

F-REI座談会（浜通り地域等・エネルギー分野）ご説明資料

F-REIのエネルギー分野における 研究開発の概要



2025年7月11日

福島国際研究教育機構（F-REI）

エネルギー分野 矢部 彰、秋田調、錦谷禎範

福島国際研究教育機構 (F-REI) (令和5年4月1日設立) の概要



福島国際研究教育機構 (以下「機構」) は、**福島をはじめ東北の復興を実現するための夢や希望**となるものとともに、**我が国の科学技術力・産業競争力の強化を牽引し、経済成長や国民生活の向上に貢献する、世界に冠たる「創造的復興の中核拠点」**を目指す

- 内閣総理大臣 復興大臣
- 文部科学大臣
- 厚生労働大臣
- 農林水産大臣
- 経済産業大臣
- 環境大臣

主務大臣として共管
7年間の中期目標・中期計画
※機構が長期・安定的に運営できるように必要な予算を確保

福島国際研究教育機構(F-REI)

Fukushima Institute for Research, Education and Innovation
〔福島復興再生特別措置法に基づく特別の法人〕

理事長：山崎光悦 (前金沢大学長)

理事長のリーダーシップの下で、**研究開発、産業化、人材育成等を一体的に推進**

- 研究者にとって魅力的な研究環境 (国際的に卓越した人材確保の必要性を考慮した給与等の水準などを整備)
- 若手・女性研究者の積極的な登用

国内外の優秀な研究者等

将来的には**数百名**が参画

研究開発

- 福島での研究開発に優位性がある下記5分野で、被災地や世界の課題解決に資する国内外に誇れる研究開発を推進

産業化

- 産学連携体制の構築
- 実証フィールドの積極的な活用
- 戦略的な知的財産マネジメント

人材育成

- 大学院生等
- 地域の未来を担う若者世代
- 企業の専門人材等

に対する人材育成

司令塔

- 既存施設等に横串を刺す協議会
- 研究の加速や総合調整のため、一部既存施設・既存予算を機構へ統合・集約

機構が取り組むテーマ ※新産業創出等研究開発基本計画 (R4.8.26策定)

【①ロボット】

廃炉にも資する高度な遠隔操作ロボットやドローン等の開発、性能評価手法の研究等



ロボット・ドローンを活用した被災者の捜索・救助

【②農林水産業】

農林水産資源の超省力生産・活用による地域循環型経済モデルの実現に向けた実証研究等



農林水産業のスマート化 (農機制御システム)

【③エネルギー】

福島を世界におけるカーボンニュートラル先駆けの地にするための技術実証等

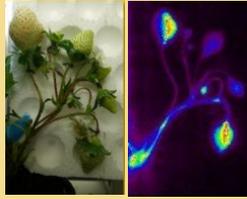


再エネ水素 → CO₂ (吸収) → CO₂ (発酵) → 基礎化学品 合成燃料等

カーボンニュートラルの実現 (バイオ・ケミカルプロセスによる化学製品等の製造)

【④放射線科学・創薬医療、放射線の産業利用】

放射線科学に関する基礎基盤研究やR Iの先進的な医療利用・創薬技術開発及び、超大型X線CT装置による放射線産業利用等



放射線イメージング技術の研究開発

【⑤原子力災害に関するデータや知見の集積・発信】

自然科学と社会科学の融合を図り、原子力災害からの環境回復、原子力災害に対する備えとしての国際貢献、更には風評払拭等にも貢献する研究開発・情報発信等



復興・再生まちづくりの実践と効果検証研究

<機構及び仮事務所の立地>
円滑な施設整備、周辺環境、広域波及等の観点から、以下に決定

本部：ふれあいセンターなみえ内
本施設：浪江町川添地区



福島国際研究教育機構の設置効果の広域的な波及へ

- 機構を核として、市町村、大学・研究機関、企業・団体等と多様な連携を推進
- 浜通り地域を中心に「世界でここにしかない研究・実証・実装の場」を実現し、国際的に情報発信

F-REI本部と立地予定地の概況



← 立地予定地 航空写真

〔 国土地理院撮影の空中写真
(2022.5撮影) を加工して作成 〕



- ◆ プレハブを設置。
研究開発推進部を配置。



- ◆ 「ふれあいセンターなみえ」の一部を借用。
役員等や総務部を配置。

福島国際研究教育機構（F-REI）の組織体制

理事長特別顧問

理事長

国際アドバイザー
アドバイザーリーボード

監事



森下 信



中西 友子



山崎 光悦

理事



高谷 浩樹
(運営総括)



江村 克己
(研究開発管理)

執行役



野口 康成
(事業企画・産業化)



大和田 祐二
(人材育成・国際・外部資金)



木村 直人
(理事長特命)

広域連携監



村田 文夫
(広域連携・福島RTF)

運営管理部門

監査室

総務部

総務課

広報室

人事課

財務課

経営企画課

研究開発推進部

研究開発企画課

研究評価・インテグリティ室

研究開発推進第一課

研究開発推進第二課

人材育成推進課

国際・産学官連携推進課

研究開発部門

分野長等

研究開発支援室

研究開発ユニット（14ユニット）

※研究開発ユニット詳細は次ページ以降

分野長等	ロボット	野波分野長
		松野副分野長
	農林水産業	佐々木分野長
		荒尾副分野長
	エネルギー	矢部分野長
		秋田副分野長
		錦谷副分野長
	放射線科学・創薬医療	片岡分野長
		山下副分野長
		茅野副分野長
		絹谷副分野長
	原子力災害に関するデータや知見の集積・発信	大原副分野長

➤ 専門的知見を活かし、各分野における研究開発を戦略的に推進

研究開発ユニット	ロボット	遠隔操作研究ユニット
		自律化・知能化・群制御研究ユニット
		燃料電池システム研究ユニット
		パワーソフトロボティクスユニット
	農林水産業	土壌・植物マルチダイナミクス研究ユニット
		土壌ホメオスタシス研究ユニット
	エネルギー	水素エネルギーシステム安全科学ユニット
		森林バイオマス活用有機合成ユニット
	放射線科学・創薬医療	植物イメージング研究ユニット
		放射線基盤技術開発ユニット
		放射性創薬ユニット
	原子力災害に関するデータや知見の集積・発信	地域環境共創ユニット ※
		原子力災害医科学ユニット
		大規模災害レジリエンス研究ユニット

➤ 5分野において、それぞれ研究を実施。

※これまでの放射生態学ユニットの研究とJAEA及びNIESが実施していた放射性物質の環境動態研究を踏まえ、地域環境共創ユニットとして再編（令和7年4月）

エネルギー分野 ユニットリーダー

分野	ユニット名	ユニットリーダー () は兼務先
エネルギー分野	水素エネルギーシステム安全科学ユニット 地産地消の水素エネルギーシステムを構築し、社会実装を目指すためのリスク評価を行うことにより、水素エネルギーシステムの安全確保に必要な研究開発等を行う。	迫田 直也 (九州大学 水素材料先端科学研究センター 教授/物性研究部門長) 慶應義塾大学大学院理工学研究科博士課程修了 (博士(工学)) 九州大学大学院工学研究院機械工学部門准教授を経て、現職 
	森林バイオマス活用有機合成研究ユニット 森林バイオマスを資源として活用し、化学品 (液体燃料等) を効率よく合成するための触媒技術等に関する研究開発を行う。	山口 和也 (東京大学大学院工学系研究科 教授) 大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了 (博士(工学)) 東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻にて教育と研究に従事 

1. 太平洋沿岸・沖合海域で、大型藻類の種苗生成・陸上養殖・大規模養殖方法を開発し、ブルーカーボンの推進、CO2固定能の評価手法を開発し、ブルーカーボンによるネガティブエミッションを推進する。
2. 阿武隈山地の森林バイオマス資源の活用、多収量で飼料にも活用できるバイオマス作物の作成技術、これらを原料とし、バイオ炭を製造して地中貯留および活用をする。さらに、小型FT合成装置等を開発し液体燃料の製造等も目指す。
3. 水素の地産地消による変動再エネの最大限の活用のための高効率水素エネルギーシステムの技術開発とその有効性の実証を、浪江町はじめ相双地域と連携して社会実証し、水素エネルギー活用の有効性を世界に情報発信する。

テーマ1：「ブルーカーボンー大型藻類を大量育成し、それを使い尽くすー」

毎年10月～翌年7月に10m以上に成長するマコブ（大型藻類）を研究対象

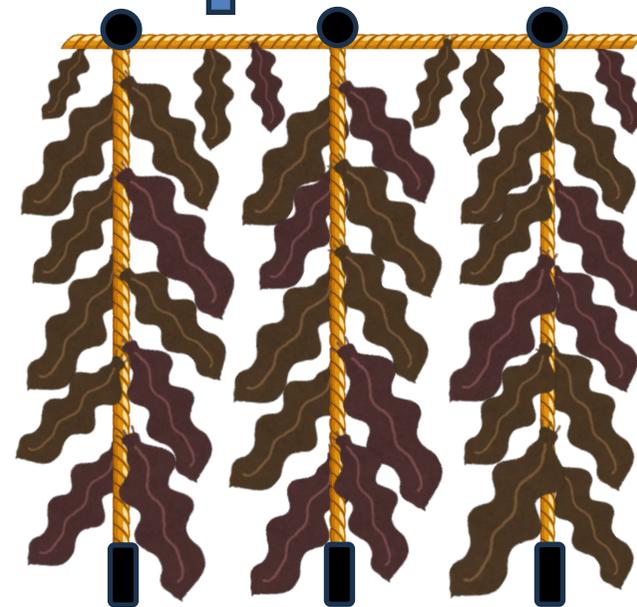
コブの陸上種苗（高温耐性種創出も）とヒトエグサの陸上育成【ヒトエグサは地域ニーズ対応】（理研食品）

食用利用（理研食品）

3次元大量育成法の確立（理研食品）

腐食分をメタン発酵
（東北大）

有用化学物質の抽出
（三重大）



3万本/ha、
10m×20cm×
1.5mm、炭素30%、
乾燥重量比0.1とす
ると10t/ha(CO2
吸収量)となる

CO2吸収量の測
定・推定⇒カーボン
ニュートラルへの貢
献量の定量化（福島
沖・日本沿岸での貢
献量推定）（理研
食品・長崎大）

バイオ炭にして製鉄への応用（カーボンニュートラルへの貢献）
（日鉄・JRCM）

総生産量の1/3程度は、成長過程で枯れて、その何割かは海底に堆積される
⇒100年くらい海底に蓄積されたままネガティブエミッションとなる。CCSとしての堆積量の科学的算出と国際標準化
（理研食品・長崎大）

浜通りの海を活用した産業化を目標とする。また、海1ha当たりのCO2固定量、カーボンニュートラルへの貢献量、ネガティブエミッションへの貢献量を算出し、ブルーカーボンの普及、国際標準化を目指す。

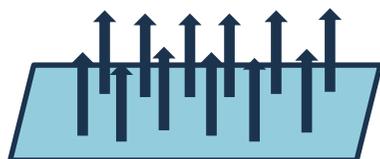
土地利用方法と年間のCO2固定量・排出量 (推定暫定値)

稲作 10t/ha (CO2吸収量)

- ①半分利用してバイオ炭 2.5t/ha
(バイオ炭製造時の熱利用も可能)
(岡山大、福島大)
- ②稲わらボイラー、もみ殻ボイラー
4t/ha (温室暖房[主な貢献]、CO2
利用で化石燃料代替)
もみ殻1t/haと半分の稲わら3t/ha利用
を仮定。カーボンニュートラル
- ③収穫した米、および、もみ殻からのシ
リカ (CO2増減への影響は小さい)

水田 (CH4発生により温暖化ガスの排
出がある) -5t/ha
中干しなどの間断かん漑によりCH4発生
を半減させることが期待される
-2.5t/ha **(岡山大)**

稲わら等をすき込む従来の水田耕作は、
温暖化ガスの発生源⇒吸収源化させる

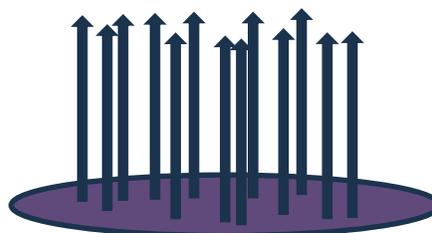


水田

ソルガム 42t/ha

(トウモロコシ年2回)
(都立大 資源化植物)

- ①バイオ炭にしてBECCS 21t/ha
(福島大)
バイオ炭燃焼 21t/ha
バイオ炭製造時熱利用可
- ②ソルガムボイラー (熱利用[主な貢
献]、CO2利用、化石燃料代替)
42t/ha
- ③ブタノール生産
効率20% 8t/ha
(東北大)
- ④FT合成で液体燃料生成(効率
20%) 8t/ha
(東大)



ソルガム

森林バイオマス 9t/ha(吸収)

490t/ha(伐採)

