

特集③

微細結晶粒金属材料の研究開発動向
―次世代高強度材料を目指して―材料・製造技術ユニット 玉生 良孝*
客員研究官 緒形 俊夫

はじめに

金属材料は産業の基盤となる材料である。とりわけ鉄鋼材料は、構造材料として最も汎用性の高い金属材料である。産業技術の発展に伴い金属材料に要求される機械的特性や機能的特性は益々高くなっており、軽量高強度化や長寿命化等により優れた材料特性が求められている。一方、社会の成熟にともない、国内の鉄鋼需要は1990年には約8,000万トンであったものが、2000年には約6,000万トンにまで減少しており、今後も大きな伸びは期待できない。他方、国内スクラップの発生量は徐々に増加して2030年頃には両者はほぼ同程度の量になると予想されている¹⁾。省エネルギー、省資源、環境調和性等の社会的要請により、軽量化、長寿命化とともにリサイクル性等に優れた材料開発が急務

である。

従来は、金属材料の特性向上は熱処理、合金元素添加等の技術によって行われてきたが、これらの技術のみによる特性向上だけでは、上記の要求に十分に 대응することが困難になってきた。資源及びエネルギーの有効利用を図るため、材料の持つ特性を最大限に引き出すとともに、リサイクル性に優れた地球環境に優しい材料を製造する技術のブレークスルーが強く求められている。

近年の基礎的な研究によって、材料の結晶粒径を微細化することで、強度、靱性^①、耐食性等が大

きく向上することが確認されてきた^{2, 3)}。高強度・高機能特性を有する汎用構造材料を創製する技術を確立すれば、社会基盤を充実させ、安心・安全な社会生活を維持し、持続可能な社会を構築する上で経済、社会に及ぼす効果は非常に大きい。例えば「強度2倍、寿命2倍」の材料を使用すれば、自動車の軽量化による燃費向上で日本全体のCO₂排出量を2～3%削減できるとする試算もある¹⁾。

本稿では鉄鋼材料を中心として、軽量・高強度材料をめざした微細粒金属材料の研究開発の経緯と動向についてまとめる。

用語説明

①靱性

破壊を起こすまでにエネルギーを吸収する性質。靱性が高いほど材料はねばり強くなる。

材料の強化機構

材料を高強度化する手法には種々の方法が知られているが、何れも結晶中での転位（原子配列の乱れ）の運動を制限し、材料の塑性変形（弾性変形を越えた永久変形）を抑える（硬化させる）ことを基本原理としている。転位の運

動を阻害する方法によって次の強化機構に分類される^{5, 6)}。

①固溶強化

不純物原子を結晶中に固溶^②させ、転位の運動を阻害することによる強化機構。

②分散強化、析出強化

転位運動の障害となる粒子（第2相粒子）を結晶中に分散させることによる強化機構。第2相が固溶体から析出することによって形成される場合を析出強化、析出以外の過程（例えば酸化物粒子の形成等）で第2相が形成される場合を分散強化として両者を区別している。特に、析出強化は実用上の観点から重要で、超高張力鋼、アルミニウ

用語説明

②固溶

金属の結晶格子の中に別の元素の原子が入り込み固体状態で溶け合っている様に混じり合っている状態。

ムおよびチタン合金における強化の殆どは、この強化機構によっている。

③相変態強化、マルテンサイト強化

高温からの急冷により、微細緻密な組織を生成させ高強度化する機構。Fe-C系のマルテンサイト相が典型的な例。

④微細強化、結晶粒界強化

結晶粒径を微細にし高強度化する機構。材料の強度の増加分は粒径の1/2乗に反比例する性質があり、降伏強度（または引張強度） σ_y と粒径 d の間は次の関係式で示されることが経験的に知られている。

$$\sigma_y = \sigma_i + k_y d^{-1/2}$$

(Hall-Petchの関係式)

ここで、 σ_i は単結晶の平均

③延性—脆性遷移温度

鉄鋼材料はある温度以下になると、破壊様式が十分塑性変形を行った後で破壊する延性破壊から、塑性変形を殆ど生じないで破壊する脆性破壊に変化する。その温度。

降伏強度、 k_y は結晶粒界が降伏強度を高める効果を表すパラメーター。

⑤加工硬化、ひずみ硬化

結晶に塑性変形を与え、結晶中の転位を増加させて硬化させる強化機構。加工硬化は高温に熱すると、回復、再結晶、粒成長の3段階を経て元に戻る。

対象とする結晶材料の組成を変化させずに強化させ得るという意味では④、⑤が材料固有の強化機構ということが出来るが、溶接性、リサイクル性等まで考慮すると選択肢は限られてくる。結晶粒微細

