

金材技研

科学技術庁

金属材料技術研究所

1997 No.6

ニュース

マルチ型股関節シミュレータを開発／
宇宙での接合技術確立に端緒を開く／
格子変形過程の原子レベルでの解明

マルチ型股関節シミュレータを開発

— 長期間連続運転可能に —

変形性股関節症や慢性関節リウマチに罹り自力による治療が不可能になったとき、人工股関節との置換手術が行われる。我が国ではその数が年間7万件にも及ぶが、人工股関節の90%以上は輸入に頼っている。その量は、超高齢社会が近づくとともに急速に増加している。

人工股関節は人工骨頭、ソケットならびにステムより構成される。ソケットは骨盤に、骨頭はステムを介して大腿骨に埋め込まれる。人工股関節は20-30年の耐用年数が必要と言われているが、現実には10年前後であり、そのためリスクの高い再置換手術を余儀なくさせられている患者は少なくない。その耐用年数は骨頭、ソケット間摺動部の摩耗特性に依存している。ところで、これまで人工股関節の評価試験方法については標準化されたものではなく、メーカーや研究機関が独自に製作した股関節シミュレータを用いて評価を行っているのが現状である。

従来の股関節シミュレータは人工股関節の取り付け方によってソケットが上方、骨頭が下方にある正立型と、その反対の倒立型の二つのタイプに大別できる。正立型では摺動部潤滑液中に気泡がいったん入るとソケット摺動部外に放出されにくく、また倒立型では比重の大きい摩耗粉がソケット底部に残留しやすいなどの欠点のために連続運転が難しく、必ずしも正しい評価が行われているとはいえない。

そこで、当研究所では人工股関節の耐久性を評価するための標準的試験法の確立を目指して、従来の欠点を回避できる骨頭とソケットの取り付けを水平にした横置き型股関節シミュレータを新しく開発した(写真)。人間の歩行運動を機械的にシミュレートした力学的条件および疑似体液環境下で、同時に6組の人工股関節の摩耗特性を長時間連続して調べることができる。足のスイング運動を模した揺動運動や荷重は電気油圧方式で駆動し、プログラミングにより任意の波形のものが付与できる。この装置を用いて、現在一般に用いられている超高分子量

ポリエチレン製ソケットと高耐食COP合金製の人工骨頭の組合せの人工股関節について、0.9%食塩水を潤滑液として用い、摩耗に対する温度と粘度の影響を検討した。荷重最大300kg、揺動角度 $\pm 25^\circ$ 、歩行周期1Hzで9週間にわたる連続運転試験(1日片足5000歩として3年間約500万歩に相当)を行い、摩耗挙動を調べた。その結果、摩耗量は試験温度と潤滑液の粘度に依存することがわかった。例えば、摩耗量は、37℃粘度約1cp(1センチポイズ、20℃の水は約1cp)の潤滑液中よりも、40℃粘度約1cpの潤滑液中で小さく、37℃粘度約20cpの潤滑液中ではさらに小さい。この結果は、従来の考えに反して高温ほど摩耗量が小さいことを示す。すなわち粘度の影響の結果も含めて、人工股関節の正しい評価を行うためには体内における潤滑条件を把握し、それを評価に反映させることが重要であることを示唆している。今後、摩耗特性に影響を及ぼす骨頭とソケットの材質を含む種々の因子について検討し、人工股関節の耐久性評価試験法の標準化へ向けて研究を進める計画である。

現在、20-30年間の総歩行数に相当する1年間以上の連続運転試験を目指している。



写真 横置き型関節シミュレータ

宇宙での接合技術確立に端緒を開く

— 微小重力下のろう付実験 —

2002年の完成を目指して、国際共同プロジェクトとして宇宙ステーションの建設がまもなく始まろうとしている。宇宙ステーションの運用期間は少なくとも十数年以上とされているため、構造物などの補修・組立てなどのために宇宙環境での溶接が必要になると考えられる。

