

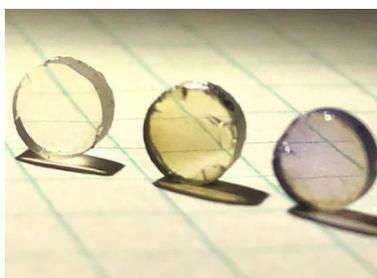


国立大学法人 愛媛大学  
地球深部ダイナミクス研究センター  
〒790-8577 松山市文京町2-5  
TEL : 089-927-8197 (代表)  
FAX : 089-927-8167  
<http://www.grc.ehime-u.ac.jp/>

## 目 次

- ◆ センター長挨拶
- ◆ センター構成
- ◆ NEWS & EVENTS:
  - 新名ラボマネージャーが文部科学大臣表彰
  - 土屋旬准教授がJpGU西田賞受賞
  - 平井寿子GRC客員教授がJpGUフェローに入船センター長のブリッジマン賞受賞が決定
  - 博士後期課程フェローシップ制度導入
  - JpGU-2021でGRCバーチャルラボツアー実施
  - フロンティアセミナー
- ◆ ジオダイナミクスセミナー
- ◆ 新人紹介
- ◆ ALUMNIレポート No. 25
- ◆ 最新の研究紹介
- ◆ センター機器紹介
- 先進超高压科学研究拠点 (PRIUS)

## ▶ センター長あいさつ ◀



## 入船 徹男

設立 20 年を迎えた GRC では、今後の研究の重要な方向性として、  
①動的地球科学、  
②惑星深部科学、

③超高压材料科学の 3 つを掲げています。①の動的地球科学に関しては、深発地震の原因やマントルと核の流動と物質循環・相互作用、また超深部マグマの特性や化学的分化過程の解明などをテーマとして、既に重要な成果があがりつつあります。また、本ニュースレターでも紹介しているように、SPring-8 において新たな超高压変形装置の導入

も進めています。

②の惑星深部科学に関しては、はやぶさ 2 を始めとしたサンプルリターンの成果や、惑星探査の結果を考慮した、水や水素を始めとする揮発性元素・軽元素の超高压下での挙動も重要な課題になると考えています。GRC では、数値計算系・実験系のいずれにおいてもこの方面の研究で多大な実績があり、また最近着任した若手教員による新たな貢献も期待されます。

私個人としては、これらの分野に関わりを持ちつつも、今後は③の超高压材料科学の推進において多少なりとも貢献したいと考えています。GRC の本務に深く関連する①、②の研究は現役世代にお任せし、特にここ 1、2 年は科研費申請もなるべく中堅・若手のじゃまをしないよう、他分野での応募を心がけてきました。幸い材料工学分野で基盤研究 (A) が採択され、「透明ナノセラミックス」をキーワードとした新たな研究を進める予定です。

近年様々な「透明セラミックス」が開発され、レーザー・レンズ・光学窓用の材料等として製品化も進められています。透明セラミックスは、光学的等方体である立方晶系の酸化物などの結晶粉末を、粒間の空孔をできる限り排除して焼結することにより得られます。一方で、これらの粉末の粒径が、可視光の波長よりはるかに短いナノ領域 (<100 nm) になると、立方晶系以外の結晶からなるセラミックスも高い透光性を示すことが予想されていました。しかし、このような透明ナノセラミックスの合成は、通常の比較的低压下での焼結法では困難です。

我々はナノ多結晶ダイヤモンド (ヒメダイヤ) の合成を 2003 年に発表しましたが、これは世界初の透明ナノセラミックスであるとともに、静的な超高压 (>10 万気圧) 合成法を用いて得られた物質としては、世界で初めて製品化に成功したものです。ヒメダイヤは現在では様々な応用に用いられていますが、その後も超高压下で結晶の粒成長を抑制することにより、色々な透明ナノセラミックスを生み出しています。

透明ナノセラミックスは高い透光性ととも、

高い硬度や韌性を持つことが予想されます。また微量元素の添加も容易なため、特徴ある発光特性を持つ材料の創成が期待されます。超高压を利用することにより、低圧下では困難な高压相の透明ナノセラミックスの合成が可能であり、従来にない特徴を持つ材料が得られるかもしれません。また超高压下でのナノ多結晶の生成メカニズムの解明は、地球深部科学にとっても重要な知見をもたらす可能性もあります。

一方で、これらの透明ナノセラミックスは、宝石としても魅力的です。ヒメダイヤ以外にも、これまでに透明ナノ多結晶ガーネットなどの合成を報告しました。また、日本の国石に選定されていますが、通常は不透明なヒスイに対して、最近超高压合成による透明化にも成功しています。世界最大の超高压合成装置 BOTCHAN-6000 が設置されているGRCの「Soseki Lab (創石ラボ)」は、新たな石(=宝石・材料)創りを目指すという意味を込めて名付けられました。透明ナノセラミックスの研究を軸に、学際的分野としての超高压材料科学の開拓を目指すとともに、新しい宝石づくりを楽しみたいと考えています。



## ◆ センターの構成 ◆

(R3. 6. 1現在)

※部門が3部門に変わりました。

### ❖ 実験系地球科学部門

- 入船徹男 (特別荣誉教授)
- 西原 遊 (教授)
- 河野義生 (准教授)
- 境 毅 (准教授)
- 大内智博 (准教授)
- Steeve Gréaux (助教)
- 井上紗綾子 (助教)
- 桑原秀治 (助教)
- 國本健広 (特定研究員)
- 近藤 望 (WPI研究員)
- 福山 鴻 (学振特別研究員) (R3. 4. 1-)

### ❖ 数値系地球科学部門

- 土屋卓久 (教授)
- 亀山真典 (教授)
- 土屋 旬 (准教授)
- 出倉春彦 (講師)
- Sebastian Ritterbex (特定研究員)

### ❖ 超高压材料科学部門

- 内藤俊雄 (教授：理工学研究科兼任)
- 松下正史 (教授：理工学研究科兼任)
- 石川史太郎 (准教授：理工学研究科兼任)
- 山本 貴 (准教授：理工学研究科兼任)

### ❖ 教育研究高度化支援室 (連携部門)

- 山田 朗 (リサーチアドミニストレーター)
- 新名 亨 (ラボマネージャー)
- 目島由紀子 (技術専門職員)
- 河田重栄 (技術補佐員)
- 白石千容 (研究補助員)

