

可視光からX線によるイメージング ―その汎用性の探求―

世話人：和達大樹（兵庫県立大）、豊田智史（東北大）

可視光やX線による実験手法の急速な発展・拡大により、空間分解したイメージング測定が汎用的なものとなりつつある。物質科学・材料科学においては、物質の空間平均した状態（電子状態、元素分布、相構造）だけでなく、その局所的な状態が大いに研究されるようになってきている。測定を期待されるものには、レーザー照射による磁区の変化、触媒表面の化学反応、電子の動作などの機能材料や、高分子や鉄鋼材料などの構造材料の機械特性発現などと範囲が極めて大きくなっている。空間情報を得ることにより、物質・材料中の状態の不均一性が可視化される。そして、平均情報では得られない知見を得ることにより、現在頭打ちの性能指数にブレークスルーをもたらすことが期待される。本シンポジウムでは、X線、レーザーを用いた基礎研究と、これらの商品化・汎用装置化などの応用研究の双方の立場から最新の話題をご紹介いただいた。招待講演8件と一般講演2件の合計10件の講演が行われた。

和達大樹（兵庫県立大）は「オープニング」としてイントロダクトリートークを行い、本シンポジウムの目的と意義を説明した。

齋藤広大（ナノフォトン（株））は「ラマン顕微鏡の最前線：実験室でもここまで出来る、物質の分析イメージング」と題する招待講演を行った。可視光域のレーザー光を光源とするラマン顕微鏡の原理、およびナノフォトン社製品の特徴について説明した。ナノフォトン社製品は、ライン状に集光したレーザー光を用いて、複数箇所のラマンスペクトルを一度に測定することで、イメージング速度を速めていることが特徴である。この製品を利用した代表的な測定例を紹介した。続いて最近の展開として、紫外光を利用した事例を紹介し、共鳴ラマン効果や分析深さの違いを示した。最後に、新しいレーザー走査方法として、揺らぎを利用したランダム走査を紹介し、従来のラスター走査と比較して測定時間を大幅に短縮できることを示した。

大森崇史（島津製作所）は「実験室系 X 線分光装置を用いた化学状態分析の活用事例」と題する招待講演を行った。放射光施設に行かずにXAFS分析が可能な、簡便で安定性の高いXRF分析装置として、同時多波長分散型蛍光X線分析（PS-WDXRF）装置を開発した。特徴として、分光結晶の発散方向に一次元検出器を配置して特定波長範囲の蛍光X線を同時取得することで結晶と検出器の駆動をなくして装置の安定性を高めている。本講演では、電池分野などの活用事例を紹介した。

大垣智巳（キヤノン MJ）は「ラボ用 X 線吸収分光装置について」と題する招待講演を行った。これまで、X線吸収分光は、エネルギー可変で高輝度なX線が得られるシンクロトロン放射光施設を光源としておこなわれてきたが、最近、ラボ装置のX線源のターゲットを微細構造にすることにより、高輝度でX線エネルギー選択可能なX線の発生が可能となった。ラボ用に開発されたX線吸収分光装置について報告した。

佐藤龍（日鉄テクノロジー）は「SAICASの斜め切削機能を活用した薄膜のイメージング」と題する招待講演を行った。表面界面切削解析装置（SAICAS）による材料表層の極低角度斜め切削機能と、TOF-SIMS、Raman、AESなどの各種表面分析装置を組み合わせた分析技術を活用したフィルム、テープなど

の薄層や界面イメージングや、電池材料の活物質剥離面イメージング事例を紹介した。

豊田智史（東北大）は「4D-XPS 計測ビッグデータの逆解析による多層積層膜に埋もれた界面の高解像度可視化」と題する一般講演を行い、XPSの膨大なデータから、界面状態の時空間分解された姿を明らかにした。

このように午前中の企業の研究者らの講演により、汎用装置化されたイメージング測定の実力が生き生きと感じられた。午後の講演はそれに対し、大学の研究者らから、物質への様々な興味から光によるイメージングへの展開が示された。