宇宙環境での溶接技術としては、宇宙の特殊条件である微小重力と無限の真空空間を積極的に利用できるろう付が有利であるとされている。宇宙環境でのろう付は消費エネルギーや作業環境等の多くの制約の中で確実に施工できなければならないが、宇宙環境で試行錯誤的に実験を繰り返して検討することは困難であり、あらかじめさまざまな施工条件に適したプロセスパラメーターの設定基準を確立しておく必要がある。そのために必要な基本現象の解明を目的として、当研究所では、宇宙開発事業団の小型ロケットTR-1A #5号機を利用して、微小重力環境でのろう付実験を行った。

地上では重力の作用が大きいため表面張力の作用は余り目立たない。しかし、宇宙空間の微小重力環境では表面張力の作用が液体の運動を支配する主要な因子になるため、宇宙環境でのろう付では毛管浸透とマランゴニ流が極めて顕著な作用をする。

ろう付は接合物よりも融点の低い合金（ろう）を溶融させ、接合したい部材間の狭い間隙に毛管浸透により流入させて凝固させることにより接合を行う技術である。微小重力下では重力による液体の流動促進や安定化は全く期待できず、確実なろう付を行うためには毛管浸透現象を厳密に制御しなければならない。

毛管浸透の駆動力は接合部の間隙に形成されるメニスカス（液体の凹面）に発生する毛管圧力のみであり、毛管圧力は間隙の幅と液体の表面張力で決まる。表面張力の大きさは温度によって異なり、普通は温度が低いほうが表面張力は大きい。したがって、間隙が決まっていれば毛管浸透は接合部の温度分布に依存することになる。

一方、マランゴニ流は表面張力の小さい方から大きい方へ液体の表面が移動する現象である。表面張力差によって直接動かされるのは表面の数原子層だけであるが、

粘性によって下の液体も引きずられ、大きな流れが発生することがある。この流れが接合間隙の液体中に発生すると、健全な接合ができないことがある。

すなわち、宇宙環境でのろう付では、毛管浸透とマランゴニ流を制御するために接合部の温度分布を制御することが極めて重要な意味を持つ。

今回の実験では図1のようなスリーブ継手を想定し、ろう付時の加熱による温度分布の変化をコンピュータによる計算で予測した結果をもとに間隙浸透挙動を推定して、実際にどうなるかを微小重力実験により確かめた。

図2は結果の一例で、ロケット飛行中の6分間の微小重力環境下で、0.2%Liを加えたAg-Cu共晶合金を溶融させてステンレス鋼二重円筒の間隙に浸透させた結果を示す。この図は間隙中に浸透した合金を超音波映像法により非破壊的に映像化したもので、黒い部分が溶融合金で充填された部分である。加熱時に点線部付近の温度が最も低く、その両側で次第に高温になる温度分布を持っていたため、マランゴニ流によって溶融合金が低温部へ集まり、間隙には大きな空隙が形成されたことを示している。

今回の実験により、微小重力環境での融液の間隙浸透挙動の予測方法が基本的に正しいものであったこと、微小重力環境でのろう付は従来考えられていたように単純なものではなく、プロセスパラメーターを厳密に設定する必要があることなどがわかり、宇宙環境でのろう付施工パラメーター設定基準確立のための端緒を開くことができた。

