室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

希土類材料研究センターにおける国際協力教育・研究活動

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2021-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): Muroran Materia, Rare-Earth, International Research and Education, Ames Laboratory, University of Genova 作成者: 雨海, 有佑, 秋岡, 翔太, 馬渡, 康輝, 平井, 伸治 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00010378

室工大紀要第 70 号（2021）57～64

特　　集

希土類材料研究センターにおける国際協力教育・研究活動

雨海　有佑[*1, *2]，秋岡　翔太[*3]，馬渡　康輝[*1, *2]，平井　伸治[*1, *2]

（原稿受付日　令和 2 年 12 月 11 日　　論文受理日　令和 3 年 2 月 17 日）

Activity of International Research and Education for the Center for Rare Earths Research (Muroran Materia)

Yusuke AMAKAI[*1, *2], Shota AKIOKA[*3], Yasuteru MAWATARI[*1, *2], Shinji HIRAI[*1, *2]

(Received 11th December 2020、 Accepted 17th February 2021)

Abstract

The Center for Rare Earths Research (Muroran Materia) was established in 2012 at Muroran Institute of Technology. The purpose of this research center is to develop environmentally friendly materials that make effective use of rare earths, to make effective use of unused energy, and to conduct research from a multifaceted perspective on urgent issues related to materials and recycling technology. The center's activities include not only research, but also science enlightenment activities such as science schools, lectures by domestic and foreign researchers, international workshop, and educational programs at graduate school (environmental friendly materials engineering education program). In this article, we report on the international education and research activities of this center.

Keywords : Muroran Materia, Rare-Earth, International Research and Education, Ames Laboratory, University of Genova

1　はじめに

希土類材料研究センター（センター長 : しくみ解明系領域　平井伸治 教授，愛称 : ムロランマテリア）は，産業を支える重要な元素群である『希土類（レアアース）』に関連した研究を行っている学内の学科・コース・領域を超越した教員が集まり，2012 年に環境調和材料工学研究センターとして設立された。2019 年に名称を『希土類材料研究センター』（英語名 : The Center for Rare Earths Research）に改名し，現在 15 名の教員と 1 名の事務補佐員が所属している。本センターの目的・目標は，レアアースを有効的に利用した環境負荷低減型の材料開発，未利用エネルギーの有効利用，リサイクル技術など材料に関する喫緊の課題について多面的視野から研究および解決することである。センターの活動は研究のみならず，サイエンススクールなどの科学啓蒙活動や世界的にも著名な国内外の研究者による講演会開催，国際ワークショップの開催，さらに大学院における教育プログラム（環境調和材料工学教育プログラム）などを行っている。今回は，本センターの国際教育・研究活動について報告する。

*1 室蘭工業大学　しくみ解明系領域
*2 室蘭工業大学　希土類材料研究センター
*3 室蘭工業大学　大学院工学専攻

2　希土類材料研究センターにおける国際拠点化活動

2. 1　国際拠点化に向けて

本センターは，希土類材料の国際拠点となるために海外研究機関および大学との学術交流協定の締結や材料に関する国際的な会合に参加している。本センターが中心となっている学術交流協定は，2005 年のロシア科学アカデミー・ニコラエフ研究所から始まり，2011 年にロシア科学アカデミー・ヨッヘ物理技術研究所，2017 年にアメリカ合衆国エネルギー省・エイムズ研究所，2019 年にイタリア・ジェノバ大学化学・工業化学科である。これらの研究所や大学とは，共同研究のみならず学生のインターンシップや教員・研究者の派遣または招へいなど人的交流を積極的に行っている。2016 年には，ベルギー・ブリュッセルで開催された EU・米国・日本の関連省庁が主催する 6th EU-US-Japan Trilateral Conference on Critical Materials にセンター教員 4 名（平井，葛谷，馬渡，雨海）が参加し，本センターの希土類材料研究や活動をアピールした。また，翌日から開催された The 4th Annual Conference of the European Innovation Partnership on Raw Materials にも出席し，EU における材料科学の研究動向や教育活動について情報収集し，本センターの教育・研究活動についても紹介した。

図 1　6th EU-US-Japan Trilateral Conference on Critical Materials(左は筆者の雨海)

