

Carbon Rush Project

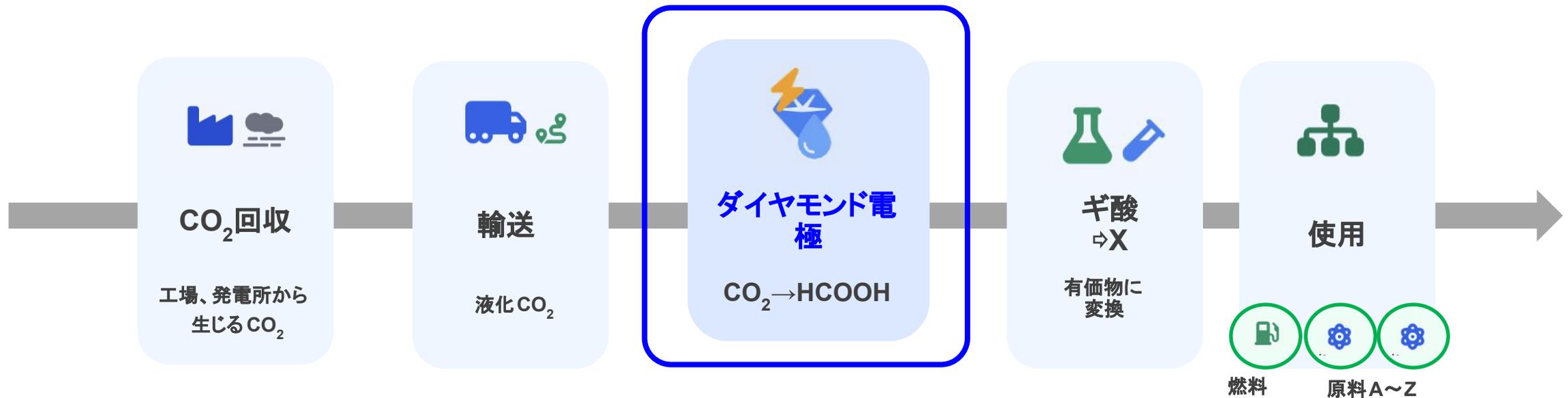
「CO₂を価値に変えるギ酸 ×ダイヤモンド電極が拓く新しい産業モデル」

慶應義塾大学
イノベーション推進本部
客員起業家(EIR)
相馬 正護

慶應義塾大学
理工学部 教授
栄長 泰明

バリューチェーン

■ 栄長研究室が世界に先駆け研究開発を進めてきた【ダイヤモンド電極】を中心に据え、
CO₂をギ酸(HCOOH)へ変換する技術 が本ビジネスの核



温暖化物質である CO₂を資源として循環利用する画期的な取り組み

事業としての優位性

- **CO₂と水を原料**として、**化石燃料を必要とせず** CO₂から**直接**ギ酸を**電気分解**で生成できる

選択性100%(ダイヤモンド電極)
電解効率約100%(ダイヤモンド電極)
卓越した耐久性(ダイヤモンド)

