

対話イン九州工業大学 基調講演②



カーボンニュートラルの移行戦略 ～ 電気自動車は環境に優しいか？ ～

【HP用】

令和5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)



講演の位置づけ

■ 機械工学系技術者の原子力分野での研究や業務体験に関する講演

1. 卒業後の経歴や経験

- (1) 会社の職歴（過去、現在）
- (2) 学会の所属歴（現在も**継続**）
- (3) 社会貢献・ボランティアの例（**資格**を活かす）

2. 学会(SNW)での活動例

- (1) 会員座談会での話題提供【**本論文**】
- (2) 対話会での**学生質問**【**本論文のキッカケ**】



講師略歴

＜講師＞ 松永 健一（まつなが けんいち）

＜学歴、職歴＞

1950年 富山県生まれ

1973年 富山大学工学部**機械工学科**卒、三菱重工業入社。

流通機械、原子力発電所の燃料取扱装置、発電所外への燃料輸送・貯蔵容器、燃料貯蔵施設、廃棄物処理施設、燃料製造施設（動燃事業団、六ヶ所）などの計画、設計及び建設マネジメントに従事。

2014年 三菱日立パワーシステムズ(MHPS)、三菱パワー、三菱重工業の勤務を経て

2022年 東京産業にて営業所専任技術者（建設業法）に従事。

＜所属団体＞日本技術士会、**日本機械学会**、日本原子力学会、電気学会、廃棄物資源循環学会、大阪技術振興協会（理事）、地方裁判所非常勤職員、（元）大阪府立大学高専非常勤講師

＜社会貢献・ボランティア＞ 県市の工事監査・検査（沖縄県、熊本県、高知県など、技術士の資格）、中学校の授業（県教育委員会の依頼）

＜趣味＞ 日本古代史、古神社・古墳巡り

講演の概要

地球環境の「敵」は、CO₂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に搭載される電池は、その製造過程で従来車より多くの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」などから議論する。

また、新車を全て**電動化**しても、既存の内燃機関車を直ちに無くすことは現実的でない。既存の設備(車、火力発電)を利活用しながら低炭素化へ移行していくことが、**現実的な戦略**である。

SDGsにおいて、「環境保護」との調和を求められるのは「**社会的包摂**」と「**経済開発**」。講演では、CNへ向けた、**自動車**と**火力発電**の**現実的な移行戦略**を議論したい。



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) 電動化の流れの中でもエンジン車が共存
- (5) 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)
- (3) 日本政府のCN政策・克服すべき課題
- (4) 経済性 全てを太陽光とするときの電力貯蔵の必要量

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) 火力発電の脱炭素化
- (3) 製鉄・航空機の脱炭素化



1. 自動車の低・脱炭素化



1. 自動車の低・脱炭素化 **最近の世界の動き(欧州、米国、日本)**

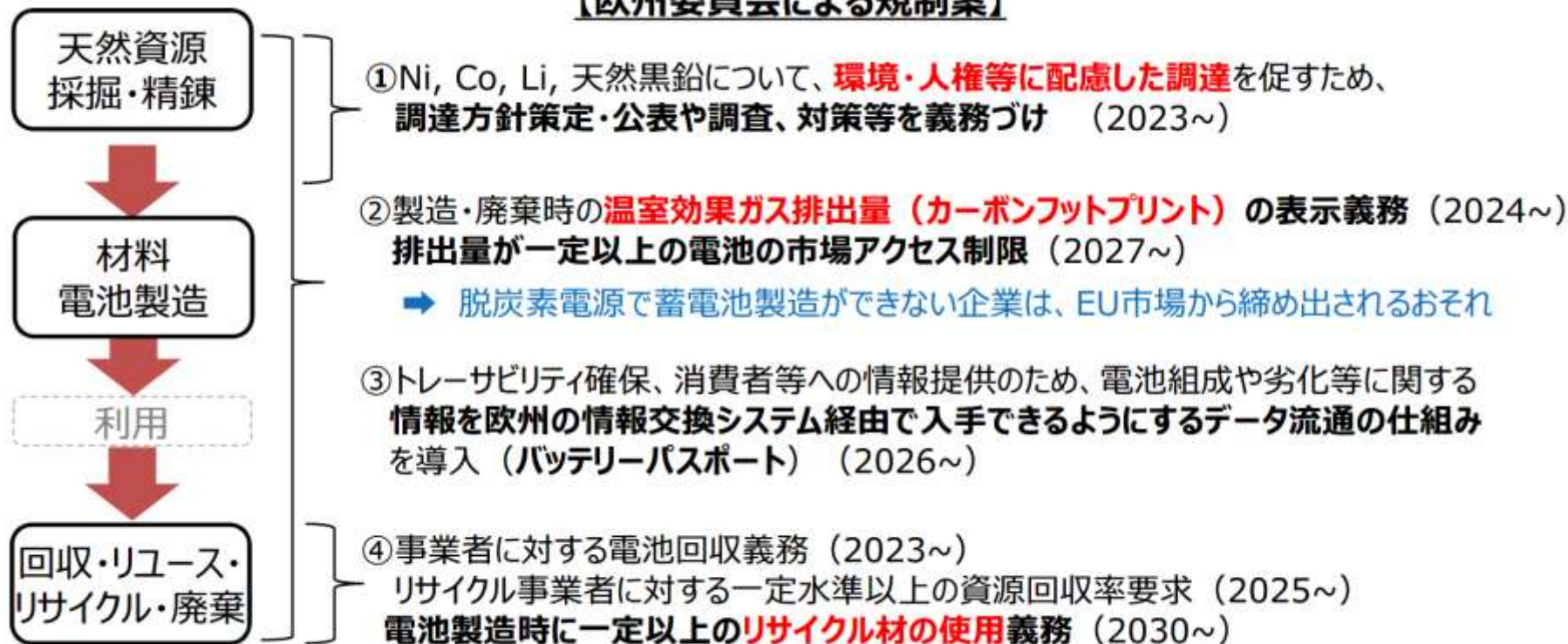
2023年は、電気自動車(EV)が実はまだ環境に優しくなかったことが世界中に周知される年になろう。欧州電池規制が転換点に。

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。

【欧州委員会による規制案】



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)

【削除要】

電池の再資源化／リサイクル材の使用の要件

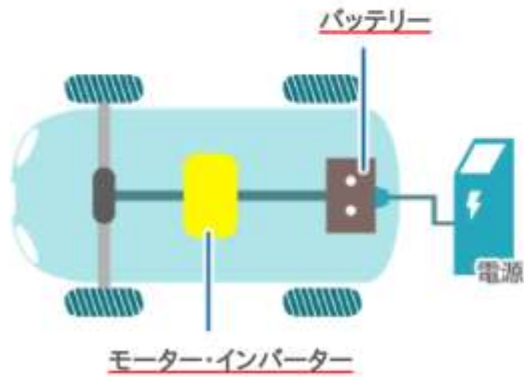
【略】



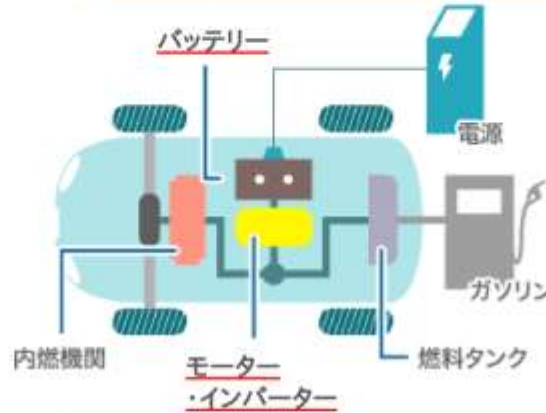
1. 自動車の低・脱炭素化

電気自動車の種類

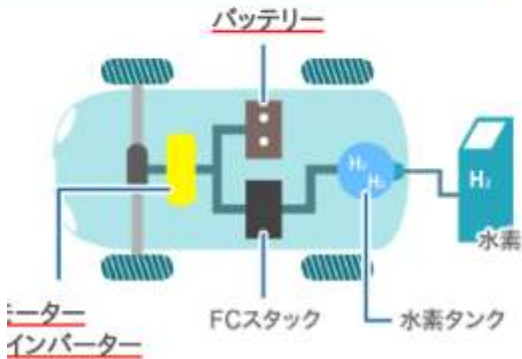
EV (電気自動車)



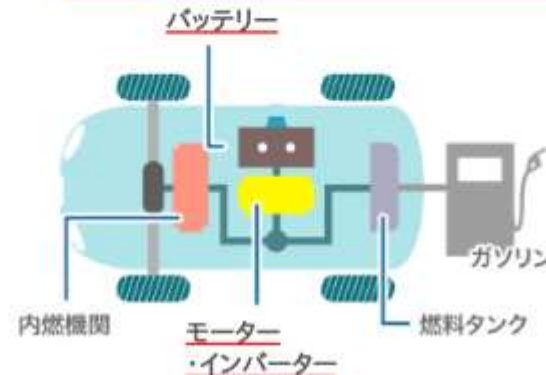
PHV (プラグインハイブリッド自動車)



