



サーキュラーエコノミーに関する技術・政策動向

2022年8月3日

日本機械学会 技術ロードマップ委員会

2022年度オンラインセミナー

～持続可能な未来の実現のための技術ロードマップ～

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

技術戦略研究センター 環境・化学ユニット

中村 勉

- NEDOについて
- 資源循環について
 - ・政策動向
 - ・資源循環のインパクト
 - ・アルミニウム、プラスチック、繊維のリサイクルについて
 - ・デジタル技術の活用について
- CCUS/カーボンリサイクルについて
 - ・CO₂分離回収
 - ・炭酸塩化
 - ・基礎化学品
 - ・機能化学品

NEDOのミッション



イノベーション・アクセラレーターとしてのNEDOの役割

技術戦略の策定、プロジェクトの企画・立案を行い、プロジェクトマネジメントとして、産学官の強みを結集した体制構築や運営、評価、資金配分等を通じて技術開発を推進し、成果の社会実装を促進することで、社会課題の解決を目指します。



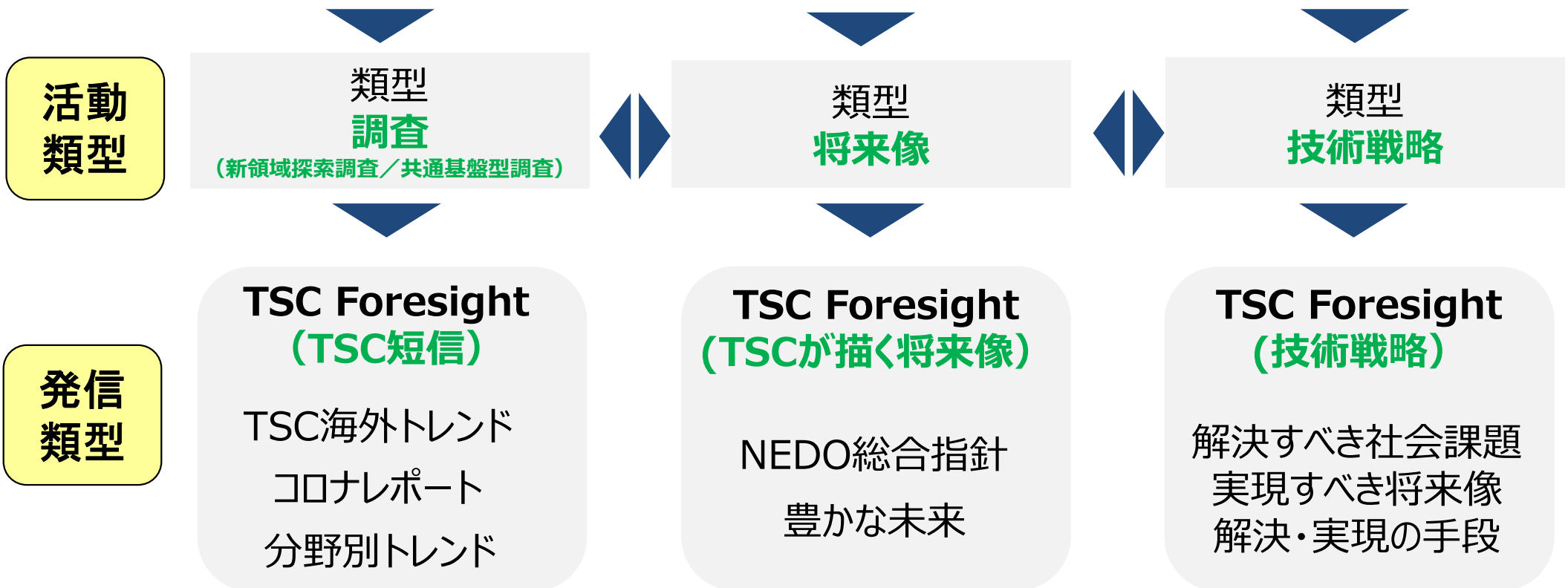
NEDOミッション

エネルギー・地球環境問題の解決

産業技術力の強化

TSCミッション

社会の変化を敏に捉え、将来像を描き、実行性のある提言を行う



活動成果の公表・発信（TSC Foresight の発行）



TSC Environment & Green Chemistry Unit

- TSCの活動成果については、「TSC Foresight」として公表・発信。
- また、**随時**、「TSC Foresightセミナー」や「ワークショップ」を開催し、産学官のステークホルダーとの対話を実施。 **※赤字はサーキュラーエコミー関連（言及）**



2022年7月1日
時点

- 持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針（NEDO総合指針）
- イノベーションの先に目指すべき「豊かな未来」—大切にすべき価値軸 / 実現すべき社会像とは—

将来像

技術戦略策定分野

短信



サステナブルエネルギー分野

- 水素 ■ 超伝導 ■ 電力貯蔵
- 車載用蓄電池 ■ 超分散エネルギーシステム
- 地熱発電 ■ 海洋エネルギー
- 太陽光発電 ■ 次世代バイオ燃料
- 風力発電 ■ (バイオジェット燃料)
- 次世代バイオ燃料 ■ 再生可能エネルギー熱利用



環境・化学分野

- 地球環境対策（フロン） ■ **バイオマスからの化学品製造**
- **メタルリサイクル** ■ **資源循環**
- 化学品製造プロセス ■ (プラスチック、アルミニウム)
- 機能性化学品製造プロセス ■ 熱エネルギー
- **CCUS/カーボンリサイクル分野**



バイオエコミー分野

- 生物機能を利用したデバイス ■ 生物機能を利用した物質生産
- **微生物群の利用及び制御** ■ バイオプラスチック
- コロナ禍後の社会変化と期待されるイノベーション像
- ウェルビーイング社会の実現に貢献するマテリアル技術
- **環境・エネルギー分野へ貢献するバイオ産業**
- 次世代に期待される情報通信技術
- **ものづくり分野におけるDX**
- 研究開発初期段階のCCU技術に対するLCCO₂評価のガイドライン策定に向けて



デジタルイノベーション分野

- コンピューティング / 物性・電子デバイス ■ 人工知能
- パワーレーザー ■ 人工知能×食品
- 無人航空機(UAV)システム ■ 人工知能×ロボット
- AIを活用したシステムデザイン ■ 人工知能（意味理解）
- IoTソフトウェア ■ 自律分散システム
- ロボット（2.0領域） ■ スマートテレオートノミー
- 人工知能を支えるハードウェア ■ 人間情報応用
- ■ パワーエレクトロニクス



ナノテクノロジー・材料分野

- ナノカーボン材料 ■ 構造材料
- 機能性材料 ■ 計測分析技術
- 自己組織化応用プロセス ■ 金属積層造形プロセス
- 次世代のIoT 社会に向けた ■ 温室効果ガスN₂Oの抑制
- ナノテクノロジー・材料 ■ 電子部品用ファインセラミクス
- 海外トレンド：コロナ危機を受けた海外の動向
- 海外トレンド：バイデン次期大統領で変わる米国の技術イノベーション・気候変動政策
- 海外トレンド：新たな環境市場を創出する欧州グリーン・ディール
- 海外トレンド：グローバルな半導体競争
- **海外トレンド：COP26に向けたカーボンニュートラルに関する海外主要国（米・中・EU・英）の動向**
- **海外トレンド：再生可能エネルギー時代における資源獲得競争**

■ TSCは、政策的重点分野を意識し、**戦略的にプロジェクトを構想、数多くのプロジェクト化（NEDOプロジェクト、ムーンショット事業、GI基金事業）**を実現。

【研究開発プロジェクト化の例】（サーキュラーエコノミー関連、一部）

アルミニウム素材高度資源循環システム構築事業

令和4年度予算額 3.1億円（3.0億円）

事業の内容

事業目的・概要

- アルミニウムは軽量材料として優れた特性を持っており、今後、自動車等での需要が急増する見込みですが、製錬時に電力を大量に消費し、CO2を大量に排出しています。
- アルミニウムの再生材を使用することにより、生産時のCO2排出量を96%削減することが可能です。しかし、再生材には不純物が含まれるため、現状では用途が限られており、自動車の車体等には利用できないことが課題となっています。
- 本事業では、アルミニウムスクラップを、自動車の車体等にも使用可能な素材（展伸材）へとアップグレードする基礎技術（①不純物軽減、②不純物を無害化する高度加工等の技術）を開発しアルミニウムの高度な循環利用を実現します。
- 令和4年度は、3年度に設計・製造した機械装置及び新たに導入する周辺機器を用い、不純物の軽減、不純物の無害化に適した条件を抽出します。

成果目標

- 令和3年度から7年度までの5年間の事業です。その後、実証フェーズを経て、リサイクル由来の展伸材を量産することにより、令和22年度にはCO2排出量を968万トン/年、令和32年度には1,914万トン/年削減することを目指します。

条件（対象者、対象行為、補助率等）

国 → 交付金 → NEDO → 補助(1/2) → 民間企業、大学等



アルミニウム素材高度循環システム構築事業（NEDOプロジェクト）



MOONSHOT 産業活動由来の希薄な窒素化合物の循環技術創出

「2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現」
産業活動由来の希薄な窒素化合物の循環技術創出—プラネタリーバウンダリー問題の解決に向けて

産業活動由来の希薄な窒素化合物の循環技術創出
（ムーンショット事業）



CO₂等を用いたプラスチック原料製造技術開発
（GI基金事業）

- NEDOについて
- 資源循環について
 - ・政策動向
 - ・資源循環のインパクト
 - ・アルミニウム、プラスチック、繊維のリサイクルについて
 - ・デジタル技術の活用について
- CCUS/カーボンリサイクルについて
 - ・CO₂分離回収
 - ・炭酸塩化
 - ・基礎化学品
 - ・機能化学品

- 世界的な人口増加・経済成長に伴い、資源・エネルギー・食料需要の増大、廃棄物量の増加、温暖化・海洋プラスチックをはじめとする環境問題の深刻化はティッピングポイントを迎えつつあり、大量生産・大量消費・大量廃棄型の線形経済モデルは、世界経済全体として早晩立ち行かなくなる恐れ。
- 短期的利益と物質的な豊かさの拡大を追求する成長モデルから脱却し、あらゆる経済活動において資源投入量・消費量を抑えつつ、ストックを有効活用しながら、サービス化等を通じ付加価値の最大化を図る循環型の経済社会活動（循環経済）により、中長期的に筋肉質な成長を目指す必要。
- 循環経済への移行の鍵は、デジタル技術の発展と市場・社会からの環境配慮要請の高まり。これを新たなドライバーに、循環型の経済活動へと転換を図ることで、地球環境の保全に貢献しつつ、我が国産業の中長期的な競争力の強化につなげることを目指す（環境と成長の好循環）。

1999年循環経済ビジョン

<背景>

- 最終処分場の逼迫
- 資源制約 ○地球環境問題の顕在化

<ポイント>

- 1R（リサイクル）⇒3R（リデュース、リユース、リサイクル）の総合的な推進への転換

<成果>

- 各種リサイクル法を通じた**廃棄物量の削減、リサイクル率の向上**（世界トップランナーの3R）

※処分場残余年数：一般廃棄物 8.5年⇒21.8年
（1999⇒2017）産業廃棄物 3年⇒17年

※循環利用率：15.4%(2016) cf.欧州11.7%(2017)



経済・社会状況の変化

- ① 世界的人口増加と経済拡大
- ② 資源の安定供給リスクの増大
- ③ 廃棄物排出量の増大と資源循環のグローバルチェーンの変化
- ④ 環境問題の深刻化と環境配慮要請の高まり
- ⑤ ESG投資の拡大
- ⑥ デジタル技術の発展と新しいビジネスモデルの台頭

循環経済ビジョン2020

<背景>

- 線形経済モデルの限界
- デジタル技術の発展、Society5.0への転換
- 市場・社会からの環境配慮要請の高まり

<ポイント>

- 環境活動としての3R⇒**経済活動としての循環経済への転換**
- グローバルな市場に循環型の製品・ビジネスを展開していくことを目的に、経営戦略・事業戦略としての**企業の自主的な取組**を促進（規制的手法は最小限に、**ソフトローを活用**）
- 中長期的にレジリエントな循環システムの再構築

(参考) EUと日本の政策動向

産構審総会資料（2022/5/19）より抜粋、加筆

- EUは具体的な数値目標・効果試算を示しながら、**7つの重点分野を特定し、規制（法令整備）と支援（多額の資金支援）の両輪**で環境整備を検討・実施。
- 他方、日本は「環境活動としての3R」から「経済活動としての循環経済」への転換を打ち出すにとどまっており、**具体的かつ野心的な数値目標に基づく政策の具体化**が必要。

