NO. 4

金材技研ニュース

1982

科学技術庁　金属材料技術研究所

The use of NIMS library items is restricted to research and education purposes. Reproduction is not permitted.

未来を開く超電導化合物材料

――当研究所での最近の研究成果から――

ある種の金属を－250℃程度の温度に冷すと，電気抵抗が突然ゼロになってしまう。これは超電導現象として知られているものであり，この現象を利用してきわめて強力な磁石を作ったり，電力損失なしに大電力を送ることができる。このため，超電導発電機，核融合炉，磁気浮上列車，超電導送電など多くの未来技術を可能にするものとして，最近，超電導の利用は大きな期待を集めている。

超電導現象は，温度，磁界，電流密度がそれぞれある臨界値以下のときにだけ生じ，どれか一つでも臨界値を越えると，超電導材料はたちまち“ただの金属”になってしまう。このため，これらの臨界値が高い化合物系の超電導材料の開発が，超電導技術開発のかなめとなっている。

当研究所では，これまでに，きわめてもろいため線材化が困難であった V_3Ga 化合物の長尺線材の開発，このテープを用いた世界最強の磁界(17.5テスラ）を発生する超電導マグネットの製作，電磁気的ショックに対する安定性のすぐれた V_3Ga や Nb_3Sn 極細多芯線の複合加工法による開発など，この分野で多くの先端的成果をあげてきた。

これらの成果に加えて最近では，Nb_3Sn 極細多芯線を改良して25テスラの高い臨界磁界を得，15テスラでの臨界電流密度を従来の数倍にすることに成功した。これは最も近い将来に広く実用し得る化合物線材として期待され，写真のような断面を持つ大容量線材の開発が進められている。また，従来の複合加工法よりも簡略なアーク溶解とメッキ法により，V_3Ga の極細繊維が多数分散した新線材の製造に成功した。この線材は20テスラでも大きい臨界電流密度をもつほか，強度が高く，また，歪による特性劣化が少ない特長を持っている。

一方，超電導特性は材料の構造にきわめて敏感であるため，核融合炉では中性子照射による劣化が問題となる。当研究所で発見した V_2Hf 基のラーベス型化合物は，Nb_3Sn や V_3Ga と同程度の強磁界特性を持つうえ，耐中性子照射性が10倍以上優れている。最近試作に成功した1634芯の V_2(Hf, Zr）極細多芯線では，引張応力を加えても各種の超電導臨界値が全く変化しない優れた特性を示した。

さらに，次頁に述べる新らしい融体急冷法により，従来より格段に優れた特性を持つ化合物材料の作製にも成功している。

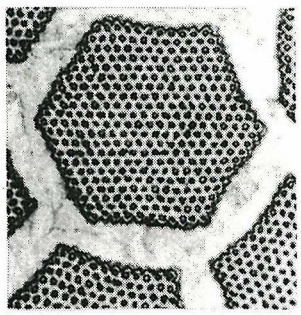

写真　Nb_3Sn 極細多芯線断面の一部。331×7＝2317本の Nb 合金芯（芯径7ミクロン）を含む。

臨界磁界40テスラの超電導材料の製造法を開発

——加熱基板上への融体急冷法を利用——

最近，当研究所では新たに開発した加熱基板上への融体急冷法によって，$Nb_3(Al, Ge)$ 高性能超電導化合物の作製に成功した。

この$Nb_3(Al, Ge)$は臨界磁界が40テスラ，臨界温度が20.7Kという非常に優れた特性をもつことが知られていたが，従来の拡散による製法では生成温度が著しく高くなって結晶粒が粗大化するため，肝心の臨界電流密度がきわめて低くなってしまい，実用化の見通しが得られていなかったものである。したがって，もしこの材料の実用化が達成されると，超電導マグネットの発生磁界を現在の最高17.5テスラから格段に高め得るものと期待されている。

金属を溶融状態から超高速で急冷する融体急冷法は，非晶質体や普通の溶解法では得られない新しい材料を作製する手段として注目されており，当研究所においてもかねてからこの融体急冷法による新超電導材料の作製について，研究を行っていた。

従来の融体急冷法では，冷却効果を高めるためになるべく低温の冷却基板を用いる方が有利とされ，室温あるいはそれ以下に冷却された銅板や銅製ロールが用いられていた。しかし，最近当研究所ではNb合金のように非常に高い融点をもつ材料に対しては，従来の常識とは全く逆に，基板を加熱すると融体のぬれ性が著しく改善され，基板上にきわめて薄く拡がり，高い冷却速度が達成できることを見出した。

