

[007]附属循環型社会システム工学研究センター活動 報告 : 7

<https://doi.org/10.15017/2551024>

出版情報 : 附属循環型社会システム工学研究センター活動報告. 7, 2015-06-24. Research Institute of Environment for Sustainability, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

2. 研究活動の記録

2-1. 社会基盤研究室

2-1-1. 核燃料サイクル工学研究分野（出光研究室）

（研究目的）エネルギー資源の有効利用により持続可能型社会を実現するため、高度な核燃料サイクル技術の確立を目指し、軽水炉・高速炉燃料および破損燃料の物性評価、放射性廃棄物の処理処分技術の開発等に関する研究を行っている。

（研究概要）

- ・核燃料の融点・熱伝導率測定装置の開発および計算科学による物性評価（有馬）

商業用原子炉で使用されている UO_2 を主成分とする核燃料は、Pu やマイナーアクチニドの添加量の増加、燃料装荷時間の増加に伴い、融点および熱伝導率が低下する。また、東日本大震災による原子炉過酷事故においては、燃料や被覆管、構造材が溶融し、格納容器にまで到達していると考えられている。したがって、核燃料の溶融現象の理解、つまり融点や溶融燃料の物性評価の重要性は極めて高くなっている。この研究では、ミリ秒オーダーでの無容器法による融点・放射率との同時測定といった革新的なアイデアを取り入れた装置を開発し、模擬燃料としてのジルコニアや高融点金属タングステン等などの融点測定を可能とした。更に、光散乱法による表面張力・粘性測定の超高温融体への応用、周期加熱法を用いた熱伝導率測定装置の開発も進めている。また、研究例の少ない PuO_2 の機械特性（弾性率等）を実験（JAEA との共同研究）的に明らかにした。

- ・燃料再処理の新手法の開発（有馬）

PuO_2 を含有した燃料の再処理は、硝酸溶液に対する PuO_2 の低溶解度を補うため、実験装置に負担の大きな条件下（フッ化水素添加、高温など）での作業を余儀なくされている。この研究では、 PuO_2 を一旦珪酸化合物と反応させることにより、プルトニウム珪酸塩を合成し、酸溶解させる手法を提案している。そこで、 PuO_2 の模擬物質として CeO_2 をはじめとするランタニド酸化物を用いた珪酸塩の合成、および硝酸溶解試験を実施し、それらの酸化状態、イオン半径がその溶解性に関係することを明らかにした（JAEA との共同研究）。

- ・ガラス固化体の長期溶解／変質と核種浸出の速度論的評価（稲垣）

使用済核燃料再処理過程で発生する高レベル放射性廃液はホウケイ酸ガラスで固化され、オーバーパック（炭素鋼）や緩衝材（ベントナイト）の人工バリアを配して深地層中に処分される。この地層処分ではガラス固化体の数万年以上にわたる超長期の核種保持性能（浸出挙動）を評価する事が必要であり、地下水との接触によるガラス固化体の溶解／変質について多くの研究が行われているが、その反応は複雑であり、十分に信頼性の高い評価には至っていない。例えば、ガラス固化体の溶解速度はガラス組成に加えて接触する地下水の pH や組成、温度、共存物質との相互作用等の環境条件により大きく変化する。また、ガラス固化体は溶解とともに安定なケイ酸塩鉱物へ変質し、この鉱物化過程はガラス溶解速度や核種浸出挙動と密接に関係する。そこで、米仏英独等の研究機関と共同して国際標準 6 成分ガラス試料を開発・作製し、新たに開発したマイクロリアクタ流水試験法を用いたガラス固化体の溶解／変質実験により、様々な環境条件でのガラス溶解速度を精密に測定し、溶解機構の評価を含む速度論的評価を行った。（JAEA との共同研究、日揮（株）受託研究）

- ・放射性ヨウ素廃棄物の固定化：ヨウ化銀（ AgI ）の溶解挙動評価（稲垣）

使用済核燃料再処理過程で発生する放射性ヨウ素（ I-129 ）は長半減期、低取着性の主要

な TRU 廃棄物であり、化学的に安定な化合物（固化体）として地層処分することが検討されている。その安全性評価には、処分環境におけるヨウ素化合物の溶解および酸化還元に関する基礎化学的特性を理解する必要があるが、反応は複雑であり現在必ずしも十分に理解されていない。そこで、代表的なヨウ素化合物である AgI およびヨウ素を吸着させた吸着剤（アルミナ）を HIP 固化処理した岩石固化体について、処分環境で予想される還元雰囲気の種類条件での溶解実験を行い、その溶解機構と速度を評価した。（(株) 神戸製鋼所との共同研究）

・ Cs吸着ゼオライトの溶融ガラス固化条件に関する研究（稲垣）

福島第一原発事故の汚染水処理で発生したCs吸着ゼオライトを合理的に処理する方法として溶融ガラス固化が検討されている。溶融ガラス固化では、溶融温度やガラス融剤の種類／添加量等の溶融ガラス固化条件が固化体の減容率やCs残存率、化学的耐久性といった固化体の諸特性に大きく影響し、さらには廃棄物最終処分の安全性や合理性にも影響する。そこで本研究では、溶融ガラス固化条件と固化体の諸特性との関係を明確にする事を目的とし、溶融温度／時間、ガラス融剤添加量等をパラメタとして固化体の組織均一性、Cs残存率、水への溶解速度等の固化体の諸特性を評価した。（科学研究費補助金）

・ ベントナイト中の鉄腐食生成物、ヨウ素、セレン、アクチニド元素の移行挙動（出光）

ベントナイト（粘土）は、高レベル放射性廃棄物処分システムにおいて緩衝剤として使用されることが予定されている。緩衝剤中の放射性核種の移行挙動は、処分場の安全評価のために必要不可欠の情報である。ベントナイトは層状構造をしているが結晶構造の欠陥により負に帯電している。この電荷を補償するため層間に陽イオン（ナトリウム）を保持している。多くの元素はこの層間をナトリウムとイオン交換しながら移行するものと考えられる。本研究は、拡散実験や、電気化学的移行実験によりベントナイト中の陰陽両イオンの移行挙動を明らかにすることを目的とし、還元環境下でのベントナイト中の鉄腐食生成物、ヨウ素、セレン、アルカリ元素、アルカリ土類元素、ランタニド元素、プルトニウムの拡散係数と分散長を電気泳動試験により得た。陰イオンの拡散挙動については、亜セレン酸に加え、オキシ酸であるセレン酸、ヨウ素酸、モリブデン酸をトレーサとして、精製ベントナイト中の拡散挙動について調べ、ベントナイトの空隙構造とこれらオキシ酸の拡散係数との相関および膨潤溶液の塩濃度との関係を見いだした。特にオキシ酸のストークス半径と拡散係数が逆比例関係にあることを明らかにし、オキシ酸が主に自由空隙を拡散経路としていることが判った（科学研究費補助金）。プルトニウムに関しては、ベントナイトを酸処理し H 型ベントナイトにした試料を用いた試験を実施し、プルトニウムの拡散がベントナイト空隙水の pH 変化に影響を受けること、プルトニウムが 3 価の化学形をとる電位-pH 領域で拡散が早くなることを明らかにした。この報告を行なった学生が、原子力学会においてポスター賞を受賞した。

2-1-2. 環境機能材料学分野（原研究室）

資源、環境をキーワードとして、応用物理学的手法による広範な研究を行っている。具体的には重金属他の汚染浄化や、汚染や廃棄物からの有用資源の回収や、環境中に低濃度で存在する有用資源の捕集のための新規有機材料の開発、高機能化の研究を行っている。またそのために、それら材料の構造と機能の関係解明のためにシンクロトン光や中性子線を用いた構造解析や計測法の開発を行っている。また、地球環境をはじめとする非平衡開放系を理解するための基礎研究、アクチュエータとして応用可能な機能性材料の基礎研究、環境評価への応用が可能な計測研究等も行っている。

