



UTokyo
Green
Transformation

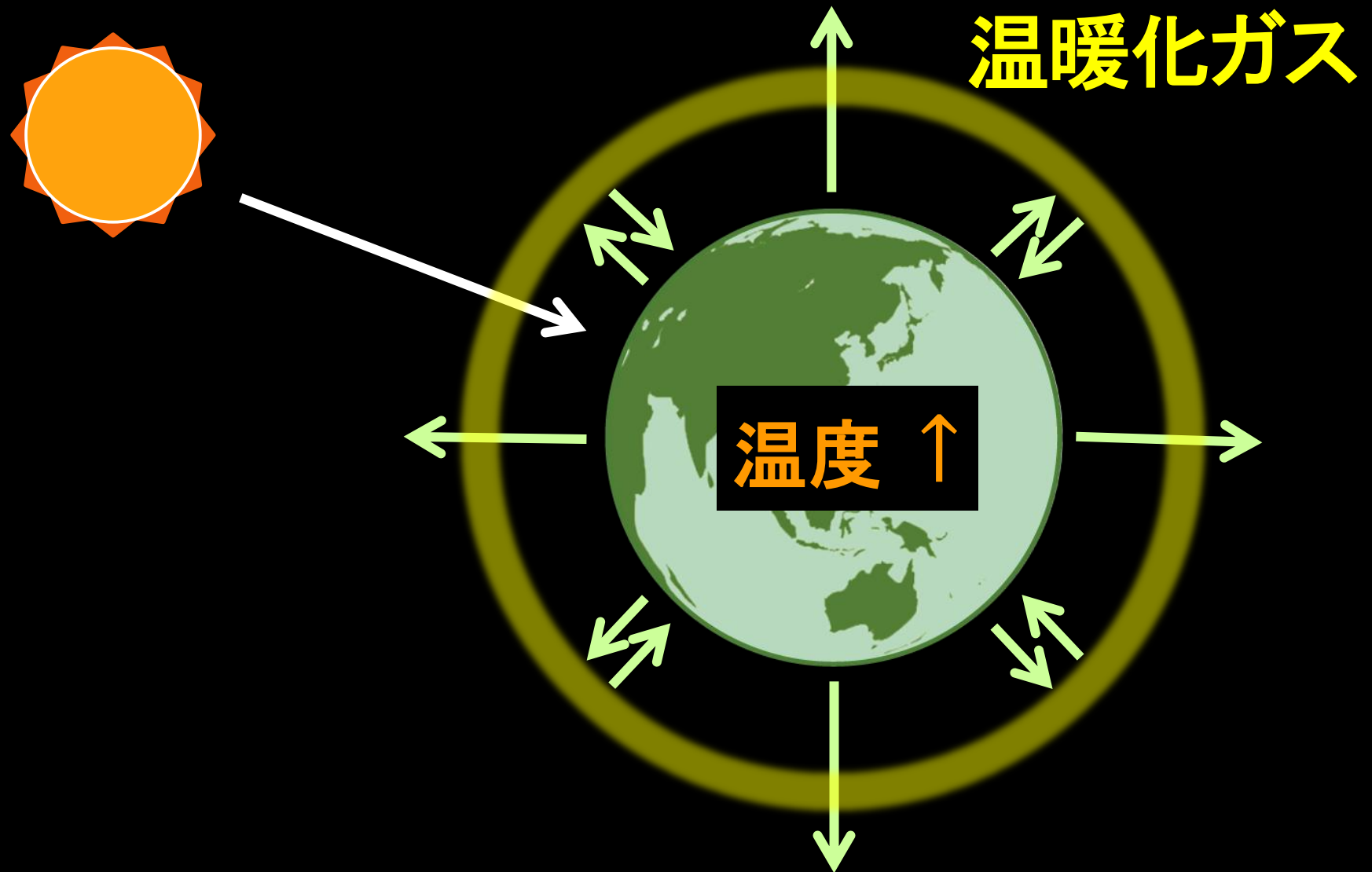
カーボンニュートラル 実現における水素の役割

東京大学先端科学技術研究センター
杉山 正和



東大先端研
Research Center for
Advanced Science and Technology
The University of Tokyo

地球温暖化



流れは変えられる

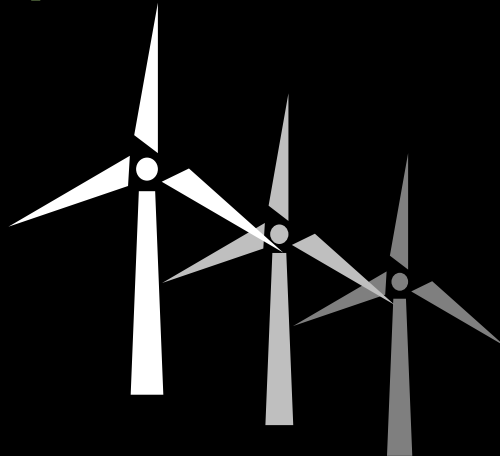
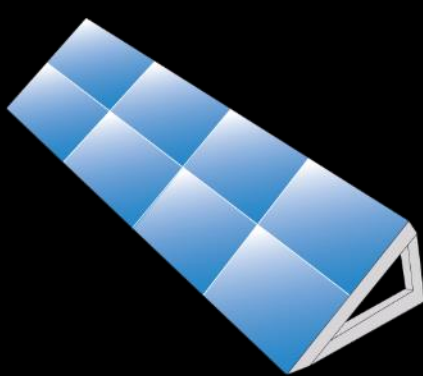


→ CO₂

化石燃料

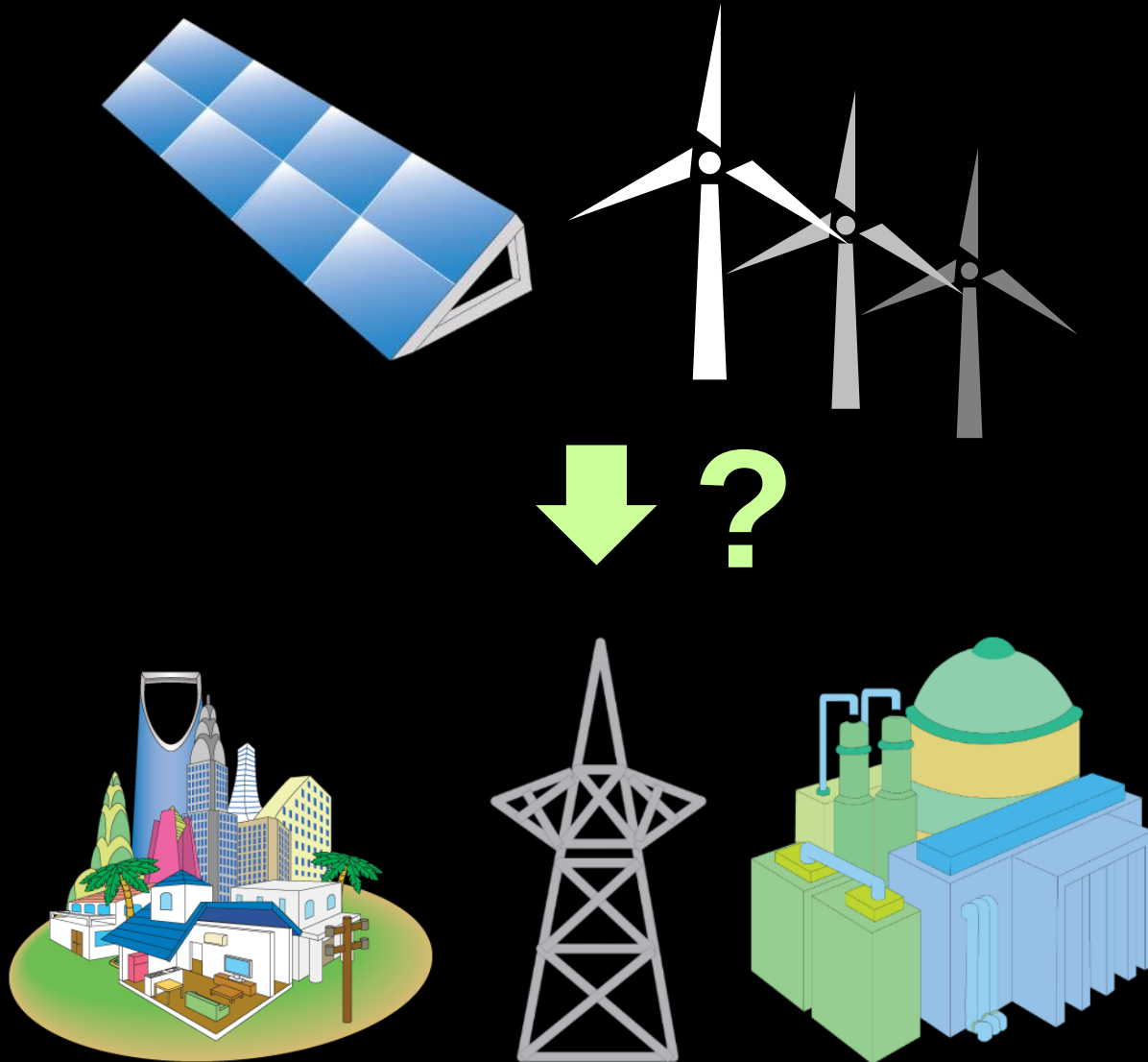


再生可能エネルギー

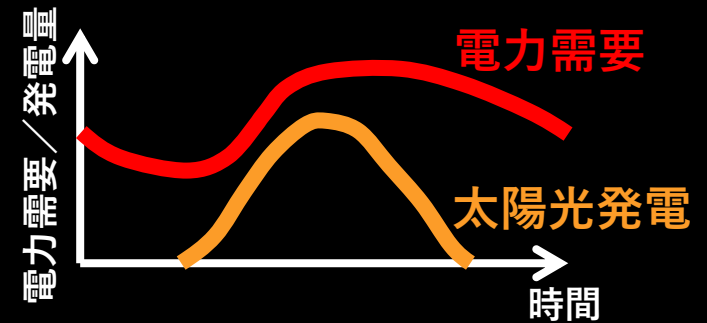
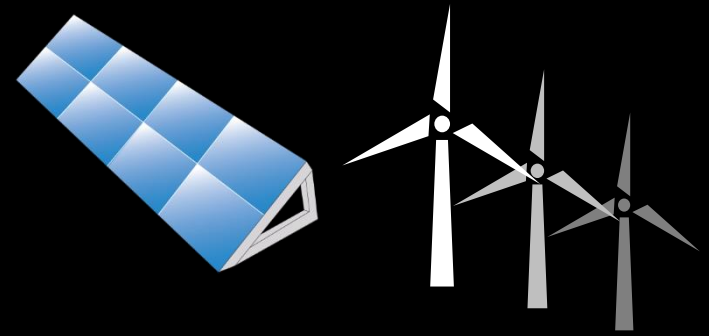
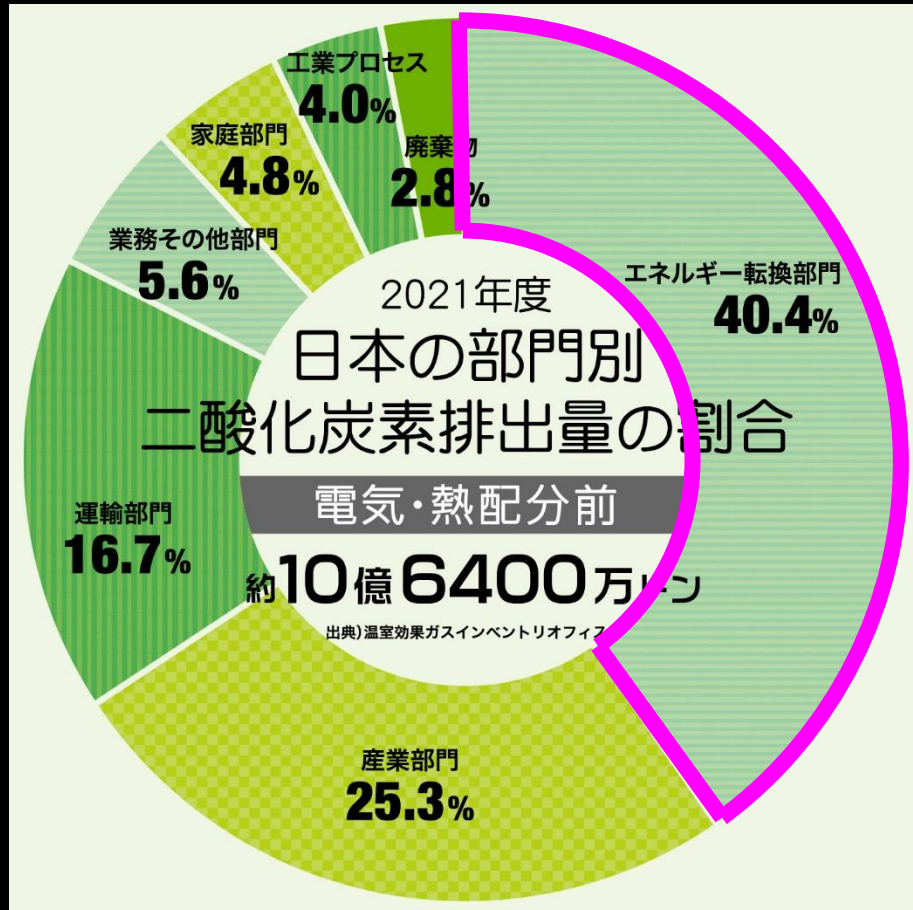


