

世界が進むチカラになる。



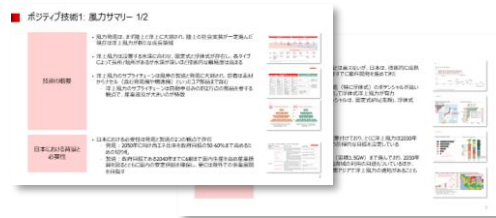
# MUFGトランジション白書2.0 ポジティブテクノロジーリスト

2023年10月

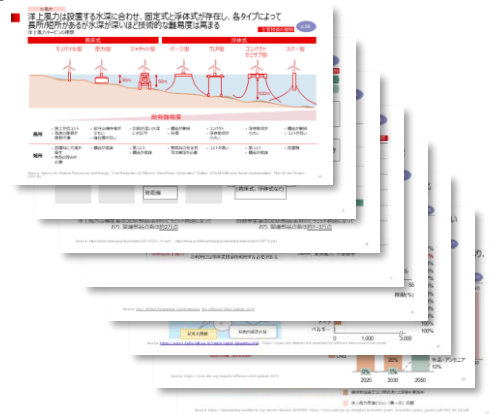
三菱UFJ銀行

# 本資料の構成

## サマリー



## 詳細



※ p.xx は白書本体の対応箇所

太陽光

7技術

## サマリーの構成

技術の概要

当該ポジティブ技術やそのサプライチェーンの全体像の概説

日本における背景と必要性

日本の現状を踏まえた当該技術の必要性、および当該技術が日本のカーボンニュートラルに向けた道筋の中でどう位置付けられているか

政策と進捗

当該ポジティブ技術に関し、日本政府が掲げる目標・政策および、産業界における最近の技術の開発・実装状況

ケーススタディ

当該ポジティブ技術に関する具体事例一覧（ケーススタディ自体は詳細ページに収録）

# 目次

## ポジティブ技術

## ページ

## サマリー

## 詳細

1	風力発電	p. 3~4	p. 5~12
2	太陽光発電	p.13~14	p. 15~21
3	送配電	p. 22~23	p. 24~29
4	原子力発電	p. 30~33	p. 34~46
5	産業の電化	p. 47~49	p. 50~58
6	水素由来・バイオ由来燃料	p. 59~65	p. 66~88
7	CCUS	p. 89~92	p. 93~107

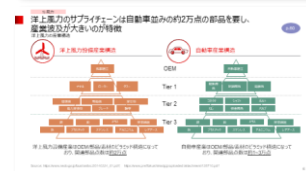
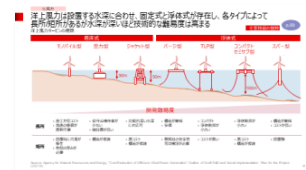
# ポジティブ技術1：風力発電サマリー 1/2

## 技術の概要

- 風力発電は、まず陸上と洋上に大別され、陸上の社会実装が一定進んだ現在は洋上風力が新たな成長領域
- 洋上風力は設置する水深に合わせ、着床式と浮体式が存在し、各タイプによって長所/短所があるが水深が深いほど技術的な難易度は高まる
- 洋上風力のサプライチェーンは、風車の製造と発電に大別され、前者は素材からナセル（含む発電機や増速機）といったコア部品まで含む
  - 洋上風力のサプライチェーンは自動車並みの約2万点の部品を要し、産業波及が大きいのが特徴

## 日本における背景と必要性

- 日本における必要性は製造と発電の2つの観点で存在
  - 製造：政府目標である2040年までに6割まで国内生産を高め産業振興を図るとともに国内の安定供給を確保し、更には海外での事業展開を目指す
  - 発電：2050年に向け再エネ比率を政府目標の50-60%まで高めるための切り札



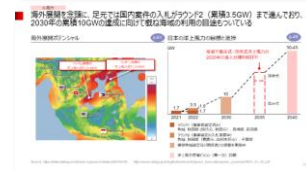
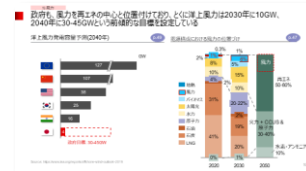
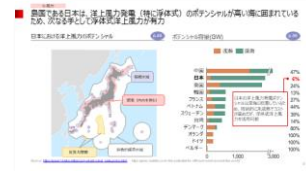
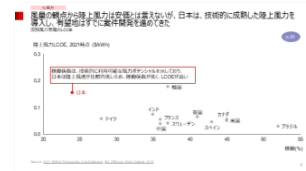
# ポジティブ技術1：風力発電サマリー 2/2

## 日本における背景と必要性

- 風量の観点から陸上風力は安価とは言えないが、日本は、技術的に成熟した陸上風力を導入し、有望地はすでに案件開発を進めてきた
- 島国である日本は、洋上風力（特に浮体式）のポテンシャルが高い海に囲まれているため、次なる手として浮体式洋上風力が有力
  - 日本の洋上風力のポテンシャルは、着床式6%(浅瀬)、浮体式94%(深海)である。

## 政策と進捗

- 政府も、風力発電を再エネの中心と位置付けており、とくに洋上風力は2030年に10GW、2040年に30 - 45GWという目標を設定している
- 足元では案件の入札がラウンド2（累積3.5GW）まで進んでおり、2030年の累積10GWの達成に向けて概ね海域の利用目途もついているほか、先々の海外展開を念頭におき東南アジアで洋上風力の適地があることも確認できている

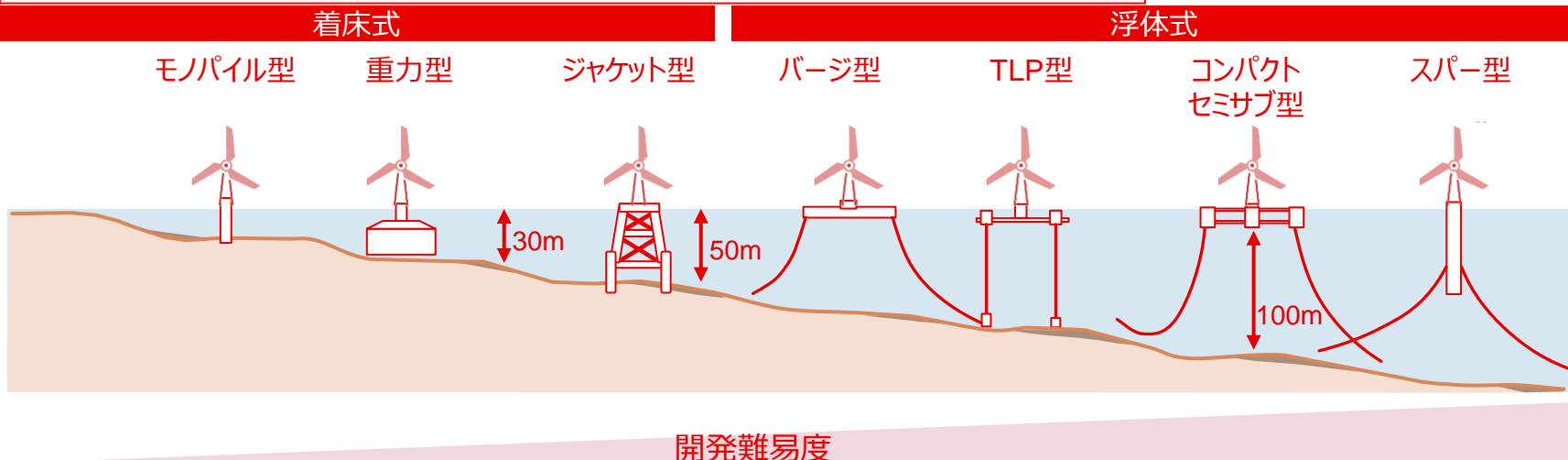


# 洋上風力タービンの種類

洋上風力は設置する水深に合わせて、着床式と浮体式が存在し、各タイプによって長所/短所があるが水深が深いほど技術的な難易度は高まる

主要技術の抜粋

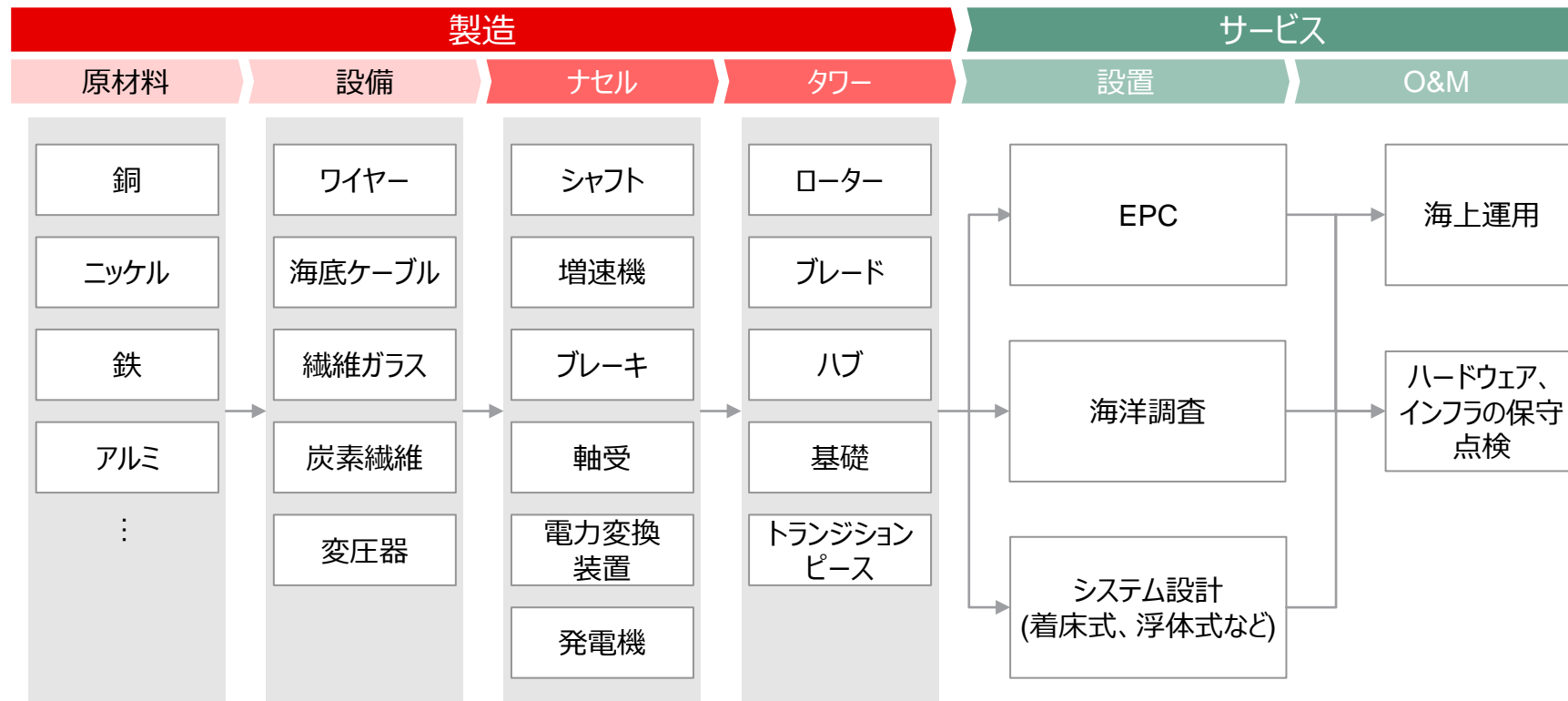
p.59



	モナパイル型	重力型	ジャケット型	バージ型	TLP型	コンパクトセミサブ型	スパー型
<b>長所</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 施工が低コスト</li> <li>• 海底の整備が原則不要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 保守点検作業が少ない</li> <li>• 維持費が低い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 比較的深い水深に対応可</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 構造が単純</li> <li>• 安価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• コンパクト</li> <li>• 浮体動揺が小さい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 浮体動揺が小さい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 構造が単純</li> <li>• コストが低い</li> </ul>
<b>短所</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 設置時に汚濁が発生</li> <li>• 地盤の厚みが必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 構造が複雑</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高コスト</li> <li>• 構造が複雑</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 暴風時の安全性等は検証が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• コストが高い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高コスト</li> <li>• 構造が複雑</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 設置難</li> </ul>

# 洋上風力のサプライチェーン

洋上風力のサプライチェーンは、風車の製造と発電に大別され、前者は素材からナセル（含む発電機や増速機）といったコア部品まで含む

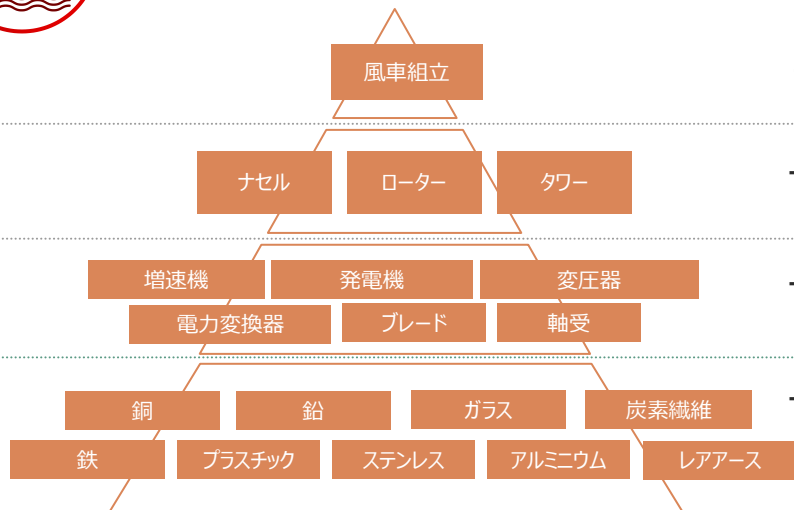


# 洋上風力の産業構造

洋上風力のサプライチェーンは自動車並みの約2万点の部品を要し、産業波及が大きいのが特徴



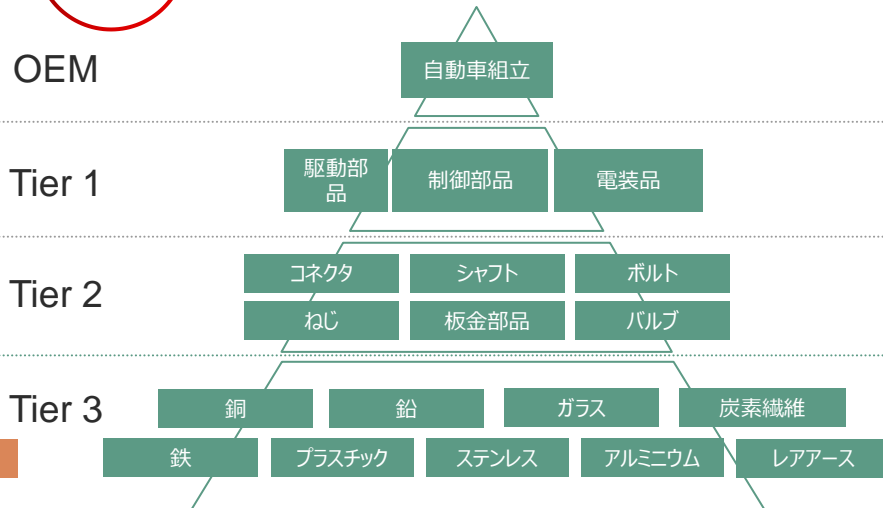
## 洋上風力設備産業構造



洋上風力設備産業はOEM/部品/素材のピラミッド構造になっており、関連部品点数は約2万点



## 自動車産業構造



自動車産業はOEM/部品/素材のピラミッド構造になっており、関連部品点数は約1~3万点



## 洋上風力に関する詳細技術リスト

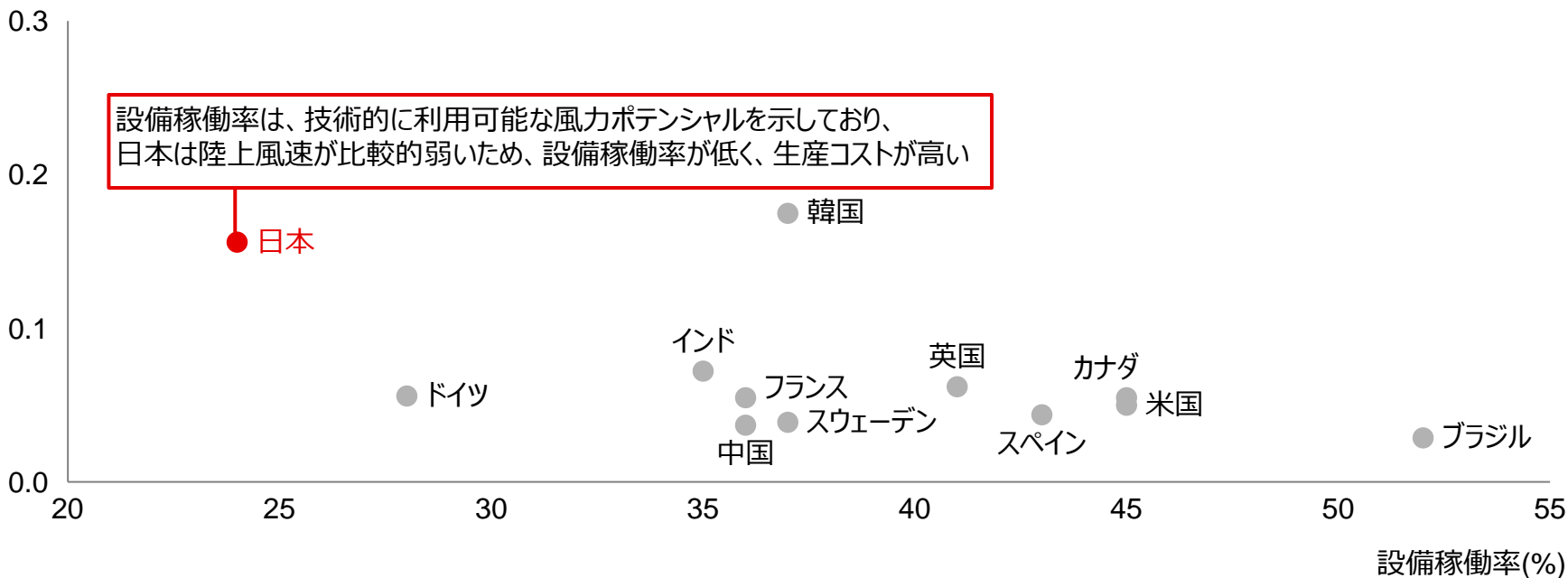
サプライチェーン要素	# 技術	日本における必要性	先進プレイヤー	主要技術の抜粋
製造	1 風車組立	<ul style="list-style-type: none"> <li>風力による電力供給の推進や国内労働者の活用に向けて風力産業を確立する必要がある</li> </ul>	GE、Vestas、Siemens Gamesa	
	2 ナセル内部品	<ul style="list-style-type: none"> <li>日本は官民連携を通じて、洋上風力発電の国内調達比率を2040年までに60%まで引き上げることを目指している</li> </ul>	安川電機、明電舎、NTN、NKS	
	3 タワー	<ul style="list-style-type: none"> <li>洋上風力タービンは自動車（1万点～3万点）と同程度の2万点の部品から成り、新産業の発展に伴う経済的な波及効果と雇用創出効果が大きい</li> </ul>	日本製鉄エンジニアリング、三井海洋開発、日立造船	
	4 基礎	<ul style="list-style-type: none"> <li>アジアへの事業展開に向けた競争力の高いサプライチェーン構築も必要</li> </ul>	東洋建設、鹿島建設、清水建設	
	5 電機設備		古河電工	
発電	6 着床式洋上風力	<ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能エネルギーの導入を加速するため、洋上風力のポテンシャルを活用する必要がある</li> <li>日本は2030年までに風力発電規模を6倍に拡大することを目指している</li> </ul>	東京電力、電源開発	
	7 浮体式洋上風力	<ul style="list-style-type: none"> <li>洋上風力ポテンシャルの大部分は深海であるため、その利用には浮体式技術を利用する必要がある</li> </ul>	JERA、東京電力、三菱商事	

# 国別陸上風力発電の生産コスト

風量の観点から陸上風力は安価とは言えないが、日本は、技術的に成熟した陸上風力を導入し、有望地はすでに案件開発を進めてきた

p.35

陸上風力生産コスト (2021、\$/kWh)

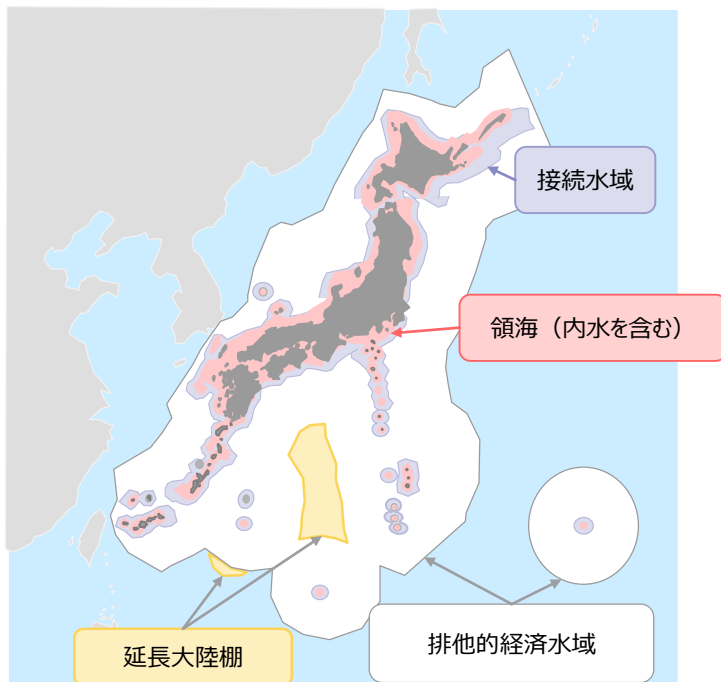


# 日本における洋上風力のポテンシャル・容量

島国である日本は、洋上風力発電（特に浮体式）のポテンシャルが高い海に囲まれているため、次なる手として浮体式洋上風力が有力

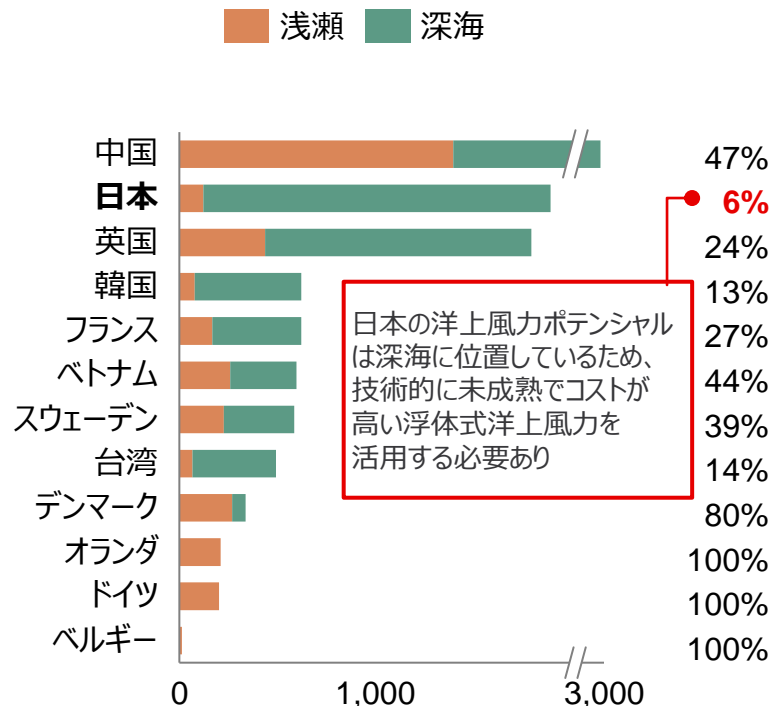
## 日本における洋上風力のポテンシャル

p.49



## ポテンシャル容量(GW)

p.36



Source: [https://www1.kaiho.mlit.go.jp/ryokai/ryokai\\_setsuzoku.html](https://www1.kaiho.mlit.go.jp/ryokai/ryokai_setsuzoku.html); <https://gwec.net/discover-the-potential-for-offshore-wind-around-the-world/>

# 洋上風力発電容量予測(2040年)・電源構成

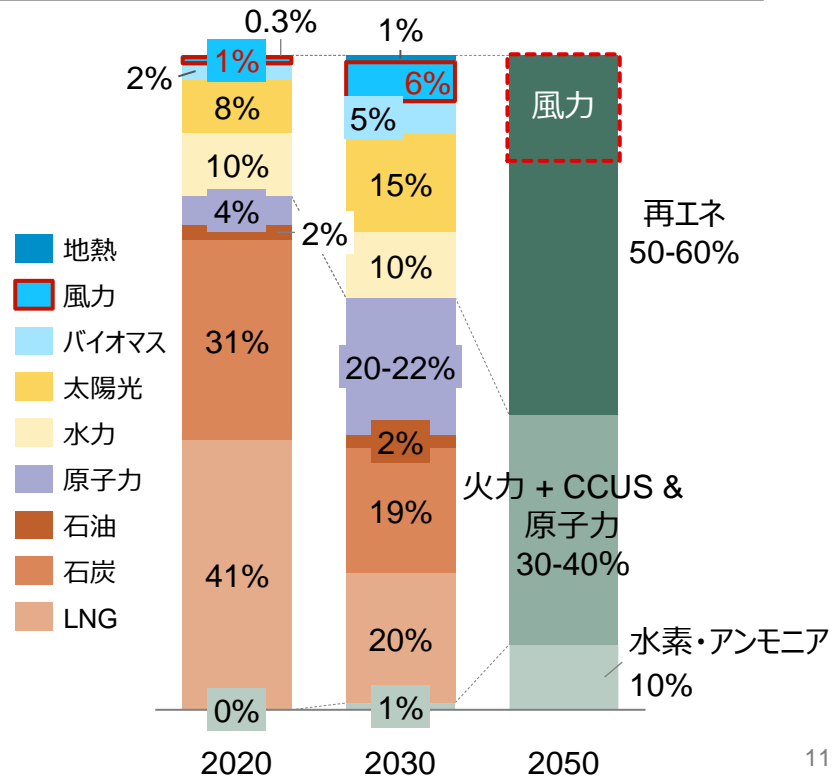
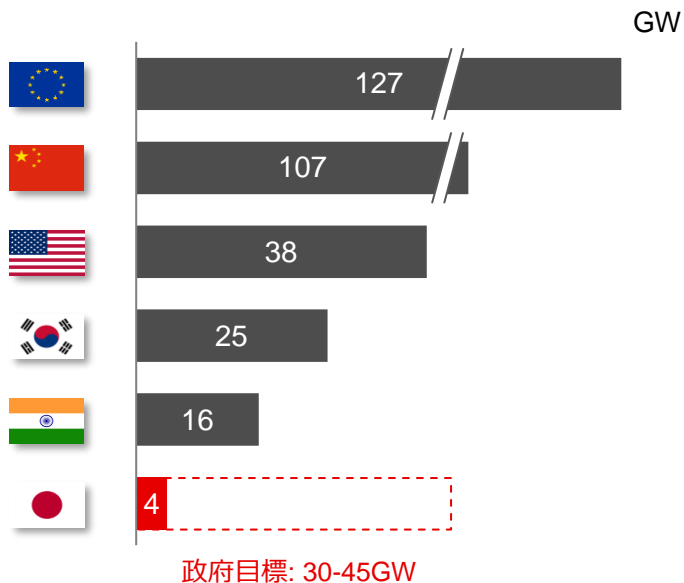
政府も、風力を再エネの中心と位置付けており、  
とくに洋上風力は2030年に10GW、2040年に30-45GWという目標を設定している

## 洋上風力発電容量予測(2040年)

p.49

電源構成における風力の位置づけ

p.47

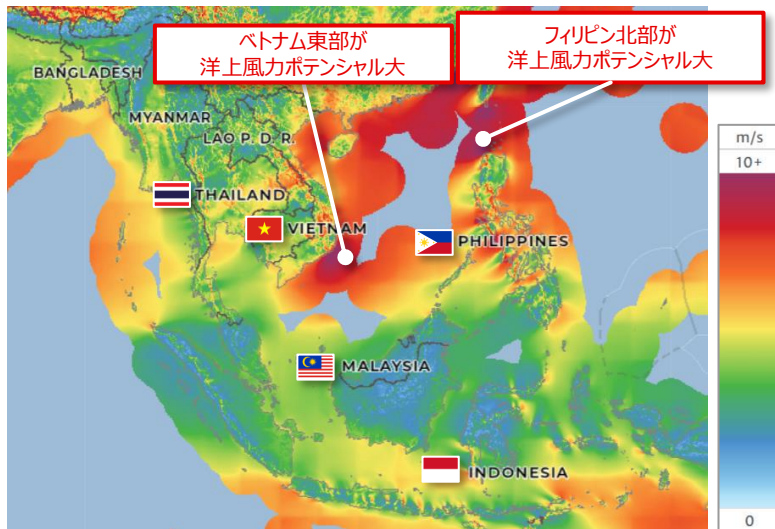


# 日本・海外における今後の風力発電拡大

海外展開を念頭に、足元では国内案件の入札がラウンド2（累積3.5GW）まで進んでおり、2030年の累積10GWの達成に向けて概ね海域の利用目途もついている

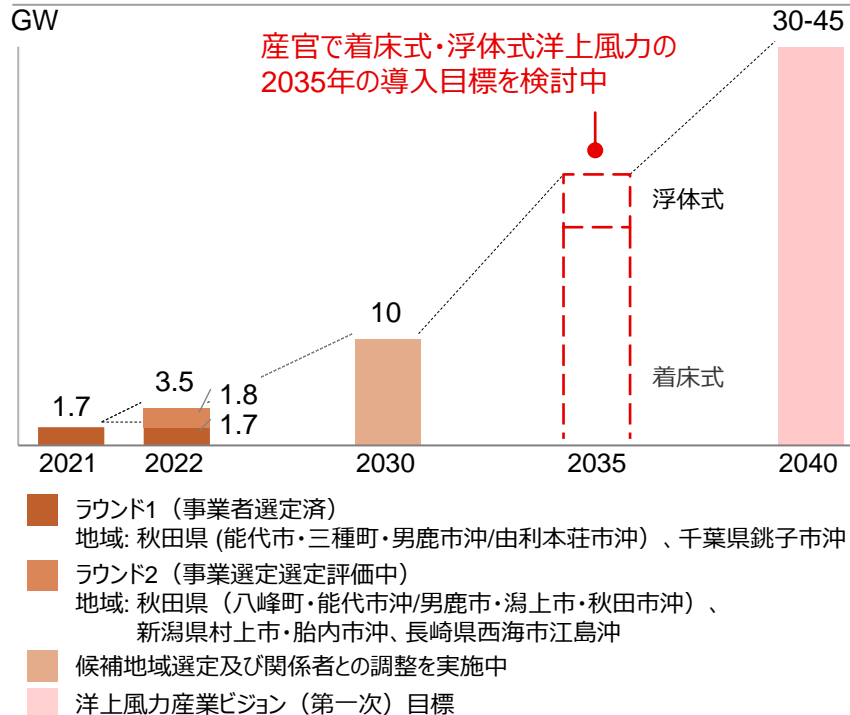
## 海外展開ポテンシャル

p.61



## 日本の洋上風力の目標と進捗

p.49



# ポジティブ技術2：太陽光発電サマリー 1/2

## 技術の概要

- 太陽光発電は風力発電と並んで再エネの中心であり、世界的にも導入が進められてきた
- 現状の太陽光発電は平地の設置に適しているシリコンが95%を占めているが、建物やIoTデバイス等に設置を拡げる際に期待されているのが、柔軟性に強みを持つペロブスカイト
- 太陽光発電のサプライチェーンは、大きく製造と発電（アプリケーション）に分けられる

