

環境調和型産業技術研究ラボ 社会実装研究チームの紹介

保高 徹生¹⁾・宮川 歩夢²⁾・環境調和型産業技術研究ラボ 社会実装研究チーム^{1)～11)}

1. はじめに

環境調和型産業技術研究ラボ(以下、環境調和ラボ)社会実装研究チームでは、「環境調和型技術の社会実装に向けたプラットフォーム構築と実践」をテーマに、第1図に示す4つのサブテーマ「(1) 環境調和型浄化技術」・「(2) 環境調和型モニタリング技術」・「(3) 融合を促進するプラットフォームの構築」・「(4) 技術の社会実装に関する研究」を設定して、技術開発および社会実装に向けた研究に取り組んでいる。メンバーは兼務も含めると46名と、環境調和ラボの4チームの中では最も多く、所属も地質調査総合センター、エネルギー・環境領域、材料・化学領域、エレクトロニクス・製造領域、情報・人間工学領域、計量標準総合センターと6領域に渡る。

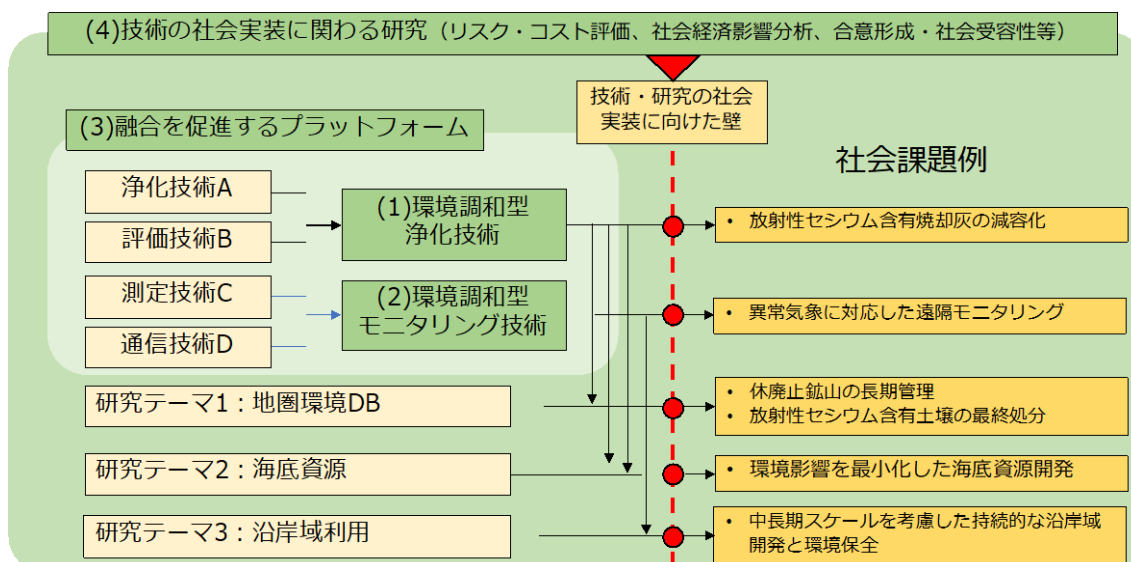
(1) 環境調和型浄化技術、(2) 環境調和型モニタリング技術では、社会課題に基づいた各種技術開発を進めるとともに、(3) 融合を促進するプラットフォームの構築により、社会実装チームそして環境調和ラボ内の融合を図る。

さらに、(4) 技術の社会実装に関する研究では、環境調和ラボ内の社会課題を対象として、ガイドライン等の作成に基づく社会実装に取り組む。ここでは、環境調和型社会実装研究チームとして取り組む研究をサブテーマ毎に一部紹介する。

2. 環境調和型浄化技術

国際/国内の社会・企業ニーズを把握した上で、産総研が持つ環境技術及びその周辺技術を軸に、低コスト低環境負荷型の汚染物質の吸着材を開発する。特に、放射性Csや有機汚染物質、重金属等を対象とした次世代型有害物質吸着剤の開発をはじめ、吸着材性能評価の高度化、鉱山廃水汚染微生物対策、土壌汚染微生物対策技術の開発を進める。第1表に研究テーマとメンバーを示す。