CO₂
排出なし

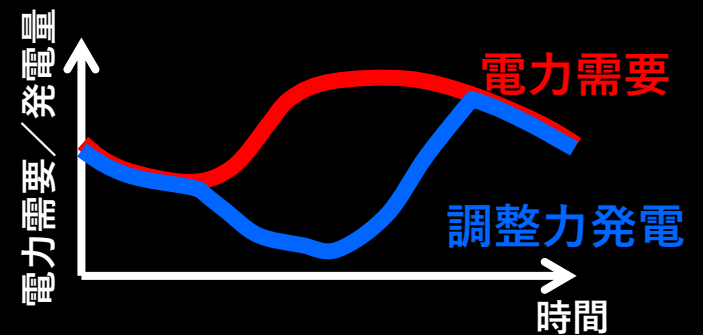
再生可能エネルギーだけで 社会活動を維持できるのか？



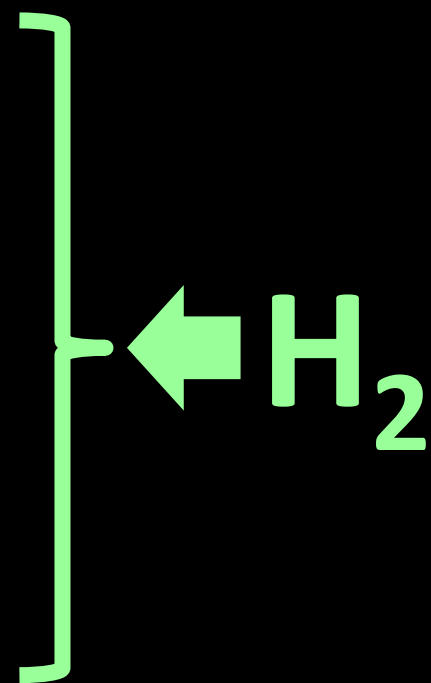
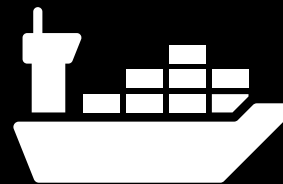
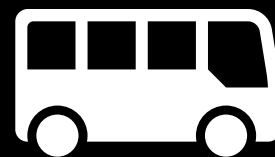
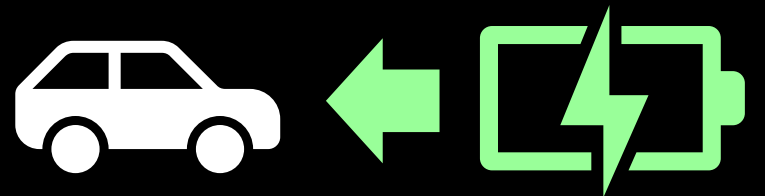
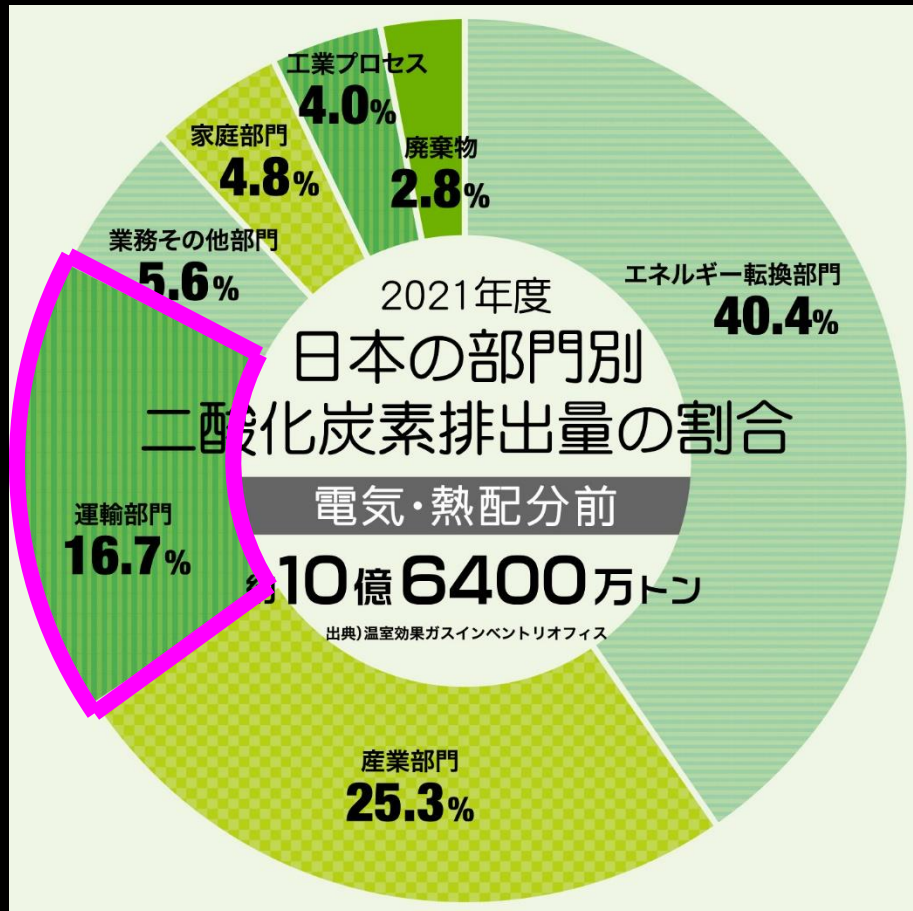
電力



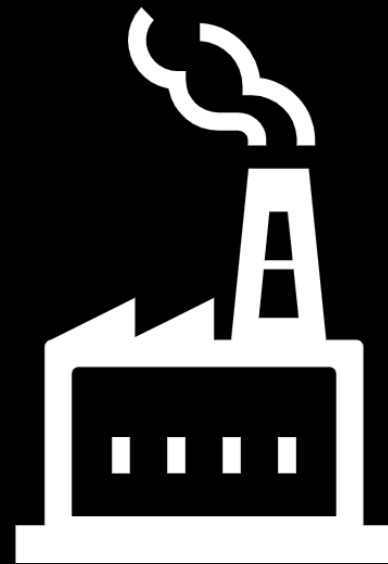
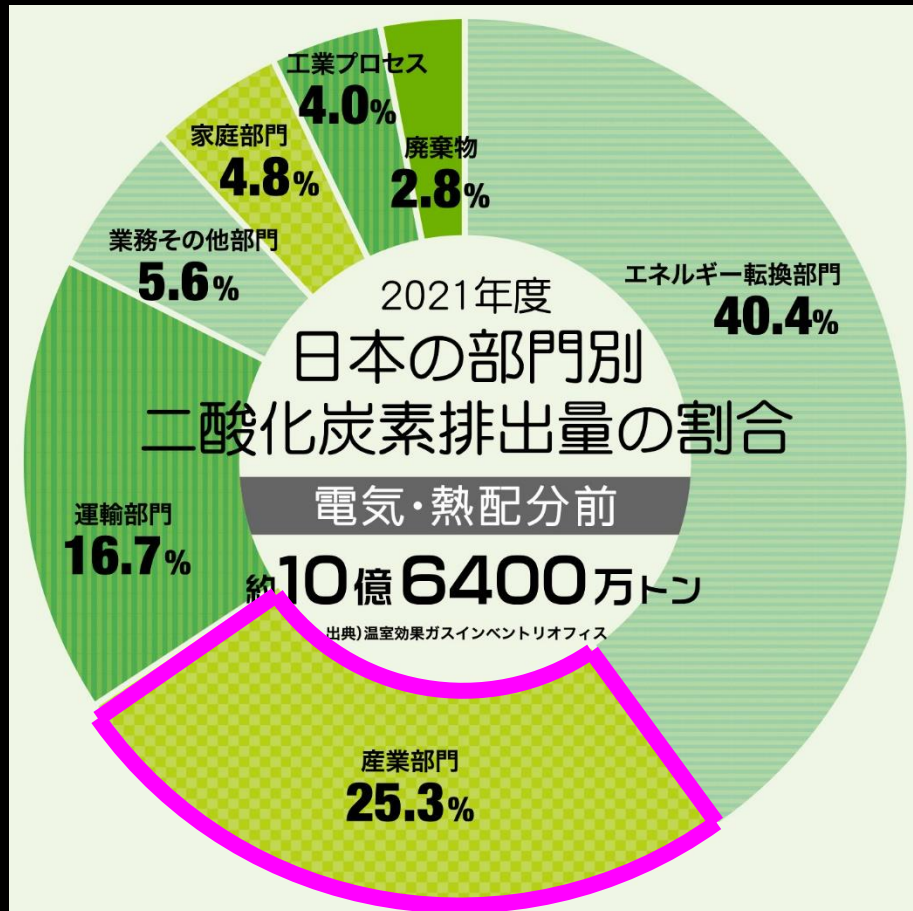
← H₂



