

<解説:超電導材料 I (金属系超電導材料)>

1. 超電導とは

超電導材料を冷却していくとある温度で急激に抵抗が小さくなり、その温度以下では抵抗がゼロになります。これを超電導と言います。この温度を臨界温度(T_c)と言います。超電導にはいくつかの性質がありますが、最も有名で実用に関係しているのがこの“電気抵抗がゼロ”という現象です。その他マイスナー効果やジョセフソン効果などがあります。さて“電気抵抗がゼロ”ということは電流を流しても熱が発生しない、即ちエネルギーのロスがなく電気を流せることになります。しかしこの電流も無限に流せるわけではなく材料によって流せる電流が決まっています。これを臨界電流(J_c)と言います。臨界電流は温度によってもその値が変化し、更に外部の磁場の強さ(B)によっても値が変化します。超電導が維持できる最大の外部磁場を臨界磁場(B_{c2})と言います。従って図1に示すように超電導は臨界温度、臨界電流、臨界磁場で囲まれた領域のみで超電導になります。

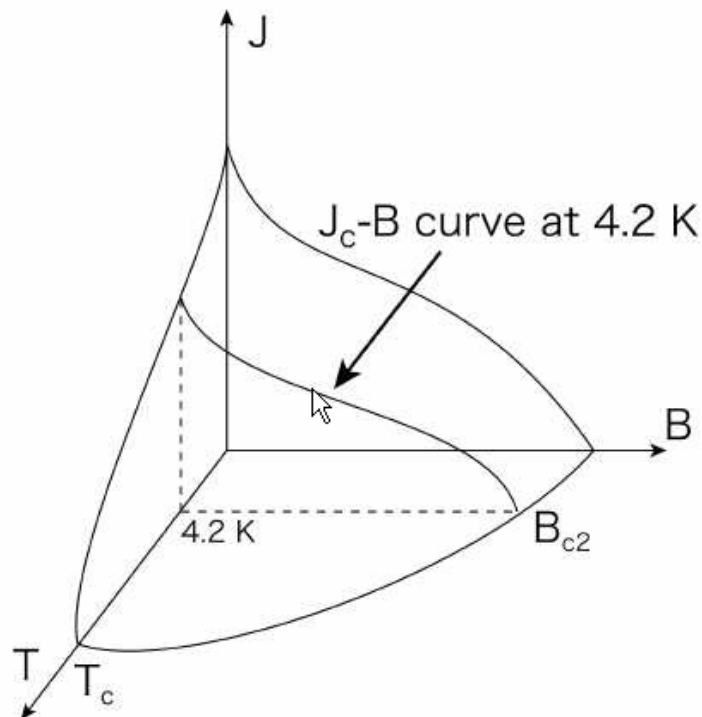


図1 臨界温度、臨界電流、臨界磁界の関係

(自然科学研究機構 核融合科学研究所 炉システム・応用技術研究系 超電導工学第二研究部門 教授高畑一也氏のホームページより)

http://homepage.mac.com/kazuya_takahata/basic.htm

2. 超電導の歴史

超電導は、初めてヘリウムの液化に成功したオランダのオネスにより、水銀を液

体へリウム(4K)で冷却することで1911年に発見されました。その後、単体の金属としてはNbが9Kで超電導になることが発見され、一方合金では現在実用化されているNb-TiやNb₃Snが1950から1960年代に発見され、さらに1970年代にはNb₃Geが23Kで超電導になることが発見されました。1980年代にはいわゆる高温超電導体と呼ばれる酸化物系で液体窒素温度(77K)でも超電導を示す物質が発見されましたが、これについては次回に紹介します。21世紀に入ると金属系の超電導体としてMgB₂が発見されました。(図2)

