

N R I M N E W S



科学技術庁 金属材料技術研究所

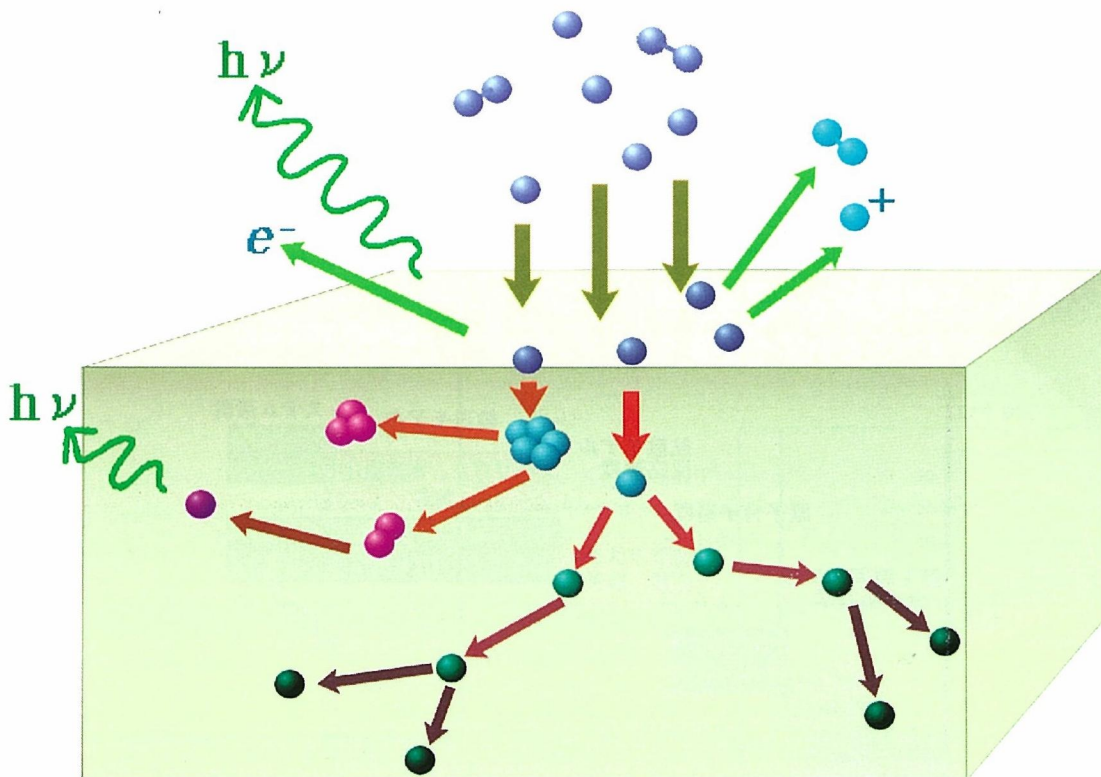
National Research Institute for Metals

特集 “これからの原子力材料研究”

- 耐照射新材料設計への新たな取り組み
- 欠陥によるフォノン閉じこめ
- 照射中にのみ生じる現象の解明と予測を目指して
- 原子力用構造材料におけるヘリウム脆化の研究
- 材料の同位体組成をコントロールする
- インターネットでの原子力材料情報の相互利用

研究最先端

- 粒径 $1\mu\text{m}$ 以下のフェライト粒組織の創製
- 限界を超えた分析への挑戦



これからの原子力材料研究

総論

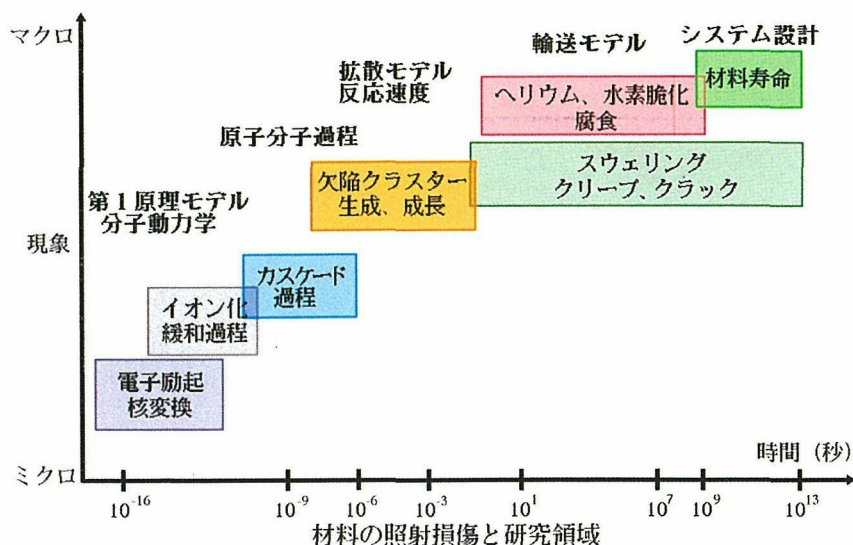
耐照射新材料設計への新たな取り組み

究極のエネルギー源と考えられている核融合炉や将来の原子炉として期待されている高速炉等に使用される材料はプラズマ、中性子、イオンなどの厳しい照射環境にさらされます。照射を受けた材料は、材料表面ではスパッタリング、材料内では、はじき出しおよび核変換などにより脆化、ふくれ現象などの損傷を受けることになります。また、核変換の結果、誘導放射能を生じる場合もあります。照射環境下で劣化しにくく、かつ誘導放射能の低い材料の開発は、将来炉の実現ばかりでなく、現在の発電用原子炉の炉芯構造材料の長寿命化、炉の安全性の観点からも重要です。