- ギ酸は**常温で液体**であるため**取り扱い・貯蔵・輸送が容易**
- **実用化・事業化に向けた課題とその解決方法が明確**

ギ酸とは何か？

これまで



皮なめし

■ 皮なめし

皮 → 革 に変わる



家畜の飼料保存料

■ 動物飼料の保存料

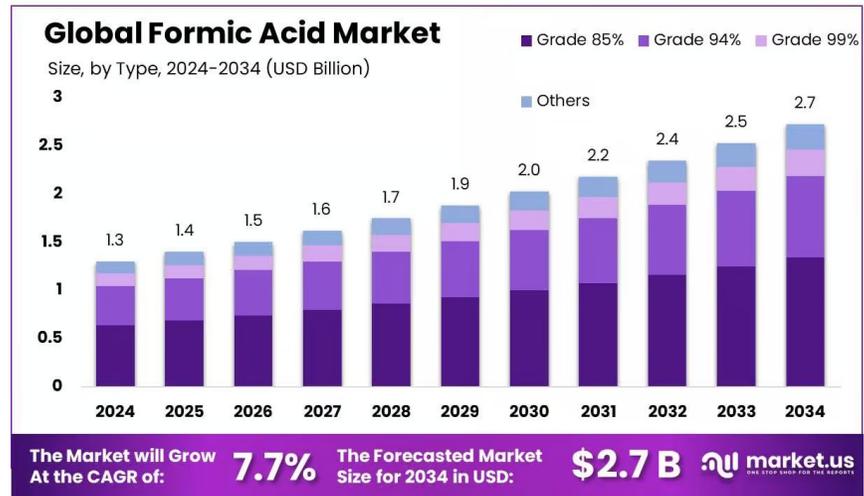


HCOOHはニッチな化合物

■ 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

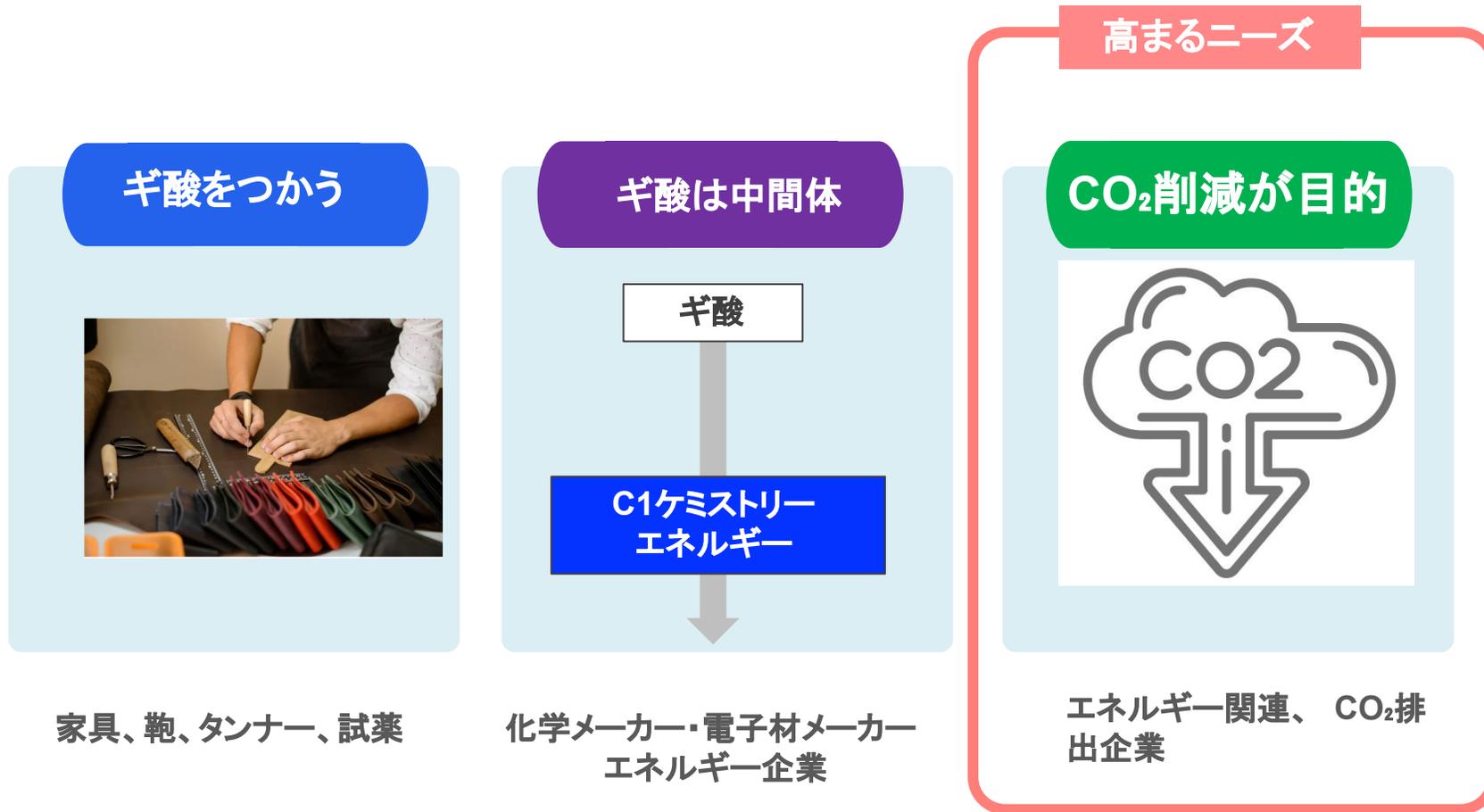


■ ギ酸の市場規模はおよそ 1.4 billion USD (2025), であり今後も堅調に成長する

■ 今なお化石燃料由来の製法で製造、高いCO₂負荷が課題となる

ギ酸のニーズ

- 顧客候補企業のヒアリング結果を通じて3つのニーズ・ペインがあることが分かった。
- そして大きなペインがあるのが「CO₂削減」ニーズであることが分かった。



主な企業像

家具、鞆、タンナー、試薬

化学メーカー・電子材メーカー
エネルギー企業

エネルギー関連、CO₂排
出企業

ギ酸(HCOOH)とは何か？

常温で
液体

- 液化天然ガスは-162°で液体化

保管が容易

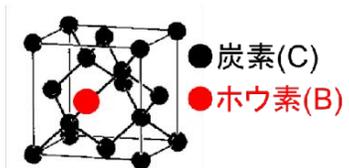
- 濃度が85%質量以下であれば毒物に該当しない。
