

# エネルギーを起点とした産業の GX（グリーントランスフォーメーション）について

2022年2月14日

産業技術環境局

# 1. エネルギーを起点とした産業のGX

## (1) 各産業のGX戦略検討の視点 (第1回会合で御議論いただいた内容)

## (2) 各産業のGX戦略検討

- ① 蓄電池
- ② カーボンリサイクル
  - 1. CO<sub>2</sub>分離回収
  - 2. コンクリート/セメント
  - 3. SAF
  - 4. 合成燃料
  - 5. 合成メタン
  - 6. グリーンLPG
  - 7. カーボンリサイクル化学品
  - 8. バイオものづくり

## (3) 2050年カーボンニュートラルにおける産業間の関係性

# (1) 各産業のGX戦略検討の視点 (第1回会合でご議論いただいた内容)

## – 新たな産業を創出し、産業構造を転換していくための視点 –

- 第1回グリーンエネルギー戦略検討合同会合において、GX時代に成長が期待される分野について、以下の3つの視点で産業分析を行うこととされた。
- また、この産業分析をベースに、ビジネス環境の分析や海外の政策動向も踏まえ、次頁の技術レイヤー、ビジネスレイヤー、マーケットレイヤーについて、課題や政策要素を検討していくこととされた。
- 本日は、蓄電池、カーボンリサイクル (CO<sub>2</sub>分離回収、コンクリート/セメント、カーボンリサイクル燃料、化学品、バイオ)におけるGX戦略について、ご議論いただきたい。

第1回グリーンエネルギー戦略検討合同会合  
(2021年12月16日) 資料2より抜粋

### ● 現状のビジネス環境

(例) 現在のビジネスモデル、我が国の国際的な立ち位置、各分野の競争力の源泉、サプライチェーンにおける高付加価値をもたらす分野、デジタル化など構造的変化の現状、新規プレイヤーの存在 等

### ● カーボンニュートラルが産業や社会に与える影響

(例) 商品・サービス面での変化 (新商品、新規需要など)  
製造プロセスにおける変化、サプライチェーンにおける要請  
これらが競争力や企業戦略にどのような影響を与えるのか 等

### ● 海外プレイヤーの動向

(例) 海外における既存プレイヤーや新規プレイヤーの状況  
– 各プレイヤーの立ち位置や戦略  
– グローバルなビジネス環境を踏まえた、各プレイヤーの動向 等

## 今後必要とされる政策要素の検討の視点

ビジネス環境の分析や海外の政策動向も踏まえ、例えば、以下のような視点で、どのような政策を行っていくか検討していくべきではないか。

- 各分野における「勝ち」の定義が必要（技術開発、社会実装スピード、市場ルールメイキングなど）
- 技術レイヤー、ビジネスレイヤー、マーケットレイヤーそれぞれについて、課題や政策要素を整理。

技術レイヤー	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 付加価値の高い分野への支援徹底</li> <li>• 海外技術の囲い込み/連携 等</li> </ul>
ビジネスレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 先行需要創出、国際サプライチェーンへの参画、海外勢との連携</li> <li>• オープン&amp;クローズ戦略、ライセンス活用、</li> <li>• 炭素価値、経済的メカニズム</li> <li>• 新技術・ビジネスへのリスクマネー供給 等</li> </ul>
マーケットレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 国際市場               <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 国際ルール整備（条約、国際標準・規格）</li> <li>➢ アジア各国への働きかけ</li> <li>➢ 技術移転リスクへの対処</li> <li>➢ トランジションファイナンスのアジア等への普及・海外展開における資金需要と官民協調のファイナンス 等</li> </ul> </li> <li>• 国内市場               <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 国内市場の規律（重要インフラや戦略物資確保の観点）</li> <li>➢ 技術・データの流出防止 等</li> </ul> </li> </ul>

# (参考) グリーン市場獲得に向けた国内外の動向・情勢例

## 各国の脱炭素技術への研究開発：

EU：Horizon Europe  
日：グリーンイノベーション基金  
英国：10point plan

## 欧州バッテリー規則案：

製造・廃棄時の温室効果ガス排出量による規制、責任ある材料調達（デュー・デイルジェンス）、リサイクルに関する規制案。

## イノベーションファイナンス：

米Breakthrough Energy Catalystは、「商用化」を念頭に、初期需要創出のためのオフテイク確保にも力点。

## EUタクソノミー：

環境的にサステナブルな経済活動を分類・定義。

## 米国政府のイニシアティブ：

Industrial・Decarbonization・Agenda：産業の脱炭素化にむけて、「市場の規制」「標準の策定」「投資/公共調達の戦略」「共同研究」等において協力。

## First Movers Coalition：

ネットゼロ技術の早期市場創出に向け、主要企業が購入をコミットするためプラットフォーム。

技術

マーケット

ビジネス

## 炭素国境調整措置：

輸入品に対し炭素排出量に応じて水際で負担を求める

## TCFD：

企業活動が気候変動に及ぼす影響について開示する任意枠組み。

海外の関連動向

念頭におくべき課題

## 技術×ビジネス：

我が国は、太陽電池のコストを1/250に下げるイノベーションを実現。他方で、太陽電池の日本のシェアは徐々に低下。また、半導体も水平分業化が急速に進展した結果、競争力が低迷。

## デジタル×グリーン：

CNに伴いCO<sub>2</sub>排出量の見える化のニーズが高まる中、デジタル技術を用いたCFPデータの共有等に関する取組が活発化。

## サプライチェーン：

CNに伴い必要性の高まるレアメタル等の一部は、特定国に埋蔵・生産が偏在することによる供給リスクあり。

## (参考) 第1回クリーンエネルギー戦略検討合同会合 委員意見

- アンモニアについては、サプライチェーン構築に向けてグリーン・ブルーに特化しない形で進めることが重要。だが、将来的にはグリーンにしていることが重要。
- こうした議論を進めると、ナフサの全量輸入といった話にもなる。そうした想定を踏まえて産業構造をどうするか検討すべき。需要家の選択を通じた社会変革が重要。そのためには、**CO2の可視化**が王道。可視化されていないと価格転嫁も出来ない。可視化により納得してもらった上での価格転嫁の議論をすべき。
- 大きな方向性がぶれてしまうと対応が出来ない。需給両サイドについて予見可能性が無いと自社投資が難しい。民間投資を引き出すことが重要であるため、予見可能性を確保する戦略が重要。
- 特定の技術を排除せず、様々な地域特性を加味した、日本版タクソミーのような検討をどうするか考えていきたい。日本は災害が多いため、ガソリンが確保できない場合に価格高騰するが、その場合の経済負担は大きくなる。そうした事情も加味して検討する必要。
- DACや核融合を含め、実装が2030年など先になるものについても海外では商用化に向けて取組が進んでいるものがあるが、これらに係る検討も重要。
- 日本社会の負担を覚悟せよというメッセージという理解。日本の産業を守るという発想は重要。脱炭素を進める中で、製造業は物を作ると損するという構造になっているため、製造をやめましょうという話になる。モノをつくるのは必要だが、稼げないということが問題。いかにモノを作りつつ稼ぐか。そうすると、少なく作ってたくさん使ってもらうことで沢山稼ぐ、という発想が大事。

# 1. エネルギーを起点とした産業のGX

(1) 各産業のGX戦略検討の視点 (第1回会合で御議論いただいた内容)

## (2) 各産業のGX戦略検討

- ① 蓄電池
- ② カーボンリサイクル
  - 1. CO<sub>2</sub>分離回収
  - 2. コンクリート/セメント
  - 3. SAF
  - 4. 合成燃料
  - 5. 合成メタン
  - 6. グリーンLPG
  - 7. カーボンリサイクル化学品
  - 8. バイオものづくり

(3) 2050年カーボンニュートラルにおける産業間の関係性

# GX分析 ①蓄電池

## ● 現状のビジネス環境

- 市場規模については、車載用、定置用、小型民生用、いずれの分野も成長。特に車載用は、EV等の拡大に伴い、2035年には容量ベースで14倍（2,070GWh）まで成長する見込み。
- 競争状況については、日本がかつてリチウムイオン電池の圧倒的なシェアを有していたが、中韓メーカーが追い上げ（車載用：2015年40%→2020年21%、定置用：2015年27%→2020年5%）。ただし、火災事故の少なさなど安全性では日本メーカーが強みを有する。
- サプライチェーンについては、リチウム、コバルト、ニッケル、黒鉛などの原材料について、特定国に大きく依存している状況。

## ● カーボンニュートラルが産業や社会に与える影響

- 市場規模については、自動車の電動化や再エネの主力電源化など、カーボンニュートラル対応が進むほど市場成長が見込まれる。
- 競争状況については、カーボンニュートラルの流れの中で民間資金供給や政府支援が増加。新興企業の参入や自動車OEMによる内製化の動きも進展。
- 欧州バッテリー規制・米国サプライチェーン大統領令等のサプライチェーン強化施策により、地産地消・域内循環が加速する見込み。

## ● 海外プレイヤーの動向

- 原材料費及び固定費が大半を占めるコスト構造のため、トップティアの中韓勢は、スケールメリットの確保を念頭に中国・欧米で生産能力を大幅増強。中国CATLは、独ザールラント州・上海・インドネシア等で大規模工場を建設予定であり、2050年までに現在の10倍（600GWh）まで生産能力を増強。また、韓国LGは、米欧にて250GWhまで増強予定。
- 新興企業も参入。2016年創業のNorthVoltは、2030年までに、カーボンフットプリントの80%削減を掲げつつ、150GWhまで生産能力を強化。本年1月生産を開始しており、既にBMW等から270億ドル相当の契約を締結済。

# 課題と打ち手の例 ①蓄電池

## 【技術・ビジネスレイヤー】

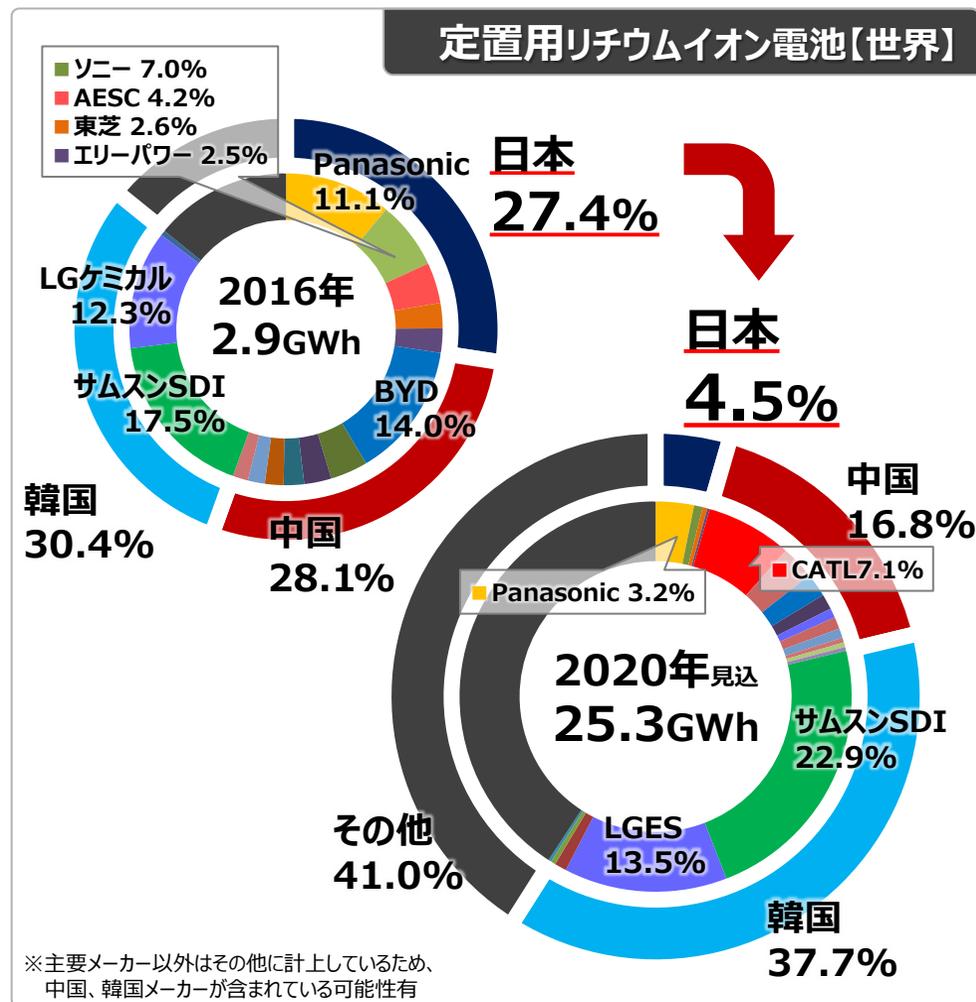
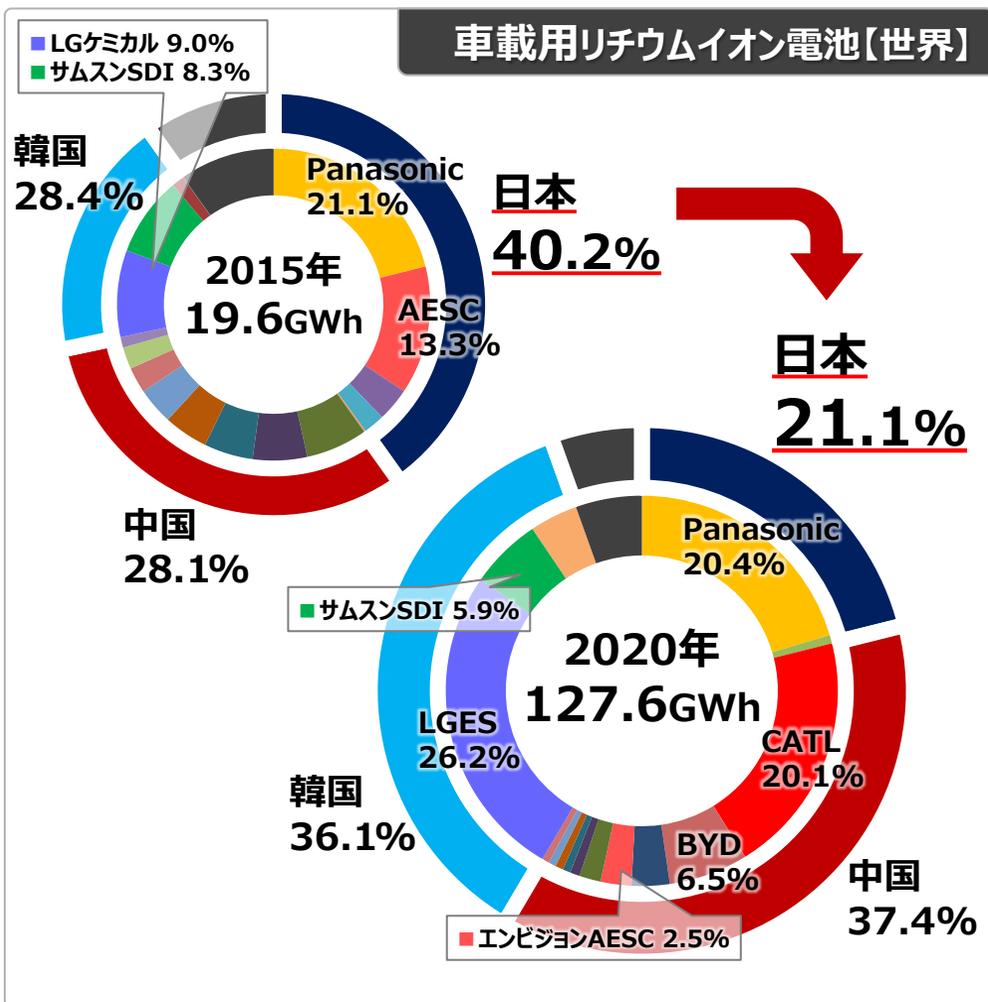
- 全固体電池、次世代蓄電池等の新たな技術領域で、如何に技術リーダーの地位を確保するか。また、安全性等の日本の優位性を如何に維持・強化していくか。  
→グリーンイノベーション基金等を活用し、**全固体電池含めた高性能蓄電池・材料**の研究開発を加速するとともに、**リサイクル関連技術**の開発を進める。また、人材育成の強化等に遅滞なく取り組む。
- 既存プレイヤーの大規模投資、新規プレイヤーの参画が進むなかで、日本企業は車載用蓄電池市場の急激な成長を如何にして取り込むか。  
→**上流資源確保**や**サプライチェーン含めた製造基盤を強化**することで、日本企業が競争力のある蓄電池を供給する。さらに、国内の電気自動車等の普及に向けた環境整備（インフラ整備、導入補助金）を進める。併せて、規制改革、安価なクリーンエネルギーの安定供給の推進など国内ビジネス環境を改善する。
- 再生可能エネルギーの安定供給に不可欠となる定置用蓄電システムの導入拡大に加え、持続可能なエコシステムを如何にして確立するか。  
→**定置用蓄電システムの普及に向けた環境整備**（導入補助金、法的整備、システム価格の低減に向けた取組等）、グリーンイノベーション基金等を活用した国内リサイクル・リユース促進等を進める。

## 【マーケットレイヤー】

- カーボンニュートラル、人権、安全性など近年顕在化する課題に対し、国内外で、如何にして持続可能な電池供給網の確立を図るか。競合との差別化要因を、マーケットルールとして、如何にビルトインするか。  
→**ライフサイクルでのCO<sub>2</sub>排出の見える化**、**材料の倫理的調達**の担保等の制度的枠組みの検討など、国内外におけるルール整備・標準化などに取り組む。

# (参考) 蓄電池の国別・メーカー別シェア

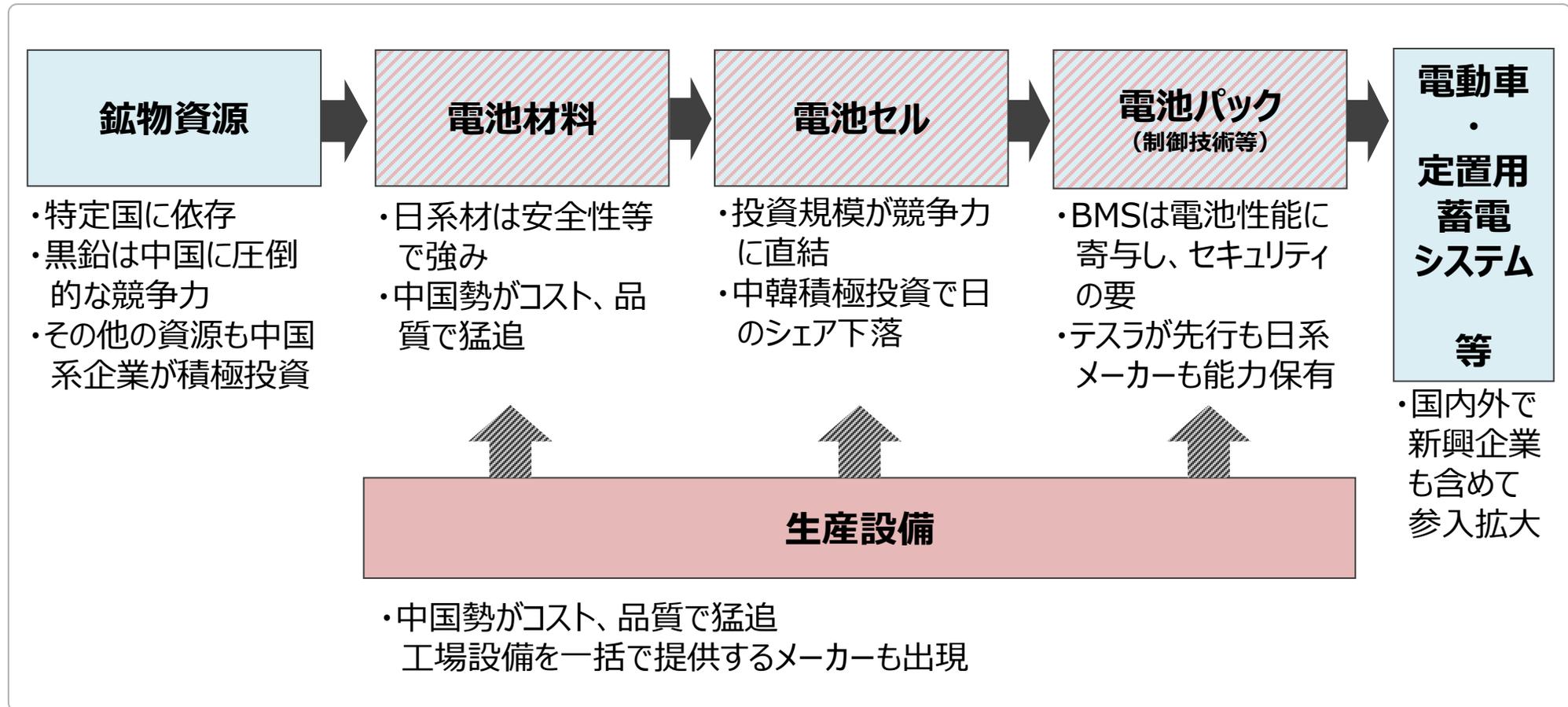
- 日系勢は技術優位で初期市場を確保したが、市場の拡大に伴い中韓メーカーがシェアを拡大、一方で日本メーカーはシェアを低下。



# (参考) 電池サプライチェーンの全体像

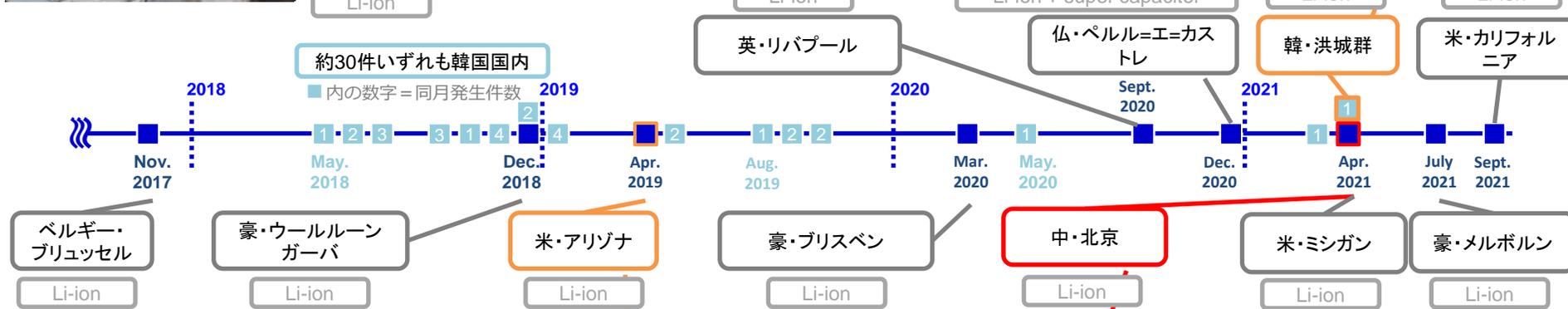
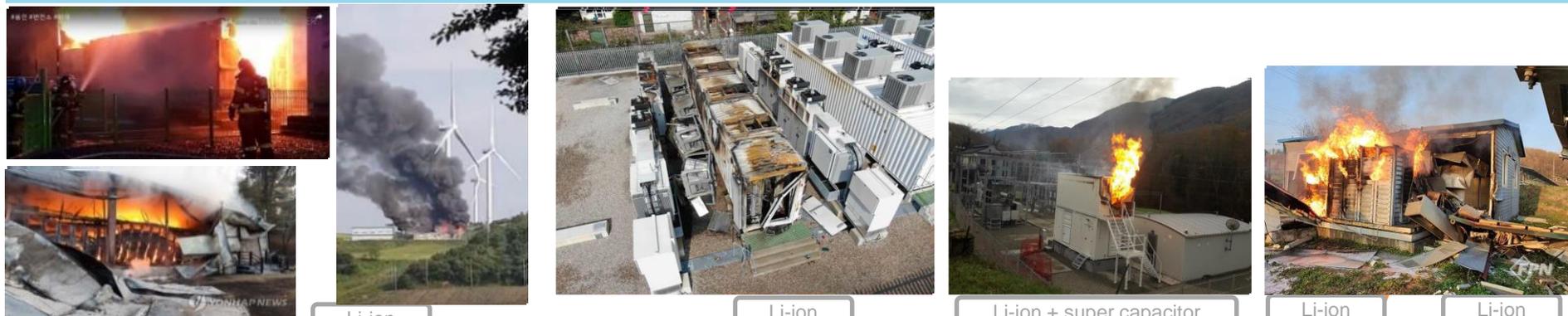
- 電池セル製造のみならずそれを支える素材・生産設備などの重要技術を維持しつつ、サプライチェーン全体の維持・強化が必要。

## 蓄電池サプライチェーンの例



# (参考) 蓄電池の事故事例

- 液系LIBは発煙・発火のリスク有。近年もリチウムイオン電池の火災事故は続いており、安全対策は重要な課題の一つ。

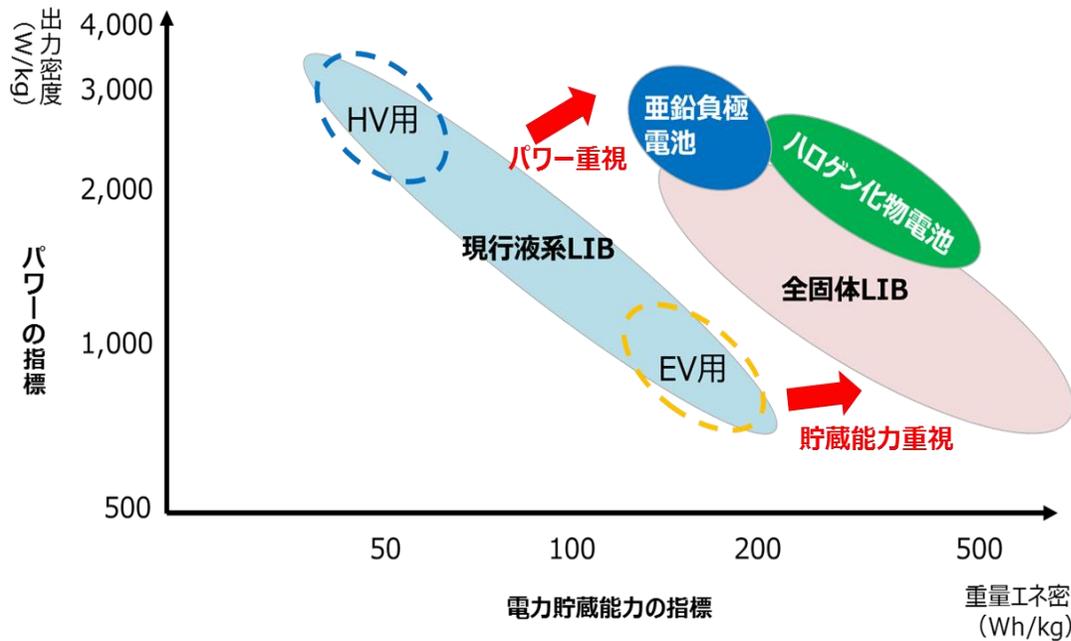


※橙枠は負傷者が出た事故  
 ※赤枠は死亡者が出た事故

(出典) NITE製品評価技術基盤機構

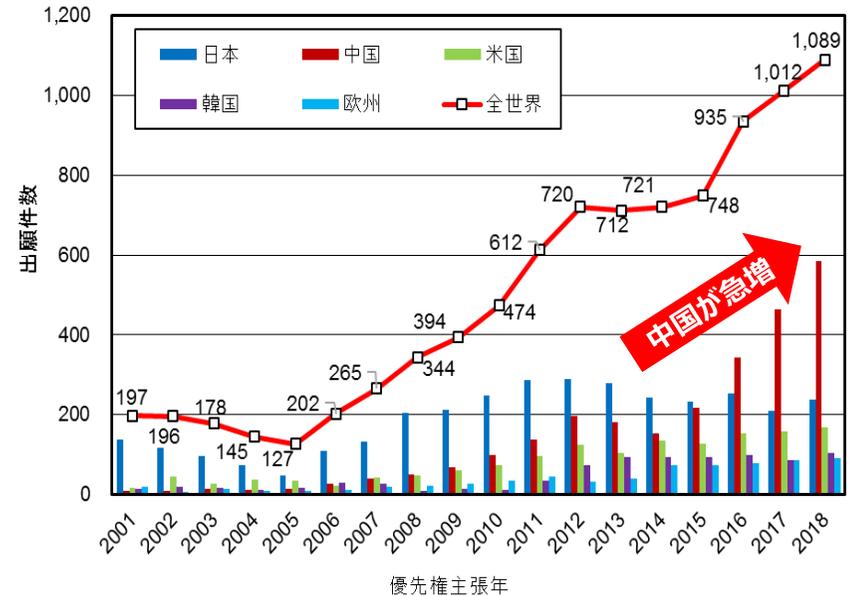
# (参考) 蓄電池の技術的進化

- 蓄電池は、現在液系リチウムイオン電池が主流。今後、全固体電池等の次世代蓄電池へと進化。
- 蓄電池技術は日本が優位も、ビジネス面で優位に立つ中国が技術でも猛追。
- 高性能蓄電池の実現に向けては、材料、組み合わせ、生産技術等の革新が課題。



## 全固体電池の特許出願件数推移

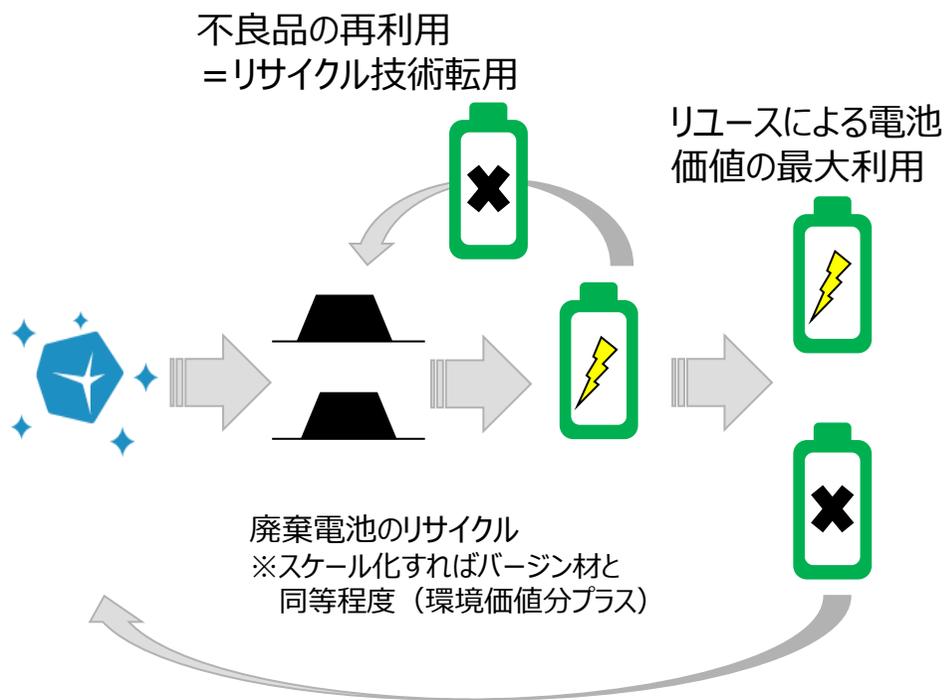
2001~2018の累計出願件数は日本リード (日: 37%、中: 28%) も近年中国の出願数が急増



## (参考) 電池エコシステム、リユース/リサイクルの構築

- 持続可能な電池産業を構築するために、電池のリユースやリサイクルの推進による循環型のシステムの構築は重要。リサイクル材からの資源の確保やリユースによる電池価値の向上など産業競争力向上にも資する。
- 海外でもリサイクル・リユースの事業化に向けた動きが進展。

### 【電池のリユース・リサイクル】



### 【海外企業のリサイクル・リユース事業】

- Umicore (ベルギー)



素材の加工・リサイクル事業を実施。使用済電池のリサイクルを通じて、含有する金属を正極材に加工して最終的に新しい電池材料にするなど、独自技術をもとにクローズドループによるリサイクルモデルを確立、推進。

- BRUNP Recycling (中国)



CATLの傘下企業。デジタル製品用電池および動力電池の回収処理・カスケードリユース、自動車回収・解体、重要部品の再製造、循環サービスソリューションの提供などを実施。最新の電池リサイクル工業団地では6千トンの廃バッテリーを処理。

## (参考) 各国の蓄電池に対する政策支援

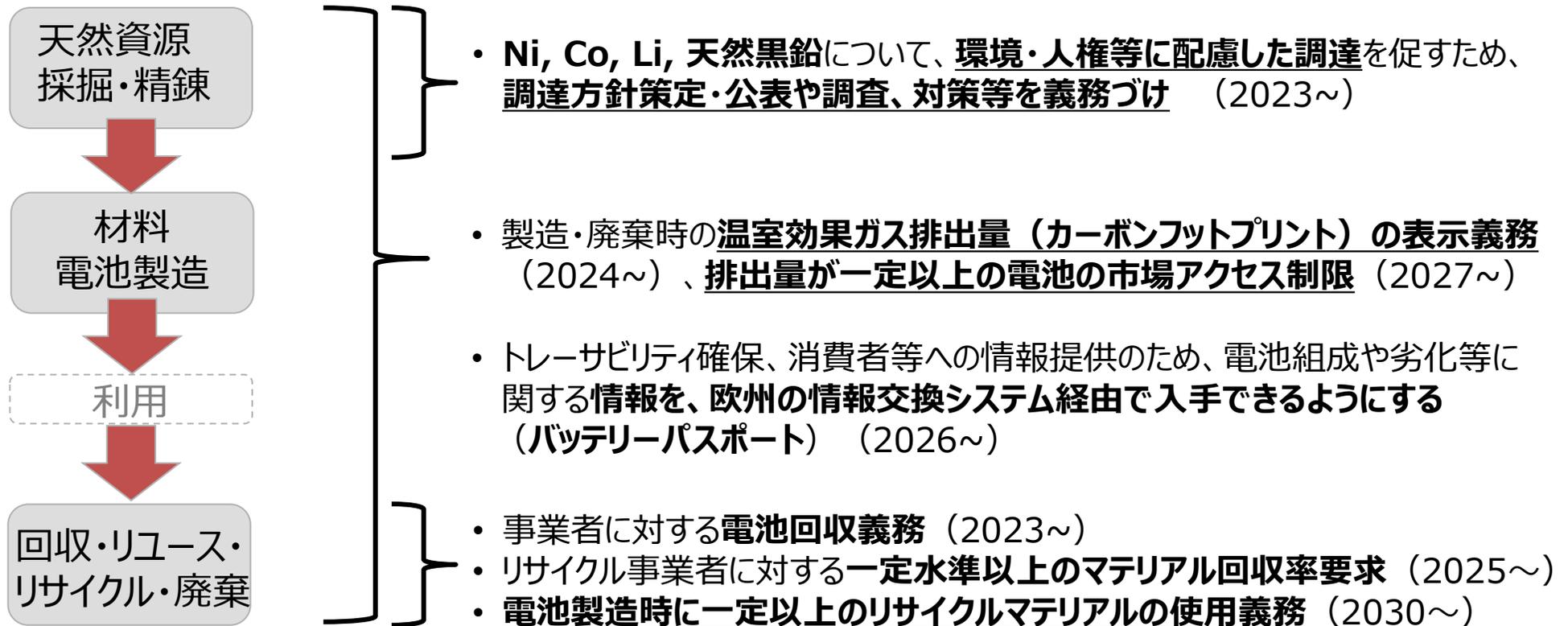
- 主要国において、蓄電池に対する大規模な政策支援を実施。加えて、欧州では規制措置によって、域内で持続可能なバッテリーバリューチェーンが構築されるような産業施策を志向。

