

[007]附属環境工学研究教育センター研究活動報告

<https://doi.org/10.15017/7376538>

出版情報：附属環境工学研究教育センター研究活動報告. 7, 2025-07-25. Center for Research and Education of Environmental Technology, Faculty of Engineering, Kyushu University

バージョン：

権利関係：



2. 研究活動の記録

2-1. グローバル課題研究ハブ

2-1-1. 原子炉過酷事故時のソースタームの特性評価に関する研究（守田研究室）

【研究の目的】

原子力は、供給安定性や経済性に優れ、政府が目標に掲げる 2050 年のカーボンニュートラルの達成には必須の脱炭素電源である。本研究は、安全性を向上した原子力システムを実現することで、原子力を利用した脱炭素化社会の実現へ寄与するとともに、地球的規模での温暖化や異常気象、エネルギー資源の枯渇等の諸問題の解決へ貢献するものである。

安全で持続的な利用が可能な原子力システムを実現するには、福島第一原子力発電所で発生したような過酷事故の発生を防止し、万が一事故が起きたとしても事故の影響を緩和する新しい技術を導入することが重要となる。本研究では、複雑な物理化学現象を伴う過酷事故時の原子炉の振る舞いやその影響とともに、セシウム等の放射性物質が環境中へ放出される過程の物理メカニズムを解明し、ソースターム（放射性物質の種類、性状、放出開始時期、放出継続時間等）の特性を評価するための手法を開発する。

【研究の概要】

原子力発電所における過酷事故時の核分裂生成物除去に関する研究

過酷事故時に損傷した炉心から核分裂生成物（FP）が環境へ放出される過程の物理メカニズムを理解するため、格納容器（CV）の貫通部破損部等の漏洩経路における FP の除去効果に関する模擬試験を実施し、基礎データを取得する。さらに、CV からの漏洩経路に適用可能な輸送メカニズムに基づくエアロゾル沈着挙動の評価手法を開発する。2024 年度は、並行平板スリット試験体及び円管試験体を用いて、それぞれ層流及び乱流条件で実験を実施し除染係数データを取得した。乱流条件において粒子の再浮遊効果が顕著のため、乱流バーストに基づき再浮遊モデルを開発した。一方、層流条件でも粒子の再浮遊効果を見逃すことが分かった。今後、再浮遊データの取得や層流条件での再浮遊モデルの開発が必要である。

高速炉過酷事故時の炉容器内 FP 移行挙動に関する研究

高速炉の炉心損傷事故（CDA: Core Disruptive Accident）の炉心膨張過程では、原子炉容器内のナトリウムプール中で高温高压の炉心物質、ナトリウム及び FP から形成される CDA 気泡と呼ばれるメートルスケールの蒸気泡が発生する可能性がある。これに関連して本研究では、CDA 気泡に伴って移行するエアロゾル状の FP 挙動を解析する AMBAC（mechanistic analysis code for aerosol migration behavior associated with a CDA bubble）コードの開発を進めている。2024 年度は、AMBAC コードを過酷事故解析に適用し、炉心から放出されたセシウムのナトリウムプール中での移行特性を明らかにした。

IVR に関わる熱流動現象の解明及び機構論的モデルの開発

過酷事故で原子炉が損傷した際に、放射性物質を内包する炉心物質を原子炉圧力容器内に保持（IVR: In-Vessel Retention）する冷却システムを実現するため、冷却性能に関わる限界熱流束（CHF: Critical Heat Flux）の支配機構を実験的に解明し、物理モデルを構築すると共に CHF を高精度で予測できる手法を開発している。近年、計算能力及びアルゴリズム

の発展に伴い、機械学習は膨大なデータからの洞察抽出、複雑な作業の自動化、ならびにリアルタイムでの意思決定支援を可能にする技術として、その重要性を増している。このような背景のもと、2024年度より、機械学習を用いた CHF 予測に関する研究に着手した。純粋な機械学習は、良好な予測精度を示す場合があるものの、各入力パラメータが出力に与える影響を把握する能力に欠けるといった課題がある。そこで、対象現象に関する物理的知見を学習プロセスに組み込むことにより、物理的整合性を有し、かつ高精度な予測を実現する物理情報統合型機械学習モデルを用いた CHF 予測の可能性について検討を始めた。

過酷事故解析のための溶融ステンレス鋼－炭化ホウ素共晶反応に関する研究

高速炉の CDA において、制御材である炭化ホウ素 (B_4C) とステンレス鋼 (SS) の接触界面で共晶反応が生じると、比較的低温で溶融した反応生成物が、損傷炉心内に広く再配置され再臨界性を低減する可能性がある。本研究では、 B_4C -SS 共晶反応物質の再配置を伴う損傷炉心物質の挙動を評価するために、高速炉安全解析コードに導入する機構論的なモデルの開発を進めている。2024年度は、これまでに開発した共晶反応モデル及び反応生成物の熱物性モデルを組み込んだ高速炉安全解析コードについて、既往試験を用いた妥当性の検証を進めた。

計算科学的手法による炉心損傷事故の IVR に関わる多相熱流動現象の機構解明

高速炉の CDA 時の溶融燃料の IVR を達成する上で重要な熱流動現象を解明するため、多成分多相流の伝熱・流動・相変化挙動等を高精度で解析できる計算科学的手法(粒子法)を用いた研究を実施している。2024年度は、高速炉の CDA において、冷却材との相互作用により微粒化した燃料デブリ粒子のナトリウム中での沈降、堆積、ベッド形成挙動を解析するため、高速炉安全解析コードに組み込む DEM (離散要素法) モジュールの開発を進めた。さらに、 B_4C -SS 共晶反応に関わる素過程を解析するための粒子 (SPH) 法コードの開発を進め、既往試験を解析することで共晶反応に関わるメカニズムの分析を進めた。

損傷炉心における残留燃料からの除熱特性に関する研究

高速炉の CDA において、炉内でデブリ状に再固化・堆積し、デブリ状となった残留燃料は崩壊熱を持つため、その長期の冷却性を示すことは、IVR を実証する上で重要となる。本研究では、崩壊熱を伴うデブリ状燃料から周囲流体への熱伝達機構を明らかにするための実験的、解析的検討を実施している。2024年度は、燃料集合体スケールの試験体を用いて、直接通電加熱により内部発熱させた模擬デブリ層における熱伝達特性実験を実施するとともに、高速炉安全解析コードで用いる多流体モデルの構成方程式の検証を進めた。

金属燃料高速炉の過酷事故時における炉心特性に関する研究

我が国が開発を進める高速炉実証炉の候補の一つである金属燃料を用いた炉心の過酷事故評価技術を開発することを目的とし、高速炉安全解析コードに組み込む金属燃料に関わる物理モデルの高度化を図り、過酷事故時の金属燃料炉心特性を解明する。2024年度は、燃料材である U-Pu-Zr 合金の高温物性モデルを開発するとともに、溶融プールのスロッシング時の再臨界挙動を分析した。今後は、U-Pu-Zr 合金と SS の共晶反応モデル及び反応生成物の熱物性モデルについて検討し、金属燃料炉心の再臨界時の反応度特性を解明する。

2-1-2. 「元素戦略」に基づいた環境調和型社会への取り組み（林研究室）

固体・物性化学を軸に、様々な合成技術を駆使して、環境・エネルギー・エレクトロニクス分野に貢献する、セラミックスを中心に新しい機能性材料を創出することを目指しています。セラミックスは、一般にありふれた原料から作られる環境調和性の高い材料であり、化学的安定性と多彩な機能性の両立を生かした応用がなされています。

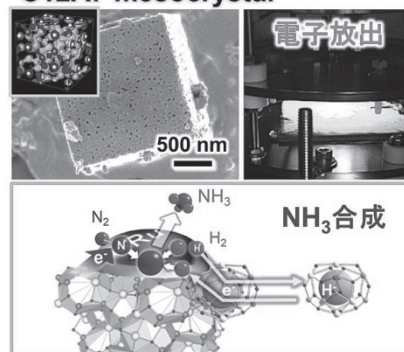
・ 複合アニオン化合物の創製と新機能

従来の金属カチオン中心の結晶構造設計に対し、アニオン中心の無機材料設計を行う複合アニオンという概念を提唱し、新たな配位構造による新しいセラミックス材料の創製と新機能の創出を目指します。主要な酸化物を構成する、Oの他にS, P, N, F, Clなどの組み合わせにより、無機化合物の合成、探索範囲が飛躍的に広がります。



