

基本的にはデータ処理で overflow になるような実験条件は、測定として不適当なのであって、このことを有無をいわずに自覚させられたのは自動化の大きな成果であった。自動化の意義は、データ処理のプログラムのわくの中におさまる程度まで、ドリフトやノイズをへらし、実験条件を規格化することを実験者に強いることにあるとも言える。

労力の軽減については、かつては数分毎に行っていたヒーターのオン・オフ、から開放されたこと、レコーダーチャートの読みとりを必要としなくなっただけでも大きい。低温実験では、試料のセットからクライオスタットの取扱いで実験者の注意を要する操作が多い。労力の軽減はミスを防ぐことにもなる。

on line の計算機があれば、より高度の制御が可能であることは明らかである。すでにそのようなシステムの構成例も発表されている⁹⁾。マイクロプロセッサの進歩から今後はいろいろの形態の自動熱測定装置が作られるであろう。我々の経験では、温度計測器としてのデジタルポルトメーターの性能向上がもっとも望まれる。その他の要素(シーケンスコントローラ、ヒーター用電源等)は、現在のレベルで十分使用にたえるし、マイクロプロセッサ制御により、パラメータの自動変更

も可能と思われる。

現在我々はその方向への準備をすすめてつある。

最後に本システムの作製、運用は、研究室代表、渡辺昂先生の御指導によること、システムのハード部分の設計、製作は、真空理工KKにより行われ、同社社長前園明一氏より種々有益なる御助言をいただいたことをしるし感謝します。

文 献

- 1) R. Bachmann *et al.* *Phys. Rev.* **43** (205) 1972
- 2) 吉田育之; 実験物理学講座 12 “温度と熱” (沢田正三編), p. 293, 共立出版 (1970)
- 3) H. Suzuki, M. Koyama; *Cryogenics* **15** 38 (1975)
- 4) 高田 義, 岡路正博, 低温工学, **13**, 27(1978)
- 5) S. Nagata, *J. Phys. Soc. Japan* **37** 645 (1974)
- 6) M. Koyama, H. Suzuki, T. Watanabe, *J. Phys. Soc. Japan* **40** 1564 (1976)
- 7) S. Simizu, T. Nishitani, T. Watanabe, *J. Phys. Soc. Japan* **41** 1884 (1976)
- 8) Y. Kimishima *et al.* *J. Phys. Soc. Japan* **46** 1054 (1975)
- 9) R. E. Schwall *et al.*, *Rev. Sci. Instrum.* **46** 1054 (1975)

NETSUSOKUTEI 5(4) 176-178 (1978)

超伝導マグネット用材料の開発

太刀川 恭治

超伝導線材を用いると電力消費なしに、大電流を流したり、強い磁界を発生することができる。そのためとした超伝導コイルに電流を流すとコイル内の電流が減衰しないで流れる、いわゆる永久電流の状態がえられる。このような超伝導現象は、(1) 強磁界の発生、(2) 大電流の輸送、(3) 素子の3分野に大別される用途に利用され、特に省エネルギーや新エネルギー開発の観点から重要視されている。

第1の利用分野はこれまで最も強い関心が払われており、電気回転機械、エネルギー貯蔵、MHD発電、核融合炉、磁気浮上列車、磁気分離、物性あるいは高エネルギー物理研究用マグネットなどへの利用がはかられている。その利点は、鉄心電磁石の数倍強い磁界が発生でき

て機器が小型、軽量化できること、磁界発生にほとんど電力を消費せず効率の改善がえられることなどである。たとえば直径50mmの空間に15 Teslaの磁界を発生するには、銅マグネットでは約5000 kWの電力を要するが、超伝導マグネットではリード線部分などで1 kW程度の電力を消費するにすぎない。さらに銅マグネットでは、電力消費により内部に発生するジュール熱を除去するのに、莫大の量の冷却水を必要とする。核融合炉を例にとると、このような強磁界を直径数mの大きい空間に発生することが必要となるため、磁界発生に要する電力が核融合反応の出力を上まわり発電方式として成立しなくなるので、超伝導の利用が不可欠となる。また、第2の超伝導送電の分野では、従来方式より約2桁高い電流密度で送電できるとともに送電損失を減少させることができる。さらに、ジョセフソン効果を利用した超伝導素子に

* 金属材料技術研究所: 〒153 東京都目黒区中目黒2-3-12

ついても、各種の超高感度機器や大型電子計算機への応用が進められている。

さて、すぐれた性能をもつ材料の開発は超伝導の利用を容易にする。超伝導状態はT-H-Jの3次元の臨界面により限定され、それぞれ T_c (臨界温度)、 H_{c2} (上部臨界磁界)、および J_c (臨界電流密度)の3つの臨界値が存在する。Table 1に現在知られている主な超伝導材料の T_c と H_{c2} を示した。これらのうち、A-15形(β -W形)化合物はとくに T_c の高い超伝導材料として知られている。またFig.1に、1911年に超伝導現象が発見されて以来の主な超伝導材料の年代順の T_c の変遷を示した。超伝導材料は通常液体ヘリウム中(4.2K)で使用されるが、現在、液体水素中(20.4K)で超伝導性を示す材料が見出されている。