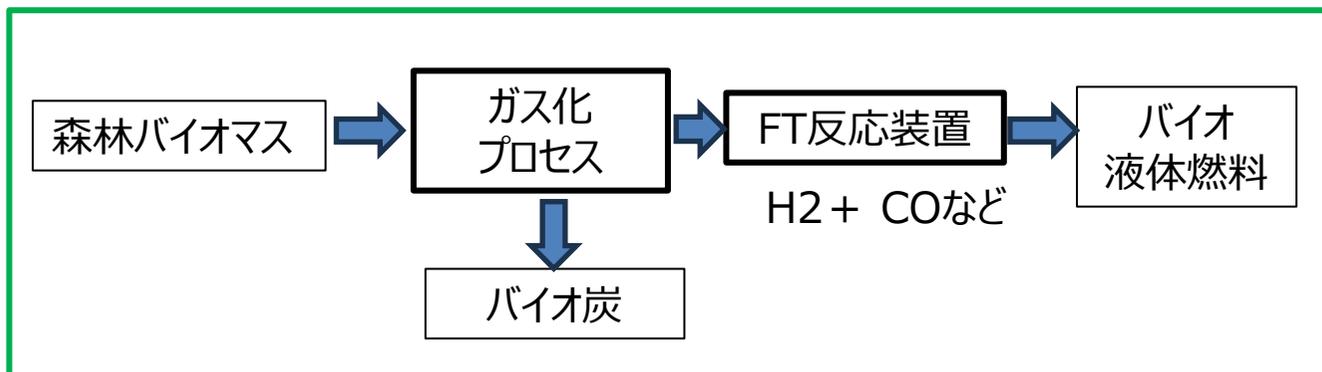
- ①バイオ炭にしてBECCS
245t/ha
(福島大・常磐火力)
- ②木質チップ利用(10%)
(ボイラー利用で、熱利用、CO2利用、
化石燃料代替)
49t/ha
- ③バイオ炭(10%)とFT合成バイオ液
体燃料生成(効率20%)
113t/ha(内バイオ炭25t)
(バイオ炭はネガティブエミッション)
(テーマ②-2、東大)



森林バイオマス

ネガティブエミッションに貢献するいくつかの土地利用方法を、経済性を含めて選択する

- ・残存セシウム量測定（落葉[有機物]と粘土粒子への付着が主、木質部は、樹皮と心材、辺材は、同程度）
- ・残存セシウム量測定後、森林にコンテナ搭載トレーラーで入り、伐採後、その場で、バイオ炭およびFT合成で液体燃料を製造する（東大）

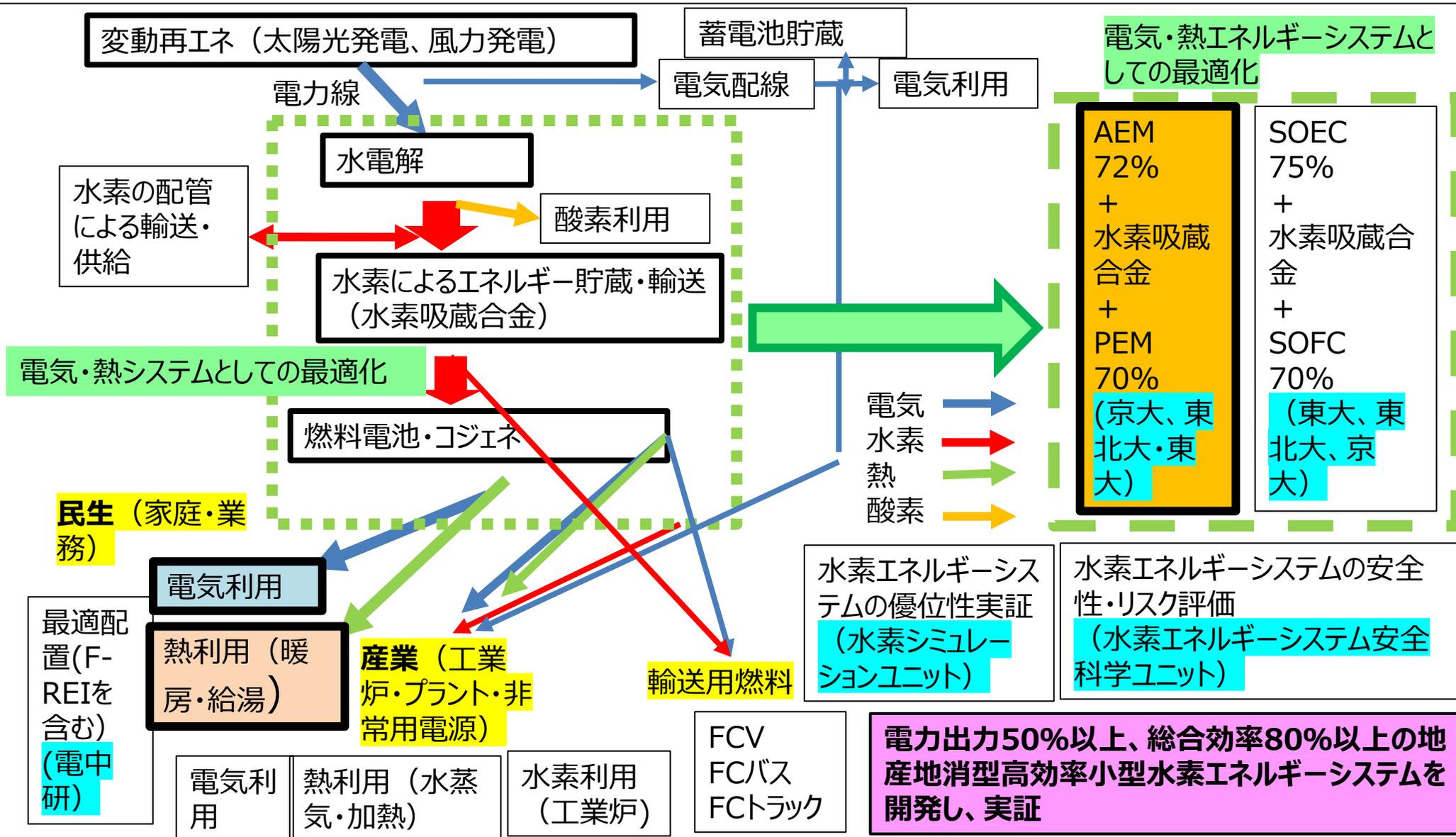


セシウム付着のバイオ炭は地下に貯留する（放射線量も制御した上で地下貯留する）
 地下貯留100年で放射線量1/10、バイオ炭としては、CO2のネガティブエミッションの実現が可能となる

バイオ液体燃料を最大化するFT合成触媒・条件の開発など（東大）

森林バイオマスからの液体燃料生成量、バイオ炭生成量(haあたり)を推定し、経済性も算出する

福島浜通りに大量に存在する太陽光発電設備等を活用し、電力需要の多い地域に、水電解と水素貯蔵、燃料電池を組み合わせ、**電力出力50%以上、熱を含めた総合効率80%以上の地産地消型高効率小型水素エネルギーシステムを開発し、実証**する



3つの研究開発課題は、いずれもCO₂の削減ポテンシャルが高く、市場規模や社会に与えるインパクトも大きい。水素を大規模に利活用するには、水素関連技術の安全性の確立と国際標準化の推進が不可欠であり、安全性の根拠となる科学的なデータの取得、リスク評価等にも積極的に取り組む。

福島県は、太陽光発電施設や風力発電施設が多く、その電力を最大限活用するシステム技術の開発が重要である。このような変動再エネを最大限有効利用する方法として、電力として使える分は最大限使いながら、残りを水素として貯蔵し、需要に応じて電力や熱として供給する地産地消型水素エネルギーシステムの構築が考えられる。

福島浜通り地域では民生用の電力需要の割合が大きいことが想定され、本研究開発では、変動再エネの電力を用いて水電解装置で発生させた水素を水素吸蔵合金で貯蔵し、必要な時に燃料電池で電気と熱を高効率に供給する水素エネルギーシステムの研究開発を実施する。

このような水素エネルギーシステムは、**民生用電力需要の割合の大きい地域で水素活用の小型汎用システム**となりうる。

その場合、高いエネルギー変換効率を実現する革新的な技術が重要であり、**入力電力量に対して、出力電力量の割合が50%以上**、また**熱供給を含め80%以上の高効率の目標達成を目指す。**

その実現には、**水電解装置・水素貯蔵装置・燃料電池の効率の大幅な向上が必要**であることから、**電極触媒や電解質膜等の材料開発**もあわせて行う。さらに**熱エネルギーシステムとしての一体的な設計により高性能化を図る。**

この地産地消型水素エネルギーシステムは、福島水素エネルギー研究フィールド（FH2R）のある浪江町をはじめ相双地域と連携した社会実証を行い、水素エネルギー活用の有効性を世界に情報発信することを目指す。

さらに、阿武隈山地の森林バイオマス利用では、原子力災害に関するデータや知見の集積・発信に関する研究課題との連携で、分野横断型・融合研究テーマとなり、異分野の研究開発が共存する強みを最大限に活かせると考えている。

研究開発の成果を地元産業の振興や新産業創出として結実させ、福島をはじめ東北の創造的復興を目指していく。同時に、カーボンニュートラルな世界の実現の必要性、そのためのエネルギー産業の創出の重要性を広く社会に浸透させ、次代を担う若い世代を育てることを目指したい。

また、F-REIのミッションは、極めて高い目標から成り立っているが、福島・東北の復興のため、世界のために、「創造的復興の中核拠点」として貢献できるよう、全力で取り組んでいく所存である。

そのためには、関係する方々のより一層のご支援、ご協力をお願いしたい。

參考資料

エネルギー分野	
●ネガティブエミッションのコア技術の研究開発・実証事業	
(1) 植物のCO2固定及びネガティブエミッションへの利用に関する研究開発と実証	<ul style="list-style-type: none"> ・東北大学（大阪公立大学） ・東京都立大学（鳥取大学、国際農林水産業研究センター、国立遺伝学研究所） ・岡山大学（福島大学、東京農工大学、理化学研究所、山形大学、東北大学、東海国立大学機構） ・福島大学（常磐共同火力㈱）
(2) 藻類のCO2固定及びネガティブエミッションへの利用に関する研究開発と実証	<ul style="list-style-type: none"> ・理研食品㈱（理化学研究所、長崎大学） ・三重大学（京都工芸繊維大学、京都大学、Bio-energy㈱） ・日本製鉄㈱（金属系材料研究開発センター） ・東北大学
●バイオ統合型グリーンケミカル技術の研究開発事業	<ul style="list-style-type: none"> ・東京大学
●水素エネルギーネットワークの構築事業	<ul style="list-style-type: none"> ・電力中央研究所 ・東京大学（東北大学、京都大学）

CO2固定・吸収能を強化したソルガムによる持続可能なグリーンケミカル製造技術開発

令和6年度
研究成果の
ポイント

- ✓ 20種類のソルガムのカルス誘導に成功し、それら搾汁液中のトランスアコニット酸含量を定量・分析した。
- ✓ ソルガム搾汁粕の微生物分解・糖化について解析し、高ブタノール発酵菌を取得した。
- ✓ ソルガムを活用したグリーンケミカル（バイオ燃料、バイオポリマー）製造の可能性を見出すことができた。

研究実施期間 令和5年度～【第2年度】 ※終了年度は実施期間中の各種評価等により変更

研究実施者 田丸 浩（ソルガム利活用コンソーシアム（東北大学（代表機関）、三重大学、大阪公立大学））

【令和6年度の研究開発又は社会実装・産業化の主要成果】

- **20種類のソルガムシステムを用いた育種技術の開発**：ソルガムコレクション20種類の種子を用いてCIT-pCl処理を行った結果、カルス誘導率が100%であった。また、福島県郡山市田母神地区の圃場でソルガムコレクション20種類を栽培し、搾汁液を調製してLC-MSを用いたトランスアコニット酸の定量を行った。その結果、シスアコニット酸とトランスアコニット酸の比がソルガムシステムによって異なることが判明した。さらに、次世代放射光施設NanoTerasuを利用して、軟X線によるソルガム中の炭素・酸素の分析および細胞壁の炭素イメージングを行った。
- **ソルガム搾汁粕からのバイオブタノール製造技術の開発**：ソルガム搾汁液を取得した後の搾汁粕を用いて、セルロソーム生産菌 *Clostridium cellulovorans* を用いた分解・糖化試験を行った。ソルガム搾汁粕を細かく破碎し、*C. cellulovorans* 培地に投入して37℃で培養を行った。分泌酵素を含む培養上清を用いてSDS-PAGEによるタンパク質バンドを分画後、In-gel digestion処理ののちnano LC-MSによる酵素の同定を行った。これによって、ソルガム搾汁粕の分解・糖化に有効な酵素を選抜することができる。一方、高収率ブタノール生産菌 *C. saccharoperbutylacetonicum* ATCC27021 C4-1株を入手した。すなわち、本菌はグルコースを炭素源として80mol%ブタノールを生産する能力を有しており、ソルガム搾汁粕を分解・糖化できれば低コストでブタノールを生産することができる。

【令和6年度の目的】

ソルガムシステムの育種技術の開発およびソルガム搾汁液と搾汁粕のカスケード利用

【事業の背景・目的】バイオエコノミー及びネガティブエミッションの実現のため、ゲノム編集技術等によりソルガムに高糖性及び高トランスアコニット酸産生能を付与し、バイオポリマーとバイオブタノールを低コストで生産することにより、ソルガム栽培の経済性の向上とCO2吸収能の向上を両立できる作物の作出を行い、福島浜通りにおける事業展開を目指す。

