

BECCSを活用したFT合成によるSAF製造：三菱重工業（日本）

- 三菱重工と東洋エンジニアリングは、ガス化FT合成※プロセスの事業性（競争力）を確保し、日本国内での航空燃料の需要を担うためにBECCS※を活用したビジネスモデルの実現可能性を検証。

- 国内調達では原料不足から大規模化できず、CO₂削減効果は十分でないが、海外で事業を行った場合、SAF供給量は1地点あたり5～10万kl/年。HEFA法と比較して2.5倍以上のCO₂削減効果があるが、HEFA法よりは高価となる見込み。
- 農業残渣の活用を想定し、有望な原料でSAF製造の原料評価及び前処理技術の検証を実施中。
- 農業残渣の活用により、木質バイオマスと比較して低価格になること、原料の安定供給、高いCO₂削減効果が期待。

【社会実装状況】

• 実証段階

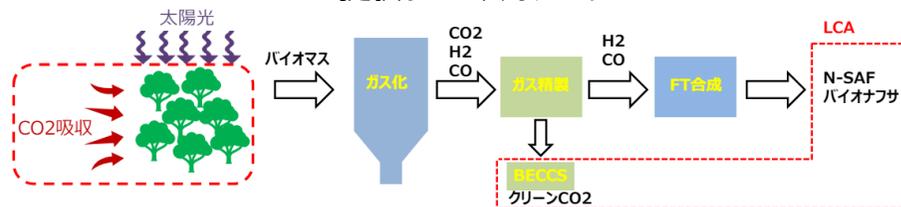
【予算】

• 記載なし

※FT合成とは、廃木材、林地残材、農業残渣、紙ごみ等をガス化した後、ガス分子の結合により灯油と同じ構造の液体燃料にする方法。

※BECCSとは、CO₂回収・貯留技術（CCS）とバイオマスエネルギー（BE）を結び付けた技術を指す造語。エネルギー利用の為にバイオマスを燃焼した場合はカーボンニュートラルとみなされるが、このバイオマス燃焼時のCO₂を回収・貯留することで、CO₂排出量は純減となる。

提供サービスイメージ



農業残渣の種類・特色

| 種類 | 主産物 | 特色 |
|--------|------------|--|
| EFB | パーム オイル | EFB（パームヤシ空果房）はパームオイルの生産プロセス上やむなく排出されるため、LCA（ライフサイクルアセスメント）及び土地利用変化に伴うCO ₂ 排出量はゼロと評価。1年を通じて供給され、数百t/日程度確保可能。 |
| もみ殻 | 米 | もみ殻は米の生産プロセス上やむなく排出されるため、LCA及び土地利用変化に伴うCO ₂ 排出量はゼロと評価。季節によって生産量が異なり、数～数十t/日程度確保可能。他原料と混焼する使い方が最適。 |
| ミスカンサス | — | 主産物に該当する為、原料生産に関わるLCA評価が必要だが、土地利用変化に伴うCO ₂ 排出量がマイナスであることから、他原料と比較してLCAが低い特徴を有する。荒地で栽培可能であり、SAF製造計画に併せて必要量を栽培。 |

