



UTokyo
Green
Transformation

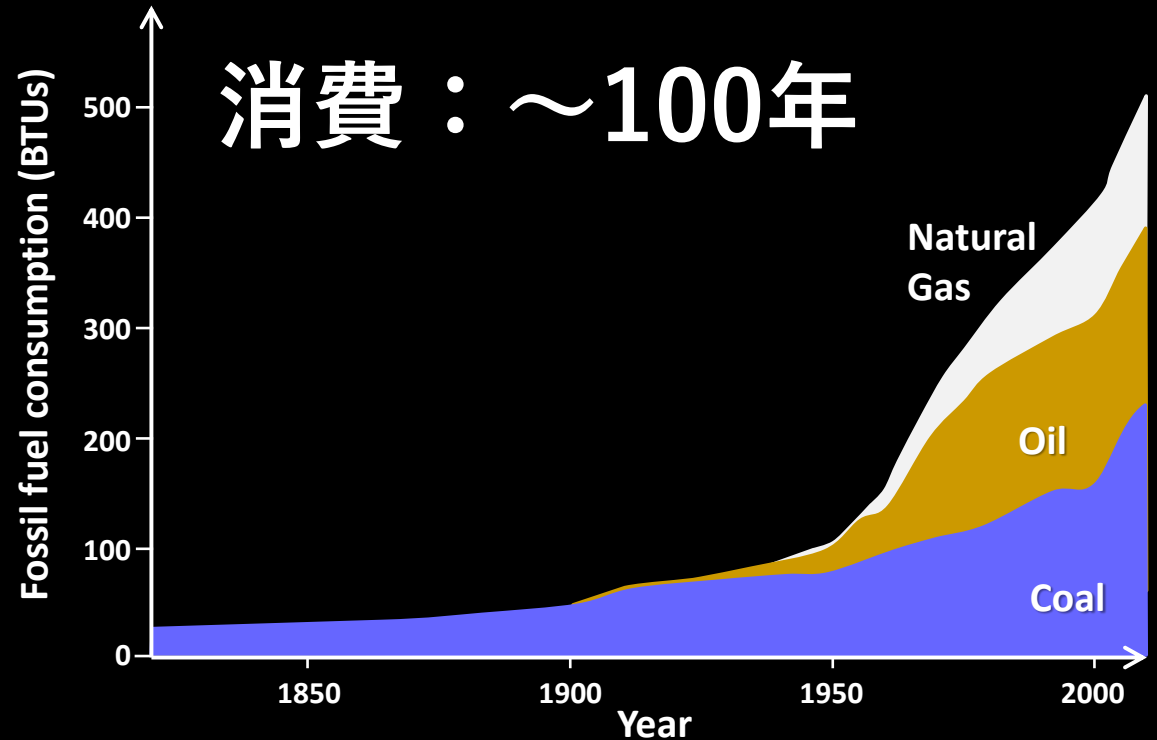
カーボンニュートラル 実現に向けた水素の役割

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

化石燃料の製造と消費



地球の
誕生

化石燃料の製造 ～10億年



流れは変えられる

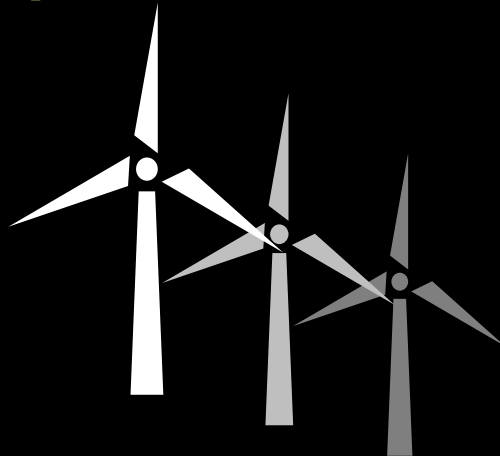
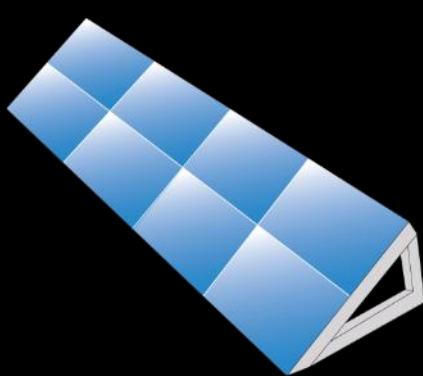


→ CO₂

化石燃料

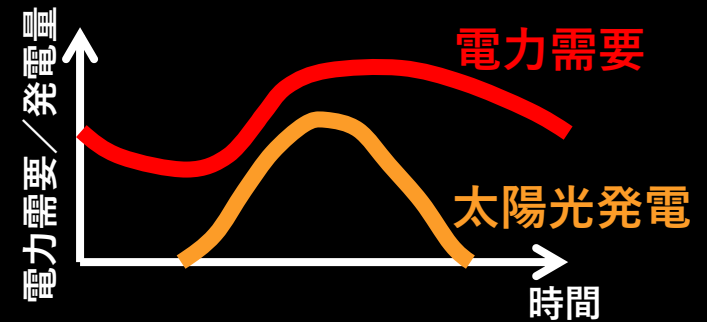
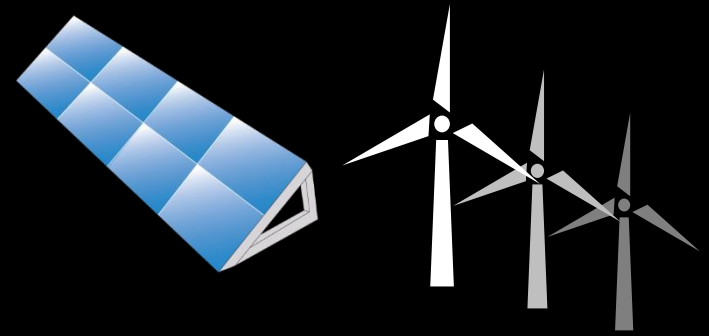
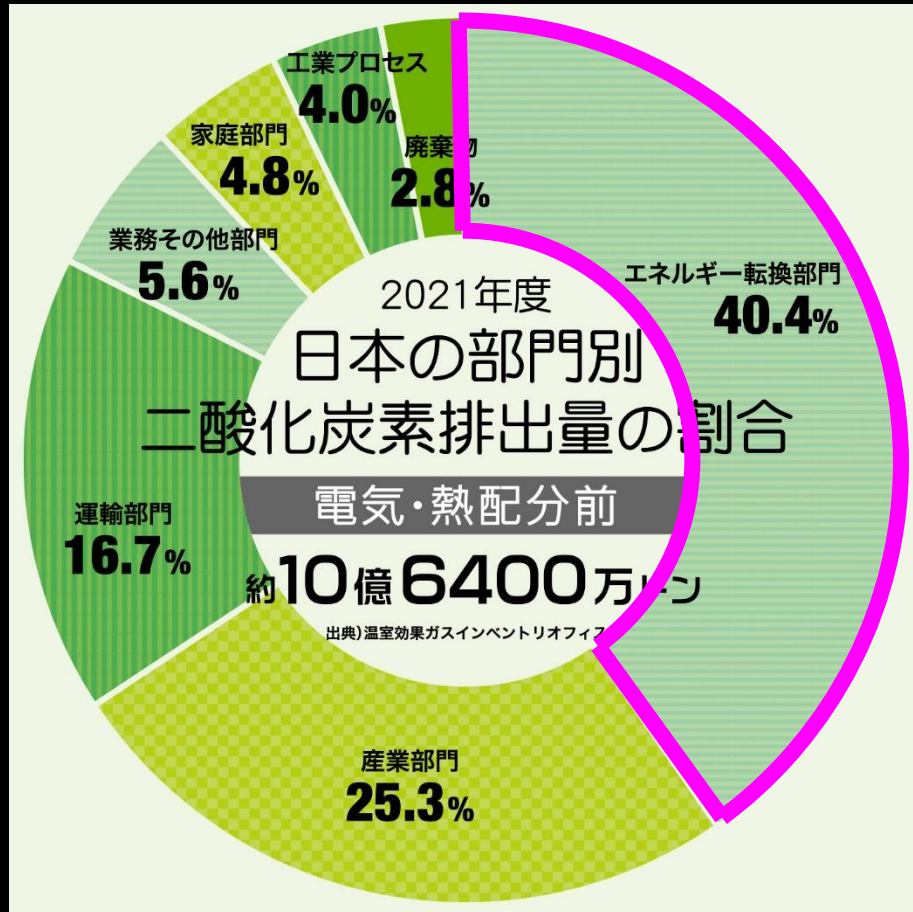


再生可能エネルギー

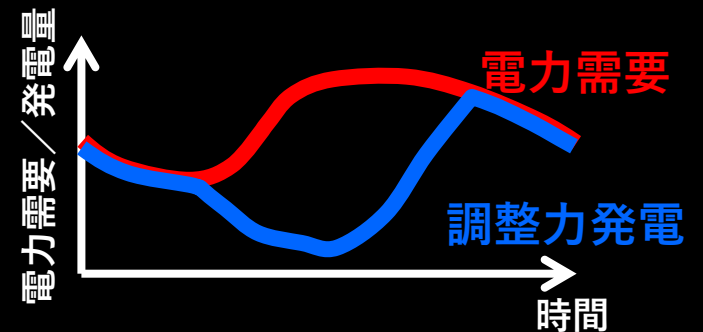


CO₂
排出なし

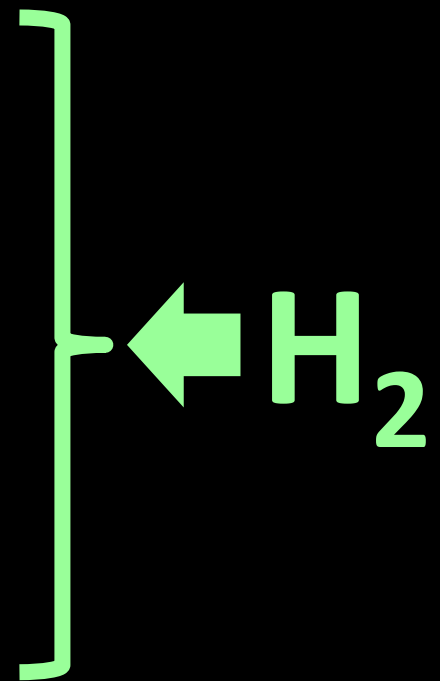
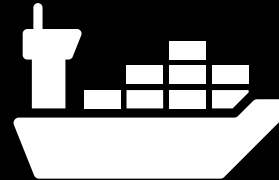
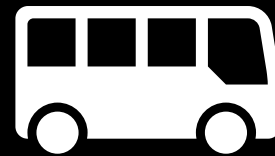
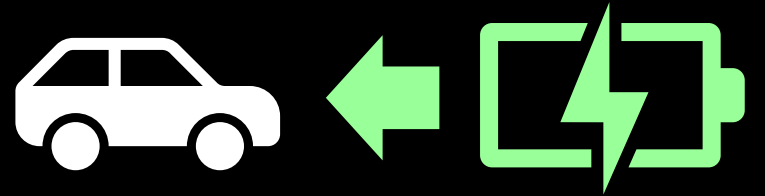
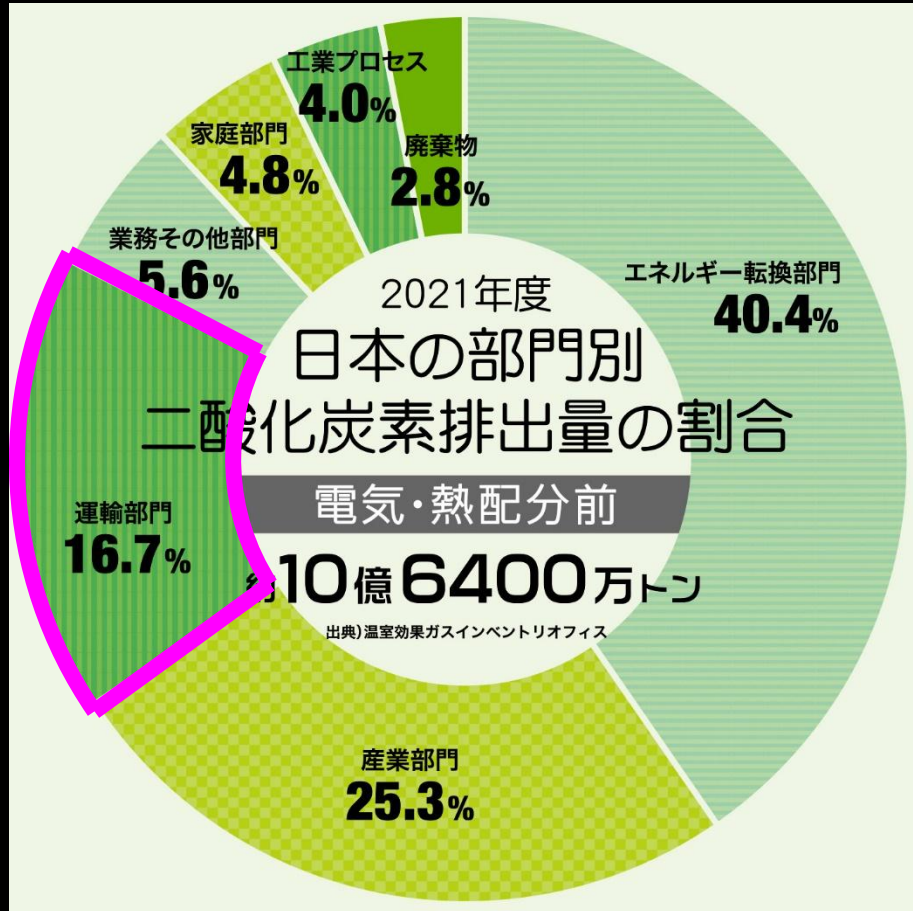
電力



