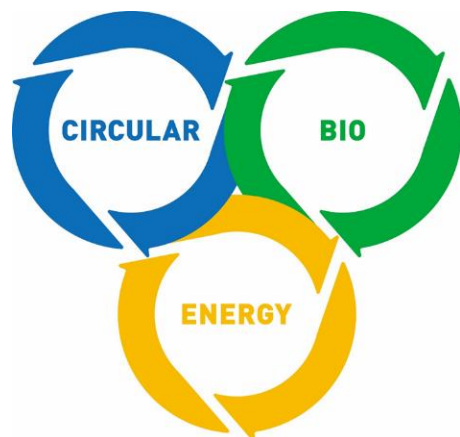


CCUS/カーボンリサイクル/バイオものづくり分野 の技術動向について

第1回グリーンイノベーション戦略推進会議ワーキンググループ



2020年7月7日

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 (TSC)

環境・化学ユニット

バイオエコノミーユニット

再生可能エネルギーユニット

エネルギーシステム・水素ユニット

- 2050年世界のGHG80%削減におけるベストミックスで、CCUS併用を含む化石燃料は、一次エネルギー全体の1/3を占める予測

IEA, Energy Technology Perspectives 2017のBeyond 2°C Scenario(B2DS)における2050年のエネルギー構成より

