

水素需要推算



The Institute of Applied Energy

一般財団法人 エネルギー総合工学研究所
石本 祐樹

1. 今年度の実施内容

- 実施方針
- TIMES-Japanとの連携
- 定置需要の細分化
- その他の変更箇所

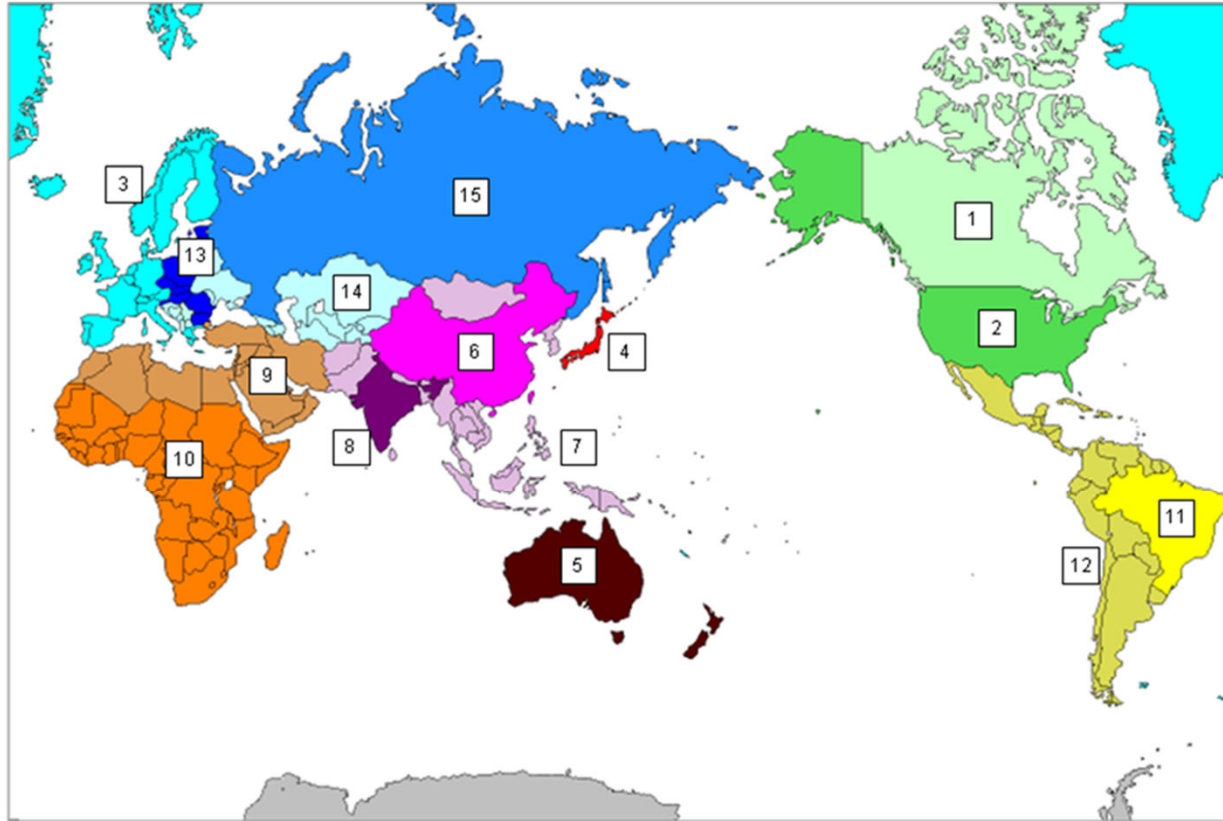
2. 試算結果

- 産業部門の試算例
- 再エネ電力価格の低下が水素製造に与える影響について

3. まとめ

GRAPEモデル概要

- 統合評価モデルGRAPEのエネルギーモジュールを用いて、2070年までの日本の水素需要を評価。
- 水素製造は2025年から日本国内の他、海外14地域からの輸入が可能と設定。
- 水素の需要先は、2020年から先進地域（カナダ、米国、西欧、日本、オセアニア）と2030年から中国、インド、ブラジル、ロシア、その他の地域は2055年以降に運輸、発電、定置部門で利用可能と想定。

