

## 標準化活動 今月のトピックス

- 標準競争元年を迎える -

21世紀になって、超電導情報通信分野である超電導フィルタ技術に関する特許係争(訴訟)問題が持ち上がった。21世紀に新しい超電導産業が生まれるとするならば、知的財産権をも含めたこの種の標準競争は避けられないものであり、まさに標準競争元年を迎えたと言ってもよいであろう。かかる標準化環境が変化の中で、超電導製品規格化活動が進められている。

すでに実用化が定着している医療用MRI装置、NMR分析機器などは2000億円以上の市場規模で発展しているにもかかわらず、少なくとも特許係争や標準競争が表面化した記憶はない。この一つの理由として、これら従来の超電導製品が独立機能製品(スタンドアロン製品)としてその機能波及効果が限定されていたことを挙げることができる。すなわち、個々の機器は単独で特定された個人、顧客、地域などに対して高度なサービスを提供するに留まっておき、その機器の導入が波及的にグローバルかつ社会的問題にまで発展することがなかったからである。

しかし、超電導フィルタは、IT社会、中でも高度化する新情報通信システムに不可欠な要素機器である。現在の超電導フィルタの市場はせいぜい十億円程度でありながら、係争問題にまで発展するところにこの機器の社会的効果がいかに大きいか想像されよう。この現象は21世紀型超電導産業の萌芽として、また続いて発生するであろう超電導版標準競争の発端としても重要な位置付けができる。

IEC/TC90超電導標準化活動は、かかる状況に鑑み2000年度から特許権など知的財産権とも密接に係わりのある超電導製品規格化に対するニーズ調査活動を実施している。従来の標準化活動の成果である超電導関連用語規格並びに試験方法規格を基本として21世紀に不可欠な新環境関連システム、新医療介護システム、新教育システムなどの新情報通信システム並びに新エネルギーシステム、新交通・物流システムなどの新ライフラインシステムに対応し得る総合的な超電導製品規格を構築すべく作業を進めている。この目的を達成するためには、超電導製品個別の市場展開や超電導技術の単独開発の成果に甘んずることなく、まず日本が先導的に超電導製品標準大系を

確立し、日本発の技術力と国際技術交渉力を駆使して、従来型のデジュール標準と新たなデファクト標準との発展的競争環境をコントロールすることが必要である。この標準競争こそが新超電導産業を創出し、超電導産業の発展に不可欠な原動力であると考えられる。

(ISTEC 標準部長 田中靖三)

## 2001 Japan-EU Workshop on Superconductivityの報告

物質・材料研究機構  
材料基盤研究センター長  
戸叶 一正

2001年12月12日から14日にかけて、つくば市の(独)物質・材料研究機構で日本と欧州共同体(EC)の超電導に関するワークショップが開催された。周知のように、日本と米国の間では超電導ワークショップが定期的に開催されているが、日本と欧州の間では今回が初めての試みである。今回のワークショップは、旧科学技術庁国際課と欧州連合(EU)研究総局との話し合いで、超電導材料の研究開発を協力しながら効率的に進めることを目的として開催が決められたものである。その結果、日本側は文部科学省材料推進室が窓口、物質・材料研究機構が事務局となって準備を進めてきた。また、欧州側は欧州委員会(EC)本部のAgeladarakis博士が事務局担当で、Parma(Italy)のMarezio教授が欧州内の研究者の取りまとめを行ってきた。

同時多発テロの影響が心配されたが、欧州側からはほぼ予定通りの20名の参加があった。Deutcher(Tel Aviv)、Evetz(Cambridge)、Freyhardt(Goettingen)、Flukiger(Geneva)、Weber(Wien)など第一線で活躍中の研究者が多く参加したのに加え、特に印象深かったのはPirelli、Nexan、Siemens、NSTなど企業から多くの参加者があったことである。日本側からも80名(うち講演者26名)を超える多くの参加者があった。特にMgB<sub>2</sub>を発見して最も脚光を浴びている秋光先生を始めとして、お声をかけた殆どの先生方にご参加を戴き、盛会になったことをこの場を借りて感謝したい。

なお最後に今後の協力関係のあり方を議論するためラウンドテーブルディスカッションが行われたが、日欧の研究体制の違いによって議論が

平行線に終わってしまったのが事務局としては心残りであった。欧州には超電導研究者の集まりとしてSCENETという組織があり、EC主導のもとに結束が硬い。一方日本では、文部科学省系、経済産業省系等の行政上の枠があり、SCENETに相当するような超電導研究を一元的に統括する組織は明確には存在しない。この辺の事情が欧州側にはなかなか理解できないのが原因である。どちらが良いか悪いかは別にしても、今後日本国内で対応を協議すべき問題のように感じた。