### ❖ 客員部門

- 客員教授 Yanbin Wang (シカゴ大学GSECARS 代表・主任研究員)
- 客員教授 Ian Jackson (オーストラリア 国立大学地球科学研究所名誉教授)
- 客員教授 Baosheng Li (ストニーブルック大学 鉱物物性研究施設特任教授)
- 客員教授 鍵 裕之 (東京大学大学院理学系研究科教授)
- 客員教授 八木健彦 (東京大学名誉教授)
- 客員教授 舟越賢一 (CROSS中性子科学センター 研究開発部次長)
- 客員教授 平井寿子 (元愛媛大教授・前立正大教授)
- 客員教授 井上 徹 (広島大学大学院先進理工系科学研究科教授)
- 客員教授 大藤弘明 (東北大学大学院理学研究科教授)
- 客員准教授 西 真之 (大阪大学大学院理学研究科准教授)
- 客員准教授 丹下慶範 ((公財) 高輝度光科学研究センター回折・散乱推進室主幹研究員)
- 客員准教授 西山宣正 (住友電気工業(株) アドバンストマテリアル研究所主幹)

### ❖ GRC研究員・GRC客員研究員

※GRC研究員・GRC客員研究員はPRIUS設置に伴い、委嘱を休止しています。

### ❖ 事務

- 研究支援課・研究拠点第2チーム
- 十河幸子 (副課長)
- 八丈野真子 (事務職員)
- 宮本菜津子 (事務補佐員)
- 八城めぐみ (研究補助員)
- 濱田愛子 (事務補佐員)



❖ 新名ラボマネージャーが文部科学大臣表彰



文部科学省では、科学技術に関する研究開発・理解増進等において顕著な成果を収めた者を「科学技術分野の文部科学大臣表彰」として顕彰しています。愛媛大学教育研究高度化支援室（GRC 担当）

の新名亨ラボマネージャーが、このうちの「研究支援賞」の受賞者の一人に決定され、2021年4月6日（火）付で文部科学省から発表されました。

研究支援賞は、同表彰の4つの賞（他に科学技術賞、若手科学者賞、創意工夫功労者賞）の一つで、「高度で専門的な技術的貢献を通じて研究開発の推進に寄与する活動を行い、顕著な功績があった者」が表彰の対象となっています。新名ラボマネージャーの受賞理由は「大型超高压装置による新物質の開発における貢献」で、GRC に設置されている6台の大型超高压装置の運用、とりわけ2009年に設置された世界最大の超高压装置「BOTCHAN-6000」を用いた超高压合成技術の開発と、それを用いた新物質・材料の合成における貢献が大きく評価されたものです。

GRC では、世界最硬物質であるナノ多結晶ダイヤモンド（「ヒメダイヤ」）の合成を2003年に発表しましたが、新名ラボマネージャーによるBOTCHAN-6000を用いた安定的合成技術の確立により、大型で高品質なヒメダイヤの合成と供給が可能となりました。得られたヒメダイヤを用いた共同研究は、GRC が運用する全国の共同利用・共同研究拠点「先進超高压科学研究拠点」（PRIUS）における活動の重要な柱となっています。

【参考 HP】

文部科学省 HP 内：令和3年度科学技術分野の文部科学大臣表彰受賞者等の決定について  
[https://www.mext.go.jp/b\\_menu/houdou/mext\\_00547.html](https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/mext_00547.html)

❖ 土屋旬准教授が JpGU 西田賞受賞

日本地球惑星科学連合（JpGU）は我が国の地球・惑星科学関連分野の51学会が参画し、1万人を超える会員を擁する地球惑星科学分野の連合学会です。JpGUでは「新しい発想によって優れた業績を挙げ、国際的に高い評価を得ている」45歳未満の研究者に対して、地球惑星科学振興西田賞（西田

賞）を2年に一度選考・授与しています。このたび、GRCの土屋旬准教授が2021年度の受賞者として決定されたことが2021年4月12日付で発表されました。



土屋准教授の受賞理由は「第一原理計算による地球内部物質中の水素の挙動の研究」で、地球深部における水素の挙動、特にマントル深部条件下で安定な含水鉱物の結晶構造や物性などに関する

理論的研究が高く評価されたものです。土屋准教授は、マントル深部の超高压下でこのような鉱物中の水素結合の対称化が起こることを明らかにするとともに、下部マントルで安定な新しい含水鉱物の存在を予測し、それがGRCの実験グループにより証明されるなど、超高压実験に対する重要な指針を与える独創的な研究を進めてきました。

また土屋旬准教授は、国際的なプロジェクトである「Deep Carbon Observatory」において、日本を代表する委員の一人として参画するなど、地球深部科学分野における国際的な連携活動において重要な役割を果たしてきました。このような国際的活動や上記の一連の研究が高く評価され、アメリカ鉱物学会（MSA）の2018年度フェローに選出されています。

なお、西田賞の授賞式は2021年5月30日（水）から6月6日（日）までオンラインで開催されたJpGU-2021大会期間中に行われました。

【参考 HP】

日本地球惑星科学連合 HP 内：西田賞受賞者のご紹介  
<http://www.jpгу.org/nishidaprize/>

❖ 平井寿子 GRC 客員教授が JpGU フェローに



JpGUでは「地球惑星科学におけるパラダイムシフトやブレークスルーなど、地球惑星科学の学術の発展に著しい貢献をした者」に対してフェローの称号を授与していますが、このたび、平井寿子 GRC 客員教授が、2021年度の

フェローに選出されたことが2021年4月12日付で発表されました。

平井教授の受賞理由は「クラスレート化合物な

どの高圧物質科学とその地球惑星内部への適用に関する顕著な貢献」であり、特にC<sub>60</sub> フラーレンなどの炭素クラスレートやガスハイドレートなどの相転移機構の解明、およびその地球惑星内部への応用に関する独創的で優れた研究成果が高く評価されたものです。

平井教授は、2009年からグローバルCOE教授として、また2013年から2016年までは愛媛大学特命教授として、GRCにおいて教育・研究に携わっていただきました。また愛媛大学退職後もGRC客員教授・立正大学特任教授としてGRCと連携した研究活動を続けられました。

なお、今回の選考では4名の会員がフェローに選ばれ、2021年5月30日(水)から6月6日(日)までオンラインで開催されたJpGU-2021大会期間中に、称号が授与されました。

#### 【参考HP】

日本地球惑星科学連合HP内:連合フェローのご紹介  
<http://www.jpгу.org/jpgufellow/>

#### ❖ 入船センター長のブリッジマン賞受賞が決定

AIRAPTは高圧力を用いる物理、化学、地球科学、材料科学、生命科学などの広範な分野の研究者により運営されている学際的な国際学会で、1965年にフランスで第一回が開催されました。当初はヨーロッパを中心に総会が開催されていましたが、その後ヨーロッパ、北米、アジア及びそれ以外の地域で、2年おきに開催されています。AIRAPT評議員会では毎回の総会に合わせて、高圧力の科学と技術の発展において顕著な業績をあげた研究者1名に、高圧物理学分野におけるノーベル賞受賞者であるP.W.Bridgman(ブリッジマン)の名前を冠したAIRAPTの最高賞を授与しています。

