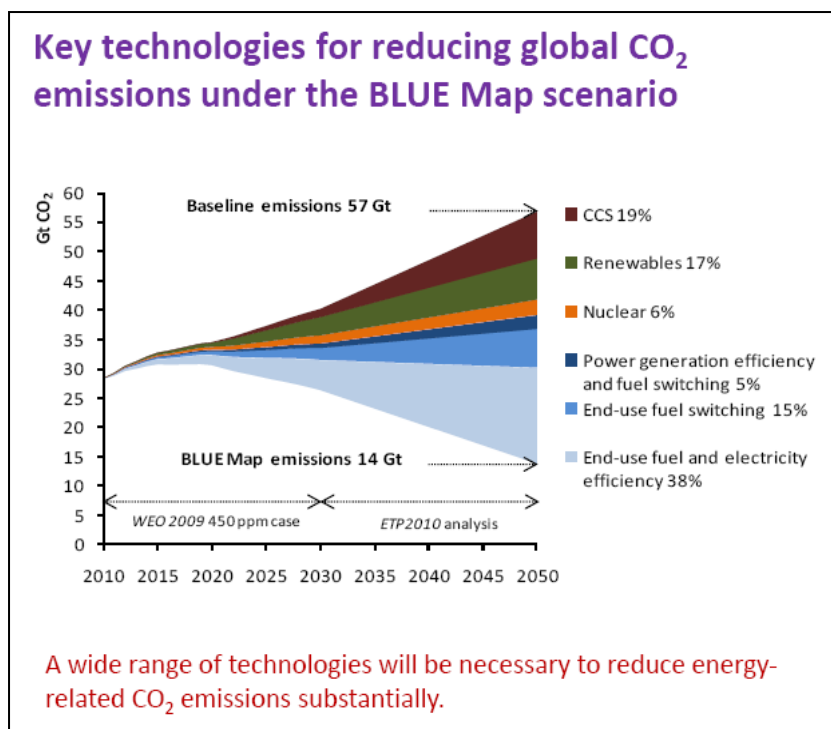
(1) エネルギー・環境に関する課題についての共通認識醸成

『IPCC や IASA の中位的見通しによれば、世界の経済成長は2050年に約3倍、2100年に約10倍になると予想され、ベースラインシナリオ（現行政策シナリオ）では環境、エネルギー安全保障、経済発展に関して明らかに持続不可能である』等について共通認識が醸成できた。



(2) 低炭素社会実現による課題解決への貢献についての共通認識醸成

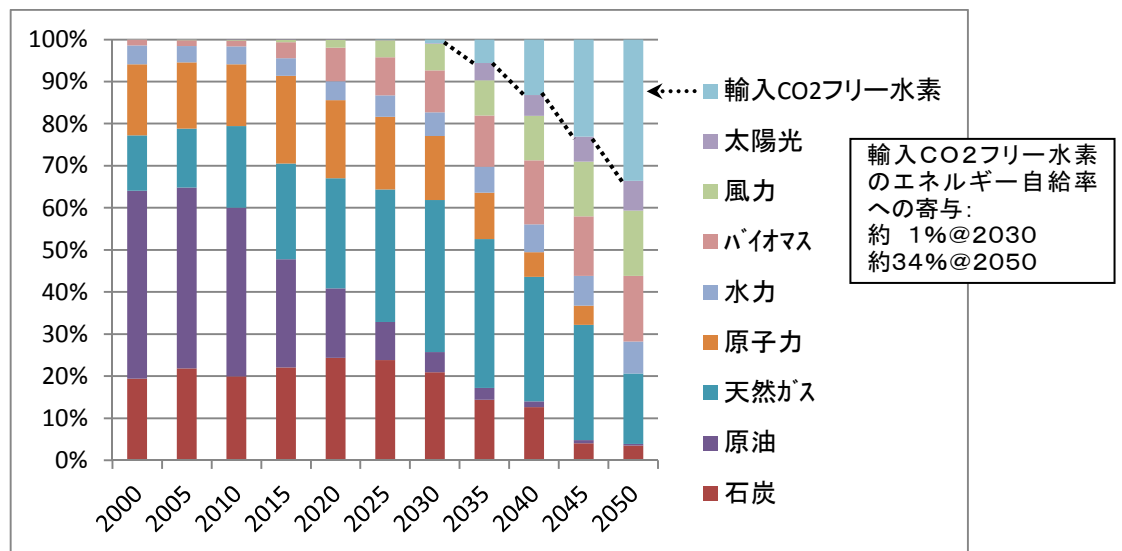
環境、エネルギー安全保障、経済発展を持続可能とするためにはIEA(国際エネルギー機関)が示すブルーマップシナリオ(2050年における世界のエネルギー関連 CO₂ 排出量を現状から50%削減することにより世界の平均気温上昇を2～2.4℃以内に抑えるシナリオ)が必要であり、低炭素社会が環境、エネルギー安全保障、経済発展を高める強力なツールとなることの共通認識が醸成できた。



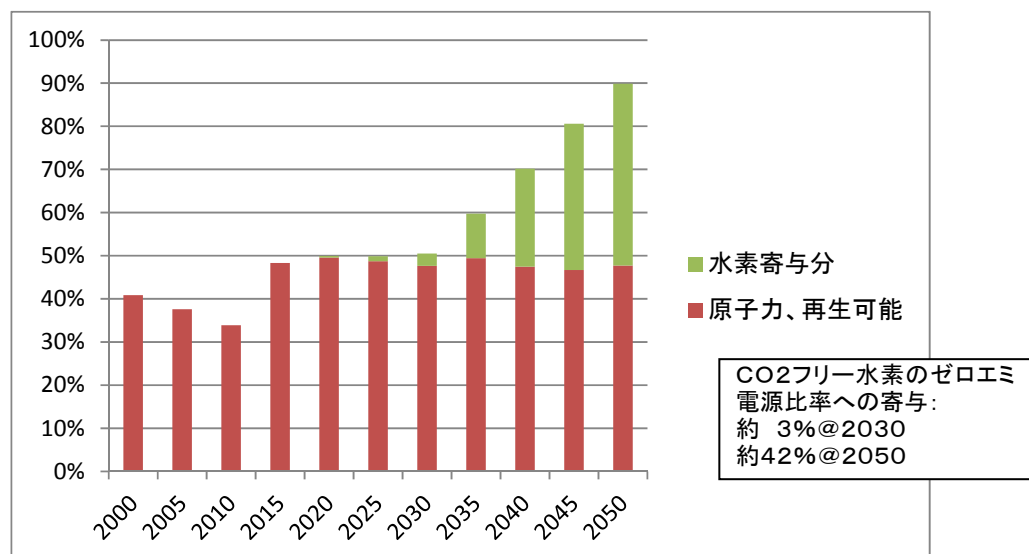
(3) CO₂フリー水素エネルギーシステムによる課題解決への貢献についての共通認識醸成

国内のエネルギー・環境に関する課題、即ち、現行のエネルギー基本計画におけるエネルギー自給率・自主エネルギー比率・ゼロエミッション電源比率・CO₂削減率、等の達成目標に対し、シミュレーションによるCO₂フリー水素需要の一推算結果等から、CO₂フリー水素エネルギーシステムがエネルギー・環境に関する課題解決に貢献し得る有力なオプションであるとの共通認識が醸成できた。

＜日本の一次エネルギー比率の推移(シミュレーションによる推算例)＞



＜日本のゼロエミッション電源比率の推移(シミュレーションによる推算例)＞



(4) CO2フリー水素チェーン構想の立案

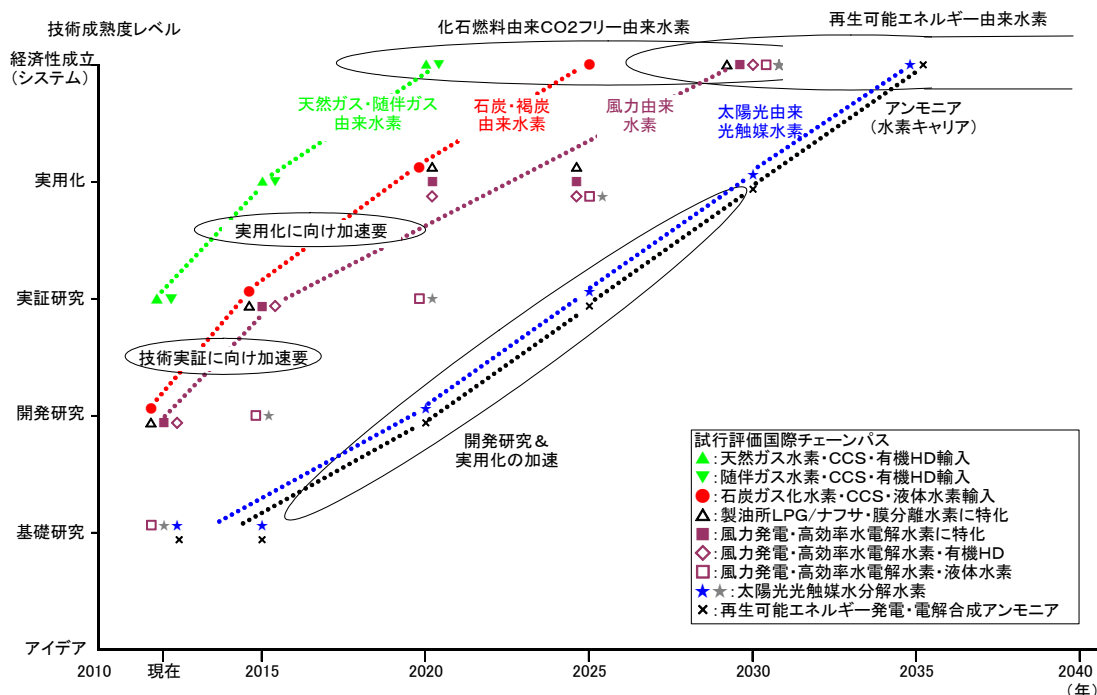
シミュレーションによるCO2フリー水素需要推算を踏まえ、可能性のあるCO2フリー水素チェーンパスを取り上げ、各パスについて技術成熟度評価の試行を行った結果、以下の通りコスト競争力のあるCO2フリー水素チェーンが順次商用ベースで実現できることが期待でき、短中長期のパス、化石燃料パスと再生可能エネルギーパスが上手くミックスされ、エネルギー・環境問題に安定的・継続的に貢献し得ることが分かった。

なお、ここで示したCO2フリー水素チェーンの実現可能性の検討結果は、上流工程、即ち、最終エネルギー利用者へ供給する工程までであり、下流工程、即ち、最終エネルギー利用者の利用形態の実現可能性についてはさらなる検討が必要となった。

<国際チェーン>

- ・2020年頃：天然ガス・随伴ガス改質水素製造＋CCS。有機ハイドライドとして海上輸送・貯蔵
- ・2025年頃：石炭・褐炭ガス化水素製造＋CCS。液体水素として海上輸送・貯蔵
- ・2030年頃：風力発電電力利用水電解水素製造。液体水素または有機ハイドライドとして海上輸送・貯蔵
- ・2035年頃：太陽光光触媒型水電解水素製造。液体水素または有機ハイドライドとして海上輸送・貯蔵
- ・2035年頃：再生可能エネルギー発電＋電解合成アンモニア製造。アンモニアとして海上輸送・貯蔵

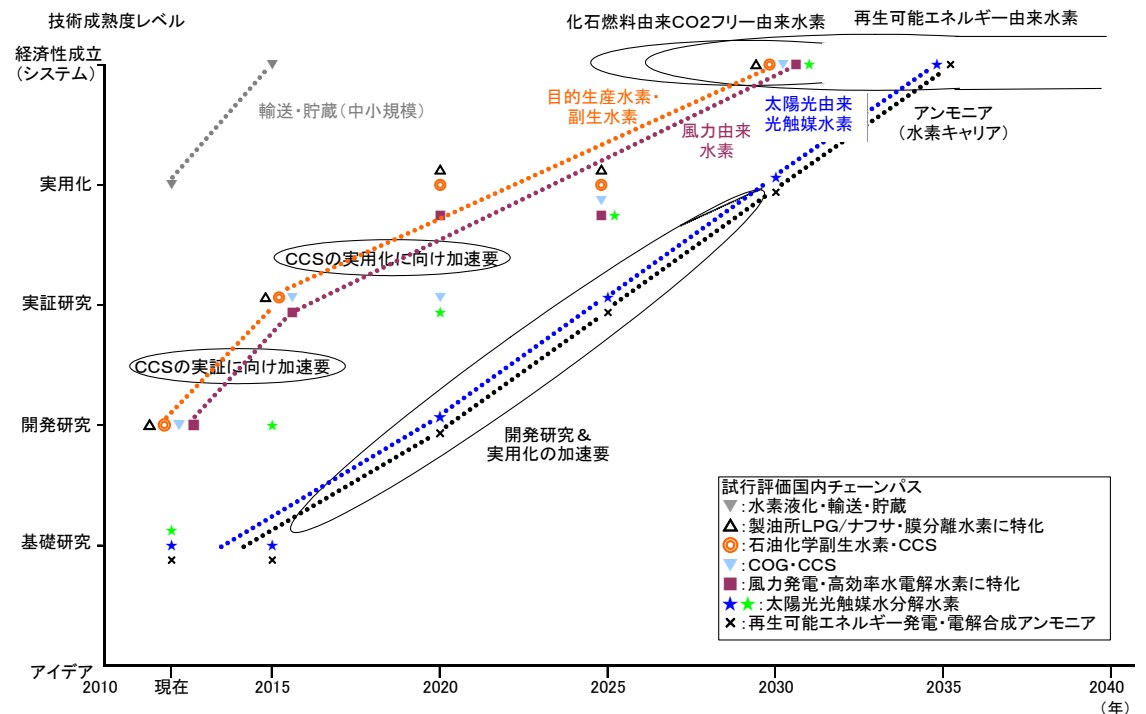
CO2フリー水素チェーン 技術成熟度評価試行結果のマッピング
上流工程（1/2）：国際チェーン



<国内チェーン>

- ・国内中小規模の水素チェーン(液化・輸送・貯蔵)は商用ベースで実施されている。
- ・目的生産水素(製油所水素・アンモニア製造水素)と副生水素(COG(コークス炉ガス)・石油化学副生水素・塩電解苛性ソーダ製造副生水素)はすでに商用ベースで実施されており、国内CCSが実現可能となれば、2030年頃にはコスト競争力のあるCO₂フリー水素国内チェーンが実現できる。
- ・再生可能エネルギー由来水素については、その実用化・経済性成立時期は国際チェーンの場合と基本的に同じ。

CO₂フリー水素チェーン 技術成熟度評価試行結果のマッピング
上流工程(2/2):国内チェーン



4.2 課題

構想研究会の課題を以下に総括する。これら課題を解決し、構想研究会の成果が具体的に展開される基盤を形成することを主目的に、暫定『CO₂フリー水素実現に向けたアクションプラン研究会』（略称：アクションプラン研究会）を次年度に立ち上げることが合意された。

1) シナリオの作成、アクションプランの作成

- ・幅広に将来を見据えて、日本のあるべき姿を描いて、アクションプランを作成する必要がある。
- ・具体的には、水素エネルギー社会実現に向けたシナリオを作成し、CO₂フリー水素国際ネットワーク構築のアクションプランを作成する。

2) CO₂フリー水素エネルギーの需要調査、供給インフラ検討

- ・2030年、2050年等における需要について、エネルギーユーザの意見を集積する必要がある。
- ・需要に対する供給インフラについて検討を行う必要がある。

3) 構想研究会の試行・仕掛け業務の完了

① シミュレーション

- ・CO₂制約緩和ケースでの計算、水素製造費用や水素輸送費用等を変えた感度解析等を行い、水素需要推算を把握する必要がある。

② CO₂フリー水素チェーンパスの評価

- ・技術成熟度評価については、構想研究会は試行に留まったため、正式評価を行う必要がある。特に下流工程、即ちエネルギーユーザの意見を集積し、需要面をもつとつめる必要がある。
- ・CO₂フリー水素チェーンパスの上流工程については、コスト競争力があり商用化の可能性のあるチェーンパスが抽出できたことから、これらチェーンを中心に、技術成熟度以外の指標（供給安定性、価格安定性、国富流出防止、国際競争力（革新性）、成長性（新産業育成）、等）について、さらなる評価を行う必要がある。

5 成果の詳細

3章で示した達成目標の各々について以下、成果の詳細を示す。

5.1 共通認識の醸成

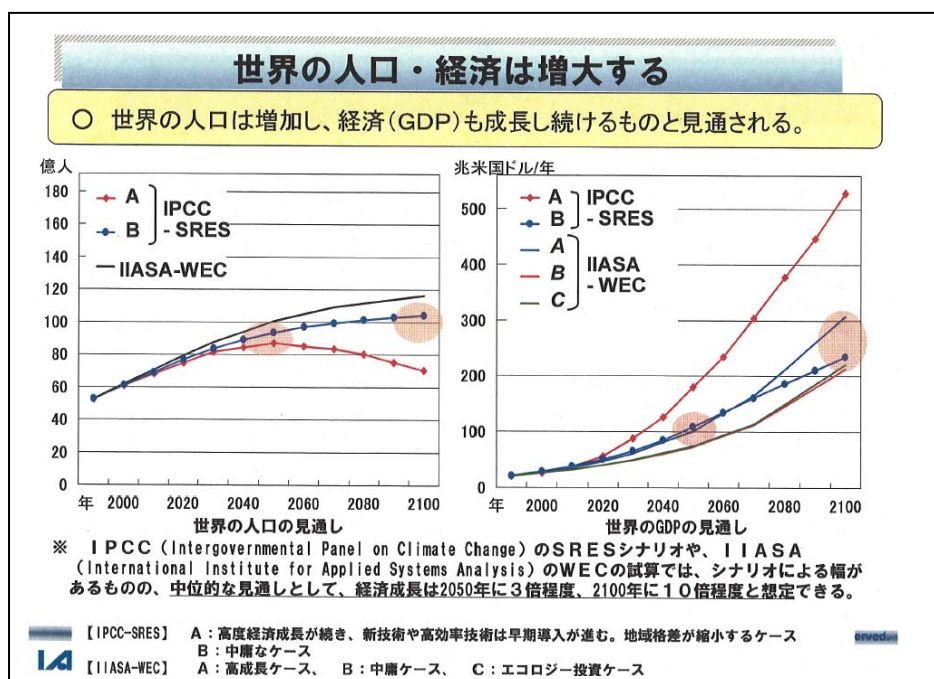
1) エネルギー・環境に関する課題

エネルギー・環境に関する課題について以下の共通認識が醸成できた。

- ①エネルギーについては、IPCC やIIASA の中位的見通しによれば、世界の経済成長は2050年に約3倍、2100年に約10倍になると予想され、エネルギーの安全保障と地球温暖化対策が課題である。

(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change. 気候変動に関する政府間パネル)

(IIASA: International Institute for Applied Systems Analysis. 国際応用システム分析研究所)



②IEA(International Energy Agency:世界エネルギー機関)のベースラインシナリオ(現行政策シナリオ)では、世界の一次エネルギー使用量は現状(2008年で石油換算で約123億トン)に比べ約84%増加し、世界のエネルギー関連CO₂排出量は現状(2008年で約290億トン)に比べ約2倍に増加する。

従って、ベースラインシナリオ(現行政策シナリオ)では環境、エネルギー安全保障、経済発展に関して明らかに持続不可能である。

▶ ベースラインおよびブルーマップ・シナリオによるエネルギーと排出量の動向：2007年と2050年の比較

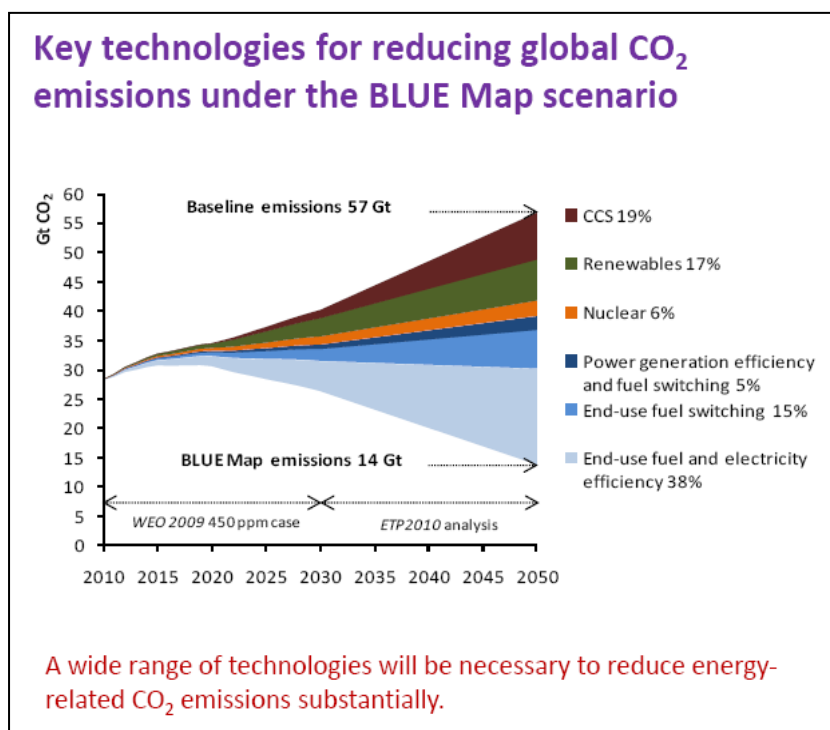
ベースライン・シナリオ	ブルーマップ・シナリオ
● エネルギー関連CO ₂ 排出量はほぼ倍増	● エネルギー関連CO ₂ 排出量は50%削減
● 一次エネルギー使用量は84%増;エネルギー使用による炭素集約度は7%上昇	● 一次エネルギー使用量は32%上昇;エネルギー使用による炭素集約度は64%低下
● 液体燃料需要は57%増加し、非在来型石油と合成燃料を大量に使用する必要が生じる;一次石炭需要は138%増;ガス需要は85%増	● 液体燃料需要は4%減少し、バイオ燃料の割合が20%に達する;石炭需要は36%減;天然ガスは12%減;再生可能エネルギーは一次エネルギー供給のほぼ40%を提供する
● 発電によるCO ₂ 排出量は2倍以上に増加;発電のCO ₂ 原単位は459g/kWhへと小幅低下	● 発電によるCO ₂ 排出量は76%削減;発電のCO ₂ 原単位は67g/kWhへと低下
● 化石燃料は発電の3分の2以上を供給;再生可能エネルギーの割合は22%へと小幅上昇	● 再生可能エネルギーは発電の48%を占める;原子力は24%、CCS導入発電所は17%を占める
● 二酸化炭素回収・貯留(CCS)技術は商業展開されていない	● CCSによるCO ₂ 回収量は9.4Gtで、その内訳は発電所55%、産業21%、燃料転換24%
● 建築物部門のCO ₂ 排出量(電気使用関連を含む)はほぼ倍増	● 建築物のCO ₂ 排出量は、低炭素電力、エネルギー効率の向上、低炭素/ゼロ炭素技術への転換(太陽熱冷暖房、ヒートポンプ、CHP)により、3分の2削減
● 軽自動車(LDV)販売台数の約80%は従来のガソリン車やディーゼル車;石油製品は輸送関連エネルギー需要の90%以上を満たす	● 軽量乗用車販売台数のほぼ80%はプラグインハイブリッド車、電気自動車、燃料電池車;輸送関連最終需要に占める石油製品の割合は50%に低下
● 産業のCO ₂ 排出量は、産業製品の増加に伴い、およそ50%増加	● 産業分野のCO ₂ 排出量は、主にエネルギー効率の向上、燃料転換、リサイクル、エネルギー回収、CCSにより、約4分の1減少
● エネルギー供給・使用への総投資額は270兆米ドル	● 投資はベースラインの場合より46兆米ドル(17%)多い;累計の燃料節減額はベースラインの場合より112兆米ドル多い
● 非OECD諸国はエネルギー需要の伸びの約90%、世界のCO ₂ 排出量の約4分の3を占める	● 非OECD諸国は2007年比で約30%のCO ₂ 排出量削減を達成;OECD諸国はCO ₂ 排出量を2007年比で70~80%削減し、OECD諸国が世界のCO ₂ 排出量に占める割合は4分の1未満となる

2) 低炭素社会実現による課題解決への貢献

低炭素社会実現によるエネルギー・環境に関する課題解決への貢献について以下の共通認識が醸成できた。

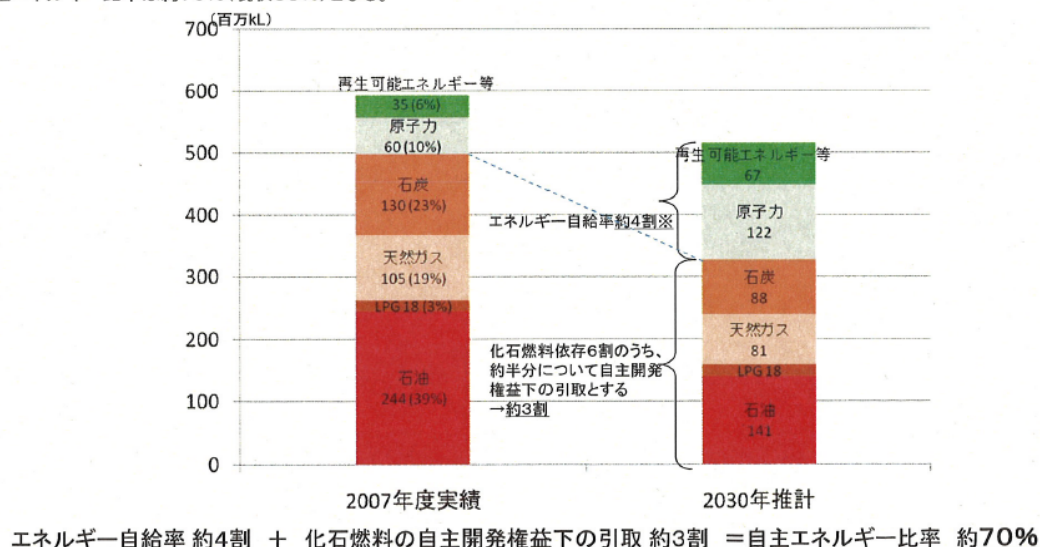
- ①IEA によれば、環境、エネルギー安全保障、経済発展を持続可能とするためにはブルーマップシナリオ、即ち、2050年における世界のエネルギー関連 CO₂ 排出量を現状から50%削減することにより世界の平均気温上昇を2～2.4℃以内に抑え、2050年における世界の一次エネルギー消費量を現状に比べ約32%程度の増加に抑えるシナリオが必要である。

従って、低炭素社会が環境、エネルギー安全保障、経済発展を高める強力なツールとなる。



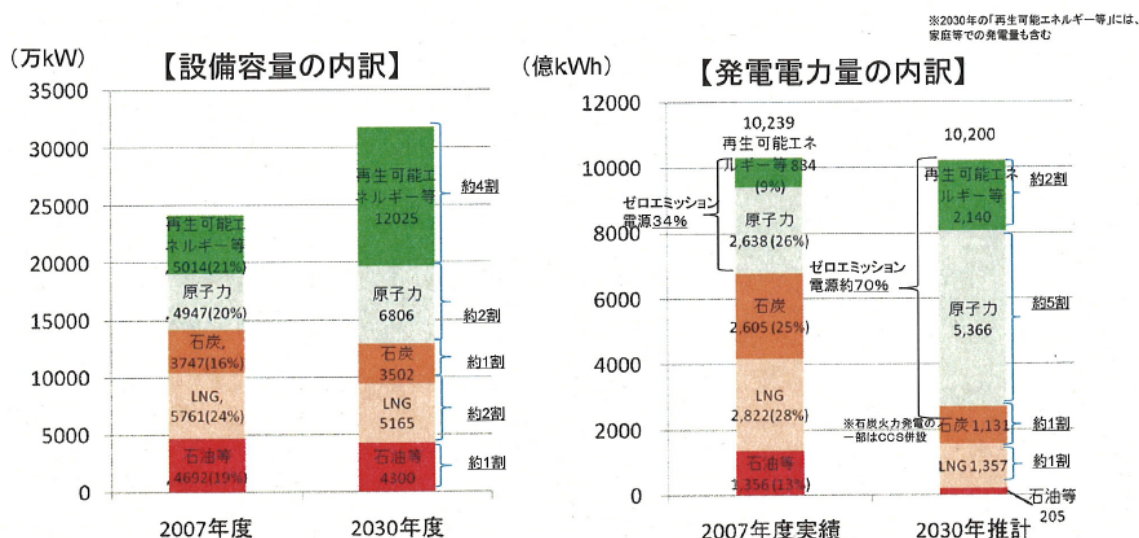
②国内のエネルギー課題に関しては、2010年6月に METI(経済産業省)によるエネルギー基本計画が閣議決定され、2030年における一次エネルギーに占めるエネルギー自給率を現状(2007年)の約2倍の40%、自主エネルギー比率を現状(2007年)の約2倍の約70%とすること、2030年における発電電力量に占めるゼロエミッション電源比率を現状(2007)年の約2倍の70%とすることが、エネルギーの課題解決に向けた目標として設定された。

○従来のエネルギー自給率(現状18%)が倍増する。加えて、自主開発権益下の化石燃料の引取量(現状26%)を倍増させることにより、自主エネルギー比率は約70%(現状38%)となる。



○電源構成の内訳は以下の通り。

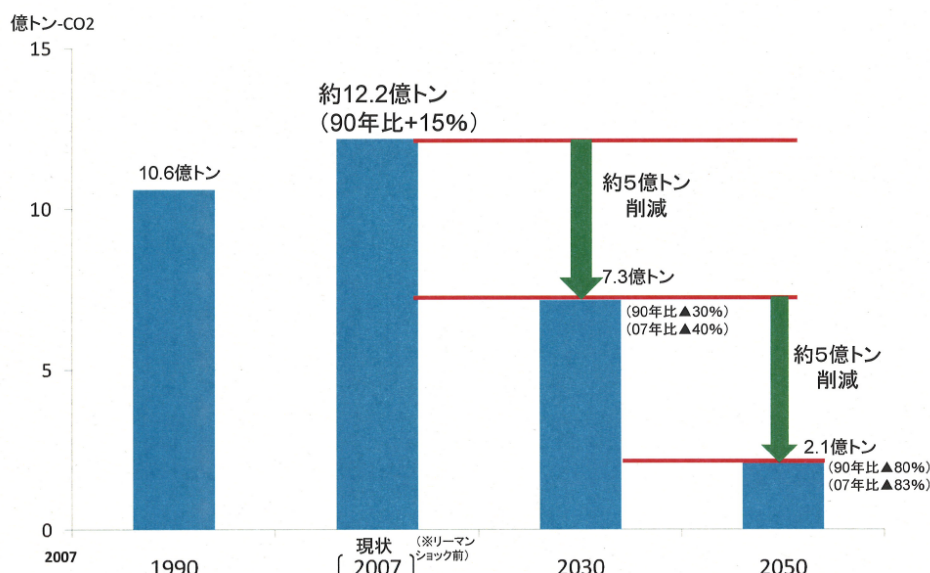
○ゼロ・エミッション電源比率は約70%程度となる※。(現状34%)



- ③国内の環境問題に関しては、地球温暖化防止に向け、CO₂を2020年に1990年比で25%削減し、2050年に1990年比で80%削減するという政府目標が維持されている。

長期的なCO₂排出量のパス（イメージ）

○長期的なCO₂排出量パスとの関係では、2030年までの約20年間で、現状から約5億トンが削減され、2050年（90年比▲80%）までの削減量のうち、ほぼ半分が実現されるイメージとなる。



3) CO₂フリー水素エネルギーシステムによる課題解決への貢献

上記エネルギー・環境に関する課題に対し、CO₂フリー水素エネルギーシステムによる解決への貢献について以下の共通認識が醸成できた。

- ①CO₂ 削減については世界及び日本の削減目標を入力条件のベースとし、国内原子力発電設備は新設せず40年でフェーズアウトするという設定条件の下実施した GRAPE（地球環境統合評価モデル）によるシミュレーションの一推算結果（詳細は次頁の5. 2項参照）は以下の通りとなった。

なお、日本の CO₂ 削減の入力値は、2050年は真水で1990年比80%であるが、2020年は真水で1990年比15%、クレジットで10%として合計で25%削減とした。

○ 2030年より輸入 CO₂ フリー水素が導入され始め、自給率への寄与は2030年で約1%、2050年で約34%となる。

○ 輸入 CO₂ フリー水素のゼロエミ電源への寄与は2030年で約 3%、2050年で約 42%となる。

- ②上記シミュレーションの一推算結果等から、CO₂フリー水素エネルギーシステムがエネルギー・環境に関する課題解決の有力なオプションとなり得る。

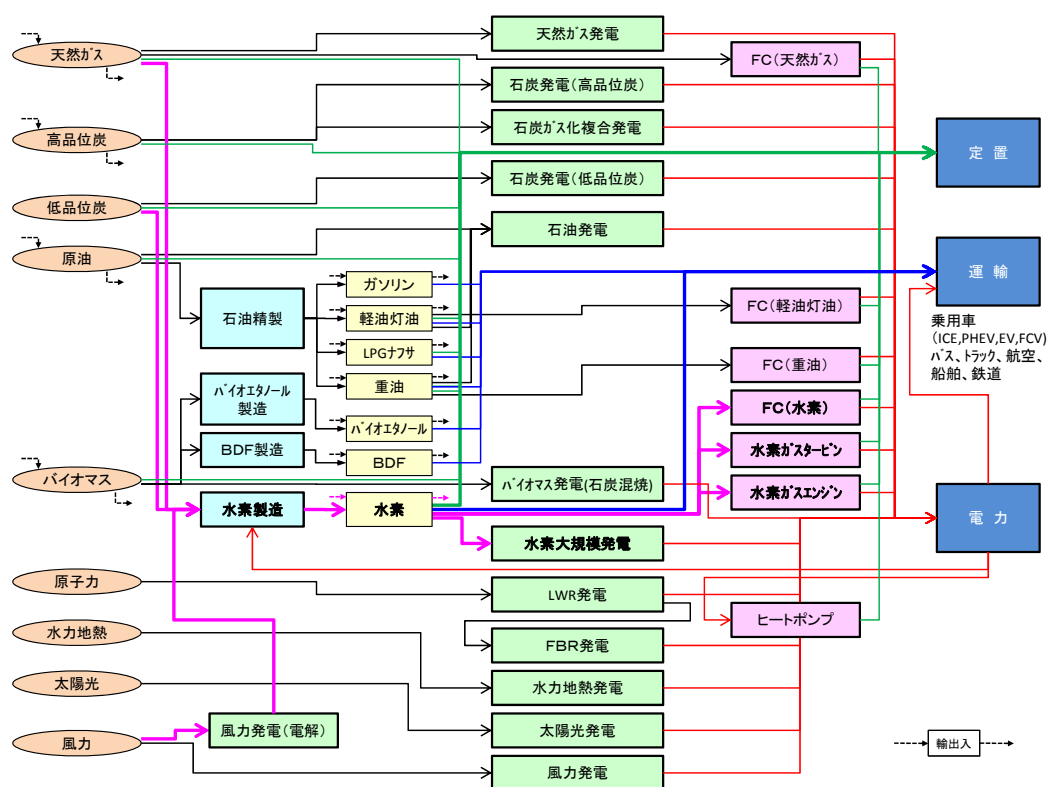
5. 2 シミュレーションによる水素需要推算

GRAPEによる水素需要推算の概要を以下に示す。(詳細は添付5. 2-1参照)

