

心えらむ

*Bulletin of
The Iron
and Steel
Institute of
Japan*

Vol.18 / No.5 / 2013

(一社)日本鉄鋼協会会報

ISSN1341-688X

鉄と鋼

Tetsu-to-Hagané

Vol.99 / No.5 / 2013

ISSN0021-1575

Minco ミンコ・熱電対とサンプラー

品質向上のパイオニア

■ ミンコサンプラー (製鋼 製鉄 試料採取用)

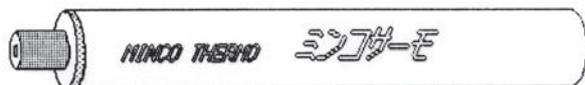


ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。
炉外精錬装置 脱ガス装置 電気炉 レードル タンディッシュ CCモールド
高炉出銑樋 トピードカー 溶銑予備処理などあらゆる場所から採取できます

■ ミンコサーモ 消耗型熱電対

for IRONS, STEELS, FERROUS ALLOY

MMJ型 消耗型熱電対



TYPE R(13%) IPTS 1968
白金・白金ロジウム

■ 標準試料

世界各国各社の製品を取り扱っております。
化学分析用、発光分光分析用、蛍光 X 線分析用、英国 BAS、米国 NBS、
BRAMMER、ALPHA、MINCO、カナダ ALCAN、ドイツ BAM、
フランス IRSID、スウェーデン SKF、他 ご用命下さい。

日本ミンコ株式会社

ISO9001:2000 認証取得

※お問い合わせは

本社 〒341-0032

埼玉県三郷市谷中398番地1

TEL.048(952)8701 FAX.048(952)8705

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

東京事務所 〒166-0012

東京都杉並区和田3-36-7

TEL.03(5306)6265 FAX.03(5306)6268

MINCO U.S.A (WISCONSIN)

MINCO GERMANY (DÜSSELDORF)

MINCO AUSTRALIA (WOLLONGONG)

ふえらむ

Vol.18 (2013) No.5

C O N T E N T S

目次

Techno Scope	実用化が進む自動車用超ハイテン材	220
連携記事	実用化が進む自動車用超ハイテン材 高橋 学	224
2012年鉄鋼生産技術の歩み	日本鉄鋼協会 生産技術部門	231
入門講座	物理分析入門 ー初めて使う人のためにー2 走査電子顕微鏡 / 電子線マイクロアナライザの原理と得られる情報 野呂寿人	249
躍 動	中性子・X線小角散乱法の普及を目指して 大場洋次郎	257
アラカルト	レゴブロックと鋼について 三井淳平	261
会員へのお知らせ		263
海外鉄鋼関連最新論文		284

実用化が進む 自動車用超ハイテン材



軽量化と衝突安全性の向上の多様なニーズに対応するため、自動車用鋼板は進化を続けてきた。いわゆる「ハイテン（高張力鋼）材」がこれまでも自動車ボディに使用されてきたが、近年、従来よりもさらに高強度かつ成形性に優れたハイテン材が開発されている。これにより、従来はハイテン材の適用が難しかった複雑な形状の部品にもハイテン材が使用されはじめている。

2013年から北米で発売される「Infiniti Q50」には、1.2GPa級の高成形性超ハイテン材が使用されている。
(資料提供：日産自動車（株）)

用途に応じて使い分ける自動車用ハイテン材

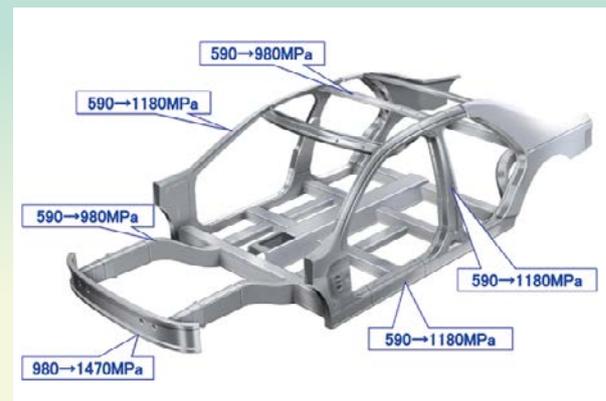
高い安全性が求められる自動車のボディの骨格構造は、衝突安全性を考慮した3つの部分から構成されている。ボディ前方は前面衝突時の衝撃を軸圧壊することで衝撃を吸収する構造とそれに適した高延性・高エネルギー吸収の440～590MPa級のハイテン材が用いられる。側面は曲げ圧壊することで衝撃を吸収するが、曲げて潰れることでエネルギーを吸収する側面下部には590～780MPa級ハイテン材が使用される。また、側面上部は搭乗者を守るために曲げても潰れない部位で、センターピラー、フロントピラー、ルーフレール等には、高変形抵抗と高剛性を持つ780～980MPa級ハイテンが用いられる(図1)。その一方で、自動車ボディには燃費向上などのために、軽量化が求められている。

このような軽量化と衝突安全性の向上を同時に満足させるために、自動車材料ではハイテン材の使用量が増加している。当初はバンパーやドアインパクトビームなど、ハイテン材の使用箇所は限られていたが、近年はセンターピラーなどの複雑な形状を持つ部材などへと、ハイテン材の適用箇所は増加する傾向にある。また、それぞれの部位で使用されるハイテン材の高

強度化が進んでいる。

自動車部品としてハイテン材を使用する際の加工方法には、高強度の材料を成形して使用する冷間プレス成形と、加熱した材料を成形するホットスタンプ（熱間プレス）成形の2つの方法がある。ホットスタンプ成形とは、オーステナイト域の温度に加熱したボロン鋼をプレス成形と同時に焼入れを行う成形技術であり、金型内で工作物を冷却することからダイクエンチ（die quench）とも呼ばれている。

■ 自動車におけるハイテン材の使用箇所と強度の向上(図1)



(資料提供：(株)神戸製鋼所)

ハイテン材開発の流れ



自動車用ハイテン材は、1970年代から開発が開始されている。当初は、MnやSiを添加した固溶強化型のハイテン材であったが、その後、組織中に析出物を分散させる分散強化(析出強化)と冷却制御による組織強化や靱性を高める結晶粒微細化強化などを組み合わせた複合組織型ハイテン材が開発された。硬い結晶組織と柔らかい結晶組織を分散させる複合組織を持つDP(Dual Phase)鋼は

マルテンサイト相で強度を確保し、フェライト相で成形性を持たせることにより強度と成形性の両立を目指したものである。さらに、冷却制御により未変態のオーステナイトを残留させ、軟質のオーステナイトを成形加工中にマルテンサイトへ変態させることにより成形性の向上が実現できるTRIP(Transformation Induced Plasticity)鋼も開発された。

ハイテン材は難加工材料であり、プレス加工では形状凍結性の確保(図2)が課題である。また、ハイテン材は、強度が向上するほど成形性が低下する性質をもっている。そのため、複雑な形状に成形する必要がある自動車の骨格部品への適用は、これまで高成形性を保つことができる引張強度980MPa級の鋼材にとどまっていた。しかし最近になって、成形性の大幅な向上を実現したハイテンが開発されたことから、自動車材料において、従来よりも高強度のハイテン材の実用化が進んでいる。

され、現在実用化されている980MPa級のいわゆる「超ハイテン材」も同様のコンセプトで設計された材料である。

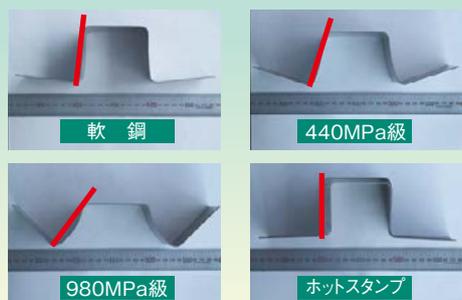
このような複合組織の考え方を基本にして、従来のハイテン材を超える強度と成形性を有する材料の開発は現在も進められており、新しい成分設計と熱処理プロセスを用いることによって、冷間プレスが可能で引張強度1.2GPa級の超ハイテン材が開発されている。この超ハイテン材は、2013年に日産自動車(株)が北米で発売する「Infiniti Q50」のセンターピラーやフロントピラー等に採用されている。この車種では、780MPa以上の超ハイテン材の採用比率は9%であるが、同社では、1.2GPa級を含む超ハイテン材の採用比率を2017年以降に25%まで増大させることを発表している。さらに、車体構造の合理化と合わせることで、車体重量の15%の軽量化が実現可能になると見込まれている。