材料の照射損傷は、電子励起、原子衝突から始まり、原子空孔・格子間原子の発生に続いて転位の成長、ボイド、気泡生成にいたり、マクロの変化として脆化、膨れ等が起こります。損傷現象は照射される粒子の種類、エネルギー、線量によ

って 10^{-16} 秒の短時間で現れるものから数十年間蓄積された結果生じるものまであります（図参照）。したがって優れた耐照射材料の開発のためには、照射下での材料の動的挙動の基礎過程からマクロで起こる現象までを理解して、材料設計を行っていく必要があります。

当研究所においては、このため、照射下での粒子線との相互作用、はじき出し、核変換等の動的現象の機構、ならびに材料の劣化挙動を明らかにするとともに、第1原理、分子動力学、反応速度論からの損傷予測、同位体レベルでの材料制御、低放射化耐照射性材料の開発とこれらのデータベース化を図る総合的な取り組みを行っております。これらの研究は、原子力だけではなく粒子線と材料が関わる加速器技術、スパッタ、イオン注入などの材料技術ならびに宇宙環境分野の材料にも応用されるものです。



これからの原子力材料研究



第2研究グループ
北島 正弘

欠陥によるフォノン閉じ込め

固体結晶にイオンを照射した場合、打ち込んだイオンが結晶中に残留したり、結晶を構成していた原子が弾き出されて、格子欠陥が生じます。結晶中の格子振動(フォノン)は、このような格子欠陥で散乱され、振動数や伝播距離に大きな影響を受けると考えられています。

本研究ではこれまで、ラマン散乱測定を用いて、イオン照射による固体中の欠陥の生成の速度論の研究を行ってきました。固体中のフォノンのラマンスペクトルは、構造の乱れに敏感であるため、結晶性の評価に利用されています。ラマン散乱測定法は、対象となる試料を非破壊でイオン照射しながらその場で測定できるという利点があります。5keV以下の低エネルギーの希ガスイオンをグラファイトやガリウム砒素結晶に照射しながらラマン散乱測定を行った結果、照射初期ではフォノンの伝播距離(フォノン相関距離)がイオン照射とともに

に減少することを観測しました(図1)。これらのフォノン相関距離の減少はいずれもフォノンの伝播が点欠陥の部分で断ち切れ、フォノンが欠陥に囲まれた小さい空間に閉じこめられる(フォノン閉じこめ)という物理的描像を表しています。

このフォノンの空間的な閉じ込めの現象に対応した時間分解測定として、我々は最近、100フェムト秒(10^{-13} 秒)以下の非常に短いレーザーパルスを用いて、固体中に位相の揃った(コヒーレントな)フォノンを励起し、屈折率の変化を通じて格子振動をフェムト秒の単位で観測するという、コヒーレントフォノン励起法によるフォノンのダイナミクスの研究に着手しています。(図2)。この方法を用いることにより、イオンやプラズマとの相互作用によって構造の乱れた固体中での、フォノンの寿命を決めることができると考えられています。従来の振動分光ではスペクトルの変化から間接的にしか解らなかった、欠陥生成によるフォノンの寿命の変化のより直截・定量的な解明が期待されています。

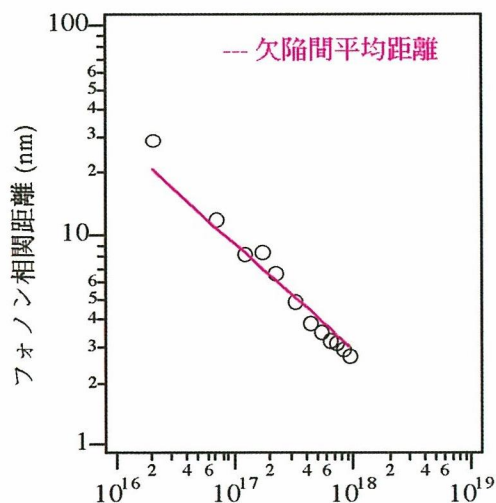


図1 3keVHe⁺イオンで照射したグラファイトのフォノン相関距離。イオン照射にともなう相関距離の減少は、フォノンが欠陥に囲まれて次第に局在化することに対応する

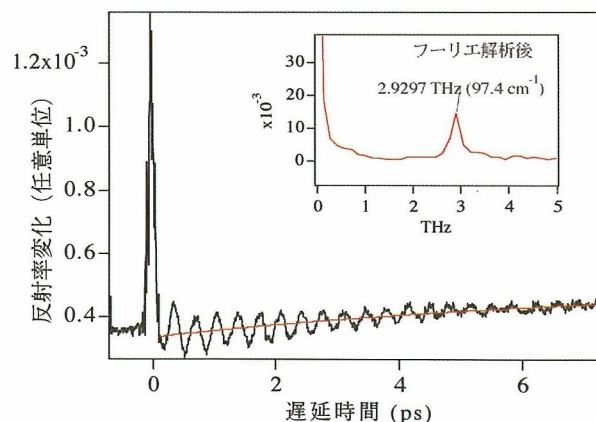


図2 固体中の位相の揃ったフォノン(コヒーレントフォノン)の実測(Biの場合を示す)

