

今回は、京都大学教授で日本鉄鋼協会会長でもある牧正志氏にインタビューし、「鉄との出会い」や「鉄の魅力」について幅広く伺いました。

金属の気持ちになって 金属と対話する



牧 正志氏

鉄との運命的な出会い

私が鉄と出会ったのは、大学の学部4年生の時に、鉄鋼材料の大家であった故田村今男先生の特設鋼学研究室にて、鉄の組織を撮影した電子顕微鏡写真を見たときです。それは鉄・ニッケル・炭素合金のマルテンサイトの写真で、完全双晶型の当時としては大変珍しい写真でした。金属の中が見えるとは思っておらず、美しく神秘的な姿に感動して以来、今に至るまで鉄の組織を見続けています。

研究は継続が大切

鉄は熱処理したり合金化したりすると、組織が忠実に変化し、まるで血の通った生き物のように思えてきます。そして鉄の中身がわかると、鉄と会話ができるような気がします。

1966年、私が京都大学工学部の金属加工学科を卒業したころは、鉄鋼会社は学生に人気があり、卒業後36年間一貫して鉄鋼材料の組織制御に関する研究を



1992年11月第8回熱処理国際会議で組織委員長を務めた田村今男先生(右)と牧氏(左)

してきました。しかし、1988年私が教授となったときは新素材ブームで、大学における鉄の研究が「冬の時代」を迎えていました。

私は鉄に限りない愛着がありましたので、その後一貫して鉄鋼材料研究を続けたことが、誇りであり、幸せです。研究においては継続することがとても大切です。

組織観察の面白さ

金属組織観察の本当の面白さは、金属組織を隅から隅までなめるように見て、はじめてわかります。そうすると、金属が「なぜこの組織に気が付かないのか、ここに解決のヒントがあるだろう、なぜそのような熱処理をするのか、もう一工夫すれば望んでいる組織になれるのに」と訴えてきます。金属との会話を通じて現象を明らかにしていくところに、組織観察の重要さと面白さがあります。

私の研究室では組織観察を重視しますので、組織の写真は美しくなくてはいけません。きれいな写真を撮るためには研磨やエッチングなどの準備が大事です。努力すれば、不器用な学生も美しい写真を撮ることができるようになります。このような撮影技術を磨くことで、組織に対して愛着がわき、愛着が出ると研究をおろそかにすることができなくなります。情報の宝庫である組織写真を自分で観察し、情報を読み取る力が、材料研究者にとっての本当の力になります。

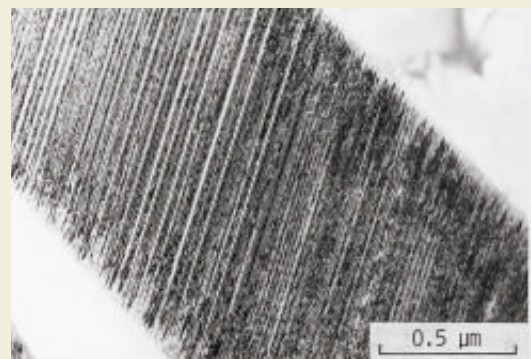
組織観察の重要性

光学顕微鏡は約1000倍、電子顕微鏡では1万倍から10万倍の倍率ですから、ほんのローカルな一点だけを見てもそれが、本当の姿かどうか、正しい判断は難しいのです。数少ない珍しい写真ばかり観察していると、平均的な組織を見落とし、間違った結論を導くこととなります。これが、組織観察の恐ろしい点です。

新しい研究テーマはしばしば組織写真から生まれますから、材料研究者は組織観察をおろそかにせず、読み取る力をつけて欲しいと思います。急がば回れなのです。組織を見続けることが大切です。

「正体不明のマルテンサイト」との出会い

この鉄・ニッケル・炭素の合金のマルテンサイトの組織写真は、恩師田村今男先生が、1963年に発見、撮られたものです。当時の鉄の世界で「正体不明」と言われたマルテンサイトをはじめて見た瞬間でした。



運命的な出会いとなったThin Plate Martensite (Fe-30Ni-0.42C)の電子顕微鏡写真(田村今男先生撮影)

マルテンサイト (Martensite)
オーステナイトから原子の拡散なしに生成した鉄焼入鋼の組織の一つ。

双晶 (Twin)
特定の結晶面を境にして、原子配列が鏡面対称になっている結晶構造のこと。

1943年生まれ。1966年京都大学工学部金属工学科卒業。同大学院（金属加工学専攻）を経て1973年『準安定オーステナイト鉄合金のマルテンサイト変態誘起塑性（TRIP）現象に関する研究』にて京都大学工学博士の学位取得。1969年京都大学助手、1976年同大学助教授、1988年同大学教授。現在、京都大学教授（大学院工学研究科）、本年4月より日本鉄鋼協会会長。日本金属学会理事、日本熱処理技術協会副会長もつとめる。1998年日本鉄鋼協会学術功績賞他、多数受賞。

田村先生は、マルテンサイトの加工熱処理「オースフォーミング」における日本のパイオニアで、研究過程でこの合金を作られました。当時の結晶学的理論では、マルテンサイトの中には双晶が貫通しているはずだと予測されており、それとぴったりの組織だったため、この組織写真は正体不明のまま、世界的に有名になりました。