1) シミュレーションモデル

水素エネルギーは、多様なエネルギー供給源から製造可能で、かつ潜在的な需要は多岐にわたることから、エネルギーシステム全体における水素の位置づけを整合的に把握しておくことが重要となる。そこで、低炭素エネルギーシステム検討のため、地球環境統合評価モデル(GRAPE)のエネルギーモジュールを用い、水素の役割評価(水素需要試算)を実施した。

【シミュレーションフロー(水素関連部位分を抜粋したもの)】



2) 計算条件:

試算では、CO₂ 排出制約下での水素エネルギーの導入可能性を評価した。なお、検討にあたっては、国内 CCS の有無、日本の原子力フェイズアウトなどに関するケーススタディを行った。

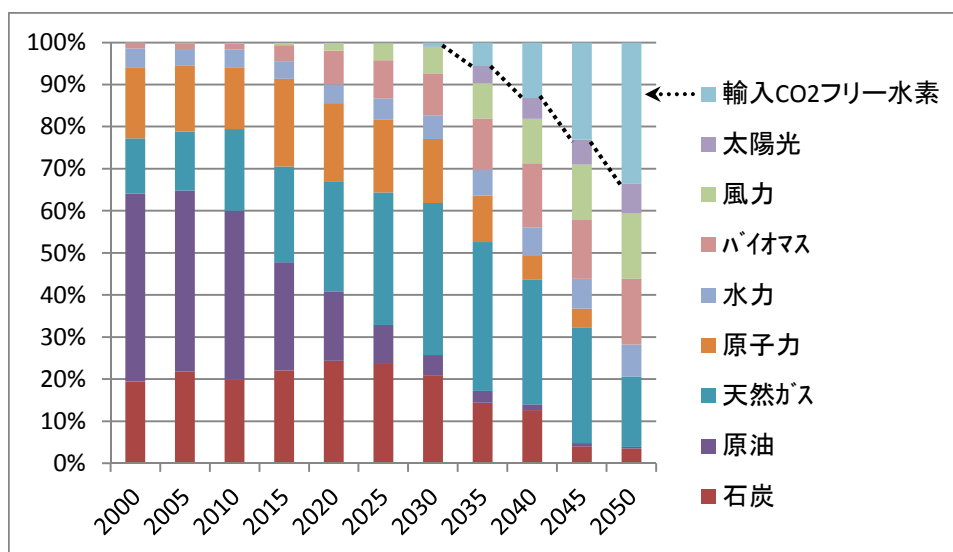
日本に関する CO₂ 制約は、2020 年に 1990 年比 15%削減、2050 年には先進地域全体で 1990 年比 80%削減を仮定し先進地域内で削減量が配分されることを仮定している。なお、以下に示す結果は原子力発電所の運転年数を 40 年とした原子力フェイズアウトに加え、国内 CCS が実施されない場合を想定している。

3) 試算結果

以下に、原子力フェーズアウトかつ国内CCS無しの場合の試算結果例を示す。

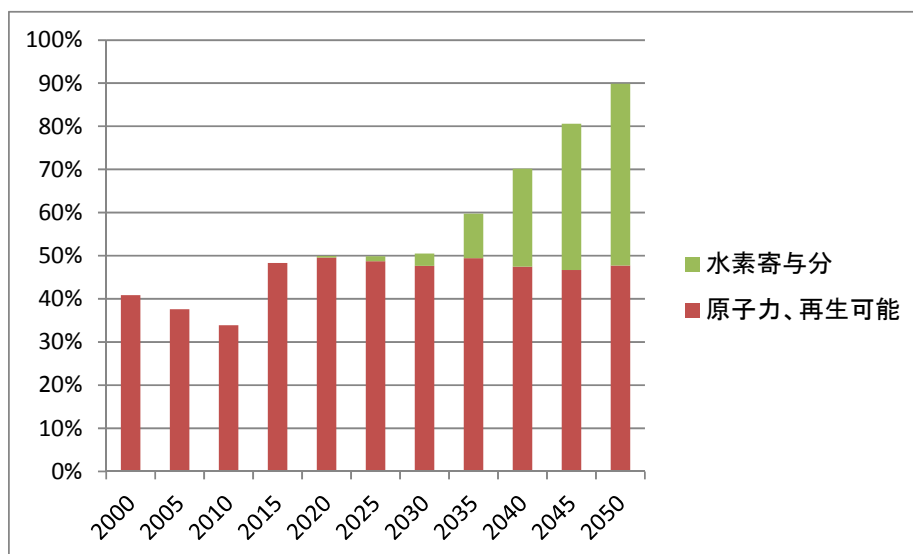
＜日本の一次エネルギーの比率の推移(例)＞

日本はエネルギー資源の大部分を化石燃料輸入資源に依存している。輸入水素を一次エネルギー相当とみなした場合、2030 年における CO₂ フリー水素のエネルギー自給率への寄与は約1%、同じく2050 年における寄与は約34%と試算された。



＜日本のゼロエミッション電源比率の推移(例)＞

低炭素エネルギーシステムの鍵を握るのは発電におけるゼロエミッション電源である。原子力、再生可能に加え、水素をゼロエミッション電源とすると、2030 年における CO₂ フリー水素のゼロエミッション電源比率は約3%、同じく2050 年における比率は約42%と試算された。



5. 3 CO2フリー水素チェーン構想の立案

1) CO2フリー水素チェーンパス

CO2フリー水素チェーンパスの想定技術群を以下に示す。(詳細は添付5. 3-1参照)

パスNo.	海外		海上輸送	国内		最終ユーザ
	資源	プロセス		資源	プロセス	
1A&1B	石油 (在来型 & 非在来型)		石油		石油精製・CCS・水素製造 (LPG・ナフサ経由、重質油経由)	①水素ステーション ／燃料電池自動車 ②家庭用燃料電池 ③業務用燃料電池 ④ガスタービンコジェネ ⑤ガスエンジンコジェ ネ ⑥ハイタン (都市ガス利用) ⑦水素発電所 (空気燃焼) ⑧水素発電所 (酸素燃焼)
6		CCS・水素製造・液化	液体水素			
9	石油随伴ガス	CCS・水素製造・有機HD製造	有機HD		脱水素	
12		CCS・アンモニア製造	アンモニア		分解	
2			石炭		石炭ガス化・CCS・水素製造	
4		液体合成燃料製造	合成燃料			
7	石炭	CCS・水素製造・液化	液体水素			
10		CCS・水素製造・有機HD製造	有機HD		脱水素	
13		CCS・アンモニア製造	アンモニア		分解	
3A&3B		CCS・液化	LNG		LNG気化・CCS・水素製造	
5A&5B	天然ガス (在来型 & 非在来型)	液体合成燃料製造	合成燃料			
8A&8B		CCS・水素製造・液化	液体水素			
11A&11B		CCS・水素製造・有機HD製造	有機HD		脱水素	
14A&14B		CCS・アンモニア製造	アンモニア		分解	
15	ウラン		ウラン		核熱利用水素製造	
16		ガス化・水素製造・液化	液体水素			
17	木質バイオマス	ガス化・水素製造・有機HD製造	有機HD		脱水素	
18		ガス化・水素製造・アンモニア製造	アンモニア		分解	
19		水素製造・液化	液体水素			
20	パーム油	水素製造・有機HD製造	有機HD		脱水素	
21		ガス化 & 水素製造・アンモニア製造	アンモニア		分解	
22	再生可能エネルギー (風力・水力・地熱・バイオ マス・太陽光・太陽熱)	発電・水電解水素製造・液化	液体水素			
23		発電・水電解水素製造・有機HD製造	有機HD		脱水素	
24		発電・電解合成アンモニア製造	アンモニア		分解	
25		光分解水素製造・液化	液体水素製造			
26	太陽光	光分解水素製造・有機HD製造	有機HD		脱水素	
27		光分解水素製造・アンモニア製造	アンモニア		分解	
28				国内再生可能エネルギー (風力・水力・地熱・バイオ マス・太陽光・太陽熱)	発電・水電解水素製造・液化	
29					発電・水電解水素製造・有機HD製造・脱水素	
30					発電・電解合成アンモニア製造・分解	
31					光分解水素製造・液化	
32				国内太陽光	光分解水素製造・有機HD製造・脱水素	
33					光分解水素製造・アンモニア製造・分解	
34				COG	ガス精製(前処理)・CCS	
35				石油化学副生水素	ガス精製・CCS	
36				苛性ソーダ製造副生水素	水分除去	

備考) 有機HD: 有機ハイドライド(典型:トルエン)
水素添加: トルエン + 水素 → メチルシクロヘキサン
脱水素: メチルシクロヘキサン → トルエン + 水素

2) CO2フリー水素チェーンパスの技術成熟度評価(試行)・マッピング(例)

水素の生産、輸送、貯蔵、利用などの技術検討に携わっている専門家に依頼し、要素技術及び全体システムについて技術成熟度の将来進展可能性を試行的に検討していただいた。

評価試行結果の概要を以下に示す。(詳細は添付5. 3-2 & 添付5. 3-3参照)

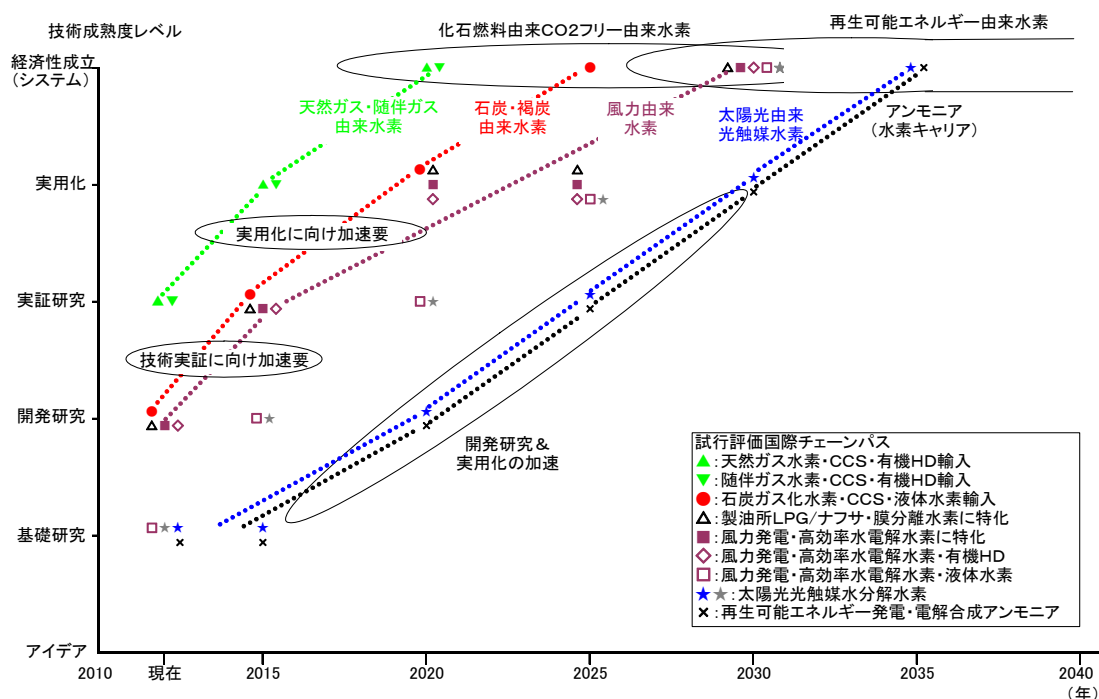
技術成熟度の評価試行については、技術成熟度レベルをアイデア、基礎研究、開発研究、実証研究、実用化、経済性成立の6段階で設定した。まず、要素技術について、現状のレベル評価と2015年以降5年毎に技術進展可能性のレベル評価を試行していただいた。

そして、全体システム、すなわちチェーンとしての技術成熟度評価は、対象年における最も低い要素技術の成熟度とし、経済性成立のレベルは、全ての要素技術が実用化レベルに到達し、全体システムとしてコスト競争力を有し、チェーンとして商用設備が実現されレベルとして、評価を試行していただいた。

なお、技術成熟度の試行評価は国際チェーンだけでなく、国内チェーンについても行っていただいた。以下、評価試行結果を、横軸は年次、縦軸は技術成熟度レベルの関係でマッピングした例を示す。

【国際チェーンの上流工程】
 (国際チェーン:大規模)
 (上流工程:水素製造・輸送・貯蔵)

CO2フリー水素チェーン 技術成熟度評価試行結果のマッピング
 上流工程(1/2):国際チェーン

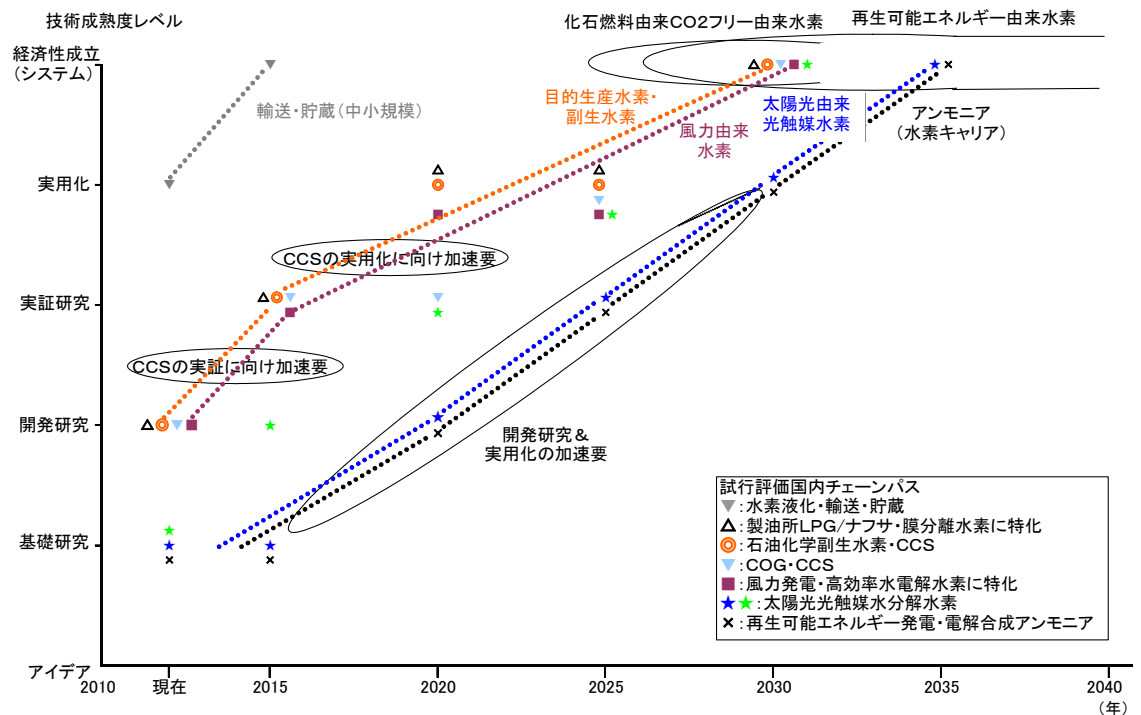


今回の試行結果を総括すると、以下の通り、コスト競争力のあるCO2フリー水素国際チェーンの上流工程が順次商用ベースで実現できるという結果になった。

- ・2020年頃:天然ガス・随伴ガス改質水素製造+CCS。有機ハイドライドとして海上輸送・貯蔵
- ・2025年頃:石炭・褐炭ガス化水素製造+CCS。液体水素として海上輸送・貯蔵
- ・2030年頃:風力発電電力利用水電解水素製造。液体水素または有機ハイドライドとして海上輸送・貯蔵
- ・2035年頃:太陽光光触媒型水電解水素製造。液体水素または有機ハイドライドとして海上輸送・貯蔵
- ・2035年頃:再生可能エネルギー発電+電解合成アンモニア製造。アンモニアとして海上輸送・貯蔵

【国内チェーンの上流工程】
 (国内チェーン: 中小規模)
 (上流工程: 水素製造・輸送・貯蔵)

CO₂フリー水素チェーン 技術成熟度評価試行結果のマッピング
 上流工程(2/2): 国内チェーン



今回の試行結果を総括すると以下の通りとなる。

- ・国内中小規模の水素チェーン(液化・輸送・貯蔵)は商用ベースで実施されている。
- ・目的生産水素(製油所水素・アンモニア製造水素)と副生水素(COG(コークス炉ガス)・石油化学副生水素・塩電解苛性ソーダ製造副生水素)はすでに商用ベースで実施されており、国内CCSが実現可能となれば、2030年頃にはコスト競争力のあるCO₂フリー水素国内チェーンが実現できる。
- ・再生可能エネルギー由来水素については、その実用化・経済性成立時期は国際チェーンの場合と基本的に同じ。

3) CO2フリー水素チェーン構想の立案

以上の試行結果を踏まえ、製造から最終需要者への供給までの全てを含むCO2フリー水素チェーン構想(例)としては、以下のものが挙げられる。これらを上手くミックスさせることによりエネルギー供給の多様性に貢献でき、CO2削減目標を達成しつつ、2015年以降予想される水素の大量需要増に対し、化石燃料+CCS由来のCO2フリー水素チェーンから再生可能エネルギー由来のCO2フリー水素チェーンへの円滑な移行が可能となると考える。

これらを可能とするためには、国内インフラの整備が必要であり、既存のインフラを有効に活用しつつ、新たなインフラを順次構築することにより大規模需要に対応していく必要があると考える。

<国際チェーン:大規模>

2020年頃～

- ①中東天然ガス水蒸気改質水素製造+CCS⇒有機ハイドライド化⇒積地貯蔵⇒海上輸送
⇒揚地貯蔵⇒脱水素・精製⇒トレーラー輸送⇒水素ステーション⇒FCV 供給
⇒ガスエンジンコジェネ

2025年頃～

- ②豪州褐炭ガス化水素製造+CCS⇒水素液化⇒積地貯蔵⇒海上輸送
⇒揚地貯蔵⇒気化⇒水素発電所
⇒ローリー輸送⇒オンサイト貯蔵⇒気化⇒ガスタービンコジェネ

2030年頃～

- ③パタゴニア風力発電⇒水電解水素製造⇒有機ハイドライド化⇒積地貯蔵⇒海上輸送
⇒揚地貯蔵⇒脱水素・精製⇒パイプライン配送⇒家庭用FC・業務用FC

2035年頃～

- ④太陽光触媒法水分解水素製造⇒水素液化⇒積地貯蔵⇒海上輸送⇒揚地貯蔵⇒ローリー輸送⇒オンサイト貯蔵⇒気化⇒ガスタービンコジェネ・ガスエンジンコジェネ

2035年頃～

- ⑤再生可能エネルギー発電⇒アンモニア電解合成⇒積地貯蔵⇒海上輸送⇒揚地貯蔵
⇒トレーラー輸送⇒水素ステーション⇒アンモニアFCV供給(オンボード分解水素精製)

<国内チェーン:中小規模>

2030年頃～

- ⑥目的生産水素(石油精製・アンモニア製造)⇒精製⇒パイプライン配送⇒水素ステーション
⇒FCV供給

2030年頃～

- ⑦副生水素(COG・苛性ソーダ製造)⇒圧縮・精製⇒パイプライン配送⇒家庭用FC・業務用FC

4) 定量的検討(例)

CO₂フリー水素国際チェーンのうち、褐炭ガス化水素製造・CCSチェーンとパタゴニア風力発電電力による水電解水素製造チェーンの2つを代表例として取り上げ、安定供給上のメリットについて検討を行った。

(1) 検討の前提条件

検討の主な前提条件は以下の通りである。

- ・2030 年における日本の総発電量の10%を輸入水素で賄うとする。
- ・2030 年における日本の総発電量を1兆 kWh/年とする。
- ・2つのチェーンの比較対象はいずれもLNGとする。
- ・水素の発電効率は 60% とする。
- ・LNG必要量は水素の熱量と等価とする(低位発熱量ベース)。

(2) 褐炭ガス化水素製造・CCSの国際チェーン

褐炭は埋蔵量が多く、世界各地に比較的幅広く分布していますが、水分が最大約 70%と多く、乾燥させると発火する等の性状を有していることから、現状、取引されておらず、炭田近くに建設された発電所で利用されている程度です。従って、権益取得を含め有効活用すべき燃料であり、国富流出の大幅な低減につながると考えます。

① 国富流出低減比率(超概略試算例)

<褐炭チェーンケース>

前提:CO₂は豪州で処理してもらい、それ以外は全て日本企業が日本技術で行う。

- ・日本の水素発電量= 1兆 kWh/年 X 0.1 = 1,000 億 kWh/年
- ・水素発電効率= 60%
- ・水素需要量= $1,000 / 0.6 / 3(\text{kWh/Nm}^3) = 556 \text{ 億 Nm}^3/\text{年} = 5 \text{ 百万トン/年}$
- ・褐炭需要量= 約 95 百万トン/年
- ・褐炭購入価格= $95 \text{ 百万トン/年} \times 10\text{AUD/トン} \times 80 \text{ 円/AUD} = 76,000 \text{ 百万円/年}$
- ・CO₂排出量= 98 百万トン/年
- ・CCS費用= $1,700 \text{ 円/トン CO}_2 \times 98 \text{ 百万トン/年} = 167,000 \text{ 百万円/年}$
- ・CO₂フリー水素国富流出額(褐炭購入+CCS)= $243,000 \text{ 百万円/年}$
(76,000 百万円/年 + 167,000 百万円/年)

<LNGケース>

- ・LNG量(熱量等価換算)= 1,260 万トン/年
- ・LNG 購入価格= $1,260 \text{ 万トン/年} \times 53,000 \text{ 円/ton-CIF}(2007\sim 2009 \text{ 平均 by EDMC 要覧})$
= 668,000 百万円/年
- ・LNG 権益比率= 15%として
- ・LNG 購入国富流出額= $668,000 \text{ 百万円/年} \times 0.85 = 568,000 \text{ 百万円/年}$

・CO₂排出量= 1,260 万トン/年 × 2.7トン CO₂ /トン = 34 百万トン CO₂/年(参考)

<国富流出低減比率>

・国富流出比率= 243,000 / 568,000 = 0.43

⇒ 国富流失を約 60%削減できる。

② その他(褐炭+CCSの特性評価)

・褐炭賦存量:

・石炭可採埋蔵量 : 世界=860,938 百万トン、豪州=76,400 百万トン (by WEC 2010)

・褐炭可採埋蔵量 : 世界=195,387 百万トン、豪州=37,200 百万トン (")

・褐炭生産量@2008: 世界= 916 百万トン、豪州= 65.5 百万トン (")

・褐炭分布: 独=20.8%、豪州=19.0%、米国=15.4%、中国=9.5%、カザフスタン=6.2%、露=5.3%

・原料価格安定性: 公表価格なし(取扱が難しいので現状取引されていない)

豪州褐炭の将来予想価格 = 5~15AUD/湿潤トン

原油価格に連動しない安定した価格が期待できる

・国際競争力: 水素液化・水素ガスタービン等の要素技術及びチェーンとしての技術に革新性がある。

・成長性: LNG 初導入時と同じ新概念であり、新産業の育成・雇用拡大につながる。

・環境性: CO₂(温室効果ガス)、NO_x・SO_x(有害物質)の排出がない。

(3) パタゴニア風力発電電力による水電解水素製造の国際チェーン

アルゼンチンのパタゴニアは年間平均風速が10m/s を超える所もあり、風力エネルギーのポテンシャルは莫大である。しかし、南米最南端等の地理的条件や、風が強すぎる等の理由で、ほとんど利用されていない。従って、権益取得を含め有効活用すべき資源であると考える。

① 国富流出低減比率(超概略試算例)

<パタゴニア風力チェーンケース>

前提: 土地を借用し(借地料のみ考慮し)、全て日本企業が日本技術で行う。

・水素需要量= 1,000/0.6/3(kWh/Nm³) = 556 億 Nm³/年 = 500 万トン/年

・水電解効率= 4.4kWh/Nm³

・水電解必要電力量= 約 2,450 億 kWh/年

・風力発電設備利用率= 50%

・必要風力発電設備容量= 4,900 億 kWh/年

・風車設置場所: チュブット州とサンタクルス州

・所要土地面積= 7,500 Km²

・年間の借地料= 7,500 km² × 4.4 百万円/km² (下記参照) /20 年= 1,650 百万円/年

・土地購入単価= 550 US\$/ha (林産地 by 2001 年 10 月のジェットロレポート)

= 550 US\$/ha × 100 ha/km² × 80 円/USD = 4.4 百万円/km²

- ・年間の借地料= 土地購入費 / 20 年とする
- ・風力発電水電解由来水素国富流出額(借地料のみ考慮)= 1,650 百万円/年

<LNGケース>

- ・LNG量(熱量等価換算)= 1,260 万トン/年
- ・LNG 購入価格= 1,260 万トン/年 X 53,000 円/ton-CIF = 668,000 百万円/年
- ・LNG 権益比率= 15%
- ・LNG 購入国富流出額= 668,000 百万円/年 X 0.85 = 568,000 百万円/年

<国富流出低減比率>

- ・国富流出比率= 1,650 / 568,000 = 0.003
- ⇒ 国富流失はほとんどゼロとなる。

② その他(風力発電+水電解の特性評価)

- ・分布: 南氷洋(パタゴニア・タスマニア・ニュージーランド南島)、北太平洋(アリューシャン列島)、北極海(アイスランド・アイルランド・スコットランド)等で風況に恵まれた所(一定風向で台風がない、常時強風、広大な面積等)が広く分布している。
- ・原料価格安定性: 優れている。
- ・国際競争力: 耐強風水車や風力発電電力直結の高効率水電解装置等に革新性がある。
- ・成長性: 水素チェーンの国際ネットワークとして新産業の育成・雇用拡大につながる。
- ・環境性: 優れている

6 エネルギー政策への反映についての提言

2012年3月13日(火)、資源エネルギー庁 総合政策課の新しいエネルギー基本計画に向けた意見募集ご担当に、(財)エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 部長(水素エネルギー担当)坂田興として、添付6-1の通り提出し、提言を行ったが、個人として提言したため、個人情報管理の観点から、固有情報は削除され、東京都の団体職員として公表された。

提言内容を要約すると、現行エネルギー基本計画を活かし、下記文言・表現の追加を希望するということである。

- 『海外からの水素輸入も考慮に入れた CO2 フリー水素の国際ネットワーク形成を図る』という文言の追加
- 『まずは、化石燃料+CCS主体での CO2フリー水素国際ネットワークを形成し、最終的には、再生可能エネルギー主体での水素国際ネットワークへ円滑に移行する』という文言の追加
- 一次エネルギー構成の棒グラフに『水素』という項目が加えられること

提言1):CO2フリー水素国際ネットワークの形成

イメージ図

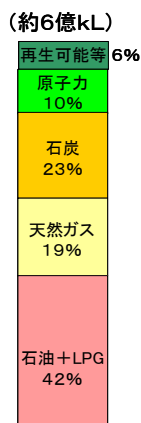


CO2フリー水素の製造(海外) ⇨ 海上輸送 ⇨ 利用

化石燃料+CCS (短中期) ⇨ 再生可能エネルギー (中長期)

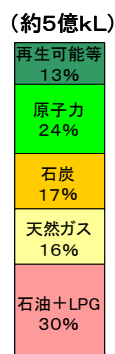
提言2):エネルギー供給の姿

《2007年実績》



《2030年推計》

＜現基本計画＞



＜提言＞
「水素」という項目が
加えられること。



7 成果の公表

構想研究会の成果の取扱いについては、第1回研究会の資料1－5で、「構想研究会」の成果であることを明示した上で自由に活用していただきたい、と明記していること、及び第2回研究会議事録で、公開する場合は研究会に諮る、と明記している。

従って、上記手順を遵守し、今後公表先と公表内容を検討していきたい。現時点での公表先候補としては以下が考えられる。

<国内投稿>

- ・エネルギー総合工学研究所のHP
- ・季報 エネルギー総合工学

<国内発表>

- ・エネルギー総合工学研究所の月例研究会
- ・エネルギー・資源学会
- ・水素エネルギー協会 (HESS)

<海外発表>

- ・World Hydrogen and Energy Conference
- ・Fuel Cell and Hydrogen Energy Association

以上

R1:2012.3.30

**『CO2フリー水素チェーン実現に向けた構想研究会』
メンバー・出席者**

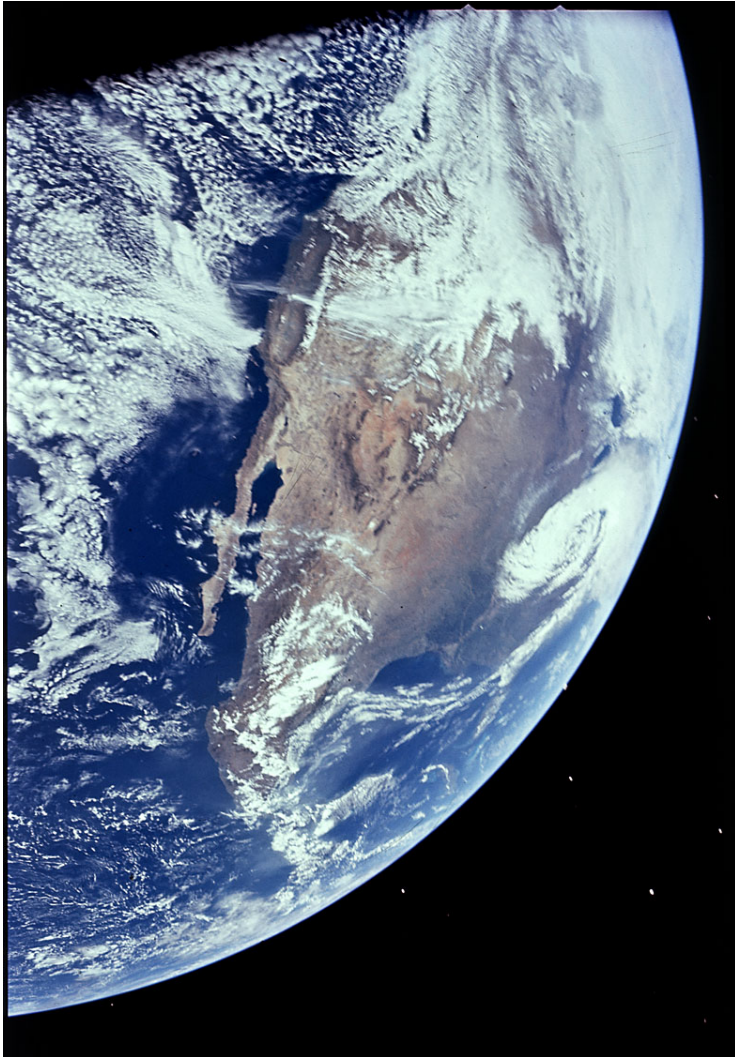
(財)エネルギー総合工学研究所

(順不同 敬称略)

体制	最新委員	前委員(前) 代理出席者(代)	所属
委員長	山地憲治		(財)地球環境産業技術研究機構(RITE)
委員	太田健一郎		横浜国立大学
	岡崎健		東京工業大学
	佐々木一成		九州大学
	長谷川裕夫		(独)産業技術総合研究所(AIST)
	浅野浩志	(代)永田豊	(財)電力中央研究所
	菊池和廣		(一財)石油エネルギー技術センター(JPEC)
	堂免一成	(代)久保田純	(社)水素エネルギー協会(HESS)
	岡田佳巳		千代田化工建設(株)
	小林由則		三菱重工業(株)
	斎藤健一郎		JX日鉱日石エネルギー(株)
	重定宏明	(代)吉田潤二	大阪ガス(株)
	杉浦勉	(前)実原幾雄 (代)日比政昭	新日本製鐵(株)
	東義	(代)後藤耕一郎	新日鉄エンジニアリング(株)
	宮崎淳		岩谷産業(株)
	安田勇	(代)萩原直人	東京ガス(株)
	吉村健二	(代)神谷祥二	川崎重工業(株)
オブザーバー	柴田寛文	(前)内野泰明	資源エネルギー庁 総合政策課
	名久井恒司		資源エネルギー庁 資源・燃料部 石炭課
	中野大志		資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー対策課
	細井敬	(前)伊藤仁一 (代)橋本秀昭	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)
事務局	坂田興		(財)エネルギー総合工学研究所(IAE)
	笹倉正晴		〃
	村田謙二		〃
	後藤信之		〃
	石本祐樹		〃
	福田健三		〃
	黒沢厚志		〃

CO2フリー水素
のゼロエミッショ
ン電源比率:
約 3% @2030
約42% @2050

自給率への寄与:
約 1% @2030
約34% @2050



GRAPEによる水素需要推算

財団法人エネルギー総合工学研究所

1. モデルの概要（変更点）

2. 計算条件

3. 計算結果ハイライト

4. まとめ

5. 今後の進め方

1. モデルの概要 変更内容サマリ

変更箇所	時期
①定置用のコジェネシェア上限の見直し	反映済み
②水素の国内調達の追加	反映済み
③輸入水素価格と海外の化石燃料価格のリンク	反映済み
④技術進捗の考慮	反映済み
⑤水素の国内配送コストの見直し	反映済み
⑥車両価格の見直し	反映済み
⑦導入台数と車両価格のリンク	結果を見て対応
⑧車両シェア上限の考え方の見直し	反映済み
⑨運輸需要の細分化	感度分析時に対応又は実施しない
⑩石炭発電、IGCCにおけるCCSの考慮	反映済み
⑪水素へのインセンティブの算出	感度分析時に実施
⑫直近の国内水素と将来の海外水素の接続について	国内水素製造を計算結果を見て対応
⑬水素による電力貯蔵	感度分析時に対応又は実施しない
⑭FCV車両効率の見直し	反映済み（JHFCやNEDOロードマップを参照し設定。）

1. モデルの概要 分析ケースの考え方（改訂）

- 原子力発電の寿命40年と60年の試算結果を比較、水素需要に大きな違いはないことがわかった。
 - 原子力の減少分は、概ね天然ガス火力で置き換え。
- 水素の導入に大きな影響を与えると考えられる外部環境
 - CO2制約
 - 国内にてCCSが利用できる場合、できない場合**（それぞれCCS有、CCS無とする）
- 各原子力発電所の寿命は40年で新設なし（フェーズアウト）、CO2削減量はコミット通りで日本国内のCCSの有無でケース分けを行い、今回は③④を実施。
 - フェーズアウトは日本のみ、寿命は40年と60年（福島第一、第二は含めず、新設は、島根3号と大間のみ）

		日本国内のCCS	
		有り	なし
CO2 制約	緩い （制約緩和）	①CCS有・緩CO2制約	②CCS無・緩CO2制約
	厳しい （現状のコ ミット通り）	③CCS有・厳CO2制約	④CCS無・厳CO2制約