✓ 2050年の世界一次エネルギー需要

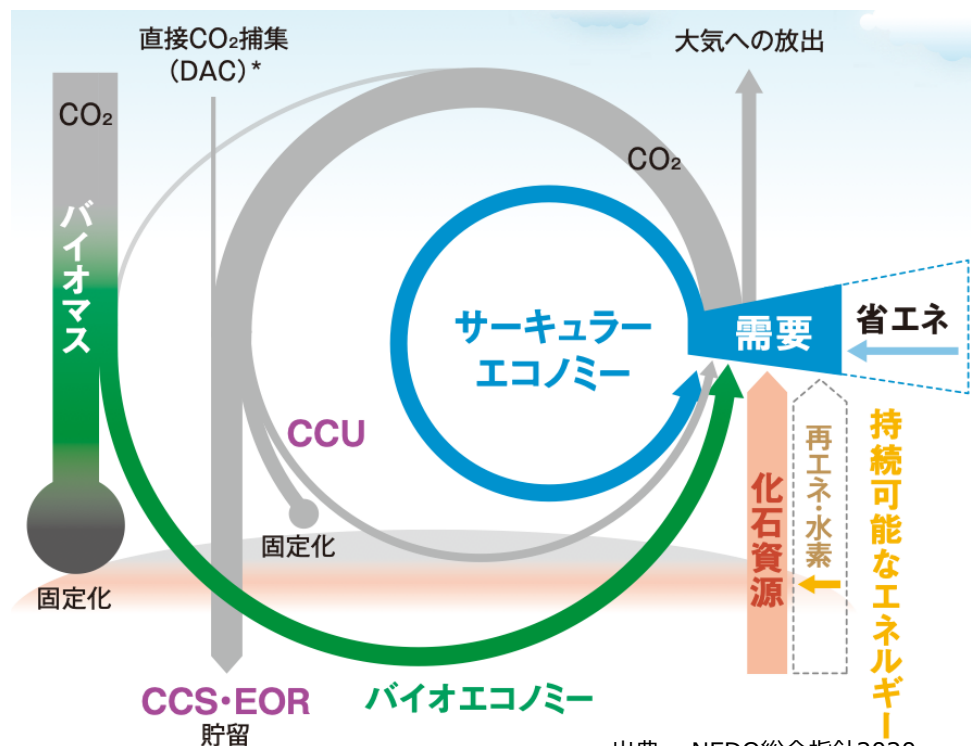
化石燃料：33%



IEA, Energy Technology Perspectives 2017のB2DSにおける2050年一次エネルギー消費量を元にTSCにて作成

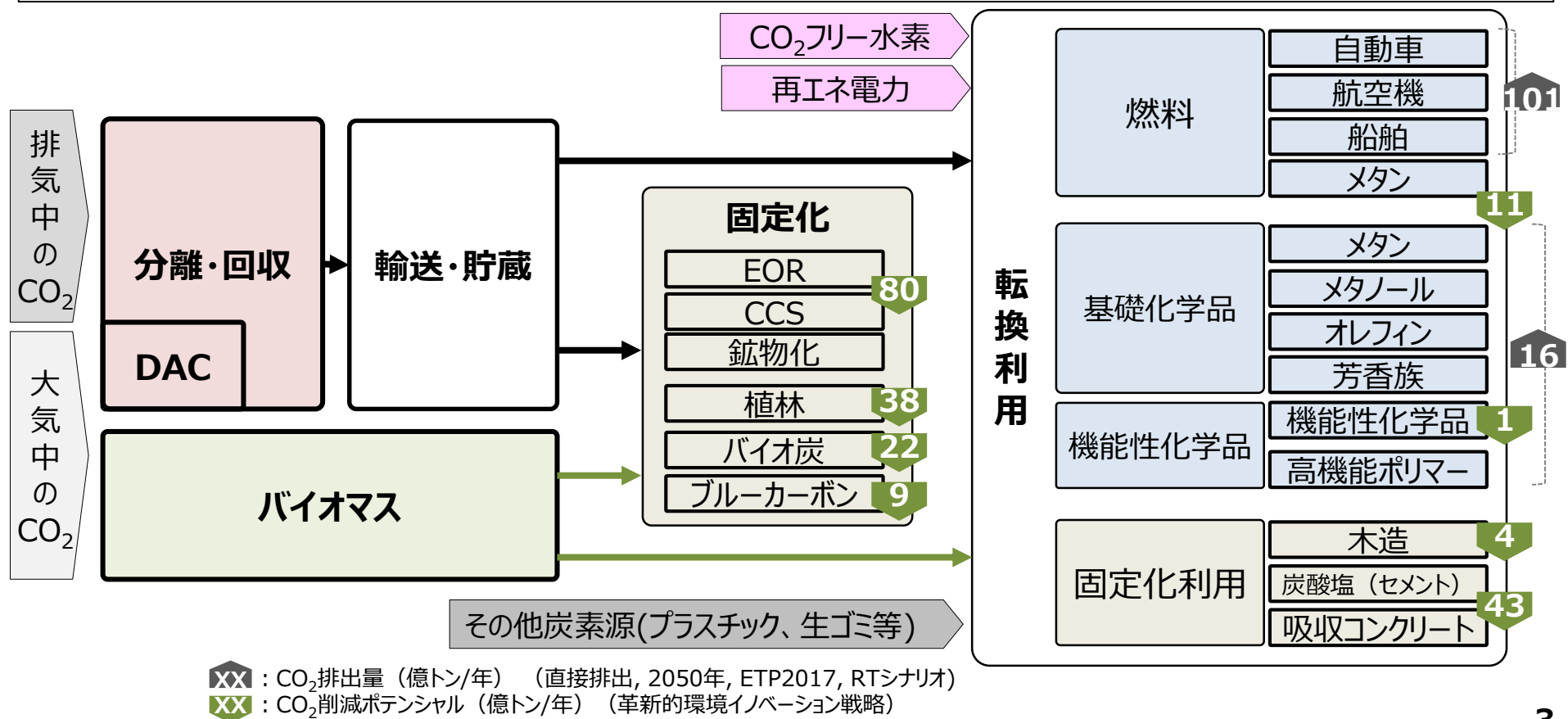
✓ CO₂削減対策の将来像

サーキュラーエコノミー (省エネ含む)による需要削減, 再エネ, バイオマスによる化石資源の代替, CCUSによるCO₂の固定化・再利用

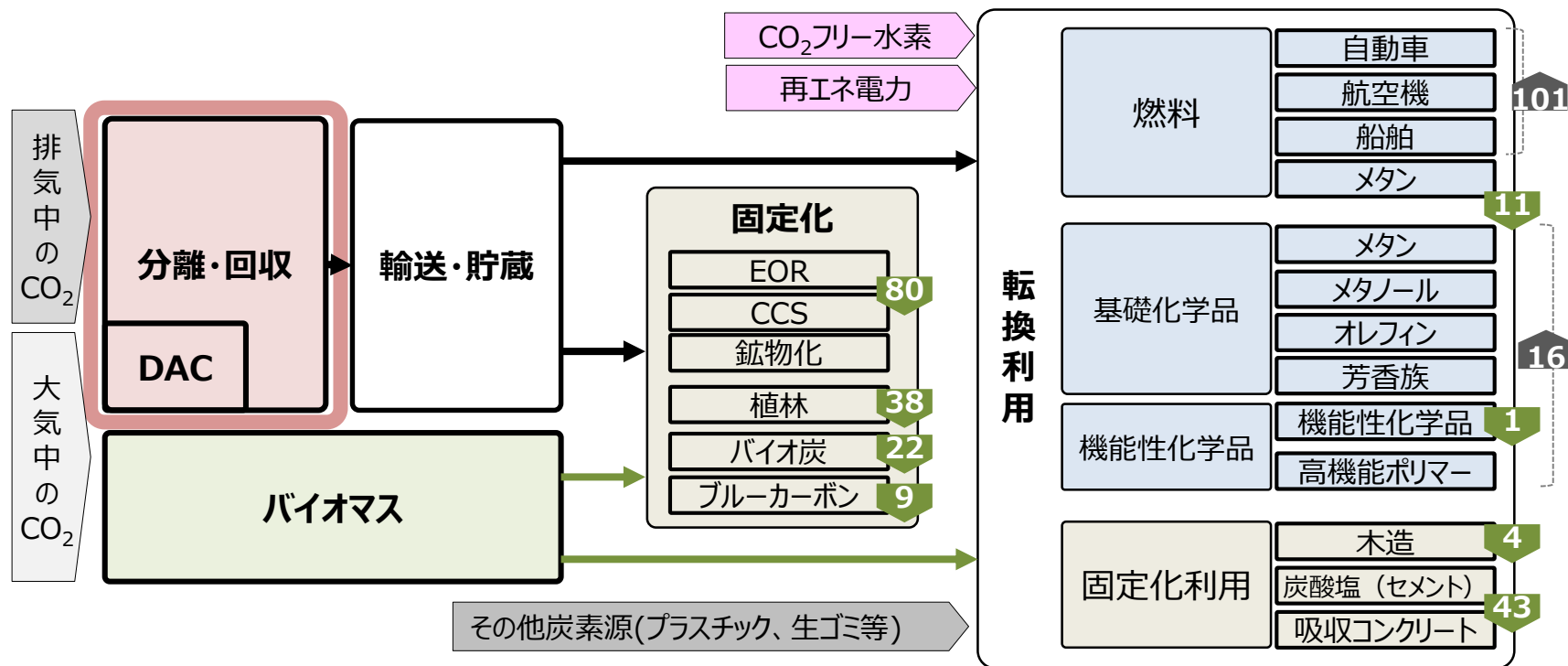


出典：NEDO総合指針2020

- 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



分離・回収



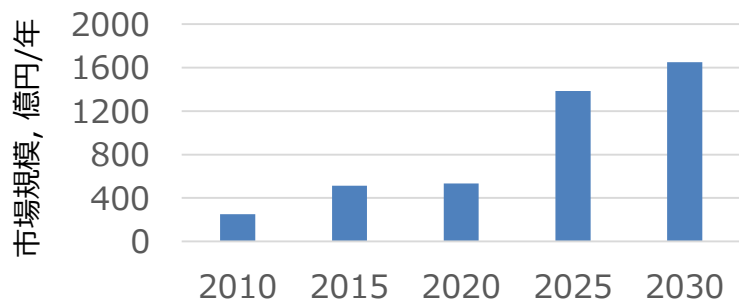
革新的環境イノベーション戦略におけるテーマ

⑫ CCUS／カーボンリサイクルの基盤となる低コストなCO₂分離回収技術の確立

③⑨ DAC (Direct Air Capture) 技術の追求

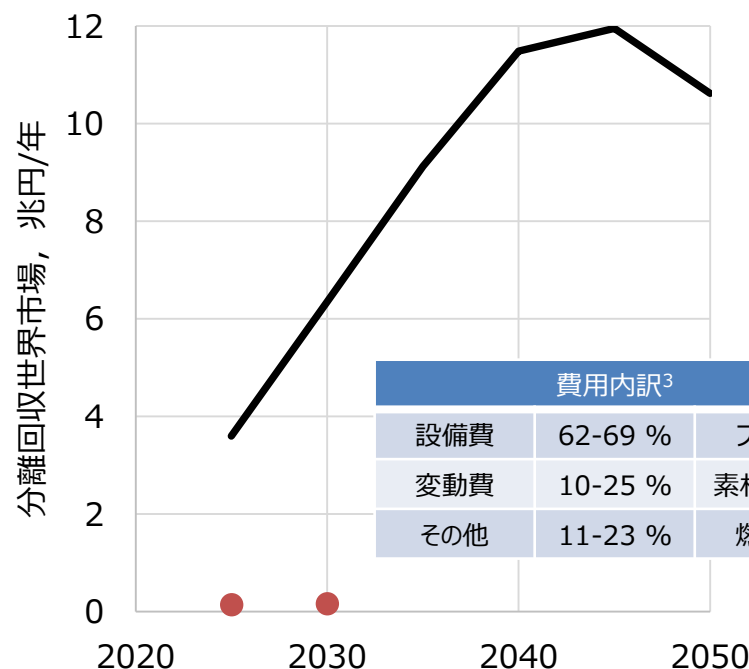
- EOR(石油増進回収)向けで500億円/年程度の市場(2015)。2050年の分離回収の市場は10兆円規模。(プラント建設:6~7兆円/年, 吸収液や膜などの消耗品:1~3兆円/年)
- 現状, 日本のエンジニアリングメーカーが分離回収プラント実績として高いシェア
- 各国で分離回収のコスト目標と共に技術開発が推進され、今後、競争が見込まれる。

✓ 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>

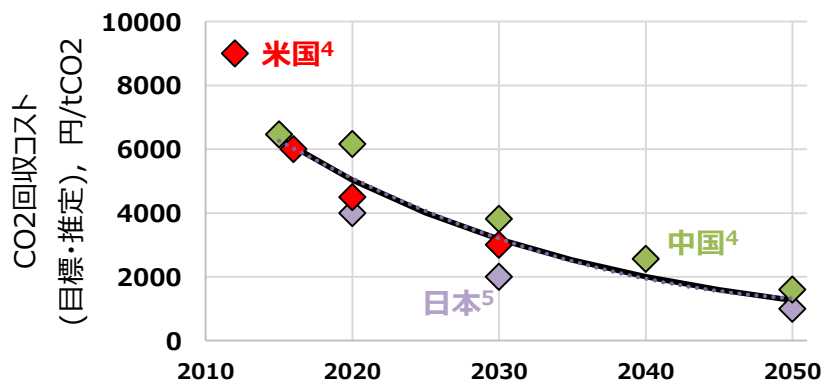
✓ 分離回収の市場ポテンシャル²