この度2021年度のブリッジマン賞受賞者として、GRCの入船徹男センター長が選ばれ、2021年4月1日(木)付で発表されました。選考では特に同センター長の1) マントル及び沈み込むプレート物質内部の超高压下での相変化・密度変化の解明とマントルダイナミクスへの応用、2) 放射光と大型超高压装置を組み合わせた、超高压下でのX線その場観察と物性測定による地球深部物質の特性解明、3) 超高压合成技術を応用したナノ多結晶ダイヤモンド(ヒメダイヤ)の合成とその応用、が高く評価されました。

なお、ブリッジマン賞の授賞式と受賞講演は、2021年7月にエジンバラで開催するAIRAPT第28回総会と第60回ヨーロッパ高圧会議の合同大会中に予定されていましたが、新型コロナウイルス感染症の世界的蔓延の状況のもと、2023年に延期されることが決定されています。

#### ❖ 博士後期課程フェローシップ制度導入

愛媛大学では令和3年度より、理工学研究科博士後期課程に入学・進学する学生に対し、大学の特色ある研究分野において次世代を担う優れた若手研究者の育成を図るため、新たに「アドバンスド・リサーチ・フェローシップ」制度を立ち上げました。この制度を利用してGRCで研究をすすめることにご興味のある方は、下記のリンクを参照いただくとともに、詳細についてはGRC教員・事務までお問合せください。

#### 【参考HP】

EU アドバンスド・リサーチ・フェローシップ(愛媛大フェローシップ)

<https://www.eng.ehime-u.ac.jp/rikougaku/info/fellowship/index.html>

#### ❖ JpGU-2021にてGRCバーチャルラボツアー実施

2021年5月30日(日)~6月6日(日)に日本地球惑星科学連合(JpGU)大会2021がオンラインで開催され、GRCでは展示ブースの出展および出展者セミナーを開催いたしました。

今回も昨年に引き続き、JpGU Meetingがオンラインでの開催となったため、GRC・PRIUS紹介の展示ブースや出展者セミナーもオンライン参加となりました。セミナーのタイトルは「GRCラボツアーと世界最硬ヒメダイヤ乳鉢によるダイヤモンドの粉末化」で、GRCの施設・設備をオンライン中継により紹介するとともに、常温下での高圧氷の結晶づくりや、ヒメダイヤ乳鉢を用いた天然ダイヤモンドの粉末化の実演をおこないました。

#### 【参考HP】

オンラインセミナー映像:「GRCラボツアーと世界最硬ヒメダイヤ乳鉢によるダイヤモンドの粉末化」  
<https://youtu.be/--x-i-gAByg>

#### ❖ フロンティアセミナー



第81回

“Origin of nitrogen in inner Solar System protoplanets and planets”

Mr. Damanveer Grewal (Graduate student, Rice University)

日時 2021年6月25日 16:30~17:30



◆ ジオダイナミクスセミナー ◆

❖ 今後の予定（詳細はHPをご参照下さい）

7月

7/2 “The regulation mechanism of redox state of the Earth’s magma ocean inferred from experiments on redox disproportionation of Fe<sup>2+</sup>”

Dr. Hideharu Kuwahara (Assistant Professor, GRC)

7/16 “Sound velocity measurements at mantle geotherm temperatures: results, problems and perspectives”

Dr. Steeve Gréaux (Assistant Professor, GRC)

7/30 “A challenge to observe the process of faulting in rocks at high pressures”

Dr. Tomohiro Ohuchi (Associate Professor, GRC)

❖ 過去の講演

第 548 回 “Mn(II) oxidation catalyzed by nanohematite surfaces and structural evolution of product Mn oxyhydroxides by self-catalytic reaction”

Dr. Sayako Inoue (Assistant Professor, GRC) 2021. 5. 14

第549回 “Nitrogen solubilities in the lower-mantle minerals: implications for the formation process of nitrogen reservoir in the deep Earth”

Dr. Ko Fukuyama (JSPS Post-doctoral fellow, GRC) 2021. 5. 21

第550回 “Crystallographic-preferred orientation and microstructure of deformed MnGeO<sub>3</sub> perovskite”

Dr. Yu Nishihara (Professor, GRC) 2021. 6. 11

.....

◆ 新人紹介 ◆

福山 鴻  
(学振特別研究員)



2021年4月から日本学術振興会の特別研究員として着任いたしました、福山鴻と申します。学生の頃は、東北大学で大谷栄治教授、鈴木昭夫准教授、柴崎裕樹助教のご指導の下、高圧含水相についての研究を行い、マルチアンビル高圧発生装置の実験手法の基礎等をご教示いただきました。その後、東京大学大学院の修士課程と博士課程では、鍵裕之教授のご指導の下、地球内部の窒素に関する研究を行い、今年の3月に学位を取得することができました。実は大学院からは、研究室の先輩方と同様レーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセルによる実験を行う予定でしたので、先輩方の実験のサポートをしておりまして、ところが、色々な巡り合わせで路線を変更し、修士課程1年の後期から愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター(以下GRC)で、再びマルチアンビル高圧発生装置(Orange-3000)を用いた実験に従事する機会を得ることができました。GRCは高圧地球科学のメッカであるとよく耳にしておりましたので、大変嬉しかったのを覚えております。とはいえ、最初のGRCでの出張実験は慣れていないこともあり、特に加熱がうまくいかないことが多々ありました。しかし、GRCにいらっしゃった多くの先生方、ポスドクの方々、学生の方々が助けてくださり、現在に至っております。心から感謝しております。

さて、ここからはもう少し、私がこれまで取り組んできた地球内部の窒素に関する研究のお話をさせていただきますと思います。窒素は地球大気の約8割を占める元素であり、生物の体を構成するアミノ酸には必ず含まれている元素です。このように地球上では一見ありふれた窒素ですが、地球全体で考えると他の元素に比べてとても枯渇していることが知られています。地球の原材料物質であるコンドライトには1000 ppm前後の窒素が含まれていますが、観測による地球表層とマントル中の窒素の濃度は平均で1 ppm程に過ぎません。このような、コンドライト組成に対して地球全体(地球大気 + 地球表層 + bulk silicate Earth)の窒