※名称は仮置き。計算結果から適切な名称へ変更予定

2. 計算条件

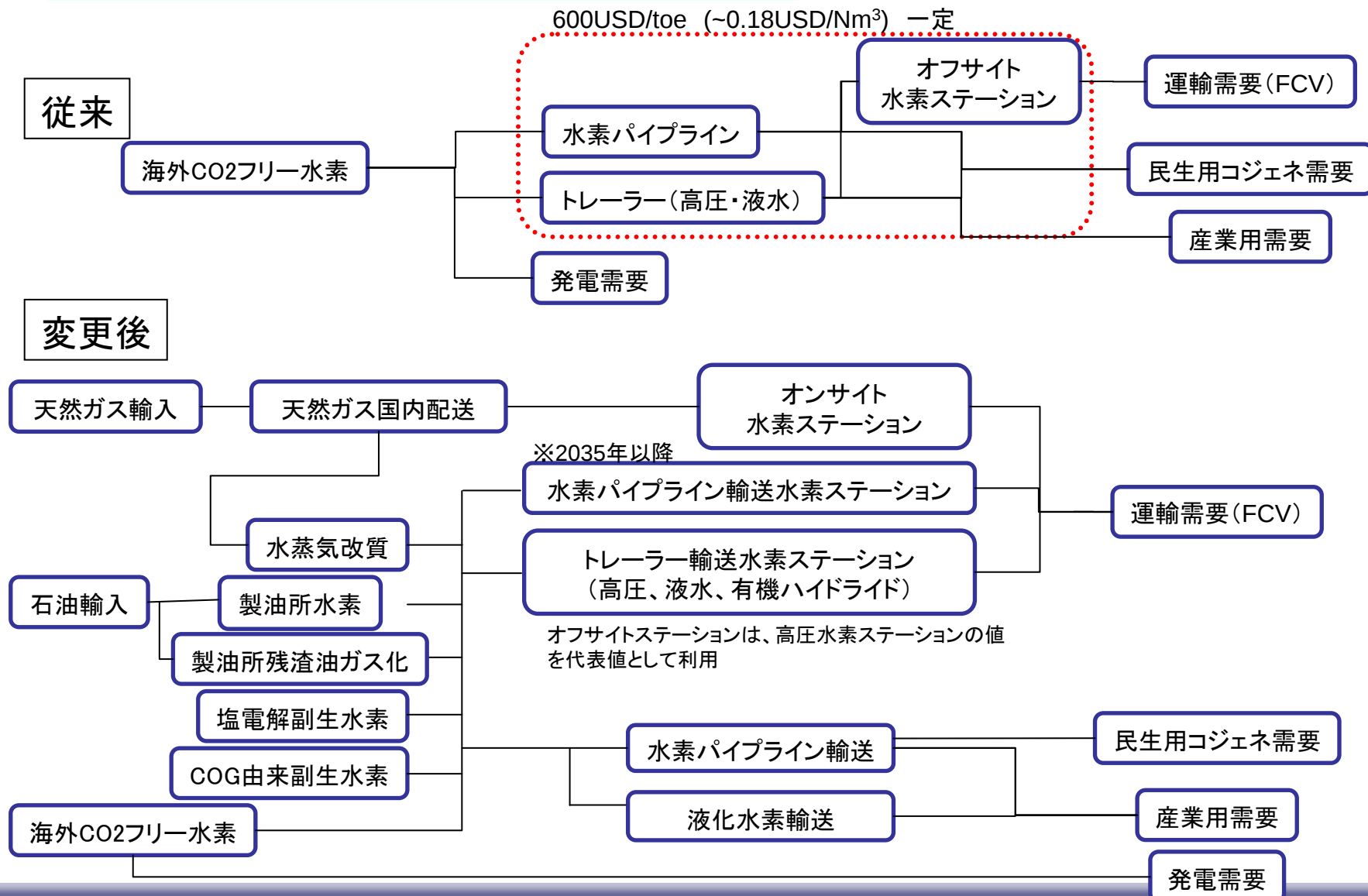
CO₂制約、CCSポテンシャル

- ・ **CO₂制約**
 - 2020年に1990年比15%削減（真水）
 - 2020年以降は、2050年に先進国・地域で80%削減の制約
 - 2020～2050年は線形補完
- ・ **国内のCCSポテンシャル**
 - 貯留ポテンシャルを0.73Gt-CO₂から3.5Gt-CO₂へ変更
 - ・ RITE資料のカテゴリーA1（背斜構造で、坑井・震探データ豊富）の値3.5Gt-CO₂を採用

CCSポテンシャル出典：<http://www.rite.or.jp/Japanese/project/tityu/fuzon.html>

2. 計算条件

②、⑤国内水素インフラの設定

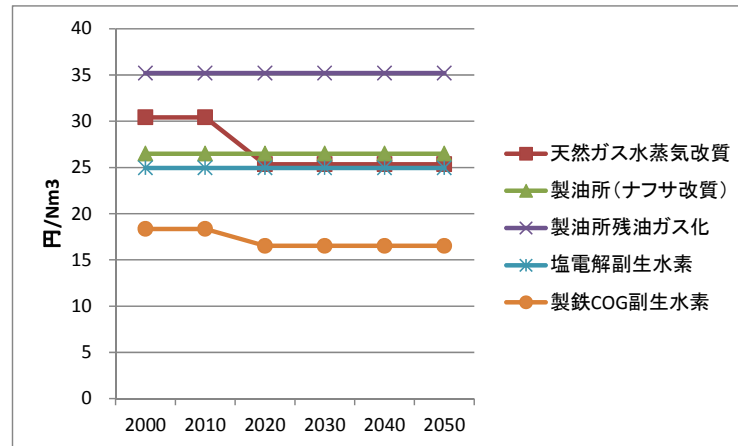


2. 計算条件

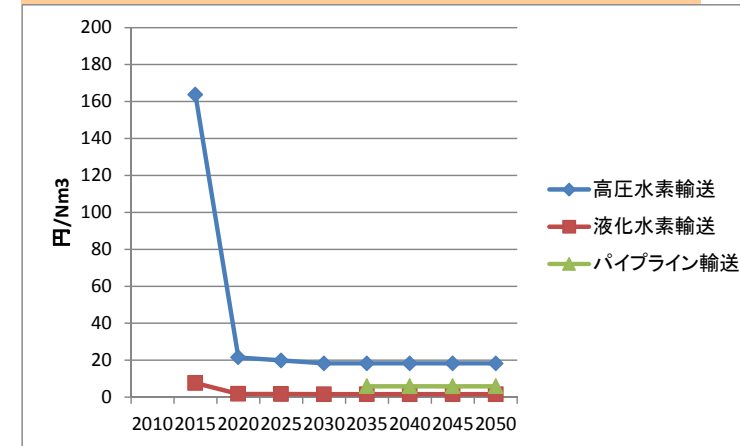
②、⑤国内水素インフラの設定

注：2015年以前の値は参考値

国内水素製造コスト

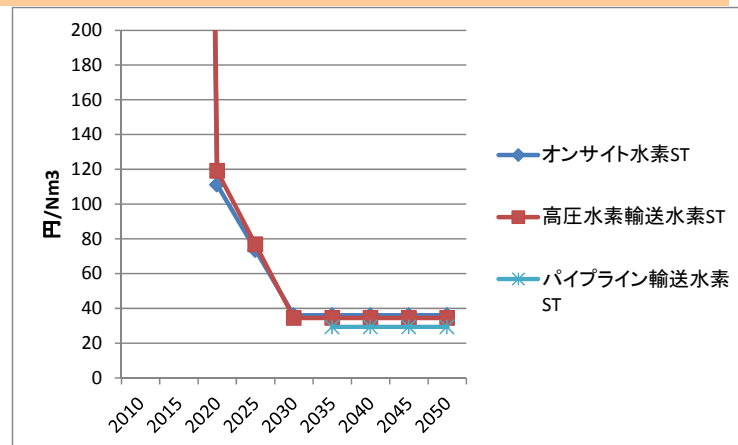


国内水素配送コスト（定置需要向け）



出典：H20年度NEDO報告書「水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ」から配送部分を抜き出した。
パイプライン輸送はIAE試算

国内水素配送コスト（水素ステーション）

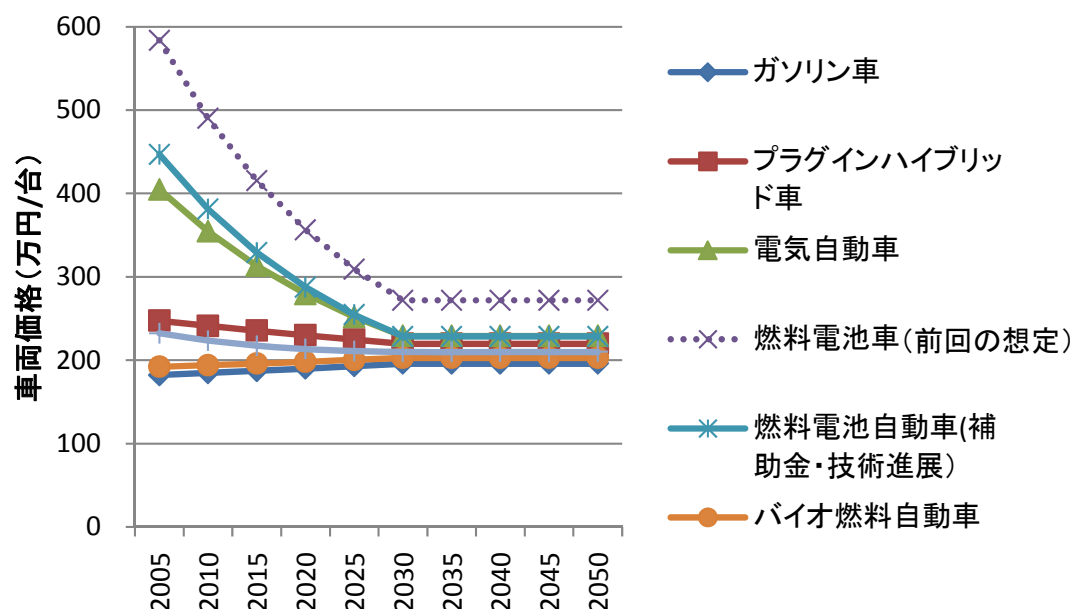


出典：H20年度NEDO報告書「水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ」の水素供給価格から水素製造に必要な設備費を差し引いて試算。
オフサイトは、ステーションまでの配送費も含む。
オンサイト水素STはIAE試算

1. モデルの概要

前回報告からの変更内容 補足

- ⑥車両価格の見直し
 - FCVの車両価格に補助金と技術進展を考慮
 - ・ IEAの車両価格はベース車と追加分（FCVであればFCシステムと水素タンク）から構成。
 - ・ 導入初期はEVの補助金額を参考に、また、2030年に向けて技術進展を仮定して追加分を30%減少させた。
- ⑭車両効率の見直し
 - FCVの車両効率をJHFCの結果を反映
 - ・ 60%はシャシダイナモの計測のため、実走行であることを考慮し、57%とした。
 - ・ NEDOのロードマップでは現状60%、2030年以降60%以上であるため、FCVの車両効率は一定と仮定。



出典：IEA, Passenger light duty vehicle efficiencies and costs (2009)

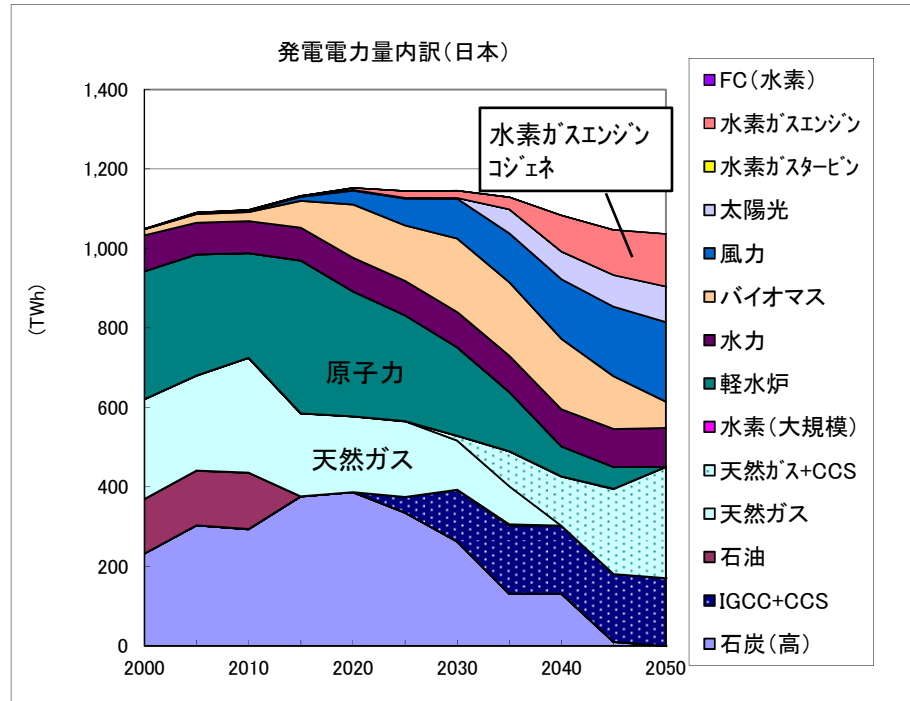
注1：※EVは2010年に補助金込みの日産リーフの値になるよう2005年を設定

注2：※FCVは2015年に5万ドルとなるよう2005年を設定（補助金・技術進展考慮前）

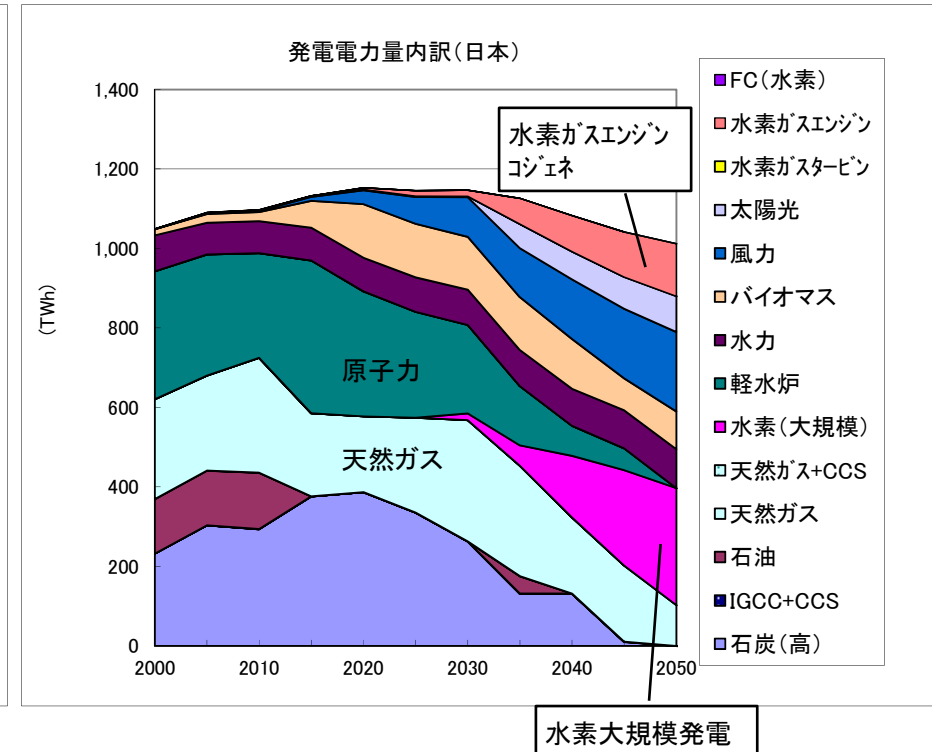
3. 計算結果

発電電力量

③CCS有



④CCS無

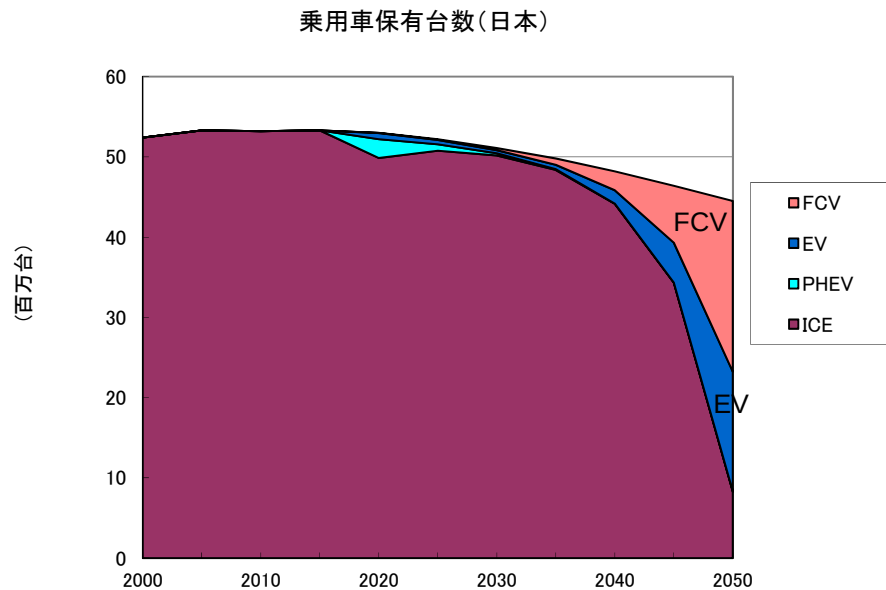


- 国内でCCSが利用できる場合は、天然ガス発電、IGCCにCCSが適用され、水素の大規模発電は導入されない。
- 国内でCCSが利用できない場合は、2030年から水素大規模発電が導入。
- CCS有、無ともに水素ガスエンジンコージェネが2025年から導入。

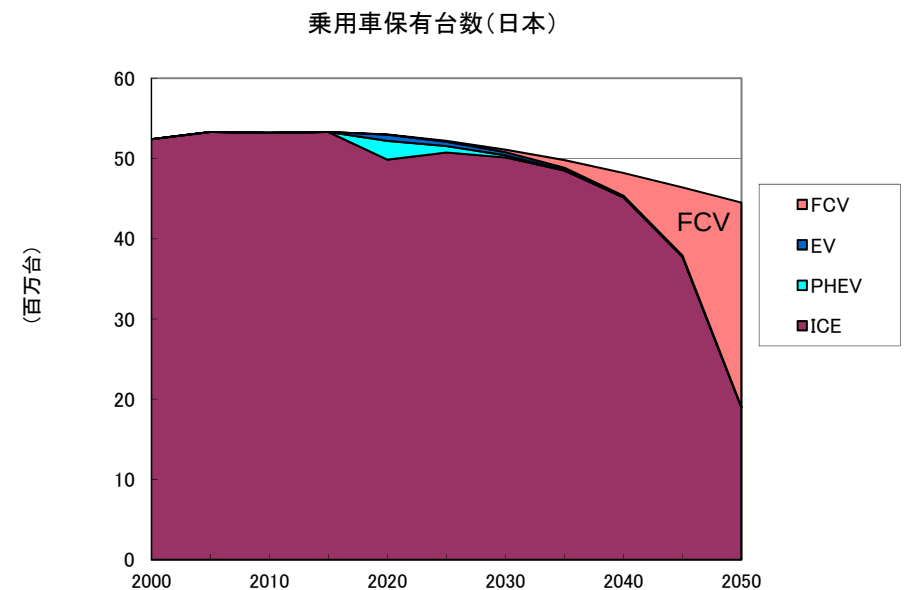
3. 計算結果

乗用車保有台数

③CCS有



④CCS無

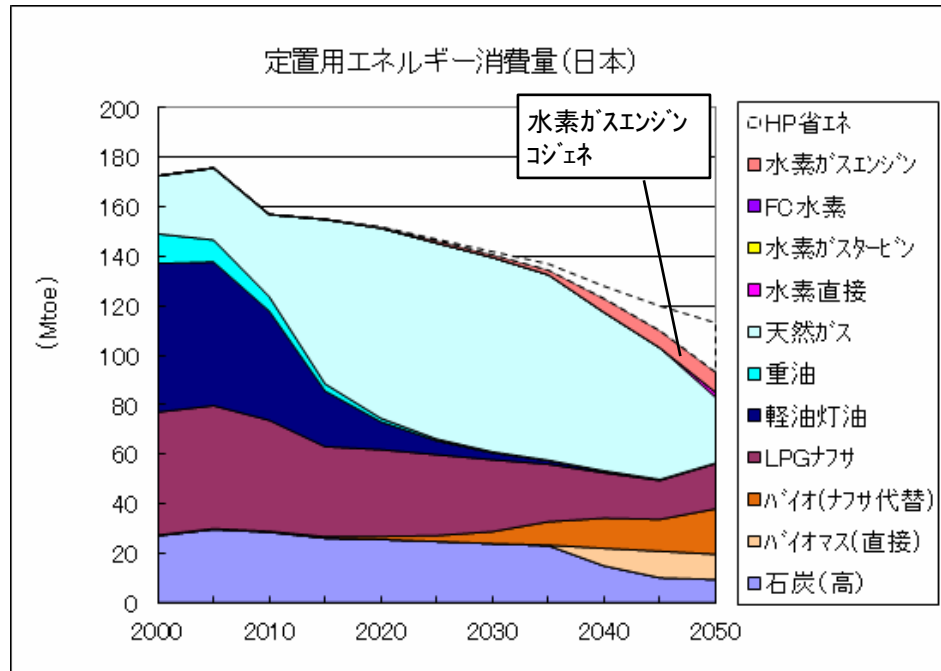


- FCV, EV, PHEVが利用される。
- 2050年にはFCV(乗用車)の保有台数が約2000万台、約200億Nm³の水素需要
- 国内でCCSが利用できない場合は、水素大規模発電の導入によりkWhあたりの電力価格が上昇し、CCSが利用できる場合に比べてEVの導入は少ない(数十万台程度)

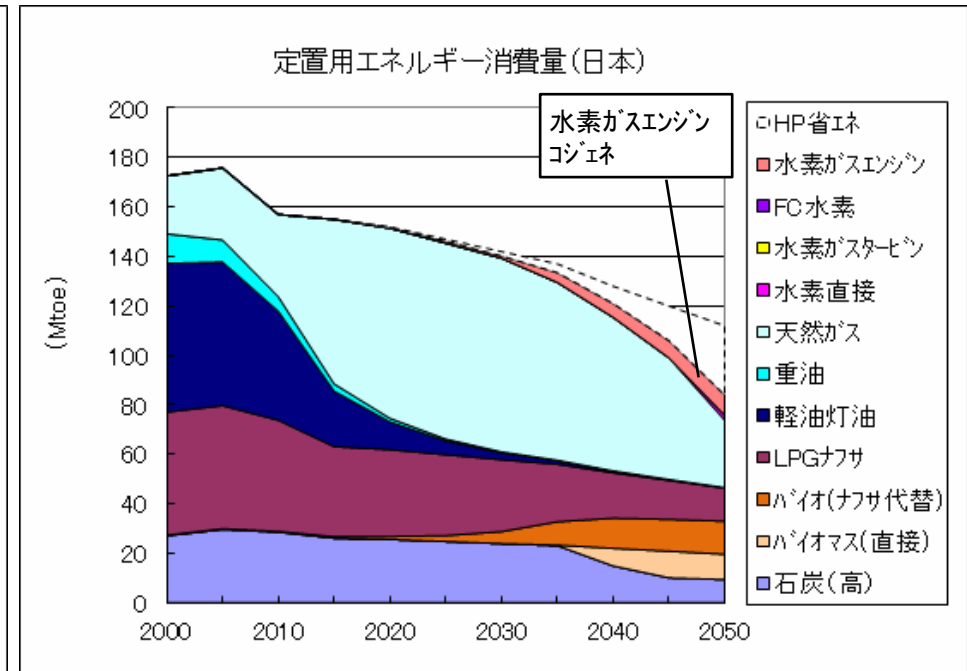
3. 計算結果

定置用エネルギー消費量

③CCS有



④CCS無

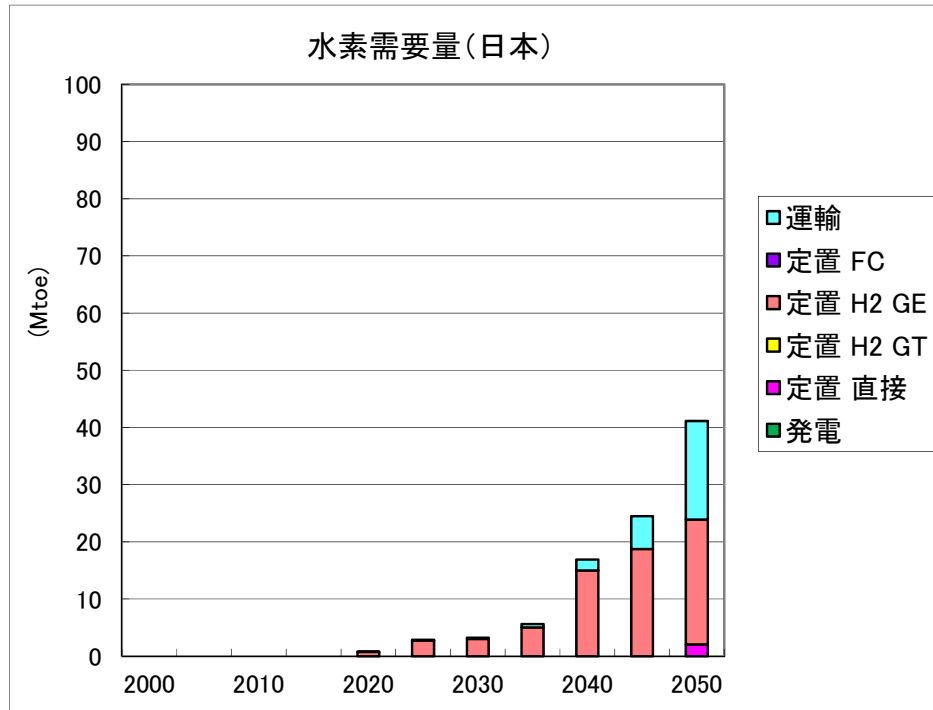


- 2025年から水素ガスエンジンコジェネが導入、2050年で22Mtoe(約860億Nm³)。
- 2050年に 2Mtoe(18億Nm³)が水素直接燃焼で利用。
- 2050年には、水素は定置用燃料の約9%を占める。

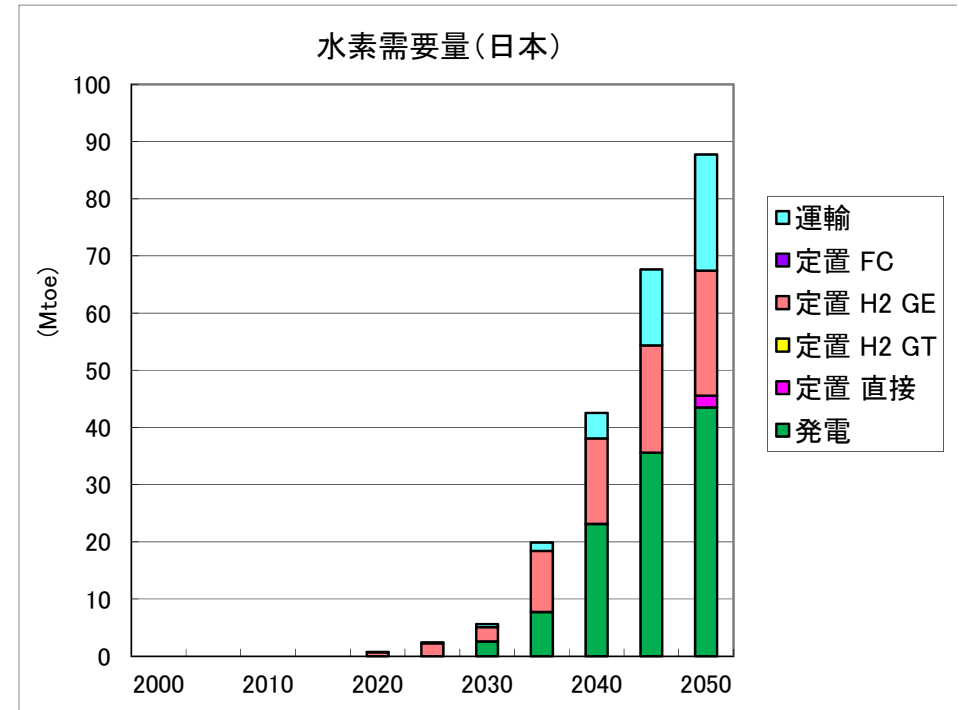
3. 計算結果

水素需要量

③CCS有



④CCS無



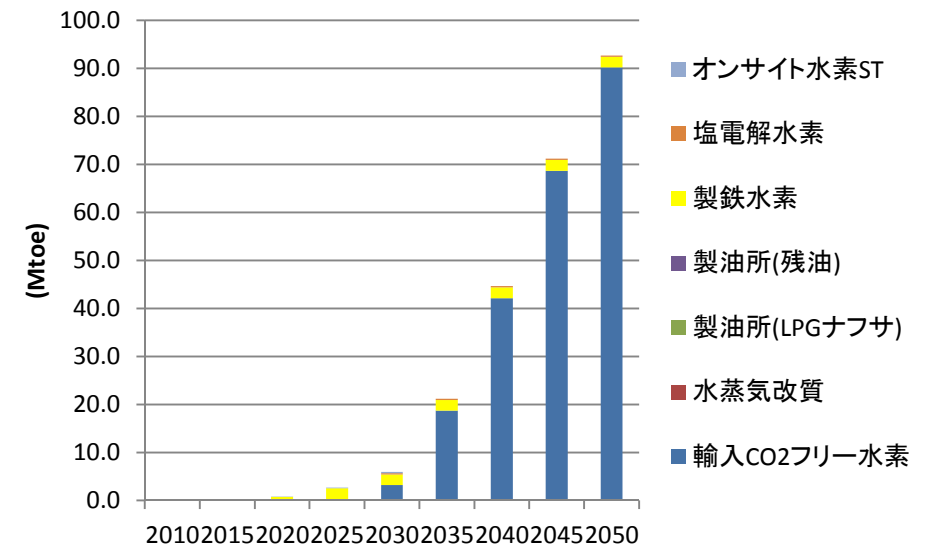
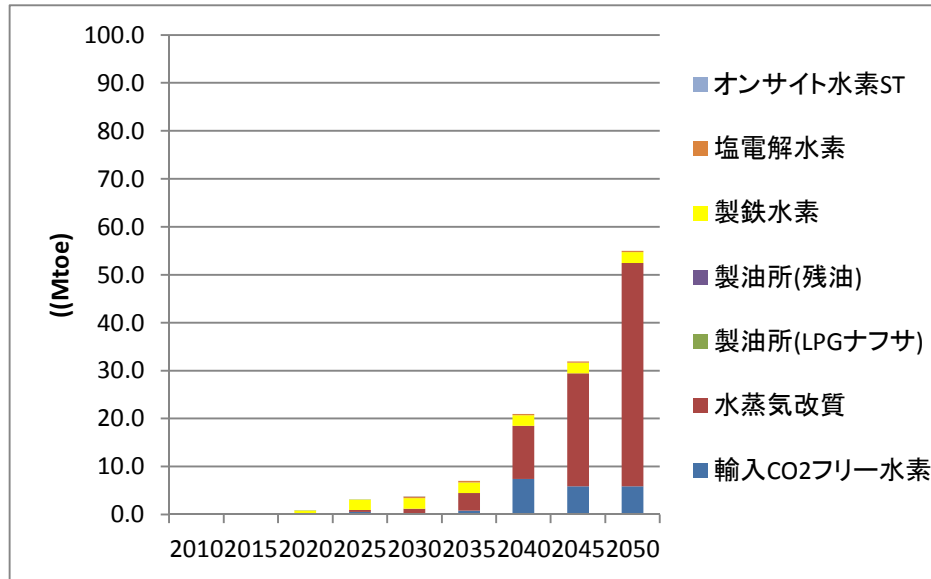
- CCSが利用できないとした場合、大規模水素発電が導入される。
- CCSが利用できないとした場合、2050年における水素需要は、88Mtoe (3432億Nm³)。
- 運輸は乗用車のFCV、貨物のFCV, その他から構成。

3. 計算結果

水素供給量

③CCS有

④CCS無



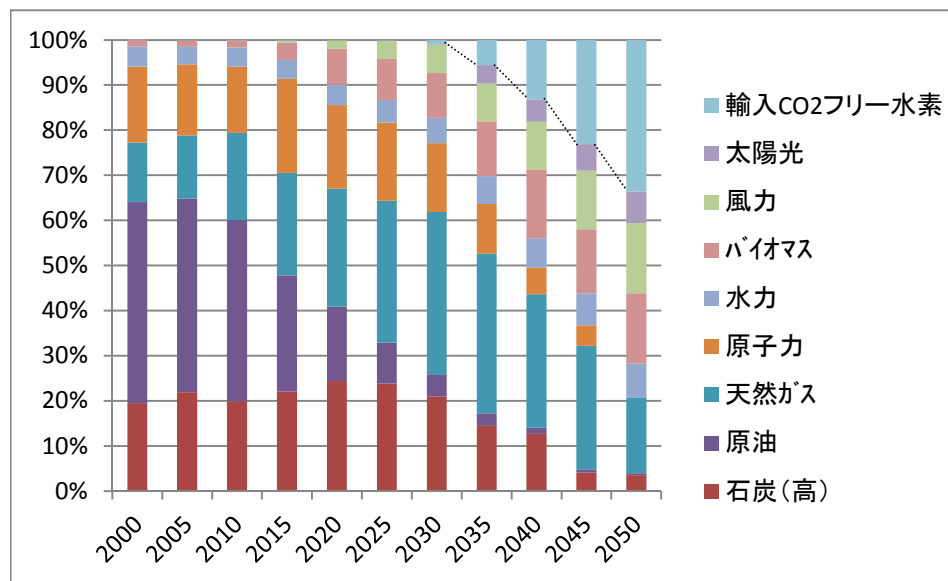
- ・ 日本国内でCCSが利用できる場合は最大8割程度を天然ガスの水蒸気改質で製造
- ・ CCSが利用できない場合は、ほぼ全量を輸入する

注：定置向け、運輸向けは配送ロス（10%）を含めているため、需要量の合計より総量が大きくなっている。

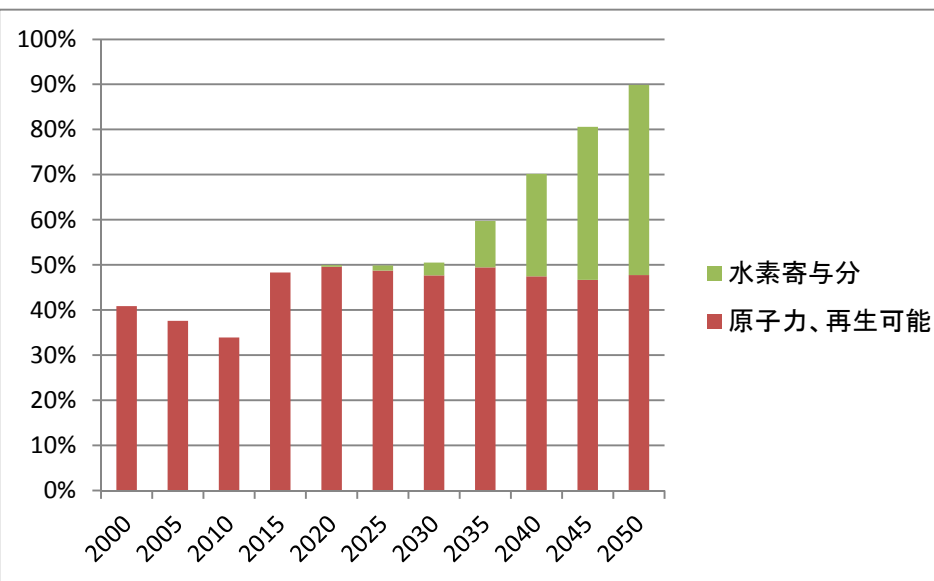
3. 計算結果

④CCS無

一次エネルギーの比率の推移



ゼロエミッション電源比率の推移



- ・ 2030年におけるCO2フリー水素のエネルギー自給率への寄与は約1%
(2050年には34%)
- ・ 2030年におけるCO2フリー水素のゼロエミッション電源比率は、約3%
(2050年には42%)