化の効果としては、粒界効果により強度が向上することに加え、延性—脆性遷移温度^③低下により材料がねばり強くなることが挙げられるが、一方加工硬化した場合は延性—脆性遷移温度が高温側に移り、材料は脆くなり使い勝手が悪くなる⁷⁾。さらに、基礎的研究の進展により、“単純成分系による組織の超微細化”により、強度ばかりでなく延性、靱性、耐久性、耐食性等が向上する可能性が見出され^{2, 3)}、結晶粒微細化が高強度化手法の最有力候補となった。

用語説明

各種微細結晶粒金属材料開発プロジェクトの概要

鉄鋼材料分野

微細結晶粒金属材料開発は鉄鋼材料の分野で最も活発に展開されている。鉄鋼材料はあらゆる構造材料の中で最も汎用性の高い材料であり、軽量・高強度化のブレークスルーに対する社会的インパクトも他の材料に比べて飛躍的に大きい。図表1に我が国における代表的な微細粒鋼開発プロジェクトの概要を示す。

次に各プロジェクトの開発状況を記す。

●超鉄鋼 (STX-21)

1997年4月から科学技術庁金属材料技術研究所フロンティア構造材料研究センター（現独立行政法人物質・材料研究機構 (NIMS) 超鉄鋼研究センター）で「新世紀構造材料（超鉄鋼材料）の研究」プロジェクト（略称STX-21）が

始まった。本プロジェクトの目標は、「強度2倍、寿命2倍」の鉄鋼材料を開発することである。希少な合金元素をなるべく使わないで資源・環境問題に配慮し、リサイクル容易な鉄鋼材料で「強度2倍、寿命2倍」の特性を実現しようとするものである。第1期プロジェクト（1997～2001年）では4つの課題を掲げ、高強度鋼の研究では①リサイクル・溶接容易な超微細800MPa（メガパスカル）鋼（現在主流となっている構造用鋼材の引張強度400MPaの2倍となる800MPa以上の引張強度を持つ鋼）の開発、②遅れ破壊と疲労に強い1500MPa級超高強度鋼の開発を、長寿命鋼の研究では③省合金・高性能海浜・海洋耐食鋼の開発、④超々臨界圧発電用耐熱鋼の開発を行った。これらの研究成果として、実験室レベルで超鉄鋼材料創製の可能性を実証した⁸⁾。

図表2に本プロジェクトの

800MPa鋼の開発で採用された、多方向溝ロール圧延法による圧延のイメージ図を示す⁷⁾。本法は一種の多パス多方向温間加工である多方向溝ロール圧延法で、棒状鋼材を温間・強圧下で多方向溝ロール2方向（上下・左右）圧延を繰り返すことによって結晶粒径1 μ mレベルの超微細粒鋼を断面18mm角で長さ20mの棒材に作成することに成功した。試験対象材料としては汎用的で、なおかつリサイクル容易な鋼種である低炭素・シリコン・マンガン鋼が選ばれた。

2002～2006年のSTX-21第2期プロジェクトでは第1期プロジェクトの成果を活用し、「社会・都市新基盤実現を目指す超鉄鋼プロジェクト」として強度と寿命を同時に2倍にする「ファクター4」超鉄鋼の材料創製手法を確立することを目標としている。対象構造物を「都市新基盤構造物（高層建

図表1 微細粒鋼国家プロジェクト

プロジェクト名	期間	主な実施機関	開発目標
新世紀構造材料「超鉄鋼材料」(略称: SIX-21)	第1期: 1997～2001年度 第2期: 2002～2006年度(予定)	科学技術庁金属材料技術研究所フロンティア構造材料研究センター 物質・材料研究機構(NIMS)超鉄鋼研究センター	第1期: 「強度2倍、寿命2倍」の鉄鋼材料の開発 第2期: 「都市新基盤用構造物」と「高効率石炭火力発電プラント」用ファクター4超鉄鋼材料の創製(強度と寿命を同時に2倍にする)
スーパーメタルの技術開発(鉄系)	1997～2001年度 (1995～1996年度 スーパーメタル先導研究)	助金属系材料研究開発センター(新日本製鐵株、日本鋼管株、川崎製鉄株、住友金属工業株、(株)神戸製鋼所)	均一な複相組織化によって、結晶粒径 $1\mu\text{m}$ 以下でかつ形状的に 1mm 以上の厚さをもつ微細組織鋼の創製技術の確立
環境調和型超微細粒鋼創製基盤技術の開発(スーパーメタル2)	2002～2006年度(予定)	2002年7月5日現在未定	自動車材料等として広く使用されている鋼材への適用を目指し、超微細粒鋼について、成形・加工技術、利用技術等の基盤技術の開発を行う
ナノメタル技術開発	2001～2005年度(予定)	助金属系材料研究開発センター(新日本製鐵株、日本鋼管株、川崎製鉄株、住友金属工業株、(株)神戸製鋼所)、助大阪科学技術センター、日立金属株	1. 超高純度金属材料分野 金属中の不純物元素をナノグラムオーダーまで低減する組成制御技術を中心に、組織制御技術、及び技術の体系化に取り組む 2. 実用金属材料分野 鉄鋼材料におけるナノクラスター・ナノ析出挙動やナノ領域の微細な粒界・界面挙動を解明し、組織制御の指導原理及び合金設計・プロセス技術の基盤を確立、ナノ制御新世代複相鉄鋼材料の創製