素が極端に枯渇している現象は“missing” nitrogenと呼ばれ、地球化学の重要な未解決問題になっています。原因として、マグマオーシャンの脱ガスによってできた厚い窒素大気が宇宙空間に散逸したことや、地球深部に窒素の貯蔵庫があることが考えられています。私の研究では後者の仮説のもと、下部マントルの主要鉱物であるbridgmaniteに窒素がどれほど入るのか実験的な検討を進めました。地球内部で最も多く存在する鉱物であるbridgmaniteに窒素がたくさん取り込まれれば、“missing” nitrogenを解決できるというねらいでした。しかしながら、実験を進めていく中でbridgmaniteにはNanoSIMSでは検出困難な程度の窒素しか入らないことが分かりました。何度も失敗しながら苦労して作成した試料ただけにちょっとがっかりしてしまいました。一方、試料中にいくつかstishoviteも存在していたため、一応分析してみたところ高濃度の窒素が検出されました。最初は、「地球深部にほとんど存在しない鉱物に窒素が入ったところで何の意味があるのだろうか？」と思い、やはり失敗なのではという不安がよぎりましたが、結局この結果がどんどん発展していき、最終的には博士論文のメインの内容になりました。この研究を通じて、未解決の課題に挑む際、何が失敗で何が成功なのかさえ、落ち着いてしっかり考えたうえで取り組まなければ分からないものだど気付かされました。

いつの間にかGRCにお世話になって今年で6年目になります。今後は地球核形成時の窒素同位体分別過程について取り組む予定です。困難な研究になると想定されますが、引き続きGRCで研究を進められることは大変心強いと思っております。相変わらず未熟者で、助けていただくことも多いかと思いますが、ご指導ご鞭撻のほどどうぞよろしくお願い申し上げます。

## ALUMNI レポート②

### ❖ 東北大学大学院理学研究科地学専攻 教授、大藤弘明

私は博士課程修了直後の2004年11月から昨年10月に東北大学へ転出するまでの約16年もの間、GRCにお世話になりました。私が当初ポスドクとして合流した時のGRCは、現在に比べるとだいぶ小規模でした。実験系は入舩徹男教授、井上徹助教授、山崎大輔助手という講座風の構成で、三者三様のユニークなキャラクターが相乗してか、どこかアットホームな雰囲気がありました。当時はまだ時間的にも余裕があり、夕方から道後公園へ学生とサッカーをしに行ったり（上記3教員が合流したこともありましたが）、遅くまで麻雀を打ちに行ったりと、楽しい思い出もたくさんあります。

その後グローバルCOEが始まり、若手を中心にメンバーがどっと増え、組織の規模も研究のアクティビティーもさらに大きく、高くなりました。それが終わると、今度は共同利用・共同研究拠点PRIUSがスタートし、名実ともに我が国を代表する先端研究拠点へ発展するに至ったのは皆さまもよくご存じのことと思います。その間、超一流の研究者のほかに敏腕経営者としての顔も持つ入舩先生の戦略的な手腕や流行りを読むセンスなどを私も間近で見させていただき、本当に多くのことを学ばせていただきました。入舩先生はよく「組織が継続的に発展してゆくためにはスタッフもある程度流動的であるべき」と、教授・准教授・助教で七五三（7年、5年、3年）くらいのタイムスパンでの貢献が理想的とおっしゃられています。私の場合、多少内訳は違えど、結果としてその推奨の計15年でGRCを卒業するに至りました。

東北大への引越しはコロナ禍の真ただ中で、新しい環境に順応するのはそう容易ではありませんでした。着任してすぐに卒論・修論の中間発表を聞き、定例の雑誌会や講座会へも参加し、授業も担当しましたが、全てオンラインのため、学生の名前や研究内容の情報は入ってきても、名前と顔が一致せず、廊下ですれ違っても誰が誰だかなかなか覚えられません。また、飲み会はもちろん皆無ですし、対面での交流も限定的です。それでも、量子ビーム地球科学グループの鈴木昭夫先生に色々ご助言、ご協力いただいたおかげで、教室のルールや学務・教務情報の把握や研究環境の整備などを徐々に進めることができています。

私の着任に際して、地学専攻地球惑星物質科学科の中に新たな研究グループを立ち上げる必要がありました。鉱物学グループや量子ビーム(高圧)グループは既にあるため、それとはまた異なるグループ名を考える必要があり、熟慮の末、「グローバル結晶科学グループ」としました。GRC在籍中に関わった材料科学研究や民間企業との共同研究などを通して、私が専門とする鉱物学・結晶学の知見やノウハウを様々な分野へ応用でき、そのニーズも想像以上に多いことを実感しました。広い視野を持ってグローバルに（地球全体、社会・環境全体を見渡して）新たな課題を探求し、解決を目指したいというのが、このグループ名に込めた思いです。私はこれまで主に電子顕微鏡を用い

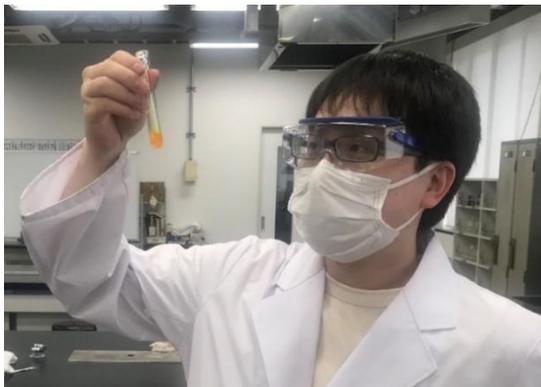


て鉱物の微細組織を観察し、化学反応や相転移によって生じる鉱物の結晶化や組織化の過程やメカニズムを調べる研究を中心に行ってきました。その根底にはいつも「表面エネルギーの最小化」という物理プロセスが見え隠れしており、様々な試料、現象の中にその普遍性、共通性を見出すことにいつの間にか醍醐味を感じるようになっていました。今後は、高压合成試料に限らず、色々な試料を研究対象として、フィールド調査からマイクロナノ観察に至るまでの幅広いスケールと階層で「なぜ？」を追求してゆきたいと思っています。

なお、GRC での唯一の心残りは、コロナ禍により企画していた入船先生の退職記念祝賀会を開催できなかったことです。いずれ新型コロナが終息したら、皆さまと一緒に盛大な祝賀会を催すことを楽しみにしております。今後ともどうぞよろしくをお願いいたします。

