

高性能偏極中性子散乱装置 (5G PONTA)

装置責任者：益田 隆嗣 (東京大学物性研究所)

PONTA は炉室内水平実験孔 5G に設置された 3 軸型中性子分光器で、非偏極と偏極中性子散乱実験が可能である。分光器本体は、試料テーブルとアナライザー・検出器テーブルの 2 つに分かれ、その駆動には空気浮上方式を採用している。昨年度、装置制御系の再構築を行い、現在は LabVIEW と PXI を利用した新しい制御システムによって稼働しており、ゴニオメーターのティルトを利用して散乱面の上下の Q にもアクセスできる。世界の 3 軸分光器と競争するために、モノクロ、アナライザー結晶背後の中性子吸収材、フライトパスを導入し、バックグラウンドを極限まで抑制している他に、可変ダブル集光アナライザーの導入により、7 倍以上のゲインを得て、飛躍的な S/N 比の向上を実現している。また、 $\Delta E=10\mu\text{eV}$ の高エネルギー分解能スピンエコー装置オプションも使用可能である。

1. 装置の概略

モノクロ	PG002 垂直可変集光型 Cu111 Heusler111 (偏極用) $17^\circ \leq 2\theta_M \leq 50^\circ$ (PG: $10\text{meV} \leq E_i \leq 80\text{meV}$) (Cu: $26\text{meV} \leq E_i \leq 215\text{meV}$)
コリメータ	第 1 : 15', 40', open 第 2 ~ 4 : 10', 20', 40', 80, B
サンプル	耐加重ゴニオメーター $-45^\circ \leq 2\theta_S \leq 150^\circ$
アナライザ	PG002 垂直可変集光型 PG002 水平垂直固定集光型 Heusler111 (偏極用) $0^\circ \leq 2\theta_A \leq 80^\circ$
フィルター	PG フィルター (モノクロ、アナライザ)
検出器	縦型 ^3He ガス検出器
ビーム	30mm(H)×40mm(V)まで可変

2. 装置の制御

- ・分光器制御プログラム
LabVIEW (Windows XP + PXI)
- ・温度制御プログラム
TEMCON (Windows XP)
- ・その他
分光器制御用に Windows PC と大型ディスプレイが分光器制御卓に設置されている。また、VNC を使用してネットワーク経由で炉室外部より制御可能である

3. 装置の特色

PONTA は Polarized Neutron Triple Axis spectrometer の略であり、非偏極の中性子散乱だけでなく、偏極解析中性子散乱が可能な 3 軸型分光器である。モノクロメーターを高い入射エネルギー側に大きくふれるため、比較的広いエネルギー範囲での非弾性散乱実験が可能である。縦磁場超伝導マグネット、希釈冷凍機などの多彩なアクセサリーを用いた極限環境下での実験も多く行われている。

4. 装置の全景

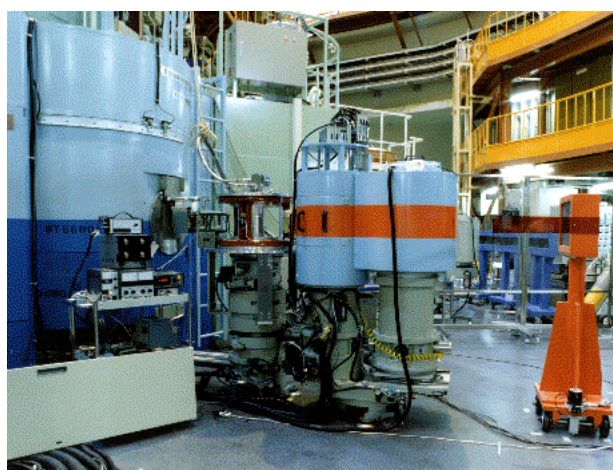


写真 1 : 5G PONTA を 4G 側から眺めた様子

5G PONTA での測定例

マルチフェロイック CuCrO₂ 磁性の電場・磁場制御

横滑り螺旋磁気構造などの特異な磁気構造をもつ相への転移と同時に、強誘電相への転移を示すマルチフェロイックス物質の研究が精力的に行われている。デラフォサイト型結晶構造を持つCuCrO₂もその一つである。CuCrO₂は、粉末中性子回折実験より、 $T_N \sim 24$ K以下でc軸をスパイラル面に含んだ120度構造をとることが報告されている。この磁気構造では、スピнкаレントモデルを適用しても強誘電分極は出現しないが、最近、CuCrO₂の120度反強磁性相における強誘電性が報告された。5Gにおいて、CuCrO₂単結晶に対する偏極中性子回折実験を行い、CuCrO₂の強誘電性の起源を調べた。偏極中性子実験では、Fig. 1に示すようにモーメント成分を分離でき、spin helicity(右巻き、左巻き)の変化も詳細に観測できるため、磁気構造解析にとっても有効な手段である。

