

対話イン佐賀大学 2024 基調講演



電気自動車(EV)は環境に優しいか？ ～カーボンニュートラルの移行戦略を検証する～

令和6年11月

松永 健一

技術士(機械、電気電子、原子力・放射線、総合技術監理部門)

講演の概要

地球環境の「敵」は、**温室効果ガス**であって**内燃機関**ではない。CO₂削減のためというが、電気自動車(EV)は本当に環境に優しいのか。EVに搭載されるリチウムイオン電池は、その製造過程で従来車より**かなり多くの**CO₂を排出する。電池を含む車両製造時、動力源となるエネルギー製造時および走行時、更には廃棄・電池資源回収時の**ライフサイクルCO₂排出量**を「日本機械学会論文」などから検証する。

また、新車を全て**EV**にしたところで、既存の内燃機関車を直ちに全て無くすことは現実的でない。既存の設備・技術(車、火力発電)を利活用しながら**燃料を低炭素化**していくことも、カーボンニュートラル(CN)までの**現実的な移行戦略**である。

移行戦略を検証する際に、日本と欧州(全体)の**電源環境**の違いを**誤解なく**認識することが極めて重要である。講演では、CNへ向けた、**自動車と火力発電**などの**現実的な移行戦略**を検証したい。

講演の内容

1. 自動車の低・脱炭素化

- (1) 最近の世界の動き
- (2) 自動車の環境性能をトータルで評価
- (3) 電気自動車の普及は電池製法改善と電カインフラ整備次第
- (4) 日本と欧州の電源環境の違い
- (5) 電動化の流れの中でもエンジン車が共存
- (6) 合成燃料とはグリーンな液体燃料

2. 2050年脱炭素へ向けての動向

- (1) 世界の脱炭素の動向(IEA)、脱炭素の道は険しい
- (2) カーボンニュートラル(CN)とは
- (3) 日本政府のCN政策・克服すべき課題

3. 技術的・経済的に現実的な選択

- (1) 自動車と火力発電の脱炭化技術の横串の関係
- (2) 再エネの課題、電力貯蔵の必要量、再エネを火力が支える現実
- (3) 火力発電の脱炭素化の例
- (4) 燃料の水素化の例(火力発電、製鉄、航空機)

1. 自動車の低・脱炭素化

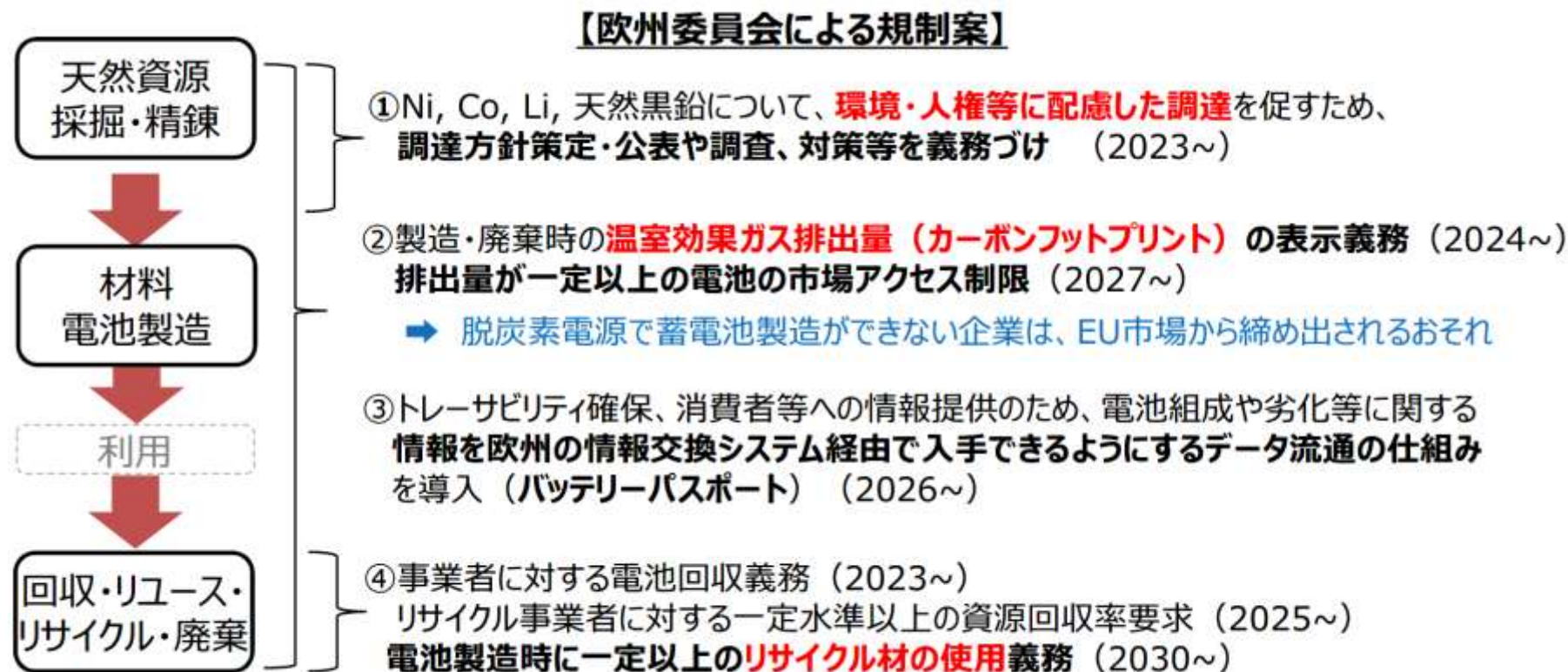
- (1) 最近の世界の動き
- (2) 自動車の環境性能をトータルで評価
- (3) 電気自動車の普及は電池製法改善
と電力インフラ整備次第
- (4) 日本と欧州の電源環境の違い
- (5) 電動化の流れの中でもエンジン車が共存
- (6) 合成燃料とはグリーンな液体燃料

2023年は、電気自動車(EV)が実はまだ環境に優しくなかったことが世界中に周知される年になろう。欧州電池規制が転換点に。

1. 欧州・・・「電池規制」2023年8月発行。2024年7月からEVのリチウムイオン電池をカーボンフットプリント(CFP)の対象とする。CO₂排出量の基準値を満足しなければ売れなくなる可能性。電池の欧州域内生産・域内循環を誘導するもの。
 - ・ 廃棄物のリサイクル比率などがレアメタル毎に規定。
 - ・ EU市場で製品を販売する会社も対応が必要。
2. 米国・・・「インフレ抑制法(IRA)」によるEV税制優遇措置
 - ・ 電池部品、重要鉱物(Co、Li、Ni、黒鉛など)に要件。
 - ・ 最終組立が「北米」領域のEV、PHEV、FCV。日本は締結国。
3. 日本・・・2021年頃から「蓄電池産業戦略」を経産省で検討中。
 - ・ 「資源有効利用促進法」「自動車リサイクル法」に規定。

1. 自動車の低・脱炭素化 欧州委員会による電池規制(2023年8月)

2020年12月に規則案が公表。2023年8月17日に規則が発行された。



記載されている施行時期は、規則案公表時点(2020年12月)のもの。現在、規則の発行時期含め欧州議会、欧州理事会で調整中。

1. 自動車の低・脱炭素化 欧州委員会による電池規制(2023年8月)

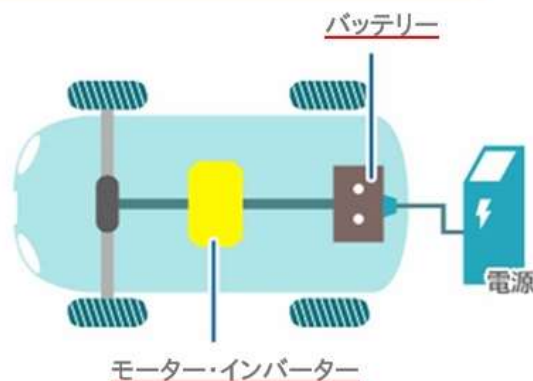
電池の再資源化／リサイクル材の使用の要件



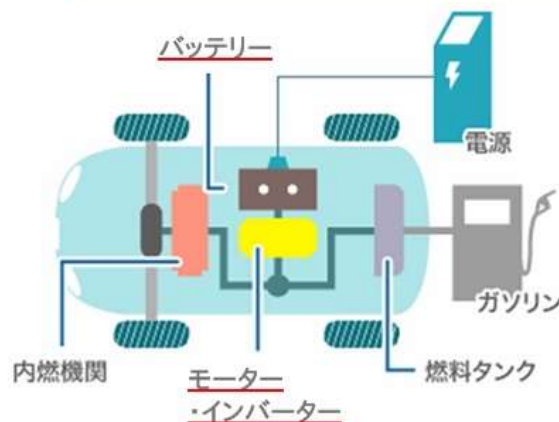
1. 自動車の低・脱炭素化

電気自動車の種類

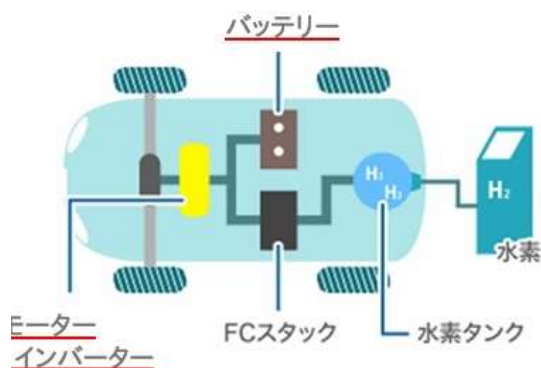
EV
(電気自動車)



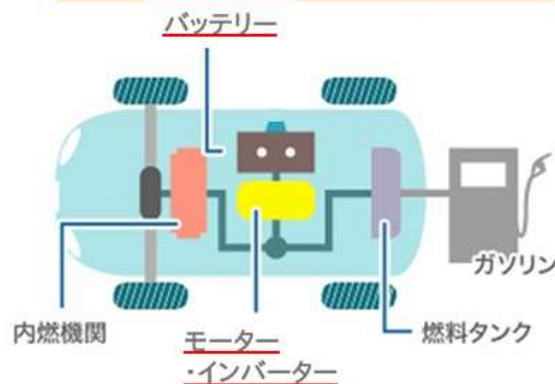
PHV
(プラグインハイブリッド自動車)



FCV
(燃料電池自動車)



HV
(ハイブリッド自動車)

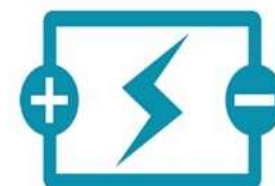


電動化の共通技術

Motor



Battery



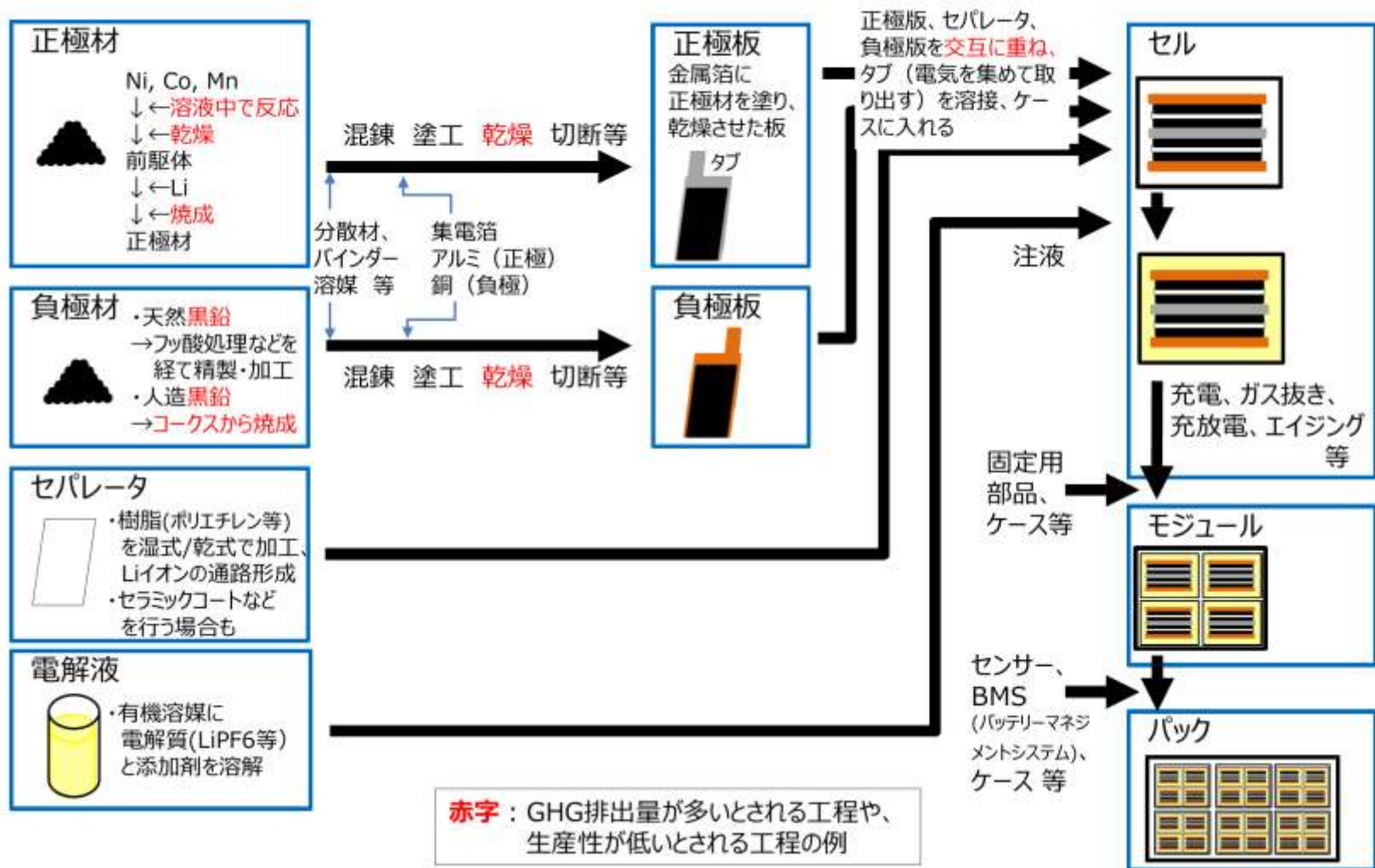
Inverter (PCU)



【出典】自動車新時代戦略会議(第1回)資料、経済産業省、2018.04.18

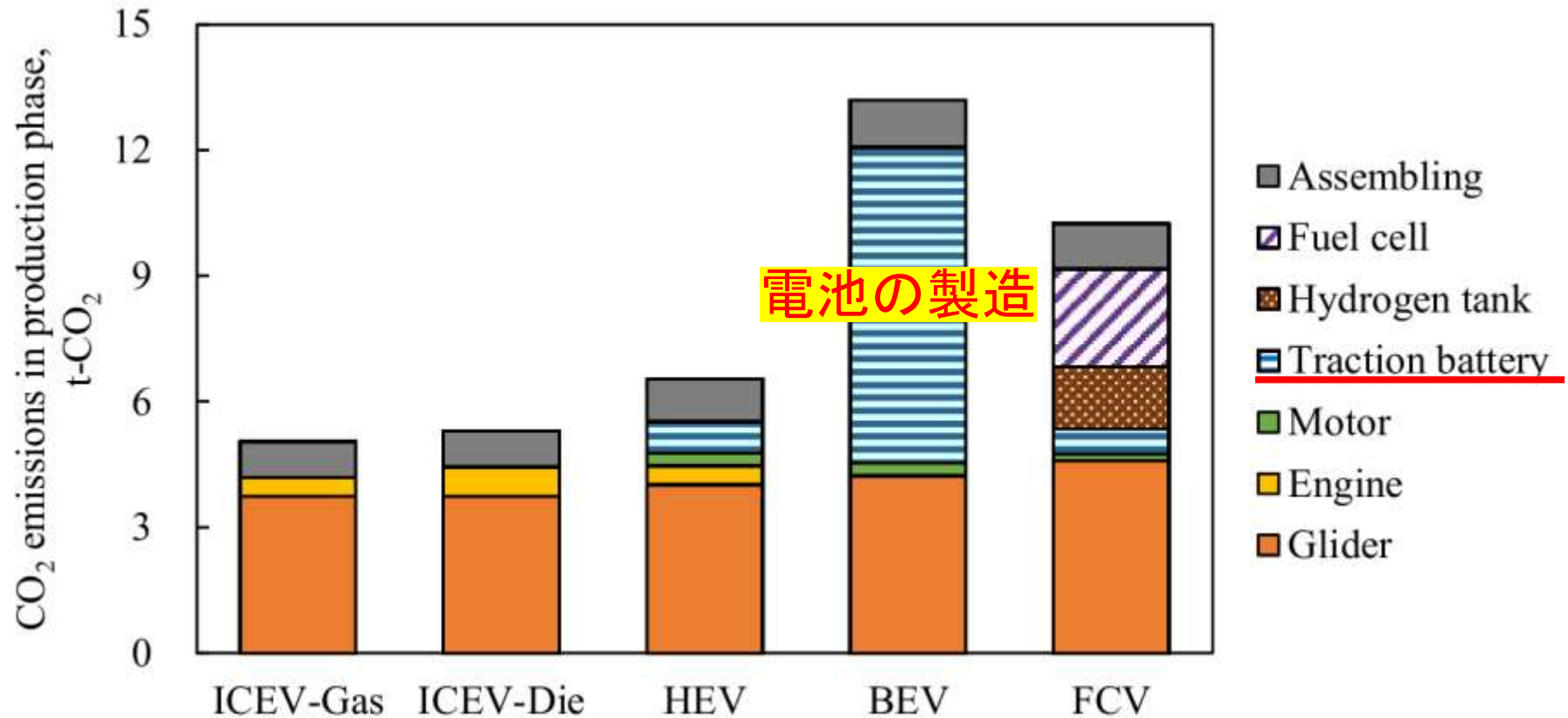
1. 自動車の低・脱炭素化 一般的な電池製造プロセス

(参考) 一般的な蓄電池製造プロセス (概要)