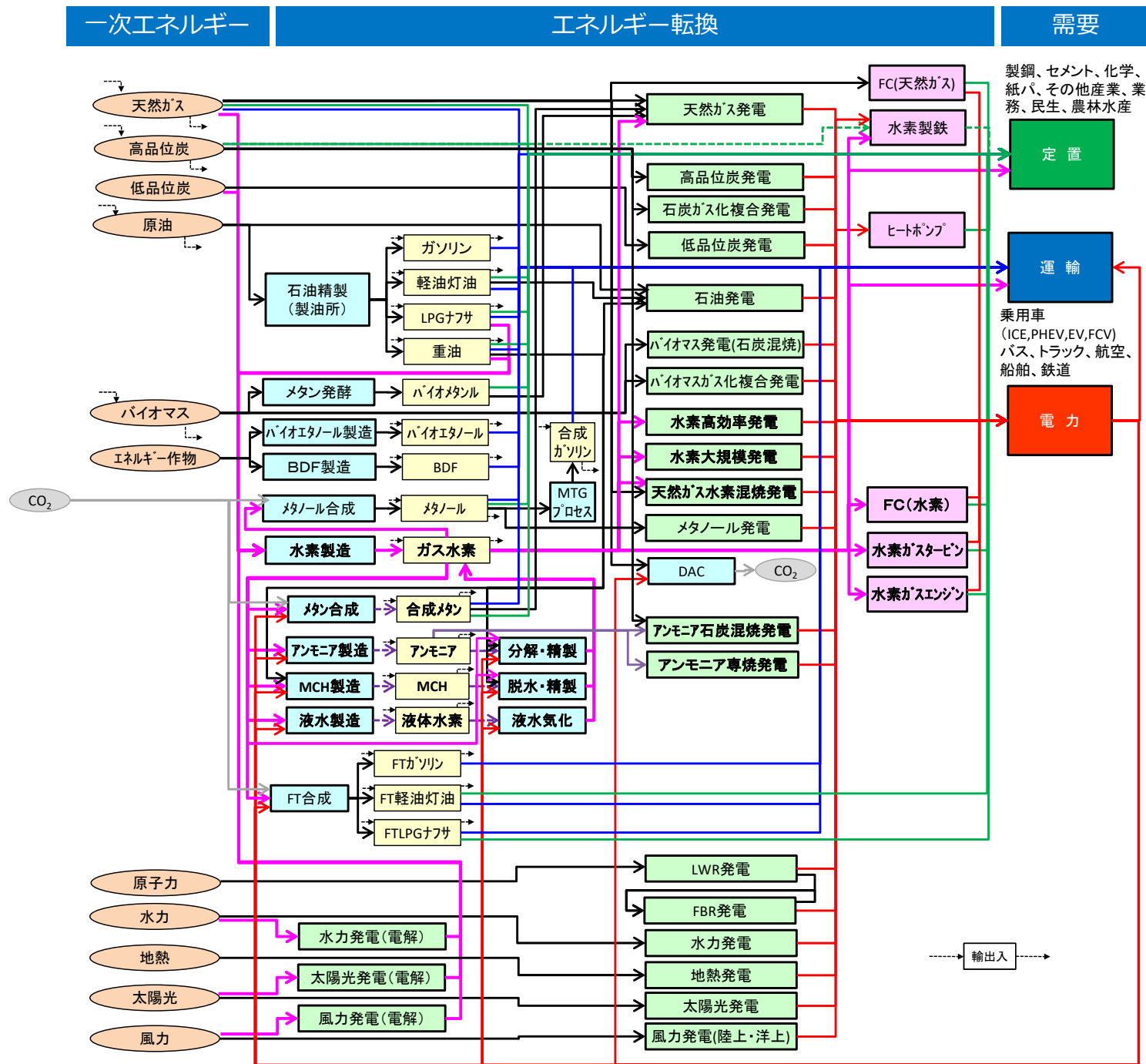


- | | | | | |
|----------|----------------|--------|-------------|---------------|
| 1: カナダ | 2: USA | 3: 西欧 | 4: 日本 | 5: オセアニア |
| 6: 中国 | 7: その他アジア | 8: インド | 9: 中東・北アフリカ | 10: サハラ以南アフリカ |
| 11: ブラジル | 12: その他ラテンアメリカ | 13: 中欧 | 14: 東欧 | 15: ロシア |

- 発電、運輸、定置の各部門のエネルギー需要を推計
- 想定するエネルギーフロー、利用可能な技術オプションのパラメータを設定
- CO₂排出制約等の制約を満たし世界全体のエネルギーシステムコストが最小になるようなエネルギー需給構造を探索・決定。
- 世界地域別のエネルギー需給、CO₂排出などの諸量を出力
 - 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
 - 等

本モデルは、CO₂排出量等の様々な制約条件の下、世界全体のエネルギーシステムコストを最小化している。したがって、計算結果は、実世界の予測を示すのではなく、これらの制約条件を満たす「規範的な姿」を示しているご理解いただきたい。

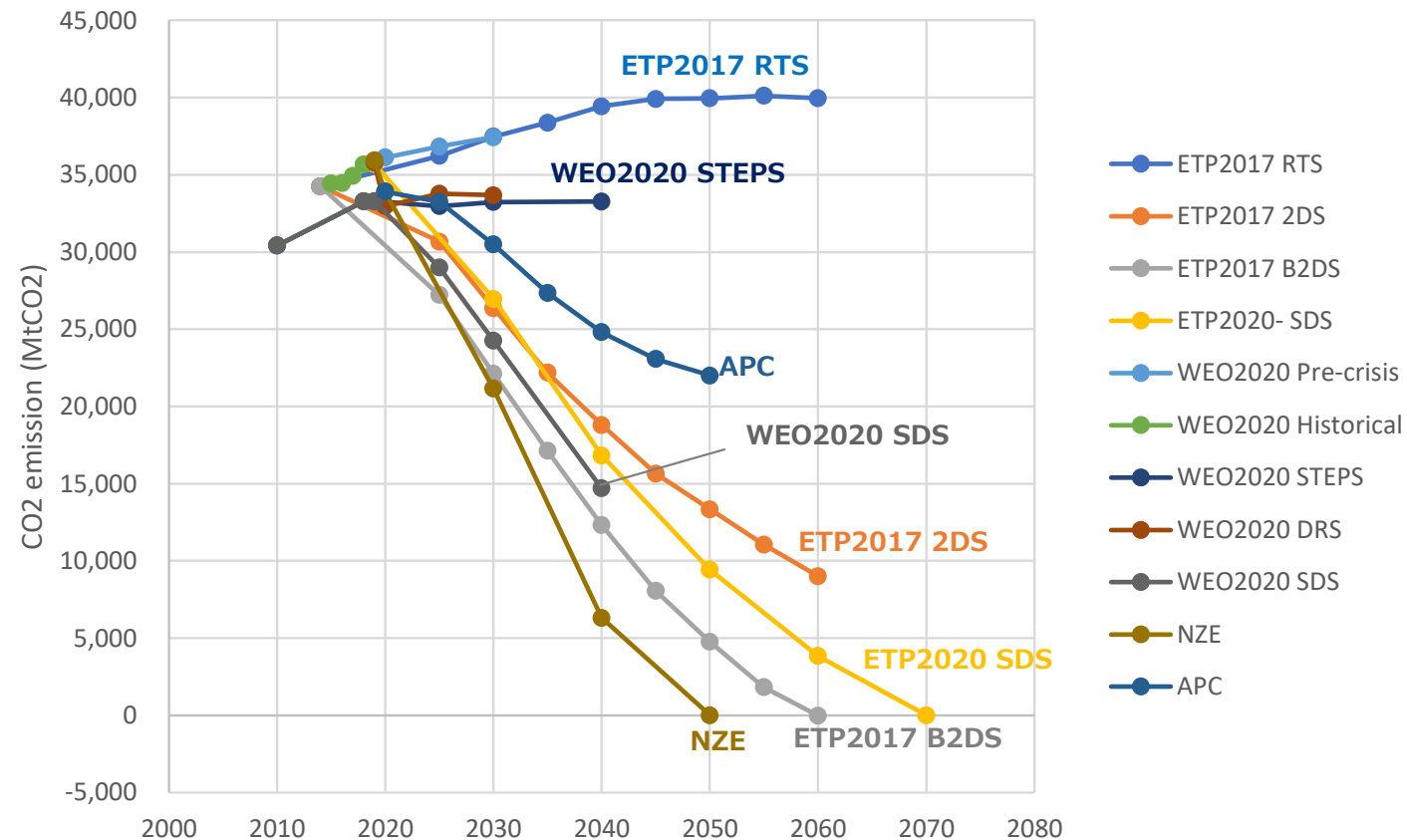
GRAPEモデルのエネルギー需給フロー（1地域分）



実施方針

- ETP2017 B2DS(Beyond 2°C Scenario)のCO₂排出量を中心に、その他の地域の削減割合によって上下に1ケース、合計3ケースで分析を行う。
 - (1)2050年カーボンニュートラル NZE
 - (2)2060年カーボンニュートラル ETP2020 B2DS
 - (3)2070年カーボンニュートラル ETP2020 SDS
- 地域別のCO₂排出量制約も考慮

