資料２-２

福島国際研究教育機構（F-REI）
研究成果報告
（抜粋版）

令和８年11月10日

F-REI

人の感覚を伝える高性能アバターロボット

力触覚フィードバックとAIにより、人が入れない危険環境や屋外農作業を遠隔化・自動化

キーワード
- 人間情報学およびその関連分野
- 遠隔操作ロボット
- 果実収穫の自動化

研究背景

高放射線環境（廃炉現場など）や真空・高温といった人が直接立ち入れない極限環境での作業には、人が離れた安全な場所から遠隔操作できる分身ロボット（アバターロボット）が必要である。人があたかも現場にいるかのように思い通りに作業を行うためには、カメラの映像（視覚）だけでなく対象物に接触した感覚（＝力触覚）がリアルに操作者の手に伝わることが不可欠である。さらに、ロボットが感覚を持つことで、人工知能（AI）が状況を判断して自立的に動く「作業の自動化」へと発展させることが可能になる。

研究成果・進捗

器用なアバターハンドの開発

遠隔側で動作し、物に触れた力触覚を操縦者に伝えるアバターロボットハンドを製作した。人間の手首のような滑らかな3自由度※1の動きを持ち、硬くて脆い鉱滓（スラグ）を掴んで置く動作や破砕する実験に成功した。

悪環境に強い高耐久センサーの開発

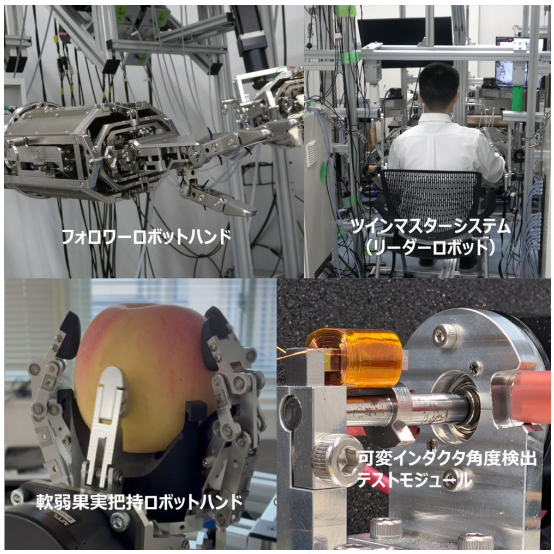
放射線下や真空場、高温場などの過酷環境でも壊れにくい、金属のみで構成された角度センサーを試作し、安定した速度制御に成功した。

ロボットの自律化に向けたAI連携技術の開発

現実のロボットの動きを仮想空間（デジタルツイン※2）で操縦できるディジタルコンソールを構築した。さらに、人の遠隔操作データをもとにAIが作業を学習して自立動作を行う仕組み（AI-in-the-loop※3）の実装を開始した。

桃の自動収穫ロボットハンドの開発

果実の模型を用いた実験において、傷つきやすい桃などの柔らかい果実を傷つけずに掴み、表面の柔らかさ（熟度）を瞬時に判別して収穫する動作を可能にした。



開発したハンド、センサー、および果実収穫ロボットハンド

上　図：力触覚を操縦者に伝え、硬くて脆い鉱滓の把持や破砕作業に成功した、フォロワーとして動作するアバターロボットハンド
下左図：デリケートな桃の熟度を触覚で判別しながら優しく掴む収穫用ハンド
下右図：放射線や熱に耐えるオールメタル構造の角度検出センサー

※1 自由度：関節などが独立して動くことができる方向の数（3自由度は手首の上下・左右・回転の動きに対応）。
※2 デジタルツイン：現実世界の機器の動きや環境のデータを集め、コンピュータ上の仮想空間にリアルタイムでそっくり再現する技術。
※3 AI-in-the-loop：人の操作データを取り込みながら、AIがフィードバック構造を構成してリアルタイムに学習・介入することで、作業の自動化や操縦支援を行うシステム。

社会への貢献・期待される効果

人が入れない原子力災害現場やインフラ点検などの危険作業を、安全な場所から人の手先感覚そのままに実施できるようになる。さらに、製造業や農業における果実の収穫作業の自動化など、人手不足が深刻な様々な分野への社会実装が期待される。

遠隔操作研究ユニット
連絡先：✉F-REIロボット分野 <F-REI_robo@f-rei.go.jp>

激甚災害時に空・陸ロボット群が連携して要救助者を捜索する統合技術

ドローンと四脚ロボットがAIの指揮で先行突入し、救助活動を迅速化・安全化

キーワード
・人間情報学およびその関連分野
・災害対応ロボット群制御
・フィジカルAI

研究背景

大規模災害では、建物の倒壊や通信遮断により救助隊員が現場に入れず、生存率が急低下する「発災後72時間」以内の初動捜索が難航する。
本研究では、1km四方の過酷な被災現場に空（ドローン）と陸（四脚ロボット）が自ら判断して集団で先行突入し、AIの司令塔のもとで被害状況の地図作成と要救助者探索を自動で行う技術を開発する。

研究成果・進捗

【空】通信が途絶えても隊列を維持するドローン群と物資把持ハンド：外部通信が使えない現場でも、機体同士が直接つながるメッシュ通信※1により3機での自律編隊飛行に成功。タコ触手型の柔軟ハンドで不揃いな物資の把持も実現した。

【陸】通信なしで周囲の立体地図を作る四脚ロボット：
通信やGPSが届かない屋内・地下でも、歩行しながら周囲の3次元立体地図をリアルタイム作成する技術（オンボードSLAM※2）を開発した。

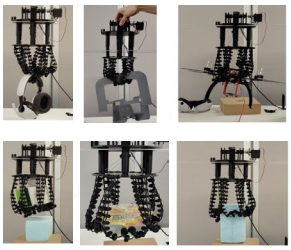
【頭脳】10万枚超の被災画像でAIを鍛えるシミュレータ：
建物崩壊を忠実に再現する物理シミュレータを構築。10万枚以上の合成画像で学習させたAIを実機ロボットへ適応させる基盤（Sim-to-Real※3）を確立した。



建物の崩壊を再現しAIを学習させるシミュレータ画面



電波を中継し合って自律編隊飛行を行うドローン群



不揃いな物資を包み込むタコ触手型ハンド



3次元地図を即座に作成しながら自律歩行する四脚ロボット

※1 メッシュ通信：基地局なしで機器同士が電波を中継し合い、網の目状につながる通信技術。
※2 SLAM：移動しながら現在地を推定し、同時に周囲の立体地図を作成する技術。
※3 Sim-to-Real：仮想空間で大量学習させたAIを、現実のロボットに適応させる技術。

社会への貢献・期待される効果

・**隊員の二次被害ゼロ：**崩落の危険がある現場へロボット群が先行突入し、救助隊員の安全を確保する。
・**探索速度3倍・救助率向上**:人手比約3倍のスピードで広域・狭域の被害状況を可視化し、72時間以内の救命率を高める。
・ **福島発の国際標準化:**福島ロボットテストフィールド（RTF）での実証を通じ、災害ロボットの世界標準化を牽引する。

自律化・知能化・群制御研究ユニット
連絡先： ✉ F-REIロボット分野 <F-REI_robo@f-rei.go.jp>

空気で膨らむ大型軽量ロボット「パワーインフレータブル」

大型重機が入れない災害現場や森林で、1トンの重量物を
動かす重作業を実現

キーワード
・ロボティクスおよび知能機械システム関連
・ソフトロボット
・災害対応・森林保全

研究背景

地震などの災害現場や森林保全の現場では、倒壊した建物のがれきや大きな倒木など、重い物を持ち上げ移動させる作業が求められる。しかし、発災直後は道路の寸断などによりショベルカーのような大型重機を運び込むことが難しく、保管場所の確保も容易ではない。そこで本研究では、空気で膨らませる樹脂製バルーン（風船構造）を用いた、まったく新しい大型重作業ロボット「パワーインフレータブル」を提案する。普段は小さく折り畳んでコンパクトに保管・運搬でき、現場ですばやく空気を入れて膨らませることで、迅速に重作業を行えるのが特長である。