この発見に基づき，溶けた $Nb_3(Al, Ge)$ 合金を500～600℃に加熱した銅基板上にふきつけたところ，高い冷却効果のためにAlとGeが強制的に多量にNbに固溶された加工性の良い体心立方格子の合金が得られた。ついで，これを800～1000℃で熱処理すると，結晶粒径が200～300オングストロームの非常に微細なA15型$Nb_3(Al, Ge)$化合物に変態する。

このようなプロセスによって得られたA15型，$Nb_3(Al, Ge)$は，結晶粒が著しく微細化されるため，臨界電流密度が従来の実用超電導材料をしのぐ高いレベルに達することがわかった。すなわち，図に示すように，その臨界電流密度は従来の拡散法で作製したものよりも2桁近く高く，また既に実用化されているNb_3Snなどの線材を上まわる値となる。

このA15型$Nb_3(Al, Ge)$超電導体の臨界磁界は40テスラに達することから，これを線材化することによって，30テスラ程度の磁界を発生できるマグネットを実現できることになる。また，A15型超電導体は非常に脆いため，曲げ応力による特性劣化がコイル作製を技術的に困難なものにしていたが，本製法では急冷直後の機械的特性の優れた体心立方格子の結晶状態で巻くこともできるため，機械的な劣化を防止できる。

加熱銅基板は厚さ0.2mm以下で，$Nb_3(Al, Ge)$急冷試料は20ミクロン以下の薄膜となってその上に密着性良く付着する。したがって実用線材とする場合，銅基板はそのまま安定化材として使用し得るので，基板温度を高めることは冷却効果の改善とともに一石二鳥の役割を果す。

当研究所では，この材料の実用化を目指して，加熱基板となる銅テープを連続的に供給して長尺線材を作製することを計画中である。

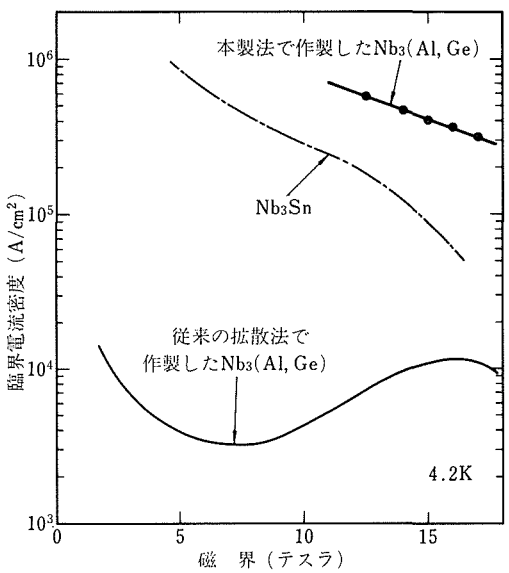

図　本製法で作製した$Nb_3(Al, Ge)$超電導体の臨界電流密度－磁界曲線

スポットニュース

噴霧法による粒子分散鋳造材の製造法開発に着手

粘い金属中に酸化物などの微粒子を均一に分散させると，耐熱性，耐摩耗性，防振性などの点で優れた性質の材料を得ることができる。しかし，このような材料は，従来の合金法などでは製造が困難である。

当研究所では，種々の溶融金属と固体微粒子とを目的に応じて混合したものを，アルゴン，あるいは窒素ガスなどにより噴霧し，直ちに鋳型中に鋳造する方法の開発に着手した。この方法により，従来の手法では得られない機能と特性を持った大物から小物までの複合鋳造材の直接製造が期待される。（金属加工研究部）

モリブデンの電子ビーム溶接法に新しい試み

モリブデンは高い融点（2617℃）をもちながら，溶接部が非常に脆くなるために高温構造材料として用いられていない。当研究所では電子ビーム溶接時にビームを横振動させて溶融金属部の凝固組織を制御することを試みた。その結果，通常の直線ビームを用いた時よりも溶接部の強度，延性が向上することを確認した。この効果は凝固組織が変ったために，破断する時のクラックの伝わり方に違いがあることに起因している。現在ビーム振動の周波数，振幅等を変えて更によい溶接条件を求めており，材料の改良と併せて原子炉材料，エネルギー材料としてのモリブデンの将来への道を開こうとしている。