なお、この実験は宇宙開発事業団等が推進している「宇宙環境利用フロンティア共同研究」プロジェクトの一環として行われたものである。

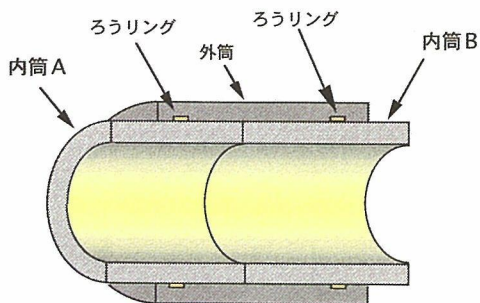


図1 スリーブ継手の断面模式図

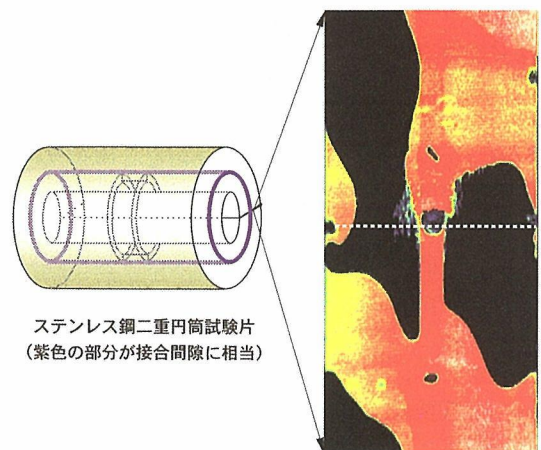


図2 マランゴニ流による溶融合金の間隙浸透の乱れ

無拡散相変態における格子変形過程の原子レベルでの説明

— 高分解能電顕による直接観察に成功 —

鉄合金における相変態で、学問的にも実用的にも最も重要な相変態であるf.c.c.→b.c.c.マルテンサイト変態について、その変態過程を原子レベルで観察することは古来からの夢であったが、我々はごく最近この過程を如実に示していると思われる電子顕微鏡写真を撮ることに成功したのでこれを報告する。

写真1はFe-23Ni-3.8Mn(wt%)合金を110Kで7時間等温保持して変態させたマルテンサイト (α' , b.c.c.) とオーステナイト (γ , f.c.c.) との界面の構造像を示すものである。この写真は200kV電顕で観察した構造像の逆FFT像である。界面は矢印で示したところにあり ($(12\bar{1})\gamma$ に平行)、 $[101]\gamma$ と $[111]\alpha'$ 原子列がみえている。 $(11\bar{1})\gamma // (10\bar{1})\alpha'$, $[101]\gamma // [111]\alpha'$ のK-S方位関係で入射ビームの方向は $[101]\gamma$, $[111]\alpha'$ に平行である。まず、この写真で気づくのは両相の格子は界面で完全に整合していることであるが、最も驚くべきことは、 $(1\bar{1}\bar{1})\gamma$ と $(1\bar{1}0)\alpha'$

α' が界面でゆっくりとカーブして接合されていることである。即ち、f.c.c.格子は、 $(11\bar{1})\gamma$ 面で $[\bar{1}21]\gamma$ 方向に徐々にshearされ、b.c.c.格子に変化しており、その間の中間的構造が存在していることである。図1(a), (b)はこのことを定量的に示したもので $(11\bar{1})\gamma$ と $(1\bar{1}\bar{1})\gamma$ の間の角度 70.5° が $(10\bar{1})\alpha'$ と $(1\bar{1}0)\alpha'$ の間の角度 60° に徐々に変化していることが分かる。これらの図はそれぞれ写真1のa,b,c,dおよびe,f,g,hにそって角度測定を行ったものである。横軸は、 $[101]\gamma$ 原子列および $[111]\alpha'$ 原子列間の距離であり、0.22nmである。図1(a)より中間的構造が界面にそってほぼ3層の領域に存在していることが分かる。写真2は $(11\bar{1})\gamma$ ($// (10\bar{1})\alpha'$) にそって並んでいる $[101]\gamma$ ($// [111]\alpha'$) 原子列の配列を極端に拡大したもので、P点でのf.c.c.格子が徐々にshearされてQ点のb.c.c.格子になっていることがよく分かる。O点では、両格子の中間的な格子が現れている。

