

CCUS社会実装シンポジウム

CO₂電解技術によるカーボンリサイクルの社会実装 ～合成燃料・化成品への展開～

東芝エネルギーシステムズ株式会社

エネルギーアグリゲーション事業部

水素エネルギー技術部

長野 敬太

2026年1月29日

01 CO₂電解技術

02 社会実装に向けて

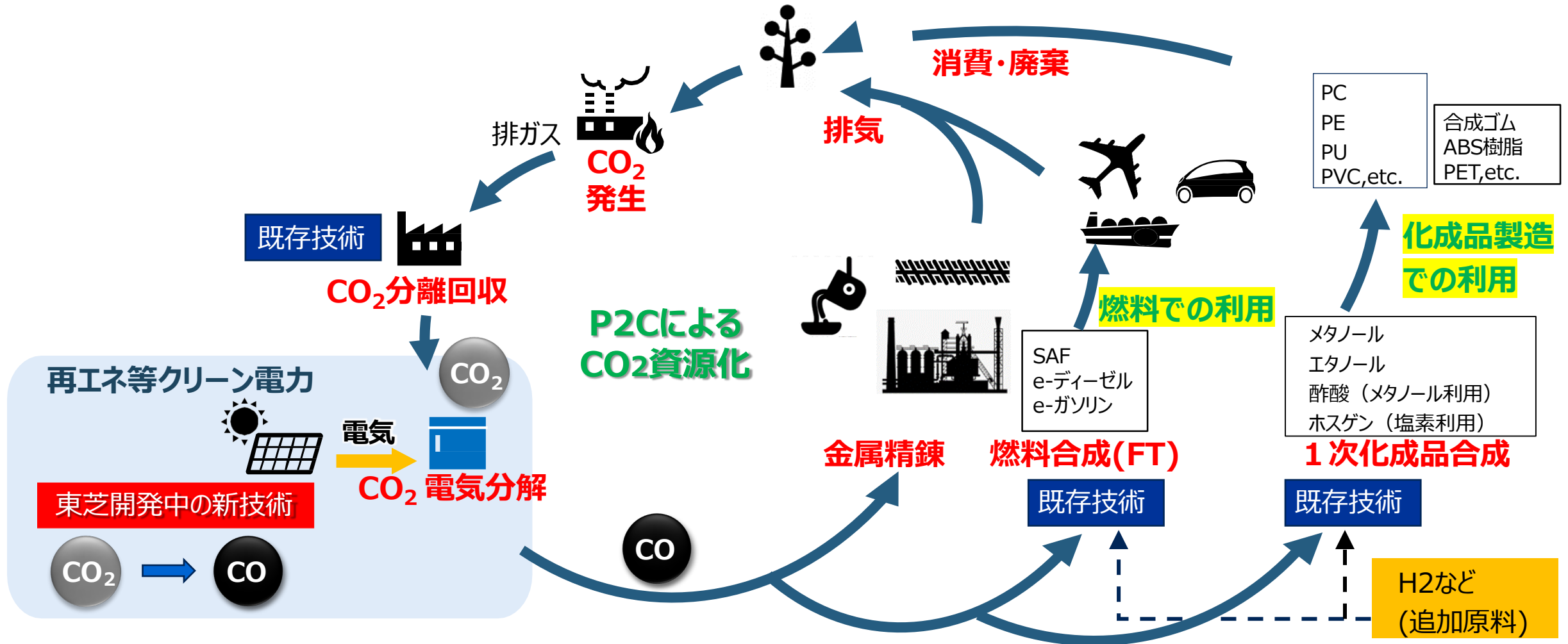
01

CO₂電解技術

TOSHIBA

Power to Chemicals (P2C)

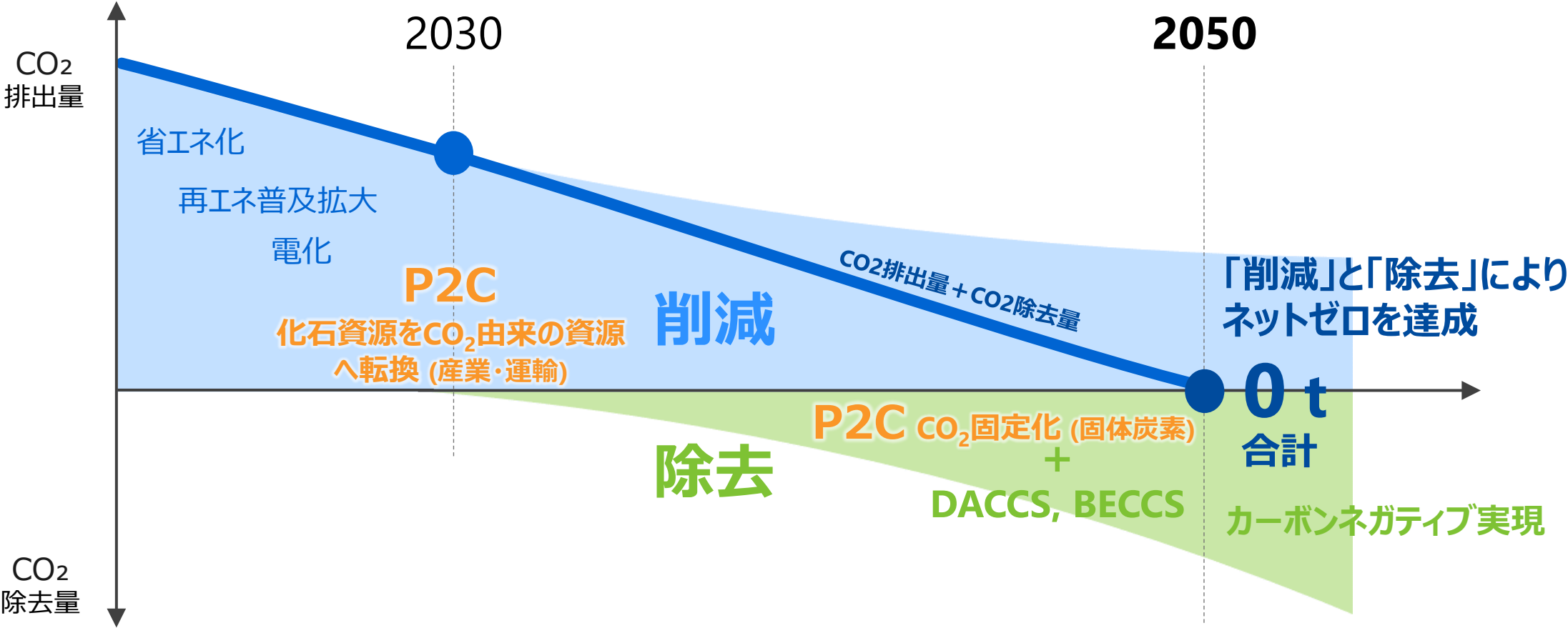
再エネでCO₂を価値の高い化成品へとリサイクル、資源として有効利用と同時に温暖化対策



