

**令和5年度 燃料安定供給対策調査等事業  
(カーボンリサイクルの社会実装実現に向けた調査)  
報告書  
(公開版)**

**令和5年8月**

**一般財団法人日本エネルギー経済研究所**

# 目次

I. 調査の背景と目的	p3
II. カーボンリサイクルにおけるCO <sub>2</sub> 利用量の試算	p5
III. カーボンリサイクルの導入促進の産業・地域間連携の環境整備の在り方	
• III-1 課題と解決策案	p12
• III-2 海外で行われている産業間連携事例	p19
• III-3 国内で行われている産業間連携事例	p33
IV. カーボンリサイクルに関する有識者会議の事務等の対応	
• IV-1 有識者会議の概要	p57
• IV-2 有識者会議の議事要旨	p62
V. その他	
• V-1 カーボンリサイクル製品事例集	p70
• V-2 カーボンリサイクル技術開発研究機関について	p99
• V-3 カーボンリサイクル推進に係る関係法令について	p107
VI. 別添（英訳資料）	
• VI-1 Carbon Recycling Roadmap (Summary)	
• VI-2 Carbon Recycling Roadmap	
• VI-3 【Supplement 1】Technology Roadmap	
• VI-4 【Supplement 2】Examples of Inter-industry Collaboration	



# **I. 調査の背景と目的**

# 背景と目的

## 調査の背景

- 令和2年10月、日本は2050年カーボンニュートラルを目指すことを宣言し、これを受け、各事業分野ではカーボンニュートラルの実現のために検討が進められている。
- 令和2年12月には、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定され、グリーンイノベーション基金が創設された。中でも、カーボンリサイクルは、カーボンニュートラル実現に向けたキーテクノロジーとして位置づけられており、CO<sub>2</sub>を資源として有効活用し、大気中へのCO<sub>2</sub>排出を抑制することができるため、鉱物、燃料、化学品等の様々な事業分野での取り組みが可能である。
- カーボンリサイクル技術については、令和元年に、目標、技術課題、タイムフレーム（フェーズごとの目指すべき方向性）を設定したカーボンリサイクル技術ロードマップを策定し、カーボンリサイクルの技術的方向性を示した。その策定後、国内外においてカーボンリサイクル技術に係る研究開発・事業化が加速するとともに、国際的な連携が進展するなど、多岐にわたって大きな進展があったため、こうした動向を反映し、令和3年にカーボンリサイクル技術ロードマップを改訂した。

## 調査の目的

- こうした進捗状況等を踏まえ、2050年カーボンニュートラルに向け、カーボンリサイクルの社会実装実現のために施策立案に資するため調査をしていくことは非常に重要である。このため、本事業では、カーボンリサイクルの社会実装の実現に向け、カーボンリサイクルにおけるCO<sub>2</sub>利用量の試算やカーボンリサイクルの導入促進にかかる環境整備等について広く調査するとともに、関係事業者や有識者と議論を踏まえながら、我が国のカーボンリサイクルの今後の在り方等を検討することを目的とする。

## **II. カーボンリサイクルにおけるCO<sub>2</sub>利用量の試算**

# CO<sub>2</sub>循環利用ポテンシャルと算出手法について

- CRによる我が国における各製品の利用段階でのCO<sub>2</sub>循環利用量の理論上の最大ポテンシャルを試算。

## CO<sub>2</sub>循環利用ポテンシャルについて

CO<sub>2</sub>循環利用ポテンシャルとは、我が国における各CR製品の利用段階において製品中に利用（固定）されているCO<sub>2</sub>の量を指す。

- 原料として利用されているCO<sub>2</sub>の由来は問わない（化石燃料消費時のCO<sub>2</sub>、製鉄・セメントなど製品製造プロセス上発生するCO<sub>2</sub>、DACもしくはバイオ由来のCO<sub>2</sub>との間に特段の差は設けない。また、原料となるCO<sub>2</sub>の発生地点や国籍も問わない）。
- CO<sub>2</sub>の固定期間の長短も問わない（固定期間は製品によって異なる：一般に燃料 < 化学品 < 鉱物化）。

## 算出手法について

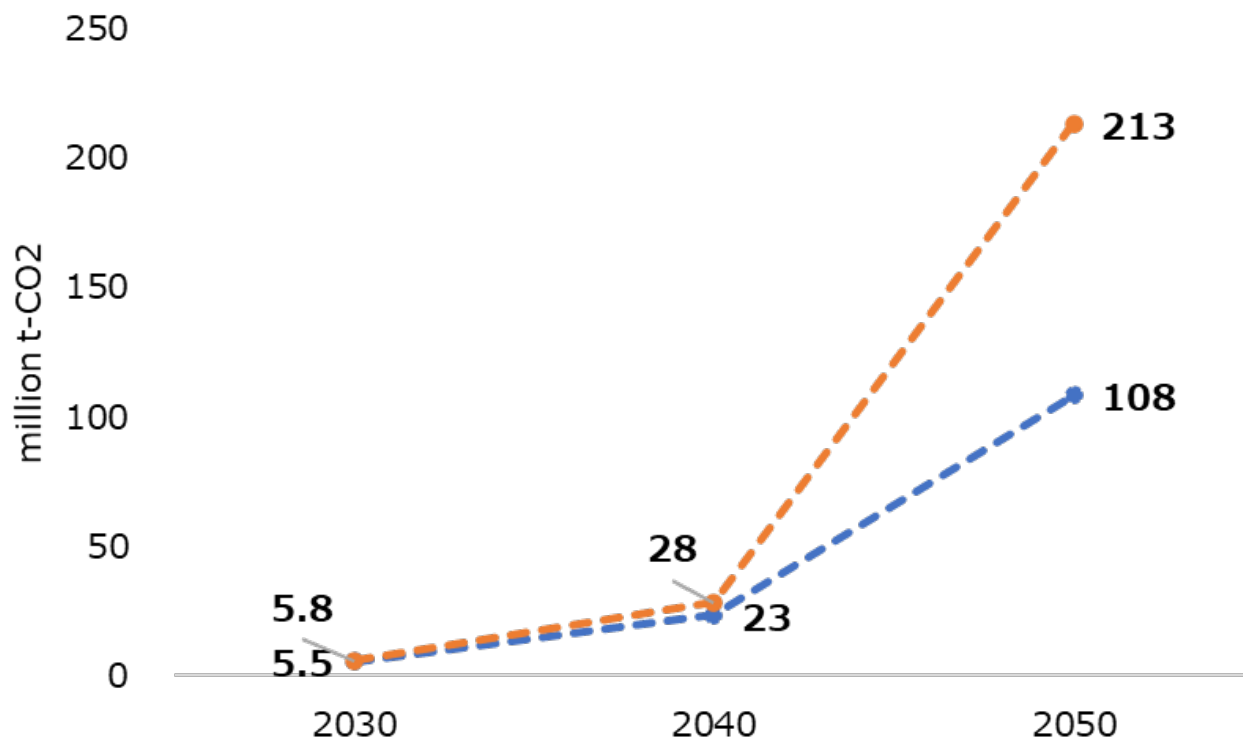
CO<sub>2</sub>循環利用ポテンシャルは、各CR製品によって代替される製品の各年における推定需要量に対し、各製品ごとのCR製品の導入率と製品固有のCO<sub>2</sub>原単位を乗じることで算出する。

- 各年での代替製品の推定需要は、IEA等の世界的に信頼のある国際機関の発表する需要見通しを参照。  
※該当する見通しがない場合には、政府関連文書や当該業界が発表している見通しを参照。
- 理論上の最大利用ポテンシャルを算出することを目的とし、想定される製品需要の全量、もしくは政府関連文書や当該業界によってCR製品の導入目標が示されている場合には、それらの目標を参照してCO<sub>2</sub>循環利用ポテンシャルを算出する。
- CR製品の導入は、将来水素の導入コストやCO<sub>2</sub>の回収コストなどが低減した後で加速度的に導入が進むとの想定の下、2030年から2050年にかけて乗数関数的に（定率で）増加すると想定。

# CO<sub>2</sub>利用量のまとめ

- カーボンリサイクル（CR）技術によって利用できるCO<sub>2</sub>量の最大ポテンシャル値は、2030年時点で約600万トン/年、2050年で約2億～1億トン/年。

## 将来のカーボンリサイクルによるCO<sub>2</sub>の最大利用ポテンシャル



- **低位ケース**：合成燃料、E-メタンについてはIEA, World Energy Outlook 2022のAnnounced Pledges Scenario (APS)に基づく需要見通し、鉍物についてはセメント協会による国内需要見通しの低位値に基づく推定量
- **高位ケース**：合成燃料、E-メタンについてはIEA, World Energy Outlook 2022の Stated Policies Scenario (STEPS)に基づく需要見通し、鉍物についてはセメント協会による国内需要見通しの高位値に基づく推定量
- いずれのケースにおいても2030年と2050年時点での導入量を想定し、その間は低率でCR製品の導入が進むと想定。

# 需要見通しシナリオ（APS・STEP）の採用について

- 合成燃料とE-メタンのCO<sub>2</sub>利用ポテンシャルの算出に当たっては、国際エネルギー機関（IEA）の年次見通し「World Energy Outlook 2022」におけるAnnounced Pledges Scenario（APS）とStated Policies Scenario（STEPS）を参照

## APS (Announced Pledges Scenario):

- ・ 各国政府が表明した長期的なネット・ゼロやエネルギー・アクセスの目標を含むすべての意欲的な目標が、予定通りかつ完全に達成されることを想定したシナリオ。
- ・ 日本に関しては、2050年時点でのカーボンニュートラル目標や2030年以降の政策も含む第6次エネルギー基本計画に定められた政策がすべて実施されると想定。GX実行会議によって提言された原子力の利用促進、メタン排出削減のためのGlobal Methane Pledgeに対するコミットメントも実行されると想定。

## STEPS (Stated Policies Scenario):

- ・ 現在の政策設定によって示される軌道を示したシナリオ。
- ・ 日本に関しては、第6次エネルギー基本計画において定められた政策がすべて実施されると想定。クリーンエネルギー技術開発に対する政府支援は2021年度の予算を参照。

両シナリオにおけるより詳細な想定については、IEA, 『World Energy Outlook 2022』 pp475-484 を参照。

# APSとSTEPを採用する理由

- IEAのWorld Energy Outlookにおいては、APS、STEPSに加えて、2050年に世界がネットゼロを実現するNet Zero Scenario (NZE) の分析もなされているが、本見通しでは下記の理由に基づき、APSとSTEPSの需要見通しを採用する。

## IEAのシナリオのアプローチの違い

- STEPSとAPSでは、現時点でのエネルギー需給構造からスタートして今後の脱炭素化策の導入をボトムアップ式に積み上げていくフォアキャスト型の分析を行っているのに対し、NZEでは、2050年時点で世界がネットゼロ状態を実現しているという仮想状態を想定し、あるべきエネルギー需給のあり方を逆算してトップダウン式に当てはめていくバックキャスト型の分析を行っている。

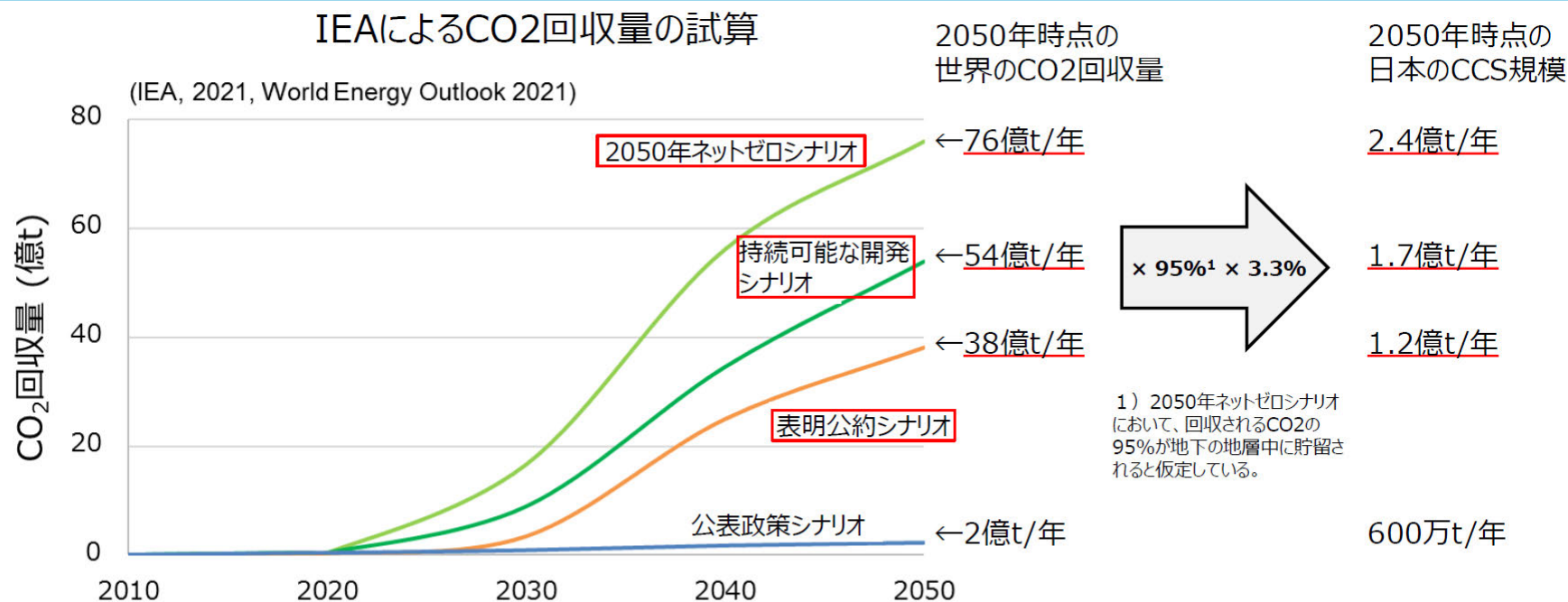
## STEPS・APSシナリオの採用理由

- 本見通しでは下記の3つの理由に基づき、APSとSTEPSの見通しを採用する。
- まず、2050年時点で想定されている化石燃料インフラの絵姿がAPS・STEPSとNZEでは異なるためである。NZEでは、2050年時点において化石燃料の利用が極限まで減らされた状態が想定されており、化石燃料インフラの多くが廃棄されていることが想定されている。他方、STEPSとAPSでは、既存のエネルギー需給構造やそれを支えるインフラの存在を出発点として、段階的に脱炭素化が進められることを想定しているため、2050年時点においても一定規模の化石燃料のインフラが残されている状態が想定されている。CRの意義の一つは、既存のインフラを活用しながら化石燃料由来のCO<sub>2</sub>を有効活用することで脱炭素化を進めていくところにあるので、化石燃料インフラの座礁資産化が予め想定されているNZEのアプローチとCRのコンセプトは相いれない。
- 次に、NZEがバックキャスト型のアプローチに基づいて作成されたものであるが故に、シナリオで想定されている絵姿と現実との乖離が既に生じている点が挙げられる。NZEシナリオでは、2021年時点で投資決定がなされたプロジェクト以外の新規の石油・ガス田の開発は行われない想定になっている。しかし実際には、OPEC諸国では油田の新規投資の計画が進められており、米国や英国でも新規鉱区の開放が実施されているなど、既に現実との乖離が生じている。
- さらに、NZEでは、CR技術の有するリスクヘッジ機能が過小評価されてしまう。CRの利点の一つは、将来どうしても化石燃料を使わざるを得なくなった際に、そこから排出されるCO<sub>2</sub>を確実に固定できるという、ネットゼロ実現のための「リスクヘッジ手段」という性格を有している点にある。NZEでは、化石燃料利用が極限まで削減されているという「理想状態」が想定されている一方で、その実現の不確実性は高い。上記の「リスクヘッジ手段」としてのCRの意義を踏まえると、その将来の貢献度を試算する際には、NZEのような理想的だが不確実なシナリオを参照するのではなく、APSやSTEPSのような化石燃料の利用がやむを得ず残ってしまうシナリオを想定すべきである。さもなくば、2050年において想定外の化石燃料の利用が残ってしまうリスクに対し、柔軟な対応ができなくなる。



# 参考資料：IEA Net Zero報告書による試算

- 推定手法：IEAによる将来シナリオにおける世界のCCUS導入量から日本のCCU実施量を推定
  - IEAは「2050年ネットゼロシナリオ」において世界のCCUS実施量の95%がCCS、5%がCCU（合成燃料の製造）に用いられると想定。
  - IEAによる3つのシナリオにおける世界のCCUS実施量に上記の5%を乗じて世界全体のCCU実施量を想定し、それに世界における日本のCO<sub>2</sub>排出量シェア（3.3%）を乗じて日本におけるCCU実施量を推定。
- 推定値：上記計算によるCCU推定量は、**600万～1,300万トン/年**
  - ただし、合成燃料分のみの利用量で化学品や鉱物に対するCO<sub>2</sub>の利用は含まず。



2050年ネットゼロシナリオ [NZE (Net Zero Emissions by 2050)]:

持続可能な開発シナリオ [SDS (Sustainable Development Scenario)]:

表明公約シナリオ [APS (Announced Pledges Scenario)]:

公表政策シナリオ [STEPS (Stated Policy Scenario)]:

世界のCO<sub>2</sub>排出量を2050年までにネット・ゼロにする軌道に乗せるためのシナリオ

先進国は2050年、中国は2060年、その他の国は2070年までにネット・ゼロを達成するためのシナリオ  
NDCや長期ネット・ゼロ目標等の各国の気候約束をベースとするシナリオ

分野別に目標を達成し得るかを精緻に評価した、各国の取組をベースとするシナリオ

# 参考資料：需要サイドアプローチ（Nature論文）

- 推定手法：11,000本以上の関連分野における査読付き学術論文を元に、世界全体のCO<sub>2</sub>利用・除去技術のポテンシャルを算出したNature誌記載の論文における推定値を元に算出
  - 化学品、燃料、コンクリートにおける世界全体のCO<sub>2</sub>利用ポテンシャルは合計で14億～62億トン/年。これに世界における日本のCO<sub>2</sub>排出量シェア（3.3%）を乗じて算出
- 推定値：上記計算によるCRによるCO<sub>2</sub>利用ポテンシャルは合計**4,600万～2.0億トン/年**
  - 内訳は、化学（1,000万～2,000万トン/年）、燃料（3,300万～1.4億トン/年）、コンクリート（300万～4,600万トン/年）

Table 2 | Range estimates of the potential for CO<sub>2</sub> utilization and present-day breakeven cost

Pathway	Removal potential in 2050 (Mt CO <sub>2</sub> removed per year)	Utilization potential in 2050 (Mt CO <sub>2</sub> utilized per year)	Breakeven cost of CO <sub>2</sub> utilization (2015 US\$ per tonne CO <sub>2</sub> utilized)
Conventional utilization			
Chemicals	Around 10 to 30	300 to 600	–\$80 to \$320
Fuels	0	1,000 to 4,200	\$0 to \$670
Microalgae	0	200 to 900	\$230 to \$920
Concrete building materials	100 to 1,400	100 to 1,400	–\$30 to \$70
Enhanced oil recovery	100 to 1,800	100 to 1,800	–\$60 to –\$45
Non-conventional utilization			
BECCS	500 to 5,000	500 to 5,000	\$60 to \$160
Enhanced weathering	2,000 to 4,000	n.d.	Less than \$200*
Forestry techniques	500 to 3,600	70 to 1,100	–\$40 to \$10
Land management	2,300 to 5,300	900 to 1,900	–\$90 to –\$20
Biochar	300 to 2,000	170 to 1,000	–\$70 to –\$60

n.d., not determined.

The breakeven cost is the cost in 2015 US\$ per tonne of CO<sub>2</sub> adjusted for revenues, by-products, and any CO<sub>2</sub> credits or fees. A breakeven cost of zero represents the point at which the pathway is economically viable without governmental CO<sub>2</sub> pricing (for example, a subsidy for CO<sub>2</sub> utilization). Breakeven costs presented as a range represent either (for conventional pathways with the exception of EOR) 25th and 75th percentile estimates as calculated via the scoping review of the academic literature (in which the magnitude of the difference reflects the diversity of technological and economic assumptions available within and across each sub-pathway) or (for land-based pathways) top-down estimates of revenues that may accrue (when the uncertainty of the estimation is high). Breakeven costs presented with an asterisk are calculated unadjusted for revenues and by-product credits. To obtain the global gross utilization potential high and low values for conventional pathways, we averaged the interpolated expert opinions with an author group estimate. For non-conventional utilization pathways, estimated utilization potential ranges are based on estimates of additional realized yield of carbon in vegetation (for soil carbon sequestration and biochar, additional yield approximates to net primary productivity, and for afforestation/reforestation, it approximates to wood products). These are first rough estimates based on preliminary but sparse published research reporting relationships between carbon storage and additional carbon that can be utilized.

# **III. カーボンリサイクル の導入促進の産業・地域間連携の 環境整備 の在り方**

## **III-1 課題と解決策案**

# 産業間連携における課題と解決策案（各類型共通）

- 課題に対する解決策については、いずれも連携の形成と共に、対応できるものから随時対応する。
- グリーン水素の調達やCCSの実施体制の整備が必要なものは、それらの進捗を見ながら遅滞の発生しないよう準備を進めておく。

課題	解決策（解決策を実施する主体）
CO <sub>2</sub> 排出事業者と利用事業者間の需給調整	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 連携事業内におけるCO<sub>2</sub>の融通や需給管理を行う「CO<sub>2</sub>マネジメント事業者」の果たすべき役割について整理 [政府]</li> <li>・ 各連携事業体におけるCO<sub>2</sub>マネジメント事業の実施体制を構築 [事業者]</li> </ul>
CO <sub>2</sub> の品質管理（排ガス中のCO <sub>2</sub> 濃度、不純物の濃度の管理）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ①各排出源でCO<sub>2</sub>を回収し一定の品質基準を満たしたものを外部に供給する、②排ガスの状態で輸送し特定の場所で一括してCO<sub>2</sub>を回収する、の両オプションの妥当性を個別の連携事業の諸条件に応じて検討・選択 [事業者]</li> <li>・ ①の場合、CO<sub>2</sub>の品質に関する基準を明確化（具体的なオプションとしてISO基準などがあるがCO<sub>2</sub>の利用部門における条件に応じ柔軟に設定） [事業者]</li> </ul>
事業者間での情報共有に伴う独占禁止法抵触の可能性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 連携に参加する事業者間での情報管理体制の整備 [事業者]</li> <li>・ 個別事業のあり方について公正取引委員会と対話 [事業者]</li> </ul>
余剰CO <sub>2</sub> 発生時の処理（装置定期修理時など）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ CO<sub>2</sub>マネジメント事業者と各排出事業者・利用者間での事前の需給調整の徹底 [事業者]</li> <li>・ CO<sub>2</sub>貯蔵施設と他のCR拠点との融通インフラ整備（事業者）</li> <li>・ 上記項目のための関係法令の整備 [政府]</li> <li>・ 次善策としてCCS事業との組み合わせ [事業者]</li> </ul>
グリーン水素の安定調達	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 国内再エネ拠点（メガソーラー・洋上風力等）、カーボンニュートラルポートなどの近隣で集中的にCRを実施（必要に応じ工場の立地の変更） [事業者]</li> <li>・ 既存インフラの転用の可能性を検討 [事業者]</li> </ul>

# 産業間連携における課題と解決策案（各類型共通-続き）

課題	解決策（解決策を実施する主体）
CO <sub>2</sub> トレーサビリティの確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>• トレーサビリティ確保のためのプラットフォームの構築（事業者）</li> <li>• CR製品の環境価値が適正に評価される国際的なガイドラインの整備支援（政府・事業者）</li> </ul>
実証から商用段階に至るまでの障壁の克服	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 実証段階から商用段階までの移行に際しての諸課題・制約条件の把握と克服策の検討（政府・事業者）</li> <li>• 商用化への移行に際し、国からの補助だけでなく、国内外の融資も受けられるよう、産業間連携による環境価値の創出を積極的に対外PR（政府・事業者）</li> </ul>
CO <sub>2</sub> 回収・貯蔵・輸送・利用インフラのための用地の確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 共同廃棄・共同投資などの独占禁止法上の懸念点の整理と公正取引委員会との対話（事業者）</li> <li>• 工場立地法上の緑化規制の緩和の検討（政府）</li> <li>• CO<sub>2</sub>パイプラインの新設における関係法制度の整備（政府）</li> </ul>



# 産業間連携における課題と解決策案（大規模産業集積型）

- CO<sub>2</sub>の排出源と利用事業者が近接して位置し、CRを実施するための技術や資金を有する事業者が多く参画するとみられる大規模産業集積型の連携においては、他の類型に先行してCRの導入が進む可能性が高く、前頁までの各類型共通の課題対応を含め、率先して課題の対応を進めていくことが期待される。

課題	解決策（解決策を実施する主体）
産業間連携を強力に推進するリーダーシップの確保	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 産業間連携参加企業間での連携事業における意思決定プロセスの整理（事業者）</li><li>・ 連携事業内におけるCO<sub>2</sub>マネジメント事業者のあり方の整理（権限、職務範囲、資本構成、人員構成など）（事業者）</li><li>・ 産業間連携における事業体形成に関するガイドラインの整備（政府）</li></ul>
工場の操業に関する情報共有（CO <sub>2</sub> の排出・利用動向など）のあり方の整理	<ul style="list-style-type: none"><li>・ CO<sub>2</sub>マネジメント事業者を第三者的な組織とし（JVの場合は情報のファイヤウォールを設定し）外部に情報が漏洩しない体制を整備（事業者）</li><li>・ 独占禁止法の規定に抵触する可能性がある場合には、事前に公正取引委員会との対話を実施（事業者）</li></ul>
原料（水素等）の共同調達を行う際の独占禁止法抵触の可能性	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 個別プロジェクトの内容について公正取引委員会との対話（事業者）</li><li>・ 海外からのバイオ燃料輸入事業など既存の共同調達事例における手順を参照した調達のあり方の検討（事業者）</li></ul>
装置の共同廃棄・共同投資を行う場合の独占禁止法抵触の可能性	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 個別事象の内容について公正取引委員会との対話（事業者）</li></ul>

# 産業間連携における課題と解決策案（中小規模・分散型）

- 事業者の規模や企業体力が相対的に小さく、分散された排出源間のCO<sub>2</sub>融通体制の整備などが必要となる中小規模・分散型の産業間連携は大規模産業集積型より時間がかかる可能性がある。
- その一方で、スタートアップ企業との連携など、柔軟な発想に基づく小回りの利いた対応策によって課題の解決が速やかに図られることも考えられる。

課題	解決策（解決策を実施する主体）
遠隔地間でのCO <sub>2</sub> 需給調整	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 各連携事業における事業環境や採用するCR技術、参画企業数や企業間の関係など、それぞれの特性に応じたCO<sub>2</sub>マネジメント事業形態を整備（具体的な形態としては、①複数の排出源からCO<sub>2</sub>を回収する利用事業者、②関連する排出・利用事業者が合併など考えられる）。（事業者）</li></ul>
中小規模・分散型のCRビジネスモデルの構築	<ul style="list-style-type: none"><li>・ グローバルバリューチェーンに組み込まれている工場を対象としたCRネットワークの構築（例：中部地域で検討されているメタネーションネットワーク）（事業者）</li><li>・ 地方に点在する清掃工場やセメント工場に適用可能なCR技術の開発・検討（鉱物化・メタノール・エタノール・メタネーションなど）（事業者）</li><li>・ 当該ビジネスモデルの構築に向けたスタートアップ企業や大学・研究機関のの有するCR技術とのマッチングや適用可能性検討への支援（政府）</li></ul>
複数の排出源からのCO <sub>2</sub> の集約システムの構築	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 一定程度の輸送量が発生する場合には、ローリーの利用からパイプラインでの輸送を検討（事業者）</li><li>・ 既存インフラのCO<sub>2</sub>輸送用への転用可能性検討（事業者）</li><li>・ CO<sub>2</sub>パイプラインに関する立法・規制の整備（政府）</li></ul>
CR技術の導入に必要な人材の確保	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 産学官国際会議や大崎上島の実証拠点などを活用した大学研究機関やスタートアップ企業との人的交流機会の拡大（政府・事業者）</li></ul>



# 産業間連携における課題と解決策案（オンサイト型）

- 単一事業者内で実施されることが想定されるオンサイト型のCR事業は、関係企業間での調整が不要なため比較的早期に実現できる可能性がある一方、代替のCO<sub>2</sub>供給源の確保には他のCR拠点との間のCO<sub>2</sub>融通インフラの整備やDAC事業などの組み入れなどが必要になる可能性がある。

課題	解決策（解決策を実施する主体）
排出装置の定期修繕時のCO <sub>2</sub> 供給確保	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 近隣の排出事業者との融通可能性の模索（事業者）</li><li>・ 廃棄物・バイオマス・DACなどによる代替CO<sub>2</sub>供給源の組み入れの検討（事業者）</li></ul>

# 参考：CO<sub>2</sub>の品質基準について

## 参考

ISO27913：2016 Carbon dioxide capture, transportation and geological storage

成分	許容濃度	
CO <sub>2</sub>	> 95 mol%	
H <sub>2</sub> O	腐食防止：20～630 ppmv、ハイドレート防止：< 200 ppmv	
H <sub>2</sub>	< 0.75 mol%	合計 < 4 mol%
N <sub>2</sub>	< 2 mol%	
Ar		
CH <sub>4</sub>		
CO	< 0.2 mol%	
O <sub>2</sub>		
H <sub>2</sub> S	< 200 ppmv	
SO <sub>2</sub>	安全衛生：< 100 ppmv、腐食防止：< 50 ppmv	
NO <sub>2</sub>		
C <sub>2</sub> +	< 2.5 mol%	

JIS1106:2008 液化二酸化炭素（液化炭酸ガス）

種 類	品 質		
項 目	1 種	2 種	3 種
二酸化炭素 vol% (乾きガス中)	99.5以上	99.5以上	99.9以上
水 分 vol%	0.12以下	0.012以下	0.005以下
臭 気	異臭のないこと	異臭のないこと	異臭のないこと

出典：METI, “CCS事業法（仮称）のあり方について”, 2023.3.

### **III. カーボンリサイクル の導入促進の産業・地域間連携の 環境整備 の在り方**

#### **III-2 海外で行われている産業間連携事例**

# ①Carbon2Chem Project (ドイツ)

大規模産業集積型

【参画機関】 AkzoNobel (メタノール製造)  
BASF (オキシメチレンエーテル製造)  
Clariant (触媒)  
Covestro (高分子製造)  
Evonik (高級アルコール製造、多価アルコール製造)  
FhGUMSICHT (マネジメント)  
ISE (太陽光発電)  
Linde (ガス精製、触媒)  
MPI-CEC (マネジメント)  
MPI für Kohlenforschung (触媒)  
Siemens (マネジメント)  
Thyssenkrupp (製鉄、マネジメント)  
Volkswagen (合成燃料のユーザー)  
ZBT (水素製造)

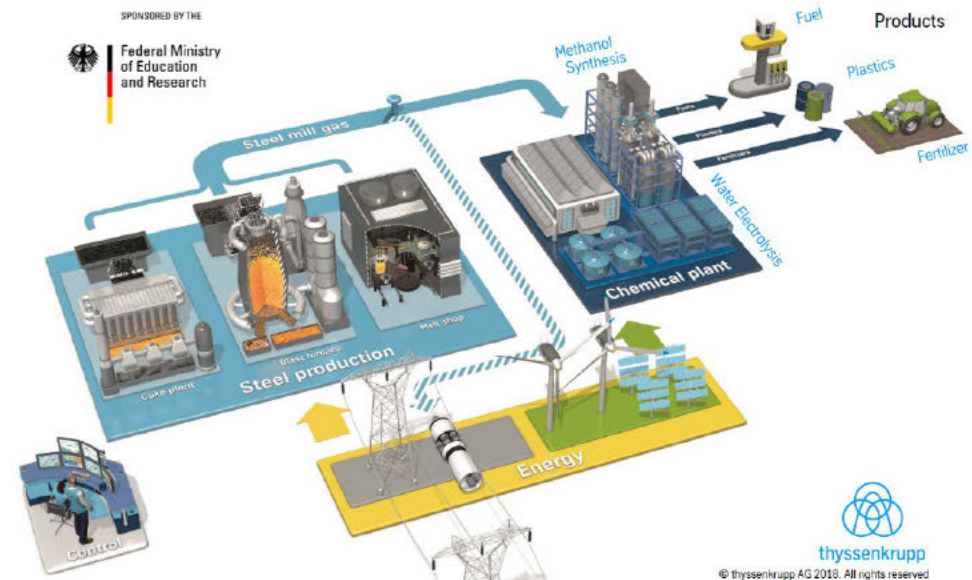
【CO<sub>2</sub>排出源】 製鉄 (Thyssenkrupp)、廃棄物処理場、セメント工場

【CCU製品】  
[] はユーザー  
メタノールやアンモニアをはじめ、その他のアルコール類、高分子、合成燃料 [Volkswagen]、肥料などを製造予定

【ステータス】 2016年プロジェクトスタート。  
2025年の稼働を目標に事業性検討を進めながら建設計画を実施中。

## 【概要】

- ・製鉄プロセスで発生する排ガスを利用して化学品、燃料などを製造するプロジェクト。
- ・この排ガスには、44%N<sub>2</sub>、23%CO、21%CO<sub>2</sub>、10%H<sub>2</sub>、2%CH<sub>4</sub>が含まれており、再生可能エネルギーによるグリーン水素も活用しながら、メタノールやアンモニアなど、燃料や化学品および肥料を製造する計画。
- ・2020年からは廃棄物処理場やセメント工場などから排出されるCO<sub>2</sub>にも焦点をあてて、プロジェクトの事業性検討を進めるとともに建設計画も実施中。



【出典】 Thyssenkrupp



## ②Hydrogen Lab Leuna E-CO2 Met (ドイツ)

大規模産業集積型

### 【参画機関】

Fraunhofer CBP (メタノール製造)  
Fraunhofer IWES  
(再エネコントロール、電解槽運転)  
Sunfire (SOEC\*)  
Total Leuna (製油所)  
Total Energies (メタノール製造)

\*SOEC : 固体酸化物形水蒸気電解セル (Solid Oxide Electrolysis Cell)

### 【CO<sub>2</sub>排出源】

製油所 (Total Leuna)

### 【CCU製品】

メタノール

### 【ステータス】

2021年プロジェクトスタート。  
2024年にパイロット試験が終了予定。  
以降はFraunhofer CBPに引き継がれ、事業性を検討。

### 【概要】

- ・製油所から排出されるCO<sub>2</sub>と、固体酸化物水電解(SOEC)によるH<sub>2</sub>を用いて、様々な製品に利用される基幹物質、グリーンメタノールを製造。
- ・Hy2Chemプロジェクト (2020～2021年) で実施した技術可能性調査を経て、2021年より始動。
- ・本プロジェクトでは、再生可能エネルギーの出力変動性がメタノール合成に影響を与えないようなプロセスの検証も実施中。



【出典】 Fraunhofer CBP

### ③North-C-Methanol（ベルギー）

### 大規模産業集積型

#### 【参画機関】

ArcelorMittal（製鉄）  
Alco Biofuel（バイオ燃料）  
ENGIE（電解）  
Fluxys（ガスインフラ）  
三菱電機（システム管理）  
North Sea Port（港湾）  
Oiltanking（タンク貯蔵物流）  
PMV（投資）  
POM（東フランダース開発庁）  
Proman（メタノール製造）  
Yara（肥料）

#### 【CO<sub>2</sub>排出源】

製鉄所ほか、港周辺の産業からCO<sub>2</sub>を回収  
(ArcelorMittal、Alco Biofuel、Yara)

#### 【CCU製品】 []はユーザー

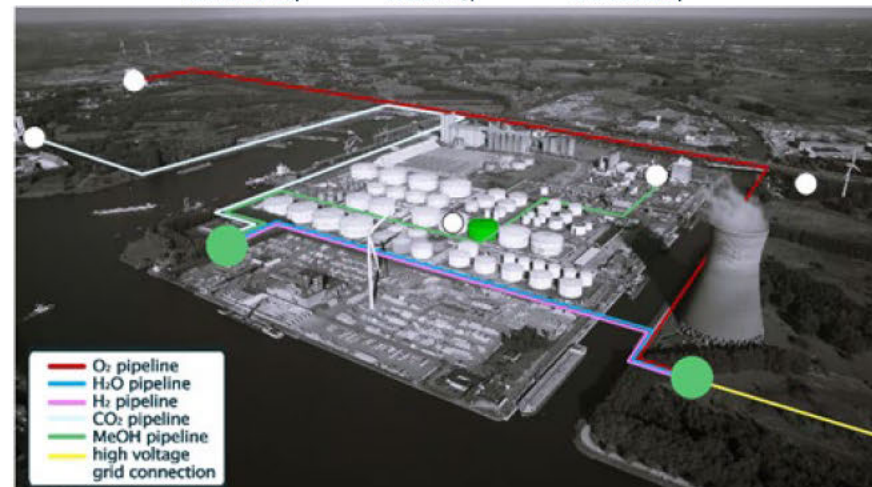
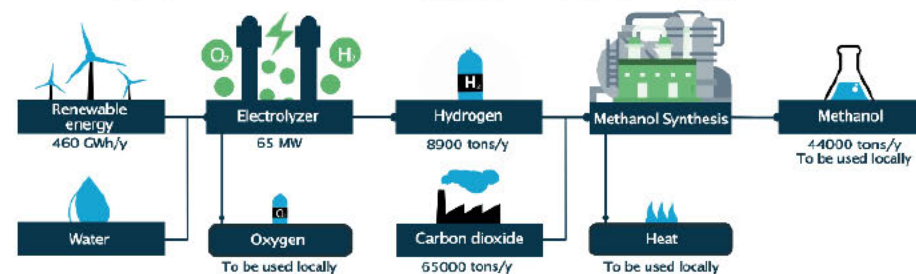
燃料用・化学品原料用メタノール、アンモニア  
[Yara]、ギ酸

#### 【ステータス】

2018年スタート。  
2024年にデモプラントが稼働予定。  
2028年にフルスケール（300MW電解）予定。  
2030年にスケールアップ（600MW電解）予定。

#### 【概要】

- ・ベルギーのノースシーポート（北海港）で、風力によるグリーン水素と、ArcelorMittal、Alco Biofuel、Yaraといった地元の主要産業から回収したCO<sub>2</sub>で、メタノールを製造し、船舶燃料や化学品原料に利用するプロジェクト。
- ・現在、63MWの電解槽で年間45,000トンのメタノール製造を目指して準備中。
- ・2028年に300MW、2030年に600MWにスケールアップさせ、メタノール以外にもアンモニアやギ酸などの合成を目指す。



【出典】North CCU Hub



## ④Haru Oni Project (チリ)

中小規模分散型

【参画機関】 EMPRESAS GASCO（合成ガス製造）  
ENAP（インフラ、物流）  
Enel Green Power（風力、水素製造）  
ExxonMobil（MTG\*\*）  
Global Thermostat（DAC\*）  
HIF（e-fuel製造）  
MAN（メタノール合成）  
Porsche（車）  
Siemens Energy（風力、水電解）

\*DAC：直接空気回収技術（Direct Air Capture）

\*\*MTG：メタノールからのガソリン合成（Methanol to Gasoline）

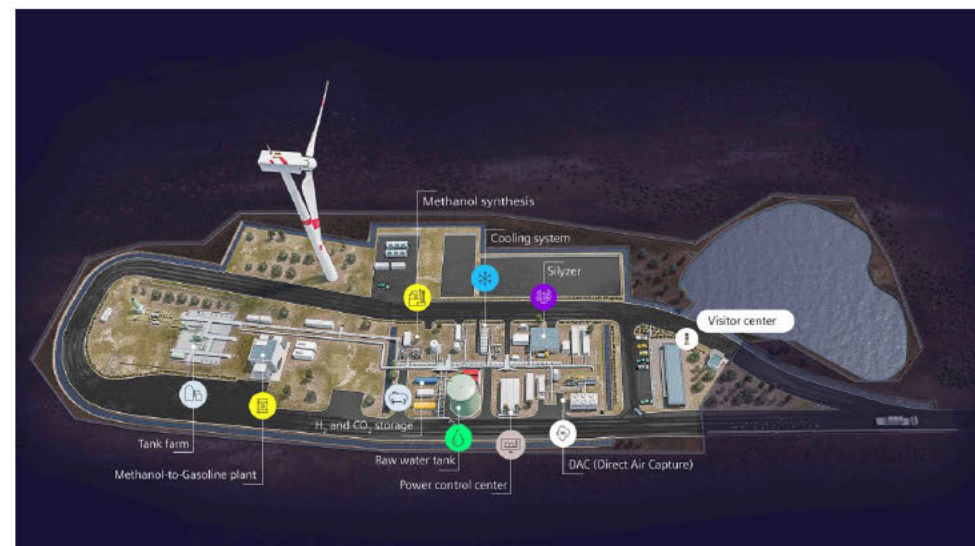
【CO<sub>2</sub>排出源】 大気（DAC）

【CCU製品】  
[]はユーザー  
メタノール、e-fuel（合成ガソリン）[Porsche]

【ステータス】 2016年構想スタート。  
2021年9月建設開始。  
2022年12月生産開始。  
（メタノール75万L/年、うちガソリン13万L/年）  
2025年e-fuel 5,500万L/年目標。  
2027年e-fuel 5.5億L/年目標。

### 【概要】

- ・風力発電によるグリーン水素と、大気から回収したCO<sub>2</sub>からメタノール、e-fuel（合成ガソリン）を製造。
- ・2022年12月にe-fuelの生産が開始。
- ・製造したe-fuel（合成ガソリン）はコンテナ船で欧州に輸出する予定。
- ・2027年に5.5億L/年の製造を目指す。



【出典】 Siemens Energy



## ⑤ LululemonとLanzaTechによる衣料生地生産（米国、インド、台湾）

中小規模分散型

### 【参画機関】

Century（ポリエステル）  
Far Eastern New（繊維）  
India Glycols（エチレングリコール合成）  
Lululemon athletica（アパレル）  
LanzaTech（エタノール製造）

### 【概要】

- ・2020年10月にLululemonが Impact Agenda\*を発表。
- ・その中のひとつに、LanzaTechの技術を用いて、排ガス等から回収したCO<sub>2</sub>を用いて糸や布を製造し、製品に使用することが掲げられた。
- ・石油化学会社India Glycols（インド）、繊維会社Far Eastern New Century（台湾）との国際連携により、LanzaTechが製造したエタノールから衣料生地を試験製造。



### 【CO<sub>2</sub>排出源】

産業、農業、家庭、大気など（詳細は未定）

### 【CCU製品】 []はユーザー

エタノール、モノエチレングリコール（MEG）、ポリエステル（衣料生地の原料）[Lululemon]

### 【ステータス】

2021年に糸、生地の試験製造に成功。  
2030年までに循環型エコシステムの実現が目標。

【出典】Innovation Textiles記事(2021.7)

\*Impact Agenda：研究の質を高め、確実に結果を出せるような研究にのみ予算を使うようにするという戦略目標。

## ⑥C2PAT (Carbon2ProductAustria) (オーストリア)

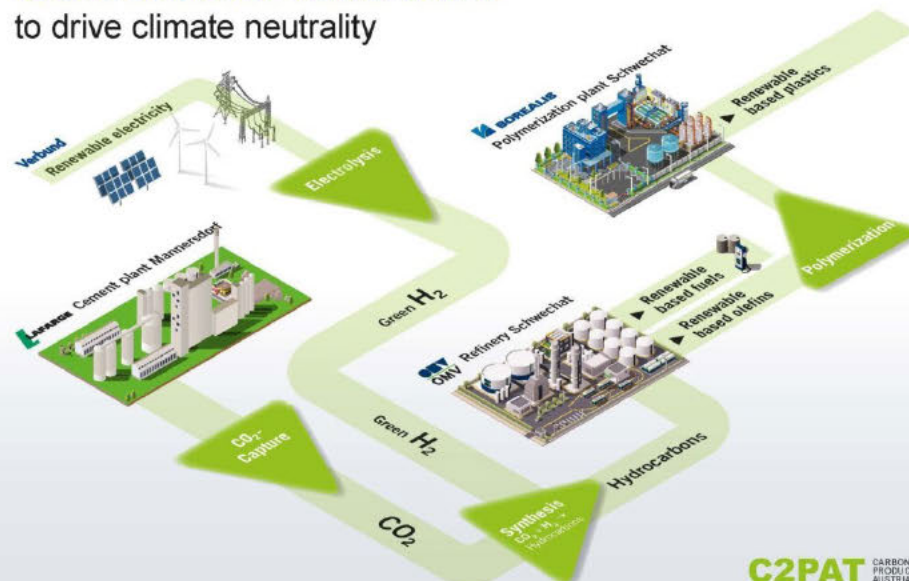
中小規模分散型

【参画機関】  
Borealis (プラスチック製造)  
Lafarge (セメント)  
OMV (合成燃料製造)  
VERBUND (再エネ電力、水素製造)

### 【概要】

- ・セメント工場から排出されたCO<sub>2</sub>と、再生可能エネルギー由来のグリーン水素を利用して、合成燃料やプラスチックを製造する。
- ・2030年にプラント稼働させ、オーストリアのマナーズドルフにあるラファージュ (Lafarge) 社のセメント工場で年間70万トン排出されるCO<sub>2</sub>のほぼ100%を回収することが目標。
- ・回収されたCO<sub>2</sub>は、OMVが再生可能な炭化水素系燃料 (合成燃料) を製造したり、Borealis社が付加価値の高いプラスチックを製造することを想定。

**Cross sectoral value chain**  
to drive climate neutrality



【CO<sub>2</sub>排出源】 セメント工場 (Lafarge)

【CCU製品】 合成燃料、プラスチック

【ステータス】 2030年のプラント稼働を目指して、現在は技術的、経済的な課題を調査中。

【出典】 Borealis



## ⑦Jupiter 1000 (フランス)

中小規模分散型

### 【参画機関】

CEA (研究機関)  
CMA CGM (物流、コンテナ輸送)  
CNR (エネ電力)  
GRT gaz (ガスパイプライン)  
KHIMOD (触媒、メタネーション)  
Leroux & Lotz Technologies (燃焼・ガス化)  
Marseille Fos Port (港)  
McPhy (水素製造)  
RTE (送電)  
Teréga (インフラ)

協力 : Asco Industrie (製鋼)

### 【CO<sub>2</sub>排出源】

製鋼工場の排ガス (Asco Industrie)

### 【CCU製品】 []はユーザー

合成メタン[CMA CGM]

### 【ステータス】

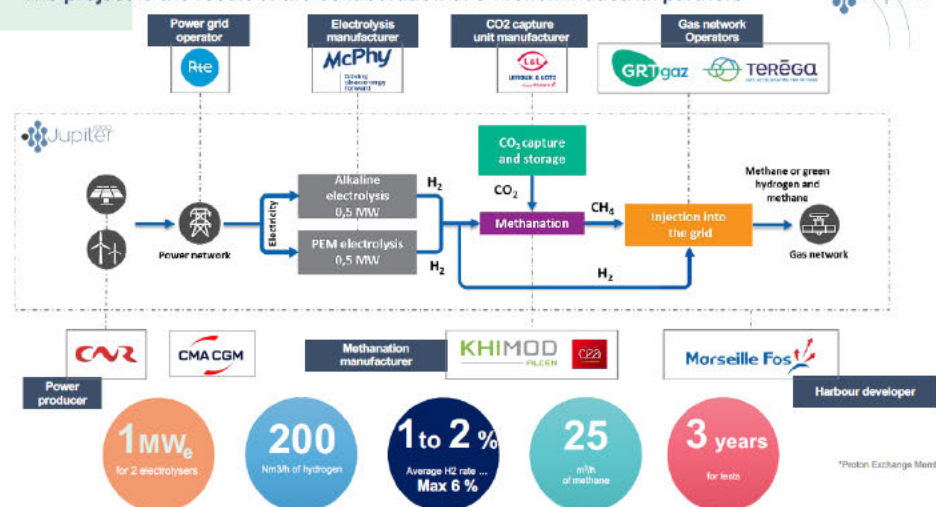
2014年プロジェクトスタート。  
2017年に建設許可を取得。  
2020年2月以降に電解槽 (アルカリ型とPEM型の2種) とパイプラインが完成。  
2022年6月メタネーション設備完成、稼働。  
2023年に試験運転終了。

### 【概要】

- 産業由来のCO<sub>2</sub>と再エネ由来のグリーン水素を利用して合成メタンを製造する。
- 近隣の製鋼工場 Asco Industrie社のボイラーから発生するCO<sub>2</sub>を、Leroux & Lotz Technologies社が分離回収し、パイプラインで輸送。
- McPhyの電解槽 (1MWe) で水素約200m<sup>3</sup>/hを製造し、25m<sup>3</sup>/hの合成メタンを製造。
- CMA CGM社がコンテナ船舶の燃料として利用を検討。
- 2023年に試験運転終了。スケールアップを検討する一方、設備は解体せず、水素関連の試験設備として活用予定。

### Jupiter 1000 - P2G players working together

The project is the result of the collaboration of 9 French industrial partners



【出典】Jupiter 1000

## ⑧ Altalto (イギリス)

## 中小規模分散型

【参画機関】 Velocys (FT合成、合成燃料製造)  
British Airways (SAF利用)

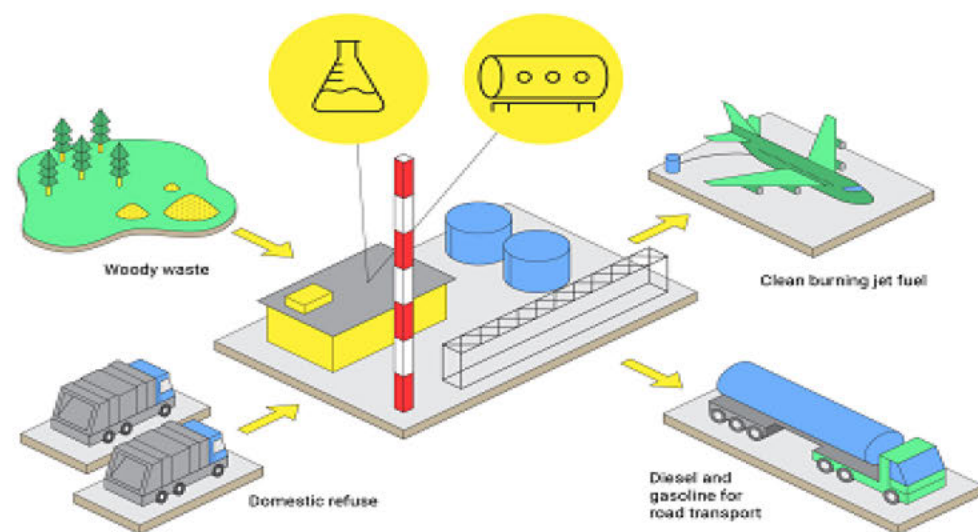
### 【概要】

- ・年間約50万トンの都市ごみ（リサイクル困難な廃プラスチックを含む家庭ごみやオフィスごみ）を引き取り、ガス化・精製後、FT合成で合成燃料（ガソリン、ディーゼル、ジェット燃料）を製造する。
- ・これまで埋め立てや焼却に回されていたごみを、年間6,000万L以上の持続可能なジェット燃料（SAF）や運輸燃料に転換でき、年間80,000トン以上のCO<sub>2</sub>削減が見込める。

【CO<sub>2</sub>排出源】 廃棄物（都市ごみ）

【CCU製品】 合成燃料（ガソリン、ディーゼル、ジェット燃料）  
[]はユーザー [British Airways]

【ステータス】 2019年スタート。  
2020年6月にNorth East Lincolnshire Councilより計画承認。  
2025年建設開始予定。  
2027年に合成燃料の生産を開始する予定。  
2028年商用運転開始予定。



【出典】 Global Spec記事（2019.9）



## ⑨Flue2Chem（イギリス）

中小規模分散型

### 【参画機関】

SCI（学会）  
 カーボン・グリーン（CO<sub>2</sub>回収）  
 クローダ（化粧品）  
 サリー大学（研究機関）  
 シェフィールド大学（研究機関）  
 ジョンソン・マッセイ（化学）  
 製紙連合会（製紙）  
 タタ・スチール（製鉄）  
 BASF（化学）  
 P&G（消費財）  
 プロセス・イノベーション・センター（政府公的団体）  
 ホルメン（製紙）  
 UPMキュンメネ（林産業）  
 ユニリーバ（日用品、消費財）  
 レキット・ベンキンサー（日用品）

### 【CO<sub>2</sub>排出源】

金属、ガラス、製紙、化学などを扱う基幹産業  
 （場所、業種などは未定）

### 【CCU製品】

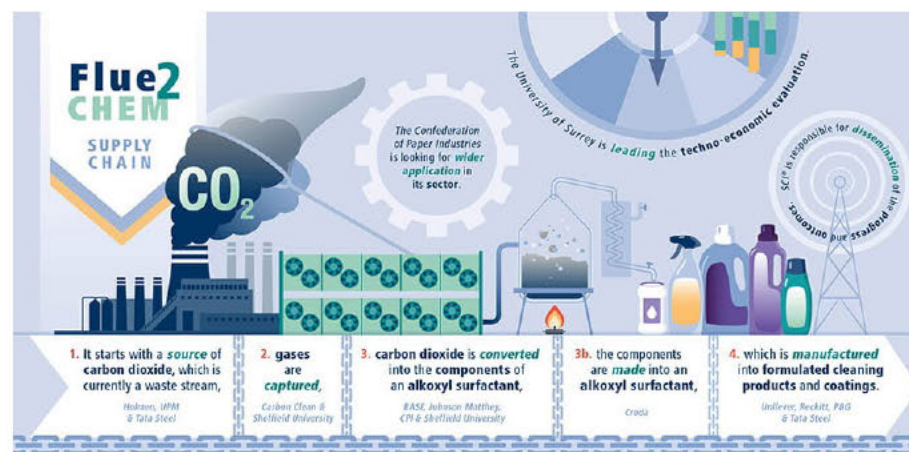
日用品（消費財）の炭素代替品

### 【ステータス】

ユニリーバは、洗濯洗剤「OMO」(中国)、食器洗い洗剤「Sunlight」(南アフリカ)、洗濯用洗剤「Coral+」(ドイツ)を試験的に販売

### 【概要】

- ・ユニリーバ、化学工業協会（SCI）、BASFなど15組織が立ち上げた2年計画（2023年～）。
- ・英国が2050年のネットゼロ目標を達成するためには、日用品（消費財）のために大量に輸入している化石資源の使用を止め、代替炭素源を域内で確保し、そのためのバリューチェーンの構築が必要という考えから計画がスタート。
- ・産業排ガスからCO<sub>2</sub>を回収し、サステナブルな代替炭素源を製造するバリューチェーンを構築することが目的。
- ・目標は、年間1,500～2,000万トンのCO<sub>2</sub>を削減すること。



【出典】SCI

## ⑩CO<sub>2</sub>からのメタノール製造増産（米国）

中小規模分散型

【参画機関】	フェアウェイメタノール社 （三井物産とセラニーズが設立）
【CO <sub>2</sub> 排出源】	都市廃棄ごみから出るバイオガス 周辺の工場などから排出されるCO <sub>2</sub>
【CCU製品】	メタノール
【ステータス】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2015年10月にメタノール生産開始、商用運転中。</li> <li>・2021年3月に設備増強を発表。</li> <li>・2021年12月にバイオガスからのメタノール生産を発表。</li> <li>・2023年7月から旭化成にメタノール（バイオガス経由）を供給し、日本で樹脂の実証生産開始。</li> <li>・回収CO<sub>2</sub>からのバイオメタノール製造は2023年末に開始予定。</li> <li>→現在、商用運転中</li> </ul>

### 【概要】

- ・2015年10月よりフェアウェイメタノール社はメタノール生産を開始
- ・製造したメタノールは両社（セラニーズと三井物産）が引き取り、セラニーズは酢酸製造用に使用し、三井物産は米国の化学メーカーに販売。
- ・周辺のプラントから排出される年間約18万トンのCO<sub>2</sub>から年間約13万トンのメタノールを製造するため、2021年3月に設備を増強を発表。2023年末に製造開始予定
- ・2021年12月に都市廃棄ごみから出るバイオガスからのメタノール生産も発表。
- ・2023年7月、旭化成にバイオガス経由のメタノールを供給し、日本国内にて樹脂製造の実証を開始。



【出典】三井物産



# ⑪Project Air（スウェーデン）

オンサイト型

【参画機関】 Perstorp（化学品）  
Uniper（水素製造）  
Sunfire\*（加圧式アルカリ電解槽）  
Johnson Matthey\*（メタノール合成）

\*サブコントラクター

【CO<sub>2</sub>排出源】 化学工場（Perstorp）  
残渣からのバイオガス利用

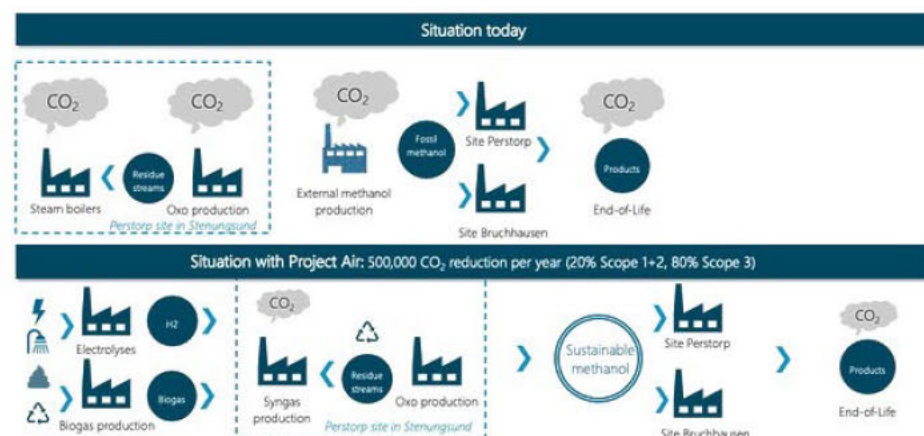
【CCU製品】 メタノール

【ステータス】 2019年プロジェクトスタート  
2026年メタノール製造開始予定

## 【概要】

- ・ペルストープ社の化学工場からの残渣物をバイオガス化し、さらにガス化して得られる合成ガスと、廃水を利用した水電解由来の水素を用いたメタノール合成を実施。
- ・スウェーデンのステムングスンドに炭素回収・利用（CCU）プラントを建設し、2026年に運転開始する予定。
- ・Sunfireの加圧式アルカリ電解槽（30MW）を利用したユニパーの水電解装置は、浄化された廃水と再生可能な電力を組み合わせた水素製造システムで世界初の電解プラント。

## Production Process Evolution



Perstorp

【出典】 energypost.eu記事（2022.7）



## ⑫ Tata Chemicals (イギリス)

オンサイト型

【参画機関】 Tata Chemicals Europe (化学品)

【概要】

- ・熱電併給 (CHP) 発電所 (チェシャー州ノースウィッチ、ガス焚き、40MW級) の排ガスからCO<sub>2</sub>を分離回収して精製し、炭酸水素ナトリウム (商品名Ecokarb®) の原料として利用。
- ・CO<sub>2</sub>分離回収には、Pentair社のAdvanced Amine Technology (AAT : MEA (monoethanolamine) をベースにした化学吸収法) を採用。
- ・年間最大で4万トンのCO<sub>2</sub>を回収。
- ・CO<sub>2</sub>から製造されるEcokarb®の製造工場が、CCUプラントの隣接地に建設予定。
- ・Ecokarb®の多くは腎臓病の患者を治療する血液透析に使用される。

【CO<sub>2</sub>排出源】 熱電併給 (CHP) 発電所

【CCU製品】  
[]はユーザー  
炭酸水素ナトリウム [病院]

【ステータス】 2021年8月に試運転開始。  
2022年6月に運転開始、現在も稼働中。  
Ecokarb®工場の建設計画が進行中。



【出典】 Tata Chemicals Europe

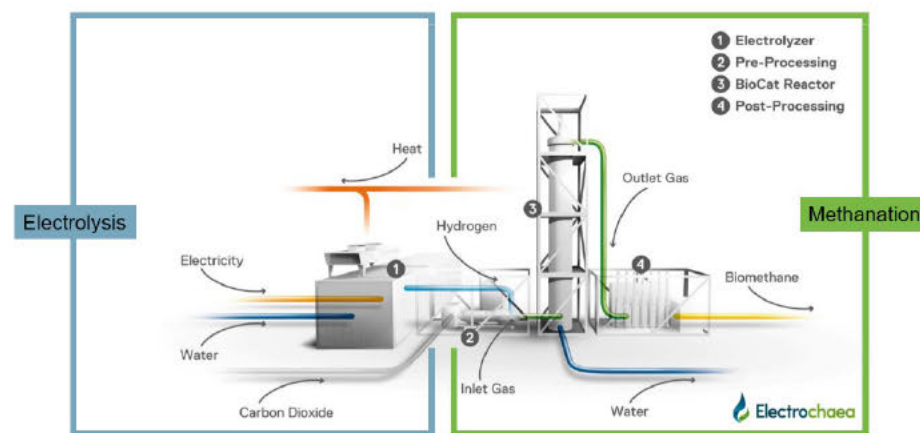
### ⑬ Carmeuse CCU（ベルギー）

オンサイト型

【参画機関】 Carmeuse（石灰）  
Electrochaea（微生物）  
Engie（水素製造）  
John Cockerill（電解槽）  
Storengy（メタン化プラント）