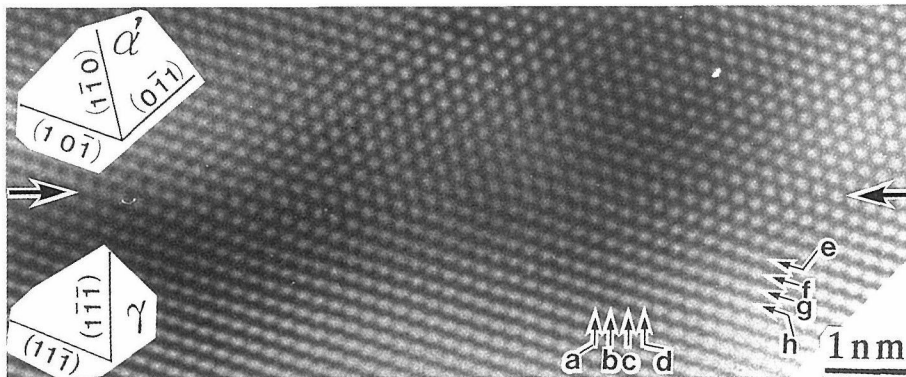


写真1 オーステナイト(f.c.c.)とマルテンサイト(b.c.c.)との相境界面における原子配列

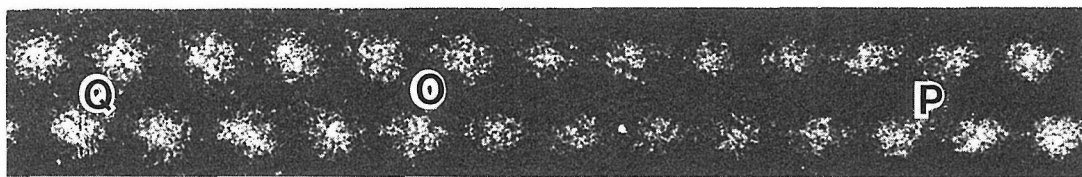


写真2 f.c.c.構造の $[101]$ 原子列で囲まれた角度 70.5° の菱形の原子配列(P)が 60° の角度をもつ菱形(Q)に徐々に変形している様子を示す。中間構造は(O)に現れている。

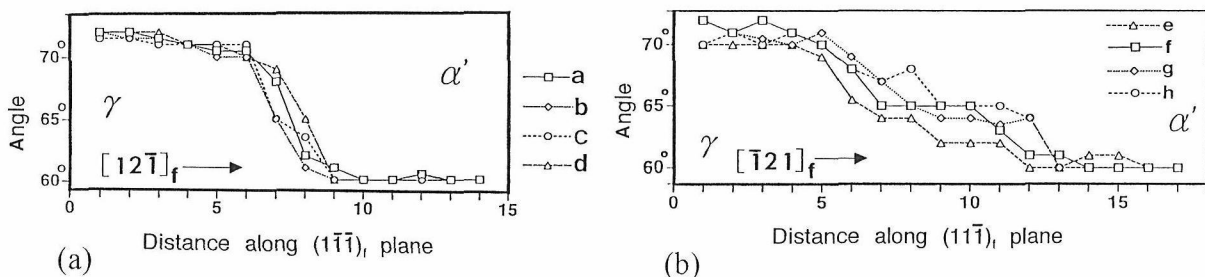


図1 (a) 写真1のa,b,c,dにそって測った角度変化
(b) 写真1のe,f,g,hにそって測った角度変化

研究発表 (6～7月)