CO₂分離回収技術や合成技術は実用化段階にあり、CO₂の電気分解技術実用化でCO₂資源化サイクルが完成

カーボンニュートラル達成へのアプローチ

P2Cは「削減」と「除去」の双方に寄与し、カーボンニュートラル実現に貢献

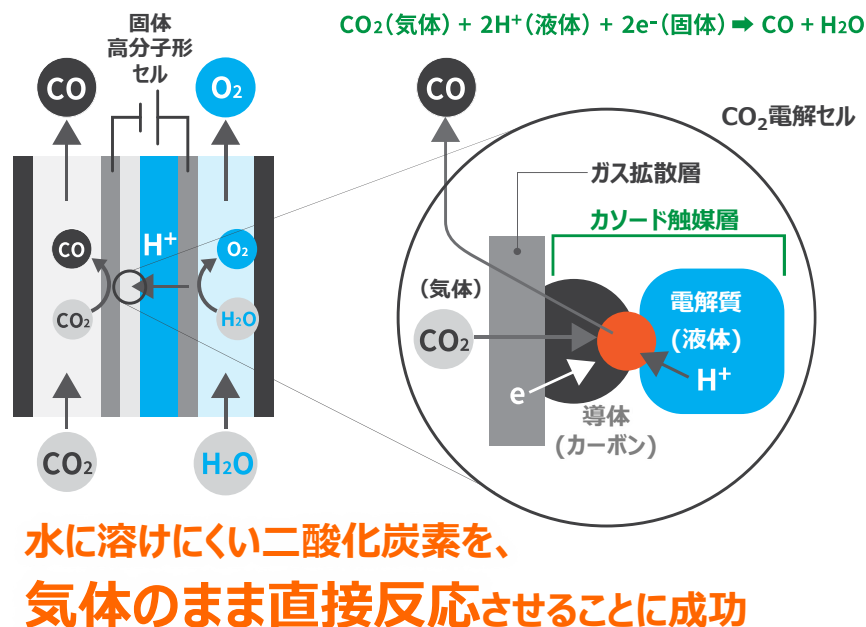


CO₂電解技術の特長

◆ 人工光合成をベースにした技術

処理量を大幅に向上させる(1000万倍)課題に対して、2つのブレークスルーで解決

① CO₂ガス直接反応触媒電極を開発



② 燃料電池製造技術の適用



*環境省「二酸化炭素の資源化を通じた炭素循環
社会モデル構築促進事業委託業務」

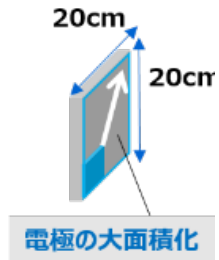
- 従来の人工光合成に比べて、処理量が**1000万倍以上**
- 一日の生産量は、従来では不可能であったトンレベルの処理量が**実現可能**に

CO₂電解装置の開発状況（FY21年度から環境省国プロ*で開発）

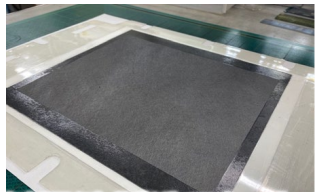
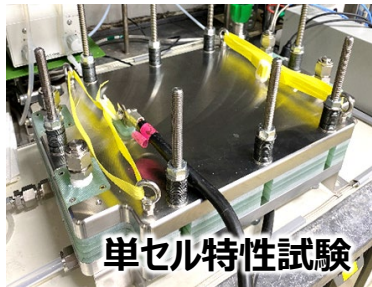
■ 実機級CO₂電解装置の開発および実証

- ① 実機に適用するCO₂電解セル・スタック(400cm²セル)の開発を進め、フルスタックを試作
- ② 2024年7月にプロト機完成。以降、実証運転を継続実施中。実運転条件や顧客の要望に応じた試験を予定。

FY20 (社内開発)

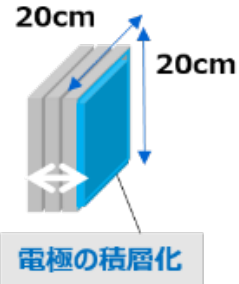


セル

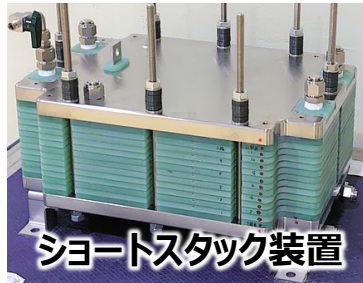


燃料電池製造アセットで
作製した触媒電極(20cm角)

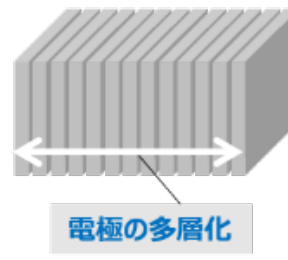
FY21



ショートスタック



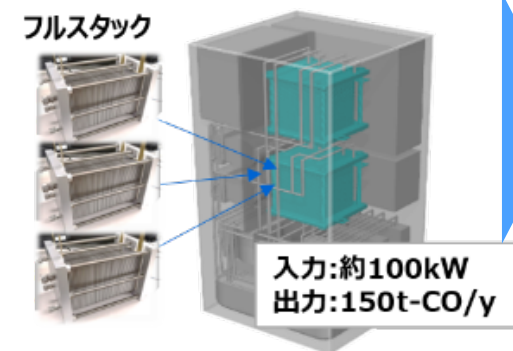
FY22



フルスタック



FY23



実機級(150t級)CO₂電解装置

FY24・25 (実証運転)



東芝エネルギーシステムズ
浜川崎工場



2024年度プロト機完成

*環境省「二酸化炭素の資源化を通じた炭素循環社会モデル構築促進事業委託業務」

限られたフットプリントで大量処理：セルスタックの量産化

燃料電池の製造設備流用にてセルスタックの早期量産化が可能

東芝エネルギーシステムズ 浜川崎工場

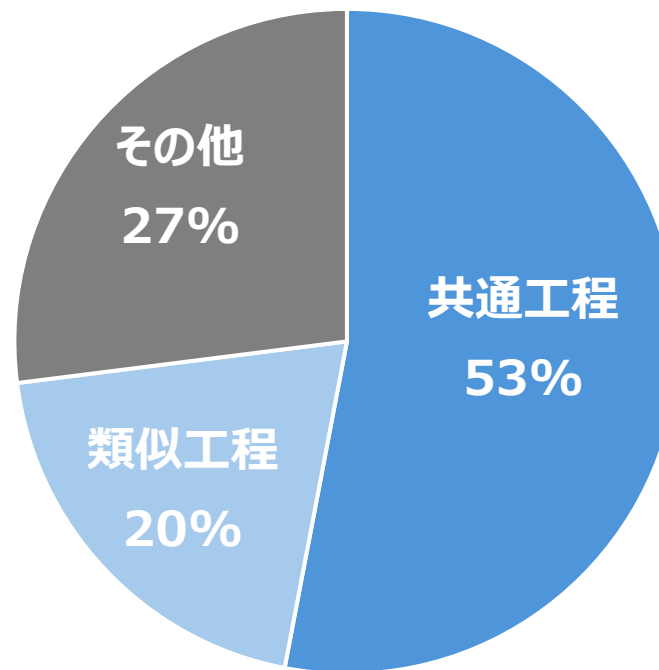
燃料電池の製造ライン・製造技術を保有



燃料電池 セルスタック

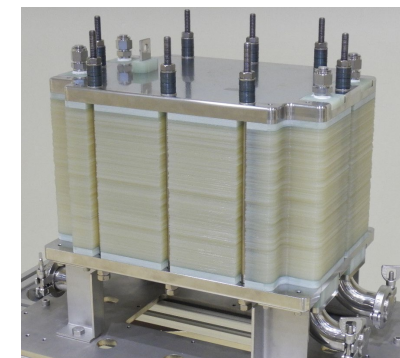
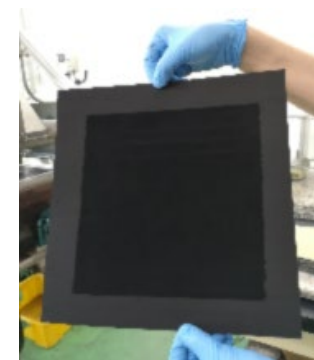