EU サーキュラーエコノミーパッケージ (2015年)	日本 循環経済ビジョン2020 (2020年)				
<p>1) 廃棄物法令の改正案 (2030年目標を設定)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 一般廃棄物の65%、包装廃棄物の75%を再使用又はリサイクル 等 <p>2) 資金支援</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 研究開発・イノベーション促進プログラムから6.5億ユーロ ● 廃棄物管理のための構造基金から55億ユーロ 等 <p>3) 経済効果</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 欧州企業で6,000億ユーロ節約、58万人の雇用創出 	<p>1) 目指すべき方向性</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 環境活動としての3R ⇒ 経済活動としての循環経済 への転換 <p>2) 動脈産業・静脈産業</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 循環性の高いビジネスモデルへの転換 ● 循環経済の実現に向けた自主的取組の促進 <p>3) 投資家・消費者</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 短期的な収益に顧れない企業価値の適正な評価 ● 廃棄物等の排出の極小化など消費行動・ライフスタイルの転換 <p>3) レジリエントな循環システム</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 国内リサイクル先の質的・量的確保 ● 国際資源循環・国際展開 等 				
<p>サーキュラーエコノミーアクションプラン (2020年)</p> <p>1) 持続可能な製品政策枠組み</p> <ul style="list-style-type: none"> ● エコデザイン指令の対象拡充 ⇒ 非エネルギー関連製品・サービスまで ● 「持続可能性原則」の策定 ● 製品情報のデジタル化／データベース構築 ● 早期陳腐化の防止／修理を受ける権利の担保 等 <p>2) 重点分野</p> <p style="text-align: center;">AI</p> <p>①電子機器・ICT機器、②バッテリー、③車両、④プラスチック、⑤繊維、⑥建設・ビル、⑦食品・水・栄養</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="922 1189 1191 1268">第1弾パッケージ(前頁新提案) (2022年3月30日発表)</th> <th data-bbox="1200 1189 1680 1268">第2弾パッケージ (2022年7月発表予定)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="922 1276 1191 1489"> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 持続可能な製品エコデザイン規則案 ✓ 現行エコデザイン指令の下での2022-2024年作業計画 ✓ 移行における消費者保護強化 ✓ 持続可能で循環型の繊維戦略 ✓ 建設資材規則の改定案 </td> <td data-bbox="1200 1276 1680 1489"> <ul style="list-style-type: none"> ✓ バイオベース、生分解性、堆肥可能プラスチックに関する政策枠組み ✓ 包装・包装廃棄物指令の見直し ✓ 都市排水処理指令の見直し ✓ 環境主張の立証に関する規則提案 </td> </tr> </tbody> </table>	第1弾パッケージ(前頁新提案) (2022年3月30日発表)	第2弾パッケージ (2022年7月発表予定)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 持続可能な製品エコデザイン規則案 ✓ 現行エコデザイン指令の下での2022-2024年作業計画 ✓ 移行における消費者保護強化 ✓ 持続可能で循環型の繊維戦略 ✓ 建設資材規則の改定案 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ バイオベース、生分解性、堆肥可能プラスチックに関する政策枠組み ✓ 包装・包装廃棄物指令の見直し ✓ 都市排水処理指令の見直し ✓ 環境主張の立証に関する規則提案
第1弾パッケージ(前頁新提案) (2022年3月30日発表)	第2弾パッケージ (2022年7月発表予定)				
<ul style="list-style-type: none"> ✓ 持続可能な製品エコデザイン規則案 ✓ 現行エコデザイン指令の下での2022-2024年作業計画 ✓ 移行における消費者保護強化 ✓ 持続可能で循環型の繊維戦略 ✓ 建設資材規則の改定案 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ バイオベース、生分解性、堆肥可能プラスチックに関する政策枠組み ✓ 包装・包装廃棄物指令の見直し ✓ 都市排水処理指令の見直し ✓ 環境主張の立証に関する規則提案 				

検討が急がれる分野

- ① プラスチック
- ② 繊維
- ③ CFRP
- ④ バッテリー
- ⑤ 太陽光パネル

■ 産構審総会（2022/5/19）にて「成長志向型の資源自律経済」について議論

成長志向型の資源自律経済の鍵となる4類型

- これまでの3R政策にとどまらず、**成長志向型の資源自律経済**の確立は、主として以下の4つの類型に沿って取り組んではどうか。

①資源の再利用・再資源化（1 x n）

設計段階からリユース・リサイクルを前提とした製品の普及や、回収・選別・リサイクル技術の高度化等によって、あらゆる製品について低コストで高い水準の資源循環率を実現。廃棄物最終処分場の容量確保を目的とした焼却処分等による廃棄物処理から、廃棄物を資源と捉えて徹底的に有効活用する方向へ。

②資源の生成（0 → 1）

バイオものづくり技術により、資源輸入に頼らずにプラスチックや繊維といった高品質・低環境負荷の素材・製品が生産可能に。

③資源の共有（1 / n）

自動車・宿泊サービスにとどまらずシェアリング・エコノミーが拡大することによって、「フローからストックへ」、「保有から利用へ」と経済のダイナミズムが転換。

④資源の長期利用（1 + n）

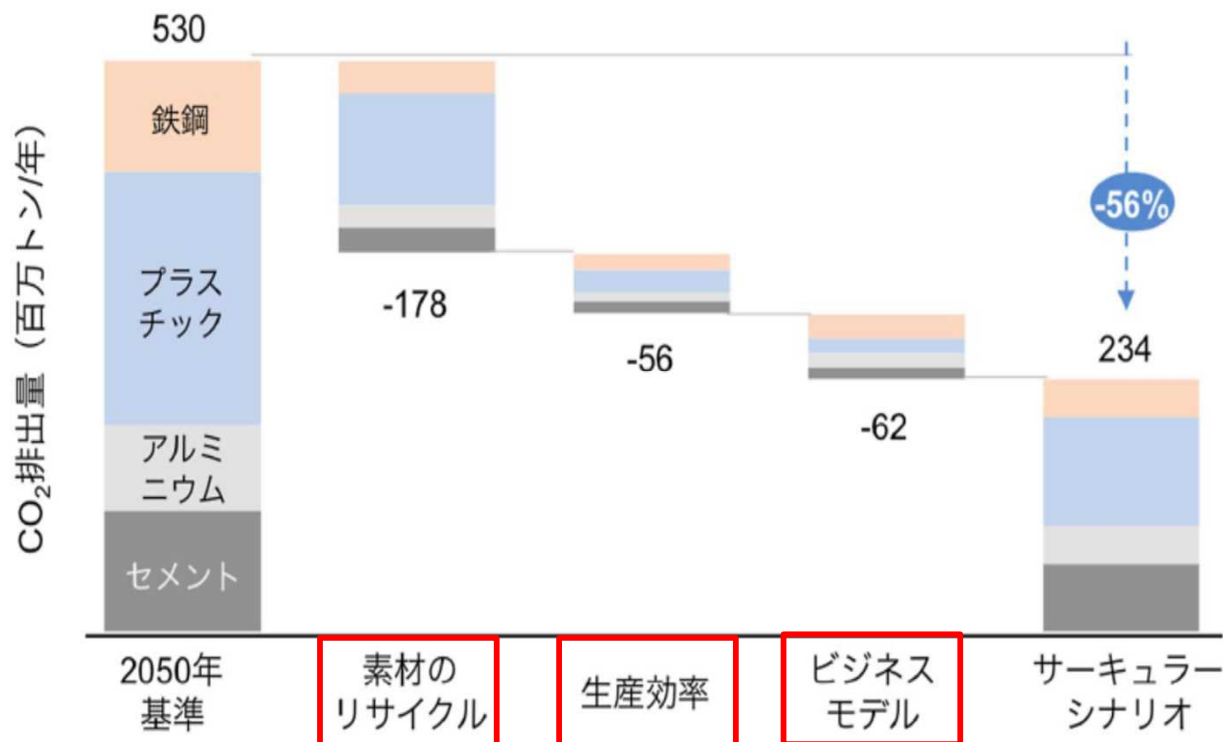
服飾品や住宅など、古いものを長く使うことがブランド価値として認識され、レストア・リメイク・リノベーションビジネスやセカンダリー市場が発展。

サーキュラーエコノミーのインパクト

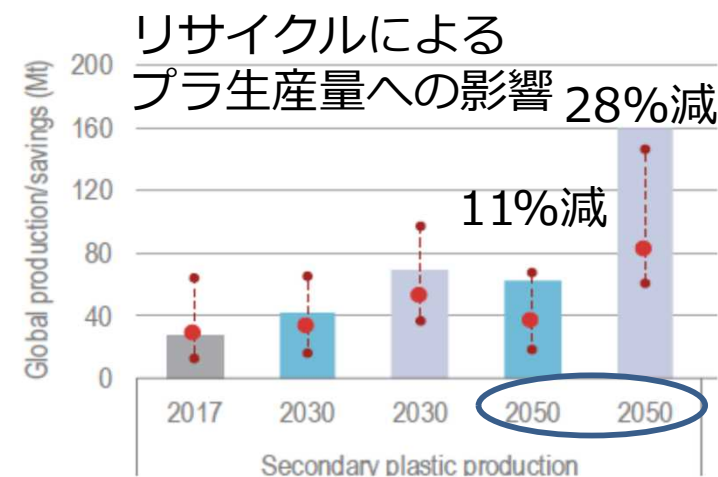
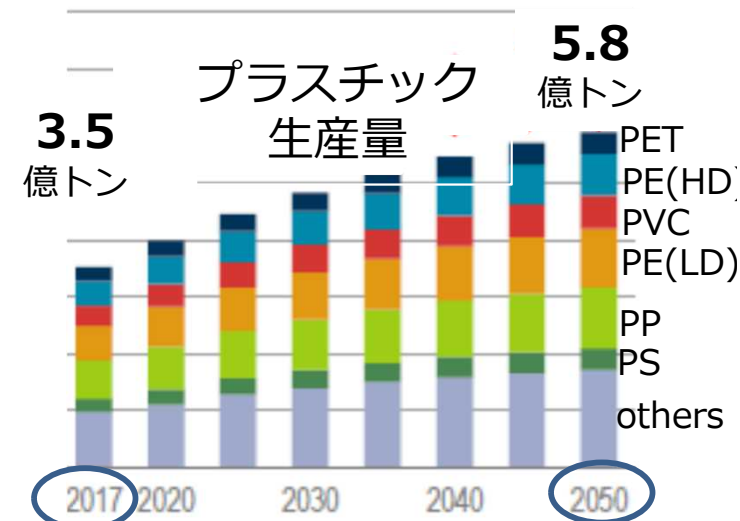
● 資源循環による産業分野のCO₂削減への期待, 生産量への影響

SITRAの予測 (EU)

CO₂削減効果

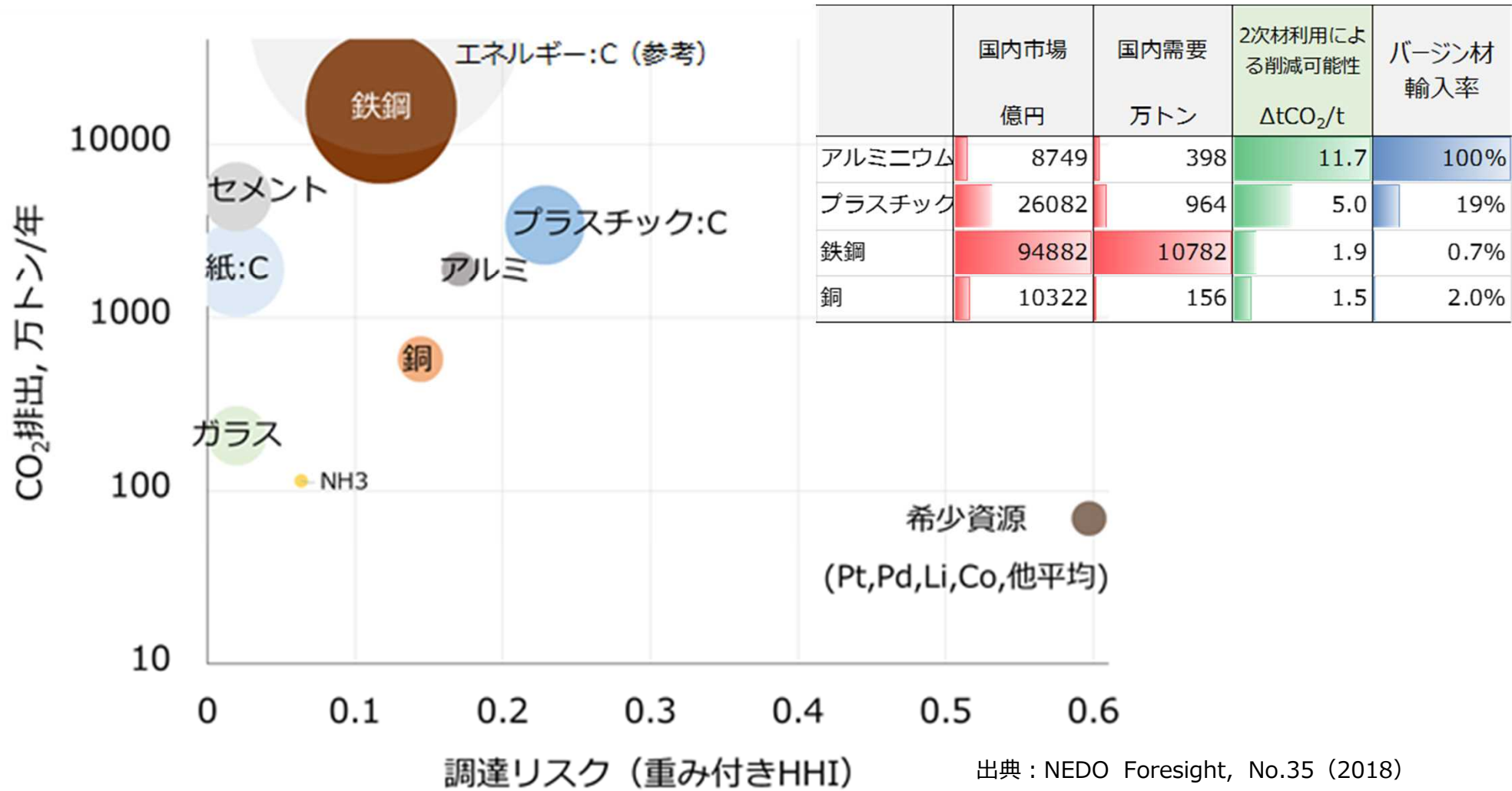


IEAの予測 (世界)



