

N R I M N E W S



科学技術庁 金属材料技術研究所

National Research Institute for Metals

特集 “21世紀の鉄鋼材料”

- 優しい構造材料の開発
- リサイクルが容易な溶接用鋼を開発中
- 破壊に強い高強度鋼への挑戦
- 発電プラント用耐熱鋼への挑戦
- メンテナンスフリーである材料の実現化
- 平成9年度の主な成果

研究最先端

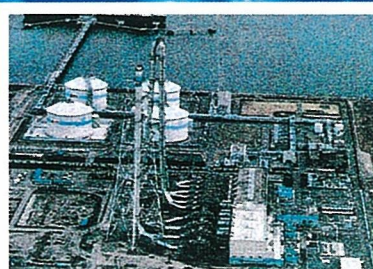
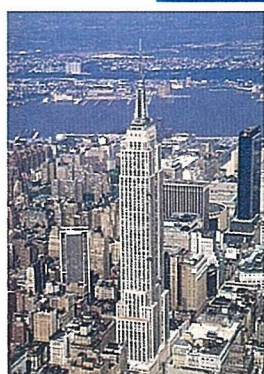
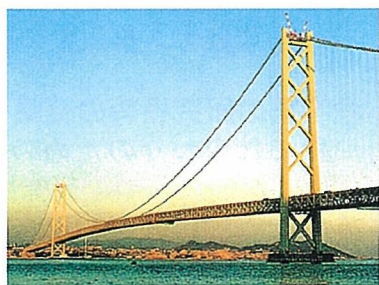
- アトムプローブによる実用金属材料の超微細組織形成メカニズムの解明
- アトムプローブによる実用アルミニウム合金の組織形成過程の研究

海外技術協力

- 超合金材料技術開発の仲間たち

講演会報告

- 第3回極限場国際シンポジウム



4

1998 APRIL

21世紀の鉄鋼材料

優しい構造材料の開発



フロンティア構造材料研究センター

佐藤 彰

「新鉄器」時代

我が国は21世紀の初頭に大きな転換期を迎えます。人口は減少へ転じ、4人に1人が65歳以上と高齢化となります。主要インフラ（橋、高速道路、ビルディング等）の保守コストが増大し、さらに50年の更新期を迎え、社会インフラ全投資における更新経費比率が50%以上となります。鉄鋼スクラップが5000万トン以上となる未曾有の事態も出現します（図1）。メガコンペティションの激化は避け難く、一方、開発途上国の経済発展に伴い、資源・エネルギー問題や地球環境問題も加速度的に深刻化します。

鉄鋼材料は大量に生産・使用されてお

り、その性能改善の社会的・経済的積算効果は極めて大きく、社会構造変化に対応し持続可能な21世紀を築くためには、鉄鋼材料は技術的ブレークスルーにより、次の4つの優しさを持たなければならない。

- 1) 人に優しい：安心して暮らせる社会を確保する高強度化。
- 2) 社会に優しい：メンテナンスフリー化を確保する長寿命化。
- 3) 技術に優しい：低コスト、省資源、省エネルギープロセス等の革新的製造技術の開発。
- 4) 地球に優しい：スクラップリサイクル、熱効率の向上、燃費の向上による炭酸ガス排出量の削減など。

産学官の研究者等の結集

生まれ変わりのためのブレークスルーには、原理に基づく研究開発が必要です。そのため、1997年4月より、「新世紀構造材料STX-21:Structural Materials Xs for 21st Century（もしくは超鉄鋼材料 Ultra Steels）」研究プロジェクトを開始しました。この研究開発には産学官に蓄積されている我が国の高度な技術シーズと研究ポテンシャルの総結集が必要です。そのため、国立研究所である金材技研に「フロンティア構造材料研究センター」を発足させました。ここに、研究所職員（80名）、本プロジェクトのために創設された「構造材料特別研究員」制度等による民間研究者（約20名）、さらに主に大学より招聘した客員研究官（約35名）が集結しています。（図2）

スパイラルダイナミズム

素材を最終製品にまで、高性能化して

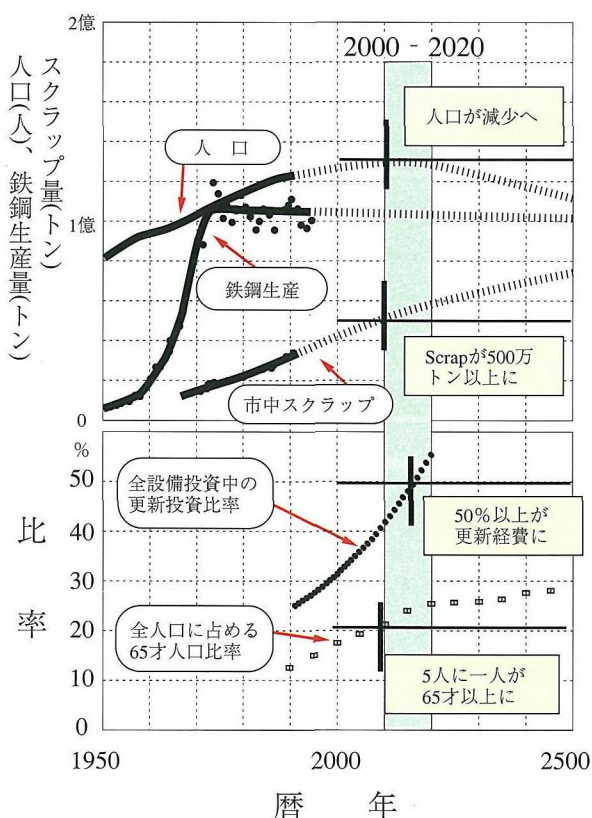


図1. 西暦2015年頃の大変革

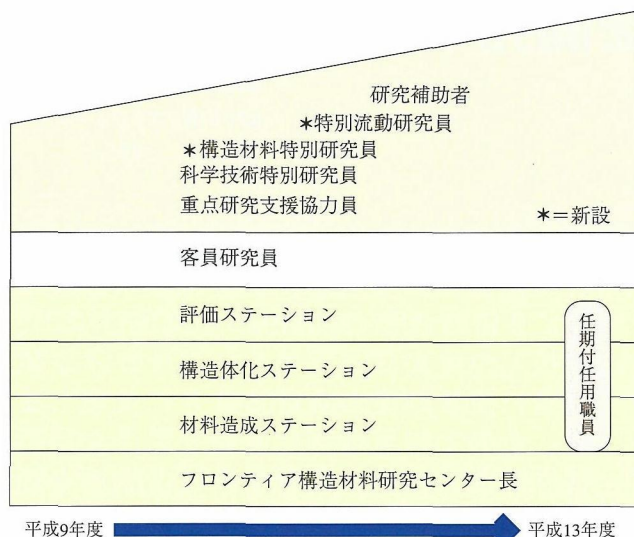


図2. 産学官の研究者等の結集

いくためには、専門分野間の重層的、連続的な連携が不可欠です。素材の組織の作り込みを研究する「材料創製」、作り込まれた組織を壊さない接合プロセスなどを研究する「構造化」、素材及びその構造体の諸特性評価を研究する「評価」の3専門研究組織を作りました。そこから各課題遂行に必要な研究者をピックアップ

