

# 2050年カーボンニュートラルの実現に向けた検討

令和3年1月27日  
資源エネルギー庁

# **1. カーボンニュートラルに向けた非電力部門の検討**

- a. 産業部門
- b. 民生部門
- c. 運輸部門
- d. 炭素除去技術

## **2. シナリオ分析**

# 御議論いただきたいこと①

- 2050年のカーボンニュートラルの実現に向けては、電力部門の脱炭素化だけではなく、産業・民生・運輸部門の需要サイドにおいて徹底した省エネを進めるとともに、使用するエネルギーの脱炭素化（エネルギー転換）を進めることが重要。

## 【省エネ】

- 2050年に向け、3Eの観点から、徹底した省エネを進めエネルギー消費を削減していくことが必要。
- 日本は1970年代の石油危機以降、世界最高水準のエネルギー効率の改善を進めてきているが、技術的な限界や経済性の問題などから、改善率が鈍化しつつある。
- カーボンニュートラルを目指して省エネを進めるためには、産業・民生・運輸それぞれの部門で高効率設備の更なる普及・技術開発などの取組が求められる。

## 【エネルギー転換】

- 更なる省エネを進める一方で、電化・水素化・カーボンリサイクル燃料の活用などによりエネルギー転換を進め、使用するエネルギーの脱炭素化を進めて行く必要がある。
- 他方で、エネルギー転換を進める上では、例えば電化設備の普及、経済性の確保、設備の大型化・高効率化・レジリエンス確保などの取組が必要となる。

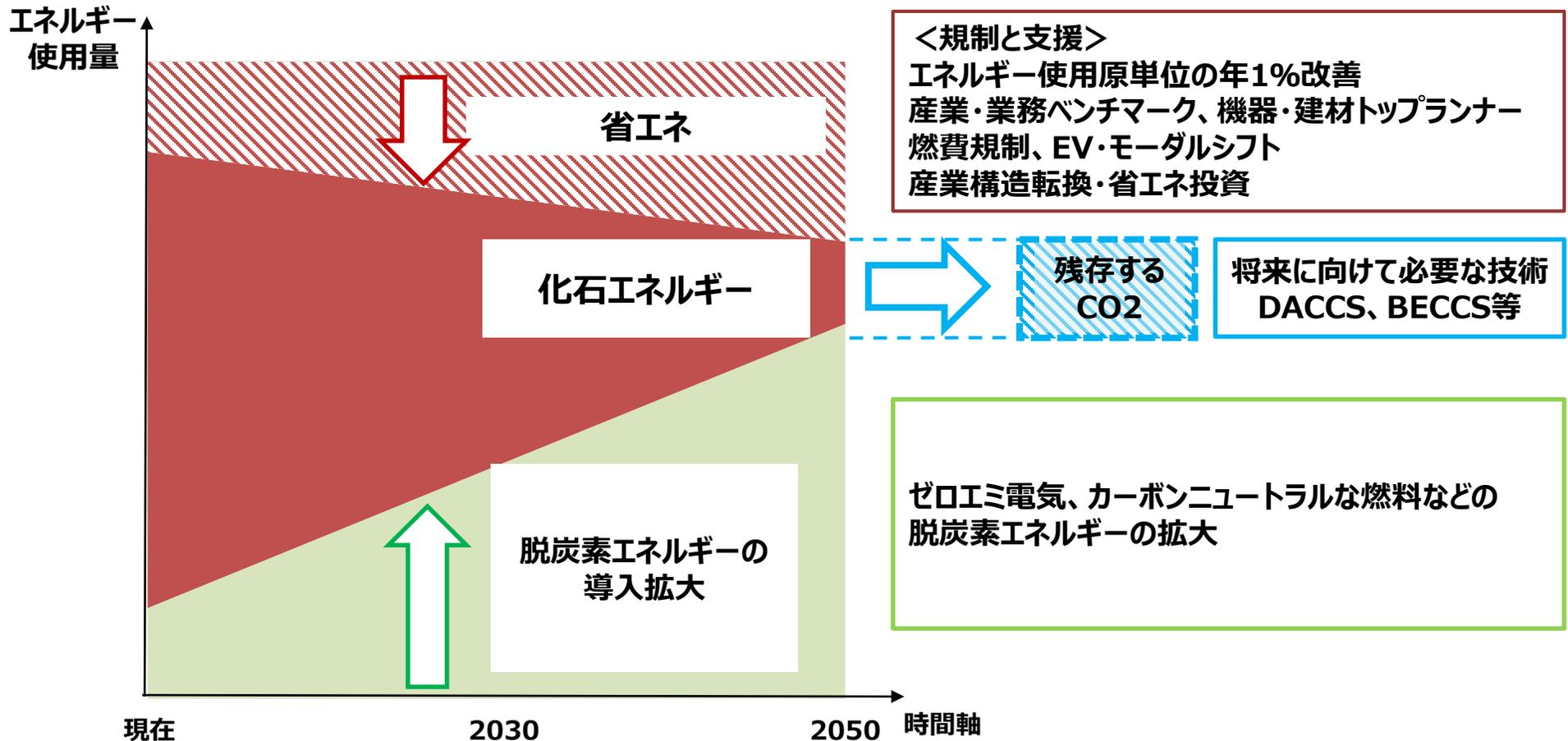
## 【製造プロセスの転換】

- 製造プロセスの脱炭素化についても、プロセスそのものの転換が求められる分野もある一方で、技術が未確立なところがあるなど、産業部門全体の脱炭素化に向けては、イノベーションを要する領域が多い。
- こうした状況を踏まえ、カーボンニュートラルに向けて、
  - 産業・民生・運輸部門における省エネやエネルギー転換などを進める上での課題と対応の方向性等について御議論いただきたい。

# 2050年カーボンニュートラルに向けた需要側の取組

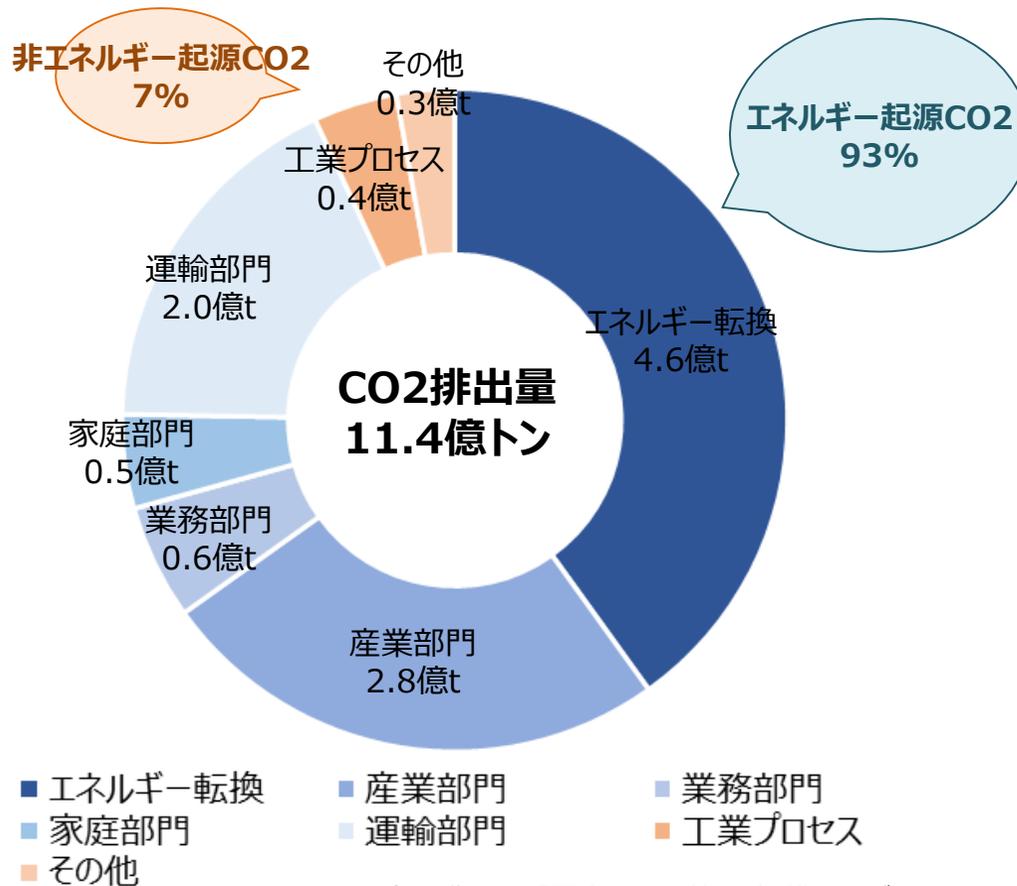
- 2050年カーボンニュートラルに向けては、徹底した省エネに加え、再エネ電気や水素等の脱炭素エネルギーの導入を拡大していくことが必要となる。
- 需要側において、引き続き省エネを進めつつ、供給側の脱炭素化を踏まえた電化・水素化等のエネルギー転換を促すべき。

## ■ 需要側のカーボンニュートラルに向けたイメージ



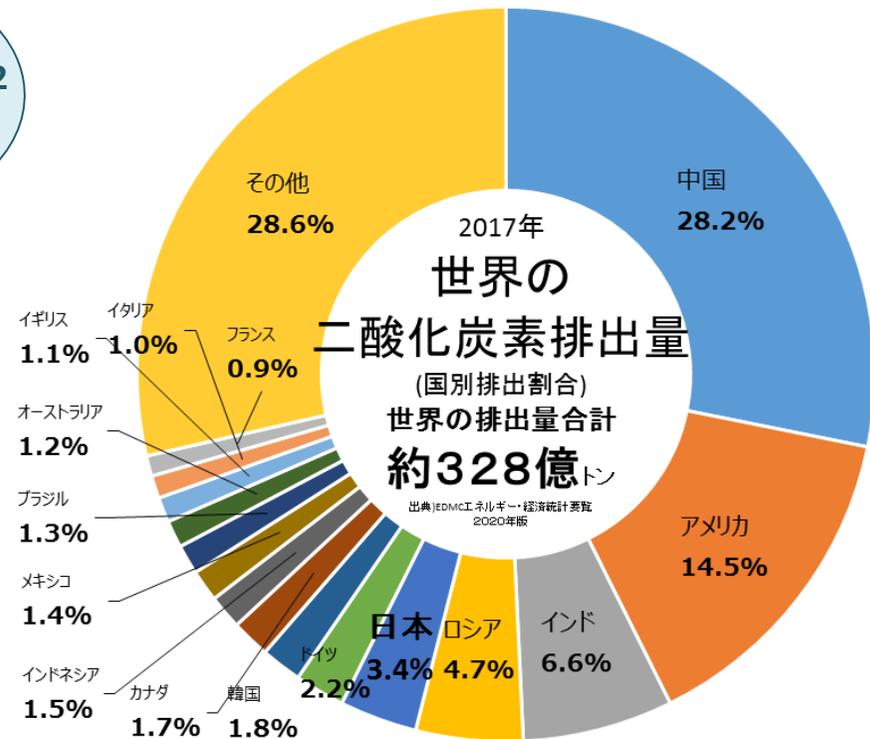
- 日本のCO2排出量は、世界で5番目。CO2排出の内訳の太宗はエネルギー起源が占める。

## 日本のCO2排出量 (2018)



(出所) GIO「日本の温室効果ガス排出量データ」より作成

## 世界のエネルギー起源CO2排出量 (2017)

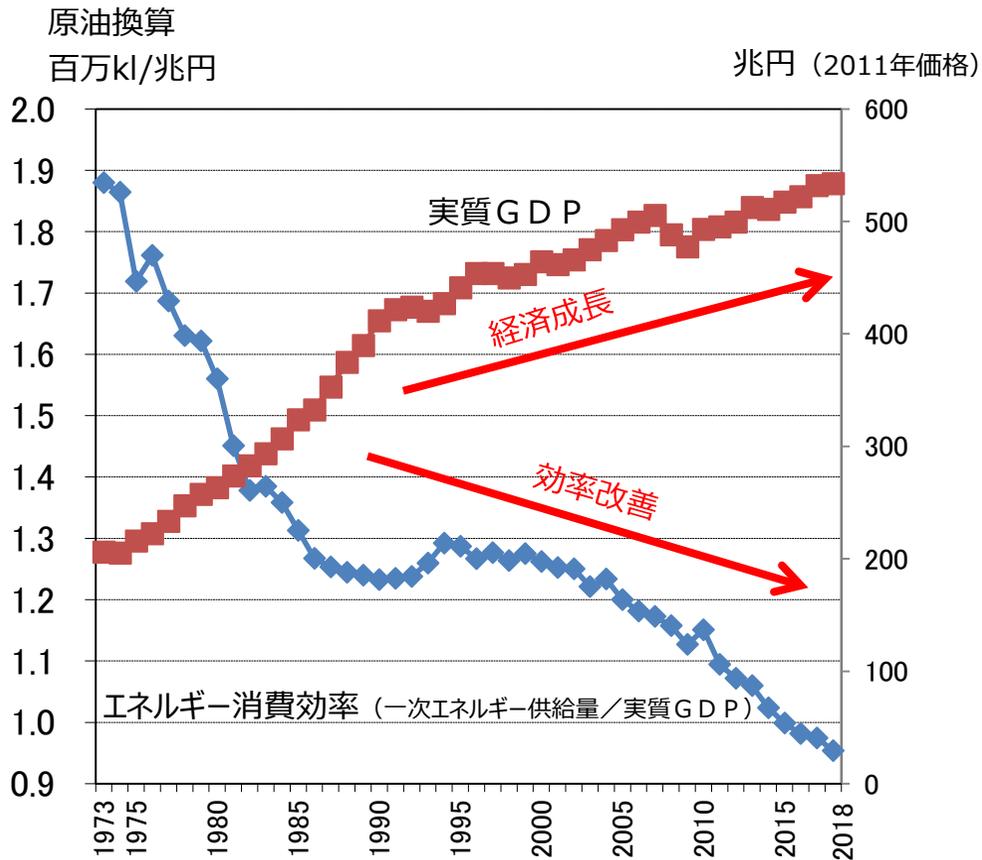


出典) 温室効果ガスインベントリオフィスより作成

# (参考) 我が国のこれまでの省エネルギーの進展

- 我が国は、これまで経済成長と世界最高水準の省エネを同時に達成し続けてきている。

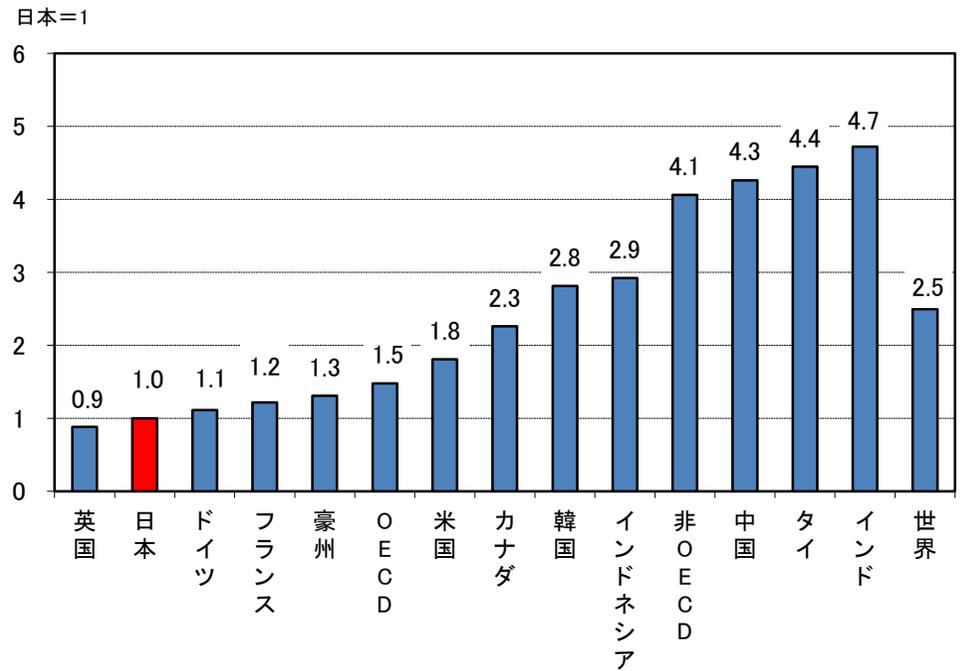
## 日本における実質GDPとエネルギー消費効率の推移



出典：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」、内閣府「国民経済計算年報」を基に作成。

## エネルギー消費効率の各国比較 (2018年)

一次エネルギー供給/実質GDPを日本 = 1として換算



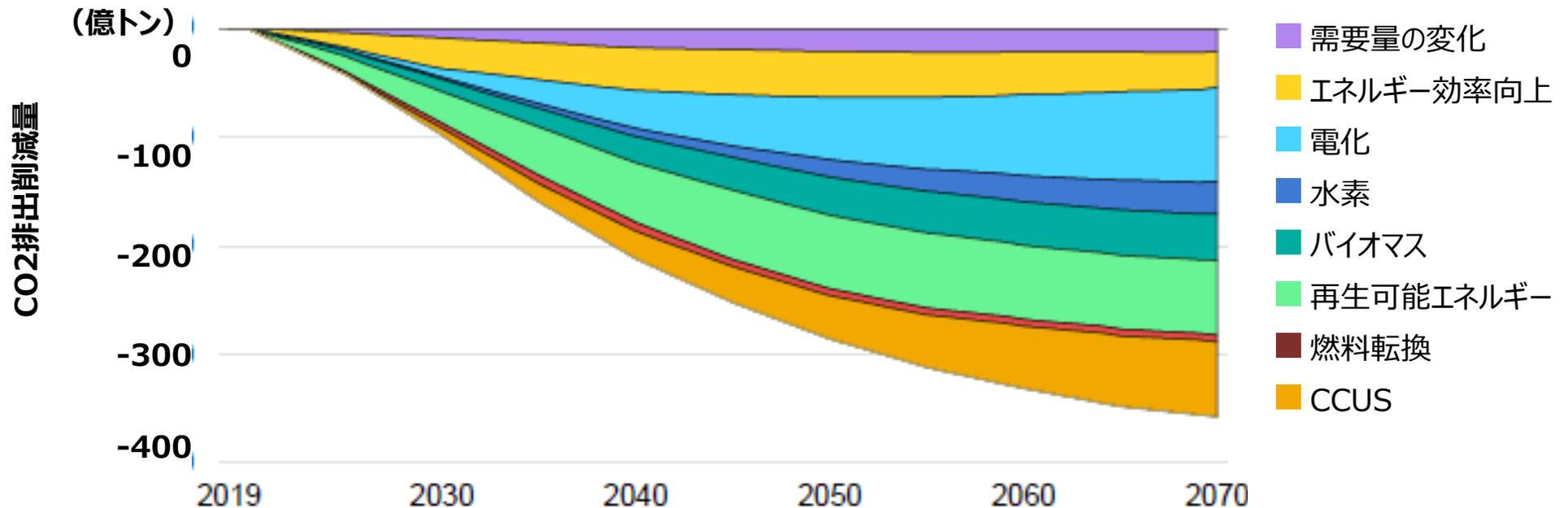
出典:IEA「World Energy Balances 2020 Edition」、World Bank「World Development Indicators 2020」を基に作成

# (参考) 持続可能な社会実現に向けた省エネの寄与

- IEAによると、世界のカーボンニュートラル達成時におけるエネルギー効率向上のCO2削減貢献量は約15%。

## 世界のエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出削減貢献量

※パリ協定に基づいて各国が現在表明している削減目標に基づく排出量から、2100年までに世界の気温上昇を2度以内とする場合（2070年にカーボンニュートラルに必要な追加の削減量



出典：IEA “Energy Technology Perspectives 2020” Figure2.2

# 産業部門の脱炭素の課題と対応の方向性

## 脱炭素技術

## 克服すべき主な課題

※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

産業部門	脱炭素技術	克服すべき主な課題	
産業部門	熱・燃料	電化	産業用ヒートポンプ等電化設備のコスト低減、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
		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
産業部門	製造プロセス (鉄鋼・セメント・ 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
		セメント・ コンクリート： CO2吸収型 コンクリート	製造工程で生じる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。 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。
		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
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
		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
	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、燃料電池車両の製造技術の確立、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	<ul style="list-style-type: none"> <li>DACCS：エネルギー消費量、コスト低減が課題</li> <li>BECCS：バイオマスの量的制約の克服が課題</li> </ul> ※CCSの適地開発、コスト低減は双方共通の課題	

\*DACCS：Direct Air Carbon Capture and Storage、BECCS：Bio-energy with Carbon Capture and Storage

## エネルギー需給構造の変化

### 供給サイド

- ①大規模集中型で安価に安定的に大量供給
- ②エネルギーシステム改革の進展により競争原理が働くように
- ③再エネの導入が拡大特に太陽光が急速に増加コストも急速に低減
- ④安価な再エネが他電源と競争可能に

大規模化  
効率化

競争促進  
差別化

分散化  
価値の顕  
在化

構造的・  
質的変化

### 需要サイド

- ①いかに効率的に消費・節約するか。
- ②選択肢が拡大し、様々な料金メニューとともにニーズが顕在化
- ③効率性だけではなく、消費するエネルギーの質(非化石価値・レジリエンス等)も重要に。
- ④AI・IoTといったデジタル化による消費の構造的変化とともに、電化・水素化など新たな消費の形が普及

## エネルギー需要行動の変容・多様化

- これまでの需要サイドにおける取組は省エネ法に基づく規制と省エネ補助金等の支援を通じ、高効率機器・設備への投資促進等の省エネ取組を促すことで、省エネルギーを推進。
- 省エネは引き続き重要。他方、上記を踏まえ、**「単に減らす省エネ」から、供給側の脱炭素化の進展と合わせた需要側の電化等、エネルギー転換含む「エネルギー需要の高度化」への構造転換が必要**ではないか。その際、自然変動する再エネの拡大に伴い、需給一体となって再エネを有効活用するという視点も必要ではないか。

# **1. カーボンニュートラルに向けた非電力部門の検討**

- a. 産業部門**
- b. 民生部門**
- c. 運輸部門**
- d. 炭素除去技術**

## **2. シナリオ分析**

## 御議論いただきたいこと②

- 産業部門のカーボンニュートラルに向けては、省エネの徹底によるエネルギー効率の改善に加え、熱需要や製造プロセスそのものの脱炭素化に向けたエネルギー転換が必要。

### 【省エネ】

- 産業部門においても省エネの取組は引き続き重要だが、更なる省エネを進める上では更なる技術開発や経済性の課題を克服していく必要がある。

### 【エネルギー転換】

- 現在の技術を前提にすれば、産業部門（特に製造業）の熱需要の脱炭素化については、電化以外の選択肢は技術が未確立なところがあり、電化自体も経済性などの課題が存在。

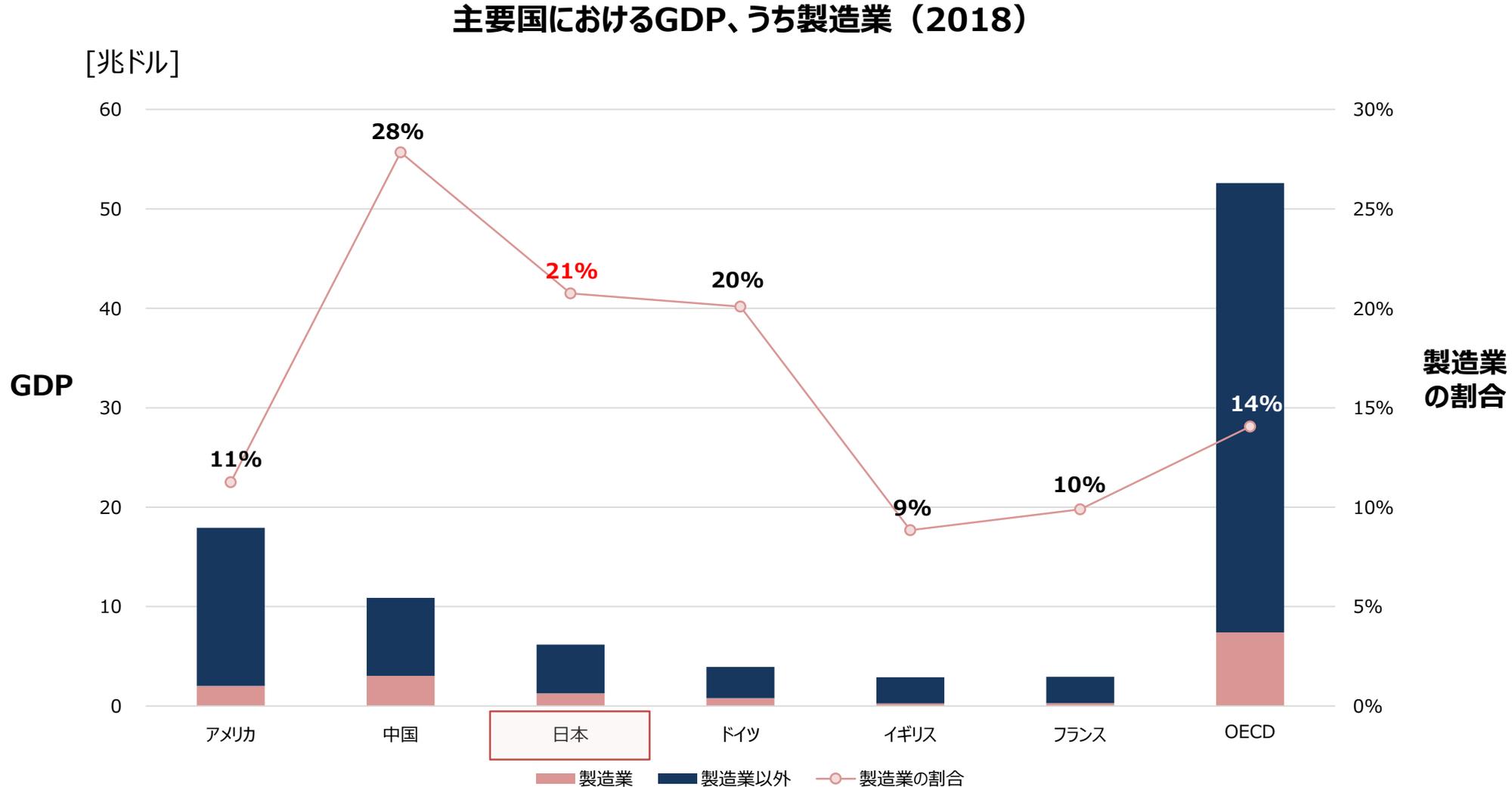
### 【製造プロセスの転換】

- 製造プロセスの脱炭素化についても、プロセスそのものの転換が求められる分野もある一方で、技術が未確立なところがあるなど、産業部門全体の脱炭素化に向けては、イノベーションを要する領域が多い。
- 仮に、脱炭素化の技術が確立した場合であっても、経済性や製品性能などの面で更なるイノベーションが必要となる可能性も存在する。

- 最終的に脱炭素化が困難な領域では、DACCSやBECCSなどの炭素除去技術による対応も求められる。
- 世界的に脱炭素化の流れが強まる中、脱炭素化へ挑戦し、技術革新や社会実装をいち早く実現できれば、グローバル市場で日本企業の競争力を維持・強化することにつながる。
- こうした状況を踏まえて、カーボンニュートラルに向けて、
  - 産業部門における省エネやエネルギー転換などを進める上での課題と対応の方向性等について御議論いただきたい。

# 我が国の産業構造

- 我が国のGDPに占める製造業の割合は21%と先進国の中でも高い水準にある。



# CNを宣言する国内外の事業者

- 企業においても脱炭素化を目指す動きが出始めている。

## カーボンニュートラルを宣言した企業の例

## 経済成長としてのCN宣言

企業名	宣言内容
武田薬品工業 (製薬)	2040年までにバリューチェーン全体でカーボンニュートラルを達成することを発表
東京ガス (ガス事業)	2019年11月、経営ビジョンにおいて、2050年までにガスの消費先を含む事業活動全体でCO2ネット・ゼロへの挑戦を発表、2020年11月、この挑戦の加速化を発表
ENEOS (石油)	2020年10月に、2040年長期ビジョンにおいて、自社排出分のカーボンニュートラルを目指すことを発表
出光興産 (石油)	2050年までに自社の事業活動からのCO2排出を実質的にゼロにするカーボンニュートラルを目指す
Arcelor Mittal (鉄鋼業)	2020年9月、2030年までに欧州事業におけるCO2排出を30%削減し、2050年までにカーボンニュートラルを目指すことを発表
DOW Inc. (化学工業)	2030年までに年間CO2排出量を2020年の基準比で正味の500万トン(15%)削減し、さらに2050年までにカーボンニュートラルを目指す
Ford Motors (自動車)	2020年6月、大手自動車メーカーフォードは2050年にカーボンニュートラルを宣言
グーグル (IT企業)	2020年9月、2030年までに自社のデータセンターとオフィスをカーボンフリー化することを表明
アップル (IT企業)	2020年7月、2030年までにサプライチェーンをカーボンニュートラルにすることを約束(2018年よりデータセンターの電力を風力発電で賄う等、企業運営は100%再生可能エネルギーを使用)

### 菅内閣総理大臣・施政方針演説より抜粋 (令和3年1月18日)

#### グリーン社会の実現

2050年カーボンニュートラルを宣言しました。**もはや環境対策は経済の制約ではなく、社会経済を大きく変革し、投資を促し、生産性を向上させ、産業構造の大転換と力強い成長を生み出す、その鍵となるものです。まずは、政府が環境投資で大胆な一歩を踏み出します。**

...

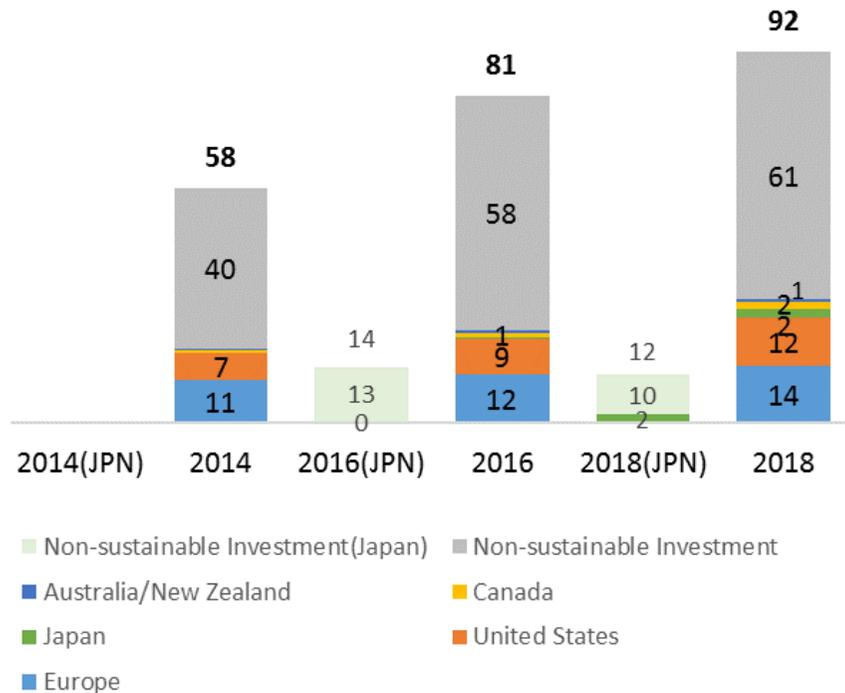
世界的な流れを力に、民間企業に眠る240兆円の現預金、更には3000兆円とも言われる海外の環境投資を呼び込みます。そのための金融市場の枠組みもつくります。グリーン成長戦略を実現することで、2050年には年額190兆円の経済効果と大きな雇用創出が見込まれます。

世界に先駆けて、脱炭素社会を実現してまいります。

# 金融機関のCNに向けた動き

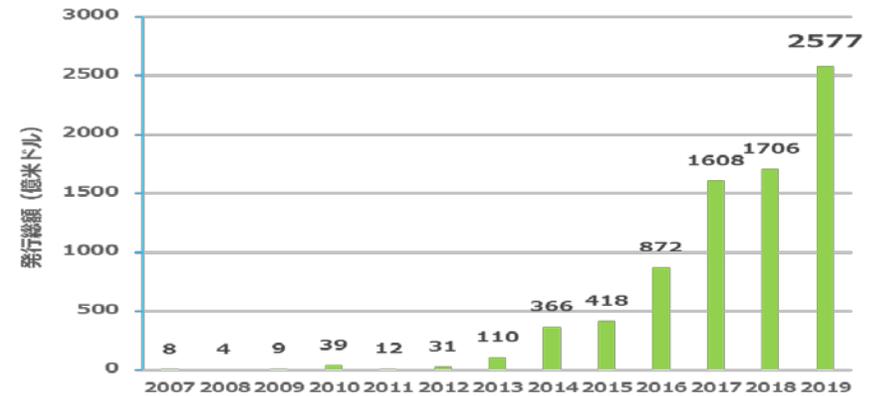
- ESG投資の世界全体の総額は、2018年には、30.7兆ドルまで拡大。投資市場の約3分の1をESG投資が占める状況。日本は欧州・米国に続く世界第3位のESG投資残高国。
- グリーンボンド発行額も増加傾向にあり、2020年は3,500億米ドルになる推定。

投資市場全体に占めるESG（サステナブル）  
投資額の推移（兆ドル）

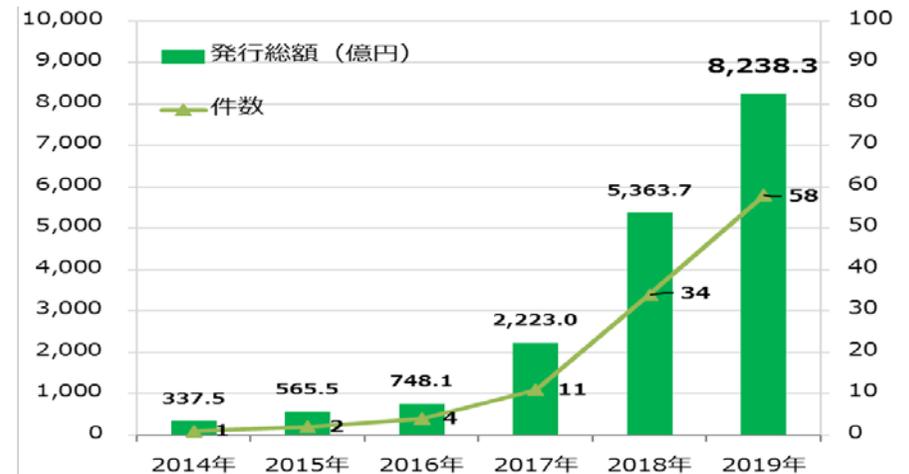


< 出典 > Global Sustainable Investment Review 2016、2018より作成

世界のグリーンボンド発行額の推移



我が国のグリーンボンド発行額・件数の推移



環境省作成

# 産業部門における省エネ・脱炭素の共通的な課題

## 初期投資の大きさ

- 産業用設備は設備コストが非常に高額であり、企業規模によっては経済性が課題

## 製品価格の上昇

- 省エネ・脱炭素技術は既存技術と比べて高額
- 価格低減が進まない場合は、転換により製品価格が上昇

## 設備のロックイン

- 産業用の設備は寿命が長く（20～40年程度）、設備切替の機会が限定的
- 燃料転換においては、設備に加え、周辺の配管等インフラの転換も必要

## 製品・サービスの品質低下リスク

- 製造プロセス・燃料を転換により、従来と同水準の製品・サービス品質を維持することが課題

# 産業部門における省エネ取組の課題と対応の方向性

## 課題

## 方向性

### ① 省エネ機器の技術開発

#### **設備の高効率化に向けた更なる技術開発が課題**

- 産業部門では、エネルギー多消費事業者に対しては省エネ法上の規制等もあり、エネルギー消費原単位の改善は一定程度進展が見られるも、その改善率は低減しつつある。
- また、例えば鉄鋼業においては、世界的に見ても省エネ技術の導入が進展している。
- 更なる省エネにおいては、省エネ技術の開発が課題。