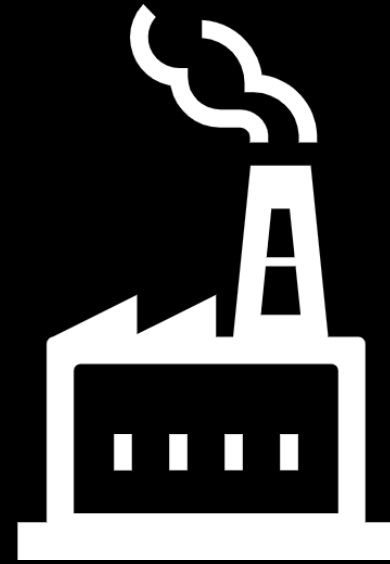
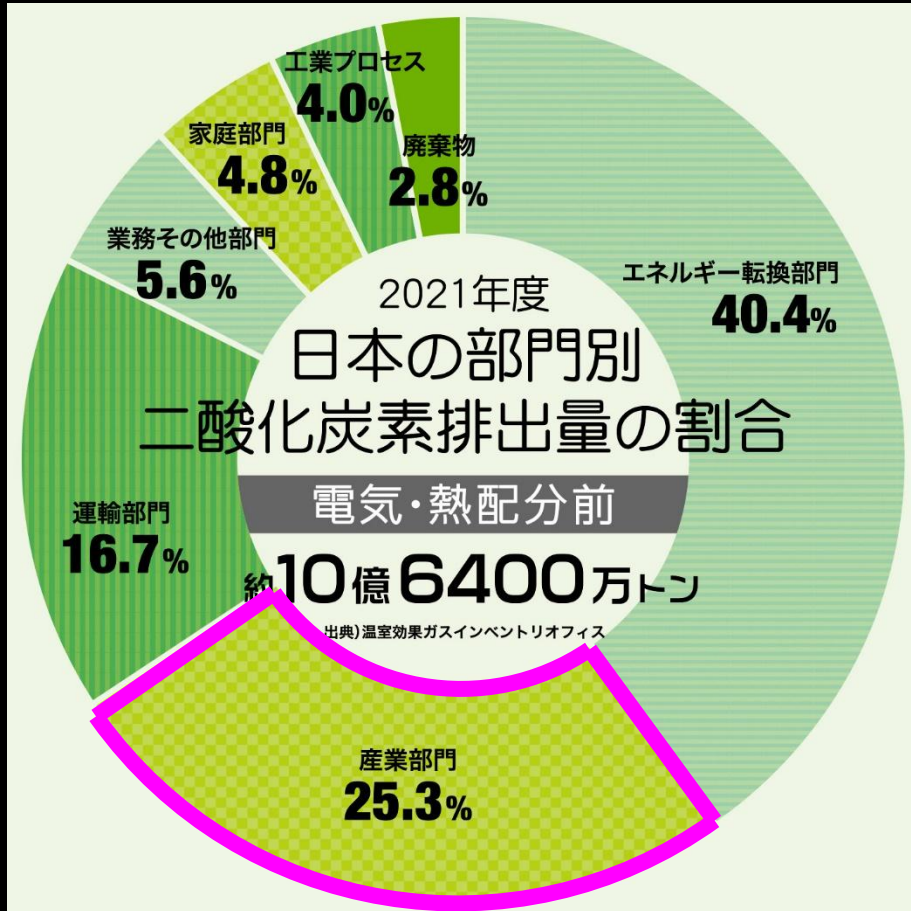
← H₂