国・地域	蓄電池・電動車関係
米国	<p>○100日レビュー（バッテリー）及びリチウム電池国家計画</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・供給途絶や重要技術の海外依存への直面への恐れ⇒国内SC確保（パートナー国との連携含む）、イノベーション力再結集</li> <li>・コバルト・ニッケルフリーの実現、2030年までの90%リサイクル達成の目標等</li> </ul> <p>○17兆円の「<u>米国製EV</u>」大規模支援。超党派インフラ法案（60億ドル（6,600億円）の電池・電池材料の製造・リサイクル支援含む）合意。</p>
欧州	<p>○域内におけるバリューチェーンの創出</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>－2017年10月に500社程度が参画する<u>EUバッテリーアライアンス（EBA）を設立</u>、ギガファクトリーの造成等</li> <li>－テスラやBMW等の電池・電池材料工場支援や研究開発支援（仏1200億円、独3700億円など、<u>計8000億円規模の補助金</u>）</li> </ul> <p>○新しい制度導入によるルールメイキング</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>－新バッテリー規則案による<u>カーボンフットプリント規制</u>、<u>責任ある材料調達</u>、<u>リサイクル材活用規制</u>等</li> </ul>
韓国	<p>○K-バッテリー発展戦略</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>－<u>税優遇等による投資の促進</u>：R&amp;D投資は最大50%の税額控除、施設投資は最大20%の税額控除</li> <li>－1兆5千億ウォン（約1,400億円）規模の「K-バッテリー優遇金融支援プログラム」</li> </ul>
中国	<p>○「<u>新エネルギー車（NEV）</u>」（約5,600億円）の補助金</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>－中国企業バッテリーのみを対象リストに指定（2019年6月に撤廃）</li> </ul> <p>○<u>バッテリー工場等への支援</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>－一定の基準を満たす企業について所得税率を軽減（25%→15%）</li> </ul>

# (参考) 欧州バッテリー規則案について

- 欧州は、2020年12月にバッテリー規則案を公表（現在欧州議会で審議中）。加盟国に強制適用される「規則」とするとともに、製造・廃棄時の温室効果ガス排出量による規制（カーボンフットプリント規制）、責任ある材料調達（デュー・ディリジェンス）、リサイクルに関する規制等を提案。電池の欧州域内生産・域内循環を誘導。

## 【主な規制案】



# (参考) カーボンニュートラル実現に向けたJOGMECのファイナンス支援の強化

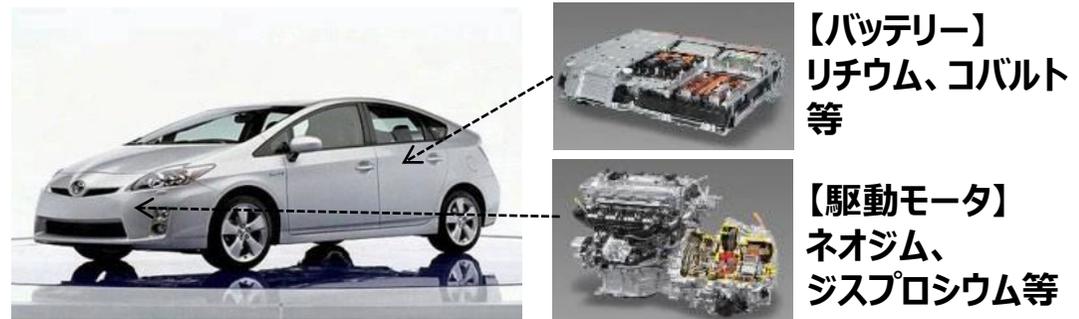
- エネルギー転換の進展に伴う電動車や再エネ発電等の普及により、特定の鉱種の需要増加が見込まれることを踏まえ、脱炭素社会に必要な鉱種や活動について、支援強化を検討する。
- カーボンニュートラル実現に向けて支援が必要な鉱種であって、供給リスクが高く、かつ需要が急増するものは、JOGMECによるリスクマネー支援を上積みする。

メニュー	現行条件
探鉱融資	融資割合 ベースメタル：70%上限 レアメタル・ウラン：80%上限
探鉱出資	出資割合：最大50% (R1補正予算：100%未満*) * 供給途絶が懸念される鉱種
海外開発債務保証	保証割合：90%上限 保証料：0.4～1.55% (保証人有の場合0.1%)
海外金属採掘等資金出資	出資割合：最大50% (H22、R1補正予算：100%未満*) * 供給途絶が懸念される鉱種

## 支援強化の方向性

- 運用等の見直しにより、JOGMECの出資割合等を変更
- 日本企業が関与する海外鉱山等事業における低炭素化のための取り組みも積極的に支援

## カーボンニュートラル実現に向けてJOGMECの支援が必要とされる鉱種（例）



# (参考) グリーンイノベーション基金事業における次世代蓄電池の開発

- 2050年カーボンニュートラルの実現に向け、NEDOに2兆円の基金（グリーンイノベーション基金）を造成し、野心的な目標にコミットする企業等に対して、10年間、研究開発・実証から社会実装までを継続支援。
- 次世代蓄電池の研究開発・社会実装に対しては、1,205億円を上限として拠出。

## 研究開発内容

### 【研究開発項目 1 - 1】

#### 高性能蓄電池・材料の研究開発

- 航続距離などに影響するエネルギー密度が現在の2倍以上（700~800Wh/L以上）の高容量系蓄電池（例：**全固体電池**）などの高性能蓄電池やその材料
- **コバルトや黒鉛などの使用量低減**を可能とする省資源材料
- 材料の**低炭素製造プロセス**などの開発を行い、自動車の電動化促進に貢献。



全固体電池



正極材

### 【研究開発項目 1 - 2】

#### 蓄電池のリサイクル関連技術開発

- リチウムイオン蓄電池から、**競争力のあるコスト、蓄電池材料として再利用可能な品質で、リチウム70%、ニッケル95%、コバルト95%を回収する技術**を確立。
- 急増する電池の資源リスクの低減、サステナビリティ向上に貢献。



電池の無害化  
処理工程



リサイクル工程

# (参考) 蓄電池の国内生産基盤確保のための先端生産

## 技術導入・開発促進事業 【令和3年度補正予算額：1,000億円】

製造産業局 自動車課  
素材産業課  
金属課  
商務情報政策局 電池産業室

### 事業概要

- 先端的な蓄電池・材料の生産技術、リサイクル技術を用いた大規模製造拠点を国内に立地する事業者に対し、そのために必要となる建物・設備への投資及びこうした生産技術等に関する研究開発に要する費用を補助。

### 補助要件

#### (1) 技術的先進性

- 先端的なリチウムイオン電池(エネルギー密度の向上等)
- 先端的なリチウムイオン電池の部材・材料
- 電池材料のリサイクル

#### (2) 大規模投資

#### (3) 設備の転用可能性

- 車載用電池の場合、定置用の生産にも転用可能な構造の設備とすること

#### (4) 国内サプライチェーン強靱化への寄与

- サプライチェーンリスクの軽減策の実施
- CO<sub>2</sub>排出低減・責任調達への対応
- サイバーセキュリティリスクへの対応 (BMS等)

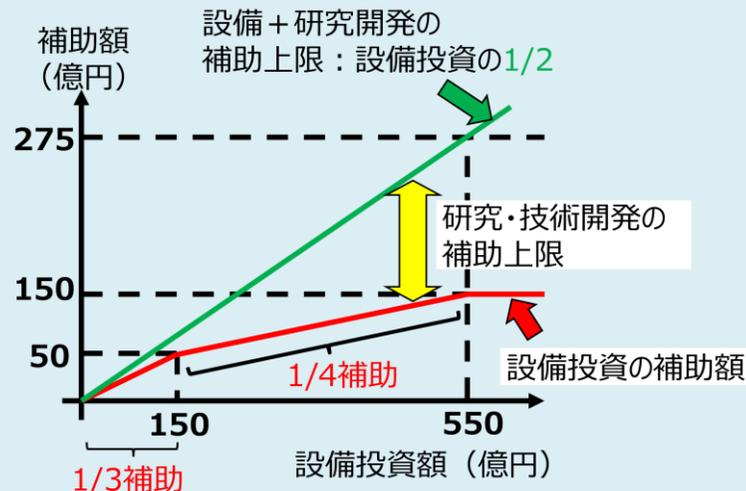
### 補助率・補助上限

#### (1) 設備投資

- 補助対象経費150億円までは、補助率 **1/3**
- 150億円を超える部分については、補助率 **1/4**
- 補助上限額 **150億円**

#### (2) 研究開発 補助率 **1/2**

※(1)による補助額との合額が、(1)の補助対象経費の1/2を超えない範囲



#### ■ 補助スキーム (事業期間：5年間)



#### ◆ お問い合わせについて

制度に関する情報は、QRコードからアクセスいただける経済産業省のホームページに順次掲載予定です。問合せ先に関する情報も掲載いたします。



# (参考) 再生可能エネルギー導入加速化に向けた系統用蓄電池等導入支援事業 令和3年度補正予算額 130.0億円

## 事業の内容

### 事業目的・概要

- 2050年のカーボンニュートラル達成のためには、再生可能エネルギー（以下再エネ）の導入をさらに加速化させる必要があります。
- 一方、太陽光・風力等の再エネは、天候や時間帯等の影響で発電量が大きく変動するため、大量導入が進むと電力系統の安定性に影響を及ぼす可能性があります。実際に北海道等の再エネ導入が先行する地域では、これらの変動に対応できる調整力等が不足しており、再エネ導入の律速になっています。
- そのため本事業では、電力系統に直接接続する大規模蓄電池（系統用蓄電池）等を導入する事業者等へ、その導入費用の一部を補助することで、再エネの大量導入に向けて必要な調整力等の確保を図ります。

### 成果目標

- 再エネポテンシャルを最大限発揮するための調整力等を確保し、2030年の再エネ比率目標36～38%の達成に貢献します。

### 条件（対象者、対象行為、補助率等）

補助(定額)

補助(1/2以内、1/3以内、2/3以内)

国

民間団体等

民間事業者等

## 事業イメージ

### 系統用蓄電池等の導入支援

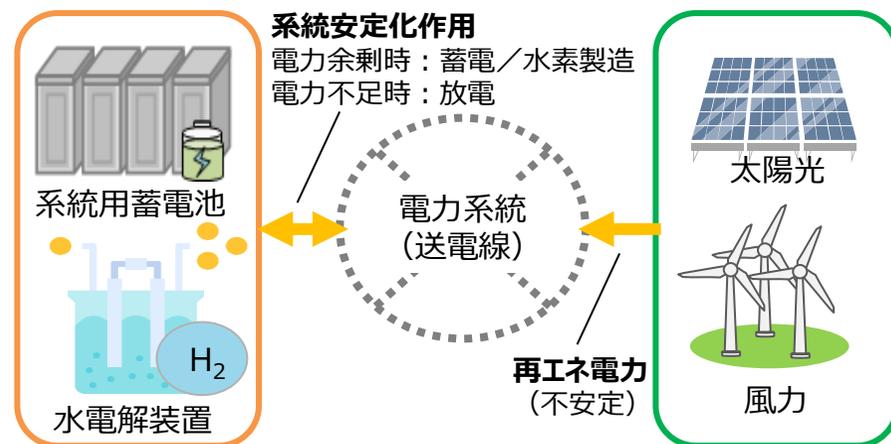
- 再エネの出力変動に対応できる調整力等の供出や再エネ余剰電力の吸収が可能な、蓄電池や水電解装置を導入する際にかかる費用の一部を支援します。

#### <蓄電池> 補助率：1/2以内又は1/3以内

- 充放電の応答速度が速く、優れた調整力の供出が可能
- 再エネの余剰電力の吸収（蓄電）も可能

#### <水電解装置> 補助率：2/3以内

- 出力制御により調整力の供出が可能
- 再エネの余剰電力の吸収（水素製造）が可能



# (参考) クリーンエネルギー自動車・インフラ導入促進補助金① 購入補助

【令和3年度補正予算額：375億円（うち購入補助250億円）】

- 「グリーン成長戦略」を着実に推進すべく、政府として踏み込んだ措置を行う。総額375億円のうち、購入補助には250億円を充てる。
- 補助上限額についても、大幅に引上げ（例：EVの場合、40万円⇒80万円と2倍に）

## 購入補助予算の概要

- 総額：250億円
- 対象：電気自動車（EV）  
プラグインハイブリッド車（PHEV）  
燃料電池自動車（FCV）
- 補助単価：上限額を大幅に引上げ（具体的には以下）

## 車別の補助額(例)

電気自動車  
(EV)



補助：40万円⇒**80万円**

軽EV



補助：約20万円⇒約**50万円**

プラグイン  
ハイブリッド車  
(PHEV)



補助：20万円⇒**50万円**

燃料電池車  
(FCV)



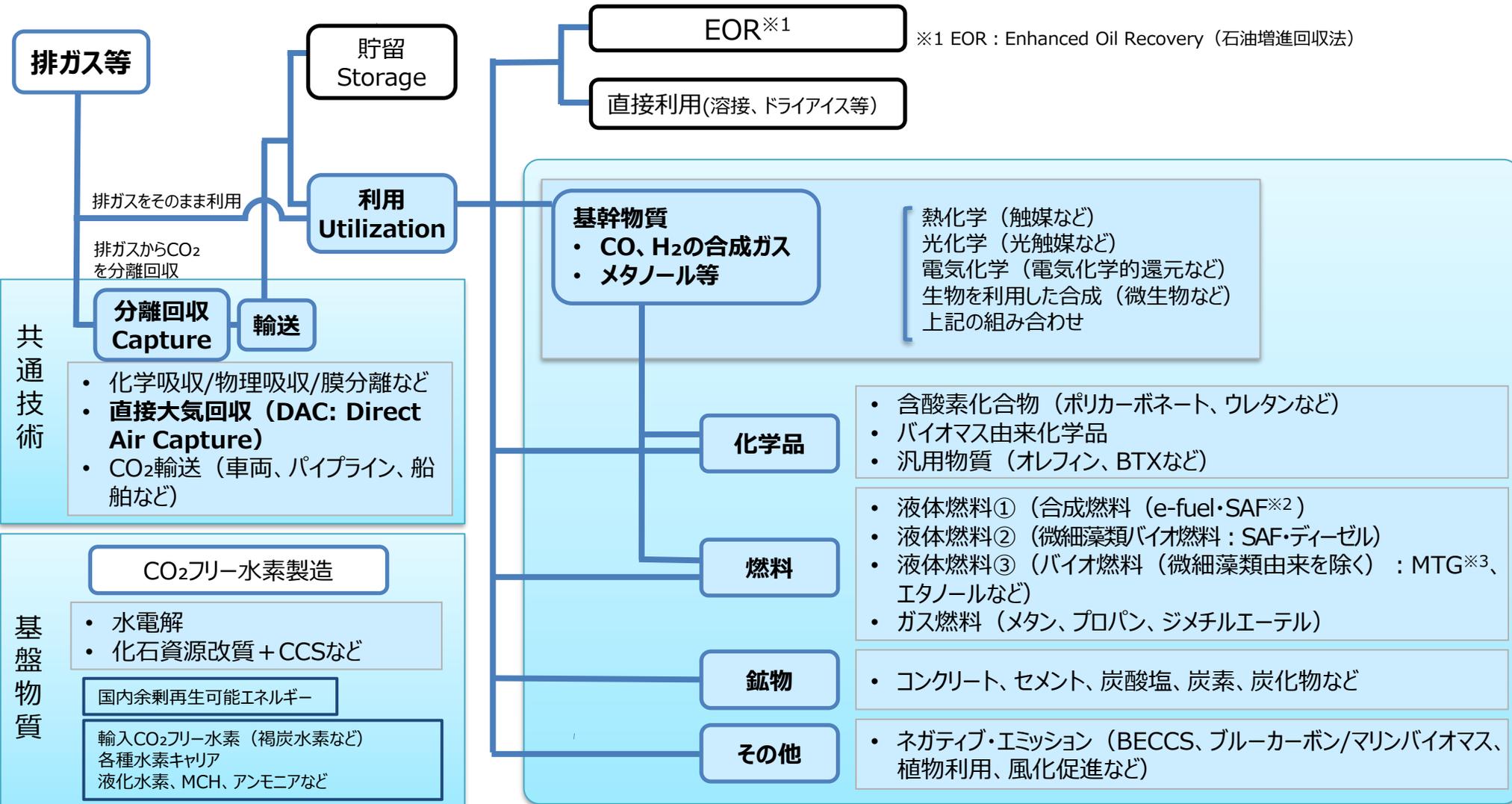
補助：115万円⇒**140万円**

車別	これまで	令和3年度補正	
	ベース	ベース	条件付き※
EV	40万円	60万円	<b>80万円</b>
軽EV	20万円	40万円	<b>50万円</b>
PHEV	20万円	40万円	<b>50万円</b>
FCV	225万円	225万円	<b>250万円</b>

※条件は、外部給電機能としてのV2X対応、1500W車載コンセント装備等

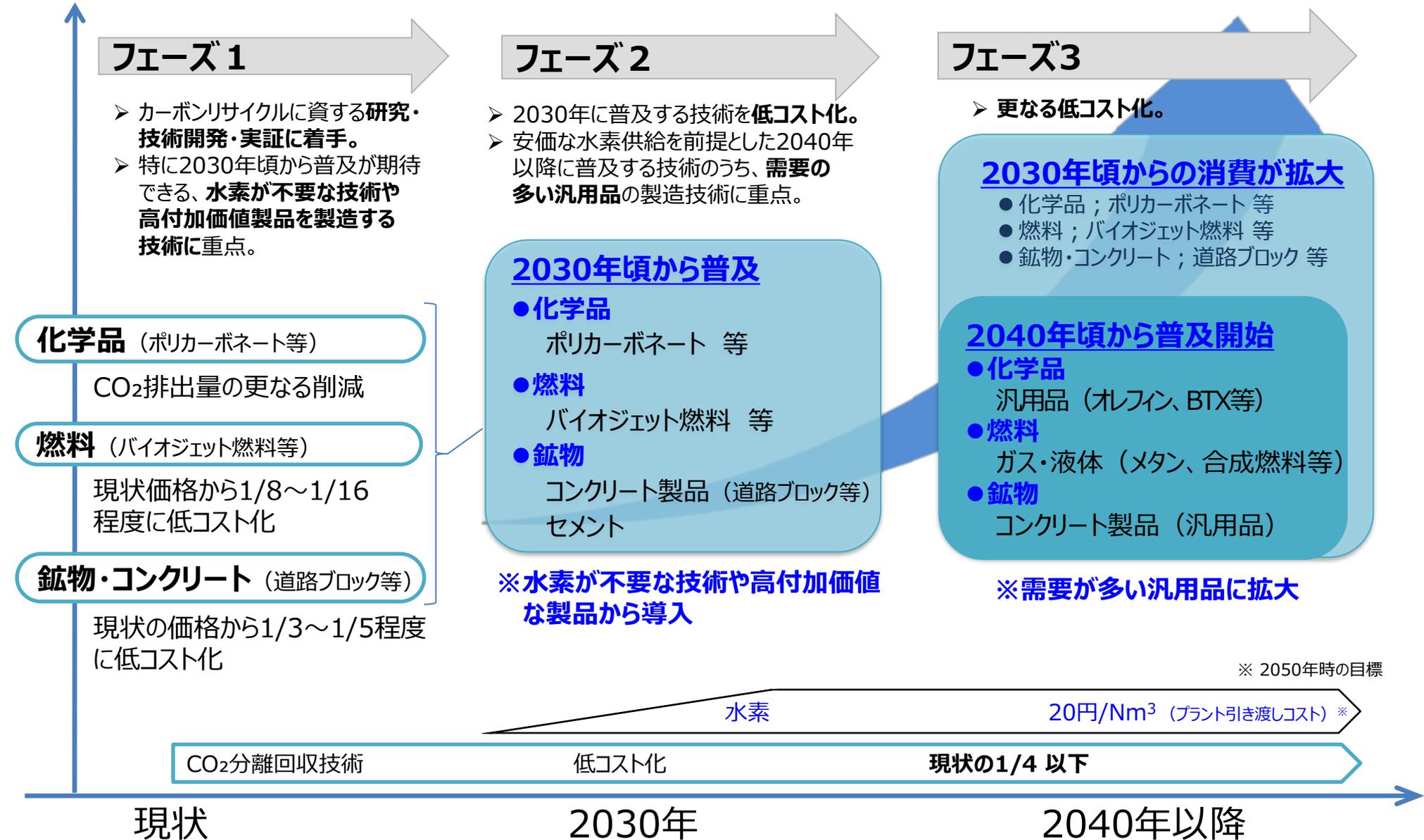
## (2) 各産業のGX戦略検討 ②カーボンリサイクル

- **カーボンリサイクル**：CO<sub>2</sub>を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化によりコンクリート等、人工光合成等により化学品、メタネーション等により燃料へ再利用し、大気中へのCO<sub>2</sub>排出を抑制。



# (参考) カーボンリサイクルを拡大していく絵姿 (技術ロードマップ)

CO<sub>2</sub>利用量



# GX分析 ②-1 CO<sub>2</sub>分離回収

## ● 現状のビジネス環境

- 市場規模については、2030年に約6兆円、2050年に約10兆円まで拡大し、国内のみでも約4,000億円に達する見込み。
- 競争状況については、天然ガス随伴ガスやリフォーマーなど高濃度排ガス用市場では海外メーカーが先行するが、比較的低濃度の石炭火力排ガス用市場では、日系メーカーが世界トップシェアを獲得。

## ● カーボンニュートラルが産業や社会に与える影響

- カーボンニュートラルの流れの中で、CO<sub>2</sub>のバリューチェーン（CO<sub>2</sub>排出～固定）上流では、石炭・石油火力排ガス用需要が減る一方、「EUタクソミー」ドラフトにおいて実質的に何らかの排出削減措置が取られる場合に限り天然ガス火力発電所を「持続可能な投資」として分類されたことやアジアでの天然ガス火力発電の需要増見込みなどにより、各国がより低濃度な排ガス用の分離回収に向け技術開発を加速。
- 下流では、地下貯留処理やEORに加え、合成燃料やコンクリート・セメント等用途の多様化に向けた開発競争が激化。

## ● 海外プレイヤーの動向

- 欧州、米国、中国等では、天然ガス精製、火力発電所、セメント、鉄鋼などの産業分野の排ガスを対象として、CO<sub>2</sub>分離回収の大規模実証計画が進展。
- 各国政府による政策競争も加速。米国は2008年より税額控除措置により社会実装を進めてきたほか、DOEが天然ガス火力・工場向けを含むCCUSの研究開発に対し毎年2億ドル前後を支出。英国は最大1,500億円程度を投資しCCUSを支援。中国も第14次5カ年計画等でCCUSを重要技術として掲げ、その大規模実証を実施する旨を提言。
- 投資家・需要家の動きも加速。米Breakthrough Energyは、産業・運輸部門等の事業会社を巻き込み、上流では天然ガス火力排ガスの約100分の1のCO<sub>2</sub>濃度である大気中からのCO<sub>2</sub>回収技術(DAC)・下流ではSAF等の研究開発やスタートアップなどに対し、初期需要コミットを含む投資を拡大。

# 課題と打ち手の例 ②-1 CO<sub>2</sub>分離回収

## 【技術レイヤー】

- 今後急拡大が見込まれる低濃度排ガスや大気からのCO<sub>2</sub>回収需要について、回収に要するエネルギーや設備コストの低減・排出源の多様化を如何に達成するか。  
→グリーンイノベーション基金を活用し、天然ガス火力発電や工場等多様な排出源について、低コストな分離回収技術を開発。  
※目標：2030年に2,000円台/t-CO<sub>2</sub>。なお、現状は米Petra Nova石炭火力発電所で6,000円台。

## 【ビジネスレイヤー】

- 今後急拡大が見込まれる市場において日本企業がシェアを維持・拡大するために、どのような対応が必要か。また、技術開発の進展によって将来的にはCO<sub>2</sub>分離回収ビジネスが価格競争に陥る可能性に鑑み、どのような対応が必要か。  
→自前完結型のみならずライセンス型も視野にビジネスモデルの変革を促し、国内外での機動的な事業拡大を図る。  
また、新たな分離回収技術の早期商用化に向けて、初期需要の創出を図る。  
→デジタル技術の普及やサプライチェーン全体でのCO<sub>2</sub>排出削減圧力拡大等を踏まえ、回収設備だけを売るのではなく、コンビナート等の地域レベルで多数のCO<sub>2</sub>排出者とCO<sub>2</sub>利用者の間の需給バランスをデジタル管理するシステムとセットで最適な回収設備を売るビジネスモデル（サービス化）へのシフト等を促し、CO<sub>2</sub>分離回収ビジネスの高付加価値化、産業横断的なレイヤー化を図る。

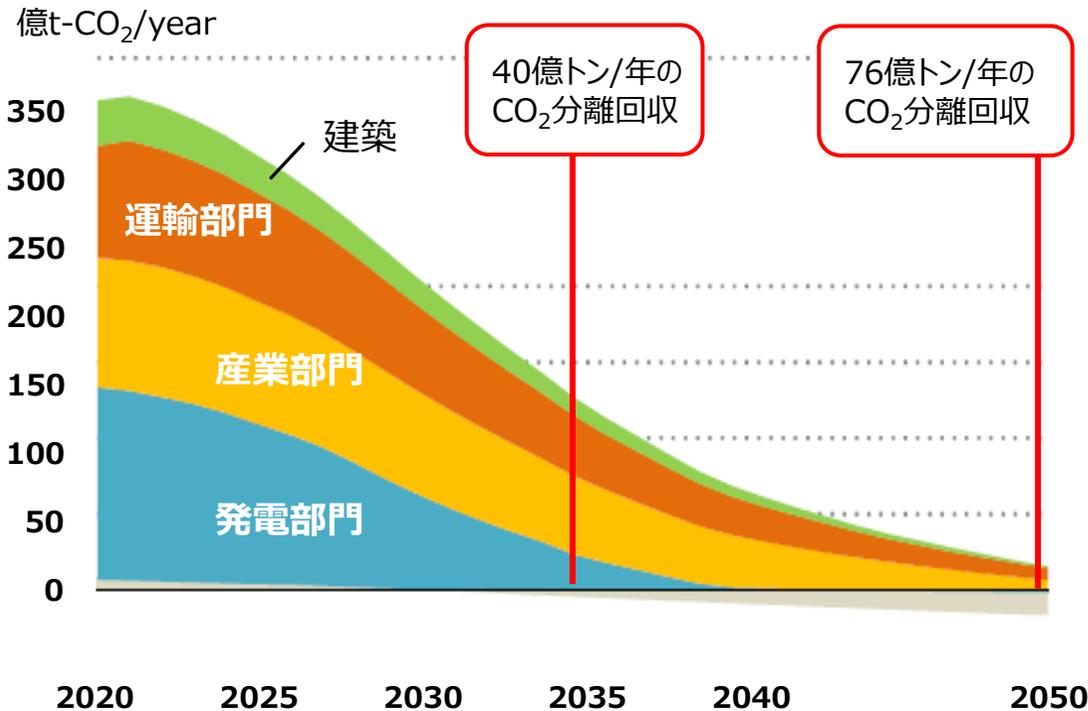
## 【マーケットレイヤー】

- バリューチェーンの上流（素材メーカー）と下流（プラントメーカー）で共通の性能評価が行えず、手戻りが発生する可能性があるが、どのような取組が必要か。また、今後急拡大が見込まれるアジア新興国等海外市場の獲得に向けて、どのような取組が必要か。  
→グリーンイノベーション基金を活用し、分離回収素材の実ガスを用いたCO<sub>2</sub>回収量や耐久性の性能評価手法を開発し、国際標準化を図る。また、AETI等の枠組みを活用し、LNG火力とともに回収技術の売り出しを行うほか、CO<sub>2</sub>排出削減寄与度の帰属やカーボンプライシングなど社会実装に不可欠なルール形成に取り組む。カーボンリサイクルの原材料として炭素の必要性が高まる中、排ガス由来のCO<sub>2</sub>の分離回収技術がCNに向けて不可欠であり、大気由来のCO<sub>2</sub>と同様に重要との位置づけを明確化する。

# (参考) IEAネットゼロシナリオにおけるCO<sub>2</sub>分離回収技術の位置づけ

- IEAの2050年ネットゼロエミッションシナリオ (NZE) においては2035年に40億トン、2050年に76億トンのCO<sub>2</sub>分離回収が予想されている。
- バイオ燃料由来CO<sub>2</sub>回収、大気中CO<sub>2</sub>回収(DAC)も増加するが、2050年断面でも化石燃料由来CO<sub>2</sub>の回収が大部分を占める。

## ネットゼロエミッションシナリオにおける世界のCO<sub>2</sub>排出量



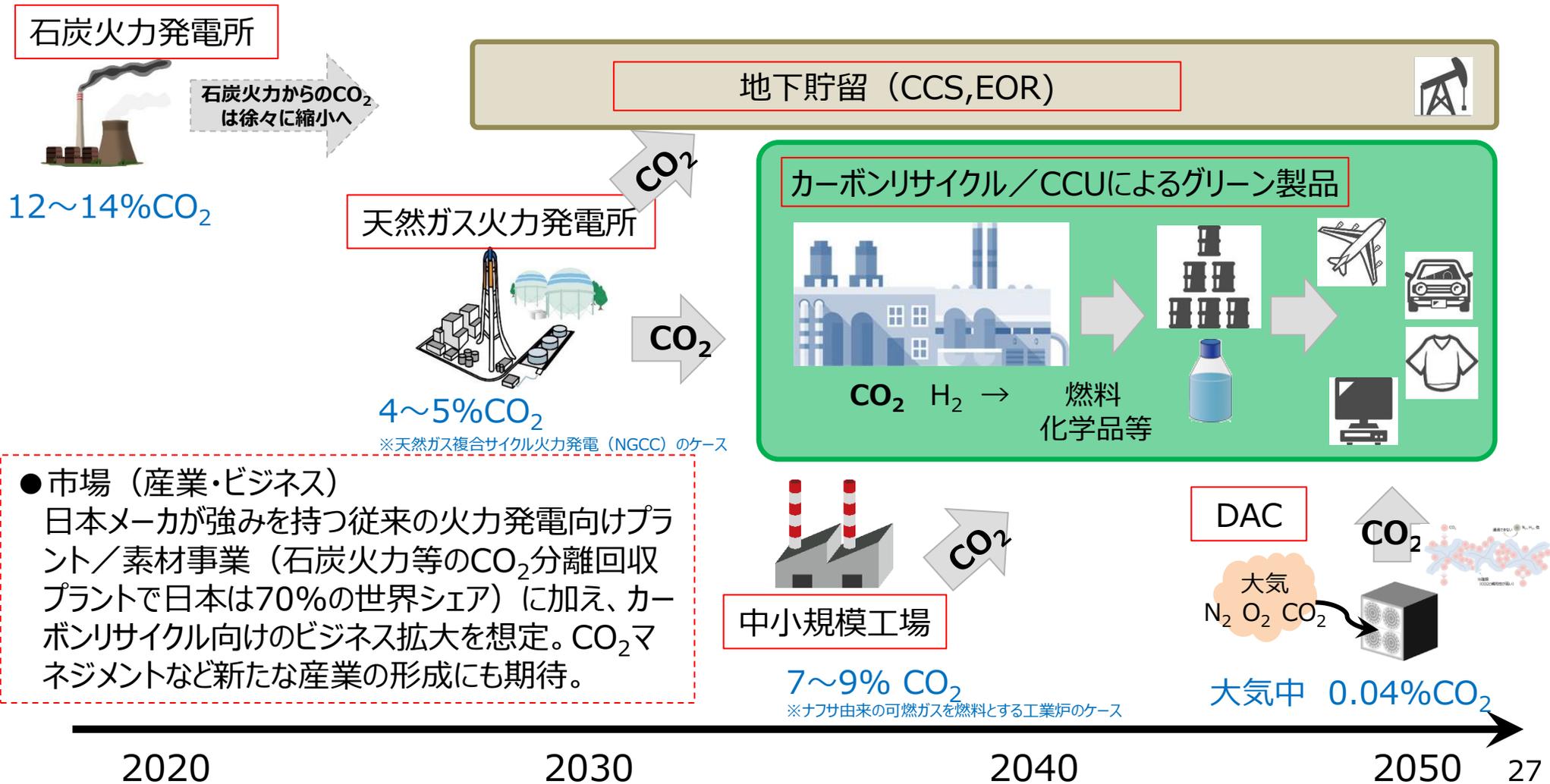
## 各産業分野毎のCO<sub>2</sub>分離回収のマイルストーン

単位：Mt-CO<sub>2</sub>/year

CO <sub>2</sub> 排出分野		2020	2030	2050
化石燃料	火力	3	340	860
	産業	3	360	2620
	水素製造	3	455	1355
	非バイオ燃料製造	30	170	410
バイオ燃料	火力	1	90	570
	産業	0	15	180
	バイオ燃料製造	0	150	625
DAC		0	70	630

# (参考) CO<sub>2</sub>分離回収技術の社会実装シナリオ

- 低濃度CO<sub>2</sub>排ガス（石炭→ガス）からのCO<sub>2</sub>分離回収、及び、長期的には大気からのCO<sub>2</sub>分離回収（DAC）が牽引することで、CO<sub>2</sub>分離回収の社会実装が拡大。
- CO<sub>2</sub>は地下貯留処理(EOR含む)に加え、長期的に、カーボンリサイクル原料としての用途が拡大。



# (参考) 各国のCN政策におけるCO<sub>2</sub>分離回収の位置づけ

- 先進国のカーボンニュートラル政策において、カーボンリサイクル技術、CO<sub>2</sub>の分離回収技術は重要技術として位置づけられ、意欲的なマイルストーンが設定されている。

## 2030目標

## カーボンニュートラル 目標

## CO<sub>2</sub>分離回収に関連した政策等

日本

▲46%  
2013年比  
<NDC再提出(2021年10月)>

2050年  
カーボンニュートラル  
<総理所信演説(2020年10月)>

ネガティブエミッション、及びカーボンリサイクルで必要なCO<sub>2</sub>源を確保するため、CO<sub>2</sub>分離回収技術の開発・実証が不可欠。今後、高効率なCO<sub>2</sub>分離回収技術を開発し、低コスト化と、用途へ拡大を実現し、**2050年に、世界の分離回収市場のうち3割のシェア確保を目指す。**  
<グリーン成長戦略(2021年6月)>

アメリカ

2025年  
▲50-52%  
2005年比  
<NDC再提出(2021年4月)>

2050年  
カーボンニュートラル  
<2020年7月バイデン氏の公約>

天然ガス発電および産業部門の脱炭素化技術を加速するためにDOEが開発支援。2030年までに商業展開することを目標として、発電および産業用アプリケーションの炭素回収および貯留に焦点として開発支援。また2008年より**EORとCO<sub>2</sub>貯留を対象とした税額控除制度も整備。**  
<<https://www.energy.gov/fe/articles/doe-announces-75-million-accelerate-technologies-decarbonization-natural-gas-power-and>>