1. レアメタル・重金属のリサイクルを可能にする機能性材料開発

重金属（一般には鉄以上の比重を持つ金属のこと）は精錬が容易なことから歴史的にも早くから利用されてきた。一般に、重金属は人体へのごく微量の取り込みでさえ大きな悪影響を及ぼすことが多く、この毒性により、産業利用後の廃液中に残存したまま環境中へ放出され、深刻な公害問題を引き起こしてきた。そして、日本では公害問題を契機として有害イオンに対する認識の広まりと法的規制によって、環境中への流出防止に関する研究や技術は著しく進歩してきており、かつてのような広範な公害問題が新たに起こることは無くなってきた。しかし、日本においても過去に汚染された地域は残っており、さらに発展途上国ではこのような公害問題は未だ多く見受けられる。さらに、産業の発展によって従来使われていなかった重金属の使用が広がるなどしており、それに対処するために、より経済的で、より効率的で、しかも柔軟な解決策が求められている状況に変わりはない。

こうした重金属の毒性は、元素が持っている特性に由来するため、化学的な処理で無害化することは不可能で、一旦流出した重金属は拡散により時間とともに広範囲に汚染として広がることになる。このことを防止するために化学系研究施設や工場などから排出された重金属を、水酸化物として処理後に基準により分別して埋め立て処分が行われているが、この処分場を確保することは住民の反対運動によって難しく、辺鄙な場所にせざるを得ないことから、道路整備や運搬コストの高騰などの問題も起こっている。また、近年の温暖化による多雨や産業活動により増加した酸性雨などによって処分場からの重金属の環境への再漏洩による汚染が懸念されている。また、埋立てによる処分は資源である重金属の廃棄であり、そのままでは限りある重金属資源の枯渇を引き起こすことになる。

このような状況を改善するためには、重金属やレアメタルを回収し、再度産業活動へリサイクルすることが必須であり、これを実現し持続可能な社会を構築することは社会的急務である。このような状況から、当研究分野では、廃液中の重金属を効率的に回収する回収材の基礎研究を行っている。今年度は、昨年を引き続き、(1)廃液等の中に混在するレアメタル陽イオンと陰イオンの同時吸着と温度スイングによる吸脱着に関する基礎検討と、(2)廃棄ペットボトルを利用する重金属回収材の開発のための研究、や、(3)重金属回収における界面活性剤の自己凝集構造変化の研究を行った。これらの研究を通して回収の高効率化を実現するための知見を得ることが出来た。これらの成果の一部は論文として公表した。

2. 海中溶存レアメタル資源の高効率捕集

現代産業では様々な技術の高性能化に微量のレアメタルが有効であることが知られて

おり、特に日本ではその利用がその分野で世界をリードする源となっている場合も少なくない。日本では、レアメタルは海外からの輸入に頼っているが、近年それらの重要性が認識されるとともに中国などの産出国が政治的に利用しようとして供給が不安定となることがあり、安全保障上の懸念材料となっている。一方、海水中にはこれらレアメタルが極めて低濃度ながら溶存しているので、近海だけでも海水量は莫大なため、絶対的には大きな埋蔵量となる。そこで我々は、海水中からの効率的捕集を可能にする捕集材の開発を目指しており、今年度は、新たな官能基の導入や、作成方法の見直し、さらにシート状の捕集材など様々な検討を行って新たな知見を蓄積した。なお、この手法はエネルギー資源であるウランを海水から捕集することを目的として始めたもので、引き続きウラン捕集についても高効率化を目指して知見を蓄積している。

3. 液晶を用いた弱い乱流の統計的性質の研究

地球環境はエネルギーの注入と散逸が存在する非平衡開放系であり、散逸構造とそのマクロな揺らぎによって、局所的な秩序構造とグローバルな無秩序構造が共存した弱い乱流状態にある。このような「時空カオス」と呼ばれる弱い乱流は、これまでに数多くの実験研究がなされてきたが、その統計物理学的性質は完全には解明されていない。そこで液晶対流系をモデル系として時空カオスの実験研究を行った。その結果、時空カオスによるエネルギー散逸の特性や非熱的な拡散の統計的性質、さらにそれらが外力によってどのように変化するかが明らかになってきた。このような理解が進むことによって、地球環境を初めとした弱い乱流による輸送現象を理解するための基礎的知見が得られるだけでなく、機能材料として用いられるソフトマテリアルの長時間変形流動の予測につながることを期待される。

4. 液晶エラストマーによる機能性材料開発

介護ロボットや人と関わる環境で必要とされているソフトアクチュエータとして、応答速度や制御の利便性、繰り返し使用に対する耐久性という長所を持つ液晶エラストマー(Liquid Crystal Elastomer: LCE) に注目し研究を進めている。LCEは高分子主鎖に液晶分子が結合し、さらに主鎖が架橋されたゴム状のもので、ゴム弾性と液晶性とがカップリングして、温度変化、電界・磁界印加によって形状や力学特性に変化を起こす。今年度は、電界印可時の液晶分子の回転角度の分散とマクロな変形との関係について実験研究を行い、LCEでの液晶分子の回転を経て、マクロな変形が起こる変形機構がもたらす特性について明らかにした。この特性を利用した機能性材料等の開発が期待される。

5. 生物発光測定による環境測定技術の開発

細胞の呼吸にともなって発生する活性酸素を起源とする極微弱な光(バイオフィトン)を測定することによって生体の環境ストレスを高感度に検出することが可能になることが我々を含む多くの研究で明らかにされてきた。我々は、環境中での放射線影響の評価にこの手法を応用できないかと考え、今年度は植物の γ 線照射による環境応答性の変化をこの手法によって検出するための基礎研究を行った。環境応答性自体は生物に普遍的に備わっているヒートショック応答が利用できると考えており、ヒートショック応答についての基礎的研究成果を論文として発表した。

2-1-3. 環境創成研究分野（今任研究室）

当研究室では、環境汚染成分を迅速・簡便かつオンサイトで測定可能な小型の分析装置の開発を目的として、化学発光検出器を装備したコンパクトディスク (CD)型マイクロチップおよびテルビウム錯体を発光材料とする有機発光ダイオード (OLED) と有機薄膜フォトダイオード (OPD) からなる蛍光検出器を組み込んだマイクロチップを作製し、これらを用いた非イオン性界面活性剤のイムノアッセイ法の開発に取り組んでいる。

1. CD型マイクロ流体基板を用いるフローイムノアッセイ法の開発

溶液リザーバーと検出部およびそれらを連結する幅数 $100\ \mu\text{m}$ の流路をコンパクトディスク型マイクロチップに作製した流体基板では、1分間に数100から千数百回のスピードで回転することにより、リザーバー中の溶液に加わる遠心力を駆動力として溶液を検出部へと送液することができ、しかもリザーバーを置く位置により遠心力の大きさを変えることができるので、回転速度を制御することにより数か所の溶液リザーバーから溶液を出射させる順序や時間を制御することができる。当研究室では、CD型マイクロチップを用いる非イオン性界面活性剤 (アルキルオキシフェノキシレート、APE) の化学発光/イムノアッセイ法を開発した。

図1のように、マイクロチップに作製したリザーバー1には試料であるAPEとそのHRP標識体の混合試料が、リザーバー2には流路や未反応のAPEとHRP標識APEを洗浄するための溶液が、リザーバー3にはHRPと反応して発光するルミノール溶液が入れられている。各リザーバーは流路で連結され、U字型の検出部を通して排出部に導かれている。U字型の検出部には抗APE抗体を固定化した磁気ビーズが充填されている。このCD型マイクロチップを図2のような回転数-時間のプログラムに従って回転させる。まず518rpmの回転速度で10分間回転し、リザーバー1の溶液を磁気ビーズ部に導入すると、APEとHRP標識APEが磁気ビーズ表面の抗APE抗体に競合的に結合する。次に、マイクロチップの回転速度を間欠的にゼロと約700-1400rpm間で回転と停止を繰り返して、リザーバー2の洗浄液を少量ずつ検出部に導入し、未反応のAPEやHRP標識APEを除く。最後に、回転速度を約1600rpmにしてリザーバー3からルミノール溶液を出射すると検出部の抗体に結合したHRP標識APEのHRPと反応し、化学発光を発する。これを検出部上部に配置したフォトンカウンティングユニットを用いて測定する。

