

TOSHIBA

水素利用社会に向けた東芝エネルギーシステムズへの取り組みと P2Cソリューションについて -CO₂電解セルスタックの開発-

2022.11.17

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

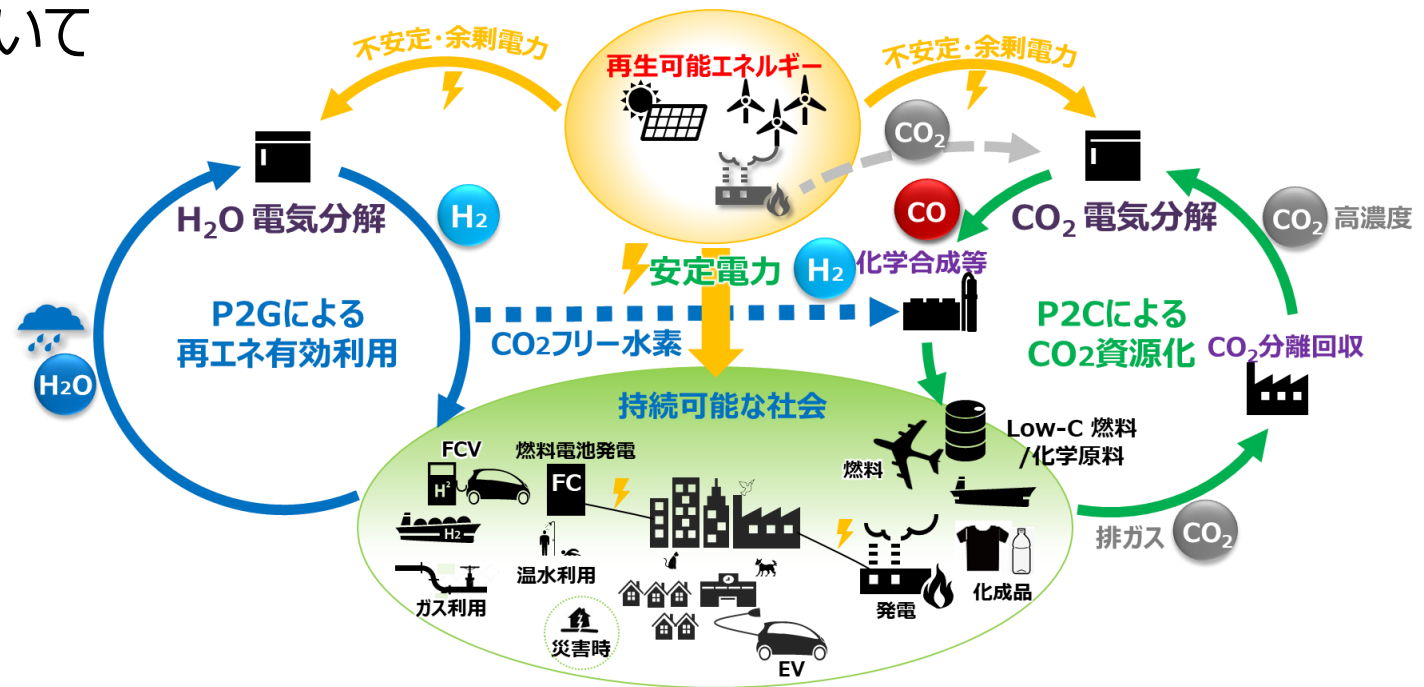
燃料電池設計部

柳 康介

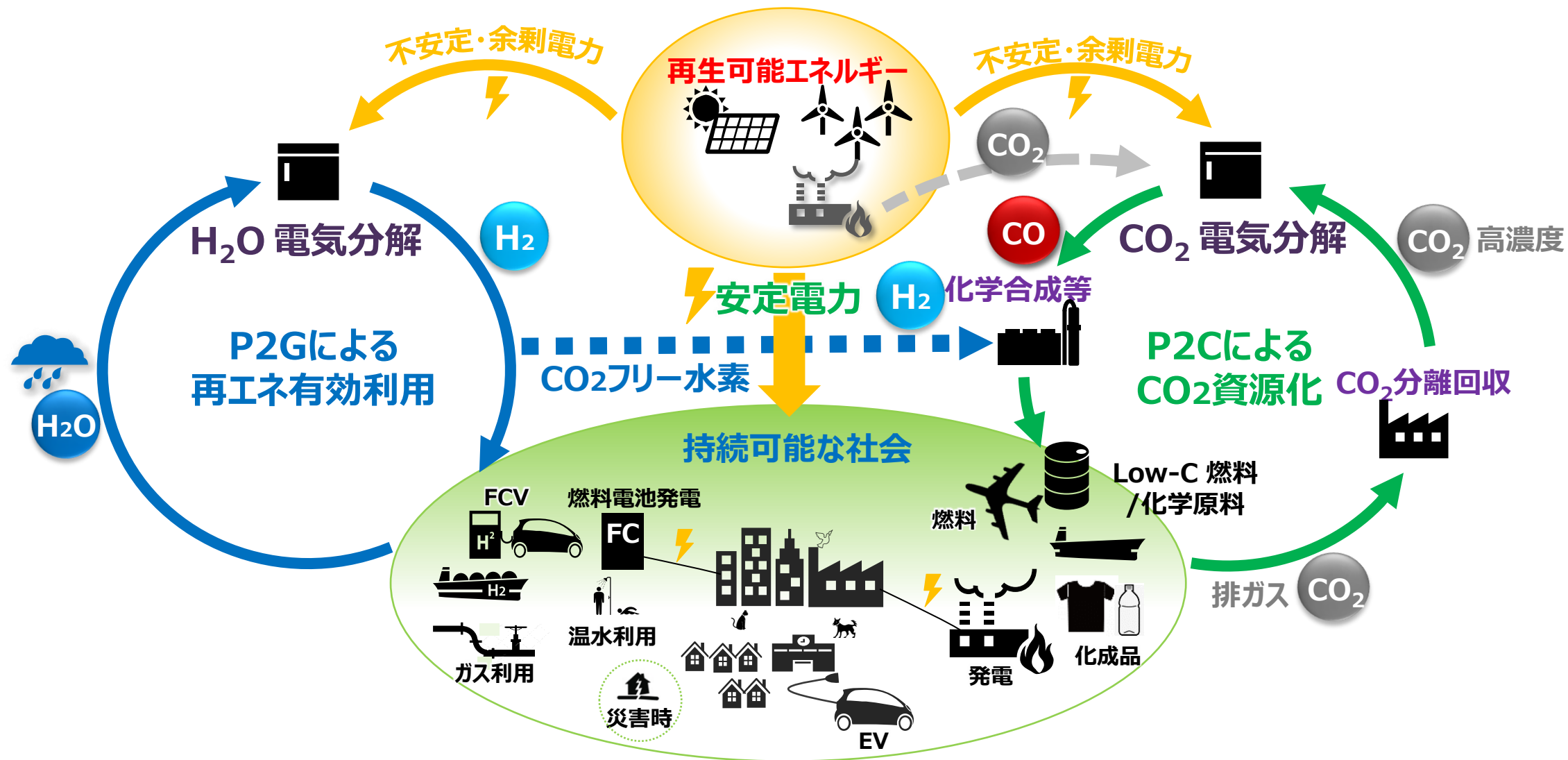
この技術資料は東芝エネルギーシステムズの秘密情報であり、当社のノウハウ等の知的財産を含みます。
当社の事前許可なくこの技術資料の一部または全部を第三者に開示すること、目的外使用すること、
及び改変することは行わないで下さい。

報告内容

- カーボンニュートラルに対する東芝エネルギーシステムズの取り組みについて
- 東芝エネルギーシステムズの水素エネルギーソリューションの紹介と課題
- 東芝エネルギーシステムズのP2Cへの取り組みについて
- CO₂電解セルスタックの開発状況について



再エネが推進するカーボンニュートラル社会



P2G : Power to Gas 再エネによる水素製造

P2C : Power to Chemicals 再エネによるCO₂の資源化・リサイクル

2050年カーボンニュートラル社会の実現

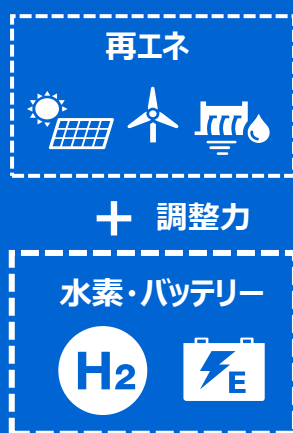
2050年カーボンニュートラル社会実現に向けた重要な3つの要素

1 CO₂排出“0”

再エネの促進と
P2Gの活用

事業開発/社会実装中

P2G (Power to Gas)

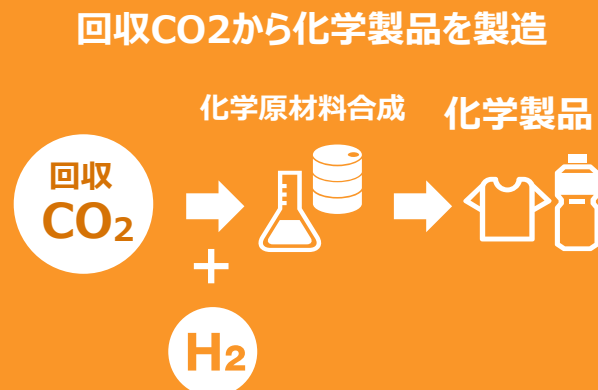


2 CO₂リサイクル

CO₂回収と水素による
P2Cの活用

技術開発中

P2C (Power to Chemicals)



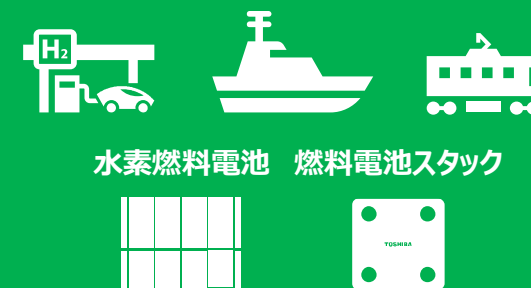
3 CO₂フリー水素活用

CO₂を出さない
水素燃料電池の活用

事業開発/社会実装中

FC (Fuel Cell)