#### 【概要】

- ・石灰の製造工程（焼成キルン）で発生するCO<sub>2</sub>と、グリーン水素を利用して、微生物によってメタンを生成する。
- ・グリーン水素は、75MWの水電解プラントを採用予定。
- ・現在は資金調達中（EU Innovation FundとIPCEI\*に申請中で、2025年の運転開始が目標。



【出典】 Electrochaea

【CO<sub>2</sub>排出源】 石灰製造（Carmeuse）

【CCU製品】 合成メタン

【ステータス】 資金調達申請中  
2025年運転開始が目標

\*Important Project of Common European Interest（欧州共通利益に適合する重要プロジェクト）

### **III. カーボンリサイクル の導入促進の産業・地域間連携の 環境整備 の在り方**

#### **III-3 国内で行われている産業間連携事例**

## ⑭大分コンビナートでの産業間連携

## 大規模産業集積型

### 【参画機関】

日本製鉄九州製鉄所  
レゾナック（化学品）  
大分大学  
大阪大学  
京都大学  
千葉大学  
名古屋大学  
北海道大学

### 【CO<sub>2</sub>排出源】

製鉄所（日本製鉄）

### 【CCU製品】

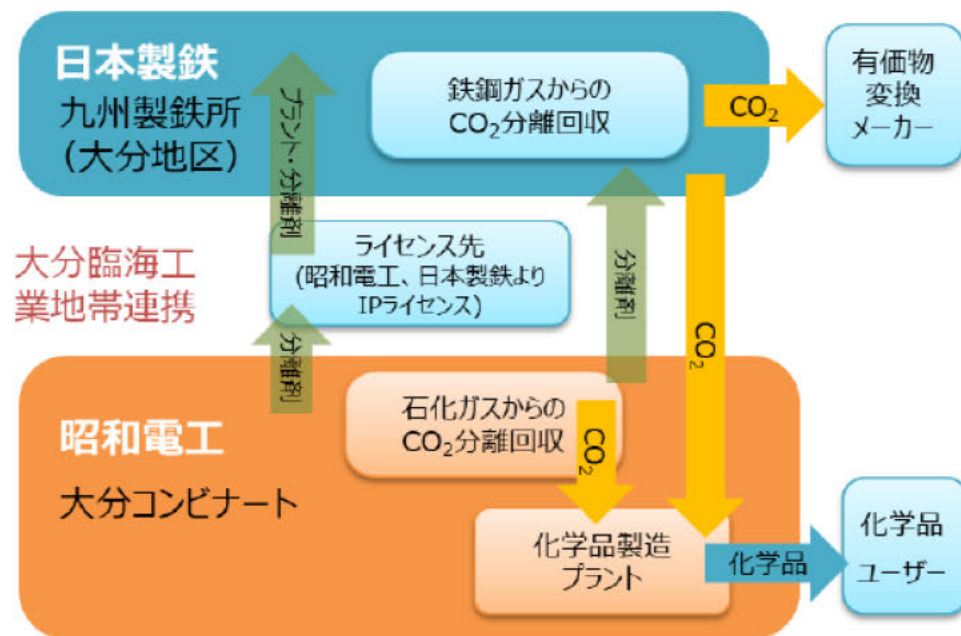
化学品

### 【ステータス】

・NEDO GI基金（2022～2030年度）にて技術開発中

### 【概要】

- ・製鉄所などから排出される低圧・低濃度（大気圧・CO<sub>2</sub>濃度10%以下）のCO<sub>2</sub>を効率的に分離・回収する技術を開発中
- ・さらに回収したCO<sub>2</sub>から化学品を製造するパイロットプラントをレゾナック大分コンビナート内に建設する予定



【出典】NEDO GI基金 事業概要資料



# ⑮千葉県 蘇我、五井地区における産業間連携

## 大規模産業集積型

### 【参画機関】

JFEスチール（製鉄）  
JNC（化学）  
KHネオケム（素材、化学）  
UBEエラストマー（合成ゴム）  
岩谷産業（水素）  
宇部マテリアルズ（石灰製造）  
コスモ石油（石油精製）  
デンカ（化学品）  
丸善石油化学（石油化学）  
横河電機（マネジメント）

エア・ウォーター（CO<sub>2</sub>分離回収、炭酸ガスやドライ  
アイスの製造・販売）  
AGC（化学品製造）

### 【CO<sub>2</sub>排出源】

製鉄所（JFEスチール）、石灰製造（宇部マテ  
リアルズ）、石油精製（コスモ石油）、化学品・  
素材製造（丸善石油化学、KHネオケム、JNC、  
UBEエラストマー、デンカ）など

### 【CCU製品】

燃料、化学品、炭酸塩固定、  
（直接利用として炭酸ガスやドライアイス）

### 【ステータス】

- ・NEDO産業間連携調査(2020～2022年度)  
を実施
- ・現在は事業化検討中

### 【概要】

- ・千葉県の蘇我・五井地区に立地する異業種企業9社と横河電  
機が連携
- ・産業間連携による、CO<sub>2</sub>マネジメントシステムの導入、CO<sub>2</sub>回収と  
有効活用、既存プロセスからの水素や副生ガスの有効活用を検  
討
- ・2023年8月、エア・ウォーターとAGCが参画
- ・2050年のカーボンニュートラルコンビナートに必要な施策等を検討  
中



【出典】横河電機

# ⑩北海道・苫小牧における産業間連携

## 大規模産業集積型

### 【参画機関】

デロイトトーマツ（マネジメント）  
JAPEX（マネジメント）

### 【概要】

- ・苫小牧は油ガス田、製油所、火力発電所、空港、製造業に加え、バイオマス産業や苫小牧CCS実証試験センターなどが立地する
- ・同地区に立地する工場などにおける電力・熱などのエネルギーバランスやCO<sub>2</sub>などのマテリアルバランスを分析し、産業間連携を活用したカーボンリサイクル事業の実施を検討中
- ・なお同地域は、JOGMEC（エネルギー・金属鉱物資源機構）が国内のCO<sub>2</sub>を貯留する先進的CCS事業として選定した7事業のひとつの対象地域であり、出光興産、北海道電力、JAPEXがCCUSの実現に向けた共同検討を開始している

### 【CO<sub>2</sub>排出源】

油ガス田、石油精製、製油所、火力発電所、各種製造業など

### 【CCU製品】

燃料、化学品

### 【ステータス】

- ・NEDO産業間連携調査(2020～2022年度)を実施
- ・同地域は先進的CCS事業のひとつに選定
- ・現在は事業化検討中

産業間連携のイメージ



苫小牧港俯瞰図



【出典】デロイトトーマツ



## ⑪川崎地域における産業間連携

## 大規模産業集積型

### 【参画機関】

エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所（マネジメント）  
川崎カーボンニュートラルコンビナート形成推進協議会\*  
川崎港カーボンニュートラルポート形成推進協議会\*

\*両協議会の会員数は79社（2023.3現在）

### 【CO<sub>2</sub>排出源】

製鉄所、化学工場、石油精製、製油所、廃棄物処理施設、発電所など

### 【CCU製品】

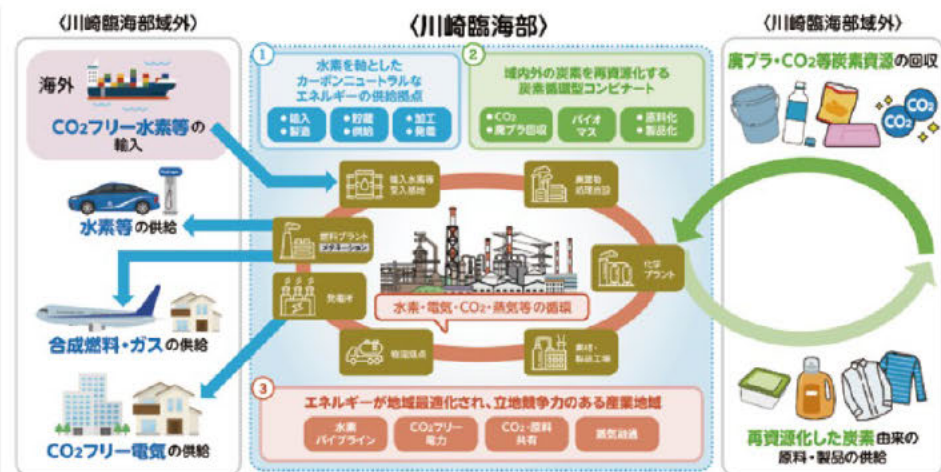
燃料、化学品

### 【ステータス】

- ・2020年12月より検討開始
- ・2022年5月より協議会を設立
- ・現在、事業化検討中

### 【概要】

- ・川崎臨海地区は、(1)エネルギー産業や水素関連企業が集積、(2)石油化学産業を中心とした多様な素材産業と廃プラスチックのリサイクル施設が充実、(3)既に多くの配管等が敷設され、エネルギーや熱、原料などが融通しやすいコンビナート機能が実装されている
- ・こうした特徴を生かし、2050年に炭素循環型コンビナートの実現を目指す



【出典】川崎市

# ⑱ 山口県・周南における産業間連携

## 大規模産業集積型

### 【参画機関】

出光興産（石油化学）  
東ソー（化学品製造）  
トクヤマ（セメント、化学品）  
日鉄ステンレス（ステンレス鋼製造）  
日本ゼオン（化学品製造）  
三菱ガス化学（メタノール製造）  
三菱重工エンジニアリング（現・三菱重工業）  
（CO<sub>2</sub>分離回収）

### 【CO<sub>2</sub>排出源】

石油化学（出光興産）、ソーダ（東ソー）、セメント（トクヤマ）、ゴム（日本ゼオン）、鉄鋼（日鉄ステンレス）

### 【CCU製品】

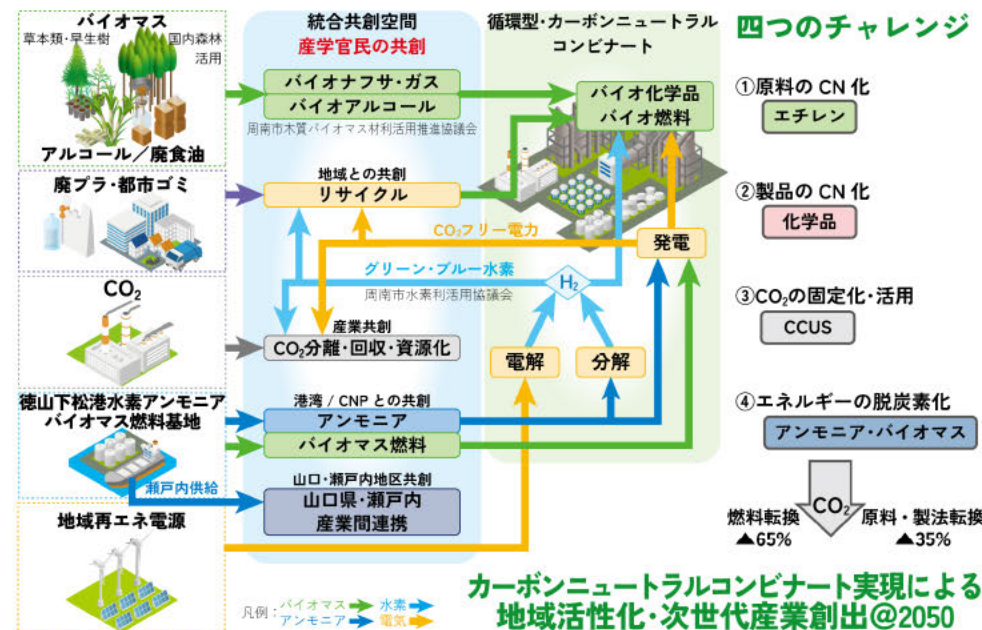
燃料、化学品、炭酸塩固定、（CCS）

### 【ステータス】

- ・2022年1月に周南コンビナート脱炭素推進協議会が設立
- ・2023年5月にロードマップを策定
- ・現在は事業化検討中

### 【概要】

- ・山口県の周南地区には、多様な素材産業が集積
- ・苛性ソーダを軸とする無機化学とオレフィン系有機化学が存在し、余剰水素もある
- ・2022年に周南コンビナート脱炭素推進協議会を立ち上げ、産業競争力の維持・強化と脱炭素化の推進を進めながらカーボンニュートラル実現に向けた課題解決と方策を検討中
- ・そんな中、トクヤマと三菱ガス化学が、セメント工場より排出されるCO<sub>2</sub>からメタノールを製造する国内初の商業プラントの事業化を検討中



【出典】周南コンビナートカーボンニュートラルロードマップ



# ①9 泉北コンビナートにおける産業間連携

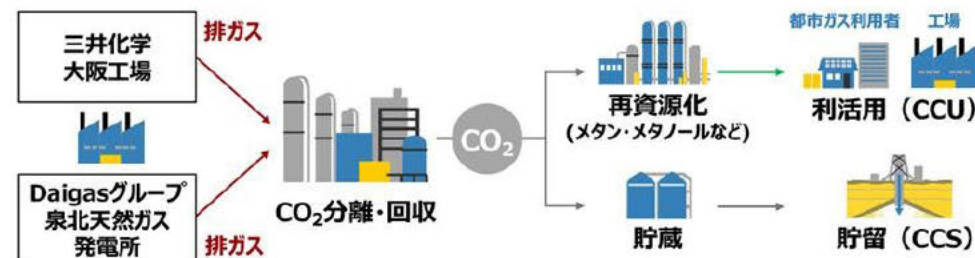
## 大規模産業集積型

【参画機関】 三井化学（石油化学）  
大阪ガス（泉北天然ガス火力発電所）

### 【概要】

- ・三井化学大阪工場の石油精製プラント由来のCO<sub>2</sub>や、大阪ガスグループ所有の泉北天然ガス発電所由来のCO<sub>2</sub>を分離・回収し、国内外での利活用・貯留（CCUS）を検討中（概念設計）。
- ・本検討を通じて、カーボンニュートラルの実現に向けた泉北コンビナートにおける地域連携を推進する。

### 泉北コンビナートから排出されるCO<sub>2</sub>の回収と利活用（イメージ）



【出典】三井化学、大阪ガス

【CO<sub>2</sub>排出源】 石油精製（三井化学）、火力発電所（大阪ガス）

【CCU製品】 e-methane、メタノール、（CCS）

【ステータス】 概念設計の段階。

## ②四日市コンビナートにおける産業間連携

## 大規模産業集積型

### 【参画機関】

味の素（食品）  
石原産業（酸化チタン）  
ENEOSマテリアル（合成ゴム）  
JSR（情報電子材料）  
昭和四日市石油（石油精製）  
日本アエロジル（超微粒子シリカ製造）  
三菱ガス化学（メタノール）  
三菱ケミカル（化学）  
三菱マテリアル（非鉄金属）  
KHネオケム（機能性・電子材料）  
コスモ石油（石油精製）  
JERA（エネルギー）  
第一工業製薬（薬剤、添加剤）  
DIC（インキ、顔料、樹脂）  
東ソー（苛性ソーダ、塩ビ、ウレタン等）  
東邦ガス（ガス事業）  
日本エア・リキード（産業ガス）

### 【CO<sub>2</sub>排出源】

エネルギー、製品素材・原料等の製造プロセス

### 【CCU製品】

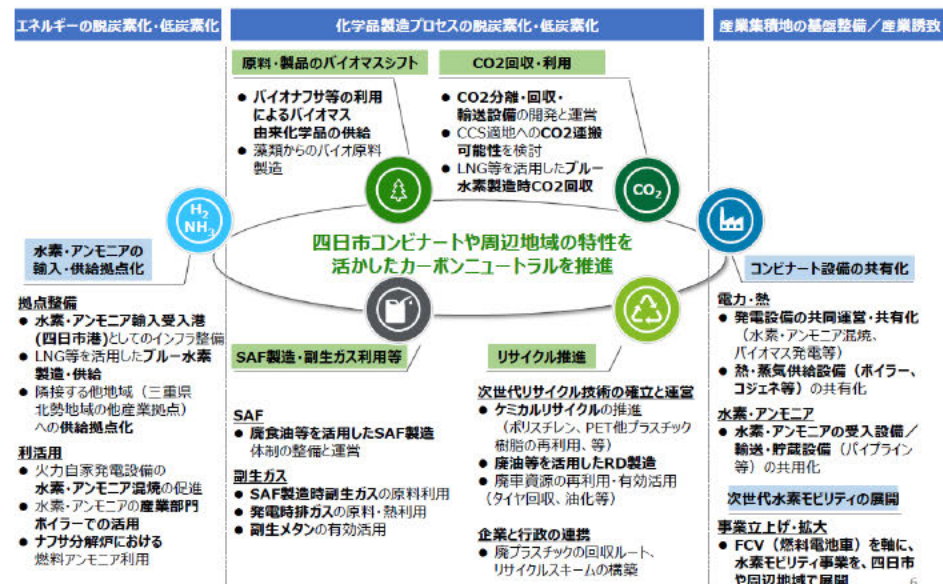
燃料（SAF、合成燃料）、化学品（ウレタン原料、オレフィンなど）、炭酸塩固定、（CCS）

### 【ステータス】

2022年3月にカーボンニュートラル化に向けた検討委員会を設立。  
現在は事業化を検討中。

### 【概要】

・四日市コンビナートを構成する企業・工場の特性を活かし、将来のカーボンニュートラルコンビナートを実現するための可能性や方向性を2022年3月から検討委員会を開催して検討中。



【出典】三重県



## ②1 佐賀市清掃工場の排ガスCO<sub>2</sub>利用

中小規模分散型

### 【参画機関】

- ・佐賀市（自治体）
- ・東芝エネルギーシステムズ（CO<sub>2</sub>分離回収）
- ・荏原環境プラント（清掃工場）
- ・九州電力（エネルギーマネジメント）
- ・佐賀県環境科学検査協会（環境分析）
- ・アルビータ（微細藻類）
- ・ユーグレナ（微細藻類）
- ・グリーンラボ（農産物生産）
- ・JA全農、JAさが（農産物の生産、販売等）

### 【CO<sub>2</sub>排出源】

- ・清掃工場

### 【CCU製品】 []はユーザー

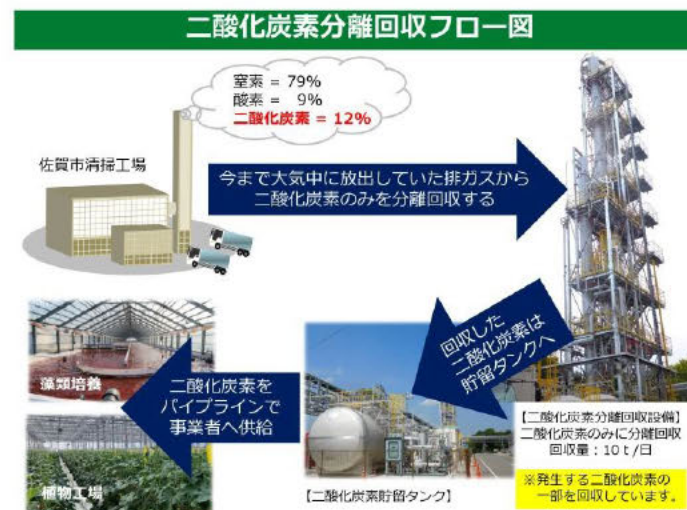
- （直接利用）
- ・微細藻類培養[アルビータ、ユーグレナ]
- ・農産物生産[JA全農、JAさが、グリーンラボ]

### 【ステータス】

- ・2013年5月に共同研究開始。
- ・2013年10月にCO<sub>2</sub>分離回収実証プラントが運転開始。
- ・2014年10月に植物工場にCO<sub>2</sub>供給開始。
- ・2016年8月に商用プラント運転開始。
- ・2016年10月に藻類培養プラントにCO<sub>2</sub>供給開始。
- ・商用稼働中。

### 【概要】

- ・佐賀市は東芝、九州電力、荏原環境プラントの3社で2013～2014年に「清掃工場バイオマス利活用促進事業」を開始。
- ・2013年10月に東芝エネルギーシステムズの小型のCO<sub>2</sub>分離回収実験プラントが運転開始。日量10～20kgのCO<sub>2</sub>を回収。以後、累計8,000時間の実証運転に成功。
- ・2014年10月より植物工場へCO<sub>2</sub>供給開始。
- ・2016年8月に商用プラントを運転開始。日量10トンのCO<sub>2</sub>を回収し、同年10月より藻類の培養プラントに供給開始。
- ・CO<sub>2</sub>はパイプラインを通じたガス供給のため、近隣に限定して輸送。供給単価は66.2円/Nm<sup>3</sup>(税別)(≒33.7円/kg(税別))。
- ・その他、佐賀市は、2014年7月に「佐賀市バイオマス産業都市構想」を策定し、同年11月に農林水産省からバイオマス産業都市に認定されており、バイオマス、廃棄物の利用拡大を図っている。



【出典】佐賀市

## ② 積水バイオリファイナリーによるエタノール製造

中小規模分散型

### 【参画機関】

INCJ

(積水化学及び経済産業省が所管する官民ファンド)  
 積水バイオリファイナリー (バイオリファイナリー)  
 積水化学 (ガス精製・エタノール生産技術)  
 三菱重工環境・化学エンジニアリング (ガス化改質炉)  
 ランザテック (微生物触媒)

### 【CO<sub>2</sub>排出源】

廃棄物 (可燃ごみ)

### 【CCU製品】

エタノール

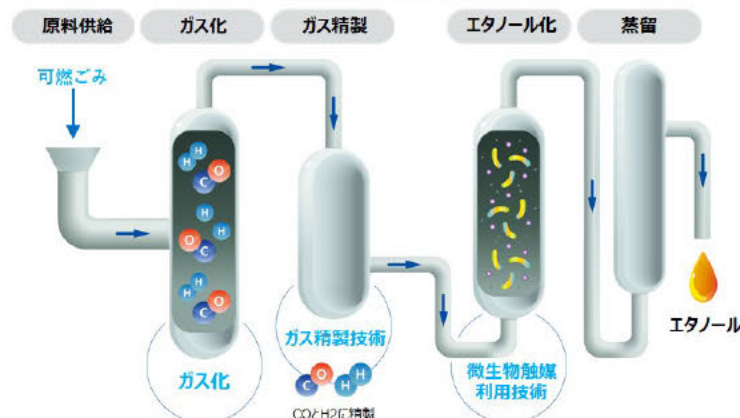
### 【ステータス】

実証試験段階 (2022年度～)。  
 商用機の稼働は2025年度ごろを予定。  
 ※Lanza Techの技術は、中国で商業運転中。

### 【概要】

- ごみを資源化するBio Refinery (BR) エタノール技術により、ゴミ焼却で発生するCO<sub>2</sub>の削減、プラスチックゴミの削減に寄与。
- 合成したエタノールからプラスチック、SAF製造への展開が可能

<BRエタノール技術の概要>



岩手県久慈市に完成した実証プラント

【出典】 積水化学



## ②③横浜市CCU実証プロジェクト

中小規模分散型

### 【参画機関】

横浜市（清掃工場）  
東京ガス（e-methane利用）  
三菱重工エンジニアリング（CO<sub>2</sub>回収装置）  
三菱重工環境・化学エンジニアリング  
（CO<sub>2</sub>回収装置）

### 【CO<sub>2</sub>排出源】

横浜市（清掃工場）

### 【CCU製品】

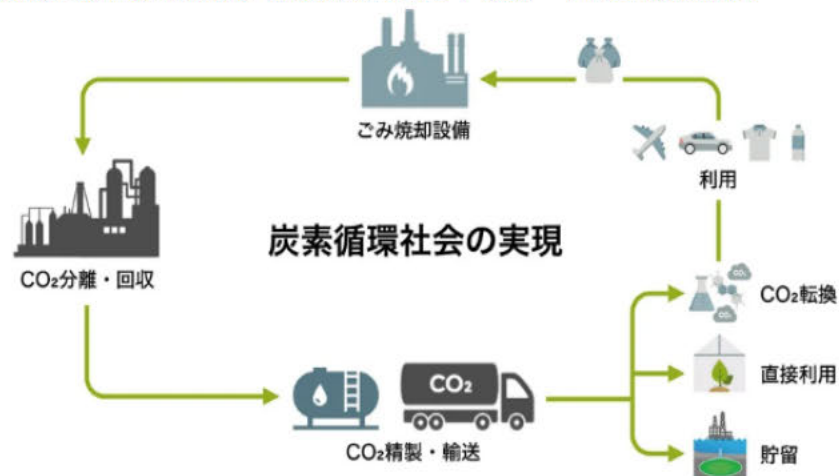
e-methane、CO<sub>2</sub>（産業用ガス）

### 【ステータス】

実証試験段階（2022年度～）

### 【概要】

- 横浜市が有するごみ焼却設備から発生するCO<sub>2</sub>を分離・回収し、有効に循環利用する検討を行う官民一体の取り組み



実証試験を行う横浜市資源循環局鶴見工場

【出典】横浜市

## ②4 廃棄物からのメタノール製造

中小規模分散型

【参画機関】

三鷹市・調布市（清掃工場）  
三菱ガス化学（メタノール合成）  
JFEエンジニアリング（CO<sub>2</sub>回収装置）

【CO<sub>2</sub>排出源】

三鷹市・調布市が運営する清掃工場（ごみ焼却）

【CCU製品】

合成メタン、メタノール

【ステータス】

実証試験終了（2022年）

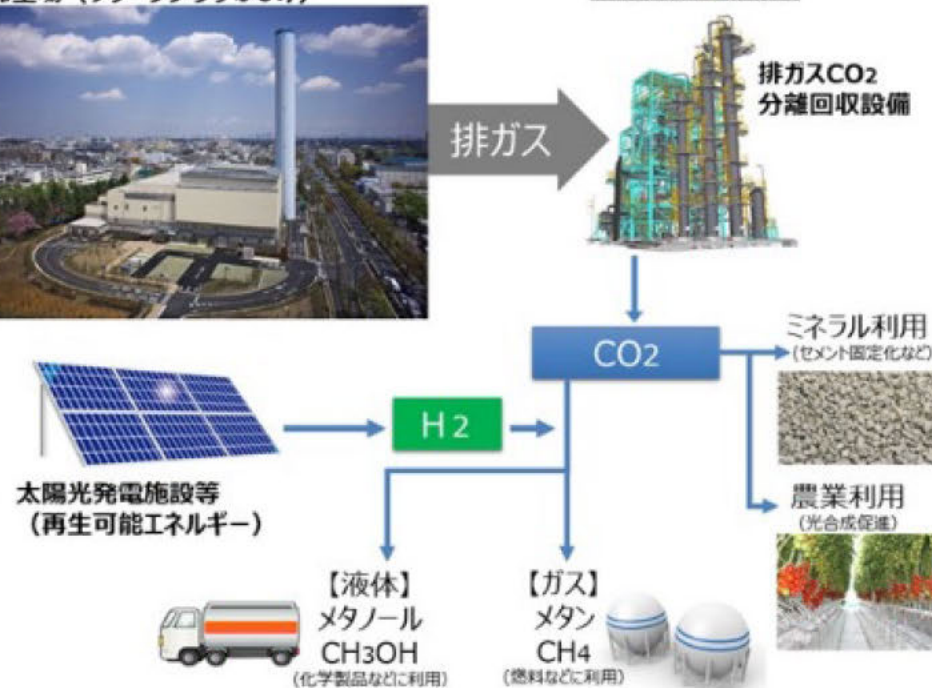
【概要】

- ごみ焼却排ガス中のCO<sub>2</sub>を分離回収し、化学品の基幹物質となるメタノールを製造検証するプロジェクト。
- 三鷹市・調布市が運営する清掃工場（クリーンプラザふじみ）で回収されたCO<sub>2</sub>を用いて三菱ガス化学新潟研究所でメタノールに転換。

清掃工場（クリーンプラザふじみ）



CCU実証実験内容



【出典】三菱ガス化学

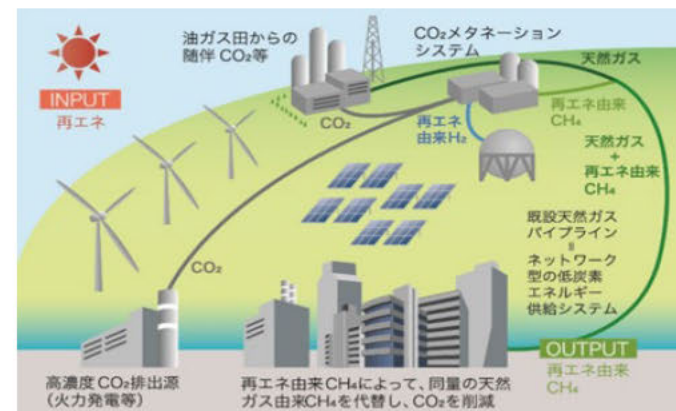
## ②5 長岡鉱場におけるメタネーション実証試験

中小規模分散型

【参画機関】	INPEX (プラントオペレーション) 大阪ガス (メタネーション触媒) 日立造船 (装置メーカー)
【CO <sub>2</sub> 排出源】	INPEX長岡鉱場 (天然ガス随伴)
【CCU製品】	合成メタン (e-methane)
【ステータス】	技術開発段階 (2017年～) 製造の実証試験を2025年度から開始予定。

### 【概要】

- 高濃度CO<sub>2</sub>排出源から分離・回収したCO<sub>2</sub>を利用したメタネーションによる都市ガスのカーボンニュートラル化実証プロジェクト。
- 実証事業で製造した合成メタンはINPEXの都市ガスパイプラインへ注入し需要家に届けられる予定。



INPEX長岡鉱場に作られた8Nm<sup>3</sup>/h級のメタネーション試験装置

【出典】 INPEX



## ②6 小田原市炭素循環モデル構築実証事業

オンサイト型

### 【参画機関】

小田原市（清掃工場、ごみ焼却）  
日立造船（メタネーション）  
エックス都市研究所（マネジメント）  
エアウォーター（CO<sub>2</sub>分離回収技術 PVSA\*）  
エアウォータークライオプラント（CO<sub>2</sub>回収装置）

\*PVSA（Pressure Vacuum Swing Absorption：真空再生方式の圧力変動吸着法（物理吸着法））

### 【CO<sub>2</sub>排出源】

清掃工場

### 【CCU製品】

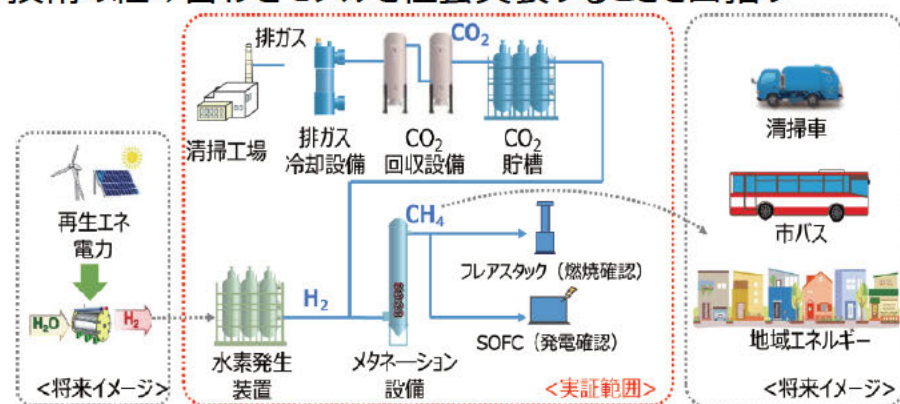
合成メタン

### 【ステータス】

- ・環境省事業（2018～2022年度）として実施
- ・2022年5月末～8月、実証運転
- ・2023年度までに解体予定

### 【概要】

- ・清掃工場から排出されるCO<sub>2</sub>を利用したe-methane製造
- ・メタンガス利用設備で燃焼・発電を確認
- ・2023年度までに本設備は解体されるが、清掃工場とメタネーション技術の組み合わせモデルを社会実装することを目指す



【出典】日立造船



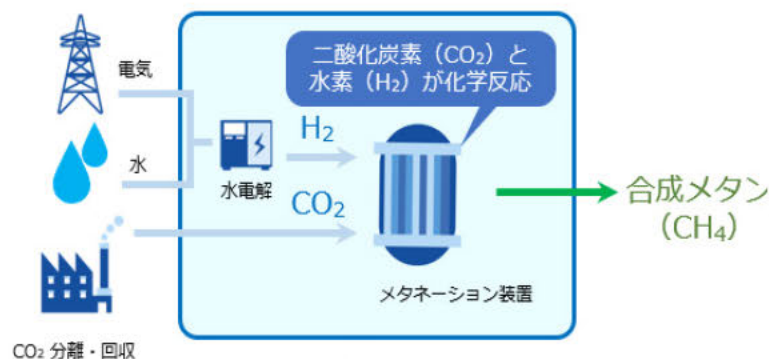
## ②7 アサヒグループによるメタネーション実証試験

オンサイト型

【参画機関】 アサヒオリティーアンドイノベーションズ（CO<sub>2</sub>分離回収、ボイラ）  
IHIプラント（メタネーション装置）

### 【概要】

- 工場内のボイラ排ガス中CO<sub>2</sub>を回収し、メタネーションにより合成メタン（e-methane）を製造
- 国内では食品企業初のメタネーション設備
- 合成メタン（e-methane）は天然ガス代替燃料として利用
- 将来的には、燃料電池などの燃料も視野に工場内での「カーボンリサイクル」への可能性を検討



【出典】アサヒグループホールディングス

## ②8 カーボンリサイクル高炉によるCO<sub>2</sub>削減技術

オンサイト型

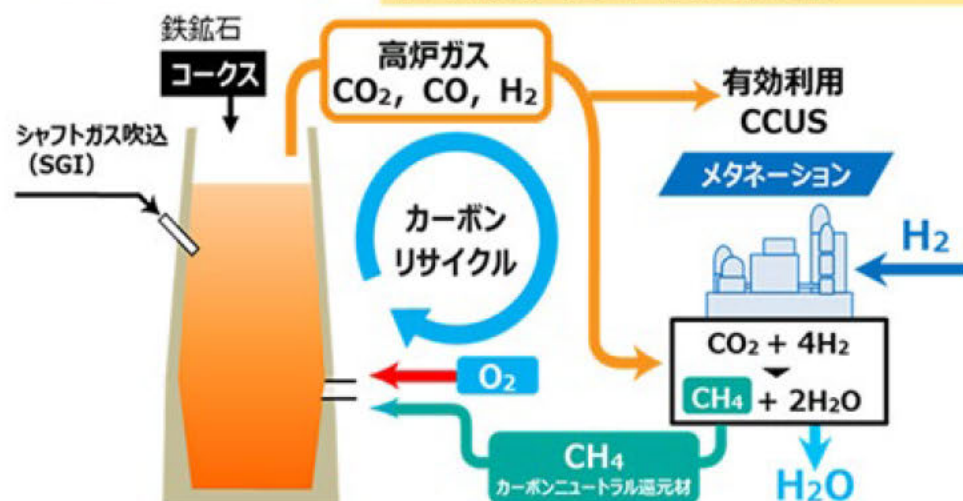
【参画機関】 JFEスチール（製鉄）

【概要】

- 高炉プロセスの排出ガス中CO<sub>2</sub>を回収し、メタネーションにより製造した合成メタンを石炭代替還元材として利用するカーボンリサイクル高炉の開発実証（GI基金事業）。

カーボンリサイクル高炉

H<sub>2</sub>でCO<sub>2</sub>をメタンに変換、還元材として繰り返し利用。還元材をコークスからカーボンニュートラルメタンに置換



【CO<sub>2</sub>排出源】 高炉ガス中のCO<sub>2</sub>（JFEスチール）

【CCU製品】 合成メタン

【ステータス】 技術開発段階  
(2023年1月時点)

【出典】 JFEスチール

## オンサイト型

【出典】太平洋セメント

# ③0デンソー安城製作所電動開発センターにおけるCO<sub>2</sub>循環プラント

オンサイト型

【参画機関】デンソー（製造）

【概要】

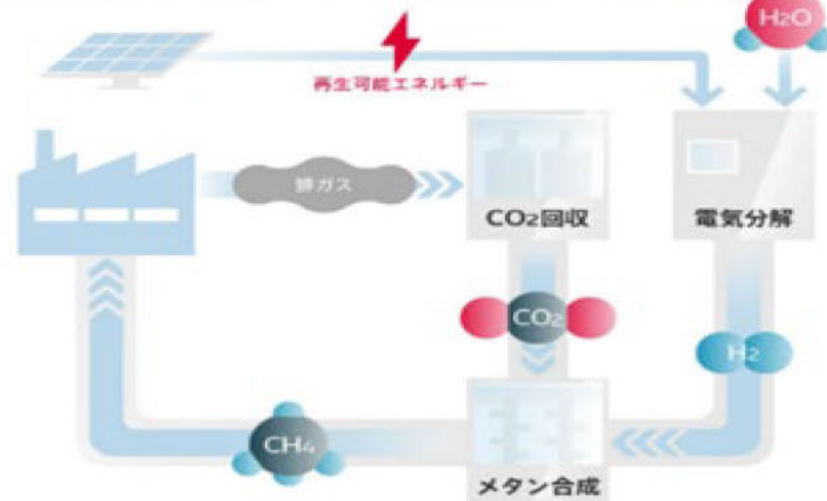
- 工場の生産工程で発生する排ガスからCO<sub>2</sub>を回収して水素と結合させて合成メタンに転換し、自社内で活用する炭素循環試験装置を設置。



【CO<sub>2</sub>排出源】自動車部品製造（デンソー）

【CCU製品】合成メタン

【ステータス】技術開発段階  
(2023年1月時点)



デンソー



# ③1 川崎プラスチックリサイクル（KPR）事業

オンサイト型

【参画機関】 川崎市（廃棄物分別収集）  
レゾナック（高温ガス化炉、アンモニア製造）

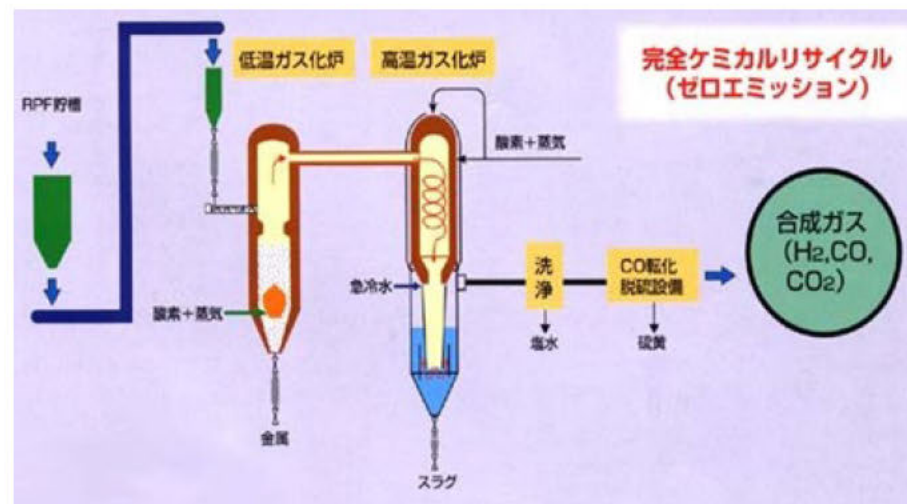
## 【概要】

- 家庭から出されるプラマークの付いた使用済みプラスチックを自治体が分別収集し、圧縮梱包。
- 使用済みプラスチックをガス化し、アンモニアを製造（化石燃料を全く使わないアンモニア製造）。
- ガス化後、アンモニア合成に不要なCO<sub>2</sub>は、分離回収して大気中に放出せず、グループ会社の昭和電工ガスプロダクツにて、ドライアイスや炭酸飲料、医療用炭酸ガス向けの原料に使用し、資源循環を実現。

【CO<sub>2</sub>排出源】 廃プラリサイクル時のガス化（レゾナック）

【CCU製品】 直接利用（ドライアイス、炭酸飲料用、医療用炭酸ガス向けの原料など）

【ステータス】 運転中  
2003年から商業運転中。



【出典】レゾナック

## ③2 回収CO<sub>2</sub>を利用したポリカーボネート

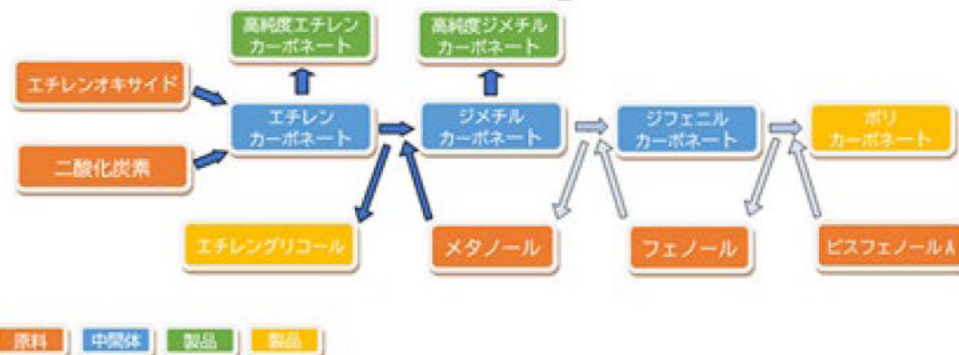
オンサイト型

【参画機関】

旭化成（化学）

【概要】

- CO<sub>2</sub>とエチレンオキサイド（EO）を原料としてポリカーボネートを作る技術を世界で初めて実用化
- EO法DPCプロセスは、EOとCO<sub>2</sub>によりEC、DMC、DPCを製造エチレンオキサイド製造時に発生するCO<sub>2</sub>を利用する自己完結型



【CO<sub>2</sub>排出源】

化学工場

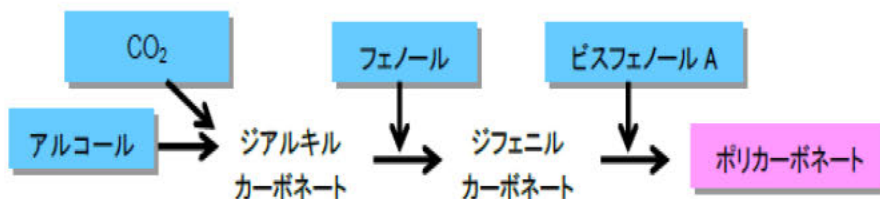
【CCU製品】

ポリカーボネート

【ステータス】

- EO法は1980年代から開発、商用化済み
- DRC法DPCはNEDO事業（2014～2016年度）で実証済み

- 加えて、CO<sub>2</sub>とアルコールからDRC（ジアルキルカーボネート）、DPCを経てポリカーボネートを製造する方法も開発（DRC法DPCプロセス）



【出典】旭化成

### ③③回収CO<sub>2</sub>を活用したメチオニン製造

オンサイト型

【参画機関】

住友化学（化学）  
住友共同電力（発電）

【概要】

- 新居浜西石炭火力からCO<sub>2</sub>を一部回収し、パイプラインで2.5km離れた化学工場に輸送。
- CO<sub>2</sub>を鶏飼料添加物（メチオニン）製造時の副原料（晶析用）として供給。



【出典】住友化学

【CO<sub>2</sub>排出源】

新居浜西石炭火力（住友共同電力）

【CCU製品】

鶏飼料添加物（メチオニン）[住友化学]

[ ]はユーザー

【ステータス】

2018 年7月に新居浜西火力から住友化学愛媛工場向けにCO<sub>2</sub>製造・供給事業を開始。運転中。



# ③4 CO<sub>2</sub>-SUICOM

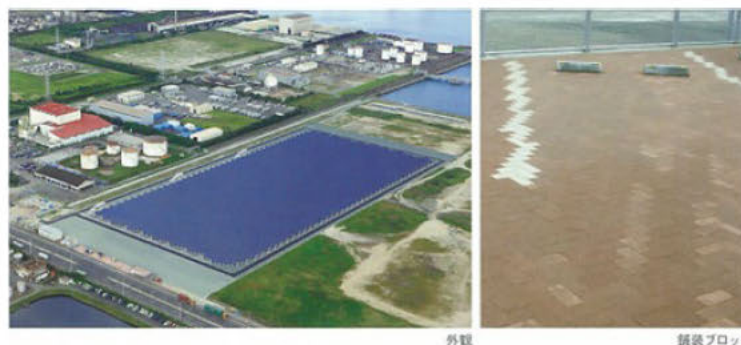
オンサイト型

【参画機関】

鹿島（建設）  
中国電力（発電）  
デンカ（化学）  
ランデス（コンクリート製品販売）

【概要】

- 特殊な混和材を混合することでコンクリートにCO<sub>2</sub>を吸収・固定させる。
- CO<sub>2</sub>を多く排出するセメントを他のものに置き換えるという従来技術に加えることで、実質排出量ゼロ以下のコンクリートを実現。



【CO<sub>2</sub>排出源】

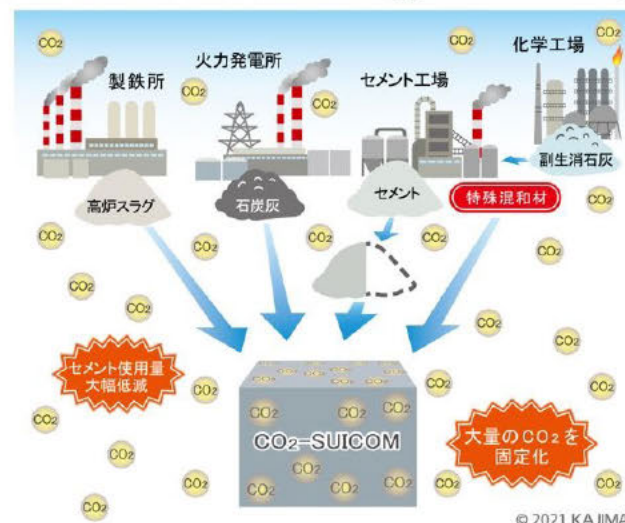
製鉄所、火力発電所、セメント工場、化学工場

【CCU製品】

コンクリート製品（現場打設・プレキャスト）

【ステータス】

商用化段階



CO<sub>2</sub>-SUICOM 概念図

【出典】 鹿島



## ③5 コンクリート産業向けの二酸化炭素リサイクル技術

オンサイト型

【参画機関】 會澤高圧コンクリート（生コンクリート製造）  
エアウォーター（CO<sub>2</sub>輸送）  
Carbon Cure（カナダ）（技術ライセンス供与）

### 【概要】

- カナダ・Carbon Cure社のCO<sub>2</sub>鉱物化(固定化)技術を国内初実装
- 化学工場などから回収したCO<sub>2</sub>を液化し、ローリー車で生コンプラントに設置された専用タンクまで配送
- ミキサー内に液化CO<sub>2</sub>を直接注入して、セメント内に炭酸カルシウムを生成しCO<sub>2</sub>固定



ミキサー内に吹き込まれる液化CO<sub>2</sub>

【CO<sub>2</sub>排出源】 化学工場

【CCU製品】 生コンクリート [會澤高圧コンクリート]  
[]はユーザー

【ステータス】  
・2020年7月にライセンス契約を締結  
・2021年11月に本技術を使った低炭素コンクリートの供給を開始。現在も運転中。

【出典】 會澤高圧コンクリート

## ③⑤カーボンネガティブコンクリート

オンサイト型

### 【参画機関】

東京ガス（ガス）  
鹿島建設（建設）  
日本コンクリート工業（コンクリート）  
横浜市（自治体）

### 【CO<sub>2</sub>排出源】

ガス機器

### 【CCU製品】 []はユーザー

コンクリート [日本コンクリート]

### 【ステータス】

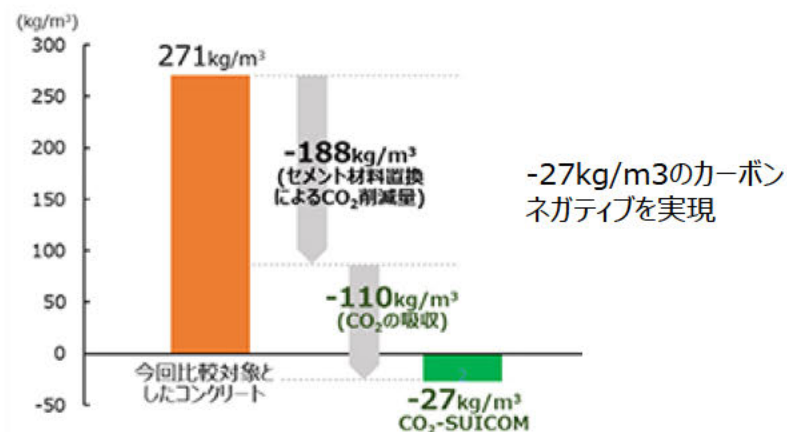
横浜市「市有施設への再生可能エネルギー等導入事業」の一環（2021年4月～）。  
2023年4月に小学校にカーボンネガティブコンクリートを設置（日本発の実用化）。  
本格的な供給を開始。  
大量生産、低コスト化、普及拡大に向けた検討を継続中。

### 【概要】

- 都市ガス機器利用時の排気に含まれる低濃度のCO<sub>2</sub>を吸収・固定化して製造したカーボンネガティブコンクリート「CO<sub>2</sub>-SUICOM®」の実用化事例。
- 太陽光発電設備の基礎ブロックの一部として小学校に導入。



横浜市立元街小学校に導入した太陽光発電設備とCO<sub>2</sub>-SUICOM



【出典】東京ガス

## **IV. カーボンリサイクルに関する有識者会議の会議事務等**

### **IV-1 有識者会議の概要**



# カーボンリサイクルロードマップ検討会 委員名簿

(敬称略)

<b>座長</b>	定光 裕樹	経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部長
<b>委員</b>	小田 直樹	電気事業連合会 立地電源環境部長
(50音順)	垣平 洋	旭化成株式会社 環境ソリューション事業本部 技術開発総部 新事業開発室長
	河合 研至	広島大学大学院 先進理工系科学研究科 教授
	工月 良太	日本ガス協会 企画部 国際基準認証担当部長
	近藤 元博	愛知工業大学 総合技術研究所 教授
	重竹 尚基	ボストンコンサルティンググループ Managing Director and Senior Partner
	高島 由布子	株式会社三菱総合研究所 海外事業本部 本部長
	辻 佳子	東京大学 環境安全研究センター長・教授
	長島 拓司	石油連盟 カーボンニュートラル推進専門委員会 委員長 (ENEOS 株式会社 カーボンニュートラル戦略部長)
	藤川 茂紀	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所主幹教授
	藤井 良基	JFE スチール株式会社 専門主監
	星野 達也	三井物産株式会社 メタノール・アンモニア事業部次長
	堀 秀爾	三菱重工業株式会社 CCUS ビジネスタスクフォース サブリーダー
	チヴァース 陽子	三井住友フィナンシャルグループ サステナブルソリューション部 上席調査役
<b>事務局</b>	(室長) 羽田 由美子	経済産業省 資源エネルギー庁 カーボンリサイクル室

# カーボンリサイクルロードマップ検討会 オブザーバー、関係府省庁

(敬称略)

<b>オブザーバー</b> (組織50音順)	橋口 昌道	(一社)カーボンリサイクルファンド 専務理事
	坂西 欣也	産業技術総合研究所 イノベーション人材部・シニアマネージャ
	宮田 和明	JOGMEC CCS ・水素事業部 施設技術課長
	吉田 准一	NEDO 環境部 主任研究員
	中村 勉	NEDO 技術戦略研究センター 環境・化学ユニット長
	水無 渉	NEDO 技術戦略研究センター バイオエコノミーユニット長
	本庄 孝志	RITE 専務理事
<b>関係府省庁</b> (建制順)	辻原 浩	内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局 参事官 (統合戦略グループ)
	轟 渉	文部科学省 研究開発局 環境エネルギー課長
	信田 智	国土交通省 大臣官房 技術調査課 環境安全・地理空間情報技術調整官
	森川 博邦	国土交通省 大臣官房 技術調査課 施工企画室長
	玉石 宗生	国土交通省 大臣官房 公共事業調査室長
	大野 浩史	国土交通省 総合政策局 環境政策課 環境政策企画官
	今村 敬	国土交通省 住宅局 参事官 (建築企画担当)
	杉原 晶雄	国土交通省 航空局 大臣官房 (航空戦略) カーボンニュートラル推進室 課長補佐
	松崎 裕司	環境省 地球環境局 地球温暖化対策課 地球温暖化対策事業室長

# カーボンリサイクルロードマップ検討会 ゲストスピーカー

(敬称略)

ゲスト スピーカー	大城 昌晃	NEDO GI 基金事業 CO <sub>2</sub> 分離・回収プロジェクトマネージャー／ 環境部 主任研究員
(第1回, 50音順)	工藤 拓毅	(一財) 日本エネルギー経済研究所 理事 電力・新エネルギーユニット担任
ゲスト スピーカー	高橋 拓也	横河電機株式会社 エネルギー & サステナビリティ事業本部 Co-Innovation センター カーボンニュートラルソリューション部 部長
(第2回, 50音順)	増廣 浩二	広島県 商工労働局 イノベーション推進チーム 環境エネルギー産業集積促進担当課長



# カーボンリサイクルロードマップ検討会 開催スケジュール

回	開催日時	議題
1	令和5年4月17日（月） 15:00 ～ 17:00	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 座長挨拶</li> <li>2. 議事進行説明</li> <li>3. 事務局（経済産業省）発表</li> <li>4. ゲストスピーカーからの発表</li> <li>5. 討議</li> <li>6. 次回予定など</li> <li>7. 閉会</li> </ol>
2	令和5年5月26日（月） 14:00 ～ 16:00	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 座長挨拶</li> <li>2. 事務局（経済産業省、日本エネルギー経済研究所）発表</li> <li>3. ゲストスピーカーからの発表</li> <li>4. 討議</li> <li>5. 次回予定など</li> <li>6. 閉会</li> </ol>
3	令和5年6月7日（水） 13:00 ～ 15:00	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 座長挨拶</li> <li>2. 事務局（経済産業省）発表</li> <li>3. 討議</li> <li>4. 閉会</li> </ol>

## **IV. カーボンリサイクルに関する有識者会議の会議事務等**

### **IV-2 有識者会議の議事要旨**

# 第1回カーボンリサイクルロードマップ検討会 議事要旨 (1)

## 第1回カーボンリサイクルロードマップ検討会 議事要旨

■日時：令和5年4月17日（月）15：00—17：00

■場所：経済産業省 別館2階 227会議室

（対面・Teams のハイブリッド形式、傍聴は YouTube 限定公開）

■議題：カーボンリサイクルロードマップの策定について

### ■議事概要：

冒頭、事務局から説明を行い、その後、有識者から関連の情報提供が行われた。

有識者からの主な論点は以下のとおり：

- ・カーボンリサイクルについては、システム全体として目的適合性を備えているか、脱炭素化に定量的に貢献しているかを、しっかりしたアカウンティング・モニタリングに基づいて評価することが必要。
- ・今後の国際的な標準化を考える際には、概念定義の整理や規格の制定に時間がかかることを認識し、特にASEANなどアジア諸国の理解を得ることが必要。
- ・CO<sub>2</sub>の分離回収技術はカーボンリサイクルの起点であり、2050年の段階でも使われ続けることが予想される。
- ・様々な業種から圧力や濃度の異なるCO<sub>2</sub>が出されるので、それぞれに適した回収技術を開発することが必要。
- ・分離回収されたCO<sub>2</sub>の純度を高めようとするほど、必要なエネルギーが多くなり、コストが高くなるため、需要に合わせて最適な方法を選ぶことが重要。

主な委員等からのコメントは以下のとおり：

- ・国内における脱炭素政策と産業政策との両方の観点からカーボンリサイクルを有効活用することが必要。
- ・化学産業やセメント産業でCO<sub>2</sub>を長期間固定するものは、排出権取引制度のCO<sub>2</sub>排出計上対象から除外されるべき
- ・化学産業ではCO<sub>2</sub>を直接利用するカーボンリサイクルのみならず、バイオマスの利活用や廃プラのリサイクルなどの取り組みも重要。
- ・カーボンリサイクルの進展度合いは、水素とアンモニアの供給量によって影響を受ける。
- ・カーボンリサイクルの環境価値が適正に評価される仕組みや越境取引のルール整備が必要。
- ・カーボンリサイクル分野において、他国に対し技術で勝って事業で負けたということがないようにすべき。
- ・CO<sub>2</sub>の種類（純度と濃度）と量を考慮したカーボンリサイクル利用のシナリオが必要である。その際、過渡的なものではなく、最終的ゴールがどこにあるかを意識してからバックキャストによるシナリオ作成が必要。
- ・制度作りの前の段階において、カーボンリサイクル事業を進めるファーストムーバーを支援することも検討すべき。
- ・エネルギーセキュリティと環境貢献いずれの観点からも、炭素や水素の由来をトレースしていくことが必要。
- ・カーボンリサイクルのコストが、最終的なエネルギーコストや製品価格に上乗せされた際に、そのようなコスト上昇分が適正な価値として認識されるような仕組みが必要。
- ・技術に関するコスト目標は、開発状況等を見ながら不断の見直しが必要。



# 第1回カーボンリサイクルロードマップ検討会 議事要旨 (2)

- 急いで開発を行うことが必要な技術と、長期的な視野から開発を進めるべき技術とを区別する必要がある。
  - まずカーボンリサイクル技術を実行に移すことが重要。欧米では多少コストが高くても実施している。
  - 企業にとって、カーボンリサイクルの環境価値が投資家等外部ステークホルダーから評価される仕組み、インセンティブが必要。
  - 欧米では急速に技術的な取り組みが進んでいる。日本の技術は、商業化段階で先を越されることが多いため、事業化や普及拡大までを見据えた、制度面からの支援が望まれる。
  - 小型・分散型のCO<sub>2</sub>回収も重要な流れである。
  - CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>のどちらかがカーボンリサイクル技術の利用拡大ペースメーカーになると予想される。
  - IPCCの温室効果ガスインベントリーには、CO<sub>2</sub>吸収コンクリートが含まれていないので、国内でどのような評価をするかを決める必要がある。
  - CO<sub>2</sub>吸収コンクリートの普及には、公共事業に際して使用を奨励するなどの施策が必要になる。
- CO<sub>2</sub>の供給側からカーボンリサイクル製品の利用側まで、全体としてのCO<sub>2</sub>の削減貢献をどうやって金融関係者にアピールをしていくかが重要。海外で進んでいる議論も踏まえ深掘りをしていきたい。

以上

最後に事務局から下記の通りまとめを行った。

- ルール形成に関して、国際的な話から国内の話まで、今後の産業化の議論にも大きく関わっていくご指摘をいただいた。ライクマインデッドカントリーやライクマインデッドな企業を増やしていくことも1つの方向性だと認識。
- 価値のあり方というのは非常に多様である中で、最初に排出量の価値がどこにあるかということを示しながらルール化を進めていくことは非常に重要。
- エネルギーランジションの中で、リサイクル可能なCO<sub>2</sub>量やCO<sub>2</sub>の排出源（化石燃料由来、バイオマス由来、DAC由来）は、大きく変化すると考えられるため、将来の絵姿を描いて、議論して参りたい。

# 第2回カーボンリサイクルロードマップ検討会 議事要旨 (1)

## 第2回カーボンリサイクルロードマップ検討会 議事要旨

■日時：令和5年5月26日（月）14：00—16：00

■場所：経済産業省 本館17階 第1共用会議室

（対面・Teamsのハイブリッド形式、傍聴はYouTube 限定公開）

■議題：カーボンリサイクルロードマップ（RM）の策定について

### ■議事概要：

冒頭、事務局から説明を行い、その後、有識者から関連の情報提供が行われた。

有識者からの主な論点は以下のとおり：

- 五井・蘇我地区でカーボンニュートラルコンビナートの実現を検討する事業であり、カーボンニュートラル事業の創出を目指す。(1) 昨年12月より毎月、関係者による会議を開催、(2) 各社から提供された運転データの解析、(3) 想定されるCO<sub>2</sub>削減効果を参画事業者内でシェア。連携によりCO<sub>2</sub>削減の対象領域を広げることができ、プロジェクトの実装、公平でトレーサブルなCO<sub>2</sub>の分配を目指す。必要な要素は、① 官民一体の事業開発、② 事業の主体者、③ CO<sub>2</sub>削減の認証制度、④ 共通なインフラと水素の4点。
- スタートアップ支援として2022年2月に広島県カーボン・サーキュラー・エコミー推進構想を策定し、カーボンリサイクル（CR）を核とした新たな産業集積を目指す方向性や取り組みを整理。NEDOの大崎上島CR実証研究拠点と連携しながら、広島県がCR技術をリードできる拠点化とCR産業の集積化を進める。