今後の展望

福島浜通りにおけるソルガム栽培品種の選定によるネガティブエミッション技術開発およびソルガム原料からのグリーンケミカル製造技術の確立

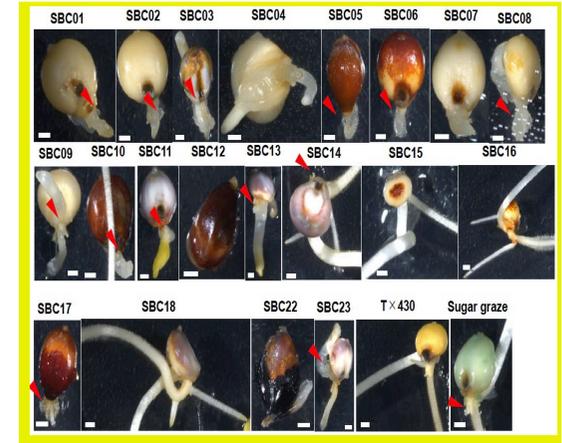
CO2固定・吸収能を強化したソルガムによる持続可能なグリーンケミカル製造技術開発

【令和6年度の最も注目すべき成果】ソルガム20系統からカルス誘導とソルガムの成分分析

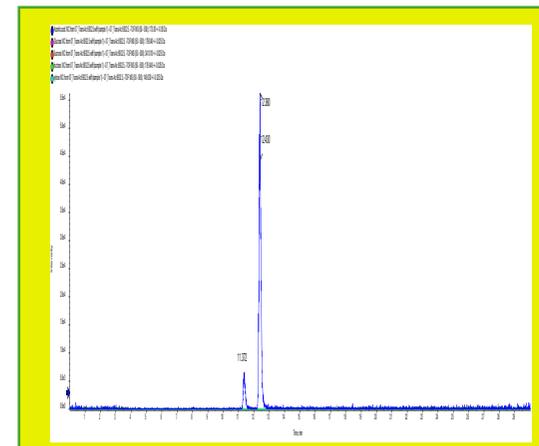
- ソルガム実生を用いて、植物カルス誘導化合物FPXおよびCIT-pClをそれぞれ処理した結果、CIT-pClにおいて優位なカルス誘導能が観察された。さらに、ソルガムコレクション20系統について、同様にCIT-pCl処理を行った結果、すべてのソルガム系統でカルス誘導が100%確認された。
- ソルガム搾汁液に含有するトランスアコニット酸の定量を行った。まず、HPLCによる定量を行って、アコニット酸の総量を分析した。次に、LC-MSを用いて、シスアコニット酸(CAA)およびトランスアコニット酸(TAA)の量比を比較した。以上の結果、今後は4種類のソルガム系統に注目してドラフトゲノム解析を行って、TAA合成の代謝経路を特定する予定である。
- 次世代放射光施設NanoTerasuを用いて、軟X線によるソルガム試料の炭素・酸素分析および炭素イメージング解析を行った。その結果、系統による違いが見られたことから、汁性ソルガムの細胞壁構造並びにトランスアコニット酸生成に関連する要素との関連を明らかにする予定である。



植物カルス誘導剤の比較



ソルガムコレクションからのカルス誘導



LC-MSによるTAA分析チャート



軟X線によるソルガム試料の炭素・酸素分析

【研究の成果の発信】

- ・ (発表論文) 該当なし
- ・ (特許出願) 該当なし
- ・ (プレスリリース等) 該当なし

顕微授精法による高効率CO2資源化植物の開発と活用

令和6年度
研究成果の
ポイント

- ✓ ソルガム配偶子の単離および交雑受精卵の作成に成功
- ✓ 各種交雑植物の形質評価により優秀な交雑相手候補を特定
- ✓ 新奇交雑ソルガムの作出に向けた技術要素の確立・整備

研究実施期間

令和5年度～【第2年度】 ※終了年度は実施期間中の各種評価等により変更

研究実施者

岡本 龍史（交雑植物コンソーシアム（東京都立大学（代表機関）、鳥取大学、国際農林水産業研究センター、国立遺伝学研究所））

【令和6年度の研究開発又は社会実装・産業化の主要成果】

- **ソルガム配偶子の単離およびソルガム交雑受精卵の作成**：TX-430などの複数のソルガム系統の子房から卵細胞の単離に成功した。また、それらソルガムの花粉からの精細胞単離を可能にした。これらの単離卵細胞と精細胞の顕微授精を行ったところ、非常に高い確率で融合させることが可能であった。野生サトウキビから単離した配偶子（卵細胞）とソルガム配偶子（精細胞）を用いて顕微授精を行ったところ、ソルガム-サトウキビ交雑受精卵の旺盛な分裂が観察され、増殖細胞塊にまで発生した。さらに、ソルガム配偶子とイネ配偶子の組み合わせの交雑受精卵の作出にも成功し、初期細胞塊のステージまでの発生が確認された。
- **交雑相手側植物の形質および機能の評価**：日本で保有する遺伝資源521系統のサトウキビ野生種についてバイオマス生産性や糖含率を評価し、それら特性が優れる系統を特定した。エリアンサスに関しては、温帯域における株出しおよびバイオマス生産能の評価を進めた。また、細胞質雑種コムギの生理的形質および農業形質の評価を進め、光合成速度が高く種子幅が広い系統など多様な形質を細胞質雑種コムギが保持していることが示され、加えて、高いバイオマス生産能をもつコムギ系統も特定された。さらに、非常に高い耐塩性をもつ野生イネ（57系統）を特定した。

【令和6年度の目的】ソルガムからの雌雄配偶子の単離手法を確立するとともに、それらを顕微授精に用いることでソルガム受精卵および交雑ソルガム受精卵を作出する。さらに、交雑相手の植物の形質評価を進めることで、最適な交雑組み合わせを見出す。

【事業の背景・目的】顕微授精法の改良及び顕微授精法による交雑ソルガムの創出を推進することで、慣行の交配技術では導入が出来なかった遠縁植物の遺伝形質をソルガムに導入する。また、高効率でCO2を資源化する形質を獲得した新奇交雑植物の選抜を行い、さらに安全性及び社会受容性などを検討・検証した上で国内外への普及・展開を行う。

今後の展望

これまでの交配技術では導入が出来なかった遠縁植物の遺伝資源を顕微授精法によりソルガム等に導入し、高効率でCO2を資源化する形質を獲得した新奇交雑作物・植物を創出する。

顕微授精法による高効率CO2資源化植物の開発と活用

【令和6年度の最も注目すべき成果】ソルガム配偶子の単離および交雑受精卵の作成に成功

・ ソルガムからの雌雄配偶子の単離

ソルガム系統TX-430を含む複数の系統からの卵細胞単離を子房切断による物理的手法で試みたところ、卵細胞の単離が可能であった（図1）。ただし、卵細胞の単離効率が5%程度と低かったことから、細胞壁分解酵素を用いた卵細胞単離法などの試みを進めている。精細胞については、成熟花粉から効率よく単離することが可能であった（図1）。

・ 交雑相手側植物の配偶子の単離

ソルガムと交雑予定の植物のうち、配偶子単離法が確立されていない植物（ススキおよびサトウキビ）に関して、配偶子の単離法の確立を試みた。両植物とも花のサイズが非常に小さかったが、子房の単離・切断法や切断子房の固定法を工夫することにより卵細胞の単離が可能となった。

・ 顕微授精法によるソルガム受精卵および交雑受精卵の作出

ソルガム卵細胞と精細胞の顕微授精を行ったところ、非常に高い確率で融合することが可能であった。現在、培地組成の検討を進めることで受精卵を初期細胞塊まで発生させることに成功している。交雑受精卵に関しては、ソルガム-サトウキビ交雑受精卵において旺盛な分裂が観察され、増殖細胞塊にまで発生した（図2）。また、ソルガム-イネ交雑受精卵の作出にも成功し、増殖細胞塊への発生が確認された（図3）。

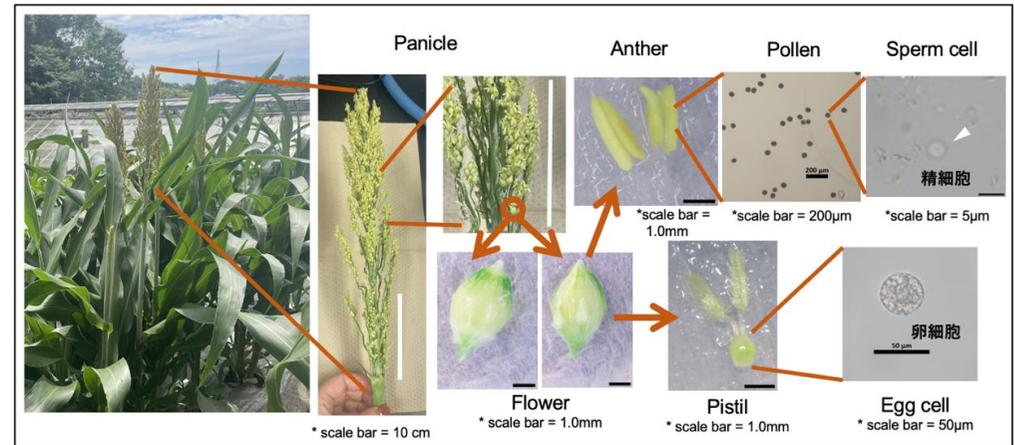


図1. ソルガム卵細胞および精細胞の単離

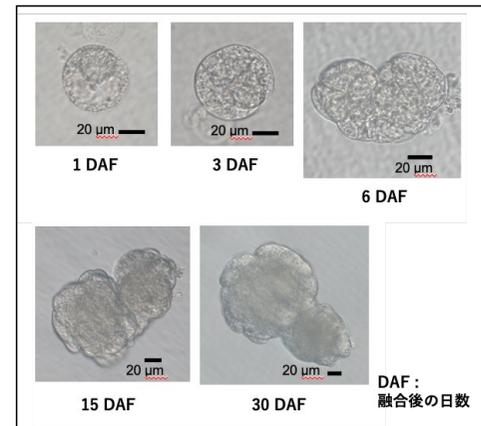


図2. ソルガム-サトウキビ交雑受精卵の発生プロファイル

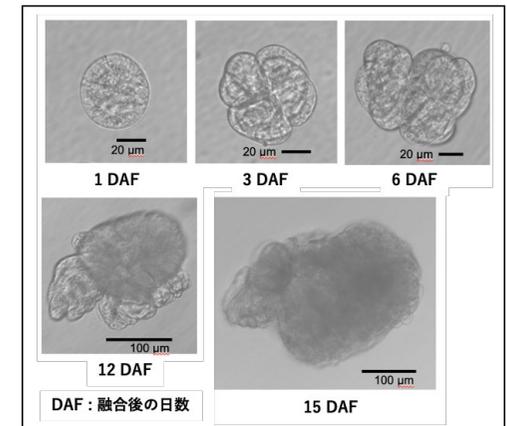


図3. ソルガム-イネ異質倍数性交雑受精卵発生プロファイル

【研究の成果の発信】

- ・ (発表論文) Toda E., Koshimizu S., Kinoshita A., Higashiyama T., Izawa T., Yano K., Okamoto T. (2025) Transcriptional dynamics during karyogamy in rice zygotes. Development, in press 他3件
- ・ (特許出願) 該当なし
- ・ (プレスリリース等) イネコムギ誕生 植物交配の不可能を可能にする顕微授精技術、Science Portal 動画ニュース (2024年6月28日配信)

福島発ネガティブエミッション農業実現に向けた水稻のCO₂固定機能強化技術の開発

令和6年度
研究成果の
ポイント

- ✓ (研究成果1) 標準品種と比較してCO₂固定機能が24～55%優れる水稻品種を選定
- ✓ (研究成果2) 水田からのメタン排出を慣行栽培法の40%に削減する栽培手法の提案
- ✓ (成果の社会的意義) 稲作の温室効果ガス収支を最適化した持続可能な栽培体系の構築

研究実施期間 令和5年度～【第2年度】 ※終了年度は実施期間中の各種評価等により変更

研究実施者 田中 佑（福島発ネガティブエミッション農業実現に向けた水稻のCO₂固定機能強化技術の開発コンソーシアム（岡山大学（代表機関）、福島大学、東京農工大学、理化学研究所、山形大学、東北大学、名古屋大学））