運輸

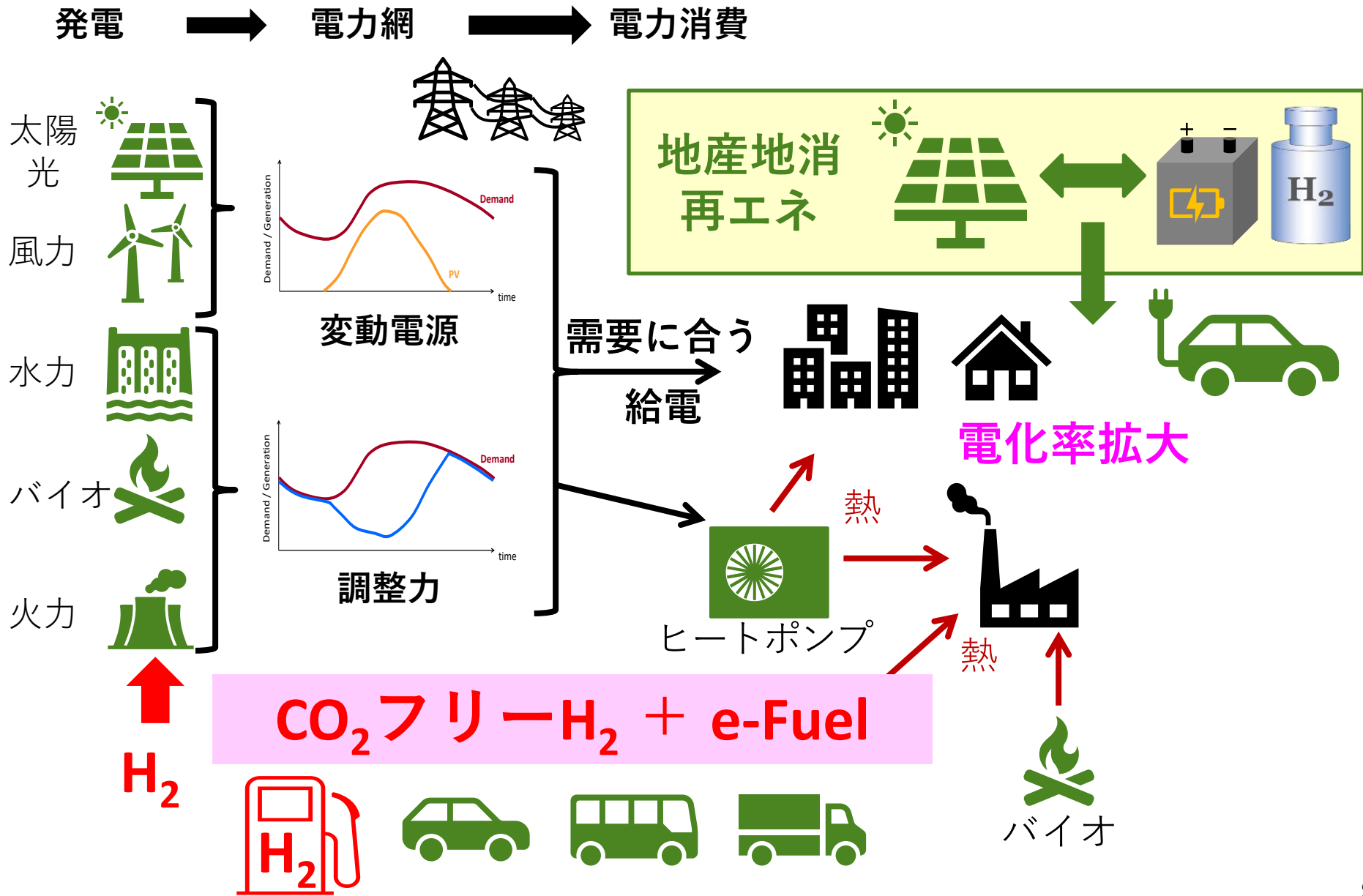


産業



高温熱源

エネルギーの脱炭素戦略：まとめ

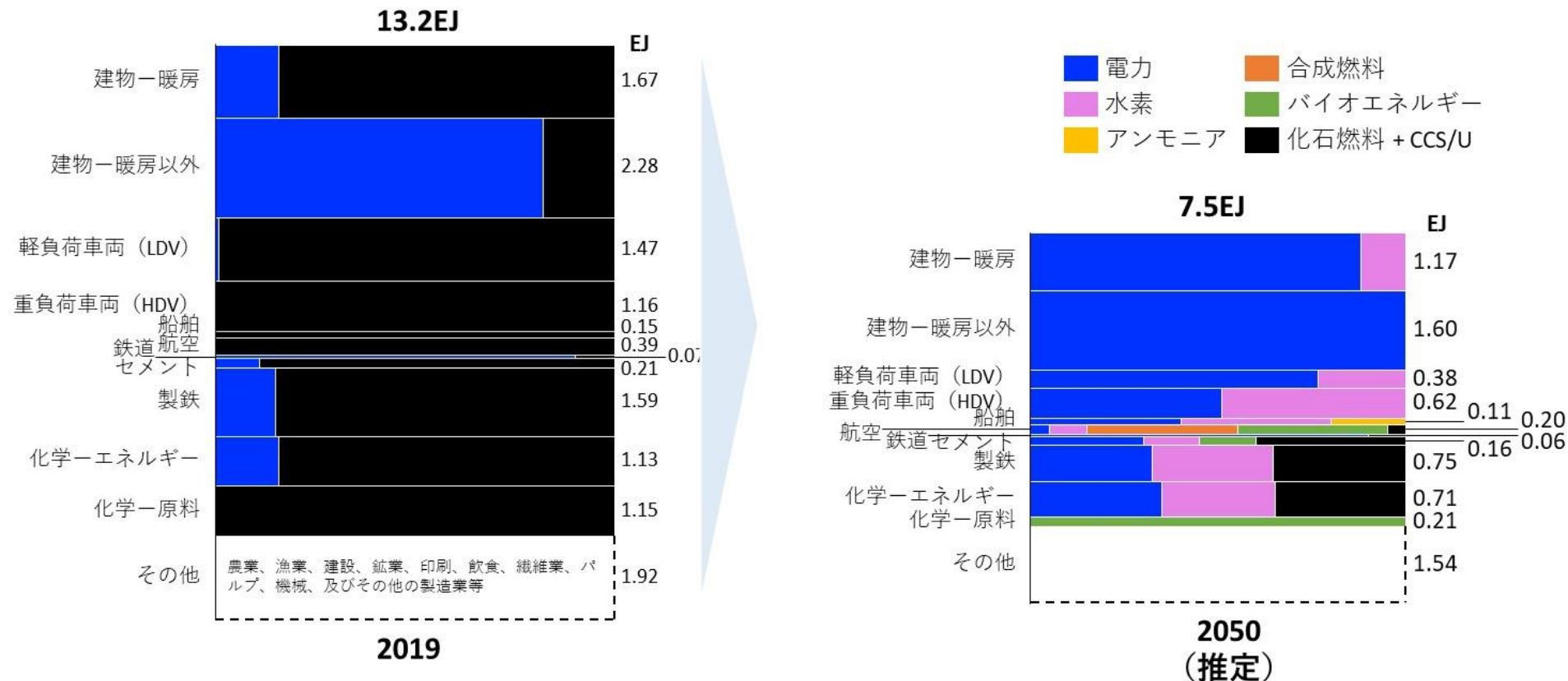


2050年に向けたエネルギートランジション

Net Zero Japan 2050 —Summary for Business Leaders—

“2050年の脱炭素化シナリオの中間報告まとめ”

東京大学 グローバル・コモンズ・センター <https://cgc.ifi.u-tokyo.ac.jp/topics/eticgc2306/>



□ Net zero実現のためには...

