

N I P P O N  
S T E E L  
M O N T H L Y

2007  
MAY  
VOL.168

5

特集

「製・販・技・研」

一体の取り組みで社会を支える

新日鉄厚板事業部「47キロ高強度厚鋼板」の  
開発と実船適用のドキュメント



社会とともに 地域とともに

春休みものづくり体験  
鉄の彫刻をつくろう

先進のその先へ、新日鉄

A Group News Magazine

# 「製・販・技・研」一体の

## —新日鉄厚板事業部「47キロ高強度厚鋼板」

新日鉄厚板事業部は、社会インフラに関わるさまざまな分野に厚板を供給しており、今後経済成長を続けるBRICs向けや資源・エネルギー分野向けを中心に、急激な需要増加が見込まれている。本特集では、「2006年日経優秀製品・サービス賞 最優秀賞 日本経済新聞賞」を受賞した「47キロ高強度厚鋼板」の開発経緯を中心に、厚板事業部の「製・販・技・研」一体の取り組みを紹介する。

### グローバル経済の成長とともに 拡大する厚板マーケット

厚板は、タンカー、バルカー、コンテナ船、LNG（液化天然ガス）船などの造船分野をはじめ、ビルや橋などの建築分野、建設・産業機械分野、石油・ガス掘削生産用海洋構造物、ラインパイプといった資源・エネルギー分野など、社会インフラに関わるさまざまな分野で使用されている。

新日鉄の厚板製品は、厚さは最大560mmまで、幅は最大5,300mm、長さは最大30mにおよぶ豊富なサイズを取り揃えている。厚板事業部厚板営業部厚板第二グループリーダーの村田淑は次のように語る。

「厚板は文字通り厚い板であるうえに、“広幅”の板であることが特徴です。広幅・長尺にすることでお客様の歩留向上や、溶接作業を減らし施工効率を向上させることができます。大分製鉄所ではニーズに応じて、通常の4.5mを超える5.3m幅まで製造可能です」

近年では、BRICsの急激な経済成長により、現地のインフラ整備を支える厚板ニーズが急拡大しており、造船分野、建築分野、建設・産業機械分野での需要が大きな伸びを見せている。

さらに、厚板需要増を加速化させているのが資源・エネルギー分野だ。原油高やCO<sub>2</sub>排出抑制など環境意識の高まりから使用エネルギーが多様化し、LNG用ラインパイプ・タンクなどの厚板需要が増加している。



厚板事業部 厚板営業部  
厚板第二グループリーダー  
村田 淑

### 国際物流を支える コンテナ船の大型化が進む

国内の厚板市場で最大のシェアを占めているのが造船分野だ。エネルギーの需要拡大により、海上輸送手段であるタンカー、バルカー、LNG船、LPG船の需要が伸び、また、経済のグローバル化によって、物資運搬用のコンテナ船のニーズが高まっている。

「今、世界で約7億グロストン<sup>(※1)</sup>の船腹が航行している計算で、2010年の船腹量は、約9億グロストンになると見込まれています。老朽更新を含めると、約3億グロストン相当の新造船需要があるものと想定され、日韓中の造船用厚板の需給バランスは極めてタイトな状況が続くと考えています」(村田)。

コンテナ船では、輸送高効率化のための大型化や燃費向上のための軽量化が志向されるようになった。最近では、長さ300～400mのコンテナ船に対応できる深水バースや大型クレーンを装備したハブ港のインフラ整備が進み、大型船舶を受け入れる環境も整ってきている。

現在、コンテナ船の供給では、韓国、日本、中国の造船メーカーが世界市場のほとんどを占めている。建造隻数は、設備が比較的新しく大型な韓国がトップだが、新日鉄では、日本の造船メーカーとの長年のパートナーシップを通じて、最先端の高強度鋼材を提供し、世界的な造船技術の発展と市場拡大を支えてきた(最新事例として次項で「EH47」を紹介)。

### 利用加工にまで踏み込んで 鋼材品質の最適化を図る

こうした厚板市場の活況を背景に、中韓の厚板ミルで

※1 グロストン(Gross Tonnage): 船の容積、すなわち船の大きさを表すトン数

# 取り組みで社会を支える の開発と実船適用のドキュメント



は能力増強を計画しており、特に汎用鋼については中国の供給能力が高まりつつある。

「今後、厚板市場はミドルハイ製品と汎用鋼の二極化が進むと考えられます。大荷重・高圧・極低温などの過酷な環境下で使用されるエネルギー分野や造船分野では、高強度鋼板をはじめとする高級鋼が求められており、日本、特に当社は一日の長があります」(村田)。

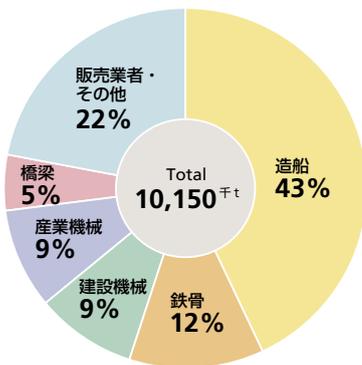
新日鉄の第一の強みは、製鋼～圧延～冷却まで一貫での鋼材品質づくり込みにある。新日鉄独自のTMCP(熱加工制御法)技術である「CLCプロセス」により、鋼材の組織を微細化し高品質な厚板製品を製造することができる。また、お客様とのパートナーシップのもと、溶接などの利用加工技術にまで踏み込んだ鋼材開発に取り組み、施工・使用環境に適した品質をつくり分けている。

「明石海峡大橋に使用された80キロ級『WEL-TEN 780-EX』は、利用加工技術にまで踏み込んだ好例です。当時溶接部の信頼性を高めるために必要だった予熱工程を省略することで、お客様の施工効率向上に大きく寄与

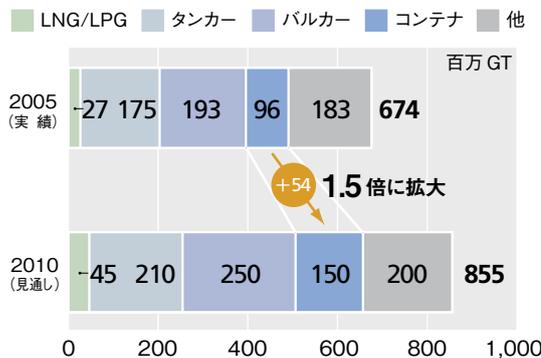
しました。大型船舶の技術としては、『平成10年度全国発明表彰・発明賞』を受賞した、鋼板表層部の超細粒化により、き裂伝播や拡大を止めるアレスト性能を持つ『HIAREST®鋼板<sup>(※2)</sup>』で培った技術・ノウハウが、新たな高強度厚鋼板開発に受け継がれています」(村田)。

一方で、必ず溶接して使用される厚板製品の付加価値を高めるために、日鉄住金溶接工業(株)と共同で溶接材料の開発に取り組みなど、構造材として不可欠な溶接部の信頼性向上に幅広い視野から取り組んでいる。

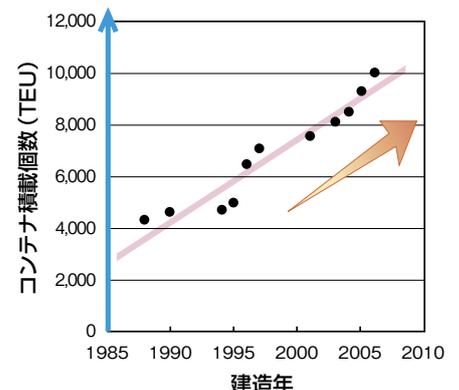
「今後さらに高まる高級鋼材へのニーズを確実に捉えるとともに、汎用鋼についてもお客様のニーズを取り込んだVA提案などを通じて差別化を図ります。また、造船向けの高級鋼材として『船舶用47キロ高強度厚鋼板(EH47)』を開発しましたが、安全性向上や軽量化によるトータルコスト低減などのメリットをPRし、大型コンテナ船用鋼材の標準化を目指して業界での認知度を高めていきます」(村田)。



2006年 1～12月  
厚中板用途別全国受注量



船種別船腹量見通し



1船あたりのコンテナ積載個数の推移

※2 HIAREST® 鋼板: 鋼板表層部の耐脆性破壊(アレスト)性能を著しく向上させたハイブリッド(板厚方向に複層構造化)型鋼板。鋼板表層部の金属組織は1~3μmと超細粒で、脆性破壊しにくい結晶方位を有する。

# 大型船舶の安全性向上・軽量化に 寄与する「EH47」開発のドキュメント

世界経済の成長を背景に海上貨物輸送が活発化している。それに伴い大型コンテナ船の需要が拡大しているが、その建造には安全性・信頼性の高い船舶用高強度鋼板の存在が欠かせない。コンテナ船は積載効率を上げるために開口部を大きく確保する必要がある。そのため大型化に対応する船体強度を確保するためには、必然的にデッキ開口側部の鋼板強度への依存が高まる。

また船体には、海上航海時に高い負荷がかかるため、強度だけではなく、外力を吸収して破断を防ぐ粘り（靱性）も必要だ。船体強度向上を狙って鋼材を厚手化すると、一般に靱性は低下する。板を厚くせずに、いかに強度と粘りを両立させるか——。新日鉄では、この難しい技術課題に対して、母材のつくり込みによる結晶の微細化、溶接材料開発・溶接工法の改善などに取り組み、2005年、降伏応力47キロ

開発・軌跡  
受注の  
その1

## 強度と靱性（粘り）を併せ持つ「メタラジー」への挑戦

「EH47」の開発は、2000年11月にテーマ化された。年1回行われる新日鉄大分製鉄所と三菱重工業(株)長崎造船所の「定期技術連絡会」の中で、1995年から製造されてきた従来の「YP40（降伏応力40キロ）」をはるかに超える高強度鋼板（EH47）の開発を目標として設定した。当時の海運業界では、コンテナ6,000個積載の船体が主流だったが、「EH47」の開発によって安全かつ軽量な8,000～1万2,000個積載の船舶建造が可能となる。輸送効率向上に大きく貢献するその開発は、世界でも前例のないものであり、文字通り手探りでの挑戦となった。

2001年初頭に全社的な開発チームが組織され、「EH47」の開発・実用化に向けたプロジェクトがスター

トした。最初に取り組んだのが母材の強度・靱性の向上だ。加熱・圧延・冷却などの条件を緻密に制御して結晶を微細化させる「TMCP（熱加工制御法）<sup>※4</sup>」を活用することで、さらに粘り強い母材のつくり込みが行われた。