これからの原子力材料研究

照射中にのみ生じる現象の 解明と予測を目指して



第2研究グループ
永川 城正

将来のエネルギー源として期待されている核融合炉の炉心構造物材料では、熱応力などの力が加わるとともに高速中性子等の照射による激しい結晶原子の弾き出しが発生します。その結果、次々に生み出される点欠陥が応力の影響を受けながら動き回るダイナミックな状況が形成されます。このため、機械的特性を含む種々の材料物性において、「非照射時」のみならず「照射後」とも根本的に機構の異なる「照射下」特有の変化が誘起されます。軽水炉においても、「照射下」現象は炉の長寿命化を実現する上での一つの課題となっています。

「照射下」だけでしか発生しない現象を実際に調べるには技術的な困難が多く、未解明の部分が多く残されています。我々のグループでは、当研究所のサイクロトロンを使用した「照射下」実験や応力下での点欠陥挙動の計算機シミュレーションによって、「照射下」における材料のダイナミックな変形・破壊挙動の解明と予測、またその克服を目指して研究を進めています。

図1に示すのは、316鋼における照射下

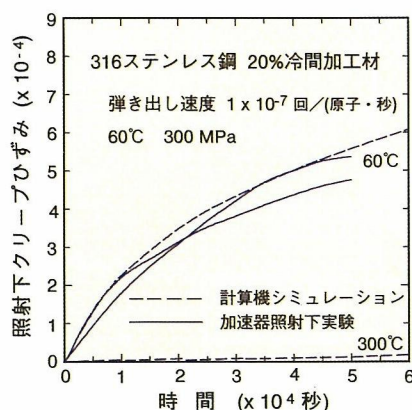


図1 照射下クリープのシミュレーションと実験

クリープ（照射中でのみ誘起される定応力下の激しい変形）のシュミレーションと実験の結果の比較です。計算機シミュレーションでは、60℃の温度では300℃よりもはるかに大きな変形が予測されました。実線で示すように、実験でも60℃における大きな変形が確認されました。

炉心構造物への機械的負荷は炉の運転・停止を反映して反復的です。このような疲労負荷が照射下で加わる場合の材料の変形や破壊については未だ明らかにされていませんが、炉の寿命にとっては大変重要な問題です。当研究所において新たに開発した照射下クリープ疲労試験装置をもちいて60℃で行った316鋼の実験結果を図2に示します。この実験から照射下では疲労寿命が延びること、上限荷重保持の状態では照射下クリープが加わると延びが短縮されることが新たに分かりました。

今後、さらに照射による変形・破壊特性変化の解明・予測に努め、これらの課題を克服する研究を進めて、核融合炉開発や軽水炉長寿命化などに貢献していきます。

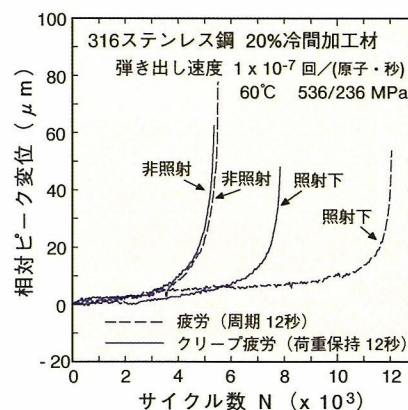


図2 照射下での疲労とクリープ疲労

これからの原子力材料研究

原子力用構造材料におけるヘリウム脆化の研究



第2研究グループ
山本 徳和

中性子照射を受ける材料では、中性子と材料を構成する原子との核変換反応によってヘリウムが発生します。このヘリウムは材料中で結晶粒界に集積し易い性質を持っており、高温でヘリウム脆化と呼ばれる粒界脆化を引き起して、強度や伸びなど材料の力学的特性を低下させることが知られています。

私たちは、サイクロトロン照射によってヘリウムを注入し、中性子による核変換効果を模擬した試験片を用いて、各種材料のヘリウムに対する耐性の比較、検討及び評価を実施しています。また、透過型電子顕微鏡（TEM）や走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて材料の微細組織と力学的特性の相関を明らかにするとともに、ヘリウム脆化に至るメカニズムの解明を通して、耐ヘリウム脆化特性に優れた材料の開発に貢献すべく研究を続けています。

図1はヘリウム注入後クリープ破断試験を実施した試験片の粒界ヘリウム気泡の

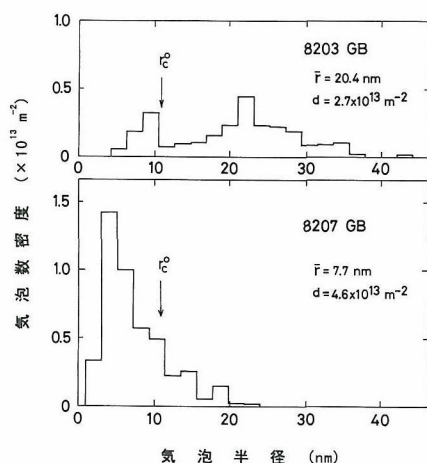


図1 ヘリウム注入後クリープ破断したFe-Ni-Cr系実験合金(8203合金及び8207合金)の粒界ヘリウム気泡サイズ分布

サイズ分布の例です。図中の r_c^0 は理論計算によって求めた臨界気泡半径であり、これ以上の大きさの気泡はエネルギー的に不安定なため際

限なく成長し、粒界破壊を引き起こすと考えられます。図1に示されるように、材料や試験条件が変われば気泡サイズ分布も変化しますが、臨界半径よりも大きい気泡の平均間隔を計算すると、大抵数百nmから数 μm という値が得られます。一方、破断した試験片の粒界破面をSEMで調べると、図2に示されるように、数百nmから数 μm の間隔で小さなくぼみが一面に分布していることが分かります。これら二つの値が一致することは、ヘリウム脆化が臨界半径を超える気泡の不安定成長によって起ったことを示唆するものです。従って、ヘリウム脆化を防ぐためには、粒界に臨界半径を超える気泡が形成されるのを抑制することが重要です。このため私たちは、粒内析出物でヘリウムを捕獲し、粒界への移動を妨げる等の手法により、ヘリウム脆化の軽減を図ってきました。