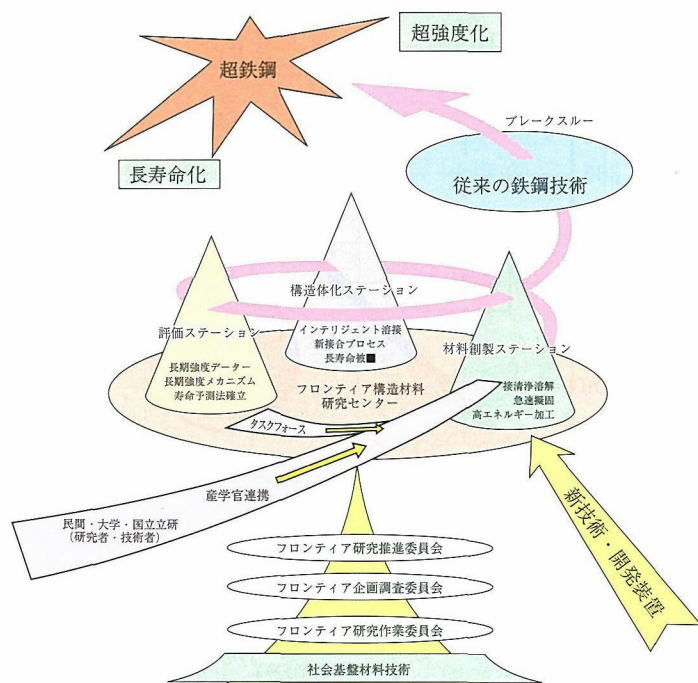


図3. スパイラルダイナミズム

外部研究者 (20人~50人)
(35人)
金材技研職員 (80人)

して研究推進チーム（タスクフォース）を形成し、タスクフォースリーダーの指導によって専門横断的連携（スパイラルダイナミズム）が日常的に行えるようにしました（図3）。

4つの研究課題

具体的な研究課題としては、民間、大学の広い分野の専門家の協力を得て、国研が遂行すべき2テーマ、4研究課題へ絞り込みました（図4）。

テーマ	研究課題	目標
高強度化	800MPa鋼 土木・建築用 などの厚板	溶接可能な 400MPa相当鋼に よる800MPa鋼の 実現の基礎確立
	1500MPa鋼 ボルト、自動車 部品、ワイヤなど	遅れ破壊特性、 長期疲労などの 特性向上による 1500MPa超強鋼 の使用可能化の 基礎確立
長寿命化	フェライト系 耐熱鋼 ボイラ用大径 厚肉鋼管	650℃X350気圧 発電プラント用 鋼実現の基礎確 立
	耐食鋼 海・海岸用鋼	海洋・海浜域使 用の鉄鋼の耐久 性向上の基礎確 立

図4. 2テーマ、4研究課題

21世紀の鉄鋼材料

リサイクルが容易な
溶接用鋼を開発中

80キロ鋼タスクフォース

長井 寿

建築、土木などの建設分野では鉄骨や鉄筋などの鉄鋼がたくさん使われています。我が国は世界有数の鉄鋼生産国ですが、通商産業省の統計（1996年）によると総粗鋼生産量1億トン弱の中で内需は約7000万トンに上ります。その内、建設分野の内需については明確な数値はありませんが、かなり確かな推定で3000万トン弱となります。内需の4割強も占めます。

一方、建設分野からのスクラップ発生は現在、市中スクラップの約3割を占めています。今後、高度成長期の建設物の更新が盛んになるとその発生量、比率とも高まってくることが予想されます。

21世紀の更新時期に、リサイクルしやすく、強度が高く、寿命の長い素材を提供できれば、省資源、省エネルギーの積算効果は勿論のこと、それによる二酸化炭素発生量削減効果も大きく見込めます。

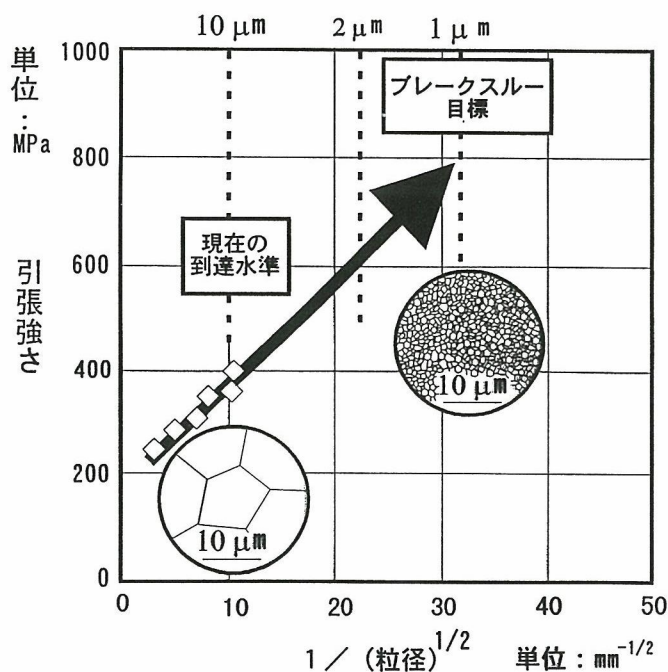
建設分野で使われる鋼のほとんどは普通鋼と呼ばれる、シリコン、マンガンをわずかに含む鉄と炭素の合金です。そして、鉄骨はほとんどが溶接構造であることは日頃良く目にするところです。

現在の普通鋼は、溶接が容易ですし、リサイクルもしやすい化学成分となっています。しかし、その最高引張強さは500MPa程度です。それ以上の引張強さにするために、合金元素を添加したベナイト鋼や焼もどしマルテンサイト鋼がありますが、溶接も難しくなり、溶接継ぎ手疲労強度が上がらないなどの問題があります。また、希少でかつリサイクルを阻害する合金元素を含むため、大量生産材として開発していくことは躊躇されます。

そこで、本研究ではリサイクルしやす

い現在の400MPa級組成鋼を元に、結晶粒の超微細化を実現し、合金元素の添加なしに2倍の強度（800MPa）を実現し（図）、溶接しやすいフェライトーパーライト組織鋼に生まれ変わらせることに挑戦します。その上に、微細化組織を壊さない溶接プロセス技術を開発すれば、資源を節約した上で、より安全でより高層の建築が可能になることなどが期待されます。

既に微小サンプルでは粒径2ミクロン（目標1ミクロン）、700MPa相当の超微細組織を得ていますし、溶接継手疲労強度を2倍化できる可能性も示すことができました。また、組織保存型の新しい溶接法として、溶接する板どうしの間隔を5mm（従来は10mmが限度）まで狭める溶接プロセスを開発中です。



結晶粒微細化による強度2倍化の概念図

21世紀の鉄鋼材料

破壊に強い高強度鋼への挑戦



150キロ鋼タスクフォース

松岡 三郎

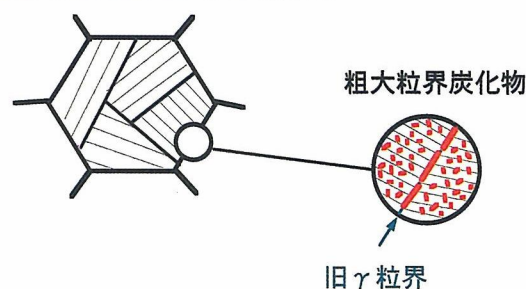
高強度鋼は多くの分野で、重要なところに使われています。高層ビルでは柱や梁が1000MPaの高力ボルトで接合されています。明石大橋のメインケーブルは2000MPaのワイヤーで作られています。自動車のタイヤは4000MPaのスチールコードで強度を保っています。鋼の理想状態での強度は10000から20000MPaの間にあり、高強度鋼の開発の目標となります。スチールコードは実際に使用されている材料内で最も強く、理想強度の20%あるいは40%にも達しております。しかし、高強度鋼にも弱点があります。高強度鋼を安全に使用し、さらに高強度を達成するためには、弱点を克服する必要があります。

