

# 超伝導と低温の世界—極低温の不思議を体験しよう—

田中 功、綿打 敏司、長尾 雅則

(大学院附属クリスタル科学研究センター)

## 1. はじめに

日常生活で、「かなり低い温度にまで冷やすもの」と言えば、アイスクリームやケーキなどを冷やすために使われているドライアイス（昇華温度約 $-80^{\circ}\text{C}$ ）が最も身近ではないでしょうか？ところが、皆さんが気がつかないところでもっと低い温度にものが冷やされ、生活に利用されています。半導体の製造装置やリニアモーターカー、医療に用いられるMRIでは、液体窒素（沸点 $-196^{\circ}\text{C}$ ）や液体ヘリウム（沸点 $-269^{\circ}\text{C}$ ）を使って極低温に冷やし、低温で起こる不思議な現象を利用しています。

この実験では、液体窒素を使って約 $-200^{\circ}\text{C}$ の極低温にまでいろいろなものを冷やすことで生じる様々な現象を体験することで、低温の世界の不思議を楽しみます。



リニアモーターカー



磁気共鳴断層撮影装置(MRI)

## 2. 極低温で何が起こるか？

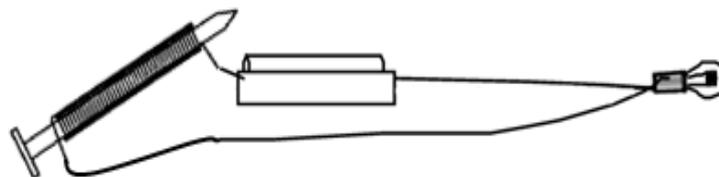
### 2.1. 物質の性質を調べよう！

ここでは、導線、LED ランプ、電池、ルビー、酸素ガスを液体窒素で冷やす実験を行います。実験を行う前にどのようなことが起こるか予想してみてください。

#### ① 金属の性質—導線のコイルを冷やすとどうなるか？—

[工作]

- 1) くぎにポリウレタン線(両端を 3cm 位余らせて)を巻きつけ、テープで留めます。
- 2) ポリウレタン線、豆電球、電池ボックスをワニ口クリップ付導線で配線します。



※ポリウレタン線を釘に巻きつけて作った導線コイルは別の工作に使用します。何を作るかは楽しみにして下さい。

[実験]

- 1) 電池ボックスのスイッチを入れて、豆電球を点灯させます。
- 2) ポリウレタン線で作った導線コイルを液体窒素につけて冷やします。
- 3) 豆電球はどのようにになりましたか？

② 半導体の性質—LED ランプを冷やすとどうなるか？—

[工作]

- 1) 木製丸棒の先端に LED ランプ、他端に電池ボックスを固定します。
- 2) 導線を LED ランプや電池ボックスに配線して半田付けします。



[実験]

- 1) 電池ボックスのスイッチを入れて、LED ランプを点灯させます。
- 2) LED ランプを液体窒素につけて冷やします。
- 3) LED ランプはどのようになりましたか？

③ ルビーを冷やして紫外線をあてるとどうなるか？—

[実験]

- 1) ルビーを 3 個用意します。
- 2) 1 個を液体窒素の中に入れて冷却し、1 個を 70-80°C 程度のお湯の中に入れて加熱します。残り 1 個は室温のままにします。
- 3) 温度の異なるルビーに紫外線をあてます。ルビーはどうなりましたか？

④ 酸素の性質—酸素の液体を作ろう—

[実験前に予想しよう] 液体酸素はどんな色？どんな性質？

[実験]

- 1) ポリエチレン袋に酸素ガスを入れて、口を封じます。
- 2) ポリエチレン袋を液体窒素につけて冷やします。
- 3) 液体酸素はどのような色になりましたか？
- 4) 液体酸素に磁石を近づけてみましょう。

2.2. 不思議な現象！

① 息を凍らせると・・・

[実験]

- 1) 息を大きく吸ってからポリエチレン袋に息を入れて、袋の口を封じます。
- 2) ポリエチレン袋を液体窒素につけて冷やします。
- 3) 袋の中に何ができたのでしょうか？

② 水滴？のなぞ

[工作]

- 1) 空き缶の飲み口側を缶切りで切り取ります。
- 2) 空き缶の横に穴を開けて、ビニールひもを通して縛ります。

[実験]

- 1) 空き缶に液体窒素を入れます。
- 2) ポリエチレン袋を液体窒素につけて冷やします。
- 3) 空き缶の周りはどうのようになりましたか？
- 4) 何ができたでしょうか？
- 5) 線香を近づけてみましょう。どうなりましたか？

