

超電導マグネットによる磁界の世界記録達成 ——安定性の優れた超電導線材で実現——

超電導マグネットは、エネルギー、輸送、医療などの広い分野で新技術としての応用が図られており、その発生磁界が強いほど、有用性は増加する。16テスラ以上の強力マグネットも当研究所で開発した V_3Ga テープを用いたものをはじめ、世界で2、3実用されている。しかし、これらは純国産マグネットとはいえ、さらに現状では安定性に問題がある。また、核融合炉、電磁高速推進船、分析用核磁気共鳴装置などでは、さらに高い18テスラ以上の磁界を安定性よく発生できるマグネットの開発が強く望まれている。

当研究所では、かねてから強磁界発生用超電導材料の開発にとりこんでおり、最近 $(Nb, Ti)_3Sn$ 極細多芯線、2段熱処理 V_3Ga 拡散テープなどの、強磁界特性と安定性の優れた超電導線材の開発に成功した。そしてこれらの新超電導線材を使い、純国産の技術により、世界に先がけて18テスラの壁の突破に成功した。

この度のマグネットの外観および諸元を、それぞれ写真ならびに表に示す。外層マグネットには、 $Nb-Ti$ と $(Nb, Ti)_3Sn$ 極細多芯線を使用し、有効内径180mmの空間に14.2テスラの磁界を発生した。この磁界中に、改良された V_3Ga 線材を巻いた内層マグネットを挿入し、3.9テスラの追加磁界を発生し、合計18.1テスラの磁界を4.2Kの運転で安定性よく発生することに成功した。線材の特性とマグネットの設計からこの発生磁界にはなお余裕があると考えられる。

今後、超電導線材の高磁界特性がさらに良くなる超流動ヘリウム中で本マグネットを運転し、20テスラ以上の磁界を発生することを計画している。

表 18.1テスラマグネットの主な仕様

	外層マグネット	内層マグネット
有効内径	180mm	30mm
外径	630mm	150mm
コイル長	680mm	231mm
動作電流	1180 A	130 A
超電導線材	$Nb-Ti, (Nb, Ti)_3Sn$	繊維分散 V_3Ga , 拡散 V_3Ga
発生磁界	14.2 T	3.9 T
蓄積エネルギー	6 MJ	
動作温度	4.2K	

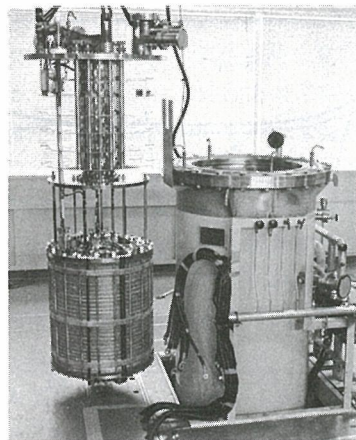


写真 18.1テスラ超電導マグネット
本体(左)とクライオスタット(右)

電子ビーム照射によりNb₃Al基超電導化合物の線材化に成功

— 超高磁界で世界最高レベルの超電導特性を達成 —

実用超電導材料としては、第1世代のニオブチタン (Nb-Ti) 合金、第2世代のNb₃SnおよびV₃Ga化合物が医療診断用装置をはじめ広い分野に利用がはかられている。

一方、強い磁界発生が必要な応用面からは、さらに性能の優れた第3世代超電導材料の開発が強く望まれ、Nb₃Al、Nb₃(Al, Ge)などの化合物がこの要求を満たすものとして研究されている。しかし、これらを従来法により線材化しようとすると肝心の臨界電流密度 (J_c) が極端に低くなり、実用に供することができないのが現状である。

当研究所では、高エネルギー密度のビーム照射を利用した高性能超電導体の線材化技術の開発を強力に進めている。そしてこのたび電子ビーム照射法によって作成したNb₃Alテープが図1に示すように23テスラ以上の極めて強い磁界中でも十分実用化に足る大きいJ_cをもつことを明らかにした。図には、NbTiおよびNb₃Sn 実用線材の特性も比較のため示しており、本研究によるNb₃Alテープが格段に優れた強磁界特性を示すことがわかる。

図2に作製装置の概略を示す。Nb粉末とAl粉末との混合体をNb管の中に詰め、これをテープ状に加工すると両者の粉末はそれぞれ密接した細い織

維状に変形する。次にこの素材を高速で移動させながら、その表面に細く絞った300~400Wの電子ビームを照射すると、NbとAlが反応して目的とするNb₃Al繊維が生成する。本法によれば、素材を局部的に急加熱および急冷することができるため、高温で安定な3対1の化学量論比の組成をもつ臨界磁界 (H_c) の高い化合物をそのまま室温にもちきたすことができるとともに、微細結晶組織が得られるのでJ_cの値が高くなる。また素材に連続照射することによって長尺化が容易であるという製造上の利点も有している。