【令和6年度の研究開発又は社会実装・産業化の主要成果】

- **植物のCO₂固定機能の高速評価手法の開発ならびにCO₂固定機能に優れた品種の選定**：実施責任者が開発した光合成速度高速測定装置（MIC-100X；従来機比7倍の迅速性）の測定効率をさらに向上させる技術開発を行い、試作機を作製した。AIを活用したバイオマス推定画像診断技術（Rice Scouter）を高精度化し、ドローン技術と組み合わせて使用できる基盤システムを構築した。これら開発中の技術を活用し、福島・東京・岡山の3か所の圃場で栽培した488品種大規模イネパネルを対象としてCO₂固定機能の評価を行った。その結果、標準品種である日本晴と比較し約20～35%優れた光合成能力、約24～55%優れたバイオマス生産能力を示すイネを各10品種ずつ選定した。
- **水田からのメタン排出を削減する栽培方法の探索**：水稻によるCO₂固定能力の向上に加え、水を張って還元状態となった水田から排出されるメタン（CO₂よりも温室効果が高い）の削減がネガティブエミッション農業を実現するための鍵である。既報論文の情報に基づいて作成した深層学習モデルを用いて、各種栽培条件とメタン排出量とのシミュレーション解析を実施した。メタン排出量を抑制するうえで効果が大きい条件は、土壌有機物の低減、間断灌漑（水田状態と畑状態を交互に繰り返す：中干し延長をさらに拡張することに相当）、および有機物投入量の低減であり、最適な栽培条件では慣行栽培法の約40%までメタン排出量を削減可能であることが示された。

【令和6年度の目的】CO₂固定機能の高速評価手法を高度化したプロトタイプを作製し検証する。多様なイネ488品種のCO₂固定機能を評価し有望系統を選抜する。メタン放出量推定モデルからメタン放出量を大幅に削減する栽培条件を探索する。

【事業の背景・目的】本研究は、水稻によるCO₂固定機能の高速評価手法の開発、水田由来のメタン放出量低減技術の開発、低メタン栽培条件においてCO₂固定機能・生産性・品質の維持に資する有用遺伝子の探索等により、水稻を利用したネガティブエミッションのコア技術の開発を目指すものである。

今後の展望

迅速光合成測定装置、AIバイオマス画像診断技術の特許化、製品化、事業化を進める。メタン排出を削減する栽培方法を実証し、ネガティブエミッション農業の栽培体系を確立する。

福島発ネガティブエミッション農業実現に向けた水稻のCO₂固定機能強化技術の開発

【令和6年度の最も注目すべき成果】

植物のCO₂固定機能の高速評価手法の開発ならびにCO₂固定機能に優れた品種の選定

- 実施責任者が開発した光合成速度高速測定装置 (MIC-100X)は従来機比7倍の迅速性を持つ植物のCO₂固定機能の評価技術である。MIC-100Xにおける主要な律速要因であった葉面積計測に関して、自動化する技術を開発・搭載することで、さらに2倍効率化することを目指した。(株)マサイインタナショナルと連携し、測定チャンバー内に葉面積測定機能を搭載した試作機を作製した(図1)。
- 実施責任者が開発したAI バイオマス画像診断技術 (Rice Scouter)は非破壊で即時推定可能なCO₂固定機能評価技術である。Rice Scouterについて、学習データの追加、再設計を行うことで、精度と安定性を向上させた。生育評価に必要な画像取得も効率化するため、ドローン撮影技術と組み合わせ使用できる基盤となるシステムを構築した(図2)。
- これらの技術を活用し、多様な488系統の大規模イネパネルを福島、東京、岡山の3か所の圃場で栽培し、CO₂固定機能の評価を行った。その結果、標準品種である日本晴と比較し約20~35%優れた光合成能力(図3)、約24~55%優れたバイオマス生産能力を示す系統をそれぞれ10品種特定した(図4)。
- 各品種のCO₂固定機能の計測データとゲノム解析により取得した情報を解析することで、高いCO₂固定機能をもたらす遺伝子領域を複数特定した。

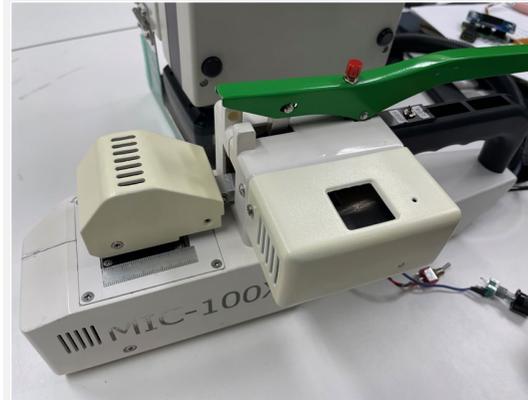


図1. 葉面積自動測定機能を搭載したMIC-100X試作機の外観

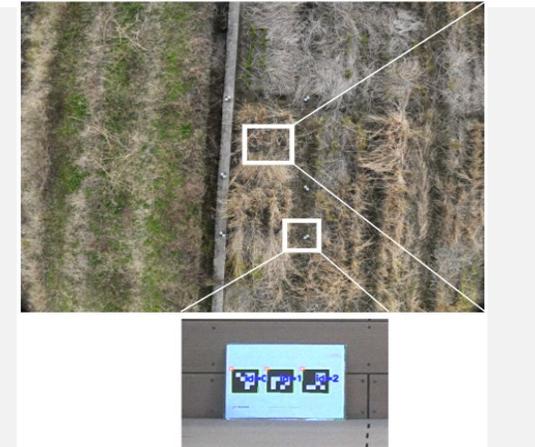


図2. ドローン撮影技術とAIバイオマス画像診断の連携システム

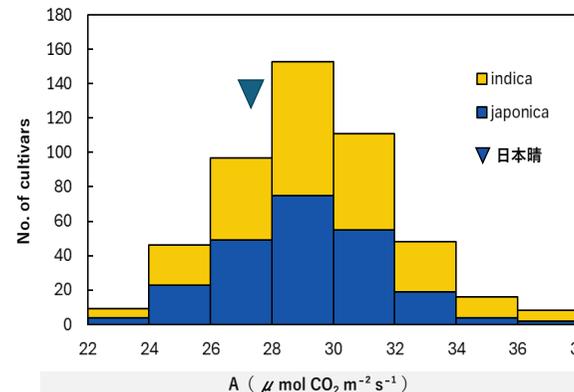


図3. イネ488品種の光合成速度の変異

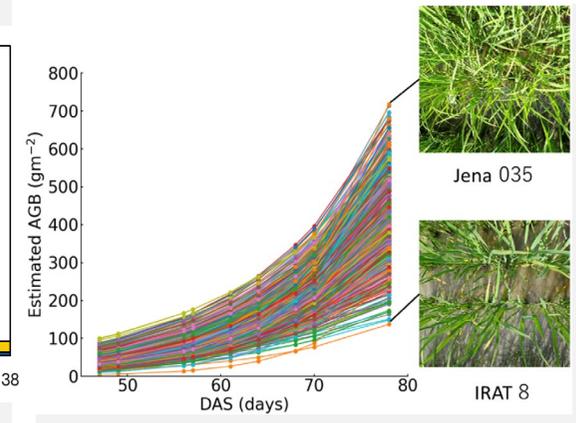


図4. Rice Scouterによる488系統のバイオマス蓄積の時系列推移

【研究の成果の発信】

- ・ (発表論文) Hideki Yoshida, Makoto Matsuoka, Deciphering the enigmatic spikelet traits: Resolving trade-offs for enhancing rice yield, Molecular Plant, 17:694-695, 2024/4/11, 2024/5/6 他3件
- ・ (特許出願) 該当なし
- ・ (プレスリリース等) メタン抑制稲作研究開始, 福島民報朝刊, 2024/5/5 他2件

浜通り地域の資源を活用した高効率・循環型ネガティブエミッション・地産地消システム

令和6年度
研究成果の
ポイント

- ✓ (研究成果1) 実験室規模の炭化炉を用いた炭化プロセスにおいて生成する可燃ガス量評価
- ✓ (研究成果2) バイオ炭の農地施用による炭素貯留量推定
- ✓ (成果の社会的意義) 木質バイオマスの炭化によるエネルギー利用と炭素貯留によるCO₂削減

研究実施期間 令和5年度～【第2年度】 ※終了年度は実施期間中の各種評価等により変更

研究実施者 浅田 隆志（浜通り地域の資源を活用した高効率・循環型ネガティブエミッション・地産地消システムコンソーシアム（福島大学（代表機関）、常磐共同火力株式会社））

【令和6年度の研究開発又は社会実装・産業化の主要成果】

● 実験室規模の炭化炉を用いた炭化プロセスにおいて生成する可燃ガス量評価：

実験室規模の炭化炉を用いた実験結果から実証試験の規模（1時間当たり50 kg[乾燥重量]のバイオマス炭化を想定）の炭化炉では、炭化プロセスにおいて生成する可燃ガスを燃料として

約50 kWの発電が可能と推定

● バイオ炭の農地施用による炭素貯留量推定：

実験室規模の炭化炉を用いた実験結果から実証試験の規模（1時間当たり50 kg[乾燥重量]のバイオマス炭化を想定）の炭化炉では、炭化プロセスにおいて生成するバイオ炭を全量農地に施用した場合

約30 kg-CO₂/hrの炭素貯留が可能と推定

【令和6年度の目的】 木質バイオマスの炭化プロセスから生成する可燃ガス量とバイオ炭の固定炭素に与える炭化温度の影響について実験室規模の炭化炉を用いて評価し、炭化プロセスで生成する可燃ガスによる発電とバイオ炭の農地施用による炭素貯留の可能性を検討する。

【事業の背景・目的】 本研究では、木質バイオマスの炭化プロセスから生成する可燃ガスを用いた発電システムの構築を目指すとともに、炭化の過程で製造されるバイオ炭による炭素貯留技術の実用化を図り、ネガティブエミッションのコア技術の一つとして確立する。

今後の展望

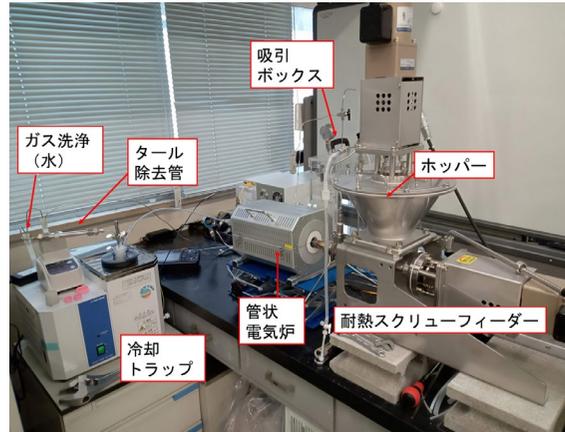
（今後の展開・
期待される研究成果）
実証規模の炭化炉を用いた
試験において生成した可燃ガス
による発電と炭素貯留の実証

浜通り地域の資源を活用した高効率・循環型ネガティブエミッション・地産地消システム

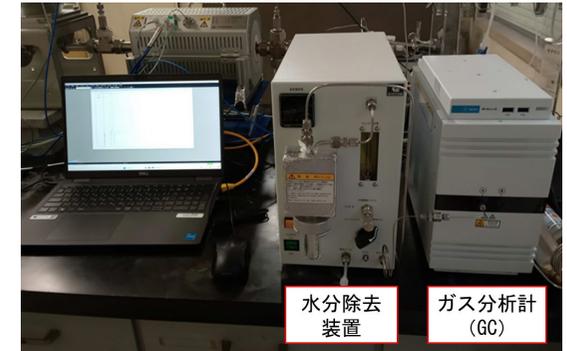
【令和6年度の最も注目すべき成果】

実験室規模の炭化炉を用いた炭化プロセスにおいて生成する可燃ガス量評価

- 木質バイオマスの炭化プロセスにおいて水素、一酸化炭素、メタン等の可燃ガスとバイオ炭が同時に生成
- 炭化温度の上昇に伴い生成した可燃ガスの発熱量は増大
- スギ木粉から生成した可燃ガスの発熱量は1 g (乾燥重量) 当たり約12 kJ (HHV)

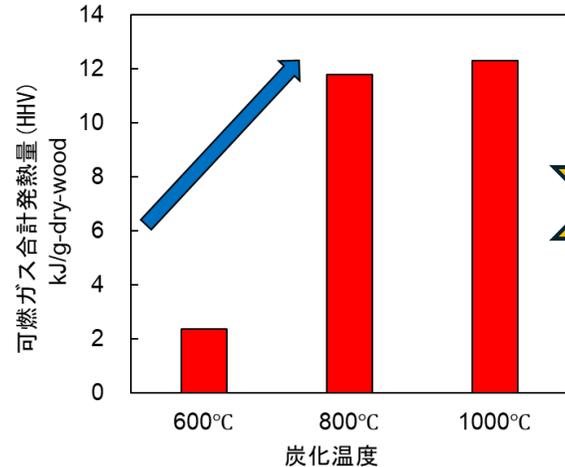


実験室規模の連続式炭化炉



炭化炉生成ガスの分析装置

- 実証試験の規模 (1時間当たり50 kg[乾燥重量]のバイオマス炭化を想定) の炭化炉では、発熱量 (HHV) 約20 MJ/Nm³の可燃ガスが約28 Nm³/hr生成すると推定
- 実証試験の規模 (1時間当たり50 kg[乾燥重量]のバイオマス炭化を想定) の炭化炉から得られる可燃ガスを燃料として約50 kWの発電が可能と推定 (発電効率32%の場合)



炭化生成ガスの発熱量 (ガス濃度安定時)