例として、 $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ (C12A7)やその派生結晶は、様々なアニオンを取り込むナノ空隙構造を持ち、これに起因したマルチタレント材料となる複合アニオン材料です。この空隙に活性なH⁺イオンを取り込んだものは、紫外線照射によって絶縁体から電子導電体に変化する機能性を、電子自体を取り込んだエレクトライドは電子の放出・注入のための優れたカソード材料やユニークな触媒担体になります。下記の二次電池材料や誘電体材料開拓にも複合アニオンのアプローチを用いています。

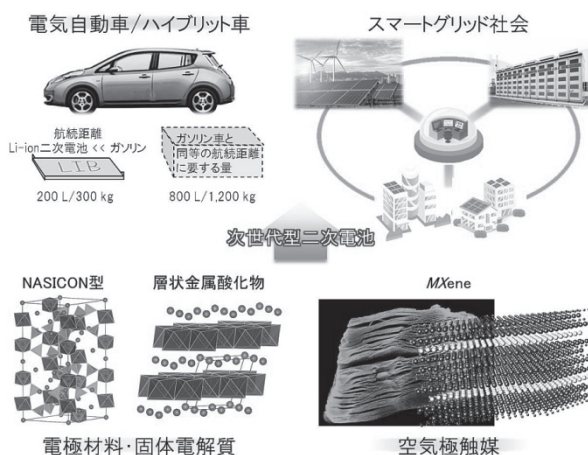
C12A7 mesocrystal



・ 次世代型二次電池の開発

（全固体ナトリウムイオン二次電池など）

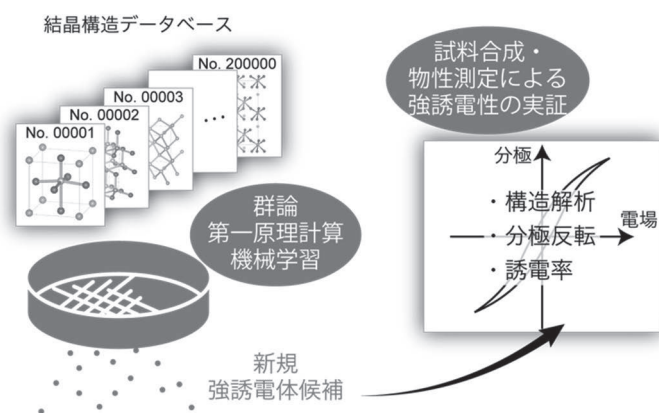
将来のスマート・グリッド社会に不可欠な高エネルギー密度の次世代型二次電池を実現するために、セラミックスを基軸にした要素技術を開拓します。二次電池には、要素部材として、高速ナトリウムイオン伝導性セラミックス、ナノ構造カーボン・酸化物・金属からなる電極、有機電解液などの多様な材料が含まれます。各部材に関して、導電性やイオン伝導性の向上が鍵であり、結晶構造・粒子形態のデザインを通して、二次電池の高性能化を目指すことが重要です。



ナトリウムイオン二次電池の固体電解質や電極材料の開発、全固体電池やスーパーキャパシタに向けた複合化プロセスの研究を行っています。

・材料インフォマティクスに基づく環境調和性の高い強誘電・反強誘電体材料探索

強誘電体および反強誘電体は、圧電性、電気エネルギー貯蔵、光電気エネルギー変換など多彩な性質を併せもつことからセンサ、アクチュエータや光学素子などの多種多様なデバイスに利用されている。現在多くの圧電素子に使われている材料は $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ という酸化物であり、 Pb^{2+} の非共有電子対や Zr^{4+} 、 Ti^{4+} の空の d 軌道といった、構成元素のもつ特異な電子状態が強誘電性の起源となっている。近年は、鉛などの毒性の高い元素を含まない、環境調和性の高い（反）強誘電材料の開発が要求されているが、その材料設計指針は確立されていない。そのため、既存の（反）強誘電体の延長線上にない革新的な材料の開拓や、物性発現機構の体系化が求められている。そこで、本研究室では、材料インフォマティクス的手法により、結晶構造データベースに埋もれている新規（反）強誘電体を見出し、それらを実際に合成し構造・物性評価を行い、（反）強誘電メカニズムを解明するという方法論の確立を目指して研究を行っている。



2-1-3. アジア・アフリカ地域における環境配慮型鉱物資源探査の推進（今井研究室）

NEDO 地熱発電導入拡大研究開発／発電設備利用率向上に向けたスケールモニタリングと AI 利活用に関する技術開発 分担（機関代表） （2021.7～2026.3）

機関代表者：米津幸太郎 連携機関：九電産業、九州電力

2014 年 4 月に「エネルギー基本計画」が閣議決定され、その中で、地熱発電は 2030 年までに設備容量 155 万 kW（2012 年度実績 53 万 kW）、発電電力量 113 億 kWh（2012 年度実績 26 億 kWh）の導入拡大が掲げられている。2011 年の東日本大震災以降、再生可能エネルギー導入拡大が望まれる中、世界第 3 位となる地熱資源を有する我が国では、ベース電源として活用可能な地熱発電が大きな注目を集めている。また、温室効果ガスの 2030 年度の削減目標を日本政府は 2013 年度と比べて 46%の削減を目指すとしており、この側面からも地熱発電にかかる期待は大きい。

本プロジェクトでは、定量的スケールモニタリング法の確立、および様々な条件における AI への入力データセット（スケール化学組成、流体化学組成、物理パラメータ、発電所運転条件等）の取得を行うことにより、元素毎の付着速度のモニタリングを基にスケール生成予測の結果を求める一連作業を可能とするアルゴリズムを作成する。

確立した AI によるスケール生成予測技術をベースとして、スケール生成を短期間で評価することで、スケールに起因する種々の問題に対し、適時・適切な対策を施すことにより、地熱発電におけるシステム利用率を向上させることを目的とする。

2023 年度末までの中間評価を経て、2 か年延長された本プロジェクトにおいて、2024 年度は、シリカスケールの抑制に向けた地熱発電所の現場で対応可能な手法を導く AI の利活用に向けて、AI 入力データセットのさらなる拡充および洗練を重点的に実施した。また、八丁原・大岳・山川の各地熱発電所及び青森県の深浦温泉などで現場試験を実施し、多様なスケール問題に対応できる AI の技術開発を目指してのデータ取得にも注力した。その中で、定量的スケールモニタリング法を確立し、各熱水条件下におけるテストピース浸漬実験において、テストピース表面に短時間で付着した目に見えないごく微量の薄膜スケールの in-situ 高感度定量分析を核としたスケール生成機構の解明、反応速度論解析を行うことでスケールを構成する各元素の付着速度を導出した。これらの結果を基にスケール生成能を有する熱水の物理化学情報と最終産物であるスケールに関する化学組成・化学状態・沈殿量等をデータセットに集約し、それらを AI に学習させることで、熱水情報と短期間のスケールモニタリングから、長期のシリカスケールの生成予測を試みた。多様な熱水の学習というハードルが予想以上に立ちはだかることが明らかとなる一方で、中程度の熱水中のケイ酸濃度・低塩濃度を有する熱水（例えば八丁原地域）においては、データ量が豊富になっていることも有り、一定の精度を持ったシリカスケールの生成に関する AI 予測を実現することができた。本プロジェクトのカバーする範囲は長期のスケール予測を基にした適切な地熱発電所運営による設備利用率の効率化ではあるが、現場事業者からのスケール抑制剤を含む抜本的な技術開発の要請もあり、熱水中のケイ酸と相互作用する薬剤の開発やスケール生成核を物理的に覆ってしまう薬剤の開発なども並行して実施することで最終的な目的を達せられるように取り組んでいるところである。

2-2. インターフェース課題研究ハブ

2-2-1. 環境からの資源エネルギー回収を目指した機能性有機材料の研究（石田研究室）

環境中に薄く広く存在する自然エネルギーを回収する（環境発電）

環境中に存在する微小なエネルギー（例えば、太陽光、波、風、熱、振動など）を収穫して電力変換を行うエナジーハーベストは、環境センサやインフラセンサ等など配線や電池交換が困難な箇所における地産地消型の電力源として期待される技術の1つである。その中で、環境振動を電力変換する振動発電技術は天候に左右されにくい安定した発電とされ、従来無機圧電材料を用いた研究が多い。しかし変形による脆性破壊や有害な鉛を含有するなどの問題点が指摘され、非鉛系材料を中心とした新規材料の模索が行われている。本研究では、柔軟軽量かつ省エネプロセス可能な環境に優しい有機圧電材料に焦点を当て、振動発電技術に関する基礎および応用的研究を行った。有機圧電材料は、素材柔軟性に由来して大変形しても破壊しにくく、その誘電率が小さいことから比較的大きな出力電圧が得られるという特徴がある。本研究では、発電量向上を目指してカンチレバー型振動発電デバイスを作製し、薄膜構造、圧電物性の基礎評価を通して有機エナジーハーベスターとしての可能性を調査した。