EU

▲55%  
1990年比  
<NDC再提出(2020年12月)>

2050年  
カーボンニュートラル  
<長期戦略提出(2020年3月)>

**欧州グリーンディール**において、脱炭素が困難な経済分野における、水素などの再生可能燃料・低炭素燃料の利用促進が謳われており、この中で**炭素回収・利用の推進、低炭素燃料の定義の明確化、クリーン燃料の利用促進**が明記されている。  
<The European Green Deal (2019年12月)>

英国

▲68%  
1990年比  
<NDC再提出(2020年12月)>

2050年  
カーボンニュートラル  
<長期戦略提出(2020年12月)>

2030年までに最大10億ポンドを投資して、4つの産業クラスターでのCCUSの設立を支援。北東部、ハンバー、北西部、スコットランド、ウェールズなどの地域に「スーパープレイス」を建設して、**2030年までに年間最大1,000万トンのCO<sub>2</sub>を回収。**  
<グリーン産業革命のための10ポイント計画(2020年11月)>

# (参考) 海外のCO<sub>2</sub>分離回収プロジェクト

- 天然ガス精製、火力発電所、セメント、鉄鋼などの産業分野の排ガスを対象として、CO<sub>2</sub>分離回収の大規模実証プロジェクトが、欧州、米国、中国等で実施計画中。
- 米国が2008年にEORとCO<sub>2</sub>貯留(CCS)を対象にした創設した税額控除制度は、事業の採算性を向上させてCO<sub>2</sub>分離回収技術の実装とCCUS 促進に向けた大きな駆動力となっている。

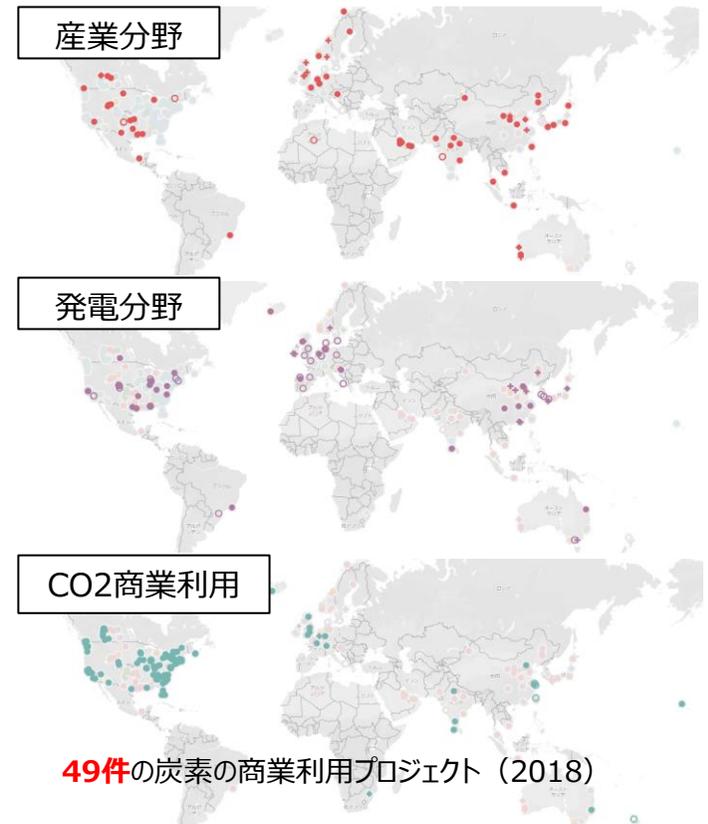
## 現在**操業中**の海外のCO<sub>2</sub>分離回収プロジェクト例

プロジェクト (国)	CO <sub>2</sub> 排出源	操業開始	用途	回収能力
SHUTE CREEK 	天然ガス精製	1986	EOR	700万トン/年
COFFEYVILLE 	肥料製造	2013	EOR	100万トン/年
UTHMANIYAH 	天然ガス精製	2015	EOR	80万トン/年
PETRA NOVA 	火力発電	2017	EOR	140万トン/年
GORGON 	天然ガス精製	2019	CCS	340万トン/年

## 現在**建設・計画段階**の海外のCO<sub>2</sub>分離回収プロジェクト例

プロジェクト (国)	CO <sub>2</sub> 排出源	操業予定	用途	回収能力
YANCHANG 	化学品製造	2021	EOR	41万トン/年
MAGNUM 	火力発電	2024	CCS	200万トン/年
CLEAN GAS PJ 	火力発電	2024	CCS	170万トン/年
DRY FORK 	火力発電	2025	CCS	300万トン/年
NORTHERN GAS 	水素製造	2026	CCS	150万トン/年

## 世界のCO<sub>2</sub>分離回収実施状況 (計画含)



## (参考) CO<sub>2</sub>分離回収需要を左右し得る諸外国の政策動向

- CO<sub>2</sub>分離回収事業の世界展開に向けては、海外における国家、連邦等の様々なレベルでの様々な動きによる影響（機会とリスク）を見極めることが重要。従って、必要に応じ、研究開発の方向性の見直しにも遅滞なく適切に取り組むことが重要。

### 海外動向例：欧州での天然ガス火力の扱い

- 欧州委員会は、EUタクソミーに関し、EU加盟国からの専門家や欧州議会等からの意見聴取を経て、2022年2月2日付で原子力および天然ガスの取扱いに関する補完的委任規則のドラフトを承認。今後、加盟国や議会等との議論を経て、4～6ヶ月以内に理事会・議会で可決される見込み。
- 天然ガス火力に対しては、(1)100 g CO<sub>2</sub>/kWh未満のもの、又は、(2)2030年までに建設許可を得たものであれば、①270gCO<sub>2</sub>/kWh未満であるもの、又は、②20年以上の年間平均排出量が550kgCO<sub>2</sub>/kW未満のものがグリーンと認定された(\*)。
- **このルールが成立すれば、天然ガス火力にCO<sub>2</sub>回収システム等の何らかの排出削減措置を施す必要があることを意味する。現時点での技術を前提とすると極めて厳しい水準がゆえに、今後天然ガス火力に対するCCSの事業機会が見込まれる。**

(\*)これに加えて、既存の高排出な火力発電所の立て替えに限定する等、複数の条件も付帯されている。

### 海外動向例：ドイツでのCCSの扱い

- ドイツでは、CCSは貯留量が4Mtpa CO<sub>2</sub>に制限される上、さらには連邦の5つの州ではCCSが禁止されており、これまでCCSに対して消極的であるとみなされてきた。
- 一方、2019年12月に欧州委員会に提出した「Climate Action Plan」では、これまでCCSに反対してきたドイツ市民への配慮を見せた上で、産業のイノベーションと脱炭素化に関連し、CCS、CCUSへの取組みに前向きな姿勢を見せている。
- **ドイツでの事業展開においては、こうしたCCS、CCUSの動向に注視が必要。**  
(日本の取組は次項参照)

## (参考) 我が国CO<sub>2</sub>分離回収産業の全体像

- CO<sub>2</sub>分離回収が設備・素材ビジネスからカーボンリサイクルビジネスへ拡大するにおいてマネタイズの対象も拡大。スタートアップの参画も期待される。共通する産業競争力の源泉は、CO<sub>2</sub>分離回収コストの低減にある。

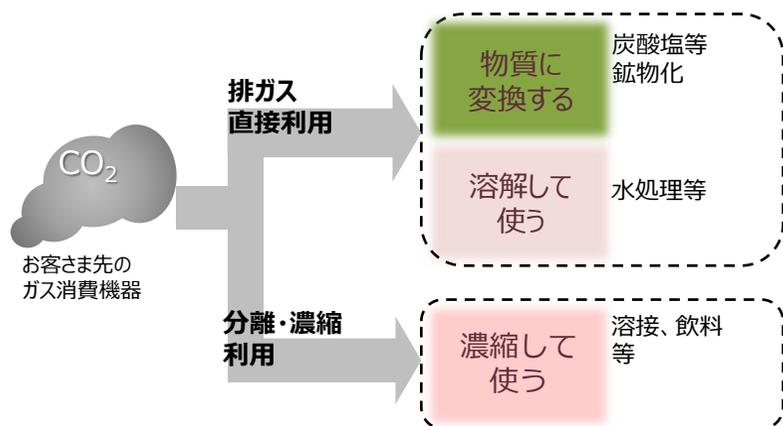
	設備/素材/エンジニアリングビジネス	カーボンリサイクルビジネス
主たる担い手 (想定)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①分離素材メーカー(スタートアップ参画も期待)</li> <li>②プラント設備メーカー</li> <li>③エンジニアリングメーカー(EPC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①化学メーカー (→化学品等) 石油精製事業者 (→液体燃料等) ガス事業者 (→合成メタン等)</li> <li>②カーボンマネジメントサービス事業者 (スタートアップ参画も期待)</li> </ul>
ビジネスモデル (マネタイズ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①CO<sub>2</sub>分離素材販売 (吸収材、吸着材、分離膜)</li> <li>②CO<sub>2</sub>分離回収設備販売</li> <li>③CO<sub>2</sub>分離プラント販売、O&amp;M</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①カーボンリサイクル製品販売</li> <li>②カーボンマネジメントサービス (客先のCO<sub>2</sub>を回収・処理するサービス)</li> </ul>
将来を見据えた産業競争力の源泉	<p>低コスト、低エネルギーなCO<sub>2</sub>回収実現 (革新的なCO<sub>2</sub>分離素材/プロセスに基づくCO<sub>2</sub>分離回収コストの低減)</p>	<p>カーボンリサイクル製品のコストダウン</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-安価なCO<sub>2</sub>回収 (CO<sub>2</sub>分離回収コストの低減)</li> <li>-カーボンリサイクル製品製造コストの低減 (革新的製造プロセス、安価なH<sub>2</sub>入手など世界を見渡したサプライチェーン構築)</li> </ul>

# (参考) カーボンマネジメントの構想例

- 都市ガス供給事業者が需要家排出のCO<sub>2</sub>を分離回収・活用するサービスや、製造業において工場でのカーボンニュートラル化をサプライチェーン全体に展開・支援する構想が検討されている。

## 都市ガス需要家先でのカーボンリサイクル

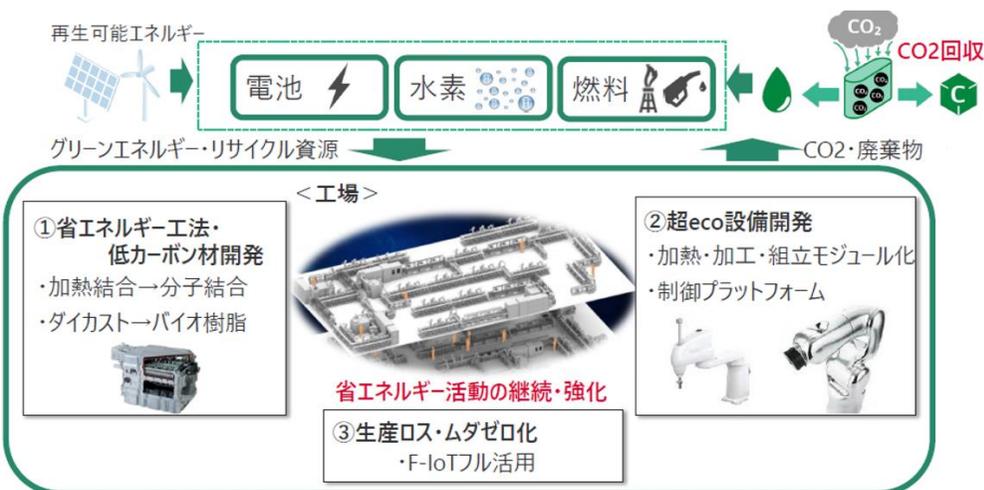
- 都市ガス需要家先で排出されるCO<sub>2</sub>を回収し、活用する技術開発、サービス化を加速。
- 需要家との共同実証を経て、2023年度のサービス化を目指す。



出典：東京ガス社長会見（11/30）資料より抜粋

## 工場でのカーボンリサイクル

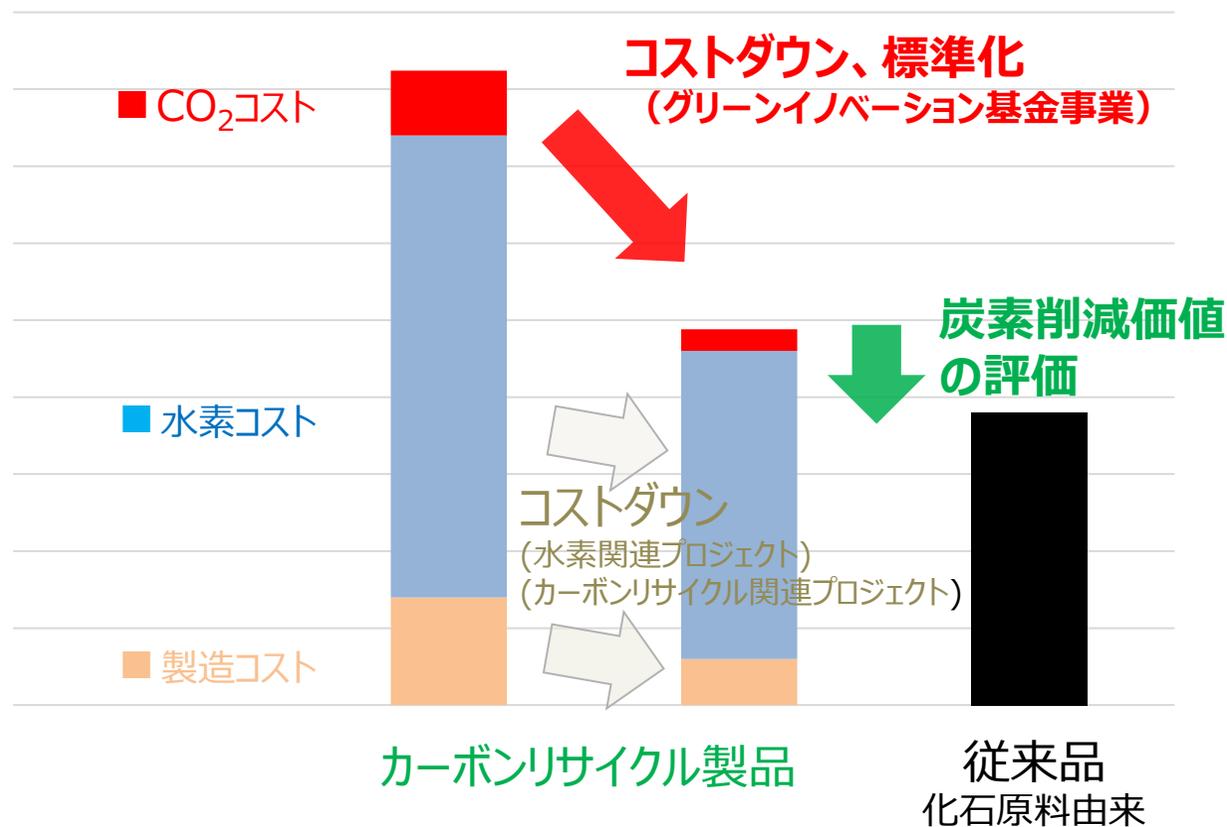
- カーボンニュートラル工場構想を発表。工場から出るCO<sub>2</sub>を含めてリサイクルし、カーボンニュートラルモノづくりを実践。
- サプライチェーン全体のカーボンニュートラルに向け展開・支援。



出典：「DENSO DIALOG DAY 2021」説明資料より抜粋

# (参考) CO<sub>2</sub>分離回収の産業化に向けた政策支援の全体像

- カーボンリサイクル製品のコスト低減には、CO<sub>2</sub>分離回収のコストダウンに加え、水素コスト、変換コストのコストダウンが必要であり、それぞれを基金で支援。従来製品（化石原料由来）との間に価格差が残る場合には炭素削減価値の評価により製品普及を図る。



カーボンリサイクル製品のコストブレイクダウンと政策支援イメージ

# (参考) グリーンイノベーション基金事業におけるCO<sub>2</sub>分離回収等の技術開発

- 分離素材の革新などを含むCO<sub>2</sub>分離回収技術の開発とCO<sub>2</sub>の分離回収評価項目の標準化に取り組み、さらに、これらの成果を活用して、10%以下のCO<sub>2</sub>排出濃度の主たる排出源を想定した、技術実証を行い、分離回収の低コスト化を目指す。その際、確立された技術を利用し、回収されたCO<sub>2</sub>を用いて化学品や燃料等を製造することも求める（化学品や燃料等の製造技術開発は本プロジェクトには含めない）。

## ① 天然ガス火力発電排ガスからの大規模CO<sub>2</sub>分離回収技術開発・実証（委託→2/3補助）

天然ガス火力発電排ガスにおけるCO<sub>2</sub>分離回収コストの低減には、(i)運転費用(OPEX)と(ii)設備費用(CAPEX)の両面の検討が必要であり、CO<sub>2</sub>分離回収消費エネルギーの低減、設備設計・プロセスの最適化やモジュール化等による設備コスト低減が有効。こうした課題に応じた最適なCO<sub>2</sub>分離回収技術を選択の上、要素技術開発と10t/dを超える規模での実ガス実証を行う。

## ② 工場排ガス等からの中小規模CO<sub>2</sub>分離回収技術開発・実証（委託→2/3補助）

工場等においては、様々な場所でのCO<sub>2</sub>分離回収が想定されるため、小型化、廃熱・冷熱利用、負荷変動対応、水分・夾雑物の分離等の多様な課題に対応することが必要。複数の利用シーンを想定し、こうした課題に応じた最適なCO<sub>2</sub>分離回収技術（及びその組み合わせ）を選択の上、要素技術開発と0.5t/dを超える規模での実ガス実証を行う。

## ③ CO<sub>2</sub>分離素材の標準評価技術基盤の確立（委託）

CO<sub>2</sub>分離回収技術の開発を加速化するため、実ガスを用いた統一的な性能評価技術を確立する。具体的には、CO<sub>2</sub>の分離回収量や耐久性にかかる性能評価手法を開発し、これを国際標準化する。

# GX分析 ②-2 コンクリート・セメント

## ● 現状のビジネス環境

- 2020年のコンクリートの市場規模は、日本は24億ドル、アジア（中・印・尼）は132億ドル、北米は98億ドル。セメントの世界需要は2018年度で約40億トン、うち中国が22億トン、日本は0.4億トン。
- 生産量は、2050年に向けて日本では漸減する一方、世界ではアジアを中心に12～23%増加する見込み（2014年比）。
- コンクリート市場は、従来のコスト重視・地産地消の要素に加え、「CO<sub>2</sub>排出削減・有効利用」も付加価値となりつつあり、各国企業の開発・実証が加速。セメント市場は世界的にもCO<sub>2</sub>削減技術の開発とともに、アジアを中心とする成長市場の取り込みを進めている。

## ● カーボンニュートラルが産業や社会に与える影響

- 「CO<sub>2</sub>排出削減・有効利用」(カーボンネガティブ技術含む)を新たな付加価値とした製品の社会実装、及びライセンスビジネス等による国際的な事業展開を支援する必要。
- 社会実装に向けては、①長期間の使用を想定した安全性、耐久性、維持管理性の確保を前提として、②コスト、③安定供給や工程への影響等について競争力を有することが主な課題。

## ● 海外プレイヤーの動向

- 欧米スタートアップを中心とした海外企業が、「CO<sub>2</sub>排出削減・有効利用」を付加価値としたライセンスビジネスを展開。同分野の市場規模は、2030年時点で約15～40兆円に達すると予測。
- 特に、米国ではDOEがCCU分野で毎年1000万ドル規模を投資。さらに、DOE/ARPA-Eはスタートアップにも積極的に支援するとともに、技術開発後の民間資金活用、事業連携も支援。（※DOE:エネルギー省、ARPA-E:エネルギー高等研究計画局）
- また中国でも、2021年にCCUSの基準体系の構築に向けたCCUS標準化作業部会が発足。その上で、第14次5か年計画及び2035年長期ビジョンにおいて、CCUS等のモデル事業を実施し、グリーン発展に関する法的、政策的補償を強化する方針を発表。
- 海外セメントメーカーでは、セメント産業のネットゼロ達成にCCUSを位置付けしている。

## 課題と打ち手の例 ②-2 コンクリート・セメント

### 【技術レイヤー・ビジネスレイヤー】

- 国内企業が実用化したCO<sub>2</sub>吸収型コンクリートについて、CO<sub>2</sub>の吸収・固定量はトップクラス（100kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>）である一方、海外勢がCO<sub>2</sub>削減に加え、追加メリット（硬化時間短縮等）で低コスト化し需要者に訴求している状況も踏まえ、今後、①コストの低減、②販路拡大に向けてどのような対策が必要か。

→グリーンイノベーション基金を活用し、現行技術で実装できる製品群で使用実績を積み、技術を改良して追加メリット（硬化時間の短縮、水使用量の削減等）を獲得することで、コスト低減を進める。また、防錆性能に係る技術開発を実施することで用途拡大を進める。

- セメントでは、石灰石から生じるプロセス由来CO<sub>2</sub>対策として、間接加熱方式（LEILAC）等といった海外での検討も進められているが、大型化を伴う全面的な改造や、多大なエネルギーコストが課題。また、国内セメント産業では原料に廃棄物を多く使用（セメント1トン中約500kg程度が廃棄物）しており、廃棄物利用技術の活用といった国内産業の特長や、回収CO<sub>2</sub>の利用を考慮した対策が必要。

→グリーンイノベーション基金を活用し、既存のNSPキルンのレトロフィットを念頭におきつつ、CO<sub>2</sub>が排出されるプレヒーターの改造を図る。NSPキルンが有するエネルギー効率性の維持、設備設置コストを最小限にすることで、低コストによるCN対策技術を確立する。廃棄物と回収CO<sub>2</sub>を用いて炭酸塩化し、カーボンリサイクルセメントを開発することで、石灰石の使用量削減、CO<sub>2</sub>の利用拡大を図る。

# 課題と打ち手の例 ② – 1 コンクリート・セメント

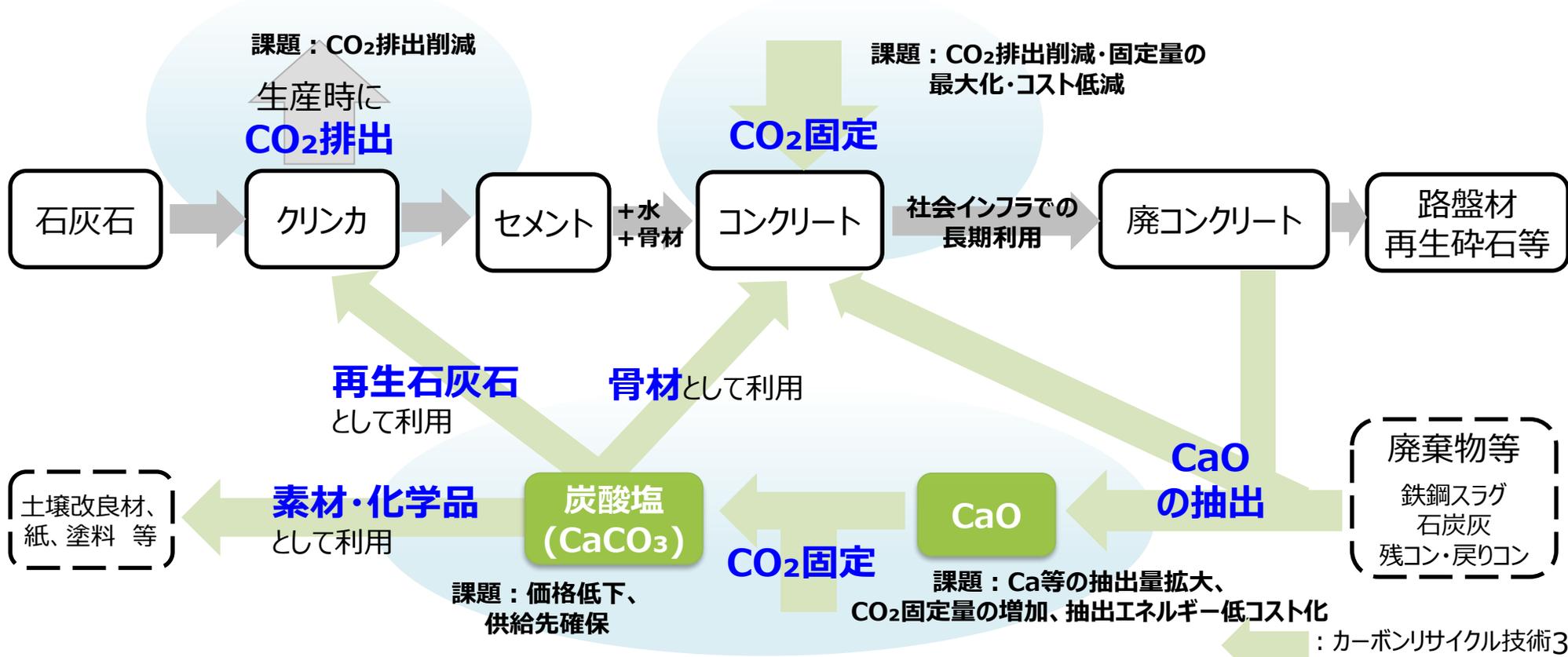
## 【マーケットレイヤー】

- 市場規模・価格水準を踏まえ、価格競争力が課題となるアジアではなく、当面は国内及び北米を有力市場と想定した場合、当該市場で国内企業が優位性を確保するためにはどのような対策が必要か。
  - 知財取得を進めるとともに、「CO<sub>2</sub>排出削減効果」と「追加メリット（工程短縮等）」を付加価値としてライセンス事業を通じた国内外への販路拡大を推進。
  - 海外については、LCA検証を通じた国際標準化に加え、主要メーカー等との提携による市場シェア獲得を追求。国内については、CO<sub>2</sub>固定量等のデータ取得による標準化を進め、需要家による調達を促すとともに、将来的な公共調達に向けて、国交省・地方自治体・関係学会等と連携。また、それら国内/国際標準を通じて、製品特性を踏まえた付加価値を明確化し、関連学会のガイドラインや指針類への反映を追求。
  - 需要側の導入インセンティブを高めるため、IPCC温室効果ガス排出インベントリへの登録や、カーボネクスト制度での活用を検討。
- 国内セメント需要は漸減傾向だが、アジアを中心にマーケットは増加する見込み。アジアを中心とする海外需要を獲得するためにはどのような対策が必要か。
  - グリーンイノベーション基金事業による国内での運用データの蓄積を図り、レトロフィットの容易性など技術優位性を確認しつつ、国内外プラントメーカーと連携し、環境規制が厳しい欧州や既に資本提携が進むアジア等にライセンスビジネスを展開。また、廃コンクリート等を原料としたカーボンリサイクルセメントは社会課題の解決に貢献する技術であり、国際／国内標準化や運用ガイドラインの作成等を通じて付加価値の向上を図り、アジア等といった海外市場への普及を促す。

# (参考) カーボンリサイクル技術 (コンクリート・セメント分野) の特徴

- コンクリート・セメント分野は、日米欧を中心に、スタートアップを含めて研究開発・実証が本格化。
- 技術領域としては、多様なカルシウム等含有廃棄物から、効果的にカルシウム等を抽出・再利用し、CO<sub>2</sub>をコンクリート・セメント生成物等に取り込み活用する技術をはじめ、多岐に亘る。
- CO<sub>2</sub>排出削減・固定量の最大化、コスト低減、セメント生産工程におけるCO<sub>2</sub>排出削減等を実現し、多様な技術を組み合わせて持続的な資源循環システムを確立することが必要。

## コンクリート・セメントの全体像



(参考) グリーンイノベーション基金：(国費負担額：上限359.4億円)

## 「CO<sub>2</sub>を用いたコンクリート等製造技術の開発」プロジェクト (コンクリート分野)

- カーボンリサイクル技術によるコンクリート等へのCO<sub>2</sub>利用については、大規模・長期利用によるCO<sub>2</sub>固定化が可能なことから、社会実装への期待大。
- 社会実装に向け、安全性を前提としつつ、CO<sub>2</sub>排出削減・固定量の最大化、用途拡大・コスト低減 (材料開発、製造性、施工性)、製造過程におけるCO<sub>2</sub>排出削減等の課題解決が重要。
- このため、CO<sub>2</sub>を固定する材料 (特殊混和材、骨材等) の開発・複合利用、コストを最小化する製造・施工技術、CO<sub>2</sub>固定量の評価を含めた品質管理手法の確立・標準化等に取り組む。  
(研究開発項目) (研究開発項目)

### <CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの用途例>



道路ブロック



型枠



舗装ブロック

【目標】 CO<sub>2</sub>削減量310～350kg/m<sup>3</sup> (うちCO<sub>2</sub>固定量は120～200kg/m<sup>3</sup>)  
既存製品と同等以下のコスト (参考値；プレキャストコンクリート：30円/kg程度、生コンクリート：8円/kg程度)

# (参考) グリーンイノベーション基金：(国費負担額：上限208.4億円)

## 「CO<sub>2</sub>を用いたコンクリート等製造技術開発」プロジェクト (セメント分野)

- セメントの原料は石灰石や粘土など。主な原料である石灰石 (CaCO<sub>3</sub>)は、脱炭酸反応により、CO<sub>2</sub>が必然的に発生。
- 石灰石由来のCO<sub>2</sub>を全量近く回収するCO<sub>2</sub>回収型セメント製造プロセス (※)を開発し、回収したCO<sub>2</sub>を炭酸塩として活用する技術開発も併せて行う。【※プレヒーター内で発生するCO<sub>2</sub>の80%以上を回収することを目標】

### <CO<sub>2</sub>回収型セメント製造プロセス>

分離したCO<sub>2</sub>を回収



# GX分析 ②-3 持続可能な航空燃料 (SAF)

## ● 現状のビジネス環境

- 航空分野のCO<sub>2</sub>排出量削減に向けて、ICAO<sup>※1</sup>において、国際航空輸送分野における2021年以降のCO<sub>2</sub>排出量を、2019年のCO<sub>2</sub>排出量に抑えるとの目標が示されている。この目標の達成のため、**将来的に最もCO<sub>2</sub>削減効果が高いとされているのが持続可能な航空燃料 (SAF) の活用。**
- 今後のSAFの需要は、国内で2030年に約250万kL～約560万kL<sup>※2</sup>、2050年に約2,300万kL<sup>※3</sup>。世界で2050年に約2.94億kL～4.25億kL<sup>※4</sup>が見込まれている。
- 一方で、**世界のSAF供給量は、2020年時点で約6.3万kL<sup>※5</sup>**（世界のジェット燃料供給量の0.03%）程度。また、**現状の製造コストは、200～1,600円/Lと割高**（従来のジェット燃料：100円/L）。

## ● カーボンニュートラルが産業や社会に与える影響

- 海外を含めたSAFの原料に係る研究開発・生産、現地企業への出資等を通じて、**新たな資源のサプライチェーンの確立**に取り組むとともに、こうした原料から、**既存設備を活用して国内でSAFを製造**することで、**エネルギーの国産化**に取り組むことが重要となる。
- 現状、アジア圏におけるSAFの技術開発は発展途上の段階。今後、**航空需要が拡大するアジア圏へ、国産SAFの供給や、SAF製造設備・ノウハウ等を波及させていく**ことが出来れば、**2050年には約22兆円<sup>※6</sup>**といわれる巨大なSAF市場の獲得が可能。

## ● 海外プレイヤーの動向

- **欧米石油メジャーは、SAF製造事業者に対して投資をするなど、積極的に関与。**海外では、SAFの製造・供給に向けた具体的な取組が進展してきている。
- ただし、NESTE（フィンランド）が、廃食油からSAFを製造し、供給を開始しているが、**生産量は少ない。****国内石油産業の更なる成長の機会**と捉え、SAFの大規模生産に向けた取組を加速化する必要がある。

※1 ICAO : International Civil Aviation Organization 航空業界の国際機関

※2 CORSIAへの対応の対象となる、国内空港尾から発つ本邦及び外航工区会社の利用分における試算（2021年5月28日国土交通省「航空機運航分野におけるCO<sub>2</sub>削減に関する検討会（第2回）」事務局資料）。

※3 日本の航空会社の国内線・国際線利用分における試算（2021年10月8日全日本空輸（株）、②日本航空（株）共同リリース「SAF（持続可能な航空燃料）に関する共同レポート」）。

※4、※5 ATAG Waypoint 2050 : 世界の航空機メーカーや業界団体等が参加するATAG（Air Transport Action Group）による世界の航空業界の気候変動アクションプラン。

※6 2021年10月8日全日本空輸（株）、②日本航空（株）共同リリース「SAF（持続可能な航空燃料）に関する共同レポート」

# 課題と打ち手の例 ② – 3 持続可能な航空燃料 (SAF)

## 【技術レイヤー・ビジネスレイヤー】

- SAFの需要増加を見据え、低廉かつ安定的なSAFを国内に供給するため、SAFを製造するための革新的な製造技術の確立及び社会実装を実現するためには、どのような対策が必要か。
  - グリーンイノベーション基金を活用し、2030年時点で大規模な生産量が見込め、将来的に他の原料からの燃料製造にも応用の可能性がある製造技術 (ATJ<sup>※1</sup>技術) の開発を支援。また、NEDOを通じて、バイオマスや廃食油等からSAFを製造する技術の開発・実証の支援を更に加速。その際、技術の新しい担い手としてスタートアップの参画を促す。
- 今後のSAFの社会実装にあたっては、将来的なサプライチェーンの構築に向けて、燃料供給事業者と利用側の航空会社との連携が必要ではないか。
  - 新たに国土交通省と資源エネルギー庁の共同で「官民協議会」を設置し、SAFの導入の課題 (国産SAF開発・製造、サプライチェーン構築、国際標準化等) や、導入支援策のあり方等の具体策を検討予定。

## 【マーケットレイヤー】

- ICAOの枠組みにおいて、CO<sub>2</sub>削減効果のあるSAFとして使用するためには、①CORSIA<sup>※2</sup>適格燃料の認証を取得する必要がある。さらに、SAFをジェット燃料 (ケロシン) の代替燃料として利用するためには、燃料の品質が②ASTM<sup>※3</sup>の規格を満たす必要がある。これら手続きが円滑に進むよう、どのような対策を打つべきか。
  - ①CORSIA適格燃料として、国産SAFのライフサイクルGHG削減量が適切に評価され、認証に係る手続きがスムーズに進むよう支援。
  - ②これまでのNEDO事業を通じて蓄積されたノウハウ・知見等に基づき、ASTM規格に係る品質検査等の手続きを支援。また、SAF利用によるCO<sub>2</sub>の削減効果を最大化するため、米国当局等と連携をして、現状のASTM規格で定められている混合率上限の引き上げに向けた働きかけを行う。