2. 2　Muroran-IT Rare-Earth Workshop

希土類材料研究センターでは，レアアースの研究に関する情報交換や産業界とのコミュニティ形成，国際ネットワーク構築を目的に 2016 年から『Muroran-IT Rare-Earth Workshop』を開催している。本ワークショップには国内外の研究者および技術者，関連企業，学生も参加し，レアアースに関する最新の研究成果を通して国内外のレアアース関係者とコミュニケーションを取っている。2016 年は北海道留寿都村のルスツリゾート，2017 年は東京都霞が関の霞山会館，2018 年は北海道洞爺湖温泉の洞爺サンパレスリゾート＆スパで行われ，毎回 80 名超が参加している。参加者の内訳は，海外からは学術交流協定があるロシア科学アカデミー・ヨッヘ物理技術研究所，米国・エイムズ研究所，イタリア・ジェノバ大学だけでなく，中国・中国科学院，河南理工大学，包頭希土研究院，アメリカ・アイダホ大学，パデュー大学，インド・バーラットヒダサン大学，タイ・チェンマイ大学など多くの海外研究者が講演した。日本国内では，東北大学，大阪大学，金沢大学などの大学をはじめ，産業技術総合研究所，物質・材料研究機構，JST などの機関や，経済産業省，文部科学省などの省庁関係者，レアアース関連のリーディングカンパニーである株式会社三徳などを代表に多くの関連企業も参加している。

図 2　Muroran-IT Rare-Earth Workshop 2018(左)，2017(右)集合写真

2019 年は開催せず，2020 年はコロナウィルス感染症の世界的な感染拡大の影響で開催自体が危ぶまれたが，zoom によるオンライン開催で 10 月 28 日から 29 日の 2 日間の日程で行われた。まず初めに，空閑学長の挨拶から始まり，エイムズ研究所の Viktor P. Balema 博士の基調講演からスタートした。海外からはアメリカ，イタリア，中国，インド，タイの研究者が講演を行い，活発な議論が行われた。時差の問題や通信状況・環境の問題が懸念されたが，大きなトラブルもなく，2 日間の日程を無事に終えた。ワークショップの講演自体は問題なく行われたが，講演中以外のコミュニケーションの場が持てず，気軽に多くの人との情報交換や人脈作りを行うのが難しかったように思える。次回は，可能であれば face-to-face で開催することを望んでいるが，今後オンラインで開催する場合は，オンラインでももう少し気軽にコミュニケーションをとれるような仕組み作りが必要だと感じた。

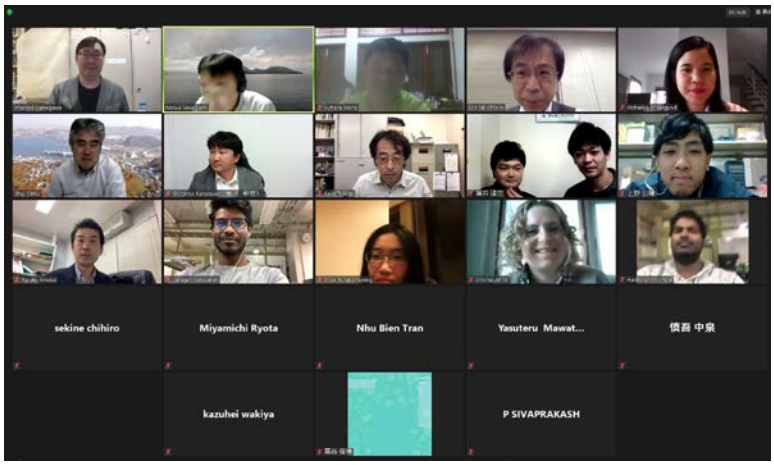

図 3　Muroran-IT Rare-Earth Workshop2020 オンラインスクリーンショット

2. 3　国際インターンシップおよび研究者招へい

本センター教員が担当している大学院の環境調和材料工学教育プログラムの一環として，国際インターンシップを進めており，これまでにのべ 6 名の大学院生が数週間から 1 か月程度海外の研究機関に滞在し，研究および交流を行った。滞在先は，米国 エイムズ研究所，イタリア ジェノバ大学 化学・工業化学科，ロシア ヨッヘ物理学技術研究所など Rare-Earth Workshop での交流をきっかけにした研究機関である。また，センター若手教員もメンターとして同行し，教員の研究の幅やコミュニティを拡げるための人的および研究交流も行った。今回，エイムズ研究所とジェノバ大学での滞在について次節に詳しく記す。帰国後は，環境調和材料工学教育プログラムの情報交換会で帰国報告を行い，意欲的な学生の国際インターンシップへの参加を促した。また，海外の学生の本学へのインターンシップもインド工科大学ムンバイ校，ジェノバ大学，華中科技大学などからこれまでにのべ 10 名程度受け入れている。