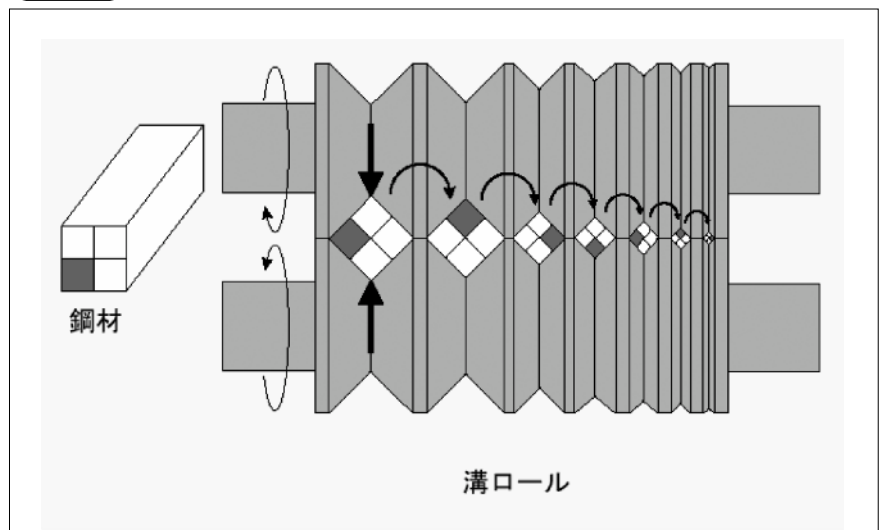
(出典: 各種資料^{1, 2, 3, 11, 13, 14, 15}) をもとに科学技術動向センターにて作成)

建築物や超長大橋梁等)」と「高効率火力発電プラント(石炭火力発電プラントの蒸気温度を 600°C から 650°C に上げることにより発電効率を5%向上)」に選定し、5年後に工業化の検討を開始すべく、実験室レベルから工業化を視野に入れた基礎研究を展開することとしており⁹⁾、その推進組織として本年4月にNIMS内に超鉄鋼研究センターが発足した¹⁰⁾。

●スーパーメタル

通商産業省(現経済産業省)の産業科学技術研究開発制度に基づき、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)において「スーパーメタルの技術開発」プロジェクトが開始された。本プロジェクトは1995年度からの2年間の先導研究を経て、1997年度から5年間のプロジェクトとして実施さ

図表2 多方向溝ロール圧延法による圧延概念図

(文献⁷⁾より引用)

れた。スーパーメタルプロジェクトには主として鉄系メゾスコピック^④組織制御材料創製技術(鉄系スーパーメタル)とアルミニウム系メゾスコピック組織制御材料創製技術(アルミニウム系スーパー

メタル)の2つがある。鉄系スーパーメタルの最終目標は、「均一な複相組織鋼化によって、結晶粒径が $1\mu\text{m}$ 程度以下で、大きさが 1mm 以上の厚さを持つ微細組織鋼の創製技術を確立すること」である。これは先導研究によって、微細粒鋼製造の冶金学的基礎概念を構築し、大歪加工が超微細粒鋼実現に有効であることを見出し、鉄系金属の場合にその極限性能を十分に引き出し、リサイクル性を

用語説明

④メゾスコピック

金属材料の特性を評価する際のスケールで、粒径 $10\mu\text{m}$ 程度以下の結晶粒を基準にして評価するマクロスコピック領域と、原子又は電子を基準にして評価するミクロスコピック領域とに分類した時、両者の中間の領域。