昨年度に広島県独自の補助制度を創設。若手研究者などを対象に ① 研究単独型（CR研究の実施）、② 研究者提案型（スタートアップなどによる県内のフィールドでのCR実証などを実施）、③ 県内企業課題解決型（県内企業が抱える具体的なCO<sub>2</sub>の活用課題を県内外の研究者が解決支援）の3類型。

主な委員等からのコメントは以下のとおり：

- 産業間連携の類型としては、CO<sub>2</sub>供給量やインフラの整備状況に応じた類型に加え、クリーンかつ柔軟な機能を持つDACをCO<sub>2</sub>供給源とした分類も想定してはどうか。
- CR事業の環境価値認証・トレーサビリティについて、ベースライン（排出量見通し）から下回った差分としての削減だけではなく、カーボンニュートラルへの貢献度合いを踏まえて計測するべき。
- 今後のCR技術の導入について、CO<sub>2</sub>の輸送インフラを始め、政府がファーストムーバーの取り組みを支援するような仕組みを検討することも必要ではないか。
- スタートアップの育成について、スタートアップ等により開発された新たな技術をメーカー等が導入する場合、既存の生産プロセスを大きく変革する必要が出てくるが、このためにあてる人材等に限りがある点が課題となる。
- CRの推進にはCO<sub>2</sub>フリー水素を大量かつ安価に確保できる環境整備が不可欠であり、水素に対する手厚い支援措置が必要。
- 国内で生産したCR製品が国際的な価格競争力を持つには、再エネに恵まれた海外と同程度の価格でゼロエミ電力を調達できるような国内の環境が必要。

## 第2回カーボンリサイクルロードマップ検討会 議事要旨 (2)

- ・ 利用ポテンシャルについては、仮定に仮定を重ねて計算する数字となるが、これより訴える内容・メッセージが大事。また、誤解を与えないような注記が必要。
- ・ 産業間連携について、実現性がある案件は、類型に関わらずファーストムーバーとして支援をすべきではないか。
- ・ 産業間連携について、CR製品の需要と供給を一番近い距離で行うものを、早期実装のための拠点、ファーストムーバーとして大いに支援をすべきではないか。
- ・ RMの戦略的意義について、CO<sub>2</sub>を資源として利用を推進するアップサイドの要素に加え、いずれ対応しなければならない hard to abate なCO<sub>2</sub>への対応という需要を待ち伏せる要素があるといえるのではないか。
- ・ CRは、あくまでカーボンニュートラル実現に向けたトランジション戦略の1つであり、CO<sub>2</sub>の由来に対する考え方を示しつつ、最終的には、DACに取り組まなければならない。
- ・ 支援について、いくつかの基準をあらかじめ決めておき、それに合致するものについては、基本的に始められるものから順次始めていくべき。CRの取り組みは、調整に時間がかかることを考えると、すぐに取り掛かれる案件というのは極めて貴重な案件。
- ・ CR技術のポテンシャルを強調する際、いくらでもCO<sub>2</sub>を出してもよい、という議論に繋がらないよう留意が必要。排出削減対策全体におけるCRの位置づけを整理・明示する必要がある。
- ・ カーボンニュートラルに貢献するという意味では由来によって貢献度合いが違いため、そこは確認しながらポテンシャルを考えていく必要がある。
- ・ CO<sub>2</sub>のマネジメントは、民間ベースでCO<sub>2</sub>の環境価値のやり取りも出てくることが想定されるため重要であり、CO<sub>2</sub>をトレースするようなシステム構築を検討する必要がある。
- ・ 欧州のように、実証前の段階で小さくIPOすることを支援するスキーム等で、スタートアップが成長していけるエコシステムのようなものがないか。
- ・ CR製品のようにコストが高いものを社会実装していく上では、電力のような証書制度のようなものが必要ではないか。
- ・ バイオマス由来のメタノールからできたプラスチックには玩具メーカーや、医療品メーカーなどが関心を示しており、需要もある。日本もこの流れに追随してほしい。
- ・ CRの価値を「見える化」した上で、バリューチェーン全体に必要なコストの負担のあり方について、欧州での先行例なども参考にしながら検討すべきではないか。
- ・ 今回のロードマップの取りまとめの中に、共通課題に関する官民連携の議論の場の必要性についても盛り込めないか。
- ・ 利用ポテンシャルは、その前提により振れ幅があるものであり、量の桁として受け止めることが重要。競争力をつけるためにも試算を幅広く行い、国際市場を視野に入れながらCO<sub>2</sub>の利用方法を検討していけば良い。
- ・ CRの進展には水素の導入がペースメーカーとなるため、水素・アンモニアのRMもCRのRMの重要なファクターとなるのではないか。
- ・ CO<sub>2</sub>の融通を行う際、排出側と利用側のマッチングは非常に重要。排出側の稼働状況を勘案した需給や排出されるCO<sub>2</sub>の品質などをめぐる調整は簡単ではない。CCSとの組み合わせも視野に入れた取り組みが必要。
- ・ まずは、リデュース、リユース、リサイクルであり、どうしても減らせないものを再利用するというのが、CRの基本的なスタンスではないか。
- ・ CO<sub>2</sub>の輸送について、道路など既存のインフラ用地も使えるのではないか。
- ・ スタートアップ支援について、CRは過去に事例がなく大規模な資金調達が困難だが、資金の流れの仕組みをつくるべき。例えば、海外には政府からの支援を有効活用した事例あり、参考になる。

以上

# 第3回カーボンリサイクルロードマップ検討会 議事要旨 (1)

## 第3回カーボンリサイクルロードマップ検討会 議事要旨

■日時：令和5年6月7日（水） 13：00—15：00

■場所：経済産業省 別館11階 1111会議室  
（対面・Teams のハイブリッド形式、傍聴は YouTube 限定公開）

■議題：カーボンリサイクルロードマップ（案）について

### ■議事概要：

冒頭、事務局から説明を行った。

主な委員等からのコメントは以下のとおり：

- ・ 今回のロードマップ（RM）を策定する意義は、カーボンニュートラル（CN）実現の途中段階においては CO<sub>2</sub>の由来にかかわらず社会全体で排出削減をすべき点をグローバルに訴求していくこと。CRはカーボンマネジメントという取組の一環としてカーボンニュートラルに向けた移行戦略に必要な技術の一つであり、まずは産業由来のCO<sub>2</sub>を用いるのは経済合理性の観点によるストレートなメッセージを出すべき。
- ・ 脱炭素化に向けた経路は多様であるべきという日本の主張を元とし、その経路の一つとしてのCR製品の環境価値の認証や標準、制度設計などできることを具現化していくべき。その際、海外の基準をただ参照するのみではなく、日本の事情も踏まえた基準の案を持ち出し、二国間協議を重ねデファクトスタンダードを目指していくべき。
- ・ 多様なパスを許容すべきとする日本の考えの正当化、さらにはCRの産業化を加速化する上でも、DAC・バイオ由来のCO<sub>2</sub>を用いた取組も同時に進めるべき。産業間連携においても、ネガティブエミッション技術を用いたCRを第4の類型として位置づけてはどうか。

- ・ 環境価値の問題、特にその帰属について考える際には、CO<sub>2</sub>を回収する事業者とCO<sub>2</sub>を利用する事業者の双方にインセンティブとなる仕組みが必要。
- ・ カーボンプライシング制度が定まらない限り、CRの正しい経済性は見えて来ず、経営判断として、CO<sub>2</sub>回収やCCUSに対する投資リスクは負えない。CO<sub>2</sub>の回収や再利用の環境価値を社会でどのように許容・受容するのか、国の産業政策や現場での教育、一般社会に対する理解増進も必要となる。
- ・ CRの産業化には、技術開発に加え CO<sub>2</sub>削減の環境価値の帰属や実際の貢献量の算定も含めたルールの整備、明確化が不可欠。
- ・ CRを推進する上で水素の安定かつ安価な供給が重要。こうした水素に対する支援をお願いする。
- ・ 現状ではCRによる CO<sub>2</sub>の削減価値を製品の消費者側で計上することができない。まずは国内のルールとして、適切に反映されるような仕組み作りをお願いする。
- ・ 産業間連携の推進においては独禁法の課題がある。公正取引委員会でGX推進の観点から複数の企業が連携する際の独禁法適用に関するガイドラインが示されているが、同法上認められる事例としての「ホワイトリスト」が不十分であり、FS段階で検討することを躊躇してしまう事例がある。CRを進めるには従来の産業構造を超えた取り組みが必要であり、こうした点も克服すべき課題として検討すべき。
- ・ 米国で行っているようなCO<sub>2</sub>のパイプライン輸送を行おうとすると、高圧ガス保安法や、国土交通省が所管している河川法、道路法の規定が制約になるため、法規制の問題は幅広い視点で考えるべき。高圧ガス保安法の適用についても、CO<sub>2</sub>の特性に基づいたリスクアセスメントを元に法律の規定を見直し、オーバースペックな規制をかけないようにすることが必要。



## 第3回カーボンリサイクルロードマップ検討会 議事要旨 (2)

- 政策課題、アクションについて、優先順位が高いものだけでも、RMに時間軸を記載できないか。ファーストムーバー支援は遅れるとファーストムーバーでなくなり、環境価値の考え方は発信を急がないと認知されないという様に、スピード感が必要。
- RMを出す目的・意義は、市場の担い手にCRに対しやる気になってもらうこと。コストは高くなるが脱炭素化に資するものを市場に出す、その際にどう環境価値を受容し、誰が負担を負うような社会をつくるのかというメッセージが入っているとよい。
- 環境価値の国際的な認証システムとしてドイツ発祥の ISCC (International Sustainability and Carbon Certification) を用いるケースもあるが、確立するまでに 10年以上かかった。CRの環境価値の評価や認証システムの形成にも同じぐらいの時間がかかる点を認識しておくべき。
- 環境価値の評価を国際的に訴求していく上では、CO<sub>2</sub>や水素の由来をしっかりと把握し、いつでも開示出来るようにしておかなければ、国内外を問わず CRに取り組む企業活動に対してグリーンウォッシュと批判される危険性がある。
- スタートアップについて、実証を行うところが死の谷となる。企業側からすると実証されていない技術には投資ができないが、投資家目線だと、5～6 年で投資を回収することが求められ、ギャップの解消が必要。もしこの問題が解決できれば、海外のスタートアップが日本に来て起業するということも考えられる。
- 企業との意見交換では、脱炭素の重要性は理解するが取り組みへのインセンティブがないので投資できない、という意見を多く受ける。取り組みが進んでいる欧米などの事例も見ながら、企業に対するインセンティブ付けの制度や環境づくりが大事。
- 産業間連携の課題について、特にコンクリート業界については、産業間だけで解決をすることは難しい。地方公共団体等、官民による連携、支援策が必要。
- CO<sub>2</sub>マネジメント事業者の役割・課題として、いろいろな種類や品質のCO<sub>2</sub>が出てくる。RMでも、その旨明記をしておいてもいいのではないか。

以上

## **V. その他**

## **V-1 カーボンリサイクル製品事例集**

# CO<sub>2</sub>原料のe-メタノールを船舶用燃料やプラスチック製品などに利用

基幹物質／メタノール

【実施国】	・デンマーク
【参画機関】	・Solar Park Kasso（再生可能エネルギー事業者） ・三井物産（商社）
【CO <sub>2</sub> 源】	・バイオマス（農業残渣や家畜糞尿など）
【水素源】	・再生可能エネルギー（太陽光や風力）による水電解
【製品】	・メタノール（Solar Park Kasso）
【用途】	・船舶用燃料（海運大手のA.P.モラー・マースク社） ・プラスチック製品（玩具大手のレゴ社、医薬品大手のノボルディスク社）
【状況】	・2024年からメタノール製造開始予定。 ・年産4.2万トン进行計画。

## 【概要】

- ・European Energy A/S社傘下のSolar Park Kasso社は、バイオマス由来のCO<sub>2</sub>と再生可能エネルギー由来のH<sub>2</sub>（グリーン水素）からe-メタノールを製造。
- ・製造したe-メタノールは、デンマークの海運大手A.P.モラー・マースク社（船舶用燃料）、玩具大手レゴ社および医薬品大手ノボルディスク社（プラスチック製品）へ販売予定（契約締結済み）。
- ・e-メタノールの生産能力は最大で年産4.2万トン。2024年から製造開始予定。
- ・三井物産が本事業に出資参画。事業主体としての役割を担う。



Solar Park Kasso社のe-メタノール工場完成予想図



【出典】三井物産、Lego、Novo Nordisk



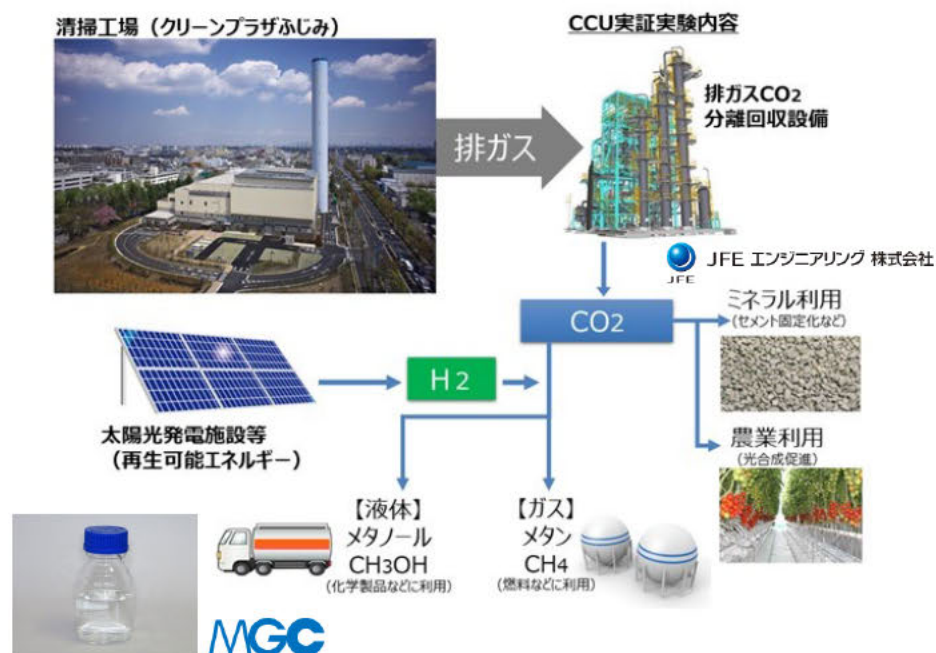
# 清掃工場から排出されるCO<sub>2</sub>を原料にメタノールを製造

基幹物質／メタノール

【実施国】	・日本
【参画機関】	・三鷹市 ・調布市 ・JFEエンジニアリング（CO <sub>2</sub> 分離回収） ・三菱ガス化学（メタノール製造）
【CO <sub>2</sub> 源】	・清掃工場（JFEエンジニアリングが化学吸収法（アミン吸収法）により分離回収）
【水素源】	・再生可能エネルギーによる水電解
【製品】	・メタノール（三菱ガス化学）
【用途】	・発電用、船舶燃料用、化成品原料など、ユーザーの要望に柔軟に対応する予定。
【状況】	・パイロット試験装置によりメタノール合成を確認（2022年3月）。 ・CO <sub>2</sub> 処理量は約1.5トン/日。

## 【概要】

- ・三鷹市と調布市が保有する清掃工場（クリーンプラザふじみ）で発生する排ガスから、JFEエンジニアリングがアミン吸収法（化学吸収法）でCO<sub>2</sub>を分離回収。
- ・回収したCO<sub>2</sub>を原料に、三菱ガス化学がメタノールを合成。
- ・メタノールは、発電用、船舶燃料用、化成品原料などに利用可能で、ユーザーの要望に柔軟に対応予定。
- ・その他にもCO<sub>2</sub>の直接利用（鉱物化、農業利用）やCO<sub>2</sub>からのメタンガス製造も視野に。



【出典】JFEエンジニアリング、三菱ガス化学

# ごみをエタノールにする実証事業

## 基幹物質／エタノール

【実施国】	・日本
【参画機関】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・INCJ（積水化学及び経済産業省が所管する官民ファンド）</li> <li>・積水バイオリファイナー（化学品製造）</li> <li>・積水化学（ガス精製）</li> <li>・三菱重工環境・化学エンジニアリング（ガス化）</li> <li>・ランザテック（微生物触媒）</li> </ul>
【CO <sub>2</sub> 源】	・可燃ごみ（CO、CO <sub>2</sub> 源）
【水素源】	・可燃ごみのガス化ガス
【製品】	・エタノール
【用途】	・プラスチック原料やSAF
【状況】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2022年4月より実証試験を実施中（環境省）。</li> <li>・2025年頃に商用機を稼働予定。</li> <li>・ランザテックの技術は中国などで商業運転中。</li> </ul>

### 【概要】

- ・岩手県久慈市から、標準的な規模のごみ処理施設が処理するごみの1/10程度の量（約20t/日）を譲り受けてエタノールを生産。
- ・三菱重工環境・化学エンジニアリングがごみをガス化し、積水化学がガスを精製（不純物を除去）。
- ・精製されたガスを原料に、ランザテックの微生物触媒を用いてエタノール化（1～2kL/日）。
- ・エタノールはプラスチック原料や、SAF（持続可能な航空燃料:Sustainable aviation fuel）への活用も期待。



岩手県久慈市に完成した実証プラント

【出典】積水化学工業



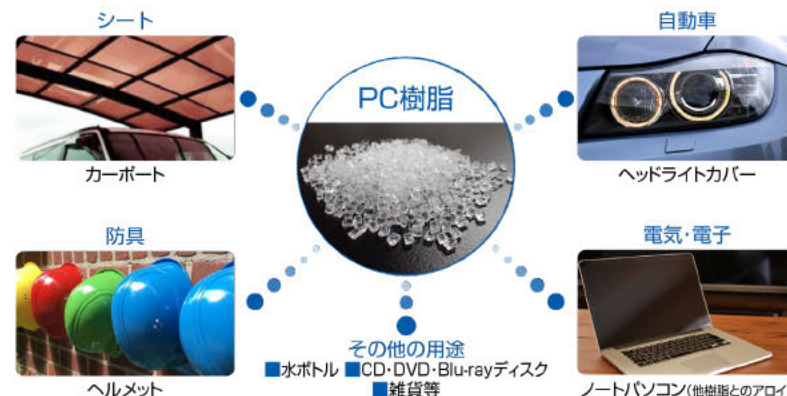
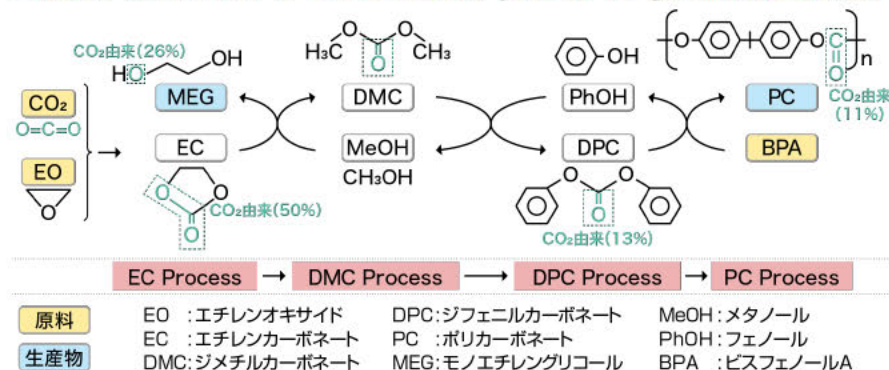
# ポリカーボネート（EO法DPCプロセス）

化学品／ポリカーボネート

【実施国】	・日本
【参画機関】	・旭化成（化学品製造）
【CO <sub>2</sub> 源】	・EO製造時のCO <sub>2</sub>
【水素源】	—
【製品】	・ポリカーボネート
【用途】	・エンジニアリングプラスチック
【状況】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1980年代から開発。</li> <li>・商用化済み。</li> <li>・世界中のPCメーカーに技術ライセンスを供与。</li> </ul>

## 【概要】

- ・CO<sub>2</sub>とエチレンオキシド（EO）を原料としてポリカーボネート（PC）を製造する技術を旭化成が実用化。
- ・世界中のPCメーカーに技術ライセンス供与。
- ・従来の方法では猛毒ガスのホスゲンや発ガン性の懸念がある塩化メチレンを使用していたが、この技術では一切使用せず。
- ・PCは優れたエンジニアリングプラスチックとして、多用途に使用。



【出典】旭化成

カーボンリサイクルロードマップ【別冊2】産業間連携の事例⑨参照

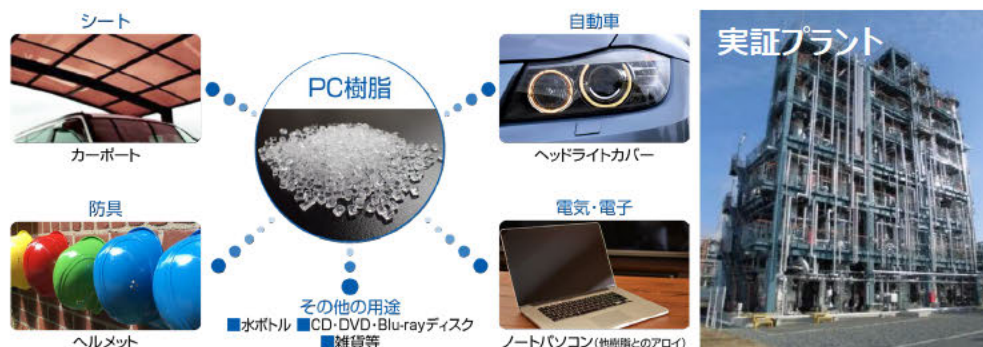
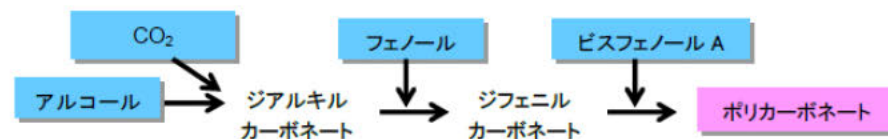
# ポリカーボネート（DRC法DPCプロセス）

化学品／ポリカーボネート

【実施国】	・日本
【参画機関】	・旭化成（化学品製造）
【CO <sub>2</sub> 源】	・（未特定）
【水素源】	—
【製品】	・ポリカーボネート
【用途】	・エンジニアリングプラスチック
【状況】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2014～2016年度までNEDO事業で実証。</li> <li>・その後2年間も継続して、旭化成水島製造所（岡山県倉敷市）にて実証を継続。</li> <li>・製造能力1,000トン/年、連続運転時間1,000時間以上の実績あり。</li> </ul>

## 【概要】

- ・CO<sub>2</sub>とアルコールおよびフェノールを原料として、ポリカーボネート（PC）を製造する技術。
- ・従来の製造方法で使用する猛毒ガスのホスゲンや、非ホスゲン法（EO法DPCプロセス）で使用するエチレンオキシド（EO）を使用しない。
- ・入手が容易なアルコールを原料とし、エチレンセンターに依存しないため製造場所の立地制約が緩和。
- ・反応の簡素化、製造エネルギーの低減、生産コスト削減に寄与。
- ・PCは優れたエンジニアリングプラスチックとして、多用途に使用。



【出典】旭化成

カーボンリサイクルロードマップ【別冊2】産業間連携の事例⑨参照



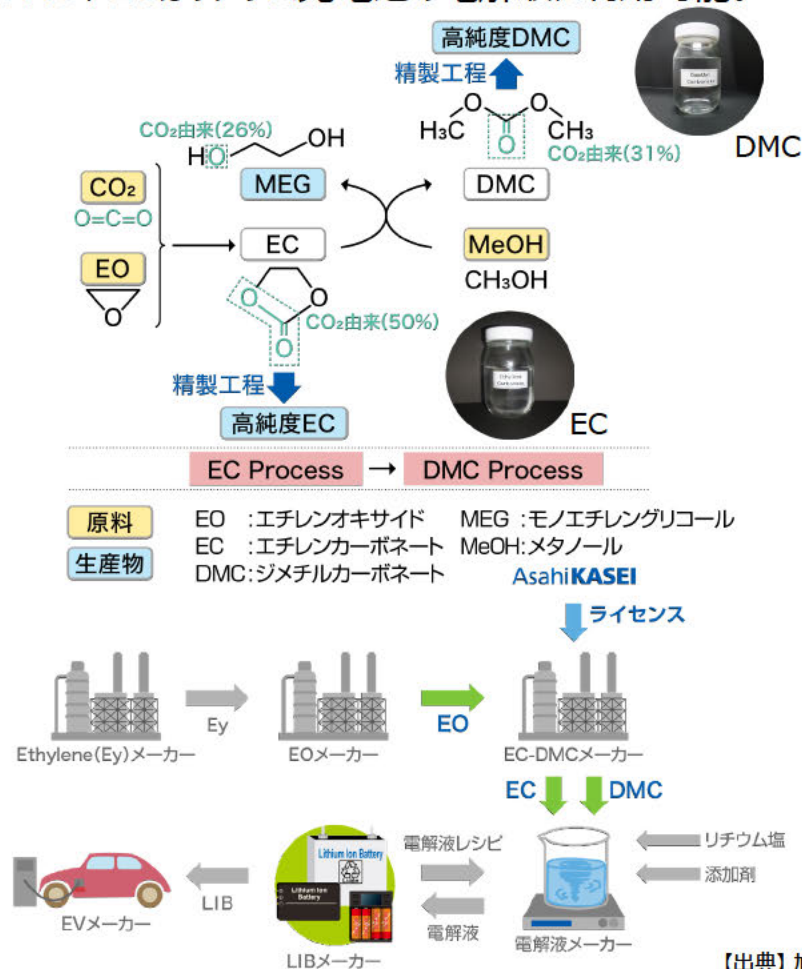
# ポリカーボネート類（EO法DPCプロセスの中間体の活用）

## 化学品／カーボネート類

【実施国】	・日本
【参画機関】	・旭化成（化学品製造）
【CO <sub>2</sub> 源】	・EO製造時のCO <sub>2</sub>
【水素源】	—
【製品】	・各種カーボネート類
【用途】	・カーボネートは溶剤、塗料、医薬品原料、ガソリン添加剤、リチウムイオン電池（LIB）の電解液原料などに使われる汎用有機化学品。
【状況】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1980年代から開発。</li> <li>・EO法DPCプロセスは商用化済み。</li> <li>・世界中のPCメーカーに同プロセスの技術ライセンスを供与中。</li> </ul>

### 【概要】

- ・CO<sub>2</sub>とエチレンオキシド（EO）を原料としてポリカーボネート（PC）を製造する工程で、その中間体として製造されるカーボネート類は様々な化学品原料として利用できる。
- ・例えばDMCやECはリチウム充電電池の電解液に利用可能。



【出典】旭化成

# バイオメタノールからエンジニアリングプラスチックの製造

化学品／機能性樹脂

【実施国】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・米国（バイオメタノール製造）</li> <li>・日本（エンジニアリングプラスチック製造）</li> </ul>
【参画機関】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・三井物産（バイオメタノールの調達・供給）</li> <li>・旭化成（化学品製造）</li> </ul>
【CO <sub>2</sub> 源】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・家畜糞尿や都市ごみ由来のバイオガス</li> <li>・2023年度末から周辺工場から回収したCO<sub>2</sub>も原料にする予定。</li> </ul>
【水素源】	—
【製品】	・ポリアセタール（POM）樹脂などのエンジニアリングプラスチック
【用途】	・各種樹脂（電気・電子部品、産業機械、ロボット部品、住宅・オフィス・OA機器、メタリック調材、金属代替品など）、粉末射出成形（PIM）用バインダー材料など。
【状況】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオガスからのメタノールは2021年12月から製造。</li> <li>・2023年末から周辺工場から回収したCO<sub>2</sub>からもバイオメタノールを製造予定。</li> <li>・旭化成は、水島製造所（岡山県倉敷市）で2023年7月からバイオメタノールからの樹脂生産の実証開始。今後は徐々に同樹脂の生産量を増やす計画。</li> </ul>

## 【概要】

- ・米国で生産するバイオメタノールを三井物産が旭化成に供給。
- ・旭化成は、このバイオメタノールを原料としてポリアセタール（POM）樹脂「テナックTM」、「テナックTM-C」などの各種エンジニアリングプラスチックを、水島製造所（岡山県倉敷市）で2023年7月より実証生産開始。
- ・旭化成と三井物産はこのサプライチェーンにおいて国際持続可能性カーボン認証「ISCC PLUS認証」を取得。
- ・旭化成はマスバランス方式で同原料を割り当てた各種エンジニアリングプラスチックを製造販売する予定。
- ・なお、三井物産が調達・供給しているメタノールは、米国合併会社（フェアウェイメタノール社）が製造するバイオメタノールで、原料は家畜糞尿や都市ごみ由来のバイオガスが原料。2023年末からは周辺工場から回収したCO<sub>2</sub>も原料に使用予定\*。



フューエルポンプモジュール  
(耐燃料性・耐クリープ性等)



インサイドハンドル  
(低VOC・塗装レス等)



シートベルトプレスボタン  
(低VOC・耐衝撃性等)



スルーアンカー  
(耐候性・耐衝撃性等)



プリンタギア  
(高回転性等)



導電性軸受  
(導電性・回転性等)



輸液ポンプガイド  
(高負荷回転性等)



PIMバインダー  
(超高流動)

【出典】旭化成

\*カーボンリサイクルロードマップ【別冊2】産業間連携の事例⑩参照



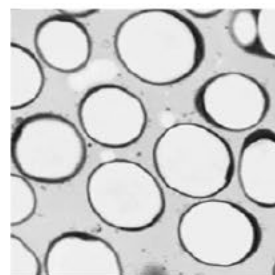
# 生分解性ポリマーをCO<sub>2</sub>から製造

化学品／ポリマー

【実施国】	・日本
【参画機関】	・カネカ（バイオポリマー生産） ・バックス・バイオイノベーション（ガス発酵） ・日揮ホールディングス（プラント設計） ・島津製作所（ガス発酵計測など）
【CO <sub>2</sub> 源】	・（未特定）
【水素源】	—
【製品】	・生分解性プラスチックの原料ポリマー
【用途】	・レジ袋、カトラリー（フォークやスプーンなどの食卓用食器）、ストロー、食品包装材など。
【状況】	・NEDOのGI基金事業（2023～2030年度）

## 【概要】

- ・カネカ、バックス・バイオイノベーション、日揮ホールディングス、島津製作所の4社は、NEDOのGI基金共同提案。
- ・CO<sub>2</sub>を原料として生分解性バイオポリマーを生産する微生物の開発と生産プロセスの技術開発を実施。
- ・既にカネカは植物油などを原料に微生物により生産される生分解性ポリマー、PHBH(3-ヒドロキシブチレート-co-3-ヒドロキシヘキサノート重合体)の培養に成功。ブランド名はGreen Planet®。
- ・これをCO<sub>2</sub>を原料として拡大生産するプロジェクト。



微生物体内に蓄積されたPHBH



量産化のための培養槽



製品例（レジ袋、カトラリー（フォーク、スプーンなど）、ストロー）

【出典】カネカ

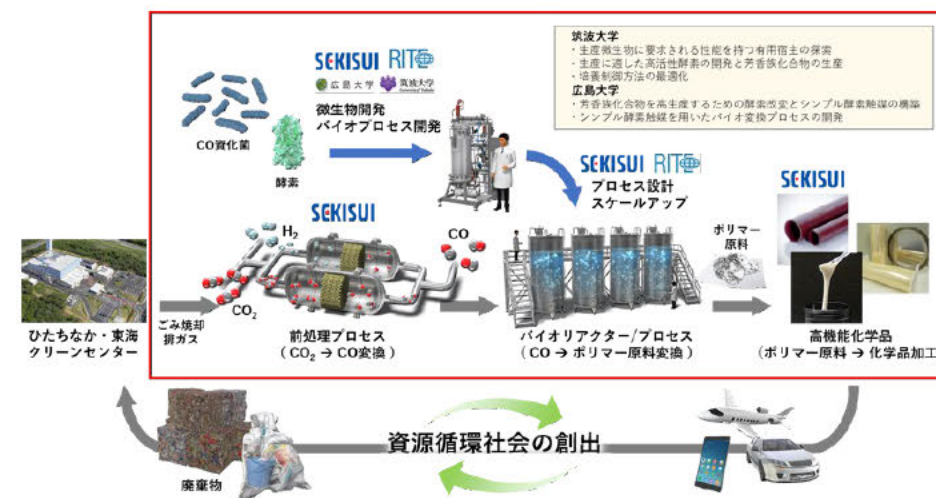
# 排ガスCO<sub>2</sub>から接着剤材料（エポキシ樹脂）を製造

化学品／ポリマー

【実施国】	・日本
【参画機関】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・積水化学工業（CO<sub>2</sub>分離回収、CO変換、バイオリアクター設計、高分子化学品製造）</li> <li>・RITE（地球環境産業技術研究機構）（微生物開発）</li> <li>・千代田化工建設（CO変換プラント基本設計）</li> </ul>
【CO <sub>2</sub> 源】	・廃棄物処理施設
【水素源】	—
【製品】	・エポキシ樹脂などの原料になるポリマー
【用途】	・電子材料用高機能接着剤
【状況】	・NEDOのGI基金事業（2023～2030年度）

## 【概要】

- ・廃棄物処理施設から排出される燃焼排ガス（CO<sub>2</sub>）を原料として高付加価値化学品（樹脂等の高分子材料）を製造する。
- ・茨城県ひたちなか・東海グリーンセンターの排ガスからCO<sub>2</sub>を濃縮し、ケミカルルーピング反応技術を活用してCOを製造。
- ・COから芳香族化合物を生産可能な微生物をCO資化菌の育種により開発、培養して芳香族化合物を高効率に生産する。
- ・廃棄物処理施設から排出される燃焼排ガスから高機能接着剤の連続製造を可能とするプラントを建設し、実用化を目指す。
- ・なお本CO変換プラントの基本設計は千代田化工建設が担当。



【出典】 積水化学工業



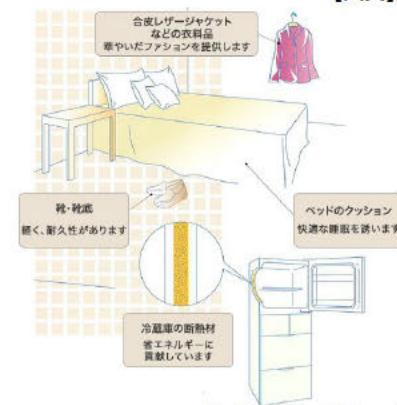
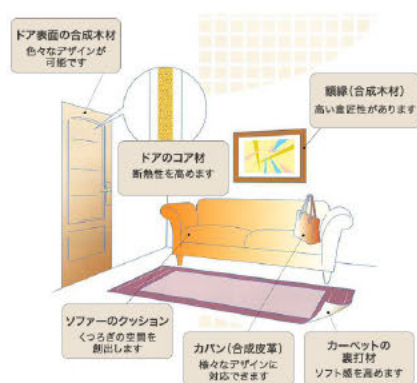
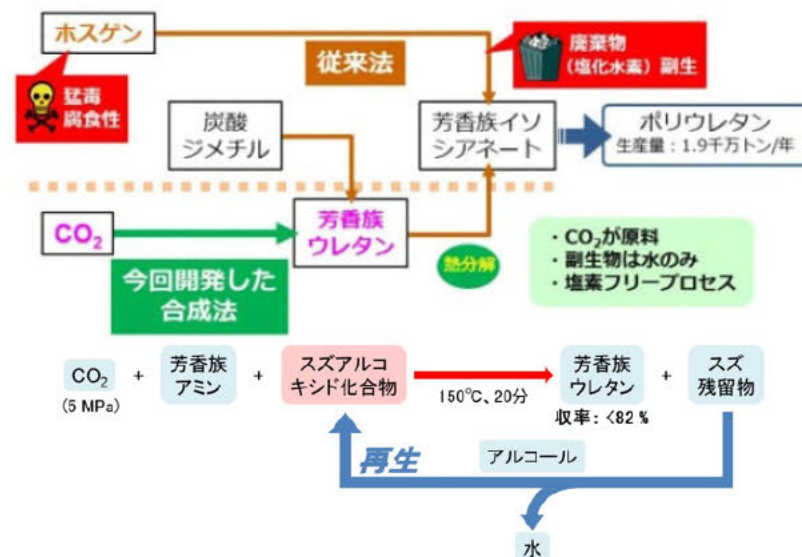
# ホスゲンを使わずCO<sub>2</sub>からポリウレタンを製造

化学品／ポリウレタン

【実施国】	・日本
【参画機関】	・産業技術総合研究所（産総研）
【CO <sub>2</sub> 源】	
【水素源】	—
【製品】	・ポリウレタン
【用途】	・ポリウレタンの持つクッション性や断熱性を活かして家具やインテリア雑貨などに利用。
【状況】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2014年9月に合成に成功。</li> <li>・スケールアップ検討中。</li> </ul>

## 【概要】

・産業技術総合研究所（産総研）は、従来の製造方法で使用する猛毒ガスのホスゲンを使用せず、CO<sub>2</sub>とアミン、スズアルコキシド化合物とを反応させて、芳香族ウレタンを高収率で製造。



【出典】産総研

【出典】日本ウレタン工業協会

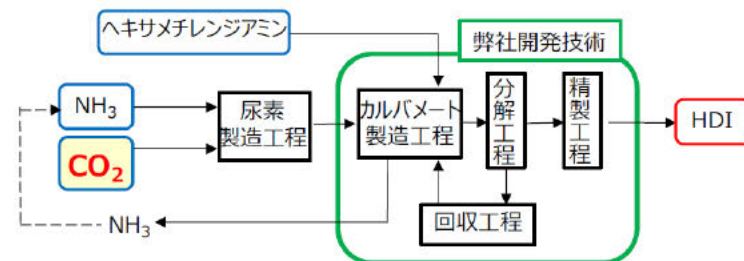
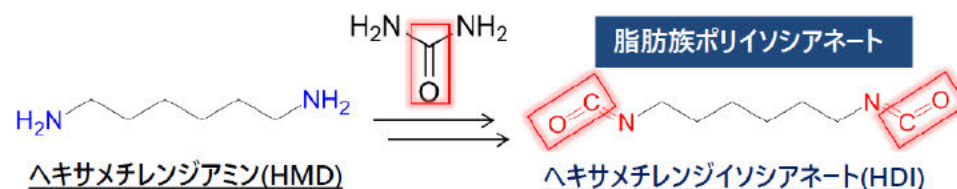
# ホスゲンを使わずCO<sub>2</sub>からポリウレタン原料を製造

化学品／イソシアネート

【実施国】	・日本
【参画機関】	・旭化成（化学品製造）
【CO <sub>2</sub> 源】	・（未特定）
【水素源】	—
【製品】	・ポリウレタンの原料であるイソシアネート化合物のヘキサメチレンジイソシアネート（HDI）
【用途】	・ポリウレタン。 ・ポリウレタンはそのクッション性や断熱性を活かして家具やインテリア雑貨などに利用される。
【状況】	・2018年度よりNEDO事業により製造プロセスを開発中。 ・2030年に汎用イソシアネートへの展開を目指す。 ・なお、従来法で製造したヘキサメチレンジイソシアネート（HDI）系ポリイソシアネートはデュラネートTMという商品名で販売中。

## 【概要】

- ・CO<sub>2</sub>を原料にした尿素を誘導体として、ポリウレタンの原料であるイソシアネートの製造に成功。
- ・製造法は尿素法イソシアネート法（SS-Agent法：Strategic Sustainable Active Reagent）で、製品はヘキサメチレンジイソシアネート（HDI）。
- ・従来法で使用される、毒性の高いホスゲンを用いないため、安全性に長け、エネルギー消費量の大幅な低減も期待。



**ポリウレタン用途**

- ・フォーム、クッション
- ・断熱フォーム
- ・エラストマー
- ・塗料、接着剤
- ・繊維

【出典】旭化成



# 国際連携でCO<sub>2</sub>から衣料用生地を製造

化学品／衣料用生地

【実施国】	・米国、インド、台湾
【参画機関】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Century（ポリエステル）</li> <li>・Far Eastern New（繊維）</li> <li>・India Glycols（エチレングリコール合成）</li> <li>・Lululemon athletica（アパレル）</li> <li>・Lanza Tech（エタノール製造）</li> </ul>
【CO <sub>2</sub> 源】	・産業、農業、家庭、大気など（詳細は未定）
【水素源】	—
【製品】	・エタノール、モノエチレングリコール、ポリエステル
【用途】	・衣料用生地
【状況】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2021年に糸、生地の実験製造に成功</li> <li>・2030年の循環型エコシステムの実現が目標</li> </ul>

## 【概要】

- ・産業（工場）などの排ガスから回収したCO<sub>2</sub>を原料に、ランザテックの微生物触媒技術を用いてエタノールを製造。
- ・エタノールから石油化学会社India Glycols（インド）がポリエステルを製造。
- ・そして繊維会社Far Eastern New Century（台湾）がポリエステルから衣料用の生地・繊維を製造。
- ・Lululemonは、この生地を用いた製品を販売予定。



【出典】 THINK WASTE記事(2021.8)、Innovation Textiles記事(2021.7)

カーボンサイクルロードマップ【別冊2】産業間連携の事例⑤参照



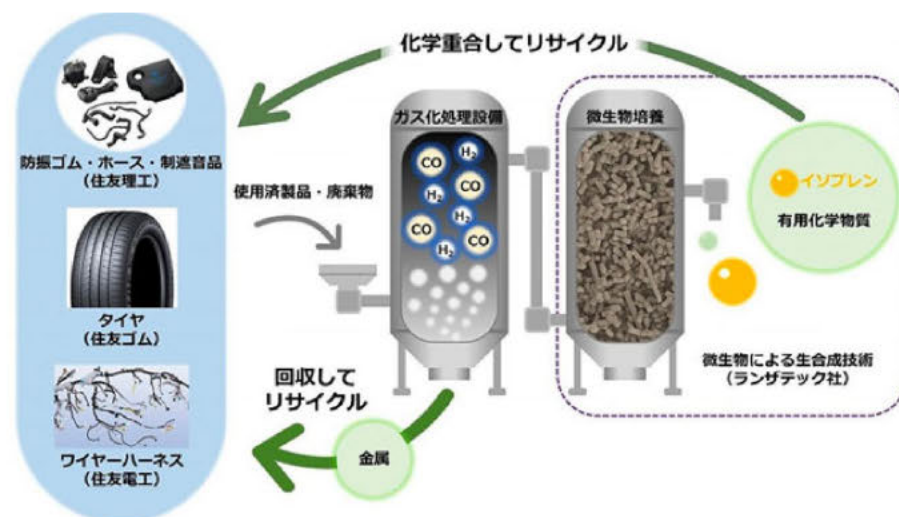
# 微生物発酵を利用してゴムや樹脂をリサイクル・製造

化学品／ゴム、樹脂等

【実施国】	・日本
【参画機関】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・住友理工（高分子材料製造）</li> <li>・住友ゴム工業（タイヤ製造）</li> <li>・住友電気工業（ワイヤーハーネス製造）</li> <li>・ランザテック（生物触媒）</li> </ul>
【CO <sub>2</sub> 源】	・（ガス化ガス中のCOが原料）
【水素源】	・ガス化ガス中の水素
【製品】	・イソプレン、エタノール
【用途】	・ゴム、樹脂
【状況】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2022年11月に住友理工とランザテックが共同研究契約を締結。</li> <li>・2023年8月に住友ゴム工業、住友電気工業が参画。</li> </ul>

## 【概要】

- ・住友理工はランザテック社が有する「微生物による生合成技術」を活用し、ゴム・樹脂・ウレタン廃棄物をガス化・ガス精製した後、微生物による培養を経て、イソプレン、エタノールの生産を目指す。
- ・最終的にはイソプレンおよびエタノールを再び、ゴムや樹脂として利用するリサイクル技術の確立を目指す。
- ・2022年11月に住友理工とランザテックが共同研究契約を締結。
- ・2023年8月に住友ゴム工業と住友電気工業が参画してリサイクルシステムを強化。



【出典】住友理工

# CO<sub>2</sub>からブタジエンゴムを製造

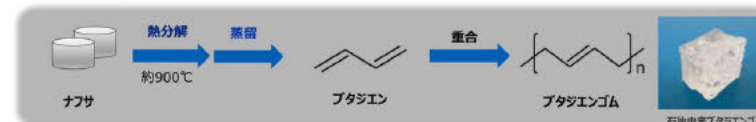
化学品／タイヤゴム

【実施国】	・日本
【参画機関】	・TOYO TIRE（重合・合成） ・富山大学（触媒開発）
【CO <sub>2</sub> 源】	
【水素源】	—
【製品】	・ブタジエン
【用途】	・自動車用タイヤゴム
【状況】	・量産化検討中。 ・2020年代末までに実用化を目指す。

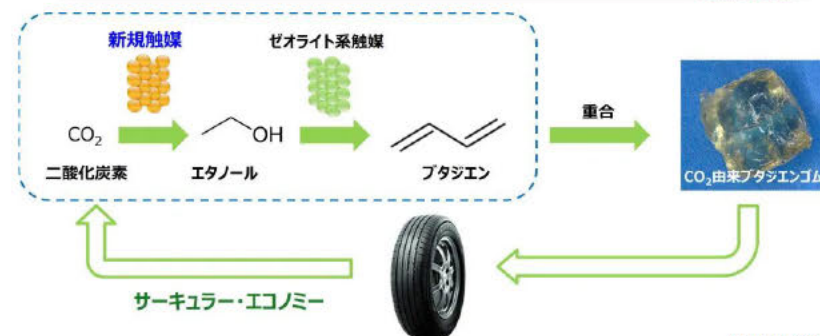
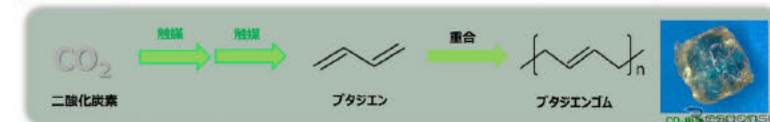
## 【概要】

- ・TOYO TIREは、富山大学との共同研究にて、CO<sub>2</sub>から高収率でブタジエンへ変換する触媒を開発。
- ・ブタジエンからタイヤの主原料であるブタジエンゴムの合成に成功。
- ・自動車タイヤの原材料はタイヤの品種によって割合は異なるが、天然ゴム以外の約4割を占める合成ゴムのうち、石油由来原料であるブタジエン系ゴム（SBR、BR）はその約3割を占める。
- ・富山大学では、カーボンニュートラル物質変換研究センターを設置。
- ・高価な貴金属を使わない安価な固体触媒の開発において十分な触媒性能が得られており、その収率は世界最高レベル。

### 【従来法】 石油由来ブタジエンを出発物質とするブタジエンゴムの合成



### 【新手法】 二酸化炭素を出発物質とするブタジエンゴムの合成



【出典】 TOYO TIRE



# CO<sub>2</sub>から炭素材料・製品を製造

化学品／炭素材料・製品

【実施国】	・日本
【参画機関】	・積水化学工業（ケミカルルーピング技術） ・東海カーボン（炭素材料加工）
【CO <sub>2</sub> 源】	・産業界（工場）などを想定
【水素源】	—
【製品】	・炭素材料（製品）
【用途】	・工業用炭素材料、炭素製品（自動車・建築・機械・電子部品など） ・CCS
【状況】	・2023年4月にパートナーシップを締結。 ・パイロット試験機を検討中。 ・2030年を目途に実用化。

## 【概要】

- ・積水化学工業と東海カーボンは、CO<sub>2</sub>をケミカルルーピング反応技術を用いてCOへ高効率で変換する技術を確認。
- ・さらに生成されたCOを用いて、各種炭素素材・製品を製造（CCU）。
- ・またCO<sub>2</sub>を直接貯蔵するのではなく、固体炭素として貯蔵する（CCS）という考えから、圧力を利用する必要がなくなり、貯蔵場所を広げ、化学素材やエネルギーの備蓄に繋げる。
- ・環境負荷の優位性・経済性が確認できれば、パイロットプロジェクトを進め、2030年を目途に商用化を目指す。



【出典】積水化学工業



# Lanza Techのエタノールから香水を製造・販売

化学品／化粧品

【実施国】	・米国
【参画機関】	・Coty（化粧品製造） ・LanzaTech（微生物触媒、エタノール製造）
【CO <sub>2</sub> 源】	・製鉄所や工場などからの排ガス。
【水素源】	－
【製品】	・エタノール
【用途】	・化粧品（香水）
【状況】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2021年3月にCoty社とLanzaTech社がパートナーシップを締結。</li> <li>・2022年1月下旬に、LanzaTechのエタノールを使用した最初の香水を生産。</li> <li>・2023年4月にLanzaTechのエタノールを100%使用した香水（オードパルフーム）を販売。</li> <li>・現在、大量生産に向けて準備中。</li> </ul>

## 【概要】

- ・香料を水に溶かす際に必要なエタノールは、空気中に香りを揮発させる作用もあり、香水には不可欠な成分。
- ・このエタノールを工場などの排ガスから回収したCO<sub>2</sub>を利用してLanzaTechが製造し、Coty社が香水に。
- ・Coty社（米国）は化粧品や香水を扱う複合企業。GucciやCalvin Klein、TIFFANYなど多くのラグジュアリー・ブランドに香水類を提供。
- ・2022年1月にLanza Techのエタノールを使用した香水（フレグランス）の生産を開始。
- ・2023年4月1日に販売された「Where My Heart Beats」オードパルフーム（Gucciの香水）は、Lanza Tech のエタノールを100%使用。



【出典】 Gucci

# コンクリート製造時にCO<sub>2</sub>を吸収・固定する「CO<sub>2</sub>-SUICOM」の実用化

鉱物化／コンクリート

【実施国】	・日本
【参画機関】	・鹿島建設（建設業） ・東京ガス（横浜市の小学校の例）
【CO <sub>2</sub> 源】	・ガス機器による燃焼ガス （横浜市の小学校の例）
【水素源】	—
【製品】	・コンクリート
【用途】	・太陽光発電設備の基礎ブロック。 ・歩道のインターロッキングブロック、駐車場の車止め、外構緑地システムDEWレインガーデンの底板・側板。
【状況】	・販路拡大中。

## 【概要】

- ・鹿島建設は東京ガスの協力を得て、ガス機器使用時に発生するCO<sub>2</sub>を吸収・固定化して製造した環境配慮型コンクリート「CO<sub>2</sub>-SUICOM」を横浜市内の小学校の屋上に設置された太陽光発電設備の基礎ブロックに採用。
- ・その他、同社グループ社員用の実務体験型研究施設「鹿島テクニカルセンター」周辺の歩道のインターロッキングブロック、駐車場の車止め、外構緑地システムDEWレインガーデンの底板・側板にも採用。
- ・同コンクリートは、炭酸化養生の過程で中性に近いpHとなり、土壌が高pHになるのを抑えることができ、植物に優しい材料として用途が拡大中。



100年をつくる会社  
鹿島

横浜市立元街小学校に導入した太陽光発電設備とCO<sub>2</sub>-SUICOM



CO<sub>2</sub>-SUICOMを底板・側板に採用した外構緑地システム「DEWレインガーデン」  
カーボンサイクルロードマップ【別冊2】産業間連携の事例⑩参照



# コンクリート製造時にCO<sub>2</sub>を吸収・固定する（CO<sub>2</sub>養生）

## 鉱物化／セメント・コンクリート

【実施国】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カナダ（Carbicrete、CarbonCure Technologies）</li> <li>・米国（Solidia Technologies）</li> <li>・日本（太平洋セメント）</li> </ul>
【参画機関】	（セメント・コンクリート製造） <ul style="list-style-type: none"> <li>・Carbicrete</li> <li>・Solidia Technologies</li> <li>・CarbonCure Technologies</li> <li>・太平洋セメント</li> </ul>
【CO <sub>2</sub> 源】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・産業現場からCO<sub>2</sub>を回収（Carbicrete）。</li> <li>・セメント製造プロセス中のCO<sub>2</sub>。将来はDACも（Solidia Technologies）。</li> <li>・化学工場や石油プラント（CarbonCure Technologies）。</li> </ul>
【水素源】	—
【製品】	・セメント、コンクリート
【用途】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プレキャストコンクリートブロック（Carbicrete）</li> <li>・セメント、コンクリートブロック（Solidia Technologies）</li> <li>・レディミクストコンクリート（CarbonCure Technologies）</li> <li>・インターロッキングブロック（太平洋セメント）</li> </ul>
【状況】	・上記記載の製品は全て一般販売中。

### 【概要】

- ・カナダのコンクリートメーカーCarbicreteは、鉄鋼スラグでセメントを代替しつつ、CO<sub>2</sub>を吹きかけ固定化（養生）し、プレキャストコンクリートブロックを製造。
- ・米国Solidia Technologiesは、セメント製造時の石灰代替に天然・合成のケイ灰石を含む粘土を利用して焼成温度の低減に成功。また、硬化（養生）にCO<sub>2</sub>を利用。将来はDACによるCO<sub>2</sub>利用も視野。
- ・カナダ・CarbonCure Technologiesはコンクリートを混練する際に液化CO<sub>2</sub>を直接注入してCO<sub>2</sub>を固定化。
- ・注入するCO<sub>2</sub>は少量だが、炭酸カルシウム（CaCO<sub>3</sub>）の微小な結晶の生成がセメント反応を促進させ、強度向上と、セメント使用量の低減を実現。日本でも導入済み。
- ・太平洋セメントは、CO<sub>2</sub>と化学反応することで硬化し、所定の強度を発現するカーボフィクスセメント（β-C2S が主要鉱物）を開発し、実用化済み\*。



【出典】Carbicrete（左）、Solidia Technologies（右）



【出典】CarbonCure Technologies（左）、太平洋セメント（右）

\*カーボンリサイクルロードマップ【別冊2】産業間連携の事例②参照



## コンクリート製造時にCO<sub>2</sub>を吸収・固定する その2

### 鉱物化／セメント・コンクリート

【実施国】	・日本
【参画機関】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・河島コンクリート工業（セメント・コンクリート製造）</li> <li>・CarbonCure Technologies（セメント・コンクリート製造）</li> <li>・エア・ウォーター（CO<sub>2</sub>輸送、貯蔵）</li> </ul>
【CO <sub>2</sub> 源】	・化学工場など（CarbonCure）。
【水素源】	—
【製品】	・コンクリート
【用途】	・コンクリート製品
【状況】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2021年5月から河島コンクリート工業はCarbonCure技術の導入を検討</li> <li>・2022年11月にCO<sub>2</sub>タンク（3,000L）設置</li> <li>・CarbonCure技術の導入は、曾澤高圧コンクリートに次いで国内2例目</li> </ul>

#### 【概要】

- ・カナダ・CarbonCure社のCO<sub>2</sub>鉱物化（固定化）技術の国内2例目となる導入事例\*。
- ・化学工場などから回収したCO<sub>2</sub>を液化し、ローリー車で生コンプラントに設置された専用タンクまで配送。
- ・生コンクリート混練用ミキサー内に液化CO<sub>2</sub>を直接注入。セメントの水和物の一つである水酸化カルシウムと結合してナノサイズの炭酸カルシウムの結晶を生成。この鉱物化プロセスによりコンクリートの硬化を促し、圧縮強度の増進効果を得る。
- ・河島コンクリート工業では2022年11月にCO<sub>2</sub>タンクを設置し、技術導入開始。



【出典】河島コンクリート工業（左）、CarbonCure Technologies（右）

\*国内一例目は曾澤高圧コンクリート（2021年11月運転開始）で、カーボンサイクルロードマップ【別冊2】産業間連携の事例②に記載

# CO<sub>2</sub>固定した炭酸塩を利用したコンクリート製造

鉱物化／コンクリート

【実施国】	・豪州、日本
【参画機関】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Mineral Carbonation International (MCI) (炭酸塩製造)</li> <li>・大成建設 (コンクリート製造)</li> <li>・伊藤忠商事 (コーディネート)</li> </ul>
【CO <sub>2</sub> 源】	・工場などからの排気ガスに含まれるCO <sub>2</sub>
【水素源】	—
【製品】	・コンクリート材料の骨材
【用途】	・コンクリート製品
【状況】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2021年3月に伊藤忠商事とMCI社が覚書を締結。同年7月に伊藤忠商事がMCIに投資。</li> <li>・2021年に大成建設が「T-eConcrete / Carbon-Recycle」の開発を発表。</li> <li>・2022年8月に大成建設が、MCI社と伊藤忠商事の協業に参画。</li> </ul>

## 【概要】

- ・MCIは、豪州でCO<sub>2</sub>固定化技術を研究・開発するスタートアップ企業。製鉄工程で生じるスラグ等の副産物（主に製鋼スラグ）や火力発電所で生じる石炭灰、その他カルシウムやマグネシウムを含む様々な物質にCO<sub>2</sub>を固定させた炭酸塩（炭酸カルシウム、炭酸マグネシウム等）を製造する技術を有する。
- ・大成建設は、CO<sub>2</sub>を固定した炭酸塩（炭酸カルシウム）をコンクリートに練りこみ、コンクリート内部にCO<sub>2</sub>を封じ込める環境配慮型コンクリート「T-eConcrete / Carbon-Recycle」を開発。
- ・2021年3月に伊藤忠商事とMCI社が覚書を締結し、同年7月に伊藤忠商事がMCIに投資。
- ・2022年8月に大成建設が参画。コンクリート原料としての炭酸塩の活用を検証。



【出典】大成建設、伊藤忠商事



# コンクリート材料である骨材にCO<sub>2</sub>を固定

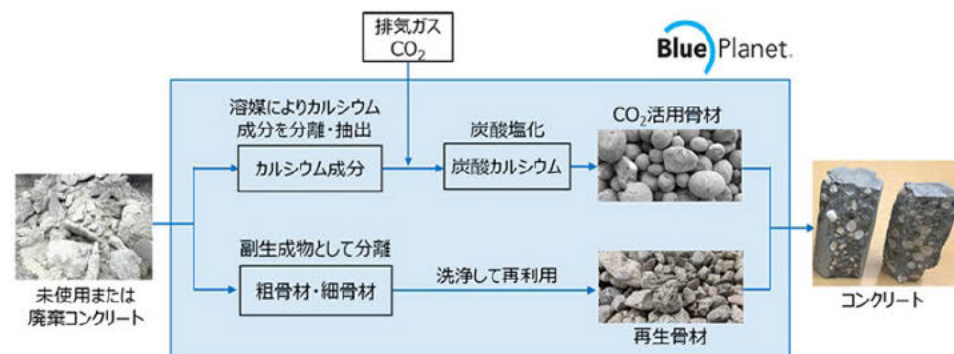
鉱物化／骨材

【実施国】	・米国、日本
【参画機関】	・Blue Planet Systems（骨材製造） ・三菱商事（流通、販売） ・千代田化工建設（総合エンジニアリング）
【CO <sub>2</sub> 源】	・発電所などの排気ガスに含まれるCO <sub>2</sub>
【水素源】	—
【製品】	・コンクリート材料の骨材
【用途】	・コンクリート製品
【状況】	・Blue Planetは、2012年よりCO <sub>2</sub> 活用コンクリート原料の製造・技術開発を開始。 ・2020年に三菱商事、2021年に千代田化工建設と協業契約締結。 ・米国カリフォルニア州シリコンバレー地区で実証事業中。

## 【概要】

- ・米国Blue Planetは、廃コンクリート、フライアッシュ、スラグ、セメントキルダストなどに含まれるカルシウム、マグネシウム、鉄などの金属イオンと、炭酸アンモニウム水溶液を反応させて、廃棄物粒子の周りに炭酸塩が形成された骨材を製造。
- ・排ガス中のCO<sub>2</sub>は、アンモニア水に吸収させて炭酸アンモニウム水溶液として回収。
- ・既に米国サンフランシスコ国際空港の改装工事で使用。
- ・2020年9月に三菱商事はBlue Planetに資金提供し、事業化に向けた協業契約を締結。
- ・さらに2021年2月に千代田化工建設も参画し、米国カリフォルニア州シリコンバレー地区で実証事業。

