

# 日本中性子科学会第 15 回技術賞を受賞して

中性子科学研究施設 益田 隆嗣

2017 年 12 月 2-3 日に福岡大学で開催された日本中性子科学会第 17 回年会において、中性子科学研究施設の皆様および高エネルギー加速器研究機構の皆様と共同で、第 15 回中性子科学会技術賞を受賞する榮譽に恵まれました[1]。受賞テーマは、「高分解能チョッパー分光器 HRC の建設と中性子ブリルアン散乱法の実装」でした。高分解能チョッパー分光器(High Resolution Chopper Spectrometer, HRC)は、東京大学と高エネルギー加速器研究機構が共同で J-PARC MLF に建設し、2010 年 5 月にビーム実験が開始されました。meV から eV にわたる広いエネルギー領域の中性子を高分解能で利用し、物質のダイナミクスを幅広い波数-エネルギー空間で効率的に測定を行い、詳細な研究を行うことが可能となっています。

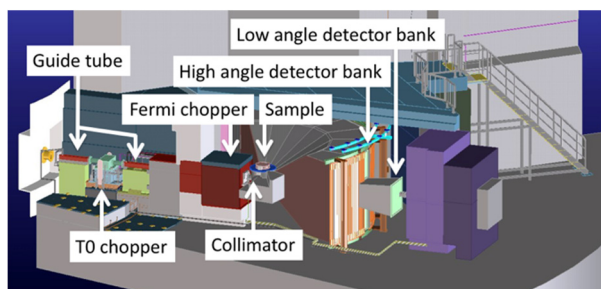


図 1: HRC 分光器の概念図

HRC 分光器では、試料位置を中心とした半径約 4m 中心角 90 度の弧上に、直径 3/4 インチ高さ約 3m の細長い位置敏感型検出器が設置されています[2]。これにより、3 次元波数  $q$  空間において検出器がカバーする 2 次元面上での測定を一度に行います。図 2(a)に紺色の領域が示されていますが、これは、試料を回転させることにより、弧状の検出器が 2 次元逆格子空間を掃引した様子を示しています。(0, -1.5)に赤いスポットがありますが、これは磁気ブラッグピークです。このように、チョッパー分光器では  $q$  空間を効率的に測定することができますが、それだけではありません。熱中性子 25.3 meV の中性子の速度は秒速 2.2 km 程度であるため、ミリ秒の飛行時間と飛行距離を測定することにより、中性子の速さ、すなわちエネルギーを決めることができます。飛行距離は、試料位置から検出器までの距離で固定されているので、

実験では飛行時間を記録することでエネルギーが決定されます。したがって、エネルギー方向にも幅広い領域を測定することになります。図 2(b)-2(d)は各々 1 meV、2 meV、3 meV の励起スペクトルを表していますが、これらは図 2(a)と同時に測定されたデータです。(0, -1.5)からスピン波が立ち上がっている様子が分かります。さらに、測定データの切り口を、波数-エネルギーにすると、図 2(e)、2(f)のような分散関係が得られます。このようにして、波数-エネルギーの 4 次元空間で定義される動的相関関数を効率的に測定することができます。図 2 では、マルチフェロイック物質  $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$  のスピン・モデルを決定することにより、磁気異方性の起源が Nd イオンの結晶場であることが明らかとなりました[3]。この実験では、試料の入射中性子エネルギー( $E_i$ )を 10 meV としており、0.4 meV 程度の高いエネルギー分解能で実験を行うことができたため、磁気  $\Gamma$  点での異方性ギャップの大きさを見積もることもできました。

効率的な測定が可能となった一方で、収集されるデータ量は膨大になりました。これらのデータを解析するためのソフトウェア開発に、中性子施設は大きな貢献をしました。また、測定  $q$  空間を広げるための検出器増設にも貢献しました。

$E_i$  を大きくすれば、より高いエネルギーの励起を観測することもできます。図 3 は、ブリージングパイロクロア物質  $\text{Ba}_3\text{Yb}_2\text{Zn}_5\text{O}_{11}$  の中性子スペクトルです。 $E_i = 150\text{meV}$  で実験を行ったので、固有エネルギーが 68 meV, 55 meV, 38 meV の結晶場励起を観測することができました[4]。これにより、Yb イオンの基底波動関数を決定することができました。原子炉中性子では 70meV 以上の中性子を作るにはホットソースとよばれる特殊な装置が必要となるため、これまであまり実験されてきませんでした。J-PARC が稼働してから、結晶場の中性子実験が国内で簡単にできるようになりました。

HRC の特徴の一つは、0.6 度の低角まで散乱実験が可能であることです。これによりたとえば、粉末強磁性試料の  $\Gamma$  点近傍のスペクトルが測定可能となり、中性子研究の幅が大きく広がりました[5]。



- [2] 弧の中心角は、現在の HRC では 90 度となっておりますが、予算に応じて、最大 120 度まで広げることが可能となっております。皆様のご支援をよろしくお願いいたします。
- [3] S. Hayashida, M. Soda, S. Itoh, T. Yokoo, K. Ohgushi, D. Kawana, H. M. Ronnow, and T. Masuda, *Phys. Rev. B* **92**, 054402 (2015).
- [4] T. Haku, M. Soda, M. Sera, K. Kimura, S. Itoh, T. Yokoo, T. Masuda, *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 034721 (2016).
- [5] S. Itoh, Y. Endoh, T. Yokoo, S. Ibuka, J-G. Park, Y. Kaneko, K. S. Takahashi, Y. Tokura and N. Nagaosa, *Nature Communications* **7**, 11788 (2016).
- [6] S. Hayashida, O. Zaharko, N. Kurita, H. Tanaka, M. Hagihala, M. Soda, S. Itoh, Y. Uwatoko, and T. Masuda, *Phys. Rev. B* **97**, 140405 (2018).