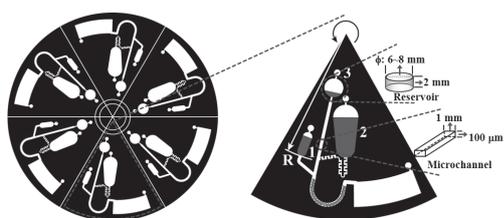


図1 CD型マイクロチップ

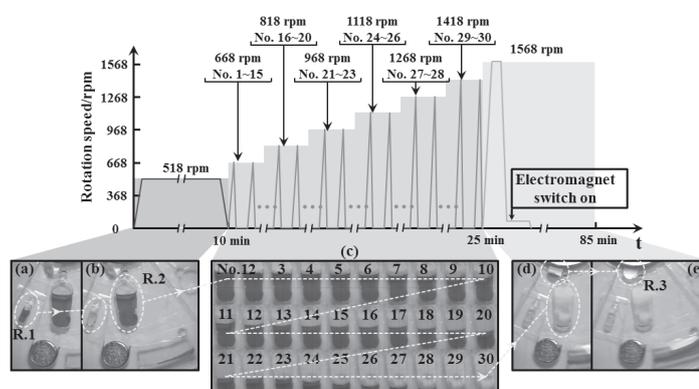


図2 CD型マイクロチップの回転プログラム

化学発光強度は、ルミノールの導入により徐々に増加し、約 5 分後にはほぼ一定の光強度を示し、そのあと徐々に減少した。化学発光強度の最大値を、それぞれの試料中の APE 濃度の対数に対してプロットすると、APE の濃度の増加に伴って化学発光強度が減少する、いわゆるイムノアッセイに典型的な検量線を得ることができた (図 3)。本法の検出限界は約 10 ppb 程度であり、水道法で定められている水道水中の許容濃度である 20 ppb を十分に満足するものである。

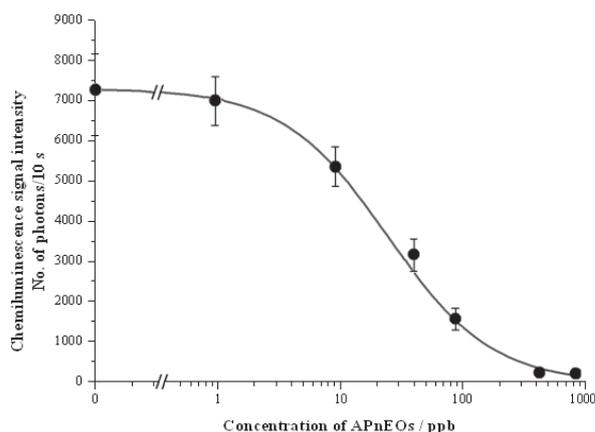


図 3 APE に対する検量線

2. テルビウム錯体を発光体とする OLED と OPD を用いる小型蛍光光度検出器の開発とその APE の蛍光イムノアッセイ法への応用

図 4 にテルビウム錯体の化学構造とこれを用いた OLED の発光スペクトルを示す。中心発光波長は 546 nm である。この OLED と TPTPA/C₇₀ の蒸着積層膜により作製した OPD を対向した蛍光検出器をマイクロチップの流路の上下に設置し、図 5 のようなフローシステムを作製した。マイクロチップの流路の表面に抗 APE 抗体を物理吸着して抗体を固定化した。そののち、注入器 1 から試料である APE と HRP 標識 APE の混合液を注入し、流路表面に固定化した抗 APE 抗体と競合免疫反応を行わせた。キャリア液で未反応の APE や

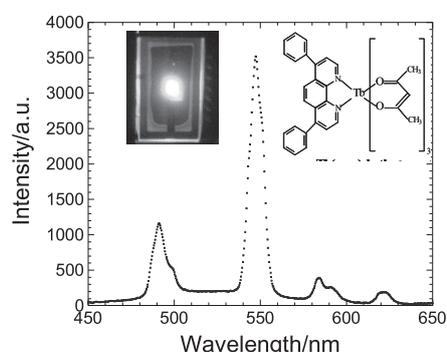


図 4 テルビウム錯体を用いた OLED の発光スペクトル

HRP 標識 APE を除いた後に、アンプレックスレッド溶液を注入器 2 より注入した。アンプレックスレッド自身は非蛍光性であるが、HRP により酵素反応を受けるとレゾルフィンと呼ばれる蛍光性の化合物に変化するので、この化合物の生成量を測定することにより HRP 標識 APE と競合した試料中の APE 濃度を測定した。得られた蛍光強度と APE の濃度の対数の関係を図 6 に示すように、図 3 と類似のシグモイド型の検量線が得られた。この場合も検出下限濃度は数 ppb と極めて高い感度の測定法であることが分かる。

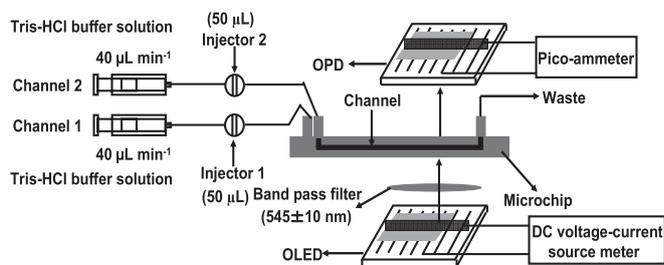


図 5 蛍光イムノアッセイのためのフロー系

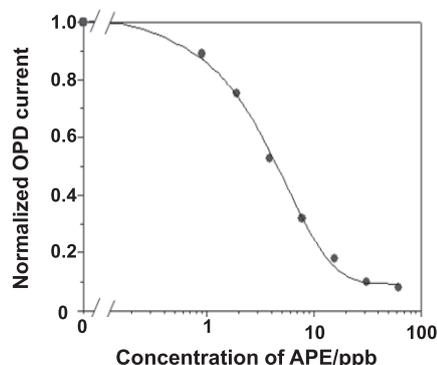


図 6 APE に対する検量線

2-2. 環境共生研究室

2-2-1. 自然再生研究分野（島谷研究室）

「九州大学グリーンインフラ研究拠点の形成」

1. はじめに

生態系サービスや自然資本の価値は古くから着目されており、1997年に Robert らは、全世界における生態系サービスおよび自然資本のストックの経済的価値を試算し、年間約 33×10^{12} ドルと評価した。こうした自然資本の価値を踏まえた社会資本整備はグリーンインフラ（Green Infrastructure）とよばれ、欧米で導入が進んでいる。

人口減少社会を迎えた日本においても持続可能で維持管理コストや導入コストが安価で付加価値も高く、よりよい環境をもたらすグリーンインフラの導入が期待されている。

グリーンインフラの定義は様々あるが、「生態系の価値と機能を保全する空間をネットワークとして連結させ、自然の機能が提供する恩恵を人類が享受するシステム」という考え方は共通の理解である。こうした課題は世界共通で日本でも同様に生じている。グリーンインフラはこれらに対して有効な解決策を与える社会資本整備の概念として期待される。

そこで、自然再生事例が多く、研究実績を有する当研究室が中心となり、「九州大学グリーンインフラ研究拠点」を形成し、日本におけるグリーンインフラの導入の意義や定義、事例について議論を行った。

