

## 超伝導体の磁気現象における問題の解析における研究

05232051 松下研究室 高田真弓

### はじめに

超伝導体とは低温において電気抵抗が消滅し、かつ完全反磁性(マイスナー効果)を示す物質のことを言う。マイスナー効果とは超伝導体に外から磁場をかけても超伝導体の表面に電流が流れ外部磁場を遮蔽し内部侵入できなくなる状態のことをいう。このため内部の磁束密度はゼロとなる。また超伝導体に臨界磁場をかけることによって超伝導状態が壊れるが、この壊れ方によって第一種超伝導体と第二種超伝導体に区別することができる。ここでは第一種超伝導体について考える。第一種超伝導体は磁気的には臨界磁場  $H_c$  を境に超伝導状態から常伝導状態に移る特性を持っている。また外部磁場が臨界磁場以下の状態でも超伝導体の形状により局所的な磁場が臨界磁場に達して起こる中間状態が存在する。本研究ではこの超伝導体における磁気現象の問題についての解析を行い、解析についての検証を目的とした。

### 解析目的

中間状態における超伝導球の磁化を解析する。また中間状態がどの磁場範囲で起こるかを導く。

### 解析方法

中間状態における超伝導体の解析方法は(1)一般的な磁束密度  $B$  と磁場  $H$  の境界条件を用いる方法と(2)従来の磁化  $M$  を用いる方法を用いる。(2)の従来の方法では磁化電流が流れており、中空の場合に用いると外側だけでなく内側にも電流が流れてしまうために中空の場合では用いることができない。

### 解析結果

(1)一般的な境界条件を用いる方法について求める。状況として一様な磁束密度  $B_0$  の中に中間状態にある半径  $a$  の超伝導球を置く。この超伝導球の磁化  $M$  について考える。

図 1 においては球外では一様な磁束密度  $B_0$  と、表面電流密度  $\tau$ (真電流)が超伝導球表面に流れている。この真電流の表面電流密度によって作られた磁気モーメントを中心に置き  $m$  とする。球内では内部磁束密度を  $B_2$ (一様)で流れているとする。

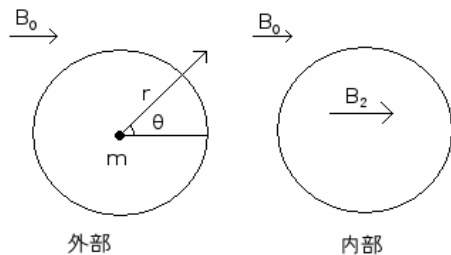


図 1. 超伝導球の中間状態

境界条件の以下 2 式

$$n \cdot (B_1 - B_2) = 0 \quad (1)$$

$$n \times (H_1 - H_2) = \tau \quad (2)$$

と中間状態であるので最大経験磁束密度が  $\mu_0 H_c$  となる。球内と球外の  $r$  成分と  $\theta$  成分の磁束密度をそれぞれ求めると、

$$\text{球内} \begin{cases} B_{2r} = B_2 \cos \theta \\ B_{2\theta} = -B_2 \sin \theta \end{cases}$$

$$\text{球外} \begin{cases} B_{1r} = B_0 \cos \theta + \frac{\mu_0 m}{2\pi r^3} \cos \theta \\ B_{1\theta} = -B_0 \sin \theta + \frac{\mu_0 m}{4\pi r^3} \sin \theta \end{cases}$$

となる。 $r=a$  で境界条件を用いることができ一様な磁束に垂直な  $r$  成分は境界条件(1)を用い、平行な  $\theta$  成分は境界条件(2)を用いる。また表面電場が  $\theta$  成分であり、最大が  $\theta = -1/2\pi$  のときである。以上の 3 つの条件を用いて、磁気モーメント、内部磁束密度、表面電流密度を解析することができた。また磁気モーメントより磁化が

$$M = \frac{m}{V} = 3 \left( \frac{B_0}{\mu_0} - H_c \right) : V = \frac{4}{3} \pi a^3$$

と求まる

次に(2)従来の  $M$  を用いる方法について求める。磁化は輸送電流によるものではなく、磁化電流によるものであるとする。超伝導球内には磁場  $H_2$  が流れており、これによって磁化  $M$  が生じる。球外では一様な磁束密度  $B_0$  と球の中心に磁気モーメントが存在する。またこの磁気モーメントは磁化  $M$  と等価的である。磁化電流が流れていることより、磁化の強さの平行成分は連続である。このことより、 $r=a$  において球外と球内の  $r$  成分の磁束密度は連続である。

$$\begin{cases} B_{2r} = \mu_0 (H_c + M) \cos \theta \\ B_{2\theta} = B_0 \cos \theta + \frac{2\mu_0 a^3 M}{3r^3} \cos \theta \end{cases}$$

これによって磁化  $M$  が境界条件を用いた方法と等しい値になることが解析できた。

この解析結果によって超伝導球の中間状態の磁場範囲が  $2/3 H_c \sim H_c$  であることがわかる。

そのほかの研究内容においては口頭発表で行う。