偏極中性子回折実験の結果、CuCrO₂は、120度構造ではなく incommensurate proper-screw 磁気構造をとることがわかった。(Fig. 1(a)) この磁気構造をもとに、電場印加による spin helicity の変化を解析したところ、スピнкаレントモデルではなく、低対称性結晶構造における d-p 混成モデル(有馬モデル)で CuCrO₂の強誘電性が説明可能であることが明らかになった。

さらに磁場中偏極中性子回折実験を行い、強誘電分極の磁場変化と磁気構造の関係を詳しく見た。その結果、zero field cooling(ZFC)後、[1-10]方向に磁場を印加することで、 $H \sim 5.3$ Tにおいて proper-screw(Fig. 1(a), Fig. 2(a)) から cycloidal(Fig. 1(b), Fig. 2(b))磁気構造に変化するがわかった。また、field cooling(FC)では、ZFCとは異なる磁気秩序状態が実現している。FC(5.7 T)では、3つの磁気ドメインの比が変化することで磁気反射強度が変化する。(Fig. 2(c)) ZFCにおける $H \sim 5.3$ T の変化や ZFC と FC での違いは、分極測定でも観測されており、磁気構造と強誘電分極が密接に関係している。ZFC の低磁場相や FC 相の分極は、上記の電場中偏極中性子回折実験と同様に proper-screw 磁気構造起源の有馬モデルで説明可能である。一方、ZFC、 $H > 5.3$ T 相の cycloidal 磁気構造と分極の関係も、スピнкаレントモデルではなく、構造の対称性を考慮することで説明可能である。CuCrO₂の螺旋磁気構造

が、電場・磁場によって様々な状態をとることがわかり、この系の強誘電性と磁性の関係を明確なものにできた。

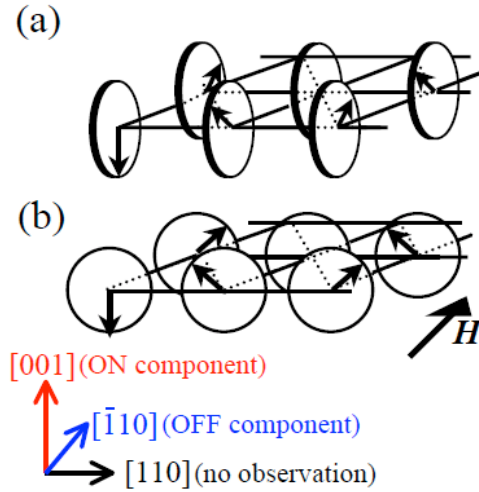


Fig. 1 磁場中偏極中性子実験における観測成分と磁気構造の関係。(a) proper-screw 磁気構造。(b) cycloidal 磁気構造。

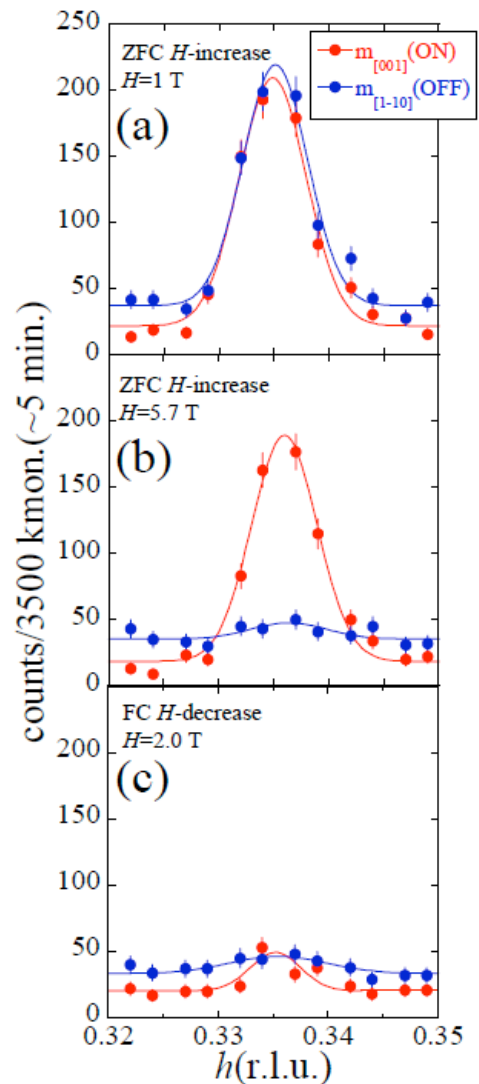


Fig. 2 磁場下での(1/3,1/3,0)磁気反射 profile。