実験結果から推定される発電時の出力

【研究の成果の発信】

- ・ (発表論文) 該当なし
- ・ (特許出願) 該当なし
- ・ (プレスリリース等) 該当なし

バイオエコノミーに対応した海藻類の大量養殖コア技術の研究開発と福島県沿岸における生産拠点形成の実証研究

令和6年度
研究成果の
ポイント

- ✓ コンプの養殖生産性が従来の5倍以上となる「3D養殖法」を開発
- ✓ 海藻養殖によるCO2固定能力の定量評価精度向上のための測定法開発を推進
- ✓ 海藻類のブルーカーボン能力を最大化するための大量養殖と評価法開発が期待できる

研究実施期間

令和5年度～【第2年度】 ※終了年度は実施期間中の各種評価等により変更

研究実施者

佐藤 陽一（海藻類の大量養殖コア技術研究開発コンソーシアム（理研食品株式会社（代表機関）、理化学研究所、長崎大学））

【令和6年度の研究開発又は社会実装・産業化の主要成果】

- **コンプ3D養殖法の開発**：従来のコンプ養殖は海面付近に水平に設置したロープに種苗を設置するので、その生産は2次元的なものとなる。これに対して「3D養殖手法」はあらかじめ種苗を設置したロープを水平ロープに対して垂直方向に設置するために漁場の3次元的な活用が可能となり、単位養殖面積当たりの生産量の増大が期待できる。岩手県大船渡市において本手法を試行した結果、従来の約5倍となる40kg/mの収穫に達した。また、垂直ロープの設置間隔は2mが適正であることがわかった。得られたコンプは食品、エキス、バイオマス等の事業者へ提供し、利活用の検討を開始した。
- **海藻類養殖によるCO2固定のプロセスとしての生態系純一次生産量（NEP）をコンプやヒトエグサなどの海藻種別・養殖手法別に測定し、本研究で開発した3D養殖であっても養殖密度をさらに向上させることが可能であることがわかった。**また、CO2固定の結果として宮城県松島湾の海底から採取した底質コアサンプルを分析した結果、海藻養殖の実績がある場所からは海藻由来の炭素成分が多いことが明らかとなった。さらに、閉鎖系水槽を使用した培養実験の結果から、コンプを養殖した海水中から難分解性多糖であるフコイダンの定量化に成功した。

【令和6年度の目的】マコンプの大規模養殖を実現するために、漁場を三次元的に活用した「3D養殖法」を実践し、それに対応した種苗生産設備を整備する。マコンプ養殖によるCO2固定量定量評価のための測定手法開発も推進する。

【事業の背景・目的】高いバイオマス収量が期待できる1年生マコンプと福島県が全国有数の養殖産地であるヒロハノヒトエグサを原料として、大量養殖生産コア技術開発と、それによるCO2固定量の定量評価（ブルーカーボン効果）に関する研究を推進する。

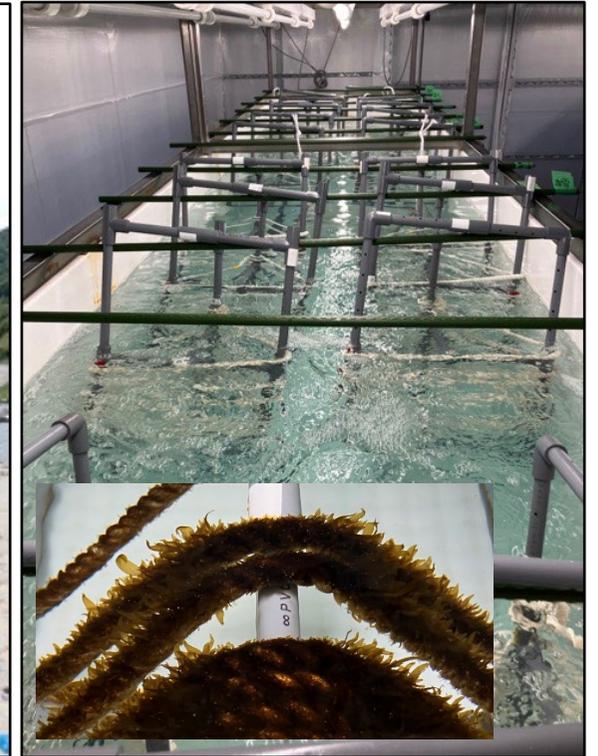
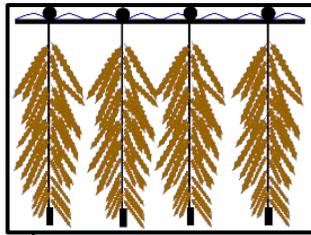
今後の展望

3D養殖法の生産性向上とCO2固定量評価精度の向上により、海藻類の大量養殖と多面的利活用によるネガティブエミッション推進の効果が期待できる。

バイオエコノミーに対応した海藻類の大量養殖コア技術の研究開発と福島県沿岸における生産拠点形成の実証研究

【令和6年度の最も注目すべき成果】コンブ3D養殖法の開発

- 大量養殖を実現するために、従来の海面に水平設置したロープではなく、種苗を設置したロープを垂直方向に設置して漁場を3次的に活用する手法を開発した。垂直ロープの長さはコンブの光合成特性および作業性の面から7mが適正であると判断した。また、その設置間隔は2mであれば絡まらずに養殖できることがわかった。岩手県大船渡市で養殖した藻体は2024年5月から7月にかけて収穫し、食品、エキス、バイオマス等に使用する事業者へ提供し、利活用の検討を開始した。
- 3D養殖に使用する種苗の生産手法を開発するために、岩手県陸前高田市に試験設備を整備した。垂直ロープにコンブの遊走子を直接付着させて、あらかじめ培養試験により明らかにした環境を付与させることで幼葉が高密度に発芽した種苗の生産に至った。
- 一連の成果は、2024年7月に大船渡市において開催した公開セミナーで発表するとともに、3D養殖の現場視察会を開催した。当日は海藻類によるブルーカーボン関連の取り組みに関心ある企業・団体等約80名が参加し、実際に養殖生産の場を共有することで相互に理解が深まり、その後の共同研究や共同開発につながっている。



岩手県大船渡市綾里におけるコンブ3D養殖の実証試験。垂直に設置したロープに高密度にコンブが生育しており、単位面積当たりで従来の約5倍の生産量を達成した。左上は3D養殖の模式図。

3D養殖に使用する種苗生産手法を検討するためのパイロット設備を整備し、垂直ロープに遊走子を直接付着させて発芽させる手法を開発した。

【研究の成果の発信】

- （発表論文） Carbon and nitrogen contents depends on macroalgal species, their tissue section, and development stage, Sato et al. Phycological Research (in press) (他2報投稿中)
- （特許出願） 該当なし
- （プレスリリース等） 理化学研究所『漁業と環境に貢献するコンブの研究開発事業』理化学研究所WEB（ホームページ）2024/6/18 他13件

大型藻類を介した「CCU技術」の開発と福島での社会実装に向けた研究

令和6年度
研究成果の
ポイント

- ✓ (研究成果1) 大型藻類のクロロフィル蛍光パラメータについて測定を開始
- ✓ (研究成果2) マリンポリフェノールの生産と高機能化の基盤となる技術開発を開始
- ✓ (成果の社会的意義) 「ブルー・カーボンリサイクル」の社会実装の基盤となる技術開発を開始

研究実施期間	令和5年度～【第2年度】 ※終了年度は実施期間中の各種評価等により変更
研究実施者	柴田 敏行 (Reborn Fukushima Seaコンソーシアム (三重大学 (代表機関)、京都工芸繊維大学、京都大学、Bio-energy株式会社))

【令和6年度の研究開発又は社会実装・産業化の主要成果】

● 大型藻類のクロロフィル蛍光パラメーターについて測定を開始：

本事業では、ネガティブエミッションのコア技術として大型藻類に対応する「CO₂吸収・固定能の新しい評価法」を開発し、国際標準となることを目標としています。拡大培養したフリー配偶体を成熟させ受精によりアラメ・カジメ類の幼体を生産し、藻類の生長のステージに応じたクロロフィル蛍光パラメーターの測定を開始しました。モニタリングポイントとして三重県鳥羽市国崎の天然サガラメ場を設定し、天然個体を対象とした測定とデータ集積も開始しました。

● マリンポリフェノール®生産と高機能化のための基盤技術を開発：

マリンポリフェノール®のフロロタンニン類は、アラメ・カジメ類といった海藻類に顕著にみられるポリフェノール類です。これらは、抗酸化性、抗炎症・アレルギー性、抗糖化性など多彩な生理機能を持つことから、海藻類に特徴的な有用二次代謝物質として注目されています。令和6年度は、マリンポリフェノール®の商用生産のために必要な抽出法を検討し、藻体含量に対して約86%の抽出が可能な条件を確立しました。さらに、マリンポリフェノール®の生体利用性の向上を目的にそれらの配糖体調製のための試験を開始し、配糖化が可能な糖質加水分解酵素を見出しました。

マリンポリフェノール®は、国立大学法人三重大学の登録商標です。

【令和6年度の目的】

- ・アラメ・カジメ類をモデル藻類としてクロロフィル蛍光パラメーター測定開始
- ・マリンポリフェノールの抽出効率の最大化、リード化合物と配当化酵素の選定

【事業の背景・目的】ネガティブエミッションのコア技術として、大型藻類のCO₂吸収・固定能について新しい評価法を開発する。さらに吸収したCO₂を貯留するだけでなく、大型藻類の完全利用技術「カスケード型物質生産プロセス」を開発し、物質生産と化石燃料の削減を両立させたネガティブエミッションシステムを確立し、「福島モデル」の世界発信と、社会実装を目指す。

今後の展望

(今後の展開・
期待される研究成果)

大型藻類に対応する「CO₂吸収・固定能の新しい評価法」を開発

福島の地に世界初の「マリン・ファインケミカル」産業を創成

大型藻類を介した「CCU技術」の開発と福島での社会実装に向けた研究

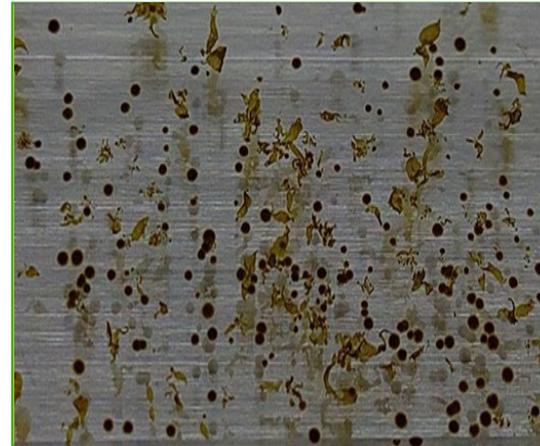
【令和6年度の最も注目すべき成果】 大型藻類のクロロフィル蛍光パラメーターについて測定を開始

大型藻類は、陸上植物や微細藻類を上回るCO₂吸収・固定能を持つとされます。しかしながらその知見は、特定の種や海域を対象とした断片的なものであり統一された測定方法が用いられていないため、現時点では「ボランティアなデータ」と言えます。

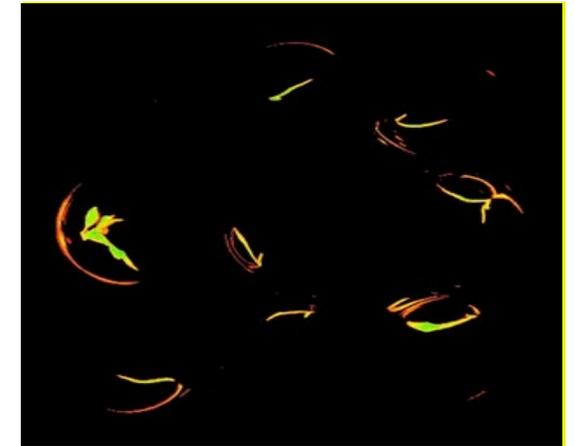
この事業では、アラメ・カジメ類をモデル海藻とし破壊分析（元素分析、重量・固形分・有機物含量測定）とクロロフィル蛍光パラメーター測定（非破壊分析）の相関関係を解析しながら、フィールド調査にも対応できる「CO₂吸収・固定能の新しい評価法の開発」に取り組んでいます。

令和6年度は、拡大培養したフリー配偶体を成熟させた後、受精によりアラメ・カジメ類の幼体を生産しました。これらを培養しながら大型藻類の生長に応じたクロロフィル蛍光パラメーター測定を行っています。

三重県の伊勢志摩地域には、アラメ・カジメ類の藻類であるサガラメが群生しています。三重県鳥羽市国崎のサガラメ場をモニタリングポイントとして設定し、ランダムに抽出した藻体について、光化学系IIでの電子伝達の光量子収率の測定を開始しました。



フリー配偶体から発生させた
アラメ・カジメ類の幼体



Imaging-PAMを用いた
クロロフィル蛍光パラメーター測定



Diving-PAMを用いた天然サガラメ場での
クロロフィル蛍光パラメーターの測定

【研究の成果の発信】

- ・（発表論文）該当なし
- ・（特許出願）該当なし
- ・（プレスリリース等）2025年1月3日付の伊勢新聞で「三重大が取り組む新しい「ものづくり」」の記事にて、大型藻類バイオリファイナリー研究について紹介された
- ・学会賞受賞3件（日本食品化学学会第30回総会・学術大会若手優秀発表賞、日本農芸化学会中部支部例会企業奨励賞、他）