#### **省エネポテンシャルの高い技術の普及拡大に向けた技術開発や機器等の導入支援**

- 省エネに資する技術開発支援や、先進的な技術を活用した省エネ設備・機器の導入拡大を支援
- 中小事業者に対する省エネ診断の実施

### ② 既存技術と比べて高い機器コスト

#### **省エネ機器の実装に向けたコスト負担の課題**

- 産業部門の設備はライフサイクルが長く、入れ替えのタイミングが限定的。また、初期投資額が大きい大型設備等は入替えが進みにくい。
- 老朽設備について、中小企業等では省エネ機器への更新ではなく、既存設備の補修が選択されやすいことが課題。

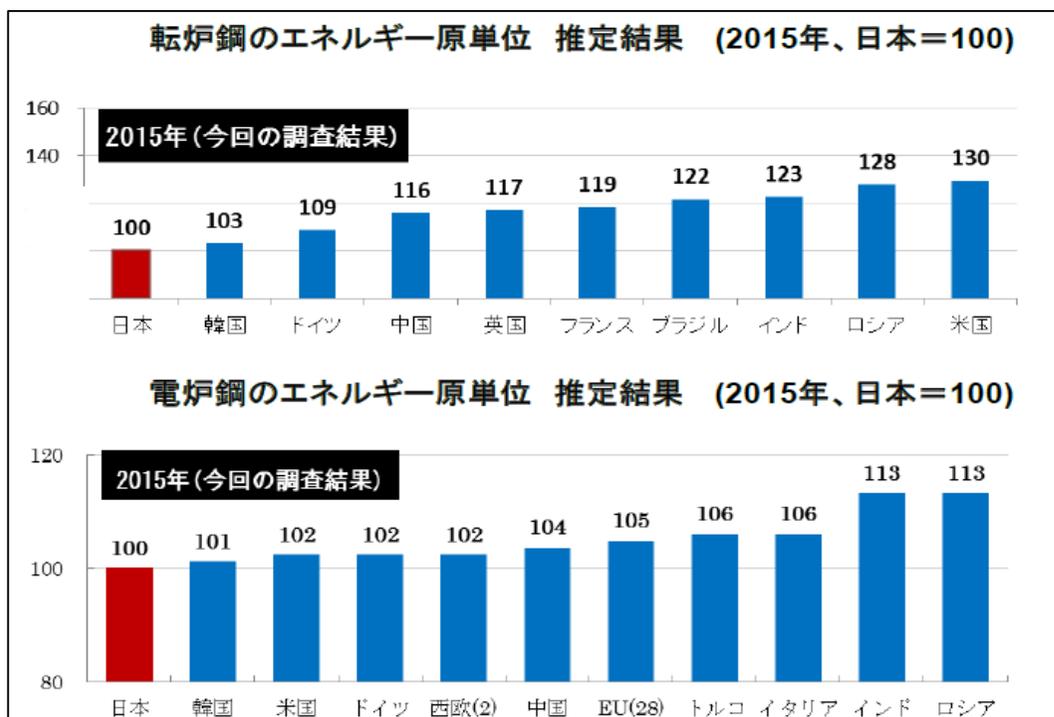
#### **制度的措置の見直し**

- 更なる省エネに向けたベンチマーク制度の指標見直しや対象拡大、省エネ法における執行強化（事業者クラス分け制度、効果的な情報提供）等を通じた制度面からの省エネ促進

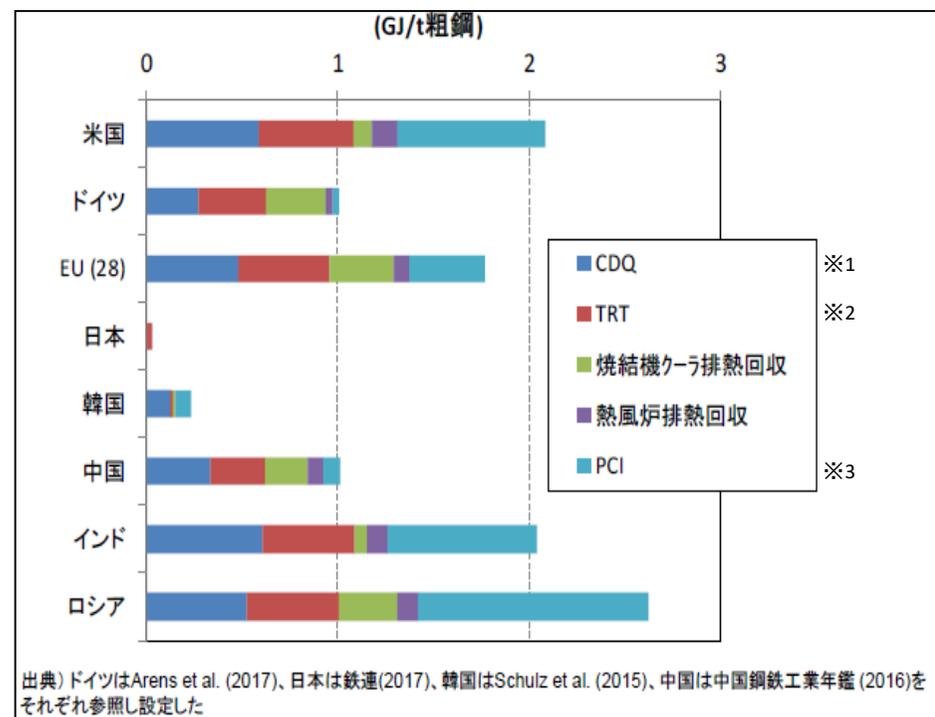
# 【課題①】鉄鋼業における省エネ余地、技術開発

- 鉄鋼業の省エネに関する国際比較では、日本は世界最高水準とする分析あり。
- 主要な省エネ技術の導入状況も世界最高水準であり、省エネ余地が小さくなってきている。更なる省エネに向けては、新たな省エネ技術の開発が必要。

## 鉄鋼業におけるエネルギー効率の国際比較 (2018年 RITE)



## B A T 導入余地 (鉄鋼業)



出典：公益財団法人地球環境産業技術研究機構『2015年時点のエネルギー原単位の推計』

※1 コークス炉乾式消火設備。赤熱コークスをガスで冷却し、熱エネルギーを回収して発電などに有効活用する設備。

※2 高炉炉頂圧発電設備。高炉排ガスの圧力エネルギーでタービン発電機を回して発電する設備。

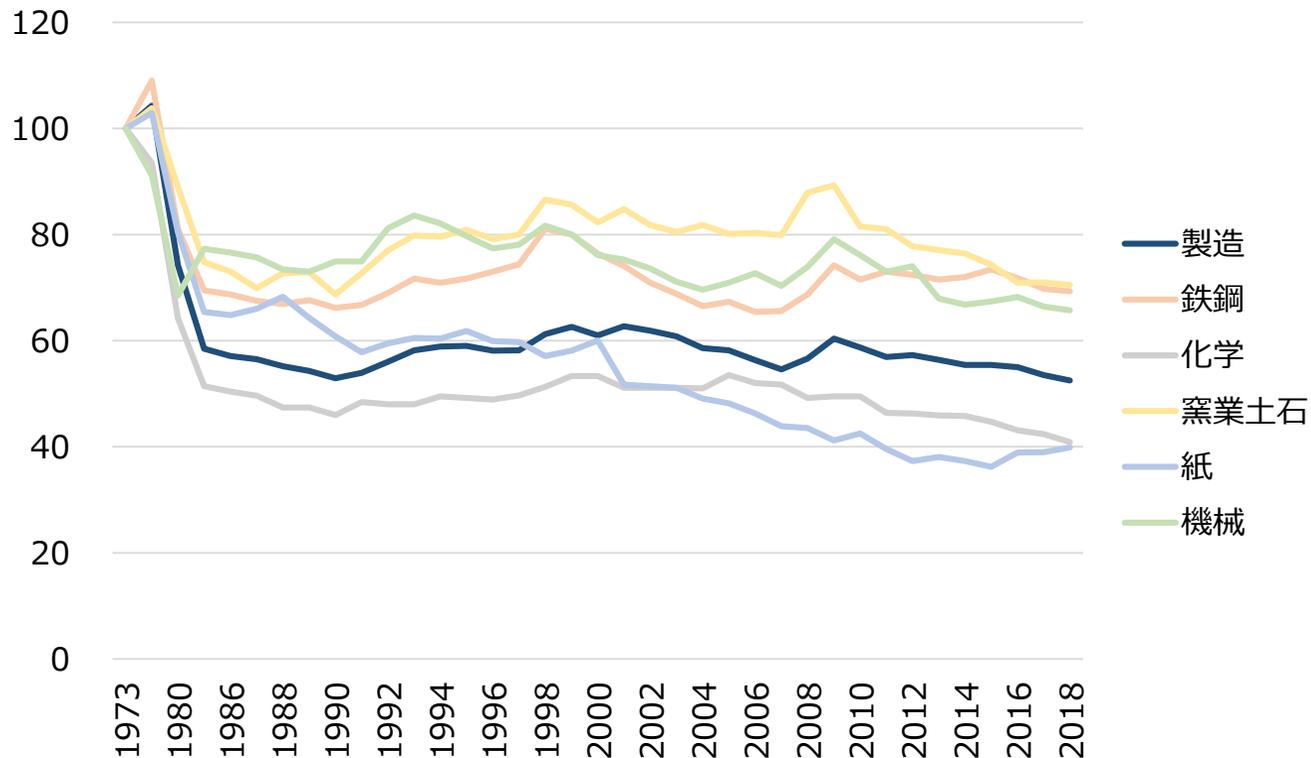
※3 高炉用微粉炭吹込装置。高価なコークスの代わりに、安価な石炭を高炉に直接吹き込むことで、生産コスト低減とコークス炉の延命対策を目的とした装置

## (参考) 産業部門における省エネ余地

- これまでの取り組みを通じて、日本は世界最高レベルの省エネを達成。他方で、直近のエネルギー消費原単位の改善は鈍化。
- 京都議定書や省エネ法改正に伴い、2000年以降は改善傾向だが、鉄鋼等一部業種では省エネ余地が少なく、原単位の推移は横ばい。

### 産業部門のエネルギー消費原単位推移

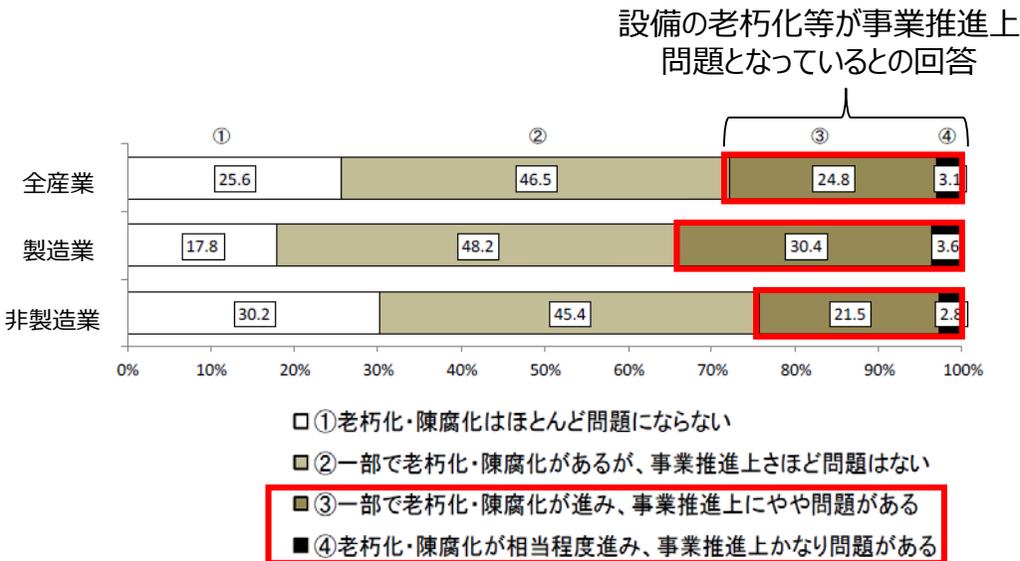
(原単位指数) (1973年度=100)



## 【課題②】中小企業等における設備の入替えに向けた課題

- 中小企業へのアンケートによると、エネルギーコスト高の影響等により、中小企業のうち、3割の事業者で現存設備の老朽化が進み、事業推進上の課題になっている。また、非製造業と比較して、製造業で設備の老朽化が深刻であるとの傾向が出ている。
- 老朽化の現状に対しては、イニシャルコストの負担が大きい設備の更新よりも、改修・補修により事業を継続する意向が強い。

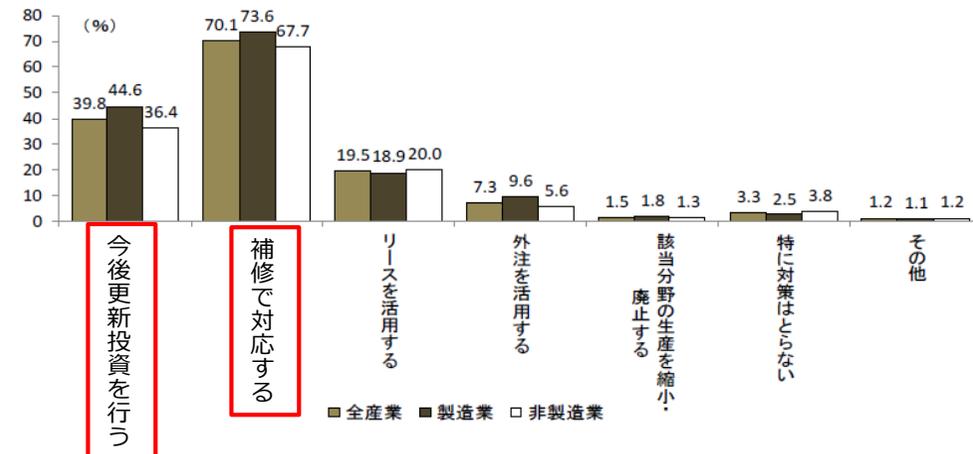
### 現存設備の老朽化等の状況についての自己評価



N=全産業4,188、製造業1,563、非製造業2,625

(注)設備は建物及び機械等

### 老朽化等への対応



N=全産業3,101、製造業1,275、非製造業1,826

(注)図表1-1-1で現存設備の自己評価が「老朽化・陳腐化はほとんど問題にならない」以外を回答した先(老朽化・陳腐化への対応に関するものは全て同様)

# 産業部門のエネルギー転換・製造プロセスの転換に向けた課題と対応の方向性

		課題	方向性
① 熱・燃料 における 燃料転換	①-1 電化	<b>経済性（設備の初期コスト、周辺設備）、技術・物理的ポテンシャル、現行制度上の評価</b> ▶ 導入が進む業種・熱需要も存在する一方で、受変電設備など周辺設備も含めたトータルコストでの競争力や、大規模な熱需要業種においては設備規模が非常に大きくなる、燃料転換を評価する制度が存在しないなどの課題。	▶ 技術開発によるコスト低減等を実現し、普及の進みづらい業種への導入を目指す
	①-2 水素・アンモニア	<b>インフラ整備が既存インフラと比して高コスト、アンモニアは技術課題への対応</b> ▶ 水素は既にボイラー・バーナーが一部実用化されているが、既存燃料との燃焼特性の違いから全ての熱需要代替には更なる技術開発が必要、また輸送も含めたコストに課題。 ▶ アンモニアは実用化に向けては、火災性能の向上（燃焼時の火炎温度が低い）、大型化をした際のNOx制御、アンモニアの完全燃焼等が課題。	▶ 水素は、フレート、配送のコスト低下の取り組みを進める* ▶ アンモニアは、技術開発により火災性能の向上や設備の大型化、調達サプライチェーンの構築や供給コスト低減を目指す*
	①-3 CR燃料 (メタネーション・プロパネーション)	<b>メタネーション・プロパネーションのいずれについても、コストや供給量実用化に向けた技術的な課題</b> ▶ メタネーションについては、設備の大型化が課題。 ▶ プロパネーションは、未開発の技術であり、合成効率の高い触媒の開発が必要。 ▶ いずれの技術も、事業化には安価な水素の調達を要する。 ▶ また、最終的にカーボンニュートラルにするにはDACなどを含めた検討が必要。	▶ 社会実装に向けた技術開発支援 ▶ CR燃料の海外サプライチェーンの構築に向けた取り組みの推進
	①-4 バイオマス	<b>燃料コストが既存の燃料と比べて高額</b> ▶ バイオマスを効率よく回収する仕組みの創設、調達コストの低減が課題。	▶ 燃料コスト低減に向けた取り組みの推進
② 製造プロセス の転換	②-1 水素還元製鉄	<b>技術開発（水素還元に必要な熱の供給）</b> ▶ 反応と同時に熱を発生するコークス（石炭）と異なり、還元及び溶解に必要な温度（1,500度以上）を安全に補う必要あり。 <b>安価かつ大量の水素供給</b> ▶ 現在と同等の競争力のある製造コストを実現するためには、水素価格が8円/Nm3程度になる必要がある。また、足下と同量を製造した場合、約700万tの水素を消費。	▶ 世界に先駆けて水素還元技術を確立、導入促進を行う * グリーン成長戦略「実行計画」③水素産業
	②-2 人工光合成	<b>技術開発（触媒技術）、コスト</b> ▶ 水を水素と酸素に分解する触媒、CO2と水素から化成品原料を製造する触媒の能力向上が課題。既存製品と比べて高コスト。	▶ 変換効率の高い光触媒を開発、製造コストの低減を目指す ▶ 開発加速のため、関連規制の緩和を検討、保安・安全基準を制定 * グリーン成長戦略「実行計画」④カーボンサイクル産業
	②-3 CO2吸収型 コンクリート	<b>コンクリート製品としての技術開発、用途の拡大</b> ▶ 鉄筋用での利用を可能にするため、防錆性能の開発が必要。また、既存製品と比べて高コスト。	▶ 需要拡大を通じた低コスト化 ▶ 研究開発により、様々な用途へと利用拡大 * グリーン成長戦略「実行計画」④カーボンサイクル産業

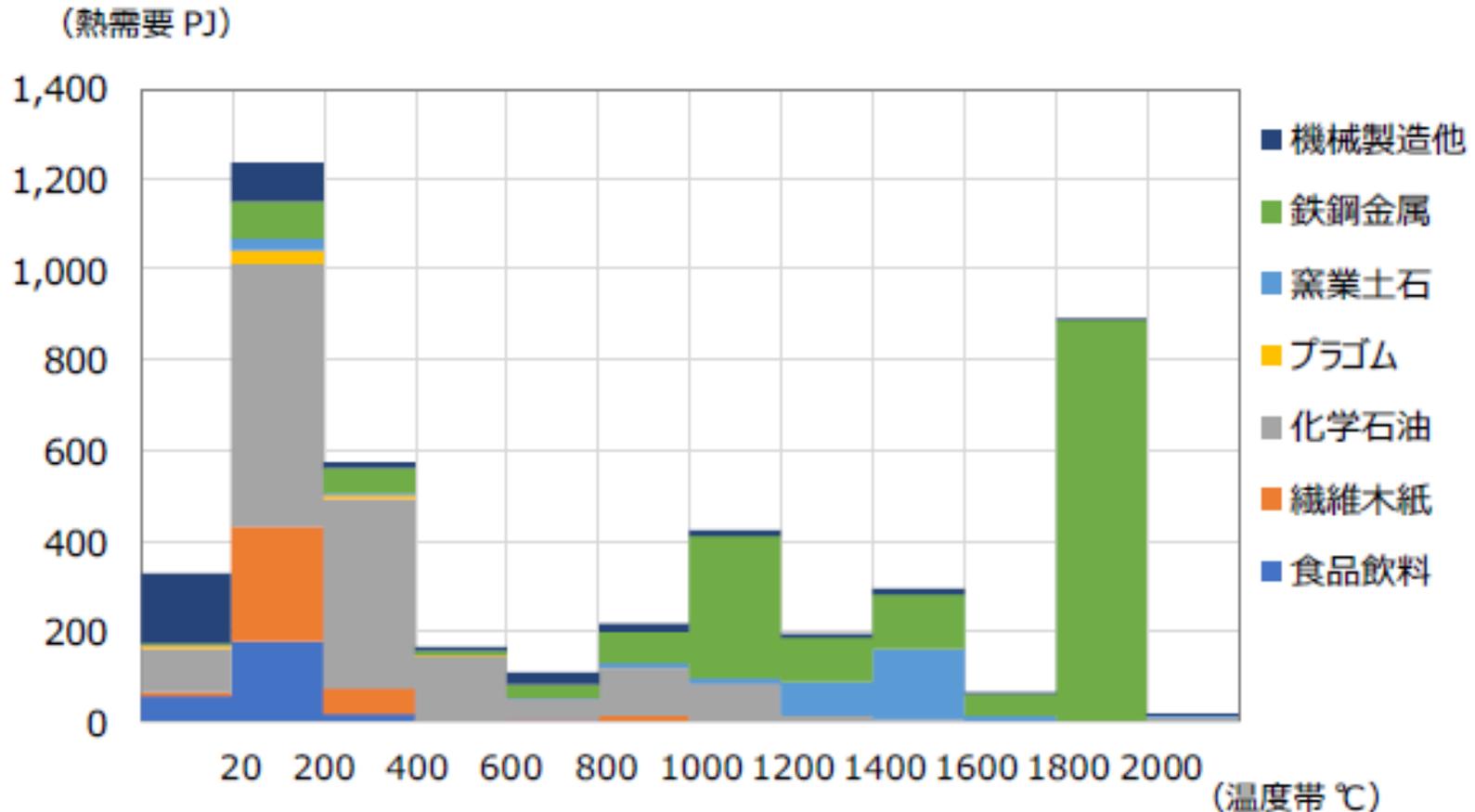
(注) これらの課題以外にも、今後検討を深める中で生じる様々な課題について対応策を検討する必要がある。

\*グリーン成長戦略「実行計画」②燃料アンモニア産業、③水素産業

# 【課題①】産業部門の熱需要

- 産業部門の熱需要は低温帯から高温帯まで多岐にわたる。
- 例えば、鉄鋼業のような高温帯が必要な業種における熱需要は、電気では経済的・熱量的にも供給することが難しい。化学分野は幅広い温度帯を活用しているが、石油化学のように高温帯を扱う分野では既存の大型設備で適用できる電化設備は存在しない。

## 産業部門の業種別・温度帯別の熱需要 イメージ



# 【課題①-1】電化に係る現状、課題

**低温度帯**  
**(主に蒸気、温水)**  
温度帯：50~200℃

**高温帯**  
**(主に直接加熱)**  
温度帯：200~2,000℃

技術

主な既存技術  
ボイラー (重油等)

主な電化技術  
ヒートポンプ<sup>o</sup>給湯器  
電熱線ボイラー

主な既存技術  
バーナー、燃焼炉  
(重油等)

主な電化技術  
電気炉

現状

- 産業用のヒートポンプは毎年導入が進んでおり、累積で13.8万kW\*が導入されている。
- 他方、普及スピードは伸びておらず、**産業用加温機器市場の大半はボイラーが占める。**
- また、業界団体の調査によると、産業用ヒートポンプ導入事例の大半はボイラーと併設されており、ヒートポンプとボイラー (重油等) の強み・弱みを活かした形での導入が主流。
- また、例えば、製紙業では乾燥工程に熱を使用するが、熱が均一に行き渡るかという技術的な課題や経済合理性の観点から、電熱装置は導入されていない。

- 電炉は様々な加熱方式 (誘導加熱、マイクロ波加熱、赤外線加熱など) が存在し、幅広い温度帯や製造プロセスに対応が可能。
- 業界団体の統計\*によると、工業炉の売上に占める電炉の割合は過半数を超えており\*\*、**既に一定程度の普及が進む。**
- 他方、例えば石油化学においては、ナフサ分解でも使用できるような大型の電化装置は技術的にも未確立であり、導入されていない。

\* 産業用ヒートポンプの累積導入容量は地球温暖化対策計画の進捗状況 (2018)、工業炉の統計は日本工業炉協会「工業炉統計」

\*\* 海外における売上も含む点、及び燃焼炉と電炉は価格が異なるため、売上に占める割合と普及台数、普及能力の割合は異なる点に留意

# 【課題①-1】電化に係る現状、課題

## 低温度帯 (主に蒸気、温水)

温度帯：50~200℃

(主にヒートポンプ技術について)

### 低温熱の需要は転換可能、 高温熱は技術未確立

大規模なエネルギー需要業種は供給量の点で制約あり

## 高温帯 (主に直接加熱)

温度帯：200~2,000℃

(主に電炉技術について)

### いずれの温度帯にも対応する技術が存在

他方、業種や需要規模など様々なケースがあり、  
製造工程の転換が必要となるケースも存在

## 技術的 ポテンシャル

## 課題

### 経済性

- 機器コストに加え、大型な設備については大規模な受変電設備等が必要
- 電気代が化石燃料と比べて高価、ランニング費用も高額

### 熱の供給量

- 機器の大型化に課題があり、1台が供給できる熱の量は限定的
- 需要規模が大きい場合は、複数台設置が必要

### 構造転換

- 熱の与え方が電気では困難な場合もあり、品質にも影響
- 製造プロセスで発生する副生物の処理との関係もあり、原料の転換と合わせて検討する必要

### 省エネ法上の 非化石の評価

- 省エネ法においては化石エネルギー使用量の削減が求められるため、増エネとなる電化は評価されず、エネルギー転換が促進されない
- なお、電化を促す上では省エネ法における電気の評価も影響する

# 【課題①-1】電化の経済性（ケース例）

- 低温熱の需要は電気に転換可能であるが、電化と化石燃料のどちらが経済的かはケースバイケースであり、化石燃料を採用することも多い。
- 例えば、製品等を乾燥処理する乾燥炉は、同じ条件で急速にエネルギーを得られるガス式の方が電気式に比べランニングコストは安い傾向にある。また、大規模工場、食品やクリーニング等の中小規模工場等でも使われる蒸気ボイラも同様にガス式の方が電気式に比べランニングコストは安い傾向にある。

## 事例1 乾燥炉

### ■ 試算条件 A社製金庫形熱風乾燥炉

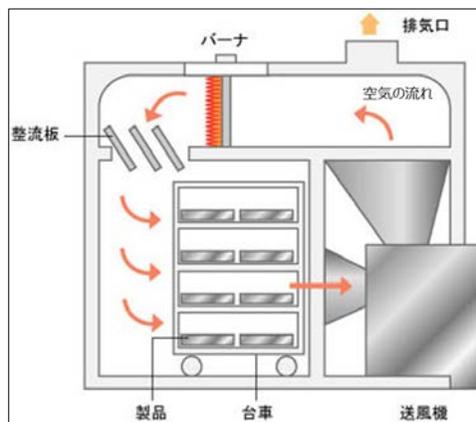
電気式：炉内容量8m<sup>3</sup>/最大使用温度200℃×5台  
 ガス式：炉内容量8m<sup>3</sup>/最大使用温度200℃ ×5台  
 乾燥時間40分×5回/日、30日/月稼働

### ■ ランニングコスト比較

	電気式	ガス式
年間合計料金	<b>4.9</b> 百万円/年	<b>1.4</b> 百万円/年
(内訳)年間基本料金	2.0 百万円/年	0.4 百万円/年
(内訳)年間従量料金	2.9 百万円/年	1.1 百万円/年

### ■ 乾燥炉(箱型)のイメージ図

※ ガス式と電気式を同様のサイズ・条件で稼働させた場合、両者の効率に大きな差はない。



出典：東邦ガス株式会社

## 事例2 蒸気ボイラ

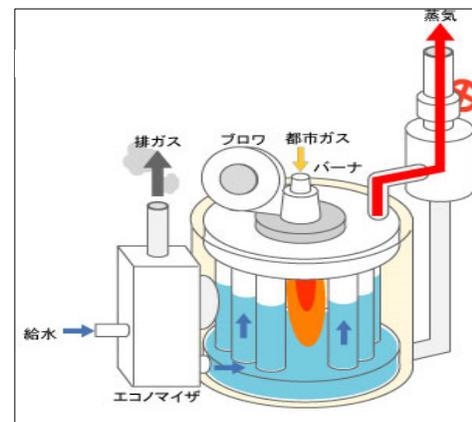
### ■ 試算条件

電気式：B社製 電気ヒートポンプ式蒸気ボイラ 0.5t/h×1台（蒸気温度120℃まで）  
 ガス式：C社製 ガス蒸気ボイラ 0.5t/h ×1台（蒸気温度179℃まで）  
 最大能力に換算した稼働時間：6時間/日、20日/月

### ■ ランニングコスト比較

	電気式	ガス式
年間合計料金	<b>3.2</b> 百万円/年	<b>2.2</b> 百万円/年
(内訳)年間基本料金	1.4 百万円/年	0.4 百万円/年
(内訳)年間従量料金	1.8 百万円/年	1.9 百万円/年

### ■ ガス蒸気ボイラのイメージ図



出典：東邦ガス株式会社

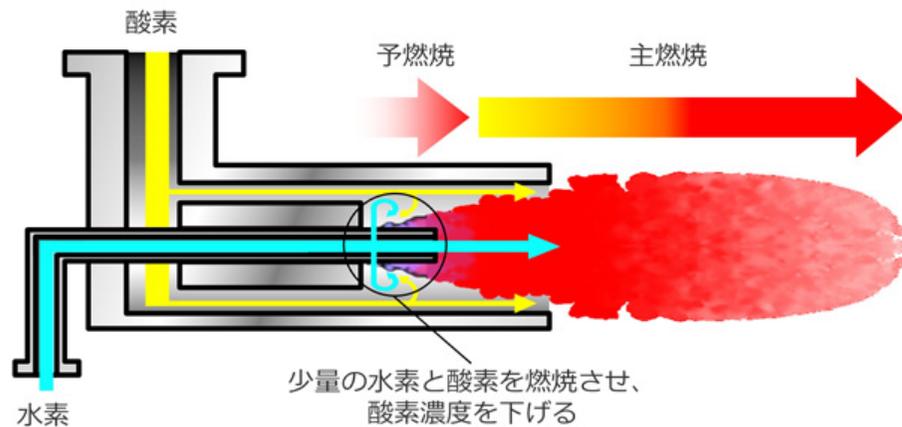
出典：事業者へのヒアリングに基づき試算条件、製品価格・燃料価格等を設定

※電気料金には賦課金を考慮せずに計算。※ガス式の電気料金は小さいため未考慮 ※東京電力エナジーパートナーの高圧A契約(500kW未満)と東京ガス業務用季節別契約を適用。 ※力率100%想定で電気の力率割引を15%適用。 ※計算時には2021年1月利用分の燃料調整費-5.02円/kWh、原料調整費-21.75円/m<sup>3</sup> (検針月ずれ考慮)を適用。

# 【課題①-2】産業部門の水素化に係る現状、課題

- 熱需要を化石燃料から水素で代替することは、脱炭素化にとって重要であるが、水素は燃焼速度が速く、燃焼温度がメタンよりも高いが故に急速燃焼によりNOxが発生するといった課題があった。
- こうした課題はバーナー構造の改善等により、克服されつつあるが、都市ガスと同等のコストを実現するには、機械的な試算によると、末端における水素供給コストを約16.6円/Nm<sup>3</sup>にする必要があり、国内配送コストなども踏まえると大きな課題。

## トヨタ自動車が開発した汎用水素バーナー



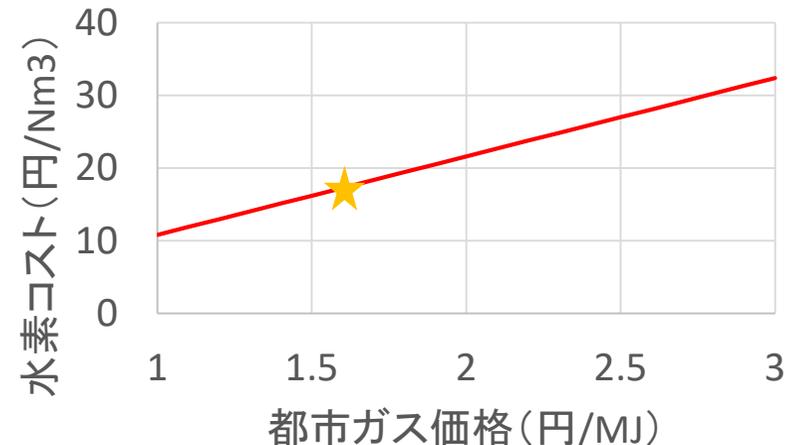
- 中外炉工業の協力を得て、水素と酸素が完全に混合することを防ぐ構造を持つ汎用バーナーを開発。
- これにより急速燃焼を抑え、燃焼位置を適正に保ちつつ、NOx排出量も低減させることが可能

## パリティコスト試算（都市ガスの置換）

(試算条件)

- 都市ガスコスト：1.54円/MJ\*
- 水素の体積・熱量換算：10.8MJ/Nm<sup>3</sup>
- 新規設備コストを含まない
- 熱量等価

→ **試算結果：16.6円/Nm<sup>3</sup>**



\*エネルギー・経済統計要覧 2017(日本エネルギー経済研究所)  
過去5年間(2014~2018年)の実績値を使用

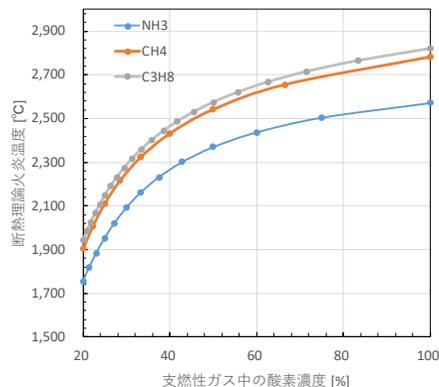
# 【課題①-2】アンモニアの混焼・専焼技術の現状、課題

- 2014～2018年度に実施された内閣府SIPプロジェクトにおいて、アンモニアを燃料とした燃焼技術を開発し、工業炉等での実用化のための装置開発を行うとともに実証試験を行った。
- 実用化に向けては、火炎性能の向上、NO<sub>x</sub>抑制、アンモニアの完全燃焼(アンモニアを残さない)等に関する技術の確立が必要。
- このため、数百kW級の燃焼技術開発を行い、炉のユーザー企業も巻き込んで、技術の検証を行う。

## 課題

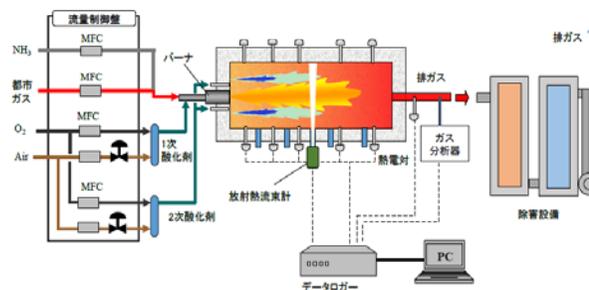
### 火炎性能の向上

- アンモニアは燃焼時にCO<sub>2</sub>を排出しないことから、燃焼時に煤が発生しないため、輻射伝熱が期待できない。そのため、既存の化石系燃料の置き換えには、火炎温度の高温化技術の確立が必要。
- 酸素富化燃焼による火炎温度の向上・安定化を目指す。



### NO<sub>x</sub>の抑制

- アンモニアは窒素が含まれるため、燃焼時にNO<sub>x</sub>の生成されることが課題。
- 特に酸素燃焼との組み合わせにおいては、火炎が高温になるためNO<sub>x</sub>が生成し易い状態となるため、NO<sub>x</sub>排出を低減する技術開発を行う。



