

Green FormX - MIRAI

グリーンケミストリー / ギ酸 (Formic acid) / 未来

慶應義塾大学
イノベーション推進本部
EIR (Entrepreneur in Residence)
相馬 正護

慶應義塾大学
理工学部
教授
栄長 泰明

The Time Has Come to Tackle CO₂ Reduction (CO₂削減への挑戦が求められる時代)

CO₂排出量の増加と既存のCCUSの課題に対応するために、私たちはダイヤモンド電極を用いてCO₂を効率的にギ酸へと変換し、価値創造と脱炭素の両立を実現します。



深刻化する地球温暖化

産業革命以降、大気中のCO₂は420ppmを超えるまで急増しました。このまま変化がなければ、平均気温は2050年までに1.5℃上昇し、深刻な気候変動を引き起こす可能性があります。



脱炭素社会実現に向けた世界規模による取り組み

パリ協定以降、150を超える国がカーボンニュートラルを表明しています。日本も2050年までの実現を約束し、GX基本方針を策定しました。



CCUSにおける継続的な課題と機会

既存のCO₂回収・貯留技術は、コスト・効率・スケーラビリティの面で課題を抱えています。貯留にとどまらず、価値を生み出す利用方法の模索も進められています。



CO₂ を価値（資源）に変えていくことの重要性

CO₂を単に貯留するのではなく、価値ある化学品や燃料へと変換することで、経済的な実現可能性と循環型経済の実現が可能となります。



What is Formic Acid(HCOOH)? From By-Product to Key Player (ギ酸(HCOOH)とは何か？ 副産物から主役へ)