CO₂削減・調達リスク・経済規模から素材を俯瞰(日本)

TSC Environment & Green Chemistry Unit

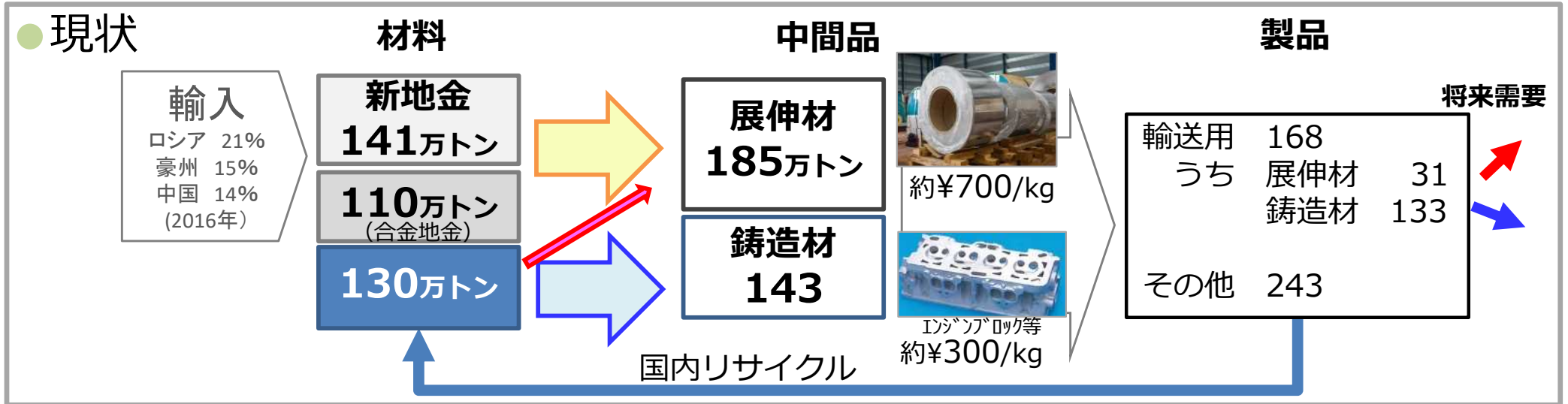


出典：NEDO Foresight, No.35 (2018)

- 鉱物資源マテリアルフロー 2017(JOGMEC 2018), 金属鉱物資源の安定供給に関する一考察(JOGMEC 2015), CFPプログラムwebサイト, 鉱物資源をめぐる現状と課題(METI 2014), The Circular Economy a Powerful Force for Climate Mitigation Transformative innovation for prosperous and low-carbon industry(SITRA 2018)よりTSCで作成
- CO₂排出量は排出原単位×生産量を元にリサイクル率を考慮, プラスチックは焼却含む
- 横軸の調達リスクは重み付きハーフィンダール指数で調達先の供給リスクを考慮、評価では権益分, 開発輸入, リサイクルを考慮
- 円の大きさは市場規模 (単価×生産量)

アルミニウムリサイクルの現状と実現したい将来像

- アルミニウムの新地金は全量輸入
- 二次地金の主用途であるエンジンブロック需要が今後減少（電化，ダウンサイジング）
- 増加する自動車用展伸材へ二次地金を利用する技術の実装により，アルミニウムリサイクルの高度化，資源循環産業が自立・成長するサプライチェーンを実現



アルミニウムリサイクルの技術体系と課題

- 今後需要が増加する自動車向け展伸材へのリサイクルの実現(アップグレード)に向け、全ての工程(高度選別, 不純物除去, 材料作り込み等)の高度化による取り組みが重要

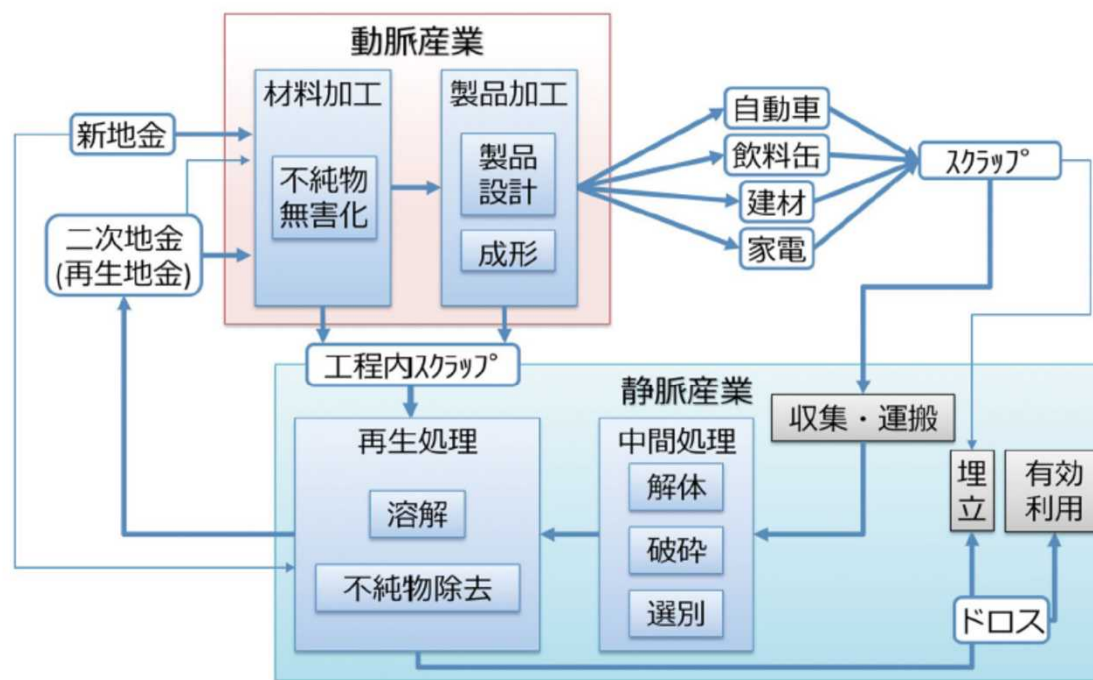


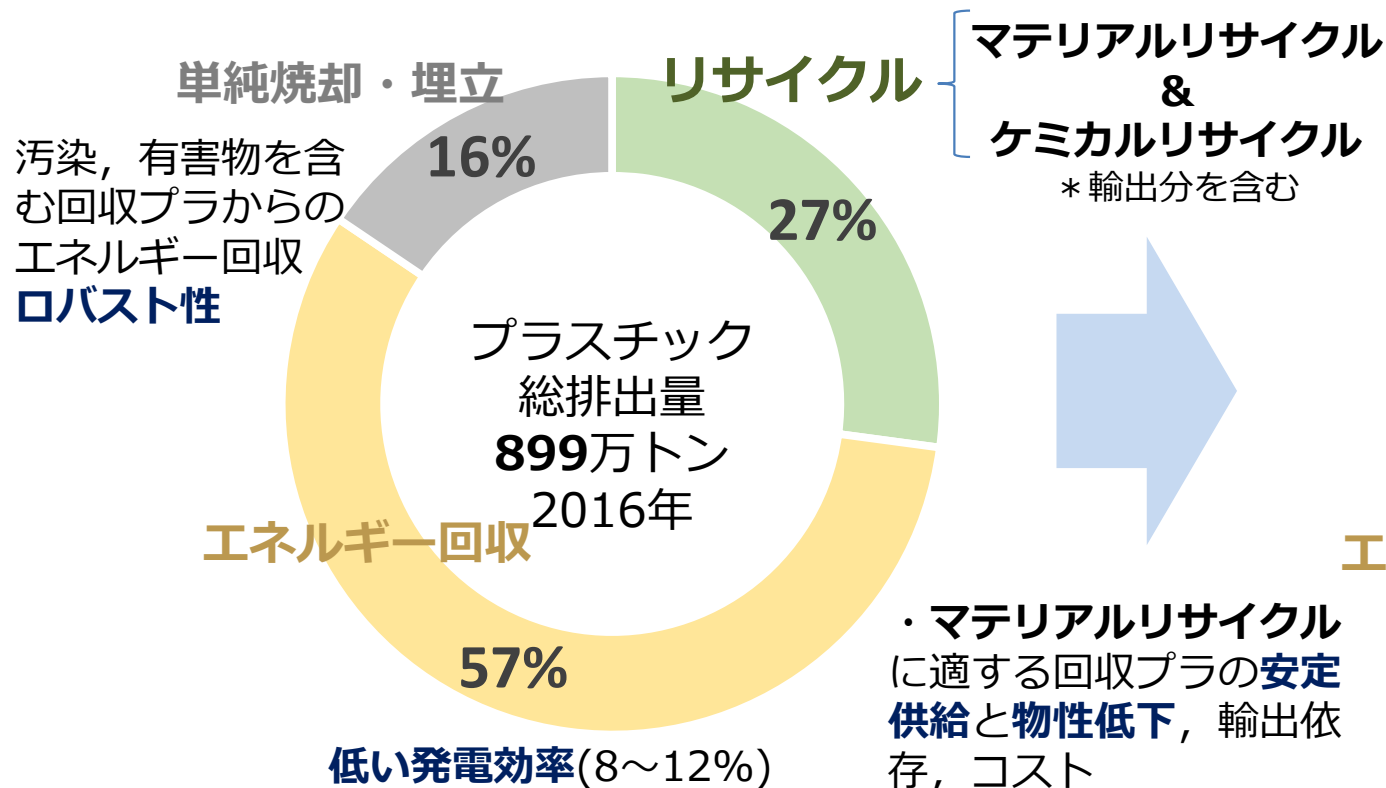
図16 アルミニウムリサイクルシステムと要素技術
出所：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

工程	要素技術	内容
中間処理	解体	廃製品を部材に分離
	破碎	部材を素材単体に分離
	選別	素材ごとの分離・濃縮
再生処理	溶解	リサイクル材の溶解
	不純物濃度制御	ガス成分、不純物元素の除去
加工処理	材料作り込み	不純物の存在下でも物性を確保
	成形加工	低物性材料の使いこなし
	製品設計	中間処理効率化のための商品形態・構造設計

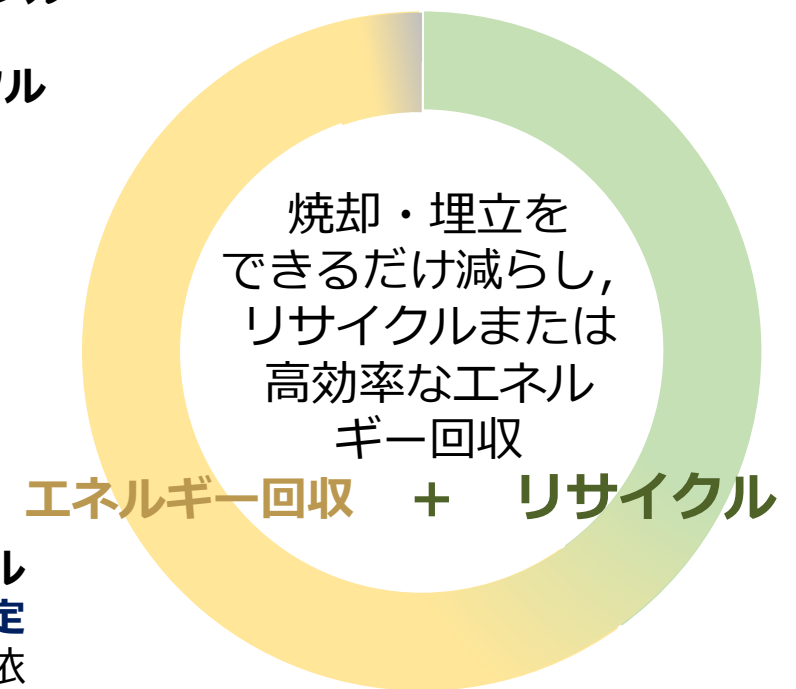
日本における回収プラスチックの現状と課題

■ 焼却・埋立ゼロ, リサイクル増に向けて, 物理選別、PP・PEマテリアルリサイクル技術、ケミカルリサイクル、エネルギー回収の高度化を日本独自の3R+の実現

2016年 回収プラスチック利用実績



2030年イメージ



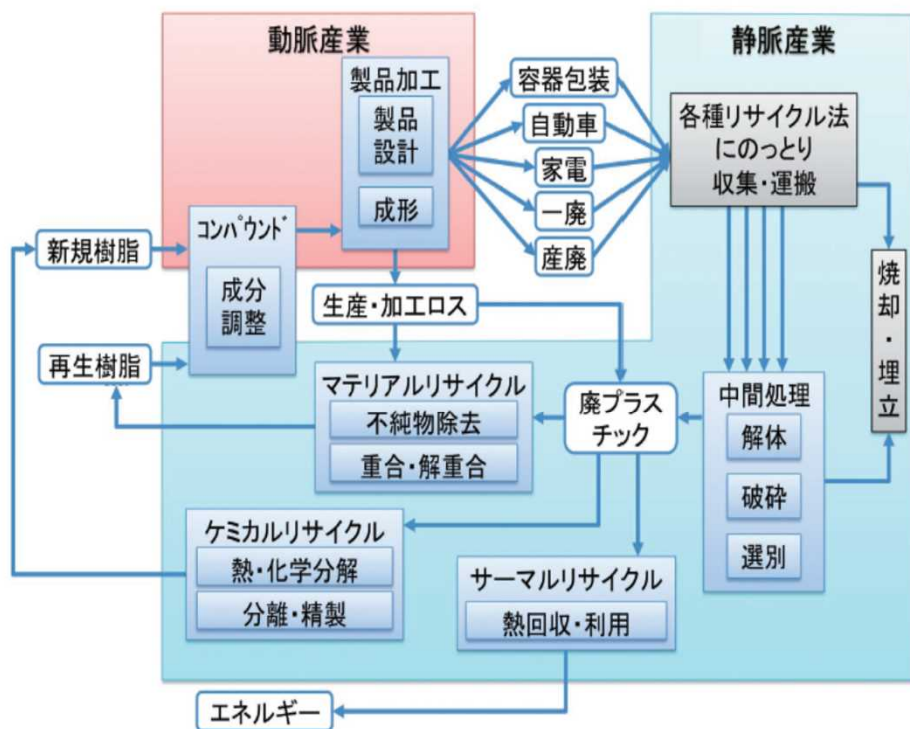
・マテリアルリサイクルに適する回収プラの安定供給と物性低下, 輸出依存, コスト

