



Title	MAGNETIC STUDIES BY USING A COMBINED $^3\text{He}$ AND MAGNETIC COOLING SYSTEM BELOW 1 K
Author(s)	Kadowaki, Kazuo
Citation	大阪大学, 1980, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/24460">https://hdl.handle.net/11094/24460</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名・(本籍)	門脇和男
学位の種類	理学博士
学位記番号	第 5079 号
学位授与の日付	昭和 55 年 9 月 30 日
学位授与の要件	理学研究科 物理学専攻 学位規則第 5 条第 1 項該当
学位論文題目	$^3\text{He}$ —磁気冷却法による 1K 以下の磁性体の研究
論文審査委員	(主査) 教授 伊達 宗行 (副査) 教授 榎田 孝司 教授 邑瀬 和生 教授 長谷田泰一郎 助教授 奥田 喜一

## 論文内容の要旨

1 K 以下約 100 mK, 24~47 GHz で ESS 実験ができるコンパクトな装置を開発した。冷却法は  $^3\text{He}$ -断熱消磁法を併用するものである。これを使い、硫酸銅( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )の ESR 及び磁性超伝導体( $\text{Er}_{\text{c}}\text{Y}_{1-\text{c}}\text{Rh}_{\text{c}}\beta_{\text{c}}$ )の電気抵抗、磁気抵抗、磁化を測定した。特に磁化測定は新しく  $^3\text{He}$  温度域で手軽に測定出来る flux gate metei 法を使った装置を開発した。感度はよく  $\sim 10^{-5}$  Gau $\beta$  の磁化変化を測定出来るが、磁場掃引が出来ない。その為、引きぬき法と温度変化を測定するものの二種製作した。1 K 以下の ESR の最大の問題点は、共鳴時の試料の温度上昇である。これを評価する新しい方法として単純な反強磁性体  $\text{RbMnF}_3$  の核微細相互作用による反強磁性共鳴の shift を測定する方法を探った。その結果、通常の鉱石検波法では限界である  $\sim 10^{-7}$  w のマイクロ波強度でも  $\sim 0.25$  K 以下で試料の温度上昇が現われることがわかった。これを改良するには superheterodyne 法のような高感度、low power による方法を採用する必要があろう。

硫酸銅は、同一結晶内に A、B 二つのほぼ独立な系が存在し、A 系は a 軸方向に反強磁性相互作用をもつ 1 次元鎖を作り、 $\sim 100$  mK で B 系とは独立に長距離秩序状態に入る。B 系は  $\sim 35$  mK まで常磁性を示す。この系の spin dynamics と partial ordering を調べる目的で実験を行なった結果、常温から  $\sim 70$  K で A B 間の交換相互作用が温度上昇とともに弱くなることがわかった。これは交換相互作用に寄与する分子の熱振動が電子の交換よりも早くなる為と考えられる。また、 $\sim 20$  K から  $\sim 0.5$  K で共鳴磁場に大きな shift が見られたが、これは分子場を使った二部分系の Ferrimagnetic Resonance の方法で説明出来る。

$\text{ErRh}_4\text{B}_4$  は格子点上に  $\text{Er}^{3+}$  の極在モーメントが多量に存在するが、 $T_{\text{c}1} = 8.7$  K で一度超伝導状態が

現われ、続いて  $T_{c2} \sim 0.8\text{K}$  で常伝導・強磁性長距離秩序状態が現われ、磁性と超伝導とが共存する系として興味ある物質である。 $\text{Er}_c \text{Y}_{1-c} \text{Rh}_4 \text{B}_4$  の電気抵抗、磁気抵抗の詳細な実験の結果、 $T_{c1}$  の  $\text{Er}^{3+}$  の濃度依存性から、超伝導電子と  $\text{Er}^{3+}$  モーメントとの相互作用が非常に小さく、これまでの結果と矛盾しない。又、 $\text{ErRh}_4\text{B}_4$  は  $T_{c2}$  値上で超伝導とヘリカルスピニン状態が共存することが理論的に指摘されているが実験的検証は今だ曖昧である。これを検証すべく磁化を  $T_{c2}$  近傍でくわしく測定した。その結果  $T_{c2} \sim 1.4\text{K}$ 、 $H = 0 \sim 400\text{ Oe}$  で磁化<sup>v</sup> 温度変化になだらかな丘を見い出した。また、磁化はこの温度、磁場領域で大きなヒステリシスを示す。これは単なる flux trapping 効果と考えては説明できず、予想されていたヘリカルスピニン状態が出現していることを示すものと考えている。 $T_{c2}$  での強磁性への転移は  $H_{c2}$  の測定から 1 次転移であることがわかった。

### 論文の審査結果の要旨

1 K以下の研究は、今日それほどむつかしいものではなくなった。しかしそれもテーマによるわけで、たとえば電子スピニン共鳴(ESR)などはマイクロ波が1 K以下の装置とあまりなじまないこともあってこれまで散発的な研究が行われているのみである。

門脇君は1 K以下のESRをつぎのような独自の方法を用いて行った。それは<sup>3</sup>He液体と断熱消磁とを併用したもので、<sup>3</sup>Heのみでは約0.4 Kまでしか冷却できないのを断熱消磁法で0.1 K以下まで下げられるのと同時に、断熱消磁法のみでは不安定な0.4～1 Kでの測定を<sup>3</sup>Heで精密に行うというものである。このようなクライオスタットにより、1 K以下で広い領域にわたり高精度の研究が可能となつた。

門脇君はこの装置を用いて、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  の ESR についてセンチ波からミリ波領域にわたり研究を行った。その結果、2つの異種スピニン A、B 間に働く交換相互作用が大きな温度変化を示すこと、およびこの交換相互作用による ESR シフトが、1 K以下において大きく現れることを見出した。

門脇君はまた上記のクライオスタットに超伝導を用いたクリップオン磁束計を併用し、磁化測定の精密研究を試みた。そして最近注目を集めている  $\text{ErRh}_4\text{B}_4$  等の磁性超伝導体の磁化測定を行い、その磁気的、および超伝導としてのふるまいを明かにした。とくに中間層として興味をもたれているヘリカルスピニン状態についての情報を得るのに成功した。これらの成果は理学博士の学位論文として充分の価値あるものと認められる。