- 化石燃料の直接利用 → 電化, CO₂フリー水素
- それでもCO₂排出をゼロにはできない → CCS, CCUの必要性

マルチスケールな取り組みを多次元マッピング

2025

2030

2050

今、身の回りでできること

地域



地産地消の再エネ
まちの魅力創造

国



電化推進
再エネ発電徹底導入

製鉄・化学産業等の
脱化石資源

地球



グリーン水素の
グローバルネットワーク

カーボンリサイクル

他の軸：導入可能量，技術成熟度 等

地球規模の持続可能性を目指す 10

マルチスケールな取り組みを多次元マッピング

2025

2030

2050

今、身の回りでできること

地産地消の再エネ
まちの魅力創造

地域



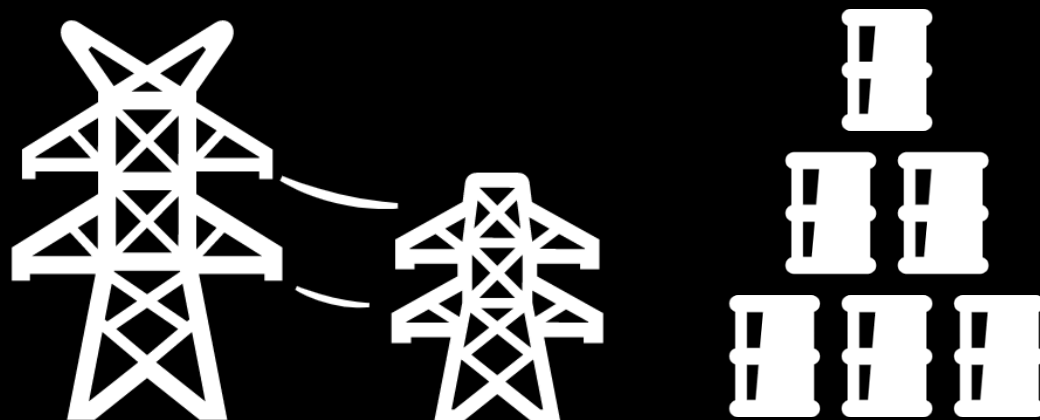
国



地球

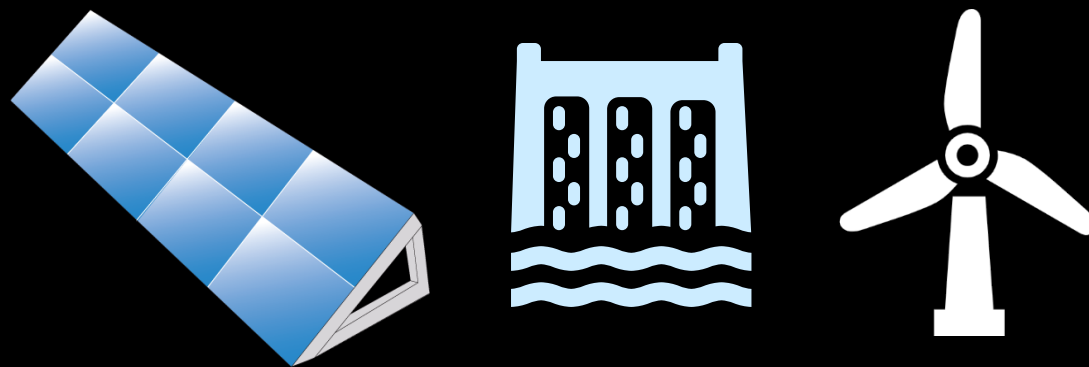


化石燃料 の時代



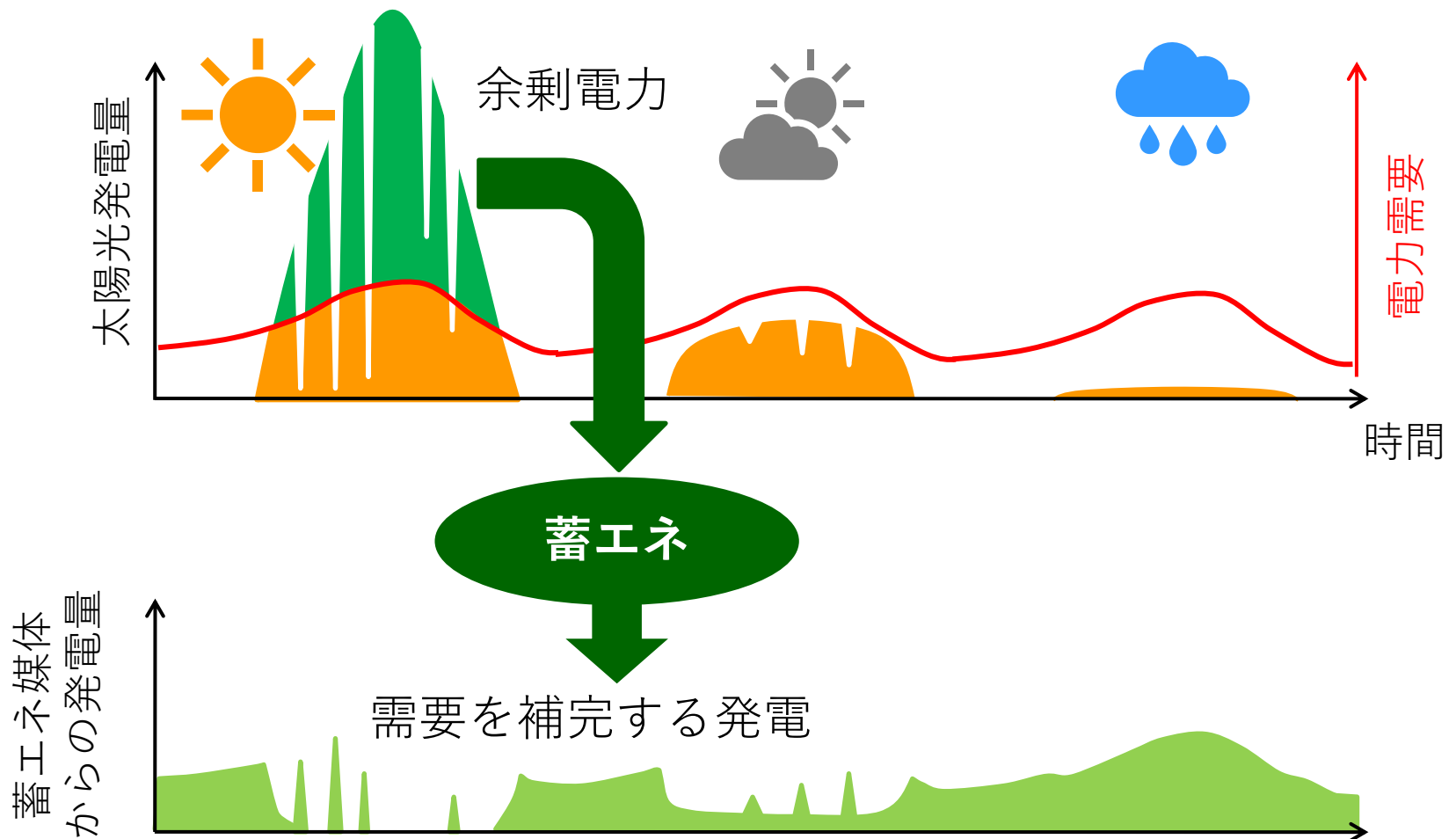
エネルギーは国の政策

再生可能 エネルギー の時代

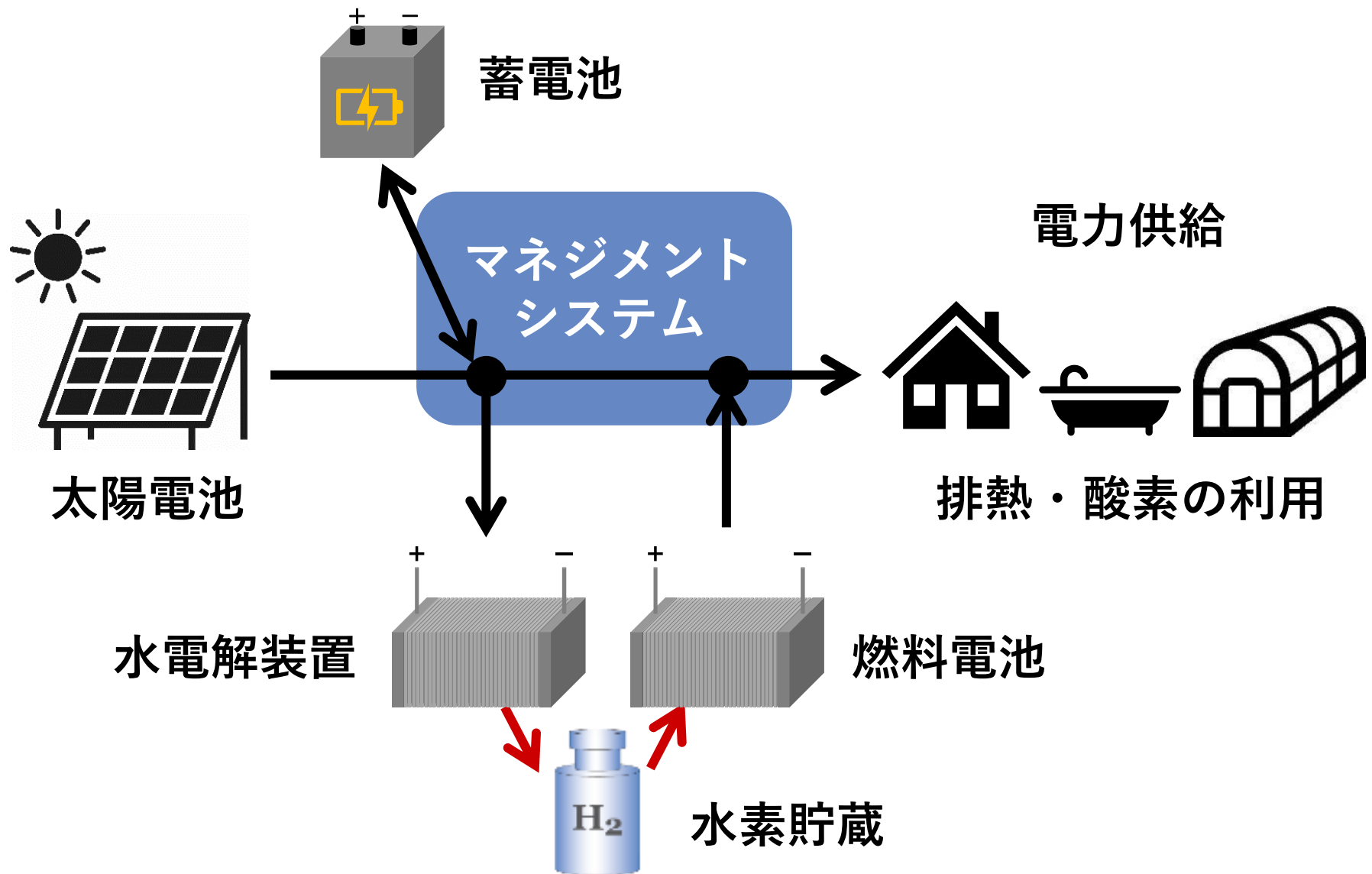


エネルギーは地域の課題
にもなる

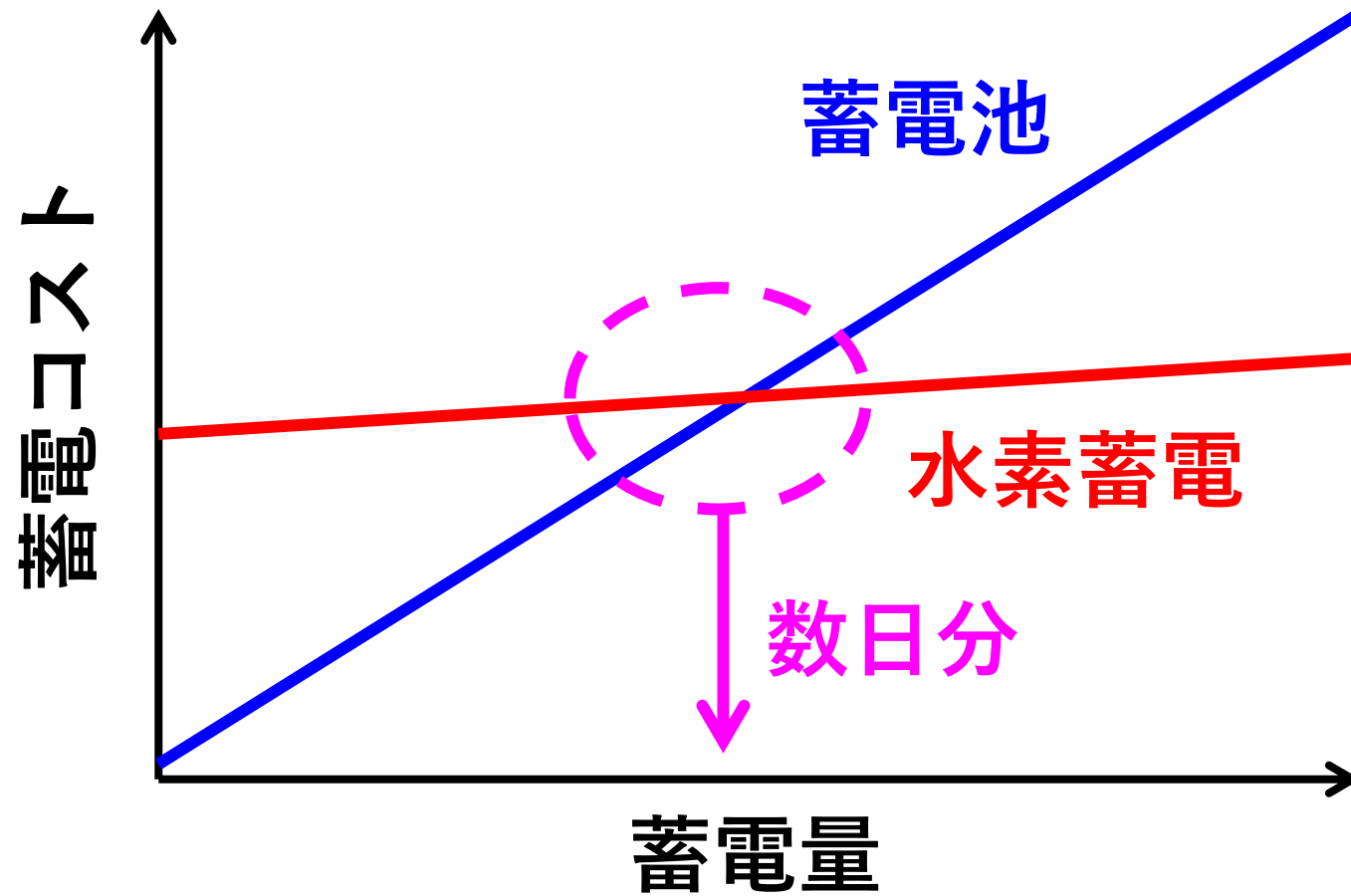
再生可能発電の大量導入策：時間シフト



水素が電池になる!?