出典：SIP終了報告書  
(エネルギーキャリア アンモニア直接燃焼 太陽日酸株式会社)

### アンモニアの完全燃焼

- アンモニアは、現状の工業炉で利用されている天然ガスやLPGといった気体燃料と比較して、燃焼速度が小さく燃焼性が悪い。
- 従って、従来の気体燃料用バーナーの設計では、完全に燃焼できない可能性がある。そこで、アンモニアを燃焼する為に最適なバーナーの開発を行う。

燃料種	アンモニア NH <sub>3</sub>	メタン CH <sub>4</sub>	プロパン C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
大気圧における沸点 (°C)	-33.3	-161.6	-42.1
低発熱量 (MJ/kg)	18.6	50.2	46.6
可燃当量比範囲 (-)	0.63-1.40	0.50-1.69	0.51-2.51
最大燃焼速度 (m/sec)	0.09	0.37	0.43
最低自着火温度 (°C)	651	537	432
最高断熱火炎温度 (°C)	1750	1970	2020

# 【課題①-3】メタネーションの課題・意義

- メタネーションにより合成されるメタン(カーボンリサイクルメタン/カーボンニュートラルメタン)は、都市ガス導管等の既存インフラ・既存設備を有効活用できる等、水素によるガス・熱の脱炭素化(カーボンニュートラルガス)の担い手として大きなポテンシャルを有する。
- 実用化に向けたメタネーション設備の大型化や水素供給コストの低減等の課題への対応が必要。また、CO2吸収量・排出量のカウントについてはカーボンニュートラルに資する方向での留意・検討が必要。

## メタネーションの意義

- メタネーションは水素とCO2からメタンを合成する技術。  
3Eの観点から大きな意義がある。

### 環境適合 (Environment)

- ✓ カーボンリサイクルしたメタンを都市ガス等として供給することにより脱炭素化を図る

### 経済効率 (Economic Efficiency)

- ✓ 既存インフラ・既存設備の活用による投資コストの抑制

### 安定供給 (Energy Security)

- ✓ 電力以外のエネルギー供給の確保
- ✓ 高い強靭性を有する既存インフラ等を活用可能

## メタネーションの課題

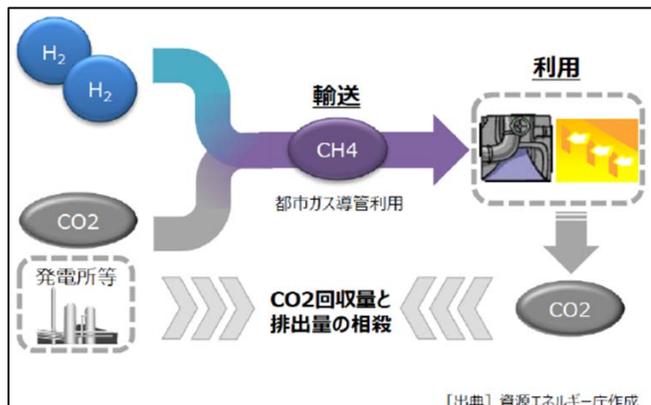
- 以下の技術的課題について、実用化に向けた対応が必要。

- ✓ メタネーション設備の大型化
- ✓ 反応時に発生する熱の有効利用
- ✓ 耐久性の高い触媒開発
- ✓ 更なるイノベーション

現在開発・実証が進められているメタネーション(サバティエ反応)に比べ、エネルギー変換効率が高く(約60%→約85%)、水とCO2からメタンを合成する(水素への変換を必要としない)将来技術(共電解)について基礎研究が進められている。

- 例えば以下のような場合など、CO2吸収量・排出量のカウントについてはカーボンニュートラルに資する方向での留意・検討が必要。

- ✓ 海外においてCO2フリー水素とCO2を合成したカーボンニュートラルメタンを国内で利用した場合
- ✓ 国内の火力発電所から排出されるCO2を用いて合成したカーボンニュートラルメタンを国内で利用した場合



## 【課題①-3】プロパネーションの課題と現状

- 昨年11月に産業界が中心となり、産業技術総合研究所も参加し、プロパネーションやバイオLPGガスをはじめとする新たなイノベーションの検討が開始。
- プロパネーションの技術は、メタネーション同様に触媒を用いて水素と二酸化炭素を合成し、プロパンガスを精製するもの。
- 一方で、プロパン ( $C_3H_8$ ) はメタン ( $CH_4$ ) に比して炭素の数が多く分子式が複雑なため、プロパンのみを高効率で合成することが困難であり、副生物の生成の抑制等が課題。

### <プロパネーションの課題>

- 実用化に向け、以下の技術的課題の解決が必要。
  - ✓ 副生物の生成を抑制する高効率触媒の開発
  - ✓ 耐久性の高い触媒開発
  - ✓ 安価な水素やゼロエミ電力の確保

### プロパネーションの生産技術イメージ



ガス化・ガス精製



ガス精製・圧縮



触媒反応

(出典：(独) 産業技術総合研究所)

## 【課題②-1】プロセス転換に係る課題（水素還元製鉄）

- 炭素（木炭や石炭）を鉄鉱石の還元に用いる技術は古来より不変の製鉄のあり方。  
現行の高炉法では、コークス（石炭）を用いて還元する過程で、不可避免的にCO<sub>2</sub>が発生。
- カーボンニュートラル実現に向け、鉄鉱石の還元に炭素ではなく水素を用いる水素還元製鉄は、史上初のチャレンジ。  
※現在、高炉にてコークスの代わりに一部水素を活用して鉄鉱石を還元することで、CO<sub>2</sub>を10%（加えてCO<sub>2</sub>の分離回収で20%）削減するCOURSE50プロジェクトを実施中。試験高炉で一部実績は出ており、今後水素還元の比率を高める方針。
- 水素による還元反応は熱を吸収（吸熱反応）し、高炉が冷えてしまうため、連続的に還元するのに必要な熱をどう補填するか（コークスの場合は自ら発熱）、  
また、コークスが減ることで反応に必要な炉内の隙間をどう作るのかなど、技術面のハードルは高い。
- 技術が確立できた場合でも、多額の設備導入費用が必要になることに加え、現在と同等の競争力及び生産量を維持するには安価（約8円/Nm<sup>3</sup>）かつ大量（約700万トン）の水素供給が不可欠。

### <鉄鉱石の還元反応>

#### ①既存技術：炭素（コークス）の利用（発熱反応）



#### ②革新技术：水素の利用（吸熱反応）



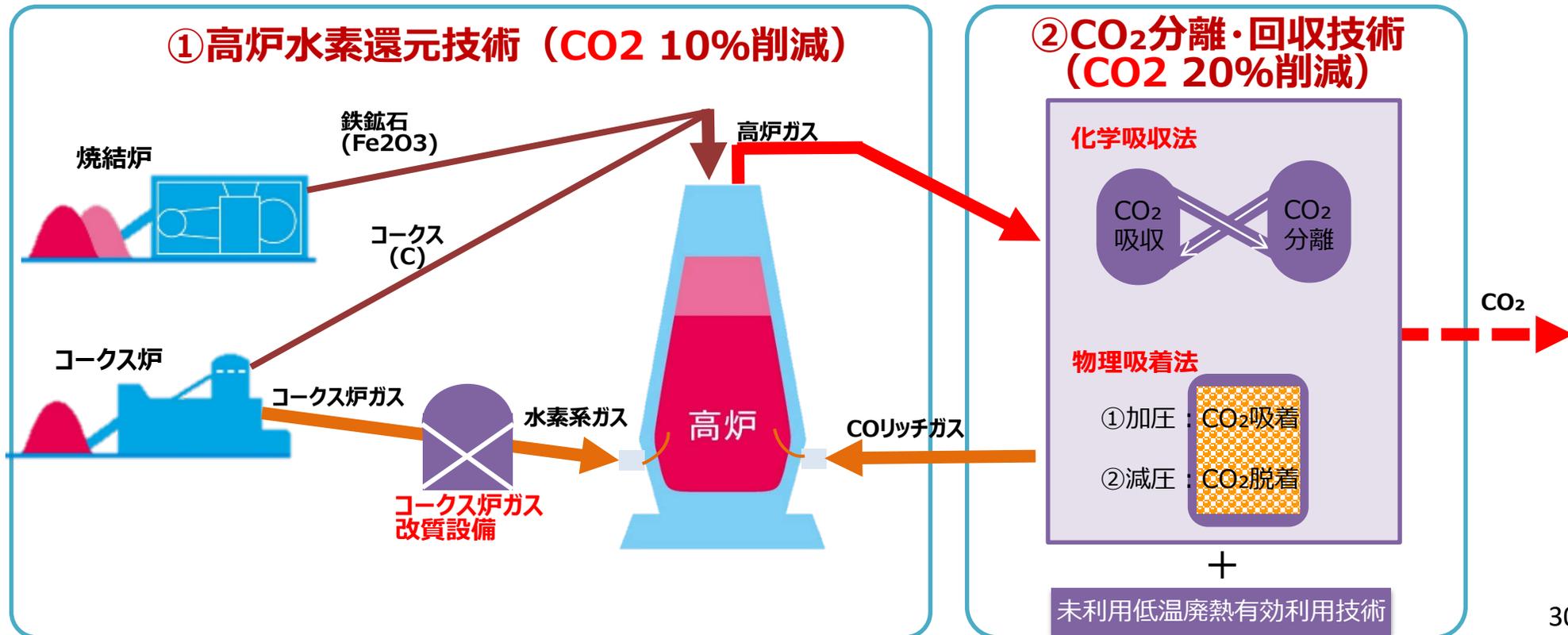
・高炉にてコークス（石炭）の代わりに一部水素を活用して鉄鉱石を還元する革新技术の研究開発（COURSE50）を実施中  
→ 試験高炉では、水素還元により10%以上のCO<sub>2</sub>削減を達成

※欧州を拠点とするアルセロール・ミタル社も、一定の前提条件付きで、製造コストは+50%～80%と試算しつつ、水素還元製鉄等により、2050年までにカーボンニュートラル実現の野心を掲げている。

# (参考) COURSE50 (CO2 Ultimate Reduction System for Cool Earth 50) の概要

- 日本製鉄、JFEスチール、神戸製鋼所等が参加し、製鉄所から発生するCO<sub>2</sub>の約30%を削減可能とする革新的な低炭素製鉄プロセス技術の確立を目指す。
- 酸化鉄を還元するために用いるコークスの一部代替として、①水素を活用した鉄鉱石の還元技術(高炉水素還元技術)、CO<sub>2</sub>を多量に含む高炉ガスからCO<sub>2</sub>を分離するため、製鉄所内の未利用廃熱を利用した②CO<sub>2</sub>分離・回収技術の開発を実施中。
- 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」※1や「革新的環境イノベーション戦略」※2にも位置付けられており、2030年頃までに1号機の実用化、段階的な普及を目指す。

(※1) 令和元年6月閣議決定 (※2) 令和2年1月統合イノベーション戦略推進会議決定

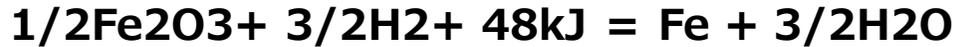


# (参考) 水素の潜在需要量・パリティコスト試算例

- 鉄鋼分野は電化による脱炭素化が困難であるが、水素が還元剤として更に利用されることで、同分野の脱炭素化へ貢献することが期待されている。
- しかし、水素還元製鉄は技術的にまだ未確立。加えて、膨大な量の水素を必要とし、環境価値を考慮しない場合、コークスを同じコストで代替するには非常に安価な水素が必要。

## 潜在需要量試算(100%水素還元製鉄時)

(反応式)



銑鉄 1トン 製造に必要な水素量

還元：601Nm<sup>3</sup> + 吸熱反応補完：67Nm<sup>3</sup> +  
1600℃までの溶銑昇熱：85Nm<sup>3</sup>

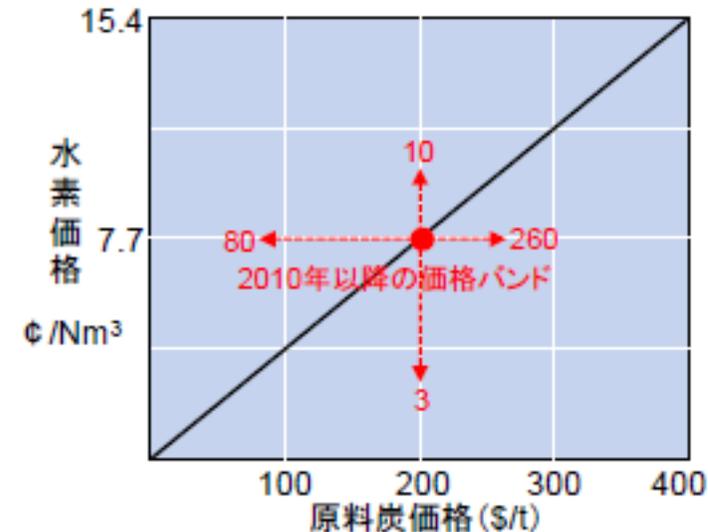
= 753Nm<sup>3</sup> (理論値) ⇒ 効率 75% と仮定すると約**1000Nm<sup>3</sup>/トン**

- 日本の銑鉄生産量：8000万トン
- 必要水素量：**約800億Nm<sup>3</sup>(約700万トン)**

## パリティコスト試算 (原料炭の置換)

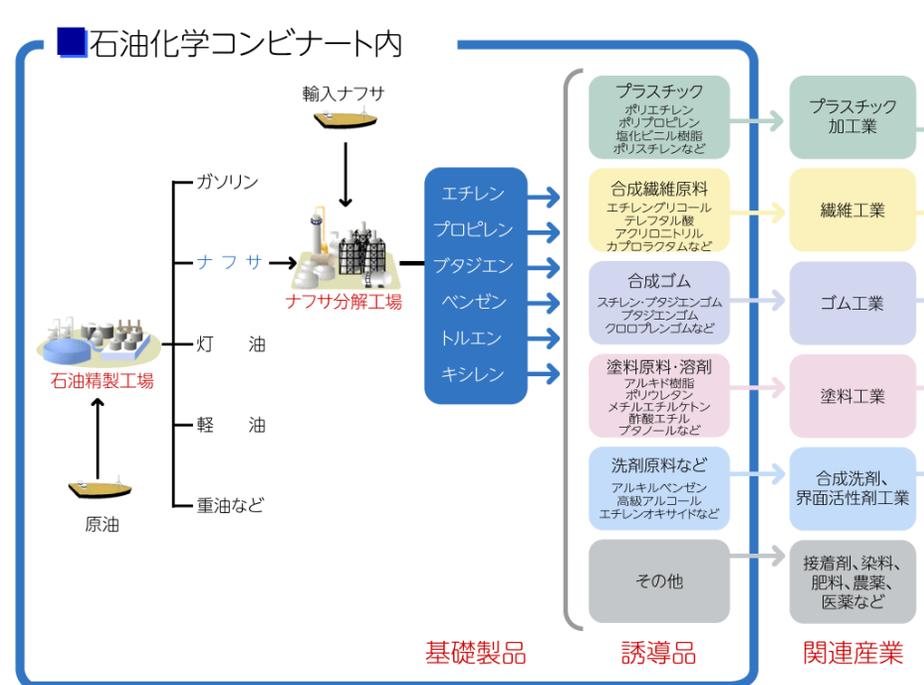
(試算条件)

- 原料炭価格：200\$/トン
  - 1トンの銑鉄製造時の利用量：0.7トン
  - 原料炭の還元機能で消費される分のみ考慮 (55%)
  - 新規設備コストを含まない
- **試算結果：7.7 ¢ /Nm<sup>3</sup> (=約8円/Nm<sup>3</sup>)**



## 【課題②-2】プロセス転換に係る課題（石油化学）

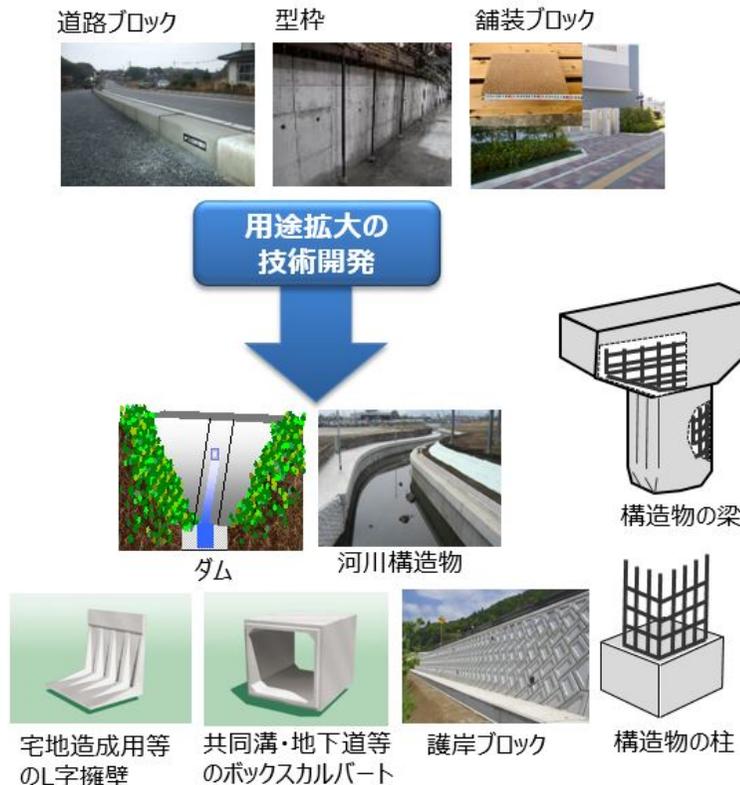
- 有機化学製品は、原料としての炭素源が不可欠。現状、国内ではナフサを活用した石油化学が主流。
- 石油化学は、ナフサを800℃の高温で熱分解することで様々な派生品を生産。その際、**オフガス（炭化水素）**が不可避免的に発生し、**現状、これを分解炉の熱源として再利用。**
- 石油化学の脱炭素化にむけては、**原料・燃料双方の観点から製造プロセスを見直す必要がある。世界的にも技術は未確立。**
- 現在、**国内で人工光合成の技術開発が進められているが、コストや生産性の向上に課題があり、社会実装に向けては、多額の設備導入費用が必要なことも踏まえ、段階的な新技術（MTO等）の導入も含めた検討が必要。** \* MTO=Methanol To Olefin：メタノールからプラスチック原料を製造する技術



## 【課題②-3】プロセス転換に係る課題（コンクリート製品等）

- セメントの主原料である生石灰（CaO）は、石灰石（CaCO<sub>3</sub>）の脱炭酸反応により得るのが一般的であり、石灰石が国内で豊富に産出されることから、こうした製造方法が最も合理的だが、現行の製造方法ではCO<sub>2</sub>が発生。
- コンクリートの主原料であるセメントの一部をCO<sub>2</sub>を吸収しながら固まる特殊な混和材に代替する手法（SUICOM等）が確立。これにより、①セメント使用量の削減によるCO<sub>2</sub>排出量の削減に加え、②コンクリート内に吸収した分のCO<sub>2</sub>量を削減。
- ただし、CO<sub>2</sub>を吸収させることでコンクリートが酸化しやすくなり、鉄筋を組み合わせた場合には錆びやすくなるため、鉄筋構造物への使用は現時点で不可。

### ◆ 用途例



### ◆ 課題

現行製品の用途は（鉄筋を使わない）道路・舗装ブロックに限定。更なるポテンシャル拡大には、用途拡大のための研究開発が必要。

# **1. カーボンニュートラルに向けた非電力部門の検討**

- a. 産業部門
- b. 民生部門**
- c. 運輸部門
- d. 炭素除去技術

## **2. シナリオ分析**

## 御議論いただきたいこと③

- 民生部門（家庭・業務部門）のカーボンニュートラルに向けては、**住宅・建築物そのものの省エネやエネルギー転換による脱炭素化に向けた取組、データ駆動型社会におけるエネルギー利用の効率化などの取組**が重要。

### 【省エネ】

- 住宅・建築物そのものの省エネ性能を高めるため、**断熱性能の向上など建材の機能強化**を進め、また、住宅・建築物で使用する、エアコンや給湯器などの**エネルギー消費機器の効率向上を進める**ことが必要。他方で、建材やエネルギー消費機器の**性能向上は、一定のレベルを超えると鈍化し、よりコストがかかる**といった課題もあり、カーボンニュートラルに向けては、**更なる性能向上に向け技術開発**などを進めることが求められる。

### 【エネルギー転換】

- 住宅・建築物で使用されるエネルギーそのものの電化・水素化・カーボンリサイクル燃料の活用などの**エネルギー転換も必要となるが、消費者の受容性や経済性の向上などの課題も存在**。既存インフラの有効活用や災害時・非常時のレジリエンスなども踏まえ、エネルギー転換に向けた道筋を検討していくことが求められる。
- 省エネやエネルギー転換を進めた場合であっても、最終的に排出される温室効果ガスに対しては、DACCSやBECCSなどの炭素除去技術による対応も求められる。

### 【データ駆動型社会における対応】

- 業務部門においては、情報・データの利活用、デジタル化が急速に進展する中、データセンター等による情報処理量は指数関数的に増加。これにより、**データセンターや情報通信インフラの電力消費も増加するとの見通しがある一方で**、情報・データの利活用・デジタル化により、シェアリングエコノミーの進展や人・交通の流れの最適化など、**人や社会の行動変容が生じ、エネルギーの効率的な利用や省CO2化**につながることも期待される。更には、光関連技術と電子技術の融合により、電力消費の大幅な削減が実現できる可能性もある。
- また、こうした新たな経済・社会の流れは、**新しいビジネスモデルの創出につながる可能性**も秘める。
- こうした状況を踏まえて、カーボンニュートラルに向け、
  - ① 民生部門における省エネやエネルギー転換を進める上での課題と対応の方向性
  - ② データ駆動型社会における、エネルギー需要の効率化・省CO2化に向けた課題と対応の方向性等について御議論いただきたい。

# 省エネ・脱炭素に共通する課題 需要セグメントごとの特性

- 民生部門の需要は様々な軸で分類され、それぞれのセグメントの特性によって、経済性以外の要素が技術の選択に影響を与える。
- こうしたセグメントごとの特性を踏まえた、適切な技術選択がなされる必要がある。

	特徴
都市部・地方	<ul style="list-style-type: none"><li>➢ 現状、熱需要を満たす燃料種については都市部では都市ガス、地方ではLPガス・灯油が多く利用されている</li><li>➢ それぞれエネルギーコストが異なるため、燃料転換に際したパリティ価格が異なる</li></ul>
寒冷地・非寒冷地	<ul style="list-style-type: none"><li>➢ 電気技術（ヒートポンプ機器）の効率が寒冷地は低い</li><li>➢ 寒冷地は冬期の熱需要を満たすことが特に重要、豪雪による災害等に備えたエネルギーのレジリエンス確保が重要</li></ul>
戸建・集合/新築・既築	<ul style="list-style-type: none"><li>➢ 既設の建物の燃料転換を図る際、物理的に難易度の高いケースも存在の可能性</li><li>➢ 例えば既築の集合住宅は設備の設置スペースなどに制約があり、燃料転換が困難な可能性</li></ul>
必要なエネルギーの形態	<ul style="list-style-type: none"><li>➢ 大型の施設に関しては熱需要が大規模、面積あたり出力の小さい設備は導入困難</li><li>➢ 飲食業において、特定の熱の形態を要する業種も存在</li></ul>

# 民生部門における省エネ取組の課題と対応の方向性

## 課題

### ①住宅・建築物のネットゼロエネルギー化進展

#### 住宅・建築物の断熱・創エネ性能等が不十分

- ▶ 住宅・建築物の供給側では、中小工務店における省エネ住宅取扱いに係る体制や能力、習熟度向上が課題。
- ▶ 需要側でも、既存住宅・建築物の省エネ性能向上にかかる費用負担、消費者の認知度の低さ、メリットに対する理解度の低さ、大規模マンション等における創エネポテンシャルの制約等が課題。

### ②建材・機器の更なる性能向上と普及

#### 省エネ機器・建材の消費者への訴求・コスト

- ▶ 機器・建材の性能向上が一部頭打ちになってきていることや、リフォーム時に省エネリフォームを行うことでの健康面等でのメリット等が十分認知されず消費者における機器・建材の導入が進んでいないことが課題。
- ▶ 特にリフォームは高額な支出を伴うものであり、コスト面でも課題がある。

### ③デジタル化を通じた省エネ

#### デジタル化による効率的なエネルギー利用

- ▶ DX（デジタルトランスフォーメーション）を進めることで、効率的なエネルギー利用の実現が可能。また、光電融合デバイス等の新たなフォトニクス技術を活用した低消費電力ネットワークを構想する動向もある。
- ▶ 需要家側のエネルギー利用の最適化に繋がるエネルギーマネジメントシステム等の導入拡大に向けては、電力需給状況に応じた需要家の行動を促すインセンティブ設計が課題。
- ▶ 併せて、EV等の蓄電システムの活用に向け、日中の太陽光発電によって発電された電気の余剰分を蓄電し、別の時間帯で活用できるような取組を促すことが必要。

#### データセンターにおける省エネの進展

- ▶ デジタル化の進展が見込まれる中、データセンターの省エネは必須。
- ▶ 特にデータセンターの電力消費に占めるサーバーの割合は大きく、こうした機器の省エネが課題。

## 方向性

### 新たなZEH・ZEB等ゼロエネ住宅・建築物の創出及び規制活用

- ▶ 省エネ住宅・建築物の普及状況を踏まえつつ、住宅や建築物のエネルギー消費性能に関する基準等の見直しにより、省エネ性能の向上や太陽光発電等の創エネポテンシャルの拡大を図る。
- ▶ 消費者への認知度向上のための広報・メリットのPRも図っていく。 \* グリーン成長戦略「実行計画」②住宅・建築物/次世代型太陽光産業

### 高性能建材・設備の研究開発・実装や、コスト低減に向けた導入支援・制度見直し

- ▶ 実証事業等を通じ、先端的な機器や建材の市場投入を当面進め、官民で連携し、価格低減を図るとともに、性能基準を強化する。
- ▶ 電力料金やガス料金等のコストへの影響も含め、消費者にとって分かりやすい機器・建材の表示制度等を確立する。 \* グリーン成長戦略「実行計画」②住宅・建築物/次世代型太陽光産業

### 技術開発や実証の支援・制度見直し

- ▶ あらゆる産業におけるDXの更なる推進
- ▶ エネルギーマネジメントの導入強化に向けた規格・基準の整備や制度の見直し（省エネ法、インバランス料金制度等）
- ▶ アグリゲータや配電事業などの新たなビジネスを促すための電事法上の関係省令等の整備及び実証支援等、制度的措置等の検討。
- ▶ データセンターの省エネに資する技術開発（半導体、光エレクトロニクス等）を推進

\* グリーン成長戦略「実行計画」⑥半導体・情報通信産業  
②住宅・建築物/次世代型太陽光産業

(注) これらの課題以外にも、今後検討を深める中で生じる様々な課題について対応策を検討する必要がある。

# 【課題①】ZEH・ZEBにおける政府目標の進捗状況

- ZEH・ZEBの導入は進んでいるものの、更なる普及拡大に向けては、一層の取組が必要となっている。

\*ZEH（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）／ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）：

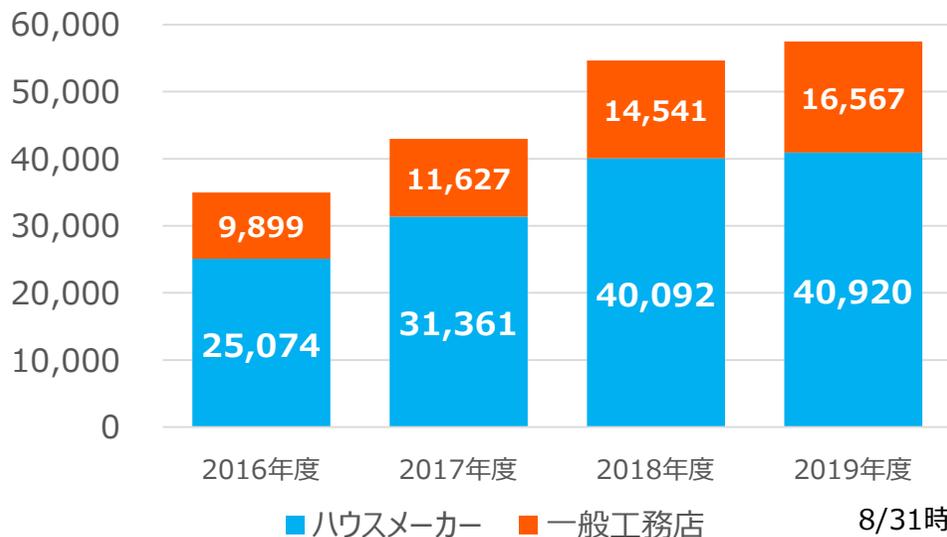
断熱性能の向上・高効率設備導入による省エネ＋再生可能エネルギー導入により、年間のエネルギー消費量の収支をゼロとすることを旨とした住宅／建築物

## ■ ZEH・ZEBの目標と進捗

	進捗	主な課題
ZEH	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2019年度の<b>新築注文戸建住宅（約28万戸）</b>におけるZEH供給戸数実績は<b>5.7万戸※1（20.5%）</b></li> </ul> <small>※1 ZEHビルダー/プランナー5,322社の実績（2020/8/31時点）</small>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ハウスメーカーの更なるZEH供給割合の向上</li> <li>● 中小工務店におけるZEH実績積み上げ</li> </ul>
ZEB	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2020年目標については、下記実績のとおり2019年度時点で<b>概ね達成※2</b>。しかしながら、新築の非住宅建築物の実績は、<b>144棟（0.25%）</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 規模・用途ごとの設計ノウハウの確立</li> </ul>

※2 第5次エネルギー基本計画では、2020年までに新築注文戸建住宅の半数以上のZEH、公共建築物等の用途・規模別8区分でそれぞれ一棟以上のZEB、2030年までに新築住宅・建築物の平均でそれぞれZEH・ZEBの達成を目指すこととしている。

## ■ 新築注文戸建ZEHの供給戸数推移



## ■ 公共建築物等におけるZEB実績状況

	延床面積10,000㎡未満 (Nearly ZEB以上)	延床面積10,000㎡以上 (ZEB Ready以上)
庁舎	Nearly ZEB : 2件	ZEB Ready : 3件
学校	Nearly ZEB : 1件	ZEB Ready : 1件
病院	Nearly ZEB : 1件 (※民間実績)	ZEB Ready : 1件 (※民間実績)
集会所	Nearly ZEB : 1件	ZEB Ready : 2件

※環境省補助事業事例、ZEBリーディングオーナー一覧、公開情報より作成

※全国各地に営業拠点を有し、規格住宅を提供しているZEHビルダー/プランナーを「ハウスメーカー」としています

# 【課題②】高断熱建築材料の普及に向けた課題

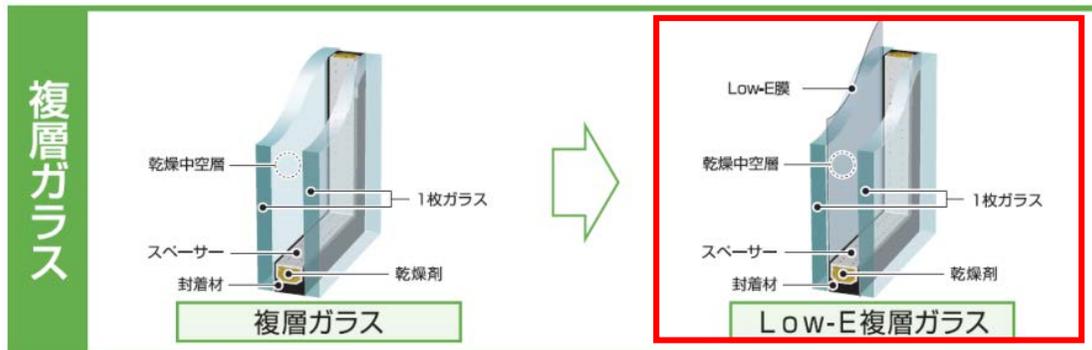
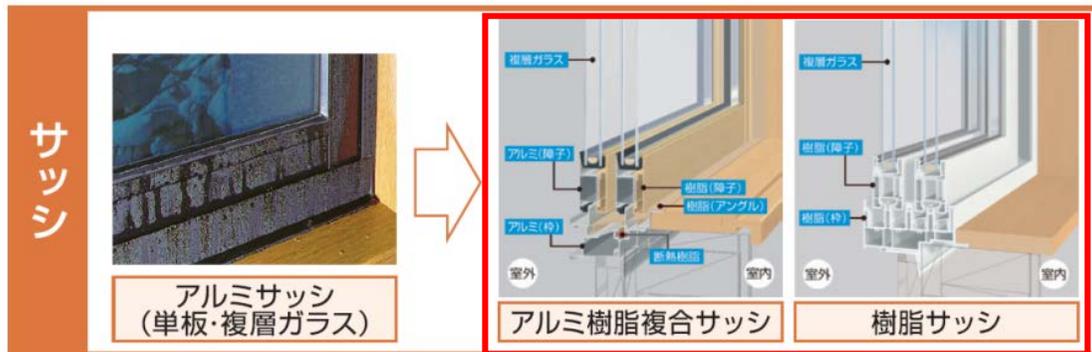
- 住宅からの熱損失の8割は、「壁、天井、床、開口部」※1となっており、省エネ性能の高いものへの入替えが課題。
- このため、サッシ・ガラス・断熱材について、建材トップランナー制度の着実な実施を図っていく。
- また、窓の性能表示は、消費者等にとって内容が複雑※2であるため、省エネ性能の高い窓の普及に向けて、分かりやすい表示のあり方の検討が必要。

※1 出典：冬の暖房時の例（平成11年省エネルギー基準）一般社団法人日本建材・住宅設備産業協会

※2 サッシとガラスにより構成される窓は同じ部材であっても大きさによって性能が変化する。

## ■ 複層ガラス、サッシのトップランナー制度

（2014年11月施行、目標年度2022年度）



## ■ 省エネ法に基づく窓の性能表示ラベル

同じ部材を使っているにもかかわらず、大きさで性能が変化し、ラベルの表示が変わるため、消費者にとって分かりにくい。



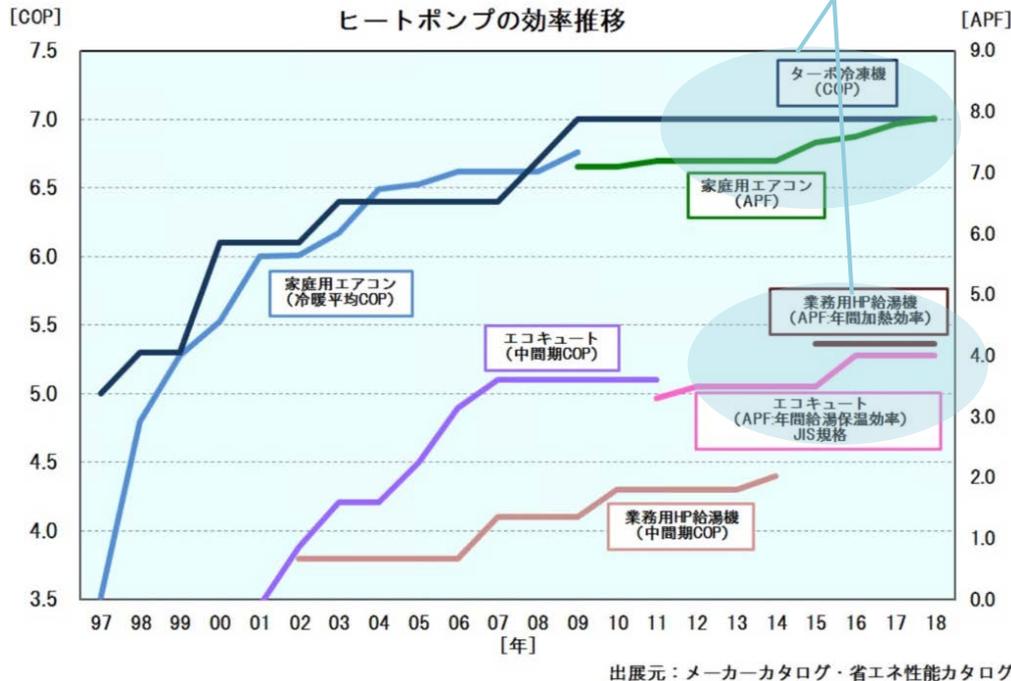
断熱性能を表す熱貫流率を基に、★1～4にて等級を示している。

# 【課題②】機器の効率向上の難しさ

- 機器の効率は既に世界的にも非常に高い水準であり、改善率が近年鈍化している機器も存在。また、機器の効率が向上するほど、製品価格は上昇し、効率向上にかかるコストも上昇する。
- 更なる効率向上及びコスト低減に向けては技術的イノベーションが不可欠。