海外の研究者の招へいも積極的に行い，共同研究だけでなく学生向けに海外の希土類の最先端の研究や社会的動向などに関する講演を行っていただいた。2019 年 5 月には，教育プログラムの授業の一環として別件で来日していたコロラド鉱山大学の Roderick G. Eggert 教授および EIT RawMaterials GmbH の Karen Hanghoj CEO を招へいし，授業を行っていただいた。Karen Hanghoj 氏は先に紹介したベルギーでの会議で本センターとのつながりがあり，授業では，ヨーロッパにおけるレアアースを中心とした raw material に関するアイデア，教育さらには起業などについて幅広いお話をいただいた。大学院生が普段行っている研究とは違い，研究の先にある視点からの話は学生にとって非常に興味深く見えたようで，多くの質問が飛び交い，有意義な授業になったと思われる。

3　若手研究者海外派遣事業を利用した海外研究機関への滞在

3. 1　Ames Laboratory of US DOE

2018 年 5 月から 8 月の期間で著者の馬渡は，本学の若手研究者海外派遣事業の支援（研究題目：新規機能

性ソフトマテリアルの合成と用途開発）を受け，渡米した。エイムズは，アメリカ本土のほぼ中央に位置するアイオワ州の州都デモインから北に車で約 1 時間に位置する。その人口は約 6 万人で，アイオワ州立大学(以下，ISU，学生数 3 万人強)の大学都市である。郊外は，道東方面でよく見られるような穀倉地帯であり，小麦畑などが地平線まで広がっていた。有名なパスタメーカーの工場もデモイン空港ーエイムズ間のハイウエイの車窓から見えた。Ames laboratory of US DOE(以下，Ames Lab)は，1947 年に当時の米国原子力委員会によって設立された。建物がある地名の Spedding は，マンハッタン計画に関連するエイムズプロセスを指揮した一人である，レアアース元素の化学の専門家 Prof. Frank Spedding の名前が由来である。建物脇には，ここで高純度ウランの製造が行われていたことが書かれた立て看板があった（図 4）。Ames Lab は前述の ISU のキャンパス内にあり，多くの研究者は ISU での教育にも深く関わっている。

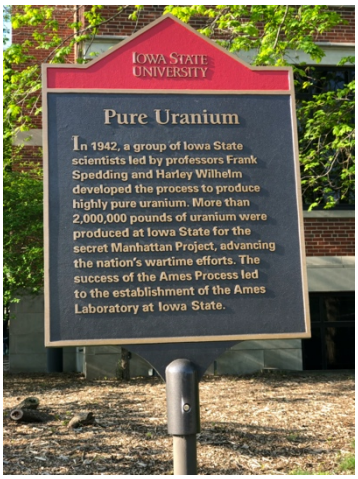

図 4　ウラン濃縮が実施されたことを記載した立て看板（左），キャンパス内の風景（右）。

馬渡は，Mr. Rare Earth と呼ばれていた Dr. Carl Gschneidner から引き継いだ Dr. Vitalij Percharsky の研究グループに滞在した。受入研究者の Dr. Viktor Balema（以下 Viktor）はそのグループの Senior Scientist（和名では上級研究者）である。若手の博士研究員の Ihor と Sasha に協力してもらいながら研究を進めることになった（図 5）。Ames Lab に到着後すぐに実験にとりかかれるというわけにはいかず，はじめの 2 週間は種々の手続きに翻弄された。米国エネルギー省の研究機関であるためか，滞在申請や入構許可申請など非常に多くの書類にサインしたことを今も思い出す。また，滞在にかかる申請は ISU と事務機関が共通している部分もあり，いくつかの建物を何度も行き来した。さらに，実施する実験に関わる安全教育のコースを受講し，試験にパスしなければ実験を開始できなかった。馬渡は十数コース受講の必要があり，すべての試験にパスしてようやく実験にとりかかった。