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B2DSI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B2DSI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

非公開

分離・回収



Technology Strategy Center

DAC (Direct Air Capture)

分離・回収



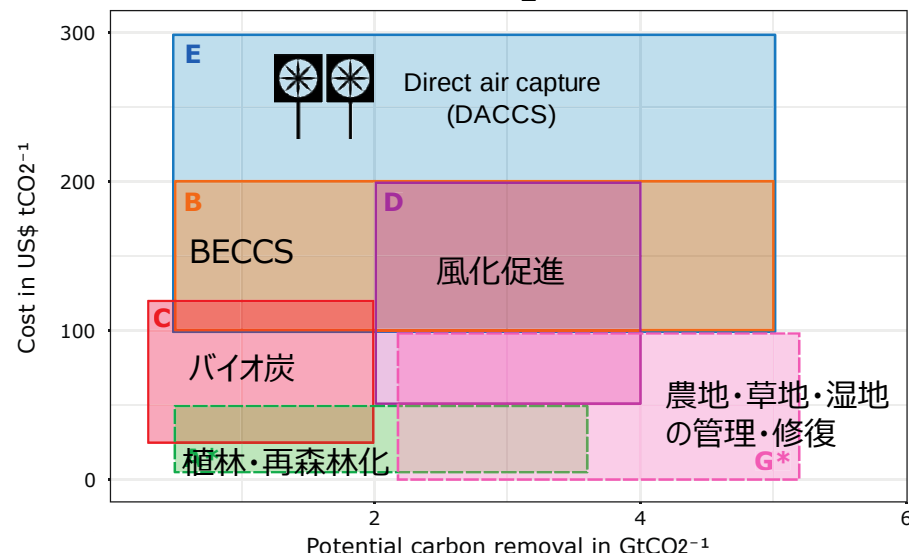
Technology Strategy Center

- DACとCCSや固定化との組み合わせはネガティブエミッション技術
- 大きな削減ポテンシャルを持つが、コストおよびエネルギー原単位の大幅改善が課題

DACのエネルギー原単位の試算

DAC設備・研究論文	CO ₂ 回収コスト*1 (\$/tCO ₂)	CO ₂ 回収原単位*2	
		熱エネルギー 原単位(GJ/tCO ₂)	電力原単位 (kWh/tCO ₂)
Climeworks	 処理能力: 900ton/year 現在のコスト 600 2025年頃の目標コスト 100	9.0	450
Carbon Engineering	 処理能力: 365ton/year 現在のコスト 94~232	5.3	366
Global Thermostat	 処理能力: 4,000ton/year 現在のコスト 150 将来達成可能なコスト 50	4.4	160
APS 2011 NaOH case	 AMERICAN PHYSICAL SOCIETY -	6.1	194

ネガティブエミッション技術のCO₂回収コストとポテンシャル



ムーンショット型研究開発制度

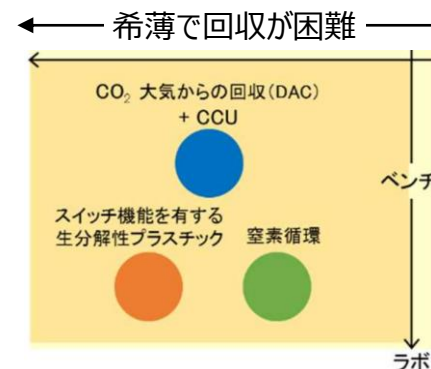
大気中のCO₂をターゲットにした炭素循環が、窒素循環やスイッチ機能を有する生分解性プラスチックとともにムーンショット目標4における挑戦的研究開発の例として挙げられる