研究成果・進捗

目標性能の設定
消防・自衛隊等の救助関係者や森林作業事業者へのヒアリングを重ね、現場で実用的に求められる「吊り上げ荷重1トン（乗用車1台分相当）」を最終目標に設定した。

設計・解析基盤の構築
コンピュータシミュレーションを用いて、空気圧で膨らむ膜構造の強度や変形を正確に計算・設計できる環境を整備した。

試作1号機の開発
現場のユーザやメーカとの共同検証(試作・評価・改良)を行うための試作1号機を開発した。1号機は自重70kgで、230kg以上の重量物の吊り上げ能力を実証した。



運搬時はコンパクトに折り畳み可能



パワーインフレータブル試作1号機

今後の進め方
樹脂材料メーカと連携し、軽くて破れにくい高強度な樹脂膜と丈夫な縫製技術を開発し、目標である「吊り上げ荷重１トン」を軽量な機体で実現する。
吊り下げた重量物を支脚の内部で自由な位置へ移動させる機構や、ロボット自身が歩行して移動する機能の開発に取り組む。
実証フィールドにおいて実際の作業環境を想定した適用試験を実施する。

社会への貢献・期待される効果

大型建機が進入できない狭い場所や足場の悪い現場でも、迅速に重量物の撤去や救助活動、森林作業が行えるようになる。
また、人が危険な重作業を直接行う必要がなくなり、作業者の身体的負担の大幅な軽減と安全性の確保に貢献する。

パワーソフトロボティクスユニット
連絡先：✉F-REIロボット分野 <F-REI_robo@f-rei.go.jp>

土壌と植物の働きを活かした有機物利用技術の開発

有機物の力で化学肥料に頼りすぎない農業を

キーワード
- 農芸化学
- 除染後農地
- 有機物

研究背景

除染後農地では土の力が失われ作物が育ちにくくなっている。また、海外からの輸入により多くを賄っている化学肥料への過剰依存や極度の高温は日本農業に共通する課題となっている。これらの課題を解決するため、堆肥等の有機物の活用が期待されているが、有機物が働く仕組みは複雑で十分解明されていない。有機物が働く仕組みを明らかにし、土の特性に応じた有機物の活用による化学肥料に頼りすぎない農業の実現をめざす。

研究成果・進捗

有機物施用による土壌環境の変化

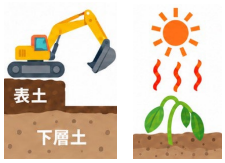
有機物施用により硝酸やアンモニアなどの無機成分やアミノ酸や糖などの有機成分のほか、土壌団粒（保水性等に作用する土の固まり）など作物の成長に影響する要素が増加することを明らかにした。

有機成分に対する根の反応

アミノ酸や糖などの有機成分の一部が根の発達を促すことを確認した。
今後は、有機成分ごとの効果を発揮する仕組みや、有機物の効果が発揮されやすい作物の解明を目指す。

有機物施用が作物生育にもたらす効果

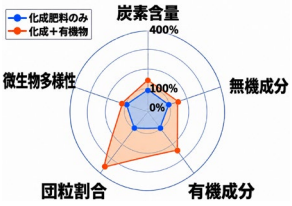
有機物には作物の生育を促すとともに、高温による収量低下を抑える効果もあることを明らかにした。
土壌の種類に適した有機物の活用法を構築し、化学肥料を減らしても収量を維持できる安定生産技術の開発を目指す。



・除染で土の力低下
・化学肥料依存
・気象変動

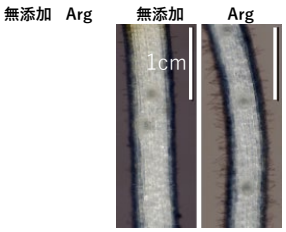
➡ 有機物を活用した解決を目指す

有機物の活用による土壌環境の変化



有機物投入により、無機・有機成分や団粒の割合が増加した

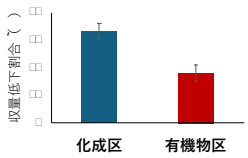
有機成分に対する根の反応



土壌に有機成分を添加することで、有機成分の一部は細かい根を発達させた

※例としてアミノ酸の一種であるアルギニン(Arg)の実験を示した

有機物のもつイネ収量低下（高温による）の抑制効果



有機物は、高温によるイネ収量低下を抑制した

社会への貢献・期待される効果

今後、土壌の種類に応じた有機物の種類、量、施用時期を検討し、農地ごとの管理技術の構築と体系化をめざす。これにより、除染後農地の回復、化学肥料の使用量と生産コストの削減、気候変動下での安定生産を実現し、浜通りで確立した技術を国内外の農業へ展開する。

土壌・植物マルチダイナミクス研究ユニット
連絡先：✉ F-REI（農林水産業分野） <F-REI_aff@f-rei.go.jp>

雑草の地力回復と節水稲作のメタン削減効果の検証

除染後農地の土壌再生と地力維持機構を解明する

キーワード
- 農芸化学
- 地力回復
- 節水栽培

研究背景

世界的な土壌劣化からの回復、福島県浜通り地方等では除染により農業に適した表土を除去し、代わりに他の所から土を持ち込む客土（砂の搬入）が行われ、農業に適した土壌の再生が喫緊の課題である。農業の環境負荷が問題となる中で、堆肥や化学肥料の多施用によらない新たな土壌改良技術や、低コスト、温室効果ガス低排出型の農業技術を開発したい。その基盤となる農家が実行可能な土壌改良技術のシーズと定量可能な指標を特定する。

研究成果・進捗

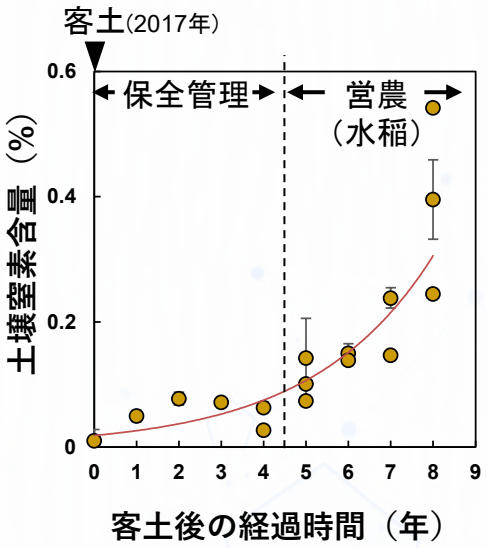
雑草の土壌再構築の発見

除染後農地においては、客土後の保全管理（営農再開するまでの間に行う草刈り等の作業）を通して、土壌炭素・窒素含量が急速に増加していることを発見した。炭素含量増加にはチガヤ、ススキ、窒素含量増加にはクローバー、ギョウギシバが重要となることを特定した。雑草種によって土壌の炭素・窒素蓄積速度、収穫量に違いが見られることから、雑草を活かした土壌改良技術の確立を急いでいる。

節水稲作によるメタン削減と肥沃度低下機構の解明

東北地方の水田は国内の主要なメタン排出源であり、メタン排出とコストの削減を目的として田んぼに水を張る湛水栽培ではなく、かんがい水量を削減した節水栽培の導入が始まっている。そこで温室効果ガス観測の結果、節水栽培では湛水栽培と比較して、メタン排出量を約8割削減できた。

一方で、節水栽培では約3割の収量低下を招くことが確認され、節水栽培では灌漑水による養分供給量が低下することが一因と考えられた。イネが好むケイ素の流入量を定量化した結果、節水栽培では栽培する場所によって、ケイ素供給が低下することを解明した。ケイ素を補給する新たな肥培管理の開発を開始している。