今後は、環境安全性、廃棄物処理及び社会的受容性の観点から期待が集まっている低放射化フェライト鋼やバナジウム合金に力点を置き、これらの材料の性能向上に貢献していきたいと思っています。



図2 ヘリウムを注入したステンレス鋼のクリープ破断試験片で観察された粒界破面

これからの原子力材料研究

材料の同位体組成をコントロールする



企画室
野田 哲二

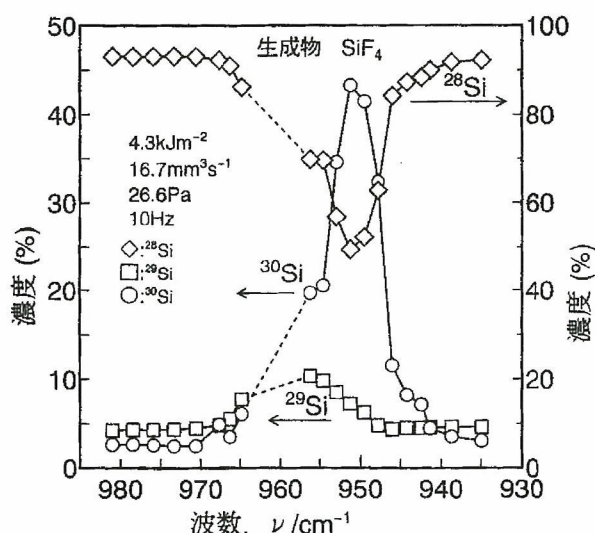


図 分解生成した $^{28}\text{SiF}_4$ 、 $^{29}\text{SiF}_4$ および $^{30}\text{SiF}_4$ 濃度とレーザー波数との関係

材料は元素の組み合わせで作られますが、周期表にあるように、多くの元素はさらに2種類以上の質量の異なった元素いわゆる同位体から構成されています。中性子等の粒子線に照射されると、核変換反応により誘導放射能やヘリウムガスなど材料を劣化させる不純物が生成されます。しかし核変換反応の程度は同位体の種類に大きく依存するため、同位体レベルで材料組成を制御すると、自然界の存在状態では困難であった核的性質の制御が可能になります。例えば ^{10}B は中性子吸収断面積が大きいので、濃縮 ^{10}B は原子炉の核反応制御に使われています。しかし、これまで一般に同位体といえば殆どトレーサとしての利用しか考えられていませんでした。最近、同位体濃

度を高めることによって格子定数に変化したり、剛性率や熱伝導率が上昇するなど物性面でも新しいことが見つかっています。

当研究所では、図に示すように、レーザーを用いて ^{28}Si 、 ^{29}Si 及び ^{30}Si のシリコン同位体をそれぞれシリコンフッ化物中に容易に高濃縮させることができるようになりました。この成果をもとに単一同位体のみからなるSiやBの単結晶の育成を行っています。特に ^{28}Si 単結晶は、熱伝導の改善が期待されるだけでなく、質量標準すなわち将来のkg原器になることが期待されています。また、高濃 ^{30}Si は低放射化材料としての原子炉用材料への利用のほか、大型CCDセンサーや大容量サイリスタ用材料としても有望と考えられています。写真は99%濃縮した ^{10}B を<100>方向に育成することに成功した例です。現在、これらの同位体単結晶の種々の物性を測定しつつあるところです。



写真 100方向へ成長させた99% ^{10}B 単結晶

これからの原子力材料研究

インターネットでの 原子力材料情報の相互利用



第2研究グループ
藤田 充苗

データフリーウェイ

原子力施設で使用される材料では、通常の材料の問題に加え、中性子照射による脆化や放射化が問題となります。これらの問題を解決したり、最適材料の効率的な探査を行うには、大規模の材料データベースが必要になります。単一機関でこのようなデータベースの構築は困難ですので、まず、原子力用材料のさまざまな研究成果を研究機関間を越えて共有・相互利用するデータフリーウェイと称するシステムの整備を進めています。このシステムは、当研究所、原研、動燃、JSTの4機関が共同して構築しているもので、各機関で得意分野の研究成果をデータベース化し、それらをネットワークを介して相互利用できます。開発当初は独自のネットワークでしたが、現在はインターネット上に構築し、世界中どこからでも利用出来るようになっていました。平成12年度の公開を目指して、データベースの

利用技術の開発やデータ量の増大を図っています。

インターネットの利用

データフリーウェイ構築において培われたネットワーク技術を通して、最近急速に発展したインターネットの材料分野での利用技術の確立を目指した研究も行っています。当研究所と米国のミシガン州立大の間で45Mbpsの広帯域回線を使って、将来の遠隔実験に必要となる画像転送などの要素技術の試験を行いました。また、当研究所とドイツの材料試験研究所(MPA)との間でインターネットを使った遠隔実験や遠隔制御に必要な基礎実験を計画しています。さらに、JSTのデータベース構築支援事業に参画し、インターネット上に溶接材の特性予測データベースの構築を進めています。これらの詳細な情報は、図に示すデータフリーウェイの当研究所サイト(<http://inaba.nrim.go.jp>)で知ることができます。

