

テーマレポート：  
ネットゼロに向けた持続可能な燃料  
の役割とは  
-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-

CGC-MRI共創プロジェクト  
2024年9月

# 目次

- 第1章 背景・目的
- 第2章 持続可能な燃料がネットゼロの実現に向けて果たす役割
- 第3章 移動体セクターにおける持続可能な燃料活用の課題  
—技術選択肢の多様性—
- 第4章 エネルギー需給モデルを用いたシナリオ分析
- 第5章 持続可能な燃料の活用に向けた提言

# 第1章 背景·目的

# これまでの東京大学CGCでの議論を踏まえて、「持続可能な燃料」のテーマレポートを作成

## 背景

東京大学グローバル・コモンズ・センター(東大CGC)では、2021年11月に日本の脱炭素の道筋を描く産学連携のプラットフォームとして、ETI-CGC(Energy Transition Initiative – Center for Global Commons)を設立、日本企業有志との議論を重ねてきた。

2023年には中間報告として「[Net Zero Japan 2050 -Summary for Business Leaders-](#)」を公表し、集中的に議論すべきセクターとして建物、移動体、鉄鋼、化学、ITを挙げ、トランジション戦略の必要性を明示した。これらの分析を踏まえ、日本のネットゼロ達成に向けた道筋をより詳細に描くことが必要になっている。

## 目的

本レポートはエネルギー需給モデルを用いて、中間報告では明示されなかったネットゼロへの各年の経路を概観するとともに、CO2フリー燃料である水素に加え、炭素循環を考慮した広義での「持続可能な燃料」が日本のトランジションに果たす役割を分析するものである。

本レポートでは「持続可能な燃料」の影響度が高く、シナリオ毎に顕著な変化が予想される移動体セクター(運輸部門)に着目し、分析を行なった。

分析にあたっては、詳細度を追求することよりもむしろモデルの結果として出てくるナラティブの分析に重きを置いた提言を試みている。

なお、本レポートは東大CGCと三菱総合研究所(MRI)との共同検討をもとに作成されている。ETI-CGCへの参加企業からのインプットも一部反映されているものの、本内容はETI-CGC協賛企業の見解を示すものではない。

本レポートは、ネットゼロに向けた日本の立ち位置と世界への貢献／協調の可能性について議論を深めるための一助となることを期待するものである。

## 第2章 持続可能な燃料がネットゼロの実現に向けて果たす役割

# 「持続可能な燃料」は CN実現のための重要なオプションとして期待されている

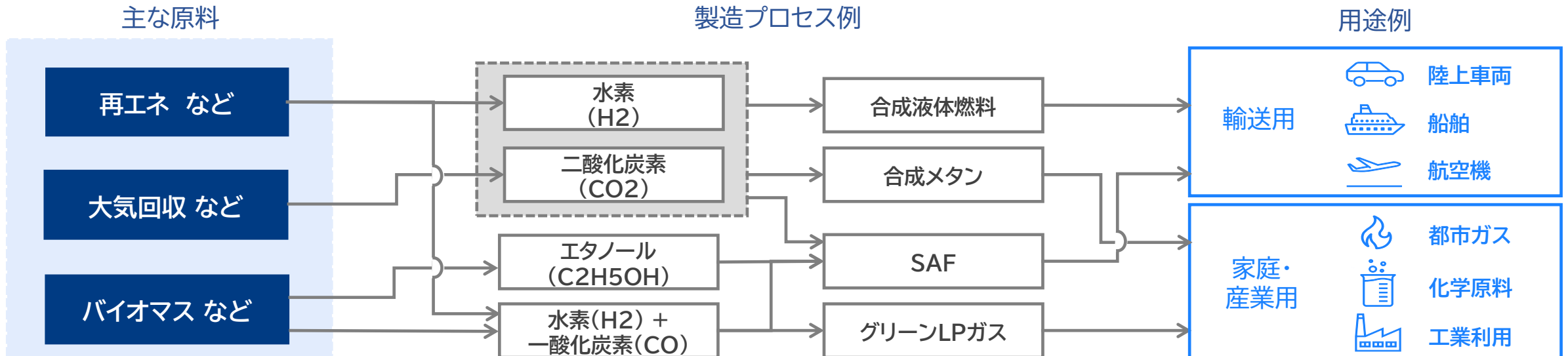
カーボンニュートラル(CN)実現への過程においては、再エネ、電化、省エネ等だけでは対応できない領域が存在する。水素、合成燃料(e-fuel/e-methane)、バイオ燃料などを含めた「持続可能な燃料」の活用は、CN実現のカギである。

持続可能な燃料の主な役割として、①電化が難しい領域や小規模排出源での対策、②脱炭素対策のオプションの多様化による特定資源・技術への依存減少(例:水素・アンモニア

発電や動力源の多様化によるレジリエンス向上)、③エネルギーキャリアとして脱炭素エネルギーの貯蔵・輸送を容易にする役割などが期待される。

持続可能な燃料は、その用途に応じて、原料・製造プロセス・輸送貯蔵インフラが多様である。供給ポテンシャル、追加的なインフラ整備コスト、ライフサイクル全体での温室効果ガス(GHG)排出量など、多様な視点で燃料を評価した上で、適切な利用を進めていく必要がある。

## 持続可能な燃料のサプライチェーンイメージ






# 持続可能な燃料はその種類によって、コスト構造や供給ポテンシャルは大きく異なる

持続可能な燃料のサプライチェーンは多様であり、その種類によってコスト構造や供給ポテンシャルは大きく異なる。持続可能な燃料の調達にあたっては既存の化石燃料資源

国だけでなく、再エネ資源を豊富に有する国・地域とのサプライチェーン構築が必要となる。

## 持続可能な燃料のコスト構造・供給ポテンシャル

水素／アンモニア 	合成燃料 (e-fuel/e-methane) 	バイオ燃料 
<ul style="list-style-type: none"><li>■ 再エネ由来水素／アンモニアは製造コストの地域偏在性があり、同じ国内でも地域により異なる。</li><li>■ 水素利用には新規でのインフラ整備が必要。大陸間の長距離・大容量輸送では液化、もしくはアンモニアやメチルシクロヘキサン(MCH)を水素キャリアとして利用する必要がある。</li><li>■ 化石資源を有し比較的 low コストでの炭素貯留が可能な国・地域においては、コスト競争力を有するブルー水素／アンモニアの製造が期待されている。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 合成燃料は、既存インフラの活用が可能なドロップイン燃料としての機能を有している。</li><li>■ 特に自動車に関しては、ストック車両への対策実施も含めて、需要側の転換を待たず対策を進めることができる。</li><li>■ 合成燃料の製造コスト・供給ポテンシャルは再エネ由来水素の製造コストに大きく依存する。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ バイオ燃料の原料供給や製造・消費は、資源ポテンシャルの高い国に偏って発展してきた。これは、自国が有する農業資源の有効活用や、油価高騰に対する対策促進が背景にある。</li><li>■ 主要消費国として、バイオエタノールは米国・ブラジル・EU・インド・中国、バイオディーゼルはEU・米国・インドネシア・ブラジルに集中しており、その原料供給や製造も地理的にほぼ重なっている。</li><li>■ バイオ燃料の製造コストは、メタン・メタノール・合成燃料と比較して安価となるが、供給ポテンシャルは限定的である。</li></ul>

# エネルギーシステム全体像の中で、 持続可能な燃料の役割を明確化する必要がある

産業部門や発電部門の一部は、排出削減に対する技術的なハードルが高いことから、排出削減困難なセクター(Hard to Abate)として位置づけられており、持続可能な燃料の利用がその脱炭素化を進めるための大きなカギとなる。