## 日本における背景と必要性

- 日本における太陽光の必要性は製造と発電の2つの観点で存在
  - 製造：国内での安定供給と産業振興を目指し、国内生産基盤を構築する必要性とともに、将来的には海外での事業展開も見据える
  - 発電（アプリケーション）：2050年に向け再エネ比率を政府目標の50-60%まで高めるために既に導入を進めてきた平地以外の場所でも設置を進める必要がある



# ポジティブ技術2：太陽光発電サマリー 2/2

## 日本における背景と必要性

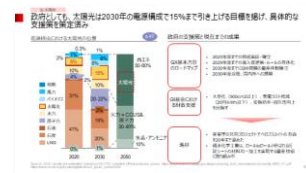
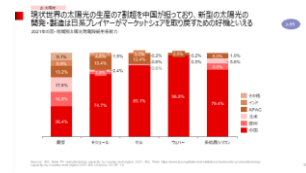
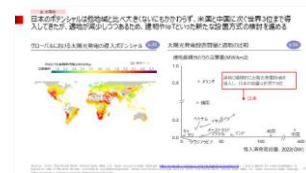
- 日本のポテンシャルは他地域と比べ大きくないにもかかわらず、米国と中国に次ぐ世界3位まで導入してきたが、適地が減少しつつあるため、建物やIoTといった新たな設置方式の検討を進める必要がある

## 政策と進捗

- 製造の観点では、現状世界の太陽光発電設備生産の7割超を中国が担っており、新型の発電設備の開発・製造は日系プレイヤーがマーケットシェアを取り戻すための好機といえる
- 政府としても、太陽光は2030年の電源構成で15%まで引き上げる目標を掲げ、具体的な支援策を策定済み
  - GX実現に向けた基本方針（以下、GX基本方針）<sup>1</sup>の中で社会実装に向けたロードマップを提示
  - グリーンイノベーション（以下、GI）基金<sup>2</sup>では特にペロブスカイトの開発や大規模製造の支援を行っており、課題だった耐久性や生産方式に進捗が見られる

## ケーススタディ

- AGC: 建材一体型太陽光発電の開発



1. 2023年2月に公表された政府の基本方針や分野別ロードマップ  
2. 2020年に国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）に造成された政府の2兆円基金

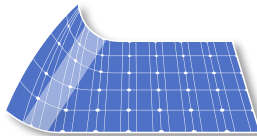
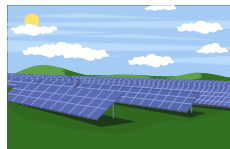
# 各種太陽電池の特徴

現状の太陽光発電は平地に設置されたシリコンが95%を占めているが、建物やIoTデバイス等に設置を拡げる際に期待されているのが、柔軟性に強みを持つ新技術である「ペロブスカイト」

p.62

p.63

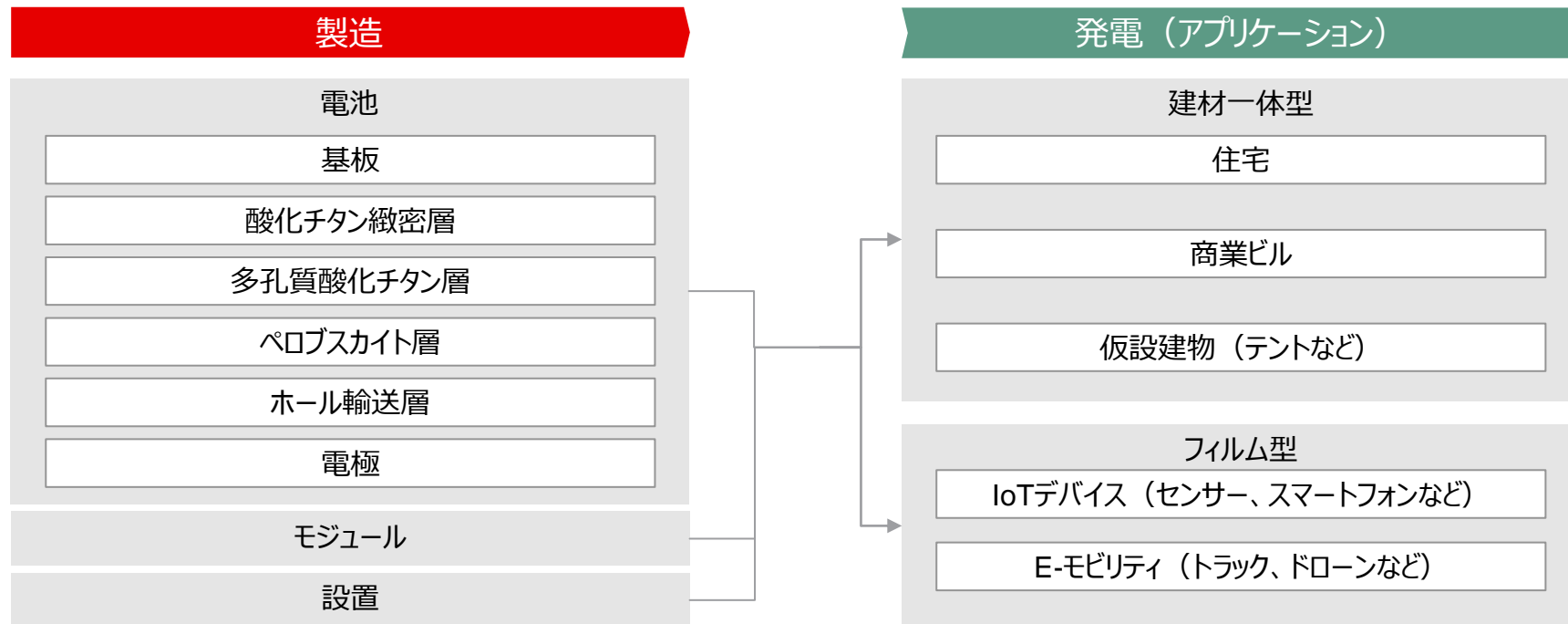
	シリコン系		化合物系		有機系	
	<b>シリコン</b>	<b>複合薄膜</b>	<b>ペロブスカイト</b>	シリコン ペロブスカイト・ タンデム	色素増感タイプ	有機薄膜
	現在、世界で最も普及(95%)している太陽電池	商用化済みだが、コスト削減の余地あり	太陽電池の応用をビルなどに拡大する主要技術	ペロブスカイトから更に効率性向上	耐久性が課題	耐久性が課題
効率 (最高水準)	26.7% (Kaneka)	19.0% (Solar frontier)	17.9% (パナソニック)	n.a.	n.a.	11.7% (ZAE Bayern)
形状/重量	様々な形があるが、柔軟性はない	薄く、軽量	柔軟、軽量	柔軟、軽量	柔軟、小型	柔軟、軽量
アプリケーション	大規模太陽光発電所、屋根	屋根、建材	ビル, 素材, IoT	太陽光発電所、屋根	ビル, 素材, IoT	ビル, 素材, IoT
技術の成熟度	1960年代に商用化済み	2000年代に商用化済み	研究開発/商用化初期段階	研究開発/商用化初期段階	2000年代に商用化済み	2000年代に商用化済み





# 太陽光発電のサプライチェーン

太陽光発電のサプライチェーンは、大きく製造と発電（アプリケーション）に分けられる



# 太陽光に関する詳細技術リスト

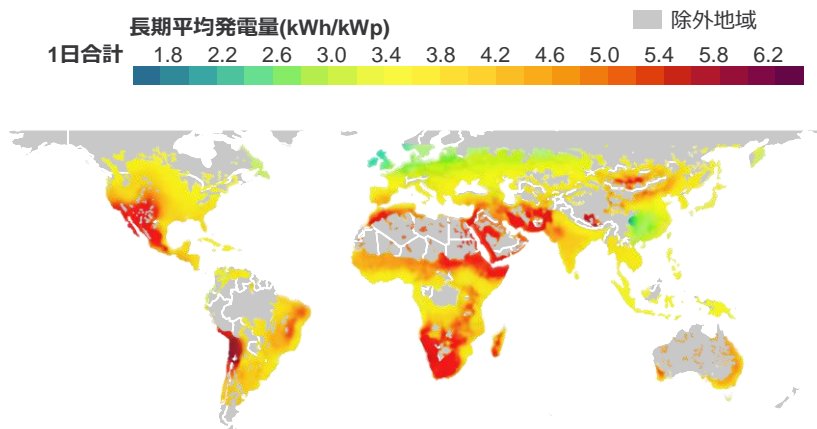
サプライチェーン要素	# 技術	日本における必要性	先進プレイヤー	主要技術の抜粋
製造 (※1-7はペロブスカイトの 場合の技術)	1 基板			
	2 積層(酸化チタン緻密層、 多孔質酸化チタン層、 ペロブスカイト層、正孔 輸送層など)	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐久性、発電効率などの技術的課題を解決し、次世代太陽光を十分な量供給できる量産体制を設計・確立する必要がある</li> </ul>	東芝、パナソニック、積水化学工業	
	3 電極			
	4 モジュール			
発電 (アプリケーション)	5 住宅とビル			
	6 IoT 設備 (センサー、スマートフォンなど)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ビル、モビリティインフラ、IoT機器など未開拓の場所に太陽光発電を導入できる技術が必要</li> </ul>	建物、インフラ、消費財の所有者	
	7 E-モビリティ (トラック、ドローンなど)	<ul style="list-style-type: none"> <li>シリコンPVは適地では一定導入済</li> </ul>		

# 日本における導入ポテンシャル・設置容量

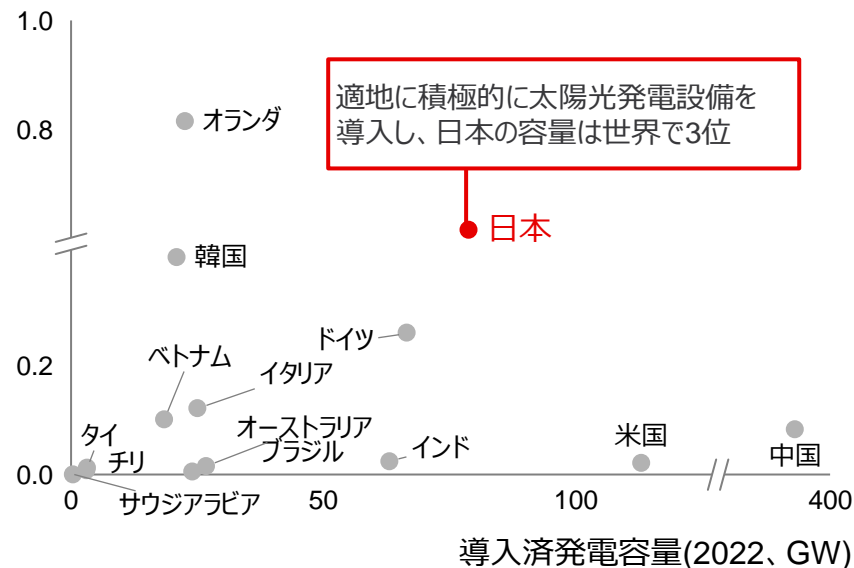
日本のポテンシャルは他地域と比べ大きくないにもかかわらず、米国と中国に次ぐ世界3位まで導入してきたが、適地が減少しつつあるため、建物やIoTといった新たな設置方式の検討を進める必要がある

グローバルにおける太陽光発電の導入ポテンシャル p.33

太陽光発電設置容量と適地の比較 p.34

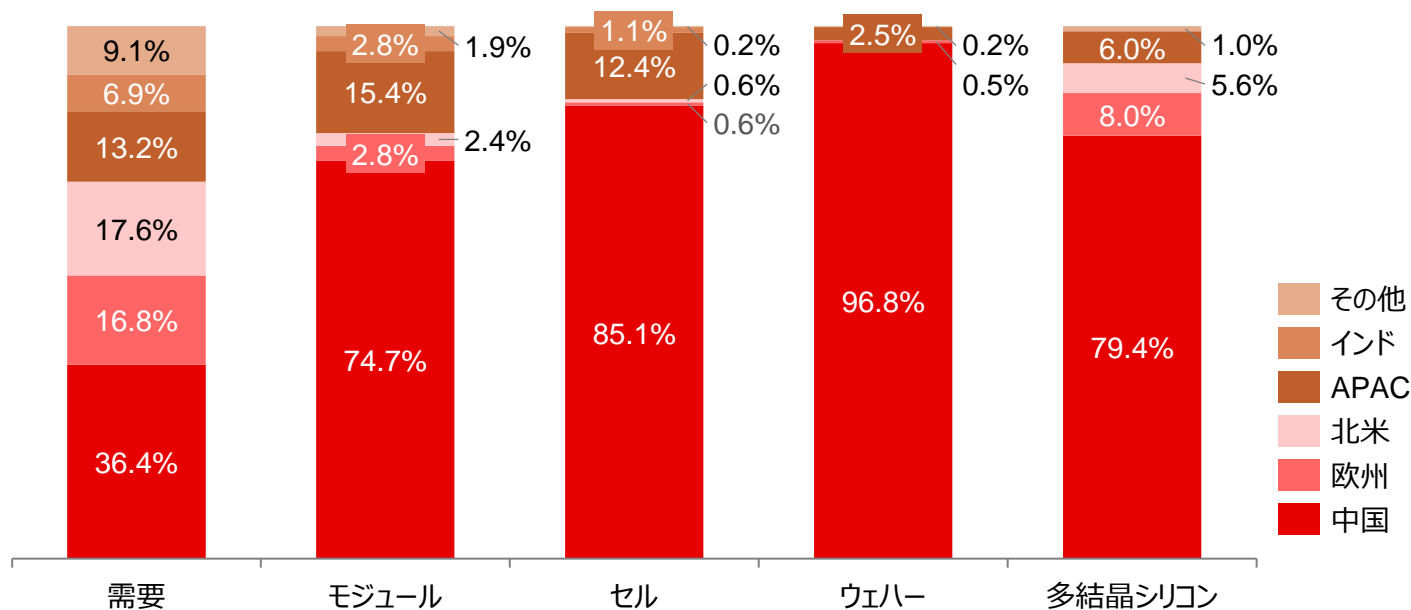


適地面積当たりの設置量(MW/km<sup>2</sup>)



# 2021年 国・地域別太陽光発電設備生産能力

現状世界の太陽光発電設備生産の7割超を中国が担っており、新型発電設備の開発・製造は日系プレイヤーがマーケットシェアを取り戻すための好機といえる

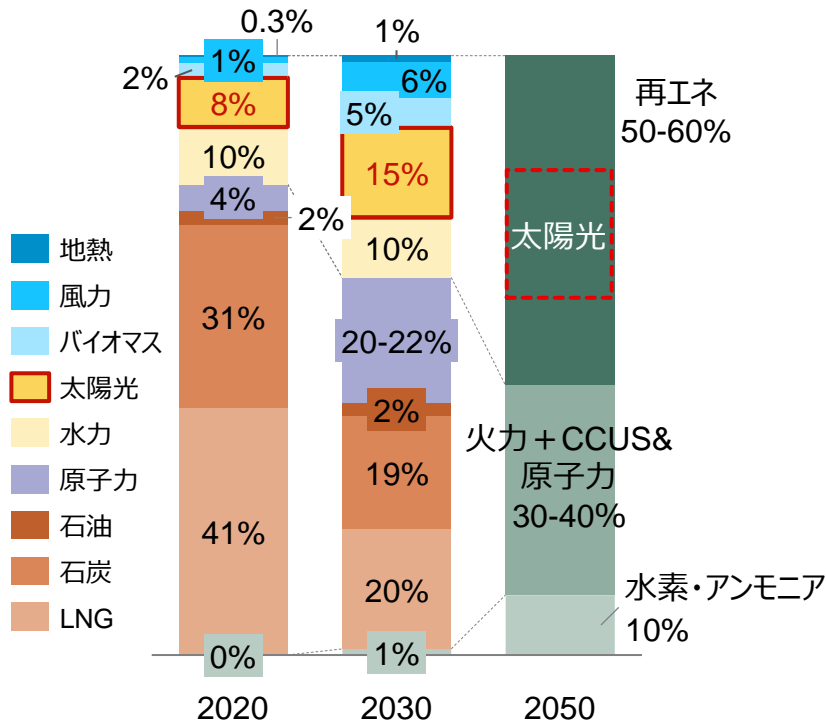


# 日本における政策支援

政府としても、太陽光は2030年の電源構成で15%まで引き上げる目標を掲げ、具体的な支援策を策定済み

## 電源構成における太陽光の位置づけ

p.47



## 政府の支援策と現在までの成果

GX基本方針  
のロードマップ

- 2025年度までの技術実証・確立
- 2029年度までの導入促進策・ルールの具体化
- 2030年度までにGW規模の量産体制確立
- 2030年度以降、国内外への展開

GI基金における  
財政支援

- 大型化（900cm<sup>2</sup>以上）、発電コスト低減（20円/kWh以下）、変換効率・耐久性向上を目指す

進捗

- 産官学の共同プロジェクトでペロブスカイトの寿命を20年まで高めた
- 積水化学工業は、ロールtoロールと呼ばれる圧延シート材料均一加工を実現する量産技術に取り組み中

# ケーススタディ：建材一体型太陽光発電の開発

## 会社概要

- 日本、アジア、欧州、米州に拠点を持ち、グローバルに素材ソリューション（ガラス、エレクトロニクス、化学、セラミックス、その他）を提供
- AGCは、製品を通じて世界の温室効果ガス排出削減に貢献すると表明

## 建材一体型太陽光発電（BIPV）：サンジュール®、Artlite Active

### 強み

- 効率的な発電（建材×発電）、高い耐久性、自由なデザイン、様々な用途での使用が可能
- 屋根以外での発電を可能にすることで、ZEB達成にも貢献
- 建築設計から設置まで一貫したサービスを提供
- 機能性：発電、多層構造による遮熱・断熱
- 用途に合わせた製品ラインナップを展開。様々な製品を開発中

### 製品展開

#### 施工イメージ



透視性が高いサンジュール®SUDARE



自由な意匠性を持つ  
Artlite Active

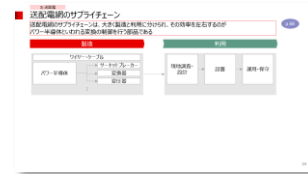
# ポジティブ技術3：送配電サマリー 1/2

## 技術の概要

- 発電地と需要地を結ぶのが送配電網であり、天候等によって電力供給の変動が大きい再エネの導入が進むほど、地域間での電力融通に果たす役割が大きくなる
- 送配電網のサプライチェーンは、大きく製造と利用に分けられ、その効率を左右するのがパワー半導体といわれる変換の制御を行う部品である

## 日本における背景と必要性

- 日本における送配電網の必要性は製造と利用の2つの観点で存在
  - 製造：国内での安定供給と産業振興を目指し、国内生産基盤を構築する必要性とともに、将来的には海外での事業展開も見据える
  - 利用：2050年に向け再エネ比率を政府目標の50-60%まで高めると、太陽光や風力といった天候による発電量の変動が大きい電源の利用が増加する。また、そもそも再エネのポテンシャルは国内地域間でばらつきがある。よって、現状の安定した電力供給と再エネ導入の加速を両立するには、国内の地域間の一層の電力融通が重要



# ポジティブ技術3：送配電サマリー 2/2

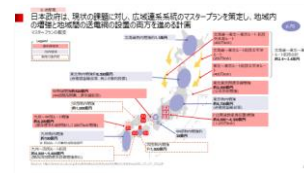
## 日本における背景と必要性

- 日本の送配電はメッシュ状に整備された欧米と異なり、ハブ同士をつなぐ形状かつ、東西の分断があるため、国全体の電力融通は更に進める余地がある



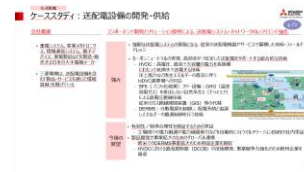
## 政策と進捗

- 日本政府は、現状の課題に対し、広域連系システムのマスタープランを策定し、地域内の増強と地域間の送電網の設置の両方を進める計画
- マスタープランでは合計6~7兆円の投資を想定しているが、これによって地域間で再エネを有効活用し化石燃料の利用を低減する効果や、それに伴うCO<sub>2</sub>排出の削減が想定される



## ケーススタディ

- 三菱電機：送配電設備の開発・供給



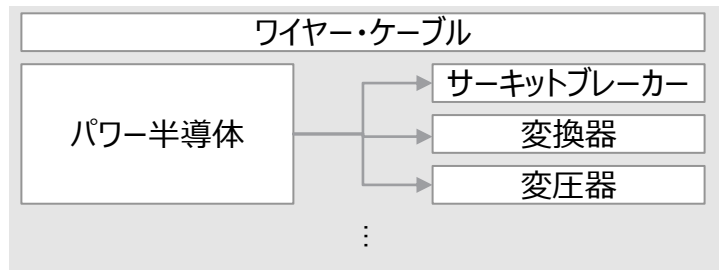


# 送配電網のサプライチェーン

送配電網のサプライチェーンは、大きく製造と利用に分けられ、その効率を左右するのがパワー半導体といわれる変換の制御を行う部品である

p.68

製造



利用



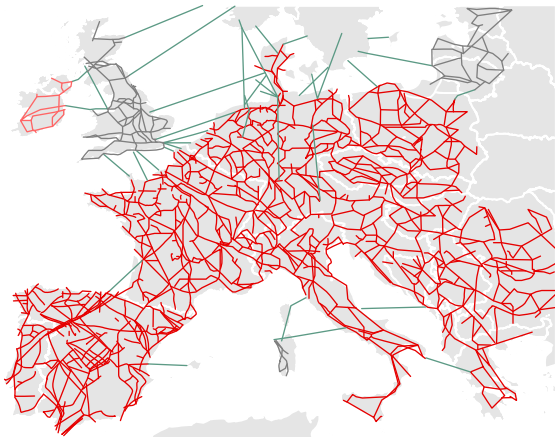
## 送配電に関する詳細技術リスト

サプライチェーン要素 # 技術	日本における必要性	先進プレイヤー	主要技術の抜粋
製造			
1 ワイヤー・ケーブル			
2 パワー半導体	<ul style="list-style-type: none"> <li>日本では、東西地域で異なる標準が存在するため、高圧直流送電（以下、HVDC）が適している</li> <li>HVDCは、様々なコンポーネントにパワー半導体を組み込み、複雑な制御を行う必要がある</li> </ul>	三菱電機、デンソー、東芝、ローム、日立（日立ABBパワーグリッド）	
3 その他のコンポーネント （変換器、変圧器、 サーキットブレーカーなど）			
利用			
4 利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>需要地域から遠く離れた浮体式洋上風力などの再生可能エネルギー容量の増加に伴い、高効率な送電・配電が求められる</li> <li>また、再生可能エネルギーの出力変動に対応するために、送電・配電を通じた迅速な対応が求められる</li> </ul>	東京電力パワーグリッドや関西電力送配電といった、送電・配電事業者	

## 国・地域別の系統連系(基幹系統)の比較

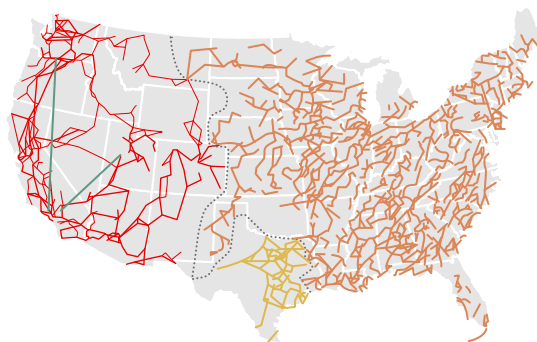
日本の送配電はメッシュ状に整備された欧米と異なり、ハブ同士をつなぐ形状かつ、東西の分断があるため、国全体の電力融通は更に進める余地がある

EU (国家間での接続)



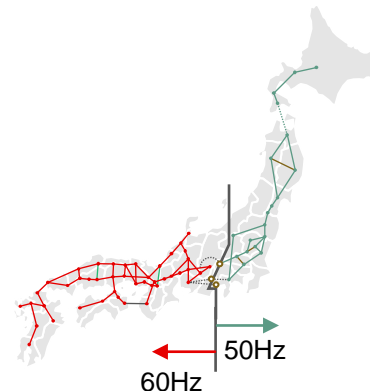
- 国際的で広域の相互接続
- メッシュ状のグリッドネットワーク

米国 (地域間での接続)



- 各地域の広域相互接続
- 西部、東部、南部それぞれでメッシュ状のグリッドネットワーク

日本 (地域毎に独立)



- 国際接続なし
- 系統運用周波数は東西で分離
- メッシュ状ではない、ハブ型ネットワーク

# マスタープランの概要

日本政府は、現状の課題に対し、広域連系システムのマスタープランを策定し、地域内の増強と地域間の送電網の設置の両方を進める計画

凡例

- 連系線増強
- 地内増強
- 将来の選択肢

北海道地内増強約1.1兆円

北海道～東北～東京ルート 新設  
日本海ルート  
(400万kW)

北海道～東北ルート新設太平洋  
ルート  
(200万kW)

東北～東京ルート新設太平洋ル  
ート  
(400万kW)

北海道～東北～東京  
ルート新設合計  
約2.5～3.4兆円

東北地内増強約6,500億円  
(送電容量確保策、再エネ集約設備)

東北東京間連系線増強  
約2,000億円  
(交流系統増強)

中地域増強約520億円  
(中部関西間第二連系線新設)

東京地内増強  
約6,700億円  
(送電容量確保策)

中国地内増強  
約1,000億円

FC(周波数変換装置)増強  
約4,000～4,300億円  
(+270万kW)

九州～中国ルート増強  
約4,200億円  
(直流連系も選択肢として280万kW増強)

九州地内増強  
約100億円

※ 四国ルートの場合は約200億円

中部地内増強  
約30億円

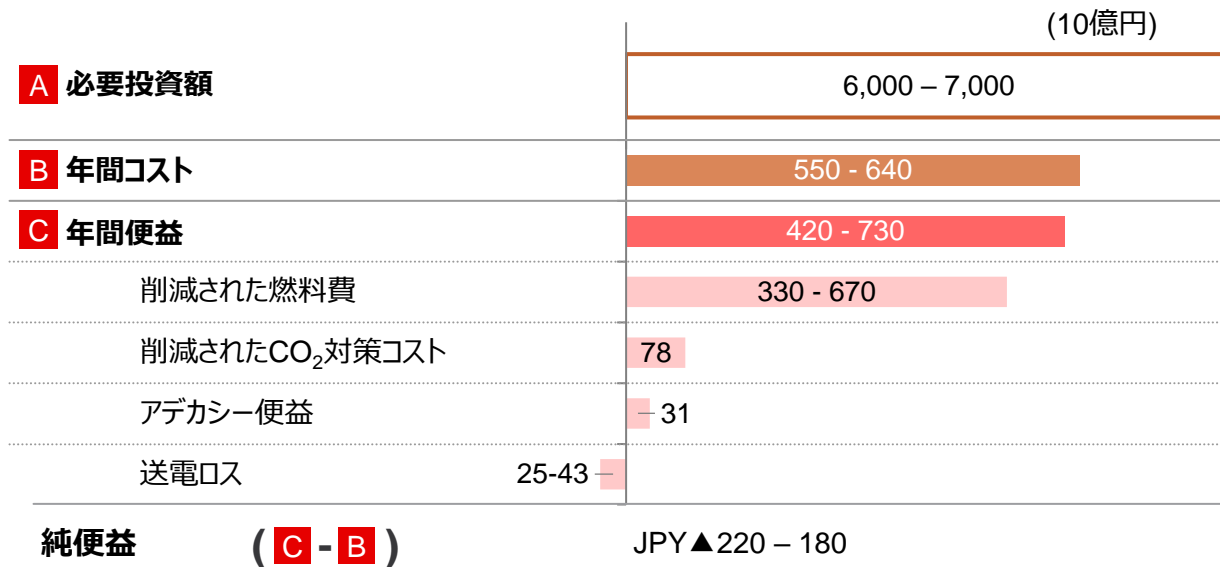
四国地内増強  
約1,600億円

九州～四国ルート新設  
約4,800～5,400億円  
(関西四国間連系設備増強含む)

## 広域連系システムの増強による効果

マスタープランでは合計6～7兆円の投資を想定しているが、これによって地域間で再エネを有効活用し化石燃料の利用を低減する効果や、それに伴うCO<sub>2</sub>排出削減が想定される

p.71



Note: コストと便益は四捨五入した数字

Source: [https://www.occto.or.jp/kouikikeitou/chokihoushin/files/chokihoushin\\_23\\_01\\_01.pdf](https://www.occto.or.jp/kouikikeitou/chokihoushin/files/chokihoushin_23_01_01.pdf)