一方、超伝導材料を実用するためには線またはテープの形状に加工されなければならないが、Table 1の材料のうちですでに実用化されているのは、Nb-Ti合金およびA-15形の Nb_3Sn と V_3Ga 化合物の3種類である。

表1 臨界温度と臨界磁界の高い超伝導材料

| 材 料 | 結晶形 | T_c /K | $H_{c2}(4.2K)$ /T |
|----------------|---------|----------|-------------------|
| Nb-Zr | bcc | 10.1 | 10 |
| Nb-Ti | " | 9.5 | 12 |
| Nb_3Sn | A-15 | 18.0 | 21 |
| Nb_3Ga | " | 20.2 | 33 |
| Nb_3Ge | " | 22.5 | 37 |
| $Nb_3(Al, Ge)$ | " | 20.7 | 41 |
| V_3Ga | " | 15.2 | 22 |
| V_3Si | " | 17.0 | 21 |
| NbN | B-1 | 15.7 | 13 |
| $V_2(Hf, Zr)$ | C-15 | 10.1 | 23 |
| $PbMo_0.8S_8$ | Chevrel | 14.3 | 50 |

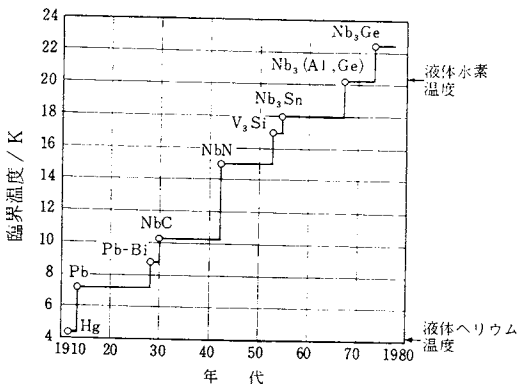


図1 主な超伝導材料の年代順の臨界温度の上昇

実用の超伝導線材は、早い磁界変化に対して超伝導状態を安定に保つため、超伝導部分をきわめて細い芯に分割した、いわゆる極細多芯形式の線に加工される。また、大型超伝導マグネットでは、安全のため大量のCuやAlを被覆した、いわゆる完全安定化方式の線材が用いられる。超伝導材料の特性は基本的にその構造と組織に著しく左右されるので、線材の製造に当っては処理条件と特性の関連を充分明らかにしておくかねばならない。また、特に機械的性質の脆い化合物材料では、その線材化に工夫を要するので、すぐれた超伝導材料の開発には材料技術面からの研究が重要な役割りを果たす。

Fig.2に超伝導状態で発生された磁界の年代順の変化を模式的に示したが、現在ではNb-Ti合金の極細多芯線を用い8Tの磁界を発生する小型の超伝導マグネットが容易に製作できるようになった。さらにこの線材を用いて直径数mの大型超伝導マグネットの製作や、高速で回転する超伝導電気機械あるいは磁気浮上試験車輻の運転なども可能になっている。また、 Nb_3Sn 化合物テープが表面拡散法により線材化され、これを用いた15Tの小型マ

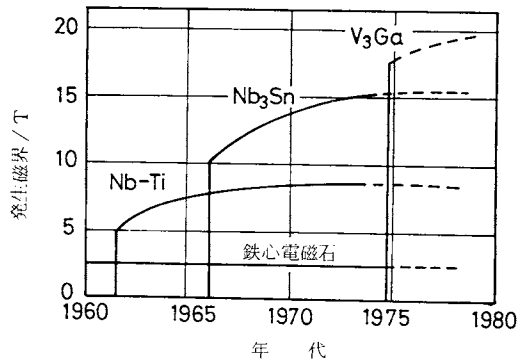


図2 超伝導マグネットの年代順の発生磁界の上昇

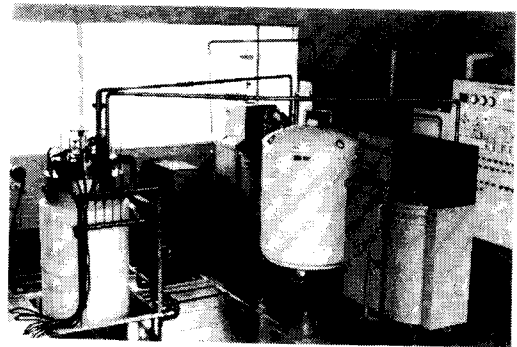


図3 17.5 T超伝導マグネットシステム
左側：マグネット系、右側：冷却系
(金属材料技術研究所)