- 高圧ガス・危険物に該当せず保管が容易

炭素キャリア
&
水素キャリア

- 再生可能エネルギーの議論では、グリーン水素をどう供給するかが議論になる

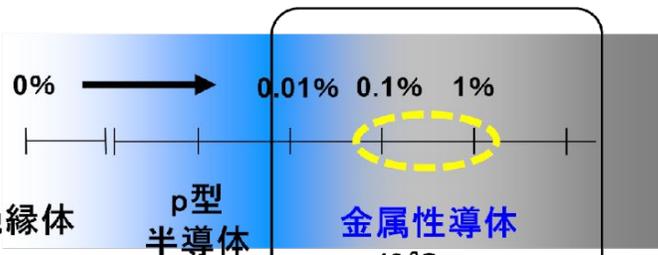
ダイヤモンド電極

ダイヤモンド電極の優れた電極特性



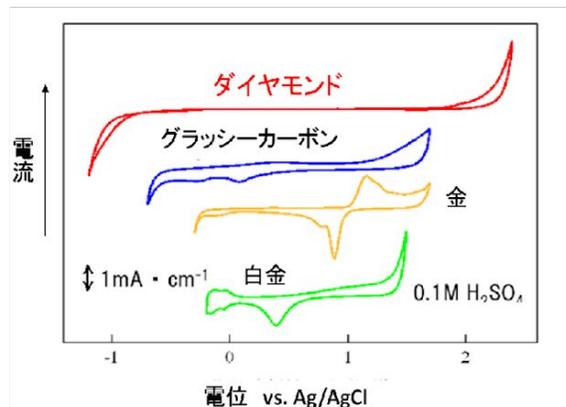
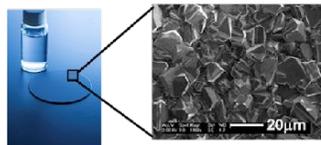
ホウ素を高濃度にドーピングした
「導電性ダイヤモンド」
Boron-doped Diamond (BDD)

[B] / [C]
ホウ素
ドーピング率



多数の
研究開発

$10^{-2}\Omega\text{cm}$
↓
ダイヤモンド電極



広い電位窓
小さな充電電流
活性種の効率的生成
⇒優れた電極特性

耐久性・安定性

栄長泰明「ダイヤモンド電極」共立出版 (2015).

Y. Einaga, et al., *MRS Bull.* 39, 525 (2014).

Y. Einaga, et al., *Nature Biomed. Eng.* 1, 654 (2017).

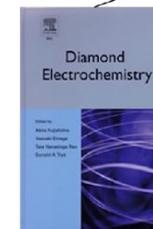
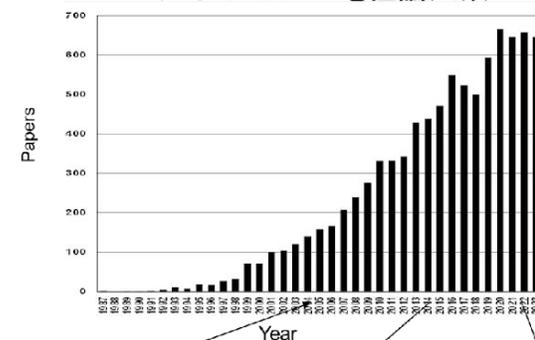
Y. Einaga, et al., *Chem. Soc. Rev.* 48, 157 (2018).