上記セクター以外であっても、電化による脱炭素化が困難な領域が特定されつつあり、持続可能な燃料の利用を検討することの意義が高まっている。

一方で、再エネ・電化・省エネといった脱炭素施策と、持続可能な燃料が相互にどのような関係を及ぼすのか、全体のエネルギーシステムの中でどのように位置づくのか、といった点は現状十分な検討がなされていない。

本レポートが焦点を当てる運輸部門も同様であり、電気自動車(EV)を始めとする動力源の電動化と、持続可能な燃料の役割を分析することは重要な論点となる。

## 持続可能な燃料の適用が期待される用途

部門	用途
発電	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 再エネ電源(太陽光・風力発電)の調整力として水素(アンモニア)火力発電が機能する</li></ul>
産業	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 鉄鋼では、石炭を用いた高炉から水素を用いた直接還元(DRI)へ転換する</li><li>■ セメントや化学の製造プロセスでの熱需要に対して水素やバイオ燃料が利用される</li><li>■ 都市ガスの原料である天然ガスを代替するかたちで合成メタンが活用される</li></ul>
民生	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 寒冷地の暖房需要など、ヒートポンプによる電化が困難な環境では燃料電池(水素)が利用される</li></ul>
運輸	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 航続距離が長く車載重量が大きい大型車、動力負荷の大きい作業車等において、水素・合成燃料が利用される</li><li>■ 航空では持続可能な航空燃料(SAF)、船舶では水素・合成燃料が利用される</li></ul>



## 第3章 移動体セクターにおける 持続可能な燃料活用の課題 —技術選択肢の多様性—

# 技術選択肢の多い移動体セクターは、 ネットゼロに向けた排出経路の見通しが難しい

本レポートでは、持続可能な燃料の利用にあたって、運輸部門、特に移動体セクターに焦点を当てた分析を実施している。これは、移動体セクター(\*)はネットゼロに向けた排出経路の見通しが、他と比べても特に複雑であることによる。

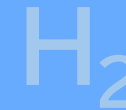
(\*)運輸部門のうち鉄道以外の陸上輸送(以下、移動体セクターと称する)

複雑さの原因は当該分野における脱炭素技術の選択肢の多様性である。移動体セクターにおいてゼロエミッションを可能にする技術としては、電気自動車(BEV)と燃料電池自動車(FCEV)が挙げられるほか、プラグインハイブリッド車(PHEV)・ハイブリッド車(HEV)・内燃機関車へのバイオ燃料／合成燃料供給も検討されている。車両と供給エネルギー(電力と燃料)の選択肢が多岐にわたるため、どの組み合わせが全体のエネルギーシステムに照らし合わせた際に最適になるかは、対象地域、電力・燃料価格、技術開発の進展度合いなど様々な要因の影響を受けることになる。一方で、持続可能な燃料の大量利用が想定される他のセクターでは、技術選択の余地が限定的となっている。例えば、火力発電においては、設備建設に伴うCO2排出量よりも、稼働(燃料消費)によるCO2排出量が大きいため、エネルギー効率が重視される。回収CO2とグリーン水素を原料とする

合成燃料を燃焼させる火力発電では、燃料の製造から燃焼による発電までを含めたエネルギーの利用効率が、グリーンあるいはブルー水素を燃焼させる火力発電(水素発電)に劣後するため、CO2排出低減には水素発電が優先的に利用されると想定される。同様に、産業部門においては、製鉄部門での還元剤としては水素、熱需要には水素やバイオマス利用が想定され、運輸部門に比べて合成燃料を用いる技術を選択する余地が小さいといえる。

## ブルー水素／グリーン水素

### ブルー水素



化石燃料をベースとして製造された水素であり、その製造工程で排出されるCO2を回収し、貯留または再利用することでCO2排出を抑えた水素のこと

### グリーン水素



再生可能エネルギーによる水電気分解により製造された水素のこと

# 移動体の電動化には蓄電池と再エネ電力が制約となる可能性あり セクターを跨いだ効率的な利用を考える必要がある

技術選択肢の多い移動体セクターにおいて、その中でも中心的な役割を担うと考えられるのが動力源の電動化、すなわち、蓄電池を搭載した電気自動車(BEV)である。

しかしながら、BEVが今後大規模に普及する過程で制約となりうる点として、①蓄電池製造に必要な資源、②電力供給に必要な再エネ電力、の2つが挙げられる。

## 蓄電池製造の資源制約を踏まえた効率化が必要

移動体セクターの脱炭素化対策として蓄電池を確保できるかどうかは、他セクターでの削減対策の難易度や他の対策オプション有無、対策進展度合いに大きく影響を受ける。つまり、EVに使用する蓄電池は、リチウム等の重要鉱物の賦存量や調達可能量に加えて、定置用蓄電池の需要規模にも影響を受ける懸念がある。

移動体セクターでの対策としては、シェアリングの普及による台数削減、急速充電インフラ普及による蓄電池の車載容量低減などに加え、V2G(Vehicle to Grid)による電力需給調整への貢献を通して、エネルギーシステム全体で必要となる蓄電池容量を抑制し、効率的な資源利用に繋げていくことが期待される。

## 電化領域での再エネ調達は競争環境へ

エネルギー消費構造上、電化が比較的容易な領域、特に、建物や情報通信といったセクターでは、資金力の豊富な事業者を中心に再エネ電力を先行的に調達することが想定される。こうした中、地理的制約などにより再エネ供給ポテンシャルが潤沢でない地域では、再エネ電源の「取り合い」も考えられる。移動体の電動化にあたっては、他セクターの状況も踏まえ、脱炭素電源の十分な供給余力があるかどうかも重要な視点となる。

### 建物・情報セクターにおける再エネ電力調達の将来見通し

建物セクター	<ul style="list-style-type: none"><li>敷地内での再エネ調達可能量は限定的なため、オフサイトからの調達が主。</li><li>建材一体型など建物壁面への太陽電池実装が期待されており、技術開発が進展することで、オフサイトでの再エネ調達量が抑制されることが期待。</li></ul>
情報セクター	<ul style="list-style-type: none"><li>生成AIによるトラフィック・計算量の増加、技術革新による省エネ化がそれぞれどの程度進展するのかにより、必要とする電力量は大きく異なる。</li></ul>

# 移動体の技術選択肢をエネルギー効率で見た場合、BEVが最もエネルギー効率が高い輸送手段となる

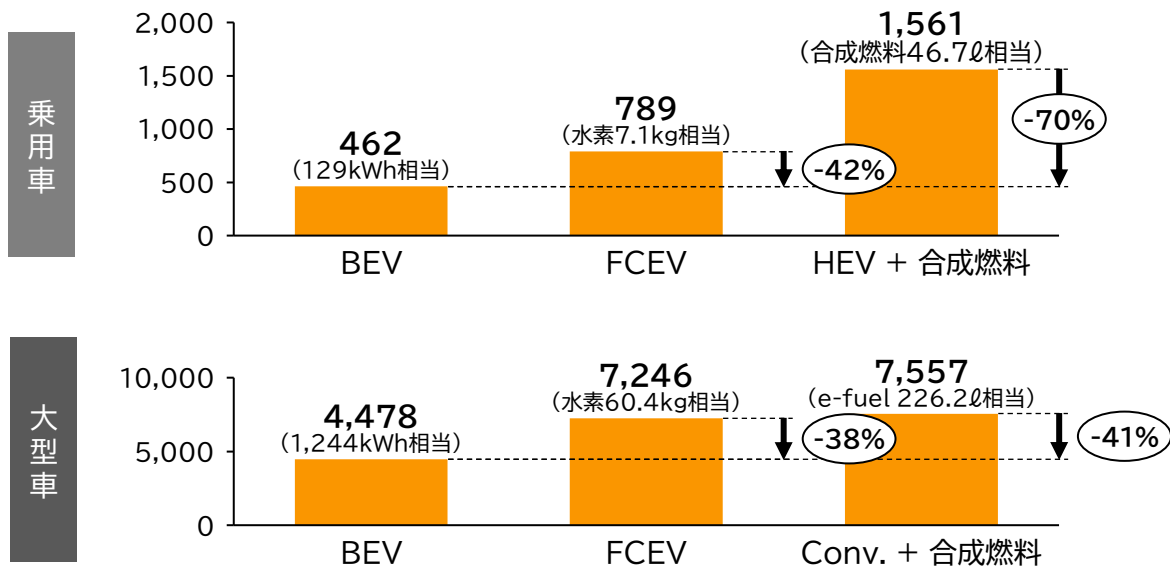
1,000km輸送に要するエネルギーをパワートレイン別に比較すると、乗用車・大型車(トラック)ともにBEVが最も必要なエネルギーが小さい。