ポリエチレンナフタレート（PEN）基板上にスピコート法により、ポリフッ化ビニリデン三フッ化エチレンランダム共重合体(P(VDF/TrFE))の薄膜を作製した。フーリエ変換赤外分光法(FT-IR)による構造最適化の結果、100nm~2umの膜厚領域において、強誘電相（I型およびIII型）を再現性良く実現する成膜条件を明らかとした。XRD測定からは、P(VDF/TrFE)の110回折ピークが確認され、基板表面に対して分子鎖は平行配向し、最密原子面である<110>面を基板に接する状態で薄膜形成していることを確認した。下部/上部電極としてAl薄膜(100 nm)を真空蒸着することで、PEN film/Al/P(VDF/TrFE)/Alからなる強誘電キャパシタ構造を作製した。この薄膜キャパシタを片持ち梁カンチレバー型に切り出し、分極処理を行った後、圧電定数 e_{31} 測定および振動発電測定を行った。圧電定数 e_{31} は圧電型発電量に大きく影響する定数である。そこで、膜厚に対する圧電定数 e_{31} 変化を調査した結果、いずれの膜厚においても圧電定数 e_{31} は約 20 mC/m² であり、ほぼ一定の値を示した。その後、全素子において振動面積、残留分極量を統一して振動発電測定を行った。出力電力が最大となる最適な負荷抵抗を選定しつつ(負荷抵抗依存性、最適負荷抵抗に並列に接続した周波数応答分析器から得られた実効電圧を用いて出力電力を算出した。膜厚増加に伴い発電量は増加し、膜厚 2.7 μm において 600-700nW 程度を示した。今後、発電量向上に向けて圧電性分子薄膜の構造及び分極特性や積層型素子による発電特性に関する研究に加え、自然界に多く存在する低周波環境振動を効率よく回収する発電素子など、有機分子ならではの特徴ある環境発電素子としての研究開発に取り組んでいく予定である。

レアメタル・重金属を吸着・脱着する機能性材料開発

レアメタルは、PC やスマートフォンなどの電子機器の材料として使用され、その性能向上に不可欠な元素である。しかし、日本におけるレアメタルの調達には主に輸入に依存しており、国際情勢の変動により供給が不安定になる可能性が指摘されている。この課題を解決するため、海水からのレアメタル回収技術の開発が提案されている。

当研究室では、高分子ゲルを用いた吸着法の研究を行い、より効率的なレアメタル回収

を目指している。本研究では、吸着阻害要因の一つと考えられるゲルネットワークの熱運動を抑制するため、カルボキシ基を導入した親水化カーボンナノチューブ（CNT）を用いたゲルを作製した。ネットワークの熱運動の時間スケール変化は動的光散乱（DLS）法により評価し、吸着特性の変化については、単元素溶液および多元素溶存液に浸漬後、誘導結合プラズマ質量分析（ICP-MS）を用いてゲル内元素濃度を測定することで評価を行った。

DLSによる測定の結果、CNT未添加時（CNT濃度0%）のゲルネットワークの運動時間スケールは約 10^{-3} sであったが、CNTを導入することで約 10^{-1} sまで遅延し、ネットワークの熱運動が抑制されたことが確認された。単元素吸着特性に関しては、CNTの導入により初期吸着率が向上し、40℃における吸着率も高くなることが確認された。これにより、ネットワークの熱運動の抑制が吸着率向上に寄与することが示唆された。一方、多元素吸着特性では、各元素と吸着基との相互作用により吸着率が複雑に変化し、全ての元素で吸着量が向上する結果にはならなかった。

今後の実用化に向けては、ターゲットとする元素に適した吸着基の選択が重要であると考えられる。

環境応答型アクチュエータとしての液晶エラストマーの弾性特性評価

近年、多数のセンサとアクチュエータの導入により、省エネルギー化が促進される社会環境の実現が期待されている。我々は、環境応答型アクチュエータの候補として、高分子ネットワークと液晶分子が結合した液晶エラストマー（LCE）の研究を進めている。本研究では、LCEの応用基盤として、双極子モーメントが大きいシアノ基を含むLCEのエネルギー弾性とエントロピー弾性について、弾性率の温度依存性を調べることで評価を行った。さらに、放射光を用いたX線散乱実験により、LCEの配向構造を解析した。

X線散乱法による構造解析の結果、シアノ基濃度の増加に伴い配向秩序度が向上することが確認された。配向秩序度が高い場合、双極子相互作用によるエネルギー弾性が強く働き、弾性率の増加につながると考えられる。一方、シアノ基を含まないLCEは、配向秩序度が低いにもかかわらず、シアノ基を含むLCEよりも弾性率が高いという結果が得られた。この要因として、試料作製時の応力により高分子主鎖が引き延ばされ、引張時により大きな応力を必要とするため、弾性率が上昇した可能性が示唆される。また、高温における層厚がメソゲン基の長さよりも長くなる現象については、双極子相互作用によるダイマー形成が影響し、エントロピー弾性との競合や抑制が生じたためであると考えられる。

液晶を用いた弱い乱流の輸送現象の研究

地球環境をマクロな視点で捉えると、エネルギーの注入と散逸が存在する非平衡開放系である。この非平衡開放系において、秩序構造である散逸構造とそのマクロ揺動により、局所的な秩序構造と大局的な無秩序構造が共存する弱い乱流状態が形成される。

弱い乱流は、強く発達した通常の乱流とは異なり、その輸送現象など未解明な点が多い。本研究では、弱い乱流を、対流による循環的流れ構造（対流ロール）が振動する系として数理モデル化し、これに基づき乱流拡散による物質輸送を数値シミュレーションによって解析した。その結果、通常の拡散とは異なる異常拡散が観測された。さらに、局所的秩序と大局的無秩序を反映し、観測時間スケールによって異常拡散の性質が定性的に変化することを明らかにした。

このような現象の解明が進むことで、地球環境からの資源回収に不可欠な乱流輸送現象の理解が深まり、基礎的な知見が得られることが期待される。

2-2-2. 水域の環境・生態系を次世代に繋ぐ研究（清野研究室）

◎海洋教育プロジェクト 「九州大学うみつなぎ」 <https://umitsunagi.jp/>

2020年に、九州大学大学院工学研究院附属環境工学研究教育センターの組織名に“教育”が明記されたため、センター独自の教育プロジェクトを立ち上げることとなった。日本財団の支援は2020-2024年度の5ヶ年にわたり、伊都キャンパスならではの環境教育として海洋を対象に選んだ。すなわち、九州大学伊都キャンパスは、糸島半島に立地し、博多湾、唐津湾を両翼に擁し、地先を対馬暖流が流れている。この地の利、海の利を活用し、実地での観察や観測、海岸清掃などの地域連携の実践を展開した。福岡市西区、福岡県内から始まり、九州全県を対象としたプロジェクトとして発展してきた。

そして、2024年には地域での実践を国際的に展開する段階となった。

第10回世界水フォーラム（インドネシア・バリ）の、ジャパン・パビリオンにおいて、九州大学うみつなぎとしてユース・セッションを企画、実施した。九州大学を中心とする大学生、高校生が水分野での自らの実践を中心に英語での発信を行った。国際的にはユース世代がSDGs等の後継の国際目標を議論する組織化が行われており、議論を開始している。実践で活躍するユースの多い九州から、日本を代表する人材をこれらの国際的な動きに参加させていきたい。



◎漂流漂着ごみによる越境汚染の研究

漂流漂着ごみ（海洋ごみ）は、世界的な海洋環境問題であるが、九州北西部では特に深刻である。玄界灘沿岸は、海洋学的には対馬海峡、気象学的には大陸からの冬季季節風、地学的には複雑な沿岸地形であり、この自然条件により漂流物が漂着しやすい。漁業や生態系への影響について、社会経済的な影響がある。研究的には、研究室大学院修了生 Yawen SONG（現 国立環境研究所研究員）の学位論文および学術論文（Yawen SONG and Satoquo SEINO (2024) Estimation of the Origin of Marine Litter Accumulated on the Coast: Morphological, Elemental, and Compositional Analysis of Debris Samples Collected on the Western Coast of Kyushu, Japan, Proceedings of the 11th International Conference on Asian and Pacific Coasts Chapter 92, 2024. DOI:10.1007/978-981-99-7409-2.等）にまとめられている。