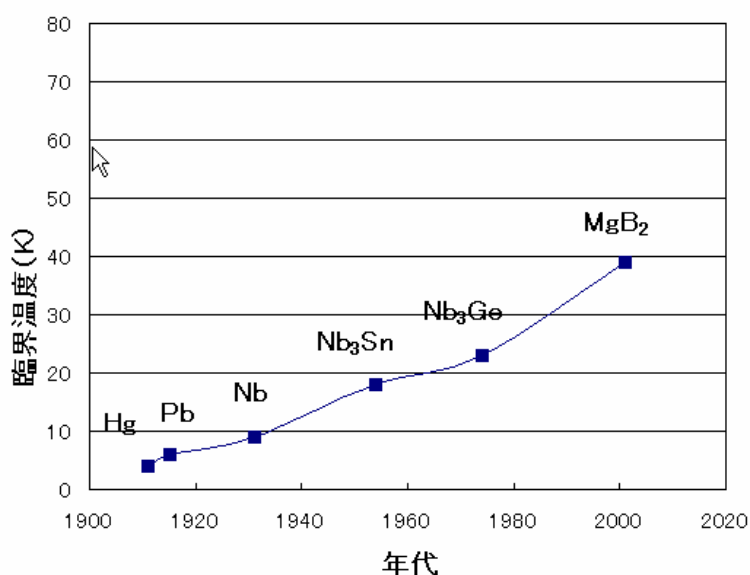


図2 臨界温度の歴史

さてこの超電導は何故起きるかは、オンネスの超電導現象の発見から40年以上も経った1957年にバーディーン、クーパー、シュリーファーによって、あとで彼らの頭文字をとってBCS理論と呼ばれる物理学の理論によって説明されています。簡単に言うと電子と結晶格子の相互作用により二つの電子が対となり(クーパーペア)結晶の中を抵抗なしに流れることによる、というものです。

3. 超電導材料の実用化

超電導材料が実用化されているのは、超電導材料を線材化しそれをコイルに巻いて作る超電導磁石です。従来の銅線を巻いて作る磁石に比べて遙かに軽量で同じ程度の磁場を発生させることが出来ることや磁場が安定している等のメリットがあります。超電導線材の応用が本格的に検討されてきたのは1960年代になってからでNb-TiやNb₃Snの線材化が開発されました。現在使われている材料としてはNb-Tiが大部分です。Nb-Tiは比較的加工が容易なためと超電導の安定化のためのCuとの複合化が容易なため信頼性の高い線材が得られています。この線材を用いて医

療用 MRI(写真1)、高エネルギー加速器、半導体結晶成長装置、磁気浮上列車等に
使われています。



写真1 日立製 MRI 装置
日立メディコホームページより

(http://www.hitachi-medical.co.jp/open-mri/what_mri.html)

従来の超電導磁石は液体ヘリウムが必要で、ヘリウムの蒸発に伴い定期的な補給
が必要であったが、最近では冷凍機的能力向上と、コイルへの導線に断熱性の良い
酸化物超電導体を用いることでほとんどヘリウムの補給が必要のない磁石が作られ、
更に比較的小さい磁石では冷凍機で直接コイルを冷やす、いわゆるヘリウムフリー
の磁石も製造されている。しかし、Nb-Ti は発生磁場が9T(テスラ)以下に限定され
ているため、それ以上の高磁場が必要なときには Nb_3Sn が用いられています。ただ
 Nb_3Sn は加工が困難なため線材の作製には図3に示すブロンズ法が用いられている。
即ち Cu-Sn(ブロンズ)マトリックスと Nb 芯との複合体を加工後、熱処理によりブロン
ズとNbの界面に Nb_3Sn 層を拡散反応で生成させています。この線材を用いることで
20T 以上の高い磁場が得られています。

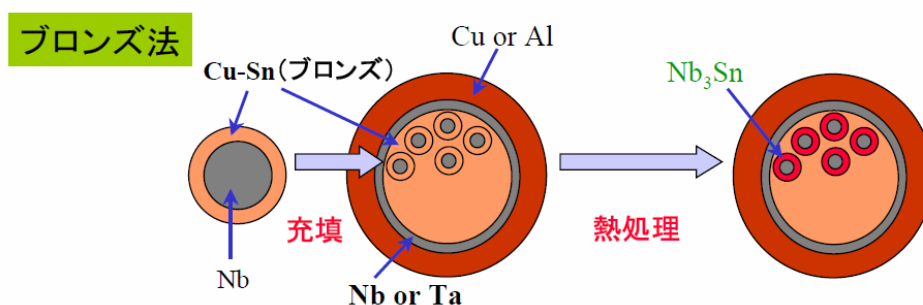


図3 Nb_3Sn 線材の作成方法(ブロンズ法)
(「超電導線材の現状と展望」 物質・材料機構 和田仁)

4. 金属系超電導線材の今後

より高い磁場を作るために機械的ひずみに強い Nb_3Al という材料の線材化技術が精力的に行われているが、現在最も注目されているのは MgB_2 です。この物質は2001年に青山学院大学で発見され、 T_c が39K という金属系では約30年ぶりに T_c の記録を更新するものです。この物質はセラミックスのように固くて脆い物質ですが、製造法のブレークスルーもあり線材化に成功し、今では磁石の試作まで行われています。Nb-Ti や Nb_3Sn に比べて T_c が高いことで大きなコイルでもヘリウムフリーの磁石が出来る可能性が高く、今後の実用化が期待されています。

以上