



文部科学省科学研究費補助金「学術変革領域研究(A)」(令和2~6年度)

超秩序構造科学

NewsLetter No. 6 (6号)

URL: <http://www.hyperordered.org/>

◆領域代表より◆

令和5年度の上半期の大きなイベントは中間評価であり、私自身は多くの時間を資料作成で費やしました。メンバーの方々にも多大なご協力を戴き、報告書とヒアリング用の動画、補足資料は大変良いものが作成できたと思います。中間評価の締めくくりとなるヒアリングも10月24日に終え、これまでの領域活動を総括できたと考えています。そのような意味では、今後、取り組むべき課題もクリアになりました。残り1.5年ですが、これからが真の後半戦と言えるかもしれません。宿題は山積みですが、何とか期間内にやり遂げていきたいと考えています。領域の掲げる「超秩序構造」とは、Disorder in Order と Order within Disorder、すなわち、結晶中の複合欠陥(特異構造)やガラスの中の結晶トポロジーと定義しています。第6回領域報告会では、領域の内部評価者である雨宮慶幸先生が“Disorder”を“自由”と読み替え、「秩序の中の自由」と「自由の中の秩序」とお話しされていました。自由も秩序も人が社会で幸福に生きていくには必要なものですが、物性科学に例えると、社会は材料で幸福は機能と置き換えられそうな気がします。こう考えると、我々は知らない間に、哲学的な香りのする奥深いテーマに取り組んでいたのかもしれません。学理構築は難しい課題ですが、そのような考え方も一つの手がかりになると思います。なお、今年度上半期は、以下に紹介するフランスでの会議を含め二件の国際会議を企画・開催しました。これらの学会では、多くの若手に口頭発表する機会を与えましたが、その経験が今後に活かされることを祈っています。



◆計画班紹介：A02-2 手法（構造）班◆

私たちの班は、A02-1班同様、超秩序構造の解明に必要な計測手法の開発及び運用に携わっています。本班の特徴は、マクロ及びマイクロ（ナノ）の両面から超秩序構造を有する物質群に迫ることです。本班の課題は以下の3つです。

【課題1】微小重力下及び地上でのマクロスケール物性計測

【課題2】硬X線光電子ホログラフィー装置開発

【課題3】原子配列／電子構造同時計測

課題1は、ガラスについて主にマクロな計測を行うもので、A02-1班で計測される原子スケールの計測と合わせて総合的にガラス内の超秩序に迫ります。具体的には研究ピックアップに詳述する宇宙ステーションを利用した高温溶融ガラスの物性計測とNMRや陽電子消滅法等、最先端の地上装置群を用いたガラスの構造計測を実施しています。後者においては、ゼオライトを出発原料とする非晶質SiO₂の永久高密度化、多様なリン酸塩ガラスの局所構造解析や発光特性評価、あるいは、ガラス、結晶、セラミックスなど様々な固体材料において陽電子寿命測定に基づいた構造・物性との相関等を対象として研究を進めています。

一方課題2、3は、X線光電子ホログラフィーを用いて結晶に内包する超秩序構造の原子配列や電子構造を計測する研究です。課題3では、これまでに開発しSPring-8に設置した軟X線対応の装置を用



A02-2班代表 石川 毅彦
(宇宙航空研究開発機構)

いて、公募班を含めた多様な試料について計測を行っています。エネルギー分解能を格段に向上させる事に成功した上、試料の温度環境を可変にする機能を付加する等、装置の改良を進めながら、エキゾチック超伝導候補物質やダイヤモンドパワーデバイスの界面欠陥の原子構造計測等を進め、科学的な成果を創出しています。

課題2ではより多くの試料に対応するため硬X線対応の光電子ホログラフィー分光装置の開発を実施しています。右図に、開発中の装置を示します。研究最終年の来年度には、本装置を SPring-8 に搬入して、測定を開始すべく、開発を進めています。A02-1 班同様に、本班で得られた原子構造・電子構造及びマクロスケールのデータは他の班と共有され、超秩序構造の多角的な解析が実施されています。