CO₂電解セル製造と 燃料電池製造工程の共通性



CO₂電解セルスタック製造の約7割の工程
に燃料電池製造設備を流用可能

燃料電池試作ラインにて試作した CO₂還元電極およびセルスタック



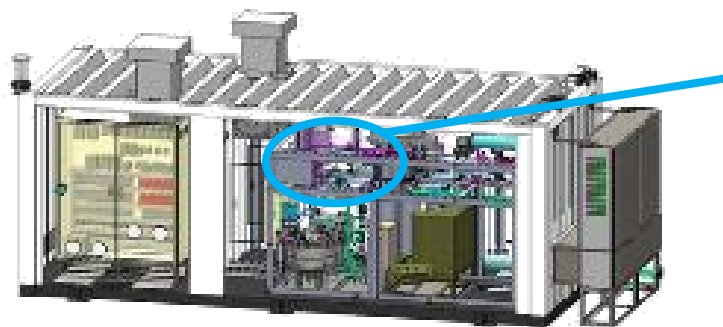
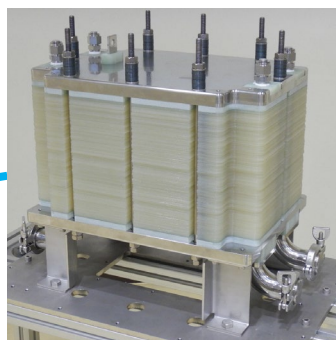
東芝のCO₂電解装置（C2One™）

CO₂電解装置の実証運転を継続し、製品化に向けた開発を推進

CO₂電解実証機*（年産100t-CO）



CO₂電解
セルスタック



1. 水素を必要としないCO製造

従来法では水素と高熱でCO₂を還元し、COを生成。電解法は水素不要のメリット

2. コンパクトで多量のCO₂処理を可能

CO₂を高速処理する触媒電極技術と、燃料電池製造技術を活用したセルの積層化技術により処理量を向上

3. 再エネ電力に対する優れた追従性

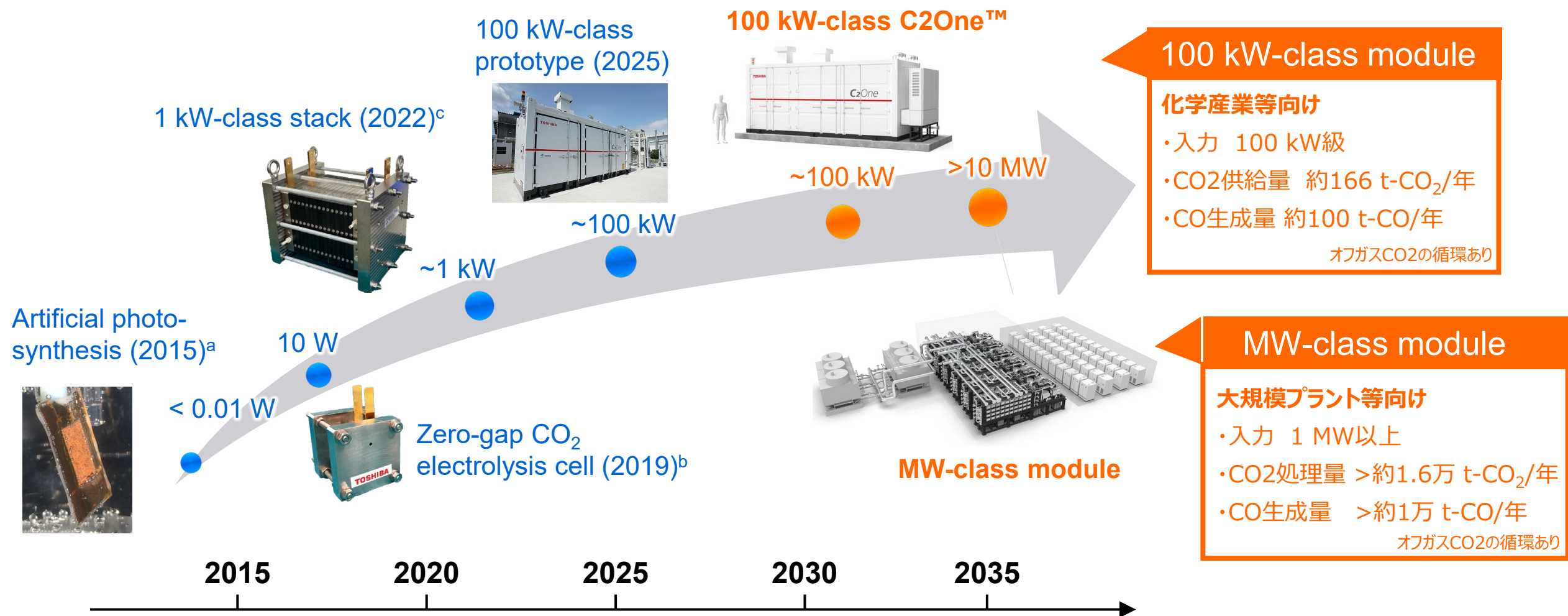
電力供給が変動する状況下でも安定した電解反応を維持し、系統電力の調整役としても機能。