一つの大きな弱点は遅れ破壊です。今の鋼は直径数十 μm の結晶粒で構成されています。結晶粒と結晶粒の境界に外部から侵入した水素が集まり、その結晶粒界にある炭化物が起点となって遅れ破壊が生じます。そこで、イラストに示すように、水素で粒界を割れやすくしている粒界炭化物の生成を抑制したり、粒界よりも水素を強く引きつける粒子を分散させることにより、遅れ破壊を防ぎます。

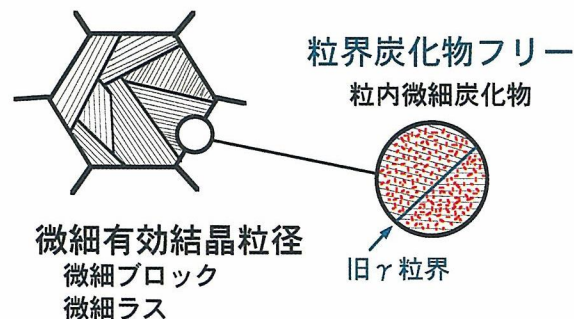
もう一つの大きな弱点は疲労破壊です。疲労破壊は小さな力の百万回あるいは千万回もの繰り返しによって起きます。特に、1200MPa以上の高強度鋼の疲労破壊においては、鋼中に存在する介在物のような異物などを起点とした内部破壊が顕著となり、強度が大きくなっても疲労強度が上昇しなくなります。そこで、介在物

(焼もどし後の組織)

従来のマルテンサイト



新マルテンサイト



遅れ破壊に強い高強度鋼の組織の概念図。新しいマルテンサイト組織の粒界には遅れ破壊の起点となる炭化物がない。

等を小さくしたり、軟らかくすることにより、疲労強度を上げます。

このように、遅れ破壊や疲労破壊に強くし、安心して使用できる1500MPa以上の高強度鋼に挑戦しています。21世紀には、超高層ビルや明石大橋より長い超長大橋の建設、軽量で二酸化炭素排出量が少ない自動車の生産が実現され、ここで開発された高強度鋼が大きな貢献をすることを期待しています。

21世紀の鉄鋼材料

耐熱鋼タスクフォース
阿部 富士雄

発電プラント用耐熱鋼への挑戦

現在、石炭や石油などの化石燃料を使う火力発電は日本の全電力量の約60%を供給していますが、最近クローズアップされている二酸化炭素による地球温暖化に対処するため、高温高压化によって発電効率を向上させ二酸化炭素の排出量を減らす技術開発が活発に進められています。その一つに、石炭火力発電では、タービンを回す蒸気の温度を650℃に圧力を350気圧に高めた、超々臨界圧発電と呼ばれるプラントを21世紀に作る計画があります。このプラントが出来ると、発電効率が従来のプラント（538℃、246気圧）の39.8%から43.0%に向上するので、石炭の燃焼が節約され、二酸化炭素の排出量も大幅に減らすことができます。

タービンやボイラなどのように高温で使われる鉄鋼材料を耐熱鋼と呼んでいますが、中でもフェライト系耐熱鋼と呼ば

れる材料が安くて高温強度もあり、大量に使われています。高強度フェライト系耐熱鋼の開発は、日本やヨーロッパを中心に進められていますが、これまでの材料だと620℃が使用限界温度です。

本研究では、上で述べた650℃、350気圧の超々臨界圧発電プラントを作る上で必要となる、新しいフェライト系耐熱鋼の研究開発を行っています。火力発電プラント（写真）は数10年間使用されるため、長期間にわたって十分な高温強度を有するだけでなく、高温の水蒸気による酸化にも耐える材料が必要です。この他、溶接性や疲労も重要です。これまでの限界温度の620℃を超えるには挑戦的な取り組みが必要ですが、耐酸化性の合金設計と高温で長時間安定な組織設計の統合という従来にない全く新しい概念でのブレークスルーに挑戦しています。



21世紀の鉄鋼材料

メンテナンスフリーである
材料の実現化耐食鋼タスクフォース
小玉 俊明

我が国では、人口密集部は沿岸平野部に集中してきたため、構造物の多くは沿岸・海浜域に集中しています。この傾向はさらに加速され、立地を求めて構造物の建設は沿岸から洋上へと向かっています。

残念ながら海洋は構造材料の基本構成材料である鉄鋼に対して極めて過酷な環境となります。例えば、耐食性の代名詞であるステンレス鋼も海水中ではその耐食性は十分とは言えず、孔あきやひび割れなどの局部的な腐食や損傷に悩まされます。

このようなステンレスの局部腐食は鋼中に存在する非金属介在物やC, S, P, Oなどが結晶粒界への偏析（局部的な濃縮）がひきがねとなって発生することがわかっています。耐海水ステンレスの創製の第一歩はこれらの不純物を極限まで低減化することです。このため金材研で高い技術を有するコールドクルーシブル浮揚溶解と呼ばれる超清浄溶解法を用いてその開発を進めています。この浮揚溶解の仕組みは図に示されます。

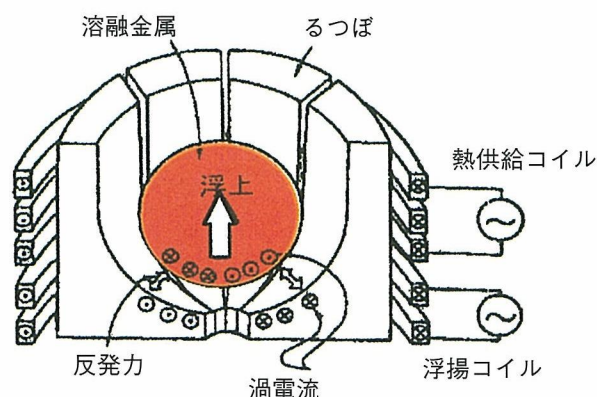
ステンレス鋼の耐海水腐食性の改善を図る他の方法はCr, Ni, Mo等の添加量を増加することですが、これに代わって鋼中の窒素を0.6%程度以上含ませることにより耐海水ステンレス鋼の開発を目指しています。

大気中にある構造物の主要構成材料はステンレスのように10%以上もCrやNiを含むような高合金鋼ではなく合金元素総量が1%以下の低合金鋼です。これは大気中でさびやすいため、塗装やめっきを施された状態で使用されます。さびやすさ傾向も清浄な大気中よりも海浜地

帯の方が大きいわけです。塗装による防食では、定期的な再塗装作業が不可欠であるのですが、このコストが大きいと、またこの種の労働力が得にくくなっているため、できれば塗装しなくとも使用できるメンテナンスフリーな材料が望まれてきました。

このような目的から橋梁等の構造物では耐候性鋼とよばれる鋼が開発され、無塗装で使用されてきました。耐候性鋼はCu, P, Cr, Ni等を総量で通常1%以下含み、数年も大気中に置かれた鋼は表面に保護性のある安定さびが生成します。安定さびができると腐食は極端に抑制され、無塗装でも構造物として数十年ないわたくし十分に実用しうる状態となります。