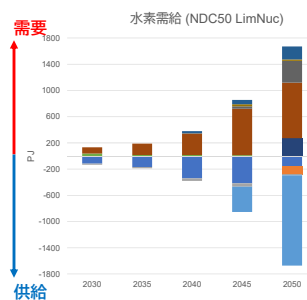
様々なシナリオの世界のCO₂排出量



TIMES-Japanとの連携

- 日本のエネルギー需給をTIMES-Japanで分析し、その結果をGRAPEの入力条件として利用し、世界全体の結果を得る。
 - Times-Japanの結果は、2070年の日本のゼロエミッションを試算したKato and Kurosawa (2021)をベースに2050年カーボンニュートラル等の条件を反映して試算。
- エネルギー需要（電力、運輸、定置）と各部門・技術の水素需要を日本の需要量として設定

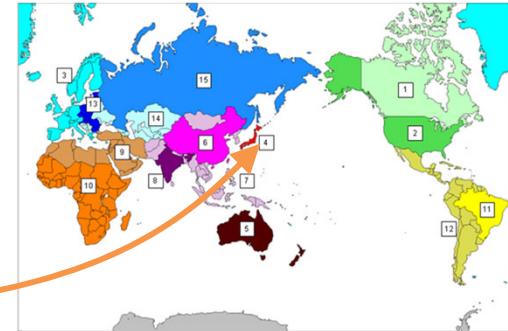
TIMES-Japan (日本モデル)



Times-Japanの計算結果を
制約条件として利用（ソフト
リンク）

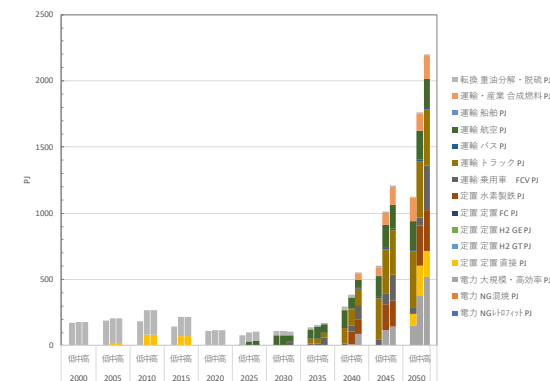
- 各部門のエネルギー需
要量
- 水素需要量(技術別)

GRAPE (世界モデル)



1: カナダ 2: USA 3: 西欧 4: 日本 5: オセアニア
6: 中国 7: その他アジア 8: インド 9: 中東・北アフリカ 10: サハラ以南アフリカ
11: ブラジル 12: その他ラテンアメリカ 13: 中欧 14: 東欧 15: ロシア

水素需要量(日本、Times-Japan)

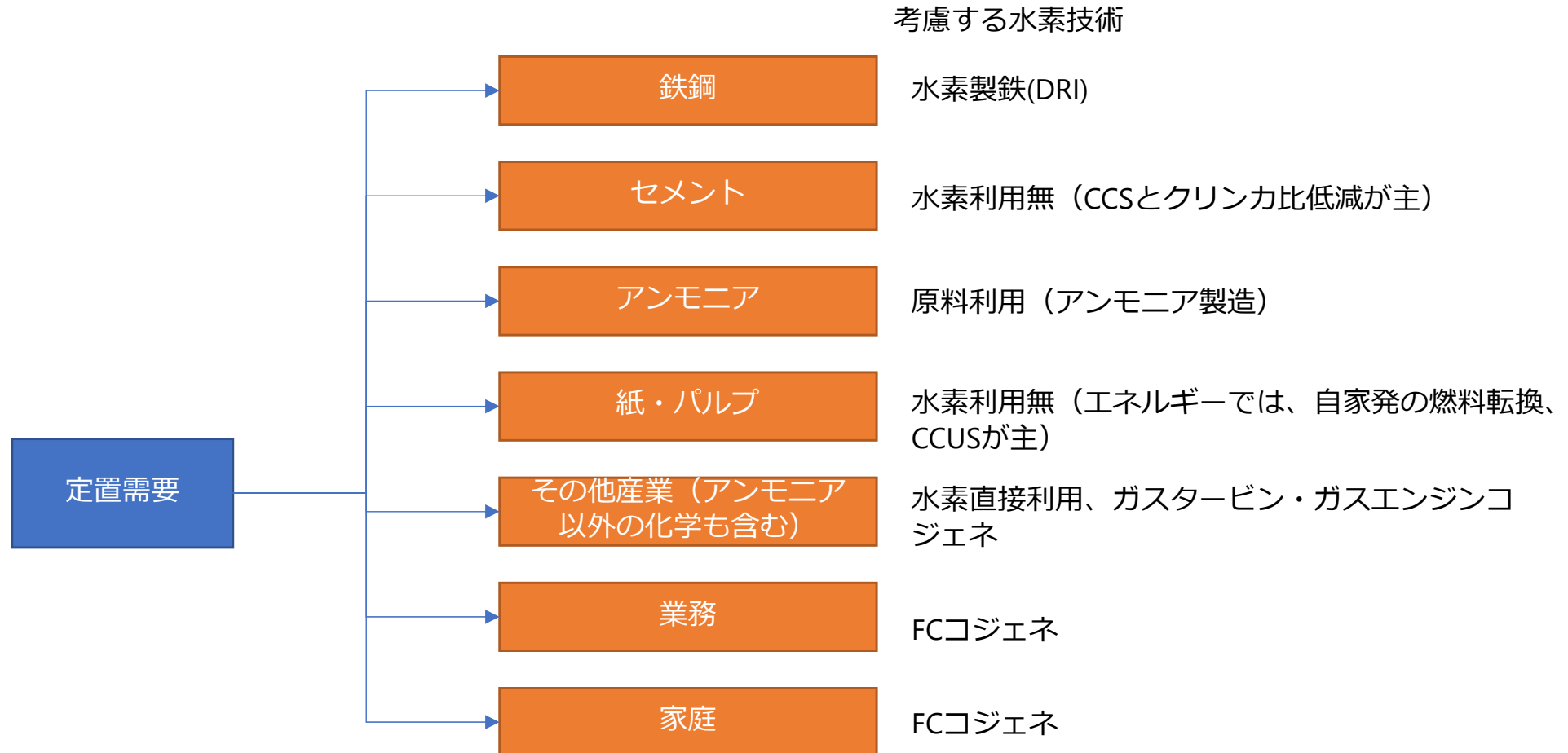


本モデルは、CO2排出量等の様々な制約条件の下、世界全体のエネルギーシステムコストを最小化している。したがって、計算結果は、実世界の予測を示すのではなく、これらの制約条件を満たす「規範的な姿」を示しているご理解いただきたい。