※1 ATJ : Alcohol to Jet さとうきび、古紙等を原料としたエタノールからSAFを製造する技術。

※2 CORSIA : ICAOの目標達成のため、オフセットの仕組み (SAFやクレジットの利用) 等を規定する制度。2016年のICAO総会において採択。

※3 ASTM : 世界最大規模の標準化団体であるASTM Internationalが策定・発行する規格。エネルギーや環境等、130分野の規格を策定。

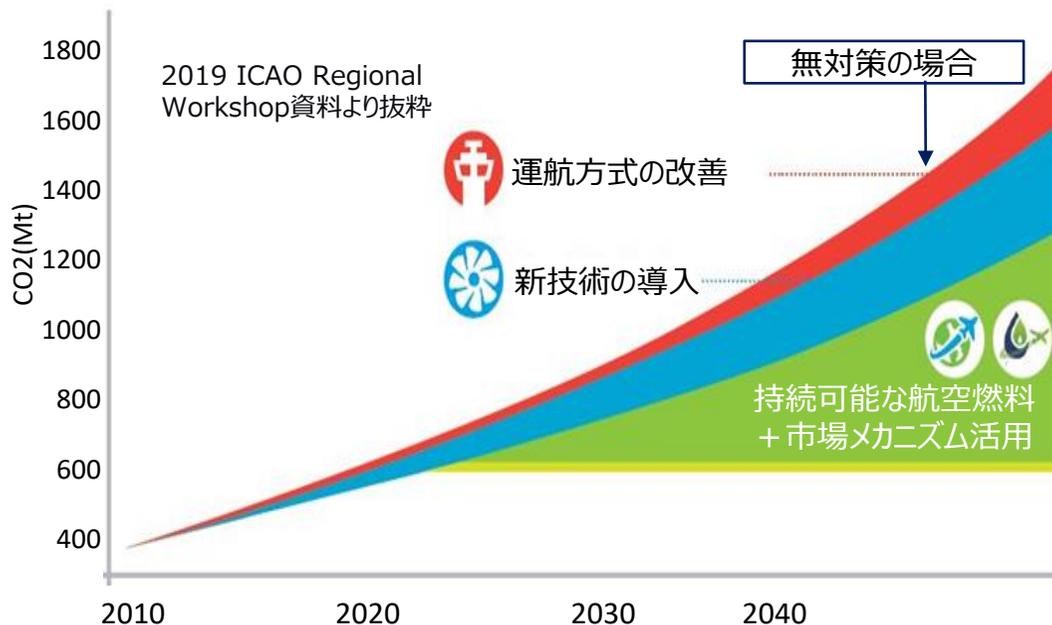
# (参考) ICAOによる国際航空輸送分野でのCO<sub>2</sub>排出に係る枠組み

- 航空業界の国際機関である**ICAO**において、国際航空輸送分野における**2021年以降のCO<sub>2</sub>排出量を、2019年のCO<sub>2</sub>排出量（基準排出量）に抑える**ことが目標とされている。
- 航空会社は、その目標を達成するために、CO<sub>2</sub>排出量を削減しなければならない。そのための達成手段として、**持続可能な航空燃料（SAF : Sustainable Aviation Fuel）**の導入が必要とされている。

## <国際航空からのCO<sub>2</sub>排出量予測と排出削減目標のイメージ>

### 目標達成の手段

- ① 新技術の導入（新型機材等）、② 運航方式の改善、③ **持続可能な航空燃料活用**、④ 市場メカニズム活用



## <CO<sub>2</sub>削減枠組みスケジュール>

### 2021年～2026年

- 対象国※のうち**自発参加国**の事業者のみ、排出量を抑制する義務が発生。
- 日本は自発参加国であり、**ANA、JAL**等が対象。

### 2027年～2035年

- **全ての対象国**の事業者に、排出抑制義務が発生。
- **中国、ロシア**等の一部大国も義務化の対象。これにより、**SAFやクレジットの必要量が増大する可能性有**。

### 2035年～

## ICAOにおいて**中長期目標検討中**

(※) 対象は、最大離陸重量5,700kg以上の事業者。

# (参考) 海外の主なSAF製造事業者

## 原料調達

## 製造

## 利用

(フィンランド) <b>NESTE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>事業者：NESTE</li> <li>原料：廃食油、動物性脂肪、魚脂肪等</li> <li>量：公表情報なし</li> <li>調達場所：フィンランド、オランダ、東南アジア等</li> <li>調達方法：NESTEが供給契約を結び調達</li> </ul>	 NESTE社 が運搬	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造者：NESTE</li> <li>製造場所：フィンランド、オランダ、シンガポール等</li> <li>製造技術：HEFA</li> <li>製造量：188万kL/年（HVOを含む、2023年）</li> <li>コスト：0.7-1.6ドル/L（IEAによるとHEFA推定値）</li> </ul>	 Air BP、Shell Aviationが混合、供給	<ul style="list-style-type: none"> <li>オフテイカー：ルフトハンザ、KLM、ANA等</li> <li>利用空港：フランクフルト、オスロ、スキポール等</li> </ul>
(米) <b>LanzaJet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>事業者：LanzaJet</li> <li>原料：排ガス・エタノール</li> <li>量：公表情報なし</li> <li>調達場所：米国</li> <li>調達方法：LanzaJetが供給契約を結び調達</li> </ul>	 公表情報なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造者：LanzaJet</li> <li>製造場所：米国</li> <li>製造技術：ATJ</li> <li>製造量：3.8万kL/年（2022年）</li> <li>コスト：1.08-3.79ドル/L（NRELによる論文レビュー）</li> </ul>	 不明	<ul style="list-style-type: none"> <li>オフテイカー：Virgin Atlantic、ANA</li> <li>利用空港：不明</li> </ul>
(米) <b>Fulcrum</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>事業者：Fulcrum</li> <li>原料：都市ごみ</li> <li>量：17.5万t/年</li> <li>調達場所：ネバダ州レノ近郊</li> <li>調達方法：Fulcrumが供給契約を結び調達（Waste Management埋立地）</li> </ul>	 Fulcrum社 が運搬	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造者：Fulcrum</li> <li>製造場所：</li> <li>製造技術：ガス化FT合成</li> <li>製造量：19万kL/年（2025年）</li> <li>コスト：不明（但し都市ごみのtipping feeを取得と見られる）</li> </ul>	 Marathon、BP、World Fuels Servicesが混合、供給	<ul style="list-style-type: none"> <li>オフテイカー：Cathay Pacific、United Airlines、JAL、米軍</li> <li>利用空港：不明</li> </ul>
(カナダ) <b>Enerkem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>事業者：Enerkem</li> <li>原料：都市ごみ</li> <li>量：36万t/年</li> <li>調達場所：カナダ</li> <li>調達方法：Enerkemが供給契約を結び調達</li> </ul>	 公表情報なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造者：Enerkem、Shell</li> <li>製造場所：カナダ</li> <li>製造技術：ガス化FT合成</li> <li>製造量：8万kL/年（2025年）</li> <li>コスト：不明</li> </ul>	 不明	<ul style="list-style-type: none"> <li>オフテイカー：不明</li> <li>利用空港：不明</li> </ul>

# (参考) SAFの想定需要、想定CO<sub>2</sub>削減量、想定市場規模

## 2030年

令和3年5月28日 国土交通省「航空機運航分野におけるCO<sub>2</sub>削減に関する検討会(第2回)」事務局説明資料から、2030年におけるSAF想定需要(250万kl~560万KL)、SAFのCO<sub>2</sub>削減効果(80%~60%)を引用※1

- ◆ SAF想定需要 : 250万~560万KL/年
- ◆ CO<sub>2</sub>削減量 : 506万~849万t  
=250~560万KL (SAF想定需要) × 80~60%  
(CO<sub>2</sub>削減効果) × 0.8 (KL→t) × 3.16 (t→t-CO<sub>2</sub>/t)
- ◆ 市場規模(日本) : 2,500億円~1.1兆円  
=250~560万KL (SAF想定需要)  
× 100~199円/L※2 (SAF コスト目標)

### [算定方法]

・国際航空のCO<sub>2</sub>排出削減枠組みであるCORSIAへの対応の対象となる、国内空港から発つ本邦及び外航航空会社の利用分における試算。

※1 出典 : <https://www.mlit.go.jp/common/001407977.pdf>

※2 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略におけるSAFコスト目標から引用。

## 2050年

2021年10月8日 全日本空輸(株)・日本航空(株)共同リリース「SAF(持続可能な航空燃料)に関する共同レポート」から、2050年におけるSAF想定需要(2,300万kl)、SAFのCO<sub>2</sub>削減効果(90%)、アジアの市場規模(22兆円)を引用※1

- ◆ SAF想定需要 : 2,300万KL
- ◆ CO<sub>2</sub>削減量 : 5,233万t  
=2,300万KL (SAF想定需要) × 90% (CO<sub>2</sub>削減効果)  
× 0.8 (KL→t) × 3.16 (t→t-CO<sub>2</sub>/t)
- ◆ 市場規模(日本) : 2.3兆円  
=2,300万KL (SAF想定需要) × 100円/L※2 (SAFコスト目標)
- ◆ 市場規模(アジア) : 22.0兆円

### [算定方法]

・日本、及びアジアの航空会社の国内線・国際線利用分における試算。

※1 出典:(ANA) <https://www.anahd.co.jp/group/pr/pdf/20211008-1-1.pdf>

(JAL) <https://press.jal.co.jp/ja/items/uploads/29b739f32e77631451b59a6c03bf77b906ac9e8a.pdf>

※2 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略におけるSAFコスト目標から引用。

# (参考) SAFの原料及び製造技術の類型

- SAFの原料・技術は複数存在。原料制約等の観点から、1つの原料・技術に限定することなく、国内外の資源を最大限活用し、国産のSAFを供給することが出来るよう技術開発を進める必要がある。
- グリーンイノベーション基金事業では、2030年時点で大規模な生産量（数十万KL）が見込めるとともに、将来的に他の原料からの燃料製造にも応用の可能性がある革新的なSAF製造技術について、支援を実施。

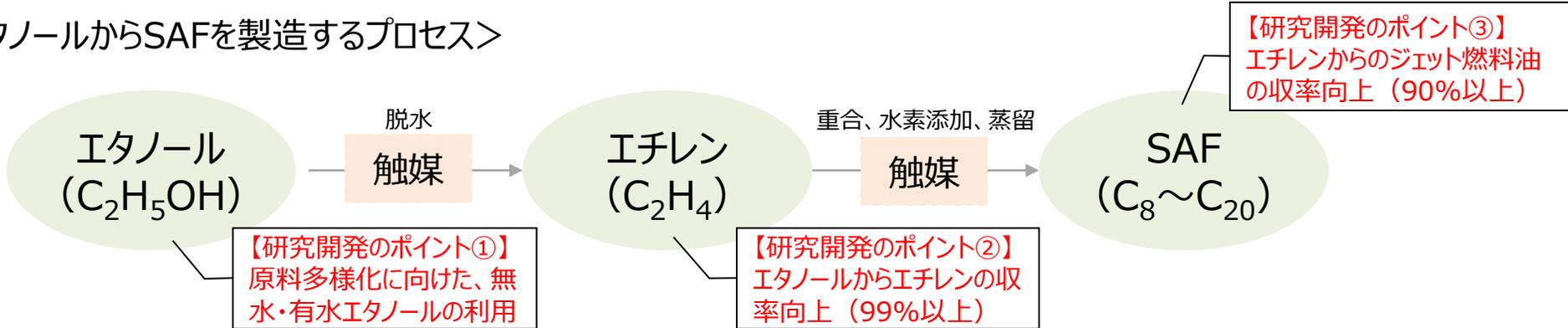
## <主なSAFの原料と製造技術の類型>



# (参考) グリーンイノベーション基金「CO<sub>2</sub>等を用いた燃料製造技術開発」プロジェクト 研究開発項目：ATJ (Alcohol to JET) 技術

- ATJ 技術 (Alcohol to JET) は、触媒等を利用して、原料賦存量の豊富なエタノールからSAFを製造することが可能となる技術であり、SAFの大量生産が実現出来る。
- ATJ技術を用いて大規模にSAFを生産するためには、エタノールからSAFを製造する際の収率の向上を実現するための、効率的な運転を可能とするプラントの設計や触媒の開発・運用技術等の確立が必要。

<エタノールからSAFを製造するプロセス>



## ○研究開発目標 (アウトプット) 及び設定の考え方 (目標)

エタノールから大量のSAFを製造する技術 (ATJ) の確立により、液体燃料収率50%程度かつ製造コスト100円台/Lを実現。

## (考え方)

既存プロジェクトでは、数万kLのSAFを生産可能な技術を開発中であるが、本プロジェクトでは、その技術の大幅な向上、大型化を目指すこととし、原料の多角化や液体燃料収率の向上を通じて、生産量拡大及び低コスト化を実現するための目標を設定。

## ○研究開発内容 (例)

- エタノールを製造するための原料の多様化・経済性の観点から、無水・含水エタノールの両方を原料とすることが出来る方式を実装したプラントの設計・開発を行う。その際、環境排出基準に適合する排水処理技術もあわせて確立する。【委託→補助】
- SAFを大量 (十万kL以上を想定) に製造するため、原料となるエタノールからジェット燃料への選択性を最大限高める (50%程度以上) ためのプラント内での化学反応の最適化技術 (触媒運用技術等) の確立。【委託→補助】

# (参考) SAFの社会実装を加速化するための取組 (官民協議会の設置)

- 航空分野におけるCO<sub>2</sub>排出削減に向けては、その取組の方向性を検討するため、国土交通省主導で「航空機運航分野におけるCO<sub>2</sub>削減に関する検討会」を設置済み。本検討会には、有識者や航空会社等が参画（石油会社もオブザーバー参加）。
- 今後のSAFの社会実装にあたっては、国際競争力のある国産SAFの開発・製造を推進するとともに、**将来的なサプライチェーン構築に向け、燃料供給事業者と利用側の航空会社との連携が重要**。第4回検討会（12/10）において、**SAFの普及促進に向けた方策を示した工程表を策定**。
- 今後、**本工程表の取組を実務的に着実に進めていくため、新たに国土交通省と資源エネルギー庁の共同で「官民協議会」を設置**し、SAF導入にあたっての課題や、導入支援策の在り方等の具体策を検討予定。

## <航空機運航分野におけるCO<sub>2</sub>削減に向けた今後の取組(SAF関係抜粋)>

### SAFの導入促進に係る工程表の概要

- 2030年実用化を目指した、グリーンイノベーション基金等の活用による**国産SAFの研究開発**
- 2024年頃から見込まれるSAFの実需発生に対応すべく、**輸入SAFを含めたサプライチェーンの構築**(施設整備、品質管理ルール等の検討等)
- **SAF使用目標の設定**(2030年時点で**本邦エアラインによる燃料使用量の10%をSAFに置き換え**)

### 年明け以降、設置予定

#### ③SAFの導入促進

##### 【新設】SAF官民協議会(仮称)

- 実務者による課題共有・調整等により、着実に前に進めていくべきトピックを協議
  - ✓ 国産SAF開発・製造
  - ✓ ASTM国内検査体制構築
  - ✓ 輸入SAFサプライチェーン
  - ✓ 導入促進策 など
- メンバー: エアライン、燃料供給事業者、業界団体、研究機関など (事務局: 航空局、資源エネルギー庁)

連携

##### 【継続】燃料小委員会等 (運輸総合研究所)

- 専門的知識に基づいた分析や課題整理等が必要となるトピックを調査研究
  - ✓ ICAO長期目標SAFパートの分析
  - ✓ SAFの地産地消に向けた課題整理
  - ✓ 国際標準化等への対応 など

# GX分析 ② – 4 合成燃料

## ● 現状のビジネス環境

- 電化が困難なモビリティ・製品の脱炭素化には、燃焼しても大気中にCO<sub>2</sub>が増加せず、化石燃料の代替となる合成燃料の社会実装が鍵。
- 合成燃料の社会実装は、海外の化石燃料に依存する我が国のエネルギー需給構造に変革をもたらす可能性があり、エネルギー安全保障の観点からも重要。
- しかしながら、合成燃料は、一貫製造プロセスが未確立で製造コストが高く、現状、国内外において、商用規模のプラントを稼働した例はない。

## ● カーボンニュートラルが産業や社会に与える影響

- 合成燃料は、既存の燃料インフラが活用可能であることから、水素等、他の新燃料に比べて導入コストを抑えることが可能となり導入のポテンシャルが高い。
- 石油精製業は、これまでの事業を継続しながらカーボンニュートラルに貢献することができる新たな燃料供給へのチャレンジが可能。
- 商用規模での製造技術を世界に先駆けて我が国企業が確立し、インフラ整備等に時間を要する地域も含めた海外各国へ技術や設備、それらの利用に係るノウハウ・知見等を展開することができれば、世界における合成燃料に係る市場の獲得及びCO<sub>2</sub>の削減に貢献することに繋がる。

## ● 海外プレイヤーの動向

- 欧州を中心に、合成燃料に関する数多くの研究開発や実証プロジェクトが立ち上がっており、その主体は、石油会社や自動車会社に加え、水電解やCO<sub>2</sub>回収の技術を有するスタートアップやそれらのコンソーシアムが多い。
- 米国では、農業政策と一体となったバイオ燃料の方が政策的優先度が高く、合成燃料の商業化に向けた取組は進んでいない。

## 課題と打ち手の例 ② - 4 合成燃料

### 【技術レイヤー・ビジネスレイヤー】

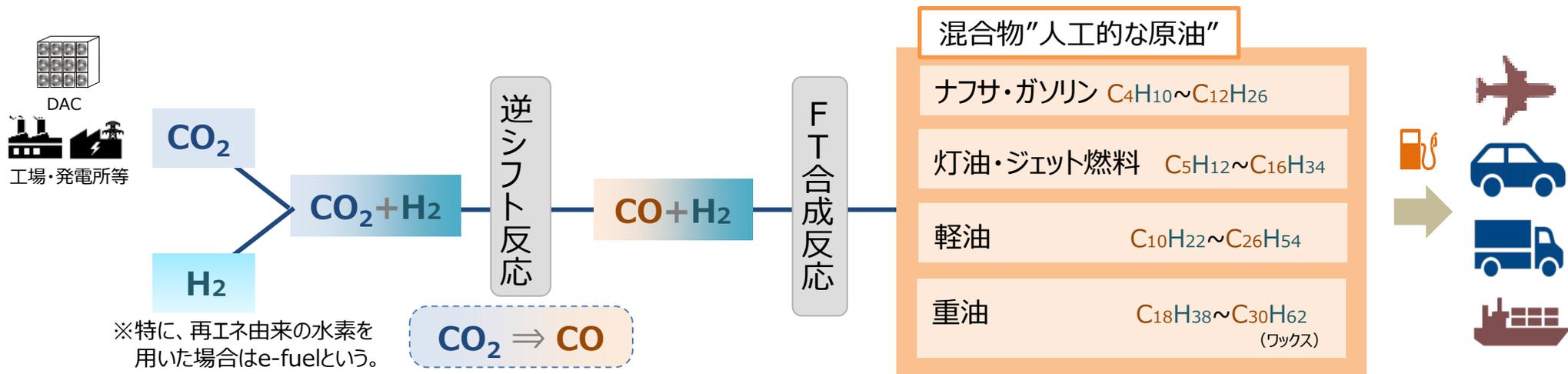
- 合成燃料をガソリン価格以下のコストにすることを目標とし、早期に社会実装を実現するためには、どのような対策が必要か。
  - グリーンイノベーション基金を活用し、既存技術を最大限活用しつつ、製造プロセス全体のさらなる高効率化のための技術開発や、大規模かつ長期連続、安定した製造を実現するための製造設備の設計開発や製造実証への支援を行う。さらに、直接合成（Direct-FT）等の革新的な製造プロセス開発についても、NEDOを通じて産学官連携による取組を支援。こうした支援により、電動化のハードルが高い商用車等の脱炭素化を実現する選択肢の一つとなる必要。
  - 原料となる水素、CO<sub>2</sub>の安定的かつ安価な確保のため、水素製造・輸送やCO<sub>2</sub>分離・回収などのコスト低減を図る取組との連携を図る必要。

### 【マーケットレイヤー】

- 合成燃料は、燃焼時にCO<sub>2</sub>を排出するが、脱炭素燃料としての国際的評価を確立した上で、需要を創出するためには、どのような対策が必要か。
  - 合成燃料の導入拡大のためには、発電所・工場等から排出されるCO<sub>2</sub>を資源として再利用する場合は、カーボンリサイクル技術により大気中にCO<sub>2</sub>を増加させない環境価値があるという評価を確立することや、CO<sub>2</sub>削減分のカウントを発電所・工場等の回収側と製油所等の製造側とでどのように割り振るべきかといったルールメイキングが重要であり、今後、こういった国際的議論に積極的に参画していく必要。
- 合成燃料が国内のみならずグローバルなサプライチェーンの中で製造される可能性が高いことを踏まえ、原料となるCO<sub>2</sub>削減分が我が国のCO<sub>2</sub>削減に貢献するためには、どのような対策が必要か。
  - 海外で回収されたCO<sub>2</sub>を原料として製造した合成燃料を国内で利用した場合、国内のCO<sub>2</sub>が増加したこととなるため、合成燃料製造時に回収されるCO<sub>2</sub>のオフセットの枠組みを構築していく必要。

# (参考) 合成燃料とは

- 合成燃料とは、CO<sub>2</sub>と水素を合成して製造される燃料である。この混合物は、複数の炭化水素化合物の集合体、いわば“人工的な原油”である。なお、再エネ由来の水素を用いた場合はe-fuelという。
- CO<sub>2</sub>を原料とした合成燃料は、発電所や工場等から排出されたCO<sub>2</sub>や、将来的には大気中からDAC技術により回収されたCO<sub>2</sub>を再利用（カーボンリサイクル）することから、脱炭素燃料とみなすことができる。



## <製造コスト試算>

※製造コストは、試算の条件により約300円~700円/ℓであり、実用化に当たっては技術開発による効率化が必要。

H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	その他の製造コスト	
100円/Nm <sup>3</sup> ×6.34Nm <sup>3</sup> /ℓ	5.91円/kg×5.47kg/ℓ		
= 634円/ℓ	+ 32円/ℓ	+ 33円/ℓ	= 約700円/ℓ
32.9円/Nm <sup>3</sup> + 14.65円/Nm <sup>3</sup> ×6.34Nm <sup>3</sup> /ℓ			
= 291円/ℓ	+ 32円/ℓ	+ 33円/ℓ	= 約350円/ℓ
32.9円/Nm <sup>3</sup> ×6.34Nm <sup>3</sup> /ℓ			
= 223円/ℓ	+ 32円/ℓ	+ 33円/ℓ	= 約300円/ℓ
20円/Nm <sup>3</sup> ×6.34Nm <sup>3</sup> /ℓ			
= 127円/ℓ	+ 32円/ℓ	+ 33円/ℓ	= 約200円/ℓ

国内の水素を活用し、国内で合成燃料を製造するケース

海外の水素を国内に輸送し、国内で合成燃料を製造するケース

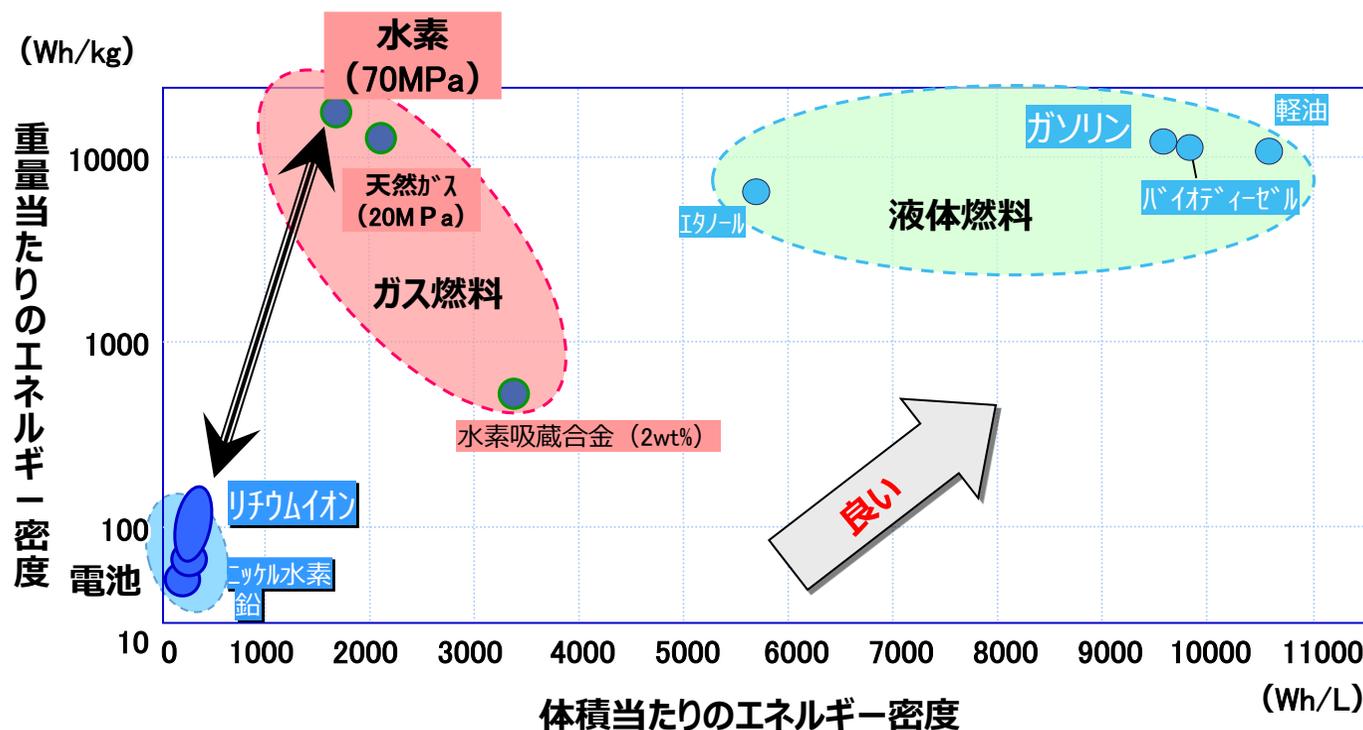
合成燃料を海外で製造するケース

将来、水素価格が20円/Nm<sup>3</sup>になったケース

## (参考) 液体燃料のエネルギーとしての特徴

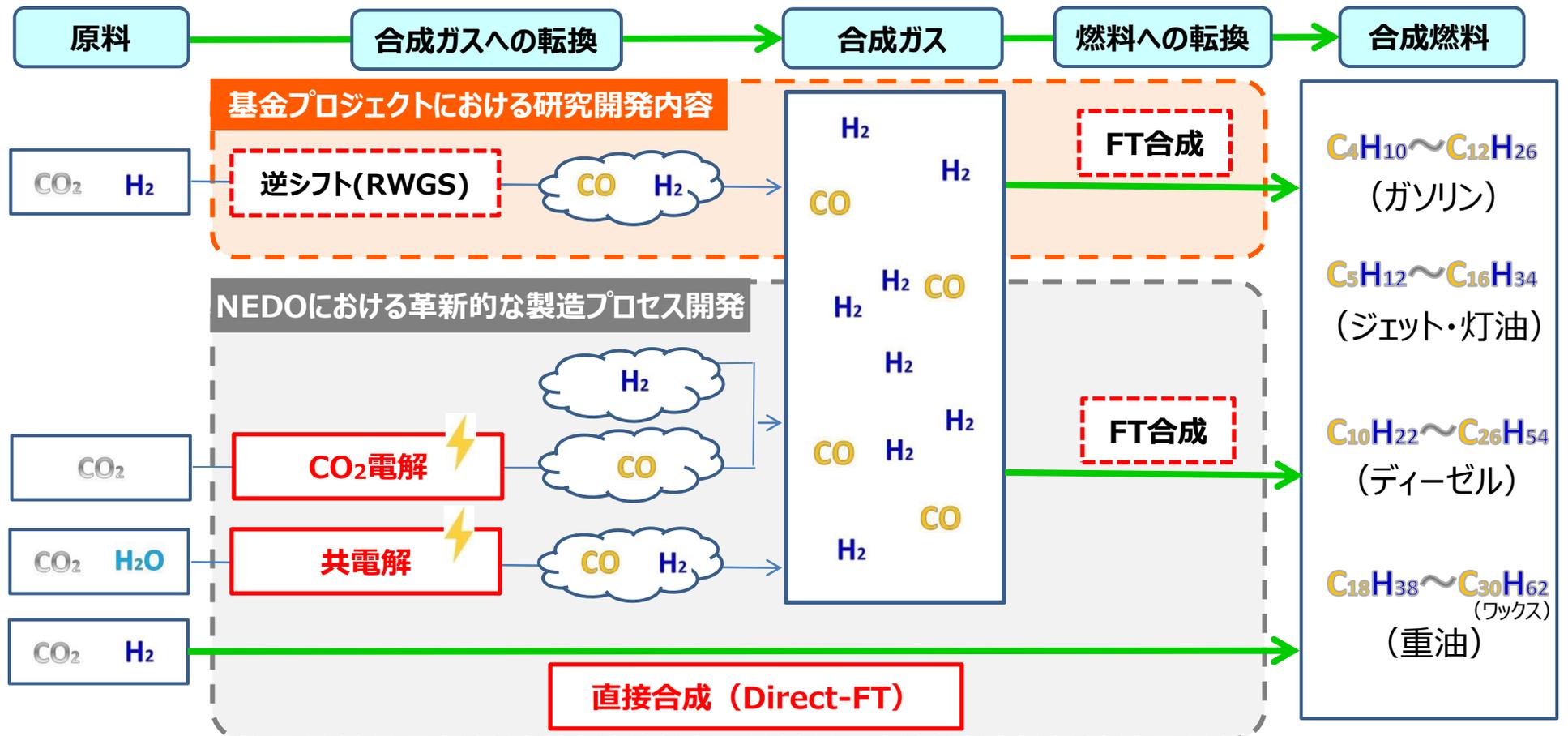
- 液体合成燃料は、化石由来のガソリンや軽油等と同様に、エネルギー密度が高いという特徴がある。
- 例えば、大型車やジェット機が電動化・水素化した場合、液体燃料と同様の距離を移動する際、液体燃料よりも大容量の電池・水素エネルギーが必要となる。
- こうした液体燃料は、電気・水素エネルギーへの代替が困難なモビリティ・製品がある限り存在し続ける。

### エネルギー密度の比較



# (参考) 合成燃料の製造プロセス

- 合成燃料は、CO<sub>2</sub>からCOに転換し（逆シフト反応）、COと水素を反応（FT合成反応）させて作られる。
- 早期商用化を実現するためには、高効率・大規模な製造技術などエンジニアリングの観点から、既存プロセスのそれぞれの技術をより高効率化するための技術開発・実証等を行うことが必要。
- なお、CO<sub>2</sub>電解、共電解、直接合成（Direct-FT）といった、未だ研究開発段階であるものの、革新的な製造プロセスあり。

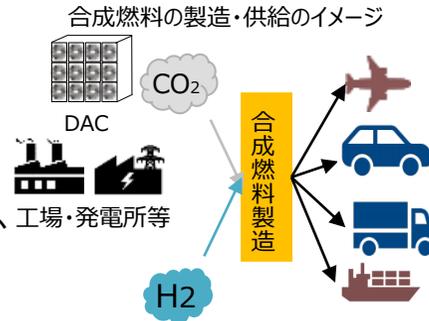


# (参考) グリーンイノベーション基金： (国費負担額：上限1152.8億円) 「CO<sub>2</sub>等を用いた燃料製造技術開発」プロジェクト

- 「脱炭素燃料」は、海外の化石燃料に依存する我が国のエネルギー需給構造に変革をもたらす可能性があり、エネルギー安全保障の観点からも重要。既存インフラを活用することで導入コストを抑えられるメリットが大きく、製造技術に関する課題を解決し製造コストを下げることで、社会実装を目指す。
- 脱炭素社会の実現に向けた多様な選択肢の一つとして、脱炭素燃料の技術開発を促進することが必要であり、本プロジェクトでは、液体燃料として①合成燃料、②持続可能な航空燃料(SAF)を、気体燃料として③合成メタン、④グリーンLPGについて、社会実装に向けた取組を行う。

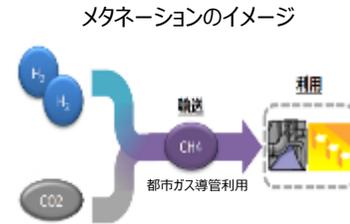
## 合成燃料の製造収率、利用技術向上に係る技術開発

- CO<sub>2</sub>と水素から逆シフト、FT合成、これらの連携技術などを用いて高効率・大規模に液体燃料に転換するプロセスを開発する。
- 2040年までの自立商用化を目指し、2030年までにパイロットスケール(300B/日規模を想定)で液体燃料収率80%を実現する。



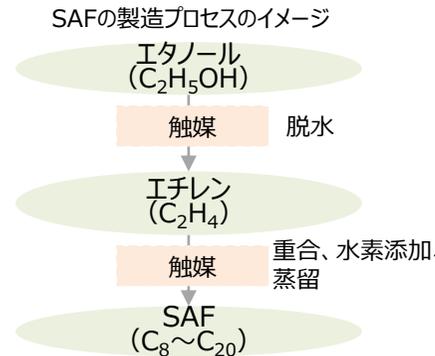
## 合成メタン製造に係る革新的技術開発

- 再エネ電力等から製造した水素と、発電所等から回収したCO<sub>2</sub>から効率的にメタンを合成する技術(メタネーション)を確立する。
- 2030年度までに、エネルギー変換効率60%以上を実現。



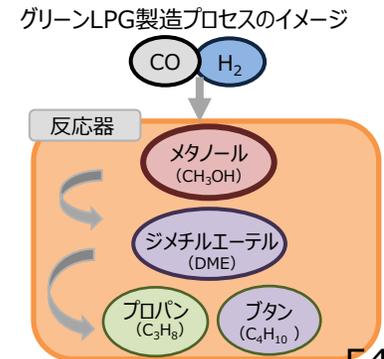
## 持続可能な航空燃料 (SAF) 製造に係る技術開発

- 大規模な生産量(数十万kL)を見込めるエタノールからSAFを製造するATJ技術(Alcohol to JET)を確立する。
- 2030年までの航空機への燃料搭載を目指し、液体燃料収率50%以上かつ製造コストを100円台/Lを実現する。



## 化石燃料によらないグリーンなLPガス合成技術の開発

- 水素と一酸化炭素から、メタノール、ジメチルエーテル経由で合成される、化石燃料によらないLPガス(グリーンLPG)の合成技術を確立する。
- 2030年度までに生成率50%となる合成技術を確立し、商用化を目指す。



# (参考) 合成燃料の研究開発の加速化

- 我が国の優位性を確立するためにも、学術的（サイエンス）な観点からの要素技術の研究開発に加え、商用化のための高効率・大規模な製造技術などエンジニアリングの観点から、合成燃料の製造技術・体制を早期確立することが必要。合成燃料の製造技術・体制の確立とともに、合成燃料の供給面・利用面も含めた実証を行うことも必要。
- このため、既存技術（逆シフト反応+FT合成プロセス）の高効率化のための技術開発や、大規模製造を実現するための製造設備の設計開発や製造実証を行う必要がある。
- また、CO<sub>2</sub>電解等の革新的な製造プロセスは、熱マネジメントによる製造効率の飛躍的向上等の観点から重要であり、その開発にも、産学官で連携するなどにより取り組んでいく必要がある。
- こうした技術開発・実証を今後10年で集中的に行うことで、2030年までに高効率かつ大規模な製造技術を確立し、2030年代に導入拡大・コスト低減を行い、2040年までの自立商用化（環境価値を踏まえたもの）を目指すべき。