また、船体溶接時の溶接熱は、鋼材の熱影響部の結晶粒粗大化による靱性低下を招く。特に、船体に使われる板厚50mmを超える厚板は、大きな熱量で一気に溶接する「大入熱溶接」の適用が必須であり、鋼材への負荷も高まるため、熱影響部の靱性劣化抑制が大きな技術的テーマとなった。鉄鋼研究所(千葉県富津市)と大分技術研究部を中心とする開発チームは、この課題解決に向けて独自の「HTUFF<sup>®</sup>」技術<sup>※5</sup>を応用。酸化物を活用することで、熱影響部における結晶粒の粗大化抑制に取り組んだ。

高いレベルで強度・靱性を両立させる必要があるため、その組成設計は、従来の成分設計の延長線上では実現できない。鋼材に添加する合金の成分条件を緻密に変えて試作した小型試験片に、大入熱溶接と同じ熱サイクルを加え、ハンマーで打撃して靱性値を測定する「シャルピー試験」を繰り返し実施した。約1年におよぶ試作・試験の試行錯誤の末、目標値をクリアし、高強度で溶接熱を受けても靱性が低下しにくい新たな鋼材のメタラジーを確立した。



従来鋼板



開発鋼「47キロ高強度厚鋼板」

従来鋼と開発鋼の結晶粒の違い

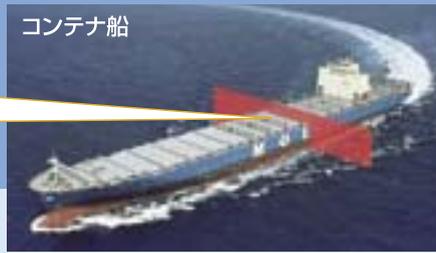
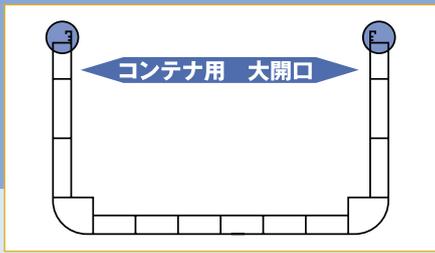
TMCPを駆使し、結晶粒を微細化、高強度・高靱性を達成



シャルピー試験材準備の様子  
(試験材を設定温度に冷却)

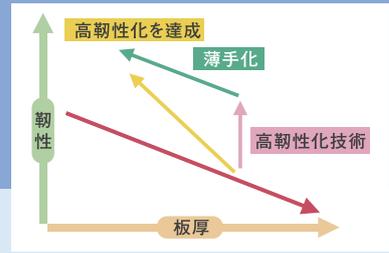
※3 正式名称「YP47kgf/mm<sup>2</sup>鋼」。YP（降伏応力）とは、塑性変形を起こすことがない最大応力を指し、1mm<sup>2</sup>の断面で47kgfの負荷に耐えられる鋼材。

※4 TMCP (Thermo-mechanical control process)：鋼板の強度・靱性を高めるため、緻密に加熱・圧延条件を制御し、必要に応じて圧延後に制御冷却を実施することで、合金添加に頼らず鋼板の強度・靱性を高める方法。



超大型コンテナ船の船体構造

©エム・オー・エル・エフィエンス



板厚と靱性の関係

(従来材は40キロ)<sup>(※3)</sup>という高強度・高靱性を誇る「船舶用47キロ高強度厚鋼板 (EH47)」の開発に成功した (三菱重工業 (株) と共同開発)。

この開発により、安全性の高い大型船舶の建造が可能に

なるとともに、鋼板の軽量化 (薄手化) による船舶の燃費向上が図られることになった。2006年には、日本経済新聞社主催の「日経優秀製品・サービス賞 最優秀賞 日本経済新聞賞」の栄誉に輝いた。

開発・軌跡 受注の 2

## 「継手部の靱性」を高める溶接材料の開発に成功

母材の強度・靱性を確立したことで、開発ステージは母材同士を接合する溶接材料および溶接技術の開発へと移った。すでに溶接法としては、溶接時の作業効率を飛躍的に高めた「2電極 VEGA<sup>®</sup> 溶接法<sup>(※6)</sup>」(三菱重工業 (株)、新日鉄、日鉄住金溶接工業 (株) の共同開発) の採用を決定していた。2つの電極によって従来の1電極の倍の溶接スピードを実現し、さらに1パス溶接により欠陥が生じにくく、板厚方向の溶接金属成分を均一化できるメリットを持つ。しかし、長時間高温にさらさせる大入熱溶接が行われるため、溶接金属でも結晶粒粗大化による靱性低下が障壁となった。

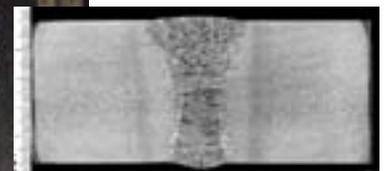
鉄鋼研究所を中心に材料成分の検討を重ねた結果、溶接金属の強度・靱性が高まる方法を確認し、開発は大きく前進したかに思われた。しかし大分製鉄所で、実際に溶接加工した試験体を使って、継手のき裂発生メカニズムを検証する試験を実施したところ、溶接継手部の靱性は極めて低い結果となった。予想外の結果にその原因究明は困難を極めた。そして母材の結晶組織を再度解析して多角的に検討した結果、その原因が母材と溶接金属

の硬度差にあることが明らかとなった。溶接金属を硬くしすぎると、継手が脆弱になることが判明した。

この段階で「硬度マッチング」が開発の重要課題となった。溶接金属の硬さを一定以下に抑えながら粘り強さを維持するため、約1年間にわたり多数の溶接材料の試作を繰り返し、最終的にマッチングがよく、高靱性が得られる溶接材料を開発した。



2電極 VEGA<sup>®</sup> 溶接作業風景



2電極 VEGA<sup>®</sup> 溶接継手断面

開発・軌跡 受注の 3

## 構造設計の工夫によって鋼材の「アレスト性能」を確保

外力がかかったときに弱点となりやすい溶接部の強度・靱性向上への取り組みは着実に成果を挙げ、実際の使用環境により近い大型試験の段階を迎えた。ここでは鉄鋼研究所が保有する「8,000トン大型構造モデル試験機」を

使用して、万一き裂が発生した場合の安全性をさらに高める目的で、鋼材のき裂伝播を止める性能 (アレスト性能) 向上を主眼に試験が実施された。

試験では、溶接した長さ約7m、約20トンにもおよぶ

※5 HTUFF<sup>®</sup>: 溶接時の熱影響部の靱性を向上させるため、鋼中の酸化物・硫化物のナノ粒子を分散制御し、金属組織を微細化する技術。第36回市村産業賞受賞 (2004年)。  
※6 2電極 VEGA<sup>®</sup> 溶接法: エレクトロガスアーク溶接法の一つで、垂直方向での1パス溶接が可能な極めて高効率な自動溶接法。日鉄住金溶接工業 (株) が製造・販売している。

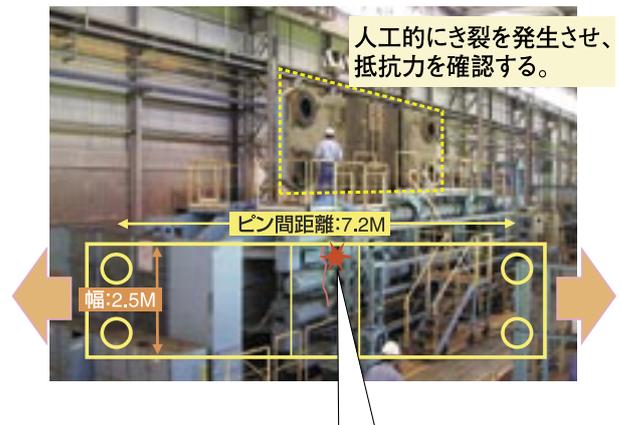
厚鋼板(試験体)にノッチ(切り欠き)を入れ、張力を与えた状態でノッチを楔で打撃して意図的にき裂を発生させて、その伝播状況を見る。大分製鉄所で製造した鋼板を鉄鋼研究所に持ち込み、治具に取り付けて大型試験機に装着するといった大がかりな準備が必要だ。1回の試験に約2カ月もの時間を要するため、試験を円滑に遂行するための緻密なスケジュール管理が重要となった。また、試験状況を使用環境に近づけるため、液体窒素による温度管理など、高度な試験技術も求められた。

2004年4月、1体目の大型試験体が完成し、第1回目の試験が実施された。板厚50mmを超える鋼板の大型構造モデル試験は世界初の試みだ。これまでの開発プロセスで得た知見により、溶接部に走ったき裂は母材に逸れて止まると予想された。しかし、実際には打撃後、乾いた破壊音とともにき裂は試験体の溶接部を走り一瞬にして破断し、開発チームに大きな衝撃を与えた。

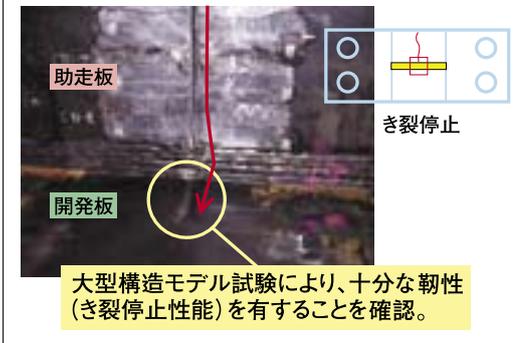
その後、巨大な鋼材の溶接部に走るき裂を止める前例のない大型試験の過程で、TMCPの加工熱処理条件の調整や、船舶の実構造に近い補強材を取り付けるなど数々の工夫を重ねていった。実際にき裂が止まったのは約1年後の第5回目の試験だ。溶接部に走ったき裂を別の母材で止めるという構造設計の工夫によって、アレスト性を確保した。その後、条件を変えながら合計14体もの試験を繰り返し、「EH47」のアレスト性の信頼性を高めていった。

2005年3月には「EH47」の(株)商船三井向け大型コン

## 8,000トン大型構造モデル試験機および試験体



### 靱性の確認試験(大型構造モデル試験 開発鋼)



テナ船への実船適用が決定した。実際に使用される板厚(50mm)と構造設計での実証実験が行われ、従来鋼から板厚を薄くすることが可能な、より高靱性で信頼性の高い鋼材として「EH47」は同年6月に完成した。