Kato and Kurosawa, (2021), Sustainability Science, <https://doi.org/10.1007/s11625-021-00908-z>

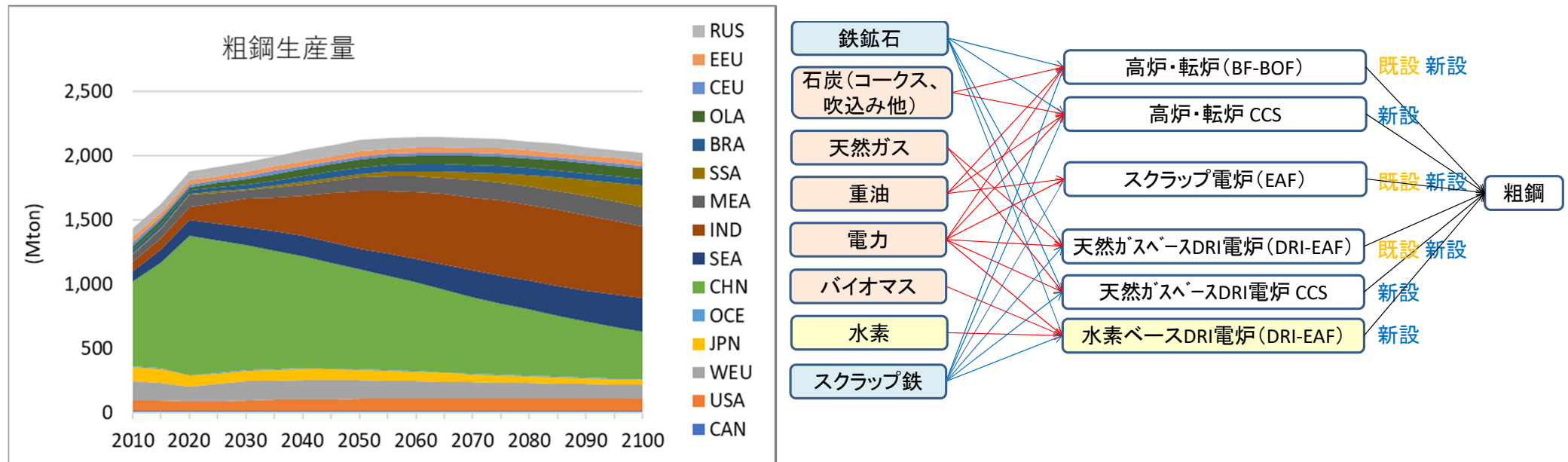
定置部門の細分化

- 定置部門（産業・民生部門の非電力需要）を細分化、水素利用技術を考慮できるように設定。
- 分割後の区分は、製鋼、セメント、アンモニア、紙パ、その他産業、業務、家庭。
- 鉄鋼、セメント、アンモニア、紙パルプは、文献の将来想定を用いて需要を作成。その他の産業は、実績値から鉄鋼等のエネルギー消費を差し引いた値を用いて推計。
- 業務、民生は、WEO2022に基づき作成。2070年、2060年、2050年ネットゼロエミッションのエネルギー需要シナリオについて、主にCO2の排出経路を考慮して、それぞれWEO2022のAPS（Announced Pledges Scenario）とSTEPS（Stated Policies Scenario）の中間、APS、NZEのシナリオに対応させた。



鉄鋼

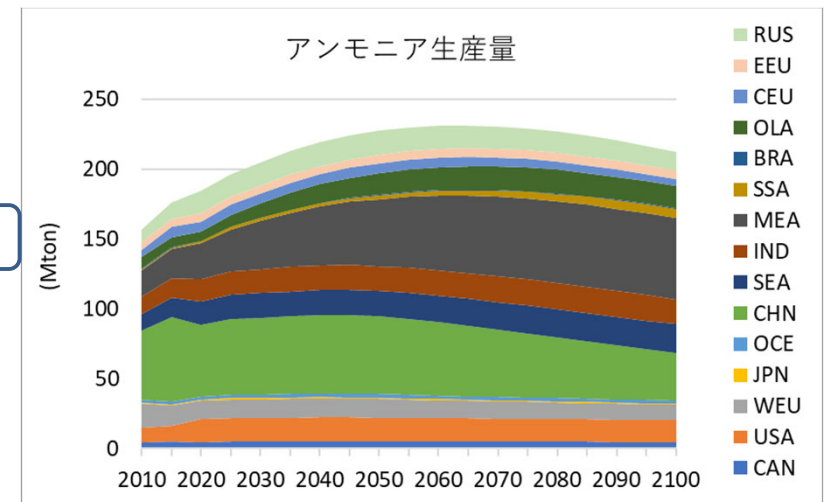
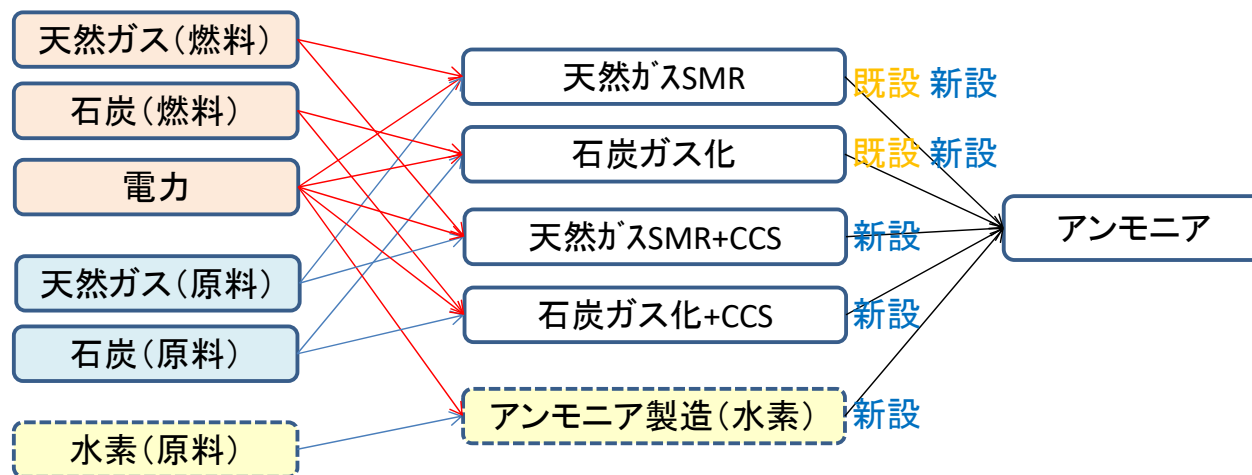
- シナリオで与えた粗鋼生産量を満たすよう、高炉・転炉、直接還元・電気アーク炉などの粗鋼生産技術が消費するエネルギーを求める。
- 将来の粗鋼生産量は、文献をベースに現在の国別生産量の統計データを用いて15地域に按分