社会貢献としては、清野が対策協議会会長を仰せつかっている長崎県対馬市の沿岸を中心に、ステークホルダーとともに、海洋ごみのリサイクル、アップサイクルの推進などの総合的な対策を行っている。市のSDGs政策とも連動し、遠隔の市民大学（対馬グローバル大学）などの展開も行っている。国際発信にも発展しており、2024年7月には対馬市主催の日米韓の海洋ごみシンポジウムが開催され

た。2025年6月には、大阪・関西万国博覧会で日韓・日米の国際シンポジウムを行う予定である。

研究テーマ概要

1. 漂流漂着ゴミによる越境汚染の研究(連携)

- ・基礎: 物質・粒径別の流出・堆積過程
- ・応用: 市民・自治体参加のモニタリング手法の開発
- ・社会連携: 多セクター連携(特に、製造・流通)



◎環境 DNA 等環境モニタリング手法の改良と普及、社会実装

環境 DNA を活用した環境モニタリングを、福岡市西区今津と糸島市芥屋で毎月、対馬と五島列島福江島で四季行っている。そのデータは、自然共生サイトの基礎データなどに活用されている。

環境 DNA は有望な方法であるが、微量分析のため、試料採取時に負荷が大きいのが実情である。学術でのルーティン化や市民調査の展開を考え、採水法を見直している。本センターの客員教授に着任された北海道大学の荒木仁志教授から重力濾過法の技術移転を受け、モニタリングの効率化と社会実装を行っている。

ダムの河川環境への影響について、筑後川上流大山川の水質モニタリングを2011年より行っている(高橋ら, 2023)。これらの知見も活かして、外来種のミズワタクチビルケイソウの侵入状況の研究とも連携している(Unoki *et al.* 投稿中)。

日本沿岸の海洋酸性化観測 海洋研究開発機構(JAMSTEC)と糸島市芥屋で玄界灘を代表する地点として毎月実施している。観測データからは、炭酸塩の結晶化関係の項目に他海域と異なる特徴がみられ、注目される海域となっている。

ない低周波無線通信技術等の適用により、リアルタイムかつ効率的な環境データ収集システムの開発、②埋立地内部での金属の腐食エネルギーを回収してセンサネットワークの電源として持続的に活用するエネルギーハーベスティング技術の開発、③廃棄物層内の過酷な環境状況に長期間使用可能なセンサの選定等を行っている。以上の研究は、土木環境分野と情報システム分野の専門家と連携して、資源循環・廃棄物分野での DX と IoT に関する要素技術やシステム研究を進めている。

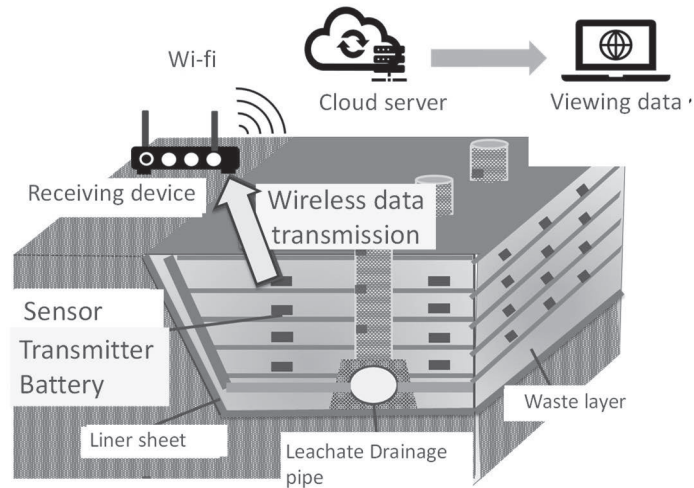


図2 IoT モニタリングシステムによる最終処分場の環境管理

3. 廃棄物の再資源化に関する研究

我が国ではごみの焼却処理により発生した焼却残渣の多くは最終処分場で埋立処分されている。資源の有効利用、最終処分場の埋立容量の確保などの観点から、焼却残渣のさらなる再資源化が求められる。本研究室では一般廃棄物焼却灰をセメント固化処理等により人工石にし、土木資材（路盤材等）として有効利用するための研究を行っている。環境面では土壤環境基準（有害物質の溶出量基準と含有量基準）を満たすことが求められ、特に重金属類である鉛の含有量の低減、すなわち人工石の材料とする焼却灰の鉛含有量の低減が課題であった。焼却灰には焼却炉の火格子の隙間から落下したもの（落じん灰）が含まれており、落じん灰には金、銀などの貴金属に加え、鉛の含有量も高いことが確認された。落じん灰を除いた焼却灰は人工石の材料に適するものであることを示した。

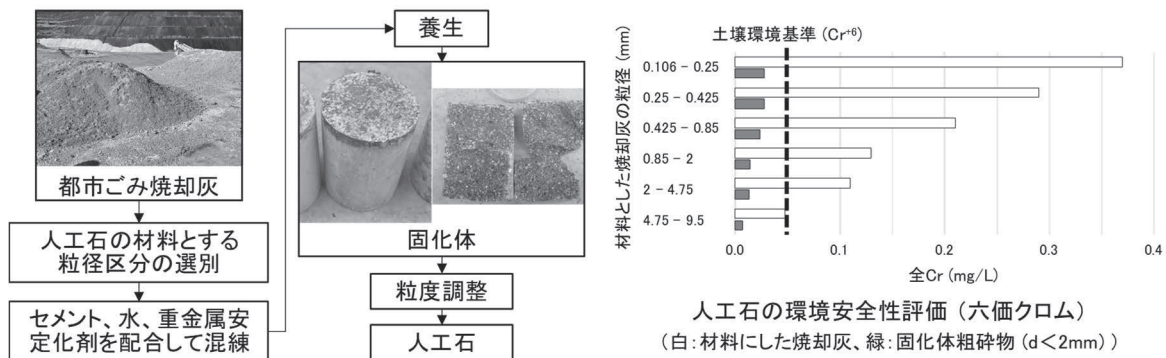


図3 焼却灰を材料とする人工石の製造工程および人工石の環境安全性評価の例

2-3-2. 環境と防災の融合研究（新しい Eco-DRR への挑戦）（三谷研究室）

望ましい地圏環境創出のための新しい体系の確立を目的として、地圏の開発・利用のあり方、さらには、これらが自然環境や社会環境に及ぼす影響の総合的な評価および環境と調和した開発や建設技術のあり方について研究を行っている。特に、情報技術である地理情報システム（GIS）を積極的に活用した研究を展開している。具体的な研究の領域としては、「地圏環境」、「地下開発」、「災害の予測・防災」、「維持管理」、「国土保全」を柱とする。

① 降雨状況と連動した三次元斜面安定解析に関する研究

近年、集中豪雨や台風により斜面崩壊や土石流などの土砂災害が多発し、人的被害が発生している。土砂災害防止法では、傾斜度など斜面の形状に基づいて警戒区域が指定されているが、地盤特性を考慮した崩壊可能性や規模の予測は反映されていない。これまで、傾斜方向が類似する単位斜面を用いた三次元斜面安定評価手法が提案されているが、谷線と尾根線に基づく領域分割では、0次谷のような凹地形に対応しきれない場合がある。そこで本研究では、0次谷を考慮した単位斜面の生成手法を提案し、崩壊履歴のある斜面を対象に、三次元解析で崩壊の可能性と規模を評価している。さらに、降雨によって変化する地盤物性値の設定方法を提案し、GISを用いた三次元斜面安定解析により、降雨時における崩壊危険度と崩壊規模の評価手法について検討している。

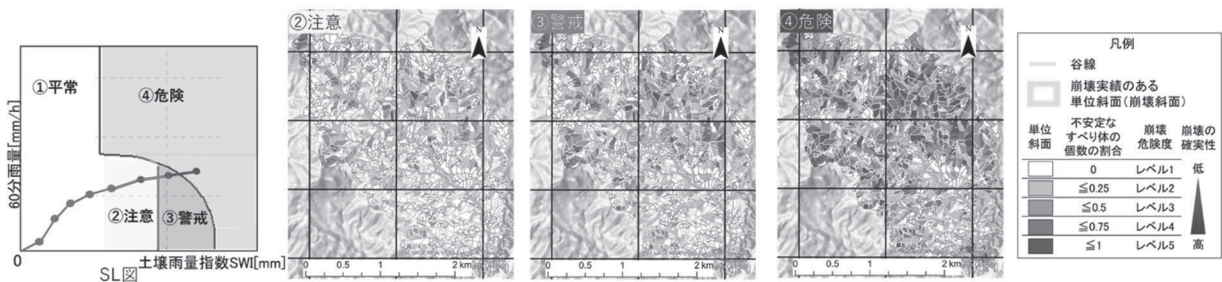


図 三次元斜面安定解析の一例

② 衛星データを用いた崩壊斜面の変動挙動検出に関する研究

本研究では、防災上重要な道路沿い斜面の変状を、衛星データ（ALOS-2 などの SAR）を用いて抽出する手法を開発する。道路は山地の谷間を通る長大構造物であり、その斜面の安定性と維持管理は極めて重要である。後方散乱差分解析や干渉解析、SAR 時系列解析（2.5 次元解析など）により不安定斜面を評価し、危険箇所を事前に抽出することで、平常時の予防保全や災害時の迅速な対応に資する。研究では、九州地域の国道を対象に、LP データや過去の防災点検データと組み合わせて解析を行い、衛星データから効率的に斜面変状を検出する手法の確立を目指す。得られた結果は、危険斜面の優先管理や点検計画の立案にも応用が期待される。