運輸

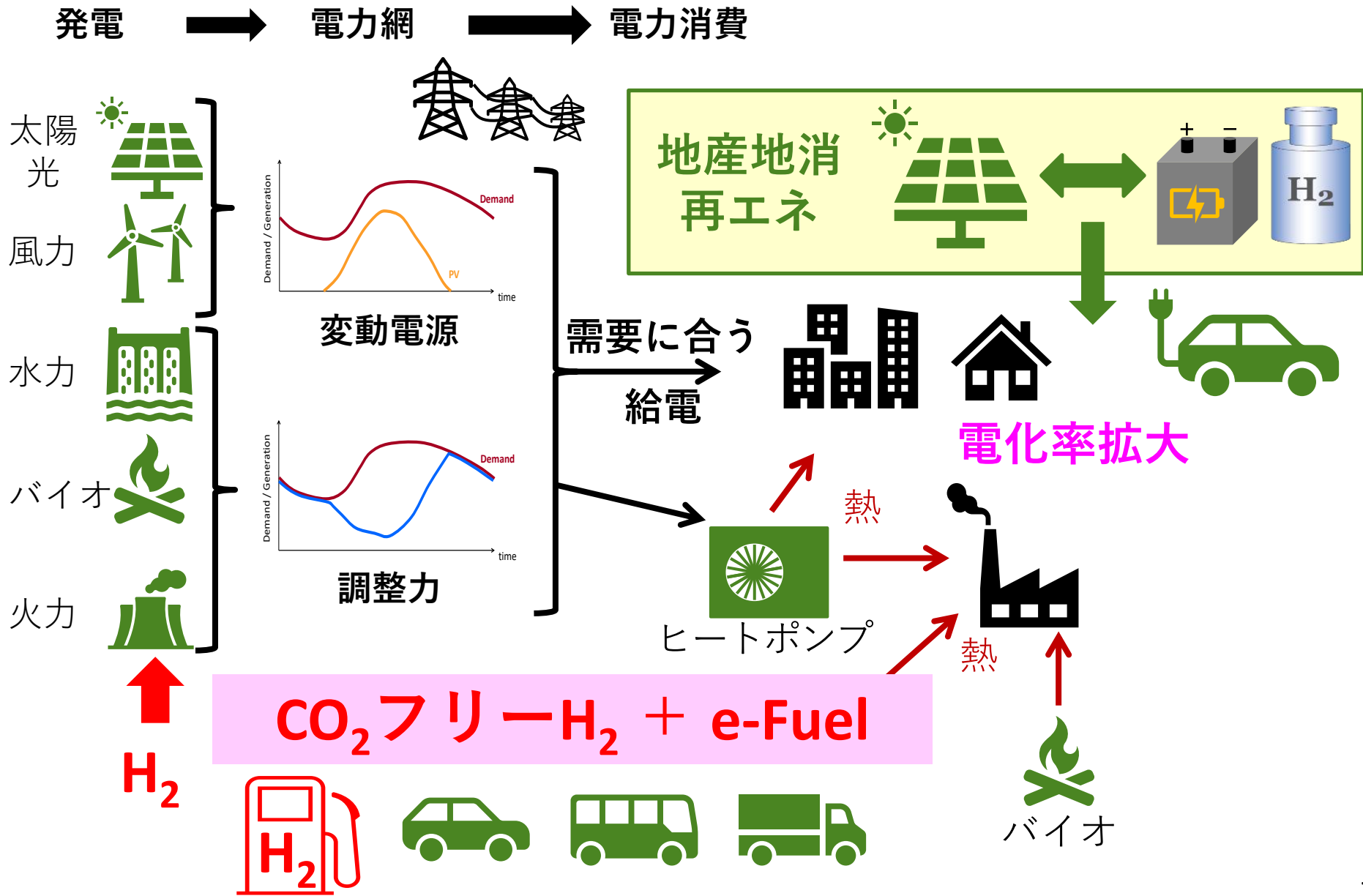


産業

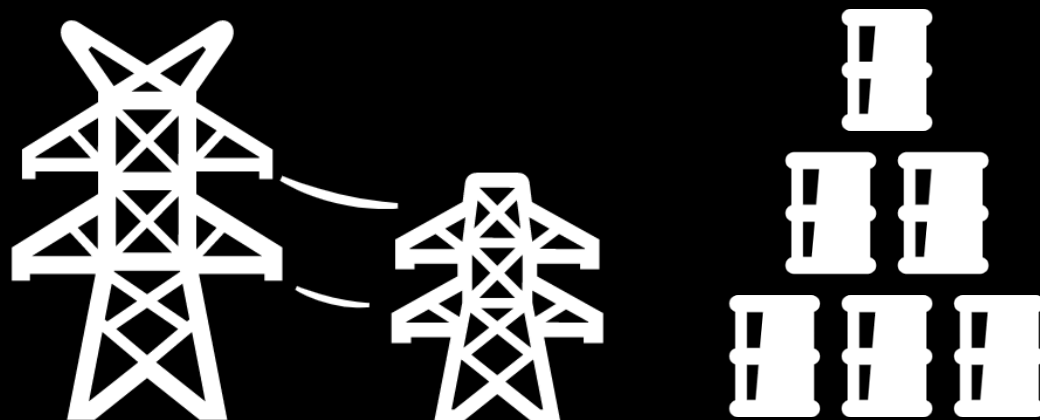


高温熱源

エネルギーの脱炭素戦略：まとめ

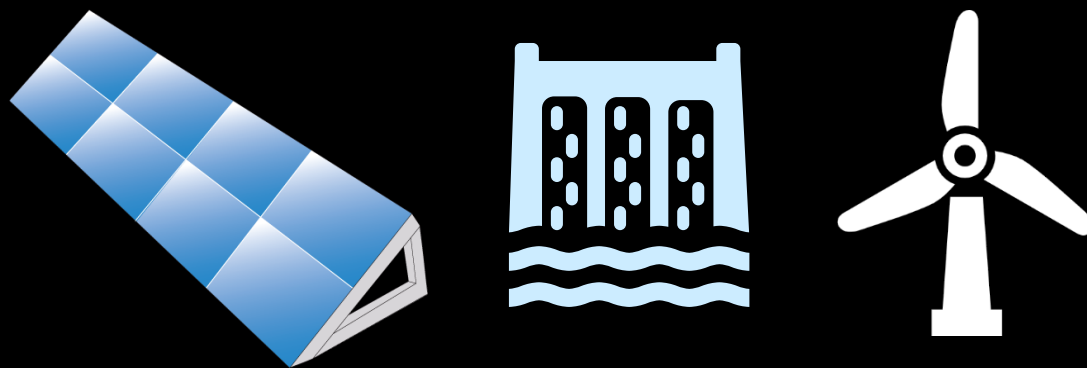


化石燃料 の時代



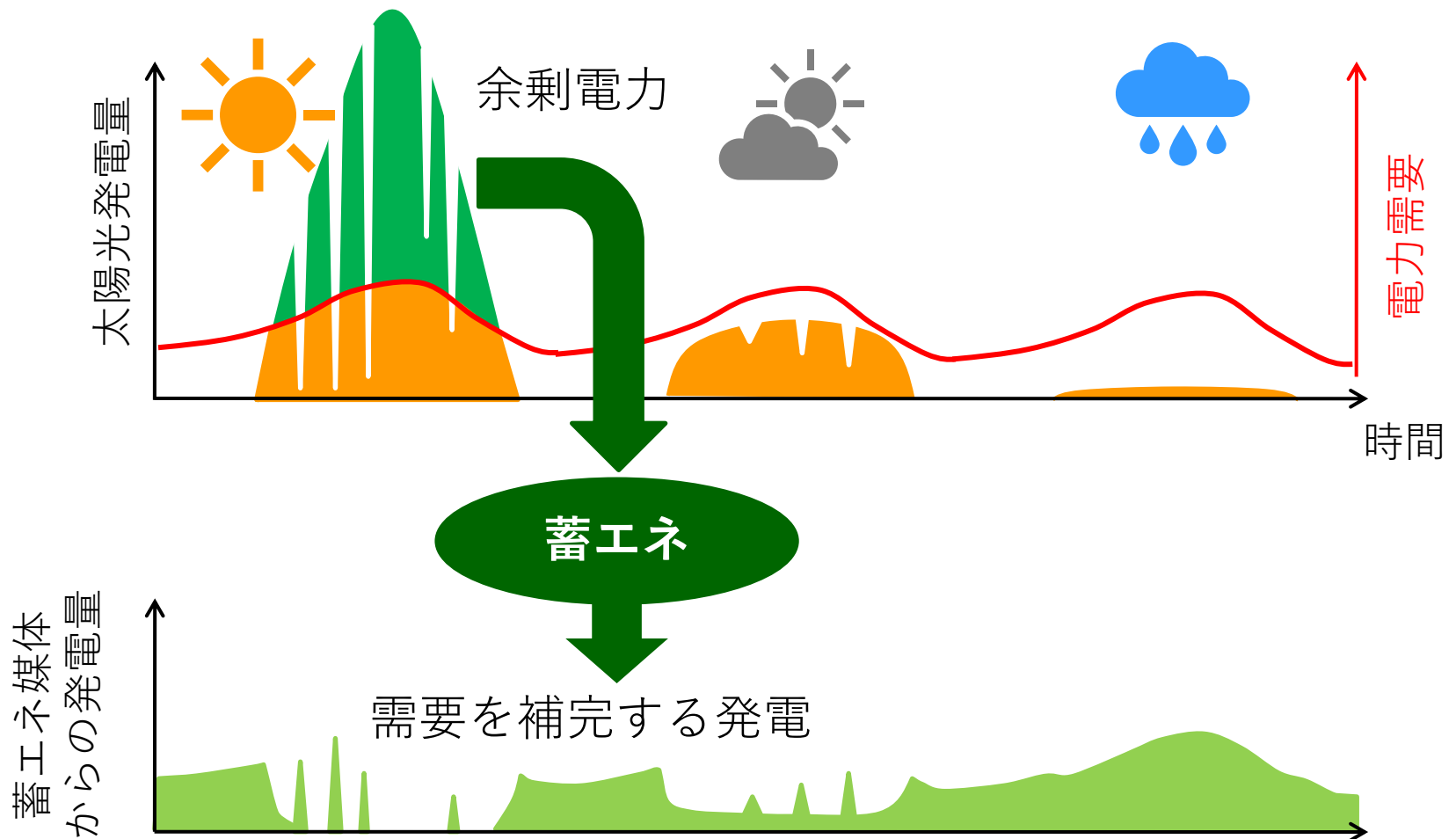
エネルギーは国の政策

再生可能 エネルギー の時代

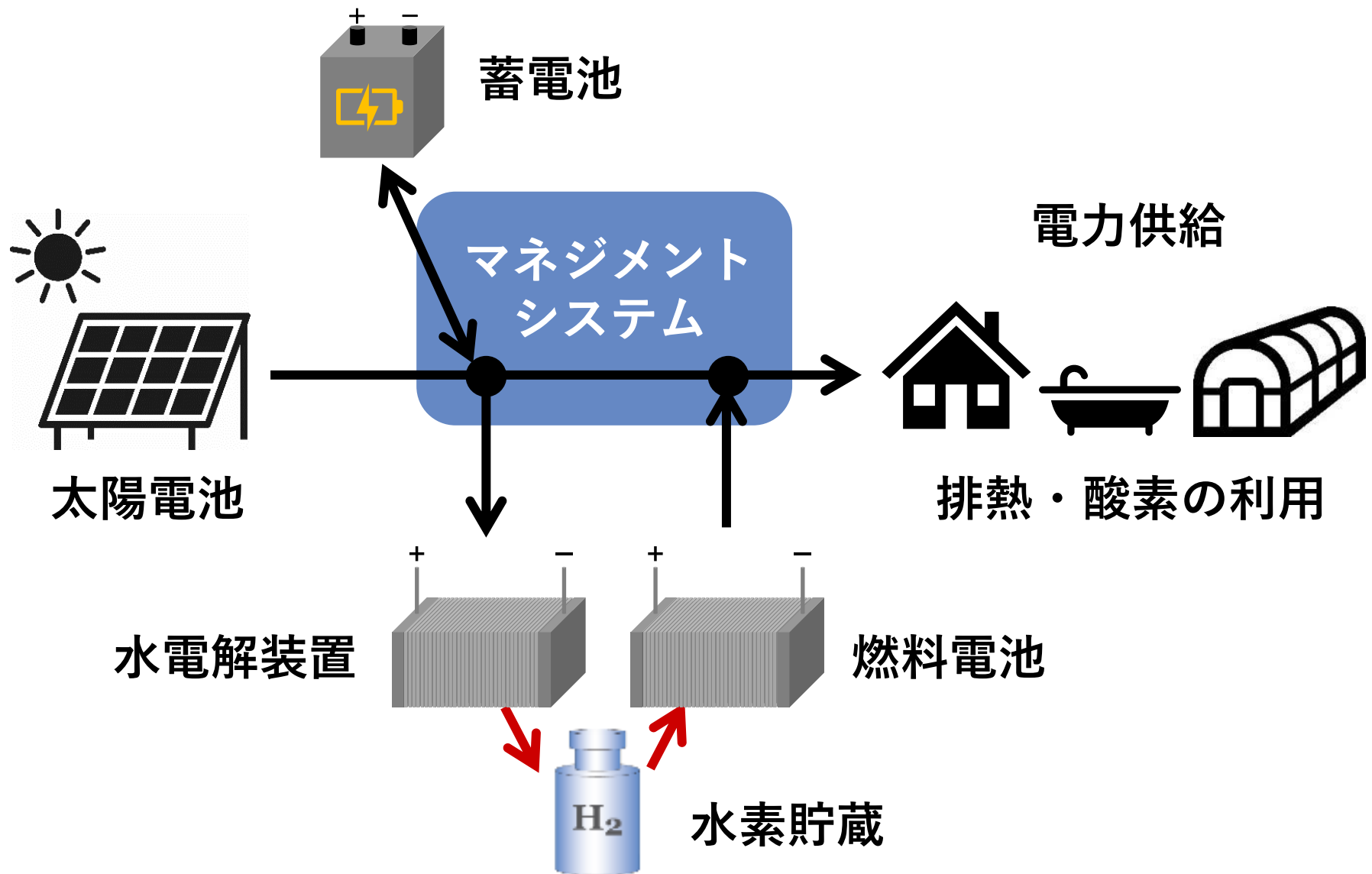


エネルギーは地域の課題
にもなる

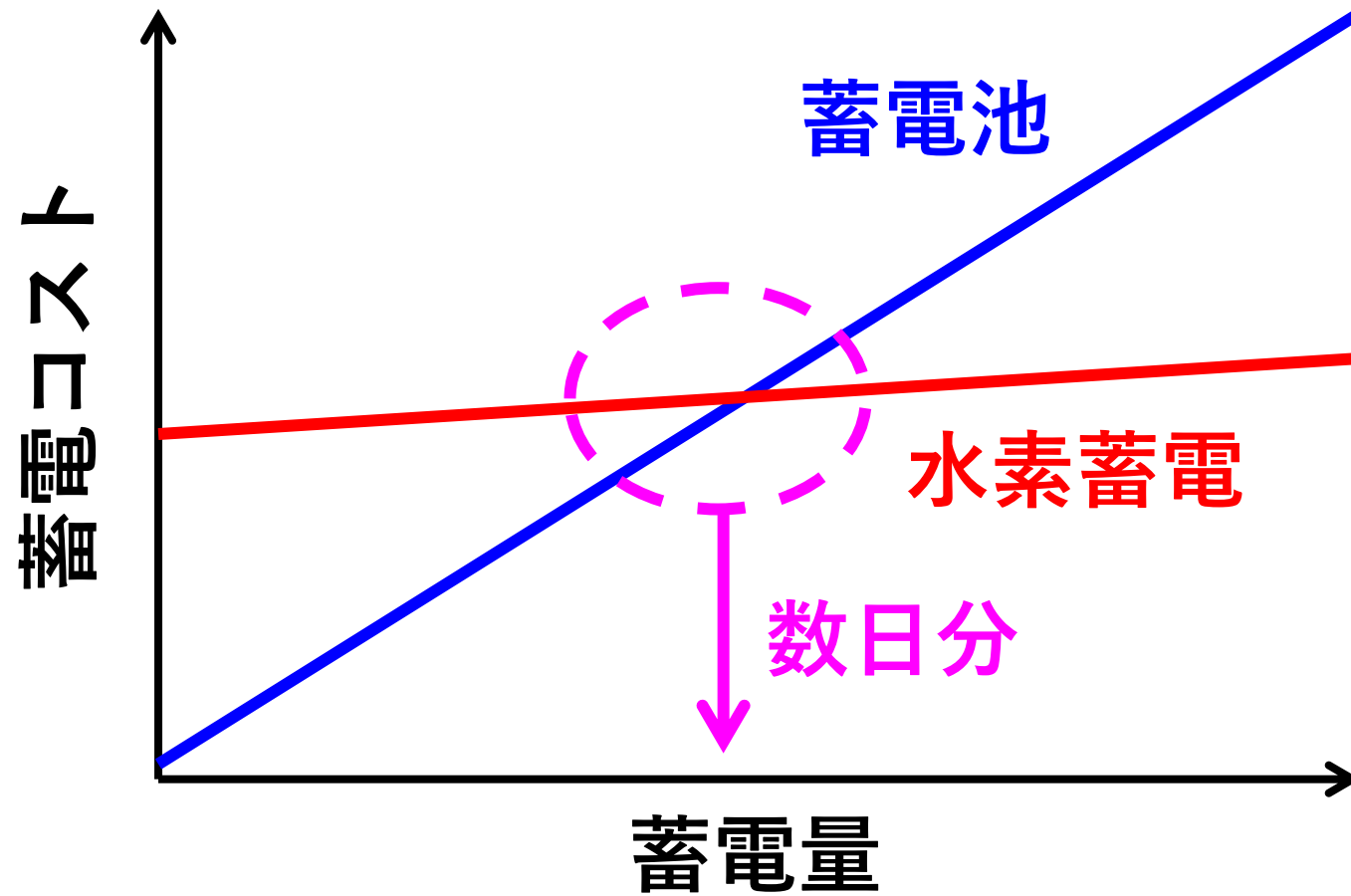
再生可能発電の大量導入策：時間シフト



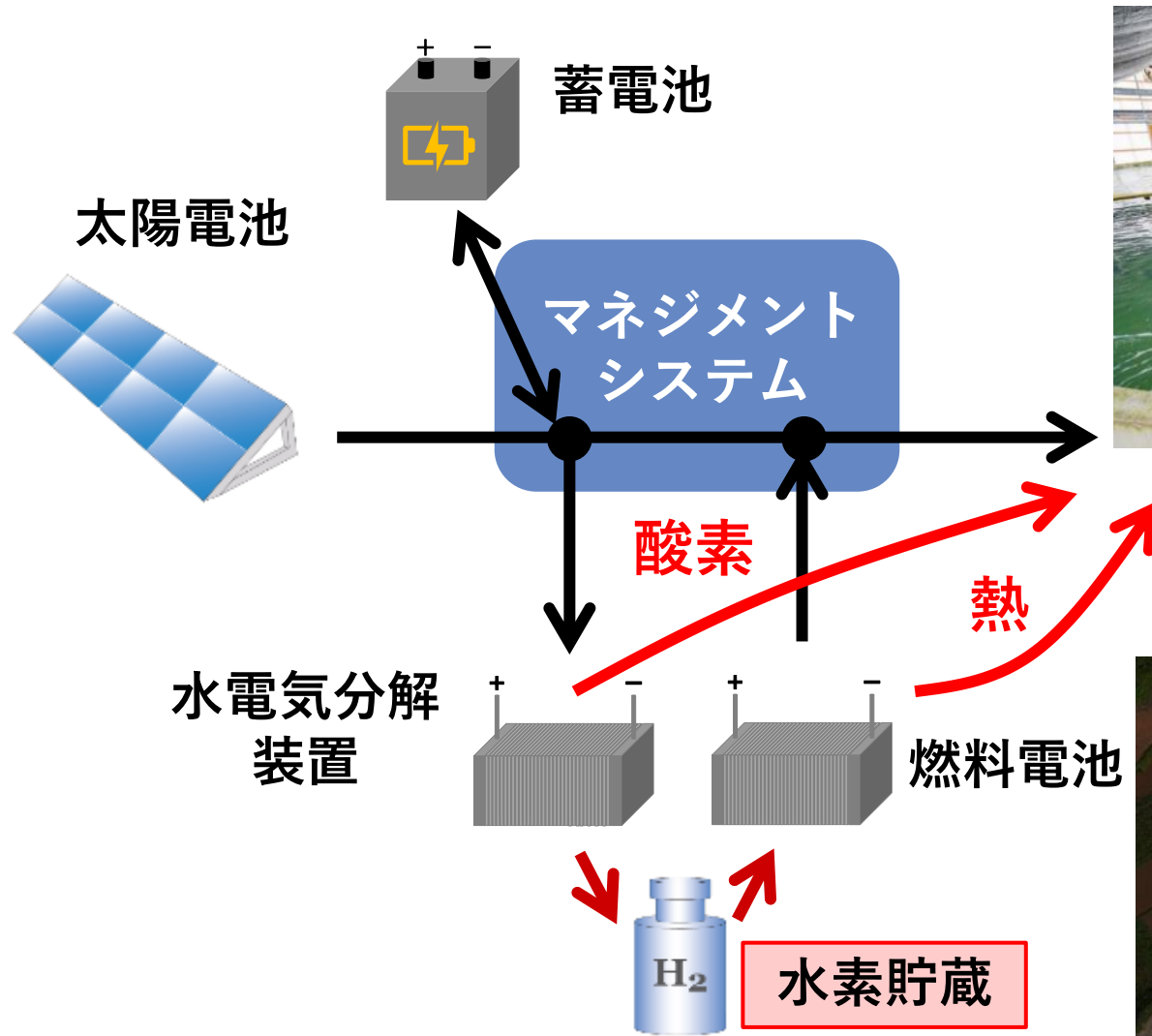
水素が電池になる!?