赤字 CO2排出量が多い、または生産性が低いとされる工程の例

1. 自動車の低・脱炭素化 自動車の環境性能をトータルで評価(日本)

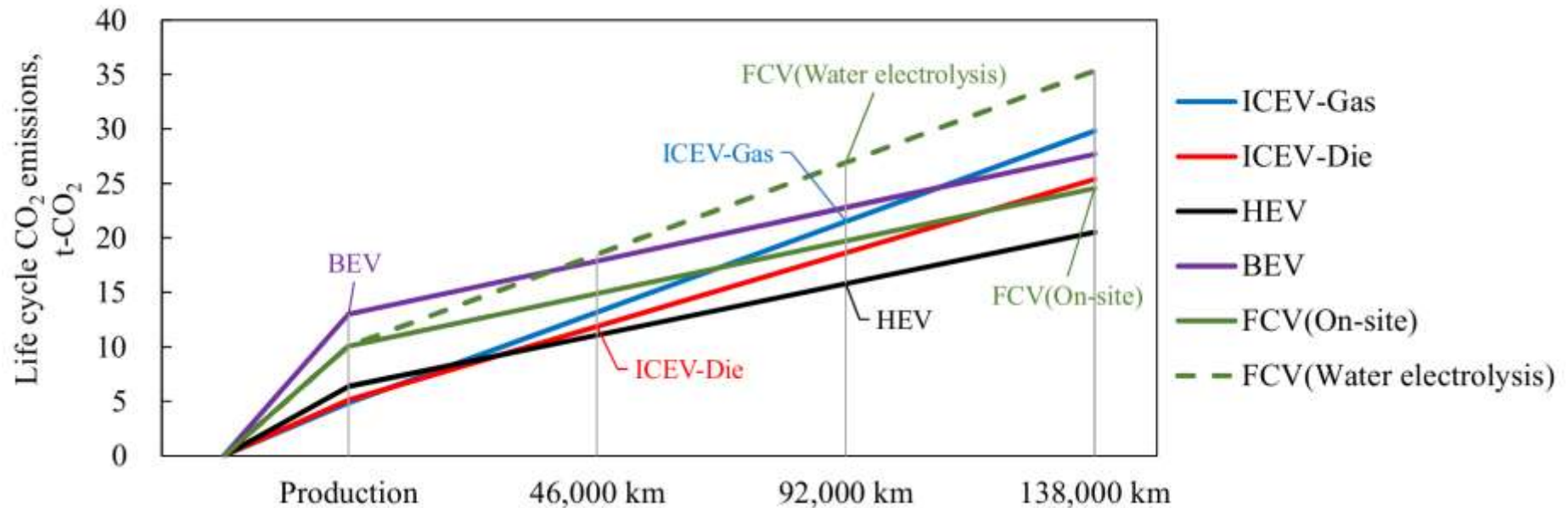


ガソリン車(普通、ディーゼル) / ハイブリッド車 / 電気自動車 / 燃料電池車

図 製造時CO₂排出量

出典: 内燃機関自動車, ハイブリッド自動車, 電気自動車, 燃料電池自動車における 車内空調を考慮した量産車両 LCCO₂ 排出量の比較分析、日本機械学会Vol.84, No.866, 2018

1. 自動車の低・脱炭素化 自動車の環境性能をトータルで評価(日本)



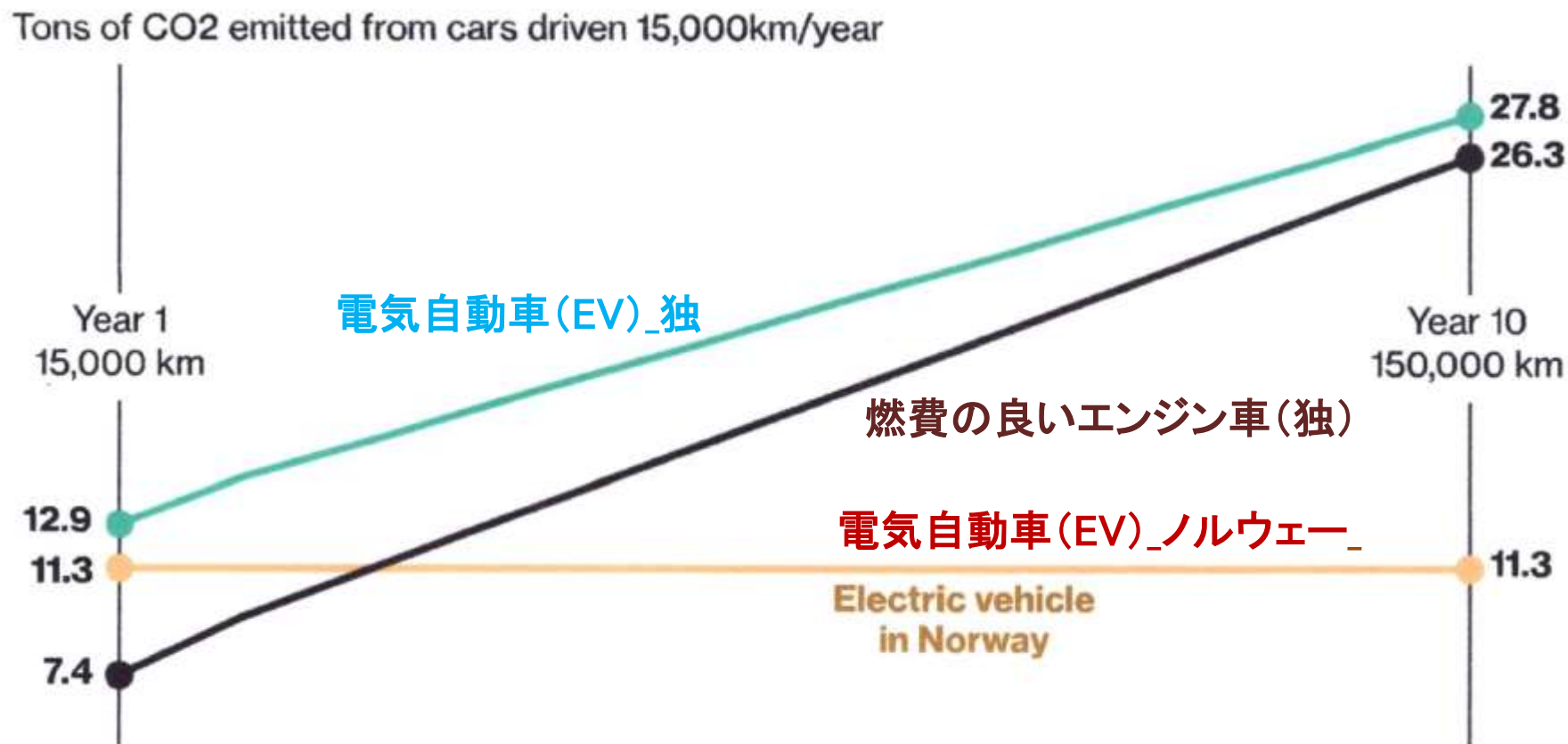
① 製造時

② エネルギー製造・走行時

航続距離とCO₂排出量の関係

図 BEVバッテリーに起因するライフサイクルCO₂排出量

1. 自動車の低・脱炭素化 自動車の環境性能をトータルで評価(独)



製造時CO2排出量を含む

航続距離とCO2排出量の関係 (2017年)

1. 自動車の低・脱炭素化 電気自動車の普及は電力インフラ整備次第

世界は、火力が約60%、水力約17%、原子力約11%、1kWh発電すると約0.5kgのCO₂を排出。仏は原子力、カナダは水力が突出して高い。国によりEVの環境価値に大差がある。

CO₂排出係数(発電端)の各国比較



(注) CHPプラント(熱電供給)も含む。日本は自家用発電設備も含む。

2-1-18

出典: (株) 電気事業計画研究会「電気事業における脱炭素化対策の概観」、2021 IEA「World Energy Balances 2022」より作成

1. 自動車の低・脱炭素化 自動車の環境性能をトータルで評価(日本)

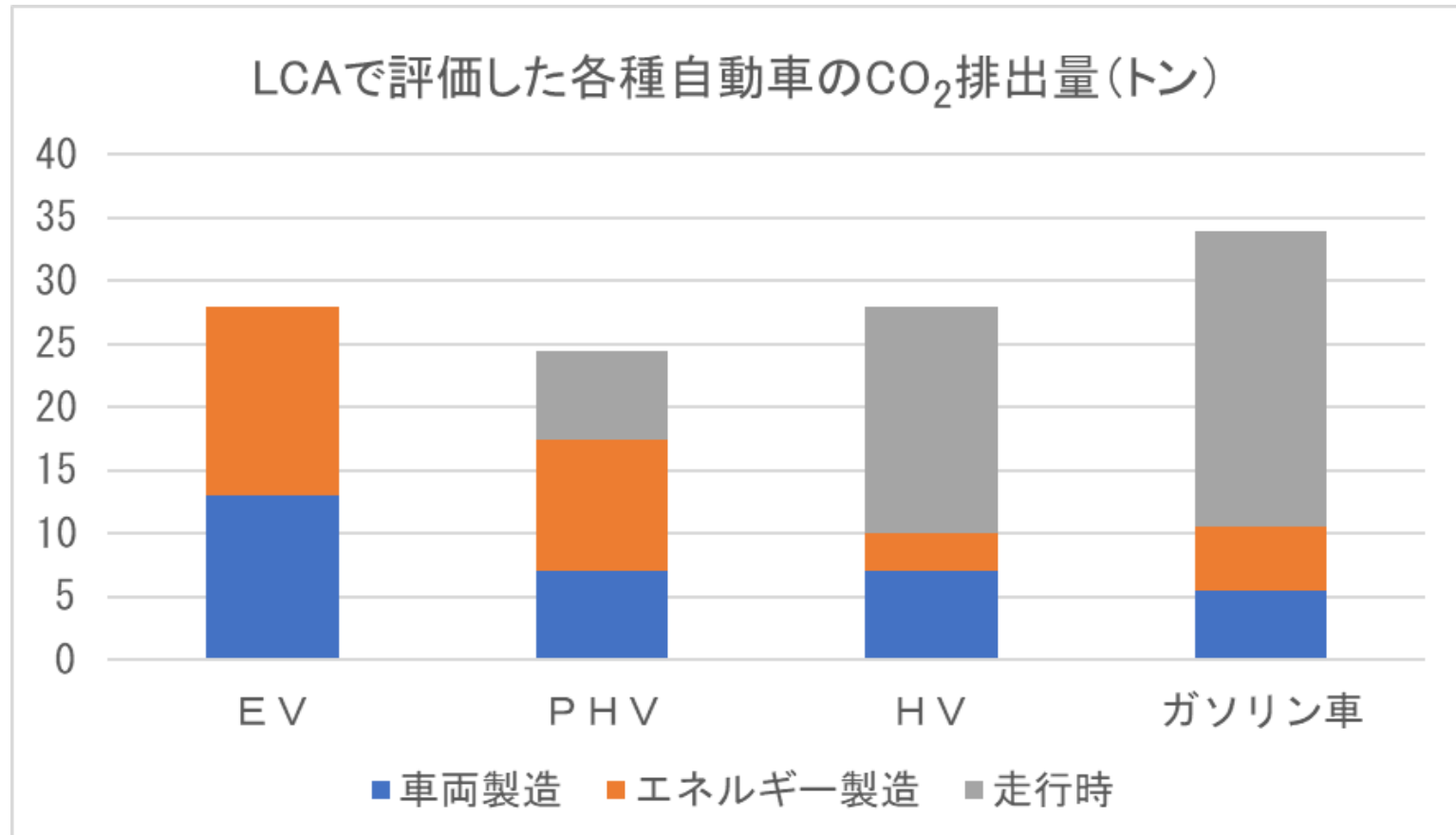


図 LCA で評価した1kW当たりのCO₂排出量

この条件ではPHVが最小

年間走行 1.5万km 使用期間 10年 電池容量 EVは 80kWh、PHVは 10.5 kWh

1. 自動車の低・脱炭素化 自動車の環境性能をトータルで評価(日本)

結果も条件により優劣は異なる。PHVは「エンジン走行」と「モータ(EVモード)走行」の2つを混合して運転しており、いずれの走行が支配的かによって排出量が大きく異なる。

欧州委員会(EU)では、内燃エンジン車やPHVなどの運転データを、車載コンピュータにより取得することを2021年からメーカーに義務づけている。このデータ60万件の分析結果として、PHVなどのCO₂排出量が2024年3月に発表された。この結果によると、内燃エンジン車は、実際の排出量と認証値の差が+20%前後だったのに対して、PHVはこれが平均3.5倍であった(欧州で販売されているPHVの認証値の平均CO₂排出量は、39.6g/km)。それ以前に、欧州の調査機関が行った「市街地走行試験」の結果でも、EVモードで走る走行距離の割合がメーカー主張の5～8割程度であり、バッテリー残量がゼロで走行すると、認証値の5～7倍のCO₂排出量であると言われていたが、今回のEU発表でそれが裏付けられた形。

バッテリーの電気を使用して走行する(上述の「モータ(EVモード)走行」)割合をUF(Utility Factor: ユーティリティファクター)というが、この値をどう設定するかが重要となる。現在(2021～2024年)のEU基準では高い値(70～85%)とみているが、実際には、私有車が45～49%、社用車(PHV欧州顧客の70%)が10～15%しかEV走行していないと、上記の調査機関は2022年に指摘している。今後、EUはUFを約50%に厳格化する予定で、自動車メーカーがこれをクリアするのは、少なくとも当初は大変だという。

1. 自動車の低・脱炭素化

自動車の環境性能を評価(スウェーデン)

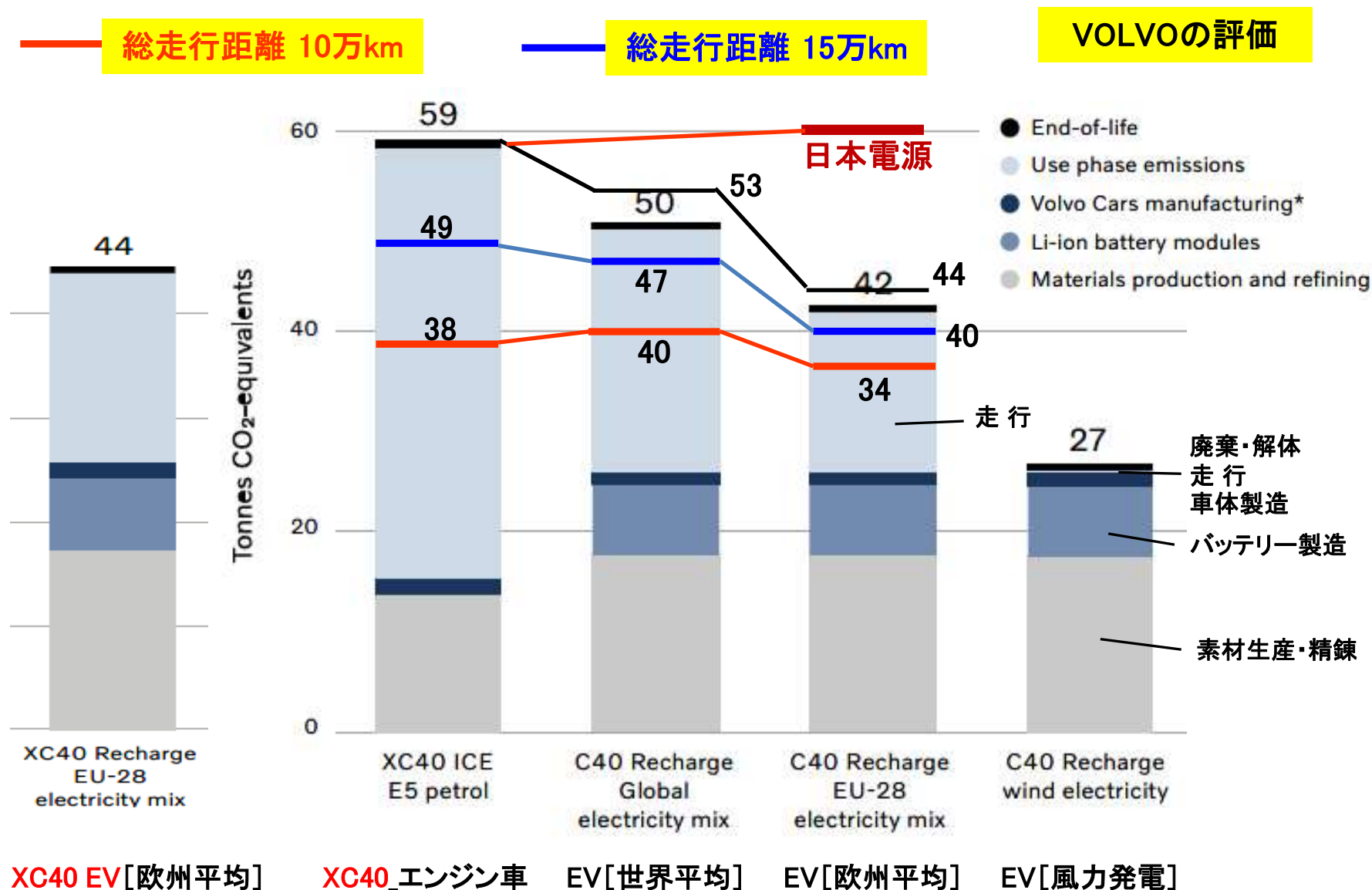


図 LCA で評価したCO2排出量 (総走行距離 20万km)