Fuel Cell 燃料電池による
水素活用商品の展開



東芝グループのエネルギーソリューションの全体像

エネルギーのありかたをデザインし、社会に貢献する

つくる

おくる

ためる

かしこくつかう

再エネの主力電源化

カーボンニュートラル電源

再エネ電源

変動再エネ電源

風力



太陽光



調整力

慣性力

慣性力

水力



地熱



慣性力

原子力



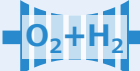
調整力

慣性力

次世代

酸素水素タービン

革新電源



調整力

慣性力



CO₂ 分離回収

HVDC

電力

電力系統

あらゆる取組みにおいてDXを行い、CPSを形成

CO₂

VPP

気象情報
デマンドレスポンス

蓄エネ

蓄電池

SCiB

P2G



蓄熱



サイバー



水素

熱

電化の推進



グリーンモビリティ



省エネ



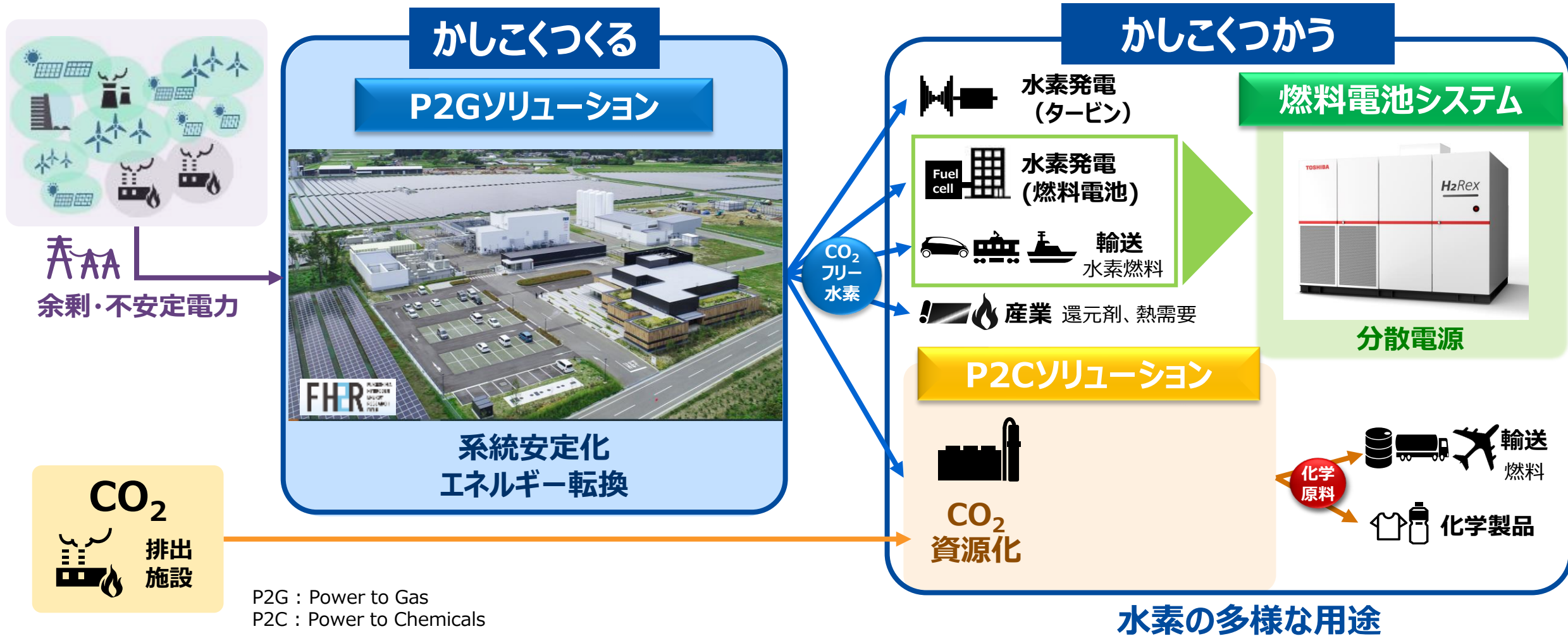
新型太陽電池

CO₂の資源化



東芝の水素エネルギーソリューション

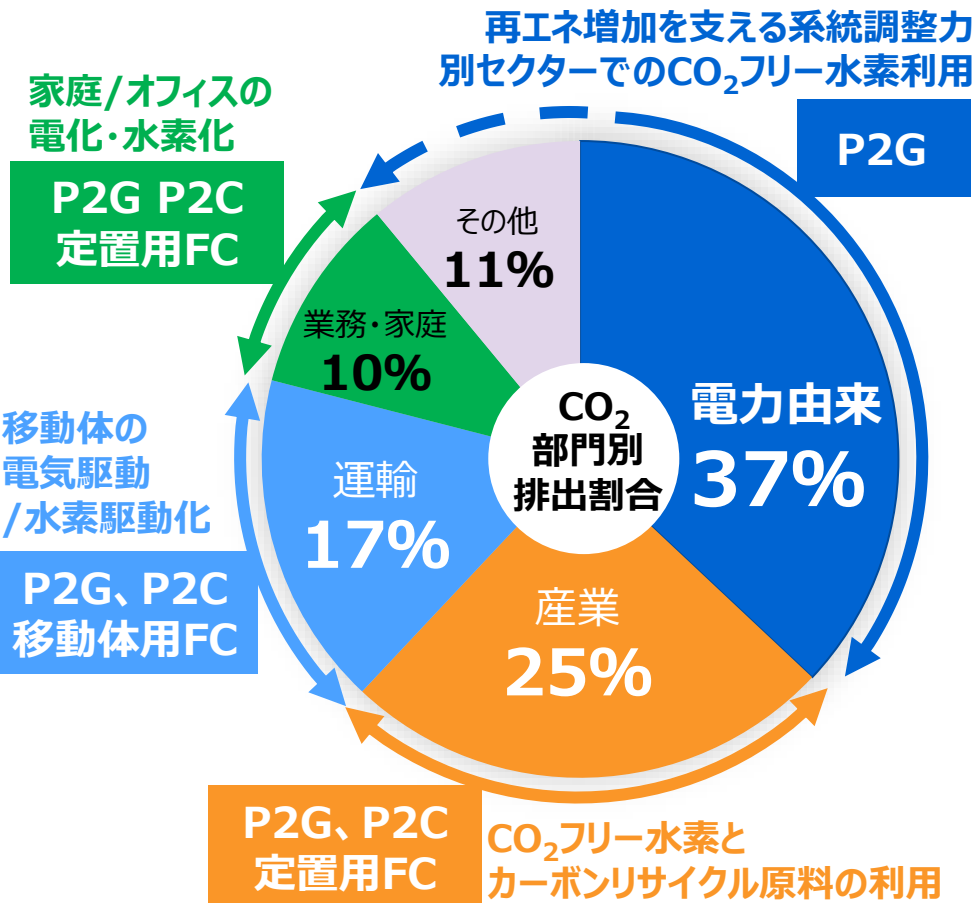
水素エネルギーソリューションでカーボンニュートラル社会に貢献



東芝の水素エネルギーソリューション

水素はカーボンニュートラルのキーテクノロジー

2050年に向けた東芝の考え方



東芝が貢献できる水素エネルギーソリューション

P2G Power to Gas

世界最大級のP2G施設。系統調整力利用の他に、製造した水素を配送し必要な場所で利用。2020年3月より実証開始。

定置用FC H₂Rex™

短い起動時間と柔軟な出力対応能力を持つコージェネレーションシステムである燃料電池技術を産業用に向け大型化。市場投入済。

SOEC 高温水蒸気電解システム

再エネ電力により水を電気分解し、高効率にCO₂フリー水素を製造

P2C Power to Chemicals

CO₂を再エネにより電気分解し、CO₂フリー水素と合わせてジェット燃料や化学原料を製造。

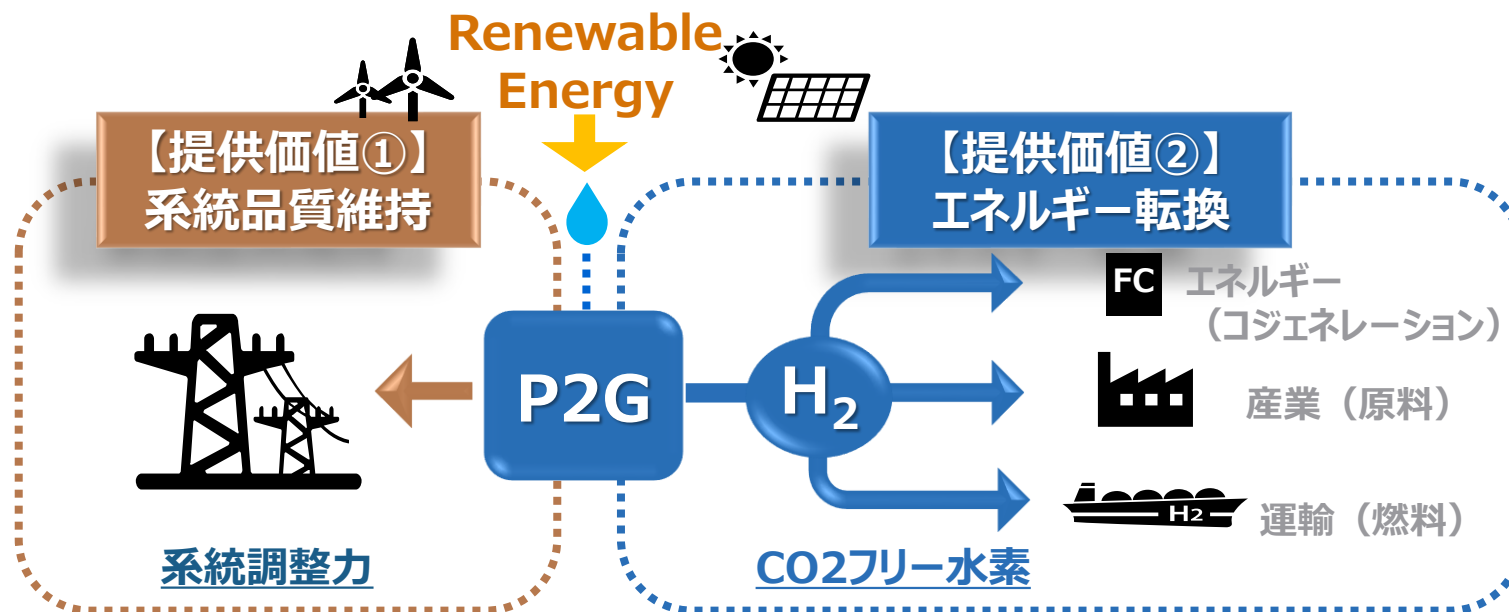
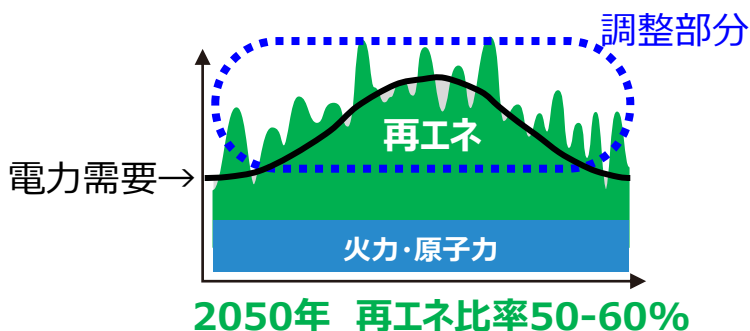
再エネ導入促進を支えるP2G(Power to Gas)

P2Gは、エネルギー部門の再エネ導入促進を支える系統調整機能と、CO₂フリー水素の供給により、カーボンニュートラルに貢献

再エネの課題

電力需要に対して、時間変動が大きい再エネの比率が増加
(2050年の再エネ比率50-60%)

系統品質維持のため
水素を用いた電力系統調整を実施



P2Gの メリット

系統の調整力 / 抑制再エネの発掘 / 再エネの系統制約緩和

安価な水素を製造 / エネルギー国産化率向上 / 火力発電への調整力要求低減

福島水素エネルギー研究フィールド(FH2R)

世界有数規模の10MW級P2Gシステムを稼働



事業実施者：東芝エネルギーシステムズ(株)、岩谷産業(株)、東北電力(株)、東北電力ネットワーク(株)、旭化成(株)

本事業はNEDO「水素社会構築技術開発事業/水素エネルギーシステム技術開発」の一環として実施している。
NEDO：国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

項目	仕様
機能	(1)水素製造・貯蔵・供給 (2)電力系統の需給バランス調整 (上げ・下げDemand Response: DR)
水素製造能力	900t-H ₂ /年 燃料電池自動車1万台相当 (定格の年間水素製造量)
水素製造装置 入力電力	(最大)10MW、(定格)6MW (範囲)1.5MW~10MW