福島県大熊町の事例。客土後、土壌窒素含量はほぼ0になり、保全管理期間には土壌窒素含量の上昇した。
保全管理期間に自然発生した雑草を耕うんすることで、土壌に還元されたことが原因と推察される。ただし、この一般性については広域評価によって検証する必要がある。

社会への貢献・期待される効果

本研究により、厄介者扱いをされてきた雑草に土壌炭素・窒素増加効果が存在することを発見した。堆肥や化学肥料の多施用によらない低コストの土壌改良技術として期待できる。ただし、雑草の種類によって土壌窒素回復効果は大きく異なること、雑草の農地への侵入リスクがあることから、どのような雑草の利用が効果的か、地域によってどの程度ばらつくのかを広域評価によって検証する予定である。

土壌ホメオスタシス研究ユニット
連絡先：✉ F-REI（農林水産業分野） <F-REI_aff@f-rei.go.jp>

社会実装に向けた遠隔監視型ロボット農機開発の取組み

1人で複数台のロボット農機を運用可能なシステムを目指す

キーワード
- 農業工学
- 超省力化農業
- ロボット農機

研究背景

「小規模農家の離農×大規模・法人への集約」が急速に進行する日本の農業において、今後は圃場の集約を通した大区画化が予想される。一方、東日本大震災からの復旧・復興の過程で、福島浜通り等では農地の集約・大区画化等基盤整備が進められてきた。１人当たり管理すべき対象が大きく増加する中で、抜本的なスマート化技術が求められる。

研究成果・進捗

１台の遠隔監視端末を用いて複数台の運用

異なるブランドの異なる複数の農機を１つの画面で統一監視・操作できる遠隔監視プラットフォームを構築し、通信遅延1秒以内を達成した。

圃場間移動～圃場内作業のシームレスな稼働

ロボット農機はマップで生成した経路に沿って格納庫～農地間を走行した。マップの先読み情報に基づき、交差点前等で一時停止~遠隔監視端末で周囲の安全確認~走行再開動作性を確認した。

公道走行制度化等を踏まえた運用案の構築

実証結果等を踏まえた技術的知見等について関係省庁と共有、ロボットを基軸とする営農ビジネスモデル案について自治体等と協議中である。



社会への貢献・期待される効果

実証を重ねて、「遠隔監視PF＋デジタルマップ＋ロボット制御技術」で構成される統合システムとしての堅牢性と利便性の確保、及び公道走行を実現する制度整備を踏まえたシステム運用が図られ、社会受容性を高めた現地モデルケースとして提示できる。
限られた労働力のもとで抜本的な生産性向上に資する本成果をもとに、地域において包括的な営農支援策として導入検討が進められることが期待される。

令和7年度「福島国際研究教育機構における農林水産研究の推進」委託事業テーマ（1）土地利用型農業における超省力生産技術の技術開発・実証のうち超省力的なPDCA型スマート稲作の体系化及び稲作の完全自動化に向けて開発が必要な技術の調査（超省力型スマート稲作体系化コンソーシアム／代表：農研機構）
連絡先：✉ F-REI（農林水産業分野） <F-REI_aff@f-rei.go.jp>

もも果実1つ1つの品質や食べごろを推定する技術

個体評価ツールの提供によるプレミアム化と消費者ベネフィットの両立

キーワード
- 農芸化学
- 非破壊評価
- 香りセンサー

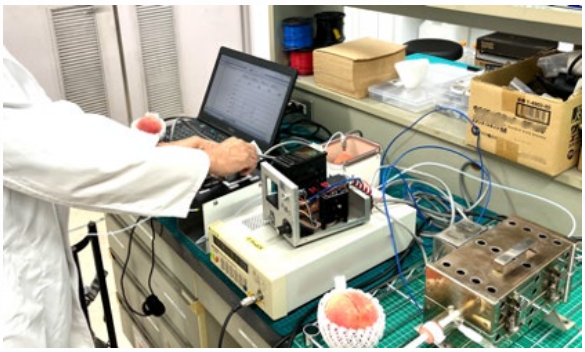
研究背景

福島県は『もも』の生産量が全国２位であり、その強みさらにを伸ばすためには、輸出促進やブランド価値の向上を進めるには、個体の品質を見極め、管理することが望ましい。そこで高感度ガスセンサデータや多要素の物理化学分析技術等手法により、様々な分析を行いもも果実を破壊することなく品質を評価する技術の開発に取り組んでいる。

研究成果・進捗

高感度で応答性に優れたガスセンサの開発

香気ガスに鋭敏に反応するセンサの材料や構造の探索、センサから得られたデータを読み解く方法の開発などを総合的に進めることで、果実の熟度や食べごろを推定できる試作システムを開発している。



試作中の高感度香気ガスセンサ

追熟の進行に伴って変化する香りを分析し、熟度や食べごろの推定を目指す。

さまざまな物理化学分析値の蓄積とおいしさをつなぐ関係性の考察

産地や品種による味覚や追熟期間の差異、追熟の進行に伴う香り・硬さ・色・化学成分の変化を定量的に捉え、傾向や相関を分析することで分析のデータ基盤を整備している。

果実個体の品質/食べごろ推定システムの開発

簡単・迅速な果実の品質評価ツールの実現を目指す。

社会への貢献・期待される効果

本研究を通じた技術の確立により『誰でも･簡単に･きめ細やかな果実品質の評価と管理』が実践できるようになると期待される。そのようなシステムは、営農者のQoW増進と消費者の満足度向上に貢献し、ひいては、福島県の農業振興にも結びつくと期待している。

令和7年度「福島国際研究教育機構における農林水産研究の推進」委託事業
テーマ（輸出対応型果樹生産技術の開発・実証）（産業技術総合研究所）
連絡先：✉ F-REI（農林水産業分野） <F-REI_aff@f-rei.go.jp>

水素エネルギーシステムの安全性評価技術開発

科学的に安全性が担保された水素エネルギーシステムの確立

キーワード
- 原子力工学、地球資源工学、エネルギー学およびその関連分野
- 水素システム
- 安全性評価

研究背景

カーボン・ニュートラルの実現に向けた水素エネルギーの活用において、安心・安全の確保は、普及を左右する最も重要な課題です。本研究では、再生可能エネルギーを用いた地産地消型の高効率水素システムを対象として、実験データに基づく高度なリスク評価手法※1を開発し、システムへ実装することで、安全性を科学的に担保します。

