

エネルギーミックス議論、 こうあるべき

株式会社新橋大好き 代表取締役
SDリサーチ チーフエコノミスト
鈴木清一

seiichi.suzuki@shinbashidaisuki.com

昭和ブックカフェ 店長 コレクター
東京都港区新橋2-16-1 ニュー新橋ビル314

本論で述べることは鈴木が過去に勤務した組織とは無関係のものです

エネルギーミックス議論とは

■ 将来のエネルギー需要に対し**どのような1次エネルギー**（石油、石炭、天然ガス、原子力、水力、風力、太陽光など）構成で供給すべきかの議論

■ **電源構成が議論の中心**で、具体的数値により討議されることが多いが、本論では**電化することによりどの電源が増えるか**など用途と1次エネルギーとの関連も議論する

■ 我が国においては2030年のミックス議論が10年以上の間続いている。2050年における概念的な議論も並行して行われている。

■ 筆者はサラリーマン時代の2019年に、**2040年の具体的な数値議論を行うべき**との論文を発表した。本論はその論文で主張したことを骨格とし補足・追加している。

本発表で述べたいこと(まとめ)ー①

1. 消費段階のエネルギー効率に加え、消費エネルギー／総一次エネルギーの効率も分析・向上すべき
 - 捏ね繰り回さない(エネルギー**変換回数**を抑える)
 - 横の議論(用途に適したエネルギー)だけでなく縦の議論(エネルギーに適した用途・使い方)も
2. 再エネ拡大と**地球視点**での効率化を
 - **再エネの輸出入**は高コストなのでできるだけ**隣国間**で行うべき、外交的不仲を克服せよ
 - 捏ね繰り回さず電気は極力**電気のまま輸出入**せよ、しかし、日本はどうする？
3. **電化によりCO2が減るのか**どうか個別に検証すべき
そのためには**統計の見直しが必要**

本発表で述べたいこと(まとめ)ー②

4. 人口減を加味したベース電源(石炭・原発)議論を
 - 現在は原子力再稼働も石炭火力更新も個別判断
 - 日本で会社の垣根を超えた必要量議論ができるか
 - ICT関連機器などの電力消費量増加も要考慮
5. 多種多様なエネルギー消費商品の研究は輸出立国日本に不可欠だが、**日本社会に適したものは何か？**
6. エネルギーMIX最適化には**税の公平が不可欠**
 - 化石燃料への課税は(時間を要しても)炭素税に統合
 - ⇒CO2抑制が(中長期)エネルギー政策の最重要理念であり、炭素税への統一が理念と施策を一致させる手法
 - コスト比較は現税率ではなく炭素税に統一した税率で

本論で重点説明・重点議論すること

グリーン水素・アンモニア・人工燃料の
捏ね繰り回し図解

日本の再エネ、十分安くないのはなぜ

電化需要増が化石燃料で賄われる可能性

効率アップによる石炭火力更新の是非

地球温暖化防止をどうとらえるか

快適な生活のために必要なこと

企業経営に多大な影響を与えるもの

ビジネスチャンス

経済成長の新たな糧

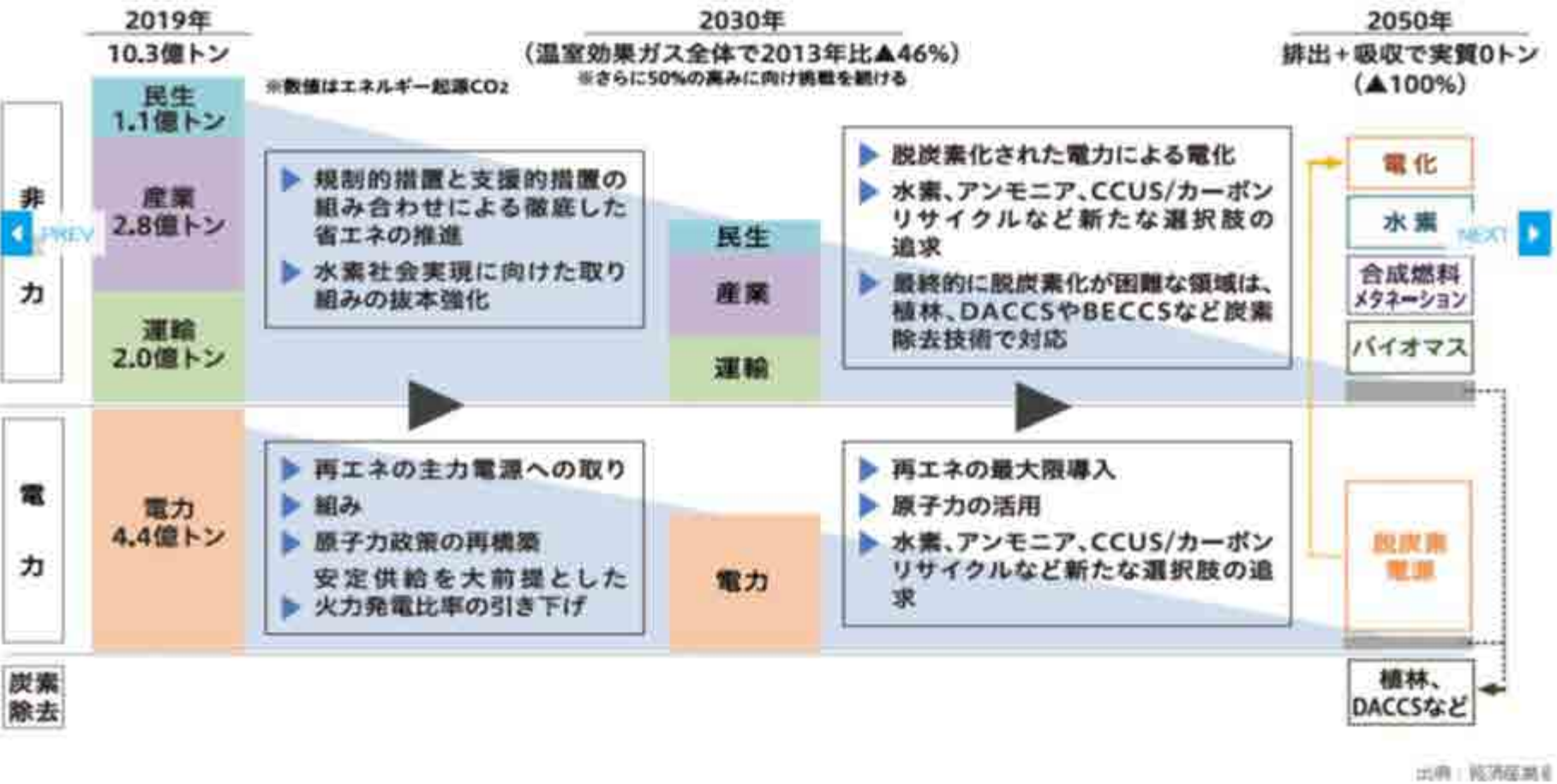
本論で
重視

エネルギー安定供給と双璧の問題

地球での人類生存に不可欠なこと

1-1 エネルギー基本計画は従来延長の2030年と理想論の50年

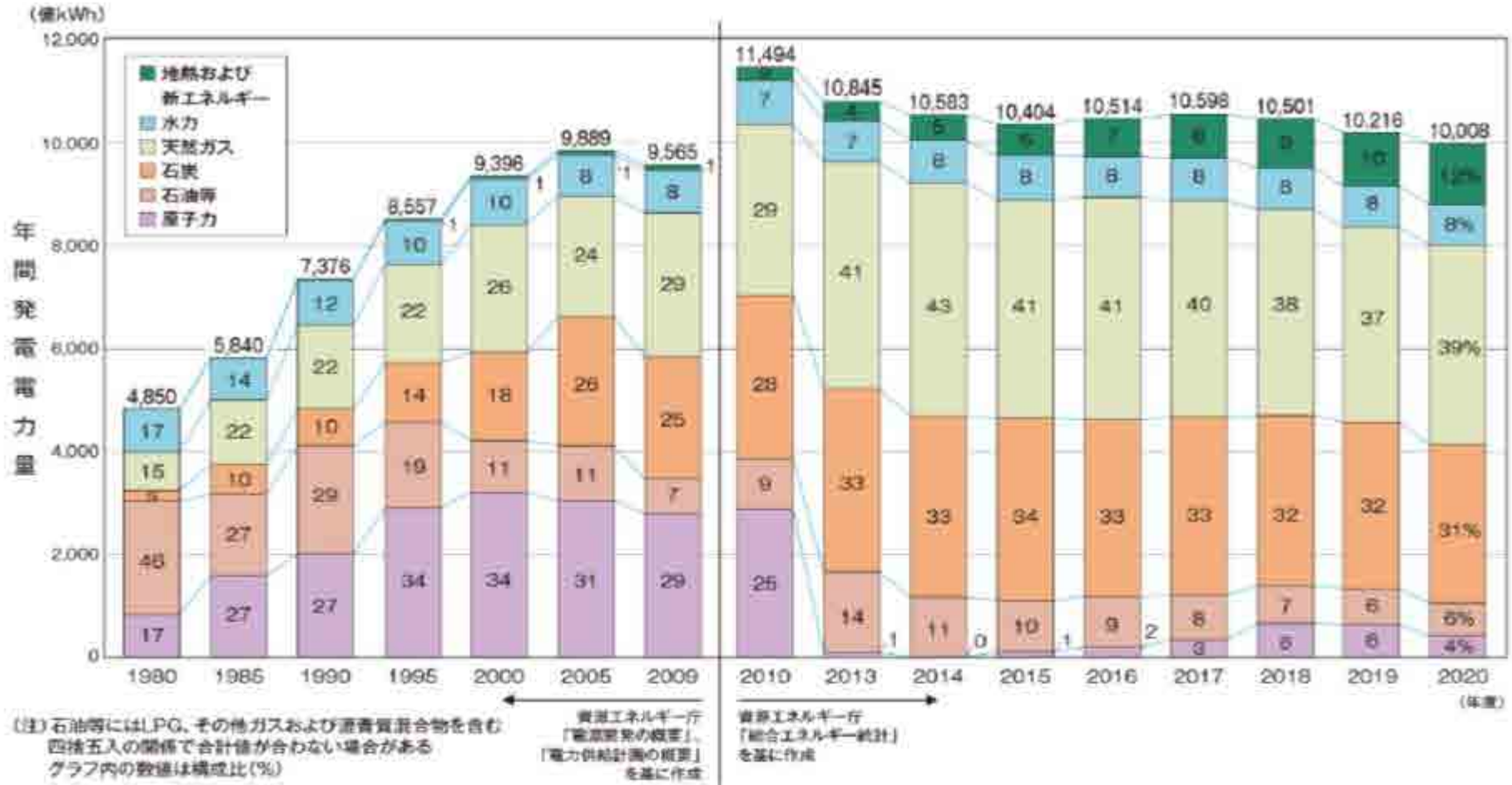
■ 2050年カーボンニュートラルの実現



出所: 経済産業省

1-2 発電量の構成変化

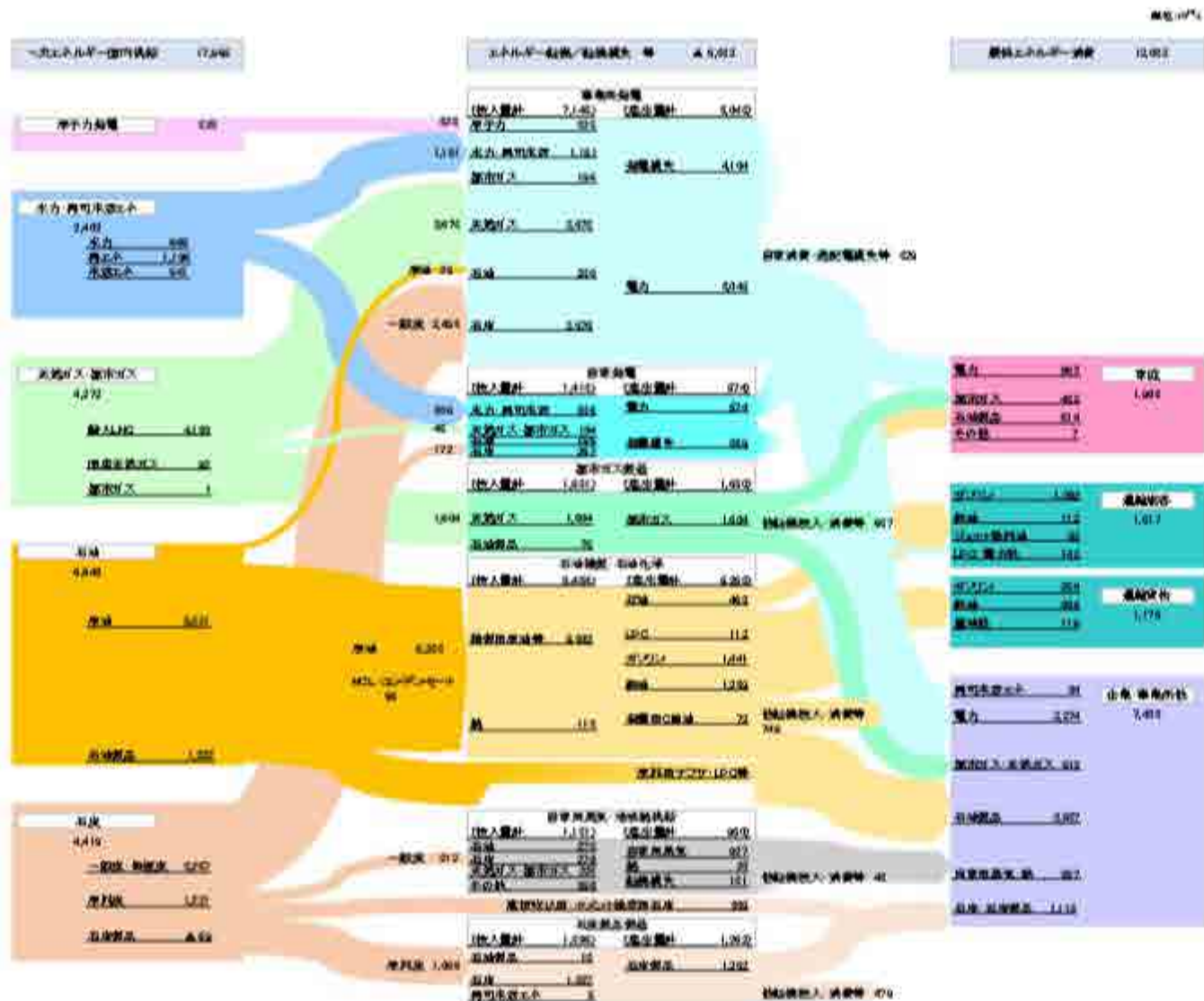
石炭・天然ガス・再エネが増え石油・原子力が減った



出所: 電気事業連合会HP 原子力エネルギー図面集 (エネルギー白書2022より作成)