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



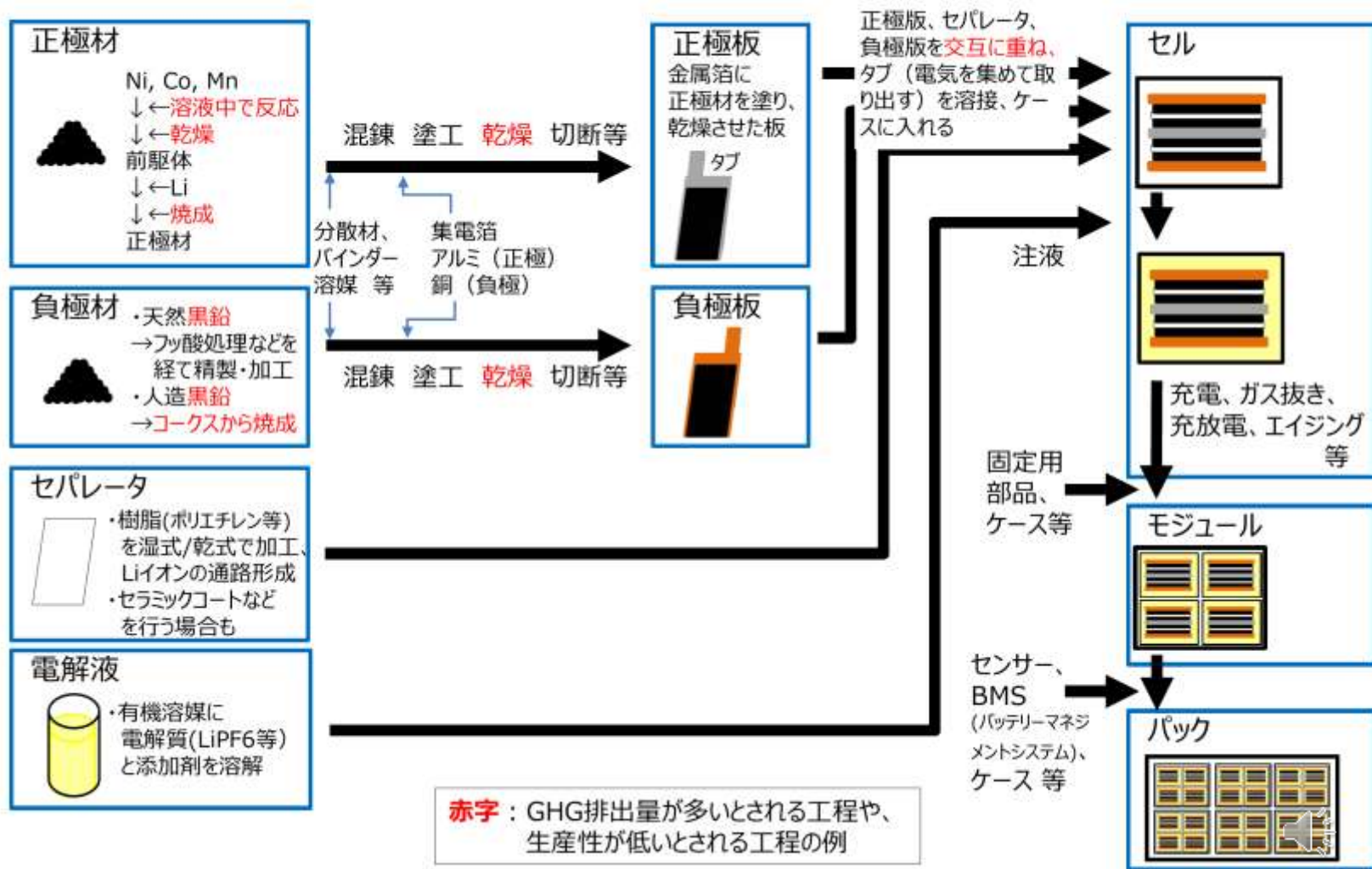
Inverter (PCU)



【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

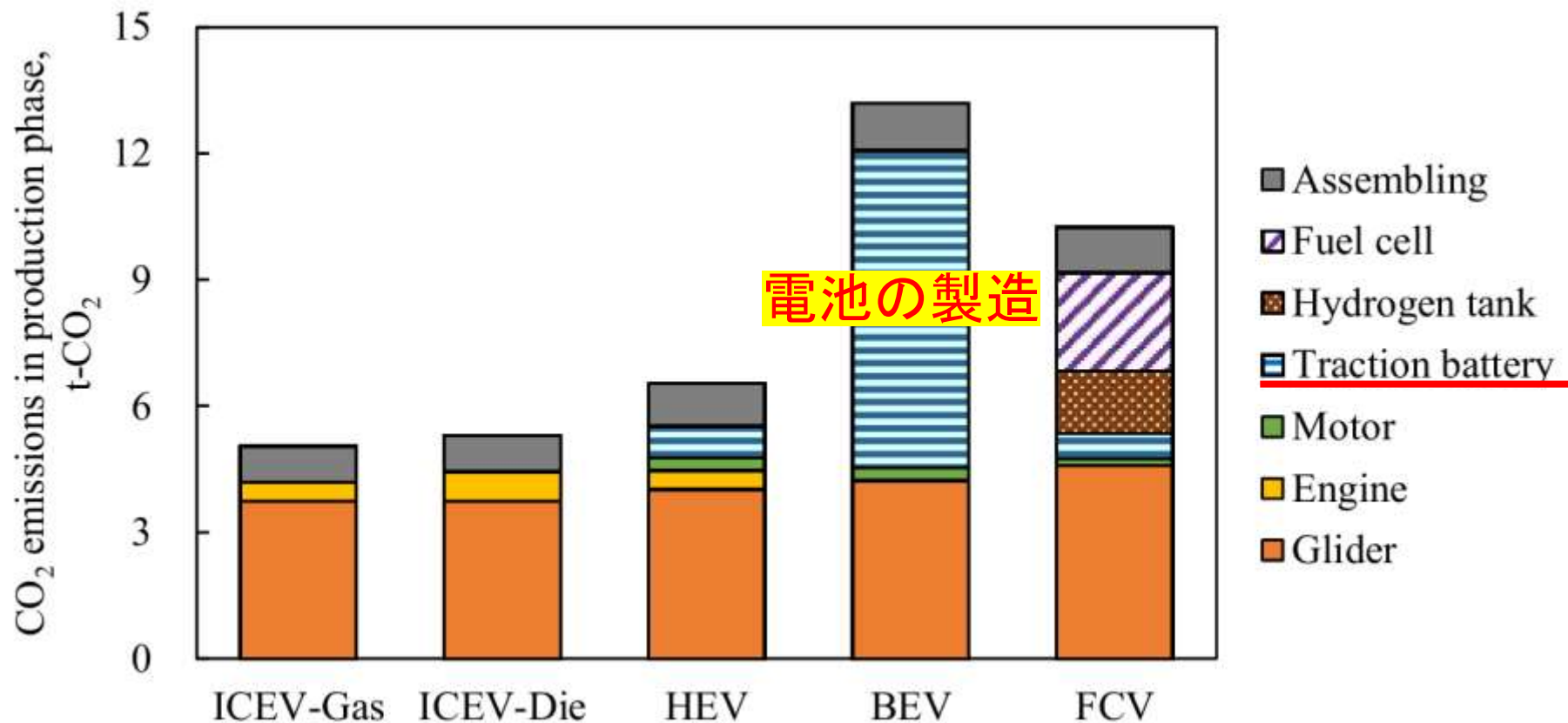
1. 自動車の低・脱炭素化 一般的な電池製造プロセス

(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)



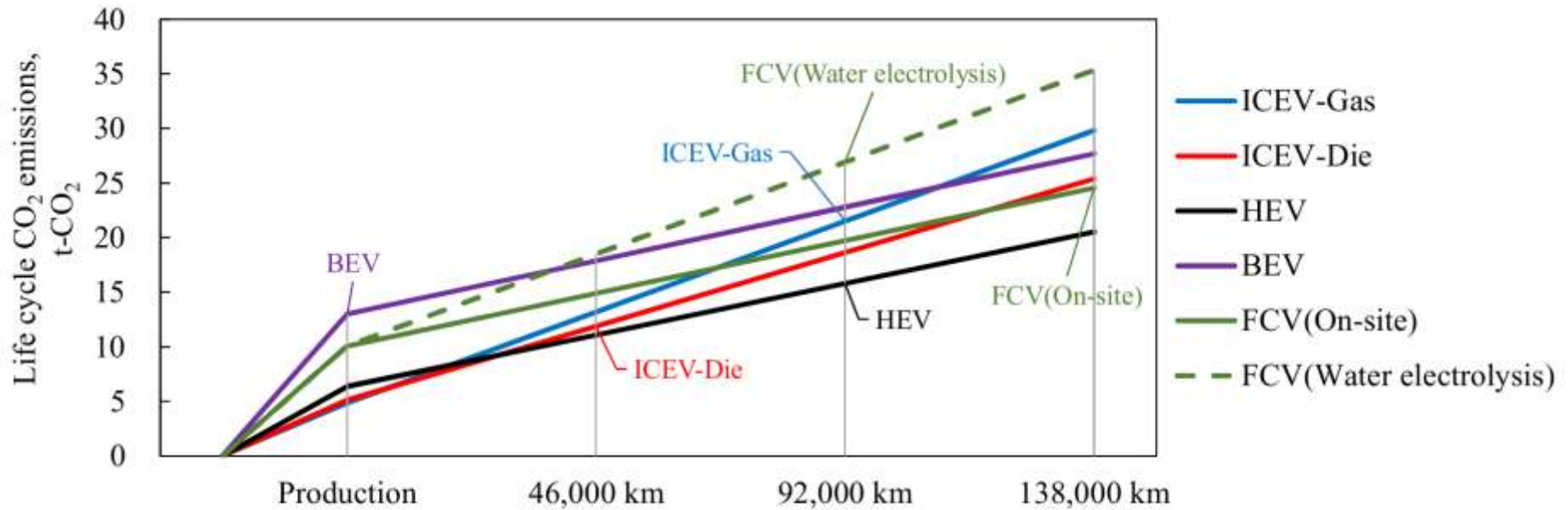
ガソリン車(普通、ディーゼル) / ハイブリッド車 / 電気自動車 / 燃料電池車

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)

【削除要】

【略】

電気自動車(EV)_独

燃費の良いエンジン車(独)