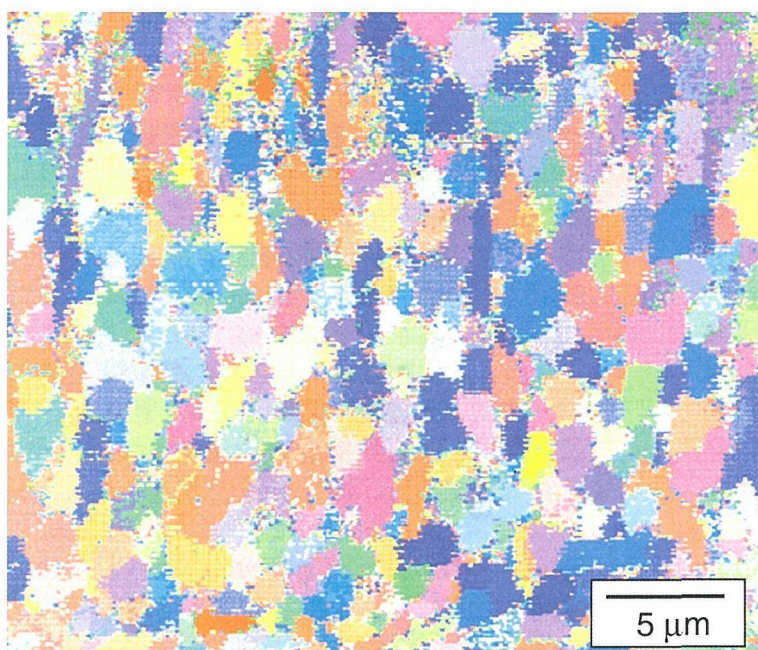
従来の耐候性鋼は海浜環境であまりその効果を発揮することができませんでしたが、現在、無塗装で使用可能な低合金鋼の開発をすすめています。



電磁力で浮揚した溶解金属は汚れの発生源となる容器（るつぼ）と非接触状態であるため超高純度金属の生産が可能である。

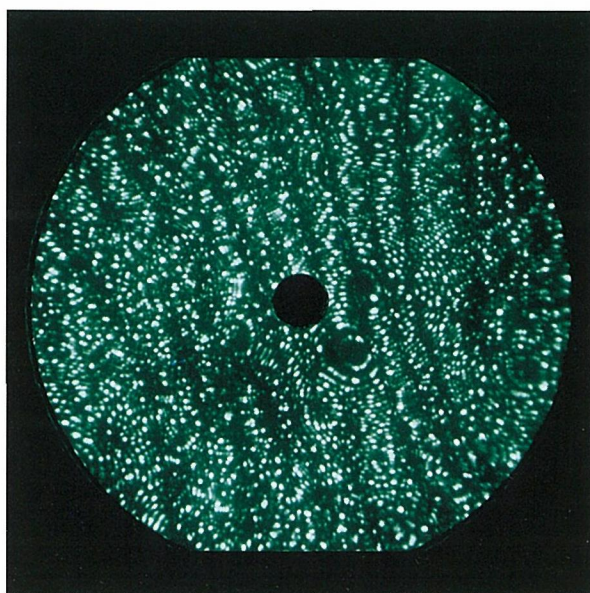
21世紀の鉄鋼材料

平成9年度の主な成果



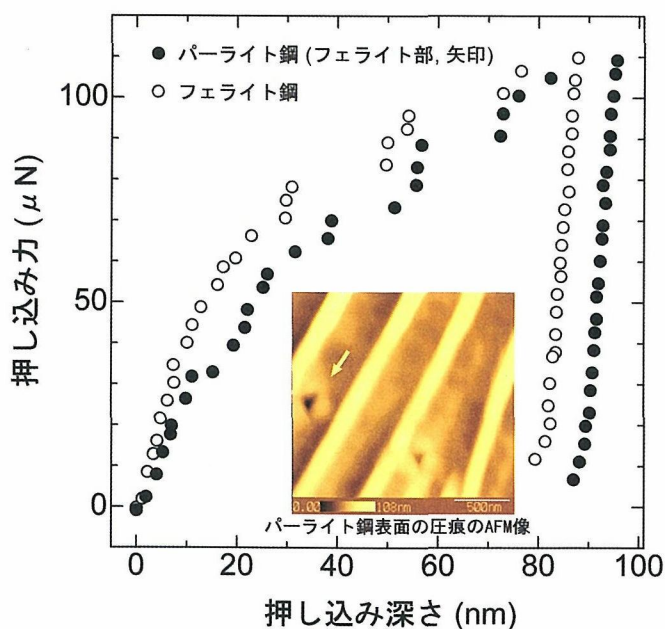
トピックス (1)

微小サンプルで平均粒径2ミクロンの微細なフェライトパーライト組織の作製に成功した。図中の個々のフェライト粒の色は方位を表し、フェライト粒がランダムに近い方位を有することを明らかにしている。本組織はFe-0.17%C-0.3%Si-1.5%Mnの組成を有する普通鋼を、オーステナイト低温域で大きなひずみを加え、10K/sで冷却することによって実現された。本組織のさらなる特徴として、粒界が方位差角15度以上の大角粒界から成り立っていることである。粒界が大角でなければ、微細化の効果は期待できない。微小サンプルであるため強度試験は難しいが、引張強度約700MPaに相当するビッカース硬さ (Hv)203が得られている。



トピックス (2)

スチールコードのフィールドイオン顕微鏡像。白点が鉄原子である。実用材料中で最強であるスチールコードの開発は原子レベルで行われている。



トピックス (3)

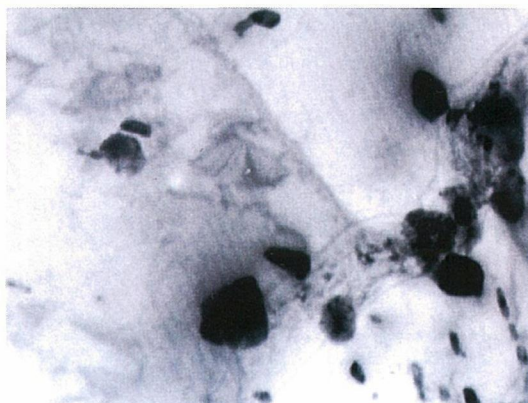
ワイヤーの超微小硬さ試験結果。ワイヤー中の幅数百nmのフェライトとセメンタイトの微細組織のそれぞれの変形特性を知ることがワイヤーの高強度化のキーポイントである。

トピックス (4)

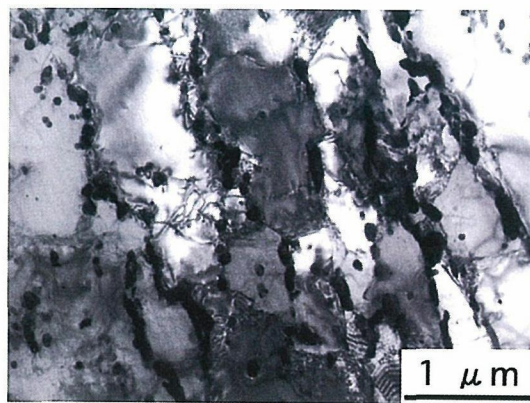
長期間にわたり強度の低下しないフェライト系耐熱鋼を創製するには、微細なラスマルテンサイト組織（ラスは船を漕ぐかいの意）が、高温でも安定に保持される必要があります。

写真はフェライト系耐熱鋼の組織が高温で長期間使用中にどの様に変化するかを電子顕微鏡を用いて、従来型鋼と新しい9%Cr-3%W鋼について比較したものです。従来型鋼では、高温でラス組織が容易に壊れてしまい、強度が低下します。一方、新しい鋼では長期間使用しても初期の微細なラス組織は安定に保持され、高温強度は長期間維持されます。