将来の粗鋼生産量は、RITE「地球温暖化対策技術の分析・評価に関する国際連携事業」2021年の粗鋼生産量を15地域に集約。将来のデータは2050年から2100年に向けては、一人当たりGDP当たりの鉄鋼需要が共通の値に向かう想定で推計。
鉄鋼生産の実績値：World Steel Association, Steel Statistical Yearbook 2022を15地域に集約。
粗鋼生産技術の前提条件：IEA, The future of Hydrogen, 2019 及びRITEの資料を参照して作成

アンモニア

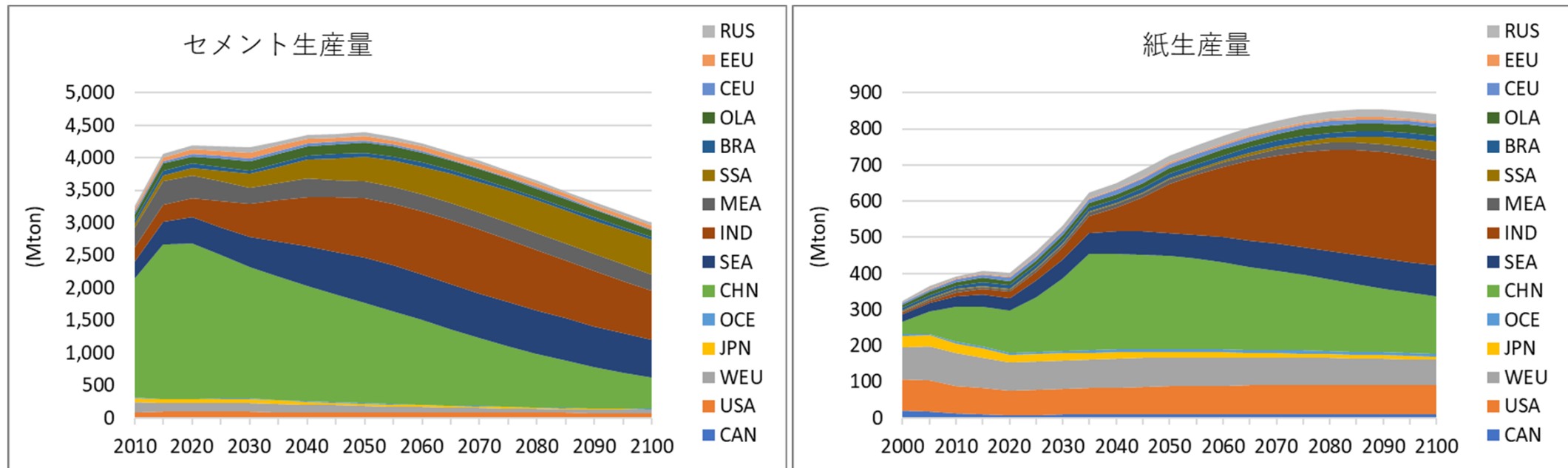
- シナリオで与えた化学向けのアンモニア需要を満たすよう、SMR、石炭ガス化のCCS有無のアンモニア製造技術が消費するエネルギーを求める。
- 水素から製造される地域外からのエネルギーキャリアとしてのアンモニアもこの部門に供給可能と想定。
- 将来のアンモニア需要量は、文献をベースに現在の国別生産量の統計データを用いて15地域に按分。2050年以降は一人当たりGDP当たりの需要が一定値に向かうと仮定して推計。
- エチレン、プロピレンの製造等は、その他産業に含めた。



将来の化学向けアンモニア需要、アンモニア製造技術のコスト、原単位等：IEA, Ammonia Technology Roadmap、2021

セメント、紙パルプ

- 鉄鋼、アンモニア同様にシナリオで与えたそれぞれの需要を満たすよう、設定した技術オプションが消費するエネルギーを求める。
- 将来の需要量は、文献をベースに現在の国別生産量の統計データを用いて15地域に按分。2050年以降は一人当たりGDP当たりの需要が一定値に向かうと仮定して推計。
- セメントは、CCSとクリンカ比低減がCO2削減の主要な対策、紙パは、エネルギーでは、自家発の燃料転換、CCUSが主。



セメント：RITE「地球温暖化対策技術の分析・評価に関する国際連携事業」2021年の粗鋼生産量を15地域に集約。将来のデータは2050年から2100年に向けては、一人当たりGDP当たりのセメント需要が共通の値に向かう想定で推計。

紙パ：The Evolution of Global Paper Industry 1800-2050の2050年までの需要シナリオを15地域に分割して

産業部門における技術

部門	技術オプション
鉄鋼	高炉・転炉（CCS有無） スクラップ電炉 天然ガスDRI・電炉（CCS有無） 水素DRI・電炉
セメント	湿式ロータリーキルン 乾式ロータリーキルン(SP/NSP)（CCS有無）
アンモニア（化学向け）	天然ガス水蒸気改質（CCS有無） 石炭ガス化（CCS有無） 輸入アンモニア
紙・パルプ	パルプ製造、古紙再生
その他産業 （含 NH ₃ 以外の化学）	非電力需要として燃料を需要 水素直接利用、ガスタービン、ガスエンジンコジェネ、ヒートポンプ
業務	非電力需要として燃料を需要 FCコジェネ、ヒートポンプ
家庭	非電力需要として燃料を需要 FCコジェネ、ヒートポンプ

DRI: Direct Reduced Iron (直接還元製鉄)

SP: Suspension Pre-heater (原料の予熱ヒーター)

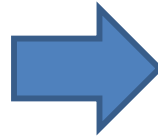
NSP: New Suspension Pre-heater (原料の仮焼炉)