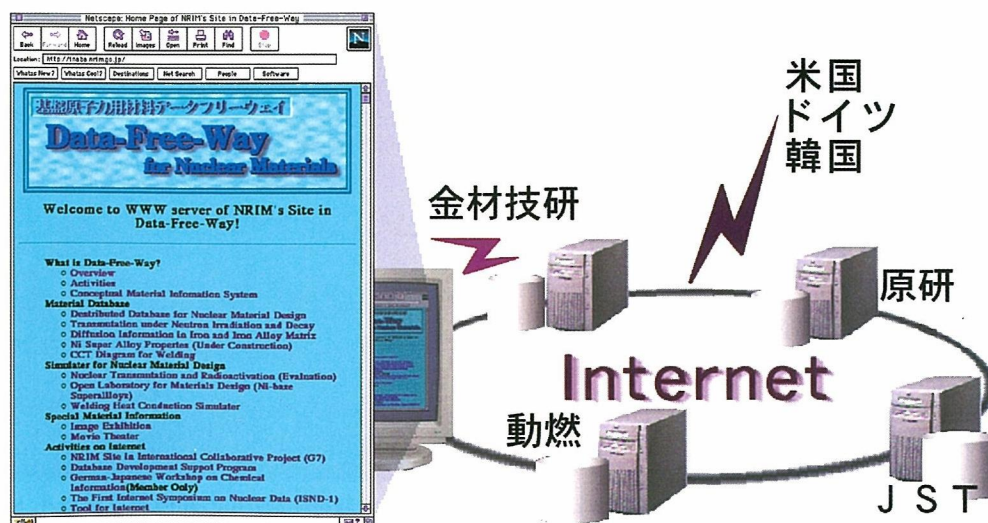


図 データフリーウェイと当研究所サイト

粒径1 μm 以下の フェライト粒組織の創製

—マルテンサイトに変形方向を変化させた
多パス温間加工を適用—



材料創製ステーション
林 透

組織微細化による高強度化

結晶粒を微細化して強度を上昇させることができます。すなわち結晶粒径と強度の間にはホールペッチ則（1式）として良く知られている強い相関関係があります。

$$\sigma_y = \sigma_0 + kd^{-1/2} \quad \dots (1)$$

(σ_y :降伏応力、 d :粒径、 σ_0, k :定数)

従来の高強度化の手法では合金元素の増量によるところが大きく、合金元素を増量すると溶接性が劣化するだけでなく、リサイクルが困難となります。組織の微細化はこれらの諸問題を解決しつつ高強度化する唯一の手段です。

本研究の目的はフェライト組織を1 μm 以下に微細化することによりまず400MPa級組成の鋼を800MPaに高強度化することです。

高強度化の意義

鉄鋼の強度を2倍にできると、以下に示すような種々のメリットが生まれます。同じ高さのビルでは、必要重量が半分で済むことになり、耐震性を高める上にその資源節約や原価低減効果は絶大です。さらに、合金元素を増量しないため、リサイクルが容易になります。そして、鉄鋼材料を製造するときに発生されるCO₂を、リサイクルすることにより、鉄鉱石から製造するよりも軽減することができるようになります。また、400MPa級の鉄鋼で到達できる建築物の理論的な高さは最高約500mですが、800MPa級の鉄鋼を用いると2倍の約1000mにすることができ、超高層ビルの建築も可能になります。

微小サンプルによる組織微細化達成

今回、工業的に実施可能な製造プロセスを模擬して微小サンプル（厚さ0.8mm、

幅5mm、長さ20mm）で粒径0.77 μm のフェライト粒組織創製に成功しました（図1 (a)）。現行の400MPa級鋼の組織（図1 (b)）と比較して、組織が格段に微細化していることが分かります。これにより、引張強さ405MPa相当の鋼（C/0.05, Mn/2.0mass%, 残Fe）を2倍の引張強さに高強度化する目処が立ちました（図2）。