### 開発担当者のコメント

#### 開発・受注の軌跡 その1



大分製鉄所  
生産管理部厚板管理グループ  
マネジャー  
石田 浩司

「鉄鋼研究所の鋼材第二研究部(厚板Gr、破壊Gr)と接合研究センター、大分技術研究部の研究者、大分製鉄所の製鋼・圧延技術の操業技術部門など全社のさまざまな専門家と連携し、開発に取り組みました。この開発を通じて当社の総合力を強調できたと感じています」



技術開発本部  
大分技術研究部  
主幹研究員  
皆川 昌紀

「強度、靱性、溶接性など複合的な特性が高度に求められる本鋼材開発において、私は鉄鋼研究所、大分製鉄所との連携を常に意識しつつ鋼材の設計・製造技術開発に取り組みました。技術者たちが広範囲の技術知見を共有できたことが開発の原動力となりました」



技術開発本部  
鉄鋼研究所鋼材第一研究部  
主任研究員  
伊藤 実

「数100トン規模の現場実験に向けて、最適成分を探り当てる基礎研究で苦労しました。大分技術研究部の研究者と頻りに議論を交わし、試行錯誤を重ねながら徐々に方向性を絞り込んでいき、ついに最適成分が見つかったときには大きな手ごたえを感じました」

#### 開発・受注の軌跡 その2



大分製鉄所  
生産管理部厚板管理グループ  
マネジャー  
大谷 潤

「最終的に大型試験は約100回にも及びましたが、なかなか原因が究明できず非常に悩みました。うまくいくと予想していたのに、それが何度も失敗したときのショックは大きかったですね。その後、地道な取り組みで要求値をクリアした喜びは大きいものでした」



技術開発本部  
鉄鋼研究所接合研究センター  
主任研究員  
橋場 裕治

「鋼材と溶接材料がベストマッチしてはじめて利用価値が生まれます。今後は鋼材性能を落とさずに、さらに溶接スピードの向上が可能新たな溶接技術と溶接材料を開発することで、当社材の優位性を高め、お客様の競争力向上に貢献していきます」

開発・受注の軌跡 その4

## 三菱重工業(株)との共同開発で実船適用を実現

「EH47」の鋼材開発、溶接材料開発、構造開発の道程において、新日鉄と三菱重工業(株)は適切な役割分担と緊密な協力体制でさまざまな難局を乗り越えた。新日鉄は大型コンテナ船用の最適鋼材の開発を進める一方、三菱重工業では、「EH47」の特性を活かす船体構造設計、板厚の最適化、および鋼材配置の適正化などの研究を行った。この両輪の取り組みが、安全性の高い船舶建造を実現する新技術の開発に結実したが、それを支えたのが「絶対に失敗できない」といった両社技術者の強い思いだ。

2005年3月の実船適用決定後は、実際に建造される船舶の構造設計データを三菱重工業側が提供。大型構造モデル試験機で、そのデータに基づき作製された試験体による実証試験を行い、高い安全性を確認した。

また、「EH47」向けの溶接法「2電極VEGA®溶接法」適用に際しても、



建造中のコンテナ船

両社間で溶接条件の検討などが頻繁に繰り返された。新日鉄および日鉄住金溶接工業の技術者が三菱重工業長崎造船所を訪れ、溶接技能者への技術サポートを実施し、溶接施工性の向上など、実際に船舶を建造する際に生じる課題の一つひとつを解決していった。

一方、実際に鋼材を生産する大分製鉄所は、1977年以降、生産実力を着実に高めながらオーダーメイドとも言える多様な厚板製品を製造してきた。今回、その中でも特に加

### 「世界標準を創るという確信」を両社で共有し、技術開発に挑む



三菱重工業(株)長崎造船所  
造船設計部船殻設計課構造主任  
(工学博士)

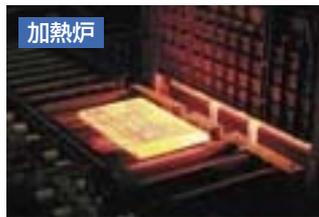
廣田 一博氏

「EH47」開発は、当社長崎造船所と新日鉄大分製鉄所の「定期技術連絡会」の中で、2000年11月にテーマ化されました。当時、コンテナ船の大型化傾向が予測されながらも、具体的な受注は未定の状況下で、新鋼材開発とそれに対応する構造開発に取り組むことは相当なリスクを伴うものでした。それは新日鉄も同じだと思います。しかし、開発されれば船舶の安全性確保と輸送コストの面で船主や社会に大きく貢献でき、それが世界標準になっていくという「確信」の下で、お互いリスクを覚悟したからこそ、大きな成果を勝ち得たと考えています。

最終段階で課題となった「アレスト性の確保」は、当初目標としていた性能が出ないため、両社で悩み議論した時期もありました。試験そのものは一瞬で終わる「8,000トン大型構造モデル試験」に、いつも祈るような気持ちで立ち会っていました。こうした大掛かりな試験を含め、課題に繰り返し挑戦し目標を達成した新日鉄の技術力と懐の深さに感謝しています。また、溶接開発には、現場施工のバラツキを考え、難しい条件設定をお願いしましたが、日鉄住金溶接工業(株)を含めた3社で研究を重ねて適切な溶接法を開発し、安定した溶接品質を実現しました。

今後、「ポスト47ハイテン」の開発を目指す過程で、当社のニーズと新日鉄が持つ多様な技術シーズをぶつけ合い、その相乗効果によってさらに競争力ある製品開発を実現していきたいと思っています。

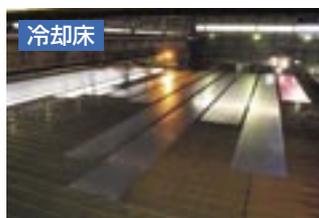
### 大分製鉄所厚板工場の生産ライン



加熱炉



操作室



冷却床

### 開発・受注の軌跡 その3



技術開発本部  
鉄鋼研究所鋼材第二研究部  
主幹研究員  
井上 健裕

「どういう条件で脆性破壊が止まるのかを見つけ出すまで苦労しました。また、三菱重工業さんがほとんどすべての試験に立ち会われましたが、大規模な試験をお客様の前で円滑に遂行できたことも当社の技術力だと思います」



(株)日鉄テクノリサーチ  
総合材料センター  
技術主幹(課長)  
小関 正

「大型試験機自体を組み上げることも初の経験となったため、作業仕様書を詳細に紐解きながらスタッフが連携して確実に進めました。また、試験としてあまり前例のない大型の試験体を扱う上での安全性にも十分に気を配りました」

熱・圧延・冷却の温度制御が厳しく製造に時間がかかる「EH47」の製造を、厚板工場トータルの生産性を落とさずに連続ラインにいかに組み込むかが課題となった。ラインの加熱スケジュールや圧延方法に工夫を凝らし、空冷時間を計算に入れた同鋼種の集約など、生産最適化を

図る管理体制を構築した。その結果、「EH47」の生産量は、この2～3カ月で昨年1年分の生産量を達成した。今後は、制御冷却を含めた水冷を微妙に調整する現場オペレーターの経験をいかに技能伝承、あるいは定量化していくかが課題だ。

開発・軌跡  
受注の軌跡  
その5

## 「EH47」の社会的メリットを国内外に広める営業活動を

2006年3月、新日鉄は三菱重工業(株)長崎造船所より「EH47(板厚50mm)」を初受注し、同鋼材の本格的な市場展開をスタートした。造船用厚板は各船舶の設計ごとにオーダーメイドとなる上に、厳しい納期対応が必要となる。高級鋼である「EH47」は難製造鋼材であり、ミルの生産負荷が高いため、営業部門では他品種の納期との組み合わせを調整しながら、効率的な受注対応に取り組んでいる。

今後の拡販に向けての営業の課題は、「EH47」が実現する「安全」や船舶の軽量化による燃費低減効果などの付加価値を社会に浸透させていくことだ。現在、船舶の安全性を認定する各国の船級協会に対して、「EH47」のメリットを広くPRするなど、理解活動を積極的に行っている。特に、環境負荷低減につながる燃費向上は、現在、環境意識が高まる海運業界への大きなアピールポイントとなっている。

また、コンテナ船の市場は、世界規模でさらに大型化が進むと予想されるため、海外造船メーカーへの提案営業も重要だ。世界の造船市場の9割を占める韓国、日本、中国



300m級のコンテナ船

©エム・オー・エル・エフィシェンシー

の中で、2000年に日本を抜き世界一の建造量となった韓国では、8,000個積載の大型コンテナ船を現在多数建造しているほか、1万2,000個、1万5,000個といった超大型コンテナ船の建造計画もある。そうした情勢のもと、世界最大級の造船メーカーからも新日鉄は「EH47」の引き合いをいただいている。また、経済成長著しい中国にも最新鋭の造船

### 開発・受注の軌跡 その4



厚板事業部厚板営業部  
厚板商品技術グループ  
マネジャー  
船津 裕二

「開発試験の途上で、従来の強度レベルの鋼材であっても板厚が厚くなると脆性破壊停止特性が十分ではない可能性が明らかとなりました。私たちは関連学協会への情報発信を行い、厚手材の受注辞退を行うとともに、EH47の開発速度を加速せざるを得ませんでした。5回目の大型構造モデル試験で「ズン」という低い響きで、き裂が止まった瞬間は本当に忘れられません。EH47が実用化を迎えた今、その技術開発の延長として、さらに過酷な環境下でも耐えられるような鋼材提供に取り組んでいきたいと思っております」



日鉄住金溶接工業(株)  
研究所  
課長代理研究員  
笹木 聖人

「実際に溶接施工を行う三菱重工業さんの技能者の方々と連携しながら、課題を一つ一つクリアし、EH47への2電極VEGA溶接法の適用を目指しました。今後も『2電極VEGA®溶接法』が多くの製造現場で活用されるように努力していきます」



大分製鉄所  
厚板工場厚板課  
係長  
後藤 裕元

「『EH47』のつくり込みのポイントは温度管理です。确实・緻密な温度制御が必要で、手間暇のかかる難度の高い操業となりますが、それを実現しながら厚板工場全体の生産性のネックにならないように細心の注意を払いました」

### 開発・受注の軌跡 その5



厚板事業部厚板営業部  
造船鋼材グループ  
マネジャー  
関野 孝志

「今後、船舶は大型化だけではなく、輸送地域・距離の多様化が進むことが予測されますので、そうした変化に対して新たな鋼材ニーズが生まれてきます。造船メーカーさんとの強い信頼関係をもとに、ニーズを先取りする新技術を市場に提供していきたいと思っております」

