

## 期待される高温超電導技術開発

超電導といえば、絶対零度付近での電気抵抗が零になる現象であるが、もしこれが常温でも可能となれば、電気を発生、送る、使用するあらゆる機器に与える影響は計り知れないものがある。

超電導材料は、昨年までは、実用化には高価な液体ヘリウム使用といった障害があった。しかし手に入りやすい液体窒素でも超電導となる新物質の出現で、一挙に、実用化に向けて拍車のかかったこの頃である。

### 1 | 話題の超電導とは何か

#### (1) 超電導の特徴は二つある

超電導とは、ある種の物質を冷やしていくと、一定の温度以下で電気抵抗が零になる現象（完全導電性）である。

（第1図）

電気抵抗が零になると、電流が抵抗により減衰したり、抵抗による発熱がなくなる。このため、超電導体を輪にして電流を流すと、電流は永遠に流れ続けることとなる。また、大電流を流すことができれば、高磁界を作ることができ、マグネットとして利用できる。

また、完全導電性と同様に重要な、そして本質的な超電導の性質として完全反磁性がある。

これは、超電導体の表面に電流が流れて、内部の磁界を零とする性質（マイスナ効果）である。このため、超電導により、通常は難しい磁束の絶縁体を作ることができる。また永久磁石の上に超電導体を置くと、超電導体が磁力線を排除するため、超電導体が空中に浮かぶ。（第3図）

しかし、これらの性質が成り立つのは、一般には温度のほかに、磁界、電流もある範囲内ではなければならない。

（第2図）これらを各々臨界温度

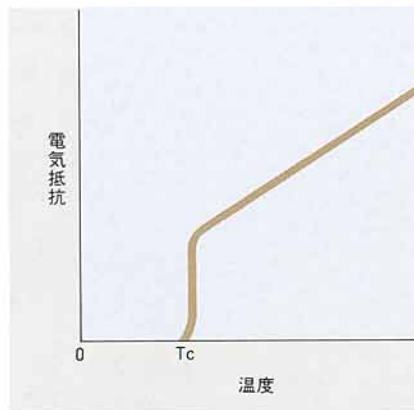
（ $T_c$ ）、臨界磁界（ $H_c$ ）、臨界電流（ $I_c$ ）と呼んでいる。

#### (2) 超電導にも種類がある

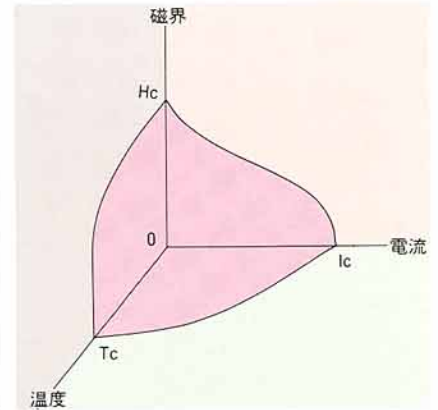
超電導体は、磁氣的性質の異なる第一種超電導体、第二種超電導体に分類

される。（第1表）

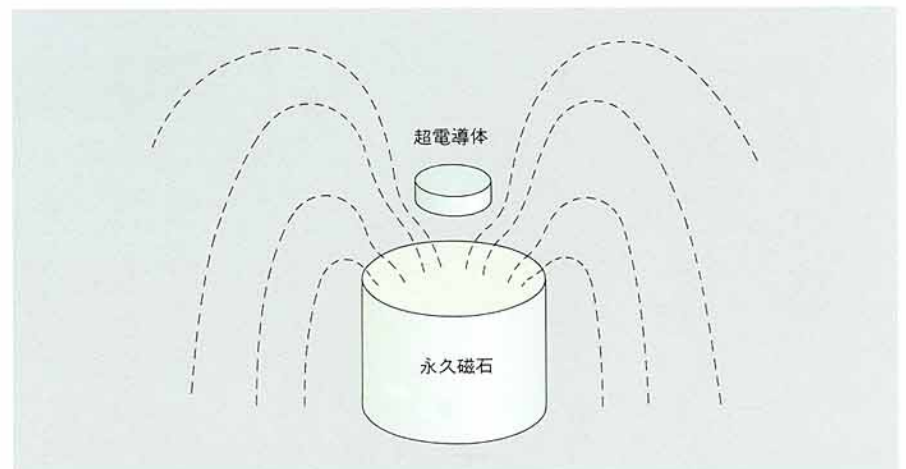
超電導材料として、超電導マグネット等に実用の可能性のあるのは後者である。すなわち、第一種超電導体は外部磁界  $H_a$  が臨界磁界  $H_c$  に達するま