アイデア

このような微細フェライト組織を創製するためのアイデアは以下の通りです。

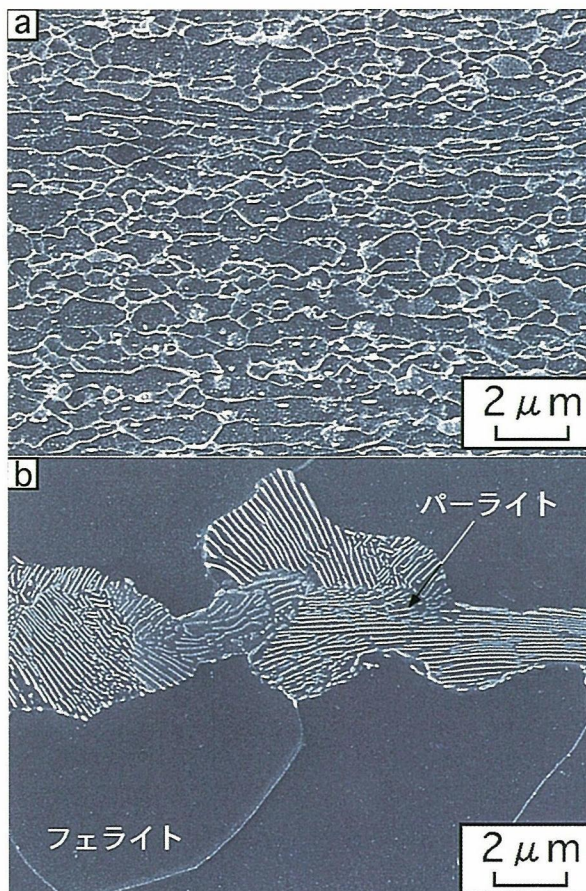


図1 a) 粒径0.77 μm の超微細フェライト組織。
b) 現行400MPa級鋼(SS400鋼)の組織。フェライト—パーライト組織。

1. 加工前組織のマartenサイト化

加工によって微細化の元を導入しますが、マartenサイトは無加工でも、ブロックやパケットと呼ばれる微細組織に分割されること(図3)やマartenサイト変態により導入された転位と加工転位の相互作用による局所的格子回転が期待できることで、微細化の準備組織として最適です。また、ラス境界から均一微細析出させた炭化物は、フェライト粒の成長を抑制します。

2. 加工方向の変化

試料をそのまま同じ方向に圧延すれば、フェライト粒が伸長して、加工されにくい粗大粒も現れます。パス間で加工方向を90度回転させることで図1に示すような等軸の微細なフェライト粒が得られます。

具体的な実験手段

以上のアイデアに基づいて図1 (a)に示す超微細等軸フェライト粒を次の様に創製しました。図4のように、まず400MPa級組成の鋼を1100℃で60s保持し水焼入することによりマartenサイトとしました(図3)。次いで、640℃に再加熱して、300s保持し50%圧延後、水冷しました。さらに、先ほどの圧延の際と試料の伸長する方向を90°変化させて、640℃で80%アンビル圧縮し水冷することにより創製しました。

今後は微細化メカニズムの解明を進めるとともに板厚10mmで、強度800MPaを達成することに挑戦していきます。

(注)

- ・フェライト：図1 (b)の「フェライト」と示した組織。比較的やわらかい。
- ・フェライト—パーライト：図1 (b)の縞状に見えるパーライトとフェライトの混合組織。
- ・マartenサイト：図3に見られるような複雑な組織。鋼を高温から急冷することにより得られます。硬い組織なので、なるべく高温で加工しました。

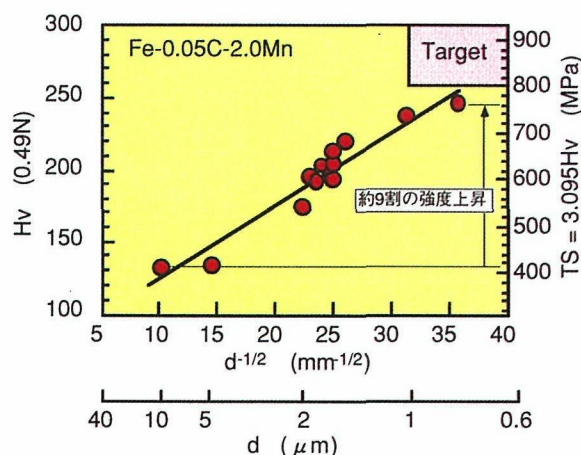


図2 フェライト粒径と硬さの関係。両者は強い相関関係を示します。粒径を0.77 μm に微細化したことにより約9割強度が上昇しました。

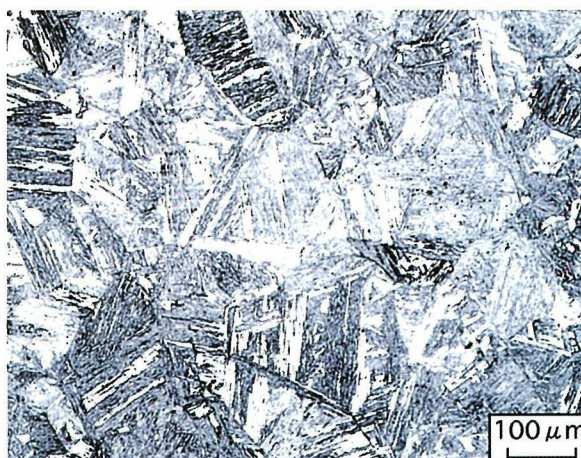


図3 1100℃60s保持水冷後のマartenサイト組織。無加工でもブロックやパケットと呼ばれる微細組織に分割されます。

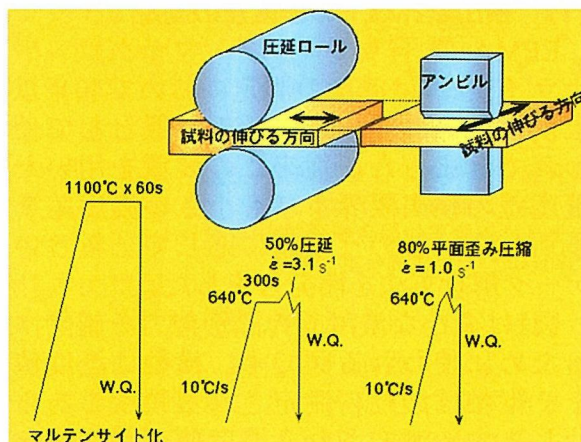


図4 超微細フェライト組織鋼の製造方法。圧延とアンビル圧縮で試料の伸長する方向を90°変化させました。

限界を超えた分析への挑戦

物性解析研究部

木村 隆・本間 一宏・鈴木 仁・深町 正利



新しい金属材料の開発や損傷の原因調査を円滑かつ効率的に進めるため、物理分析支援グループは、材料組織を評価する基盤技術を分担し、研究活動を支援しています。材料組織の評価は信頼性が重要であり、実績を積んだ分析方法による信頼性の高いデータを提供することが基本です。しかし、金属材料の高性能化とともに材料組織の評価もより高度なものが要求されています。そのため、高性能な分析機器や新しい原理を応用した分析機器を取り入れ、物理分析支援業務を材料技術の進歩に対応させていく努力が必要です。