4. 柔軟な拡張性

セルスタックを単位構成として、需要に応じて増設可能。

早期実用化に向けた取り組み

東芝グループ保有の技術資産を活用して、CO₂電解の早期社会実装を目指す

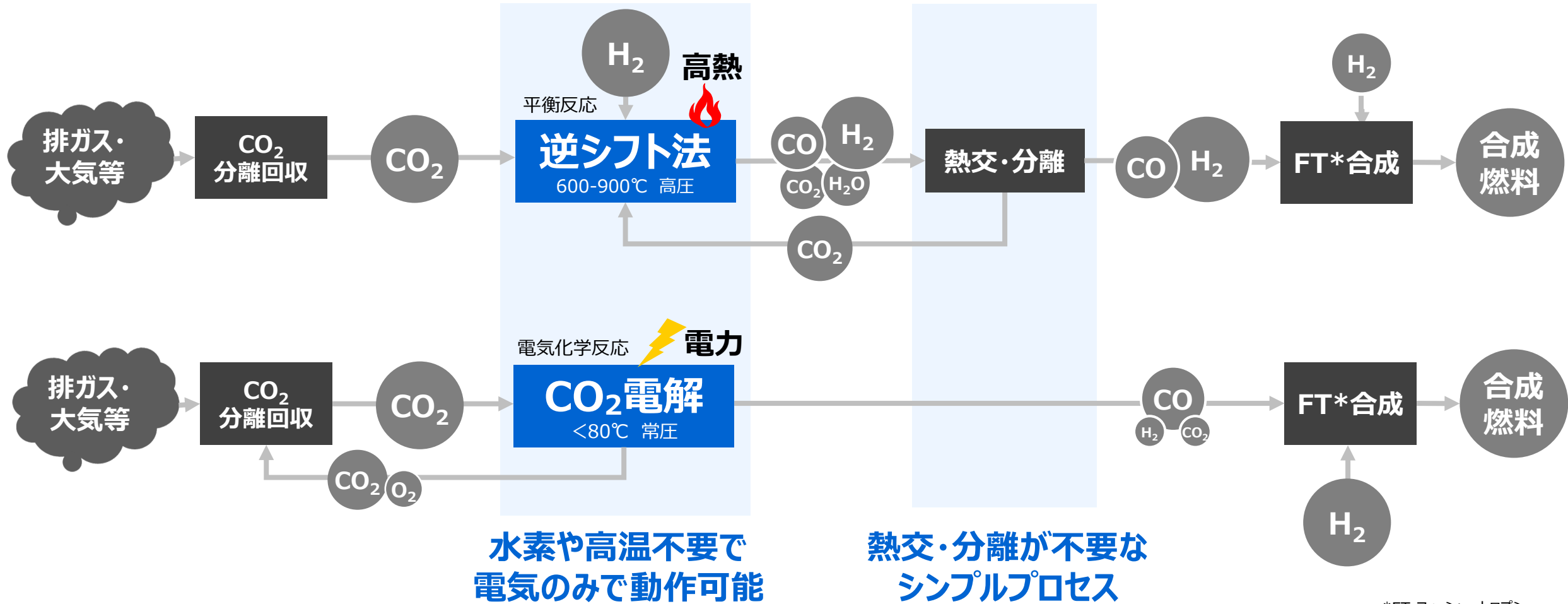


[a] Y. Sugano et al., RSC Adv., 5, 54246-54252 (2015). [b] Y. Kofuji et al., Chem. Lett., 50, 482-484 (2021). [c] Y. Kiyota et al., 242nd ECS Meeting, I05-1942 (2022).

(図表・数値は今後の開発進捗により変わる場合があります。)

CO₂→CO変換技術の比較

CO₂電解は水素・高熱不要で、シンプルな構成での変換が可能



*FT:フィッシャートロプシュ

02

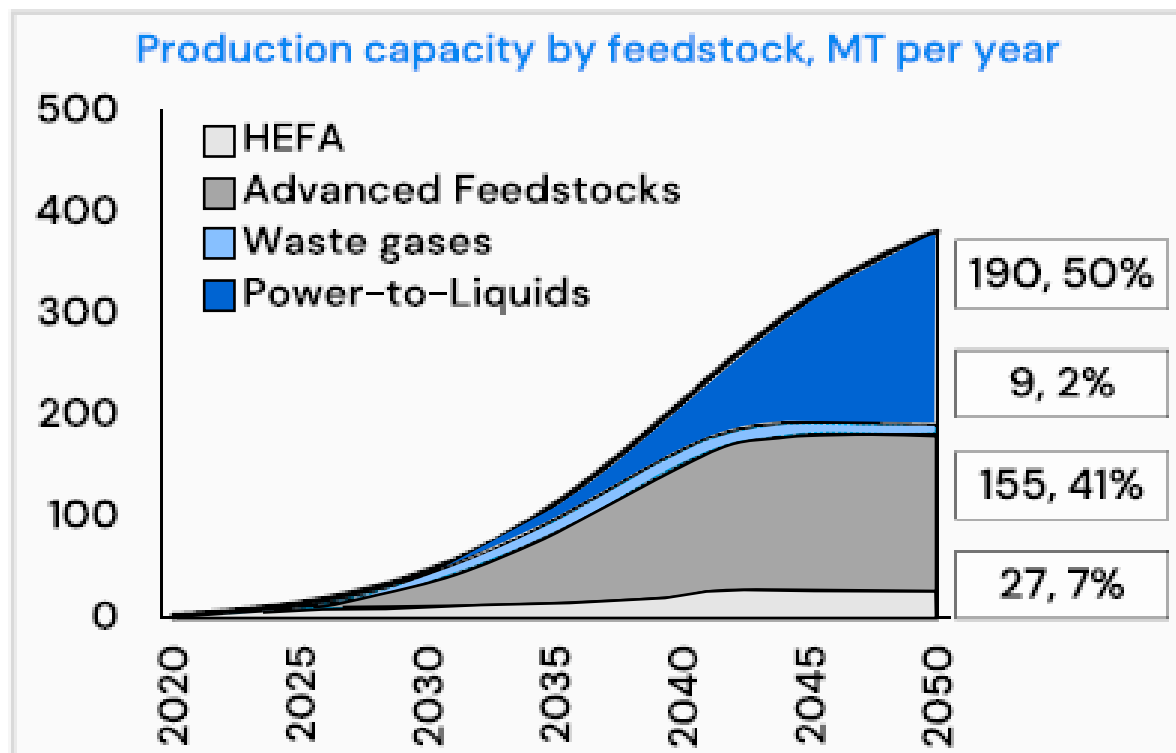
社会実装に向けて

CO₂由来のグリーン航空燃料(SAF)の必要性

CO₂由来SAFは原料賦存量の制約が小さく、バイオマス系SAFを補完する重要な役割

■ 原料別SAF生産量予測(世界) ATAG Waypoint 2050(2nd Edition, 2021)

- バイオマス系SAFは賦存量の制約より2040年にシェアが頭打ち
- CO₂由来SAFは2030年から普及し、2050年には市場の半分を占める



2050年シェア

CO₂由来SAF 52%

バイオマス賦存量の限界からCO₂原料に大きな期待

バイオ系SAF 48%

SAF需要の5割程度の供給が上限

出典：ATAG(2021) Waypoint 2050 特別レポートFueling Net Zero P.13
(online) https://aviationbenefits.org/media/167495/fueling-net-zero_september-2021.pdf

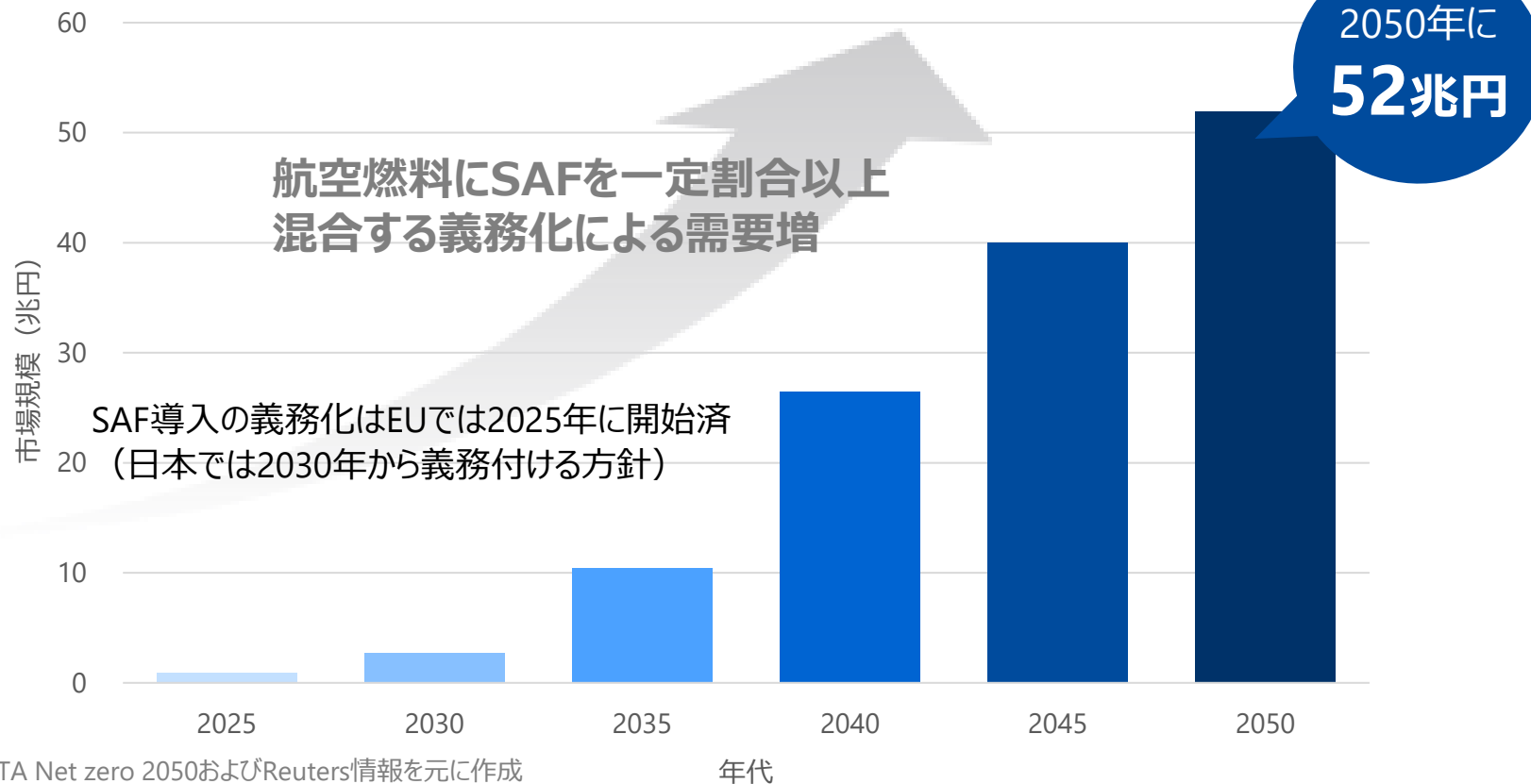
ATAG (Air Transport Action Group) : 持続可能な開発 (発展) に焦点を当てた航空業界の専門家の連合体