・ケミカルリサイクル大型化学プラントに比べ低い効率, コスト

■ 回収されるプラスチックの品質向上, 品質に合った最適な処理を総合的に組み合わせた対策が重要

プラスチックリサイクルと要素技術

プラスチックリサイクル技術の課題

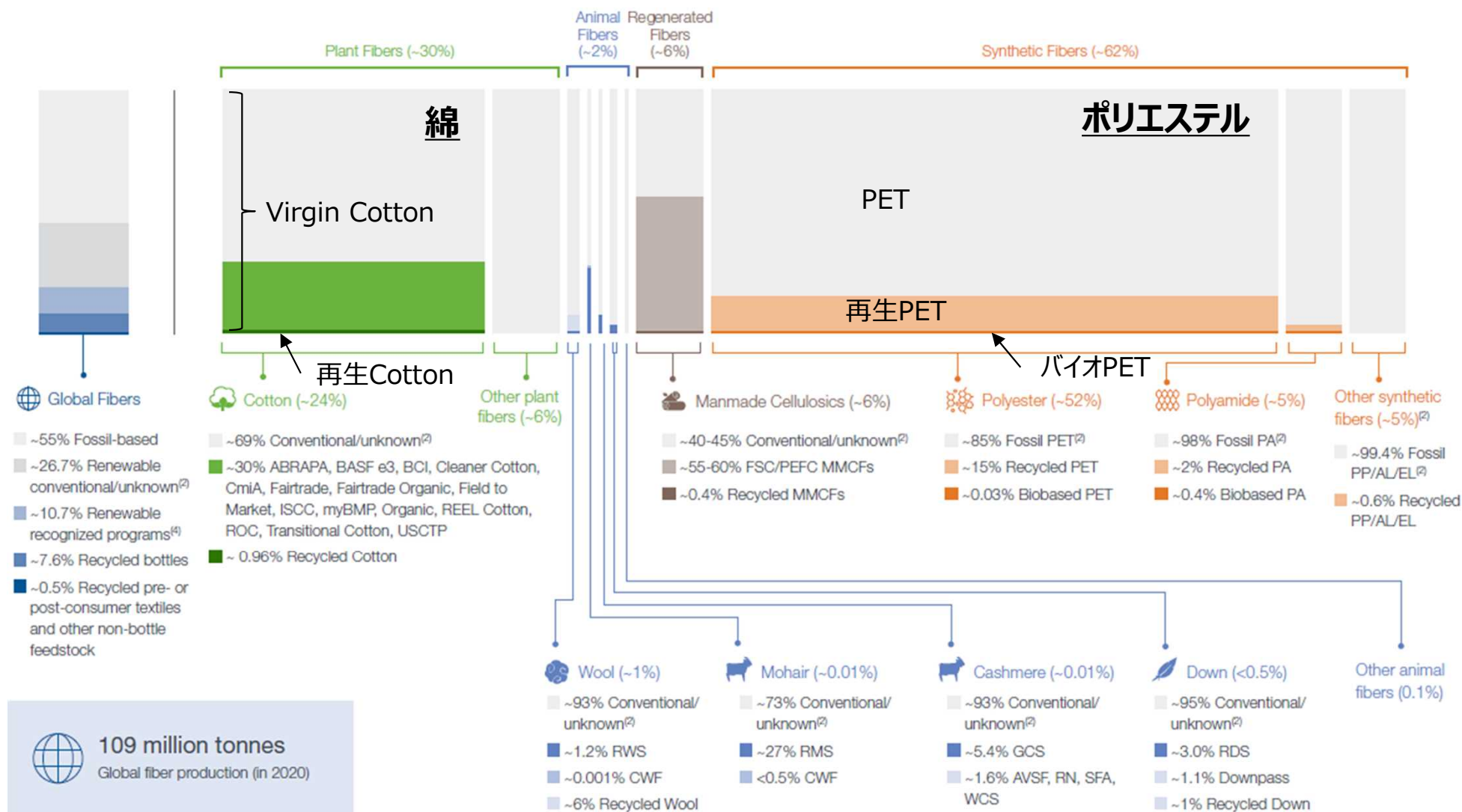


工程	要素技術	具体的な課題
中間処理	解体	省エネ、無人化、連続システム化
	破碎	省エネ、同種部材破碎
	選別	高速処理、プラスチック種ごとの選別
マテリアルリサイクル	不純物除去	除去精度、無害化、添加剤等の再利用
	重合・解重合	触媒開発、再生加工、成型加工、構造設計
ケミカルリサイクル	熱・化学分解	触媒開発、省エネプロセス、歩留まり向上
	分離・精製	不純物除去、省エネプロセス
サーマルリサイクル	熱回収	安定燃焼、蒸気温度の高温化、伝熱促進材、耐腐食性材料開発、NOx・煤塵対策、熱利用
その他	技術以外の課題	効率的な回収、回収量の確保、処理施設の再構築、関連制度、リサイクルに対する国民の理解

図10 プラスチックリサイクルシステムと要素技術
出所：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2019)

繊維の種類と構成比率、リサイクルの概況

- 2020年世界繊維生産量は約1.1億トン。うち、ポリエステル52%、綿（Cotton）30%。ナイロン等のポリアミド類は5%程度。繊維のリサイクル率は全体の～0.5%に留まる現状。
- 最も多く使用される再生ポリエステルはペットボトル再生繊維が主流、繊維からリサイクルされたものは少ない。
- 綿のリサイクルは、メカニカル（マテリアル）リサイクルが主体で綿0.96%リサイクルに貢献。

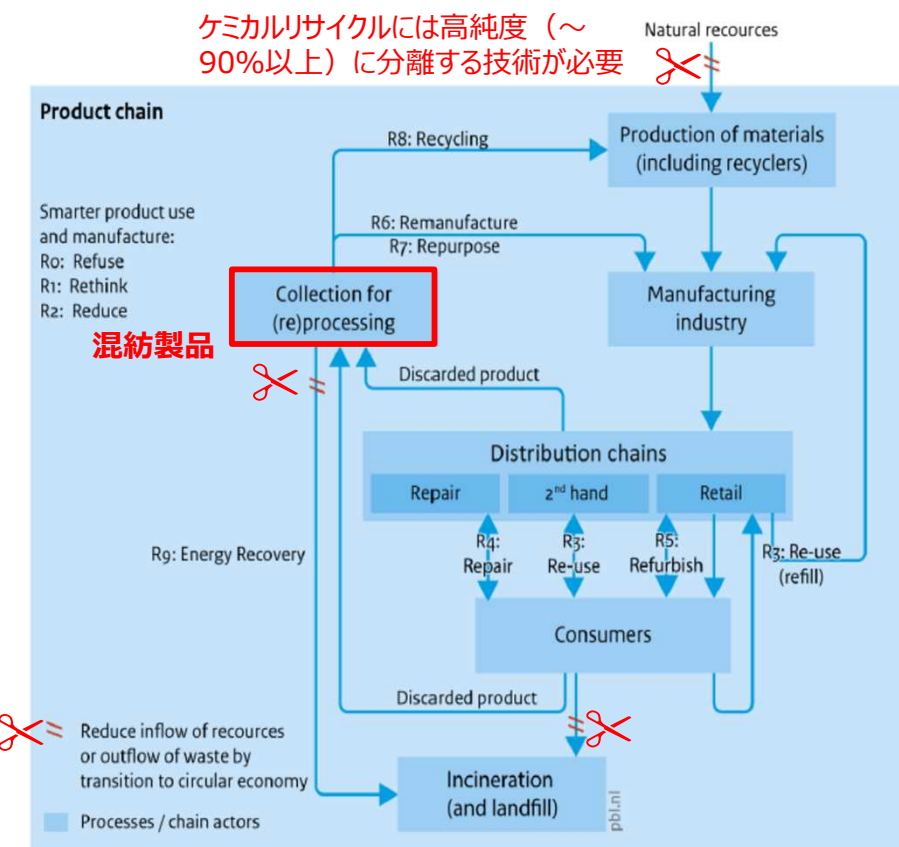


繊維to繊維リサイクル技術の課題と取り組み事例

- 繊維製品は複数の天然/合成繊維を混ぜた混紡製品が最も需要が高く、ケミカルリサイクルには**繊維種ごとに高純度に分離する技術が必要**。
- 綿/ポリエステルは分離技術開発が進められ一部では事業化も進む一方、綿/複数種の混紡繊維（ポリエステル/ナイロン等）は**合成繊維の種類別の分離が困難なため技術開発が進んでいないと推測**。

繊維製品の単一素材化（ポリエステル100%等）は繊維to繊維リサイクルを効果的に推進可能なオプション。他方、快適性等の多様な消費者ニーズに応えるため混紡製品も多く、混紡製品のリサイクル技術が重要に。

混紡製品の分離を対象にした企業・国プロの取り組み事例



混紡構成繊維	プレイヤー	概要、技術など
綿/ポリエステル	HKRITA (中)	香港繊維アパレル研究開発センター。再生繊維製造ではH&M等とも共同。
	Worn Again (英)	英国スタートアップ。2020年にパイロットプラント立ち上げ。
	Re:Wind (スウェーデン)	天然再生繊維 (Viscose) とPETモノマー生産。
	Södra (スウェーデン)	2019年に20トン分離事業開始。2025年に2.5千トン目標。
	Circ (米)	Tyton BioScienceより社名変更。混合比に依らない分離技術。
	Block Texx (豪)	2030年に100億着の衣類リサイクルがターゲット。
	エコログ・リサイクリング・ジャパン (日)	酵素反応により綿を分解・分離、ポリエステルを再生原料化。
綿/ポリエステル/ナイロン/ウール	Resyntex (独)	Closed EU Horizon2020プロジェクト。2015～2019年終了。

- 本年6月に、TSC Foresight短信レポート「ものづくり分野におけるDX－デジタル成熟度の向上において大切にすべき5つの行動指針－」を公表。
- DX関連の文献の分析より抽出した、ものづくり分野のDXにおいて大切にすべき5つの行動指針の1つに「循環型生産の実現」を含む。



詳細は
https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101555.html
をぜひご覧ください

ものづくり分野のDXにおいて重要な5つの行動指針



TSC Digital Innovation Unit

- ものづくり分野のDXにおいて大切にすべき5つの行動指針を抽出。
- 各指針に関連の深い文献から関連キーワード・技術用語を抽出してそれぞれの関係性を整理するとともに、製造業のニューノーマルを考察。

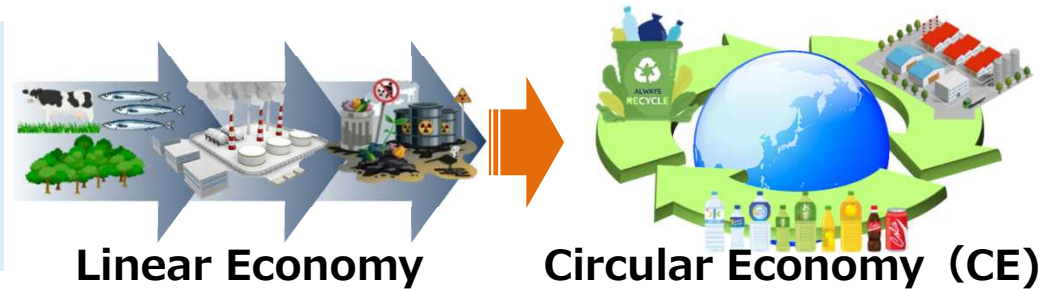
ものづくり分野のDXにおいて大切にすべき5つの行動指針（系統的文献レビュー）

- **自己変革能力の向上：Capability**
キーワード：企業統治、技術、イノベーション、中小企業、Industry 4.0、サイバーセキュリティ
技術用語：ブロックチェーン、デジタイゼーション
- **スマート生産の実現：Smart manufacturing**
キーワード：モデリングAI、予測、機械学習、メンテナンス、バーチャルリアリティ、品質管理
技術用語：AI、ビックデータ、スマート製造、スマート工場、サイバーフィジカルシステム
- **デジタルエコシステムの活用：Ecosystem**
キーワード：バリューチェーン、マーケット、人、サービス、プラットフォーム
技術用語：デジタルプラットフォーム、IoT
- **循環型生産の実現：Circular economy (CE)**
キーワード：データサイエンス、調達、アセスメント、ライフサイクルマネジメント
技術用語：グリーンな生産（グリーンマニュファクチャリング）、リーン生産
- **持続可能な生産の実現：Sustainability**
キーワード：リーン生産・統合、環境、サプライチェーン、マネージメント
技術用語：デジタルツイン、ICT

- 循環型生産は、メンテナンス・製品の再生産・部品の再利用・材料のリサイクル等により、資源投入量・消費量を抑えてストックを有効活用する「小さな」製品循環を実現し、製品ライフサイクル全体での環境負荷やコストを最小化する生産システム。
- 循環型経済（CE）への移行には、循環型生産とサービタイゼーションによる新価値創造が重要。