水素蓄エネ技術の位置づけ

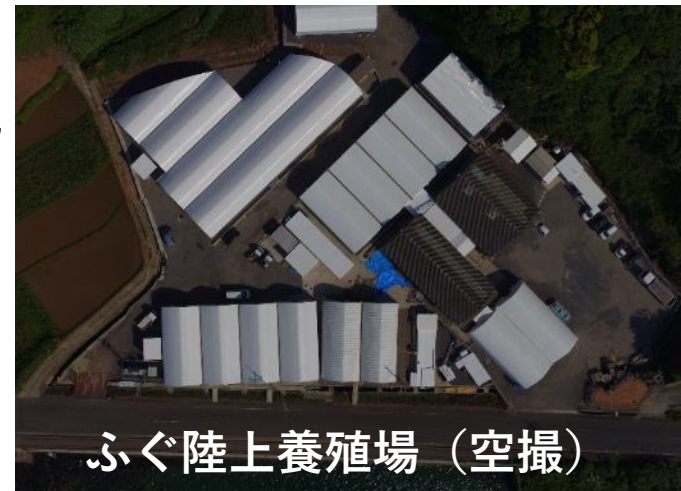


壱岐市での水素活用再エネマネジメント



<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）

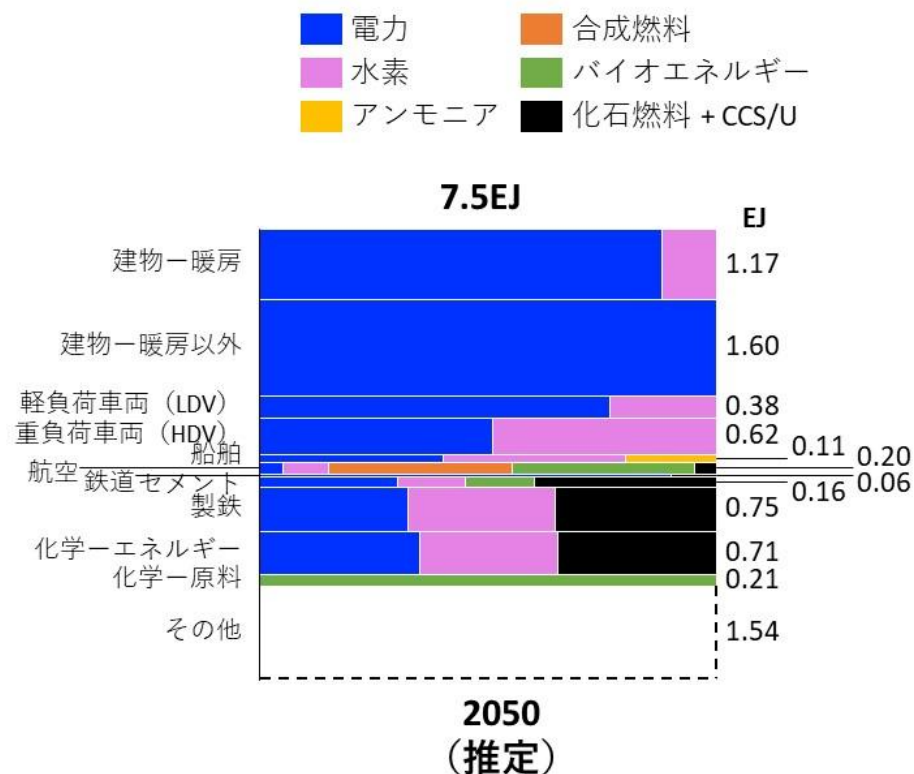
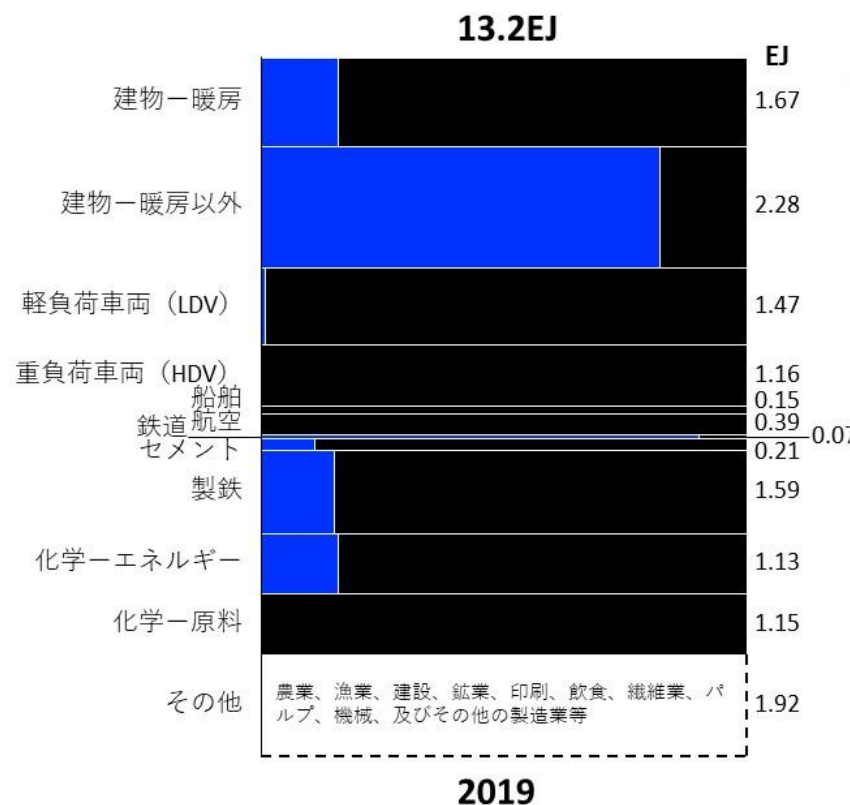
2050年に向けたエネルギートランジション

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

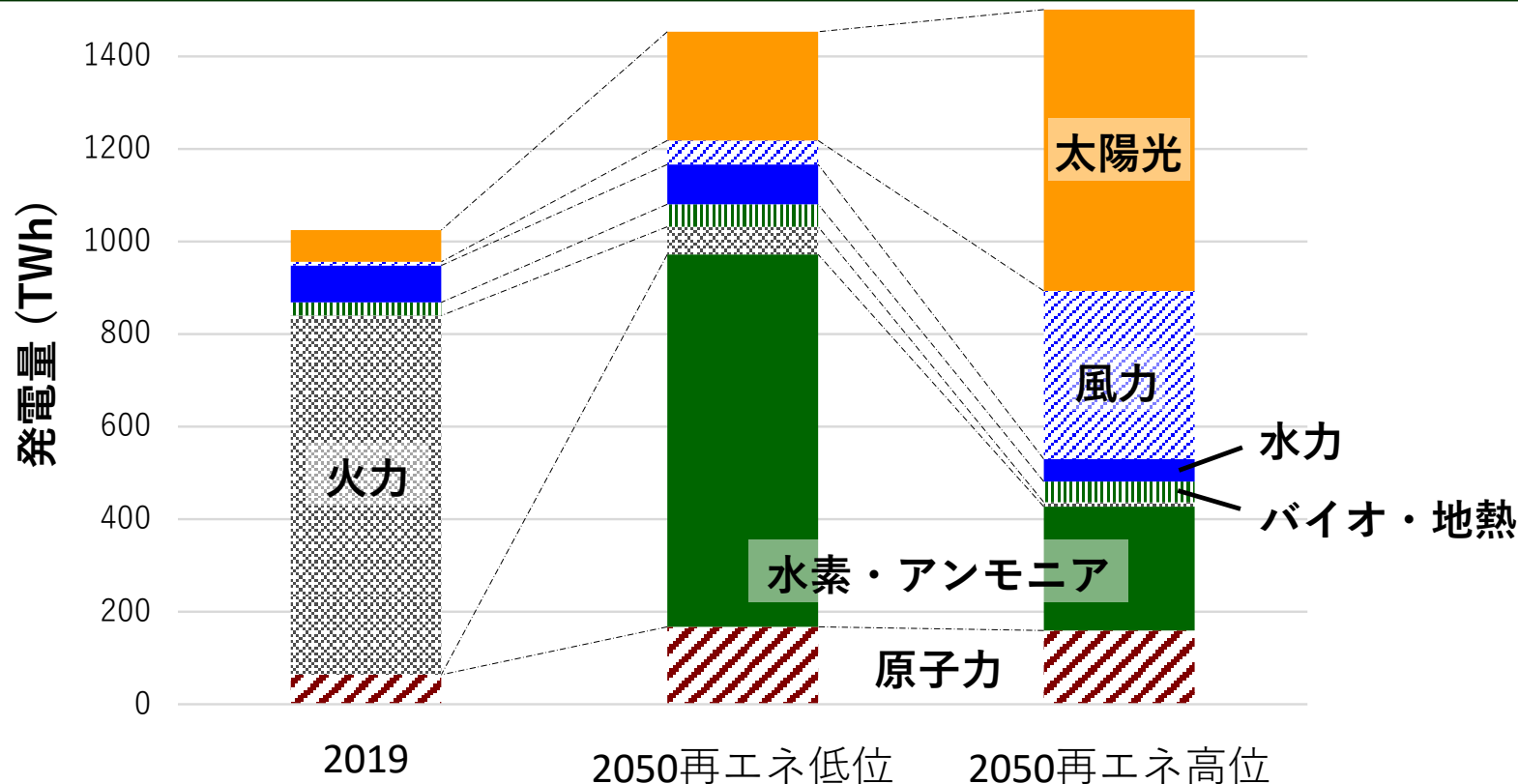
<https://cgc.ifi.u-tokyo.ac.jp/topics/eticgc2306/>



□ 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

電化によるCN実現の前提は電源の脱炭素化



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

農地の1/4にPV敷設
建物の壁にもPV

遠洋洋上風力

車載用の40～60%
の容量

水素社会は到来するか？

水素燃料電池自動車と供給ステーション



<https://toyota.jp/mirai/>



<https://www.city.kawasaki.jp/300/page/0000072549.html>



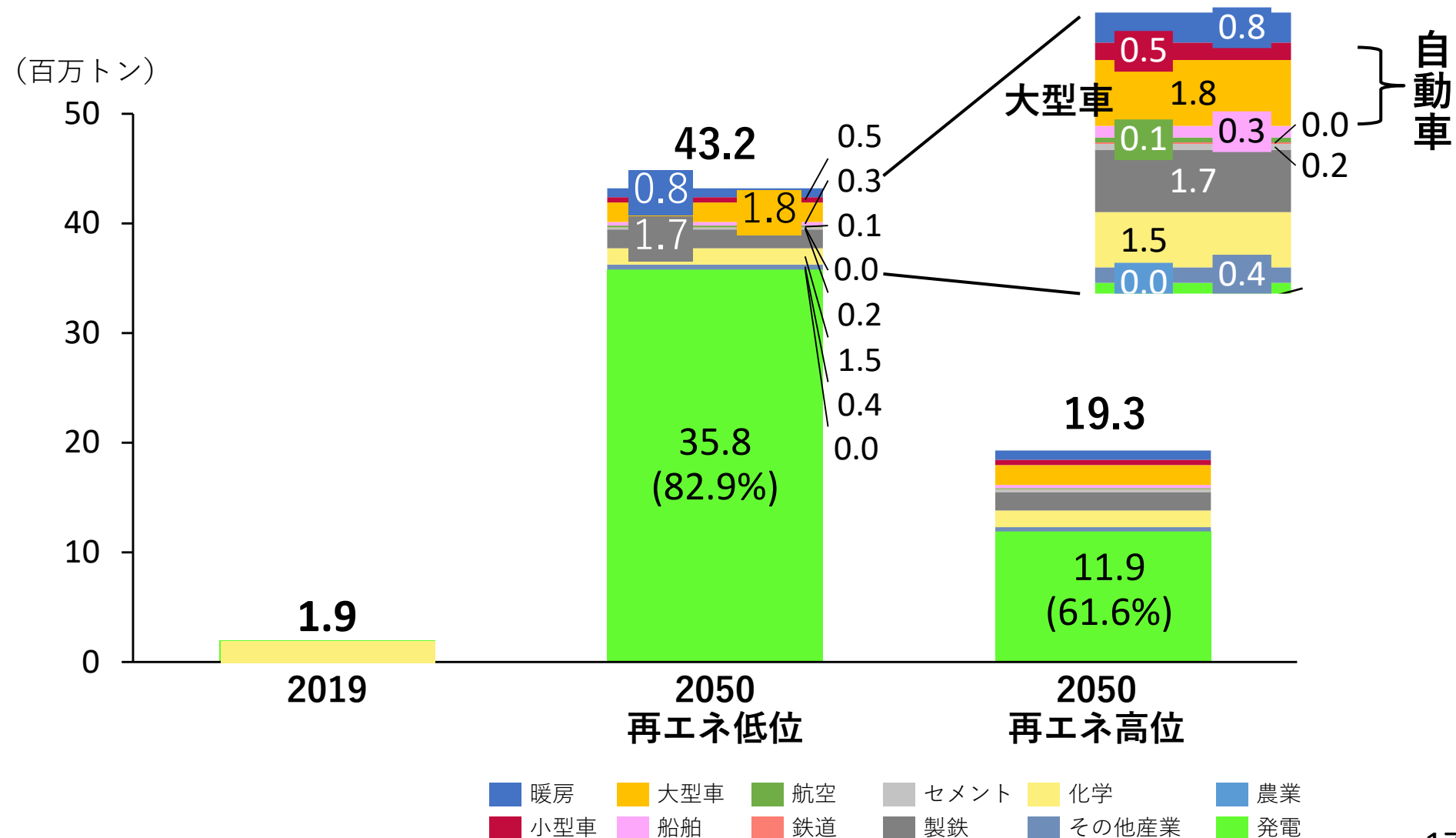
水素燃料電池自動車と供給ステーションの数は
なかなか増えない。

水素社会は本当に来るのだろうか？

2050年カーボンニュートラル達成に必要な水素需要

□ 自動車の水素需要は限定的

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://cgicr.ifi.u-tokyo.ac.jp/topics/eticgc2306/>



水素は大型自動車に適する



https://www.kotsu.metro.tokyo.jp/pickup_information/news/bus/2018/bus_p_201803287863_h.html