当研究所では、同じ方法によって図1に示すように、20テスラ以上での特性のさらに優れたNb₃(Al, Ge) テープの作成にも成功した。Nb₃Al、Nb₃(Al, Ge)の臨界磁界は30テスラを越えるため、これらが実用化されれば25テスラ級の超電導マグネットの作製も可能となり、超電導発生磁界を大幅に高め得るものとして期待が寄せられている。このように、今回の成果は、従来、線材化が困難であった高性能超電導化合物を実用化する新しい道を開いたもので、今後は長尺線の試作とその評価試験など、実用化を目指した開発をさらに強力に進めていく予定である。

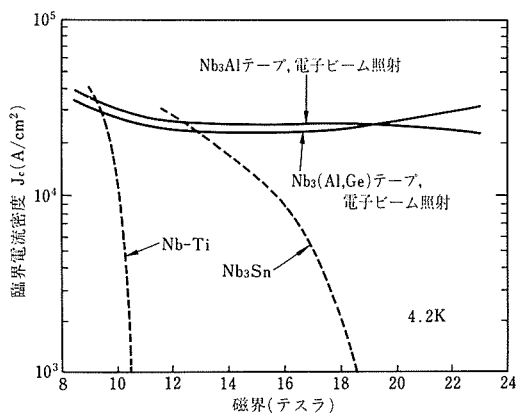


図1 本研究で得られたNb₃Al基化合物線材と、実用超電導線材との特性比較

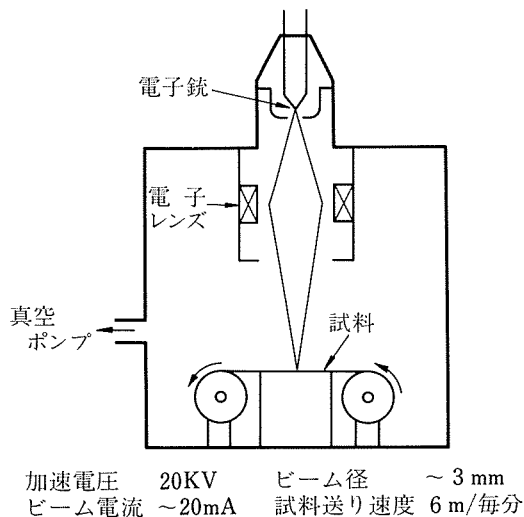


図2 電子ビーム照射装置概念図 (電子ビーム溶接装置を利用)

極低温材料試験の標準化

極低温における材料試験に関する規定は、これまで特になく、常温での規定に基づいて行われている。しかし、極低温(-269℃)では材料の比熱と熱伝導率が極めて小さく(ステンレス鋼の場合、常温のそれぞれ200分の1と20分の1)材料の変形による発熱が試験片の局部的温度上昇につながるため、常温における規定をそのまま適用するのは問題である。

当研究所では、極低温での材料試験法の研究から、引張り試験では局部的に50℃以上も温度

が上昇すること、歪み速度によって引張り強さが変化し、常温試験における規定の範囲内でも歪み速度を10倍速くすると得られる引張り強さは約1割低下することなどを明らかにした。

これらのことから、試験法の標準化を行っているASTM(米国材料試験協会)と当研究所が共同で、極低温における試験法の標準化を行うべく調査検討を開始した。

現在、試験条件の中で歪み速度の上限と試験片の寸法を規定した草案を作製するとともに、破壊靱性試験における試験片寸法及びき裂導入方法を含めた試験法の検討を行っている。

極低温疲れ試験の1000時間連続運転達成

核融合炉または超電導発電機などに極低温で使用される構造材料の信頼性を確認するためには、液体ヘリウム(-269℃)中での疲れ試験を行う必要がある。

当研究所では、無潤滑ヘリウムガス圧縮機と再凝縮冷凍方式を組み合わせた液体ヘリウム温度の疲れ試験装置(金材技研ニュース1983.No.8参照)の1000時間以上の連続運転に成功した。この実績により、液体ヘリウム温度にて低い試験周波数による、繰り返し数の多い疲れデータの

取得が可能となり、構造材料の長時間寿命の評価に大きく前進した。

極低温での疲れ試験は材料の温度が上昇し易いため、試験周波数を高めて試験時間を短縮することができない。当研究所での試験周波数はチタン合金で4Hzであり、破断に至るまでの繰り返し回数(N_f)が 10^6 回程度のデータを得ようとすると約100時間を要する。また疲労限付近での N_f を予測する事は難しく時間にして数100時間の幅がある。このような試験において、液体ヘリウムの補給を必要とせず長時間連続試験を行える本装置は世界に類がなく、その重要性は極めて高い。

高磁界超電導材料に関するワークショップ

日米核融合研究協力による第4回高磁界超電導材料に関するワークショップ(日本側キーパーソン:太刀川筑波支所長)は、1986年2月26日より3日間米国ウエストバージニア州ウッドにて開催された。