現在さらに高強度の材料を開発するために、材料中の拡散を抑制する合金設計や、炭化物等の析出物を微細に分散させる組織設計に取り組んでいます。

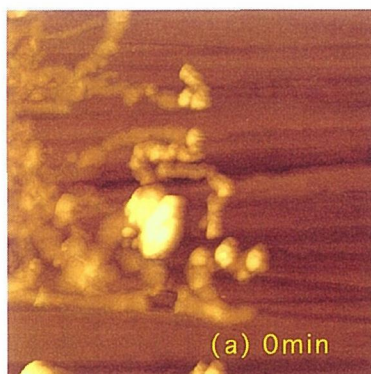


(a) 従来型鋼

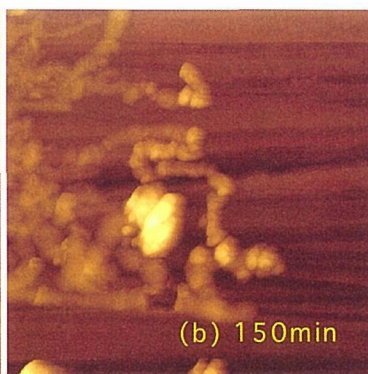


(b) 9%Cr-3%W鋼

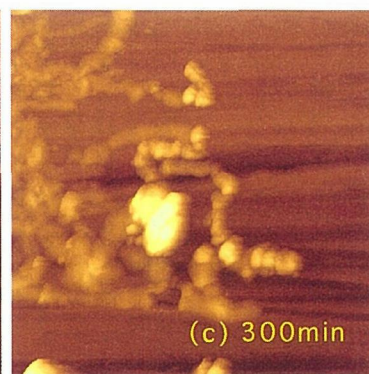
電子顕微鏡による従来型鋼と新しい9%Cr-3%W鋼の高温での組織安定性の比較



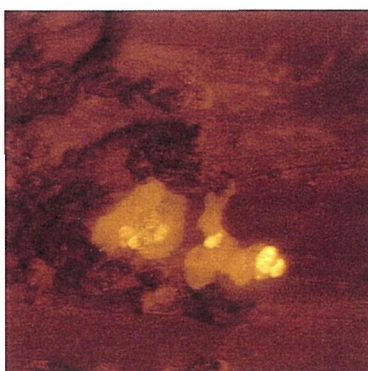
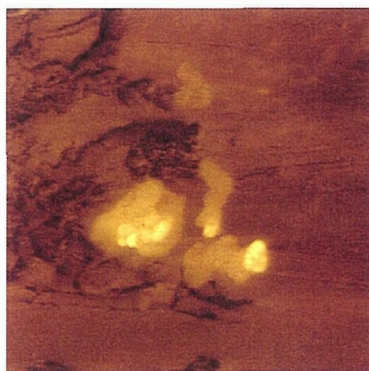
(a) 0min



(b) 150min



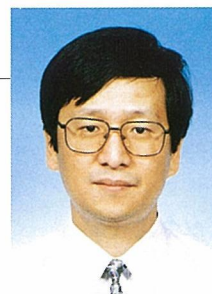
(c) 300min



トピックス (5)

温度 $24.2 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 、湿度 $36 \pm 2\%$ の大気環境中における純鉄の1滴の海水（直径 $200 \mu\text{m}$ ）から発生した大気腐食の進行を原子間力顕微鏡の一種であるKFM（ケルビンフォース顕微鏡）で連続観察した像で（ $50 \times 50 \mu\text{m}$ ）、上が表面形状像、下が電位分布像です。腐食が進行している部分には電位変化がみられ、腐食の先端部がアノード、そのすぐ後ろがカソードとなり、小さな電池を形成して進んでいることがわかります。さびの高さは中央部を除くと 250nm から 400nm 程度です。

研究最先端

アトムプローブによる実用金属材料の
超微細組織形成メカニズムの解明

物性解析研究部

宝野 和博

金属材料の特性発現のメカニズムを理解するためには、どのようなメカニズムで微細組織が形成されるのかを研究する必要があります。近年開発の進められている先端的な金属材料では、組織がナノスケールにまで微細化されつつあり、その解析には高度な技術が必要になってきています。また金属材料では、わずか数パーセントの元素を加えただけで、機能特性や力学特性が大きく変化する事があります。これは原子レベルのクラスターやナノスケールの析出物などが材料の特性を大きく変化させるためですが、このような超微細な領域での組成分析や原子クラスターの同定には、電子顕微鏡などの汎用的な解析手法を用いるだけでは十分ではありません。そこで私たちの研究室では種々の実用金属材料の微細組織をアトムプローブという手法を用いて原子レベルで解析し、それにより微細構造発現のメカニズムを、ひいては材料の特性発現のメカニズムを解明し、材料開発のための指導原理を提供したいと考えています。

アトムプローブは1968年にペンシルベニア州立大学のE. W. Müllerにより発明された手法で、決して新しい手法ではありませんが、これまで十分に普及しなかった実験手法です。図1に示されるように先鋭な針状の試料に電界をかけて個々の原子を試料表面からイオン化し、その飛行時間を測定することにより原子を個々に同定する手法ですが、これまで使用されてきたアトムプロ

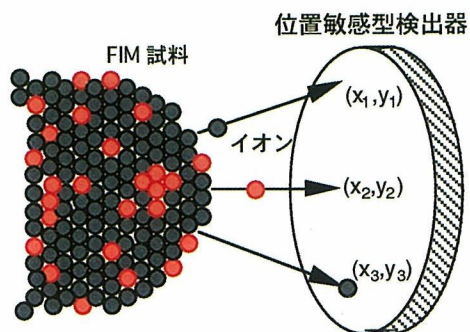
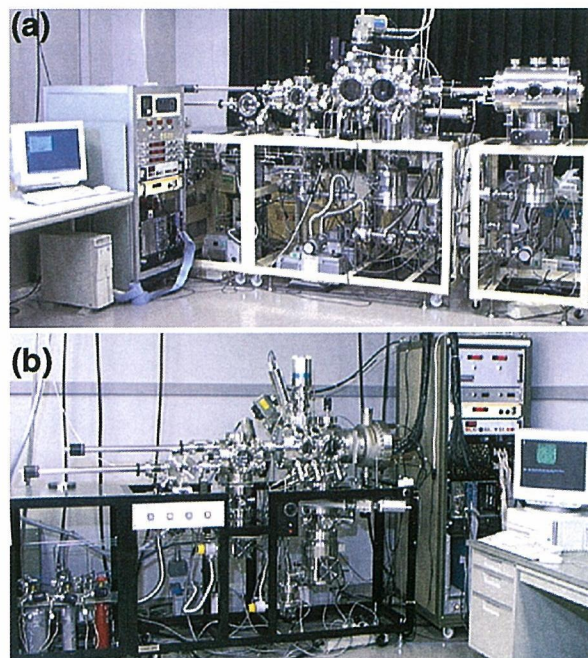


図1. 3次元アトムプローブの模式図

図2. (a)エネルギー補償型飛行時間型アトムプローブ
(b)ルーアン式のTAP検出器を取り付けた3次元アトムプローブ

ーブではナノ領域の深さ方向への1次元の濃度プロファイルを決めていました。ところが最近になって、図1に示されるように、位置敏感型検出器を用いて原子種の同定と位置決定を同時に行うことの出来る3次元アトムプローブという手法がオックスフォード大学のA. Cerezoらにより開発され、アトムプローブ分析法はより魅力的な実験手法として再評価されつつあります。

私たちはこれまでに図2(a)に示されるような1次元アトムプローブと、(b)3次元アトムプローブを製作し、現在これらの装置を活用して種々の金属材料の微細構造発現のメカニズムの解明に取り組んでいます。

一例として非晶質相のナノ結晶化により優れた軟磁気特性が現れるFe-Si-B-Nb-Cuナノ結晶軟磁性材料の解析例を紹介します。この材料は結晶粒をナノスケールに微細化することにより優れた軟磁気特性が現れる新しいタイプの軟磁性材料で、図3に示されるように、わずか10 nm程度の超微細結晶

