

超電導の応用 その1(電気機器)

工学部教授 山本 充 義

1911年オランダでのカメリン・オンネスの超電導現象発見以来、3/4世紀が経った。超電導にはすばらしい潜在能力があり、最近の高温超電導材の発見もあって、現在ファイバー状態にある。しかし、現実には、超電導は研究設備に応用された以外には、実用化したのはMRI (磁気共鳴イメージング装置) など数少ない。此の実用化には今後も継続的な研究開発を必要とする。以下に、電気機器を中心に開発動向について述べる。

1. 超電導線

電気機器に使用される場合には、超電導線の形で使用される。材料は現在のところ、実用線材としてはNb-TiとNb₃Snに限られる。超電導状態に保持するには、臨界の条件がある。これには温度、

磁界、電流がある (T_c, H_c, J_c)。各相互依存性がある。

表1並に図1にその関係を示す。超電導線は安定性を増大させるため、銅のマトリックス中に細線の超電導線を埋め込んだ構造になっており、その一例を図2に示す。

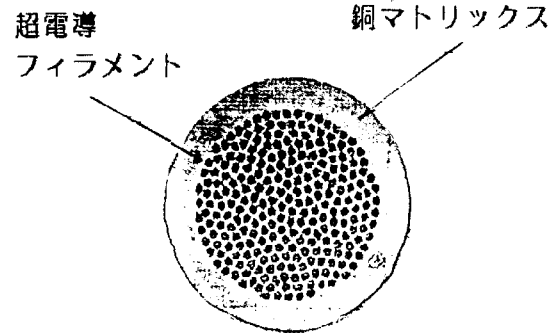


図2 多フィラメント形超電導線(導体外径1.00mmφ, フィラメント径0.032mmφ, フィラメント数252)

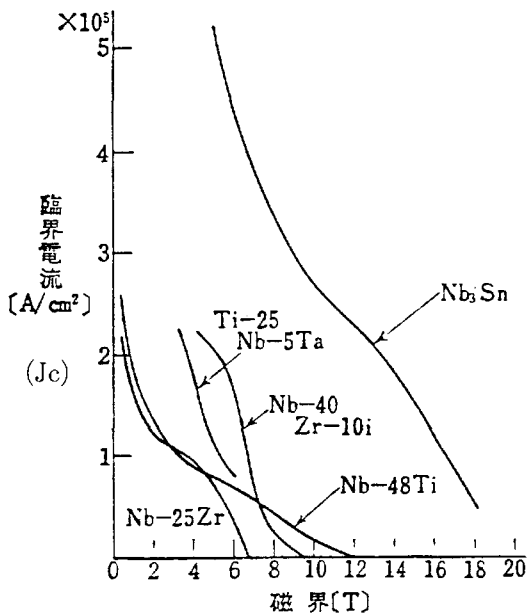
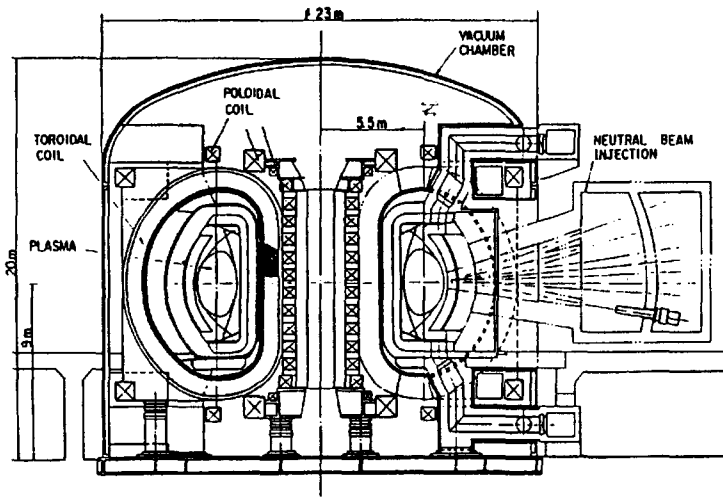


図1 代表的な超電導線材の電流密度
(合金系金属材料に示されている数字はパーセント組成比率)

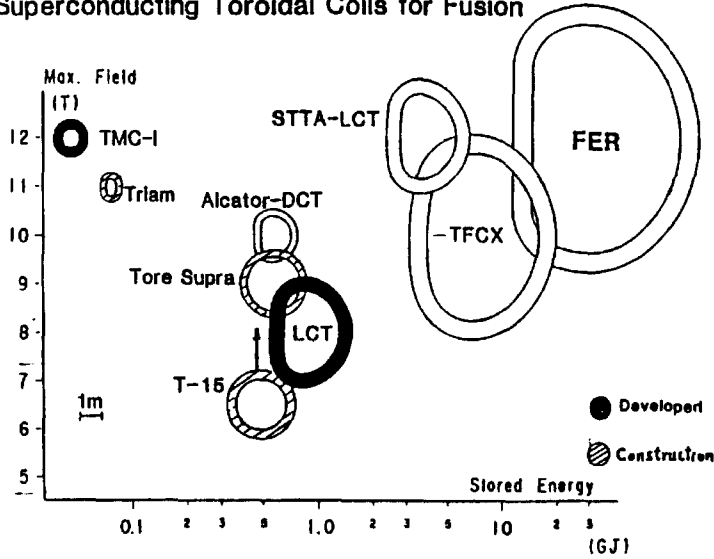
表1 不均質第二種超電導体の臨界温度と臨界磁界(T_c,H_c)