循環型の生産・消費活動による経済成長（直線型経済から循環型経済への移行）

- 再生可能資源の利用
- 多品種・少量生産への対応
- 低環境負荷材料・生産法への転換
- 非連続なイノベーションによる産業・技術創成



製造業におけるDXの推進は、CEへの移行に必要不可欠

- 製造業におけるデジタルインフラの導入やDXの推進は、循環効率の測定・監視による材料・製品・資産・プロセスの完全かつ効果的な評価を可能にするため、企業活動の循環性の加速やCEへの移行に必要不可欠
- 循環型生産の実現により、設計・製造・使用の各ステージで環境に配慮し、「戻す」ことを前提にしたものづくりが可能になり、よりスマートで環境に優しい製品やサービスを顧客に提供できる



- 循環型生産の実現には、エネルギーを含む資源消費の最小化が必要。
- 施策としては、企業の資源生産性の可視化・活用を通じたデジタルサプライチェーンの全体最適化が可能となる、循環型生産プラットフォームの構築が有効。

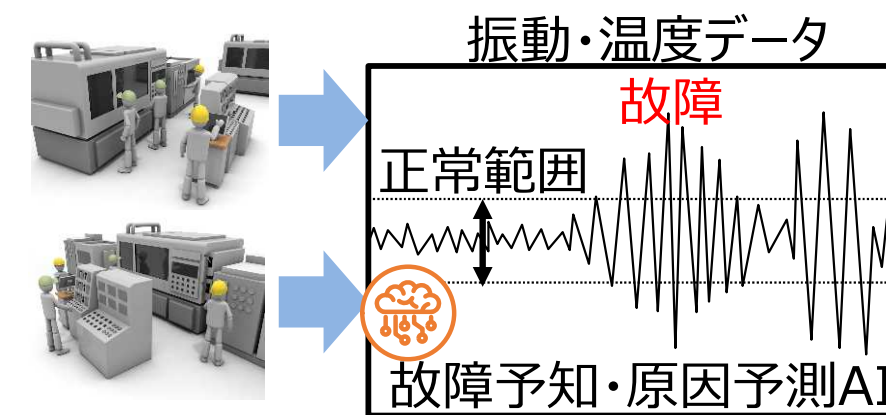
循環型生産の実現における課題

循環型生産の実現には、設計、材料選定、製造手法、生産エネルギー、運搬・使用・廃棄コスト等、製品・サービスにおける資源生産性を測定・監視するためのプラットフォーム構築が課題

循環型生産を進める上で効果的な循環型生産プラットフォームの構築

- 循環型生産プラットフォームにより、材料、製品、プロセス、サービス等すべての生産データを環境（LCA）、経済（LCC）、および社会（S-LCA）の影響評価ツールと統合して循環効率を可視化し、策定した循環戦略の効果を定量化することが可能
- 循環型生産プラットフォームの構築と活用により、サプライチェーンを構成する企業間をデジタル技術でつなぐデジタルサプライチェーンの最適化が実現し、ユーザーの利用状況モニタリング、製品の故障予防・予知保全・使用環境の最適化等の高度なサービスの提供、デジタルアップグレード、製品・部品の寿命の見積り、製品の回収・再生が可能

インフラ設備の故障予兆検出システム概要



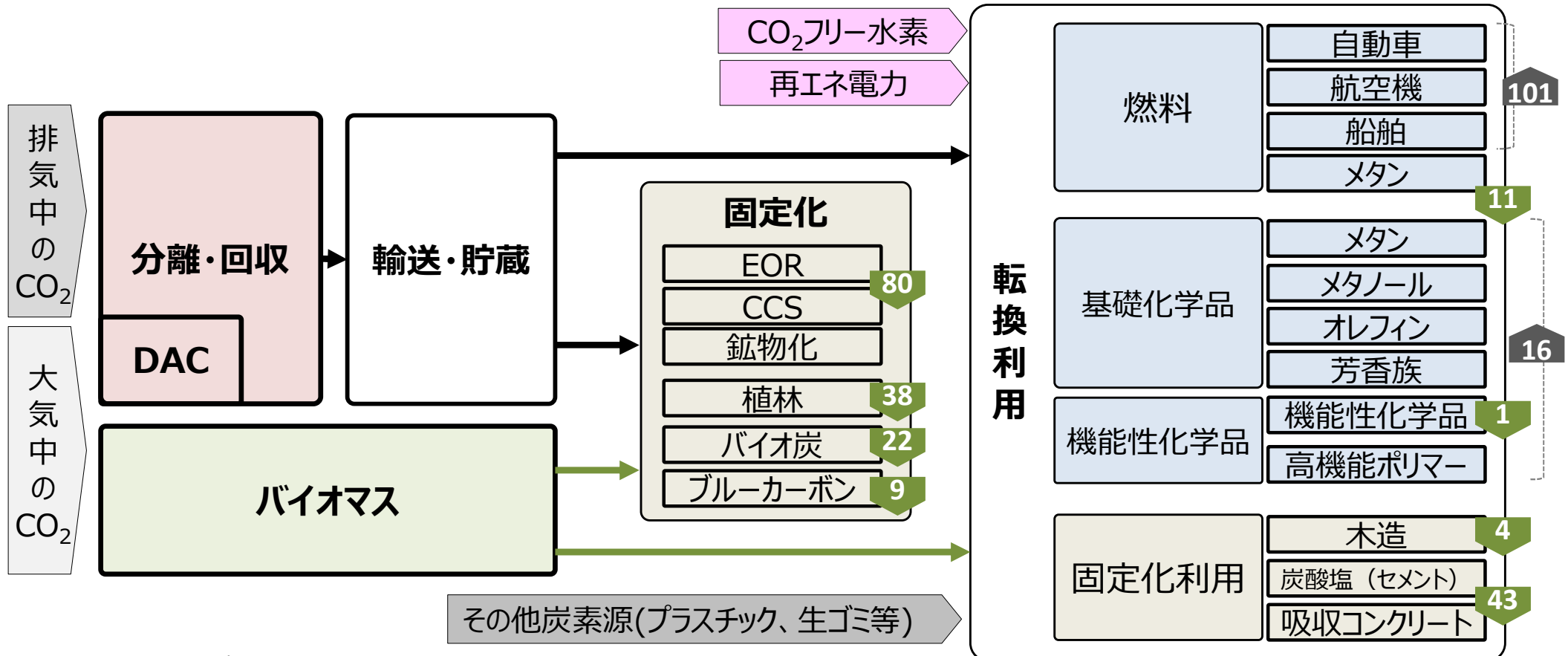
メンテナンス時期の把握、生産ラインの調整

振動・温度データを、IoT化したセンサを用いて、リモートでモニタリング。取得したデータを基に、AIによる故障予兆検出・診断サービスを提供。

- NEDOについて
- 資源循環について
 - ・政策動向
 - ・資源循環のインパクト
 - ・アルミニウム、プラスチック、繊維のリサイクルについて
 - ・デジタル技術の活用について
- CCUS/カーボンリサイクルについて
 - ・CO₂分離回収
 - ・炭酸塩化
 - ・基礎化学品
 - ・機能化学品

「CCUS/カーボンリサイクル/バイオものづくり」分野

- 産業排気や大気から回収されたCO₂とバイオマスや廃棄物等の炭素源を利用
- CO₂固定化は場所の制約はあるが、CO₂削減への早期の寄与が期待される
- 燃料や基礎化学品へのCO₂の転換利用には、再エネ電力や水素などのエネルギー投入が必須。低いエネルギー投入で転換可能なバイオマスや生ゴミ等は貴重な炭素源
- 機能性化学品、高機能プラスチック、炭酸塩など酸素を多く含む素材は、CO₂から低いエネルギー投入で転換可能



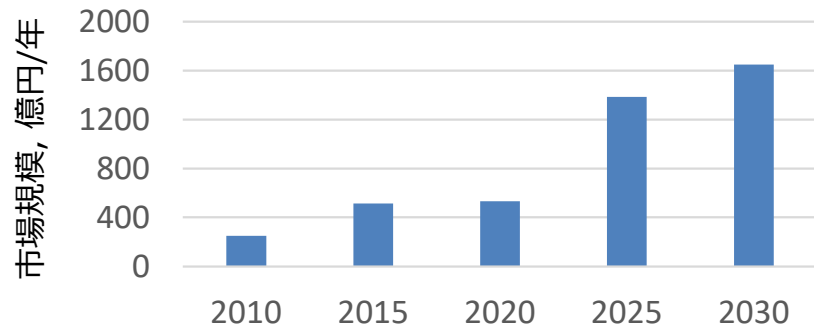
XX : CO₂排出量 (億トン/年) (直接排出, 2050年, ETP2017, RTシナリオ)

XX : CO₂削減ポテンシャル (億トン/年) (革新的環境イノベーション戦略)

CO₂分離・回収技術のコスト競争と市場拡大の展望

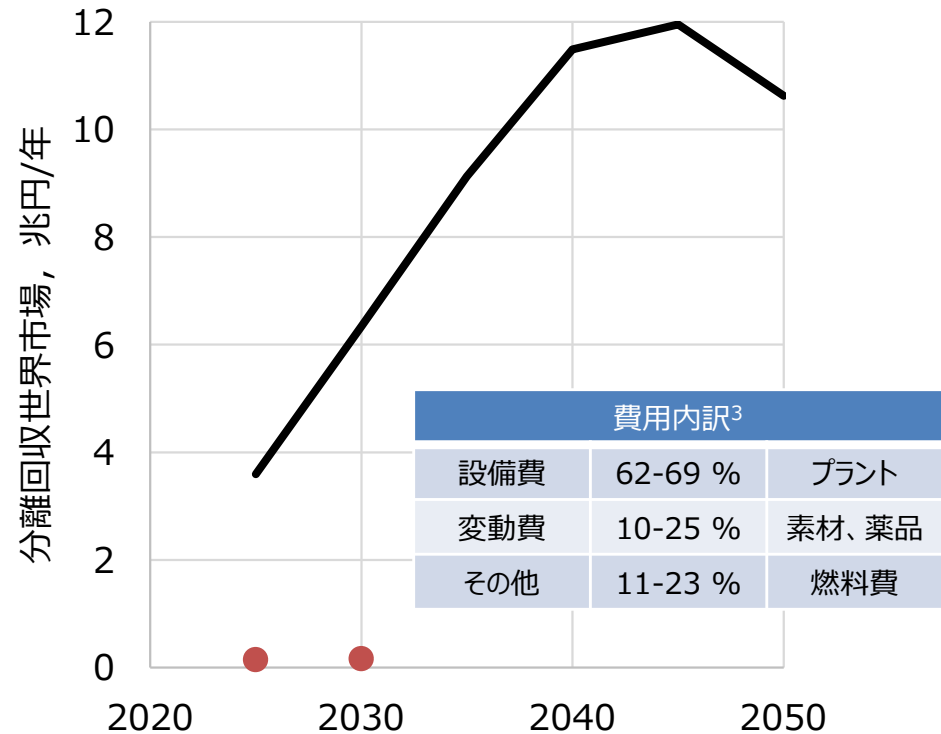
- EOR(石油増進回収)向けで500億円/年程度の市場(2015). 2050年の分離回収の市場は10兆円規模. (プラント建設:6~7兆円/年, 吸収液や膜などの消耗品:1~3兆円/年)
- 現状, 日本のエンジニアリングメーカーが分離回収プラント実績として高いシェア
- 各国で分離回収のコスト目標と共に技術開発が推進され、今後、競争が見込まれる。

✓ EORにおける分離回収設備の実績および計画¹



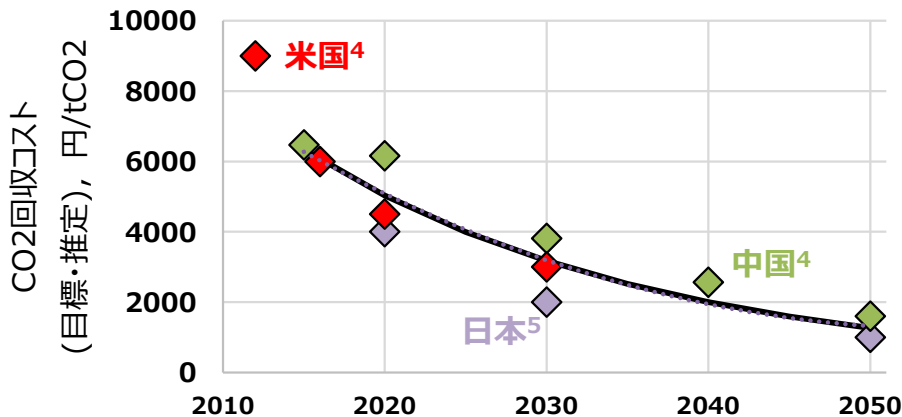
¹出典: IEA. The outlook for EORのデータを基にNEDO TSCで作成。
<https://www.iea.org/newsroom/news/2018/november/whatever-happened-to-enhanced-oil-recovery.html>

✓ 分離回収の世界市場ポテンシャル²



費用内訳 ³		
設備費	62-69 %	プラント
変動費	10-25 %	素材、薬品
その他	11-23 %	燃料費

✓ 各国のCO₂回収コストの目標および推定



²市場は、(分離回収コスト目標・予測 × ETP2017のB2DSにおける分離回収量) で試算. 分離回収コストは日本, 米国, 中国のコスト目標・推定の平均. 分離回収量はETP2017のB2DSを参照。