## < 「グリーン成長戦略」より抜粋 >

		現状と課題		今後の取組					
カーボンリサイクル燃料	合成燃料※④	<b>商用化に向けた課題はコストと製造技術の確立</b> ・CO <sub>2</sub> と水素を合成して製造される炭素燃料。 ・特徴は、化石燃料と同様に液体燃料であるため、高エネルギー密度と可搬性。 ・商用化に向けた一貫製造プロセス未確立。 <small>（※4）発電所や工場等から回収したCO<sub>2</sub>と水素を合成して作られる液体燃料。</small>		<b>合成燃料の大規模化・技術開発支援</b> ・既存技術（逆シフト反応+FT合成プロセス）の高効率化や製造設備の設計開発。 ・革新的新規技術・プロセス（共電解、Direct-FT等）の開発。 ・2030年までに高効率かつ大規模な製造技術を確立し、2030年代に導入拡大・コスト低減し、2040年までの自立商用化（※5）を目指す。 ・2050年にガソリン価格以下のコストを実現することを目指す。 <small>（※5）自立商用化フェーズにおける合成燃料のコストは、その環境価値を含めたコストであると想定される</small>					
※代表事例を記載		2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
●カーボンリサイクル燃料 (ii) 合成燃料 コスト目標 2030年 100円台/L (=既製品と同等)		<b>合成燃料の製造技術の開発</b> ・既存技術（逆シフト反応+FT合成プロセス）の高効率化 ・製造設備の設計開発				<b>大規模製造の実証</b>		<b>導入拡大・コスト低減</b>	<b>自立商用</b>
		<b>合成燃料の革新的製造技術の開発</b> ・CO <sub>2</sub> 電解（+水電解）+FT合成プロセスの研究開発 ・共電解+FT合成プロセスの研究開発 ・直接合成（Direct-FT）プロセスの研究開発							

# GX分析 ②-5合成メタン

## ● 現状のビジネス環境

- 世界の天然ガス供給量は4兆m<sup>3</sup>/年（2019年時点）。
- 日本は天然ガスをLNGの形で輸入しており、世界のLNG輸入量の1/3を占める。LNG輸入量の1/3は都市ガス用、2/3は発電用。国内の都市ガス供給量は400億m<sup>3</sup>/年。
- 国内、海外において、CO<sub>2</sub>排出が相対的に小さい天然ガスへの燃料転換を推進。一方で、2050年に向けて、カーボンニュートラル化が必要であり、ガス体エネルギーとしては、水素、バイオガス、合成メタン、LNG+CCS等が選択肢。なお、合成メタンは、水素（電気）を用いて製造するため、水素利用の一形態、Power to Gasの文脈で理解されるべきもの。
- 現時点で、国内での合成メタンの商業生産・利用は行われていない。

## ● カーボンニュートラルが産業や社会に与える影響

- 合成メタンは天然ガスの代替が容易であり、①既存のインフラ・設備・機器を活用可能、かつ②LNG・都市ガスとの混合が容易で、都市ガスを切れ目なく柔軟に合成メタンに置き換えられる。このため、コストの最小化と脱炭素化の両立が可能。
- 国内の都市ガス供給量のうち、合成メタンを2030年1%、2050年90%注入する目標を設定（グリーン成長戦略、エネルギー基本計画）。国内都市ガス供給の1%に相当する合成メタン量は、2019年度供給量実績で、約4億m<sup>3</sup>（約28万トン）、90%に相当する量は約360億m<sup>3</sup>（約2500万トン）。
- IEA「Net Zero by2050」では、世界の導管で供給されるガス需要のうち35%がLow-carbon gasにより供給され、このうち約3割を合成メタンが占める予想。

## ● 海外プレイヤーの動向

- 欧州では2050年におけるガス体エネルギーの選択肢（低炭素ガス）の一つとして合成メタンを想定。いくつかの欧州企業において技術開発中。315Nm<sup>3</sup> /hのプラント建設事例があり、技術水準は日本と同程度。小規模な商業利用の例有り。
- 再エネ由来の電力・水素や工場の副生水素が大規模に利用可能な国・地域での実証・実用化が先行する可能性あり。
- 一部のLNG輸出国企業と我が国ガス会社・商社は、合成メタンの海外生産・対日輸出についてFSを開始。

# 課題と打ち手の例 ②-5合成メタン

## 【技術レイヤー・ビジネスレイヤー】

- メタネーション技術は世界的に基盤的技術開発の段階だが、今後大規模で効率的なメタネーション技術の実用化に向けた競争を勝ち抜くために、どのような対策が必要か。

### <技術レイヤー>

→技術開発により、大規模生産と生産コスト低減の実現を目指す。水素と二酸化炭素を触媒を用いて反応（サバティエ反応）させるメタネーションについてNEDO事業で技術開発を支援。合成能力のスケールアップに取り組んでおり、現在、世界最大級となる400Nm<sup>3</sup>/h級の開発を推進中。2030年までに数千～1万Nm<sup>3</sup>の合成能力の実現を目指す。また、グリーンイノベーション基金事業により、サバティエ反応よりも高効率な革新的メタネーション技術開発を推進。

### <ビジネスレイヤー>

→新たな需要創出が不要（都市ガスへの混合が容易）という利点を活かし、いち早く合成メタンの社会実装を実現することが重要。

社会実装の加速化には、①国内・海外における合成メタンサプライチェーン構築、②国内工場等における実用化が重要。いずれについても、合成メタン製造に必要な安価な再生可能エネルギーや水素の確保が重要。

海外からの合成メタン輸入サプライチェーンの構築については、アンモニア・水素と同様、政府・企業が積極的に再生可能エネルギー適地国・LNG輸出国・企業と、合成メタンの製造・供給に向けた国際連携を進める。我が国のLNG調達先多様化が安定供給や調達リスク低減に寄与している点に鑑み、オープン戦略の下で、国際的に多様供給主体の登場を促し、安定的なグローバルサプライチェーンの実現を図る。

国内の合成メタンサプライチェーン構築・国内工場等における実用化については、海外の取組に遅れをとることがないように、国内の実施適地を具体的に選定し、支援策を講じる必要あり。

## 課題と打ち手の例 ②-5合成メタン

### 【マーケットレイヤー】

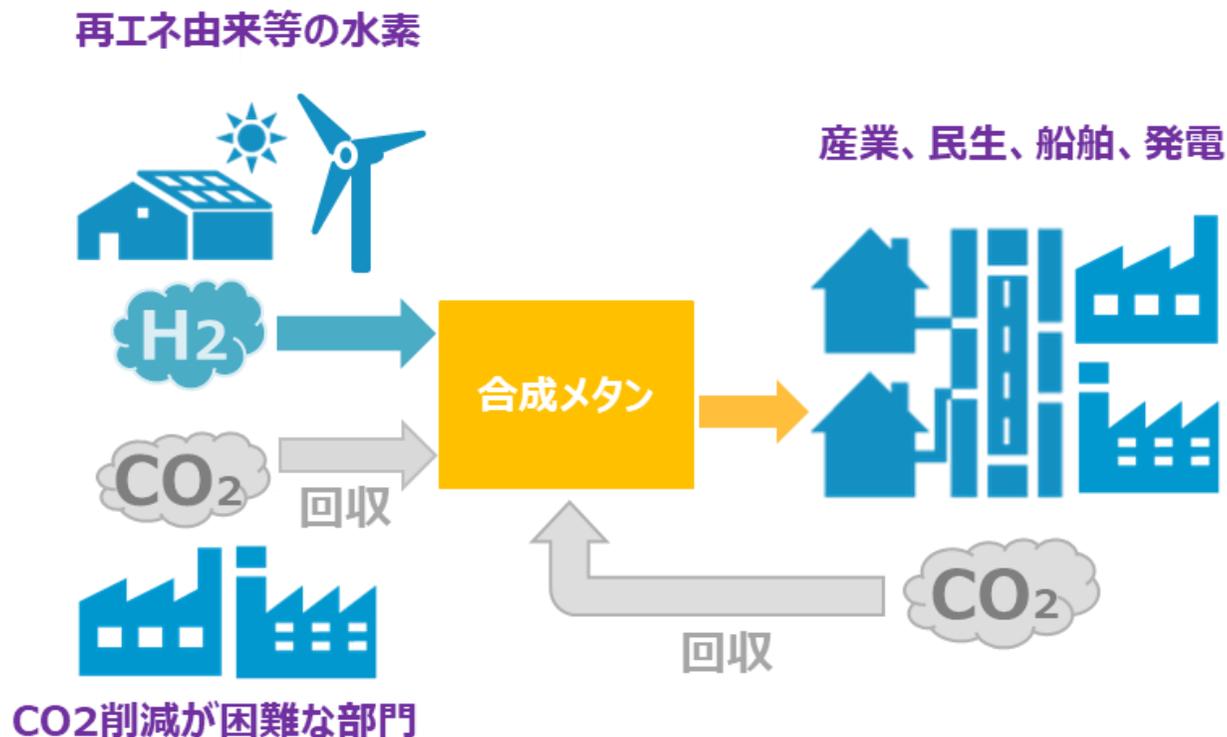
- 今後、将来需要に対応した低廉で安定的な合成メタン供給の実現に向け、実際に企業が投資を実行するためには、どのような対策が必要か。

→合成メタンを含むカーボンリサイクル燃料の利用については、燃焼時のCO<sub>2</sub>排出をどのように扱うかの国際・国内ルールの整理・整備（JCM、J-クレジット制度での整理や、検討中のGXリーグでの活用の可否を含む）が必要。

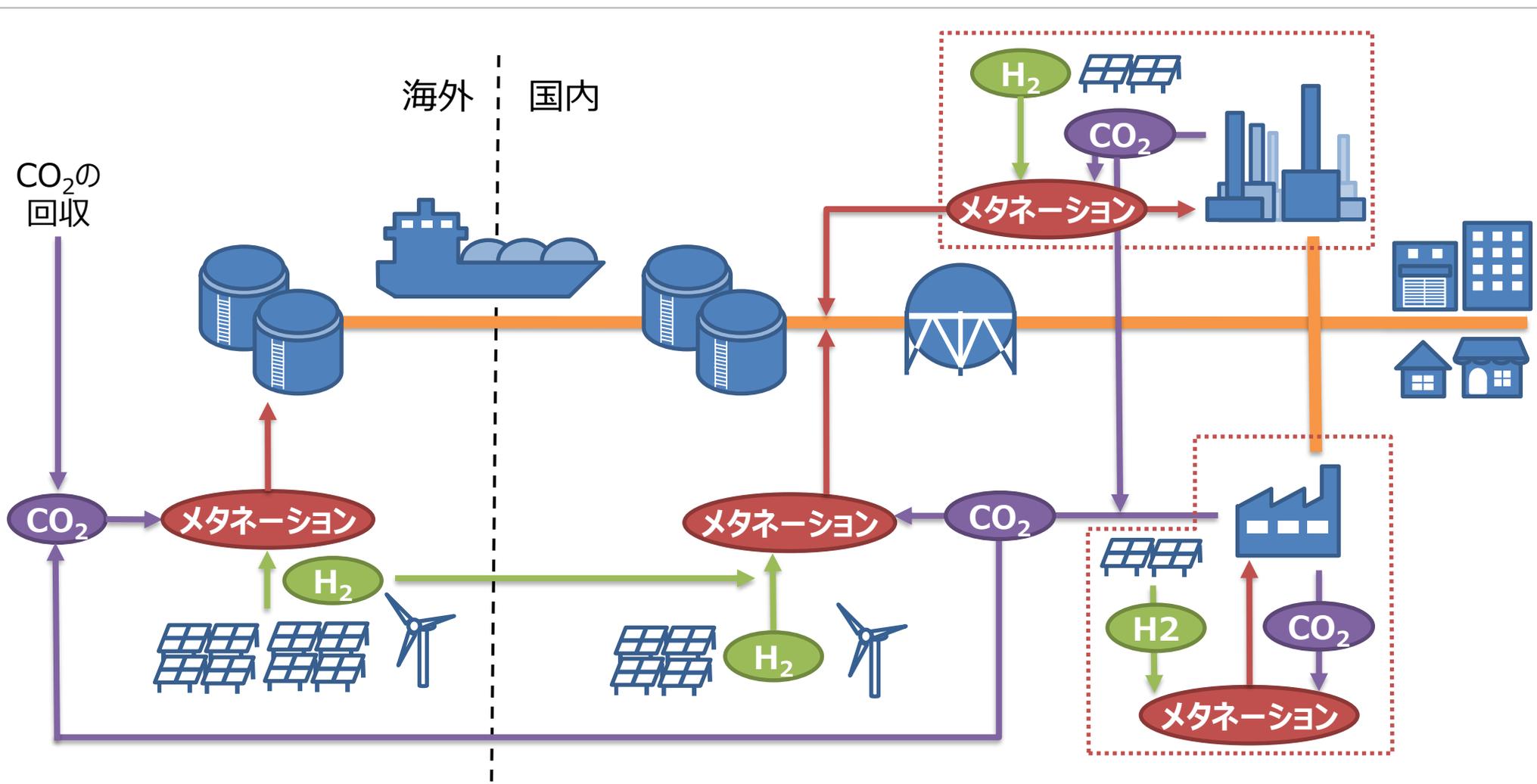
## (参考) 合成メタン／メタネーション

- 再エネ由来等の水素と回収したCO<sub>2</sub>から合成（メタネーション）する合成メタンは、低炭素・カーボンニュートラルに資する。
- 合成メタンは天然ガスを代替可能。既存サプライチェーン・インフラ・設備への注入・混合が容易となるため、現在の天然ガス利用から切れ目なく柔軟に合成メタンへ転換を進めることができる。
- コストの最小化と脱炭素化の実現を両立することができるだけでなく、石炭・石油等から天然ガスへの燃料転換の先に天然ガスから合成メタンへの燃料転換を計画することができる。

### メタネーション／カーボンリサイクル（イメージ）



# (参考) メタネーションの社会実装のイメージ



国際的な  
カーボンリサイクル  
(大規模)

国内（地域）に閉じた  
カーボンリサイクル  
(大・中規模)

最終需要家に閉じた  
カーボンリサイクル  
(中・小規模)

# (参考) 2050年に向けた目標

- グリーン成長戦略 (2021年6月策定) や 第6次エネルギー基本計画 (2021年10月閣議決定) において、ガスのカーボンニュートラル化達成に向けた目標を設定。
- 合成メタンを中心として、水素直接利用、クレジットでオフセットされたLNG、CCU／カーボンリサイクル等を推進することで、ガスのカーボンニュートラル化を目指すとともに、合成メタンの供給コストの低減を目指す。
- 日本ガス協会も同じ目標を掲げており、官民一体となって実現に取り組んでいく。

## グリーン成長戦略における目標

### 年間導入量

#### 【2030年】

既存インフラへ合成メタンを1%注入。

その他の手段※と合わせて5%のガスのカーボンニュートラル化

#### 【2050年】

既存インフラへ合成メタンを90%注入。 (2,500万トン)

その他の手段※と合わせてガスのカーボンニュートラル化

※水素直接利用、クレジットでオフセットされたLNG、CCU／カーボンリサイクル等

### 供給コスト

#### 【2050年】

合成メタンの価格が現在※のLNG価格 (40~50円/Nm<sup>3</sup>) と同水準

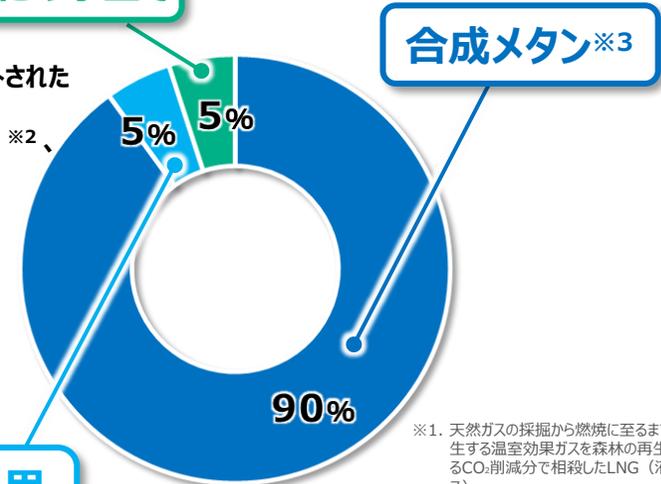
※2020年6月 グリーン成長戦略策定当時

## 2050年ガスのカーボンニュートラル化の実現に向けた姿 (日本ガス協会)

### バイオガス その他脱炭素化の手立て

- CCU／CCS
- クレジットでオフセットされたLNG※<sup>1</sup>
- 海外貢献、DACCS ※<sup>2</sup>、植林

### 水素直接利用



- ※1. 天然ガスの採掘から燃焼に至るまでの工程で発生する温室効果ガスを森林の再生支援などによるCO<sub>2</sub>削減分で相殺したLNG (液化天然ガス)
- ※2. Direct Air Carbon Capture with Storage (CO<sub>2</sub>の直接回収・貯留技術)
- ※3. 脱炭素製造された水素とCO<sub>2</sub>を合成したメタン

# (参考) 日欧米の取組の方向性

- 日欧米は、いずれもガスパイプライン等の既存のガスインフラの活用を指向。
- 日本も欧州も水素直接利用、合成メタン、バイオガス等を想定。その中で日本は合成メタン中心に利用する計画である一方、欧州は水素を主としてつバイオガス・バイオメタンや合成メタンも利用する案を示している。
- 合成メタンは水素の一形態であるため、2050年カーボンニュートラルに向けたガス体エネルギーとして水素を利用する点で日本と欧州は同じ方向性。

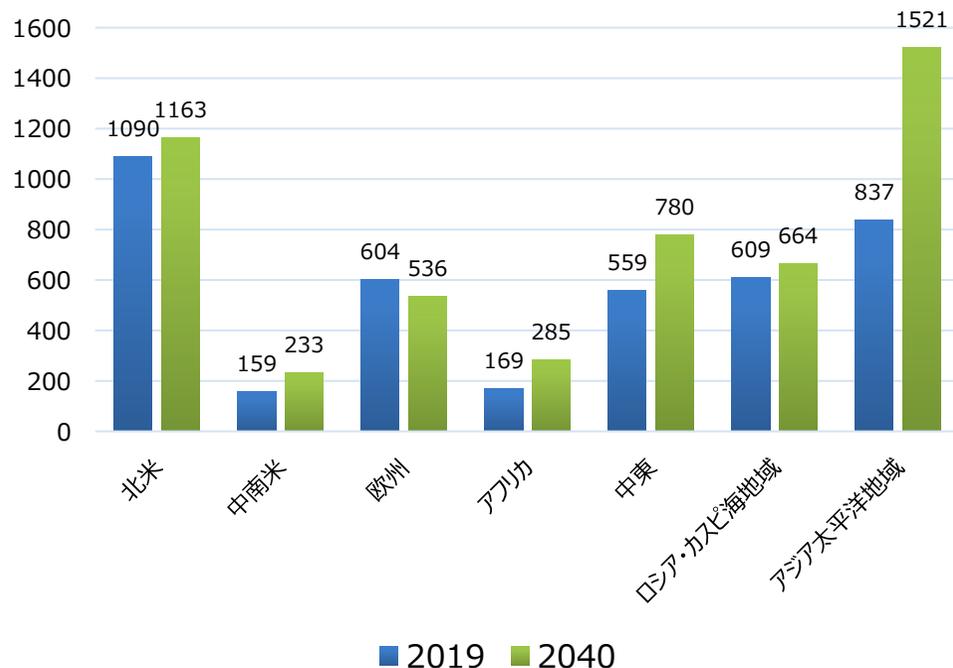
	日本	欧州	米国
水素利用の形態	<ul style="list-style-type: none"> <li>・合成メタン</li> <li>・水素直接利用</li> </ul> ※個別地域における混合利用は排除していない。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水素混合</li> <li>・水素の直接利用</li> <li>・合成メタン</li> </ul>	<輸送・貯蔵> <ul style="list-style-type: none"> <li>・既存の天然ガス・都市ガスのパイプライン等を用いた水素又は水素混合物の輸送・貯蔵。</li> </ul>
その他のガス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオガスの利用</li> <li>・オフセットした天然ガスの利用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオガス、バイオメタンの利用</li> <li>・CCUSと天然ガスの利用</li> </ul>	<利用> <ul style="list-style-type: none"> <li>・産業：CO<sub>2</sub>とクリーン水素を反応させた、メタノールや再生可能天然ガスのような汎用性が高いネット・ゼロ・カーボン燃料のオプションを提供するe-fuel製造。</li> <li>・コージェネ等定置型発電設備：水素直接利用、天然ガスへの水素混合（既存インフラ・機器への適合性評価、高い水素混合割合（最大100%）に対応するバーナー開発等が必要）</li> </ul>
内訳	2050年 <ul style="list-style-type: none"> <li>●合成メタン：90%</li> <li>●水素直接利用：5%</li> <li>●バイオガス：</li> <li>●オフセットした天然ガス：</li> <li>●CCUSと天然ガス</li> <li>●その他：</li> </ul> } 5%	2050年のエネルギーミックスにおけるガス体エネルギーの割合20%。 <ul style="list-style-type: none"> <li>●再生可能・低炭素ガス：2/3               <ul style="list-style-type: none"> <li>・水素</li> <li>・バイオガス、バイオメタン</li> <li>・合成メタン</li> </ul> </li> <li>●CCUSと天然ガス：1/3</li> </ul>	
出典	グリーン成長戦略	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Hydrogen and Gas markets Decarbonisation Package (Combined Evaluation Roadmap/Inception Impact Assessment)</li> <li>・ Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on common rules for the internal markets in renewable and natural gases and in hydrogen</li> <li>・ Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the internal markets for renewable and natural gases and for hydrogen (recast)</li> </ul>	Department of Energy Hydrogen Program Plan

# (参考) 天然ガス・合成メタンの将来性

- IEA「World Energy Outlook 2020」によれば、世界の天然ガス需要量は、2040年には2019年比1.3倍に増加 (Stated Policies Scenario)。特にアジア太平洋地域での増加が顕著 (2040年には2019年比1.8倍)。
- IEA「Net Zero by 2050」によれば、2050年には世界の導管で供給されるガス需要のうち35%が低炭素ガス (Low-carbon gases) により供給され、このうち約3割を合成メタンが占めると予測している。

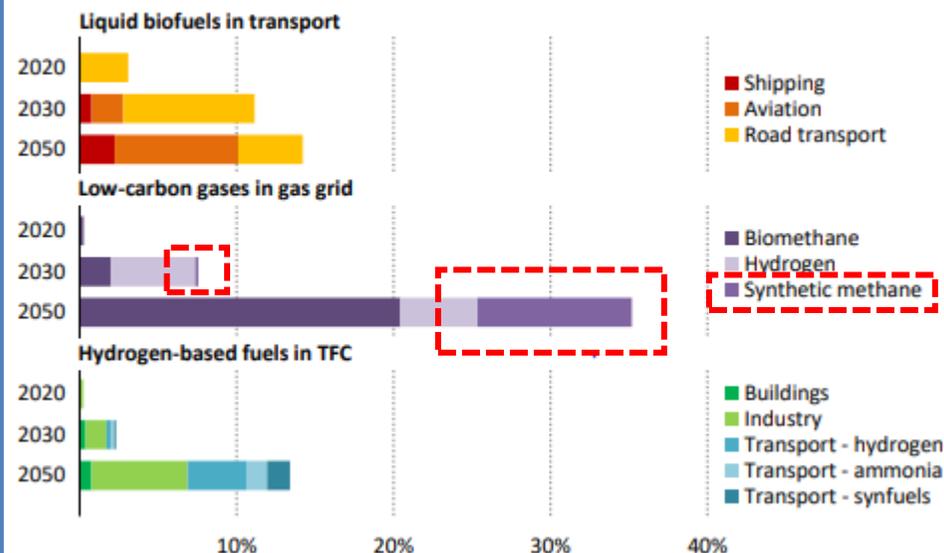
## 天然ガス需要

(単位: bcm)



## Low-Emission Fuelの分野毎の世界供給量予測

Figure 3.6 ▶ Global supply of low-emissions fuels by sector in the NZE



# (参考) メタネーション推進官民協議会

- 合成メタンの社会実装に向けては、**技術開発**に加えて、水素コストが相対的に安価な海外で生成した合成メタンを国内に輸送するといった**サプライチェーンの構築**や、カーボンニュートラルに資する方向での**CO<sub>2</sub>のカウンターの検討**などが必要。
- これらの課題への取組を推進するため、2021年6月、供給側・需要側の民間企業や政府など関係する**様々なステークホルダーが連携して取り組むメタネーション推進官民協議会を設置**。
- **今年度中に2030年に向けたアクションプランを整理し、具体的な地点等を念頭に置きながら、官民が一体となって取組を推進**していく。

## メタネーション推進官民協議会メンバー

供給側：**ガス**（日本ガス協会、東京ガス、大阪ガス、東邦ガス、INPEX）、**電力**（東京電力、JERA、関西電力）

**エンジニアリング**（IHI、日立造船、日揮、千代田化工、三菱重工業）

需要側：**鉄**（日本製鉄、JFEスチール）、**自動車**（デンソー、アイシン）、**セメント**（三菱マテリアル）

サプライチェーン：**船**（商船三井、日本郵船）、**商社**（住友商事、三菱商事、シェルジャパン）

**研究機関**：日本エネルギー経済研究所、CCR研究会/産総研、NEDO

**金融**：日本政策投資銀行、JOGMEC

**学識者**：山内弘隆(一橋大学名誉教授)、秋元圭吾(RITE主席研究員)、  
橘川武郎(国際大学副学長) ※いずれも総合エネ調基本政策分科会委員

**政府**：経済産業省、資源エネルギー庁、国土交通省、環境省

## 推進体制

### メタネーション推進官民協議会

#### CO<sub>2</sub>カウントに関するタスクフォース

⇒合成メタン利用に伴うCO<sub>2</sub>カウントに関する論点の整理や方策の検討。

#### 国内メタネーション事業実現タスクフォース（仮称）

⇒具体的な産業・地域・工場（CO<sub>2</sub>の排出サイド）を念頭に、国内メタネーションの事業実現について検討。

#### 海外メタネーション事業実現タスクフォース（仮称）

⇒具体的な国・地域・相手企業（供給サイド）を念頭に、海外メタネーションの事業実現について検討。

# (参考) メタネーション取組マップ2022

		社名	概要	2022.3	<2020年代前半>	2025	<2020年代後半>	2030
技術開発	サバティエ	INPEX	INPEX長岡鉱場（新潟県）内で回収したCO2を活用した合成メタン製造技術の開発。	400Nm3/h級（大阪ガス/NEDO事業）		10,000Nm3/h級		60,000Nm3/h級
		日立造船	① 環境省事業。小田原市の清掃工場から回収したCO2を活用したメタネーションモデル実証。地域共生圏構想にて、地域エネルギー活用技術の社会実装を目指す。 ② 中国榆林経済技術開発区にて副生ガス(H2、CO2)から合成メタンを製造し導管注入するFS調査。今後500Nm3/h級の実証を予定。	125Nm3/h級	500Nm3/h級	5,000Nm3/h級	数万Nm3/h級	
		IHI	そうまIHIグリーンエネルギーセンター（福島県）にて、再生可能エネルギーからのメタネーション全プロセスを実証中。数万Nm3/h級へのスケールアップを目指す。	12.5Nm3/h級～		数百～数万Nm3/h級		
		デンソー	愛知県安城工場で、メタネーションを活用した工場内CO2循環の実証。	実証		社外で実証		事業化
	東京ガス	神奈川県横浜市の研究開発拠点にて、サバティエの実証や革新技術の研究開発を実施。	12.5Nm3/h級～		数百～数万Nm3/h級			
	革新	大阪ガス	大阪市のカーボンニュートラルリサーチハブにて、SOECメタネーションの研究開発を実施。	ハイブリッドサバティエ、PEMCO2還元、バイオリアクター		ラボスケール	スケールアップ	
		GI基金	2050CN実現に向けた野心的取組を10年間、研究開発から社会実装までを継続して支援。	SOECメタネーション		技術確立	スケールアップ	
			基盤技術の確立					

サプライチェーン	国内	関西電力	堺エリアで関西電力グループの設備を活用したメタネーション実証に向けたFS調査（2021年度までNEDO事業で実施）。
	海外	東京ガス・住友商事	パトラス／東京ガス／住友商事がマレーシアで製造した合成メタンを日本に導入するFS調査の開始を合意。
		東京ガス・三菱商事	東京ガス／三菱商事が北米、豪州等で製造した合成メタンを日本に導入するFS調査の開始を合意。
		大阪ガス	大阪ガス／ATCOオーストラリアが豪州で製造した合成メタンを豪州域内で供給・日本等への輸出することに関するFS調査。2022年中に実施。
		JERA	米国で再エネ由来水素と火力発電所等から回収したCO2より合成メタンを製造し供給を行うFS調査（2021年度までNEDO事業で実施）。

参考	船舶	商船三井	「CCR研究会 船舶カーボンサイクルWG」の幹事会社として、カーボンニュートラルな合成メタンを船舶の代替燃料として活用することにより、CO2排出抑制を目指す。
		国際海事機関	メタネーションの原料として分離、回収したCO2が各国のGHG inventory に排出計上されている場合、そのCO2から合成したメタンの船上燃焼時のCO2排出をゼロと見做す案を日本等が提案

# (参考) メタネーションの技術開発動向

- メタネーションの技術としてはサバティエ反応が知られており、**NEDO事業**等で**基盤技術開発の段階**。今後、設備大型化に向けた技術開発・実証が行われていく予定。**2030年代の導入拡大**を目指す。
- サバティエ反応より高効率にメタン合成できる革新的技術について、グリーンイノベーション基金事業（国費負担額上限242.2億円、現在NEDOで公募中：2022年3月7日まで）等を通じて、基盤技術開発を進めていく予定。**2040年代の導入拡大**を目指す。

## グリーン成長戦略（次世代熱エネルギー産業）工程表より抜粋・加工

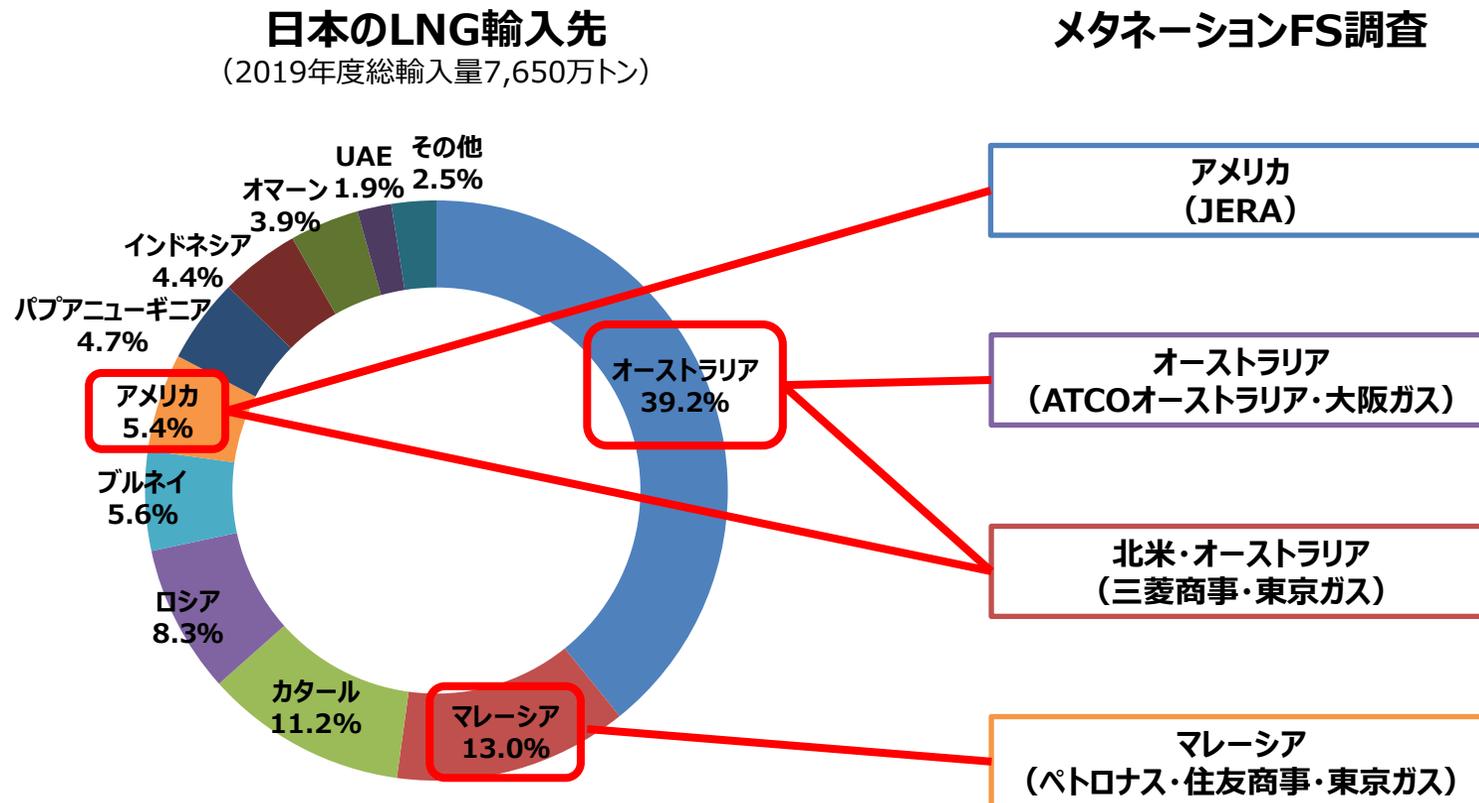
●導入フェーズ： 1. 開発フェーズ → 2. 実証フェーズ → 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ → 4. 自立商用フェーズ



# (参考) 合成メタンのサプライチェーン構築に向けた取組

- メタネーションの事業化に向けて、既存のLNGサプライチェーンの利用を念頭とした、海外から国内に合成メタンを輸出する等のFS調査が進められている。
- 海外でのメタネーションについては、これらの国々を念頭に、LNG輸出国や再生可能エネルギー適地国との国際連携・サプライチェーン構築に向けた取組を進めていく。