1-3 消費エネルギー／一次エネルギーの効率

【第211-1-3】日本のエネルギーバランス・フロー概要(2020年度)



議論対象
規制対象

燃費などの効率
走行距離など

今後はここが重要

出所: エネルギー白書2022

1-4. 横の議論だけでなく縦の議論も必要

- 各1次エネルギーの**供給力には上限**がある
- エネルギーを捏ね繰り回す(**変換しすぎ**)は**損失大**
- 性急な電化は化石燃料を増やす可能性あり**

横の議論(この用途に適したエネルギーは何か)

⇒ **1次エネルギーの特性**で優劣判断

⇒ 標準型エネルギーマトリックスで足りる

縦の議論(このエネルギーに適した用途は何か)

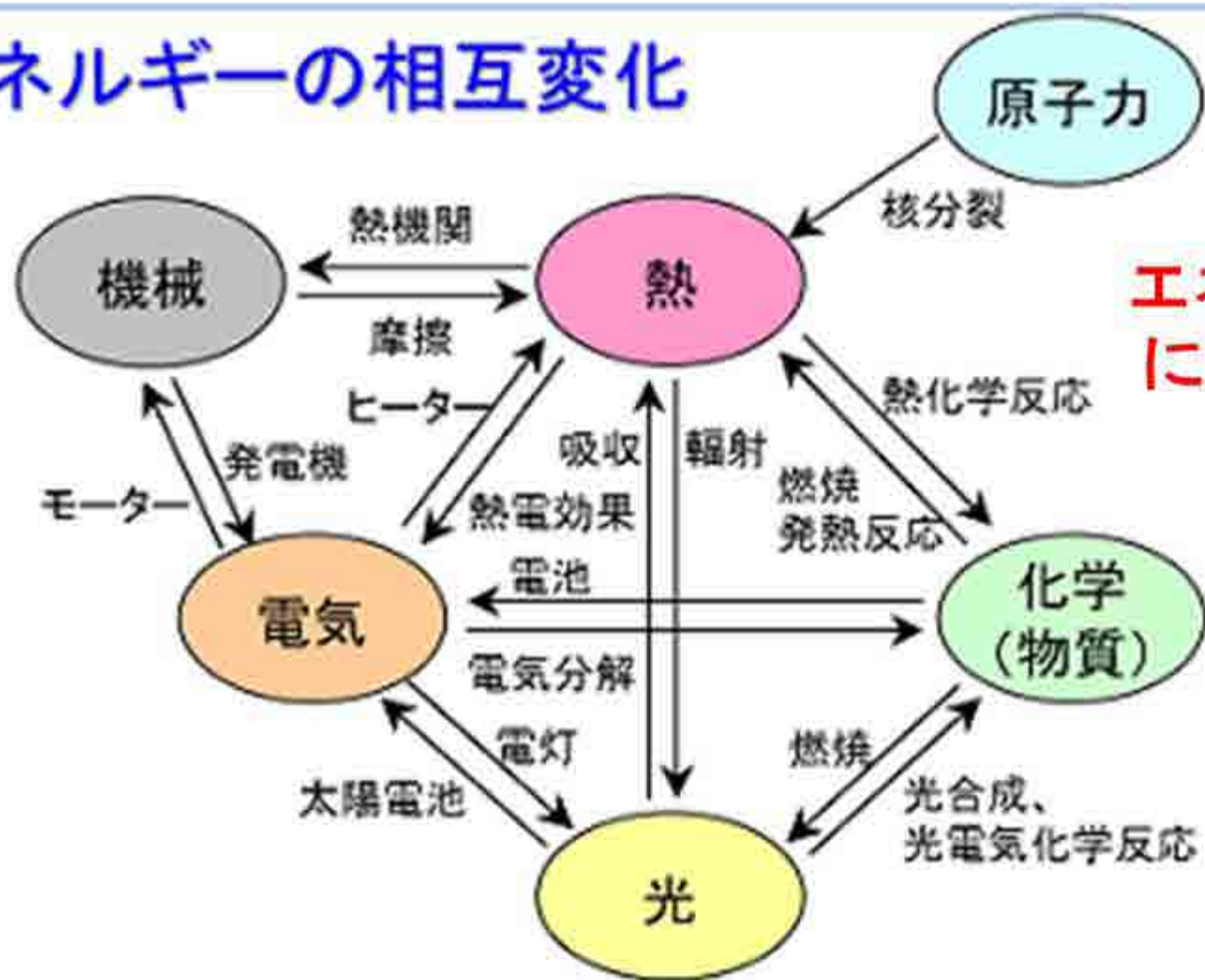
⇒ **エネルギー効率**で優劣判断

⇒ 変換ロス分析重視のエネルギーマトリックスが必要

注:縦の議論・横の議論は筆者の造語、由来は後述

1-5 エネルギー変換

エネルギーの相互変換



エネルギー変換にはロスが伴う

1-6 捏ね繰りまわさない(エネルギー変換回数を抑える)

1. 捏ね繰り回す事例(代替方法がない場合のみ採用せよ)

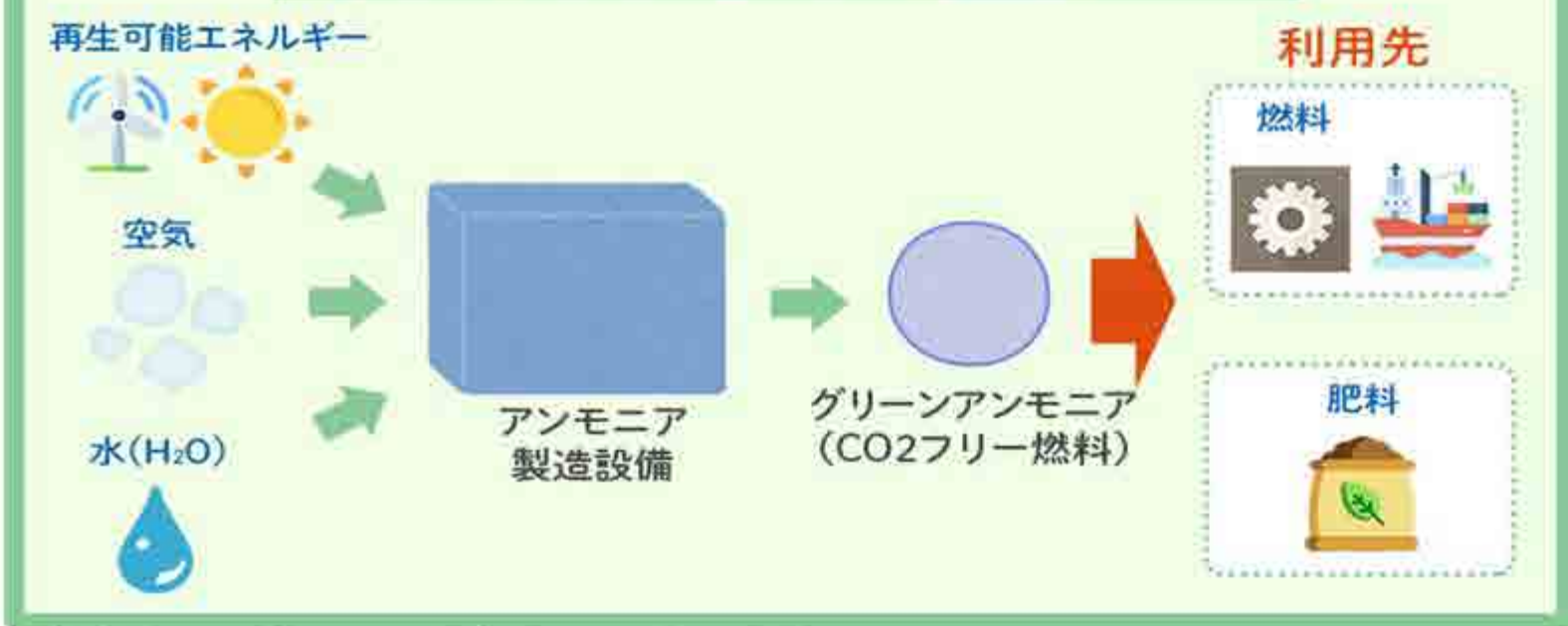
- 電気の熱利用の乱用(化石燃料(熱)⇒電気⇒熱)
- 再エネ由来水素によるFCV(電気⇒水素⇒電気)
- グリーン水素、グリーンアンモニア(後述)
- LNGを輸入し再ガス化後にCNG利用・位相変化乱用
⇒LNG輸入国はCNG車よりLNG車)

2. 捏ね繰り回さない事例(積極的に開発せよ)