高成形性超ハイテン材の開発

一般的に引張強度が340MPa以上の冷延鋼板、490MPa以上の熱延鋼板をハイテン材と呼ぶ。1970年代から冷間プレス成形が可能なハイテン材の開発が開始され、硬い結晶組織と柔らかい結晶組織を分散させた複合組織によって、求められる強度と成形性を両立させている(図3)。1990年代に開発

組織制御のアプローチとしては、水焼入れ方式と呼ばれるプロセスも用いられている(図4)。これは、水冷による急速焼入れと、その後の焼戻しの温度と時間を厳密にコントロールする

■ 材料の強度と形状凍結性の例(図2)



軟鋼、440MPa級、980MPa級のハイテン材の冷間プレスと、ホットスタンプによる形状凍結性を比較したデモ試験。実際の自動車部材の製造時には、種々の対策を講じてスプリングバックが低減されている。

(資料提供:新日鐵住金(株))

■ 成形性に応じたマイクロ組織制御の考え方(図3)



高強度と成形性(延性)を両立させるために、軟らかい組織の中に固い組織を分散させる複合組織化という手法が用いられている。局部的に大きな変形が必要なフランジ成形性や曲げ性が要求される、骨格構造材やシャシー系部材では、変形の集中を避ける事ができる均一な組織が適している。

(資料提供:新日鐵住金(株))

ことで、用途に応じた組織を持ったハイテン材を作り出すプロセスである。このプロセスを用いることで、同一の成分でも曲げ成形に適した組織や絞り成形に適した組織などを作り分けることが可能になる。このプロセスでは、低合金でありながらハイテン材を製造することが可能であるために、溶接性向上、コスト低減も同時に実現している。また、1180MPa以上のハイテン材は対策が必要とされる遅れ破壊の抑制効果も要求されている。遅れ破壊は、応力、ひずみ、侵入水素量の3つの条件がそろふことにより発生する水素脆化による破壊であり、超ハイテン材の実用化・使用拡大にあたり、その対策が求められている。

自動車部品の製造過程では、例えばパネルの成形では深絞り成形性や張り出し成形性、骨格構造部材では伸びフランジ成形性や曲げ性、など要求される加工特性が異なる。さらに、張り出し成形に有効な延性や、伸びフランジ成形や曲げ成形に有効な局部延性などの加工特性は、部品の使用箇所だけでなく、成形工程によっても異なってくる。現在、自動車で使用されているハイテン材は、使用箇所だけでなく加工工程までを考慮して、最適化された組織を持つハイテン材が提供されている。

実用化に不可欠な周辺技術の開発

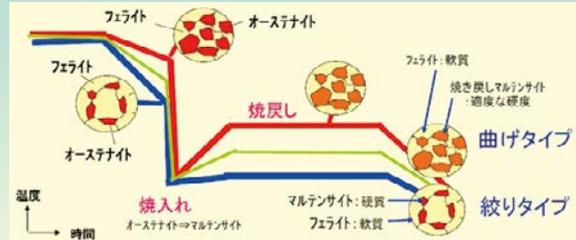
ハイテン材を実用化するためには、成形性の高い材料の開発に加えて、冷間プレスなどの成形技術やスポット溶接をはじめとした接合技術などの周辺技術の進化が必要不可欠である。

一般的に、国内の自動車メーカーでは冷間プレス成形に適したハイテン材、海外の自動車メーカーではホットスタンプ成形に適したハイテン材が多く使用されている。日本で冷間プレス成形が主流を占めている理由としては、優れたプレス技術を有すること、エネルギーコストが高いことが背景にある。ホットスタンプは金型内でワークの冷却に時間が必要なために、生産性が冷間プレスより劣る点も指摘されている。

しかし、ハイテン材の高強度化に伴い、冷間プレス加工そのものが難しくなるために、高成形性の材料開発と同時に、プレス技術の開発も行われている。従来、高強度材料のスプリングバック対策としては、板厚方向に圧力をかける「決め押し」や、しわ押さえ力を加えない「フォーム成形」等が用いられてきた。また、スプリングバック後の形状が製品形状となるように金型を調整する「見込み」という手法もあるが、これは熟練した金型技術者でもなかなか難しいという課題があった。

近年、ハイテン材をプレス加工するための金型の設計には、CAE (Computer Aided Engineering) 解析が活用されている(図5)。従来までの金型の製作には、トライ工程による金型形状の修正が不可欠であったが、CAE解析を利用することで、

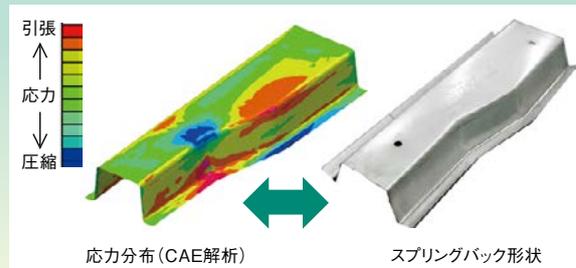
■ 水焼入れ方式によるマイクロ組織の制御(図4)



水焼入れプロセスでは、焼入れ・焼戻しの温度をコントロールすることで、同一成分の原料鋼材から、必要な特性を持ったハイテン材を製造することができる。

(資料提供: (株) 神戸製鋼所)

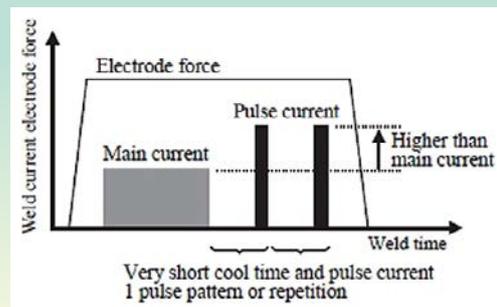
■ CAE解析の例(図5)



CAE解析により、ワーク(工作物)の歪みや残留応力のシミュレーションを行える。金型技術者の持つノウハウと合わせることで、従来よりも短納期の金型製作が可能になった。

(資料提供: 新日鐵住金(株))

■ パルススポット溶接の通電パターン(図6)



本通電の後に冷却、大電流を極短時間だけ通電することで、ナゲットの周辺部を再加熱することができる。

(資料提供: JFEスチール(株))

金型の修正回数をできるかぎり少なくし、金型製作の効率化、短納期化によるコスト削減が進んでいる。

ハイテン材の実用化において、もう1つの重要な周辺技術分野が接合技術、特に溶接技術である。材料側からの溶接性の改善も重要であるが、高強度材を使用する際に問題になる継手強度の確保が大きな課題の1つである。

剛性を確保できる超ハイテン鋼管

自動車用ハイテン材は、プレス部品の他に、鋼管としても使用されている。材料の強度は組成や熱処理工程などにより向上させることが可能であるが、基本的な物性である剛性は材料によってほぼ決定され、剛性を確保するためには、部材の形状を閉断面構造とするなどの工夫が必要になる。プレス部品で閉断面構造を実現するためには、スポット溶接などが必要になるが、溶接用のフランジが不要な鋼管を使用することで軽量化も同時に実現できる。超ハイテン鋼管の製造技術の例を紹介する。

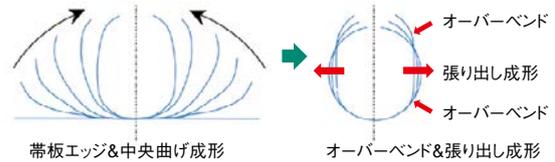
■冷間ロール成形プロセス

鋼管の曲げ成形、ハイドロフォーミングなどの二次加工性能に優れたハイテン鋼管を製造する方法として、張り出し成形曲げ方式と複数の小型ロール(ケージロール)により連続的に成形するケージロール方式を採用した冷間ロール成形プロセスが開発されている。980MPa級の成形性に優れた超ハイテン鋼管が開発されており、フロントピラーリンフォースメントで実用化されている。

■3次元熱間曲げ焼入れプロセス

3次元熱間曲げ焼入れプロセスは、鋼管を局部的に加熱しながら水冷によって焼入れを行い、同時にロボットにより曲げモーメントを与えることで、複雑な形状の閉断面構造部材を一工程で製造するプロセスである。この技術は、超ハイテン鋼管の量産と同時に、設備のコンパクト化と低コスト化への貢献も期待されている。

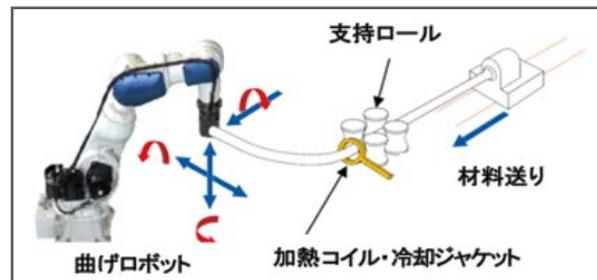
冷間ロール成形における張り出し曲げ成形



ケージロール成形域における帯板の成形状態

(資料提供:JFEスチール(株))