2. グリーンインフラの定義

九州大学グリーンインフラ研究拠点は、グリーンインフラを「自然の機能を活用した社会資本をグリーンインフラ」と定義した。この定義は簡潔なために重要なポイントが含まれていないので、以下に補足的にグリーンインフラの概念にとって重要なポイントを示す。

- ・自然の機能とは厳密には生態系の機能である。それには物理的な機能とともに生物的な機能も含まれる。いわゆる、生態系サービスといわれる、自然の恵みのことである。この自然の恵みを活用した社会資本をグリーンインフラと呼ぶのである。
- ・グリーンインフラはグレーインフラを否定するものではない。グリーンインフラの活用にあたっては、グレーインフラとの複合も考え、それぞれの特徴を活かし、将来にわたって持続的で、よりよい機能を発揮することが必要である。
- ・グレーインフラは単機能になりがちであるのに対し、グリーンインフラは本来多機能であるため、これまで横につなぐことが難しかった横串の機能を持たすことが可能であり、多面的、複合的、横断的な機能を活かすことを考える必要がある。
- ・グリーンインフラは地域の自然資源を活用するため、地域の智が必要であり、その効用を持続的に保つためには地域のコミュニティとの連携が必要である。したがって、グリーンインフラの整備にあたっては、地域との共働が必須となる。
- ・グリーンインフラは経済的な価値をもたらすことも重要なポイントである。複合的な機能の発露により、インフラに付加価値を与えることができる。さらに、自然の力を活用することによって維持管理コストの低減や更新費用が不要になるなど直接的な経済価値もあるため、これらを引き出すことが重要である。

グリーンインフラの特徴をわかりやすくするために、グリーンインフラとグレーインフラ（従来型の社会資本）の対比を図-1に示した。グリーンインフラは多機能で、参加型で環境負荷が小さく、持続可能なインフラという特徴があり、一方、グレーインフラは設計が標準化でき、敷地が狭くて済み、効果の発揮までの時間が短いなどの特徴がある。両者の利点欠点を見分けながらうまく組み合わせることが必要である。

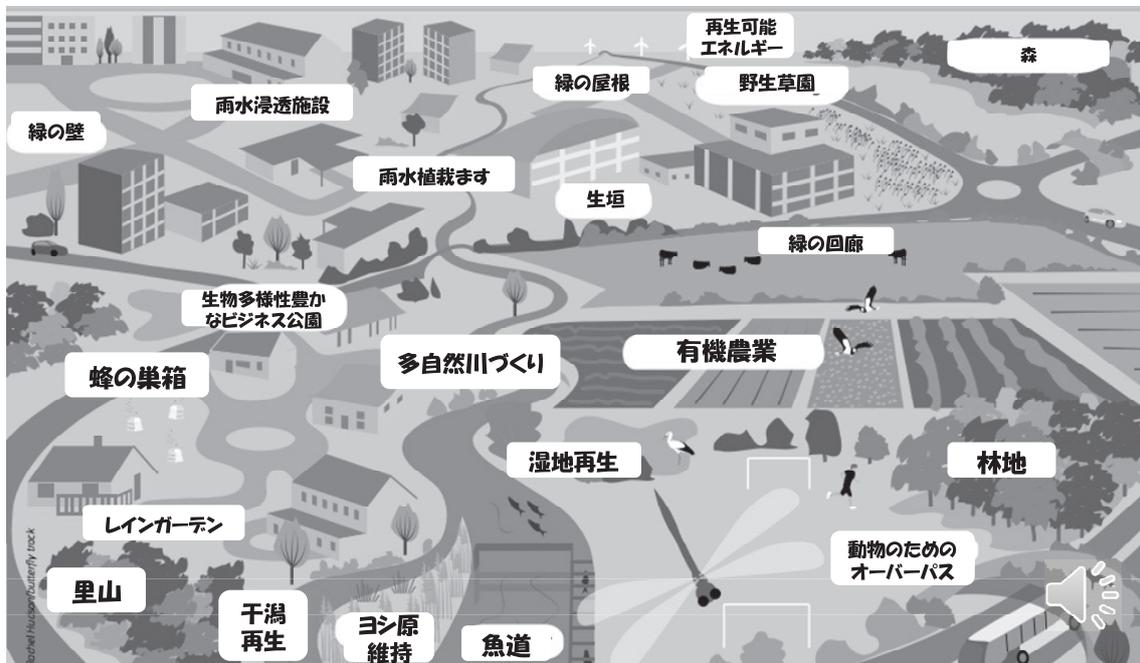


図-1 グリーンインフラの構成要素（Building a Green Infrastructure for Europe ,European Union,2013.に加筆）

3. 日本におけるグリーンインフラ導入の意義

我が国は今後、高齢化が進展し、人口減少局面に入るとともに、地球温暖化の影響による豪雨が頻発するなど様々な国土管理上の課題が現れて来ると予測される。高齢化、人口減少局面では、インフラへの投資にも限界があり、新設・更新費用が安価で、維持管理コストを低減させた持続可能なグリーンインフラの重要性が高まっていくものと考えている。

中山間地ではすでに山林の管理が困難になり、シカの過剰増殖により、山林の下層植物の喪失、それにとともなう土壌浸食による山腹崩壊、土石流・流木の発生、水源涵養力の低下、生物多様性の低下、農地への食害など山林域の環境の劣化は深刻であり、さらなる人口減少により、この状況がさらに深刻化することが懸念される。都市部においても人口減少が発生すると空き地が増大し、不法投棄、犯罪の発生、野犬・ネズミなどの生息場となるなど、現在山林で起きているのとは異なる都市の生態系の荒廃の問題が発生する可能性が高い。さらに森林の荒廃や平地の荒廃は沿岸域にも影響を及ぼし、沿岸生態系の劣化さらには水産資源への影響も懸念される。

「人間の関与がなくなれば、自然は自律的に回復するので何もしなくてよいのではないか」と考える向きもあるが、現実はそのほど簡単ではない。一旦人間が係った環境は計画的で戦略的な管理がない限り健全な生態系には回復しないことは沿岸域の劣化、山林の環境の劣化を見れば容易に想像がつく。緑や水の空間を戦略的、計画的に整備、連結するグリーンインフラは人口減少局面において国土を劣化させないインフラとして、さらに付加価値を与え、地域経済も豊かにする新しいインフラとして期待されるのである。