材 料	臨界温度 [K]	臨界磁界 (4.2Kにおける)
金属間化合物		
Nb ₃ Sn	18.2	24T
V ₃ Ga	16.8	21
Nb ₃	20.7	41
Nb ₃ Ge	~23	
Nb ₃ Al	17.5	30
合 金		
Nb-Zr	~10	~7
Nb-Ti	~9	~12
Nb-Zr-Ti	~10	~10
Nb-Zr-Ta		~12.5



(a) トカマク形核融合実験炉の概略

Superconducting Toroidal Coils for Fusion



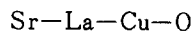
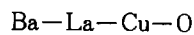
(b) トロイダルコイルの寸法

図3 核融合装置と超電導トロイダルコイル

最近話題になっている高温超電導材は下記の通りである。

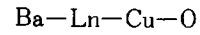
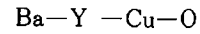
(1) $T_c = 30 \sim 40\text{k}$ のもの

層状ペロブスカイト構造



(2) $T_c = 50 \sim 120\text{k}$ のもの

酸素欠損ペロブスカイト構造



(3) 室温?のもの

結晶構造不明

Ba-Y-Cu-O 又は O の一部を F で置換

Y の一部を Sc で置換...

...不明な点が多い

この種の超電導材は T_c が高いが、高磁界での J_c が低く、今のところ電気機器としての実用性はない。今後の研究で、この点の改善が望まれる。高温超電導線が開発されれば冷却は LN_2 (77k) でよく、超電導の応用面は極めて広い。この応用技術も急速に伸びるものと思うが、現状では LHe 冷却の超電導線、特に Nb-Ti が広く使用されているので、この種の超電導線を用いた超電導機器について、以下述べることにする。

2. 研究動向

現在電気機器に対する開発動向を下記に示す。

(1) 直流または極低周波用...

...核融合、加速器、列車浮上、MRIなどの電磁石

(2) 50/60Hz交流用...

...電力用機器(発電機変圧器、リアクトルなどその他の機器への応用

直流用は超電導線もこれを用いた電磁石の技術も殆ど固まったとしてよい。核融合用を例にとり開発状況を示すと図3の通りである。今後FER、(実験炉) に向って開発が進むことになる。電力機器への応用例としては、タービン発電機の界磁コ

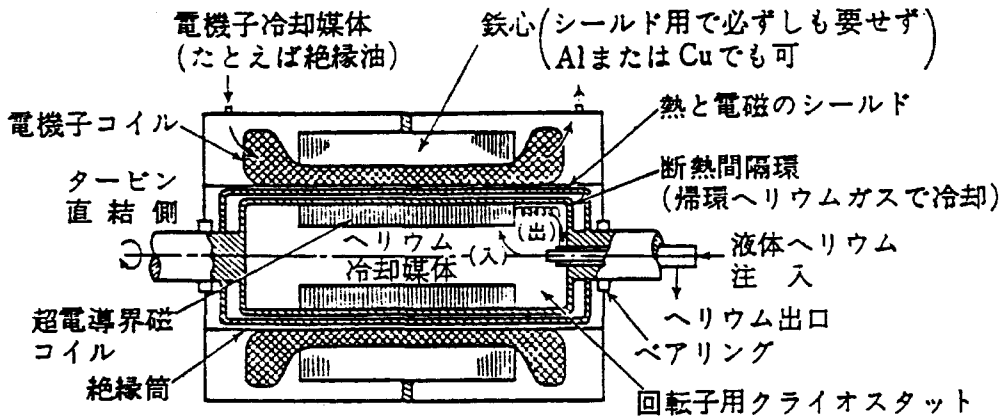


図4 超電導タービン発電機概念図

イルの超電導化があり、現在通産省の大形プロジェクトとして、実用規模の開発計画が進められている。超電導タービン発電機概念構造図を図4に示す。

超電導の交流機器への応用は長い間の願望であった。超電導には交流損失がある。

このための冷凍装置が過大となり、その実現を阻んだ。1983年フランスで交流用超電導線の開発があり、これ以来、交流電力機器の超電導化に関心が集っている。

対象としては、タービン発電機電機子コイルの超電導化と、変圧器の超電導化が代表例としてあげられる。

交流用は前述の直流用のものと基本構造は同じだが、超電導細線(フィラメント)の径は μm 以下とし、サブストレイトは高電気抵抗率をもつCu-Ni中に埋め込んでいる。一例を図5に示す。直径0.1mmの単位超電導線の中に約10,000本の細線を埋め込むことは高度の技術を必要とする。機器用として使用する場合には、使用し易いように、図のように平面状に形成して使用されることになる。これを用いた超電導変圧器の概念設計図を図6に示す。前述の電気機器は超電導化により、重量と寸法の減少、効率の向上、価格の低下が可能であり、電気機器の有望な開発対象となっている。