3次元熱間曲げ焼入れプロセスの概略図



3次元熱間曲げ焼入れ装置

(資料提供:新日鐵住金(株))

スポット溶接における熱影響部への対策としては、溶接部を冷却した後には焼戻しを行う、テンパー通電と呼ばれる溶接法がよく知られている。しかし、テンパー通電は、冷却時間とテンパー通電時間が必要なため、生産性に課題があった。これを改善するために、近年、パルススポット溶接と呼ばれる溶接方法が開発され、実用化されている。パルススポット溶接では、本通電、冷却の後に、極短時間だけ大電流を通電することが特徴である(図6)。本通電により生じた熱影響部に再度、大電流を極短時間だけ通電することによって、熱影響部の外周部

を選択的に再加熱し、焼戻すことが可能になり、十分な溶接継手強度を得ることが可能になる。

今後は、電気自動車の普及が期待されているが、動力源にかかわらず、自動車の燃費と衝突安全性上の向上は引き続き追求していくべき課題である。これらの社会的な要請に応えることのできる超ハイテン材にかかる期待は大きい。

- 取材協力 日産自動車(株)、新日鐵住金(株)、JFEスチール(株)、(株)神戸製鋼所
- 文 石田 亮一

連携記事

実用化が進む自動車用超ハイテン材

Progress in Ultra-high Strength Steels for Automotive Body Structure Applications

高橋 学

Manabu Takahashi

新日鐵住金 (株) 技術開発本部
フェロー

1 緒言

燃費向上への強い要求と規制強化への対応は、近年の自動車分野における最も重要な活動の一つと言える。1970年代に米国で設定された企業平均燃費規制である CAFE (Corporate Average Fuel Economy) を代表として、当初は石油ショックを契機とした省エネルギーの観点から、また、後には地球温暖化問題と連動しながらの CO₂ 排出削減を目的の一つとして燃費改善の為の技術開発が進められてきた。1994年に評価試験が義務付けされた車体の衝突安全性に関する規制強化がこの動きを一層加速したと言える。

燃費向上を目指した動きは、エンジンをはじめとした各種駆動系部品でのエネルギー損失低減とともに、新たな動力源の導入ハイブリッド自動車や電気自動車等の市場導入も加速している。しかしながら、動力源が変化した場合でも省エネルギーは重要な意味を持ち、現在進められている各種燃費向上の為の技術開発の多くは有効な手段として存続すると考えられる。車体の軽量化は直接的に自動車走行時の消費エネルギー削減につながることから重要な燃費向上対策の一つととらえられており、アルミ合金、マグネシウム合金、樹脂等の低比重材料の採用とともに、鋼材の強度や特性を向上させることによる薄肉化が進められている。

このような背景のもと、自動車車体に適用される高強度鋼板 (ハイテン) の割合は新しい車種の導入毎に年々向上している。更に特筆すべきは、使用される鋼板強度レベルも上昇している点である。従来 440MPa 級の鋼板が多用されていた部位にも、衝突特性の向上を目的に 590MPa が、更に最近では 980MPa やそれ以上の強度のハイテンが適用される様になっている。2002年に自動車用材料共同調査研究会で調査された結果も非常に興味深い¹⁾。自動車会社へのアンケートの集約として報告された結果には、外板、骨格部品、足回り部品等における鋼板強度の推移 (各社回答の平均値) と将来の

予測 (2002年時点の予測値としての2012年での強度レベル) が示されている。この中で、センターピラーやサイドレール等の側突対応部品を見てみると、2012年時点での期待される強度レベルの5社平均値が約1000MPaであり、センターピラーに関しては、最大値は1200MPaとなっている (図1)。現時点でのハイテン化状況を見てみると、このような側突部品に 980MPa 級ハイテンが実際に適用されており、一部 1180MPa 級の適用がプレスリリース²⁾ されている点から、10年前の期待通りにハイテン化が進展したことは特筆に値する。

このような着実なハイテン化の背景には、鋼板そのものの加工性向上に加えて、ハイテン化で不可避免的に劣化するプレス成形性を補うため、CAE (Computer Aided Engineering) による成形予測技術の進歩や新たなプレス加工法の開発を挙げることができる。また、溶接技術の進歩も忘れてはならない重要なポイントである。

2 ハイテン化の意義

自動車各部品は、その部位によって担うべき役割が異なる

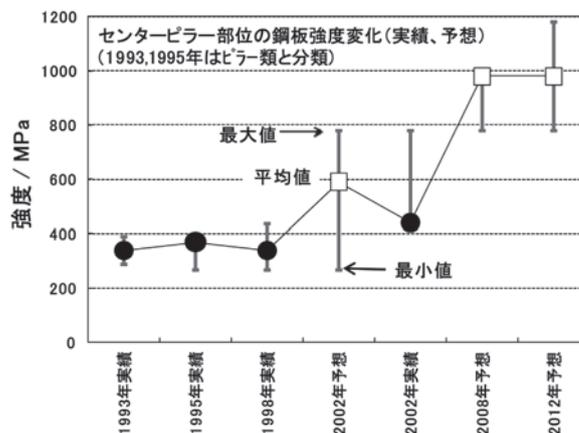


図1 ハイテン化動向についてのアンケート結果例 (2000CCクラス)

る。各部位の強度特性と、板厚以外の材料面からの支配因子を表1に示した。この中で特に衝突安全性等で問題となる部品の圧潰強度は材料の強度の影響を強く受けることから、鋼板のハイテン化が最も効果的に利用できる分野である。

衝突時の部品の変形速度は、ひずみ速度で1000/秒 (JIS規格による材料評価試験の約百万倍) にも達すると言われている³⁾。鋼材は変形速度の上昇とともに大きく強度が上昇することから、強度の変形速度 (ひずみ速度) 依存性を評価することが重要である。この高速での変形特性評価方法はそれまでに報告されてきた種々の試験方法を包含する形で2010年 (ISO 26203-1)、2011年 (ISO 26203-2) に規格化が成立した⁴⁾。

落錘試験装置を用いて行ったハット型断面を持つサンプルの軸圧潰及び曲げ圧潰試験の結果から、衝撃吸収エネルギーは鋼板強度の向上とともに上昇する事が分かる (図2)。この効果を利用することで鋼板の薄手化、即ち軽量化が可能となる。ハイテン適用の効果については実際の部品や簡易形状サンプルの落錘試験に加えて、CAEによる材料置換効果や最適形状検討が進められている。超ハイテンの領域ではないが、単純なハット部材の軸圧潰に対するハイテン適用による軽量化検討の例を (図3) に示した。形状や構造、更には剛性等から、常にこの様な効果が期待されるわけではないが、ハイテン適用の最大の魅力である。衝突時のエネルギー吸収特性にはプレス加工によって導入されたひずみや、その時の板厚減少、塗装後の焼付け硬化等も影響することから^{5,6)}、CAE検討時にはこれらの効果も取り込んだ精度の高い材料構成式が必要となる。また、最近では実際の車体の衝突時に発生する母材やスポット溶接部の破断による自動車車体の変形挙動やエネルギー吸収挙動の変化についても検討が可能となっている。母材の破断は後述する応力FLDを適用することでプレス加工の影響も考慮した破断挙動の予測が検討されている⁷⁾。また、スポット溶接部の破断挙動は、鋼板材質に加えて、板厚、溶接条件、形状、荷重の入力条件等多くの因子の影響を、ナゲット周りの変形拘束を考慮した応力集中係数を用いて表現する方法が報告されている⁸⁾。この衝突特性解析は後述のプレス成形解析とともにCAE技術適用の成功例の一つと言える。

表1 自動車を構成する車体部品に必要な強度特性と材料要因

部品	必要特性				
	張り剛性	耐引張性	部材剛性	耐久強度	動的圧潰強度
外板	ドアウレール等	重要	重要		
内板	アウレール等	重要		要	要
構造部材	フロントレール		重要	要	要
	リアレール等		重要	要	重要
	フロントサイドメンバー、サイドシル等		重要	要	重要
床下部材	トリアクタール等		要	要	重要
板厚以外で特性を支配する材料因子	ヤング率	降伏強度	ヤング率	強度	強度