# ケーススタディ：送配電設備の開発・供給

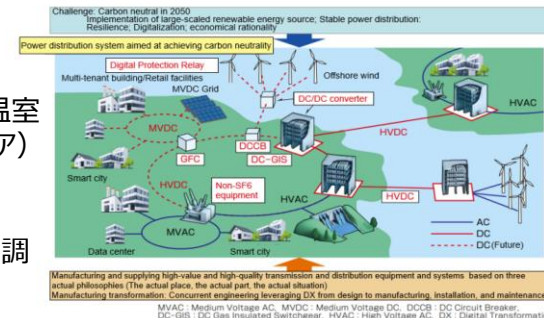
## 会社概要

- 重電システム、産業メカトロニクス、情報通信システム、電子デバイス、家電製品などを製造・販売する日本の大手電機メーカー
- 三菱電機は、送配電設備を含む「製品・サービスを通じた環境貢献」を掲げている

## コンポーネント開発とソリューション提供による、送配電システム・ネットワークのレジリエント強化

### 強み

- 強靱な送配電システムの基盤となる、従来の送配電機器やサービスで蓄積した技術・フィールドナレッジ
- カーボンニュートラルの実現、高効率かつ安定した送配電をサポートする総合的な技術
  - HVDC：高電圧、直流で大容量の電力を長距離にわたって低損失で送電する技術  
洋上風力など再生エネルギーの普及に伴うHDVC需要増への対応
  - SF6（六フッ化硫黄）フリー設備：GHG（温室効果ガス）を排出しない自然系ガス（ドライエア）による高電圧絶縁技術  
従来のガス絶縁開閉装置（GIS）等の代替
  - DERMS：分散電源を制御し、配電系統と協調しエネルギーの最適制御を行う技術



### 今後の展望

- 有効性／経済合理性を検証するための実証
  - 工場間での電力融通や電力価値取引などを自動的に行うマルチリージョンEMSの社内実証
- 製品開発や事業拡大のためのグローバル連携
  - 欧米でのDERMS事業拡大のため英国企業を買収
  - HVDCにおける直流遮断器（DCCB）の技術開発、事業競争力強化のため欧州企業を買収

# ポジティブ技術4：原子力発電サマリー 1/4

## 技術の概要

- 原子力発電は、CO<sub>2</sub>排出がないこと、出力の安定、経済性の観点で利点のある電源である
  - 例えば、2020年の原子力発電の発電コストは11.5円/kWhと、石炭火力の12.5円/kWh、商業用太陽光の12.9円/kWh、洋上風力の25.9円/kWh、陸上風力の19.8円/kWhに比べ安価
- 原子力発電は、商業化済みの既存炉と次世代炉に大別され、後者は安全性を高めた革新軽水炉や小型モジュール原子炉、水素製造ポテンシャルがある高温ガス炉、使用済み燃料の廃棄コスト削減が見込める高速炉等の開発が進められている
- 原子力発電のサプライチェーンは、4つの要素からなる：燃料調達、原子炉製造、発電、燃料サイクル・廃棄

変換は、蓄積化済みの既存炉と次世代炉に大別され、後者は安全性の向上、廃棄コスト削減、水素製造ポテンシャル、高温ガス炉、小型モジュール原子炉等の開発が進められている

項目	内容
燃料調達	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. 燃料調達</li> <li>2. 燃料サイクル</li> </ul>
原子炉製造	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. 原子炉製造</li> <li>2. 原子炉製造</li> </ul>
発電	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. 発電</li> <li>2. 発電</li> </ul>
燃料サイクル・廃棄	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. 燃料サイクル</li> <li>2. 燃料サイクル</li> </ul>

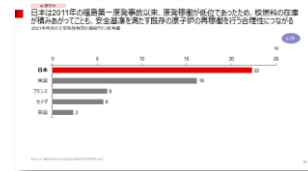
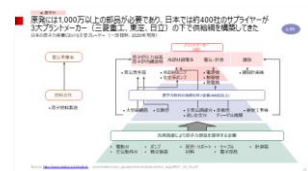
原子力発電のサプライチェーンは、4つの要素からなる：燃料調達、原子炉製造、発電、燃料サイクル・廃棄

燃料調達	原子炉製造	発電	燃料サイクル・廃棄
燃料	原子炉製造	発電	燃料サイクル・廃棄
燃料	燃料調達	燃料	燃料サイクル・廃棄
燃料	燃料調達	燃料	燃料サイクル・廃棄
燃料	燃料調達	燃料	燃料サイクル・廃棄
燃料	燃料調達	燃料	燃料サイクル・廃棄
燃料	燃料調達	燃料	燃料サイクル・廃棄
燃料	燃料調達	燃料	燃料サイクル・廃棄

# ポジティブ技術4：原子力発電サマリー 2/4

## 日本における背景と 必要性

- 日本は2011年の福島第一原子力発電の事故以来、低稼働が続いてきたが、脱炭素に向け原子力発電の重要性が再度認識され始めている
- 原子力発電のサプライチェーンは以下の要素からなり、一気通貫で強化する必要がある
  - 燃料調達：既に在庫は確保済み
  - 原子炉製造：日本は1970年以降原子力発電の製造を行ってきた中で、既に国内の製造基盤があるため、今後の次世代炉の製造にも活用可能
  - 発電：安価かつCO<sub>2</sub>排出の少ないベースロード電源は再エネの導入時に引き続き必要
  - 燃料サイクル・廃棄：燃料の有効活用や安全な廃棄の観点で強化が必要
- 原子力発電には1,000万以上の部品が必要であり、日本では約400社以上のサプライヤーが3大プラントメーカー（三菱重工、東芝、日立）の下で供給網を構築してきた
- 日本は2011年の福島第一原子力発電所事故以来、全国の原子力発電の稼働が低位であったため核燃料在庫が積みあがっていることから、安全基準を満たす既存原子炉再稼働によりエネルギー安全保障に貢献可能

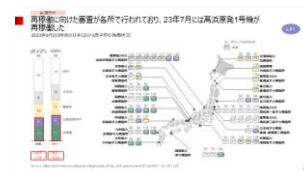
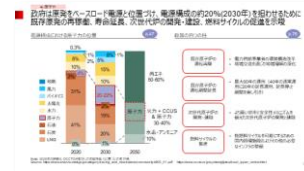




# ポジティブ技術4：原子力発電サマリー 3/4

## 政策と進捗

- 政府は原子力発電をベースロード電源と位置づけ、電源構成のうち約20%（2030年）まで担わせる計画で、このために既存原子力発電の再稼働、寿命延長、次世代炉の開発・建設、燃料サイクルの促進を示唆している
- 再稼働・寿命延長：
  - 2013年、原子力規制委員会は、原子力発電の安全性向上を目的にテロやシビアアクシデント対策も含む安全基準を策定
  - GX脱炭素電源法の中で、原則40年、最長60年までの運転が認められている
  - これらを通じ、再稼働に向けた審査が各所で行われており、23年7月には高浜原子力発電の1号機が再稼働した



# ポジティブ技術4：原子力発電サマリー 4/4

## 政策と進捗

- 次世代炉の開発・建設：
  - 原子炉の製造では、次世代炉の開発に向け3大プラントメーカーを中心に国内外のプロジェクトに参画
  - 相対的に技術的な成熟度が高い革新軽水炉は、電力4社と三菱重工が協働し2030年代半ばの商用化を目指す
  - 政府はGX基本方針の中で、安全性を前提としたうえでの次世代炉の開発加速や建設の可能性を示唆しており、概ね2030年代からの制作・設計を行うロードマップを策定済み
- 燃料サイクル促進：
  - 国内に蓄積した使用済み燃料を再度活用するための再処理工場の設置が進められる
  - 国内で長期間安定的に保管するための廃棄物処理地の選定も行われている

—  
(具体例はMHIの  
ケーススタディを参照)

## ケーススタディ

- 関西電力: 既存原子炉の再稼働
- 三菱重工: 次世代原子炉の開発



## 原子力発電の種類・特徴

原子力発電は、商業化済みの既存炉と次世代炉に大別され、後者は安全性の向上、柔軟な出力、水素製造ポテンシャル、使用済み燃料の廃棄コスト削減といった観点から開発が進められている

### 主要原子炉の種類

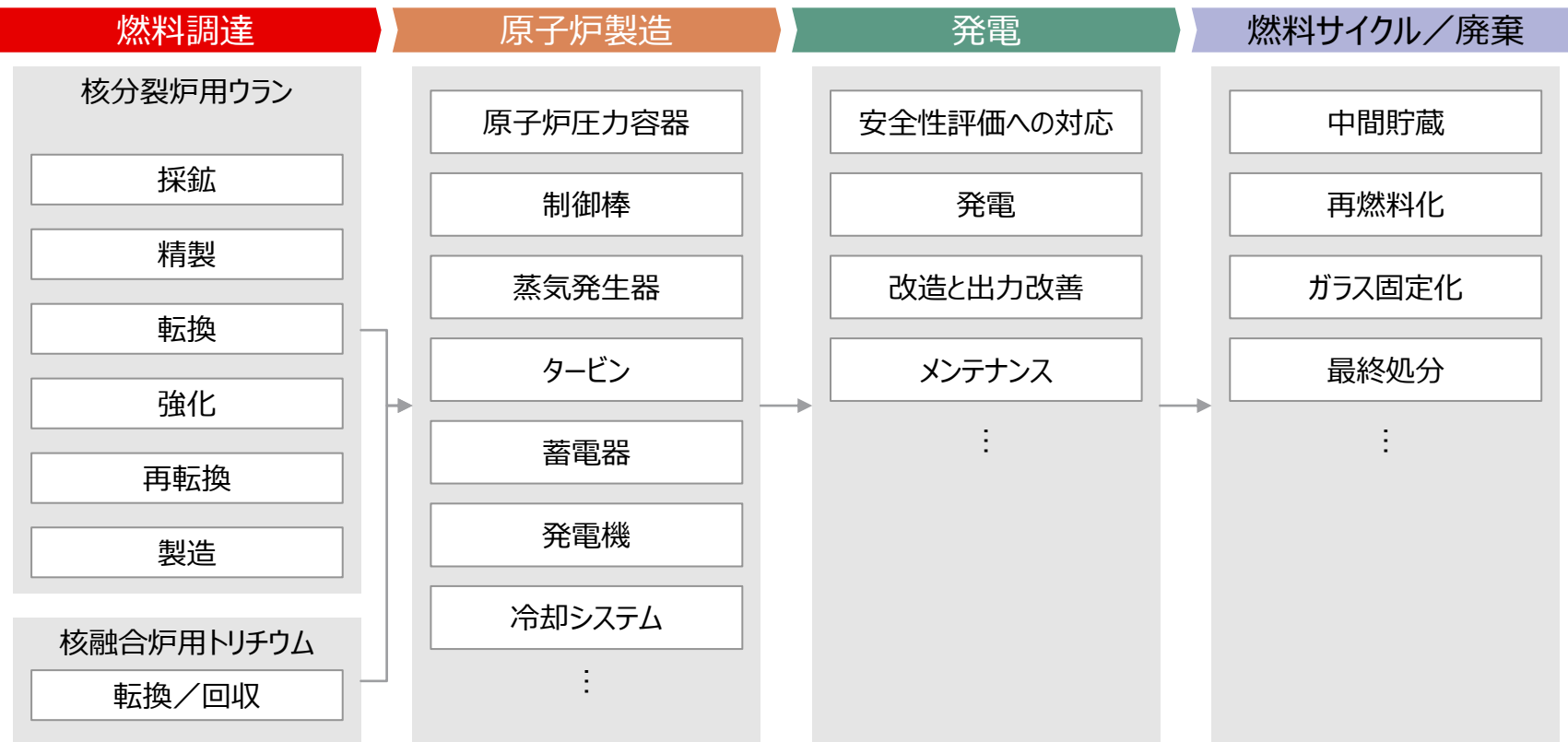
### 特徴

主要原子炉の種類	特徴
既存技術	沸騰水型原子炉(BWR) <ul style="list-style-type: none"> <li>• シンプルな構造</li> <li>• シンプルな構造ゆえに、発電タービンの放射性物質汚染リスクに留意が必要</li> </ul>
	加圧水型原子炉(PWR) <ul style="list-style-type: none"> <li>• BWRよりも複雑な構造</li> <li>• タービンの汚染を避けるための2つの独立した冷却水システム</li> </ul>
次世代技術	革新軽水炉 <ul style="list-style-type: none"> <li>• PWR構造に自然災害への対応を付加</li> <li>• 安全性の向上に向け、コアキャッチャーと放射性物質放出防止システムを装備</li> </ul>
	小型モジュール炉(SMR)/コンパクト炉/ マイクロ炉(ポータブル原子炉) <ul style="list-style-type: none"> <li>• 既存のタイプ（容量100万kW以上）よりも小型で、発電容量も30万kW（SMR）程度と小さい</li> <li>• 小規模な系統・分散型発電への利用が期待される</li> </ul>
	高温ガス炉 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 超高温（900℃以上）を作り出すことで、水素製造などの産業需要にも対応可能</li> <li>• 世界に2基しか存在せず、その中の1基は日本に存在</li> </ul>
	高速炉 <ul style="list-style-type: none"> <li>• プルトニウムを高速で反応させて発電する</li> <li>• 資源の有効利用や廃棄物の有害性を低減するため、燃料サイクルへの貢献が期待される</li> </ul>
核融合炉	<ul style="list-style-type: none"> <li>• プラズマ状態を作り出し、維持することで動作する</li> <li>• 放射性廃棄物の発生が少ない</li> <li>• 資源枯渇の心配がない海水のような物質を利用</li> </ul>

# 原子力発電のサプライチェーン

原子力発電のサプライチェーンは、4つの要素からなる：燃料調達、原子炉製造、発電、燃料サイクル・廃棄

p.75



## 原子力発電に関する詳細技術リスト 1/2

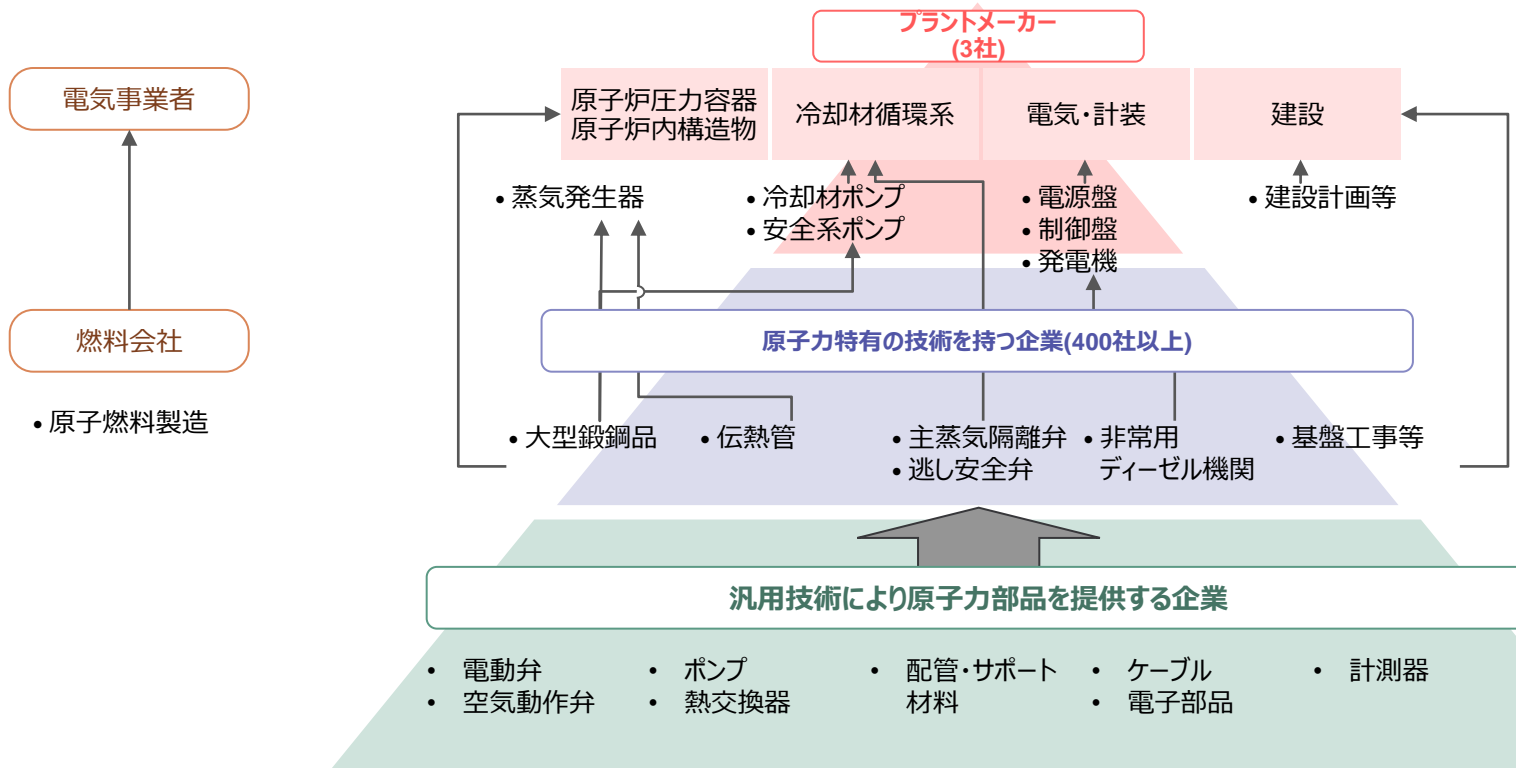
サプライチェーン要素	#	技術	日本における必要性	先進プレイヤー	主要技術の抜粋
燃料生産	1	核燃料	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー安全保障の観点から、確保済みの燃料の活用が求められる</li> </ul>	三菱原子燃料、GNF-J、原子燃料工業、日本原燃	
原子炉製造	既存	2 沸騰水型原子炉	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術的成熟度が高く、比較的安価な発電アセットを活用することが求められる</li> </ul>	日立、東芝	
		3 加圧水型原子炉		三菱重工	
次世代		4 軽水炉	<ul style="list-style-type: none"> <li>以下の実現に向けた開発が求められる               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 安全性の向上</li> <li>- 電力需要変動への迅速な対応</li> <li>- 水素製造</li> <li>- 燃料廃棄コストの削減など</li> </ul> </li> </ul>	三菱重工、Framatome	
		5 小型モジュールコンパクト炉/マイクロ炉		三菱重工、IHI、日揮、日立GEニュークリア・エナジー、Nuscale、Rolls-royce	
		6 高温ガス炉		三菱重工	
		7 高速炉		三菱重工、日立GEニュークリア・エナジー	
		9 核融合炉		ITER	

## 原子力発電に関する詳細技術リスト 2/2

サプライチェーン要素	# 技術	日本における必要性	先進プレイヤー	主要技術の抜粋
発電	10 発電	<ul style="list-style-type: none"> <li>出力が変動する再生可能エネルギーを補完するための、クリーンで安定した経済的な電力供給が求められる</li> </ul>	東京電力、関西電力、東北電力などの大手電力会社	
燃料サイクル・処分	11 燃料サイクル	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電後の使用済み燃料に含まれる残余エネルギーの活用と、燃料サイクルによる有害物質の低減が求められる</li> </ul>	日本原燃	
	12 廃棄	<ul style="list-style-type: none"> <li>健康や環境に影響を与えることなく、廃棄物を長期間安定的に保管することが求められる</li> </ul>	最終処分地の自治体 (現在、固体化は海外事業者に委託している)	

# 日本の原子力産業における主要プレイヤー（一部抜粋、2020年現在）

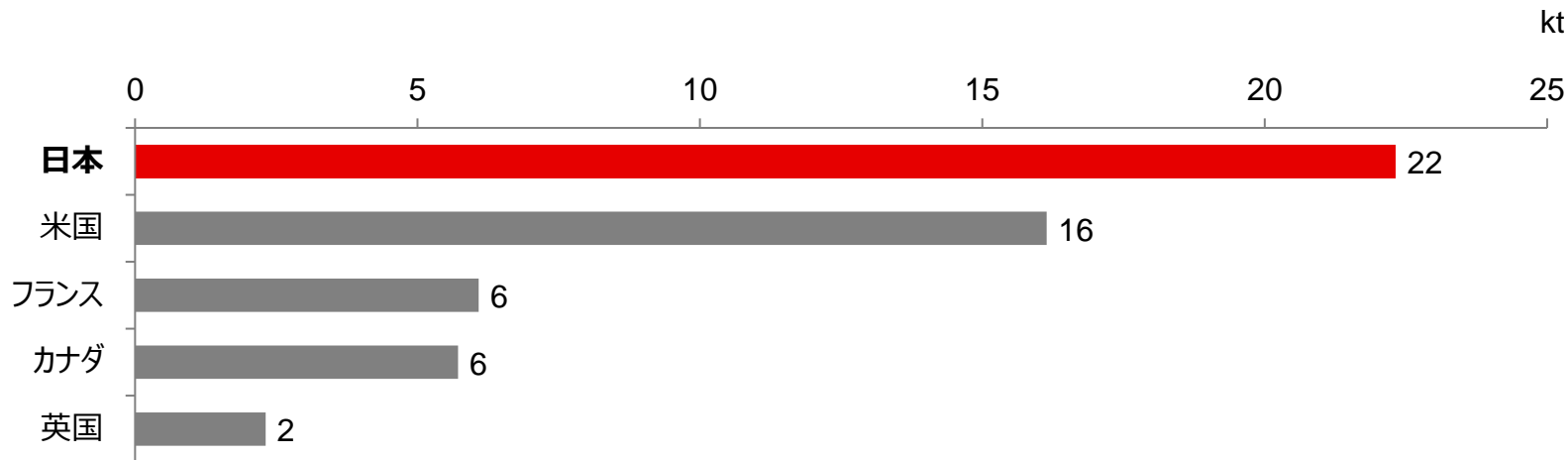
原子力発電には1,000万以上の部品が必要であり、日本では約400社のサプライヤーが3大プラントメーカー（三菱重工、東芝、日立）の下で供給網を構築してきた



## 2021年時点の主要核保有国の濃縮ウラン保有量

日本は2011年の福島第一原子力発電所事故以来、全国の原子力発電の稼働が低位であったため核燃料在庫が積みあがっていることから、安全基準を満たす既存原子炉再稼働によりエネルギー安全保障に貢献可能

p.78



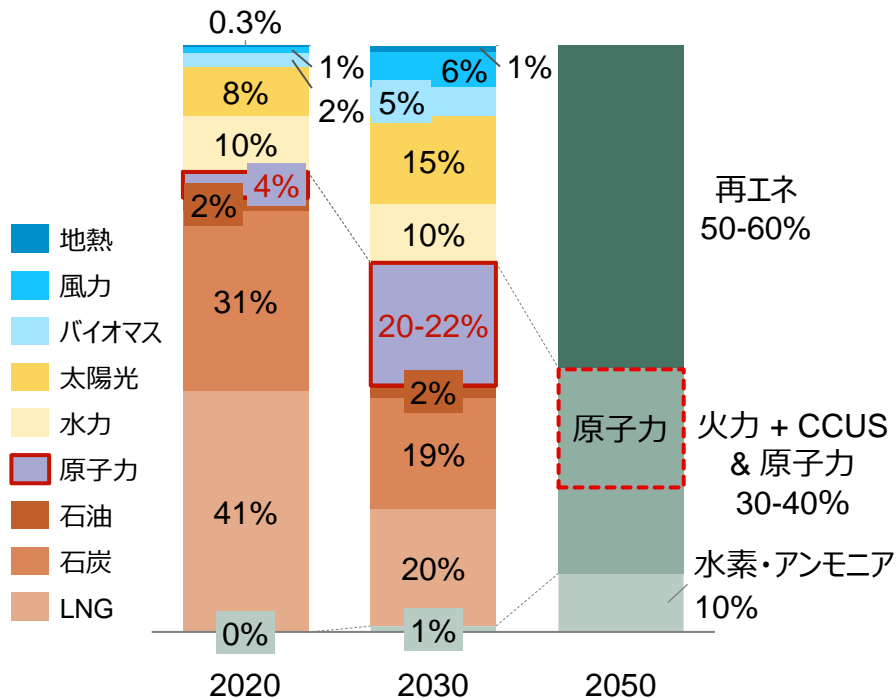


# 日本における政策支援

政府は原子力発電をベースロード電源と位置づけ、電源構成の約20%(2030年)を担わせるために既存原子力発電所の再稼働、寿命延長、次世代炉の開発・建設、燃料サイクルの促進を示唆している

## 電源構成における原子力の位置

p.47



## 政策の四つの柱

p.76

既存原子炉の  
運転再開

- 電力供給事業者の運営構造改革
- 地域交流を通じた地域理解の深化

既存原子炉の  
運転期間延長

- 最大60年の運用（40年の通常運用に20年の延長運用、延長停止期間を差し引き）

次世代原子炉の  
開発・建設

- より高い効率と安全性メカニズムを備えた次世代原子炉の開発と建設

燃料サイクルの  
推進

- 核燃料サイクルを可能にするための国内処理施設およびその他の必要なインフラの整備

Note: 2020年の結果は、OCCTOが集計した送電外電力に基づいた推計値

Source: [https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/community/dl/05\\_01.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/community/dl/05_01.pdf) [https://www.occto.or.jp/system/gijutsu/kouri\\_ippan\\_renkei.html](https://www.occto.or.jp/system/gijutsu/kouri_ippan_renkei.html)

# 従来と現在の規制基準の比較

2013年、原子力規制委員会は、原子力発電の安全性向上を目的にテロやシビアアクシデント対策も含む安全基準を策定

## 新規規制基準

意図的な航空衝突への対応

新設（テロ対策）

放射性物質の拡散抑制対策

格納容器破損防止対策

新設（シビア  
アクシデント対策）

炉心損傷防止対策(複数の機器の故障を想定)

内部溢水に対する考慮(新設)

自然現象に対する考慮(火山・竜巻・森林火災を新設)

火災に対する考慮

強化又は新設

電源の信頼性

その他の設備の性能

耐震・耐津波性能

強化

## 従来の規制基準

シビアアクシデントを防止するための基準(単一の機器の故障を想定しても炉心損傷に至らないことを確認)

自然現象に対する考慮

火災に対する考慮

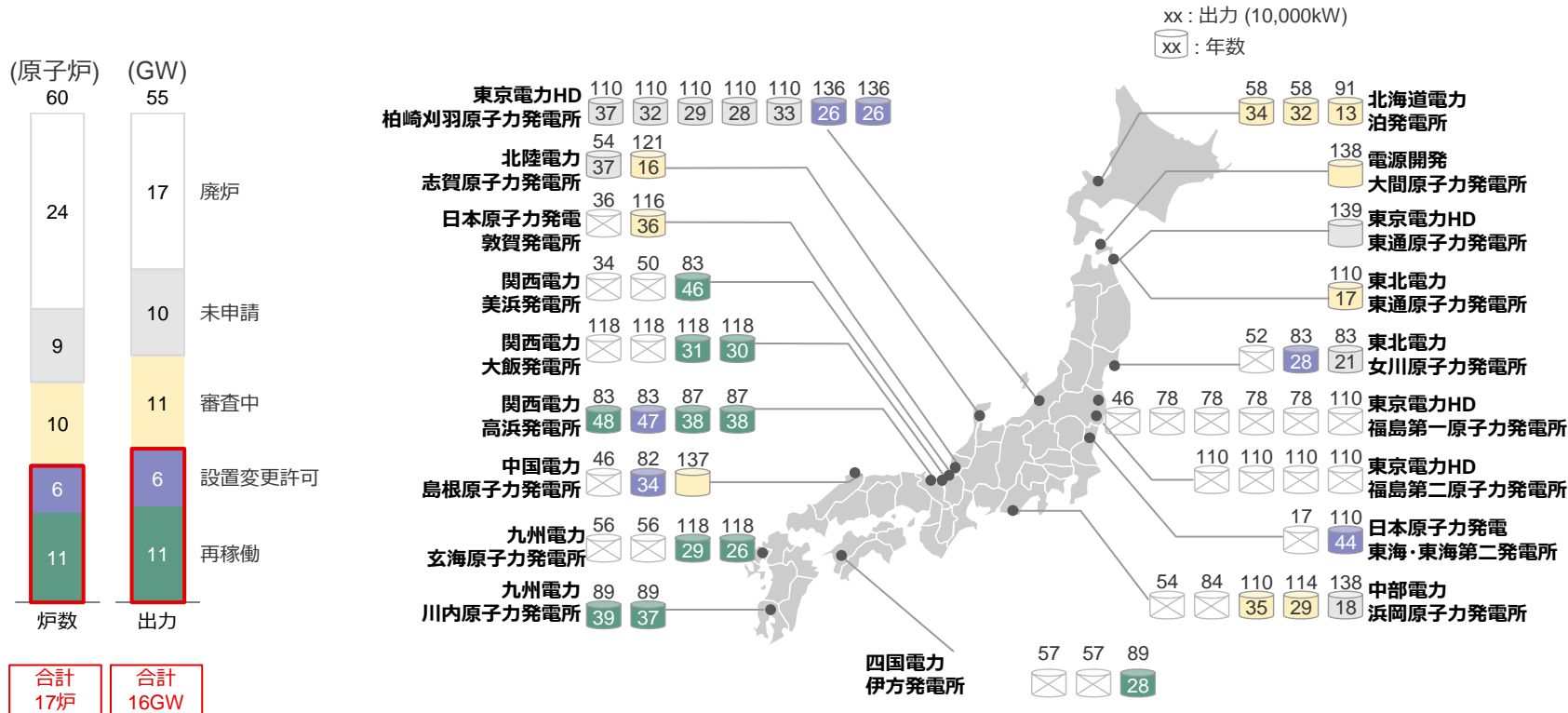
電源の信頼性

その他の設備の性能

耐震・耐津波性能

# 2023年8月2日時点の日本における原子炉の稼働状況

再稼働に向けた審査が各所で行われており、23年7月には高浜原子力発電1号機が再稼働した



Source: [https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity\\_and\\_gas/nuclear/001/pdf/001\\_02\\_001.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/001/pdf/001_02_001.pdf)