物理分析支援業務では、研究現場からの要請に対し、これらの新しい機器による分析を行うのはもちろんのこと、既に有効な分析装置としての地位が確立されているものを従来とは異なった発想で使用することにより、精度のより高い分析方法を開発する仕事にも取り組んでいます。この過程で開発した分析方法を2つ紹介します。

(1) 検出限界以下の濃度差の測定

EPMA(電子・プローブ・マイクロ・アナライザー)は濃度の測定において40年以上前から信頼性の高い分析装置として使われてきました。従来この装置を用いた濃度差の検出限界よりも小さい濃度差を識別したいという要請に応じて、新しいデータ解析方法を開発しました。

図1は微小な濃度差の識別能力を議論するために使われる図です。横軸は濃度値を、縦軸は濃度の測定される頻度をあらわします。測定される濃度値は平均値を中心にして正規分布にしたがって分布します。2つの濃度が区別するためには、測

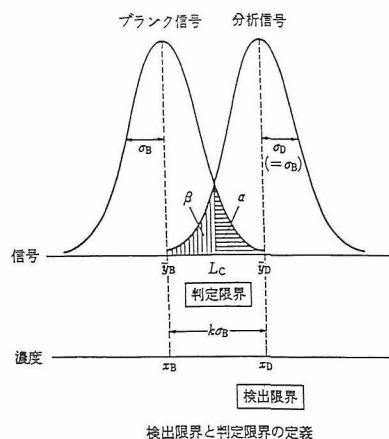


図1 濃度差を検出する原理

定値の分布をあらわす2つの正規分布曲線が接近し過ぎず、ある程度離れていることが必要です。

図2の実線は鋼材におけるマンガン濃度の

偏りを測定した例です。測定値の分布状態が棒グラフで表されています。1つの濃度を測定したものとして、測定値の平均値と偏差値を使った実線の正規分布曲線は、棒グラフからずれています。これに対し下図は、接近した2つの濃度が共存しているとして、濃度値が測定される様子をコンピュータでシミュレートしたものです。平均濃度が0.17%異なる点線の2つの正規分布が共存しているとして合成した、実線の曲線が測定された棒グラフと良く一致しています。

図3は図2の2本の点線で示される正規分布曲線が交差する位置で濃度範囲を2つに区分して明暗2つに分けて、濃度値の分布状態を画像化したものです。加工組織上

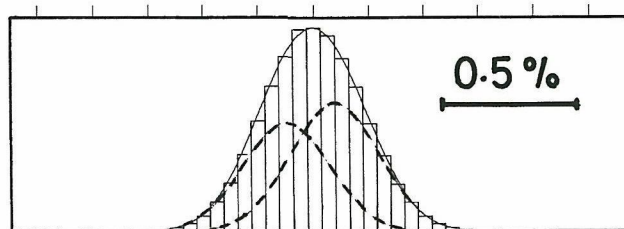


図2 検出限界を超えた濃度測定差を測定する方法

に濃度の偏析が重なっていることがわかります。

このように、検出限界を越えた小さい濃度の差を測定し、さらにその分布状態の画像化により材料組織の詳細な評価が可能になりました。

(2) 帯電効果を析出物の観察に応用する

鋼材に微細な酸化物を分散させると強度が大きくなります。図4は、その試料を観察したものです。上図が2次電子を使った2次電子像で、下図は反射電子を使った反射電子像です。2次電子像では、非伝導性酸化物が帯電効果のために異常に白く輝いて観察されています。この場合帯電現象によって像が乱されにくい反射電子像に切り替えて観察します。反射電子像では大きな酸化物は黒い暗いコントラストで観察されていますが、寸法が小さいと観察できなくなります。これに対し、2次電子像は、かなり小さな酸化物まで観察できます。分解能の原理に従うと、基質と析出酸化物と間の、コントラストが大きいものほど微細なものを観察することが可能です。

図5はEPMAを使って、鋼材に分布するチタン酸化物の分布状態を観察したもので、2次電子像(上図)と、X線画像からコンピュータを使って合成したチタン酸化物の分布マップ(下図)を比較しています。丸印では合成画像でチタン酸化物が観察され