会議名 (開催場所)	開催期間	発表題目	発表者
(国内) 環境化学討論会 第6回 (東京: パルテノン多摩)	6.4～6.5	1. M体とD体の有機スズ化合物の固相抽出	群 宗幸, 佐藤幸一, 井出邦和, 井上嘉則 (横浜アパリティカルシステム), 大河内春乃
日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'97 (神奈川: 神奈川工科大学)	6.7～6.8	1. マイクロプローブによる微小物アSEMBL技術とその応用	今野武志, 江頭 満, 新谷紀雄
(海外) 15th Conference on Crystal Growth and Epitaxy (米国: Fallen leaf Lake CA)	6.1～6.4	1. Characterization on Polycrystalline Ba(B _{1-x} M _x) ₂ O ₄ (M:Al or Ga)	木村秀夫, 石岡邦江, 佐藤充典 (北見工業大学)
ECASIA'97 (スウェーデン: エーテボリ)	6.16～6.20	1. Measurements of composition recovery rate under ion etching by quantitatively controlled sputtering 2. Retrieval System of AES/XPS Spectra on World Wide Web and the Description of Specimen Information for the System	吉武道子, 吉原一紘 吉武道子, 吉原一紘
EVCAS'97 (オランダ: ユーニンフ)	6.30～7.3	1. Study on reproducibility in transport critical current measurement for HTSC, Preliminary Test for RRTin VAMAS Project 2. Fabrication and Transport Properties of Bi-2212/Ag Multifilamentary Tapes and Coils for High Magnetic Field Generation(2):High Field Performance	北口 仁, 伊藤喜久男, 和田 仁, 戸叶一正 北口 仁, 熊倉浩明, 戸叶一正, 岡田道哉(日立), 田中和英 (日立), 福島敬二 (日立), 野村克己 (日立電線), 佐藤淳一 (日立電線)
Thermec'97	7.7～7.11	1. Hot Ductility of Titanium Alloys-A Challenge for Continuous Casting Process	鈴木洋夫, D.Eylon (デイトン大学)
The International Conference with IIV'97	7.14～7.15	1. Effect of Residual Stresses on Fatigue of Weldment	太田昭彦, 鈴木直之, 前田芳夫
ICMC 国際低温材料会議	7.28～8.1	1. Standardization of Transport Critical Current Measurement for HTSC Study on Reproducibility of the Measurement	北口 仁, 伊藤喜久男, 和田 仁, 戸叶一正
International Conference on Magnetism 1997 (オーストラリア:メルボルン)	7.27～8.1	1. dHvA Effect of CeRu ₂ Si ₂ under Pressure 2. dHvA Oscillations and High Field Magneto-Resistance in U ₃ Rh ₃ Si ₃ 3. dHvA Effect of CaSb under Pressure in the antiferromagnetic Phase 4. The Fermi Surface of CeB ₆ Under Pressure 5. High Magnetic Field dHvA Effect Measurements of CeP	高下雅弘 (筑波大学), 青木晴善, C.J.Haworth, 寺島太一, 宇治進也, 寺倉千恵子, 松本武彦, 前沢邦彦 (富山県立大学), 撰待力生 (大阪大学), 大貫惇睦 (大阪大学) S.Ramakrishnan, C.J.Haworth, 高下雅弘 (筑波大学), 寺島太一, 青木晴善, B.Becker (ライデン大学), AAMenovsky (ライデン大学), G.J.Nieumenhuys (ライデン大学), J.A.Mydosh (ライデン大学) 青木晴善, C.J.Haworth, 寺倉千恵子, 高下雅弘 (筑波大学), 寺島太一, 宇治進也, 松本武彦, 上沢 彰 (東北大学), 鈴木 孝 (東北大学) C.J.Haworth, 青木晴善, 高下雅弘 (筑波大学), 寺島太一, 宇治進也, 佐藤恵昭 (東北大学), 国井暁 (東北大学), 鈴木 孝 (東北大学) 寺島太一, C.J.Haworth, 高下雅弘 (筑波大学), 宇治進也, 青木晴善, 芳賀芳範 (原研), 上沢彰洋 (東北大), 鈴木 孝 (東北大)

◆短 信◆

●人事異動

平成9年5月1日

配置換 科学技術庁長官官房秘書課福利厚生室長
太田吉克（管理部長）

併 任 管理部長庶務課長 高山進一
(管理部長)

●受 賞

科学技術庁長官賞（創意工夫功労者表彰）

奥山秀男

「窒化鉄超微粒子製造装置の考案」

江頭 満

「機能性樹脂被覆法と被覆粒子の機能の計測法の考案」

住吉英志

「STMとフラクタルによる原子領域定量化手法の考案」

田中義久

「金属基複合材料のその場損傷解析システムの考案」

（以上個別に表彰）

以上4名は職能における技術の改善向上につき功績が認められ、平成9年4月14日、上記の賞を受けた。

市村学術賞貢献賞

桜井健次

「原子レベル物質構造解析のための新しい超強力X線源の開発」

と実用化」が独創性にとみ、新しい応用分野を開拓した貢献に対し、平成8年4月25日、上記の賞を受けた。

溶接学術振興賞

雀部 謙

溶接の学術振興のための多大な貢献に対して、平成9年4月10日、上記の賞を受けた。

金属組織写真佳作賞

小川一行、菊池武正児、梶原節夫

「オーステナイト（FCC）とマルテンサイト（BCC）との相境界で観察された両相の間の連続的遷移構造」に関する金属組織写真が学術上、技術上最も優秀なものと認められ、平成9年3月27日、上記の賞を受けた。