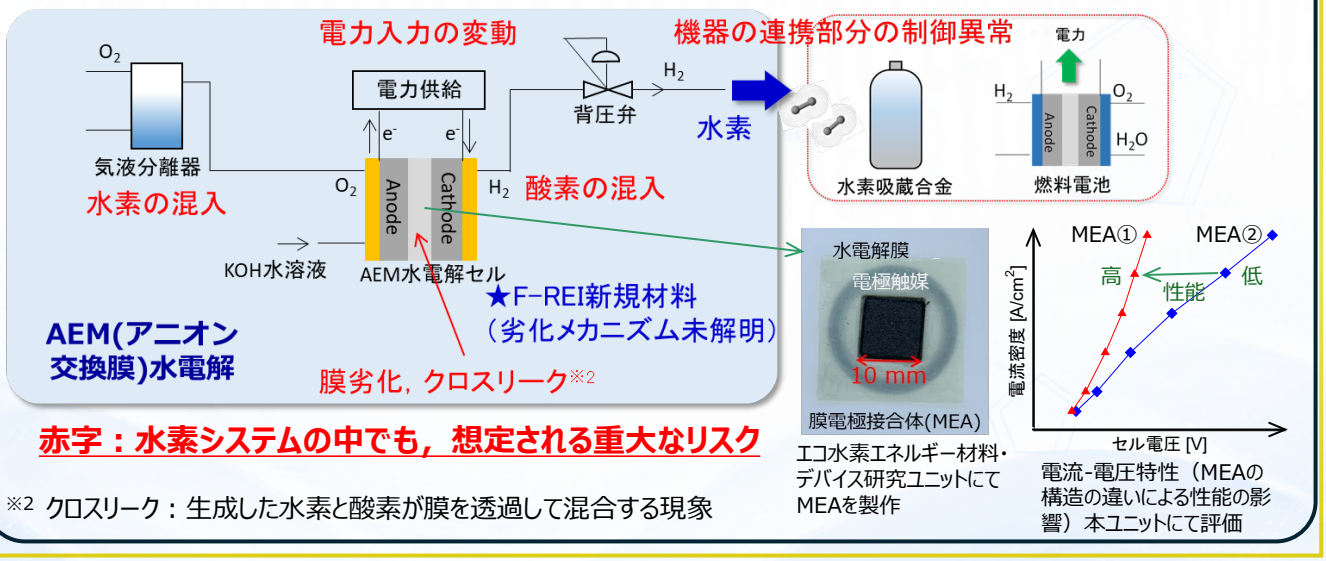
※1「リスク」は 、危害の程度×発生確率として評価されます。

研究成果・進捗

- 再生可能エネルギーが豊富な福島において、水電解装置、水素吸蔵合金による貯蔵装置、燃料電池からなる水素エネルギーシステムを対象として、社会実装を見据えた安全性評価技術を開発する。
- AEM（アニオン交換膜）水電解セルの、電力入力の変動に伴う劣化データは国際的にも乏しい。信頼性の高いリスク評価の確立には、メカニズム解明に基づく定量的な耐久性・寿命の把握が必要不可欠である。本研究では、F-REIの新規材料を用いた水電解セルを対象に、加速率10倍の劣化加速試験プロトコル開発と、誤差20%以内の寿命予測を目指し、これまでに膜電極接合体の構造が初期性能に与える影響を評価した。

水素エネルギーシステム全体の構成と主要なリスク

再生可能エネルギー由来の変動電力で材料劣化



赤字：水素システムの中でも，想定される重大なリスク

※2 クロスリーク：生成した水素と酸素が膜を透過して混合する現象

エコ水素エネルギー材料・デバイス研究ユニットにてMEAを製作

電流-電圧特性（MEAの構造の違いによる性能の影響）本ユニットにて評価

社会への貢献・期待される効果

本研究で構築する水素エネルギーシステムの**安全性評価技術**は、水素利用に対する社会的受容性を高め、水素エネルギーの**普及促進に不可欠な基盤技術**となる。福島で実証される安全な地産地消型の水素利用モデルを広く展開することで、地域のエネルギーレジリエンス向上も期待され、グローバルな**カーボン・ニュートラル社会の実現**に大きく貢献する。

水素エネルギーシステム安全科学ユニット
連絡先：✉F-REIエネルギー分野 <F-REI_Energy3@f-rei.go.jp>

森林資源からSAF等を地域でつくる分散型製造技術

森林バイオマスを「合成ガス→液体燃料」へ変換する小型コンテナ型システム

キーワード
- 化学工学およびその関連分野
- ガス化-FT反応
- 分散型燃料製造

研究背景

阿武隈山地の森林資源の近くに小型・コンテナ型の設備を設置し、木質バイオマスから航空燃料（SAF）などの液体燃料を地域で製造する技術の開発に取り組んでいる。具体的には、木材をガス化して一酸化炭素と水素を主成分とする合成ガスに変換し、フィッシャー・トロプシュ反応（FT反応）によって液体燃料を製造する。これにより、地域資源の有効活用や温室効果ガスの削減、森林・林業から燃料利用までをつなぐ新たな地域産業の創出を目指す。

研究成果・進捗

● ガス化：木質バイオマスから液体燃料合成（FT反応）に適した合成ガスを製造

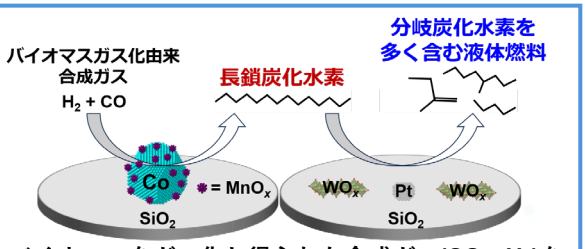
木質バイオマスをまず熱分解し、そこで生じたガスなどを別の装置でさらに高温でガス化する二段式ガス化技術を開発した。この方法により、原料に含まれる炭素の90%以上をガスに変換するとともに、不要なタールの発生を大幅に抑えることに成功した。また、液体燃料の製造に適した高品質な合成ガスが得られることを確認し、コンテナ型実証設備の規模やエネルギー収支などの設計指針も確立した。

● FT反応による液体燃料合成：高性能なCo系触媒を開発

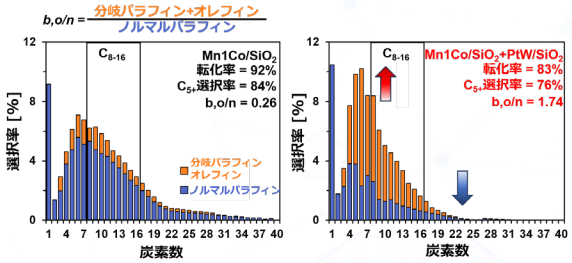
木質バイオマス由来の合成ガスから液体燃料を製造するため、3種類の新しいコバルト系触媒を開発し、最大91%の高いガス転化率と、液体燃料（SAF成分を含む）を最大80%含む生成物を得ることに成功した。今後は、それぞれの触媒の長所を組み合わせて性能をさらに高めるとともに、得られたデータを基に実証装置の設計を進める。

● 統合プロセス：実証機に向けた設計を前進

実験データを用いたシミュレーションにより、コンテナ型実証機の規模、物質・エネルギー収支の設計指針を整理した。



◆バイオマスをガス化し得られた合成ガス($CO + H_2$)を液体燃料へ変換する



◆新開発触媒により航空燃料に適した成分が増加





◆上の装置を用いて実際にバイオマス由来ガスから液体燃料(右図)を合成し、触媒性能を評価

社会への貢献・期待される効果

福島の豊かな森林資源を地域で燃料や化学品に変えることで、輸送負担を抑えた分散型の生産モデルを構築する。今後は、ガス化炉の改良、触媒性能の向上・統合、FTデモ機の製作・運転を進め、森林資源から燃料までを一貫して製造するガス化–FT統合実証機の実現を目指す。

この技術を地域に根付かせることで、森林資源の有効活用に加え、林業の活性化、新たな産業や雇用の創出を通じて福島の復興に貢献する。将来は、福島で実証した小型・モジュール型技術を国内外へ展開し、「福島発」の技術として地域の活性化と世界の脱炭素化に貢献することを目指す。