粒が高密度でランダムに分散しているのが特徴です。ところがこのようなナノ結晶組織がどのようなメカニズムで形成されるのかについては多くの謎が残されていました。図4に結晶化温度よりも低い温度で熱処理したFe-13.5Si-9B-3Nb-1Cu非晶質合金の高分解能電子顕微鏡像と3次元アトムプローブによる分析結果が示されています。高分解能電子顕微鏡像によりこの合金はまだ非晶質状態であることが分かりますが、3次元アトムプローブによる結果から、この段階においてCu原子のクラスターが形成していることが分かります。クラスターの密度は $10^{24}/\text{m}^3$ 程度であり、最適磁気特性の得られるナノ結晶組織での α -Fe結晶粒の密度と同程度であることが分かりました。従って α -FeがCuクラスターを核生成サイトとして結晶化したと仮定すると、高密度の α -Feを含むナノ結晶組織の形成は十分可能であることとなります。実際にCuのクラスターに直接 α -Fe相が核生成したことを直接証明した決定的な3次元アトムプローブ結果が図5のように得られています。

合金組織のナノ結晶化は優れた軟磁気特性の発現に寄与するだけでなく、Nd-Fe-B系合金をナノ結晶化すると優れた磁石特性が得られることも知られています。さらにAl-TM-Ln基非晶質合金(TM:遷移金属、Ln:ランタノイド系元素)にAlの微結晶を分散させるとアルミニウム合金としては驚異的な高強度が得られることも知られています。これらの材料において、どのようなメカニズムでナノ結晶組織が形成されるのか、さらには各合金元素がナノ結晶組織形成にどのように寄与しているのかをアトムプローブ

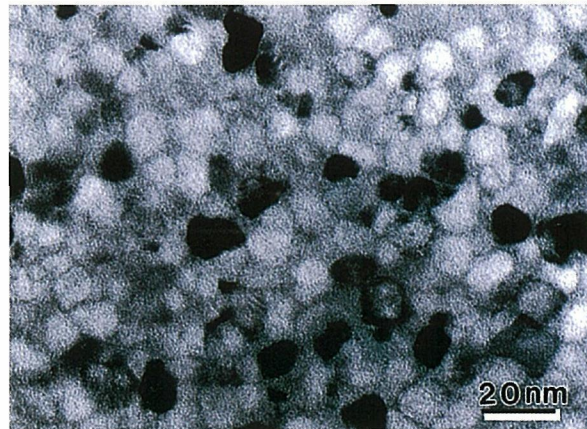


図3. Fe-Si-B-Nb-Cuナノ結晶軟磁性材料の微細組織の電子顕微鏡像

で系統的に解明しつつあります。

この他にも私たちは現在、フロンティア構造材料センターと共同で種々の鉄鋼材料の微細組織解析にも取り組んでいます。鉄鋼材料中では軽元素の炭素の挙動が重要になりますが、アトムプローブは飛行時間型質量分析により原子種を同定しますので、軽元素でも定量的に解析することが出来ます。図6は真歪4.22まで強化高されたパーライト鋼線の3次元アトムプローブによる炭素の分布です。炭素濃度の高い2つのラメラがセメンタイトです。定量解析の結果、セメンタイト中の炭素濃度は強加工により化学量論組成から著しく小さくなり、また分解されたセメンタイト中の炭素がフェライトに強制固溶されていることなども分かってきました。

またアトムプローブは相分離過程を解析することを得意としています。Cuを3%含む17Cr-4Niステンレス鋼(PH17-4)は時効析出型

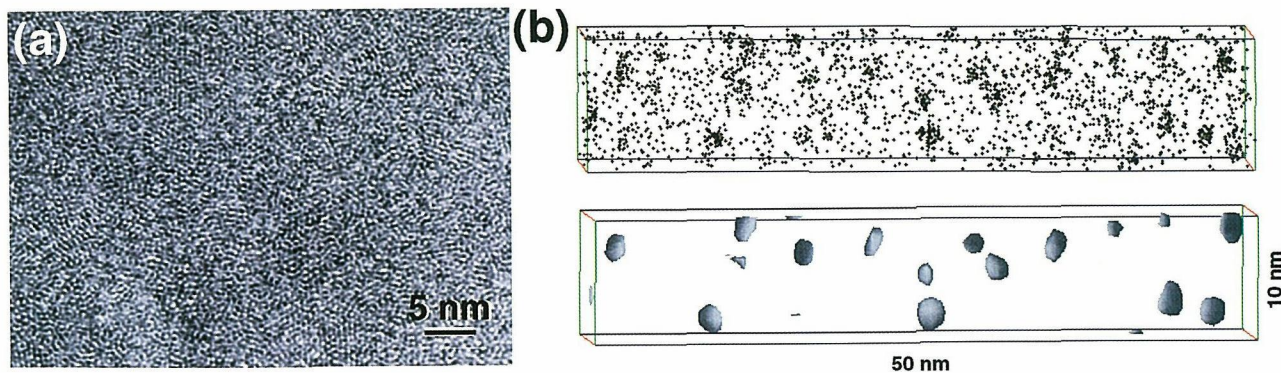


図4. (a)400°C60min熱処理したFe-13.5Si-9B-3Nb-1Cu非晶質合金の高分解能電子顕微鏡像と(b)3次元アトムプローブによるCuの分布と6at.%CuのCu等濃度曲面

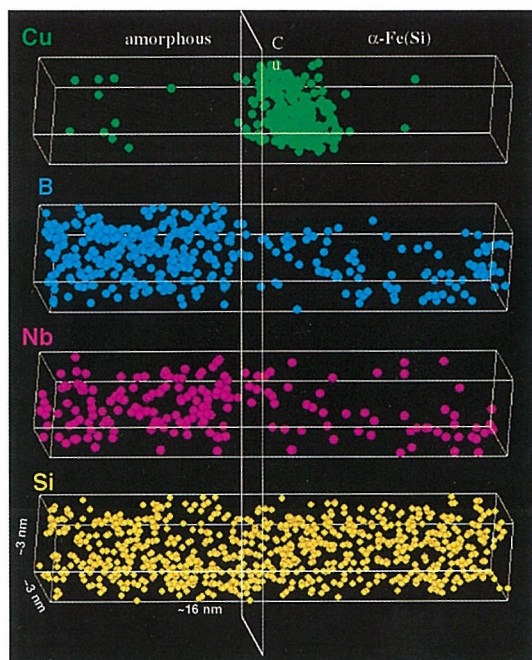


図5. Fe-Si-B-Nb-Cuナノ結晶軟磁性材料のCu析出物周辺の溶質原子分布の3次元アトムプローブによる解析例

の構造用ステンレス鋼としてボイラーなどの構造用鋼として使用されています。この鋼種を中温度領域での長期使用すると脆化することが問題となっていますが、そのメカニズムを理解するためには脆化した試料の微細組織を解明する必要があります。図7は400℃ 5000時間時効後のPH17-4鋼の3次元アトムプローブ分析結果ですが、スピノーダル分解による数10 nmオーダーのCrの濃度変調に加え、Cuの析出物に隣接してNiとSiを多く含むG相と呼ばれる微細析出物が不均一析出していることが始めて明らかにされました。このことから、脆化はマルテンサイト相のスピノーダル分解だけではなく、G相の析出にも起因しているのではないかと