会議に先立って、ブルックヘブン国立研究所で、超電導超大型加速器(SSC)計画のための長さ17m級超電導マグネットなどの開発情况及びインターマグネチックスゼネラル社で、医療診断用に急速に普及しつつある超電導MRI(磁

気共鳴映像)CT装置の開発状況を見学した。

会議は、参加者が日米両国合わせて40名で、発表件数34件の内当研究所のものは4件であった。

今回のテーマは、(1)高磁界超電導マグネット、(2)高磁界超電導材料及び(3)高磁界特性測定法の3つで、(3)のテーマでは、今回はじめて日米間で試料の交換を行い、測定法の研究に成果をあげた。超電導材料を含めた超電導マグネットの高磁界化技術については日本が、また、マグネットの大型利用技術については米国が一步リードしている状況にある。第5回は1987年秋、日本で開催の予定である。

〔特許出願速報〕

出願日	出願番号	発 明 の 名 称	出願日	出願番号	発 明 の 名 称
60. 10. 3	60-219143	金属材料のバラスト溶接法	60. 4. 8	60-074079	磁気記録媒体及びその製造方法
60. 10. 21	60-233466	磁性流体の製造方法	(名義変更)		(日立金属(株) 新技術開発事業団との共同出願)
60. 10. 21	60-233467	磁性流体の製造装置	61. 2. 3		
60. 10. 21	60-223468	電子ビーム照射による超電導化合物の製造法	60. 4. 19	60-084274	磁気記録媒体及びその製造方法
60. 10. 21	60-233469	金属強化型セラミックス複合材料及びその製造方法	(名義変更)		(日立金属(株) 新技術開発事業団との共同出願)
60. 10. 26	60-238616	イットリヤ粒子分散型 γ 相析出強化ニッケル基耐熱合金	61. 2. 3		
60. 10. 29	60-240526	金属またはセラミックス微粒子の製造法	56. 5. 21	56-075695	底吹連続製鋼炉
60. 10. 29	60-240542	化合物超電導体の製造方法 ((株)東芝との共同出願)	(名義変更)		(三菱重工業(株) 新技術開発事業団との共同出願)
60. 11. 8	60-248740	Ti添加Nb ₃ Sn超電導線材の製造法	61. 2. 10		
60. 11. 20	60-258453	光学式変位測定装置	57. 9. 14	57-158760	連続製鋼炉
60. 12. 26	60-292196	金属または合金とアルミナの複合材の製造法	(名義変更)		(三菱重工業(株) 新技術開発事業団との共同出願)
61. 1. 25	61-013015	Ti添加Nb ₃ Sn複合超電導線材の製造法	61. 2. 12	61-026856	漏洩磁束探傷法による表面欠陥の非破壊計測法
			61. 2. 27	61-040254	金属間化合物TiAl基金金属材料の表面改質法
			61. 3. 25	61-064921	セラミックス被覆体の製造法及びその被覆体
			61. 3. 28	61-068286	SOxセンサー用固体電解質およびその製造法

◆短 信◆

●受 賞

本多記念研究奨励賞

極低温機器材料グループ 竹内孝夫は、「A15型金属間化合物超電導線材に関する研究」により、昭和61年5月12日、賞を受けた。

●海外出張

金尾正雄 科学研究所

研究協力プロジェクト「新材料と標準」第5回運営委員会及び「材料データバンク」第1回技術作業部会出席のため、昭和61年5月10日から昭和61年5月17日まで西ドイツ、オランダへ出張した。

和田 仁 極低温機器材料研究グループ第3研究グループリーダー

「未来加速器技術の開発に関するワークショップ出席と調査」のため、昭和61年5月10日から昭和61年5月22日までアメリカ合衆国へ出張した。

中村治方 溶接研究部長

鈴木信安 管理部企画課企画係長

中国溶接技術・計画打ち合せ調査団の団長、団員として中国甘肅工業大学との研究協力に関する調査を行うため、昭和61年5月19日から昭和61年5月27日まで中国へ出張した。

●“好評だった「中学生のための金属教室」”

当研究所が去る4月19日(土)科学技術週間行事の一環として開催した「中学生のための金属教室」には目黒区や品川区などの中学校から多数の生徒(140名)が参加し、研究者の説明に熱心に聞き入っていた。

この教室は「鉄鉱石から鉄を作る」、「鋼の強さと粘さ」及び「金属とさび」の3つのテーマをとりあげ実施したものであるが、今年は科学映画の上映、研究成果の紹介なども行われ、例年に増して好評であった。



通巻 第330号

編集兼発行人 加藤 公輝
印刷 株式会社三興印刷

発行所 科学技術庁金属材料技術研究所

〒153 東京都目黒区中目黒2丁目3番12号
電話 東京(03)719-2271(代表)