1. 自動車の低・脱炭素化 電池製法の改善技術開発例（日本）

前駆体製造を製法を省略した「固相反応法」_プロテリアル_旧日立金属

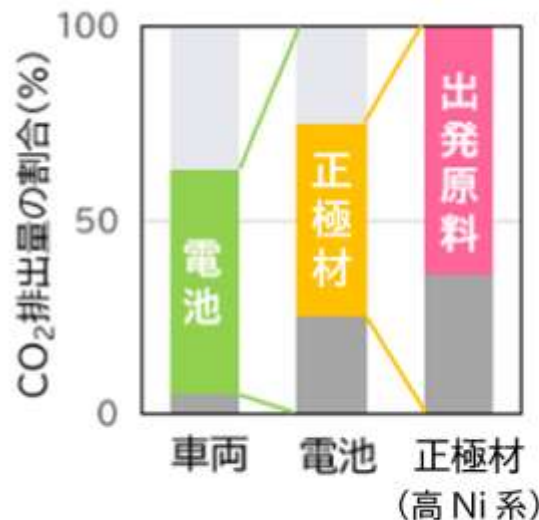


図 1 CO₂ 排出量の割合※2

CO₂排出量30%超低減

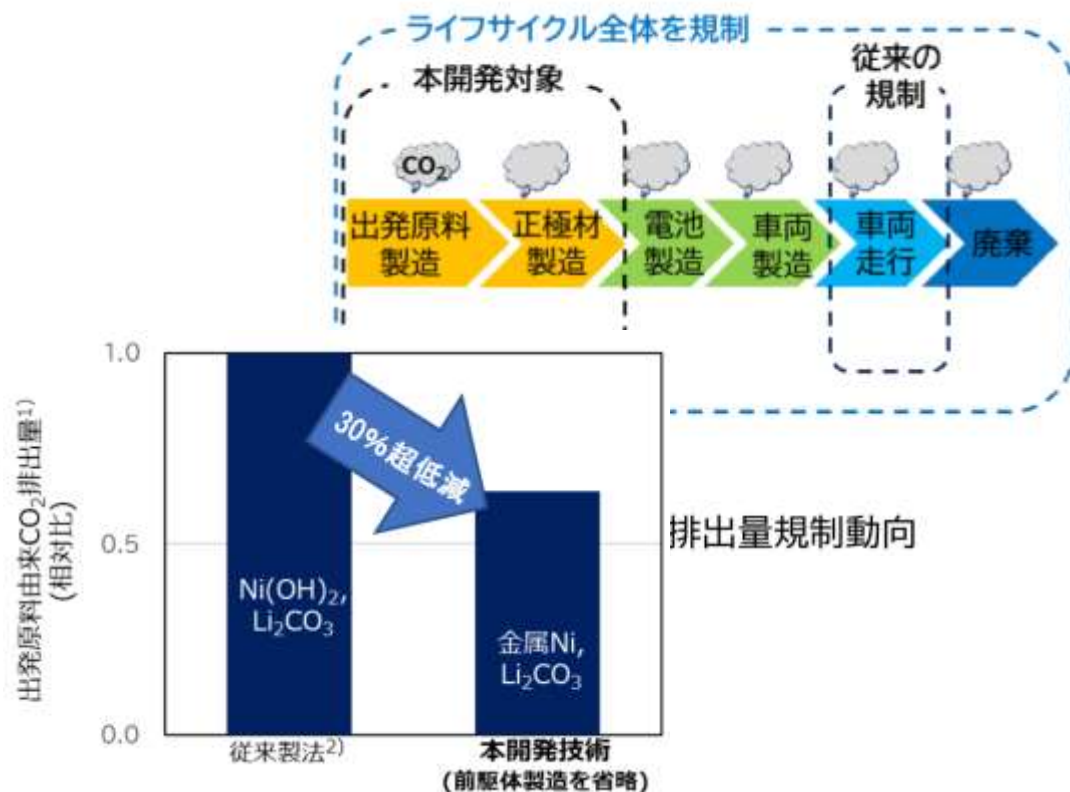


表 電気化学特性

固相反応法	初期容量(Ah/kg)	容量維持率(%)
本開発技術(前駆体製造を省略)	192	90
従来製法	190	88

組成: $\text{LiNi}_{0.85}\text{Co}_{0.03}(\text{Mn}_{(0.12-a)}\text{X}_a)\text{O}_2$

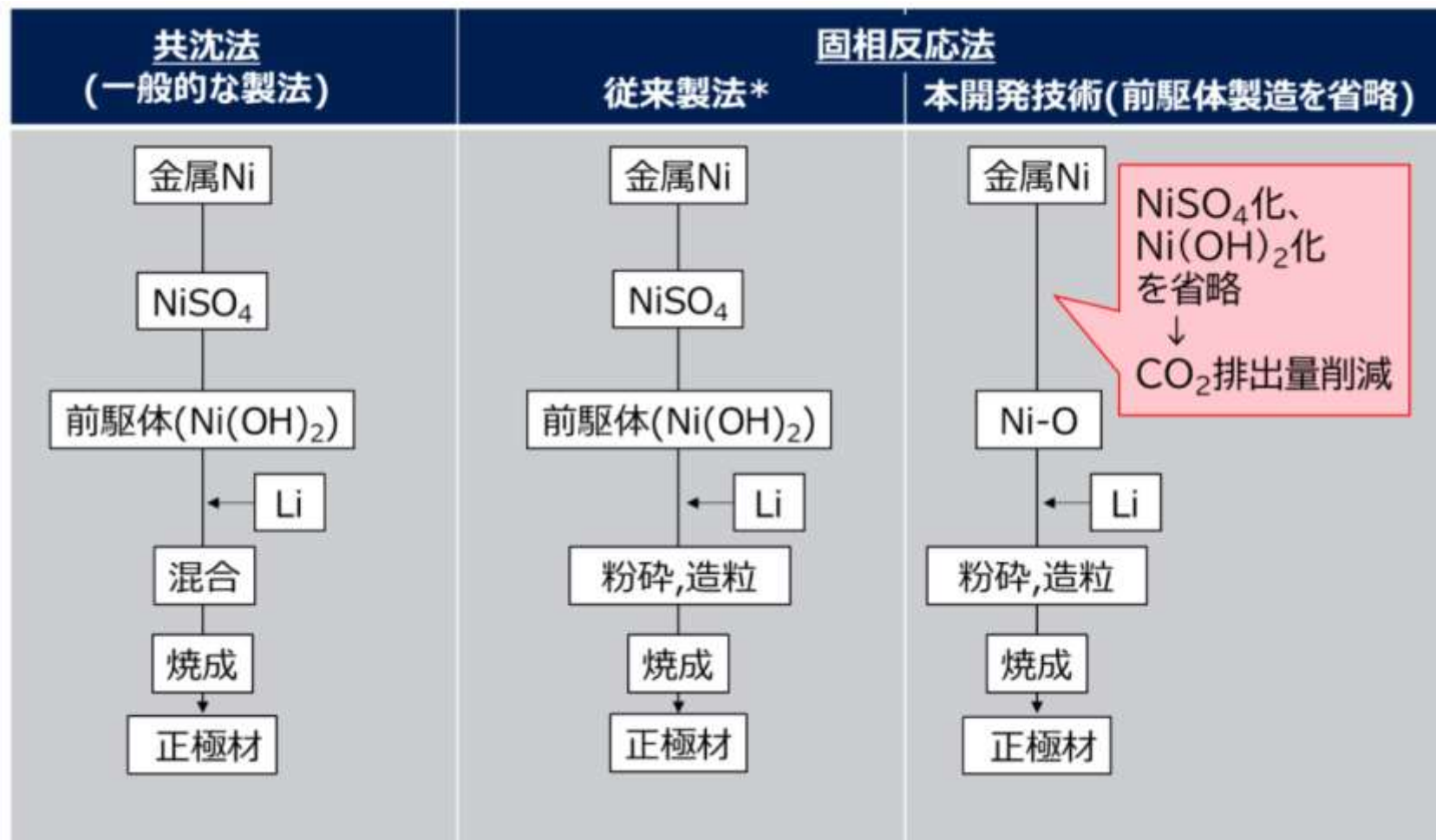
初期容量測定条件: 対極 Li、4.3-2.5V、0.2C(25℃)

サイクル条件: 対極 Li、4.3-2.5V、1C(25℃)

出典: News Release<、プロテリアル、2023.5.23

1. 自動車の低・脱炭素化 電池製法の改善技術開発例（日本）

前駆体製造を製法を省略した「固相反応法」_プロテリアル_旧日立金属



1. 自動車の低・脱炭素化 電池メタルのサプライチェーンの状況

- 蓄電池原材料の多くは、埋蔵量、生産量ともに特定国（豪州・南米・コンゴ民・尼等）に偏在。また、中流の精錬工程は、製造コストの低い中国に集中する傾向。
- 上流権益を押さえることに加えて、中流工程についても手当てしていくことが重要。

リチウム



ニッケル



コバルト

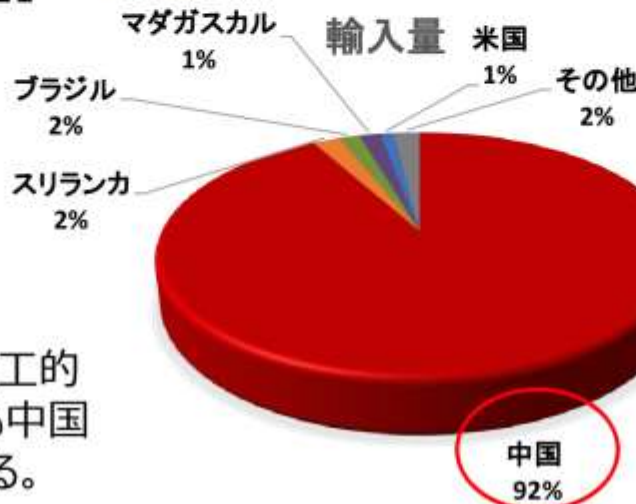
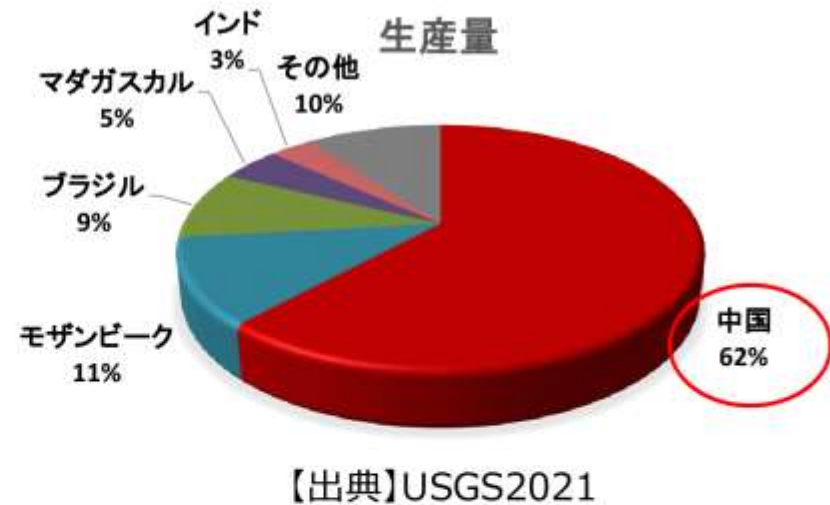
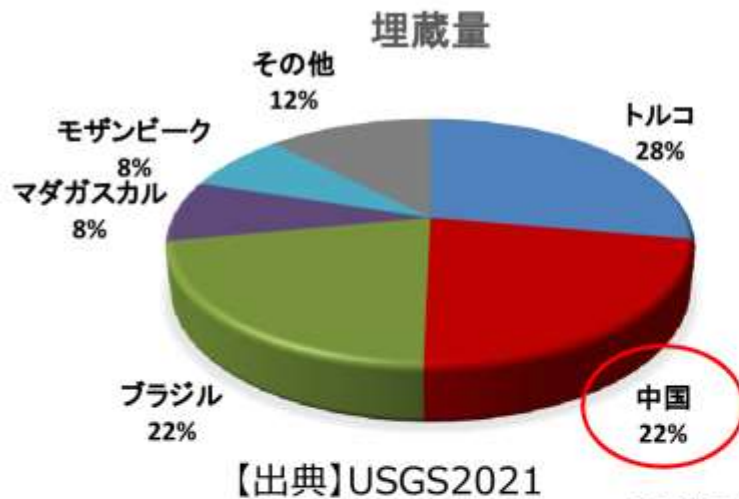


出典：USGS 2020、IEA、貿易統計 9

【出典】蓄電池産業戦略、経済産業省、2022.08.31

1. 自動車の低・脱炭素化 黒鉛のサプライチェーンの状況

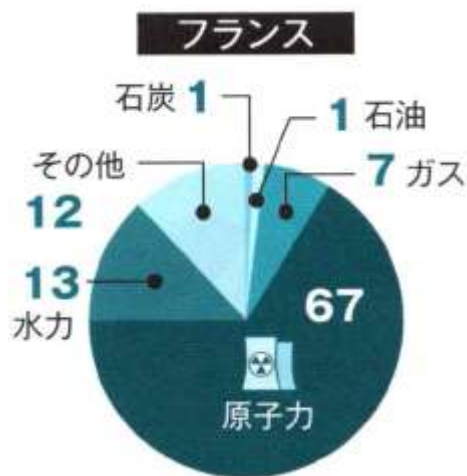
- 負極の原材料である黒鉛は、生産や輸入において中国に大きく依存。



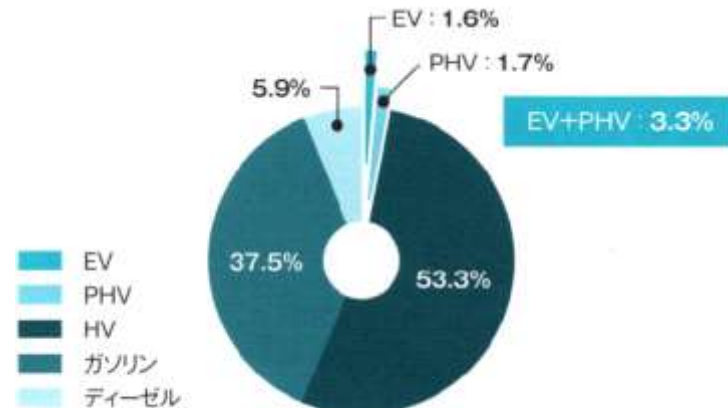
※石油・石炭コークス等から人工的に作り出す人造黒鉛についても中国が競争力を持っていると見られる。

1. 自動車の低・脱炭素化 ノルウェーと日本のエネルギー事情の違い

出典：図解まるわかり電気自動車のしくみ、翔泳社、2023.6.12



再エネ電源比率 (欧州)



日本国内における乗用車の燃料別販売台数

新車EV・PHV比率 (日本)

	資源大国 ノルウェー	無資源国 日本
外資獲得製品	石油、ガス	自動車、自動車部品など
再エネ電源構成	9割以上 (水力) / 発電コストが安い	約2割 (水力約8%を含む)
新車EV・PHV比率	約88% (2022年上半期)	約4% (2023年1～4月)
充電拠点数	約19,000ヶ所 (2021年第一四半期)	約19,800拠点 (2023年4月)
EV・PHV優遇策など	自国で産出された石油などは輸出に回して外貨獲得。気候変動政策として税金をかけガソリンが高額。最低気温が-30℃以下となる所では、車を200V電源にプラグインは当前。車体が高価なEVでも優遇施策もありガソリン車より安く所持できる。	(ノルウェーとは環境が全く違う)

1. 不安定性の解決策 電源の日欧比較(日本目標の危険性)

2030日本目標は欧州全体の実績よりも**危険側**。どこにも**実績のない目標**

		2011 日本実績	2021 日本実績	2030エネ基日本 目標値	2021 欧州実績
再生可能エネルギー	太陽光*	0.8 $\left[\begin{array}{l} 0.4 \\ 0.4 \end{array} \right]$	9.2 $\left[\begin{array}{l} 8.3 \\ 0.9 \end{array} \right]$	21 $\left[\begin{array}{l} 15 \\ 6 \end{array} \right]$	18.3 $\left[\begin{array}{l} 4.7 \\ 13.6 \end{array} \right]$
	風力*				
	水力	7.8	7.5	10	18.1
	地熱	0.2	0.3	1	0.2
	バイオマス	1.5	3.2	5	3.2
	合計	10.3	20.2	37	39.8
火力	石炭	37.7	31.0	19	15.6
	天然ガス	28.0	34.4	20	15.8
	石油	14.5	7.4	2	3.3
	合計	80.2	72.8	41	34.7
原子力		9.3	6.9	21	25.5
合計		100.0	100.0	100.0	100