【Blue Planet技術プロセスフロー】



【出典】三菱商事



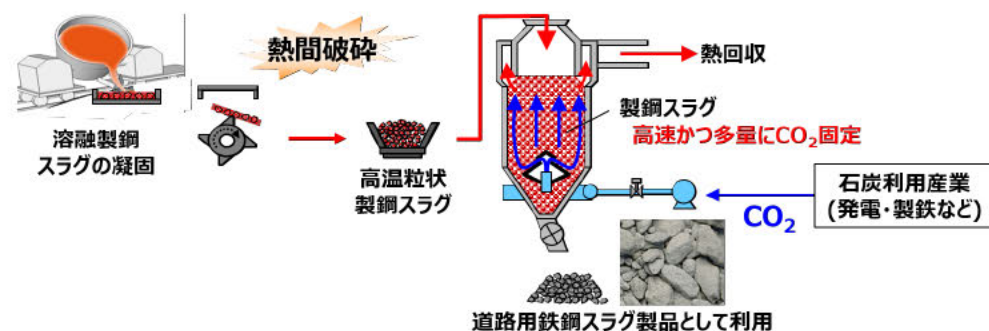
# 鉄鋼スラグを利用したCO<sub>2</sub>の炭酸塩固定

鉱物化／炭酸塩

【実施国】	・日本
【参画機関】	・JFEスチール（炭酸塩化技術開発） ・愛媛大学（反応メカニズム解明）
【CO <sub>2</sub> 源】	・石炭利用産業から排出されるCO <sub>2</sub>
【水素源】	—
【製品】	・炭酸塩
【用途】	・道路用鉄鋼スラグ
【状況】	・NEDO事業（2021～2025年度）。

## 【概要】

- 鉄鋼生産の副産物として生成する高温状態の製鋼スラグに、石炭利用産業から排出されるCO<sub>2</sub>を吹き込むことにより、製鋼スラグ中の酸化カルシウム（CaO）成分に、短時間で多量にCO<sub>2</sub>を固定して炭酸塩化（CaCO<sub>3</sub>）。
- 炭酸塩化した製鋼スラグは、需要の大きい道路用鉄鋼スラグとしての利用を図る。



【出典】JFEスチール

## 鉍物化／骨材・コンクリート

【概要】

- 酸化カルシウム (CaO) にCO<sub>2</sub>を吸着させて骨材として再利用したり、混和材としてコンクリートに混ぜたりする技術は主にNEDO事業として実施中。
- ①竹中工務店

- ②出光興産・宇部興産・日揮ほか

- ③住友大阪セメントほか

【出典】NEDO

# CO<sub>2</sub>からFT合成によるSAF製造

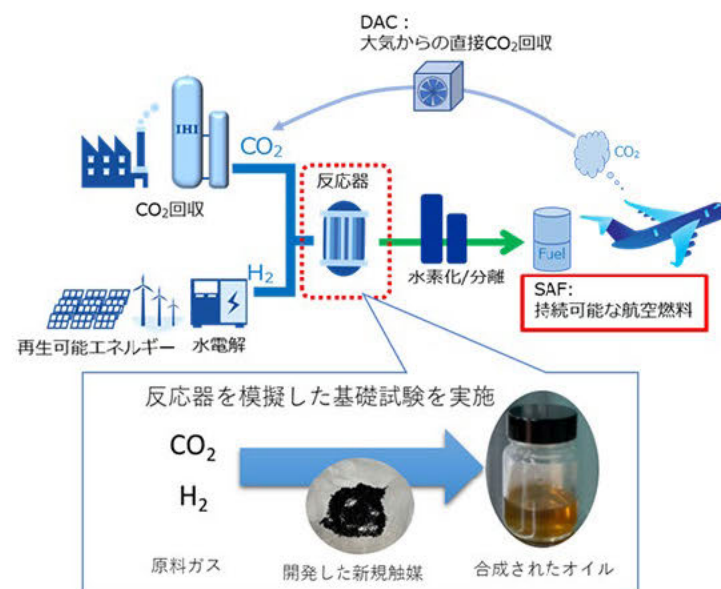
燃料／SAF

【実施国】	・シンガポール、日本
【参画機関】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ISCE<sup>2</sup>（シンガポールの研究機関）＊</li> <li>・IHI（触媒開発およびプロセス開発）</li> </ul> <p>＊ISCE<sup>2</sup>：Institute of Sustainability for Chemicals, Energy and Environment：化学・エネルギー・環境サステナビリティ研究所</p>
【CO <sub>2</sub> 源】	・工場などからの排気ガスに含まれるCO <sub>2</sub> を想定
【水素源】	・再生可能エネルギーによる水電解を想定
【製品】	・ジェット燃料（SAF）
【用途】	・航空機用燃料
【状況】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2022年9月よりIHIとISCE2はSAF合成に関する共同研究を開始。</li> <li>・2022年12月にC<sub>5</sub>以上の液体炭化水素の収率26%を達成。</li> <li>・早期実用化を目指して開発中。</li> </ul>

## 【概要】

- ・IHIはCO<sub>2</sub>を原料としたSAF（Sustainable Aviation Fuel：持続可能な航空燃料）を合成するための新触媒を開発。
- ・SAFの合成技術について、2022年度よりシンガポールのISCE2と共同研究。
- ・水素とCO<sub>2</sub>を直接反応させるSAF合成触媒において、炭素数5以上の液体炭化水素の収率26%を達成。
- ・なお、IHIは微細藻類由来のジェット燃料の開発も実施。2020年5月に国際規格認証を取得し、2021年度にはデモフライトを成功。2022年3月に有志団体ACT FOR SKYに加盟。

IHIが提案するSAFの構想



【出典】IHI



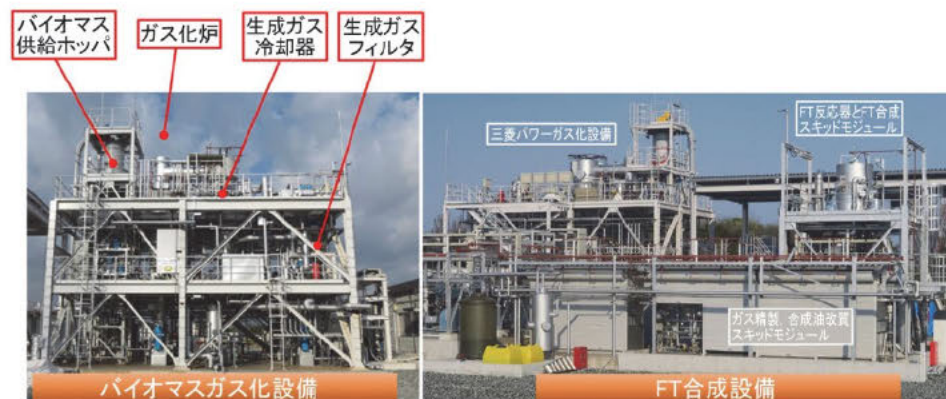
# バイオマスガス化からFT合成によるSAF製造

燃料／SAF

【実施国】	・日本
【参画機関】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・三菱重工業（ガス化）</li> <li>・JERA（火力発電所での運転）</li> <li>・東洋エンジニアリング（FT合成設備）</li> <li>・JAXA（燃焼特性・エンジン特性試験）</li> <li>・JAL（SAF利用）</li> </ul>
【CO <sub>2</sub> 源】	・（バイオマスガス化ガス中のCO）
【水素源】	・（バイオマスガス化ガス中の水素）
【製品】	・ジェット燃料（SAF）
【用途】	・航空機用燃料
【状況】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2017～2021年度バイオマスガス化／FT合成のパイロットプラントを建設。</li> <li>・2021年6月にJAL商用フライトに供給。</li> <li>・NEDO事業。</li> </ul>

## 【概要】

- ・木質バイオマスをガス化し、FT合成によってジェット燃料を製造。
- ・ガス化には噴流層ガス化炉を採用。JERAの新名古屋火力発電所構内の敷地にパイロットプラントを設置（2017～2021年度）。
- ・バイオマス処理量は0.7ton/日、ガス化炉は3,000時間以上、FT合成設備は1,500時間以上運転、SAFは2,366L合成し、ASTM規格に適合。
- ・JALの商用フライトに燃料供給（2021年6月、羽田～新千歳便）。



【出典】三菱重工技報

# 微生物触媒を利用したアルコールからのSAF製造 (ATJ)

燃料／SAF

【実施国】	・米国、日本
【参画機関】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ランザテック（微生物触媒）</li> <li>・ANA（SAF利用）</li> <li>・ENEOS（品質保証、プラント評価）</li> <li>・三井物産（アルコール調達、コーディネート）</li> </ul>
【CO <sub>2</sub> 源】	・製鉄所や製油所からの排気ガスを想定
【水素源】	—
【製品】	・ジェット燃料（SAF）
【用途】	・航空機用燃料
【状況】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2019年10月30日にシアトル～羽田間でランザテックが製造したSAFによる実証フライトを実施。</li> <li>・2017～2020年度のNEDO事業にENEOS（当時はJXTGエネルギー）とともに参画。</li> <li>・2030年度の商用化を念頭に置いたバイオジェット燃料の一貫製造技術の確立を目指している。</li> </ul>

## 【概要】

- ・2019年10月、米国ランザテック社が排ガスを原料として製造した Sustainable Aviation Fuel（SAF）を使用し、ボーイング 777によるフライト（シアトル→羽田）を三井物産と共同で実施。
- ・同フライトはSAFを購入・使用するだけに留まらず、製造所から空港への輸送、通常燃料との混合、品質保証、飛行機への給油までの一連のノウハウを確認。
- ・その後、ENEOSとともにNEDO事業に参画。



【出典】ANA



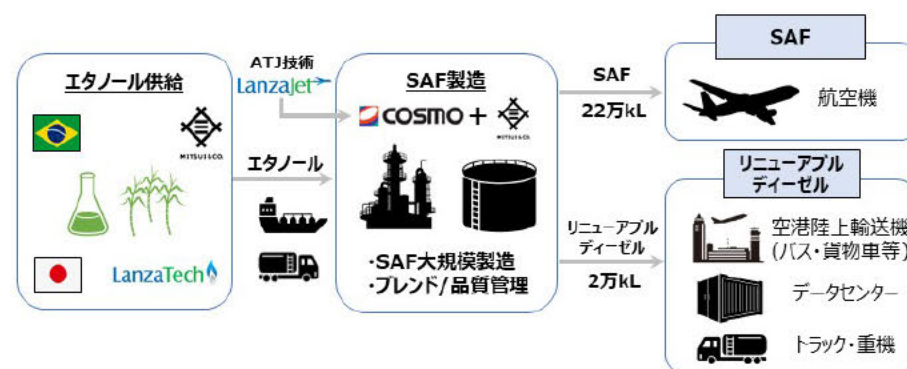
# 微生物触媒を利用したアルコールからのSAF製造（ATJ）その2

燃料／SAF

【実施国】	・日本
【参画機関】	・コスモ石油（品質管理） ・ランザジェット（SAF製造） ・三井物産（調達、供給）
【CO <sub>2</sub> 源】	・廃棄物等
【水素源】	—
【製品】	・ジェット燃料（SAF）
【用途】	・航空機用燃料
【状況】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2022年7月に三井物産とコスモ石油が国内での持続可能な航空燃料SAF製造事業の実現に向けた共同検討を実施することに合意。</li> <li>・2027年度までに年産22万kLの国産SAF製造、供給を目指す。</li> <li>・なお、ランザジェットのATJ技術は、国際品質規格「ASTM D7566 Annex 5」を取得済み。</li> </ul>

## 【概要】

- ・三井物産とコスモ石油は、国内での持続可能な航空燃料SAF製造事業の実現に向けた共同検討を実施することに合意。
- ・三井物産が出資する米国ランザジェットが開発した高効率で大規模SAF生産に優位性を持つAlcohol to Jet (ATJ)技術を採用。コスモ石油の製油所での国産SAFの大規模生産を目指す。
- ・2027年度までに年産22万kLの国産SAF製造、供給を目指す。同時に副産物として生成されるリニューアブルディーゼル年産2万キロリットルについても、空港内の輸送機やトラック・重機等を対象に



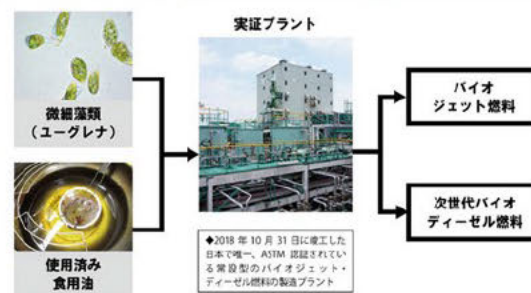
【出典】三井物産



【実施国】	・日本
【参画機関】	・ユーグレナ（バイオ燃料製造）
【CO <sub>2</sub> 源】	・工場排ガスやDACなど様々に想定
【水素源】	—
【製品】	・ジェット燃料（SAF）
【用途】	・航空機用燃料
【状況】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2005年に世界で初めて微細藻類ユーグレナの食用屋外大量培養技術の確立に成功。</li> <li>・微細藻類ユーグレナから抽出されたユーグレナ油脂等を使用して製造した純バイオジェット燃料は国際品質認証ASTM D7566規格に準拠。</li> <li>・微細藻類ユーグレナは、バイオ燃料だけでなく、食品、飼料、肥料、バイオマスプラスチックと多岐にわたり用途開発中。</li> </ul>

### 【概要】

- ・ユーグレナは使用済みの食用油と微細藻類ユーグレナから抽出されたユーグレナ油脂の混合物（バイオ燃料、ディーゼル燃料）「サステオ」を製造・販売。
- ・その割合は、使用済みの食用油が90%以上。ユーグレナ油脂の割合は10%以下。
- ・食料と競合せず、必要量に合わせて供給することが出来るユーグレナ油脂培養の技術開発に注力中。
- ・サステオのディーゼル燃料は、バスや船舶といった陸・海のモビリティに活用。この特徴は、分子構造が市販軽油と全く同じ。
- ・サステオのディーゼル燃料はいま街中を走行している車にそのまま使用できたり、電気や水素といった燃料電池自動車のように新たに供給インフラを整備する必要がないメリット。
- ・2020年に次世代バイオディーゼル燃料を、2021年はバイオジェット燃料を供給開始。



【出典】ユーグレナ

## **V-2 カーボンリサイクル技術開発研究機関について**

# 大学研究機関におけるカーボンリサイクル研究活動について

- 本調査においてはロードマップの取りまとめを踏まえ、カーボンリサイクル分野の技術開発を進めている大学の研究機関とのネットワーク構築を図るため、下記の5大学における研究機関を訪問し、意見交換を実施した。
- 各訪問先の研究機関の概要は、p102～p106に示す通り。

訪問日	訪問大学	研究機関
令和5年7月10日（月）	茨城大学	カーボンリサイクルエネルギー研究センター
令和5年7月11日（火）	同志社大学	カーボンリサイクル教育研究プラットフォーム
令和5年7月19日（水）	東京工業大学	科学技術創成研究院 ゼロカーボンエネルギー研究所
令和5年7月20日（木）	名古屋大学	未来社会創造機構 脱炭素社会創造センター
令和5年7月20日（木）	静岡大学	カーボンリサイクル技術研究所



# 大学研究機関におけるカーボンリサイクル研究活動について（まとめ）

## 現状

- 2020年5月のカーボンニュートラル目標発表後、国内の各大学でカーボンニュートラル実現に向けた研究組織が相次ぎ設立され、カーボンリサイクル技術の研究開発を行う組織の設立も進んでいる。
- CO<sub>2</sub>の回収技術としてはDAC、分離膜、冷熱利用、CO<sub>2</sub>利用技術としては電気分解、メタネーション、CO<sub>2</sub>リサイクル製品合成時の触媒等の技術開発が進められている。
- 企業の関心も高まっており、各大学とも産学連携の枠組みが設けられている。

## 課題

- ① 社会実装に向けてはまだコストが高い。
- ② 人材不足（研究人材・商用化人材共）
- ③ 研究人材がCRの技術開発に専念できる体制の整備
- ④ ラボレベルでの試験装置以降のスケールアップ
- ⑤ 企業の側が革新的技術の採用に消極的
- ⑥ 各CR技術に関するLCA（脱炭素化効果）分析が不十分
- ⑦ 産学連携では事務的な問題（会費負担、情報共有など）も制約要因となっている。
- ⑧ 同じ脱炭素化技術でも水素・再エネ分野の方に人材が集まる傾向がある。
- ⑨ 文部科学省の大学支援方法（競争方式）の影響でCR技術を開発する大学間での連携が困難になる側面がある。
- ⑩ 大学研究者に対するスタートアップ事業化に関する支援の必要性（資金調達、顧客の開拓、商用化を見据えた実践的な技術開発の推進など）
- ⑪ 海外の機関投資家やVCに日本の優れた技術の存在が知られていない。

## 今後の対応策（案）（丸数字は対応する課題）

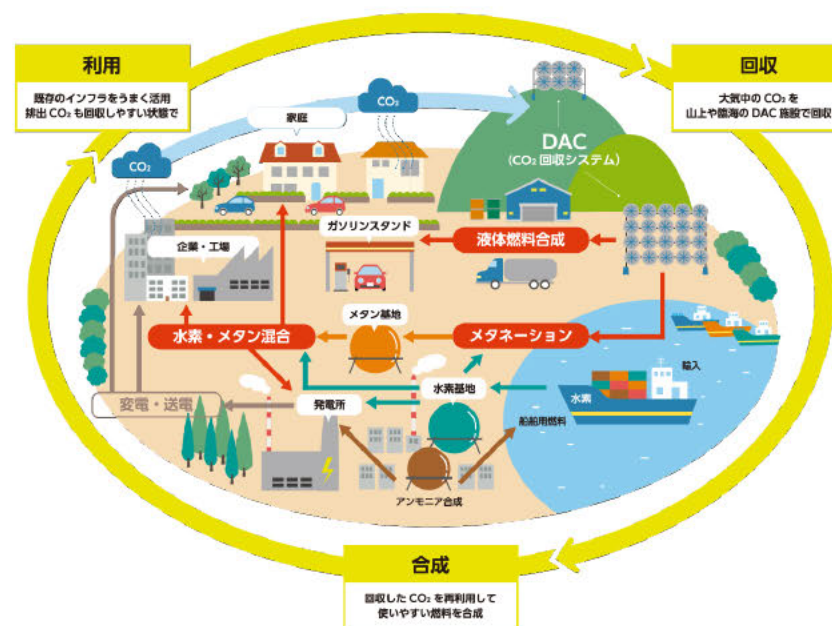
- 大崎上島の研究拠点施設の活用や産学官国際会議の開催などを通じた、同様の技術を開発している大学・研究者・企業間の連携を促進（①、③、⑦、⑨、⑩、⑪）
- 製品の社会実装に向けては、カーボンプライスの導入と共に、規制的な施策も検討（①、④）
- SAFやCBAM対象製品など海外要因でCR製品が必要となる分野を重点的に支援（①、④）
- 特定のエネルギー利用部門では水素や電化だけでは脱炭素化ができないというシナリオを大々的に示す。（②、⑧）
- 産学連携を促進するために、わかりやすい「成功モデル」を作る。（②、③、⑤）
- 地方公共団体（県など）を介した産学連携の促進（③、⑤、⑦）
- 多様なCR技術に関するLCA分析手法の確立（⑥）
- 中小規模の事業者に対し、革新技術の認証や継承を行える場の創設（②）

# ① 茨城大学

## 燃料・化学品・鉱物化

【組織名称】	茨城大学カーボンリサイクルエネルギー研究センター
【設立】	2023年4月1日
【代表者】	田中光太郎（茨城大学大学院理工学研究科教授）
【陣容】	10名（所属教員数）
【主な技術】	<ul style="list-style-type: none"> <li>大気中のCO<sub>2</sub>をダイレクトに回収するDAC（Direct Air Capture）</li> <li>CO<sub>2</sub>から高効率・選択的にメタノールを合成</li> <li>航空、船舶、大型輸送機器、熱利用産業におけるカーボンニュートラル燃料の安全かつ効率的な利用技術</li> </ul>
【ステータス】	2024-25年度までに技術開発を進め、2026-27年度に実証施設を整備予定

- 【概要・課題】
- 組織の特徴としては、「回収」、「合成」、「利用」の3分野の研究者が一か所に集まっていること。各分野間の「つなぎ」をシームレスに進める体制ができている（具体的には、CO<sub>2</sub>の純度（不純物の許容度）や、CR製品の燃焼の条件など部門を超えた技術の要求水準をユニット間ですり合わせることで、無駄なプロセスやオーバースペックの製品を省き、コストを下げる事が可能）。
  - 組織運営上の課題としては人材と資金不足。人材は外部から調達する「オープンサイエンスユニット」形式で開発を進めていく方針。



【出典】茨城大学



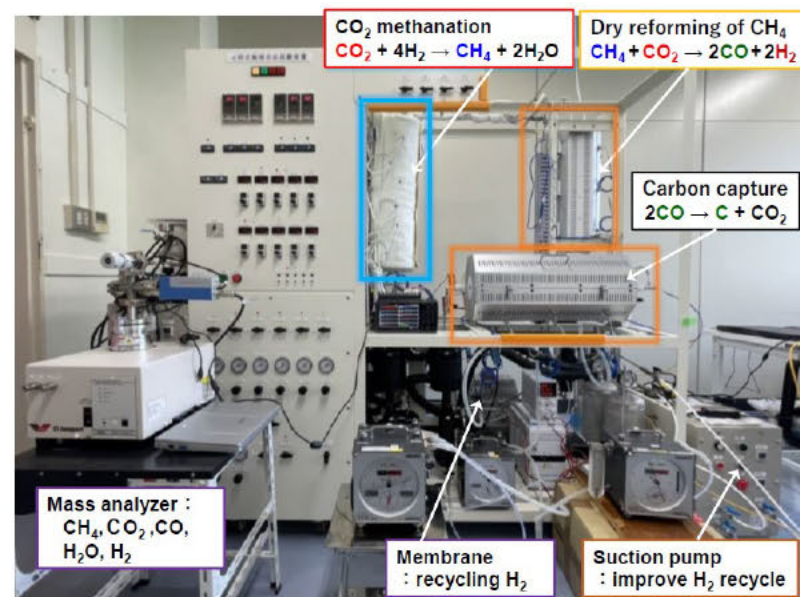
## ② 静岡大学

燃料

【組織名称】	静岡大学カーボンリサイクル技術研究所
【設置期間】	2021年4月1日～2024年3月31日
【代表者】	福原長寿（静岡大学工学部教授、カーボンリサイクル技術研究所所長）
【陣容】	・所長+研究員3名
【主な技術】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・メタネーション反応を利用したCO<sub>2</sub>ガスのメタンへの資源化</li> <li>・メタンのドライ改質反応による合成ガス製造と固体炭素製造</li> <li>・合成ガスからの有用化学物質の製造技術開発</li> <li>・触媒変換時に炭素を固体形で捕集する通常のCCS技術にはない高い利便性をもつカーボン捕集技術の開発</li> </ul>
【ステータス】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・処理量数L/minオーダーのラボ試験を実施。</li> <li>・静岡県内の中小企業と共同研究を実施中。</li> <li>・今後パイロット試験へのスケールアップのため外部資金の活用を検討。</li> </ul>

### 【概要・課題】

- ・開発されたメタネーション技術は、CO<sub>2</sub>の分離回収が必要なく、室温でも反応が制御でき、加温が必要ないという利点あり。
- ・社会実装に向けて中小事業者からの導入を考えているが、資金面、人材面がネックとなっている。
- ・この他、日本国内で、メタネーションの情報の交換の場、CO<sub>2</sub>の有効利用技術をオープンで議論できる場が必要。
- ・地方自治体との関係では、静岡県内の工場の脱炭素化支援も行っている。



完成した産業プロセス排出 CO<sub>2</sub>の資源化と固定化を図る触媒装置

【出典】 静岡大学



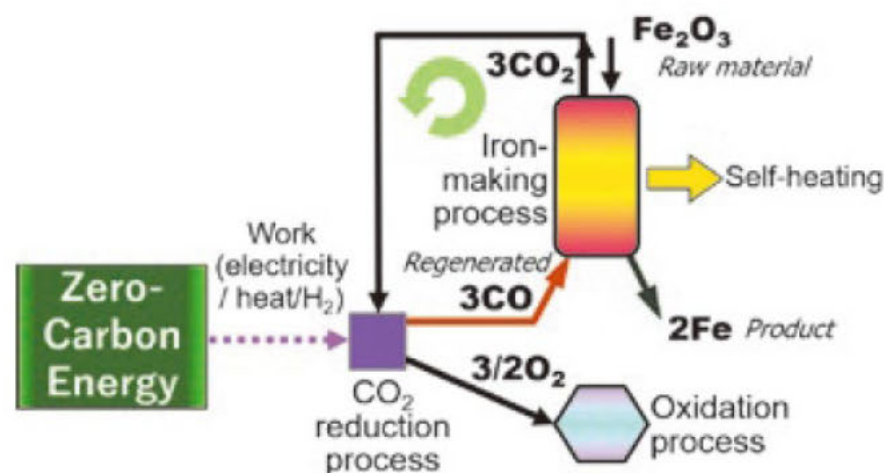
### ③ 東京工業大学

燃料・化学品

【組織名称】	東京工業大学 科学技術創成研究院 ゼロカーボンエネルギー研究所
【設立】	2021年6月
【代表者】	加藤之貴（所長、物質理工学院応用化学系原子核工学コース 教授；環境社会理工学院環境理工学系原子核工学コース 教授）
【陣容】	所属教員数が31名、協力教員数が23名
【主な技術】	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub>の電気分解による資源化（COを利用）</li> <li>• 酸化カルシウムを活用した（高温）化学蓄熱とケミカルヒートポンプ</li> <li>• COを活用した還元製鉄</li> <li>• COを活用したメタノール合成とE-fuelとしての利用</li> </ul>
【ステータス】	• CO <sub>2</sub> の電気分解、COを活用した炭素循環製鉄、COを活用した蓄熱システムなど一連の実証試験設備が2023年に完成予定

- 【概要・課題】
- 2022年4月にGX Initiative（GXI）を開始。ゼロカーボンエネルギー、エネルギー貯蔵・転換、炭素循環の3つの要素からなる。既に40社を超える企業が参加。海外の研究所からも関心を寄せられている。
  - GXIで特に力を入れているのが、炭素循環製鉄システムの社会実装の研究。CCSをしなくてもいい製鉄プロセスを目指しており、2023年に実証用の試験設備が完成予定。
  - 技術開発上の課題として、CO<sub>2</sub>を電気分解するSOECの大型化を進める上で、従来型のセラミックを基盤としたものは熱に耐えきれず割れてしまうので、金属ベースでのセルの大型化を検討している。

炭素循環エネルギーシステム



【出典】東京工業大学

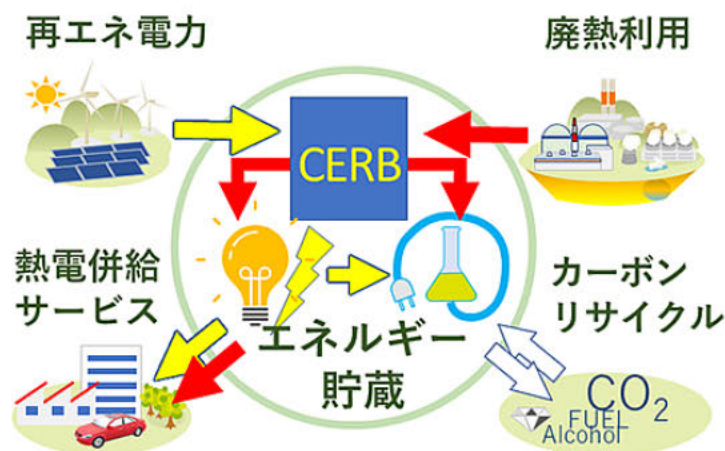
#### ④ 同志社大学

燃料・化学品

【組織名称】	同志社大学カーボンリサイクル教育研究プラットフォーム
【設置期間】	2021年6月1日～2030年3月31日
【代表者】	後藤琢也（理工学部環境システム学科）
【陣容】	全学的な組織であり、法人会員、個人会員も参加。企業からの寄付講座を創設。
【主な技術】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・溶融塩を活用したCO<sub>2</sub>の電気分解による有価物の製造。有価物のうち、固形炭素は、カーボンナノチューブやリチウム電池の電極材にも利用可</li> <li>・ヒートポンプ式の炭素・エネルギーリサイクルバンク（Carbon Energy Recycle Bank: CERB）の開発</li> </ul>
【ステータス】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2023年度：重要な機能の数値のシミュレーションの実験的証明</li> <li>・2024年度：ラボレベルでの実証</li> <li>・2025年度以降：プロトタイプ機開発及び模擬環境での性能評価、デモンストレーション</li> </ul>

- 【概要・課題】
- ・コンセプトはヒートポンプとヒートエンジン、蓄熱設備（カルノーバッテリー）を使って、空気からCO<sub>2</sub>を回収して電気分解することで有価物を作ること。間歇的な再エネを熱に転換して貯蔵し、必要な時に高温熱や電気として取り出してCO<sub>2</sub>の電気分解に利用
  - ・技術的な課題としては電気分解を連続稼働できるようにすること
  - ・連携相手の企業・学生共に人材確保が大きな課題
  - ・経済性面では、政府補助、カーボンプライスもしくは規制的な措置などの支援枠組みが必要
  - ・類似の研究を行う大学間での連携を促すような仕組みがあると望ましい。

#### Carbon Energy Recycle Bankシステム



【出典】同志社大学



## ⑤ 名古屋大学

燃料

【組織名称】 名古屋大学 未来社会創造機構 脱炭素社会創造センター

【設立】 2022年4月

【代表者】 則永行庸（大学院工学研究科 教授）

【陣容】 学内の10部局から50名程度の教員が参加

【主な技術】

- 冷熱を活用したCO<sub>2</sub>の除去（Cryo-DAC）
- メタネーション
- アンモニア合成に関する触媒のプロジェクト
- 太陽光電池、燃料電池の技術開発

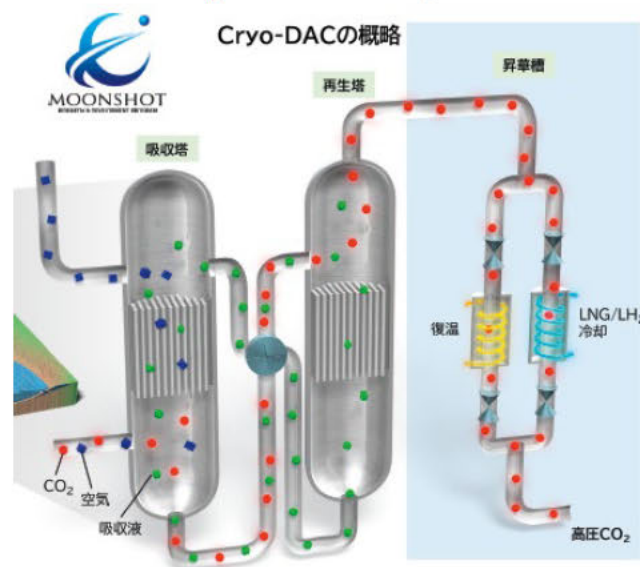
【ステータス】

- 年間1トン程度のDAC試験設備を2023年度中に完成。2024年度中に実稼働させる計画

### 【概要・課題】

- 2022年に名古屋大学全体の組織としてセンターを設立
- 産学連携にも力を入れており、JSTの支援の下、10年間のプロジェクトとして脱炭素社会創造研究会というプラットフォームを立ち上げ、中部圏の企業17社と共に産学連携を推進
- Cryo-DACに関する課題は、LNGの冷熱を利用するため、場所と規模の制約があること。投入エネルギーが大きくなる可能性があるが、投入エネルギーが熱ではなく脱炭素化しやすい電力であるという点が利点。
- 社会実装に向けた課題としては、体制面で大学の運営や教務などの負担なく、技術開発に専念できる体制の整備が必要
- 研究員も不足。

### Cryo-DACシステム



【出典】名古屋大学則永研究室



## **V-3 カーボンリサイクル推進に係る関係法令について**

# 産業間連携を進める上での独占禁止法に関する主な論点

分野	独占禁止法の運用	有識者意見
共同廃棄	<ul style="list-style-type: none"> <li>複数の事業者でGXを進めるための装置の廃棄についてその時期や装置の対象を相談してはいけない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンビナートでは既に電力や蒸気などを融通しており、相談なしには装置の廃棄はできない。</li> </ul>
競争促進効果の内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>競争促進効果とは、新たな技術や商品等が創出され、事業者間の競争が促進されることを指し、効率性の向上とも称される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CNが国家的な目標となっている中、GHG排出削減を競争促進効果・効率性の向上に資するものとして明示的に位置づけるべき。</li> </ul>
共同購入	<ul style="list-style-type: none"> <li>GHG削減につながる原材料を市場シェア80%を超える複数の事業者が調達し、その原材料のコストに占めるシェアが高くなる場合独禁法上の問題となる場合がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>共同購入はあくまで全体のコスト削減の目的で行うもの。</li> <li>調達事業者の国内市場シェアではなく海外シェアを参照すべき</li> <li>原材料の性質上、コストが上がることは確実であり考慮が必要。</li> </ul>
共同生産	<ul style="list-style-type: none"> <li>共同生産の対象製品の販売市場におけるシェアが高く、共同生産に伴いコスト構造の共通部分が大きくなることは独禁法上問題</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>共同生産はスケールメリットを追求するため。シェアは国際シェアを参照すべき。コスト構造も国際競争力の観点から評価すべき。</li> </ul>
データの共有	<ul style="list-style-type: none"> <li>産業間連携を進める際に、重要な競争手段に関する情報（装置の操業情報、顧客に対する販売量等）を共有してはいけない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実際の脱炭素効果を把握する上ではバックデータがないとお互いが適切な経営判断のもとに連携を進めていけない。</li> <li>情報のファイヤウォール設定は不可能ではないが完全にコントロールすることは困難か。</li> </ul>
共同ボイコット	<ul style="list-style-type: none"> <li>事業者が競争者や取引先と共同して特定の事業者に対する共同ボイコットを行い、市場に参入することを難しくしてはいけない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>全体の経済性を悪化させる「ポツンと事業者」を排除できない場合、プロジェクト全体の進捗が滞る可能性がある。適正な費用負担を求めることができる旨の指針が欲しい。</li> </ul>
企業結合	<ul style="list-style-type: none"> <li>市場における競争を実質的に制限する企業結合を禁止する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガイドラインの記載は既存の企業結合の原則をなぞったもので、GXを推進するという今回加味される要素が追加されていない。</li> </ul>
共同研究・技術提携	<ul style="list-style-type: none"> <li>共同研究開発を行う際には一般に合計の市場シェアが20%を下回る場合は独禁法上問題にならない。</li> <li>技術提携に対する判断にあたって当事者間の競争関係、市場シェア、製品の特性、提携の合理的理由の有無などを元に判断</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>判断の基準となるシェアは国際市場のシェアを参照すべき</li> <li>中長期的な我が国企業の国際競争力の強化に資するかどうかという観点も判断材料に含めるべき</li> </ul>
自主基準の設定	<ul style="list-style-type: none"> <li>脱炭素化に資する製品Aの規格を新たに業界で設定する場合、一定のコスト増があっても、製品Aが従前の製品より耐久性や軽量化など明らかな品質の向上があれば独禁法上問題ない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料製品の場合には、CRによって明らかな品質の向上がみられるわけではない。グリーンな製法で製造されたことが品質の向上にあたるという整理がなされるべき。</li> </ul>

## **IV. 別添**

### **IV-1 Carbon Recycling Roadmap (Summary)**



# Carbon Recycling Roadmap (Summary)

The technical aspects published in the "Roadmap for Carbon Recycling Technologies (July 2021 Revision)" have been revised, organizing the significance, efforts, and challenges towards promotion.

## Significance of Carbon Recycling (CR)

- **Carbon recycling is an important carbon management initiative aiming for decarbonization, whereby CO<sub>2</sub> emissions from industrial activities are reduced as much as possible, and the remaining CO<sub>2</sub> emissions are properly managed.** Recycled carbon dioxide can be used to make (a) chemicals and (b) fuels, and can be (c) mineralized to make materials such as concrete.
- By viewing CO<sub>2</sub> as a valuable asset (resource) and converting it into other valuable items, **CO<sub>2</sub> emissions can be markedly reduced when compared to traditional methods across the entire supply chain of products, contributing to the realization of a carbon-neutral society by 2050.**
- **Estimated maximum CO<sub>2</sub> recycling volume by 2050 (equivalent to CR products used domestically): approximately 200 million to 100 million tons (estimated value)\*.** \* Regardless of the origin of CO<sub>2</sub>, location of emissions (domestic or abroad), nationality, or fixed period. For example, the amount of CO<sub>2</sub> used will decrease as energy saving and hydrogen utilization progress.

### (1) Technology Development & Social Implementation

- Concretize the development of technology, etc. to be implemented by 2030.
- Promote technological development and demonstration aiming for early establishment of technology, cost reduction, and dissemination (e.g., commercialization of synthetic fuels in the early 2030s).
- Anticipating commercialization, LCA, etc., are crucial.

#### [Challenges and Actions]

- Support measures towards commercialization, considering the costs of hydrogen and separation/recovery technology.
- Social acceptance of the environmental value and cost of carbon recycling products.

### (3) Evaluation of Environmental Value & International Deployment

- Organize the purpose, significance, cooperative countries, and challenges of CR's international deployment.
  - Optimal allocation of CO<sub>2</sub> and energy supply chains, creation of markets in the same field (e.g., oil and gas producing countries).
  - Varied resource diplomacy, strengthening relations with a view to a carbon-neutral society (e.g., countries exploring diverse transitions such as AZEC).

#### [Challenges and Actions]

- Consideration of collaboration with like-minded countries and foreign companies for a system to properly evaluate CO<sub>2</sub> emission reduction effects (LCA, standardization, etc.).
- Building a system that can properly allocate the environmental value of cross-border carbon recycling's CO<sub>2</sub> through specific projects.
- Information dissemination through GX Week (International Conference on Carbon Recycling).

### (2) Inter-industry Collaboration

- Inter-industry collaboration between CO<sub>2</sub> emitters and users is diverse and can be generally divided into three categories: (a) large-scale industrial agglomeration, (b) small and medium-scale decentralized, (c) on-site.
- CO<sub>2</sub> management operators who handle matching between users and suppliers and are responsible for CO<sub>2</sub> traceability play an important role for stable and efficient collaboration.

#### [Challenges and Actions]

- Consideration of support for first movers by the public and private sectors towards creating model cases and organization of related laws and regulations.
- Review of CO<sub>2</sub> transport and collaboration (especially for small and medium-scale decentralized).
- Consideration towards the establishment of a system, including the role and bearers of management operators.

### (4) Creation of Bearers & Establishment of Ecosystem

- The number of research institutions studying CR is increasing. On the other hand, startups in this field in Japan are mainly at the pre-seed and seed stages.
- Organizing existing efforts to nurture these budding technologies towards the popularization of CR (demonstration bases, private and regional initiatives).

#### [Challenges and Actions]

- Integrated support measures from industry, academia, and government towards the cultivation of bearers and the establishment of an ecosystem.

## Promotion of CR Adoption

## **IV. 別添**

### **IV-2 Carbon Recycling Roadmap**





# **Carbon Recycling Roadmap**

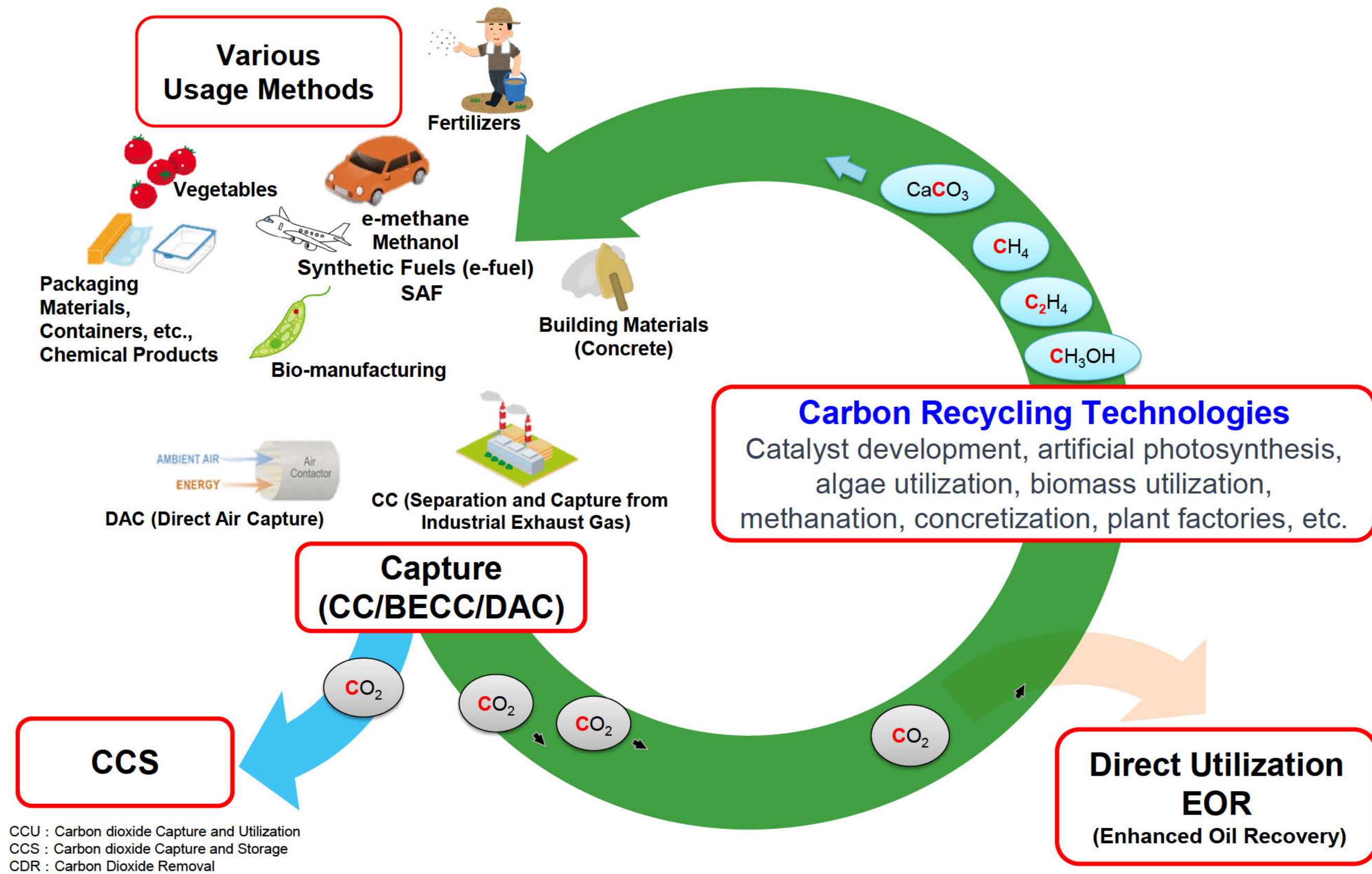
**June 23, 2023**

**Ministry of Economy, Trade and Industry**

**Collaborating Ministries: Cabinet Office, Ministry of  
Education, Culture, Sports, Science and Technology,  
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism,  
Ministry of the Environment.**



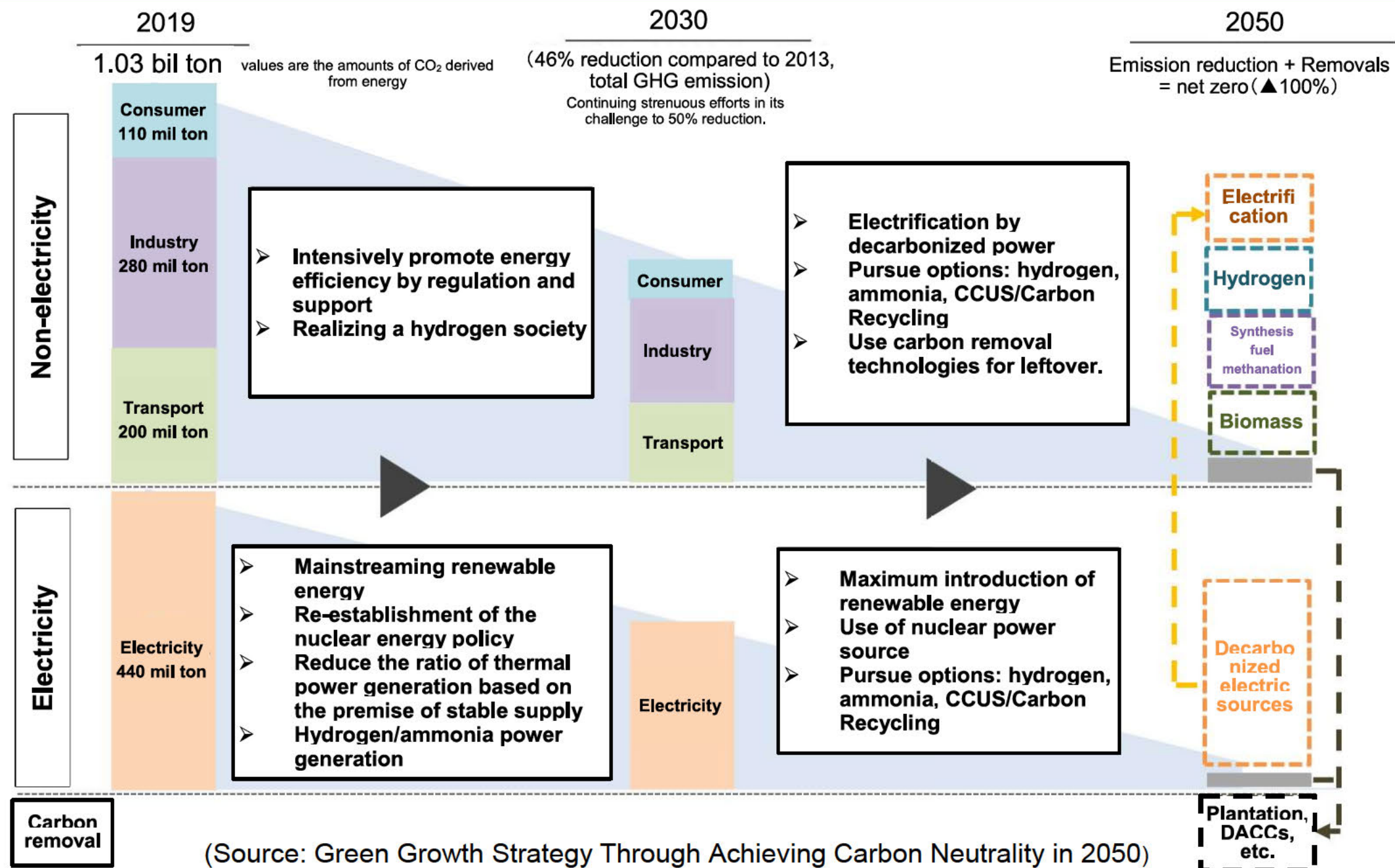
# Concept of Carbon Management (CCU - Carbon Recycling/CCS/CDR)



# **I . The Significance of Carbon Recycling**

# The Role of Carbon Recycling towards Carbon Neutrality

- To achieve the goal of carbon neutrality by 2050, it is necessary to maximize the use of carbon recycling and CCS as carbon management strategies, particularly in sectors such as power plants, the materials industry, and the oil refining industry, where decarbonization cannot be achieved through electrification, hydrogenation, etc., and CO<sub>2</sub> emissions are unavoidable.
- Carbon recycling, which treats CO<sub>2</sub> as a valuable resources and reuses it, is an important option that serves as a 'key' to reconciling Japan's decarbonization drive with its industrial and energy policies, alongside renewable energy, nuclear power, hydrogen, and ammonia.

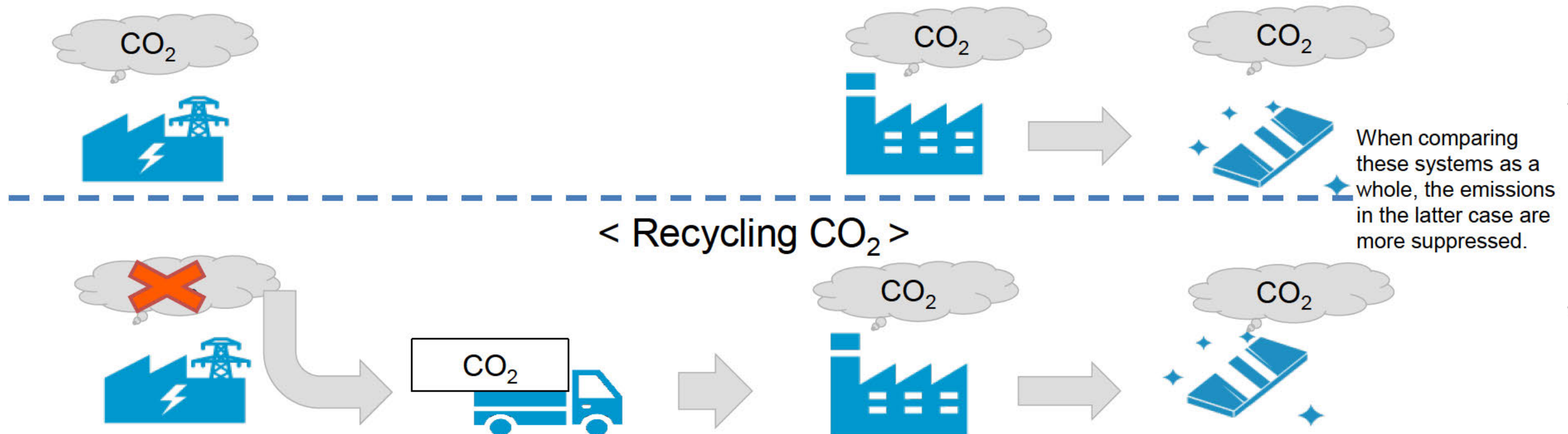




# The Significance of Carbon Recycling

- Carbon recycling is one of the important initiatives for decarbonization, which aims to manage residual CO<sub>2</sub> emissions appropriately after minimizing CO<sub>2</sub> emissions from industrial activities as much as possible.
- By treating CO<sub>2</sub> as a valuable resource and converting it into another valuable product, **it is possible to control CO<sub>2</sub> emissions across the entire supply chain** of products, compared to traditional methods, **thereby contributing to the realization of a carbon-neutral society by 2050.**

< If fossil fuels are used as usual: Base Case >



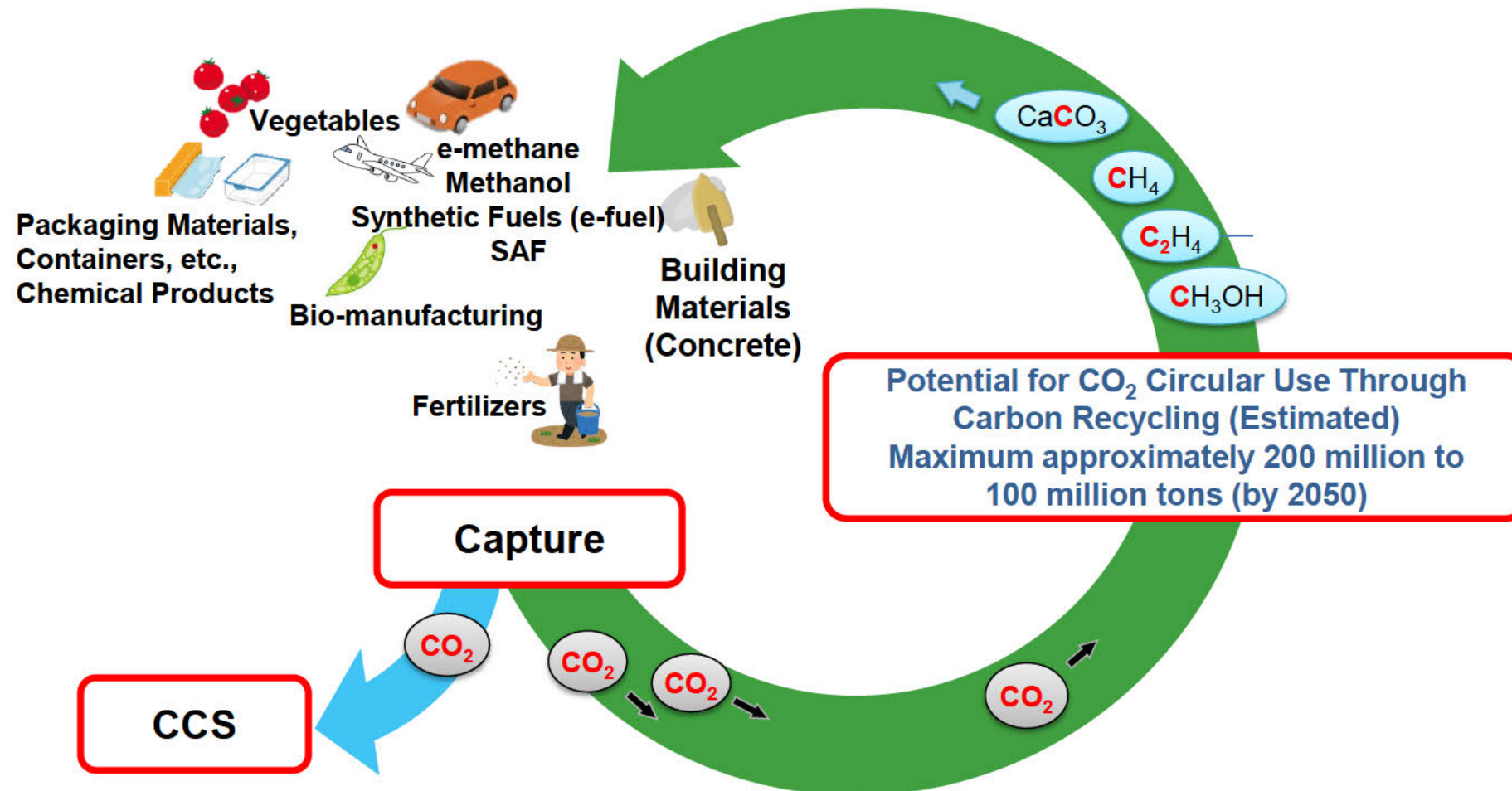
< Directly capturing CO<sub>2</sub> from the atmosphere using DAC and bio-mass technologies and reusing it (Ideal state for 2050) >





# Potential for CO<sub>2</sub> Circular Use Through Carbon Recycling

- The theoretical maximum potential for CO<sub>2</sub> use in manufacturing carbon-recycled products used in Japan is estimated.\*
  - Assumes a maximum scenario of cyclical use of CO<sub>2</sub> based on Japan's topographical and energy policy constraints.
  - Estimated values do not depend on the origin of CO<sub>2</sub>, the point of generation (domestic or overseas), or the length of the fixation period.
- The maximum amount of CO<sub>2</sub> recycled (equivalent to carbon-recycled products used domestically) **as of 2050** is **approximately 200-100 million tons**.



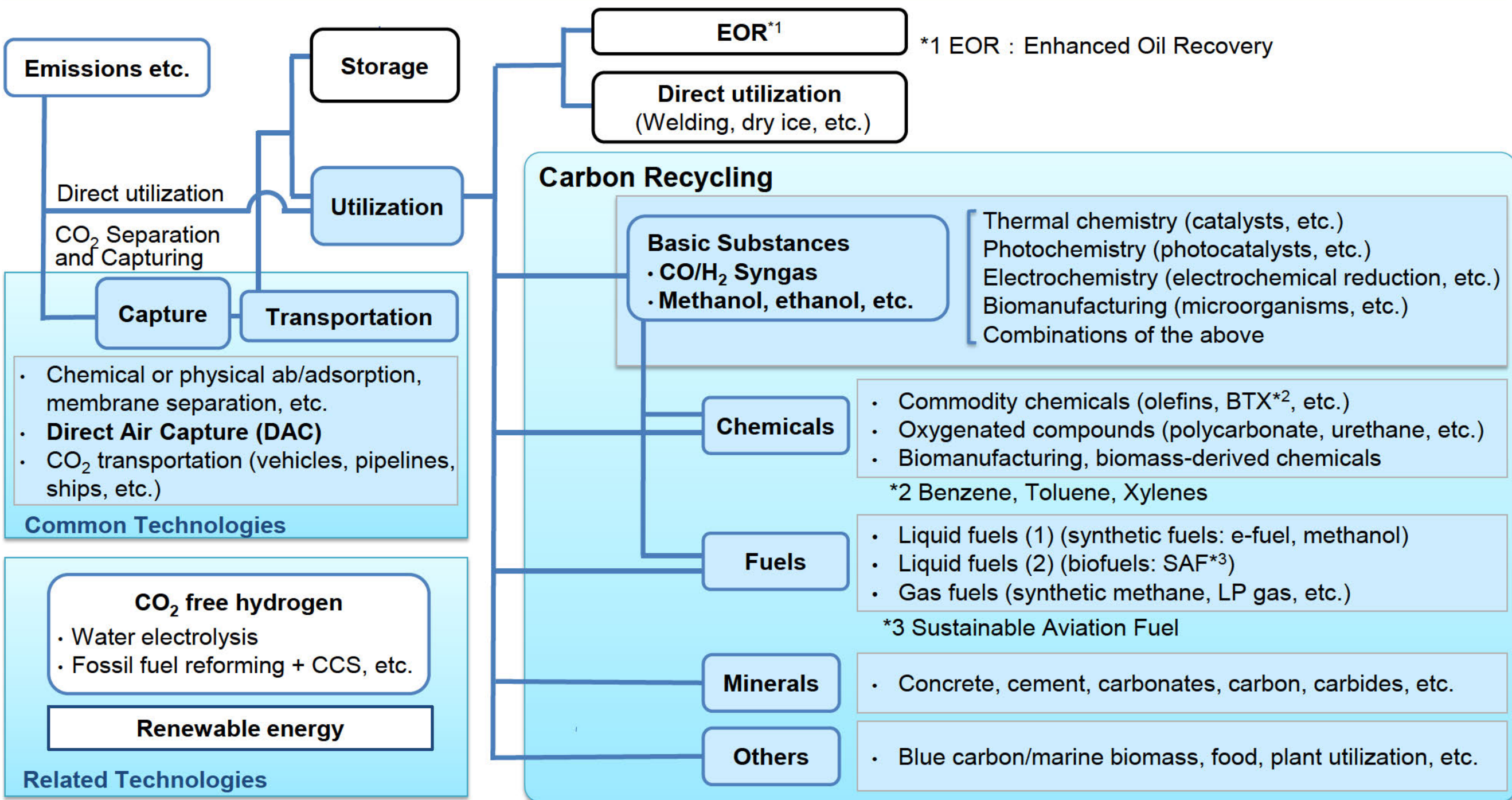
\* Estimates are based on demand forecasts published by reliable international organizations such as IEA World Energy Outlook. In cases where related industries have announced individual target figures, those values are referred. Estimates are limited to items that can be calculated based on such available references. The figures may change in the future due to technological advances and changes in the demand outlook. For example, if energy conservation and hydrogen use progress in the future, the maximum potential for carbon recycling is expected to decrease.

## **II. Technology**



# What is Carbon Recycling Technology?

- Carbon Recycling:** We consider CO<sub>2</sub> as a source of carbon and recycle this valuable material. It will be recycled into concrete through mineralization, into chemicals through artificial photosynthesis, and into fuels through methanation. CO<sub>2</sub> emission is reduced by developing and deploying these technologies, which contributes to the realization of carbon-neutral society.