さらに、FCEVやHEVの燃料となる水素や合成燃料は電力により製造可能(合成燃料製造に要するCO2は大気回収を想定)であるため、燃料製造プロセスも含めて1,000km輸送するために必要なエネルギーを電力量(kWh)で比較

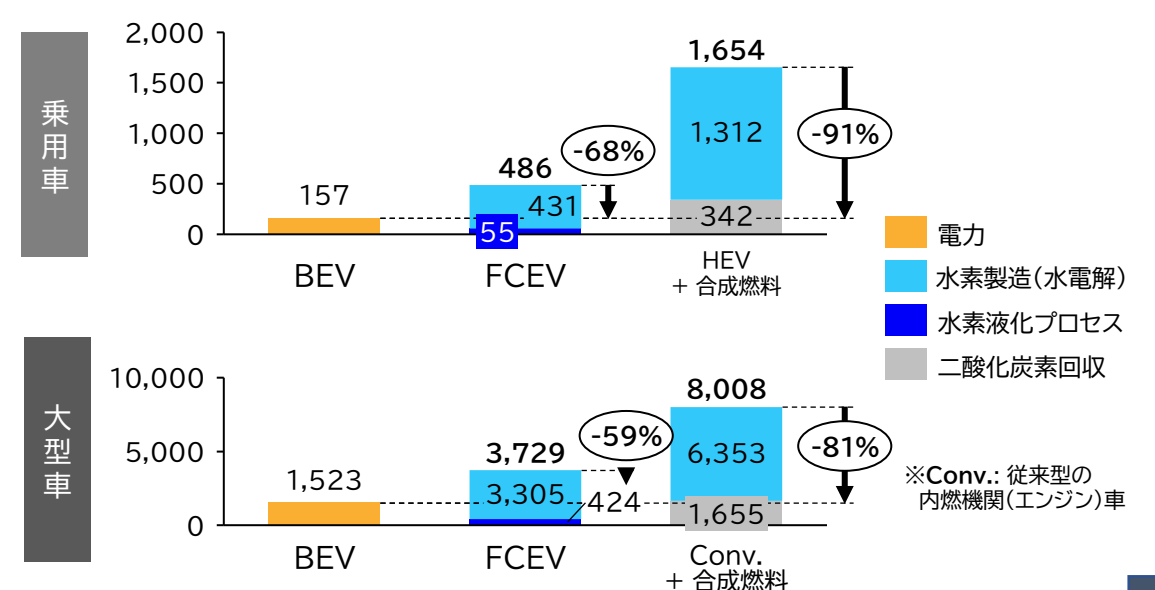
した場合、BEVの優位性はさらに顕著となる。

大型車では搭載する蓄電池の重量が大きくなるため、乗用車に比べてBEVの優位性が低下すると考えられるものの、輸送に関して最もエネルギー効率が高い技術はBEVであり、省エネが不可欠な脱炭素化社会には最も有望な技術的選択肢となる。

## 1,000kmの輸送に必要なエネルギー(MJ)(Tank to Wheel)



## 1,000kmの輸送に必要な電力量(kWh)(Well to Wheel)



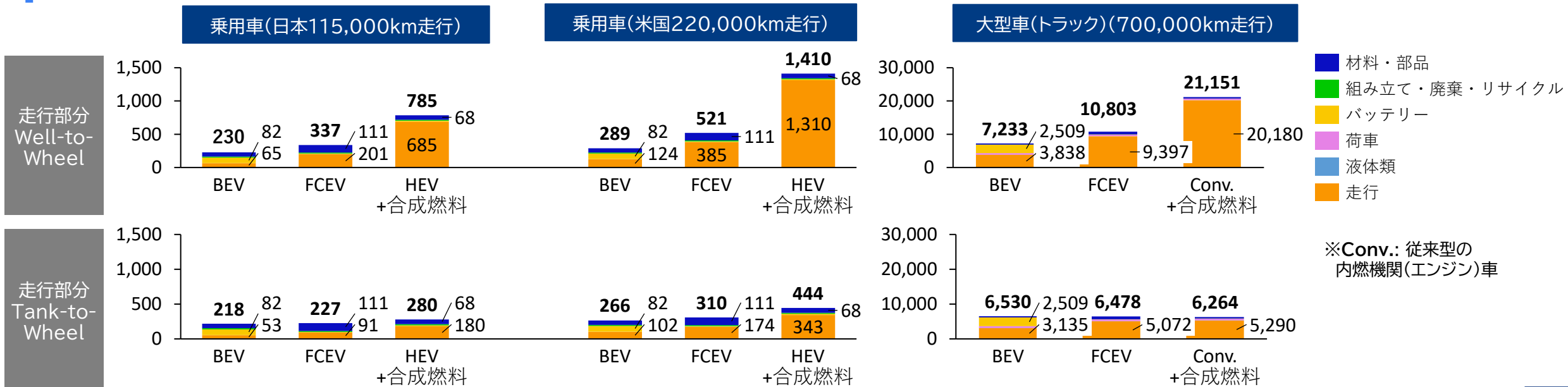
# 他方、製造プロセスも含めたエネルギー効率性や移動体の輸送燃料調達の外部化など、多角的な視点での検証も重要である

ライフサイクル全体で必要なエネルギーを比較する場合、走行部分のエネルギーとして燃料製造に必要な再生エネルギーを含むWell to Wheel(燃料製造から車両走行)で見れば、BEVのエネルギー消費が最小となる。

しかし、輸送に必要なエネルギーを国内の発電で賄うことがエネルギーシステムとして最適かどうかは、前述のように脱炭素電力の供給量や他セクターとのバランスにも依存する。特に、FCEVやHEVの燃料となる水素や合成燃料は海

外製造による調達の外部化も可能な選択肢となる。走行部分のエネルギーとして燃料自体の燃焼熱(BEVの場合は電力量)を用いるTank to Wheelで比較した場合には、技術によるエネルギー効率の差は縮小してBEVの優位性が薄れ、車両価格や技術の成熟度次第ではBEV以外の技術が選択肢となり得る。特に、大型車は乗用車に比べて蓄電池による電化が技術的に困難であるため、水素を用いたFCEVや合成燃料を用いた内燃機関が優位となりうる。

## 車両1台のライフサイクルに必要なエネルギー(GJ)



## 第4章 エネルギー需給モデルを用いたシナリオ分析

# 運輸部門への再エネ・持続可能な燃料の供給に焦点を当て、3つのシナリオを想定

前章で示した多角的な視点での検証として、再エネ・持続可能な燃料に関する不確実性が、特に移動体セクターに与える影響についてシナリオ分析を実施した。

想定するシナリオは下表の3つとする。いずれのシナリオでも現時点で政府が設定している排出削減目標(2030年46%減、2050年ネットゼロ)を制約条件としながら、脱炭

素関連技術の実用化が進むことを想定している。

シナリオi)をベースシナリオとして、シナリオii)では、再エネ・BEV関連のポテンシャルが増加し、コスト低減による導入環境が進展、シナリオiii)では、ii)に加えて持続可能な燃料の導入環境も進展することを想定した。条件設定の詳細は巻末の「条件設定」スライドを参照されたい。