CO₂由来のグリーン製品

混合義務化により、グリーン航空燃料(SAF)の市場は2050年に52兆円規模に成長

→石油元売りとP2C/SAF製造に向けたFSを実施中、その他製品分野では複数企業とLOI(意向表明書)を受領し協議中

SAF燃料の市場規模（世界）✈



CO₂→COを介して製造される最終製品

合成燃料
(SAF、e-Fuel)

冶金・鉄鋼

ブタジエン
(合成ゴム原料)

ポリウレタン
(緩衝材、断熱材)

ポリカーボネート
(透明樹脂材)

様々な化学品
(プラスチック、医薬品など)

CO₂電解装置の適用

1. 鉄鋼・製鉄業界



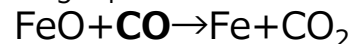
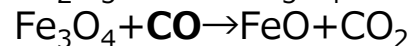
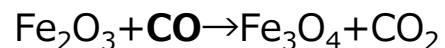
鉄鉱石

鉄鉱石（酸化鉄）から鉄（Fe）を取り出すための還元剤としてCOを活用



鉄・鋼材

段階的な還元反応：



2. 化学業界



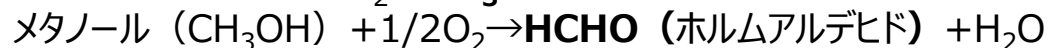
メタノール

メタノールから化成品の合成に必要な原料生成にCOを活用



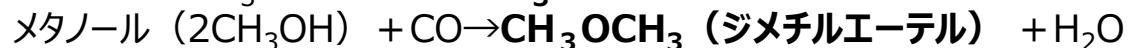
樹脂・接着剤

CO活用/反応例：



食品添加物・インク

CO活用/反応例：



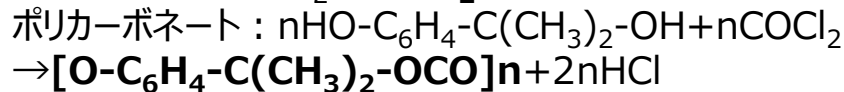
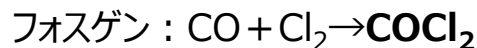
塩素

塩素とCOを反応させ、フォスゲンを合成



ヘッドライトカバー
スマホ筐体

CO活用/反応例：



3. 自動車・航空宇宙・繊維業界



ウレタン

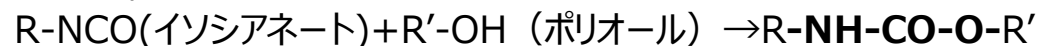
ウレタンとCOからポリウレタンを合成



塗料・インク・タイヤ・ベルト・
スポーツウェア・水着等

CO活用/反応例：

ウレタン結合生成：



合成燃料・化成品製造の実証構想

01

合成燃料(e-SAF、e-ディーゼル等)製造メーカーはTRLがより高い技術・実証済の技術を好み、かつ技術・製品単販ではなく、パッケージ化された統合ソリューションが欲しいというニーズがある。



TRL向上を図りつつ、統合ソリューションのニーズに対応するため、国内外の予算を活用した実証が必要で、そのためのパートナータッピング・座組形成を実施中。

01

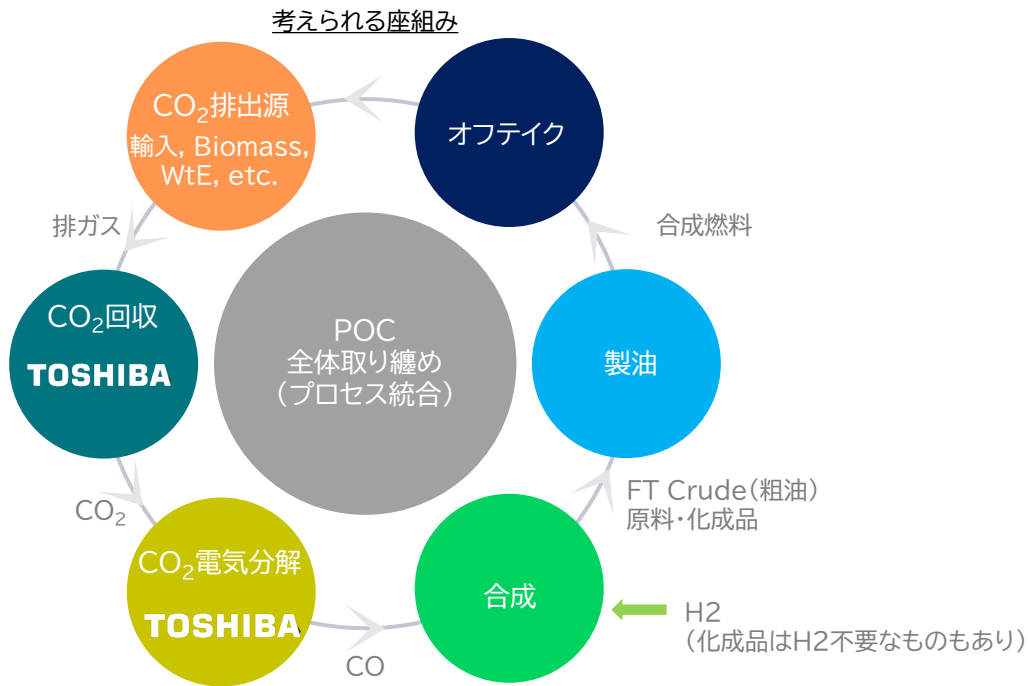
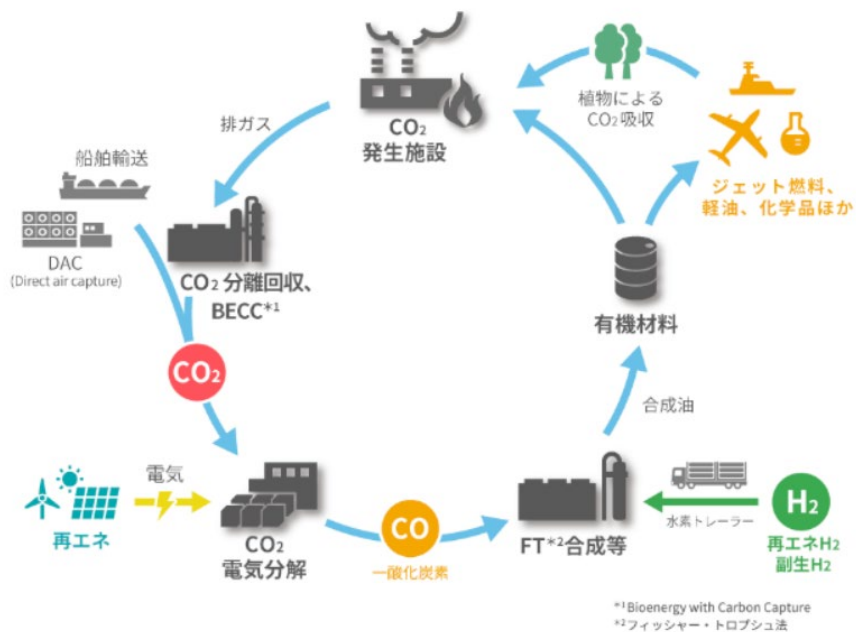
02