中西洋平（京大）は「軟・テンダーX線を用いたポリオレフィン材料の構造解析」と題する招待講演を行った。軟・テンダーX線を用いたイメージング研究例として、微小部X線蛍光分析（ μ -XRF）マッピングによる加硫ゴムの硫黄／亜鉛の空間分布および相関解析、走査型透過X線顕微鏡（STXM）によるポリエチレンのサブミクロンスケールでの構造解析、斜入射テンダーX線回折によるポリプロピレン薄膜の深さ方向構造解析に関して紹介した。

飯浜賢志（東北大）は「超短光パルス照射下での磁気イメージング」と題する招待講演を行った。超短光パルス照射下における磁気光学イメージングについて原理的なところから最近の計測手法、最近の実験結果について簡単に紹介した。超短光パルスを利用した計測により光誘起磁化反転の観測やスピン波伝搬の時空間ダイナミクスを計測できる。これらに加え、円偏光を利用することで光の強度だけでなくヘリシティの向きによって金属強磁性体薄膜の磁化ダイナミクスを制御できるという最近の研究結果についても簡単に説明した。

高橋龍之介（兵庫県立大）は「レーザー照射された NiCo_2O_4 薄膜の磁区の時間空間分解」と題する一般講演を行い、酸化物薄膜におけるレーザー励起磁化反転について報告した。

永村直佳（物材機構）は「X線光電子分光によるイメージング～放射光軟 X 線を活用したデバイス構造の顕微オペランド分析～」と題する招待講演を行った。各種界面における不均一性が特性を左右する微細デバイス構造において、電荷移動の空間イメージングは材料・デバイス設計に重要な指針を与える。我々は、試料に電場を印加しつつ高空間分解能でXPSマッピング計測が可能な「放射光軟X線走査型オペランド顕微分光装置」を開発した。講演では、この装置の仕組み、トランジスタや電池等の構造内部における界面電荷移動空間分布の分析事例、計測インフォーマティクスによる測定データの高効率解析の取り組みなどに関して紹介した。

阿保智（阪大）は「レーザ加熱焦電結晶を用いたポータブル X 線源・中性子源の開発」と題する招待講演を行った。焦電結晶をレーザで加熱し、結晶両端に発生する高電圧を電子の加速に用いる安全性と可搬性を兼ね備えた超小型X線源の開発状況について報告した。レーザによる結晶加熱時と自然冷却時のX線のエネルギースペクトル、対向電極の電流とX線量の時間変化について報告した。真空チャンバー末端よりX線を取り出し、透過像撮影が可能であることを示した。ガラス管に焦電結晶を封入した超小型X線源を作製し、光ファイバー経由のレーザによってX線発生が可能であることを示した。また、発展研究として、同様の構造で、重水素ガスを雰囲気ガスとし、対向電極に重水素化ポリマーを塗布するこ

とでD-D反応による中性子の発生が可能であることを示した。

最後に午後の講演者をパネラーとしたパネルディスカッションを行った。汎用装置を大学などにおける共用装置として導入することや、大学での研究を汎用化することの重要性などが特に話し合われ、イメージング分野における大学と企業の研究者の緊密な連携の必要性を強く感じる事となった。

このように一日を通じ、大学と企業などの立場から、様々なイメージング研究の現状と課題、将来の方向性について討論することができた。常に 40人程度の出席者による非常に有意義なシンポジウムとなった。その一方で、本シンポジウムで取り上げることのできなかつた装置や実験手法も多く、今後のさらなるシンポジウム企画の必要性も感じた。

本シンポジウムは、応用物理学会の 7.ビーム応用大分科の提案により実施された。同大分科傘下の量子ビーム界面計測セッション (7.4) および研究会「量子ビームによる表面界面の光機能探究研究会 (光機能研究会)」の関係者がプログラムを立案企画した。今後も、異分野で活動する研究者との交流により、新しい研究分野が開拓されることを目指したいと感じている。光機能研究会は毎月ミニ研究会をオンラインで開催している。詳しくは、ホームページ(<https://annex.jsap.or.jp/opt/>)をご参照下さい。