設備があるが、今後、大型コンテナ船分野への参入が予想され、将来的に極めて有力な市場に成長する可能性がある。

今回、「EH47」が開発・実用化されたことで、当社と三菱重工業(株)の技術力と、世界共通の課題である「安全」へ

の取り組みが高く評価された。こうした社会や船主・造船所からの「信頼」をベースに、今後も新日鉄は「安全」「環境」に寄与する鋼材開発に取り組んでいく。

## 全員参加型の業務運営で、さらなる製造実力向上を

厚板事業部 厚板営業部長 佐藤 博恒

現在厚板需要は、造船、建設・産業機械、エネルギー分野などを中心に、極めて旺盛な水準にあります。私たちは非常にありがたい忙しさの中で、そうした需要に確実にお応えするべく努力を続けています。

当社の厚板事業は、高級鋼分野への対応と汎用鋼の差別化が今後とも柱となります。まず、高級鋼分野では、当社の技術先進性を活かし、お客様の競争力向上につながる着実な成果をあげています。昨年、「日経優秀製品・サービス賞 最優秀賞 日本経済新聞賞」をいただいた「船舶用47キロ高強度厚鋼板」はその代表例です。これは、お客様である三菱重工業さんと当社の長期にわたる共同開発製品であり、同社との緊密な連携体制と、当社の製造・販売・技術・研究部門が一体となって取り組んだ成果だと思えます。汎用鋼については、特に成長著しい中国での生産能力が高まっていますので、この分野でも当社の製造実力を一層高め、当社材の差別化を実行していきます。

現在、事業部運営では、「全員参加型の業務の推進」を

テーマに掲げています。製・販・技・研が一体となって課題・情報を共有し、一人ひとりの実力向上によって全体の総合力を高めることを目標にしています。

また、その総合力を最大限発揮できる環境づくりを目指して、厚板事業部では、1年前から製鉄所と本社部門で「6S(整理・整頓・清掃・清潔・しつけ・作法)活動」に取り組んでいます。現在では職場の整理整頓を通じて、各人に職場を大切にしようとする意識が生まれており、これは本活動の非常に喜ばしい成果だと考えています。自らの職場を誇りとし、そこで心から長く働きたいと思えるような職場を目指し、今後も6S活動を推進していきます。



海外営業部  
厚板・形鋼輸出グループ  
マネジャー  
繁田 康成

「世界の厚板市場では、造船を中心に、エネルギー用ラインパイプや寒冷地海洋開発など、極めて過酷な環境で使用される鋼材ニーズが高まっています。今後もそうした新たな需要を、当社の技術力を駆使した高級鋼で確実に捕捉していきたいと考えています」

### 「6S活動」を通じて情報と信頼を共有する

——厚板事業部厚板営業部の取り組み

厚板営業部では、部を挙げて「6S活動」に取り組んでいる。グループごとの代表メンバーで構成される「6S委員会」では、まず意識向上を図るために勉強会と自己診断を行い、その後の達成度調査も実施している。現在、グループごとに作業分担を決め、資料収納用キャビネットのリスト化などを進め、営業部全体で情報を整理・共有化できる仕組みづくりを進めている。委員長の造船鋼材グループマネジャーの吉川宏は語る。

「6S活動は職場を単に整理整頓するだけではなく、自己研鑽や礼儀作法まで含め、お互いが気持ち良く職務を遂行す



6S委員長 厚板営業部 造船鋼材グループ  
マネジャー 吉川 宏と6Sポスター

るためのコミュニケーションと信頼関係を向上させる有意義な取り組みです。今後とも、継続的に行っていききたいと思います」

# 春休み ものづくり体験 鉄の彫刻をつくろう



— 科学技術館で子どもたちが鉄の溶断・溶接に挑戦

3月24日、東京北の丸公園の科学技術館において、(社)日本鉄鋼連盟は、(財)日本科学技術振興財団科学技術館と共同で、「鉄鋼業の社会的認知度向上策」における「ものづくり教育」の中核事業として、「鉄の彫刻」をつくるイベントを開催した。これは昨年12月3日に行われた「たたら製鉄の実験操業」に続く第2回目のイベントで、小学3年生から中学1年生までの子どもたちとその保護者20組40名が参加した。

指導は、鉄の彫刻家であり過去6回にわたり全国で子どもたちに鉄の彫刻のワークショップを行ってきた多摩美術大学准教授の青木野枝氏。同大学生とともに、日鉄住金溶接工業(株)、新日本製鉄 鉄鋼研究所ウェルテックセンターの技術スタッフが参加して、子どもたちの作業をサポートした。また、日鉄商事(株)が材料の厚鋼板(コルテン鋼)を提供し、日鉄住金溶接工業も溶接材料を提供するなど、新日本製鉄グループ各社が協力した。



## 3月24日

科学技術館の屋上で、5班に分かれて、溶断・溶接作業を行った。天候を考慮し、24、25日の2日間で行う予定だった作業を1日に短縮したが、子どもたちは疲れも見せず、作品づくりに熱中した。

### 10:00 会議室に集合



青木野枝さんが挨拶。

「皆さんが今回取り組むのは美術ですから、自分がいいと思うものを自由につくってください」

そのほか、作業説明や安全指導を行う。



## 10:20 屋上へ移動



「昨年12月に行った『たたら製鉄体験』は、共同作業によって鉄を作り上げる取り組みだったのに対し、今回の鉄の彫刻は個人それぞれの発想を大切に、鉄と触れ合う取り組みです」  
(新日本製鉄技術開発本部 マネジャー (当時) 田巻 耐)

## 10:30 下絵描き開始

チョークでCOR-TEN (コルテン) 鋼に描いていく。親の手を借りず、子どもたちだけで考え、悩んだときは、青木野枝さんや多摩美大生に相談。

## 10:40 溶断・溶接開始

帽子をかぶり、首には手ぬぐい、防護布の前掛けや溶断用マスクなど防護用具を身につけて準備万端。溶断の火炎温度は約3,000℃。最初はおっかなびっくりの子どもたちも次第に作業に慣れてくる。

## 12:00 午前の部終了

## 12:30 昼食後作業再開

溶接部分のアークの温度は約6,000℃になるため、溶接用自動遮光マスクを装着。アークの火花に子どもたちは感激の様子。溶断した鋼片を、各自思い思いの形に溶接していく。

日鉄住金溶接工業(株)平尾社長、新日鉄執行役員進藤孝生が各班を見てまわりながら子どもたちを激励。



子どもの作業を見守る平尾社長



青木野枝さんから話を聞く進藤執行役員

## 14:45 全工程終了



「科学技術館としても鉄の溶断・溶接を行うのは初めての企画でした。青木さんをはじめ、新日鉄や日鉄住金溶接工業など企業からベテランの職人の方を派遣してご協力いただいたおかげで、安全に作業することができ、感謝しています」  
(科学技術館 課長代理 大野力氏)

## 16:00 作品発表

青木野枝さんから「鉄人認定書」とメダルが贈られる。

## 下絵描き



青木野枝さんに相談しながら描画



多摩美大生のお姉さんにアドバイスを受ける

## 溶断作業



「うまく切れるかな」



きれいに仕上がるように断面を調整

## 溶接作業



弱い部分をしっかり溶接



「かわいくなってきたよ」



作品の前で鉄人認定書とメダルを授与

## 多摩美術大学准教授 青木 野枝氏

2000年から子どもたちに鉄の彫刻のワークショップを行ってきましたが、当初鉄を扱うのは子どもには無理ではないかと周囲から言われ、私自身もかなりのチャレンジだと思っていました。しかし実際やってみれば、全国どこのワークショップでも皆見事な作品を仕上げます。今回も期待を上回る作品が揃い、毎回良い意味で裏切られている状態です。鉄で立体的なものが作れることは、子どもたちにとって面白い発見だったのではないのでしょうか。

テーマを決めることもあります。今回は時間の制約もあり好きなものを描いてもらうことにしました。たとえアニメのキャラクターでも、鉄は絵に描いたまま溶断・溶接できるわけ

ではなく、その子独自のものになるでしょう。思うような形にならなかったとき、さらに新たな発想が生まれてくるのです。

日常生活ですでにでき上がったものを見ているだけでは、それが何からできているか分からず、自分たちがその素材を扱えると思うこともないでしょう。しかし、鉄の溶断・溶接を行うことによって、鉄だって自分で自由に扱えることが分かります。これは、子どもたちが生きていく上での糧になると思うのです。今まで限界を感じていた物事も、やってみれば何かができる。子どもたちが自分の手で可能性を切り拓いていくきっかけになればと思います。



財団法人日本科学技術振興財団  
科学技術館事業部

次長 山口 勝氏



科学技術館では昭和49年に業界出展方式を採用し、各業界からご協力いただいています。子どもたちに工業、産業部門を支えるものづくりについて理解してもらうことが目的です。

昨年12月に鉄鋼展示室がリニューアルオープンし、より充実した展示物、イベント、ワークショップなど、子どもたちのものづくりに対する理解を深める企画を実施しています。今後、鉄鋼ミュージアム構想として、北は釜石から南は九州まで、他の博物館と連携して、全国でこうしたイベントに取り組んでいく予定です。

日鉄住金溶接工業(株)  
代表取締役社長  
平尾 隆氏



今回のようなイベントを通して、子どもたちに、ものづくりの楽しさを体験しながら鉄に親しみを感じ、さらに溶接という仕事があることを知ってもらえれば大変うれしく思います。

学校で学べるのは知識や理屈までです。実際にものづくりをしているのは企業なので、ものづくりの楽しさや意味を子どもたちに体得してもらうために、企業もこうした機会を積極的につくり出す必要があります。

溶断も溶接も鉄の火花が出ます。昔はたき火など、おっかなびっくりで火に接する機会が多くありましたが、今はめったにありませんから、貴重な機会だと思います。社会貢献の一環として、このような小さな試みであっても地道に継続して、ものづくりの意味と役割を子どもたちに伝えていくことが非常に大切です。



社団法人日本鉄鋼連盟 元・総務本部秘書・広報グループ  
参事補 戸叶 正美氏



昨年12月に科学技術館・鉄鋼展示室を「鉄の丸公園1丁目」としてリニューアルオープンしました。今回は、その記念イベントとして実施した「たたら製鉄の実験操業」に続く、第2弾です。鉄鋼連盟として、鉄の溶断・溶接のワークショップを手がけるのは初めてのことでしたが、このようなワークショップを通じて子どもたちに鉄を身近に感じてもらいたいとの思いで取り組んできました。