4. まとめ

計算結果ハイライト

①発電部門

- 国内でCCSが利用できない場合は、2030年から水素大規模発電が導入。
- 国内でCCSが利用できる場合は、天然ガス発電、IGCCにCCSが適用され、水素の大規模発電は導入されない。
- CCS有、無ともに水素ガスエンジンコジェネが2025年から導入。

②定置用需要分野

- 2025年から水素ガスエンジンコジェネが導入。
- 2050年に 2Mtoe (18億Nm³) が水素直接燃焼で利用。
- 2050年には、水素は定置用燃料の約9%を占める。

③運輸部門

- FCV, EV, PHEVが利用される。
- 2050年にはFCV (乗用車) の保有台数が約2,000万台、約200億Nm³の水素需要
- 国内でCCSが利用できない場合は、水素大規模発電の導入によりkWhあたりの電力価格が上昇し、CCSが利用できる場合に比べてEVの導入は少ない（数十万台程度）

④水素

- 国内でCCSが利用できる場合は、天然ガス改質で水素需要の大部分を製造。

5. 今後の進め方

- ① 本日のコメントの反映
- ② CO2制約緩和ケースでの計算
- ③ 感度分析

候補：水素製造費用、水素輸送費用

以下参考資料

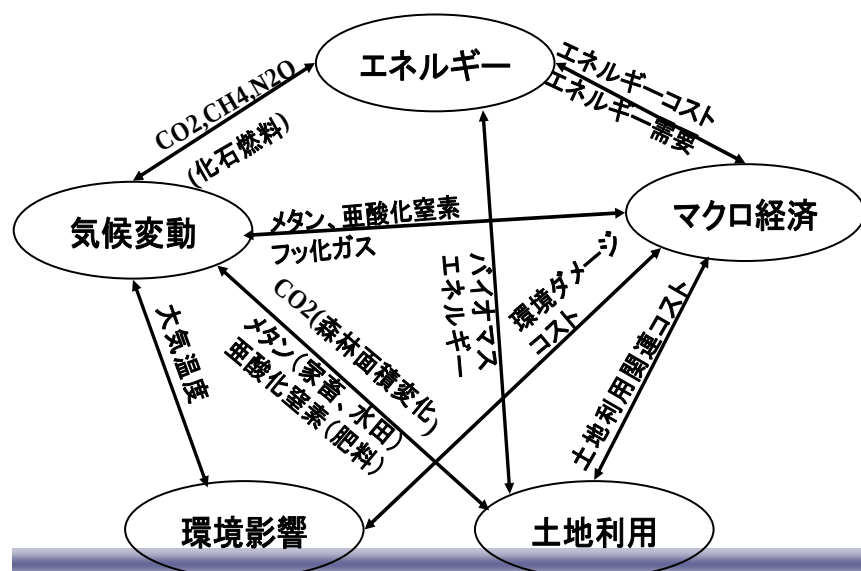
1. モデルの概要

GRAPE (地球環境統合評価モデル) とその利用

- 気候変動に関する各種持続可能シナリオの検討において、
1. 当研究所が運用する地球環境統合評価モデル(GRAPE)を活用した解析を実施し、
 2. 気候変動対策に関し、原子力、水素、CCSに着目した提言を行うこととしています。

- ① 2050年または2100年までを対象に、統合評価モデルGRAPEを利用した低炭素エネルギーシステムの可能性を検討
- ② 原子力の役割の評価 発電における原子力の役割検討、高速増殖炉の導入効果分析
- ③ 水素の役割の評価 水素導入シナリオと水素社会のイメージ検討
- ④ CCSの役割の評価 日米クリーンコール研究協力の一環としてCCS付き合成燃料の導入可能性を評価

地球環境統合評価モデル(GRAPE)の構造



GRAPEを活用した実績の事例

1. IPCC第3次報告書 京都議定書の経済影響評価
同 第4次報告書 マルチガス削減、
GHG削減ポテンシャル評価
2. 米国EPRIの炭素循環プロジェクトでは、MIT、メーランド大学等と並んで、評価ツールとして選定されました

1. モデルの概要

シミュレーションの流れ

(エネルギー需要、技術メニュー等)
入力条件設定

- ・人口 国連中位推計に準拠 (World Population Prospects)
(2005-2050の世界平均伸び率0.80%/年)
- ・GDP 2030年まではIEA WEO2009レファレンスシナリオ。それ以降は途上国の一人あたりGDPの伸びが先進国を上回り、格差縮小を仮定。
(2005-2050の世界平均伸び率(実質)2.9%/年、
一人あたりGDP世界平均伸び率(実質)2.1%/年)
- ・基準エネルギー最終需要
(電力、定置用非電力、運輸の3区分の需要。2030年まではIEA WEO2010準拠、
それ以降はGDPおよび人口等のマクロ条件に対する推定式外挿)
- ・転換効率(発電効率、水素製造効率、石油精製効率等)
- ・コストパラメータ(燃料生産、輸送、転換、配送等)
- ・CO2排出原単位(石炭、石油、ガス)
- ・制約条件 CO2排出制約(例えば2050年世界CO2排出は2005年の1/2)
- ・利用可能な技術メニューのパラメータ想定
クリーン化石燃料発電, 高速増殖炉, 高効率太陽光発電, 電気自動車,
水素燃料電池自動車を含む技術, 産業・民生における省エネなどの想定をパラメータ化

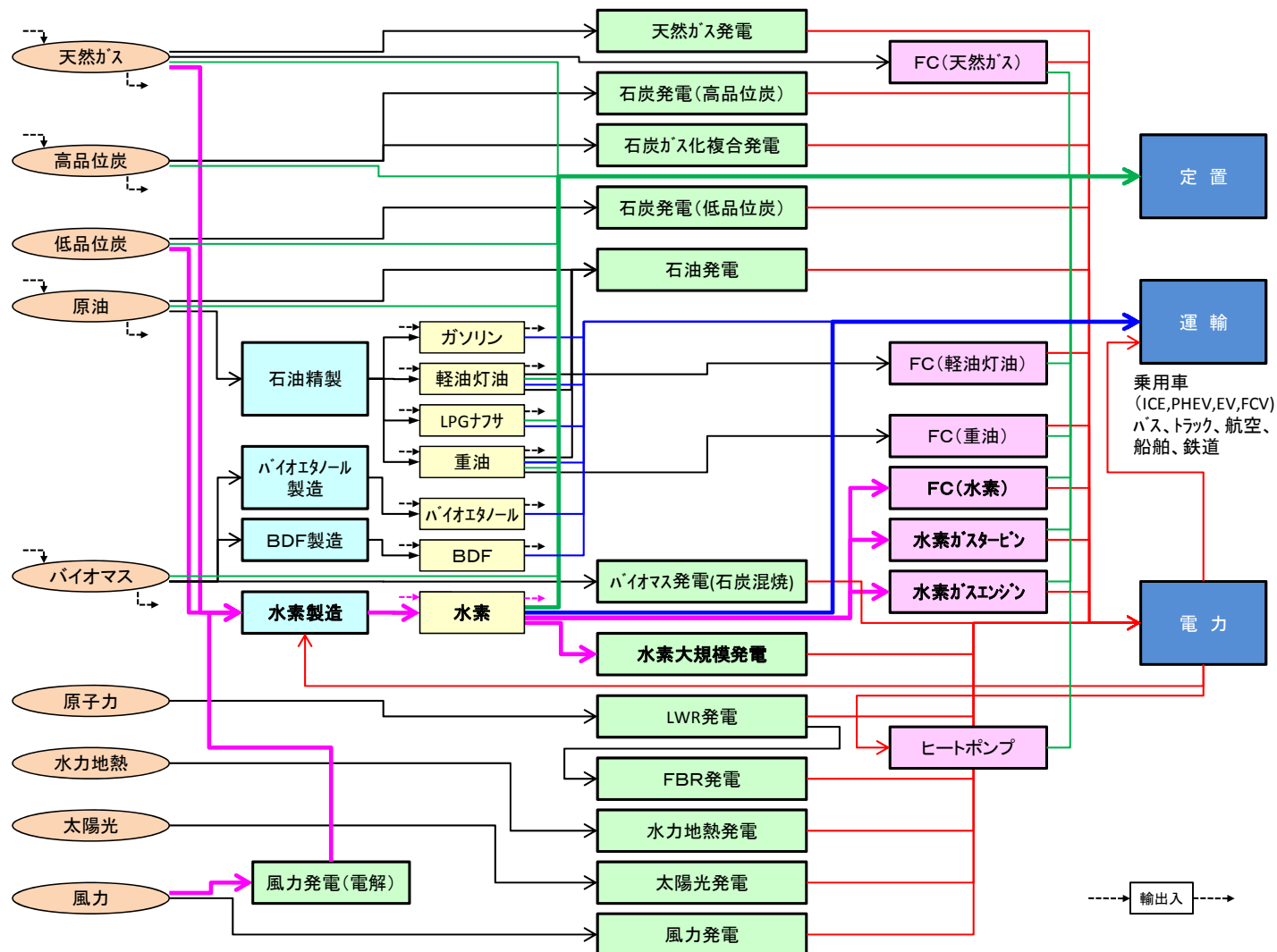
計算

- ・想定したエネルギーフローのもとで、世界エネルギーシステムコストが
- ・最小になる供給、転換と技術メニューの組み合わせ探索(線形計画法による)。

出力整理

- ・世界地域別のエネルギー需給、CO2排出などの諸量の出力
- ・主な出力パラメータ
エネルギー供給構成、需要構成、転換構成(発電等)、CO2排出量、CCS量
エネルギーコスト

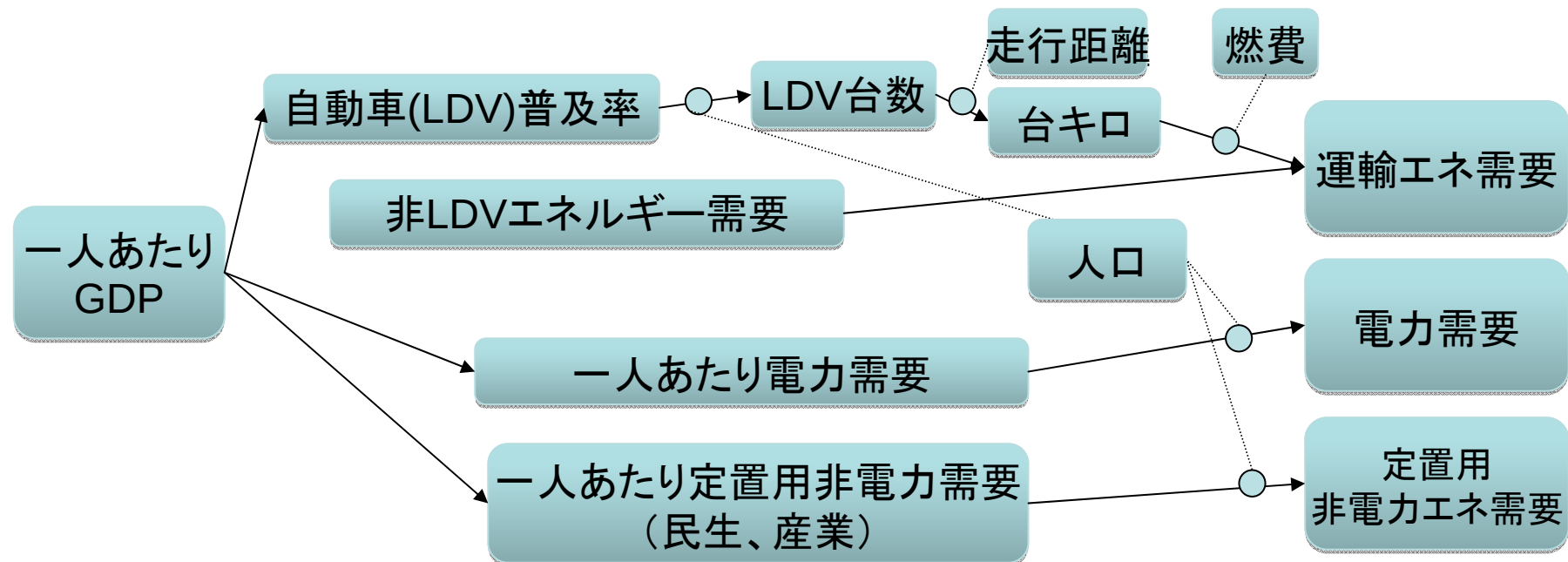
1. モデルの概要 エネルギーフローの例



1. モデルの概要

マクロパラメータとエネ需要の関係

- 人口は所与
- グローバル化により世界各地域の一人あたりGDP格差は縮小、一人あたりGDPは 々に収 すると想定
- 一人あたりエネルギー(またはエネルギーサービス)需要は一人あたりGDPの関数。非LDVエネルギー需要は所与



1. モデルの概要 前回報告からの変更内容 補足

①定置用のコジェネシェア上限の見直し

- FCコジェネ上限は、給湯用を上限として、総合エネルギー統計2007年度と、EDMC' 09の家庭と業務の用途別エネルギー源別エネルギー消費量による、非電力消費量に対する給湯用非電力消費量の比率（＝民生給湯用非電力消費／民生非電力消費量）を39.7%と設定。
- ガスタービンとガスエンジン合計の上限は、熱需要を上限として、総合エネルギー統計2007年度による産業用熱需要／産業用非電力需要の値11.5%と設定。

②水素の国内調達の追加

- 目的生産水素は、天然ガス改質、ナフサ改質、副生水素は、コークス炉ガス（COG）、塩電解を想定して追加予定

表 定置需要の産業と民生需要に対する上限比率と時点比率（部門別非電力需要上限／部門別非電力需要）

	部門	上限	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
民生	FCコジェネ	39.7%	0.0%	3.0%	6.0%	10.0%	15.0%	20.0%	40.0%	60.0%	80.0%	100.0%
産業	FCコジェネ	11.5%	0.0%	3.0%	6.0%	10.0%	15.0%	20.0%	40.0%	60.0%	80.0%	100.0%
	ガスタービン		0.0%	3.0%	6.0%	10.0%	15.0%	20.0%	40.0%	60.0%	80.0%	100.0%
	ガスエンジン		0.0%	3.0%	6.0%	10.0%	15.0%	20.0%	40.0%	60.0%	80.0%	100.0%

2. 計算条件 燃料価格

- 燃料コストは、各地域ごとに累積使用量の増加とともにコストが上昇する様子を表現した。
 - 採掘コストが低い箇所から採掘していくため。
- 資源グレード0の基準値として、2010年の生産コスト（資源コスト）＋ロイヤリティの合計が、原油：80\$/bbl、天然ガス：10\$/MMBtu、高品位炭100\$/tになる様に、ロイヤリティ基準値を設定。

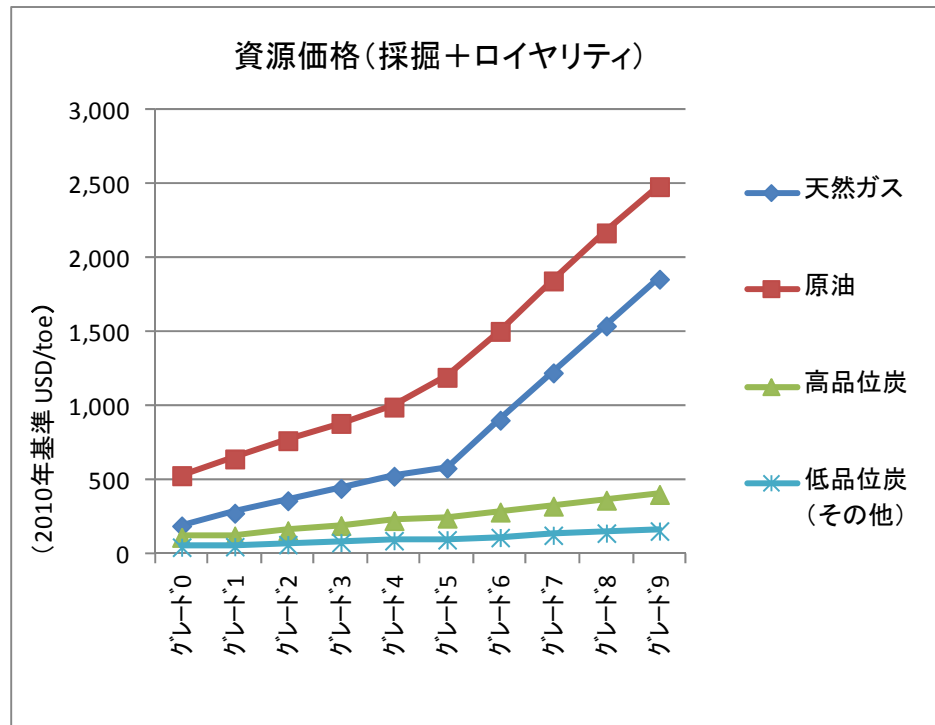
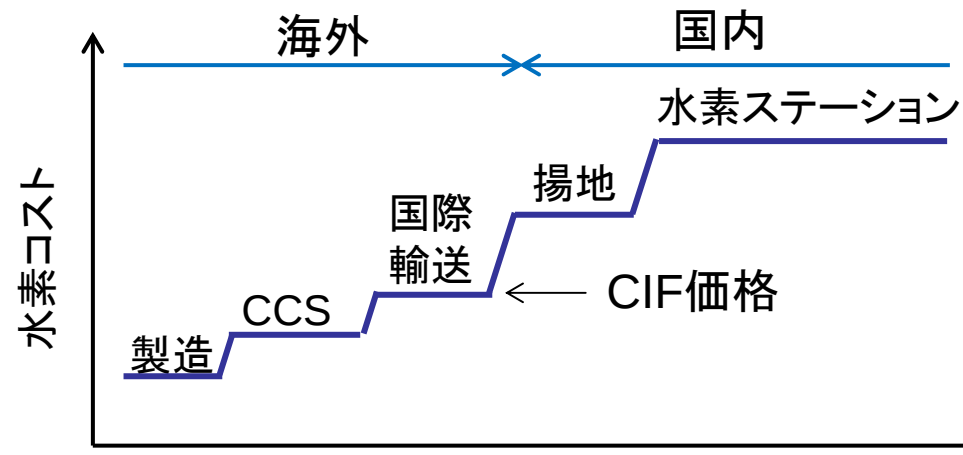


図 資源価格の推移（採掘＋ロイヤリティ）

2. 計算条件 水素価格

- 文献等を参考に水素のCIF価格を 50円/Nm³ (0.56USD/Nm³) を仮置き
- 詳細積み上げは次回報告

文献	CIF価格	出典
南米パタゴニアから水素輸送（液体水素）	24～52円/Nm ³	渡部他、季報エネルギー総合工学、Vol33-1、2010
南米パタゴニアから水素輸送（有機ハイドライド）	約35円/Nm ³	村田、日本エネルギー学会、2010年8月3日
中東ナフサ改質（CCS込）	42～56円/Nm ³	（財）石油産業活性化センター、PEC-2009L-04、2010年



1USD/toe=0.023円/Nm³
1USD=88円@2010年

2. 計算条件 機器パラメータ

水素関連設定パラメータ概要①

(1) 発電

- ・ 水素の発電効率は、LHVベースで天然ガス火力と同じ。
- ・ 設備費450\$/kW、設備利用率85%、年経費率17%。
- ・ 発電量のシェア上限70%。

(2) 配送コスト

- ・ 水素の運輸と定置用の国内配送コストは、輸送経路毎に設定。
- ・ 電力の配送コストは9cent/kWh、送配電効率は95%。
- ・ 水素の配送ロスは、運輸と定置用10%、大規模発電0%。

(3) 車両効率（消費エネルギーとパワートレイン投入エネルギーの比率、Tank to Wheel効率、空力ロス、転がり摩擦ロスを含む）

- ・ 内燃機関、水素燃料電池車 (FCV)、電気自動車 (EV) の車両効率を設定。
FCV、水素内燃機関自動車、バイオ燃料自動車、EVは2020年以降導入。
- ・ FCVの車両効率は、NEDOのロードマップ及びJFHCのシャシダイナモの測定値を参考に決定。

車両効率 (%)

年	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
内燃機関車	16	16	16	18.7	23.9	32.3	35.5
水素燃料電池車(FCV)	46.9	51.95	57	57	57	57	57
電気自動車(EV)	67.6	67.6	67.6	68	68.4	68.8	69.2

・上記は、先進5地域(CAN, USA, WEU, JPN, OCE)の効率、それ以外の地域は10年遅れ

2. 計算条件 機器パラメータ

水素関連設定パラメータ概要②

(4) 水素利用コジェネ

- 水素系コジェネ機器として、定置用純水素燃料電池（FC）、水素ガスタービンコジェネ、水素ガスエンジンコジェネを仮定。

FCは2020年以降本格導入を想定。

- FC設備コストは、2010年はkw当り150万円（設備費300万円－補助金150万円）、2030年以降40万円。
- FCから発生する電力および熱は、民生電力需要の50%および給湯需要を上限（逆潮しない）。
- 水素ガスタービンコジェネ、水素ガスエンジンコジェネから供給される電力および熱は、産業用電力需要および熱需要を超えないこととする。

(5) 直接燃焼

- ハイタン（20% H_2 体積）を想定し、熱量ベースで天然ガス100に対して7.5を超えないこととする。

コジェネ設備効率 (%)

純水素型 FCコジェネ	年	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
	熱効率	0.480	0.480	0.440	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
	発電効率	0.470	0.470	0.510	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
	総合効率	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950
水素ガス タービン コジェネ	年	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
	熱効率		0.493	0.493	0.493	0.493	0.493	0.493	0.493	0.493	0.493	0.493
	発電効率		0.327	0.333	0.339	0.344	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350
	総合効率		0.820	0.826	0.832	0.837	0.843	0.843	0.843	0.843	0.843	0.843
水素ガスエ ンジン コジェネ	年	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
	熱効率		0.370	0.370	0.370	0.370	0.370	0.370	0.370	0.370	0.370	0.370
	発電効率		0.485	0.520	0.520	0.520	0.520	0.520	0.520	0.520	0.520	0.520
	総合効率		0.855	0.890	0.890	0.890	0.890	0.890	0.890	0.890	0.890	0.890
FCコジェネ	年	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	万円	300	200	150	75	63.3	51.7	40	40	40	40	40
	2010年基準\$	26,400	17,600	13,200	6,600	5,570	4,550	3,520	3,520	3,520	3,520	3,520
水素ガス タービン コジェネ	年	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	万円			15.00	14.63	14.25	13.88	13.50	13.13	12.75	12.38	12.00
	2010年基準\$			1,320	1,287	1,254	1,221	1,188	1,155	1,122	1,089	1,056
水素ガスエ ンジン コジェネ	年	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	万円			17.00	16.58	16.15	15.73	15.30	14.88	14.45	14.03	13.60
	2010年基準\$			1,496	1,459	1,421	1,384	1,346	1,309	1,272	1,235	1,197

コジェネ設備コスト (USD/kW)

付録：熱量換算表

～から～	メガジュール megajoule (MJ)	キロワット時 kilowatthour (kWh)	キロカロリー _{IT} kilocalorie (kcal _{IT}) 国際定義 *1	キロカロリー _J kilocalorie (kcal _J) 国内定義 *2	原油換算 キロリットル kiloliter of crude oil equivalent *3	石油換算トン ton of oil equivalent (toe) *4	British thermal unit (Btu)
メガジュール	1	2.77778×10^{-1}	2.38846×10^2	2.38889×10^2	2.58258×10^{-5}	2.38846×10^{-5}	9.47817×10^2
キロワット時	3.60000	1	8.59845×10^2	8.59999×10^2	9.29729×10^{-5}	8.59845×10^{-5}	3.41214×10^3
キロカロリー _{IT}	4.18680×10^{-3}	1.16300×10^{-3}	1	1.00018	1.08127×10^{-7}	1×10^{-7}	3.96832
キロカロリー _J	4.18605×10^{-3}	1.16279×10^{-3}	9.99821×10^{-1}	1	1.08108×10^{-7}	9.99821×10^{-8}	3.96761
原油換算 キロリットル	3.87210×10^4	1.07558×10^4	9.24834×10^6	9.25000×10^6	1	9.24834×10^{-1}	3.67004×10^7
石油換算トン	4.18680×10^4	1.16300×10^4	1×10^7	1.00018×10^7	1.08127	1	3.96832×10^7
Btu	1.05506×10^{-3}	2.93071×10^{-4}	2.51996×10^{-1}	2.52041×10^{-1}	2.72477×10^{-8}	2.51996×10^{-8}	1

*1 International System of Units (Bureau International des Poids et Mesures)による定義から計算

*2 計量法(日本)による定義から計算

*3 原油換算 1L=9,250kcal_Jとして計算(2000年度分より原油の発熱量は9,126kcal_J/Lに改訂されている)

*4 1toe = 10⁷kcal_{IT}として計算

toe ⇔ Nm³-H₂の変換 (LHV換算)

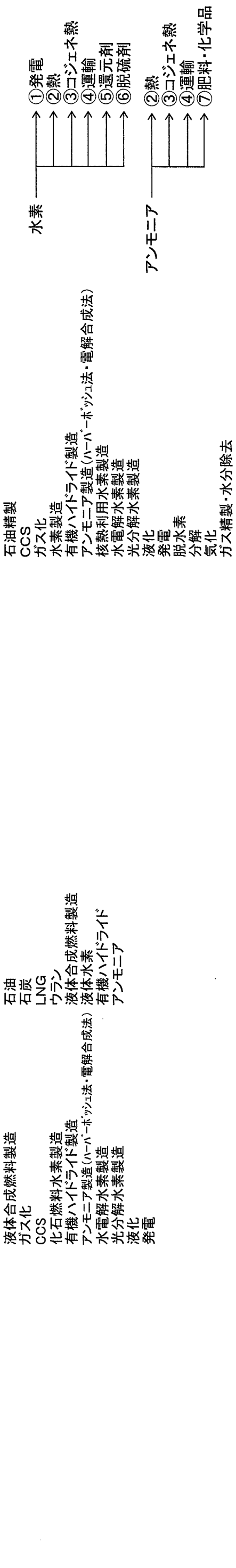
1 Nm³-H₂ = 2.56 × 10⁻⁴ toe, 1 Mtoe = 39億 Nm³-H₂

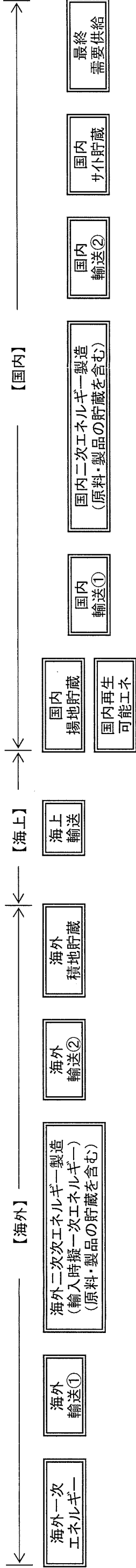
CO2フリー水素チェーン実現に向けた構想研究会
低炭素・CO2フリーエネルギーチェーンパス（1／17）
一覧表

添付5. 3－1

R2:2012.2.16
(財)エネルギー総合工学研究所

パス (大分類)	海外		海上輸送	国内		最終ユーザーへの供給形態
	資源	プロセス		資源	プロセス	
1A&1B	石油(在来型&非在来型)		石油		石油精製・CCS・水素製造(LPG・ナフサ経由、重質油経由)	気体 or 液体水素
6	石油随伴ガス	CCS・水素製造・液化	液体水素			液体水素
9		CCS・水素製造・有機HD製造	有機ハイドライド		脱水素	気体水素
12		CCS・アンモニア製造	アンモニア		分解	気体水素
2	石炭		石炭		石炭ガス化・CCS・水素製造	気体 or 液体水素
4		液体合成燃料製造	合成燃料		合成燃料	合成燃料
7		CCS・水素製造・液化	液体水素		液体水素	液体水素
10		CCS・水素製造・有機HD製造	有機ハイドライド		脱水素	気体水素
13		CCS・アンモニア製造	アンモニア		分解	気体水素
3A&3B	天然ガス(在来型&非在来型)	CCS・液化	LNG		LNG気化・CCS・水素製造	気体 or 液体水素
5A&5B		液体合成燃料製造	合成燃料		合成燃料	合成燃料
8A&8B		CCS・水素製造・液化	液体水素		液体水素	液体水素
11A&11B		CCS・水素製造・有機HD製造	有機ハイドライド		脱水素	気体水素
14A&14B		CCS・アンモニア製造	アンモニア		分解	気体水素
15	ウラン		ウラン		核熱利用水素製造	気体&液体水素
16	木質バイオマス	ガス化・水素製造・液化	液体水素		液体水素	液体水素
17		ガス化・水素製造・有機HD製造	有機ハイドライド		脱水素	気体水素
18		ガス化・水素製造・アンモニア製造	アンモニア		分解	気体水素
19	パーム油	水素製造・液化	液体水素		液体水素	液体水素
20		水素製造・有機HD製造	有機ハイドライド		脱水素	気体水素
21		ガス化&水素製造・アンモニア製造	アンモニア		分解	気体水素
22	再生可能エネルギー (風力・水力・地熱・バイオマス・太陽光・太陽熱)	発電・水電解水素製造・液化	液体水素		脱水素	液体水素
23		発電・水電解水素製造・有機HD製造	有機ハイドライド		脱水素	気体水素
24		発電・電解合成アンモニア製造	アンモニア		分解	気体水素
25	太陽光	光分解水素製造・液化	液体水素製造		液体水素	液体水素
26		光分解水素製造・有機HD製造	有機ハイドライド		脱水素	気体水素
27		光分解水素製造・アンモニア製造	アンモニア		脱水素	気体水素
28				国内再生可能エネルギー (風力・水力・地熱・バイオマス・太陽光・太陽熱)	発電・水電解水素製造・液化	液体水素
29					発電・水電解水素製造・有機HD製造・脱水素	気体水素
30					発電・電解合成アンモニア製造・分解	気体水素
31				国内太陽光	光分解水素製造・液化	液体水素
32					光分解水素製造・有機HD製造・脱水素	気体水素
33					光分解水素製造・アンモニア製造・分解	気体水素
34				COG	ガス精製(前処理)・CCS	気体水素
35				石油化学副生水素	ガス精製・CCS	気体水素
36				苛性ソーダ製造副生水素	水分除去	気体水素





化石燃料

- A₁: 石油 (在来型)
- A₂: 石油 (非在来型)
- B: 石炭
- C₁: 天然ガス (在来型)
- C₂: 天然ガス (非在来型)
- D: 随伴ガス

核燃料
E: ウラン鉱石

海外再生可能エネルギー

F: 風力
G: 水力
H: 地熱
I₁: バイオマス(木質)
I₂: バイオマス(パーム油)
J: 太陽光
K: 太陽熱

化石燃料転換：CNV／精製：REF

1：LNG	
2：LPG	
3：ナフサ	
4：ガソリン	
5：灯油	
6：軽油	
7：重油（重質油を含む）	
合成燃料製造：FOSY	
11：メタノール	
12：DME	
13：FT合成油	
14：バイオエタノール	
15：バイオディーゼル油	

20:天然・濃縮ウラン

海外製造二次エネルギー

21_x: 電力(下表(2)参照)

22_{x, y}: 水素(下表(3)(4)参照)

23_z: 有機ハイドライド(下表(5)参照)

24_w: アンモニア(下表(6)参照)

A₁: 石油(在来型)
A₂: 石油(非在来型)
B: 石炭

1: LNG
2: LPG
3: ナフサ
4: ガソリン
5: 灯油
6: 軽油
7: 重油(重質油を含む)

11: メタノール
12: DME
13: FT合成油
14: バイオエタノール
15: バイオディーゼル油

20: 天然・濃縮ウラン

21_x: 電力
22_{x,y}: 水素
23_z: 有機ハイドライド
24_w: アンモニア

国内再生可能エネルギー—

F_d : 風力
 G_d : 水力
 H_d : 地熱
 I_d : ハイマス
 J_d : 太陽光
 K_d : 太陽熱

国内石油精製:REF_d

2_d:LPG

3_d:ナフサ

4_d:ガソリン

5_d:灯油

6_d:軽油

7_d:重油(重質油を含む)

合成燃料製造:FOSY_d

11_d:メタノール

12_d:DME

13_d:FT合成油

14_d:バイオエタノール

15_d:バイオディーゼル油

二次エネルギー製造

21_{dx}:電力(下表(2)参照)

22_{dx, y}:水素(下表(3)(4)参照)

23_{dz}:有機ハイドライド(下表(5)参照)

24_{dw}:アンモニア(下表(6)参照)

