

九州支部企画「材料分野における量子ビーム応用の進展」

九州シンクロトロン光研究センター 平井康晴

量子（光子，中性子，電子，ミュオンなど）のビームをプローブとする分析・評価技術の相補的，補完的な利用は，物性研究や材料の研究開発を進める上で必要不可欠である。そこで，今回，放射光，中性子ビーム，及び電子顕微鏡技術に関する最新動向，イメージングと回折法による材料観察・評価の具体例について講演いただき，各ビーム技術の特徴と相補い合うメリットについて横断的，融合的な議論の場を形成することを試みた。勿論，相補的，補完的な利用法は材料研究上の過程（プロセス）の話であり，例えばこれにより画期的な材料を得ることがゴールである。また，相補的，補完的な利用のためには，個々のビーム技術の独自性・有効性を明確にすると同時に，量子の物理的性質の違いによる制約を知ることが必要である。以下に，量子ビーム技術と応用について議論の要点を示す。

各ビーム技術の最新動向に関して，上坪（九州シンクロトロン光）は Spring-8 等の第三世代放射光光源により，ナノスケール，フェムト秒，可干渉性等をキーワードとする利用技術の高度化が進み，さらに新第三世代光源と X 線自由電子レーザーが稼働し始め，ERL（線型加速器タイプの光源）計画が進められていることを示した。また，日本の新第三世代光源の必要性について問題提起がなされた。一方，中性子ビーム技術の最新動向について，加倉井（原子力機構）は J-PARC の大強度パルス中性子ビームが利用可能となり，物質内部観察，軽元素識別，動的状態（素励起）観察，磁気解析等の特徴を活かした物質，材料研究の新展開が可能になる事を示した。今後，偏極中性子，集光及び検出器技術開発の進展が期待される。さらに，電子顕微鏡の最新動向に関して，松村（九大）は厚さ数 μm 級の鉄鋼材料や半導体デバイスの内部観察可能な 1MeV 以上の超高压電子顕微鏡，高空間分解能と高感度元素分析を可能とした低圧収差補正電子顕微鏡のインパクトを示した。上述の様に何れの量子ビーム技術も軌を一にして新たな展開が始まっており材料研究に与える重層的なインパクトが期待される。

材料イメージングに関しては，放射光の大強度，平行ビームは位相コントラストイメージングに適している。米山（日立）は高エネルギー X 線を用いてケーブルの金属芯線と被覆絶縁体を同時に高コントラストで三次元観察出来ることを示した。ただし太い電力ケーブルの観察等は中性子ビームによる透過イメージングが適していると思われる。一方，飯倉（原子力機構）は JRR-3 の熱中性子ラジオグラフィ装置を用いて，アルミニウムエンジン中のオイル挙動のリアルタイム画像計測（クランクシャフト 4800rpm，高速度カメラ 2000 コマ/秒）の結果を示した。これは金属に対する高透過性とオイルに対する高コントラスト性を巧みに利用したものであり，X 線イメージング法での観察は困難である。さらに，透過電子顕微鏡を用いた金属材料のナノスケールのトモグラフィー観察に関して，波多（九大）は独自の試料駆動ホルダーを開発し先進耐熱鋼中のナノ析出物の三次元観察を行って材料長寿命化の指針を見出した。ただし大気中での観察が容易な X 線 CT 法の空間分解能も向上しており相補的利用が期待される。

回折法による材料評価に関しては，木村（JASRI）は放射光 X 線の平行性，波長可変性，偏光性，パルス光等の特徴を活かし，機能発現中の材料の結晶構造解析を行うことの重要

性を述べた。一方、J-PARC に於いて汎用型中性子粉末回折装置 (iMATERIA) の整備を進めている石垣 (茨城大) は、中性子散乱能が大きい軽元素を含む材料の構造解析が可能であることを示した。例えば X 線回折法では困難な結晶格子中の Li 元素等の空間座標の情報を得ることが出来る。さらに、200keV 透過電子顕微鏡を用いた収束電子線回折法により、添田 (富士通研) は半導体デバイスの電気特性を左右する局所歪測定の結果を示した。このような実デバイスのナノ領域の歪測定は他の方法では困難である。

本シンポジウムの締め括りとして、水木 (原子力機構) は量子ビームを用いて物質・材料の物性・機能を規定する原子配列と電子状態を明らかにすることが重要であり、「不均一 (局所領域)」、「ダイナミクス」、「in situ」をキーワードにすべき事を強調した。量子ビーム技術は著しい進歩を示しており、今後、材料分野への益々の応用展開が期待される。