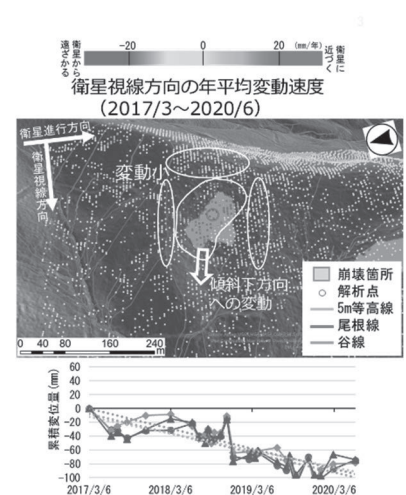


図 解析結果の一例

2-3-3. 浮遊選鉱法および湿式製錬法による難処理鉱石からの有価物選択回収と忌避元素固定化に関する研究（沖部研究室）

● 浮遊選別を用いた検討

カーボンニュートラル社会構築のために必要となる再生可能エネルギーや EV の普及においては、多種多様な重要金属資源やエネルギー資源が必要となるが、銅・鉛・亜鉛などのベースメタルやレアアース資源、石炭資源の鉱山・炭鉱は、低品位化、複雑化に伴う高コスト化が進行しており、資源価格の高騰の一因となっている。本研究室においては、特に銅資源について注目し、これまで困難とされてきた難処理鉱石からの銅-ヒ素、銅-モリブデン分離を、安全安価で行うための浮遊選別プロセスを提案してきた。

2024 年度においては、これまで行ってきた難処理銅鉱物について、より低コスト高効率のプロセス開発のため、浮遊選別への添加材としてナノ鉄沈殿やシュウ酸の検討を行い、これらの添加が銅—モリブデン選択浮遊選別に有効であることを見出した。また、銅・鉛・亜鉛を含む複雑精鉱について、有価金属回収と不要鉱物除去を試みた。適切な pH の調製とチオ硫酸ナトリウムまたは過酸化水素水の添加により、有価金属として銅・鉛・亜鉛の濃縮を、不要鉱物として石英や黄鉄鉱の除去を高効率で行うことができた。これらベースメタル回収の試みに加え、レアアース鉱山における不要鉱石からのレアアース回収についての研究を行った。レアアース鉱山では、浮遊選別において不要鉱物としてアパタイト（リン酸カルシウム）を廃棄しているが、この中に有意な濃度でレアアースが含まれている。pH と添加捕収剤の調整により、レアアース鉱物回収が可能となった。この他、インドネシアでの炭鉱において浮遊選別を使用しないために廃棄鉱石中に半分以上の石炭が含まれている試料について、ごく簡単な浮遊選別を適用することにより、廃棄鉱石中から 8 割以上の石炭回収が得られる成果を得てきた。これらの実験には、小型ガラスカラム浮選機に加え、大型浮選機としてファーレンワルド型浮選機を用い、表面性状の確認には XPS、FTIR、MLA、AFM など多種多様な分析法を用いて、分離のメカニズムについて検討を行ってきた。種々の酸化還元剤、ナノ鉄沈殿や有機酸の添加を行ってきたが、浮遊選別において浮鉱として回収される鉱物表面は浮選剤となる捕収剤が有意に認められる一方で、沈鉱として回収される鉱物表面は水酸化鉄沈殿や硫酸化物等の親水性の生成物が認められた。これらの試みを、さらに高効率のプロセスや他の資源の分離において適用する予定である。

● 湿式製錬を用いた検討

難処理鉱石からの有価物回収と有害物除去・固定化について検討を行ってきている。有価物回収においては、難処理複雑硫化鉱、コバルト含有酸化物について、有機酸、アミノ酸などを添加した系、またはバイオを用いた系での浸出促進について報告してきた。一方で、有害物除去・固定化については、主にヒ素について検討を行った。ヒ素(As)は人体に悪影響を及ぼす元素の一つとして知られており、鉱業に起因する As の地下水汚染は世界中で課題となっている。液相中の As(III)はその溶解性、毒性の高さから、一般的には前処理として酸化剤などを用いた As(V)への酸化処理を必要とする。これまでの研究において、溶存 As(III)を好熱・超好酸性アーキア *Acidianus (Ac.) brierleyi* が持つ Fe(II)および As(III)の微生物学的酸化能を利用することで、高安定性の鉄ヒ素鉱物である scorodite ($\text{Fe}^{\text{III}}\text{As}^{\text{V}}\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

として As を不動化できることを報告してきた。今年度においては、種々の鉄含有廃棄物（以降、Fe 澱物）等を新たな Fe 源とした微生物学的 scorodite 生成が可能であるかどうかを検証した。

ヒ素含有溶液に Fe(II)、Fe 澱物を添加して実験を行った(Figure1)ところ、全ての系で *Ac. brierleyi* の細胞密度は増加し、微生物学的な Fe(II)・As(III) 酸化が進行したが、酸化後の As(V) の除去挙動は Fe 源の種類によって大きく異なった。まず、Fe 源が Fe(II) のみの系では As が二段階で不動化しており、この反応メカニズムは次のように説明できる。まず、反応初期段階では前駆体として、鉄ヒ素沈殿(Ferric arsenate ($\text{FeAsO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$))や塩基性硫酸鉄(Basic ferric sulfate ($\text{MFe}_x(\text{SO}_4)_y(\text{OH})_z$))が生成され、溶液中の As、Fe および SO_4^{2-} 濃度が減少する。その後、前駆体は誘導期と呼ばれる

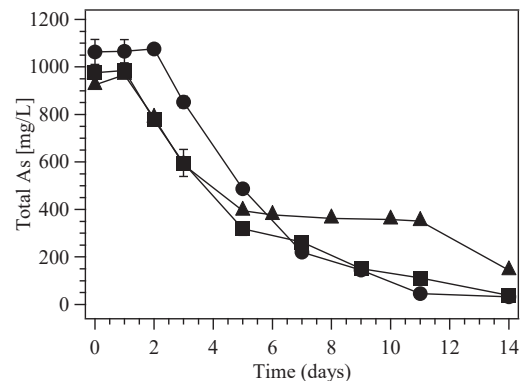


Figure 1 Changes in [total As] during biogenic scorodite formation. ●, Fe(II) 0 mg/L+Fe sludge 0.2%; ■, Fe(II) 500 mg/L+Fe sludge 0.1%; ▲, Fe(II) 1000 mg/L+Fe sludge 0%.