2-3. アジア環境研究室

2-3-1. 環境制御研究分野（島岡研究室）

環境制御研究分野では、1. 循環型社会の構築、2. 最終処分技術開発、3. 廃棄物適正処理、4. 地球環境問題解決への貢献を目的とした研究活動を実施している。

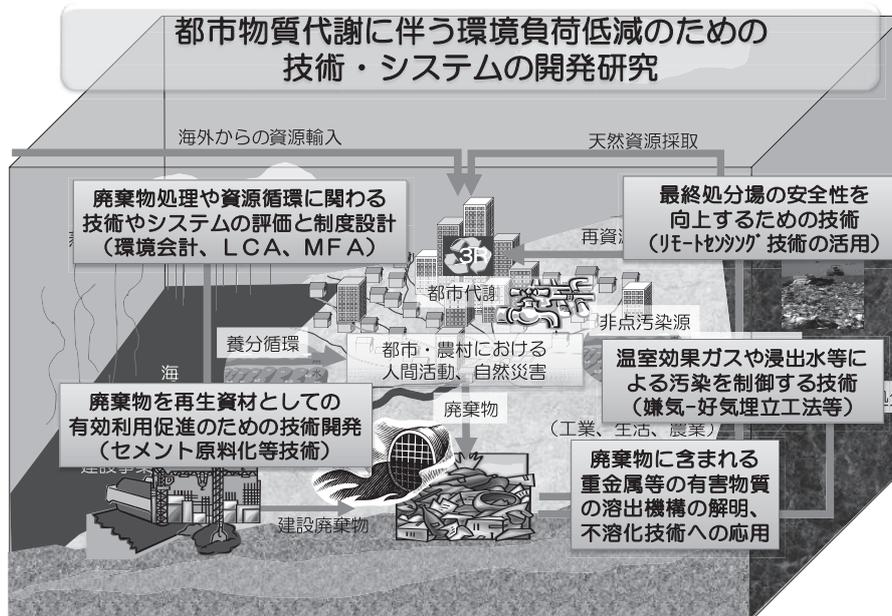


図 1 都市物質代謝機構と主要研究課題

表 1 平成 26 年度の環境制御研究分野（島岡研究室）における研究課題

研究課題	アジア	循環資源化	放射性セシウム・災害廃棄物	温室効果ガス	最終処分	環境計画・評価
微生物環境の時空間的制御が可能な廃棄物埋立処分システム	●			●	●	
廃棄物埋立地からの温室効果ガス放出量の推定に関する研究	●			●	●	
低高度リモートセンシングによる最終処分場のモニタリングに関する研究	●			●	●	
開発途上国における廃棄物管理に関する研究	●		●			●
一般廃棄物焼却灰からの水素回収に関する研究		●				
一般廃棄物焼却残渣中の塩素の挙動に関する研究		●				
焼却残渣中の重金属の不溶化における魚滓の有効利用に関する研究		●			●	
焼却残渣中のセシウムの存在形態及び長期溶出挙動に関する研究			●		●	
遠心脱離法による一般廃棄物焼却飛灰からのセシウムの回収			●		●	
除染廃棄物保管場の火災防止のための適正な保管方法に関する研究			●			
除染廃棄物等仮置場におけるキャッピングシートのモニタリング手法			●			
巨大地震に耐えうる環境安全で堅牢な最終処分場の新技術開発					●	
海面処分場の早期安定化に関する研究					●	
埋立廃棄物層における間隙構造と物質移動に関する研究					●	
不適正処分場における熱源位置推定手法に関する研究					●	
廃棄物埋立地盤の力学的特性に関する研究					●	
熱赤外検査法による遮水シート接合部検査技術に関する研究					●	
社会構造の変化と災害に対応できる廃棄物処理システムの構築						●
海岸漂着物の適正処理のための離島における廃棄物処理システムの構築						●

(1) 微生物環境の時空間的制御が可能な廃棄物埋立処分システムの構築

東アジア圏を対象に、廃棄物埋立地の環境安全性、早期安定化の観点に加え、温室効果ガスの放出抑制、埋立ガスの有効利用等の観点から、地域に適し、かつ低コストな埋立処分および埋立地の維持管理手法の研究を実施している。

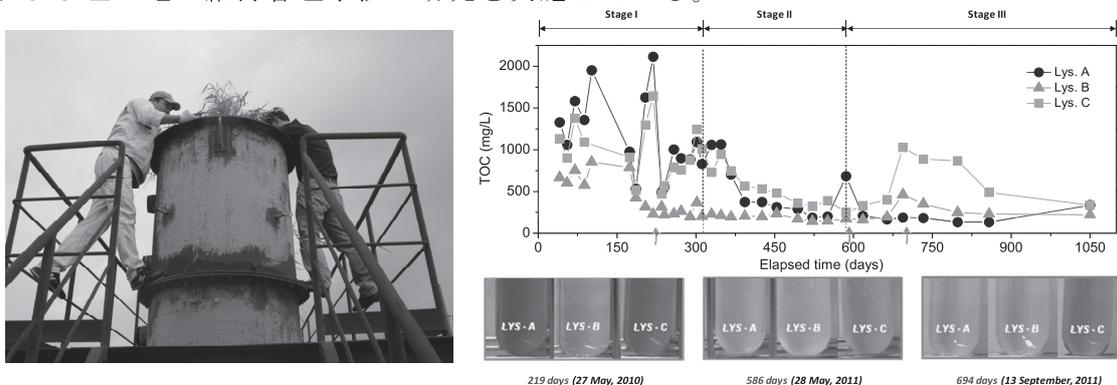


図2 上海市老港廃棄物処分場に設置したライシメータ 図3 採取した浸出水の TOC 濃度の推移と色の変化

(2) 放射性セシウムを含有する焼却残渣の性状把握と効率的かつ安全な処分技術

放射能を帯びた都市ごみ焼却残渣の効率的かつ安全な処理・処分技術を研究している。放射性物質の存在形態の明確化、多角的な溶出挙動の把握、焼却残渣の長期的な風化変質過程におけるセシウムの挙動、放射性セシウムの回収技術を研究している。



図4 焼却灰薄片試料の SEM 画像

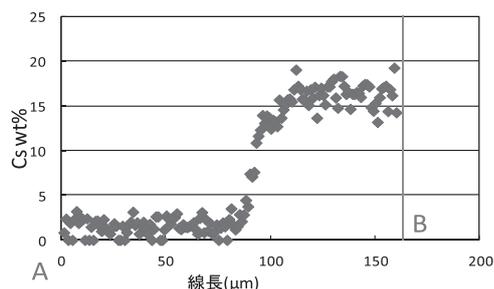


図5 左図の線分 AB 上におけるセシウム濃度

(3) 途上国における廃棄物埋立地における温室効果ガス放出量の推定

廃棄物埋立地からは、人為起源によるメタンガスの約1割が放出されている。廃棄物埋立地からのメタン放出量の面的分布を効率的に計測するための研究を行っており、現地観測、数値モデル、リモートセンシングを組み合わせたモニタリング手法を開発している。



図6 インドネシアタンカハ処分場におけるメタン濃度計測

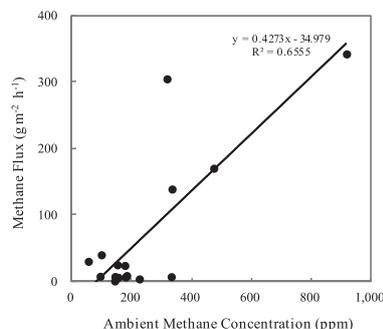


図7 メタンフラックスとメタン濃度の相関

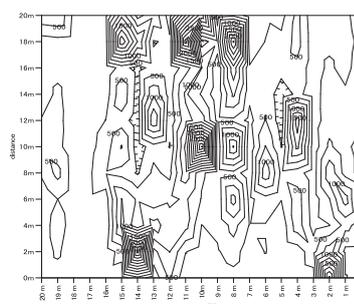


図8 タンカハ処分場のメタン濃度分布

2-3-2. 環境資源地球科学研究分野（渡邊研究室）

1. アジア・アフリカ地球資源コンソーシアム創成と若手資源研究者育成

日本学術振興会：研究拠点形成事業（H26～28年度）

コーディネーター：渡邊公一郎（九州大学）

国内参加研究者：米津幸太郎（九州大学）、今井亮（秋田大学）、高橋亮平（秋田大学）、実松健造（産総研）、中西哲也（九州大学）大竹翼（北海道大学）

九州大学大学院工学研究院・地球資源システム工学部門の応用地質学研究室がこれまでにさまざまなプロジェクトにより交流を築いてきたネットワークを基礎にアジア間、アフリカ間、アジア・アフリカ間の相互ネットワークを若手研究者の育成を含めて構築する。また、我々としても現地大学・研究機関との国際共同研究として行うことで、若手研究者の地球資源分野における国際教育を兼ねた学際的な研究を行っている。

2014年10月には、第4回アジア・アフリカ鉱物資源会議をアルジェリアにて開催し、約15か国より50名の参加者が集まって、アジア・アフリカ地域の鉱物資源に関する概況説明や個別の鉱床に関する最新の研究について発表・議論するとともに、さらなる関係強化のための親交を深めた。