①電気機器
②熱機器
③コージェネ熱機器
④運輸
⑤還元剤
⑥脱硫剤
⑦肥料・化学品

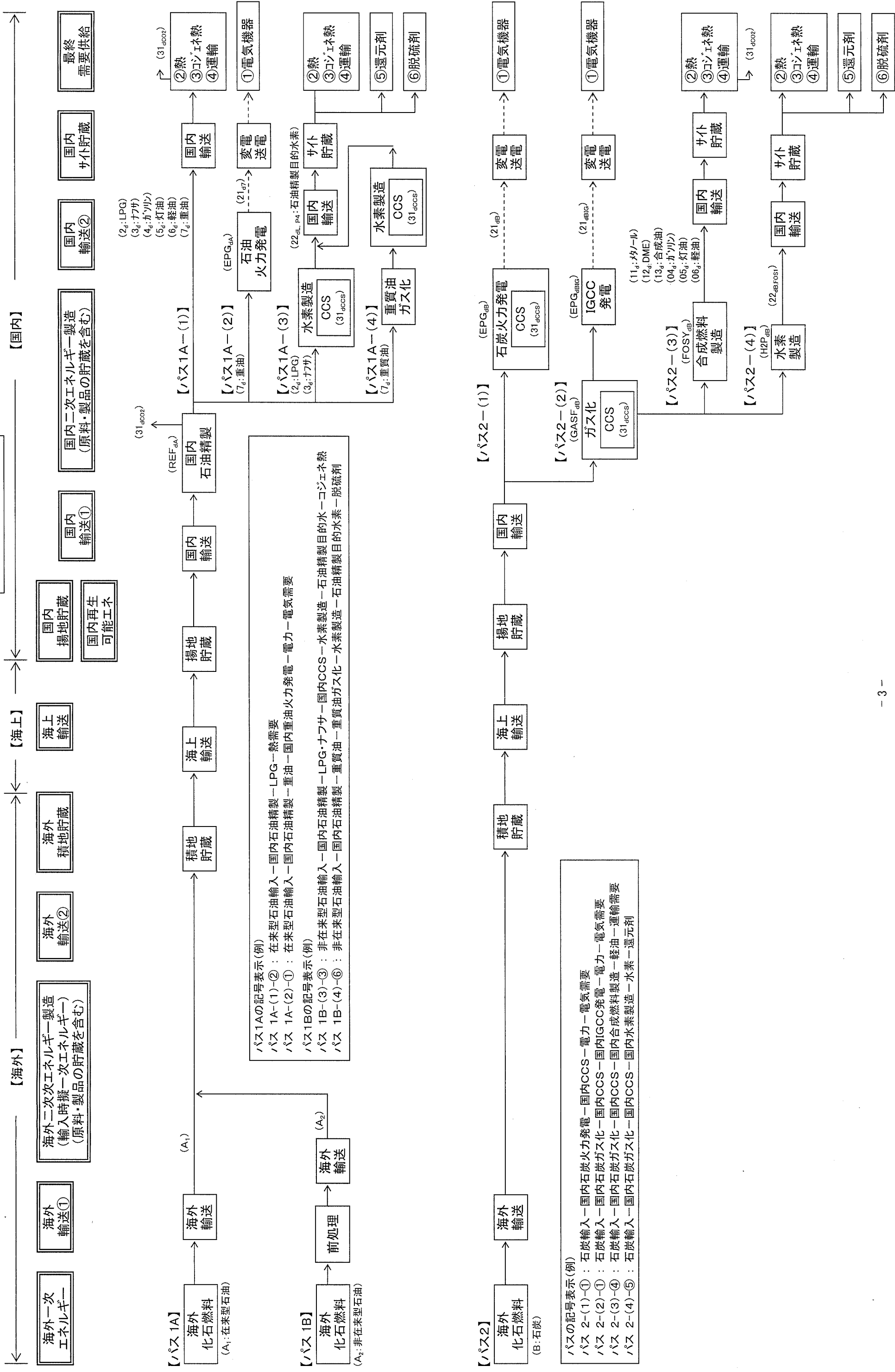
記号説明

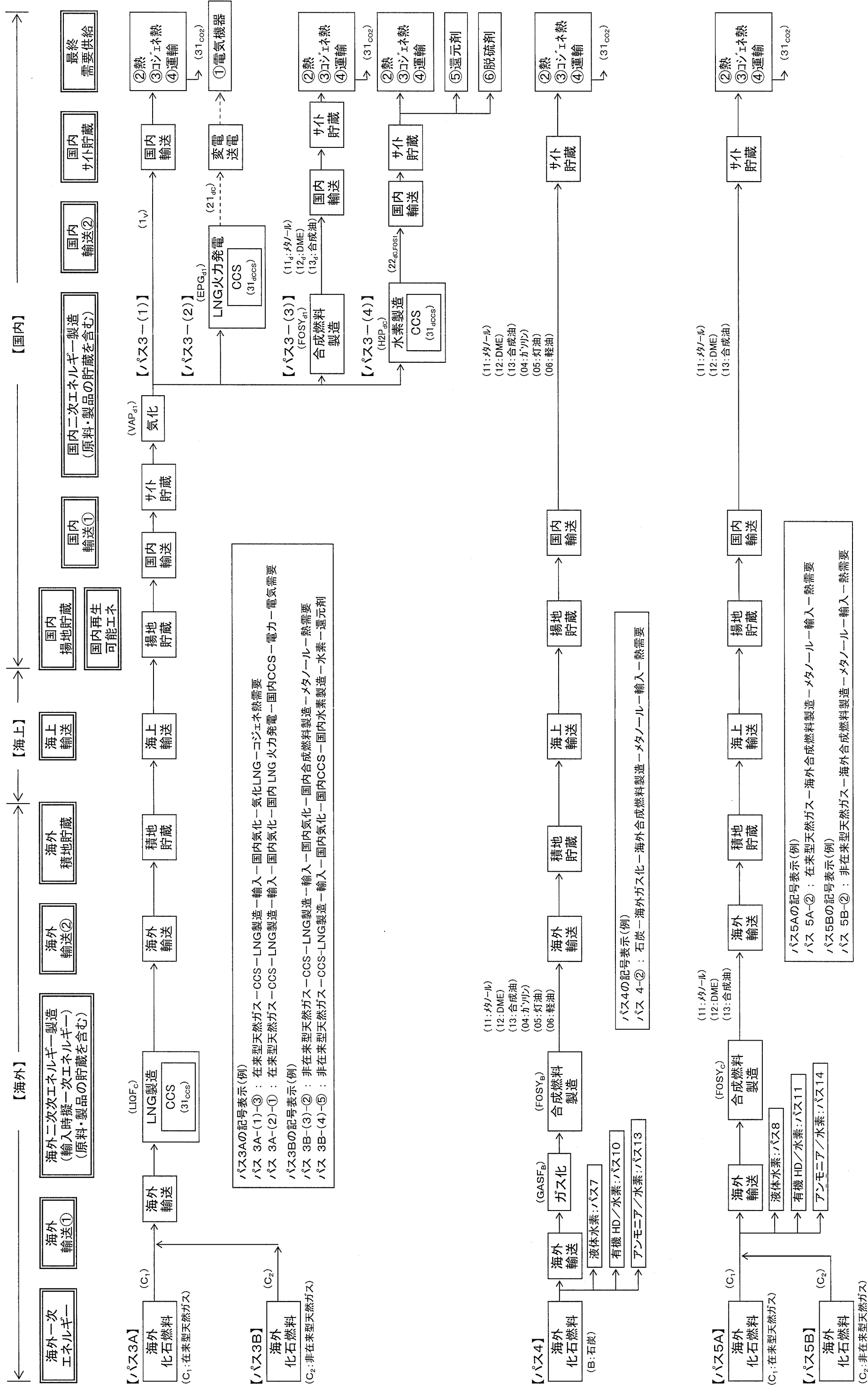
(1)設備	発電:EPG 濃縮:CON 燃料転換:CNV 精製:REF 合成燃料製造:FOSY ガス化:GASF 気化:VAP 液化:LIQF 水素製造:H2P 有機ハイドライド製造:CHDP 有機ハイドライド脱水素:CHDD アンモニア製造:NH3P アンモニア分解:NH3D
-------	---

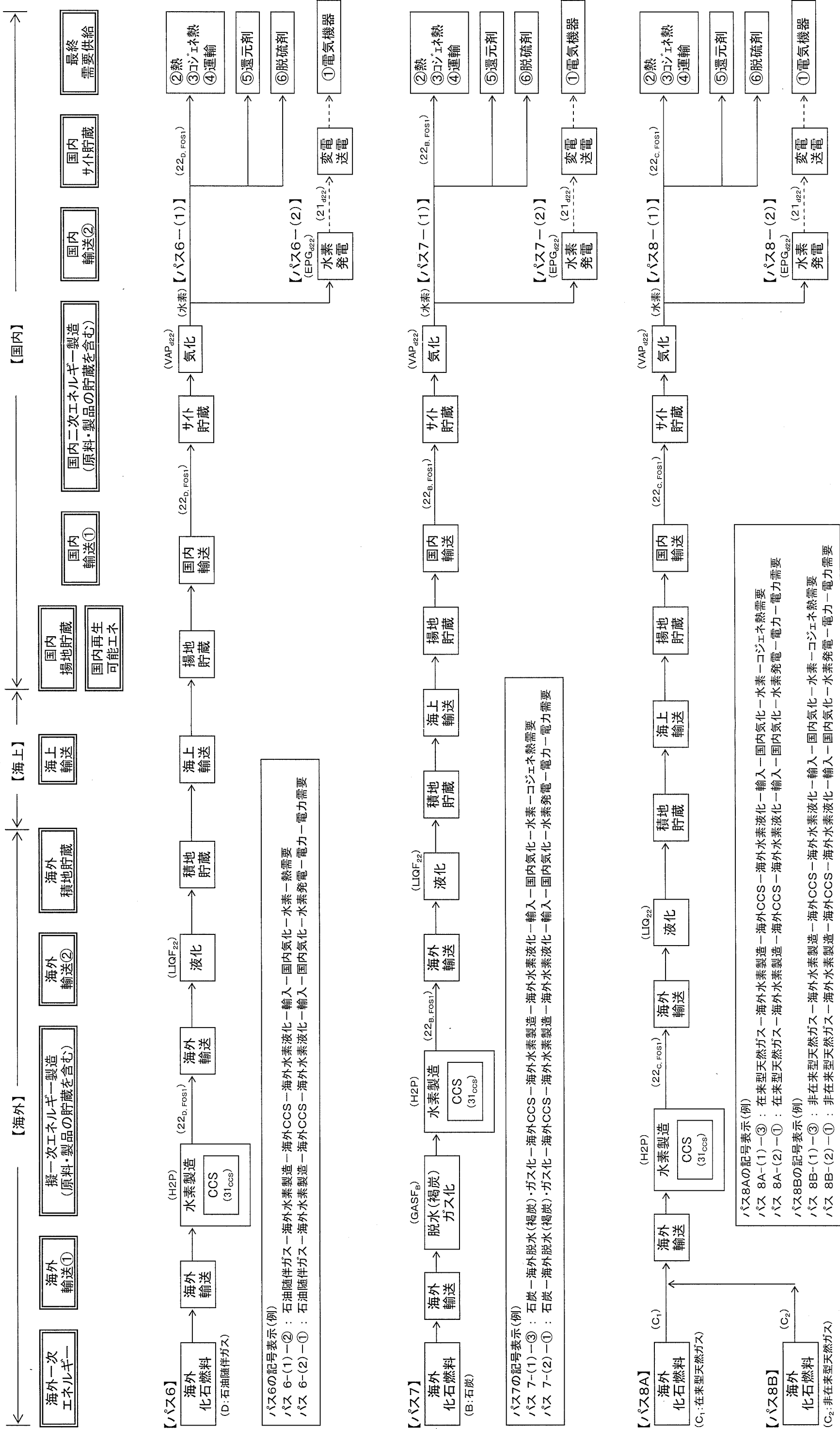
(2) 電力	21 _A : 石油火力発電電力	21 _F : 風力発電電力
	21 _B : 石炭火力発電電力	21 _G : 水力発電電力
	21 _{BIG} : 石炭IGCC発電電力	21 _H : 地熱発電電力
	21 _C : 天然ガス火力発電電力	21 _I : バイオマス発電電力(石炭混焼)
	21 _E : 原子力発電電力	21 _J : 太陽光発電電力
		21 _K : 太陽熱発電電力
		21 ₁₁ : メタノール発電電力
		21 ₂₂ : 水素発電電力(大規模)

(3) 水素 (大分類)	
22 _A : 石油由来水素	
22 _B : 石炭由来水素	
22 _C : 天然ガス由来水素	
22 _D : 随伴ガス由来水素	
22 _E : 原子力核熱利用水素	
22 _F : 風力電力利用水電解水素	
22 _G : 水力電力利用水電解水素	
22 _H : 地熱電力利用水電解水素	
22 _I : バイオマス由来水素	
22 _J : 太陽光由来水素	
22 _K : 太陽熱由来水素	
22 _L : 既存設備余力水素	

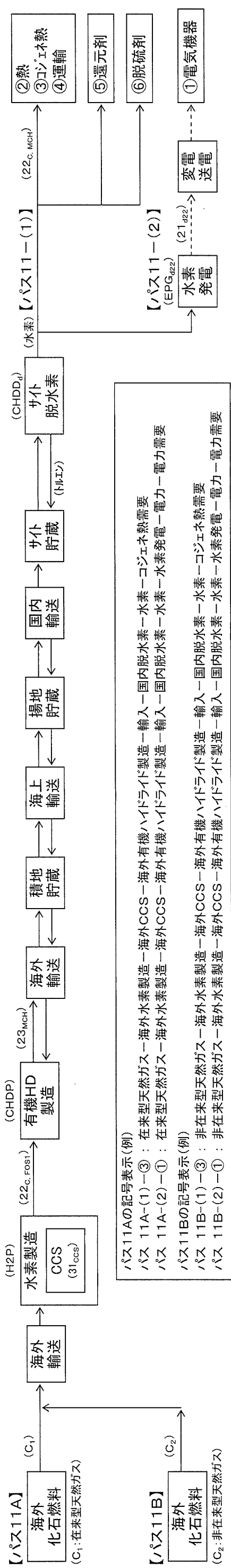
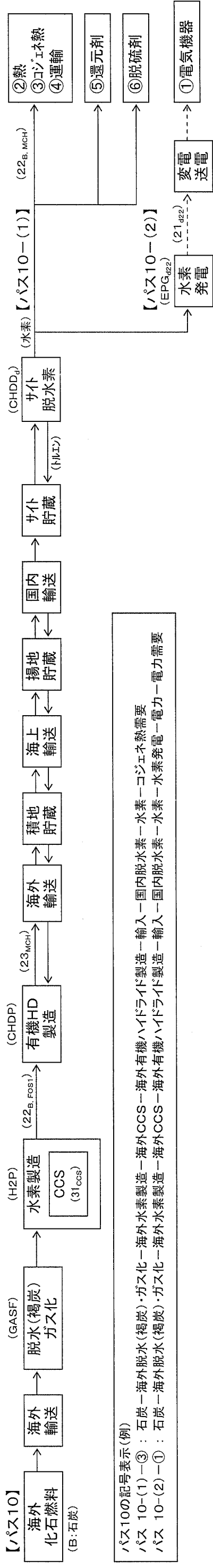
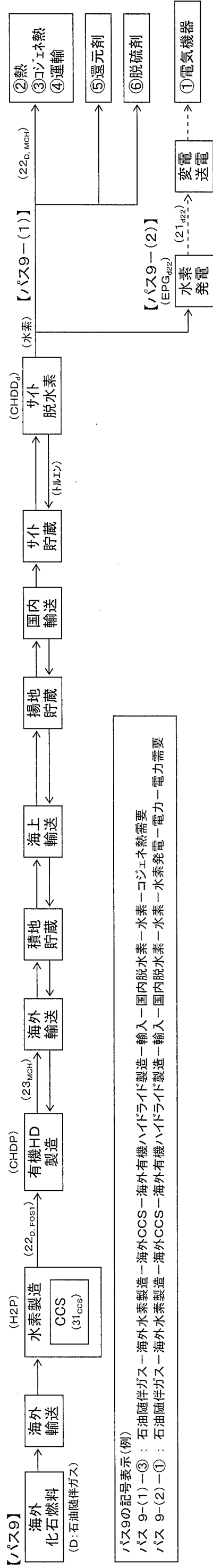
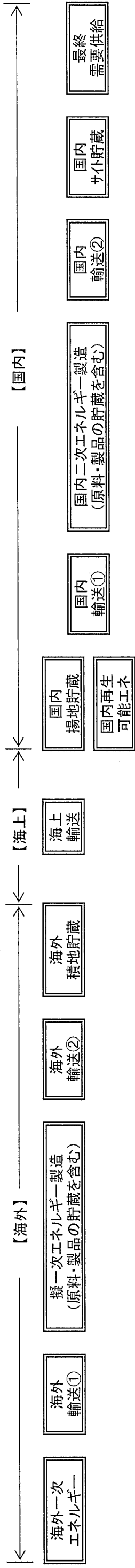
化石燃料／熱化学反応 22 _{A-D} , FOS1: 水蒸気改質法 22 _{A-D} , FOS2: 自己熱改質法 22 _{A-D} , FOS3: 部分酸化法 22 _{A-D} , FOS4: 二酸化炭素改質法 22 _{A-D} , FOS5: 熱分解法	(4) 水素(小分類)	
	バイオマス／生物学的反応 22 _I , BIO11: メタン発酵法 22 _I , BIO12: 水素発酵法 22 _I , BIO13: 嫌気性発酵法 22 _I , BIO14: 光合成細菌法	バイオマス／熱化学反応 22 _I , BIO21: 高温ガス化法 22 _I , BIO22: 超臨界水分解法 22 _I , BIO23: 水蒸気改質法 22 _I , BIO24: 苛性ソーダ法
原子力核熱／熱化学反応 22 _E , IS: IS法	バイオマス／光化学反応 22 _I , BIO31: 放射線分解	
	原子力核熱／電気化学反応 22 _E , SOE: 高温水蒸気電解法	再生可能エネルギー発電 ／電気化学反応 22 _{F-K} , AWE: アルカリ水電解法 22 _{F-K} , SPE: 固体高分子電解質分解法
原子力核熱／電気化学反応 22 _E , SOE: 高温水蒸気電解法	光化学反応 22 _J , PCD: 光分解法	
	副生・目的生産水素 22 _L , P1: 鉄鋼副生水素 22 _L , P2: 石油化学副生水素 22 _L , P3: 苛性ソーダ副生水素 22 _L , P4: 石油精製目的水素 22 _L , P5: アンモニア製造目的水素	
分解水素 22 _{OO} , MCH: メチルクロヘキサン脱水素 22 _{x x} , NH3: アンモニア分解水素		



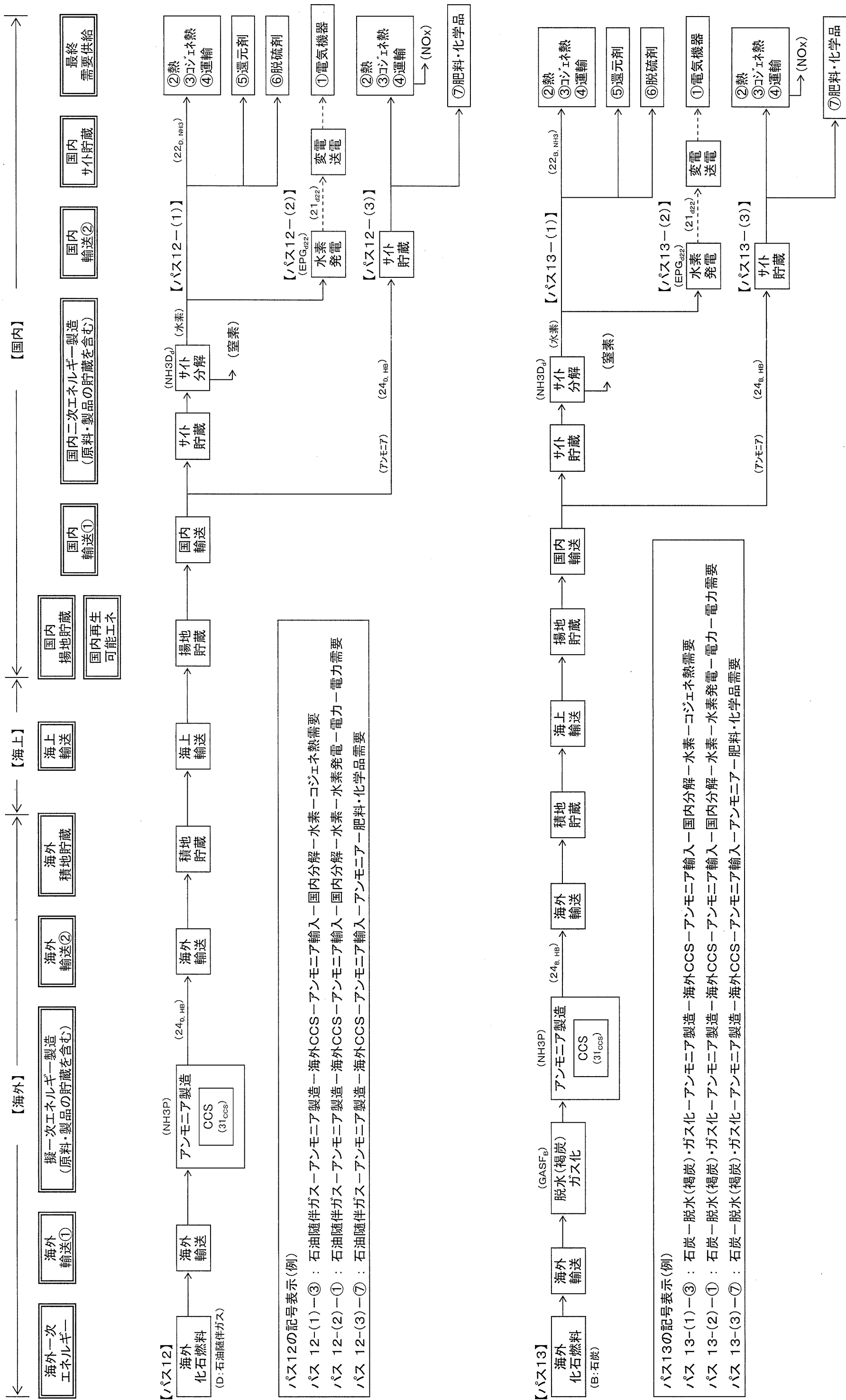




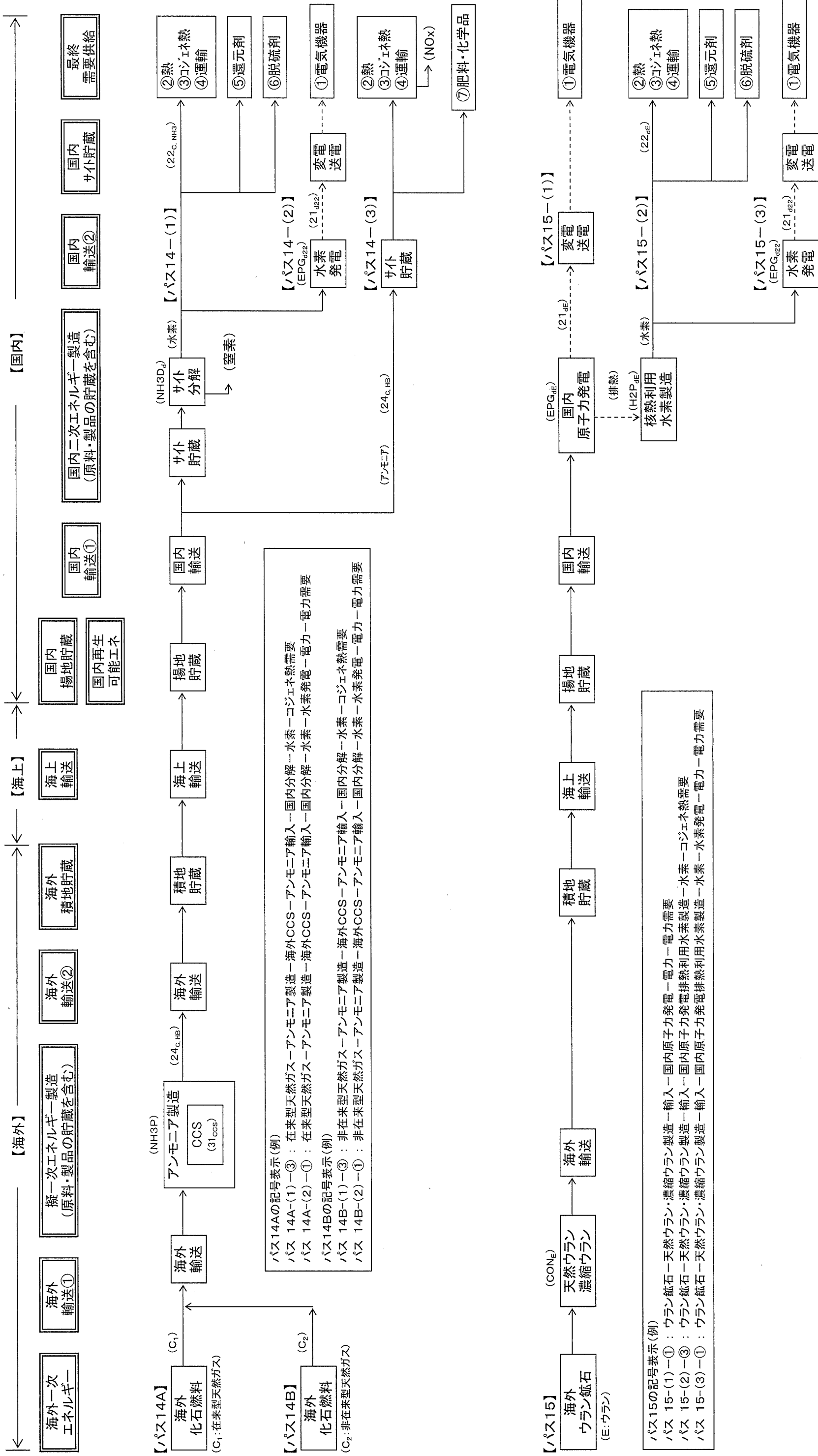
—— : 物質
----- : 光・電気・熱



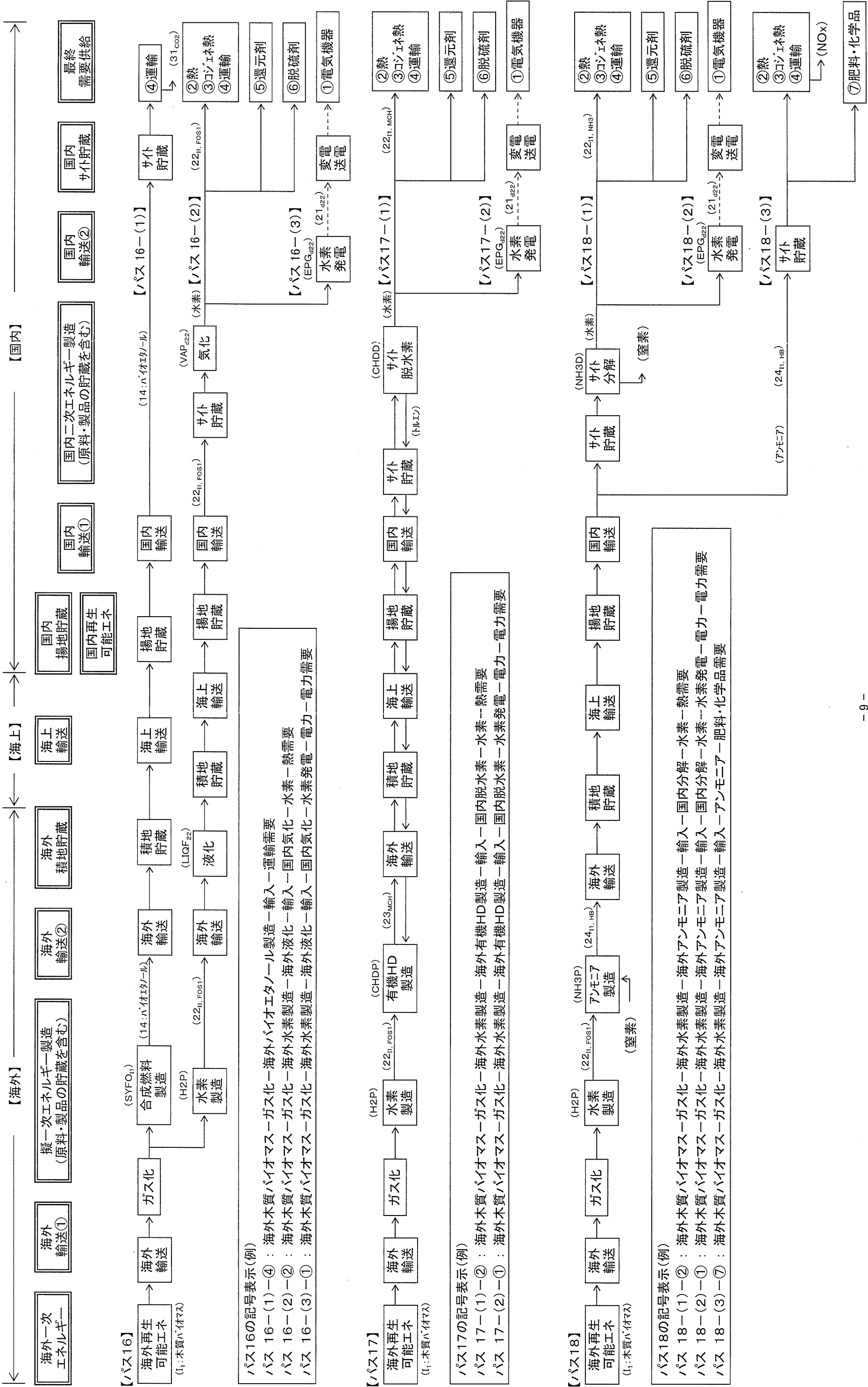
—— : 物質
----- : 光・電気・熱

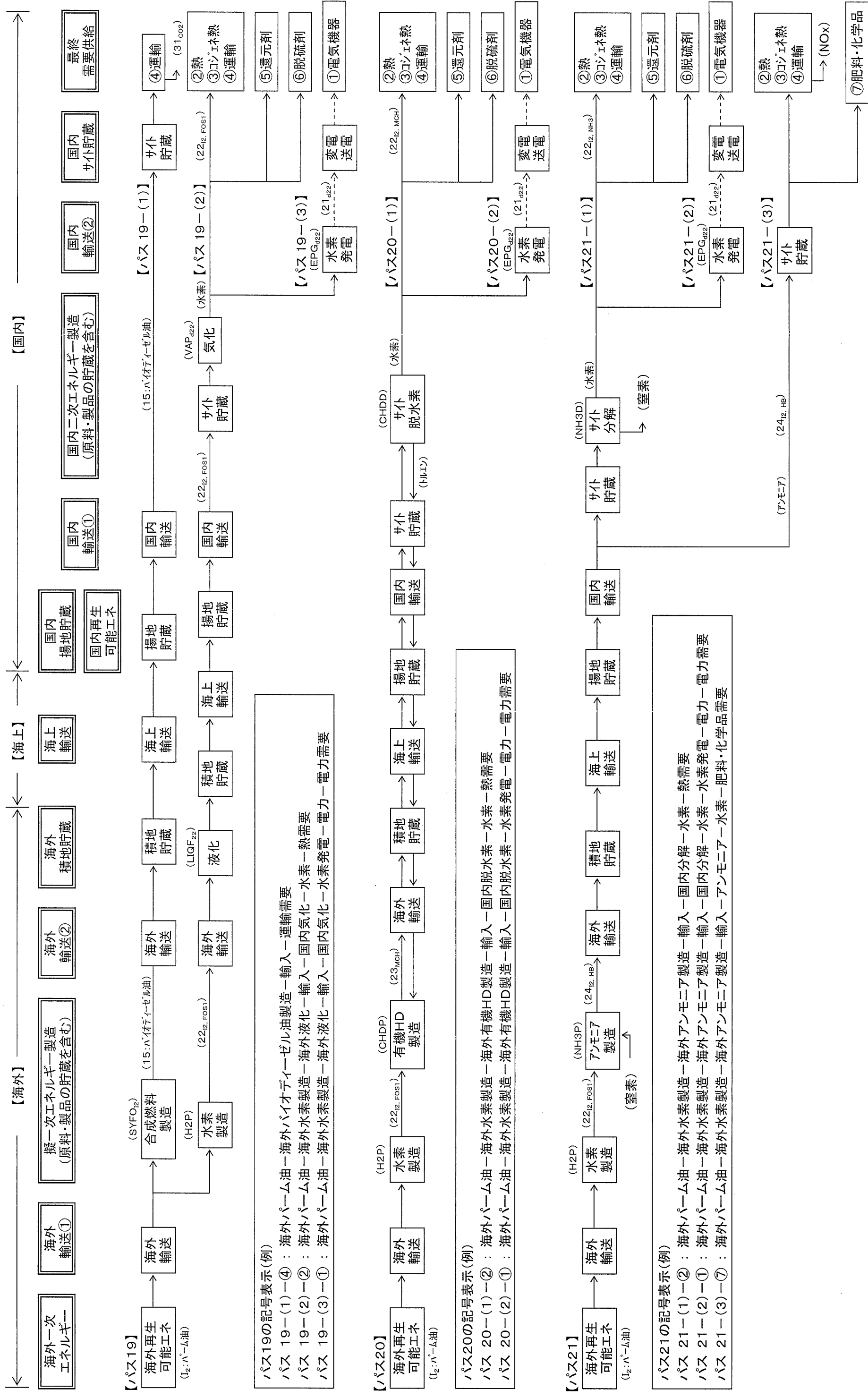


—— : 物質
----- : 光・電気・熱

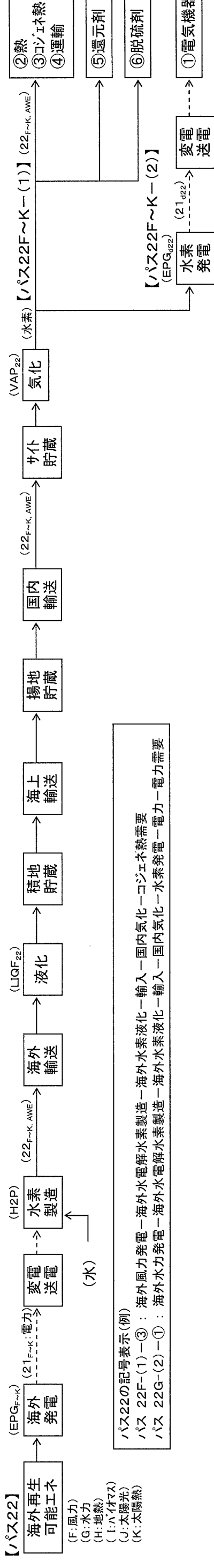
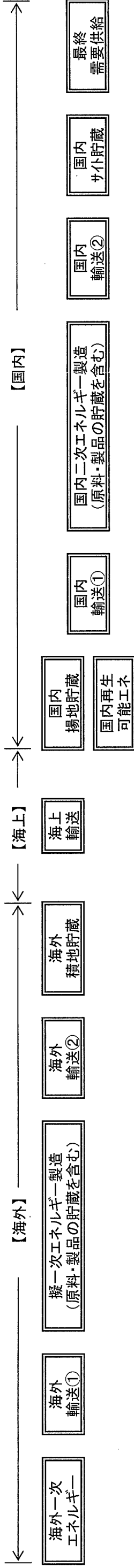