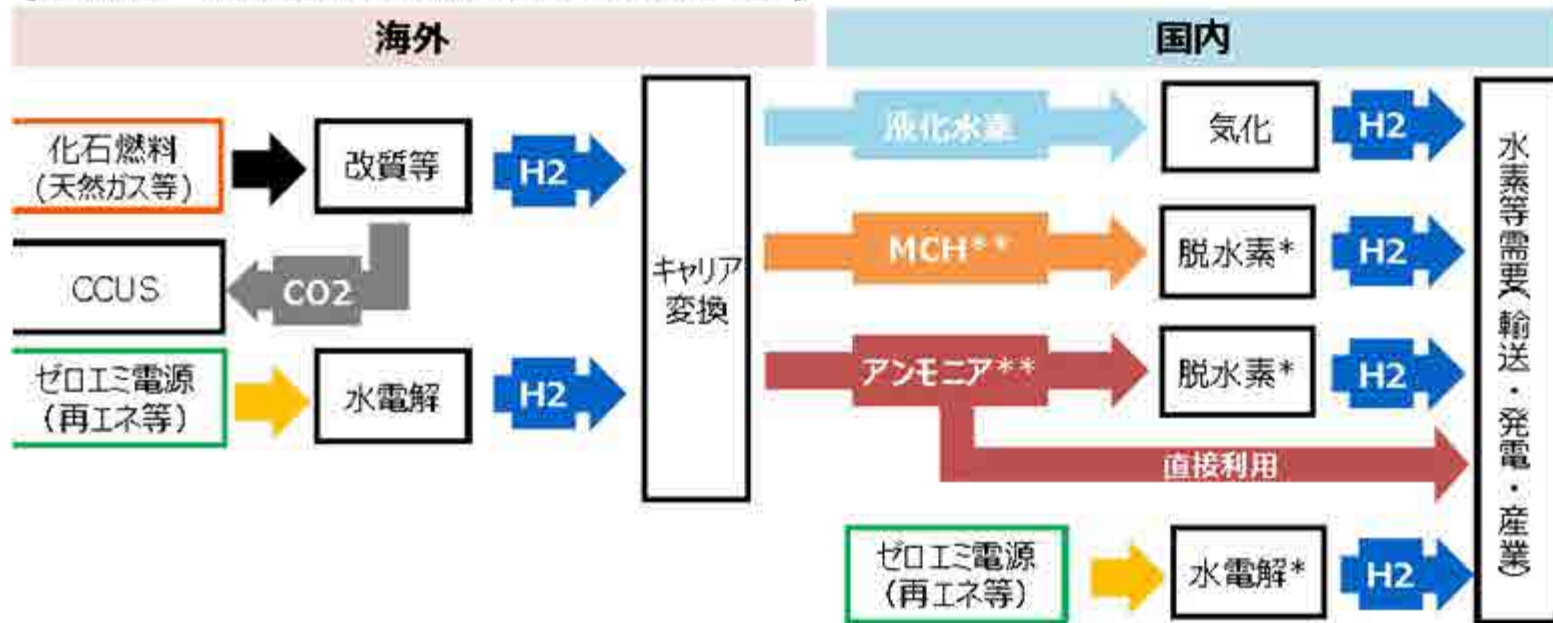
⇒エネルギー変換が少なく地産地消

- 帆船(運動エネルギーをそのまま利用)
- 太陽光発電によるEV充電インフラ
- 小型風力の夜間発電によるEV充電(農機の電化)
- ハイブリッド化、排熱利用

グリーンアンモニアの製造フロー



【多様なクリーン水素・アンモニアサプライチェーン (イメージ)】



*需要地以外で行った場合は、需要地までパイプラインやトレーラー等で水素等を輸送する必要。 **GI基金等で直接電解合成技術開発中

1-7 水素がない場合

再生可能
エネルギー

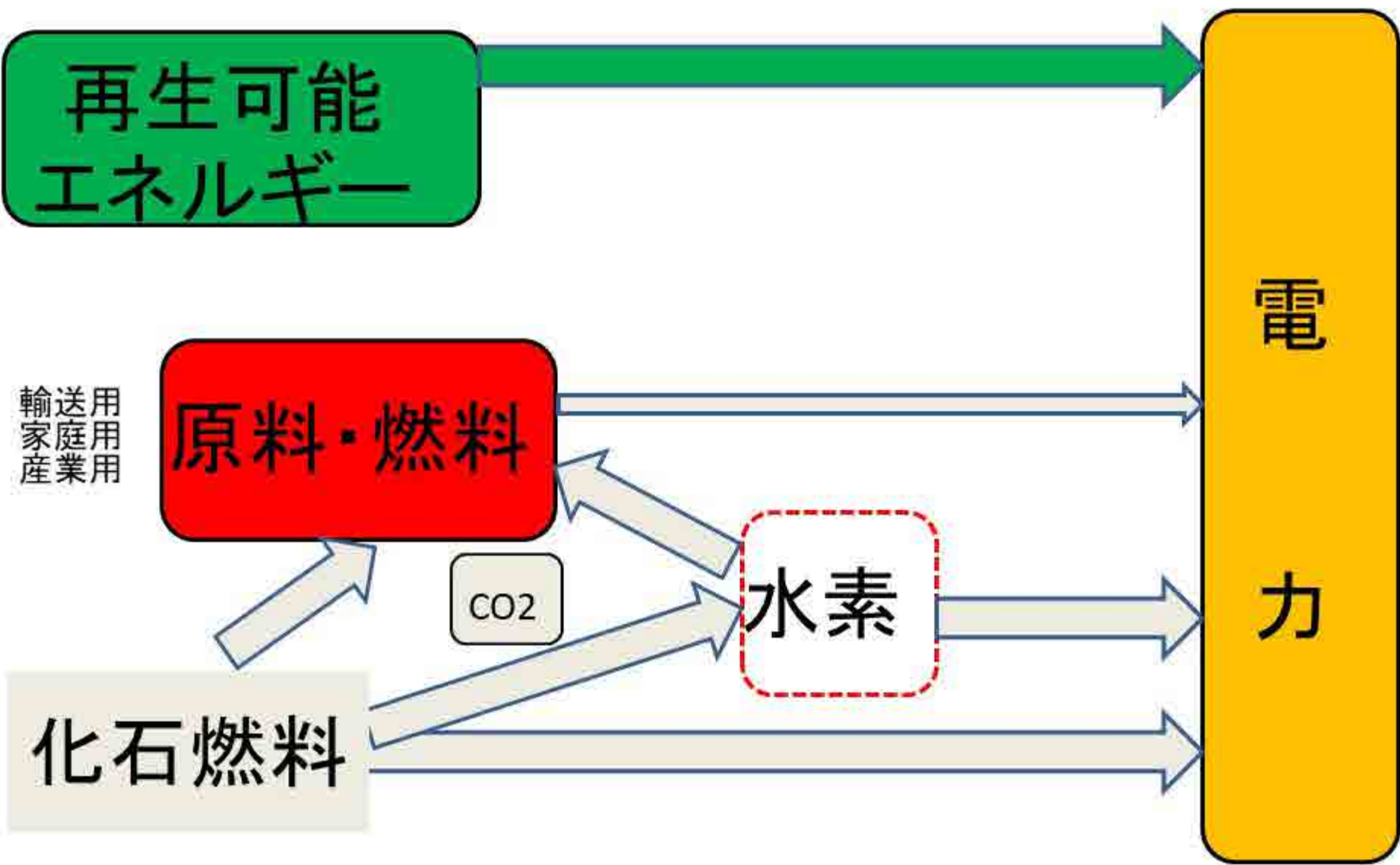
輸送用
家庭用
産業用

原料・燃料

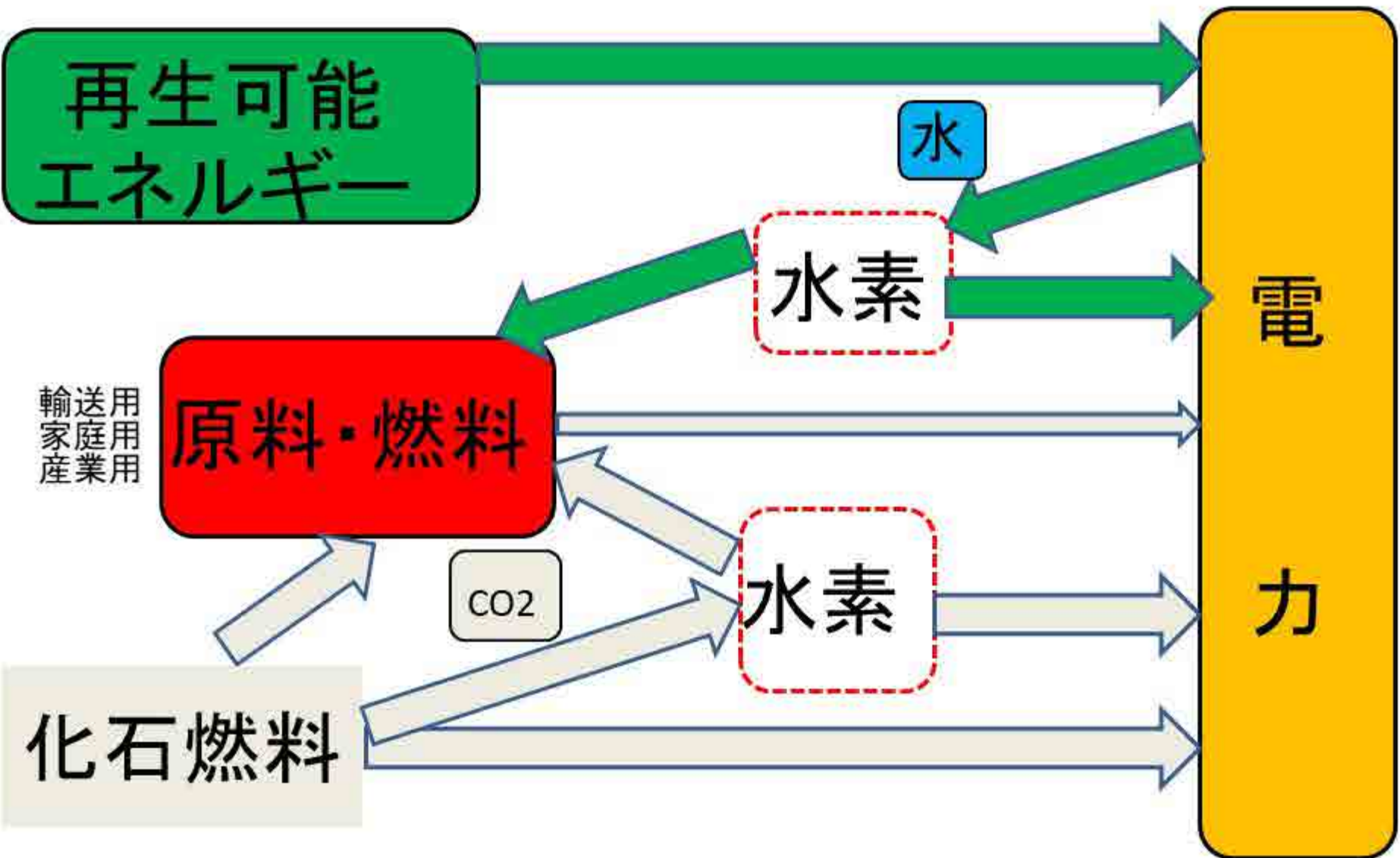
化石燃料

電
力

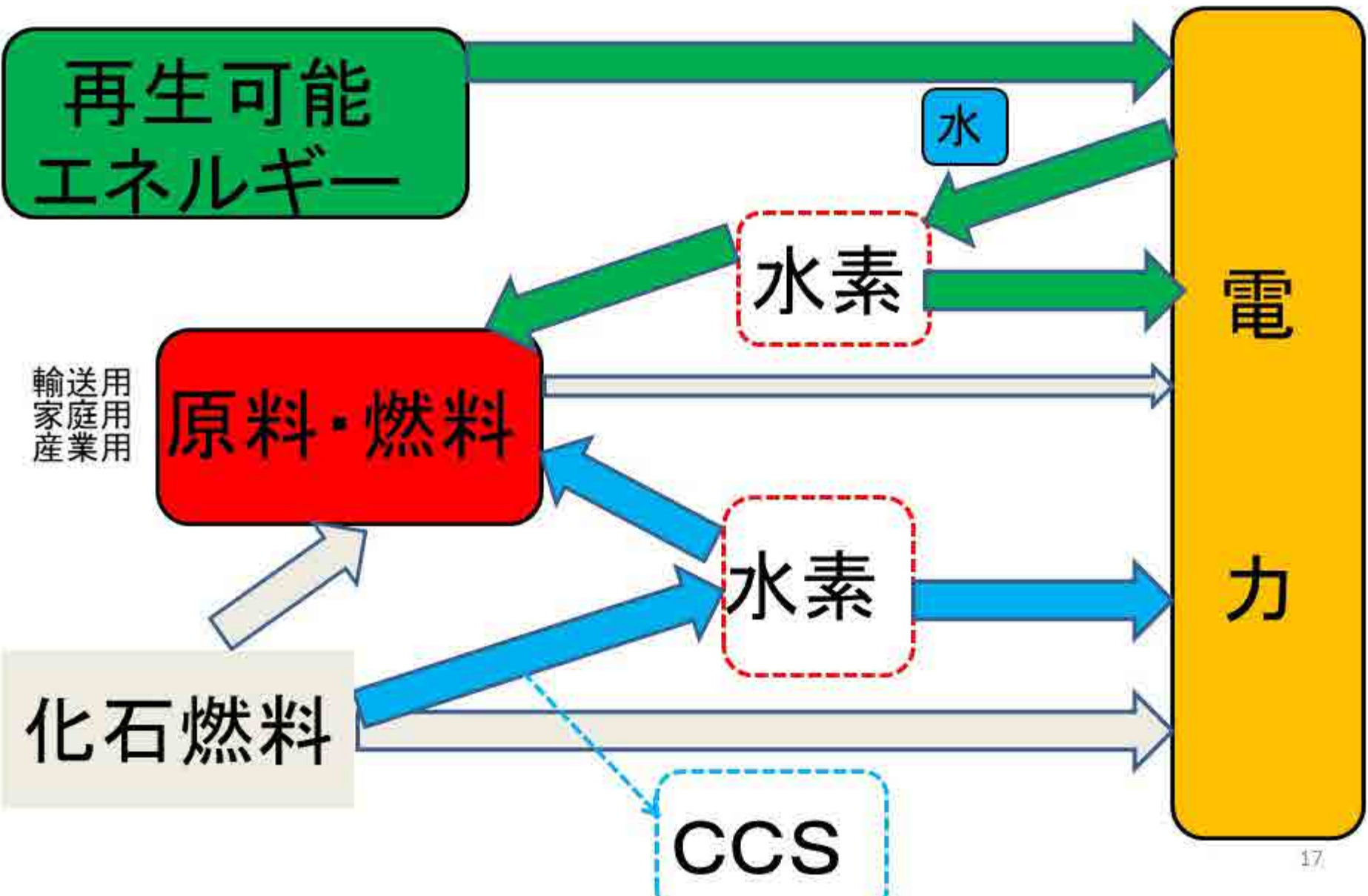
1-8 化石燃料由来水素(電力は最終エネルギー)