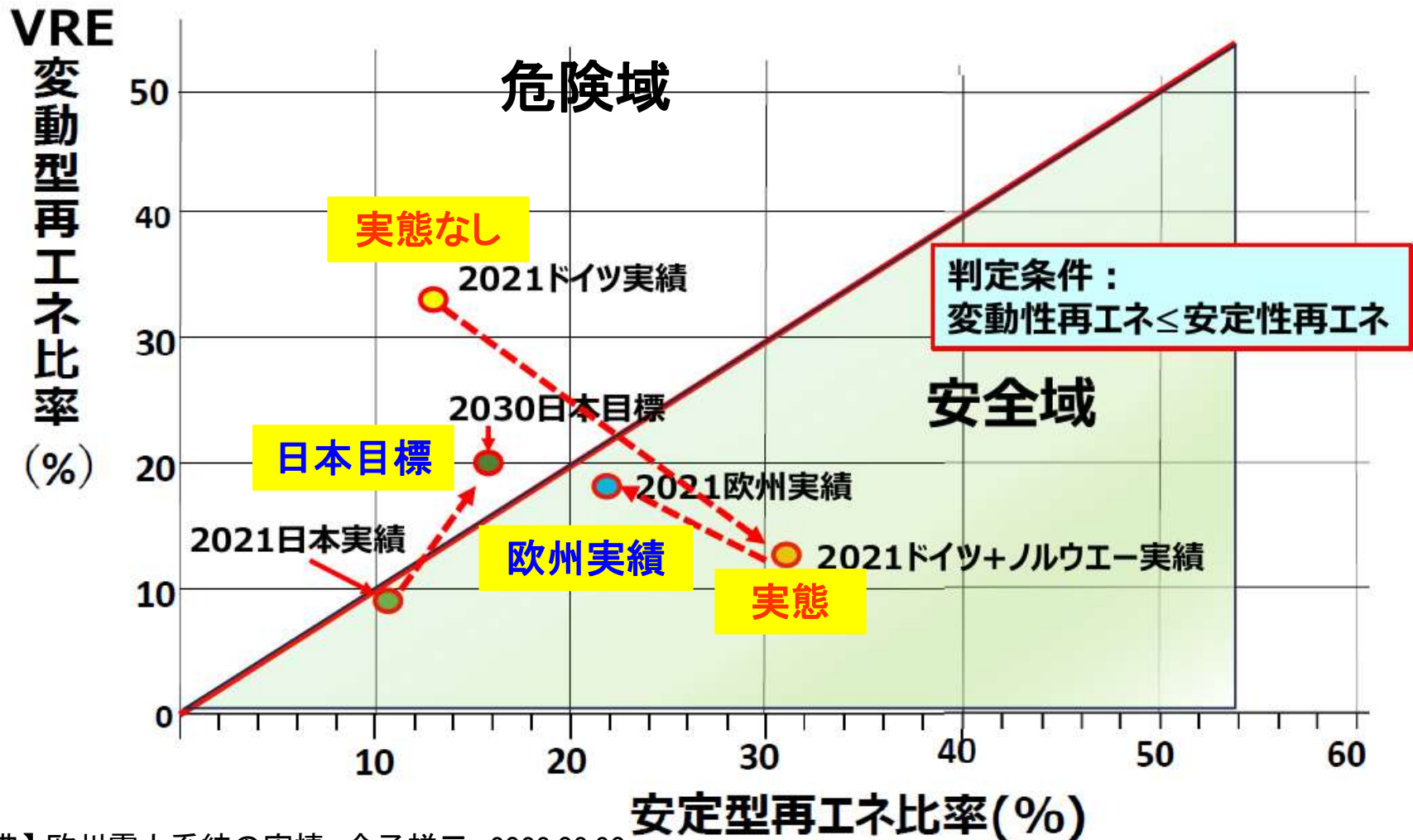
1. 不安定性の解決策 電源の日欧比較(独・ノルウェー実績)

ドイツの変動型再エネの安定性を支えているのは「ドイツ単独」ではなく、少なくとも「ノルウェー+ドイツ」の電力網である。

		日本実績	ドイツ実績D	ノルウェー実績N	ノルウェーN+ドイツD	欧州実績
		2021	2021	2021	2021	2021
再生可能エネルギー	太陽光	8.3	9.7	0	7.1	4.7
	風力	0.9	22.4	6.9	18.8	13.6
	a : VRE合計	9.2	32.1	6.9	25.9	18.3
	b : 水力	7.5	4.6	92.2	25.2	18.1
	地熱	0.3	0.0	0	0.0	0.2
	バイオマス	3.2	8.1	0	6.0	3.2
	c: 安定性再エネ	11.0	12.7	92.2	31.2	21.5
	d:再エネ合計	20.2	44.8	99.1	57.1	39.8
	a/b	1.23	7.0	0.07	1.03	1.01
	a/c	0.84	2.53	0.07	0.83	0.85
	a/d	0.455	0.72	0.07	0.45	0.460

1. 不安定性の解決策 変動型再エネの許容範囲

電源比率の安定条件は、**変動型再エネ ≤ 安定型再エネ**。ドイツの変動型再エネの**安定性**を支えている**実態**は「ドイツ単独」ではなく、「**ノルウェー+ドイツ電力網**」。
2030日本目標は欧州全体の実績にも裏付けのない**危険域**。



1. 不安定性の解決策 ドイツのノルウェーへの依存

ドイツはノルウェーとスウェーデンの豊富な水力で支えられており、変動再エネの限界を考慮する必要がない。

各国の発電量(2021) TWh

	ドイツ	ノルウェー	スウェーデン
太陽光	46.6	0	0
洋上風力	24.0	0	0
陸上風力	89.4	10.7	0
VRE小計	160.0	10.7	0
水力(流れ込み)	13.2	12.7	0
水力(貯水式)	1.2	123.2	74.2
水力小計	14.4	135.9	74.2

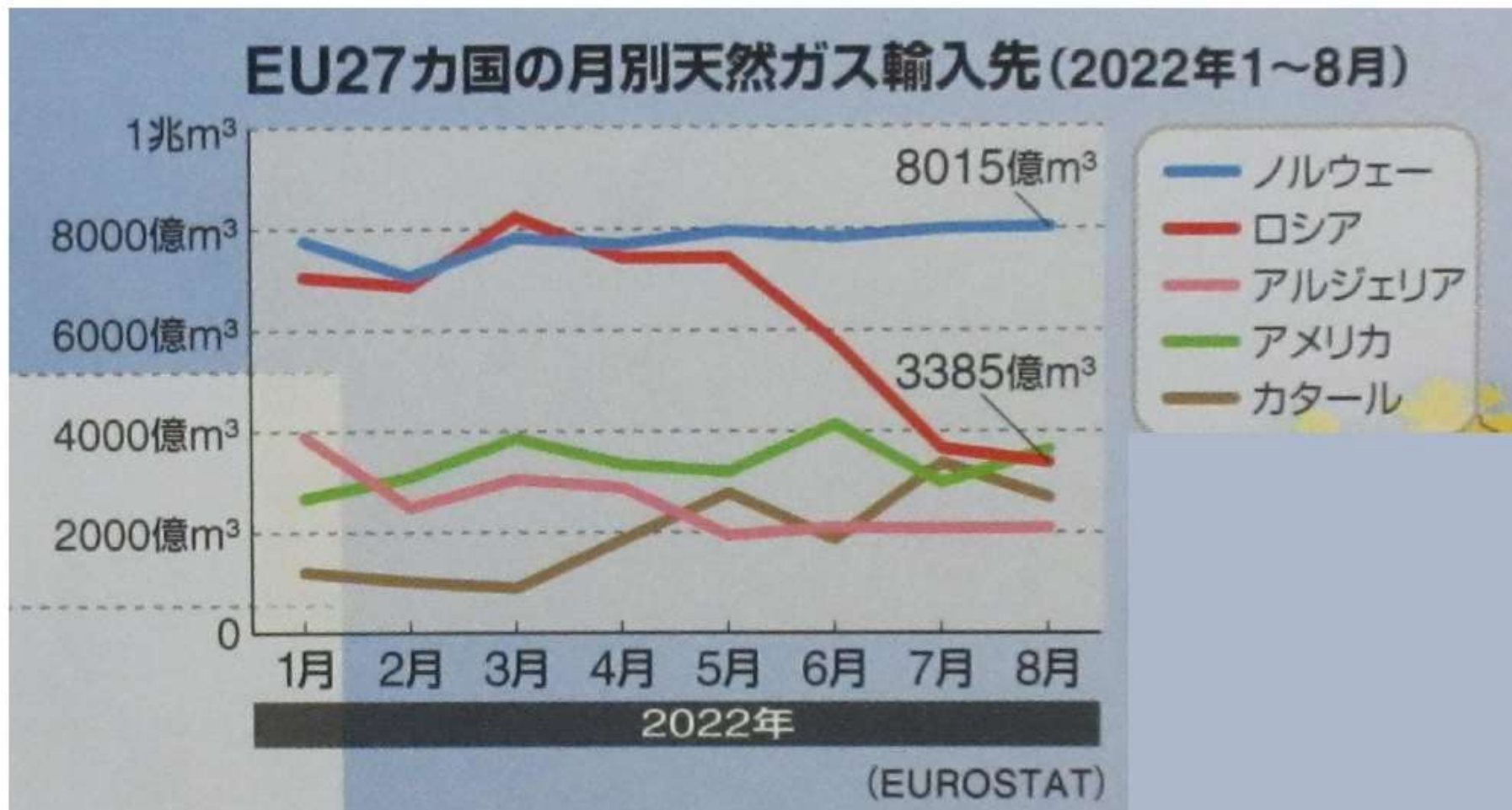
ドイツの代表的電力輸入国 (2021) Physical flow(GWh)

相手国	輸入量	輸出量	差し引き
ノルウェー	4284	1115	3169
スウェーデン	2222	279	1943
デンマーク	7287	3134	4153
フランス	9278	3696	5582



1. 欧州27か国の天然ガスの輸入先

EUの天然ガスの最大の輸入先はノルウェー(エネルギー自給率700%)

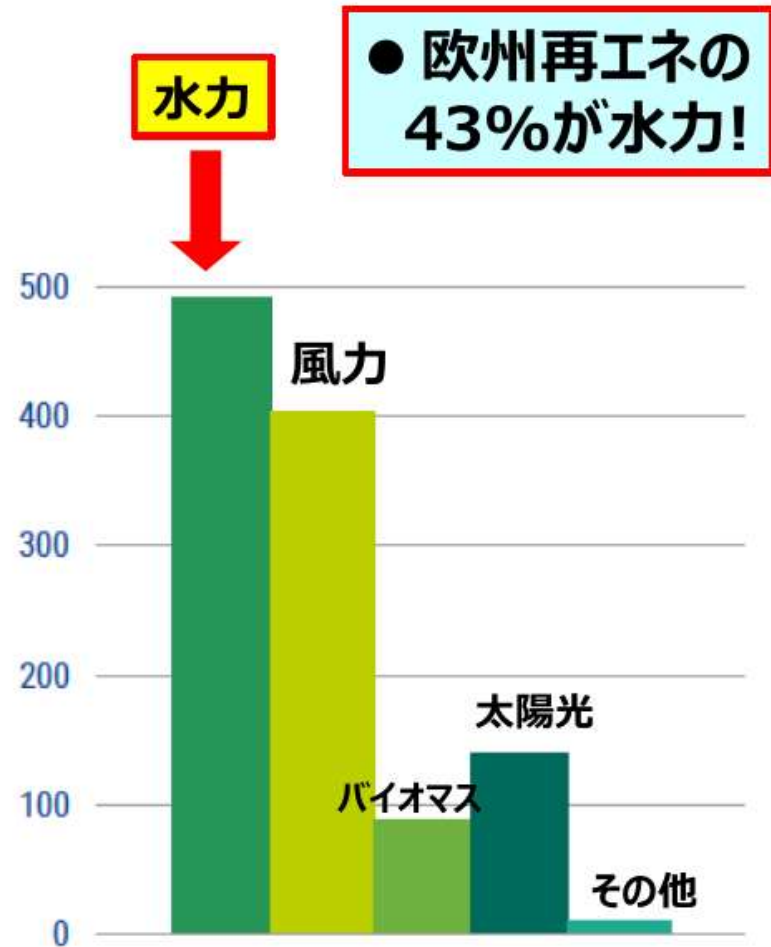


1. 欧州の再エネ : 実は水力が最大

欧州再エネは水力が43%と最大。太陽光、風力の変動性再エネ48%の不安定性を支えている。

ENTSO-E renewable generation¹

	TWh	%
Renewable net generation 2021	1 144.5	
of which hydro	494.3	43
of which wind	407.1	36
of which biomass	90.0	8
of which solar	141.3	12
of which other renewable	11.9	1



1. 不安定性の解決策 電力系統の日欧比較

日欧の送電網の比較

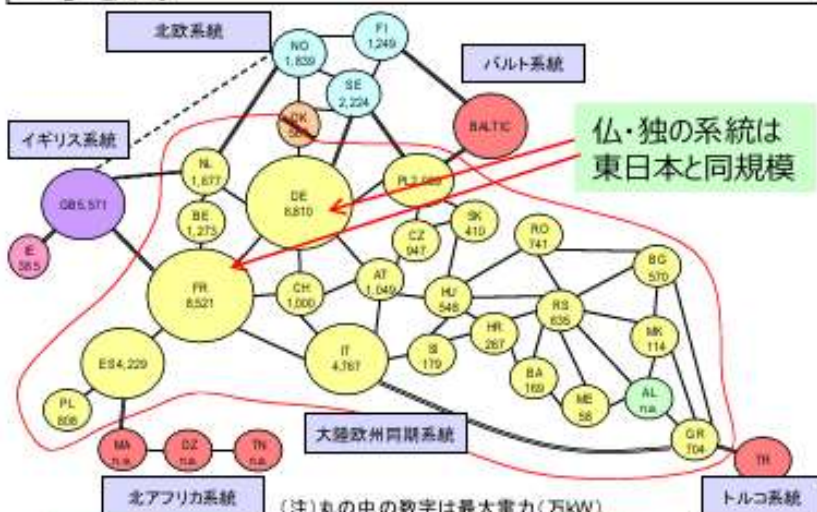
日本は国土が細長く送電網は直線状で「**串型系統**」と呼ばれ、地域ごとの独立性が比較的高い。欧州は「**メッシュ型**」の送電網となっており、欧州全体で一つの送電網を形成。このため、欧州は迂回路が多く、混雑し難い一方、日本はボトルネックとなる所で混雑し易く、電力の特性上1ヵ所の混雑が全体に影響。

日本の電力系統の特徴

2種類(50.60Hz)の周波数。エリア間の連系は1点が多く、連系送電線容量が小さい。

<欧州>

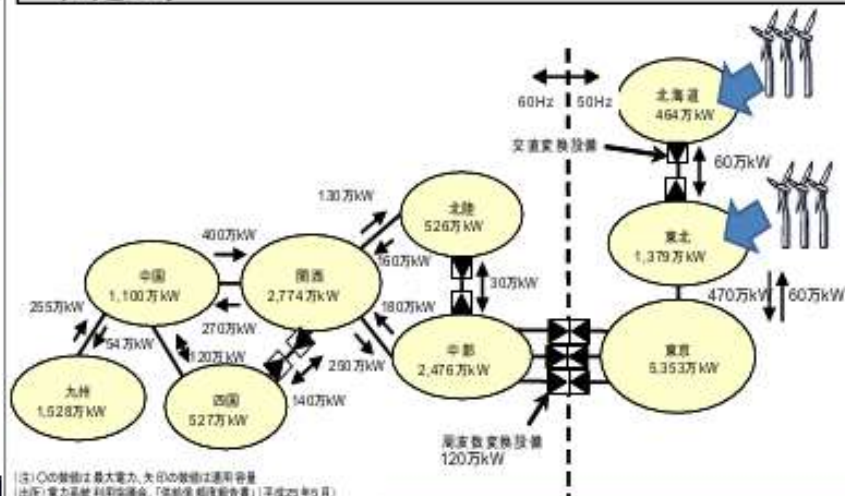
- 多国間連系を進め、大規模な同期系統を形成し、いわゆるメッシュ系統となっている。
- このため、事故時には停電の影響を限定的にするのが比較的難しい。
- 地震や台風等の大規模災害リスクは相対的に小さい。



大陸欧州の系統規模：約3.8億kW

<日本>

- 地域ごとに、電力系統が独立して発展。
- このため、特定の地域で生じた事故や停電の影響を比較的、限定し易い一方、地域を越えて送電可能な範囲は限定。地域間連系線を増強中。
- 地震や台風等の大規模災害リスクは相対的に大きい。



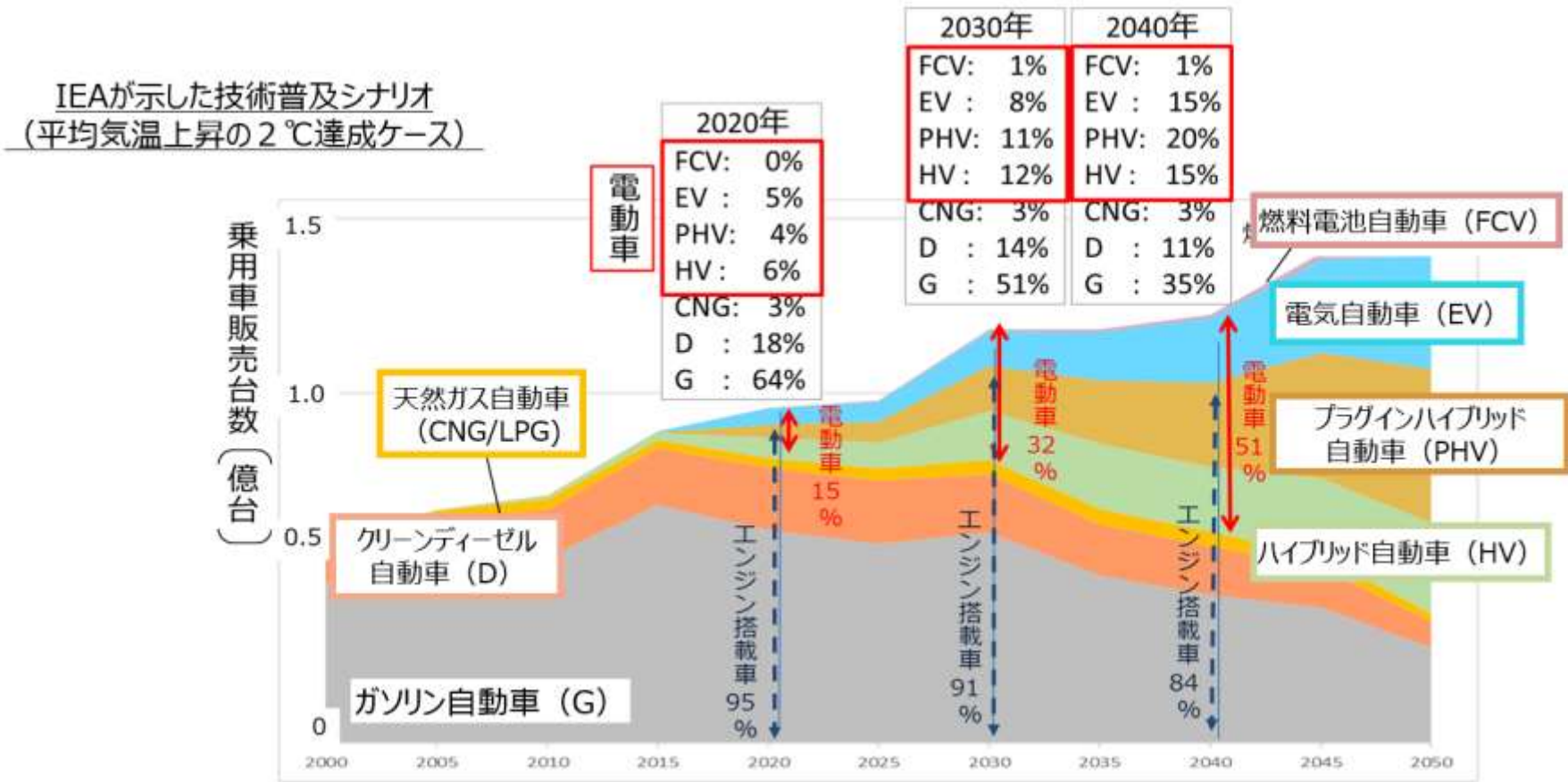
(注)○の数字は最大電力、△の数字は送電容量
(出所)電力系統利用促進会、「送電網の現状と将来」(平成25年9月)