（原子炉材料研究部，溶接研究部，機能材料研究部）

Ni基耐熱合金の拡散溶接継手性能の改善

γ'を析出させて強化したNi基耐熱合金の溶融溶接では割れが発生し易いため，拡散溶接が注目され，一部ガスタービン翼の組立溶接法として使用されている。その継手の性能は，常温・高温引張性能では母材並みであるが，クリープ破断性能が劣ることが知られている。そこでクリープ破断性能改善策について系統的な検討を行い，接合部のγ'量と介在物量を調整することにより一部母材並みのクリープ破断性能を得ることに成功した。現在，安定した性能を得るための溶接施工条件を確立するための研究を続けている。（溶接研究部）

軽水炉の安全研究—腐食疲労試験

現在実用されている原子炉は，設計基準に基づいて設計，製作されているが，特に圧力容器や配管など苛酷な環境下で使用される構造物については，できるだけ実機に近い環境下で材料の特性を評価し，システム全体の安全性の向上を図る必要がある。

当部では，軽水炉用圧力容器鋼の健全性評価の一環として，軽水炉を模擬した環境下での腐食疲労き裂伝ぱ挙動に関する実験的研究を開始した。最近完成した実験装置は，疲労試験機（10t），オートクレーブ（容量約15ℓ）および純水循環装置からなり，主にBWR（沸騰水型軽水炉）環境下での試験が可能である。その結果は安全審査，検査基準の判断資料として寄与するものと期待される。（疲れ試験部）

昭和57年度より開始される研究題目

○特別研究
- 自己修復性被覆法の開発に関する研究

○指定研究
- 水素貯蔵用金属材料に関する研究
- 水素プラズマによる金属超微粒子の製造と利用に関する研究
- 海洋開発用強力鋼の開発に関する研究
- 超強力合金の強靱性向上に関する研究
- 石炭による鉄鉱石の溶融還元技術に関する研究

○他省庁経費研究
- 高性能結晶制御合金の研究開発

○経常研究
- ジョセフソン素子用材料の諸特性に関する研究
- 選択性水素反応用金属材料に関する研究
- 強力材料の水素脆性防止に関する研究
- 金属材料及びプロセス開発に伴う分析法の確立に関する研究
- 粒子分散鋳造法による複合材料の製造に関する研究
- SUS316鋼のクリープ疲労相互作用下における損傷に関する研究

研 究 成 果 の 発 表

1．国　際　会　議（○印は発表者を示す）

日米セミナー（昭和57年２月２日，オークリッジ研究所）

研究題目　Ion Simulation Test of First Wall Materials and Low-Z Coatings in NRIM
H. Shiraishi, T. Kimoto, N. Yamamoto, ○N. Kishimoto, H. Yoshida, M. Okada, M. Kitajima, K. Fukutomi, H. Shino, T. Shikama, M. Fujitsuka

建築用銅及び銅合金の腐食に関する国際シンポジウム（昭和57年３月16日～３月17日，東京）

発表論文　Effect of Residual Chlorine on the Pitting Corrosion of Copper Tubes in Hot Waters.
○T. Fujii, T. Kodama, H. Baba
Fresh Water in Japan and Corrosion of Plumbing Materials.
○T. Kodama, T. Fujii

第５回日独セミナー（昭和57年５月３日～５月４日，西ドイツ）

研究論文　Melting Rate of Reduced Iron and Iron Oxide Pellets into Iron Melt.
○A. Sato

国際低温工学・低温材料会議（昭和57年５月11日～５月14日，神戸）

発表論文　Preperation and Properties of "In Situ" Processed V_3Ga Wire and Tape.
○T. Takeuchi, K. Togano, H. Kumakura, K. Tachikawa
Superconducting Properties of Nb_3(Al, Ge) Prepared by Liquid Quenching and Subsequent Annealing.
○K. Togano, T. Takeuchi, K. Tachikawa
Composite-processed Nb_3Sn with Titanium Addition to the Matrix.
○H. Sekine, Y. Iijima, K. Itoh, K. Tachikawa
Superconducting Properties of V-Ti-Ta Ternary Alloys.
○K. Inoue, H. Wada, K. Kuroda, K. Tachikawa
Superconducting Properties and Stress Effects of V_2(Hf, Zr) Laves Phase Multifilamentary Wires.
○K. Kuroda, H. Wada, K. Inoue, K. Tachikawa
Measurements of Superconductivity under High Pressures.
○H. Kawamura, K. Tachikawa, O. Shimomura（無機材研），A. Onodera（大阪基礎Ⅰ）
Low Temperature Mechanical and Physical Properties of Austenitic Fe-Ni-Cr-Mn Alloys Hardened by Titanium.
○K. Hiraga, K. Ishikawa, T. Ogata, K. Nagai
Low Temperature Strength and Toughness of High Manganese Austenitic Iron Alloys Containing Molybdenum.
○K. Ishikawa, K. Hiraga, T. Ogata, K. Nagai
Effects of EB-Weld on Low Temperature Strength and Toughness of Coldrolled Austenitic Stainless Steels.
○T. Ogata, K. Nagai, K. Hiraga, K. Ishikawa