福島水素エネルギー研究フィールド概略

製造・貯蔵

輸送

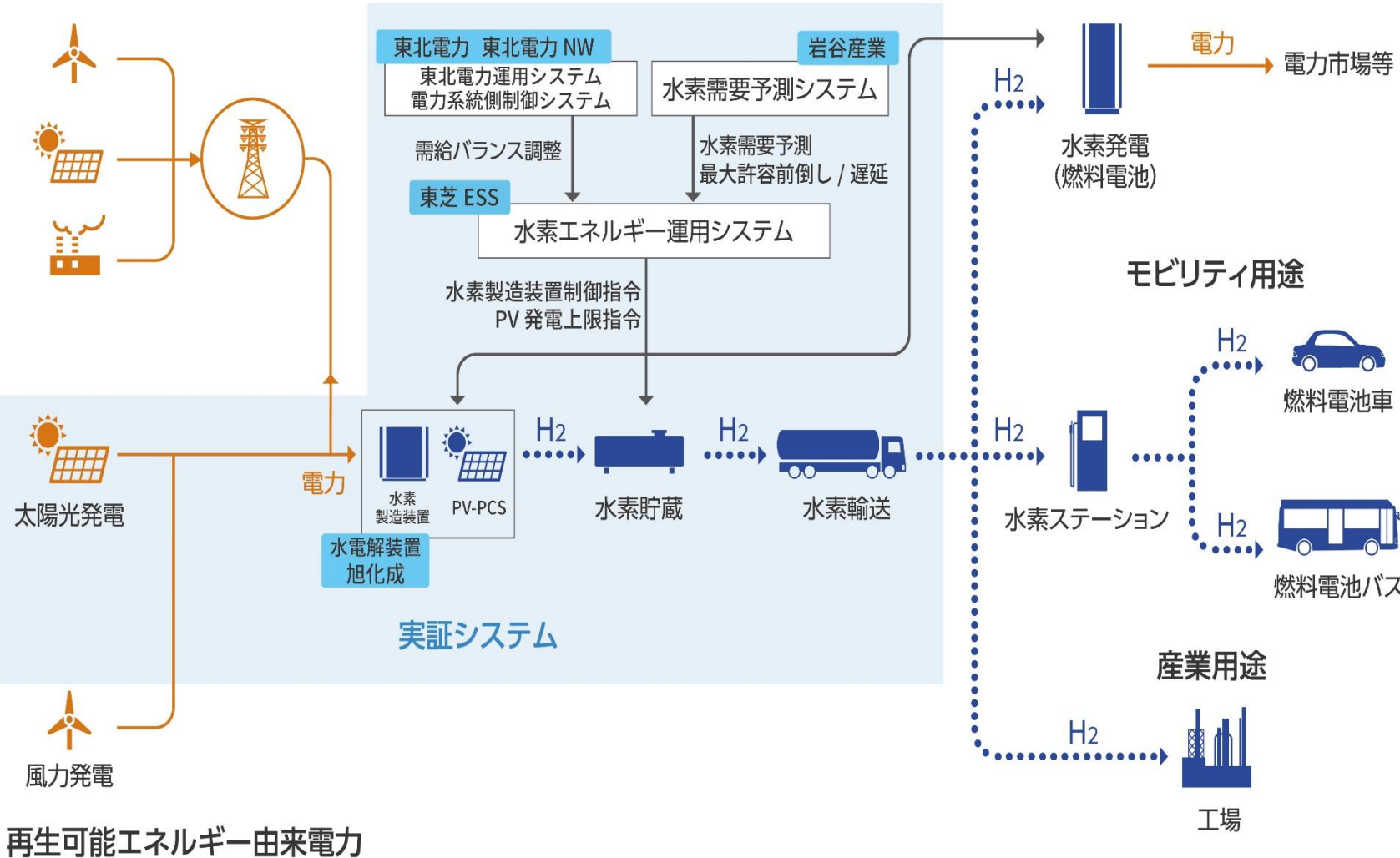
供給・利活用



系統電力

水素エネルギーシステム

発電用途



提供価値

- 再エネ活用のCO₂フリー水素により、CO₂排出量削減
- 水素製造による電力系統の需給バランス調整

実証内容

- 電力系統の需給バランス調整のための水素活用/事業モデル確立
- 大規模再エネ水素エネルギーマネジメントシステムの開発/実用化

水素燃料電池 H_2Rex TM

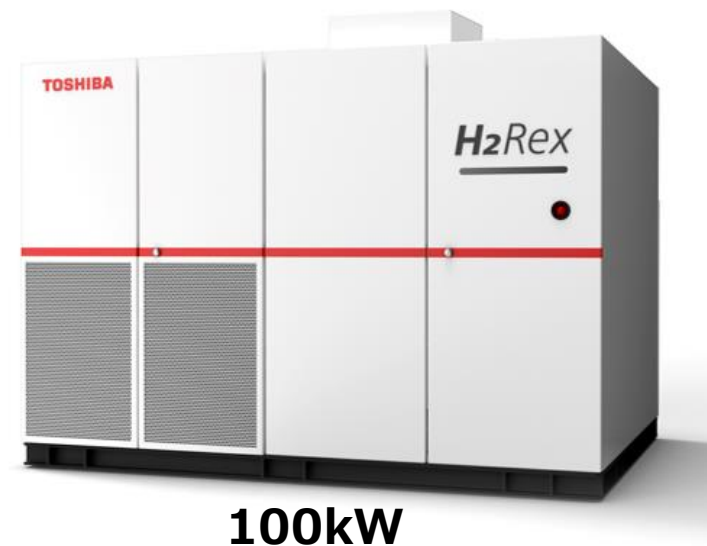
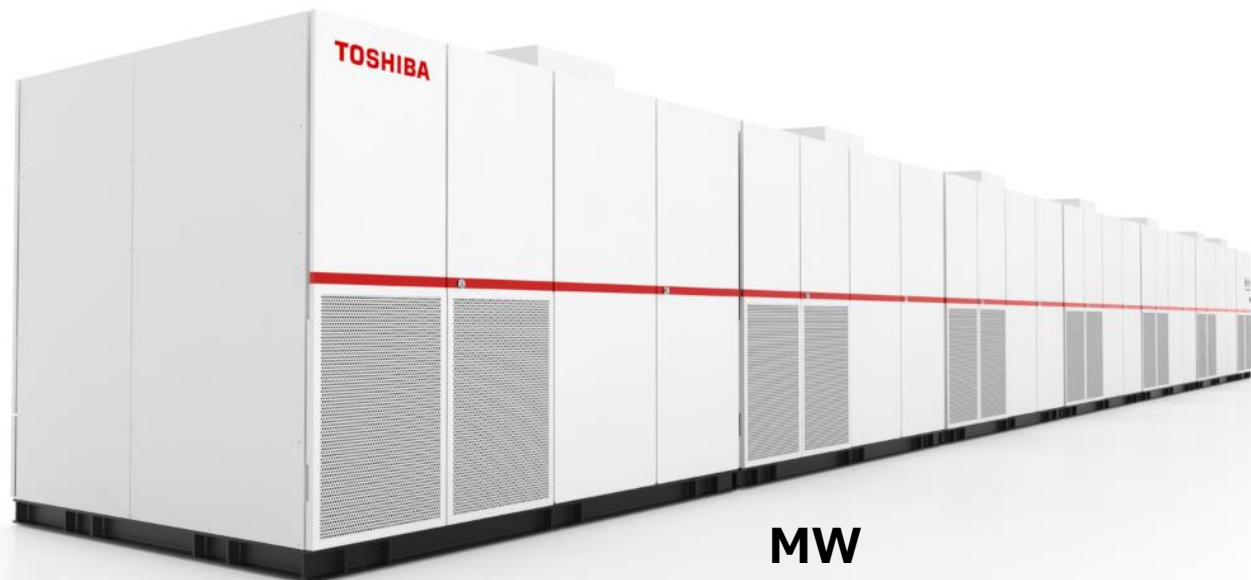
FH2Rで製造された水素を活用し、福島県内の施設で水素燃料電池が稼働中



※経済産業省/NEDO 委託事業

水素燃料電池 H_2Rex TM

産業・業務・家庭部門で、地域のカーボンニュートラル・産業活性化に貢献



特長	備考
長寿命	設計寿命 8万時間
高エネルギー効率	総合効率 95%以上
柔軟なオペレーション	起動時間 5分以内、負荷変動 1分以内
DSS対応	連続発電および日間起動停止(DSS)に対応
コージェネ・モノジェネデュアル対応	温水利活用の熱交換器を設置し、発電の過程で発生する熱を有効活用

H2Rex™ 活用事例 (清水建設株式会社 北陸支店様)

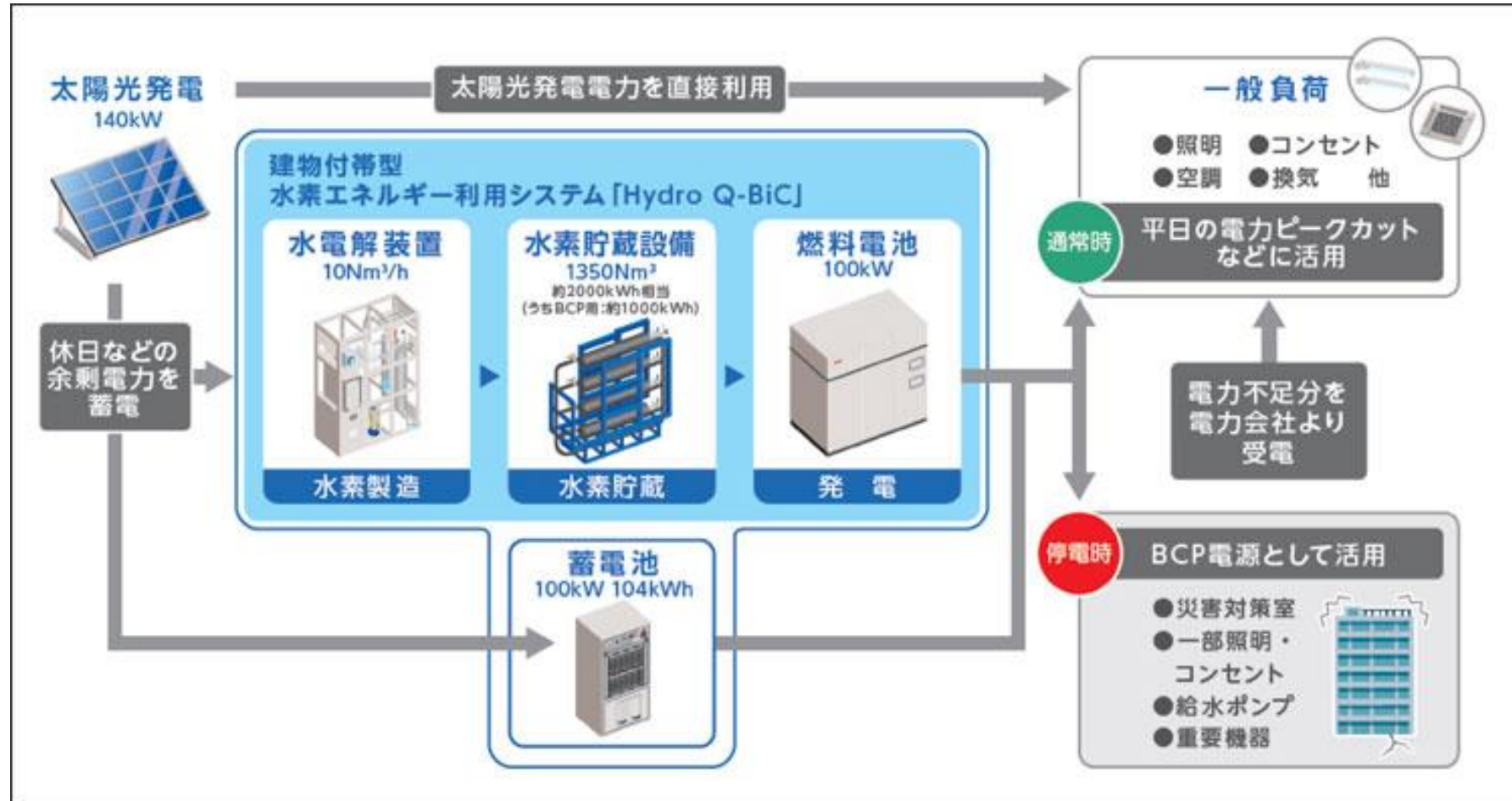
建物付帯型水素エネルギー利用システムに搭載



CO2フリー水素を活用



ZEB実現へ



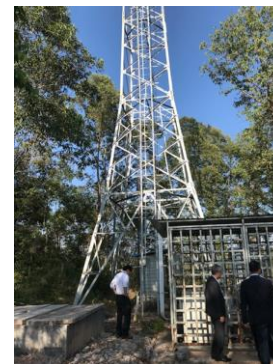
出展 <https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2020/2019045.html>