## シナリオ想定

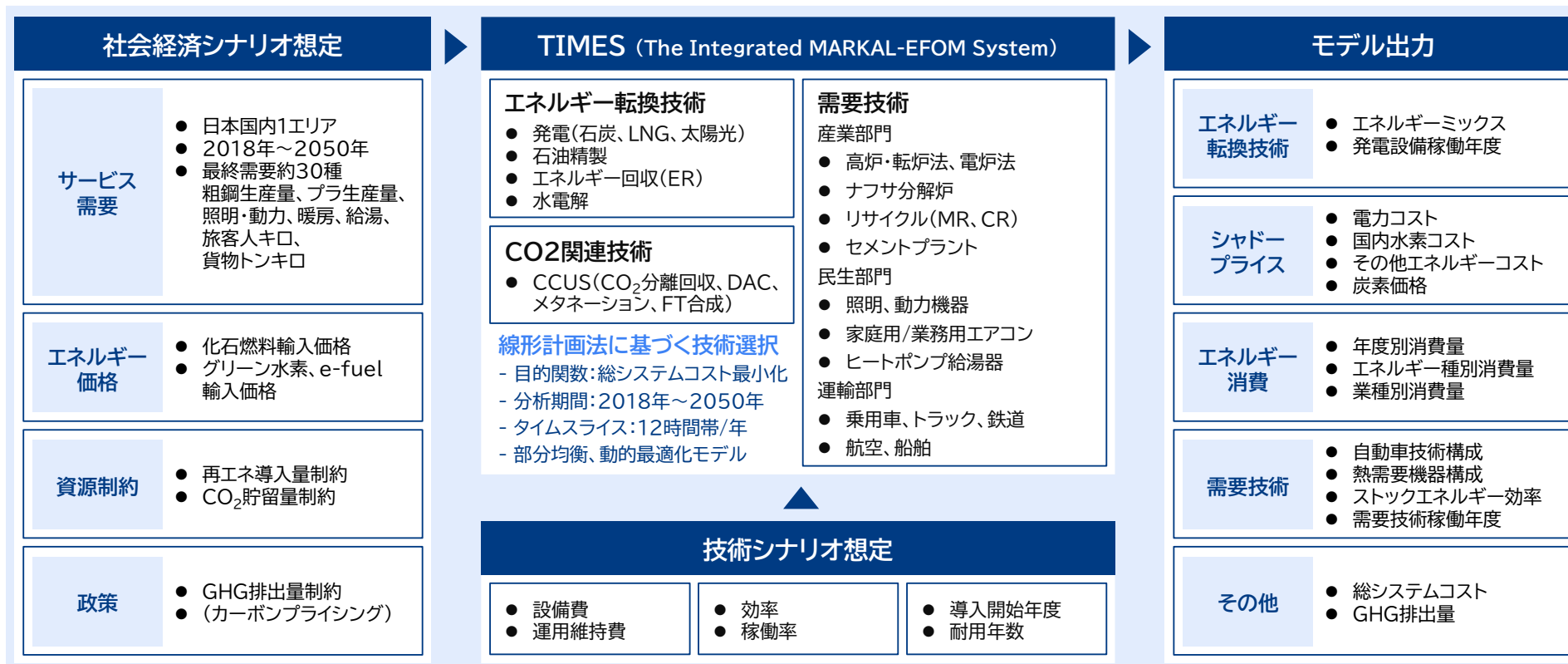
		i) ベース	ii) 再エネ・BEV進展	iii) 再エネ・BEV・持続可能燃料進展
2050年CN達成において想定する世界観		化石燃料+CCSを中心として脱炭素化を目指す	再エネの導入拡大とバッテリーのコスト低減によるBEV普及加速	ii)に加えて、水素・合成燃料のコスト低減を想定
供給側	再エネ導入量上限	低位	高位	高位
	再エネコスト	高位	低位	低位
	蓄電池コスト	高位	低位	低位
	輸入水素コスト	高位	高位	低位
	輸入合成燃料想定	輸入なし	輸入なし	輸入あり(2030年以降)
需要側	EV車両コスト	高位	低位	低位
	情報爆発由来電力需要	2050年:+約40TWh(MRI想定値)		
	CO2貯留量上限	2050年:1.2億ト/年(CCS長期ロードマップ検討会想定値)		

# エネルギー需給モデル(MRI-TIMES)モデルでの分析を実施

定量分析にあたってはMRIが開発・保有するエネルギー需給モデル(MRI-TIMES)を活用した。MRI-TIMESは電力セクターだけでなく日本のエネルギー需給構造を包括的に分析することが可能である。

本研究にあたっては、運輸部門を中心としてモデルの詳細化を行い、電気駆動車両としてHEV・PHEV、持続可能な燃料として水素に加えてバイオ燃料や合成燃料の経路パスについて拡張を行った。