## LNG輸出国とFS調査の関係

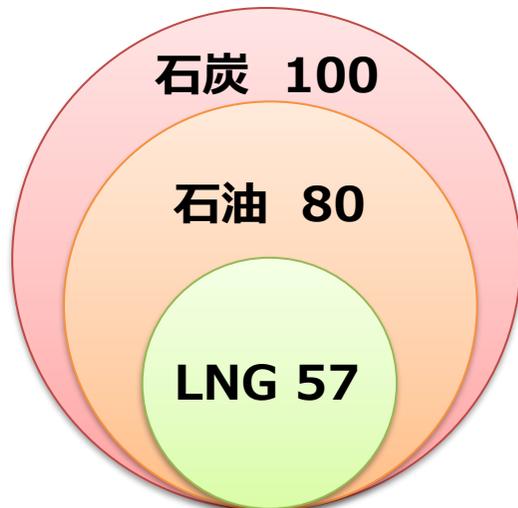


# (参考) 天然ガスへの燃料転換等

- 2050年カーボンニュートラル実現に向けて、メタネーション等が実用化するまでの間をどのように繋げていくかが重要であり、トランジション期においては熱需要の低炭素化を進めていくことが重要。
- 天然ガスは化石燃料の中でCO<sub>2</sub>排出量が最も少なく、熱需要の低炭素化のためには、石炭・石油から天然ガスへの燃料転換や高効率機器の導入が有効。既に燃料転換等する事業者も存在しており、需要サイドの排出削減に貢献。
- メタネーションが実用化すれば合成メタンが天然ガスを代替できるため、コストを最小に抑えながら、将来的な脱炭素化に繋げることができる。

## 燃焼時CO<sub>2</sub>排出量

※石炭を100とした場合



出典：エネルギー白書2010

## 燃料転換等の事例

### 旭化成株式会社



延岡地区 (宮崎県延岡市)

### 石炭火力発電

燃料転換

天然ガス火力発電  
(ガスコージェネレーション)  
CO<sub>2</sub>削減量：年間16万トン  
2022年運転開始予定

### 昭和産業株式会社



鹿島工場 (茨城県神栖市)

### 石炭ボイラー

燃料転換

ガスコージェネレーション  
CO<sub>2</sub>削減量：年間6万トン  
2021年9月より稼働

出典：公表情報より資源エネルギー庁作成

# GX分析 ②-6 グリーンLPG

## ● 現状のビジネス環境

- 日本におけるLPガスは、1,400万トン／年の需要で推移。  
全世界の約4割の家庭に供給されるほか、工業用、化学原料用等、多岐に亘る分野で活用。
- ボンベによる分散型供給であり、災害時においても「最後の砦」として利用できるメリット。
- 世界のLPガス需給は中国・インドの消費量が急増、世界のLPガス消費量をけん引していくと予想。
- 近年、アジア市場には日本LPガス企業の進出が増加、アジアでの販路開拓が進んでいる。

## ● カーボンニュートラルが産業や社会に与える影響

- LPガス利用で排出されるCO<sub>2</sub>の量は、2050年時点で2,400万トン/年と想定。
- 化石燃料によらないLPガス（グリーンLPG）の商用化によって、輸入・流通のみならず、製造も含むバリューチェーンに変化する。
- 2050年には国内のLPガス需要をグリーンLPガスに代替し、さらに、アジア市場でのグリーンLPガス需要を取り込むことで、合計2,150万トンの需要となり、6,450万トン/年のアジア・日本のCO<sub>2</sub>削減を見込むことができる。

## ● 海外プレイヤーの動向

- 欧米では、バイオディーゼルを主製品とした生産の過程で副生されるバイオLPガスを生産。  
生産量は限られており、大量生産は困難。
- 効率的に生産するための触媒開発が重要だが、グリーンLPG生成を主目的とした技術開発は世界的に見ても取組みがなされていない状況であり、日本がリードできる可能性がある。

# 課題と打ち手の例 ②-6 グリーンLPG

## 【技術レイヤー・ビジネスレイヤー】

- グリーンLPGの生成には、水素と一酸化炭素からLPガスを合成する製法が考えられるが、商業化するには、現在の触媒では生成率が30%程度と低いため、どのような支援が必要か。  
→ グリーンイノベーション基金等を活用し、コア技術となる合成効率が高い触媒開発・合成方法を支援。
- グリーンLPGの原価は、現在のLPG輸入価格（約7万円/トン）の3倍程度になると見込まれており、社会実装にあたって、どのような対策が必要か。  
→ 製造原価を押し上げている、水素については、その調達格安な豪州等の水素生産国でグリーンLPGを生産することで、大量かつ安価に生産できる可能性がある。また、日本における水素製造の技術進展によって安価な水素の調達が可能となれば、その水素を活用する可能性もある。  
→ LPガスの現在のサプライチェーン※<sup>1</sup>を見直し、グリーンLPG製造会社が小売もするようになることで、流通コストを削減できる可能性がある。LP業界団体と連携して、原価が高いグリーンLPGが事業化できるビジネスモデルを検討する。  
→ 非化石燃料から生成されたグリーンLPガスのための品質基準※<sup>2</sup>を確立する。

## 【マーケットレイヤー】

- 大きな需要が見込まれるアジアへの展開を念頭に、グリーンLPGの強みを生かし、マーケットを獲得していくためにはどのような対策が必要か。  
→ 保安制度や品質基準等の日本のLPガスの制度的基盤を、技術協力を通じてアジアでの浸透を図る。  
→ 海外のLPG関係者が参加するLPG国際セミナーやアジアLPGフォーラムの場を通じ、グリーンLPGの生成に向けた日本取り組みを紹介することにより、アジアでのグリーンLPG利用を促すとともに、アジア市場に進出している日本のLPガス企業の販路づくりを支援し、新たな海外市場を創出を目指す。

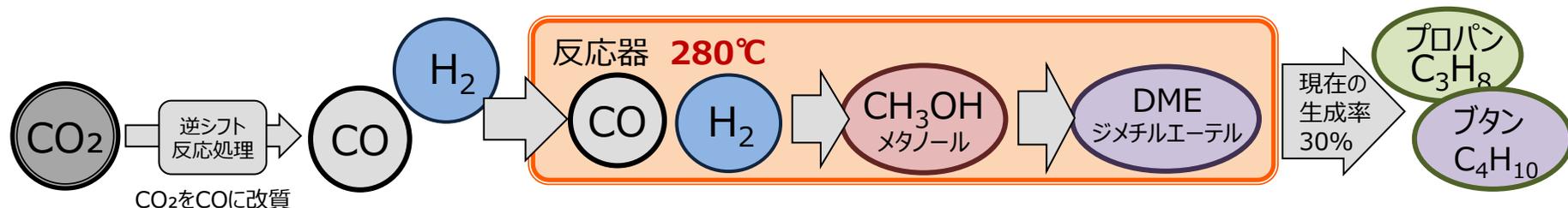
※ 1 : LPガスは、輸入会社（元売）→卸売会社→小売会社→消費者というサプライチェーンになっており、都市ガスのように輸入・製造会社が消費者への小売まで一体で事業を担っていないため、サプライチェーンの各段階で流通コストが発生しており、輸入価格7万円/トンのLPガスは小売価格40万円～50万円となっている。

※ 2 : 現行のLPG品質基準（JIS K 2240）は、LPGが石油から生成されることを前提に策定されている。合成の際に発生する不純物は、石油生成のときに発生する不純物とは異なり、品質に影響のない物質も含まれる。グリーンLPGのための品質基準が必要であり、無理に現行の品質基準に合致させようとすると、不純物を取り除くための過剰な精製コストが発生する可能性がある。

# (参考) LPガスのカーボンニュートラルに向けた取組み

- 非化石燃料から生産する「グリーンLPガス」の合成技術を確立し、2030年の社会実装に向けた実証等に取り組む。
- 2020年12月、2050年カーボンニュートラルの実現に向けた「グリーン成長戦略」が策定され、2021年6月に改定。この取組を加速化するため、2兆円の「グリーンイノベーション基金」が造成されており、「グリーンLPガス」の合成技術の確立についても、研究開発・実証から社会実装までを支援（国費負担額：上限35.5億円）。
- こうしたグリーンLP ガスの合成に係る技術開発・実証を集中的に行い、2030年までに合成技術を確立し商用化を実現。2050年には需要の全量をグリーンLP ガスに代替することを目指す。

グリーンLPガスの化学合成



2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(概要)

	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
グリーンLPG		触媒等の実証試験に必要な基盤技術の海発				★目標（2030年時） グリーンLPGの商用化	★目標（2050年時） LPガスにおけるカーボンニュートラルの実現	★目標（2050年時） LPガスにおけるカーボンニュートラルの実現
		商用化に向けた実証					コスト低減	グリーンLPガス合成技術の普及拡大

# (参考) グリーンLPガスの社会実装の方向性

- 以下の2つの取り組みによって、普及を図る。

① 一般のLPガスと混合して、供給する (都市ガスのメタネーションによる合成メタンも同様)

メリット：グリーンLPガスの生産コストをLPガス料金全体に転嫁できる

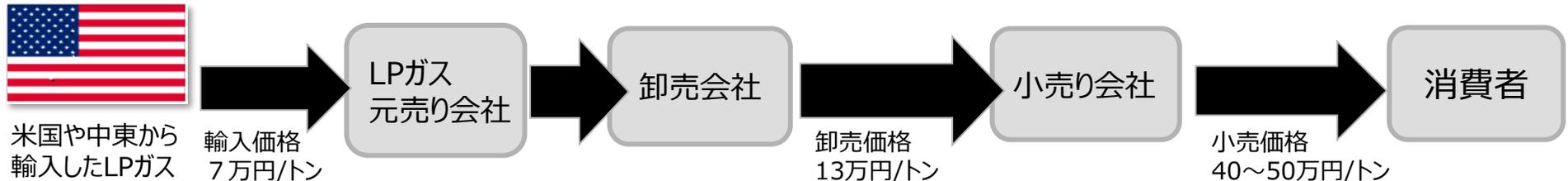
② グリーンLPガスを一般のLPガスと差別化して販売する (欧州のバイオLPガス販売と同様)

メリット：持続可能なエネルギーを求める需要家の要望に応えることができる。

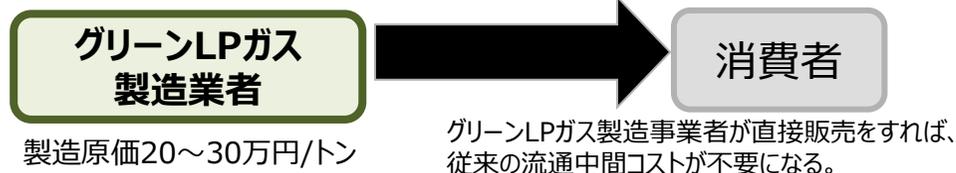
## 【考察】 グリーンLPガスの生産技術の確立による産業構造の変化

- 現在、LPガスは輸入を行う元売り会社から、卸売会社、小売会社を経由して消費者に届けられており、川上から川下までのLPガスのサプライチェーン構造が長くなっている。それぞれの流通に関わる業者が事業者利益を確保して取引するので、LPガスの小売価格は、輸入・小売をする都市ガスに比べ2倍程度高くなっている。
- グリーンLPガスの生産技術が確立し、事業リスクが低下すれば、LPガス関連会社や産業用ガス製造会社等がグリーンLPガスの生産に参入し、製造・販売に取り組む可能性もある。製造事業者が販売もするようになることで、グリーンLPガスの製造原価が高とも、流通中間コストがなくなるため、一般のLPガスと価格競争できる可能性がある。

### 現在のLPガスのサプライチェーン



### グリーンLPガスの製造・販売一体の事業展開の可能性



# (参考) グリーンLPガスの国内流通に伴うビジネス環境の整備

## 【品質基準】

- LPガスの国内流通にあたっては、品質基準があり、成分等について適合させる必要あり。従来の石油精製からつくられるLPガスにおいては、確立された製造技術により生産される高品質のLPガスが求められてきたが、従来の品質基準に適合しようとして、改質工程を繰り返すと、過度な製造コストがかかることが懸念される。
- グリーンLPガスの製法によって含有される成分について検証\*1し、必要に応じて、品質基準の見直しを行い、グリーンLPガスが流通しやすいビジネス環境を整備していく。

## 【第三者認証】

- 非化石原料からの生産されたLPガスについて、第三者認証制度の必要性が世界LPガス協会で議論されている。グリーンLPガスの第三者認証制度を確立をすることで、グリーンLPガスの信頼性の高い取引環境を整備。

## 【グリーンLPガスのサプライチェーンの在り方】

- 原価が高いグリーンLPガスの流通のについて、検証し、その在り方や展望を示す。

## 【業界統一ブランド化】

- グリーンLPガスに取り組む各社がそれぞれの自社ブランドとして取り組むと、需要家への認知を高めていくことが困難なため、業界統一ブランド\*2として、呼称、要件、ロゴマーク等を定め、業界を挙げてPRしていく。

※1 反応器内でLPガスにならなかった、未反応のDME（ジメチルエーテル）が、そのまま反応器から出てくるのが予想される。DME自身は可燃性のガスで物性もLPガスに類似しており、10%～20%は、LPガスに含まれていても支障ないと考えられる。

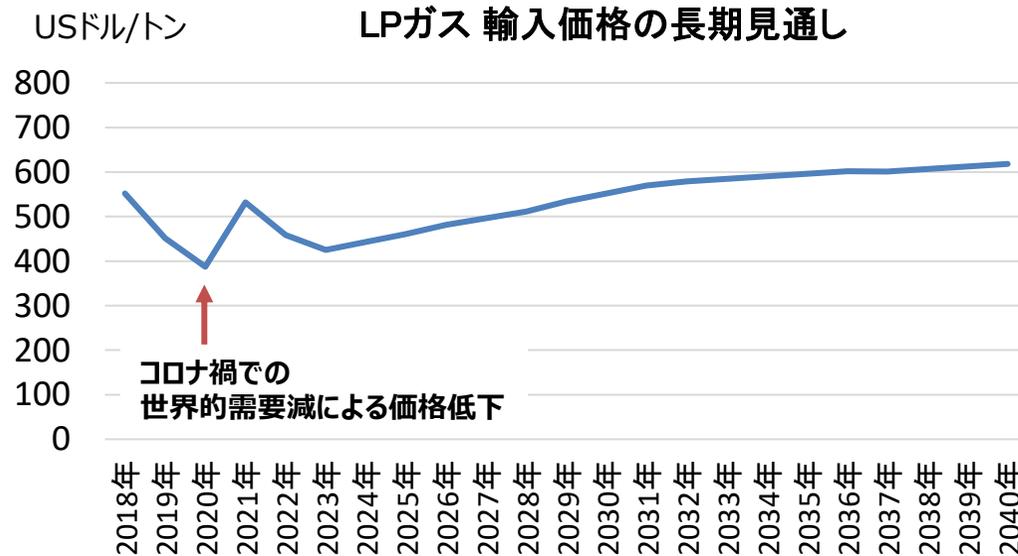
※2 ガス業界ではこれまでも、差別化が必要な商品について、高効率ガス給湯機にエコジョーズ、家庭用燃料電池にエネファームと、業界統一ブランド化を図り、PRする取り組みが行われてきている。

JIS規格 JIS K 2240

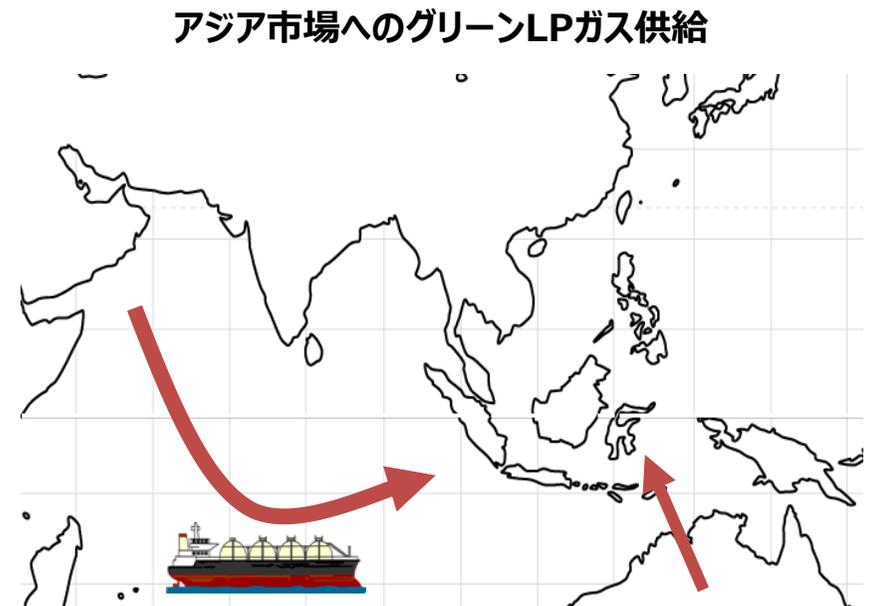
種類	項目	組成 (mol%)				硫黄分 (質量%)	蒸気圧 (40℃) (Mpa)	密度 (15℃) (g/cm <sup>3</sup> )	銅板腐食 (40℃、 1h)	主な 用途
		エタン +エチ レン	プロパ ン +プロ ピレン	ブタン +ブチ レン	ブタジエ ン					
1 種	1 号	5以下	80以上	20以 下	0.5以下	0.0050 以下	1.53以下	0.500 ～0.620	1以下	家庭用燃料 業務用燃料
	2 号		60以上 80未満	40以 下						
	3 号		60未満	30以 上						
2 種	1 号	—	90以上	10以 下	— (注)	0.0050 以下	1.55以下	0.500 ～0.620	1以下	工業用燃料 工業用原料 自動車用燃料
	2 号		50以上 90未満	50以 下						
	3 号		50未満	50以 上 90未 満						
	4 号		10以下	90以 上						

# (参考) グリーンLPガスの海外展開の展望

- 今後、石油生産が減少し、石油精製からのLPガス生産も減少する一方で、LPガスの世界需要は拡大を続けるので、長期的には国際的なLPガス価格の上昇が予見される。そのため、グリーンLPガスの原価のギャップも小さくなっていくと考えられる。
- 需要拡大が見込めるアジアにおいては、近年、日本のLPガス企業の進出が進んでいる。現地で日本のLPガス会社と提携することで、グリーンLPガスの販路開拓については円滑に確保できる。なお、アジアのグリーンLPガス市場は推定2.7兆円／年と試算\*。
- アジアへのグリーンLPガス供給については、豪州・中東等の水素生産国でグリーンLPガスを生産し、アジアに輸出するオペレーションが考えられる。



出典：Argus社 LPG analytics Services - long-term Market review -



# (参考) 政府のグリーンLPガス海外展開支援

- 日本のLPガス企業のアジアへの海外展開を後押しすべく、LPガス国際セミナーやアジアLPガスフォーラムを開催。アジア諸国のLPガス業者と日本企業とのネットワーク作りに貢献。今後、日本のグリーンLPガスの取り組みを紹介し、アジア諸国のLPガス業界の啓蒙を図っていく。
- 国際石油ガス協力機構による、現地LPガス企業への日本のLPガスマネジメント技術の指導を通じた、日本企業とのネットワーク作りへの貢献。今後、グリーンLPガスのビジネス基盤となる、認証制度、品質基準、ブランド化ノウハウを指導。
  - ペトロベトナムLPG社等への技術協力（2016年度～2022年度）

## アジアLPガスフォーラム 2021

### The Asia LPG Forum 2021

◆ 開催日:3月3日(水) 12:30-14:40 ※WEB による開催

The day of the seminar: Mar. 3<sup>rd</sup>, 2021

12:30~12:40	アジアLPガスフォーラム Opening Address of the Forum	13:20~13:50	講演：イサラLPG(フィリピン) Presentation: Isala LPG Corporation (Philippines)
	エルピーガス振興センター Mr. IWAI Seisuke, President		CEO ルーベン・マリオ・A・ドミンゴ 氏 Mr. Ruben Mario A. Domingo, CEO 「フィリピンのLPガス市場と日本企業とのJV事業(仮)」 "LPG Industry in Philippines and our Activities with Japanese companies (Tentative)"
12:40~12:50	歓迎挨拶 Welcome Address	13:50~14:20	講演：I-T-O(日本) Presentation: I-T-O Corporation (Japan)
	資源エネルギー庁 資源 Mr. HASHIZUME Masafumi, Director, Natural Resources and Energy		執行役員海外事業部長 内海 由輝子 氏 Ms. UTSUMI Yukiko, Operating Officer, Overseas Div. 「わが社の海外事業活動(仮)」 "Our Overseas' Activities (Tentative)"
12:50~13:20	講演：サイサン(インドネシア) Presentation: Saisan (Indonesia)	14:20~14:40	総括及び閉会挨拶 Concluding Remarks and Closing Address
	海外事業部部長 新堀 俊 Mr. SHIMBORI Toshiyuki, Director, Overseas Business Dept. 「わが社の海外事業活動(仮)」 "Our Overseas' Activities (Tentative)"		エルピーガス振興センター 専務理事 嘉村 潤 Mr. KAMURA Jun, Managing Director, LP Gas Center



# GX分析 ②-7 化学産業

## ● 現状のビジネス環境

- 米中を中心に、基礎化学品（エチレンなどの）供給能力を増加させていく方向（2017年から2023年で170百万tから219百万t（+4.3%）の供給量に）。
- 日本国内においては年間約600万tのエチレンを生産。内需約6割、輸出約4割（内需縮小傾向）。
- 個々の市場規模は小さいものの蓄電池、半導体材料などにおける機能性化学品において日本は、世界シェア60%以上の材料が70種類以上存在。
- 付加価値の高い化学品生産へシフトするも、その機能性化学品のSC強靱化、ケミカルリサイクルの戻し先の確保などの観点から、国内分解炉による汎用化学品の一定量の生産は不可欠。

## ● カーボンニュートラルが産業や社会に与える影響

- 世界全体では、今後、中国を中心に年率+3%程度のエチレン需要増が続く見通し。
- プラスチック原料となる石油の需要も2050年はほぼ横ばいの見込み。(IEA Net Zero by 2050)
- CNに向けては、化石燃料由来の原料使用が世界的に当面見込まれるため、既存プロセスの脱炭素化が重要となる。さらに、地表にある炭素をいかに循環させるかも重要。
- しかし、現時点ではCNとコスト競争力を両立する手段がない。かかる手段の確立に向けて各国で競争が進む中、対応を誤れば①我が国の化学産業が競争力を大きく損ない、②国内での事業継続が困難となり、③我が国製造業等に対する安定供給を損なうおそれがある。
- CN社会の実現に向けて化学産業では、CO<sub>2</sub>排出源であるナフサ分解炉のエネルギー転換、CO<sub>2</sub>を資源として捉えた原料の転換、高度なケミカルリサイクル技術の確立、石炭等火力自家発電所の燃料転換を進め、世界に先駆けて炭素循環産業として確立することが必要。

## ● 海外プレイヤーの動向

- 欧州では、安価な再エネ電力をナフサ分解炉の熱源として用いる電熱化によるCO<sub>2</sub>削減を検討。また、廃プラスチック・廃ゴムのケミカルリサイクルについても検討が行われており、一部実証が開始。
- 触媒利用、再エネ利用促進、CCUSなどによる排出削減にかかる戦略は各国様々。

## 課題と打ち手の例 ②-7 化学産業

### 【技術レイヤー・ビジネスレイヤー】

- ナフサ分解炉のCN化、機能性化学品のシェア維持拡大、ケミカルリサイクル実現に向けた環境整備など課題は山積。国内製造業の基盤を支える日本の化学産業にフィットしたCNのための最適な技術的方法論をどのように確立するか。また、そのビジネス環境をどのように整備するか。
  - グリーンイノベーション基金により①ナフサ分解炉の熱源CN化、②ケミカルリサイクルの社会実装による原料循環・サステナビリティ獲得を進めつつ、③カーボンニュートラル時代の競争環境に向けたCO<sub>2</sub>を原料とする化学品製造を支援。なお、その安定化には、安定的かつ産業のニーズに即した新燃料（水素、アンモニア等）の供給も必須。加えて、マスバランス方式によるCN材料供給やCO<sub>2</sub>算定方法にかかるルール整備などを進め、CN貢献度の可視化・普及を図る。
- 2050年CNに向けて技術開発を進めるが、足下2030年46%削減達成に向けたトランジションの道筋はどのようなものか。
  - トランジションとしては、省エネ技術の最大限の導入や石炭火力等自家発電所の燃料転換を進めていく。燃料転換については、R3補正予算により実現可能性調査を支援。

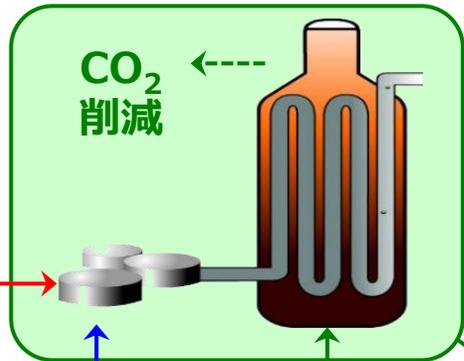
### 【マーケットレイヤー】

- 化石燃料割合の高いアジアへの展開を念頭に、企業の優位性を確保するためにはどのような対策が必要か。
  - レトロフィットな分解炉のCO<sub>2</sub>削減技術やナフサ以外からの樹脂製造技術（触媒技術など）を早急に確立・実装化し、ライセンスビジネス等による海外展開で、海外における新規需要を日本が積極的に獲得する。
- CRプラスチックは、バージン由来プラスチックと比較して、コスト競争力や原料確保の点から劣位。CRプラスチックを市場投入するためにはどのような対策が必要か。
  - CRプラスチックの普及拡大のためには、リサイクル技術の開発だけではなく、リサイクルしやすい原料や製品設計、リサイクル資源の回収スキームの確立が極めて重要。プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律において、環境配慮設計指針や廃掃法の特例など、資源循環を確立するための社会基盤を構築する。

# (参考) 日本における脱炭素化への方向性

- 石油化学産業については、①熱源転換、②原料転換、③原料循環、による国内でのカーボンニュートラル化を目指す。その際、サーキュラーエコノミー推進の観点から地方自治体や他産業との連携も不可欠であるほか、排ガスの回収などCCUSの活用も行っていく必要がある。

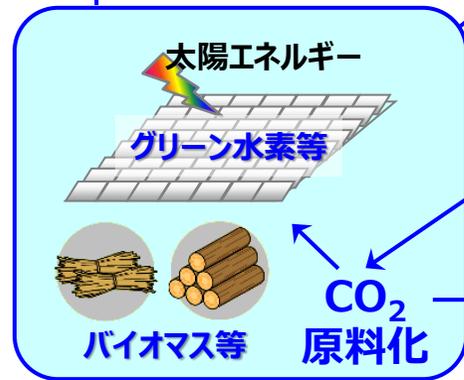
## ①熱源転換



PJ内連携

NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub> PJとの連携

## ②原料転換



**基礎化学品**  
C2~5 オレフィン  
約1200万トン  
C6~8 BTX

CO<sub>2</sub>分離・回収  
PJとの連携

**機能性化学品**  
ポリカーボネート  
ポリウレタン等

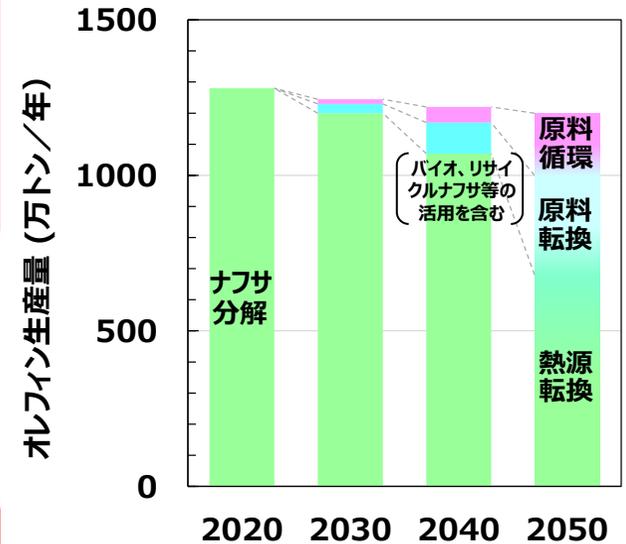
## ③原料循環



CO<sub>2</sub>削減

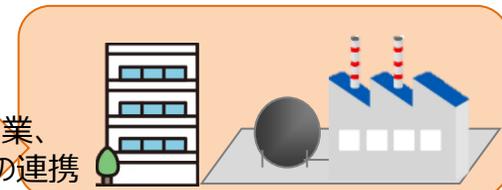
## 基礎化学品製造

### 国内でのトランジションイメージ



※上図は石油製品の生産状況や技術進展等によって割合は変化するものの、基礎化学品の生産とカーボンニュートラルの両立、海外展開等の多面的な対応が取れる体制を目指す。

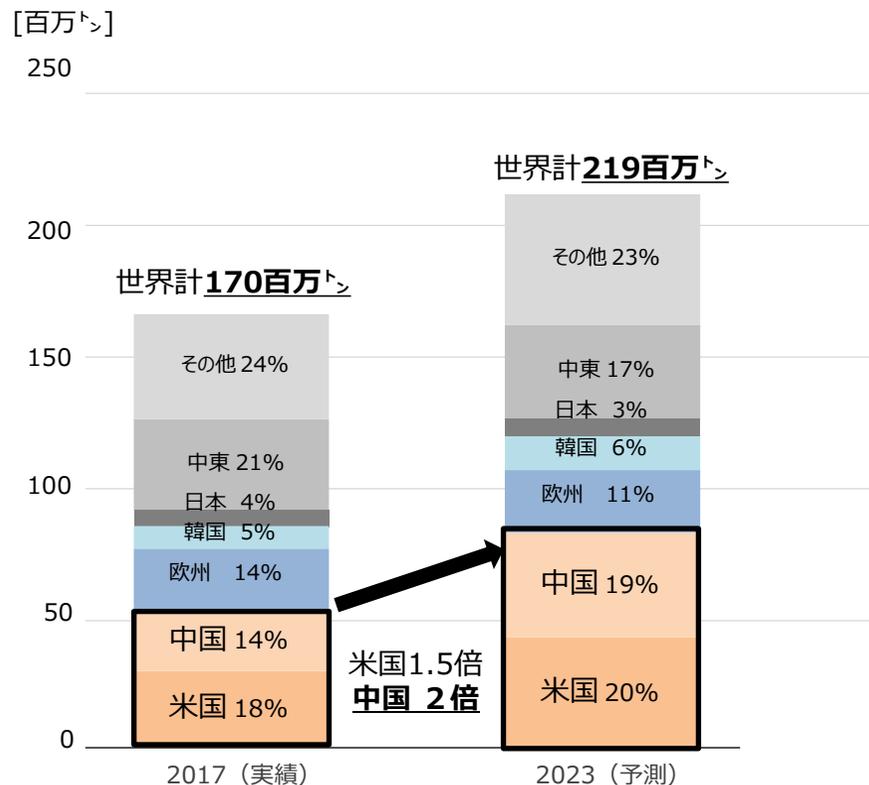
地方自治体や他産業、  
コンビナート内での連携



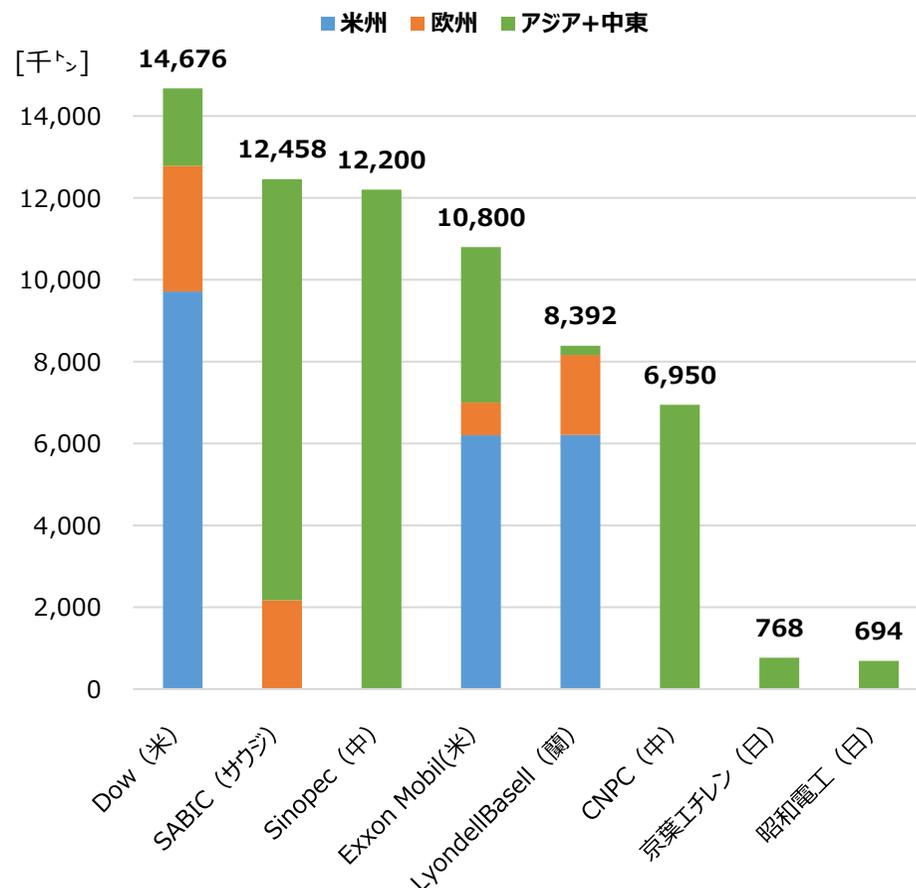
# (参考) 化学産業における基礎化学品の供給能力

- 世界のエチレンの生産環境は、2023年には、2017年比で米国が1.5倍・中国が2倍の供給能力へと拡大し、世界に占める割合も増加。
- エチレンの供給能力について、日本企業は世界トップ層の規模感とは大きく異なる。

## <エチレン供給能力の実績・予測>

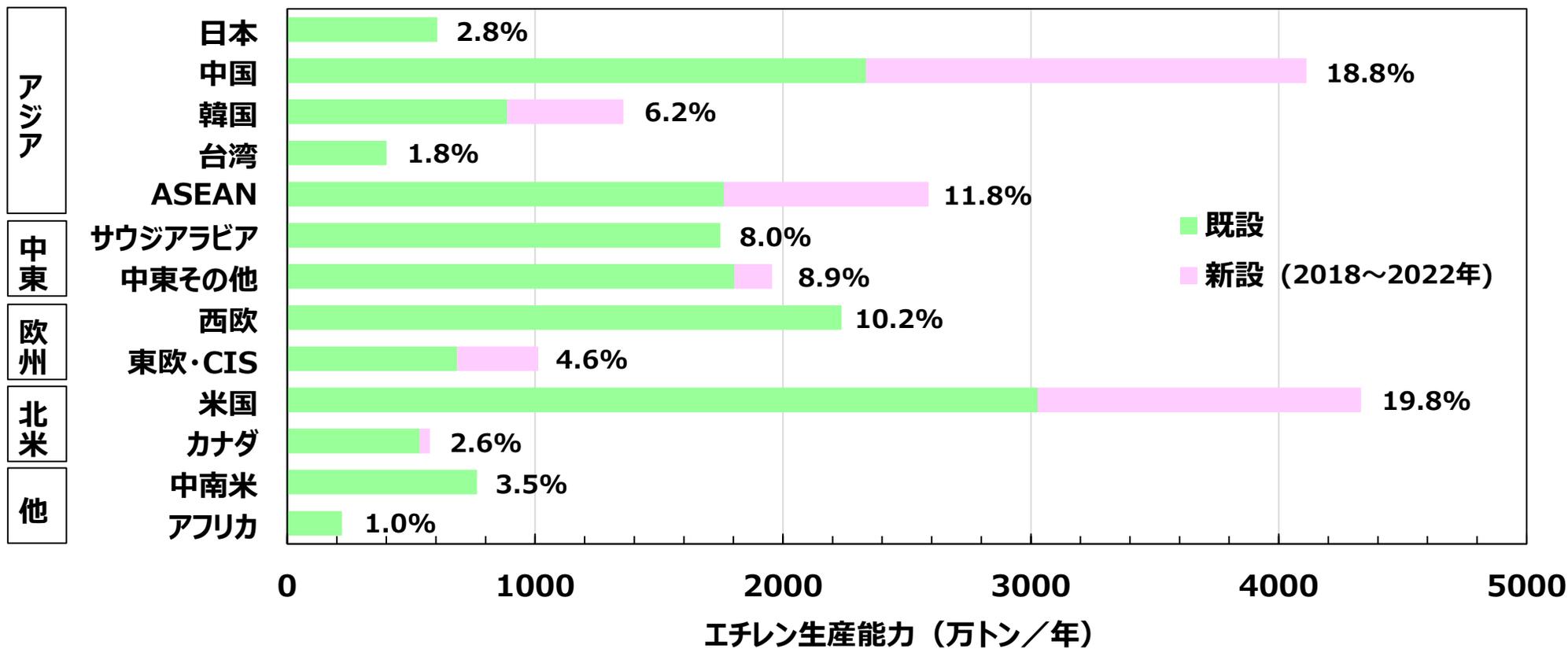


## <グローバルエチレン生産能力>



## (参考) 世界のプラスチック原料製造プラント

- 世界全体でエチレン生産能力2億1909万トン分のプラスチック原料製造プラントがあり、内4,898万トンが2018～2022年に新設（建設中を含む）。
- 日本のシェアは2.8%。中国、韓国、ASEAN、米国でプラスチック原料製造プラントが新設され、シェアを拡大している。