ムーンショット目標4

「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」研究開発構想

<https://www.nedo.go.jp/content/100904072.pdf>



- 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

研究開発 ステージ

コンセプト立案

スクリーニング・組成最適化
基本性能評価（回収量等）

検証

加速寿命試験

実証

評価スケール
(tCO₂/day)

10

1

0.1

0.01

エンジニアリング

メーカー側のニーズ

実ガスでの性能評価による
エンジニアリングデータ取得

共通評価基盤の
対象領域

素材・要素技術開発

模擬ガス (CO₂ + N₂)

標準ガス (CO₂ + NOx + H₂S, 不純物等)

実ガス (排ガス等)

使用ガス種



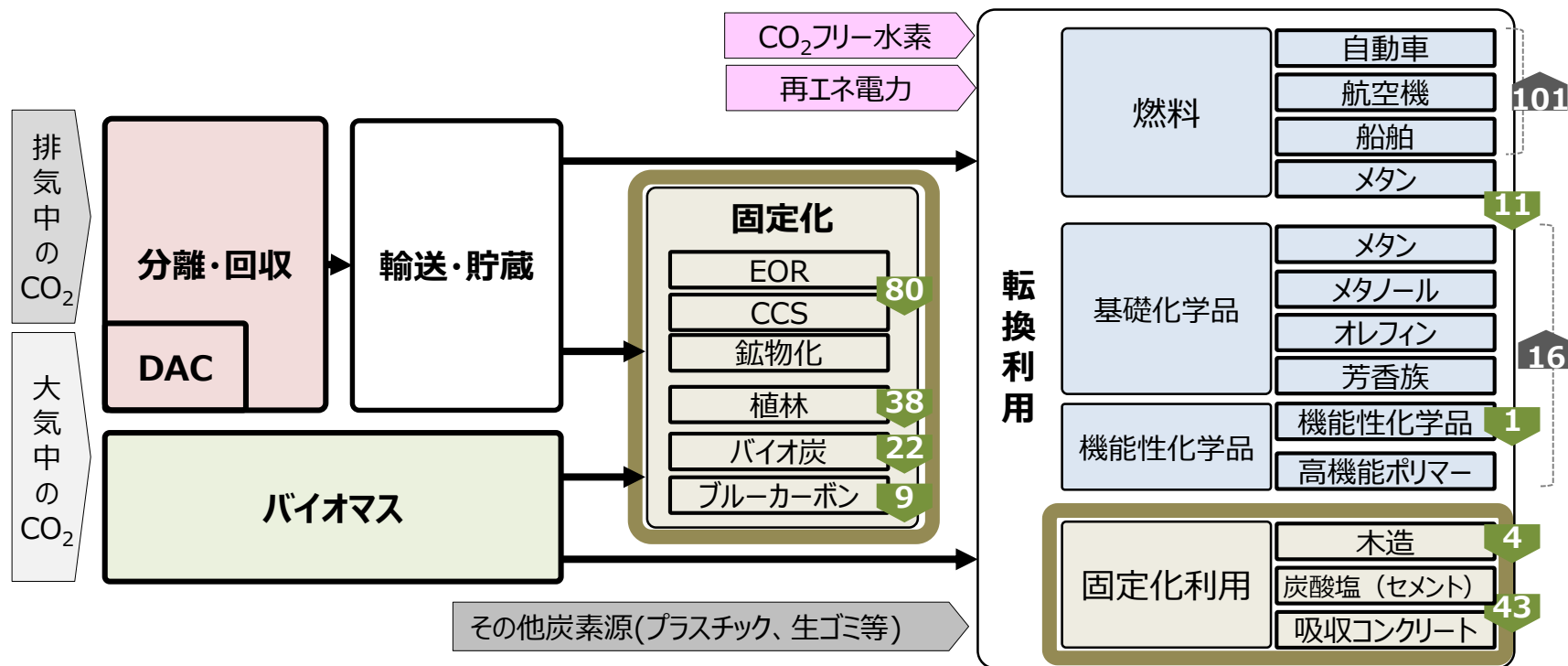
Figure 1. Photographs of Post-Combustion Carbon Capture Test Facilities

欧州
Technology
Centre
Mongstad(2012)



米国
National Carbon
Capture Center (2009)