バイオエコノミー創出を狙ったゲノム編集による海藻エリート株ならびに製鉄プロセス利用におけるBECCS相当技術の開発

令和6年度
研究成果の
ポイント

- ✓ (研究成果1) ゲノムデータベースからマコンプとそれに近縁な珪藻の有性生殖因子候補をスクリーニング
- ✓ (研究成果2) マコンプの炭化挙動、基本性状を把握
- ✓ (成果の社会的意義) ブルーカーボンとカーボンニュートラル原料源として産業利用も対象とした研究開発

研究実施期間 令和5年度～【第2年度】 ※終了年度は実施期間中の各種評価等により変更

研究実施者 小杉 知佳 (「バイオエコノミー創出を狙ったゲノム編集による海藻エリート株ならびに製鉄プロセス利用におけるBECCS相当技術の開発」共同研究機関 (日本製鉄 (代表機関)、金属系材料研究開発センター))

【令和6年度の研究開発又は社会実装・産業化の主要成果】

- (ゲノムデータベースからマコンプとそれに近縁な珪藻の有性生殖因子候補をスクリーニング、日鉄、北大、関学) :
環境負荷を低減したゲノム編集を実現するため、海藻の不稔化を検討した。ターゲット遺伝子のスクリーニングに際しては、マコンプのライフサイクルが長く、ゲノム編集後に目的とする表現形質の確認に時間を要するため、マコンプに近縁な珪藻を対象に有性生殖に関する候補遺伝子を探索した。2つの候補遺伝子についてはマコンプとの相同性が高いことを確認したうえで、ガイドRNAを設計し、珪藻に対してゲノム編集を行った。珪藻ゲノム編集株について、増殖性を確認した結果、野生株と増殖性に大きく変化がなかったことから、体細胞分裂に影響がなく、他形質の変化が予想されたため、マコンプ向けの候補遺伝子として選定した。
- (マコンプの炭化挙動、基本性状を把握、JRCM、九大、日鉄) :
マコンプの製鉄向け炭材としての利用に向け、炭素化挙動の把握、ならびに組成を把握した。炭素化温度1000℃では、600℃と比較して、揮発分が減少することが分かった。また、炭素化温度が高い方が炭素並びに灰分が増加することが示された。揮発分は、灰分の除去によりさらに低減できることが予想されるため、何らかの方法による灰分の低減の必要性が示された。

【令和6年度の目的】

- ・環境負荷を低減したゲノム編集を実現するため、海藻の不稔化を検討。
- ・海藻炭材の基本性状を把握。

【事業の背景・目的】本研究では、ゲノム編集技術により、マリンバイオマス利用に有利な形質をもつ海藻株を作出し、製鉄工程で用いる炭素材料としての利用とブルーカーボンクレジットの活用によりCCS相当技術の開発と実証を行うことを目的とする。

今後の展望

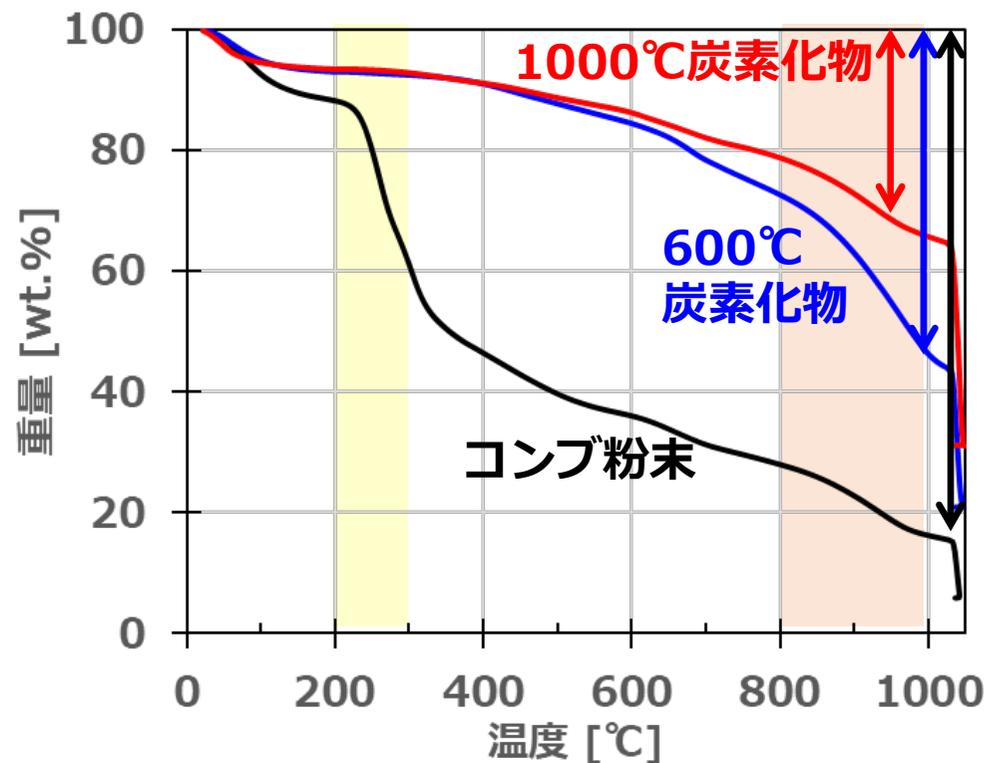
(今後の展開・
期待される研究成果)

- ・環境負荷を低減したマコンプのゲノム編集株の獲得
- ・海藻炭材の利用プロセスの構築

バイオエコノミー創出を狙ったゲノム編集による海藻エリート株ならびに製鉄プロセス利用におけるBECCS相当技術の開発

【令和6年度の最も注目すべき成果】マコンブの炭化挙動、基本性状を把握（JRCM、九大、日鉄）

- 乾燥マコンブを粉砕し、小型管状炉で炭素化を行った。炭素化温度は、600、1000℃、保持時間は2時間とした。炭素化前後のマコンブ試料については、熱重量分析装置にて熱分解挙動（5℃/分、1000℃、30分保持）を評価するとともに、元素組成を分析した。
- マコンブ粉末は200～300℃では、急激な重量減少がみられ、熱分解が起こっていることが示された。一方、炭素化物では同じ温度帯での変化は見られなかった。
- 800℃以上の高温域では、1000℃炭素化物よりも600℃炭素化物の方が重量減少が大きく、600℃炭素化物に残留した揮発分が気化していることが示唆された。
- 熱重量変化から、揮発分を試算した結果、1000℃炭素化物では約36wt%であったのに対し、600℃炭素化物では約54wt%と試算され、炭素化温度により揮発分の制御可能性が示された。
- 炭素化物の元素組成の結果から、炭素化処理により炭素含有量ならびに灰分が増加することが分かった。製鉄プロセスでの利用を考慮して、灰分の除去の必要性が示された。



熱分解挙動および揮発分量

【研究の成果の発信】

- ・（発表論文）該当なし
- ・（特許出願）日鉄ケミカルアンドマテリアル、静岡大学、出願済み
- ・（プレスリリース等）七條保治「日鉄ケミカル＆マテリアル株式会社 環境報告書 2024、マリンバイオマスや木質バイオマスを利用したカーボンニュートラル材料の開発」（2024年10月1日）

浜通りブルーカーボンによるネガティブエミッションシステムの構築

令和6年度
研究成果の
ポイント

- ✓ (研究成果1) マコンブからの水素・メタン発酵の高効率化とネガティブエミッション
- ✓ (研究成果2) メタン発酵消化液の海藻育苗の栄養塩利用が可能であることが判明
- ✓ (成果の社会的意義) マコンブを循環利用しながら、CO₂削減に大きく貢献できる

研究実施期間 令和5年度～【第2年度】 ※終了年度は実施期間中の各種評価等により変更

研究実施者 多田 千佳 (東北大学)

【令和6年度の研究開発又は社会実装・産業化の主要成果】

- (成果1 マコンブからの水素・メタン発酵の高効率化とネガティブエミッション) : マコンブの高効率な水素・メタン発酵を目的に、水素発酵ではpH5が最適条件であり、アルギン酸やマンニトールから水素発生を確認したこと、また、マコンブからの水素発生に関与する微生物として*Formosa*属、*Oscillospira*属、*Clostridium*属 やLachnospiraceaeの微生物が関与していることが明らかとなった。また、マコンブの前処理後のメタン発酵では、前処理ありの方が前処理なしに比較してメタンガス変換が約2倍高かったことから、前処理+メタン発酵処理を実施した結果、メタン変換効率が既往研究と同等レベルになった。これまでの既往研究では、「乾燥」→「粉碎」→「前処理」→「メタン発酵」で実施されているが、本研究では乾燥工程がなく、前処理技術もその他の既往技術に比べて省エネルギー・低コストで、且つ、高いメタン変換効率を得ることができた。本技術を導入した場合に、10 haの海藻養殖の一部をメタン発酵することで、育苗施設から排出されるCO₂量よりも多くのCO₂量を削減する効果があり、ネガティブエミッションのシステムになることが明らかとなった。
- (成果2 メタン発酵消化液の海藻育苗の栄養塩利用) : マコンブのメタン発酵後の消化液をマコンブの育苗に使用した。その結果、配偶体、孢子体ともに消化液の適切な添加量によって培養することが可能であることが明らかになった。また、消化液による環境基準水質を把握し、実海域適用に反映する知見を取得した。

【令和6年度の目的】海藻を原料とした嫌気性発酵プロセス(水素およびメタンのエネルギー回収)と、発酵後に得られる消化液を利用した海藻育苗プロセスの有効性を検討する。

【事業の背景・目的】牛の第一胃(ルーメン)の内容物由来の微生物群を利用し、海藻を原料とするメタン発酵を高効率化するための技術開発を行うとともに、メタン発酵の過程において副生する栄養塩を含む溶液を海藻育苗に活用する可能性を検証するための基礎データを取得すること等により、ネガティブエミッションのコア技術について調査研究を行う。

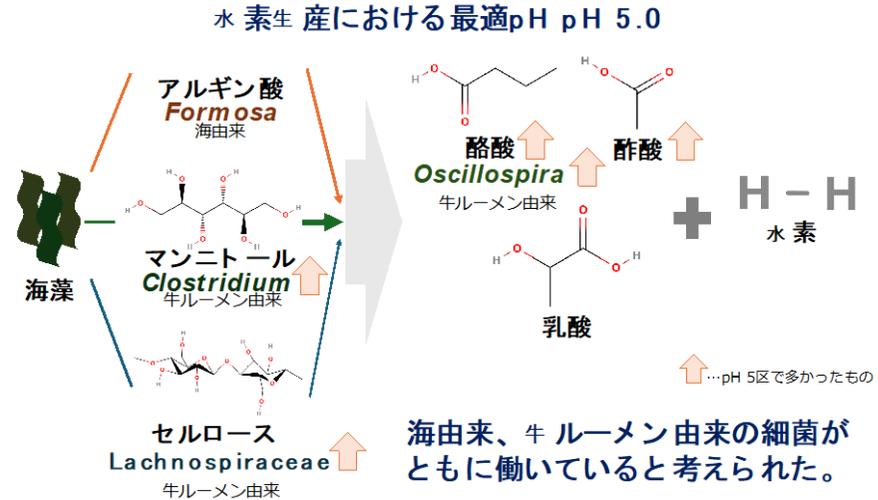
今後の展望

(今後の展開・期待される研究成果)
分解不十分の海藻固形分について有用微生物によるガス化を促進させることで、さらに効率を向上させ、産業化を目指す。

浜通りブルーカーボンによるネガティブエミッションシステムの構築

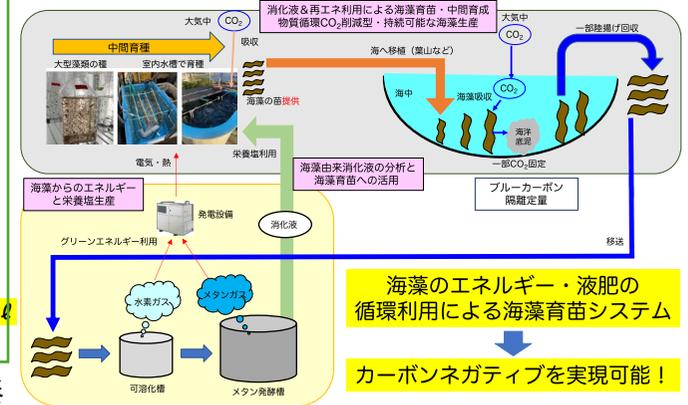
【令和6年度の最も注目すべき成果】

- （前処理：牛ルーメン由来微生物群を用いた海藻からの水素生産）前処理工程で、牛ルーメン由来微生物群を用いて海藻の可溶化処理を促した結果、pH 5で水素発生が最も高く、海藻分解に寄与する微生物群が明らかとなった。これらは、海由来の微生物と牛ルーメン由来微生物がそれぞれの働きによって、可溶化していることがわかった。
- （メタン発酵処理とネガティブエミッション）前処理後マコンブ溶液のメタン発酵では、原料投入あたりの理論値に対して高いメタン変換収率を得た。その結果、本技術を導入した場合、10 haの海藻養殖の一部をメタン発酵することで、育苗施設から排出されるCO₂よりも大きなCO₂削減効果があり、ネガティブエミッションのシステムになることが明らかとなった。
- （海藻のメタン発酵消化液の海藻育苗への利用）発酵消化液における環境基準水質および栄養塩を分析し、実適用に反映する知見を取得した。また、当該消化液の成分は、マコンブ、アラメとサガラメの種苗胞子体への生長促進と健全性（色彩）の改善に寄与したことを培養試験で確認した。上述藻類の種類による発酵消化液の適正添加濃度も把握した。