日本の系統規模：約1.6億kW

1. 自動車の低・脱炭素化

電動化の流れの中でもエンジン車が共存

2017年国際エネルギー機関IEA見通し。**2030年時点、エンジン搭載車91%残り、2040年においても84%**と予想。エンジン搭載車に供給する**脱炭素燃料**が重要



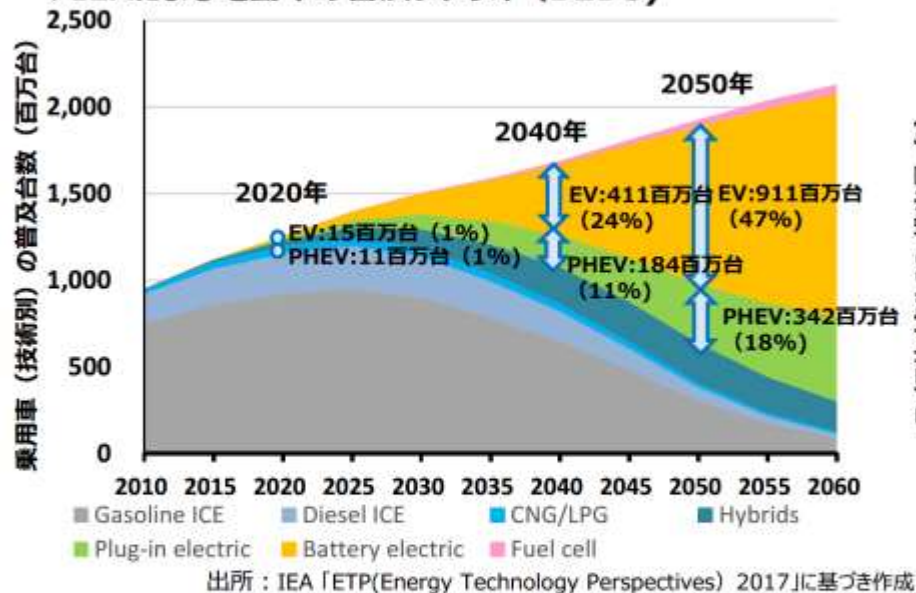
(出典) IEA 「ETP(Energy Technology Perspectives) 2017」に基づき経済産業省作成

【出典】資源エネルギー庁、2021.07.08

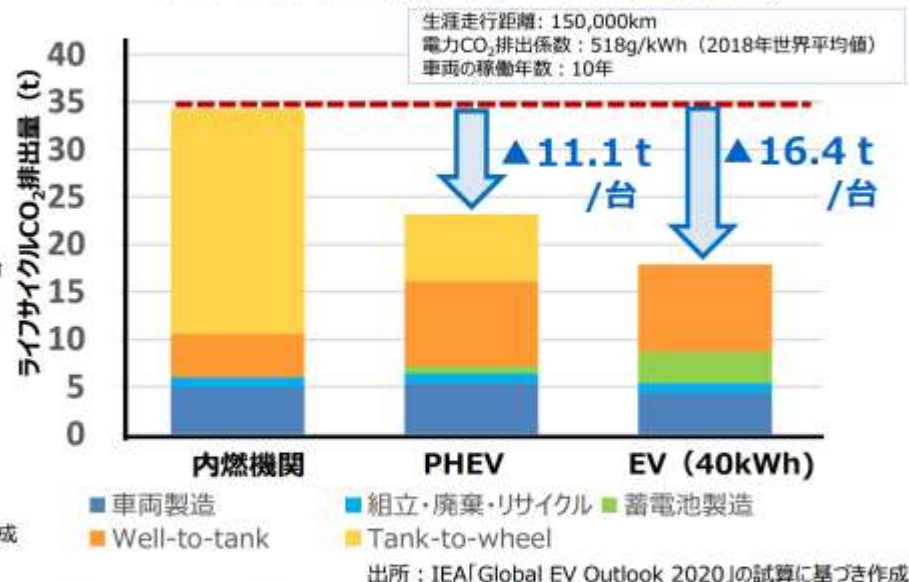
1. 自動車の低・脱炭素化 CO₂削減のポテンシャル (IEA)

- 本プロジェクトで開発に取り組む蓄電池・モータの実用化により、EV、PHEVの普及が加速し、IEAが示した2℃未満シナリオ (B2DS)に基づくペースでEV、PHEVが普及すると仮定した場合のCO₂削減効果を試算¹⁾。
- 2040年に約2.6億トン/年、2050年に約9.4億トン/年のCO₂削減効果 (世界) が期待される²⁾。

◆IEAによる電動車の普及シナリオ (B2DS)



◆本事業成果によるEV,PHEV1台あたりのライフサイクルCO₂削減量³⁾ (対内燃機関車)



◆CO₂削減効果

2040年

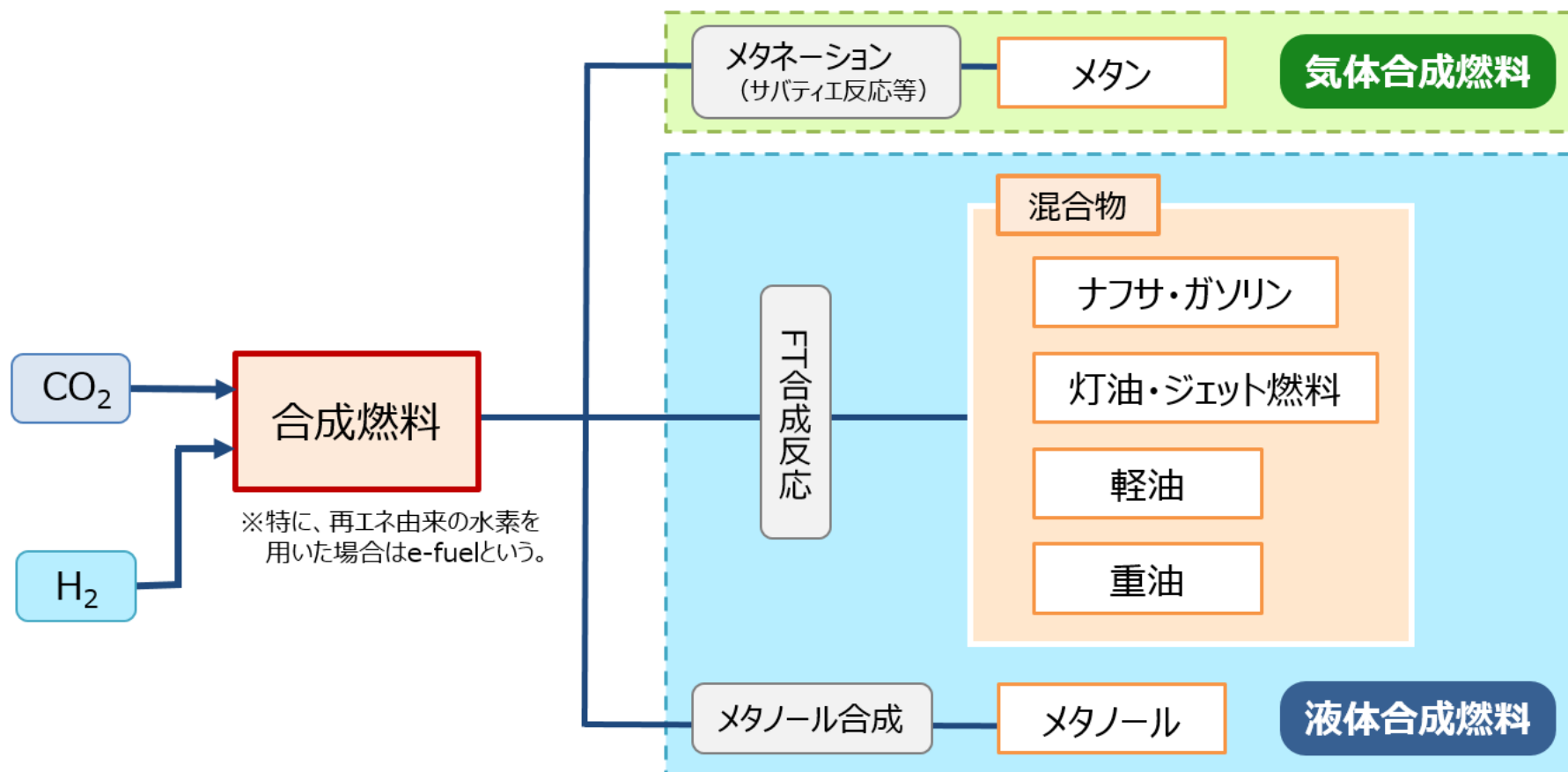
EV: 411百万台 × 30% × 16.4 t/台 ÷ 10年 = 約2.0億t/年
PHEV: 184百万台 × 30% × 11.1 t/台 ÷ 10年 = 約0.6億t/年

2050年

EV: 911百万台 × 50% × 16.4 t/台 ÷ 10年 = 約7.5億t/年
PHEV: 342百万台 × 50% × 11.1 t/台 ÷ 10年 = 約1.9億t/年

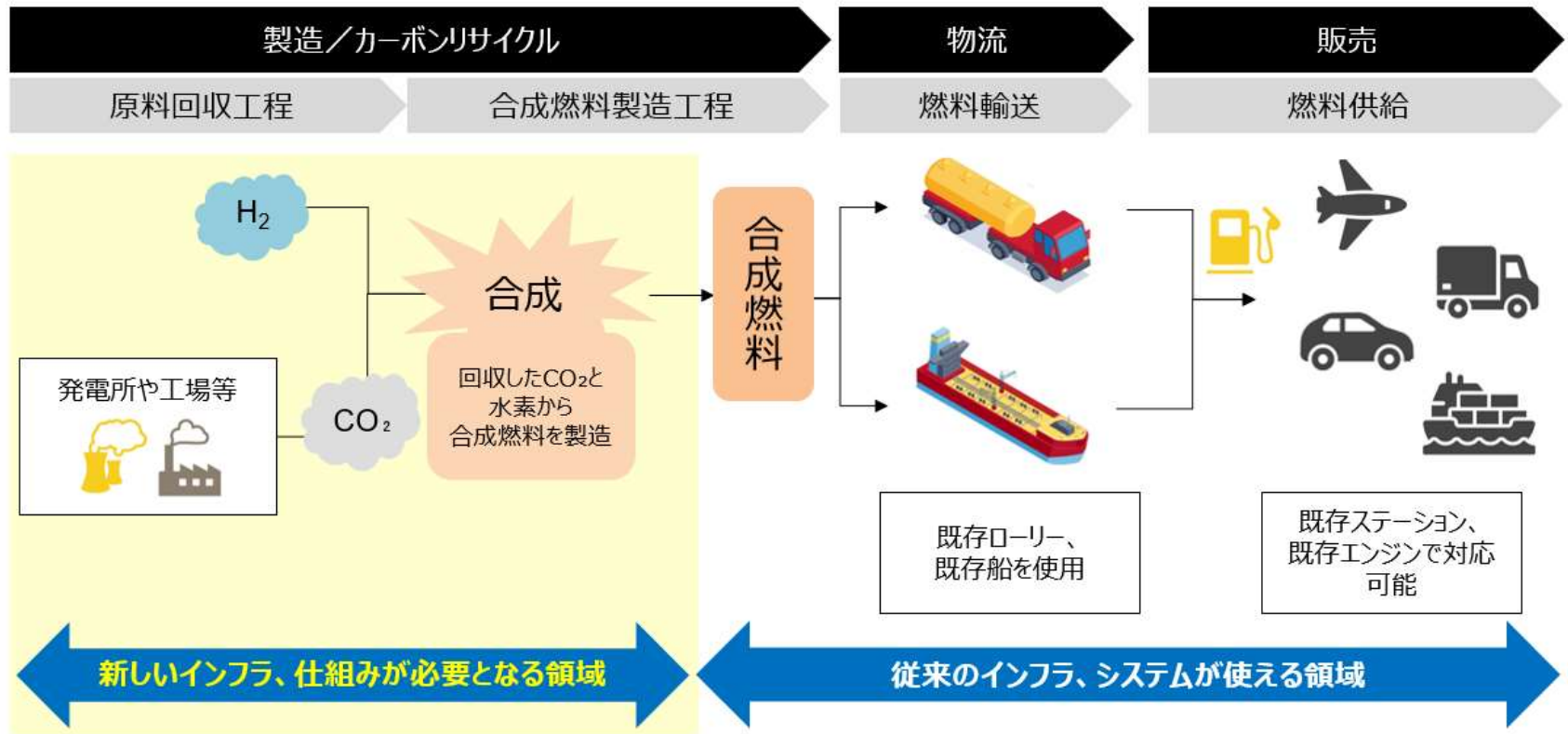
- 1) 2040年においては、EV、PHEVの普及台数の30%、2050年においては50%が、本事業の成果を活用したEV、PHEVである仮定し、これらすべてが内燃機関車からの代替とした場合の、CO₂削減効果を試算。
- 2) 将来、電源の脱炭素化が進み、電力のCO₂排出係数が低減した場合には、さらなるCO₂削減効果が期待される。
- 3) IEA「Global EV Outlook 2020」の試算を基に、本事業の効果 (エネルギー密度向上による蓄電池の軽量化、モータによる電費向上15%) を考慮して算出。

59



合成燃料は、 CO_2 と H_2 を合成して製造。**原料 CO_2** は、発電所や工場などからの排出 CO_2 を利用。将来は、大気中の CO_2 を直接分離・回収した CO_2 を想定。**原料水素**は、再エネ電気で水から水素をつくる「水電解」が基本。

1. 自動車の低・脱炭素化 既存設備が利用できるメリット 合成燃料



ガソリンを**液体合成燃料**に置き換えれば、**高いエネルギー密度**を保持しつつ**CO2排出量**を低減できる。**【特徴】既存設備**(燃料インフラ)を**活用**できる。導入**コストを抑制**でき、市場への導入がより円滑。国内で**大量生産**でき、液体なので常温常圧で長期**備蓄**が可能。

1. 自動車の低・脱炭素化

合成燃料の課題は製造技術とコスト

※NEDO「CO2からの液体燃料製造技術に関する開発シーズ発掘のための調査（2020.8）」の結果に基づき試算。

H ₂	CO ₂	製造コスト	
100円/Nm ³ ×6.34Nm ³ /L	5.91円/kg×5.47kg/L		
= 634 円/L	+ 32 円/L	+ 33 円/L	= 約700円/L
国内水素で合成燃料を国内製造			
(32.9円/Nm ³ + 14.65円/Nm ³) × 6.34Nm ³ /L			
= 301 円/L	+ 32 円/L	+ 33 円/L	= 約350円/L
海外水素を輸送、合成燃料を製造			
32.9円/Nm ³ × 6.34Nm ³ /L			
= 209 円/L	+ 32 円/L	+ 33 円/L	= 約300円/L
海外で合成燃料を製造			
20円/Nm ³ × 6.34Nm ³ /L			
= 127 円/L	+ 32 円/L	+ 33 円/L	= 約200円/L
水素価格20円/Nm ³			