<https://www.eneos.co.jp/business/hydrogen/station.html>

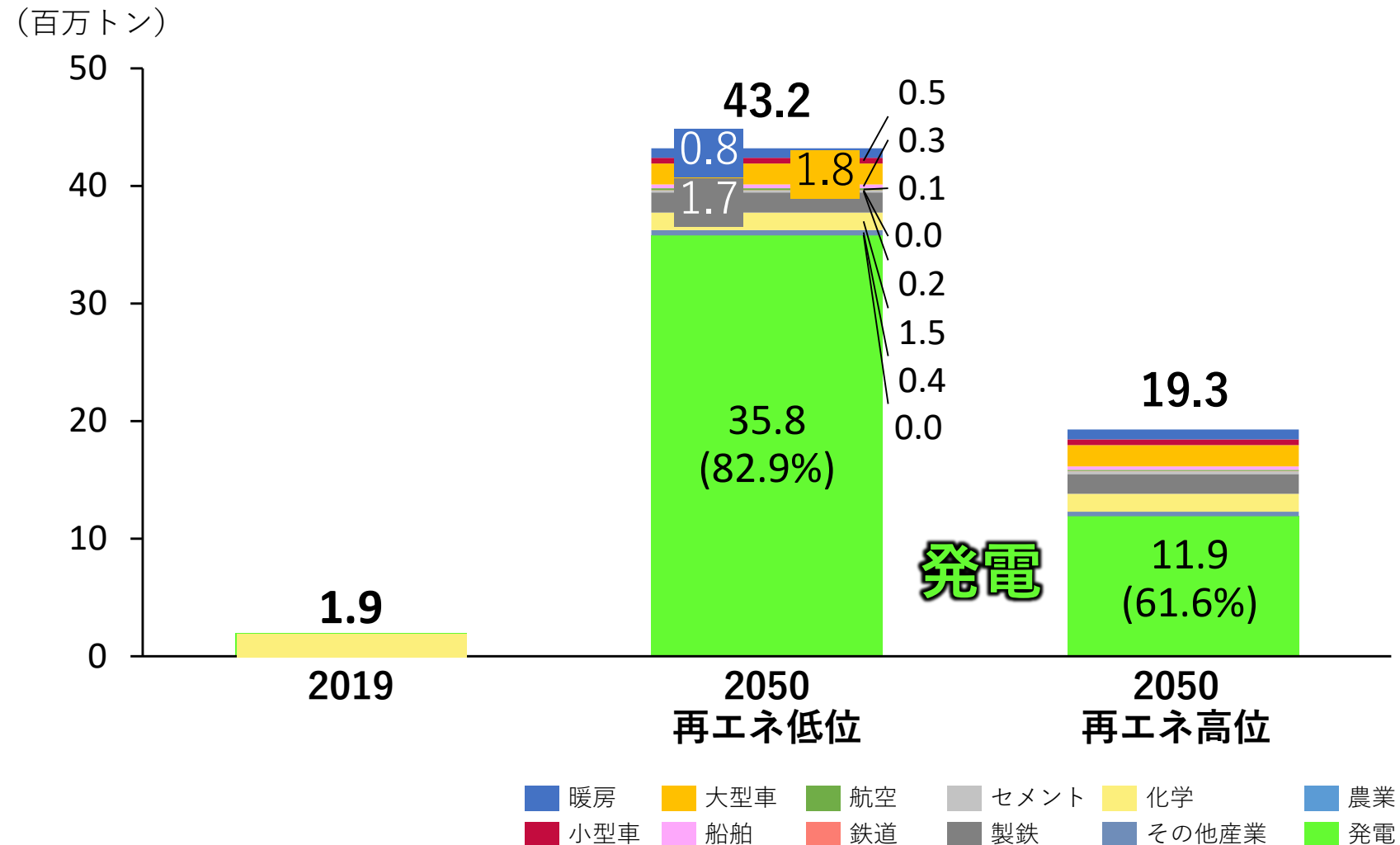


https://www.yamato-hd.co.jp/news/2023/newsrelease_20230517_1.html

2050年カーボンニュートラル達成に必要な水素需要

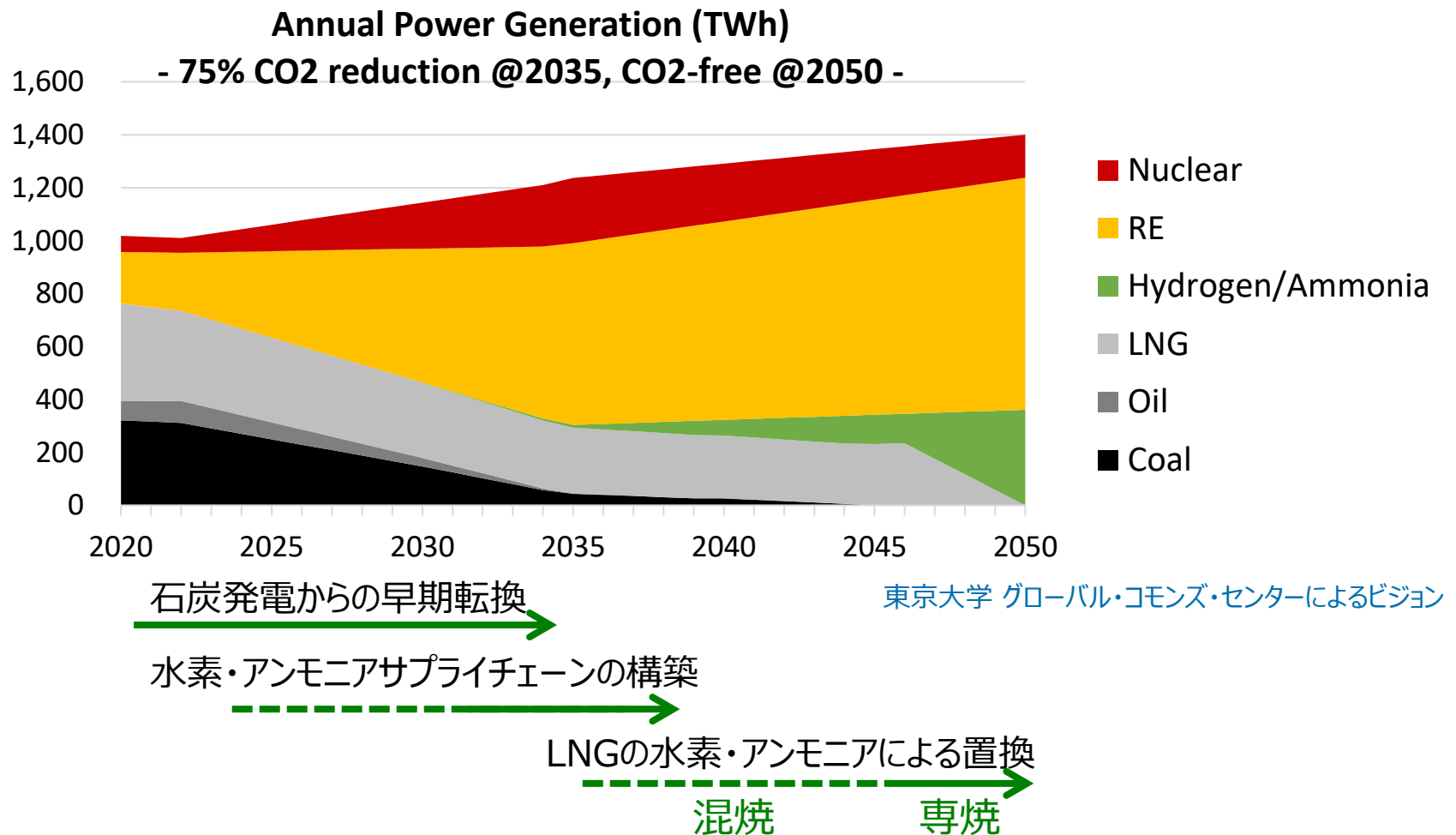
□ 発電の水素需要が大多数

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/>



CO₂ゼロエミッション発電へのトランジション

- 調整力を有する火力発電は電力系統の安定化に不可欠.
- Net-zeroを達成するためには 火力発電用のCO₂フリー燃料（水素・アンモニア）が不可欠.
- 水素の大量供給と大型の水素100%発電機が実用化される前は、アンモニア・石炭混焼による水素サプライチェーンの構築に取り組む.

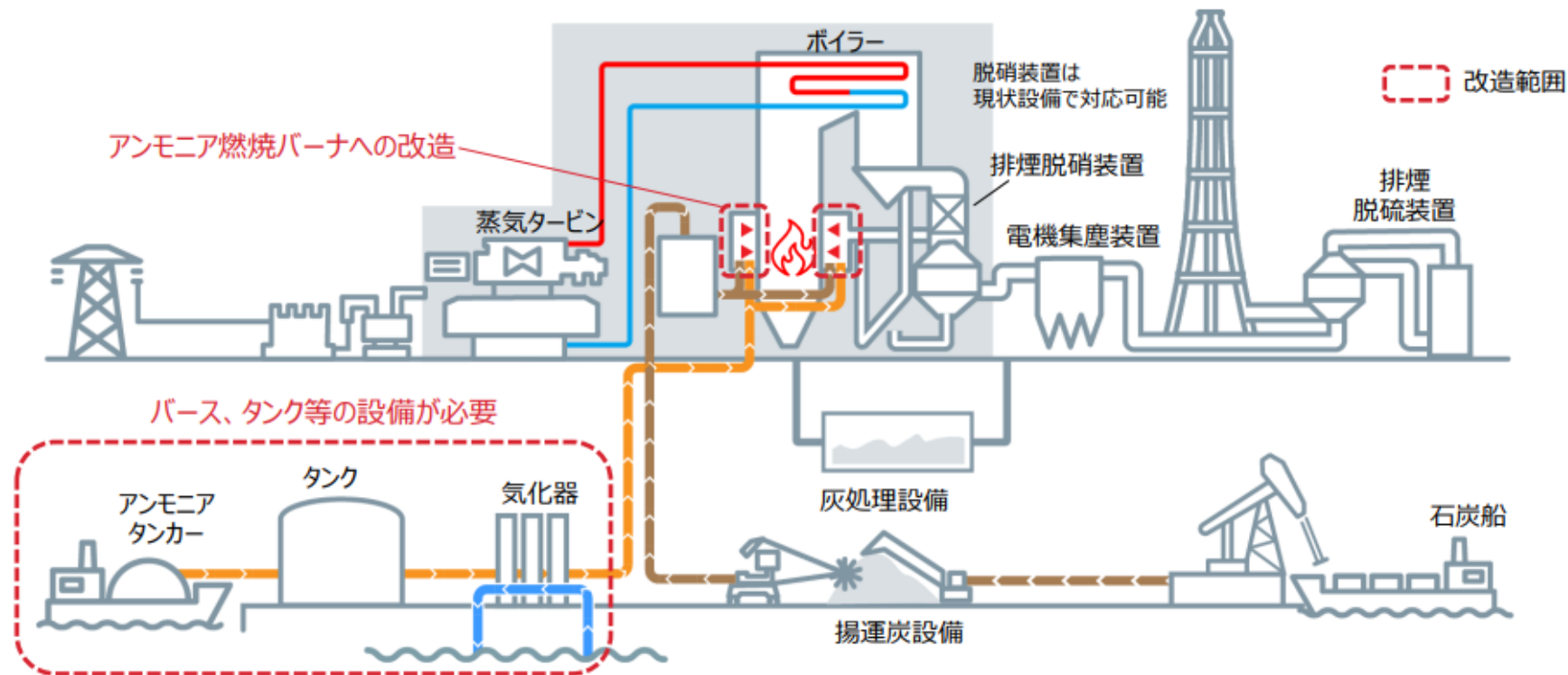


アンモニア・石炭混焼発電

JERA

ボイラ型火力（石炭火力）におけるアンモニア混焼発電

- 碧南火力発電所4号機（石炭火力）において、2023年度に燃料の20%（熱量比）をアンモニアに転換した発電を実証試験を開始予定（NEDO事業）

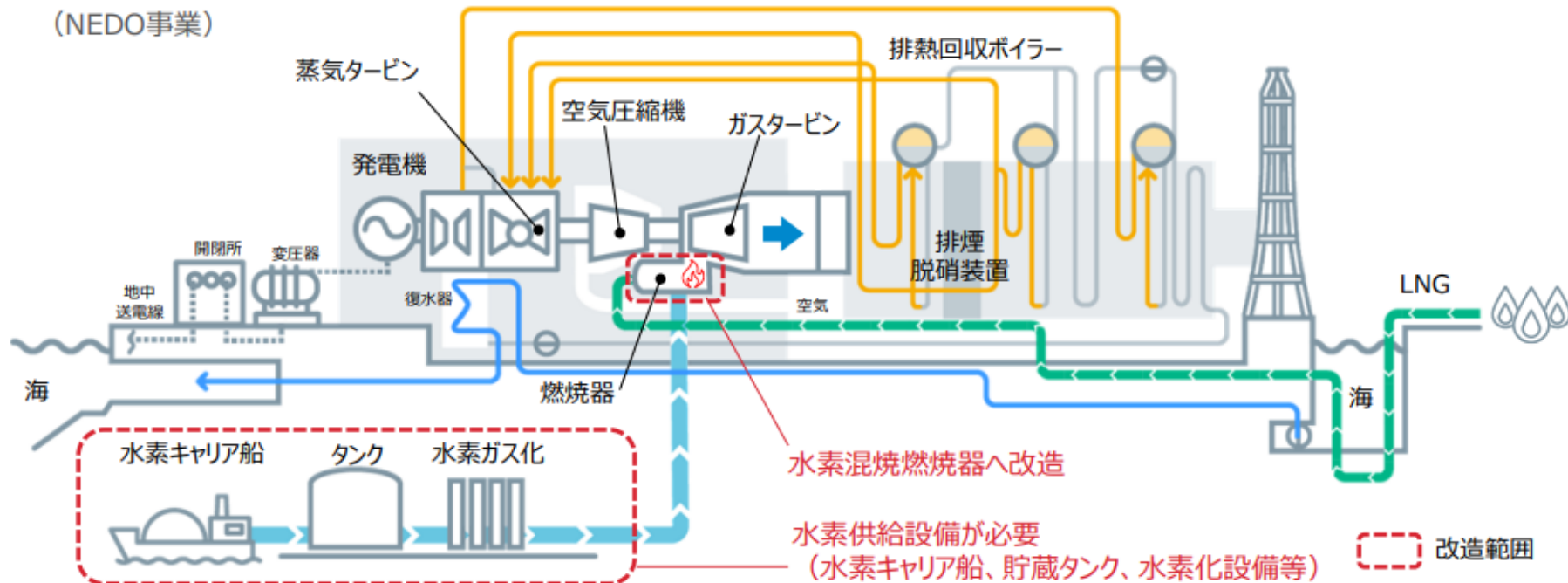


© JERA Co., Inc. All Rights Reserved.