—— :物質
----- :光・電気・熱

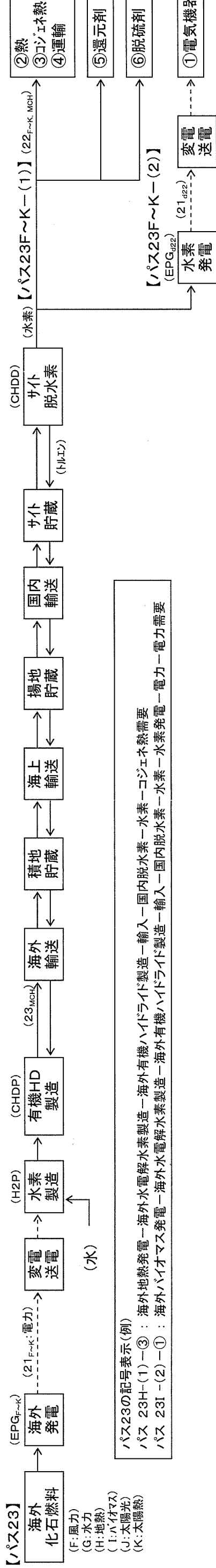




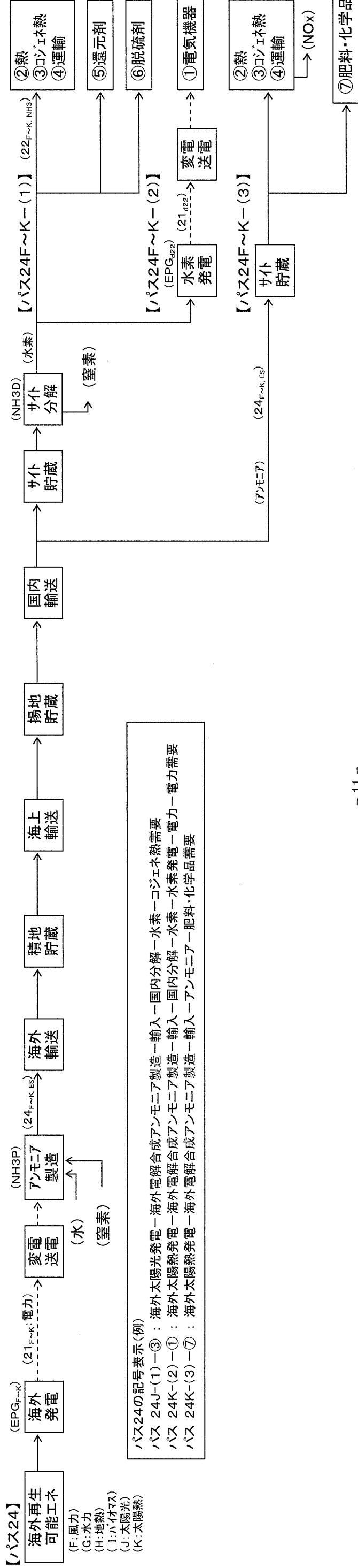
—— : 物質
----- : 光・電気・熱



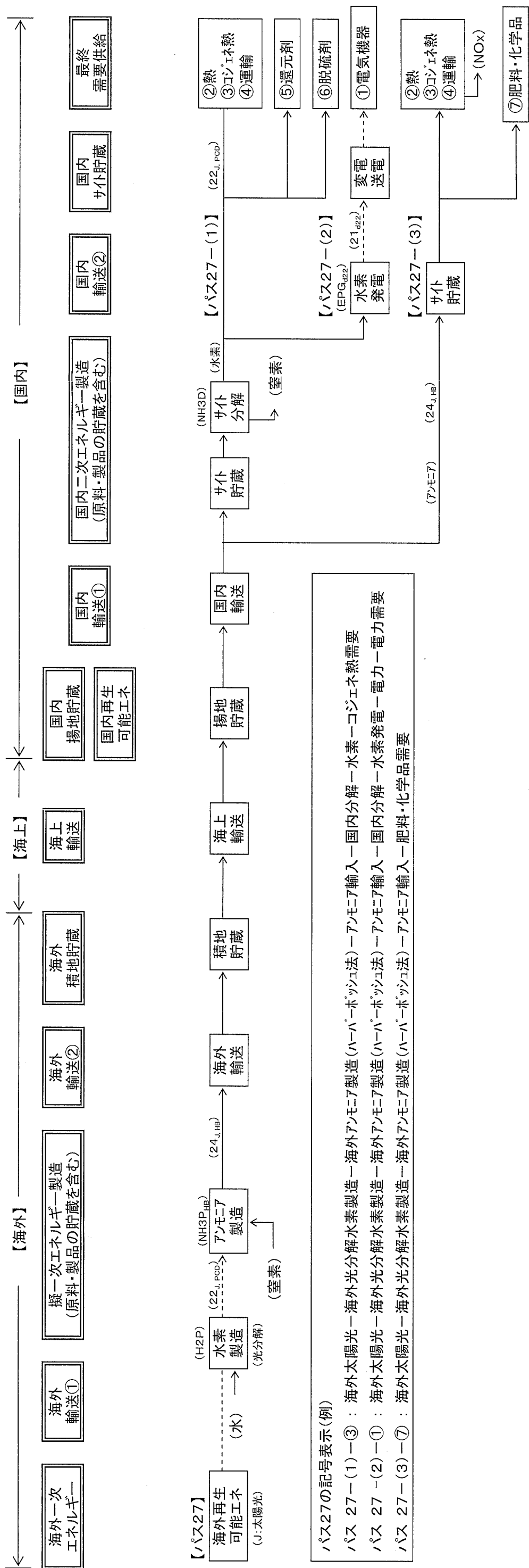
パス22の記号表示(例)
パス 22F-(1)-③ : 海外風力発電-海外水電解水素製造-海外水素液化-輸入-国内気化-コジェネ熱需要
パス 22G-(2)-① : 海外水力発電-海外水電解水素製造-海外水素液化-輸入-国内気化-水素発電-電力-電力需要



パス23の記号表示(例)
パス 23H-(1)-③ : 海外地熱発電-海外水電解水素製造-海外有機ハイドライド製造-輸入-国内脱酸素-水素-コジェネ熱需要
パス 23I-(2)-① : 海外バイオマス発電-海外水電解水素製造-海外有機ハイドライド製造-輸入-国内脱酸素-水素-水素発電-電力-電力需要



パス24の記号表示(例)
パス 24J-(1)-③ : 海外太陽光発電-海外電解合成アンモニア製造-輸入-国内分解-水素-コジェネ熱需要
パス 24K-(2)-① : 海外太陽熱発電-海外電解合成アンモニア製造-輸入-国内分解-水素-水素発電-電力-電力需要
パス 24K-(3)-⑦ : 海外太陽熱発電-海外電解合成アンモニア製造-輸入-アンモニア-肥料・化学品需要

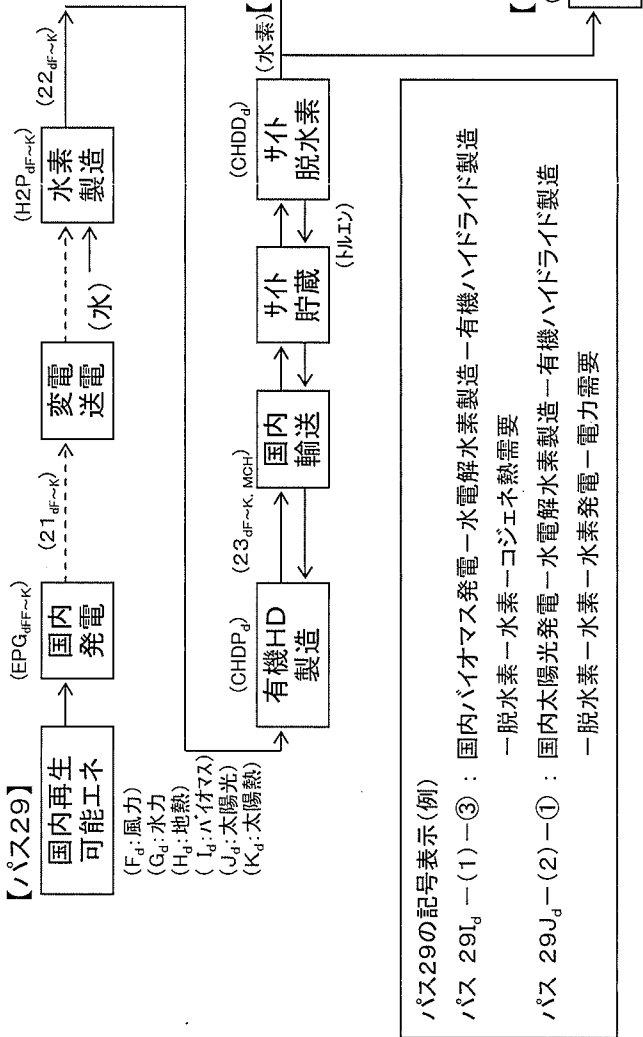
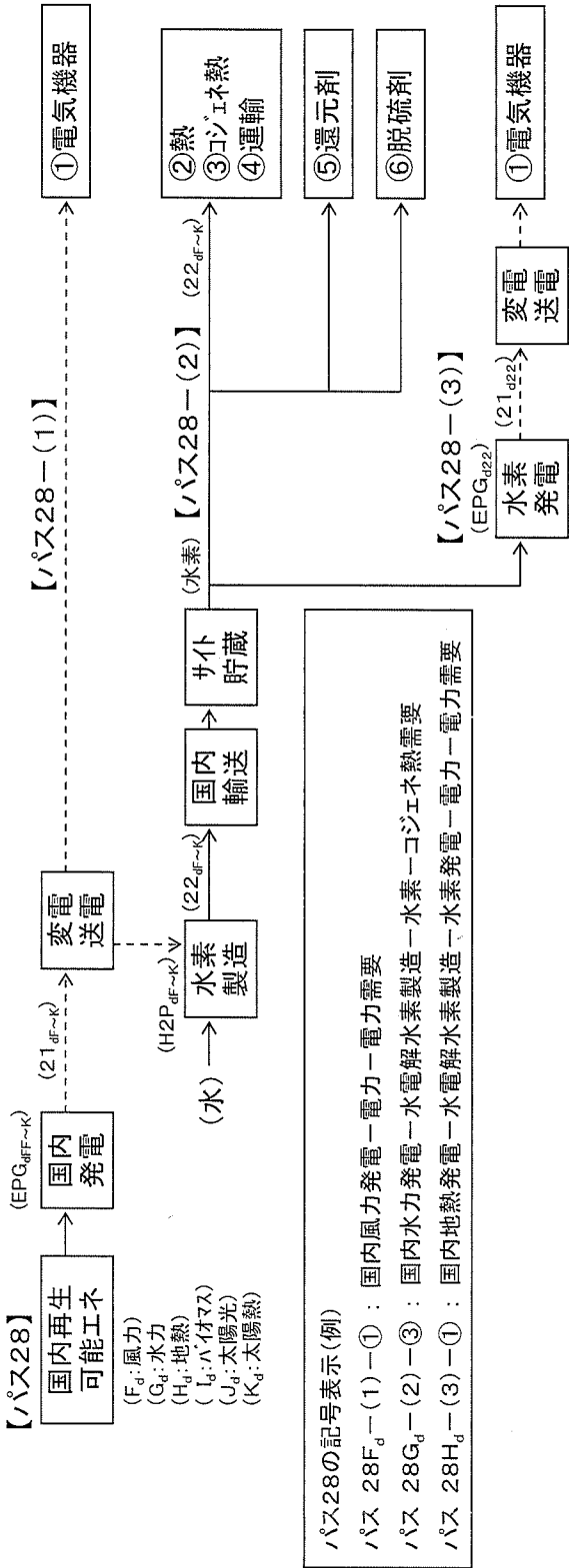
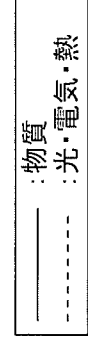


パス27の記号表示(例)

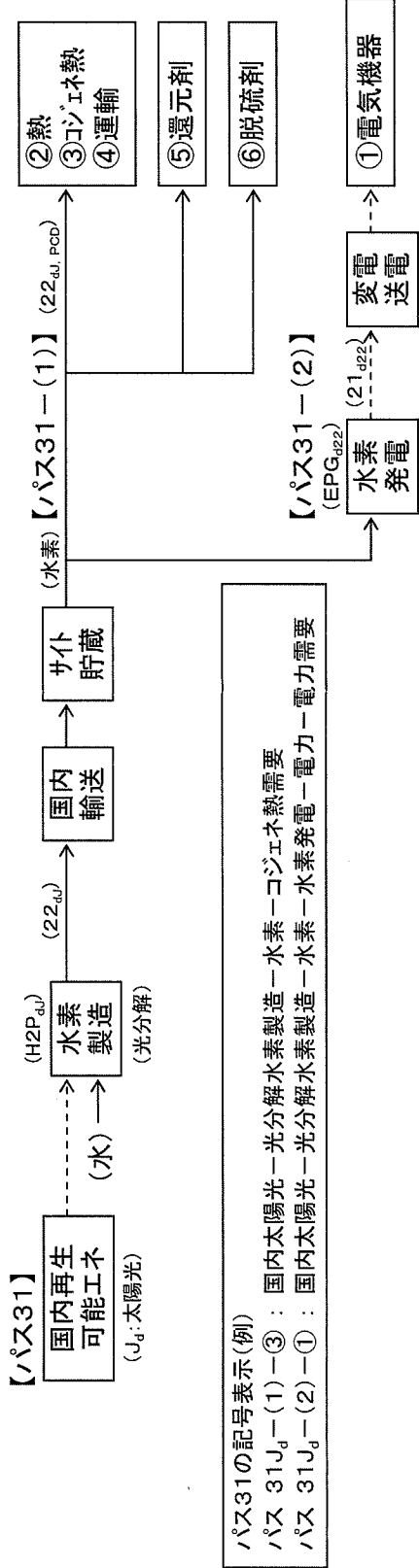
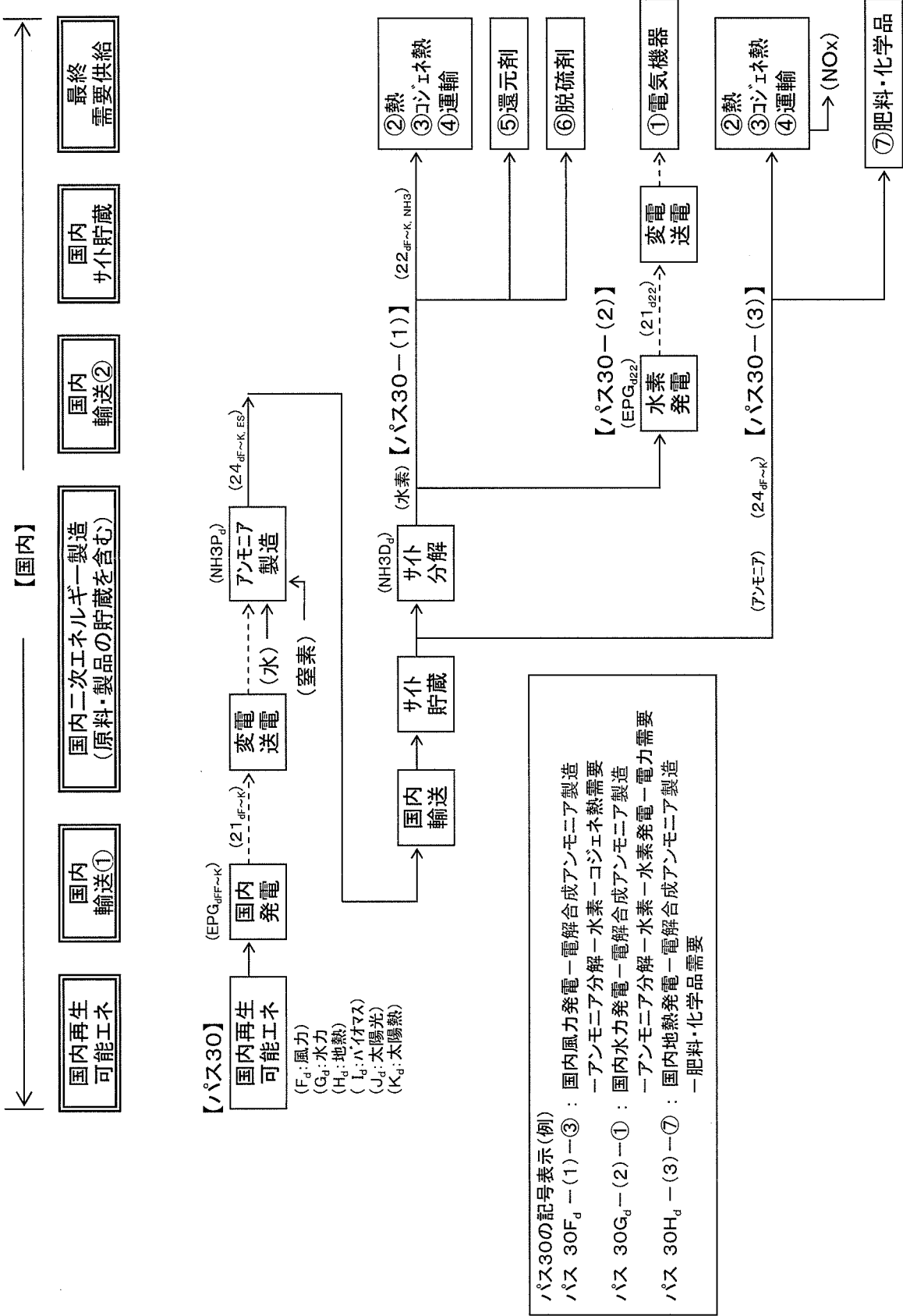
パス 27-(1)-③ : 海外太陽光→海外光分解水素製造→海外アンモニア製造(ハーバーボッシュ法)→アンモニア輸入→国内分解→水素→コジェネ熱需要

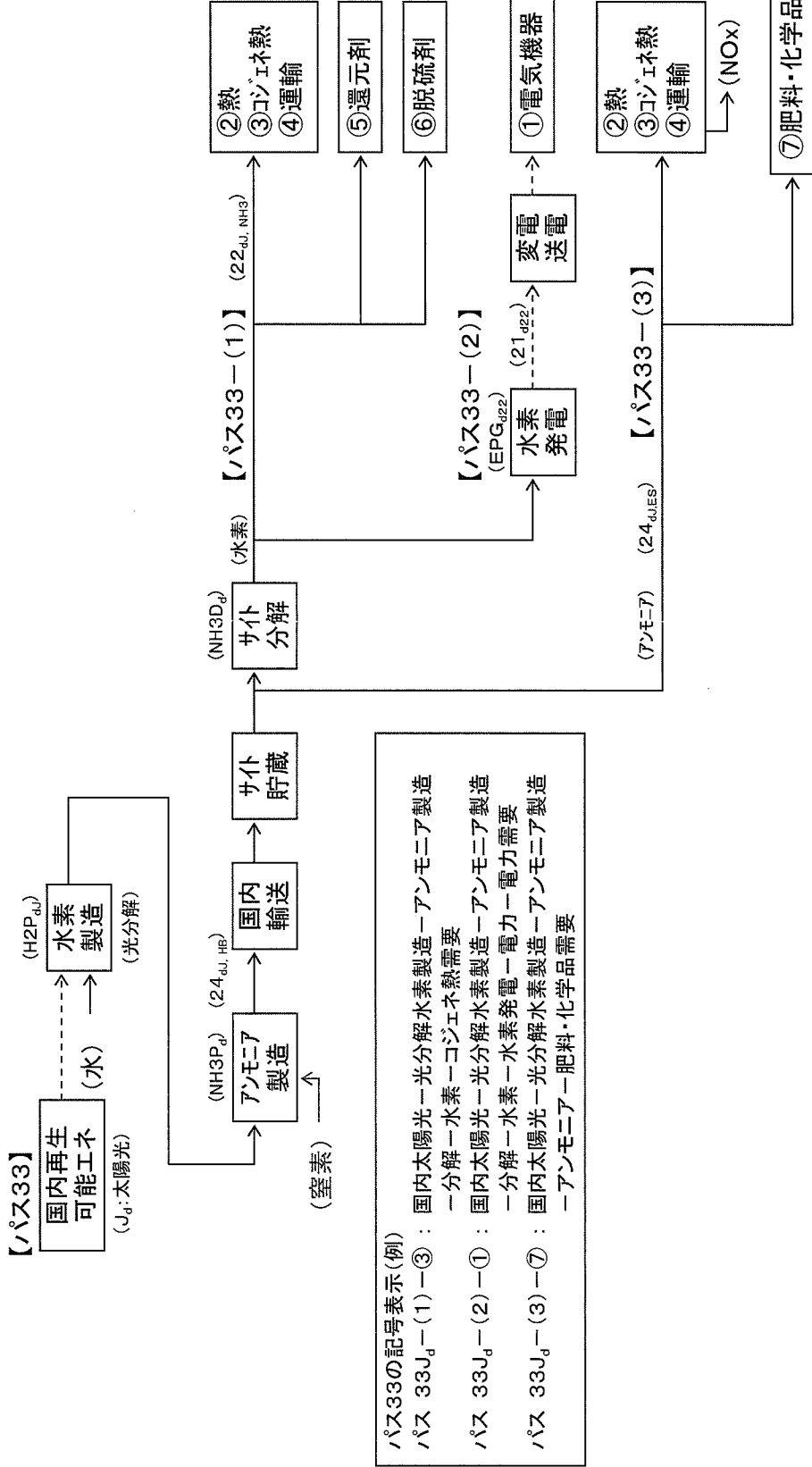
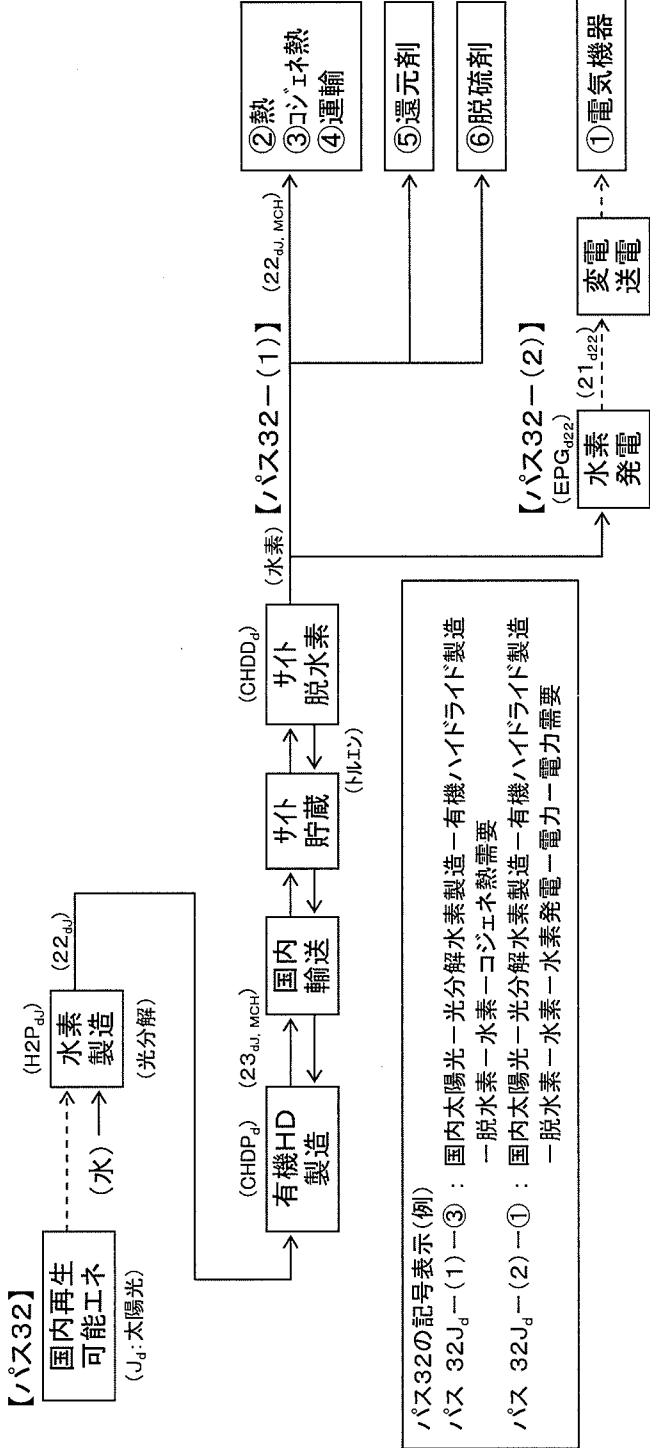
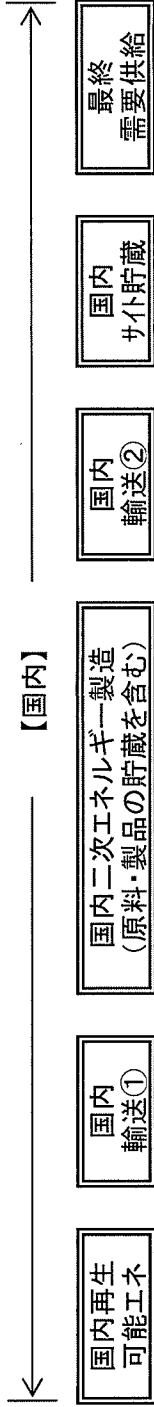
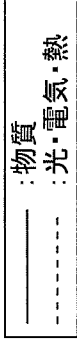
パス 27-(2)-① : 海外太陽光→海外光分解水素製造→海外アンモニア製造(ハーバーボッシュ法)→アンモニア輸入→国内分解→水素発電→電力→電力需要

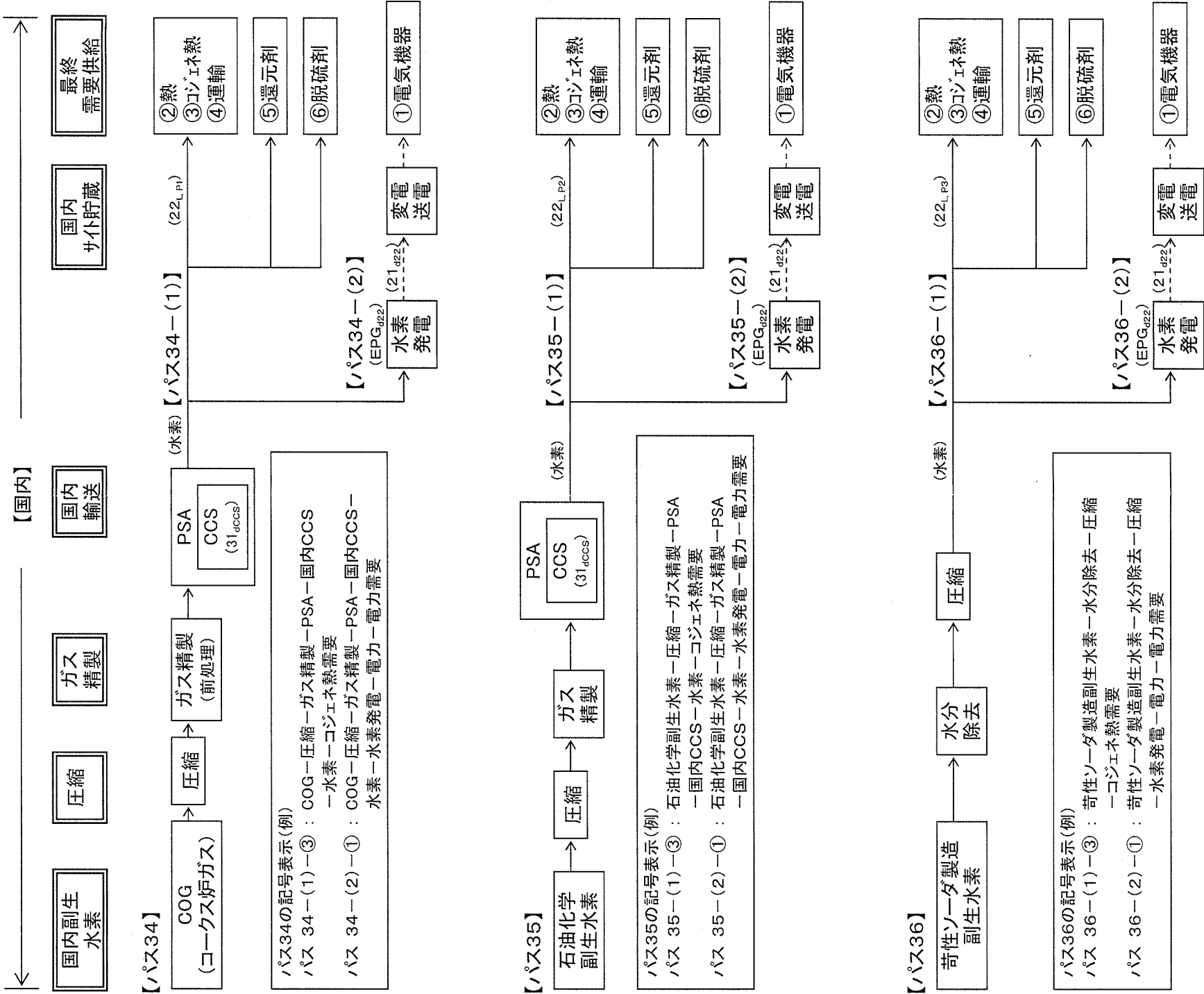
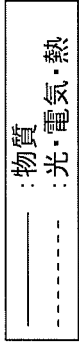
パス 27-(3)-⑦ : 海外太陽光→海外光分解水素製造(ハーバーボッシュ法)→アンモニア輸入→肥料・化学品需要



—— :物質
----- :光・電気・熱



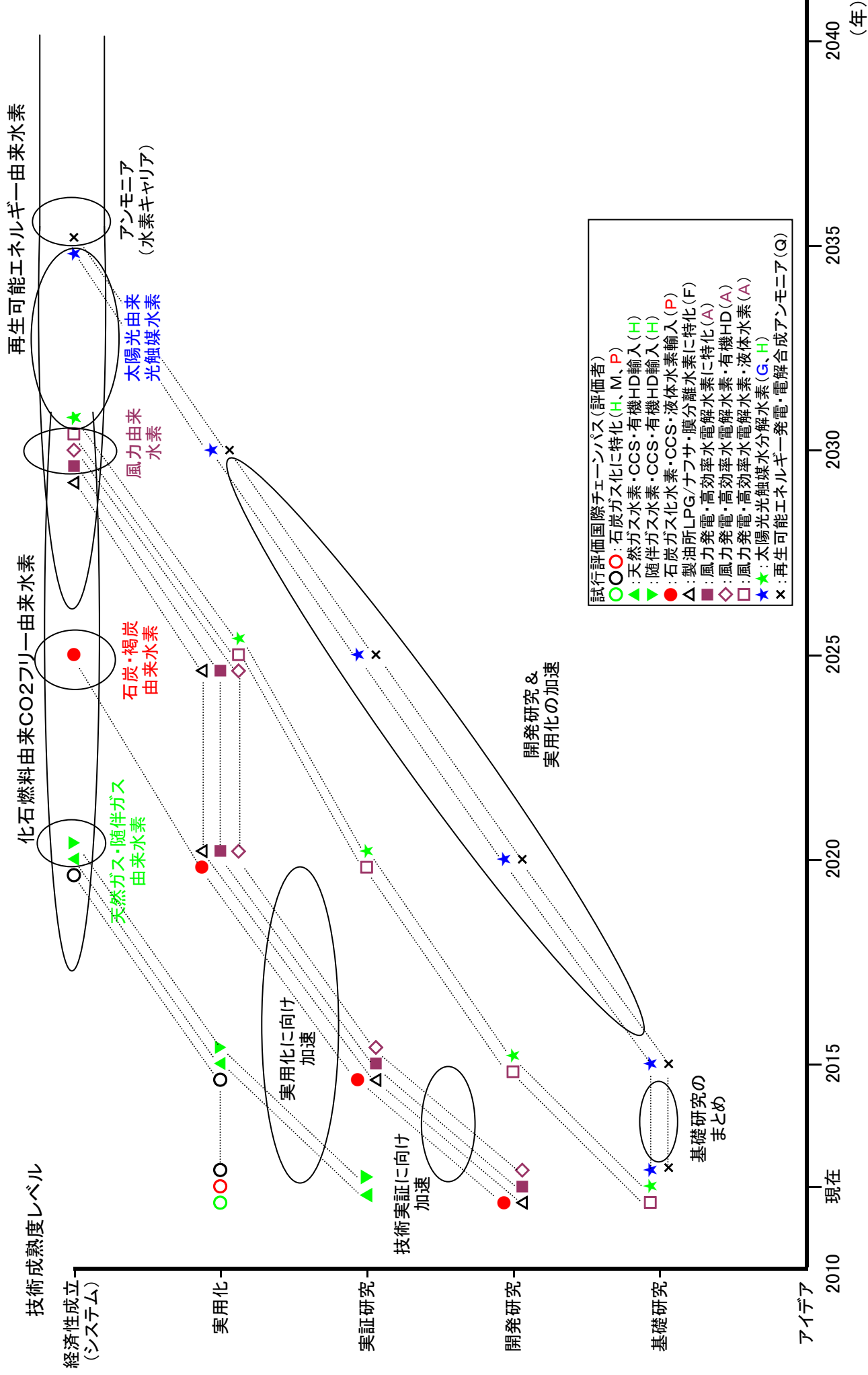




CO2フリー水素子エーン実現に向けた構想研究会
CO2フリー水素子エーン 技術成熟度評価試行結果のマッピング
上流工程(1/2):国際チェーン

添付5. 3-2(1/4)

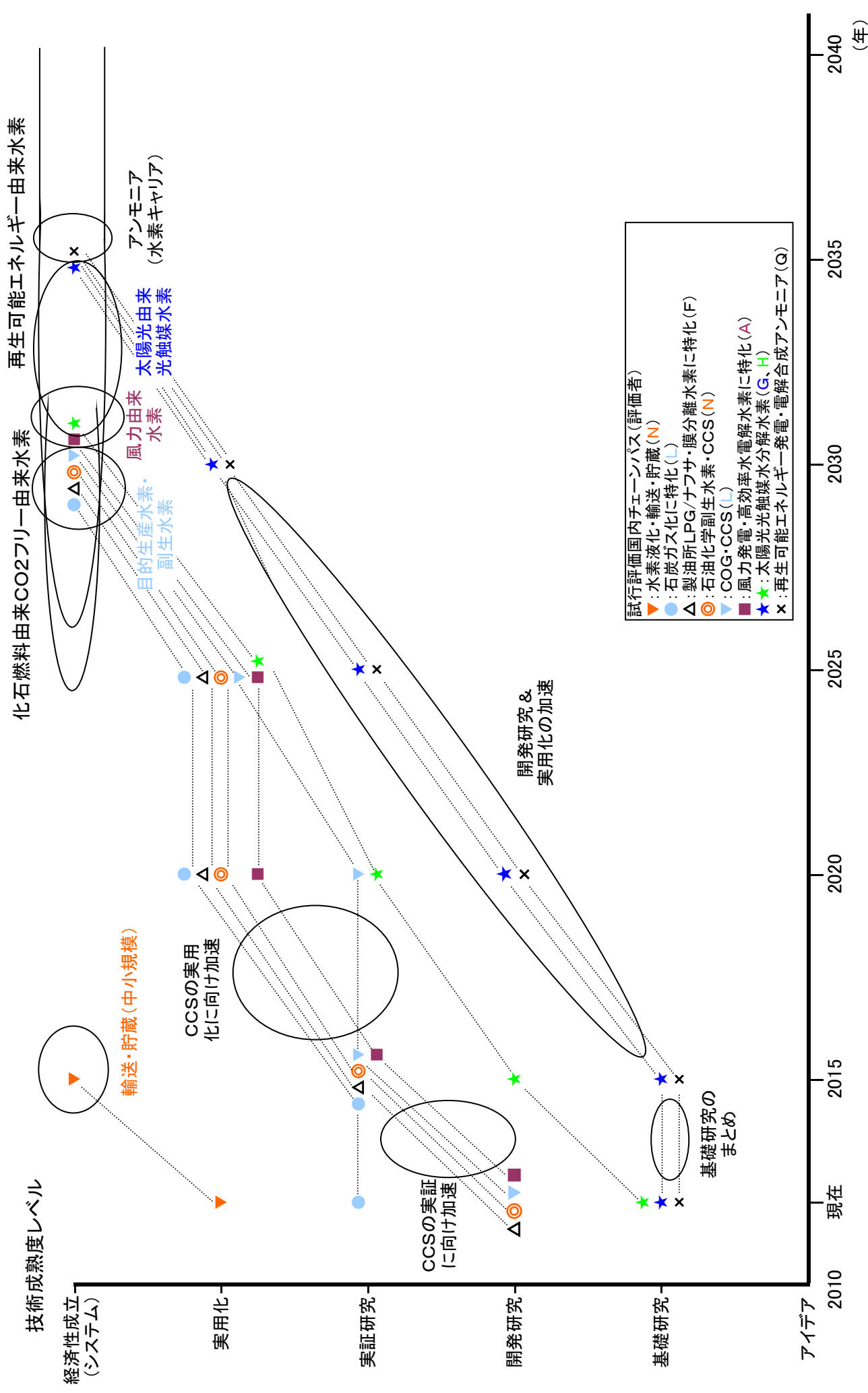
2012.2.16
(財)エネルギー総合工学研究所



CO2フリー水素チェーン実現に向けた構想研究会
CO2フリー水素チェーン 技術成熟度評価試行結果のマッピング
上流工程(2/2): 国内チェーン

添付5. 3-2 (2/4)