## ❖ 学習院大学理学部化学科

助教、大平 格



2020年2月から2021年3月までの1年2か月間、WPI 研究員としてお世話になりました大平格です。今年の4月1日付で、学習院大学理学部化学科の梶谷浩先生の研究室に助教として着任致しました。化学科の所属になりますが、梶谷研究室は高压地球科学を展開しており、私自身も引き続き地球内部のマグマや水のふるまいの理解に向け、ガラスおよび含水鉱物の研究を推進していく予定です。

GRC の研究員として松山の地で過ごしたのは約1年間のみとなってしまいましたが、コロナウィルスの流行という状況にも関わらず、Spring-8での実験やGRCの最先端の装置群を利用した実験的研究を進めていくことができました。研究以外にも、松山の気候や生活環境が快適だったこともあり、充実した時間を過ごすことができました。現在は東京、しかも山手線内側のエリアで生活しているため、松山の時とは全く違う「THE・都会(?)」な環境に身を置いていることとなります。ただし、学習院大学はJR目白駅に隣接しているものの、広大な敷地全体が緑に囲まれており、非常に落ち着いた雰囲気です、都心部と聞いてイメージするよう

な喧騒を感じることはほとんどありません。ちなみに、学習院大学はいわゆる「ワンキャンパス」型の大学であり、全ての学部・大学院が目白のキャンパス内にあります(幼稚園・中等科・高等科も目白キャンパス内にあります)。そのため、分野の垣根を超えた交流が活発に行えるという利点があります。学習院大学の学部は、理学部以外は全て文系の学科であるため、学生時代からずっと理系の研究者および院生が大半を占める環境で過ごしてきた私にとっては、大学の雰囲気自体が非常に新鮮に感じられます。

次に、私がおります梶谷研究室について紹介したいと思います。GRCの方々は皆さまご存じかと思いますが、学習院大ではこれまで赤荻先生と梶谷先生により、国内の高压地球科学の一重要拠点として研究が展開されておりました。昨年度をもって赤荻先生が退官されたため、今年度から梶谷先生と私という体制で新たに研究室をスタートすることになりました。学生は、修士2年の方が1名、学部4年の方が7名となっており、非常に明るくかつフレッシュな雰囲気になっております。以上の10人のメンバーで、1000トン6-8型マルチアンビルプレス、X線回折装置、SEM、顕微ラマン分光装置、高温熱量計といった装置群を駆使して研究を進めております。

学習院大では教員のポジションで採用されたので、今までとは違い授業を担当することになります。4月に着任してすぐに、毎週梶谷研究室で担当する定性分析の実習が始まり、現在はその実習への対応が主な仕事になっております。定性分析では、試験管に溶液をとり、別の溶液を加えて沈殿を生成したり、さらに溶液のpHを変えて沈殿を再度溶解させたり……等々、これまでの高压実験では体験することのなかった実験操作を行うため、授業の度に新鮮な気持ちを味わっております。この実習は7月半ばまで続きますが、学生の方々にこの実習を受講してよかったと感じて頂けるように、私自身も常に学びの姿勢を持って実習に取り組んでいく所存です。

最後になりますが、1年2か月という短い期間かつイレギュラーな状況下にも関わらず、GRCスタッフに皆様方からは多大なご厚情・ご指導を賜りました。また、GRCの優秀な学生の皆様との議論も私にとって貴重な財産となりました。この場を借りて皆様に感謝申し上げます。学会や共同研究など、引き続き皆様にお世話になる機会も多いと思いますので、今後ともどうぞよろしくをお願いいたします。

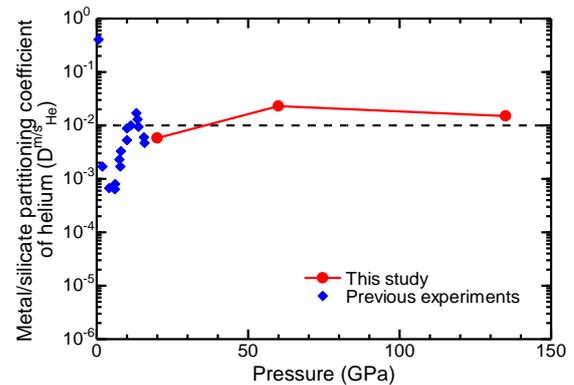


## 最新の研究紹介

### ❖ 地球深部に存在する太古のヘリウムの貯蔵庫

ヘリウム、ネオン、アルゴンなどの希ガス元素は、他の物質との反応性が極めて低い、揮発性が高く気体になりやすい、などの特有の性質を持ちます。中でも、ヘリウムの同位体である  $^3\text{He}$  はハワイ・ロイヒ海山など地球深部に起源をもつ海洋島火山の岩石中に高濃度で存在しており、このことから  $^3\text{He}$  は地球内部のどこかに貯蔵されていると考えられています。この  $^3\text{He}$  は、地球が誕生する前に宇宙空間に存在していた星雲ガスの一部で、地球形成時に原始地球に捕獲された始原的な物質であることが分かっています。そのような太古の  $^3\text{He}$  が、その高い揮発性にもかかわらず、地球誕生から今日まで 46 億年という極めて長い期間にわたって地球内部に閉じ込められてきたというのは驚くべきことです。しかしながらそのようなヘリウムが地球内部のどこに保管されているのかは、まだわかっていません。マントル深部や中心核がヘリウムの貯蔵庫の候補としてあげられていますが、長年にわたって論争が続いており未解決のままとなっています。

地球内部における希ガス収納庫の位置を特定するための手がかりの一つに、超高温超高压下における岩石（マントル）と金属鉄（核）の間での希ガス原子の分配特性の解明があります。地表の圧力では希ガスは金属よりも岩石により溶け込みやすい親石性と呼ばれる性質を示すことが分かっていますが、地球深部の圧力で金属により溶け込みやすい親鉄性と呼ばれる性質に変われば、核が希ガスの貯蔵庫である可能性が高まります。しかしながら、高い圧力のもとで実験的にこのような性質を調べることは大変困難です。一方、計算機シミュレーションで元素分配を取り扱うのも容易ではありません。元素分配は溶解の自由エネルギーを用いて求めるのですが、ヘリウムの取り込みが進行した時期において原始地球はいわゆるマグマオーシャンと呼ばれる溶融状態にあったと考えられており、核-マントル間におけるヘリウムの分配特性を求めるには、液体の自由エネルギーを計算する必要があるためです。液体は、(状態数がはっきりと定義できず) エントロピーが単純な表式で表記できないため、固体に対して一般的に用いられるような方法で自由エネルギーを計算することができません。そこで本研究では、量子力学に基づく第一原理分子動力学法と統計力学に基づく熱力学積分法を組み合わせた独自の手法を用いて、熔融ケイ酸塩（マグマ）と液体鉄の自由エネルギーを算出し、ヘリウムとアルゴンの分配特性を、圧力を 20 万気圧から 135 万気圧まで変化させながら調べました。熱力学積分法を用いると、エントロピーを直接評価することなく自由エネルギーを求めることが可能となります。