森林バイオマス活用有機合成研究ユニット
連絡先：✉F-REIエネルギー分野 <F-REI_Energy3@f-rei.go.jp>

福島の再エネ電気を水素に変えて地域で使う
― 長持ちで安価な水電解材料の開発 ―

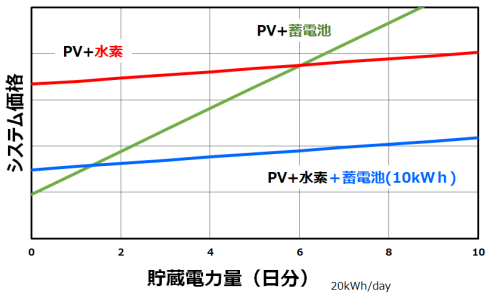
希少金属もフッ素も使わない「水素製造装置の心臓部」を福島から

キーワード
- 無機材料化学、エネルギー関連化学およびその関連分野
- グリーン水素
- 水電解

研究背景

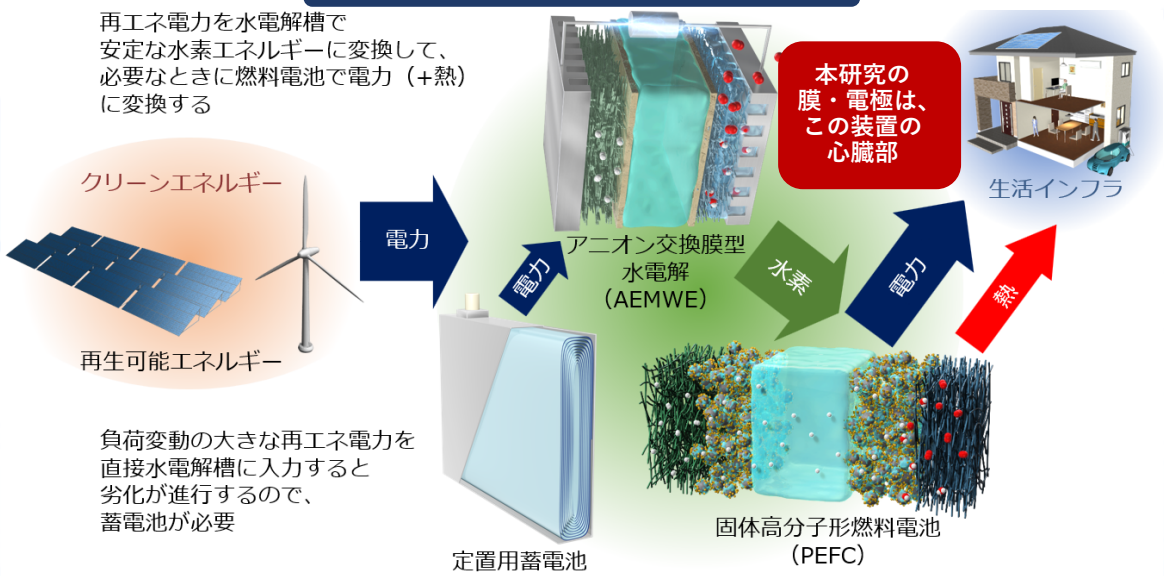
太陽光・風力は天候で発電量が変わるため、利用を広げるには電気を貯める仕組みが欠かせない。数時間なら蓄電池が得意だが、数日～季節単位では費用がかさむ。**水素ならタンクを増やすだけで長く貯められ**、再エネ拡大の切り札となる（右図）。福島県は再エネ導入が進む一方、送電網の制約で発電を止める「出力抑制」が起きており、余った電気を**その場で水素に変えて使う**仕組みが特に求められている。

貯める日数と費用（概念図）



研究成果・進捗

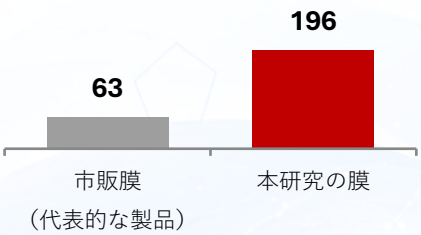
めざす地産地消型の水素エネルギーシステム



フッ素を使わない、世界最高水準の膜を開発

水電解装置の心臓部である膜を、環境規制が強まる有機フッ素化合物（PFAS）を使わない炭化水素膜を開発した。イオンの通りやすさは**代表的な市販膜の約3倍**（80°Cで196 mS/cm）で世界最高水準。強アルカリ・高温でも高い耐久性を示す。特許化を進め、福島の膜メーカーとの量産も視野に入れる。

イオンの通りやすさ（mS/cm）



社会への貢献・期待される効果

余った再エネ電気をその場で水素に変えて貯め、燃料電池で電気と熱に戻す地産地消型システムを実現する。令和12年度には浪江町で、電気から水素を経て電気に戻すまでの電力変換効率50%、熱利用を含む総合効率80%以上を目標とした実証を目指す。輸入や長距離輸送に頼らないエネルギーの確保と新産業・雇用の創出で、創造的復興に貢献する。

エコ水素エネルギー材料・デバイス研究ユニット
連絡先：✉F-REIエネルギー分野 <F-REI_Energy3@f-rei.go.jp>

福島発・水素製造装置の新産業へ
― 材料から実証まで一貫開発する拠点づくり

最先端計測・AIと地元企業の力を結集し、浪江町での実証と産業化をめざす

キーワード
- 無機材料化学、エネルギー関連化学およびその関連分野
- グリーン水素
- 水電解

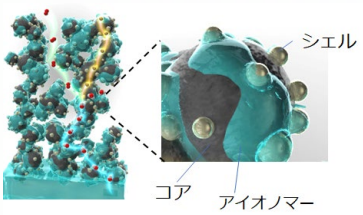
研究背景

水素製造で使われる優れた触媒や電解質膜材料も、実際の装置に組み込んで長く安定して動かなければ社会では使えない。また材料開発は試行錯誤に多くの時間を要する。地産地消エネルギーに関する新しい産業を福島に根づかせるには、材料から装置の製造・実証までを地元で担える体制と、開発を加速する最先端の研究基盤が必要である。

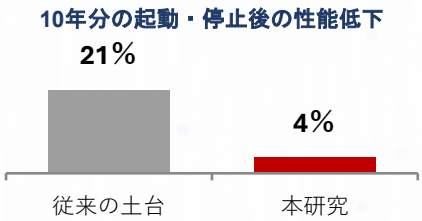
研究成果・進捗

① 水素製造のための世界初の電極材料を、実際の装置で検証

強アルカリや高電圧に耐える新材料（酸窒化物）を土台にした、希少金属不使用の電極を開発（特許出願済み）。10年相当の起動・停止条件での性能低下は**わずか4%**（従来21%）。独自の試験用セルでも8,000回以上の起動・停止に耐えた。



開発した電極材料のイメージ
土台（コア）を触媒（シェル）が包む



数値が小さいほど長持ち

② 反応の様子を「見える化」

大型放射光施設SPring-8で、反応中の触媒の変化を直接観察することにより、経験的な**試行錯誤に頼らない材料設計**を可能にした。

③ AI・ロボットで開発を加速する拠点構想

AIによる材料設計とロボットによる自動実験を組み合わせた材料開発の拠点構想を策定。海外の研究機関とも連携。

④ 地元企業と連携する体制づくり

膜・触媒・シール材・部品加工・システム化の**5分野**で福島の企業との連携を進めている。



整備した水電解の評価設備
開発材料を実際の装置条件で試験

社会への貢献・期待される効果

材料開発 R7 確立 → 電極・膜 R7～ 評価 → 装置化 R9～ → 浪江実証 R12 → 新産業 福島から

令和12年度の浪江町での実証を経て、装置の重要技術を福島に蓄積し地元企業へ段階的に移すことで、**福島発の「水素製造装置の製造拠点」**をめざし、新たな雇用を生み出す。世界から研究者・技術者が集まる研究環境を整え、次世代を担う人材の育成にもつなげる。

エコ水素エネルギー材料・デバイス研究ユニット
連絡先：✉F-REIエネルギー分野 <F-REI_Energy3@f-rei.go.jp>

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

海藻をたくさんつくり、得られた資源を食やエネルギーなどに余さず使い尽くす

キーワード
- 森林圏科学、水圏応用科学およびその関連分
- 海藻養殖
- ブルーカーボン

研究背景

コンブなどの海藻類は陸上作物との資源（真水や土壌）競合がなく、成長が早く光合成能力が高い。固定されたCO2は「ブルーカーボン」と呼ばれ、温室効果ガス削減への効果が期待されている。しかし、現状は国内の海藻資源は天然・養殖ともに激減している。そこで、海藻類の持続可能な大量養殖技術の開発とブルーカーボンの量評価技術の確立により、食料・有用成分生産とCO2固定を両立させた新たな海藻産業の発展を目指す。また、福島県内の海藻養殖産業の振興と、福島の海を活用した海藻資源生産にも取り組んでいる。

研究成果・進捗

マコンブ３D養殖手法の開発
- 従来：海面を水平方向に活用
- 新規開発：コンブ類の光合成特性を測定して養殖可能な深さを解明し、約10mのロープを垂直に設置して養殖