段階に入る。ここでは、固液界面において Fe、As、 SO_4^{2-} の溶解・結晶化および As と SO_4^{2-} の置換反応が同時に起こるため、液相中の金属濃度は見かけ上変化しないが、この反応により前駆体の固液界面に Fe および As の局所的高濃度領域が形成される。これが scorodite 結晶化の引き金となり、塩基性硫酸鉄中の SO_4^{2-} と As の置換反応が起こることで、As 濃度は再度減少しながら前駆体が消失して最終的に scorodite として結晶化する。これに対し、Fe 源が Fe 澱物のみの系では、As はより短期間かつ一段階で不動化しており、生成された前駆体が誘導期を経ずに結晶化している可能性を示唆している。このことは、各種固体分析及び表面分析により以下のように説明できる。①Fe 澱物表面に、アニオンである SO_4^{2-} や $\text{As}^{\text{V}}\text{O}_4^{2-}$ が吸着されることで速やかに固液界面に局所的高濃度領域が生じる②それらのアニオンが Fe 澱物表面より溶出した Fe(III) と速やかに反応し、鉄ヒ素沈殿と塩基性硫酸鉄から成る前駆体を生成する③前駆体である塩基性硫酸鉄中の Fe-S 配位が強化することで、 SO_4^{2-} と $\text{As}^{\text{V}}\text{O}_4^{2-}$ が置換した瞬間にスコロダイト結晶化が起こる④さらには、一部のアーキア細胞も Fe 澱物表面に吸着され、局所的高濃度領域が生成する。最終的に Fe 澱物使用時には、「前駆体生成期間の短縮」、「見かけ上の誘導期の消失」、「速やかな結晶性スコロダイト化」が特徴として現れ、Fe 澱物の Fe 源としての有用性を示す結果となった。これらの結果をもとに、鉄沈殿の種類によるスコロダイト化メカニズムについても解明するなど、本分野において大きな成果を残している。

2-4. 協力研究員の研究活動

2-4-1. 発電設備利用率向上に向けたスケールモニタリングとAI利活用に関する技術開発

佐藤正悟(九州大学環境工学研究教育センター協力研究員・九電産業株式会社)

地熱発電は地下の熱水・蒸気を取り出し、タービンを回して発電する再生可能エネルギーの一つである。地熱発電は季節や天候に左右されず、日本は火山地帯が多いため、安定的に発電可能な再エネベースロード電源として近年期待が高まっている。

本事業「発電設備利用率向上に向けたスケールモニタリングとAI利活用に関する技術開発」は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の地熱発電導入拡大研究開発の公募において、九電産業株式会社・九州大学・九州電力株式会社(現:九電みらいエナジー株式会社)が合同で2021年度に受託したプロジェクトである。本事業では、定量的スケールモニタリング法の確立と様々な条件におけるAIへの入力データセットの取得を行い、元素毎の付着速度のモニタリングすることで、スケール生成予測の結果を求める一連作業を可能とするAIモデルを作成している。作成したAIモデルをもとに、スケール生成を短期間で評価を行い、スケールに起因する問題に対して適時・適切な対策を施すことで、地熱発電のシステム利用率向上を目指している。

本事業は、定量的スケールモニタリング法を確立するため、地熱発電所において熱水や蒸気を対象とした短期のテストピース浸漬試験を実施してきた。その結果、スケールの生成しやすい熱水条件では1~5時間、しにくい熱水条件では5日間の浸漬時間でシリカ濃度が上昇することがLA-ICP-MS分析結果から明らかとなった(図1)。また、得られたデータセットを用いて、AIソフトMulti-Sigmaを使用し、実際の短期スケール試験の結果を説明変数、長期スケール試験の結果を目的変数としてスケール予測を試みた。その結果、ある地点では予測精度が高いものの、他の地点では予測しづらいモデルとなった。一方で、要因分析の結果はスケール生成に対する寄与率の大きい項目として、温度やアルミニウム濃度、シリカ濃度があげられ予想通りの結果であったが、これまでスケール生成に大きく関与するとされていない項目も含まれていた。今後は汎用性の高いAIモデルを構築するために多様かつ数多くの熱水を用いたスケール試験を継続し、短期および長期スケール試験のデータセットの収集を実施する予定である。

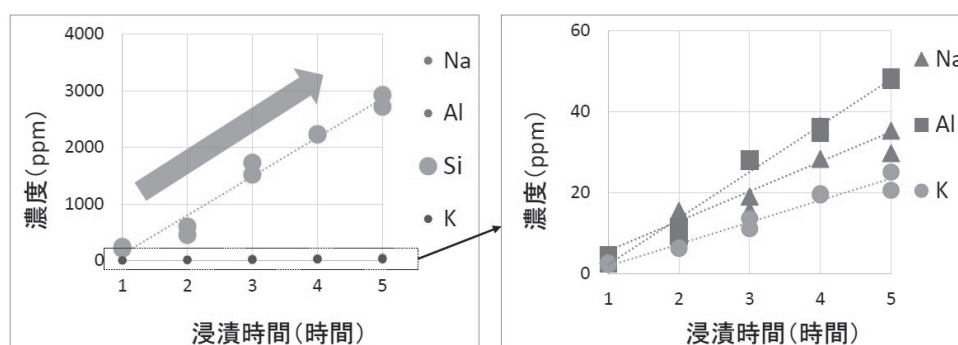


図1: 浸漬したテストピースの表面分析(LA-ICP-MSによる定量分析 材質 SUS)
浸漬時間の経過とともに、ケイ素(Si)をはじめ、多くの元素で濃度上昇

2-4-2. 附属環境工学研究教育センター協力研究員の活動報告（2024年度）

三戸優理（沖縄科学技術大学院大学 事業開発コーディネーター）

◎ベトナムとの国際業務

- ・ JICA のベトナムバクニン省フーラン村陶芸生産者生活向上計画プロジェクトにサブプロジェクトマネージャーとして参画。活動実施計画、予算計画の策定や現地のカウンターパートとの役割分担を明記した Minutes of Meeting の作成提案、折衝、締結支援及び事業管理や報告書の作成を担当した。
- ・ 陶芸の工業生産へ移行の動きによる伝統的な手作り陶磁器文化喪失の危機に瀕していたフーラン村において、対象となる陶芸従事者への福岡県東峰村の高取焼や小石原焼の専門家による現地の素材を活かして作る小型の高付加価値陶器の制作技法の指導やオリジナリティーのある手作りの陶器制作に欠かせない蹴り轆轤の導入及び薪窯の設置を実施した。臨機応変な研修内容など活動計画の見直しや専門家の配置計画の調整を実施。現地地方政府幹部への丁寧な対応や粘り強い交渉により、良好な連携関係の構築。事業終了時において、設定した全てのアウトプットの達成及びプロジェクト目標の達成に貢献できた。
- ・ 資源の投入量を減らす環境配慮かつ持続的な新たな伝統工芸品の確立や見せる陶芸村として現地の観光地化及び東峰村との技術/人材交流による双方における地域振興づくりにつなげる結果に寄与した。

◎福岡県古賀市での活動

- ・ 古賀市において、市民の立場から環境審議会委員（3年間）、古賀市総合計画基本構想審議会（1年）、総合政策検証会議委員（1年）、多文化共生推進協議委員会（1年）の委員の委嘱を受け、会議に参画した。
- ・ 第5次古賀市総合計画基本構想における教育、環境、地域づくり等重点項目内容について市民の立場からの意見を述べ、基本構想の骨格化に寄与した。
- ・ 環境審議会においては、過去の業務経験を活かし、環境報告書についての指標の検証などわかりやすい報告書作成や実施計画における意見を述べ、環境施策のスムーズな実施を促進した。
- ・ 多文化共生推進協議会においては、過去の業務経験や市民の立場から気づくことについて意見を述べるとともに、在住外国籍住民への支援として、やさしい日本語講座のボランティアとしても参画し、古賀市内における多文化共生の地域づくりにも寄与した。

◎研究支援業務

2025年からは、沖縄科学技術大学院大学（OIST）にて事業開発コーディネーターに従事することとなった。COI-NEXT 支援による「心・体・環境の健康」を基盤とした持続可能型社会を実現するグローバル・バイオコンバージェンス・イノベーションプロジェクトにおける産学連携の推進や関連分野の産学連携プロジェクトの形成やネットワーキング構築を担当している。

2-4-3. 附属環境工学研究教育センター協力研究員の活動報告（2024年度）

會津光博（九州大学大学院工学研究院附属環境工学研究教育センター協力研究員）

現在、バイオ・ラッド ラボラトリーズ株式会社 営業部 アプリケーション スペシャリストとして勤務している。業務内容は、シングルセル、NGS、デジタルPCRの学術として、プレセールス活動・ポストセールス活動・ユーザーサポート、シンポジウム等におけるブース展示員やセミナーのプレゼン・司会等を担っている。

センター協力研究員としては、取得した環境DNAモニタリングのデータの解析や考察へのアドバイスをを行った。

2-4-4. 附属環境工学研究教育センター協力研究員の活動報告

明石信宏・西 高一郎

2024 年度は以下の研究活動を行った。

(1) 長崎県対馬市沿岸フィールド調査

目的：対馬の地方創生及び漁業の復興

内容：地域キーマンへのヒアリング、マリンステーション地見学、海洋生物調査と活用案考察他。

期間：2024 年 11 月

場所・地域：長崎県対馬市

(2) 環境 DNA・重力濾過法の実現方法の検討

目的：九州大学における環境 DNA 調査の採水～濾過時の効率化

内容：北海道大学大学院農学研究院・荒木仁志教授との連携による重力濾過法による環境 DNA 調査作業（採水～濾過時）の効率化の理解と実践による実現方法の検討、遠隔会議。本活動の中で、北海道大学の鮭調査のための環境 DNA 調査（採水～濾過）も実施