³費用内訳はBOUNDARY DAM, PETRA NOVA, SHANDの実績の平均値をGlobal CCS Institute「GLOBAL STATUS OF CCS TARGETING CLIMATE CHANGE 2019」のグラフからNEDO TSCで読取。

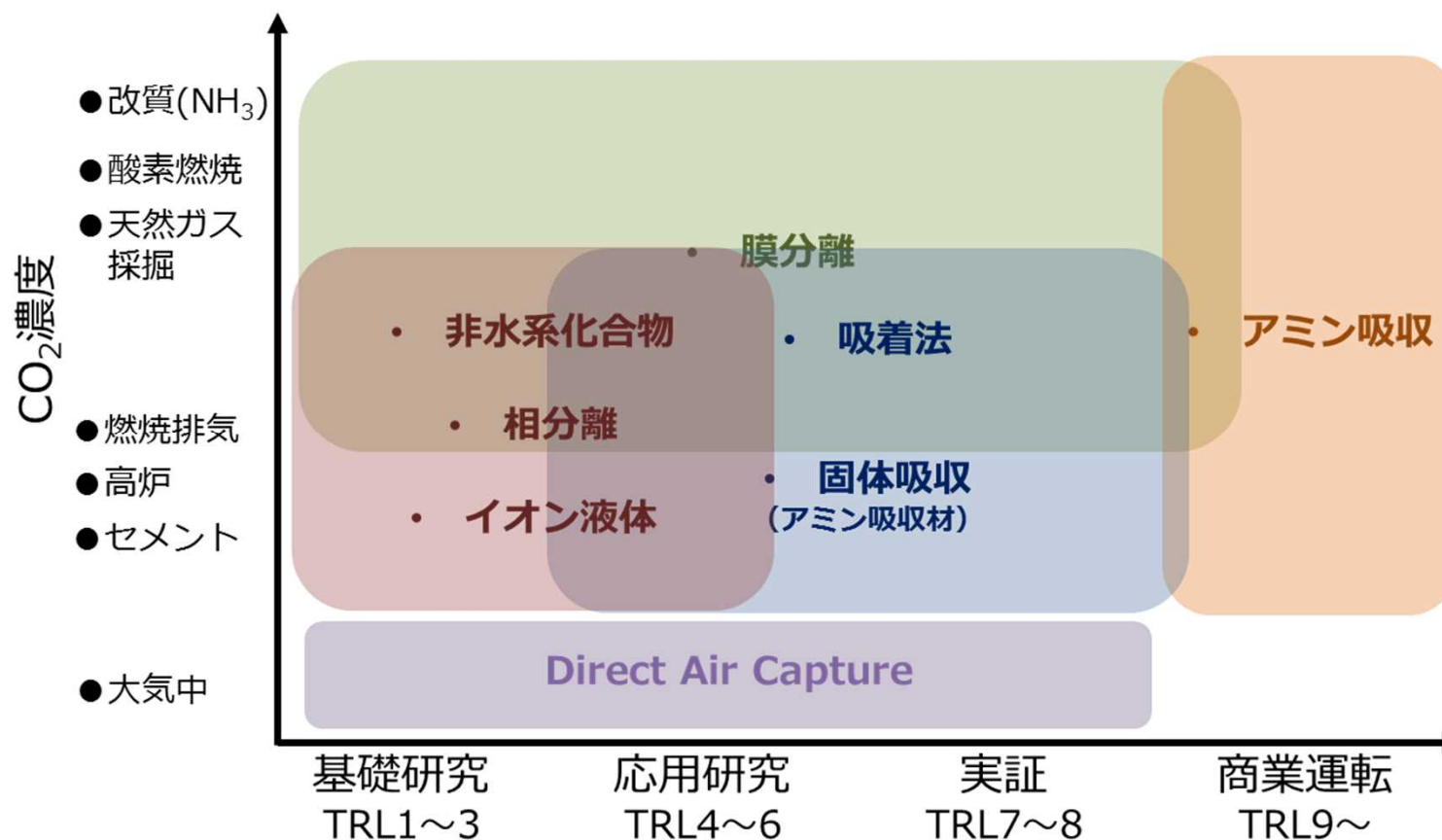
⁴「Carbon Capture, Storage and Utilization to the Rescue of Coal? Global Perspectives and Focus on China and the United States」. Graph 5 (米国)、Graph 7 (中国)を参照。

⁵METI・カーボンリサイクル技術ロードマップを基に2020年: 4000円/tCO₂, 2030年: 2000円/tCO₂, 2050年: 1000円/tCO₂とした

CO₂分離・回収における技術開発の現状

- 既に実用化されているアミン吸収法の改良と共に革新的な要素技術の開発も進む
- 国内大学・研究機関，エンジニアリングメーカーを中心に高いポテンシャルを保持

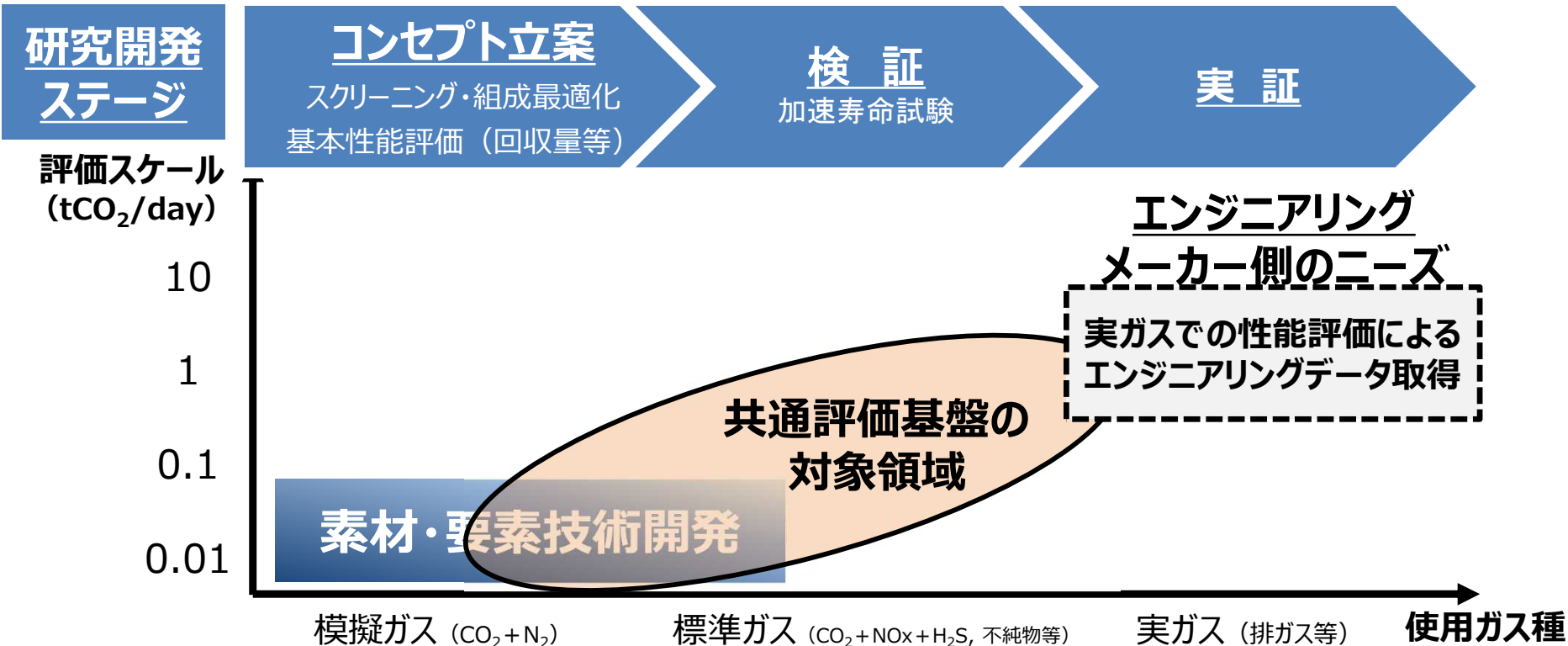
各種CO₂分離回収方法の適応範囲とTRL



出典：Technology readiness level (TRL) はCarbon capture and storage (CCS): the way forward. Energy Environ. Sci., 2018,11, 1062-1176, Fig. 1、及びヒアリングを基に、CO₂濃度は DOE NETL, Cost of Capturing CO₂ from Industrial Sourcesを基にしてNEDO TSCで作成。

CO₂分離・回収技術の共通評価基盤

- 素材・要素技術開発の裾野を拡大，およびその実装加速のため，標準評価法の開発，受託評価，コンサルタント機能を有する共通評価基盤の必要性
- 海外では実ガスによる評価環境を既に構築



米国
National Carbon
Capture Center (2009)



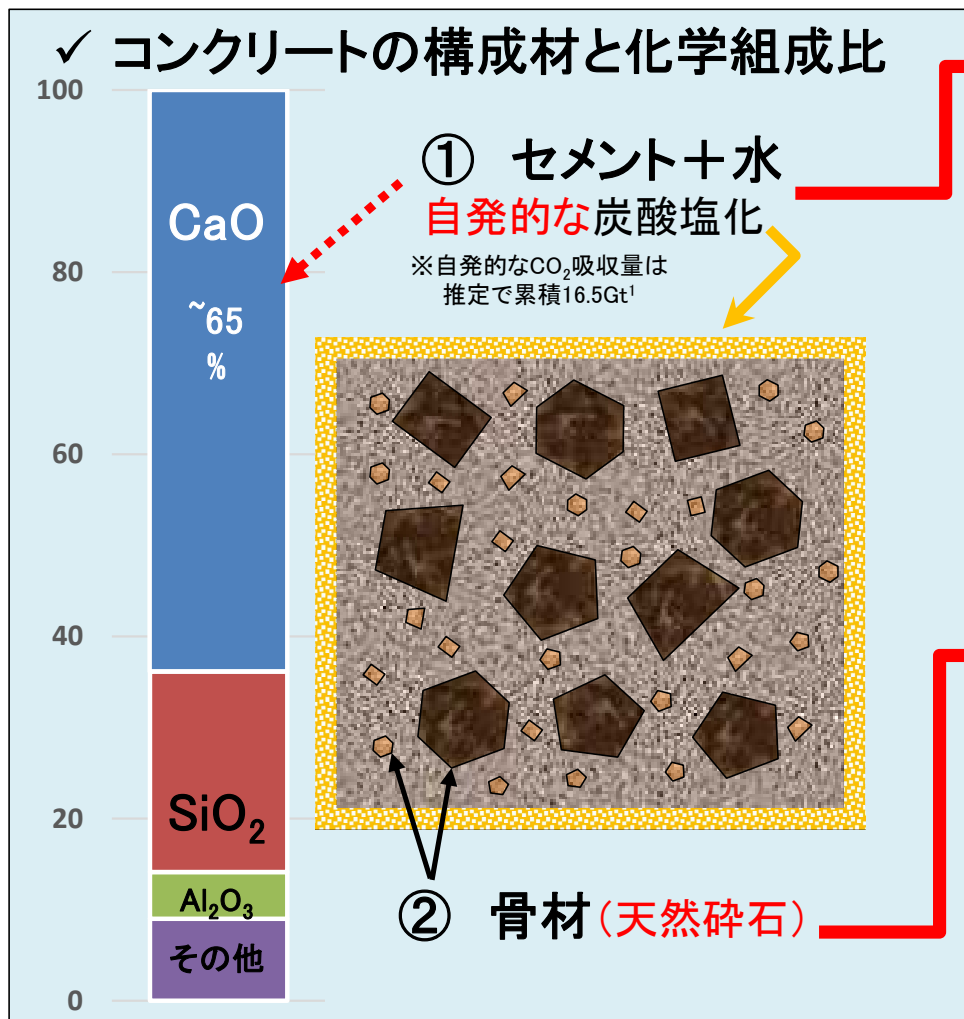
Figure 1. Photographs of Post-Combustion Carbon Capture Test Facilities

欧州
Technology
Centre
Mongstad(2012)



セメント・コンクリート分野における炭酸塩化技術

- 海外のベンチャー企業が取り組む工業化段階のCO₂固定化技術
 - ① 強制的にコンクリートへCO₂吸収させる技術 (Solidia Tech.社, CarbonCure Tech.社)
 - ② 人工骨材製造によりCO₂を固定する技術 (O.C.O Tech.社)



① 強制的な炭酸塩化

- 製造時: CO₂雰囲気下での養生
- 使用後: 粉砕した廃コンへの吸収¹



Solidia Technology社のCO₂養生設備²

② 人工骨材としての利用 (CaCO₃)

焼灰・スラグ等の産業廃棄物・副産物を軽量骨材へ



O.C.O Technology社の製造プラントと軽量骨材



¹14th CDUS 「CO₂ mineralization Update on latest developments Views from the cement sector」の1930