⇒ **従来の約10倍の生産量を達成**

海藻育種の大幅な効率化（協力：横河電機株式会社）
- 従来：海藻の品種育成には、重さや大きさを1個体ずつ測定するために時間を要する
- 新規開発：医薬研究用の顕微鏡システムをカスタマイズ、高度な画像解析技術によって作業時間を大幅に短縮

⇒ **従来法で7年要する作業を1.5ヶ月に！**

炭素のゆくえを知る：ブルーカーボン量を正確に測る
- 目標：海藻によるCO2固定量を知りたい
- 課題：海藻は短寿命、樹木のように長期間炭素が留まらない
- 解決策：海藻から放出される「分解しにくい炭素」のゆくえを調査
  1）海水中に放出される量⇒コンブ由来の多糖類を検出
  2）海底に蓄積する量⇒海底から底質コアを採取して測定

⇒**養殖海藻由来の炭素の証拠が得られた！**

福島県内の海藻養殖産業支援：ヒトエグサの生産性向上
- 目標：収穫量の安定化に資する養殖技術開発
- 乾燥ストレスに強い光合成特性を解明⇒今後の生産技術に活用
（Koja et al. 2026; Algal Research）



マコンブの３D養殖法による増産の試みと収穫風景

社会への貢献・期待される効果

- ３D養殖法を開発し大量養殖の基盤技術を整備した。今後、資材選定などによって生産コストも重視した技術開発を行い、食用だけでなく多くの分野で活用できるバイオマス資源確保に貢献できる
- 育種効率化により、環境変動に適応した新品種育成開発のスピードアップによる新品種育成を加速
- 海藻類によって固定されるCO2の量を測る技術を開発し、「ブルーカーボン」量を正しく把握できる
- 得られた研究成果を福島および三陸を中心に産業実装し、海藻産業の持続的発展に貢献したい

藻類応用生態学・ブルーイノベーション研究ユニット
連絡先：✉F-REIエネルギー分野 <F-REI_Energy3@f-rei.go.jp>

白血病細胞を狙い撃つ「標的アルファ線治療」の開発

体内から放射線でがん細胞のみを狙い撃つ新しい治療法の実現を目指す

キーワード
▪ 薬系化学および創薬科学関連
▪ 難治性白血病
▪ アスタチン-211

研究背景

放射線を利用してがん細胞だけを攻撃する治療法を開発する

難治性急性骨髄性白血病（AML）は、治療後に再発しやすく、治療が困難である。現在の治療では正常な細胞にも影響が及ぶことがあるため、がん細胞だけを狙う新しい治療法が求められている。そこで本研究では、白血病細胞の表面にある「目印」を見つけて結合する「抗体」に強いエネルギーを放出する放射性物質「アスタチン-211」を組み合わせ、がん細胞を狙い撃ちする、「標的アルファ線治療」の開発に取り組んだ。

研究成果・進捗

◉「目印」に結合する「抗体」を開発

白血病細胞の表面に多く存在する目印「CD82」に、高精度に結合する抗CD82抗体を、世界に先駆けて開発した。

◉創薬で重要な「標識」技術の進歩

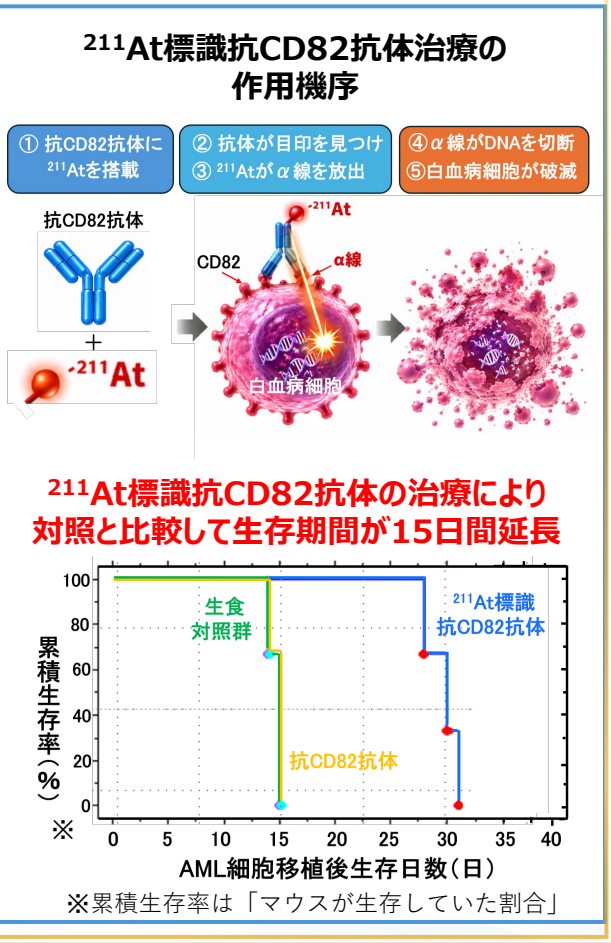
放射性医薬品開発において、抗体と放射性物質を組み合わせること（=標識）が重要である。本研究では、抗体をアスタチン-211で効率よく標識する技術を開発した。この技術は、他のがん治療薬への応用も可能である。

◉評価に必要なモデルマウスの開発

白血病治療薬の効果を適切に評価するためには患者さんの白血病病態を正確に模倣したモデルが必要となる。今回、患者さんの白血病病態を再現したマウスモデルを開発した。

◉「アスタチン-211」標識薬を開発

開発した抗体を「アスタチン-211」で標識し、新たな放射性医薬品を開発した。白血病マウスモデルにおいて、白血病の増殖を抑え、生存期間を延長する効果（治療効果）を確認した。



社会への貢献・期待される効果

本研究により、再発しやすく治療が難しい白血病に対する新たな治療薬を提供できる可能性が示された。今後、薬剤化により、治療選択肢の拡大や患者さんの生活の質（=QOL）の向上が期待される。さらに、本研究で確立した抗体標識技術は、白血病以外のがんへも応用できる可能性があり、次世代の放射線医薬品開発を加速することが期待される。

放射性創薬ユニット
連絡先：✉研究開発推進（放射線科学・医療創薬） <F-REI_hoshairyo@f-rei.go.jp>

植物体内の栄養素の動きを見える化

農作物の生産性向上や持続可能な農業のために

キーワード
・作物生産科学関連
・栄養素の動き
・放射線の見える化

研究背景

人間の生命活動において血流が不可欠であるのと同様に、植物の成長も栄養素の移行によって支えられている。植物体内における栄養素の動きを知るには、放射性同位元素（RI：ラジオアイソトープ）を用いたトレーサー実験が有効である。しかし、従来の実験は個々の課題に合わせて研究者の経験則に依存しており、技術体系の構築には大きな余地が残されている。農作物を生きたままの状態で栄養素の動きを可視化する、世界的にも例が少ない技術の開発に挑む。

研究成果・進捗

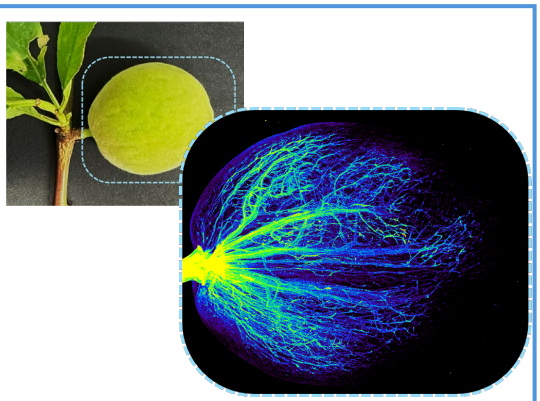
放射線の見える化で植物研究

・様々な放射線の見える化を活用した植物研究を展開している。X線CT技術で植物の体内構造を非破壊で捉えることが可能となる。果実を対象とした研究では糖を運ぶ維管束ネットワークの描出に成功した。栄養素の動きを捉えるための技術では、栄養素の動きを捉えるための技術では、植物研究用PET装置を開発している。PETは目印（RI）を付けた栄養素の移動を外から連続して画像化する装置で、植物の形や育成環境に合わせて柔軟に測定できるよう工夫している。