期間：2024 年 11 月～2025 年 1 月

場所・地域：福岡県玄界灘沿岸地域

(3) 唐津市沿岸環境 DNA 調査

目的：唐津市沿岸部の環境 DNA による魚類調査。

実施内容：環境 DNA 調査データの分析・考察。

期間：2025 年 2 月～2025 年 3 月

場所・地域：佐賀県唐津市

内容：環境 DNA 採水ポイントマップ作成

(4) 環境 DNA 調査体験のための福岡市内河川の環境 DNA 採水可能箇所マップの作成。

内容：実釣調査をベースとした採水ポイント、駐車可能ポイントの地図への落とし込み。

成果物：環境 DNA 調査のためのポイントマップ

期間：2025 年 3 月

場所・地域：福岡市東区沿岸

2-4-5. 附属環境工学研究教育センター協力研究員の活動報告

滝澤恭平（株式会社ハビタ代表取締役）

◎杉並区でのグリーンインフラ区民協働ビジョン検討業務（杉並区）

- ・区民と杉並区ならではのグリーンインフラビジョンを策定するワークショップを行った。
- ・その過程で、雨庭づくりワークショップを実施し、市民が案を検討し、公園で市民普請で雨庭を施工した。
- ・雨庭づくり体験に基づいて区にグリーンインフラを広げるためのビジョンを自由に意見交換し、ビジョン図とコンセプトにまとめた。
- ・以上の総合ファシリテーターを務めた。

◎八王子市のグリーンインフラ活用検討支援業務（八王子市）

- ・流域治水施策の市民一人ひとりの自分事化が求められる。本業務は、雨水流出抑制に資する主体的に協働して取り組む体制づくりを目指すものである。
- ・ステークホルダー調査を行いターゲットとなる、造園事業者、市民ガーデナー団体を特定した。
- ・雨庭適地調査を踏まえ、雨庭モデル地区を設定した。
- ・ターゲットと公園で雨庭づくり講習会を行い、雨庭づくり技術の取得を達成した。
- ・以上を踏まえ、体制・プラットフォームの枠組みを提案した。

◎研究

- ・造園学会にグリーン・ストリート・マネジメントに関する論文を投稿し、受理され、2025年5月に刊行した。

滝澤 恭平, 山口 敬太, 新横浜におけるグリーン・ストリート・マネジメントの成立過程と方法, ランドスケープ研究, 2024-2025, 88 巻, 5 号, p. 551-556, 公開日 2025/05/15

2-5. センター活動

2-5-1. 「ニュースレター」 No.11

CREET Center for Research and Education of Environmental Technology, Faculty of Engineering, Kyushu University NEWSLETTER

九州大学大学院工学研究院 附属環境工学研究教育センター ニュースレター

ISSN 2435-0435

No.

11

2024.7



センター長からのあいさつ

附属環境工学研究教育センター長 三谷 泰浩

2024年度の附属環境工学研究教育センター長を仰せつかりました。どうぞよろしくお願い申し上げます。

附属環境工学研究教育センターは、2018年4月に新たに設置されたセンターですが、5年目の2023年度末で各研究ハブの研究ユニットによる研究課題がすべて時限である5年目を迎えたことから、本センターの規定により評価を実施し、2024年度に新たに組織を改編するとともに研究課題についても見直しを図りました。その結果、新たな組織・研究課題のもと研究・教育に取り組むことになりました。

九州大学では、「Kyushu University VISION 2030」を策定し、「総合知で社会変革を牽引する大学」を実現するためにビジョンを明らかにしています。このビジョンは、今後10年間の本学の方向性、方針を示すものであり、この中では、九州大学が2030年に向けて目指す姿として、多様な「知」と「人材」を結集し、新たな価値創造の基盤となる研究とイノベーションの創出を牽引し、自然科学系と人文社会科学系、さらにはデザインを加えた知による「総合知」によって、社会的課題の解決とそれによる社会・経済システムの変革に貢献する「総合知で社会変革を牽引する大学」を目標としています。

環境に関する研究は、多様な分野の研究者が集い、様々なアプローチによる自由闊達な研究と、それらが基盤となって生み出される先端研究や、未来を拓く探求心旺盛な学生を育てる教育により成し遂げられるものと考えられ、本センターが目

指すべき方向性と合致していると思われま。そのような意味で本センターに集まる「総合知」を活用し、新しい価値を創造し、研究教育資源の発展に繋がるという好循環を生み出すイノベーションのシステムを形成することが私たちに課せられた使命ではないかと思ひます。また、近年の情報技術の発展に伴い、DX（デジタルトランスフォーメーション）などのITによる社会変革が起こりつつあり、生活スタイルは、個人にフォーカスした人間中心の生活が重視されるようになり、経済活動や人々の行動様式が大きく変わったように思われま。また、世界に目を向けると各地で紛争が起こり、当事国における苦難と人道危機がもたらされただけでなく、世界経済全体の成長減速とインフレ加速の影響が、徐々に目に見える形でわれわれの生活を脅かしつつあります。このような社会の変化は、われわれが取り扱っている、環境問題へも大きな波紋を及ぼすことになると考えられ、新たな視点から環境問題をもう一度考え直さなければいけなくなると思われま。

このように変わりゆく社会の変化を踏まえながら、急速な環境の変化や諸問題に即応する研究・教育活動を実現するとともに持続的な新たな社会の構築に寄与するよう、より一層、研究・教育活動に取り組んでいく所存です。皆さま方におかれましては、当センターの活動に対するご理解と更なるご支援を賜りたくお願いする次第です。今後ともよろしくお願い申し上げます。



海底科学掘削により鉱床成因モデルに迫る

客員教授 石橋 純一郎

海底の熱水鉱床が将来の金属資源として注目されている。熱水鉱床がどのような過程を経て形成されるのかという議論（＝鉱床成因モデル）は、地球科学的に興味深い問題であるだけでなく、実際の開発の際に課題となる鉱床探査や資源量評価を科学的に進めるための基盤となる知見である。

近年、熱水活動域の海底下をターゲットとした科学掘削プロジェクトが行われるようになり、鉱床成因モデルの議論に新たな貢献をもたらしている。沖縄トラフの熱水活動域においても、SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「次世代海洋調査技術プロジェクト（2014-2019年）」によって、地球深部探査船「ちきゅう」の掘削装置を用いた掘削、および海底設置型ボーリングロボット（BMS）を用いた掘削、が次々と実施された。九州大学の理学部と工学部の研究者が連携して掘削航海実施時よりプロジェクトに参加し、海底下から得られた堆積物コア試料の解析を進めている。

堆積物コアの鉱物学的解析と、堆積物内の間隙水化学組成から制約される海底下流体挙動の解析を組み合わせることで、鉱物の沈殿生成による鉱化作用をはじめとする様々な化学反応が海底下で進行していることを議論できる。また複数の堆積物コアの解析結果をまとめることで、熱水鉱床が形成される過程

のスナップショットを描くことができる（図）。このような海底熱水鉱床の研究から得られた研究成果を、地質時代に形成され現在は陸上に存在している熱水鉱床を対象とした研究成果と比較検討することを目指して、同位体比指標を用いた解析、鉱石の年代測定法の開発などの手法を取り入れた研究を進めている。

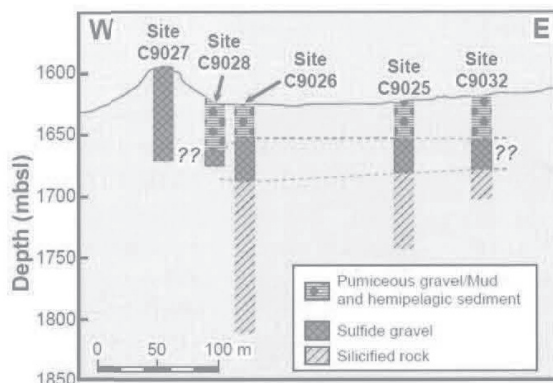
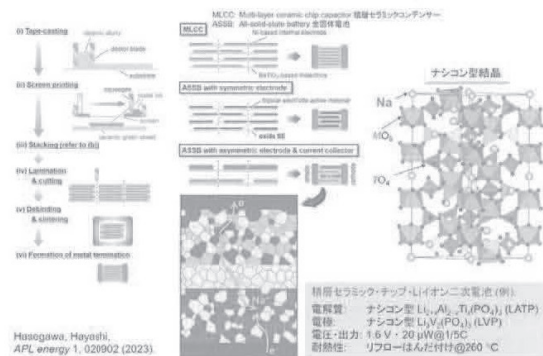