固定化

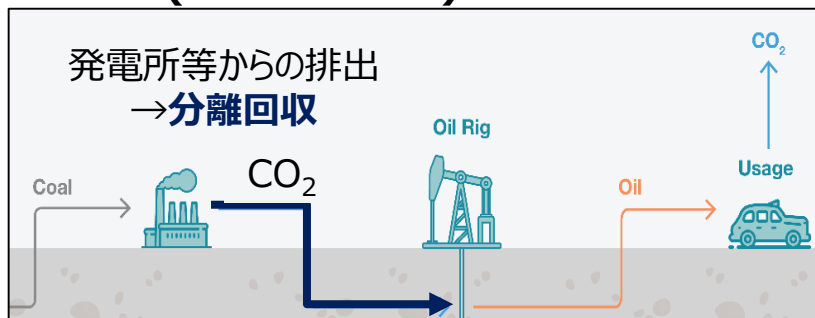


革新的環境イノベーション戦略におけるテーマ

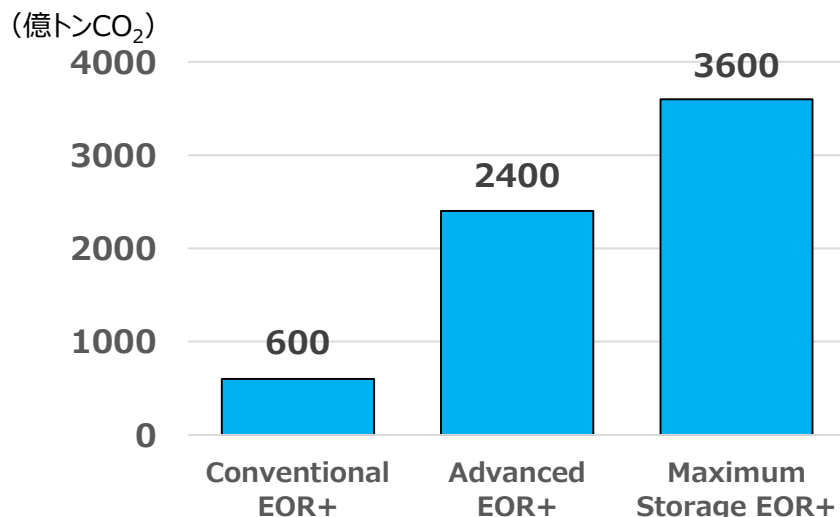
- ② CO₂を原料とするセメント製造プロセスの確立／CO₂吸収型コンクリートの開発 他
- ③⑩ ゲノム編集等バイオテクノロジーの応用 ③② バイオ炭活用による農地炭素貯留の実現
- ③③ 高層建築物等の木造化やバイオマス由来素材の利用による炭素貯留
- ③④ スマート林業の推進、早生樹・エリートツリーの開発・普及
- ③⑤ ブルーカーボン（海洋生態系による炭素貯留）の追求

- 北米を中心にインセンティブ付与(45Q)に動機付けされるEOR・CCS
- 地質学的に大規模なCO₂貯留可能量, 大きなCO₂削減への寄与が期待される
- CO₂輸送技術の検討と共に、海外との連携を模索。

✓ EOR(石油増進回収)と貯留ポテンシャル

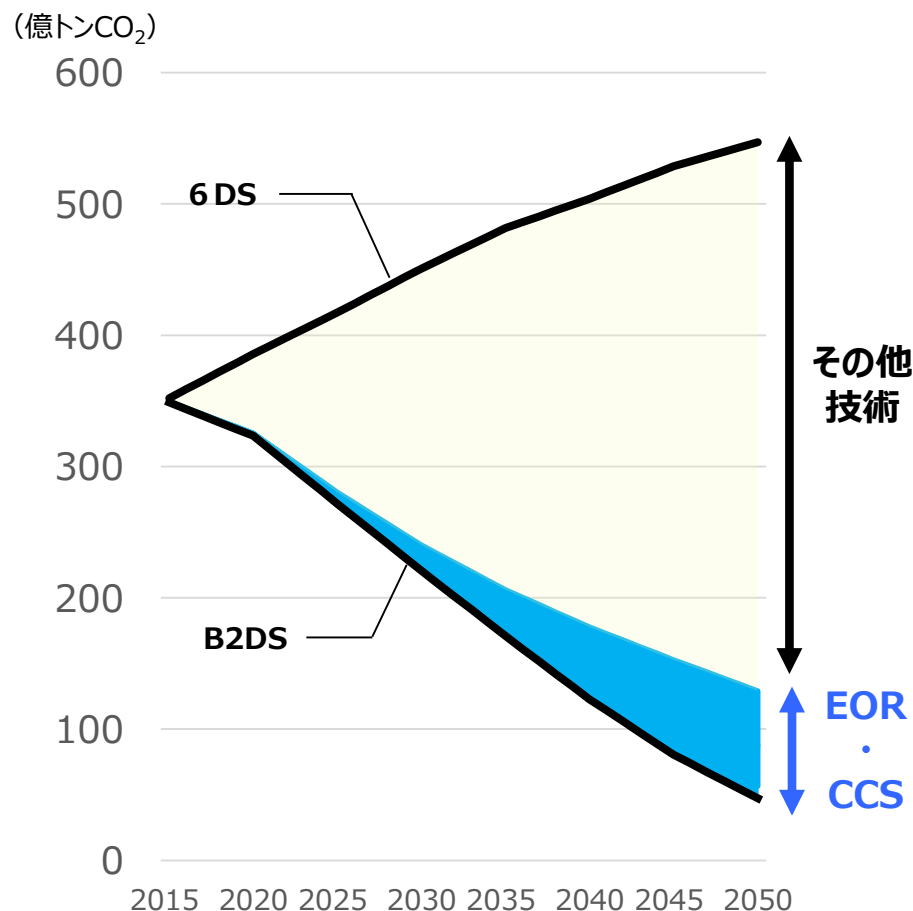


出典：IEA. Carbon capture, utilisation and storageを基にNEDO/TSCで加筆
<https://www.iea.org/topics/carbon-capture-and-storage/>



出典：IEA. Storing CO₂ through Enhanced Oil Recoveryを基に
 NEDO技術戦略研究センター作成 (2020)

✓ IEAが想定するEOR-CCSによるCO₂削減寄与



出典：IEA ETP2017を基にNEDO技術戦略研究センター作成 (2020)