光合成で出来た糖は何処に向かうのか？

・光合成産物の移行先を追跡するための実験技術をマニュアル化。特に、炭素栄養の動態が作物の収量や品質を大きく左右するため、各炭素の同位元素$^{11}CO_2$、$^{13}CO_2$、$^{14}CO_2$を用いた実験プロトコルを整理し、イチゴ、トマトに加え、果樹へも適用範囲を拡大。

・放射線管理区域外での応用に向け、葉で作られた光合成産物の可食部への移行を捉えるセンサーを開発。植物工場で実証試験を開始。



◉モモ果実（あかつき）の維管束を描出するX線CT技術
黄色＝主要な維管束、青色＝細い維管束



◉葉から果実へ糖が移動する様子をリアルタイムで検知する小型センサーを開発、植物工場で実証中

社会への貢献・期待される効果

・農業において施肥高効率化や環境負荷低減等が急務となる中で、植物栄養学的アプローチの基盤となる体内物質動態を非破壊・定量的に捉えることができるRIイメージングを中心とする計測技術がF-REI内に実現する。
・この技術で、糖を果実に効率よく届けて収量・品質を高めるなど、栄養素の動きに基づく農業を、福島を始めとする日本の農業現場で実証していくことが期待される。

委託事業「農作物の生産性向上や持続可能な作物生産に資するRIイメージング技術の開発及び導き出される生産方法の実証」委託事業のうち、植物RIイメージング研究拠点の形成と応用研究の展開（量子科学技術研究開発機構）

連絡先：✉研究開発推進（放射線科学・医療創薬） <F-REI_hoshairyo@f-rei.go.jp>

アスタチンの大量製造法の開発

がん治療に期待される放射性物質を安定して供給する仕組みを実現

キーワード
- 放射線科学
- アスタチン211
- がん治療

研究背景

がん治療に役立つアスタチン-211（^{211}At）をはじめ医療・農業・工業などの幅広い分野でラジオアイソトープ（RI）の利活用が進められており、その安定的・効率的な製造技術の開発・高度化が求められている。本事業では、理化学研究所のイオン加速器施設を活用して、^{211}At等の有用RIの製造技術を確立するとともに、将来F-REIでRI製造・供給を担う人材の育成に取り組んでいる

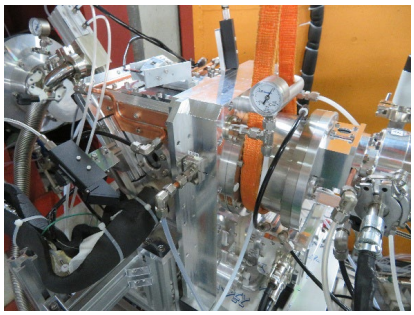
研究成果・進捗

①世界最大級の高強度ビームの発生を成功

^{211}Atの製造に必要なヘリウム-4（^{4}He）イオンの加速技術を開発し、世界最大級のイオンビーム強度（47pμA）を成功した。（従来の強度より34%増大）

②高純度アスタチン211の大量製造に成功

回転式ビスマス-209（^{209}Bi）標的照射装置と^{211}At精製装置を組み合わせた大規模^{211}At製造装置（右図）を改良し、世界最大級の^{4}Heイオンビームを用いて、実用量（約1GBq）の高純度精製^{211}Atの製造を成功した。（1GBqは約5名分）



大規模^{211}At製造装置の写真

③有用RIの製造技術を高度化

ベリリウム-7（^{7}Be）、亜鉛-65（^{65}Zn）、銅-67（^{67}Cu）、ストロンチウム-85（^{85}Sr）、セリウム-139（^{139}Ce）、テルビウム-155（^{155}Tb）、金-195（^{195}Au）など、創薬医療・農業・工業分野などで有用視されるRIの製造・化学精製技術を高度化した。

表．有用RIの用途

RI	用途
^{7}Be	ダイヤモンド半導体の製作
^{65}Zn	亜鉛の代謝研究
^{67}Cu	核医学診断・治療
^{85}Sr	長寿命^{90}Sr除染技術開発
^{139}Ce	ガンマ線検出器校正
^{155}Tb	核医学診断
^{195}Au	金RI医薬品の開発

④RI製造・供給を担う専門技術者の育成

F-REIが将来的に国内のRI拠点として機能するための基盤作りのため、RIの製造、分離・精製を担う人材や放射線管理を担う人材を育成している。

社会への貢献・期待される効果

本研究により、がん治療に役立つ^{211}Atを、イオン加速器を用いて安定して実用的な量で製造し、社会のニーズに応じてタイムリーに頒布できるようになり、^{211}Atを利用した医薬品の開発や社会実装が大きく進展すると期待される。

「加速器を活用したRIの安定的かつ効率的な製造技術の開発」委託事業のうち「加速器を活用した有用RIの製造技術開発」（理化学研究所）

連絡先：✉研究開発推進（放射線科学・医療創薬） <F-REI_hoshairyo@f-rei.go.jp>

森林の将来利用を考えるゾーニングマップの作成

放射性セシウム濃度分布予測を、森林再生・資源利用の判断材料へ

キーワード
・環境解析評価およびその関連分野
・森林再生
・将来予測

研究背景

福島県内の森林では、放射性セシウムの影響により、木材・樹皮等の森林資源をいつ、どこで、どの用途に使えるかを判断しにくい状況が続いている。

森林の再生や地域の生業回復につなげるため、調査データとモデルを組み合わせ、地域の多様な関係者に将来の利用可能性を分かりやすく示すマップの作成を試みた。

研究成果・進捗

マップ作成手法を確立

航空機モニタリング等の空間線量率・沈着量データと、モデルを用いた樹木部位ごとの放射性セシウム濃度の予測結果を組み合わせ、樹種・用途・基準値に応じて、森林資源をいつ、どこで、どのように使えるようになるのかを示すゾーニングマップを作る手法を確立した。

対策効果も含めた現在と将来のマップを試作

木材利用に関係する放射性セシウム濃度の将来予測マップの作成手法を確立し、森林資源の将来の利用可能性を場所ごとに示せるようになった。スギ樹皮を例とした試作マップでは、2050年時点に多くの地域で伐採木搬出の目安を下回る可能性が示された。また、コナラ辺材では、放射性セシウムの樹木への取り込みや移動を抑える対策の効果を考慮した将来予測マップを試作し、対策の組み合わせによって、一部地域では木炭利用等の早期再開につながる可能性も示した。これらの成果は、今後の森林整備事業に役立てるため、林野庁等の関係機関へ提供した。

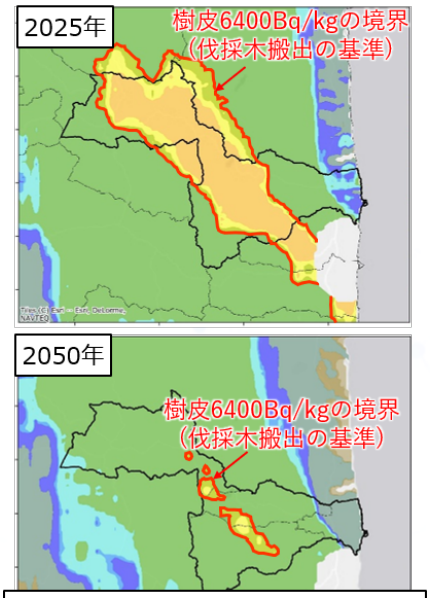


図. スギ樹皮のセシウム137濃度の予測マップ（250 mメッシュ）

出典：操上ら（2025）事故の影響を受けた森林の利活用に向けたゾーニングマップの作成．第14回環境放射能除染研究発表会

今後の課題

本成果は、比較的荒い空間解像度の平均値ベースの試作結果である。樹種や地形条件の違いによる誤差を低減し、高解像度化を含めたより実用性の高いマップにするため、野外調査・室内実験・モデル改良を進めていく。

