

ハニカム構造を持つ $R_2Pt_6X_{15}$ 系化合物の磁気構造 Magnetic structure of $R_2Pt_6X_{15}$ system with honeycomb lattice

松本裕司¹⁾、太田玖吾¹⁾、市岡紫龍¹⁾、東怜志¹⁾、

芳賀芳範²⁾、田端千紘²⁾、金子耕士²⁾

Yuji Matsumoto¹⁾, Kyugo Ota¹⁾, Shiryu Ichioka¹⁾, Satoshi Azuma¹⁾,

Yoshinori Haga²⁾, Chihiro Tabata²⁾, Koji Kaneko²⁾

1)富山大学、2)原子力機構

(概要)

$T_{m1} = 21$ K と $T_{m2} = 23$ K で反強磁性転移を起こす $Tb_2Pt_6Ga_{15}$ の磁気構造を決定するために中性子散乱実験を JRR-3 にて行った。 $Tb_2Pt_6Ga_{15}$ は磁性をもつ Tb イオンがハニカム構造を形成する。反強磁性相の I 相 ($T < T_{m1}$)、II 相 ($T_{m1} < T < T_{m2}$) とともに $k = (0\ 0\ 1)$ の磁気構造を持つことを明らかにした。磁気反射のピークの形状は h 方向が Gaussian に近い形状、一方 l 方向は Gaussian と異なる形状であり、 c 面内の磁気相関の相関長が長いことが解った。

キーワード：磁気構造の決定、ハニカム構造

(1 行あける)

1. 目的

本研究の対象物質である、直方晶 $R_2Pt_6X_{15}$ ($R =$ 希土類、 $X = Al, Ga$) 系化合物の構造は、空間群 63 で、図 1 に示すように磁性を持つ $R-R$ 間距離が 4 Å 程度、 R を含む R_2X_3 層間が 8 Å 程度離れており 2 次元的な磁気的相互作用が期待できる。また、 R_2X_3 層の R サイトが秩序してハニカム格子を形成していると考えられている。そのため幾何学的フラストレーションに由来する物性の発現が期待される。

我々は、この系の結晶育成と物性測定を行っている。これまで、 $U_2Pd_6Al_{15}$ ^[1] と $U_2Pt_6Al_{15}$ ^[2] に加えて、新物質の $R_2Pt_6Ga_{15}$ ($R = Nd-Yb$ ^[3], U ^[4]) に成功している。これまで、2021 年 11 月の JRR-3 の TAS-1 において中性子散乱実験により、 $T_N = 26$ K を持つ反強磁性体 $U_2Pt_6Ga_{15}$ は $(1/6\ 1/6\ 0)$ の磁気構造を持つことと、磁気モーメントが c 軸方向に向いている可能性が高いことを明らかにした。また、2022 年 6 月の TAS-1 で行った中性子散乱実験により、 $T_{m1} = 9$ K, $T_{m2} = 26$ K の反強磁性体 $U_2Pt_6Al_{15}$ は T_{m1} 以下の I 相では $(1/2, 0, 0)$ 、 $(1/2, 1/2, 0)$ 、 $(1/3, 0, 0)$ と 3 つの磁気反射、 T_{m2} と T_{m1} の間の II 相では $(1/3, 0, 0)$ の 1 つの磁気反射が観測された^[5]。

$R_2Pt_6X_{15}$ は 2 次元的な磁気相互作用が働き、 R がハニカム構造をとるために XY 型の反強磁性体であればフラストレーションの効果が期待できる。 $Tb_2Pt_6Ga_{15}$ はその候補であり、 T_1 、 T_2 を持つ反強磁性体である。 c 軸に磁場を加えた時は、メタ磁性を起こさないが、 a 、 a^* に磁場を加えた時はメタ磁性転移を起こす。このため、XY 型の磁気構造をとっていると考えられる。2024 年 1 月の TAS-1 で行った中性子散乱実

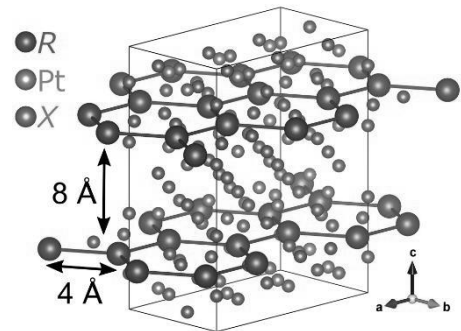


図 1： $R_2Pt_6X_{15}$ の結晶構造。磁性を持つ R はハニカム構造を組む。

験により、 $\text{Tb}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$ の $T < T_2$ において $(0\ 0\ 1)$ の磁気反射が観測された。 T_1 以下の I 相において $(0\ 0\ l)$ 磁気反射の l が奇数の時は強く、偶数の時は弱くなることから面間が強磁性でないことが解った。また、 $(h\ 0\ l)$ ($h \neq 0$) 磁気反射の強度が弱く、磁気モーメントが c 面内に向いていることが解った。これらの結果より、 $\text{Tb}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$ の磁気モーメントは c 面内が強磁性、面間が反強磁性的で磁気モーメントは c 面内を向いている磁気構造であると予想される。しかし、磁気構造の決定には回折強度の定量的な議論を行う必要があるため、より長時間の測定が必要である。