炭酸塩化技術に関する国内の取り組み状況

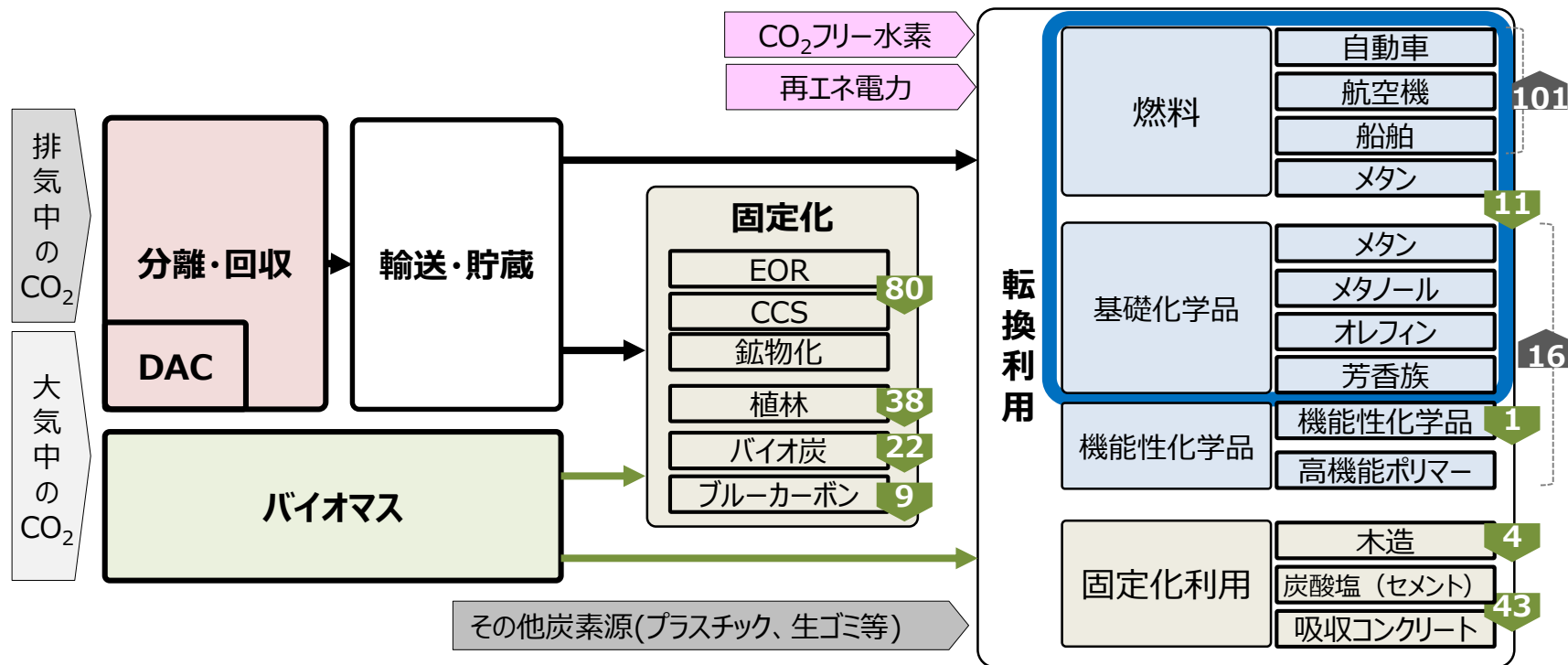
非公開

固定化



Technology Strategy Center

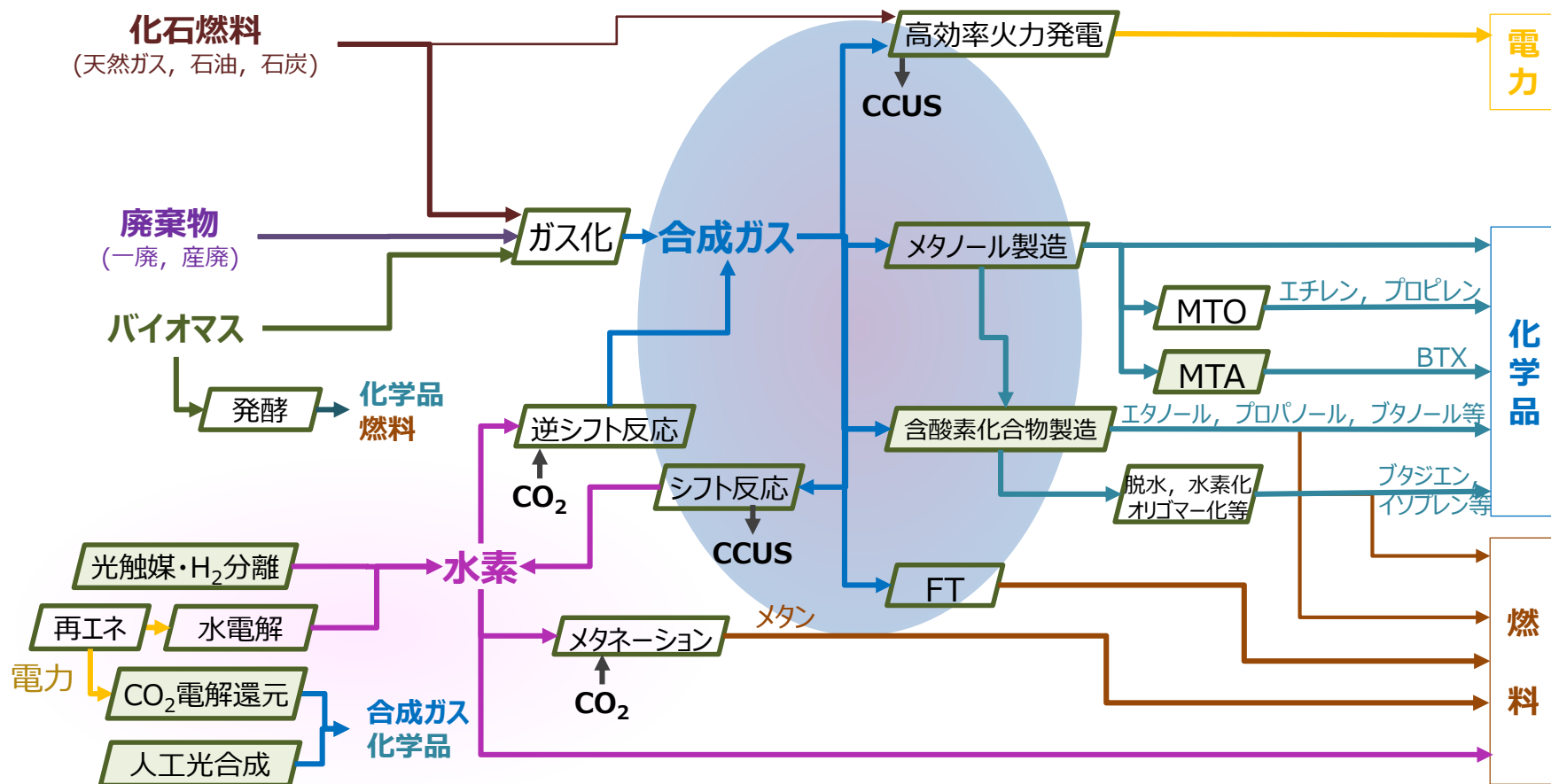
燃料・基礎化学品



革新的環境イノベーション戦略におけるテーマ

- ⑮ カーボンリサイクル技術を用いた既存燃料と同等コストのバイオ燃料・合成燃料製造や、これら燃料等の使用に係る技術開発
- ⑲ 人工光合成を用いたプラスチック製造の実現
- ⑳ 低コストメタネーション（CO₂と水素からの燃料製造）技術の開発
- ㉓ ゲノム編集等バイオテクノロジーの応用
- ㉔ バイオマスによる原料転換技術の開発