## MRI-TIMES概要

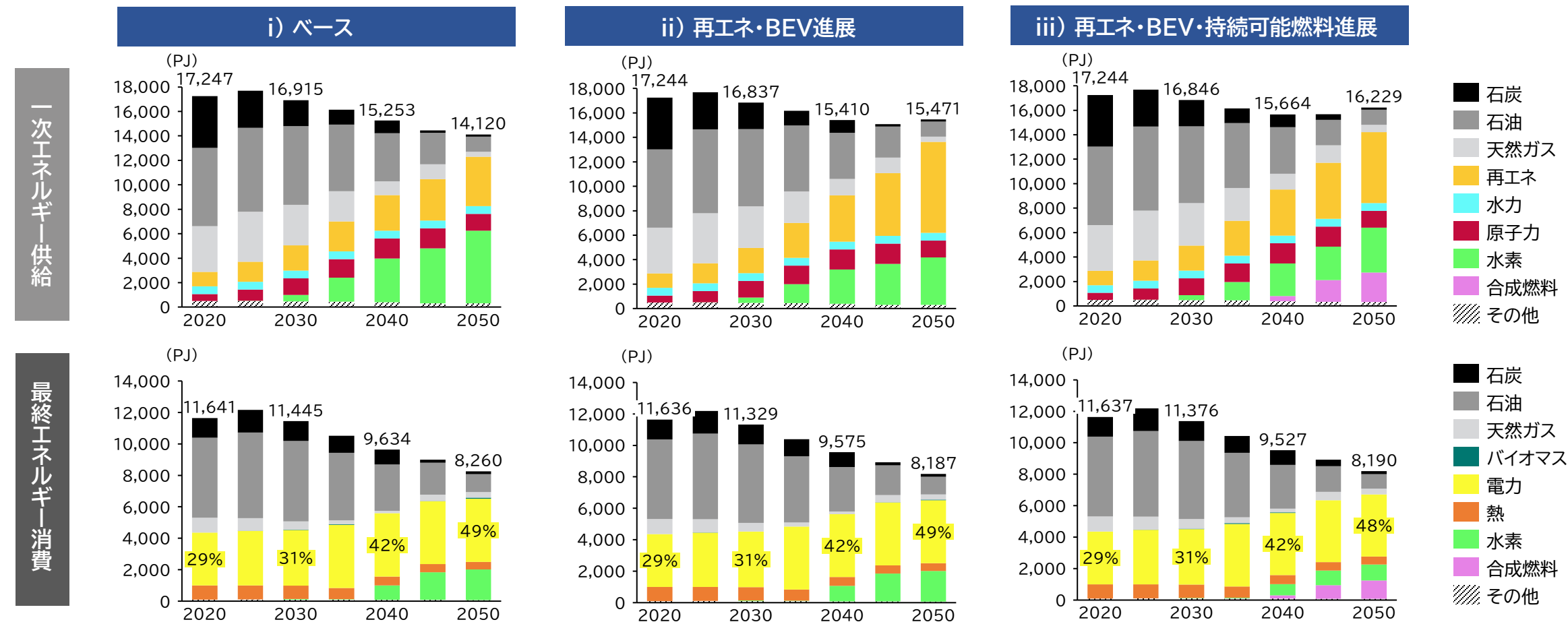




# 試算結果①： 一次エネルギー供給、最終エネルギー消費

どのシナリオでも炭素制約が強くなるにつれ、化石燃料使用割合が減少し再エネ割合が高まっていく。最終エネルギー消費は電化により電力消費が増加していくが、水素や

合成燃料といった持続可能な燃料の利用割合はシナリオによって異なっている。

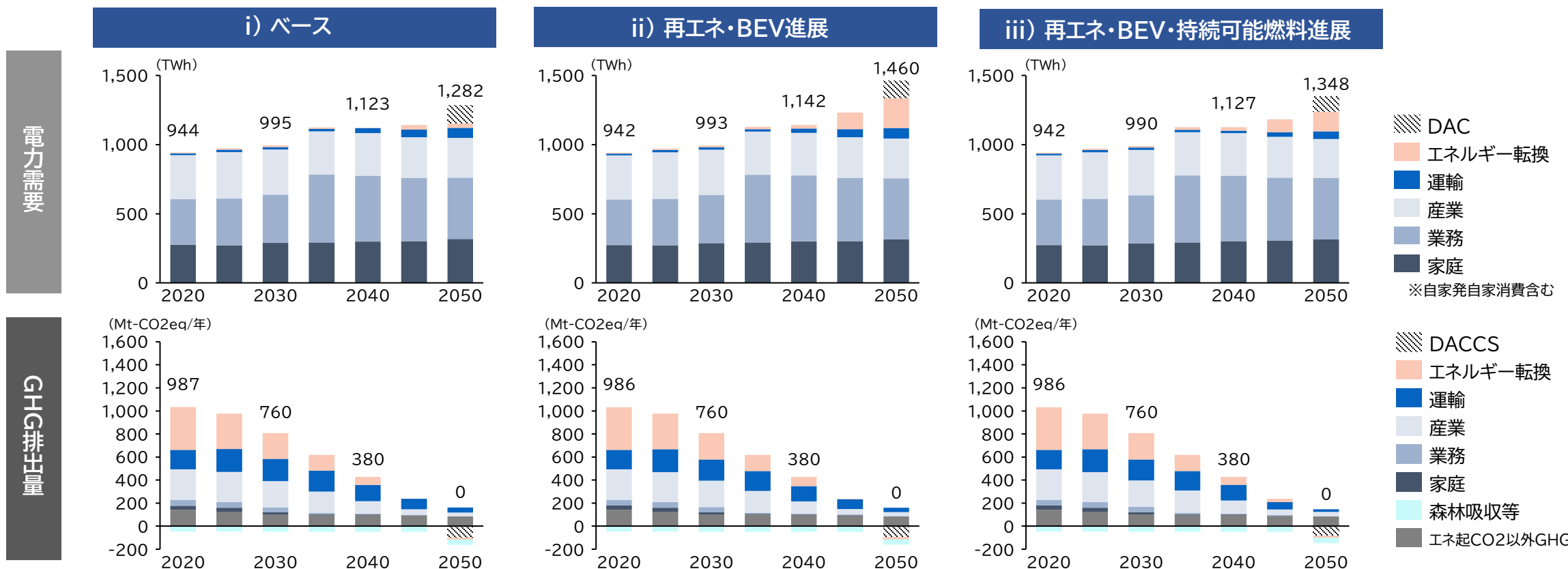


## 試算結果②： 電力需要、GHG排出量

乗用車においてBEVの選択が増えることで電力消費の増大が懸念されるが、BEVのエネルギー効率が高いこと、乗用車によるエネルギー消費が運輸部門全体の中で占める割合が限定的であることから、乗用車の技術選択は最終エネルギー消費および電力需要にはほとんど影響しない。

よりエネルギー消費が大きな貨物トラックではBEVが選択されておらず、技術選択による電力需要への影響はない。

なお、下図の「エネルギー転換」は主に再エネ余剰電力による水素製造に伴う電力需要であり、再エネ導入進展による増加が示された。



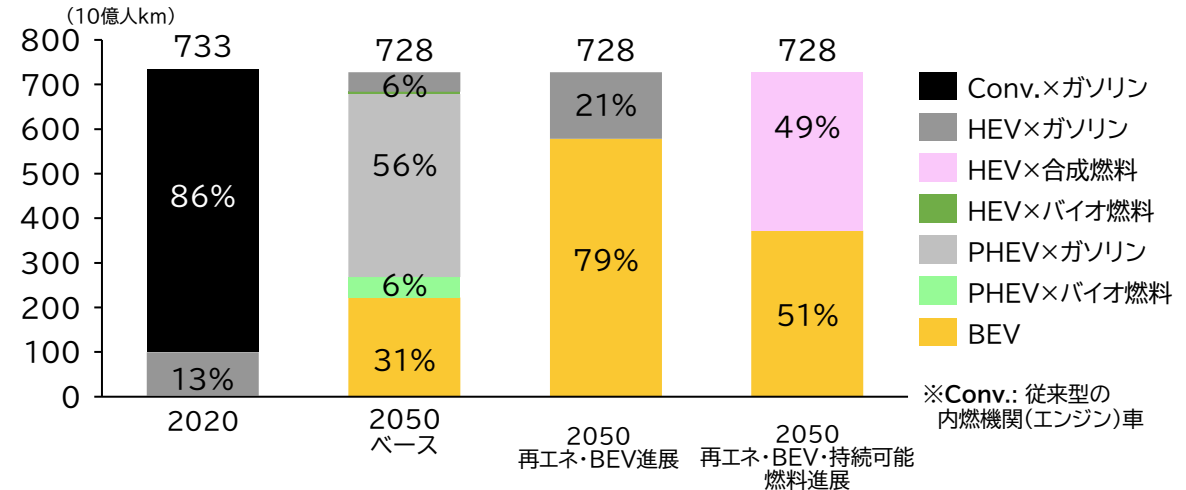
# 分析結果からの示唆①: 持続可能な燃料利用と電動化(BEV)は相互補完的な役割を持つ

移動体セクターに着目すると、乗用車および貨物トラックでそれぞれ異なった傾向が確認される。

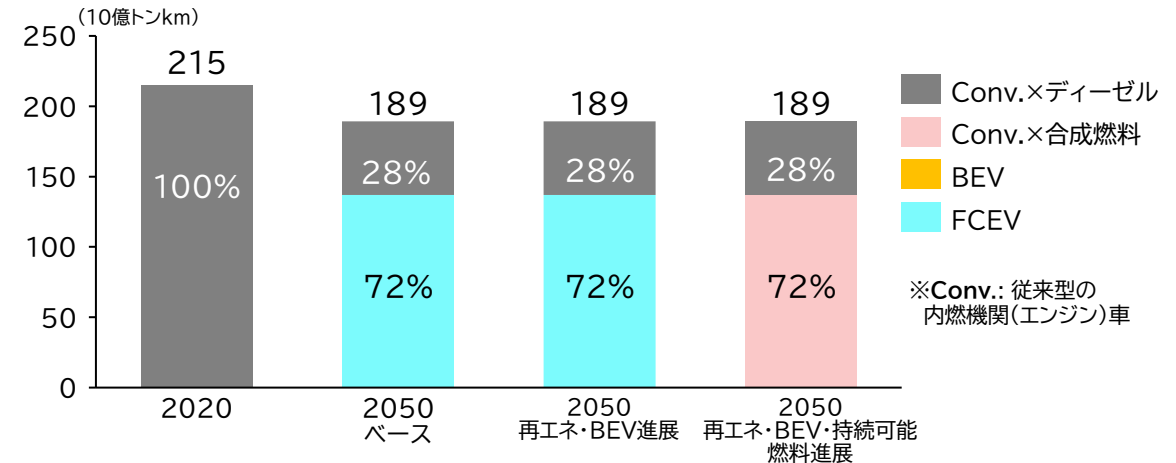
乗用車では、BEVが小型・短距離用途を中心に優位性を持つ。合成燃料が調達できる場合は、HEVがゼロエミ自動車として活用可能となる。貨物トラックでは、持続可能な燃料(水素および合成燃料)がいずれのシナリオでも選択されており、合成燃料が調達できる場合には内燃機関車と合成燃料の組み合わせがFCEVに代わって選択される。なお、他部門での灯油・重油等の石油製品需要を満たすために稼働する石油精製からの連産品として生産されるディーゼルが、いずれのシナリオでも一定量消費される試算となった。