鉄鋼連盟では、リニューアルオープン以降、鉄の丸公園運営委員会を設置して、運営方針について議論してきました。今後は、鉄鋼展示室で定例的に行っている実験・工作教室のメニューの充実化も図っていきますので、ぜひとも「鉄の丸公園1丁目」に足を運んでいただければと思います。

新日本製鉄(株) 技術開発本部鉄鋼研究所  
ウェルテックセンター

マネジャー 深見 俊介



私は今回のイベントに際し、技術全般の監修として指導する人材や道具の準備を行いました。指導する職人と子どもたちとの間で良いコミュニケーションが取れたのではないかと思います。みなさんが楽しんでくれている姿を見て、大変うれしく思います。

これまで鉄鋼展示室の実験コーナーで薄い鉄を使った工作をしたことはありましたが、ビルや船となる厚板を溶断・溶接する機会を持つことはそうはないと思います。今まで硬くて加工できないと思っていた鉄が、自分たちの手で溶断・溶接でき、身近な存在であるということを伝えたいですね。

### スタッフの皆さん

前列中央が青木野枝氏、その左右は多摩美大生の皆さん。後列は新日鉄鉄鋼研究所ウェルテックセンター、日鉄住金溶接工業の技術スタッフ。



「ワークショップへの参加は2度目ですが、鉄を素材とするワークショップは初めてです。大学で鉄の彫刻の勉強をしていますが、もし自分が小学生の時にこのようなイベントを体験できていたら、とうらやましい気持ちです」(多摩美術大学 林さん)

「子どもたちとふれあいながら作品づくりに協力することは、自分にとっても良い経験になると思い参加を決意しました。鉄は加工しやすい、とても魅力のある素材です。大学では4月から金属の彫刻学科を専攻したので、これからも鉄の作品づくりを続けていきます」(多摩美術大学 馬替さん)

「当初は、子どもたちには溶接・溶断は難しいだろうと思っていました。しかし、難しい『線切り』などの工程も少しの指導ですぐにマスターする子どももいて、飲み込みの早さには驚かされました。できあがった作品を見ても、発想の柔軟さと完成度の高さは想像以上のものでした」(日鉄住金溶接工業(株) 品質管理部 飯田 英明氏)

「古代中国の空飛ぶトカゲは細かい部材を取り付け、さらに空飛ぶ形にするとか、ドラゴンでは体の両面にうろこをつけるんだとか、こうしたいという自分のイメージを作品に表現するんだという、強い情熱と頑張りを感じられて非常に感心しました」(新日鉄技術開発本部鉄鋼研究所ウェルテックセンター 木本 勇)

# 鉄づくり・溶断・溶接を学ぶ

## —子どもたちが君津製鉄所・鉄鋼研究所を見学



第4高炉前で記念撮影

4月8日、鉄の彫刻イベントに参加した子どもたちと保護者が、新日本製鉄君津製鉄所と同社鉄鋼研究所ウェルテックセンター・接合研究センターを訪問し、鉄がつくられる様子やプロの技術者による溶接作業、大型自動溶接機器などの施設を見学した。

君津製鉄所では、鉄づくりや製鉄所についての説明を受けた後、高炉、熱延、UO鋼管工場を見学。見学終了後「UO鋼管はどうやってU字型に加工するの?」「スラグは何に再利用されるの?」などの質問があった。

午後は富津の技術開発本部 鉄鋼研究所に移動。ウェルテックセンターで技術者による溶接作業のデモンストレーションを見学した後、接合研究センターの自動溶接装置を見学。激しい火花を飛ばして鋼材を瞬時にくっつけるフラッシュ溶接や、自動車工場でも採用されているレーザー溶接などに参加者たちは驚きの声を上げていた。

施設見学終了後には、ウェルテックセンターから子どもたち全員に、記念品として溶接材料でそれぞれのイニシャルを書いたプレートがプレゼントされた。



熱延工場を見学  
「熱気がここまで伝わってくるよ!」



半自動溶接 (CO<sub>2</sub>溶接):  
手元のスイッチを押すとノズルの先から溶接ワイヤが出てきます



TIG溶接:  
プロの溶接作業に見入る参加者たち



フラッシュ溶接装置:  
「すごい、火花みたい!」



溶接された鉄、ステンレス、チタンなどの部品を見る参加者たち



YAGレーザー溶接装置:  
モニターで観察。目に見えない光で一瞬にして溶接します

### イベント参加者の感想

- ・作品にイニシャルを入れるときとか、むずかしいところは技術者のおじさんに手伝ってもらいました。溶接のとき、こんなに重いものが本当に立つのかなあと思っていたけど、ちゃんと立ったときはびっくりしました。すごく楽しいイベントでした。(Dさん)
- ・一枚の鉄の板が、溶断・溶接によりこんなに素敵な作品に生まれ変わるのでとても驚いています。鉄は不思議でそして身近な素材であると、改めてその魅力を再認識できた感じです。(Dさんのお母さん)
- ・鉄で彫刻をつくるなら、かんたんなものじゃないとつくりえないだろうと思っていたけど、下絵描きをしたとおりに自由に切ってくっつけることができたので、イメージしていたとおりのいい作品ができたと思います。(Iくん)
- ・鉄は身の周りにたくさん存在しますが、鉄を自ら加工し、何かをつくる経験はありませんでした。溶断・溶接を繰り返すことによって、粘土、紙、木材などといった、工作では使い慣れた素材との違いを息子も感じ取ってくれたと思います。(Iくんのお母さん)

# 強靱な鉄で 社会を支える 厚板 (1)

厚板は、その名のとおり「板厚が厚い」鋼板を指す。国によって定義は異なるが、日本では JIS 規格で板厚 3mm 以上を厚板と定義しており、厚いものでは 300mm 以上の製品が製造されている (グラフ 1・写真 1)。「鉄=大きくて重たい」といった、一般の人が抱くイメージ通りの鉄鋼製品だ。本企画では 3 回にわたり、高度な金属組織制御技術や構造物の安全性に不可欠な利用加工技術 (溶接) にまで踏み込んだ材質制御のメカニズムと、技術開発への挑戦について紹介する。

## 安全性、信頼性確保のために要求される 「強度」「靱性」「溶接特性」

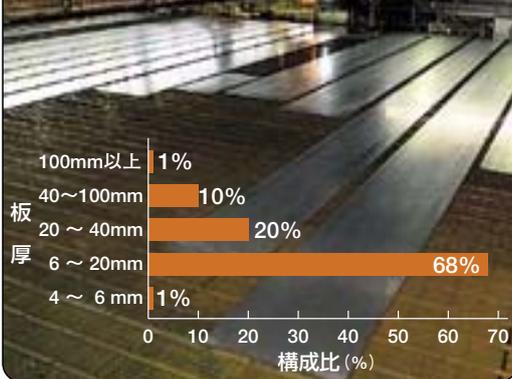
厚板の用途は、船やビル、橋、建設・産業機械、液化天然ガス (LNG)・石油貯蔵タンク、海底油田掘削用の海洋構造物、パイプライン、発電プラントなど多岐にわたり、エネルギー関連を含めた“社会インフラそのもの”を形成する材料として使われている (写真 2)。厚板が使われる構造物のトラブルは人命や地球環境に直接影響を及ぼすため、「安全性・信頼性」の確保は鋼材の開発と製造の最優先課題だ。

厚板に要求される第一の特性は、構造物を維持するための「強度」。実際に使用されている厚板の強度は、普通鋼のような引張強度が  $400\text{N/mm}^2$  (※1) クラスから、高強度のものでは  $1,200\text{N/mm}^2$  クラス以上のものまでである。高強度を追求する厚板の技術開発が、現在までの鉄のメタラジー (金属工学) の発展をリードしてきた。さらに、強度を維持しながら、鋼板が使用される環境下での安全性を十分に確保するために、粘り強く壊れにくい性質 (靱性) も必要だ。厚板では、まずこの「強度」と「靱性」を高いレベルでバランスさせることが重要である。

また、ほぼすべての場合に、厚板は切って「溶接」して使われるため、溶接部についても「どんな使い方をされても割れない」くらいの高い信頼性・安全性が重要だ。例えば、ビルなどの大型構造物では、板厚 100mm の鋼板を一回で溶

板厚と構成比

グラフ 1



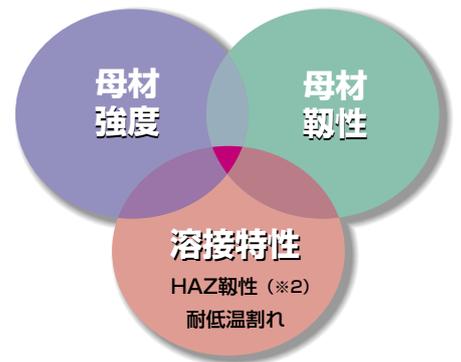
極厚材



写真 1

厚板の要求特性

図 1



厚板の用途 造船55%、建設・産業機械15%、建築・橋梁15%、エネルギー関連など15% 写真2



船舶の外板、隔壁など

©エム・オー・エル・エフィエンスシー



橋梁の主桁、橋脚、橋塔など



ビルの柱など

(※ 1)  $1\text{N/mm}^2$  の強度は  $1\text{cm}^2$  あたり約 10kg の荷重に耐えられる強度  
(※ 2) HAZ : Heat Affected Zone (溶接熱影響部)

接してしまう大エネルギーかつ高能率な「大入熱溶接」が行われるケースもあるため、鋼板そのもの（母材）の材質に加えて、大きな熱的負荷がかかる溶接部の材質を制御する技術の開発も不可欠となる。

このほかにも、疲労強度、耐遅れ破壊特性、高温強度など、さまざまな環境での壊れにくさをはじめ、耐食性や意匠性に至る多様な特性が求められるが、いずれの場合でも前提となるのは「強度」「靱性」「溶接特性」の3つの特性の確保である（図1）。

### 相反する特性の両立が 高いハードル

しかし、この「強度」「靱性」「溶接特性」の3つの特性をすべてあわせ持つ厚板をつくることは容易ではない。通常、強度を上げるためには鉄の中に炭素やマンガン、ニッケルなどの合金元素を加える。これらの元素は、焼入れ性（硬い金属組織であるマルテンサイトへのなりやすさ）を上げたり、結晶中の鉄の原子を動きにくくさせることによって強度アップに有効だが、逆に鉄を脆くする原因にもなり、「靱性」を低下させてしまうこともある。また、厚板は数ミクロンから数十ミクロン（※3）の大きさの結晶が集まってできているが、この結晶の大きさの影響も大きい。結晶が大きくなると「靱性」は低くなってしまい、割れやすくなる。特に溶接のように高温にさ