3 衝突安全性向上に貢献するハイテン

衝突時の乗員保護のためには、乗員の存在空間を守る事 (特に側突) と、衝突時に乗員に伝わる衝撃エネルギーを減少させる事 (前突や後突) が必要である。この為に、キャビンまわりは極力強くして変形を少なくし、前・後部は構造部材が塑性変形することによって限られた変形領域内で効率的に衝撃エネルギーを吸収する様に設計される。この特性を評価する為に自動車アセスメント (JNCAP) が導入され (図4)⁹⁾、その結果は公開されている。以下ではこの様な衝突対応部位に適用される代表的なハイテンとその特徴について概説する。

3.1 冷間プレス用各種ハイテンとその特徴

鋼板はほぼ全ての場合にプレス成型によって部品形状に加工されることから、ハイテン化で第一に問題となるのはプレス成形性の劣化である。超ハイテンでは深絞り成形ができない為に、張り出し成形性の指標である延性と伸びフランジ成形等

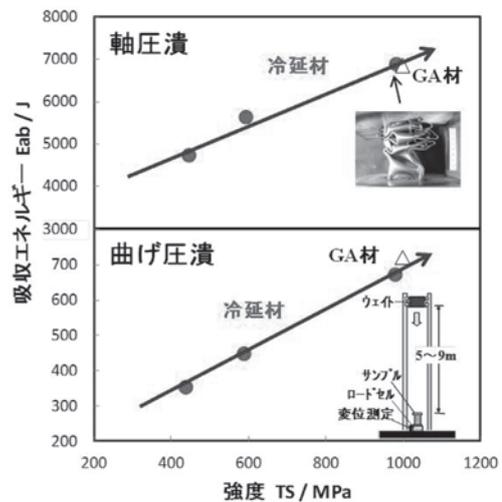


図2 圧潰吸収エネルギーの鋼板強度依存性

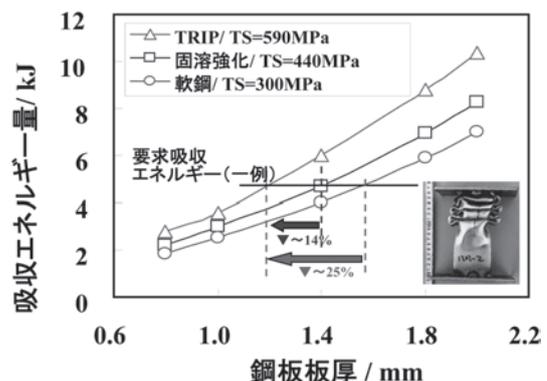


図3 軸圧潰部品へのハイテン適用による軽量化検討例

の切断端部の成形性の指標となる穴広げ性、更には所望のコーナー R を達成する為の曲げ性が重要な成形性の指標となる。

プレス成形性に優れたハイテンとして最も広範囲に利用されているのが DP (Dual Phase) タイプの鋼板である。DP 鋼は従来 2 相域からの急冷によって得られるフェライトとマルテンサイトの 2 相組織がその起源ではあるが¹⁰⁾、現在ではベイナイトを含む場合等でも DP 型と呼ばれる事が多く、いわゆる複合組織鋼を指す場合もある。DP 鋼は軟質のフェライトが鋼板全体の延性を確保し、硬質マルテンサイトによってその強度が担保される。初期の DP 鋼研究でも、未変態オーステナイト (残留 γ) の存在が知られており、一部ではこの残留 γ による延性向上が議論されている¹¹⁾。この残留 γ の働きをより顕著にしたものが低合金 TRIP (Transformation Induced Plasticity) 鋼である。Si 等を添加し、400°C 近傍でのベイナイト変態を利用することによって未変態オーステナイトを安定化し、加工誘起マルテンサイト変態を利用して大きな均一伸びを達成している。この様な鋼は高延性ではあるが、一般的には穴広げ性や曲げ性には劣るとされている。これに対して、より均一なマイクロ組織 (例えばベイナイト単相やベイナイト+マルテンサイト等) にする事で穴広げ性は改善できるが、延性は劣化する。この様に、延性と穴広げ性は一般的に相反する特性と理解されており、部品形状に合わせて延性もしくは穴広げ性に優れた鋼板が選択される。

超ハイテンのプレス成形性向上においても、上記 DP 鋼や低合金 TRIP 鋼の考え方が適用されており、例えば 980MPa 級の冷延鋼板では図 5 で○印で示す様な 3 種類の特徴的なハイテンが開発されている^{12,13)}。高延性型はフェライトとマルテンサイトの混合組織で比較的複雑形状の部品成形への張出し成形や絞り成形が可能となる。しかしながら穴広げ性等の局所変形能は低いため、この様な特性が必要な場合には均一組織に制御された高穴広げ型が有利である。これらの中間に位置するのがバランス型であり、軟質組織の硬度を高め、硬質組織との硬度差を小さくすることで、延性を確保しながら

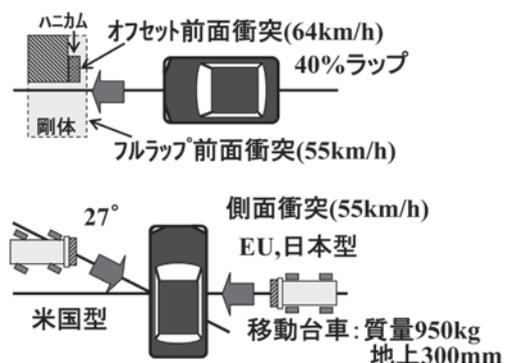


図4 自動車衝突特性評価方法

穴広げ性や曲げ性を向上させている。

これに対し、穴広げ性や曲げ性を極力維持しながら延性を向上させる為に、ベイナイトを主相とした低合金 TRIP 鋼 (冷延) が提案されている (図 5 の□印¹⁴⁾)。主相が比較的延性に乏しいベイナイトである為に、高延性型ほどの延性は確保できていないものの、延性と穴広げ性・曲げ性の両立が必要な部品への適用が期待される。一方、低合金 TRIP 鋼の特徴を十分に発揮する為にフェライト+ベイナイトを主相とした 980MPa 級の低合金 TRIP 型冷延ハイテンも報告されており、穴広げ性は低いものの、20% という大きな延性を持つハイテンとなっている (図 5 の□印¹⁵⁾)。2002 年にベルギー開催された低合金 TRIP 鋼に関する国際会議でも種々報告されている様に、980MPa 級でも鋼中炭素量を増加した系でより高延性の鋼板の研究結果も報告されている¹⁶⁾。しかしながら、スポット溶接性を確保する為には炭素量を 0.2 重量% 程度以下の比較的低位に限定する必要があり、実用的には 20 ~ 25% 程度の伸びが現実的に達成可能なレベルと考えられる。今後の開発の方向性は例えば図 5 中のハッチング領域の方向であり、この為には延性や穴広げ性の支配因子の更なる解明と最適化が必要と思われる。

ベルトラインより下部の構造部品では防錆性確保の為に合金化溶融亜鉛めっき (GA) 化が要求される。DP 型の超ハイテンでは GA 化は達成されており、高延性型の冷延 980MPa 級ハイテンと同等の成形性を持つ合金化溶融亜鉛めっき (GA) DP 型ハイテン¹⁷⁻¹⁹⁾ が報告されている。一方、より良好な延性を示す低合金 TRIP 型の超ハイテンの場合、延性発現の主因である安定な残留 γ を十分な量確保する為に Si が添加される場合には、Zn の濡れ性や合金化が困難となり、GA 化は容易ではない。これに対し、合金元素を調整することで 590 及び 780MPa 級の低合金 GA-TRIP が開発され、リアフレームに適用することで約 10% の軽量化を達成した結果が報告されている²⁰⁾。TRIP 現象も利用していると考えられる高延性で高穴広げ性を示す GA980MPa 級ハイテン、低合金

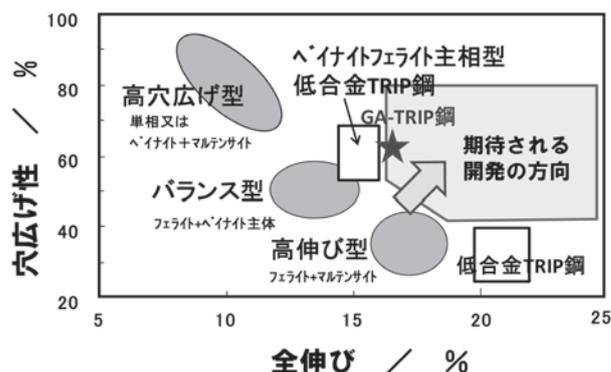


図5 延性と穴広げ性バランスが異なる各種980MPa級ハイテン

TRIP型と同等の延性を示す高延性GA980ハイテン等も報告されており(図5の★印)¹⁹⁾、防錆性も具備した上で上述の様な更なる良加工性へ開発が進められていることが伺える。