また、重点課題である次世代型吸着材の概要を以下で説明する。



第1図 社会実装チームの構成

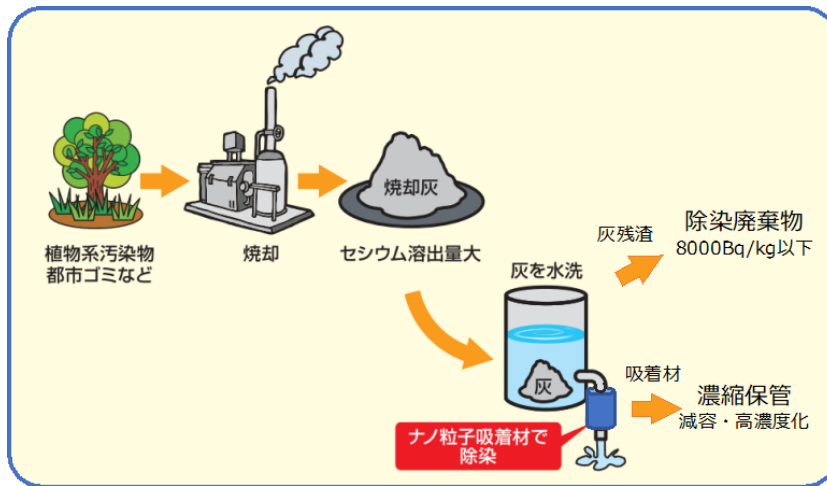
1) 産総研 地質調査総合センター 地質資源研究部門, 2) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門, 3) 産総研 計量標準総合センター 工学計測標準研究部門, 4) 産総研 計量標準総合センター 分析計測標準研究部門, 5) 産総研 計量標準総合センター 物質計測標準研究部門, 6) 産総研 計量標準総合センター 物理計測標準研究部門, 7) 産総研 エネルギー・環境領域 環境創生研究部門, 8) 産総研 エネルギー・環境領域 安全科学研究部門, 9) 産総研 材料・化学領域 ナノ材料研究部門, 10) 産総研 エレクトロニクス 製造領域 センシングシステム研究センター, 11) 産総研 情報・人間領域 人間情報インタラクション研究部門

キーワード：社会実装研究、環境科学、浄化、モニタリング、連携

第1表 環境調和型浄化技術の研究テーマとメンバー

研究テーマ	メンバー
放射性Csや有機汚染物質等を対象とした次世代型有害物質吸着剤の開発	川本徹 ⁹⁾ 、田中寿 ⁹⁾ 、南公隆 ⁹⁾ 、Durga Parajuli ⁹⁾ 、高橋顕 ⁹⁾ 、白田初穂 ⁹⁾ 、保高徹生 ¹⁾
重金属等を対象とした次世代型有害物質吸着剤の開発	森本和也 ¹⁾ 、保高徹生 ¹⁾
吸着材性能評価の高度化	保高徹生 ¹⁾ 、井本由香利 ¹⁾ 、森本和也 ¹⁾ 、西方美羽 ¹⁾ 、小栗朋子 ⁸⁾
鉱山廃水汚染微生物対策	羽部浩 ⁷⁾ 、佐藤由也 ⁷⁾
土壌汚染微生物対策	張銘 ¹⁾ 、吉川美穂 ¹⁾

メンバーの右上の数字は所属を示す。1) 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門、2) 地質調査総合センター 地質情報研究部門、3) 計量標準総合センター 工学計測標準研究部門、4) 計量標準総合センター 分析計測標準研究、5) 計量標準総合センター 物質計測標準研究部門、6) 計量標準総合センター 物理計測標準研究部門、7) エネルギー・環境領域 環境創生研究部門、8) エネルギー・環境領域 安全科学研究部門、9) 材料・化学領域 ナノ材料研究部門、10) エレクトロニクス製造領域センシングシステム研究センター、11) 情報・人間領域 人間情報インタラクション研究部門