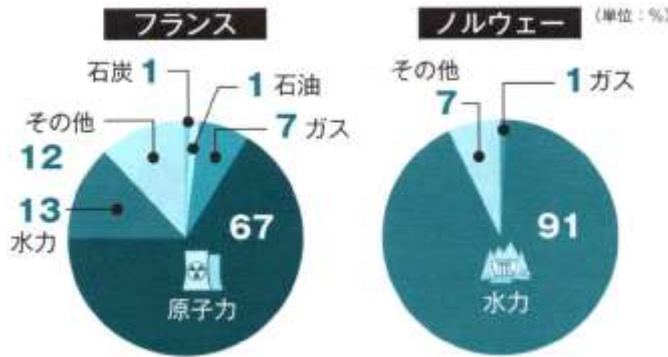
電気自動車(EV)_ノルウェー_

製造時CO₂排出量を含む

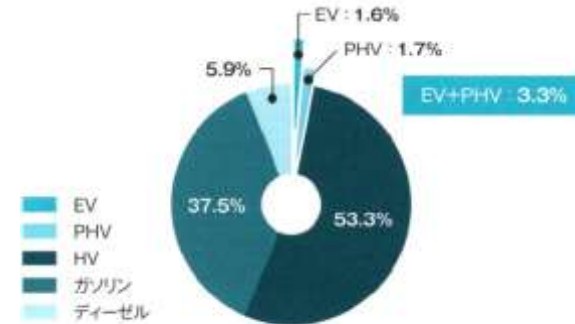
航続距離とCO₂排出量の関係 (2017年)



1. 自動車の低・脱炭素化 ノルウェーと日本のエネルギー事情の違い



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)

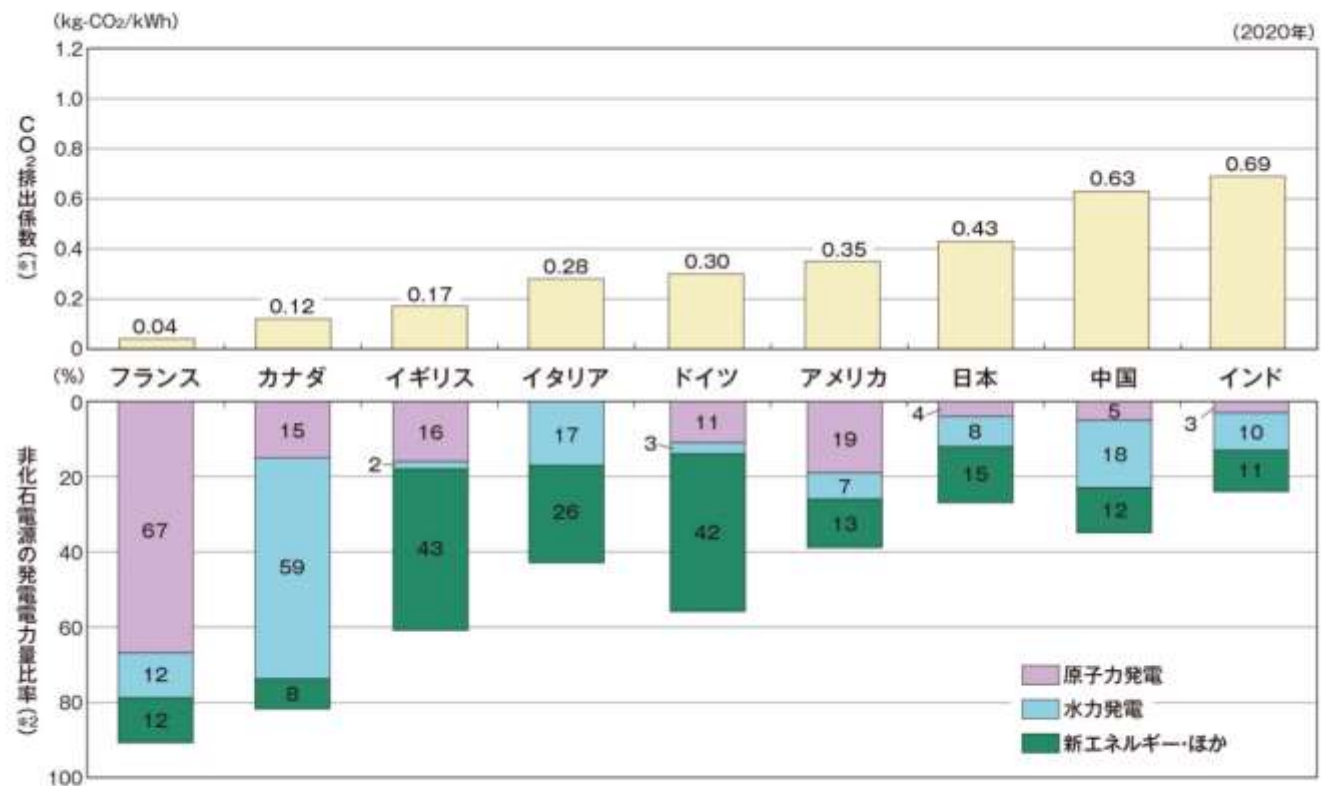
出典: 図解まるわかり電気自動車のしくみ、翔泳社、2023.6.12

	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	<p>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。</p>	<p>(ノルウェーとは環境が全く違う)</p>

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。日本は自家発電設備も含む。

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)

【削除要】

【略】

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

出典：図解まるわかり電気自動車のしくみ、翔泳社、2023.6.12



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

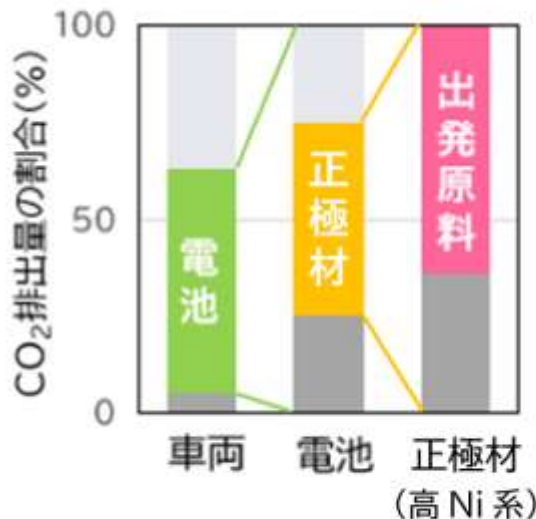
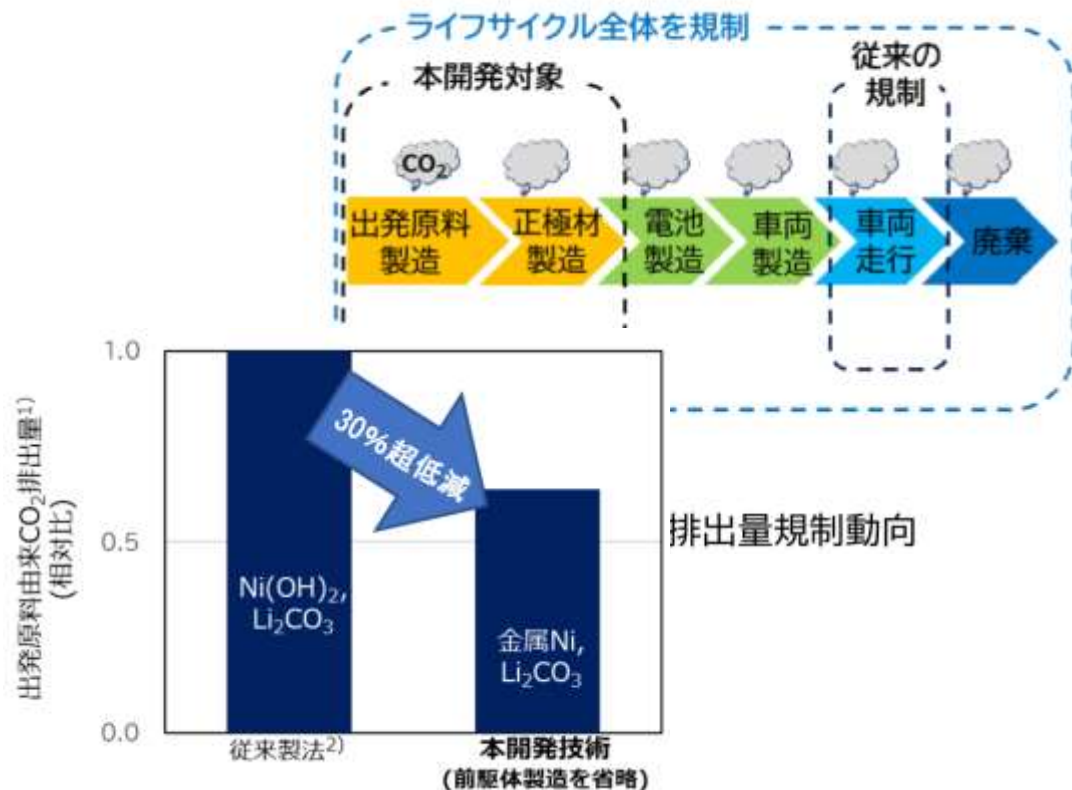


図1 CO₂排出量の割合※2



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°C)

サイクル条件: 対極 Li, 4.3-2.5V, 1C(25°C)