また、この様な超ハイテンでは曲げ性も重要な成形因子であり、角部の曲げRを小さくすることで衝突エネルギー吸収量が増加することが報告されており¹⁷⁾、制約された空間で断面積を稼ぐためにも重要となる。曲げ性は曲げ外面の大変形での割れであり、機械的性質以外にマイクロ組織や結晶方位の異方性や変動にも影響されると考えられる。980MPa級では90°のV字曲げ試験で割れ発生限界の曲げRが板厚の1倍以下となるような良好な曲げ性を示すハイテンが報告されている^{19,21,22)}。また、ランダムに測定した微小硬度のパラツキの小ささが良好な曲げ性の原因の一つと報告されている²¹⁾。この様な曲げ性に優れた超ハイテンでは炭素含有量が比較的低位に制御される場合が多いため、良好なスポット溶接性が確保されている^{17,19,21,23,24)}。

さらなる高強度化の動きとして、複雑形状部品への1180MPa級ハイテンの適用も始まっている。最適な成分設計と製造プロセスにより、材料の組織を極限まで微細化させる技術を確立し、硬質相・軟質相の最適な組織分率を持った1180MPa級複合組織を開発したと報告され、延性を確保する為のマイクロ組織制御がなされていることが伺える。この1180MPaハイテンは冷間プレス成形により車体のセンターピラーレインフォース、サイドルーフレール、フロントルーフレールなどの車体構造部材に適用される予定である²⁾。車体骨格部品へのハイテン適用はまさにGPaの世界に入っていることが実感できる。

これら低合金鋼と少し異なる開発ルートにあるのがTWIP(Twinning Induced Plasticity)鋼である²⁵⁾。TWIP鋼とは、例えば0.6~0.8wt%C鋼に12~20wt%Mnを添加し、塑性加工中のTwinningによる加工硬化を利用することで、1000MPa以上で50%程度以上の伸びを持つ高延性ハイテンである。実際に車体構造に適用された例は少ないが、バンパー補強材に適用することで軽量化を達成した例が報告されている²⁶⁾。TWIP鋼はMn添加量が多い為に製造コスト高や難製造性等の欠点があるため、最近ではMn添加量を10wt%以下まで低減し、プロセス条件を工夫することで良好な強度-延性バランスを発現する第三世代鋼板についても報告されている²⁷⁾。製造プロセスや化学成分最適化等の工夫による低コスト化の必要が強く要求されるが、成形性としては魅力ある将来の材料と言える。

3.2 熱処理硬化型の高強度部品製造技術

冷間プレスを前提とした自動車部品の高強度化はプレス成形性を劣化させるが、必ずしも材料開発・改善だけで解決

できるわけではない。冷間プレス成形時の課題は、鋼板の成形性に起因する割れやしわの発生、形状凍結性、プレス荷重の上昇、打抜きやトリミング時も含めた金型寿命等があげられる。この中で、形状凍結性やプレス荷重の問題を解決する方法として提案されたのが、熱間でプレス成形するホットスタンプ技術である。図6にホットスタンプの工程を示した。900℃程度まで加熱された鋼板はプレス機の金型内で冷却されて焼き入れられるので、鋼板の化学成分で決まるフルマルテンサイト強度(例えば0.22wt%炭素の場合には約1.5GPa)の部品を得ることができる。高温で加工されることでプレス荷重は非常に小さく、また、金型内でマルテンサイト変態が起こることから、冷間プレスで問題となるような余分な残留応力が存在しないために極めて良好な形状凍結性が達成される(図7)²⁸⁾。金型内では鋼板各部位が必ずしも均一に冷却されるわけではないことから、安定した硬度を確保するためにBが添加されている。当初1.5GPaの材料が実用化され、ホットスタンプ後のデスケリングが不要となるめっき鋼板(AlやZn)も実用化されており、最近では1.8GPaのホットスタンプ成形部品も実用化されている。熱間で加工されることで鋼板強度も低いことから、形状自由度が高い様に感じられるが、金型に触れた位置の強度が急激に上昇することから、鋼板を流し込むような成形には向いていない。従って、冷間プレスとは異なるホットスタンプに適した形状への設計が必要となる。

熱間での加工と焼き入れを組み合わせる技術の応用として鋼管の熱間3次元加工後に焼き入れを行う3DQ(3 Dimensional Hot Bending and Quenching)プロセスも開発されている²⁹⁾。閉断面構造で1.5GPaの強度を持つ部品が製造可能であり、クロスメンバーフレームに適用することで50%の軽量化を達成した結果が報告されている³⁰⁾。

4 ハイテン適用拡大を支える利用技術

自動車部品をハイテン化する為には、ハイテンそのものの

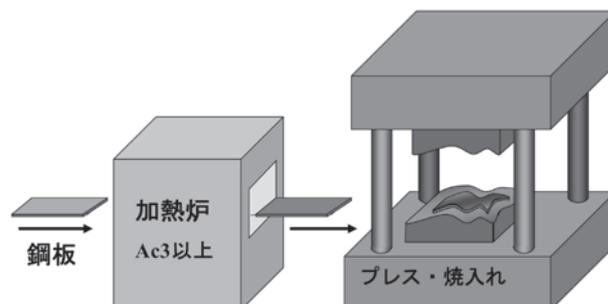


図6 ホットスタンプの工程概念図

プレス成形性向上も必要であるが、同時にプレス加工技術そのものやアッセンブリに使われる溶接技術の発展、更には高強度化に伴って懸念が広がる各種信頼性の評価、保証技術も不可欠である。

4.1 プレス加工技術

プレス加工工程にもCAE技術が導入され、自動車製造工程における最適化の為に繰返し作業の削減や、開発工期短縮、金型修正回数削減などの経済的なメリットをもたらしている。この様な各種CAE検討の際に重要となるのは各種材料毎の材料構成式と個々の課題へのFEM適用技術である。前述した各種ハイテンの適用も、このCAE技術なしには具現化が困難となる。

プレス成形時の割れについては各変形モードでの成形限界を示すFLD(成形限界曲線)とFEMで得られるひずみを比較検証することで判断できる。しかしながら、プレス成形時に変形経路が変化した場合や、複雑形状のプレス成形や衝突解析の場合には比例負荷時のFLDをそのまま適用することはできない。これに対し、変形経路が変化した場合でも同一のFLDで評価することができる応力FLDも提案されている⁷⁾。

割れやしわ発生は経験的な手法でも解決可能ではあるが、形状凍結性はハイテン化とともに加速的に困難性を増す課題である。形状凍結不良は、1) 角度変化、2) 壁反り、3) 三次元的不良(ねじれ、稜線反り)、が挙げられ、解決の為にプレス技術としては、1) クリアランスやダイ肩Rを制御することでクリアランス内での逆曲げを利用する方法、2) プレス成形後期にBHFを高くする可変ビード法等による縦壁への張力付与、3) 決め押しによる板厚方向応力の付加の適用、4) 引

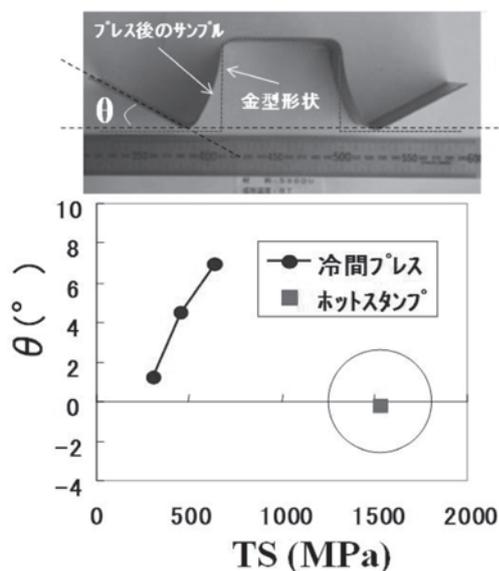


図7 ホットスタンプと冷間プレスのハット形状成形における形状凍結性

張り強度が低下する温間での成形、等に加え、5) 成形方法としてフォーム成形やフォーム成形の下死点前で張力を加えることによって縦壁部に張力を加えるフォームドロー成形等が提案されている³¹⁾。この様なプレス手法を有効に適用する為には、FEM計算によるスプリングバック量の事前予測が不可欠である。この為、材料構成式の中にバウシinger効果や応力除荷時の見かけのヤング率の低下現象を考慮した(図8)、Lemaitre-Chabocheモデルや、吉田-上森モデル、更には材料の微視的構造変化を内部状態変数の発展側として記述したTeodosiuモデル等が導入され、精度の高い形状予測とそれに基づいた対策技術開発が可能になった³²⁾。