なお、前号の金属組織写真佳作賞受賞者に記載漏れがありましたので訂正して再度掲載しております。

注目発明の選定、当研究所から2件

科学技術庁第56回の注目発明に、当研究所から下記2件の発明が選定された。

V₃Si超電導極細多芯線材の製造法

発明者 竹内孝夫、井上 廉

公開番号 特開平 06-196033号

公開日 平成6年7月15日

現在、実用化されている交流用超電導線材はNbTi合金極細多芯線が唯一である。この多芯線では、安定性を確保するためにマトリックス材に純銅や高電気抵抗材料などを使用するが、いずれもジュール損失、ヒステリシス損失、高度な複合加工技術が必要とするなどの問題がある。一方、V₃Si化合物も臨界温度が16K以上で、温度マージンが大きい強磁界交流用超電導線材として期待できるが、これまで交流用超電導線材として着目した研究報告例は知られていない。

本発明によれば、純銅と高電気抵抗材との混合マトリックス材を別途被覆することなく、結合損失が小さくそのうえ安定性に優れた交流用超電導線材製造できる。また中間焼鈍温度は570度以下と低いので、中間焼鈍による化合物生成およびそれに伴う複合加工性の劣化は殆どない。従って、V芯径を1μm以下に伸線加工するのは容易であり、そのためヒステリシス損失は小さい。さらに、最終熱処理でフィラメント間のブリッジングが仮に生じても、常電導化合物V₃Si同士が結合するだけで、超電導化合物V₃Siの物理的な結合は原則的に生じないので、ヒステリシス損失の増大はない。

NiTi系高比強度耐熱合金

発明者 小泉 裕、中沢静夫、呂 芳一、原田広史

公開番号 特開平 07-252563号

公開日 平成7年10月3日

従来は、高温で十分な比強度を有するNi基耐熱合金を用いていたが、反面が相対的に低温側で強度が不足し、大きな遠心力が作用する中心部ではその強度が限界に達していた。また、比重が大きいため、重量の低減が望まれていた。

本発明によれば、これまで形状記憶合金として知られているNiTi系合金にAlを添加することにより、室温から高温にわたり優れた高比強度の、かつ比重が小さい耐熱合金を得ることができる。従って、本発明のNiTi系高比強度耐熱合金は、ジェットエンジンのプレート材、ディスク材の他、超音速機やロケットの機体材など、室温から高温までの比強度を要求される構造部材等として極めて有用である。また、Ni、Ti、Alの3元素で構成されるので、従来のNi基超耐熱合金に比べて安価に製造することができる。

クリープ受託試験の現況

クリープ受託試験は、昭和42年に制定された「金属材料技術研究所クリープ試験受託規程」（科学技術庁訓令第69号）及び「金属材料技術研究所クリープ試験受託約款」に基づいて、企業等からの委託を受け、クリープ試験を実施しています。

昭和42年に開始してから平成8年度まで30年間を経過しましたが、ここでは平成8年度の試験実施状況について報告します。

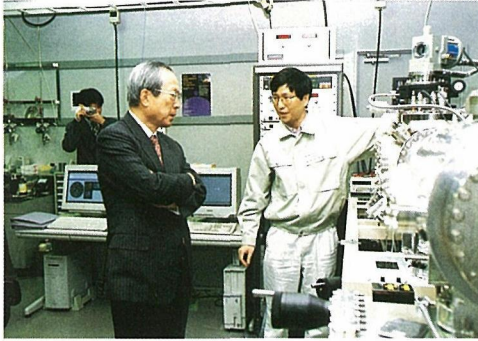
受託試験受理状況は下表に示すとおりで、平成8年度については、件数が20件（前年度からの継続12件、新規8件）、試験片数82本、延べ試験時間が284,892時間で、試験片1本当たりの平均試験時間は、クリープ試験が2,935時間、クリープ破断試験が4,097時間です。