- 燃料・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
- バイオマスや廃棄物等は，低いエネルギー投入で転換可能な貴重な炭素源
- 合成ガスからの転換技術(C1化学)は，炭素源によらず共通技術
- バイオマス，合成ガス，水素チェーンの確立により，'Lock in'することのない'Transition'



燃料・基礎化学品への転換の開発状況

燃料・基礎化



Technology Strategy Center

- 合成ガスからのエタノール製造はLanzatechが先行．一方で、C3以上のアルコールは世界各国での研究が進む．日本でも、大学のバイオ系研究者が実施
- アルコールからの最終製品への転換は、既存の技術やプロセスの利用により、早期の社会実装の可能性
- 合成ガスやバイオマスの原料利用に向け、ゲノム編集等のバイオ技術と化学プロセス技術の連携が重要

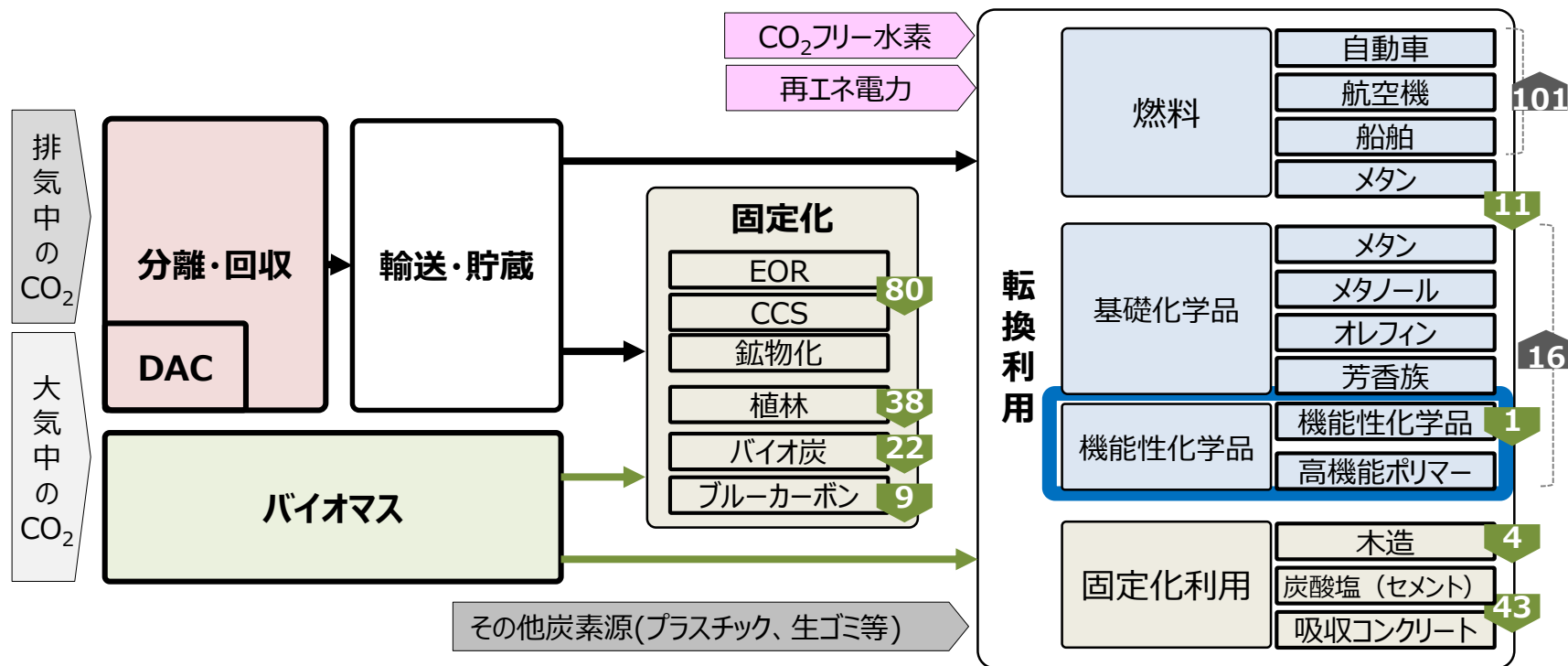
					その他のルート
原料	合成ガス	商業生産	実証(Lanzatech)	研究(複数のPJ)	FT合成は工業化(改良研究が進行)
	バイオマス		高温菌利用による発酵		
中間体	メタノール	エタノール	プロパノール	ブタノール他	
					シアノバクテリアを用いたブタノール 菌を用いたコハク酸
化学品	エチレン(PE)	商業生産	商業生産(脱水素)		
	プロピレン(PP)	(MTO) 研究 ^{*3}	実証(産総研)	実証 ^{*2}	
	ブテン		実証(IFPEN)		
	ブタジエン(ゴム)		研究(産総研) ^{*4}	研究	
	C5(ゴム)				
	芳香族(PET)	実証(MTA)			バイオマス分解 合ガスからパラキシレン RITE：糖類原料
燃料	直接利用の他、DMEが実証	商業生産(直接利用、MTBE) 実証 ^{*5}	商業生産(直接利用、既存プロセスの利用が可能)	商業生産(直接利用、既存プロセスの利用が可能)	

^{*1} Global bioenergiesの糖発酵によるイソブテンからイソオクタン製造でAudiが推進するeFuel, <https://www.nedo.go.jp/content/100890889.pdf>, ^{*2} 三井化学、発酵によるバイオプロピレン, <https://www.env.go.jp/press/107210-print.html>, ^{*3} 二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発(人工光合成PJ)の後段部分、目的に応じC2,3,4の選択的合成 https://www.nedo.go.jp/activities/EV_00296.html, ^{*4} NEDO超先端材料超高速開発基盤技術PJ <https://www.nedo.go.jp/content/100897617.pdf>, ^{*5} カーボンリサイクル技術等を活用したバイオジェット燃料生産 技術開発事業 https://www.meti.go.jp/main/yosan/yosan_fy2020/pr/en/enecho_taka_03.pdf

- バイオジェット燃料導入及びクレジット購入によるCO₂排出削減を2021年から自主規制、2027年から義務化（ICAO:国際民間航空機関）
- 米国等が商用化を先導、微細藻類の研究開発では日本が強み
- 安価な原材料の使用と大量生産によるコストの大幅改善が課題