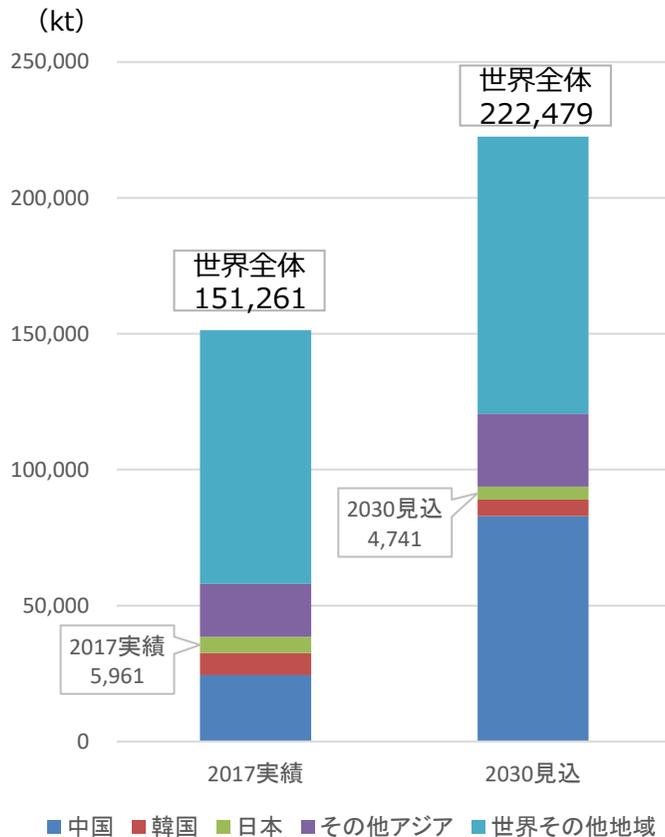
経済産業省「世界の石油化学製品の今後の需給動向(2019年10月)」

[https://www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/mono/chemistry/sekaijyukyudoukou201910.html](https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/chemistry/sekaijyukyudoukou201910.html)

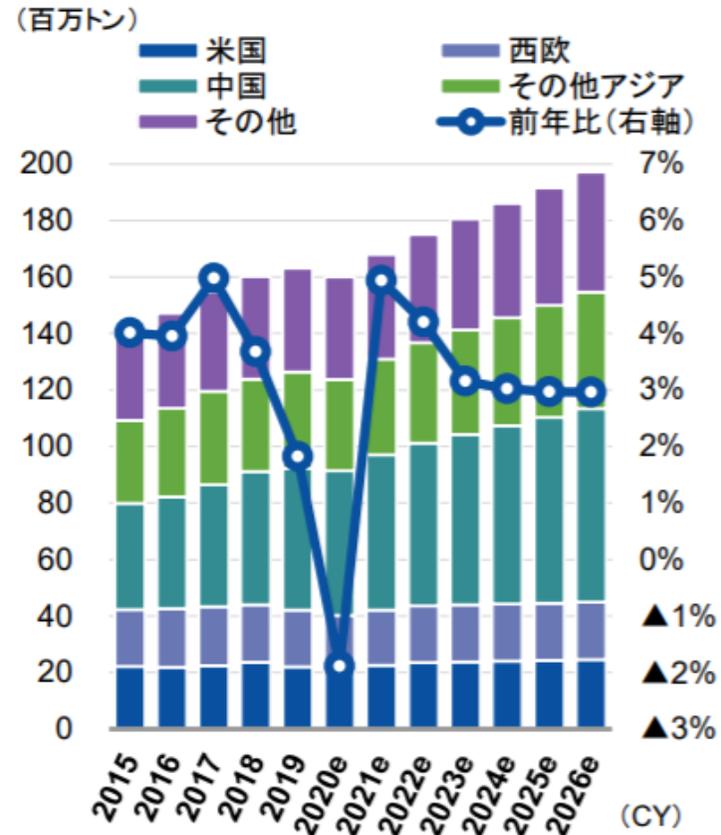
# (参考) グローバル需要の変化

- 基礎化学品について、世界需要は順調に伸長する見込み。
- グローバル需要は最大市場である中国やその他アジアをけん引役に、年率3%程度の成長見通し

### <エチレン需要量見通し>



### <グローバル需要見通し>

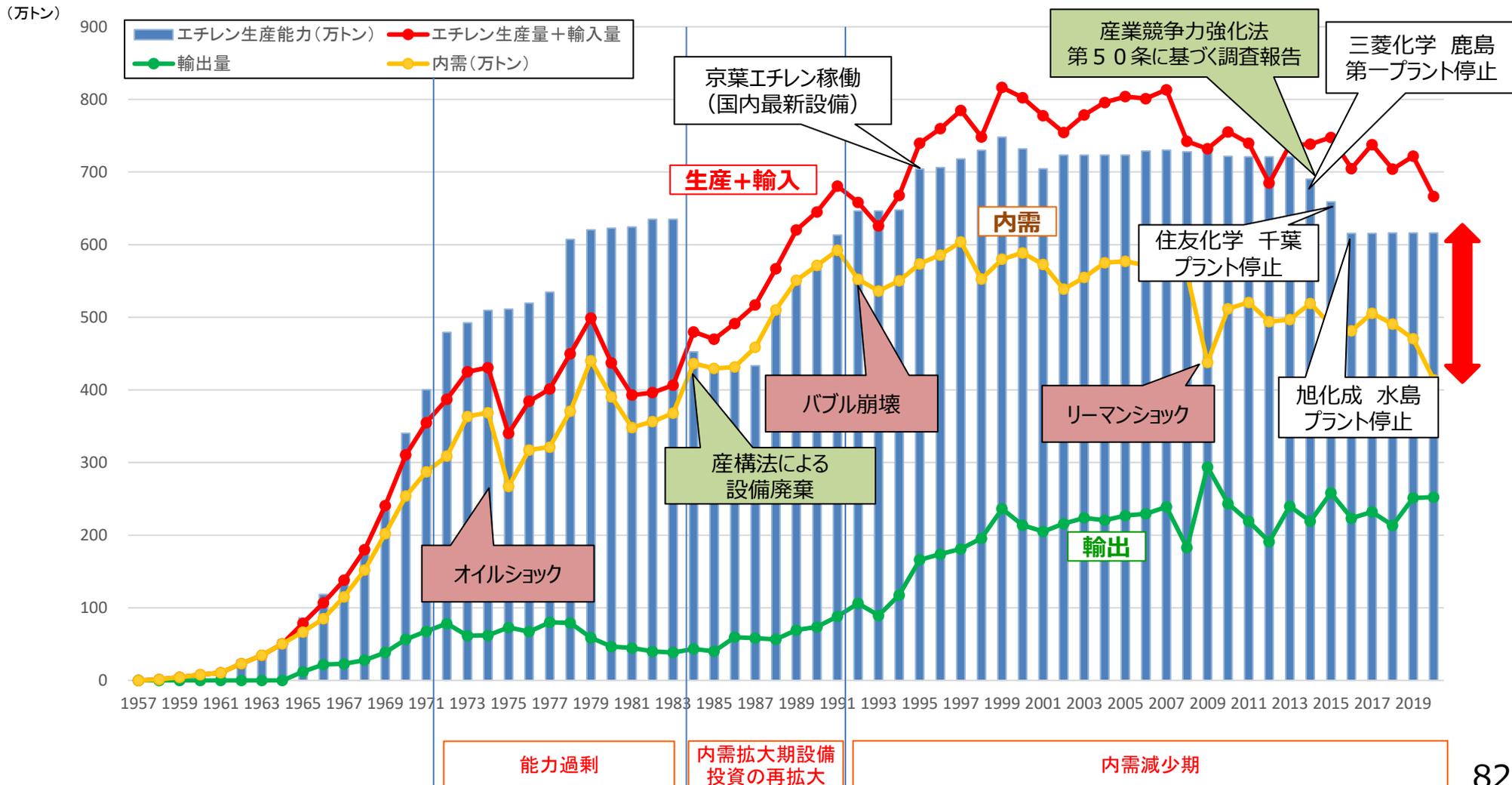


<出典> みずほフィナンシャルグループ 2021.12.14「MIZUHO Research & Analysis」  
<https://www.mizuho-fg.co.jp/company/activity/onethinktank/pdf/vol026.pdf>

<出典> 経済産業省素材産業課「世界の石油化学製品の今後の需給動向」

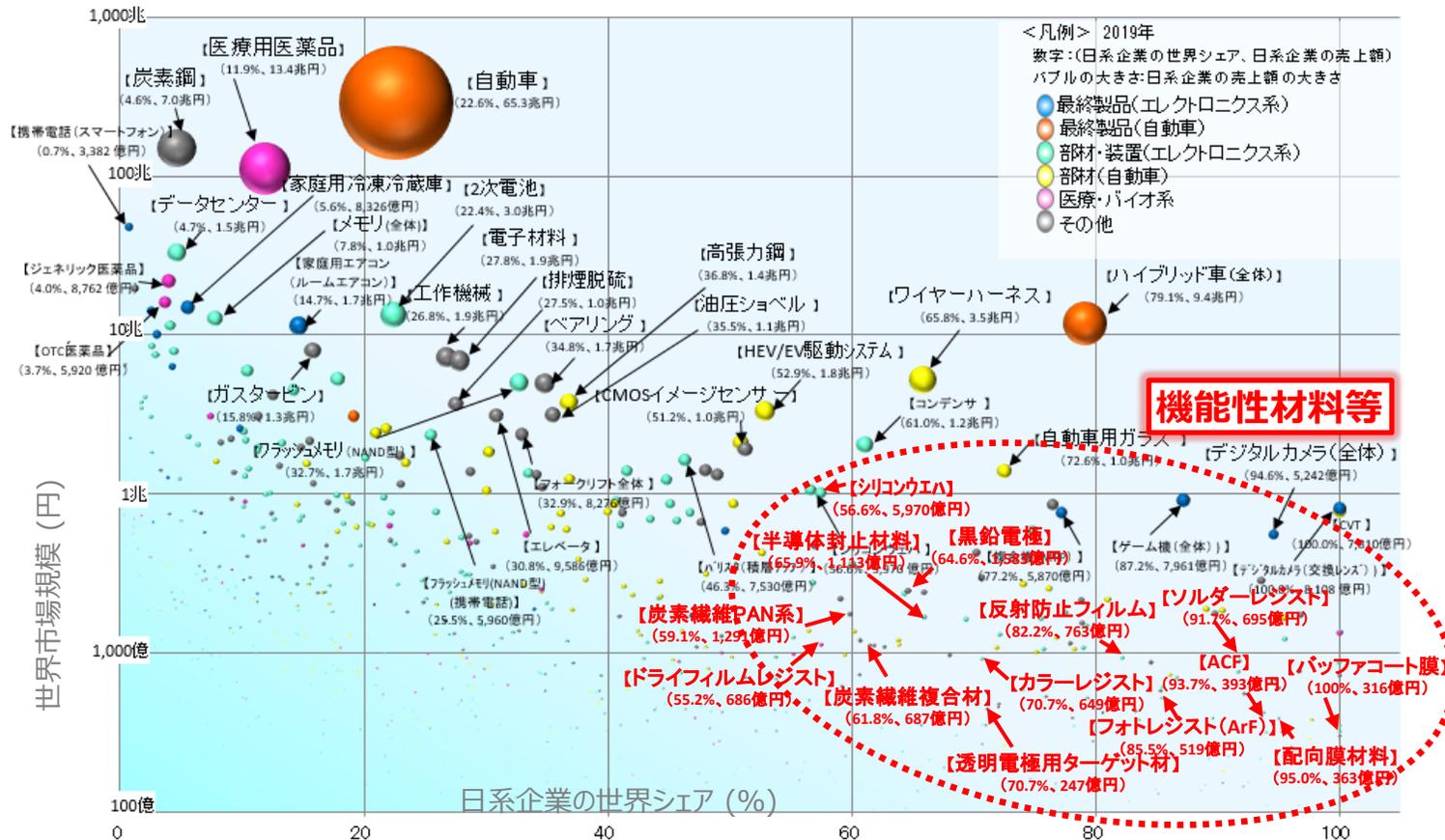
# (参考) 国内エチレン生産能力の推移

- 大胆な構造調整を行った80年代初頭以降、バブル期に向けて再度生産能力は拡張。
- バブル崩壊後、緩やかに内需と生産能力との乖離が拡大。2010年以降、一部プラントが廃止されたが、現在もお内需と生産能力との乖離は継続。



# (参考) 日本の化学企業のポジション

- **機能性化学品**とは、感光性、強磁性、高導電率、絶縁性、高遮熱性、反応促進性能等、特定の**機能面に着目して用いられる付加価値の高い化学品の総称**。
- 個々の市場規模は小さいものの、**世界シェア60%以上の材料が70種類**と、高いシェアを維持。
- 日本の化学企業では、**1000億規模の市場において高シェアが獲得**されている。

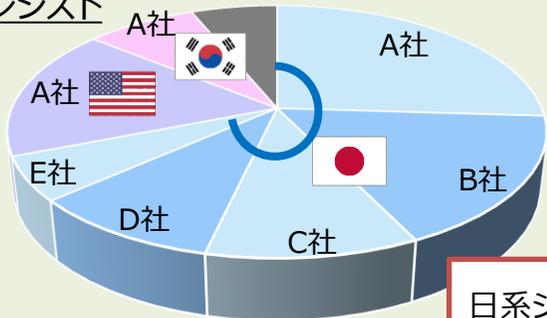


<出典> 新エネルギー・産業技術総合開発機構「2020年度日系企業のITサービス、ソフトウェア及びモノの国際競争ポジションに関する情報収集」調査結果を基に経済産業省作成

# (参考) 機能性化学品の一例(半導体材料・蓄電池材料におけるシェアの一例)

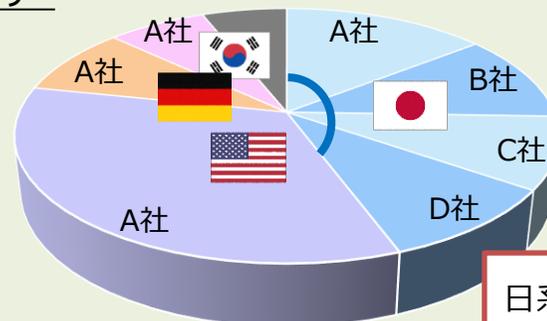
## 半導体素材

### フォトレジスト



日系シェア 約**70%**

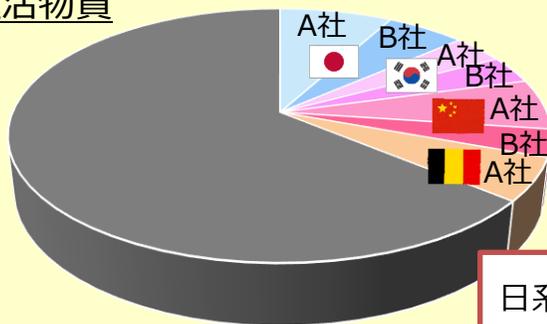
### CMPスラリー



日系シェア 約**45%**

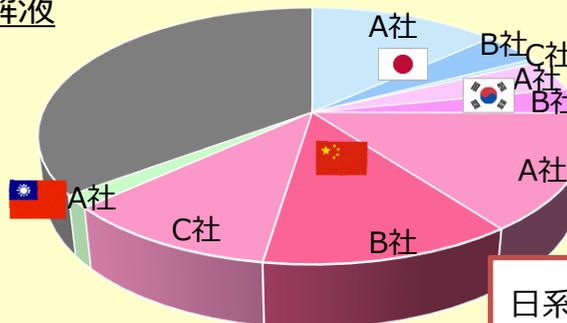
## リチウムイオン電池素材

### 正極活物質



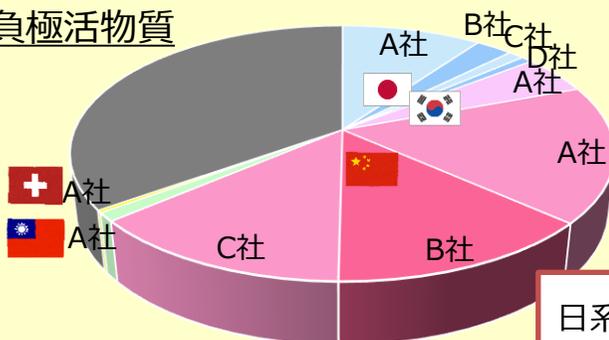
日系シェア 約**15%**

### 電解液



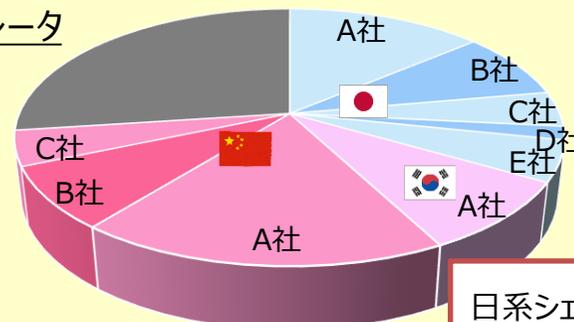
日系シェア 約**20%**

### 負極活物質



日系シェア 約**15%**

### セパレータ



日系シェア 約**30%**

# (参考) グリーンイノベーション基金における化学品生産プロセス転換の支援

「CO<sub>2</sub>等を用いたプラスチック原料製造技術開発」プロジェクト (国費負担額：上限1,262億円)

- プラスチック原料のほとんどは石油精製で得られるナフサ由来。化学産業から排出されるCO<sub>2</sub>の約半分がナフサを分解してエチレン、プロピレン等の基礎化学品を製造する過程で発生。
- 廃プラスチックの約84%がリサイクルされているが、この内約57%がゴミ焼却発電等の熱源として利用 (サーマルリサイクル) され、最終的にはCO<sub>2</sub>として排出されているため、抜本的な対策が必要。

## 【研究開発項目 1】

### 熱源のカーボンフリー化によるナフサ分解炉の高度化技術の開発

- 現行はナフサ分解炉から発生するオフガス(メタン等)が熱源。
- 本事業では、ナフサ分解炉の熱源をカーボンフリーであるアンモニアに転換する世界初の技術を開発する。**【CO<sub>2</sub>排出の7割程度削減を目指す】**



約850℃でナフサ熱分解している炉の熱源をアンモニアに転換

## 【研究開発項目 2】

### 廃プラ・廃ゴムからの化学品製造技術の開発

- 廃プラ・廃ゴムからエチレン、プロピレン等のプラスチック原料を製造する技術を確立。
- 収率60～80%で製造し、さらに製造時に排出するCO<sub>2</sub>も従来の半分程度を目指す。**【CO<sub>2</sub>排出の半減程度削減を目指す】**



廃プラ熱分解油 (プラスチック原料)

## 【研究開発項目 3】

### CO<sub>2</sub>からの機能性化学品製造技術の開発

- ポリカーボネートやポリウレタン等の機能性化学品は水素を必要とせずCO<sub>2</sub>から合成が原理的に可能。
- 電気・光学・力学特性等の機能性向上にも取り組む。**【CO<sub>2</sub>原料化を目指す】**



高機能ポリカーボネート (カメラレンズ)

## 【研究開発項目 4】

### アルコール類からの化学品製造技術の開発 **【グリーン水素とCO<sub>2</sub>から製造】**

- メタノール等からエチレン、プロピレン等のオレフィンを製造(MTO)する触媒収率を向上(80～90%)。
- 人工光合成については、高い変換効率と優れた量産性が両立できる光触媒を開発し、実用化を目指す。



MTO実証



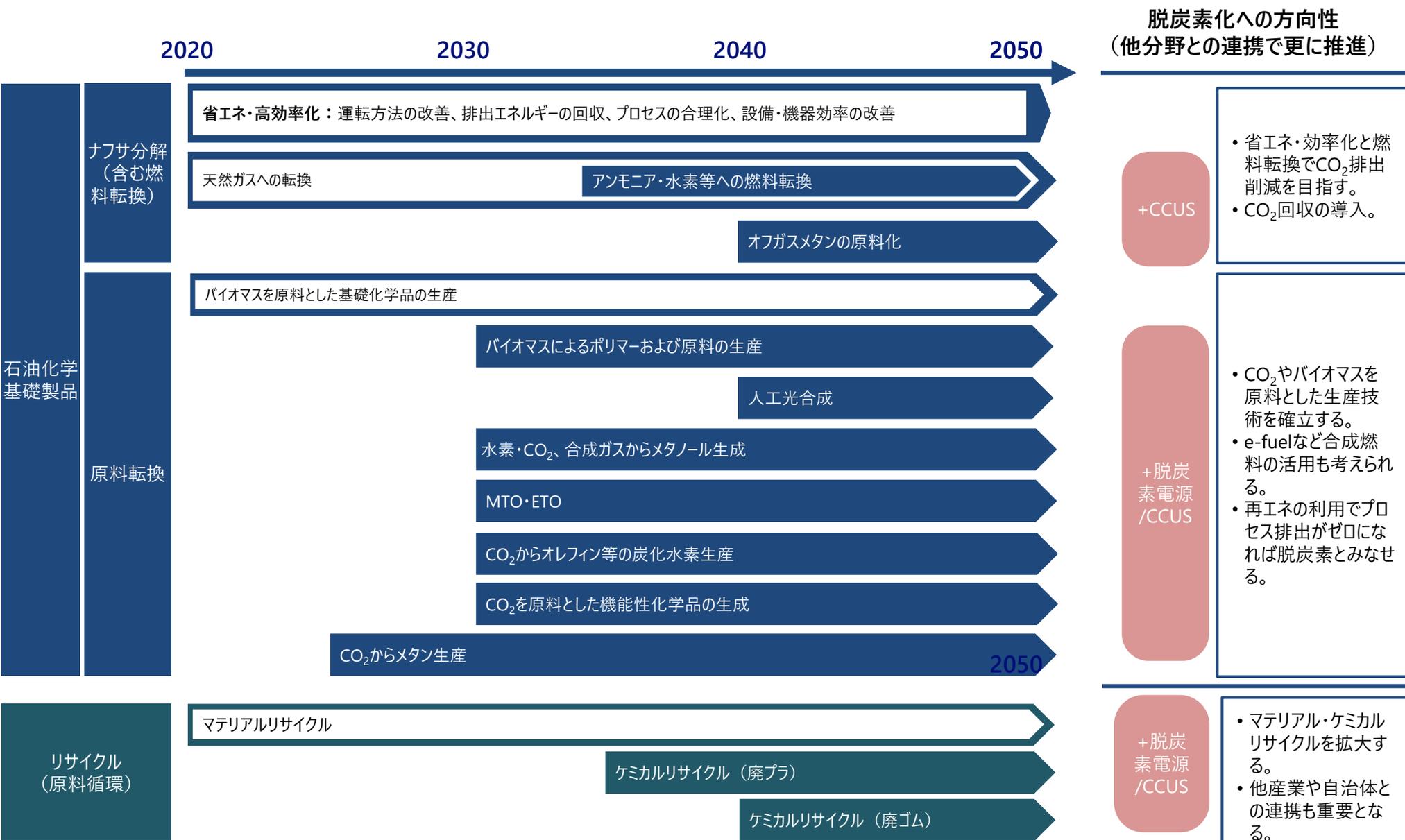
光触媒パネルの大規模実証

# (参考) カーボンリサイクルプラスチック普及拡大のための施策例

- カーボンリサイクルプラスチックの普及拡大に向けては、リサイクル原料が活用された商品であることに価値を認める者に対して適切に商品をお届けることが重要。
- そのことを合理的に達成するためには、ある特性を有する原料の投入量に応じて、生産する製品の一部を「その特性を持つ原料（だけ）で生産した」と見なすマスバランス方式等の活用が有効。
- マスバランス方式を含むchain of custody（加工流通過程の管理）の国際標準を策定すべく、本年ISOの下に専門委員会（TC308）の設置が正式に決定。我が国も議論に参画（代表：日本化学工業協会）。
- また、認証制度の活用がすでに欧州を中心に活用が進められている中で、国内でも具体的な活用を目指す企業が出始めており、関心が高まってきている。



# (参考) カーボンニュートラル技術ロードマップ (ナフサ分解、原料転換、リサイクル)



出所) 「トランジションファイナンス」に関する技術ロードマップ (化学分野) より作成

# (参考) 基礎素材産業の低炭素化投資促進に向けた設計・実証事業

令和3年度補正予算額 **61.0億円**

## 事業の内容

### 事業目的・概要

- 日本のCO<sub>2</sub>排出量のうち、約 1 / 4 を基礎素材産業（鉄鋼業、化学工業、窯業・土石業、パルプ・紙・紙加工業）からの排出が占めており、こうした基礎素材産業の脱炭素化に向けた対策が急務です。
- 基礎素材産業からのCO<sub>2</sub>排出は、製造プロセス及びエネルギー利用による二つの排出源があり、カーボンニュートラル化に向けては、この二つの対策に取り組む必要があります。
- このため、CO<sub>2</sub>排出に関する2030年度の政府目標も踏まえ、緊急的な対策として、①基礎素材産業各社が保有する石炭等火力自家発電所の燃料転換、②製鉄用設備の低炭素化改修に向けた事業実施可能性調査に係る費用の一部を補助します。

### 成果目標

- FS調査については、燃料転換等に向けた詳細設計等の次の段階に進むことを目指します。

### 条件（対象者、対象行為、補助率等）



## 事業イメージ

### 事業実施可能性調査支援事業

- エネルギー多消費産業である基礎素材産業各社が実施する石炭等火力自家発電所の燃料転換やCO<sub>2</sub>排出量の多い製鉄用設備（高炉・コークス炉等）の低炭素化改修（廃プラの利活用や電気炉化など）に向けた事業実施可能性調査（実証・設計含む）に係る費用の一部を補助します。

#### ＜燃料転換等に向けたFS調査＞

- 燃料の転換、廃プラ等の利活用による影響、効果等の検証・実証
  - 低炭素設備の導入による効果の検証・実証
  - 燃料転換等後のランニングコスト等の試算
  - 燃料転換等に向けた設備の詳細設計
- 等



【燃料転換イメージ】



例) 高炉（石炭を使って鉄鉱石を鉄に変える炉）において、廃プラを利活用することで石炭・コークスの使用量を抑制

【製鉄用設備の低炭素化改修イメージ】

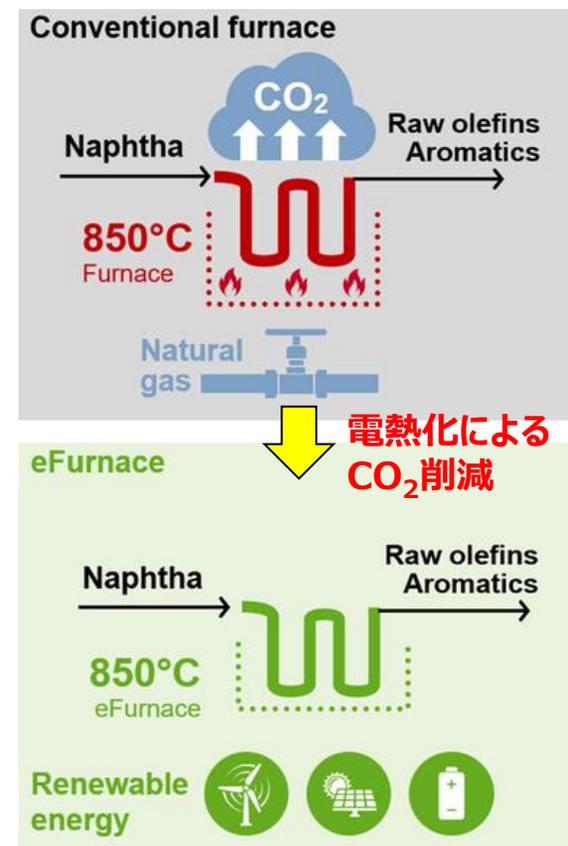
# (参考) 世界の大手石油化学メーカーの動向

- 世界大手化学メーカーでも、カーボンニュートラル実現に向けた取組が進んでいる。
- 欧米では、安価な再エネ電力をナフサ分解炉の熱源として用いる電熱化や触媒等の利用によるCO<sub>2</sub>削減が検討されている。

## <世界の各社のカーボンニュートラルに向けた取組>

社名	C N実現に向けた取組例
B A S F (独)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 電気加熱式蒸気クラッカー (<b>電化</b>) による化学品製造</li> <li>➢ 水電解法・メタン熱分解法によるCO<sub>2</sub>フリーな水素製造</li> <li>➢ 風力発電プロジェクトへの投資</li> <li>➢ CCS</li> </ul>
DOW Chemical (米)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 流動接触脱水素化クラッカー (発熱触媒利用による<b>省エネ装置</b>) による化学品製造</li> <li>➢ 再エネの利用促進</li> </ul>
INEOS (英)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ クリーン水素燃料の開発</li> <li>➢ 炭化水素原料を<b>バイオ原料</b>へ転換</li> </ul>
LG Chemical (韓)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 100%再エネ導入</li> <li>➢ <b>CCUS</b> (ナフサクラッカー維持)</li> </ul>
SINOPEC (中)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ クリーンエネルギー開発 (天然ガス、バイオマスなど)</li> <li>➢ <b>CCUS</b> (石炭化学を維持。メタンガスを回収)</li> </ul>

## <独BASFのナフサ分解炉>



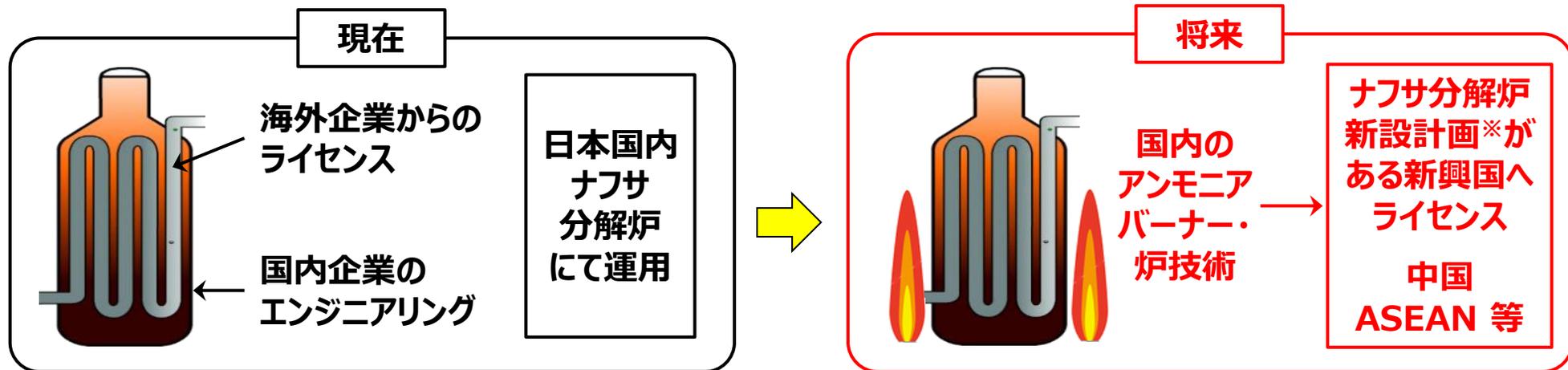
<出典> 各社プレスリリース等により経済産業省作成

BASFホームページより

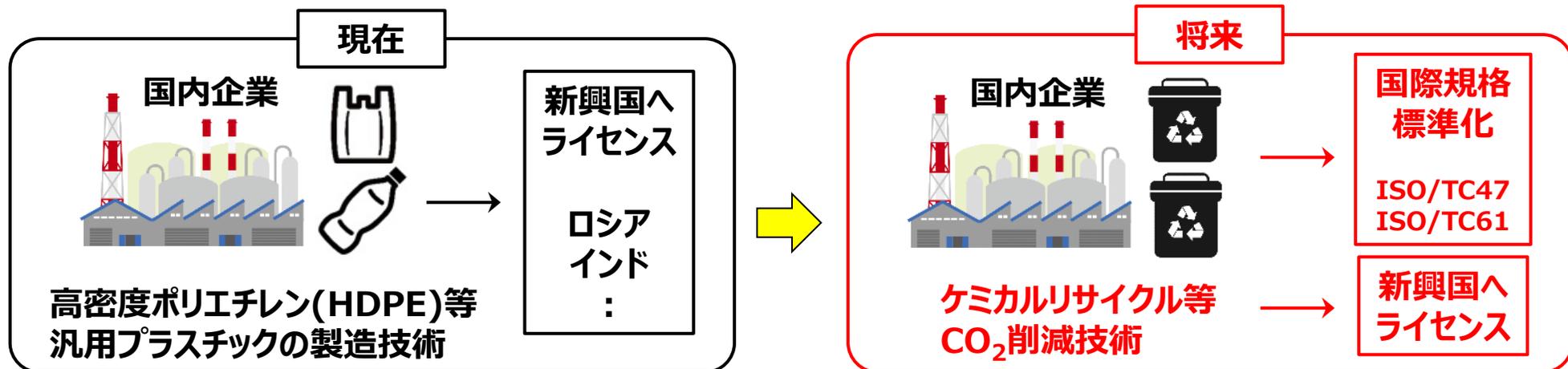
# (参考) 海外ライセンス展開

- 化学産業では世界的に広く行われているライセンスビジネスを採用して海外展開することで、海外における新規需要を日本が積極的に獲得することを目指す。

## ナフサ分解炉の高度化技術



## ケミカルリサイクル技術



# (参考) プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律

- プラスチックの資源循環の促進等を総合的かつ計画的に推進するため、「プラスチック廃棄物の排出の抑制、再資源化に資する環境配慮設計」「ワンウェイプラスチックの使用の合理化」「プラスチック廃棄物の分別収集、自主回収、再資源化」の事項等に関する基本方針を策定。