合成燃料のオフテーカーおよび製造会社、加えてエンジニアリング会社と協力することができれば、座組形成・パートナーへの声掛けをすることができる。



米国・英国・国内を対象としてCO₂電解装置を用いた実証を計画中。東芝独自の实証は不可能に近く、具体的なサイトをもとに実証への参画を調整中。

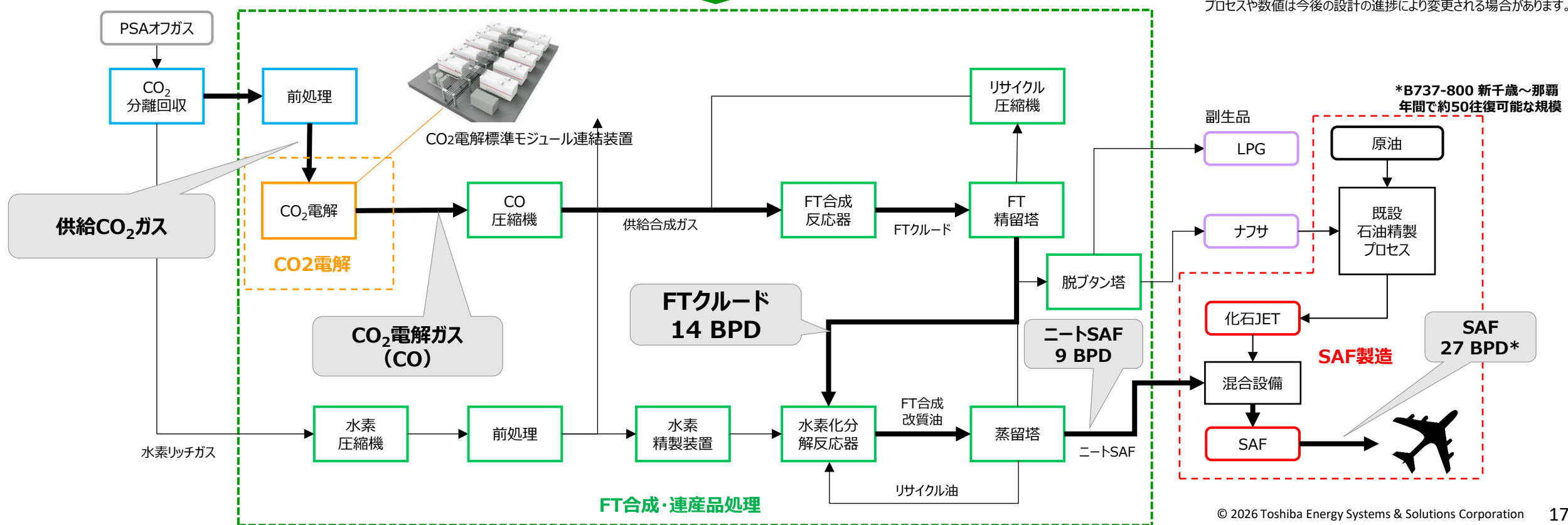
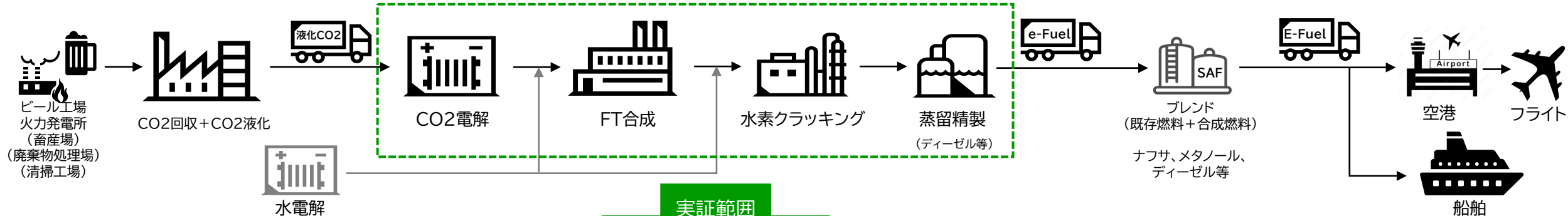
02