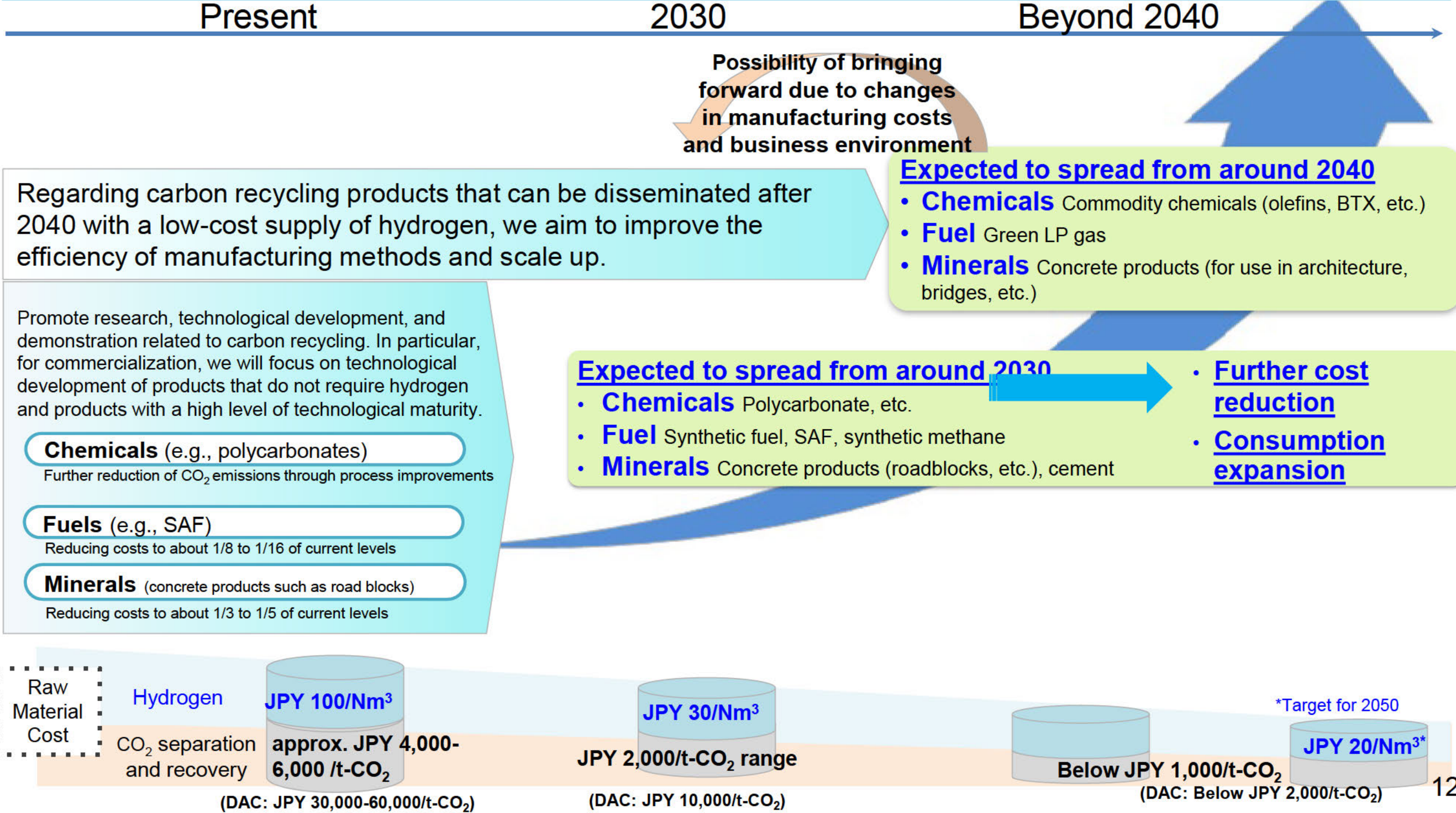


# Expanding the Blueprint of Carbon Recycling

• While taking into account the procurement environment for hydrogen and the maturity of the technologies, the aim is to establish technologies as early as possible in each product field, reduce costs, and promote widespread use. This will be achieved through technological advancement, development and demonstration.

\*It is crucial to bear in mind the CO<sub>2</sub> reduction effect (environmental value), including perspectives from Life Cycle Assessment (LCA) and other similar frameworks, especially when considering market introduction and overseas expansion.

LCA : Life Cycle Assessment



# Important points for Carbon Recycling Technologies

- In order to effectively advance R&D in Carbon Recycling technologies to address climate change and the security of natural resources, the following points need to be considered:
  - Inexpensive CO<sub>2</sub> free Hydrogen is important for many technologies.
    - ✓ Under the hydrogen and fuel cells strategy roadmap in 'Basic Hydrogen Strategy,' the target cost for on-site delivery in 2050 is JPY 20/Nm<sup>3</sup>.
    - ✓ While the problem of hydrogen supply remains, (a) R&D for biomass and other technologies not dependent on hydrogen should continue, (b) CH<sub>4</sub> (methane) should be used in place of hydrogen until the establishment of hydrogen supply.
  - Using zero-emission power supply is important for Carbon Recycling.
    - ✓ Conversion of a stable substance, CO<sub>2</sub>, into other useful substances will require a large amount of energy.
  - Life Cycle Analysis (LCA) perspective is critical to evaluate Carbon Recycling technologies. These analysis methods should also be standardized.
  - Reducing the costs of CO<sub>2</sub> capturing technologies including DAC is necessary and will have a positive feedback on carbon recycling.



# Reference: Summary of Carbon Recycling Technology and Products

\*1 Current prices of carbon recycling products are based on research by secretariat.  
\*2 Prices of existing products are reference values based on statistical data and research results.  
\*3 Target value set in the ‘CO<sub>2</sub>-Based Fuel Manufacturing Technology Development’ project’s research and development & societal implementation directions (8th Industrial Structure Council GI Project Subcommittee Energy Structure Transformation Area WG, December 23, 2021).  
\*4 Target value in the ‘Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050’ (June 2021).

	Substance after CO <sub>2</sub> Conversion	Current Status	Challenges	Price of the Existing Equivalent product (as of Jan. 2023)	In 2030	From 2040 Onwards
Basic Substance	SynGas/ Methanol, etc.	Partially commercialized. Innovative process (light, electricity, utilization) is at R&D stage.	Improvement of conversion efficiency and reaction rate, improvement in durability of catalyst, etc.	—	Reduction in process costs	Further reduction in process cost
Chemicals	Commodity Chemicals (Olefins,BTX,etc.)	Partially commercialized (e.g., Syngas, etc. produced from coal). Others are at R&D stage.	Improvement in conversion rate/ selectivity, etc.	Approx. JPY 180/kg*2 (ethylene (domestic sale price))	Reduction in process costs	Further reduction in process cost
	Oxygenated Compounds	Partially commercialized (e.g., polycarbonates). Others are at R&D stage. [Price example] Price of the existing equivalent products (Polycarbonate)	Reduce the amount of CO <sub>2</sub> emissions for Polycarbonate. Commercialization of the other compounds (Improvement of conversion rate/selectivity, etc.)	Approx. JPY 400/kg*2 (polycarbonate (domestic sale price))	Costs: similar to those of existing products	Further reduction in process cost
	Biomanufacturing, Biomass-derived Chemicals	Technical development stage (Substance production using CO <sub>2</sub> and non-edible biomass etc. as raw materials)	Cost reduction/effective pretreatment technique, microbial modification technology, etc.	—	About 1.2 times the costs of existing products	Further reduction in cost
Fuels	Liquid fuel (Biofuel (SAF))	Technical development /Demonstration stage [Price example] SAF JPY 1,600/L*1	Improvement of productivity, cost reduction, effective pretreatment technique, etc.	Approx. JPY 100/L*2 level (bio jet fuels (domestic sale price))	Reduction in process costs	Further reduction in cost
	Liquid fuel (Synthetic fuel (e-fuel))	Technical development stage (Synthetic fuel (e-fuel)) [Price Example] Synthetic fuel approx. JPY 300-700/L*1	Improvement in current processes, system optimization, etc.	Approx. JPY 170/L*2 (gasoline (domestic sale price))	—	Costs: similar to those of existing products (about JPY 100-150/L)*3
	Gas fuel (Synthetic methane, LP gas, etc.)	Technical development/ Demonstration stage	System optimization, scale-up, efficiency improvement, etc.	JPY 105/Nm <sup>3</sup> *2 (Natural gas (import price))	Reduction in process costs	Costs: similar to those of existing products (JPY 40-50/Nm <sup>3</sup> )*4
Minerals	Concrete, Cement, Carbonates, Carbon, Carbides	Partially commercialized. R&D for various technologies and techniques for cost reduction are underway. [Price Example] order of JPY 100/kg (Road curb block)	Separation of CO <sub>2</sub> -reactive and CO <sub>2</sub> -unreactive components, pulverization, cost reduction, etc.	JPY 30/kg*2 (precast concrete for road curb blocks (domestic sale price))	Road curb blocks, etc., with high technological maturity costs: similar to those of existing products	For products with expanded applications costs: similar to those of existing products
Common Technology	CO <sub>2</sub> Separation and Capture (including DAC)	Partially commercialized (chemical absorption). Other techniques are at R&D stage [Price Example] Approx. JPY 4,000-6,000 /t-CO <sub>2</sub> (Chemical absorption)	Reduction in the required energy, etc.	—	Approximately JPY 1,000-2,000/t-CO <sub>2</sub> (Refer to the slide on common technology (CO <sub>2</sub> separation and capture technology))	≤ JPY 1000/t-CO <sub>2</sub> ≤ JPY 2000/t-CO <sub>2</sub> (DAC)
Basic Substance	Hydrogen	Technologies have been roughly established (e.g., water electrolysis). R&D for other techniques and cost reduction are also underway.	Cost reduction, etc.	—	JPY 30/Nm <sup>3</sup> *4	JPY 20/Nm <sup>3</sup> *4 (cost for on-site delivery)

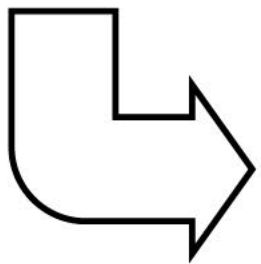
# **Ⅲ. Accelerating Industrialization**

## **(1) Inter-Industry Collaboration**



# Concepts and Directions for Promoting Inter-Industry Collaboration

- For the social implementation of carbon recycling, it is essential to build a supply chain of CO<sub>2</sub>, which involves aligning CO<sub>2</sub> emitters with users, in other words, promoting inter-industry collaboration. However, this is virtually nonexistent at present, excluding direct-use sectors.
- Additionally, considering the uncertainties accompanying long-term projections, it is necessary to maximize the utilization of existing infrastructures while also considering future social designs, such as the spread of hydrogen and ammonia, the implementation of CCS and DAC.
- Inter-industry collaboration involves processes of CO<sub>2</sub> capture, transportation, and utilization, each of which involves different industry operators. The way of collaboration can vary widely and considering business environments, a staged approach to building a CO<sub>2</sub> supply chain could potentially expand business opportunities. In this process, monitoring legislative trends is crucial.
- While the cost of carbon recycling is generally higher than existing technologies, significant cost reductions can be expected in the future by increasing the scale of CO<sub>2</sub> circulation through inter-industry collaborations. Furthermore, it can potentially lead to maximizing CO<sub>2</sub> reduction effects and revitalizing regions through nurturing new industries.



- Promote phased considerations for diverse inter-industry collaborations, considering future social designs, and make progress visible.
- Also, examine the role, challenges, and potential carriers of “CO<sub>2</sub> Management Operators (tentative name),” who will be responsible for reducing CO<sub>2</sub> emissions in the entire region and matching the suppliers and users of captured CO<sub>2</sub>.
- Public-private efforts for awareness-raising, support for first movers.



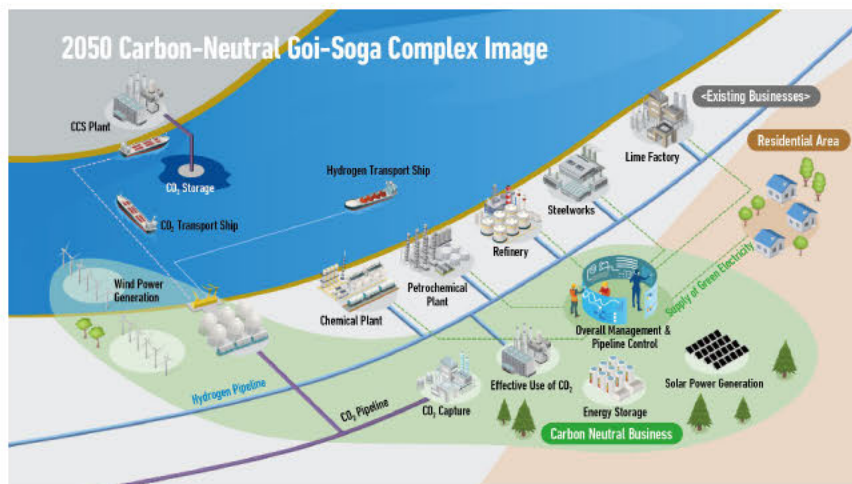
# Types of Industrial Collaboration in Carbon Recycling

- In industrial agglomerations such as complexes, existing infrastructure is well established, and the efficient hydrogen supply necessary for carbon recycling is possible. On the other hand, CO<sub>2</sub> is emitted throughout Japan, and there are technologies that do not require hydrogen, such as cement and concrete.
- The way of industrial collaboration is diverse, but based on the supply amount of CO<sub>2</sub>, the accumulation degree of users, and the status of existing infrastructure, industrial collaboration can be classified as in the following three types:

## Large-scale Industrial Agglomeration Type

- Existence of CO<sub>2</sub> emitters and users
- Multiple CR applications are expected.
- Efficient infrastructure development leveraging scale merits is possible.

(Example of Goi-Soga (Chiba) Complex)



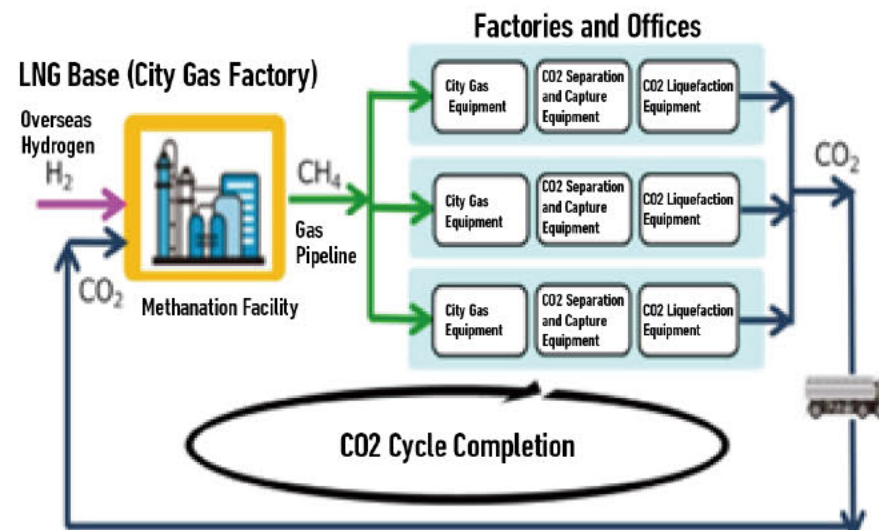
(Source) NEDO Project "Investigation of Industrial Collaboration in Goi Area, Chiba Prefecture (Yokogawa Electric Corporation)"

CR : Carbon Recycling

## Small and Medium Scale Distributed Type

- Need to aggregate CO<sub>2</sub> due to absence of large-scale CO<sub>2</sub> emission sources
- CR applications differ depending on hydrogen procurement status. (In inland areas, concrete, cement, food, agriculture, bio, etc.)

(Example of consideration in Chubu Region)

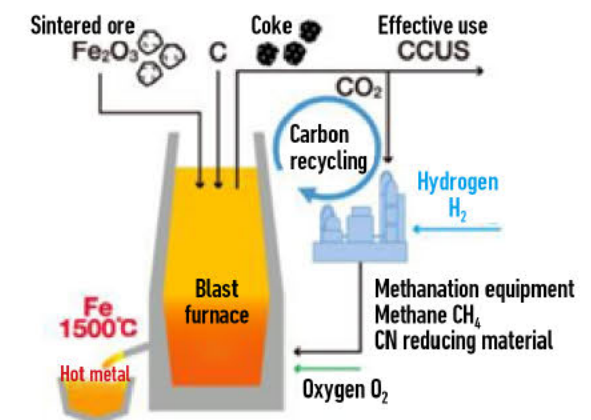


(Source) 9th Methanation Promotion Public-Private Council (Aisin Corporation, Denso Corporation, Toho Gas Co., Ltd.)

## On-site Type

- Assuming CR technologies such as methanation
- It can be realized early from the demonstration stage, playing a significant role in the initial stage of CR introduction and the demonstration phase.
- A consideration of the total energy balance, such as effective use of waste heat and steam, is necessary.

(Example of Carbon Recycling Blast Furnace)



(Source) 7th Methanation Promotion Public-Private Council (JFE Steel Corporation)



# Management in CO<sub>2</sub> Circulation

- Implementing Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS), energy conservation, and energy transition individually has limitations. By promoting cross-industry collaboration involving more companies, not only can it lead to CO<sub>2</sub> emission reduction across the region, but it also contributes to stable and efficient supply and demand of CO<sub>2</sub>.
- To achieve this, it is effective to establish a business entity (CO<sub>2</sub> Management Company) responsible not only for matching suppliers and users but also for balancing supply and demand, and for managing to maximize CO<sub>2</sub> reduction. This entity is also expected to ensure the traceability of CO<sub>2</sub>.

## ■ Roles Expected of CO<sub>2</sub> Management Companies (proposed)

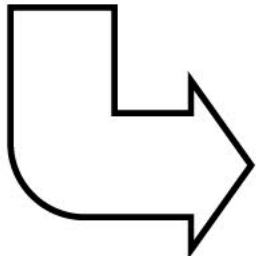
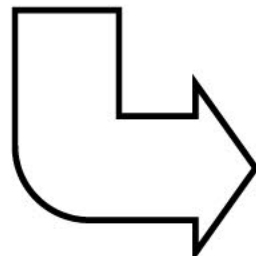
Stakeholders	Suppliers	Users	Transport
Goods	Optimal transport network		
	Environmental conservation, safety, compliance with laws and regulations		
	Supply and utilization assurance (balance of supply and demand, quality (concentration, impurities))		
Services Systems	Provision of demand forecasting	Provision of supply forecasting	
	Business planning (environmental value, step-by-step approach to collaboration, etc.)		
	Construction of a digital platform to visualize the value chain (including traceability)		
	Project composition & expansion (matching of suppliers and users)		
	Management of information related to the business activities of participating businesses (encryption)		

# **III. Acceleration of Industrialization**

## **(2) Initiatives for International Collaboration**

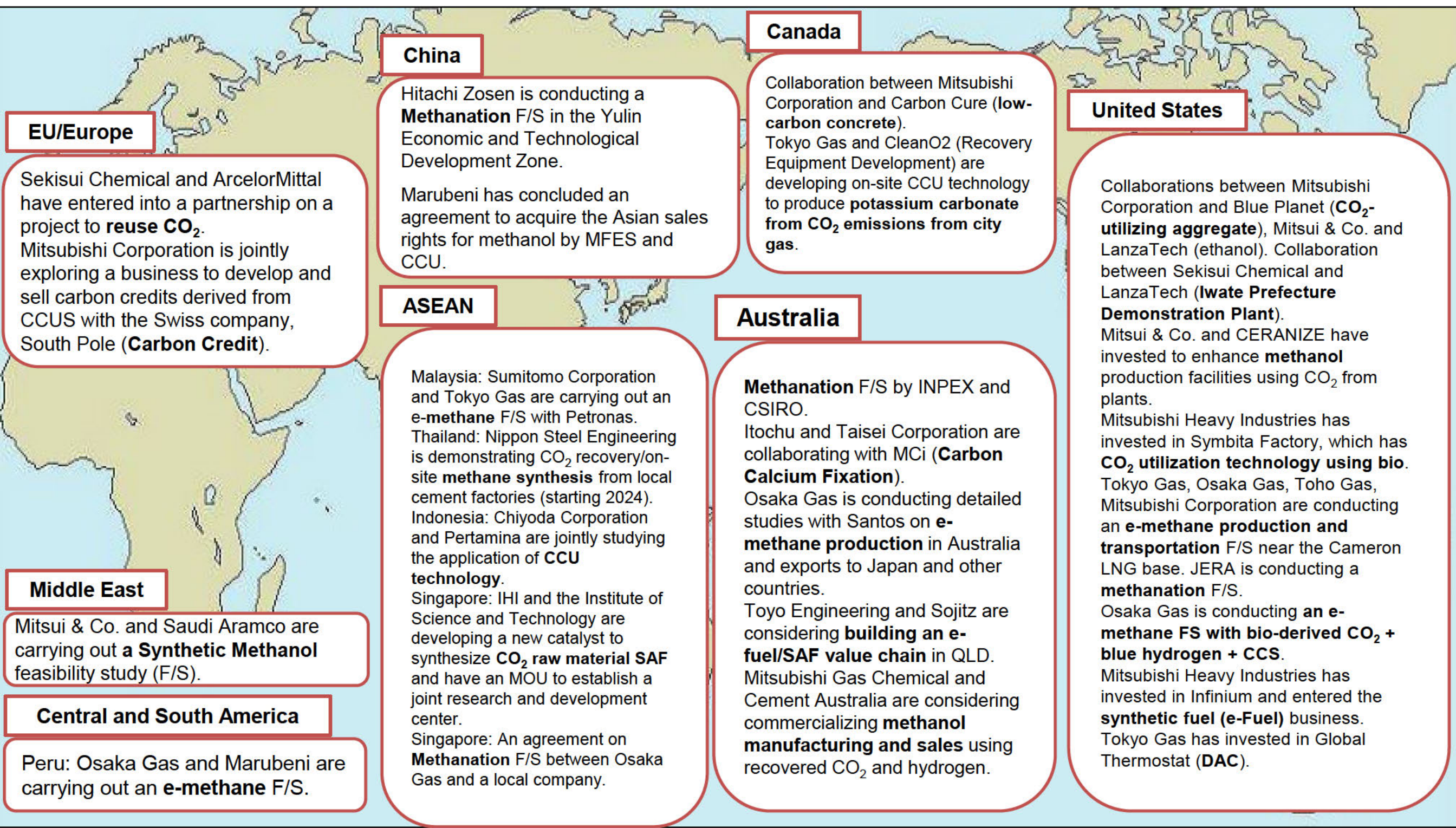


# Significance and Direction of International Collaboration for Carbon Recycling

- Pursuit of optimal allocation of CO<sub>2</sub>, other raw materials, and energy, and creation of a carbon recycling market.
  - Diversification of resource diplomacy, considering the decarbonization of fossil fuels. Strengthening relationships with a view to carbon neutrality.
- 
- Further exploration of projects is sought in countries where Japanese companies have already entered in this field. If there are requests for policy support etc. from companies, appropriate responses are necessary through existing budget schemes and bilateral dialogues.
  - Close collaboration is needed with oil and gas producing countries, etc., considering the perspective of ensuring stable energy supply, including carbon recycling in the international arena.
  - With countries such as the Asia Zero Emission Community (AZEC) that are exploring various paths to carbon neutrality, cooperation will be strengthened while confirming that carbon recycling is one of the promising solutions.
- 
- Establishing the environmental value created by carbon recycling and maintaining alignment in the international arena.
  - We are aiming to establish a system where businesses and research and development institutions can appropriately measure and evaluate the environmental value of carbon recycling through Life Cycle Assessment (LCA) methods. We are also aiming to create a mechanism that allows stakeholders to explain and advocate their environmental value by mutually acknowledging the environmental value and its attribution.



# International Expansion of Carbon Recycling by Japanese Companies



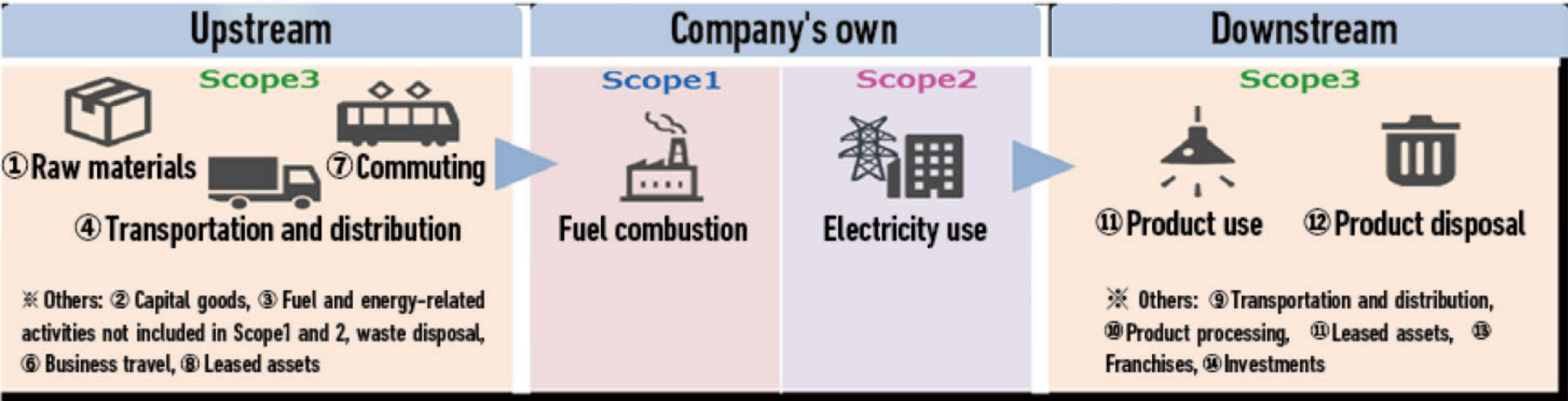


# Challenges to the Environmental Value of Carbon Recycling:

## (a) Information Disclosure by Private Businesses

- The GHG Protocol requires businesses to report all CO<sub>2</sub> emitted during their operations. Among them, the rule for the disclosure of CO<sub>2</sub> emissions through the supply chain (Scope 3) demands double or triple counting, which is not a system to evaluate carbon recycling (emission control) from a whole system perspective.
- Therefore, it is necessary to create a system that can evaluate emission suppression by carbon recycling.

Concept of accounting in GHG Protocol Scope 1, 2, and 3



	Scope1	Scope2	Scope3	Total
Recovery company	CO <sub>2</sub> emitted during recovery	CO <sub>2</sub> from electricity used in-house	CO <sub>2</sub> emitted during manufacturing and use	CO <sub>2</sub> emitted during in-house electricity use, recovery, manufacturing, and use
Manufacturing company	CO <sub>2</sub> emitted during manufacturing		CO <sub>2</sub> emitted during recovery and use	
User company	CO <sub>2</sub> emitted during use		CO <sub>2</sub> emitted during recovery and manufacturing	



# Challenges to the Environmental Value of Carbon Recycling:

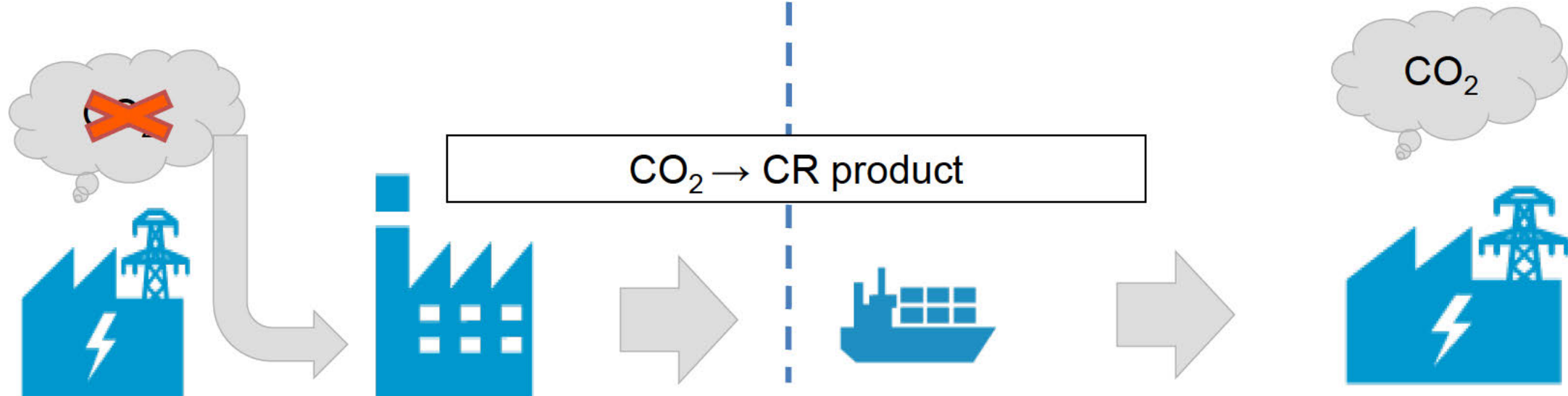
## (b) Handling Cases Crossing Borders

- Carbon recycling using CO<sub>2</sub> derived from industries as a raw material is considered capable of apportioning emissions in the life cycle in accordance with the principle of eliminating double counting.
- However, in the IPCC guidelines, etc., **the handling of CO<sub>2</sub> from carbon recycling that crosses borders is not clarified**, leaving uncertainty when claiming the achievement of NDCs.
- While implementing specific projects, it is important to organize and adjust the handling in Japan's inventory, NDCs, etc.

Clarification is needed on which country's NDC is claimed to contribute to.

< Foreign Countries >

< Japan >



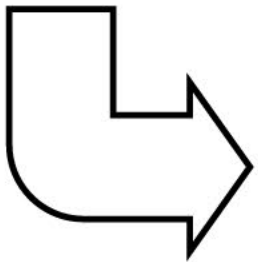
# **III. Accelerating Industrialization**

## **(3) Creating Carriers and Efforts Towards an Ecosystem**



# Establishment of a Startup Ecosystem in the Field of Carbon Recycling

- Carbon recycling requires energy and cost in the CO<sub>2</sub> sequestration and recovery process and the product manufacturing process derived from CO<sub>2</sub>, and various technological developments have already been promoted for the realization of high efficiency and cost reduction.
- Carbon recycling is an innovation with a different value standard from the conventional, which captures CO<sub>2</sub> as a resource, and further flexible thinking and speedy technological development are needed for social implementation and industrialization.
- The role played by startups as the carriers of this is very significant. In fact, even in the West, technological development and demonstrations by startups have become active, and some have already been put into practical use.



- In Japan, it is important to establish an ecosystem that nurtures carriers of carbon recycling, centered on speedy startups, and to promote the following initiatives shown in the government's "Five-Year Plan for Nurturing Startups" (November 2022) as a whole, involving companies and overseas players.
  - (a) Building human resources and networks for creating startups
  - (b) Strengthening funding for startups and diversifying exit strategies
  - (c) Promotion of open innovation

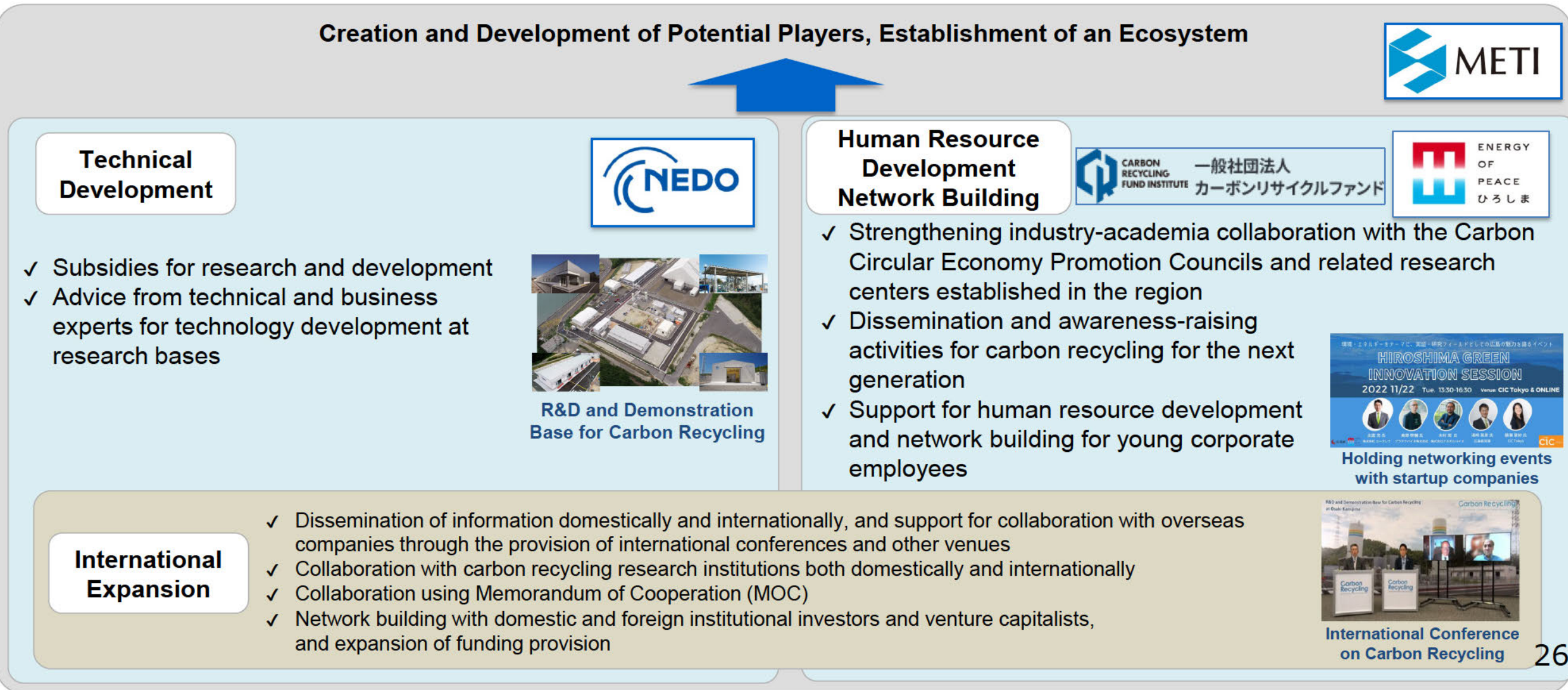
**[Reference] Excerpted from the "Basic Policy for Realizing GX" (February of Reiwa 5)**

Taking into account the goals set out in the "Five-Year Plan for Nurturing Startups," we will drastically strengthen the support for research and development and social implementation of startups in GX-related fields.





# Efforts towards the Establishment of an Ecosystem


- Startups in the field of carbon recycling in Japan are mainly in the pre-seed and seed stages, requiring substantial support for their development. Initiatives such as the development of “R&D and demonstration base for carbon recycling” in Osaki-Kamijima Island in Hiroshima Prefecture are underway. This involves collaboration between academia, industry, and government to promote technical development, human resource development & network building, and international expansion, thereby nurturing potential players and establishing an ecosystem.
- Additionally, there are initiatives to set up carbon recycling centers and research centers at universities in various regions across Japan. These initiatives should be connected and further developed to create an environment conducive to the establishment of an ecosystem.





# 【Reference】 Domestic and International Startups in Carbon Recycling


Country	Company / Organization Name	Product / Substance	Development Stage
	<b>O.C.O Technology</b> (Start-up)	Lightweight aggregate	Commercialization
	<b>Clime works</b> (Start-up)	DAC (using amine-based solid absorbents, etc.)	Commercialization *High Cost


Country	Company / Organization Name	Product / Substance	Development Stage
	<b>Algal Bio</b> (Start-up)	Bioplastics, etc.	Fundamental
	<b>Hiroshima University</b>	Cosmetics, etc.	Fundamental
	<b>Gifu University</b>	Urea	Fundamental
	<b>Tohoku University</b>	Silicon carbide	Fundamental
	<b>Kanazawa University, RITE</b>	DAC	Fundamental


Some universities have initiated efforts to create new carbon recycling organizations, signaling potential new actors in the field.

(From public information)

- ✓ Ibaraki University: Carbon Recycling Energy Research Center
- ✓ Kyushu University: International Institute for Carbon-Neutral Energy Research
- ✓ Kyoto University: Material Process Innovation Project based on Carbon Recycling
- ✓ Shizuoka University: Institute for Carbon Recycle Technology
- ✓ Tokyo Institute of Technology: Mitsubishi Electric Energy & Carbon Management Collaborative Research Base
- ✓ Doshisha University: Doshisha University Education and Research Platform for Carbon Recycling
- ✓ Hiroshima University: Carbon Recycling Implementation Project Research Center etc.

Country	Company / Organization Name	Product / Substance	Development Stage
	<b>Carbon Cure</b> (Start-up)	Cement raw material	Commercialization

Country	Company / Organization Name	Product / Substance	Development Stage
	<b>Lanza Tech</b> (Start-up)	Ethanol	Demonstration
	<b>Opus12</b> (Start-up)	Methane, Ethane, Ethanol	Demonstration
	<b>Newlight Technologies</b> (Start-up)	Polymers (using biocatalysts)	Commercialization
	<b>Solidia Technology</b> (Start-up)	CO <sub>2</sub> absorbing concrete	Commercialization
	<b>Blue Planet</b> (Start-up)	Lightweight aggregate	Commercialization

Country	Company / Organization Name	Product / Substance	Development Stage
	<b>HIF</b> (Start-up)	Synthetic fuels (e-fuel)	Demonstration

## **IV. Future Challenges and Actions**



# Challenges and actions for policies to accelerate the popularization of Carbon Recycling

## 1. Technology development and introduction to society

- Effective support measures for commercializing developed technologies, considering the development status of hydrogen cost and CO<sub>2</sub> sequestration and recovery technologies.
- Fostering social momentum where the cost of carbon recycling products is accepted, considering their significance and environmental value, for maintaining industrial competitiveness.

## 2. Inter-industry collaboration

- Identifying issues, including regulations related to advancing inter-industry collaboration and support measures for first movers by the public and private sectors, to create model cases and expand them horizontally. (Inter-industry collaboration takes time to reach agreement among stakeholders, and the timing of plant equipment updates should also be considered.)
- Digging deeper into collaboration patterns and possibilities, especially for small to medium-sized distributed types, considering that emission sources exist nationwide. (Large-scale industrial agglomerated types and on-site types already have concrete initiatives, but there are few cases for small to medium-sized distributed types.)
- As a cross-sectional issue for each type, investigations will be conducted to further organize roles of CO<sub>2</sub> management operators who handle overall management including optimal transportation methods, matching of users and suppliers, balance of supply and demand, ensuring traceability, etc., and ideal systems for stakeholder involvement and inter-industry collaboration, considering the diverse quality of CO<sub>2</sub>.

## 3. Environmental value assessment and international deployment

- Consideration of how best to collaborate with like-minded countries and overseas companies using various forums to establish a mechanism (standardization, etc.) that can properly evaluate CO<sub>2</sub> emission reductions through carbon recycling.
- As the handling of CO<sub>2</sub> in cross-border carbon recycling is not clarified in the IPCC guidelines, etc., we aim to establish a system that can properly distribute environmental values through specific projects.
- Communicating Japan's technology and thoughts on evaluating environmental value through GX Week (International Conference on Carbon Recycling), etc.

## 4. Creation of Stakeholders and Establishment of Ecosystem

- Startups in the field of carbon recycling are mainly at the pre-seed and seed stages, and substantial support from industry, academia, and government is needed for their growth and commercialization. Effective implementation methods for various supports, such as technology development, human resource development, international expansion, and introduction of regulations, are necessary.

# Reference Material

# Treatment of Carbon Recycling in G7 Summit Communique

The “**G7 Hiroshima Summit Communique**” was established as a document of achievements on the occasion of the G7 Summit held in Hiroshima, Japan from May 19 to 21, 2023. Carbon recycling is described as follows:

## Paragraph 25

"(Excerpt)... We **acknowledge** that **Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS)/ carbon recycling technologies can be an important part of a broad portfolio of decarbonization solutions** to reduce emissions from industrial sources that cannot be avoided otherwise and that the deployment of carbon dioxide removal (CDR) processes with robust social and environmental safeguard, have an essential role to play in counterbalancing residual emissions from sectors that are unlikely to achieve full decarbonization."



# Treatment of Carbon Recycling in the G7 Climate Energy Environment Ministerial Meeting Communique

The **“G7 Climate, Energy and Environment Ministers’ Meeting Communique”** was established as a document of achievements on the occasion of the G7 Climate, Energy and Environment Ministers’ Meeting held in Sapporo, Japan from April 15 to 16, 2023. Carbon recycling is described as follows:

## Paragraph 68 Carbon Management (Excerpt from CR related parts)

"(Excerpt)... We will co-operate to promote development of export/import mechanisms for CO<sub>2</sub>. We recognize the need to develop systems or incentives that enhance utilization of CO<sub>2</sub> and the value of CO<sub>2</sub> through utilization. Considering the evolving nature of these technologies, **we recognize that CCU/carbon recycling and CCS can be an important part of a broad portfolio of decarbonization solutions to achieve net-zero emissions by 2050**, and Carbon dioxide Capture, Utilization(CC<sub>U</sub>)/carbon recycling technologies, including recycled carbon fuels and gas (RCFs) such as e-fuels and e-methane, also can reduce emissions with existing infrastructure from industrial sources that cannot be avoided otherwise by displacing fossil-derived commodities and by using CO<sub>2</sub>...

(Excerpt)... We will accelerate international cooperation to promote harmonization of MRV of CDR and **exchanges including through collaborative workshops among industry, academia, and government on CCU/carbon recycling technologies, such as RCFs**"

# Bilateral Cooperation on Carbon Recycling (a)

## ◆ United States

In May 2022, the Memorandum of Cooperation (MOC) on CCUS/Carbon Recycling was elevated from director level to ministerial level. Based on this MOC, a Working Group (WG) was established to share policy and technological information, as well as private sector initiatives between both countries.



## ◆ Australia

In September 2019, signed an MOC on Carbon Recycling at the International Conference on Carbon Recycling. Based on this MOC, the Japan-Australia workshop was held to share policy information.



## ◆ Canada

In June 2019, signed an MOC in the field of energy, positioning carbon recycling as one of the areas of cooperation. A WG was held based on this MOC.



# Bilateral Cooperation on Carbon Recycling (b)

## ◆ UAE

In January 2021, signed an MOC during a TV conference between the Minister of Economy, Trade and Industry and the CEO of The Abu Dhabi National Oil Company (ADNOC), who is also the Minister of Industry and Advanced Technology. Based on this MOC, future plans include exchanging information on carbon recycling.



## ◆ Indonesia

In January 2022, signed an MOC on the realization of energy transition during the Minister's visit, positioning carbon recycling as one of the areas of cooperation. Future plans include exchanging information on carbon recycling based on this MOC.



## ◆ Saudi Arabia

In December 2022, signed an MOC on circular carbon economy, including carbon recycling, during the Minister's visit. Future plans include exchanging information on carbon recycling based on this MOC.



## ◆ Singapore

In January 2022, signed an MOC on low-emission technologies during the Minister's visit, positioning carbon recycling as one of the areas of cooperation. Future plans include exchanging information on carbon recycling based on this MOC.



## ◆ Thailand

In January 2022, signed an MOC on the realization of energy partnership during the Minister's visit, positioning carbon recycling as one of the areas of cooperation. Future plans include exchanging information on carbon recycling based on this MOC.





# International Conference on Carbon Recycling

- Through the conference, countries confirm their efforts towards technological development and demonstration for the future introduction of carbon recycling to society and **strengthen their cooperation with each other.**
- Specifically, we are further deepening our cooperation with each country, disseminating information about the progress of the Green Innovation Fund projects and R&D and demonstration base for carbon recycling at Osaki-Kamijima Island in Hiroshima Prefecture, and affirming **Japan's leadership in technological development and demonstration towards effective decarbonization worldwide.**

## 1. Conference Outline (Most Recent was the 4th Conference)

- Date: September 26, 2022 (online from 1:00 PM to 4:45 PM (JST))
- Number of Participants: **Around 1,200 (23 countries and regions)**
- Program: Ministerial speeches, expert panel discussions
  - Investment and start-ups
  - R&D, human resource development, problem identification
  - R&D and demonstration base

## 2. Major Participants

- Mr. MINAMI**, Deputy Commissioner for International Policy on Carbon Neutrality
- H. E. Arifin TASRIF**, Minister of Energy and Mineral Resources, Republic of Indonesia
- Mr. Brad CRABTREE**, Assistant Secretary for Fossil Energy and Carbon Management, Department of Energy (DOE), USA
- Mr. Frank DES ROSIERS**, Assistant Deputy Minister for Natural Resources Canada
- Dr. Zeid Mohammed AL-GHAREEB**, Head of Circular carbon economy program, Ministry of Energy, Kingdom of Saudi Arabia
- Dr. Timur Gül**, Head of Energy Technology Policy Division, International Energy Agency
- Dr. NISHIMURA Hidetoshi**, Secretary General, Economic Research Institute for ASEAN and East Asia
- Mr. YUZAKI Hidehiko**, Governor of Hiroshima Prefecture, Japan
- Mr. FUKUDA Nobuo**, Chairperson, Carbon Recycling Fund Institute, Japan

Other carbon recycling stakeholders from industry, government and academia in various countries





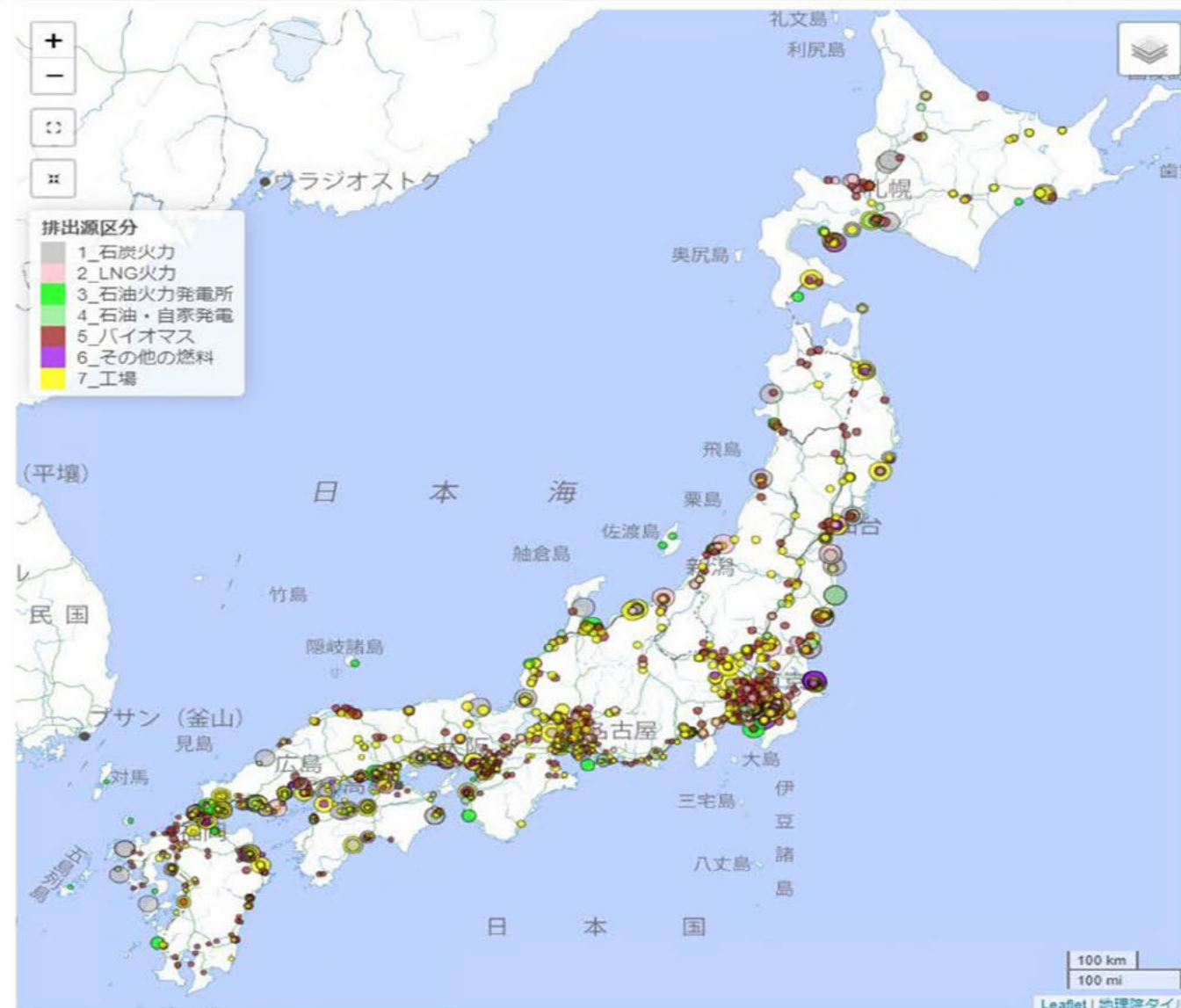
# CO<sub>2</sub> Emission Locations and Characteristics of Each Site

- Large-scale CO<sub>2</sub> emission points such as industrial complexes are concentrated in coastal areas, but emission sources exist in other regions as well.
- Considering the transportation costs of CO<sub>2</sub>, the manufacturing bases for each product, and the existence of CR products that do not require hydrogen, the possibilities of utilizing CR technology are not limited to large-scale emission points such as industrial complexes, but also include small-scale emission sources in inland areas, etc.

- Map of Direct Emission Sources of More Than 10,000 Tons (Provided by RITE)

## Classification of Emission Sources

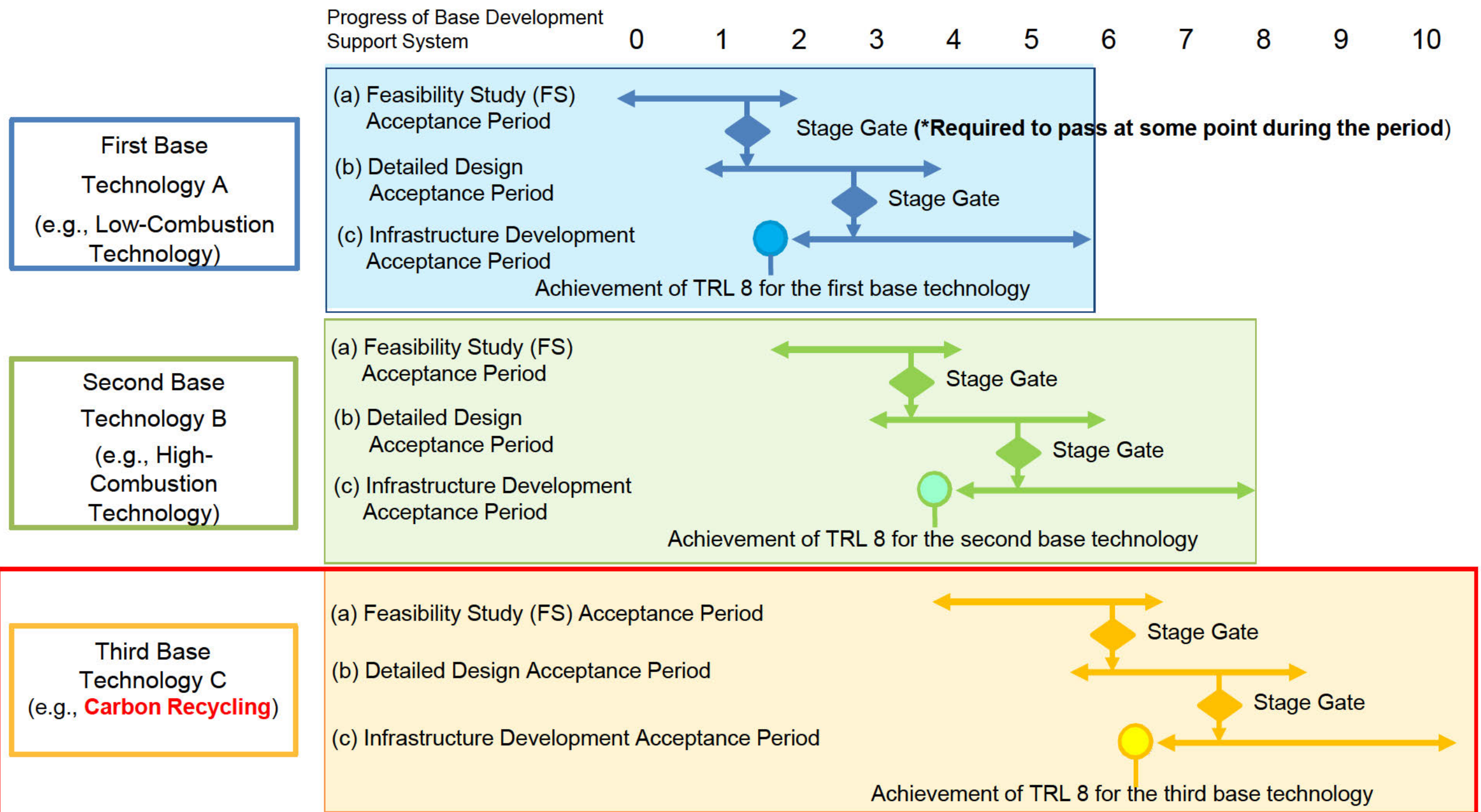
- 1\_Coal-fired power generation
- 2\_LNG power generation
- 3\_Oil-fired power stations
- 4\_Oil / On-site power generation
- 5\_Biomass
- 6\_Other fuels
- 7\_Factory





# Collaboration with Base Development in Hydrogen and Ammonia

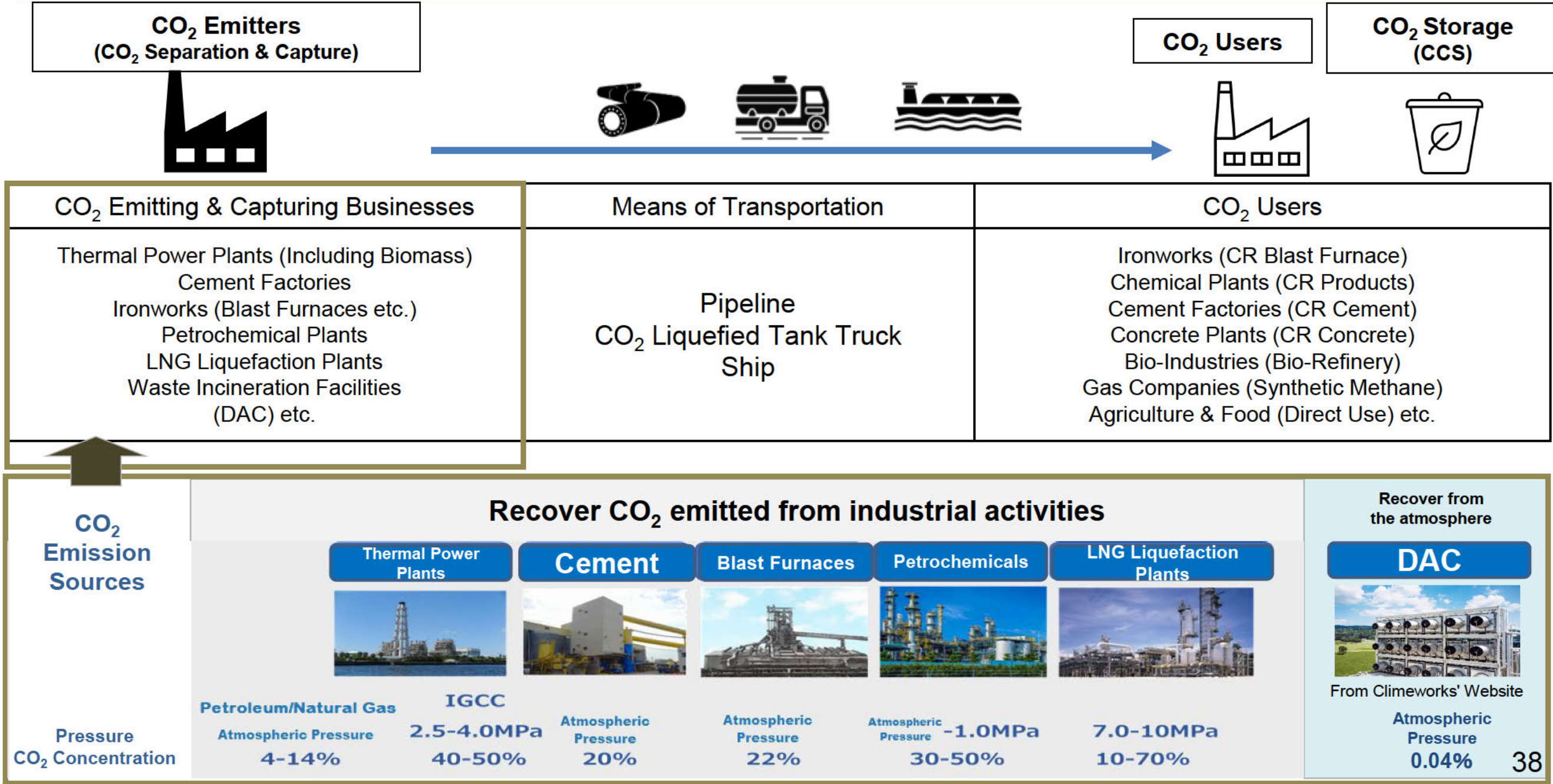
Petrochemical complexes and other large CO<sub>2</sub> emitting regions are important not only for carbon recycling, but also for the development of hydrogen and ammonia bases, and will **be linked to the construction of hydrogen and ammonia supply chains.**





# About the CO<sub>2</sub> Supply Chain

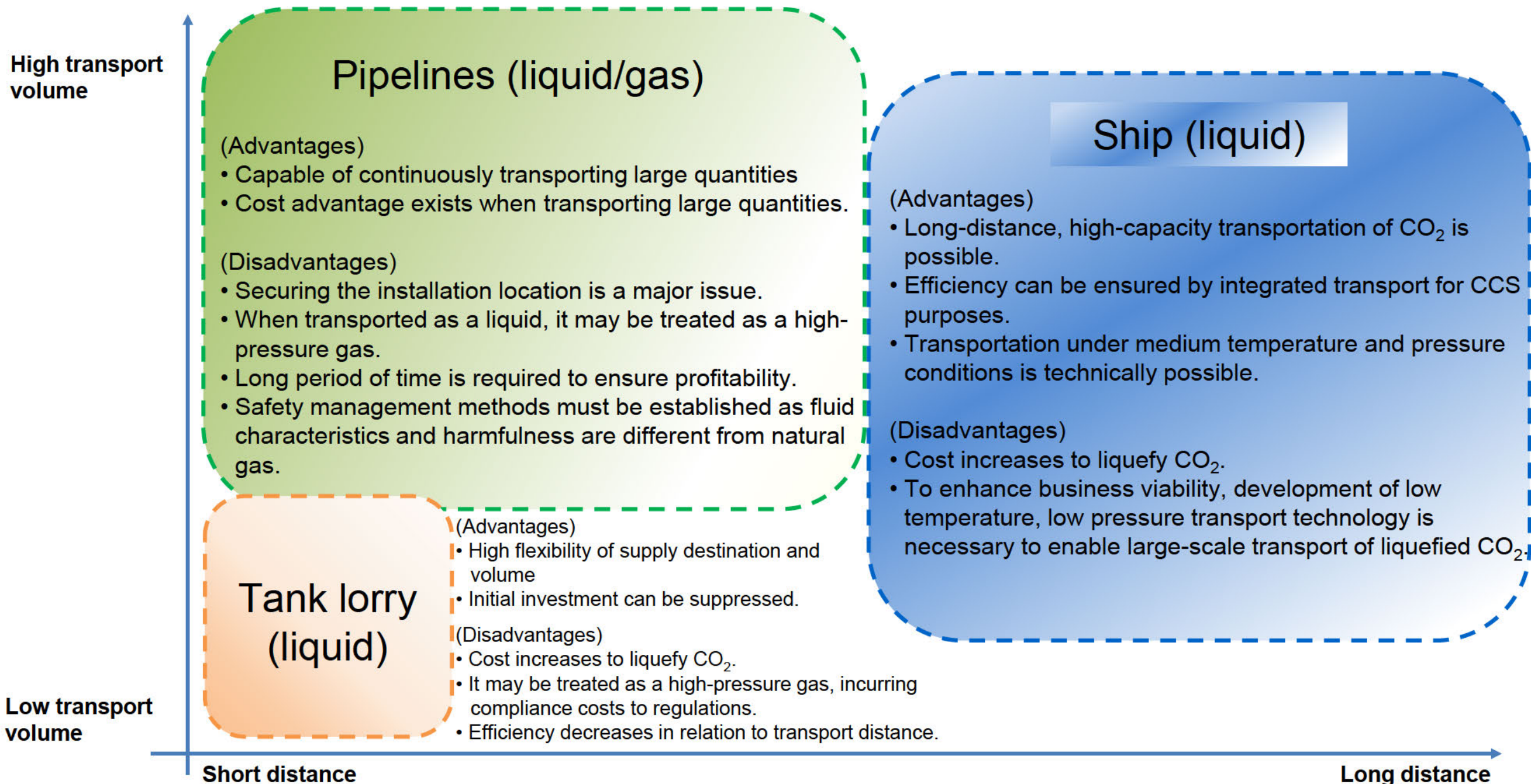
- Inter-industry collaboration is concentrated on the processes of CO<sub>2</sub> separation and capture, transportation, and utilization. There are various business types among the CO<sub>2</sub> emitters and users, and multiple means of transportation exist, including existing logistics.
- The nature of inter-industry collaboration varies, from where to capture CO<sub>2</sub>, which means of transportation is appropriate, to the various uses of CO<sub>2</sub>. In this regard, the required quality of CO<sub>2</sub> varies by user, differing from the current direct use.





# Necessity of Optimal CO<sub>2</sub> Transportation Method Selection

In industrial collaboration for CR, CO<sub>2</sub> transportation methods such as pipelines, tank lorries, and ships exist, but the optimal tool must be selected according to the manner of collaboration (distance and transport volume).