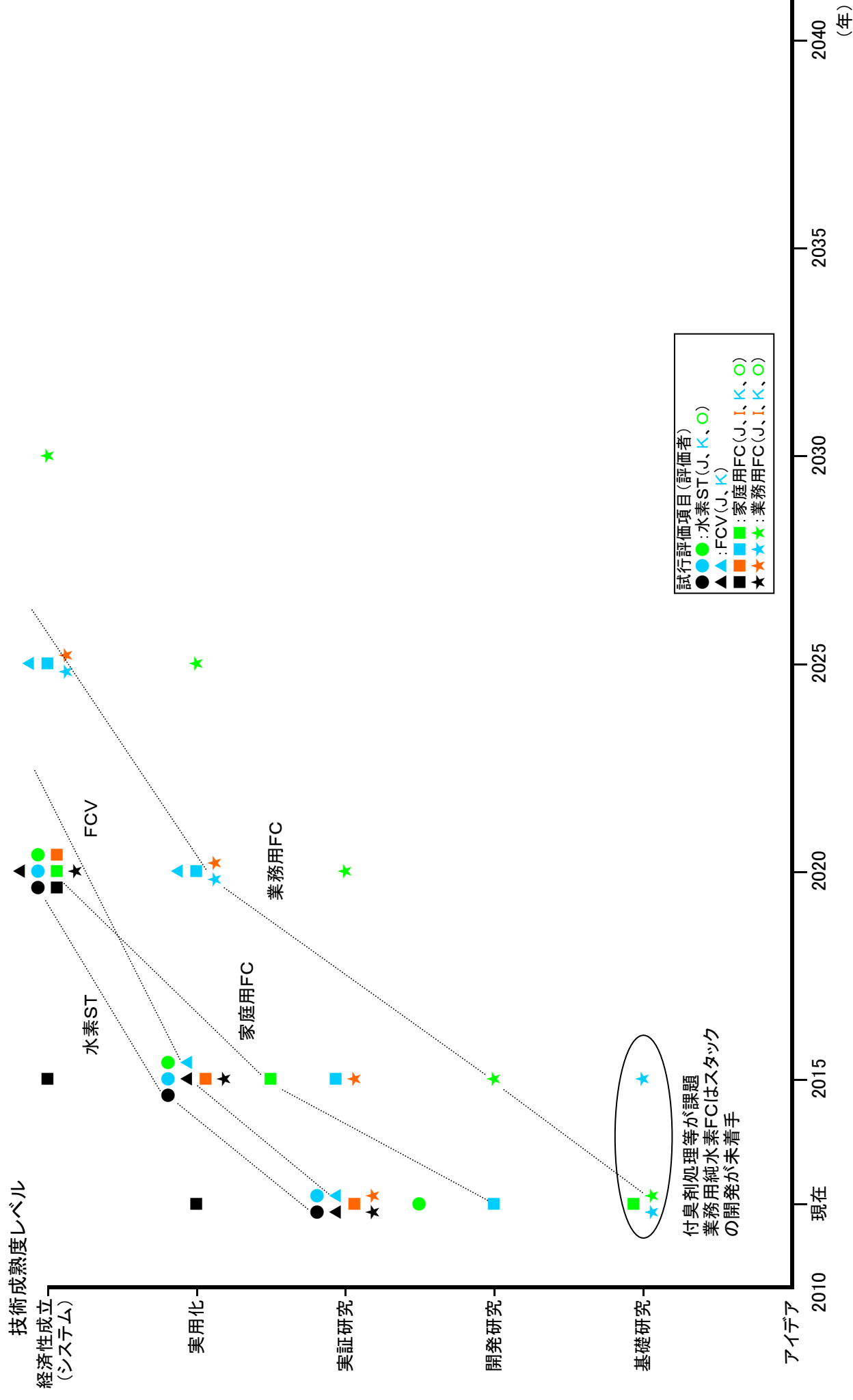
2012.2.16
(財)エネルギー総合工学研究所



CO2フリー水素チェーン実現に向けた構想研究会
CO2フリー水素チェーン 技術成熟度評価試行結果のマッピング
下流工程(1/2):FC

添付5. 3-2(3/4)

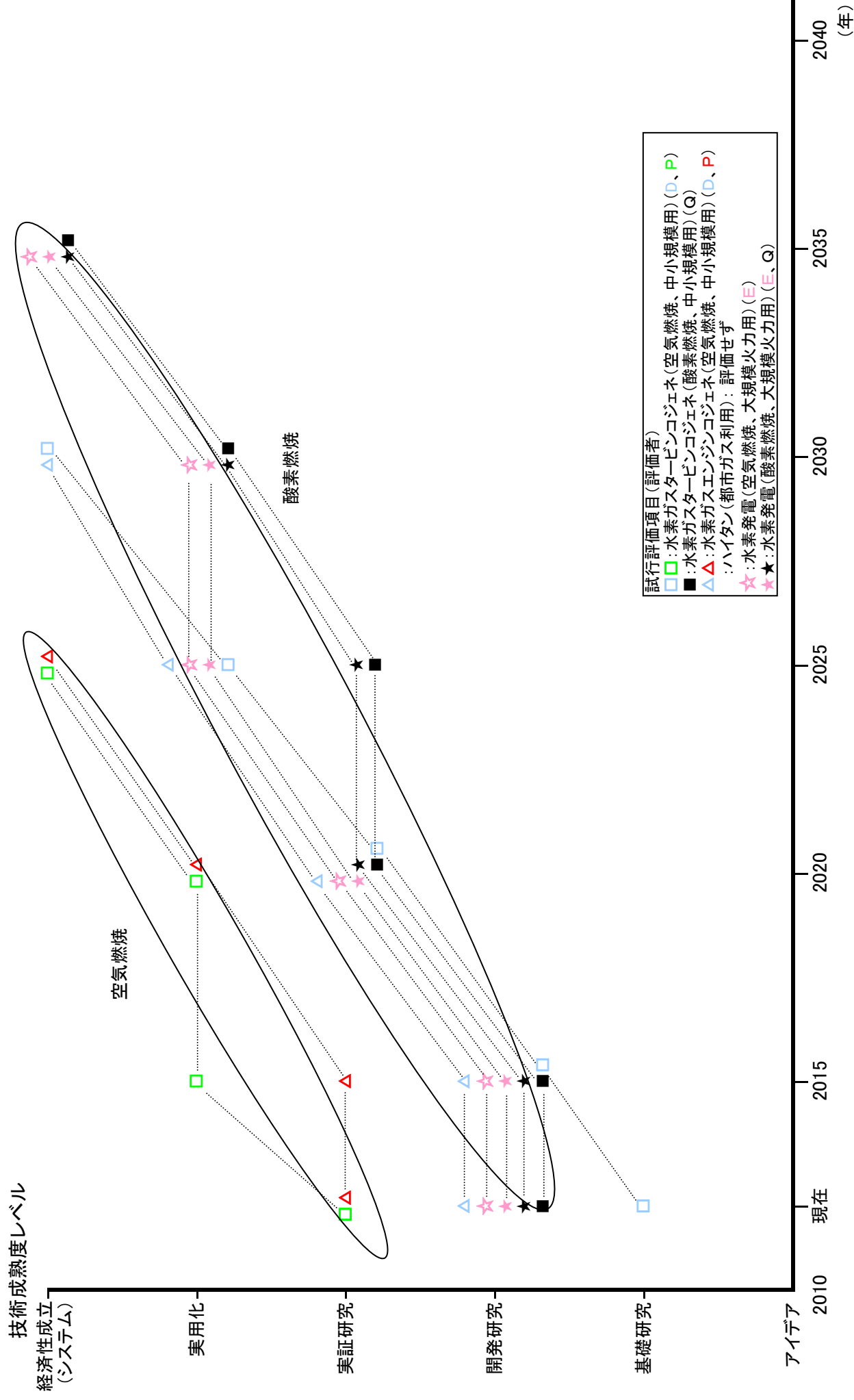
2012.2.16
(財)エネルギー総合工学研究所



CO2フリー水素チェーン実現に向けた構想研究会
CO2フリー水素チェーン 技術成熟度評価試行結果のマッピング
下流工程(2/2):熱機関

添付5. 3-2(4/4)

2012.2.16
(財)エネルギー総合工学研究所



パスNo. 上流工程	原料 種類	製造 場所	構成概要	評価者	技術の完成度							主要技術課題													
					現状	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2015				2020	2025	2030	2035						
1A-(3)	石油	国内	ナフサ・水素・膜分離・CCS	F	2	3	4	4	5			・ハイブリッド膜分離型水素精製技術の実証 ・10万トン/(製油所・年)の分散型CCS実証													
			重質油・ガス化・水素・CCS 随伴ガス・改質・水素・CCS・液体水素	F	3	3	4	4	4	5	5		・全国1製油所モデル対応CCSの実証 ・CCSと水素の液化以降の課題が律速												
6					2	3	4	4	5			石油随伴ガスからの改質水素製造プロセスは既に実用化済。 炭酸ガスの回収プロセス、及びCCSのための昇圧プロセスも実用化済。 有機HD水素貯蔵輸送技術は2013年に実証完了予定。2015年頃に商業化 案件による実用化を目指す予定。 本パスの律速段階はCCS技術の確立であるが、例えば、Statoilはノル エー政府より60 \$ /ton-CO2の補助金を得て大型実証試験を複数個所で 実施中であり、2018年のCCS事業開始を目指している。 上記より、2020年までにはCCSが事業として確立され始め、本パス全体の 実用化が可能となると考えられる。													
9	石油 随伴 ガス	海外	随伴ガス・改質・水素・CCS・有機HD	H	3	4	5					・プレート型マイクロリアクターシステムの実証 ・CCSの課題が律速													
			サイト脱水素(マイクロリアクター) 随伴ガス・改質・アンモニア・CCS・液アン	Q	3	3	4	4	5	5		・CO2貯留の国内または海外実証の可能性検討													
2		国内	石炭・ガス化・水素・CCS	L	2	3	3	3	4	5		・CCSの国内実証													
4			石炭・ガス化・合成燃料・CCS	M	2	3	4	5				・EOR以外でのCCS実用化実績積上げ ・海上輸送実証													
7			石炭・ガス化・水素・CCS・液体水素	M	3	3	4	4	5			・CCSの実証 ・液化～積荷貯蔵～払出～海上輸送～揚荷貯蔵～荷役の実証設備建設、運開													
10	石炭	海外	石炭・ガス化・水素・CCS・有機HD	H	2	3	4	5				石炭ガス化技術は既に実用化済みであり、Shell、GE、Lurgi等のガス化炉が 商業化されて化学プロセス用途の合成ガスを生産している。特にShell炉は 中国を中心に100基以上の実績がある。 しかしながら、石炭ガス化による水素製造は、天然ガス、随伴ガスなどの改 質による水素製造コストに比べて高価である。したがって、化石燃料由来の水 素は商業的にはガス由来の水素が有利と考えられる。 しかしながら、技術確立は重要であり、豪州/日本のプロジェクトとして ECOPRO計画が検討されている。 一方、炭酸ガスの回収プロセス、及びCCSのための昇圧プロセスは実用化 技術であるとともに、有機HD水素貯蔵輸送技術も2013年に実証完了、2015 年頃に商業化案件の稼働を目指す予定であることから、2015年頃までの有 機HD法の実用化により、ガス化水素製造、CO2回収/昇圧注入技術は実 用化済みの技術の組み合わせで可能となる。 したがって、本パスの律速段階はモニタリングやその他関連技術の確立によ るCCS技術の確立であるが、例えば、Statoilはノルエー政府より60 \$/ton-CO2の補助金を得て大型実証試験を複数個所で実施中であり、 2018年のCCS事業開始を目指しているほか、他の国でも実証試験が進め られていることから、2020年までには本パスの技術確立は可能と考えられ る。													
13			石炭・ガス化・アンモニア・CCS・液アン	M	4	4	5					・EOR以外でのCCS実用化実績積上げ ・CCSの課題が律速													
				Q	3	3	4	4	5																

パスNo. 上流工程	原料 種類	製造 場所	構成概要	評価者	技術の完成度										主要技術課題					
					現状	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2015	2020	2025	2030	2035				
3A			天然ガス・CCS・LNG・気化・CCS・水素	Q	3	3	4	4	5			・CCSの課題が律速								
5A			天然ガス・合成燃料	—	—	—	—	—	—			・CCSの実証 ・液化～積荷貯蔵～払出～海上輸送～揚荷貯蔵～荷役の商用設備設計								
8A			天然ガス・改質・水素・CCS・液体水素	P	2	3	4	5				天然ガス(在来型/非在来型)を原料とする改質水素製造は、最も安価な水素製造方法であり、産ガス国で3\$ /GJ程度のガスを購入して製造した場合、6\$/Nm3-H2程度での水素製造が可能である。 炭酸ガスの回収プロセス、及びCCSのための昇圧プロセスも実用化済。 有機HD水素貯蔵輸送技術は2013年に実証を完了し、2015年頃に商業化案件の稼動を目指す予定である。								
11A	天然 ガス	海外	天然ガス・改質・水素・CCS・有機HD	H	3	4	5					本パスの律速段階はCCS技術の確立であるが、例えば、Statoilはノルエー政府より60\$ /ton-CO2の補助金を得て複数個所で大型実証試験実施中であり、2018年のCCS事業開始を目指している。また、その他の国々でも実証試験が進められていることから、モニタリング等の技術確立を含めたCCS事業全体の技術確立が2020年までに完了すると考えられる。 したが、2020年までにCCSを含めた本パスの商業化は可能と考えられ、第1段階として日本国内でCO2を排出しないCCS readyのスキームであれば2015年頃の商業化/経済性の確立が可能である。								
			天然ガス・改質・アンモニア・CCS・液アン	Q	3	3	4	4	5				・CCSの課題が律速							
			ウラン・核熱利用・水素	—	—	—	—	—												
16		国内	木質バイオマス・ガス化・水素・液体水素	Q	2	3	3	4				・水素の液化以降の課題が律速 木質バイオガスからの水素製造コストは現状では石炭原料よりも高価である。CO2ニュートラルでCO2処分が必要ないことはメリットであるが、これをクレジットに換算しても天然ガス等のガス原料+CCSのコストに並ぶには相当の技術革新が必要と考えられる。								
17	木質 バイオ マス		木質バイオマス・ガス化・水素・有機HD	H	2	2	4					これより、バイオマス原料は地産地消型で直接に燃料として利用するか、エタノールとして液体燃料として利用する方が有利であり、それ以上のエネルギー転換は経済性の成立が困難と考えられる。								
18		海外	木質バイオマス・ガス化・アンモニア・液アン	Q	2	3	3	4				・コメント:水素經由アンモニア製造の実現性は低いと思われる								
19			パーム油・ガス化・水素・液体水素	—	—	—	—	—	—			パーム油は液体状態での輸送が可能なため、水素に転換する意義が薄い。								
20	パーム 油		パーム油・ガス化・水素・有機HD	H	3	4	4	-				利用に際しては、ディーゼル基材として直接利用するいいことが望ましい。 パーム油を大型タンカーで輸送するほど大量に調達することは困難と考えられるので、地産地消型のバイオマスとして油のまま利用するほうが有利と考えられる。								
21			パーム油・ガス化・水素・アンモニア・液アン	Q	2	3	3	4				・コメント:水素經由アンモニア製造の実現性は低いと思われる								

パスNo. 上流工程	原料 種類	製造 場所	構成概要	評価者	技術の完成度							主要技術課題							
					現状	2015	2020	2025	2030	2040	2015	2020	2025	2030	2035				
22			風力・水電解・液体水素	A	2	3	4	4	5			・正確な風況マップ作成 ・強風対応風車の設計と試作 ・高効率、耐久力変動水電解技術の開発		・新冷凍技術、高効率水素液化技術の開発	・超断熱容器、液体水素船の運航				
			再生可能エネ・水電解・液体水素	P	2	3	4	4	5			・液化～積荷貯蔵～払出～海上輸送～揚荷貯蔵～荷役の実証設備設計	・液化～積荷貯蔵～払出～海上輸送～揚荷貯蔵～荷役の商用設備設計						
23	再生可能エネルギー		風力・水電解・有機HD	A	2	3	4	4	5			・正確な風況マップ作成 ・強風対応風車の設計と試作 ・高効率、耐久力変動水電解技術の開発	・有機HDの長距離輸送技術 ・有機HDシステムの実証	・トータルシステムの実証					
				H	3	4	4	4	5			水電解による水素製造には4.5kWh程度の電力が必要であり、今後の開発によって4.3kWh程度にまで改良されると考えられる。これより、水電解水素製造では3¥/kWh以下の電力が必要であり、現状では風力発電、夜間水力が有力である。その際の水素製造コストは15¥/Nm3-H2程度までの改善が可能と考えられるが、ガス改質の水素に比べると価格差が大きい。 しかしながら、これらより、技術的には2020年までに実用化が可能ことから、化石燃料由来の水素に頼るばかりではなくエネルギー政策的に再生可能由来の水素を産油産ガス国以外から輸入することは重要であり、その際のコストは水素全体で吸収することが肝要と考えられる。したがって、2020年までに大型の実証を進めることは非常に重要である。							
24		海外	再生可能エネ・電解合成アンモニア・液アン	Q	1	1	2	3	4	5		・電解合成アンモニア製造の課題が律速(要調査) ・600～700nmで作動する光触媒および助触媒の材料開発を終了 ・分離膜の材料特定				・太陽エネルギー変換効率5%以上、寿命1年の光触媒の開発 ・分離膜の量産技術の開発、反応器のスケールアップ検討	・太陽エネルギー変換効率10%、寿命3年の光触媒の開発 ・反応器実証実験、光触媒再生試験		
25	太陽光		太陽光・光触媒法水分解・水素・液体水素	G	1	1	2	3	4	5		光触媒水素製造は基礎研究段階で、その変換効率は0.3%程度であるが、数%の変換効率で商業化が可能といわれている。 近年の光触媒材料の進展は加速されており、2020年頃には大型実証が可能と推測される。また、酸素/水素の分離技術が必要であるが、ゼオライト膜などの無機膜の開発が促進されており、同様に2020年頃の大型実証が可能と考えられる。 一方、光触媒水素製造プロセスのシステムでは、水素/酸素の混合気体の取り扱い、触媒システムおよび分離プロセスとの最適化などが必要である が、光触媒セル、分離技術の要素技術開発以外の要素については既存技術の適用設計での開発が可能なたため光触媒セルおよび分離技術の開発が律速となる。							
26			太陽光・光触媒法水分解・水素・有機HD	H	1	2	3	4	5										
27			太陽光・光触媒法水分解・水素・液アン	Q	1	1	2	3	4	5		・光触媒法水分解水素製造の課題が律速							

CO2フリー水素チェーン実現に向けた構想研究会
CO2フリー水素チェーン 技術成熟度評価試行結果の一覧（CCS有り）
トータルシステム： 上流工程 国内ネットワーク

2012.2.16
(財)エネルギー総合工学研究所

パスNo. 上流工程	原料 種類	製造 場所	構成概要	評価者	技術の完成度										主要技術課題			
					現状	2015	2020	2020	2025	2030	2035	2040	2015		2020	2025	2030	2035
28			風力・水電解・液体水素	A	2	3	4	4	4	5			環境(低周波、渡り鳥)対応型風車開発 ・高効率、耐力力変動水電解技術の開発		・洋上風車開発	・新冷凍技術、高効率水素液化技術の開発	・超断熱容器、液体水素船の運航	
			水素液化・輸送・貯蔵	N	4	5							大型化による輸送効率の向上 ・輸送機器の低コスト化 ・バルク供給のための実証試験と基準策定 ・容器の容積効率向上 ・容器断熱性の向上		・複合タンクの適用による容積効率の向上 ・ボイルオフ低減＋ボイルオフ処理技術の更なる高度化 ・貯蔵容器の軽量化、低コスト化	・液移送、充填、液排出の基礎技術確立 ・システム適用検討(水素輸送様態として過冷却、固体化、スラッシュ化のメリットの定量的評価)		
				A	2	3	4	4	4	5			環境(低周波、渡り鳥)対応型風車開発 ・洋上風車の設計と試作 ・高効率、耐力力変動水電解技術の開発		・洋上風車開発 ・有機HDシステムの実証			
29	再生可能エネルギー		風力・水電解・有機HD										国内の再生可能エネルギーによる発電で3¥/kWh以下の電力を得ることは非常に困難であり、ローカルな利用に限定される。 今後、光触媒や太陽電池の劇的な技術革新が必要であり、こちらを期待するにはリスクが大さい。 但し、太陽光発電の電力をグリーン電力として高い価格で買い上げているように、同等レベルの補助が可能であれば成立する可能性が高いと考えられる。					
30			再生可能エネ・電解合成アンモニア・液アン	Q	1	1	2	3	4	5			電解合成アンモニア製造の課題が律速(要調査) ・600～700nmで作動する光触媒および助触媒の材料開発を終了 ・分離膜の材料特定		・太陽エネルギー変換効率5%以上、寿命1年の光触媒の開発 ・分離膜の量産技術の開発、反応器のスケールアップ検討	・太陽エネルギー変換効率10%、寿命3年の光触媒の開発 ・反応器実証実験、光触媒再生試験		
31	太陽光	国内	太陽光・光触媒法水分解・水素・液体水素	G	1	1	2	3	4	5			大型化による輸送効率の向上 ・輸送機器の低コスト化 ・バルク供給のための実証試験と基準策定 ・容器の容積効率向上 ・容器断熱性の向上		・複合タンクの適用による容積効率の向上 ・ボイルオフ低減＋ボイルオフ処理技術の更なる高度化 ・貯蔵容器の軽量化、低コスト化	・液移送、充填、液排出の基礎技術確立 ・システム適用検討(水素輸送様態として過冷却、固体化、スラッシュ化のメリットの定量的評価)		
			水素液化・輸送・貯蔵	N	4	5							技術確立のステップはサンベルト地帯における海外での光触媒水素製造の場合と同様である。 違いは日射量であり、光触媒の性能が数倍高いレベルに開発が進めば原理的に国内での利用も可能であるが、用地的な観点から建設は限定される可能性が高い。 有機HDに関しては、国内輸送の最長距離を片道2,000kmとした場合の海上輸送コストは2～3¥/Nm3で十分であり問題はない。					
32			太陽光・光触媒法水分解・水素・有機HD	H	1	2	3	4	5				技術確立のステップはサンベルト地帯における海外での光触媒水素製造の課題が律速 ・水素単独で大量に燃焼させる場合の課題抽出と解決への着手 ・COG中タールの水蒸気改質による水素増幅のための触媒の開発		・水素単独でボイラにて大量に燃焼させる場合の課題解決、実用化 ・COG中タールの水蒸気改質による水素増幅のための触媒の完成とプロセスの開発			
33			太陽光・光触媒法水分解・水素・液アン	Q	1	1	2	3	4	5			CO2分離回収コストの低減 1,000円台／t-CO2 ・CO2地中貯留の適用先拡大、コストダウン		・CO2分離回収の適用先拡大、コストダウン ・CO2地中回収の適用先拡大、コストダウン	・CO2の海洋拡散、生物影響の科学的理解 ・海洋隔離実施に対する国際的・社会的合意形成	・溶解希釈、深海底貯留隔離の実適用	
34	副生水素		COG・精製・水素・CCS	L	2	3	3	3	4	5			CO2分離回収コストの低減 2,000円台／t-CO2 ・大規模排出源を対象とするCO2分離 ・回収システムも含めた統合システムとしての大規模実証					
35			石油化学副生水素・精製・水素・CCS	N	2	3	4	4	5				奇性ソーダ副生水素・水分除去・水素					
36			奇性ソーダ副生水素・水分除去・水素	N	3	3	4	5										

主要技術課題																	
			2015			2020			2025			2030			2035		
パスNo. 下流工程	構成概要	評価者	技術の完成度					FCV	水素ST (オンサイト改質)	FCV	水素ST (オンサイト改質)	FCV	水素ST (オンサイト改質)	FCV	水素ST (オンサイト改質)		
			現状	2015	2020	2025	2030									2035	
①	FCV	J	3	4	5				・FCスタック、高圧水素タンクの量産化ーコストダウン、システムとしての更なるエネルギー効率の向上								
	水素ST	J	3	4	5				・デイスペンサー、圧縮機、容器の量産によるコストダウン、システムとしての更なるエネルギー効率の向上								
									PSA水素製造： ・商用規模装置コストダウン(5～9千万円) 膜分離水素製造： ・小型装置の実用化 ・10年耐久、PSAと競合できるコスト その他機器： ・コストダウン、小型化など システム： ・商用規模パッケージ品の実用化	PSA水素製造： ・更なるコストダウン(5千万円) ・CO2回収機能の付加 膜分離水素製造： ・商用規模装置の実用化 ・CO2回収機能を含めた効率80%HHV以上 その他機器： ・更なるコストダウン システム ・更なるコストダウン							
	FCV・水素ST (オンサイト改質)	O	2～3	4	5												
	FCV		3	4	4	5											
	オンサイト改質水素		4	4	5												
	オンサイトメンブレンリアクター水素		2	3	4	5											
	オンサイト水電解水素	K	4	4	4	4	5										
②	水素貯蔵(鋼製／複合)		3/2	4/3	5/4	3/5			各要素技術の低コスト化、高効率化、コンパクト化 70MPaフル充填対応技術(87.5MPa充填)								
	圧縮機／デイスペンサー		3/3	4/4	5/5												
	システム		3	4	5												
	家庭用FC	J	4	5					・量産化によるコストダウン、 更なる耐久性、 エネルギー効率の向上								
									・MEAの高温(90℃)低加湿(<30%RH)運転対応、CO 耐性向上(500ppm) ・低コスト化(改質型システム価格70万円/kW) ・触媒の低白金化(1g／kW) ・耐久性 6万時間、10年	・ロバスト性・耐久性の更なる向上 ・耐久性 9万時間 ・純水素型システム開発(水素循環なし、発電効率 >46%HHV/55%LHV(集中水素製造含まず)) ・白金代替触媒の実用化 ・高温低加湿(80～90℃程度)運転対応システム ・低コスト化(改質型システム価格50万円/kW)	・白金代替普及						
	家庭用FC (純水素PEFC)								・現状で、よりハードルの高い、天然ガス改質型のシ ステムが実用化されており、純水素供給を前提とした システム開発に本格着手すれば、比較的早く開発を 進めることはできる。 特有の課題は、供給される水素に付臭剤が含まれる 場合、それを効率的かつ安価に除去する技術と、シ ステムとして燃料を発電に利用できる割合を高める 技術。								
		O	1	3～5	5												
	家庭用FC	K	2	3	4	5			システムの経済性が成立するためには、量産化によ るコストダウンが最大の課題となる。								

パスNo. 下流工程	構成概要	評価者	技術の完成度					主要技術課題					
			現状	2015	2020	2025	2030	2035	2015	2020	2025	2030	2035
③	業務用FC	J	3	4	5			・量産化によるコストダウン、更なる耐久性、エネルギー効率の向上					
	業務用FC (純水素PEFC)	O	1	2	3	4	5	・現時点では高効率を目指したコージェネとしての開発は未着手。 純水素供給を前提としたシステム開発に本格着手すれば、比較的早く開発を進めることはできる。	・FCVや非常電源用といった実用化で先行するアプリケーションでの開発成果に基づいた開発。特有の課題は、供給される水素に付臭剤が含まれる場合、それを効率的かつ安価に除去する技術と、システムとして燃料を発電に利用できる割合（燃料利用率）を高める技術。				
	業務用FC (純水素FC)	K	1	1	4	5		純水素での定置用燃料電池システムは一部のデモンストレーション用を除いて、商用開発として目標設定されない。スタックのコストダウンなどは自動車向けや家庭用コージェネ（天然ガス、LPガス）向けの開発課題として、改善されていく。	水素インフラと燃料電池システムをマッチングさせる部分での開発が必要となる。また自動車向けなどで開発されたスタック、補機類の技術を純水素定置用として展開することが課題となる。				
	業務用FC(SOFC)	I	3	3	4	5		・低コスト・高出力密度化 ・セル・スタックレベルでの動作挙動解析手法確立 ・運転時間4万時間 ・高出力密度化(0.2～0.5kW/L) ・システム価格100万円/kW	・システム価格100万円/kW以下 ・スタック価格30万円/kW以下 ・運転時間9万時間 ・新規インターコネクト材開発	・スタック価格5万円/kW ・出力密度0.5～2kW/L			
④-1	水素ガスタービンコージェネ (空気燃焼)	P	3	4	4	5			圧縮機、排熱回収熱交換器は、ガスタービンコージェネの技術を適用できる。排熱回収熱交換器は、実用化前に、耐久性検討必要。				
④-2	水素ガスタービンコージェネ (酸素燃焼)	Q	2	2	3	3	4	5					
⑤	水素ガスタービンコージェネ (空気燃焼)	D	2	2	3	4	5		水素エンジン自動車用として、技術的には実用化段階。コージェネ用に最適化されたエンジン、長時間耐久性については研究開発必要。 熱交換器は、技術課題はあまりないと思われるが、実用化の前には耐久性検討必要。				
⑥	ハイタン（都市ガス利用）	P	3	3	4	5							
		O	—	—	—	—							
		K	—	—	—	—							
⑦	水素発電（空気燃焼）	E	2	2	3	3	4	5					
⑧	水素発電（酸素燃焼）	E	2	2	3	3	4	5					
		Q	2	2	3	3	4	5					

要素技術	種類	構成	評価者	技術の成熟度							評価者のコメント	備考	
				現状	2015	2020	2025	2030	2035	2040			
発電	石油												
	石炭												
	天然ガス	IGCC	M		3	3	4	5				基本的な技術はほぼできているが、CCSとの組み合わせ、水素製造の観点からは更に検討すべき。	
	風力	正確な風況測定 耐強風風車設計	A	4	5						正確な風況マップの作成。 強風対応風車の設計と試作。		
				2	3	4		5					
	洋上												
	水力			P	5								
	地熱		P	5									
	バイオマス	木質専焼	P	4									
		石炭混焼											
	太陽光		P	4					5				
	太陽熱		P	4									
	再生可能エネルギー	海外		4	4	4	4	4	5			水電解による水素製造には4.5kWh程度の電力が必要であり、今後の開発によって4.3kWh程度にまで改良されるところと考えられる。これより、水電解水素製造では3¥/kWh以下の電力が必要であり、現状では風力発電、夜間水力が有力である。 国内の再生可能エネルギーによる発電で3¥/kWh以下の電力を得ることは非常に困難であり、ローカルな利用に限定される。今後、光触媒や太陽電池の劇的な技術革新が必要であり、こららを期待するにはリスクが大きい。 但し、太陽光発電の電力をグリーン電力として高い価格で買い上げているように、同等レベルの補助が可能であれば成立する可能性が高いと考えられる。	
		国内	4	4	4	4	4	5					
	発電コスト	出展：発電単価(円/kWh)：エネ環会議のコスト等検証委員会の試算結果											
		風力			現状	2020年			2030年				
陸上(設備利用率20%)				9.9～17.3							8.8～17.3		
洋上(設備利用率30%)				9.4～23.1							8.6～23.1		
一般水力				10.6							10.6		
水力		小水力		19.1～22.0						19.1～22.0			
地熱				9.2～11.6						9.2～11.6			
				17.4～32.2									
バイオマス		木質専焼		9.5～9.8									
		石炭混焼		30.1～45.8						12.1～26.4			
太陽光		メガソーラー		33.4～38.3					9.9～20.0				
住宅用													
太陽熱				15～30	10～15				5～7				
原子力		最低ケース		8.9～10.2					8.9～10.2				
石炭				9.5～9.7					10.3～10.6				
LNG		設備利用率80%		10.7～11.1					10.9～11.4				
		設備利用率50%		11.5～11.9					11.7～12.3				
石油	設備利用率80%		20.8～22.4					23.8～26.7					
	設備利用率50%		22.1～23.7					25.1～28.0					
ガスコージェネ	設備利用率10%		36.0～37.6					38.9～41.9					
	設備利用率70%		19.7～20.4					20.1～21.1					
石油コージェネ	設備利用率70%		22.6～24.0					26.0～29.0					
	設備利用率50%												
燃料電池			109～110					18.7～19.3					

要素技術	種類	構成	評価者	技術の成熟度							評価者のコメント	備考
				現状	2015	2020	2025	2030	2035	2040		
化石燃料	石油 随伴ガス		H	5							石油随伴ガスからの改質水素製造プロセスは既に実用化済。	
			Q	4							本バスの機器構成は基本的には天然ガス改質水素製造・液体水素系と同じであり、全て実用化されている。	
		ガス化・水素製造	H	4	4	4	4	5			石炭ガス化技術は既に実用化済みであり、Shell、GE、Lurgi等のガス化炉が商業化されて化学プロセス用途の合成ガスを生産している。特にShell炉は中国を中心に100基以上の実績がある。	
	石炭										しかしながら、石炭ガス化による水素製造は、天然ガス、随伴ガスなどの改質による水素製造コストに比べて高価である。したがい、化石燃料由来の水素は商業的にはガス由来の水素が有利と考えられる。	
		ガス化		3	3	4	4	5			しかしながら、技術確立は重要であり、豪州/日本のプロジェクトとしてECOPRO計画が検討されている。	
		水素製造	L	2	3	3	4	5			基本的な技術はできているが、経済的に成立するプロセスが可能かどうか、更に追求すべき。	
		システム		2	3	4	4	5			反応自体はできているが、石炭ガス化由来のガスを対象とする上では技術的検証がまだ必要。	
		ガス化		4	4	5					国のしっかりとした総合エネルギー政策の下に、石炭利用政策の推進と併せ支援をする段階で技術開発は加速される。	
		COシフト反応	M	5							世界的には実用化(Shell、GE/Texco)、日本技術は実用化一歩手前、国の支援必要。	
		H2-PSA(水素製造)		4	5						プループン技術。	
		システム		4	4	5					水素回収効率向上。	
	天然ガス	脱水(褐炭)		4							IDGCC方式(Integrated Drying Gasification Combined Cycle Process)等の脱水&ガス化技術が実用化されているが、課題は効率の更なる向上。	
		ガス化	P	4							型式は噴流床・流動床・固定床等到大別されるが、いずれも都市ガス製造用あるいは化学原料製造用として多くの商用装置がある。	
		COシフト反応		4							触媒の種類によりサワーガスシフトとスウィートガスシフトに分類され、いずれも多くの商用装置がある。	
		H2-PSA(水素製造)		4							水素を液化する上で高純度にする必要がある。数多くの商用装置がある。	
		システム		4							海外メーカー複数社が現状ベースで建設可能の回答。安価、高効率品を目指す。	
		改質水素製造	H	5							天然ガス(在来型/非在来型)を原料とする改質水素製造は、最も安価な水素製造方法であり、産ガス国で3\$/GJ程度のガスを購入して製造した場合、6\$/Nm3-H2程度での水素製造が可能である。	
水素製造	LPG・ナフサ	脱硫・改質・シフト・PSA	P	4							世界中で多くの商用装置が稼動している。	
		膜分離	F	2	3	4	4	5			JPECにてPSAを用いない高性能膜分離型水素製造プロセス(原料:ナフサ)開発研究実施中。	
		ガス化	F	4	4	4	4	4	5		先ずはハイブリッド分離膜型水素精製装置により、高純度水素(副産物として高純度CO2)を製造する。	
		圧縮・ガス精製・PS	L	5							将来的には反応分離型リアクター(メンブレンリアクター)開発につなぐ。	
		COG中水素増幅		2	3	4	5				ガス化装置は主として石炭を原料に既に実用化。水素製造についてもEAGLEプロジェクト等にて実証化済。	
		圧縮・ガス精製・PS	N	4							現時点では特段の問題なし。	
	苛性ソーダ製造副生水素	水分除去・圧縮	N	4							水素の一般利用のためにはタールの水蒸気改質による水素の増幅が必須。触媒の開発と併せ、プロセスの開発が必要。	
		正確な風況測定		4	5						検討対象:湿式化学吸収法(硫黄、煤塵等)、深冷分離、膜分離など。	
		耐強風車設計	A	2	3	4		5				
	再生可能エネルギー	高効率水電解		2	3	4		5			耐入力変動水電解。	
		水電解水素製造(海外)		4	4	5					水電解による水素製造には4.5kWh程度の電力が必要であり、今後の開発によって4.3kWh程度にまで改良され则认为られる。これより、水電解水素製造では3\$/kWh以下の電力が必要であり、現状では風力発電、夜間水力が有力である。その際の水素製造コストは15\$/Nm3-H2程度までの改善が可能と考えられるが、ガス改質の水素に比べると価格差が大きい。	
		水電解水素製造(国内)	H								しかしながら、これらより、技術的には2020年までに実用化が可能なことから、化石燃料由来の水素に頼るばかりではなくエネルギー政策的に再生可能由来の水素を産油産ガス国以外から輸入することは重要であり、その際のコストは水素全体で吸収することが肝要と考えられる。したがい、2020年までに大型の実証を進めることは非常に重要である。	
再生可能エネルギー	再生可能エネルギー	水電解水素製造(国内)		4	4	5					国内の再生可能エネルギーによる発電で3\$/kWh以下の電力を得ることは非常に困難であり、ローカルな利用に限定される。今後、光触媒や太陽電池の劇的な技術革新が必要であり、こららを期待するにはリスクが大きい。	
		水電解水素製造(海外)	P	2	3	4	4	5			但し、太陽光発電の電力をグリーン電力として高い価格で買い上げているように、同等レベルの補助が可能であれば成立する可能性が高いと考えられる。	