向上させるための最善の方法は、特殊な合金元素を添加することなく単純成分系による組織の超微細化であることが明らかにされたことによる^{2, 3)}。

このため中心テーマとして、①大歪熱間加工に鋼材組織の超微細粒化研究、②強磁場中加工熱処理による鋼材組織の超微細粒化研究、③超微細複相組織鋼の組織・材質予測研究、の3項目を中心に研究を進めた。大歪加工により変態・再結晶の核生成の駆動力を飛躍的に増大させ、さらに第二相等を最大限に利用し核成長を徹底的に抑制し、 $1\mu\text{m}$ 以下の超微細結晶粒を得るプロセスにおいて結晶粒超微細化の指導原理をほぼ確立し、高速大圧下圧延装置を用い、実験室規模の熱延実験で微細粒鋼板を製造し、厚さ5mmの鋼板内で均一に $1\mu\text{m}$ 以下の結晶粒微細化を達成した。合金元素の添加量を増加させることなく、開発した強度900MPa級の微細粒鋼において、強度・靱性の向上を確認し、プロジェクトの目標をほぼ達成した^{11, 12)}。図表3に鉄系スーパーメ

タル製造プロセスの概念図を示す。

今後は微細粒化の機構説明が必要であるとの認識を反映し、昨年度から始まったナノメタルプロジェクトの中でも微細粒化の機構説明の基礎的研究が行われている。

スーパーメタルプロジェクトの成果を踏まえ、新たに2002年度からは3R (Reduce, Reuse, Recycle) プログラムの一環として、後継プロジェクトとなる「環境調和型超微細粒鋼創製基盤技術の開発 (スーパーメタル2)」が開発期間5年間の予定でNEDOにおいて開始される。本プロジェクトでは、自動車材料等として広く使用されている鋼材への適用を目指し、超微細粒鋼について、成形・加工技術、利用技術等の基盤技術の開発を行うことを目的として、①高度大歪加工技術、②革新的ロール・潤滑技術、③革新的接合技術、④計算科学を応用した大歪加工モデルの研究開発を行う計画である¹⁴⁾。

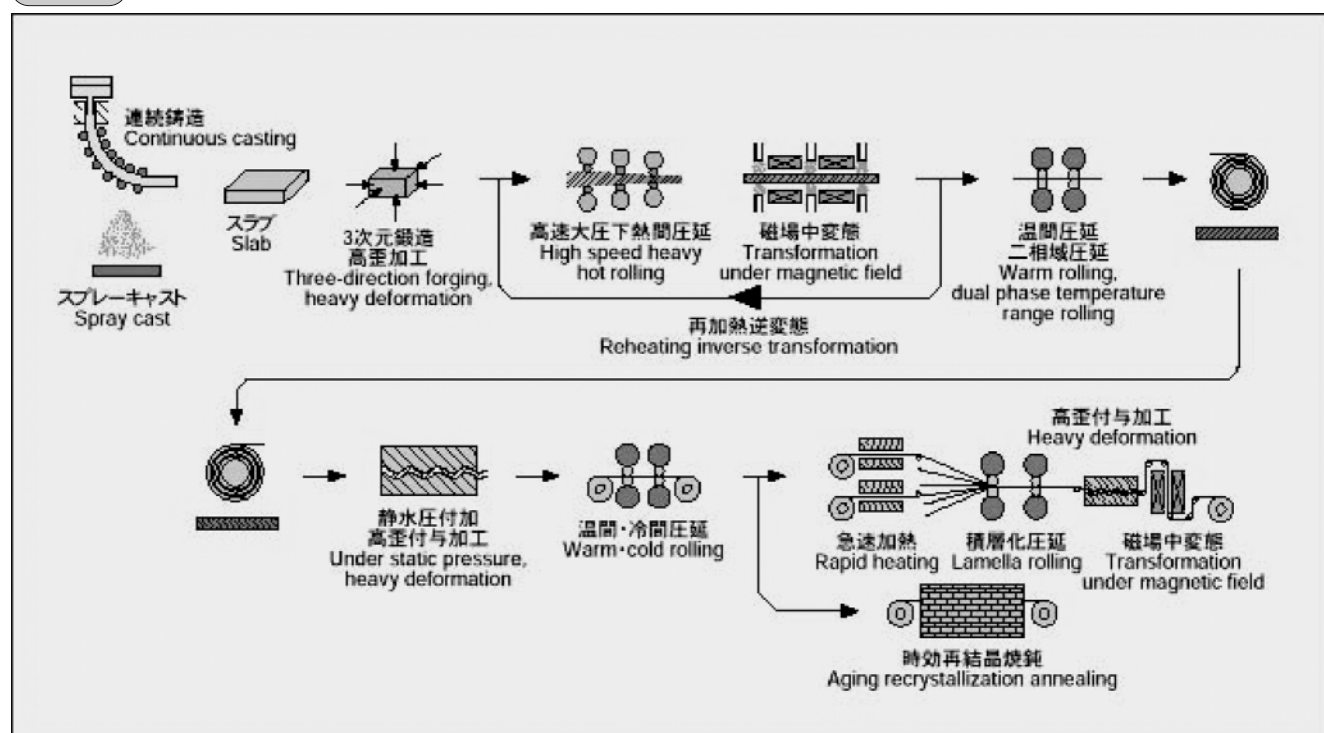
●ナノメタル

21世紀の革新的技術として、情

報、環境、安全・安心、エネルギー等の広範な分野の基盤技術である材料技術を根幹から変貌させることが期待される材料ナノテクノロジーの基盤的研究開発を行いつつ、得られた成果等の知識の体系化を図ることを目的とする「材料ナノテクノロジー」プログラムの一環として、「ナノメタル」プロジェクトが2001年度から5年間の予定でNEDOにおいて実施されることになった¹⁵⁾。