POC座組みを形成し、TRLを一定以上(7以上)に引き上げるための実証・スケールアップを目指す。

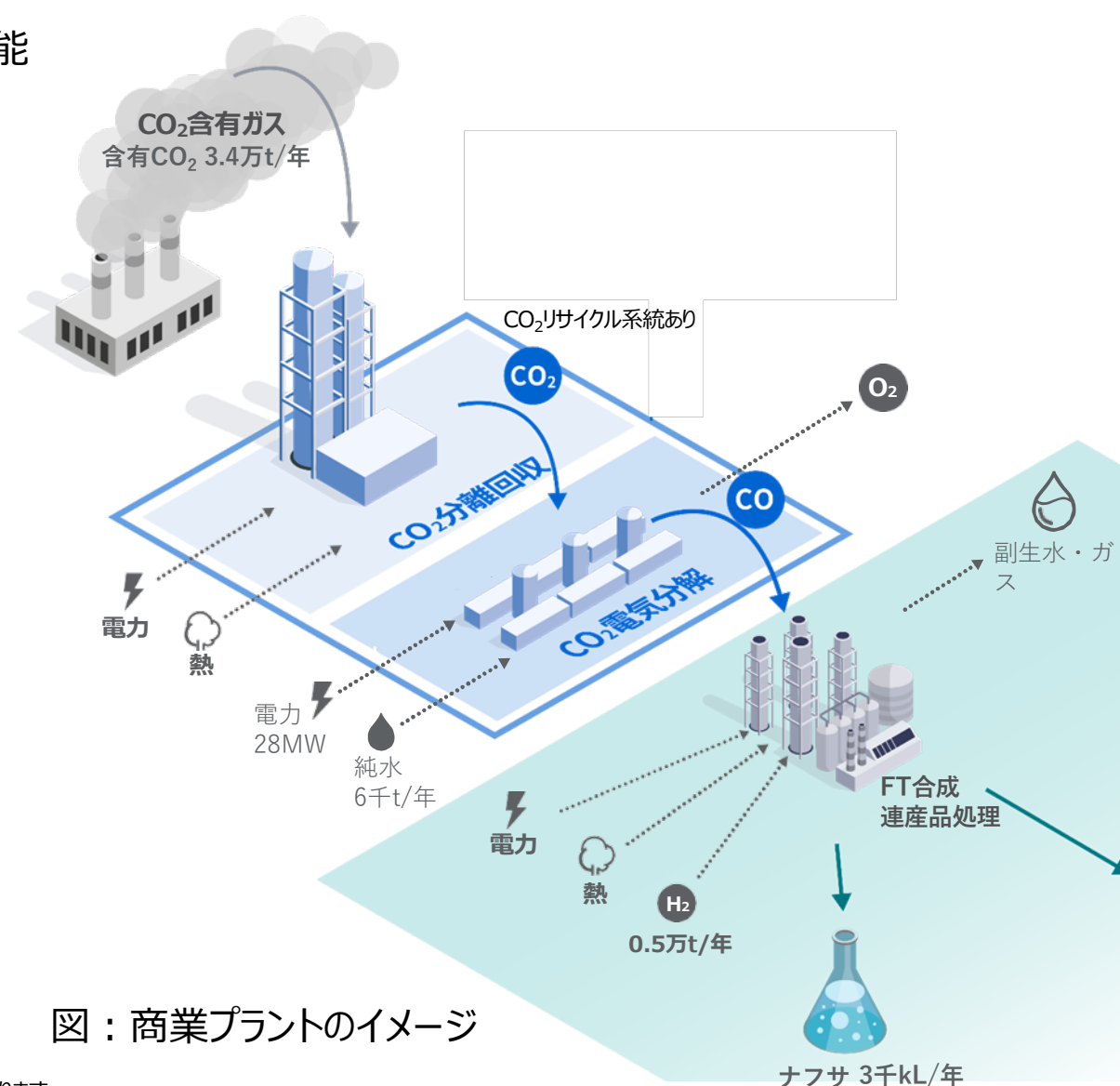
海外でのSAF実証PJではオフテーカーであるエアラインの参画を重視。それに加えて、FT合成で製造できるe-ディーゼル燃料を船舶に利用する実証も計画。今後、各会社(主に、燃料会社・FT合成メーカー、等)と調整を行い、海外展開を進める。

P2C/SAF製造実証プラントのプロセス検討

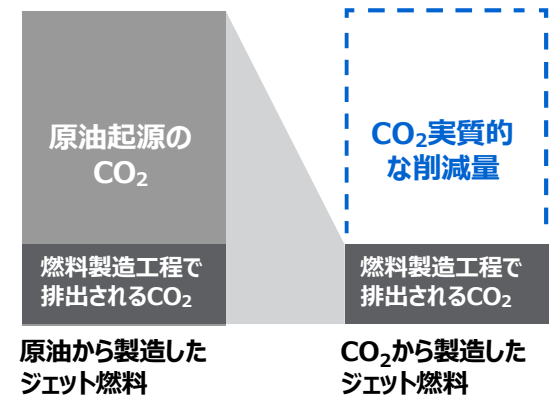


P2C/SAF商業プラントイメージ

- 原単位：CO₂ 約3.4万t を
ニートSAF 約1万kLに転換可能
- LCA-CO₂評価：従来燃料に
対してCO₂排出量 約80%減



従来ジェット燃料と比べてCO₂
約80%削減*



原油から製造した
ジェット燃料

CO₂ 約3.4万t/年をニートSAF1万kL/年に転換*

* 検討の進捗により数値は変わることがあります。

**航空機の給油にはニートSAFに同量以上の化石ジェット燃料をブレンドしたSAFが使用されます。

図：商業プラントのイメージ

上記の数字は今後の開発の進捗により変更となる場合があります。

P2Cプロセスによる地域炭素循環社会モデルの構想

- 再エネの不安定電力や余剰電力も活用した電解により地域の再エネ主力電源化を促進し、CO2排出量削減
- 地域で排出されたCO₂はCCS、その内のバイオマス系CO₂を化成品転換し地域の炭素循環を形成
- 事業性の観点からP2Cプロセスで製油所アセットが共用されるなど、地域の産業アセットの機能や価値が維持

表：P2Cプロセスの適用分野

分野	利用例	分野	利用例
農業	・ 農業機械（トラクタ、耕耘機、コンバイン、田植え機等）、排水機械の燃料（軽油、水素、再エネ） ・ 施設園芸における燃料（重油、水素、再エネ） ・ 施設園芸におけるCO2利用（CO2）	発電	・ 再エネ発電所からのクリーン電力供給 ・ 化石系発電からのCO2供給 ・ ごみ発電所からのCO2供給
林業	・ 林業機械（伐倒機、造材機、集材用トラクタ、牽引式集材機、運材機等）の燃料（軽油、水素、再エネ）	事業所	・ ビル、ホテル、病院、学校等の暖房・給湯用、温水供給用でのボイラー燃料やクリーン電力消費（重油、水素、再エネ） ・ 工場等のボイラー燃料やクリーン電力消費（重油、水素、再エネ）
水産業	・ 漁船の燃料（軽油、水素、再エネ） ・ 保冷用ドライアイス（CO2）	家庭	・ クリーン電力消費 ・ 給湯器、暖房器具、調理器具への燃料（メタン、水素）
建設	・ 建設機械（ブルドーザ、ショベル、クレーン、ローダ、ダンプ、ロードローラ等）の燃料（軽油、水素、再エネ）	誘導品	利用分野
運輸	・ 乗用車の燃料（再エネ、水素） ・ 大型車両（トラック、大型バス）の燃料（軽油、水素） ・ フォークリフトの燃料（軽油、水素） ・ 鉄道の燃料（軽油、水素、再エネ） ・ 内航船舶の燃料（軽油、重油、水素、再エネ） ・ 航空機・空港施設の燃料（燃料、水素）	プラスチック	・ 自動車、船舶・鉄道車両、家電・電子、通信、その他機械、住宅・建設、農水産業、医療・保育、包装・容器
製造	・ 製鉄からのCO2供給や金属産業の還元剤利用（水素、CO） ・ セメント事業からのCO2供給及び原料利用（CO2） ・ 化学産業の原料（水素、CO、CO2）…詳細は右表	合成繊維	・ 衣料、インテリア、産業資材、その他
		合成ゴム	・ 自動車、自転車、各種工業、日用品、その他
		合成塗料	・ 自動車・鉄道車両・船舶、建築・建造物、電機・その他機械、木工・家庭用
		合成洗剤	・ 家庭用、工業用
		その他	・ 接着剤、染料、肥料、農薬、医薬など

COを使用する一次化成品（国内）

化学品	用途
メタノール	・ 接着剤、薬品、塗料、合成樹脂等の基礎原料 ・ ガソリン添加剤、バイオディーゼル燃料の原料
ホスゲン	・ 染料・塗料、イソシアナ酸塩（ポリウレタン）、炭酸エステル（ポリカーボネート）、酸塩化物、殺虫剤、製薬・化学薬品などの原料
酢酸	・ 食酢、調味料、医薬用、染色、塗料、接着剤
ギ酸メチル ギ酸	・ 染色、ゴム、皮革、医療、香料、農業、防腐剤・抗菌剤、金属処理
炭酸ジメチル	・ リチウムイオン二次電池の電解液、医薬・農業・樹脂原料
シュウ酸ジメチル	・ 電子材料向けエッチング剤
アクリル酸メチル	・ アクリル繊維、成型用樹脂、粘接着剤、塗料、エマルジョン、繊維処理剤、塗料などの原料
プロピオン酸メチル メタクリル酸メチル	・ 板、棒、パイプ等の製造、成形材料、塗料、歯科材料、接着剤、繊維処理剤、皮革処理剤
プロピオンアルデヒド ブタノール	・ 印刷用インク、繊維用途、化粧品・乳液、窓清掃剤、研磨剤、防腐剤
ブチルアルデヒド ブタノール	・ 塗料樹脂、アクリル酸ブチル、酢酸ブチル、グリコールエーテル等の原料や溶媒
ジメチルホルムアミド	・ 合成皮革の溶剤、アクリル繊維の紡糸用溶剤