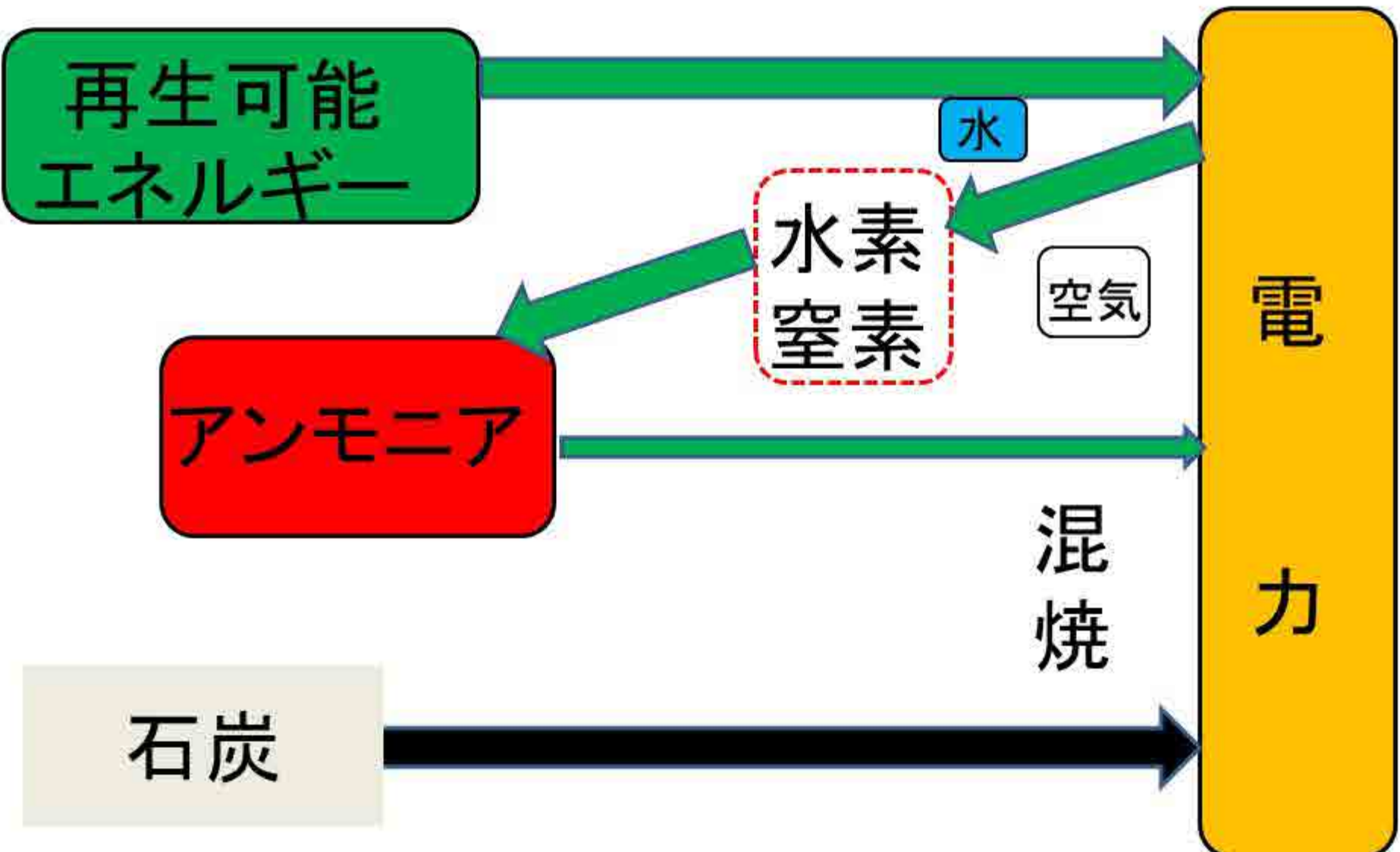
1-9 再エネ由来水素(電力⇒水素⇒電力)



1-10 ブルー水素とグリーン水素



1-11 グリーンアンモニアを石炭火力で混焼



1-12 エクセルギー損失(電気⇒熱⇒電気は非合理的)

エクセルギーとは、有効エネルギーとも呼ばれ、ある系が圧力・温度が変化しない周囲の系に対して得られる理論上の最大仕事(エネルギー)である。

すべての熱をエネルギーに変えることができないため、エクセルギー損失はいかに効率的に仕事に変えることができるか、を示す指標である、
運動エネルギー、電気エネルギーは、(可逆過程である場合に限り)すべて仕事に変換できる。

熱エネルギーは、高温と低温の2つの熱源の温度差があれば力学的な仕事として取り出すことができる。温度差が大きければ大きいほど、取り出せる仕事は大きくなる。

1-13 人類とエネルギーの歴史(筆者の感想)

産業革命以前、人類は**自然エネルギー**を大切に
使っていた

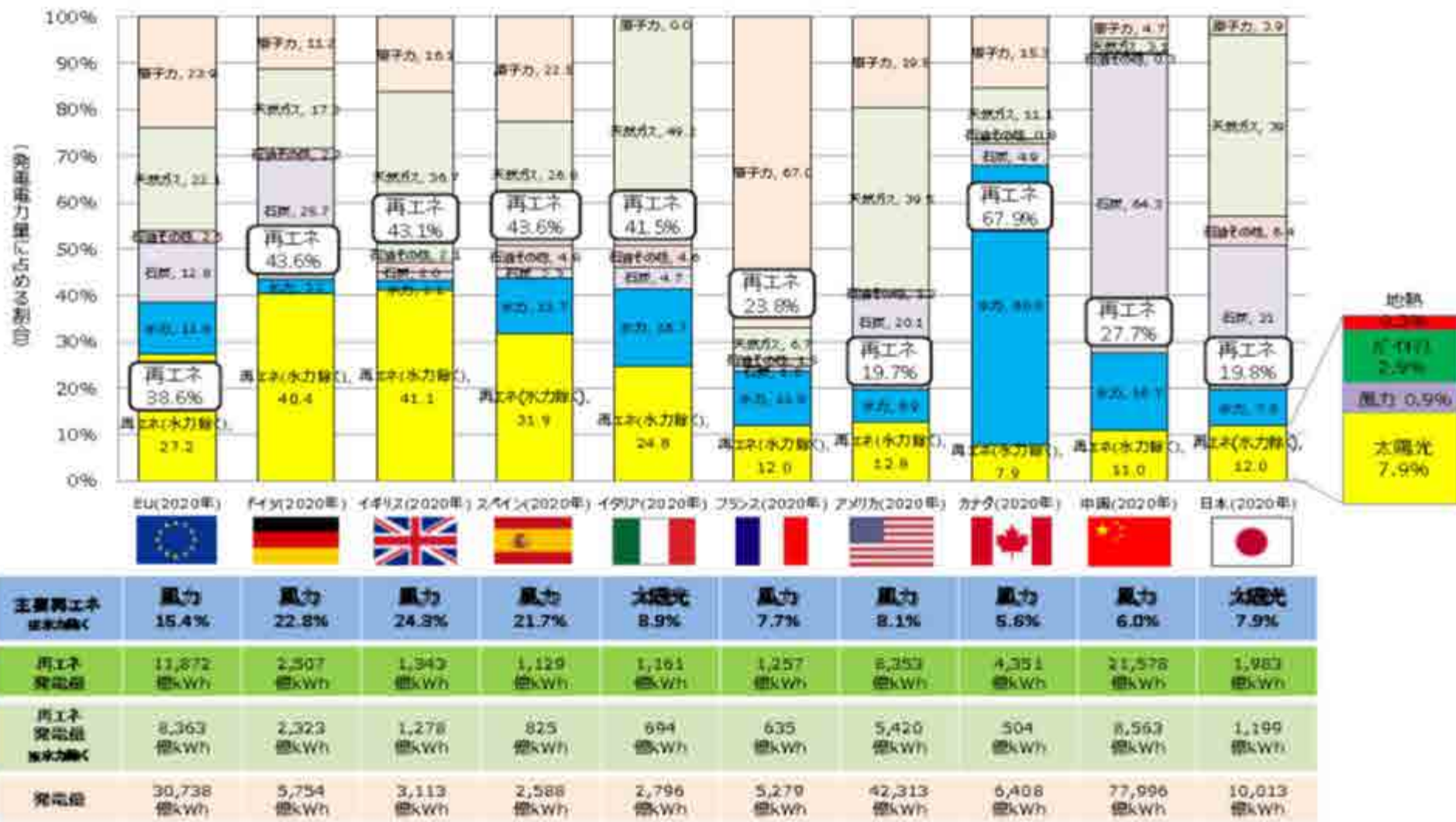
産業革命以降、人類は化石燃料により**エネルギー
の浪費**を覚えた。

価格高騰で、人類は**化石燃料の節約**を覚えた

温暖化ガス削減のため、人類は自然エネルギーの
利用拡大を進めている。ゼロエミッションを錦の御旗
としグリーン水素やアンモニアなど**エネルギー変換
ロス**という浪費が始まっている

ロス回避には**電気は電気のまま**利用・輸送すべし

2-1 再エネ比率国際比較



出典：IEA Market Report Series・Renewables 2021（各国2020年時点の発電量）、IEA データベース、総合エネルギー統計（2020年度最終帳）等より資源エネルギー庁作成

出所：2022年10月資源エネルギー庁

2-2 再エネコストで世界より劣る日本

＜世界と日本の太陽光発電のコスト推移＞

＜世界と日本の陸上風力発電のコスト推移＞

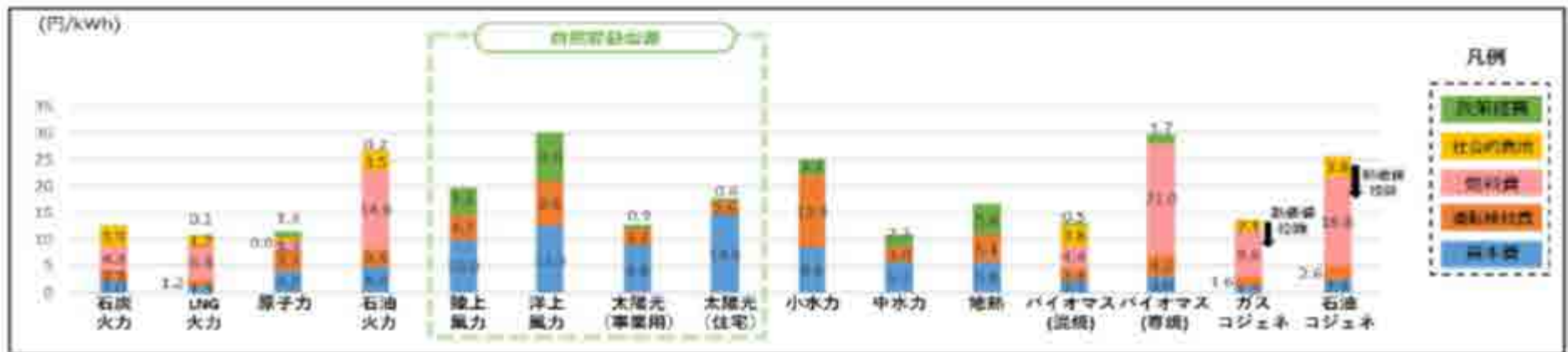


※ BloombergNEFデータより資源エネルギー庁作成。太陽光発電の値はFixed-axis PV値を引用。為替レートはEnergy Project Valuation Model (EPVAL 9.2.2)から各年の値を使用。

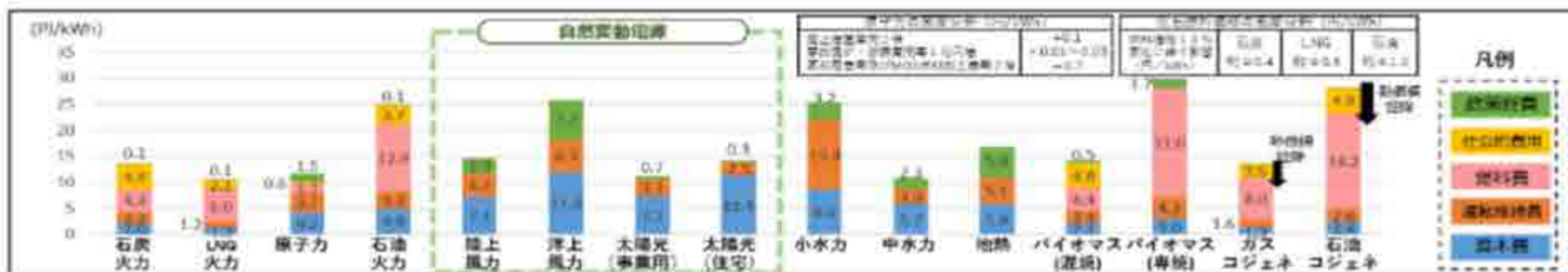
太陽光・風力は**低コスト**だから**導入が増えてきた**のが世界の傾向

2-3 十分安くない日本の再エネコスト

2020年の電源別発電コスト試算結果の構成



2030年の電源別発電コスト試算結果の構成



2-4日本の再エネ十分安くない、なぜ

- 気象等の稼働条件の差異だけなのか
- 高い人件費 「今は昔」かも？
- 高い土地代、高い設備費
- 火力発電コストが高いので、世界的には高い再エネコストでも勝負になる
- 補助金申請時に予備的に大きめに試算
 - ⇒ 補助金は使い切れという悪慣習
 - ⇒ 不必要な設備（再エネだけの話ではない）
 - ⇒ 高コスト（今はなくなっただと思いたい）

2-5 多国間で再エネを提携するには？

1. 電気はできるだけ電気のまま輸出入

変換ロスは人類の損失

2. **距離的に隣国との提携を模索すべき**、外交的な問題は克服せよ(**温暖化防止は人類存続の問題**)

友好国、化石燃料での取引国間を志向するのは安直

3. 遠距離の友好国と試験段階で提携するのはいいが、本格取引時には**輸送コストの低い近距離国**に取られる

4. ロシアの天然ガス供給停止のような**エネルギーを武器に使われないための物理的防止策は必須**(制度を構築しても破られたら意味なくなる)

■ **バルブ調整**で供給調整できる石油・ガスと再エネの違い

■ **貯蔵可能**な石油・ガスと電気の違い

2-6 グリーン水素・アンモニア輸出熱心な中東の実状

1. 再エネ開発が進んだ背景

- エアコン主体で電力需要昼間ピーク、太陽光と好相性
- 砂漠＝広大な遊休地で大型太陽光発電（低コスト化）

2. 再エネ輸出熱心な背景

- ガス火力等でIWPP長期契約があり、国内電力需要への供給を火力から急激に再エネへ変更できない
水需要増加もIWPP止めにくい原因となる。
- 日本が推進＝良いこととの誤解。インドもその傾向あり。