2. 日揮・実吉奨学会研究助成（H26年度）

研究代表者：米津幸太郎（九州大学）

研究協力者：横山拓史（九州大学）

エネルギー政策の転換・温暖化対策が叫ばれる中、再生可能エネルギーの1つである地熱エネルギーを用いる地熱発電への期待は急速に高まっている。しかし、地熱発電に伴うシリカスケール（熱水からのシリカ成分の沈殿）の付着に起因する地上配管の洗浄・交換や新規の熱水地下還元井戸の掘削等による発電コストの押し上げは、結果として地熱発電の非効率化及び促進を阻害する主因となっている。そこで、このシリカスケールの原因となる熱水中の溶存シリカの完全除去とシリカの再資源化による抜本的なスケール問題の解決に加えて、発電に用いた熱水からの有用金属（リチウム、希土類元素等の希少鉱物資源）の回収と有害元素（ヒ素など）の除去を組み合わせることで、社会の要請に応えられる地熱エネルギーの有効利用に関するシステムを開発することが本研究の目的である。

日本は地質学的に見て、火山・熱水に非常に富む場所に位置しており、地熱発電に非常に適した立地である。九州はその中でも有数の火山・熱水地帯に位置するため地熱発電が盛んである。地熱発電が環境にやさしい新エネルギーの1つであることもあり、導入以来の発電量は右肩上がりに伸びたが、近年は横ばいである。その理由としてシリカスケールと呼ばれる熱水からのシリカ成分の沈殿が設備配管や熱水の地下還元井戸を閉塞させてしまうために、その除去にコストがかさみ、結果として発電コストを押し上げてしまうことが挙げられる。現在、地上配管設備はおおむね2年に1度、定期修理を行って、配管の交換や物理的な付着物（シリカスケール）の除去を行っている。また、熱水を地下に還元する際の井戸、還元井の通水能力にも減衰が見られることから、新たな井戸の掘削が定期的に必要となる。これらがネックとなって導入が進んでこなかった側面がある。

そこで、シリカスケール問題の根本的な解決を目指し、シリカスケールの素となる熱水中の溶存シリカをケイ酸カルシウムあるいはケイ酸マグネシウムとして完全沈殿させることを第一の目的とし、この完全除去を基礎とし、その除去したシリカから高機能性シリカ化合物の合成を行ったり、有害元素を取り除いた後の熱水にも水資源・鉱物資源としての利用価値を付与したりすることを併せて検討する。

特に溶存シリカを除去した後の熱水に高濃度で含まれているレアメタル資源を吸着法により回収することで、資源化する技術は鉱物資源のほとんどを輸入に頼っている日本にとっては重要な技術であり、本研究では有用元素の中でもリチウムの回収を第一に検討する。また、地熱熱水にはヒ素が多く含まれることが知られており、地熱発電所にはヒ素除去専用の装置（樹脂）を設置しているが、高価かつ耐用性に乏しいなどの問題がある。そこで、官能基修飾樹脂を用いたヒ素の除去を検討することで、安価かつ簡便な操作でヒ素の除去を行い、新たな水資源の創出を目指す。

このシリカ成分の完全除去を行うことは地熱発電業界では廃棄物を多量に生産することにもなるために避けられてきたが、今回、日本が持つ固有の自然エネルギーである地熱エネルギーを用いた発電に水（有害元素の除去による）・シリカ・レアメタル資源の回収という付加価値を同時に与えることで、設備が最小限に抑えられ、また利点が最大限に得られるようなシステムを構築することが可能であると考えており、その技術要素の開発を本研究で行う。

2-4. センター活動
2-4-1. 「ニュースレター」

RIES Research Institute of Environment for Sustainability,
Faculty of Engineering, Kyushu University
NEWSLETTER

ISSN : 1883-969X

No.
11

九州大学大学院工学研究院 附属循環型社会システム工学研究センター ニュースレター

2014.6



— 特集記事 — 我が国の工業の始まりと伊都キャンパス

附属循環型社会システム工学研究センター長
渡邊 公一郎

工業を川の流れに例えると、中流～下流に様々な製品を作り出す製造業、土木・建築、先端工業などの多様な産業があり、上流には鉱物資源産業があります。循環産業は不要になったものを最下流から上流に戻す過程を担っているといえます。また、種々の工業を動かすためにはエネルギー資源が必要です。これまでの主役であった石油や石炭などの非再生エネルギー資源はいずれ枯渇し、再生可能エネルギーに取って替わってでしょう。資源産業や循環産業がなければ他の多くの工業は成り立たないので、上流がなくなる（資源が枯渇する）と、我が国は文明国として存続できなくなるかもしれません。

さて、我が国の工業はいつ頃、どのように始まったのでしょうか。工業といえるものは、原料を人間が利用できるように加工し、人間にとり価値のある工業製品を生み出すシステムと考えることができます。おそらく農業や武器などに使用した鉄製品の生産が黎明期の工業に相当し、これは資源産業ということもできます。我が国で、それなりの規模の製鉄産業が始まったのは6世紀後半といわれています。そのような場所の一つは10か所に及ぶたたら製鉄遺跡が発見された九州大学の伊都

キャンパスやその周辺であったかもしれません。製鉄技術は中東のヒッタイトにおいて紀元前10数世紀頃に盛んであったとされ、シルクロードを通じてこの技術が中国に伝わり、さらに伊都の人々に伝わったのではないかと想像しています。伊都キャンパスは我が国の工業の始まりの一つだったと言うこともできるのではないのでしょうか。

現在、伊都キャンパスでは様々な資源循環技術や再生可能エネルギー、そして水素エネルギーを扱う新しい技術開発などが行われています。資源をリサイクルする技術や産業から生み出される廃棄物を処理する技術の開発のためには、様々な工学分野の研究交流を必要とします。九州大学の循環型社会システム工学研究センターは、まさにそのようなマルチディシプリナリーな研究交流の場です。研究だけでなく留学生を含む若い人材の育成にも力を注いでいます。韓国や中国、そして多くの途上国から九州大学伊都キャンパスにやってきた留学生がこれらの技術を習得し、それぞれの国に持ち帰っています。当センターは、我が国の将来にとっても、途上国の発展にとっても必要不可欠なのです。



公開講座「知っておかねば! 国をまたがる環境問題、自然災害」の開催報告

アジア環境研究室
中山 裕文

近年の環境問題は、地球温暖化のように世界中に被害が広がる問題や、加害国と被害国が異なる越境大気汚染、越境海洋汚染問題のように、「広域化」という点に一つの特徴があります。他方、災害についても地球規模での温暖化による海面水位の上昇により、高潮や津波の被害を受けやすくなる地域は世界中に存在します。また、我が国の東日本大震災で発生した震災漂流物は世界各地へ広がっています。このような環境問題、災害問題についての研究を行っている4名の先生を講師としてお招きし、2回に分けて公開講座を実施しました。

公開講座には、一般市民、自治体職員、建設・環境系コンサルタント、研究者、学生等、福岡県内及び周辺他県から延べ87名の方に参加いただきました。各講師の講演に対して、多数の質問があり、参加者の関心の高さがうかがえました。受講者に対しては公開講座受講修了証を授与しました。12月7日の公開講座については、テレビ局(KBC)からの取材を受け、会場の様子がニュースで放映されました。



公開講座「知っておかねば! 国をまたがる環境問題、自然災害」

主催：九州大学大学院工学研究院附属循環型社会システム工学研究センター
共催：九州大学大学院工学研究院社会基盤部門、環境社会部門、
附属アジア防災研究センター、九州大学土木系教室同窓会(壬子会)

日時：平成25年12月7日(土) 13:00～16:40、12月14日(土) 13:00～16:50
場所：天神チクモクビル6F大ホール(福岡市天神3-10-27)

日程	トピックス/講義タイトル/講師
第1回 12月 7日(土)	越境環境問題/微粒子が引き起こす気候変動と大気汚染/竹村 俊彦 准教授
第1回 12月 7日(土)	越境環境問題/東アジアの越境海洋環境問題/柳 哲雄 名誉教授
第2回 12月14日(土)	震災漂流物/震災漂流物が明らかにした海の道、国を超えてつないだ人の輪/清野 聡子 准教授
第2回 12月14日(土)	高潮災害/高潮災害-発生のメカニズムを知る-/山城 賢 助教