シミュレーションの結果、ヘリウムの分配特性は圧力の影響をあまり受けないことが分かりました。(一方、アルゴンは圧力が増加するにつれて液体鉄を好む傾向が増加しました。このような圧力の影響の相違は、ヘリウム原子とアルゴン原子の大きさの違いにより説明されます。) 今回の研究から、液体鉄よりも岩石マグマを好むというヘリウムの親石性が高圧力下でも保たれることが分かりましたが、一方でマントルに溶け込む量と比較すれば少量ですが中心核にもヘリウムが溶け込むことも明らかとなりました。少ない溶解量でも中心核全体にわたって積分すればかなりの量になります。得られた分配係数を用いて中心核に溶け込んだヘリウムの総量を算出したところ、初期地球において中心核が十分な量のヘリウムを吸収し  $^3\text{He}$  の貯蔵庫となり得たという結論が導かれました。核がヘリウムの貯蔵庫だとすれば、活発なマントル対流によりマントル中のヘリウムの大半が脱ガスしてしまったとしても、今日でも始原的なヘリウムが観測されるという事実を説明することができます。

本研究は、Xiong, Tsuchiya, and Van Orman, Helium and argon partitioning between liquid iron and silicate melt at high pressure. *Geophys. Res. Lett.* 48, 3, e2020GL090769 として出版されています。また本研究は、文科省新学術領域研究「核-マントル物質とダイナミクスの理論モデリング」の支援により実施されました。(土屋卓久)

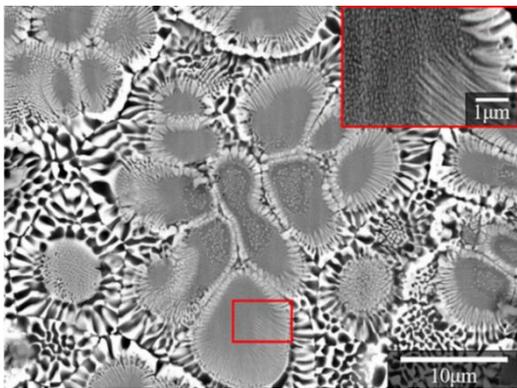
### ❖ 高圧を利用した金属材料研究

高圧場を利用した機械材料分野の研究について紹介する。機械工学っぽく言えば、高圧場を生産プロセスの一つと捉えて、常圧作製物を超える機能を持つ材料の作製に取り組んでいる。

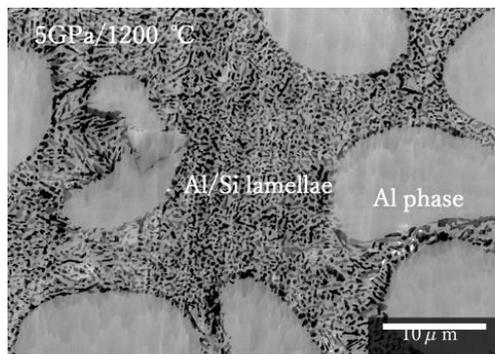
主な研究対象は金属元素からなる二元、あるいは三元系の合金、化合物である。拡散係数が小さくなる高圧下では、結晶構造相転移や凝固によって微細組織が形成されやすい。また、元素の組み合わせによっては、状態図上の溶解度曲線が移動し、過飽和固溶体の形成が可能になる。結晶粒微

細化はホールペッチ則に従い、固溶限の増加は固溶強化と結び付き、それぞれ新しい高強度材料の作製につながる。さらに、やや煩雑な話になるが、モル体積の異なる状態が異なる組成で存在する系では、高圧力下でのみ発生する共晶、共析反応なども想定できる。このような高圧下特有の状態を積極的に利用した合金、金属間化合物の研究を、高圧場からの回収実験、放射光を利用した高圧その場観察、VASPを用いた第一原理計算の三つの手法を軸に実施している。

まず、Mgベースの三元系合金についての研究を紹介する。Mg<sub>85</sub>Zn<sub>6</sub>Y<sub>9</sub>は常圧では18R-type LPSO単相であるが、3 GPa以上ではhcpとD0<sub>3</sub>の共晶となることを見出した。hcpとD0<sub>3</sub>の両相の化学組成と、その凝固組織は圧力に強く依存する。図は10 GPa/1000 °Cから凝固させたMg<sub>85</sub>Zn<sub>6</sub>Y<sub>9</sub>の組織である。本合金は700 MPaを超える圧縮降伏応力と40 GPa程度の弾性率をもつ高強度低弾性率合金である。他の特殊プロセスを利用して作製されたMg合金と比較しても本合金の降伏強度は特に優れる。降伏応力と弾性率の比は、従来のMg合金よりはるかに高い。また、同比を密度で割った値は、他の合金系と比べても抜きん出た高さであり、高強度・低弾性・低密度の構造材である。この種の特徴は、骨の弾性率（19 GPa）とのミスマッチが小さく高強度で軽い合金開発を目指す生体材料の分野のニーズとよくマッチする。高圧場でのみ発生する共晶と微細組織によって生まれた本合金の機械特性の根源的解明について研究を進めて、高強度・低弾性・低密度合金の指針の獲得を目指している。



次にAl-Si二元系への圧力効果について紹介する。Al<sub>88</sub>Si<sub>12</sub>はシルミンと呼ばれる共晶合金で代表的Al系鋳造合金である。本系の高圧下での状態図研究がそのものは古くから進んでおり、固溶限についての熱力学的説明も行われている。我々は大きな試料容積を扱えるマルチアンビルプレスを利用して、高圧処理されたAl<sub>88</sub>Si<sub>12</sub>の機械特性評価を行った。圧力によって共晶点はSi側にずれ、過飽和なAl相の作るデンドライトの間に、Al/Siのナノラメラ組織が形成される。写真に5 GPa/1200 °Cからの凝固で得られたAl<sub>88</sub>Si<sub>12</sub>のマイクロストラクチャーを示す。ナノインデンテーション試験の



結果からはAl/Siのナノラメラ組織だけでなく、過飽和なAl母相も高い硬さを有することが確認された。また、ビッカース硬さ試験から得られた硬さは、常圧鋳造材の硬さの約3倍となる。結晶構造が変わることなく、初期の3倍の硬さになる本合金の強化機構は、固溶強化と微細化だけでの説明できるのか、興味深い。