図 熱水活動域海底下の熱水鉱床の構造の例



リチウムイオン電池の用途と需要は、小型移動体向けから、電気自動車、系統用蓄電池へと拡大している。資源制約の観点からは LiFePO_4 系正極のほか、ナトリウムイオン電池への展開が注目されている。より現実的なナトリウムイオン電池への期待は、低温時も含めた高い出力特性にある。我々のグループでは、このようなナトリウムイオン電池の特長を引き継ぎつつ、完全な安全性とより広い使用環境に期待が持てる全固体酸化物系に向けた研究を行っている。古典的であるが有力な電解質材料は、 $\text{Na}_3\text{Zr}_2(\text{SiO}_4)_2(\text{PO}_4)$ (NZSP) 系材料であり、我々の検討も含めて、近年の研究進展により硫化物系固体電解質に迫る様な高い伝導が得られていることから、うまく設計・製造された電池では高い出力特性が期待できる。しかし酸化物系電池は焼結によって電極活物質や電解質などの複数の材料を、それらの電気化学的特性を維持させながら意図しない副反応を抑制しつつ緻密化させねばならない。焼結助剤による焼結温度低減やガラスセラミック法（ガラス前駆体を比較的低温での軟化・緻密化と結晶化）が有効である（cf. 九州大学 HP 研究成果 2023/1/4）。これらの方法論は古典的ではあるが、

従来にない複雑組成系である事もあり学理の再構築も必要と考えている。酸化物全固体系では、とりわけ充放電時の電極活物質の膨張収縮にも厳しい制約があり、この点においてもリチウム系ナトリウム系の比較に着眼しつつ研究に取り組んでいる。



【公開講座】

◆環境 DNA—革新技術が開く科学と社会の新たな姿

インターフェース課題研究ハブ 准教授 清野 聡子

令和5（2023）年の公開講座は、第6回環境 DNA 学会九州大会と連動した企画となりました。

「環境 DNA—革新技術が開く科学と社会の新たな姿」として令和5（2023）年12月3日 14:00～16:30（2時間半）九州大学西新プラザにおいて開催し、123人の参加者を得ました。

「環境 DNA」は、生物を捕獲採取せず採水だけで高速に多様な生物の生息が確認できる技術です。本講座では、環境 DNA 技術の中でも一つのサンプルから複数種を並行して検出するメタバーコーディングを開発し、世界中で使われるまでに発展させてきた宮正樹先生（千葉県立中央博物館 主任上

席研究員）に基調講演をいただきました。先生が子供時代から魚に親しみ、従来の生物学の基礎研究、深海生態学から革新技術開発までの過程を通観するお話でした。福岡在住の環境 DNA 学会員でアウトドアと研究を結ぶ活動を行っている明石信宏氏のコーディネートにパネルディスカッションを行いました。



食文化フードジャーナリストの佐々木ひろ子氏、福岡県水産技術センター研究員の江崎恭史氏、福岡で魚の研究を行っている伊藤柚貴氏と多分野からのパネリストを交えて議論しました。特に開催地の福岡は、自然と歴史文化に恵まれ、釣りを楽しむなど市民も生物に関心が高い地域です。そのうえ魚食文化が盛んです。環境 DNA により生態系構成種や季節や年によるダイナミズムがわかることで、科学的な知見まさに「環境 DNA—革新技術が開く科学と社会の新たな姿」を体現していく気運が生まれました。

【編集後記】

附属環境センターでは各研究分野で活発な研究活動を展開している中、センター内の交流はもちろんのこと、公開講座等の、外部に向けた情報発信にも力を入れているところです。これからも環境問題の解決を目指しサステナブルな社会構築を支援する研究教育活動を、皆様方に発信していきたいと存じます。

九州大学大学院工学研究院 附属環境工学研究教育センター ニュースレター No.11

発行: 〒819-0395 福岡市西区元岡744
九州大学大学院工学研究院
附属環境工学研究教育センター
発行人: 附属環境工学研究教育センター センター長
編集: 附属環境工学研究教育センター 事務
発行日: 2024年7月18日
TEL: 092-802-3560(センター事務室)
FAX: 092-802-3561
e-mail: office@creet.kyushu-u.ac.jp
http://www.creet.kyushu-u.ac.jp/

印刷: 城島印刷株式会社
TEL: 092-531-7102 FAX: 092-524-4411

CREET Center for Research and Education of Environmental Technology,
Faculty of Engineering, Kyushu University
NEWSLETTER

No.
12

2025.3

九州大学大学院工学研究院 附属環境工学研究教育センター ニュースレター



資源処理・環境修復工学研究室における取り組み

ローカル課題研究ハブ 地球資源システム工学部門 教授
沖部 奈緒子

資源処理・環境修復工学研究室では、金属資源の処理と環境浄化に関する研究を「上流から下流」に位置付けた3つのグループで展開し、基礎から応用まで幅広く取り組んでいます。すべての研究はSustainability（循環型社会の形成）を共通理念とし、学際的アプローチと分野融合を特徴としています。

● 選鉱（浮選）グループ

天然鉱物資源（海底資源を含む）に対する高度な浮遊選鉱技術を開発します。特に、無害な有機酸やナノ粒子を用いた鉱物粒子の表面修飾に基づく“Green Flotation”法を提案し、環境負荷の低減と効率的な選鉱を実現する新たなアプローチを構築しています。

● 湿式製錬（リーチング）グループ

天然鉱物資源に加え、都市鉱山資源（電子基板、廃触媒、電池など）からの有価金属回収を目指し、環境調和型の新規湿式製錬技術を開発しています。バイオリーチングやケミカル・オーガニックリーチング法を通じて、従来技術の代替となる低環境負荷型の金属抽出プロセスを提案しています。

● 環境浄化（レメディエーション）グループ

製錬廃液や坑廃水に含まれる有害金属の除去および有価金属の回収を目的とし、特に“パンプトリートメント技術”の開発に注力しています。バイオプロセス、ハイブリッドプロセス、廃棄物再利用技術などを組み合わせ、環境浄化技術を高度化しています。

これらの研究はラボスケールでの基礎・応用試験から、産官学連携による実用化試験まで多層的に展開しています。また、地域資源を活用した廃棄物処理や環境改善など、地域課題の解決にも貢献しています。

当研究室では、粉体工学、界面化学、化学平衡論、鉱物学、地球微生物学、生物工学、電気化学、分子生物学など、多様な学問領域を融合した先駆的な研究アプローチを採用しています。有限な資源・エネルギーと環境制約のもと、資源処理技術や環境保全技術に関する新たな知見を創出し、持続可能な社会の実現に貢献することを目指しています。



排水中の重金属や海水中のレアメタルを吸着する回収材の研究

インターフェース課題研究ハブ 准教授
岡部 弘高

重金属は産業排水などから河川や海に流出し、環境汚染を引き起こし、深刻な健康被害を及ぼしている。水俣病のように水銀汚染による神経障害が大きな社会問題となった例もある。これを受けて、公害対策基本法によりカドミウムや鉛、水銀などの環境基準が設定され、汚染防止の取り組みが進められてきた。その結果、状況は改善したものの、新たな課題が浮上している。

現行の一般的な処理方法では、重金属廃液は水酸化物沈殿（ケミカルスラッジ）として最終処分場に埋め立てられる。しかし、大量の工場廃液に伴うスラッジの増加や、処分場からの環境汚染を懸念する近隣住民の反対により新設が困難になり、収容能力の逼迫が深刻化している。加えて、埋め立て処分は貴重な重金属資源を消費してしまうため、資源枯渇も懸念されている。

これらの課題を解決するためには、重金属を高効率で回収する方法が求められており、当研究室では、高分子ゲルに特

定の吸着基を導入し、重金属を効率的に回収する技術の開発に取り組んでいる。この高分子ゲルは、軽量で3次元網目構造による広い吸着面積、キレート形成による高い吸着能、環境変化に対する高い安定性を備えており、簡便な分離操作、多様な物質の吸着、繰り返し利用が可能など、多くの利点を持つ。また、この方法は海水に溶存するレアメタル資源の捕集にも応用可能であり、特に、陸上資源に乏しく海洋に囲まれた我が国において、重要性の高い技術である。

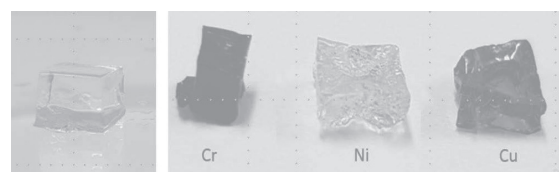


図 重金属吸着前と後の高分子ゲル吸着材

