

次世代における物質科学に SPring-8 の果たす役割

～磁性分光研究会からの提言～

Roles of SPring-8 for Material Science in the Next Generation

～ Suggestions from Research Group for Magneto Spectroscopy ～

磁性分光研究会

Magneto-Spectroscopy Research Group

城 健男, 広島大学

水牧仁一郎, 高輝度光科学研究センター

Takeo Jo, Hiroshima University

Masaichiro Mizumaki, JASRI

21世紀は光の時代である。放射光は今世紀の科学技術の発展を支える基盤のひとつとなっている。磁性分光研究会では、放射光を用いた物質の「構造と電子状態」に関する研究を通して、人類社会の持続的な発展に資する物質科学に貢献する。これによって、当研究会は科学技術立国を目指す我が国の COE としての役割を果たすことができる。

物質科学の目的は、物性発現のメカニズムの解明とそれに基づく材料開発である。本研究分野では、物性の発現を物質中の「偏り」と電子との相互作用の結果と捉えることができる。その例として、誘電体や磁性体、超伝導などを挙げれば十分であろう。「偏り」を物質の構造とエネルギーにおける偏向した状態と見なすとき、これを研究する視点として以下の三つを挙げることができる。

- ① 元素選択性：多元系の物質では構成元素を選別した情報が重要である。
- ② 対称性の破れ：空間反転対称性は極性ベクトルと、時間反転対称性は軸性ベクトルと結合する。前者は直線偏光を、後者は円偏光を用いて評価される。
- ③ 外場の印加：物性研究の基本は、物質の外場に対する応答（感受率）の計測である。外場の摂動エネルギーに因る変化を観測するために、多重極端条件の印加が不可欠である。

SPring-8 では、既にこれらの要素が全て実現している。次に求められる要件は、これらを総合したシステムの構築であろう。物性研究として、具体的な物質における物性発現のその場観測と系統的な研究の推進が望まれる。その成果は基礎と応用の両分野に波及する。

磁性分光研究会では、以下のような基礎科学における未解決の課題に挑戦し、物質科学の深化に貢献することを目指す。また、放射光利用とその高度化に関する提言をまとめる。

1. 未解決の研究課題やめざましい成果が期待される研究分野開拓にどのような放射光利用が有望か、そのためにどのような高度化が必要かの考察・提言

① 元素選択性と元素戦略 —IT と磁性材料—

高度情報化社会を支える物質では磁気ヘッドや磁気記録媒体、光通信素子などに磁性体が多用されている。その多くに磁気異方性の起源であるスピン軌道相互作用が関わっている。一方、磁性材料の開発において、その機能を飛躍的に向上させるためには「元素」に

焦点を当てる必要がある。たとえば希土類磁石の場合、磁性金属原子と非金属原子(B,C,N)との相互作用に関する電子論的な理解は未解明の課題である。また、磁気秩序の形成に関わる伝導電子の役割に注目した研究はまだ少ない。従って、電荷移動や価数変化など共有結合性に由来するスピン電子状態に関する研究が求められる。ミクロな視点からの磁気異方性の起源に関する研究は応用に直結した課題といえる。

この様な元素選択的かつ電子殻選択的な磁性研究を推進するために、X線分光法(XAS、XMCD、XES)において軟X線(SX)から硬X線(HX)に亘る研究環境の組織的かつ系統的な整備が必要である。即ち、6~15 keV (遷移金属の *K*-および希土類金属の *L*-吸収端)、500eV ~1.2 keV (遷移金属の *L*-および希土類金属の *M*-吸収端)、およびそれらの中間に位置する3~5 keV のエネルギー領域に亘る研究を有機的に連携させる仕組みが求められる。

② 対称性の破れと偏光特性 —マルチフェロイクス—

高度情報化社会を支える物質の機能には、大容量と高速化が要求されている。高密度磁気記録や光波長多重通信の技術に、電荷とスピンの両方を利用するスピントロニクスの展開が注目される。これに対応する物質は、強磁性と強誘電性を併せ持つマルチフェロイクスと想定され、電気磁気効果 (ME 効果) がキーとなる。空間反転と時間反転の対称性が共に破れた系では、直線偏光あるいは円偏光を用いたスピン電子状態の解析が重要となる。従って、この物質系の基礎研究には放射光の偏向特性の活用が不可欠である。偏向度の向上と偏光解析は定量的議論に必須の要件となる。