CH₄の除去技術：王立工科大学（スウェーデン）等

• スウェーデンの王立工科大学等は、畜舎に設置して空気中のメタン(CH₄)を分離又は変換する技術を検証。

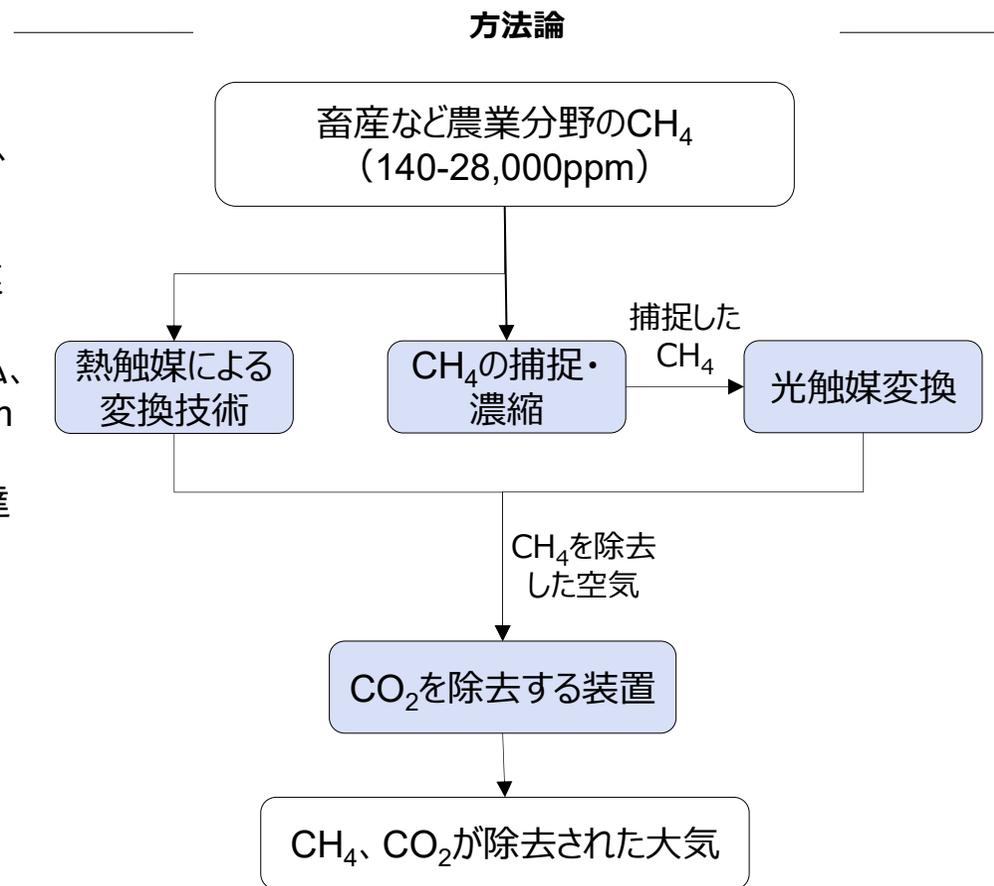
- CH₄は大気中の濃度が低いため除去が困難。また、EUのCH₄排出量の約50%を農業部門が占める。
- 開発中のCH₄の除去技術は①熱触媒により低温燃焼する技術と、②捕捉して光触媒変換する技術の2つ。
- (技術①) 通常、CH₄の燃焼が可能となる最低濃度は50,000ppmであるが、低濃度CH₄ (10-10,000ppm) の熱触媒による低温燃焼の技術を検証。
触媒としては、遷移金属系酸化触媒（コバルト、マンガン、バリウム、ニッケル等）を使用。酸化コバルト（Co₃O₄）触媒は濃度10ppmのCH₄に対し、380℃で90%の変換率を達成。また、マンガンを添加した触媒（Co₃O₄-MnxOy）により330℃で90%の変換率を達成。
- (技術②) 空気中のCH₄を効率的に分離、変換するフィルターを開発するために、NIST/ARPA-E Database of Novel and Emerging Adsorbent Materialsの8,000以上の吸着剤のデータを基に素材をスクリーニング。また、酸化チタンや酸化銅/酸化亜鉛ベースの光触媒システムの活用を検討。

【社会実装状況】

• 実証段階（TRL 3-4）

【予算】

• Horizon 2,996,941ユーロ（2022年10月～2026年9月）



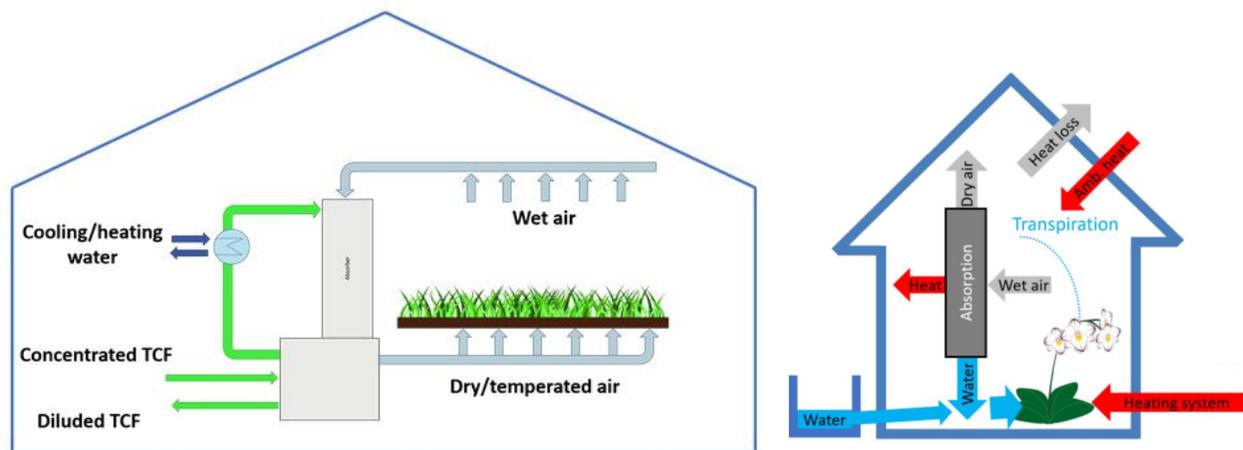
出典：REPAIR, <https://repair-eu.com/>より作成
 ①<https://repair-eu.com/2024/11/18/mitigation-of-methane-from-low-concentration-sources-using-transition-metal-based-oxidation-catalysts/>
 ②<https://repair-eu.com/2024/09/04/screening-materials-for-removal-of-methane-ch4/>