最近では更なる成形方法の工夫として、フロントピラーやセンターピラーに特徴的なL字、T字形の部品に適し、材料歩留まり向上や成形荷重の低減などの効果がある新しいプレス成形方法等も報告されており³³⁾、CAE技術との組み合わせによりハイテンの適用拡大に大きく貢献するものと考えられる。

4.2 溶接技術

自動車の車体は約300点以上のプレス部品によって構成されており、一般的には3500～5000点の抵抗スポット溶接で組み立てられている。これ以外にレーザー溶接や接着、機械接合、摩擦拡散接合等が適用されているが、経済的な観点及び管理方法の知見などから、依然として抵抗スポット溶接が接合技術の主役である。従ってこのスポット溶接部の信頼性が車体全体の信頼性も左右すると言える。

鋼板の抵抗スポット溶接継手の強度は、せん断方向の引張り強度TSS(Tensile Shear Strength)と剥離方向の強度CTS(Cross Tension Strength)によって評価される。鋼板がハイテン化された場合のこれら抵抗スポット溶接継ぎ手強度の変化を図9に示した³⁴⁾。TSSは鋼板強度の上昇とともに向上するが、CTSは800MPa程度以上でむしろ低下する。鋼板強度が高くなるに従ってナゲット端部への応力集中が増加することや、ナゲット端部の延性や靱性が低下すること等がその原

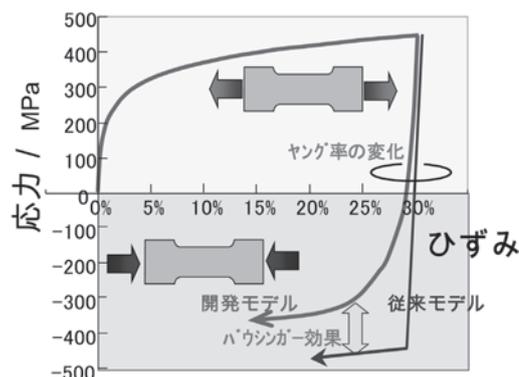


図8 反転負荷時の応力ひずみ曲線

因と言われている。この結果からは、スポット溶接部の剥離強度が構造強度を支配する場合には鋼板をハイテン化しても構造強度は向上しない場合があると理解できる。しかしながら、これらの溶接継手試験では試験片の回転やたわみが発生する場合があります、TSSやCTSが純粋なせん断または剥離強度を表してはいる事にも注意が必要である。この様な試験片の変形の影響を小さくし、実構造物上での複合荷重モードでの疲労強度を評価する為にDC (double cup) 試験片を用いた試験方法が提案され、公称構造応力を用いることで種々の荷重モード、板厚の疲労試験結果が統一的に理解できると報告されている^{35,36)}。しかしながら、この試験方法そのものの難易度が高く、一般的な試験方法にはなっていない。

この様なハイテンの抵抗スポット溶接技術については種々の検討がなされている。CTSの改善の一つとして、ナゲット形成の為に通電後に無通電と短時間通電を繰り返す方法があげられる。この通電パターン選択によりHAZ (Heat Affected Zone) の軟化幅拡大と負荷時の応力拡大係数の低下がCTS改善のメカニズムと報告されている³⁷⁾。また、同様にナゲット形成後に無通電と後通電を繰り返す場合に、CTSを最大化する為の無通電時間についても報告されている(図10)³⁸⁾。ここではナゲット端部のP偏析の緩和も重要な要因となる。また、溶接部の強度が鋼板の化学成分にもよることが知られており、Cの低下やSiの増加なども効果があると報告されているが、鋼板の化学成分は鋼板の機械特性に直接影響する為に、必ずしも自由に設定することはできない。

4.3 その他の課題

プレス成形性や溶接性以外にも超ハイテンの適用拡大の為に解決すべき課題がある。構造的には鋼板の薄肉化による部品剛性の低下であり、解決の為に形状や構造、更には継手構造の最適化等が必須であるが、今後更なる軽量化を検討する中では他素材と組み合わせたマルチマテリアル化も視野に

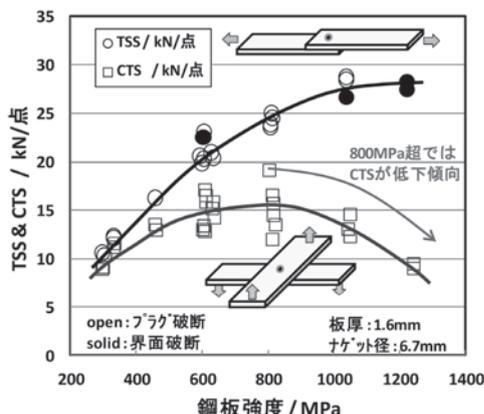


図9 CTS、TSSに及ぼす母材強度の影響

入れる必要があるだろう。また信頼性も重要な課題であり、耐疲労、耐腐食及び耐水素脆化も重要性を増す。

水素脆化はボルト等で評価技術や環境適合性評価技術が開発されており、超ハイテン薄板にもこれらの考え方を適用することができる。プレス成形(塑性変形)の有無はボルトと自動車用薄板の利用方法の大きな違いであり、これを考慮した耐水素脆化挙動評価方法も報告されている^{39,40)}。水素脆化は、引張り応力が働く位置に一定以上の拡散性水素が集中した場合にのみ起こるが、実際の自動車車体構造部品での水素脆化現象に関する情報がまだ十分に蓄積されていない事や、部位ごとの実効応力や水素侵入状況が必ずしも明確になっていないことから、有効な基準策定には上記耐水素脆化評価方法によるデータ集積と同時に、応力や水素侵入状況に関する一層の調査、状況把握が不可欠と考えられる。

5 おわりに

自動車の衝突安全性と燃費向上を両立させる為に自動車車体構造部品用鋼板のハイテン化が進んでいる。冷間プレス用高成形性ハイテンの開発や熱の利用等に加え、ハイテンを精度良く部品に加工し、アッセンブリする為のプレス加工技術や接合技術の進歩がそれを可能にしている。今後一層のハイテン適用を進めるためには、これらの技術革新が進むと同時に、部品構造の最適化、適材適所化等の最適手法の確立も期待される。世界競争力を有する鉄鋼材料開発・製造技術とその利用技術が世界をリードする自動車産業を支える物造り力の基盤となることを期待したい。

参考文献

- 1) ハイテンハンドブック, 自動車用材料共同調査研究会編纂, 日本鉄鋼協会, 自動車技術会, (2008)
- 2) 日産自動車株式会社ホームページ, 2011年10月5日付けニュースリリース