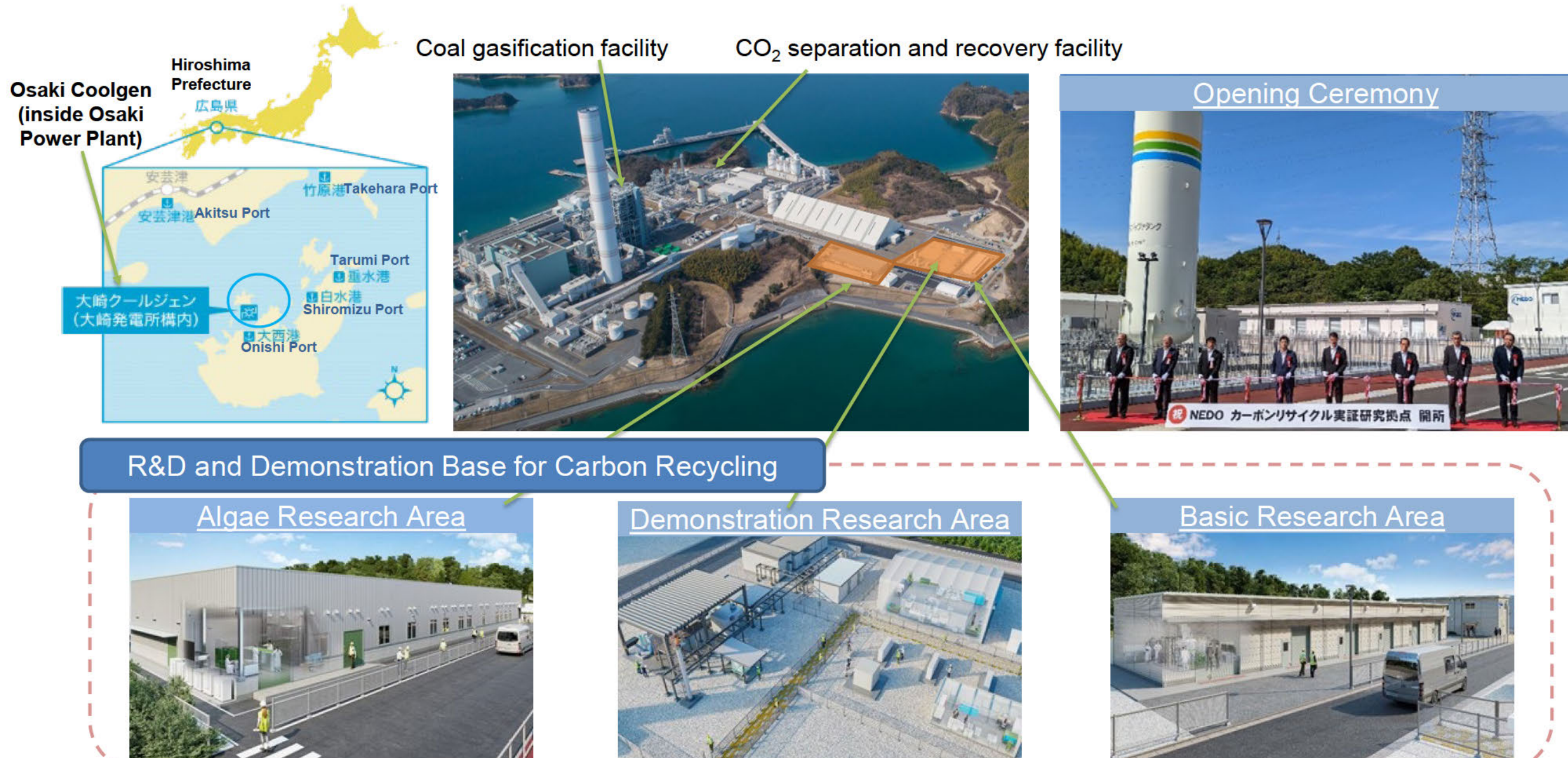


\*Concepts shown by the Agency for Natural Resources and Energy based on "Sorting out future discussion points for the commercialization of CCS (January 2022)" p7; G. A. Fimbres Weihs, K. Kumara, and D. E. Wiley (2014), "Understanding the Economic Feasibility of Ship Transport of CO<sub>2</sub> within the CCS Chain", Energy Procedia, 63. 2630-37.



# “R&D and Demonstration Base for Carbon Recycling” at Osaki-Kamijima Island in Hiroshima Prefecture

At Osaki-Kamijima Island in Hiroshima Prefecture, by providing research support to concentrate on the technological development and demonstration of carbon recycling using CO<sub>2</sub> captured in the Osaki Coolgen Project, the acceleration of technological development towards practical use is achieved.





## **IV. 別添**

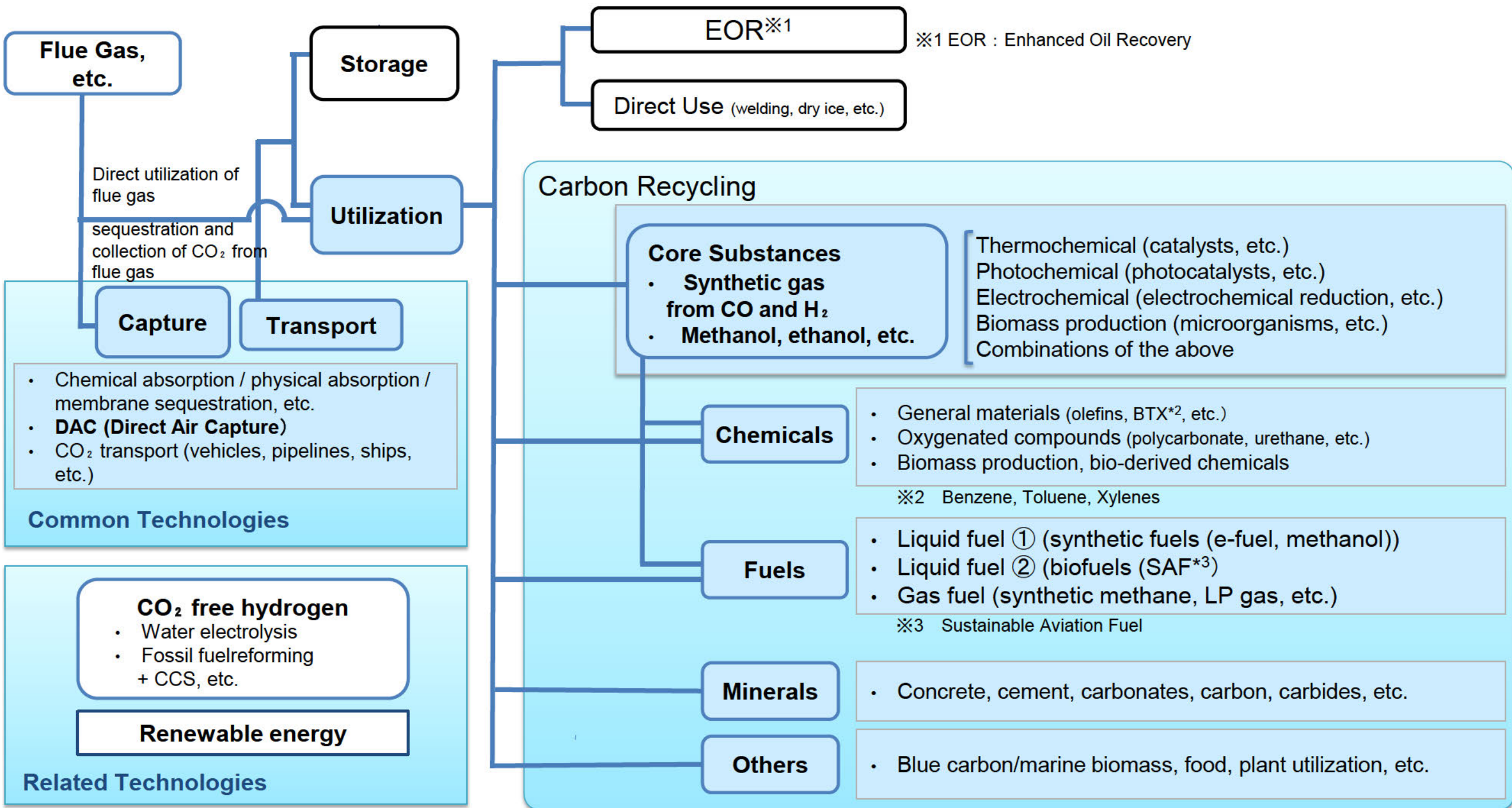
### **VI-3 【Supplement 1】 Technology Roadmap**



# **【Supplement 1】 Technology Roadmap**

# What is Carbon Recycling Technology?

- Carbon recycling technology involves viewing CO<sub>2</sub> as a valuable material (resource), sequestering and collecting it, and reusing it for things like concrete through mineralization, chemicals through artificial photosynthesis and fuels through methanation. By doing so, it controls the emission of CO<sub>2</sub> into the atmosphere compared to the traditional method of using fossil fuels, contributing to the realization of a carbon-neutral society.





# Common Technology (CO<sub>2</sub> Sequestration and Recovery Technology)

## Current Issues

### <Technical Issues>

#### (Development for Cost Reduction)

- Reducing equipment and operational costs and the energy required
- Development of new materials (absorbents, adsorbents, sequestration membranes) (improving selectivity, capacity, durability)
- Lowering the production cost of raw materials
- Optimization of the process (heat, substances, power, etc.)
- Selection of the sequestration and recovery method depending on the source of CO<sub>2</sub> emissions and its usage

[Current recovery cost]

Coal-fired power generation exhaust gas (low-pressure gas) + Chemical absorption method cost

For example: approximately ¥6,000 per t-CO<sub>2</sub> (in the case of additional installation to existing coal-fired power plants), required energy: about 2.5GJ per t-CO<sub>2</sub>

#### (Establishment of a standard evaluation method for technologies)

- Making explicit the methods of energy consumption and cost evaluation, and establishing an evaluation base

### <Other Issues>

- Building a CO<sub>2</sub> sequestration and recovery system that fits carbon recycling that links the source of CO<sub>2</sub> generation with demand and supply (co-production)
- Cooperation with technologies that actively utilize recovered CO<sub>2</sub> as chemicals, fuels, minerals, etc.
- CO<sub>2</sub> supply and demand adjustment and operation functions
- Development of transportation and storage technologies, safety evaluation of supercritical CO<sub>2</sub>
- Reduction of transportation costs (mass transportation, liquefaction technology)

## Efforts Toward 2030

### <Specific Efforts>

#### (Technological development and demonstration testing for cost reduction)

- Development of CO<sub>2</sub> sequestration and recovery technology due to differences in pressure and concentration (Material development, process optimization/efficiency improvement, cost reduction) (For low-pressure gas)
- Solid absorption, chemical absorption, physical adsorption, membrane sequestration, electric field method, etc. (application examples: combustion exhaust gas, blast furnace gas) (For high-pressure gas)
- Physical absorption method (application example: IGCC pre-combustion recovery)
- Membrane sequestration method (application example: IGCC pre-combustion recovery, natural gas purification)

### <Other Efforts>

- CO<sub>2</sub> transportation/storage technology development/demonstration
- Consideration of CO<sub>2</sub> sequestration/recovery and transportation system consistent with CCS business environment
- Considering a business model suitable for sequestration/recovery technology and application based on CO<sub>2</sub> emission sources, support for rule formation
- Grasping related standardization trends centered on ISO TC265 (Carbon Dioxide Capture, Transport, and Storage)
- Collection of information on forming emission reduction count rules

### <Green Innovation (GI) Fund>

#### Development of CO<sub>2</sub> sequestration and recovery technology

- ① Development and demonstration of large-scale CO<sub>2</sub> sequestration and recovery technology from natural gas power generation exhaust gas
- ② Development and demonstration of small and medium-sized CO<sub>2</sub> sequestration and recovery technology from factory exhaust gas, etc.
- ③ Establishment of a common platform for standard evaluation of CO<sub>2</sub> sequestration materials - Establishing a technology for separating and recovering CO<sub>2</sub> from low-pressure and low-concentration gases with a CO<sub>2</sub> concentration of less than 10%, enhancing Japan's international competitiveness in the carbon recycling market in addition to expanding the CO<sub>2</sub> sequestration and recovery equipment and material business.

## Goals for 2030

### <Technology Objectives>

#### (Development aimed at cost reduction)

(For low-pressure gas)

<Combustion exhaust gas, blast furnace gas, etc., concentration of several % ~, approximately atmospheric pressure>

-Around 2,000 JPY/t-CO<sub>2</sub> [GI Fund]

-Required energy: 1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>

-Chemical absorption method, solid absorption method, physical adsorption method, membrane sequestration method, etc.

(For high-pressure gas)

<Chemical processes, fuel gases, etc., concentration of several tens %, several MPa>

-Around 1,000 JPY/t-CO<sub>2</sub>

-Required energy: 0.5GJ/t-CO<sub>2</sub>

-Physical absorption method, membrane sequestration method, etc.

#### (Construction of CO<sub>2</sub> sequestration and recovery system)

- Construction of a system for CO<sub>2</sub> sequestration and recovery that is energy-saving and low-cost, suitable for CO<sub>2</sub> emission sources and applications
- Achievement of 10,000 hours of continuous operation (demonstration of durability and reliability)

### <Other Efforts>

- Building of a social system considering the combination of CO<sub>2</sub> sequestration and recovery technology suitable for CO<sub>2</sub> emission sources and applications, and appropriate CO<sub>2</sub> purity
- Establishment of energy-saving, low-cost means of CO<sub>2</sub> transportation and storage
- -Liquefaction (cooling, compression), storage (containers, tanks), transportation (vehicles, pipelines, ships, etc.)

#### <Establishment of standard evaluation technology for sequestration materials>

- Achievement of accelerated material development through the establishment of evaluation protocols [GI Fund]

## Efforts & Targets from 2030 to 2050

### <Technology Objectives>

- Technological innovation aiming at 1,000 JPY/t-CO<sub>2</sub>
- Improvement of durability and reliability, and miniaturization of CO<sub>2</sub> sequestration and recovery systems
- Optimization of CO<sub>2</sub> sequestration and recovery systems according to the operation of CO<sub>2</sub> emission sources and application sites

### <Challenges for Widespread Adoption>

- Full-scale dissemination of CO<sub>2</sub> sequestration, recovery and transportation systems



# Common Technology (DAC: Direct Air Capture)

## Current Challenges

### <Technical Issues>

#### (Building DAC System)

- Development of contact technology (Air contactor) between absorbent/adsorbent/membrane and air
- Development of decentralized (miniaturized) systems
- Development of large-scale (high efficiency) models

#### [Current Recovery Cost]

30,000-60,000 JPY/t-CO<sub>2</sub>

※There are no examples of large-scale demonstrations, and costs vary greatly depending on the application system, technology, and scale.

#### (Development for Cost Reduction)

※Reprinted part from separate page [Common Technology (CO<sub>2</sub> sequestration and Recovery Technology)]

- Reduction of equipment and operating costs and energy required
- Development of new materials (absorbents, adsorbents, sequestration membranes) (improvement of selectivity, capacity, durability)
- Reduction of the production cost of base materials
- Optimization of processes (heat, substances, power, etc.)

### <Other Issues>

- Development of technologies for improving recovery efficiency, reducing energy required, etc., as an advanced form of CO<sub>2</sub> sequestration and recovery
- Development in conjunction with the use of non-fossil power sources such as renewable energy, and methods for storing and using recovered CO<sub>2</sub>
- Selection of installation location (optimal climate for recovery, proximity to energy sources and reuse sites)
- Clarification of energy consumption and cost evaluation methods, and establishment of evaluation basis

## Efforts towards 2030

### <Specific Measures>

#### (Technology Development: Moonshot-type Research and Development Project)

- Development of chemical absorption, physical adsorption, solid absorption, and membrane sequestration methods
- Building of DAC process
  - Development of new absorbents, solid absorbents
  - Development of new sequestration membranes
  - Optimization and efficiency improvement of processes (heat, substances, power, energy, etc.)
  - Cost reduction (equipment, operation)
- Scale-up considerations
  - Development of CO<sub>2</sub> sublimation recovery process
  - Development of steam regeneration DAC system
  - Development of honeycomb rotary DAC (optimization of honeycomb substrate)

### <Other Measures>

- Construction of LCA evaluation model

## 2030 Objectives

### <Technology Objectives>

#### (Building DAC System)

- Achieve CO<sub>2</sub> sequestration and recovery costs that are competitive in the 2030s market
- [Target Example]
  - 10,000 JPY/t-CO<sub>2</sub>, ICEF roadmap
  - 10,000 JPY/t-CO<sub>2</sub>, values announced by companies as prices in 2025 or 2030
- Realize energy-saving, low-cost systems for CO<sub>2</sub> sequestration and recovery

### <Other>

- Verification at the pilot scale that it is effective from the perspective of LCA

## Efforts & Targets from 2030 to 2050

### <DAC Commercialization>

- Achieve 2,000 JPY/t-CO<sub>2</sub> (by 2050)
- Improvement of durability and reliability of DAC system
- Full-scale dissemination of DAC systems



# Core Material Production Technology (Synthesis Gas from Carbon Monoxide and Hydrogen)

Current Challenges	Efforts towards 2030	2030 Objectives
<p>&lt;Current Technical Issues&gt;</p> <p>(Thermochemistry: Catalysts etc.)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Improvement of existing processes (Reverse Shift Reaction)</li></ul> <p>(Photochemistry: Photocatalysts etc.)</p> <p>(Artificial Photosynthesis: Photocatalysts)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Catalyst development<ul style="list-style-type: none"><li>+Hydrogen synthesis (Photocatalyst) → Reverse Shift Reaction</li><li>-Direct synthesis of CO</li></ul></li><li>Enhancement of conversion efficiency and sequestration of produced gas</li></ul> <p>(Electrochemistry: Electrochemical Reduction etc.)</p> <p>(Electrolytic Reduction)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Development of high current density compatible catalyst electrodes (Enhancement of reaction speed)</li><li>Development of high-density catalyst electrode technologies (Enhancement of current density per unit volume)</li><li>Synthesis gas production by co-electrolysis (Load fluctuation response, equipment scale)</li></ul> <p>&lt;Other Challenges&gt;</p> <p>(Thermochemistry)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Improvement of steam reforming process (Process, catalyst, sequestration), thermal decomposition of methane, thermal decomposition of CO<sub>2</sub> using solar heat</li></ul> <p>(Artificial Photosynthesis)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Design of a practical plant system</li><li>Comparison with current CO production process (derived from methane)</li></ul> <p>(Electrolytic Reduction)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Design of a practical plant system</li><li>Comparison with current CO production process (derived from methane)</li><li>Securing of inexpensive and large quantities of stable CO<sub>2</sub>-free power</li></ul> <p>(Biosynthesis: Microorganisms etc.)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Implementation of various R&amp;D initiatives</li></ul>	<p>&lt;Specific Initiatives&gt;</p> <p>(Thermochemistry: Catalysts etc.)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Improvement of steam reforming process (Process, catalyst, sequestration), thermal decomposition of methane, thermal decomposition of CO<sub>2</sub> using solar heat</li></ul> <p>(Photochemistry: Photocatalysts etc.)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Improvement of solar energy conversion efficiency</li></ul> <p>(Electrochemistry: Electrochemical Reduction etc.)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Development of stacks suitable for large-area and high-capacity electrodes</li><li>Development and verification of optimized design for electrolysis devices</li><li>Evaluation and selection of materials usable under electrolysis operating atmosphere, verification</li></ul> <p>&lt;Others&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Development of renewable energy integration system</li><li>Development of hybrid systems (light + electricity etc.)</li><li>Sector coupling: Cooperation between industries such as combining core materials and introducing carbon recycling businesses</li></ul> <div><p>&lt;Green Innovation (GI) Fund Projects&gt;</p><p>Development of fuel production technology using CO<sub>2</sub>, etc.</p><ul style="list-style-type: none"><li>Development of technology for improving liquid fuel yield</li><li>Development of technology for improving energy conversion efficiency in gas fuel production</li></ul></div>	<p>&lt;Technical Goals&gt;</p> <p>(Conversion Efficiency (Photochemistry))</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Achievement of a solar energy conversion efficiency of 10%</li></ul> <p>(Reaction Speed (Current Density) )</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Achievement of a current density of 500mA/cm<sup>2</sup> (at room temperature and pressure, 50% conversion efficiency) (Electrochemistry) <sup>(Note)</sup></li></ul> <p>(Catalyst)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Further improvement in durability, cost reduction</li></ul> <p>(Cost)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Reduction in production cost</li></ul> <p>&lt;Others&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Development of renewable energy integration system</li><li>Development of hybrid systems (light + electricity etc.)</li><li>Sector coupling: Cooperation between industries such as combining core materials and introducing carbon recycling businesses</li></ul> <p>(Note) Calculation for a 100MW plant, operation rate 16.3%, at 2 JPY/kWh Source of operation rate: From Agency for Natural Resources and Energy documents</p>

Efforts & Targets from 2030 to 2050	<p>&lt;Cost&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Further reduction in production costs</li></ul> <p>&lt;Conversion Efficiency (Photochemistry)&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Further improvement in conversion efficiency</li></ul>	<p>&lt;Reaction Speed (Current Density)&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Achievement of a CO<sub>2</sub> processing speed of 11t/year/m<sup>2</sup> (current density of 1000mA/cm<sup>2</sup>, at room temperature and pressure, 50% electrolysis efficiency) (Electrochemistry) <sup>(Note)</sup></li></ul> <p>&lt;Reaction Speed (Current Density)&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Best mix of all reactions and technologies such as thermochemistry, photochemistry, electrochemistry, and biosynthesis.</li></ul>	46
-------------------------------------	--	---	----



# Core Material (Production Technology for Methanol, etc.)

Current Challenges	Efforts towards 2030	2030 Objectives
<p>&lt;Current Technical Issues&gt;</p> <p>(Thermochemistry: Catalysts etc.)</p> <p>(Manufacture of Methanol from CO<sub>2</sub>)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Development of catalysts for reaction at lower temperatures (improvement in conversion rate and selectivity)</li><li>Sequestration and removal of water generated by the reaction</li><li>Direct use of low-quality exhaust gases (at research stage)</li></ul> <p>Countermeasures for catalyst degradation, improvement in durability</p> <p>(Production of Methanol (or DME*) from Synthetic Gas)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Improvement in yield in methanol production</li><li>Production control technology for methanol and DME</li></ul> <p>(Electrochemistry: Electrochemical Reduction etc.)</p> <p>((Bio-production (Microorganisms etc.))</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Direct synthesis of formic acid and methanol (using protons in water)</li><li>Process improvements in FT* synthesis, etc. (improvement in reaction speed and efficiency)</li></ul> <p>&lt;Other Challenges&gt;</p> <p>(Thermochemistry: Catalysts etc.)</p> <p>(Manufacture of Methanol from CO<sub>2</sub>)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Comparative study with the current practical process (reaction via synthetic gas)</li><li>Use of CO<sub>2</sub> in existing methanol production facilities</li></ul> <p>(Electrochemistry: Electrochemical Reduction etc.)</p> <p>(Bio-production (Microorganisms etc.))</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Securing cheap and abundant CO<sub>2</sub>-free power (in the case of electricity usage)</li></ul> <p>※1 Dimethyl Ether ※2 Fischer Tropsch</p>	<p>&lt;Specific Initiatives&gt;</p> <p>(Thermochemistry: Catalysts etc.)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Production of methanol from CO<sub>2</sub> of about 90-95% concentration using low-cost CO<sub>2</sub> sequestration technology by pressure swing adsorption</li><li>Development of H<sub>2</sub>O membrane sequestration type reactor capable of efficient methanol synthesis from CO<sub>2</sub></li><li>Development of a low-cost, durable catalyst for synthesizing methanol from CO<sub>2</sub></li><li>Development of a catalyst that can synthesize methanol from CO<sub>2</sub> at low temperature and low pressure</li></ul> <p>(Electrochemistry: Electrochemical Reduction etc.)</p> <p>((Bio-production (Microorganisms etc.))</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Demonstration of consistent production of bioethanol from synthetic gas (originating from waste incineration plants) using microorganisms (Technology to be established by 2023: Targeting demonstration at a scale of 500-1,000 kL/y)</li></ul> <p>*Including processes that do not require additional hydrogen</p> <div><p>&lt;Green Innovation (GI) Fund Projects&gt;</p><p>Development of plastic raw material production technology using CO<sub>2</sub> etc.</p><ul style="list-style-type: none"><li>Development of elemental technology for the production of chemicals from alcohols</li></ul></div>	<p>&lt;Technical Goals&gt;</p> <p>(Common)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Establishment of reaction control technology in large-scale processes</li><li>Development of production technology that responds to fluctuations in the supply and demand of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub></li></ul> <p>(Use of Methanol as Fuel)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Demonstration of technology to use methanol in real environments</li><li>Mixed use with existing fuels, expansion of mixing ratio</li></ul> <p>(Manufacture of Methanol from CO<sub>2</sub>)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Establishment of a methanol synthesis system, including CO<sub>2</sub> purity</li><li>Achievement of catalyst performance under conditions expected for actual operation, such as pressure resistance, heat resistance, etc.</li><li>Achievement of cost reduction for methanol synthesis catalysts</li><li>Development of a catalyst that can synthesize methanol at low temperature and low pressure</li></ul> <p>(Cost)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Lower production cost than existing methanol from CO<sub>2</sub> raw material</li></ul> <p>&lt;Others&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Development of a renewable energy integration system</li><li>Development of hybrid systems (light + electricity, etc.)</li><li>Examination of large-scale methanol supply chains</li><li>Application to existing production systems, ensuring compatibility</li></ul>

Efforts & Targets  
from 2030  
to 2050

- <Cost>
- Further reduction in production costs
  - Price at the level of methanol synthesis products derived from natural gas



# Core Materials

(Methane Chemistry\*1 etc. (using waste plastics and methane (CH<sub>4</sub>) etc. until hydrogen becomes cost-effective as an alternative to CO<sub>2</sub>))

Current Challenges

Efforts towards 2030

2030 Objectives

<Current Technical Issues>

- (Process Improvements)
- Concerning the manufacture of synthesis gas, lower reaction temperatures in partial oxidation & autothermal reforming (ATR\*2) and dry reforming (①)
  - Sequestration technology for hydrogen and benzene, etc. from methane under high temperature conditions
  - Methane pyrolysis to obtain CO<sub>2</sub>-free hydrogen (carbon removal & utilization technology)
  - Efficient methane generation from biogas from agricultural residues, etc.
  - Direct synthesis of methanol (②) and ethylene (③) etc. from methane, etc.
  - Pre-treatment (impurity removal etc.) in olefin synthesis technology by depolymerization from waste plastics and waste rubber etc.)
- (Catalyst Development)
- Catalyst exploration and durability improvement in synthesis gas production
  - Improving conversion and selectivity rates in olefin synthesis from waste plastics etc.
  - Development of catalysts to produce CO<sub>2</sub>-free hydrogen from methane pyrolysis etc.
- (Current Process: Naphtha Cracking)
- CO<sub>2</sub> emission factor 1.6\* kg-CO<sub>2</sub>/kg (ethylene, propylene)
  - CO<sub>2</sub> emission factor 2.1\* kg-CO<sub>2</sub>/kg (butadiene)
- \*Includes CO<sub>2</sub> emissions during naphtha production by oil refining
- <Other Issues>
- Heat management, equipment costs, low-cost oxygen supply
  - Technology development (use of oxygen co-produced during electrolysis etc.)

<Specific Initiatives>

- (Process Improvement)
- Partial oxidation & autothermal reforming (ATR), dry reforming: lower reaction temperatures
  - Pilot study on hydrogen production technology through methane pyrolysis
- (Catalyst Development)
- Catalyst exploration and durability improvement in synthesis gas production

<Green Innovation (GI) Fund Projects>

Development of plastic material production technology using CO<sub>2</sub>, etc.

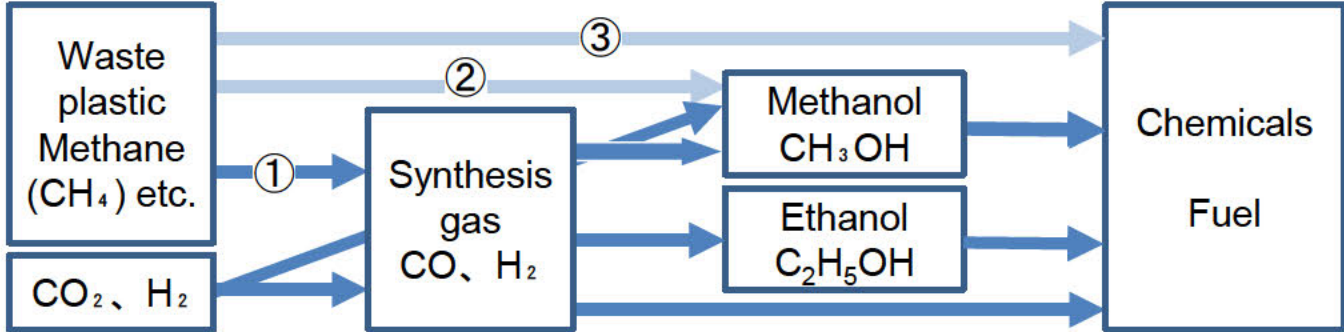
- Development of chemical production technology from used tires (waste rubber)
- Development of chemical recycling technology using waste plastic as raw material

<Technical Goals>

- (Process Improvement)
- CH<sub>4</sub>→ Synthesis gas reaction temperature below 600°C (Catalyst: Lifetime of about 8,000 hours)
  - Development of a hydrogen sequestration membrane usable at 600°C
  - Manufacture of basic chemicals such as ethylene, propylene, butadiene etc. from waste plastics and waste rubber etc. at a yield of 60-80% [GI target]
- (Cost)
- Reduce production cost by 20% (compared to current chemical recycling plastic)
- (CO<sub>2</sub> Emission Factor)
- Achieving less than the CO<sub>2</sub> emission factor of the current process (derived from crude oil) in LCA

\*1 Methane Chemistry: A technology that reformulates methane derived from natural gas into synthesis gas (a mix of carbon monoxide and hydrogen) or methanol, compounds with a single carbon atom, and uses these as raw materials to synthesize compounds with two or more carbon atoms or for the conversion of compounds with a single carbon atom.

\*2 Auto Thermal Reaction



Efforts & Targets  
from 2030  
to 2050

- <Commercialization>
- Expansion of production volume through commercialization
- <Cost>
- Further reduction of production cost
- <CO<sub>2</sub> Emission Factor>
- Further reduction



# Chemicals (Production technology of basic chemicals (olefins, BTX, etc.) incorporating the direct use, recycling, and biomass technology of CO<sub>2</sub> as a carbon source)

## Current Challenges

### <Current Technical Issues>

- (MTO (Methanol to Olefins) — Olefins)
- (ETO (Ethanol to Olefins) — Olefins)
- Catalyst development (improvement in conversion and selectivity rates)  
Examples:
  - Controlling the generation ratio of plastic raw materials (C2 Ethylene, C3 Propylene, C4 Butene, etc.)
  - Controlling the generation ratio of rubber raw materials (C4 Butadiene, C5 Isoprene, etc.)
- Countermeasures against catalyst degradation (control of carbon deposition)
- (MTA (Methanol to Aromatics) — BTX)
- Catalyst development (improvement in conversion and selectivity rates)  
Examples:
  - Controlling the generation ratio of benzene, toluene, and xylene
- Mass production technology for catalysts (effects of raw materials, shape, size, etc.)
- Longevity of catalysts
- Countermeasures against catalyst poisoning
- Appropriate process consideration ← 2 reactors / 1 reactor
- (Synthesis Gas → Olefins, BTX)
- Catalyst development (improvement in conversion and selectivity rates)  
Examples:
  - Controlling the generation ratio of plastic raw materials (C2 Ethylene, C3 Propylene, C4 Butene, etc.)
  - Controlling the generation ratio of BTX (C6 Benzene, C7 Toluene, C8 Xylene)
- Suppression of CO<sub>2</sub>, methane, and heavy oil generation
- (CO<sub>2</sub>→Olefins)
- Development of electrochemical reaction technology
- Development of electrode catalysts, electrolytes, and reactors
- Development of FT synthesis technology
- Development of synthesis catalysts and reactors

## Efforts towards 2030

### <Specific Initiatives>

- (MTO, ETO, Synthesis Gas → Olefins)
- Establishment of selective synthesis technology for C2~C5
- Further improvement in yield and control of selectivity
- Establishment of mass production and low-cost technology for catalysts
- Establishment of olefin distillation and sequestration process
- (MTA—BTX)
- Further improvement in yield, selectivity control, and durability
- Establishment of process with a view to commercial plant
- (CO<sub>2</sub>→Olefins)
- Further improvement in energy conversion efficiency and generation speed
- Implementation of actual gas tests
- (CO<sub>2</sub>→BTX)
- Development of BTX synthesis process from CO<sub>2</sub>

### <Green Innovation (GI) Fund Projects>

- Development of plastic raw material production technology using CO<sub>2</sub>
- Development of chemical production technology from waste plastics and rubber
- Development of chemical production technology from alcohols

## 2030 Objectives

### <Technical Goals>

- (MTO—Olefins)
- Development of innovative MTO catalyst process: Develop a catalyst capable of producing the desired ethylene or propylene at a high yield. Also, enable continuous production for over 10,000 hours [GI Goal]
- (MTA—BTX)
- Realization of commercialization
- (CO<sub>2</sub>→Olefins)
- a. Efficient alcohol production from CO<sub>2</sub>: Complete a high-efficiency synthesis method for alcohols using CO<sub>2</sub> as a raw material by developing a new, highly efficient catalyst. By combining the catalyst with a newly developed internal condensation type reactor, significantly improve yield [GI Goal]
- b. Olefin production from alcohols: Aim to develop a high-efficiency production process for C3 and above olefins [GI Goal]
- (CO<sub>2</sub>→BTX)
- Development of BTX synthesis process from CO<sub>2</sub>
- (Cost)
- Approximately 20% reduction in production cost (compared to current methanol to olefin) [GI Goal]
- (CO<sub>2</sub> Emission per unit)
- Aiming to achieve less than the current process (derived from crude oil) CO<sub>2</sub> emissions per unit in LCA

## Efforts & Targets from 2030 to 2050

### <Commercialization>

- Increase in production volume through commercialization
- <Cost>
- Further reduction in production cost

### <CO<sub>2</sub> Emissions per Unit>

- Aiming to achieve less than half of the current process (derived from crude oil) CO<sub>2</sub> emissions per unit in LCA



# Chemicals (Production technology for specialty chemicals (oxygenated compounds))

## Current Challenges

### <Current Technical Issues>

#### (Polycarbonate, Polyurethane)

- Further reduction of CO<sub>2</sub> emissions through direct synthesis from CO<sub>2</sub>
- Development of a synthesis method that replaces highly toxic raw materials like phosgene and ethylene oxide with CO<sub>2</sub> to reduce CO<sub>2</sub> emissions
- Establishment of mass production and low-cost technology
- CO<sub>2</sub> emissions during phosgene production used in the production process of polycarbonate and polyurethane in conventional production methods: 1.0 kg-CO<sub>2</sub>/kg

#### (Process technology (acrylic acid synthesis, etc.))

- Catalyst development (improving conversion rate and selectivity)
- Reduction of CO<sub>2</sub> emissions from reaction partners (use of biomass, waste plastic, etc.)

### <Other Issues>

- Consideration of CO<sub>2</sub> storage by chemicals (oxalic acid, etc.)
- Consideration of processes to fix CO<sub>2</sub> into organic acids and fats using microorganisms

(Reference) Compounds included in oxygenated compounds: Acrylic acid, ethanol, ethylene glycol, salicylic acid, acetic acid and acetic acid ester, oxalic acid, polyamide, polyurethane, polyester, polycarbonate, etc. (in alphabetical order)

## Efforts towards 2030

### <Specific Initiatives>

#### (Polycarbonate, Polyurethane)

- Optimization of reaction conditions, improvement of main reaction yield, consideration of continuous process optimization
- Reduction of dehydration agent regeneration heat consumption by optimizing reaction conditions such as consideration of dehydration agent, consideration of catalyst, reduction of solvent usage
- Catalyst improvement for increasing CO<sub>2</sub> reaction speed
- Development of scale-up process

### <Green Innovation (GI) Fund Projects>

#### Development of plastic raw material production technology using CO<sub>2</sub>, etc.

- Development of specialty chemical production technology from CO<sub>2</sub>

## 2030 Objectives

### <Technical Goals>

#### (Cost)

- Aiming for the same price as existing products (Polycarbonate, Polyurethane)

#### (CO<sub>2</sub> emissions per unit)

- Achieving less than the current process CO<sub>2</sub> emissions per unit in LCA
- By improving the functionality of polycarbonate and polyurethane, eliminating the need for toxic raw materials like phosgene, reducing the CO<sub>2</sub> emissions during the production of toxic raw materials, and further realizing a technology that can make more than 0.3kgCO<sub>2</sub>/kg into raw materials (\*Varies depending on the target) [GI goal]

### <Others>

- Establishing a process with a view to commercial plants

## Efforts & Targets from 2030 to 2050

### <Commercialization>

- Increase in production volume through commercialization

### <Cost>

- Further reduction in production cost

### <CO<sub>2</sub> Emissions per Unit>

- Achieving less than half of the current process (derived from crude oil) CO<sub>2</sub> emissions per unit in LCA



# Chemicals (Bio-Manufacturing)

## Current Challenges

### <Current Technical Issues>

#### (Raw Material Procurement and Pretreatment Technology)

- Securing raw materials domestically  
[Raw material procurement from overseas]
  - Issues with stable procurement, GHG emissions during transport, and transport costs
  - Tariffs on raw materials like sugar make domestic production more expensive than overseas, hindering business promotion in Japan [Raw material procurement in Japan]
  - Development of pretreatment technology for collecting, production CO<sub>2</sub> produced nationwide
  - Cost reduction is an issue

#### (Microbial Modification Technology)

- Advancement of the technologies of microbial design platform providers who develop and design microorganisms, etc., while running the DBTL\* process
- \*DBTL: Cycle of Design-Build-Test-Learn
- Promotion of collaboration between businesses

#### (Cultivation, Refinement, Processing)

- In the production stage using microorganisms, investment in large, expensive equipment is necessary
- Advanced fermentation technology that can handle mass production, which is different from lab level
- Low-cost, high-efficiency sequestration and processing technologies for biomass such as cellulose, process improvements using catalysts, and enhancements

#### [Current production cost]

- For the time being, the cost is high compared to existing products, and cost reduction is an issue

### <Other Issues>

- Shortage of technical personnel
- Consumer needs and acceptance
- Standardization, etc.

## Efforts towards 2030

### <Specific Initiatives>

#### (Establishment of technology and social implementation through R&D investment)

- Consistent support for the value chain of bio-production from the collection and resource utilization of unused resources to the advancement of microbial design platforms, strain development, scale-up, processing, and production demonstration and social implementation
- Development and social implementation of innovative production and productization technologies for cellulose nanofibers, etc.
- Development of technology to manufacture butadiene, etc. from biomass

#### (Measures against challenges)

- Market creation through regulations and public procurement
- Establishment of LCA certification methods, etc.
- Product display and creditization of added value
- Cooperation with municipalities and consumers for waste collection

#### <Green Innovation (GI) Fund Projects>

##### Promotion of carbon recycling using CO<sub>2</sub> as a direct raw material through bio-manufacturing technology

- Aiming at bio-manufacturing using hydrogen bacteria and other CO<sub>2</sub> as direct raw materials, we promote ①the advancement of microbial design platform technology, ②the development and improvement of microorganisms, and ③the development and demonstration of manufacturing technology by microorganisms.
- Through this, we aim to shorten the useful microorganism development period to 1/10 of the business start year, develop commercial strains that can produce substances from CO<sub>2</sub>, and reduce the manufacturing cost of products to less than 1.2 times that of alternative products.

#### <Innovative GX Technology Creation Project>

- Promotion of innovative technology development for bio-manufacturing related to microorganisms, plants (development of new metabolic pathways, development of DNA synthesis/genome editing technology)

## 2030 Objectives

### <Technical Goals>

#### (Bio-manufacturing directly using CO<sub>2</sub> as a raw material)

- Shorten the useful microorganism development period to 1/10 of the business start year [GI target]
- Develop commercial strains that can produce substances from CO<sub>2</sub> [GI target]
- Reduce the production cost of products to less than 1.2 times that of alternative products [GI target]

#### (Bio-manufacturing using unused resources other than CO<sub>2</sub>)

※Target around 2030

- Establishment of technology to achieve price levels equal to or less than foreign biomass raw materials
- Construction of supply chains that can distribute, collect, and raw materialize in the market
- Reduce the production cost of products to less than 1.2 times that of alternative products

#### (Manufacture of chemical products from biomass)

- Productization of cellulose nanofibers
- Establishment of basic chemical production technology derived from biomass

### <Others>

- Realization of the world's most advanced bioeconomy society (Several trillion JPY market size by 2030 out of 92 trillion JPY)
- Introduction of approximately 2 million tons of biomass plastic

## Efforts & Targets from 2030 to 2050

### <Commercialization, Cost Reduction, Market Expansion>

- Expansion of the types and functions of chemicals that can be produced on a commercial basis
- Practical application of bio-manufacturing using atmospheric CO<sub>2</sub> as a raw material
- Commercial-based chemical production utilizing timber, waste

### <Domestic Market Conversion & Acquisition of Overseas Markets based on International Rules>



# Fuel (Technology for producing liquid fuel ① \* Synthetic fuel (e.g., e-fuel))

## Current Challenges

### <Current Technical Issues>

#### (Cost Reduction)

- Improvement in production efficiency and establishment of large-scale producing technology without waiting for the reduction in hydrogen cost. [Production cost of synthetic fuel]
- Approximately 300 to 700 JPY/L

(Source) Interim Summary of Synthetic Fuel Study Group (April 2021, Synthetic Fuel Study Group)

#### (Establishment of Production Technology)

- Development of innovative production technology that consistently produces synthetic fuel in a synthesis reaction with hydrogen using captured CO<sub>2</sub>.
- Revision of existing technologies for efficiency and development of innovative production technologies including catalysts.
- While there are records of upgrading operation specialized in diesel oil, there are no records for various oil types and diverse product production, hence optimizing conditions.

### <Other Issues>

- Establishment of international recognition that synthetic fuel is a decarbonizing fuel.
- Clarification of environmental value (CO<sub>2</sub> reduction effect).
- Efficient R&D for societal implementation in cooperation with other GI fund projects from the perspective of securing stable raw materials, including hydrogen-related and CO<sub>2</sub> sequestration and recovery.
- Composition and participation in domestic and international projects aiming for early supply of synthetic fuel (e-fuel).
- Quality verification to establish fuel reliability.
- Business model construction including sales methods.
- International cooperation on promoting the use of synthetic fuel (e-fuel).
- Consideration towards expanding biofuel in the transition period to commercialization and increased introduction of synthetic fuel (e-fuel).

## Efforts towards 2030

### <Specific Initiatives>

#### (Cost Reduction)

- Implementation of production demonstrations aiming for early supply using existing technologies (reverse shift reaction + FT synthesis process, MTG (Methanol to Gasoline), etc.).

#### (Establishment of Production Technology)

- Development of innovative production technologies (e.g., CO<sub>2</sub> electrolysis, co-electrolysis, direct synthesis (Direct-FT)).

#### (Others)

- Discussion of various issues utilizing the "Public-Private Council for Promoting Introduction of Synthetic Fuel (e-fuel)".

### <Green Innovation (GI) Fund Projects>

#### Fuel Production Technology Development Project Using CO<sub>2</sub>, etc.

- ① Development of technology related to improving liquid fuel yield/Development of high-efficiency liquid fuel production technology using synthetic reactions from CO<sub>2</sub>.
  - Development of production technology for a wide range of liquid fuel products utilizing FT synthesis, with CO<sub>2</sub> and renewable energy-derived hydrogen as raw materials, aiming for carbon neutrality in aviation, maritime, and mobility fields.
  - Significant improvement in liquid fuel yield by enhancing performance of individual processes and applying recycling technology to reduce consumption of raw materials (H<sub>2</sub> & CO<sub>2</sub>) which account for most of synthetic fuel cost.
  - Start production in 2025 and establish scale-up technology by verifying technology at pilot plants by 2028, leading to the establishment of commercial-scale technology.
- ② Development of technology related to improving the efficiency of synthetic fuel use in passenger cars and heavy-duty vehicles, and improving contradictory phenomena.
  - Basic research and development of utilization demonstration technology for efficient use of fuel, including advanced combustion technology and exhaust gas treatment technology.
  - Evolution of fuel utilization technology tailored to the product properties of synthetic fuel.

## 2030 Objectives

### <Technical Goals>

#### (Cost Reduction)

- Achieving a liquid fuel yield of 80% at pilot scale (assuming a scale of 300BPD) [GI Fund] (by 2028)

#### (Establishment of Production Technology)

- Establishment of consistent production technology for a wide range of liquid fuel products using CO<sub>2</sub> and renewable energy-derived hydrogen as raw materials and utilizing FT synthesis [GI Fund].
- Advancement of electrolytic synthetic gas production technology.
- Enhancement by next-generation FT catalysts.
- Scale-up to commercial scale plant based on production operation verification at pilot scale (semi-plant).

#### (Establishment of Fuel Utilization Technology)

- Establishment of foundational technology to halve CO<sub>2</sub> emissions at fuel utilization stage (passenger cars) and internal combustion engine technology with net thermal efficiency (peak) above 55% (heavy-duty vehicles) [GI Fund].
- Establishment of international standards.

## Efforts & Targets from 2030 to 2050

### <Commercialization of Synthetic Fuel>

- Aiming for commercialization by the early 2030s. Continuously making efforts to further accelerate. Establishing technology ahead of the world. Capturing the global market.

### <cost>

- Realizing cost equivalent to existing products by 2050 (Approximately 100-150 JPY/L: Gasoline)



# Fuel (Liquid Fuel Production Technology ② ※Biofuel (SAF))

## Current Challenges

### <Current Technical Issues>

#### (Scaling up culture)

- Successful microalgae cultivation in a 10,000m<sup>2</sup> outdoor test plant overseas, but need for further scale-up

#### (Culture methods and conditions)

- Standardization of optimal culture methods and conditions such as environmental conditions (light, temperature, nutrients etc.), equipment operation conditions (water depth, aeration volume etc.), and prevention of foreign matter contamination

#### (Harvesting and drying technology)

- Establishment of efficient and inexpensive algae harvesting and drying technology

#### (Utilization of co-products)

- Reduction of fuel production costs through the use of co-products

#### (Environmental impact reduction)

- Reduction of greenhouse gas emissions and improvement of fossil energy balance etc.

### <Other Issues>

- Utilization of CO<sub>2</sub>-derived fuels for CORSIA certification

## Efforts towards 2030

### <Specific Initiatives>

#### (Efforts towards cost reduction)

- Building a microalgae culture demonstration facility of about 50,000m<sup>2</sup>, and demonstrations for stable mass cultivation, and efficient, low-cost harvesting and drying of algae (overseas deployment in progress). Promoting the establishment of optimal standard culture methods and conditions at domestic research bases to address common issues in commercialization.
- Promoting technical research for cost reduction of SAF production by utilizing various co-products generated when producing neat SAF from microalgae (naphtha/others, bio-chemicals, health foods, residues after algal oil extraction etc.)
- To contribute to carbon neutrality, high-precision estimates are being made on greenhouse gas emission reduction effects and energy balance based on CORSIA standards.

### <Other Issues>

- Organization towards obtaining new CORSIA certification after complying with ASTM (D7566)
- Selection and breeding of microalgae species focusing on SAF production and efficiency of carbon dioxide absorption (including genome editing)

## 2030 Objectives

### <Technical Goals>※

#### (Scaling up culture)

- Realization of stable cultivation at production scale that can complement domestic SAF demand

#### (Culture methods and conditions)

- Improvement of culture efficiency and cost reduction of culture systems through consideration of optimal culture methods and conditions

#### (Harvesting and drying technology)

- Establishment of excellent harvesting and drying technology at the production scale that can complement domestic SAF demand, based on TEA & LCA

### <Other Goals>

- Adding value and generating profits from co-products generated during SAF production (naphtha/others, bio-chemicals, health foods, residues after algal oil extraction etc.)
- Introduction of domestic CORSIA certification scheme (SCS) that is knowledgeable about microalgae and domestic SAF technology
- Setting a target to replace 10% of aircraft fuel usage with SAF by 2030

※From the 2020-2021 Fiscal Year Achievement Report Bio-jet fuel production technology development project/Technology trend survey/Establishment of a technology roadmap for the practical application of bio-jet fuel by microalgae technology (NEDO)

## Efforts & Targets from 2030 to 2050

### <Technical Goals>

- Further expansion of microalgae production technology on a commercial scale

### <Issues for Popularization>

- Contributing to the realization of carbon neutrality in the aviation sector by 2050



# Fuel (Gas Fuel (Synthetic Methane, LP Gas) Production Technology)

## Current Challenges

### <Current Technical Issues>

#### (Existing Technology: Sabatier Reaction)

- Improvement of overall energy conversion efficiency (currently about 50%)
- Heat management of the reaction
- Development and practical application of large-scale production technology / cost reduction
- Development of cells needed for high-temperature electrolysis / water electrolysis
- Durability and reaction control improvement of methane synthesis catalysts
- Building a system to conduct a series of reactions at high temperatures
- Improvement of the overall energy conversion efficiency in the process of synthetic methane production
- Development and practical application of large-scale production technology / cost reduction
- Catalyst-based green LP gas synthesis technology (improvement of efficiency, mass production, process optimization, etc.)

### <Other Issues>

- Examination and arrangement of necessary systems and mechanisms (such as certification and transfer of environmental value) for introduction
- Adjustment for the establishment of international and domestic rules regarding CO<sub>2</sub> emissions during combustion
- Examination of various forms of support for practical application and cost reduction

## Efforts towards 2030

### <Specific Initiatives>

#### (Existing Technology: Sabatier Reaction)

- Demonstration of synthetic methane production utilizing CO<sub>2</sub> captured in natural gas fields (400Nm<sup>3</sup>/h)
- Commercial scale demonstration utilizing CO<sub>2</sub> from waste treatment plant emissions (125Nm<sup>3</sup>/h)
- Development of basic technologies for demonstrating practical application scale of city gas introduction using CO<sub>2</sub> from coal-fired power plant emissions (60,000Nm<sup>3</sup>/h)
- FS survey to consider exporting synthetic methane (e-methane) manufactured in the United States and Australia etc. to Japan by 2030

#### (Innovative Technology : Green Innovation (GI) Fund Projects)

#### Fuel production technology development project using CO<sub>2</sub>, etc.

##### (Synthetic Methane)

- Methanation using SOEC※1/Methane synthesis reaction
- Methanation using water electrolysis/low temperature Sabatier reaction
- Methanation using PEM※2

##### (Green LP Gas)

- Development of basic technologies such as high-yield catalysts
- Establishment of operating methods for large-scale plants capable of commercialization

### <Other Issues>

- Consideration of the direction of rules related to synthetic methane introduction, support methods, and CO<sub>2</sub> counting rules during synthetic methane combustion, etc. in the Methanation Promotion Public-Private Consultation Council and others
- Consideration of roadmap making by the LP gas industry for social implementation in the Green LP Gas Promotion Public-Private Discussion

## 2030 Objectives

### <Technical Goals>

#### (Existing Technology: Sabatier Reaction)

- Realization of large-scale commercial scale (10,000Nm<sup>3</sup>/h)
- Cost reduction to 120 JPY/Nm<sup>3</sup>

#### (Innovative Technology)

##### (Synthetic Methane)

- Establishment of a technical level that envisages an overall energy conversion efficiency of 80% for synthetic methane production [GI Target]
- (Green LP Gas)
- Establishment of Green LP gas synthesis technology with a yield of 50% [GI Target]
- Commercialization by producing more than 1,000 tons of Green LP gas annually [GI Target]

### <Other Issues>

- Start of synthetic methane transport from overseas to Japan
- 1% injection into existing infrastructure
- Mixed use with existing fuels and expansion of mixing ratio
- Market and application development

※1 Solid Oxide Electrolysis Cell (SOEC)  
 ※2 Polymer Electrolyte Membrane (PEM)

## Efforts & Targets from 2030 to 2050

### <Technical Goals>

- Realize a large-scale production technology of 10,000Nm<sup>3</sup>/h or more for innovative methanation by the 2040s

### <Introduction Goals & Cost Goals>

- By 2050, blend 90% synthetic methane into existing infrastructure and aim for a cost level equivalent to the LNG price (about 50 JPY)



# Mineral (Concrete, Cement, Carbonate, Carbon, Carbide production technologies)

## Current Challenges

### <Current Technical Issues>

(Efficient mineralization technologies and CO<sub>2</sub> reduction technologies)

- sequestration of Ca and Mg, which serve as raw materials for mineralization
- Energy-saving pretreatment such as micropowderization and sequestration of active ingredients to enhance reactivity with CO<sub>2</sub> (Dry process)
- Affordable treatment of heavy metals and other waste water (Wet process)
- Maximizing the amount of CO<sub>2</sub> fixed during concrete production and curing
- Controlling CO<sub>2</sub> emissions during cement production
- Production of carbon and carbides from non-fossil raw materials, CO<sub>2</sub> emission control

(Developments towards cost reduction)

[Current cost of production concrete that fixes CO<sub>2</sub>]

About 3 to 5 times that of existing concrete

- Development of inexpensive aggregates, mixers, etc., optimization of mixtures
  - Scaling up production
- (Others)

- Expansion of applications beyond concrete and cement
- Establishment of high-quality carbonate production process

<Energy required to fix 1 ton of CO<sub>2</sub>>

- 500kWh/t-CO<sub>2</sub> (using blast furnace slag, Dry process)

<Other Issues>

- System construction and process optimization from CO<sub>2</sub> sources to production and supply (Optimization of CO<sub>2</sub> fixation amount and economics)
- Expansion of applications and economic verification (Development and demonstration of utilization technologies, etc.)
- Long-term performance evaluation as civil engineering and building materials, development of standards and guidelines
- Securing carbon materials with reduced use of coke in ironmaking
- Building a disposal system for Ca-containing waste

## Efforts towards 2030

### <Specific Initiatives>

(Efficient mineralization technologies and CO<sub>2</sub> reduction technologies)

- Development of carbonate technology utilizing alkali sources such as Ca and Mg contained in industrial waste and by-products (Expansion of raw materials)
  - Optimization of appropriate treatment technologies and procurement methods, considering the concentration and impurities of CO<sub>2</sub> supply sources
  - Consideration of material flow during the production process
- (Developments towards cost reduction)
- Development of lower-cost production technologies
- (Others)
- Development of CO<sub>2</sub> reduction and carbonization element technologies
  - Development of technologies for expanding applications to concrete aggregates, soil improvement materials, glass raw materials, etc.

### <Other Initiatives>

- Implementation of site demonstrations in construction by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism and local governments
- Raising awareness through events (Expo 2025 Osaka, etc.)
- Pursuit of cost reduction
- Consideration of business models
- Building a promotion system for the use of construction materials contributing to low carbon and decarbonization in public works
- Consideration of evaluation methods for JIS/ISO maintenance

### <Green Innovation (GI) Fund Projects>

Development of concrete production technologies using CO<sub>2</sub> (Concrete sector)

- ①Development of "CO<sub>2</sub> emission reduction & maximum fixation concrete"
  - Development of concrete materials using CO<sub>2</sub> as a raw material
  - Development of lower-cost production and onsite construction technologies
- ②Establishment of evaluation and quality control methods for CO<sub>2</sub> contained concrete product

(Cement sector)

- ①Development of cement production process that capture and absorb almost all CO<sub>2</sub>
- ②Establishment of carbonate technology using captured CO<sub>2</sub> with various calcium sources

## 2030 Objectives

### <Technical Goals>

(Efficient mineralization technologies and CO<sub>2</sub> reduction technologies)

- Development of efficient carbonation methods that increase the amount and speed of CO<sub>2</sub> reaction
- Expansion of the application range of concrete products that fix CO<sub>2</sub>
- Anti-rust treatment of rebar, development of alternative materials
- Carbonation of about 10% of steel slag and coal ash
- Reduction of CO<sub>2</sub> related to concrete production by 310-350kg/m<sup>3</sup> (including a CO<sub>2</sub> fixation amount of 120-200kg/m<sup>3</sup>) [GI Goal]
- Fixation of more than 400kg of CO<sub>2</sub> per ton of carbonate [GI Goal]

- Recovery of more than 80% of CO<sub>2</sub> generated in the preheater during cement production [GI Goal]

(Developments towards cost reduction)

- Costs equal to or less than existing products [GI Goal]
  - Precast concrete: around 30 JPY/kg
  - Ready-mixed concrete: around 8 JPY/kg
- Generation cost of carbonate: about 5 times the market price of limestone [GI Goal]

(Others)

- Higher added value (carbon fibers, nanocarbons, etc.)

<Energy required to fix 1 ton of CO<sub>2</sub>>

- 200kWh/t-CO<sub>2</sub> (using blast furnace slag, Dry process)

<Others>

(Concrete sector)

- Establishment of concrete quality control methods and realization of international standardization [GI Goal]

(Cement sector)

- Establishment of guidelines for expanding the use of carbonates [GI Goal]

## Efforts & Targets from 2030 to 2050

### <Technical Goals>

- Development of further highly efficient carbonate methods (Carbonation of about 50% of the generation volume of steel slag and coal ash)

### <Issues for dissemination>

- Review of various standards and regulations for expanding applications and applying carbon recycling products, etc.



# Reference: Overview of Carbon Recycling Technology & Products

※ 1 Current prices of carbon recycling products are based on our survey.  
※ 2 Prices of existing products are reference values based on statistical data and research results.  
※ 3 Target value set in the 'CO<sub>2</sub>-Based Fuel Production Technology Development' project's research and development & societal implementation directions (8th Industrial Structure Council GI Project Subcommittee Energy Structure Transformation Area WG, December 23, 2021).  
※ 4 Target value in the 'Green Growth Strategy associated with Carbon Neutrality in 2050' (June 2021).