第1図 抵抗特性



第2図 超電導領域



第3図 完全反磁性

では完全な超電導体であるが、HaがHcを超えると、突然、常電導状態に移行する。ところが第二種超電導体ではこの変化が急激でなく、じわじわと常伝導状態に移行する。つまり、途中で超電導と常電導の混在領域があり使いやすい。

## 2 超電導の発見から現在まで

1908年オランダ人のカメリン・オネスはヘリウムの液化に初めて成功し、低温物理の門戸を開いた人であるが、これに引き続き、1911年に水銀での超電導現象を発見した。その後も超電導の研究は続けられ、多くの物質が発見されたり、物理的な性質の解明など多くの成果があったが、良い物質が見い出されなかったこともあって、実用化への道は厳しいものがあつた。昨年秋まで臨界温度はNb<sub>3</sub>Ge(ニオブ3ゲルマニウム)の23K(零下250℃)が最高であり、それまで10年当たりわずか3Kしか上昇しない遅々としたテンポだった。

ところが、昨年11月東大工学部の田中グループの発表以来、液体窒素の温度77K以上のセラミックス超電導体が短期間に続々と見つかった。しかも新しい超電導材料の製造については、高校の理科の実験室でもできるほどの手軽さのために世界中にフィーバを巻き起こした。

## 3 超電導の理論は未解決

超電導に関する理論はいろいろあるが、特に1957年に発表されたBCS理論はノーベル賞を受賞し、これにより超電導現象は説明されてきた。しかし、これでは30~40Kが理論上の限界温度であった。

現在、これを超える新物質の発見で、超電導の理論はまだ完全には確立されていない。結晶構造の解明がすすめられているが、物理学面での急展開も予想され、BCSを超える超電導の新理論が期待される状況である。

## 4 超電導にかける夢

ざっとあげただけでも、エネルギーから情報まで、革命的なことが起こると考えられている。核融合は人類に数百億年分のエネルギーをもたらす革新的技術であるが、超電導技術による強力な電磁石が必要とされる。

電力システムの分野では、発電の効率化、安定送電、電力貯蔵への応用のほか、情報の分野ではジョセフソン素子により、現在の50倍以上の演算速度が可能な計算機が期待される。

## 5 実用化までの諸問題

これまで、一部で使用されているニオブ系の合金超電導体に代わって、新超電導物質すなわちセラミックスが主

役となり実用化されるまでには次の課題がある。

### ① 線材、薄膜化

セラミックスは硬くてもろいため、電線として使う場合、細い線材にする必要がある。また高速演算素子などに用いる場合は薄膜にしなければならない。

### ② 大電流化

電力用として使うためには、大電流が流せること。現在使われている合金の超電導体は1cm<sup>2</sup>あたり10万から100万Aの電流を流すことができる。これに対して、セラミックスの超電導体は現段階ではあまり大電流を流すことができないので、より高密度にして大電流に耐えられるようにする必要がある。

### ③ 安定化

合金では細い線に分けて、それを束にする「多心構造」により、磁場が変動したり、外から力が加わっても、簡単に超電導状態が破れないように安定性を保っているが、おそらくセラミックスでも何らかの対策が必要である。

## 6 21世紀にかける研究開発

常温度での超電導が発見されれば、人類共通の貴重な宝となる。この研究開発における電力の果たす役割も期待されており、その応用技術について積極的に取り組もうとしているところである。

(総合技術研究所 電力研究室)

第1表 超電導体の分類

区分	材料
第一種超電導体	純金属 大部分の純金属超電導体はこれに属する
第二種超電導体	合金 Nb-Zr、Nb-Ti等 化合物 Nb <sub>3</sub> Sn、Nb <sub>3</sub> Ge等 純金属 Nb、V 有機物 セラミックス

第2表 超電導の応用分野

分野	内容
電力システム	発電機、ケーブル、母線、変圧器、リアクトル限流器、遮断器、整流器
エネルギー用	核融合炉、実験装置、MHD発電、エネルギー貯蔵用
医療用機器	磁気共鳴断層撮影装置
交通システム	列車浮上、船舶推進
情報	ジョセフソン素子、磁気センサ、メモリ、電圧計量