今回は二件、紹介したが、他の複数の合金系についても研究を進めている。新たな機能性の発見とそのメカニズム解明を通して、材料開発の道標づくりに少しでも寄与できればと思いながら、高圧研究を進めている。(松下正史)



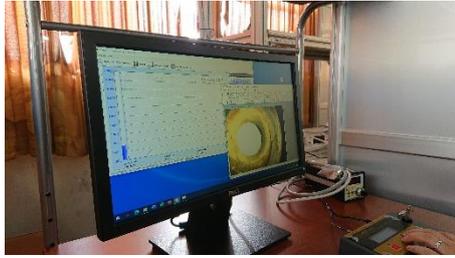
## ➡ センター機器紹介 ➡

### ❖ 無容器法ガラス合成システム



2020年度にGRCに新たな装置として、レーザー加熱浮遊炉装置が導入され、無容器法でのガラス合成手法の開発に取り組んでいます。無容器法とは、試料を空中に浮遊させて加熱熔融し、空中浮遊状態を保持したまま冷却・回収する方法です。容器がないことで核生成は抑制され、一般的な容器を用いた電気炉での試料合成ではガラス化させることが困難な組成についても、無容器法ではガラスを合成することができる場合が多くあります。例えば、1mm以下の小さいサイズに限られますが、Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> かんらん石組成のガラスの合成などが可能なことが報告されています。さらに、200WのCO<sub>2</sub>レーザーを使用した加熱により、一般的な電気炉では到達できない2000°C以上の試料の熔融も可能となっています。そのため、地球科学物質だけでなく、物理学・材料科学などで取り扱う融点

の高い物質など、幅広い組成の物質を溶融させることができる仕様となっています。



現在、このレーザー加熱浮遊炉装置を用いたガラス合成手法の開発を開始しています。まずは大気条件下での実験から着手し、実験手順の確立と、無容器法によるガラス合成における実際の課題などの洗い出しを行っています。これまでの実験の結果、加熱中においても安定的な浮遊状態を保持することが可能な条件の理解が進み、例えば、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ に富む $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 組成のようなガラス化しにくい組成のガラスの合成にも成功しています。また、大きいサイズのガラスの合成も試みており、現時点では、少なくとも直径2.8mmの大サイズの $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ 組成ガラスの合成に成功しています。今後もガラス合成実験を繰り返し行うことにより、どのような組成までガラスを合成することができるのか？どの程度の大サイズのガラスが合成できるのか？など、本装置を使ったガラス合成の使用範囲を理解していきたいと思っています。さらに、雰囲気環境制御下でのガラスの合成などにも取り組んでいくことを予定しています。

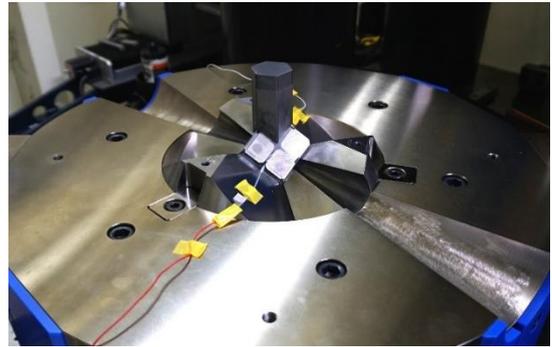
現時点では、レーザーフェンスやインターロックシステムなどの安全環境がまだ十分整っていないため、PRIUS ユーザーなどへの共同研究利用はまだ開始できていない状況ですが、今年度中に安全環境整備を行い、来年度以降での PRIUS ユーザー利用などへの展開の検討を進めています。(河野義生)

#### ❖ 高圧変形実験用 D111 型ガイドブロック



大型放射光施設 SPring-8 のビームライン BL04B1 に設置されている川井型マルチアンビル装置 SPEED-MkII と組み合わせて使用する「高圧変形実験用 D111 型ガイドブロック」を、2021 年 3 月に導入し、D111 型高圧変形装置（以下では D111 型装置）のシステムを整備しました。これまで SPEED-MkII では、2010 年に愛媛大学から導入され

た D-DIA 型ガイドブロックを使って高温高圧変形実験が行われてきました。SPring-8 の高輝度 X 線により高温高圧下で変形する物質の応力と歪のその場観察を精密に行うことができるので、これを使って地球のマントルや内核などの地球深部の物質の流動特性が定量的に解明されてきました。しかしながら、D-DIA 型ガイドブロックでは発生圧力の上限は約 20 GPa に限られています。通常は一段圧しで用いられる D-DIA 型ガイドブロックを二段圧しで用いることによって約 25 GPa での変形実験も行われましたが、この場合は変形ジオメトリの正確な制御が困難でした。そのため、このシステムでは地球下部マントルの条件（圧力>23 GPa）でのよく制御された変形実験は実現していませんでした。



このような状況を踏まえて、今回 D111 型ガイドブロックが導入されました。このガイドブロックでは、111 圧し川井型マルチアンビル装置の対向する上下の二段目アンビルを油圧によって独立に駆動することによって、高圧下でよく制御された変形実験を実現することができます。このタイプの装置は、ここ数年の間に国内の複数の研究機関に相次いで設置されていますが（GRC ニュースレター No. 54 をご参照ください）、今回のものは最もサイズが大きく、耐荷重も 10 MN、最高差動ラム荷重は 4.6 MN と最も大きくなっています。この D111 型装置によって D-DIA 型装置での上限圧力を大きく超える約 30 GPa までの変形実験が可能であることがすでに示されています。今回導入されたガイドブロックによって初めて、このような実験を SPring-8 の高輝度 X 線と組み合わせることが可能になります。このことは、これまで難しかった下部マントルの温度圧力条件でのよく制御された定量的な変形実験が可能であることを意味します。今後、この装置が種々の地球深部物質の変形・流動特性についての研究において大きな役割を果たすことが期待されます。

今回の D111 型ガイドブロックを使った実験のためには、先立ってガイドブロック交換作業を行う必要があります。交換作業では、SPEED-MkII プレスにねじで固定された D-DIA 型ガイドブロックを取り外し上下の各ガイドブロックをそれぞれチェーンブロックで吊り上げて撤去します。その後、D111 型の上下の各ガイドブロックをチェーン

ブロックを使って設置し、プレス本体に固定します。こうしてはじめて実験が可能になります。また、実験後は同様な作業によって D111 型ガイドブロックを撤去し D-DIA 型ガイドブロックを設置し直す必要があります。重さ数 100 kg の重量物であ

るガイドブロックの交換は大仕事ではありますが、SPring-8 のテクニカルスタッフの方々などにご協力いただき、半日のうちに安全に済ませることができています。(西原遊)