本プロジェクトでは、材料の軽量化・耐熱化等を図ることにより、自動車や情報をはじめとする広範な分野での省エネ化を推進するため、金属材料の組成、組織を超精密・超微細に制御することで機械的特性 (強度、延性等)、機能的特性 (耐食性、電気・磁気特性等) を飛躍的に向上させることを目的としている。さらに、これらの知識を体系化し、ナノメタラジー (ナノレベルの冶金学) を確立することによって新規金属材料創製技術の基盤を構築することを目指している。金属材料について、超精密な結晶組成制御 (高純度化、

図表3 鉄系スーパーメタル製造プロセスの概念図



(NEDO スーパーメタルホームページ¹³⁾ より引用)

図表4 微細粒非鉄金属材料国家プロジェクト

プロジェクト名	期間	実施機関	開発目標
スーパーメタル の技術開発 (アルミニウム系)	1997年度～2001年度 (1995年度～1996年度 スーパーメタル先導研究)	(財)金属系材料研究開発センター	3 μ m程度以下の極微細結晶粒径を有し、工業的特性(強度、耐食性)が既存同種材料の1.5倍以上かつ板幅が約200mm以上のアルミ系大型素材創製技術の確立
ナノメタル 技術開発 (アルミニウム系)	2001年度～2005年度 (予定)	(財)金属系材料研究開発センター(古河電気工業(株)、スカイアルミニウム(株)、住友軽金属工業(株))	実用的組成のアルミニウム合金材料を対象として、ナノ領域における組織とその生成機構の解明と、組織制御技術の確立 材料特性データベース構築等による技術の体系化
ナノメタル 技術開発 (銅系)	2001年度～2005年度 (予定)	(財)金属系材料研究開発センター(ヤマハメタニクス(株)、日鉱金属(株))	(1)バルクグループ ナノクラスター及び粒径制御により、高強度、高導電率の銅系材料製造基盤技術確立 (2)薄膜グループ 次世代高集積デバイス配線用高導電性材料設計、プロセス設計指針の確立

(出典：各種資料^{13, 16)}をもとに科学技術動向センターにて作成)

有用元素添加等)、超精密・超微細な結晶組織制御技術(結晶粒制御、析出制御、粒界・界面構造制御等)及び組成分析・構造解析等の計測技術を確立するとともに、技術を体系化することを目標にしている。研究項目として、①ナノ領域金属材料組成制御技術、②ナノ領域金属材料組織制御技術、③計算科学を応用した金属材料設計技術、④技術の体系化、の4項目について研究開発を実施する計画である。これによりこれまでの経験的、実験的に得られていた金属材料創製技術から脱却し、機能特

性を飛躍的に高度化させた金属材料の開発、期待する機能特性を有する金属材料の製造を可能とし、省資源・省エネルギー、地球環境問題等への対応、安心・安全な社会構築、また、次世代情報通信の基盤となるナノ情報デバイス等の実現に資することとしている。

非鉄金属材料分野

ここまで鉄鋼材料を中心に微細結晶粒金属材料開発プロジェクトを紹介してきたが、非鉄金属材料の分野でもアルミニウム系金属や

銅系金属等において微細結晶粒金属材料の開発が並行して行われている。図表4に主な微細粒非鉄金属材料国家プロジェクトの概要を示す。具体的な取り組みとしては、アルミニウム系では車両軽量化を念頭に置いて自動車用薄板材料の開発、また銅系では従来の2倍以上の高い導電性と強度を有する高性能伸銅材料の開発や、配線幅100nm以下の次世代Siデバイス用超微細銅薄膜配線の実用化に寄与することが期待される¹⁶⁾。

微細粒鋼の実用化

2001年11月1日に株式会社中山製鋼所が微細粒熱延鋼板を世界で初めて工業的に製造可能にし、軽量・高強度鋼板の生産・販売を本格展開するとのニュースリリースを行った⁴⁾。この微細粒熱延鋼板は、(株)中山製鋼所が川崎重工業