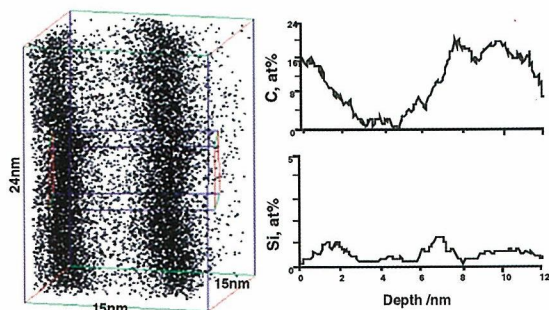


図6. 真歪4.22まで強化高されたパーライト鋼線の3次元アトムプローブによる炭素マッピングと炭素とSiの濃度プロファイル

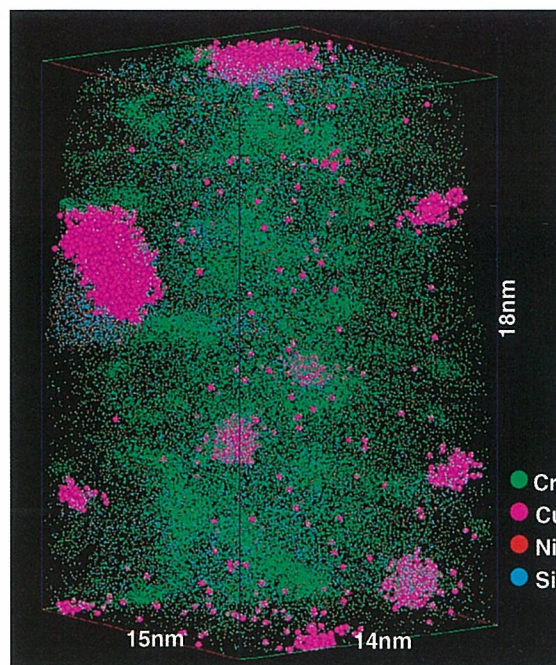


図7. 400℃ 5000時間時効後のPH17-4ステンレス鋼の3次元アトムプローブ分析結果

考えています。

このように私たちはアトムプローブを活用することによって実用合金中での組織過程における溶質原子の挙動の解明や超微細析出物の同定を行い、従来の解析手法では得られなかった微細構造に関する新しい知見を原子レベルで得ています。3次元アトムプローブを用いることで種々の金属材料中の合金元素を3次元実空間中に描きだすことが可能となり、実用合金からナノ結晶、非晶質合金に至る様々な材料についての時効、熱処理などにおける合金元素の挙動を原子レベルで解析することが可能となりました。アトムプローブはサブナノスケールでの濃度の解析に威力を発揮しますが、構造に関しては極めて限られた情報しか得られません。このため私たちはアトムプローブと電子顕微鏡を相補的に用いることにより、材料の微細組織解析を進めています。このような実験的アプローチを多くの先端金属材料の微細構造解析に応用することによって、材料特性の発現機構に関する重要な知見が得られると考えています。なお私たちの研究室で進めている研究に関する最新の情報は随時

<http://inaba.nrim.go.jp/apfim/>
で更新されております。

研究最先端

アトムプローブによる実用アルミニウム合金
の組織形成過程の研究

物性解析研究部

村山 光宏

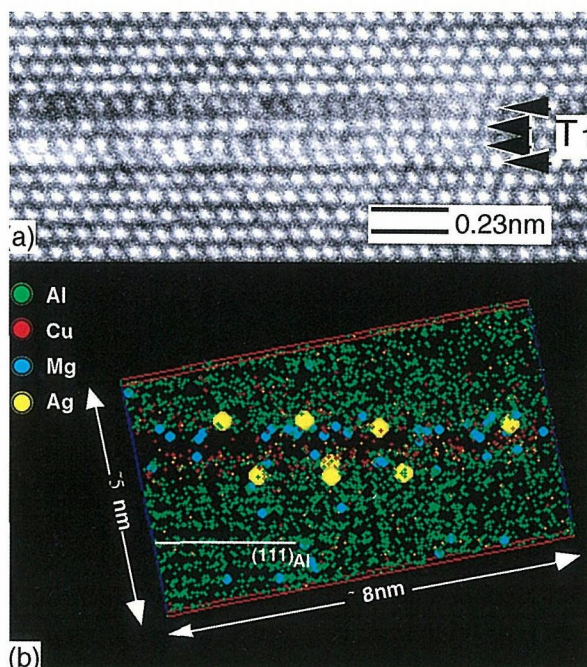
構造材料として用いられる大部分の高強度アルミニウム合金は時効析出による強化機構を利用しています。従って実用アルミニウム合金における時効析出現象を理解することは、新たな高強度アルミニウム合金を開発するために不可欠となります。多くのアルミニウム合金では平衡相の析出に先立って溶質原子クラスターや準安定相が形成されますが、これらの形成により時効のキネティクスや最高強度が大きく変化することがあります。さらにわずか0.1 at.%程度の添加元素を加えただけで析出物そのものが変化したり、時効のキネティクスが大きく変化します。このような工業上重要な問題を理解するためには、時効析出初期段階での溶質原子のクラスター形成過程を原子レベルで解明する必要があります。そのために私たちは、アトムプローブを種々の実用アルミニウム合金の時効析出物の解析に応用し、微細組織形成のメカニズムの解明に取り組んでいます。

たとえばCO₂削減をめざした自動車の車体軽量化のためには、Al-Mg-Si合金をボディパネルに利用することが効果的ですが、そのためには負の時効効果という問題を解決する必要があります。これはAl-Mg-Si合金を室温に放置しておくだけで緩慢な時効硬化が進行し、車体形成後の高温時効で十分な時効硬化が進まないという現象です。私たちはアトムプローブを用いた研究によって、Al-Mg-Si合金中では室温時効中に電子顕微鏡などでは検出できない溶質原子クラスターが形成されていることを明らかにしました。これらがその後の高温時効における析出反応のキネティクスを大きく変化させる原因であることを直接的に検証しています。

高比強度、低密度で航空宇宙用材料として開発が進められているAl-Cu(-Li)系合金

に0.2 at.%程度のMg,Agを複合添加すると著しい強度上昇が得られることが報告されています。このような微量添加されたMgとAgは時効初期に複合クラスターを形成し、これがある特定の結晶方位を持った板状の析出物に成長していくことが分かってきました。図1は(a)最高強度の条件で形成された4原子層の厚さの板状析出物に、(b)微量添加されたMgとAgが析出物と母相の界面に偏析していることを始めて明らかにした3次元アトムプローブによる解析結果です。

このように原子レベルで溶質の存在位置を特定できる3次元アトムプローブの特徴を生かして、種々の高強度アルミニウム合金の組織形成、力学特性発現のメカニズムの解明に取り組んでいます。



Al-Cu-Li-Mg-Ag-Zr合金中の{111}板状析出相(a)高分解能電子顕微鏡像(b)3DAPによる元素マッピング。(111)Al面が分解されており、深さ方向に1原子面の分解能を持つことがわかる。

海外技術協力

超合金材料技術開発の仲間たち

第3研究グループ
山縣 敏博

ジェットエンジンやガスタービン用に広く用いられているニッケル(Ni)をベースにした超合金の研究開発を行っていた私達が、ブラジルの材料分野の研究者と出合ったのは1985年に日伯科学技術協力協定への新規課題を受けてのことでした。その後、新材料・新金属の開発を提案したブラジルの財団法人工業技術研究所(FTI)の耐火材料部技術部長ダルトロ・ガルシア・ピナティ博士が1986年に当研究所を訪問しました。この新規提案のうち、当研究所で対応できる項目として、超合金に含まれている密度の大きいタンタル、タングステンをブラジル産出主要元素で密度の小さいニオブ、モリブデンに置き換えた合金の特性に関する研究があり、当研究所は1987年に正式に技術協力を行うことになりました。1989年には専門家をFTIに派遣し、Ni基超合金の合金設計技術、合金製造技術及び溶解材の強度特性評価技術に関する技術協力を行いました。しかし、技術指導中に、FTIは金属を溶解鋳造する装置を保有していないことが判明しました。そこで、溶解鋳造に関して高い技術力を有しているサンパウロ州立技術研究所(IPT)で技術指導を行うこととなりました。その後、FTIの研究はIPTとの共同研究により達成されることになりました。