# 世界の燃料サイクルのトレンド

国内に貯まった使用済燃料を再度活用するための再処理工場の設置が進められる

## 再処理






使用済燃料から再利用できるウランとプルトニウムを取り出し

企業名	所在地	操業開始	処理能力 (t/年)
セラフィールド	 カンブリア (英国北西部)	1994 (2018閉鎖)	900
		1964 (2022閉鎖)	1,000
マヤーク	 チェリャピンスク (ロシア西南部)	1977	400
オラノ	 ラ・アーグ (フランス北西部)	1966	1,700
日本原燃	 青森県六ヶ所村	2024年度予定	800

合計 2,100t/年  
\*商業用稼働済み

## 再燃料化(=MOX燃料化)

プルトニウムをウランと混ぜ合わせることで、新しい燃料を製造

企業名	所在地	操業開始	処理能力 (t/年)
FBFCインター ナショナル	 デッセル	1960 (2015閉鎖)	200
オラノ	 バニヨンセールズ (フランス南東部)	1965	195
マヤーク	 チェリャピンスク (ロシア西南部)	1977	400
原子力機構	 茨城県東海村	1988	4.5 <sup>1</sup>
日本原燃	 青森県六ヶ所村	2024年予定	130

合計 595t/年  
\*商業用稼働済み

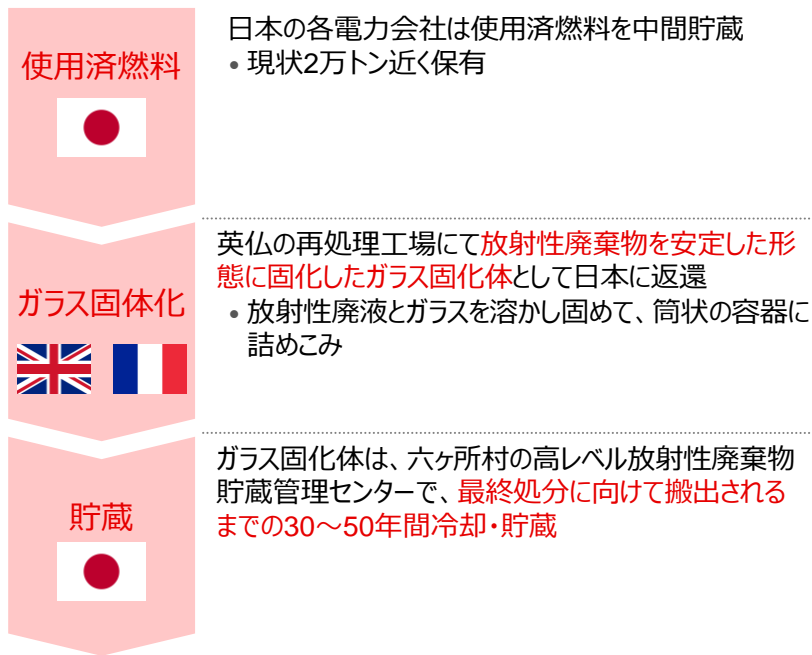


燃料サイクル能力は世界的に不足しており、使用済燃料の再処理待ち状態

# 現在の廃棄物処理サイクル

国内で長期間安定的に保管するための廃棄物処理地の選定も行われている

## 日本における放射性廃棄物の流れ



## ガラス固化放射性廃棄物貯蔵設備について

<b>場所</b>	青森県六ヶ所村
<b>容量</b>	ガラス固化体 2,880本('18年で1,800本近く貯蔵)
<b>操業開始</b>	1995
<b>安全性配慮</b>	厚さ約1.5～2mの鉄筋コンクリート壁で囲まれ、放射線を遮へい

# ケーススタディ：既存の原子炉の再稼働

p.84

## 会社概要

- 関西電力（KEPCO）は、関西地域で事業を行う、日本の大手電力会社のひとつである
- 同社は、「ゼロ・カーボン発電量で国内首位を維持」、「2025年度に発電に伴うCO<sub>2</sub>排出量を2013年度比で半減」を表明している

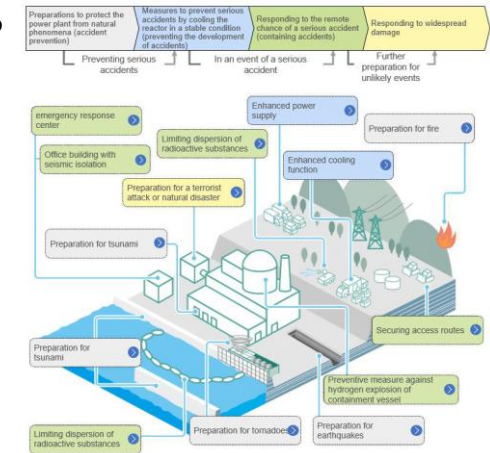
## 既存の原子炉の再稼働

### 背景

- 関西電力「ゼロカーボンロードマップ」の中では、既存炉7基の再稼働を2025年を目途に行うこととしており、12年間休止していた高浜原発1、2号機を再稼働させる方針である（※）
- 高浜原発1、2号機については、2015年4月運転期間延長申請書を提出し、2016年6月に運転期間延長の認可を取得

### 再稼働に向けた取り組み

- 関西電力は、新規規制基準対応やそれを超えるあくなき安全性の追求（自主的な取り組み）を着実に実施し、安全性向上対策を推進してきた
- 高浜発電所では、リスクを4つの段階に分け、各段階でその影響を最小化するための様々な対策を講じている
- ステークホルダーとの対話：規制当局および原子力発電所における地域社会とのコミュニケーション



（※）2023年9月22日付「トランジション白書2023」発刊時は上記記載であるが、現在、高浜原発1号機は2023年8月28日付、高浜原発2号機は2023年10月16日付本格運転を再開し、7基体制を実現している

# ケーススタディ：次世代革新炉の開発

## 会社概要

- エネルギー、プラント・インフラ、ロジスティクス、熱・駆動システム、航空、防衛・宇宙を網羅するエンジニアリング・製造会社
- 国内唯一の加圧水型原子炉（PWR）メーカーとして、軽水炉発電プラントの設計・製造・保守に加え、燃料サイクル施設や原子力廃止措置など、原子力に関するほぼすべての分野でサービスを提供

## 次世代革新炉

### 商業化間近の原子炉

- 革新軽水炉（SRZ-1200）：
  - 既存の加圧水型原子炉（PWR）技術をベースに革新的な技術を導入し、世界最高水準の安全性を達成すると同時に、経済性を確保し、カーボンフリー電源として、CO<sub>2</sub>排出量の大幅削減に貢献
  - 基本設計の80%を完了し、2030年代半ばの商業化を目指す

### 将来に向けて開発中の原子炉

- 三菱重工は、以下のような多様な原子炉の開発と商業化を推進している
  - 小型軽水炉（SMR）
  - 高温ガス炉
  - 高速炉
  - マイクロ炉
  - 核融合炉

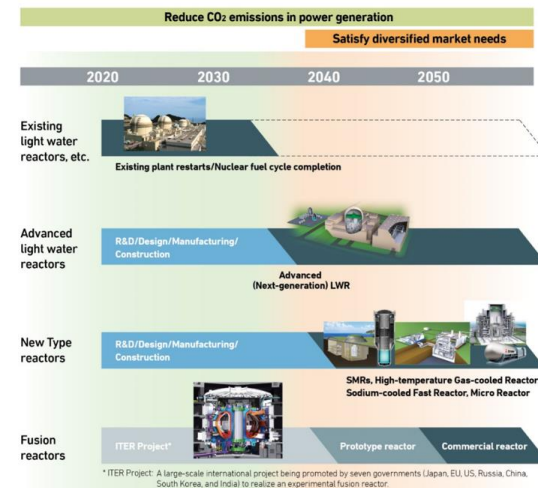
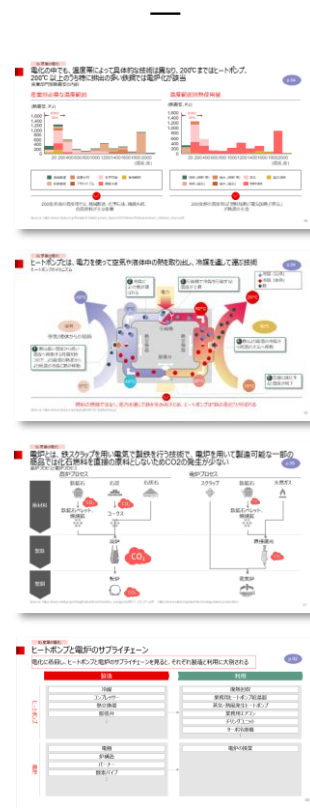


Figure 8 Nuclear Energy Roadmap Toward Carbon Neutrality

# ポジティブ技術5：産業の電化サマリー 1/3

## 技術の概要

- 産業部門の脱炭素に向けた選択肢は、燃料転換、CCUSも挙げられるが、本節では再エネや原子力発電等クリーンな電力を前提とした電化に着目
- 電化の中でも、温度帯によって具体的な技術は異なる
  - 200°Cまで：ヒートポンプ
  - 200°C以上：様々な産業で電化の可能性あり  
(例：特に排出の多い鉄鋼では電炉等)
- ヒートポンプとは、電力を使って空気や液体中の熱を取り出し、冷媒を通して運ぶ技術である
- 電炉とは、鉄スクラップを用い電気で製鉄を行う技術で、電炉を用いて製造可能な一部の商品では化石燃料を直接の原料としないためCO<sub>2</sub>の発生が少ない
  - ただし、鉄鉱石やコークスの反応を通して鉄を生成する際に多量のCO<sub>2</sub>を発生する高炉プロセスで製造可能な製品もあり、これらは燃料転換やCCUSといった別の手段での脱炭素化が検討される
- 電化に着目し、ヒートポンプと電炉のサプライチェーンを見ると、それぞれ製造と利用に大別される





# ポジティブ技術5：産業の電化サマリー 2/3

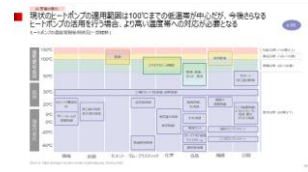
ヒートポンプ

日本における背景と必要性

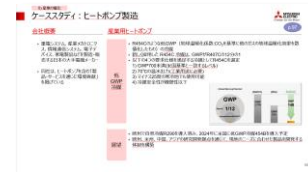
政策と進捗

ケーススタディ

- ヒートポンプのサプライチェーンは利用と製造の両面で強化の必要性がある
  - 利用：技術成熟度やインフラ制約により燃料転換やCCUSよりも実施しやすい、安価な場合の産業熱の脱炭素化手段
  - 製造：既に国際競争力がある国内メーカーを中心に一層の供給確保を行うほか、ヒートポンプの適用先の拡大に向けた開発が必要
- 政府のグリーンエネルギー戦略では、製造業を脱炭素化する手段の一つとしてヒートポンプを挙げ、年間～0.5兆円の官民投資の必要性を示している
- 現状のヒートポンプの適用範囲は100℃までの低温帯が中心だが、今後更なるヒートポンプの活用を行う場合、より高い温度帯への対応が必要となる
- また、冷媒利用から出るGHG（フロンガス等）の排出削減もヒートポンプの活用上課題となっており、政府の支援と民間の開発が行われている
- 三菱電機：ヒートポンプ製造



(具体例は三菱電機  
ケーススタディを参照)



# ポジティブ技術5：産業の電化サマリー 3/3

日本における背景と必要性

- 電炉のサプライチェーンは、ヒートポンプ同様に利用と製造の両面で強化の必要性がある
  - 利用：高炉が全体排出の7割を占めるため、電化の余地が大きい。今後の技術進歩とともに電炉で製造可能な製品ラインナップが拡大すれば電化は適用範囲も広がり、燃料転換やCCUSと併せて一層有効な脱炭素手段となる
  - 製造：電炉の供給を確保するとともに、高炉で製造してきた製品を電炉生産に切り替える場合の製造手法の確立が必要



電炉

政策と進捗

- 政府はGX基本方針において、グリーンスチールの製造に向けて水素利用（水素由来・バイオ由来燃料で記載）に加え電炉活用方針を出しており、呼応して鉄鋼メーカーも技術開発を中心に電炉の導入を積極化している
- 電炉の導入に当たって、鉄スクラップの入手可能性や、電炉ではスクラップから混入する不純物により製造可能な製品が限られるという課題が存在しているが、業界横断の研究開発により技術的な進捗が明確化している

（具体例は日本製鉄ケーススタディを参照）

ケーススタディ

- 日本製鉄：大型電炉での高級鋼製造

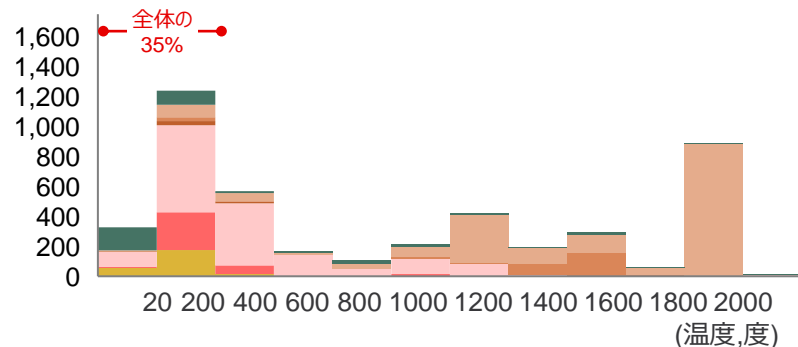


# 産業部門別熱需要の内訳

電化の中でも、温度帯によって具体的な技術は異なり、200℃まではヒートポンプ、200℃以上のうち特に排出の多い鉄鋼では電炉化が該当

## 産業別必要な温度範囲

(熱需要, PJ)



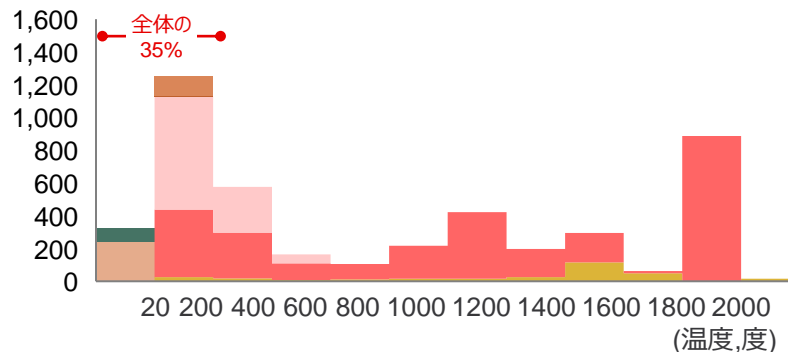
■ 機械製造
 ■ 窯業土石
 ■ 化学石油
 ■ 食品飲料  
■ 鉄鋼金属
 ■ プラチック・ゴム
 ■ 繊維木紙



200度未満の温度帯では、機械製造、化学石油、繊維木紙、食品飲料が主な産業

## 温度範囲別熱使用量

(熱需要, PJ)



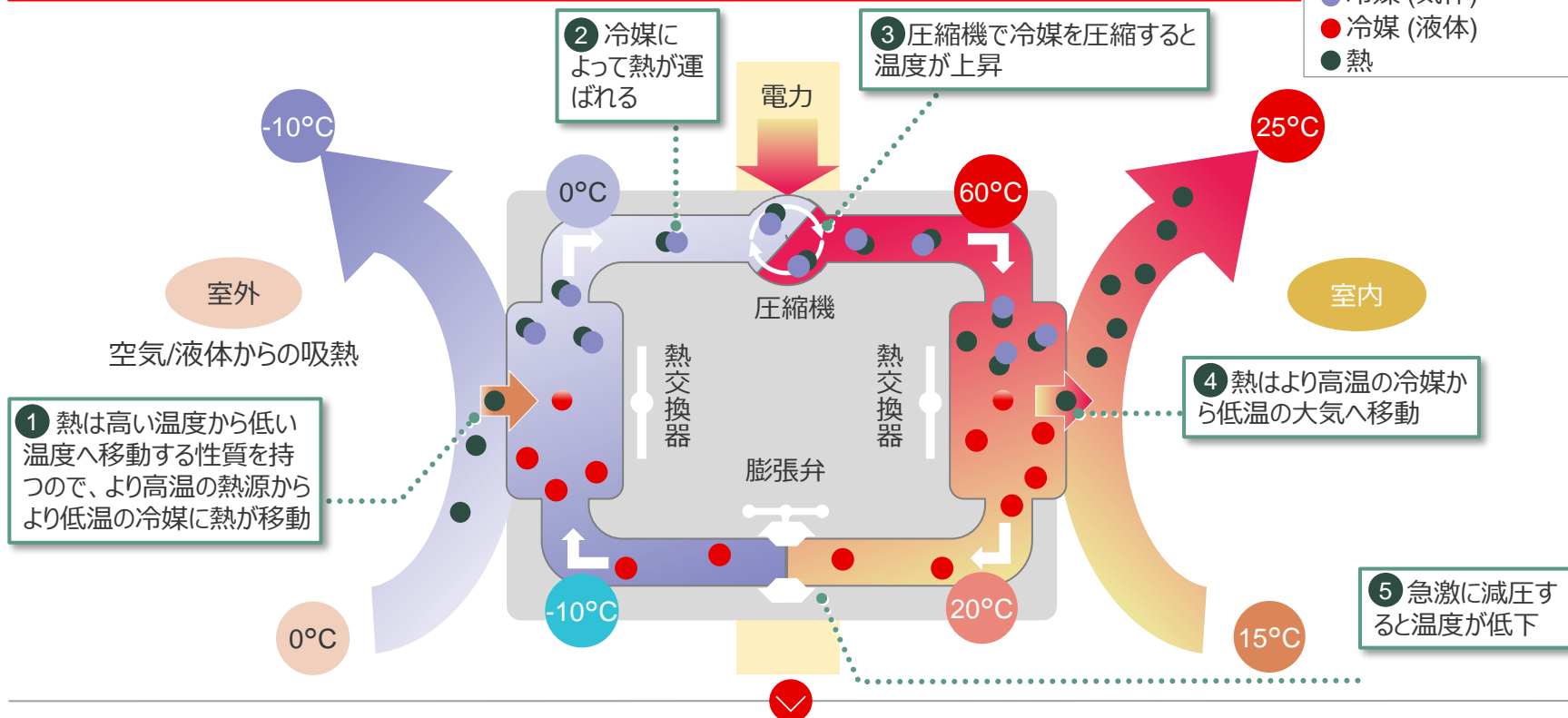
■ 冷熱(燃料等)
 ■ 温水(燃料等)
 ■ 蒸気
 ■ 電気加熱  
■ 冷熱(電気)
 ■ 温水(電気)
 ■ 燃料加熱



200度超の温度帯は「燃料加熱」「電気加熱」「蒸気」が熱源の主流

# ヒートポンプのメカニズム

ヒートポンプとは、電力を使って空気や液体中の熱を取り出し、冷媒を通して運ぶ技術

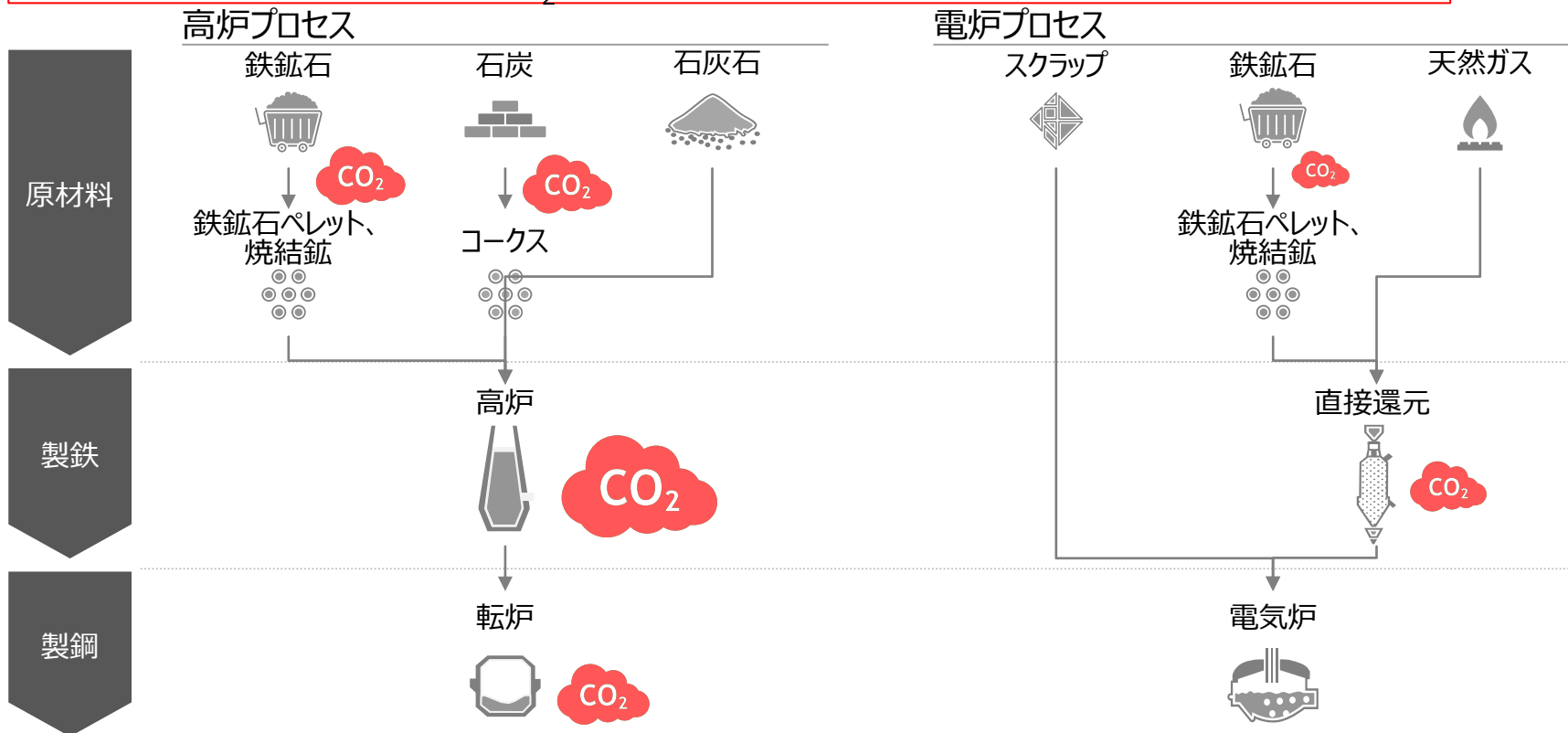


燃料の燃焼ではなく、電力を通じて熱を生み出すため、ヒートポンプは"熱の電化"と呼ばれる

# 高炉プロセスと電炉プロセス

電炉とは、鉄スクラップを用い電気で製鉄を行う技術で、電炉を用いて製造可能な一部の商品では化石燃料を直接の原料としないためCO<sub>2</sub>の発生が少ない

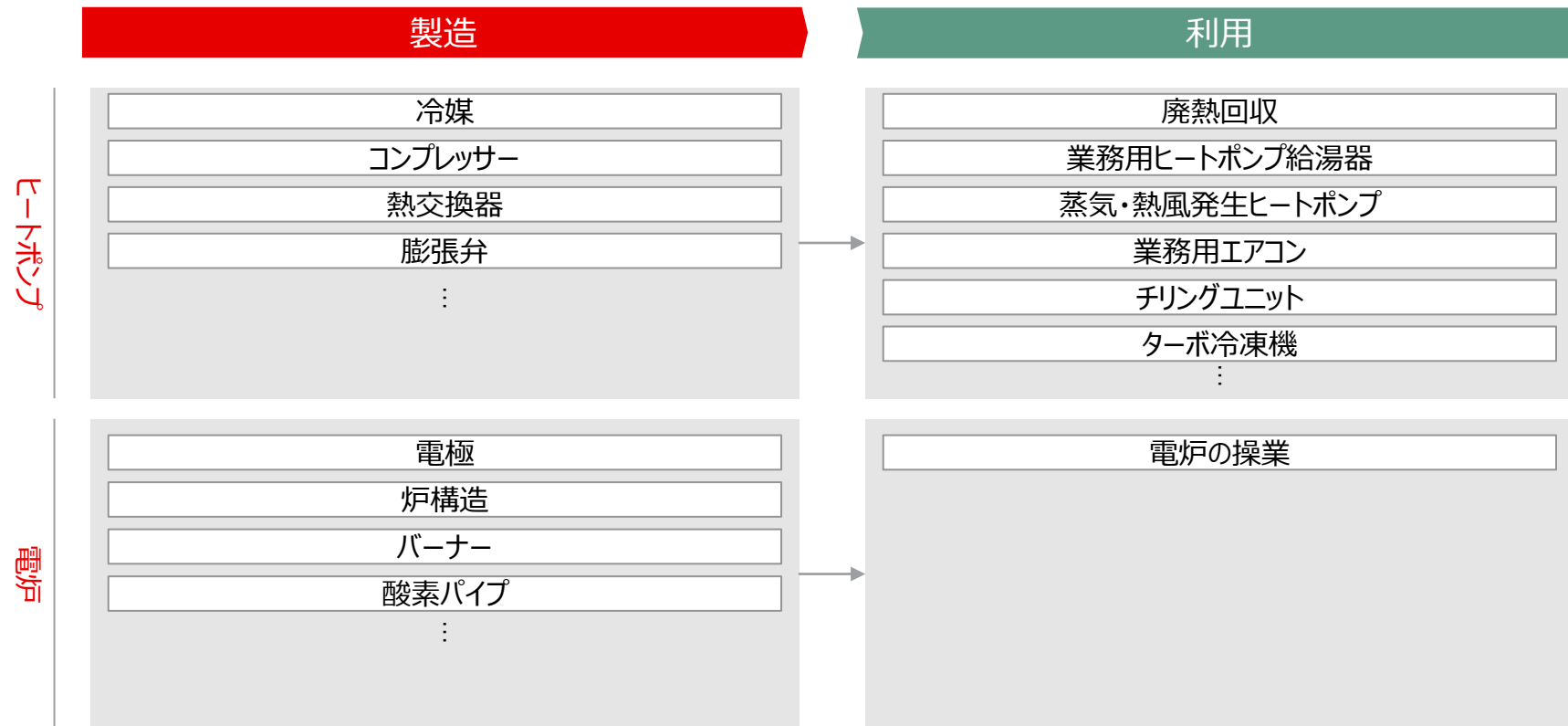
p.99



Source: [https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo\\_sangyo/pdf/011\\_03\\_01.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/pdf/011_03_01.pdf); <https://www.steel.org/steel-technology/steel-production/>

# ヒートポンプと電炉のサプライチェーン

電化に着目し、ヒートポンプと電炉のサプライチェーンを見ると、それぞれ製造と利用に大別される

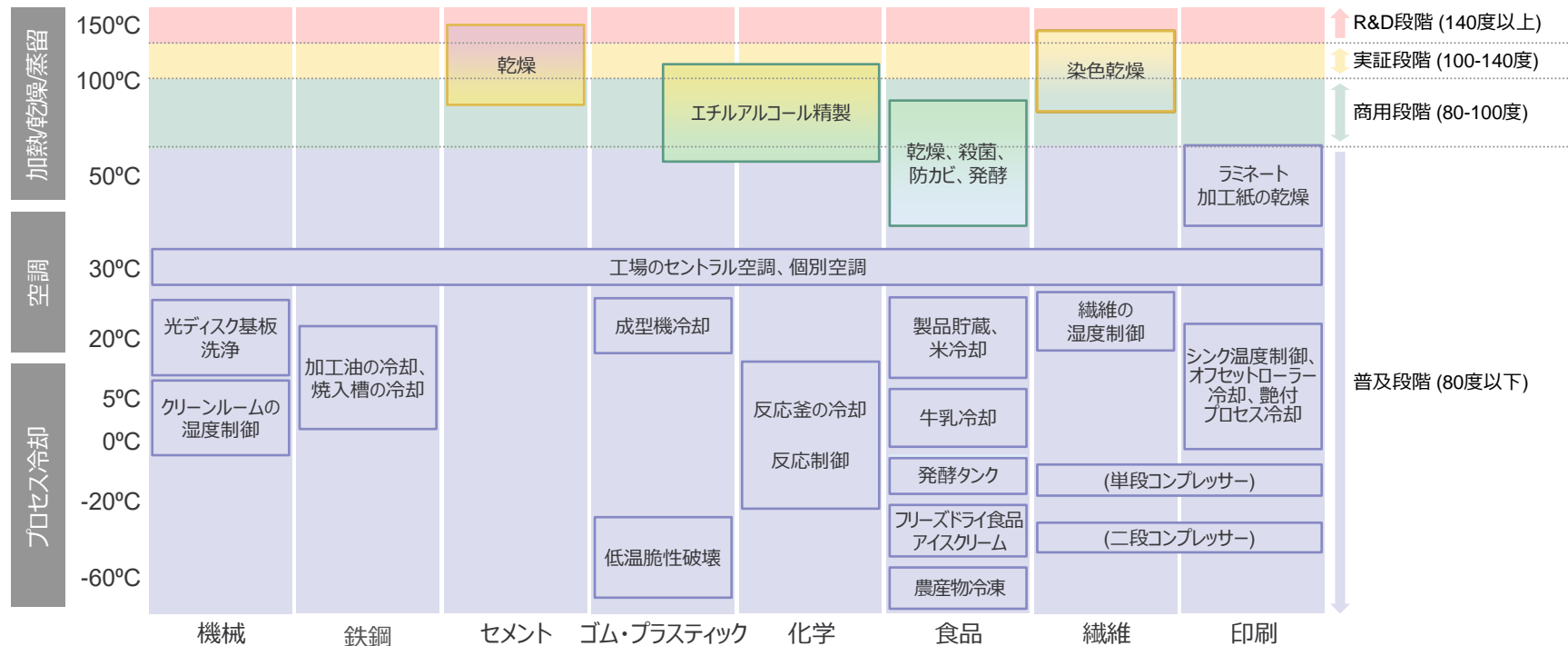


## ヒートポンプに関する詳細技術リスト

サプライチェーン要素	# 技術	日本における必要性	先進プレイヤー	主要技術の抜粋
ヒートポンプ製造	1 冷媒	<ul style="list-style-type: none"> <li>現在、ヒートポンプの大半は100度以下で使用されているが、ヒートポンプで対応可能な温度範囲を拡大する必要がある</li> <li>さらに、ヒートポンプ使用時のオゾン層への影響を最小限に抑えるため、新しいタイプの冷媒を導入する必要がある</li> </ul>	三菱電機、前川製作所、ダイキン工業、三菱重工サーマルシステムズ、東芝キヤリア	
	2 コンプレッサー			
	3 その他の主要部品（熱交換器、膨張弁など）			
ヒートポンプ利用	4 廃熱回収	<ul style="list-style-type: none"> <li>産業界の熱需要を脱炭素化する必要がある</li> <li>ヒートポンプの適用範囲の温度帯では、ヒートポンプ導入によるCO<sub>2</sub> 排出削減が期待できる</li> </ul>	機械、自動車、化学、食品・飲料、パルプ・製紙産業	
	5 商用・産業用アプリケーション（商用給湯器/エアコン、蒸気・熱風発生機、チリングユニット、ターボ冷凍機など）			