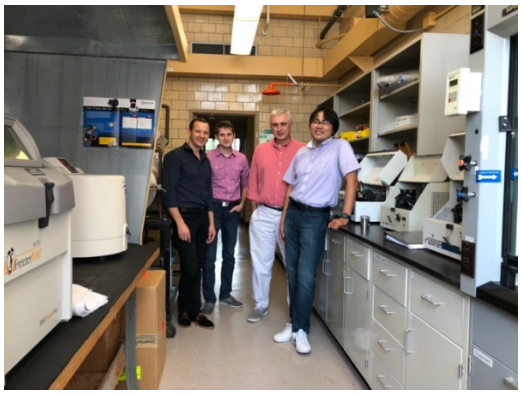

図 5　滞在時のプロジェクトメンバーとメカノケミカル合成実験室で撮影した写真，左から Sasha, Ihor, Viktor, Yasu（馬渡の現地での呼び名）

実験に着手する前の期間には，施設内の案内と詳細な実験打ち合わせを設けてもらった。今回の滞在中に達成する目標や，本学で研究を進めていたソフトマテリアルの一つである希土類有機ハイブリッド材料がメカノケミカル反応で合成できるかどうかを明らかにすること，得られた材料の構造解析と物性評価を設定した。有機化合物の合成は，通常溶液中で反応を行う。基質によっては環境負荷が高い有機溶媒を大量に使用する。一方メカノケミカル反応では，原料と触媒等を固体のままで粉砕容器に投入し，その容器と同じ素材のボール（特段問題なければステンレスを用いることが多い）とともに撹拌混合することで反応を進行させる。メカニズムの詳細は不明な点も多くここでは割愛するが，反応時に溶液にする必要がなく，環境に調和した材料合成を達成できる手法として現在注目されている。Viktor は，Rare-Earth Workshop 2017 でメカノケミカル反応による材料合成に関する講演を行った。その際に示された RE-MOF（希土類元素と多価カルボン酸からなる金属有機構造体）と馬渡が溶液反応で合成していた希土類有機錯体（以下 REO）と分子構造が非常によく似ていた。学会後に本学を訪れた際に，「REO もメカノケミカル反応で合成できるか？」と議論したことが渡米のきっかけになった。

有機・高分子化学の研究室に慣れた身には，無機金属材料の研究室に慣れるには少し時間がかかった。あるはずの器具や試薬がない環境に置かれることで，自分の当たり前は他の当たり前ではないことを再認識できた。研究においてもそれは同様であった。メカノケミカル合成反応が進行したかどうかを確認するために，いつもならまず核磁気共鳴（NMR）測定を行うが，彼らはまず粉末 X 線回折（XRD）を測定することを提案した。どちらの測定法にも長所と短所がありこちらがふさわしいとは言い切れない。このように感じることが度々あり，研究へのアプローチについても改めて考える貴重な機会であった。

一部の REO に関するメカノケミカル合成は，想定していたより早く達成できた。室蘭から事前に 10 種程度の原料を送付しており，その中で最初に選んだ 2 種はスムーズに反応が進行した。しかし，全く反応が進行しない場合もあった。今までの研究生活で度々遭遇した，最初の直感で選択したものがうまくいくパターンであった。さらに，得られた REO の一つが特異な溶液物性を示すことを精製操作中に偶然見出した。帰国前日には，滞在期間の成果発表の場を設けてもらい，グループメンバーのみならず関係する他グループからも聴講された。30 分程度の発表後，今回合成できた REO の物性，およびその応用についてディスカッションした。その中で特許出願について提案があり，帰国後も検討を重ね 2020 年初旬に米国での出願に至った。

滞在後半の 7 月末には，平井センター長と所属学生の黒田明慧氏（当時，修士 1 年）が国際学会の帰りに Ames Lab に立ち寄った。黒田氏はその 2 ヶ月後の 10 月から約 2 ヶ月間，当センターの教育プログラムの支援による国際インターンシップで磁気冷凍材料に関する研究滞在することが決まっていた。これに先立ち，現地の下見と研究打ち合わせを行った。10 月の滞在開始時には馬渡が同行し，種々の事務手続きや生活環境立ち上げなど，スムーズに研究が開始できるよう支援した。

図 6　Ames lab に滞在した黒田明慧氏（当時修士 1 年）

滞在期間中に，研究以外でも様々な交流を持つ機会を得た。グループ内のメンバーはもちろんであるが，Ames Lab に所属する 2 人の日本人研究者には特にお世話になった。偶然同じフロアに居室があった NMR の

専門家の Dr. Takeshi Kobayashi には，最新の NMR 測定方法と 10 年以上に渡るアメリカでの研究者生活について非常に多くの話を伺うことができた。現地で合成した REO の固体 NMR 測定も対応頂いた。本館の隣にある物理系の建物に研究室をもつ Dr. Yuji Furukawa は，当センター構成員の関根教授と桃野教授とは旧知の研究者であり，本学にも講演等で数回お招きしている。渡米前にお聞きしていたのでご挨拶に行くと，非常に気さくな先生で，つい現地生活にかかわる様々なことで甘えさせていただいた。紙面を借りお二人にあらためて感謝申し上げたい。