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）

前躯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

【削除要】

【略】



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

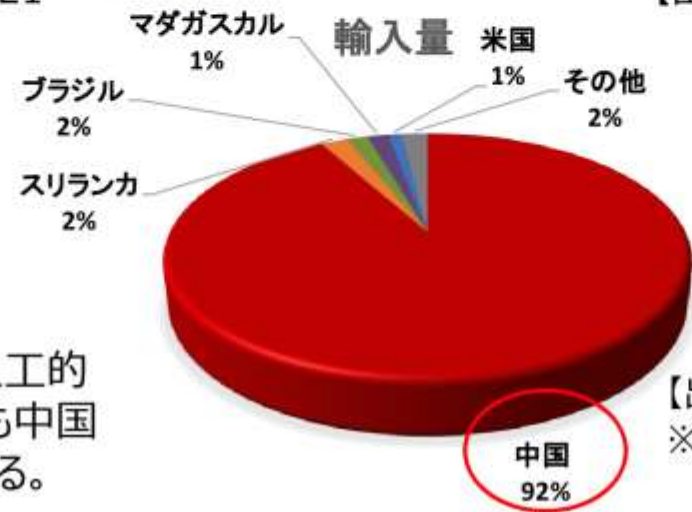
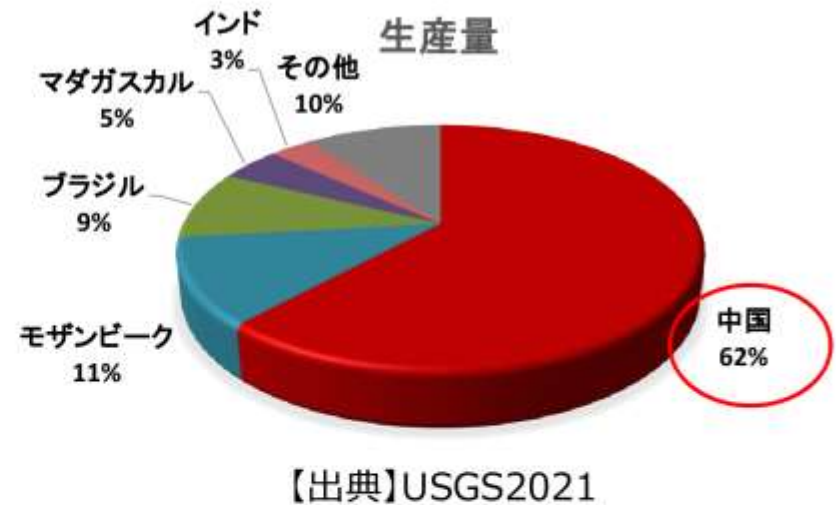
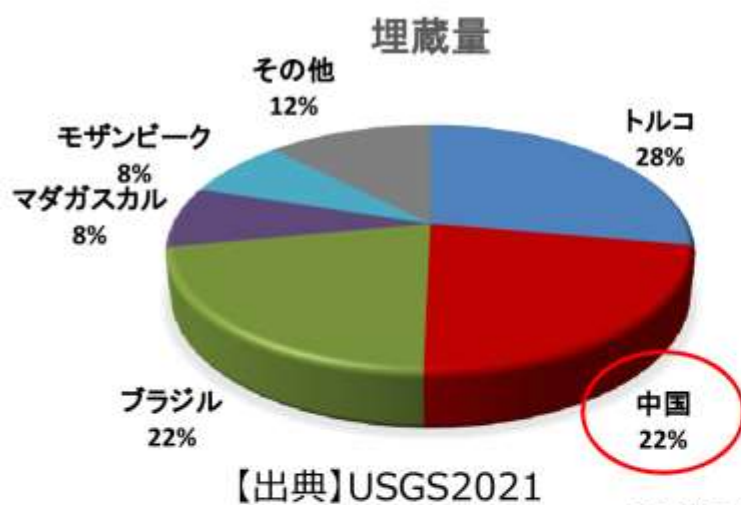


出典：USGS 2020、IEA、貿易統計 9

【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。

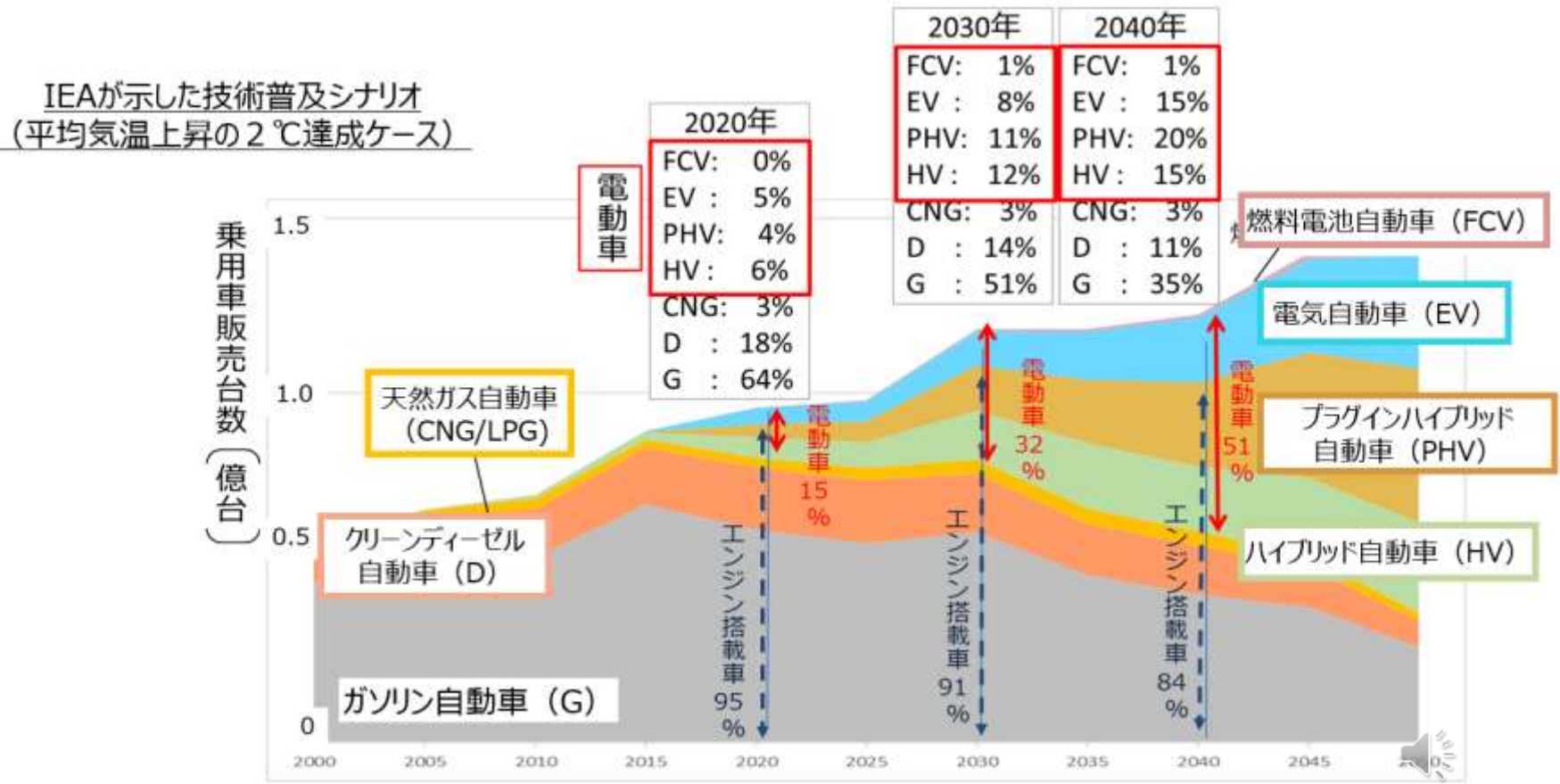


※石油・石炭コークス等から人工的に作り出す人造黒鉛についても中国が競争力を持っていると見られる。

1. 自動車の低・脱炭素化

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



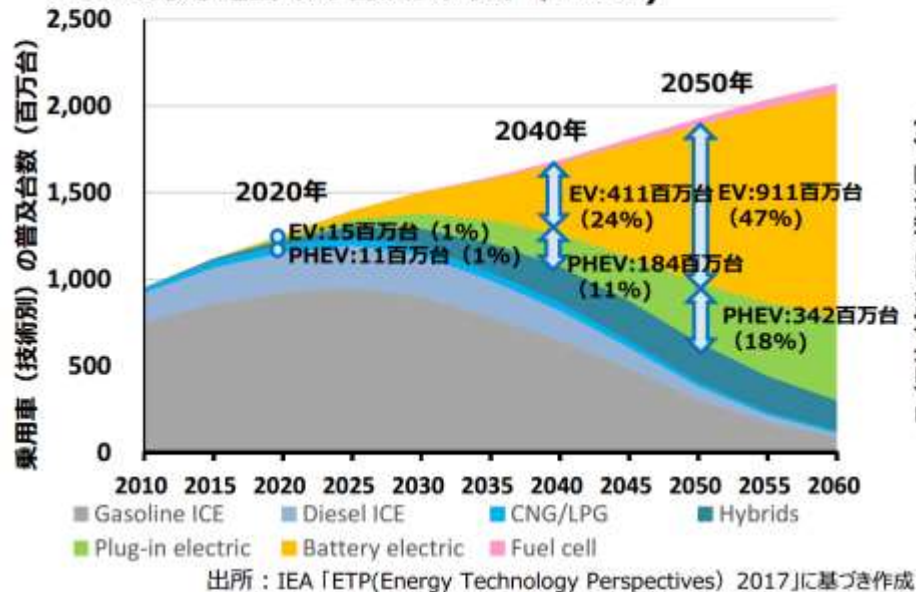
(出典) IEA 「ETP (Energy Technology Perspectives) 2017」に基づき経済産業省作成