Y. Einaga, *Acc. Chem. Res.* 55, 3605 (2022).

JST-CREST (2011-2015)
JST-ACCEL (2014-2020)
NEDO (2020-2026)

代表：
栄長泰明

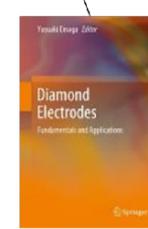
ダイヤモンド電極論文数



世界初
2005

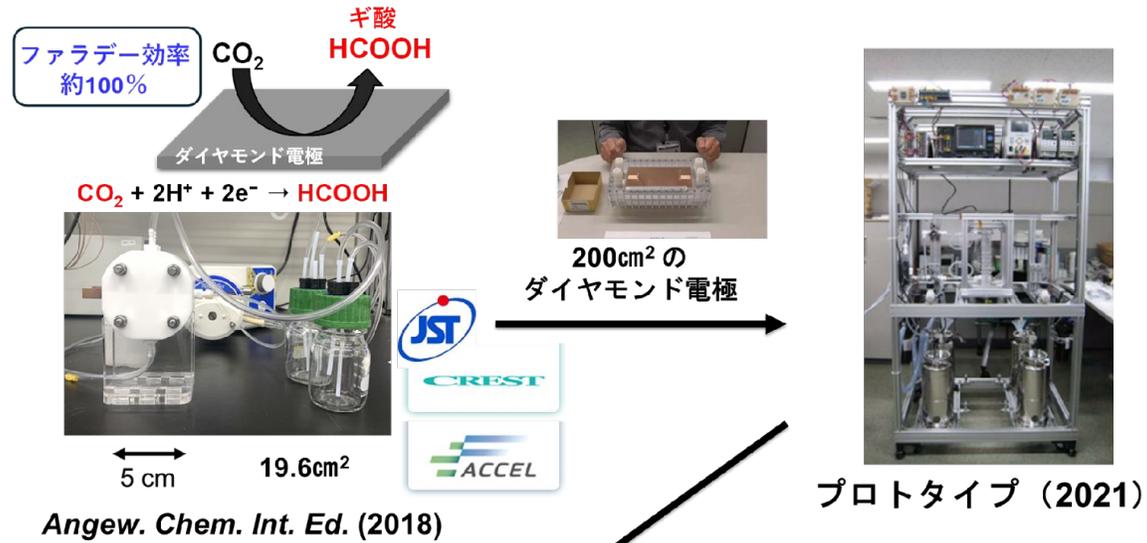


国内初
2015



最新刊
2022

ダイヤモンド電極

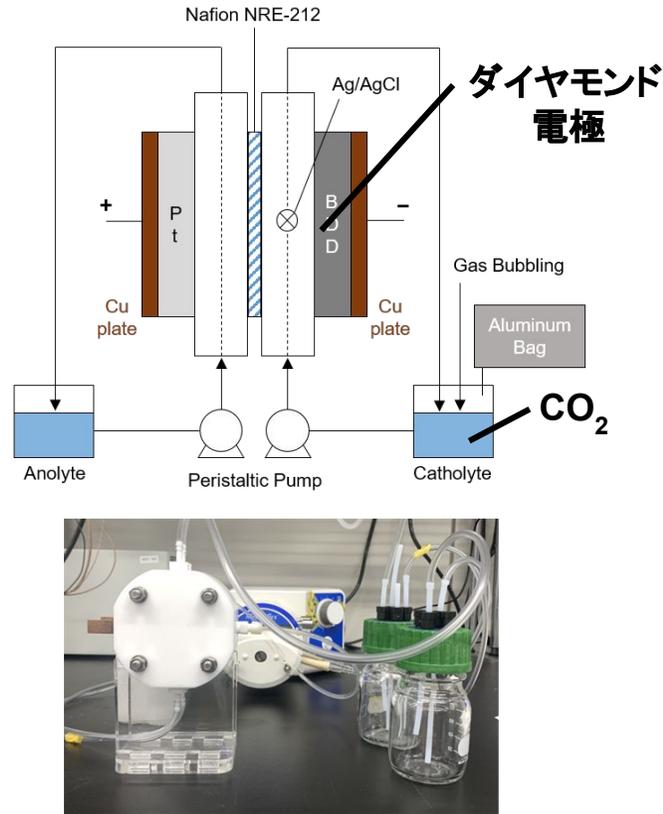
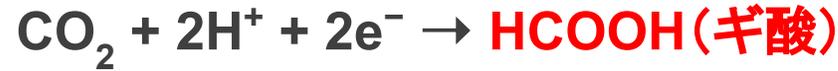