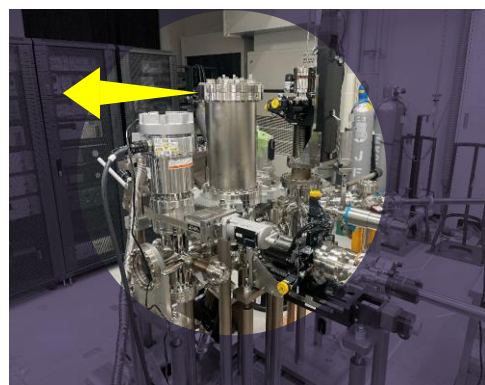


図 開発中の硬 X 線光電子ホログラフィー装置の外観とアナライザーの詳細

◆論文・受賞など◆

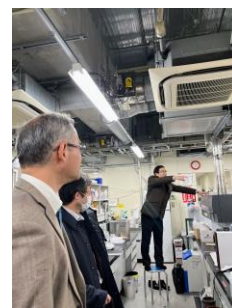
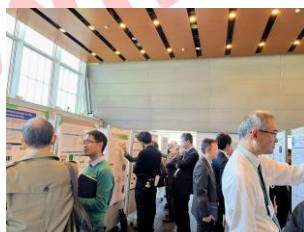
後述の研究ピックアップで紹介する成果も含め、2023 年度前半には 51 報の論文発表がありました。また 7 件の受賞がありました。詳細は領域ホームページ（研究成果ページは右 QR コード）をご覧ください。



◆イベント報告◆

1. 報告会

第 5 回成果報告会（2023 年 11 月 17, 18 日）が東京大学にて行われました。95 名が参加し、口頭、ポスター発表を通じて活発な議論が行われました。評価者の先生方からは、研究成果、とくに連携研究の発展状況について評価いただいたとともに、超秩序構造の学理構築へ向けたより一層の邁進への激励をいただきました。フォレスト賞（若手の優秀ポスター賞）には豊田竜一朗氏（名古屋工業大学）と Zhou Zimu 氏（東京大学）が選ばれました。また、今回の開催担当者の協原の所属する大久保・協原・伊與木研究室のサイトビジットが行われ、ゼオライトの高速合成装置や分析装置により研究が活発に行われている様子を見学しました。



2. 研究会・ワークショップ・チュートリアル

超秩序構造科学若手の学校

日時：2023 年 7 月 22 日(土)～7 月 23 日(日)

会場：大阪大学中之島センター

第 3 回目となる若手の学校を開催しました。現地での開催でしたが、学生を中心に 76 名が参加し大変盛況となりました。4 件の基礎講座および 4 件のチュートリアル（演習）、最



新の研究に関する2件の講演に加え、今回は、領域アドバイザーである秋光純先生から講演して頂く機会を得ることができました。若手参加者を中心に30件のポスター発表もあり、現地ならではの活発な議論がなされていました。若手の優秀ポスター発表に送られるForest賞を鈴木友真氏(東京理科大学)、齋藤智基氏(埼玉大)が受賞しました。本学校の参加者にとって、最先端の研究に触れるとともに若手同士の横のつながりを作る良い機会になったと思います。

第17回 物性科学領域横断研究会(領域合同研究会)

日時： 2023年11月24日(金)~11月25日(土)

会場： 名古屋工業大学

物性科学に関連した14件の新学術領域研究、学術変革領域研究(A)および学術変革領域研究(B)が合同で開催する研究会で、今回は本領域がオーガナイザーを務めました。国内における物性分野の最前線の研究を幅広く学ぶとともに、関連分野間の交流を促進する良い機会となりました。本領域からは領域代表および計画班の谷口、松下による口頭発表や若手研究者7名によるポスター発表が行われ、手跡雄太氏(京大)が若手奨励賞を受賞しました。

3. 国際ワークショップ

International conference on complex orders in condensed matter: aperiodic order, local order, electronic order, hidden order

日時： 2023年9月24日(日)~9月29日(金)

会場： VVF Les rives du lac (Evian, France)

本会議は新学術領域「ハイパーマテリアル」およびInternational Research Network Aperiodicとの共同開催で執り行いました。SIMaPのMarc de Boissieu先生はじめ現地オーガナイザーの先生方のご助力のもと、合計123名(うち41名が本領域メンバー)の参加者に恵まれ、これまでの領域主催の国際会議では最大規模のものになりました。



国際的な交流はもちろん、普段話をする事のない準結晶の分野の研究者と議論の場を持つことが非常に新鮮で、新しい共同研究のきっかけにもなりました。Young Scientist Awardとして、本領域から慶應義塾大学の村重博美さん(口頭発表)、広島大学のXinhui Zhanさん(ポスター発表)、東京大学のE M K. Ikbali Ahamedさん(ポスター発表)が選出されました。