燃料電池スタックの適用先

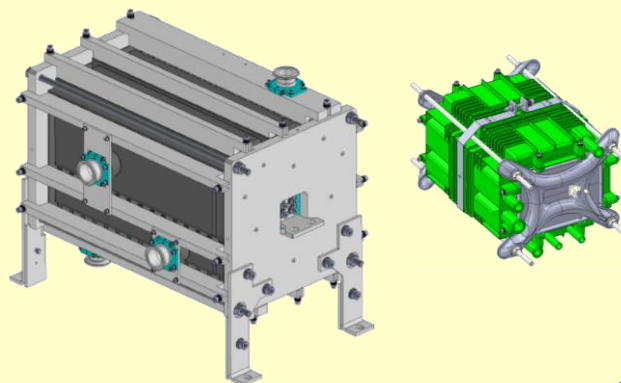
① 水素機 H_2Rex ™ H_2One ™



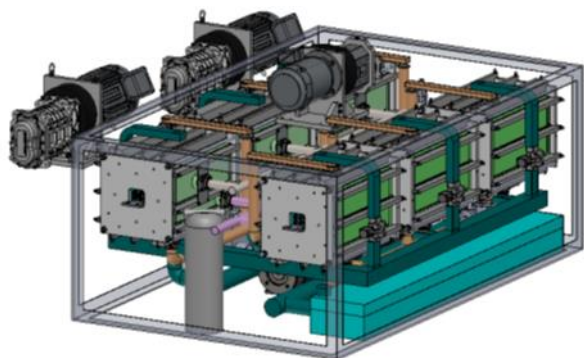
② 電池単販 中国向け



燃料電池スタック

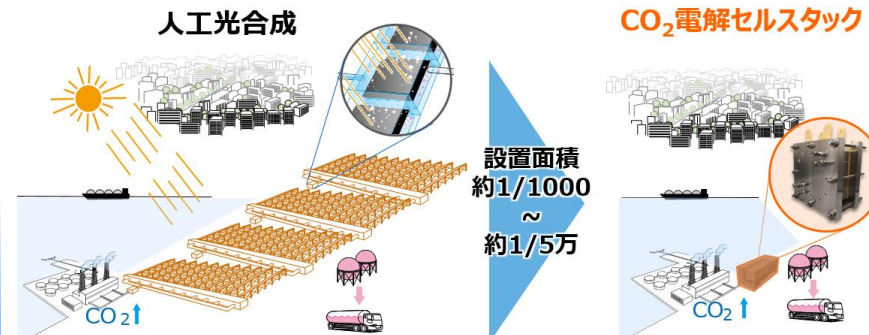


③ DCモジュール



④ P2C (Power to Chemicals)

セルスタック製作は一部の
燃料電池製造ライン共用可



定置用水素燃料電池の今後の課題

ユーザーのメリット拡大

■ ランニングコスト低減

- ・FCVやHDV向けに開発中の高性能材料適用による高効率化セルの開発
- ・高耐久性を維持した高効率化セルの開発

■ 低品質水素の利用

- ・不純物(特に硫黄成分)及び低濃度水素に対する耐性向上

■ 機器の低コスト化・小型化

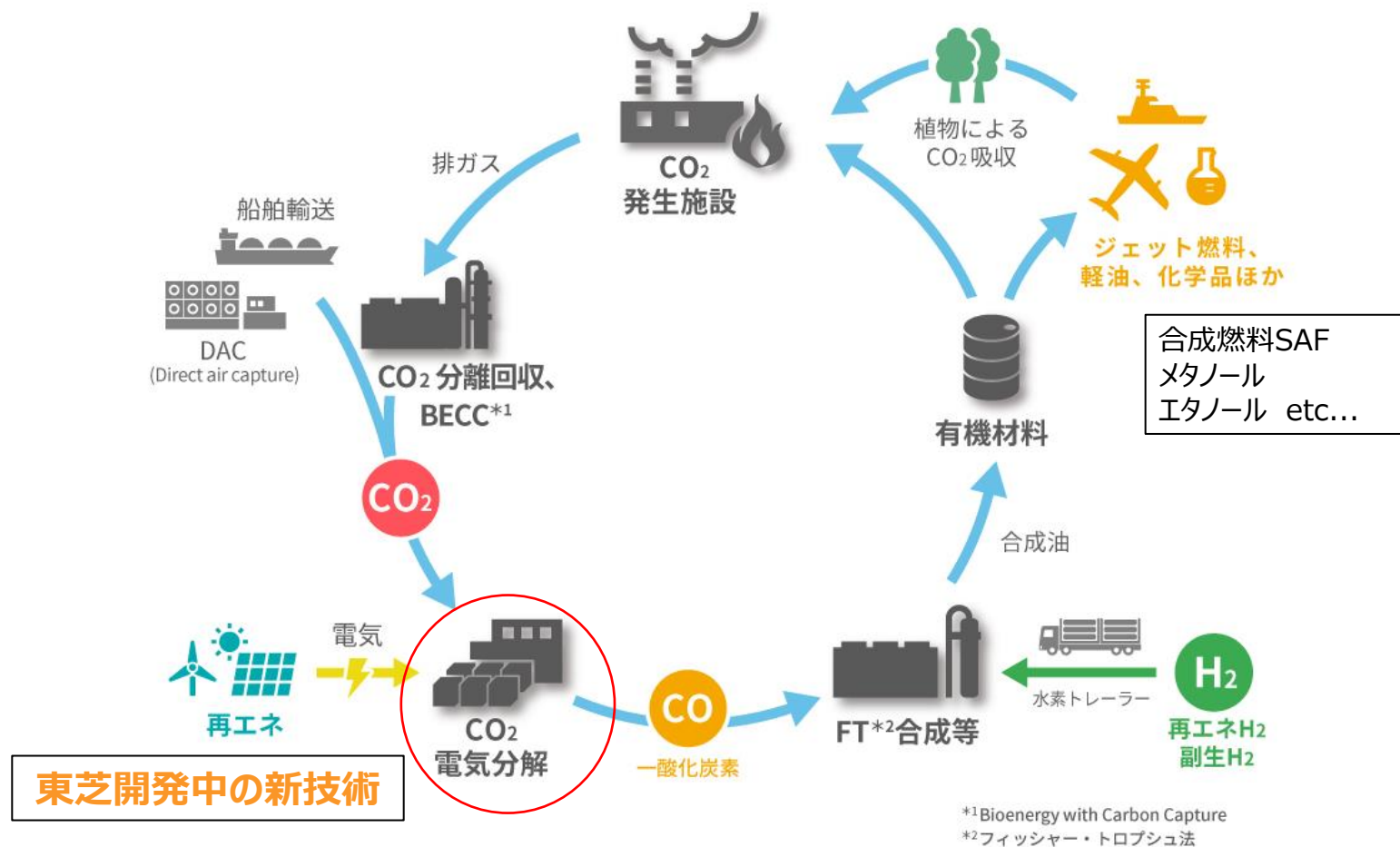
- ・FCVやHDV向けに開発中の高性能材料適用による貴金属使用量の削減
- ・低廉材料、部品の適用 (セパレータ、GDL、ガスケット等)
- ・ラジエーターの小型化(特に大型定置用FC)



FCVやHDV向け燃料電池に比べ、定置用FCでは性能向上を目指しつつも、高耐久性維持(長寿命)が最重要と考える

P2C(Power to Chemicals)への取り組み

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の電気分解技術の実用化でCO₂資源化サイクルが完成する

SAF Sustainable Aviation Fuel～持続可能な航空燃料～

P2Cで生産可能な化成品は多いが、市場も大きく、強い国際規制がかかる航空業界のニーズが高いSAF (Sustainable Aviation Fuel) を主対象の一つとした開発を行う。

パリ協定を受け、強い規制がかかる国際航空業界のニーズ

ICAO (国連政府系団体 International Civil Aviation Organization、国際民間航空機関)

- **2020年以降CO2排出量を増加させない**
- 2050年まで燃料効率を年率2%で改善

IATA (民間団体 International Air Transport Association、国際航空運送協会)

- 2020年から航空機のCO2排出に上限を設定→上限以上は排出権購入義務化
- **2050年に炭素排出量のネットゼロ目標を採択 (2021年10月)**

世界のすう勢：SAFの開発が必須

航空業界はCO2削減は4つの方法*で進めているが、最も効果的な取組みはSAFとされている

*：機材更新、運行方法、CO2排出権取引、SAF代替ジェット燃料の開発

国産SAFの商用化および普及・拡大に取り組む有志団体「**ACT FOR SKY**」に東芝エネルギーシステムズが加盟

他社と連携し、SAFの普及・拡大に向けた活動を一層強化する予定

CO₂由来SAFの必要性

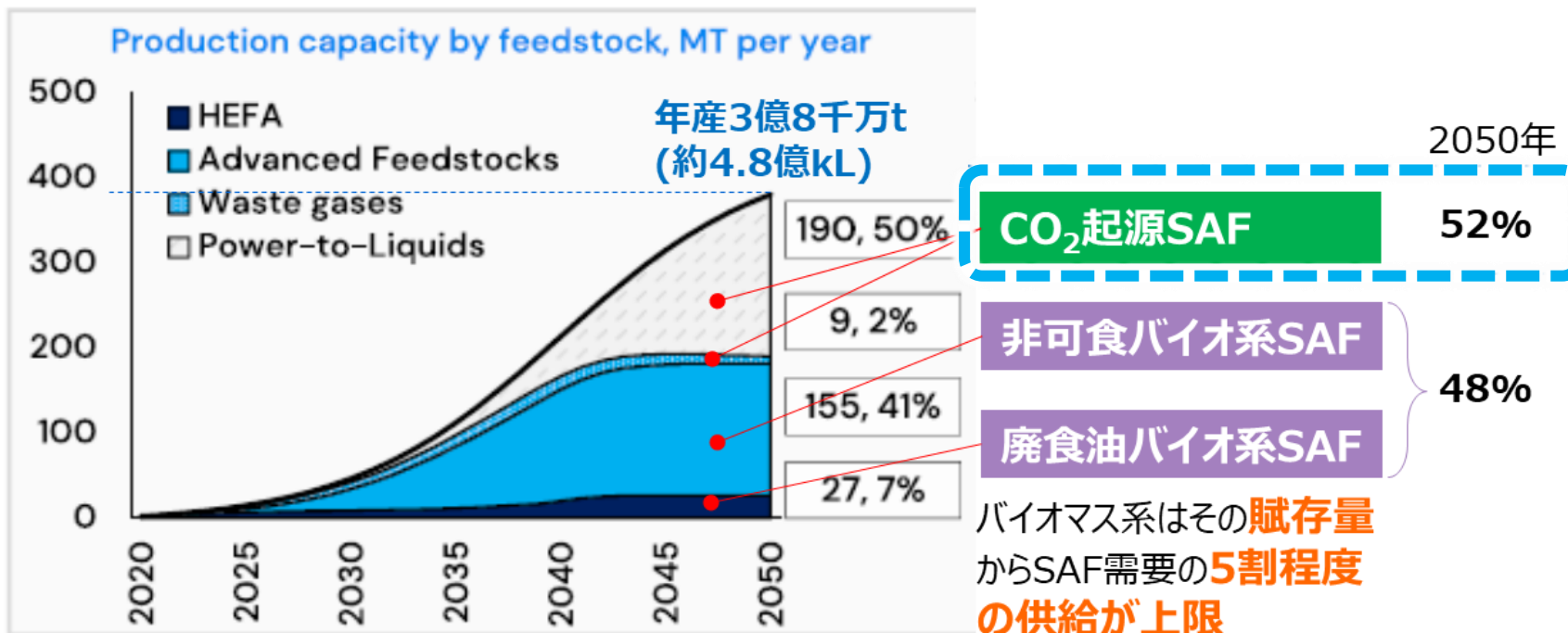
■ 将来のSAFの世界需要と油種については、ATAG*がWaypoint 2050(2nd Edition, 2021)で予測