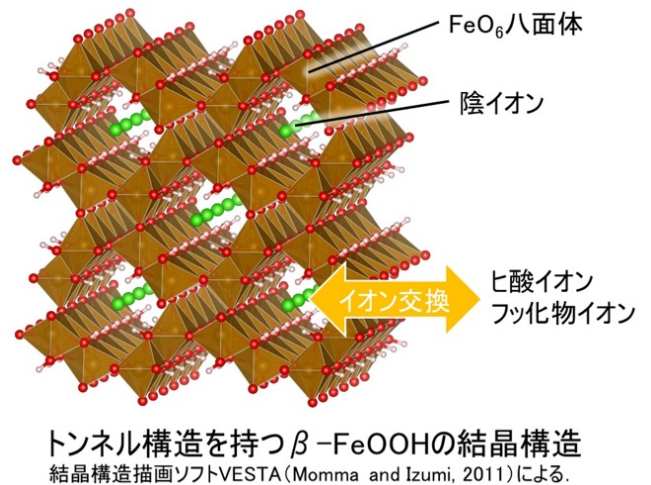
第2図 放射性Cs含有焼却灰へのプルシアンブルー吸着材の適用

放射性Csや有機汚染物質等を対象とした次世代型有害物質吸着剤の開発

吸着材の開発を基に、有害物質の吸着除去、有用物質の吸着回収等の研究開発を進める。環境調和ラボのテーマとしては、Cs吸着材として知られるプルシアンブルー系の材料を用いて、福島第一原発事故で環境中に散逸した放射性Csの吸着除去や、濃縮保管の実証に向けた研究を実施する(第2図)。

重金属等を対象とした次世代型有害物質吸着剤の開発

自然由来の特定有害物質(特にヒ素やフッ素)を含む汚染土・浸出水処理のための対策に資する技術開発を行うことを目的とする。陰イオン交換能を持つ環境親和的な鉄鉱物で、酸・アルカリに対する安定性も高いと期待できるβ-FeOOHの結晶(第3図)に着目して、その合成条件の検討とヒ酸イオンやフッ化物イオンの吸着性について評価を行う。



第3図 ヒ素やフッ素を対象とした吸着材の技術開発

3. 環境調和型モニタリング技術

産総研が持つ環境技術及びその周辺技術を有機的に結合し、社会ニーズが大きい異常気象等に対応したモニタリング技術や、環境リスク低減に向けた土壌・水中のヒ素等の分析技術の高度化・省力化技術等の研究開発を推進し、実証段階・実用段階へ進める。第2表に研究テーマとメンバーを示す。

環境調和型モニタリング技術サブチームが保有する分析

技術、取り組みの一例を以下で紹介する。

原子スペクトル分析技術の高度化

分光分析・質量分析など原子スペクトル手法に基づく元素分析技術の高度化を目指して、既存技術の高感度化・ニーズに応じた新規技術開発・分析装置や周辺デバイスの新規開発に取り組んでいる(第4図に対象元素を示す)。また、認証標準物質開発関連の知恵と技術を活用して、計測結果の有効性評価に貢献する。

第2表 環境調和型モニタリング技術の研究テーマとメンバー

課題名	メンバー
気候変動に対応した鉱山や土壌・地下水汚染サイトにおける有害物質の遠隔監視システム開発	朱彦北 ⁵⁾ , 保高徹生 ¹⁾ , 古川祐光 ¹⁰⁾ , 島隆之 ¹⁰⁾ , 有賀智子 ⁵⁾ , 岩崎雄一 ⁸⁾ , 松本親樹 ¹⁾ , 小栗朋子 ⁸⁾
環境試料中の VOC の 1 対多型の校正技術を環境計測へ適用	北牧祐子 ⁵⁾ , 青木伸行 ⁵⁾
環境リスク低減に向けた土壌・水中のヒ素等の分析技術の高度化・省力化	小栗朋子 ⁸⁾ , 有賀智子 ⁵⁾ , 川本徹 ⁹⁾ , Durga Parajuli ⁹⁾ , 西方美羽 ¹⁾ , 昆慶明 ¹⁾ , 荒岡大輔 ¹⁾ , 綱澤有輝 ¹⁾ , 金子雅紀 ¹⁾ , 朝比奈健太 ¹⁾
都市域における熱環境とエネルギー消費量と地球温暖化の評価	石戸谷重之 ⁷⁾ , 高根雄也 ⁷⁾
海水中の pH, 塩分におけるマトリックスの影響を評価	粥川洋平 ³⁾ , 倉本直樹 ³⁾ , 朝海敏昭 ⁵⁾
環境中の電磁波の評価	石居正典 ⁶⁾
環境モニタリングで使用される超低周波音計測機器の計量トレーサビリティ整備	高橋弘宜 ⁴⁾ , 山田桂輔 ⁴⁾
重金属など環境中元素動態解明・生体影響評価のための計測技術の開発	中里哲也 ⁷⁾ , 重田香織 ⁷⁾ , 青木寛 ⁷⁾ , 谷英典 ⁷⁾