◆今後の予定◆

1. 第6回成果報告会

日時： 2024年3月4日(月)~3月5日(火)

会場： 岡山大学

◆ニュースレター担当より◆

本ニュースレターでは本領域での活動をできるだけ発信していきたいと考えております。重要な研究成果、関係する研究会の開催予定や活動報告などありましたら、ニュースレター担当までお知らせください。
(志賀元紀・東北大学) (中田彩子・物質・材料研究機構)

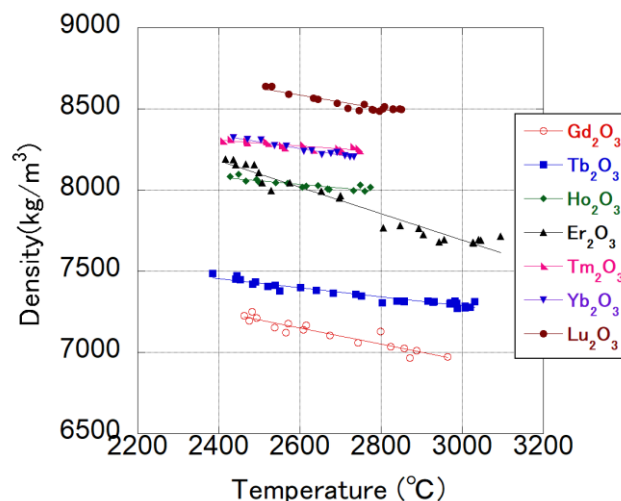
◆研究ピックアップ◆

1. 国際宇宙ステーション (ISS) を利用した実験により、超高温の希土類酸化物融体の物性計測を実施しています。

T. Ishikawa, P.-F. Paradis, C. Koyama, *Frontiers in Materials* **9**, 954126 (2022).

融点が 2000°C を越えるような物質を通常の容器を用いる方法で溶かすことは非常に困難です。国際宇宙ステーションが提供する微小重力環境では小さな力で試料を浮遊させることが可能で、容器（坩堝）を用いることなく熔融試料を保持できます。私たちのグループでは、クーロン力を用いて試料位置の制御を行う「静電浮遊炉」を開発して、超高温融体の物性計測を進めています。

一例として、希土類酸化物融体の密度計測結果を示します（右図）。希土類酸化物は、融点が 2,400°C 以上と非常に高く、これまでほとんど密度の実測例がありませんでした。無容器状態を用いることにより、温度は 3,000°C 以上に到達し、幅広い温度範囲で測定ができました。この技術を用いて、A02-1 班と共同でガラスになる組成／ならない組成が共存する酸化物試料（MgO-SiO₂系など）の物性計測（密度に加えて粘性係数）を進めています。



2. マイクロ波によるゼオライト細孔内イオンの原子レベル選択加熱の実証に成功しました。これらの知見を蓄積して「動的超秩序構造」の学理構築を目指しています。

F. Kishimoto, T. Yoshioka, R. Ishibashi, H. Yamada, K. Muraoka, H. Taniguchi, T. Wakihara, and K. Takanabe
Science Advances **9**, eadi174 (2023).

マイクロ波による固体触媒加熱は、産業電化に向けた有力な戦略の一つとして注目されています。特に、マイクロ波は双極子や荷電粒子の振動運動を誘起することで、局所的な高温場を創り出すことができます。究極的には、マイクロ波によって荷電粒子の加熱状態を制御し、触媒反応を自在にコントロールすることが期待できます。

我々のグループでは、A01 班の谷口先生、脇原先生と共同で、マイクロ波によるゼオライト細孔内アルカリ金属イオンの選択加熱に基づいた、メタン酸化反応の速度・選択性の飛躍的向上に成功しました。SPring-8, BL04B2 でのマイクロ波照射下 in situ 硬 X 線全散乱測定を実施し、マイクロ波によってアルカリ金属イオンが原子レベルで加熱されており、特異な変位が生じていることを突き止めました。これらの結果は分子動力学シミュレーションを組み合わせることで実証しています。

我々は、マイクロ波によるイオンの選択的加熱場を、熱的非平衡な局所振動状態「動的超秩序構造」として学理構築を目指しています。これにより、触媒活性点に熱エネルギーを集中させ、革新的な触媒反応の実現や、プロセス全体の省エネ化が期待できます。

