

核共鳴小角散乱による電子状態の微細構造観測手法の開発

北尾真司、黒葛真行、小林康浩、瀬戸誠、依田芳卓¹、岸本俊二²
京都大学複合原子力科学研究所、¹JASRI、²KEK-PF

メスバウアー分光は、放射性線源からのガンマ線による原子核の無反跳共鳴吸収（メスバウアー効果）を用いて、特定の核種(⁵⁷Fe など)の電子状態や磁性などの情報を得る優れた手法として、広く用いられてきた。近年、大型放射光施設により、放射性線源の代わりに放射光を利用して原子核を励起することが可能になり、従来のメスバウアー分光から派生したさまざまな実験が展開され、核共鳴散乱と呼ばれる多くの実験が行われている。これらの実験の中で、核共鳴散乱を小角散乱に応用した核共鳴小角散乱により、電子状態の微細構造を観測する手法についての提案はされていたものの、これまでほとんど応用実験が行われてこなかった。本研究では核共鳴小角散乱の実験手法の開発を行い、試行実験を行ってきた結果について報告を行う。

小角散乱法は微細組織の大きさや形状を特定する手法として、X線や中性子を用いて行われており、微細組織が特定の大きさや形状を持つ場合の研究に利用されているが、核共鳴小角散乱では、電荷密度が一様であっても、電子状態の異なる微細組織の存在により生じる小角散乱を観測することができる。そのため、化学組成が同一であるが、電子状態や磁気状態の不均一や微細組織が生成している場合にも、小角散乱プロファイルの観測が可能となる。

核共鳴散乱の観測は時間分解能の高いアバランシェフォトダイオード（APD）検出器を用いて、放射光の入射された時間から時間遅れで放出されるシグナルの時間スペクトルを測定する手法が一般に行われている。電子散乱は放射光とほぼ同時に散乱されるが、核共鳴散乱は原子核の半減期(⁵⁷Fe では 98ns)に従った時間遅れのシグナルが観測される。また、核共鳴散乱の時間スペクトルには量子ビートと呼ばれる、メスバウアーパラメータの情報が含まれており、電子状態を反映したパターンを示す。そのため、時間遅れシグナルの角度プロファイルにより、核共鳴小角散乱の電子状態による微細組織の情報が得られるだけでなく、ある特定の角度における時間スペクトルから電子状態の情報を引き出すことができる。

本研究では、試行実験として、鉄系超伝導における磁気秩序と超伝導の共存状態の研究、および Fe-Ni-C 合金における磁気状態の微細組織の研究を目指している。鉄系超伝導体 Ba_{1-x}K_xFe₂As₂ は x=0 の母物質では超伝導を示さず、約 140K で磁気秩序を示すが、x=0.4 においては低温でも磁気秩序を生じず、約 40K で超伝導を示し、x=0.2 の領域では、磁気秩序と超伝導が共存する相が存在することが知られている。一般に磁気秩序は超伝導を壊すと考えられているが、共存相は単純な相分離でもないため、磁気秩序と超伝導がどのように空間的に共存しているのかに興味をもたれている。また、Fe-Ni-C 合金においては、Ni 約 25%、C 約 0.7%の組成において、約 140K の低温でマルテンサイト変態を示すが、それより高温側でアンチインバー特性などの熱膨張率の異常が見られ、そのメカニズムと磁気状態との関連性についてはよくわかっていない。これらの系において、磁気状態の微細組織の評価をするための新たな手法として、核共鳴小角散乱を確立することにより、理解が進展することが期待される。また、本研究を応用して、電子状態の微細構造を観測する新たな手法として、さまざまな系に応用研究を展開することが期待される。