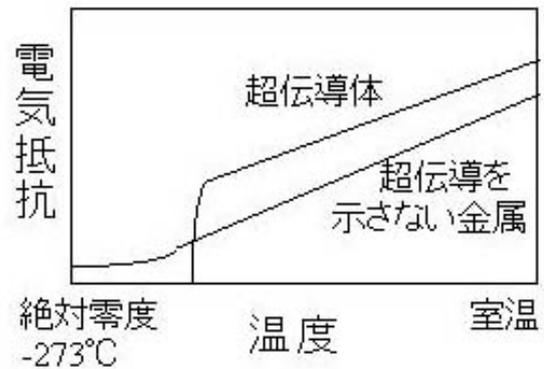
### 3. 超伝導の世界

#### 3.1. 超伝導って何？

超伝導とは、次の3つの性質を持っています。

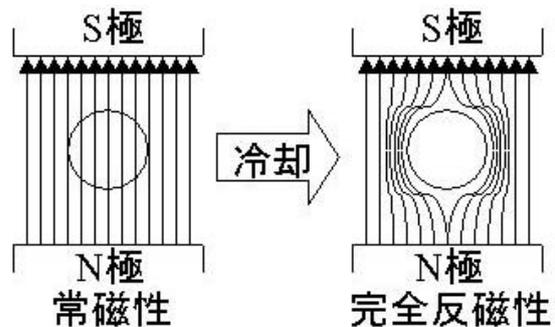
- ① 電気抵抗がゼロになります(ゼロ抵抗)。

オームの法則を聞いたことがありますか？通常の金属や半導体は、電流を流すと電位差が生じます。オームの法則とは電位差を電流で割った値が抵抗となることを示す法則です。その抵抗がゼロになるということはリング状の超伝導体に電流を流すと永久に電流が流れ続けていることとなります。この現象を利用した電力の効率的輸送の実証研究が行われています。



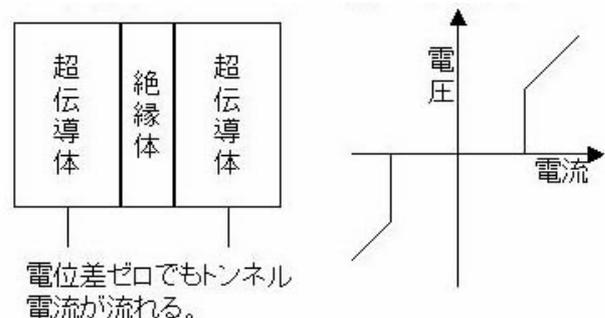
- ② 物質内に侵入していた磁束を物質外に排除します(完全反磁性)。

物質を冷やして超伝導にすると物質外に磁束を排除しようとします。つまり、磁石のN極を近づけてもS極を近づけても反発して、磁石から遠ざかろうとします。この現象が、磁気浮上に関係しています。



- ③ 2つの超伝導体の間に薄い絶縁体を挟むと電位差なしにトンネル電流が流れます(ジョセフソン効果)。

絶縁体が厚いとトンネル電流は流れませんが、薄いとこのような現象が生じます。この現象を利用して、超高感度の磁気センサーや超高速演算素子を実用化する研究が精力的に行われています。



### 3.2. 超伝導体を使って磁石を浮かせよう！

酸化物高温超伝導体  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  を使って磁気浮上実験を行います。

- ① 室温状態にあるバルク結晶に磁石を近づけるとどうなりますか？

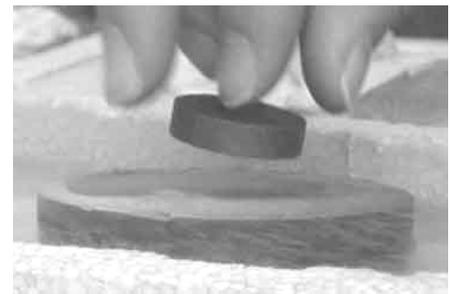
この超伝導体はもろいので破損しないよう取り扱いには気をつけてください。

- ② 超伝導体をプラスチック容器に入れます。その中に液体窒素を注ぎ、超伝導体を冷却します。30分程度かけてゆっくり冷却します。

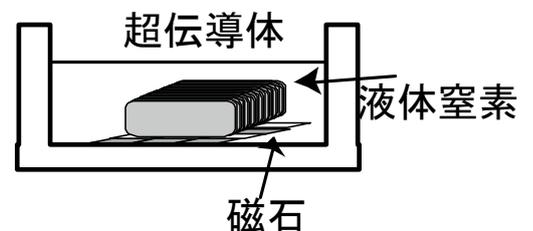
急激に冷却すると超伝導体は破損します。ゆっくり冷却してください。

- ③ 超伝導体を十分に冷却したら磁石を近づけて超伝導体の上に押しつけてみてください。どのような力をうけましたか？磁石から手を離すと磁石はどうなりましたか？

低温火傷と換気にはくれぐれも注意してください。



磁石は果たして浮上するか



### 3.3. 超伝導体を走らせよう！

- ① 液体窒素の中の磁石に超伝導体を載せ、液体窒素の突沸がおさまるまで待ちます。

- ② 磁石を並べて作ったレールの上に置き、軽く押ししてみましよう。勢いよく走るでしょうか？

- ③ レールの形を変えて、試してみよう。逆さまにすると、落ちるかな？



注意：リニアモーターカーは、この原理で動いているのではありませんので、誤解しないで下さい。

## 4. さいごに

超伝導と低温の世界、いかがでしたか？現在、超伝導体は液体ヘリウムや液体窒素を使って冷やしていますが、もし、室温でも超伝導が起こるようになれば、電気消費量は劇的に削減されるとともに地球温暖化や省資源化の問題を解決する重要な鍵になるでしょう。