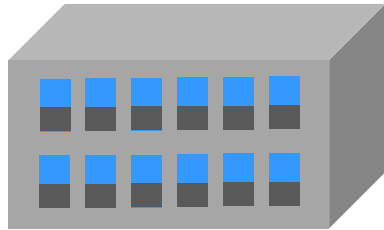


水素蓄エネ技術の位置づけ

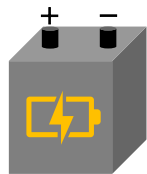


エネルギー自立ホテル（ハウステンボス）

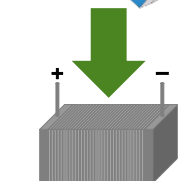
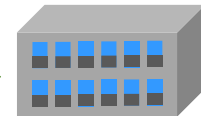
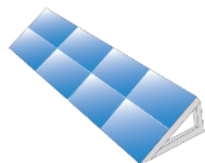
ホテル12室
太陽光電力100%



水素蓄電



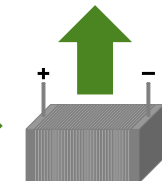
蓄電池



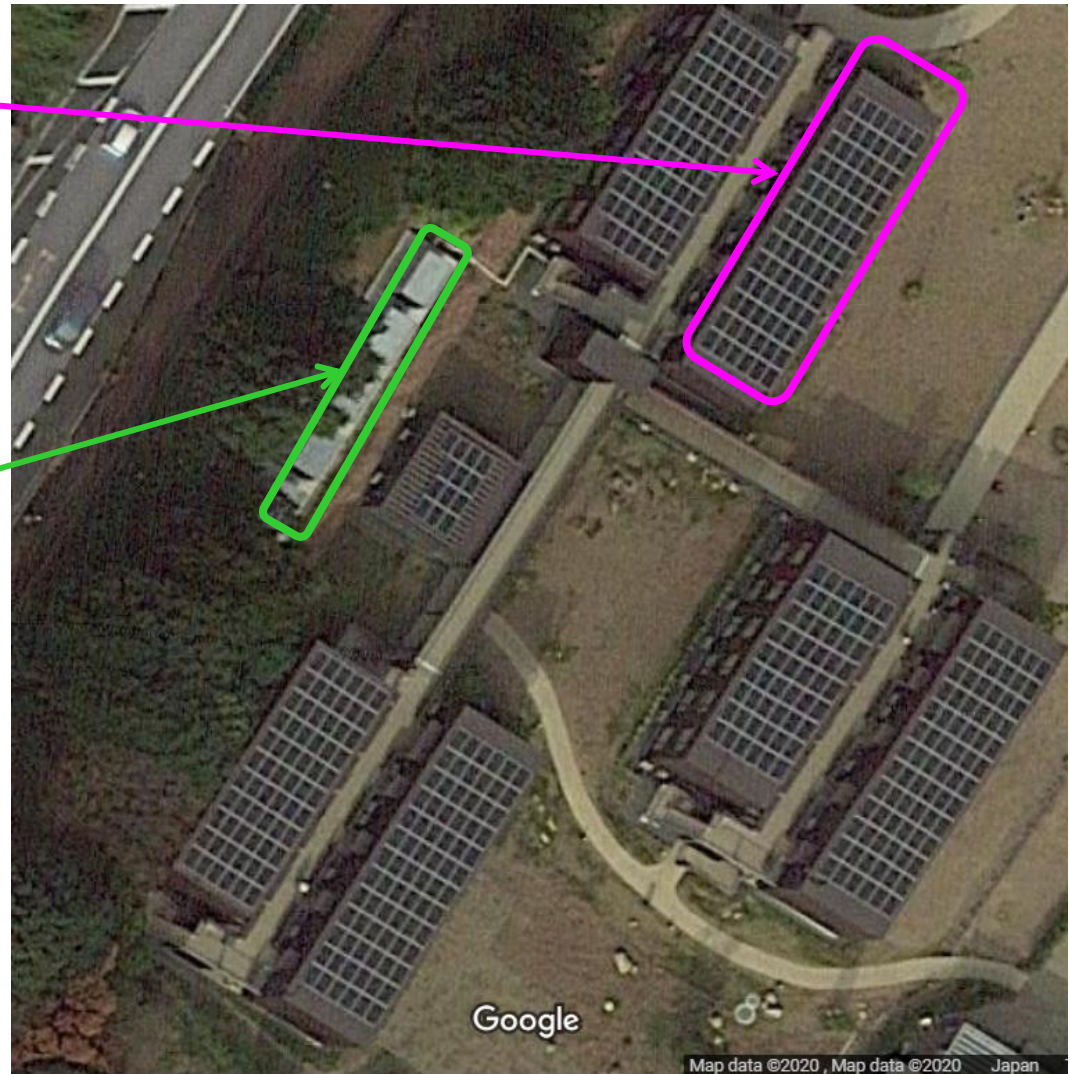
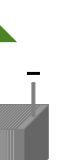
水電解



水素
貯蔵



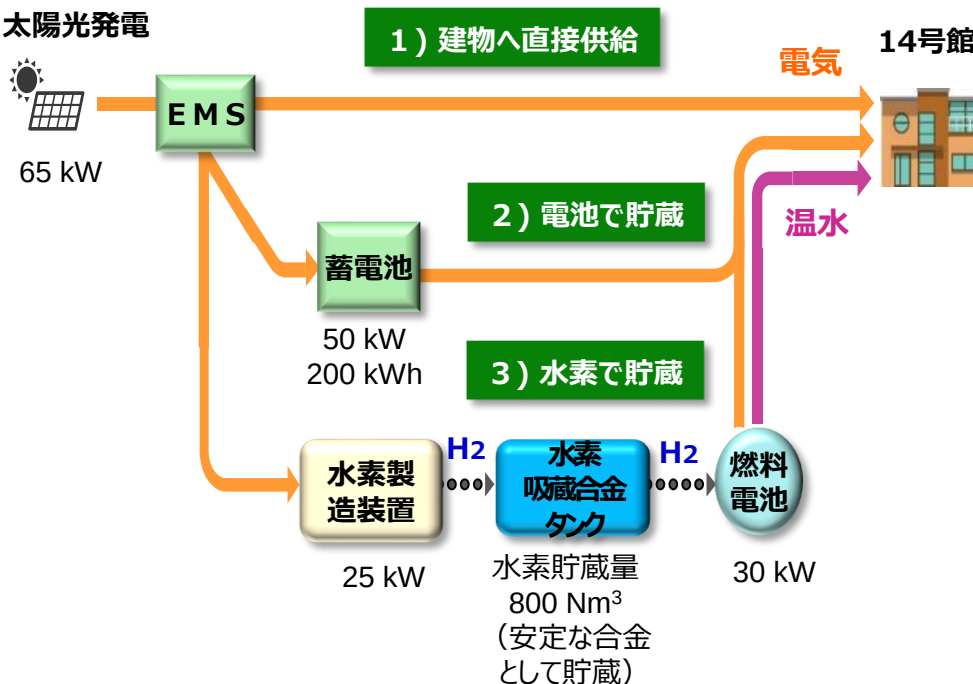
燃料電池



河野 龍興
東京大学先端研教授

東大キャンパスをショーケースに

先端研14号館をエネルギー自立建物に



2022年3月
環境調和型（無反射）太陽光パネルを
設置完了

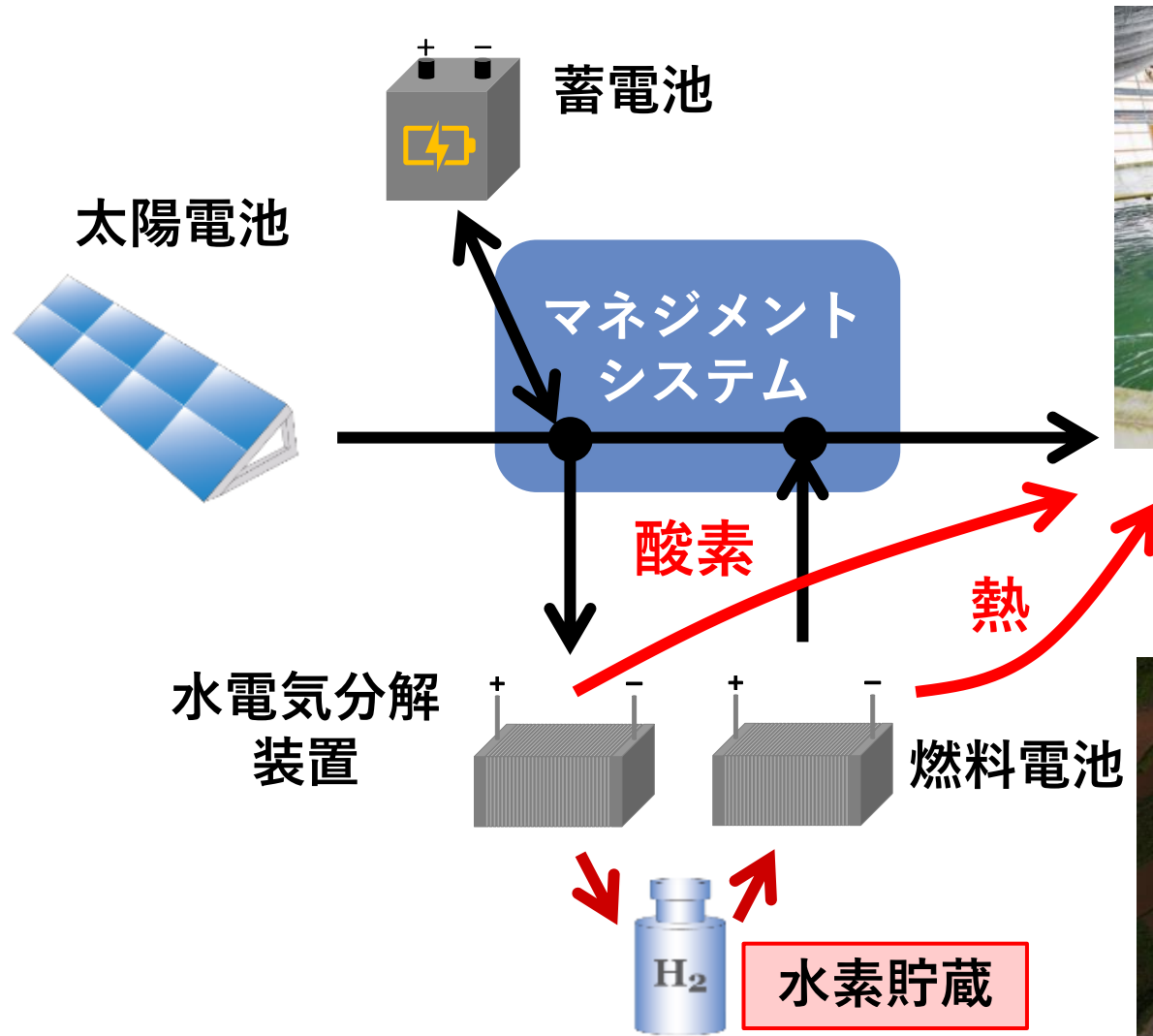
2023年2月
大容量蓄電池設置完了



東京大学 先端科学技術研究センター COI-NEXT
地域気象データと先端学術による戦略的社会共創拠点
ClimCORE

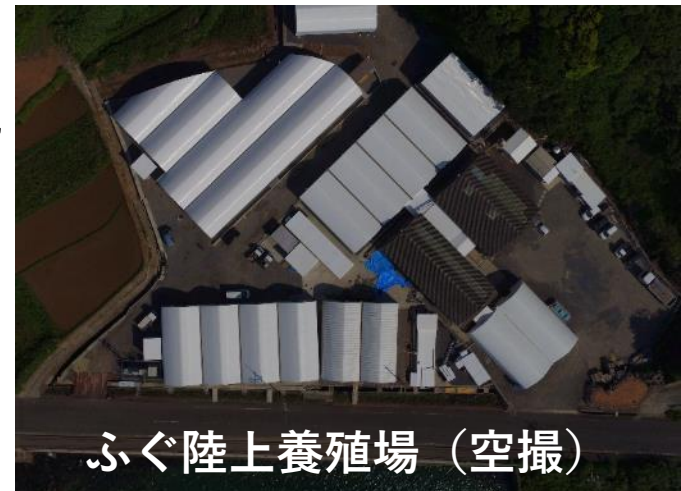
過去の高解像度気象データ → 設備最適設計
未来の気象予測 → 最適オペレーション