私は1968年、TRIP（マルテンサイト変態誘起塑性）を研究テーマに取り上げました。マルテンサイトは焼き入れて得るほか、準安定のオーステナイトを加工しても得られ、その結果、材料が伸びたり、靱性が向上したりというTRIP現象が起きます。10種類程の鉄・ニッケル・炭素合金を作り、様々な温度条件などで試験を開始したところ、準備した試料の組織のいくつかに、例のマルテンサイトが実際に生成しました。そこで、私は研究テーマを、TRIPの研究とマルテンサイトの形態の研究という二本立てに変え、正体不明の完全双晶型マルテンサイトの本性を明らかにして、Thin Plate Martensiteと名付けました。幸いこの研究成果が認められ、日本金属学会論文賞を受賞し、これを契機に、鉄鋼材料の研究が面白くなり、自信につながりました。

「鉄の形状記憶合金」への挑戦

1970年代、鉄鋼企業の関心はフェライト変態（制御圧延による非調質鋼）に移り、TRIP鋼は一時期世の中から忘れられました。その頃、形状記憶合金ブームが起こり、非鉄金属の独壇場で、

鉄は脇役でした。非鉄の形状記憶合金は、熱弾性型（界面の移動によって成長・伸縮が起こる）マルテンサイトです。通常の鋼のラスマルテンサイトにはない性質なので、鉄では形状記憶効果を示しません。

しかし、私はこのThin Plate Martensiteを観察している過程で、鉄合金でも形状記憶合金になるという確信を持ちました。なぜなら、観察中、界面が動いたような痕跡を感じたからです。何枚も写真を見続けた成果です。ある種のひらめき、予感がきっかけでした。そして、その5年後、世界で初めて鉄・ニッケル・コバルト・チタンの形状記憶鉄合金の開発に成功しました。1枚の組織写真が、TRIPにつながり、そして形状記憶鉄合金につながったのです。この研究を通して言えることは、実験は実に多くのヒントを与えてくれること、そして実際の組織をよく見ながら頭で考え続けることが重要であるということです。

鉄が幅広い強度レベルに対応できる理由

鉄が広い強度レベルをカバーできる理由は、鉄鋼にフェライト、パーライト、ベイナイト、マルテンサイトといった様々な相変態があり、それらの強度レベルがそれぞれ大きく異なっているためです。なぜ、様々な相変態があるのか。それは、鉄鋼の基本である鉄と炭素の合金の状態図にあります。この状態図には、他の金属には見られない素晴らしい点が数多くあります。炭

素が侵入型元素であるというのも、他の金属材料には見られない特長です。この鉄・炭素合金の状態図の素晴らしさが、鉄鋼材料の魅力です。

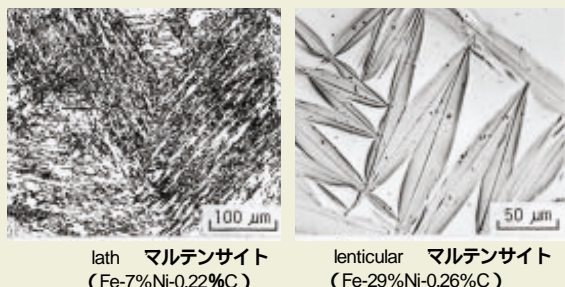
我々は、利用する変態組織を使い分けて、様々な強度を得て、多様な用途に対応しています。変態組織はそれぞれ、組織の強化や靱化方法が異なります。これが、鉄鋼材料の、面白くまた難しい点でもあります。

まだまだ発展が期待される鉄材料

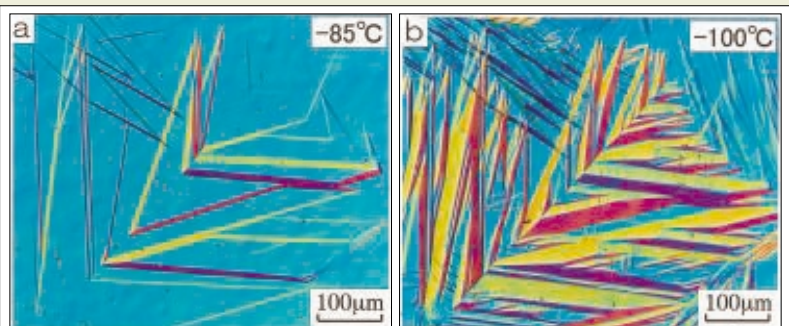
素材は直接消費者の目に触れにくいいため、材料としての重要性が認知されにくいという宿命があります。鉄の魅力は、超高強度を追求することだけではありません。実用的な鉄鋼の最高強度は実は40年間ほとんど変わっていません（線材でピアノ線の3ギガパスカル、バルク材ではマルエージ鋼の2.5ギガパスカル）。しかし、それぞれの強度レベルの鋼種では、着実に強度レベルは上がっており、鉄鋼材料は年々進歩しています。

鉄鋼の魅力の一つは、200メガパスカルから3ギガパスカルという広範囲の強度レベルをカバーできることです。その特性があるため、鉄は自動車用薄鋼板から、刃物、工具のような硬いものまで対応できます。これは、他の金属材料にない鉄鋼の最大の魅力です。鉄は、まだまだ発展途上の魅力にあふれた材料なのです。

私も頑張って良い人材を鉄鋼業界に送りますから、是非新日鉄はいい技術者に育てて欲しいと思います。



1963年の発見までは、普通の焼入れ材ではラスマルテンサイトが生成し、Ms点が室温以下になるとレンズ状マルテンサイトが生成するということが常識だった。



Fe-Ni-Co-Ti形状記憶合金の熱弾性型マルテンサイト、冷却に伴ってマルテンサイトが成長している

ラスマルテンサイト（Lath Martensite）
形態がラス（木摺り）状のマルテンサイト。通常の実用焼入れ鋼ではこのマルテンサイトが生成する。

Ms点（Ms temperature）
冷却時にオーステナイトがマルテンサイト変態を始める温度。合金元素の種類や量によって変化する。