重要なのは、輸送モードや外部条件によって移動体セクターでの最適な技術選択は変化しており、それぞれの特性に応じた「棲み分け」が行われている点である。持続可能な燃料利用と電動化(BEV)はそれぞれ相互補完的な役割を有している。

各シナリオでの乗用車の旅客需要



各シナリオでの貨物トラックの輸送需要



## 分析結果からの示唆②:

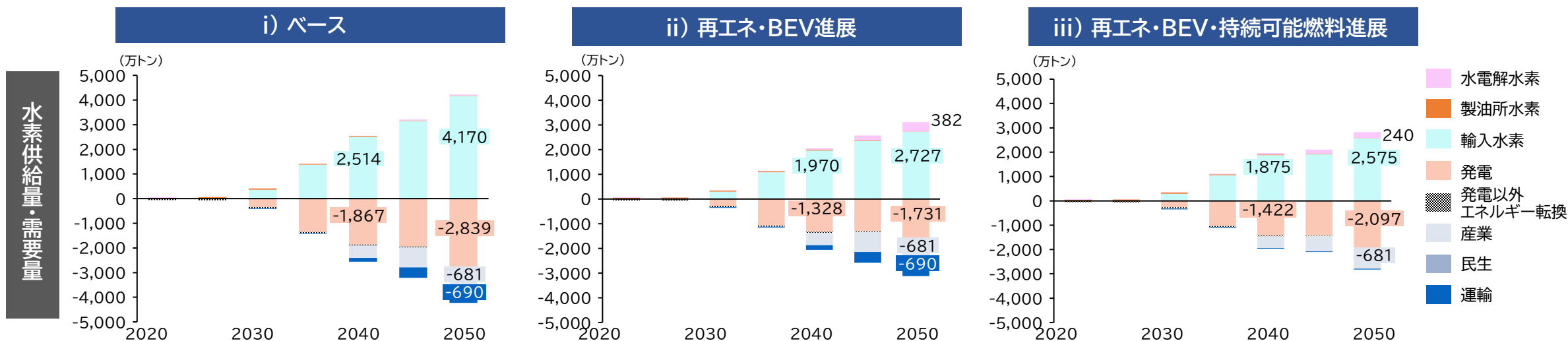
# エネルギー安定供給のためには持続可能な燃料のサプライチェーンの構築が必須

シナリオ分析結果から、2050年時点の水素需給について、ベースシナリオでは5,800PJ(≒約4,100万トン)の輸入水素が必要となる。再エネ・BEVが大幅に進展するシナリオii)では、発電部門に必要な水素が減るため、水素輸入量は3,800PJ(≒約2,700万トン)まで減少する。国内再エネの導入進展により、一定の範囲でエネルギー調達の海外依存度を低減できる可能性が示された。

持続可能な燃料を輸入するシナリオiii)では、貨物車で合成燃料利用が選択されることでFCEVでの水素利用は減少したが、水素コストが減ったことで水素発電が増加し、輸入水

素量は3,500PJ(≒約2,500万トン)と、ii)に比べてわずかな減少に留まる。一方で、シナリオiii)では2,500PJ(≒約5,500万トン)の合成燃料輸入が必要となる。この量は、想定する輸入量制約に対して十分に小さく、海外調達が十分可能と想定される。

いずれのシナリオでも、ネットゼロの達成には再エネ同様に持続可能な燃料が相応の規模感で必要ことが示唆されており、安定・安価な調達のためのサプライチェーン構築が必須であると言える。



## 分析結果からの示唆③： 持続可能な燃料の活用は、社会費用低減に寄与する

もう1つ重要な点は、全体のエネルギーシステムコストに与える影響である。各シナリオでの2050年時点のGHG限界削減費用を比較すると、シナリオiii)、シナリオii)、シナリオi)の順で安価となっている。

シナリオi)からシナリオii)への限界削減費用の低下は、再エネコストの低下による安価なゼロエミ電力の供給が可能になった影響が大きい。シナリオii)では再エネコスト低下・導入ポテンシャル拡大から、発電電力量に占める再エネ割合が増加し、その分水素発電の割合が減少している。ゼロエミ電源の中で水素発電は相対的に高価であり、その依存度が減ることでゼロエミ電力のコストが低下、限界削減費用の減少をもたらしている。

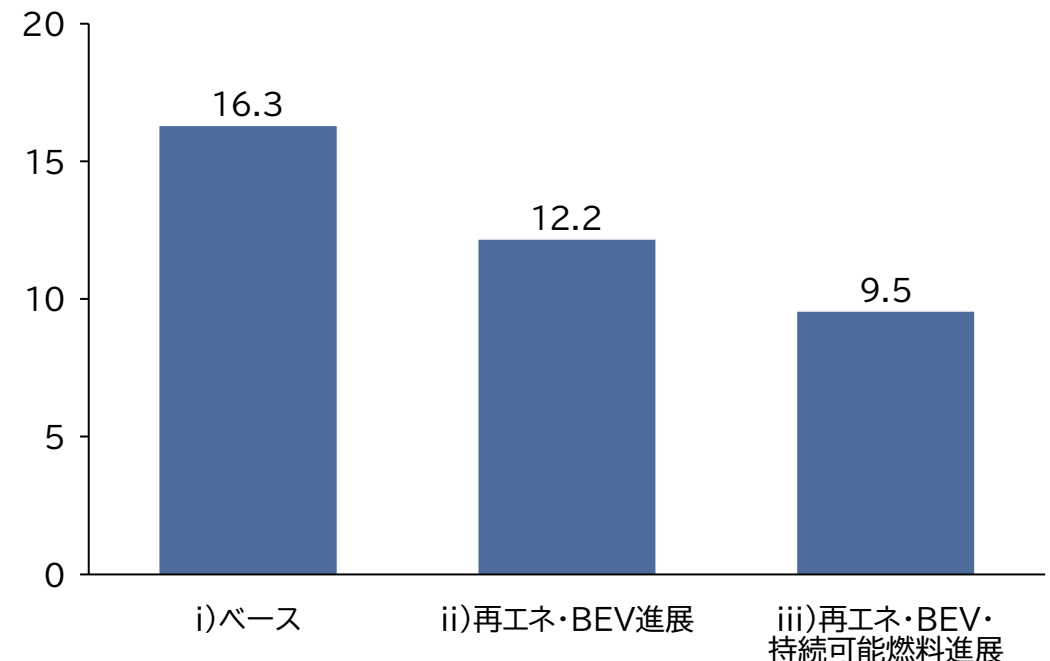
シナリオii)からシナリオiii)ではDAC(大気からのCO2回収)への依存度減少により限界削減費用が減少している。長距離貨物用途、産業プロセスの一部は電化によるCO2排出削減が難しいため、持続可能な燃料を利用しない場合は、最終的にはDACなどのネガティブエミッション技術に頼らざるを得ない。ネガティブエミッション技術は相対的に高コストなものが多いことに加え、DACに伴い電力需要も拡大し脱炭素電源がさらに必要になることも限界削減費用の上