# ヒートポンプの温度帯別使用状況(一部抜粋)

現状のヒートポンプの適用範囲は100℃までの低温帯が中心だが、今後さらなるヒートポンプの活用を行う場合、より高い温度帯への対応が必要となる





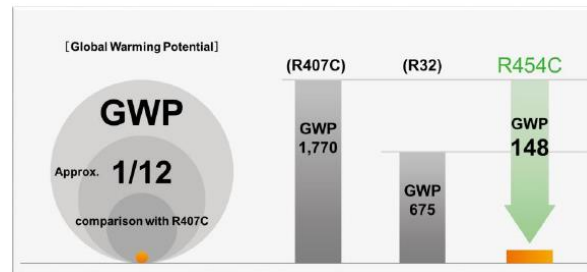
## 会社概要

- 重電システム、産業メカトロニクス、情報通信システム、電子デバイス、家電製品などを製造・販売する日本の大手電機メーカー
- 同社は、ヒートポンプを含む「製品・サービスを通じた環境貢献」を掲げている

## 産業用ヒートポンプ

### 低 GWP 冷媒

- R454Cのような低GWP（地球温暖化係数:CO<sub>2</sub>を基準に他のガスの地球温暖化効果を数値化したもの）の冷媒
- 新しく採用した R454C 冷媒は、GWPがR407Cの12分の1
- 以下の4つの要求仕様を満足する冷媒としてR454Cを選定
  - 1) GWP700未満(米国基準と一致するレベル)
  - 2) 70°Cの温水出力(工業用途に必要)
  - 3) マイナス25度の寒冷地でも使用可能
  - 4) 冷媒安全性が微燃性以下



### 展望

- 欧州で自然冷媒R290を導入済み、2024年に米国に低GWP冷媒454Bを導入予定
- 欧州、米州、中国、アジアの研究開発拠点を通じて、現地のニーズに合わせた製品を開発する体制を構築

## 電炉に関する詳細技術リスト

サプライチェーン要素	# 技術	日本における必要性	先進プレイヤー	主要技術の抜粋
電炉製造	6 電極			
	7 炉の構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>従来高炉で生産していた高級鋼を電炉で供給する際の効率と生産容量を確保する必要がある</li> </ul>	日本製鉄エンジニアリング、中日本炉工業	
	8 その他主要部品 (バーナー、酸素パイプ等)	<ul style="list-style-type: none"> <li>さらなる研究開発によって電炉の直面する課題の解消も必要</li> </ul>		
電炉の利用				
	9 用途	<ul style="list-style-type: none"> <li>高炉への水素注入と鉄の水素直接還元に加え、電炉の使用により、高排出で1,000°Cを超える高温帯での製鉄プロセスを脱炭素化する必要がある</li> </ul>	日本製鉄、JFEスチール、神戸製鋼所	
その他産業用電化機器	10 製造と使用	<ul style="list-style-type: none"> <li>その他の産業別電化技術。GX基本方針では、電化の例として化学、セメント、パルプ・製紙、航空、海運分野の電化を挙げている</li> </ul>	様々な会社が存在	

# ケーススタディ：大型電炉での高級鋼製造

p.101

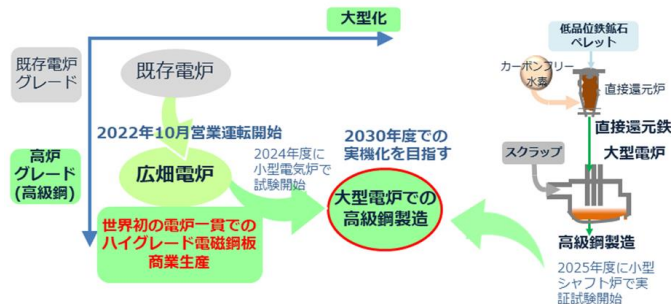
## 会社概要

- 日本製鉄は日本最大の鉄鋼メーカーかつ世界有数の鉄鋼メーカーであり、日本および世界15か国以上で生産を行っている
- 同社は、2030年をターゲットに高炉・転炉プロセスでのCOURSE50の実機化、既存プロセスの低CO<sub>2</sub>化、効率生産体制構築等により、CO<sub>2</sub>排出量を2013年比で30%削減する目標を掲げている。また、大型電炉での高級鋼の量産製造、水素還元製鉄にチャレンジし、CCUS等によるカーボンオフセット対策等も含めた複線的なアプローチで2050年カーボンニュートラルを目指している

## 大型電炉での高級鋼製造

### 電炉の導入

- 国内外に新しい電炉を建設。例えば、
  - 瀬戸内製鉄所広畑地区において、2022年10月に電炉の商業運転を開始、世界初となる電炉一貫でのハイグレード電磁鋼板の製造・供給を実現
  - 米国のAM/NSカルバート社(日本製鉄とアルセロール・ミタル社の折半出資)も2024年の電炉操業を目指している



### 課題と展望

- 電炉の課題は、鉄スクラップに含まれる不純物と生産性の低さ（鉄スクラップなどの溶解・精錬に時間がかかるため）
- そのため、電炉プロセスにおいて有害元素を無害化する技術の開発や、高効率大型電炉での高生産性の実現に取り組んでいる
- 同社は、2030年の脱炭素目標を確実に達成するため、九州製鉄所八幡地区の電炉転換および瀬戸内製鉄所広畑地区の電炉拡大に向けた本格検討を開始しており、2030年までに大型電炉での高級鋼製造を目指している

# ポジティブ技術6：水素由来・バイオ由来燃料サマリー 1/7

## 技術の概要

- 化石燃料に代わるクリーンな燃料として、ここでは水素、アンモニア、バイオ燃料、合成燃料を水素由来・バイオ由来燃料と呼ぶ
  - 特にグリーン水素およびそのキャリア（アンモニア等）は、再エネポテンシャルの豊富な国々から燃料の形で再エネを輸入する方法である

- 脱炭素に向けて、電化やCCUSに並ぶ選択肢である燃料転換に用いられるのが本節の水素由来・バイオ由来燃料である

- 水素由来・バイオ由来燃料のサプライチェーンは製造、輸送、需要/利用からなり、燃料やそのアプリケーションが多様であることから様々なパスが存在している

- 水素由来・バイオ由来燃料は海外からの輸入を可能とすべく早期に調達を確保するとともに、合わせて下流の需要/利用までの社会実装が、各アプリケーションの脱炭素の実現上重要

- 日本は世界に先駆けてLNGサプライチェーンを構築した実績があり、水素由来・バイオ由来燃料でも同様に国際連携を通してサプライチェーンを構築する方針

- 日本における必要性は、それぞれのサプライチェーン要素ごとに語ることができる（次ページ）



## 日本における背景と必要性

# ポジティブ技術6：水素由来・バイオ由来燃料サマリー 2/7

## 日本における背景と 必要性

### <需要/利用>

#### • 発電

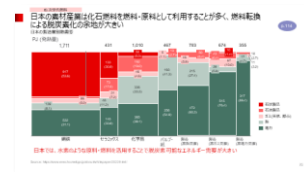
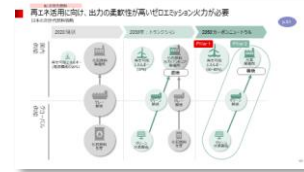
再エネ活用に向け、出力の柔軟性が高いゼロエミッション火力が必要

- 今後、電源構成に占める再エネの比率が更に高まり、天候等による出力変動を吸収する必要あり
- 日本の送配電網の分断を踏まえると、既に全国に配置されている火力発電所の脱炭素化が現実的な選択肢
- そのためには火力発電所の燃料を化石燃料から水素・アンモニアに転換（専焼・混焼）することが必要
- その際、燃料の形で輸入した再エネを国内で再度電力に変換して利用する必要がある

#### • 産業

日本の素材産業は化石燃料を燃料・原料として利用することが多く、燃料転換による脱炭素化の余地が大きい

- 鉄鋼：高炉プロセスでの石炭使用
- 化学：石炭自家発電の運用、原料として化石燃料を使用
- セメント：焼成時の石炭利用
- 紙・パルプ：石炭自家発電の運用



# ポジティブ技術6：水素由来・バイオ由来燃料サマリー 3/7

## 日本における背景と 必要性

### <需要/利用>

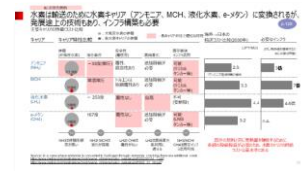
- 運輸
  - 航空：国際民間航空機関（International Civil Aviation Organization: ICAO）の2050年ネットゼロ目標への対応
  - 船舶：国際海事機関（International Maritime Organization: IMO）の2050年ネットゼロ目標への対応

### <輸送>

- 再エネ資源が潤沢な国々から日本が水素を輸入する際、海上船舶輸送が必須
- 水素は輸送のために水素キャリア（アンモニア、MCH、液化水素、e-メタン）に変換されるが、発展途上の技術もあり、インフラ構築も必要

### <製造>

- 水素・アンモニア：再エネからグリーン水素を製造する手法は複数あり、商用化されているが、大量の利用に向けてさらなる効率性が必要

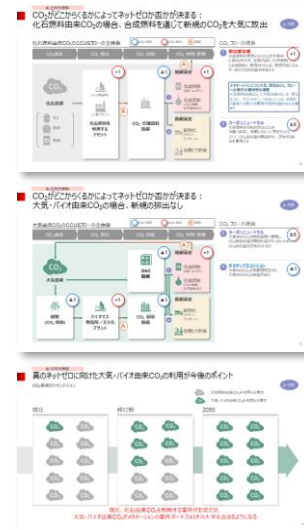


# ポジティブ技術6：水素由来・バイオ由来燃料サマリー 4/7

## 日本における背景と 必要性

### <製造>

- 合成燃料  
水素とCO<sub>2</sub>から燃料を製造するが、日本においては既存のインフラも活用できるe-メタンの活用可能性がある
  - 日本のガス会社は1970年代以降、SO<sub>x</sub>やNO<sub>x</sub>の排出が少なく高カロリーな天然ガスの供給を行うべく、1兆円超をかけインフラを国内に整備した
  - e-メタンは天然ガスと組成が近く、こうした既存のガスインフラでの供給を行いやすい
- CO<sub>2</sub>から製造した燃料は、CO<sub>2</sub>の由来によってネットゼロか否かが決まるため、真のネットゼロに向けた大気・バイオ由来CO<sub>2</sub>の利用が今後のポイント
  - 化石燃料由来CO<sub>2</sub>の場合、合成燃料を通じて新規のCO<sub>2</sub>を大気に放出
  - 大気・バイオ由来CO<sub>2</sub>の場合、大気中に存在していたCO<sub>2</sub>のリサイクルであり、新規の排出はない



# ポジティブ技術6：水素由来・バイオ由来燃料サマリー 5/7

## 政策と進捗

### <需要/利用>

#### ● 発電

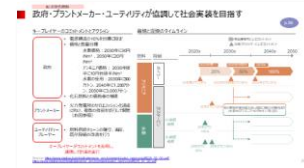
政府・プラントメーカー・発電事業者が協調して社会実装が進捗

- 政府：電源構成における水素・アンモニアを10%に設定のうえ、化石燃料との値差補填や水素供給目標を設定
- プラントメーカー：水素/アンモニア、タービン/ボイラーと複数の技術を同時並行で開発
- ユーティリティ：水素・アンモニアの調達確保を含む専焼・混焼の実行タイムラインにコミット

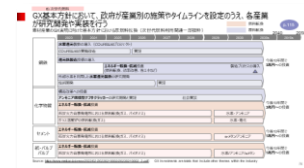
#### ● 産業

GX基本方針において、政府が産業別の施策やタイムラインを設定のうえ、各産業プレイヤーが研究開発や実装を行う

- 鉄鋼：高炉への水素注入や水素による直接還元
- 化学：自家発電の燃料転換や、プラスチック製造における原料を代替
- セメント：焼成時に利用される石炭をアンモニアに転換
- 紙・パルプ：自家発電の燃料転換



※詳細は三菱重工、JERAのケーススタディ参照





# ポジティブ技術6：水素由来・バイオ由来燃料サマリー 6/7

## 政策と進捗

### <需要/利用>

- 運輸
  - 航空：ICAOの脱炭素目標の達成に向けた日本の航空会社のSAF必要量を踏まえ、各社が調達先確保や、運航でのSAF利用を開始済み
  - 海運：造船メーカーが水素由来・バイオ由来燃料を利用する船舶を開発するほか、海運プレイヤーも運航に向けたタイムラインを設定

### <輸送>

- 造船・海運プレイヤー：発電などの用途を充足する量の供給に向け、各キャリアの輸送船の開発や運航オペレーションの準備を進めている
- 各ユーティリティ（アンモニア：JERA、MCH；ENEOS、e-メタン：大阪ガス等）が米国、豪州といった再エネポテンシャルの大きい国々での案件開発、調達契約を結び供給量の増加を具体化



※詳細はJALケーススタディ参照



※詳細は日本郵船ケーススタディ参照

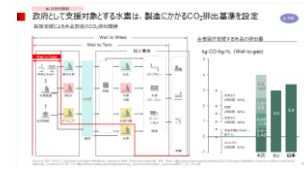
—  
※詳細は日本郵船、ENEOS、大阪ガスケーススタディ参照

# ポジティブ技術6：水素由来・バイオ由来燃料サマリー 7/7

## 政策と進捗

### <製造>

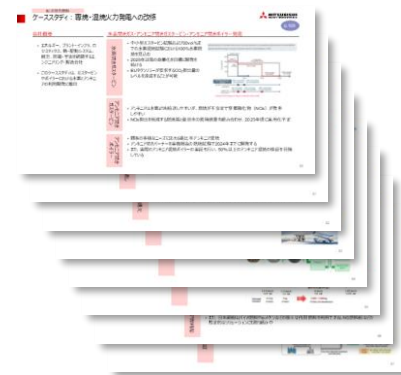
- 政府：政府として支援対象とする水素は、製造にかかるCO<sub>2</sub>排出基準が3.4kg-CO<sub>2</sub>e (アンモニアは0.84kg-CO<sub>2</sub>e/kg-NH<sub>3</sub>) 以下に設定
- 民間：合成燃料は最終的には大気・バイオ由来CO<sub>2</sub>の利用に切り替える方針で案件の確保に動いており、例えば大阪ガスは豪州のDAC由来CO<sub>2</sub>のメタネーションは既に開始済み



—  
※詳細は大阪ガス  
ケーススタディ参照

## ケーススタディ

- MHI: 専焼・混焼火力発電への改修
- JERA：専焼・混焼オペレーション
- 日本製鉄：水素還元製鉄（高炉水素還元、水素直接還元）
- JAL：SAF利用
- 王子製紙：SAF製造
- ENEOS：MCHの海上輸送
- 日本郵船：水素輸送船オペレーション
- 大阪ガス：e-メタン供給



## 水素由来・バイオ由来燃料の種類

化石燃料に代わるクリーンな燃料として、  
ここでは水素、アンモニア、バイオ燃料、合成燃料を水素由来・バイオ由来燃料と呼ぶ

燃料	製造方法
水素	<ul style="list-style-type: none"><li>• 次のような方法で生産されている<ul style="list-style-type: none"><li>- グリーン：再生可能エネルギーによって水を電気分解</li><li>- ブルー：天然ガスや石炭から水素を抽出する過程でCO<sub>2</sub>を回収・貯留</li><li>- ピンク：原子力発電の水の電気分解</li><li>- ターコイズ：天然ガス（CH<sub>4</sub>）を直接熱分解し、水素（H）と固体炭素（C）を生成</li></ul></li></ul> <p>※水素の分別は、上記の色に限らずほかの基準も存在</p>
アンモニア	<ul style="list-style-type: none"><li>• 水素と窒素の混合ガスを高温高圧で加熱して製造</li></ul>
バイオ燃料	<ul style="list-style-type: none"><li>• 植物油、廃食用油、サトウキビや米などの植物原料・残渣等、汚泥や下水などの廃棄物など、さまざまな原料から製造</li></ul>
合成燃料	<ul style="list-style-type: none"><li>• 水素とCO<sub>2</sub>から製造</li><li>• 気体燃料としてのe-メタンと液体燃料としてのe-メタノール</li></ul>

# 水素由来・バイオ由来燃料のサプライチェーン

水素由来・バイオ由来燃料のサプライチェーンは製造、輸送、需要/利用からなり、燃料やそのアプリケーションが多様であることから様々なパスが存在している



\*DACやBECCで回収したCO<sub>2</sub>は大気中のCO<sub>2</sub>なので、e-メタンに変換して燃やしてもカーボンニュートラルである

## 水素由来・バイオ由来燃料に関する詳細技術リスト 1/2

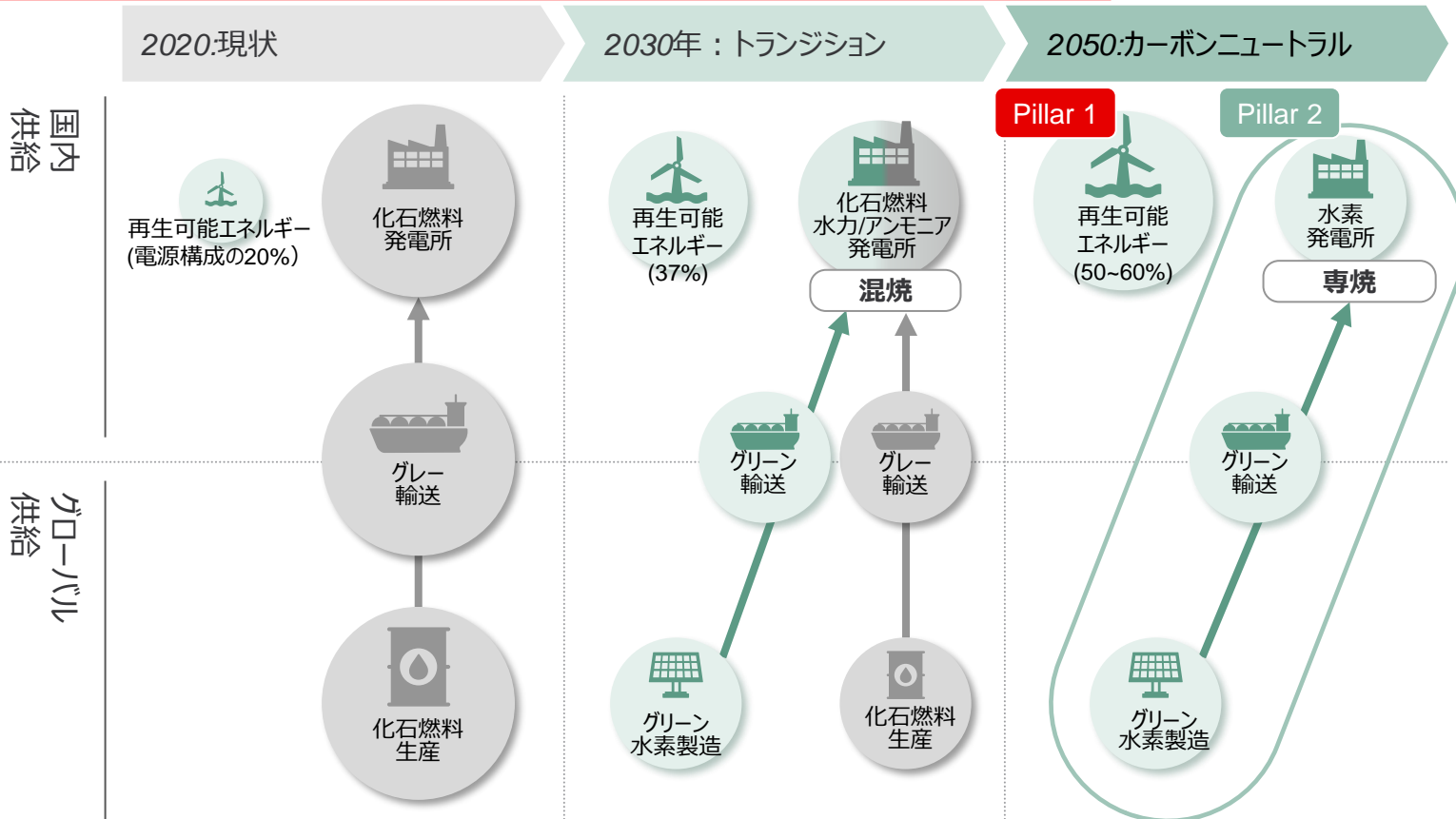
サプライチェーン要素	# 技術	日本における必要性	先進プレイヤー	主要技術の抜粋		
製造	1 グリーン水素	<ul style="list-style-type: none"> <li>国内外で効率的かつ安価な水素供給を確保することが必要</li> <li>- 電解槽技術のうち、SOEC（固体酸化物電解セル）は開発中、AEC（アルカリ水電解）とPEM（プロトン交換膜）は商業化済み</li> <li>エネルギー安全保障上、多様な供給源の確保が必要</li> </ul>	旭化成、日立造船、川崎重工業、東芝、東レ、トクヤマ、日本触媒			
	2 ブルー水素					
	3 ターコイズ水素					
	4 ピンク水素					
輸送と保管	5 アンモニア・キャリア	<ul style="list-style-type: none"> <li>需要拠点が生産拠点から離れている</li> <li>大規模で効率的な海上輸送の必要性</li> </ul>	JERA、日本郵船、商船三井 川崎重工 ENEOS 大阪ガス、東京ガス、東邦ガス -			
	6 液化水素キャリア					
	7 MCHキャリア					
	8 e-メタンキャリア					
	9 その他の水素キャリア					
	10 水素ターミナル			<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模燃料輸入のために港湾インフラ・貯蔵が必要</li> </ul>	川崎重工、IHI	
	11 アンモニア・ターミナル					

## 水素由来・バイオ由来燃料に関する詳細技術リスト 2/2

サプライチェーン要素	# 技術	日本における必要性	先進プレイヤー	主要技術の抜粋
需要と利用	12 水素専焼・混焼火力発電	<ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能エネルギーの導入を支えるために、出力が柔軟な電力供給の必要性</li> </ul>	三菱重工、IHI/GE	
	13 アンモニア専焼・混焼火力発電	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存の火力発電所を再利用して、化石燃料を水素やアンモニアで部分的に（混焼）あるいは完全に（専焼）置き換え可能</li> </ul>	JERA, 三菱重工, IHI/GE	
	14 ナフサ分解炉アンモニア燃焼		三井化学、丸善石油化学、東洋エンジニアリング、双日マシナリー	
	15 セメント製造におけるアンモニア混焼	<ul style="list-style-type: none"> <li>高排出部門（石油化学コンビナート、セメント製造、製鉄）にて、原料・燃料（メタン、石炭）をアンモニア・水素に置き換えることによる排出削減の必要性</li> </ul>	UBE三菱セメント	
	16 高炉への水素注入		日本製鉄、JFEスチール、神戸製鋼所	
	17 水素直接還元			
	18 船舶用内燃機関	<ul style="list-style-type: none"> <li>日本のような島国では、長距離海上輸送を含むサプライチェーンの脱炭素化が必要</li> <li>eメタノールやアンモニアなどの燃料が化石燃料を代替することが期待される</li> </ul>	IHI	
	19 持続可能な航空燃料(SAF)	<ul style="list-style-type: none"> <li>化石燃料をSAFに置き換えることによる、運輸分野の脱炭素化の必要性</li> </ul>	JAL、ANA	
	20 都市ガスのメタン化	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料自給率の低い国でのCO<sub>2</sub>資源活用</li> <li>また、メタン化によって、比較的小さな設備投資で現在のLNG供給インフラを利用することが可能</li> </ul>	IHI、INPEX、東京ガス、三菱商事、大阪ガス、東邦ガス	

# 日本の水素由来・バイオ由来燃料戦略

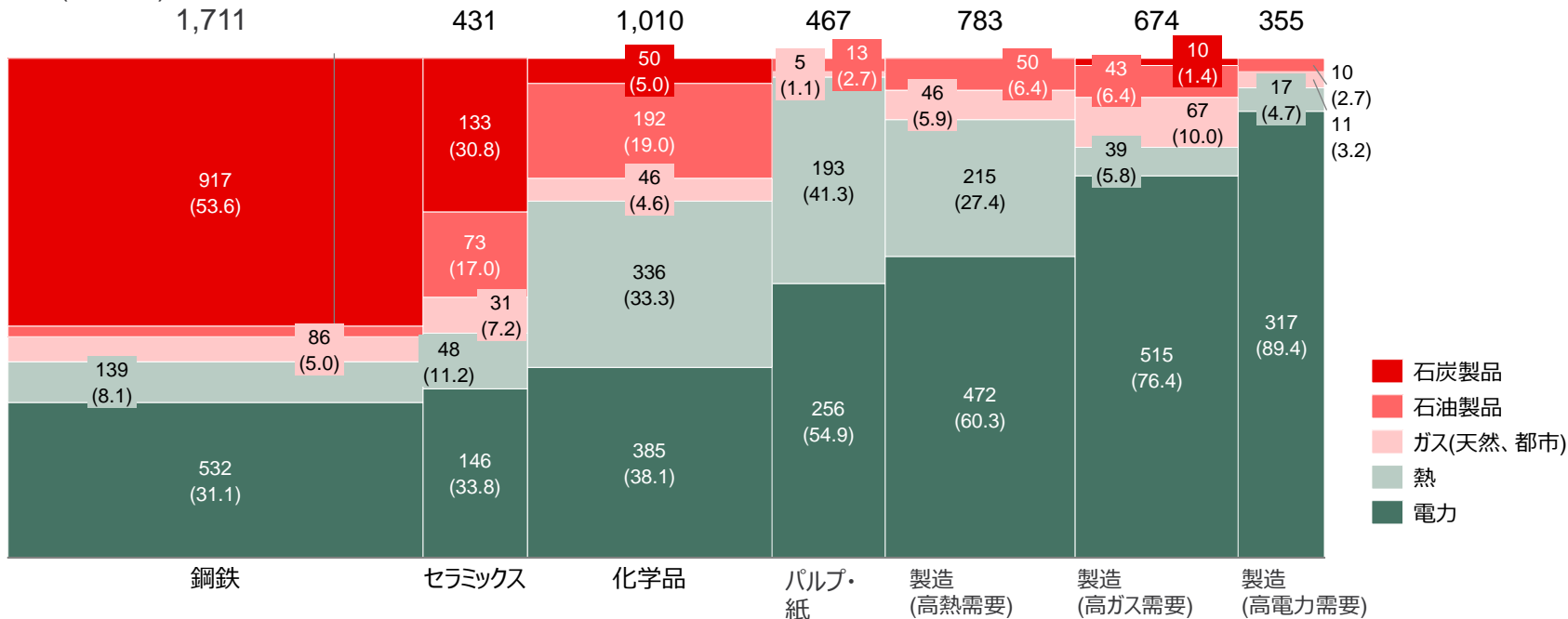
再エネ活用に向け、出力の柔軟性が高いゼロエミッション火力が必要



# 日本の製造業別熱需要

日本の素材産業は化石燃料を燃料・原料として利用することが多く、  
燃料転換による脱炭素化の余地が大きい

PJ (発熱量)



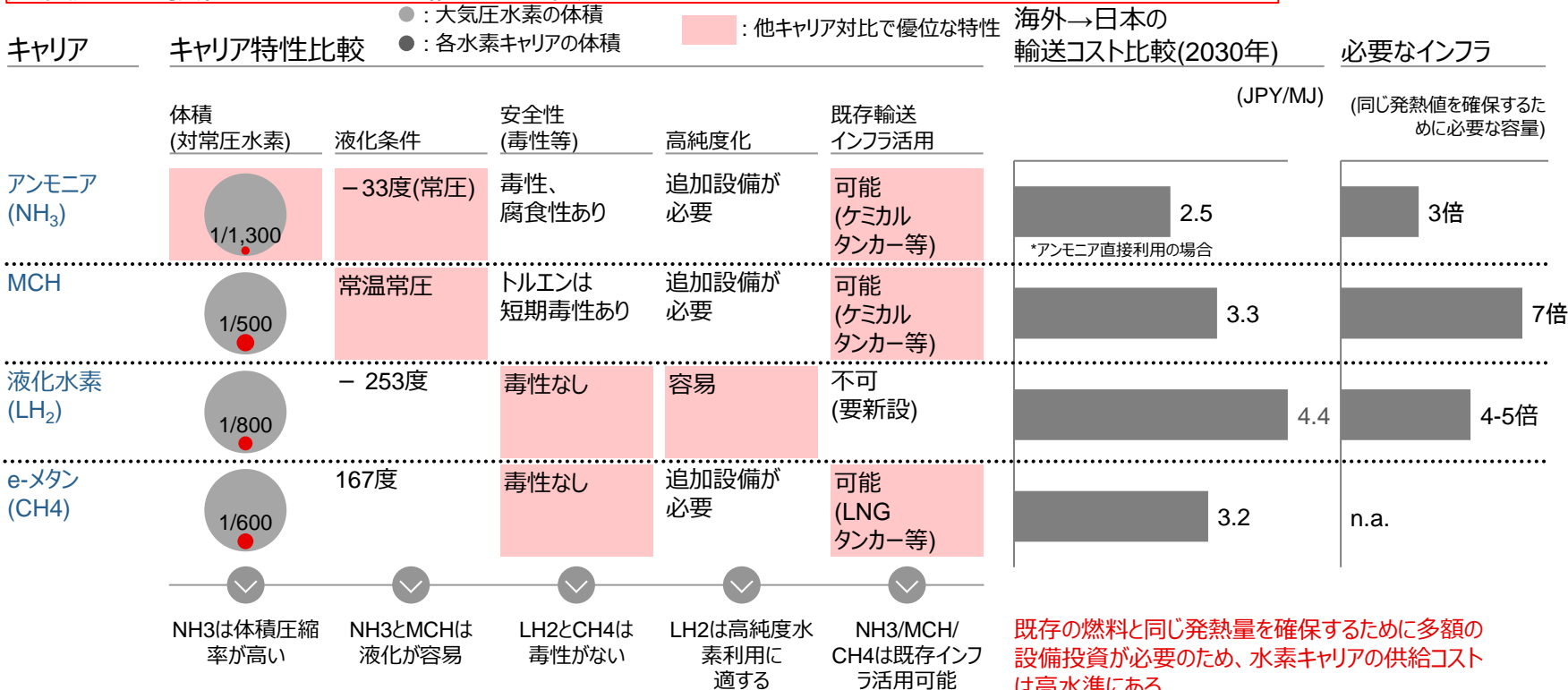
日本では、水素のような原料・燃料を活用することで脱炭素可能なエネルギー需要が大きい