安全・安心な生活環境はさまざまな化学物質の影響抜きには語れません。そのためには危険な化学物質の存在を調べる必要があります。大型で複雑な装置を利用すれば簡単ですが、環境負荷が大きかったり、あるいは危険な化学物質を使わなければならないようでは本末転倒です。そこで、ダウンサイジング化した分析装置について研究しています。例えば、表面プラズモンセンサーや有機ELを使ったハンディバイオセンサー、集積型マイクロチップなどです。これらを使うことで、環境中に極微量で存在する汚染物質を迅速、かつ高感度に測定することが出来るようになっていきます。

一方で、計測のダウンサイジングを進めていくと原子や分子の1個を調べる方法に行き着きます。最新のナノテクノロジーは、ある程度の原子・分子集団、あるいは生体分子（DNAや酵素、抗体）の観察を可能にしました。そこで、遺伝子DNAを中心に、1分子を観察する分子イメージング分析法について研究しています。図は、測定に用いるプローブDNAを原子間力顕微鏡で観察した例です。観察領域は0.5ミクロン四方で、2本のDNA鎖がらせん状に組み合った環状構造をとっています（直径0.002ミクロン、長さが2.5ミクロン。およそ52万個の原子から成ります）。プローブDNAには、相手と組み合う場所を1箇所だけ作っています。DNAが正確に認識して結合する性質を利用して、直接観察できない小さな（短い）試料DNAをプローブDNAの存在から検出することが出来るようになりました。

遺伝子診断やオーダーメイド医療など、遺伝子DNAは身近な存在になっています。私たちの技術も、新しい遺伝子分析法に応用されていくことが期待されます。

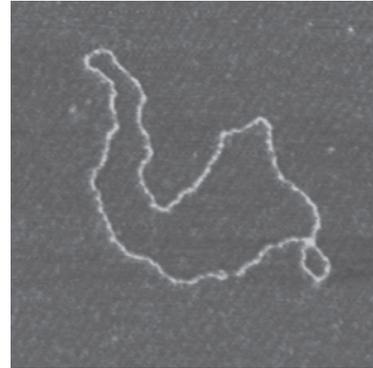


図 分子イメージング分析法に用いるDNAプローブの原子間力顕微鏡像(0.5×0.5ミクロン)。DNA鎖は直径0.002ミクロン、長さ2.5ミクロンで、およそ52万個の原子から成り立っている。

センター活動報告とお知らせ

【研究会・講演会等】

◆セミナー開催「地下水と生態系のつながり」 平成26年1月28日(火) 13:00~14:30

講師：山田 健氏

サントリーホールディングス(株) エコ戦略部 チーフスペシャリスト兼サントリーグローバルイノベーションセンター(株) 水科学研究所首席研究員、九州大学大学院工学研究院附属循環型社会システム工学研究センター客員教授

水源涵養機能を持つ健全な森林は、水資源の持続的利用のために必要不可欠です。しかしながら、日本では後継者不足といった問題から森林の荒廃が深刻化しています。サントリーホールディングスは水資源の持続可能性を支えるために「天然水の森」事業を展開しており、①水源涵養機能の高い、②生物多様性の高い、③災害に強い、④二酸化炭素吸収能の高い、⑤自然と触れ合えるといった森林整備を行うために各分野の専門家と共に研究・整備を行っています。本セミナーにおいては、今までの蓄積した研究結果、並びにレーザー航測など最新技術も駆使した最新の研究結果を報告していただきました。

◆講演会「福島の現状と将来 ~除染・汚染廃棄物処理を中心に~」 平成26年3月24日(月) 15:00~16:30

講師：大迫 政浩氏

(独)国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター センター長、九州大学大学院工学研究院附属循環型社会システム工学研究センター客員教授

参加者からは、福島の除染の状況や中間貯蔵施設の動向等、非常に詳細な情報を分かりやすく解説していただき、貴重な話が聞けて良かったという感想を頂きました。また参加した九大の学生(特にセシウム研究を実施中の島岡研究室の学生)にとっても、除染に関する勉強ができただけでなく、学生が実施するセシウム研究の意義や重要性を確認できたことと思います。

◆平成26年度公開講座「九州の地下資源—金・地熱・レアメタル—」を秋に開講予定です。

場所：伊都キャンパスCE40棟、2Fセミナー室
2014年11月1日~11月8日(全2回)

近年、金属資源・エネルギー資源問題は、日本が抱える問題の中で最も重要な課題の1つである。我々の地元、九州にはこれらの問題の解決の糸口となる地下資源が存在しており、その中より金属資源として、金及びレアメタルを、エネルギー資源として地熱を取り上げ、各種資源の探査、開発の現状と近い将来について、一般市民向けの公開講座を行います。

【編集後記】

附属循環センターは設立から6年半が経ち、ニュースレターもNo.11の発行を迎えました。

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くところです。

今後皆様にも「持続可能な循環型社会の構築」に関わる研究記事をお伝えして参りたいと思います。

(技術補佐員 境ツヤ子)

九州大学大学院工学研究院

附属循環型社会システム工学研究センター 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

附属循環型社会システム工学研究センター

発行人：渡邊公一郎

編集：境ツヤ子

発行日：2014年6月30日

TEL: 092-802-3560(センター事務室)

FAX: 092-802-3561

e-mail: office@ries.kyushu-u.ac.jp

http://www.ries.kyushu-u.ac.jp/

印刷：城島印刷株式会社

TEL: 092-531-7102 FAX: 092-524-4411

RIES Research Institute of Environment for Sustainability, Faculty of Engineering, Kyushu University

NEWSLETTER

ISSN : 1883-969X

No.
12

2014.12

九州大学大学院工学研究院 附属循環型社会システム工学研究センター ニュースレター



— 特集記事 — 材料と環境をテーマとしたIUMRS-ICA 2014の開催について

社会基盤研究室
教授 原 一広

International Union of Materials Research Societies-International Conference in Asia 2014 (国際材料研究学会連合-アジア国際会議 2014:略称IUMRS-ICA 2014)が2014年8月24日(日)~8月30日(土)の6日間、福岡大学七隈キャンパスにおいて開催されました。IUMRS-ICAは、世界14ヶ国の材料研究学会の連合体である国際材料研究学会連合 (International Union of Materials Research Societies, IUMRS)の傘下、揚子江船上における第1回会議(1993年)以来、これまでアジアの各国において14回開催されている国際会議 (International Conference in Asia)であり、アジア地域を含めた世界的な材料科学・工学研究者の研究交流の場となっています。

15回目となるIUMRS-ICA 2014では、Boomingとも評される急激な産業発展に伴い発生しているアジア地域の環境問題に鑑み、材料科学・工学に加え環境関連技術も含めた包括的な研究討論を行う事を目的としてMaterials and the Environment (材料と環境)がメインテーマとされました。参加登録者数は、日本人1,490名、海外28ヶ国から420名、総計で1,910名となり、九州で行われた国際会議としては最大級の規模となりました。会期中は、メインテーマの下、材料と環境に関するTechnical Sessionが執り行われましたが、会期最終日の午前には、本国際会議の受け入れに対する福岡市民への謝意と会議の成果の還元の意味を込めたサテライトシンポジウムとして市民講座(参加者140名)が福岡市役所15階講堂において、また午後には、廃棄物の焼却処分場・不燃物の再資源化施設(クリーンパーク・西部)、不燃物系の埋立処分場である西部(中田)埋立場、福岡方式による埋め立て処分跡地