化学品の合成に必要な一酸化炭素量の算定（国内）

物質名	製造・輸入量 (トン)	一酸化炭素量 (トン)
メタノール	1,526,797	1,334,756
酢酸	500,000	233,215
メタクリル酸メチル	200,000	55,952
ブタノール	110,778	41,874
ホスゲン	53,146	15,049
ジメチルホルムアミド	34,336	13,158
アクリル酸メチル	22,024	7,166
炭酸ジメチル	20,000	6,219
ギ酸	8,039	4,892

ヒアリング結果をもとに東芝ESSにて作成



図：地域炭素循環社会モデルのイメージ図

CO製造実証（原料・化成品）

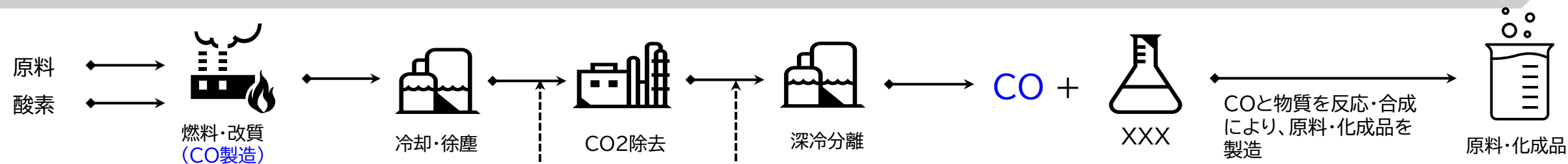
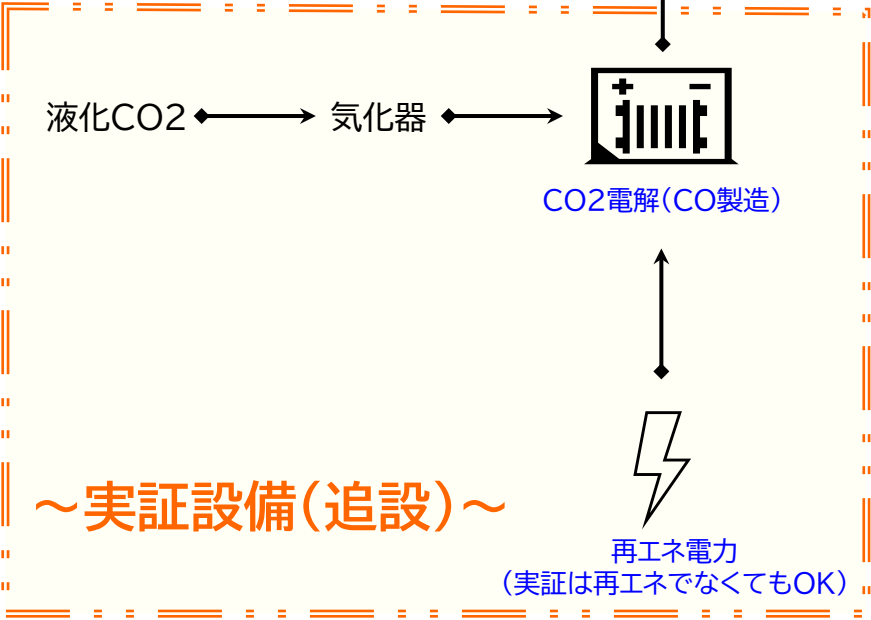


表 一般的なCO製造方法

原料系統	製造プロセス	得られるガスの特徴	主なメリット	主なデメリット
石炭・コークス	① コークス炉乾留 (Coke Oven Gas, COG) 石炭を無酸素で加熱し揮発分を除去する過程で COG を生成 (乾留ガス)。COG の主成分：H ₂ 約60%、CH ₄ 約30%、CO 約10% など	COは約10%程度。不純物 (タール、硫黄、芳香族成分) が多い	石炭から副生的に大量発生し、還元ガス源として利用可能。	不純物除去が必須。タールや硫黄による腐食・詰まり対策が必要。
	② 石炭ガス化 (Gasification) 石炭を酸素または水蒸気と反応させて CO + H ₂ (合成ガス) を生成。	CO割合が高い合成ガス。H ₂ /CO比は条件によって調整可。	高CO濃度の合成ガスを大量生産可能。	設備が大規模・高コスト。不純物除去負荷が大きい。
天然ガス (メタン)	③ 蒸気改質 (Steam Reforming) CH ₄ + H ₂ O → CO + 3H ₂ (吸熱反応)	H ₂ 多め・COも多い。ガス組成がクリーンで制御しやすい。	世界で最も一般的な水素・合成ガス製造法。CO/H ₂ 比の調整が容易。	高温 (約800-900℃) の大型設備が必要。産地依存あり。
	④ CO ₂ 改質 (Dry Reforming) CH ₄ + CO ₂ → 2CO + 2H ₂ (CO多め)。	CO比率が高くH ₂ /COが低め。	CO多めの合成ガス製造に適し、CO ₂ も消費できる。	触媒被毒・炭素析出の課題あり。
石油 (重油・ナフサ等)	⑤ 部分酸化 (Partial Oxidation, POX) 炭化水素を酸素で部分燃焼して CO + H ₂ を生成。	CO濃度が高く、反応が高速。装置が比較的コンパクト。	大量の合成ガスを短時間で生成可能。	製油所限定。硫黄除去が必要。



CO₂電解装置の社会実装に向けた課題

合成燃料・化成品大型プラントへの実装

<現状>

- 当社による国内海外市場調査の結果、水素を必要としないCO₂電解装置に関心を示す企業は多い
- 合成燃料製造に要求される装置規模に対して、**CO₂電解装置の規模が小さい（今後大型化）**
- 合成燃料製造／CO製造コスト低減に向け、**更なる高性能化・低コスト化**が求められる
- 事業者／出資者は実証や商業プラントへの導入実績のない技術を導入しないという現実

<実装拡大に向けたアプローチのポイント>

- 既存技術の実装がデフォルト化する前に、**合成燃料サプライチェーン実証と商用規模のCO₂電解装置開発**を行い、技術成熟度を示すことで、合成燃料製造事業者・投資家の新技術導入に対するリスクを低減する
- **セルスタック導入に向けた継続的な技術革新**を上述実証と並行して行い、許容される製造コスト目標を達成する

中小規模化学プラント・冶金産業への実装

<現状>

- 当社国内市場調査の結果、CO₂電解装置に関心を示す企業は多く、引き合いや将来的な相談を頂いている
- 一方で、実績がない新技術のため企業は投資リスクが大きいとも感じている
- 導入初期（4～5年程度）は当社の設備投資負担と量産効果が出にくいいため、企業の導入コストが高止まるリスク

<実装拡大に向けたアプローチ>

- 環境省委託事業で開発した小型CO₂電解装置の高い信頼性を示す多数の使用実績を作るため、需要家に対する**公的な導入支援等の活用による導入コストの低減**を通じて設備投資を促し、社会実装を拡大することがポイント

TOSHIBA

ご清聴ありがとうございました