3. しかし将来は

- サウジ等からイラクへ電力輸出が24年から開始予定、エジプトとのグリッド連結で、中東内での電力輸出拡大
- 欧州への電力輸出へ発展する可能性も

3-1 エネルギーマトリックス(標準型; 2次エネ分解せず)

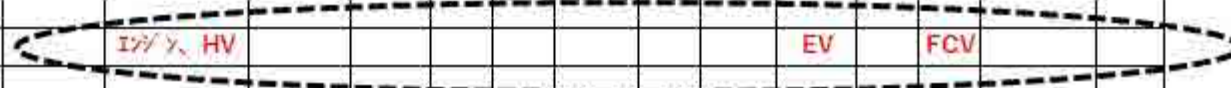
＜本表の長所; 正確な統計情報 短所; 電気や水素の用途と1次エネの関連が不透明

横の議論: 個々の用途においてどのエネルギーを使うのがベスト・ベターかを議論すること。

⇒ 1次エネ自体の議論に偏り、使い方の議論が不十分になりがち

	石炭	原油NGL	石油製品	天然ガス	原子力	水力	地熱	太陽光	風力	バイオ	電力	熱	水素	変換ロス	合計
生産															
輸出入ほか															
1次エネルギー供給															
変換・誤差															
発電	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	+			▲大	
熱製造	▲		▲	▲			▲			▲		+		▲小	
水素製造	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		+	▲大	
高炉・コークス	▲														▲
石油精製		▲	+												
産業自家使用	▲		▲	▲				▲	▲		▲	▲	▲		▲
ロス											▲送配				▲
消費合計															
産業															
運輸															
(内)道路			100%、HV									EV		FCV	
(内)海運															
(内)鉄道															
(内)航空															
民生															
商業・公務															
農林魚業															
非エネルギー															

横の議論



凡例: 二次エネルギー 二次・三次エネルギー

出所: IEA作成エネルギーバランス表を参考に筆者作成

3-2 エネルギーマトリックス(推奨型; 2次・3次エネ分解)

＜本表の長所; 1次エネと用途の関連が明確 短所; 正確な統計が困難

縦の議論: 個々の1次エネルギーの供給力には上限があるという前提に立ち、それらをどのように変換し(変換しないで)、どの用途に使うのがベスト・ベターかを議論すること

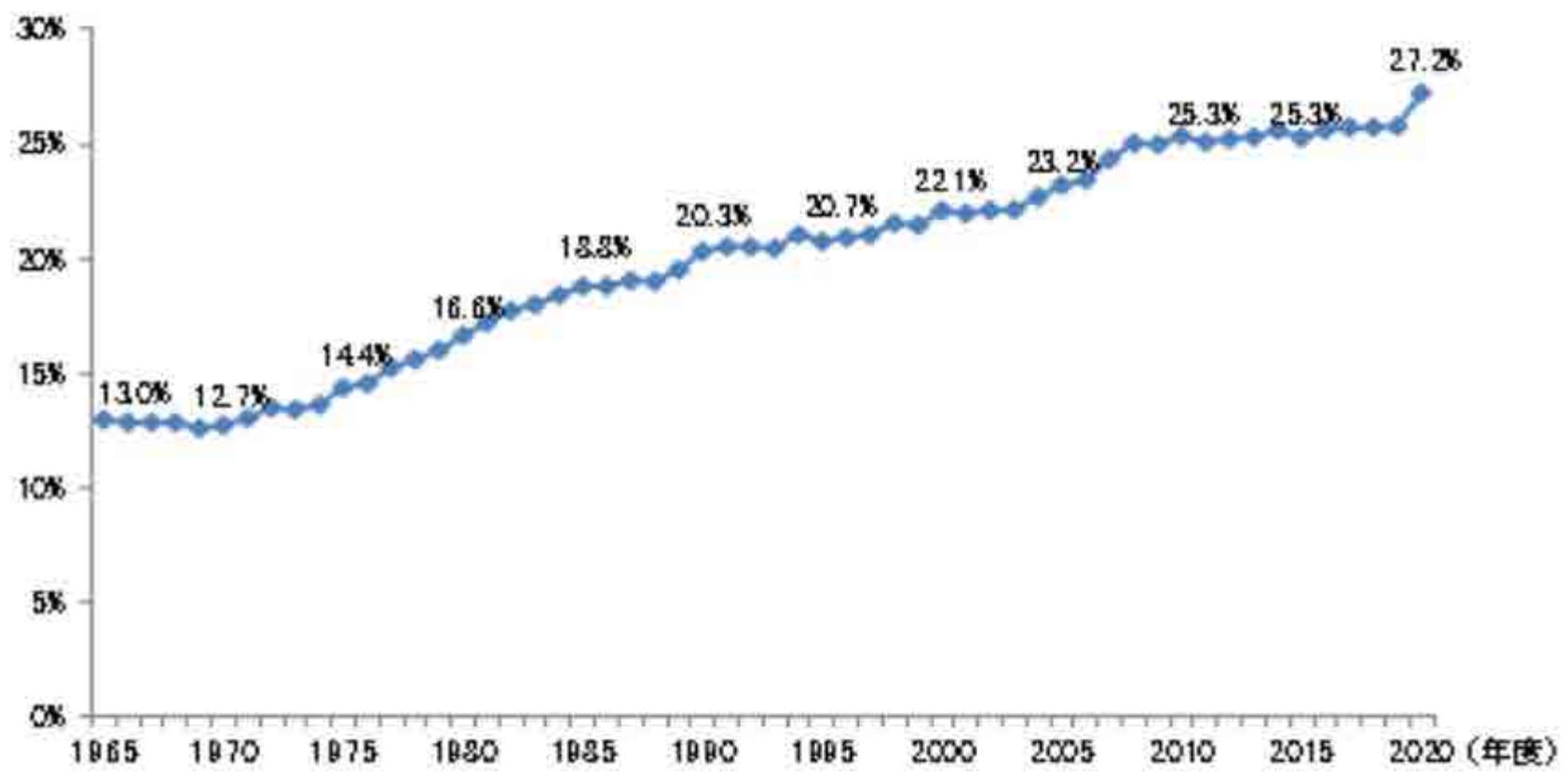
⇒エネルギー効率(使用時効率と変換ロス)が重要な基準

	石炭			原油・NGL			天然ガス				原子力		水力		地熱		太陽光		風力		バイオ		合計				
1次エネルギー																											
変換ロス	▲			▲			▲				▲		▲		▲		▲		▲		▲						
2次エネルギー	石炭	電力	熱	水素	電力	電力	石油製品	天然ガス	電力	熱	水素	電力	水素	電力	電力	電力	熱	電力	電力	電力	水素	電力	石油製品	電力			
変換ロス	▲			▲			▲				▲		▲		▲		▲		▲		▲						
3次エネルギー	石炭	電力	熱	水素	電力	電力	石油製品	熱	水素	天然ガス	電力	熱	水素	電力	電力	水素	電力	電力	熱	電力	水素	電力	水素	電力	石油製品	電力	
変換ロス合計																											
産業自家使用																											
消費合計																											
産業																											
運輸																											
(内)道路		EV		FCV		EV	HV		FCV	CNG	EV		FCV		EV	FCV	EV	FCV	EV		EV	FCV		EV	FCV	HV	EV
(内)海運																											
(内)鉄道																											
(内)航空																											
民生																											
商業・公務																											
農林魚業																											
非エネルギー																											

注: 再エネ由来水素とCO2を原料とする合成燃料のプロセスは省略

3-3-1 電化率が上昇、電化需要増は何で賄われる？

[第211-3-3] 電力化率の推移

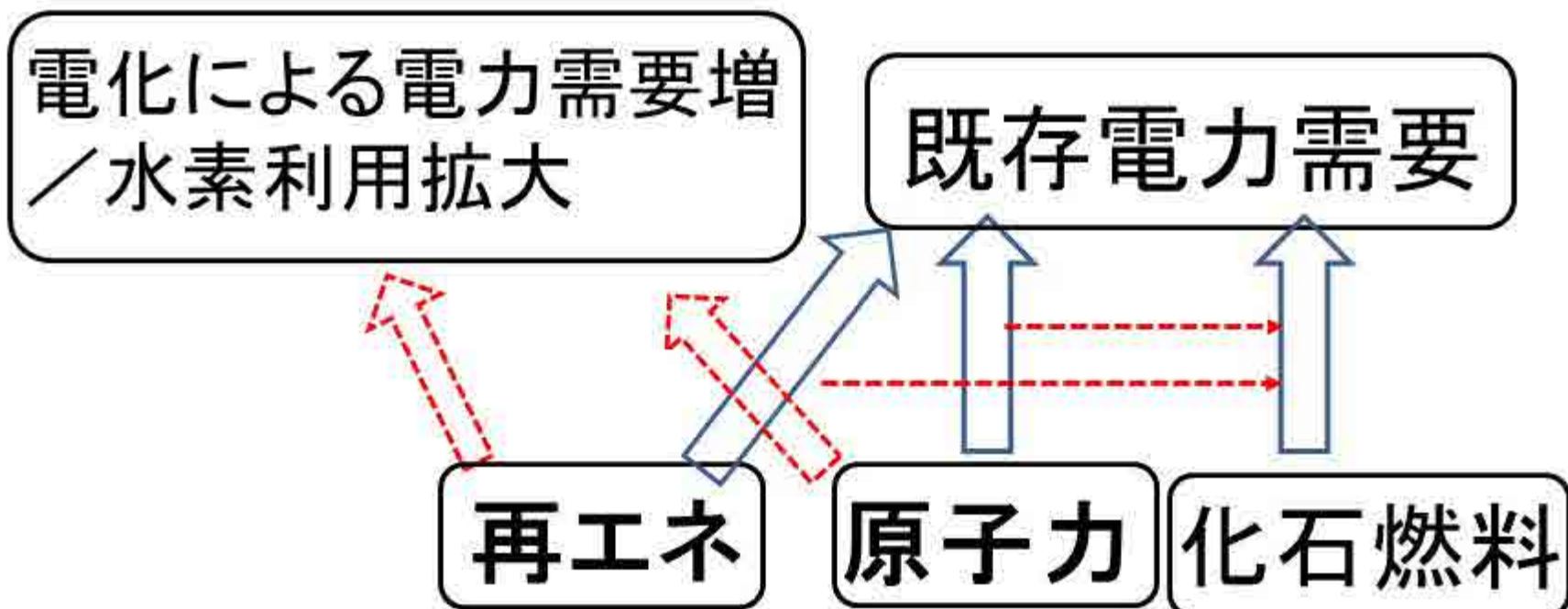


(注1) 電力化率(%) = 電力消費/最終エネルギー消費 × 100。

(注2) 「総合エネルギー統計」は、1990年度以降、数値について算出方法が変更されている。

資料：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」を基に作成

3-3-2 電化による電力需要は何で賄われるか？



電化需要増/水素利用拡大を再エネや原子力で供給した場合でも

それにより再エネ発電や原子力発電が増えなければ化石燃料による発電が増える

3-4 電化需要増が化石燃料で賄われる可能性

1. 原子力は供給調整能力がない

■再稼働後(新設後も)はフル稼働する

■再稼働は政権・地方自治・世論・地層等で決定

2. 太陽光・風力の供給調整には蓄電装置が必要

■稼働は天候等で決まり増やす供給余力はない

■今後はコストを考慮した拡大が進む

3. 上記を鑑みると電化による需要増は稼働調整能力がある化石燃料で賄われる可能性大。

4. 送電線能力不足の再エネ供給地で電化するケース等電化により再エネ開発が促進するケースは異なる。

⇒分散型に期待

3-5 再稼働は政権・地方自治・世論・地層等で決定



出所:一般社団法人原子力安全推進協会HP2023年4月26日閲覧

原発再稼働如何は各社の**ベース電源比率**に影響を与える。各社の**CO2比率**の制限から**石炭火力の稼働**に影響を与えるとベース比率への**影響は倍化する**

3-6 オール電化とは(電化需要増の事例)

2002年春、“電気式給湯器”「**エコキュート**」が市場に登場。**IHクッキングヒーター**の組み合わせ、**電力会社の優遇プラン**が合わさってオール電化が始まった。国の補助金もあった。電力VSガスの相互進出激化した。

