

T9 「協奏的量子ビーム利用による実用材料研究のススメー新しいビームはいかがですかー」

日本では放射光 X 線、中性子、ミュオン、陽電子といった量子ビーム実験が可能で、世界的に見ても稀有な環境にある。近年は、実験技術の革新やサイエンスの多角的知見の定着によりマルチプローブ研究といった量子ビームの協奏的利用が学生にも多く取り入れられるようになった。放射光 X 線の利用者は多いが、その他のビームに関して先端的な情報を得る場はそう多くない。中性子では高強度ビームの実現により回折実験の試料量は mg オーダーとなり固定観念が変わりつつある。現在では実用材料の物性や膜表面から界面に関するトピックに対し、量子ビームの協奏的利用により多角的な研究が行われている。本シンポジウムでは、大型施設を利用する量子ビーム実験として超伝導体を始めとした実用材料から先端的利用方法に関して紹介し、議論を行った。招待講演 8 件と一般講演 6 件の合計 14 件の講演が行われた。以下、敬称略。

本田孝志 (KEK 物構研) 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。

長嶋泰之 (東京理科大) は「低速陽電子ビーム技術の新展開」と題する招待講演を行った。低速陽電子ビーム実験のイントロとして陽電子施設の紹介及びビーム生成に関するところから、最表面原子層の構造解析手法として近年注目されている全反射高速陽電子回折 (TRHEPD) や表面の電子スピン偏極率の直接測定、レプトン束縛系 (ポジトロニウム負イオン、 Ps^-) に関する研究が紹介された。

雨宮健太 (KEK 物構研) は「偏極中性子反射率と X 線磁気円二色性による強磁性/反強磁性界面におけるねじれた磁化の観察」と題する招待講演を行った。磁性薄膜におけるマルチプローブ研究として、偏極中性子反射率法と深さ分解 X 線磁気円二色性の組み合わせによる薄膜界面付近の観察に関する研究が紹介された。適切なプローブを選び相補的に利用することで、表面付近から埋もれた界面まで明らかにできることが示された。また KEK 物構研で 2020 年 4 月に発足した量子ビーム連携研究センター (CIQuS) の取り組みも紹介された。

豊田智史 (東北大) は「多層積層膜に埋もれた界面反応可視化のための 4D-XPS 計測データ逆解析ソフトウェア開発」と題する講演を行った。大型放射光施設では大強度・ビーム集光により面内・深さ方向分布・時系列という 4 次元時空間計測ができるようになってきたが、ビッグデータ化に伴いソフトウェア開発も重要になってきている。4 次元時空間 X 線光電子分光 (4D-XPS) 法におけるソフトウェア開発として、100 万本のスペクトルフィッティング処理を 30 分程度で可能にした等の実例が紹介された。

高山あかり (早稲田大) は「陽電子と光子を用いた量子ビーム協奏利用による原子層物質の構造・電子状態の解明」と題する招待講演を行った。原子層物質において、表面敏感な構造解析手法である全反射高速陽電子線回折 (TRHEPD) と光子を用いた角度分解光電子分光実験 (ARPES) による電子状態の観測といったマルチプローブ研究が紹介された。どちらも表面敏感であることに加え、構造がわからないと物性の起源解明が難しいという点から相性がいい組み合わせとなっている。また、Pb/Si(111)におけるモザイク相の構造解析例も紹介された。

山本航平（分子研）は「X線の時間構造を使ったスピンドYNAMIKSの研究」と題する招待講演を行った。SPring-8とX線自由電子レーザーSACLAとを組み合わせたポンプ・プローブ法による光誘起磁化ダイナミクス（MOKE）測定から光誘起の消磁ダイナミクスを明らかにした例も紹介された。

鈴木秀士（名古屋大）は「XANAMによるSi-Ge量子ドットにおけるX線誘起力変化の調査」と題する講演を行った。非接触原子間力顕微鏡（NC-AFM）と放射光X線（SR X-ray）を組み合わせたX線支援原子間力顕微鏡（XANAM）の研究として、装置改良に加え、Ge量子ドットにおけるGe吸収端近傍でのXANAM像の変化から共有結合力の変化を検出できることが紹介された。

久保田雄也（理研）は「X線自由電子レーザーを用いた低温Biコヒーレントフォノンの解明」と題する講演を行った。SACLAでの低温pump-probe X線回折装置を用いた実験が紹介され、ピスマスにおける光誘起コヒーレントフォノン（超短パルス光励起による格子の集団振動）の観測結果から格子ダイナミクスに関する議論が行われた。