【出典】資源エネルギー庁、2021.07.08

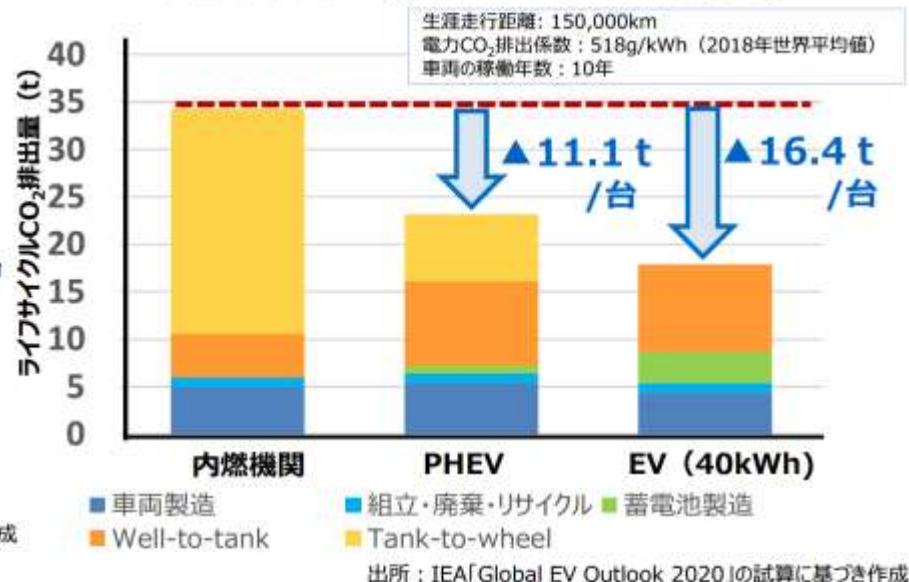
1. 自動車の低・脱炭素化 CO₂削減のポテンシャル (IEA)

- 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⁾ (对内燃機関車)



◆ CO₂削減効果

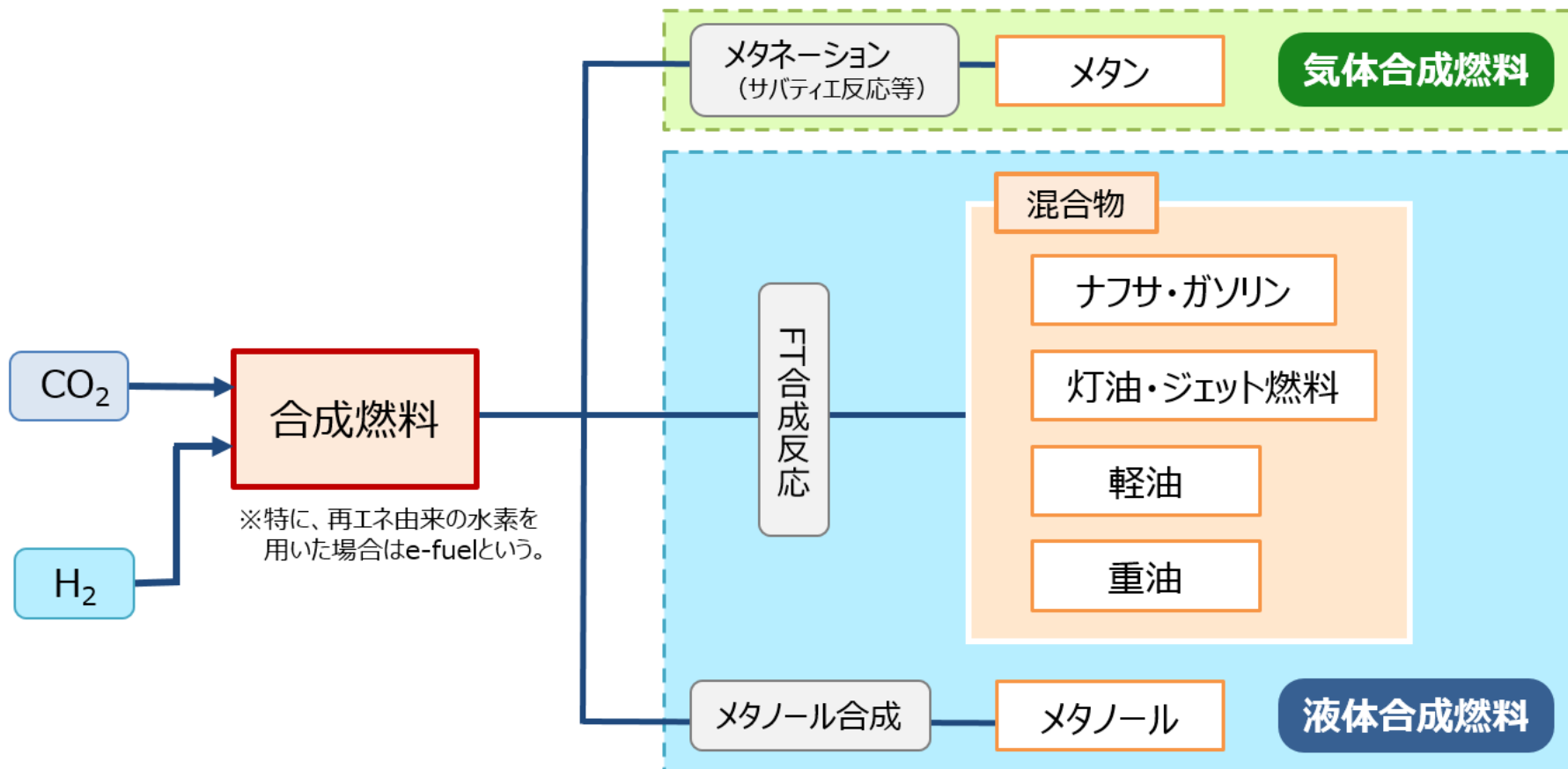
2040年

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

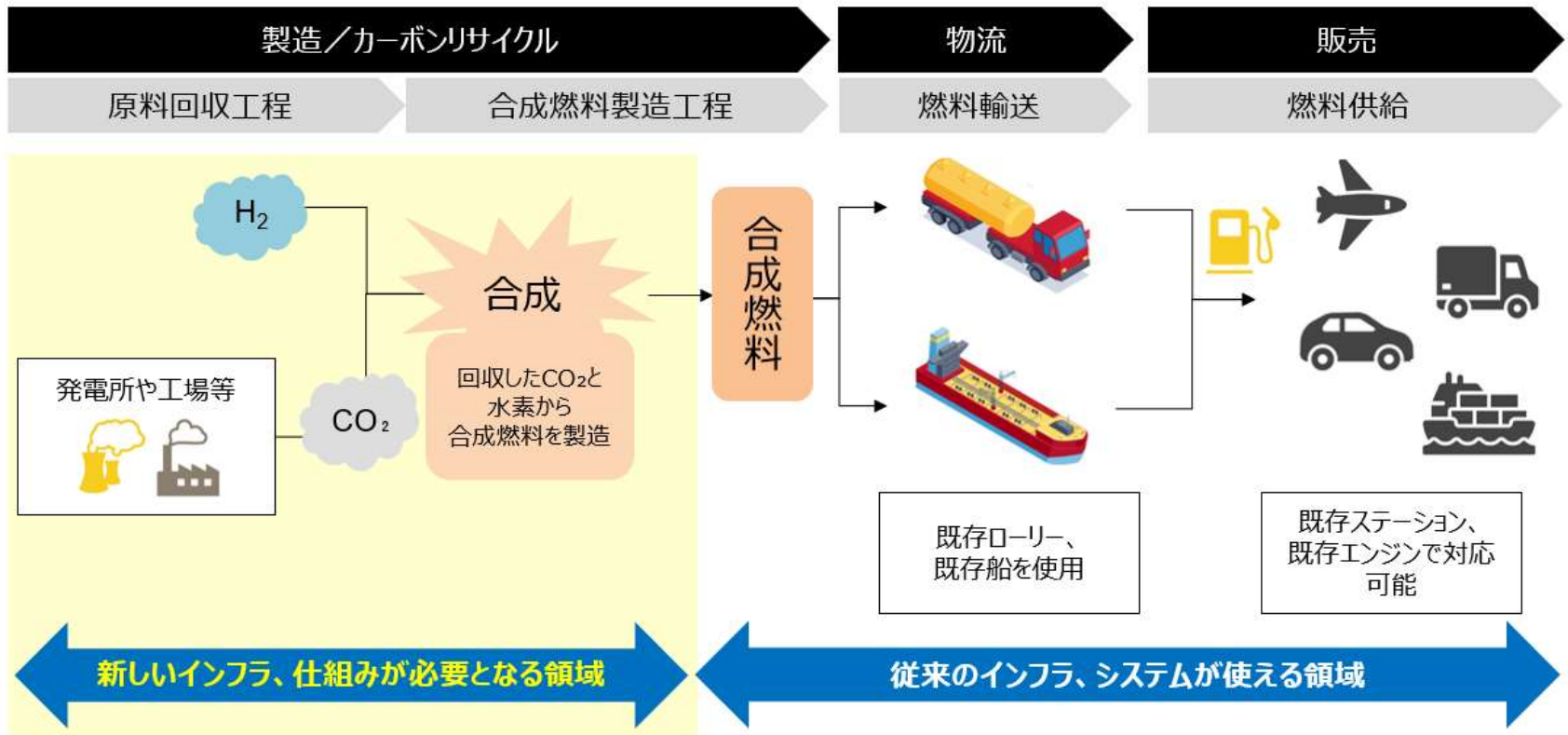
EV: 911百万台 × 50% × 16.4 t/台 ÷ 10年 = 約**7.5億t/年**
 PHEV: 342百万台 × 50% × 11.1 t/台 ÷ 10年 = 約**1.9億t/年**

- 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。



合成燃料は、CO₂とH₂を合成して製造。**原料CO₂**は、発電所や工場などからの排出CO₂を利用。将来は、大気中のCO₂を直接分離・回収したCO₂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