国内の水素を活用し、国内で合成燃料を製造するケース

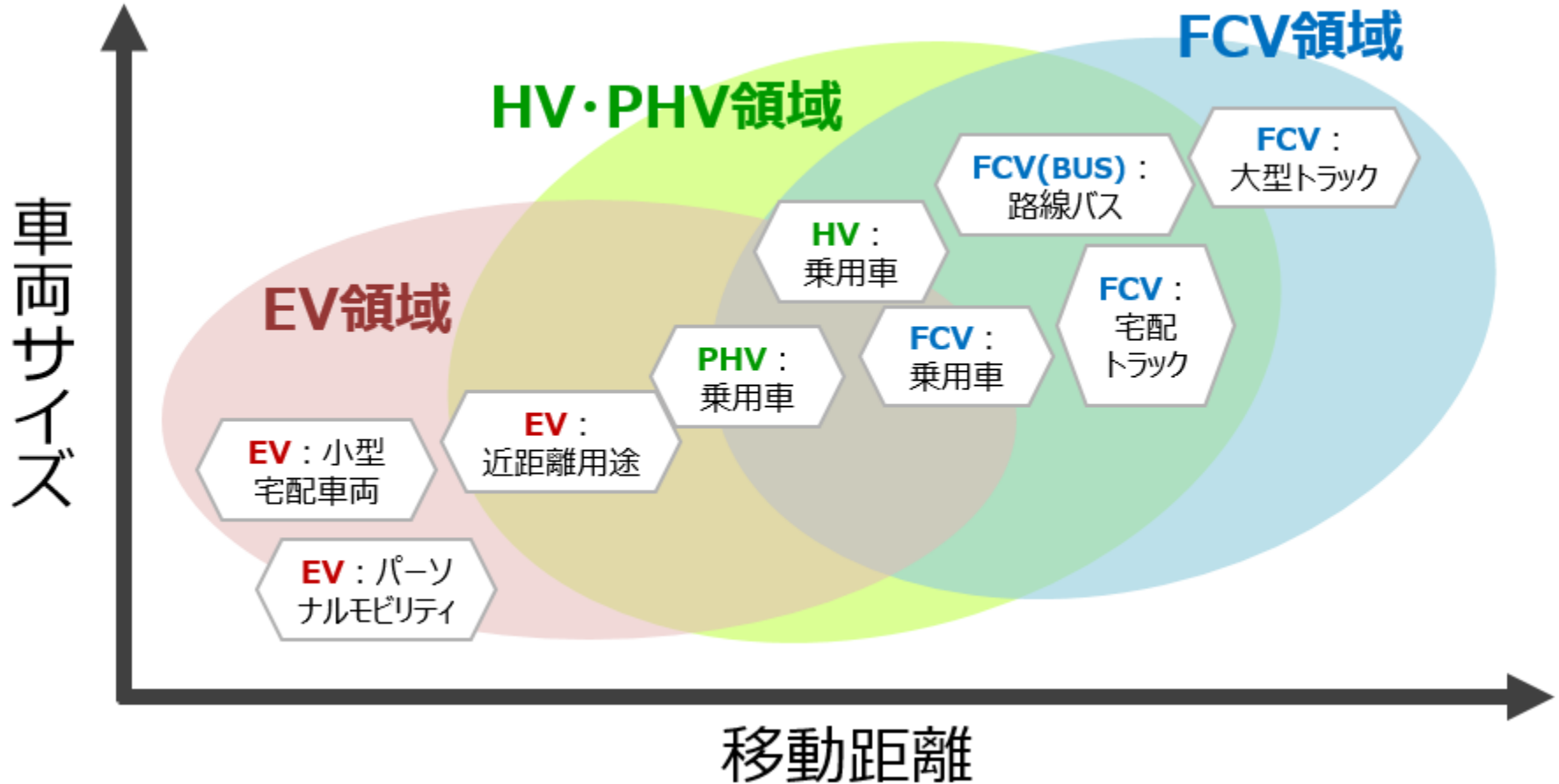
海外の水素を国内に輸送し、国内で合成燃料を製造するケース

合成燃料を海外で製造するケース

将来、水素価格が20円/Nm³になったケース

【残る課題】① 製造技術の確立・効率の向上、
 ② 製造コスト(国内の水素製造・輸送コストが高い。海外で製造)、
 【現状】欧米を中心に開発・実証が急速に進む。

1. 自動車の低・脱炭素化 電動車それぞれの強みを生かした利用



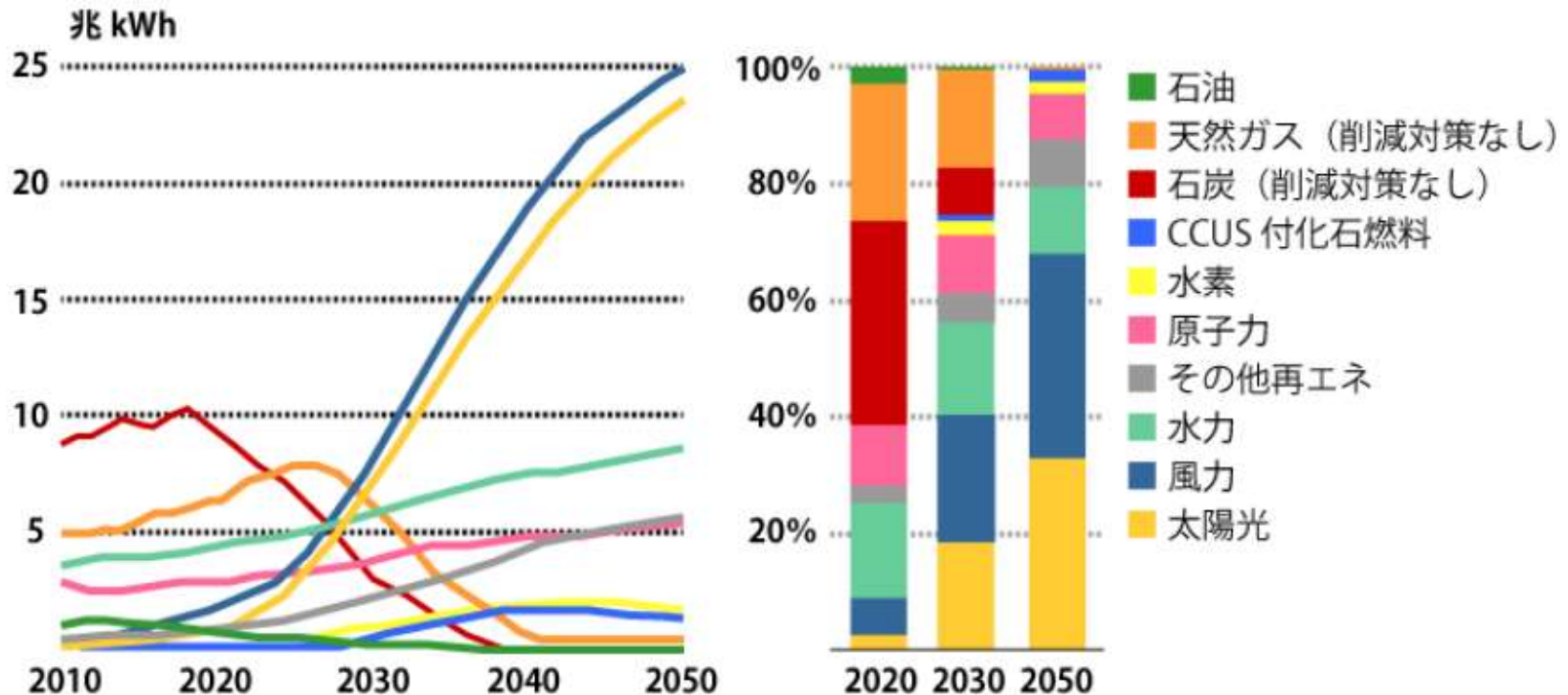
航続距離の短い**小型EV**は、近距離の移動や物流の最終区間の配送に利用。後続距離の長い**FCV**は、移動ルートが限られている**商用車**に利用。定点に充填インフラを整備。それぞれの強みを生かした利用方法を検討。

2. 2050年脱炭素へ向けての動向

- 2.1 世界の脱炭素の動向(IEA)_脱炭素の道は険しい_
- 2.2 カーボンニュートラル(CN)とは
- 2.3 日本政府のCN政策・克服すべき課題

2.1 世界の脱炭素の動向

2050年ネットゼロ排出量シナリオ(NZE)における世界の発電量(電源別)



太陽光と風力発電が先頭に立ち、再生可能エネルギーシェアを2020年の29%から2050年までに90%近くまで押し上げる。原子力と水素、CCUSが再生可能エネルギーを補完する

2050年ネットゼロでは、50年のエネルギー需要は現在より8%減、経済規模は2倍以上、人口は20億人増加。電力は全体の50%、輸送、産業など全てで重要な役割。

★ネットゼロでは、再エネ20年29%→30年60%→50年90%（非現実的？）

NZE 2050年ネットゼロを達成するために必要なシナリオ。気温上昇1.5°Cまで。見通しではない

【出典】NET Zero by 2050 : A Roadmap for the Global Energy Sector, IEA2021.5 (原産翻訳)

2.2 CNとは

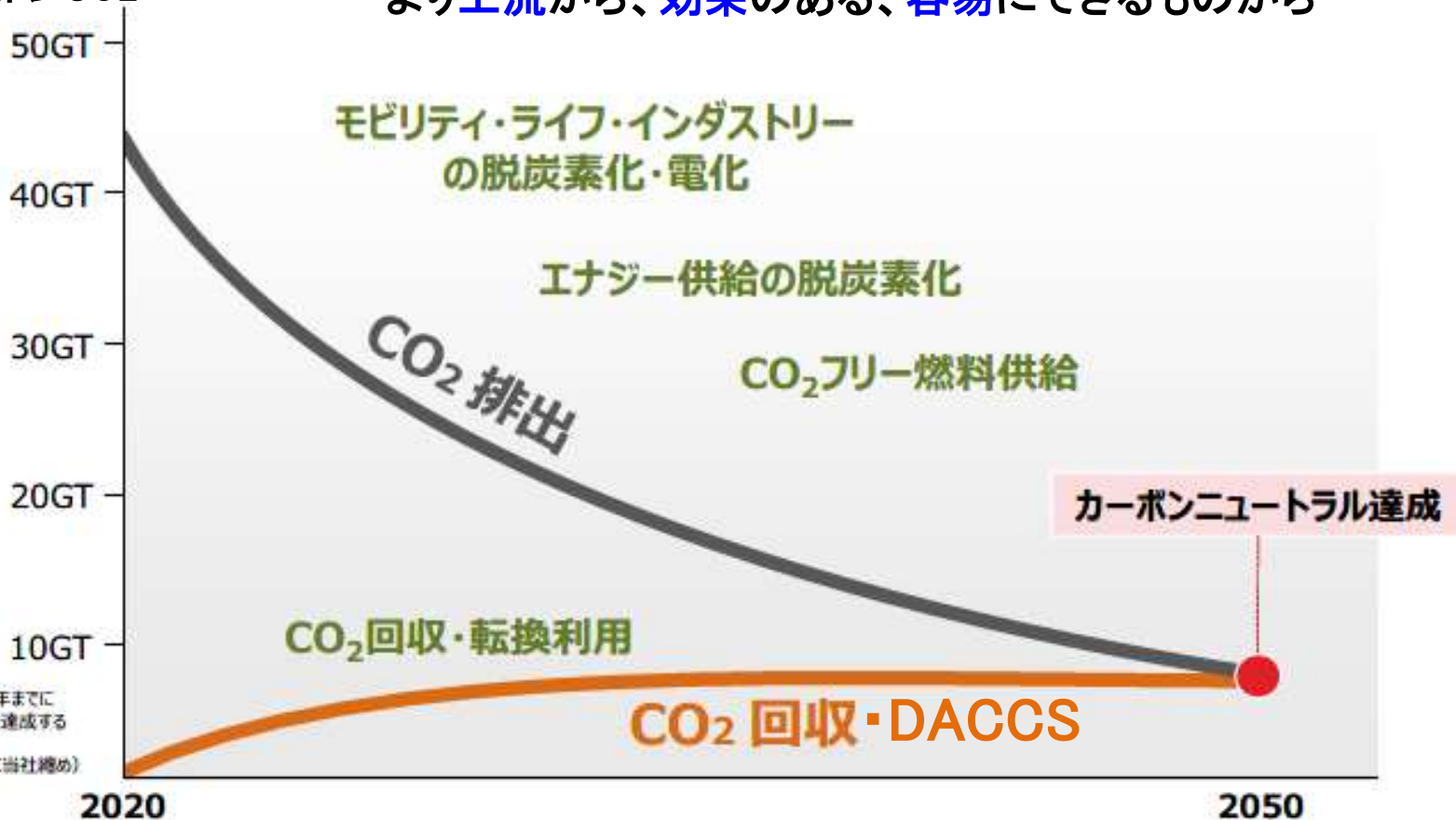
CNのイメージ(模式的)

CNを実現するには、**電力部門**の脱炭素化が大前提。**非電力部門**は、電化や水素化などCO₂を排出しないエネルギーへの**転換**を進める。2050年には、排出量と、植林やDACCSなどによるCO₂の吸収を**相殺**することで、実質排出0トンを目指す。

世界のCO₂排出量
GT=10億トンCO₂

どこからやるのか

より**上流**から、**効果**のある、**容易**にできるものから



1.5℃シナリオに基づき2050年までに
グローバルでのCO₂ネットゼロを達成する
シナリオ
(IEA・IPCC等の情報を元に当社総め)

2.3 日本政府のCN政策・克服すべき課題

部門別の技術開発項目(電力、産業部門)

どんな技術を開発しようとしているのか

パリティ=同等

		脱炭素技術	克服すべき主な課題 ※1 薄赤色のエリアは技術的なイノベーションが必要なもの	コストパリティ
電力部門	発電	再エネ	➢ 導入拡大に向け、系統制約の克服、コスト低減、周辺環境との調和が課題	水素価格 約13円/Nm3
		原子力	➢ 安全最優先の再稼働、安全性等に優れた炉の追求、継続した信頼回復が課題	
		火力+CCUS/ カーボンリサイクル	➢ CO2回収技術の確立、回収CO2の用途拡大、CCSの適地開発、コスト低減が課題	
		水素発電	➢ 水素専焼火力の技術開発、水素インフラの整備が課題	
		アンモニア発電	➢ アンモニア混焼率の向上、アンモニア専焼火力の技術開発が課題	
産業部門	熱・燃料	電化	➢ 産業用ヒートポンプ、設備のコスト低減、技術者の確保、より広い温度帯への対応が課題	水素価格 40円/Nm3
		バイオマス活用 (主に紙・板紙業)	➢ 黒液(パルプ製造工程で発生する廃液)、廃材のボイラ燃料利用の普及拡大に向け、燃料コストの低減が課題	
		水素化 (メタネーション)	➢ 水素のボイラ燃料利用、水素バーナー技術の普及拡大に向け、設備のコスト低減、技術者の確保、水素インフラの整備が課題 ➢ メタネーション設備の大型化のための技術開発が課題	
		アンモニア化	➢ 火炎温度の高温化のためのアンモニアバーナー等の技術開発が課題	
	製造プロセス (鉄鋼・コンクリート・化学品)	鉄： 水素還元製鉄	➢ 水素による還元を実現するために、水素による吸熱反応の克服、安価・大量の水素供給が課題	水素価格 約8円/Nm3
		コンクリート： CO2吸収型 コンクリート	➢ 防錆性能を持つCO2吸収型コンクリート(骨材としてCO2を利用)の開発・用途拡大、スケールアップによるコスト低減、CO2のセメント原料活用(石灰石代替)の要素技術開発が課題 ➢ セメントキルン(回転窯)からのCO2回収のための技術開発が課題	
		化学品： 人工光合成	➢ 変換効率を高める光触媒等の研究開発、大規模化によるコスト低減が課題	

※2 主なエネルギー起源CO2を対象に整理、製造業における工業プロセスのCO2排出も対象
コストパリティは既存の主要技術を対象に燃料費のパリティ水準を算出

※3 水素発電のパリティはLNG価格が10MMBtuの場合、水素還元製鉄は第11回CO2フリー水素WGの資料より抜粋(100kW級の純水素FCで系統電力+ボイラーを置換)

2.3 日本政府のCN政策・克服すべき課題

部門別の技術開発項目(民生、運輸、炭素除去)

どんな技術を開発しようとしているのか

パリティ=同等

		脱炭素技術	克服すべき主な課題 ※1 薄赤色のエリアは技術的なイノベーションが必要なもの	コストパリティ
民生部門	熱・燃料	電化	➢ エコキュート、IHコンロやオール電化住宅、ZEH,ZEB等を更に普及させるため、設備コスト低減が課題	
		水素化	➢ 水素燃料電池の導入拡大に向けて、設備コスト低減、水素インフラの整備が課題	
		メタネーション	➢ メタネーション設備の大型化のための技術開発が課題	
運輸部門	燃料 (乗用車・トラック・バスなど)	EV	➢ 導入拡大に向け、車種の拡充、設備コストの低減、充電インフラの整備、充電時間の削減、次世代蓄電池の技術確立が課題	電力価格 約10~30円/kWh
		FCV	➢ 導入拡大に向け、車種の拡充、設備コストの低減、水素インフラの整備、が課題	
		合成燃料 (e-fuel)	➢ 大量生産、コスト削減を実現する燃料製造方法等の技術開発が課題	水素価格 約90円/Nm3
	燃料 (船・航空機・鉄道)	バイオジェット燃料/ 合成燃料 (e-fuel)	➢ 大量生産、コスト削減を実現する燃料製造方法等の技術開発が課題	
		水素化	➢ 燃料電池船、燃料電池電車の製造技術の確立、インフラ整備が課題	
		燃料アンモニア	➢ 燃料アンモニア船の製造技術の確立	
炭素除去	DACCS、BECCS、植林		➢ DACCS : エネルギー消費量、コスト低減が課題 ➢ BECCS : バイオマスの量的制約の克服が課題 (CCSの適地開発、コスト低減は双方共通の課題)	

※2 DACCS : Direct Air Capture and Storage、 BECCS : Bio-energy with Carbon Capture and Storage

※3 ガソリン自動車との比較。ガソリン価格が142.8円/Lの時を想定 (詳細は第11回CO2フリー水素WGの資料を参照)

※4 主なエネルギー起源CO2を対象に整理、製造業における工業プロセスのCO2排出も対象
コストパリティは既存の主要技術を対象に燃料費のパリティ水準を算出

3. 技術的・経済的に現実的な選択

3.1 自動車と火力発電の脱炭化技術の横串の関係

3.2 変動型再エネの課題、電力貯蔵の必要量、
再エネを火力が支える現実

3.3 火力発電の脱炭素化の例

3.4 燃料の水素化の例(火力発電、製鉄、航空機)

3.1 自動車と火力発電の脱炭化技術の分類

脱炭素化の対象		自動車	火力発電
燃焼効率向上		[ガソリン] 燃費改良 ICE	[LNG] A-USC, GTCC
排ガス規制対策 (S、N)		排ガス規制対策 ICE	A-USC, GTCC
排ガスの脱炭素化			CCS
燃料の工程中脱炭素			[石炭ガス化] IGCC
燃料の脱炭素化		[CN 燃料] CNICE [水素] HICE	[アンモニア] AGT [CN 燃料] CNGT [水素] HGT
燃料駆動＋ 駆動の電動化 (蓄電)		[ガソリン＋蓄電] HEV, PHEV	(駆動機能なし)
駆動の	蓄電	[蓄電] BEV,	
電動化	水素発電	[水素発電、電動] FCEV	