(株)と共同で開発した独自技術による高圧下圧延と強冷却を連続的に繰り返すことで製造される。具体的には、連続仕上圧延機6台のうち後段3台の圧延機で板厚を半分未満にする大圧下を行うと同時に、圧延機間に設置されたカーテ

ンウォール冷却装置で強冷却(冷却速度40℃/秒)を行うことを特徴とする。図表5に中山製鋼所の微細粒熱延鋼板開発の概要を、図表6にその製造工程の概略図を示す。

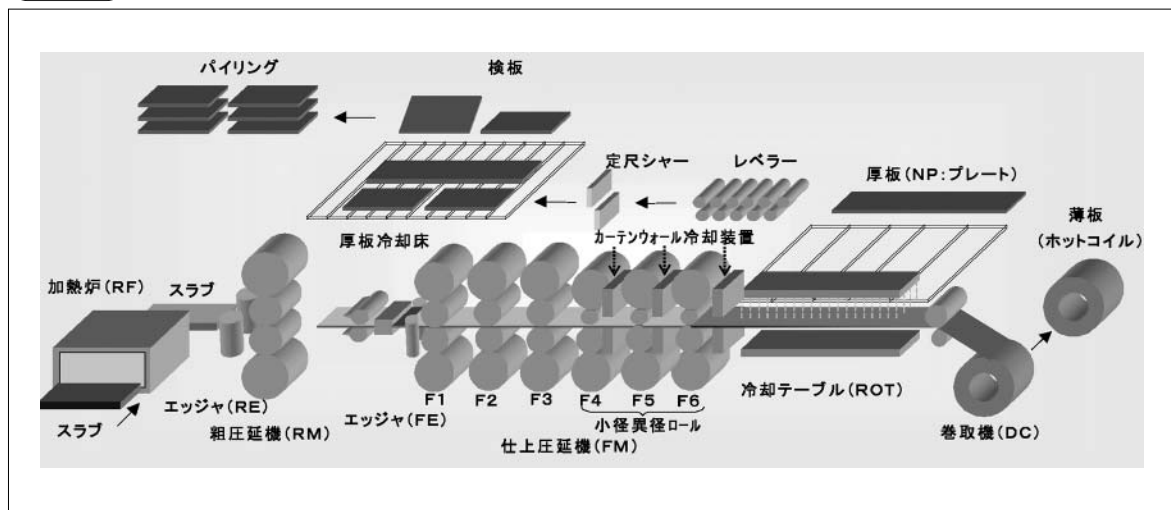
この鋼板は、結晶粒径が従来材の1/3以下の2～5 μ m(従来鋼

図表5 (株)中山製鋼所の微細粒熱延鋼板の概要

製品名	開発経緯	実施機関	開発の概要
微細粒熱延鋼板NFG (Nakayama Fine Grain)	1996年 熱延工場建設計画 2000年1月 ホットライン開始 2000年8月 営業運転 2001年1月 微細粒熱延鋼板の開発に本格的に着手 2001年10月 引張り強さ500～600MPa級の開発を完了 2001年11月1日 ニュースリリース 2001年12月 生産・販売開始	(株)中山製鋼所 川崎重工業(株)	結晶粒径が従来材の1/3以下である2～5 μ mで引張り強さ500～600MPa級の熱延鋼板を開発

(出典：資料⁴⁾をもとに科学技術動向センターにて作成)

図表 6 (株)中山製鋼所の微細粒熱延鋼板製造工程の概略図

(文献¹⁷⁾より引用)

材は10～15 μm)と微細であり、引張り強さ500～600 MPa級と従来鋼材の最大1.5～1.6倍の強度上昇を達成した。微細粒化による強度上昇の結果、従来の熱延鋼板と比べSi、Mnの成分量を約半分にできた。さらに従来の熱延鋼板と比べ、高靱性、加工性にも優れ、また溶接性も良く、そのうえ高い疲労特性も備えるという特長を有している。現時点での強度はSTX-21やスーパーメタル(鉄系)が目指す800～900MPaには及ばないものの国家プロジェクトよりも一足早く現実的な解として粒径数ミクロンの微細粒鋼の実用化、量産化に先鞭をつけたことは高く

用語説明

⑤片駆動異径ロール圧延機

仕上圧延機後段の3台のスタンドについて、通常、上・下ロール(同径ロール)を駆動し圧延するが、本方式では片側をロール駆動し、しかも上・下ロール径を違えている。

⑥カーテンウォール冷却装置

仕上圧延機後段の3台のスタンドの**出側**に取り付けられた圧延材を冷却するための装置で、この冷却装置から出てくる水は、水厚24mm以上。あたかも水の壁のような状態(層流状態)になる。これにより高い冷却能力が達成できる。