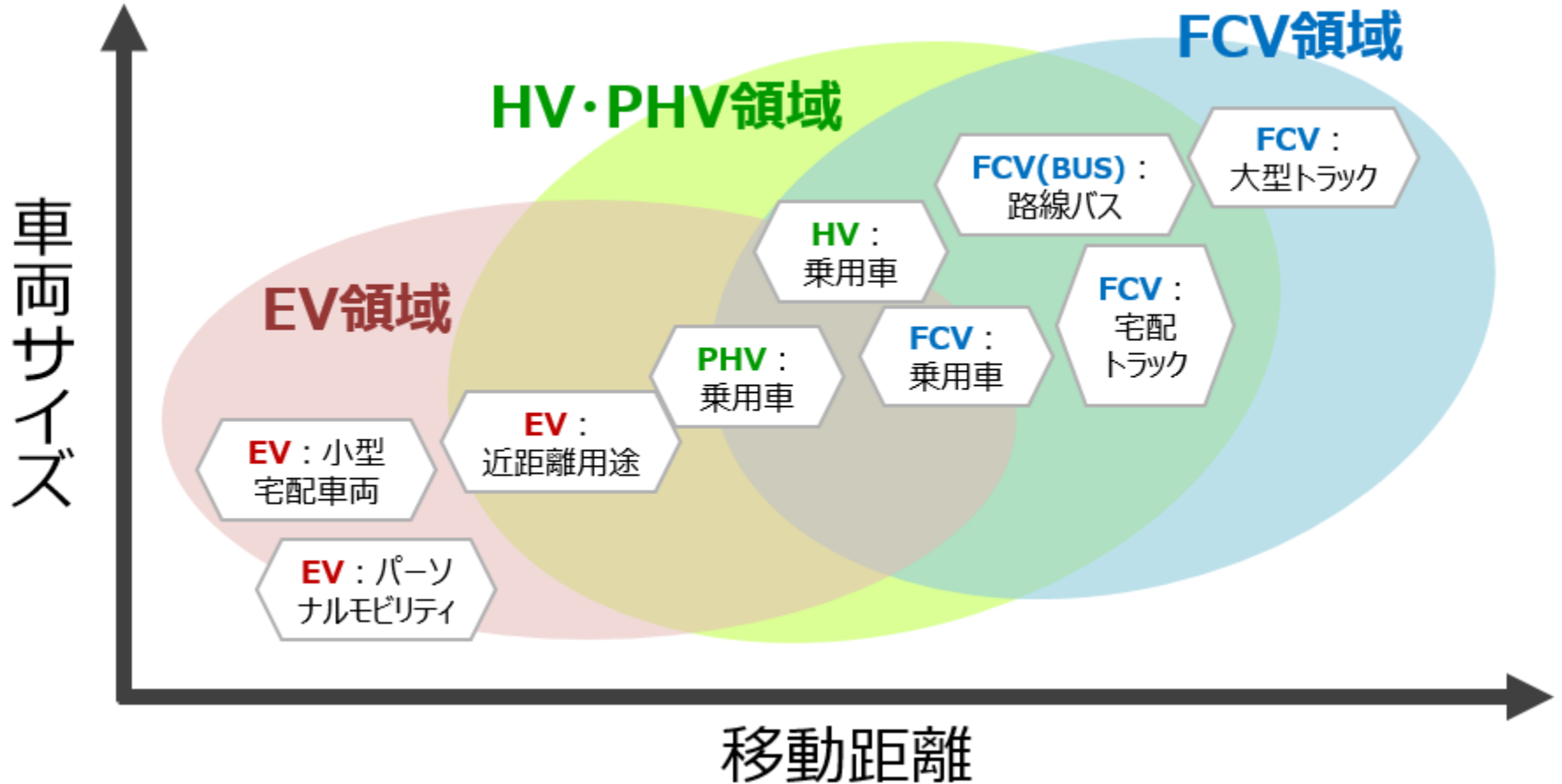
海外の水素を国内に輸送し、国内で合成燃料を製造するケース

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。

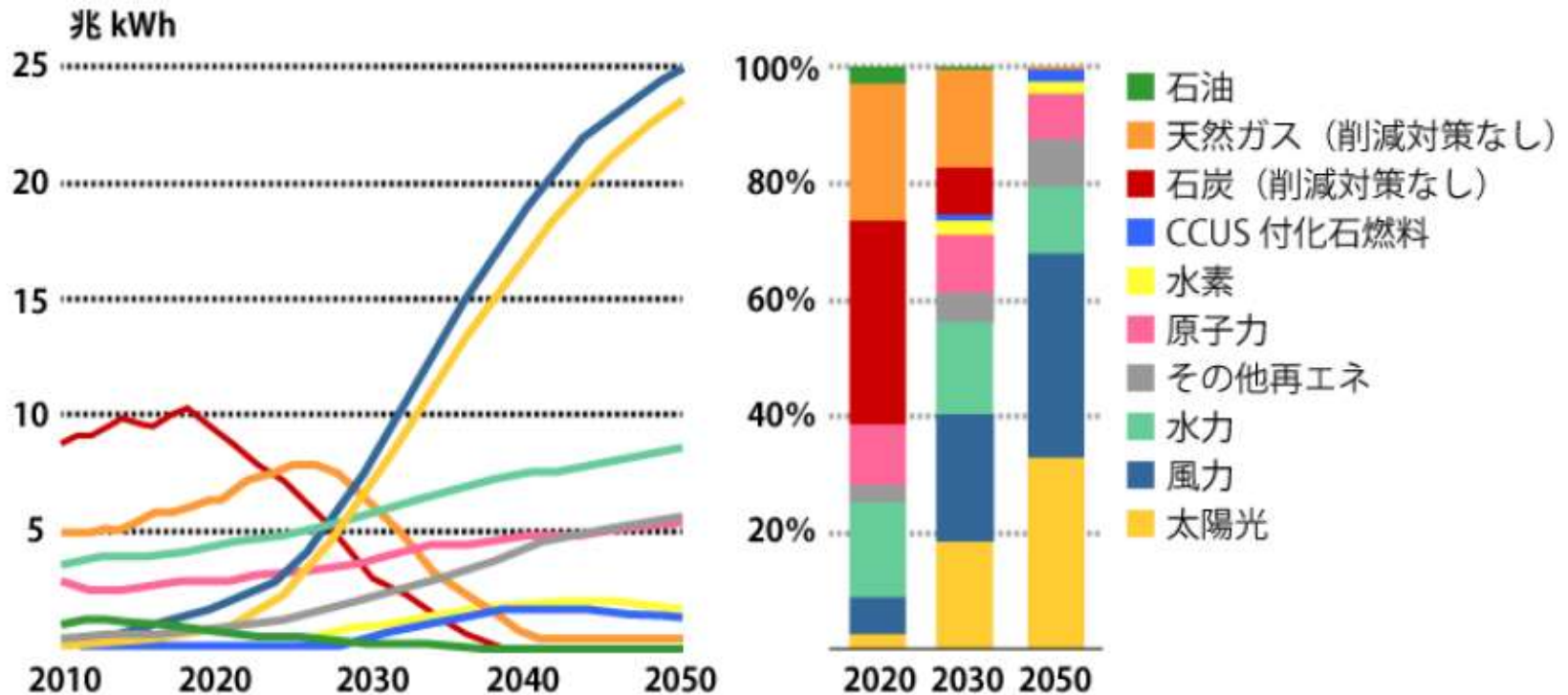
2. 2050年脱炭素へ向けての動向

- 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)
- 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

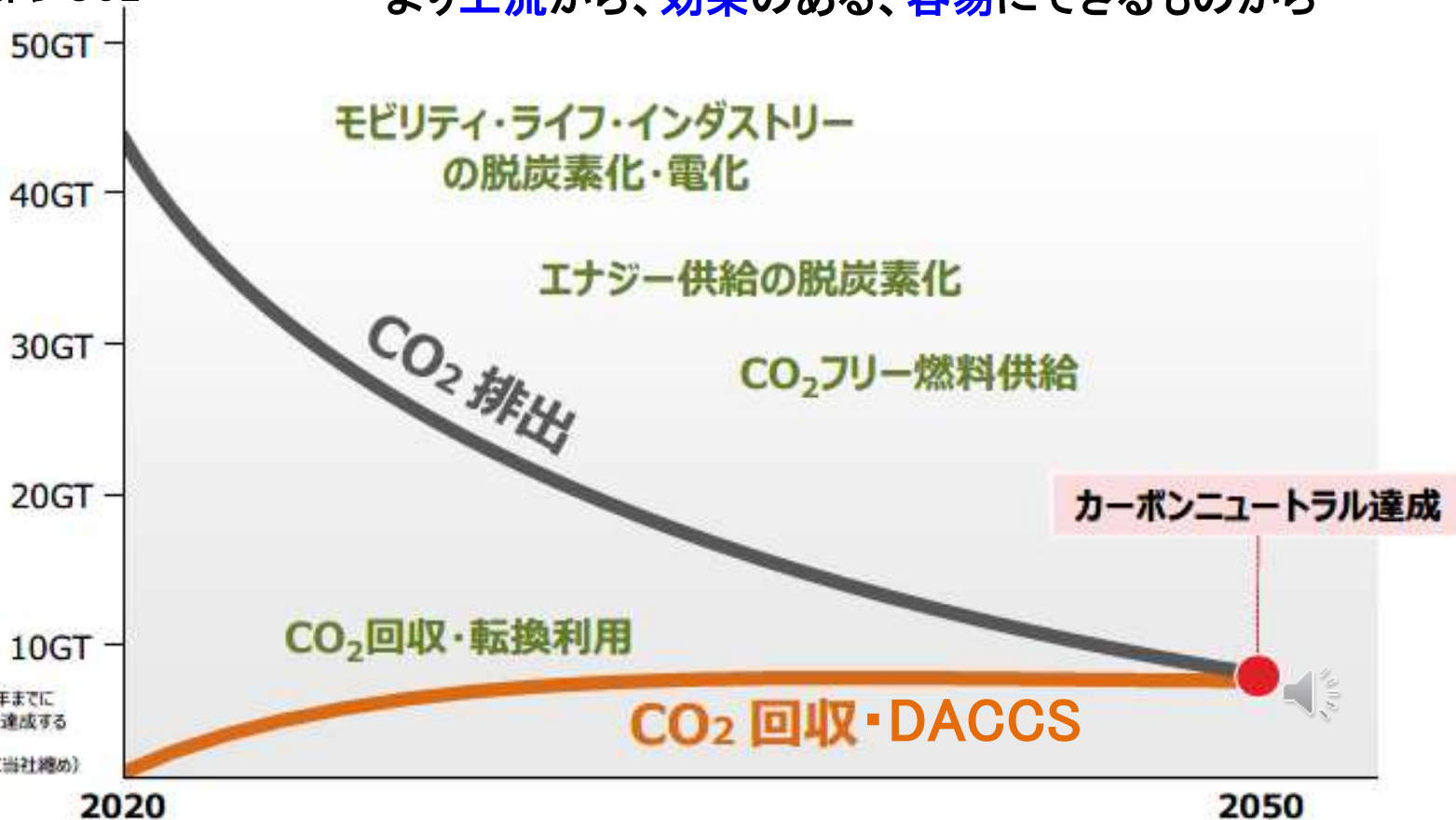
CNのイメージ(模式的)