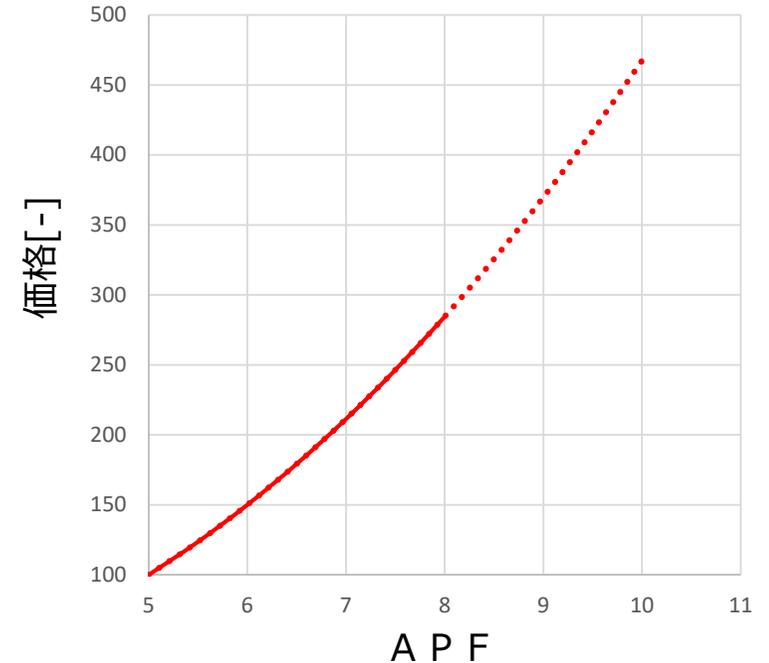
## 機器効率の推移の例 (ヒートポンプの効率推移)

家庭用エアコン、エコキュートのいずれも  
効率の上昇率は近年鈍化



## 家庭用エアコンの性能と価格の関係

(APF5=100)



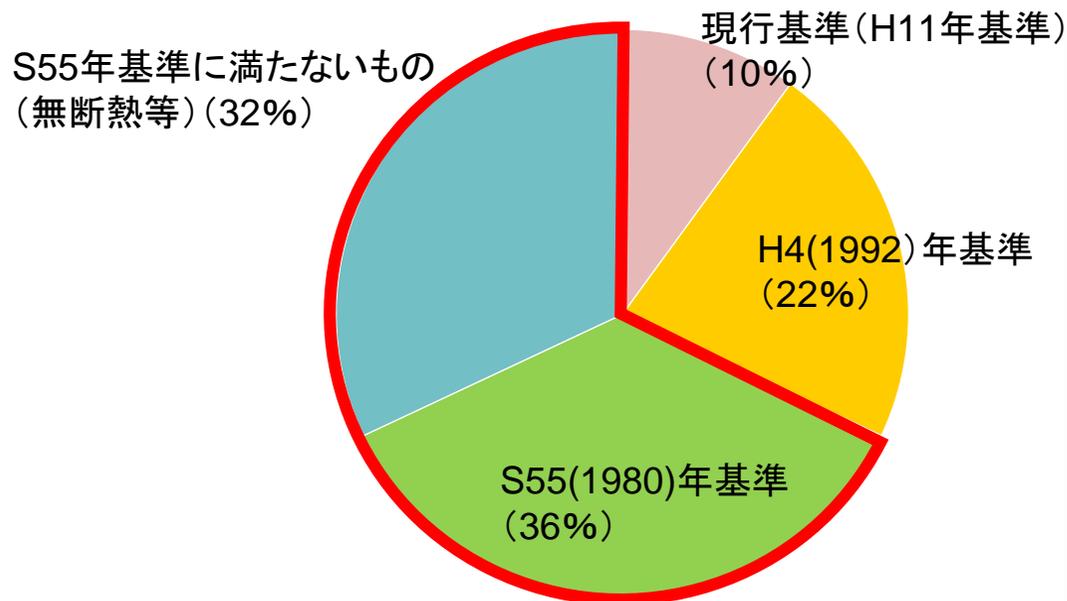
・家庭用エアコン(2.2kW)のPOSデータを基に、回帰分析  
によって性能と価格の関係を算出

\* COP (Coefficient of Performance)、APF (Annual Performance Factor) は空調機器のエネルギー消費効率を評価する指標  
(出典) ヒートポンプ・蓄熱センター ホームページ

# (参考) 既築住宅における省エネ機器・建材の普及における課題

- 住宅・建築物の製品ライフサイクルは長く、現在建っている住宅・建築物は2050年においても一定程度残ると考えられる。
- こうした既築の建物への建材・省エネ機器を普及させる上では、長期改修が必要であり、住民の長期仮住まいが必要であるなど、課題がある。

## ■ 住宅ストック約5,000万戸の断熱性能(平成29年度)



※建築物省エネ法に基づく統計データ、事業者アンケート等により推計(2017年)  
 ※ここで、現行基準は、建築物省エネ法のH28省エネ基準(エネルギー消費性能基準)の断熱基準をさす(省エネ法のH11省エネ基準及びH25省エネ基準(建築主等の判断基準)の断熱基準と同等の断熱性能)

## ■ 住宅の法定耐用年数

【住宅の法定耐用年数】

構造	事業用(賃貸用)		自己の居住用	
	耐用年数	定額法償却率	耐用年数	定額法償却率
鉄骨鉄筋コンクリート造 鉄筋コンクリート造	47年	0.022	<b>70年</b>	0.015
れんが造、石造 ブロック造	38年	0.027	57年	0.018
金属造	骨格材の肉厚4mm超	34年	51年	0.020
	骨格材の肉厚3mm超 4mm以下	27年	40年	0.025
	骨格材の肉厚3mm以下	19年	28年	0.036
木造、合成樹脂造	22年	0.046	<b>33年</b>	0.031
木造モルタル造	20年	0.050	30年	0.034
建物付属設備	種類により 耐用年数3年~18年			

※表内の償却率は平成19年3月31日以前に取得した場合です。  
 ※平成19年4月1日以降および平成24年4月1日以降の取得では、償却率がわずかに異なる場合があります。  
 ※平成10年3月31日以前に取得した事業用建物は旧定率法による償却も認められています。

# (参考) 建築士等の省エネ基準への習熟状況

- 中小工務店・建築士に対して、省エネ基準への習熟状況についてアンケート調査を行ったところ、中小工務店・建築士ともに、省エネ計算ができると回答した者は約5割であった。

## 中小工務店の習熟状況

### 一次エネルギー消費量

計算できない  
49.5%

計算できる  
50.5%

### 外皮性能

計算できない  
46.2%

計算できる  
53.8%

#### <調査概要>

調査方法 : インターネット調査 (平成30年度実施)

調査対象 : 住宅瑕疵担保責任保険登録者のうち、住宅の設計又は施工を請け負う住宅生産者 (有効回答318社)

調査実施者 : (一社)リビングアメニティ協会 (国土交通省の補助事業により実施)

## 建築士の習熟状況

### 一次エネルギー消費量

計算できない  
50%

計算できる  
50%

### 外皮性能

計算できない  
48.7%

計算できる  
51.3%

#### <調査概要>

調査方法 : アンケート調査 (平成30年度実施)

調査対象 : 平成29年度に確認済証を受けた300㎡未満の住宅を設計した建築士事務所 (有効回答801社)

調査実施者 : (公社)日本建築士会連合会 (国土交通省の補助事業により実施)

## 【課題③】デジタル化による効率的なエネルギー利用

- 情報の利活用・デジタル化（DX）を進めることで、あらゆる機器からデータを収集し、稼働状況や電力管理、効率的な運用を行い、**エネルギーの効率的な利用や、省CO<sub>2</sub>化に繋がる。省エネを進めるためには電化も含めたデジタル化が必須。**
- また、情報システムを、オンプレミス（情報システムを自社内サーバで運用）から、エネルギー効率の高いデータセンターを活用したクラウドサービスに移行した場合、**7割を超える省エネを実現した事例も存在。**

■ 移行前システムの消費電力量合計**1,287,075kWh/年**から、クラウド化移行後の消費電力量合計は**292,673kWh/年**となり、**77.2%**のエネルギーが削減された。

■ システムごとの削減率の平均は**73.5%**であった。

※削減率 = 1 - (クラウド化後の消費エネルギー / 移行前の消費エネルギー)

(出典)経済産業省

平成26年度中小企業等省エネルギー型クラウド利用実証支援事業（データセンターを利用したクラウド化支援）事業成果報告 より一部データ表記を変更

[http://www.meti.go.jp/policy/it\\_policy/green-cloud/report\\_.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/green-cloud/report_.pdf)

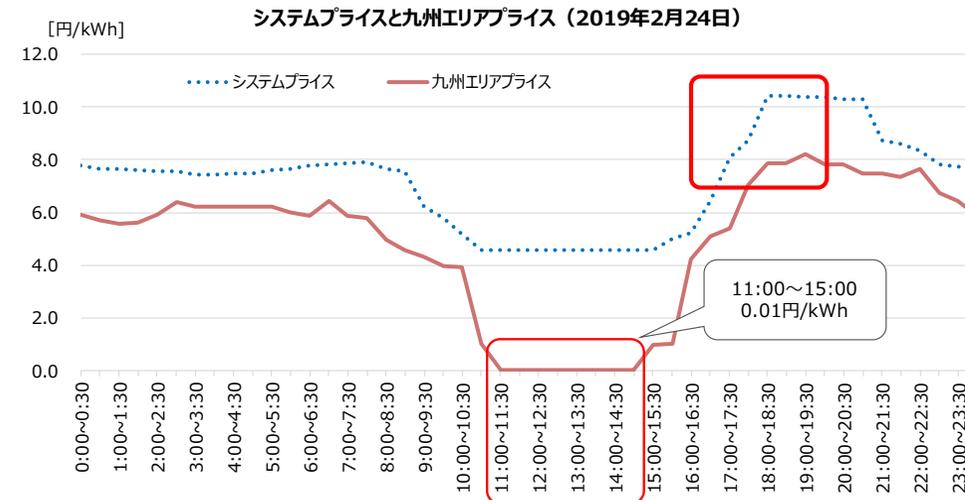
削減率	プロジェクト割合
10%未満	3%
10～19%	3%
20～29%	3%
30～39%	6%
40～49%	6%
50～59%	3%
60～69%	9%
70～79%	12%
80～89%	12%
90～99%	43%

# 【課題③】AI・IoT等を活用したエネルギーマネジメント

- 固定価格買取制度導入等により変動型の再生可能エネルギー大量導入が進展。一部地域では時期・時間帯によって発電した再エネ電気の出力制御を実施。再エネ発電量が多い軽負荷期の昼間には卸電力取引市場の価格が0.01円/kWhとなることもある。
- 現行の省エネ法では、東日本大震災を踏まえた平成25年法改正以降、夏冬の昼間の時間帯の電気需要平準化を一律に需要家に求めているが、上記実態に則していない。
- 再エネ大量導入等供給側の変化を踏まえ、再生可能エネルギーの有効利用を通じ、化石燃料削減を進めることが課題。AI・IoT等のデジタル技術活用や、蓄電容量の大きいEVなど需要側のリソースの活用が鍵。

## 九州における再エネ出力制御実績

	2019年度	2018年度
太陽光・風力接続量 (いずれも年度末時点)	1,002万kW (太陽光 944万kW 風力 58万kW)	904万kW (太陽光 853万kW 風力 51万kW)
出力制御日数	74日	26日
1発電所あたりの 累積制御日数	15～16日(オンライン) 23～24日(オフライン)	5～6日
出力制御率	4.1%	0.9%
最大出力制御量	289万kW	180万kW



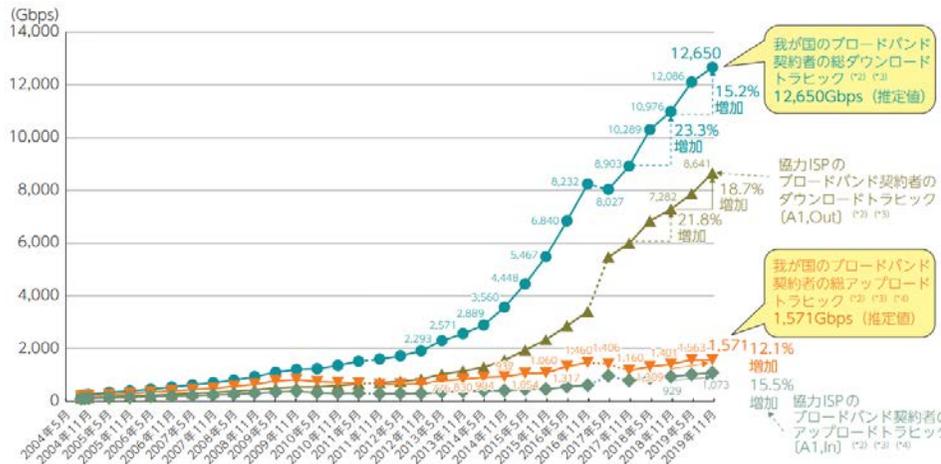
(出所) JEPXホームページ

(出所) 系統WG (第22回) 事務局資料、系統WG (第26回) 九州電力送配電資料等を基に作成

# 【課題③】データセンターの省エネ・グリーン化

- 国内のデータセンター、ルータなどのネットワークにおける消費電力量は約340億kWh（2017年）と推計※<sup>1</sup>されており、日本全体の消費電力量9,639億kWh（2017年）の約4%を占める。
- 近年、デジタル化の進展に伴い、日本のデータ流通量は年15%以上の割合で増加。それに伴い、データセンター需要は急拡大し、特にデータセンターにおける電力消費の多くを占めるサーバの数（世界）は、2030年までの10年間で、2倍以上に増加する見込み。
- 仮にデータセンターの省エネが進まない場合、将来的に、データセンターが日本全国の10%以上の電力を消費することになる可能性。

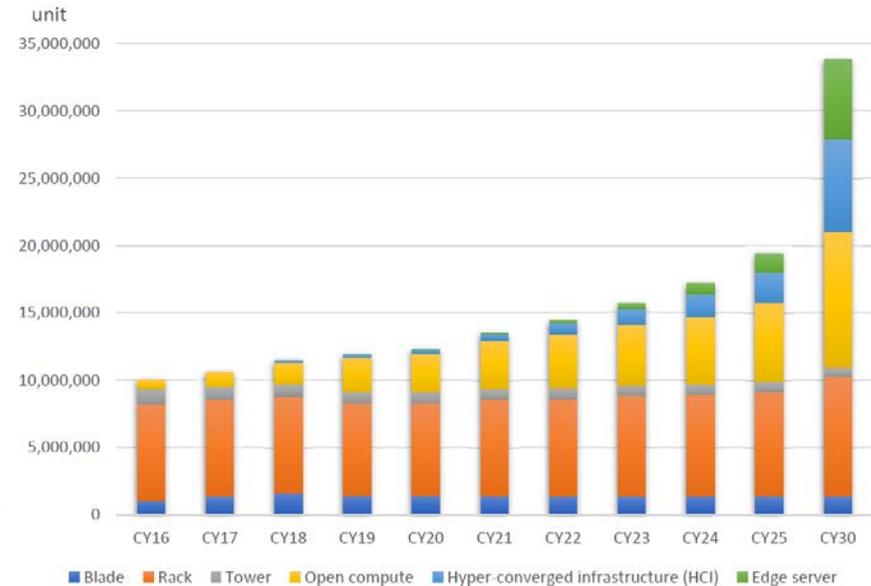
日本のブロードバンド契約者の総トラフィック



(\*)1 FTTH、DSL、CATV、FWA  
 (\*)2 2011年5月以前は、一部の協力ISPとブロードバンドサービス契約者との間のトラフィックに携帯電話網との間の移動通信トラフィックの一部が含まれていたが、当該トラフィックを区別することが可能となったため、2011年11月より当該トラフィックを除く形でトラフィックの集計・試算を行うこととした。  
 (\*)3 2017年5月より協力ISPが5社から9社に増加し、9社からの情報による集計値及び推定値としたため、不連続が生じている。  
 (\*)4 2017年5月から11月までの期間に、協力事業者の一部において計測方法を見直したため、不連続が生じている。

(出典) 総務省 (2020)「我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計結果 (2019年11月分)」

DC Server Shipment Forecast by form factor

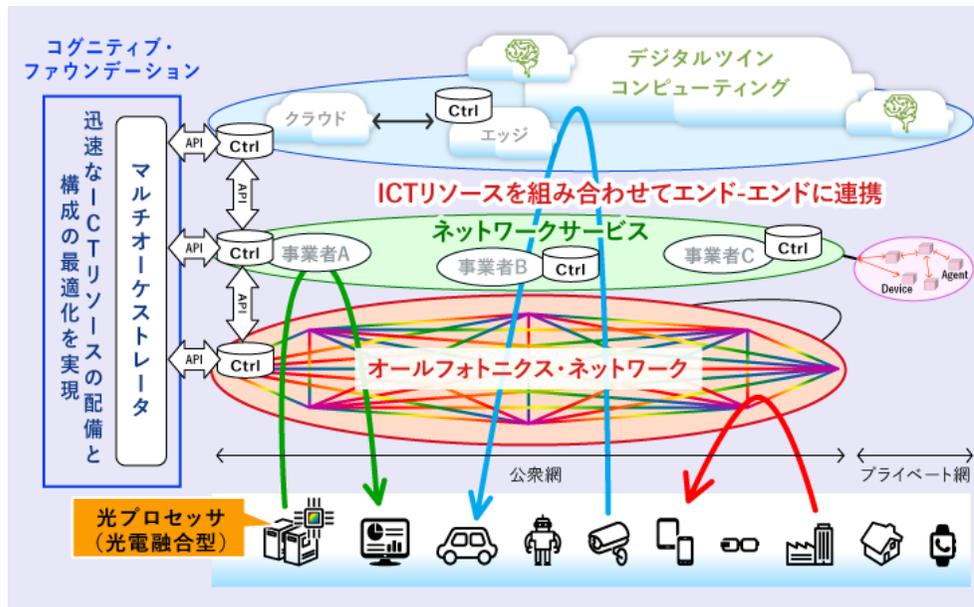


[出展]

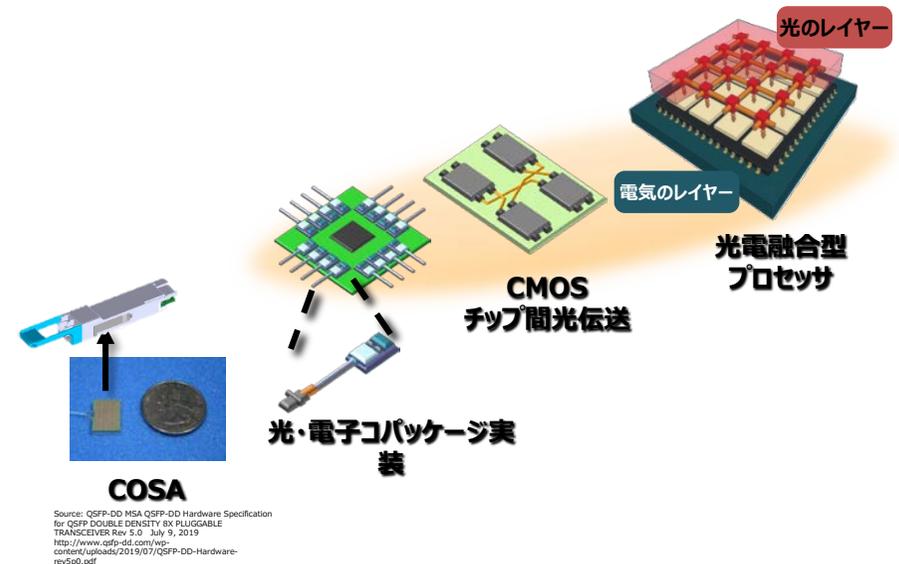
- ※ 1 : JST低炭素社会センター 情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響 (Vol.1) -IT 機器の消費電力の現状と将来予測- (平成31年3月)
- ※ 2 : OMDIA

# (参考) IOWN構想の概要

- NTTが提唱したIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想は、最先端の光関連技術および情報処理技術を活用した未来のネットワーク・情報処理基盤の構想。
- あらゆる場所に光電融合デバイス等のフォトニクス技術を活用し、「低消費電力 (電力効率100倍)」、「大容量・高品質 (伝送容量125倍)」、「低遅延 (エンドエンド遅延1/200)」のネットワークを実現する。
- NTTが行った世界最小の消費エネルギーで動く光トランジスタの開発等により、光の演算処理の実用化に繋げることが期待されている。
- NTT、インテル、ソニーの3社は、さまざまな業界から参加パートナーを募り、協力してIOWN構想の実現・普及をめざすIOWN Global Forumを立ち上げ。現在、国内外35社の企業が参画。



IOWN構想の機能構成イメージ



光電融合デバイスの進展

# (参考) データセンターの立地条件と再エネ需要の高まり

電力	<p>○<u>電力コストが安いところ</u>を指向。</p> <p>○DCは、標準電圧6万ボルト以上の「<u>特別高圧</u>」で受電する必要があるため、「<u>特別高圧を受電できる立地か</u>」、「<u>受電開始の時期</u>」がポイント。</p> <p>※送電線のため、鉄塔の用地買収や許認可まで含めると、多くのデータセンター事業者が求める2年以内の稼働開始は難しく、現実的には3~5年必要となる。</p>
ネットワーク	<p>○<u>高品質な大容量通信環境が構築されていること</u>。具体的には、以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・電気通信事業者等が敷設したダークファイバー(未使用の光回線)が周辺に通っていること。</li><li>・幹線の光ファイバー網の近くであること。</li></ul>
遅延 (レイテンシ)	<p>○遅延が許されないアプリケーションや、頻繁にデータを送受信するアプリケーションでは、わずかな遅延でも全体のパフォーマンスに大きく影響。</p> <p>○DCからエンドユーザへの距離が重要(東京-大阪間:8ミリ秒、NY間:200ミリ秒)</p> <p>○一般的には、<u>エンドユーザから距離50km以内が望ましい</u>。</p>
自然災害	<p>○安定稼働のため、安定地盤、水害を避けることが出来る土地など、<u>自然災害リスクが出来るだけ低い土地</u>。</p>



## 【最近のトレンド】

○非化石価値市場からのグリーン証書購入も含め、再生可能エネルギーが調達しやすいところ。

# 民生部門のエネルギー転換に向けた課題と対応の方向性

		課題	方向性
熱・燃料 における 燃料転換	① 電化・水素 化の経済 性	<p><b>自立的な普及拡大に向けた、経済的な競争力確保</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 既に既存技術と比べて年経費において競争力を有する領域も存在する一方で、製品価格は既存技術と比べて高コストな用途も多く、更なる普及に向けては低コスト化が課題。</li> <li>➤ 機器の更新時の燃料転換においては、機器のみならずインフラも同様に更新する必要が生じるケースもあり、その追加コストも課題。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 機器コスト低減や、機器の設置制約の解消に資する技術開発を推進</li> <li>➤ 特に燃料電池については革新的燃料電池の技術開発を行い、多用途展開・生産設備の投資支援・導入支援を実施</li> <li>➤ 電化・水素化機器の導入インセンティブを付与するための、基準や表示の在り方など、制度の見直し</li> <li>➤ 蓄電池の価格低減に向けた技術開発や取り組みの推進</li> </ul> <p><small>* グリーン成長戦略「実行計画」③水素産業、⑤自動車・蓄電池産業</small></p>
	② 電化・水素 化の設置 制約	<p><b>設置スペースなどによる機器の設置制約</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 機器サイズが相対的に大きい機器（ヒートポンプ給湯器など）については、例えば既築の住宅・建築物や、集合住宅など設置スペースが制約される場所への設置が困難。</li> </ul>	
	③ 電化のレ ジリエンス	<p><b>電化については、災害などにおける長期の供給途絶時のレジリエンス</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 単一のエネルギー種に依存した時、供給途絶時の影響は大きくなる。</li> <li>➤ 蓄電池や太陽光発電などを組み合わせたレジリエンス確保の取り組みはあるが、実装に向けては経済性等の面で課題。</li> </ul>	
	④ CR燃料 (メタネーション・ プロパネーション) の技術開発	<p><b>メタネーション・プロパネーションのいずれについても、コストや供給量実用化に向けた技術的な課題</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ メタネーションについては、設備の大型化が課題。</li> <li>➤ プロパネーションは、未開発の技術であり、合成効率の高い触媒の開発が必要。</li> <li>➤ いずれの技術も、事業化には安価な水素や再エネによる電力を要する。</li> <li>➤ また、最終的にカーボンニュートラルにするにはDACなどを含めた検討が必要。</li> </ul>	

(注) これらの課題以外にも、今後検討を深める中で生じる様々な課題について対応策を検討する必要がある。

# 【課題①】燃料転換の経済性

- 電化設備は既に一定程度普及が進んでいる。例えば、特定の事例に関して、一定の仮定のもとで経済性を機械的に算出すると、電化設備の方が優位なケースも生じている。
- 他方、経済的に不利なケースも多く存在し、自立的な普及に向けては機器コストの低減などが必要。

## 事例1 家庭部門の給湯需要の経済性

### ケース想定

給湯器のエネルギー消費量 17,504 MJ

電化設備：エコキュート  
既存設備：エコジョーズ

電気料金：20円/kWh  
都市ガス料金：130円/m<sup>3</sup>

	インシャルコスト	ランニングコスト	年経費
電化	30万円/台	2.8万円/年	<b>5.8万円/年</b>
都市ガス	15万円/台	5.6万円/年	<b>7.1万円/年</b>

## 事例2 業務部門の空調需要の経済性

### ケース想定

事務所の運転時間 1,035時間(全負荷相当)

電化設備：業務用電気HPエアコン  
既存設備：業務用ガスHPエアコン

電気料金：29円/kWh  
ガス料金：60円/m<sup>3</sup>

	インシャルコスト	ランニングコスト	年経費
電化	40 百万円/システム	5.4 百万円/年	<b>8.1 百万円/年</b>
都市ガス	50 百万円/システム	2.2 百万円/年	<b>5.5 百万円/年</b>

出典：エネルギー消費量はJIS C 9220：2011の給湯負荷等を基に算出、電気料金は東京電力関東エリア電力量料金、都市ガス料金は東京ガス一般契約料金B表、製品性能はエコキュートのエネルギー消費効率を3.5、エコジョーズのエネルギー消費効率を90%、製品価格は一般的な価格。

出典：事業者へのヒアリングに基づき試算条件、製品価格・燃料価格等を設定  
(試算条件) パナソニック製EHP(高効率型)とGHPの56kW機10台を1システムとして、空衛学会調べ事務所全負荷稼働時間(機器定格最大負荷での稼働に相当する時間 1035h/年)にて試算、インシャルコストは材工込みのシステム価格で事業者ヒアリングから概算、電気料金には再エネ賦課金を考慮せず、に計算、ガス式の電気料金は小さいため未考慮、料金契約は東京電力エナジーパートナーの業務用電力契約と東京ガス業務用季節別契約を適用、力率100%想定で電気力率割引を15%適用、2021年1月利用分の燃料調整費-5.02円/kWh、原料調整費-21.75円/m<sup>3</sup>(検計月ずれ考慮)を適用、年経費には償却期間である15年で割ったインシャルコストを配賦。

# 【課題①】家庭用燃料電池（エネファーム）の現状と課題

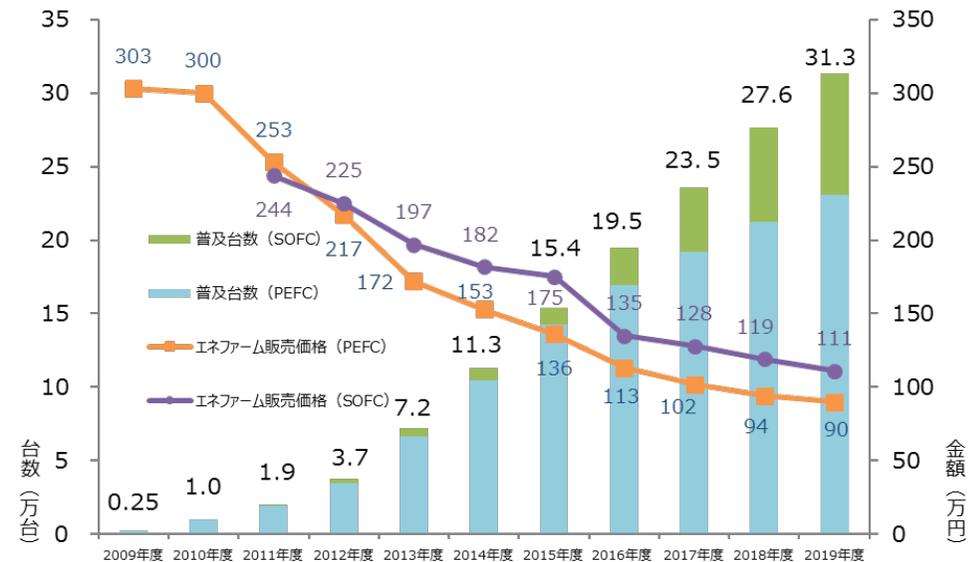
- 家庭用燃料電池（エネファーム）は、熱の有効活用も行うため、民生部門の省エネ化に貢献。2009年に世界に先駆けて我が国で販売が開始。
- これまでに、30万台以上が普及しており、販売価格も、PEFCの場合、販売開始時の300万円超から、100万円を切る水準まで低下。今後、部品点数の削減などに向けた更なる技術開発を進め、2024年までに80万円以下を目指す。
- ただし、エネファームは天然ガスを改質して水素を利用するため、完全な脱炭素化を実現するためには、メタネーション、ガス+CCUS、バイオガスといったカーボンニュートラルガスを活用するか、純水素燃料電池の配置+水素導管の整備等が必要となる。

## 家庭用燃料電池の仕組み

- 都市ガスやLPガスから取り出した水素で発電を行い、その際に発生する熱も給湯等に有効活用。
- 燃焼反応ではなく電気化学反応により発電するため高エネルギー効率、省エネルギー性能を実現（発電効率40%、総合エネルギー効率97%）。



## 普及台数と販売価格の推移



# (参考) 特定の地域における水素供給の事例

- 一部の地域において、水素を利用した電気・熱の供給に向けた取組が進められている。
- 将来的に、水素導管を整備した地域で水素供給を行うことなどを通じて、民生部門の脱炭素化に貢献することも考えられる。

## 神戸ポートアイランドでの実証事業

- 水素コージェネレーションシステムにより、世界で初めて、市街地で水素のみの発電によって、電気と熱を近隣の公共施設に供給（2018年4月～）。



出典：第2回2050年に向けたガス事業の在り方研究会 資料6（川崎重工業株式会社説明資料）

## 東京オリンピック選手村街区への供給

- 東京2020大会後の選手村街区予定地で、水素パイプラインを整備。
- 各街区の住宅棟、商業棟に純水素燃料電池を設置し、供給される水素により発電を行う予定。

### ＜東京2020大会後の選手村＞

※東京都「東京2020大会後の選手村におけるまちづくりの整備計画」より抜粋



### ＜水素パイプラインの敷設(予定)＞

※東京都「選手村地区エネルギー整備計画」より抜粋

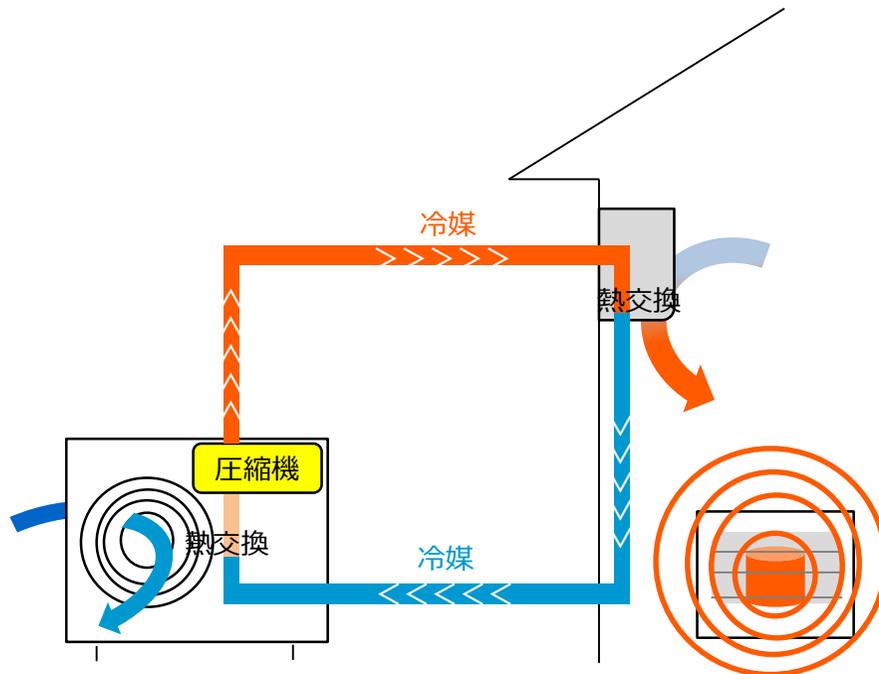


出典：第2回2050年に向けたガス事業の在り方 資料8（東京ガス株式会社説明資料）

## (参考) 灯油・ガスの優位性

- 灯油・LPガス・都市ガスを利用した暖房器具は、室内において燃料を燃焼するため、
  - ①稼働後に即時に温風が出るため、即暖性が高い
  - ②外気との熱交換を行わないため、エアコンのように外気の気温に影響されずに、暖かさを確保
  - ③燃料時に水蒸気を発生させるため室内の湿度を下げにくい
  - ④灯油やLPガスは一般家庭でも軒下在庫があり、都市ガスは導管で供給されているため、強靱性が高いという特性がある。