グネットが多くの研究所で利用されるとともに、 Nb_3Sn よりさらに強磁界特性のすぐれた V_3Ga テープの実用化により Fig. 3 に示したような 17.5 T マグネットが製作され、20 T 超伝導マグネットの実現も近い将来となっている。これらは 15 年あまり前、はじめて Nb-Zr 合金線を用いて 5 T 程度の小型マグネットが製作されたものの、安定化技術が未完成で信頼性に欠けていたことを考えあわせると長足の進歩といえよう。しかし、超伝導の本格的利用にはさらに何段階かのスケールアップが必要であり、冷却技術などの関連技術を含め、その利用技術の完成のためなお長年月にわたり開発が続けられるであろう。

今後さし当って、核融合炉などのため、変動磁界に対して安定で、しかも大きい電磁力に耐えられる大容量強磁界導体の開発が求められている。表面拡散法によるテープよりはるかに安定性のよい Nb_3Sn または V_3Ga 化合物の極細多芯線は、Cu-Sn または Cu-Ga 固溶合金と多数の Nb または V 芯との複合体を細線に加工後、熱処理して芯のまわりに化合物層を拡散生成させる複合加工法によりつくられる。すでに線形式の少量 V_3Ga 極細多芯線が小型マグネットの製作に実用されたが、現在、安価な Nb_3Sn について種々の形式の大容量導体の開発が進められている。これらの化合物導体では Cu 基固溶合金との間に Ta, Nb などの拡散障壁を挿入して安定化のための Cu を接着した構造とされる。Fig. 4 にそのような化合物極細多芯線の例を示した。これらの A-15 型化合物導体で解決すべき課題はストレスによる特性の劣化で、 Nb_3Sn 線材の場合 0.2~0.3% の歪みで J_c

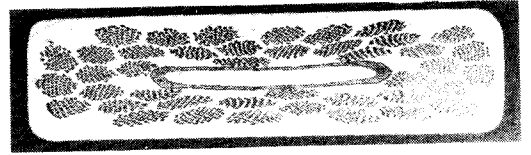


図4 Nb_3Sn 化合物極細多芯線断面
寸法: 0.5×20 mm, Nb_3Sn 芯数: 2310
中央部は安定化用 Cu (古河電工社)

が低下するとされている。現在、その劣化の機構や補強などの対策について詳細な研究がされている。一方、 V_2Hf 基の C-15 型化合物は、 H_{c2} が Nb_3Sn より高く、しかも機械的性質の脆さが少ないため、ストレスに強い新形強磁界導体として注目されている。

さらに高性能の超伝導材料として 20 K をこす T_c と 30 T をこす H_{c2} (4.2 K) をもつ Nb_3Ge , Nb_3Ga , $Nb_3(Al, Ge)$ などの A-15 型化合物についてもその実用化がはかられている。これらの化合物は前述のような拡散を利用した方法では特性のすぐれた材料がえられないので、真空蒸着法、スパッター法、あるいは化学蒸着法による線材化が研究されている。特に Nb_3Ge では 22~23 K の高い T_c がえられ液体水素中でも超伝導性を示すので、超伝導送電用材料として有望視されている。一方、Table 1 に示した Mo_3S_4 基の Chevrel 型 3 元化合物は 4.2 K で約 50 T もの高い H_{c2} がえられ、きわめて強い磁界を発生する可能性をもつ超伝導材料として興味深い。今後これら特性のすぐれた超伝導材料の実用化により超伝導を利用する意義がますます増大すると考えられる。

NETSUSOKUTEI 5(4) 178-182 (1978)

温度波 (第 2 音波)

照井 義一*

1. はじめに

超流動ヘリウム (He II) では、普通の密度波 (第 1 音波) の他に、温度のゆらぎが、熱拡散としてでなく、波動として伝播する。この温度波は 1944 年に Peshkov に発見され、第 2 音波と名付けられた。第 2 音波の実存は、He II の特異な現象を説明する 2 流体モデルを見事に確認する一つであった。良く知られているように、2 流

* 防衛大学校物理教室、〒239 横須賀市走水 1-10-20

体モデルは、He II をボーズ凝縮した基底状態を占める成分 (超流動成分: ρ_s) と励起状態を占める成分 (常流動成分: ρ_n) の混合流体と考えるモデルである。このモデルでは、 ρ_n と ρ_s が同位相でゆらぐ、即ち全密度 $\rho = \rho_s + \rho_n$ の疎密波 (第 1 音波) と、全密度の伴わない温度波 (第 2 音波) が存在する。後者は、 ρ_s と ρ_n が逆位相の相対運動しているモードである。He II の中で、 ρ_s をバック・グラウンドと考えると、第 2 音波は、 ρ_n の波動と見ることができる。