本研究では、ハニカム構造をとる $R_2\text{Pt}_6X_{15}$ 系物質である XY 型の $\text{Tb}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$ の磁気構造を中性子散乱実験により決定する。XY 型の $\text{Tb}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$ においてハニカム構造に由来する幾何学的フラストレーション効果が表れるのかを調べ、この結晶構造に由来する物性が発現するのかを明らかにすることを目的とする。

2. 方法

JRR-3 の TAS-2 において 4 K 冷凍機を用いて単結晶の $\text{Tb}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$ を用いてその反強磁性相の磁気構造を決定する。六方晶表記で $(h\ 0\ l)$ 面において測定を行った。

3. 結果及び考察

$\text{Tb}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$ の $(h\ 0\ l)$ 面で中性子散乱実験を行った。I 相、II 相においてそれぞれ $k = (0\ 0\ 1)$ の磁気反射を観測した。I 相において観測された磁気反射は図 2 に示している。 $k = (0\ 0\ 1)$ のピークの形状 line scan を行った結果を図 3 に示す。 h -scan の磁気反射の形状は Gaussian、 l -scan のピークの形状は Lorentzian となった。このことより、 c 面内の磁気相関が強いと考えられる。さらに、 k の磁気反射の温度変化を測定した結果、 T_{m1} 、 T_{m2} ともに二次転移的に変化することがわかった。I, II 相において磁気反射の積分強度を $(h\ 0\ l)$ 面において測定した。これらの結果は今後解析し磁気構造を求める予定である。

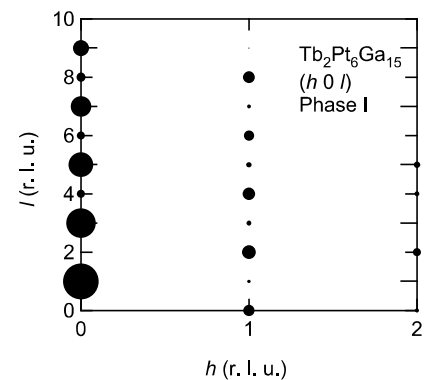


図 2 : T_1 以下の I 相において観測された $(h\ 0\ l)$ 磁気反射。プロットの大きさは反射強度の対数表示。

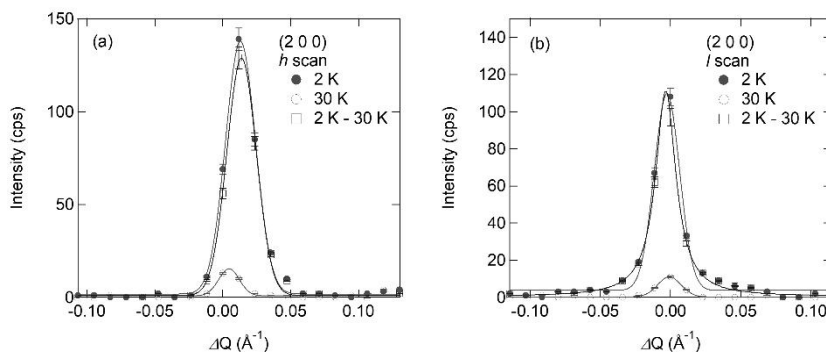


図 3 : 2 K、30 K において観測された $(2\ 0\ 0)$ 磁気反射とその差分の (a) h scan、(b) l scan。図中の線は h scan は Gaussian、 l scan は Lorentzian によりフィッティングした結果を示す。

4. 引用(参照)文献等

- [1] Y. Haga *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. Suppl. A **77**, 365 (2008).
- [2] Y. Haga *et al.*, JPS Conf. Proc. **29**, 013003 (2020).
- [3] Y. Matsumoto *et al.*, J. Phys. Conf. Ser. **683**, 012035 (2016).
- [4] Y. Matsumoto *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **90**, 074707 (2021).
- [5] K. Ota *et al.*, New Physics : Sae Mulli. 73 1170 (2024).