### エアコンを利用した暖房機器の暖房機能の仕組み

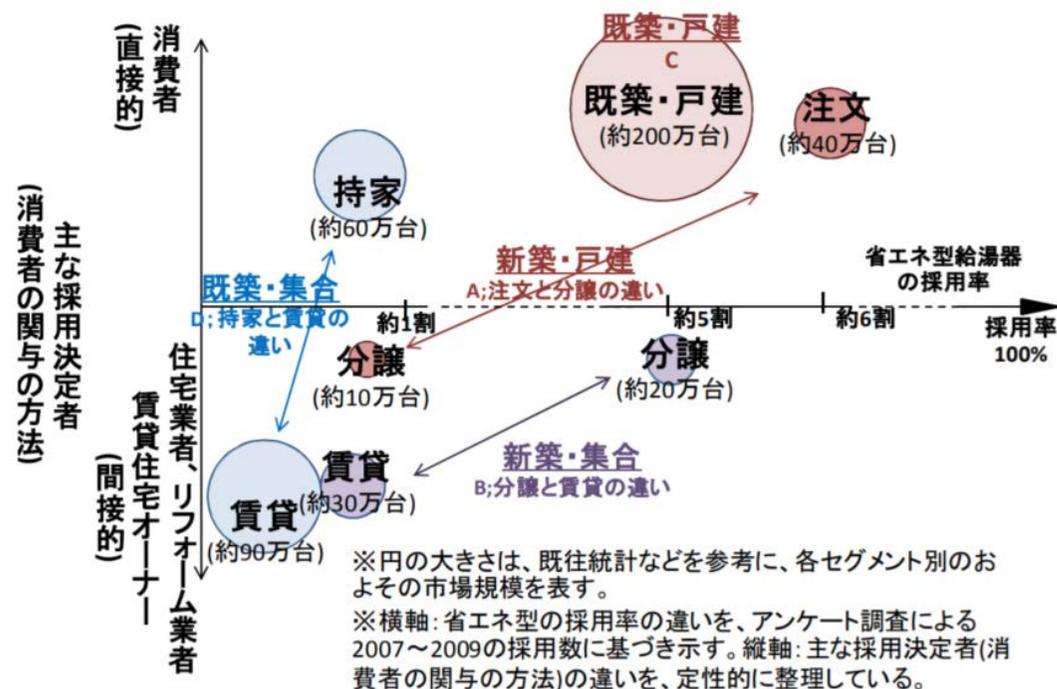


- ✓ エアコンは外気の熱により気化した冷媒を圧縮機により温度を高め、熱交換器を介して、冷媒と室内の空気の間で熱交換を行い、室内を暖める
- ✓ 灯油ストーブ等は、燃料の燃焼により発生させた熱により室内を暖める

# 【課題②】設置スペースなどによる機器の設置制約

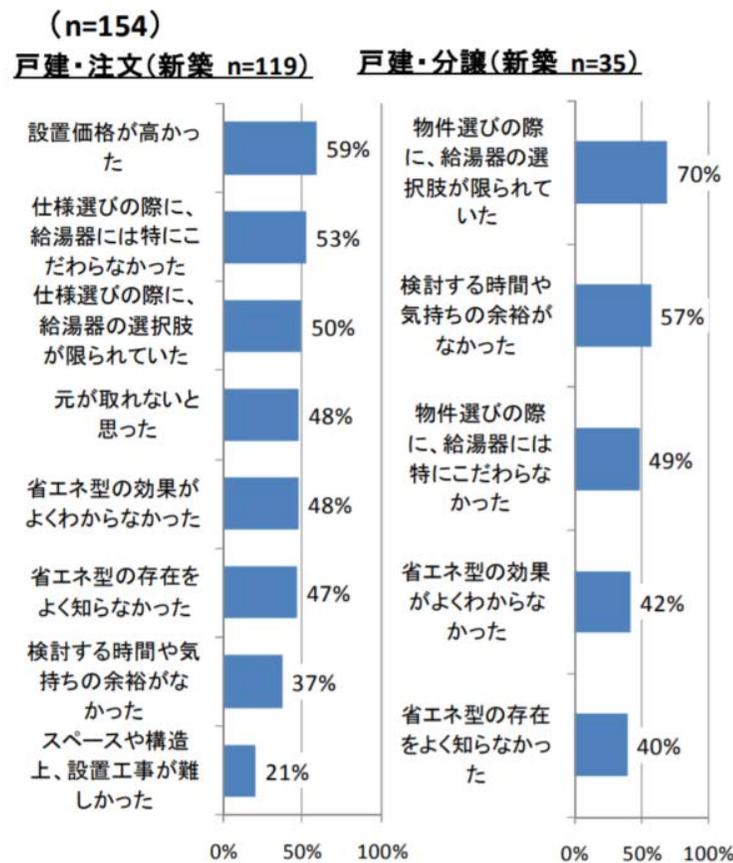
- 住宅や建築物の構造によっては、機器サイズの大きい製品は導入が困難。
- 例えば、既築の住宅・建築物や集合住宅においては、設置スペースが限られており、機器サイズの大きいヒートポンプ給湯器などは導入できないケースも多く存在。

## 建物への普及状況の例 (住宅形態ごとの機器の採用決定者)



➤ 賃貸住宅、既築住宅ほど省エネ機器の採用率が低い

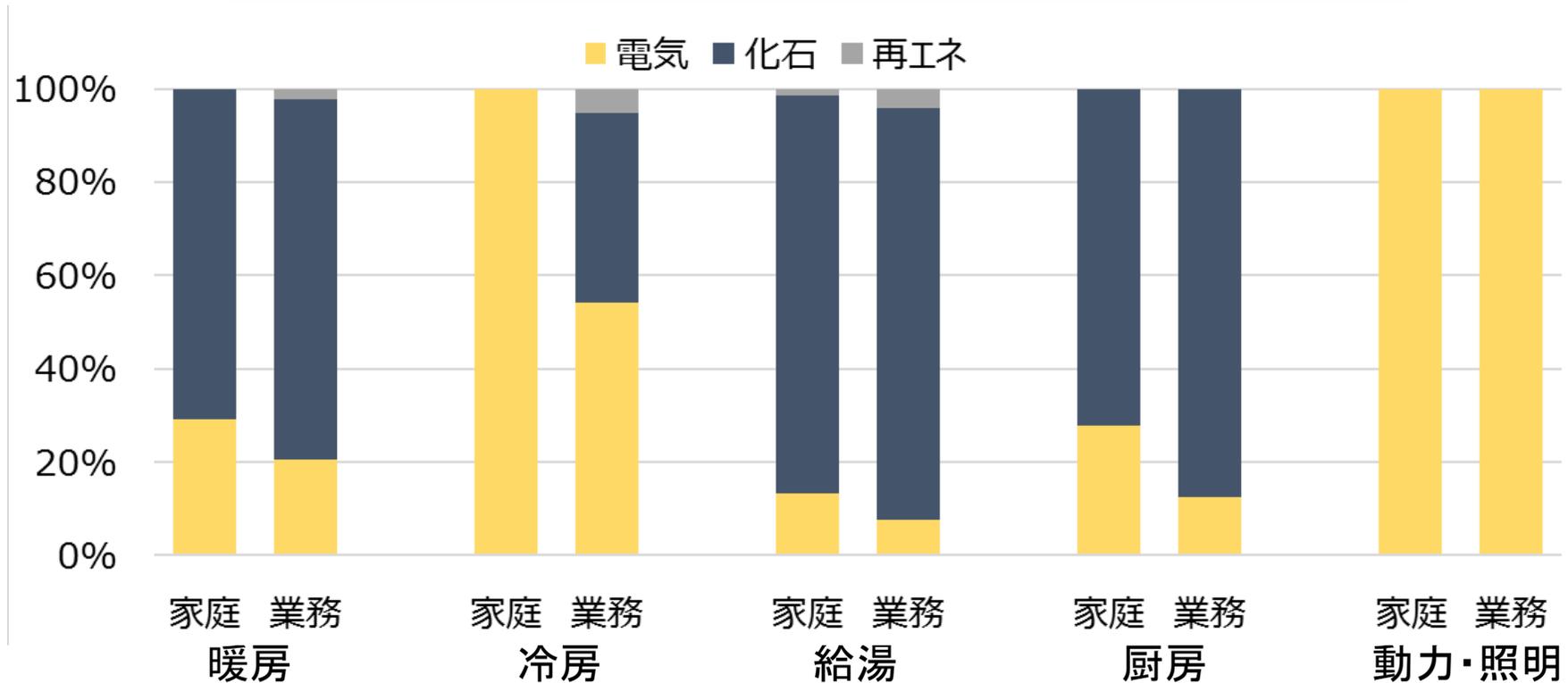
## (参考) 集合・既築住宅において給湯器が省エネ型ではない理由



## (参考) 用途別の電化率の状況

- 家庭部門と比べて、業務部門の方がいずれの用途についても電化率は低い。

### 民生部門における電化率（2018年度）



※再エネは太陽熱・地熱を示す、木炭等は化石燃料に含まれている点に留意

出典：EDMC2020より作成

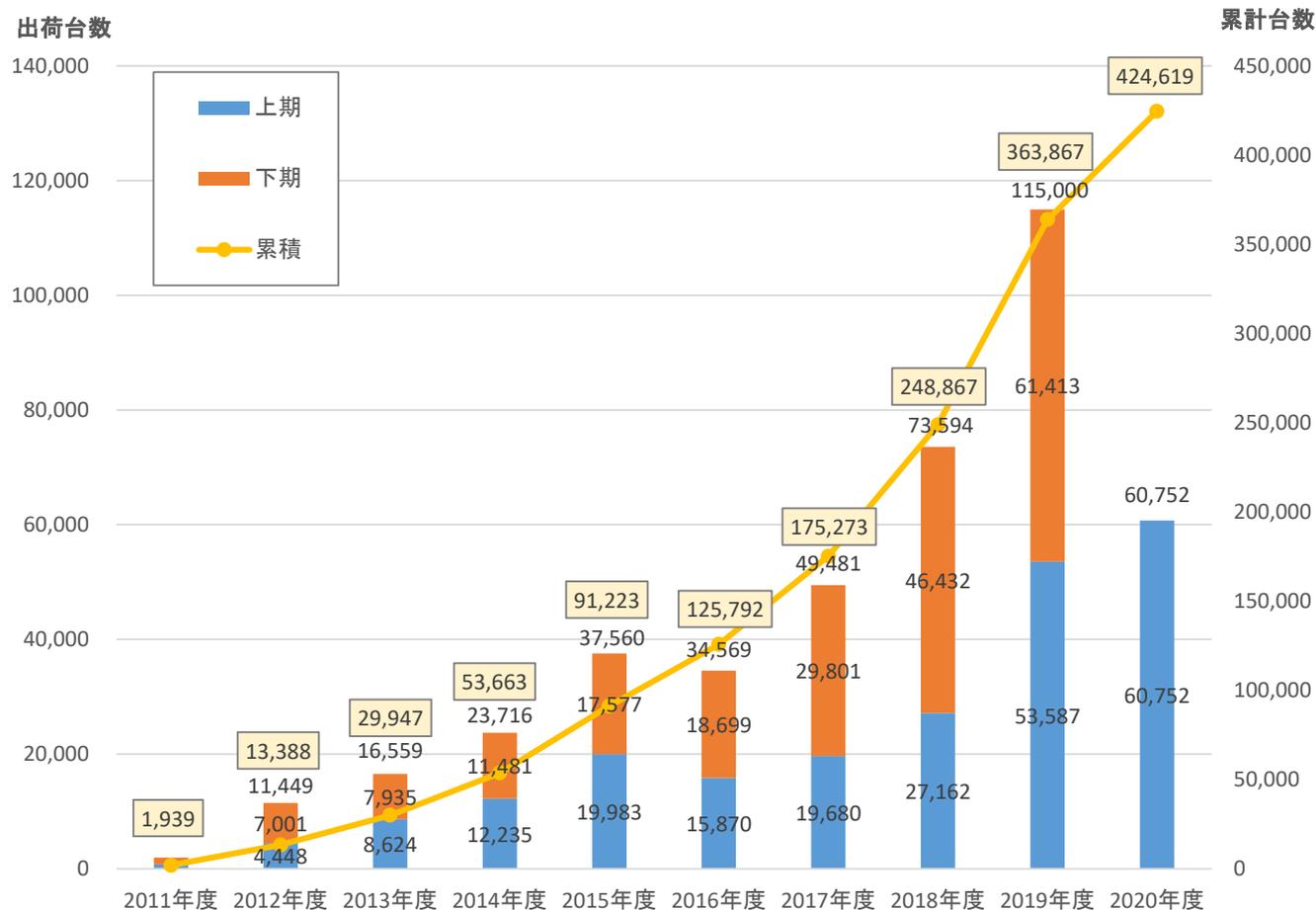
# (参考) 米国における建築物の電化促進策

- 米国各州においては、**建築部門の省エネ・脱炭素化に向けて、強力な電化推進策が展開。**

州・自治体	取組概要	州・自治体	取組概要
カリフォルニア州 (人口：4,000万人)	<ul style="list-style-type: none"> <li>新築低層住宅<b>PV設置義務</b></li> <li>ガス会社に対する<b>熱源低炭素化に向けた取組の指示</b></li> </ul>	ニューヨーク市, NY (人口：840万人)	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>既築含む大規模建築 (2,300m<sup>2</sup>~) について、CO2原単位排出上限設定</b> ※2030年以降は熱源改修も求める</li> </ul>
サクラメント市, CA (人口：51万人)	<ul style="list-style-type: none"> <li>家庭電気機器 (HP空調、給湯、IH調理器) 導入補助</li> <li>電化・EV充電対応の<b>配線工事補助優遇</b></li> <li><b>全電化住宅の建設業者、集合住宅オーナー向けの補助</b></li> </ul>	ワシントンDC (人口：70万人)	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー/水消費量ベンチマークの報告・公表対象拡大 (2024年~約900m<sup>2</sup>以上の建物)</li> <li>既築省エネ基準制定</li> <li>新築へのCO<sub>2</sub>基準 (ゼロエネコード) 制定 (2026年までに制度化予定)</li> </ul>
バークレー市, CA (人口：12万人)	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>新築建物ガスインフラ接続禁止 (低層⇒中高層住宅へ拡大予定)</b></li> </ul>	バーモント州 (人口：63万人)	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>電力会社へ需要端での電力削減義務化</b> (HP、EV導入支援を想定)</li> </ul>
サンフランシスコ市, CA (人口：88万人)	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>事業所の電力カーボンフリー義務 (2023年時点：約5万m<sup>2</sup>~)</b></li> <li>新築<b>自治体建物ガスインフラ接続禁止</b></li> <li>新築民間建物で<b>ガス併用</b>の場合は<b>一定の省エネ性能を要求</b></li> </ul>	マサチューセッツ州 (人口：690万人)	<ul style="list-style-type: none"> <li>戦略的電化を省エネプログラムに位置付け (<b>石油・ガス暖房からHPへの置換え (既築住宅への補助)</b>)</li> <li>代替エネ調達義務の認定対象に再エネ熱を追加</li> <li><b>クリーン熱源機器の集団購入を地域単位で支援</b></li> </ul>
メンロパーク市, CA (人口：3万人)	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>新築の低層住宅では暖房・給湯の電化 / 非住宅・中高層住宅では全電化を義務付け</b></li> <li>ガス併用時には<b>電化レディ要求</b></li> </ul>	メイン州 (人口：134万人)	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>空気熱源HPの新規設置目標の設定・補助増額</b></li> </ul>
サンノゼ市, CA (人口：103万人)	<ul style="list-style-type: none"> <li>新築戸建 / 低層集合住宅の<b>ガスインフラ接続禁止</b></li> <li>その他住宅は<b>省エネ性能・電化レディ要求</b></li> <li><b>新築建物</b>は高い<b>EVインフラ整備率要求</b></li> </ul>	ボルダー市, CO (人口：11万人)	<ul style="list-style-type: none"> <li>専門家による1体1の省エネ支援サービスを無償提供</li> <li><b>HP導入時の一定額補助 / 燃料転換時に更に優遇</b></li> </ul>
サンルイスオビスポ市, CA (人口：5万人)	<ul style="list-style-type: none"> <li>新築建物で<b>ガス併用</b>する場合は、①<b>既築改修又は免除料納付</b>、②<b>電気配線の電化レディを要求</b> ※業務用厨房・製造業プロセス・非常用は除く</li> </ul>	シアトル市, WA (人口：74万人)	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>暖房用石油の販売者に追加課税 (約7円/L)</b></li> <li><b>低所得世帯のHP設置全額補助</b></li> </ul>
カールスバッド市, CA (人口：12万人)	<ul style="list-style-type: none"> <li>新築低層住宅の<b>非ガス給湯器の設置義務化</b> (給湯以外のガス利用は許可)</li> </ul>		

# 【課題③】国内におけるリチウムイオン蓄電システム（家庭・業務用）の市場動向

- 国内では、**2020年度上期の出荷台数が6万台を超えており、新型コロナの影響を踏まえても前年同時期と比較して出荷台数が増加していることから、蓄電システムへの注目が年々高まっている。**
- 約9割は家庭用であり、**太陽光余剰電力の自家消費率向上、災害時のレジリエンスに寄与することが期待される。**



## (参考) 石油製品のレジリエンス

- 電化は停電リスクが課題。停電時には、石油製品が医療機関や電源車に緊急配送されて電力を補完し、住民生活に不可欠な地域のエネルギー供給を確保。また、積雪により高速道路で立ち往生した自動車に対しても給油可能であるなど、可搬性のある石油製品は、レジリエンスの観点から優位性。
- エネルギーレジリエンスの観点から、石油製品は災害時における「最後の砦」であることに変わりはなく、合成燃料等への転換を推進していく中でも、平時から石油製品の安定供給確保を維持することが重要。
- なお、停電リスクに備え、全国のSSにおいて非常用発電機の導入を進めており、今年度末には、全国約3万SSのうち半数以上のSSにおいて導入が完了する見込み。製油所や油槽所においても非常用発電機を導入しており、全国的に停電に対応した燃料供給網を形成。



令和元年台風15号対応における電源車への燃料給油  
(令和元年9月)

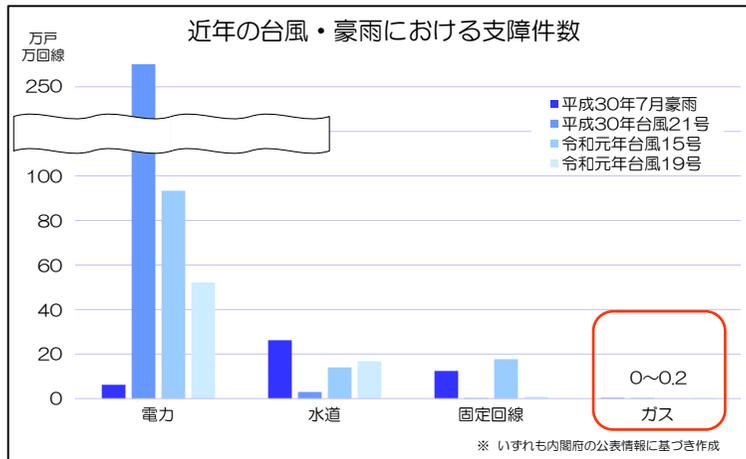


積雪により停電が発生した兵庫県香美町や新温泉町  
では、灯油配送が継続(令和2年12月)

# (参考) 都市ガスのレジリエンス

- ガス導管は、埋設されていることから風雨の影響を受けにくく、大部分は耐震性も備え、継続的な耐震性向上の取組も行われている。
- 停電対応型コジェネ※は、停電時でも継続的・安定的に電力供給が可能。これらを中心とした分散型エネルギーシステムの導入などエネルギー源の多様化を確保することで、レジリエンス強化を図りつつ、メタネーション等への転換の推進により脱炭素化を図ることが重要。

※コジェネ：ガスコージェネレーションシステムとは、都市ガスを用いて発電し、その際に発生する廃熱を冷暖房や給湯、蒸気といった用途に利用する高効率なエネルギーシステム。



出典：第21回ガス安全小委員会（令和2年3月11～18日 書面審議）

## ガス導管の強靱性

- 高圧・中圧ガス導管は高い耐震性が確認されている。

- 阪神・淡路大震災時、橋に添架された中圧ガス導管が、橋が落ちて変形。ガス漏れは発生せず。



(出典：東京ガスHP)

- 東日本大震災時、高圧ガス導管は被害なし。

- 低圧ガス導管は耐震性向上の取組を継続中(耐震化率:約90%)

## ○家庭用エネファーム

大阪ガスで設置されているエネファームのうち約3割が停電対応型。今年度より停電対応型を標準仕様としている。

2018年台風21号による停電時には、停電対応型エネファームが電力・熱の供給を継続し、電気・風呂・給湯を平時と同様に利用することができた。



給電によりスマホ充電、ライト使用



給湯により入浴が可能

## ○むつざわウェルネスタウン（千葉県睦沢町）

CHIBAむつざわエナジー(株)は、天然ガスコジェネ及び太陽光、系統からの電力を組み合わせ、道の駅及び各住宅に自営線で電力供給。

2019年台風15号による大規模停電時においても、再エネと調整力（コジェネ）を組み合わせ、道の駅及び各住宅に対して電力供給を実施した。



令和2年7月1日 基本政策分科会資料より抜粋

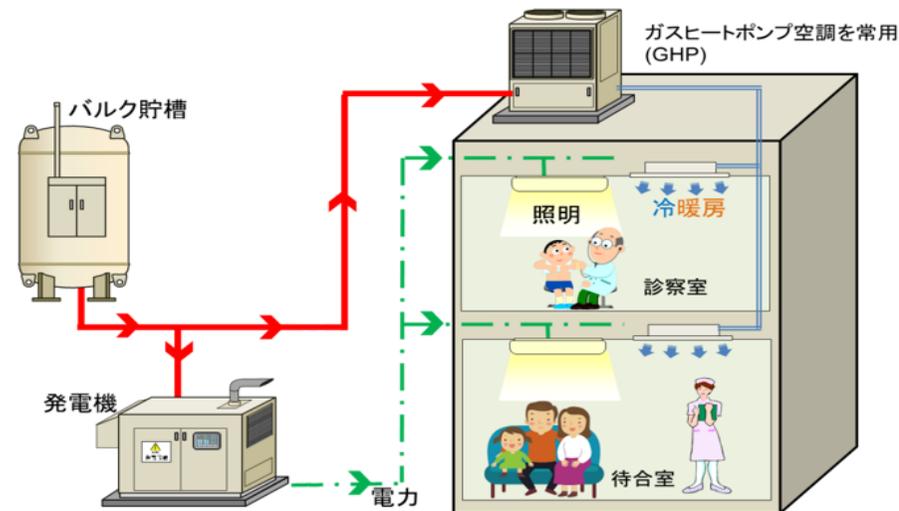
## (参考) LPガスのレジリエンス

- LPガスは可搬性に優れていること、劣化しないことから災害時のバックアップ燃料として、避難所や医療・社会福祉施設での活用が進んでいる。
- こうした現状に鑑み、社会的に重要な施設については、停電時に備えるため、電力のみではなく、LPガスの活用も重要。

### 【北海道胆振東部地震におけるLPガスの活用事例】

- ✓ 厨房がオール電化であったが、LPガスによる炊き出し用の調理器具により、入居者へ食事の提供ができた。(老人ホーム:帯広市)
- ✓ 発電機を使用し、炊飯器や電子レンジ、IH調理機などを使用し、入居者へ食事の提供ができた。(老人ホーム:札幌市)
- ✓ GHPが問題なく稼働し、冷房運転が行え、入居者の安心を確保。(障害者施設:札幌市)

### 【病院等での使用例】



- 北海道胆振東部地域におけるブラックアウト事故や台風15号の被害を通して、大規模な災害の多い我が国における**非常時のエネルギー安定供給の重要性が顕在化**。
- 連系線の増強、発電・送電設備の安全投資の確保などの課題に着実に対応する必要。

## 北海道胆振東部地震に伴う大規模停電の教訓

### ◆ブラックアウトの概要

機器破損や送電線の損傷など、複数の要因により最終的にブラックアウトが発生。

- 苫東厚真火力発電所（2号機・4号機）の停止
- 風力発電所の停止
- 水力発電所の停止
- 苫東厚真火力発電所（1号機）
- ブラックアウトの発生

### ◆再発防止策

#### ・運用上の対策

- 周波数低下リレー（UFR）の整定値の検証
- 最大規模発電所発電機の運用方法の見直し
- 太陽光・風力のUFRの整定値の検証
- 周波数制御機能（ガバナフリー、AFC等）の再評価

#### ・設備形成上の対策

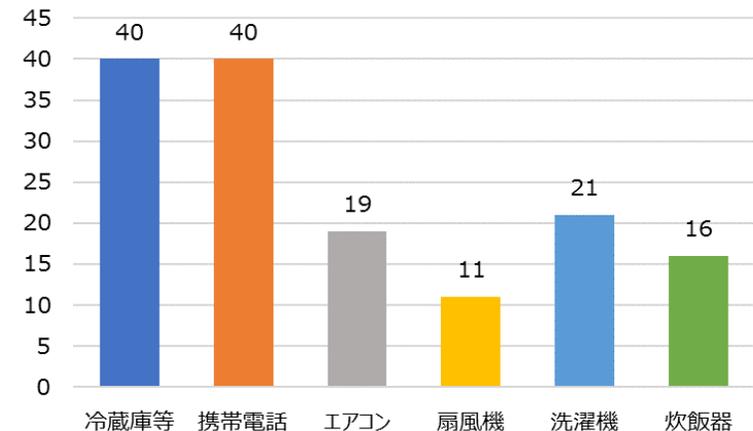
- 北本連系線の更なる増強
- 発電設備・送電設備の保安の検討

検証委員会を立ち上げ、  
ブラックアウトの原因を詳細に追究、再発防止策を検討

## 台風15号におけるエネルギー供給事例

- 2019年の台風15号による停電において、住宅用太陽光発電設備において自立運転機能の利用により停電時においても電力利用を継続できた家庭が**約8割**との調査結果（JPEAのアンケート調査）。事業用太陽光発電設備においても、近隣住民へ電力を提供する事例が存在。

### 自立運転機能で助かったもの



非常時における電力ニーズ、  
分散電源の重要性が顕在化

# 1. **カーボンニュートラルに向けた非電力部門の検討**

- a. 産業部門
- b. 民生部門
- c. 運輸部門**
- d. 炭素除去技術

## 2. シナリオ分析

## 御議論いただきたいこと④

- 運輸部門のカーボンニュートラルを進める上では、運輸部門におけるCO2排出量の約85%を占める自動車分野の取組を進めることが重要。

### 【省エネ・エネルギー転換】

- これまで日本の自動車産業は世界最高レベルの燃費性能により環境対応を行ってきたが、近年はEVやFCVなどが普及しつつあり、世界の自動車メーカーの間で市場競争が激しさを増している。引き続き燃費性能の向上への取り組みに加えて、EV、FCVの拡大に向けては、経済性、インフラ整備、消費者の受容性といった課題があり、こうした課題を着実に乗り越えていく必要がある。
- 蓄電池の製造工程で大量の電気を使うEVなど自動車のライフサイクル全体で脱炭素を進めるためにも、エネルギーの脱炭素化も着実に進めることが必要。
- 電動化のハードルが高い商用車等も踏まえれば、燃料のカーボンニュートラル化の取組を進めることも必要。
- 航空機、船舶においては、脱炭素技術が商用化されておらず、電動化（電気）技術や水素・アンモニア技術など、いずれの技術についても研究開発により実用化に向けた課題を乗り越えていく必要がある。国際機関においても脱炭素の目標を掲げており、今後これらの市場は拡大する見込み。
- こうした省エネやエネルギー転換を進めた場合であっても、最終的に排出される温室効果ガスに対しては、DACCSやBECCSなどの炭素除去技術による対応も求められる。
- こうした状況を踏まえて、カーボンニュートラルに向け、
  - ①運輸部門における省エネやエネルギー転換を進める上での課題と対応の方向性
  - ②運輸部門の技術開発、セクターカップリング（電力部門との連携・融合）等について御議論いただきたい。

# 運輸部門における省エネ取組の課題と方向性

## 課題

## 方向性

### ①燃費性能 更なる向上

#### 燃費性能の向上

- 次世代自動車の普及にあたっては、コスト低減や、技術開発の進展が必要。
- 2030年のトップランナー制度における燃費基準の達成に向けた事業者の更なる取り組みの推進が課題。

#### 燃費基準の遵守

- 2019年に策定した2030年の燃費基準の達成を製造事業者等に求めていく。
- 併せて、現状は燃費基準に考慮されていない要素も考慮できるよう検討を進めていく。

### ②輸送事業 者・荷主の 取組強化

#### 輸送事業者や荷主における更なる取り組みが課題

- 荷主を通じた物流関係事業者の省エネ取組は重要だが、現行の省エネ法ではエネルギー使用量に係る算定方法の違い等もあり、荷主の省エネ取組が適切に評価されていない可能性がある。

#### 省エネ法における荷主評価の在り方見直し

- 更なる省エネ取組を誘発できるよう、算定方法切替えの促進や、省エネ法における荷主の省エネ取組の評価のあり方を検討する。

#### 物流危機に対応するサプライチェーン全体の効率化・省力化

- トラックドライバー不足が深刻化する一方、商品の多品種少量化をはじめ、不合理な商慣行、標準化・データ連携の遅れ等を背景に、非効率な輸送環境となっている。また、宅配においても、高い再配達率等の課題あり。
- 単体の効率向上のみならず、AI・IoT等の新技術を活用し、物流システム全体での効率化を進めることが必要。

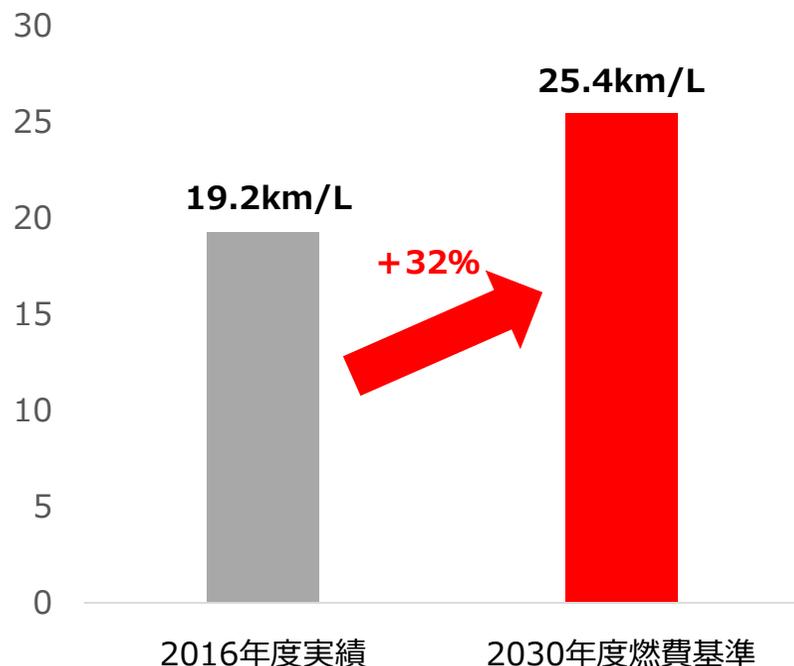
#### AI・IoT等を活用した物流全体の効率化

- 発荷主・輸送事業者・着荷主が連携してサプライチェーン全体の効率化に向けた取組の普及や輸送部門のデジタル化を進める。

# 【課題①】燃費性能の更なる向上

- 令和元年度の総合資源エネルギー調査会自動車燃費基準WGにおいて“Well to Wheel”の考え方を踏まえ、EV、PHVを対象とした2030年度基準を策定した。
- 今後は、電気自動車及びプラグインハイブリッド自動車を新たに燃費基準の対象とし、その普及を見込むなど、極めて野心的な燃費向上を製造事業者等に求めることとした。

## ■ 2030年度燃費基準



## ■ 次世代自動車の普及目標

<参考> 2019年新車乗用車販売台数：430万台

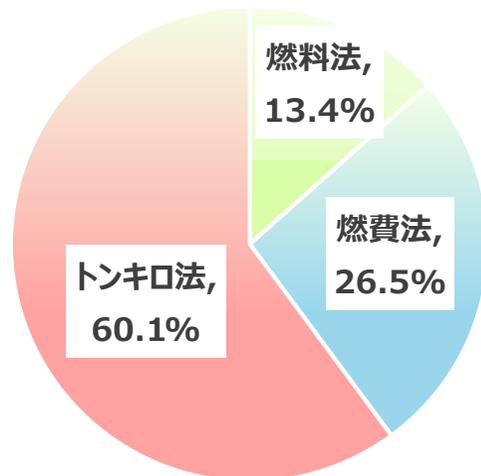
	2019年 (新車販売台数)	2030年
従来車	60.8% (261万台)	30~50%
次世代自動車	39.2% (169万台)	50~70%*
ハイブリッド自動車	34.2% (147万台)	30~40%
電気自動車 プラグイン・ハイブリッド自動車	0.49% (2.1万台) 0.41% (1.8万台)	20~30%
燃料電池自動車	0.02% (0.07万台)	~3%
クリーンディーゼル自動車	4.1% (17.5万台)	5~10%

\*次世代自動車戦略2010「2010年4月次世代自動車研究会」における普及目標

## 【課題②】荷主規制の状況と今後の方向性

- 平成30年の省エネ法改正により、輸送方法を決定する者を「荷主」と定義し、インターネット小売事業者を対象とするなどの見直しを行い、令和2年4月から適用が開始している。
- 荷主規制を通じた物流関係事業者の省エネ取組は重要であるが、エネルギー使用量に係る算定方法の違い等もあり、**荷主の省エネ取組が適切に評価されていない可能性がある。**
- このため、**更なる省エネ取組を誘発できるよう、算定方法切替えの促進や、荷主の省エネ取組の評価のあり方の検討を進めているところ。**

### ■ 算定方法の採用割合（平成30年度）



### ■ エネルギー使用量の算定方法と評価できる取組

エネルギー使用量の算定方法		評価できる取組			
		物流量の削減	モーダルシフト・輸送機器の大型化	積載率の向上	燃費の向上
燃料法		○	○	○	○
燃費法		○	○	○	△
トンキロ法	改良	○	○	△	×
	従来	○	○	×	×

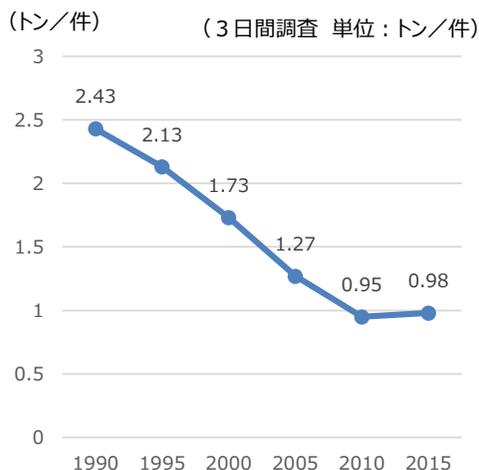
# 【課題②】AI・IoT等を活用した物流全体の効率化

- トラックドライバー不足が深刻化し、モノが運べなくなる事態も危惧される中、商品の多品種少量化、非合理的な商慣行、標準化・データ連携の遅れ等による**非効率な輸送環境が課題**。輸送機器単体の省エネだけでは限界があることから、サプライチェーン全体の効率化・省力化を進めることが必要。
- AIやIoT等の新技術を活用できれば、**サプライチェーン全体で大規模な物流効率化・省力化が可能**。小売事業者を含めたサプライチェーン全体の関係事業者（発荷主・輸送事業者・着荷主等）が連携して伝票やパレット等の標準化・共通化、データの共有を行い、AI・IoTを活用してサプライチェーン全体の物流の効率化を図る取組の実証を実施。