壱岐市での水素活用再エネマネジメント



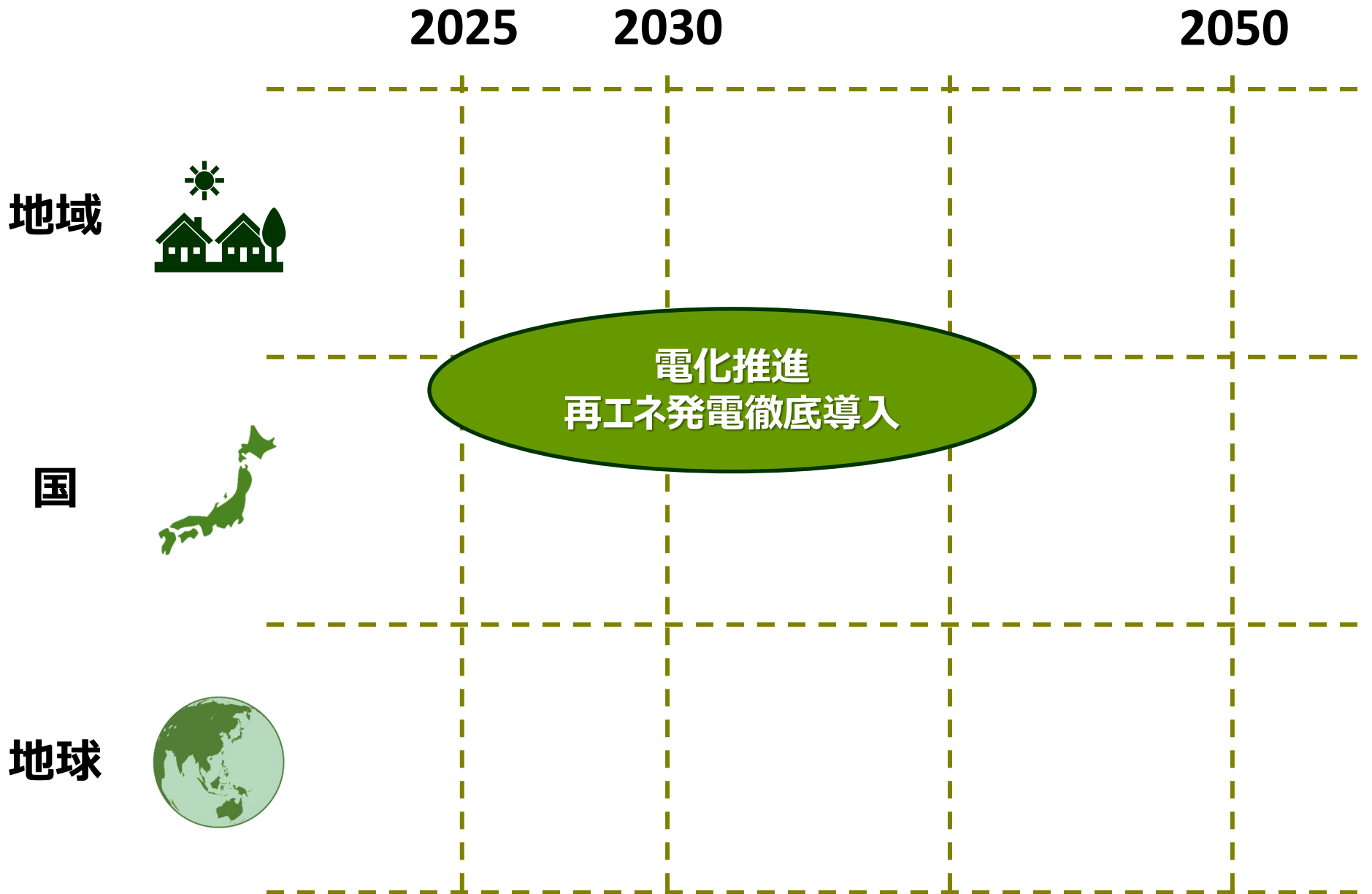
<https://ikigurume.net/news/2020/02/08/425/>

ふぐ陸上養殖用電力

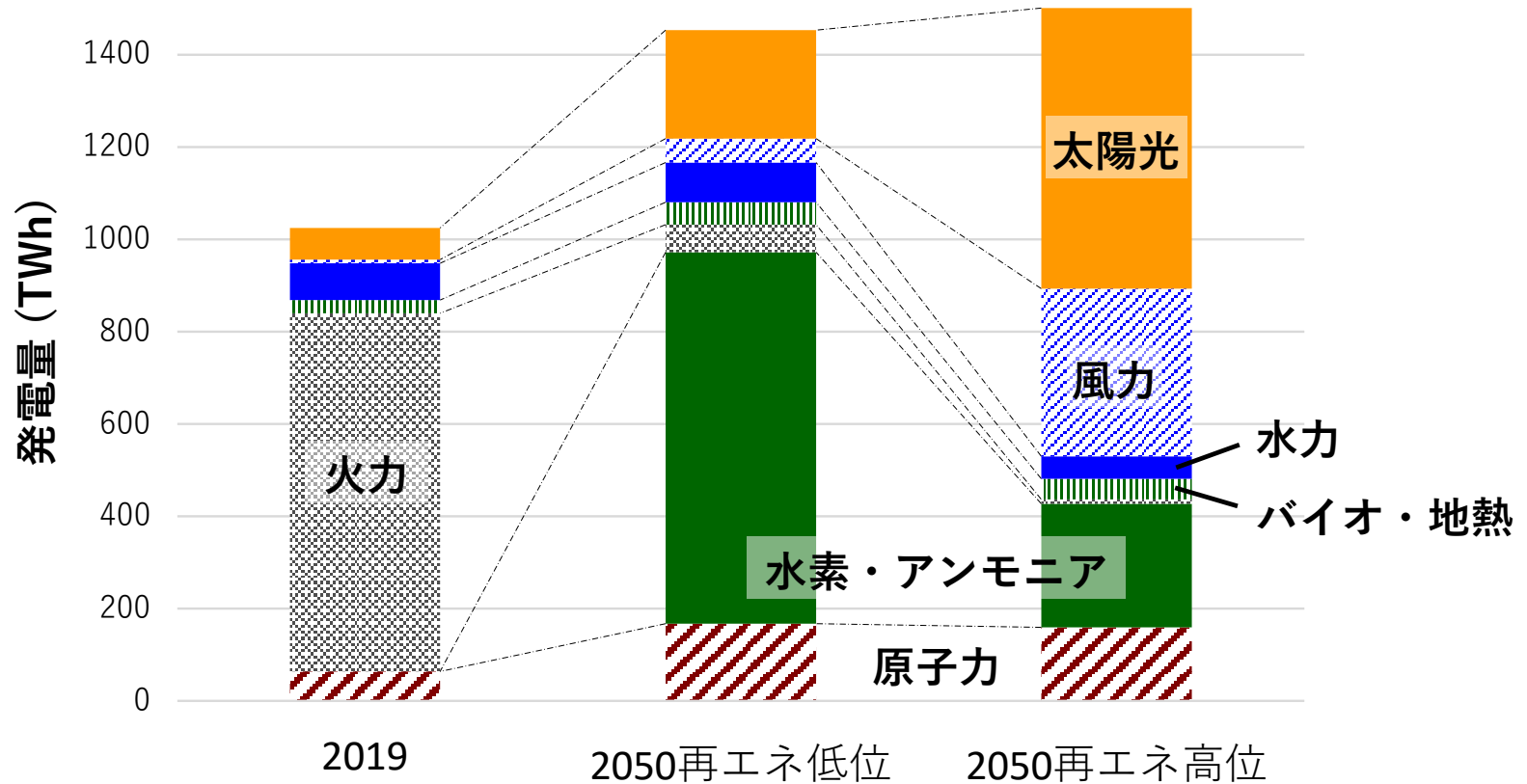


ふぐ陸上養殖場（空撮）

マルチスケールな取り組みを多次元マッピング



2050年の日本における電力ミックスのシナリオ例



設備容量 \ 年	2022	2050	
		再エネ低位	再エネ高位
太陽光 (GW)	67	256	657
風力 (GW) (うち洋上風力)	5	19 (6)	135 (36)
電力調整用 蓄電池 (GWh)		146	1322

燃料の特性比較

特性	アンモニア	水素	メタン	プロパン
沸点（大気圧, °C）	-33.4	-253	-161	-42.1
低位発熱量(MJ/kg)	18.6	120	50.0	46.4
可燃範囲（当量比）	0.6 ~ 1.4	0.1 ~ 7.1	0.5 ~ 1.7	0.5 ~ 2.5
断熱火炎温度（°C）	1800	2110	1950	2000
最大燃焼速度（m/s）	0.07	2.91	0.37	0.43

$$\text{当量比} = \frac{(\text{可燃性気体濃度} / \text{酸素濃度})}{(\text{可燃性気体濃度} / \text{酸素濃度})_{\text{理論混合比}}}$$

□ CO₂ゼロエミッション火力発電の燃料：アンモニア・水素

理論混合比に対する比率
値が大きいほど燃料リッチ

- 分子中に炭素を含まない
→ 製造・輸送過程のCO₂排出がゼロなら、ゼロエミッション燃料になる。

□ アンモニア

- 保存・輸送が比較的容易（液化しやすい） ただし、毒性が強い。
- 燃えにくい、燃焼が遅い → 燃焼が遅い石炭との親和性
- 燃焼に伴うNO_x, N₂Oの発生