金属水素化物の物性と応用に関する国際シンポジウム（昭和57年５月30日～６月４日，鳥羽）

研究題目　Crystal Structure and Plateau Length of Relationships between Presscere-Composition Isotherms of AB_5 Hydrides.
○A. Yoshikawa, T. Matsumoto, K. Yagisawa

2．春期学・協会発表（口頭）

学・協会名	発表期日	発　表　題　目	担当研究部
溶接学会電子ビーム溶接研究委員会	2．4	1．モリブデン溶接継手の靱性に及ぼすビーム振動の効果	原子炉材料
日本表面科学会	2．19	1．金属の表面偏析と表面析出	腐食防食
		2．ステンレス鋼中の微量元素の表面偏析と表面析出	〃
鉄鋼基礎共同研究会高温変形部会	3．12	1．高温変形で形成される組織と機械的性質	強力材料
日本機械学会	3．15～3．17	1．浸炭鋼の疲労におけるフィッシュアイ形成について	疲れ

学・協会名	発表期日	発　表　題　目	担当研究部
日本機械学会	3.30～4.1	2．浸炭焼入鋼の残留応力と疲労強度に関する一実験	疲れ
		3．室温におけるSUS304鋼の疲労特性	〃
		4．⊿K自己減少法による疲れき裂伝播の下限界値の迅速測定	〃
金属表面技術協会	3.29～4.1	1．モリブデン及び黒鉛を基材にしたTiC皮膜の高温熱安定性	原子炉材料
日本金属学会	4.1～4.3	1．Ni及びCuを電着被覆した超強力マルエージ鋼の水素ガス脆性に及ぼす熱処理の影響	強力材料
		2．二次硬化型合金鋼の水素ガス中き裂伝播挙動	〃
		3．焼結モリブデン浸炭材の酸化雰囲気中での脆化	原子炉材料
		4．ボロンを含んだ表面層形成によるモリブデン板の靱性改善	〃
		5．超音波法によるHT60及びA553鋼の弾塑性破壊靱性の評価	材料強さ
		6．2.25Cr－1Mo鋼の高温低サイクル疲労組織	〃
		7．AB_5型金属間化合物水素化物のP－C－T曲線のプラトー長さと結晶構造の関係	金属物理
		8．Nb基Mo合金の電子状態	〃
		9．同位体希釈・スパークイオン源質量分析法による鉄鋼耐熱合金中のタングステンの定量	金属化学
		10．機械的合金法で製造したNi－1%Al_2O_3合金及びNi－0.5%Y－1%Al_2O_3 合金の内部組織と塑性変形機構	エネルギー機器材料
		11．化学蒸着法による超電導Nb_3Geテープの作製	極低温機器材料
		12．Insitu V_3Ga超電導線材の長尺化の研究	〃
		13．複合加工Nb_3Sn線材におけるマトリックスへのTi添加の効果	〃
		14．融体急冷法を利用した$Nb_3(Al, Ge)$超電導体の作製	〃
		15．室温近傍における2，3の磁気冷凍作業物質について	〃
		16．TiNiの回復力に及ぼす加工と熱処理の影響	機能材料
		17．B－Al複合材料の曲げ強度に及ぼす繊維分布の影響	〃
		18．低温における等温マルテンサイト変態に及ぼす外部応力の影響	〃
		19．Cu－Zn合金におけるマルテンサイト変態のその場観察	〃
		20．Bを添加した$FeSi_2$の熱電特性	〃
		21．14MeV中性子放射化法による微粒鉄粉中の酸素の定量	金属化学
		22．14MeV中性子放射化法による焼結高マンガン鉄合金中の酸素の定量	
日本鉄鋼協会	4.1～4.3	1．Bainの関係による変態集合組織の解析	強力材料
		2．350kgf/mm^{2}級マルエージ鋼の引張特性に及ぼす加工熱処理条件の影響	〃
		3．80～120kgf/mm^{2}級高張力鋼の化学成分と人工海水中疲れき裂伝播速度との関係に関する重回帰分析	〃
		4．不純ヘリウム中におけるインコネル617の脱炭及びクリープ破断寿命に及ぼす試験片サイズの効果	原子炉材料
		5．耐熱鋼の高温引張特性と温度の多項式回帰	クリープ試験
		6．クリープ破断時間とクリープ破断強さの確率分布	〃
		7．炭素鋼（SB49）の長時間クリープデータと10万時間クリープ強度	〃
		8．Cr－Mo－V鋼におけるクリープ損傷の高温疲れ寿命に及ぼす影響	〃
		9．サブマージアーク溶接法による304厚板溶接断手のクリープ性質	〃

