

2022 年第 83 回応用物理学会秋期学術講演会シンポジウム (T8) 報告

「先端計測と機能性酸化物研究の共進化」

Co-evolution of advanced analysis and functional oxide research

主催：機能性酸化物研究会（大分類 6 薄膜・表面）

日時：2022 年 9 月 22 日（木） 13:30-18:00

会場：ハイブリッド開催（東北大学川内キャンパス+オンライン）

世話人：組頭広志（東北大）、松野 丈夫（大阪大学）、上野 和紀（東京大学）、秋永
広幸（AIST）、田中 秀和（大阪大学）、中川原 修（KRYSTAL 株式会社）、小塚裕介
（物材機構）、島 久（産総研）

物質・材料の開発過程においては、様々な計測・評価を組み合わせる必要がある。このことについては論を俟たないが、近年、その組み合わせ方が急速に進化・拡大している。特に、計測技術の高度化・普遍化・標準化に伴って、少し前には「高嶺の花」だった先端計測が、今や物質・材料研究において当たり前のように使用されている時代になってきている。このことは、近年の論文における本文や Supplemental Materials をみれば一目瞭然であろう。逆に言うと、これらの先端計測を有効活用しなくては、一流の研究成果にはならない時代になりつつあることを示している。そこで今回、「先端計測と機能性酸化物研究の共進化」と題したシンポジウムを企画し、放射光をはじめとする先端計測を臨機応変に使いこなしながら機能性酸化物研究を先導している研究者の方々に、その最前線について講演を行っていただいた。

タイトルにある「共進化」という言葉は、生物学の用語で「2種以上の生物が互いに依存して進化すること」である。そのため、本シンポジウムでは、相互作用を通じて共進化していく機会を提供することを目的として、講演者は「先端計測を用いながら物質開発を行っている研究者」と「物質開発に役立つ先端計測手法を開発している研究者」が半々になるように構成した。さらに、講演者の方々には、単なる情報交換に留まらないように「共進化」を加速させるためのコメントなどをいただけるようにあらかじめ依頼させていただいた。

最初は、**東大工 大矢忍**先生から「強相関酸化物スピントロニクスの実現に向けて：放射光の役割」という題目で、強相関酸化物スピントロニクスデバイス開発の最先端と、その開発過程における先端計測の重要性についてご講演いただいた。分子線エピタキシー (MBE) 技術で作製した高品質 $(\text{La,Sr})\text{MnO}_3/\text{LaTiO}_3/\text{SrTiO}_3$ 界面に発現する 2次元電子ガス (2DEG) を用いて世界最高効率のスピンの電流変換を実現するだけに留まらず、放射光を用いた共鳴角度分解光電子分光より界面 2DEG のバンド構造を特定し、バンド計算結果と比較することでその出現メカニズムまで解明するに至った内容であった。続いて、**東北大金研 藤原宏平**先生から、「コランダム類縁構造酸化物の薄膜物質開発と物性評価」という題目で、物質開発におけるターニングポイントにおいて、放

射光分光が決定的な役割を果たしてきたこと、物質コンセプトを理解するために先端分光が有効である事を、研究成果と共にご講演いただいた。特に、物質開発の中で、どこで・どのように・どのような先端分光を使ってきたかを研究開発の経緯を含めてお話しいただいた。続いて、**京大化研 菅大介**先生から、「新規スピネル酸化物薄膜の開発と磁性制御スピネル酸化物」という題目で、放射光を用いた X 線吸収分光 (XAS) および X 線回折 (XRD) を駆使した物質設計についてご講演いただいた。スピネル酸化物の機能においては、2 種類の遷移金属が異なるサイトでどのような電子状態を持つかということが重要である。これらの情報を得るために、元素選択性をもつ放射光 XAS と XRD (共鳴 X 線散乱) を駆使した結果についてご紹介いただいた。なかでも、XAS の価数選択性を用いて磁気円二色性 (XMCD) によりサイトと価数 (化学状態) 毎に区別した磁化評価など、先端計測が物質設計に有効である事を改めて認識した。続いて、**産総研 野崎友大**先生から「放射光を利用した酸化物反強磁性体薄膜材料の開発」という題目で、反強磁性スピントロニクス材料開発における先端計測の利用例についてご講演いただいた。薄膜は容積が小さいため、反強磁性薄膜については磁化測定などのマクロ物性では特性評価できないという問題がある。そこで、XMCD を用いて界面の寄生磁化を測定することで反強磁性を評価するという新たな計測法を、材料開発に応用した例について紹介していただいた。物質設計側の要請に基づいて、計測側が測定方法を開発し、その手法を用いて物質設計にフィードバックする「共進化」の具体的な事例であった。続