昇に寄与している。

再エネ電源の有効活用という面でも、CO2排出フリーな電力と持続可能な燃料の適切なバランスが不可欠となる。

### 各シナリオの2050年ネットゼロ時のGHG限界削減費用

(万円/t-CO2)



## 第5章 持続可能な燃料の活用に向けた提言

# 提言： 持続可能な燃料の活用を見据え、供給側での構造転換を早期に進めるべき

本シナリオ分析では、乗用車での排出削減対策の中心はBEVを中心とした動力源の電動化である一方、経済性を勘案すると、大型車を中心として持続可能な燃料の選択が合理的になる余地があることが示された。加えて、他セクターでも水素を中心とした持続可能な燃料の活用はネットゼロ実現にあたって必須であり、他の削減対策技術との適切な

役割分担を行うことで、社会費用の減少にも繋がることが示唆された。

需要側での対策は早期に進める必要があるが、持続可能な燃料の将来的な活用を見据え、供給側の構造転換も早期に進めることを提言する。次頁以降で提言における具体的な施策案について言及する。

## 分析結果から得られた示唆と提言

### 分析結果から得られた示唆

1	移動体の脱炭素技術構成	持続可能な燃料(水素と合成燃料)利用と電動化(BEV)は相互補完的な役割を持つ
2	持続可能な燃料の調達経路	エネルギー安定供給のためには持続可能な燃料のサプライチェーンの構築が必須
3	持続可能な燃料による波及効果	持続可能な燃料の活用は社会費用低減に寄与

### 持続可能な燃料の活用に向けた提言

持続可能な燃料の国内利用に向けた環境整備を進める

脱炭素資源ポテンシャルを有する国・地域との戦略的パートナーシップを強化し、製造環境の整備を進める

持続可能な燃料の活用のために、グローバルな炭素循環を進める国際的な枠組を構築する

# 提言1: 持続可能な燃料の国内利用に向けた環境整備を進める

移動体セクターだけに限らず広く持続可能な燃料の活用を進めるためには、日本国内でのソフト面・ハード面での環境整備がその第一歩となる。そのためのアクションプランとして、以下を提言する。

## ① 持続可能な燃料の活用を促す制度整備と誘導的措置:

持続可能な燃料の内、合成燃料はインフラ整備の追加コストが限定的で、車両コストも安価である利点を有するが、燃料製造コストは現状高く、技術開発の進展が求められる。また、持続可能な燃料の輸配送の視点では、特に港湾で様々な燃料貯蔵・輸送のオプションを提供することは、超大型ターミナル以外では困難である。水素やアンモニアのような新燃料は取扱実績も限定的であるため、環境・安全面での保安基準等の制度と輸配送インフラ整備を国が主導権をもって進めるべきである。一方で、ドロップイン燃料として位置づけられる合成燃料については、制度面は既存法で対応することが可能である。また、既存の石油インフラを転用できる可能性が高いため、ネットゼロの実現に向けて石油流通のインフラを縮小・廃止するだけでなく、その一部を合成燃料用に転用することも考えるべきである。

また、航続距離の長い大型の貨物自動車をはじめとして、用途に応じた利用指定(例: 合成燃料を大型貨物車専用として移行)等の措置を行うことで段階的な移行を誘導し、かつ、需要規模を反映した供給インフラの整備計画を策定することが重要である。

## ② 持続可能な燃料製造へ繋がる技術開発の促進:

例えば、合成燃料の製造について、合成燃料油(FT合成)またはメタノール合成(MTG/MTD)の燃料製造技術は既に成熟してきている。一方で、CO<sub>2</sub>は安定な物質であり、合成燃料等へと転化するためにはCO<sub>2</sub>還元膨大なエネルギーを必要とし、この還元工程のエネルギー効率向上にブレークスルーが求められている。CO<sub>2</sub>からFT合成の前駆体となるCOを得るための電解還元や水蒸気との共電解、さらにはCO<sub>2</sub>と水素から合成燃料を直接合成する新規技術の開発が期待される。また、化成品・燃料のいずれの製造にも繋がる中間物質としてのメタノールをCO<sub>2</sub>から製造する技術は重要であり、継続的な技術開発への支援が必要な分野である。



## 提言2: 脱炭素資源ポテンシャルを有する国・地域との 戦略的パートナーシップを強化し、製造環境の整備を進める

脱炭素資源ポテンシャルを有する国・地域とは、ネットゼロ実現に向けたお互いの排出経路を尊重した戦略的パートナーシップを締結・強化していくことが重要である。そのため、アクションプランとして以下を提言する。

### ① 持続可能な燃料の製造環境整備の早期での合意形成:

持続可能な燃料の製造や輸配送の技術オプションについて、調達パートナー国と方向性の早期合意が求められる。特に、製造プラントの適地確保や製造のための人材確保・能力開発など、両者で取り組む包括的な全体計画が必要である。また、合成燃料の製造には、水素の直接利用に比べて単位熱量当たりで多くの水素が必要であり、さらにCO<sub>2</sub>回収のための再エネ電力も必要となる。そのため、水素をエネルギーキャリアにする場合に比べて、より多くの再エネ資源を必要とする点についても、パートナー国との認識を合わせることが重要である。

### ② 脱炭素資源の開発・調達メカニズムの構築:

LNG開発の初期では、採掘から輸配送を含むサプライチェーン全体で膨大な初期費用が必要なことから、長期契約が重要視された経緯がある。持続可能な燃料についても、

同様の理由から長期でのオフテイク契約を求められる可能性が高い。その際には、大面積を有する再エネ資源や、そこから製造される持続可能な燃料について、長期的なオフテイクが実現できる調達メカニズムの整備が重要となる。また、輸送インフラのスケールメリットを享受するためには、輸送する燃料の種類を絞り込むという観点も必要であり、パートナー国と協調した資源開発の方針が求められる。

### ③ 持続可能な燃料の脱炭素化基準の合意形成:

燃料用途(貨物輸送、乗用車、船舶等)に応じた持続可能な燃料の適格基準が求められる。特に燃料需要側の構造転換には時間を要するため、早期での燃料基準の合意形成が喫緊の課題である。なお、持続可能な燃料の基準については、国内技術開発を目的とした野心的な基準、政府による補助対象先としてアーリームーバーに求める先導的基準、普及段階でネットゼロ達成宣言時に求められる順守基準は、脱炭素価値としての意味合いが異なる点に留意が必要である。また、脱炭素化度においても、一つの固定した指標では燃料が持つ多面的な特徴を評価できない懸念もあるため、複数指標で、かつ、トランジション期の段階に応じた水準を設定した認定スキームの合意形成が重要である。

# 提言3:持続可能な燃料の活用のために、グローバルな炭素循環を進める国際的な枠組を構築する

炭素循環の社会実装をグローバルに進めていくためには、日本国内および日本起点での海外連携も含めた包括的な導入スキームを整備する必要がある。包括的な導入スキームは、グローバル・コンセンサスを得るために協調したスキームであることが重要となるため、そのアクションプランとして以下を提言する。

## ①持続可能な燃料の環境価値の帰属スキーム確立:

燃料製造者と需要者の間での環境価値のダブルカウント防止のために、環境価値の帰属を明確に担保するスキームの構築が必要で、環境価値は透明性が確保された登録簿でトラッキングできることが重要となる。その中では、環境価値が燃料製造事業者と燃料利用者のいずれに帰属されるべきか、という視点のみではなく、その環境価値自身を、対価をもってそれぞれの合意の下で分配できる仕組みの構築が重要である。