東京電力が遅れた理由

管内の原子力発電所不祥事？

余剰電力が少なかったから？

＜筆者印象＞

余剰電力のある区域でオール電化のPR盛ん

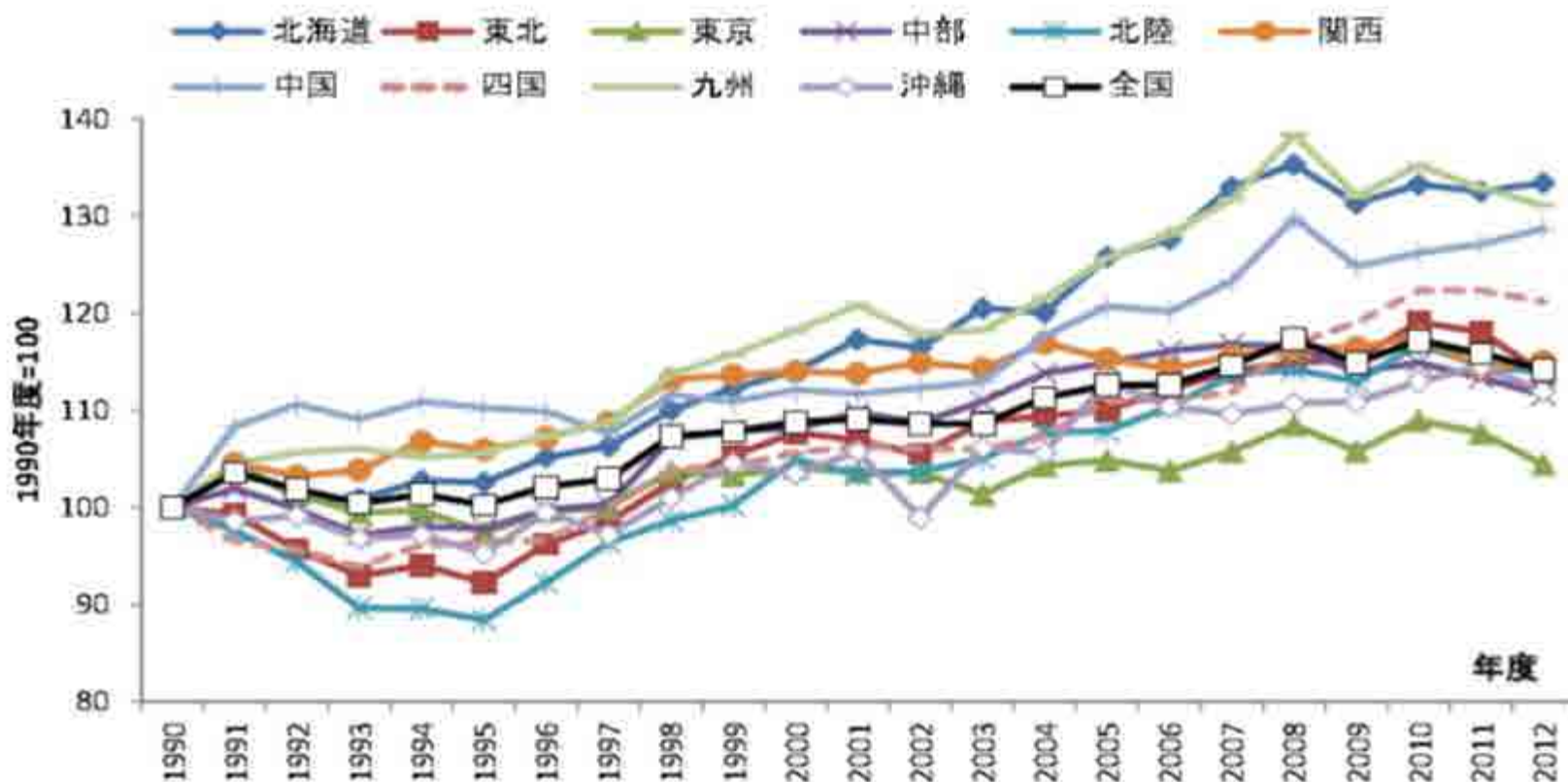
安い深夜力でエコキュート、が盛んにPR(今は異なる)

石炭火力稼働率が相対的に低い電力は深夜電力を利用する蓄熱機器のPR盛ん

3-7 地域別電力需要推移とオール電化の影響

オール電化により電力需要が増加したと思われるのは**60Hz圏内**が先行した。

90年代に増えた(後述)石炭火力の稼働維持のため(?)

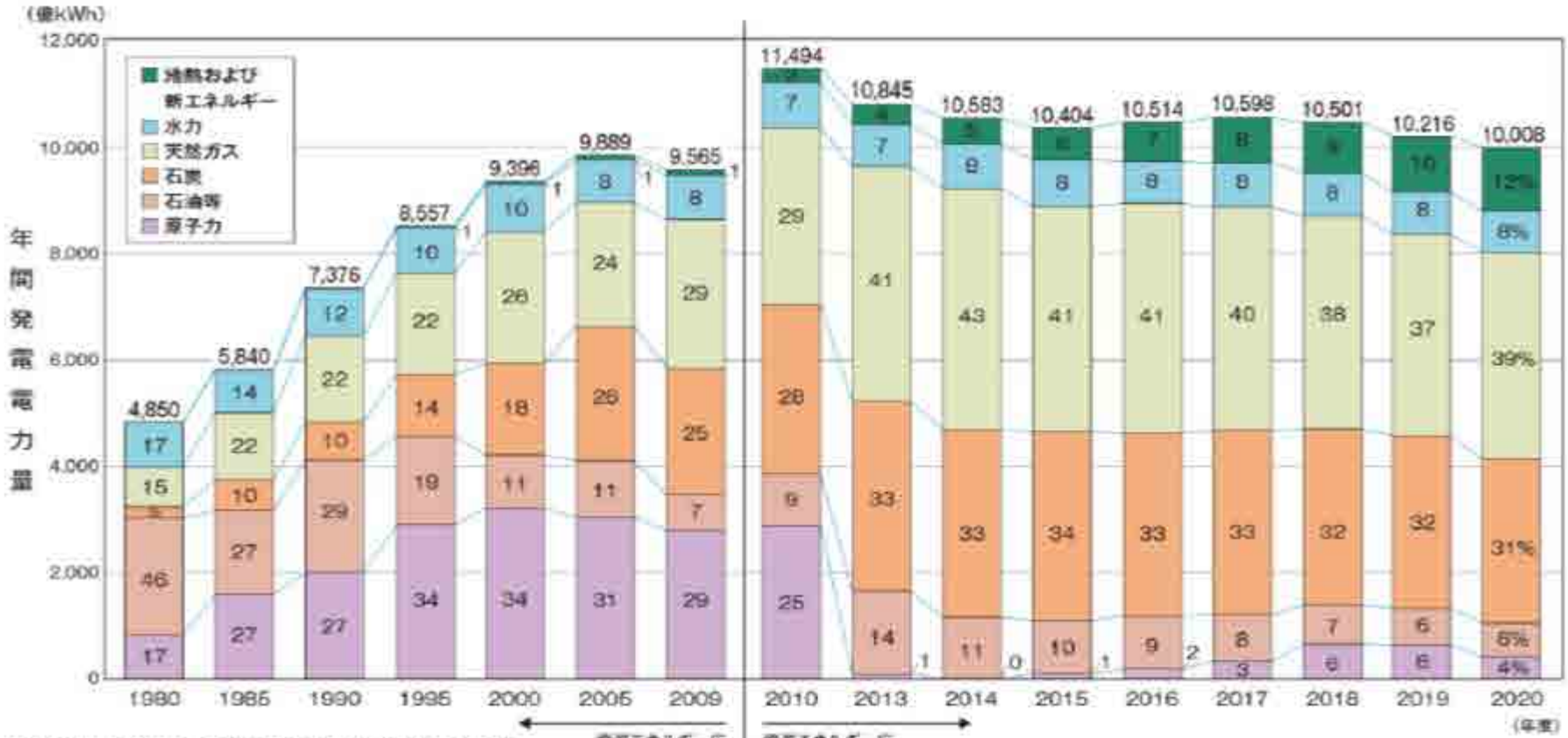


出所:「都道府県別エネルギー消費統計」

出所:電力中央研究所

1-2 発電量の構成変化(再掲)

3. 11前にも、石炭の構成比率は上昇。**2005年オール電化真っ最中に電力需要は増え、石炭比率も上昇。電化によるCO2増減を全電源平均で試算していたが……**



(注) 石油等にはLPG、その他ガスおよび遊離炭素を含む四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある。グラフ内の数値は構成比(%)

資源エネルギー庁「電源開発の概要」、「電力供給計画の概要」を基に作成

資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」を基に作成

出所: 電気事業連合会HP 原子力エネルギー図面集 (エネルギー白書2022より作成)

3-8-1 EUのグリーン水素定義とその応用

EUは次の原則によりグリーン水素を定義する。

1) 追加性の原則

製造用電解槽の**使用電力は、新規の再エネ**による発電施設から供給されなければならない。

2) 時間的・地域的相関性の原則

グリーン水素が**再エネが潤沢な時間と地域に限定されて生産**されたことを明確に示すための基準を定めた。

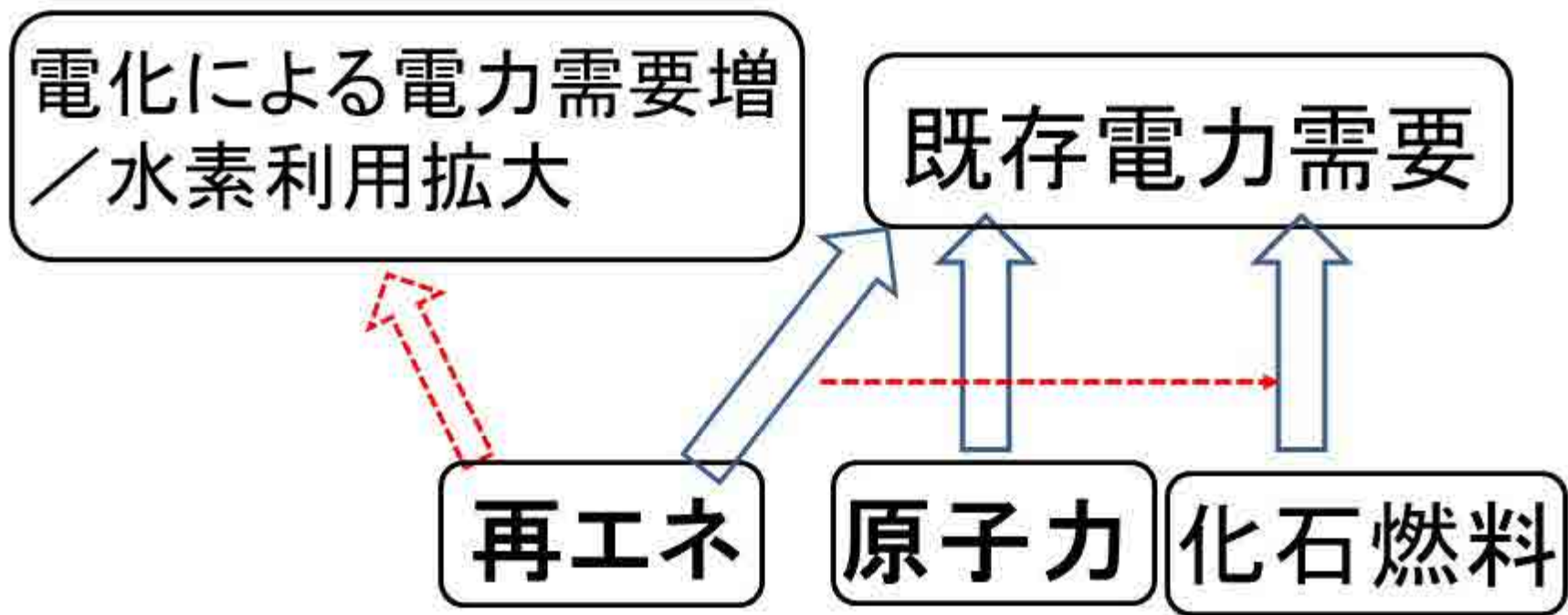
出所: 一般財団法人環境イノベーション情報機構

＜筆者提案;同様の考え方で**グリーンEV**などを定義＞

電化需要増は**新規の再エネ**による発電施設から供給されなければならない。

電化需要増が**再エネが潤沢な時間と地域に限定されて生産**されたことを明確に示すための基準を定める

3-8-2 グリーン水素／グリーンEV(3-3-2の短期版)