らされると、「靱性」の敵である結晶の粗大化が起こるため、溶接部の靱性の低下は大きな問題となる。「強度」と「靱性」、「溶接特性」は相反する関係にあり、その両立が技術開発の高いハードルとなっている。

第1回目の今回は、母材のつくり込みにおける「強度」「靱性」両立のメカニズムと技術開発について紹介する。

### 靱性に影響する 鉄の変形メカニズム

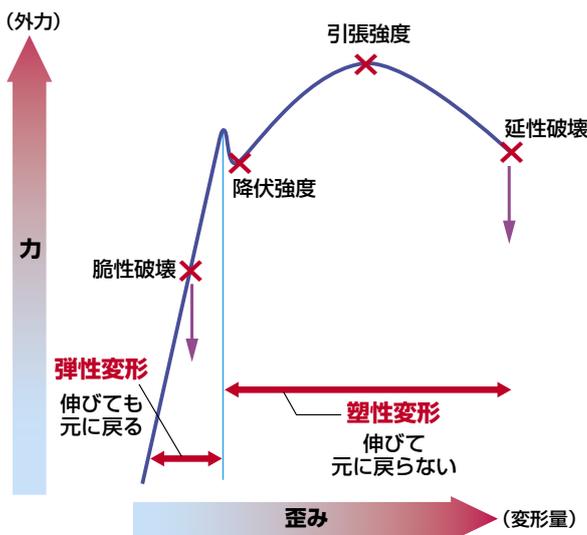
厚板の研究開発においては、特に大型船舶の安全性確保が問題になったことを契機として、長年、破壊力学の観点から「靱性」向上のための研究が進められてきた。

まず、「強度」「延性」「靱性」の関係を、鉄に力が加わったときの「応力-歪曲線」で考えてみよう（グラフ2）。

鉄の結晶の中には線状に存在する結晶格子の乱れ（転位）がある。鉄にある大きさ（降伏強度）以上の力を加えると、この転位が動く（すべる）ことによって変形する（塑性変形、図2）。通常、溶接構造物は降伏強度より低い力の範囲（弾性変形の領域）で設計されているので、塑性変形することはない。

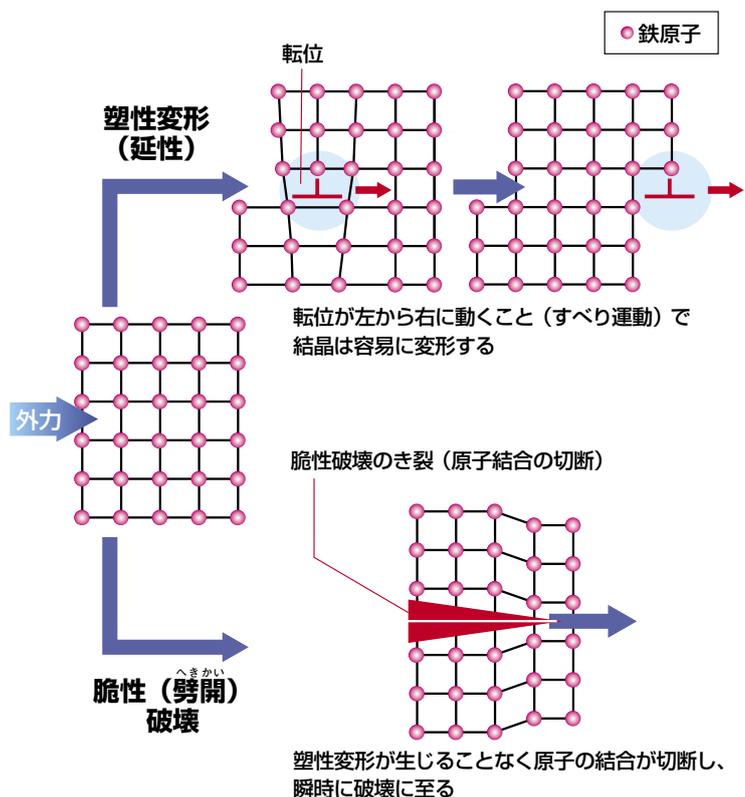
しかし、降伏強度よりも大きな力が加わると、塑性変形が進み、変形した部分がぐびれて引きちぎられるように破断する。これが「延性破壊」であり、延性破壊に至るまでの最大の強度を「引張強度」という。降伏強度は設計で想

強度・延性・靱性の関係 グラフ2  
(応力-歪曲線)



厚板に「降伏強度」より小さな力が加わるとわずかに歪むが、力を取り除くと元に戻り変形は残らない。厚板はこのような「弾性変形」の条件で使用される。「弾性変形」であっても、著しい低温環境、力が集中する場所の存在、瞬間的に大きな力がかかるなどの条件が重なると、ガラスが割れるように「脆性破壊」する場合があります、これを避けるために「靱性」が求められる。

塑性変形と脆性破壊の模式図 図2



(※3) ミクロン (μm) : 1mmの1,000分の1の長さ

定した範囲内の力がかかっても溶接構造物を塑性変形させないための強度である。一方、引張強度は、降伏強度を超えるような予想外の大きな力がかかった場合でも延性破壊を起こさないために必要な強度だ。

延性破壊は塑性変形の延長線上にある破壊であり、ある程度予想がつくが、塑性変形せずに、突然ガラスのように破断する場合がある。これを「脆性破壊」といい、最も避けるべき危険な破壊形態だ（グラフ2）。脆性破壊は、鉄の結晶をサイコロにみたてた場合に数字の書いてある面（劈開面）に沿って割れるという体心立方格子金属の特徴的な現象である（図2）。特に、構造物の一部に力が集中してかかったり、衝撃的な力がかかったり、使用温度が著しく低かったりする条件が重なった場合に起こることがある。高強度鋼ほど高い力がかかるように設計されているので、何も策を講じなければ、高強度鋼ほど脆性破壊を起こしやすいという懸念すべき状況になってしまう。この脆性破壊を防ぐ特性が「靱性」だ。

### 強度・靱性を両立させる「結晶粒の微細化」

「強度」と「靱性」のバランスを適正に維持して両立させる、最も有力な方法が「結晶粒の微細化」だ。

「強度」は転位が動きにくいほど高くなる。鉄の原子は、一つの結晶の中では整然と同じ方向に並んでいるが、隣の結晶の原子は別の向きに並んでいる。結晶と結晶の境界（結晶粒界）では原子の並んだ向きが変化する。

鉄の結晶中の転位は原子の並ぶ方向に沿って動くので、結晶粒界では転位の動きやすい方向が変化する。このため、結晶粒界は転位の動きを止める障害となる。結晶粒が微細

なほど結晶粒界が数多く存在するので、材料全体で転位が動きにくくなり、強度が高まる。

一方、「靱性」は原子の結合の切れにくさであり、切れにくいほど脆性破壊を起こしにくい。鉄は原子の並んだ方向に沿って割れる。結晶粒界は、原子の並んだ方向（原子結合の切れる方向）が変化する場所となるため、脆性破壊の割れ（き裂）が進む障害となる。よって、結晶粒が微細なほど材料全体で脆性破壊への抵抗が高まり、靱性が高まる。例えば、同じ距離をき裂が進む場合、大きな結晶が10個あれば脆性破壊の割れの向きは9回だけ変化して破断するが、小さな結晶100個であれば99回向きを変えることで、き裂が進むためのエネルギーが余分に必要となり、必然的に破断しにくくなる（図3）。

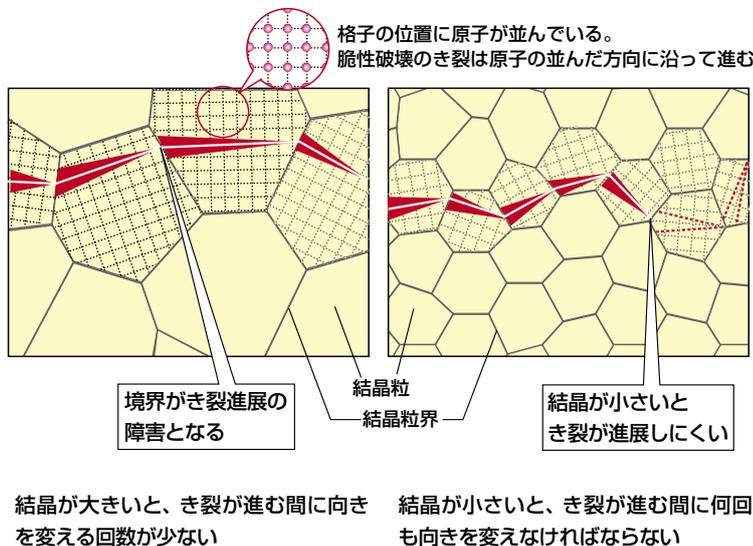
このように「結晶粒の微細化」は、数多くの結晶粒界が転位の動きの障害となり「強度」を高めると同時に、それらの粒界で脆性破壊のき裂の進行を止めて「靱性」を高める効果もあわせ持つ、理想的な強化方法である（図4）。

### 「合金設計」と「加工熱処理」で金属組織と強度が決まる

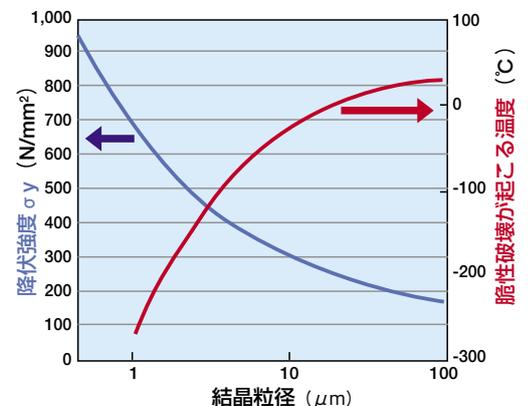
厚板は、焼鈍やめっきなどを含めた長い工程で材質をつくり込む薄板に比べて、加熱・圧延・冷却という短い工程で、「強度」「靱性」に「溶接特性」を加えた厚板の3大特性をつくり込む必要がある。

つくり込みのキーテクノロジーは、鉄にさまざまな元素を調合してより良い特性を実現する「合金設計」と、鉄に最適な温度の履歴を与えて望ましい金属組織を得る「熱処理」だ。高価な元素を多く添加した鉄は生まれながらにして才能にあふれる鉄であり、それを熱処理によって厳しく