その他

- IEAの2022年のエネルギーバランス表に基づき、2020年までのエネルギー需給の実績値を作成し、2020年までを実績値とした。
- 水電解の固定費の更新を行った。2030年を水素・燃料電池ロードマップの2030年目標（22.3万円/（Nm³/h））、2050年は、IRENAのレポートの目標値である200USD/kWを参考に2030年の50%減とした。

旧（2020年）

電源	固定費
	円/Nm3
水力（円/Nm3）	6.4
風力（円/Nm3）	17.0
太陽光（円/Nm3）	42.4



新（2030年）

電源	設備利用率	固定費
	%	円/Nm3
水力	46	5.9
風力	38	7.0
PV	16	16.2

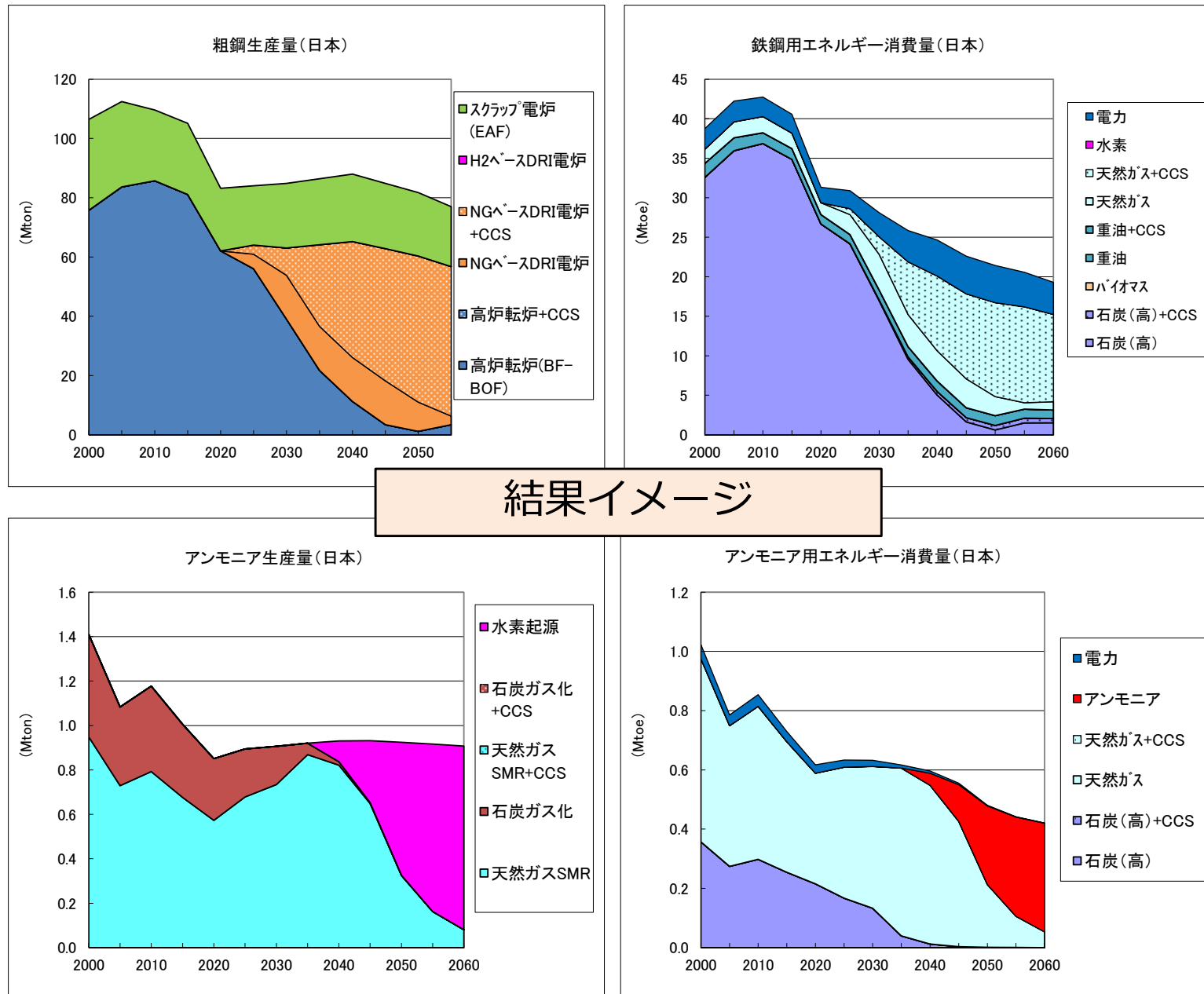
設備利用率の出典 IRENA, Renewable Power Generation Costs 2020, 2020

2030年 電解の設備費の目標値 水素・燃料電池戦略協議会、水素・燃料電池戦略ロードマップ、2019年

2050年 電解の設備費の目標値 IRENA, Green hydrogen cost reduction, 2020

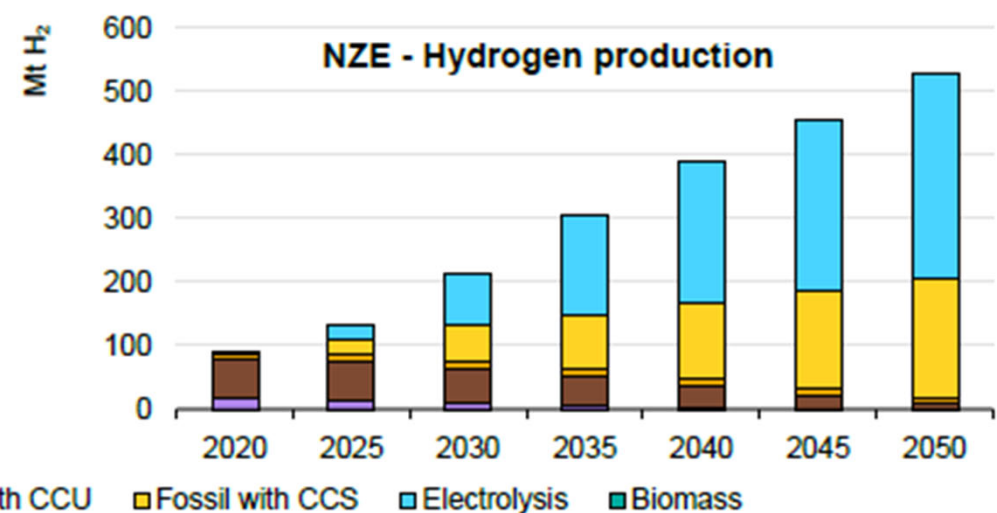
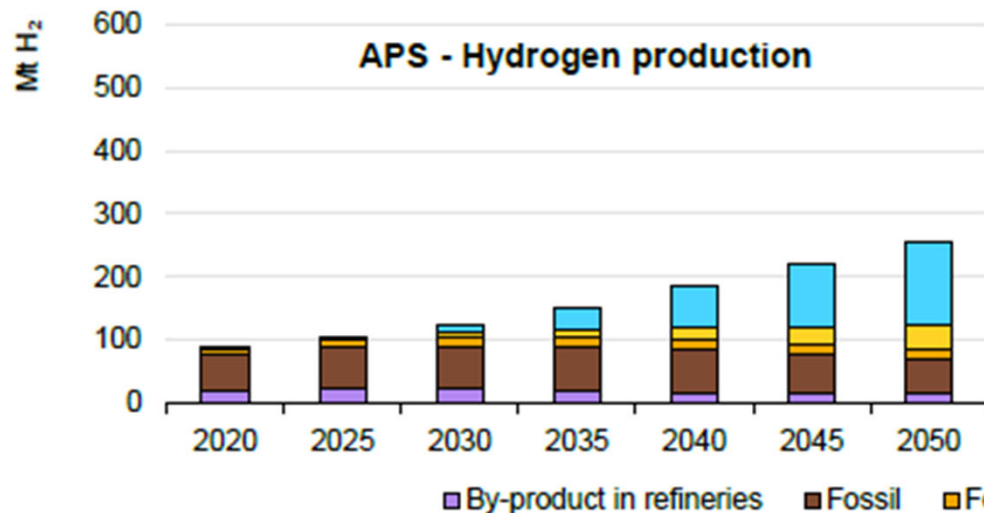
2. 計算結果