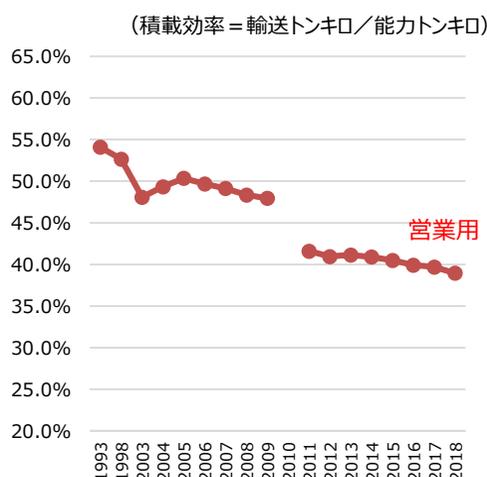
## 輸送の小口化と積載効率の低下

- 1回の運送で運ばれる貨物の重量は減少から横ばいに転じたが、平均で1トン未満である状況は変わらず小口化は改善されていない。
- 営業用トラックの積載効率は直近では約40%まで低下している。

### 貨物一件あたりの貨物量の推移

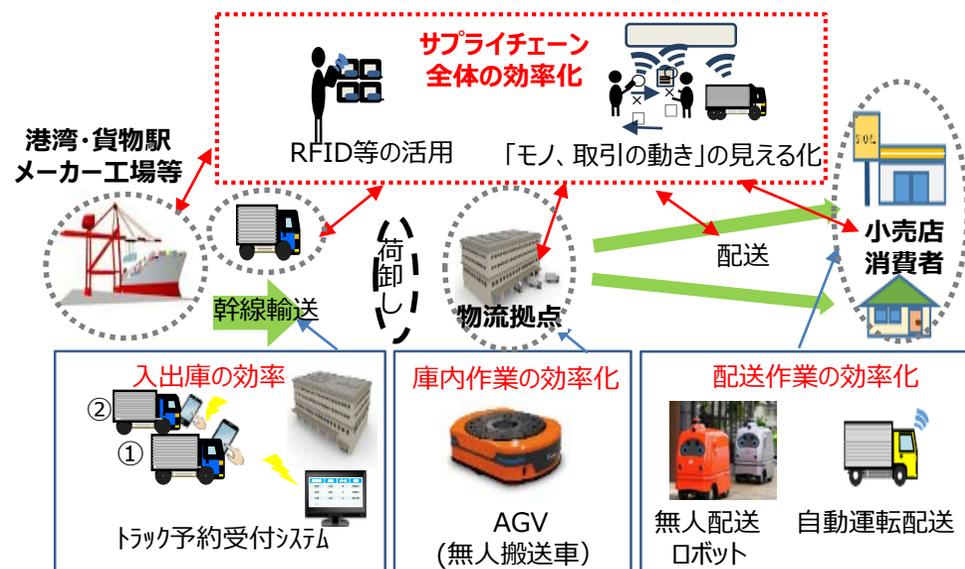


### トラックの積載効率の推移



## サプライチェーン全体の輸送効化に向けた実証

- 発荷主・輸送事業者・着荷主等が連携し、物流システムの標準化・共通化、AIやIoT等の新技術の導入により、サプライチェーン全体の効率化を図る取組につき、省エネ効果の実証を支援



# 運輸部門のエネルギー転換に向けた課題と対応の方向性

## 課題

## 方向性

①  
電動化の  
推進・  
車の使い方  
の变革

### EV・FCVの価格低減・インフラ整備 環境負荷低減と都市交通最適化の同時実現

- 車両価格やエネルギーコストが既存技術と比べて高く、充電時間の長さや航続距離など社会受容の拡大の観点から課題。
- 充電・燃料インフラ整備を進める必要があり、インフラ事業のビジネス性にも課題。

- 電動車・インフラの導入拡大
- 電池・燃料電池・モータ等の電動車関連技術・サプライチェーン・バリューチェーン強化
- 車の使い方の变革  
\* グリーン成長戦略「実行計画」⑤自動車・蓄電池産業、⑧物流・人流・土木インフラ産業

自動車

②  
蓄電池

### 大量生産による低価格化、全固体電池などの次世代電池の実用化による性能向上

- 蓄電池産業の国際市場は激化中、今後電動車の普及を進める上で、蓄電池の確保及び安定したサプライチェーン構築が課題。

- 電池のスケール化を通じた低価格化
- 次世代電池の研究開発・技術実証
- ルール整備・標準化  
\* グリーン成長戦略「実行計画」⑤自動車・蓄電池産業

③  
燃料の  
CN化

### 合成燃料の低価格化と製造技術・体制の確立

- 商用化に向けた一貫製造プロセスが未確立。
- 大規模な製造設備の投資・設備維持コストが必要となり、低コスト化が課題。

- 合成燃料の大規模化・技術開発支援  
\* グリーン成長戦略「実行計画」⑤自動車・蓄電池産業

④  
【航空機】  
航空機電動化・  
水素航空機、  
バイオジェット燃料  
の技術開発

### 電動化・水素航空機の実現に向けた要素技術の開発が課題、バイオジェット燃料はコスト低減が課題

- 航空機向け電池、モータ等の性能向上が必要。
- 軽量かつ安全性を担保した水素貯蔵タンク、水素燃料に適したエンジン開発、航空機向け水素供給インフラ、サプライチェーンの検討が必要。
- バイオジェット燃料の安定供給、コスト低減のための大規模化が必要。

- 装備品電動化、ハイブリッド電動化、水素航空機コア技術の確立
- 大規模実証を通じて、コストを既製品と同程度まで低減。競争力のあるバイオジェット燃料の供給拡大  
\* グリーン成長戦略「実行計画」⑩航空機産業

航空機・  
船舶・  
鉄道

⑤  
【船舶】  
アンモニア燃料  
水素燃料  
の技術開発

### 船舶用の技術開発が課題

- 水素・アンモニアを直接燃焼できるエンジンが存在しない。
- 水素・アンモニアと共通の特徴を持つLNGでは、タンクが貨物スペースを圧迫する等、課題が多い。
- 既存船に対するCO2排出規制の国際枠組みが存在しない。

- 水素・アンモニア燃料エンジン、燃料タンク、燃料供給システムの開発・実用化を促進。
- スペース効率の高い革新的な燃料タンクや燃料供給システムの開発を促進
- ゼロエミッション船の実現に向けた国際ルールの整備を促進（安全基準も含め）  
\* グリーン成長戦略「実行計画」⑩船舶産業

⑥  
【鉄道】  
蓄電池車両  
燃料電池車両

### 技術は一定程度確立も、既存技術と比べて高コスト

- 蓄電池、燃料電池で駆動する車両の実証・導入は進むも、自立的な普及には製品価格などで課題。

- 蓄電池、燃料電池技術を中心に、技術開発によりコスト低減を進める

(注) これらの課題以外にも、今後検討を深める中で生じる様々な課題について対応策を検討する必要がある。

# 運輸部門の脱炭素技術の確立状況

	乗用車	商用車	バス	船舶	航空機	鉄道
CO2排出量 (2018)	10.2千万トン	7.7千万トン	0.4千万トン	1.1千万トン	1.1千万トン	0.1千万トン
脱炭素 技術確立	EV、FCV が商用化	EV、FCV の実証中 本格商用化に向けて運用面での実証実施 合成燃料等、既存自動車の脱炭素化に貢献する技術開発もあり	EV、FCV が一部商用化	技術開発中 水素燃料電池船のFS を実施中。燃料電池 船・EV船・ガス燃料船 等（水素・アンモニア 等）の技術開発・実 証を実施し、2028年 までにゼロエミッション船 の商業化を目指す	技術開発中 ・電動化技術開発中 ・エアバスは2035年ま でに水素航空機の商 用化を目指す ・バイオジェット燃料の 実証を実施	蓄電池車両 の商用化 燃料電池車両につい て、技術開発中

脱炭素アプ ローチ	<p><u>エネルギーの脱炭素化と合わせ、 電動化を推進</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・電動化の推進・車の使い方の変革</li> <li>・燃料のカーボンニュートラル化</li> <li>・電動車の要の蓄電池の大量生産・性能向上 などに取り組む必要</li> </ul>	<p>技術が存在せず、 <u>イノベーションが不可欠</u> (既に要素技術が確立されてい るものは、コスト低減等の実現の ための技術実証（大規模化 等）)</p>	<p><u>普及に向けて、 更なる取り組 みが必要</u></p>
--------------	--	--	---

# 【課題①】電気自動車・燃料電池自動車等の課題と特性

◆ EVやFCVは、

- ・経済性：イニシャル/ランニングコストの低減など
- ・運用性：航続距離、充電時間など
- ・インフラ：EV等の導入に合わせた整備、ビジネス性の向上など

といった課題（特に軽自動車や商用車）がある。

⇒電池価格低減による車両の低価格化に加え、車の使い方の変革等のアプローチも追求する必要。

		EV	PHV	FCV
経済性	車両価格	約300万円～	約300万円～	約700万円～
	燃料/電力コスト※	年間2.5万円	(利用方法に依存)	年間7.3万円
運用性	航続距離	約300～500km	EV走行距離：約65～95km + ガソリン走行距離	約650～850km
	充電/充電時間	長い 急速充電で30～60分	中程度 急速充電で20分程度	短い 3分
インフラ	数・配置コスト	急速・普通充電：約30,000基 比較的安価		162箇所（整備中含む） 高価
	ビジネス性	多くの事業者が赤字運営 ※運営費用（電気代）などが回収できていない、EV等の利便性上立地は必要だが稼働率が低くなる場所がある等の実態		赤字運営 ※初期費用・運営費用ともに高価

※試算の前提：年間走行距離1万km、電気代20円/kWh（FIT賦課金は含む。基本料金は本試算では算出に用いない。）、水素価格1100円/kg、EV（電費）8km/kWh、FCV（水素燃料費）150km/kg。（参考）ガソリン車（20km/L）、ガソリン価格130円/Lとすると、年間6.5万円、HEV車（30km/L）では年間4.3万円

## 軽貨物EVの低コスト化

(株) ミツバ

軽貨物EVを製作し、実配送ルートによる支線配送に適用した際のライフタイム経済性・オペレーション成立性を算出し可視化する。

ライフタイム経済性

軽貨物EVの車両費、低電圧バッテリーのコスト、車両メンテナンス費、充電設備投資費、充電費用等から算出

オペレーション成立性

EV特有の効率の良い走行パターンや実ルート的高低差を加味した配送ルート等をデータ化したオペレーションモデルを作成し、エンジン車両との比較検証を行う。



## 車両・運用・インフラ最適化

東京電力ホールディングス(株)

電動車普及と充電インフラ整備を一体的に進めるモデルエリアを構築し、経済合理性を成立させる。

<サービスモデルのイメージ>



特定ユーザーによる充電器シェアモデルの構築

1台の急速充電器を共同利用する企業等を募集

業務運営と経済合理性が成立する充電器の稼働

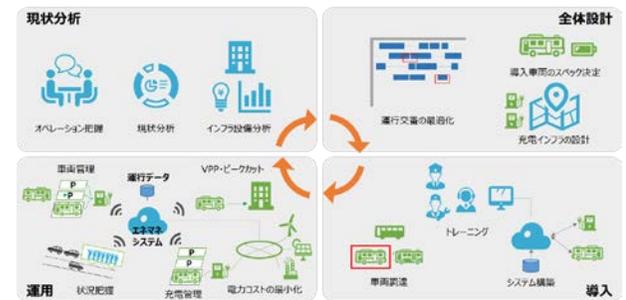
EV利用とインフラ整備が両立するパッケージを横展開

## EVバスの実装化

(株) みちのりホールディングス

EVフィットしたバス運行体制を構築し、エネルギー利用と運行管理を実施することでEV導入を経済合理的で、現実的な選択肢とすることを目指す。

解決すべき課題



バスの運行管理とエネルギー管理を一体化したエネルギーマネジメントシステムのシミュレーション及び技術検証を行い、電動バス導入の地方版モデルを構築。

## (参考) 商用車の電動化の取組② (燃料電池トラック (FCトラック) の実装に向けた取組)

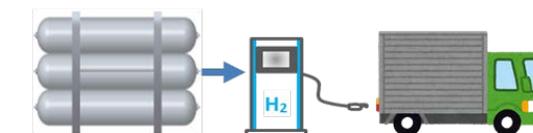
- 世界的に商用車における燃料電池活用への期待が高まる中、民間企業において、燃料電池大型トラック等の大型水素モビリティについての開発や実証に向けた取組が開始。
- EU、ドイツ、フランスなどが発表した水素戦略では、大型トラック等の商用車における水素利用を重視。
- 令和2年度からのNEDO事業において、燃料電池大型トラック対応の水素STの開発に着手。

### 国内外におけるFCトラックを巡る動き

主体	内容
トヨタ・日野	● 25t級の燃料電池トラックの開発と、物流事業者とともに2022年度春よりFC大型トラックの実証実施。
ホンダ・いすゞ	● 燃料電池トラックの開発に向けた共同研究契約を締結。
ボルボ・ダイムラートラック	● 燃料電池の大量生産に向け、合併会社の設立に合意。 ● ダイムラーはFCトラックの試験走行を2023年に計画。
マン・トラックバス	● 2023/24年にFCトラックの試験走行を計画。

### <燃料電池大型トラック対応水素STの技術開発>

- ✓ 燃料電池トラック用STの設備仕様検討
- ✓ 充填プロトコル、計量システムの検討



蓄圧器      ディスベンサー      FCトラック

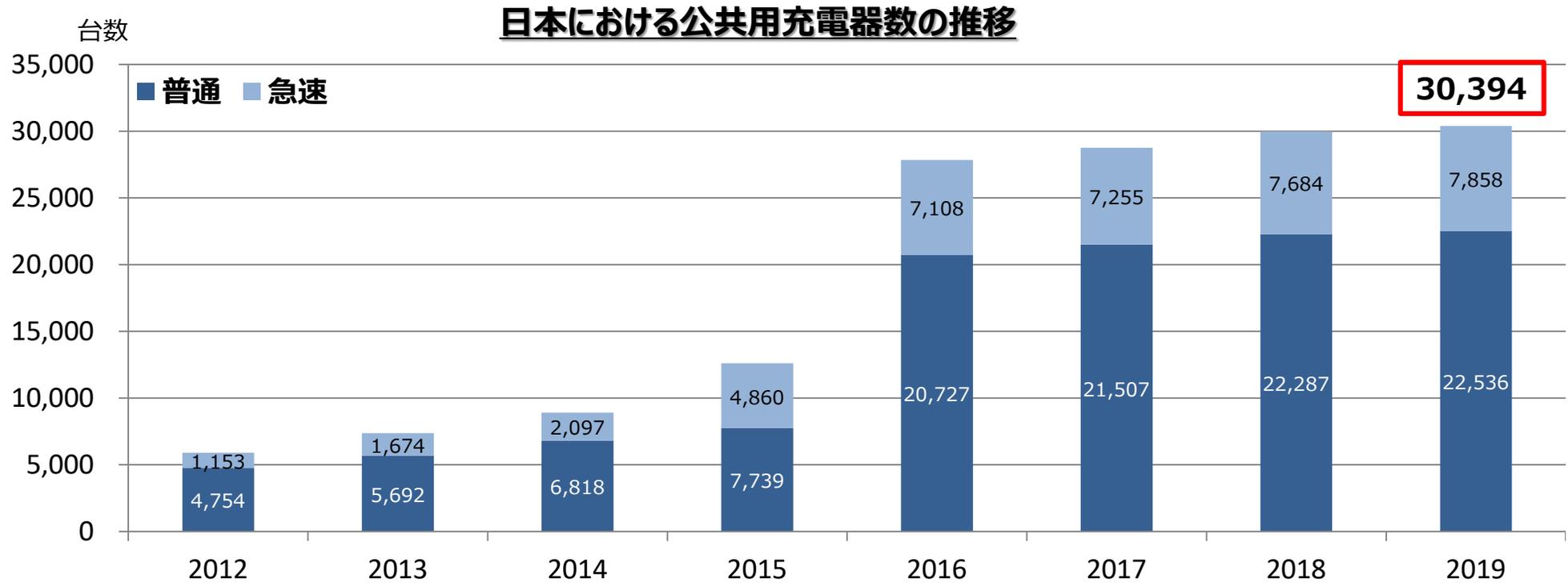
### <物流事業者によるFCトラック走行実証> (例：ヤマト運輸)

- ✓ 羽田クロノゲートと群馬間で宅配便荷物等の拠点間輸送を行う



(※) 出典：アサヒホールディングス(株)、西濃運輸(株)、NEXT Logistics Japan(株)、ヤマト運輸(株)、トヨタ自動車(株)、日野自動車(株)

# (参考) 公共用充電器普及台数



出典：ゼンリン調べ

### 各国におけるEV/PHEVの累計販売台数と公共用充電器数 (2019年実績)

	日本	中国	米国	ドイツ	イギリス	フランス	オランダ	スウェーデン	ルウエー
EV・PHEVの累計販売台数 (万台)	29.4	334.9	145.0	25.9	25.9	22.7	21.5	9.7	32.9
公共充電器数 (万基)	3.0	51.6	7.7	3.7	2.7	3.0	5.0	0.9	0.9
EV・PHEV1台あたりの充電器数 (基/台)	<b>0.10</b>	<b>0.15</b>	0.05	<b>0.14</b>	<b>0.10</b>	<b>0.13</b>	<b>0.23</b>	<b>0.10</b>	0.03

# (参考) FCVの普及と水素ステーション整備

- **トヨタは2020年末に燃料電池自動車「MIRAI」の次期モデルが発売開始。**FCVの基幹ユニットとなるFCスタックと高圧水素タンクの生産能力を、現状の年間3,000台から**年間3万台以上へと拡充予定**。
- 水素ステーションの2020年代後半の自立化に向けて、**規制改革、技術開発、ステーションの戦略的整備**を三位一体で推進。4大都市圏を中心に、137箇所が既に営業開始。**ステーションの整備費・運営費**に対し、補助金支援。

## 燃料電池自動車の市場投入

国内約3,800台、世界では約25,000台の導入が進む

### トヨタ自動車



<2014.12>

- 燃料電池自動車「MIRAI」を販売開始（税込価格723.6万円）

<2020.12>

- 新型「MIRAI」が発売開始

### 本田技研工業



<2016.3>

- 燃料電池自動車「CLARITY FUEL CELL」を販売開始（税込価格766万円）

<2020.6>

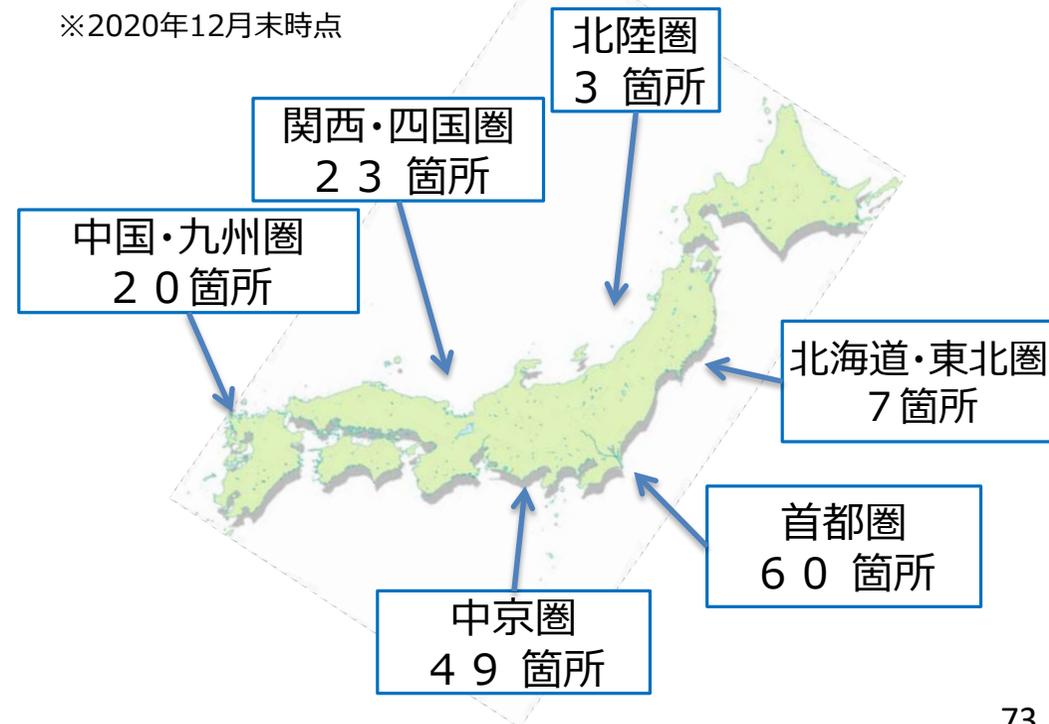
- 個人向けリースの取り扱い開始

※現代自動車は2018.3にSUV型の燃料電池自動車「NEXO（ネクス）」を販売開始。

## 水素ステーションの整備状況

**全国：162箇所（開所：137箇所）**

※2020年12月末時点



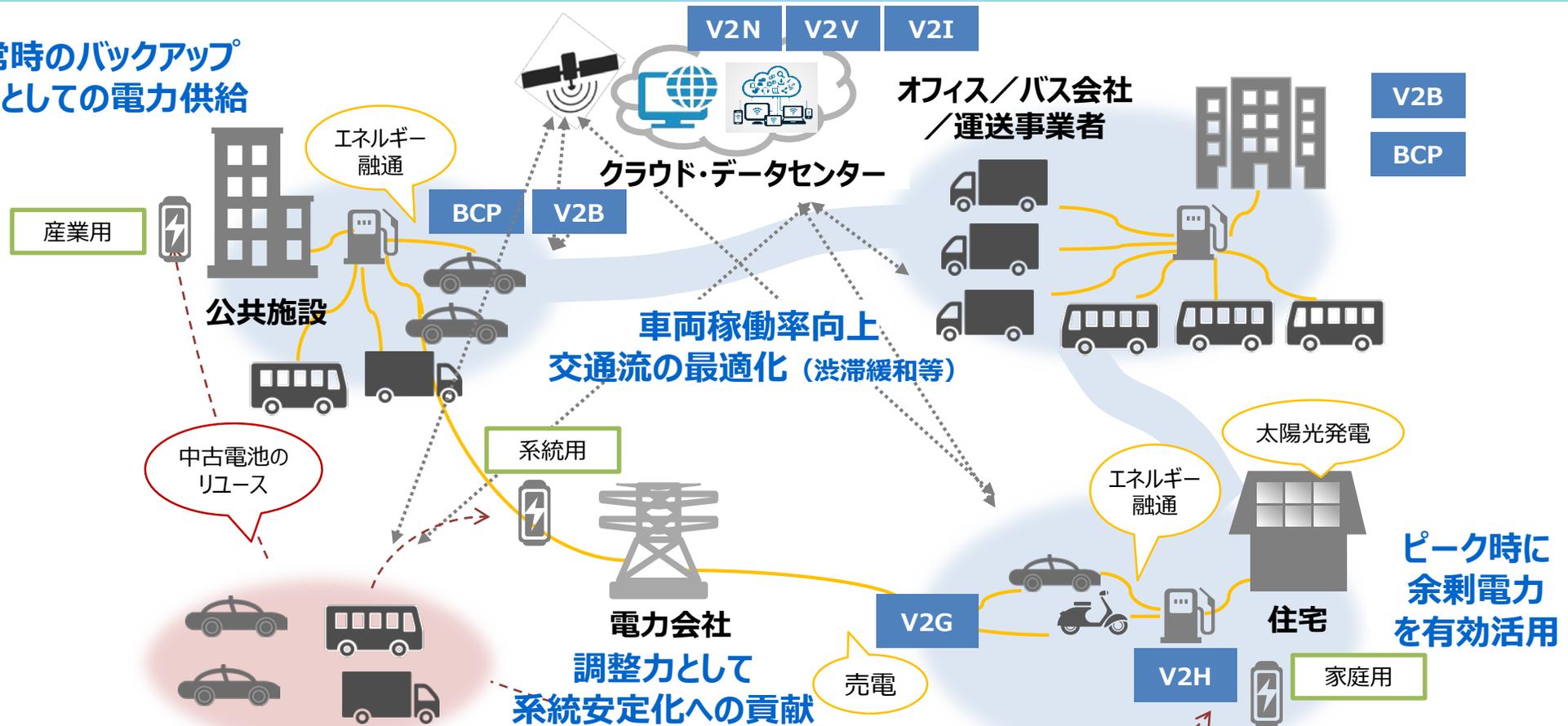
# (参考) 各国の電動化政策 (乗用車)

国・地域	電動化の方向性	電動車義務化	燃費規制	乗り入れ規制	BEV/PHEV/FCEV 導入目標
 英国	<b>2030年内燃機関車販売禁止</b> ※ハイブリッドは2035年販売禁止	<b>義務付けの 規制はなし</b>	2020年95g/kmから 2025年、2030年に 段階的に厳格化	ロンドン市内： 19年から排ガス車規制	2030年販売目標 <b>BEV比率50~70%</b>
 フランス	<b>2040年内燃機関車販売禁止</b> ※ハイブリッドの扱い非公表	<b>義務付けの 規制はなし</b>	2020年95g/kmから 2025年、2030年に 段階的に厳格化	パリ市内： 15年から排ガス車規制	2028年ストック台数目標 <b>BEV:300万台</b> PHEV:180万台
 中国	<b>国の目標はなし</b> ※自動車エンジニア学会： 2035年全車電動化 (HEV50%、BEV・PHEV ・FCEV50%)を発表	NEV規制により一定の <b>販売を義務化</b>	2020年5ℓ/100km (=20km/ℓ)	一部地域で19年から検討中 (+ナンバープレート発行規制)	2025年販売目標 <b>NEV(=BEV・FCEV・PHEV) 比率20%</b>
 ドイツ	<b>国の目標はなし</b> ※連邦参議院： 2030年内燃機関車販売禁止を決議	<b>義務付けの 規制はなし</b>	2020年95g/kmから 2025年、2030年に 段階的に厳格化	ベルリン市内： 10年から排ガス車規制	2030年ストック台数目標 <b>BEV・FCEV: 700~1,000万台</b>
 米国	<b>国の目標はなし</b> ※カリフォルニア州知事： 2035年BEV・FCEV100%	<b>義務付けの 規制はなし</b> ※カリフォルニア州は ZEV規制により 一定の <b>販売を義務化</b>	2025年54.5mpg(注) (≒23.2km/ℓ) から40.4mpg (≒17.2km/ℓ)へ変更 ※トランプ政権下の変更 (注) mpg=mile per gallon	カリフォルニア州： ZEV専用レーンを設置	<b>国の目標はなし</b> ※カリフォルニア州知事： 2035年販売目標 <b>ZEV(=BEV・FCEV) 比率100%</b>
 日本	<b>2035年までに、 新車販売で電動車100%</b>	<b>義務付けの 規制はなし</b>	2030年25.4km/ℓ	なし	2030年販売目標 <b>BEV・PHEV比率20~30%</b> <b>FCEV比率~3%</b>

# (参考) 車の使い方の変革の重要性

- 電動車は、エネルギーシステムと連携することにより、非常時のバックアップ電源（BCP）や、再エネ活用のための蓄電池（V2H）、システムへのバーチャルパワープラント（VPP）として活用可能。
- 車載電池のエネルギーシステム等での二次利用を進めることで、電池のライフサイクルでの経済性向上とエネルギーシステムの再エネ導入拡大・レジリエンス向上の両立も可能。
- 自動走行・デジタル技術の活用や、MaaSを含む車の使い方の変革により、車両稼働率向上（→EV等の経済性向上など）と交通流の最適化（→渋滞等によるエネルギーロスの低減など）も実現。

## 非常時のバックアップ電源としての電力供給

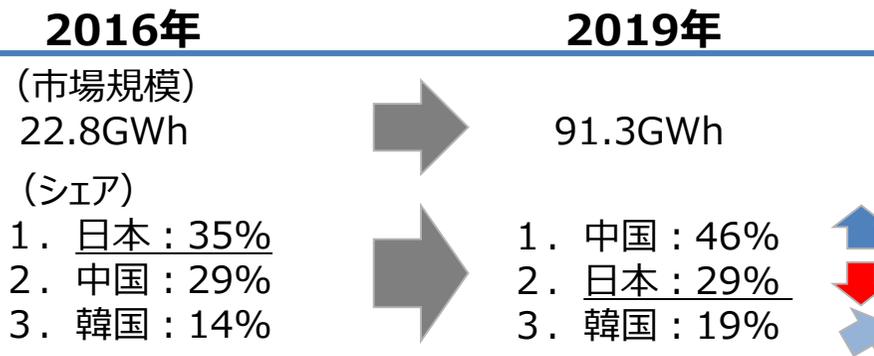


# 【課題②】蓄電池の課題

- **車載用電池は電動車のキーデバイス**であり、将来の自動車産業の競争力に大きな影響を及ぼす。  
(例えば**電池のみでBEV車のコストの約3割**を占め、電池の性能が走行距離等の車体性能に直結)
- **グローバルに競争が激化**。我が国の戦略産業として、需要・供給の両面からの新たな強化戦略を進めていく。

## 車載用電池の国際競争

- この3年で市場規模は約4倍に。
- 中国・韓国がシェアを伸ばす一方、日本はシェア低下。



## 各国の政策

- **中国** : 電池メーカーへの設備投資支援や土地・建物貸与等
- **欧州** : ・バッテリーアライアンス及び電池メーカーへの研究開発・設備投資補助金  
・バッテリー指令の改正
  - ライフサイクルでのCO2排出ラベル、
  - 材料の倫理的調達、
  - リユース・リサイクル促進等

## ◆日本の目指すべき姿 : BEV等の普及・生産の拡大と、それを支える国内電池・素材サプライチェーンの強靱化

BEV等の電動車

電池

素材

✓ 国内電池需要の拡大(10倍超)を見据え、国内生産確保

✓ 競争力維持とともに、正極等の重要素材の国内生産確保

## 需要・供給面からの新たな強化戦略

(需要)

- BEV等の普及加速  
(補助金、規制等)
- エネルギーシステムとの連携  
(VPP、電池リユース)

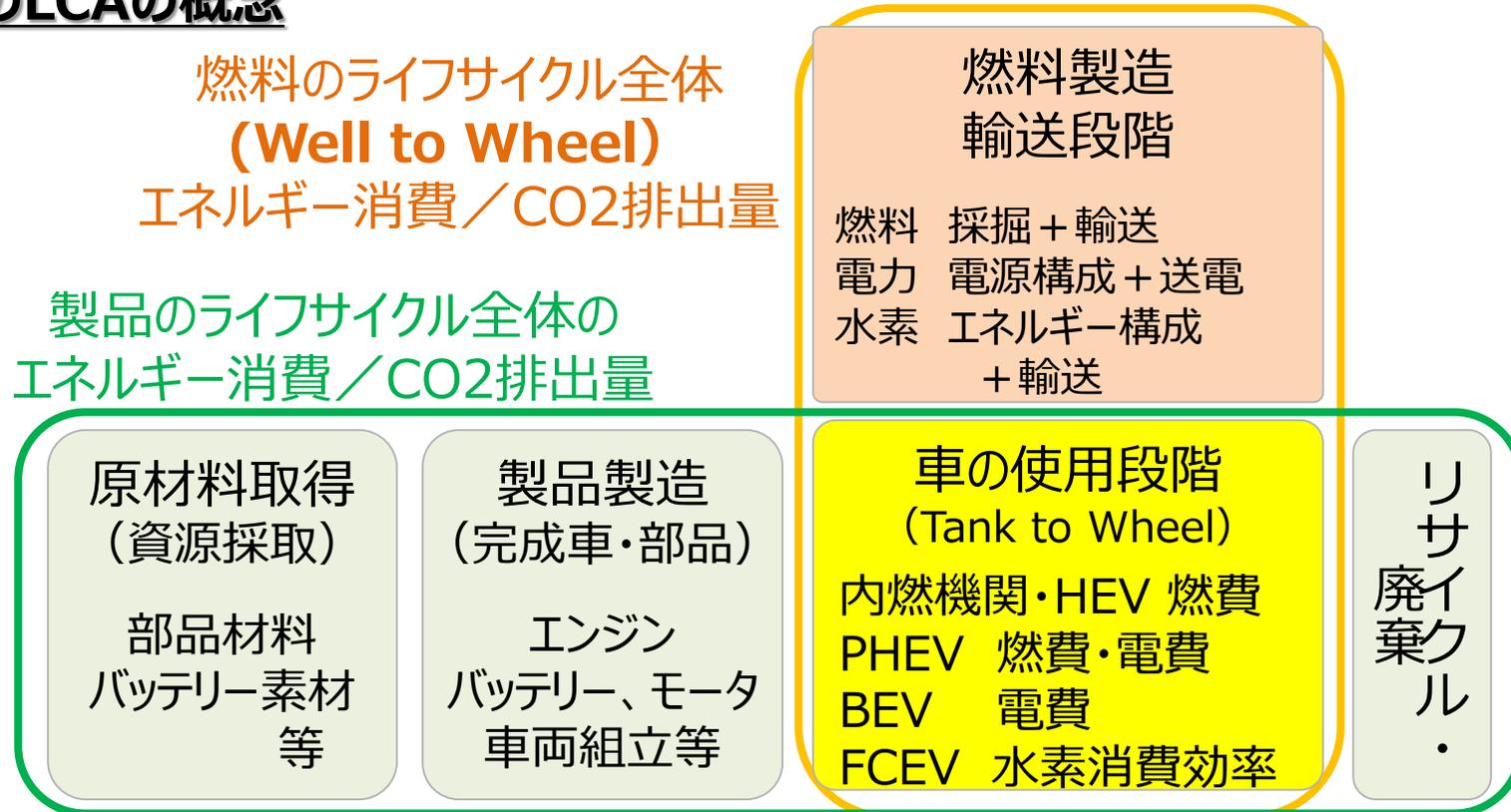
(供給)

- 電池・素材国内立地支援
- 次世代電池・革新材料の開発
- 電池の標準化等における国際連携
- 鉱物(リチウム・コバルト等)の安定的かつ安価な確保

# (参考) 自動車のライフサイクルでのCO2削減の重要性

- 2050年カーボンニュートラルの実現に向けては、従来の燃費（Tank to Wheel）のみならず、原材料の採取から製造、使用、廃棄に至るライフサイクル全体を通じた環境負荷について検討することが重要。