Viktor との共同研究は現在も継続しており，新たな展開が期待できる研究結果が得られてきている。今後また海外へ行ける状況になったら，face-to-face で交流を広げ深めたいと考えている。学生の海外経験を支援する体制も維持するためにも，今は Stay Muroran でできることを進めていきたい。

3.2　イタリア・ジェノバ大学

2019 年 10 月から 2020 年 1 月の期間で著者の雨海がイタリア・ジェノバ大学 化学・工業化学科の物理化学グループ Pietro Manfrinetti 教授の研究室に滞在した。ジェノバは，イタリア北部のリグリア海に面しており，中世に金融と貿易で栄華を築いたイタリア最大の港町である。ジェノバでの最初の任務は，2019 年 10 月に本学とジェノバ大学 化学・工業化学科の学術交流協定の締結に伴う調印式がジェノバ大で行われるため，本学から空閑学長をはじめ平井センター長，もの創造系領域川口教授らと共に出席した（図 7)。14 世紀からの歴史があるジェノバ大学は，大学の建物そのものが歴史的建造物であり，その中で知識を蓄え創造できる学生たちはジェノバ大で学べることに誇りを持ち，とても生き生きとしているように見えた（図 8 左，中央)。滞在した化学・工業化学科の物理化学研究グループは，調印式が行われた本部から 6 km ほど離れた小高い丘の上にあり，化学・工業化学科，物理学科，情報科学科の 3 つの学科がまとまった建屋内にある（図 8 右)。空閑学長一行がジェノバを発たれた後，調印式にも同行していた博士後期課程の学生の秋岡翔太氏も 11 月までの 1 か月間滞在し，希土類硫化物の合成に関する研究活動を行った。

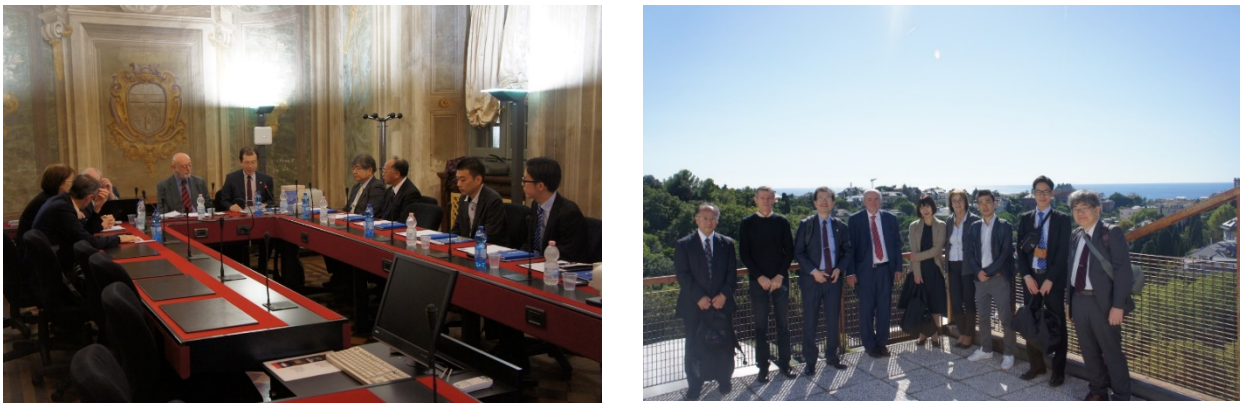

図 7　調印式の様子(左)，化学・工業化学科屋上での集合写真(右)

図 8　ジェノバ大学本部中庭(左)，図書館へと続く廊下(中央)，化学・工業化学科建屋(右)