(西部(今津)埋立場跡地)をめぐる見学会が開催され、学術的のみならず地域との連携においても意義のある会議となりました。

当循環型社会工学研究センターにおきましては、IUMRS-ICA 2014が廃棄物処理の福岡方式の開発で環境技術の先進都市として世界的に知られる福岡市において開催される事を機会として積極的な寄与を行い、寺園 淳 循環センター客員教授(国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター 副センター長)によるPlenary Lecture "E-waste Management in Japan and other Asia: Toward the Appropriate Management of Hazardous and Resource Potential"をはじめとして、センター構成員が各Symposiumにおいて基調講演や研究発表を多数行いました。また当センターでは、この国際会議への協賛をはじめとして、構成員による運営への積極的な参加(General Secretary, General Advisor, Symposium Organizer [B-5 Advanced Study in Science and Technology for Soft Matter, B-6 Advanced Liquid Crystals, D-9 Scientific Basis of the Nuclear Fuel Cycle II, F-1 Materials Science and Education, D-10 Innovative Imaging Technologies using X-ray Scattering and Atom Probe Microscopy])も行い、IUMRS-ICA 2014に大きく貢献しました。



九州大学公開講座「九州の地下資源 —金・地熱・レアメタル—

アジア環境研究室
准教授 米津 幸太郎

近年、金属・エネルギー資源を含む地下資源の確保は、世界で資源ナショナリズムが台頭する中で、日本が抱える問題の中で最も重要な課題の1つです。私たちの地元、九州にはこれらの問題の解決の糸口となる地下資源が存在しており、その中より金属資源として、金及びレアメタルを、エネルギー資源として地熱を取り上げました。日本が誇る世界最高クラスの金品位を有する菱刈金鉱山(鹿児島)、陸地・海洋にまたがるレアメタル資源、在来型地熱資源に加えて、より身近な地中熱資源などの各種資源の探査、開発の現状とそれら資源の近未来について、最新の研究の動向を踏まえながら、当センター兼任教員2名を含め、学内の3部局より計6名を講師としてお招きし、2回に分けて公開講座を実施しました。

公開講座には、一般市民、自治体職員、建設・環境系コンサルタント、研究者、学生等、福岡県内及び周辺他県から延べ32名の方に参加いただきました。各講師の講演に対して、講演後には多数の質問、並びにアンケートへの要望・コメントを頂戴し、参加者の皆様の地下資源問題への関心の高さが改めてうかがえました。また受講者の皆様に対しては、質問への回答並びに公開講座受講修了証を後日、送付・授与いたしました。今後ともこのような大学の研究成果の一般市民への公開の機会を設けてまいりたいと考えております。



九州大学公開講座「九州の地下資源 —金・地熱・レアメタル—

主催：九州大学大学院工学研究院附属循環型社会システム工学研究センター
共催：九州大学大学院工学研究院地球資源システム工学部門、
国立大学フェスタ2014

日時：平成26年11月1日、8日13時~16時半
場所：九州大学伊都キャンパスCE40棟2Fセミナー室

日程	トピックス/講義タイトル/講師
第1回 11月1日(土) (九州の金属資源)	九州の貴金属資源について/教授 渡邊 公一郎
	九州のレアメタル資源について/准教授 米津 幸太郎
	熱水鉱床の化石!?シリカセンターと金鉱床/准教授 中西 哲也
第2回 11月8日(土) (九州の地熱資源)	九州の地熱・地中熱資源/教授 糸井 龍一
	地熱流体の化学/教授 横山 拓史
	地熱資源の観測と将来予測/教授 藤光 康宏

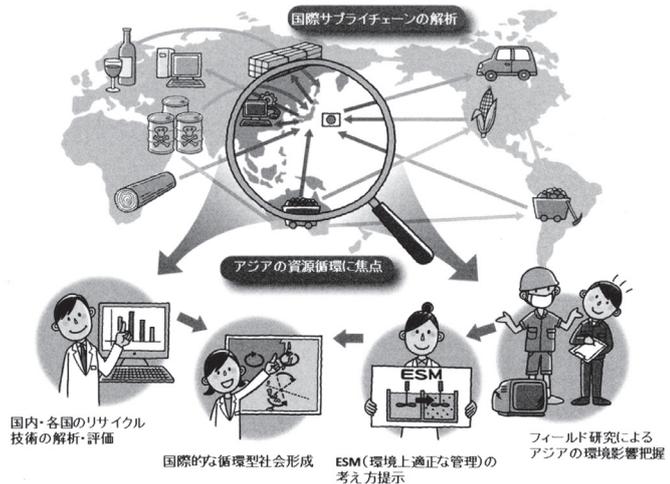


国立環境研究所の第3期中期計画期間(2011~2015年度)において、資源循環・廃棄物研究センターは「循環型社会研究プログラム」を実施しています。この中のプロジェクト1「国際資源循環に対応した製品中資源性・有害性物質の適正管理」では、日本とアジア諸国にまたがる空間スケールを対象としています。

たとえば、電気電子機器などでは、貴金属やレアメタルのように資源として貴重な物質と、重金属・難燃剤のように有害性のある物質が一つの製品や材料に含まれた状態で国の内外で流通しているものが多くあります。日本国内では、国際流通を勘案したベースメタルやレアメタルを含む資源管理の方策が、国際社会(主にアジア)においては環境汚染防止に貢献する回収・リサイクルが求められています。

このプロジェクトでは、日本を中心に国際的に流通する物質(資源・材料・製品を含む)を対象として、システム分析とフィールド調査を統合した体系的な調査と研究を行っています。このとき、資源性の観点からリサイクルが期待される要素と、有害性の観点から規制が必要な要素について、国内外のスケールで考えています。

このようにして行った物質のフロー把握・解析と製品ライフサイクル挙動調査などの成果に基づいて、製品中の資源性や有害性物質について、国内はもとより、国際社会においても3Rを促進する適正管理方策のあり方を提言します。



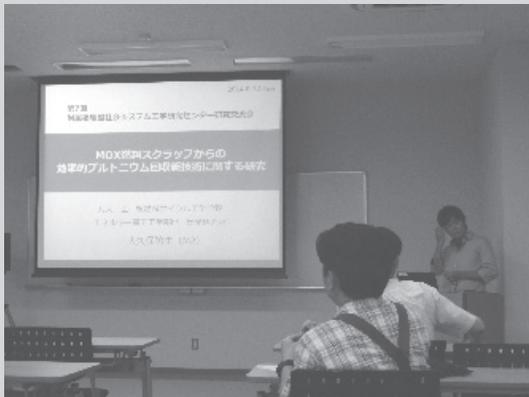
センター活動報告とお知らせ

【研究会・講演会等】

◆2014年8月12日

設立から7年目を迎えた附属循環センターでは、平成26年8月12日(火)に「第7回附属循環型社会システム工学研究センター研究交流会」が行われました。

今回の研究交流会では、原一広教授(エネルギー量子部門)が実行委員長を務め、それぞれ6つの研究分野より教員・研究員・学生1~2名が、現在までの研究経過のまとめ、また、今後の研究計画・目標について発表を行い、活発な質疑応答が行われました。交流会終了後には、懇親会も行われました。



【編集後記】

附属循環センターは設立から7年半が経ち、ニュースレターもNo.12の発行を迎えました。

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。

今後も皆様に「持続可能な循環型社会の構築」に関わる研究記事をお伝えして参りたいと思います。

(技術補佐員 境ツヤ子)

九州大学大学院工学研究院

附属循環型社会システム工学研究センター ニュースレター No.12

発行: 〒819-0395 福岡市西区元岡744

九州大学大学院工学研究院

附属循環型社会システム工学研究センター

発行人: 島岡隆行

編集: 境ツヤ子

発行日: 2014年12月19日

TEL: 092-802-3560(センター事務室)

FAX: 092-802-3561

e-mail: office@ries.kyushu-u.ac.jp

http://www.ries.kyushu-u.ac.jp/

印刷: 城島印刷株式会社

TEL: 092-531-7102 FAX: 092-524-4411