ギ酸は長らく用途の限られた副生成物にすぎませんでしたが、近年の直接合成技術により製造が可能となり、市場規模は小さいものの需要の拡大が期待されています。

これまで



皮なめし



For livestock



HCOOHはニッチな化合物

- 皮なめし / 動物飼料の保存料
- 石油由来製品からの副産物
- 市場も小さく、特定用途に用いられる

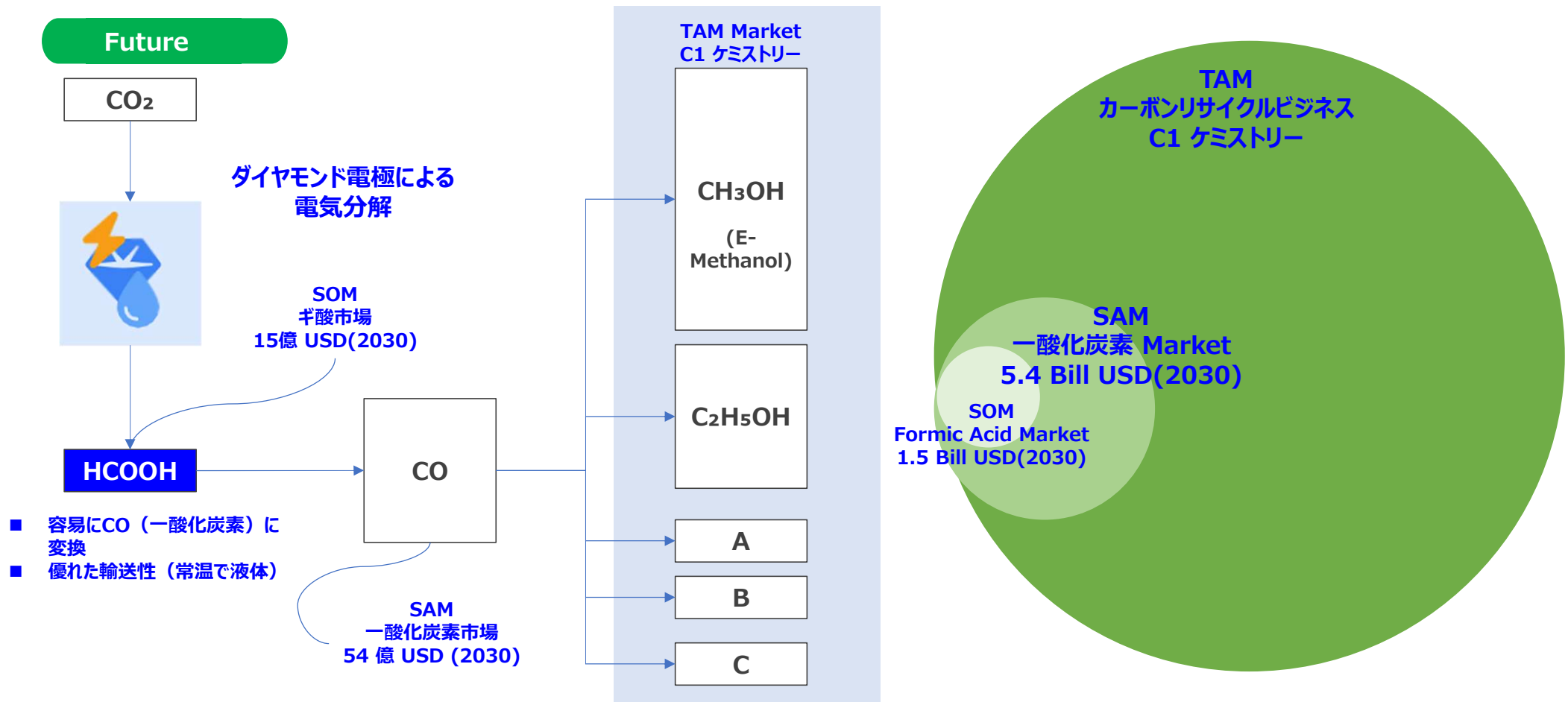
現在



- 市場規模：およそ USD 15億USD (2024), 拡大中
- 今なお化石燃料由来の製法で製造、高いCO2負荷
- 市場は限定的、特定用途に利用

What is Formic Acid(HCOOH)? From By-Product to Key Player (ギ酸(HCOOH)とは何か？ 副産物から主役へ)

ギ酸は、新たに台頭するC1化学の基盤であり、液体のカーボンキャリアです。加熱するとCOを生成し、水素と結合するとメタノールになります。グリーン水素と組み合わせることで、グリーンメタノールへの新たな道を切り開きます。



Pioneering Carbon Recycling with Diamond Electrodes (ダイヤモンド電極が切り拓くカーボンリサイクル)

ホウ素ドーピングダイヤモンド（BDD）電極は、卓越した耐久性と高い選択性を備え、CO₂を効率的にギ酸へ変換します。

基本特許も取得済み



Boron-Doped Diamond (BDD) Electrodes

ホウ素ドーピングダイヤモンド電極は、金属に匹敵する導電性と独自の電気化学特性を持ちます。水溶液中での広い電位窓（3.2 V）により、水素発生を回避できます。



圧倒的な電極の耐久性

1,000時間以上の連続CO₂還元でも劣化が見られない卓越した耐久性。金属電極と異なり、ダイヤモンドの堅牢な結晶構造が長期安定性を保証します。



優れた選択性

CO₂電解還元において、**ギ酸を95%の効率で生成（世界最高水準）**。他の電極と異なり、副生成物を排除し、精製工程を大幅に簡素化します。



知財もしっかりと抑える

世界特許取得も準備中

CO₂電解還元用ダイヤモンド電極の基本特許は日本で確保済み。設計・運転ノウハウも保護されており、強固な知的財産基盤を構築しています。

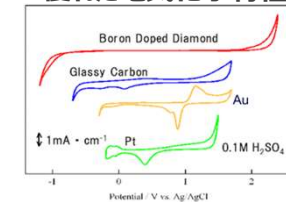
BDD 電極の優れた特長

Boron Doped Diamond BDD



栄長泰明教授の先進的な研究成果

ダイヤモンド電極の 優れた電気化学特性



広い電位窓

圧倒的な耐久性

表面化学種の制御が可能
活性化学種の効率的生成

CO₂ reduction

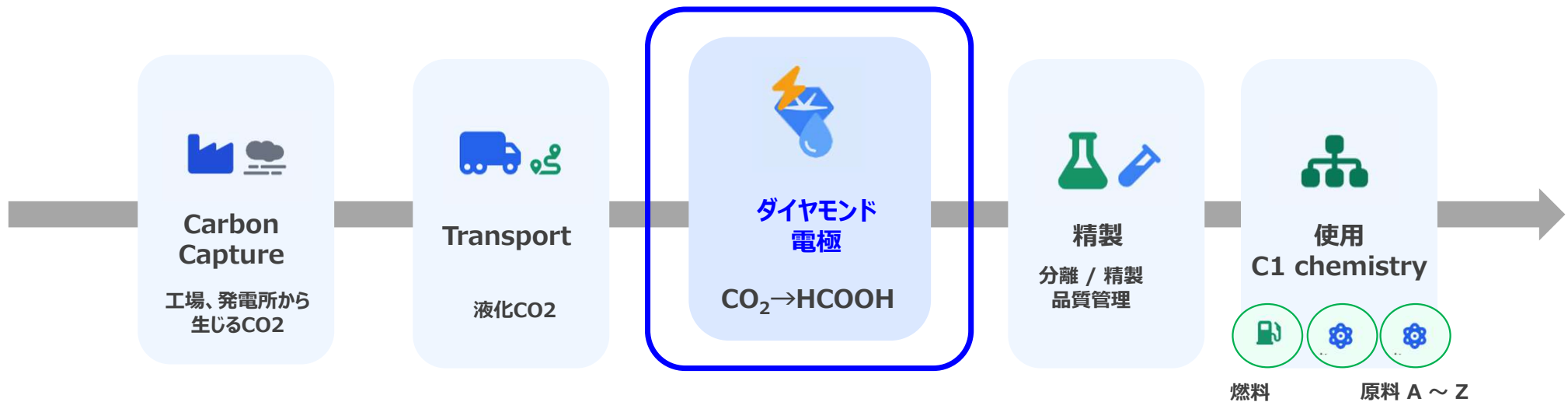
95%
ファラデー効率
(ギ酸)