Manfrinetti 教授とは上述の Rare-Earth Workshop で面識があり，レアアースを含む金属間化合物の合成のスペシャリストであることを認識していた。ちょうどここ数年，新たなレアアース金属間化合物を合成したいと思っていたがなかなか時間が取れず，思うように進められていなかったが，Rare-Earth Workshop をきっかけにセンター長の平井教授を通して 2019 年 3 月に 1 度ジェノバ大を訪ねて Manfrinetti 教授に相談を持ち掛けたのが滞在のきっかけである。その際，いくつかのアイデアもいただき，Manfrinetti 教授の技術で合成が見込めるとのことから 2019 年 10 月からの滞在が決定した。研究テーマは,『Synthesis and characterization of novel rare-earth manganese intermetallic compounds』（新規希土類マンガン金属間化合物の合成と特性評価）として，合成と構造評価から合成プロセスや状態図の作成をジェノバ大，磁性や伝導特性，熱特性の解明を室蘭工大とし，お互いの得意分野を融合した新たな磁性体や熱電変換物質，構造材料の創製を目指すこととなった。

いくつかの希土類マンガン金属間化合物の可能性を洗い出し，いくつかの候補を定めて高周波誘導加熱炉を用いた溶融合成を行った（図 9 左）。高周波誘導加熱自体は古くからある金属間化合物の合成法であるが，本実験のスペシャリストである Manfrinetti 教授は独自の技術と経験を持ち合わせており，実験の奥深さを改めて思い知らされた。プロトタイプの合成といくつかの候補物質の合成を試みたが，3 か月と言う滞在期間はあっと言う間に過ぎ（途中クリスマスもあったので）満足のいく合成には至らなかった。

図 9　高周波誘導炉による試料作成の様子(左)，クリスマスパーティー(右)

ところが，ジェノバ大滞在の前に Manfrinetti 教授から出されていた宿題があり，室蘭工大で学生が挑戦していた希土類マンガン金属間化合物について合成にほぼ成功した。これを発展させるために本来ならばまたジェノバへ出向き，サンプルの評価と議論をしたいところであったが，依然として海外への渡航は厳しい状況であることから，現在は室蘭工大で出来ることを行い，進捗を共有している状況である。この研究に関して，共著で日本物理学会での学会発表を行い，Rare-Earth Workshop2020 でも学生がポスター発表を行った。大変喜ばしいことに, Rare-Earth Workshop2020 において学生が発表した本研究が Excellent Student Poster Award に選ばれ，共同研究による成果が見えてきたことを感じている。

滞在中は，Manfrinetti 教授だけでなく研究室の学生やスタッフともランチをしたりクリスマスの時期には研究室でクリスマスパーティーがあったり（図 9 右），他の国からの研究者や学生も出入りしており，大変にぎやかに過ごしていた（図 10）。大学内のほとんどの人は英語での会話に何の問題もないが，あまり得意でない人もおり，私が話すつたない英語でもちゃんと耳を傾けてくれて積極的にコミュニケーションをとってくれることで疎外感を感じることは全くなかった。

ジェノバの人々は，日本人に対してとても友好的でジェノバの街の中でもほとんど嫌な思いをしたことがない。（ただし，郵便局は英語を一切受け付けてもらえずだいぶ苦労した。）滞在中借りていた家のオーナー

のパートナーは特に日本に憧れが強く，「まだ日本に行ったことはないが，東京オリンピックには必ず行く」と楽しみにしていた。実際はご存知の通り延期になってしまい，とても悲しんでいると思うとやり切れない思いになるが，おそらく前向きにとらえて笑顔で日本に来ることだろうと想像している。

たった 3 か月でも語りきれないくらいのエピソードはあるが，これらの経験は私にとってかけがえなく重要なものになったことは間違いない。できればもう 1 度ゆっくり行ってみたいが，その前に学生や若手研究者に異文化や異なる言語の中で生活や研究をすることの素晴らしさを伝え，新たにチャレンジする人が現れることを願っている。

図 10　物理化学グループ研究室メンバー

4　まとめ

希土類材料研究センターにおける国際協力教育･研究活動について紹介した。2012 年のセンター設立以来，ほぼ毎年の Rare-Earth Workshop の開催や国際的なイベントへの参加，レアアース関連の海外の研究者などの招へいなどの国際的な活動を積極的に行っている。また，教育プログラムを通して大学院生の海外インターンシップを呼びかけ，学生の海外志向を高めるきっかけ作りも行っている。米国エイムズ研究所やイタリアジェノバ大学には，若手教員もメンターとして学生に同行し，教員の研究やコミュニティの発展にも本センターは寄与している。現在は，依然として COVID-19 が世界的に蔓延しており厳しい状況にはあるが，ワークショップのオンライン開催などを通して海外とのコミュニケーションを維持している。世界的に状況が落ち着いたらこれまでのコネクションを存分に活かして国際的な研究センターであることを世界中に発信していきたい。