脆性破壊のき裂進展と結晶粒サイズの関係 図3



強度、靱性と結晶粒サイズの関係の例 図4



結晶粒が小さくなると降伏強度が上がるとともに脆性破壊が起こる温度も低くなる（脆性破壊が起こりにくくなる）

(※ 4) ppm (ピーピーエム) : 1万分の1パーセントの単位

教育すれば、さらに立派な鉄に育つのである。

まず、製鋼段階では、不純物（水素、酸素、窒素、硫黄など）を極限まで除去すると同時に、役割に応じてさまざまな元素を添加し、その後の製造工程で金属組織をつくり込むための環境を整える。高強度鋼では、普通鋼が含有する炭素、シリコン、マンガンに加えて、銅、ニッケル、クロム、モリブデンなどの合金元素やニオブ、バナジウム、チタン、ボロンなどの微量元素を添加する。後者は ppm（※4）オーダーで調整され、鉄の中では微細な化合物として存在する。この化合物を利用して、加熱・圧延・冷却の各工程で緻密に結晶粒を制御するのだ。多くの金属の中で、これほど多様で微量の元素を駆使して材質をコントロールするのは鉄だけだ。微量な成分のバランスが材質に大きく影響するため、製鋼段階での適正な合金設計なくして、その後の工程は成立しない。

従来の高強度鋼の製造方法では、合金を添加した鋼片を、圧延工程で厚板の形状に整えた後に、再び高温に加熱して熱処理をした。

鉄の金属組織と強度は、高温のオーステナイトから低温に温度が下がる間に存在する「変態温度域（800℃～300℃）」をどのような冷却速度で冷やすかにより大きく変化する。ゆっくり冷やせば、引張強度が 400 から 500N/mm<sup>2</sup> クラスのフェライト（※5）とパーライト（※6）（一部ベイナイト）の混合組織になる。これをもっと速く冷却すると、600 から 800N/mm<sup>2</sup> クラスの強度を持つベイナイト（※7）組織に変わる。さらに速く冷却すると 800N/mm<sup>2</sup> 以上の強度を持つマルテンサイト（※8）組織が得られる（図5）。これらの組織の大きな違いは鉄の中の炭素の存在状態にある。ゆっくり冷やせば、その間に炭素原子が動いて（拡散）鉄との化合物をつくることのできるため、純鉄に近いフェライト

と炭素を多く含むパーライトに分離する。早く冷やすと、鉄と炭素が十分に動く時間がなく、鉄の中に炭素原子がそのまま残ったマルテンサイトになる。ベイナイトはこれらの中間の組織である。このように、冷却速度の変化によってさまざまな形に結晶組織が変化するため、変態が起る温度域での冷却速度の制御が重要になる。しかし、従来の熱処理法では、高温に加熱した後に、炉から出して冷えるまで放っておくか、水でおもいきり冷やすかのどちらかの選択肢しかなかった。さらに結晶粒を微細化する手段も、加熱温度の制御が中心の限られたものであった。

従来の製造法に比べて、金属組織の制御範囲を大きく広げ、結晶粒の飛躍的な微細化も可能とした技術が **TMCP** だ【TMCP (Thermo-Mechanical Control Process)：加工熱処理法または熱加工制御法 (JIS)。新日鉄のプロセスの名称は **CLC**:Continuous on-Line Control Process】。そのキーテクノロジーは、圧延による新しい結晶の種（核）の植え付けと、圧延後の冷却による結晶粒の微細化にある。「圧延工程での加工の効果」と「冷却工程での変態温度域の冷却速度制御の効果」を組み合わせることにより、従来の熱処理法にはない新たな組織制御技術を実現したものである。この TMCP については次号で詳しく紹介する。

監修 新日本製鉄(株) 技術開発本部 鉄鋼研究所  
鋼材第二研究部長 主幹研究員

吉江 淳彦 (よしえ・あつひこ)

プロフィール  
1955年生まれ、東京都出身。  
1980年入社。

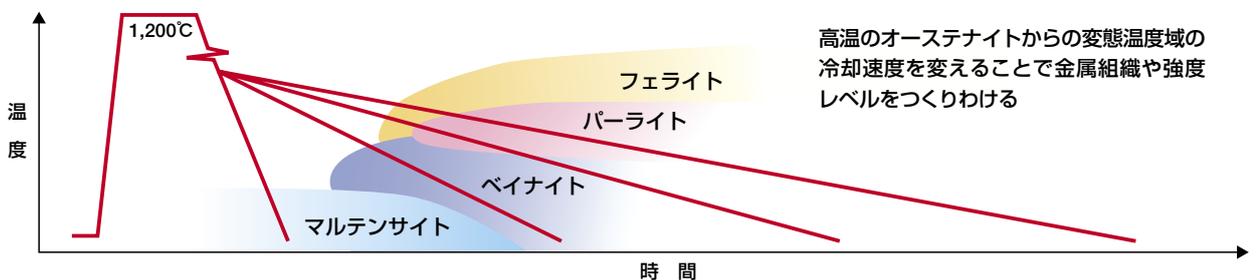
厚板、線材、形鋼、薄板の研究開発および  
技術開発企画業務に従事。

2005年より現職。



## 変態温度域の冷却速度と金属組織、強度レベルの関係

図5



冷却速度	金属組織	強度レベル
100℃/秒 (速い)	マルテンサイト	800N/mm <sup>2</sup> 以上
10℃/秒	ベイナイト	600N/mm <sup>2</sup> クラス
1℃/秒	細粒フェライト+ベイナイト	500N/mm <sup>2</sup> クラス
0.1℃/秒 (遅い)	フェライト+パーライト	400N/mm <sup>2</sup> クラス

(※5) フェライト：炭素をほとんど含まない軟らかく変形しやすい組織

(※6) パーライト：鉄と炭素の化合物（セメントライト）とフェライトが交互に層状になっている組織

(※7) ベイナイト：微細なフェライト中にさらに微細なセメントライトが分散している組織

(※8) マルテンサイト：炭素を非常に多く含み硬く脆い組織。フェライトの中に炭素が原子の状態で分散している

## 中国でのCDQ(コークス乾式消火設備)CDMプロジェクトの国連承認について

新日本製鉄が、中国河北省で進めているCDQ(コークス乾式消火設備;製鉄プロセスの代表的な省エネルギー技術)に基づくCDM(\*)プロジェクトが、昨年10月の日中両国政府の承認を経て、4月6日に国連のCDM理事会で正式承認された。

本件は、中国首都鋼鉄の関連会社である遷安中化煤化工

有限責任公司(遷安コークス)にCDQを設置し、現在大気中に放散されているコークス製造工程の廃熱を利用して年間平均約25MWの発電を行うもので、2007年より年間約21万トンのCO<sub>2</sub>排出削減効果が込まれる。

本件は、新日本製鉄グループが地球温暖化対策の一環として

進めてきたもので、CDQを用いたCDMプロジェクトとしては世界初、新日本製鉄としては、昨年3月の、中国でのフロン処理CDMプロジェクトに次ぐ、2件目の国連正式承認案件となる。

(\*) CDM (Clean Development Mechanism; クリーン開発メカニズム)  
発展途上国内で行われる温室効果ガス削減プロジェクトに対して、先進国が技術や資金の援助を行い、その結果生じた削減量に対してクレジット(証書)が発行され、先進国の削減としてカウントできる制度。

お問い合わせ先 環境部 TEL 03-3275-5145

## 北海鋼機(株)と中山三星建材(株) 苫小牧工場の棒線事業統合に向けた基本合意成立

北海鋼機(株)、新日本製鉄、中山三星建材(株)および(株)中山製鋼所は、北海鋼機の棒線事業と中山三星建材苫小牧工場の棒線事業統合に向けた基本合意に至った。

普通線材製品市場は、昨今の土木・建築需要の大幅な減少を

背景に縮小が続いており、両社は、この需要変化へ万全な対応を行うとともに、今後のさらなる発展のためには、事業基盤の一層の強化が不可欠であると判断し、北海鋼機の棒線事業と中山三星建材苫小牧工場の棒線事業の事業統合に向けて、具体的

な検討および準備に着手することとした。

<事業統合の方式(予定)>

本年6月1日に、北海鋼機の棒線事業を新設分割により新たに設立する新会社に承継させた後、同年8月1日を目処に、この新会社に中山三星建材苫小牧

工場の棒線事業を吸収分割により承継させる方式によって統合を行う予定。なお、統合比率は、第三者機関の評価を踏まえて、今後4社で協議していく。

お問い合わせ先  
総務部広報センター  
TEL 03-3275-5021

## 新日本製鉄による北海鋼機(株)の完全子会社化について

新日本製鉄と同社子会社である北海鋼機(株)は、建材薄板分野(めっき・カラー鋼板)における新日鉄グループ競争力強化の一環として、新日本製鉄による北海鋼機の完全子会社化につき基本合意に至った。

北海道地区における建材薄板分野の厳しい需給環境を踏ま

え、北海鋼機を新日本製鉄の完全子会社とすることで、新日鉄グループとしての迅速な経営判断の実行、両社の連携の深化による販売体制の整備や品質向上を図り、新日鉄グループにおける北海道地区の生産・販売拠点として、北海鋼機の抜本的な競争力強化を目指す。

<完全子会社化の方法>

本年6月1日を目処に、北海鋼機の棒線事業を新設分割により分社した後、同年7月1日を目処に、株式交換により新日本製鉄による北海鋼機の完全子会社化を実施。なお、新日本製鉄は株式交換に際し、同社株式を北海鋼機の株主に割当交付する

予定。株式交換比率については、第三者機関による適正な企業価値評価を参考に、両社協議のうえ、別途締結する株式交換契約において決定する予定。

お問い合わせ先  
総務部広報センター  
TEL 03-3275-5021,5022

## 日鉄東海鋼線(株) 岐阜新工場 第一期工事竣工

中京製線(株)と(株)チタックが経営統合し、昨年6月に発足した日鉄東海鋼線(株)は、岐阜県関市の関テクノハイランドに新工場建設を進めてきたが、このほど第一期工事が竣工し、営業生産

