

氏名	田中光雄
	た なか みつ お
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第823号
学位授与の日付	昭和50年11月25日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	Nb-Ti系超電導材料の電磁気的特性に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 大谷泰之 教授 田中哲郎 教授 川端 昭

論文内容の要旨

本論文は Nb-Ti 系超電導材料 (主として Nb-Ti-Ta 三元合金) の電磁気的特性に関する研究をまとめたもので、7章からなっている。

第1章は序論で、初めに今日の超電導応用技術レベルに至るまでの研究の歴史をふりかえることにより、その問題点を明らかにしたのち、本論文の概要を述べ、超電導応用研究史の中における本研究の位置づけを行っている。

第2章は臨界磁界特性の研究であり、筆者らにより開発された Nb-Ti-Ta 三元合金を用いて、その実際に常電導状態に遷移する磁界 H_c について、主として合金組成比との関連において論じている。三元合金化することにより、Nb-Ti 二元合金系より H_c が増加し、35Nb-60Ti-5Ta (at%) の組成において、現在知られている合金系超電導材料の中で最高の 123KG を示すことが実験的に確かめられている。この Ta 添加による H_c の増加を裏づけるため、比熱、遷移温度、常電導抵抗などの測定値から規定される理論的臨界磁界を求め、これらと実測値との比較を行い、その対応関係を見出している。又、 H_c のピークが1原子当りの有効価電子数のある値を満す組成比で得られることを明らかにしている。

第3章は臨界電流特性の研究について述べたもので、最初に磁束量子線のピン止めを仮定することにより導かれる内部磁束分布が超電導体の磁化と臨界電流を規定することを実験的に検証し、次いで、Nb-Ti-Ta 合金についてピン止め力密度の磁界依存性を調べ、これと合金の電子顕微鏡による金相観察結果を対応させることによって、ピン止めを担う不均質点のサイズが磁束線格子間隔と同程度になったところでピン止め力が最も強くなることを見出している。磁束線をピン止めする不均質点としては転位や析出物が主なものであり、金属加工の面からは冷間加工とそれに続く適当な熱処理によってこれらの量やサイズを制御することが可能であり、臨界電流の大幅な向上が達成されたことを述べている。

第4章のフラックスジャンプと不安定性に関する研究では、短線試料におけるフラックスジャンプパルスの観測結果を述べ、これを説明する理論解析を行っている。短線試料において観測されるフェーストフ

ラックスジャンプ (FFJ) が極めて正しい規則性をもって出現することが見出され、この FFJ に対する理論考察では、磁束侵入により試料温度が上昇し、その温度における臨界電流が試料を流れている電流より小さくなることによってジャンプが生じるという考えに沿って述べられており、理論計算と実験結果は極めて良く一致している。小コイルを用いた不安定性の検討ではデグラデーションやトレーニング効果が FFJ 特性から説明できることを指摘している。

第 5 章は交流損失特性の研究で、超電導合金のみの場合と複合超電導線の場合の交流損失について検討を加えている。商用周波数付近では超電導合金の損失は、磁化の履歴によるヒステリシス損のみが現われ、磁束分布の一般的表示式から理論的に導いた値と実測値は定量的にほぼ一致しており、直流磁界重畳によって損失が著しく増大することを理論、実験両面から明らかにしている。一方、常電導金属の中に超電導細線を多数埋め込んだ複合超電導線における損失は、捻り (ツイスト) がかけられているか否かにより、特に低周波を中心にかなり様相が異なり、低周波では一般的常識に反してツイストの無い方がむしろ損失が少ないが、この実験事実を説明するため、ツイストの有無に対応して 2 つのモデルを導入して解析を行い、ツイストしない場合には超電導体の存在により表面常電導層の磁界分布が変化し、その結果渦電流損が大幅に減少することを見出し、実験結果が良く説明されることを報告している。

第 6 章では以上のような超電導材料の諸特性が、実際の超電導応用においてどのような形で現われてくるかを示す一例として、超電導性を応用した大電流用永久電流スイッチの開発における特性上の諸問題について論じている。本研究で試作した永久電流スイッチは、超電導的に極めて不安定な状態で使用することを余儀なくされるため大電流の通電には困難が多い。これを解決するため、キュプロニッケルを母材とした極細多芯複合線を撚線又は編組線ケーブルにするという方法を開発し、さらに熱的、電磁的な安定化手法を適用することにより、20KG の外部磁界の下で 1500A 程度の通電容量を得ることに成功している。その他、スイッチの遮断抵抗に当る常電導抵抗、永久電流の減衰につながる超電導線間の接続抵抗、スイッチング速度を決める熱応答特性などの詳細な検討を積み重ねることにより、世界的にも初めての实用的大電流永久電流スイッチの開発に成功した過程を述べている。

第 7 章は総括であり、実質的研究内容を述べた第 2 章から第 6 章までに得られた結果を総括的にまとめたものである。

論文審査の結果の要旨

極低温で、ある種の金属の電気抵抗が消失する超電導現象は、電気磁器の革命的な性能向上を約束するものとして 1960 年頃から活発な応用研究が始められている。しかし、超電導は極低温で出現する一種の熱力学的な相であるため、通常の導体とは極めて様相の異った種々の特性を示すことになり、電気機器への応用を考える場合、これらを解明しておくことは不可欠である。本論文は Nb-Ti 系合金超電導材料を電気機器へ応用する際問題となる基本的電磁気特性の解明を行った結果をまとめたものであり、得られた主な結果は次の通りである。

1. 筆者らによって開発された超電導材料 Nb-Ti-Ta 三元合金の臨界磁界は Nb-Ti 合金のそれより高い値が得られ、現在知られている合金系超電導材料の中で最高の値を示すことを確かめるとともに、こ

の臨界磁界の上昇は遷移温度，電子比熱係数，常電導抵抗などの増加によって裏付けられることを見出した。又，臨界磁界のピークと合金の1原子当りの価電子数の間の法則性を確認した。

2. 臨界電流は材料的不均質部（転位，析出物）における磁束量子線のピン止め力に支配され，不均質点のサイズが磁束線格子間隔と同程度になった場合にピン止め力が最も強くなることを見出し，従来のピン止め力に対する概念を修正する考え方を打ち出した。又，これをもとに臨界電流特性を向上させる金属加工的手法を確立した。

3. 超電導線をコイルに巻いた場合に生ずる不安定性の要因であるフラックスジャンプについてその発生規則性を実験的に見出すとともに，発生機構を考察した。この結果，磁束の局部的侵入により試料温度が上昇し，その温度における臨界電流が試料電流よりも小さくなることによってジャンプが発生するという知見に到達し，従来のフラックスジャンプ理論とは異った考え方で実験事実を定量的に説明することに成功している。

4. 超電導コイルなどで一般に用いられる複合超電導線に交流磁界が印加された場合の損失機構を考察し，実験結果を定量的に説明した。特に，ツイストしていない複合線の場合，低周波交流磁界において，超電導体が常電導マトリックス中への磁界侵入度に影響を及ぼし，渦電流損の低下をもたらすという重要な事実を発見した。

5. 種々の超電導特性検討の成果を応用して，磁気浮上列車用コイルへの適用を企図した1000A級永久電流スイッチの開発に成功し，大電流マグネットの無損失運転を可能ならしめた。

これを要するに本論文は合金系超電導材料の電気機器への応用に際して生ずる一連の基本的諸問題の解決に重要な指針を与えており，学術上，技術上貢献するところは少なくない。

よって，本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。