[] : エネルギー源, HEV : ハイブリッド車, PHEV : プラグインハイブリッド車, BEV : 電気自動車, FCEV : 燃料電池車, ICE : 内燃機関 (エンジン) 車, HICE : 水素エンジン車, CN 燃料 : 合成燃料とバイオ燃料, CNICE : CN 燃料エンジン車, A-USC : 次世代超超臨界圧発電, GTCC : ガスタービン複合サイクル発電, IGCC : 石炭ガス化複合発電, AGT : アンモニアガスタービン発電, CNGT : CN 燃料ガスタービン発電, HGT : 水素ガスタービン発電, CCS : CO₂ 回収・貯蔵

3.2 変動型再エネ(太陽光)の課題

1 不経済性

- ・総合コスト(支える待機火力などの稼働率低下、送電網強化費用などを含むと新設発電コストが高い)

2 不安定性・電力需給が逼迫

- ・再エネ(太陽光、風力)普及のために送電網の強化を決定
北海道ー関東、九州ー本州に複数ルートを新增設
- ・2021年1月大雪で電力需給が逼迫。2022年2月に電力不足?
- ・北海道大停電 2018年9月

3 被災急増・二次自然災害の誘発

- ・太陽光パネル設置斜面の崩落、景観悪化など
規制する都道府県が多くなった

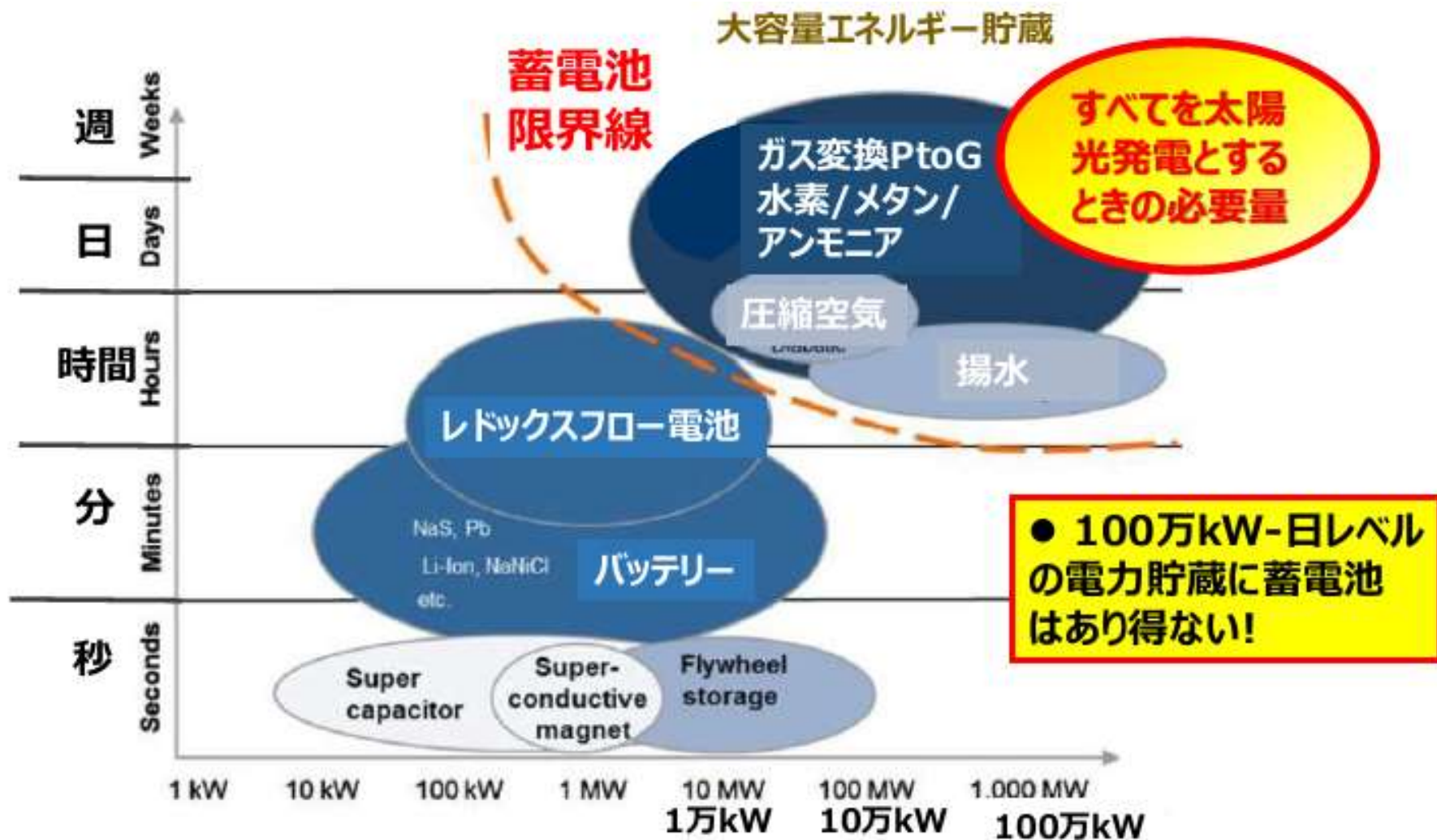


兵庫県姫路市 平成30年豪雨に伴い

4 国際競争力の失墜(EVを含む)

- ・重要鉱物資源の中国リスクがある。太陽光パネルの80%が中国製、今後の洋上風力も。EV電池や水電解装置の鉱物資源の多くが中国製など

3.2 経済性 全てを太陽光発電とするときの電力貯蔵の必要量

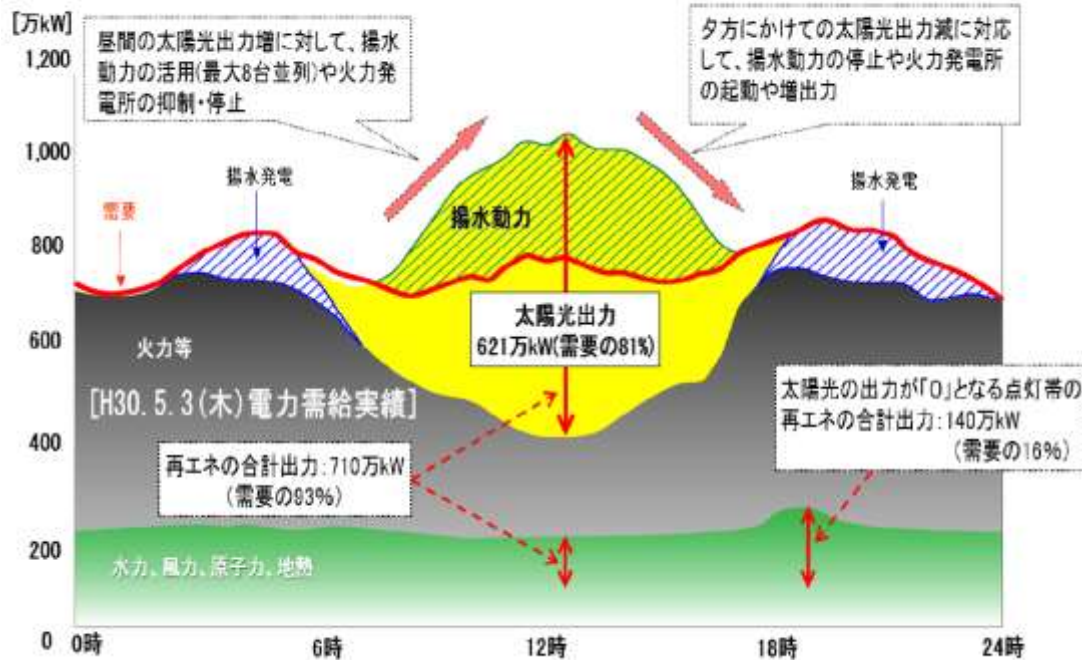


[出典] "Development and applications for MW-scale electrolyzer systems" (SIEMENS, 2016)
水素・燃料電池戦略協議会CO2フリー水素ワーキンググループ資料に金子加筆

3.2 不安定性 再エネ大量導入による電力需給の抑制

〔参考〕H30.5.3(木)の電力需給状況

九州電力の再エネ出力余剰対策事例



出典: 再エネ出力制御に向けた対応状況について, 九州電力, 2018.10.10

出力の抑制等を行う順番

- ①揚水運転による再生可能エネルギーの余剰電力の吸収、火力発電等の出力制御
- ②連系線を活用した他地域への送電〔開門連系線の活用〕
- ③バイオマス出力の抑制
- ④太陽光・風力の出力抑制
- ⑤長期固定電源(水力、原子力、地熱)の出力抑制

2018年10月13日(土)昼過ぎ
需要=828万kW
火力抑制後の供給=1,293万kW
揚水発電=-226万kW
域外送電=-196万kW
太陽光発電抑制=-43万kW

1年間で56回出力抑制

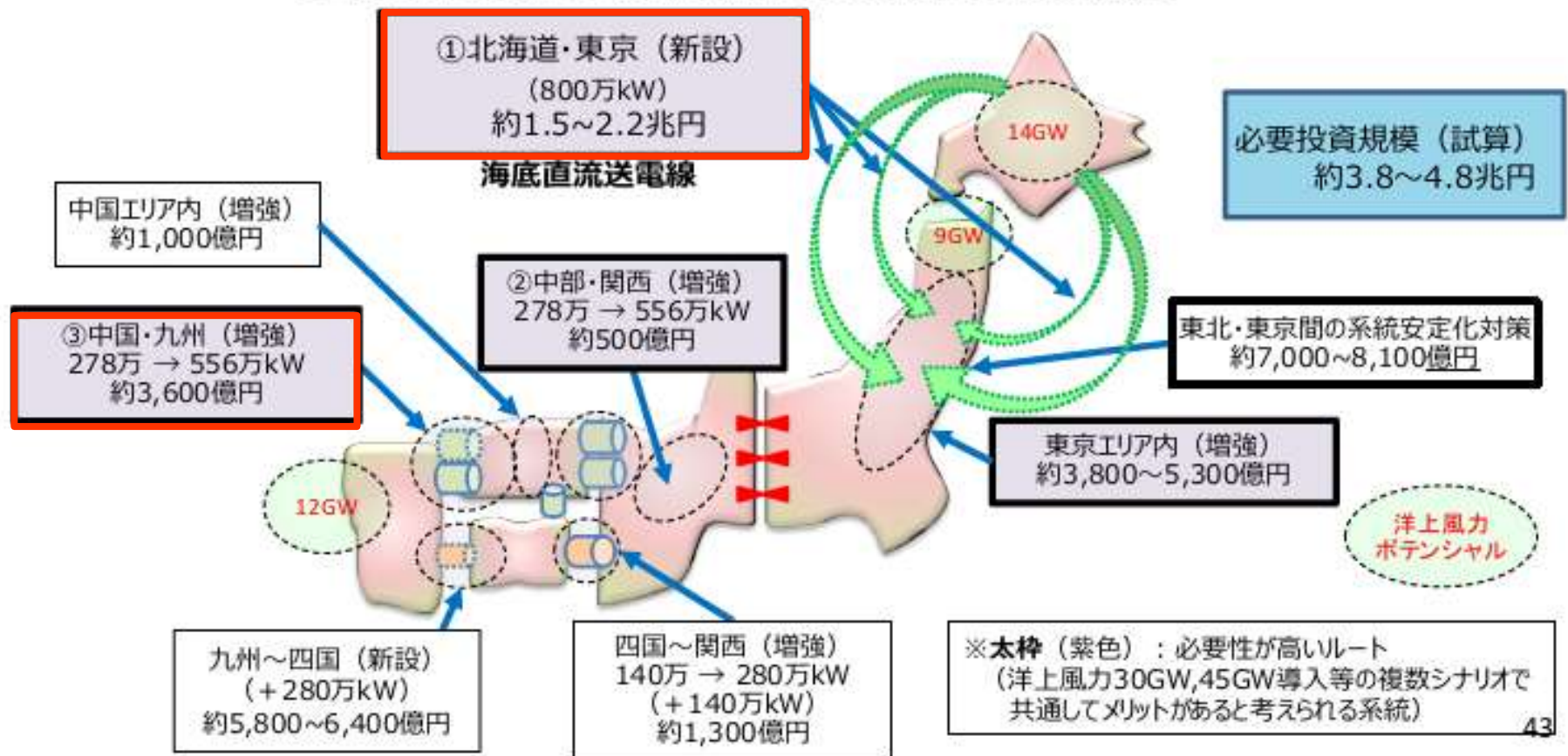
2020年3月27日(土)昼過ぎ
需要=830万kW
火力抑制後の供給=1,229.7kW
揚水動力=-186.2万kW
域外送電=-208万kW
蓄電池=-5万kW
太陽光発電抑制=-385.7万kW

1年間で60回出力抑制

3.2 不安定性の解決策 広域機関の広域連系マスター計画

再エネの主電源化に向けて、系統制約を克服する送電網を增強する計画。
再エネの活用、電力融通の円滑化に向け、全国で広域連携系統の形成を計画的に推進。
中間マスタープランを2021年5月取りまとめ。2022年度中の完成目指す。
北海道と本州を結ぶ海底直流送電の必要性が高いルート順次具体化。

中間整理の概要（電源偏在シナリオ4 5 GWの例）



3.3 火力発電の脱炭素化(石炭ガス化／大崎クールジェンIGCC)

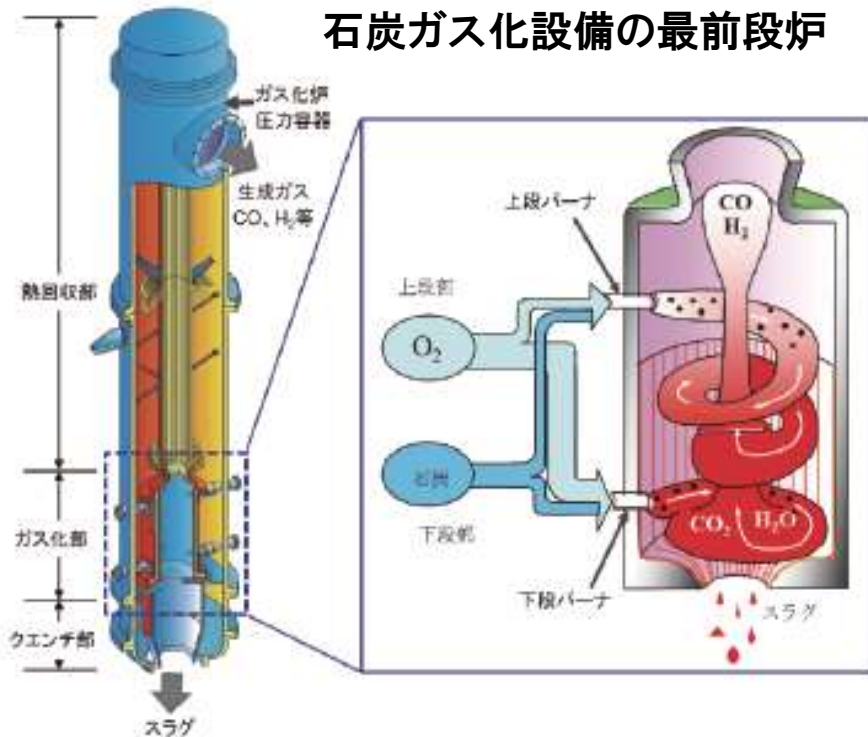
大崎クールジェンプロジェクトは、石炭火力発電から排出されるCO₂を大幅に削減させるべく、究極の高効率発電であるIGFCとCO₂分離・回収を組合せた革新的低炭素石炭火力発電の実現をめざすもの。石炭ガス化技術は、**安価に石炭を水素化する技術**とも言える。



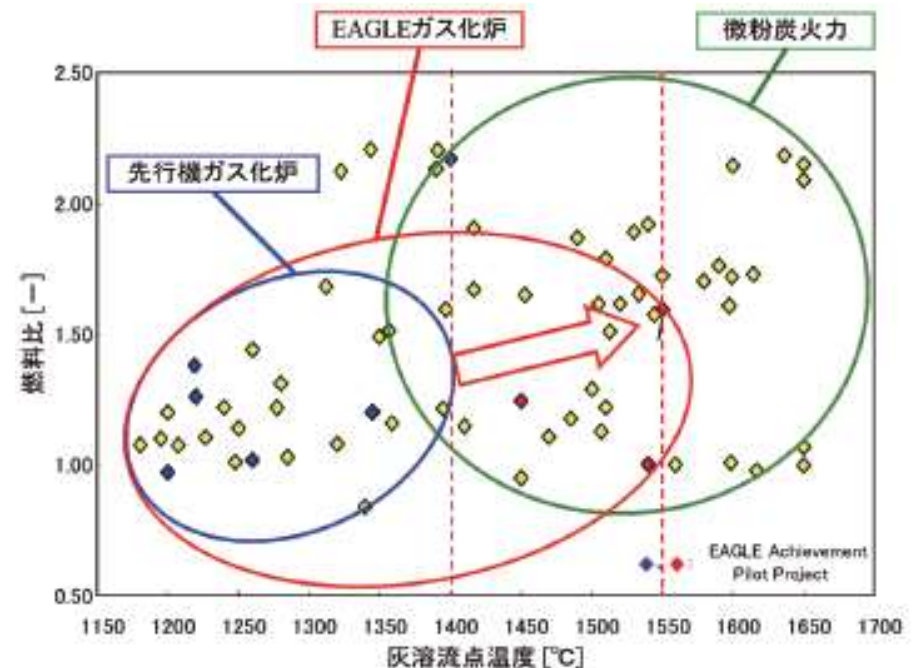
電源開発と中国電力が折半で設立した「大崎クールジェン(株)」。瀬戸内海の大崎上島(広島県)にあり、対岸の広島県竹原市には、電源開発の竹原火力発電所(超々臨界圧石炭火力)もある。「大崎クールジェンプロジェクト」は、NEDOとの国家プロジェクトとして開発した石炭ガス化複合発電(IGCC)。