を開始した。引き続き第二期工事(愛知工場伸線機移設)に入る。

新工場への最新鋭設備と一貫生産管理システムの導入により、製鉄所との連携による素材から製品までの一貫品質管理

体制がさらに強化され、きめ細かなサービスでお客様の高度なニーズに応えていくと同時に、高品質で競争力ある冷間圧造用鋼線、鉄線などの安定供給を目指していく。



<岐阜新工場の概要>

1. 所在地: 岐阜県関市(関テクノハイランド内)
2. 生産能力: 17,000トン/月(第二期工事完了後)
3. 生産品目: 冷間圧造用鋼線(炭素鋼・合金鋼)、硬鋼線、高炭素クロム軸受鋼線、普通鉄線、各種鉄線

<日鉄東海鋼線の概要>

1. 本社所在地: 愛知県北名古屋市沖村権現 34
2. 出資会社: 新日本製鉄(株) 51%、伊藤忠丸紅鉄鋼(株) 34.4%、宮崎精鋼(株) 7.6%、三井物産(株) 3%、(株)青山製作所 2%、豊田通商(株) 2%
3. 生産拠点: 愛知工場、岐阜工場、静岡工場

お問い合わせ先  
総務部広報センター  
TEL 03-3275-5021

## 君津製鉄所 2006年度粗鋼生産量 1,000万トン超を達成

君津製鉄所は2005年度に続き、2006年度も粗鋼生産量1,000万トン超を達成した。2006年度は、製鋼第6連続鋳造設備、第5溶融亜鉛めっき設備などの各

種新規生産設備を立ち上げるなど、お客様の高度な需要に対応するための生産構造改革を進めてきた。また、トラブルなどによるロスを削減し、より効率的

な生産を達成するための操業改善を進め、製鋼、溶融亜鉛めっき鋼板、塗装鋼板、線材などの生産量、総出荷量などで年度記録を更新した。

お問い合わせ先  
君津製鉄所  
総務部総務グループ  
TEL 0439-50-2013

## 三村社長が(財)新日鉄文化財団理事長に就任

本年4月、(財)新日鉄文化財団の理事長に新日本製鉄三村明夫社長が就任した。

新日鉄文化財団は、50年以上

続く新日本製鉄の音楽メセナ活動を継承し、紀尾井ホールを拠点に芸術活動を支援している。新日本製鉄にとって、紀尾井の

活動は事業活動と並行して、豊かな社会を作り上げていくための重要な社会貢献活動の柱であり、今後も世界一流レベルの活

動にしていきたいと考えている。

お問い合わせ先  
新日鉄文化財団 TEL 03-5276-4500  
URL <http://www.kioi-hall.or.jp>

## (株)日鉄電磁テクノ 関東工場 コア加工開始

新日本製鉄の連結子会社で電磁鋼板の総合加工センターである(株)日鉄電磁テクノは、2月、関東工場内にモータコア加工工場を竣工し、4月から営業運転を開始した。

関東工場は、昨年2月に千葉

県浦安市から船橋市の「船橋ハイテクパーク」に移転しており、移転先工場敷地内にコア加工設備を設置し、一貫製造体制を整え、市場拡大が期待されるハイブリッド自動車・電機分野向けコア加工需要の要請に対応して

いく。

関東工場の竣工により、新日本製鉄としては国内全域(八幡、広畑、名古屋、船橋)で電磁鋼板のスリットからコアまでの一貫加工体制を確立したことにな



お問い合わせ先  
電磁鋼板営業部電磁鋼板国内グループ  
TEL 03-3275-7235

## 新日鉄ホームページ 薄板商品紹介ページを更新

新日本製鉄は、ホームページの薄板商品紹介ページを更新した。

商品ラインナップをわかりやすく紹介するとともに、薄板商品の環境対応情報を提供するなど、よりお客様が使いやすいホームページを目指してコンテンツを充実させている。

URL <http://www.hq.nsc.co.jp/usuita/products.html>



お問い合わせ先  
薄板営業部 TEL 03-3275-7432

## 『新日鉄技報』最新号発行のお知らせ

このたび『新日鉄技報』最新号(第386号)が発行された。テーマは「棒線特集」。新日本製鉄のホームページトップページ「創造と挑戦」(技術開発)より「新日鉄技報 最新号」をクリックするとダウンロードできる。



お問い合わせ先  
技術開発企画部  
E-mail: [gijhou@re.nsc.co.jp](mailto:gijhou@re.nsc.co.jp)

## 新日鉄化学(株) ホームページを刷新

新日鉄化学(株)は、4月1日の組織改正にあわせてホームページを刷新した。

お客様の「欲しい情報の探しやすさ・見やすさ」に重点を置き、企業情報・製品情報・事業紹介の内容は、トップページから“ワンクリック”で閲覧できる構成となっている。

URL <http://www.nsc.co.jp>



お問い合わせ先  
新日鉄化学(株) 人事・総務部  
TEL 03-5207-7600

## (株)新日鉄都市開発 ホームページを刷新

(株)新日鉄都市開発は、ホームページを刷新した。

従来1つだったサイトを、来訪者の目的にあわせて、BtoB、リクルーティングをターゲットとした企業情報サイト【nscp-net.com】と、分譲物件購入予定者を対象とした物件情報サイト【e-livio.com】に分割した。

URL 企業情報サイト  
<http://www.nscp-net.com>  
分譲物件情報サイト  
<http://www.e-livio.com>



お問い合わせ先  
(株)新日鉄都市開発 総務部  
TEL 03-3276-8800

## 紀尾井ホール (財)新日鉄文化財団

## 5月主催・共催公演から <http://www.kioi-hall.or.jp>

- 16日 常磐津英寿をきく会【邦楽】  
出演：常磐津英寿(三味線)、常磐津一巴大夫(浄瑠璃)、花柳寿南海(舞踊)、竹内道敬(対談)ほか  
曲目：「祝言式三番叟」、「手紙」、「吾輩は猫である」
- 18、19日 紀尾井シンフォニエッタ東京 第59回定期演奏会  
出演：ヨーン・ストルゴード(指揮)、アナ・チュマチェンコ(Vn)、紀尾井シンフォニエッタ東京(Orch)  
曲目：シューマン「序曲、スケルツォと終曲」、メンデルスゾーン「ヴァイオリン協奏曲ホ短調 op.64」、シベリウス「交響曲第3番ハ長調 op.52」
- 20、21日 NTTファイナンス presents ヴィオラスペース 2007 vol.16  
若手演奏家のための公開マスタークラス  
講師：今井信子、岡田伸夫、川崎雅夫、川本嘉子、菅沼準二、店村眞積、ガース・ノックス、ガボール・タカーチ=ナジ(特別講師)

- 23、24日 NTTファイナンス presents ヴィオラスペース 2007 vol.16  
出演：今井信子、川崎雅夫、川本嘉子、店村眞積(Va)、櫻本大進(Vn)、ガボール・タカーチ=ナジ(Cond.)ほか  
曲目：(23日)ルクレール「2つのヴィオラのためのソナタ第5番ハ短調」、バルトーク「弦楽四重奏曲第6番」ほか  
(24日)JSバッハ「無伴奏チェロ組曲第2番ニ短調 BWV1008」、林光：ヴィオラ協奏曲〈悲歌〉ほか
- 30日 住大夫三夜 ～第二夜～【邦楽】  
出演：竹本住大夫(浄瑠璃)、野澤錦糸(三味線)、山川静夫(対談)  
曲目：双蝶々曲輪日記「引窓の段」

お問い合わせ・チケットのお申し込み先：  
紀尾井ホールチケットセンター TEL 03-3237-0061 (受付10時～18時 日・祝休)

鉄鉱石から、最先端の高強度鋼板。自動車の進化を支えます。

軽さと強さの常識をくつがえす、自動車用鋼板「ハイテン\*」。省燃費や衝突安全性に大きく貢献するこの新日鉄の鋼板は、見えないところで変わり続けています。より強く、加工しやすく、錆びにくく。そこではナノ領域に踏み込んだ開発が続けられています。また一方では、材料を知りつくした新日鉄ならではの成形・衝突シミュレーション技術などを通じて、自動車の設計や生産技術に貢献しています。もっと、人々の安全と環境のために。鉄鉱石という自然の産物が、最高の製鉄技術とデジタルエンジニアリングを得て、自動車の未来に役立っていく。新日鉄の鉄づくりの醍醐味は、ここにもあります。

\*ハイテン:High tensile Strength Steel

お問い合わせは自動車鋼板営業部 Tel.03-3275-7241

鉄は、  
クルマの未来の  
原石です。



先進のその先へ、新日鉄

www.nsc.co.jp

文藝春秋 5月号掲載

## CONTENTS

MAY 2007 Vol.168

### ① 特集

## 「製・販・技・研」 一体の取り組みで 社会を支える

— 新日鉄厚板事業部  
「47キロ高強度厚鋼板」の  
開発と実船適用のドキュメント

### ⑨ 社会とともに 地域とともに VOL.12

## 春休み ものづくり体験 鉄の彫刻をつくろう

— 科学技術館で子どもたちが  
鉄の溶断・溶接に挑戦

### ⑬ モノづくりの原点—科学の世界—VOL.32

## 強靱な鉄で社会を支える 厚板 (1)

### ⑰ GROUP CLIP

#### 伊藤 誠：場と空間シリーズ

彫刻は居場所を見つけることができるだろうか。  
さまざまな場所の中で。何も無い空間から。

表紙のこぼ

「にんじゃ」

にんじゃは空間のくせ者だ。

〈ステンレスメッシュ・鉛／180×160×60cm／撮影◎内田芳孝〉

伊藤 誠 いとう・まこと

1955年愛知県生まれ。1983年武蔵野美術大学大学院造形研究科修了。1993年A.C.C (アジア・カルチュラル・カウンシル)の助成金によりトライアングル・アーティスト・ワークショップ(ニューヨーク)に参加。1996～97年文化庁派遣芸術家在外研修(アイルランド)。1998年、1999年大阪都市環境アメニティ表彰。1999年武蔵野美術大学造形学部彫刻学科教授就任、現在に至る。2005年タカシマヤ美術賞受賞。

N I P P O N  
S T E E L  
M O N T H L Y

#### 新日本製鐵株式会社

〒100-8071 東京都千代田区大手町 2-6-3 TEL03-3242-4111

編集発行人 総務部広報センター所長 白須 達朗

企画・編集・デザイン・印刷 株式会社 日活アド・エイジェンシー

●皆様からのご意見、ご感想をお待ちしております。FAX:03-3275-5611

●本誌掲載の写真および図版・記事の無断転載を禁じます。

GPN Green Purchasing Network  
印刷サービス  
新日鉄は印刷サービスのグリーン購入に取り組みしています

MAY  
2007年4月26日発行