温室農業における熱化学流体の応用：チューリッヒ大学（スイス）

- スイスのチューリッヒ大学は、温室農業のエネルギー効率改善を目的として、高濃度の塩化マグネシウム水溶液（熱化学キャリア溶液：TCFとよばれる）の吸湿により発熱する特性を利用し、加熱、湿度制御をする技術を研究。

TCFを利用した温室のエネルギー循環

- 温室内の植物の蒸散によって生成された湿った空気をTCFが吸湿し、熱を放出することにより加温。
- 温室内の空気を循環させ、TCFにより湿度を調節できるため換気の必要がなくなり、室温の低下を防止。
- 吸湿したTCFを再生するため、温室の外で熱を与えて水を蒸発させる必要があるが、この過程で必要なエネルギーは太陽熱や残留熱等の低温熱。



【社会実装状況】

- 研究段階

【予算】

- HORIZON2020
- 4,651,865ユーロ
- 2020年9月～2024年5月



1 GHG削減 ② その他

ダイレクト・オーシャン・キャプチャ：キャプチュラ（米国）

- 米国カリフォルニア工科大学発のスタートアップであるキャプチュラ（2021年設立）は、大気よりも海水でCO₂濃度が高いことに着目し、独自の膜により海水からCO₂を回収する事業を実施。
- 現状ではダイレクト・オーシャン・キャプチャ（DOC）のコストは高いが、海洋酸性化の影響のある海面養殖とのシナジーに期待する声もある。
- 海水の1%をバイポーラ膜電気透析装置（アニオン交換膜とカチオン交換膜を張り合わせた構造。水を2層の間で電離し、生じたH⁺とOH⁻を各電極に引き寄せる。）を用いて塩酸と水酸化ナトリウムに分離。
- 生成した塩酸を海水に加えてpHを約8.1から4に変化させ、海水中の溶存無機炭素を溶存CO₂に変換しガス抽出システムにより分離。海水は水酸化ナトリウムを加えて中和後に放流。
- ロサンゼルス港の海洋研究施設AltaSeaに設置されたパイロットプラントでは100トン/年の回収であるが、2024年設立のハワイオーシャンサイエンス&テクノロジーパークに設立するプラントでは1000トン/年の回収を予定。
- バイポーラ膜電気透析装置の膜は現在市販のものを使用しているが、キャプチュラ独自の膜を開発することでシステム効率を7～10倍向上予定。
- 電気透析とガス抽出システム、膜の改良によって回収効率を高め、100～200ドル/トンを実現する予定。