消化液添加のマコンブ胞子体培養

カーボンネガティブを実現できる海藻循環型の育苗システム



【研究の成果の発信】

- （学会発表） **Hydrogen Production from Seaweed by Microorganisms from Cattle Rumen Fluid, WET2024, 2024.7**
牛ルーメン液由来の微生物を用いた海藻からの水素・メタン生産の効率化, 日本水環境学会, 2025.3
- （プレスリリース等） 第20回バイオマス科学会議でポスター賞を受賞しました。2025年02月 JANUS

バイオ統合型グリーンケミカルプロセスによるCO₂資源化

令和6年度
研究成果の
ポイント

- ✓ バイオマスガス化で得られる熱分解油の脱酸素化に有効な触媒の開発
- ✓ ガスアトマイズ法によるFTに有効な多孔質コバルト触媒の開発
- ✓ 福島における森林バイオマスの有効利用と新産業の創出

研究実施期間 令和5年度～【第2年度】 ※終了年度は実施期間中の各種評価等により変更

研究実施者 山口 和也（東京大学）

【令和6年度の研究開発又は社会実装・産業化の主要成果】

● バイオマスガス化で得られる熱分解油の脱酸素化に有効な触媒の開発

バイオマスガス化の際に副産物として得られる酸素官能基を多く含む油（熱分解油）を有効活用するためには、水素化脱酸素が有効な手段である。本研究では、独自に開発した担持Pt触媒が水素化脱酸素に極めて有効であることを見出した。本触媒では、熱分解油のモデル化合物であるグアイヤコールの酸素官能基を極めて温和な条件ですべて除去できることが明らかとなった。本触媒は実際の熱分解油の水素化脱酸素においても効果的で、この成果をまとめて特許を出願する予定である。

● ガスアトマイズ法によるFTに有効な多孔質コバルト触媒の開発

Alを犠牲金属として用い、ガスアトマイズ法によるAlFeCo、AlFe、AlCoの3種類の合金微粒子触媒を開発した。ガスアトマイズ法は溶融金属を滴下する際にガスを噴射して微粒子化する手法である。粒径に分布ができることからふるい分けによる分級を行った。酸や塩基でエッチングを行ったところ、Alリッチ部が除去されスポンジ状となり、微細な孔を有する多孔質コバルト触媒の開発に成功した。これら合金のうちAlCoをNaOH水溶液でエッチング処理した多孔質コバルト触媒を用いて、シングルマイクロリアクターにおいて0.9 MPa、H₂/CO比=2でFT反応を行ったところ、比較的低压にもかかわらず280℃においてCH₄やCO₂がほとんど生成せず、液体成分（C₅₊）選択率が56%、うちSAFとなり得るC₈～C₁₆の選択率64%を達成した。また、一般的なASF分布から外れる挙動を示しており、微細な孔によってFT生成物分布を制御できる可能性のあることを見出した。

【令和6年度の目的】プロセスシステム概念設計のための情報収集等を実施する。LCA算定ルール、SAF認証基準等の調査、社会実装に向けた戦略策定に関する検討を行う。また、既存FTシステム等に関する調査、バイオマスガス化に関する検討、高活性触媒の開発、小型プラントに関する基本設計等を行う。

【事業の背景・目的】福島におけるバイオマス由来の原料ガス※をカーボンニュートラル炭素の原料とし、再生可能エネルギー由来の水素を活用して有用なグリーン化学品（主に液体燃料）を得るプロセスの統合化に関する研究開発を行う。
※バイオマスをガス化等することによって得られるCO/H₂/CO₂

今後の展望

- カーボンニュートラル社会実現に寄与する先端的なグリーン化学品製造システムの構築
- 福島におけるバイオマスの有効利用
- 福島での新産業の創出・誘致・集積・人材育成

バイオ統合型グリーンケミカルプロセスによるCO₂資源化

【令和6年度の最も注目すべき成果】 ガスアトマイズ法によるFTに有効な多孔質コバルト触媒の開発

ガスアトマイズ法(図1)によるAlCo合金微粒子について、NaOH水溶液によるエッチングを行ったところ、Alリッチ部が除去されスポンジ状となったことをSEM像から確認した。(図2) AlCoではエッチング後に吸脱着等温線でヒステリシスが確認され、**微細な孔の形成**を確認した。(図3) また、**BET比表面積が比較的大きなコバルト微粒子**が形成していることが分かった。AlCoをエッチング処理した多孔質コバルト触媒を用いて、シングルマイクロリアクターにおいて0.9 MPa、H₂/CO比=2でFT反応を行ったところ、比較的低圧にもかかわらず280°CにおいてCH₄やCO₂がほとんど生成せず、液体成分(C₅₊) 選択率が56%、**うちSAFとなり得るC₈~C₁₆の選択率64%を達成した**。(表1, 図4) また、一般的なASF分布から外れる挙動を示しており、**微細な孔によってFT生成物分布を制御できる可能性がある**ことを見出した。(図5)

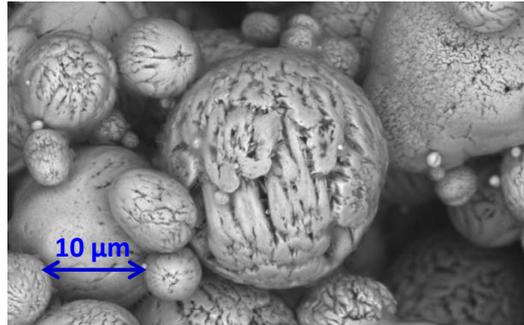
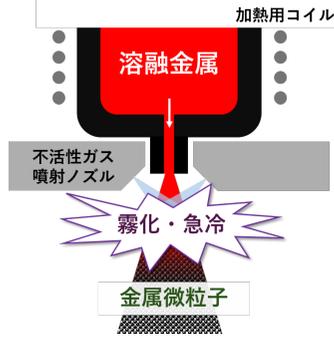


図1. ガスアトマイズ法の概略

図2. 多孔質コバルト触媒のSEM像

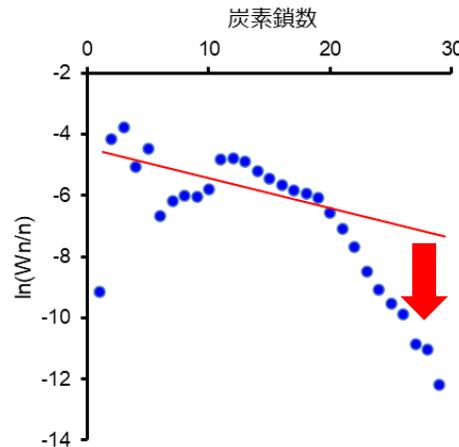
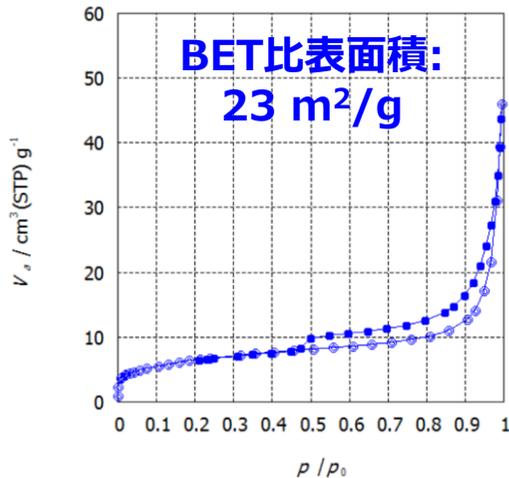


図3. 多孔質コバルト触媒の吸脱着曲線

図5. ASFプロット

表1. 多孔質コバルト触媒のFT活性試験結果

Catalysts	Temp.[°C]	Sel.[%]				C ₈₋₁₆ /C ₅₊ [%]	α
		CO ₂	CH ₄	C ₂ ~C ₄	C ₅₊		
20wt%Al-Co-25μm/Q-10	280	9.0	<0.1	35	56	64	0.85

Conditions: Catalyst 111.5 mg, H₂:CO:Ar = 40:20 mL min⁻¹(1atm), 0.9 MPa, Co loading equivalent to 20 wt%, pre-treatment : H₂ 30mL min⁻¹, 400 °C, 1 h.

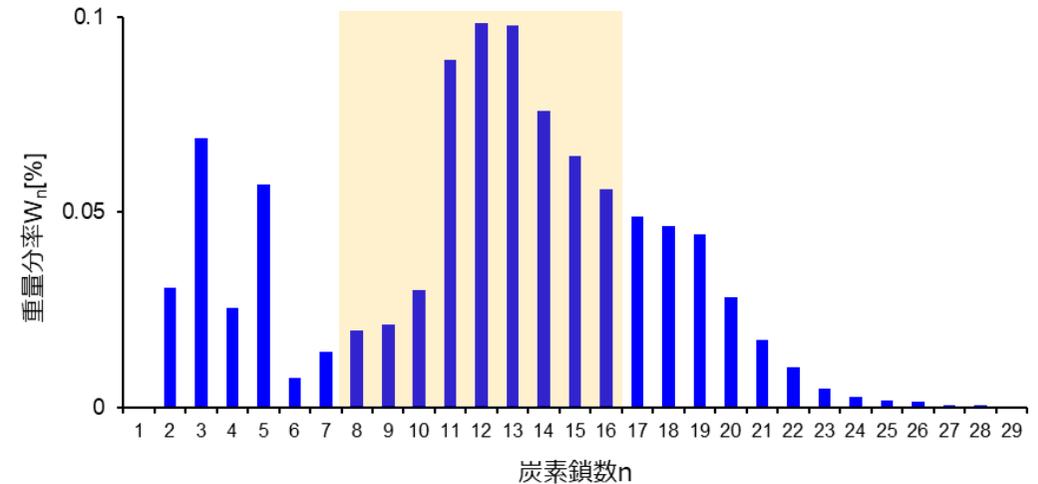


図4. FT反応の生成物分布

【研究の成果の発信】

・ (発表論文) CO₂ hydrogenation over Fe-Mn-Zn spinel oxide nanohybrids precatalysts, Y. Liu, F. Kishimoto, X. Lu, J. Li, K. Takanebe, Appl. Catal. B 361 (2025) 124675. ・ (特許出願) 該当なし ・ (プレスリリース等) 該当なし

福島浜通り地域における水素エネルギーネットワークモデル構築とモデル実現に向けた水電解水素製造システム開発

令和6年度
研究成果の
ポイント

- ✓ 福島県における電力需要と再エネ導入量から求めた水素製造ポテンシャルの試算
- ✓ 水電解単セル試験装置10台から成る並列試験装置の設計・構築
- ✓ 地産地消型水素による面的利活用がもたらす地域の活性化・創造的復興に向けた技術開発

研究実施期間 令和5年度～【第2年度】 ※終了年度は実施期間中の各種評価等により変更

研究実施者 森田 寛（一般財団法人 電力中央研究所 エネルギートランスフォーメーション研究本部）

【令和6年度の研究開発又は社会実装・産業化の主要成果】

● **福島県における電力需要と再エネ導入量から求めた水素製造ポテンシャルの試算**：福島県内の2030年度再エネ導入目標量をヒアリングし、その目標量16.08TWhからみた水素製造ポテンシャルを試算した。2030年目標16.08TWhが達成されることを前提に、電力需要は現状維持の15TWh（ケース1）、5%増加（ケース2）、5%減少（ケース3）について水素製造量を試算した結果、ケース1では年間2万トン、ケース2では年間6千トン、ケース3では年間3.5万トンの水素製造量となった。

	ケース1	ケース2	ケース3
再エネ導入 (TWh)	16.08	16.08	16.08
電力需要量 (TWh)	15	15.75	14.25
水電解使用可能量 (TWh)	1.08	0.33	1.83
電力原単位 (kWh-DC/m ³)	4.6	4.6	4.6
水素生産量 (千Nm ³ /年)	233,932	70,889	396,976
水素生産量試算 (トン/年)	20,887	6,329	35,444

● **水電解単セル試験装置10台から成る並列試験装置の設計・構築**：低コスト化を意図したマイクロコンバータ（商用交流電源を電解用直流電源に変換）試作品と100W級固体高分子（PEM）形水電解単セルの連係試験結果も踏まえて、10台分のコンバータ回路を設計・製作し、10台並列運転が可能な100W級PEM形水電解単セル試験装置を構築した。マイクロコンバータ製作後、動作確認を行うため、マイクロコンバータ1台を水電解単セル1台に、残りの9台を抵抗負荷（水電解単セルを模擬）9台に接続し、並列運転による電解模擬試験を実施した。電解（直流）側での電圧、電流波形を計測した結果、10台全てのマイクロコンバータにおいて、電圧、電流値が設計範囲内で制御可能な点を確認した。