# 主要キャリアの特徴/コスト比較

水素は輸送のために水素キャリア（アンモニア、MCH、液化水素、e-メタン）に変換されるが、  
 発展途上の技術もあり、インフラ構築も必要

p.128



Source: In a case where ammonia is converted to hydrogen through ammonia cracking, there are additional costs  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene/shinene/suiso\\_seisaku/pdf/20230104\\_1.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene/shinene/suiso_seisaku/pdf/20230104_1.pdf);  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene/shinene/suiso\\_seisaku/pdf/002\\_01\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene/shinene/suiso_seisaku/pdf/002_01_00.pdf)

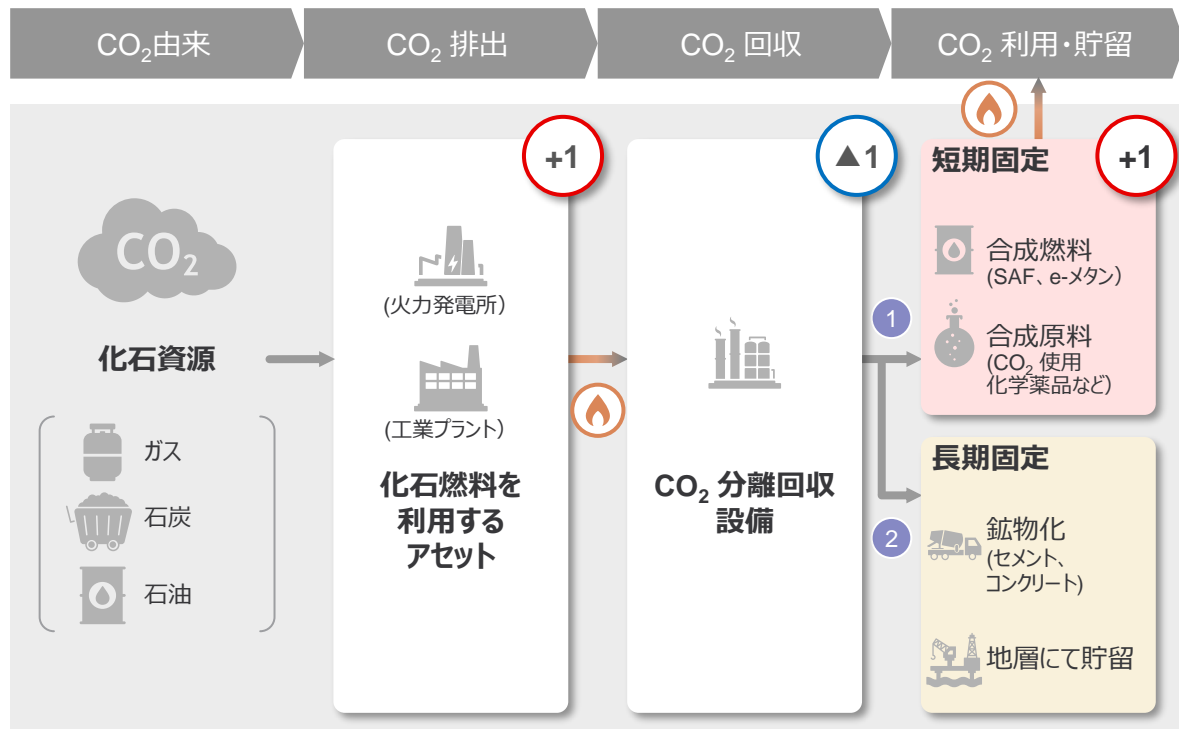
# CO<sub>2</sub>の由来による差分 (1/2)

化石燃料由来CO<sub>2</sub>の場合、合成燃料を通じて新規のCO<sub>2</sub>を大気に放出

p.138

化石燃料由来CO<sub>2</sub>のCCUSフローの全体像

○ CO<sub>2</sub> 回収    ○ CO<sub>2</sub> 排出    🔥 燃焼



CO<sub>2</sub> フローの種類

- 1 **排出量半減** (+1)  
 合成燃料を使用するとCO<sub>2</sub>が大気中に放出されるが、炭素が2回（化石燃料と合成燃料）使用されるため、使用可能エネルギーあたりの排出量は半減する

**メタネーションについては、異なるCO<sub>2</sub> フローへの移行の実効性も課題**  
 化石燃料由来CO<sub>2</sub>と大気由来CO<sub>2</sub>は、異なるフロー・サプライチェーンを持っている。前者から後者への移行は実現可能性を確かめる必要あり

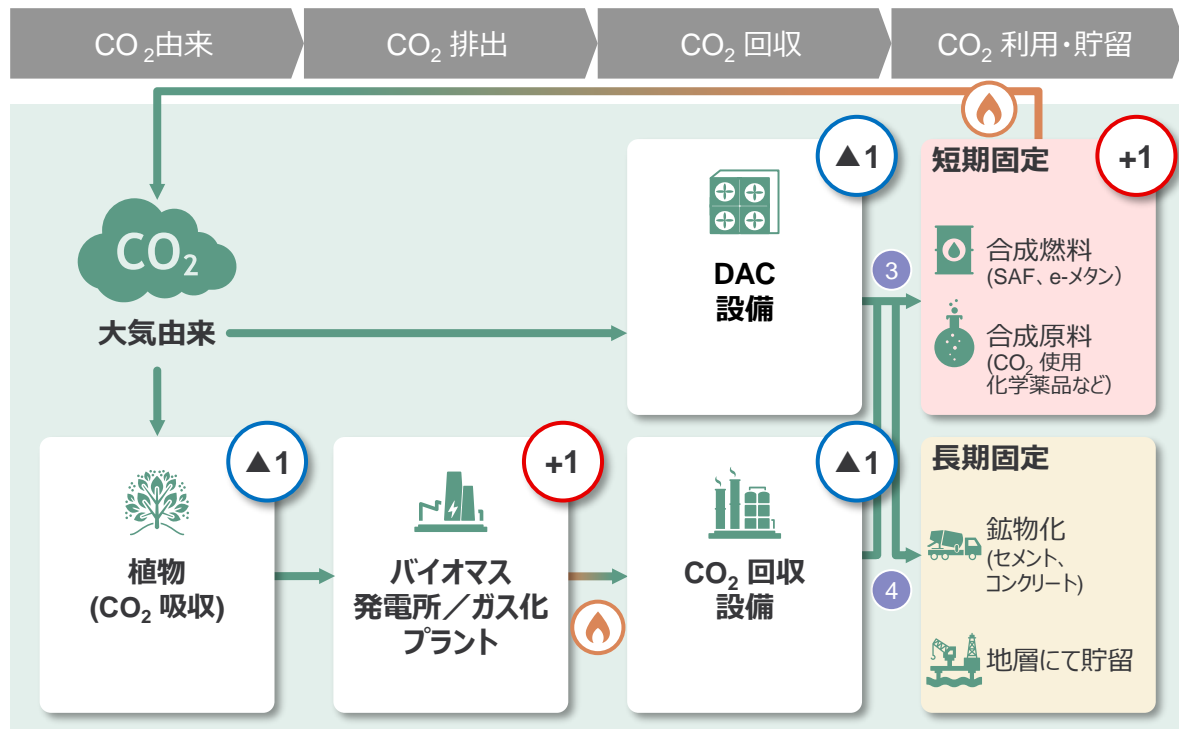
- 2 **カーボンニュートラル** (±0)  
 化石燃料から排出されるCO<sub>2</sub>を分離・回収し、長期にわたって固定化することで、CO<sub>2</sub>排出量の増減がなく、正味ゼロ排出を実現する

CO<sub>2</sub>の由来による差分 (2/2)

p.138

大気・バイオ由来CO<sub>2</sub>の場合、大気中に存在していたCO<sub>2</sub>のリサイクルであり、新規の排出なし大気由来CO<sub>2</sub>のCCUSフローの全体像


○ CO<sub>2</sub> 回収
 ○ CO<sub>2</sub> 排出
 🔥 燃焼


CO<sub>2</sub> フローの種類

- 3 カーボンニュートラル** (±0)  
 大気中のCO<sub>2</sub>は燃焼過程で循環し、CO<sub>2</sub>総排出量は増加も減少もしないため、CO<sub>2</sub>排出量は正味ゼロとなる
- 4 ネガティブエミッション** (▲1)  
 大気中のCO<sub>2</sub>が長期間固定され、大気中のCO<sub>2</sub>の総量が減少

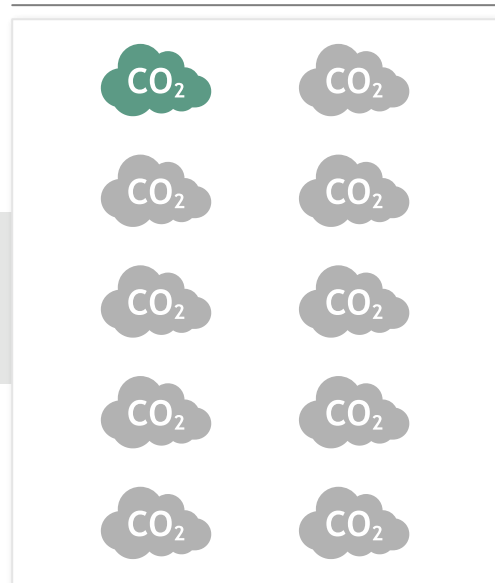
# CO<sub>2</sub>由来のトランジション

真のネットゼロに向けた大気・バイオ由来CO<sub>2</sub>の利用が今後のポイント

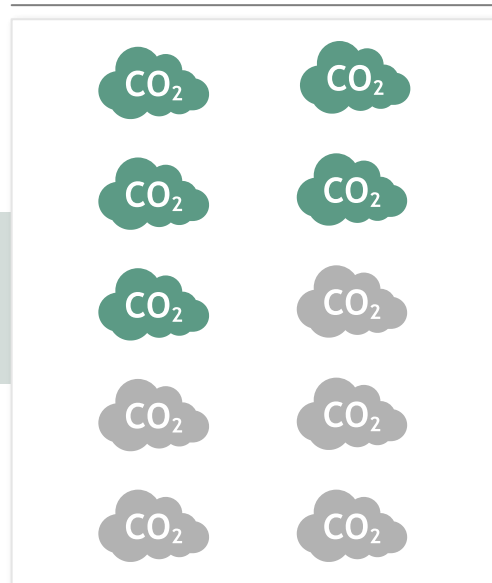
 : 化石燃料由来CO<sub>2</sub>を利用する案件

 : 大気・バイオ由来CO<sub>2</sub>を利用する案件

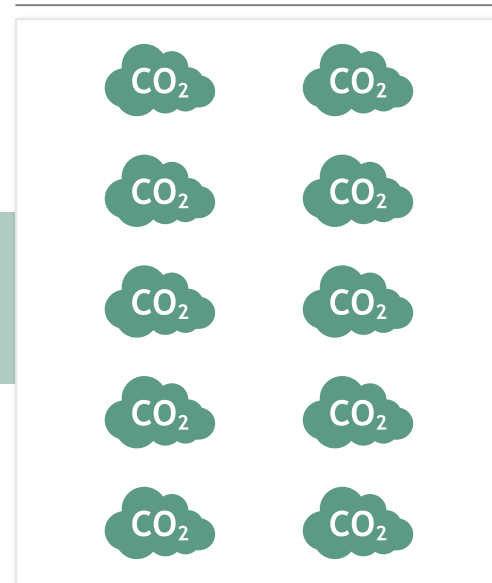
現在



移行期



2050



現在、化石由来CO<sub>2</sub>を利用する案件が主流だが、  
大気・バイオ由来CO<sub>2</sub>がメタネーションの案件ポートフォリオの大半を占めるようになる

# 政府・民間の取組み

政府とプラントメーカー・発電事業者が協調して社会実装が進捗

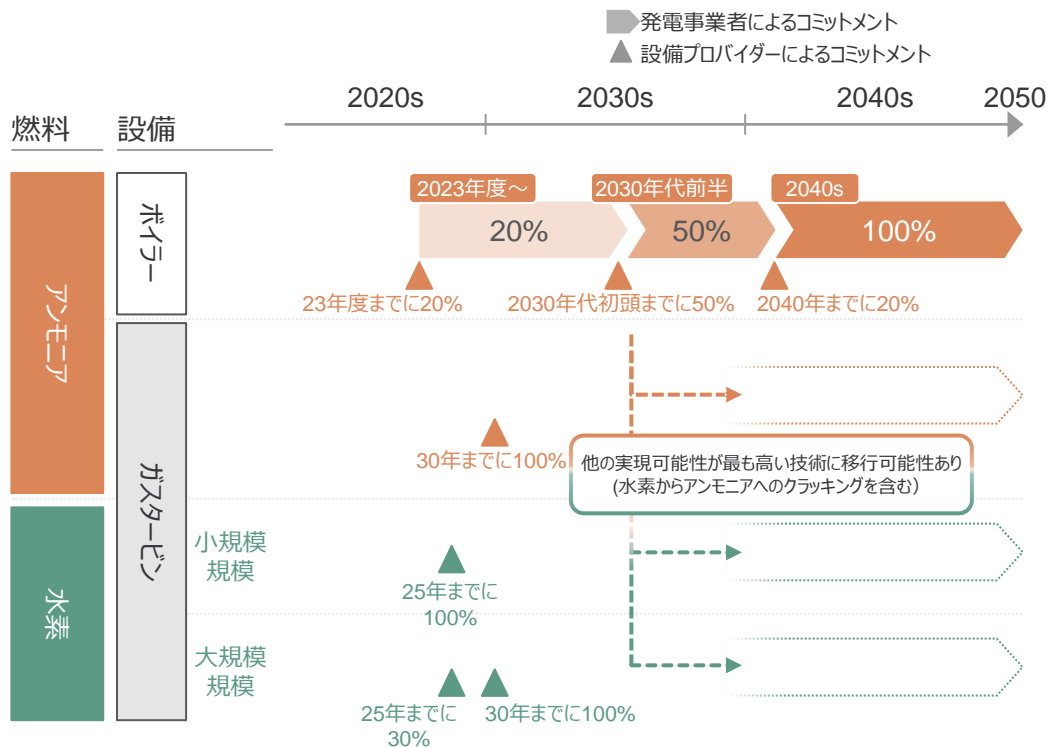
p.56

キープレイヤーのコミットメントとアクション

専焼と混焼のタイムライン

- |              |   |
|--------------|---|
| 政府           | <ul style="list-style-type: none"> <li>電源構成の10%を目標に設定</li> <li>価格と数量目標             <ul style="list-style-type: none"> <li>水素価格：2030年に30円/Nm<sup>3</sup>、2050年に20円/Nm<sup>3</sup></li> <li>アンモニア価格：2030年後半に10円台後半/Nm<sup>3</sup></li> <li>水素の使用：2030年に300万トン、2040年に1,200万トン、2050年に3,000万トン</li> </ul> </li> <li>化石燃料との値差の補填</li> </ul> |
| プラントメーカー     | <ul style="list-style-type: none"> <li>火力発電所のゼロエミッション化達成に向け、複数の技術を並行して開発（右図参照）</li> </ul>   |
| ユーティリティプレイヤー | <ul style="list-style-type: none"> <li>燃料供給チェーンの確立、実証、既存設備の改造を行う</li> </ul>   |

キープレイヤーがコミットメントを表明し、連携して計画を実行



# 素材産業のGX実現に向けた基本方針における原燃料転換 (水素由来・バイオ由来燃料利用関連一部抜粋)

GX基本方針において、政府が産業別の施策やタイムラインを設定のうえ、各産業が研究開発や実装を行う

燃料転換  
原料転換

p.115



Source: [https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002\\_3.pdf](https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002_3.pdf); GX investments are totals that include other themes within the industry

# 世界（2050年までのICAO世界SAF導入シナリオ）と日本のSAF導入見通し

ICAOの脱炭素目標の達成に向けた日本の航空会社のSAF必要量を踏まえ、各社が調達先確保や、運航でのSAF利用を開始済み

## 世界の航空SAF生産量（概算）

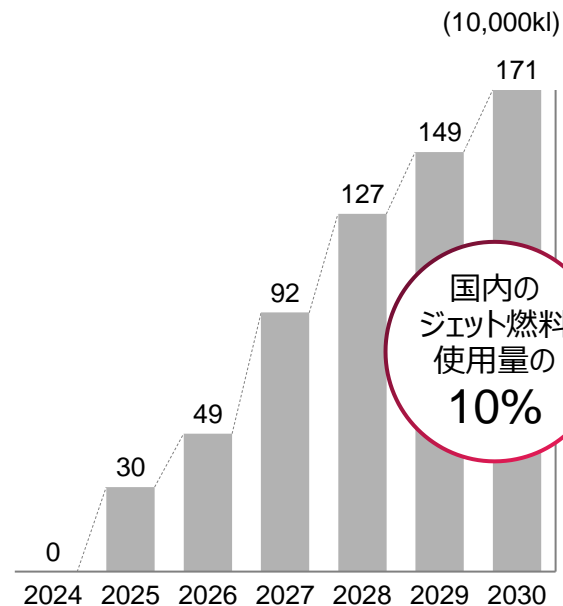
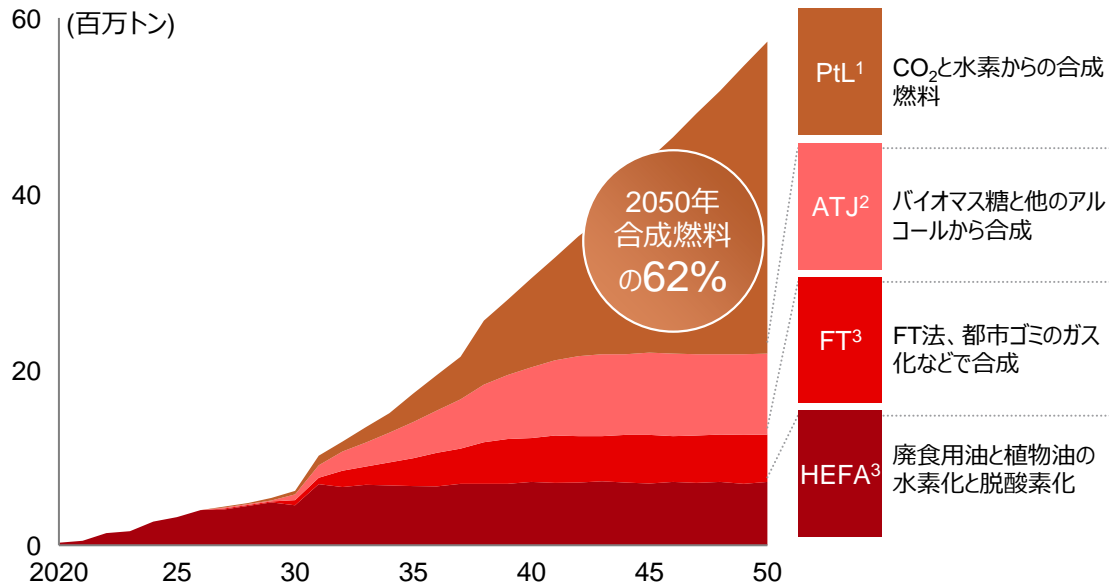
## 日本でのSAF利用

### 短期:

HEFA（廃棄食品/植物油由来）が生産の大半を占める

### 中長期:

バイオマスが原料制約に直面する中、PtLは拡大へ

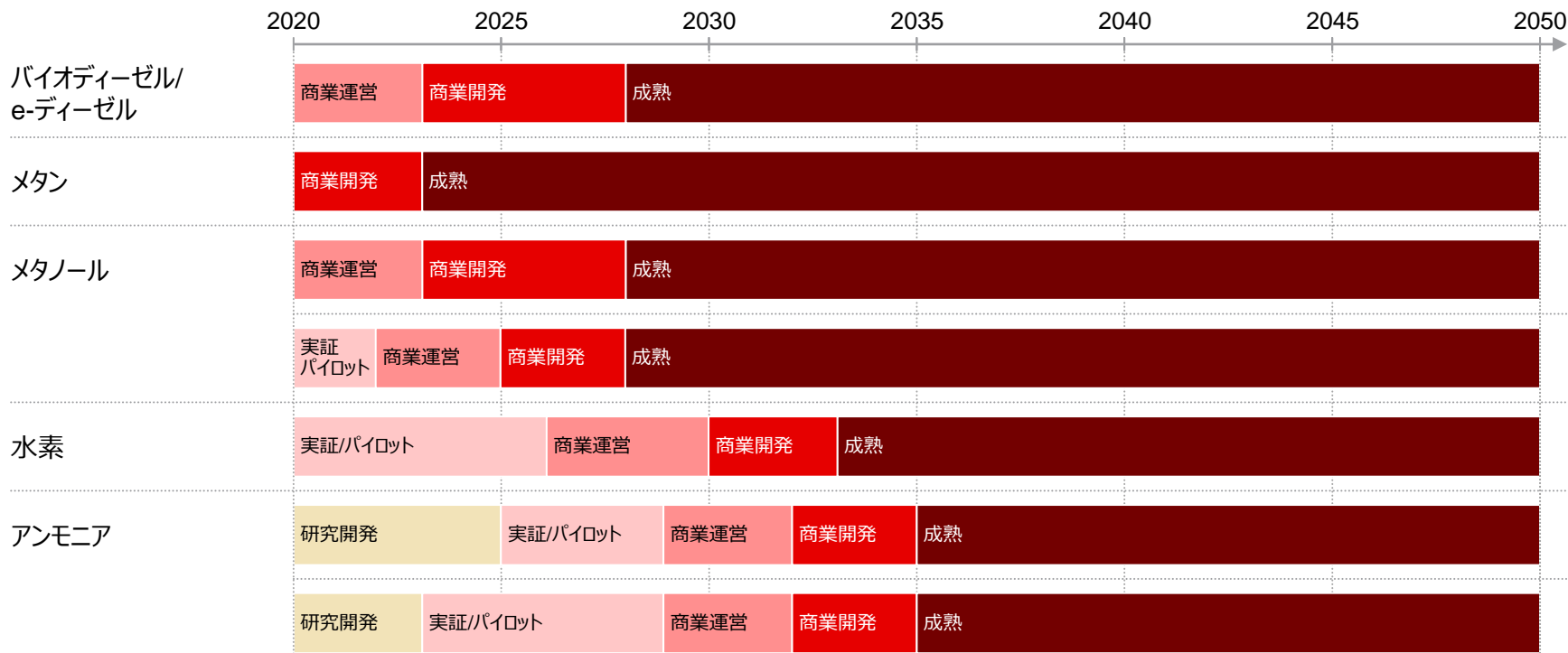


1. Power-to-liquid 2. First generation alcohol to jet 3. Fischer-Tropsch 4. Hydrotreated esters and fatty acids

Source: <https://www.icao.int/Meetings/Stocktaking2021/Pages/default.aspx>; [https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/saf/pdf/003\\_07\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/saf/pdf/003_07_00.pdf)

## IMO 船用燃料内燃機関候補技術の準備状況と利用可能性の見通し

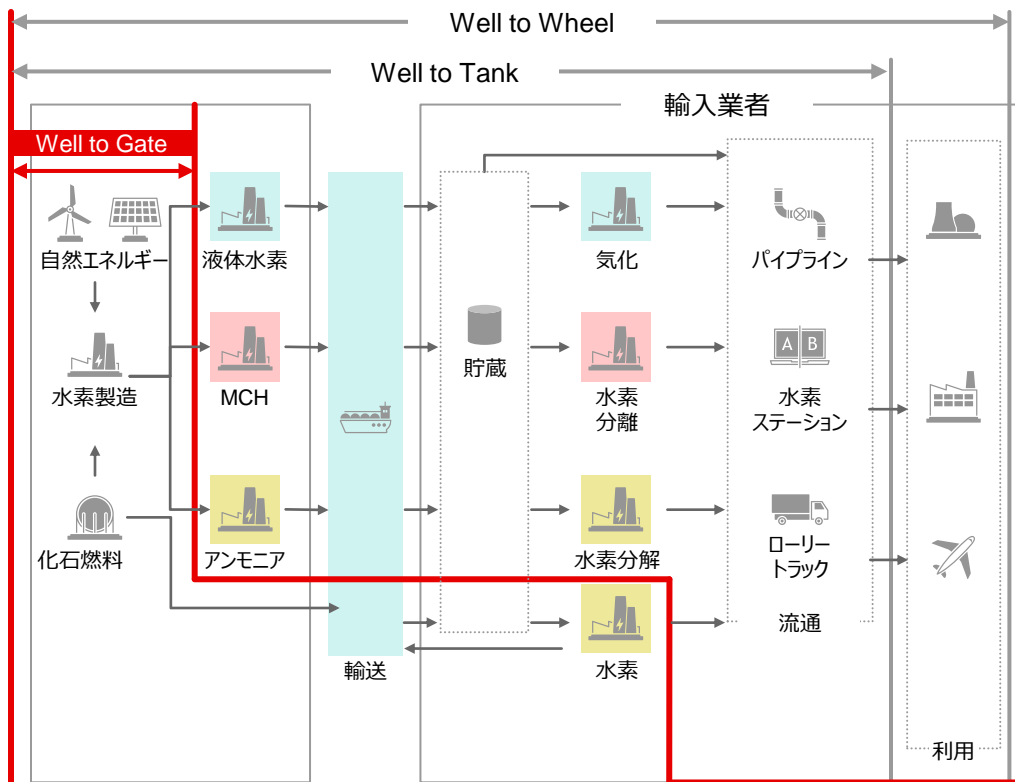
造船メーカーが水素由来・バイオ由来燃料を利用する船舶を開発





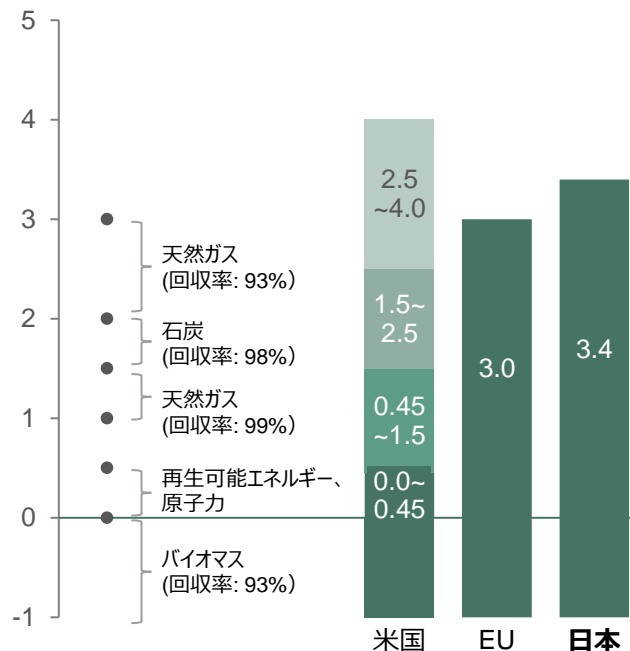
# 政策支援による水素製造のCO<sub>2</sub>排出閾値

政府として支援対象とする水素は、製造にかかるCO<sub>2</sub>排出基準を設定



主要国が支援する水素の排出量

kg-CO /kg-H<sub>2</sub> (Well-to-gate)



# ケーススタディ：専焼・混焼火力発電への改修

p.109

## 会社概要

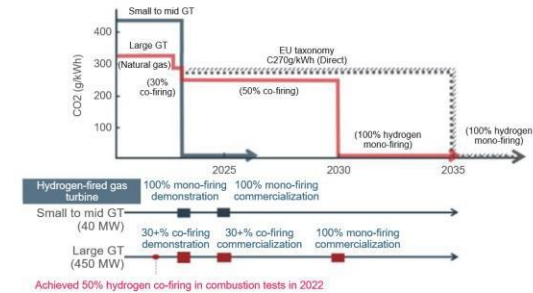
- エネルギー、プラント・インフラ、ロジスティクス、熱・駆動システム、航空、防衛・宇宙を網羅するエンジニアリング・製造会社
- このケーススタディは、ガスタービンやボイラーにおける水素とアンモニアの利用開発に着目

## 水素焚きガスタービン・アンモニア焚きガスタービン・アンモニア焚きボイラー発電

### 水素ガスタービン

- 小型・中型ガスタービンの水素専焼は2025年以降、大型ガスタービンの30%水素混焼は2025年、水素専焼は2030年での商用化を目指す
- EUタクソミーが要求するCO<sub>2</sub>排出量のレベルを達成することが可能

- Demonstration of hydrogen-fueled carbon-free power generation is proceeding as planned toward commercialization
- Achieved 50% hydrogen co-firing in combustion tests for commercialization in 2025



### アンモニアガスタービン

- アンモニアは水素よりも輸送しやすいが、燃焼が不安定で窒素酸化物（NOx）が発生しやすい
- NOx排出を低減する燃焼器と高効率の脱硝装置を組み合わせ、2025年以降に実用化予定