単位超電導線 ($\mu\text{m}\phi$ フィラメント
104本埋め込んである)
Elementary
superconducting wire
(sub-micron NbTi filaments)

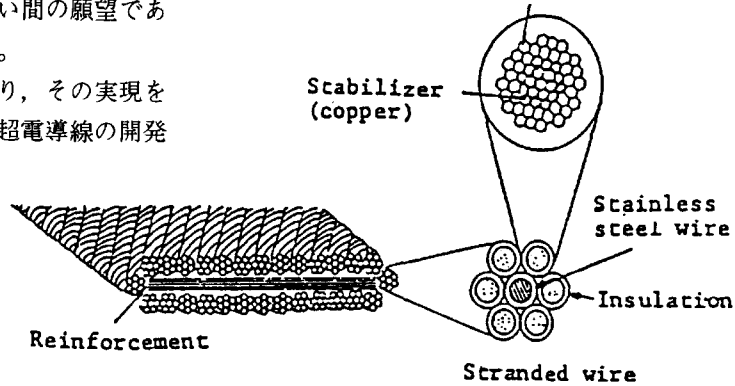


図5 交流超電導線の例

図7に変圧器を例にとり、超電導化による経済的有利性を示す。1000MVA級変圧器では、変圧器自身の価格は上昇するが、効率向上のため、損失が少なく、電力代換算をし、その変圧器が全運転中に必要とする総経費Total life cycle costは約70%としている。

その他、MRI、磁気浮上高速鉄道、MHD原理を利用した船用駆動装置、電力ケーブルなど、多数の超電導技術応用面が考えられ、研究を進められているが紙面の都合上割愛する。

(図6 図7は次頁)

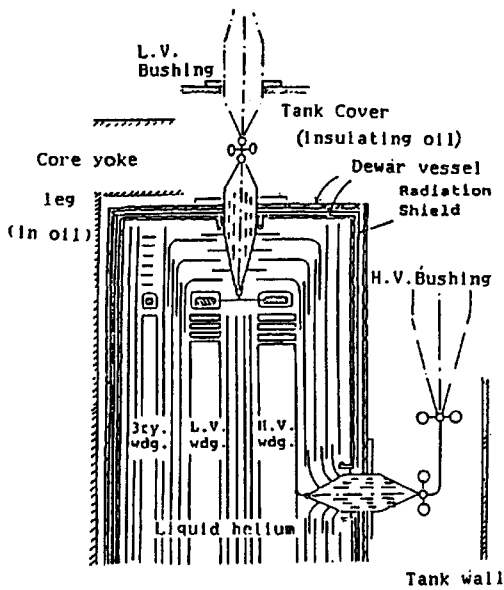


図6 超電導変圧器の概念図

おわりに、毎日毎日の新聞に超電導の話がある程のフィーバーぶりがあるが、その実用化への研究開発は厳しい現実のあることも併せ知る必要がある。核融合、MHD発電のようなプラズマ機器は超電導なくしては実現しない。MRIのような医療機器への超電導応用で、診断技術の向上で福祉への貢献大、電気機器への応用では、小形、軽量、省

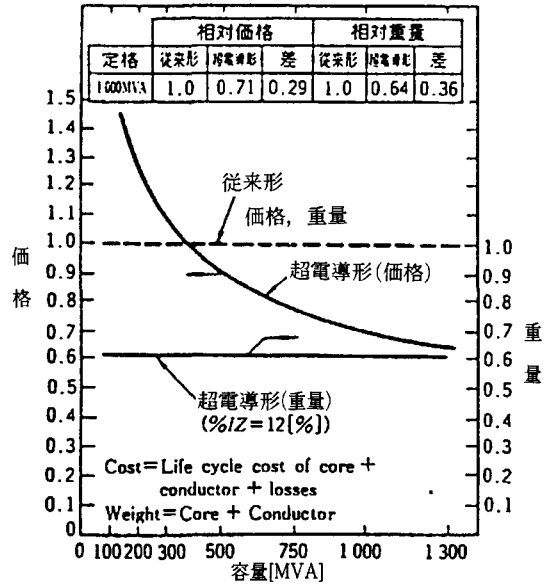


図7 WH社での超電導変圧器と従来品との価格と重量の比較

エネで、経済効果大、500km/hの高速鉄道では超電導磁気浮上は必要条件、このように、超電導には大きな産業になり、多大な利益をもたらす潜在能力がある。地味で、着実な研究開発が進められ、多分21世紀になると思うが、すばらしく花開くことを期待したい。