## 【隔月連載記事】 バルク超電導磁石の誕生 (その1)

SRL/ISTEC 第1・3研究部長  
村上雅人

### 1. はじめに

本稿は、バルク超電導磁石(bulk superconducting magnet)がどのような経緯で誕生したかという歴史的な背景と、その特徴や応用開発の現状について紹介する6回の連載の第1回目である。その誕生を知るには、高温超電導開発の歴史や、その材料プロセスとピンニング効果の理解が不可欠である。そこで最初に、バルク超電導体が歴史の表舞台に登場するまでの背景を今回は紹介する。ある程度基礎的な話を中心になるが、ご容赦願いたい。

超電導が有するゼロ抵抗(zero resistivity)という特徴と、その本質であるマクロ量子効果(macroscopic quantum effect)は、電力、エレクトロニクス、医療、交通など数多くの分野に革新的な技術を提供する。この超電導が持つ魅力は多くの人々が認識していたが、残念ながら、超電導現象が生じる温度は、1986年までは絶対温度23度(23K)が最高であった。そのため、超電導応用には、必ず極低温技術が必要となり、これがネックとなって超電導応用が進展しなかったのである。よって、超電導研究者は何とか高温で超電導になる物質を探そうとやっきになっていたのである。

それが、1986年にLa-Ba-Cu-Oが30Kで超電導になることが発見されてから、続々と高臨界温度超電導体が出現し、Y-Ba-Cu-Oでいっきに液窒素温度77Kを超えるに至って、物理と超電導工学の両分野で大フィーバーとなった。予想を超える臨界温度のなぞの解明と、それがも

たらず新産業革命への期待の大きさが、研究者のみならず、経済界をも巻き込んだ大騒動へと発展していったのである。

## 2. 臨界電流問題の勃発

超電導フィーバーは、燎原の火のごとく世界中に広がったが、時をそれほど待たずして、その将来性に対する危惧の念が各方面から寄せられるようになった。その主張のひとつに、超電導応用にとって重要な臨界電流 (critical current) が高温超電導体では本質的に低いという指摘があった。

1988年に Science や Physics Today に高温超電導体は本質的に永久電流 (persistent current) 状態ではないという特集記事が寄せられた。寄稿した物理学者がいずれも世界的に著名な面々であったために、高温超電導体の応用はすでに魅力のないものという印象を多方面に与えた。しかも Science のタイトルが "Superconductivity: Is the party over?" という衝撃的なものであり、内容はすべて "Yes, the party is over." という否定的な内容であった。この特集を受けて、New York Times や朝日新聞にも？マークつきではあったが、「高温超電導応用は困難か」という記事が載ったのを記憶している。

超電導応用にとっては、抵抗ゼロでいかに大電流を流すことができるかが重要となる。いくら臨界温度が高くとも、ゼロ抵抗で流せる電流が1Aしかないのでは使いものにならない。この電流の最大値を臨界電流 (critical current) と呼んでいる。これが極端に小さいというのが

多くの研究者の主張であった。

超電導電流は別名、永久電流 (persistent current) と呼ばれている。これは、電気抵抗がゼロの状態では、一度流した電流が永久に流れ続けるからである。これに対し、高温超電導体では永久電流状態が得られないというのが Science 誌を中心とする否定派の主張である。ところが、その考えの基礎となっている実験の解釈に実は問題があったのである。

彼等の主張は、高温超電導体の単結晶 (single crystal) を磁場中で測ると電気抵抗が発生するという実験結果に基づいていた。これには伏線がある。当初、高温超電導体は焼結法 (sintering method) という手法で作製されていたが、この手法で作られた超電導体は多結晶体 (polycrystalline materials) となり、結晶粒界 (grain boundary) が存在する。さらに、高温超電導体の結晶には異方性 (anisotropy) があるため、その両方の効果で臨界電流密度が極端に低かったのである。このため、単結晶を使った実験が必須と考えられていた。ところが、苦勞して作った単結晶でも臨界電流密度が低いという悲観的な結果が得られたのである。

単結晶でさえ駄目なのだから、工業的に生産される高温超電導体は使い物にならないと判断するのが自然の成り行きであった。しかし、磁場中で測定すれば、電気抵抗が生じるのは超電導体ではむしろ当たり前のことなのである。それを説明しよう。

## 3. 第一種と第二種超電導体

超電導体は、その磁場に対する振る舞いによって2種類に分類される (図1参照)。ひとつは第一種超電導体 (type I superconductor) と呼ばれるものである。第一種超電導体は、外部磁場を完全に排除するマイスナー効果 (Meissner effect) あるいは完全反磁性効果 (perfect diamagnetism) を示す。これは、本質的に磁場と超電導状態の相性が悪いことに起因している。