### アンモニアボイラー

- 顧客の多様なニーズに応える少量から多量まで幅広い混焼割合に応じたアンモニア混焼技術
- 実機相当スケールバーナーでの燃焼試験を行い、アンモニア焚きバーナーを2024年度迄に開発する
- また、実際のアンモニア混焼ボイラーの実証も行い、50%以上のアンモニア混焼の検証を目指している

# ケーススタディ：専焼・混焼オペレーション

## 会社概要

- 国内の発電電力量の約30%を発電する国内最大の発電会社であり、世界最大級の液化天然ガスの取扱い規模となっている
- 同社は、2050年に国内外の事業から排出されるCO<sub>2</sub>をゼロとする「JERAゼロエミッション2050」の挑戦に取り組む

## アンモニア・水素によるゼロエミッション火力とサプライチェーンの構築

### 背景

- 「JERAゼロエミッション2050」は、「再生可能エネルギー」と、水素・アンモニア等のグリーンな燃料を導入した発電時にCO<sub>2</sub>を排出しない「ゼロエミッション火力」によって実現を目指す
- 第6次エネルギー基本計画における2030年度の電源構成として、水素・アンモニアの発電電力量は約1%と設定（燃料アンモニア：300万トン）

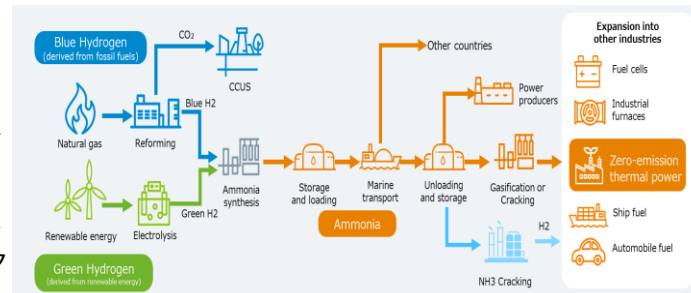
### 取り組み

- 碧南火力発電所4号機において、石炭の20%をアンモニアに転換する実機実証試験を2023年度に実施（※）
- 50%以上のアンモニア発電を導入するため、GI基金を活用し、2028年度までに実証試験を実施
- 燃料アンモニア調達のための国際入札を行い、CFI社、YARA社の2社とブルーアンモニア製造事業の共同開発を協議
- 大規模サプライチェーンが構築されるアンモニアより水素供給するため、クラッキング技術の開発を実施（※）

（※）NEDO事業にて実施

### 見通し

- 大規模需要家である発電事業者が水素・アンモニアの需要を牽引し、サプライチェーンを構築。
- 2020年代後半までに碧南火力4号機の商用運転を開始する計画、2030年代前半までに50%以上のアンモニア発電の商用運転を予定



# ケーススタディ：水素還元製鉄（高炉水素還元、水素直接還元）

p.119

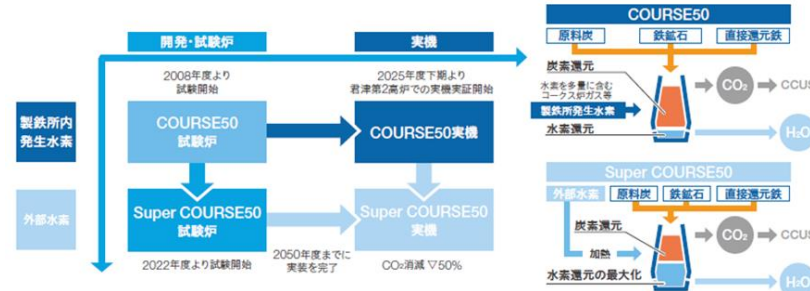
## 会社概要

- 日本製鉄は日本最大の鉄鋼メーカーかつ世界有数の鉄鋼メーカーであり、日本および世界15か国以上で生産を行っている
- 同社は、2030年をターゲットに高炉・転炉プロセスでの COURSE50 の実機化、既存プロセスの低CO<sub>2</sub>化、効率生産体制構築等により、CO<sub>2</sub>排出量を2013年比で30%削減する目標を掲げている。また、大型電炉での高級鋼の量産製造、水素還元製鉄にチャレンジし、CCUS等によるカーボンオフセット対策等も含めた複線的なアプローチで2050年カーボンニュートラルを目指している

## 水素還元製鉄（高炉水素還元、水素直接還元）

### 高炉水素還元

- COURSE50（製鉄所内で発生する水素を利用）
  - 2026年に大規模実機実証（4,500m<sup>3</sup>）を実施予定
  - JFEスチール、神戸製鋼所等との合同プロジェクト
- SuperCOURSE50（外部水素を利用）
  - 水素還元の吸熱反応に対する炉内温度の確保や通気性確保、規模拡大等が課題
  - 対策として、水素加熱吹込み技術の確立、CCUSと組み合わせたコークスの使用等を検討中。また、安定的な外部水素の大量・安価な調達が可能となる必要がある



### 水素直接還元

- 2025年度に小規模試験シャフト炉（1t/h）による試験を開始、2027年度にはスケールアップ実証を計画、現行高炉プロセス比50%以上のCO<sub>2</sub>削減に取り組む。その上で、2050年までに水素直接還元炉の実機化を目指す
- 炉内温度の確保、原料制約（純度の高い鉄鉱石のみ使用可能）等が課題
- 対策として、水素加熱吹込み技術や原料ソースを拡大する操業技術等を開発中。また、高炉水素還元と同様、安定的な外部水素の大量・安価な調達が可能となる必要がある

# ケーススタディ：SAF利用

## 会社概要

- 日本を代表するフルサービスキャリアであり、ワンワールド・アライアンス加盟航空会社である日本航空（JAL）は、2050年に1.5度シナリオを前提としたネット・ゼロエミッション、中間の2030年では2019年対比で総排出量10%削減を目指している
- この目標を達成するための取組みとして、省燃費機材への更新、運航の工夫、SAF（持続可能な航空燃料）の活用を挙げしており、本ケーススタディでは、SAFの活用に関する各種取組を紹介する

## SAFの使用

### 産業界規模での取組み

- 2021年10月、JALは、日本の競合フルサービスキャリアであるANA社との「共同レポート」を策定・発信した。レポートでは日本の航空業界における課題を整理し、そのうえで、SAFの普及にかかるインフラ投資への政府支援と、航空輸送に関わるあらゆる産業セクターとの協力に向けた連携にコミットを提示している
- 2022年3月、国産SAFの事業化に向けた任意団体「ACT FOR SKY」を他15社と設立し、SAF活用に向けた課題の抽出や業界横断的な情報共有・発信を行っている。JALは幹事の1社として、加盟社の行動を推進
- 2022年4月以降、GX基本方針に基づいたSAFの導入促進に向けた技術的・経済的課題につき、官民協議会を通し、パブリックセクターも交えた議論を重ねている

### 個社の取組み

- JALは、下記のようなSAFの調達努力や省エネ性能の高い機体の導入、カーボンオフセット等を併せ、2022年にはCO<sub>2</sub>排出実質ゼロのサステナブルチャーターフライトを東京・沖縄間で運航。今後もこのようなSAFの利用拡大を供給確保と併せて推進していく方向である
- ワンワールドアライアンスでのSAFの共同調達を実施
    - JALはワンワールドアライアンスメンバーとともに、2021年11月に米国のAemetis社と、2022年3月に米国のGevo社と、それぞれSAFを調達する契約を締結。今後米国西海岸発便にて使用予定
  - 伊藤忠商事とのSAFの調達契約を締結
    - 2023年3月、JALは伊藤忠商事とのSAFの調達契約を締結し、フィンランドNeste OYJ社が製造するSAFを、一部を中部国際空港発着便にて使用。今後羽田成田でも使用予定



# ケーススタディ：SAF生産

## 会社概要

- 国内最大の製紙会社
- 製紙事業を起点に、生活産業資材、機能材、資源環境ビジネス、印刷・情報メディアといった幅広い事業を展開
- 国内外に計603千ha（国内188千ha、海外415千ha）の森林を保有しており、森林資源を活かしたグリーンイノベーションに注力し、カーボンニュートラル社会への貢献を目指す

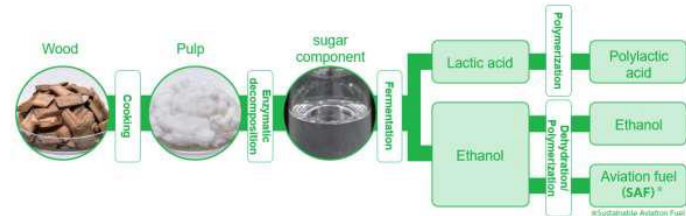
## SAFとして使用可能なバイオエタノール生産

### 背景

- 従来、石油から製造されていた様々な素材・製品を、バイオマスから製造する機運が加速している（バイオものづくり革命）
- その場合、食料供給と競合するといった課題が存在

### 木質バイオマスの利用

- 王子HDは、自社保有の生産林を活用した木質由来の新素材として、燃料（SAF）の原料又は基礎化学品製造に利用できるエタノール、及びバイオものづくりの基幹物質となる糖液の開発に取り組んでいる
- 木質バイオマスは分解が難しいため、製造コストが高いことが課題
- 王子HDは、木材に含まれる油分（リグニン）をバイオマスエネルギーとして活用できるパルプ製造技術と、パルプを分解するための酵素を再利用するプロセスを融合させることで、上述の課題に対応中
- 2023年5月には、木質由来エタノール・糖液のパイロット製造設備を導入することを発表した。2024年度後半に稼働させ、エタノールとして最大1,000kl/年の生産を見込んでいる。



# ケーススタディ：MCHの海上輸送

## 会社概要

- 石油上流開発、非鉄金属資源開発から石油精製・販売、金属事業、非鉄金属製品の製造・販売まで、エネルギー事業に従事
- ENEOSは、製造の最適化、CCSと自然吸収を通じて、温室効果ガス排出削減を目指している。このケーススタディでは、水素供給に関連するMCH事業に着目

## メチルシクロヘキサン（MCH）

### MCHの強み

- LOHC（Liquid Organic Hydrogen Carrier：液体有機水素キャリア）の一種
- 輸送効率：同じ体積の場合、水素ガスにの500倍以上の水素を輸送可能
- 既存のインフラに適合：MCHは石油に似た常温常圧で無色の液体

### 個社の取り組み

- ENEOSはグリーンイノベーション基金事業、大規模水素サプライチェーンの構築プロジェクトとして採択され、MCHを利用した大規模水素サプライチェーンの構築に取り組んでいる
  - MCHサプライチェーンの大規模実証
    - 豪州やマレーシア等の現地企業と共同で、海外におけるCO<sub>2</sub>フリー水素とMCH製造プラントの建設・運用、MCHの海上輸送、当社製油所数か所における既存設備を活用したMCH受入・貯蔵・水素製造について、年間数万トンの商用規模の技術を実証する
    - 直接MCH電解合成（Direct MCH®）技術開発
      - ENEOSがこれまで独自に進めてきた、再生可能エネルギー由来のMCH製造の低コスト化を可能とするDirect MCH®技術の実用化を目指し、MCH製造装置の大型化に向け技術開発を行う
  - ENEOSは、社会実装に向け豪州でMCH生産の大規模実証試験を実施
    - ブリスベンにて、150キロワット規模の中型電解槽（従来の実証機の約200倍、工業用としてはほぼ最大）を設置
    - クイーンズランド州の実証プラントでは、中型電解槽と250キロワットの太陽光発電システムを組み合わせてグリーンMCHを生産
- ENEOSは2025年度までに、より大型の5メガワット規模の電解槽を開発し、商業化を目指す

# ケーススタディ：水素輸送船オペレーション

p.132

## 会社概要

- 日本郵船は日本最大の海運企業であり、グローバルな総合物流企業として活躍の場を広げる
- 日本郵船は、IMOの削減目標やEU-ETSなどの地域規制に対応するため、最先端の技術開発に取り組んでいる

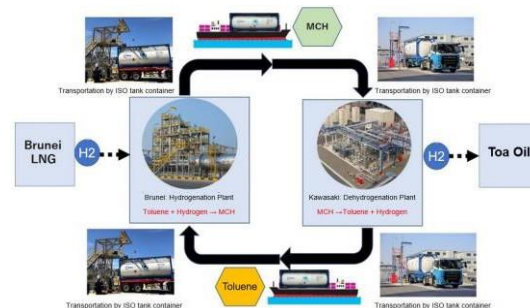
## 次世代エネルギー・キャリア

### アンモニア輸送

- 2022年、日本郵船とJERAが碧南火力発電所向けをはじめとした燃料アンモニア輸送の検討を行うことに合意
  - 覚書では、①燃料アンモニア輸送船の開発、②燃料アンモニアの輸送・受入体制の構築、③アンモニアを燃料とする推進機関の実装および航行、④燃料アンモニア受入に関するルール形成に向けた関係各所への働きかけの検討、などを定めている

### MCH輸送

- 「次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合」において、日本郵船は世界初の国際間水素サプライチェーン実証実験に参画



### アンモニア燃料船

- グリーンイノベーション基金の支援を受けたアンモニア燃料船の開発プロジェクト
  - ①アンモニア燃料タグボートの開発（内航船）、②アンモニア燃料輸送船の開発（外航船）
  - 2021年にエンジン開発を開始し、2024年に内航船、2026年に外航船の竣工を目指す
- また、日本郵船はバイオ燃料やe-メタンなどの様々な代替燃料を利用できるLNG燃料船などのブリッジソリューションにも取り組み中



# ケーススタディ：e-メタン供給

p.140

## 会社概要

- 大手都市ガス事業者であり、2050年までのカーボンニュートラル実現を目指す
- e-メタンの導入による都市ガスの脱炭素化、再生可能エネルギーの導入による電源の脱炭素化が軸となる

## メタネーション

### e-メタンの必要性

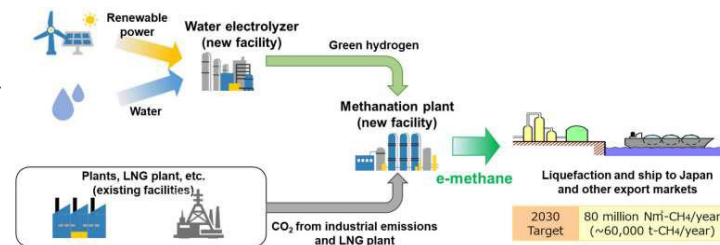
- e-メタンは、水素とCO<sub>2</sub>を合成して生成される水素ベースの燃料である。天然ガスと化学組成がほぼ同じであるため、既存の都市ガスインフラを有効活用し、早期導入・経済性が期待できる
- 大阪ガスは、2050年のカーボンニュートラル達成に向け、2030年までにガス販売量の1%に相当するe-メタン導入を目指し、研究開発とサプライチェーンの構築に取り組んでいる

### 研究開発

- 大阪ガスの研究開発の一つであるSOECメタネーションは、再生可能エネルギーを利用し、電解装置で水とCO<sub>2</sub>から水素・一酸化炭素を生成し、触媒反応でメタンを合成するもので、水素を調達する必要がない
- さらに、合成時の排熱を有効利用することで約80%~90%という世界最高のエネルギー変換効率を達成できる可能性がある
- NEDOの支援と有力企業との連携により、研究開発を進めている

### サプライチェーン構築

- 大阪ガスは、再エネが広く利用されている豪州、北米、中東、東南アジア等で複数のe-メタンプロジェクトの検討を進めている
- 豪州では、エネルギー会社 Santos社とe-メタン製造プロジェクトの共同検討を進めている
- 米国では、東京ガス、東邦ガス、三菱商事と協力して、米国で生産されたe-メタンを2030年を目標に日本に輸出することを検討中

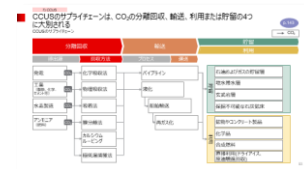
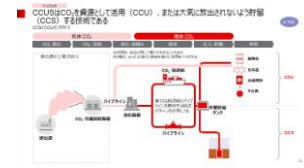


# ポジティブ技術7 : CCUSサマリー 1/4

## 技術の概要

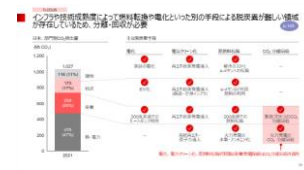
- CCUSはCO<sub>2</sub>を資源として活用（CCU）または大気に放出されないよう貯留（CCS）する技術
  - CCU : CO<sub>2</sub>を原料として燃料や化学品、セメント等を製造
  - CCS : CO<sub>2</sub>を長期的に地下に貯留
- CCUSは、電化や燃料転換が適用できない、あるいは経済性が成立しない領域での排出削減手段であり、CO<sub>2</sub>を資源として有効活用可能
- CCUSのサプライチェーンはCO<sub>2</sub>分離回収、輸送、利用、貯留の4つに大別
- CCUSのサプライチェーンは上流から下流までが揃って初めて機能するため、一気通貫で整備が必要であり、かつ貯留や輸送は国家レベルでの国際連携が必要となる
- CCUSの必要性はサプライチェーンの4要素ごとに整理できる
  - 分離回収：  
インフラや技術成熟度によって燃料転換や電化といった別的手段による脱炭素化について難しい領域が存在

## 日本における背景と必要性



CCUSに関する詳細技術リスト-12

技術名	特徴	適用分野
1. 化学吸収法	CO <sub>2</sub> を吸収剤で吸収し、加熱で分離する	発電、工業
2. 膜分離法	CO <sub>2</sub> を選択的に透過させる	発電、工業
3. 低温精製法	CO <sub>2</sub> を低温で凝縮させる	発電、工業
4. 圧縮蒸留法	CO <sub>2</sub> を圧縮して蒸留する	発電、工業
5. 反応分離法	CO <sub>2</sub> と反応して固体を生成する	発電、工業
6. 電気膜法	電気エネルギーを利用してCO <sub>2</sub> を分離する	発電、工業
7. 吸収剤再生法	吸収剤を再生して再利用する	発電、工業
8. 吸収剤循環法	吸収剤を循環して再利用する	発電、工業
9. 吸収剤回収法	吸収剤を回収して再利用する	発電、工業
10. 吸収剤再利用法	吸収剤を再利用する	発電、工業
11. 吸収剤再生・回収・再利用法	吸収剤を再生、回収、再利用する	発電、工業
12. 吸収剤再生・回収・再利用・再利用法	吸収剤を再生、回収、再利用、再利用する	発電、工業



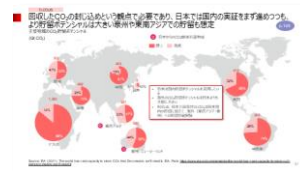
# ポジティブ技術7 : CCUSサマリー 2/4

## 日本における背景と 必要性

- 貯留：  
回収したCO<sub>2</sub>の封じ込めという観点で必要であり、日本はまず国内実証を進めつつも、より貯留ポテンシャルの高い豪州や東南アジアでの貯留も想定
- 輸送：  
島国である日本から海外への貯留を前提とすると、海上輸送が必要
- 利用：CO<sub>2</sub>を貯留するのではなく原料として化学、セメント等での利用が進められており、政府もGX基本方針の中でタイムラインや量の目標を定めている

## 政策と進捗

- 日本では、脱炭素化の一步として、CCS長期ロードマップ検討会において2050年目標を掲げたうえで、回収・輸送・貯蔵の日本発CCS実証プロジェクトを推進している
  - CCS量の目標: 1.2-2.4億t
  - コスト目標 (回収～貯留) : 8,000-12,400円/t
- CCUの目標もGX基本方針の中で定められている
  - 化学：2030年までにCO<sub>2</sub>を原料とした化学物質の製造プロセス確立
  - セメント：カーボンリサイクルセメントの生産量を2030年の200万tから2050年の1,800万tに増加



## ポジティブ技術7：CCUSサマリー 3/4

### 政策と進捗

- 政府方針を受けて民間でも動きが積極化
  - 分離回収：三菱重工の分離回収装置は市場で7割のシェアを持っており、他の日本企業も、現在主流となっている化学吸収法に加え、物理吸収法などの開発を進めている
  - 輸送：三菱重工を含む造船各社は、2025年の商業化を目指してCO<sub>2</sub>運搬船の開発を進めており、日本郵船や商船三井などの海運各社は、運航船やビジネスパートナーの確保、規制への対応に取り組んでいる
  - 貯留：日本企業は、東南アジアや豪州で、現地企業との協業も含め、貯留地の開発・確保を進めている
  - 利用：産官学が化学品やセメント製造の開発を進めており、実用化の例もある

—  
(MHIケーススタディを参照)

—  
(MHIおよび日本郵船ケーススタディを参照)

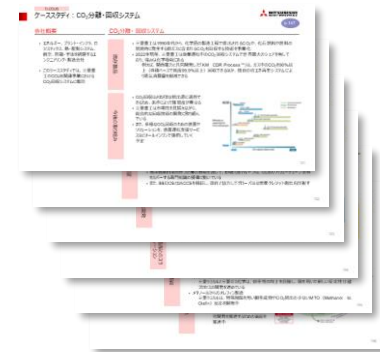


—  
(三菱ケミカルおよびUBE三菱セメントケーススタディを参照)

# ポジティブ技術7 : CCUSサマリー 4/4

## ケーススタディ

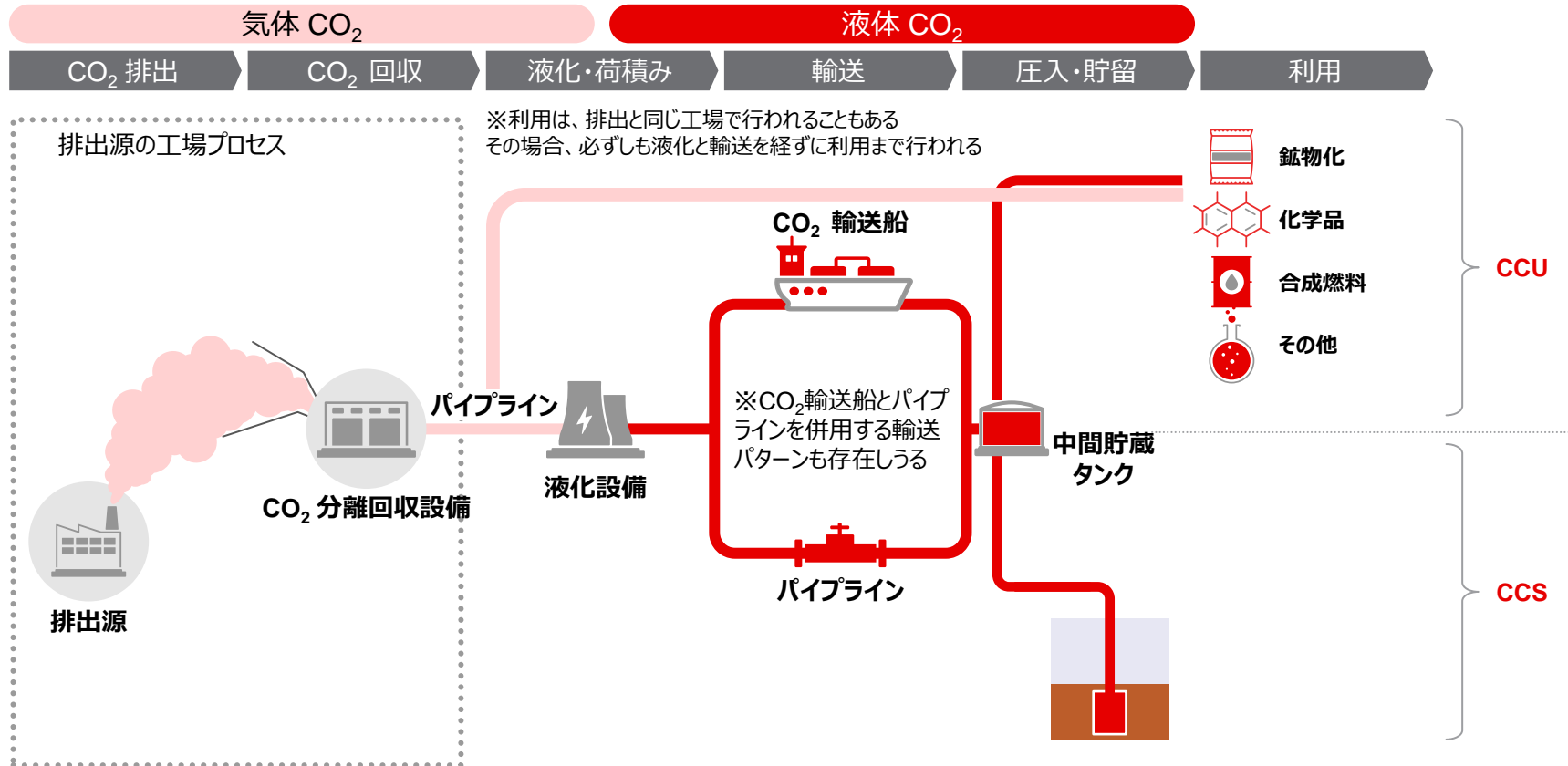
- MHI: CO<sub>2</sub>分離・回収システム
- ENEOS : CO<sub>2</sub>貯留
- MHI : CO<sub>2</sub>輸送船 (造船)
- 日本郵船 : CO<sub>2</sub>輸送船 (オペレーション)
- 三菱ケミカル : 人工光合成を用いた原料生産
- UBE三菱セメント : CO<sub>2</sub>を原料としたセメント生産



# CCSとCCUのプロセス

CCUSはCO<sub>2</sub>を資源として活用（CCU）または大気に放出されないよう貯留（CCS）する技術である

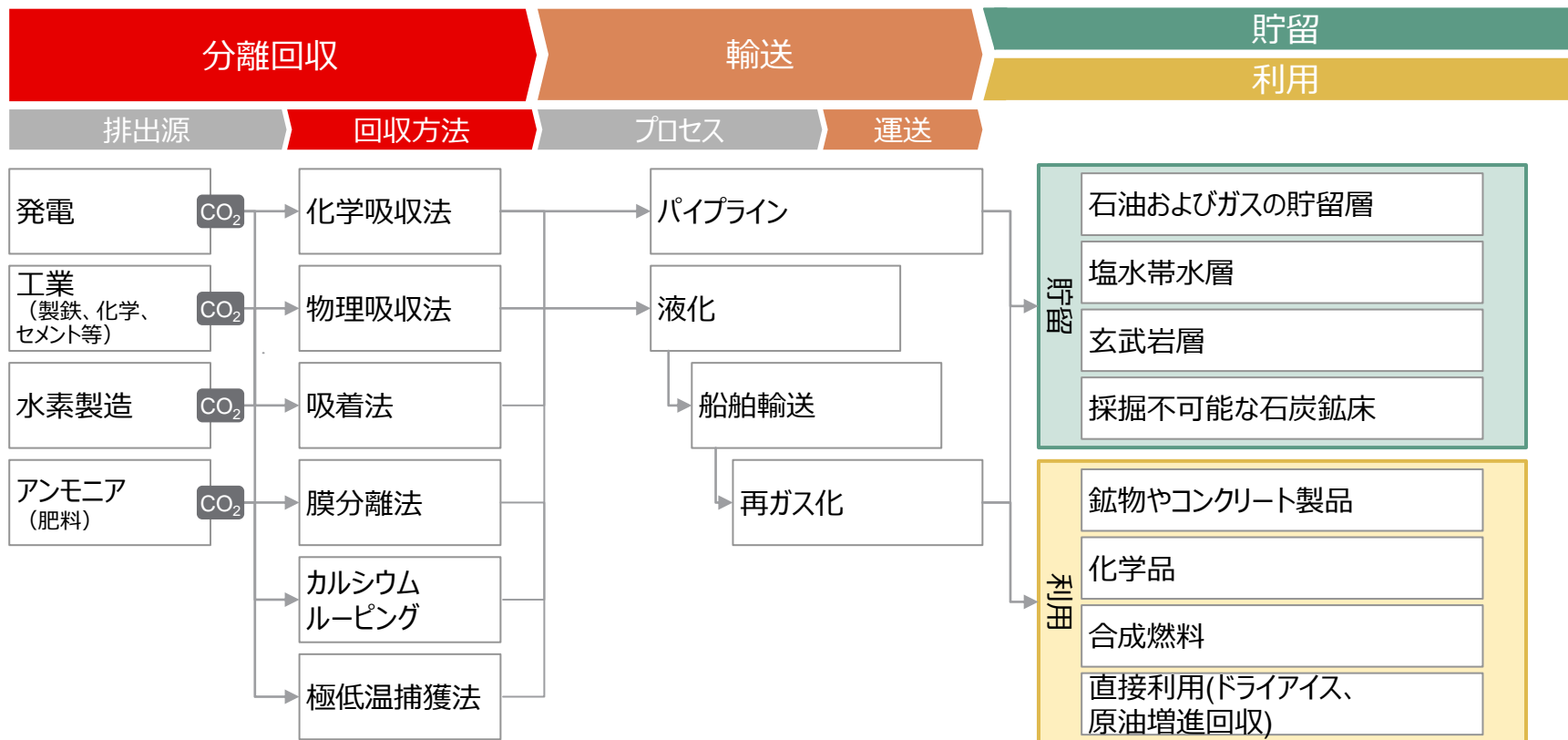
p.142



# CCUSのサプライチェーン

CCUSのサプライチェーンは、CO<sub>2</sub>の分離回収、輸送、利用または貯留の4つに大別される

→ CO<sub>2</sub>



## CCUSに関する詳細技術リスト 1/2

サプライチェーン要素	#	技術	日本における必要性	先進プレイヤー	主要技術の抜粋
分離回収	1	化学吸収法	<ul style="list-style-type: none"> <li>電化や燃料転換に加え、脱炭素化が困難なセクターでの対応が必要</li> </ul>	三菱重工、日本製鉄エンジニアリング、東芝	
	2	物理吸収法			
	3	吸着法			
	4	膜吸収法			
	5	その他 (直接空気回収)			
運送	6	海上輸送船	<ul style="list-style-type: none"> <li>日本よりも貯留ポテンシャルが高い海外へCO<sub>2</sub>を輸送する必要</li> </ul>	造船: 三菱造船、川崎重工。 オペレーション: 日本郵船、商船三井	
	7	パイプライン	<ul style="list-style-type: none"> <li>国内でのCO<sub>2</sub>輸送が必要（比較的短距離）</li> </ul>	日本製鉄パイプライン&エンジニアリング	
貯留	8	石油およびガスの貯留層	<ul style="list-style-type: none"> <li>大気中へのCO<sub>2</sub>放出を防ぐために安定した十分な貯留が必要</li> <li>国内での貯留に加え、貯留ポテンシャルが日本よりも高い東南アジアと豪州も候補地</li> </ul>	ENEOS, INPEX	
	9	塩水帯水層			
	10	玄武岩層			
	11	採掘不可能な石炭 鉱床			