年から2013年までの累積の吸収炭素量4.5GtonCを基に算出

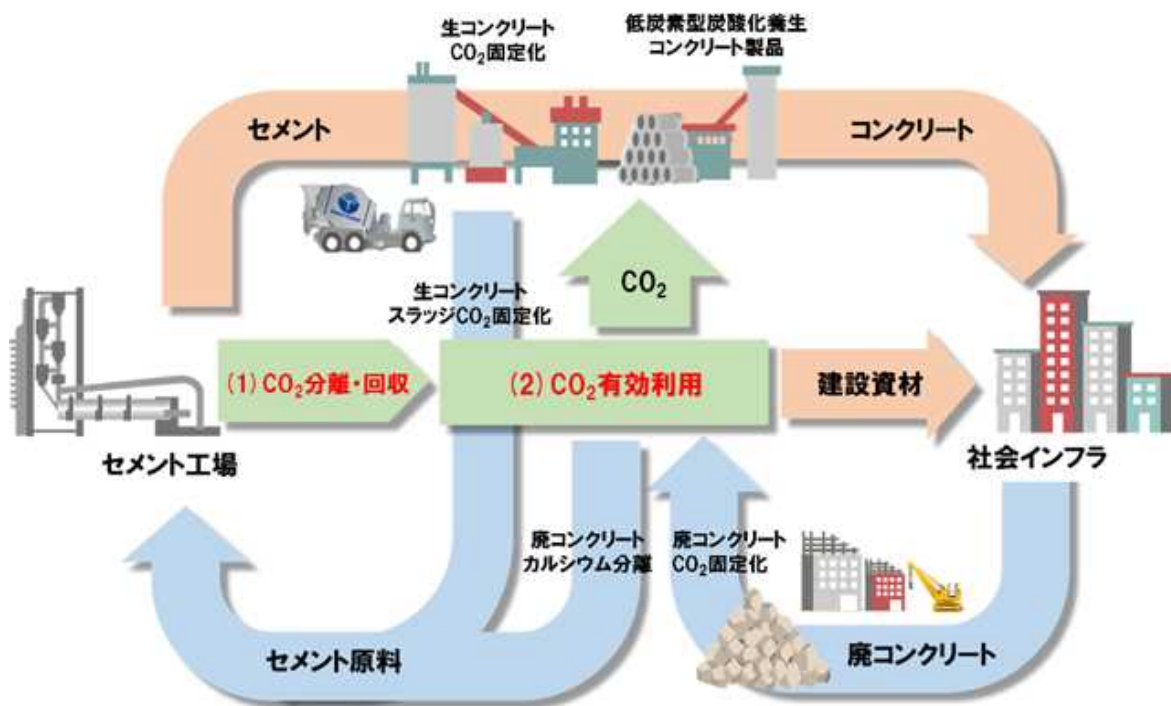
² Second ECRA Chair Scientific Event , Mons, 09th November 2016

LafargeHolcim's activities: CCS/U and low CO₂ cements, focus on Solidia Technologies®

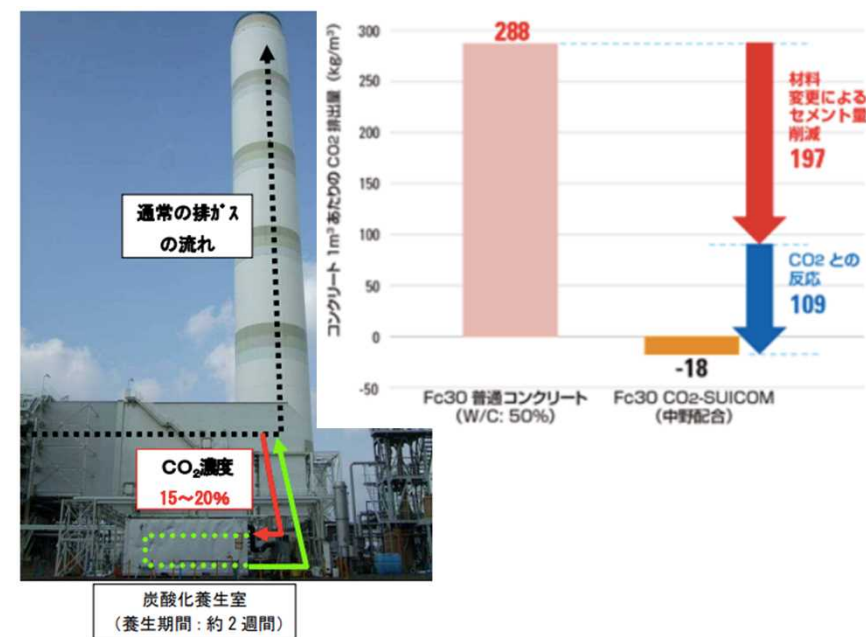
炭酸塩化技術に関する国内の取り組み状況

- 国内メーカーからも炭酸塩化に関する特許出願もあり，上位にランキングされる
- 2019年以降、国内企業においても産業廃棄物・副産物を用いた炭酸塩化の取り組みが発表される。2020年度より「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発（NEDO）」に着手。

✓ 炭素循環型セメント製造プロセス技術開発 (NEDO、2020年度-2021年度)



✓ CO2-SUICOM (鹿島建設, デンカ, 中国電力)²

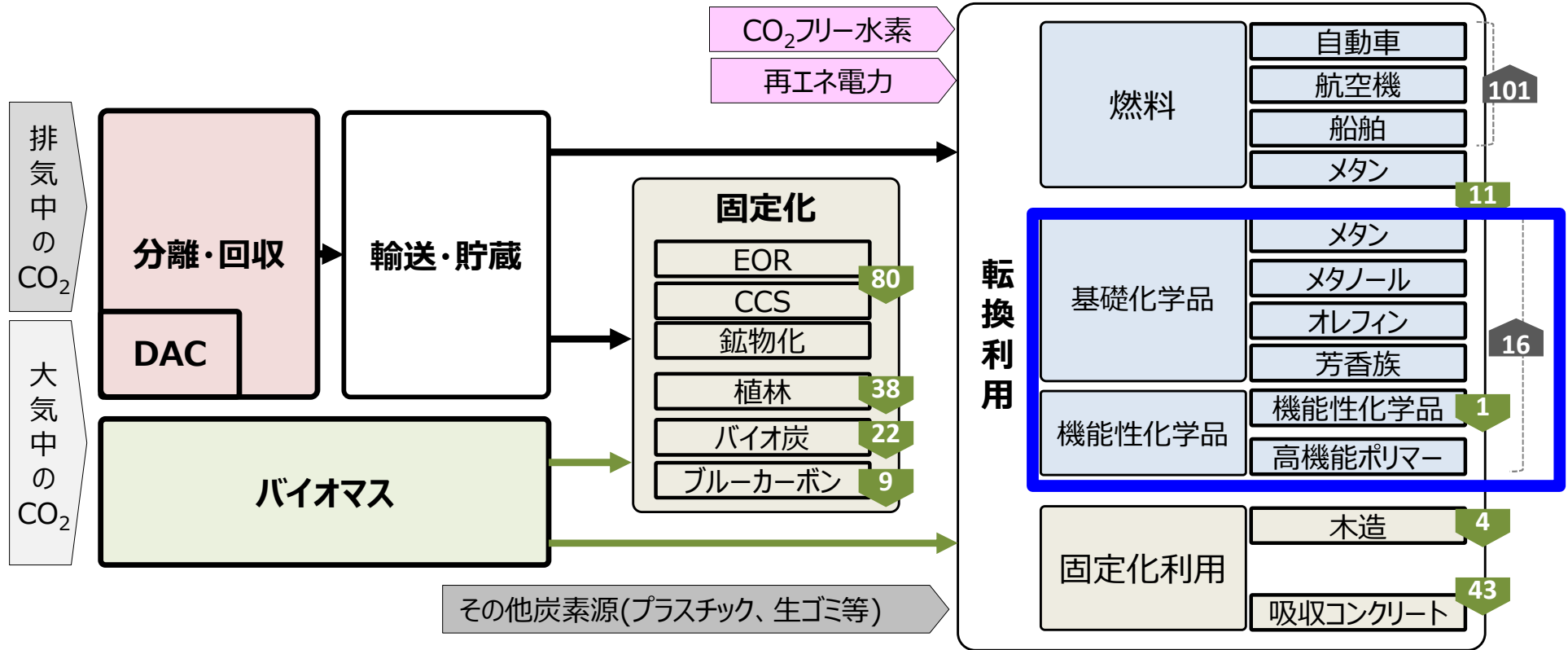


2020年6月18日 NEDOプレスリリース
https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101319.html



²KAJIMA ダイジェスト (2012年6月)

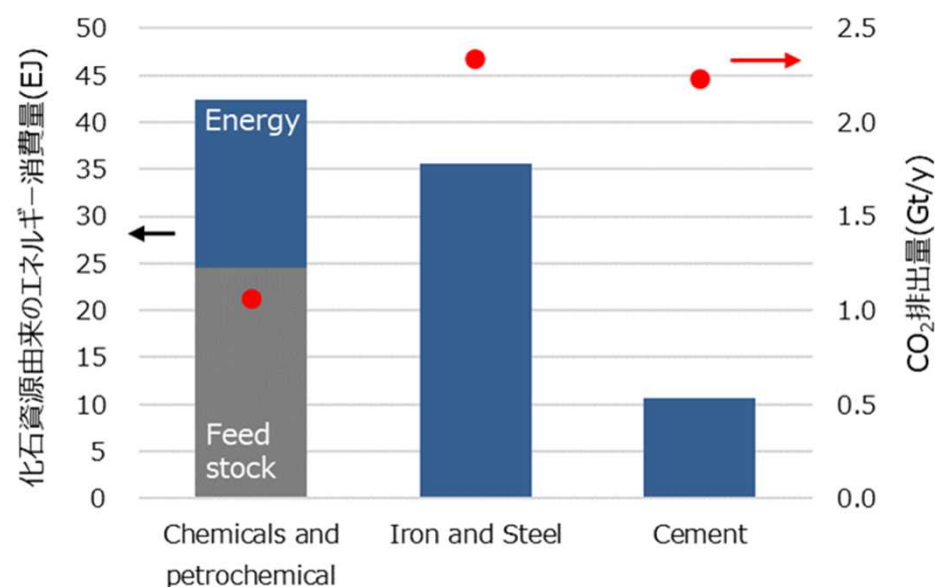
化学品分野について



世界の化学産業のCO₂排出量

- 世界の化学産業は、原料利用も含めると化石資源の使用量が最も多く、CO₂排出量は鉄鋼、セメント業界に次ぐ量である
- CO₂削減のシナリオの1つであるIEAのCTSにおいて、2050年に期待されるCO₂の削減策は、CCUS、天然ガスシフト、省エネ、プラスチックリサイクル、代替原料

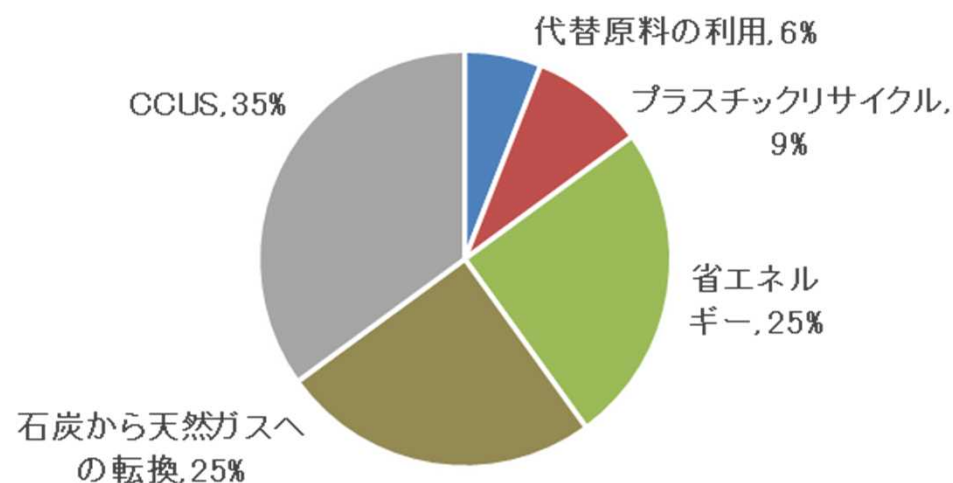
エネルギー消費/CO₂排出の多い製造業(世界)



※Iron and Steelにおいては、還元剤利用の化石燃料消費を含む
 ※CO₂排出量は、プロセス由来を含む直接排出分

出典：IEA Energy Technology Perspectives 2017を基に、TSCにて作成

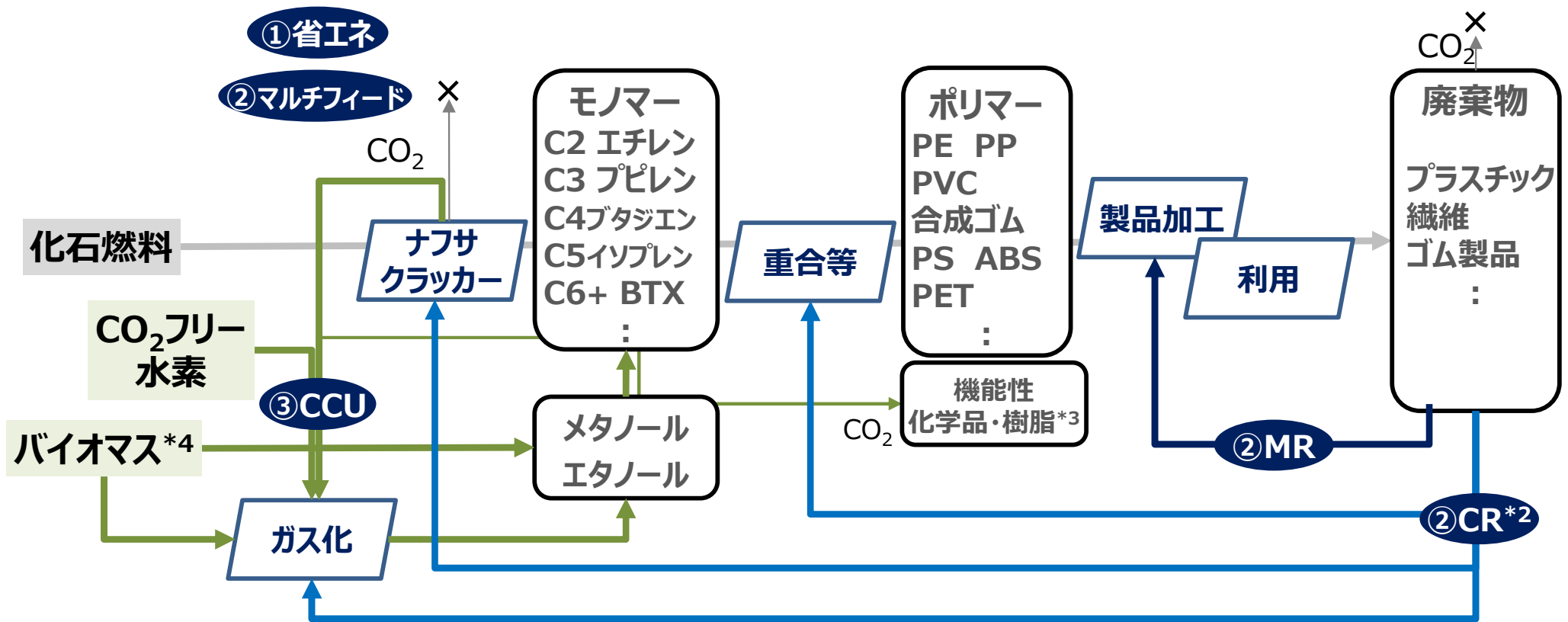
CTSにおけるCO₂削減量の割合



出典：IEA The Future of Petrochemicalsの Fig. 5.11と5.8を基に、TSCにて作成

日本の化学産業のカーボンニュートラル化のイメージ

- **省エネ**：大型設備*1において、反応・精製の効率向上および電化を含む投入エネルギーのCO2削減
- **原料多様化**：廃棄物のマテリアルリサイクル(MR)・ケミカルリサイクル(CR)、バイオマス等、有用炭素源の徹底活用と、同一の装置でこれら多様な原料の利用を可能とするマルチフィード
- **CCUS**：CO2貯留および、CO2フリー水素の利用によるの炭素源としてのCO2利用