学・協会名	発表期日	発　表　題　目	担当研究部
日本鉄鋼協会	4．1～4．3	10．SUS316ステンレス鋼のクリープ破壊機構領域図	クリープ試験
		11．NCF800H鋼のクリープ破断強度とクリープひずみ特性	〃
		12．クリープ疲労複合荷重を受けたSUS316鋼の破断寿命に及ぼすクリープ損傷の影響	〃
		13．19Cr－9Ni－1.4Mo－1.4W－Nb鋼の再負荷リラクセーションにおける破壊	〃
		14．ステンレス鋼のΔK_{th}測定による酸化物閉口現象の検討	疲れ
		15．鋼の疲れき裂伝播とフラクトグラフィに及ぼす試験雰囲気の影響	〃
		16．クロムモリブデン鋼鋼板SCMV3－NTの高温低サイクル疲れ特性	〃
		17．市販還元鉄ペレット及び鉄鉱石の溶鉄中への溶解速度	工業化
		18．ガス撹拌槽内の気液接触面積に関する水モデル実験	〃
		19．マルテンサイト相を混在させた快削鋼の被削性	エネルギー機器材料
		20．一般炭の溶鉄への加炭性について	製錬
応用物理学会	4．1～4．4	1．金属超微粒子製造法	機能材料
日本鉱業会	4．3～4．5	1．先端熔融法による四沃化チタンの連続熱分解	製錬
		2．球形粒子の溶解に関するモデル	〃
		3．酸性硫酸溶液中の合成CuSの酸化速度に及ぼす懸濁電位の影響	〃
		4．酸性硫酸溶液中の黄銅鉱の酸化速度に及ぼす懸濁電位の影響	〃
		5．酸性硫酸溶液中のニッケルマットの酸化速度に及ぼす懸濁電位の影響	〃
		6．硫化物化電解による浄液（脱銅）	〃
		7．ヒレ型撹拌電解槽の試作と脱銅電解	〃
		8．60℃における$As-H_2O$及び$As-S-H_2O$懸濁系の電位－ph図	〃
		9．硫化物化電解による写真定着液中の銀の回収	〃
溶接学会	4．14～4．16	1．数種の応力比における突合せ溶接継手の疲れき裂伝播特性－引張残留応力が存在する場合	疲れ
		2．高張力鋼溶接熱影響部における応力除去焼鈍割れについて	溶接
		3．対話形式による溶接熱伝導シミュレータの開発（第1報）　―システムの基本設計思想とその概要―	〃
		4．湿式水中プラズマ溶接における溶接姿勢の検討	〃
		5．液相インサート拡散溶接継手のクリープ破断性能に影響を及ぼす因子－Ni基鋳造合金の拡散溶接に関する研究（第4報）	〃
		6．湿式水中溶接におけるマルテンサイト量，硬さ及び低温割れ感受性に及ぼす鋼材の炭素当量の影響（続報）	〃
日本鋳物協会	5．1～5．3	1．噴霧法による粒子分散鋳造材の製造	金属加工
		2．水溶発熱自硬性鋳型における鋳型材の回収	〃
日本塑性加工学会	5．20	1．PM－Astroloy の熱間押出加工	金属加工
日本海水学会	6．9～6．11	1．アルミニウムの腐食生成物による海水中リチウムの回収	金属化学

◆短　信◆

●人事異動　昭和57年3月25日付

転　任　通商産業省資源エネルギー庁公益事業部原子力発電安全審査課統括安全審査官　**荒木慎介**（管理部企画課長）

併　任　管理部企画課長　**保坂彬夫**（管理部長）

通巻　第280号

編集兼発行人　保坂彬夫

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**

東京都目黒区中目黒2丁目3番12号

〒153　電話（03）719-2271（代表）