要素技術	種類	構成	評価者	技術の成熟度							評価者のコメント	備考
				現状	2015	2020	2025	2030	2035	2040		
水素製造	バイオマス	水素製造	H	2	2	4	—				木質バイオガスからの水素製造コストは現状では石炭原料よりも高価である。CO2ニュートラルでCO2処分が必要ないことはメリットであるが、これをクレジットに換算しても天然ガス等のガス原料+CCSのコストに並ぶには相当の技術革新が必要と考えられる。	
		ガス化		4							木質バイオマスのガス化の主要方式は、固定床ダウンドラフト型、固定床アップドラフト型、流動床、噴流床、ロータリーキルン型であり、主に発電用に開発されている。	
		水素製造	Q	2							木質バイオマスのガス化による水素の製造は研究開発段階であり、数は少ない。 東京工業大学が高温水蒸気によるバイオマスガス化水素製造の研究を行っている。 福岡水素エネルギー戦略会議研究開発支援事業として平成18年度から19年度にかけて西日本環境エネルギー(株)、福岡県工業技術センター、産総研、九州大学が共同実施している。	
		水素製造	H	3	4	4	—				パーム油は液体状態での輸送が可能なため、水素に転換する意義が薄い。 利用に際しては、テーパーセル基材として直接利用するいることが望ましい。	
	パーム油	ガス化	Q	4							パーム油を大型タンカーで輸送するほど大量に調達することは困難と考えられるので、地産地消型のバイオマスとして油のままで利用するほうが有利と考えられる。	
		水素製造		2							パーム油は液体状態での輸送が可能なため、水素に転換する意義が薄い。 利用に際しては、テーパーセル基材として直接利用するいることが望ましい。	
		光触媒		1	1	2	3	4	5		パーム油のガス化水素製造、あるいはBDFからの水素製造は、基本的には石油からの水素製造と同じと考えられ、実績はないが、実用化相当技術と言える。	
		水素分離技術	G	1	2	3	3	4	5		しかし、わざわざ水素にして利用される可能性は少ないと考えられる。	
	太陽光 光触媒 (国内&国外)	反応器		1	2	3	3	4	5		600から700 nmで作動する光触媒の開発がポイント。	
		システム		1	1	2	3	4	5		分離膜の特定と調製法の開発がポイント。 上記2課題が解決すれば設計可。	
		光触媒水素製造	H	1	2	3	4	5			【海外】 光触媒水素製造は基礎研究段階で、その変換効率は0.3%程度であるが、数%の変換効率で商業化が可能といわれている。近年の光触媒材料の進展は加速されており、2020年頃には大型実証が可能と推測される。また、酸素/水素の分離技術が必要であるが、セオライト膜などの無機膜の開発が促進されており、同様に2020年頃の大型実証が可能と考えられる。	
		水素/酸素分離システム		2	3	4	4	5			一方、光触媒水素製造プロセスのシステムでは、水素/酸素の混合気体の取り扱い扱い、触媒システムおよび分離プロセスとの最適化などが必要であるが、光触媒セル、分離技術の要素技術開発以外の要素については既存技術の適用設計での開発が可能のため光触媒セルおよび分離技術の開発が律速となる。 【国内】 技術確立のステップはサンベルト地帯における海外での光触媒水素製造の場合と同様である。 違いは日射量であり、光触媒の性能が数倍高いレベルに開発が進めば原理的に国内での利用も可能であるが、用地的な観点から建設は限定される可能性が高い。 有機HDIに関しては、国内輸送の最長距離を片道2,000kmとした場合の海上輸送コストは2～3¥/Nm3で十分であり問題はない。	
気体水素	圧縮		P	4							段数が非常に多くなるが、問題はない。	
	貯蔵		M	4	4	5					高圧化(20→40MPa開発)。	
	輸送		M	4	4	5						
			P	4							北米で1,000km、西欧で1,500kmの水素パイプライン先行例がある。但し、水素脆性、低温での相変化、帯電等を考慮する必要がある。	

要素技術	種類	構成	評価者	技術の成熟度							評価者のコメント	備考
				現状	2015	2020	2025	2030	2035	2040		
CCS	海外	石油随伴ガス	H	4	4	5					炭酸ガスの回収プロセスも実用化済。	
		石炭ガス化ガス	M	4	4	5					物理吸収法(安定)、化学吸収法(高回収率)とも最適化要、国の支援必要。	
			P	4							物理吸収法と化学吸収法の商用装置が数多くある。 ガス圧力が高くなるほど物理吸収法が経済的となる。 さらなる吸収性能とエネルギー効率の向上を目指し、化学吸収液の改良が国内外で行われている。 また、将来技術としてメンブレン合金膜分離方式が研究されており、課題はパラジウムの使用量低減が課題である。	
		CO2除湿	P	4							CO2貯留・隔離前に除湿が必要である	
		CO2圧縮	H	4	4	5					CCSのための昇圧プロセスも実用化済。	
			P	4							問題なし。	
		石油随伴ガス	H	3	4	5					例えば、Statoilはノルエー政府より60 \$ /ton-CO2の補助金を得て大型実証試験を複数個所で実施中であり、2018年のCCS事業開始を目指している。	
		石炭ガス化ガス	P	3	3	4	4				豪州ビクトリア州では商用を前提に実証試験がされている。	
			M	4	4	5					処理コスト低減必要。	
		石油随伴ガス									例えば、Statoilはノルエー政府より60 \$ /ton-CO2の補助金を得て複数個所で大型実証試験実施中であり、2018年のCCS事業開始を目指している。また、その他の国々でも実証試験が進められていることから、モニタリング等の技術確立を含めたCCS事業全体の技術確立が2020年までに完了すると考えられる。	
	国内	石炭ガス化ガス	P	3	3	4	4				従来法は確立、建設可能。安価、高効率品を目指す。	
			M	4	4	5					処理コスト低減必要。	
		石炭ガス化ガス	M	4	4	5					物理吸収法(安定)、化学吸収法(高回収率) 処理コスト削減要、国の支援必要。	
		石炭ガス化ガス	M	2	3	4	5				海外と比較して国内は遅延、国の支援必要。	
		製油所水素製造装置を対象	F	3	3	4	4	5			1製油所10万トン／年規模の分散型CCSを検討。 技術的には既に完成の域にあるが、法整備が整っていないこと、社会需要性(PA)獲得にかなりハードルが高いことを考えると、2020年実用化がやっとか。	
		製油所ガス化水素製造装置を対象	F	3	3	4	4	4	4	4	全国1製油所モデルでの試算では、2030年には約300億NM3の水素供給が可能となった。しかし一方では4000万トン／年規模のCO2が発生し、分散型CCSでは処理しきれない。我が国にこのような規模の地質構造は望み薄で、更に法整備が整っていないこと、社会需要性(PA)獲得にかなりハードルが高いことを考えると、実現性には疑問。	
		石炭ガス化ガス	L	2	3	3	4	5			貯留の実証研究が実現できるかどうか、実施主体が課題。この部分だけの経済性の成立は不透明。	
			M	2	3	4	5				海外と比較して国内は遅延、国の支援必要。	
			Q								CO2分離・回収と貯留・隔離のみ実用化の技術開発が必要。 以下、2008年世界ガス化会議情報： CCS回収・貯留コストを現状の60～80ドル／トン-CO2からもっと安くする必要がある、また、それに対するパブリック アクセプトランスが非常に重要である。 GE Energy 社と Schlumberger 社による IGCC+CCS の計画の発表があり、2015年までに実証プラントによる試験を実施し、2015～2020年においてレトロフィットによる商業化を実現し、2020～2025年において完全に商業化していく計画が示された。	
		COG	L	2	3	3	3	4	5		貯留の実証研究が実現できるかどうか、実施主体が課題。この部分だけでの経済性が成立するか不透明。	
		石油化学副生ガス	N	2	3	4	4				2030年にCO2分離回収・地中貯留技術について経済性成立と推測。	

要素技術		構成	評価者	技術の成熟度					評価者のコメント		備考
				現状	2015	2020	2025	2030	2035		
FCV・ 水素ST	FCV	高圧水素タンク	J	3	4	5					
		FCスタック		3	4	5					
		制御システム		3	4	5					
		システム		3	4	5					
FCV・ 水素ST		FCV	K	3	4	4	5				
		水素精製	J	5	5	5					
		大容量圧縮機		3	4	5					
		大容量出荷システム制御		3	4	5					
		高圧輸送容器		3	4	5					
		ステーション用圧縮機		3	4	5					
		ステーション用蓄圧機		3	4	5					
		水素ディスプレイセンサー		3	4	5					
		システム		3	4	5					
		オンサイト水素製造 (水素気改質)	K	4	4	5				コンパクト化、高効率化、コストダウンが技術課題。	
		オンサイト水素製造 (メタノール改質)		2	3	4	5			耐久性が技術課題。	
		オンサイト水素製造 (水電解)		4	4	4	4	5		コンパクト化、高効率化、コストダウンが技術課題。2030年以降、再生可能エネルギーとの組合せ。	
		水素圧縮機		3	4	5				大容量化、コストダウン、耐久性向上が技術課題。	
		水素貯蔵 (鋼製容器)		3	4	5				設計係数の見直し、適用鋼材の拡大によるコストダウン、非破壊検査技術の確立が課題。	
家庭用FC	水素ST (オンサイト改質)	水素貯蔵 (複合容器)	O	2	3	4	5			開発段階であり、まず技術基準を策定し技術実証を進めていく必要あり。	
		水素ディスプレイセンサー		3	4	5				充填プロトコルに準拠した充填技術 (通信充填、プレクール、70MPaフル充填) や課金のための計量規格策定が課題	
		システム		3	4	5				70MPa充填技術、直接充填が技術課題。実用化、経済性成立には規制緩和による適用材料の拡大等が行われ、適応する要素機器の開発、コストダウンが必要。	
		製造装置1 (PSA方式水素製造装置)		3	4	5				課題: コストダウン、効率向上、省スペース化。 支援: レベル4まで必要。	
		製造装置2 (膜分離方式水素製造装置)		2	3	4	5			課題: 耐久性向上、コストダウン。 支援: レベル4まで必要。	
		その他機器 (圧縮機)	O	2~3	4	5				課題: コストダウン、小型化、耐久性。 支援: レベル4まで必要。	
		その他機器 (蓄圧器)		3	4	5				課題: コストダウン。 支援: レベル4まで必要。	
		その他機器 (ブレイクアラーム)		3	4	5				課題: コストダウン、小型化、耐久性。 支援: レベル4まで必要。	
		その他機器 (ディスプレイセンサー)		2~3	4	5				課題: 昇圧率制御、コストダウン、操作性の向上 (セルフ充填)。 支援: レベル4まで必要。	
		システム		2~3	4	5	5			課題: コストダウン、省スペース化、メンテナンス性向上、パッケージ化。 支援: レベル4まで必要。	
		燃料改質システム	J	4	5						
		燃料電池スタック		4	5						
		システム		4	5						
		セルスタック		3	3	4	5			通常運転での信頼性、耐久性については、問題ないと考えられるが、高効率化を睨んだ高燃料利用率運転での信頼性・耐久性確認が今後必要になると思われる。	
純水素PEFC		脱硫器	K	2	3	4	5			付臭剤の選定、処理方法から検討必要。	
		パワーコンディショナー		4	4	4	5			エネファームの技術を適用可能。	
		ポンプ、ブローアなど		4	4	4	5			同上。	
		システム制御技術		2	3	4	5			発電効率の向上に向けては更なる燃料利用率の向上が必要。	
		システム	I	2	3	4	5				
		スタック/セル		4						FC寿命評価 (加速評価) 技術、反応解析技術開発に国の支援必要 (～2020)。	
		MEA/ガス拡散層		4							
		電解質膜		4							
		電極触媒/担体	O	4						触媒低白金化、白金代替触媒開発に国の支援必要 (～2025)。	
		セパレーター		4							
		純水素型システム		3	4					現NEDOロードマップでは定置用純水素PEFCシステム開発は2020年以降。	
		システム		3	3	5					
家庭用FC	純水素PEFC	セルスタック		3	4	4				都市ガス改質型での商品化・改良が進んでいるので、その技術をベースとして着手すれば実用化は比較的早いと思われる。	
		パワーコンディショナー		4	4	4				都市ガス改質型での商品化・改良が進んでいるので、その技術をベースとして実用化可能。	
		補機		4	4	4				同上。	
		燃料利用率向上		2	4	4				この技術がより効率を高めるうえで重要な要素。着手すれば実用化は比較的早いと思われる。	
		オフガス処理	O	2	4	4				実用化には必須の技術。	
		付臭剤処理		1	3~4	4				水素供給における付臭剤添加が不要となれば、この技術は不要。	
		システム		1	3~5	5				経済性成立は水素供給価格に依存。	

要素技術	構成	評価者	技術の成熟度					評価者のコメント	備考
			現状	2015	2020	2025	2030	2035	
業務用FC	燃料改質システム 燃料電池スタック システム	J	3	4	5				
			3	4	5				
			3	4	5				
	セルスタック パワーコンディショナー 補機 付臭剤前処理 システム	K	1	2	4	5			定置型の業務用純水素燃料電池システムは商用開発されていないが、高燃料利用率で発電効率50%を超えるシステムが試作されている。したがって、1～5のレベルで現状を技術するのは適さない。何年に商用機が必要から、開発段階が逆算されることになる。
			4	4	5	5			既存技術の活用で対応可能。今後の効率向上は期待される。
			1	1	4	5			最適化、量産が必要である。自動車向けなどで、純水素利用する補機自体の基本開発が行われるので、その適用が期待できる。
			1	1	4	5			
	セルスタック パワーコンディショナー 補機 燃料利用率向上 オフガス処理 付臭剤処理 システム	O	1	2	3	4	4		現状は高効率を目指したコージェネとしての開発は未着手。開発着手されればFCVや非常用の開発成果を活用しつつ実用化を目指すことになる。
			2	2	4	4	4		出力によるが、既存技術の活用で対応可能。
			2	2	4	4	4		同上。
			1	2	3	4	4		この技術がより効率を高めるうえで重要な要素。ただし家庭用よりも規模が大きい分、セル間流量のバラつきなどハードルは少し高い。
水素発電	SOFC 電解質 電極材料 インターコネクト 高効率システム化 システム	I	1	2	3	4	4		実用化には必須の技術。
			1	2	3	4	4		水素供給における付臭剤添加が不要となれば、この技術は不要。
			1	2	3	4	4		量産効果の発揮は家庭用ほどでもないので、FCVとの使用材料・部品等の共用化がコストダウンの鍵となる。
			1	2	3	4	5		寿命・信頼性評価に関して国の支援が必要(～2015)。
	タービン 熱交換器 圧縮機 燃焼器 排熱回収熱交換器	P	3	4					
			3	4					
			3	4					
			3	4					
	タービン 熱交換器 圧縮機 燃焼器 排熱回収熱交換器	D	1	2	3	4	5		圧縮機、排熱回収熱交換器は、ガスタービンコージェネの技術を適用できる。排熱回収熱交換器は、実用化前に、耐久性検討必要
			1	2	3	4	5		タービン、熱交換器、圧縮機は、技術開発要素は少ないと思われるが、水素を燃料としたシステムとして耐久性を中心に研究開発の
			4				5		別途、水素の特質を生かしたサイクルの工夫等、研究開発を並行して進めることが必要。
			1	2	3	4	5		
水素ガスタービンコージェネ	タービン 熱交換器 圧縮機 燃焼器 排熱回収熱交換器	Q	2	2	3	3	4	5	
			2	2	3	4	5		
			2	2	3	4	5		
			2	2	3	4	5		
	エンジン 排熱回収熱交換器	P	3	3	4	5			水素エンジン自動車用として、技術的には実用化段階。コージェネ用に最適化されたエンジン、長時間耐久性については研究開発必要。
			3	3	4	5			熱交換器は、技術課題はあまりないと思われるが、実用化の前には耐久性検討必要。
			3	3	4	5			
			3	3	4	5			
	液体水素蒸発器 水素タービン 高温材料 高温水蒸気熱交換器 液体水素移送ポンプ システム	E	4						
			2	2	3	3	4	5	
			2	2	3	4	4		
			2	2	3	4	4		
アンモニア	液体水素蒸発器 水素・酸素タービン 高温材料 高温水蒸気熱交換器 高効率酸素製造装置 液体水素移送ポンプ システム システム	E	4						
			2	2	3	4	4		
			2	3	4	4	4		
			2	2	3	4	4		
	液体水素蒸発器 水素・酸素タービン 高温材料 高温水蒸気熱交換器 高効率酸素製造装置 液体水素移送ポンプ システム システム	E	2	2	3	4	4		
			4						
			2	2	3	3	4	5	
			2	2	3	3	4	5	
	液体水素蒸発器 水素・酸素タービン 高温材料 高温水蒸気熱交換器 高効率酸素製造装置 液体水素移送ポンプ システム システム	Q	2	2	3	3	4	5	
			2	2	3	3	4	5	
アンモニア燃料電池自動車	液体水素蒸発器 水素・酸素タービン 高温材料 高温水蒸気熱交換器 高効率酸素製造装置 液体水素移送ポンプ システム システム	N	3	3	4				検討対象：燃料電池、水素エンジン、ガスタービンなど。
			3	3	4				工学院大学雑誌教授が2007年にアンモニア燃料電池自動車を開発し、走行実証済み。
			3						
			3						
	液体水素蒸発器 水素・酸素タービン 高温材料 高温水蒸気熱交換器 高効率酸素製造装置 液体水素移送ポンプ システム システム	Q	3						アメリカにはアンモニア燃料普及協会がある。また、アイオア・エネルギー・センター主催のアンモニア燃料会議が2004年から毎年開催されている。
			4						トヨタはアンモニアエンジン(水素混合)を開発中とのことであり、特許も出願している。以下、アンモニア燃料の歴史(参考)。
			4						1943年ベルギーでアンモニアが初めてバス燃料に使用されている。
			4						1960年に米空軍の実験用X-15ロケット機でアンモニア燃料が使用されている。
	液体水素蒸発器 水素・酸素タービン 高温材料 高温水蒸気熱交換器 高効率酸素製造装置 液体水素移送ポンプ システム システム	Q	1967年に米陸軍がアンモニア燃料のディーゼルエンジンと点火栓エンジンの比較実験をし、点火栓エンジンの優位性を確認している。						
			アイオア大学のAaron Reiter教授らはアンモニア燃料でターボチャージャー付ディーゼルエンジンのテストを行い、排ガス中のHC・CO・CO2・Nox・O2等はディーゼル油使用時より減少することを確認。						

エネルギー政策への反映についての提言 ～低炭素社会実現に向けたCO₂フリー水素国際ネットワークの形成について～

(財)エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 部長(水素エネルギー担当)

坂田 興

1 はじめに

(財)エネルギー総合工学研究所の水素グループは、現行エネルギー基本計画に記述されている水素エネルギー社会構想に多大の関心を持ち、将来の水素エネルギー社会を支える水素供給・利用システムのあり方につき鋭意検討を続けてきました。一方、検討の期間中の3・11に起きた東日本大震災とそれに伴って発生した福島第一原子力発電所の事故を受けて、今後のエネルギー基本計画の見直しが進められています。この新たな状況を踏まえ、我々水素グループは、将来あるべき水素供給・利用システムの有力オプションとして、水素をエネルギーキャリアーとする国際水素エネルギー供給・利用ネットワーク構築が重要であり、また3・11以降のわが国のエネルギー需給に、エネルギー安定供給・環境適合・経済効率性確保(3E)および安全性確保(S)の観点から貢献できるとの結論を得ました。

ここで言う国際水素エネルギー供給・利用ネットワークは具体的には、海外の褐炭等化石資源や風力等再生可能エネルギーを海外で水素に変換し、これを輸送に適した形態でわが国に輸送し、わが国では燃料電池自動車(FCEV)用燃料、発電用燃料などとして利用する、というシステムです。この国際水素エネルギー供給・利用ネットワークは政府のエネルギーに関する基本方針として議論されている「3E+S」に以下の通り貢献できます。

- ・輸入CO₂フリー水素は新たなエネルギー供給源(一次エネルギー相当)として貢献できる。
- ・褐炭や風力等海外の豊富な未利用化石燃料や自然エネルギーの権益を取得すれば、安価な国産資源となりエネルギーの安定供給に貢献できるとともに、国富流出低減による経済効率性の向上にも貢献できる。
- ・水素は種々の一次エネルギーから製造でき、化学エネルギーとしてエネルギーを貯蔵できるので、エネルギー源の多様性、ひいてはエネルギーの安定供給に貢献できる。
- ・CO₂フリー水素はCO₂・NO_x・SO_xを排出しないクリーンエネルギーであるため、輸入CO₂フリー水素の利用は我が国のCO₂排出削減および環境適合に貢献できる。

国際水素エネルギー供給・利用ネットワーク構築については、1993年度～2002年度にわたり国家プロジェクトとして取り組まれたWE-NETプロジェクトがありますが、当時と比べて大きく異なるのは、大規模CCSの出現やFCEV等の需要が明確になっていることです。従って、低炭素社会実現に向けたCO₂フリー水素国際ネットワークの形成について、インフラ整備も含め、今から具体的アクションを取る必要があると考えます。

もう一つは原油輸入価格が大きく上昇していることです。1983年4月～2003年3月では輸入アラビアンライトの価格は名目ベースで10US\$/bbl～30US\$/bblでしたが、2010年以降75US\$/bbl～115US\$/bblとなっています(但し、この間、100円/US\$から80円/US\$と円高になっています)。このため、輸入原油から生産した水素のコストに比べて、国際ネットワークでのCO₂フリー水素のコストが競合しうるようになって来ています。

2 提言

1) 水素エネルギー社会実現について

現行エネルギー基本計画の第3章、第4節、2項の記述は基本的に活かし、加えて、『海外からの水素輸入も考慮に入れた CO2 フリー水素の国際ネットワーク形成を図る』との文言が追加されることを提言します。

また、『先ずは、化石燃料＋CCS主体での CO2 フリー水素国際ネットワークを形成し、最終的には、再生可能エネルギー主体での水素国際ネットワークへ円滑に移行する』との文言が追加されることを提言します。

理由は、現行文章はあくまで国内での水素製造とCCSを念頭に置いたものであることから、国内完結型でなく、グローバルな視点に立ったシステム構築に関する文言の追加が必要と考えるからです。

2) 2030年に向けた目標について

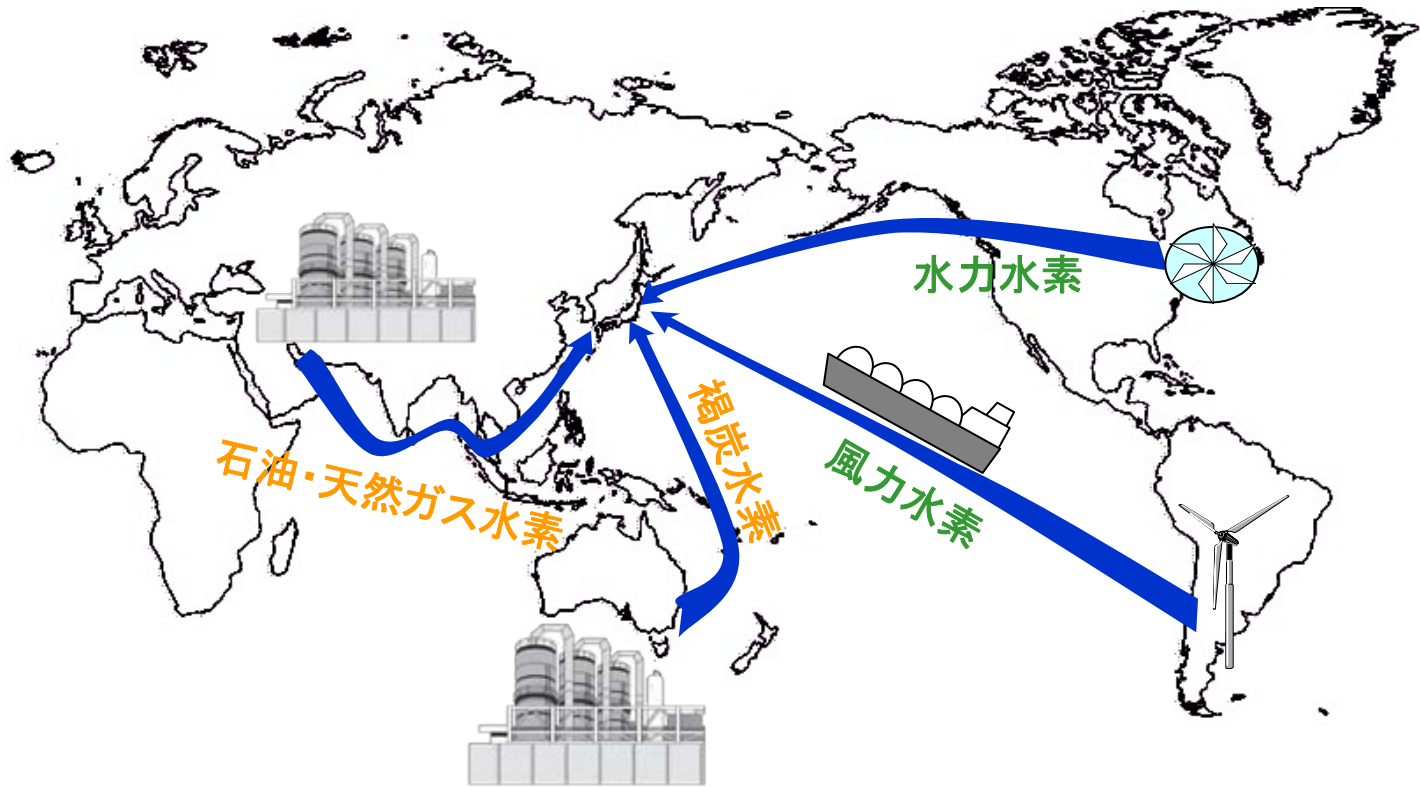
現行エネルギー基本計画の第2章、第1節の記述は基本的に活かし、加えて、水素国際ネットワークを介して輸入する化石燃料＋CCS由来、及び、再生可能エネルギー由来の CO2 フリー水素が一次エネルギー相当とみなされ、「2030年のエネルギー需給の姿」の「供給側の絵姿①（一次エネルギー供給）」で示されている一次エネルギー構成の棒グラフに『水素』という項目が加えられることを提言します。

理由は、CO2 フリー水素が、従来のCO2削減への貢献に加え、望ましいエネルギーミックス及びエネルギーの安定供給に貢献し、権益付き輸入 CO2 フリー水素が自主エネルギー比率向上に貢献すると考えるからです。

以上

提言1): CO₂フリー水素国際ネットワークの形成

イメージ図



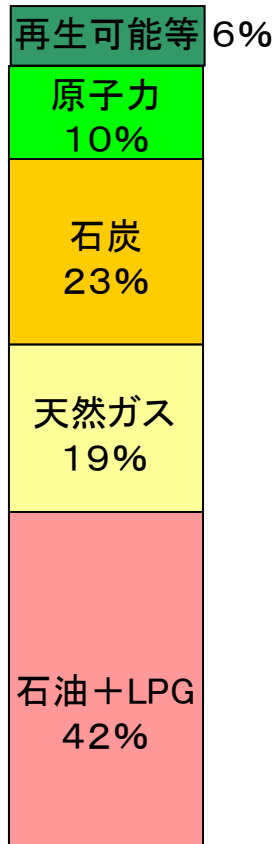
CO₂フリー水素の製造(海外) ➡ 海上輸送 ➡ 利用

化石燃料+CCS ➡ 再生可能エネルギー
(短中期) (中長期)

提言2):エネルギー供給の姿

《2007年実績》

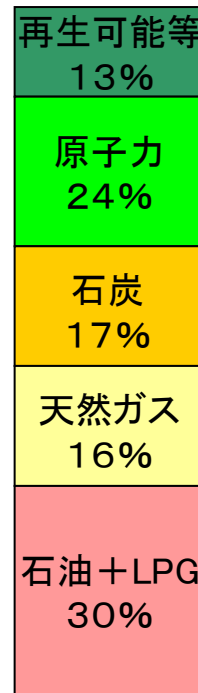
(約6億kL)



《2030年推計》

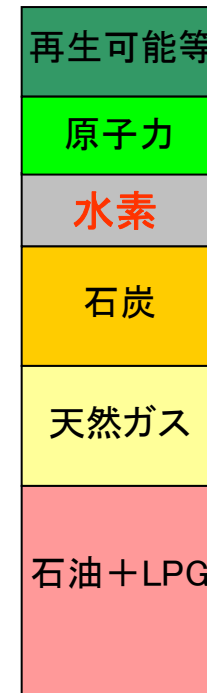
＜現基本計画＞

(約5億kL)

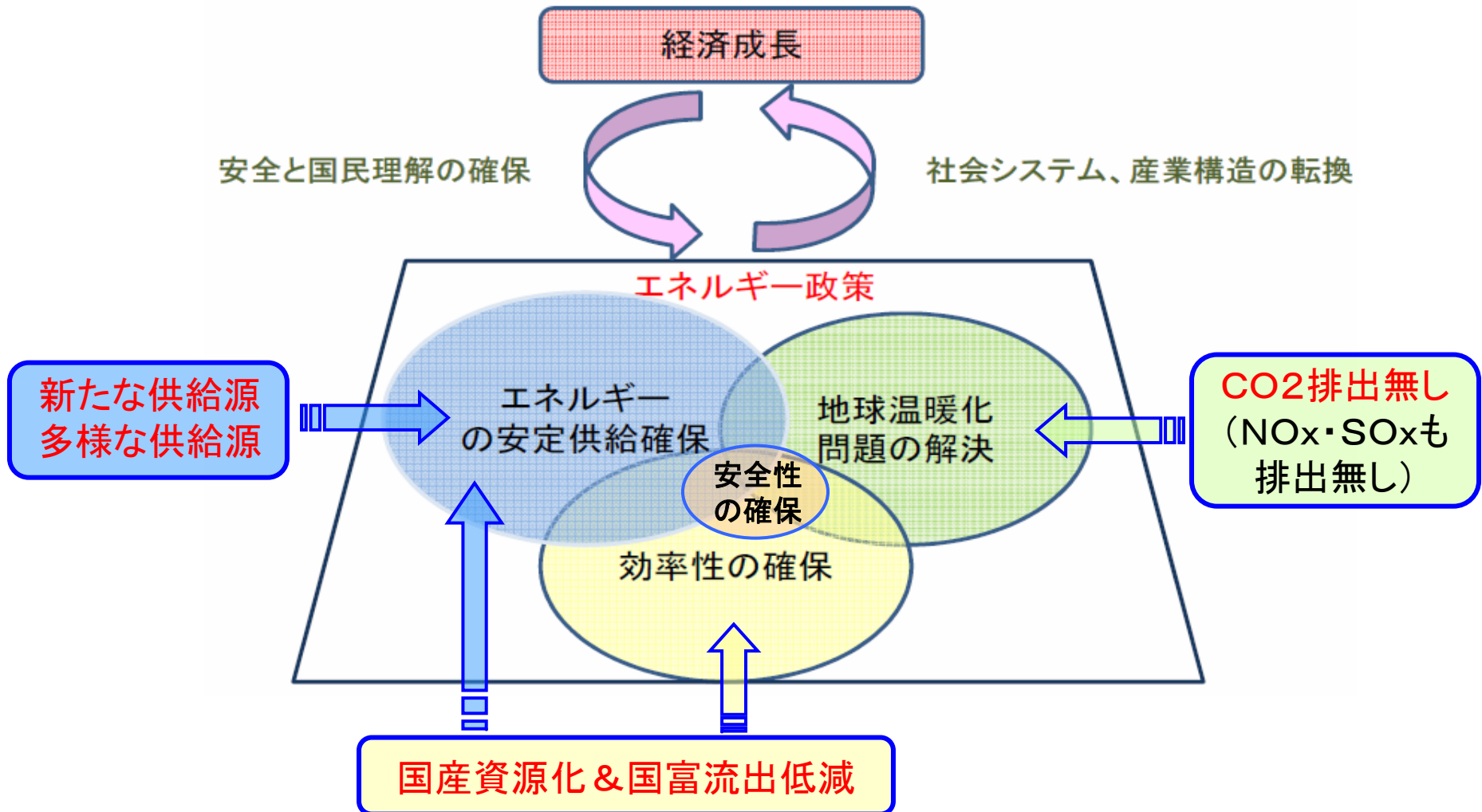


＜提言＞

「水素」という項目が
加えられること。



CO₂フリー水素国際ネットワーク形成による エネルギー政策の基本方針(3E+S)への貢献



2-1. 水素エネルギー

水素エネルギーの意義や必要性

エネルギーを取り巻く環境変化

気候変動問題への対応

国際的なエネルギー需給の逼迫傾向

アジア・世界との連携、イニシアティブ

クリーンなエネルギー

水素を燃料とすることにより
CO₂排出量削減に貢献

現実的な選択肢としてのエネルギー

ガス管、石油精製所、コークス炉、ガソリンスタンド、ローリー等の運搬車など、
既存のインフラの活用

水素(H₂)

エネルギーセキュリティの強化 (多様なエネルギー供給源)

- ・自然には単独では存在しないが、**化合物として地球上に無尽蔵に存在。**
- ・石油や天然ガスをはじめ、太陽光、バイオマス等の**非化石エネルギーからの製造も可能**
- ・石油精製所、コークス・製鉄産業等から**副生水素を活用**

スマートコミュニティにおけるエネルギー源の活用

- ・水素を製造、運搬、貯蔵しオンサイトで使用することによる**分散型電源**や**エネルギーキャリア**としての利用

新規産業・雇用の創出、産業競争力の強化

- ・自動車、電気機器、素材、化学、石油、ガス、電力等幅広い産業に関係
- ・環境技術力の差が国際競争力の源泉に

2-1. 水素エネルギー スマートコミュニティの将来イメージ

- 再生可能エネルギーなどを活用したエネルギーシステムを大規模に導入。
- IT、蓄電池、コジェネ、水素などを活用し、地域内で需給をバランス。
- 地域のビルや家庭の単位でも、再生可能エネルギー、水素エネルギー、蓄電池等を活用し、災害に強く系統からの自立性が高い需給構造を実現。