生産プロセス	特長と課題	国内外の開発状況
①Alcohol to Jet	・原料アルコール価格がコストを支配。 ・炭素分布制御技術や触媒開発に技術課題あり。 ・国内実装では海外の安価なアルコール導入が有効。	研究開発実証段階  LanzaTech等が技術開発を先導 ● 国内石油会社・アカデミアが研究開発を検討
②ガス化・FT合成	・CAPEXは高いが、LCAは優良。 ・低コスト化には原材料の無償、逆有償が必要。 ・原材料の前処理、ガス化クリーニング技術等が技術課題。	研究開発実証段階  Fulcrum は都市ごみから合成油 ● 国内プラントメーカー・アカデミアが触媒や反応プロセスを研究開発
③微細藻類	・微細藻類燃料生産に関しては、世界をリード。 ・安価なCO₂と広大な土地が必要。 ・高付加価値品及び化成品利用も可能。	要素技術検証～FSシステム実証段階 ● 日本が強みを持つ技術 ● プラントメーカー等が大量培養技術を、新しい藻体の開発をアカデミアが推進
④油脂の水素化処理（HEFAプロセス）	・技術開発要素は少ない。 ・原材料によって異なるが、ほかの生産プロセスと比較して、安い傾向にある。	商用化段階  World Energy等が廃食油原料HEFAプロセスを開発
合成燃料(自動車用)		
DMC(ジメチルカーボネート) OME(オクチルメチルエーテル) など	・ガソリン代替のDMC、ディーゼル代替のOMEなどの化学物質の合成技術がキー技術 ・100%ドロップイン可能な物質の合成が技術開発課題	日本企業は、合成技術に強み。 現在のドイツは開発実証レベル。アウディ、フラウンホーファー国立研などが中心 日本は競争ポジションである。

機能性化学品他



革新的環境イノベーション戦略におけるテーマ

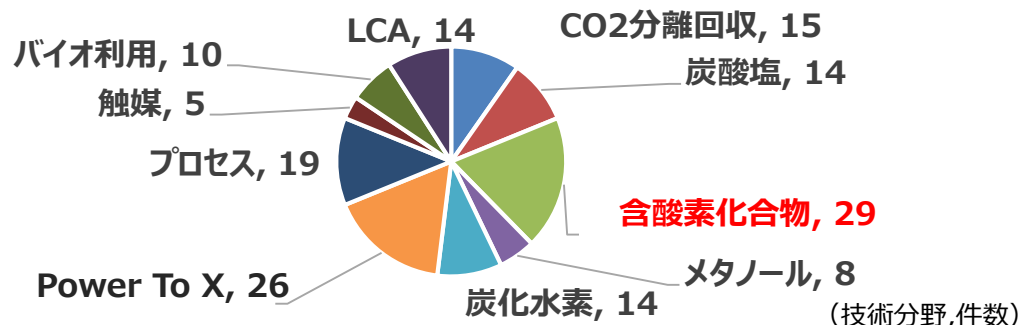
- ②⑩ 製造技術革新・炭素再資源化による機能性化学品製造の実現
- ③⑩ ゲノム編集等バイオテクノロジーの応用
- ③① バイオマスによる原料転換技術の開発

- 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，CO₂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、CO₂からのウレタン原料製造の先導研究を実施 ● CO₂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CO₂からのアクリル酸合成を研究(JST・ACT-C) ● CO₂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（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	USA 中国 PLAは、Nature works、Corbion、中国など40万t/Y 日本 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	● 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	● 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 USA ミネソタ大学などでも活発にPJ研究が進んでいる
フルフラール／テトラヒドロフラン	実証段階	● 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
フレンジカルボン酸	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 (USA Avantium、Corbion、日本 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

非公開



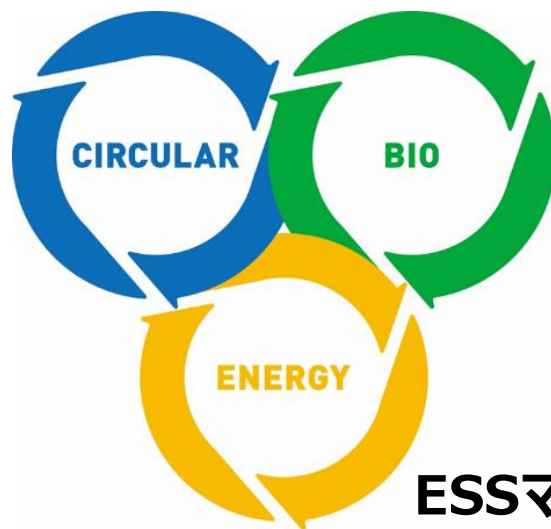
Technology Strategy Center

- 「革新的環境イノベーション戦略」を踏まえ、2020年2月、NEDO 技術戦略研究センター（TSC）が、「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）」を策定。

- ✓ 『TSC Foresight』特別セミナーにて公表
（2月14日）



- ✓ 持続可能な社会を実現する3つの社会システム
3 Essential Social Systems for Sustainable Society



1. サーキュラーエコノミー
（地球の象徴であるブルーで表現）
2. バイオエコノミー
（生物の象徴であるグリーンで表現）
3. 持続可能なエネルギー
（エネルギーの象徴であるオレンジで表現）



NEDO総合指針2020

持続可能な社会実現のためには、以下の3つの社会システムを、継続的に発展していくことが不可欠です。これをNEDOは「持続可能な社会を実現する3つの社会システム」と定義、「ESSマーク」としてシンボルマーク化し、広く皆様と共に取り組みを推進していきます。

- **CCUS/カーボンリサイクル**は、大きなCO₂削減ポテンシャルで脱炭素に必須
- **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
- **セメント・コンクリート分野**では、**炭酸塩化の実証**が世界で進む。日本が持つ技術を生かした早期のキャッチアップが重要
- **燃料・基礎化学品**分野では、将来の規制等への対応として**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
- **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、**環境価値が訴求**しやすく、高機能プラスチック等の**含酸素化合物**をターゲットして、CO₂やバイオマスを利用した変換技術の研究が世界で拡大
- **ビヨンドゼロへのトランジション**に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ではないか