ところが、磁場を排除するためには余分な仕事が必要となる。よって、外部磁場の上昇とともに超電導状態の自由エネルギー (free energy) が大きくなり、ある限界で超電導から常電導に転移する。この磁場を臨界磁場 ( $H_c$ : critical field) と呼んでいる。残念ながら、 $H_c$  は低く、大きいものでも0.1T程度であった。これでは使い物にならない。超電導現象を発見したカマリンオンネス (Kamerlingh-Onnes) は、超電導磁石応用を夢見ていたが、この低い $H_c$ のために、その夢を断念せざるを得なかったのである。

このオンネスの夢をつないだのが、第二種超電導体 (type II superconductor) の発見である。実は、この種の超電導体は磁場と共存することが可能なのである。低磁場領域では、第一種超電導体と同様にマイスナー効果を示すが、下部臨界磁場 ( $H_{c1}$ : lower critical field) と呼ばれる磁場に、外部磁場が超電導体内に侵入する。このおかげで、外部磁場 (external field) を排除するためのエネルギーが緩和され、強磁場中でも超電導状態が生き残ることになる。この

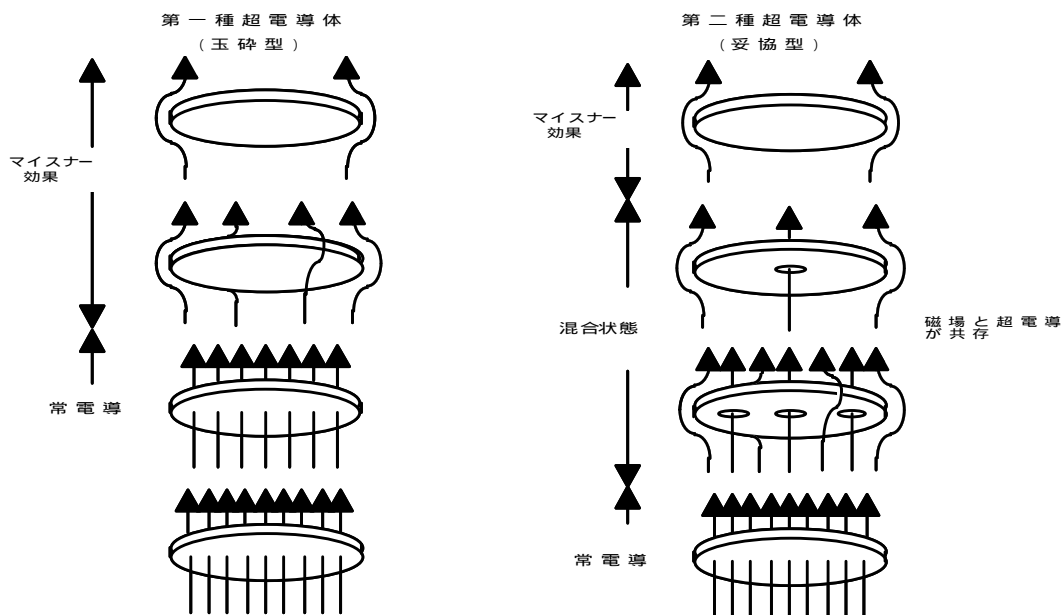


図1 第一種超電導体と第二種超電導体の外部磁場に対する応答の違い

時、侵入した磁場は量子化 (quantization) され、1本1本数えることができる。これを量子化磁束 (quantized fluxoid) あるいは渦糸 (vortex) と呼んでいる。また、磁束が侵入した領域では超電導が壊れ常電導状態となっているが、残りの部分は超電導状態のままである。つまり超電導と常電導が共存できるのである。この状態を混合状態 (mixed state) と呼んでいる。外部磁場が増えれば、それだけ磁束の本数が増え、やがて超電導体がすべて磁束で埋め尽くされたところで常電導に転移する。この磁場を上部臨界磁場 ( $H_{c2}$ : upper critical field) と呼んでいるが、 $H_{c2}$  は数10Tにも達する。

しかしながら、オンネスの夢は再び危機を迎えることになる。それは、混合状態で電流を流すと、電気抵抗がゼロにはならないという事実である。混合状態では、電流は電気抵抗のない超電導領域を流れるのであるが、磁場と電流が共存するとローレンツ (Lorentz) 力が発生する。そして、混合状態では量子化磁束にローレンツ力が働き、磁束が運動するのである (図2参照)。磁束の内部には常電導状態の電子があるから、その運動はまさつを生じ、結果的に電気抵抗が発生する。しかし、電気抵抗が発生したからと言って、超電導状態が壊れているのではない。あくまでも磁束が運動することが原因で電気抵抗が発生しているのである。このため、この電気抵抗を磁束流抵抗 (flux flow resistivity) と呼んでいる。