■ 2050年断面での予測：

*ATAG (Air Transport Action Group) は、持続可能な開発の問題に焦点を当てた航空業界の専門家の連合体

- ・ SAF生産量は、年産3億8千万トン(約4.8億kL) (従来型ジェット燃料世界市場 約2億kL@2019)
- ・ 油種別製造量は、**バイオマス系SAFとCO₂を原料とするSAFで半々と推計**

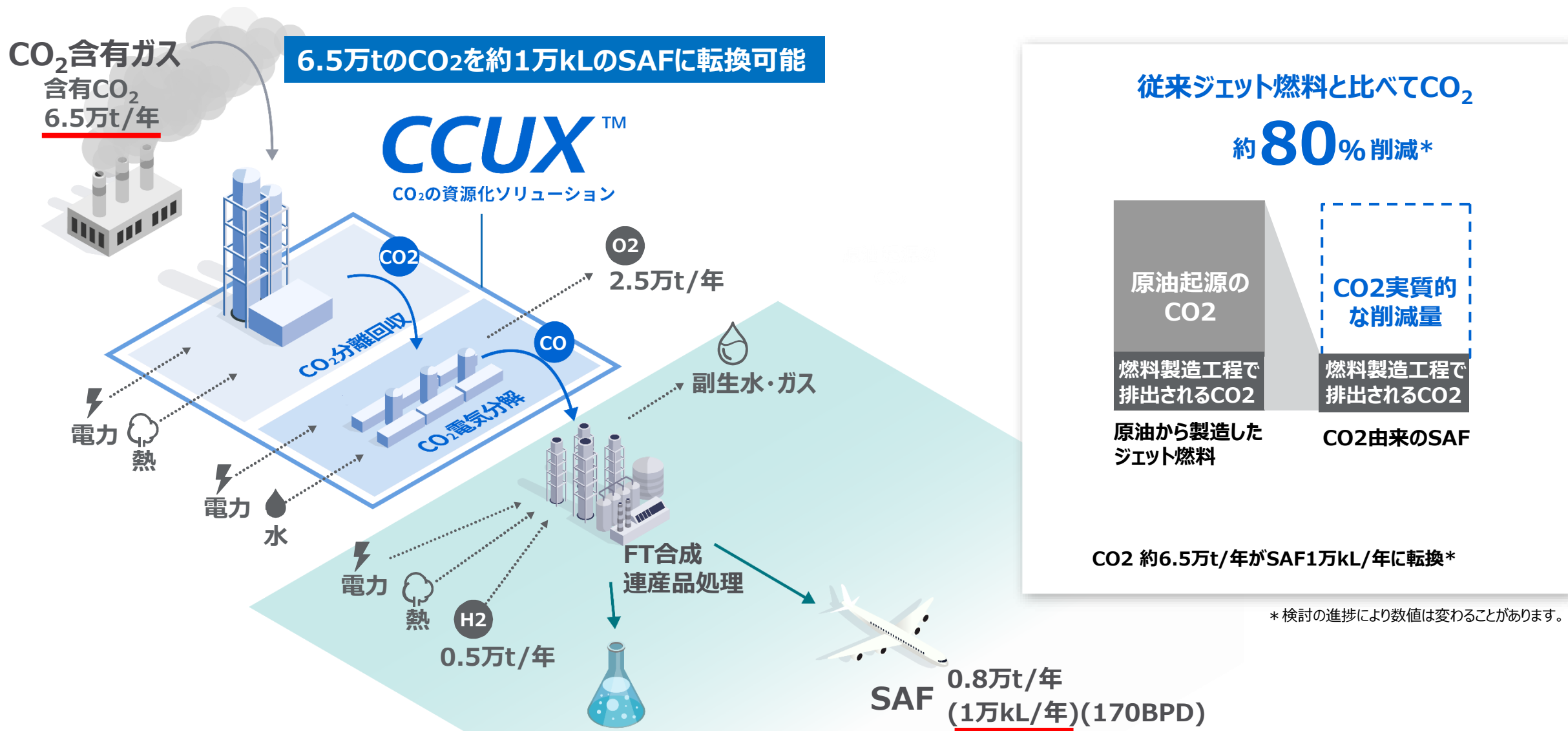
➡ **大規模インフラの場合、技術開発完了から商業プラントが社会実装されるまでに10年程度かかることを考慮すると、早急なP2CによるCO₂資源化の実用化に向けた開発が必要と推察**



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

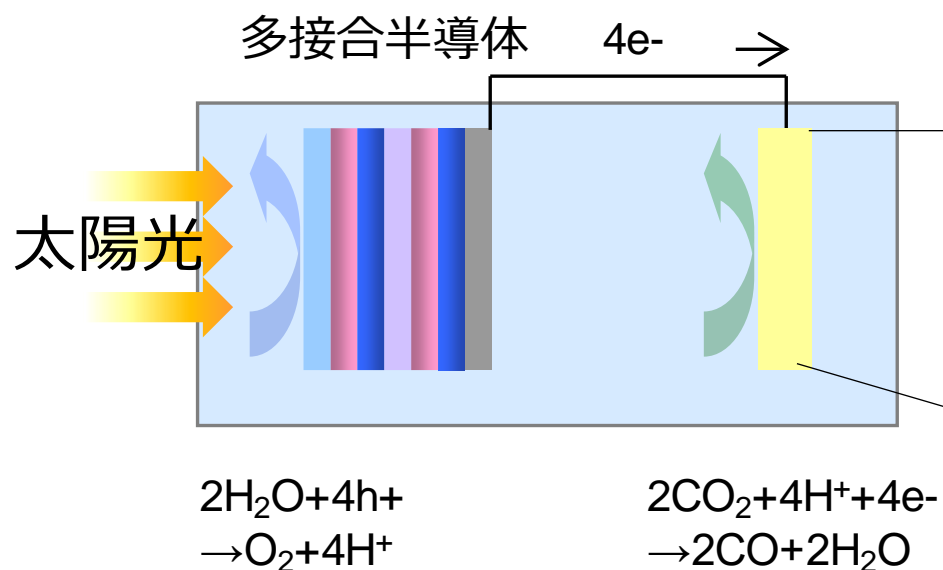
「二酸化炭素の資源化を通じた炭素循環社会モデル構築促進事業委託業務」(人工光合成技術を用いた電解による地域のCO₂資源化検討事業) (環境省)

CO₂を原料としたSAFの適用

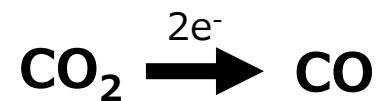
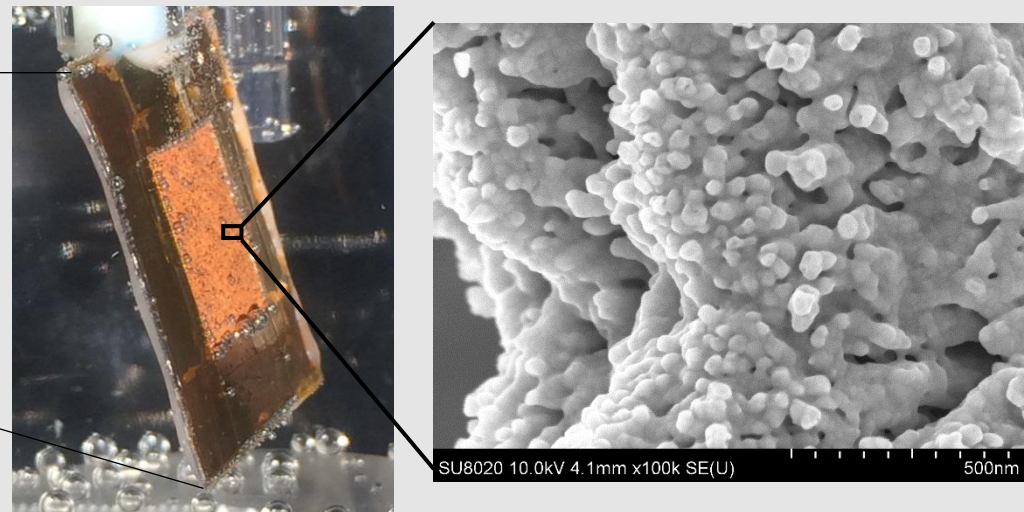


東芝のP2C～CO₂電解技術の開発～

人工光合成技術



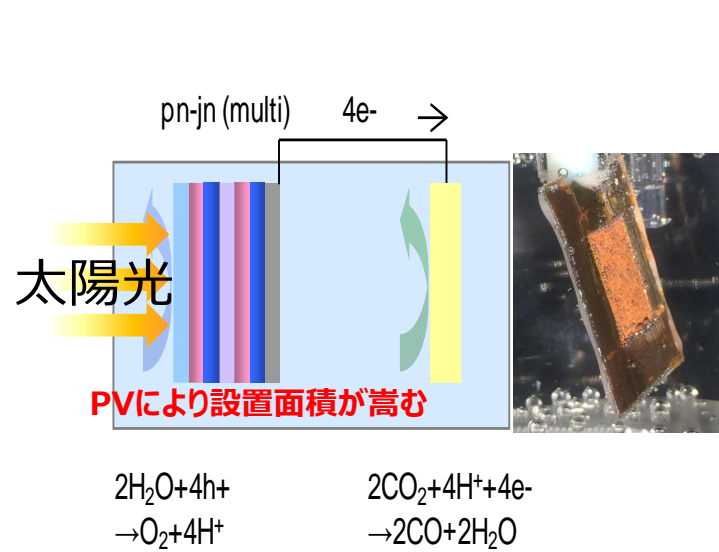
人工光合成用ナノポーラス触媒



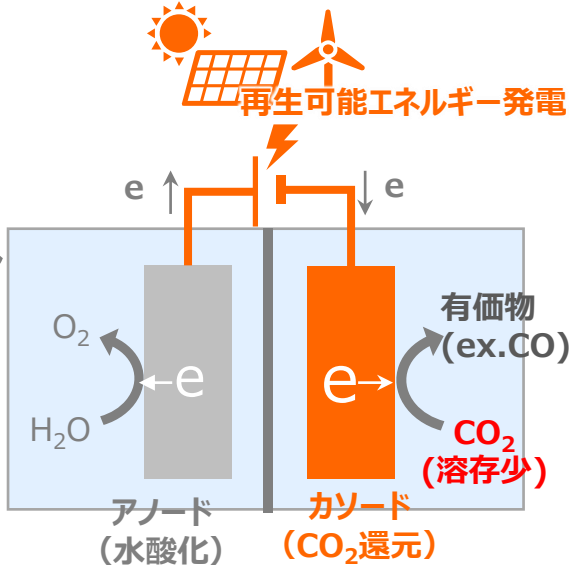
高効率触媒電極技術でエネルギー変換効率世界最高を記録(2014年当時)