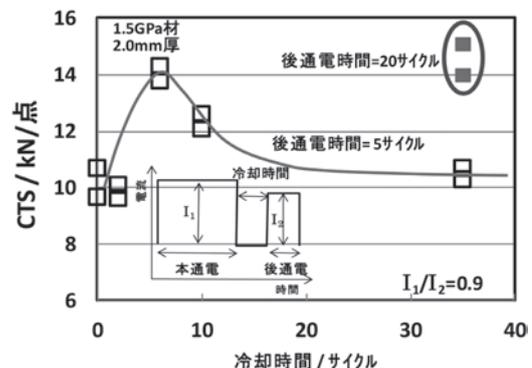


図10 本通電後の冷却時間がCTSに及ぼす影響

- http://www.nissan-global.com/JP/NEWS/2011/_STORY/111005-01-j.html
- 3) A.Uenishi, M.Suehiro, Y.Kuriyama and M.Usuda : IBEC'96, Automotive Body Interior & Safety Systems, Automotive Technology Group Inc., Michigan USA, (1996) , 89.
 - 4) 八木隆義 : 塑性と加工, 54 (2013) 624, 14.
 - 5) 渡辺憲一, 岩谷二郎, 岡野洋一郎 : 自動車用材料シンポジウム“自動車の衝突安全性と高張力鋼板の高速変形特性”, (1997) , 73.
 - 6) 吉武明英, 佐藤健太郎, 細谷佳弘 : 自動車用材料シンポジウム“自動車の衝突安全性と高張力鋼板の高速変形特性”, (1997) , 49.
 - 7) 米村繁, 上西朗弘, 樋渡俊二, 吉田博司 : 自動車技術会学術講演会前刷集, 20075066, (2007) 21-07.
 - 8) 吉田博司, 上西朗弘, 栗山幸久, 野村成彦 : 自動車技術会学術講演会前刷集, 49-05, 20045205, (2004) 08-04.
 - 9) 例えば, 竹内啓, 大野祐司 : 国際交通安全学会誌, 31 (2006) 2, 21.
 - 10) 例えば, S.Hayami and T.Furukawa : Proc. of Microalloying 75, Session 2A, Vanitec, London, (1975) , 78.
 - 11) A.R.Marder : Proc. of Formable HSLA and Dual-Phase Steels, Chicago, Illinois, (1977) , 87.
 - 12) 野中俊樹, 後藤貢一, 谷口裕一, 山崎一正 : 新日鐵技報, 378, 12 (2003)
 - 13) 田中福輝, 白沢秀則 : R&D 神戸製鋼技報, 42 (1992) 1, 20.
 - 14) 鹿島高弘, 塚谷一郎, 井上毅 : CAMP-ISIJ, 6 (1993) , 1696.
 - 15) 橋本俊一, 鹿島高弘, 池田周之, 杉本公一 : 鉄と鋼, 88 (2002) 7,400.
 - 16) Proc. Int. Conf. on TRIP-Aided High Strength Ferrous Alloys, GRIPS' Sparkling World of Steel, Belgium, (2002)
 - 17) 野中俊樹, 藤田展弘, 友清寿雅, 松村賢一郎, 宮城 隆司 : 自動車技術会予稿集 257-20085637, (2008)
 - 18) 二村裕一, 三浦正明 : R&D 神戸製鋼技報, 57 (2007) 2, 11.
 - 19) 長谷川浩平, 金子真次郎, 瀬戸洋 : JFE技報, (2012) 30, 6.
 - 20) 種植隆浩, 金子勝吉, 高田良久, 伊円淳 : 自動車技術会学術講演会前刷集, 20045651, (2004) 82-04.
 - 21) 吉永直樹, 佐久間康治, 樋渡俊二, 塩崎克美, 高木潔 : 自動車技術会学術講演会前刷集, 20045745, (2004) 81-04.
 - 22) 三浦正明, 中屋道治, 向井陽一 : R&D 神戸製鋼技報, 57 (2007) 2, 15.
 - 23) 大沢一典, 黒澤伸隆, 清水哲雄, 坂田敬 : 自動車技術会学術講演会前刷集, (2002) 106-02, 9.
 - 24) 二村裕一, 三浦正明, 経澤道高 : R&D 神戸製鋼技報, 61 (2011) 2, 41.
 - 25) O.Grassel, G.Frommeyer, C.Derder and H.Hofman : J. Phys. IV France, 60 (1997) , 383.
 - 26) S.Maggi, C.Federici and F.D'Aiuto : Int. Conf. on Materials in Car Body Engineering, Automotive Circle International, Bad Nauheim, Germany 10-11 May, (2012).
 - 27) 例えば, H.Dong, W.Cao, J.Shi, C.Wang and M.Wang : Proc. of Int. Conf. on High Manganese Steels HMnS2011, May 15-18, 2011 , Seoul, Korea, (2011) 1.
 - 28) 瀬沼武秀, 楠見和久, 末廣正芳 : ふえらむ, 11 (2006) 2, 28.
 - 29) 新日鐵住金株式会社ホームページより, 「3次元熱間曲げ焼き入れ (3DQ) 量産加工技術」
http://www.nssmc.com/tech/nssmc_tech/car/car_02/02.html
 - 30) マツダ自動車ホームページ 2013年1月24日ニュースリリースより
<http://www.mazda.co.jp/corporate/publicity/release/2013/201301/130124a.html>
 - 31) 吉田亨, 片山知久, 橋本浩二, 栗山幸久 : 新日鐵技報, 378, 25 (2003)
 - 32) 鈴木規之, 樋渡俊二, 上西朗弘, 桑山卓也, 栗山幸久, X.Lemorene, C.Teodosiu : 塑性と加工, 46, 534, 636 (2005)
 - 33) 新日本製鐵株式会社ホームページ 2012年9月6日プレスリリースより
http://www.nssmc.com/news/old_nsc/detail/index.html?rec_id=4328
 - 34) 及川初彦, 村山元, 崎山達也, 高橋靖雄, 石川忠 : 新日鐵技報, 385 (2006) 36.
 - 35) 例えば, Y.Nakahara et. al.:SAE paper 2000-01-0779, (2000)
 - 36) 川本淳, 中原裕司, 日下部雅幸, 角田浩一, 荻野正人, 金子光輝, 横井龍雄, 田村浩, 渡辺憲一, 瀬戸一洋, 藤本正男 : JSAE Symposium「これからの車体の疲労耐久性評価への新しい提案」, (社) 自動車技術会疲労信頼性部門委員会企画, 20004242, (2000) 13.
 - 37) 山崎一正, 佐藤浩一, 徳永良邦 : 溶接学会論文集, 17 (1999) 4, 553.
 - 38) 浜谷秀樹, 渡辺史徳, 宮康信, 田中智仁, 真木純, 及川初彦, 野瀬哲郎 : 溶接学会全国大会概要, 89 (2011) 44.
 - 39) 林邦夫, 藤田展弘, 竹林重人, 高橋学, 佐久間康治 : 自動車技術会学術講演会前刷集, 20045132, (2004) 18-04.
 - 40) 衣笠潤一郎, 湯瀬文雄, 経澤道高, 向井陽一 : R&D 神戸製鋼技報, 61 (2011) 2, 65.

(2013年2月18日受付)

2012年鉄鋼生産技術の歩み

Production and technology of Iron and Steel in Japan during 2012

日本鉄鋼協会 生産技術部門

The Technical Society, the Iron and Steel Institute of Japan

1 日本鉄鋼業の概況

2012年は一昨年に発生した東日本大震災の影響が続き、被災地の製鉄所では完全復旧に向けた取り組みが行われたが、原発問題に伴う電力料金の値上げ問題が顕在化し、電炉企業をはじめとする鉄鋼業界にとって深刻な問題となった。

一方で、鉄鉱石や原料炭等の原燃料価格の動向は依然不安定であり、欧州の財政危機問題や中国の経済成長の鈍化、昨年の秋頃まで続いた円高問題等により鉄鋼需要は伸び悩んだ。このような情勢の中、新日鐵住金(株)や日新製鋼ホールディングス(株)等の新会社が発足し、さらには鉄鋼流通加工業界や鉄鋼関係商社等を含む鉄鋼業界の再編の動きが進んだ。

1.1 鉄鋼原料の動向

2004年頃から中国の需要拡大に伴い鉄鉱石や原料炭等の鉄鋼原料の需給が逼迫し、原料価格も高騰していたが、最近の中国市場の伸びが減速したこともあり、需給状況が変化してきた。中国市場の動向を睨んで、鉄鉱石のサプライヤー企業では予定していた鉄鉱石生産設備への設備投資や拡張計画を見直す動きも出てきた。原料価格については、鉄鉱石(豪州・粉鉱石)は高騰前の2004年では約25\$/トンであったが2011年前半には約170\$/トンまで高騰していた。これが、一昨年から昨年にかけて下落傾向となり2012年末で100\$/トンレベルとなった。原料炭(豪州・強粘結炭)も同様の推移を示しており、一時期約320\$/トンまで高騰していた原料炭価格が2012年末で約170\$/トンレベルとなった。

1.2 鉄鋼需要産業の動向

(一社)日本鉄鋼連盟の鉄鋼需給四半期報等によると、2012年の鉄鋼需要産業の概略の動向は以下のとおりである。

建設関係の土木分野では年々削減傾向にあった公共事業関

係費が2011年度補正予算や2012年度当初予算で震災復興に関わる予算が約3.3兆円規模で計上されたため、増加傾向に転じた。また、建築分野では各種住宅施策のほか復興需要もあり、緩やかな回復基調にある。

自動車関係では、上期中はエコカー補助金効果から高い伸び率となり、2012暦年の新車販売(輸入車含む)は前年比27.5%増の537万台と4年ぶりに500万台を超えた。また、2012暦年の四輪車の生産台数は994万台で対前年18.4%の増加となった¹⁾。

機械関係では、産業機械分野で、欧州や中国の経済減速を受けて外需が年後半に急激に減速したことにより、建設機械、工作機械で前年水準を下回る状況となった。

また、電気機械分野でも外需停滞の影響が出ており、特に電子機器ではエコポイント制度の終了や国際的な競争激化のため生産指数は大幅減となった。

造船関係では、新たな受注面で厳しい状況が続いており、新造船起工量は対前年比20%程度減の見込みとなった。

このような鉄鋼需要産業の動向に対して、本会維持会員企業においては2012年も新たな製品が開発された。土木・建築向けでは、耐食性や溶接性に優れた橋梁用の高性能鋼や現場施工性に優れた鋼管杭等が開発された。自動車向けにはホットプレス用の耐酸化性と耐食性に優れた鋼板や、冷間鍛造性に優れ、金型寿命の改善が可能な高強度歯車用鋼、高纯净度で高信頼性の長寿命軸受鋼等が開発された。電機機械向けには、精密加工用の細粒化ステンレス鋼、エネルギー分野向けではより耐食性が向上したラインパイプ用のステンレス鋼管等が新商品として発表された。これらの詳細については、表8に示す通りである。