評価されよう。

本材料の製造技術は片駆動異径ロール圧延機^⑤による高圧下圧延技術やカーテンウォール冷却装置^⑥による強冷却技術を巧みに組合せており業界の注目を集めた。産業機械や建設機械、自動車メーカーなどからサンプル出荷の引き合い

があり期待度が高いことが伺われる。現状では製造可能サイズがおよそ厚さ1.6～16mm×板幅600～1219mmと限られているが、今後はより一層の用途拡大のために更なる強度上昇とともに大型サイズへの対応も注目される。



海外の状況

日本におけるSTX-21、スーパーメタルプロジェクト等による革新的な研究が海外における超細粒鋼研究に大きなインパクトを与え、欧州、韓国、中国はそれぞれ独自に細粒鋼プロジェクトを立ち上げ、日本にキャッチアップすることを目指している。

欧州： ECSC Steel Program¹⁸⁾

2000年から1年間のEUプロジェクトとして超微細粒鋼第一次プ

ロジェクトが開始された。1 μm 結晶粒径鋼の性質を調査し、有用性を評価することを目的に冷間大歪圧延+焼鈍を中心にした研究が行われた。

また2001年から3年間で民間企業と大学を中心としたECSC(欧州石炭鉄鋼連盟)プロジェクトが開始され、高強度化を主眼に微細構造制御技術の開発が進められてきた。プロジェクト成果の適用分野としては自動車、建造物及び社会基盤、パイプライン等を念頭に置いている。実用化しやすい

範囲として2～3 μm の結晶粒径鋼の創製と実用化の目処を得ることを目的に、超高速冷却法を開発し熱延ラインでの微細粒鋼製造にターゲットを絞り適用している。プロセスの大幅変更をせず、自動車用板材や棒鋼での実用化を考えている。熱延の材料からプロセス、計測まで一貫して効率的な研究開発を行っている。溶接性が課題と考えており、スポット溶接に代わるパンチ接合等の実験を実施している。

2002年から2007年まで新たに

ECSC2002 プロジェクトが始まり、高特性、耐久性、リサイクル特性を探索していく予定である。

韓国：HIPERS-21¹⁸⁾

1998年から5年計画でHipers-21プロジェクトが始まっている。日本のスーパーメタル同様、歪誘起動の変態を用いた超微細粒化を推進している。微細粒鋼創製には歪誘起動の変態 (strain induced dynamic transformation: SIDT) が有効であること、heat affected zone (HAZ) 領域の粒成長を抑制するにはTiN粒子の分散が有効であること等を発表している。創製された微細粒鋼の平均粒径は板表層で2~3 μm と微細だが、中心は5 μm と粗大。鉄鋼業界だけ

ではなく重工、建築業界からの参加も交え実用化を考慮し仕様設計からの検討も進めている。

2003年~2007年の第2期プロジェクトでは、第1期プロジェクトの結果を踏まえ、①新しい超微細粒鋼製造方式の研究開発、②新しい超微細粒鋼製造方式のパイロットプラント開発、③超微細粒鋼製造技術の実証、④大型構造物への超微細粒鋼適用についての研究、等を行う予定である。

中国：New Generation Steels¹⁸⁾

1998年から国家プロジェクトとしてNew Generation Steelがスタートした。“double strength and / or double service life” を目標に、

微細粒化、高純度化、均質化をキーテクノロジーにしている。構造成用鋼で2~3 μm 程度の微細粒鋼の実用化を目指しているが、内容的には日本のキャッチアップが主体である。国際会議等を頻繁に開催し、日本の情報収集を積極的に実施している。

一方、米国では微細粒鋼に関する研究プロジェクトは特に見られないが、2000年にクリントン大統領が発表したNational Nanotechnology Initiativeでは、鋼鉄の10倍の強度を持ち、しかも重量はその何分の一という材料を開発するという項目が“偉大な挑戦 (Grand Challenges)” の一例として挙げられており今後の研究開発動向が注目される。

おわりに

金属材料の微細粒化は強度向上だけではなく、延性-脆性遷移温度の低下、耐食性の向上、延性や溶接性等、様々な材料特性の変化をもたらした。従来構造材料として考えられていた金属材料が、新たなプロセスを経て、従来にはない新たな機能を付与された新機能材料として再認識されるようになった。さらなる材料特性の向上及び制御技術の確立のためには、今後は単なる結晶粒径制御だけでなく、微細構造の中の結晶粒内の組成や析出物の高度な材料設計・制御技術の開発およびそれらの指導原理の解明が必要である。また実用化のためには技術のブレークスルーが必要である。一例としては、微細結晶粒材料の特性を保ちながら接合する技術の開発が待望される。

これらの材料開発には大型圧延機等の大規模設備の導入が必要ならばかりでなく、民間企業単独で継続できる開発期間よりも長期の研究開発期間が必要であり、国家プロジェクトとして国が関与する役