いて、**名大工 山田智明**先生から、「放射光時間分解 XRD による強誘電体ナノ構造の電場応答の解明と制御」という題目で、強誘電体ナノ構造の動作時（電場下）の様子を時間分解 XRD で可視化し、強誘電体開発にフィードバックした内容についてご紹介いただいた。こちらも、物質設計と先端計測との「共進化」の例として、今後の物質開発のあり方を示す講演であった。

ここまでは、物質開発を行っている研究者が先端計測を有効活用している内容、もしくは物質開発に必要な手法を先端計測側が提案し、共同で研究を進めている内容の講演であった。一方、後半は、将来の共進化に向けた新たな計測法の紹介となった。始めに、**東北大学際研 鈴木博人**先生から「共鳴非弾性 X 線散乱による酸化物研究の新展開」という題目で、近年発展の著しい共鳴非弾性 X 線散乱（RIXS）の原理から、世界の放射光施設における開発状況、および東北大学キャンパスに建設が進んでいる次世代放射光ナノテラスでの計画について、RIXS による酸化物研究の内容を交えて、ご講演いただいた。RIXS は、Photon-in/Photon-out の計測手法でプローブ長も大きいため、雰囲気下での測定が可能であり、また、数ミクロンサイズでの試料でも測定出来ることから、将来の「共進化」にむけた議論が活発に行われた。続いて、**兵庫県立大 和達大樹**先生から「酸化物磁性のスピンダイナミクス観測」という題目で、レーザー、放射光、自由電子レーザーを駆使した磁化ダイナミクスの研究について、時間分解測定 of 歴史を紐解

きながら、詳しく紹介いただいた。時間分解軟 X 線散乱や時間分解 XMCD による電荷移動と磁化のダイナミクス解明についての講演を受けて、将来の共進化にむけた議論が活発に行われた。最後に、**東芝ナノアナリシス 田口宗孝**先生から「HAXPES を用いた酸化物薄膜評価」という題目で、HAXPES を用いた酸化物薄膜の解析例について原理も含めてご講演いただいた。HAXPES というと、表面状態を余り気にすることなく X 線光電子分光ができることから、物質研究者の人口に膾炙した手法であるが、X 線の全反射を用いることで表面・界面数 nm の情報が得られる全反射 HAXPES という新たな手法について紹介いただいた。表面・界面付近と内部の情報を一度に測定出来るとあって、今後ますます応用の範囲が広まると思われる。

以上のように、機能性酸化物開発から先端計測開発までの多岐にわたる内容について、最先端の研究、今後の展望が示された。会場である東北大川内キャンパスの近くで、次世代放射光施設の建設が進んでいるという非常に良いタイミングでの開催になり、この分野周辺の研究者にとっても、自分の研究における共進化を模索するよい機会になったと考える。シンポジウム開始時期から最後まで、80 名程度（会場 40 名、オンライン 40 名程度）の聴衆が参加しており、大変盛況であった。同時間帯に、大分類 6 薄膜・表面のポスターセッションと重複してしまったため、学生さんなどがそちらに流れてしまったのが反省点で、もしポスターセッションがなければ倍程度の参加者になったと思われる。

る。一方で、「共進化」を検討する立場にいる PI クラスの方が多数参加してくれたため、シンポの目的はほぼ達成できたと考える。

最後に、このように有意義なシンポジウムを開催できたことは、講演者の皆様、聴講者の皆様、多大なご支援を頂いた応用物理学会事務局方々のおかげであり、この場を借りて深く感謝申し上げます。