メンバーの右上の数字は所属を示す(第1表参照)。

H	あらゆる 試料 、あらゆる 元素 、あらゆる 濃度 に挑戦。																He				
Li	Be															B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg															Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg											
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu					
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr					

第4図 原子スペクトル分析技術の対象元素(赤字)

一対多型校正技術の環境計測への適用

環境の状態変化などを把握するために実施される環境計測では、対象成分毎の標準物質が必要だが、有機化合物は対象成分が多いため、成分毎の標準物質を準備することが困難である。そこで、様々な有機化合物をオンラインでメタンに変換し、炭素量の基準となる標準物質からの定量を可能にする一対多型校正技術を開発した (Watanabe *et al.*, 2007, 第5図)。本技術を環境計測へ適用するための分析技術開発をすることで、環境リスク評価などの効率化を目指す。

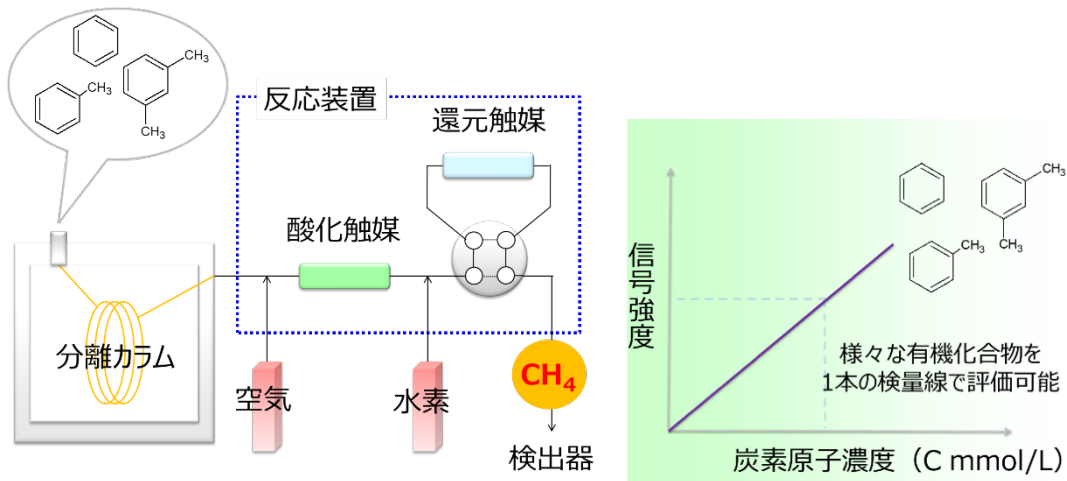
環境リスク低減に向けた土壌・水中のヒ素等の分析技術の高度化・省力化

他分野との連携を推進すべく、溶液中・固体中の元素・鉱物・同位体組成の簡便な分析手法の開発とその高度化に取り組んでいる (例えば, 第6図)。独自に開発したレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計 (LA-ICP-MS) を用いて、鉱物や工業製品等のあらゆる種類の固体試料中で、マイクロメートルスケールでの主成分・微量元素組成やその2次元分布を明らかにできる分析システムを構築している (Kon and Hirata, 2015 など)。現在は、