割は重要であると考えられる。これらの微細結晶粒金属材料開発プロジェクトは、従来より相互交流による情報交換を行ってきた。特に、超鉄鋼ワークショップ、超微細粒国際会議、超鉄鋼国際会議および鉄鋼協会における集中討論会等では研究者間の活発な技術討論により相互交流を行い、鉄鋼業をはじめとする我が国の金属材料の開発技術水準の向上に多大な貢献をしてきたものと考えられる。一方、微細結晶粒金属材料も研究開始から5年以上が経過してそろそろ評価される時期にさしかかってきたともいえる。今後は材料業界としての技術シーズ側からの材料・製造プロセス開発だけでなく、工業化を視野に入れニーズとしての用途開拓を行い開発技術を活かせる場を具体的に展開することが必要と考えられる。材料は使われてこそ材料であるので、材料業界内に留まらず、材料・プロセス研究者と材料エンドユーザー、製品設計サイドの情報交換を緊密

に行い開発の方向性を揃えらるとともに、STX-21第2期、スーパーメタル2、ナノメタルという国家プロジェクト間の協調連携を適切に行い、実用化に向けてのブレークスルー達成のため効果的かつ十分な研究開発が推進されるべきと考えられる。

近年の鉄鋼業における韓国や中国の成長には目を見張るものがある。最新鋭の設備と安価な労働力を背景に日本を脅かすまでの競争力をつけてきた。今後も我が国の鉄鋼をはじめとする金属産業が国際競争力を持つ基幹産業であり続けるためには、高付加価値化による製品の差別化が必至である。微細粒鋼を中心とする微細結晶粒金属材料の開発は日本が世界のフロントランナーとなっている。今後も我が国が材料産業において国際競争力を持ち続け、材料開発のデファクトスタンダードを獲得するためにこれらのプロジェクトが果たす役割には非常に大きなものが期待される。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり（独）物質・材料研究機構の長井寿超鉄鋼研究センター長、中村森彦分析ステーション長、萩原行人材料研究所信頼性評価グループディレクターには超鉄鋼、微細粒鋼全般に関する解説、貴重なご意見を賜りました。（財）金属系材料研究開発センターの城田良康主任研究員にはスーパーメタルの研究開発経緯、微細粒鋼に関する海外の研究動向に関し有益な情報提供をいただきました。また（株）中山製鋼所および川崎重工（株）よりNFGに関する資料をご提供いただきました。関係者各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 特集 進む「超鉄鋼」研究 Science & Technology Journal、p10-23、平成14年6月号
- 2) 平成7年度「スーパーメタルの先導研究」第1編大型素材（鉄系）（NEDO）
- 3) 平成8年度「スーパーメタルの先導研究」第1編大型素材（鉄系）（NEDO）
- 4) 株式会社中山製鋼所ホームページ、<http://www.nakayama-steel.co.jp/t/news/news20011101.htm>
- 5) 井形直弘、堂山昌男、岡村弘之共訳、材料科学2、培風館（1980）
- 6) 井形直弘、材料強度学、培風館（1983）
- 7) 「近未来の鉄鋼材料を知る」、独立行政法人物質・材料研究機構（2001）
- 8) 第6回超鉄鋼ワークショップ予稿集「新構造用鋼と新構造への期待」、独立行政法人物質・材料研究機構（2002）
- 9) NIMS NOW、独立行政法人物質・材料研究機構、Vol.2, No.4（2002）
- 10) 独立行政法人物質・材料研究機構超鉄鋼材料研究プロジェクトホームページ、<http://www.nims.go.jp/stx-21/jp/index.html>
- 11) 平成12年度「スーパーメタルの技術開発（鉄系メゾスコピック組織制御材料創製技術）」成果報告書、財団法人金属系材料研究開発センター（2001）
- 12) 第4回スーパーメタルシンポジウム講演集、財団法人金属系材料研究開発センター／財団法人次世代金属・複合材料研究開発協会（2001）
- 13) NEDOスーパーメタルホームページ、<http://www.nedo.go.jp/kiban/smetal/jpn/index.html>
- 14) NEDOホームページ、http://www.nedo.go.jp/informations/koubo/140418_2/140418_2.html
- 15) NEDOホームページ、<http://www.nedo.go.jp/informations/koubo/130316/130316.html>
- 16) JRCM NEWS、財団法人金属系材料研究開発センター、No.183（2002）
- 17) 「中山製鋼所NFG」パンフレット、株式会社中山製鋼所（2001）
- 18) Proceedings of the FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED STRUCTURAL STEELS (ICASS 2002), Tsukuba, Japan, May 22-24 (2002)

.....