電化需要増/水素利用拡大を再エネで供給した場合でも

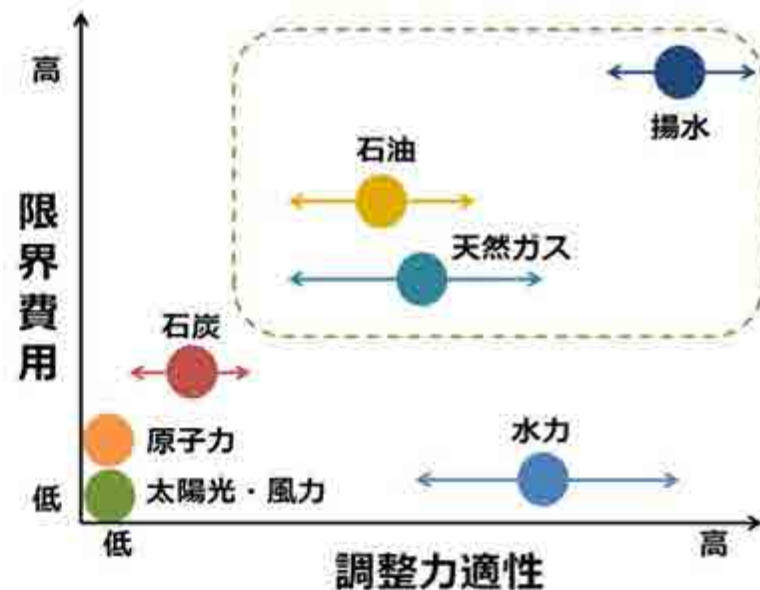
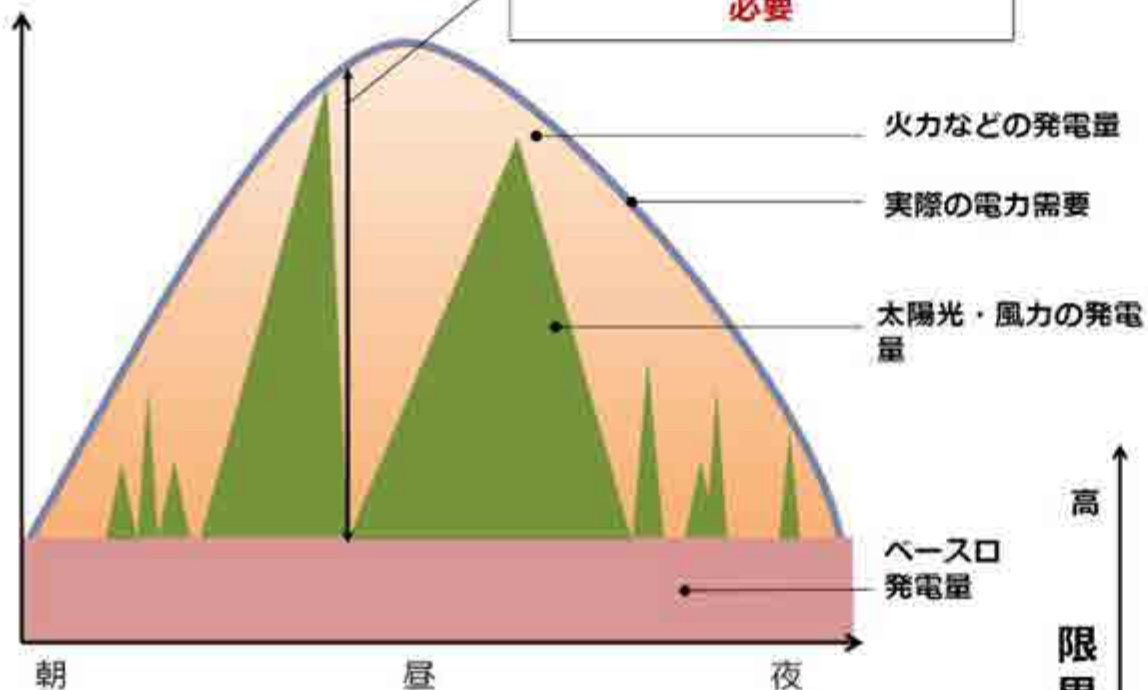
新規再エネ発電により供給しかつ**再エネが潤沢な時間と地域に限定されて生産**されなければ化石燃料による発電が増える(したがってグリーンとは呼べない)

4-1 石炭火力・原発の行方(ベース電源問題)

- **人口減**によるエネルギー需要減に応じた**ベース電源**
- **変動調整には火力**が必要
- 石炭や原子力等の起動性の悪い**ベース電源能力**が**大きいと再エネの稼働抑制が起きやすい**になる
- **原子力再稼働**は**政権・首長・地元世論・地層**等で決定
- **2030年代にリプレイス**が**集中**する石炭火力
原発再稼働が60HZ圏で進んでおり、石炭火力は60HZ圏の方が多く(65.7%;2020年時点)導入時期も早い
- 更新時期が来た石炭火力発電所から更新していくと60HZ圏のベース電力が余剰で50HZ圏は不足という事態が生じる。**会社間の垣根を超えた調整が必要**
- 原発能力は廃棄済みや新設計画中のものも含めると50HZ圏(2,669万KW)と60HZ圏(2,799万KW)とほぼ同じ

4-2 変動調整には火力が必要

ベースロード+太陽光・風力では電力不足→調整火力の確保が必要



出所: 資源エネルギー庁2017-11-16再生可能エネルギー拡大に欠かせないのは「火力発電」! ?

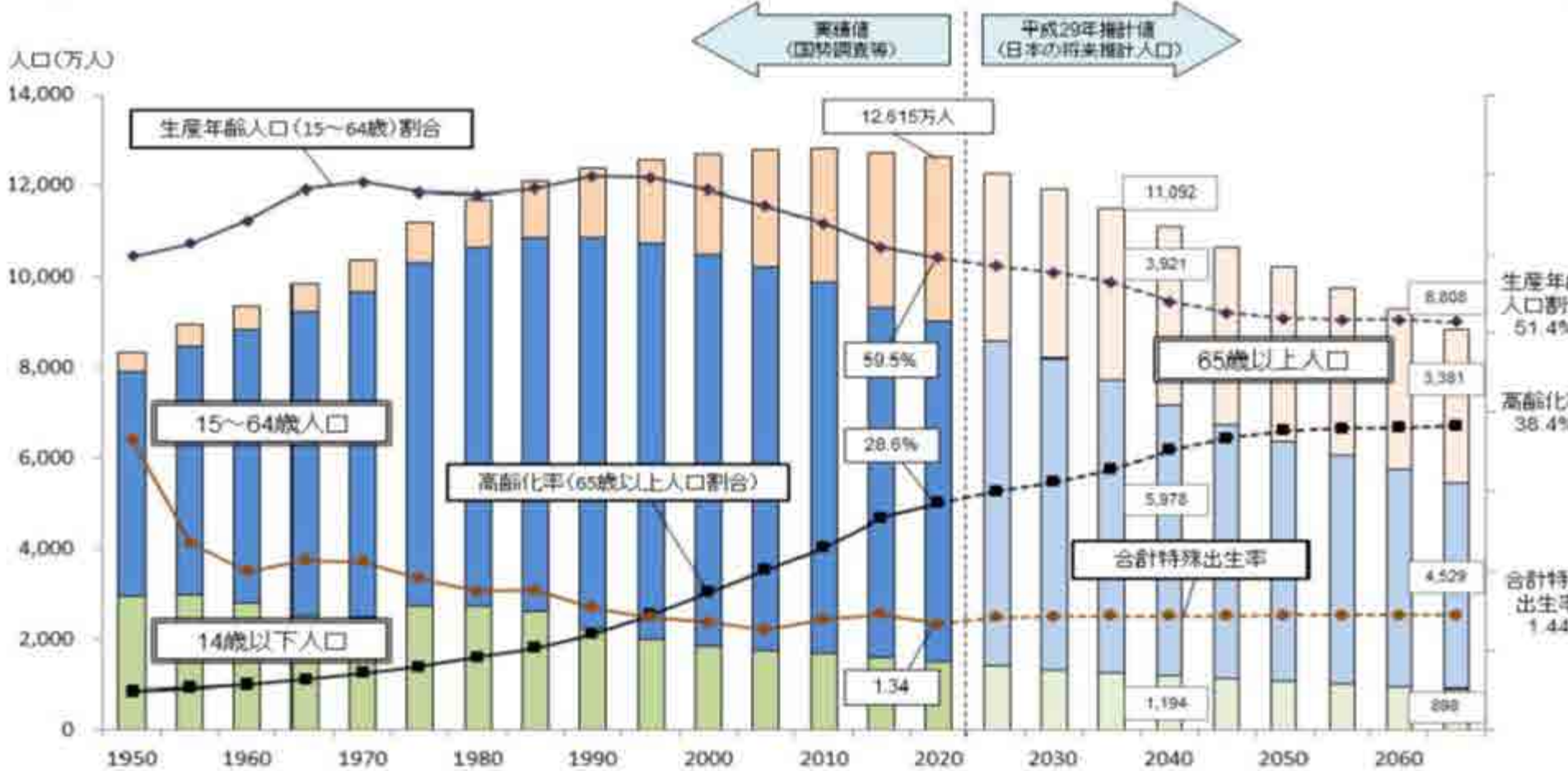
4-3 減少する2050年のエネルギー需要をベースに

9つのポイント

1. “未来の考え方”を変える
2. 減少する2050年のエネルギー需要をベースに考える
3. 再エネを高らかに掲げる
4. 地域エネルギーをいかに支えるか
5. 「ベースロード」後の世界への準備を
6. 電力(25%)以外のエネルギー、特に「熱」の議論を進めるべき
7. カーボン・プライシングを含む、エネルギーシフトのための政策ツール検討を
8. 将来の原発の位置づけをあと送りせず、考え始める
9. 「エネルギー政策への国民の参画」、必要性の認識から実行へ！

4-4人口減によるエネルギー需要減に応じたベース電源議論を

○ 日本の人口は近年減少局面を迎えている。2065年には総人口が9,000万人を割り込み、高齢化率は38%台の水準になると推計されている。

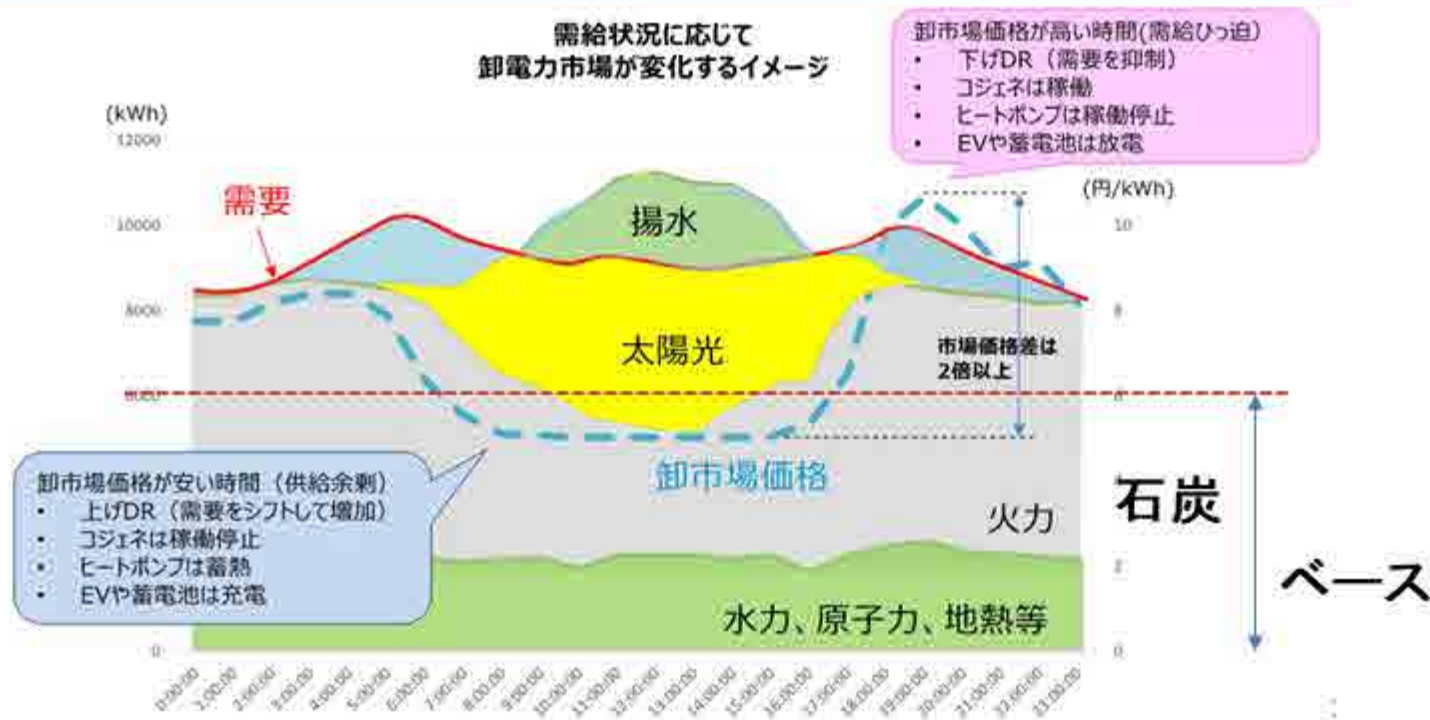


(出所) 2020年までの人口は総務省「人口推計」(各年10月1日現在)等、合計特殊出生率は厚生労働省「人口動態統計」、2025年以降は国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口(平成29年推計)」(出生中位(死亡中位)推計)

4-5 石炭や原子力等のベース電源が大きいと再エネの稼働抑制が起きやすい

【参考】価格シグナルに基づき、分散型エネルギーを制御する例

- 電力の需給状況により卸電力市場価格は変動するが、家庭電気料金もそれに連動して変動することも可能（ダイナミックプライシング）。
- 電力システムに存在する価格シグナルに基づき、分散型エネルギーリソースを制御し出力を増減させることで、電力システム全体で経済的なエネルギー利用が可能となる。



4-6 効率アップによる石炭火力更新の是非

メリット

電力安定供給・地域経済・雇用面

送電線新規投資が不要

適正な電圧バランスが維持できる

IGCCは効率向上大、CCS相性良

最新鋭石炭火力は高負荷調整能力
再エネ出力制御を回避する(か?)

デメリット

効率化しても石炭は石炭、CO2は多い

IGCC転換のような大型投資を行えば

さらに40年石炭を使用する(か?)