東芝のP2C～CO₂電解技術の開発～

人工光合成技術



・PVパネルをセル外に

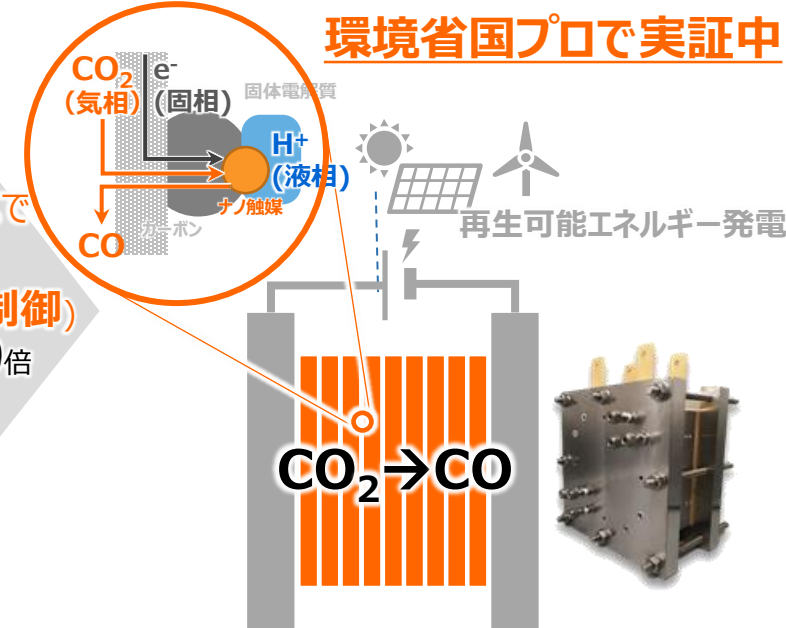


問題点：水溶液中のCO₂溶解度低い
→ CO₂変換速度が遅い
年間 数百グラム/m²

CO₂電解セルスタック

環境省国プロで実証中

- ・CO₂を直接ガスで反応制御 (三相界面制御) 処理量 450倍
- ・スタック化



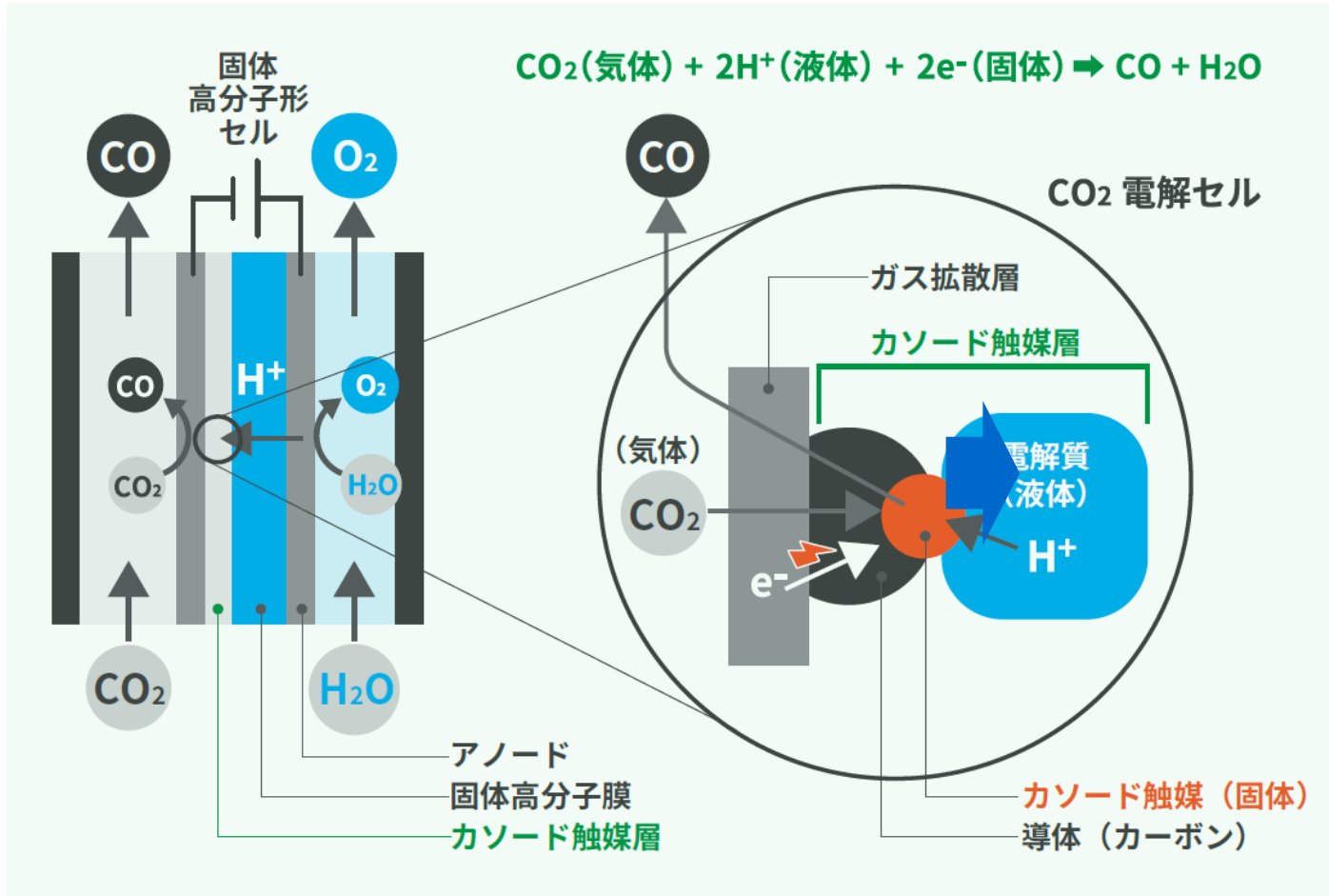
ポテンシャル
年間CO生成量
約2千トン/m²

人工光合成技術をベースにCO₂電解セルスタックを開発し高スループット化を目指した

東芝のCO₂電解セルスタックの特徴

三相界面制御触媒電極の開発

⇒CO₂ガスの直接電解による反応速度向上

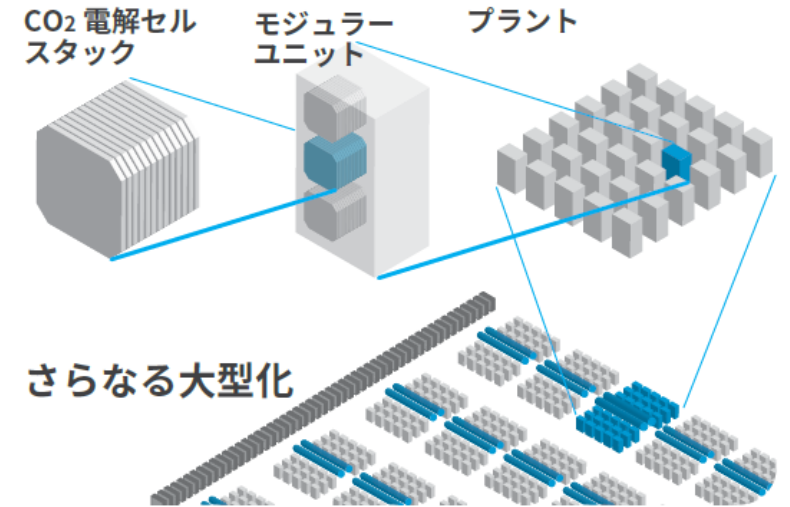


CO₂電解セルの積層化

⇒電解プロセスを高集積化

燃料電池スタックと類似構造のため、燃料電池スタック製造技術の適用で早期量産化が可能

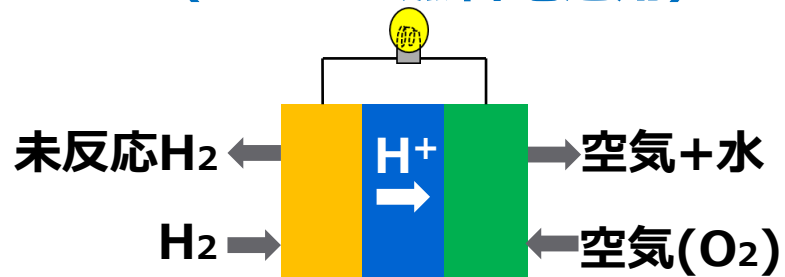
実用化に向けて



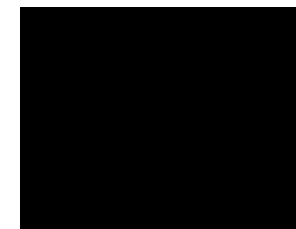
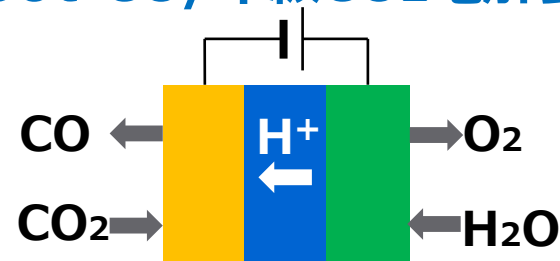
- 処理量が人工光合成比で600万倍以上に改善
- 日産トンレベルの処理量の装置実用化が可能に

燃料電池とCO₂電解セルスタックの類似性

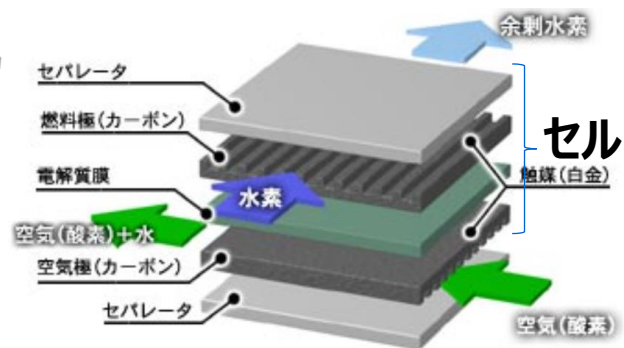
水素燃料電池セルスタック
(100kW燃料電池用)



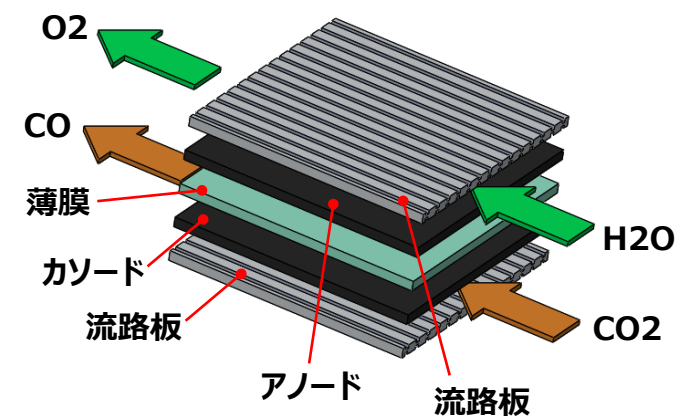
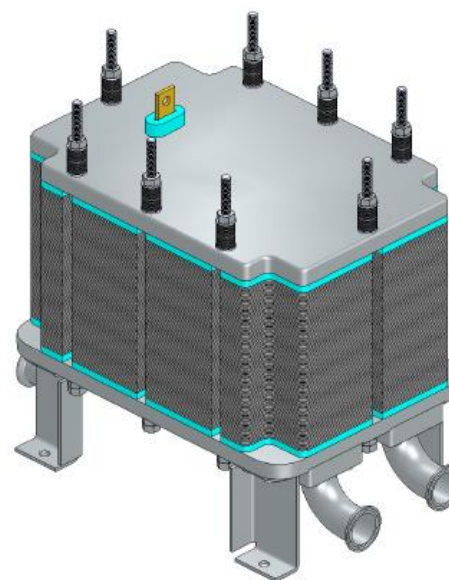
CO₂電解セルスタック
(150t-CO/年級CO₂電解装置)



プロト2号機(2022年度試作)



<http://fccj.jp/jp/aboutfuelcell.html>



- 電極板と流路板を重ね合わせて成型したセルを積層する共通の基本構造
- 電極や触媒の材料は異なるが、製造技術や製作工程の類似性から、燃料電池製造ラインの多くを共有可能