ファラデー効率
80%超

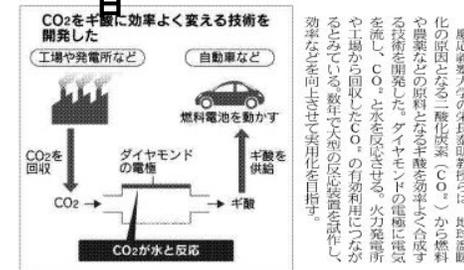
安定的ギ酸生成
4g/h

■ スケールアップが可能であることを実証、ベンチスケールにて250kg / 年を達成

CO₂からのギ酸製造



日経産業新聞 2018年2月22日



慶大が技術開発 電極に人工ダイヤモンド活用

CO₂を半量に効率よく変える技術を開発した。工場や発電所など、自動車など燃料電池を動かす。CO₂を回収し、CO₂と水を反応させる。火力発電所や工場から回収したCO₂の有効利用につながる。効率を向上させて実用化を目指す。

慶応義塾大学の長泰明教授は、地球温暖化の原因となる二酸化炭素(CO₂)から燃料や農業などの原料となるギ酸を効率よく合成する技術を開発した。ダイヤモンドの電極に電気を流し、CO₂と水を反応させる。火力発電所や工場から回収したCO₂の有効利用につながる。効率を向上させて実用化を目指す。

CO₂からギ酸を作る技術はあるが、電極に使われる白金などの金属が劣化して効率が落ちる問題があった。人工ダイヤモンドは耐久性が高く、繰り返し使用できる。研究チームは直径3・5ミリの厚さ1・5ミリの容器の側面にダイヤモンドを貼りつけ、C元素研究を進め、工業用水を溶かし込んだ水を流した。電極に電気を通すことで、CO₂が水の中の酸素イオンと反応してギ酸が合成される。1分間に約0・01リットルの割合で合成された。CO₂が溶けた水を流し、1時間で電極の直径が数センチに広がる。1平方センチあたり約100ギ酸も効率よく合成できる。人工ダイヤモンドは水が分解して酸素が発生する

CO₂からギ酸 効率合成

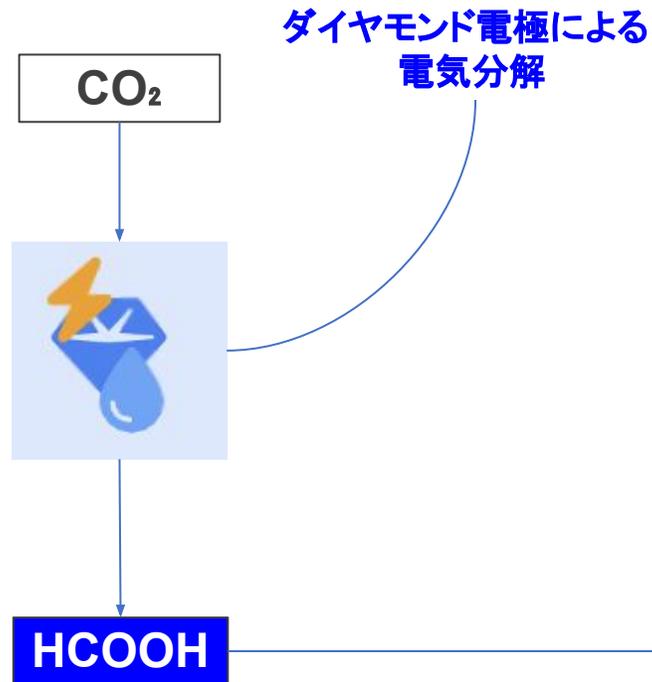
Angew. Chem. Int. Ed. 57, 2639 (2018).