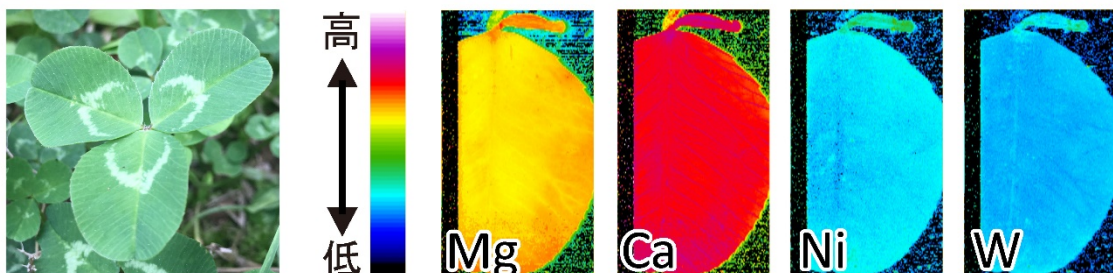
鉱物単体分離解析装置 (MLA) と画像処理のアルゴリズムを応用することで、岩石中の各鉱物の存在形態を微量元素も含めて定量的に評価する手法を開発している。同位体組成に関しては、リチウムやマグネシウムなどの金属元素の安定同位体比に着目し、分析環境の整備を行うとともに (Araoka and Yoshimura, 2019 など)、環境調和ラボ内の諸課題への応用を展開していく。

海水中の pH, 塩分におけるマトリックスの影響を評価

気候変動における海洋大循環の影響を定量的にシミュレートするために、膨大な海洋観測データが日夜取得されている。塩分は海水の状態を表す最も重要なパラメータのひとつである。現行の電気伝導度センサを上回る精度を目指して開発している塩分センサは、レーザー干渉方式により高分解能で正確な測定が可能である (Uchida *et al.*, 2019)。深さ 10,000 m の深海でも使用可能 (第7図) であり、センサの実用化と普及により地球温暖化メカニズム解明への貢献が期待される。また、水深 1,000 m まで沈められるフロートに搭載される ISFET (pH) センサの高圧下における挙動の解明のため、高圧実験設備の開発、精確な炭酸系の計測技術の確立を目指している。



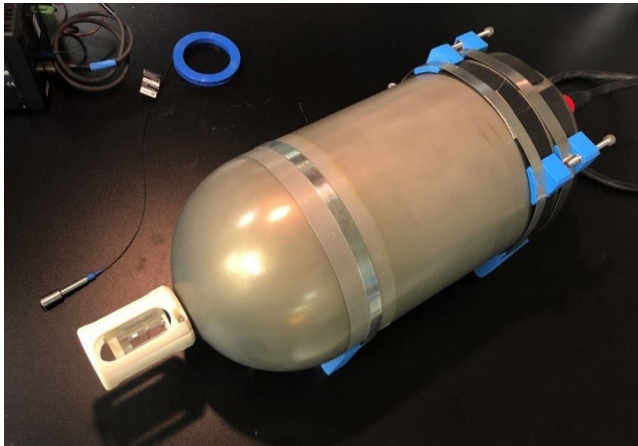
第5図 有機化合物の一対多型校正技術の概要



第6図 クローバーの高感度元素イメージング

環境モニタリングで使用される超低周波音計測機器の計量トレーサビリティ整備

可聴域よりも低い周波数の音は超低周波音と呼ばれている。超低周波音は氷山や氷河の崩壊、火山噴火などで発生し、またその伝搬は対流圏や成層圏大気の状態によっても変化する。そのため、長期的な超低周波音の観測が気候変動監視の一手段として期待されている。我々は超低周波音



第7図 深度10,000 mにも耐える耐圧容器に収められたレーザー干渉式の絶対塩分センサ

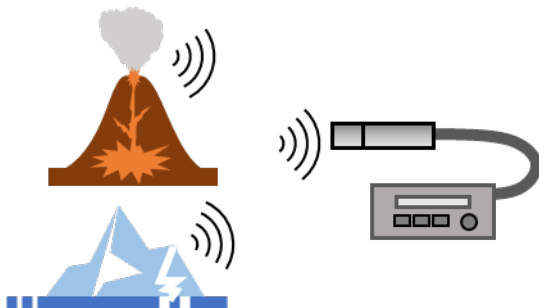
測定器の高精度な性能評価技術(第8図)を開発し、音を利用した環境モニタリングの高度化と信頼性確保に貢献する。

重金属など環境中元素動態解明・生体影響評価のための計測技術の開発

重金属など環境中元素の動態解明・生体影響評価のための計測技術として、クロム・水銀等の重金属化学形態分析法の開発、および生体影響指標核酸の簡便センシング技術の開発と非コードRNA等の高感度指標核酸の探査を行っている(第9図)。