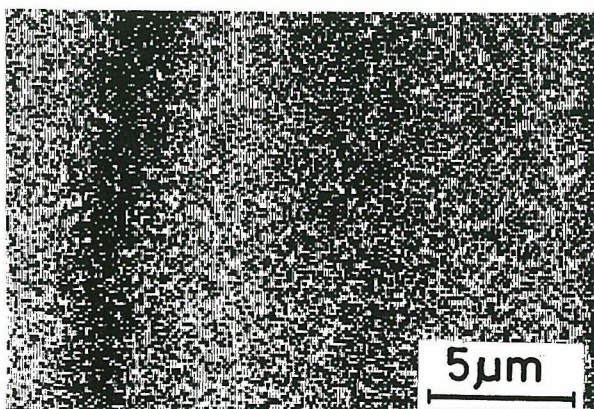


図3 マンガン0.17%の濃度差を2領域の分布状態をしめすマップ

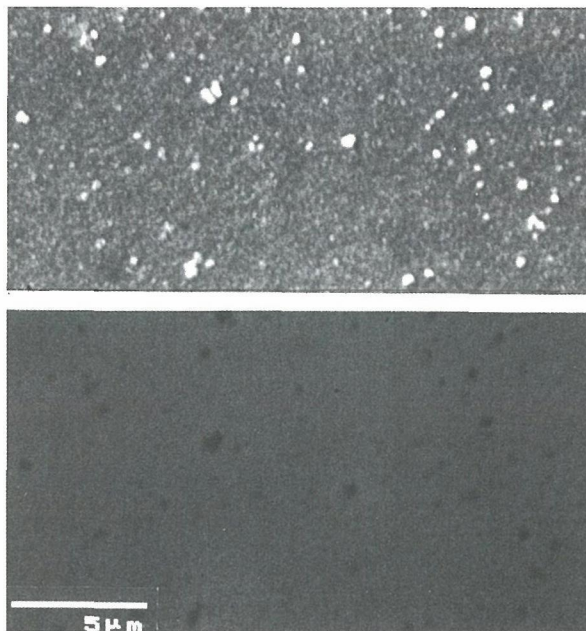


図4 鋼材に分布する酸化物の2次電子顕微鏡像(上図)と反射電子顕微鏡像(下図)との比較

ていても、2次電子像では対応したものが観察されません。この差が生じるのは、X線画像では試料表面から深さ1ミクロンまでの表層領域に含まれるものを検出しますが、2次電子像で帯電効果が生じるのは試

料表面から酸化物が顔を出している場合だけだからです。酸化物の画像を形成する原理に違いがあることに着目して帯電効果を積極的に使うことにより、酸化物の分布状態を立体的に調べるという材料組織の新しい観察方法を確立しました。

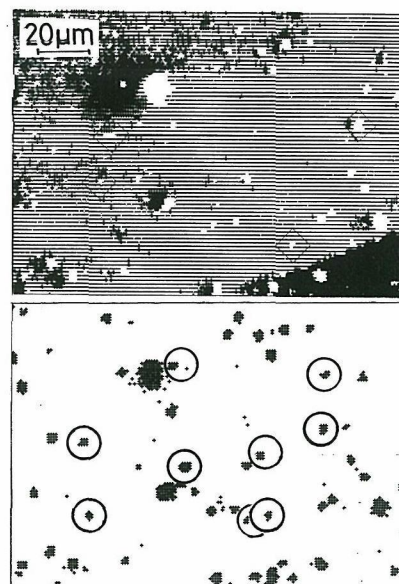


図5 鋼材に分布するチタン酸化物を2次電子顕微鏡像(上図)とX線画像を用いて合成したチタン酸化物分布マップとの比較

受賞 Congratulations!

科学技術庁長官賞業績表彰

ホフマン・シーグフリード、平野敏幸、福澤章、古屋一夫、高橋順次

科学技術庁注目発明選定証

中谷 功

新技術開発財団法人村学術賞功績賞

木吉 司

溶接学会論文賞

平岡和雄

村上記念会村上奨励賞

藤田大介

粉体粉末冶金協会研究進歩賞

平賀啓二郎、鈴木達、目義雄

未踏科学技術協会超伝導科学技術賞

熊倉浩明

科学技術庁長官賞研究功績者表彰

小野寺秀博

科学技術庁長官賞創意工夫功労者表彰

中田悦夫、古牧政雄、本田均一、今野武志、佐藤守夫

日本鉄鋼協会三島賞

鈴木洋夫

国際溶射会議優秀論文賞

黒田聖治

日本熱処理技術協会研究発表奨励賞

林 透

低温工学協会大島賞優良発表賞

竹内孝夫

特許速報

●登録

(国内)

発明の名称 : HfC分散強化W合金の製造方法
登録日 : 平成10年3月13日
登録番号 : 特許第2756928号
発明者氏名 : 板垣孟彦
概要 : HfCが均一微細分散されたHfC分散強化W合金を安価で、かつ大量に製造することができ、HfC分散強化W合金の製造方法。

発明の名称 : ローラー式固定器
登録日 : 平成10年3月27日
登録番号 : 特許第2762074号
発明者氏名 : 浅野稔久、井上廉
概要 : 線材のポビンへの巻き込み、ポビンからの繰り出し、繰り出し途中での線材の切断、線材のポビンに巻き付いた状態での保管、ポビン全体の移動を安全確実かつ容易とする。

(外国)

発明の名称 : 六フッ化ニケイ素の合成法
登録日 : 平成10年1月27日
登録番号 : 米国特許No. 5,711,925
発明者氏名 : 野田哲二、鈴木裕、荒木弘
概要 : 四フッ化ケイ素等の不純物が1%以下である高純度な六フッ化ニケイ素を合成することが可能となる。

発明の名称 : NiTi系高比強度耐熱合金
登録日 : 平成10年2月11日
登録番号 : 英国特許No.2287955
発明者氏名 : 小泉裕、呂芳一、中沢静夫、原田広史
概要 : 形状記憶合金として知られているNiTi系合金について、Alの添加で、優れた高比強度耐熱合金が製造できる。

表紙説明

プラズマ、中性子、イオンなどの照射によって起こる材料損傷のさまざまな現象のモデル図。

■編集後記

我々の生活の中に、現在、必要不可欠なものとなってしまった電気。その電気を作っている中に原子力発電があります。現在、当研究所で行われている研究の内、原子力発電所で使われる材料の性能を向上させようとしている研究を紹介いたします。

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475号 平成10年6月発行
編集兼発行人 細川洋治
印刷所 前田印刷 株式会社