提供：(株) JERA

ガスタービン型火力（LNG火力）における水素混焼発電

- LNG（液化天然ガス）火力発電所（ガスタービン型）に、水素とLNGを混合燃焼できる燃焼器をガスタービンに設置
- 国内のLNG火力発電所において、2020年代後半に体積比約30%（熱量比で約10%相当）のLNGを水素に転換した発電を実証予定（NEDO事業）

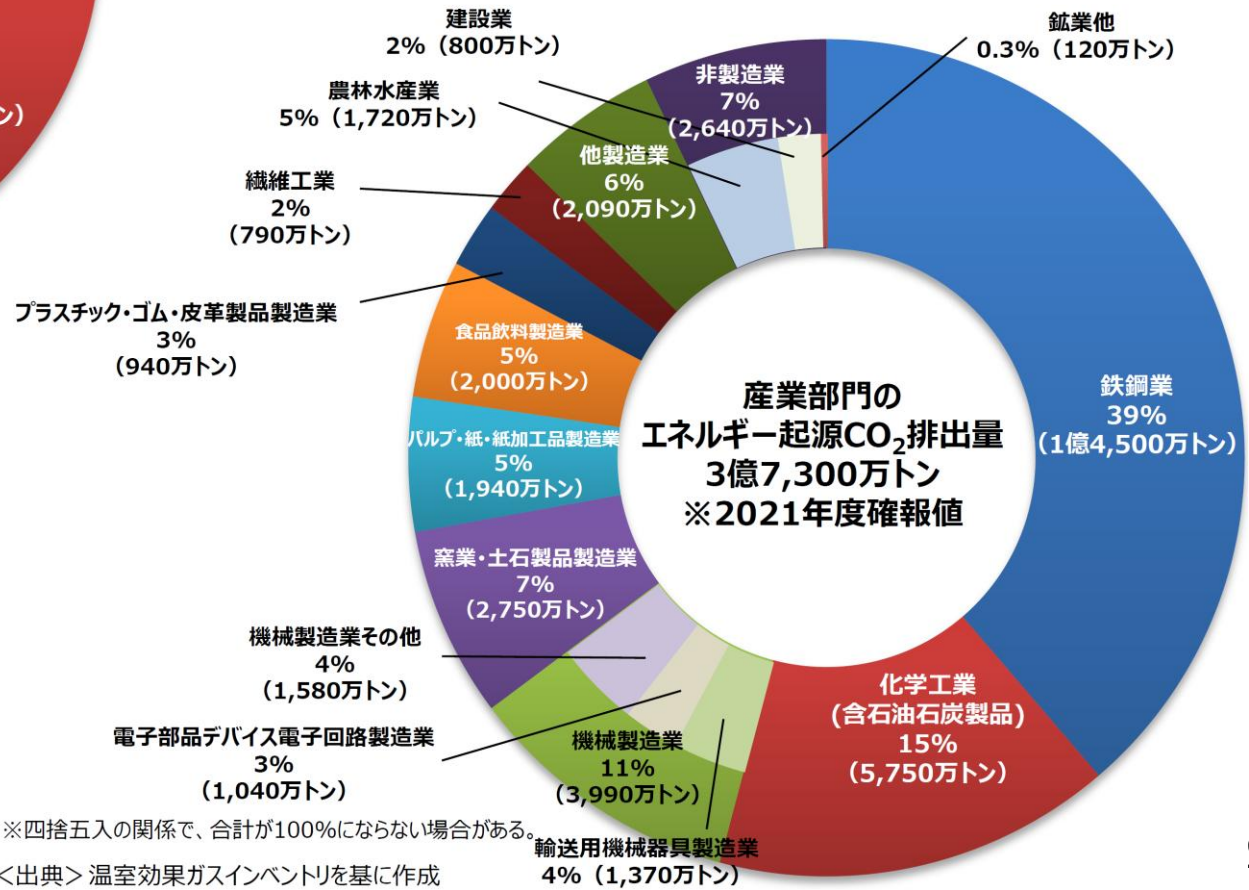
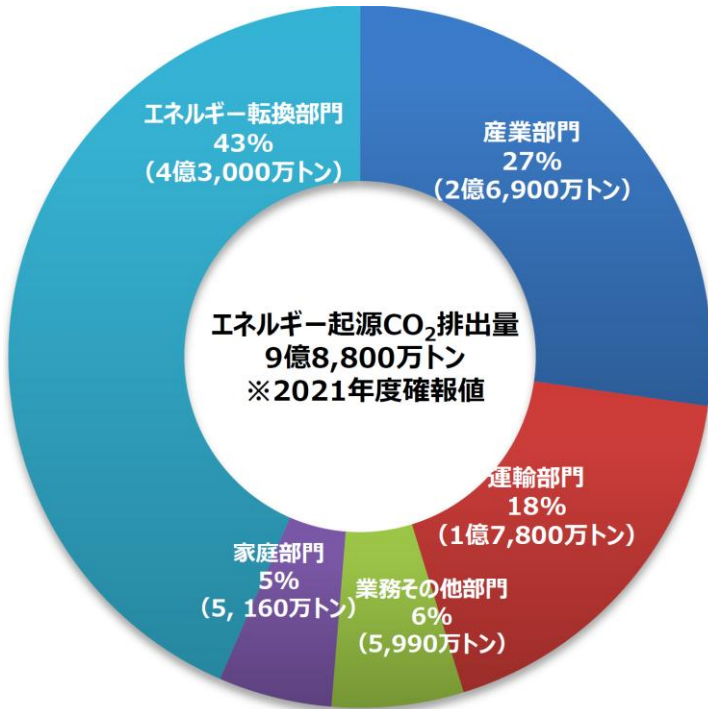


提供：(株) JERA

CO₂排出源

出典：環境省

産業部門



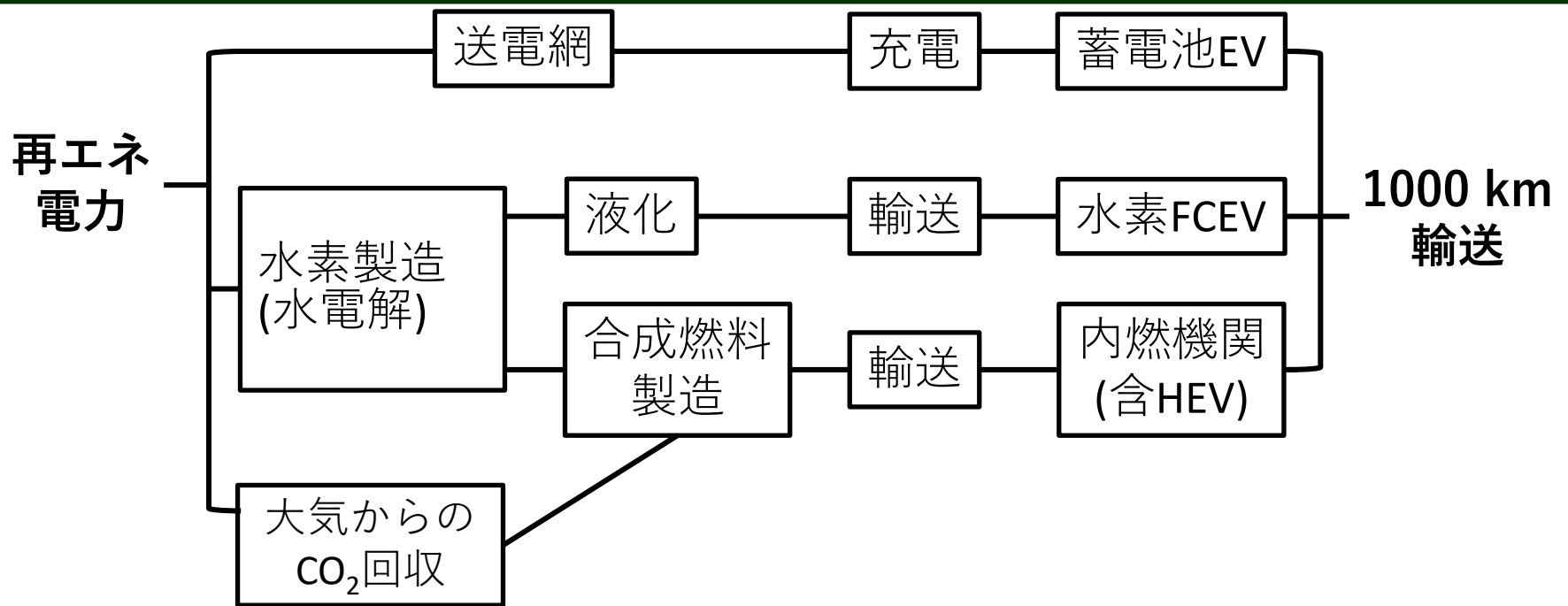
※四捨五入の関係で、合計が100%にならない場合がある。

＜出典＞ 温室効果ガスインベントリを基に作成

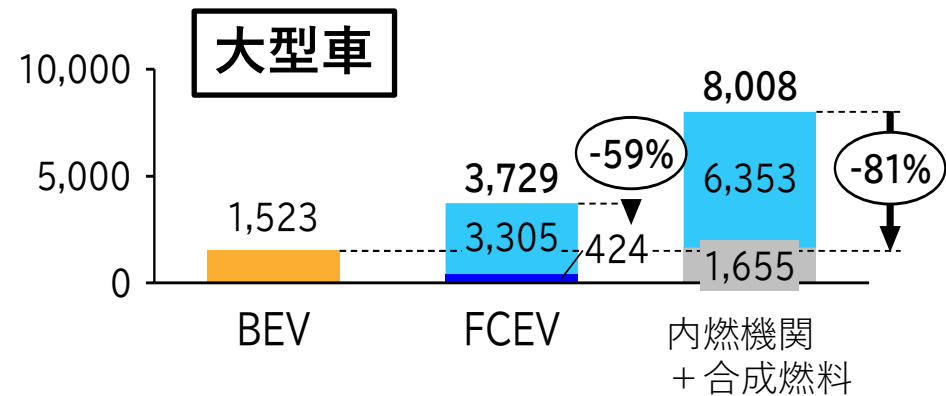
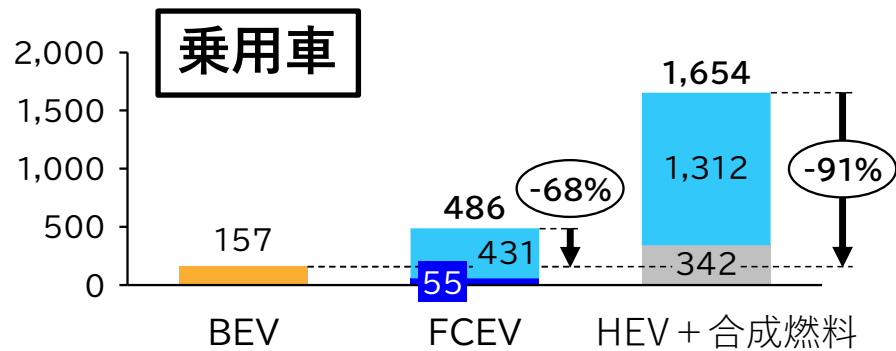
運輸セクターには複数の技術選択肢が存在

	蓄電池EV	水素燃料電池EV	合成燃料利用の内燃機関
乗用車	高エネルギー効率 航続距離が短い	航続距離が長い 高システムコスト (供給ステーション込)	既存技術
重負荷車両	利用困難 (蓄電池が重すぎ)	有望技術 大量の水素貯蔵に課題	低エネルギー効率

Well-to-wheelのエネルギー効率



1000 kmの輸送に必要な電力量(kWh)



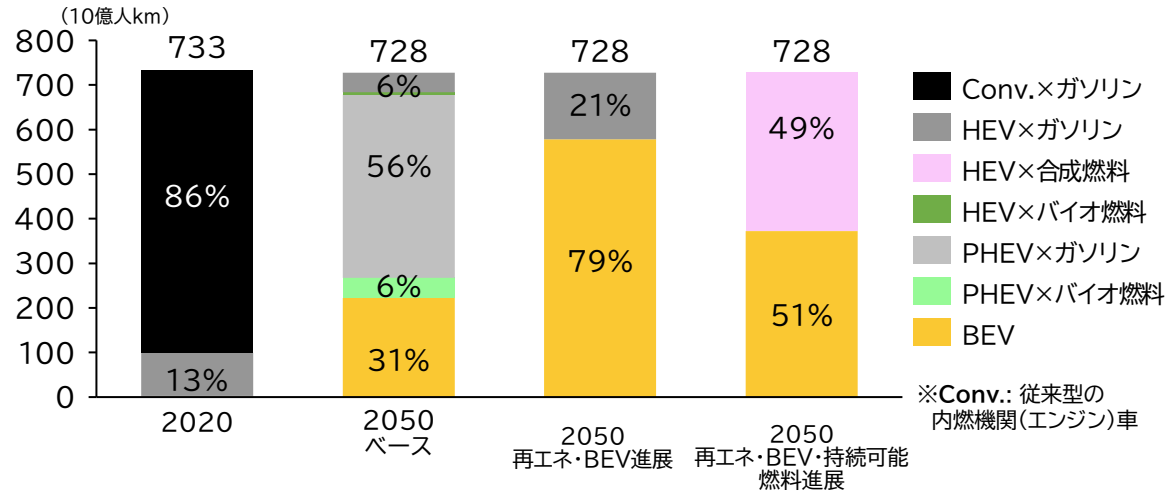
■ 電力
 ■ 水素製造(水電解)
 ■ 水素液化プロセス
 ■ 二酸化炭素回収