## 【新政策】プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律

2021.6 制定

### ①設計・製造段階



リデュース 解体しやすい 素材代替

プラ製品の設計を環境配慮型に転換

### ②販売・提供段階



使い捨てプラをリデュース

### ③排出・回収・リサイクル段階



排出されるプラをあまねく回収・リサイクル

## 【従来】個別物品の特性に応じた規制

容器包装 リサイクル法	家電 リサイクル法	食品 リサイクル法	建設 リサイクル法	自動車 リサイクル法	小型家電 リサイクル法
1995.6 制定	1998.5 制定	2000.5 制定	2000.5 制定	2002.7 制定	2012.8 制定
〔びん、ペットボトル、紙製・プラスチック製容器包装等〕	〔エアコン、冷蔵庫・冷凍庫、テレビ、洗濯機・衣類乾燥機〕	〔食品廃棄物〕	〔木材、コンクリート、アスファルト〕	〔自動車〕	〔小型電子機器等〕

# GX分析 ②-8 バイオものづくり産業

## ● 現状のビジネス環境

- 素材、繊維、燃料、食品等幅広い分野での活用が期待されるカーボンリサイクル技術の一つ。
- 市場は、従来バイオプラスチック製造など活用分野は限られていたが、ゲノム改変・構築技術とデジタル技術の融合により、今後対象分野が拡大し、市場が急拡大する見込み。
- CO<sub>2</sub>を直接原料とする新しいバイオものづくりにも関心が集まっている。  
(従来は糖や油脂などのバイオマス資源を原料とするものが主流)
- 諸外国でもグリーン成長の一翼を担う存在としてバイオものづくりを位置づけて施策を強化しており、グローバルな技術開発・産業化競争が急激に激化していく見込み。

## ● カーボンニュートラルが産業や社会に与える影響

- 世界のバイオ市場は、OECDをはじめとする複数の機関により、今後10~20年のうちに200~400兆円程度に拡大すると見込まれている。
- バイオものづくりの拡大により、発電部門のグリーン化だけでは対応が難しい製造プロセスのカーボンニュートラル化を進められる可能性がある。
- CO<sub>2</sub>を直接原料とする新しいバイオものづくりでは、国内の発電所やプラント由来のCO<sub>2</sub>の活用により、原料の国産化・調達安定化にも寄与出来る可能性がある。

## ● 海外プレイヤーの動向

- 米国では、2020年には前年度比でバイオ市場への投資が倍増。特にデジタル技術を活用した微生物開発段階を中心に産業化が進行。一方、物質生産段階の産業化は未だ途上段階。
- 日本は、微生物開発段階では、プラットフォーム技術を有する有望なプレイヤーが複数登場するなど、産業発展の萌芽が見られる。物質生産段階では、日本古来の発酵・醸造の技術を有しており、国際競争力の面で高いポテンシャルがある。

## 課題と打ち手の例 ②-8 バイオものづくり産業

### 【技術レイヤー・ビジネスレイヤー】

- 上流部分の有用微生物の開発をどのように発展させるか。  
→ゲノム改変・構築を効率的に行うプラットフォーム技術の高度化、目的物質に応じた多様な有用微生物開発の促進等により、機能性、経済性、環境性能を両立できるバイオ製品の種類を拡充するとともに、国内におけるプラットフォーム事業者の育成を図る。競争力の源泉となる基盤技術の開発や微生物・ゲノム関連ライブラリの構築では国際連携も視野に入れて対応する。
- 下流部分の有用微生物を利用した物質生産をどのように発展させるか。  
→発酵生産分野での日本の強みを活かし、有用微生物のスケールアップ生産実証や目的物質に応じた有用物質の分離・精製技術の高度化を支援することで受託製造の事業者育成にもつなげる。大学・ベンチャーが直面する生産段階での資金面・人材面での課題を解決するため、共用的に利用可能な生産実証拠点を整備・運用する。
- 既存製品との価格差を乗り越え、新たな市場を形成していくためにはどのような対策が必要か。  
→バイオ製品に関する導入目標の提示、バイオ製品の認知度向上、グリーン購入法の活用等による政府需要の拡大、環境価値の価格への反映方法の検討など、複数の政策手法の組み合わせにより市場形成を促進する。

### 【マーケットレイヤー】

- バイオ製品の市場拡大を世界的規模で進めていくために、どのような取り組みをすべきか。  
→欧米諸国等とも連携して、グリーン成長に寄与するサステナブルな製品としてのバイオ製品の位置づけを確立するほか、原材料、品質、環境性能に関する品質評価・表示などの国際標準化を進める。

# (参考) 合成生物学の活用 (微生物生産株の開発)

- 直近の10年でDNA合成、ゲノム編集等の技術革新による、**合成生物学が急速に台頭**。さらに、**ゲノム解析、IT・AI技術の進展とあいまって、バイオ×デジタルの潮流が加速**している。
- その結果、**高度にゲノムがデザインされ、物質生産性を高度に高めた細胞 (=スマートセル)** を利用した、**新たな物質生産プロセス (バイオものづくり)** を利用することが可能となりつつある。

## 生物情報のデータ化・デジタル化

### ① ゲノム解析のコスト低下・時間短縮 **読む**

次世代シーケンサーの登場で一人当たりのヒトゲノム解析は、コスト・時間：1億ドル・10年 → 100ドル・1日  
(※2000年と2020年の比較)

### ② IT・AI技術の進化 **理解する**

ディープラーニング等によりゲノム配列が示す「意味」を解明

## 生物機能のデザイン

### ③ ゲノム編集の技術革新 **操作する**

2020年にノーベル化学賞を受賞したCRISPR/Cas9などにより、ゲノム編集の難易度が低下



### ④ ゲノム合成コストの低下 **作る**

塩基のブロックから、ゲノムを合成する技術が進展し、コスト：1/1000に低減 (※2000年と2020年の比較)

\* 合成生物学は、遺伝子配列や代謝経路を設計し、生物機能をデザインする学問

## スマートセルの創出

ゲノムの設計・  
代謝経路の  
最適化

Design

Build

ゲノム合成  
・ゲノム編集による  
微生物作成

DBTL  
サイクル

AI,IT技術を  
活用した学習

Learn

Test

物質作成  
効率の評価

## スマートセル



有用物質の生産性が  
大幅に向上した微生物

## 物質生産・商用化

素材

燃料



機能性ポリマーなど  
高機能材料原料

# (参考) 微生物によるCO<sub>2</sub>の直接利用の可能性 (水素酸化細菌等)

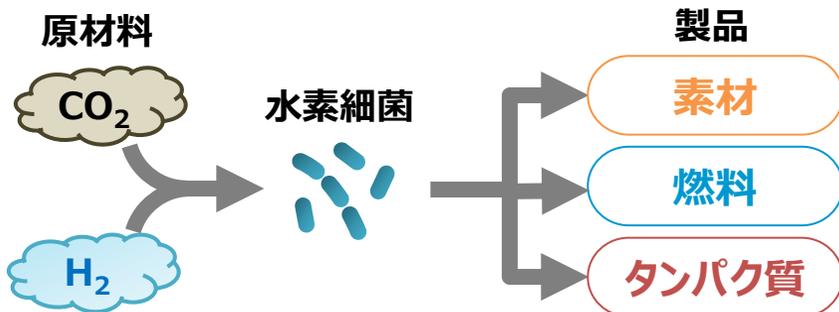
- 微生物を利用して、CO<sub>2</sub>等から化学品原料やタンパク質等の物質生産をする取り組みに関心が集まっている。
- 一部の独立栄養細菌 (水素酸化細菌等) は、藻類 (ラン藻) と比較して50~70倍高い炭素固定能力を持つことから、CO<sub>2</sub>の吸収源として有望。
- 化石資源由来の物質生産と比べて、生産過程におけるCO<sub>2</sub>排出削減だけでなく、CO<sub>2</sub>を吸収するダブルの効果により、排出量が大幅に削減される可能性が示唆されている。

## 【参考1】微生物の炭素固定機能比較

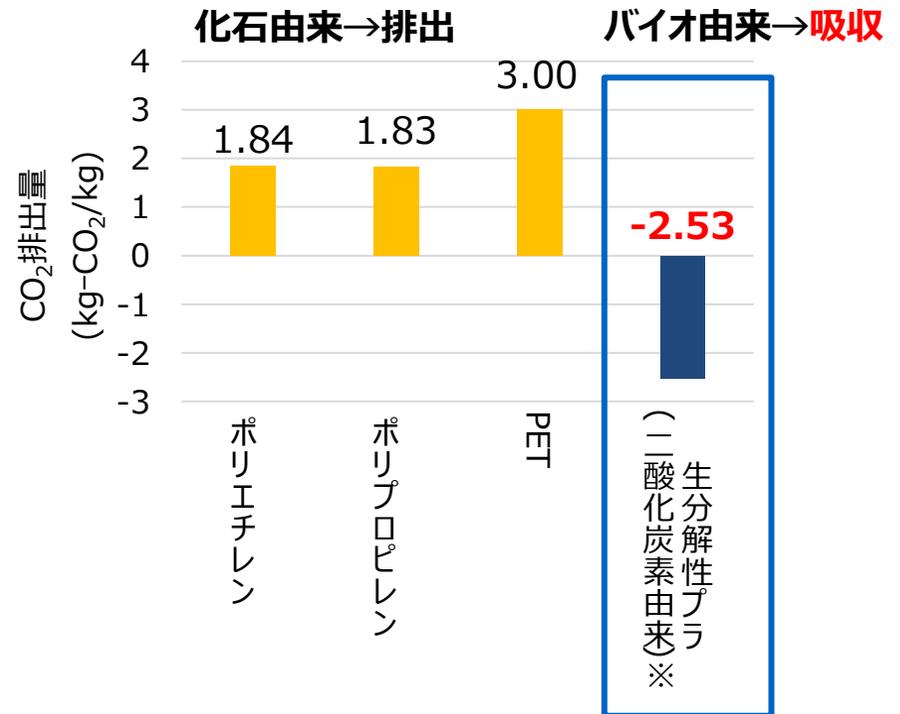
生物種	CO <sub>2</sub> 固定能力 (相対)
ラン藻	1
海洋性微生物	2~4
光合成細菌	18~35
<b>独立栄養細菌 (水素酸化細菌等)</b>	<b>53~75</b>

(出所) 「微生物の機能を活用したCO<sub>2</sub>固定化の検討」 重富徳夫、三菱総合研究所/所報No34、1999 を参考に生物化学産業課にて作成

## 【参考2】水素酸化細菌による物質生産のイメージ



## 【参考3】水素酸化細菌による物質生産のCO<sub>2</sub>削減効果



(出所) LCI データベース IDEA Version 3.1 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 IDEA ラボ  
 ※M. Akiyama, T. Tsuge, Y. Doi, Polym Degrad Stab, 2003 をもとに生物化学産業課試算  
 再エネ使用時を想定。CO<sub>2</sub>濃縮、回収についてのエネルギーは考慮していない。

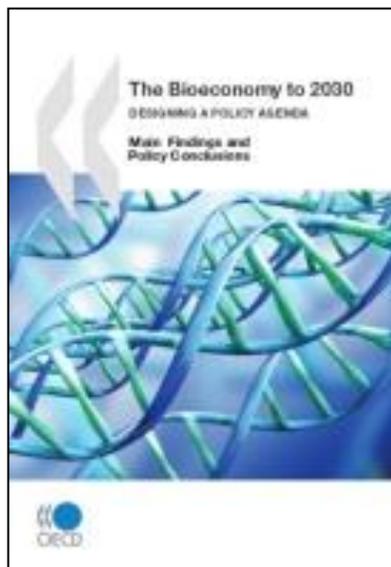
# (参考) バイオテクノロジーにより成長が期待される市場分野

“Bio is the new digital” 「バイオこそ、デジタルの次の革新技术」

- OECDは「The Bioeconomy to 2030」において、バイオテクノロジーを活用した「バイオエコノミー」の世界市場が2030年に約200兆円に成長、うち約4割を工業分野が占めると予測している。

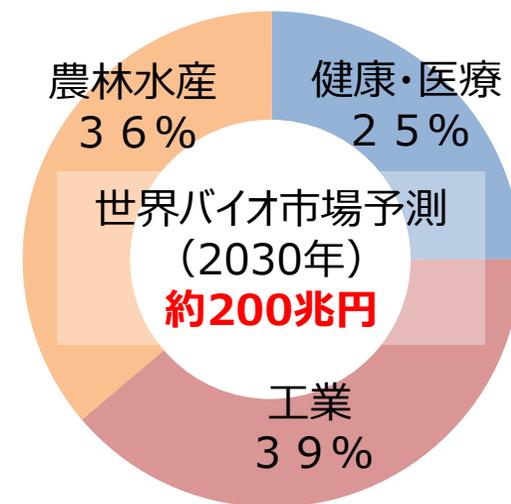
## ● バイオエコノミーの拡大

### OECD 「The Bioeconomy to 2030」 (2009年)



OECDは、バイオテクノロジーが経済生産に大きく貢献できる市場（産業群）として、「Bioeconomy」という考え方を提唱。

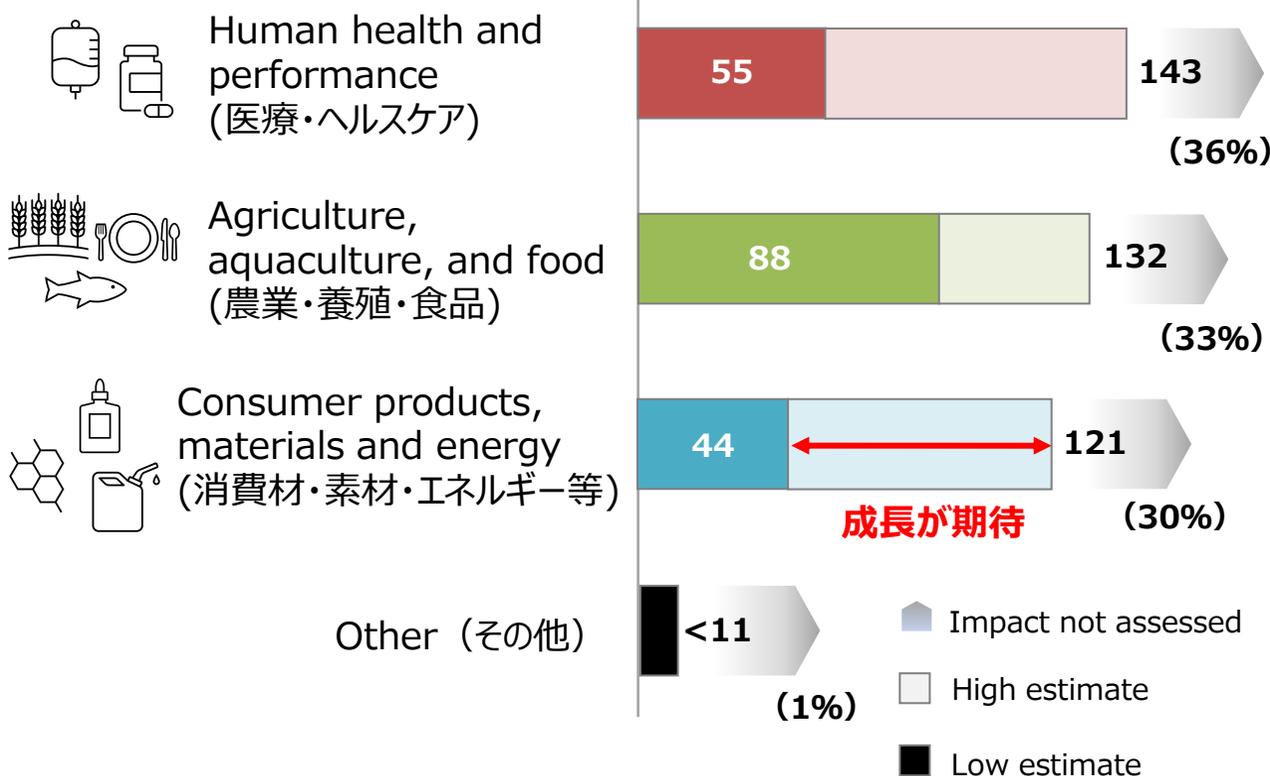
バイオエコノミーは、2030年には全GDPの2.7%（約200兆円、OECD加盟国）規模に成長する見込み。



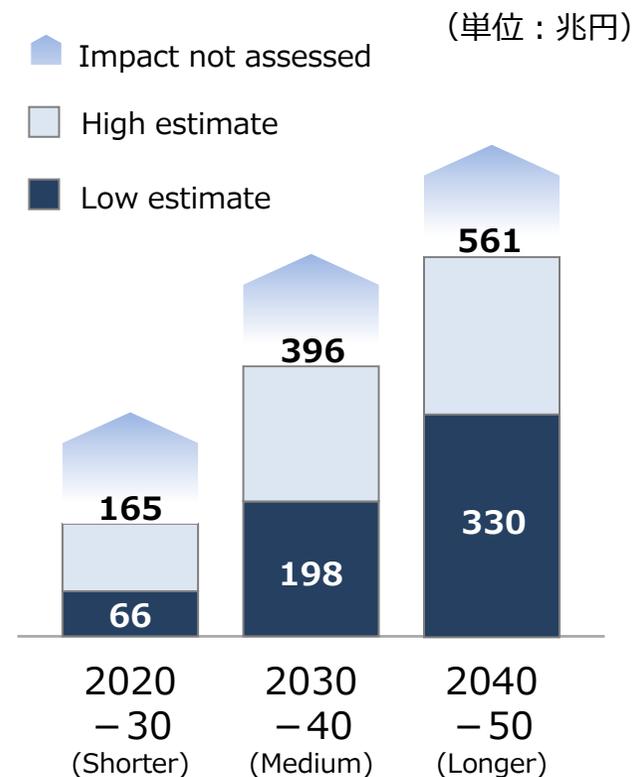
# (参考) バイオテクノロジーにより成長が期待される市場分野

- バイオテクノロジーにより生み出される世界市場は、2030～40年に200～400兆円規模に成長すると予測されている。今後は、特に素材や繊維等の工業分野の成長が期待される。

## バイオの分野別市場予測 (2030-40年) (単位: 兆円)



## バイオ市場の成長性推移 (予測)



# (参考) バイオで生み出される製品例



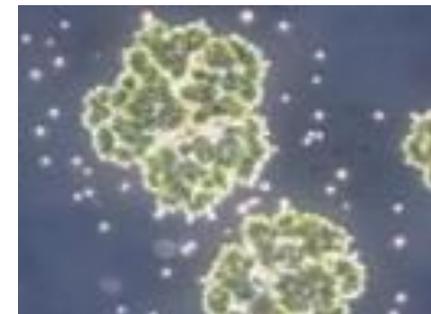
## ⇒ ものづくりのバイオ転換

■ **高機能素材**：クモの糸と同じタンパク質を、植物由来の原料を用いて微生物が産出@スパイバー社  
 【左】Spiber(株)が(株)ゴールドウィンと共同開発した「ムーンパーカ」、【右】人工構造タンパク質「Brewed Protein™(ブリュード・プロテイン™)」の加工例(繊維、樹脂、ゲル、スポンジ、フィルム等)



## ⇒ 海洋汚染防止、脱石油

■ **生分解性バイオプラスチック**：パーム油を原料に遺伝子改変微生物が産出@カネカ



## ⇒ カーボンニュートラル

■ **バイオ燃料**：石油資源を使わない、植物、微生物由来の燃料



## ⇒ スマート農水産業

■ **機能性作物**：動植物のゲノムを編集して、作物の有用性を高める 【左】サナテックシード(株)が開発した「シシリアンルージュユハイギャバ」、【右】京都大学・近畿大学が開発中のゲノム編集マダイ



## ⇒ 食料の高機能化 (低炭素化等)

■ **人工肉**：植物由来タンパクに、遺伝子改変微生物が製造した大豆由来ヘモグロビンを混ぜることで、肉の風味に限りなく近づけた人工合成肉。畜産に伴う二酸化炭素排出を削減

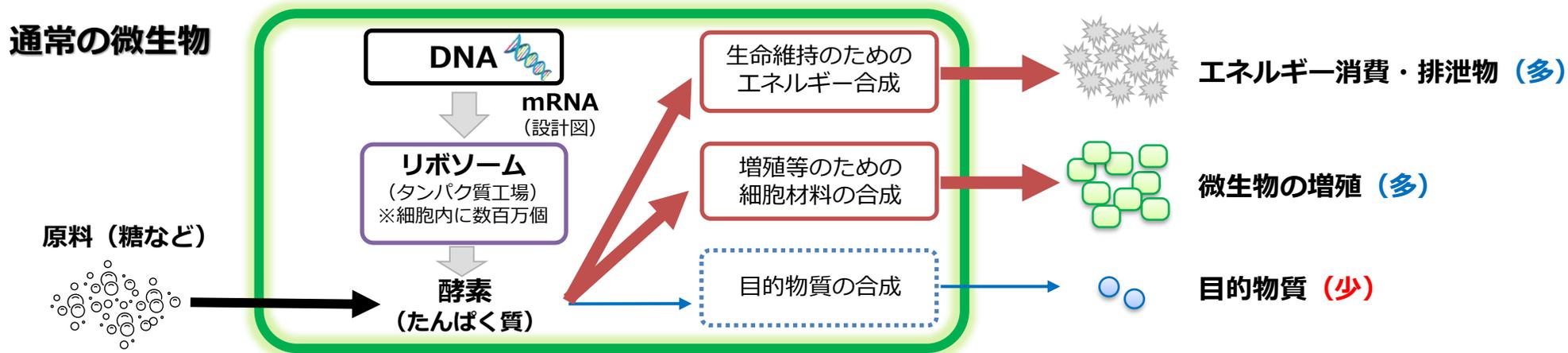


## ⇒ 個別化医療

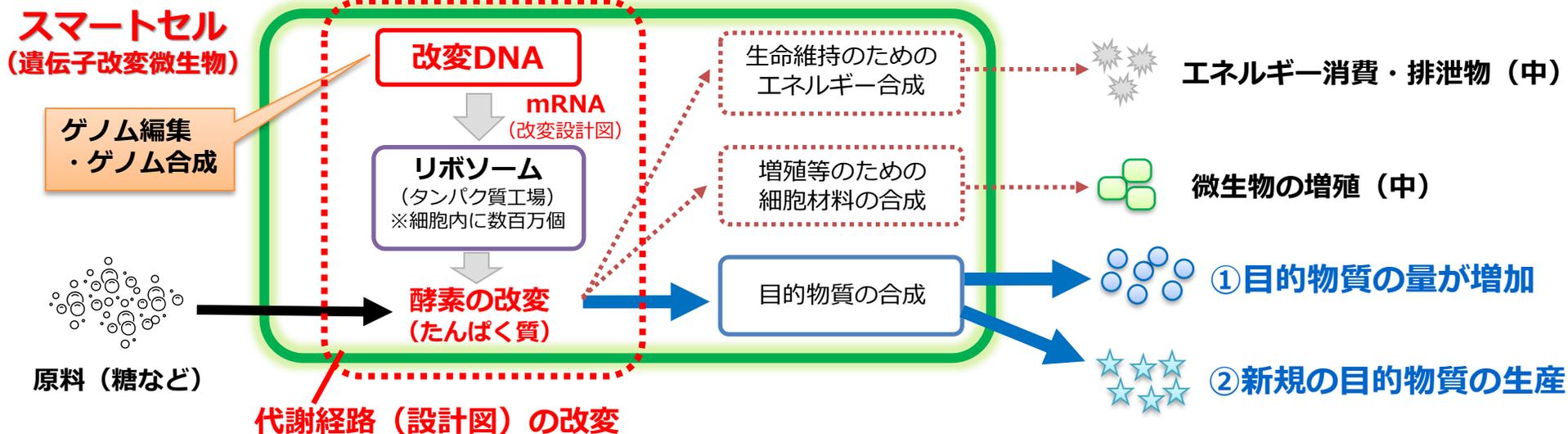
■ **バイオ医薬品・遺伝子治療**：遺伝子改変生物が薬となる物質を産出したり、患者自らのリンパ球を遺伝子改変して投与等

# (参考)バイオものづくりの仕組み① (微生物と代謝機能)

- 通常の微生物は、基本的に自らの生命維持と増殖を最優先に代謝を行っている。
- スマートセルは、遺伝子改変により代謝経路を再デザインすることで、生命維持等に必要な活動を最小限に抑制しつつ、①目的物質の生産量を増加させ、又は②従来とは異なる新規目的物質の生産を開始させる。



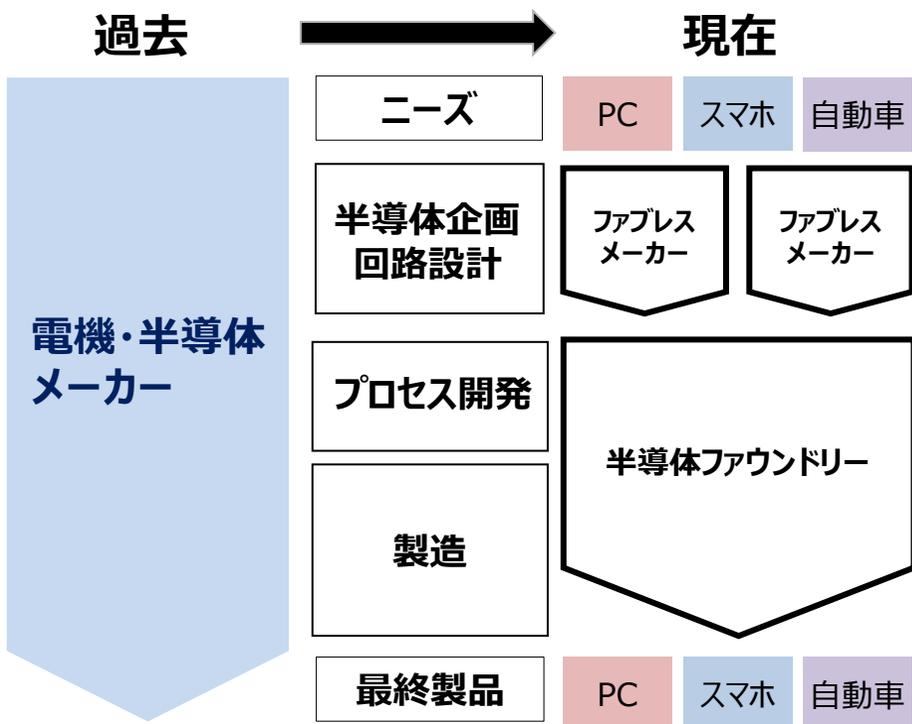
※簡略化しているが、実際は更に複雑な経路を辿る



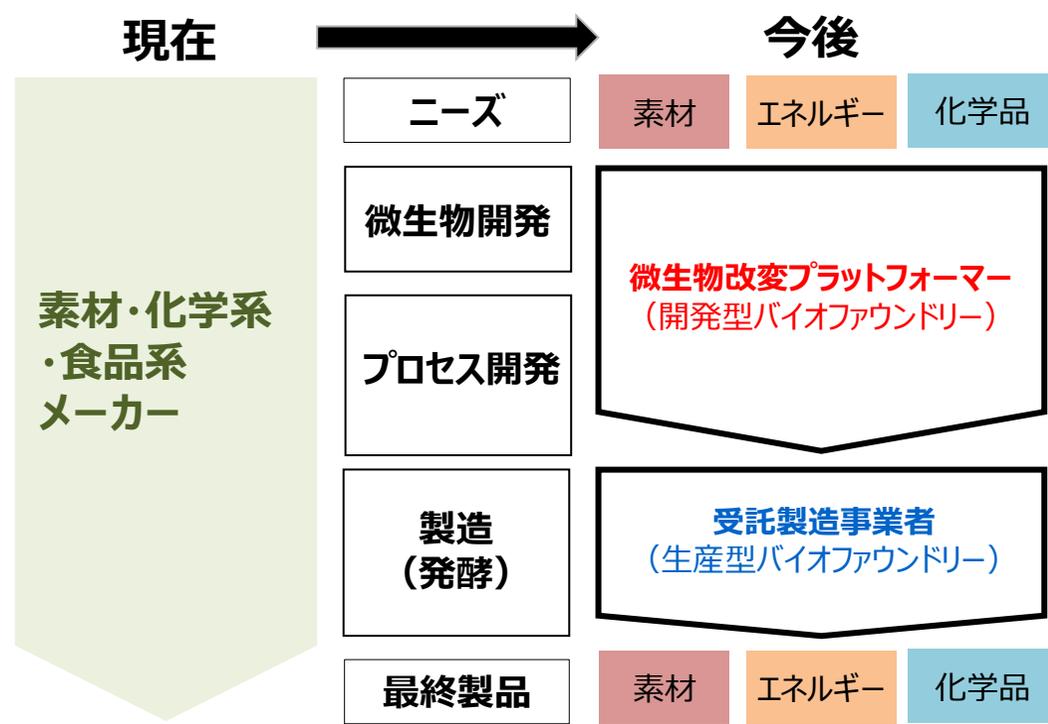
# (参考) バイオものづくりの産業構造の変革 (水平分業化)

- バイオものづくりでは、上流の微生物開発では、A I・ロボットを用いた効率的な微生物構築技術、下流の発酵生産では、培養・精製技術の高度化といった、バリューチェーンの段階に応じて全く異なる高度な技術・設備が必要となる。
- このため、今後のバイオものづくり産業は、水平分業化が進展し、それぞれのプラットフォーム技術を確保したプレーヤーが付加価値の源泉を握ることが予測される。

## 半導体の産業構造



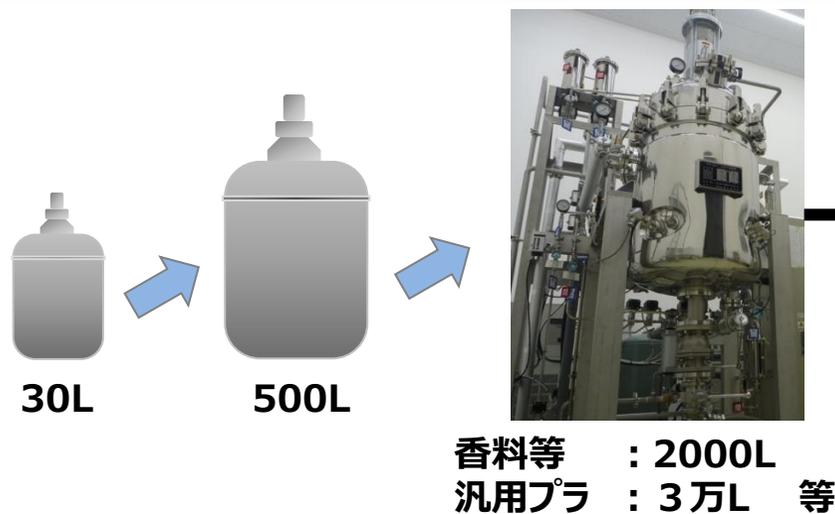
## バイオものづくりの産業構造



## (参考) バイオものづくりの仕組み② (培養と分離・精製)

- 生産段階では、培養条件の調整を行って、ラボレベル (試験管～数十リットル) から、商用レベル (数千～万L) まで段階的に拡大培養を行うとともに、目的物質を抽出するための分離・精製を行う。
- (1) 大型・高価な設備の保有、(2) 実験室レベルとは異なる大量生産に対応した高度な発酵技術が必要となるため、品種開発で先行する米国企業でも生産段階では苦戦。バイオものづくりでは、化学プロセスよりも不要物の量が多いため、目的物質を分離・精製するための技術・コストが課題となる場合も多い。

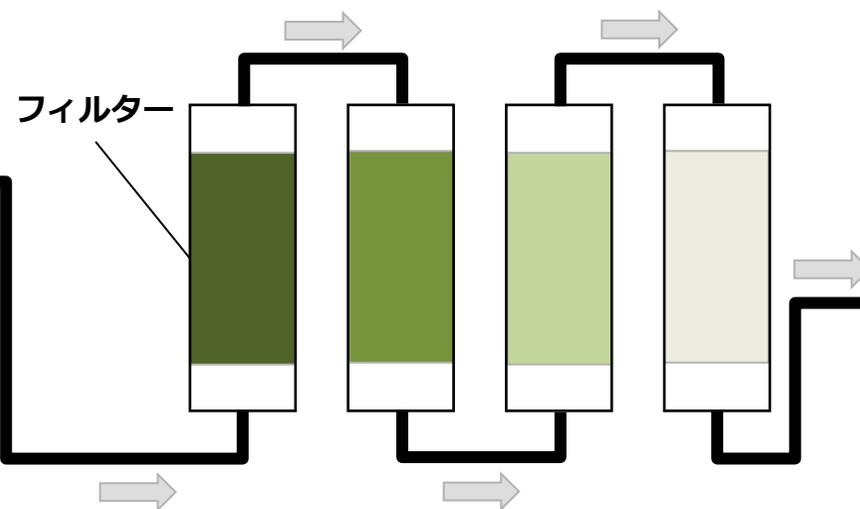
### 培養の工程



(概要)

- 培養規模が大きくなると、培養難易度は上昇。微生物の種類に応じて、培地の組成、環境要因 (温度、pH値) 等を適切に制御しないと、品質を確保した上での大量生産はできない。
- NEDOカーボンサイクル事業では、**デジタル・自動化技術**を活用して、ゲノム編集微生物の高品質・低コストな大量生産を実現する**データ駆動型のバイオファウンドリ基盤技術を開発中**。

### 分離・精製の工程



(概要)

- 細胞培養で発生する**不純物や薬効成分を分離・精製**するために必要な消耗品。
- 製造工程の各段階ごとに、**分離対象の物質の種類・大きさ等に応じて、適切なフィルター等を使用**する必要あり。

# 1. エネルギーを起点とした産業のGX

(1) 各産業のGX戦略検討の視点 (第1回会合で御議論いただいた内容)

(2) 各産業のGX戦略検討

- ① 蓄電池
- ② カーボンリサイクル
  - 1. CO<sub>2</sub>分離回収
  - 2. コンクリート/セメント
  - 3. SAF
  - 4. 合成燃料
  - 5. 合成メタン
  - 6. グリーンLPG
  - 7. カーボンリサイクル化学品
  - 8. バイオものづくり

(3) 2050年カーボンニュートラルにおける産業間の関係性

# (3) 2050年カーボンニュートラルにおける産業間の関係性

- 2050年CN断面では、エネルギー生成、製造、使用・サービスという各フェーズが、個別産業内にとどまらず、分野をまたがりレイヤー化するなど、今以上に複雑な構造になると考えられる。
- そのため、関連する複数の産業を俯瞰した分野横断的な視点が不可欠。主要な産業・エネルギーを対象に、①電力・水素・アンモニア・CR燃料といった各エネルギーがどう流れていくか（エネルギーチェーン）、②原料・部品といった材料がどう循環していくか（マテリアルチェーン）、そして、③排出されたCO<sub>2</sub>がどこで回収されどう利用・貯留されていくか（CO<sub>2</sub>チェーン）を分析することが重要。その際、シナリオ設定によって、各要素の必要量や規模等が変わることに留意。
- こうした分析を通じて、より現実的かつ動的な検討が行えるのではないかと。