## 共同利用・共同研究拠点 (PRIUS)

### ❖ PRIUS 利用者の声



“ Probing the phase stability and thermoelasticity of transparent and reinforced nanoceramics consisting of birefringent crystals at high pressure and temperature”

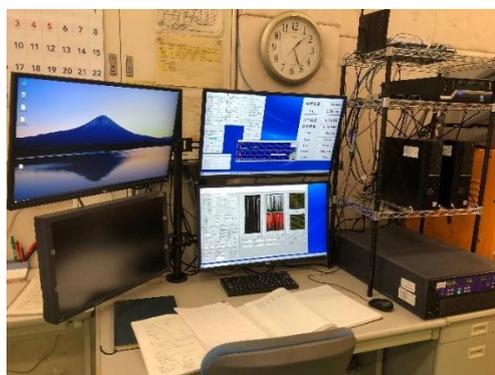
My research interests lie in synthesizing novel functional materials and investigating their mechanical, optical and electronic characteristics. I mainly use high-pressure, high-temperature (high-PT) techniques, such as the large volume press, for the materials synthesis. Probing the phase stability and thermoelasticity of functional compounds at high-PT using ultrasonic interferometry and synchrotron X-ray diffraction techniques offers an interesting way to get information on several important material parameters, such as bulk and shear moduli, hardness, and more. The challenging experiments at the BL04B1 beamline at SPring-8 are only possible. Thanks to the collaboration with Profs. Gréaux and Kono from the GRC, who greatly support us in all steps of the project. As our latest collaboration, we have investigated the thermoelasticity of a synthetic transparent and reinforced aluminosilicate nanoceramic composed of triclinic kyanite with minor amounts of  $\alpha$ -alumina at high-PT (Gaida et al. 2018, 2021). Based on our data, we predicted the elastic moduli of aluminosilicate ceramics by a linear function of the ratio of  $AlO_6$  octahedra and  $SiO_4$  tetrahedra within the constituting phases (Gaida et al. 2021). Besides, the elastic data was applied to estimate the material hardness using an elasticity model. Combining ultrasonic and synchrotron

techniques at extreme pressure and temperature conditions is a great tool to probe the thermoelasticity and assess mechanical properties of yet unquenched high-pressure phases. (Nico Alexander Gaida: Assistant Professor, Department of Materials Physics, Nagoya University)

N.A. Gaida, S. Gréaux, Y. Kono, H. Ohfuji, H. Kuwahara, N. Nishiyama, O. Beermann, T. Sasaki, K. Niwa, M. Hasegawa, Elasticity of nanocrystalline kyanite at high pressure and temperature from ultrasonic and synchrotron X-ray techniques, *J. Am. Ceram. Soc.*, 104, 635-644 (2021). <https://doi.org/10.1111/jace.17464>

N.A. Gaida, N. Nishiyama, A. Masuno, U. Schürmann, C. Giehl, O. Beermann, H. Ohfuji, J. Bednarcik, E. Kulik, A. Holzheid, T. Irifune, L. Kienle, Transparent polycrystalline nanoceramics consisting triclinic  $Al_2SiO_5$  kyanite and  $Al_2O_3$  corundum, *J. Am. Ceram. Soc.*, 101, 998-1003 (2018). <https://doi.org/10.1111/jace.15281>

### ❖ 超高圧装置の遠隔操作通信環境の整備



2020年の年明けから現在まで続いている新型コロナウイルスの世界的な感染拡大のため、PRIUS ユーザーがGRCに来所して装置・機器類を使用することが困難になっています。来月の出張可否状況も見通せない昨今の状況では、思い通りに研究計画も進みません。GRCスタッフがPRIUSユーザーの

代わりに代理実験等を行うのは1つの解決方法ですが、特に高圧実験を依頼するのに躊躇するユーザーは多いのではないかと思います（手間を考えると遠慮してしまう、やっぱり実験は自分でやりたい、等の理由で）。

高圧実験において、セル組み完了後で最も時間を要する作業は、高圧下における加熱プロセスだと思います（私見ですが）。ブローアウトがいつ起きるか分からない高圧下での加熱時には、発生温度だけではなくヒーターの電流、電圧、抵抗値を常に監視する必要があります。そのため、数時間～24時間の加熱保持中では、加熱用PC用モニタの前に誰かが座り続けていることとなります。これは、実験要員が豊富であればさほど問題とはなりません、人手不足のラボの場合には大きな問題です。管理者がなかなか実験室にまでユーザーの実験の様子を見に足を運べないケースも想定されます。

そのような問題に直面していた私は、以前よりPCを介した装置の遠隔操作に興味をもっていました（素人ですが）。PC間のリモート操作を最も容易に実現するには、商用のリモートアクセスソフトを導入することでしょう。そのようなソフトでは、クラウド上のサーバーを介してソフト独自のIDを各PCに割り振ります。そのため、IPアドレスを始めとしたルーター設定を気にせずにクラウドを介したリモート操作が可能となります。その気軽さからか、新型コロナウイルス感染拡大を契機としてリモートアクセスソフトのビジネスは一気に拡大したそうです（テレワーク環境構築のため）。そ

のためか、最近ではソフトのライセンスが有料となったり、値上がりしているように見受けられます。勿論、セキュリティの観点からも商用リモートアクセスソフトの選択には注意を要します。

テレワークが推奨されている今日では、VPN（Virtual Private Networkの略）という言葉に耳にすることもあってはいませんか。これは、ゲストPCが遠隔地にあるルーターとの間に”仮想的なトンネル”を構築することで、あたかも遠隔地のオフィス内のイントラネットワークと繋がる通信方法のことを指します。VPNの初期設定には難しい点や注意を要する点（特にセキュリティ）が多数ありますが、既述の商用リモートアクセスソフトよりも通信が速いというメリットがあります。そのため、遠隔での加熱実験といった用途にはVPN通信がより適していると思います。

昨年度より、GRCに設置されているD-DIA型変形装置MADONNAの制御用PCをリモート操作に対応させることで（写真：一見、何の変哲もありませんが）、高温高圧実験における一部の作業を遠隔操作可能とする試みを進めています。既に一部のPRIUSユーザーの実験に供しており、いずれも加熱プロセスの遠隔制御や昇圧・減圧時の遠隔監視に成功しています。今後は、操作性とセキュリティの観点から、遠隔制御システムの最適化を図っていく予定です。（大内智博）

編集後記：フレッシュな2名の若手教員を迎え、GRCの新たな研究の進展が期待されます（T. I & Y. M.）。