

## 超電導とは

1911年にオランダのカマリン・オンネスにより超電導状態が、1950年代に金属系実用超電導体が、そして1986年の後半になり高温超電導体が発見されました。超電導体は、「電気抵抗がゼロ」で損失なく電流が流れ、「強い磁界」を発生し、「磁界を排除する」物質で、いわゆる高温超電導体では、超電導になる温度が金属系に比べ大幅に高く、実用に際し、より有利になります。

図1に示すように、超電導体ごとに異なる温度 (T), 電流密度 (J), 磁界 (H) のある一定の値 (臨界値) で定められた領域内で超電導状態になり、それぞれの臨界値が大きい程有用な超電導体とみなされます。超電導体には二種類あり、第一種超電導体は、外部磁界を完全に排除するマイスナー効果を示します。一方、実用材料である第二種超電導体は磁界と超電導状態の共存 (混合状態) が可能で、低磁界領域ではマイスナー効果を示しますが、ある磁界を境に外部磁界が超電導体内に侵入し、外部磁界中でも超電導状態を維持します。第二種超電導体は、図2のように、磁束を常電導相などにピン止めする効果で、ローレンツ力に抗して電流を流し続けることができます。

## 超電導材料とは

超電導技術の応用のためには、超電導材料の基本特性をよく理解する必要があります。図1に示すように、各特性の臨界値を超えない範囲で使用し、超電導状態を維持しなければなりません。また、図2に示す電流の最大値を臨界電流(密度)といい、材料の組織に敏感な値なので、ピン止め点を材料組織に導入・制御する材料開発が非常に重要になります。そして、超電導材料を実用化するためには、電氣的・熱的に良導体である銅やアルミニウムなどを用いて超電導材料を被

覆するとともに、線材を細くするとよいことがわかっています。例えば、図3に示すように、銅のような良導体に細い超電導線材を埋め込む方法で材料が実用化されています。

## これまでに発見・研究開発された主な材料

ニオブ-チタン (Nb-Ti,  $T_c = 9\text{K}$ ) 合金は、米国で見つかり1950年代から研究が始まり、実用線材の主流に育っています。コイル化したときの発生磁界は9T以下で、機械的に安定した加工が容易で極細多芯線化が進み、線材としての信頼性が高く、安価で取り扱いが容易です。また、10T以上の高磁界を発生するニオブ3スズ ( $\text{Nb}_3\text{Sn}$ ,  $T_c = 18\text{K}$ ) 金属間化合物は機械的に脆いため、実用化する際の線材化が課題でしたが、作製技術の進展で実用化へ至りました。最近発見された、日本発の二硼化マグネシウム金属間化合物は、 $T_c$ が39Kと高く、その応用が期待されます。

一方、酸化物高温超電導体は、金属系超電導体に比べて、臨界温度と臨界磁場が高いという大きな特長があります。その構成元素は、ランタン(最初に発見)、イットリウム、ビスマス(日本人が発見)、バリウム、銅などで、硬い、脆い、加工しにくい、結晶に異方性がある、空孔を含むなどの課題がありますが、克服されつつあります。イットリウム系 ( $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ ,  $T_c = 90\text{K}$ ) 酸化物はバルク体の開発が当初進み、現在、その優れた超電導特性を生かした線材化研究が世界各地で進行しています。ビスマス系 ( $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ ,  $T_c = 110\text{K}$ ) 酸化物は線材化が主体で、多くの超電導応用機器の開発ではこの線材が使われています。

超電導技術は、省エネ・環境問題などを解決する有力な将来技術の一つであり、超電導材料と応用機器の研究開発が両輪で進んでいくことを大いに期待します。

(材料技術研究部 藤本浩之)

