



研究課題名 中性子スピン偏極物性科学の開拓

東北大学・金属材料研究所・教授

ふじた まさき  
藤田 全基

研究課題番号： 21H04987

研究者番号： 20303894

研究期間： 令和3年度～令和7年度 研究経費（期間全体の直接経費）： 145,800千円

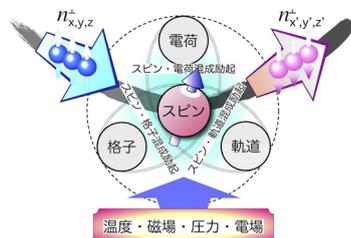
キーワード： 偏極中性子、スピンドYNAMIX、超伝導、スピントロニクス

【研究の背景・目的】

近年、スピンを主体とする材料と物性は益々注目を浴びています。隆盛が際立つスピントロニクス科学では、スピン角運動量の流れであるスピン流を光・熱・電気に変換し、これらを磁化で総合的に制御することが目指されています。その伝動機構と変換機構の解明には、非平衡安定状態でのスピンの運動を微視的に観測する必要があります。また、電子多自由度の混成効果が顕著な遷移金属化合物では、スピンと電荷・軌道・格子の自由度と結合した「マルチダイナミクス」が、多彩な物性を理解する上で注目されています。中性子散乱はスピンの運動をエネルギー・運動量空間で観測できる優れた手法で、スピン偏極した中性子ビームを利用すれば、物質内のスピン情報を好感度かつ選択的に取得できます。しかし、従来法では観測可能なエネルギー・運動量領域に制限があり、エネルギースケールが大きい複合状態を如何に検知するかが課題となっています。例えば、銅酸化物高温超伝導体では、電荷の自由度と絡まっている、100meV程度のスピンドYNAMIXを解明する必要があります。

【研究の方法】

本研究では、高エネルギーの複合スピンドYNAMIXの素性を明らかにし、その中から物性発現の要となるスピン状態を抽出できる新しい測定手法「共鳴スピン分解法」の実現を目指します。このために、(1)スピン交換光ポンピング法による高エネルギー中性子偏極デバイスをJ-PARCの分光器に実装し、(2)多重外場環境（温度・磁場・圧力・電場）と共存する統合測定環境を構築します。この手法の特徴は、偏極中性子ビームにより成分分解したスピン情報の中から、外場応答し、かつ、物性変化に対応する「活きたダイナミクス」を決定することです。高エネルギー中性子が得られるパルス中性子源施設において飛行時間法を活用することで、動的スピン情報が一気に取得できるという利点があります。高温超伝導体とスピン流・熱電変換物質を最初の研究対象に選び、本手法の有効性を示します。これらを通して、複合スピンドYNAMIXが、どのように物性発現に関わっているかを解明します。



研究内容の概念図。偏極中性子を用いて、電子が持つ多自由度の複合励起から詳細なスピン情報を引き出す。試料に外場を印加することでスピン状態の変化を誘起し、さらに詳しい情報を得る。



典型的なTOF分光機と同等の測定が可能  
入射中性子強度(100meV)  $\sim 5 \cdot 10^{14}$  n/sec/cm<sup>2</sup>/1MW  
分解能 $\Delta E/E < 4\%$ ,  $\Delta q/k < 2\%$   
2017/6にビーム受け入れに成功@J-PARC

本研究で三次元偏極解析システムと多重外場発生システムを最適化する



J-PARCに設置した高エネルギー中性子分光器POLANOと本研究で導入するSEOP偏極解析システムおよび多重外場発生システム。

【期待される成果と意義】

偏極中性子散乱法は、次世代の中性子科学を切り開く戦略要素として、世界中の中性子研究施設が高度化に注力しています。その様な中で、高エネルギー中性子による「共鳴スピン分解法」の実現は、日本の中性子科学の高い競争力となります。また、本手法の有効性を様々な物質で示すことで、プローブである中性子ビームのスピン偏極と測定対象である物質内電子スピンの偏極を個別に制御して、電子状態と物性発現の関係を探究する「中性子スピン偏極物性科学」への道が開けます。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- K. Sato, K. Ikeuchi, R. Kajimoto, S. Wakimoto, M. Arai, and M. Fujita, J. Phys. Soc. Jpn. **89**, 114703 (2020).
- K. Ishii, Shun Asano, M. Ashida, M. Fujita, B. Yu, M. Greven, J. Okamoto, D.-J. Huang, and J. Mizuki, Phys. Rev. Mat. **5**, 024803 (2021).
- Y. Nambu, J. Barker, Y. Okino, T. Kikkawa, Y. Shiomi, M. Enderle, T. Weber, B. Winn, M. Graves-Brook, J. M. Tranquada, T. Ziman, M. Fujita, G. E.W. Bauer, E. Saitoh, and K. Kakurai, Phys. Rev. Lett. **125**, 027201 (2020).
- T. Yokoo, S. Itoh, N. Kaneko, M. Fujita, T. Ino, M. Ohkawara, K. Ohoyama, and M. Sakaguchi, AIP Conference Proceedings **1969**, 050001 (2018).

【ホームページ等】

- <http://qblab.imr.tohoku.ac.jp>