足立匡（上智大）は「電子ドーピング型銅酸化物におけるマルチ量子ビームで見るスピン相関と超伝導」と題する招待講演を行った。放射光・中性子・ミュオンを用いたマルチプローブ研究の最たる例でもある、T'構造を有する電子ドーピング型銅酸化物超伝導体に関する研究が紹介された。ミュオンのイントロとして、より遅いゆらぎに敏感なNMR、より速いゆらぎに敏感な中性子散乱と相補的な関係にあるミュオンスピン緩和（ μ SR）法が紹介され、電子相関・Cuスピン相関を調べるにあたり、ARPES、中性子、ミュオンといった各プローブの使い分けに関しても紹介された。

幸田章宏（KEK物構研）は「大強度ミュオンを使った μ SR実験の新展開」と題する招待講演を行った。J-PARC物質生命科学実験施設（MLF）におけるミュオンビームラインの紹介を含め、Operando μ SRを用いたナノ結晶軟磁性材料FINEMET[®]の結晶化過程の解明や、温度・磁場といった複数外場の同時スキャンを繰り返し測定し、その後同条件のデータをマージするTransient μ SRの手法に関してCuOやLi₄Ti₅O₁₂を例に紹介された。

宮田登（総合科学研究機構）は「中性子なら「もっと」見えます〜マルチプローブに向けた中性子利用〜」と題する招待講演を行った。埋もれた界面・薄膜の構造評価に用いられている中性子反射率法に関して、J-PARC MLFのBL17及び利用可能な種々の試料環境機器の紹介から磁性薄膜界面や樹脂や粘着剤の界面といった実用材料の研究例、機能性高分子コンソーシアムによる調温調湿環境下での実験例が報告された。また、施設内連携として回折ビームラインとの連携や施設間連携として試料環境機器の共通化等、連携の重要性も議論された。

和達大樹（兵庫県立大）は「レーザー照射下でのカー顕微鏡によるGdFeCo薄膜の磁区の観察」と題する講演を行った。GdFeCo薄膜におけるレーザー励起磁化反転に関して、カー顕微鏡を用いた磁区観測結果からレーザーの偏光依存性を報告し、ポンプ・プローブ法による時間分解カー顕微鏡を用いた実験から磁区形成過程の観測も報告された。またpythonによる測定・解析の自動化に関する試みも紹介された。

竹中研人（兵庫県立大）は「ガス導入による NAP-HAXPES の帯電解消および試料表面の圧力測定」と題する講演を行った。光電子分光において絶縁体試料では光電子が放出されることで帯電され、正確なスペクトル形状が得られない。SPring8 BL24XU において準大気圧硬 X 線光電子分光 (NAP-HAXPES) を行い、試料表面が 250 Pa 以上にすることで帯電が解消されることが報告され、議論を行った。

高原 光司（兵庫県立大）は「SEM によるマイクロバブル、ナノバブルの生成と観察」と題する講演を行った。純水における電子照射によるマイクロバブルの形成過程を SEM で観測した結果が報告され、バブルの形状が半球状であることや生成から 3 日後でも生存していることも報告され、議論を行った。

田中秀和（阪大産研）は「機能性薄膜合成と量子ビーム応用」と題する招待講演を行った。機能性酸化物薄膜合成の指針として、HAXPES から電子状態を、XMCD からスピン状態を、カソードルミネッセンス顕微分光からナノスケールデバイスの位置特定電子状態を評価し、薄膜合成へフィードバックするといった研究例が紹介された。量子ビーム利用により薄膜物性の評価を行い、合成へフィードバックする協奏的研究の有用性が示された。

一日にわたり、X 線、中性子、ミュオン、陽電子といった大型施設を主に利用した研究に関して、ビームライン紹介を含むイントロから、原子層構造や磁性界面、高温超伝導体、高分子材料といった様々な研究分野での協奏的利用まで含めた内容で、情報共有及び議論が行われた。施設スタッフ、ユーザ、試料合成屋といった様々な立場から有意義な議論が行われ、各プローブの特性や適材適所での利用方法が研究例を通して示され、今後新たな協奏的利用も出てくるような分野も見受けられ、非常に期待される場所である。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、また日本放射光学会、日本中性子科学会、日本中間子科学会の後援を受けている。最後に、本シンポジウムの講演者の皆様及び聴講頂いた皆様に感謝の意を表す。

世話人：本田孝志（KEK 物構研）、和達大樹（兵庫県立大）、豊田智史（東北大）