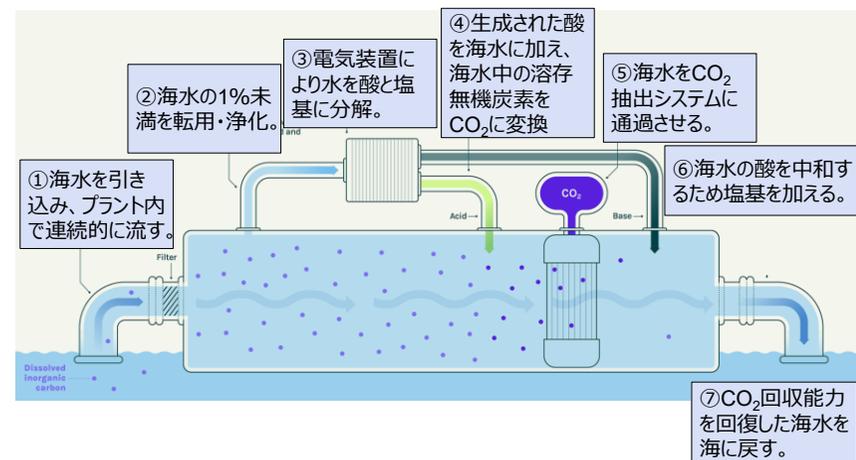
【社会実装状況】

- 実証段階（TRL 6）
社会実装に向けて、コスト削減、大規模展開技術の実証やCO₂除去量を正確に測定するシステムを検証。

（資金調達）

- シリーズA 3350万ドル（2024年1月時点）
- フューチャー・プラネット・キャピタル、エクイノール・ベンチャーズ、日立ベンチャーズ等が出資

キャプチュラのDOCシステム



CO₂回収100トン/年規模の施設



回収したCO₂は地中貯留又は燃料生産やコンクリート製造での利用を想定。

農業生態系における炭素循環定量化：ミネソタ大学（アメリカ）

・ミネソタ大学とイリノイ大学が、農業生態系の炭素循環に関する正確かつ高解像度の予測モデルを開発。

- 従来使用されてきたプロセスベースモデル（PBモデル）であるecosys[※]やデータ駆動型機械学習（MLモデル）では難しかった農業生態系における炭素循環の定量化について、PBモデルの合成データ（作物収量、植物の光合成による炭素固定量、土壌炭素の変動率、気候データ、土壌特性など）を活用しながら機械学習の計算効率と予測精度を向上させる知識主導型機械学習（KGML）フレームワークを開発。
- 炭素フラックス[※]の定量化に関する精度0.94-0.96を達成。従来のPBモデルの値は0.67-0.89および0.59-0.88。土壌有機炭素の変動値の推定精度は実測値に近似。
- アメリカのコーンベルトを実証先として使用した結果、開発したKGMLは炭素循環の定量化が従来のPBモデルと比較して1万倍以上高速。
- 農業生態系の炭素循環を正確かつ費用対効果の高い方法で定量化するMMRV[※]の開発に寄与。

【社会実装状況】

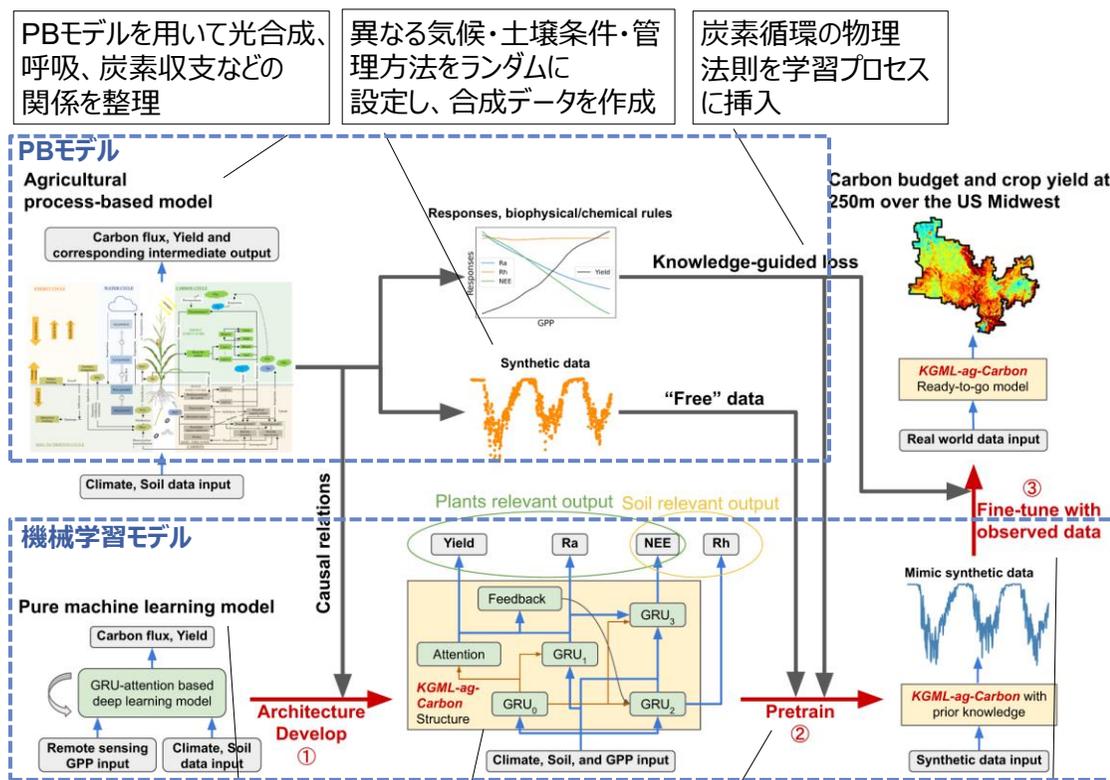
・実証段階

※ecosys：土壌管理のための炭素および窒素の動態のモデリング。詳細は、Grant, R. A Review of the Canadian Ecosystem Model—ecosys. in Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management (CRC Press, 2001)。