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	
		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	水素価格 約13円/Nm3
		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	
		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	水素価格 40円/Nm3
		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

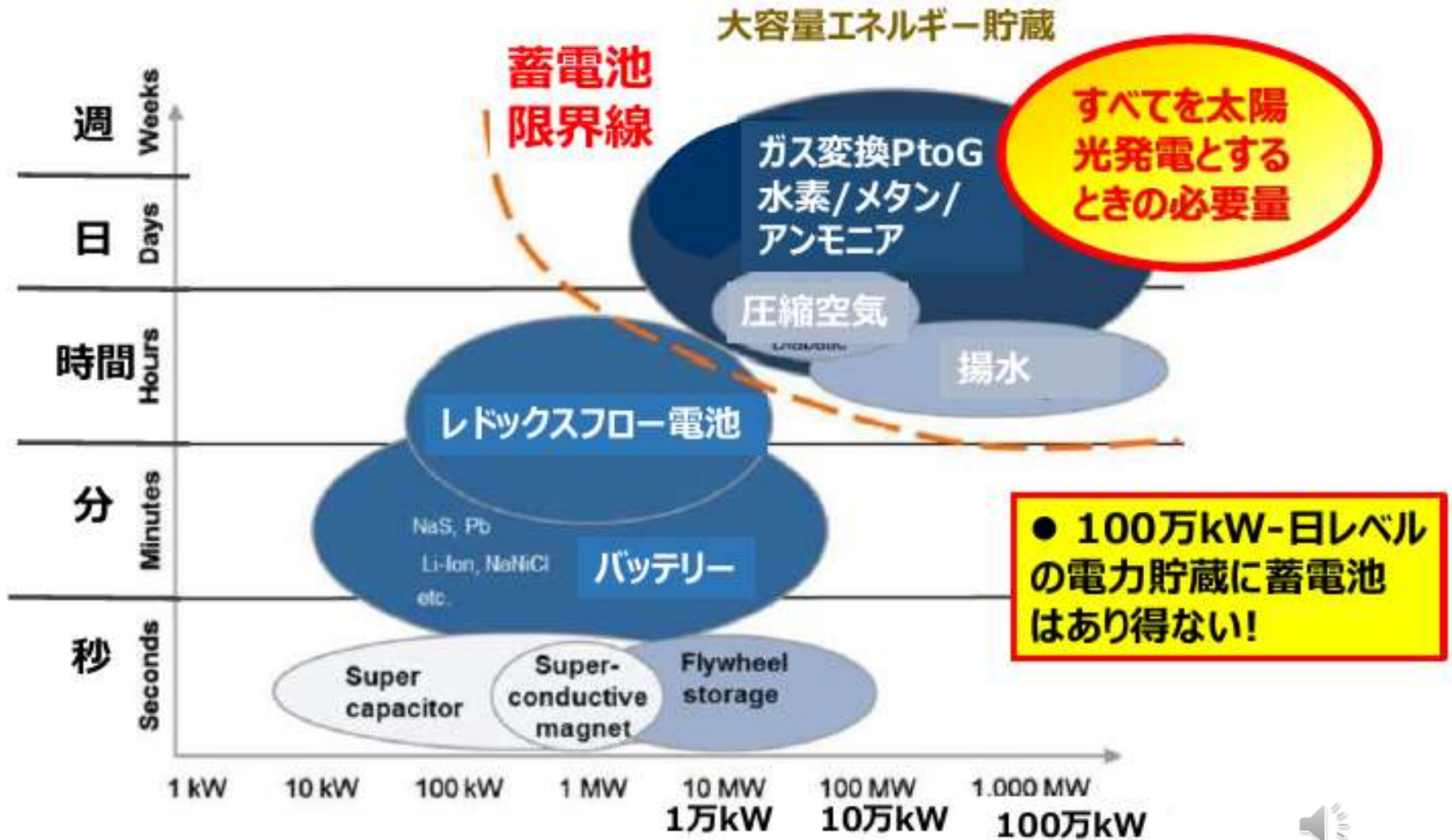
		脱炭素技術	克服すべき主な課題 ※1 薄赤色のエリアは技術的なイノベーションが必要なもの	コストパリティ
民生部門	熱・燃料	電化	➤ エコキュート、IHコンロやオール電化住宅、ZEH,ZEB等を更に普及させるため、設備コスト低減が課題	
		水素化	➤ 水素燃料電池の導入拡大に向けて、設備コスト低減、水素インフラの整備が課題	
		メタネーション	➤ メタネーション設備の大型化のための技術開発が課題	
運輸部門	燃料 (乗用車・トラック・バスなど)	EV	➤ 導入拡大に向け、車種の拡充、設備コストの低減、充電インフラの整備、充電時間の削減、次世代蓄電池の技術確立が課題	電力価格 約10~30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

2.4 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. 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 火力発電の脱炭素化(燃料のCN化、アンモニア／合成燃料／水素)
- 3.3 火力発電の脱炭素化(CCS／石炭ガス化)
- 3.4 製鉄の脱炭素化／脱炭素化が難しい分野
- 3.5 航空機の脱炭素化／水素ガスタービン発電技術が転用可能？

3.1 自動車と火力発電の脱炭化技術の横串の関係

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 電動化	蓄電	[蓄電] BEV,	
	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 規模の経済 水素ガスタービンが水素消費を拡大・コスト低減

- 水素焼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。

3.3 火力発電の脱炭素化(石炭ガス化／大崎クールジェンIGCC)

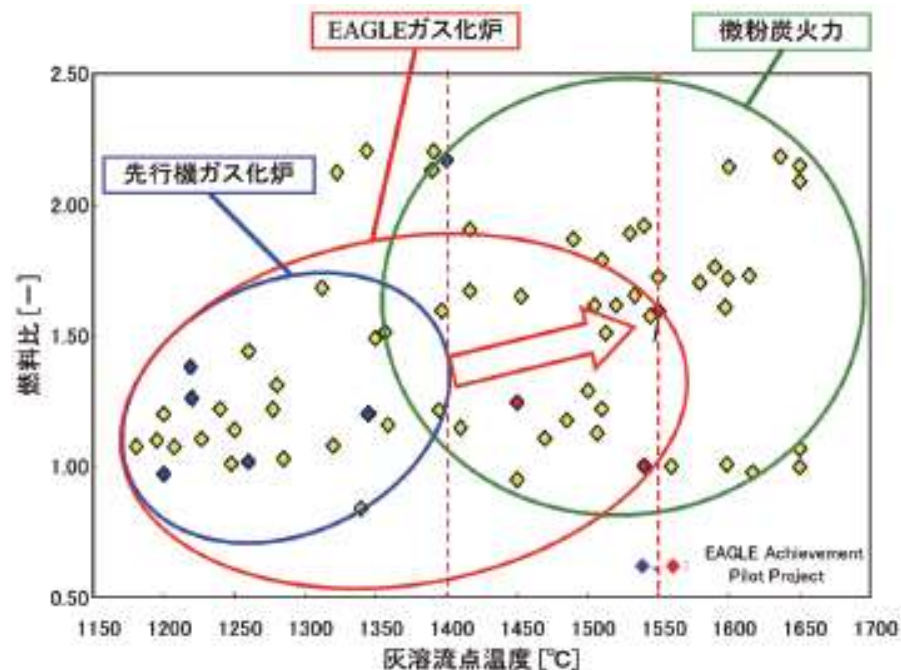
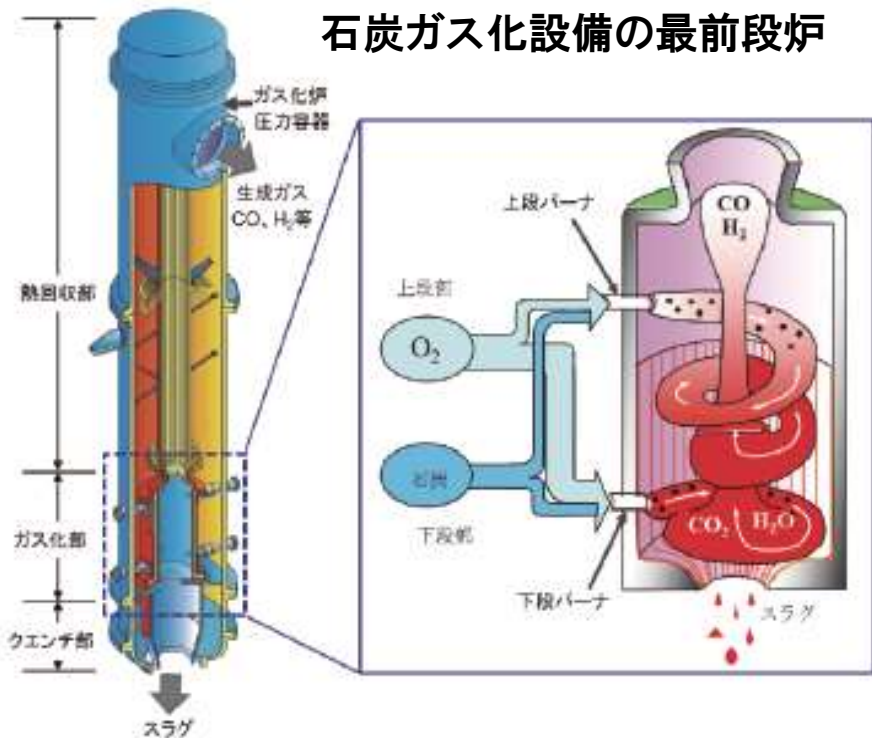
大崎クールジェンプロジェクトは、石炭火力発電から排出されるCO₂を大幅に削減させるべく、究極の高効率発電であるIGFCとCO₂分離・回収を組合せた革新的低炭素石炭火力発電の実現をめざすもの。石炭ガス化技術は、**安価に石炭を水素化する技術**とも言える。