1990年6月にはFTIと共同研究をするIPTから「一方向凝固技術」に関する技術習得

の申し入れがあり、同年10月にIPTの金属部溶解鋳造研究グループリーダーであるフラビオ・ベネデューチェ・ネトー氏を研究生として受け入れて技術研修を2週間にわたって実施しました。

時期を同じくして、IPTが1990年7月に外交ルートを通じて提案されたブラジル材料技術開発のJACAプロジェクト方式の提案書が科学技術庁より届き、研究協力の問い合わせがあり、当研究所は提案内容のうち、Ni基超合金に関しては合金設計プログラムを用いた合金の設計、特性評価用試料の溶解鋳造、クリープ試験等の強度特性評価に関して実績があることから、プロジェクトが発足する場合には出来る範囲(Ni基超合金分野)で協力は可能であると回答しました。プロジェクト発足後は長期専門家の派遣、供与機材の選定及び発注、カウンターパートの受け入れ、短期専門家の派遣、及び長期専門家との交信、問題点への対処等の活動を通してプロジェクトを国内から支援してきました。そして、カウンターパートの努力により、一方向凝固技術、特性評価技術がブラジルで確立されました。この技術はブラジル国内メーカーとの共同研究、共同開発へと発展しつつあります。これらのプロジェクトに参加したものとして思い残すことが多々あるが、彼らのこのプロジェクトに賭けた熱意は大きく共に汗を流した時がなつかしく思い出されます。



講演会報告

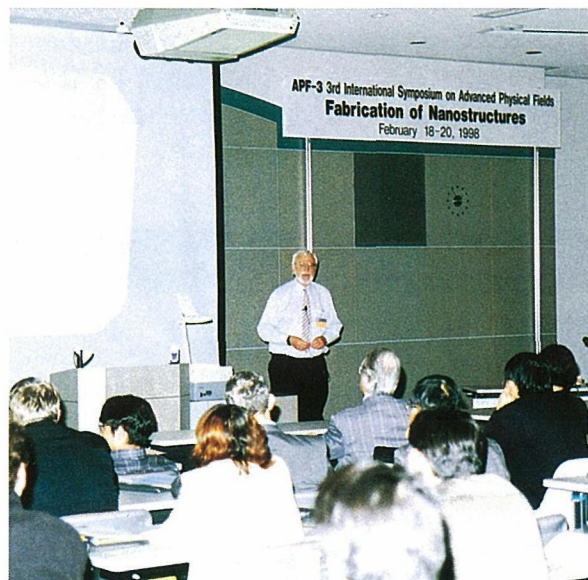
第3回極限場国際シンポジウム



極高真空場ステーション
小口 信行

本年2月18日から20日までの3日間にわたって金属材料技術研究所において、第3回極限場国際シンポジウムが開催されました。

今回、本シンポジウムにおいては、「ナノ構造の創製」というテーマを単原子操作、自己組織化形成、リソグラフィ、ビームテクノロジーおよび複合・新技術の5つのトピックスに分け、それぞれの分野で最先端の研究を行っている世界の代表的な研究者23名（国外12名、国内11名）を招へいし、研究の最前線で今何が起こりつつあるのかを講演していただきました。また、ナノ構造の観察と制御の分野で世界の研究者に大きなインパクトを与えている走査トンネル顕微鏡を考案して、1986年ノーベル物理学賞を受賞したH.ローラ博士に21世紀における材料についての展望を、さらにナノ構造の研究を常にリードしてきたK.フォン・クリッツィング博士（1985年量子ホール効果の発見でノーベル物理学賞受賞）および東京大学榊教授（1988-1993年、新技術事業団榊量子波プロジェクト推進）にナノ構造の創製と物理・応用に関してそれぞれ特別講演をしていただきました。シンポジウムの始めに岡田所長の挨拶に続き、COE評価委員会の委員長である東京大学塚田教授にCOE評価委員会からのコメントも話していただきました。またシンポジウム前日に行われたゲットトゲザーパーティーでは急遽参加していただいたノーベル物理学賞受賞者で筑波大学の学長の江崎先生にもお話しをしていただきました。シンポジウムではこれらの特別講演および招待講演の他に3分間のショートプレゼンテーションつきポスターセッションも



一般講演として募集しましたが、世界各国から40件の発表およびポストデッドラインペーパーとして2件の発表がありました。この中には自費で国外から参加された方もおりました。

シンポジウムは連日盛況で活発な討論が続きました。参加者は正規の登録をした方だけで17か国198名におよび、このうちの40%が国外の方というまさに世界のCOEにおけるシンポジウムという名にふさわしい会議でした。シンポジウムは白石極限場センター長の閉会の挨拶で終了いたしましたが、この中で第4回極限場国際シンポジウムは来年3月「強磁場中における量子構造物質」というテーマで開催されるという報告がありました。シンポジウムの運営にあたり多くの方にお世話になりました。厚く御礼申し上げます。なお本シンポジウムで発表された論文は、本会議のプロシーディングスおよびJ.Surface Analysisに査読後近く掲載されます。

受賞 *Congratulations!*つくば奨励賞
宝野 和博

アトムプローブに関する研究において将来性のある科学的価値の高い優れた創造的研究成果を収め、科学技術の発展に大きく貢献したことに對して、上記の賞を受けた。

表紙説明

21世紀に使用される高強度化及び長寿命化された鉄鋼材料の用途イメージです。

左上：超長大橋、 左下：超高層ビルディング、
右下：火力発電所、 右：メガフロート

■編集後記

今月号はつくば奨励賞を受賞した宝野主任研究官に、研究最先端において日頃行っている研究について執筆してもらっています。

また、特集は立ち上げから1年を経過したフロンティア研究センターから成果や平成10年度の目標などを執筆してもらいました。

特許速報

●登録

発明の名称：磁気冷凍作業物質

登録日：平成9年9月12日

登録番号：特許第2694545号

発明者氏名：沼澤健則、木村秀夫、佐藤充典、前田弘 他一名（株式会社ジャパンエナジーとの共有特許）

概要：1 K以下の極低温環境を効率よく生成する磁気冷凍機用の作業物質に関するものであり、特には希土類磁性イオンRを含むR₃GasO₁₂ガーネットを非磁性イオンにより希釈したところを特徴とする磁気冷凍作業物質。

発明の名称：Ti-Al系金属間化合物の製造方法

登録日：平成9年11月7日

登録番号：特許第2716886号

発明者氏名：村松祐治

概要：高温圧縮を用いず、通常の焼結技術により緻密な焼結材を簡便かつ容易に製造し得る新しいTi-Al系金属間化合物の製造方法。

発明の名称：微小表面硬度測定装置

登録日：平成9年12月5日

登録番号：特許第2725741号

発明者氏名：松岡三郎、宮原健介

概要：押し込み力ー押し込み深さとの測定によってナノスコピックレベルにおける微小表面硬度測定を行うことが可能な装置。

発明の名称：酸化物単結晶とその製造方法

登録日：平成10年1月30日

登録番号：特許第2741747号

発明者氏名：木村秀夫、沼澤健則、佐藤充典

概要：優れた非線形光学特性を有する新しいBa-B系酸化物単結晶と、その酸化物単結晶を再現性良く、高純度で製造することの出来る製造方法。

発行所 科学技術庁金属材料技術研究所
〒305-0047 茨城県つくば市千現1-2-1
TEL.(0298)59-2045 FAX.(0298)59-2049
ホームページ <http://www.nrim.go.jp>

通巻 第473号 平成10年4月発行
編集兼発行人 細川洋治
印刷所 前田印刷 株式会社