## 自動車のLCAの概念



## 各国の動向

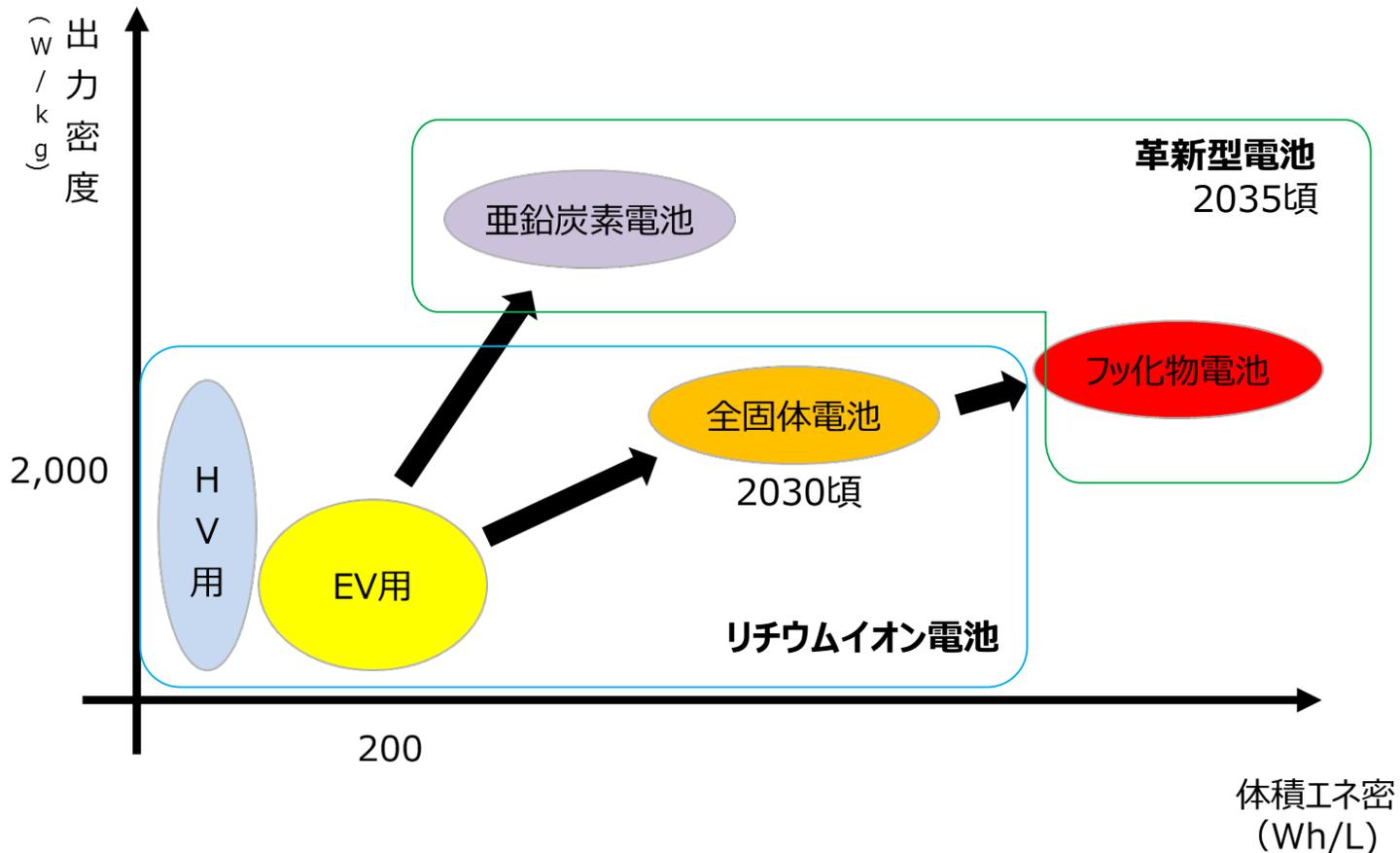
日本：Well to Wheelでの燃費規制導入（2030年～）

欧州：バッテリーのLCA規制制度（バッテリー指令改正で、2024年からラベル規制、2027年から市場アクセス制限を検討）、CO2排出評価をTank to WheelベースからLCAベースに変更検討

中国：LCA規制導入検討（2025年頃～）

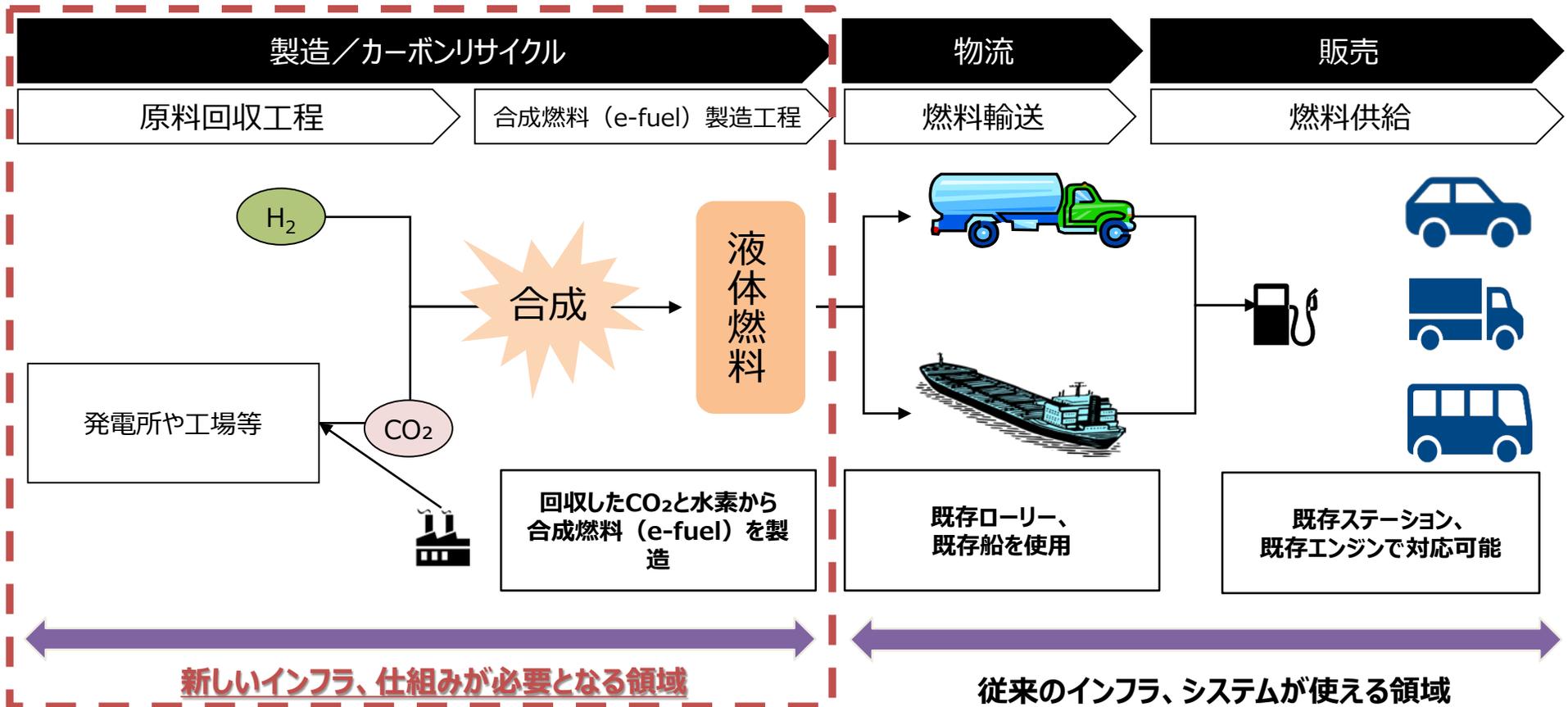
## (参考) 電池の技術進化について

- 電池は、現在液体リチウムイオン電池が主流。一方、エネルギー密度（航続距離や電池サイズ等に影響）や出力密度（回生エネルギーの回収のしやすさ等に影響）の向上などに課題。
- 今後、全固体電池、革新型電池など、エネルギー密度や出力密度が高い電池へと進化を遂げていく見込み。日本が強みを持つこれらの次世代電池技術を産業競争力に繋げていくためには、足下の電池産業の維持・強化が不可欠。



# 【課題③】カーボンリサイクル燃料（合成燃料）について

- カーボンリサイクル燃料の中でも、メタネーション以外は、未開発の技術であり、合成効率の高い触媒の開発が必要。事業化に向けては、安価な水素や再エネによる電力を要する。また、最終的にカーボンニュートラルにするにはDACなどを含めた検討が必要。
- これらの技術開発が実現した場合、内燃機関を使ったままカーボンニュートラルが達成可能。さらに、SS等既存の燃料インフラがそのまま活用可能。  
⇒ 鍵は“コストを下げる製造工程のイノベーション”
- ドイツは、サプライチェーン全体の雇用を守るため、ディーゼルエンジンの生き残りをかけ、e-dieselを開発中。

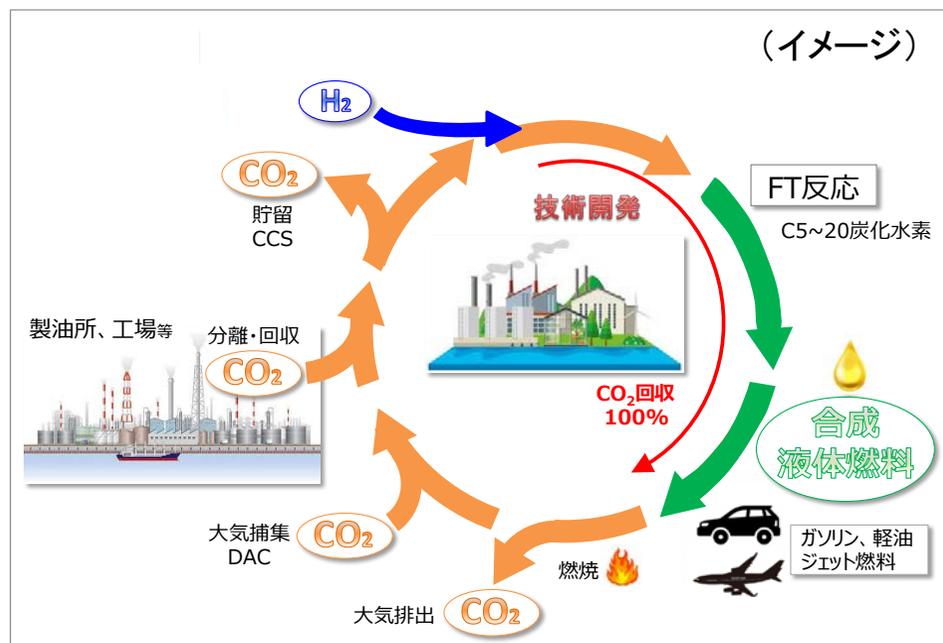


# (参考) カーボンリサイクル燃料 (合成燃料) に関する国内の取組状況

- 合成燃料は、商用化に向けた一貫製造プロセスが未確立であることが課題。
- 本年3月から、JPEC(石油エネルギー技術センター)、石油会社(ENEOS、出光興産)等が連携し、合成燃料の製造技術の研究開発に取り組む予定。

## 合成燃料の技術開発

革新的な合成技術によって、CO<sub>2</sub>から合成燃料を製造する技術開発



※石油エネルギー技術センター作成

## (参考) 液体燃料のレジリエンス

- 合成燃料は、石油製品と同様に可搬性があるため、例えば、積雪により高速道路で立ち往生した自動車に対しても給油可能。
- また、災害対応機能を有するSSなどの既存の燃料供給インフラがそのまま活用できるなど、燃料供給のレジリエンスの観点から優位性。



自衛隊が関越道で立ち往生する車両に給油するための燃料をSSにおいて充填（令和2年12月）

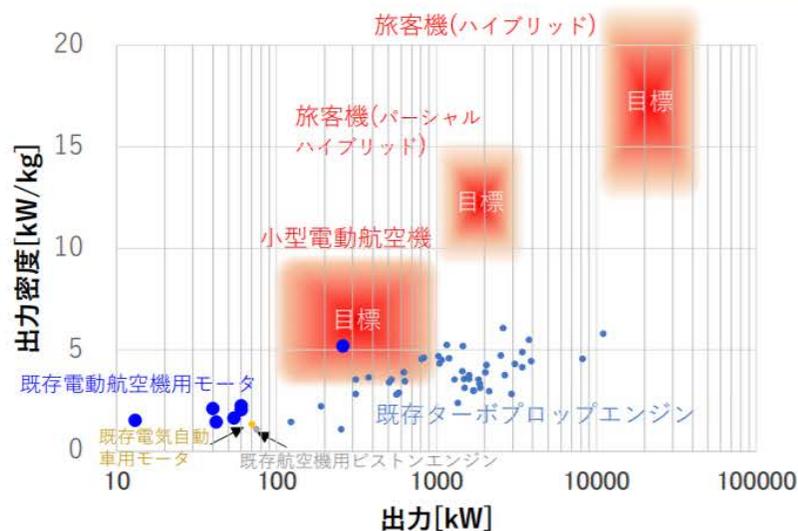


関越自動車道の立ち往生発生状況（令和2年12月18日）  
出典：大雪に対する国土交通省緊急発表 令和2年12月28日

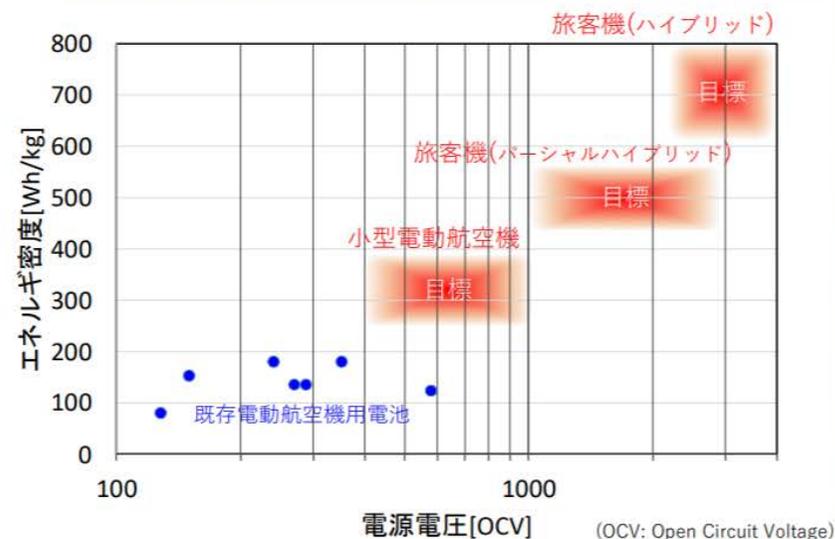
## 【課題④】航空機電動化に必要な性能

- 2030年以降、航空機のシステム及び動力の電動化を進める必要。個別技術の性能向上が必須。
- 2030年代から電動化率の小さいハイブリッド形式を導入し、2050年代頃までに機体構造を大きく変え、多分散ファンを用いるなど電動化率が高まっていく。
- 合わせて、2035年以降、水素燃料・燃料電池を活用した水素航空機も市場に投入される可能性。

### 航空機電動化に必要な電池・モータ・インバータの性能



電動モータとインバータの合算出力密度目標



電池の目標

# (参考) バイोजェット燃料、水素の活用について

- 電動化（バッテリー）は小型機・短距離（1,000km以下）では活用可能。他方、大型・長距離にはバッテリーでは性能的に耐えられず、バイオジェット燃料や水素の活用（但し、軽量かつ安全な水素燃料タンクや、水素燃焼向けのエンジン部品開発等、技術的課題が存在している）が期待される。
- バイोजェット燃料については、2030年に既存燃料と同価格とすることを目指し、各製造技術（微細藻類培養、ガス化FT合成、ATJ）の開発・実証中。競争力のあるバイオジェット燃料の供給を拡大していく。

Comparison vs. kerosene	Biofuels	Synfuels	Battery-electric	Hydrogen
Commuter <19 PAX				
Regional 20-80 PAX			Maximum ranges up to 500-1,000 km due to lower battery density	No limitation of range
Short-range 81-165 PAX	No limitation of range	No limitation of range		
Medium-range 166-250 PAX				Revolutionary aircraft designs as efficient option for ranges above 10,000 km
Long-range >250 PAX			Not applicable	
Main advantage	Drop-in fuel – no change to aircraft or infrastructure	Drop-in fuel – no change to aircraft or infrastructure	No climate impact in flight	High reduction potential of climate impact
Main disadvantage	Limited reduction of non-CO <sub>2</sub> effects	Limited reduction of non-CO <sub>2</sub> effects	Change to infrastructure due to fast charging or battery exchange systems	Change to infrastructure

## 水素航空機の実現に向けた課題

- 軽量かつ安全な水素燃料タンク
- 水素燃焼向けのエンジン部品開発 等

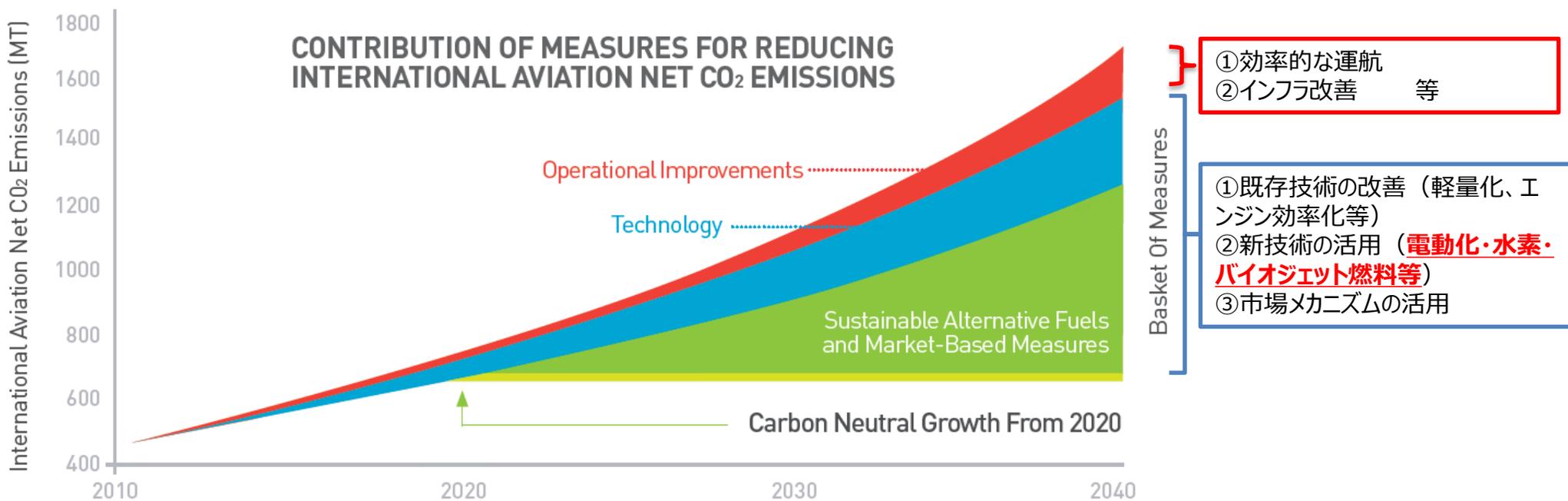
## バイオジェット燃料の製造技術

- 微細藻類培養  
藻にCO<sub>2</sub>を吹き込み、効率的に光合成させ、燃料を製造する技術。
- ガス化FT合成  
木くず等の有機物を蒸し焼き（ガス化）し、触媒で液化する工程により燃料を製造する技術。
- ATJ (Alcohol to jet)  
バイオエタノールを触媒等を用いてバイオジェットに改質する技術。

大規模実証等を通じて、コスト低減・安定生産を実現し、供給の拡大を実現。

# (参考) 国際機関における脱炭素目標

- ICAO(国際民間航空機関)では2020年以降、国際航空に関してCO<sub>2</sub>排出量を増加させないとの目標を採択しており、当該目標達成のためには、既存技術の改善だけではなく、「電動化」「水素」「バイオジェット燃料」など新技術を総動員していく必要。



(参考) JAXA航空機電動化コンソーシアム

[https://www.aero.jaxa.jp/about/hub/eclair/pdf/eclair\\_vision.pdf](https://www.aero.jaxa.jp/about/hub/eclair/pdf/eclair_vision.pdf)

# 【課題⑤】船舶の脱炭素技術における課題・取り組みの方向性

## 推進システム（エンジン等）の開発

### ◆現状

水素燃料電池船やリチウムイオン電池を用いたバッテリー推進船の開発・実証中。遠距離・大型船向けには、高出力が可能な水素・アンモニアを直接燃焼できる燃料エンジンが必要だが、存在していない。

### ◆課題

#### 燃料電池（水素・アンモニア共通）

- 高出力化には燃料電池の大型化が必要だが、重量・サイズの制約上、単純な大型化は困難。

#### 水素燃料船

- 燃焼速度が速く、ノッキング発生等が懸念されるため、燃焼制御技術の向上が課題。
- 水素燃料固有の漏洩、火災・爆発、水素脆化等への安全対策等が必要。

#### アンモニア燃料船

- 燃焼速度が遅く、未燃分が残るため等、燃焼制御技術の向上が必要。
- 燃焼時に発生する $N_2O$ の対策が必要。
- アンモニア固有の腐食性、毒性、臭い等への対策が必要。



水素燃料船



アンモニア燃料船

### ◆取り組みの方向性

- 近距離・小型船向けに、小型・高出力の燃料電池の開発の推進とともに、バッテリー推進船等の普及を推進する。
- 遠距離・大型船向けに、水素・アンモニア燃料エンジン及び付随する燃料タンク、燃料供給システム、これらの船の最適配置、最適構造の開発や実証を推進する。

## 燃料タンク・燃料供給システム等の開発

### ◆現状・課題

水素・アンモニア燃料船で使用する燃料タンク・燃料供給システムが存在しない。

- 水素燃料では液体での使用が期待されるが、 $-253^{\circ}C$ の極低温状態であり、温度管理、低温脆化等の安全対策を施した燃料タンク等の開発が必要。
- アンモニア燃料では毒性等の安全対策を施した燃料タンク等の開発が必要。

#### <熱量当たりC重油との体積比>

ガス燃料	熱量あたり燃料体積
LNG	1.7倍
アンモニア	2.7倍
水素	4.5倍

### ◆取り組みの方向性

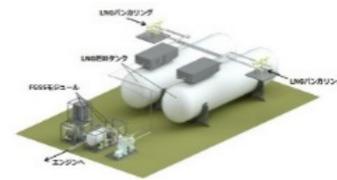
- 水素・アンモニア燃料の燃料タンク・燃料供給システムの開発や、タンクの船内への最適構造、最適配置の開発・実証を推進する。
- LNG燃料船において、スペース効率の高い革新的な燃料タンク・燃料供給システム、これらの船への最適配置・最適構造等の開発や実証を推進する。



円筒型タンク  
(従来型)

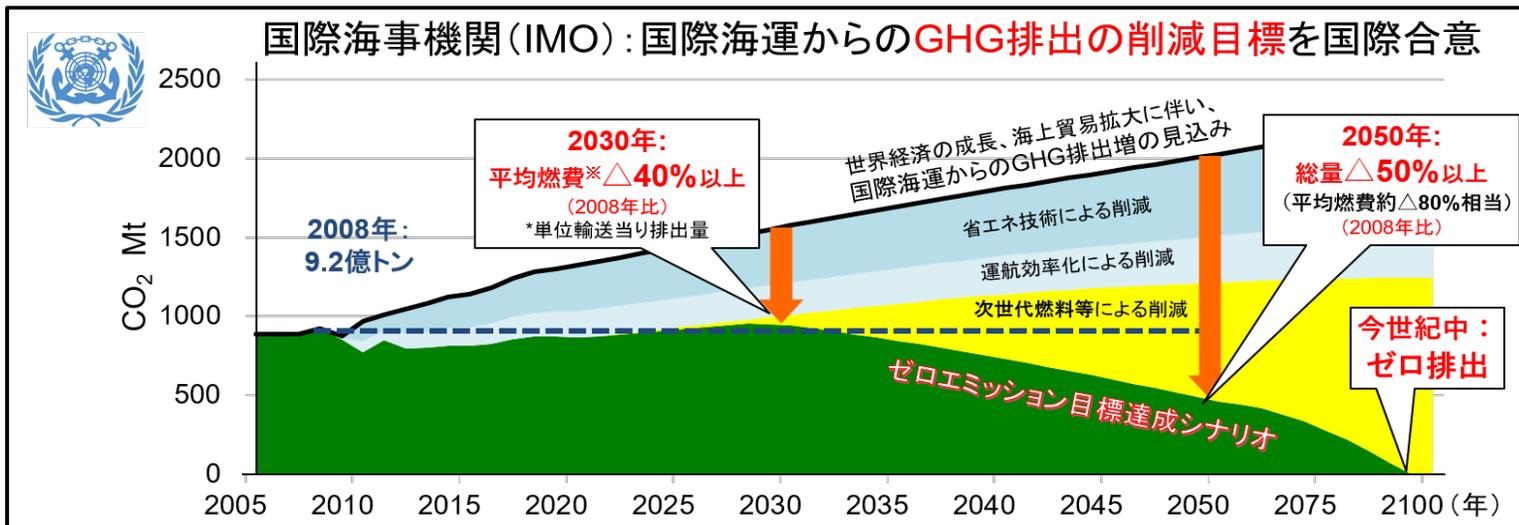


スペース効率の高い  
革新的なタンク



ガス燃料供給装置

# 【課題⑤】国際枠組の整備



## 【現状と課題】

- 既存船に対するCO<sub>2</sub>排出規制の国際枠組みが存在しない。
- ゼロエミ船導入への経済インセンティブがなく、アンモニア・水素燃料船については安全基準が整備されていない。

## 【今後の取組】

- IMOにおいて、日本主導により、既存船に新造船並みの燃費基準達成を義務付ける（EEXI規制）とともに、燃費実績の格付け制度を導入し、省エネ・省CO<sub>2</sub>排出船舶への代替を促進する。
- 水素・アンモニア燃料船の安全基準を整備するとともに、経済的手法（燃料油課金等）を通じてゼロエミッション船の導入を加速させる。

国際ルール策定

日本主導で策定

**新造船の燃費性能規制** 2013年から導入され、規制値は約5年おきに段階的に強化。

**既存船の燃費性能規制、燃費実績の格付け制度**

2020年11月に原則合意。早ければ2023年導入予定。

**ゼロエミッション船(アンモニア燃料船、水素燃料船等)の導入・普及促進制度**

**水素・アンモニア燃料船の安全基準整備**

**経済的手法(燃料油課金等)による取組の加速**

IMOで合意済

今後審議予定

# 【課題⑥】鉄道での蓄電池・水素利用の開発技術

カーボンニュートラルに向け、燃料電池鉄道車両の開発を推進するとともに、蓄電池を電源とするハイブリッド車両等の省エネ車両の導入・普及を促進する。

## 【燃料電池鉄道車両：開発中】



出典：JR東日本HP

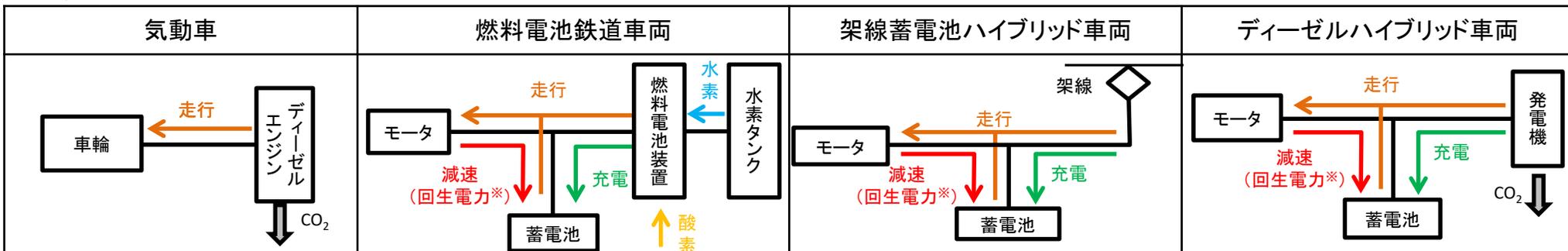
- 水素を燃料とした鉄道車両であり、CO<sub>2</sub>排出がない。
- JR東日本がメーカーと連携して開発中。

### <スケジュール>

2022年3月頃より鶴見線、南武線等において、実証試験を予定。



### <駆動イメージ>



(出典) 国交省提供資料

## 【架線蓄電池ハイブリッド車両：営業中】



出典：JR九州HP

- 電化区間で充電した電力で走行するため、非電化区間走行時のCO<sub>2</sub>排出がない。
- JR九州香椎線やJR東日本男鹿線などで約60両導入(2021年3月ダイヤ改正時)

## 【ディーゼルハイブリッド車両：営業中】



出典：JR九州HP

- 発電した電力を走行環境に応じてモータと蓄電池に分配することでエネルギー効率を高め、気動車と比べCO<sub>2</sub>排出が10%~20%程度少ない(JR東日本、JR九州試算)。
- JR東日本小海線やJR九州長崎線などで約60両導入(2021年3月ダイヤ改正時)

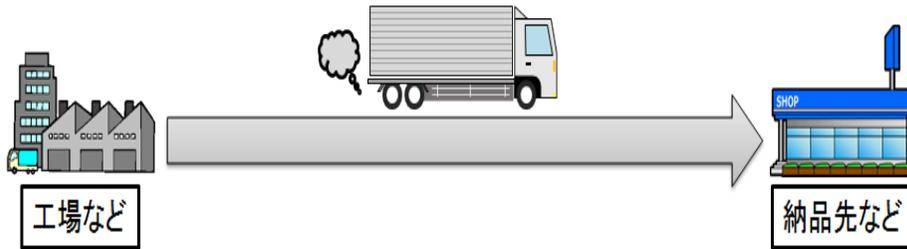
※ 減速時の回生電力を蓄電し走行時に利用することで、CO<sub>2</sub>排出を低減 87

# (参考) モーダルシフトについて

2018年度の輸送量当たりのCO2排出量(トンキロベース)は、鉄道がトラックの約11分の1、船舶が約6分の1であり、引き続き低炭素化に向けて有効なモーダルシフトを推進する。特に、トラックドライバー不足が加速する現状において、フェリーやRORO船、コンテナ船等の海運を活用した長距離物流が進んでいるほか、中・短距離でも実施される例も出てきており、さらに災害時の安定的な物流網確保の観点からもモーダルシフトは重要であり、改正物流総合効率化法によるスキームも活用しながら、引き続き積極的に支援する。

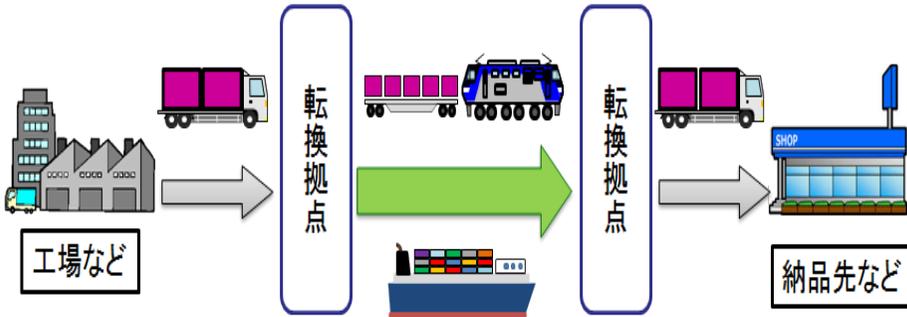
## モーダルシフトとは?

転換前

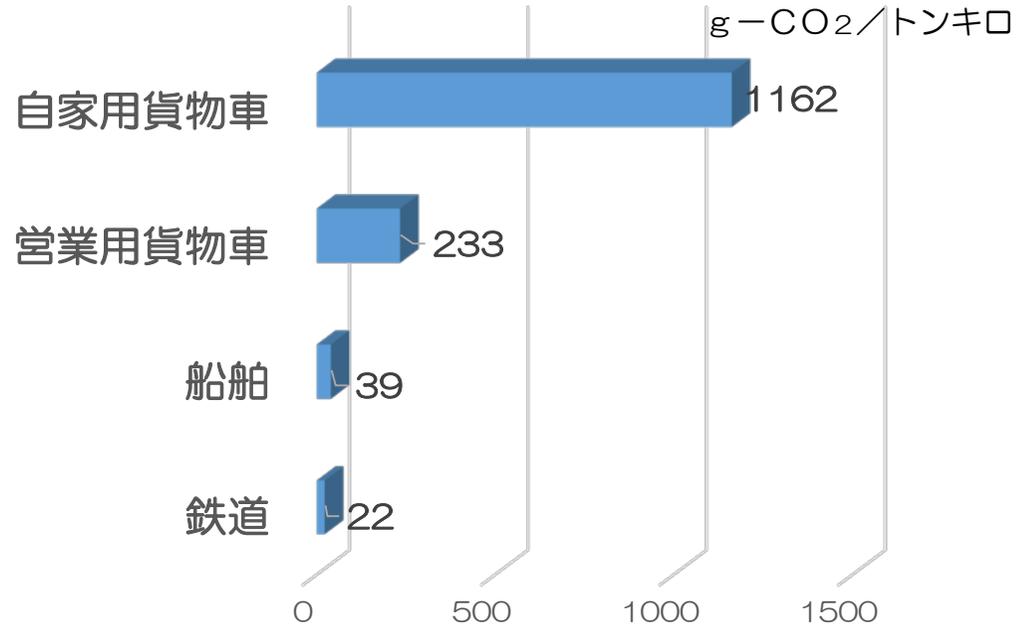


モーダルシフト

転換後



輸送量当たりの二酸化炭素の排出量  
(2018年度 貨物)



※国土交通省環境政策課資料(温室効果ガスインベントリオフィス:「日本の温室効果ガス排出量データ」、国土交通省:「自動車輸送統計」、「内航船舶輸送統計」、「鉄道輸送統計」より作成)を物流政策課にて編集。

# **1. カーボンニュートラルに向けた非電力部門の検討**

- a. 産業部門
- b. 民生部門
- c. 運輸部門
- d. 炭素除去技術**

## 2. シナリオ分析

# 大気中のCO<sub>2</sub>を分離・回収する課題及び対応の方向性

- いずれの部門においても脱炭素に向けた課題が存在し、技術イノベーションが不可欠な領域については、その不確実性を考慮し、炭素除去技術により排出削減する選択肢も重要。
- DACCS、BECCSについての研究開発や植林などを推進する必要。

\* DACCS: Direct Air Carbon Capture and Storage、 BECCS: Bio-energy with Carbon Capture and Storage

## DAC技術の概要・課題（炭素除去技術の例）

### 概要

DACとは、大気中のCO<sub>2</sub>を直接分離し、回収する技術。その方式を大別すると、以下の3種があり、主に化学吸収・吸着法の技術開発が進んでいる。

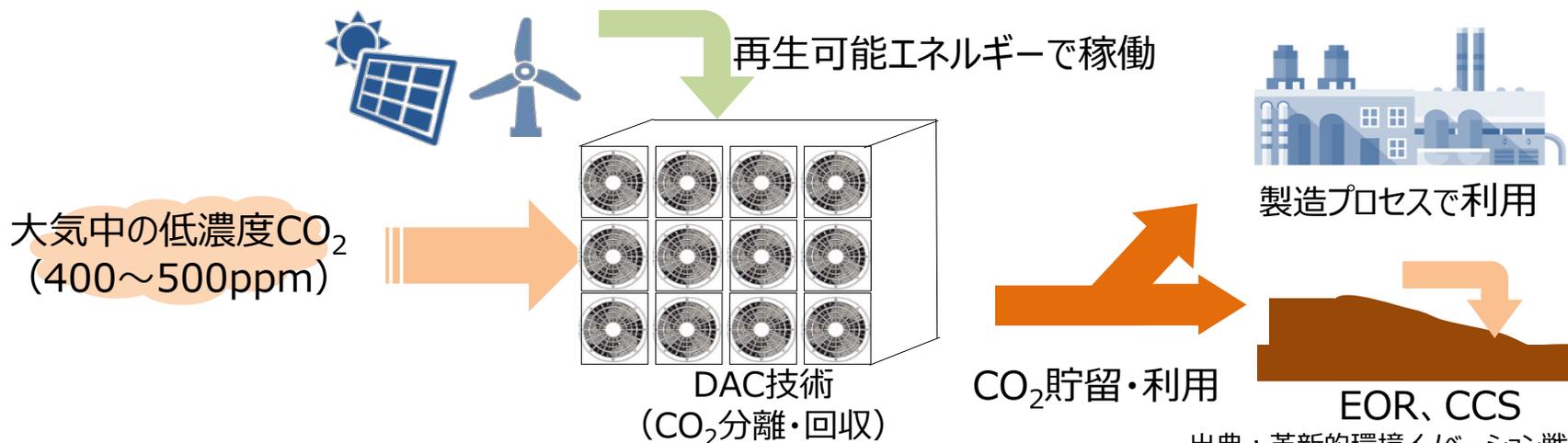
**化学吸収・吸着法**（アミン系吸収液・吸着剤等を用いて空気中のCO<sub>2</sub>を吸収・分離し、その後、加熱や減圧操作により吸収液・吸着材等からCO<sub>2</sub>を回収）