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。



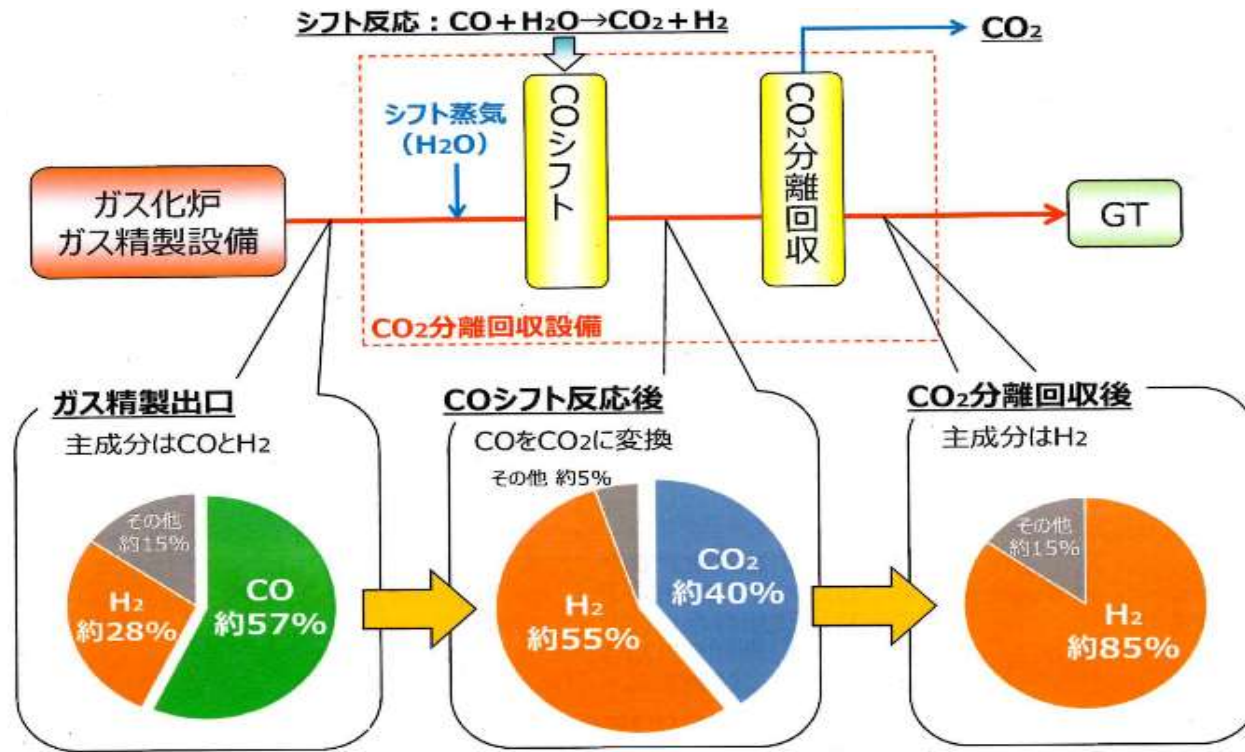
パイロット試験規模において、燃料が持つ発熱量に対する生成ガス発熱量の比率である冷ガス効率が80%以上と高い効率を達成。

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)

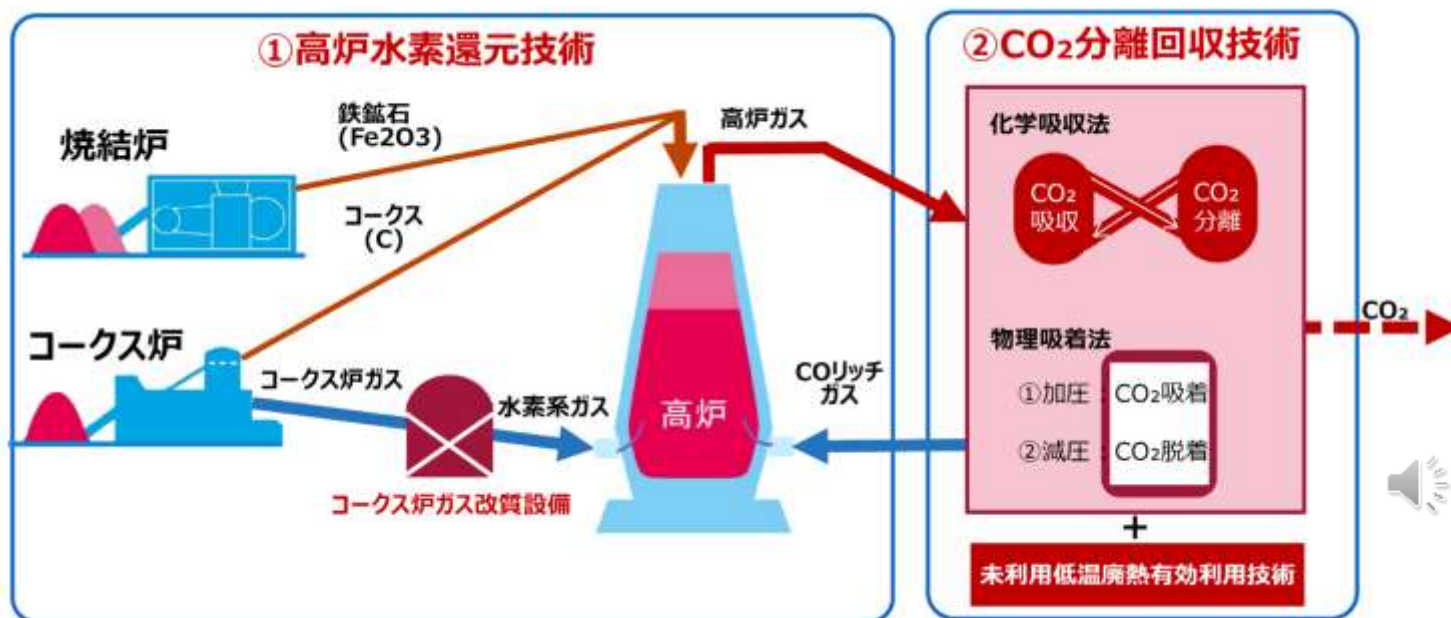
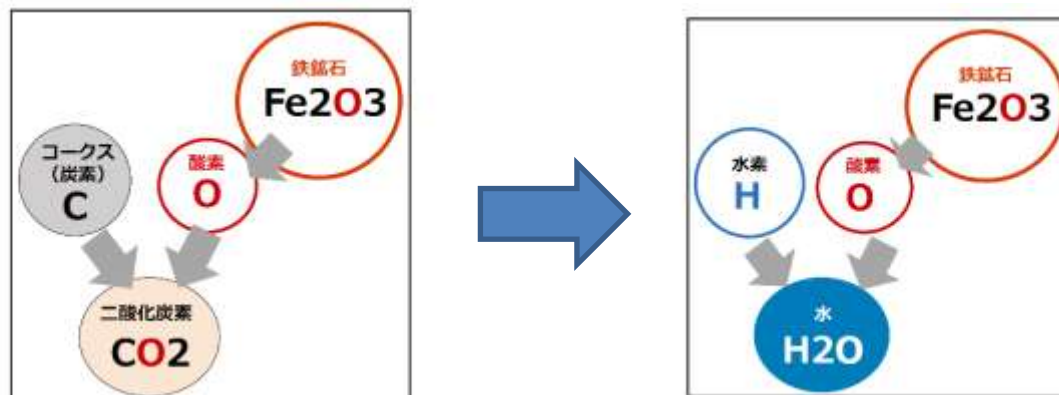
ガス化排熱回収とともに酸素を多く供給して(シフト反応)で水素の割合を55%まで高め、残りの40%のCO₂は、燃焼前に物理的に分離。これを貯留(CCS)すれば、水素比率を85%に高め、残りは窒素と4%まで減らしたCO₂になる(下図)。ガスタービンのバーナーで燃焼する前にCO₂を容易に分離・回収できる、ほとんどCO₂を排出しない火力発電所が実現する。



石炭ガス化設備における燃料水素の過程

3.4 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、鉄は製造業のコメ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 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。



3.5 水素航空機の開発／水素ガスタービン発電技術が転用可能？



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。

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

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



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

同床異夢のEVシフト

【削除要】

【略】

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**まだ**環境に優しくなかった。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、移行期は燃料のCN化を含めて**幅広く**対応すべき。
2. 自動車のCN化のためには、上流の**電力インフラの脱炭素化**を**優先的に**進めることが必須。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する火力発電の脱炭素、**燃料のCN化**を行い、**既存設備を利活用**することを考慮すべき。
3. 脱炭素に電(動)化と水素化(水素燃料)の方向がある。**適用分野ごとに最適選択**し、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。

対話イン九州工業大学 基調講演②

カーボンニュートラルの移行戦略～電気自動車は環境に優しいか？～

ご清聴ありがとうございました