CO₂電解セルスタックにおける電解反応

CO₂電解セルスタックにおけるCO₂電解反応は式①による



CO生成量を増やすためには**大電流化、多積層化**が必要

→機器サイズ、CO生成量の観点から**電流値160Aの多積層セルスタック**を開発目標とした

問題

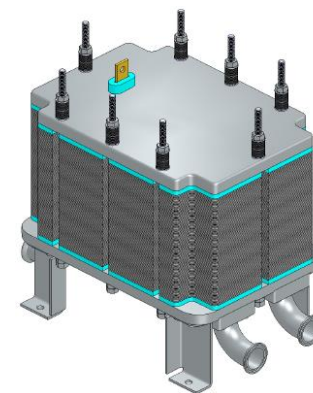
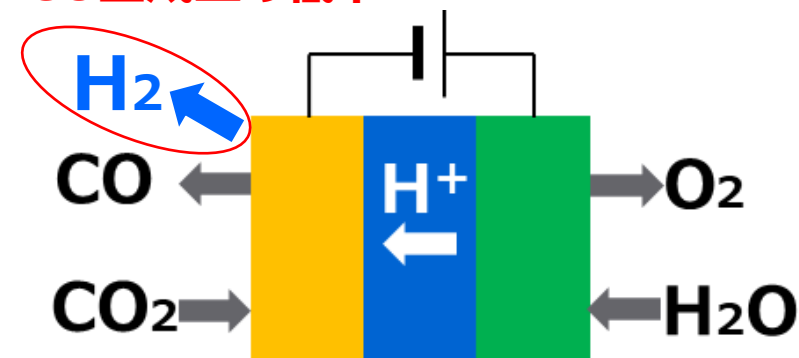
CO₂電解セルスタックではH₂O電解反応(式②)も同時に発生しており、大電流通電時にはH₂O電解反応の割合が増加してしまう



大電流通電時においても電気エネルギーがCO生成に使用される割合(COファラデー効率)を高く保つ必要がある。

大電流通電時においても高いCOファラデー効率を有するCO₂電解スタックの開発に注力

**H₂生成に電力が使用されてしまう
= CO生成量の低下**



CO₂電解セルスタックの開発

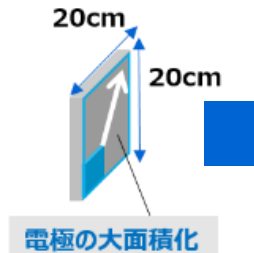
■ 実機級CO₂電解セルスタックの開発の流れ

ステップ1：小型セル(16cm²)をベースに実機サイズ400cm²の高COファラデー効率のCO₂電解単セル機を開発

ステップ2：ステップ1で開発したCO₂電解セルを複数枚積層し、CO₂電解セルスタックプロト機を開発

ステップ3：CO₂電解装置に組み込みするサイズのCO₂電解フルスタック機を開発

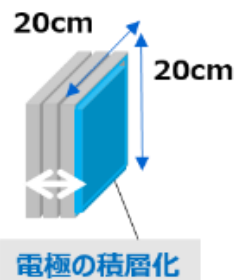
2020
(社内開発)



セル

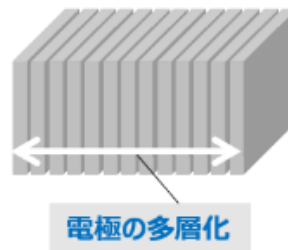
プロト機

2021-2022



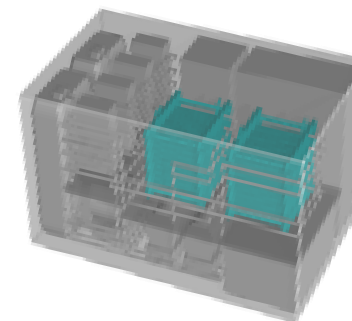
プロト機

2022-2023



フルスタック

2023-2024



実機級(150t級)CO₂電解装置

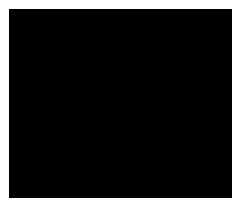
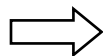
2024-
(実証運転)



東芝エネルギーシステムズ
浜川崎工場浮島地区

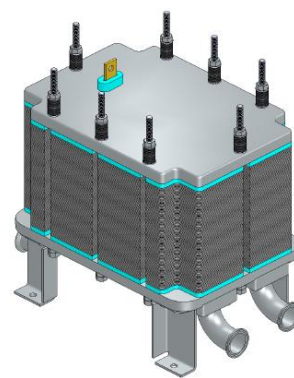
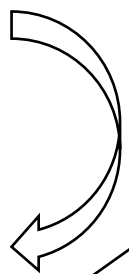


セルを複数枚
積層



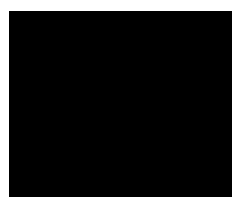
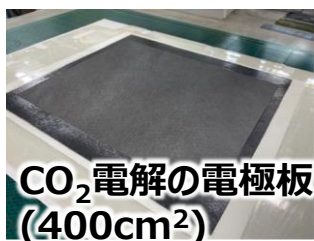
プロト1号機

セルの薄型化



フルスタック機

セルの多積層化



プロト2号機

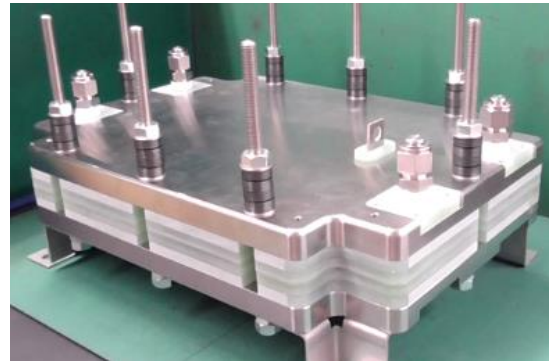
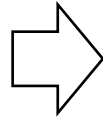
CO₂電解セルスタックの課題

- CO₂電解性能向上
→高COファラデー効率の達成
- フルスタック機の小型化
→セル厚さの低減

ステップ1：CO₂電解単セル機の開発



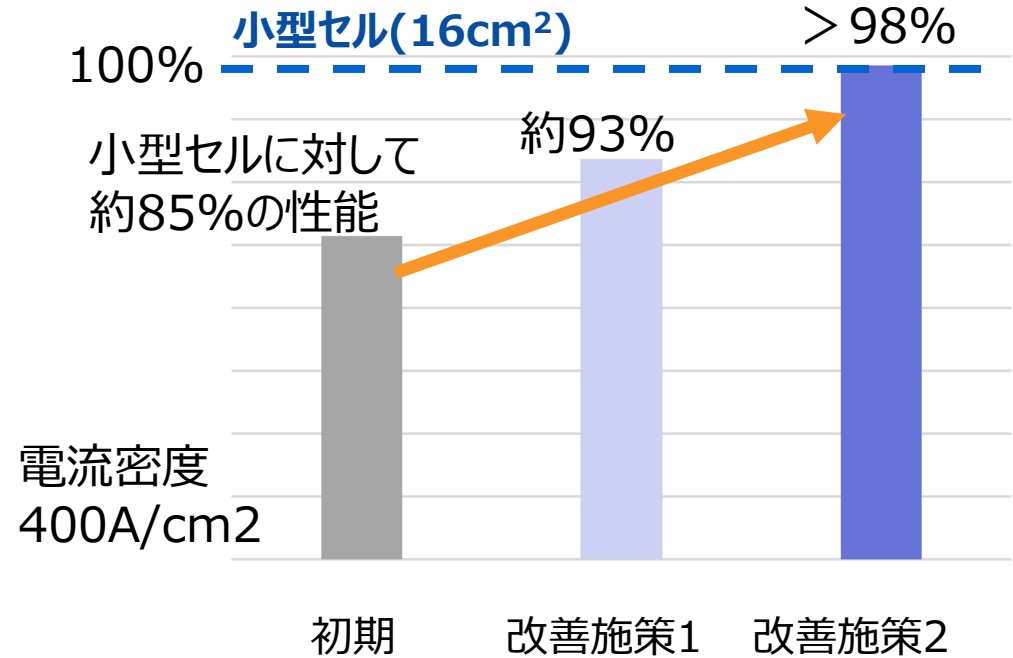
小型セル(16cm²)



CO₂電解単セル機(400cm²)

小型セルに
対しての性能

400cm²単セル試験結果

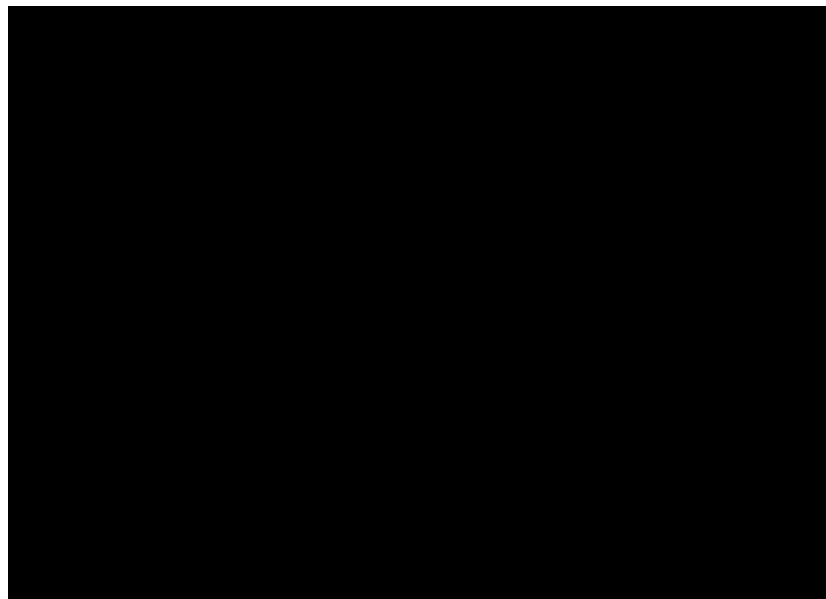


COファラデー効率

小型セル(16cm²)をベースにCO₂電解単セル機(400cm²)を開発し、
小型セルの約98%以上のCOファラデー効率を達成した

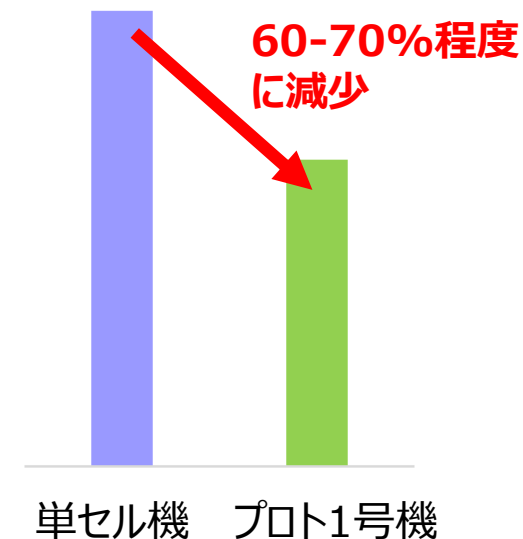
セルを複数枚積層したプロト機の製造にステップを進めることが可能となった

ステップ 2 : CO₂電解セルスタックプロト機の開発



プロト1号機

諸元	仕様
定格電流	160A
セル厚さ	約10mm/セル
セル枚数	10枚
積層部厚さ	150mm



COファラデー効率

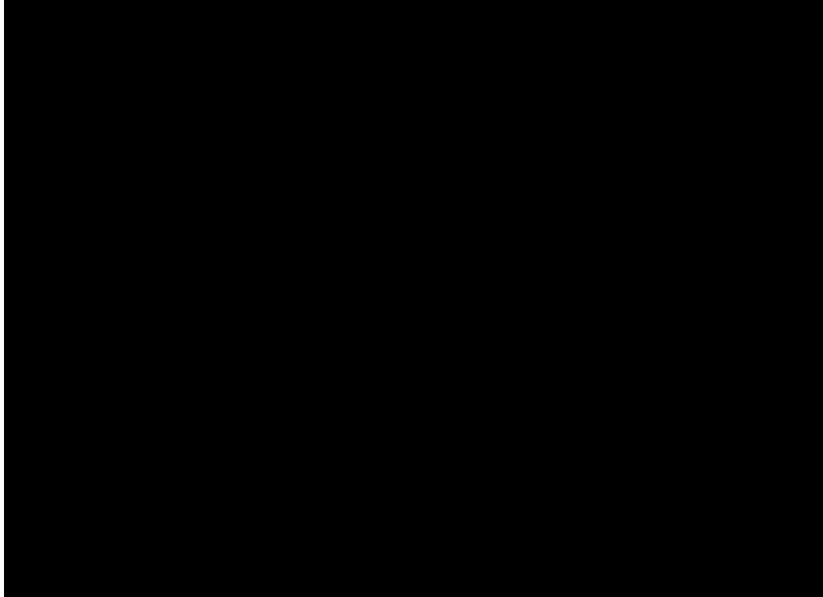
単セル機のセルを10枚積層したプロト1号機を製作したところ、COファラデー効率が単セル機の60~70%程度に減少した