ライフサイクルCO₂排出や車両コストも考慮すると

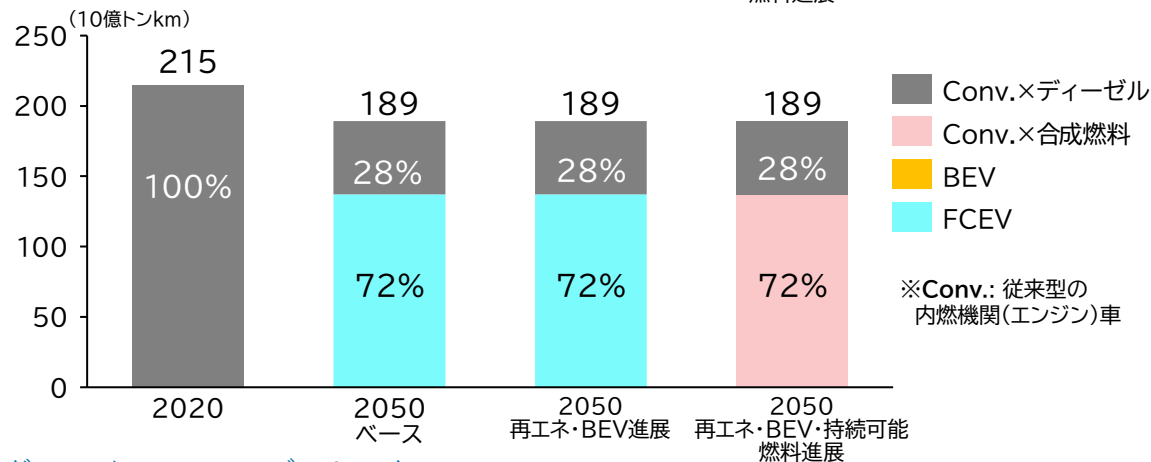
- 再エネ電源・蓄電池の低コスト化→乗用車はBEV主体（貨物はFCEVが主体のまま）
- 合成燃料が合理的な価格で必要量調達可能→乗用車・貨物ともに合成燃料を多用

設備費の割合が高い移動体では、既存設備インフラ活用のインセンティブが大。

乗用車の 旅客需要



貨物の 輸送需要

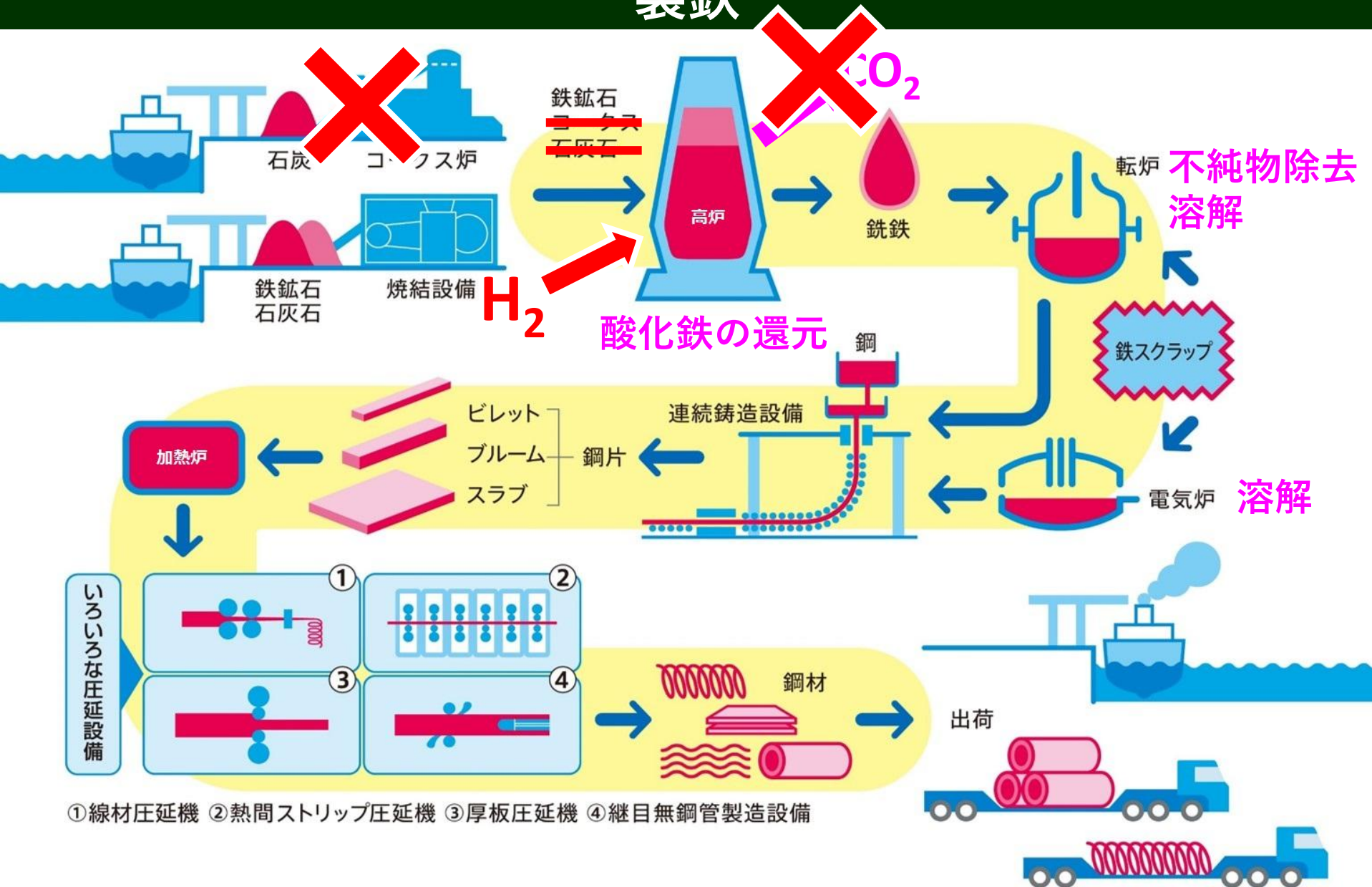


東京大学グローバル・コモンズ・センター

「ネットゼロに向けた持続可能な燃料の役割とはー移動体に焦点を当てた日本におけるトランジション戦略ー」

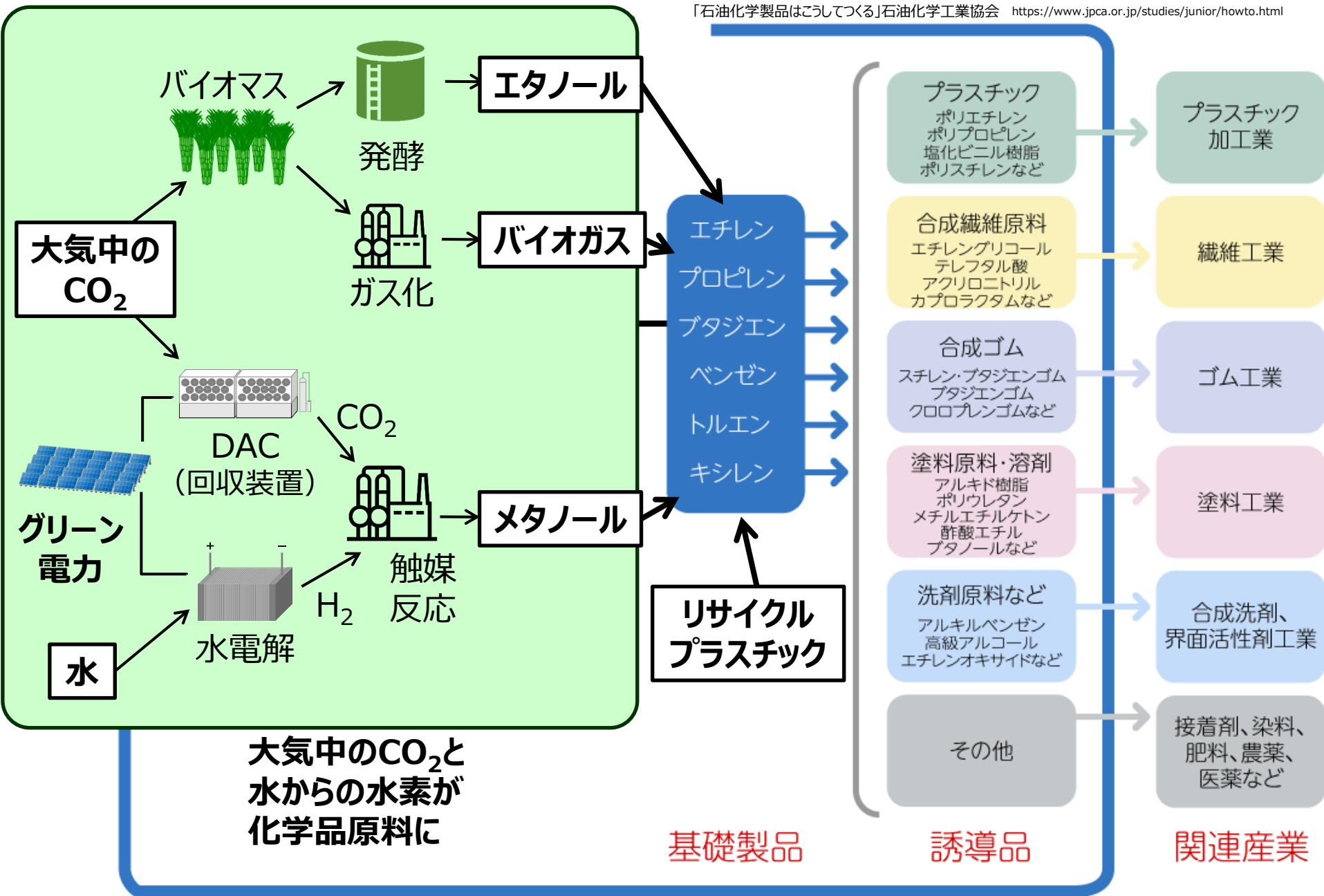
<https://cgic.ifi.u-tokyo.ac.jp/news/mrireport2024/>

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>



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)

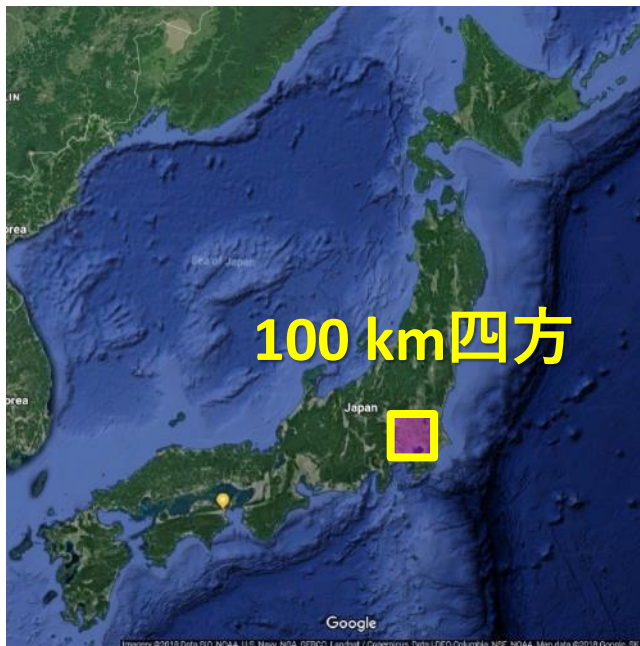
仮に、再エネ電力による水電解で製造すると... 水電解に必要な電力：1000 TWh/年

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%)