*1 大型設備はエチレンクラッカーの他、メタノール、アンモニア、水素を含むガス化。その多くで蒸留などの精製工程のエネルギー消費が多い
 *2 ケミカルリサイクル(CR)にはモノマーに戻す解重合、ナフサ代替とする油化、ガス化がある。
 *3 水素を必要とせずCO2の利用が可能な機能性化学品ではCO2利用が先行して進む可能性
 *4 バイオマスからアルコール等を経由せず直接様々な化学品を製造するプロセスも開発が進む

CO₂から含酸素化合物(高機能プラスチック)への転換技術

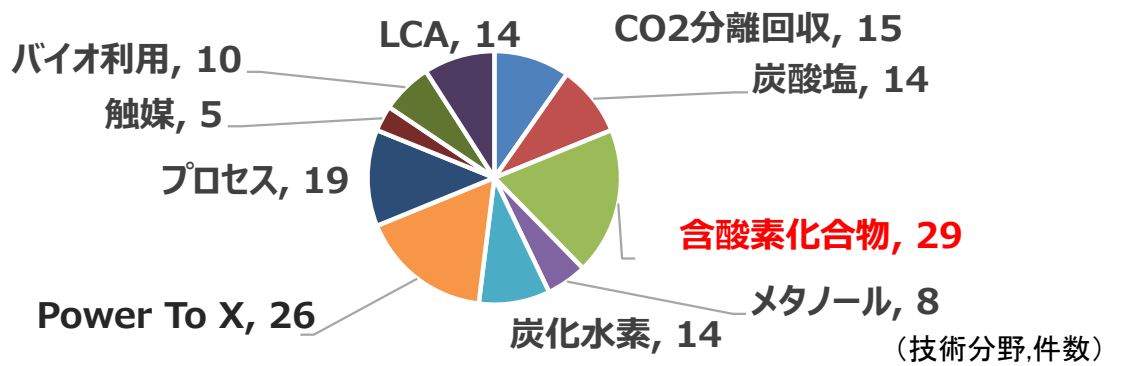
TSC Environment & Green Chemistry Unit

- 旭化成がCO₂利用のポリカーボネートを既に商業化。近年ではEUでの研究開発が活発化
- 低炭素化による素材の差別化を狙い、世界で開発が活発化。

高機能プラスチック	生産量 百万トン*1	実績・動向
ポリカーボネート (PC)	2.7	● 旭化成は世界に先駆けて、CO ₂ を原料としたポリカーボネート製造技術を海外で 商業化
ポリウレタン (PUR)	16.1	● NEDO 未踏チャレンジ2050で、CO ₂ からのウレタン原料製造の 先導研究 を実施 旗 CO ₂ を用いたウレタン原料製造のベンチャー企業ECONICが 実証段階
高吸水性高分子 (SAP)	2.6	● 東工大でエチレンとCO ₂ からのアクリル酸合成を研究(JST・ACT-C) 旗 CO ₂ とエチレンからの高吸水性ポリマー製造に向けた触媒の 研究開発 を推進
PET	18.8	各国でマテリアルリサイクル、ケミカルリサイクルが 実証段階

ICCDU*2019のセッション毎の発表件数






*各国の化学工学会が持ち回りで開催する学術会議で、2019年はドイツ、次回は韓国で行われる。
 なお、第1回は1991年に日本で開催されている。



バイオマスから高機能化学品・プラスチックへの変換技術

TSC Environment & Green Chemistry Unit

- バイオマス（糖、油脂）からバイオモノづくり技術による高機能プラスチックの開発・実用化、化学変換によるモノマー等生産・実用化は着実に進展：高付加価値品で原料系からのサプライチェーン構築、量産化へ
- バイオマスの安価・安定確保が課題であり、バイオマス増産や廃棄物の有効活用が今後ポイントとなる

高機能化学品	開発ステージ	実績・動向
生分解性ポリマー PLA: ポリ乳酸 PHA: ポリヒドロキシアルカノエート PBS: ポリブチレンサクシネイト	商業生産	 PLAは、Nature works、Corbion、中国など 40万t/Y  PHAは、カネカが 商業化 、PBSは、三菱ケミカルが 商業化 内閣府SIP「バイオ・農業」にて ポリマー設計技術開発実施
バイオポリイソプレン	実証段階	<ul style="list-style-type: none"> ● NEDO「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発」で抽出ポリイソプレン、NEDO「植物等の生物を用いた高機能品生産技術の開発」でイソプレン生産技術開発
イソソルバイト	商業生産	<ul style="list-style-type: none"> ● 三菱ケミカルが、植物由来イソソルバイトを用いてバイオポリカーボネートを商業化  ミネソタ大学などでも活発にPJ研究が進んでいる
フルフルール／テトラヒドロフラン	実証段階	<ul style="list-style-type: none"> ● NEDO「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発」で木質バイオマスから化学変換によるFRL生産技術開発実施 等
フランジカルボン酸	実証段階	ガスバリア性に優れる PET代替のPEF 材料として注目されている  Avantium、Corbion、  北海道大学など

生分解性ポリマー

バイオイソプレン

バイオポリカーボネート

バイオPEF



CO₂削減技術の変遷を基にした議論の重要性

■ 切れ目のないTransitionのため、実装時期・普及率を考慮した技術開発ポートフォリオの必要性

		現在	2030年		2050年
分離・回収		化学吸収法 (アミン吸収)	膜分離法 (高圧)	化学吸収法 (固体吸収)	吸収法 (相分離・非水系等) 膜分離法(低圧) DAC
	固定化	貯留(地下)	EOR・CCS		地中鉱物化 地中変換(微生物, 触媒) EHR(メタンハイドレート)
	固定化(地上)	吸収コンクリート・骨材利用(副産物利用) 木造化・植林		鉱物利用による炭酸塩化 バイオ炭・ブルーカーボン	
燃料		天然ガスシフト バイオマス利用	バイオガス	合成燃料(バイオマス, 廃棄物利用)	水素直接利用 メタネーション
化学品	基礎化学品	リサイクル 天然ガスシフト バイオマス利用		合成ガスルート バイオガスルート	CCS併用 電化 水素利用
	機能性化学品	プロセス革新(フロー) ポリカーボネート 生分解性プラスチック, ポリカーボネート		含酸素化合物への拡大 品目拡大	水素利用 電解合成 ミドルマス品目への拡大

カーボンリサイクルロードマップ検討会 (2019/4), 革新的環境イノベーション戦略, NEDO/TSC資料を基にした本分野における各種技術の相対的な普及イメージ (NEDO技術戦略研究センター作成)

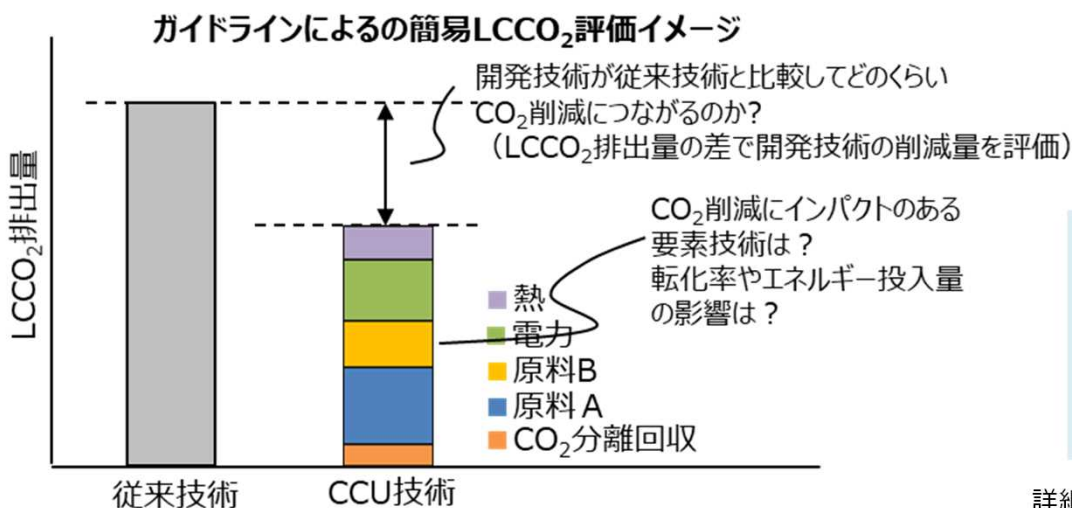
	Near Term (2025)	Intermediate Term (2035)	Longer Term (2050)
Large-Scale Carbon Management	Research and field testing of alternative approaches for innovative, large-scale, biological sequestration approaches	Sub-surface CO ₂ management at gigaton scale; mineralization	Large-scale CO ₂ utilization alternatives (including conversion to fuels or products such as polymers and carbon fibers)

CCU技術への期待

- IEA/NZSによれば、CCUS技術によるCO₂分離・回収量は、2050年において世界で76億トン/年と試算されており、CO₂削減目標に対して大きく貢献することが想定
- 日本をはじめとするCCSやEORに適したサイトが限定的である地域においては、CCUS技術のうち、CO₂を製品の原料として利用するCCU技術への期待が高い
- CCUの重要性は政策文書にも示され、国家プロジェクトを含め、様々な研究開発が進行中

LCCO₂評価の必要性

- CCUの研究開発を効果的に進めるためには、「その導入が本当にCO₂削減につながるのか、削減効果はどの程度か」、「CO₂削減にインパクトのある要素（ホットスポット）はどこなのか」を研究者自身が見極めることが重要
- 特に、CCU技術はその導入により、従来技術に対してサプライチェーンが大きく変わることから、**ライフサイクル全体でのCO₂（LCCO₂）排出量の評価が不可欠**



研究開発初期段階の技術を対象とした試算手法や使用する基本的なデータセット等、統一的な方法が確立されていない

技術開発段階の違いに応じた試算範囲や試算手法を整理し、LCAベースのCO₂排出削減量の試算をLCAの非専門家が実施できるガイドラインを策定（2022年7月公表）

- 2050年カーボンニュートラル実現に向け、資源循環とカーボンリサイクルは大きなCO₂削減ポテンシャルを有している。
- カーボンニュートラルに向け、切れ目なく日本が貢献するために、CO₂削減ポテンシャルに加え、産業競争力、実装時期を考慮した研究開発戦略が重要。

資源循環について

- サーキュラーエコノミーは資源のリサイクルに加え、シェアリングなどビジネスモデルや、製品長寿命化や生産効率の改善を含むもので、持続可能な社会の実現に向け、新規な投入資源の最小化することが目的。資源自律の面でも重要性が高まっている。
- リサイクル技術では、リサイクル前後の品質変化を考慮し、全工程（解体・選別、再生、加工・利用）で最適な技術の組み合わせや技術の高度化を図ることが重要。
- デジタル技術の活用により、循環効率の測定・監視による材料・製品・資産・プロセスの完全かつ効果的な評価を可能となり、新たなサービスの提供や価値創出が可能となる。

CCUS/カーボンリサイクルについて

- CO₂分離・回収分野では既に立ち上がる市場で日本がリード。次世代の素材・要素技術の獲得、早期実用化に向け共通評価基盤の整備が重要
- 炭酸塩化では、セメント・コンクリート分野の実証が世界で進む。早期のキャッチアップが重要。
- 機能性化学品分野はCO₂削減ポテンシャルは相対的に小さいものの、環境価値が製品競争力につながる。含酸素化合物をターゲットとした変換技術の研究が世界で拡大
- 燃料・基礎化学品分野では、規制への対応としてバイオジェットの実用化が急務。また、多様な炭素源の利用に資する合成ガスからの転換技術により、燃料や基礎科化学品の低炭素化に貢献できる可能性。バイオ技術と化学プロセス技術との融合が重要