3.3 石炭ガス化／低品位炭(褐炭)～高品位炭まで対応

石炭ガス化炉(IGCCの前段)に石炭と酸素を投入すると水素とCOが発生し、CO₂やH₂Oが回収される。低品位炭(亜瀝青炭、**褐炭**)～高品位炭まで幅広い石炭に対応可能。



パイロット試験規模において、燃料が持つ発熱量に対する生成ガス発熱量の比率である冷ガス効率が80%以上と高い効率を達成。

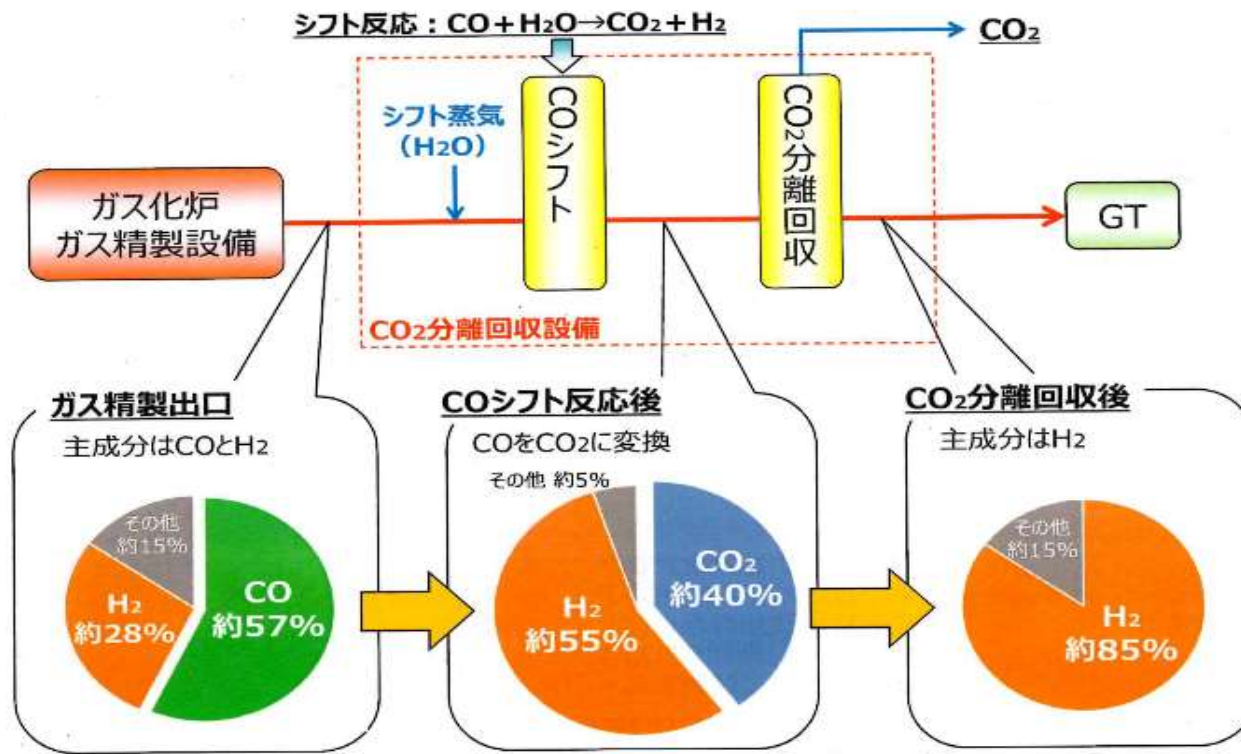


ガス化に適する低品位炭(亜瀝青炭、**褐炭**)はもとより、微粉炭火力で利用される灰溶流点の高い高品位炭(瀝青炭)まで幅広い石炭に対応できる。

3.3 石炭ガス化発電は水素発電だ（奈良林 直 東工大特任教授）

実質的な石炭水素化発電（奈良林 直教授）

ガス化排熱回収とともに酸素を多く供給して(シフト反応)で水素の割合を55%まで高め、残りの40%のCO₂は、燃焼前に物理的に分離。これを貯留(CCS)すれば、水素比率を85%に高め、残りは窒素と4%まで減らしたCO₂になる(下図)。ガスタービンのバーナーで燃焼する前にCO₂を容易に分離・回収できる、ほとんどCO₂を排出しない火力発電所が実現する。



石炭ガス化設備における燃料水素の過程

3.4 燃料の水素化 水素ガスタービンが水素消費を拡大・コスト低減

- 水素焚きガスタービンにより消費される燃料水素は大規模かつ安定。
- 水素インフラ導入期においては、水素供給事業への参入リスクを下げ、インフラの拡充への波及効果が期待される。

GT 出力500MW 効率60%
20vol%水素混焼プラント 1基
水素消費量：1.4t/h



燃料電池自動車
10～13万台



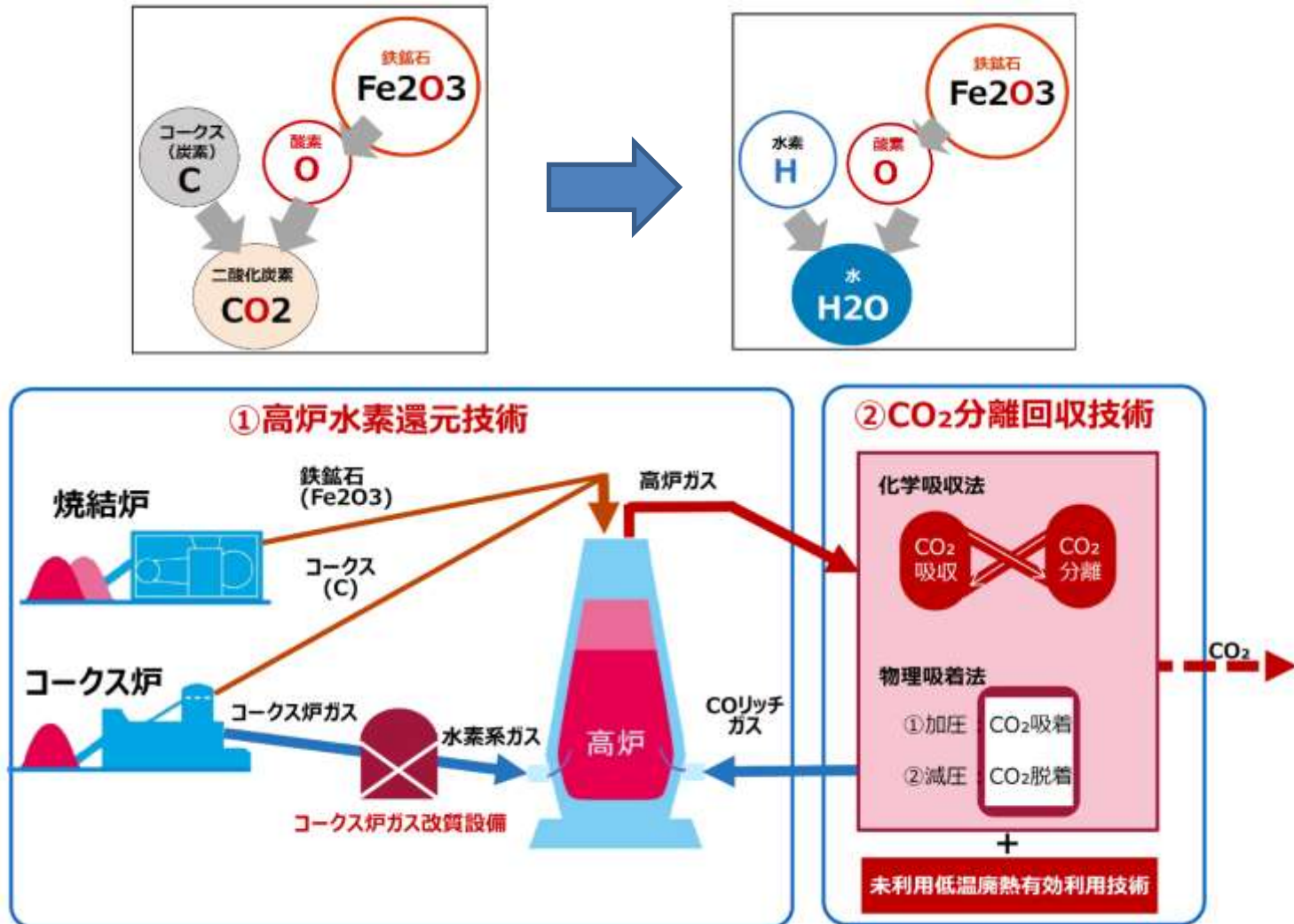
÷

100,000～130,000

20 %混焼でFCV10～13万台相当の水素消費。専焼ならさらに効果大。

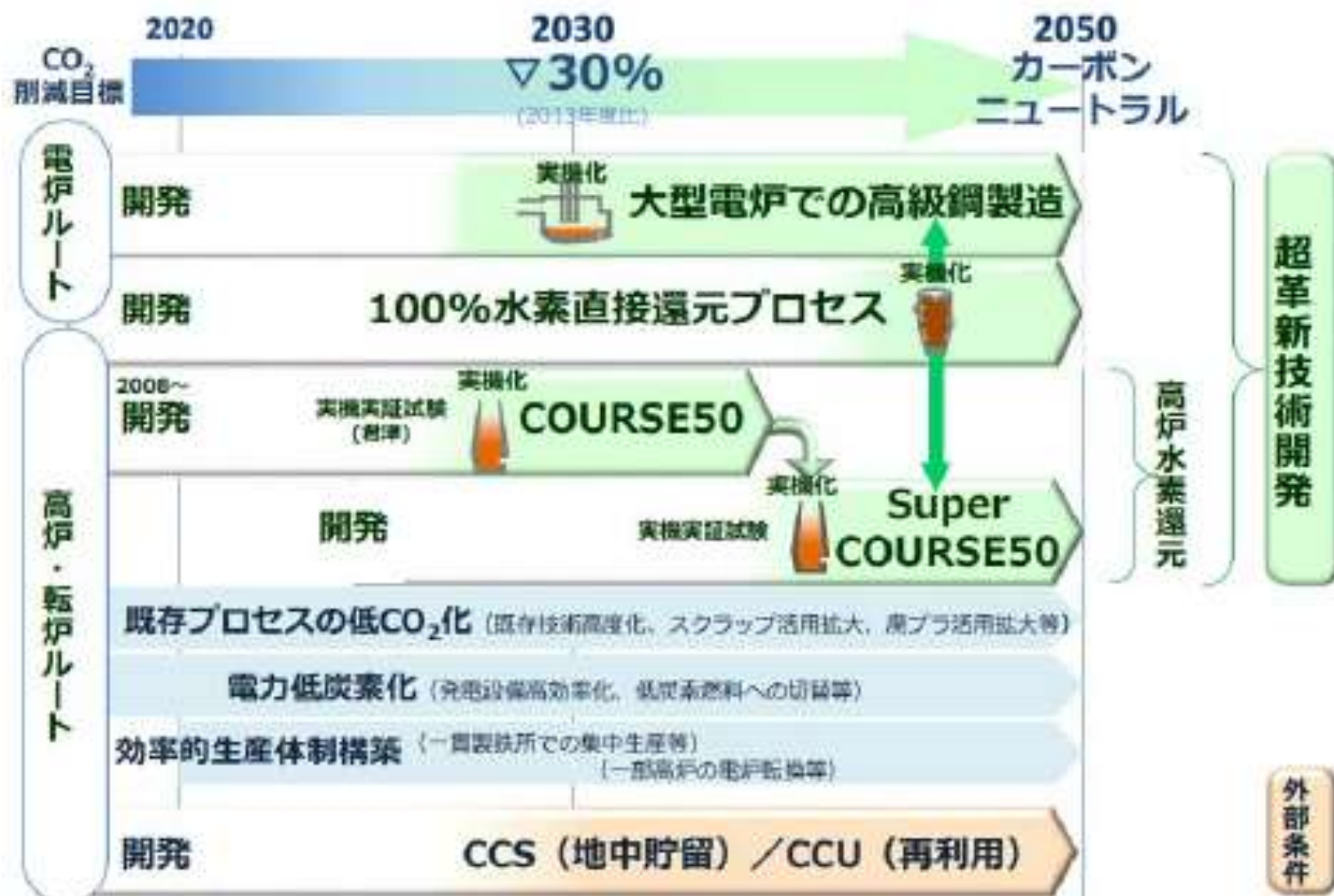
3.4 燃料の水素化 高炉の水素還元製鉄／脱炭素化が難しい分野

脱炭素化が難しい技術ではあるが、鉄は製造業の**コア**なので影響が大きい。
原子力(高温ガス炉)による水素製造・水素還元製鉄の計画もある。



3.4 燃料の水素化 水素還元製鉄法／脱炭素化が難しい分野

日本製鉄カーボンニュートラルビジョン2050～ゼロカーボン・スチールへの挑戦～
直接還元鉄の製造は、現状は天然ガス等を利用。水素還元製鉄は燃料を水素に代替。
従来からの水素還元製鉄の製造プロセスに加え、電炉・熱間圧延までの一式を集約。



3.4 燃料の水素化 水素航空機の開発／ガスタービン発電技術が転用可能？



エアバスのゼロエミッション航空機 出典:エアバス発表、2020.9.22

エアバスは今後、数か月の間に、水素燃料電池と水素燃焼技術などを試験実証。約5年をかけ、水素技術を開発。2020年代後半までに本格的プロトタイプを完成。2035年までに水素航空機を量産。

現在の航空機は、鉄道などと比べ、多くのCO₂を排出する。飛行機で1km移動するのに排出されるCO₂は、乗客1人当たり96gとされ、鉄道(18g)の約5倍[国土交通省試算] 全世界で排出されるCO₂総排出量のうち、航空輸送での排出量は約1.7%[日本航空機開発協会調査]

水素航空機は液体水素を燃料としCO₂を排出しない。水素ガスタービン技術には発電用の技術が活用でき、**類似技術**で開発を加速できる。経産省は専用エンジンと液水貯蔵タンクの開発に補助金で後押し



さいごに 日本にとって重要な自動車関連産業

日本の**輸出品**のトップは自動車、3位が自動車部品。**自動車関連**が日本の製造業を**牽引**。**GX投資**でもトップは自動車産業の脱炭素化。自動車産業に将来の日本の命運がかかる。自動車の**国際競争力の源泉**は供給網の「擦り合わせ技術」。**EV**の「組合せ技術」で競争力が維持できるか。**雇用**は。

日本の輸出品トップ10の内訳 (2019)

自動車**が**トップ、関連が上位

	産業	金額（億円）	シェア
1	自動車	119,712	15.6%
2	半導体等電子部品	40,060	5.2%
3	自動車部品	36,017	4.7%
4	鉄鋼	30,740	4.0%
5	原動機	27,279	3.5%
6	半導体製造装置	24,670	3.2%
7	プラスチック	24,297	3.2%
8	科学光学機器	21,297	2.8%
9	有機化合物	19,017	2.5%
10	電気回路機器	18,515	2.4%

GX投資で**自動車の脱炭素化**がトップ

主要分野のGX投資

自動車産業の脱炭素化	34兆円～
再生可能エネルギーの導入拡大	20兆円～
住宅やビルの抜本的な省エネ	14兆円～
デジタル投資（半導体など）	12兆円～
次世代ネットワーク（送電網）の強化	11兆円～
水素・アンモニアの供給網構築	7兆円～
蓄電池の製造	7兆円～
航空機産業の脱炭素化	5兆円～
⋮	⋮
原発・次世代革新炉の整備・開発	1兆円
今後10年間の官民の投資額	150兆円超

さいごに 同床異夢のEVシフト

CO2 フランス、ノルウェーなど

原子力や水力など**ゼロエミッション**電力が中心で
EVの**有効性**が高い

大気汚染 英、仏、中、印、米カルフォルニア州など

都市部の大気汚染問題(特にNOx)が政治問題

HV対抗 欧州・中国の自動車メーカーや政府など(注)

HV(ハイブリッド車)の対抗軸だったディーゼル車がVWの不正で減速／HV技術に対する**競争力**をEV政策でカバー

脱石油 中国・仏などの多くの国

将来の石油供給に対する**エネルギー安全保障**上の懸念
自動車産業の**国際競争力**が弱く、石油自給率の低下が深刻

(注) 英仏と独には内燃機関(合成燃料)に**異夢**。根底には**国際競争力**

まとめ 柔軟で安定な低・脱炭素移行戦略のために

2050年カーボンニュートラル(CN)の実現のために

1. 電気自動車(EV)は日本では**まだ**環境に優しくない。日本の産業の根幹をなす「**自動車産業**」は、**電動化の大きな流れの中でもエンジン車が共存する現実**を直視して、移行段階では燃料のCN化を含めて**幅広く**対応すべき。トヨタはよく対応している。
2. 自動車のCN化のためには、上流の**電力の脱炭素化**を優先的に進めることが必須。**欧州**の再エネの最大は**実は水力**。**日本**の再エネの課題を直視し、再エネの不安定さや利用拡大にも貢献している火力発電の脱炭素、**燃料**のCN化を行い、**既存設備・技術**を利活用することも考慮すべき。
3. 脱炭素に電(動)化と水素化(水素燃料)の方向がある。**適用分野ごとに選択**する際、日本の**国際競争力**が考慮されるべき。
4. 既存設備・技術の低炭素化を図る**分野横断の移行戦略**が必要。

電気自動車は環境に優しいか？

～カーボンニュートラルの移行戦略を検証する～

ご清聴ありがとうございました