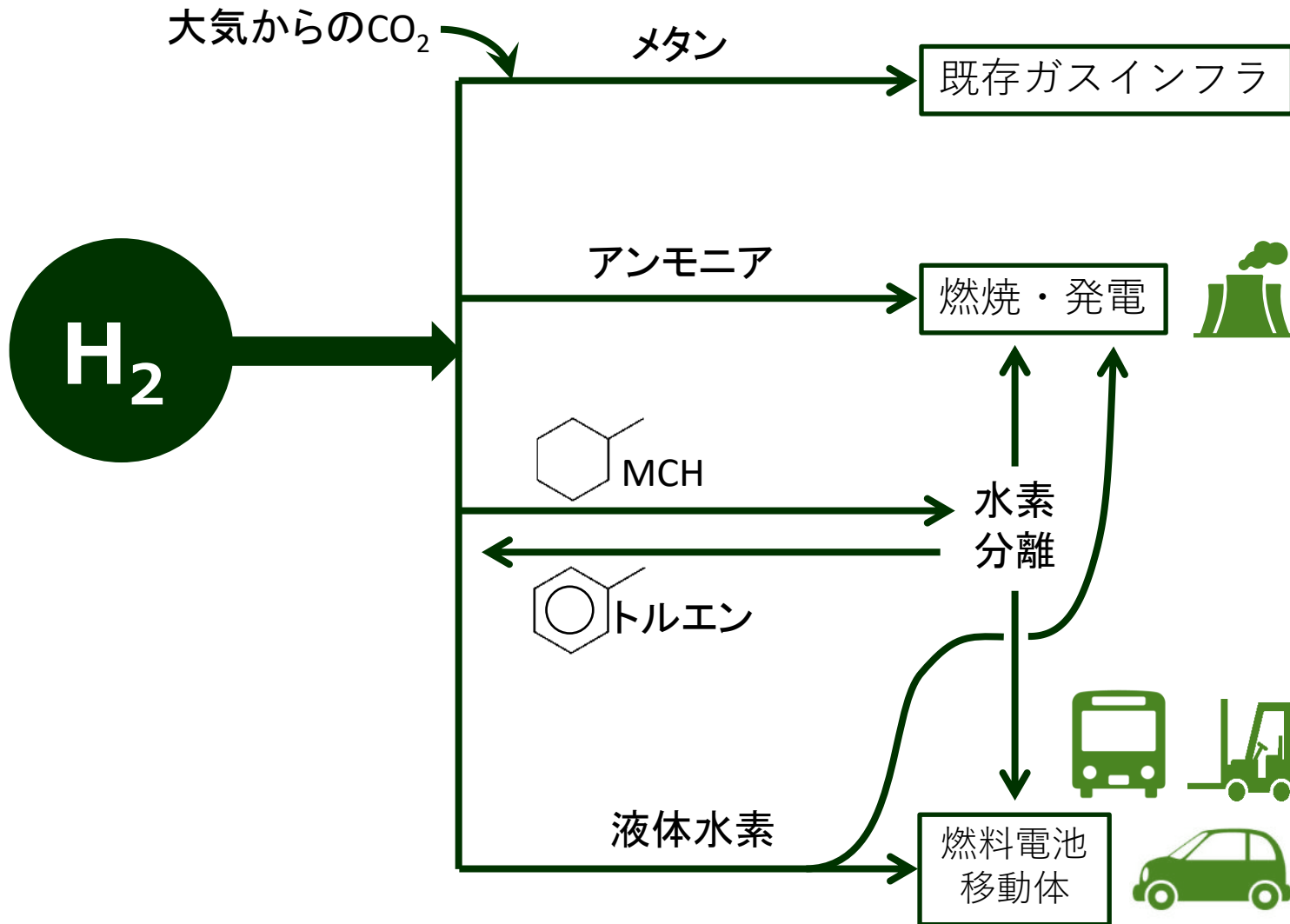


海外からのCO₂フリー水素輸入

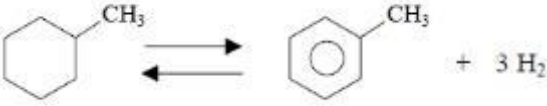
製造（海外・洋上）



消費（日本）

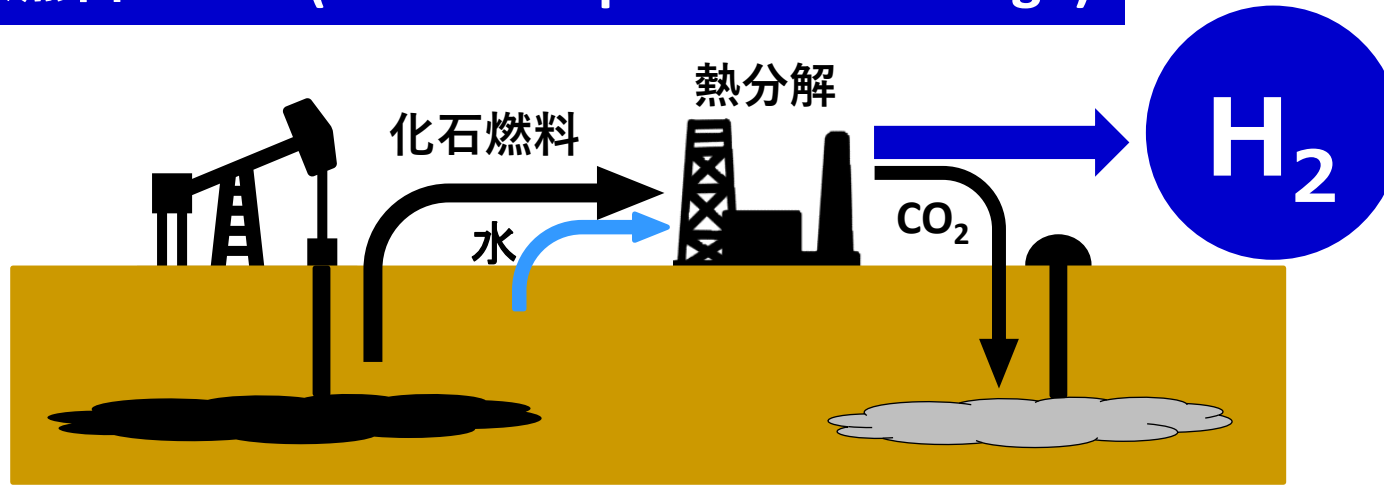


エネルギーキャリア技術

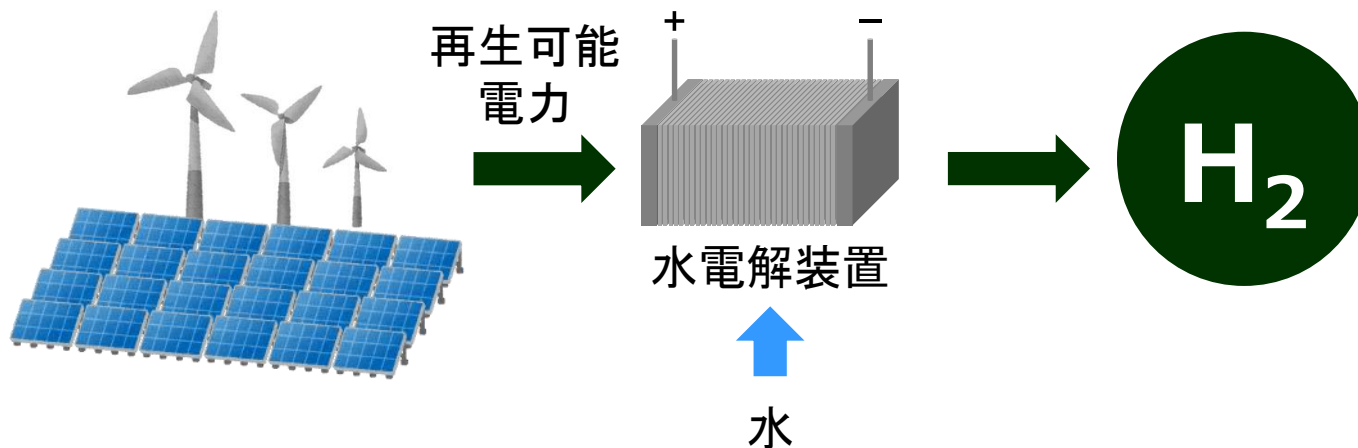
キャリア	原理	利点	課題
メチルシクロ ヘキサン		石油と同様に輸 送・貯蔵可能	・水素取り出しにエネルギーが必要（水素吸蔵合金と同様） ・水素の純度
液体水素	低温・液化により輸送	水素のまま輸送 冷熱利用可能	液化にエネルギーが必要
アンモニア	$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$	製造・輸送プロセス自体はすでに工業化	アンモニアの取扱い 直接燃焼などの 利用技術確立

CO₂フリー水素の製造法

化石燃料 + CCS (Carbon Capture and Storage)



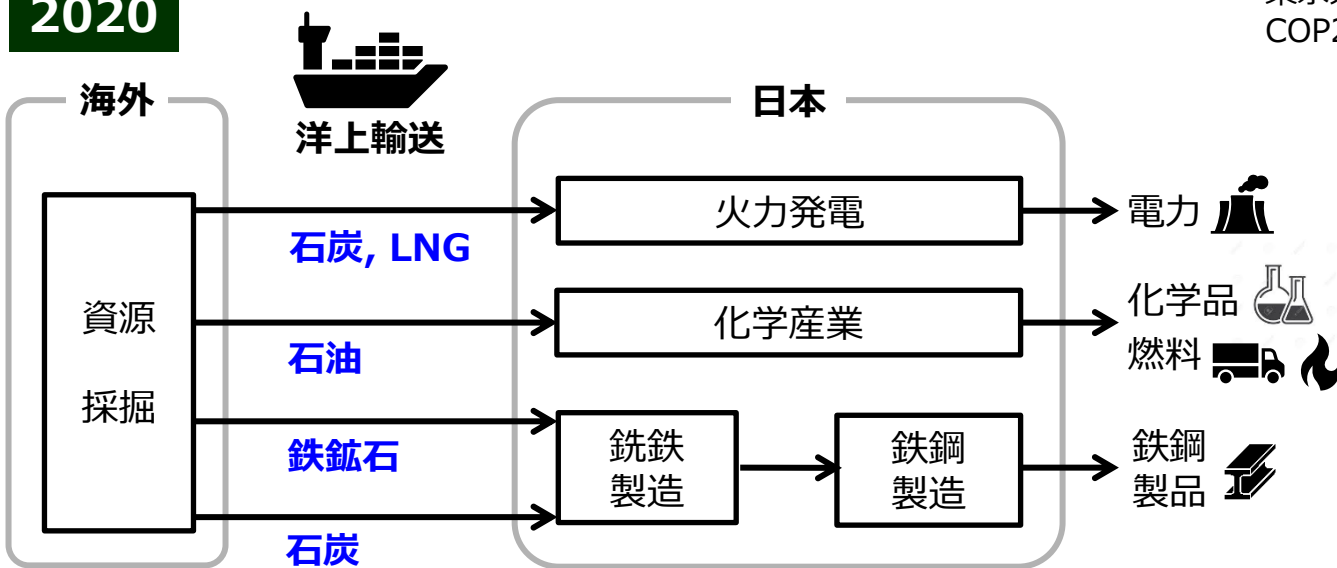
再生可能電力 + 水電解



カーボンニュートラル時代のサプライチェーンは？

東京大学グローバルコモンズセンター
COP28 Japan Sessionにおける発表資料から

2020



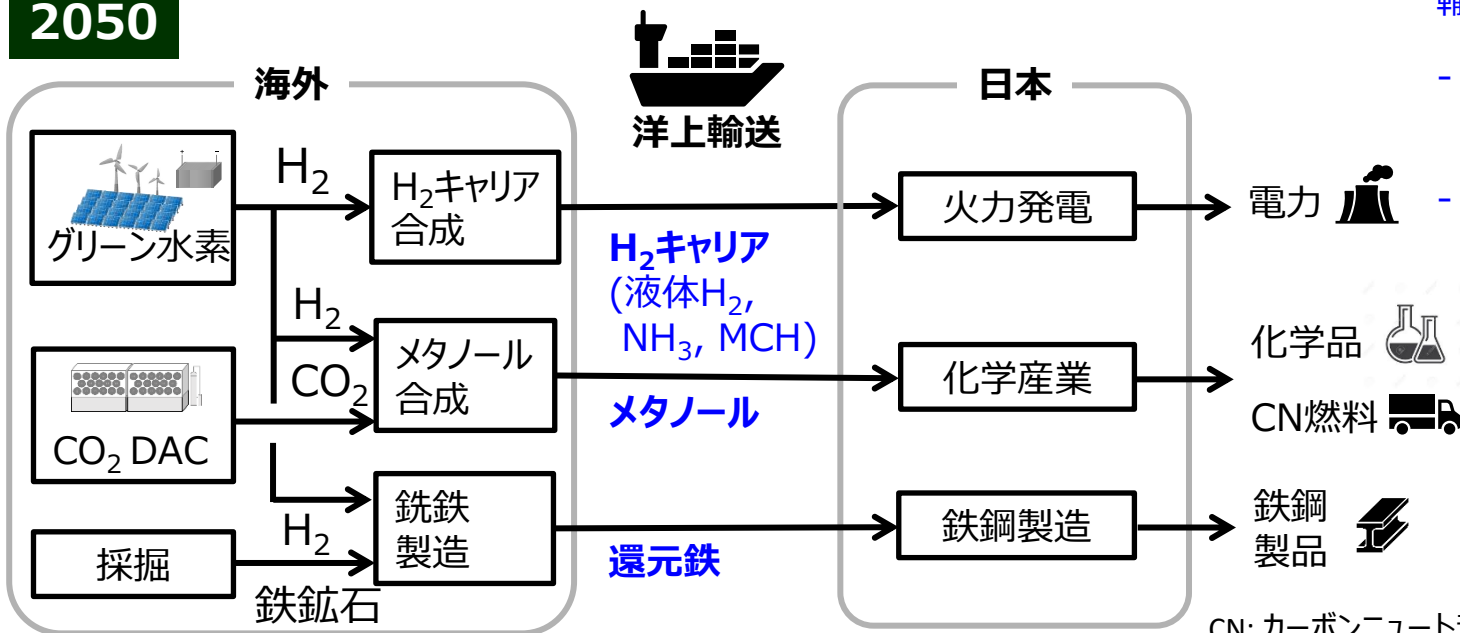
水素を運ぶのは大変.

水素製造地で1次加工し、
運びやすい固体として
輸入する選択肢もある.

- 化学品用水素→メタノール
(大気回収したCO₂と反応)

- 製鉄用水素→銑鉄
(鉄鉱石を水素還元)

2050



CN: カーボンニュートラル

マルチスケールな取り組みを多次元マッピング