人口減を考慮した
必要ベース電源
量の把握が肝要
電力安定供給の
ため石炭が必要
との結論なら、
EV等電化による
電力増を控える
べきという考えも
議論すべき

グリーンEV等の
定義が必要

4-7 2030年代以降にリプレイスが集中する石炭火力

■ 石炭火力の急速な削減は現実的ではない

■ 石炭火力は稼働開始から40年がリプレイス時期

■ 1990年代～2000年代前半に建設が集中した

単位：万KW

	1979年以前	1980-84年	1985-89年	1990-94年	1995-99年	2000-04年	2005-09年	2010-14年	2015-19年	合計
北海道	47.5	47.5	60			70				225
東北		35		205	250					490
東京				50	50	160		160		420
電源開発							60	60		120
共火・IPP		120				60.2	25			205.2
50HZ計	47.5	202.5	60	255	300	290.2	85	220	0	1460.2
中部				210		200				410
北陸		50		50	120	70				290
関西						90		90		180
中国		17.5	100		100	25.9	15.6			259
四国		40.6				70				110.6
九州			70		70	106			100	346
沖縄				15.6	15.6	44				75.2
電源開発	75	170	31.2	100	135	210				721.2
共火・IPP	32.5	4.8	2.7	14.9	57	207.1	84.3			403.3
60HZ計	107.5	282.9	203.9	390.5	497.6	1023	99.9	90	100	2795.3
合計	155	485.4	263.9	645.5	797.6	1313.2	184.9	310	100	4255.5

60HZ比率 69.4% 58.3% 77.3% 60.5% 62.4% 77.9% 54.0% 29.0% 65.7%

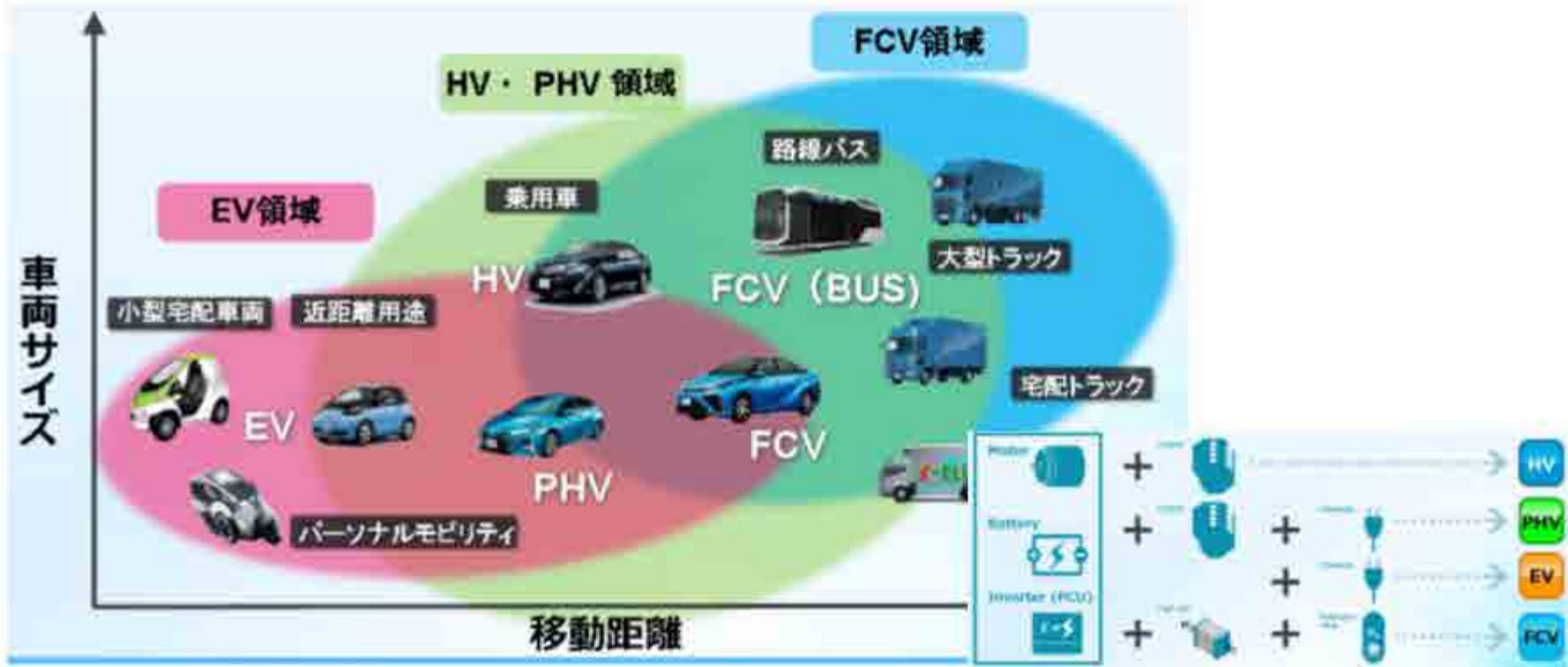
注1：酒田共火は東北電力に含め、相馬共火は東北と東京に50%ずつ配分した

注2：他燃料から石炭に転換したケースでは、転換年を営業運転開始年とした

5-1 電動車両の分類と棲み分け

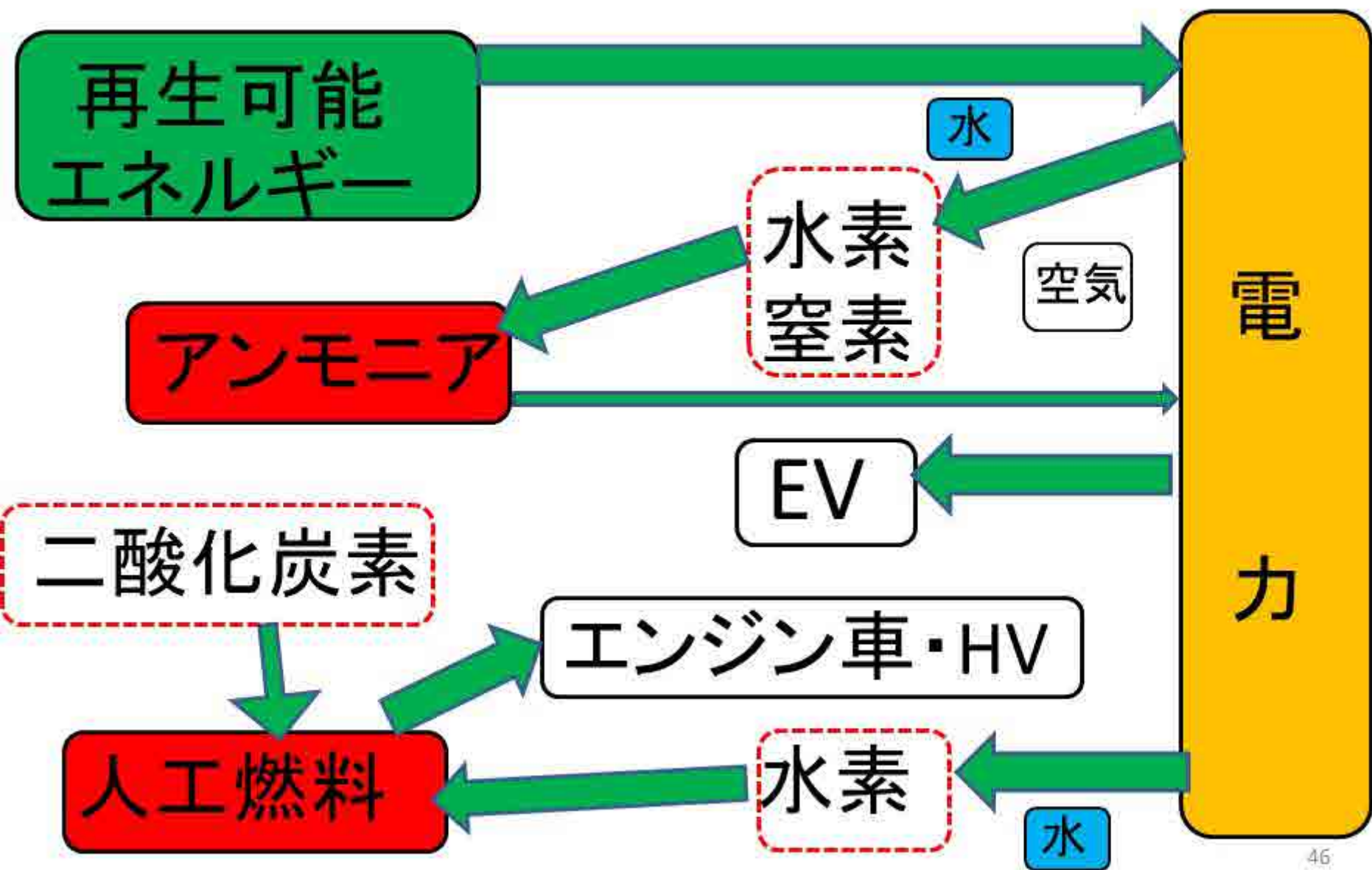
50Hz/60Hzの分割は電力需給上の障害だが世界中に日本製機器を輸出できた点で良かった(某メーカー)

いろいろな車を進めるのはその点では良いかもしれないが、**国内インフラ投資上は日本に適したものを追求すべき**



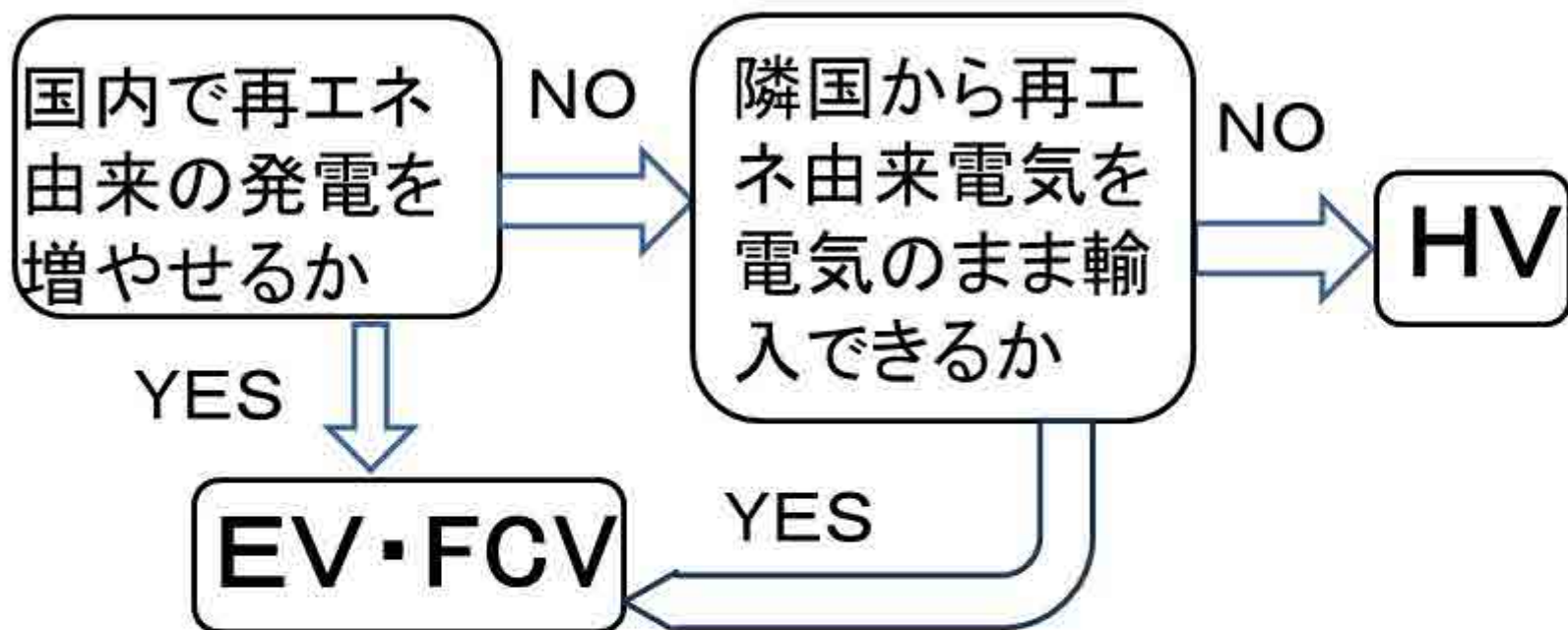
出所: 2019年2月19日エネルギー情勢懇談会資料5
トヨタ自動車内山田竹志氏「モビリティのイノベーションについて」

5-2 EVと人工燃料との比較(再エネ起点)



5-3 日本に適した自動車は？

⇒再エネ由来電気次第(筆者暫定案)



HVは走る発電所・運動エネルギーが走行と発電の両方に作用する極めて効率的なもの

産ガス国ではない日本でのCNG車に未来はない、
トレーラタイプのとたくでLNG車導入は可能性あり

エネルギーミックス議論への提言(まとめ)

1. 変換ロス管理・目標設定

- 捏ね繰り回さない技術革新を推奨する
- 電気は電気のままを追求する
- 1次エネルギーと消費エネルギーの関連明確化

2. イメージに騙されない温暖化対策を

- 再エネ開発を推進させる電化や水素利用を進める
- 地球視点で温暖化防止になるかの検証を

3. 実行力の伴う議論を

- ベース電源は会社の垣根を超える制度設計が必要
- 輸出立国の日本には多種多様な研究が必要だが、日本に適した技術を見極め財政負担を軽減する

♥自前パーティやりませんか

誕生会・同窓会

会議・出張報告会
とセットで

講演会・勉強会
とセットで

手作料理
パーティー

カラオケ
パーティー

自主映画上映・ライブ
配信とセットで

標準料金；一人3千円(税込み) いろいろなオプション可能
黒ラベル生 角ハイボール 本格焼酎 ソフトドリンク
3時間飲み放題 前菜付き 持込可・出前(別料金)可
19時から新橋最大画面カラオケ可能



昭和ブックカフェ



懐かしさで脳が健康に
昭和の本6千冊

ニュー新橋ビル314 (烏森口側エスカレータ3階正面)
電話03-6550-8718 平日 9:30~23:00 土祝 12:00~20:00