受託試験受理状況

区	分		昭和42年～平成7年	平成8年度	計
	受 理 件 数 (件)				
ク リ ー プ 試 験	受 理 件 数 (件)		220	6	226
	温 度 別 試 験 片 数 (本)	300～ 600℃	1,443	27	1,470
		601～ 800℃	219	0	219
		801～ 1,000℃	222	9	231
	小 計		1,884	36	1,920
ク リ ー プ 試 験	受 理 件 数 (件)		462	2	464
	温 度 別 試 験 片 数 (本)	300～ 600℃	3,592	1	3,593
		601～ 800℃	1,312	5	1,317
		801～ 1,000℃	883	6	889
	小 計		5,787	12	5,799
合 計	受 理 件 数 (件)		682	8	690
	受 理 件 数 (件)		7,671	48	7,719

今井新日鐵社長・江本川鉄社長が当研究所を視察

本年度からの当研究所の大型事業である「新世紀構造材料（超鉄鋼）研究プロジェクト」のスタートに伴い、去る4月11日に新日本製鐵株式会社今井敬社長が、また5月16日には川崎製鐵株式会社江本寛治社長がそれぞれ当研究所をご視察された。お二人は、本プロジェクトに高い関心を示しており、概要説明時には活発な質疑・意見交換が行われた。また、構造材料の微視的構造解析や信頼性評価などのプロジェクト関連施設を熱心にご視察。さらに世界的レベルにある当研究所の極限場研究施設（強磁場、ビーム実施施設）にも、強い関心を寄せられていた。



材料の原子レベル解析を行うアトムプローブ電界イオン顕微鏡施設をご視察される今井新日鐵社長（写真左）



大型マグネット群を設置する強磁場ステーションをご視察される江本川鉄社長（写真左）

春期低温工学・超電導学会開催

低温工学会主催の1997年度春期低温工学・超電導学会が1997年5月14日～5月16日、金属材料技術研究所と研究交流センターの二会場で開催された。参加者は524名に上り、金属材料技術研究所で開催されたものとしては最大規模の学会となった。

低温工学・超電導学会は、小型冷凍機と大型冷凍システム、超低温機器を中心とした低温技術と、ビスマス系などの酸化物超伝導材料とNbTi、Nb₃Snなどの金属系実用線材に加えてNb₃Alなどの先進材料、超伝導応用機器を中心に一年に2回開催されているものである。

今回超伝導応用機器として研究発表されたのは、核融合研で建設中の核融合炉LHC、国際的な協力体制で研究が進められている国際熱核融合炉ITER、山梨実験線の磁気浮上列車、ヨーロッパで計画されている加速器LHCに関連したものであった。

学会のトピックスは、「高磁場NMR（核磁気共鳴法）」である。「高磁場NMR」は、最近、蛋白質や核酸等の生体高分子の立体構造決定手法として注目されているもので、特別講演として、東京都立大・甲斐荘教授に「超高磁場NMR装置の進歩と構造生物学」と題する講演をしていただいた。これと連動して、「高磁場NMRマグネット」と題する特別セッションが設けられた。これは、金属材料技術研究所が第2期マルチコアプロジェクトとして開発を進めている1GHz級NMRマグネットを中心としたセッションで、冒頭で「金材技研における1GHz級NMRマグネットの開発」と題する当所和田総合研究官の招待講演の後、高臨界電流密度導体、高耐力導体など線材開発の現状、関連技術の研究発表が行われた。このプロジェクトは、高強度かつ高臨界電流密度の金属系超伝導線を新たに開発し、同時に開発する酸化物超伝導マグネットと合わせて、超流動ヘリウム冷却でさらに電流密度を向上させ、23.5Tという、超伝導マグネットではまだ達成されていない高磁場発生を目指す先進的なものである。

この他に、強制冷却型導体内のより線の偏流問題などで活発な議論があった他、冷却技術開発では、多層断熱板の熱容量を利用した長時間保冷器などの新構想が打ち出された。

学会プログラムおよび講演アブストラクトの一部は、低温工学会Web www.nrim.go.jp:8080/tml/jcryo.htmlで見ることができ



発行所 科学技術庁金属材料技術研究所
〒305 茨城県つくば市千現1-2-1
TEL (0298)59-2045(企画室直通)
FAX (0298)59-2049

通巻 第463号
編集兼発行人
問合せ先
印刷所

平成9年6月発行
武藤英一
企画室普及係
前田印刷株式会社
茨城県つくば市東新井14-3