4. 融合を促進するプラットフォームの構築

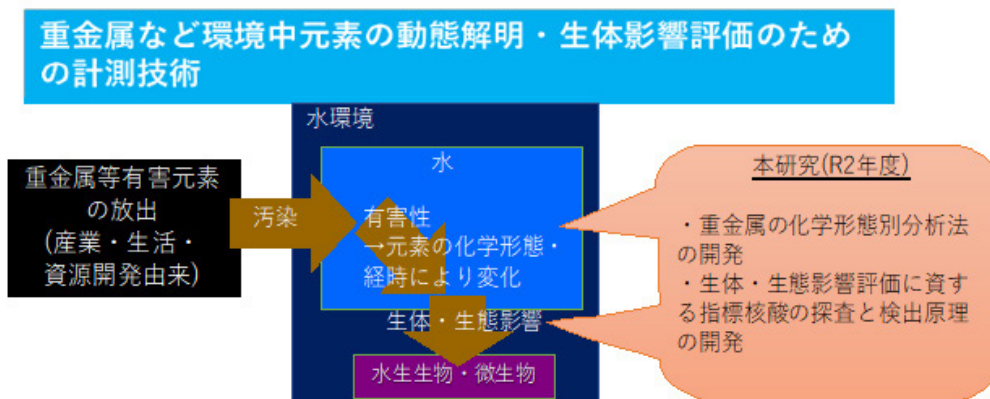
融合を促進するプラットフォームの構築として、本ラボの研究者が保持するシーズ(研究テーマや技術等)を統計的に可視化するプロトコルを構築し、新たな社会課題への対応や研究課題の創出に向けて、まだ見ぬ有機的な融合を促進する所内プラットフォームの構築を産総研内の他部署とも連携しながら実践する。(メンバー 保高徹生¹⁾、宮川歩夢²⁾、城 真範¹¹⁾、岩崎雄一⁸⁾、メンバーの右上の数字は所属を示す(第1表参照).)



第8図 超低周波音測定による、氷山や氷河の崩壊、火山噴火等の発生のモニタリング

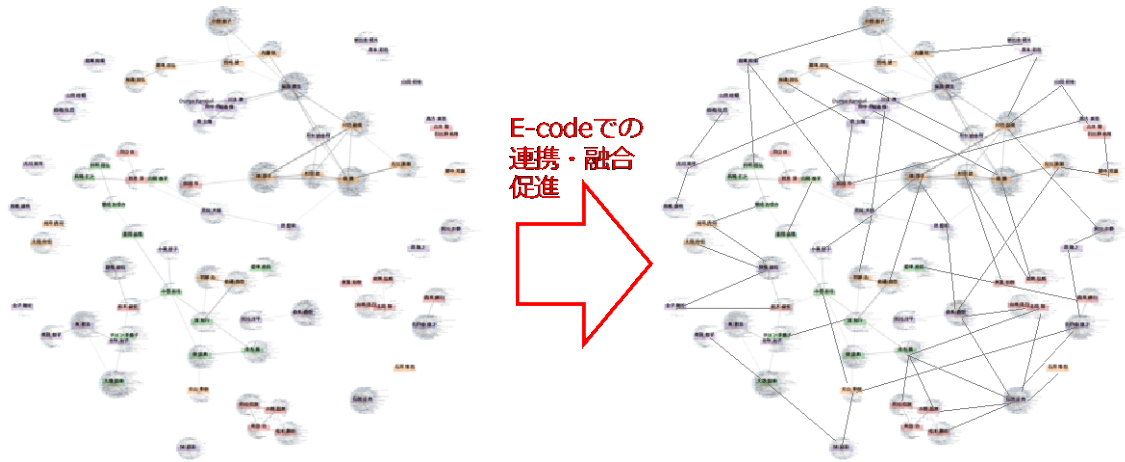
研究者 - 研究テーマネットワーク図の作成

融合的に研究を行ったり、異なる分野の専門家が連携するには、まずお互いの研究テーマや技術についての理解が欠かせない。産総研あるいはE-code内にどのような研究者がいて、どのような研究に取り組んでいるのか、どういった技術を持っているのかを知ることから、研究の融合や連携がスタートする。そのため、E-codeに参加する研究者の研究テーマや研究手法をキーワードとして、研究者とキーワードのネットワークの可視化を試みる(第10図)。これにより、潜在的な連携可能性を探り、社会ニーズに応