□ 水素

- 保存・輸送が困難（液化しにくい）
- 燃えやすい、燃焼が極端に早い（制御困難） → 燃焼器の新規設計が必要

マルチスケールな取り組みを多次元マッピング

2025

2030

2050

地域



国

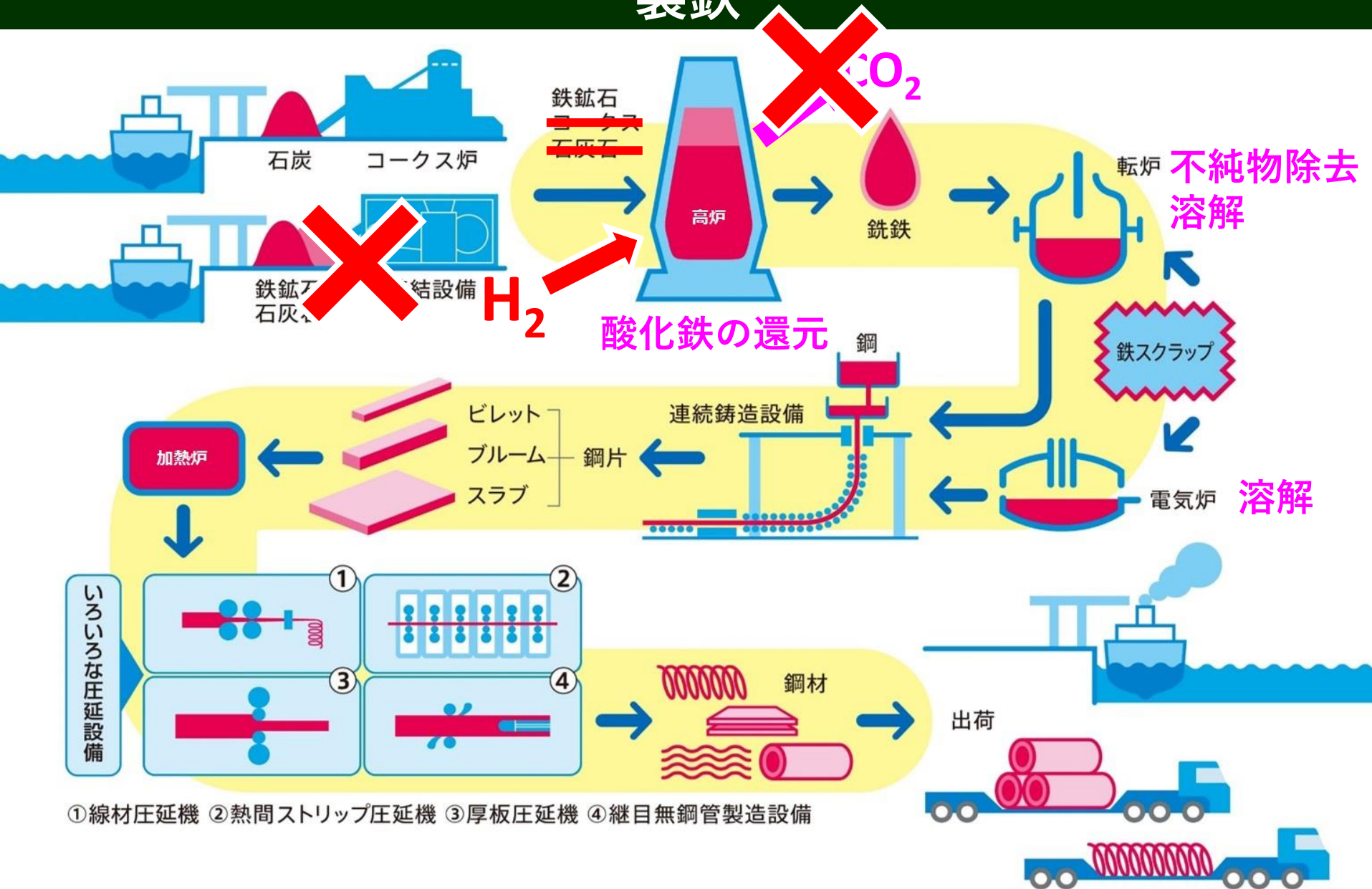


地球



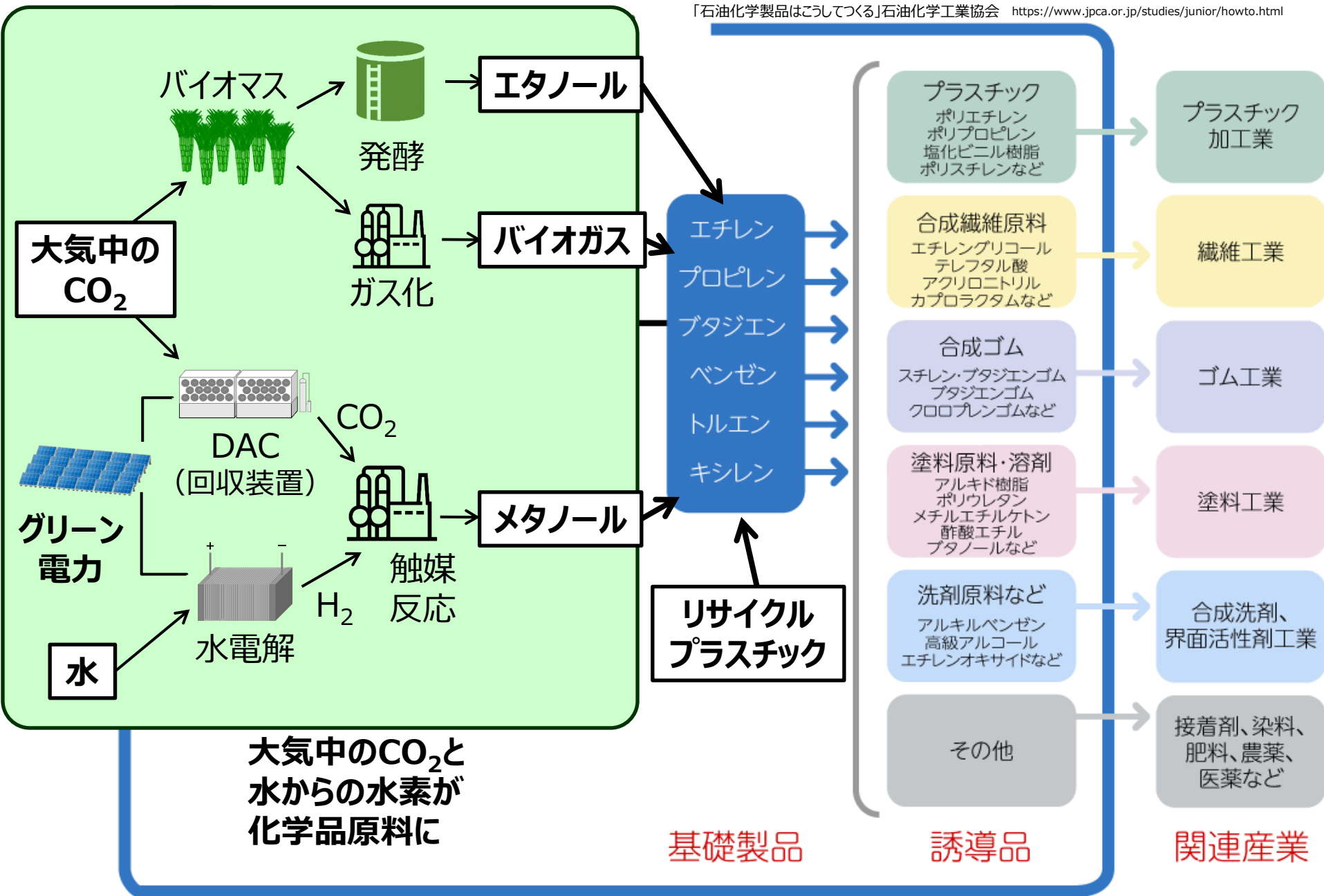
製鉄・化学産業等の
脱化石資源

製鉄



化学産業

「石油化学製品はこうしてつくる」石油化学工業協会 <https://www.jpca.or.jp/studies/junior/howto.html>



マルチスケールな取り組みを多次元マッピング

2025

2030

2050

地域



国



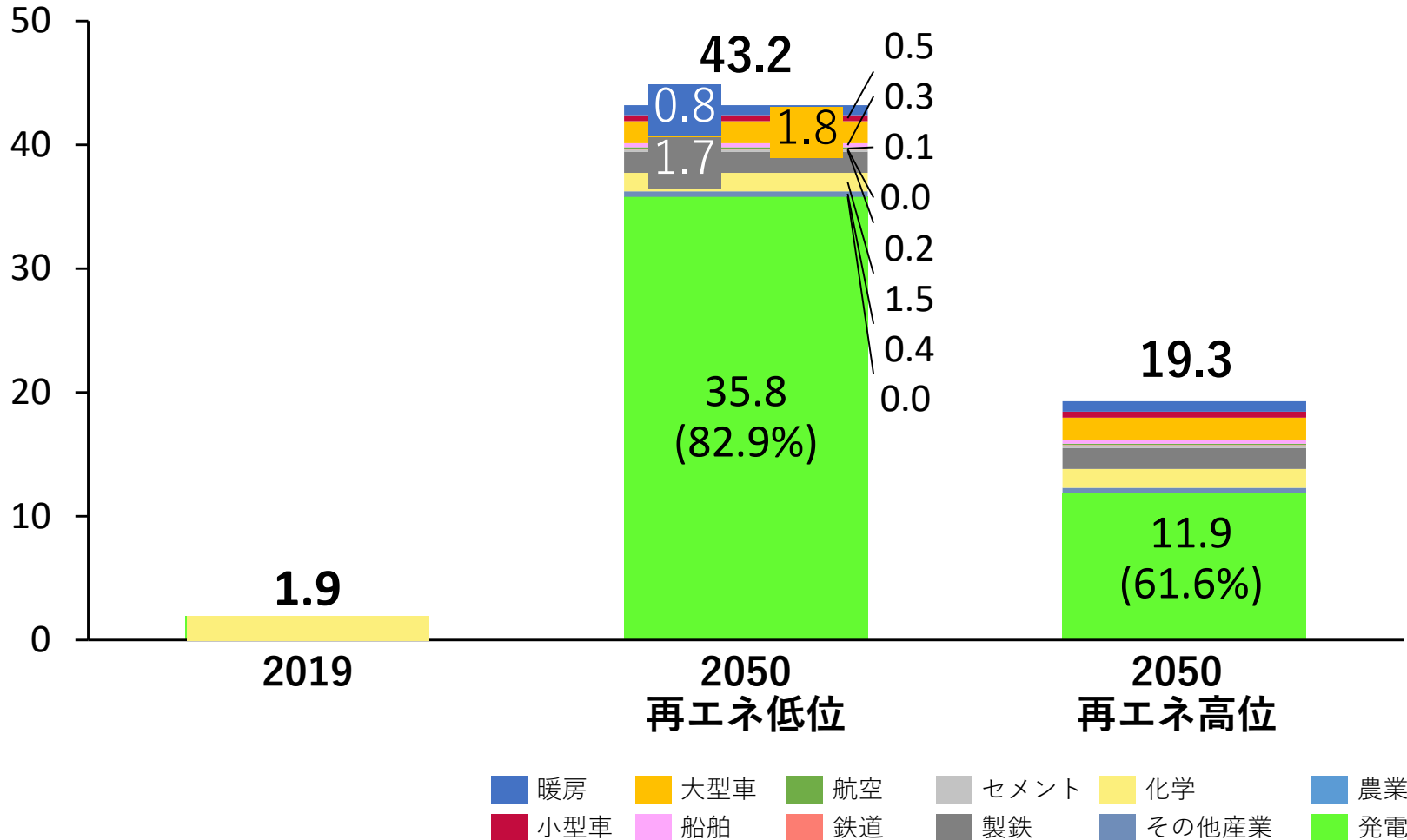
地球



グリーン水素の
グローバルネットワーク

2050年カーボンニュートラル達成に必要な水素需要

(百万トン)



シナリオにより異なるが、1930～4320万トン/年の水素が必要

CO₂フリー水素をどこで製造するか？

グリーン成長戦略で必要とされているCO₂フリー水素

➔ 2000万トン/年 (@2050)

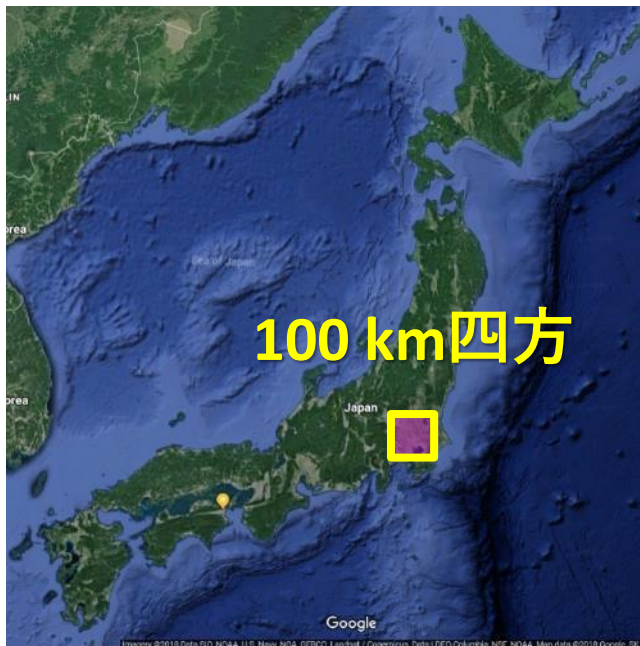
仮に、再エネ電力による水電解で製造すると... 水電解に必要な電力：1000 TWh/年

現在の日本の年間発電量に等しい

必要な面積（太陽光発電の場合）

日本

PV発電容量 ～900 GW
(設備利用率 13%)



オーストラリア

PV発電容量 ～ 600 GW
(設備利用率 19%)