ここで、高温超電導体の話題に一時戻ろう。高温超電導体は第二種超電導体に属している。よって、混合状態では磁束流抵抗が生じることに

なる。つまり、高温超電導体の単結晶を使って、磁場中で電気抵抗を測定したら抵抗が発生するのはごくごく当たり前の話なのである。

このように、混合状態では超電導状態が生き残っていても、電気抵抗が発生する。とすれば、オンネスの夢は適わぬ夢として潰れてしまうのであろうか。実は、これにはピンニング効果 (pinning effect) という救世主が存在したのである。この続きは次回にゆずる。

「読者の広場」は、読者のみなさんが作っていくコーナーです。超電導に関して、さまざまな立場や角度から見た意見の投稿等を掲載するなど、情報の一方通行や偏った (誤った) 認識を避けるべく、コミュニケーションの場として活用することを目的としております。超電導を学術・専門的だけでなく、ビジネス分野から未来の世界まで夢を語れるようなそんなコーナーにできればと考えます。  
\* 編集局ではみなさんの投稿をお待ちしております。



e-mail to:  
[web21@istec.or.jp](mailto:web21@istec.or.jp)

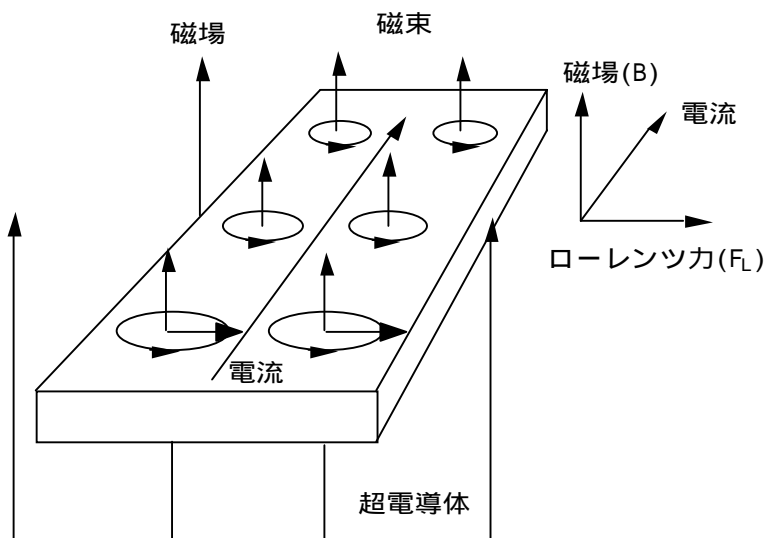


図2 混合状態にある第二種超電導体に電流を流すと、超電導領域を流れるが、磁場との相互作用で磁束にローレンツ力が作用する。この影響で磁束が運動してしまい、電気抵抗が発生する。

## 読者の広場

### (Q & A)

Q: 普通の永久磁石と超電導磁石などはどう違うのですか?

A: 永久磁石の磁場は、永久磁石を構成する元素が本質的に持っている「スピン」と呼ばれるミクロ磁石の性質に起因しています。このため、その磁場には上限があり、2T程度と考えられています。電磁石あるいは超電導電磁石は、銅線や超電導線をコイルに巻いて、「電流」を流して磁石化するもので、磁場発生原理は同じものです。ただし、普通の電磁石では銅の抵抗のため発熱が生じますので、高い磁場を発生することが難しく、大規模な冷却設備がなければ1~2T程度が限界です。これに対し、臨界温度以下に冷却する必要はありませんが、超電導コイル磁石では発熱がありませんので、最高で23T程度の磁場を発生するものも開発されています。最近、話題を呼んでいるバルク超電導磁石は、電磁誘導によってバルク超電導体内に誘導された電流が、超電導が有するゼロ抵抗のおかげで、減衰せずにそのまま流れ続ける性質を利用したものです。この場合も、本質的には電流がつくる磁場によって磁石化されます。バルク超電導磁石では最高で15T程度の磁場を発生するものが開発されています。

(回答者: SRL/ISTEC 第1・3研究部長 村上雅人)

### 超電導 Web21 2002年2月号

2002年2発行

< 発行者 >

財団法人

国際超電導産業技術研究センター内

超電導 Web21 編集局

〒105-0004

港区新橋5-34-3 栄進開発ビル6F

Tel (03)-3431-4002

Fax (03)-3431-4044

ISTEC のホームページ

<http://www.istec.or.jp>

### 超電導関連ホームページへのリンク

超電導情報研究会 (スーパーコム)

<http://www.appchem.t.u-tokyo.ac.jp/appchem/labs/kitazawa/SUPERCOM/>



この「超電導 Web21」は、競輪の補助金を受けて作成したものです。