## ②炭素循環を想定した持続可能な燃料製造モデルの組成:

再エネ資源が豊富で合成燃料の潜在的な輸出国における製油所・化学プラント立地と、周辺の再エネ電力調達コストを勘案した持続可能な燃料の先導的な製造モデルを組成し、その社会実装を進めていくことが重要である。特に、DACが高コストになるトランジション期では、当該国における既設の製油所・化学プラントからのCO<sub>2</sub>回収を想定した合成燃料製造により、足元から燃料製造に着手していくアプローチがコスト低減に有効である。

また、航空部門の持続可能な航空燃料(SAF)利用がドライバーとなり、炭素循環によるFT合成油の普及が拡大することも想定される。そのため、複数のセクターに貢献する持続可能な燃料の利用効果についての定量評価を行うためにも、先導的な燃料製造モデルを組成していくことが重要である。

# まとめ

- 2020年に日本からのCO2排出のうち160百万トンを含めていた移動体セクター(鉄道を除く陸上輸送)は、乗用車における電化(再エネとBEVの導入進展)\*1と、貨物車のFCEV化により、CO2排出を29百万トンまで低減できる。
- 合成燃料が安価かつ十分な量で利用可能になれば、電化が進んでも一部残った乗用車のガソリン利用が合成燃料で置換され、移動体からのCO2排出を17百万トンまで低減できる。この場合、貨物車はFCEVではなく合成燃料利用の内燃機関車となる。
- このように、ネットゼロが実現可能なレベルまでの移動体からのCO2排出量削減は、再エネ利用の電化と合成燃料利用のHEV・内燃機関車の相互補完的な技術選択によって達成される\*2。
- 持続可能な燃料を安価かつ大量に調達できれば、ネットゼロの達成がより確実なものになる。合成燃料は、移動体セクターを脱炭素化するパスウェイを複線化し、適材適所の技術選択を可能にする。一方、水素は、発電や重工業を中心にエネルギーを大量に消費するセクターの燃料転換による脱炭素化を推進する。

\*1 乗用車の電化が進展しても電力需要に与える影響は限定的であり、再エネ電力の他セクターとの「取り合い」が乗用車の電化を妨げる懸念は小さいことがシナリオ分析の結果わかった。これは、BEVの高いエネルギー利用効率によるものともいえる。

\*2 移動体における技術選択が一次エネルギー供給に与える影響は限定的である。合成燃料が低コスト化して選択される場合には、移動体における水素利用が合成燃料に転換されるが、一方で発電における水素利用が増えて、水素の必要量はほとんど変わらない。

## 今後の課題と展望

- 今回のシナリオ分析において、2050年に合成燃料が利用可能であっても残るCO2排出は貨物車からのものであり、これは石油製品需要の一部を満たすために稼働する石油精製からの連産品として生産されるディーゼルが利用されるためである。化学産業においても、リサイクルプラスチックと大気中のCO2を炭素源とする脱炭素化の技術革新が進められており、その展望を盛り込んでモデルをアップデート\*1することで、ネットゼロの達成をより確実にするトランジションを議論することが今後の課題である。
- ここで用いられる水素と合成燃料は、再エネ資源に富む国で製造し日本に輸入されるものであり、脱炭素燃料の製造工程を外製化する戦略ともいえる。これが実現するためには、持続可能な燃料のグローバルなサプライチェーン構築と、国境を跨ぐCO2排出量カウントや持続可能燃料に関する諸規制を含む国際的なルール形成が不可欠であり、国を挙げた早期の取り組みが必須である。

- 国外産の持続可能な燃料を用いる限り、貨物車のエネルギー利用効率向上は日本からのCO2排出量には直接影響しない。しかし、小型貨物車の電化や、適量の蓄電池を利用した大型貨物車のハイブリッド化による燃費向上は、水素や合成燃料の必要輸入量を減らしエネルギー自給率を増やすために重要な技術開発であり、持続可能な燃料の導入促進と並行して取り組まれるべきである。

\*1 東大CGCではScope 1, 2, 3のネットゼロを達成する化学セクターの脱炭素化シナリオを研究・公表している。

<[Scope 1, 2, and 3 Net Zero Pathways for the Chemical Industry in Japan](#)>

# 参考)シナリオの条件設定

項目		条件の概要
供給側	再エネ導入量上限	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2030年は、第6次エネルギー基本計画の「野心的水準」より設定。</li> <li>■ 2050年は、低位は電力中央研究所(2020)「ネットゼロ実現に向けた風力発電・太陽光発電を対象とした大量導入シナリオの検討」の「受容性重視」レベル、高位は業界団体(JPEA・JWPA)の導入量想定値より設定。</li> </ul>
	再エネコスト	■ Bloomberg NEF(2023), LCOE Japan 2H 2023 Update のHigh Scenario、Low Scenarioよりそれぞれ設定。
	蓄電池コスト	■ Bloomberg NEF(2023), LCOE Japan 2H 2023 Update のHigh Scenario、Low Scenarioよりそれぞれ設定。
	持続可能な燃料の想定	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 水素、合成燃料、バイオ燃料について、国内製造と輸入を想定。</li> <li>■ バイオ燃料については、E10を想定して混合率上限を10%と想定。</li> </ul>
	持続可能な燃料の輸入	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ [水素] 輸入水素コストは、水素基本戦略を参考として、高位は2030年政府目標まで低減し、以降横ばいするシナリオ、低位は2050年政府目標まで低減するシナリオを想定。輸入量上限は設定しない。</li> <li>■ [合成燃料] 輸入合成燃料コストは、グリーン水素とDAC由来CO2を用いて海外で製造した場合のコストとして設定。合成燃料は2030年より輸入可能、FT合成油として輸入し国内で分留する想定。合成燃料(FT合成油)輸入量上限値は、一般社団法人日本自動車工業会の「2050年カーボンニュートラルシナリオ」の自動車用合成燃料上限値とアップグレード比率より設定。</li> </ul>
需要側	移動体	<p>[乗用車]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 車両価格は、高位は公益財団法人地球環境産業技術研究機構(2021)「2050年カーボンニュートラルに向けた道筋 - エネルギー供給と道路交通部門の体系的な対策のあり方 -」の標準の技術想定シナリオ、低位は車載用バッテリーコストがコスト曲線実績に従い3.5千円/kWh相当まで低減すると想定して設定。</li> <li>■ 燃費・電費は、Dセグメントの代表モデルより設定。燃費・電費の向上は想定していない。PHEVのUF値は、60%として設定。</li> <li>■ 乗用車は、2035年以降の新車は電動車(HEV、PHEV、BEV、FCEV)100%と想定。</li> </ul> <p>[貨物自動車]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 車両価格、積載可能量、燃費は、国内現行積載量4tクラス車両より設定。燃費電費の向上は想定していない。</li> </ul>
	CO2貯留量	■ CO2貯留量上限は、「CCS長期ロードマップ検討会最終とりまとめ」の想定値より設定。
	情報爆発由来電力需要	■ 三菱総合研究所(2024)「生成AIの普及が与える日本の電力需要への影響 「適材適所」の AI 活用と半導体技術開発の組み合わせで電力制約を克服」のAI特化チップ(電力効率高)・適材適所・光電融合まで実現としたシナリオをもとに推計。但し、2040年以降は2030年-2040年の増加量から線形外挿。



# MRI 三菱総合研究所

本レポートは、ETI-CGC(東京大学と民間企業有志により設立された日本のネットゼロ達成のパスウェイを議論する産学連携プラットフォーム)への協賛を受け、東京大学 グローバル・コモンズ・センターと三菱総合研究所が行った研究活動の成果を公開し、活発な議論を喚起することを目的としています。本レポートは、東京大学 グローバル・コモンズ・センター、三菱総合研究所及び執筆者の責任で発表するものであり、ETI-CGC に協賛する企業としての見解を示すものではありません。