電解効率(ファラデー効率) 95%

戦略構想

【ギ酸】をゲートウェイに据え、CO₂循環からC1ケミストリーへと展開していく

これから



- 優れた輸送性と保管性 (常温で液体)
- 多くの人にとっては、見落としていた化合物

C1 ケミストリー

CH₃OH
(E-Methanol)

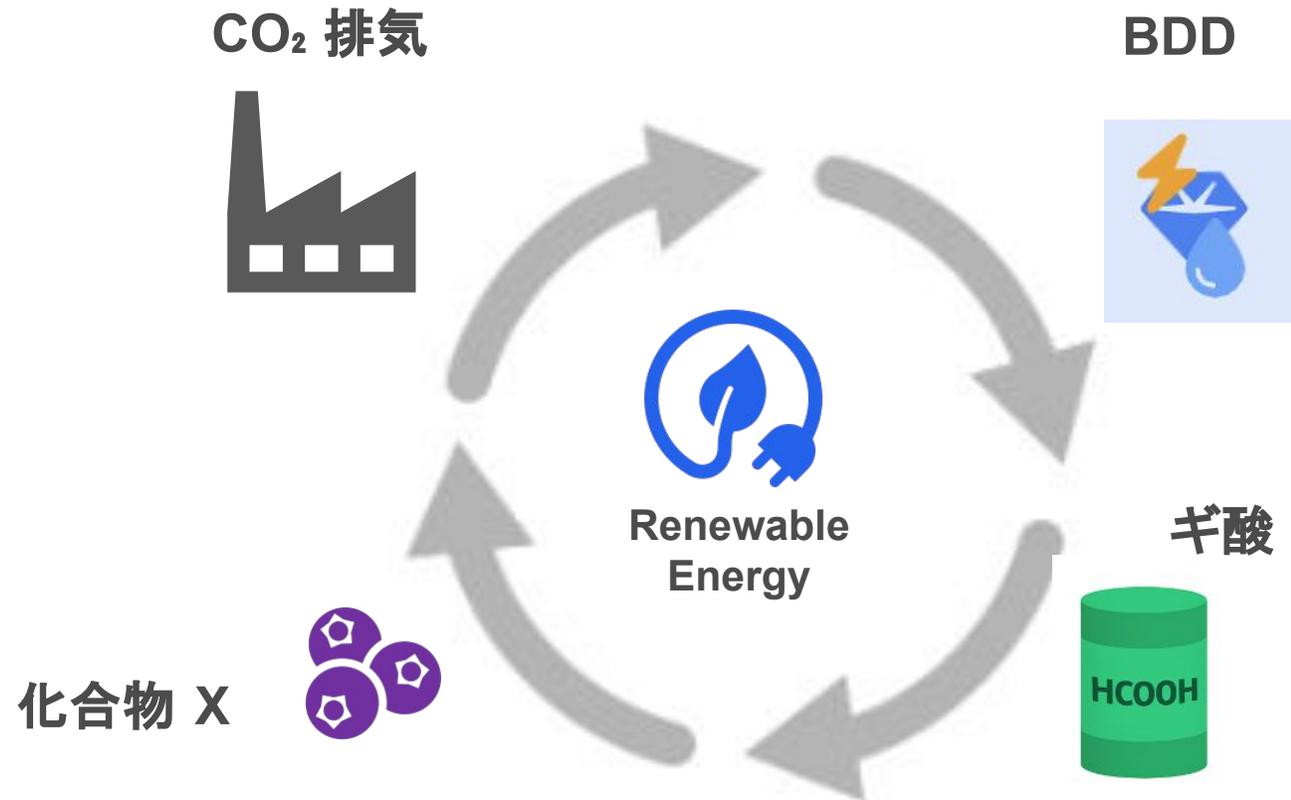
C₂H₅OH

A

B

C

オンサイト循環モデル



- 工場から排出されるCO₂ を捉えて、BDDで電気分解を速やかに実施する (低コスト, 輸送不要)。
- 再生可能エネルギーを用いて電気分解を行う (優れた環境性)
- 用途に応じて、ギ酸を化合物Xに転換する
- CO₂循環を工場内で実現する、【オンサイト循環モデル】