【令和6年度の目的】将来の電力需要を考慮した水電解に利用できる正味電力量から水素製造ポテンシャルを試算するとともに、地産地消に適したモジュラー型水電解システムの動作検証を行うため、水電解単セル10台から成る並列試験装置を完成させる。

【事業の背景・目的】福島浜通り地域における水素の製造・供給ポテンシャルを分析し、水素利用のネットワーク構築に向けた実現可能性を調査するとともに、水素の地産地消に適した低コストで需給調整力等にも富む柔軟な水電解水素製造システムを開発する。

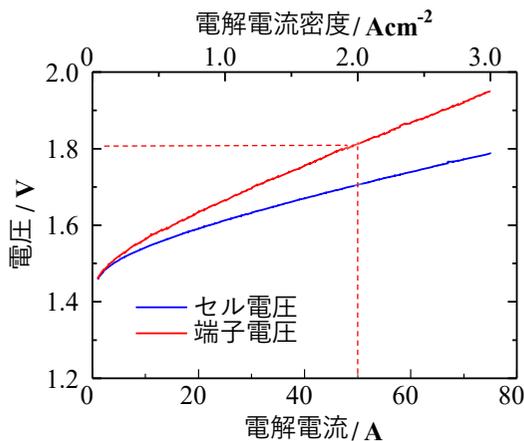
今後の展望

水素需要ポテンシャルの試算、経済波及効果を明らかにするとともに、多数台並列運転による電解セルの動作検証を行い、モジュラー型水電解システムのメリット・デメリットを精査する。

福島浜通り地域における水素エネルギーネットワークモデル構築とモデル実現に向けた水電解水素製造システム開発

【令和6年度の最も注目すべき成果】水電解単セル試験装置10台から成る並列試験装置の設計・構築

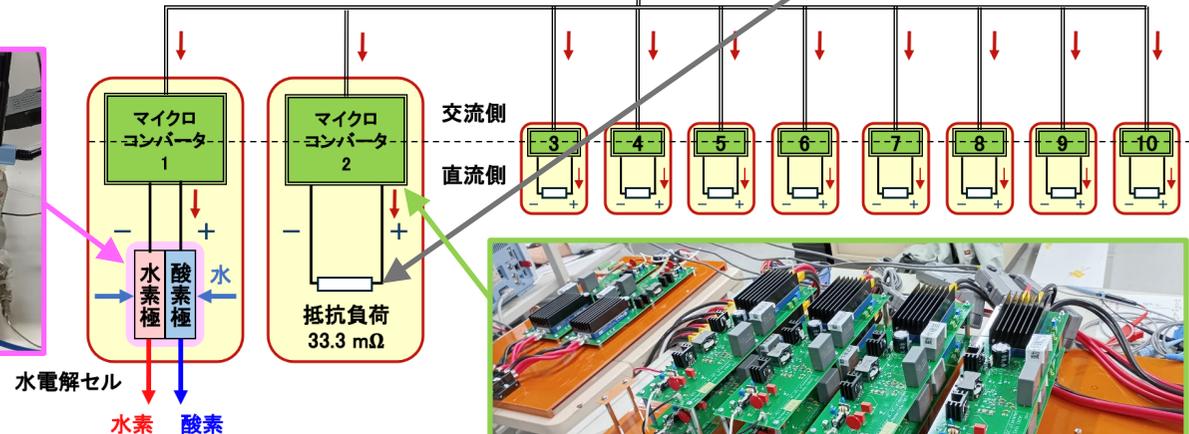
- 10台のマイクロコンバータ製作後、PEM形水電解単セル1台、抵抗負荷（水電解単セルを模擬）9台によるマイクロコンバータの電解模擬試験を実施した。マイクロコンバータでの出口（直流端子）電圧を1.8V前後に設定した際の直流電流は、10台全てのマイクロコンバータにおいて水電解単セルの電解特性から得られる50A（電解電流密度 $2\text{A}/\text{cm}^2$ ）近傍で制御されており、設計範囲内でのコンバータ動作を確認した。



水電解単セルの外観および電解（電流 - 電圧）特性



水電解単セル1台の外観



マイクロコンバータ10台の並列動作試験における結線



抵抗負荷1台の外観



マイクロコンバータ10台の外観

コンバータNo.1（水電解単セルと接続）

コンバータNo.2（抵抗負荷と接続）

各マイクロコンバータ出口での直流側電流波形（電解電流密度を $2\text{A}/\text{cm}^2$ 付近で制御時）

テーマ（１）電力・水素エネルギー連携システムの構築、テーマ（２）先端的な水素材料開発環境の構築

令和6年度
研究成果の
ポイント

- ✓ 太陽光発電の出力変動を相対誤差10%以下で予測する手法を開発
- ✓ 変動再エネに対するSOEC/SOFCシステムの効率を試算し、課題と対策を明確化
- ✓ AEM用アノード触媒で目標性能を上回る複数の触媒材料を開発
再エネを利用した水素エネルギーシステムの高効率化に貢献

研究実施期間 令和5年度～【第2年度】 ※終了年度は実施期間中の各種評価等により変更

研究実施者 河野 龍興（CN水素コンソーシアム（東京大学（代表機関）、東北大学、京都大学））

【令和6年度の研究開発又は社会実装・産業化の主要成果】

● 小型太陽光発電における発電量の出力変動に対する高精度予測手法を開発

風向と一致した方角に設置した小型太陽光発電の発電変動データを利用し、10秒先の出力変動を相対誤差10%以下で予測することに成功した。また、風速や雲の形状により予測精度や猶予時間が異なることを課題として特定し、パネル台数の増加とともに移動式パネルの併用により、予測精度と猶予時間の向上を推進した。

● SOECによる水素エネルギーシステム高効率化に関する課題抽出と解決方針策定

変動性再エネ電力に対するSOEC/SOFCシステムの効率計算とその結果から、①ホットユニットの放熱低減、②システム運用法の改善、③低温作動化の3つを最重要課題として特定した。このうち①に対してはスタックの最適設計と試作により10kW級スタック製作の見通しを得た。また、②、③の解決に向けて連携メーカーの選定と基礎研究体制の構築を行った。

● 先端的な水素材料開発環境の構築

AEM形電解システムの鍵となるアノード触媒において、年度目標値をクリアする高活性触媒材料を開発した。また触媒活性評価のための電気化学測定手法を確立し、強制対流法を用いた評価プロトコルを策定して、横並びの評価体制を構築した。さらに、材料開発からシステム実証までの開発期間に対応可能な高度触媒解析ツールを整備した。

（ex-situ測定に加えOperando解析手法を構築）

【令和6年度の目的】水電解装置（AEM形）で求められる性能を定量的に評価する。水電解の触媒材料を選定し、電気化学特性評価、放射光計測などにより、触媒の解析を行う。また、高温システムの構成・熱供給方法・実現可能性を定量評価する。放熱ロス低減のためのセル・スタック設計最適化と変動電力対応検討のための信頼性評価を行う。

【事業の背景・目的】2050年カーボンニュートラルとレジリエンスな社会構築を実現するために、再生可能エネルギーから水素を製造・貯蔵・利用「P2G（Power to Gas）」を高効率化することが必要。本研究ではP2Gの高効率化を目指した水素エネルギーネットワークの研究開発を行う。

今後の展望

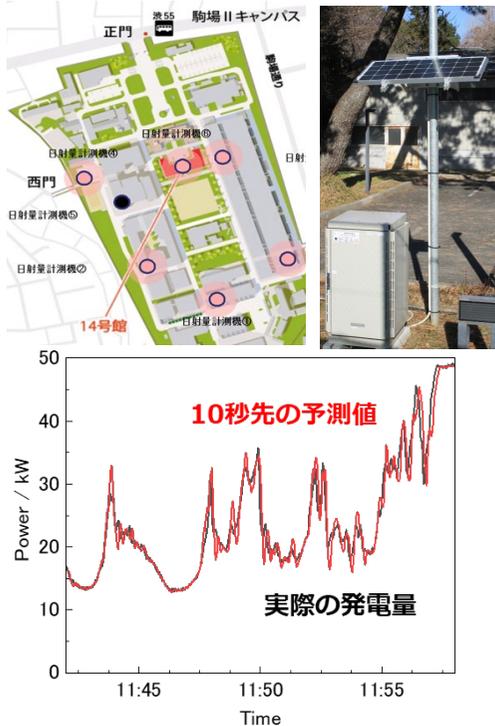
低温及び高温における水素エネルギーシステム材料および装置開発を進め、再エネを組み合わせた実証システムを令和11年度までに実現する

テーマ（１）電力・水素エネルギー連携システムの構築、テーマ（２）先端的な水素材料開発環境の構築

【令和6年度の最も注目すべき成果】

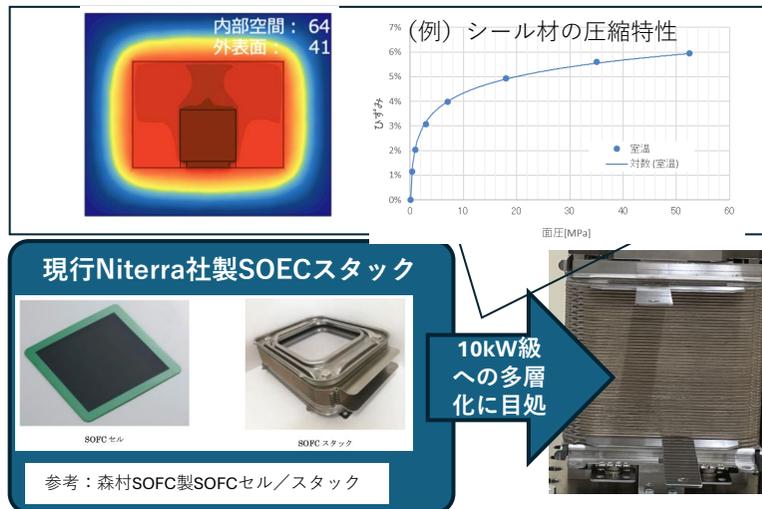
太陽光発電の高精度変動予測

・風向と一致した方向に設置した小型太陽光発電の変動データを利用することで、10秒先の出力変動を相対誤差10%以下で予測することに成功した。移動式パネルの併用による予測精度・猶予時間の向上を推進する。



10kW級SOECスタック製作

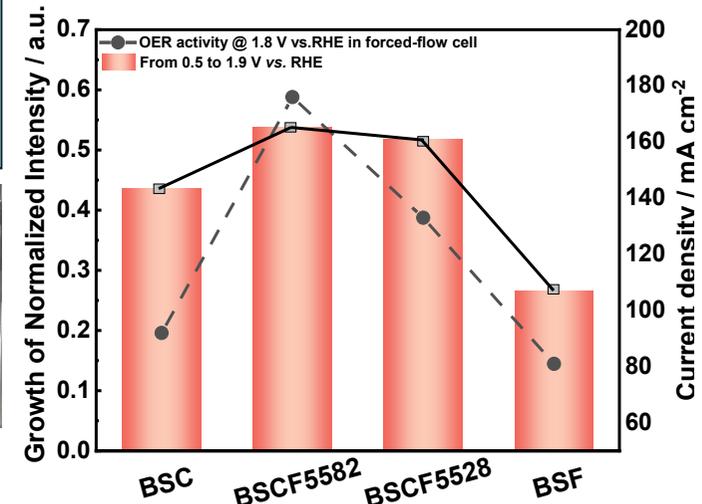
・SOEC/SOFCシステムの高効率化に向けたシステム計算を実施し、ホットボックスからの放熱低減を重要課題の一つとして設定した。この解決に向けてメーカーと協議を重ね、熱解析、材料特性解析、構造解析等を実施して、その結果を総合し、多段積層化スタックの設計指針を策定し、10kW級スタック作製の見通しを得ることができた。



変動再生エネでのSOECシステム計算と高効率化のための大容量スタック開発

AEMアノード触媒開発

・気泡の影響を受けない強制対流セルによる電気化学測定法とoperando硬X線、軟X線X線吸収分光法測定を組み合わせることにより、アノード触媒の動的な変化を捉えることに成功した。この手法を典型的なAEM用アノード触媒であるペロブスカイト形酸化物触媒 ($Ba_aSr_bCo_cFe_dO_3$ (BSCFabcd)) に応用して、下図で示す活性のFe含有量依存性を明らかにした。



【研究の成果の発信】

・ (発表論文) “Investigation of factors enhancing electrochemical properties of the porous $La_{0.6}Sr_{0.4}CoO_{3-d}-Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{1.95}$ composite electrode for solid oxide fuel cell”, R. A. Budiman, J. Sakuraba, M. Sakai, M. Yamaguchi, S. Hashimoto, K. Yashiro, T. Kawada, Solid State Ionics 417, 116724 (2024), 投稿日 21 August 2024, 出版日 December 2024 (オンライン 1 Nov. 2024) 他4件

・ (特許出願) 該当なし ・ (プレスリリース等) 該当なし