100%
選択性
(ギ酸)

**1000時間
+連続運転
圧倒的な耐久性**

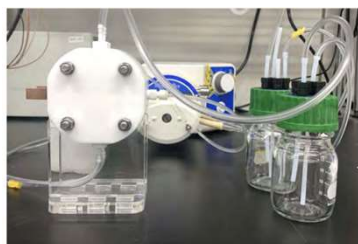
Business Model (ビジネスモデル)

ダイヤモンド電極によるCO₂電解（選択率ほぼ100%、耐久性1,000時間超）を活用し、CO₂の回収から利用までをつなぐスケラブルなカーボンリサイクル・バリューチェーンを推進しています。これにより、産業成長と環境持続性の両立を実現します。



Progress & Achievements (2018–2025)

単セルから**7セルシステム**へとスケールアップし、**年間250kg**の生産を達成。量産化に向けたCO₂変換の**スケラビリティ**を実証しました。

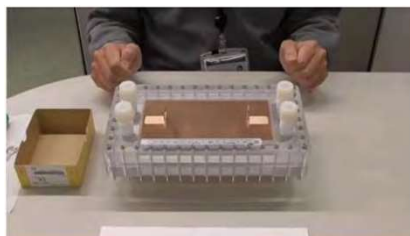


2018

最初の論文発表
(*Angew. Chem. Int. Ed.*, 2018)
9.62 cm² BDD Electrode



2020~
(Fundamental)



2021

大型化したプロトタイプ電極の完成
200 cm² BDD Electrode



2022~



カーボンサイクル実証研究拠点
(広島県：大崎上島)



2023

プロトタイプ設計
[ラボスケール]



2024

7セルシステムへ拡張
[ベンチスケール]

2018

最初の論文発表: 100% ファラデー効率
(*Angew. Chem. Int. Ed.*, 2018)
9.62 cm² BDD 電極

2020

NEDO Project 開始
(資源循環に向けた基礎技術の開発)

2022

NEDO Project 開始
(資源循環についての**研究開発** @実証研究拠点)

2023-2024

200cm²の電極を用いた“ラボスケール装置”と
“ベンチスケール装置”の設計

2025~

商用化へ向けた取り組み

Core Technology (私たちのコア技術)

7セルでの並列処理の実証に成功。

今後はEPC企業との協業により商用スケールへの拡大を進め、最適なユニットサイズやコスト効率を検討します。

栄長 研究室

コアとなる ノウハウ

ノウハウを蓄積し、セルの性能を最大化する



- CO₂溶解法（気体分散、溶解効率の最適化）
- 液体流制御（流体設計の最適化）
- 温度・圧力制御（反応環境の精密管理）

コアとなる技術



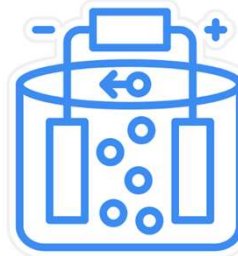
BDD (Boron Doped Diamond)

- 世界トップレベルの選択性
- 卓越した電極耐久性（競合比）
- 2-3年ごとのセル性能の大幅改善
- 基本特許を取得済み



X

EPC企業とのパートナーシップによりスケールアップ



- 7セル並列システムを実証
 - 単セル段階を超え、量産フェーズへ移行
- Next step: **EPC企業との協業**により生産能力を拡大する
- 仕様・コスト：最適なユニットサイズを仕様、コスト、運転条件を考慮して決定する。
- 目標：産業導入に向けたスケラブルで高効率、かつコスト競争力のあるシステムを構築する

EPC companies

Our Challenges to come (これからの挑戦)