## CCUSに関する詳細技術リスト 2/2

## 主要技術の抜粋

サプライチェーン要素	# 技術	日本における必要性	主要プレイヤー
利用	12 鉱物化	<ul style="list-style-type: none"> <li>日本では天然資源が希少なため、CO<sub>2</sub>を最大限に活用する必要あり</li> </ul>	UBE三菱セメント、鹿島建設、太平洋セメント、住友大阪セメント
	13 化学品		三菱ケミカル、旭化成
	14 合成燃料		大阪ガス、東京ガス
	15 その他 (生物由来炭素など)		—

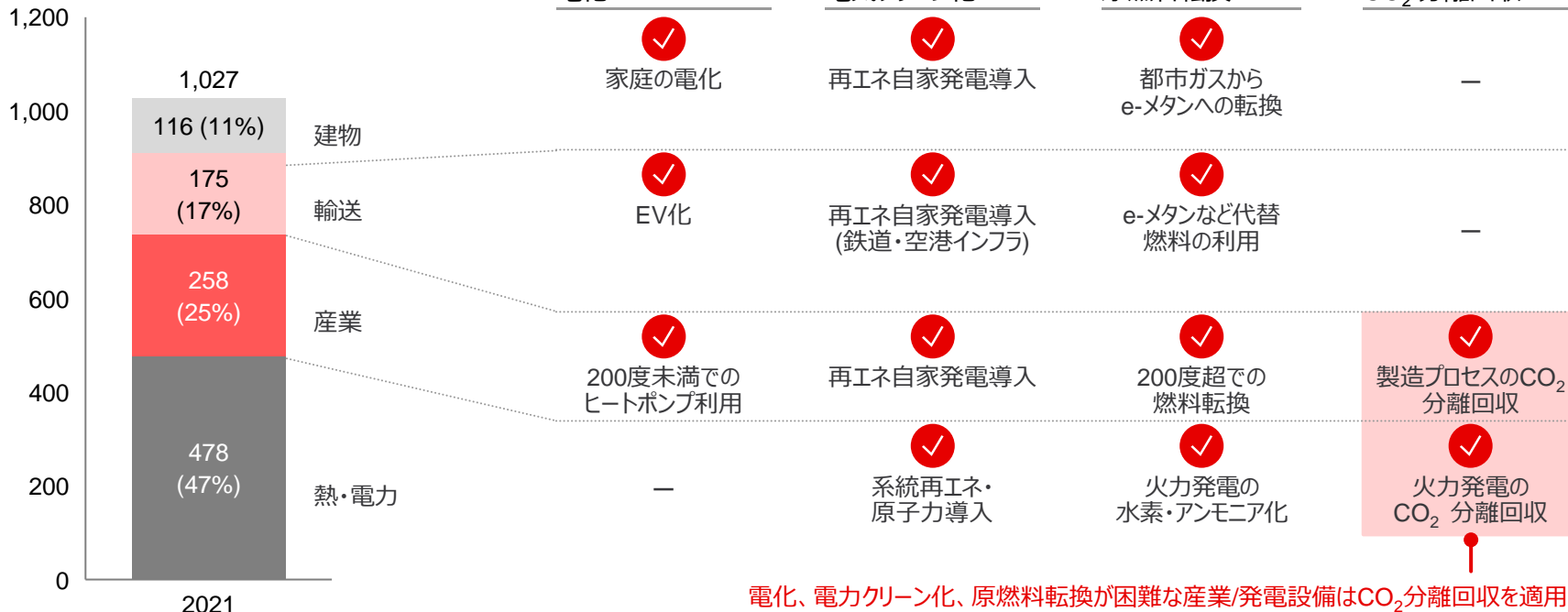
# CO<sub>2</sub>分離回収の適用領域

インフラや技術成熟度によって燃料転換や電化といった別の手段による脱炭素化について難しい領域が存在しているため、分離・回収が必要

p.145

日本: 部門別CO<sub>2</sub>排出量

主な脱炭素手段

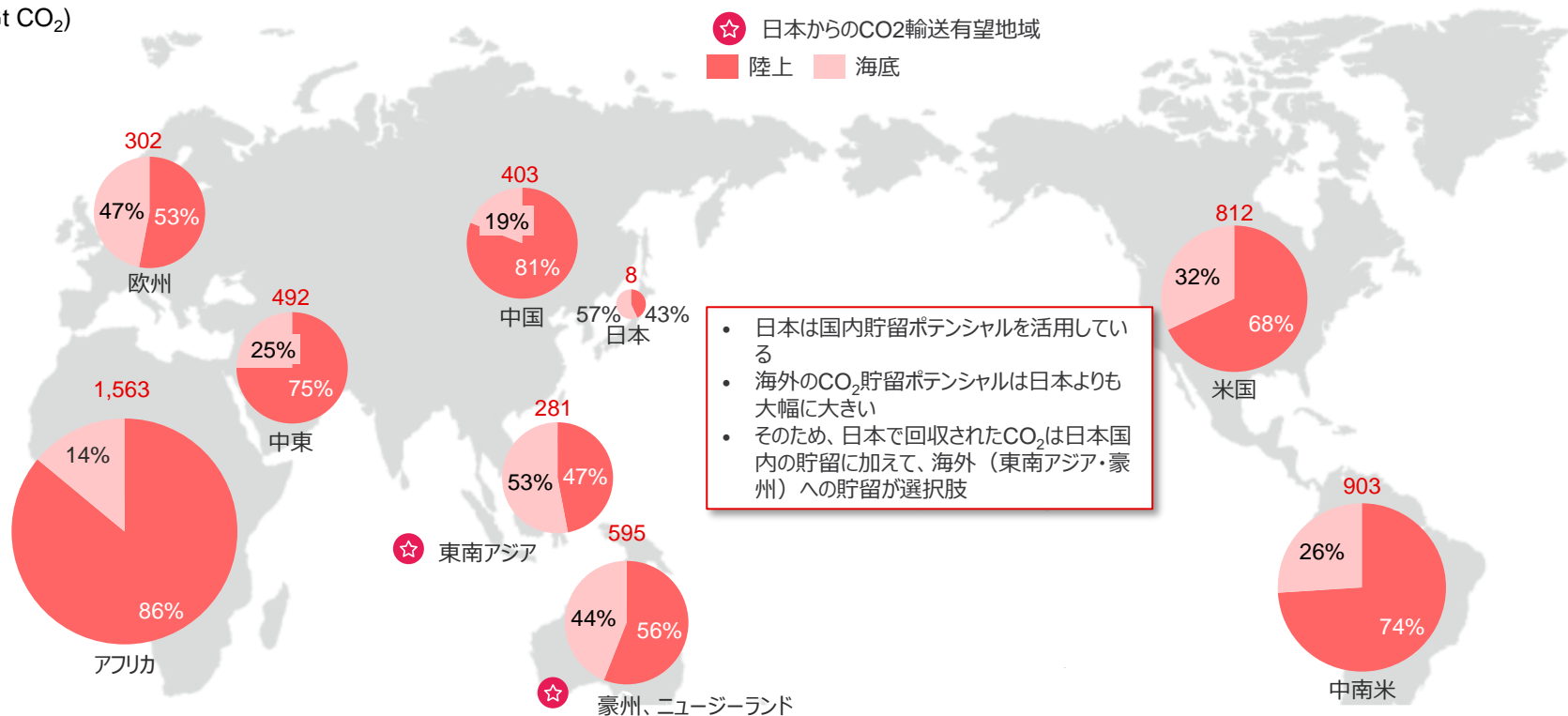
(Mt CO<sub>2</sub>)

# 主要地域のCO<sub>2</sub>貯留ポテンシャル

回収したCO<sub>2</sub>の封じ込めという観点で必要であり、日本では国内の実証をまず進めつつも、より貯留ポテンシャルは大きい豪州や東南アジアでの貯留も想定




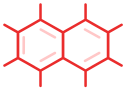


(Gt CO<sub>2</sub>)

☆ 日本からのCO<sub>2</sub>輸送有望地域  
 ■ 陸上 ■ 海底



# CO<sub>2</sub>の利用形態

飲食料や農業といったCO<sub>2</sub>の直接利用に加え、セメント、化学、燃料といった広範な用途でCO<sub>2</sub>を原料として利用することが、天然資源が希少な日本において重要

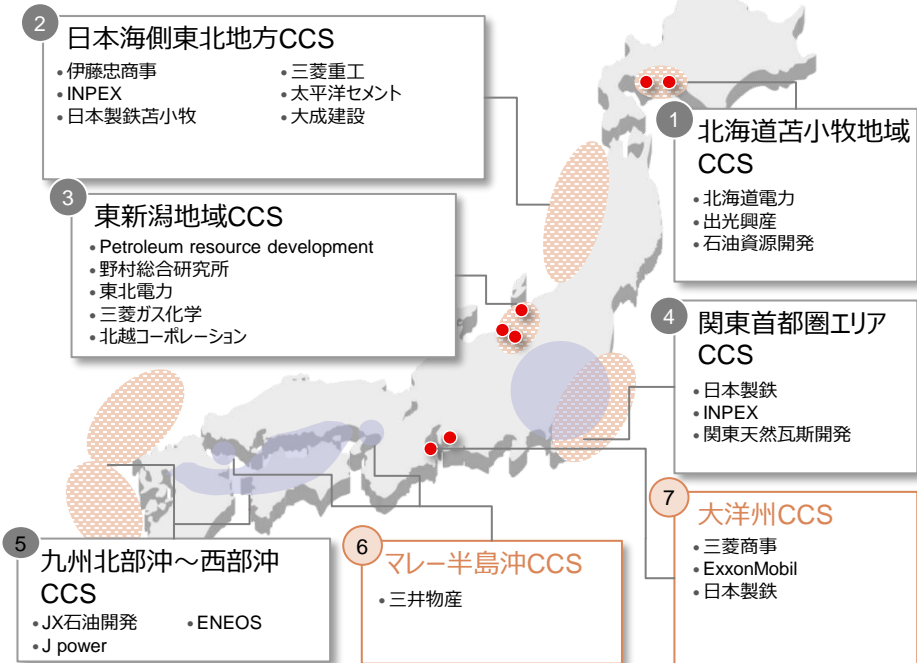
利用形態	直接		間接			
CO <sub>2</sub> 利用製品	 炭酸ガス・ドライアイス <ul style="list-style-type: none"> <li>食品・飲料用</li> <li>医療用</li> </ul>	 農林水産利用 <ul style="list-style-type: none"> <li>農業用ハウス</li> </ul>	 鉱物化 <ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート</li> <li>セメント</li> <li>炭酸塩</li> </ul>	 化学品 <ul style="list-style-type: none"> <li>尿素</li> <li>高分子</li> <li>酢酸</li> <li>エチレングリコール</li> </ul>	 合成燃料 <ul style="list-style-type: none"> <li>液体燃料</li> <li>メタノール</li> <li>SAF</li> <li>気体燃料</li> <li>メタン</li> </ul>	 その他 <ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>ベースの動物・魚の餌</li> </ul>
	社会実装に向けたタイムライン	既に市場は確立しており、今後も安定的な需要は見込めるが、将来的には大きく拡大しない	小規模分散ではあるが社会実装は早く、2030年に向けて着実に商用化が進む	既にCO <sub>2</sub> 吸収コンクリートは技術的に成熟しており、短期的なCO <sub>2</sub> 回収の受け皿	Scope3の脱炭素化手段として2030年以降に大規模拡大する見込み	技術開発/実証進展中で、バイオマス/水素サプライチェーンの構築と合わせて中期的に拡大する見込み

# 日本政府が推進するCCS事業

政府は日本発の分離回収・輸送・貯留のCCS実証を推進中

## 先進CCS事業の立地

- 想定排出源
- # 国内貯留
- 想定排出エリア
- # 海外貯留
- 想定貯留エリア



Source: [https://www.jogmec.go.jp/news/release/news\\_01\\_00034.html](https://www.jogmec.go.jp/news/release/news_01_00034.html)

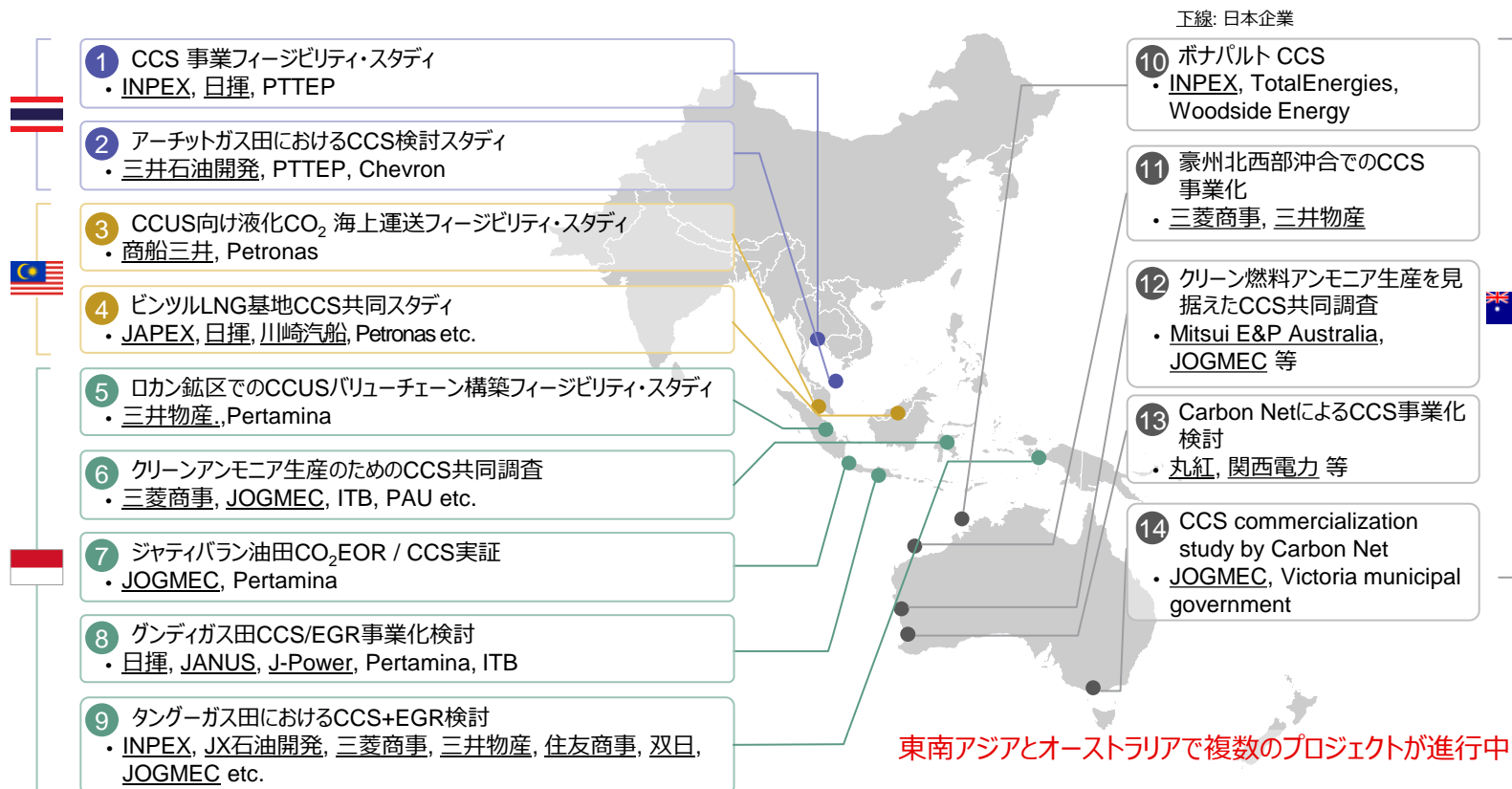
## 政策支援を受けるCCSプロジェクトの概要

#	想定貯留量 (10kt/年)	CO <sub>2</sub> 排出源	運送方法
1	150	苫小牧の製油所と発電所	パイプライン
2	200	全国規模の広範なカバレッジ（製鉄所、セメント工場、潜在的な貯留地域の排出源）	船舶 (国内)
3	150	新潟にある化学工場、製紙工場、発電所	パイプライン
4	100	都市圏内の鉄鋼を含む多様な産業	パイプライン
5	300	瀬戸内と九州をカバー（西日本の製油所と火力発電所）	船舶 (国内)
6	200	近畿地方および九州地方などで化学および石油精製等の産業	船舶 (国内)
7	200	中部地域（名古屋、四日市）において鉄鋼を含む多様な産業	船舶 (国内)

# 日本企業のアジア太平洋地域におけるCCUSプロジェクトの事例

日本企業は、東南アジアや豪州で、現地企業との協業も含め、貯留地の開発・確保を進めている

p.151



# ケーススタディ：CO<sub>2</sub>分離・回収システム

p.147

## 会社概要

- エネルギー、プラント・インフラ、ロジスティクス、熱・駆動システム、航空、防衛・宇宙を網羅するエンジニアリング・製造会社
- このケーススタディでは、三菱重工のCCUS関連事業におけるCO<sub>2</sub>回収システムに着目

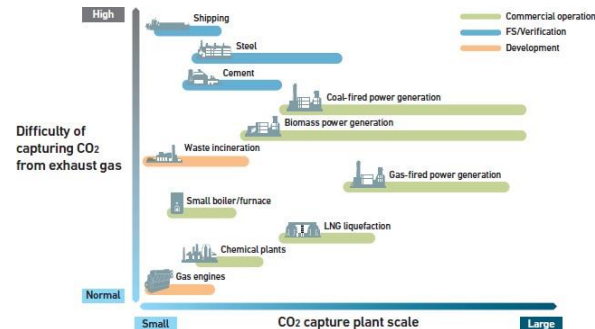
## CO<sub>2</sub>分離・回収システム

### 既存製品

- 三菱重工は1990年代から、化学品の製造工程で排出されるCO<sub>2</sub>や、化石燃料や燃料の燃焼時に発生する排ガスに含まれるCO<sub>2</sub>を回収する技術を事業化
- 2022年現在、三菱重工は商業運転中のCO<sub>2</sub>回収システムで世界最大のシェアを有しており、強みは化学吸収にある
  - 例えば、関西電力と共同開発した「KM CDR Process™」は、ガス中のCO<sub>2</sub>を90%以上（体積ベースで純度99.9%以上）回収できるほか、独自の省エネ再生システムにより蒸気消費量を削減できる

### 今後の取り組み

- CO<sub>2</sub>回収はさまざまな排出源に適用できるため、条件によって難易度が異なる
- 三菱重工は市場性を見据えながら、総合的な回収技術の開発に取り組んでいる
- また、多様なCO<sub>2</sub>回収のための装置やソリューションを、装置運転支援サービスなどオールインワンで提供していく予定



# ケーススタディ：CO<sub>2</sub>貯留

## 会社概要

- 石油上流開発、非鉄金属資源開発から石油精製・販売、金属事業、非鉄金属製品の製造・販売まで、エネルギー事業に従事
- ENEOSは、製造の最適化、CCSと自然吸収を通じて、温室効果ガス排出削減を目指している。本ケーススタディではCCSに着眼

## ENEOSのCCS

### 目標

- ENEOSグループのカーボンニュートラル計画では、2030年に300万t/年、2040年に1,100万t/年をCCSし、温室効果ガス排出量を削減することを目指す
- さらに、自社排出分のCCSだけでなく、2040年までに日本最大のCCSバリューチェーンを構築し、他社のCO<sub>2</sub>（400万～1,000万t/年）を貯留、事業化することも目指している

### 進行中の取り組み

- 電源開発が有するバイオマスガス化技術を用いた水素生成（同工程にてCO<sub>2</sub>を回収）とENEOSのCO<sub>2</sub>地下貯留技術を組み合わせ、2023年度までにCCSの実現を目指す

### 展望

- 国内外の知見を活用し、ENEOSの製油所から排出されるCO<sub>2</sub>の貯留を東日本と西日本で検討中
  - 例えば、九州北部沖～西部沖のCCSプロジェクト（海域帯水層）は、今年度JOGMECの支援を受ける先進プロジェクトに採択
- 海洋掘削技術を持つ企業の株式取得を通じて、ENEOSグループは、CCSのバリューチェーン全体をカバーする専門知識の獲得に動いている
- また、BECCSとDACCSを検証し、政府と協力してグローバルな炭素クレジット創出も目指す



# ケーススタディ：CO<sub>2</sub>輸送船（造船）

## 会社概要

- エネルギー、プラント・インフラ、ロジスティクス、熱・駆動システム、航空、防衛・宇宙を網羅するエンジニアリング・製造会社
- このケーススタディは、CO<sub>2</sub>エコシステムの一側面であるCO<sub>2</sub>輸送船の開発に焦点を当てている

## 液化CO<sub>2</sub> (LCO<sub>2</sub>) 輸送船

### LCO<sub>2</sub> 輸送船の位置付け

- 三菱重工は、陸から船までのバリューチェーン全体を最適化するソリューションを提供
- 液化CO<sub>2</sub> (LCO<sub>2</sub>) 輸送船は、島国である日本のバリューチェーン上では、特に重要
- 三菱重工グループの三菱造船は、日本の実証プロジェクト向けにLCO<sub>2</sub>輸送船を建造しており、その経験を活かしてグループ全体の戦略的なエネルギー転換事業を強化するとともに、CCUSバリューチェーン構築に必要な技術開発を行う

### 他社との連携を通じた開発

- 三菱造船は、グローバル企業との協業を通じて知見を蓄積し、より高度な技術の創造に取り組んでいる
  - 2021年、CCUSのバリューチェーンで主導的な役割を果たすTotalEnergiesと、LCO<sub>2</sub>輸送船の共同研究を開始
  - 世界初のCCUS向けLCO<sub>2</sub>輸送実証試験船を建造
- 今後も複数のパートナー企業との協業を通じて、同技術の活用を拡大していく方針
  - 2023年に日本シップヤードと外航LCO<sub>2</sub>輸送船に関する共同検討を開始。2027年以降に日本シップヤードでの竣工を目指している

# ケーススタディ：CO<sub>2</sub>輸送船（オペレーション）

## 会社概要

- 日本郵船は日本最大の海運企業であり、グローバルな総合物流企業として活躍の場を広げる
- 日本郵船は、IMOの削減目標やEU-ETSなどの地域規制に対応するため、最先端の技術開発に取り組んでいる。本ケーススタディは、CCSのためのCO<sub>2</sub>輸送船に着目

## CO<sub>2</sub>輸送船

### 現状

- CO<sub>2</sub>輸送船の運用には、以下のような課題が存在
  - 液化時および港湾施設の温度・圧力制御
  - 船上でのCO<sub>2</sub>の安定性
  - 貯留時の圧入技術
- 課題の解消に向け、日本郵船は、グローバル・プレーヤーとの共同開発を続けている

### CO<sub>2</sub>キャリア (KNCC)

- ノルウェーの大手船主Knutsen Groupとジョイントベンチャーを設立し、液化CO<sub>2</sub>の海上輸送・貯留事業を開始
- 常温・高圧で液化CO<sub>2</sub>を輸送するLCO<sub>2</sub>-EPタンクシステムを開発し、CCUSバリューチェーン全体のコスト最適化と、船舶の大型化を目指す
- 2023年にノルウェー船級協会（DNV）から詳細な設計内容に対する承認を得たことで、Knutsen NYK Carbon AS社は同技術の新造船や既存船への搭載が可能になった



### 三菱造船とのコラボレーション

- 2021年から三菱造船と大型船によるCO<sub>2</sub>輸送技術開発で協業
- 2022年に日本海事協会から基本設計承認（AiP）を取得し、液化CO<sub>2</sub>の大量輸送に前進

# ケーススタディ：人工光合成を用いた原料生産

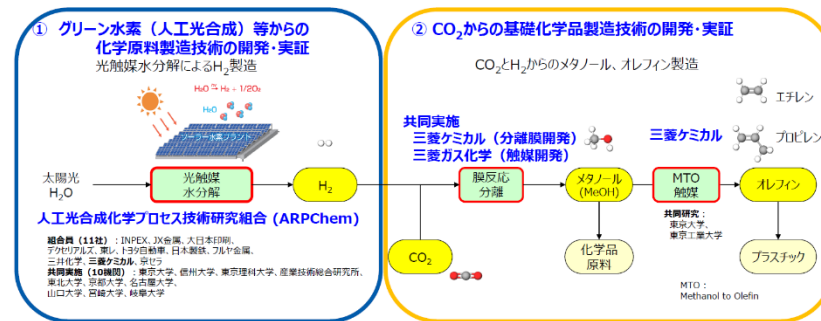
## 会社概要

- 日本最大の総合化学会社
- 光触媒を使った水素製造と、水素とCO<sub>2</sub>を使った化学品製造を組み合わせた人工光合成技術を開発中

## 人工光合成による化学原料生産

### 技術の概要

- この技術は、太陽光を利用した光触媒水分解によって得られた水素とCO<sub>2</sub>から、メタノールを経由し、オレフィンを製造する
- プロセスは以下で構成
  - 1) グリーン水素製造 (人工光合成)
  - 2) 水素とCO<sub>2</sub>からの基礎化学品製造



### 詳細技術

- グリーン水素製造 (人工光合成)
  - 日系企業11社が参加する技術組合ARPCHEMは、光触媒によるグリーン水素製造のコスト削減を目指し、10の大学・研究機関と提携
  - 2021年にARPCHEMは、世界で初めて100m<sup>2</sup>規模の光触媒水分解による水素製造に成功しており、2040年代の大規模製造開始を目指している
- 水素とCO<sub>2</sub>からのメタノール製造
  - 三菱ケミカルと三菱ガス化学は、効率性の向上を目指し、分離膜を用いた新しいメタノールの反応分離プロセスの開発を進めている
- メタノールからのオレフィン製造
  - 三菱ケミカルは、特殊触媒を用い副生成物やCO<sub>2</sub>排出の少ないMTO (Methanol to Olefin) 反応技術を開発中

# ケーススタディ：CO<sub>2</sub>を原料としたセメント生産

## 会社概要

- 日本のセメント業界をリードし、日本全国の社会インフラ整備に基礎資材を供給
- MUCCは、2030年までにCO<sub>2</sub>排出量を2013年比で40%削減するという目標を掲げている。本ケーススタディは、セメント製造におけるCO<sub>2</sub>回収とカーボンリサイクル製品に着目

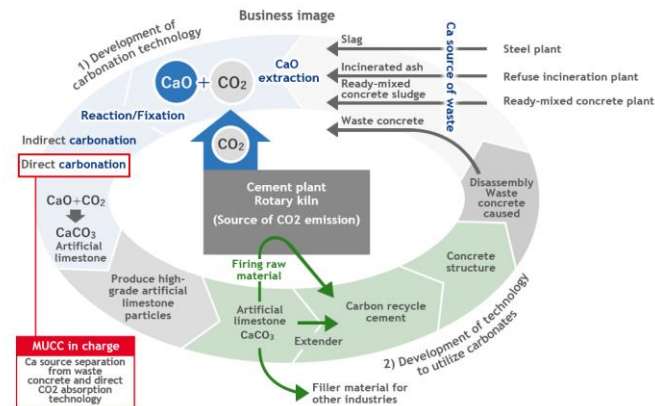
## セメント製造におけるCO<sub>2</sub>回収とカーボンリサイクル製品

### 背景

- セメント原料は炭酸カルシウム (CaCO<sub>3</sub>)、二酸化ケイ素 (SiO<sub>2</sub>) などを含むが、無害化を通して廃棄物や副産物の有効利用につながっている
- 石灰石が主原料であり、高温処理には熱エネルギーが必要なため、その過程で大量のCO<sub>2</sub>が排出される

### カーボンリサイクルプロセス

- 分離・回収
  - 石灰石由来のCO<sub>2</sub>を効率的に回収する海外のセメント工場独自の技術導入を検討中
  - キルン排ガス中のCO<sub>2</sub>分離回収技術の実証中
- 利用
  - 使用済みコンクリートの再生技術を開発中
  - その他、使用済みコンクリート以外の廃棄物や副産物を利用したCO<sub>2</sub>固定化・利用技術の実証を推進中



# ディスクレマー

本プレゼンテーションにより、貴社と株式会社三菱UFJ銀行の間には何ら委任その他の契約関係が発生するものではなく、当行が一切法的な義務・責任を負うものではありません。

本資料は信頼できると考えられる各種データに基づいて作成されていますが、当行はその正確性、完全性を保証するものではありません。ここに示したすべての内容は、当行の現時点での判断を示しているに過ぎません。また、本資料に関連して生じた一切の損害については、当行は責任を負いません。その他専門的知識に係る問題については、必ず貴社の弁護士、税理士、公認会計士等の専門家にご相談の上ご確認下さい。

株式会社三菱UFJ銀行と三菱UFJモルガン・スタンレー証券株式会社は別法人です。本資料は三菱UFJモルガン・スタンレー証券株式会社が提供する商品・サービスについて説明するものではありません。また、株式会社三菱UFJ銀行の役職員は三菱UFJモルガン・スタンレー証券株式会社が提供する商品・サービスの勧誘行為をすることはできません。

本資料は当行の著作物であり、著作権法により保護されております。当行の事前の承諾なく、本資料の全部もしくは一部を引用または複製、転送等により使用することを禁じます。

Copyright 2023 MUFG Bank, Ltd. All rights reserved.

〒100-8388 東京都千代田区丸の内 2-7-1

株式会社 三菱UFJ銀行 コーポレートバンキング企画部、サステナブルビジネス部

当行が契約している指定紛争解決機関 一般社団法人 全国銀行協会

連絡先 全国銀行協会相談室

- 電話番号： 0570-017109 または 03-5252-3772
- 受付時間： 月～金曜日9:00～17:00（祝日、12/31～1/3等を除く）

株式会社 三菱UFJ銀行

コーポレートバンキング企画部、サステナブルビジネス部

〒100-8388

東京都 千代田区 丸の内 2-7-1

[www.mufg.jp](http://www.mufg.jp)