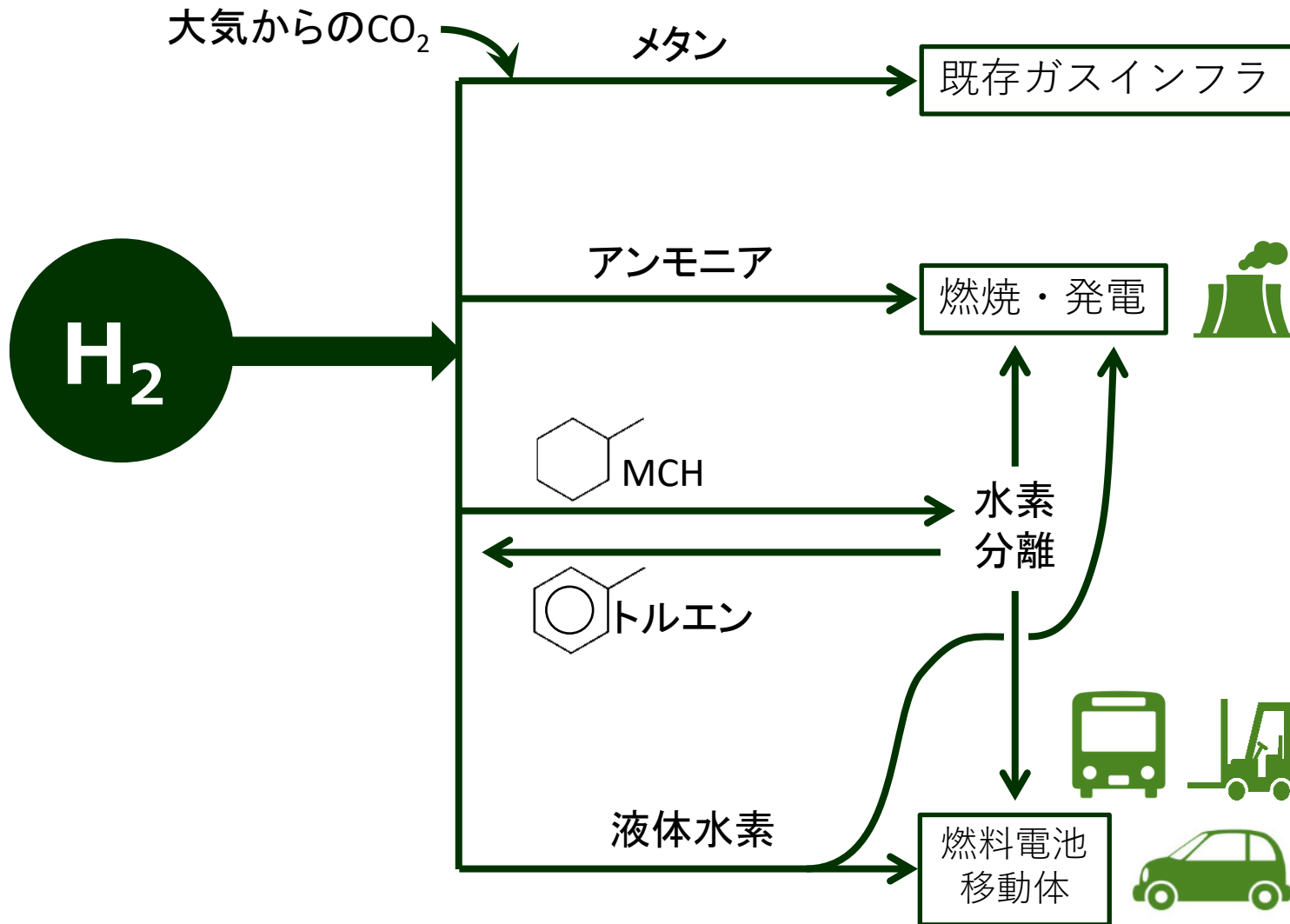


海外からのCO₂フリー水素輸入

製造（海外・洋上）

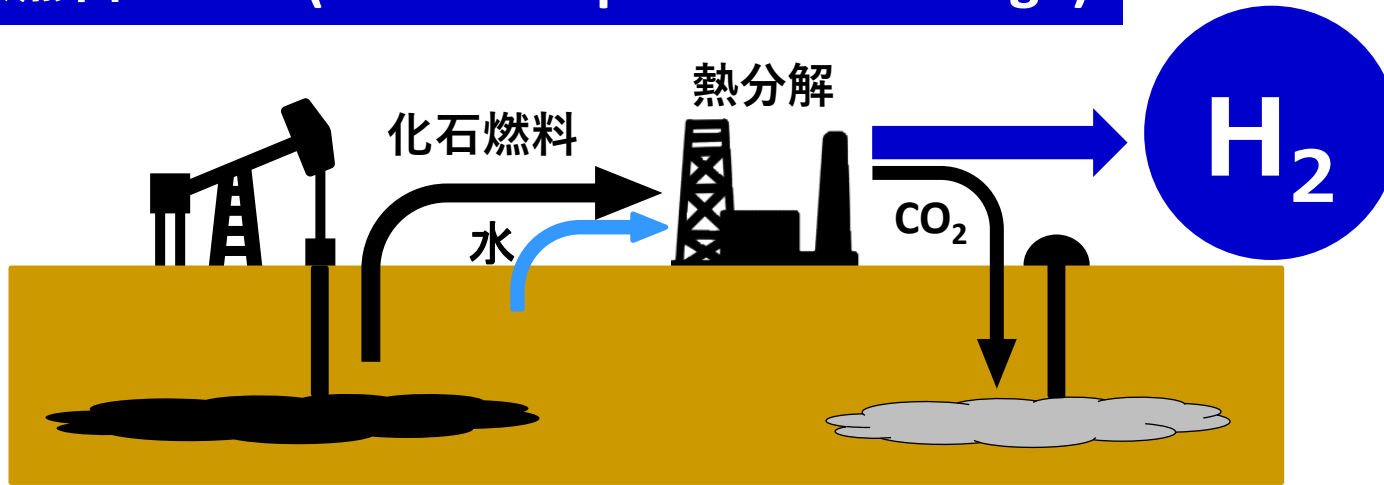


消費（日本）

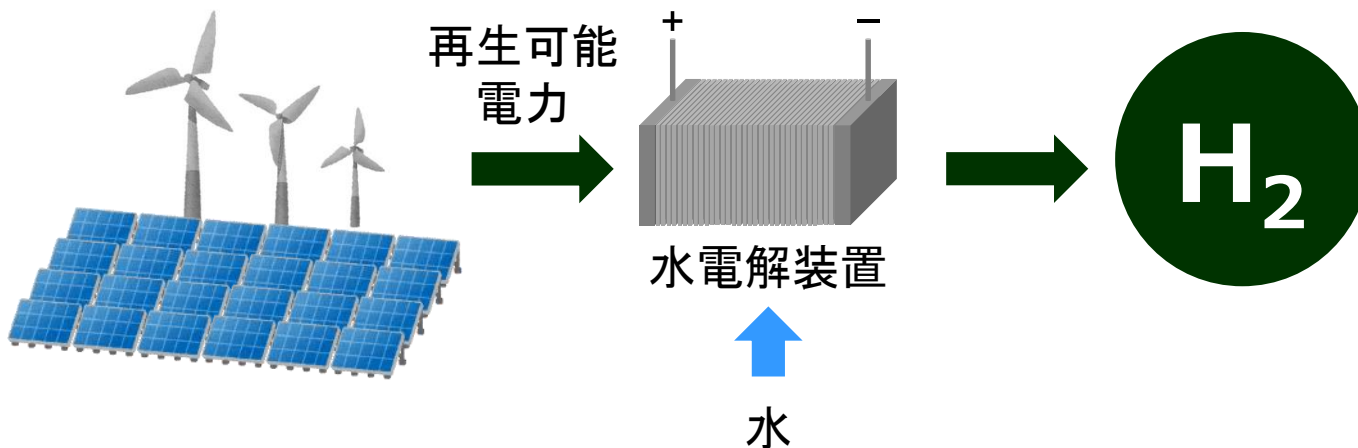


CO₂フリー水素の製造法

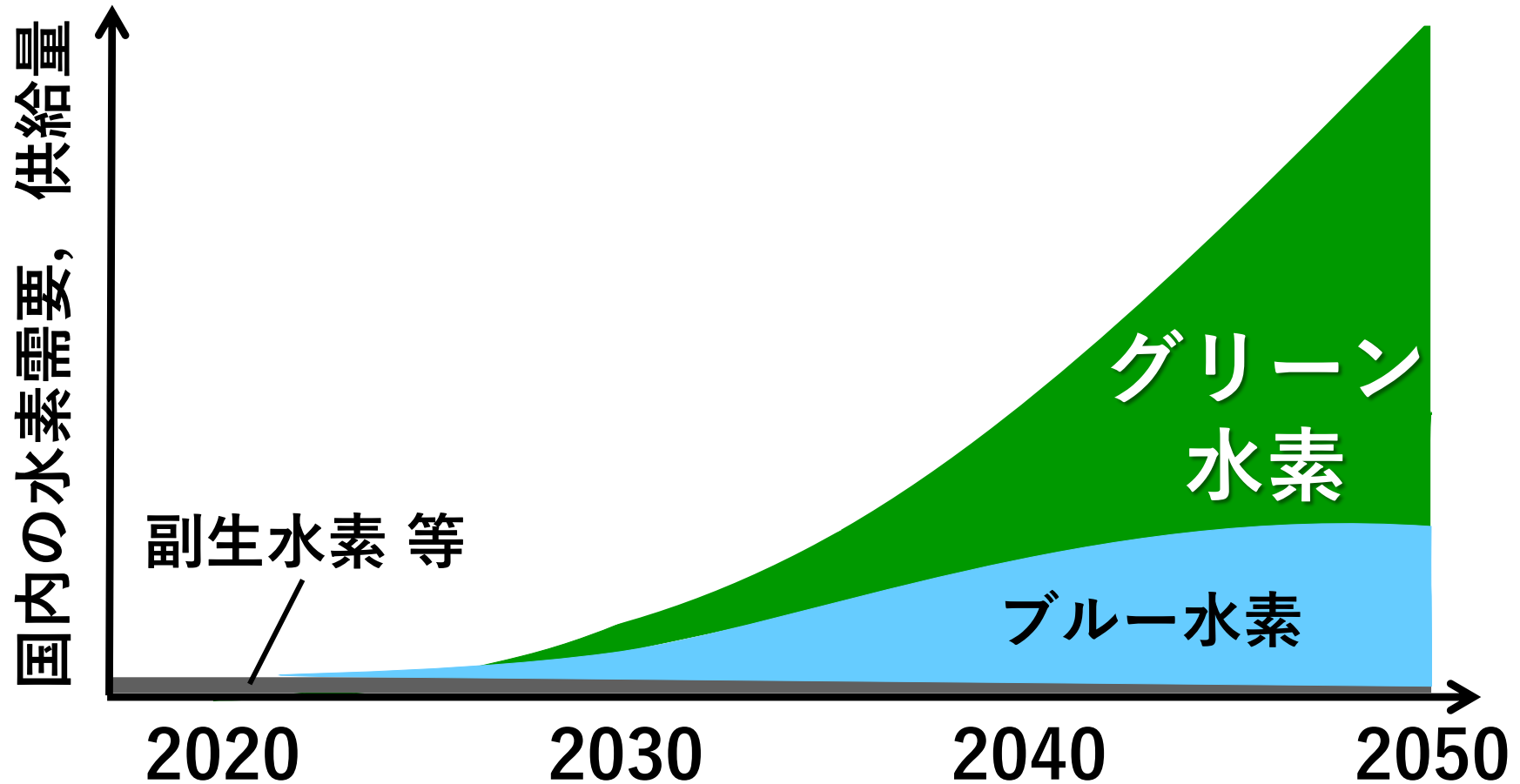
化石燃料 + CCS (Carbon Capture and Storage)



再生可能電力 + 水電解



CO₂フリー導入のイメージ



マルチスケールな取り組みを多次元マッピング

2025

2030

2050

今、身の回りでできること

地域



地産地消の再エネ
まちの魅力創造

国



電化推進
再エネ発電徹底導入

製鉄・化学産業等の
脱化石資源

地球



グリーン水素の
グローバルネットワーク

カーボンリサイクル

他の軸：導入可能量，技術成熟度 等

地球規模の持続可能性を目指す