**膜分離法**（イオン交換膜を用いて空気中からCO<sub>2</sub>を分離・回収）

**深冷法**（CO<sub>2</sub>の沸点(-79℃)以下まで空気を冷却し、CO<sub>2</sub>をドライアイスにして分離）

### 課題

- 共通課題として**分離・回収に要するエネルギーコストの低減**が挙げられる。これまでに無い**新たな分離膜、化学吸収剤等の開発や、手法の開発**が必要。
- **再生可能エネルギーや得られたCO<sub>2</sub>の貯留・利用手法とのシステム化**も併せて開発が必要。



# (参考) DACの技術開発の現状

事業者等	分離・回収方式	投入エネルギー（現状）	コスト（現状）
Carbon Engineering（カナダ） ・2018年時点で、化学吸収法によるDACの商業化を進める唯一の会社	化学吸収法 ・水酸化カリウム等の強塩基水溶液を利用	—	232ドル/tCO <sub>2</sub>
Climeworks（スイス） ・大学発ベンチャーであり、DAC技術を利用したCO <sub>2</sub> 製品を商業化した初めての会社	化学吸着法 ・アミン系固体吸収剤等を利用	熱エネルギー： 6.5～9.0GJ/tCO <sub>2</sub>  電気エネルギー： 350～450kWh/tCO <sub>2</sub>	600ドル/tCO <sub>2</sub>
Global Thermostat（アメリカ） ・分離・回収したCO <sub>2</sub> を飲料用等に提供	化学吸着法 ・アミン系固体吸収剤等を利用	熱エネルギー： 4.4GJ/tCO <sub>2</sub>  電気エネルギー： 160kWh/tCO <sub>2</sub>	—
Center for Negative Emissions（アメリカ） ・アリゾナ州立大学内にある研究機関	化学吸着法 ・イオン交換樹脂等を利用	熱エネルギー： 1.1GJ/tCO <sub>2</sub> （圧縮エネルギー考慮せず）  必要な水量： 5～15トン/tCO <sub>2</sub>	200ドル/tCO <sub>2</sub>

## 1. カーボンニュートラルに向けた非電力部門の検討

- a. 産業部門
- b. 民生部門
- c. 運輸部門
- d. 炭素除去技術

## 2. シナリオ分析

# シナリオ分析の位置づけ

- ◆ 2050年カーボンニュートラルへの道筋は、技術の進展や社会状況の変化など、様々な不確実性が存在することを踏まえ、2030年のエネルギーミックスのように、一定の積み上げのもと確実に実現すべき目標として捉えるのではなく、様々なシナリオを想定した上で、目指すべき方向性、ビジョンとして捉えるべき。2050年カーボンニュートラル実現に向け提示する道筋は、現時点で想定しうる道筋であり、今後の技術の進展などに応じて柔軟に見直していくべきとされた。（令和2年11月17日第33回基本政策分科会次ページ参照）
- ◆ 2050年までは技術革新など不確実性が存在し、具体的に見通すことが難しい。複数シナリオ分析は、2050年カーボンニュートラル実現に向けた様々な課題、制約を明らかにし、そうした課題・制約を将来的に仮に乗り越えられた場合に、どのようなエネルギー需給構造になるかを分析し、それぞれ比較することを通じて、政策課題、対応の方向性の検討を行い、目指すべき方向性を明らかにするために実施する。
- ◆ これまでの本分科会での議論や、関係団体からのヒアリング結果を踏まえても、例えば再エネの導入量についても幅のある様々な意見があり、今後の議論を深めるため、出発点としての参考値を示しシナリオ分析を進めることとした。（令和2年12月21日の第35回基本政策分科会）
- ◆ この仮定の参考値の水準の導入に向けては、様々な課題・制約があり、まずはそれぞれの現状、実現するための課題・取組を再確認する。その上で、それぞれの課題・制約を仮に乗り越えられた場合を想定して、複数シナリオ分析を行う。

- 2050年カーボンニュートラルへの道筋は、技術の進展や社会状況の変化など、様々な不確実性が存在することを踏まえ、2030年のエネルギーミックスのように、一定の積み上げのもと確実に実現すべき目標として捉えるのではなく、様々なシナリオを想定した上で目指すべき方向性として捉えるべきではないか。
- 我が国の長期戦略においても、「将来の「あるべき姿」としてのビジョンを掲げる」こととしており、加えて、既に2050年カーボンニュートラルを表明しているEU・英国においても、カーボンニュートラルの位置づけとしては達成の方向性を示すビジョンという位置づけとされている。
- このため、2050年カーボンニュートラル実現に向けて提示する道筋も、現時点で想定しうる道筋であり、今後の技術の進展などに応じて柔軟に見直していくべき点に留意が必要ではないか。

## パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略（一部抜粋） 2019.6

### 2. 我が国の長期的なビジョン

我が国は、2015年に提出した約束草案（自国が決定する貢献）において、2030年度の目標として、技術的制約、コスト面の課題等を十分に考慮した裏付けのある対策・施策や技術の積み上げによる実行可能な削減目標（ターゲット）を示した。他方、長期的な気候変動政策に当たっては、むしろ、**将来の「あるべき姿」としてビジョンを明確に掲げる**とともに、政府としてそれに向けた政策の方向性を示すことにより、全てのステークホルダーに対して、あらゆる可能性を追求しつつ実現に向けて取り組むことを促していく必要がある。

- 2050年カーボンニュートラルを目指す上で、脱炭素化された電力による安定的な電力供給は必要不可欠。3E+Sの観点も踏まえ、今後、以下に限定せず複数のシナリオ分析を行う。議論を深めて行くに当たり、それぞれの電源の位置づけをまずは以下のように整理してはどうか。

## 確立した脱炭素の電源

### 再エネ

- 2050年における主力電源として、引き続き最大限の導入を目指す。
- 最大限導入を進めるため、調整力、送電容量、慣性力の確保、自然条件や社会制約への対応、コストを最大限抑制する一方、コスト増への社会的受容性を高めるといった課題に今から取り組む。
- こうした課題への対応を進め、2050年には発電電力量（※1）の約5～6割を再エネで賄うことを今後議論を深めて行くにあたっての参考値（※2）としてはどうか。

### 原子力

- 確立した脱炭素電源として、安全性を大前提に一定規模の活用を目指す。
- 国民の信頼を回復するためにも、安全性向上への取組み、立地地域の理解と協力を得ること、バックエンド問題の解決に向けた取組み、事業性の確保、人材・技術力の維持といった課題に今から取り組んでいく。2050年には、再エネ、水素・アンモニア以外のカーボンフリー電源として、化石+CCUS /カーボンリサイクルと併せて約3～4割を賄うことを今後議論を深めて行くにあたっての参考値（※2）としてはどうか。

## イノベーションが必要な電源

### 火力

#### 化石 + CCUS

- 供給力、調整力、慣性力の利点を持つ一方で、化石火力の脱炭素化が課題。
- CCUS /カーボンリサイクルの実装に向け、技術や適地の開発、用途拡大、コスト低減などに今から取組み、一定規模の活用を目指す。2050年には、再エネ、水素・アンモニア以外のカーボンフリー電源として、原子力と併せて約3～4割を賄うことを今後議論を深めて行くにあたっての参考値（※2）としてはどうか。

#### 水素・アンモニア

- 燃焼時に炭素を出さず、調整力、慣性力の利点を持つ一方で、大規模発電に向けた技術確立、コスト低減、供給量の確保が課題。今からガス火力、石炭火力への混焼を進め、需要・供給量を高め安定したサプライチェーンを構築にも取り組む。
- 産業・運輸需要との競合も踏まえつつ、カーボンフリー電源として一定規模の活用を目指す。水素基本戦略で将来の発電向けに必要な調達量が500～1000万トンとされていることを踏まえ、水素・アンモニアで2050年の発電電力量の約1割前後を賄うことを今後議論を深めて行くにあたっての参考値（※2）としてはどうか。

※1：2050年の発電電力量は、第33回基本政策分科会で示したRITEによる発電電力推計を踏まえ、約1.3～1.5兆kWhを参考値（※2）とする。

※2：政府目標として定めたものではなく、今後議論を深めて行くための一つの目安・選択肢。今後、複数のシナリオを検討していく上で、まず検討を加えることになるもの。

# 各電源の課題

確立した脱炭素の電源	再エネ		1	<u>出力変動への対応（調整力の確保）</u>	
			2	<u>送電容量の確保</u>	
			3	<u>システムの安定性維持（慣性力の確保）</u>	
			4	<u>自然条件や社会制約への対応</u>	
			5	<u>コストの受容性</u>	
	原子力		0	<u>国民の信頼回復</u>	
			1	<u>安全性の確保</u>	
			2	<u>立地地域との共生</u>	
			3	<u>持続的なバックエンドシステムの確立</u>	
			4	<u>事業性の向上</u>	
		5	<u>人材・技術・産業基盤の維持・強化</u> <u>イノベーションの推進</u>		
イノベーションが 必要な電源	火力	化石+ CCUS	1	<u>CCUS/カーボンリサイクルの技術的確立、コスト低減</u>	
			2	<u>CCUS/カーボンリサイクルのポテンシャル拡大</u>	
			3	<u>CCSの事業環境の整備</u>	
			水素・ アンモニア	1	<u>水素・アンモニア発電の技術的確立</u>
				2	<u>安価で大量の水素・アンモニアの安定調達の実現</u>
				3	<u>非化石価値の埋没</u>

## 再生可能エネルギー

### 【①調整力の確保】

- 変動再エネは、自然条件によって出力が変動するため、需要と供給を一致させる「調整力」を確保する必要。
  - ⇒ カーボンニュートラルを目指し変動再エネの比率を高めるためには、**脱炭素化された調整力（脱炭素化された火力、揚水や蓄電池などの電力貯蔵技術）の確保が重要**。（例えば、九州において、現在の契約申込量が全て導入された場合、新たに接続した事業者は30～34%の出力制御を受ける。仮に系統制約を解消したと大胆に仮定しても、変動再エネ46%の時に出力制御率は32%となるという試算もある。）  
再エネ5～6割（約7～8千億kWh）を実現するためには、これに**見合った量の電力貯蔵技術の導入が必要**。

### 【②送電容量の確保】

- 洋上風力のポテンシャルの約8割が北海道、東北、九州に集中しているように、**再エネにはエリアの偏在性があるため、導入ポテンシャルのある地域と需要地をつなぐ送電容量が必要**。
  - ⇒ 再エネのポテンシャルの大きい北海道や東北、九州エリアから大消費地まで、**大量の電気を送るための増強が必要であるが、そのためには大規模な設備投資と工事のための地元調整が求められる**。再エネ5～6割の水準（約7～8千億kWh）を実現するためには、これに**見合った量の送電設備と関連施設が必要**。

## 【③慣性力の確保】

- 電源脱落等の事故によるブラックアウトを防ぐには、系統全体で一定の「慣性力（タービンが回転し続ける力）」を有している必要。

⇒ 例えば、東北、東京エリアにおける分析によれば、慣性力の課題を克服できなければ非同期電源（太陽光や風力など）が約3～4割（瞬間的に70%）を越えると、大規模発電所が緊急停止した場合に、広範囲に停電が生じるといった安定供給への影響が拡大する見込み。現在、技術的な課題をクリアするべく研究開発などが進められている。再エネ5～6割の水準（約7～8千億kWh）を実現するには、非同期電源の割合が70%を超える時間帯が発生するため、追加的に導入される非同期電源について、疑似慣性力付きPCS（電力変換装置）の設置等の対策を要件化するなどの対策が必要。

## 【④自然条件や社会制約への対応】

- 森林を除く平地面積がドイツの半分、遠浅の海の面積はイギリスの1/8、日射量や風況で必ずしも恵まれていない自然環境にある我が国は、景観・環境・生態系・航路への影響配慮を含め地域との共生や利害関係者との調整が求められる。

⇒ 再エネ5～6割の水準（約7～8千億kWh）を実現するには、

例えば、

- 1) 太陽光 約260GW（約3,000億kWh）
- 2) 風力 約90GW（約1,900億kWh）
- 3) 水力・バイオマス・地熱 約60GW（約1,600億kWh）
- 4) 1)～3)に加え、約500～1,500億kWh程度の追加導入が必要。

※ 出力制御は織り込んでいない水準。

# 参考値を実現しようとした際に直面する課題・取組①

<電中研分析による太陽光約260GW導入のイメージ（例）>

- 既存住宅への導入が進みつつ、2031年以降は新築戸建住宅・新築集合住宅への導入が飛躍的に進み、2040年以降は100%に導入（約62GW）

（現状、新築注文戸建住宅のZEH化率は大手ハウスメーカー47.9%、中小工務店8.5%、新築建売戸建住宅1.3%）

- 工場・物流施設・商業施設等の大型施設の全ての追加設備費等のかからない屋根等へ導入（約45GW）  
（既存の建物では、耐荷重が小さく設置困難なケースあり）

- 全ての農業経営体による100kWの営農型太陽光発電（100m×100m相当）等での導入（約42GW）

- 農地転用されるものを除く荒廃農地等への導入（約110GW）

（一定規模以上の開発に届出等を求める条例制定の動きあり）

等が必要。

<電中研分析と「洋上風力産業ビジョン」による風力約90GW導入のイメージ（例）>

- 風速5m/s以上の雑草地・再生困難な荒廃農地などに加えて、特に風力発電に適している山林（風速7.5m/s以上で傾斜角10度未満、保安林除く）を開発して導入（約41GW）（山林は所有者不明の可能性のある土地が約3割を占め、用地取得が難しい）

- 官民リソースを総動員して推進する「洋上風力産業ビジョン」で、2040年の案件形成高位目標として45GWを設定（約1,300億kWh）。（洋上風力は、案件形成から実際に導入されるには7～8年程度必要）

※ 上記イメージは、徐々に適地が減少する中で、機械的に計算すると、太陽光では直近3年間のFIT認定量平均の2倍以上の認定を30年継続し、全て導入することで実現可能な水準、風力では直近3年間のFIT認定量平均の約2倍の認定を30年継続し、全て導入することで実現可能な水準、となっている。

（出典）2020年12月14日 総合資源エネルギー調査会基本政策分科会「資料3-4ヒアリング資料（電力中央研究所）」  
2020年12月15日 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会「洋上風力産業ビジョン（第1次）」

<更に約500～1,500億kWh程度の追加導入のイメージ（例）>

- 洋上風力産業ビジョンで示した2040年の案件形成高位目標の45GWと同量の洋上風力を更に上乗せして導入することができて、約1,300億kWhとなる。

## 【⑤コスト】

- 上記のような諸課題を克服していくためには、コスト低減と大規模な投資が必要。  
(2020年度(予測)の買取費用総額は3.8兆円、賦課金(国民負担)総額は2.4兆円。)
- ⇒ 太陽光発電では、パネル費用は低減しているものの、工事費部分は下げ止まるなど、低減スピードは鈍化傾向。  
(特に、平地面積がドイツなどと比べ少ない日本では、今後、太陽光の大量導入を進めた場合、土地造成費や接続費が上昇する可能性。太陽光の導入量が多い九州を中心に、域内の導入量の増加に合わせ、現在でもこうした傾向あり。)
- ⇒ 風力発電のコストは低減しているものの、依然として世界より高く、足下では微増。  
(陸上では、適地は沿岸部や山地に集中しているが、大量導入により適地が減少し、地権者との調整を要するケースや工事費が増加することで、資本費が上昇する可能性。洋上(着床式)では、欧州で落札額が10円/kWhを切る事例もでてきているが、日本では、欧州におけるサプライチェーン構築状況等の違いを加味し、初回公募での供給価格上限額は29円/kWhとしており、更なるコスト低減が必要。)
- ⇒ さらに、コストを考える上では、発電コストに加えて、電力システム全体のコストを考えていく必要。変動再エネの導入割合が高くなり、火力・原子力の割合が低くなれば、再エネの統合費用(系統増強コスト、予測誤差等によって生じる運用コスト、出力制御コスト等)が高まり、総費用は大きくなる。  
(系統の大規模な増強には、多大な工事費に加え、利害関係者との複雑な調整のコストが生じる。)  
(日本エネルギー経済研究所の分析では、変動再エネの発電単価低下を考慮しても、火力発電の比率が一定程度下回ると発電部門全体の費用が急激に増加するとしている。)

## 水素・アンモニア発電

### 【①発電技術の開発】

- 水素専焼時に、逆火を防ぎつつ、ガス火力と同程度の発電効率を達成するため、安定的な燃焼性を確保するための燃焼器を開発する必要。（アンモニア発電においても、NOxの発生抑制や安定的な燃焼性を確保するための技術開発が必要。）

### 【②安価かつ大規模な水素・アンモニア調達】

#### （製造・調達）

- 産業・民生・運輸部門の電化が難しい分野での大量の水素の活用が予想され、発電用にも利用するには、グリーン成長戦略における水素産業の実行計画を実現し、日本全体で**2,000万t規模の水素等の供給を確保**する必要。
  - ⇒ **500～1,000万tの水素・アンモニアを発電用に確保したとして、2050年の発電電力量の約1割をようやく賅うことができる。**（化石由来の水素等については、脱炭素化のため、製造過程でCCUSと組み合わせる必要。）

#### （輸送・貯蔵）

- 安価・大量のグリーン水素を国内で調達できない場合、海外から輸入する必要。
  - ⇒ 海外から液化水素を輸入するならば、技術革新と大規模投資を進め、運搬船の水素積載量（現状約75t/隻）を100倍以上（約1万t/隻）に拡大した船を**約90隻確保**する必要。さらに、貯蔵にも投資や技術開発が必要。

#### （コスト）

- 水素のサプライチェーンが確立されておらず、現状では水素製造や液化に要するコストに加えて、積荷基地や液化水素運搬船のコストが課題。将来的に、こうしたコストを低減していくことが必要。
  - ⇒ 現状の技術ベースで**約170円/Nm3の水素の製造・輸送コスト**を、既存の LNG 火力と同等のコスト競争力を持つ**約20円/Nm3以下**の水準に引き下げる必要。  
（アンモニアは、輸送・貯蔵が容易だが、水素を原料とするため製造コストが高くなり、非発電用途も限定的。）

### 【③非化石価値の埋没】

- カーボンフリー電源として水素・アンモニアを評価し、活用するインセンティブが得られる仕組みを整備する必要。

- 2017年12月に再エネ・水素等関係閣僚会議で決定した水素基本戦略では、必要な調達量として、2030年には30万トン/年、将来的には500~1000万トン/年という規模の水素調達量が、コスト低減のためには必要とされた。

## 水素基本戦略における記載ぶり（発電分野）

水素発電については、国際的な水素サプライチェーンとともに 2030 年頃の商用化を実現し、その段階で 17 円/kWh のコストを目指す。そのために必要となる水素調達量として、**年間 30 万 t 程度を目安とする**（発電容量で 1 GW 程度に相当）。更に、将来的には環境価値も含め、既存の LNG 火力発電と同等のコスト競争力の実現を目指す。そのために必要となる水素調達量として、**年間 500 万~1,000 万 t 程度を目安とする**（発電容量で 15~30GW 程度に相当）。

## 水素発電の発電電力量試算(全量水素と仮定)

- A 水素調達量：30万トン（2030年）、500~1,000万トン（将来的）
- B 発熱量（LHV）：120MJ/kg
- C 発電効率：57%  
（発電コスト検証WGのガス火力の値を使用）
- D 総発電量 =  $A \times B \times C =$  **57億kWh(2030年)**  
**= 950~1900億kWh(将来的)**

備考：戦略中では、発電分野での需要創出を通じた供給力拡大に伴い、水素供給コストは2030年に**30円/Nm<sup>3</sup>**（発電コスト17円/kWh）、将来的には**20円/Nm<sup>3</sup>**（発電コスト12円/kWh）程度の実現を目指している。

## CCUS+化石火力

### 【①技術的確立・コスト低減】

- 化石火力から排出されるCO<sub>2</sub>に見合ったCCUSを確保するためには、技術的課題の克服・低コスト化が必要。
  - ⇒ **CCS+化石火力のコストを、例えば、2019年の太陽光発電（約13～15円/kWh）以下の水準にするには、CCSのコストを現状（約8,400～11,000円/tCO<sub>2</sub>）の半分以下に低減する必要**。特に、コストの多くを占めるCO<sub>2</sub>の分離回収は、新技術の開発を通じ、1/4程度（1500～2000円/tCO<sub>2</sub>）にまでコストを低減する必要。
  - ⇒ **カーボンリサイクルを実用化していくためには、例えば、CO<sub>2</sub>を吸収するコンクリートであれば、既存の同等製品以下の水準にするには、現状（約100～150円/kg）の1/3～1/5以下に低減する必要**。（パラキシレンなどの化学品では、1/100以下のコスト低減が必要。）
  - ⇒ 国内のCCUSだけではCO<sub>2</sub>を処理できない場合には、世界でも実施例のない低温低圧の液化CO<sub>2</sub>の船舶輸送など、更なる技術的課題の克服も必要。

### 【②ポテンシャル拡大】

- 産業・民生・運輸部門で一定程度排出が避けられないCO<sub>2</sub>をCCUSで回収することを踏まえるとCCUS全体のポテンシャルを相当量確保する必要があり、CCSは貯留適地の選定と設備拡大、カーボンリサイクルは原料となる水素調達の確保と製品用途拡大が必要。
  - ⇒ 仮に**毎年1億t程度のCCUSを火力発電のために確保できるとしても、2050年の発電電力量の約1割に相当する量しか確保できない**。（※ 2019年度実績として、7800億kWhの火力発電で4.4億tのCO<sub>2</sub>を排出。仮に、2050年の発電電力量の約1割相当分の火力発電由来のCO<sub>2</sub>を回収しようとする、約1億tの回収が必要となる計算。）
  - ⇒ CCSでの年間1億tには、苫小牧実証事業の累計圧入量（約3年で30万t）の**300倍以上の規模のCCSが日本全体で必要**。早期に適地候補の選定を進め、分離回収・輸送・圧入設備等の社会インフラ整備が必要。（2018年度までの貯留適地調査事業における3D探査解析結果では、国内総計約80億トンの貯留可能量が示されている。）
  - ⇒ カーボンリサイクルのコスト低減・製品用途拡大による社会実装を進めることが必要。

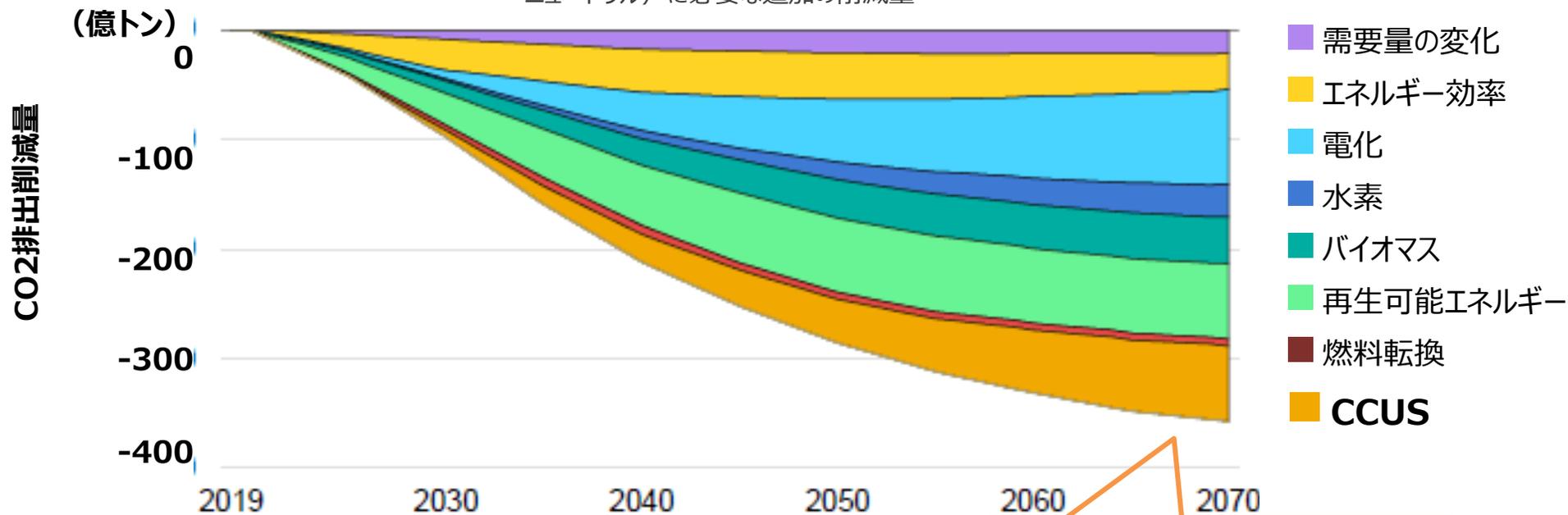
### 【③事業環境の整備】

- CCSを実施する際の関係法令の整備や官民の役割分担やコスト分担を含めた議論を進める必要。

- IEAによると、世界のカーボンニュートラル達成時におけるCCUSのCO<sub>2</sub>削減貢献量は全体の約19%に当たる約69億トン/年。
- 日本の足下のCO<sub>2</sub>排出量は世界全体の約3.5%、この比率でCCUS削減貢献量を按分すると約2.5億トン/年。

## 世界のエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出削減貢献量

※パリ協定に基づいて各国が現在表明している削減目標に基づく排出量から、2100年までに世界の気温上昇を2度以内とする場合（2070年にカーボンニュートラル）に必要な追加の削減量



出典：IEA “Energy Technology Perspectives 2020” Figure2.2

カーボンニュートラル達成時に  
CCUSの削減貢献量は約**69**億トン/年

(参考) 世界のCO<sub>2</sub>排出量に占める日本の割合約**3.5%**  
CCUS削減貢献量69億トン/年をこの比率で按分すると約**2.5**億トン/年 104

## 原子力

- カーボンニュートラル実現の手段として選択され得るには、以下のような課題に対応し、これらを乗り越えていくことで、国民からの信頼回復に取り組む必要。

### 【①安全性の追求】

- 独立した原子力規制委員会・新規制基準に基づく厳格な運用、産業界による不断の取組、安全性向上に資する技術開発、導入が必要。

### 【②立地地域との共生】

- 万が一に備えた避難計画の具体化・充実化、訓練を通じた不断の改善など原子力防災対策の強化、原子力の必要性に対する理解活動、持続的な立地地域の発展に向けた取組が必要。

### 【③持続的なバックエンドシステムの確立】

- 核燃料サイクルの推進、最終処分の実現に向けた取組、円滑な廃炉に向けた取組が必要。

### 【④事業性の向上】

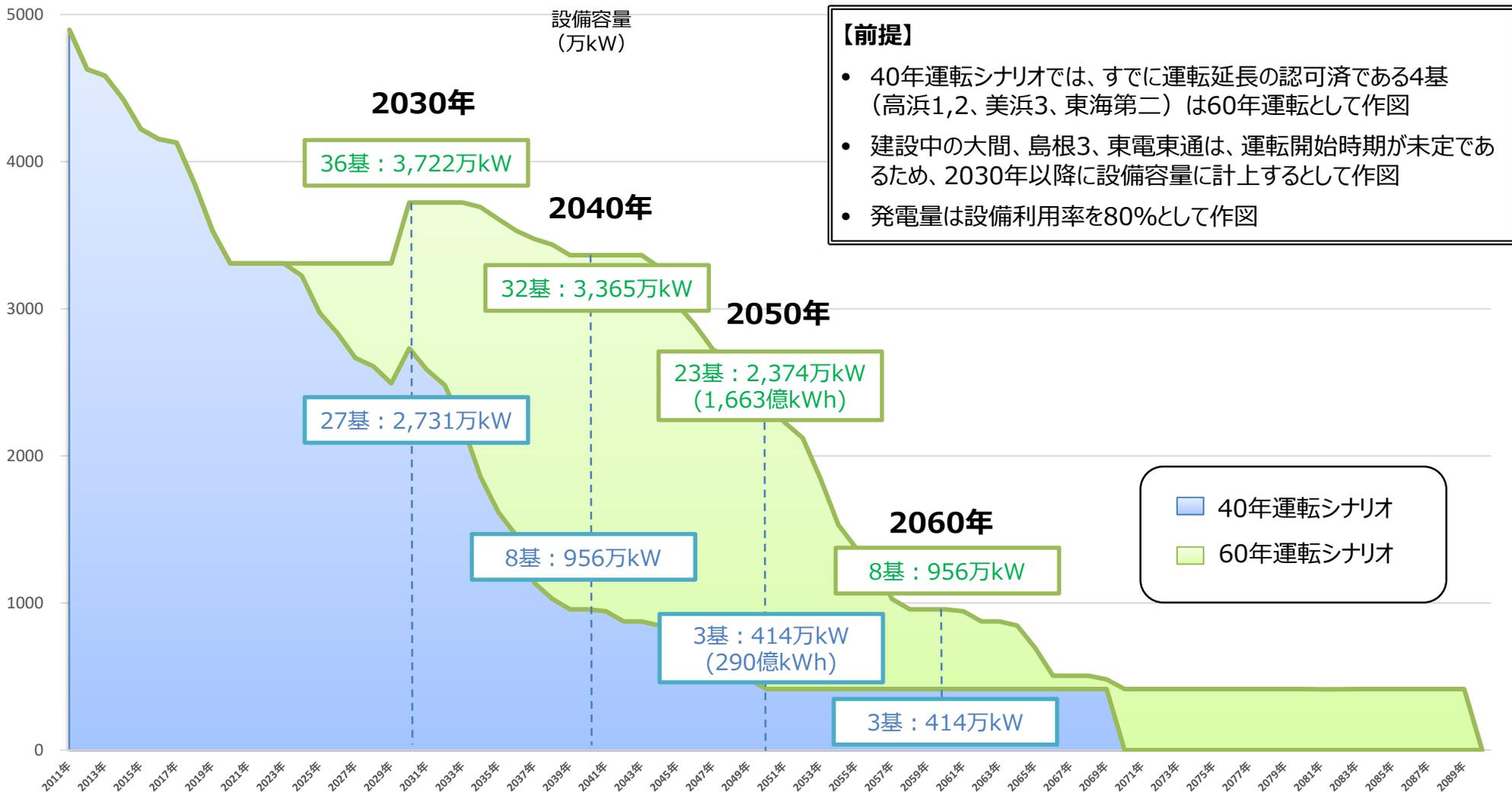
- トラブルの低減、定期検査の効率的実施、運転サイクル期間の長期化などの設備利用率の向上や安全性が確認された原子力発電所の長期利用に向けた取組が必要。

### 【⑤人材・技術・産業基盤の維持と強化と原子力イノベーション】

- 人材育成を通じた技術・技能の伝承や機器・部品の供給途絶リスクの回避による人材・技術・サプライチェーンの維持・強化が必要。また、軽水炉の安全性向上に資する研究開発や高速炉はもちろん、小型モジュール炉（SMR）や高温ガス炉等の革新的原子力技術開発の推進が必要。

# (参考) 国内原子力発電所の将来の設備容量の見通し

- 廃炉が決定されたものを除き、**36基の原子力発電所（建設中を含む）が60年運転すると仮定しても、自然体では、2040年代以降、設備容量は大幅に減少する見通し。**



- 【前提】**
- 40年運転シナリオでは、すでに運転延長の認可済である4基（高浜1,2、美浜3、東海第二）は60年運転として作図
  - 建設中の大間、島根3、東電東通は、運転開始時期が未定であるため、2030年以降に設備容量に計上するとして作図
  - 発電量は設備利用率を80%として作図

※年途中で期限を迎えるプラントは按分してkWを算出。按分しない場合、40年シナリオの2030年kWは2,787万kW、60年シナリオの2050年kWは2,430万kW

## シナリオ分析（案）

- ◆ 参考値（再エネ約5～6割、水素・アンモニア約1割、CCUS+化石火力と原子力で約3～4割）の水準を2050年に達成するためには、これまでに示したような課題の克服が必要。
- ◆ こうした前提に立った上で、これまでの分科会における議論を踏まえ、例えば、以下のようなシナリオを含め、どのようなシナリオが考えられるか御意見をいただきたい。
- ◆ 各シナリオについて、公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）において分析を進めてもらい、その結果を、分析の前提や諸元とともに示してもらおうこととしてはどうか。

### 【これまでの御意見】

- ◎ 100%も可能だという提案もあったわけなので、それに従った数値も検討して欲しい。  
→例 再エネ100%、水素・アンモニア0%、CCUS+化石火力0%、原子力0%
- ◎ 再エネがより大きい比率、再エネが少ない比率のものもお願いしたい。  
→例 再エネ70%、水素・アンモニア10%、CCUS+化石火力10%、原子力10%  
再エネ40%、水素・アンモニア20%、CCUS+化石火力20%、原子力20%
- ◎ 原子力は最低、今のエネルギーミックスの20～22%を維持すべきではないか。  
→例 再エネ60%、水素・アンモニア10%、CCUS+化石火力10%、原子力20%
- ◎ 水素やCCUS付火力の選択肢も幅広く考えるべき。  
→例 再エネ60%、水素・アンモニア20%、CCUS+化石火力10%、原子力10%  
再エネ60%、水素・アンモニア10%、CCUS+化石火力20%、原子力10%
- ◎ 産業側のデジタル化や社会変容といった需要側のシナリオを複数設けるべきではないか。  
→例 デジタル化による電力需要増・省エネ進展、社会変容による省エネ進展など

# 【参考】RITEのエネルギー需給モデルの概要

- RITEモデルは、世界全体を対象に、「エネルギーシステムモデル」を中心に、「エネルギー起源CO2以外の温室効果ガス評価モデル」と「気候変動モデル」を統合し、各種エネルギー・CO2削減技術のシステム的なコスト評価（コスト最小化）を実施。その結果を踏まえ、カーボンニュートラルを実現するエネルギー・産業社会はどのようになっているのかを分析。
- また、分析に際しては、日本エネルギー経済研究所の変動再エネ統合費用を活用。

## 前提条件

### 社会経済：

人口・GDP・エネルギー・サービス需要

### エネルギー：

資源量・コスト、エネルギー転換効率・コスト

### 低炭素・脱炭素技術：

500以上の脱炭素技術とコストを想定

### 温室効果ガス・削減経路：

気温目標、排出削減経路など

## RITEモデル

エネルギーシステムモデル

エネルギー起源CO2以外の温室効果ガス評価モデル

限界削減費用  
(両者で均等化)

CO2排出

その他GHG排出

気候変動モデル

※世界を54分割して、時系列で動的に分析

コスト最適化計算

## 計算結果

### 対策費用（コスト）

限界削減費用・削減費用

### 温室効果ガス排出量の内訳

部門別排出量・部門ごとの排出内訳

### エネルギー・産業

地域ごとの1次・最終エネルギー消費量  
電力発電量、電力消費量

### 価格

電力コスト・鉄鋼価格

### 脱炭素技術

技術ごとの削減効果

など

# 今後の議論の進め方（案）

- 分析が行われている間、これまでの議論を踏まえ、主要な関係者へのヒアリングも交えながら、2030年目標の進捗と更なる取組の検証を進めてはどうか。

## 3E+Sを目指す上での課題を整理

- レジリエンスの重要性など新たな要素の確認

## 2050年カーボンニュートラルの実現を目指すための課題と対応の検証

- カーボンニュートラルを目指すEU、英国の状況
- カーボンニュートラルに向けた主要分野の取組
- エネルギー部門（電力分野、非電力分野）に求められる取組 など

## 2030年目標の進捗と更なる取組の検証

- エネルギーミックスの達成状況
- エネルギー源ごとの取組状況
- 今後、さらに取り組むべき施策 など

## シナリオ分析の結果を含め全体の議論の取りまとめ

グリーンイノベーション  
戦略推進会議

電力、産業、民生、運輸  
部門において、脱炭素化  
に向けて必要となるイノ  
ベーションについての検討

議論の内容を取り込み