- 産業部門を細分化し、産業分野ごとの需要（生産量）を満たすように改良し計算を実行中



再エネ電力価格の低下が水素製造に与える影響について

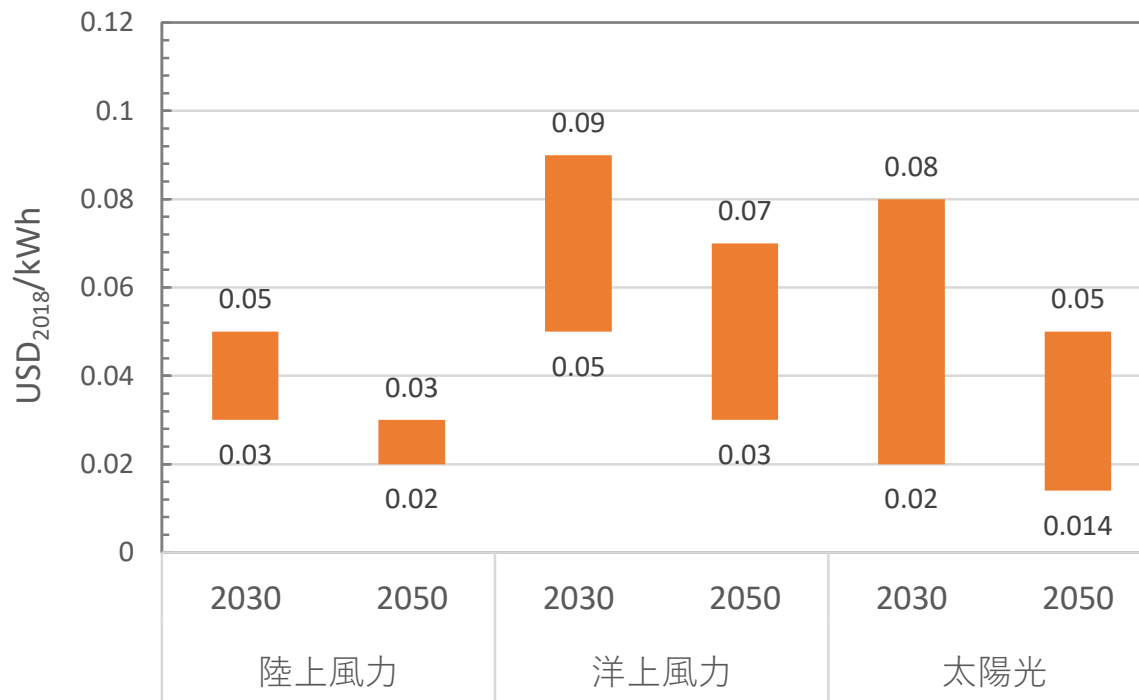
- IEAのAPSやNZEで再エネ電力を用いた水電解による水素製造の比率が高い。GRAPEモデルのこれまでの結果では、水素製造は、CCSを備えた化石燃料改質が支配的で再エネ水電解による水素製造は比較的少ない。
- 再エネ電力を用いた水電解水素製造がやや保守的な設定になっている。
 - 2030~2050年のモデルの再エネ電力(PVや風力)の世界平均は、約 5 cent/kWh。変動費部分で約2.5USD/kg、固定費込みで約3.6USD/kg
 - 2050年のSMRの水素製造コストは、約2.4USD/kg（足元の天然ガス価格高騰の影響は含んでいない）
 - 2cent/kWhの電力（その他ラテンアメリカの風力が近い水準）であれば変動費部分は、～1USD/kg、固定費と併せて2USD/kgで水蒸気改質に対してコスト競争力が生じる。



出典：IEA, Global Hydrogen review 2021, 2021.

再エネ電力価格の低下が水素製造に与える影響について

- IRENAのPV及び風力のレポートの2050年の世界の加重平均の発電コスト(LCOE)を参考に、陸上風力、洋上風力、太陽光発電の発電コストが現状の設定から2050年に世界平均の発電コストが同程度の発電コストになるよう変更
- 水電解で用いる再エネ電力の設備利用率を見直し。（スライド11参照）
- 定置部門を細分化していないモデルを用いて計算を実行。