※炭素フラックス：炭素プール間の炭素の移動。

※MMRV：農業でのGHG排出量の信頼性のある測定、監視、報告、検証。

KGML開発の流れ



機械学習モデルを構築し、時系列データを適切に処理できるように設計

KGMLモデルを4つの主要サブモジュールで構成し、炭素フラックスの各プロセスを個別に学習

PBモデルを使って大量の合成データ（シミュレーションデータ）を作成しKGMLモデルを事前学習

より現実的な炭素フラックスを予測できるようにするため、実測データを用いてKGMLモデルの精度を向上

Yield：作物収量 Ra：独立栄養呼吸 NEE：ネット生態系炭素交換 Rh：従属栄養呼吸

出典：Nature Communications Published:08 January 2024

DOI:https://doi.org/10.1038/s41467-023-43860-5



バイオガスから医農薬原料やポリマーの合成：神戸大学（日本）

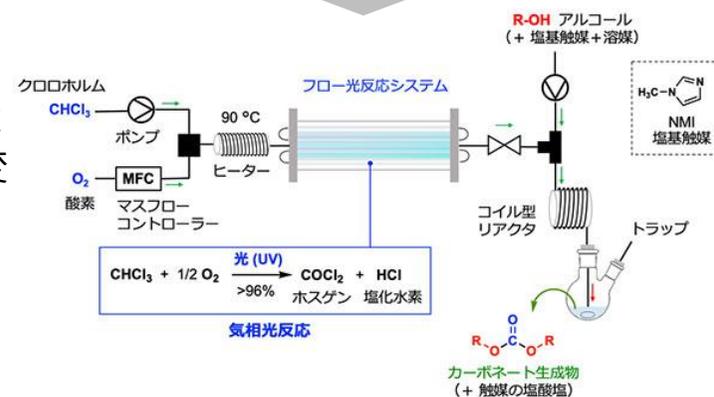
・神戸大学、神戸市、光オンデマンドケミカルが下水、家畜の糞尿、食品廃棄物等から発生するバイオガスを使って、医農薬原料やポリマーの合成に成功。

- ・ホスゲンは、医農薬やポリマーの原料として世界で大量に生産・消費されている物質。一酸化炭素と塩素の熱反応により得られる化合物で、水分と接触すると塩酸と二酸化炭素に加水分解。
- ・神戸大では2010年に世界で初めて光オン・デマンドホスゲン化反応の開発に成功し、2024年までに37件の国内及び国際特許を取得。2024年に光オンデマンドケミカル(株)を創業。
- ・メタン又はバイオガス（約60%のメタンと約40%の二酸化炭素を含む）と塩素を反応させて得たクロロホルムに対して酸素を加え、紫外線を照射することで、96%を超える変換率でホスゲンの合成に成功。ホスゲンと反応させる基質と触媒が速やかに添加され、発生したホスゲンを取り出すことなく、即座に反応が進行して生成物を合成。
- ・ホスゲン生成後の反応基質等を変えることにより、クロロギ酸エステル、カルボン酸塩化物、カーボネート、尿素誘導体、イソシアネート、エステル、芳香族アルデヒド、ニトリル化合物等の有用化学品の合成に成功し、計17種類の化合物の合成を達成（34～99%収率）。

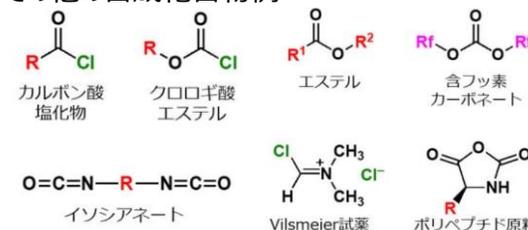
【社会実装状況】

- ・実証段階
- ・特許出願PCT/JP2024/36434（特願2023-176533のPCT出願）（資金調達）
- ・R6 NEDO NEP躍進（上限3,000万円）
- ・R6 KOBEゼロカーボン支援補助金（上限500万円）

光オン・デマンドホスゲン化反応を利用した 医薬品原薬、農薬原料等の流れ



その他の合成化合物例



【用途】医薬品原薬・中間体、農薬原料、香料、接着剤、粘着剤、グリースなど

出典：光オンデマンドケミカル株式会社、神戸大学より作成
<https://www.kobe-u.ac.jp/ja/news/article/20241016-66152/>
https://www.kobe-u.ac.jp/ja/news/article/2022_11_16_01/