プロト2号機への反映点

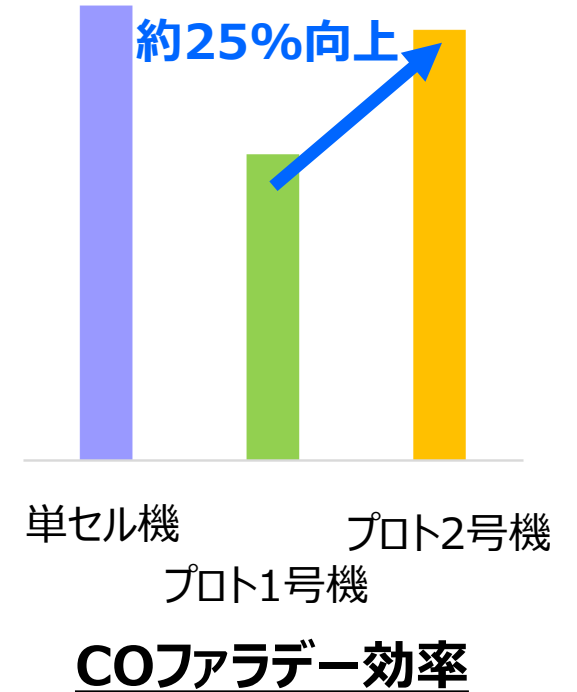
- ・流路構造及び締付面圧等の改良によるCOファラデー効率の改善
- ・フルスタック機開発を見据えた薄型流路板の適用

ステップ 2 : CO₂電解セルスタックプロト機の開発



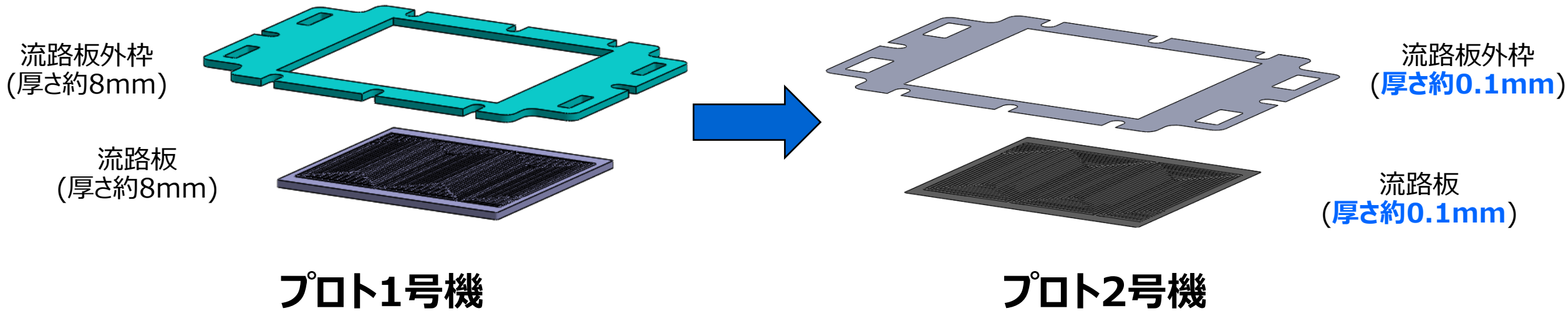
プロト2号機

諸元	仕様
定格電流	160A
セル厚さ	約1.5mm/セル
セル枚数	10枚
積層部厚さ	70mm



- ・流路構造の改良等を実施した結果、プロト1号機に対し、COファラデー効率が**25%程度向上**し、単セル機と同程度に改善した
- ・フルスタック機に適用する薄型流路板を適用し、セル厚さを**約10mm/セルから1.5mm/セル**への低減に成功

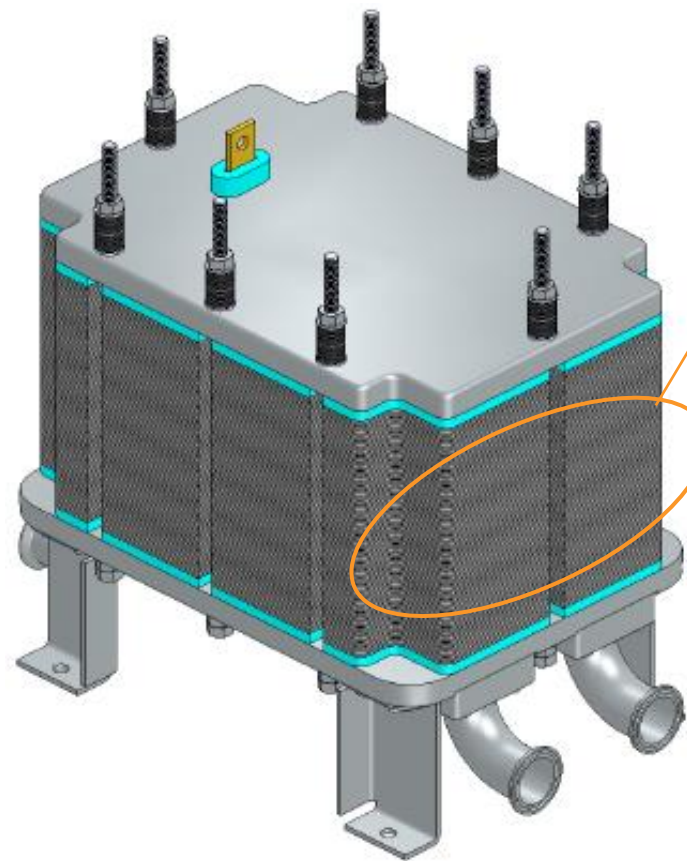
流路板の薄型化



流路板の設計を変更し、厚さを約8mm→0.1mmに低減した

多数枚のセル積層時の高さが抑えられ、フルスタック機の小型化が可能となった

ステップ3：CO₂電解フルスタック機の開発



プロト2号機と同一の
電解セルを多数枚積層

CO₂電解フルスタック機

諸元	仕様
電流	160A
電圧	430V
CO生成能力	8Nm ³ /h
セル厚さ	1.5mm/セル

全セルに対し十分に流体を行き渡らせることが可能かを流体解析にて確認した

CO₂電解装置の今後の計画



セルスタック

燃料電池で培った製造技術を利用

合成燃料等大型化学プラント

中小規模化学プラント・冶金産業

2015

2020

2025

2030

技術成立性確認

大型化・量産化開発

実用化

人工光合成
開発セル(2014)
電解電力
<0.01W

固体高分子形電解セル
(2019)
W級

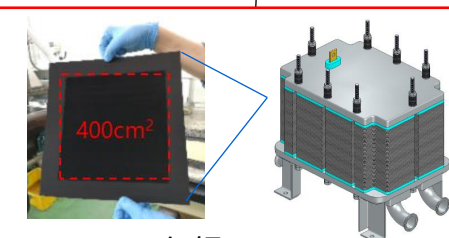
小型電解装置*(2023)
kW級

CO₂電解標準モジュール
構成装置 (2026頃)
1500t-CO/年級 MW級

SAF商業プラント向け
CO₂電解装置
(2030頃 商品化予定)
≥1万t-CO/年級
10-100MW級

SAF商用プラント向け
(化学産業等向けにも転用予定)

SAFサプライチェーン実証用
(化学産業等向けに転用予定)



150t-CO/年級
CO₂電解セルスタック開発(2021-23)

CO₂電解装置
プロトタイプ**
150t-CO/年級 150kW級
(2024予定)(2026商品化予定)

(化学産業等向けに転用予定)

*「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」(多量CO₂排出施設における人工光合成技術を用いた地域適合型二酸化炭素資源化モデルの構築実証) (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」(人工光合成技術を用いた電解による地域のCO₂資源化検討事業) (環境省)

CO₂電解セルスタックの今後の課題

■ 電解性能向上のための流路設計

- ・セル内気液二相流の流体解析による最適化

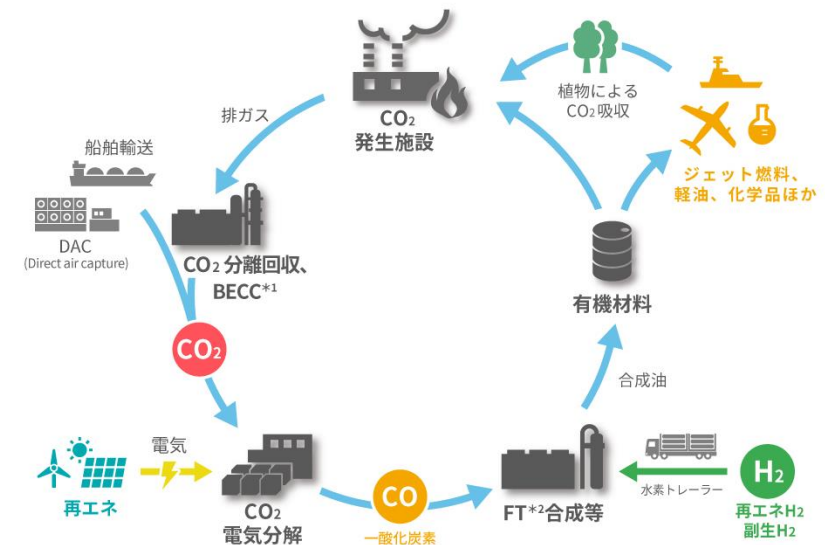
■ 電解性能向上のためのCO₂電解反応の選択率の向上(=COファラデー効率の向上)

- ・触媒反応のメカニズムの解明による改善

■ CO₂電解セルの量産技術の確立

- ・燃料電池製造設備の有効活用による製造ラインの早期確立
- ・自動化未実施工程の自動化。設備導入等による生産スピードの増加

CO₂資源化による代替・合成燃料の早期社会実装を目指す



*1 Bioenergy with Carbon Capture
*2 フィッシャー・トロプシュ法

謝辞

福島水素エネルギー研究フィールド事業は
NEDO：国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
「水素社会構築技術開発事業/水素エネルギーシステム技術開発」
の一環として実施しました。

CO₂電解セルスタックの開発は
環境省 P2C国プロ委託事業
「人工光合成技術を用いた電解による地域のCO₂資源化検討事業」
の一環として実施しています。

関係者の方々にはこの場を借りて感謝の意を表します。

TOSHIBA

ご清聴ありがとうございました