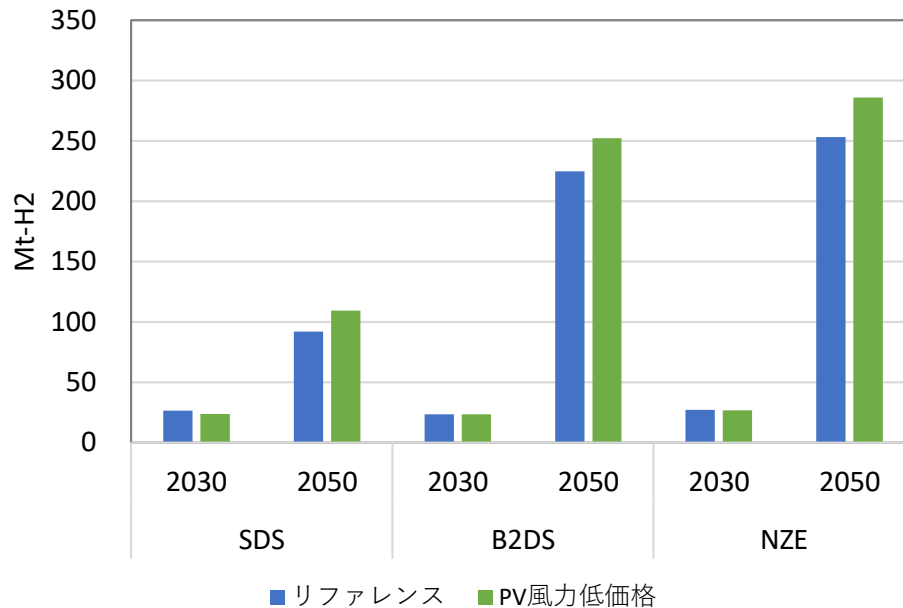


陸上風力、洋上風力のLCOEの出典 IRENA, FUTURE OF WIND, 2019

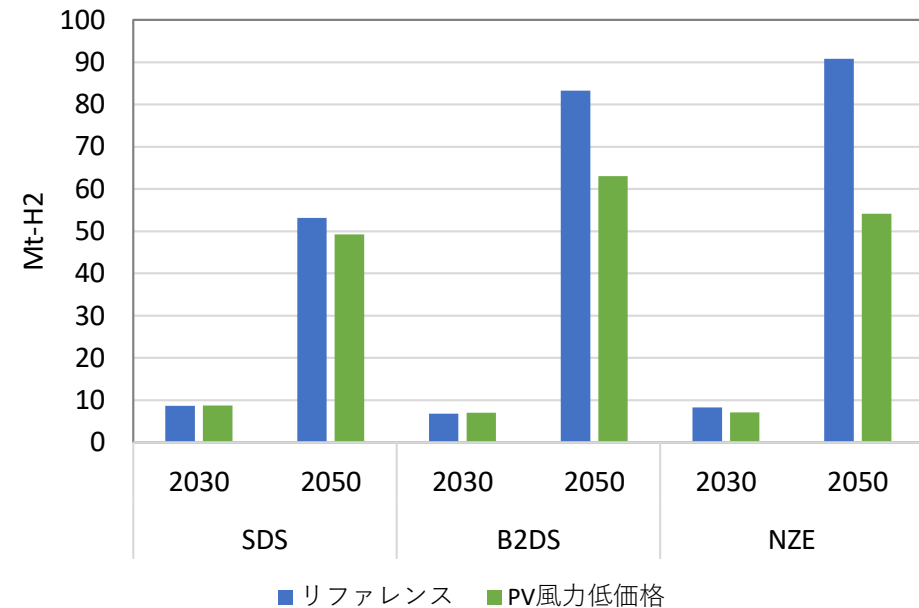
太陽光のLCOEの出典 IRENA, FUTURE OF FUTURE OF SOLAR PHOTOVOLTAIC, 2019

再エネ電力価格の低下が水素製造に与える影響について

水素製造量（世界）

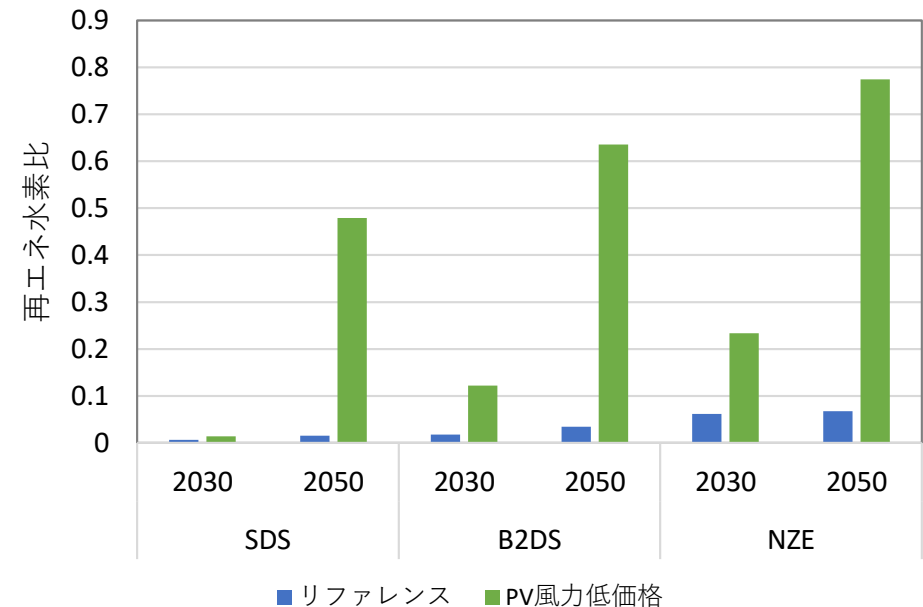


水素貿易量（世界）



- 再エネの電力コストが低下する2050年の水素製造量（水素需要量）が増加し、カーボンニュートラルの年限が前倒しになると水素製造量も増加。
- 再エネ水素の比率も再エネの電力コストが低下すると上昇し、カーボンニュートラルの年限が前倒しになると再エネ水素の比率も高くなる。
- 増加した再エネ由来水素は、陸上風力と太陽光発電の電力を用いている。
- 貿易量は再エネ水素が安価になると、域内製造が増加する。
- 安価な再エネ（例：余剰電力）の表現の検討。

再エネ水素比率（世界）



- 世界を15地域に分割したGRAPEモデルと日本1国を対象とするTIMES-Japanとをソフトリンクさせ、各地域の水素需給を含む最長2070年までの世界のエネルギー需給を分析した。
- 産業・民生部門の非電力需要である定置部門を製品の需要量を満たす部門（鉄鋼、セメント、アンモニア、紙パルプ）と非電力需要を満たす部門（その他産業、業務、家庭）に分割し、水素を用いる技術オプションを追加した。
- 感度分析の1例として、再エネ電力が安価となるケースでは、水素製造量・再エネ水素比率が増加するとともに、水素の貿易量がやや減少した。

- 水素需要
 - 未反映の水素需要技術の検討 (CCUS)
 - 電力分野における水素の利用
- 水素製造
 - 再エネ電力増加の影響の反映
- 感度分析
 - 水素導入に影響を与える要素の分析

ご清聴ありがとうございました。



一般財団法人 エネルギー総合工学研究所

The Institute of Applied Energy