SPring-8 では、既に円偏光を用いた磁性研究が活発に行われている。X線移相子を用いた XMCD 測定は世界最高の精度を誇っている。しかし、強誘電性の発現に関する実験に偏光特性を活用する試みは緒に就いたところであり、強誘電体に関する分光学的知見に基づく電子論的議論は始まったばかりである。今後、マルチフェロイクスに関する基礎研究では、回折・吸収・発光の実験手法による「構造と電子状態」に関する相補的な情報の取得が強く望まれる。特に、実験条件では電場の印加が不可欠となるが、その実験環境の整備が望まれる。

③ 極端条件と物性発現のその場測定 —放射光物性の新展開—

X線磁気分光法による物性研究の新領域を立ち上げる。物質の外場に対する応答を計測する物性研究の基本をX線分光の分野で確立するためには、外場印加の下での物性発現のその場測定は必要不可欠なものである。従って、温度・圧力・磁場・電場の多重極端条件の実験環境の整備が強く望まれる。これは第3世代放射光の特長を最も有効に活用できる研究分野のひとつである。

現在、BL39XU では $4\text{K} \leq T \leq 700\text{K}$ 、 $P \leq 50\text{GPa}$ 、 $H \leq 10\text{T}$ の極端条件が達成されている。諸外国の放射光施設でもその実現に向けた整備が推進されているが、SPring-8 の高輝度光源の優れた安定性と秀でたX線光学技術を以てすれば、多重極端条件の世界最高性能の実現は疑いない。研究対象を10 Tを超える磁場が必要な磁気相転移まで拡張するために、更に強い磁場の発生装置を SX と HX の共用ビームラインに導入すべきである。また、強相関電子系の量子相転移を探究するために、100mK に達する極低温の実験環境の整備が望まれる。本研究領域の地球・惑星科学への拡張が現実的となっている。これには 100GPa を超

える高圧領域で 1000K に達する高温装置が必要である。このために多重極端条件に特化した集光光学系と装置開発を含む実験環境の整備が不可欠である。

2. 放射光の利用研究をさらに促進するに効果的な将来性のある設備や研究組織・制度についての提言

現行制度の課題有効期間半年は、物性科学を進めていく上で障害となっている。新しい科学概念の創出のためには、トライアンドエラーが可能な仕組みの導入が不可欠である。人材育成、特に大学院生の教育のためには、中長期に亘る計画的な利用実験の実施が必要である。以上の観点から、課題の有効期間を長期化（二年間有効、每期ビームタイムを申請：9 シフトを 4 回程度）することにより、実験内容の深化を通して系統的な物性研究の実践を保証する制度の見直しが必要である。

現在、研究者の年齢分布の偏りは危機的状況にあると言っても過言ではない。特に、若年の研究者が少なく、大学院生の人口も減少傾向にある。人材(若手)の育成は喫緊の課題である。SPring-8 も COE として、人材育成の役割を担う必要があり、現行の萌芽研究課題に続く奨学制度(たとえば、JRA 制度)の導入が求められる。人材育成では、ユーザーと大学、SPring-8 のスタッフと施設の連携が不可欠である。

また、世界の放射光コミュニティの中で競争力を維持するためには、人材交流(外国の放射光施設や研究者との研究交流)が不可欠である。これまで実施して来た欧米の研究者との交流を継続し、更にアジアの国々との交流を展開する必要がある。スタッフの招聘と派遣の制度を設けるべきである。

共同利用施設である限り、課題選考では公平を旨とするべきである。しかしながら、旅費のサポートが無いのは、申請者に地理的な不平等を強めていることになる。旅費支給制度の復活を提案したい。

磁性研究は 3d・4d 遷移金属や 4f 希土類金属からなる固体を研究する分野といっても過言ではない。その元素に着目した研究を SPring-8 では重視すべきである。そのためには、上記元素の吸収端エネルギーをカバーし(当然挿入光源を使用する)かつ光源の安定化や偏光特性を十二分にいかせる、熱負荷の低減・低エミッタンス化が可能な SPring-8 の 4GeV 運転の実施を検討するべきである。