CO₂リサイクルの社会実装に向けて、バリューチェーンの構築、EPC企業とのモジュール設計検証、市場拡大に向けた顧客開拓を推進しています。

バリューチェーンの確立

シームレスなCO₂バリューチェーンを構築／化学メーカーと用途開発／市場拡大へ

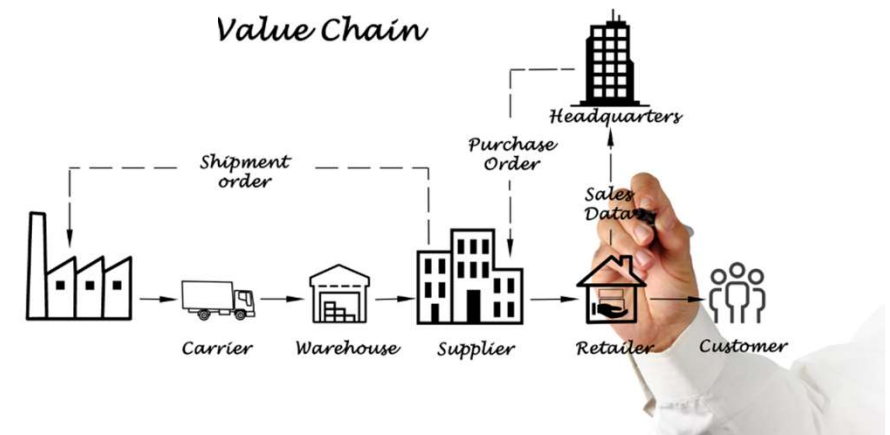
顧客開拓

CO₂由来のギ酸について、最終ユーザーを特定・発掘するとともに、C1化学におけるダウンストリーム展開を進めます。

EPC企業*と最適モジュールサイズの検討

EPC協業で産業規模量産へ／モジュールサイズ・コスト・運転を最適化

*EPC 企業 :Engineering, Procurement, and Construction 会社



Marketing Strategy (市場開拓戦略)

既存のギ酸用途から新たな高成長市場へと展開しつつ、喫緊の脱炭素ニーズにも応えます。

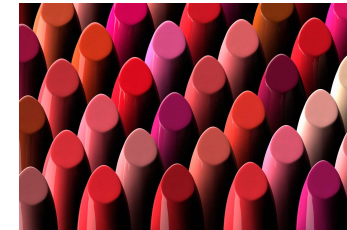
Existing Market

■ 既存のギ酸市場

現在のギ酸市場は競争ではなくパートナーと捉えています。アライアンスを組むことで、CO₂由来のギ酸を既存の流通チャンネルに統合することが可能です。

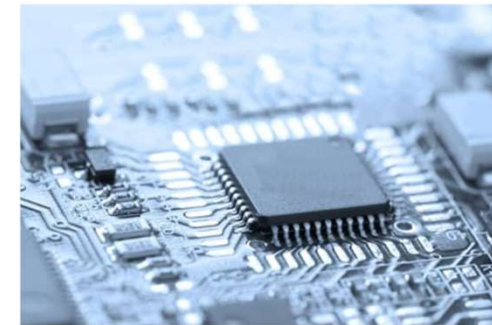
■ マテリアル市場

CO₂由来のギ酸を評価する市場、顧客を探索する、例えば、化粧品や機能性素材用途



半導体 向け 特殊ガス

- 急成長を続ける半導体市場向け特殊ガス
- 半導体製造企業は、GHG 排出に対する対応が求められている。
- 製造工場におけるCO₂循環：工場でCO₂を確保し、電気分解して再利用する。



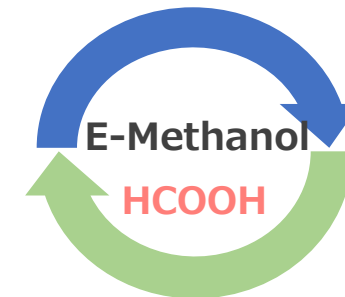
新市場

Long
Term

■ E-メタノール

ギ酸と水素を利用することで、新たな持続可能なエネルギー源であるe-メタノールを製造できます。

e-水素研究の進展と歩調を合わせ、増大するエネルギー需要に応えるとともに、低炭素社会への貢献を実現します。



Project Organization and KSIP (プロジェクト推進体制とKSIP)

強力な慶應のエコシステム — 研究・ビジネス・投資を結集し、研究室から市場へのイノベーションを推進します。KSIP採択された本プロジェクトを3社の連携により推進していきます。

KSIP (Keio Startup Incubation Program)は、慶應の研究者や学生によるディープテック・スタートアップの立ち上げと成長を支援する、大学全体のプログラムです。事業計画、資金調達、メンタリングを通じてサポートを行います。