	Substance after CO <sub>2</sub> Conversion	Current State of Carbon Recycling Technology Development	Issues	Prices of Existing Products (as of January 2023)	2030	After 2040
Core Material	Synthetic Gas, Methanol, etc.	Partially commercialized, innovative processes (using light, electricity, etc.) are at the technology development stage.	Improvement of conversion efficiency & reaction speed, enhancement of catalyst durability, etc.	—	Reduction of production cost	Further reduction of production cost
Chemicals	General-purpose items (Olefins, BTX, etc.)	Partially commercialized (using synthetic gas etc., produced from coal, etc.), others are at the technology development stage.	Improvement of conversion rate & selectivity, etc.	Approx. 180 JPY/kg <sup>※2</sup> (Domestic selling price of ethylene)	Reduction of production cost	Further reduction of production cost
	Oxygenated compounds	Partially commercialized (Polycarbonates etc.), others are at the technology development stage. [Price Example] Approximately same as existing equivalent products (polycarbonate)	Further reduction of CO <sub>2</sub> emissions for Polycarbonate Commercialization of other than Polycarbonate (Improvement of conversion rate & selectivity)	Approx. 400 JPY/kg <sup>※2</sup> (Domestic selling price of polycarbonate)	Cost equivalent to existing products	Further reduction of production cost
	Bioproducts, Bio-derived chemicals	Technology development stage (Substance production using CO <sub>2</sub> and non-edible biomass etc. as raw materials)	Low cost & efficient preprocessing technology, microbial modification technology, etc.	—	About 1.2 times the cost of existing products	Further cost reduction
Fuel	Liquid fuel (Biofuel (SAF))	Technology development /demonstration stage [Price Example] SAF 1,600 JPY/L*1	Improvement of production rate, low cost & efficient preprocessing technology, etc.	100s of JPY/L <sup>※2</sup> (Domestic selling price of jet fuel)	Reduction of production cost	Further cost reduction
	Liquid fuel (Synthetic fuel (e-fuel))	Technology development stage (Synthetic fuel (e-fuel)) [Price Example]Synthetic fuel approx. 300-700 JPY/L <sup>※1</sup>	Improvement of current processes, system optimization, etc.	Approx. 170 JPY/L <sup>※2</sup> (Domestic selling price of gasoline)	—	Cost equivalent to existing products (about 100-150 JPY/L) <sup>※3</sup>
	Gas fuel (Synthetic methane, LP gas, etc.)	Technology development/demonstration stage	System optimization, scaling up, high efficiency, etc.	105 JPY/Nm <sup>3※2</sup> (Import price of natural gas)	Reduction of production cost	Cost equivalent to existing products (40-50 JPY/Nm <sup>3</sup> ) <sup>※4</sup>
Minerals	Concrete, Cement, Carbonates, Carbon, Carbides	Partially commercialized, aiming for cost reduction at the technology development stage [Price Example] Few hundred JPY/kg (roadblock)	sequestration of active ingredients that react with CO <sub>2</sub> , pulverization, cost reduction, etc.	30 JPY/kg <sup>※2</sup> (Domestic selling price of Precast concrete for roadblocks)	For roadblocks and other products with high technological maturity, cost equivalent to existing products	For products with expanded applications, cost equivalent to existing products
Common Technology	CO <sub>2</sub> sequestration and Capture (including DAC)	Partially commercialized (chemical absorption method), other methods are at the technology development stage [Price Example]Approx. 4,000-6,000 JPY/t-CO <sub>2</sub> (chemical absorption method)	Reduction of required energy, etc.	—	1,000-2,000 JPY//t-CO <sub>2</sub> (Refer to the slide on common technology (CO <sub>2</sub> sequestration and capture technology))	Below 1,000 JPY/t-CO <sub>2</sub> Below 2,000 JPY/t-CO <sub>2</sub> (DAC)
Basic Material	Hydrogen	Generally established technology (water electrolysis, etc.), conducting technology development for cost reduction including other methods	Cost reduction, etc.	—	30 JPY/Nm <sup>3※4</sup>	20 JPY/Nm <sup>3※4</sup> (Ex plant cost)



# 【Reference】 Common Technologies

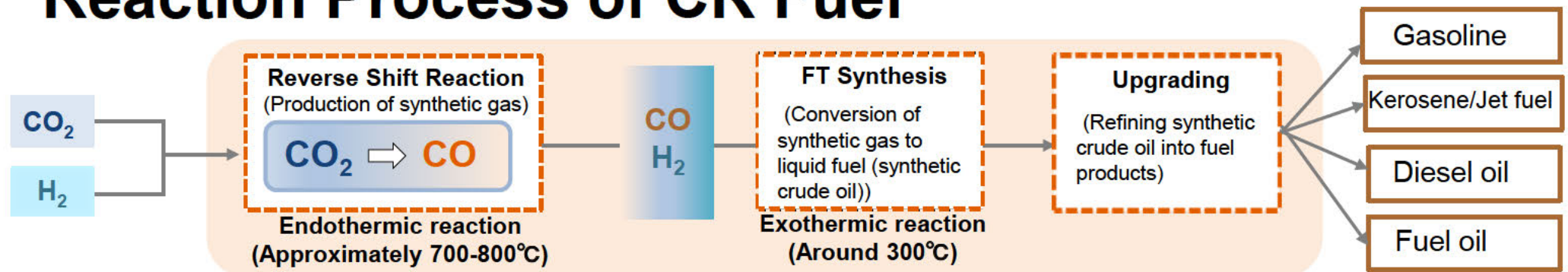
## (Explanation of CO<sub>2</sub> sequestration and Capture and DAC Technologies)

sequestration and Capture Techniques	Technology Overview	Application Areas
Chemical Absorption Method	<ul style="list-style-type: none"> <li>A method that uses the chemical reaction between CO<sub>2</sub> and liquid for sequestration and capture.</li> </ul>	Power generation, cement, steel, oil refining, chemical industry, natural gas extraction (for Physical absorption method)
Physical absorption method	<ul style="list-style-type: none"> <li>A method of dissolving CO<sub>2</sub> in a liquid for sequestration and capture.</li> <li>Absorption capacity depends on the solubility of CO<sub>2</sub> in the liquid.</li> </ul>	High-pressure power generation, oil refining, chemical industry, natural gas extraction (for Solid absorption method)
Solid absorption method	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub> sequestration and capture technology using solid absorbents.</li> <li>There are methods that involve absorption by porous materials impregnated with amines (for low-temperature sequestration), and by solid agents with CO<sub>2</sub> absorption ability (for high-temperature sequestration).</li> </ul>	Power generation, cement, oil refining, chemical industry (for Physical adsorption method)
Physical adsorption method	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adsorption and regeneration operations involving pressure swing or temperature swing on porous solids such as zeolites and metal complexes.</li> </ul>	Power generation, steel, cement, oil refining, chemical industry (for Membrane sequestration method)
Membrane sequestration method	<ul style="list-style-type: none"> <li>A method that uses thin films with sequestration functions such as zeolite membranes, carbon membranes, and organic membranes, utilizing their permeability selectivity to separate the target gas (CO<sub>2</sub>) from the mixed gases.</li> </ul>	High-pressure power generation, oil refining, chemical industry, natural gas extraction (for DAC method)
DAC (Direct Air Capture)	<ul style="list-style-type: none"> <li>A technique that directly captures low-concentration CO<sub>2</sub> from the atmosphere using the above sequestration and capture techniques.</li> <li>It is an advanced form of CO<sub>2</sub> sequestration and capture technology and requires further cost reduction and energy requirement reduction for practical use.</li> </ul>	Capture of extremely low concentration (400ppm) CO <sub>2</sub> from the atmosphere etc. (for DAC method)

# 【Reference】 Reaction Process of CR Fuel

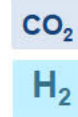
## Synthetic Fuel

High-efficiency  
large-scale  
Fischer-Tropsch  
(FT) synthesis



Next-generation  
FT synthesis

① Direct Synthesis  
(Direct-FT synthesis reaction)



**Direct Synthesis (Direct-FT Synthesis Reaction)**

**Reverse Shift Reaction**



**FT Synthesis**

(Conversion of synthetic gas to liquid fuel (synthetic crude oil))

**Upgrading**  
(Refining synthetic crude oil into fuel products)

Gasoline

Kerosene  
Jet fuel

Diesel oil

Fuel oil

② Co-electrolysis + FT synthesis



**Co-Electrolysis**



**FT Synthesis**

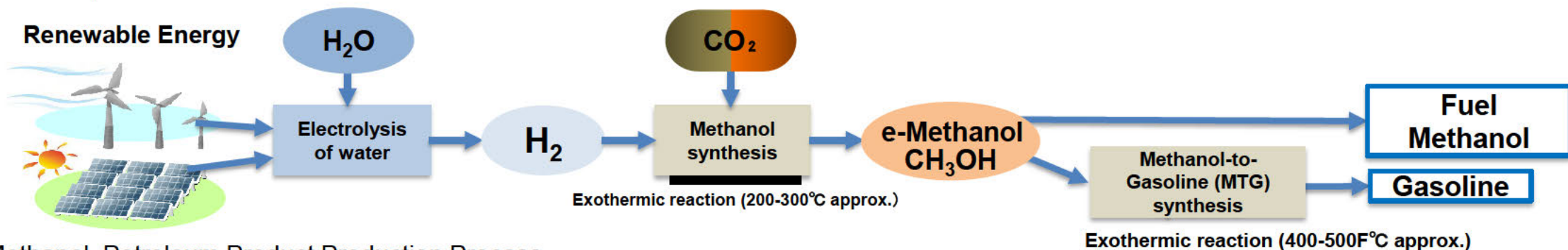
(Conversion of synthetic gas to liquid fuel (synthetic crude oil))

**Upgrading**  
(Refining synthetic crude oil into fuel products)

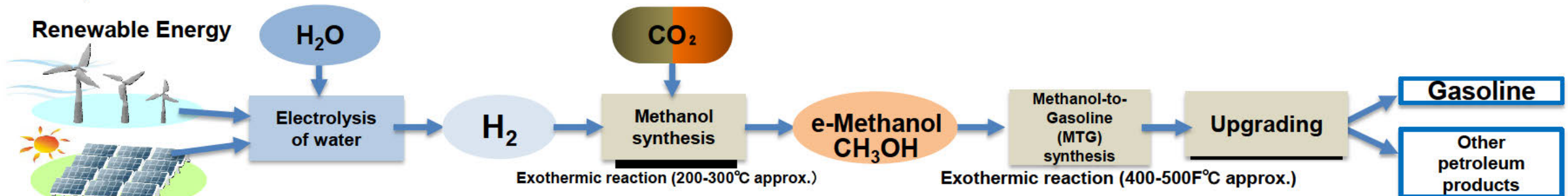
Modified from the "2nd Public-Private Council Meeting Material for Promoting the Introduction of Synthetic Fuel (e-fuel)"

## e-Methanol

① e-Methanol, Gasoline Production Process



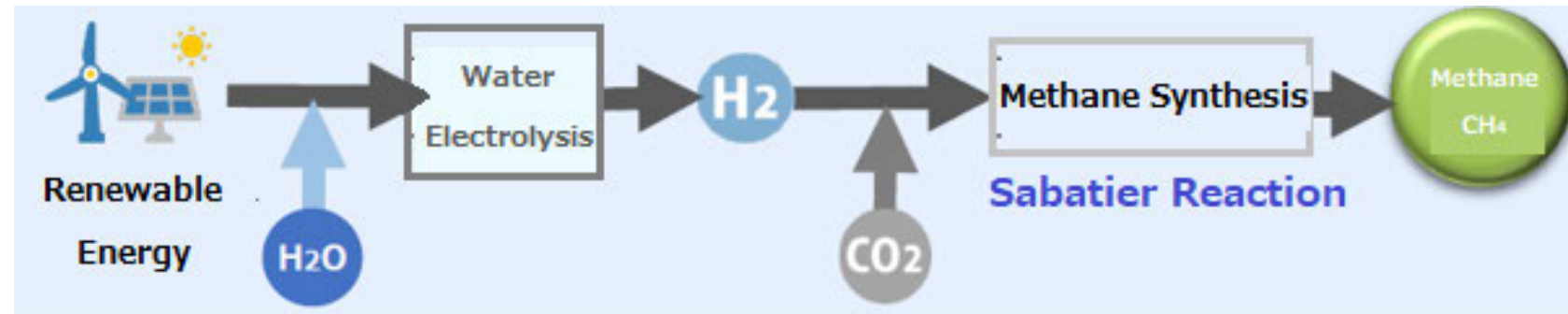
② e-Methanol, Petroleum Product Production Process



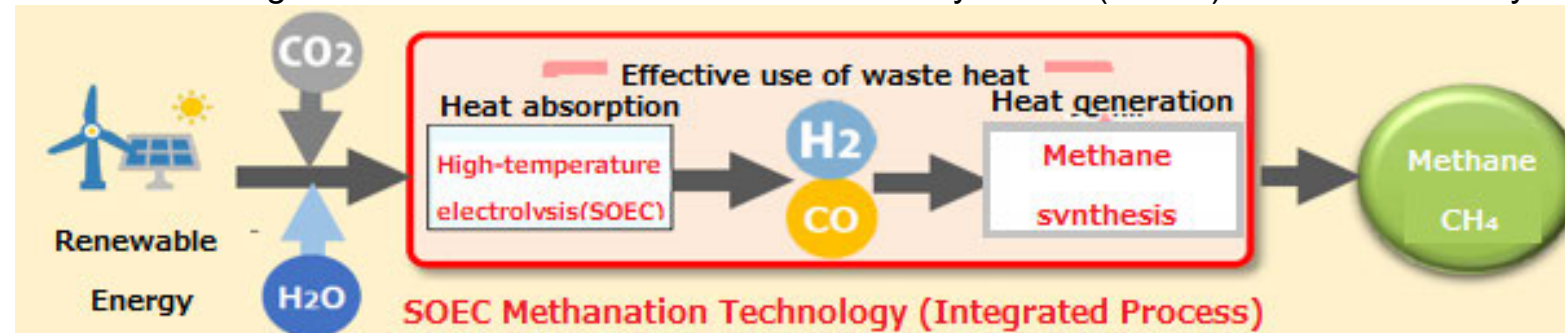


## Synthetic Methane

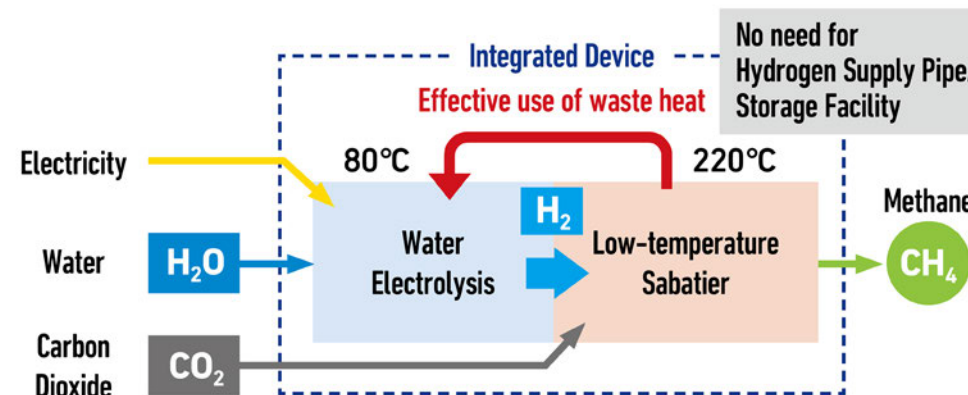
### Traditional Methanation



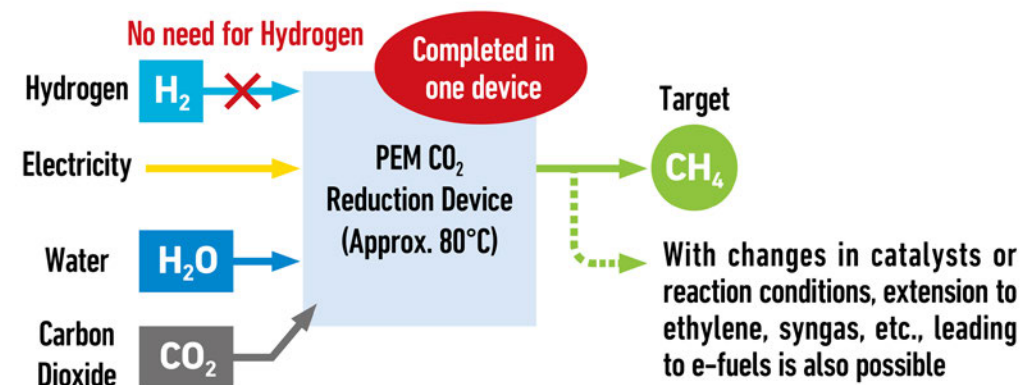
- ◆ Methanation using the linked reaction of Solid Oxide Electrolysis Cell (SOEC)\*1 and Methane Synthesis



- ◆ Methanation using Water Electrolysis/Low-temperature Sabatier Linked Reaction



- ◆ Methanation using Proton Exchange Membrane (PEM)\*2



\*2 PEM: Proton Exchange Membrane

### Innovative Methanation

## **IV. 別添**

### **VI-4 【Supplement 2】 Examples of Inter-industry Collaboration**





## **【Supplement 2】 Examples of Inter-industry Collaboration**

# Table of Contents

## International Examples

- ① Carbon2Chem Project (Germany)
- ② Hydrogen Lab Leuna E-CO<sub>2</sub> Met (Germany)
- ③ North-C-Methanol (Belgium)
- ④ Haru Oni Project (Chile)
- ⑤ Lululemon and LanzaTech's Fabric Production (USA, India, Taiwan)
- ⑥ C2PAT (Carbon2ProductAustria) (Austria)
- ⑦ Jupiter 1000 (France)
- ⑧ Altalto (UK)
- ⑨ Flue2Chem (UK)
- ⑩ Methanol Production from CO<sub>2</sub> (USA)
- ⑪ Project Air (Sweden)
- ⑫ Tata Chemicals (UK)
- ⑬ Carmeuse CCU (Belgium)

## Domestic (Japanese) Examples

- ⑭ Inter-industry collaboration in Oita
- ⑮ Inter-industry collaboration in Soga and Goi, Chiba
- ⑯ Inter-industry collaboration in Tomakomai, Hokkaido
- ⑰ Inter-industry collaboration in Kawasaki
- ⑱ Inter-industry collaboration in Shunan, Yamaguchi
- ⑲ CO<sub>2</sub> Utilization from flue gas of Waste Incineration Plant in Saga
- ⑳ Ethanol Production by Sekisui Biorefinery
- ㉑ Yokohama City CCU Demonstration Project
- ㉒ Methanol Production from Waste
- ㉓ Methanation Demonstration in Nagaoka
- ㉔ Odawara City Carbon Cycle Model Construction Demonstration Project
- ㉕ Methanation Demonstration Test by Asahi Group
- ㉖ CO<sub>2</sub> Reduction Technology by Carbon Recycling Blast Furnace
- ㉗ Development of CO<sub>2</sub> Capture Cement Production Process
- ㉘ CO<sub>2</sub> Recycling Plant at Denso Anjo Manufacturing Center
- ㉙ Kawasaki Plastic Recycling (KPR)
- ㉚ Polycarbonate using Captured CO<sub>2</sub>
- ㉛ Methionine Production using Captured CO<sub>2</sub>
- ㉜ Carbon-Negative Concrete using Exhaust Gas from City Gas Equipment
- ㉝ Carbon Recycling Technology for Concrete Industry



# ①Carbon2Chem Project (Germany)

## Large-scale Industrial Agglomeration Type

### Participating Institutions

AkzoNobel (Methanol production)  
 BASF (Oxymethylene ether production)  
 Clariant (Catalyst)  
 Covestro (Polymer production)  
 Evonik (Higher alcohols production, polyol production)  
 FhGUMSICHT (Management)  
 ISE (Photovoltaic power generation)  
 Linde (Gas purification, Catalyst)  
 MPI-CEC (Management)  
 MPI for Coal Research (Catalyst)  
 Siemens (Management)  
 Thyssenkrupp (Steel production, Management)  
 Volkswagen (User of synthetic fuel)  
 ZBT (Hydrogen production)

### CO<sub>2</sub> Emission Source

Steel production (Thyssenkrupp), waste treatment facilities, cement plants

### CCU Products

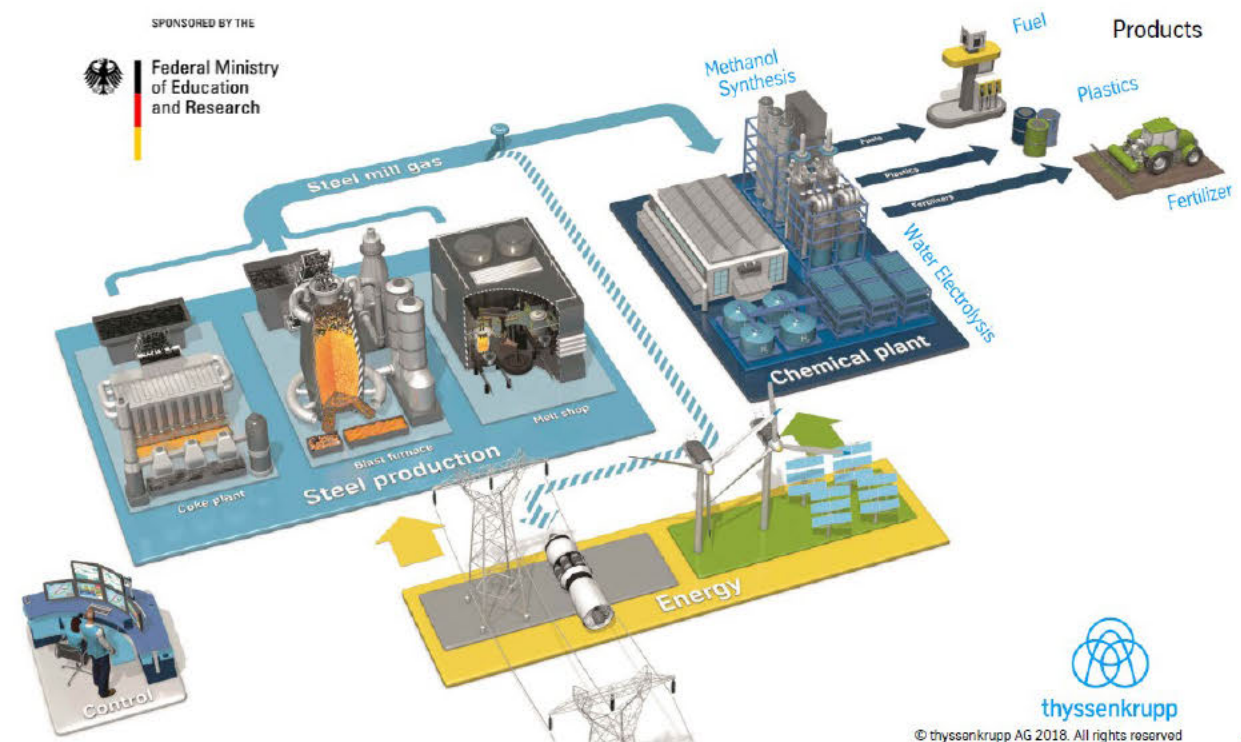
Plan to manufacture a variety of products including ethanol, ammonia, other types of alcohols, polymers, synthetic fuels [User: Volkswagen], and fertilizers.

### Status

- Project started in 2016, with operations planned for 2025.
- Construction planning is underway while examining business feasibility.

### Overview

- This project utilizes flue gas from the steelmaking process to produce chemicals, fuels, etc. This flue gas contains 44% N<sub>2</sub>, 23% CO, 21% CO<sub>2</sub>, 10% H<sub>2</sub>, and 2% CH<sub>4</sub>. The plan is to manufacture fuels, chemicals, and fertilizers such as methanol and ammonia, utilizing green hydrogen generated by renewable energy.
- From 2020, the project also focuses on CO<sub>2</sub> emitted from waste treatment facilities and cement plants, while continuing to examine the business feasibility and implement construction plans.





## ②Hydrogen Lab Leuna E-CO<sub>2</sub> Met (Germany)

Large-scale Industrial Agglomeration  
Type

Participating  
Institutions

Fraunhofer CBP (Methanol Production)  
Fraunhofer IWES (Renewable Energy  
Control, Electrolyzer Operation)  
Sunfire (SOEC\*)  
Total Leuna (Refinery)  
Total Energies (Methanol Production)

\*SOEC: Solid Oxide Electrolysis Cell

CO<sub>2</sub> Emission  
Source

Refinery (Total Leuna)

CCU Products

Methanol

Status

- The project started in 2021.
- Pilot tests are expected to be completed by 2024.
- Following the above test, the project will be handed over to Fraunhofer CBP for business feasibility study.

### Overview

- The project involves the production of green methanol, a key substance used in various products, using CO<sub>2</sub> emitted from the refinery and H<sub>2</sub> produced through solid oxide electrolysis (SOEC).
- The project commenced in 2021 after a technical feasibility study conducted during the Hy2Chem project (2020-2021).
- The project is also testing a process to ensure that output fluctuations in renewable energy do not impact methanol synthesis.



(Source: Fraunhofer CBP)



### ③North-C-Methanol (Belgium)

#### Large-scale Industrial Agglomeration Type

#### Participating Institutions

ArcelorMittal (Steel Production)  
Alco Biofuel (Biofuel)  
ENGIE (Electrolysis)  
Fluxys (Gas Infrastructure)  
Mitsubishi Electric (System Management)  
North Sea Port (Port)  
Oiltanking (Tank Storage Logistics)  
PMV (Investment)  
POM (East Flanders Development Agency)  
Proman (Methanol Production)  
Yara (Fertilizer)

#### CO<sub>2</sub> Emission Source

Steelworks and other industries around the port (ArcelorMittal, Alco Biofuel, Yara)

#### CCU Products

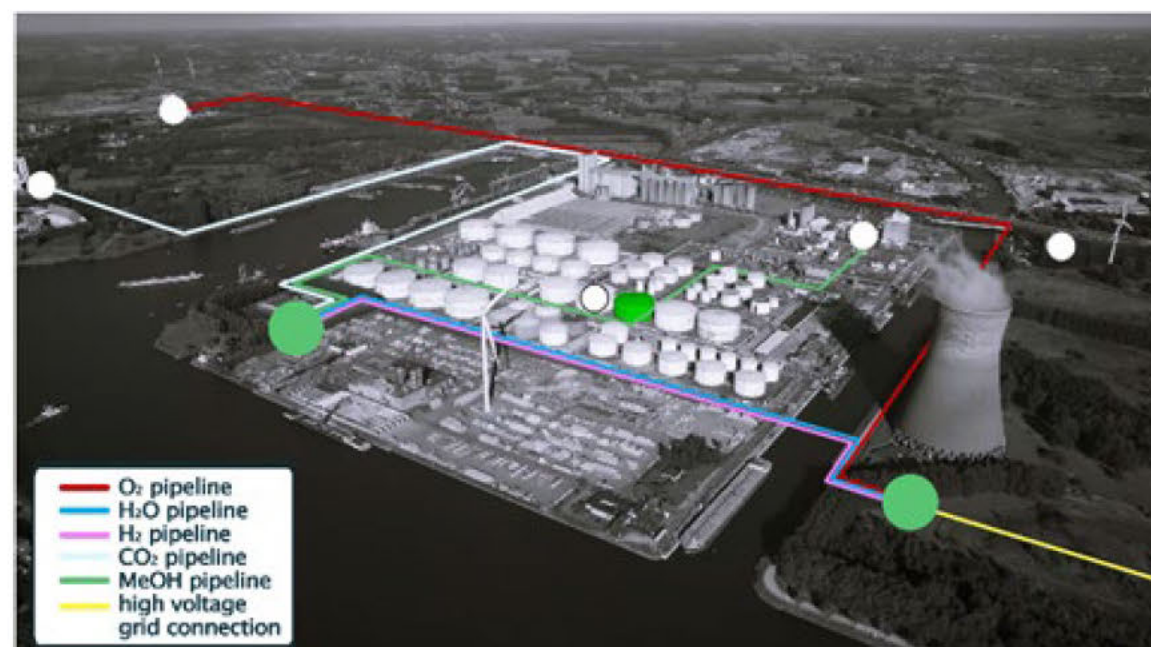
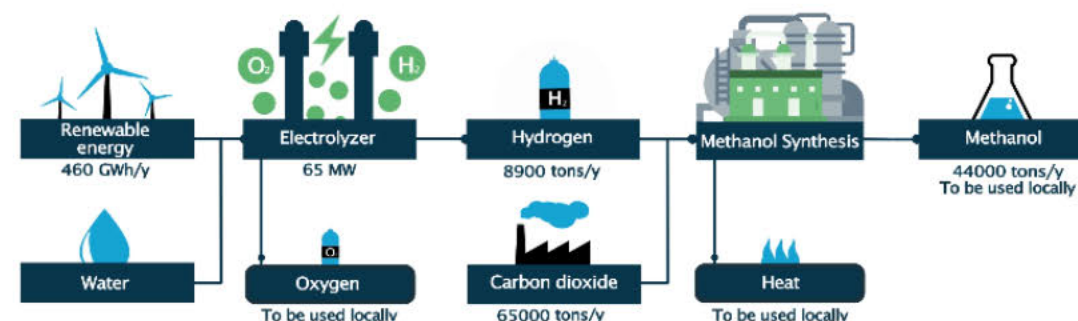
Methanol and Ammonia for Fuel & Chemical Materials, Formic Acid [User: Yara]

#### Status

- The project started in 2018.
- Demonstration plant is scheduled to operate in 2024.
- Full-scale operation (300MW electrolysis) planned for 2028.
- Scale-up (600MW electrolysis) planned for 2030.

#### Overview

- The project aims to produce methanol using green hydrogen from wind power and CO<sub>2</sub> captured from local major industries like ArcelorMittal, Alco Biofuel, and Yara at the North Sea Port in Belgium, for use as ship fuel and chemical raw materials.
- Currently preparing for the production of 45,000 tons of methanol annually with a 63MW electrolyzer.
- Plans to scale up to 300MW by 2028 and 600MW by 2030, aiming to synthesize not only methanol but also other compounds such as ammonia and formic acid.



(Source: North CCU Hub)



## ④Haru Oni Project (Chile)

Small to Medium-Scale Dispersed Type

Participating Institutions	<p>EMPRESAS GASCO (Synthetic Gas Production)</p> <p>ENAP (Infrastructure, Logistics)</p> <p>Enel Green Power (Wind Power, Hydrogen Production)</p> <p>ExxonMobil (MTG*)</p> <p>Global Thermostat (DAC**)</p> <p>HIF (e-fuel Production)</p> <p>MAN (Methanol Synthesis)</p> <p>Porsche (User of produced fuel)</p> <p>Siemens Energy (Wind Power, Water Electrolysis)</p>
----------------------------	---

\*DAC: Direct Air Capture

\*\*MTG: Methanol to Gasoline

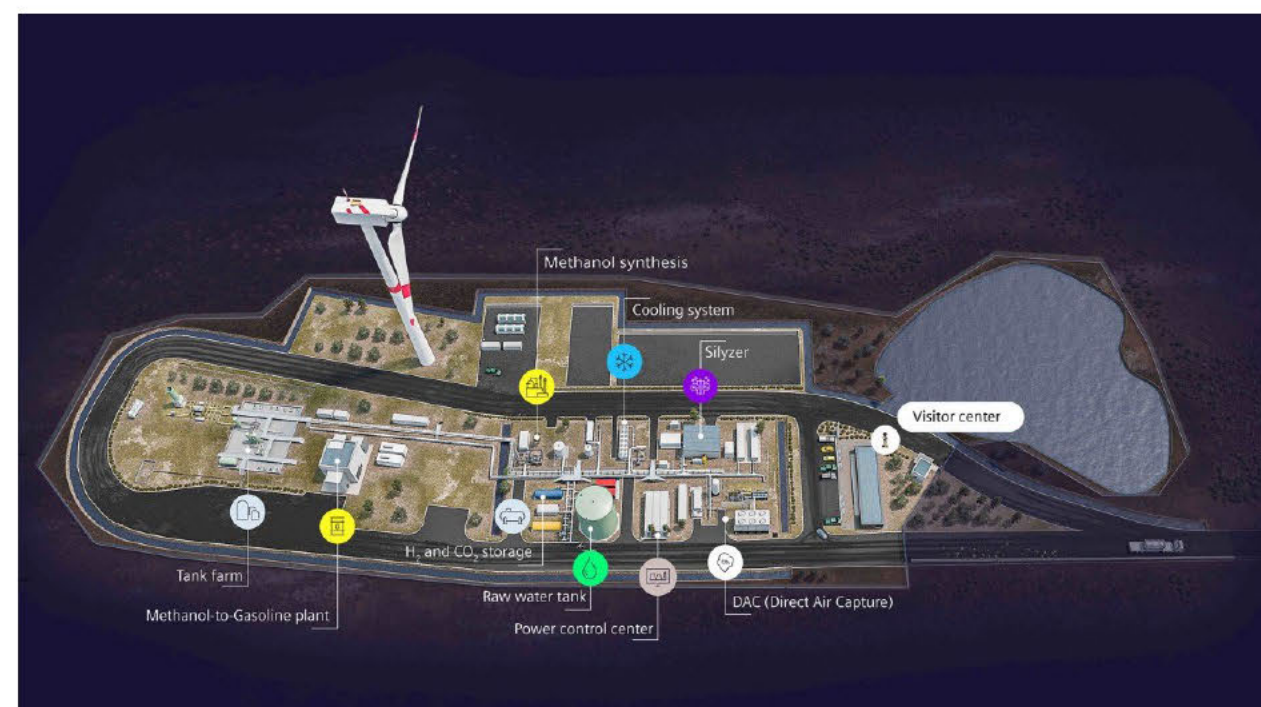
CO <sub>2</sub> Emission Source	Atmosphere (DAC)
---------------------------------	------------------

CCU Products	Methanol, e-fuel (Synthetic Gasoline) [User: Porsche]
--------------	---

Status	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The concept started in 2016.</li> <li>• Construction started in September 2021.</li> <li>• Production is set to begin in December 2022 (750,000L/year methanol, of which 130,000L/year will be gasoline).</li> <li>• The aim is to produce 55 million L/year of e-fuel by 2025 and 550 million L/year by 2027.</li> </ul>
--------	--

### Overview

- The project aims to produce methanol and e-fuel (synthetic gasoline) from green hydrogen generated by wind power and CO<sub>2</sub> captured from the atmosphere.
- The production of e-fuel is set to begin in December 2022.
- The produced e-fuel (synthetic gasoline) is planned to be exported to Europe via container ships.
- The goal is to produce 550 million L/year by 2027."




(Source: Siemens Energy)



## ⑤Fabric Production by Lululemon and Lanza Tech (USA, India, Taiwan)

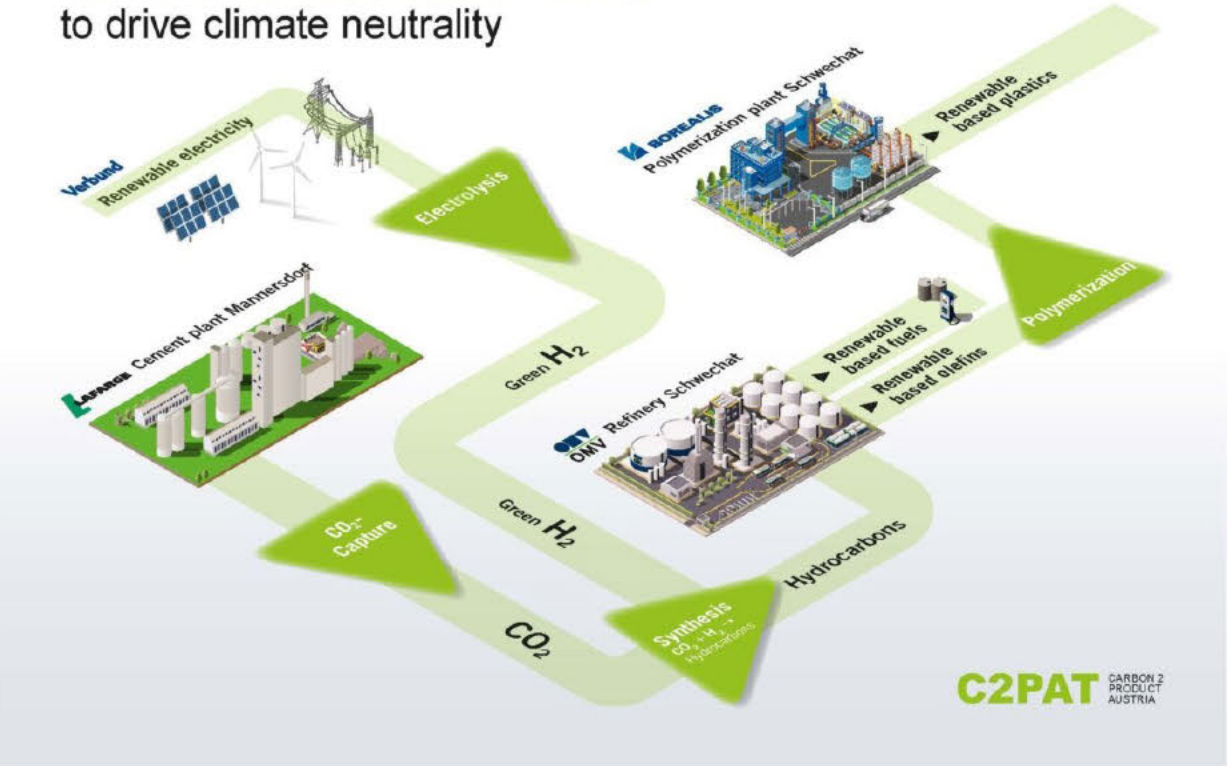
Small to Medium-Scale/Distributed Type

Participating Institutions	<p>Century (Polyester production)</p> <p>Far Eastern New Century (Textiles)</p> <p>India Glycols (Ethylene glycol synthesis)</p> <p>Lululemon Athletica (Apparel)</p> <p>LanzaTech (Ethanol production)</p>	<p>Overview</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>In October 2020, Lululemon announced the Impact Agenda*, one of whose goals is to use LanzaTech's technology to produce yarn and fabric using CO<sub>2</sub> captured from emissions. Through international collaboration with petrochemical company India Glycols (India) and textile company Far Eastern New Century (Taiwan), fabric for clothing was trial produced from ethanol manufactured by LanzaTech.</li> </ul>  <p>(Source: Innovation Textiles article (July 2021))</p>
CO <sub>2</sub> Emission Source	Industrial, agricultural, domestic emissions, and atmospheric capture (Details to be determined)	
CCU Products	<p>Ethanol, Monoethylene Glycol (MEG), Polyester (raw material for fabric)</p> <p>[User: Lululemon]</p>	
Status	<ul style="list-style-type: none"> <li>Successful trial production of yarn and fabric in 2021.</li> <li>Target to achieve a circular ecosystem by 2030.</li> </ul>	<p>**Impact Agenda: A strategic goal to use budget only for research that enhances the quality of studies and ensures results.</p>



## ⑥C2PAT (Carbon2ProductAustria) (Australia)

Small to Medium-Scale/Distributed Type

Participating Institutions	Borealis (Plastic production) Lafarge (Cement) OMV (Synthetic fuel production) VERBUND (Renewable power and hydrogen production)	<p>Overview</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• The aim is to manufacture synthetic fuels and plastics using CO<sub>2</sub> emissions from cement factories and green hydrogen derived from renewable energy.</li> <li>• The target is to make the plant operational by 2030 and capture almost 100% of the 700,000 tons of CO<sub>2</sub> emitted annually from the Lafarge cement factory in Mannersdorf, Austria.</li> <li>• The captured CO<sub>2</sub> is envisioned to be used by OMV to produce renewable hydrocarbon fuels (synthetic fuels) and high-value plastics by Borealis</li> </ul> <p><b>Cross sectoral value chain</b> to drive climate neutrality</p> 
CO <sub>2</sub> Emission Source	Cement Factory (Lafarge)	
CCU Products	Synthetic fuel, Plastics	
Status	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Currently investigating technological and economic challenges with a goal of operational plant by 2030.</li> </ul>	

(Source: Borealis)



## ⑦Jupiter 1000 (France)

Small to Medium-Scale/Distributed Type

Participating Institutions	CEA (Research Institute) CMA CGM (Logistics, Container Transport) CNR (Energy Power) GRT gaz (Gas Pipeline) KHIMOD (Catalyst, Methanation) Leroux & Lotz Technologies (Combustion & Gasification) Marseille Fos Port (Port) McPhy (Hydrogen Production) RTE (Power Transmission) Teréga (Infrastructure)  Collaboration: Asco Industrie (Steel production)
----------------------------	---

CO <sub>2</sub> Emission Source	Steel plant emissions (Asco Industrie)
---------------------------------	--

CCU Products	Synthetic Methane [User: CMA CGM]
--------------	-----------------------------------

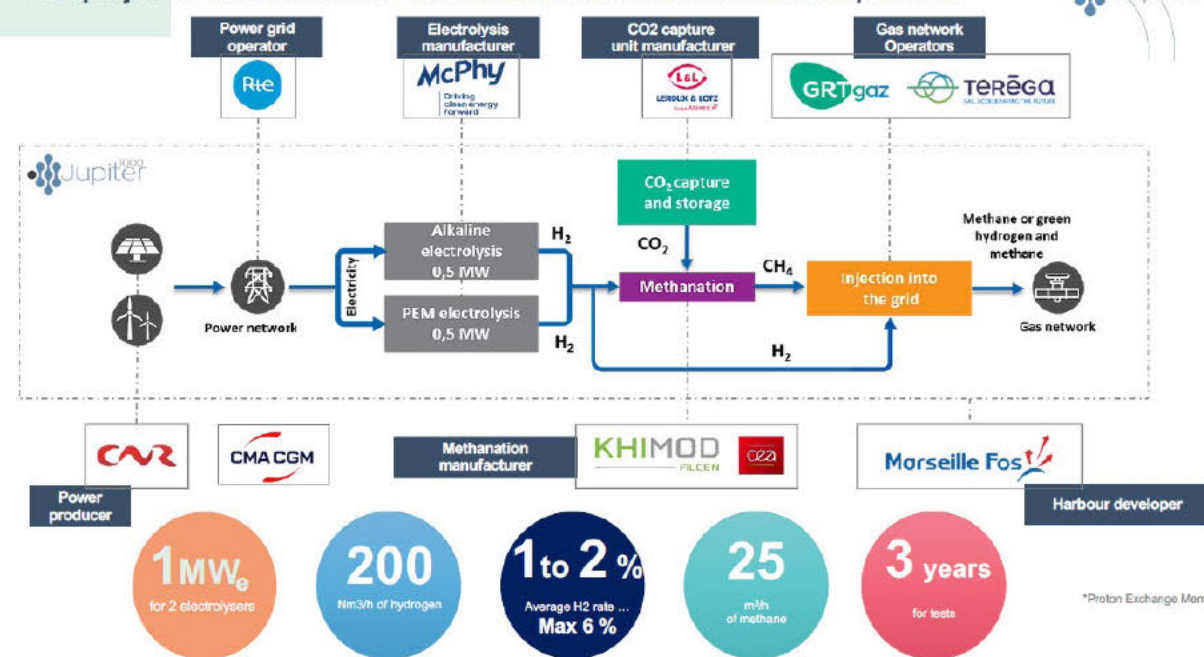
Status	<ul style="list-style-type: none"> <li>The project started in 2014.</li> <li>Construction permits were obtained in 2017.</li> <li>Electrolyzers (two types: alkaline and PEM) and pipelines were completed after February 2020.</li> <li>Methanation equipment was completed and put into operation in June 2022.</li> <li>The pilot operation is scheduled to end in 2023.</li> </ul>
--------	--

### Overview

- The project involves manufacturing synthetic methane using industrial CO<sub>2</sub> and green hydrogen from renewable energy.
- CO<sub>2</sub> produced from boilers of the neighboring steel plant, Asco Industrie, is separated and captured by Leroux & Lotz Technologies and transported via pipeline.
- McPhy's electrolyzer (1MWe) produces about 200m<sup>3</sup>/h of hydrogen, which is used to produce 25m<sup>3</sup>/h of synthetic methane.
- CMA CGM is considering using the synthetic methane as fuel for their container ships.
- While scale-up plans are being considered after the pilot operation ends in 2023, the facilities will not be dismantled and are planned to be used as hydrogen-related testing facilities.

### Jupiter 1000 - P2G players working together

The project is the result of the collaboration of 9 French industrial partners



(Source: Jupiter 1000)



## ⑧Altalto (UK)

Small to Medium-Scale/Distributed Type

Participating Institutions

Velocys (FT Synthesis, Synthetic Fuel Production)  
British Airways (User of Jet fuel (SAF))

CO<sub>2</sub> Emission Source

Waste (urban garbage)

CCU Products

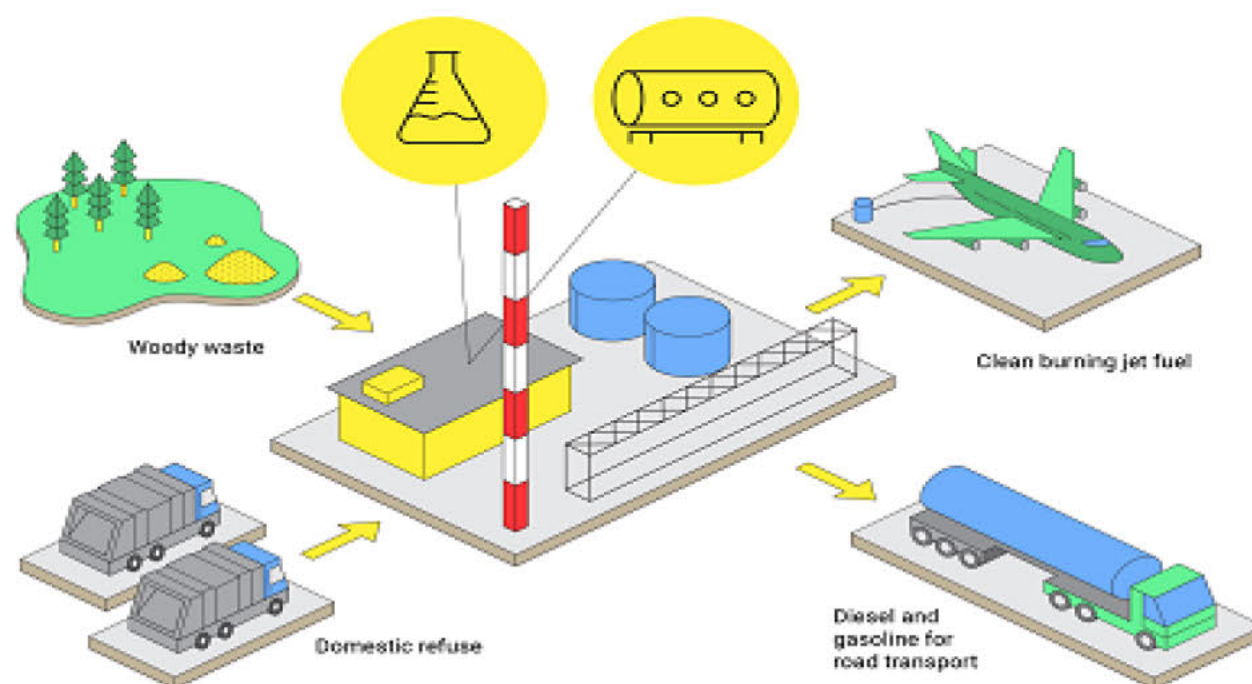
Synthetic Fuel (Gasoline, Diesel, Jet Fuel)  
[User: British Airways]

Status

- Project initiated in 2019
- Plan approved by Northeast Lincolnshire Council in June 2020
- Construction is expected to begin in 2025
- Synthetic fuel production is expected to start in 2027
- Commercial operations are planned to begin in 2028

Overview

- The project aims to take in about 500,000 tons of urban waste annually (household and office waste including hard-to-recycle waste plastics), gasify and purify it, and manufacture synthetic fuel (gasoline, diesel, jet fuel) via FT synthesis.
- Waste that was previously destined for landfill or incineration can be converted into over 60 million liters of sustainable aviation fuel (SAF) and transport fuel annually, with potential CO<sub>2</sub> reductions of over 80,000 tons per year.



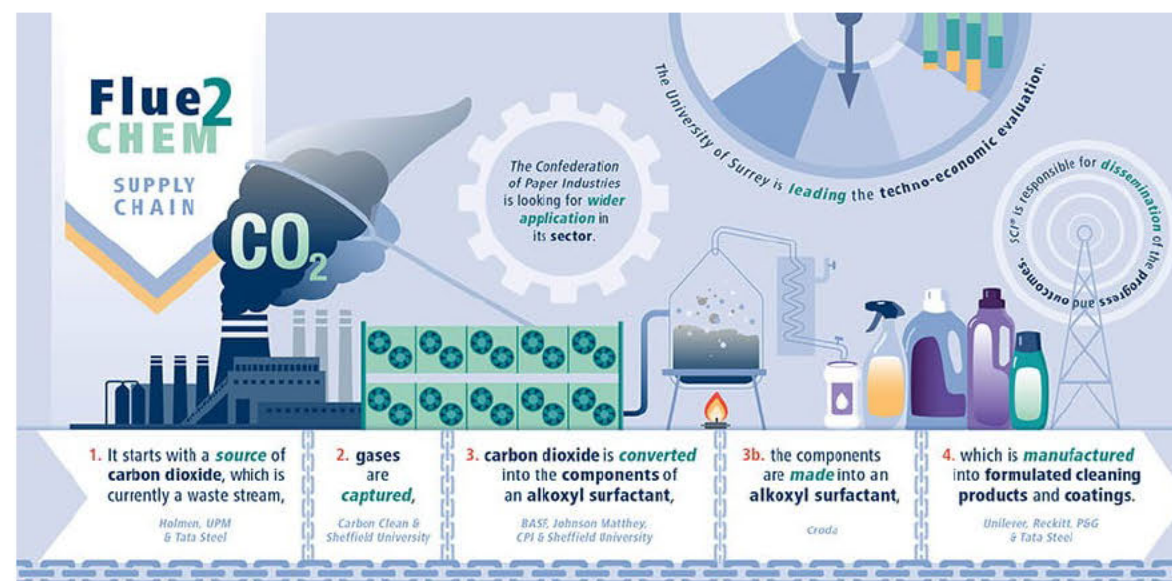
(Source: Global Spec article (September 2019))



## ⑨Flue2Chem (UK)

Small to Medium-Scale/Distributed Type

Participating Institutions	<p>SCI (Society of Chemical Industry)</p> <p>Carbon Clean (CO<sub>2</sub> Capture)</p> <p>Croda (Cosmetics)</p> <p>University of Surrey (Research Institute)</p> <p>University of Sheffield (Research Institute)</p> <p>Johnson Matthey (Chemistry)</p> <p>Confederation of Paper Industries (Papermaking)</p> <p>Tata Steel (Steel production)</p> <p>BASF (Chemical products)</p> <p>P&amp;G (Consumer Goods)</p> <p>Process Innovation Centre (Government Agency)</p> <p>Holmen (Papermaking)</p> <p>UPM Kymmene (Forestry)</p> <p>Unilever (Daily Goods, Consumer Goods)</p> <p>Reckitt Benckiser (Daily Goods)</p>	<p>Overview</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-year plan (2023- ) launched by 15 organizations including Unilever, the Society of Chemical Industry (SCI), and BASF.</li> <li>• The plan was started with the idea that in order for the UK to achieve its net zero target by 2050, it needs to stop using the large amounts of fossil resources it imports for consumer goods, secure alternative carbon sources within the region, and build the value chain for that.</li> <li>• The goal is to build a value chain that captures CO<sub>2</sub> from industrial flue gas and manufactures sustainable alternative carbon sources.</li> <li>• The target is to reduce CO<sub>2</sub> by 15 to 20 million tons annually.</li> </ul>
CO <sub>2</sub> Emission Source	Industrial sources such as metal, glass, paper, chemical production (location, industry, etc. are undecided)	
CCU Products	Alternative products based on capture CO <sub>2</sub> for consumer goods	
Status	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unilever has experimentally sold laundry detergent "OMO" (China), dishwashing detergent "Sunlight" (South Africa), and laundry detergent "Coral+" (Germany).</li> </ul>	




(Source: SCI)



## ⑩ Methanol Production from CO<sub>2</sub> (USA)

Small to Medium-Scale/Distributed Type

Participating Institutions	Fairway Methanol LLC (Established by Mitsui & Co., and Celanese)	Overview <ul style="list-style-type: none"> <li>The facility was enlarged to manufacture approximately 130,000 tons of methanol annually from approximately 180,000 tons of CO<sub>2</sub> emitted annually from nearby plants. The methanol produced is taken by both companies and sold by Mitsui &amp; Co. in the US.</li> </ul>
CO <sub>2</sub> Emission Source	CO <sub>2</sub> emissions from nearby factories	
CCU Products	Methanol	
Status	<ul style="list-style-type: none"> <li>Methanol production started in 2015</li> <li>Facility enhancement in 2021</li> <li>Currently, in commercial operation</li> </ul>	

((Source: Mitsui & Co.))



## ⑪ Project Air (Sweden)

On-site type

Participating Institutions

Perstorp (Chemicals)  
Uniper (Hydrogen Production)  
Sunfire\* (Pressurized Alkaline Electrolyzer)  
Johnson Matthey\* (Methanol Synthesis)

\*Subcontractors

CO<sub>2</sub> Emission Source

Chemical plant (Perstorp)  
Use of biogas from residue

CCU Products

Methanol

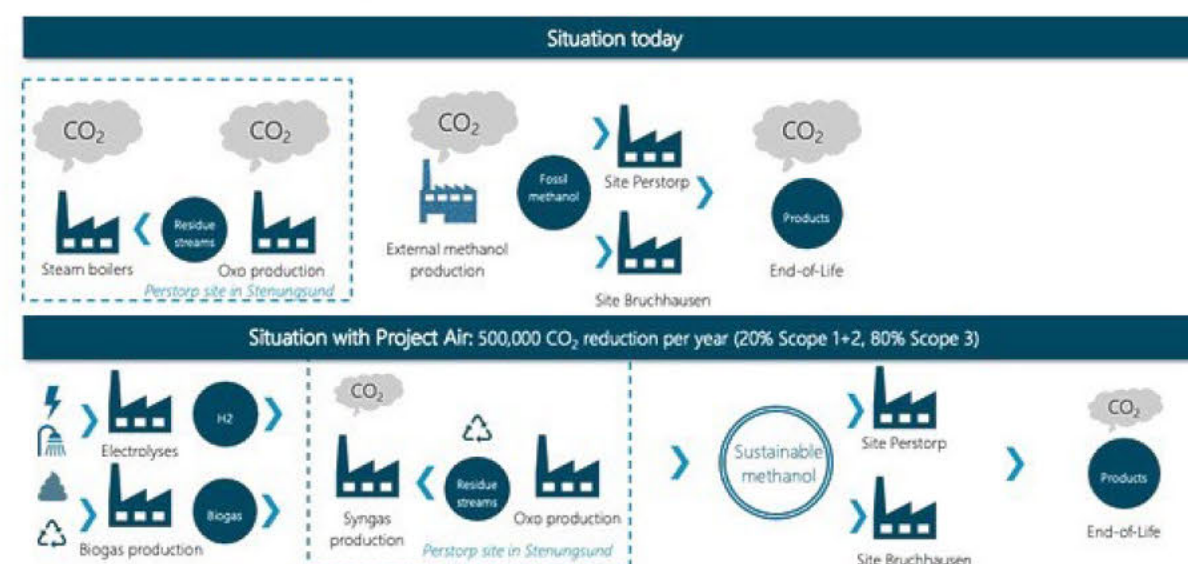
Status

- Project started in 2019
- Methanol production is expected to start in 2026

### Overview

- Residue from Perstorp's chemical plant is turned into biogas, and methanol synthesis is performed using synthetic gas obtained from further gasification and hydrogen derived from water electrolysis using wastewater.
- A carbon capture and utilization (CCU) plant will be constructed in Stenungsund, Sweden, and is scheduled to start operation in 2026.
- Uniper's water electrolysis equipment, using Sunfire's pressurized alkaline electrolyzer (30MW), is the world's first electrolysis plant system for hydrogen production combining purified wastewater and renewable power.

### Production Process Evolution



1

Perstorp

(Source: energypost.eu article (July 2022))



## ⑫ Tata Chemicals (UK)

On-site  
type

Participating  
Institutions

Tata Chemicals Europe (Chemicals)

Overview

- CO<sub>2</sub> is separated and recovered from the exhaust gas of the Combined Heat and Power (CHP) power plant (located in Northwich, Cheshire, gas-fired, 40MW class), purified, and used as a raw material for sodium bicarbonate (brand name Ecokarb®).
- Pentair's Advanced Amine Technology (AAT: a chemical absorption method based on monoethanolamine (MEA)) is adopted for CO<sub>2</sub> separation and recovery.
- Up to 40,000 tons of CO<sub>2</sub> are captured annually.
- A factory for manufacturing Ecokarb® from CO<sub>2</sub> is planned to be built adjacent to the CCU plant. Much of the Ecokarb® is used for hemodialysis to treat patients with kidney disease.

CO<sub>2</sub> Emission  
Source

Combined Heat and Power (CHP) Power  
Plant

CCU Products

Sodium Bicarbonate [User: Hospitals]

Status

- Trial operation started in August 2021
- Operation started in June 2022, still in operation
- Construction plan for the Ecokarb® factory is underway



(Source: Tata Chemicals Europe)



## ⑬ Carmeuse CCU (Belgium)

On-site type

Participating Institutions

Carmeuse (Lime)  
Electrochaea (Microorganisms)  
Engie (Hydrogen Production)  
John Cockerill (Electrolyzer)  
Storengy (Methanation Plant)

CO<sub>2</sub> Emission Source

Lime production (Carmeuse)

CCU Products

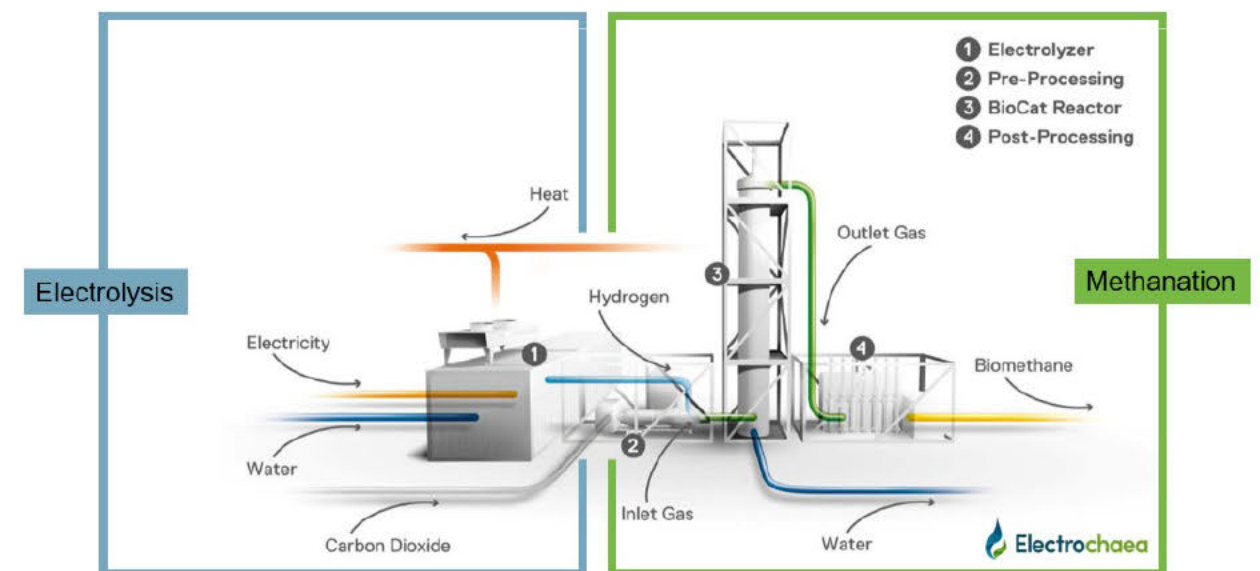
Synthetic Methane

Status

- Fundraising application in progress
- Aiming to start operations in 2025

Overview

- CO<sub>2</sub> generated in the lime manufacturing process (calcining kiln) and green hydrogen are used to produce methane through microorganisms.
- A 75MW water electrolysis plant is planned for green hydrogen production.
- Currently fundraising (applications to the EU Innovation Fund and IPCEI\* are in progress, with a target to start operations in 2025).



(Source: Electrochaea)

\*Important Project of Common European Interest

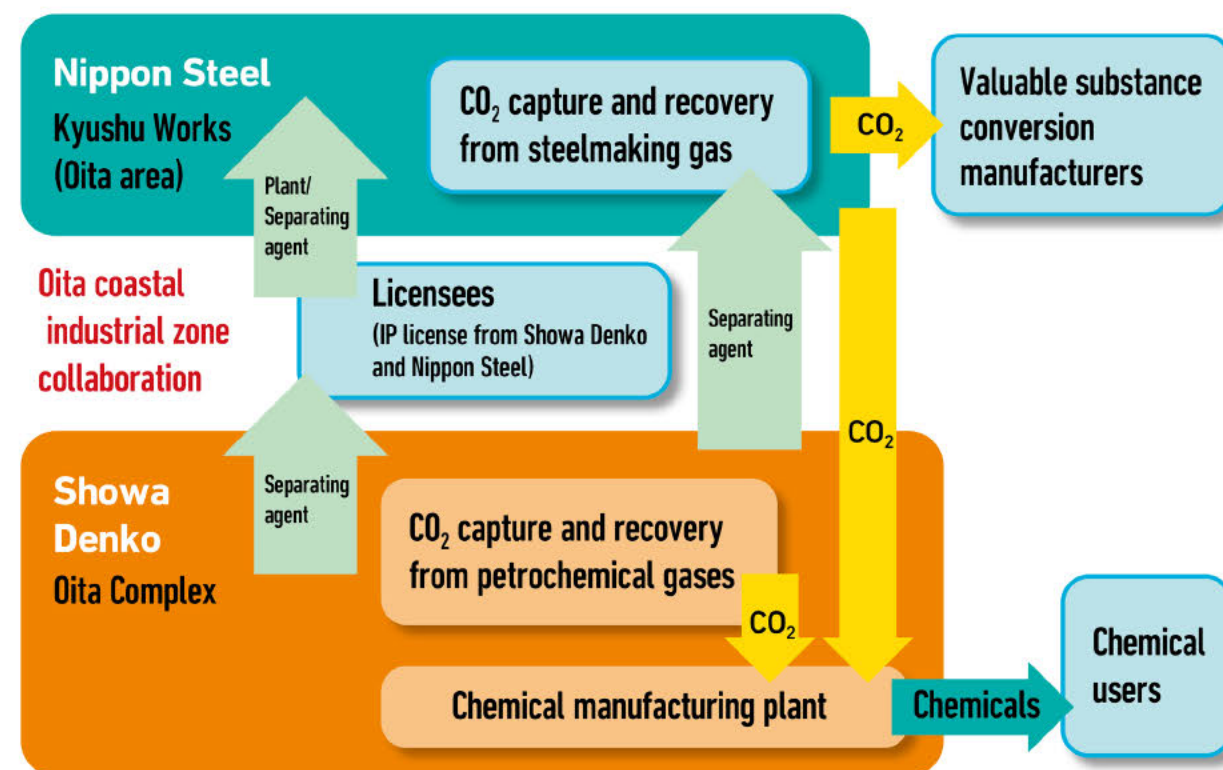
## ⑭ Industrial Collaboration in Oita

### Large-scale Industrial Agglomeration Type

Participating Institutions	Nippon Steel Kyushu Steel Works Resonac (Chemicals) Oita University Osaka University Kyoto University Chiba University Nagoya University Hokkaido University
CO <sub>2</sub> Emission Source	Steel mill (Nippon Steel)
CCU Products	Chemicals
Status	<ul style="list-style-type: none"> <li>Currently developing technology under the NEDO GI Fund (2022-2030)</li> </ul>

### Overview

- Developing technology to efficiently separate and recover low-pressure, low-concentration CO<sub>2</sub> (atmospheric pressure, CO<sub>2</sub> concentration less than 10%) emitted from steel mills.
- Plan to build a pilot plant in the Resonac Oita Complex to manufacture chemicals from the recovered CO<sub>2</sub>.