社会への貢献・期待される効果

・放射性セシウムを含む森林資源を「使える／使えない」で一律に判断するのではなく、用途・時期・場所・必要な対策を比較できるようになる。これにより、森林整備、木質バイオマス利用、生業再生、地域との対話に活用できる判断材料を提供する。
・今後は予測精度の向上に取り組み、森林利活用ガイドラインや地域協働の実証研究につなげていく。

地域環境共創ユニット
連絡先：✉F-REI第５分野 <F-REI_cddknd@f-rei.go.jp>

林地でのキノコ菌床露地栽培の再開支援

空間線量率を手がかりに、安全に栽培できる場所を見える化

キーワード
・環境保全対策およびその関連分野
・キノコ栽培
・安全指標

研究背景

福島原発事故（以下、事故）後、山林土壌への放射性セシウムの蓄積によって、キノコを利用する生業や食文化が大きな影響を受けている。

そこで、林地での菌床露地栽培（おが粉で作った人工の栽培基材（菌床）を屋外に置き、自然の気候を利用してキノコを育てる方法）がどのような場所で安全に行えるかを明らかにし、中山間地域の生業回復につなげることを目指した。

研究成果・進捗

福島県内18地点で栽培試験

事故前には県内各地で栽培されていたハタケシメジとムラサキシメジを対象に、空間線量率が異なる18地点の林地において、清浄な菌床に現地の落葉や土壌を被覆して栽培する試験を実施した。キノコへの放射性セシウム移行実態を評価した。

安全栽培の目安を数値化

栽培キノコの放射性物質が食品基準値100 Bq/kgを超える可能性が低いと考えられる空間線量率の目安は、ハタケシメジで2.58 μSv/h、ムラサキシメジで0.89 μSv/hと推定され、それ以下の空間線量率であれば、安全に栽培できることを示した。

また、清浄な落葉や土壌を菌床への被覆材料として用いることで、キノコへの放射性セシウムの移行が抑えられることも確認できた。

研究成果が現場の再開判断へ

研究成果を踏まえ、県内で菌床の製造・販売が再開された。現在は中通り地方を中心に栽培が進み、加工食品の製造・販売を目的としたNPO法人による事業化や大学での栽培実習等、活用の広がりが見られる。

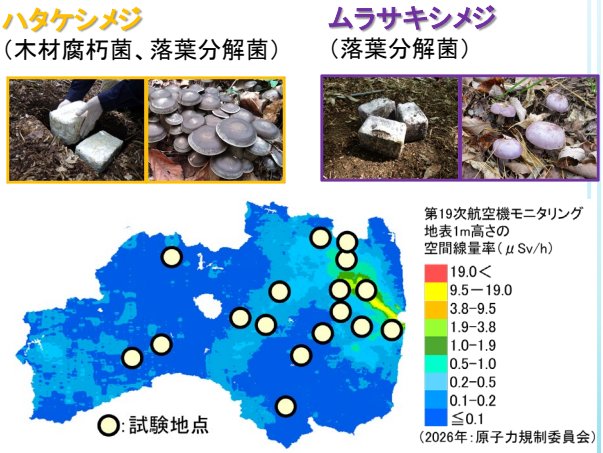


図. 菌床露地栽培試験を実施した地点

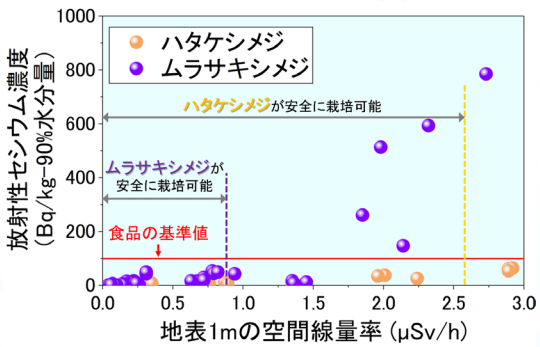


図. 地表1mの空間線量率と栽培キノコの放射性セシウム濃度の関係

出典: Sakai et al.(2026) Radiocesium uptake in two fungal bed-cultivated edible mushroom species in forests in Fukushima, Japan.. PLOS One, 0342639.

社会への貢献・期待される効果

本研究により、事故以来途絶えていた、林地でのキノコ菌床露地栽培について、栽培可能性を地域で共有できるようになった。その結果、菌床の製造・販売再開を後押しするとともに、今後は栽培方法の改善や対象地域の拡大を進め、阿武隈高地をはじめとする中山間地域の生業回復と森林環境再生に貢献することが期待される。

地域環境共創ユニット
連絡先：✉F-REI第５分野 <F-REI_cddknd@f-rei.go.jp>

コミュニケーションの場の創出と人材育成、アーカイブ

未来の人材を育て、地域課題を見える化・記録できる仕組み作り

キーワード
・社会学およびその関連分野
・情報発信・アーカイブ
・人材育成

研究背景

福島県浜通り地域は、自然災害と原子力災害の同時発生という人類初の困難の克服に取り組む世界で唯一の地域である。この地域の災害経験や復興に関する情報、幅広い研究の成果は、他地域では得られない世界的に貴重な「知」である。これらを体系的に集積・記録し（アーカイブ）、次世代や地域社会に還元するための継続的な仕組みづくりや「場」の確保、それらを運用する人材育成が急務となっている。

研究成果・進捗

災害経験・復興過程や浜通りの最先端を集積・記録・発信（アーカイブ）／YouTube「F-BIKEチャンネル」

幅広い業種、様々な分野のキーマンを招き、復興・地域づくりに関わるトッププレーヤーの語りを記録・発信。福島の現在地、復興の達成度、課題を分かりやすく解説している。重要だが見落としがちなテーマ・話題もアーカイブ化。毎週1回の更新を続けている。

浜通りのなかでも、復興の進み具合によって抱えている課題は異なる。変わり続ける地域課題を拾い上げ、人材育成や復興まちづくりのための基礎資料を集積・記録・発信している。チャンネル登録者数は6000人超、動画数は100本を超えている。

（https://www.youtube.com/@F-BIKEch/videos）

復興まちづくり研究と地域還元／自治体連携

避難指示解除地域の飲食、医療、教育、産業などをテーマに復興まちづくり研究を行っている。

研究成果を地域自治体や地域に還元し、連携を深めることで、政策提言や新たな課題の掘り起こしと解決に繋げることを目指している。



復興などの取り組みを集積・記録・発信するF-BIKEチャンネル。収録・編集を担う人材も育成

自ら考え、課題解決できる次世代人材の育成／人材育成プログラム「福島学カレッジ」

福島での学びを通じて、世界で活躍できる人材を育てるプログラムを開発している。「福島学カレッジ」を代表に、中高生が学会報告を実現するなど、高レベルの探究教育プログラムを提供。このプログラムは他県でも取り入れられつつあり、今後本格稼働するF-REIに継承可能な仕組みづくりを目指している。

社会への貢献・期待される効果

本研究は、地域や復興に関する幅広い情報を集積・記録・発信し、F-REIを中核として地域がつながり合う世代や専門性を越えた交流の「場」の整備と、それらを運用できる人材を育成する。研究の知見や素材を、暮らしや産業に活かせるように収集・記録・発信し、世界が利活用できるオープンなアーカイブとしての展開を目指しながら、地域・自治体との連携による復興まちづくりを進める。そしてアーカイブした情報を活用し、様々な地域課題を自ら掘り起こし、考え、解決できる人材を育成する。

令和７年度委託事業　福島浜通り地域におけるラーニング・コミュニティハブの整備（コミュニティ&コミュニケーションの場の創出に関わる実践研究コンソーシアム／代表：東京大学）
連絡先：✉F-REI第５分野 <F-REI_cddknd@f-rei.go.jp>