第9図 重金属など環境中元素動態解明・生体影響評価のための計測技術の全体像

～ 2019年度までの連携
(2010～2019年の誌上発表)



第 10 図 研究者 - 研究テーマネットワーク図の作成

じた新たな研究体制の構築が期待できる。

研究相互連携システム (研究相談システム) の開発

これまで連携をしていなかった研究者間で新たな連携を開始するには、まずはコミュニケーションを取る必要がある。そこで、効率的にコミュニケーションを始められるコミュニケーションツールを開発する。ツールシステムにはあらかじめ研究者の自己申告や、過去の論文などからキーワードを検出して、研究者の興味を整理しておく。そしてそのツールに対して、質問や相談を投稿することで、その中身に応じて、興味を持ってくれる人々に自動的にメールを配信するシステムの構築を目指す。本システムの開発・導入により、E-code 内あるいは産総研所内での効果的に連携の機会を創出できる。本テーマについては別記事(城ほか, 2021)にて詳しく解説する。

5. 技術の社会実装に関する研究

“環境保全と開発・利用の調和の実現”には、新規環境技術や新たな環境管理概念の社会実装は技術性能のみでは難しく、リスクやコスト、社会経済影響、合意形成や社会受容性などの課題が生じる。そのため、環境調和型社会実装研究チームでは、技術の社会実装に関する研究として、リスク・コスト評価、社会経済影響分析、合意形成・社会受容性等に関わる研究を推進する。(メンバー:保高徹生¹⁾, 内藤 航⁸⁾, 岩崎雄一⁸⁾, 小野恭子⁸⁾, 黒澤忠弘⁴⁾, メンバーの右上の数字は所属を示す(第 1 表参照).)

6. おわりに

「産総研の特徴はなんだろうか?」。この問いは、筆者らが事務局として産総研の第5期を検討するタスクフォースに従事した際の一つのキーワードであった。大学や他の国立研究開発法人とは違う特徴として、地質・計量標準から人工知能までの研究分野の広さ、そして基礎から応用、実用まで幅広い技術段階に取り組む研究者がいることであると筆者は考えている。これらの特徴は、連携がない場合にはそれぞれが孤立することを意味するが、一方で内部の融合により多くの課題を解決できるポテンシャルを秘めている。社会実装チームでは、個々の技術開発を進めるとともに、チーム内、ラボ内、そして産総研内の融合を促進するだけでなく、外部との連携を積極的に推進し、「社会課題の解決」に向けた融合組織の構築を意識した、有機的な活動を進めていきたいと考えている。今後とも、関係する皆様のご指導を頂きつつ、積極的な連携を進めていきたい。

文 献

Araoka, D. and Yoshimura, Y. (2019) Rapid purification of alkali and alkaline-earth elements for isotope analysis ($\delta^7\text{Li}$, $\delta^{26}\text{Mg}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, and $\delta^{88}\text{Sr}$) of rock samples using borate fusion followed by ion chromatography with a fraction collector system. *Analytical Sciences*, 35, 751-757.

- Kon, Y. and Hirata, T. (2015) Determination of 10 major and 34 trace elements in 34 GSJ geochemical reference samples using femtosecond laser ablation ICP-MS. *Geochemical Journal*, **49**, 351–375.
- Momma, K. and Izumi, F. (2011) VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data. *Journal of Applied Crystallography*, **44**, 1272–1276.
- 城 真範・宮川歩夢・保高徹生 (2021) 融合研究を促進するプラットフォームとしての相互連携システムの構築. *GSJ 地質ニュース*, **9**, 357–358.
- Uchida, H., Kayukawa, Y. and Maeda, Y. (2019) . Ultra high-resolution seawater density sensor based on a refractive index measurement using the spectroscopic interference method. *Scientific Reports*, **9**, 15482. doi:10.1038/s41598-019-52020-z
- Watanabe, T., Kato, K., Matsumoto, N. and Maeda, T. (2007) Simplification of determination method for standard materials using post-column reaction GC/FID. *Talanta*. **72**, 1655–1658. doi:10.1016/j.talanta.2007.03.032
-
- YASUTAKA Testuo, MIYAKAWA Ayumu and E-code Social Implementation Research Team (2021) Overview and activities of Social Implementation Research Team, Research Laboratory on E-code.
-
- (受付:2020年12月28日)