(Source: NEDO GI Fund Business Overview Document)



## ⑮ Industrial Collaboration in Soga and Goi, Chiba

### Large-scale Industrial Agglomeration Type

#### Participating Institutions

JFE Steel (Steel)  
JNC (Chemicals)  
KH Neochem (Materials, Chemicals)  
UBE Elastomer (Synthetic Rubber)  
Iwatani Corporation (Hydrogen)  
Ube Materials (Lime Manufacturing)  
Cosmo Oil (Oil Refining)  
Denka (Chemicals)  
Maruzen Petrochemical (Petrochemicals)  
Yokogawa Electric Corporation (Management)

#### CO<sub>2</sub> Emission Source

Steel mill (JFE Steel), lime manufacturing (Ube Materials), oil refining (Cosmo Oil), chemical/material manufacturing (Maruzen Petrochemical, KH Neochem, JNC, UBE Elastomer, Denka), etc.

#### CCU Products

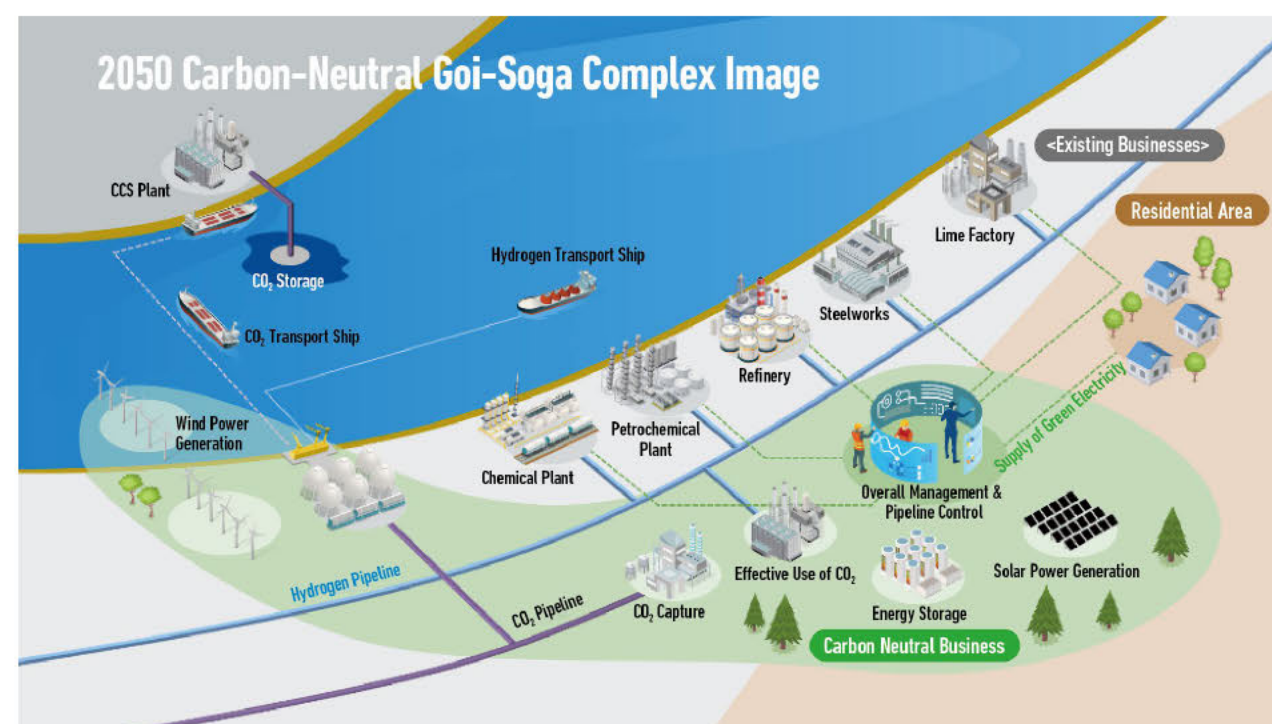
Fuel, Chemicals, Carbonate fixation

#### Status

- Conducted NEDO's industrial collaboration survey (2020-2022)
- Currently considering commercialization

#### Overview

- Collaboration between nine different types of companies located in the Soga and Goi areas of Chiba Prefecture and Yokogawa Electric Corporation
- Considering the introduction of a CO<sub>2</sub> management system, effective utilization of CO<sub>2</sub> recovery, and effective use of hydrogen and by-product gases from existing processes through industrial collaboration
- Considering measures necessary for a carbon-neutral complex by 2050



(Source: Yokogawa Electric Corporation)



## ⑩ Inter-industry collaboration in Tomakomai, Hokkaido

Large-scale Industrial Agglomeration Type

### Participating Institutions

(Energy-Related)

Idemitsu Kosan, Air Water, Sanix Energy, Shizen Energy, Tomakomai Biomass Power Generation, Hokkaido Oil Joint Stockpiling, Hokkaido Electric Power, Hokkaido Electric Power Network

(Manufacturing)

Aizawa High Pressure Concrete, Iwakura Chemical Industry, Oji HD, JFE Engineering, Shimizu Construction, Shimizu Steel, Shinsanso Chemistry, Taisei Construction, Takasago Thermal Chemistry, Takuma, Toshiba Energy Systems, Coca-Cola Japan, Nippon Paper, Hokkaido Soda, etc.

(Management)

Deloitte, JAPEx

Several other institutions, including local governments and universities, are participating in the discussion.

### CO<sub>2</sub> Emission Source

Oil and gas fields, oil refining, oil mills, thermal power plants, various manufacturing industries, etc.

### CCU Products

Fuel, Chemicals

### Status

- Conducted NEDO's industrial collaboration survey (2020-2022)
- Selected as one of the advanced CCS projects in the region
- Currently considering commercialization

### Overview

- Tomakomai is home to oil and gas fields, oil mills, thermal power plants, an airport, manufacturing industries, as well as the biomass industry and the Tomakomai CCS Demonstration Test Center
- Analyzing the energy balance of power and heat, and the material balance of CO<sub>2</sub> in factories located in the area, and considering the implementation of carbon recycling projects using industrial collaboration
- The region is one of the target areas for seven projects selected by JOGMEC (Japan Oil, Gas and Metals National Corporation) as advanced CCS projects for storing domestic CO<sub>2</sub>, and Idemitsu Kosan, Hokkaido Electric Power, and JAPEx have started joint consideration towards the realization of CCUS.



(Source: Deloitte Tohmatsu)



## ⑪ Industrial Collaboration in Kawasaki

### Large-scale Industrial Agglomeration Type

#### Participating Institutions

NTT Data Management Research Institute (Management)  
Kawasaki Carbon Neutral Industrial Complex Formation Promotion Council\*

Kawasaki Port Carbon Neutral Port Formation Promotion Council\*

\*The number of members in both councils is 79 as of March 2023.

#### CO<sub>2</sub> Emission Source

Steel mills, chemical plants, oil refining, oil mills, waste treatment facilities, power plants, etc.

#### CCU Products

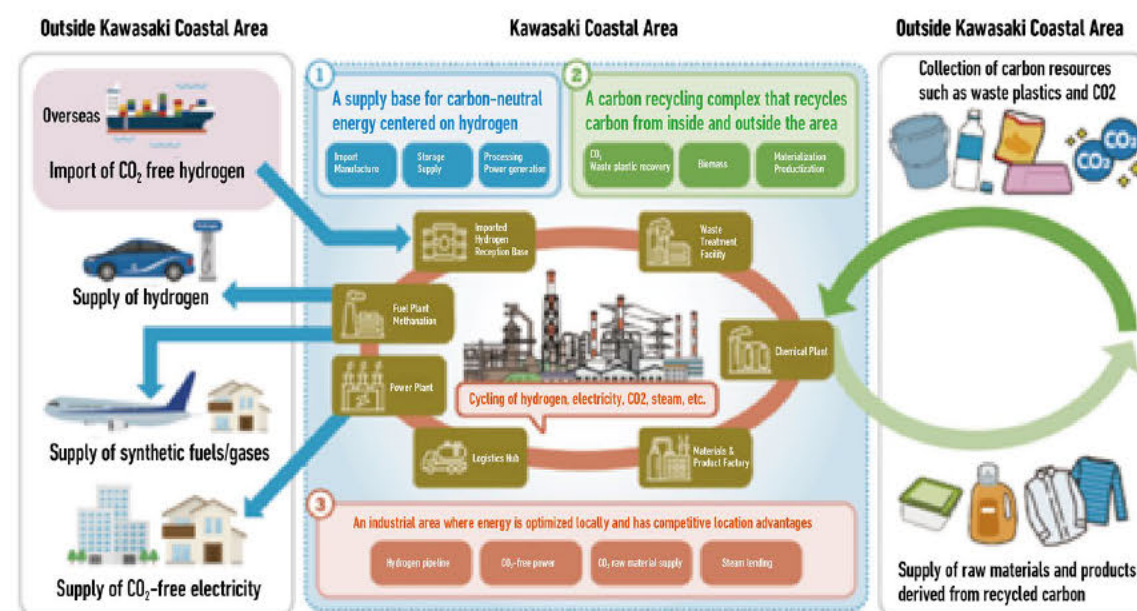
Fuel, Chemicals

#### Status

- Started considering in 2020
- Established the council in 2022
- Currently considering commercialization

#### Overview

- The Kawasaki coastal area features (1) a cluster of energy industries and hydrogen-related companies, (2) a diverse range of material industries centered around the petrochemical industry and robust recycling facilities for waste plastic, and (3) an already implemented industrial complex function that easily facilitates the sharing of energy, heat, raw materials, etc. due to the extensive pipe network.
- Taking advantage of these features, the aim is to realize a carbon recycling industrial complex by 2050.



(Source: Kawasaki City)



## ⑱ Industrial Collaboration in Shunan, Yamaguchi

### Large-scale Industrial Agglomeration Type

**Participating Institutions**

Idemitsu Kosan (Petrochemicals)  
 Tosoh Corporation (Chemical Manufacturing)  
 Tokuyama Corporation (Cement, Chemicals)  
 Nippon Steel Stainless Steel Corporation (Stainless Steel Manufacturing)  
 Zeon Corporation (Chemical Manufacturing)  
 Mitsubishi Gas Chemical Company (Methanol Manufacturing)  
 Mitsubishi Heavy Industries Engineering (Currently Mitsubishi Heavy Industries) (CO<sub>2</sub> Capture and Separation)

**CO<sub>2</sub> Emission Source**

Petrochemicals (Idemitsu Kosan), Soda (Tosoh), Cement (Tokuyama), Rubber (Zeon), Iron and Steel (Nippon Steel)

**CCU Products**

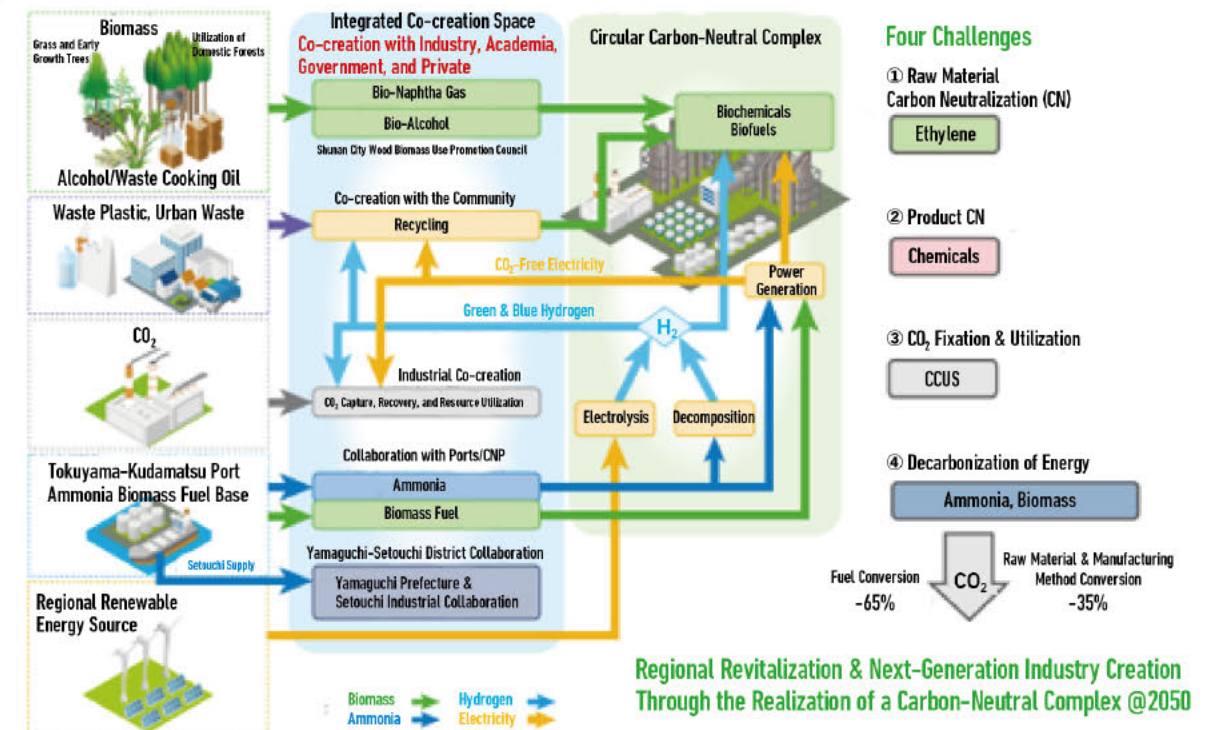
Fuel, Chemicals, Carbonate Fixation (, CCS)

**Status**

- Shunan Industrial Complex Decarbonization Promotion Council established in 2022
- Roadmap developed in 2023
- Currently considering commercialization

### Overview

- The Shunan area in Yamaguchi Prefecture is home to a diverse array of material industries.
- Inorganic chemistry centered on caustic soda and olefin-based organic chemistry coexist, and there is also surplus hydrogen.
- The Shunan Industrial Complex Decarbonization Promotion Council was launched in 2022, and it is currently considering solutions and strategies for achieving carbon neutrality while promoting decarbonization and maintaining and enhancing industrial competitiveness.
- Amidst this, Tokuyama and Mitsubishi Gas Chemical are considering the commercialization of Japan's first commercial plant to produce methanol from CO<sub>2</sub> emitted from cement plants



(Source: Shunan Industrial Complex Carbon Neutral Roadmap)



## ⑱CO<sub>2</sub> Utilization from flue gas of Waste Inclination Plant in Saga City

Participating Institutions	Saga City (local government) Toshiba Energy Systems (CO <sub>2</sub> capturing) Ebara Environmental Plant (inclination plant) Kyushu Electric Power Company (energy management) Saga Environmental Science Inspection Association (environmental analysis) Alvita (microalgae) Euglena (microalgae) Green Labo (agricultural production) JA (agricultural production and distribution)	Overview <ul style="list-style-type: none"> <li>• Saga city started “Biomass Utilization Promotion Project at Waste Plant” with Toshiba, Kyushu Electric Power and Ebara from 2013 to 2014.</li> <li>• Small-sized CO<sub>2</sub> capturing plant started to operate in October 2013. 10 to 20kg of CO<sub>2</sub> was captured. The plant achieved 8,000 hours operation.</li> <li>• CO<sub>2</sub> started to be supplied to agricultural plant in October 2014. Commercial plant started the operation in August 2016 with 10 tons/d of CO<sub>2</sub> being captured. CO<sub>2</sub> started to be supplied to microalgae plant.</li> <li>• CO<sub>2</sub> is supplied to nearby locations by pipeline. Cost of supply is JPY66.2/Nm<sup>3</sup> (around JPY33.7/kg)</li> <li>• Saga City developed “Saga City Vision for Biomass Industrial City” in July 2014. Ministry of Agriculture and Fishery designated the city as a biomass industrial city in November 2014, and the city promotes the use of biomass and wastes.</li> </ul>
CO <sub>2</sub> Emission Source	Waste Inclination	
CCU Products	(as direct use) Microalgae (Alvita, Euglena) Agricultural production (JA, Green Labo)	
Status	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Joint research started in May 2013.</li> <li>• CO<sub>2</sub> capturing plant started its operation in October 2013.</li> <li>• CO<sub>2</sub> supply to agricultural plant started in October 2014.</li> <li>• CO<sub>2</sub> supply to microalgae production plant started in October 2016.</li> <li>• Currently in commercial operation</li> </ul>	<p>二酸化炭素分離回収フロー図</p> <p>窒素 = 79% 酸素 = 9% 二酸化炭素 = 12%</p> <p>佐賀市清掃工場</p> <p>今まで大気中に放出していた排ガスから二酸化炭素のみを分離回収する</p> <p>藻類培養</p> <p>植物工場</p> <p>JA, Green Labo</p> <p>二酸化炭素をパイプラインで事業者へ供給</p> <p>回収した二酸化炭素は貯留タンクへ</p> <p>【二酸化炭素分離回収設備】 二酸化炭素のみに分離回収 回収量：10 t/日</p> <p>※発生する二酸化炭素の一部を回収しています。</p> <p>【二酸化炭素貯留タンク】</p>

(Source: Saga City)



## ② Ethanol Production by Sekisui Biorefinery

Small to Medium-Scale/Distributed Type

Participating Institutions

INCJ  
(A government-private fund supervised by Sekisui Chemical and the Ministry of Economy, Trade, and Industry)  
Sekisui Biorefinery (Biorefinery)  
Sekisui Chemical (Gas Purification & Ethanol Production Technology)  
Mitsubishi Heavy Industries Environmental & Chemical Engineering (Gasification Reforming Furnace)  
LanzaTech (Microbial Catalyst)

CO<sub>2</sub> Emission Source

Waste (Combustible garbage)

CCU Products

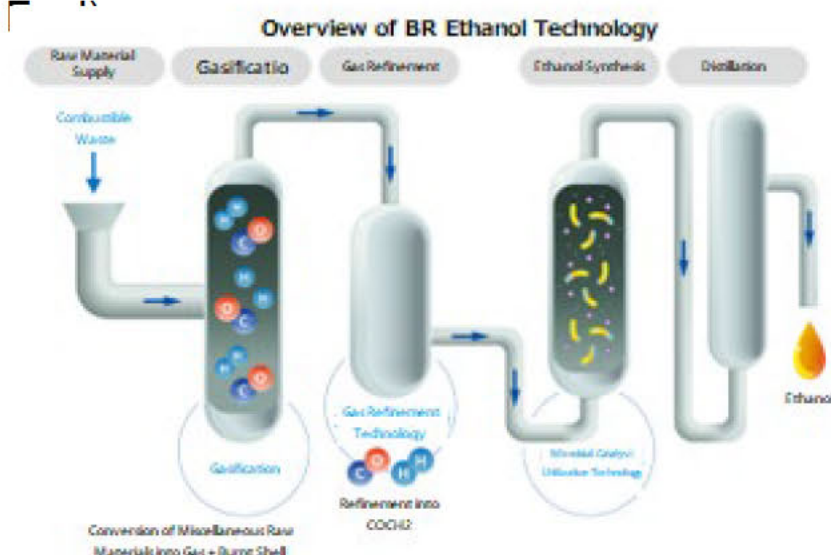
Ethanol

Status

- Demonstration phase (from fiscal 2022)
- Commercial machine operation is planned for around fiscal 2025
- ✕ Lanza Tech's technology is in commercial operation in China

Overview

- Bio Refinery (BR) ethanol technology that turns waste into a resource contributes to the reduction of CO<sub>2</sub> produced from waste incineration and reduction of plastic waste. The synthesized ethanol can be used to produce plastics and SAF (Sustainable Aviation Fuel)



Demonstration plant completed in Kuji City, Iwate Prefecture

(Source: Sekisui Chemical)



## ②1 Yokohama City CCU Demonstration Project

Small to Medium-Scale/Distributed Type

Participating Institutions

Yokohama City (Waste treatment facility)  
Tokyo Gas (e-methane utilization)  
Mitsubishi Heavy Industries Engineering (CO<sub>2</sub> capture equipment)  
Mitsubishi Heavy Industries Environmental & Chemical Engineering (CO<sub>2</sub> capture equipment)

CO<sub>2</sub> Emission Source

Yokohama City (Waste treatment facility)

CCU Products

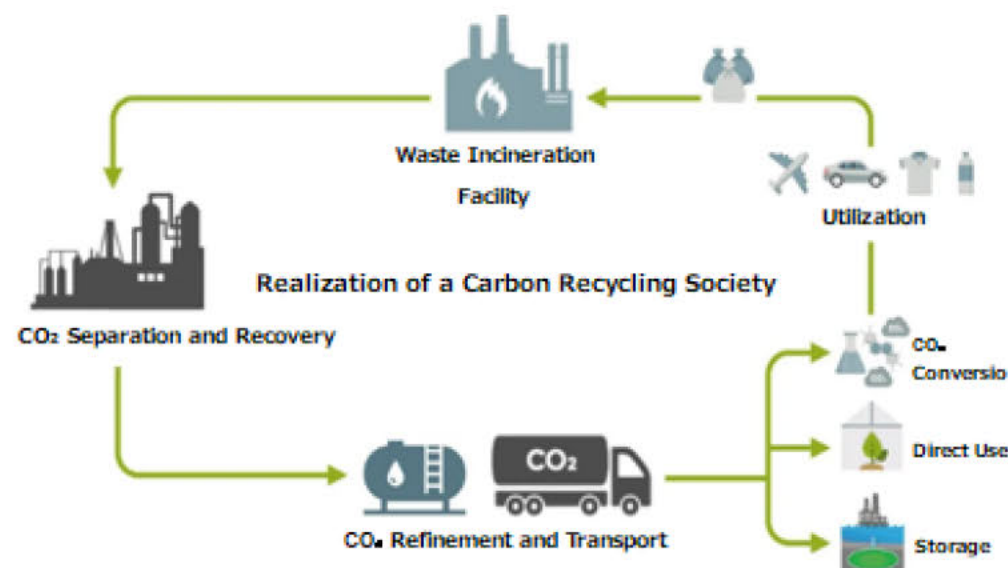
e-methane, CO<sub>2</sub> (Industrial gas)

Status

• Demonstration phase (from 2022)

Overview

- Public - private sector initiative to examine the effective recycling of CO<sub>2</sub> generated from the waste incineration facilities owned by Yokohama City, by separating and capturing the CO<sub>2</sub>.



The demonstration tests will be carried out at the Tsurumi Plant (Source: Yokohama City) of Yokohama City's Resource Recycling Bureau.



## ②Methanol Production from Waste

Small to Medium-Scale/Distributed Type

**Participating Institutions**  
Mitaka City and Chofu City (Waste treatment facility)  
Mitsubishi Gas Chemical (Methanol synthesis)  
JFE Engineering (CO<sub>2</sub> capture equipment)

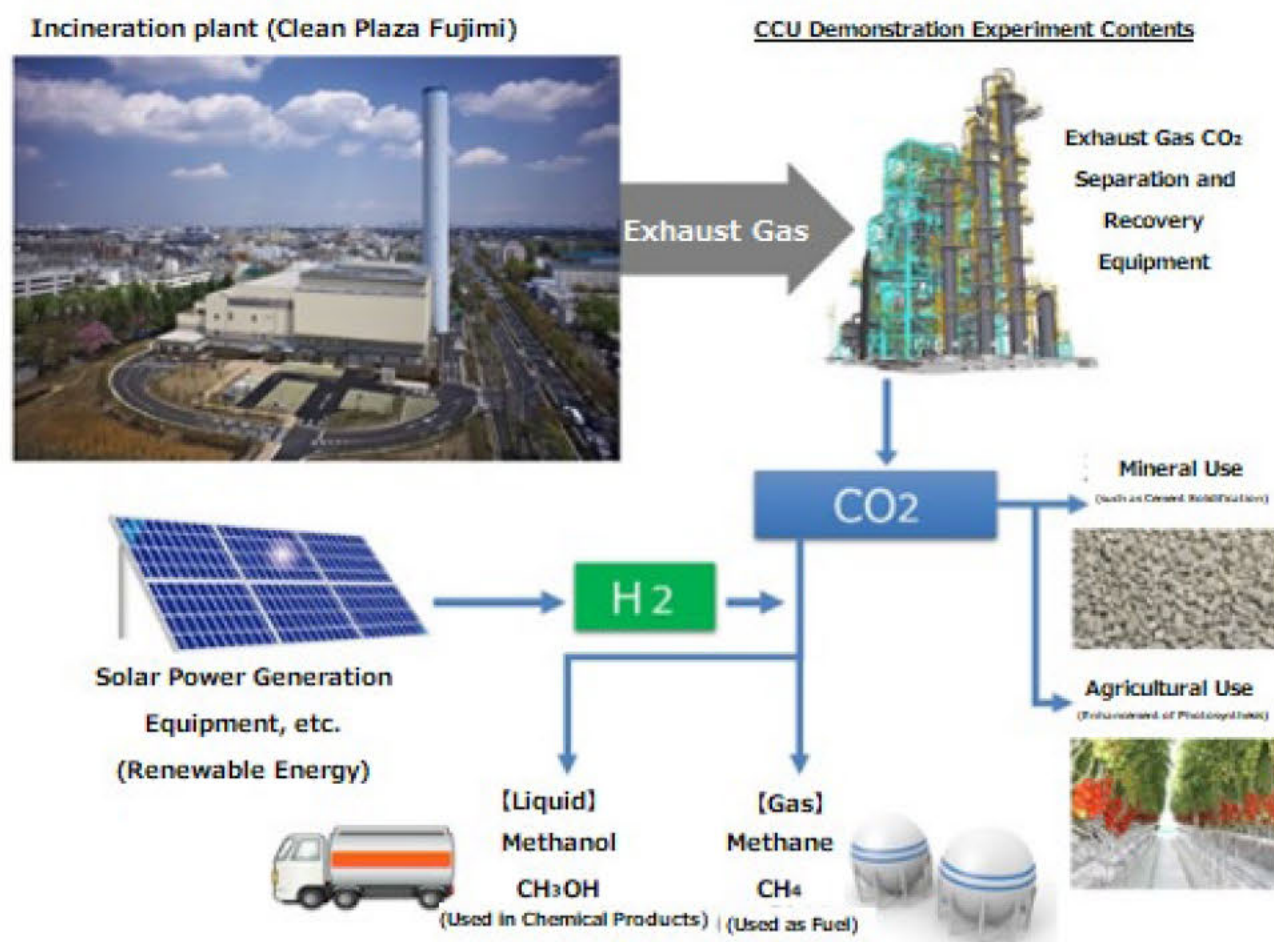
**CO<sub>2</sub> Emission Source**  
Waste incineration facilities operated by Mitaka City and Chofu City

**CCU Products**  
Synthetic methane, methanol

**Status**  
• In 2022, successfully conducted a methanol conversion test (methanol production) using captured CO<sub>2</sub>.

### Overview

- This project aims to verify the production of methanol, a key material for chemical products, by separating and capturing CO<sub>2</sub> from waste incineration flue gas. CO<sub>2</sub> captured at the waste treatment facility (Clean Plaza Fujimi) operated by Mitaka City and Chofu City was converted into methanol at Mitsubishi Gas Chemical's Niigata Research Laboratory.



(Source: Mitsubishi Gas Chemical)



## ②③Methanation Demonstration in Nagaoka

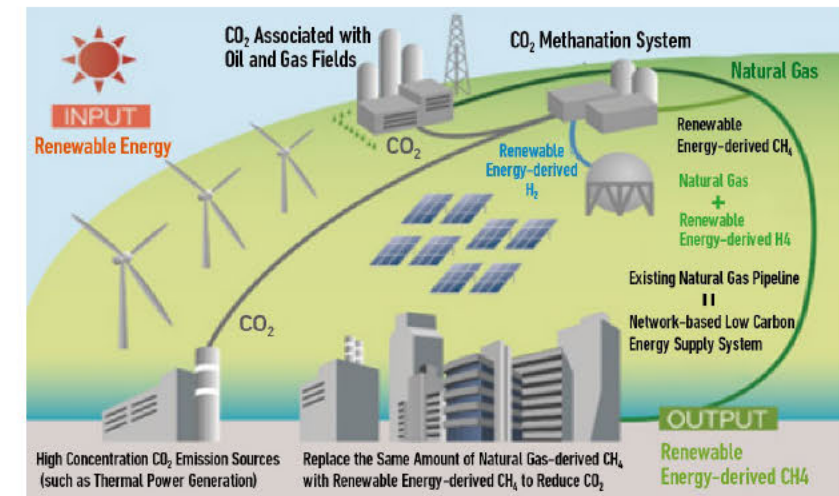
Small to Medium-Scale/Distributed Type

Participating Institutions

INPEX (Plant operation)  
Osaka Gas (Methanation catalyst)  
Hitachi Zosen (Equipment manufacturer)

Overview

- This is a demonstration project for carbon neutrality of city gas through methanation using CO<sub>2</sub> separated and recovered from high concentration CO<sub>2</sub> emission sources. The synthetic methane produced in the demonstration project is expected to be injected into INPEX's city gas pipeline and delivered to consumers.



An 8Nm<sup>3</sup>/h class methanation test device created at INPEX Nagaoka Mine

(Source: INPEX)

CO<sub>2</sub> Emission Source

INPEX Nagaoka field  
(CO<sub>2</sub> as associated product of natural gas)

CCU Products

Synthetic Methane (e-methane)

Status

- Started a demonstration test of synthetic methane production capacity of 8Nm<sup>3</sup>-CO<sub>2</sub>/h in FY2017.
- In FY2021, with the support of NEDO, started a demonstration project that expanded the demonstration scale to 400Nm<sup>3</sup>-CO<sub>2</sub>/h.
- Plan to start demonstration tests in 2025.



## ②4 Odawara City Carbon Cycle Model Construction Demonstration

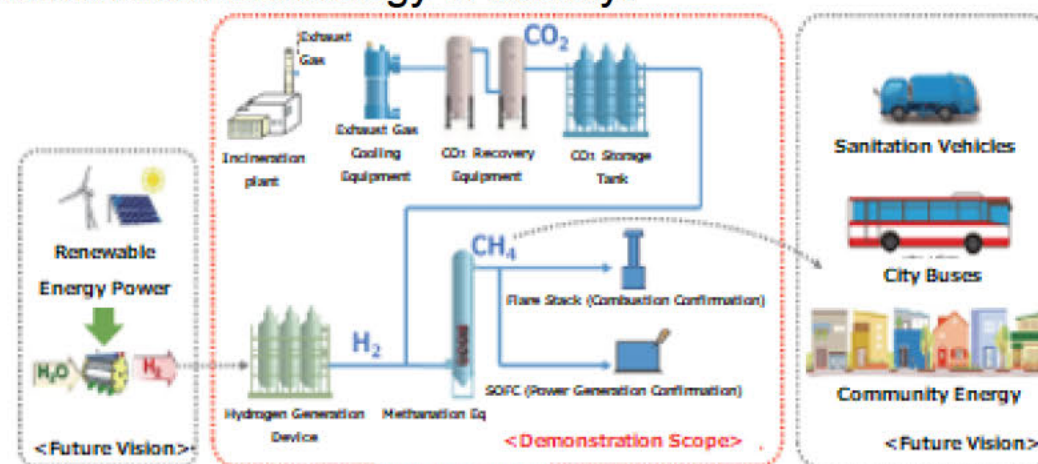
On-site  
type

Participating  
Institutions

Odawara City (Waste treatment and incineration)  
Hitachi Zosen (Methanation plant)  
X Urban Research Institute (Management)

Overview

- E-methane production using CO<sub>2</sub> emitted from waste incineration plant
- Combustion and power generation confirmed at methane gas utilization facility
- Although this facility will be dismantled within FY2023, the goal is to implement the combination model of waste incineration plant and methanation technology in society.



(Source: Hitachi Zosen)

CO<sub>2</sub> Emission  
Source

Waste treatment and incineration

CCU Products

Synthetic methane

Status

- Implemented as a Ministry of the Environment project (2018-2022)
- Started demonstration operation in June 2022
- Planned to be dismantled by FY2023



## ②5 Asahi Group's Methanation Demonstration Test

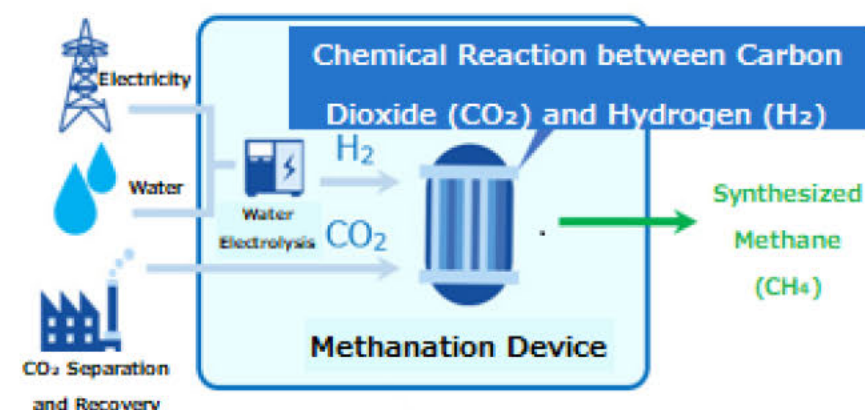
On-site type

Participating  
Institutions

Asahi Quality & Innovations (CO<sub>2</sub> separation and capture, boiler)  
IHI Plant Construction (Methanation equipment)

### Overview

- CO<sub>2</sub> in the boiler flue gas in the factory is captured and converted into synthetic methane (e-methane) by methanation.
- This is the first methanation facility in a food company in Japan.
- Synthetic methane (e-methane) is used as an alternative to natural gas.
- In the future, the possibility of "carbon recycling" in the factory, including fuel for fuel cells, is being considered.



(Source: Asahi Group Holdings)

CO<sub>2</sub> Emission  
Source

Boiler flue gas at the factory

CCU Products

Synthetic methane

Status

- Demonstration operation started in 2021

## ②⑥ CO<sub>2</sub> Reduction Technology with Carbon Recycling Blast Furnace

On-site  
type

Participating  
Institutions

JFE Steel (Steel making)

Overview

- CO<sub>2</sub> in the emission gas from blast furnace process is captured and converted to synthetic methane utilized as an alternative reducing agent to coal (GI Fund project).

CO<sub>2</sub> Emission  
Source

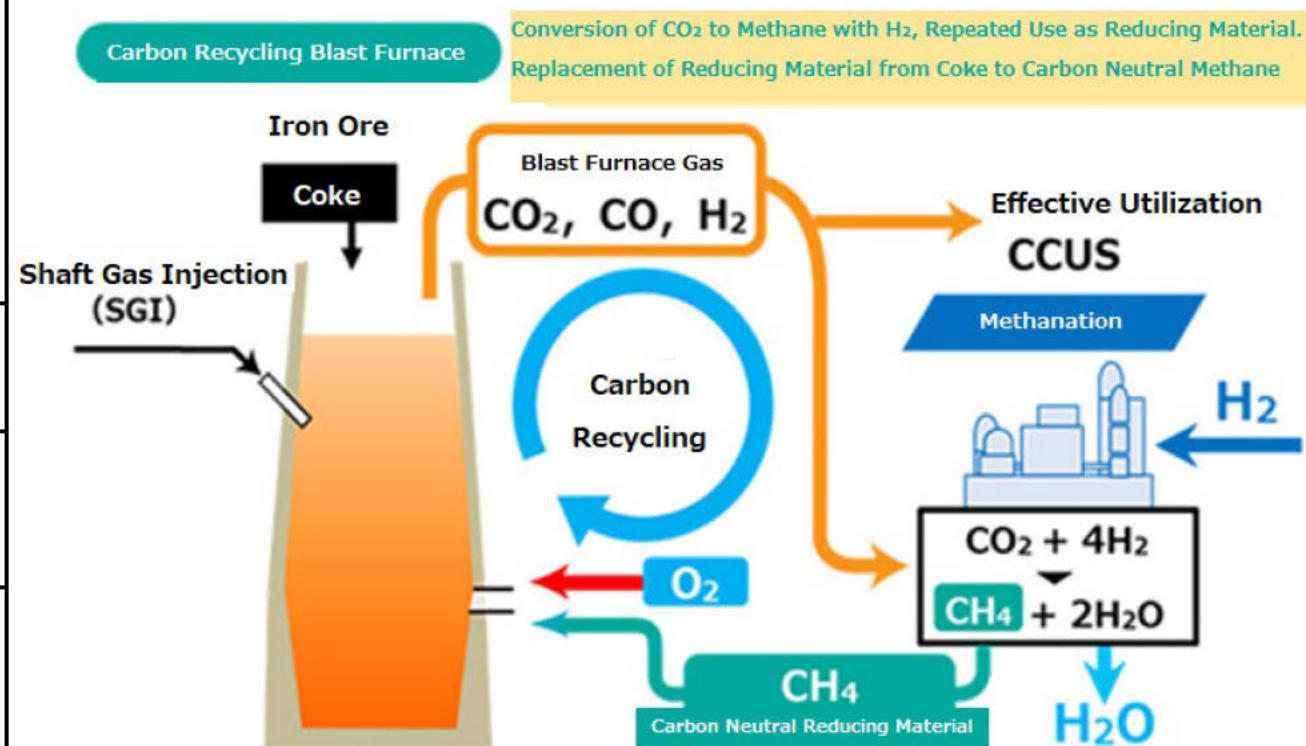
CO<sub>2</sub> in blast furnace gas (JFE Steel)

CCU Products

Synthetic methane

Status

- Technology development stage (as of January 2023)





## ②7 Development of CO<sub>2</sub> Capture Cement Production Process

On-site type

Participating Institutions

Taiheiyo Cement (Cement)

Overview

- CO<sub>2</sub> generated from the calcination process of limestone is captured and converted to synthetic methane by methanation process. Synthetic methane is used as a natural gas alternative fuel in the development of the CR cement manufacturing process (GI Fund project).

CO<sub>2</sub> Emission Source

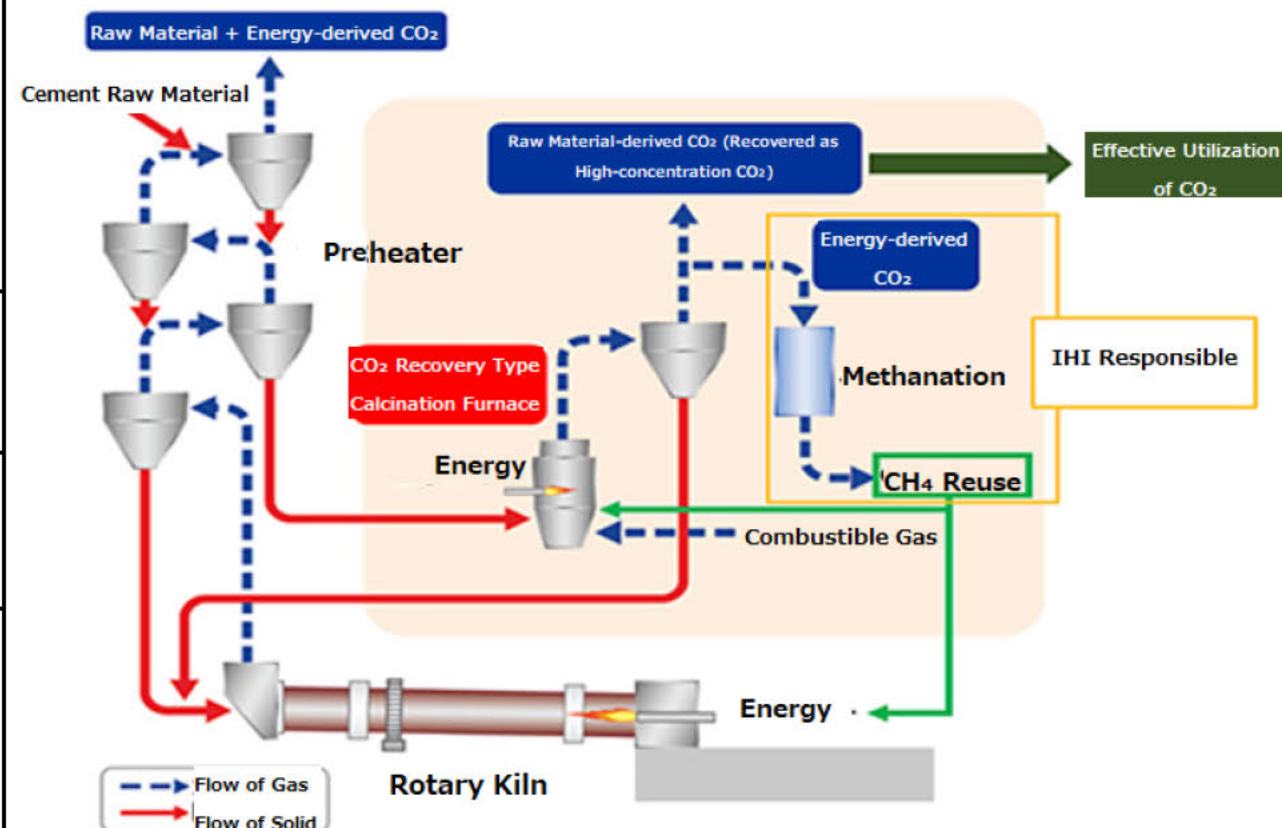
Cement manufacturing (Taiheiyo Cement)

CCU Products

Synthetic methane

Status

- Demonstration phase (From 2021 for a maximum of 10 years until 2030)



(Source: Taiheiyo Cement)

## ②⑧ CO<sub>2</sub> Recycling Plant at Denso Anjo Plant Electric Development Center

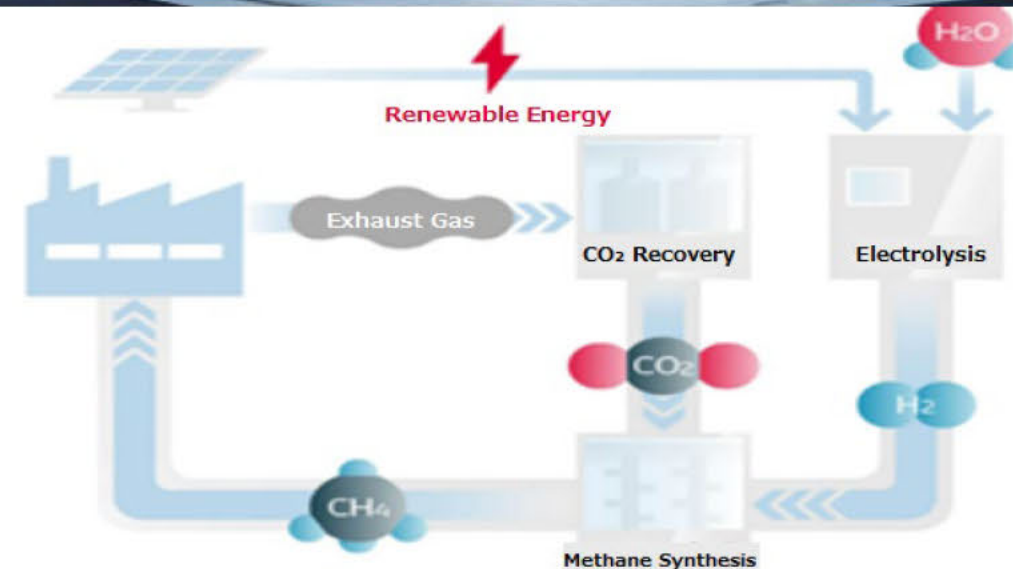
On-site type

Participating  
Institutions

Denso (Manufacturing)

Overview

- A carbon recycling test device has been installed, which captures CO<sub>2</sub> from exhaust gases generated in the factory's production process, converts it into synthetic methane by combining it with hydrogen, and utilizes it within the company.



(source: Denso)

CO<sub>2</sub> Emission  
Source

Automobile parts manufacturing  
(Denso)

CCU Products

Synthetic methane

Status

- Technological development stage (as of January 2023)



## ②9 Kawasaki Plastic Recycling (KPR) Project

On-site  
type

Participating Institutions  
Kawasaki City (Waste sorting and treatment)  
Resonac (High-Temperature Gasification Furnace, Ammonia Production)

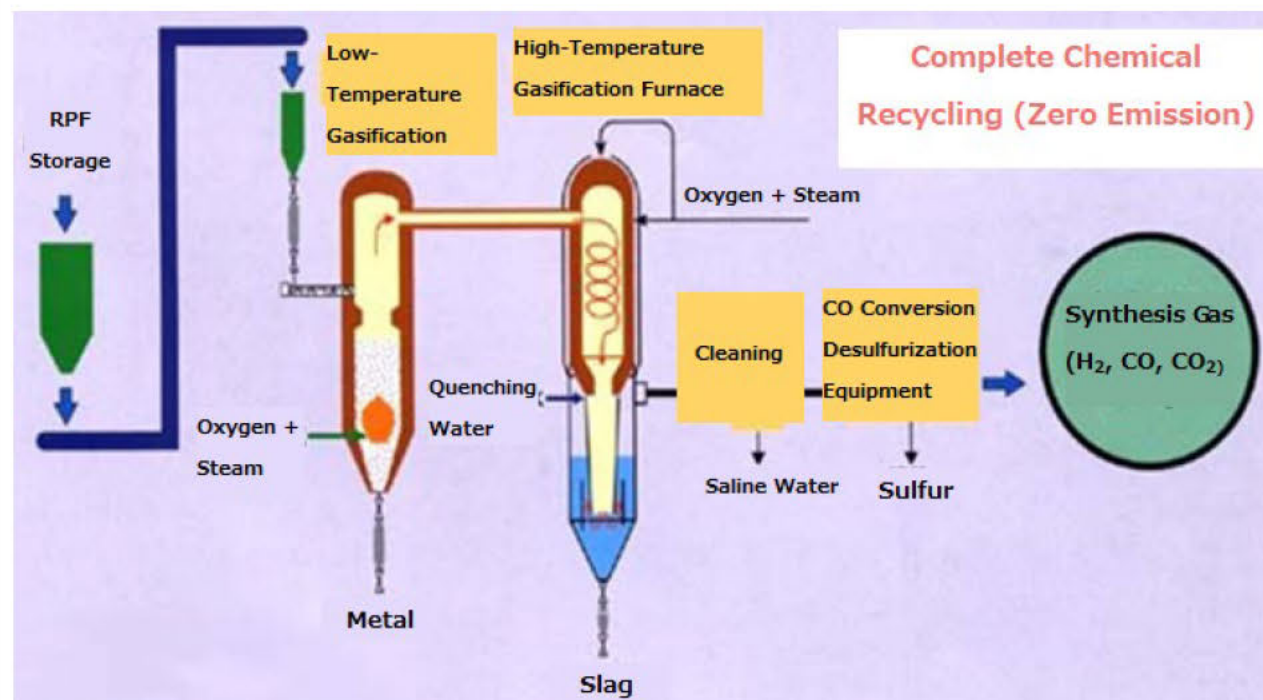
### Overview

- Municipalities sort and collect used plastic marked with a recycling label and compress them.
- Used plastic is gasified to produce ammonia (ammonia production without any use of fossil fuels)
- After gasification, the CO<sub>2</sub> not required for ammonia synthesis is captured and stored, instead of being released into the atmosphere. It is used as a raw material for dry ice, carbonated drinks, and medical carbon dioxide gas at Showa Denko Gas Products, a group company, thereby achieving resource circulation.

CO<sub>2</sub> Emission Source  
Gasification during waste plastic recycling (Resonac)

CCU Products  
Direct use (raw material for dry ice, carbonated drinks, medical carbon dioxide gas, etc.)

Status  
• Commercial operation since 2003



(Source: Resonac)

## ③ Carbon Dioxide Utilization for Polycarbonate Production

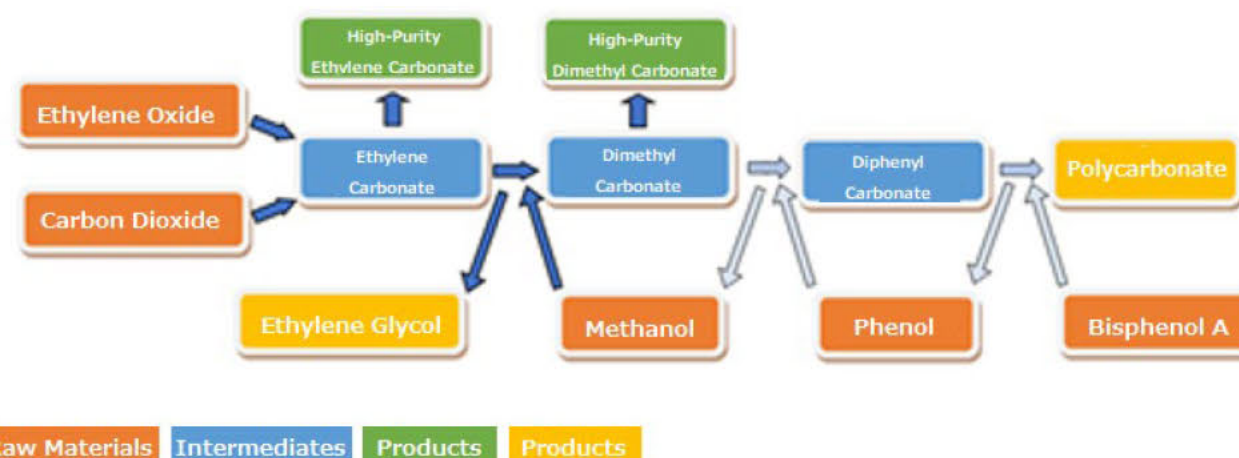
On-site  
type

Participating  
Institutions

Asahi Kasei (Chemistry)

Overview

- Asahi Kasei pioneered the technology to produce polycarbonate using CO<sub>2</sub> and ethylene oxide (EO) as raw materials.
- The EO method DPC process produces EC, DMC, and DPC from EO and CO<sub>2</sub> and is self-sufficient, utilizing the CO<sub>2</sub> produced during the manufacture of ethylene oxide.



CO<sub>2</sub> Emission  
Source

Chemical Plant

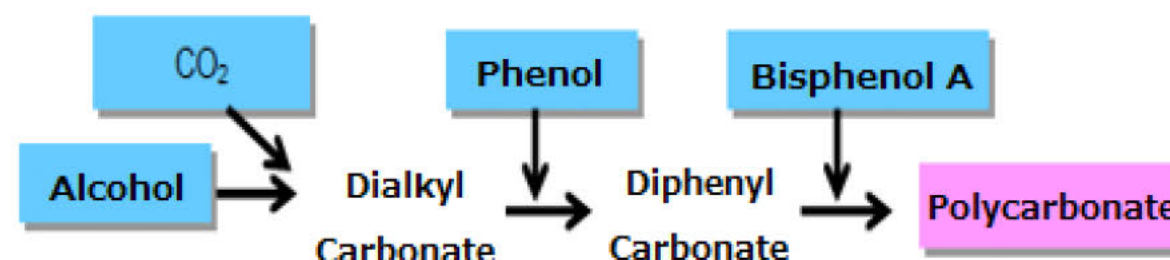
CCU Products

Polycarbonate

Status

- EO method developed since the 1980s, commercialized
- DRC method DPC has been demonstrated in NEDO project (2014-2016)

- In addition, a method of producing polycarbonate from CO<sub>2</sub> and alcohol via DRC (dialkyl carbonate) and DPC has also been developed (DRC method DPC process).




(Source: Asahi Kasei)



### ③① Utilization of Recovered CO<sub>2</sub> in Methionine Production

On-site type

Participating Institutions	Sumitomo Chemical (Chemistry) Sumitomo Joint Electric Power (Power Generation)	Overview
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub> is partially recovered from the Niihama Nishi coal-fired power plant and transported via pipeline to a chemical plant 2.5km away. The CO<sub>2</sub> is supplied as a secondary raw material (for crystallization) in the production of chicken feed additive (methionine).</li> </ul>
CO <sub>2</sub> Emission Source	Niihama Nishi Coal-fired Power Station (Sumitomo Joint Electric Power)	 <p>(Source: Sumitomo Chemical)</p>
CCU Products	Chicken feed additive (Methionine) [User: Sumitomo Chemical]	
Status	<ul style="list-style-type: none"> <li>• In July 2018, the company started a business to produce and supply CO<sub>2</sub> from Niihama Nishi Power Plant to Sumitomo Chemical Ehime Plant.</li> <li>• Currently, the operation is ongoing.</li> </ul>	



## ③② Use of Exhaust Gas from City Gas Equipment for Carbon-Negative Concrete

On-site type

**Participating Institutions**  
Tokyo Gas (Gas)  
Kajima Construction (Construction)  
Japan Concrete Industries (Concrete)  
Yokohama City Board of Education (Local Government)

### Overview

- The case of practical application of the carbon-negative concrete "CO<sub>2</sub>-SUICOM ®", which is produced by absorbing and solidifying the low concentration of CO<sub>2</sub> contained in the exhaust gas when using city gas equipment.
- Introduced to an elementary school as part of the foundation blocks for solar power generation equipment.



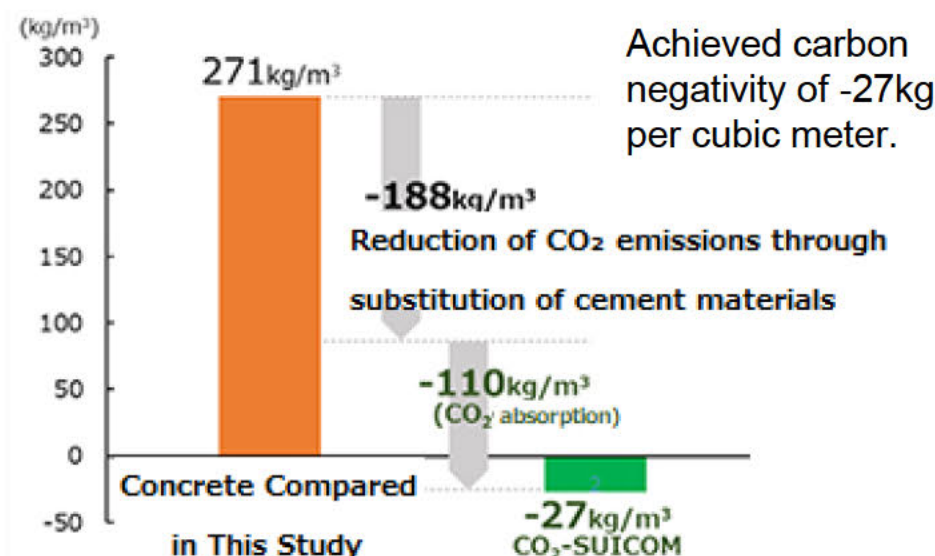
Solar power generation system and CO<sub>2</sub>-SUICOM introduced at Yokohama City Motomachi Elementary School.

**CO<sub>2</sub> Emission Source**  
City gas equipment (Tokyo Gas)

**CCU Products**  
Concrete  
[User: Kajima Construction / Japan Concrete Industries]

**Status**

- As part of the Yokohama City "Introduction of Renewable Energy and other systems to City-Owned Facilities" project (from April 2021), carbon-negative concrete will be installed in an elementary school in April 2023 (the first commercial use in Japan), and full-scale supply will begin.
- Continuous consideration is being given to mass production, cost reduction, and expansion of popularity.




(Source: Tokyo Gas)



### ③③ Carbon Dioxide Recycling Technology for Concrete Industry

On-site  
type

Participating Institutions	Aizawa Concrete Corporation (Ready-mixed concrete manufacturing) Air Water Inc. (CO <sub>2</sub> transportation) CarbonCure Technologies (U.S.) (Technology license provision)	Overview <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implemented the CO<sub>2</sub> mineralization (solidification) technology from Canada's CarbonCure Technologies for the first time in Japan</li> <li>• Collects CO<sub>2</sub> from chemical plants and other sources, purifies and liquefies it, and delivers it to a dedicated tank installed at the ready-mixed concrete plant by truck</li> <li>• Directly injects liquefied CO<sub>2</sub> into the mixer, generating calcium carbonate in the cement and solidifying the CO<sub>2</sub></li> </ul>  <p>(Source) Aizawa Concrete Corporation</p> <p>Liquefied CO<sub>2</sub> blown into the mixer</p>
CO <sub>2</sub> Emission Source	Chemical plants	
CCU Products	Ready-mixed concrete [User: Aizawa Concrete Corporation]	
Status	<ul style="list-style-type: none"> <li>• License agreement was concluded in July 2020</li> <li>• Supply of low-carbon concrete using this technology started in May 2021. Currently in operation</li> </ul>	

## 二次利用未承諾リスト

報告書の題名 令和 5 年度燃料安定供給対策調査等事業  
(カーボンリサイクルの社会実装実現に  
向けた調査) 報告書

委託事業名 令和 5 年度燃料安定供給対策調査等事業

受注事業者名 一般財団法人  
日本エネルギー経済研究所

頁	図表番号	タイトル
11	Table 2	Range estimates of the potential for CO2 utilization and the present-day breakeven cost
20		Carbon2Chem Project
21		Hydrogen Lab Leuna E-CO2 Met
22		North-C-Methanol
23		Haru Oni Project
24		LululemonとLanzaTechによる衣料生地生産
25		C2PAT
26		Jupiter 1000
27		Altalto
28		Flue2Chem
29		CO2からのメタノール製造増産
30		Project Air
31		Tata Chemicals
32		Carmeuse CCU
35		2050年のカーボンニュートラルな五井・蘇我コンビナートのイメージ
36		北海道・苫小牧における産業間連携
39		泉北コンビナートにおける産業間連携
42		積水バイオリファイナリーによるエタノール製造
44		廃棄物からのメタノール製造
45		長岡鉾場におけるメタネーション実証試験
46		小田原市炭素循環モデル構築実証事業
47		アサヒグループによるメタネーション実証試験
48		カーボンリサイクル高炉によるCO2削減技術
49		CO2回収型セメント製造プロセスの開発
50		デンソー安城製作所電動開発センターにおけるCO <sub>2</sub> 循環プラント
51		川崎プラスチックリサイクル (KPR) 事業
52		回収CO2を利用したポリカーボネート
53		回収CO2を活用したメチオニン製造
54		CO2-SUICOM
55		コンクリート産業向けの二酸化炭素リサイクル技術
56		カーボンネガティブコンクリート



(様式 2)

71		C02原料のe-メタノールを船舶用燃料やプラスチック製品などに利用
72		清掃工場から排出されるC02を原料にメタノールを製造
73		ごみをエタノールにする実証事業
74		ポリカーボネート (E0法DPCプロセス)
75		ポリカーボネート (DRC法DPCプロセス)
76		ポリカーボネート類 (E0法DPCプロセスの中間体の活用)
77		バイオメタノールからエンジニアリングプラスチックの製造
78		生分解性ポリマーをC02から製造
79		排ガスC02から接着剤材料 (エポキシ樹脂) を製造
80		ホスゲンを使わずC02からポリウレタンを製造
81		ホスゲンを使わずC02からポリウレタン原料を製造
82		国際連携でC02から衣料用生地を製造
83		微生物発酵を利用してゴムや樹脂をリサイクル・製造
84		C02からブタジエンゴムを製造
85		C02から炭素材料・製品を製造
86		LanzaTechのエタノールから香水を製造・販売
87		コンクリート製造時にC02を吸収・固定する「C02-SUICOM」の実用化
88		コンクリート製造時にC02を吸収・固定する (C02養生)
89		コンクリート製造時にC02を吸収・固定する その2
90		C02固定した炭酸塩を利用したコンクリート製造
91		コンクリート材料である骨材にC02を固定
92		鉄鋼スラグを利用したC02の炭酸塩固定
93		CaOにC02を吸収させて骨材や混和材として利用
94		C02からFT合成によるSAF製造
95		バイオマスガス化からFT合成によるSAF製造
96		微生物触媒を利用したアルコールからのSAF製造 (ATJ)
97		微生物触媒を利用したアルコールからのSAF製造 (ATJ) その2
98		微細藻類、廃食油からのSAFおよびバイオ燃料の製造