1.3 グローバル化の展開

2012年も鉄鋼各社の海外展開に関する種々のニュースが報じられた。新日鐵住金では豪州ブルースコープ社と東南ア

アジア、米国における海外建材薄板事業の合弁事業合意 (旧新日鐵、8月)、米国WSPヒューストンOCTG社の工場設備の買収合意 (10月)、タイにおける棒線二次加工事業の会社の統合 (10月)、メキシコやインドにおける自動車用鋼管事業の展開 (旧新日鐵、8月、2月) 等が進められた。

JFEスチール (株) では、ベトナムで高炉一貫製鉄所のFS検討開始 (3月)、インドJSWスチール社への自動車用鋼板や無方向性電磁鋼板の製造技術供与 (8月、12月)、伊藤忠丸紅鉄鋼 (株) と協力してタイ・サハピリアスチールに出資、冷延合弁の出資拡大 (10月) 等があった。

(株) 神戸製鋼所では、中国における線材二次加工拠点の設立 (1月)、共英製鋼 (株) はベトナムで電炉一貫製鉄所を展開 (4月)、丸一鋼管 (株) はメキシコに自動車用鋼管の現地生産を決定 (1月)、また、鉄鋼系商社の海外鉄鋼投資が拡大されインド、インドネシア、メキシコで鋼材サービス拠点が拡充された。

1.4 粗鋼生産量

このような情勢の中、我が国の2012暦年の粗鋼生産量は1億723万トンと前年に比べて微減となったが、リーマンショック以降3年続けて1億トン台の生産となった。炉別生産では、転炉鋼が8,231万トン、電炉鋼が2,493万トンで、対前年比率では転炉鋼が43万トン減少、電炉鋼は8万トンの増加となった (図1)²⁾。

世界の粗鋼生産量は、昨年2012年は対前年1.2%増の15億4,780万トンとなった³⁾。一昨年に初めて15億トンを超え右肩上がりであるが、対前年伸び率は鈍化した。2012年の粗鋼生産量のトップ10の国は、中国、日本、米国、…等で、表1に示す通りである。中国の対前年伸び率は3.1%となり、ドイツ、ブラジル、ウクライナでは数%の減少となった。

また、世界の鉄鋼業の2012年末の操業率は73.2%であり³⁾、一昨年からの低下傾向が継続している。特に、中国の過

剰生産能力が顕著であり中国鉄鋼企業の収益悪化の要因ともなっている。

日本鉄鋼連盟では、2013年度の国内鉄鋼需要見通しを発表している。これによると需要は消費税増税前の駆け込み需要や設備投資の回復等から建設分野は増大が見込まれるが、製造業では造船向けの減少、自動車等の海外生産シフト等により強い回復には至らず、海外市場も需給関係が不透明であるため、粗鋼生産量は前年度水準を若干下回るとの見通しである⁴⁾。

以下に、2012年の鉄鋼生産技術の歩みを振り返る。

2 技術と設備

2.1 日本鉄鋼業の技術的環境

2012年は世界的な経済停滞のなか、我が国の粗鋼生産量も一昨年とほぼ同規模の1億トン強にとどまった。鉄鋼原料は需給バランスの変化から高騰していた原料価格も低下傾向となったが、資源保有国における資源ナショナリズムの動きもあり不安定要素が拡大した。鉄鋼需要産業は業種により需要動向に差異があるが、自動車や家電分野では海外進出が拡大する中で鉄鋼企業の海外展開も進んだ。また、鉄鋼産業にとって重要なエネルギー問題に関しては、東日本大震災後の原発の影響が続き、電力価格の値上げ等の問題が生じた。

鉄鋼技術分野での大型国家プロジェクトとしては、抜本的なCO₂削減を狙った「環境調和型製鉄プロセス技術開発 (COURSE 50)」プロジェクトが5年間のフェーズ1を終了し次ステップへ展開することになった。また、2013年度からの新たな国家プロジェクトとして、「革新的新構造材料」に関する技術開発の検討が進められた。

以下、分野別に主要な技術動向や維持会員企業の技術的なトピックスを紹介する。

2.2 製鉄

2012暦年の鉄鋼生産量は、8,141万トンであり、2011年の8,103万トンと比べ0.5%増となった⁵⁾。平均出鉄比は2011年

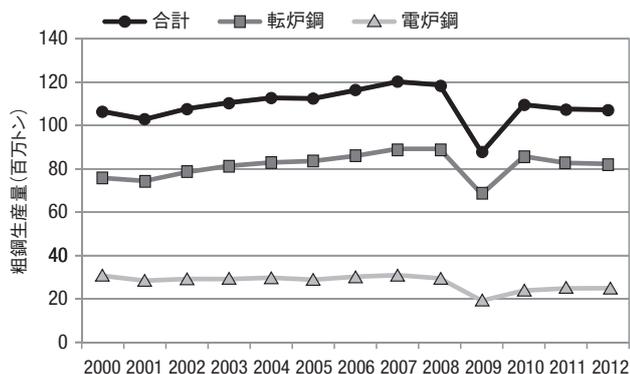


図1 我が国の粗鋼生産量の推移 (暦年)²⁾

表1 粗鋼生産量のトップ10³⁾

	2012年 トップ10	2010年 (百万トン)	2011年 (百万トン)	対前年伸び率 2011/2010 (%)	2012年 (百万トン)	対前年伸び率 2012/2011 (%)
1	中国	638.7	695.5	8.9	716.5	3.1
2	日本	109.6	107.6	▲1.8	107.2	▲0.3
3	アメリカ	80.5	86.2	7.1	88.6	2.5
4	インド	68.3	72.2	5.7	76.7	4.3
5	ロシア	66.9	68.7	2.7	70.6	2.5
6	韓国	58.9	68.5	16.2	69.3	1.2
7	ドイツ	43.8	44.3	1.0	42.7	▲3.7
8	トルコ	29.1	34.1	17.0	35.9	5.2
9	ブラジル	32.9	35.2	6.8	34.7	▲1.5
10	ウクライナ	33.4	35.3	5.7	32.9	▲6.9

の1.91トン/m³・日に対して、1.88トン/m³・日に減少した。

2012年末の高炉稼働状況については、2011年末が26基に対して27基と1基増加した。内容積5,000m³以上の高炉は2011年末と同様13基である。

新日鐵住金(旧新日鐵)君津製鐵所第2高炉は、約17年の3次操業実施後改修工事に入り、2012年5月に火入れを行った。内容積を3,273m³から4,500m³に拡大、炉頂装入装置を並列ホッパー型に変更、出銑口数を2本から4本に増やし、操業の安定化・コスト競争力のある高炉へ生まれ変わった。

JFEスチール西日本製鐵所(福山地区)では、2012年5月に累計出銑量が4億トンを超えた。1966年8月に同地区の最初の高炉が稼働して以来45年9ヶ月での達成で、国内単一事業所としては初めてである。

2.3 製鋼・鉄粉

2012暦年の粗鋼生産は、1億723万トンであり、2011年の1億760万トンと比べ、0.3%減となった(図1)。

圧延用鋼塊に占める連鑄鋼片の比率を図2に示す⁵⁾。普通鋼は99.9%と高水準を維持しているが、特殊鋼でも96.6%と増加している。

神戸製鋼所神戸製鐵所では、コスト競争力を引き上げるため、転炉精錬前の脱珪・脱りん・脱硫の機能分担を最適化する予備処理ステーションを2012年11月より稼働させた。製鋼段階でのスラグ発生量を削減して鉄の歩留を向上させ、年間10億円のコストダウンを計画している。

JFEスチール東日本製鐵所(千葉地区)では、ステンレス鋼製造のためのクロム鉬石溶融還元炉において、鉬石バーナー加熱添加技術が開発、設置された。クロム鉬石を純酸素バーナーの高温火炎で加熱しながら炉内に添加することで、エネルギー効率が向上した。

JFEスチール東日本製鐵所(京浜地区)では、操業データベースを活用した製鋼プロセス制御技術が開発された。データベースに蓄積された操業実績に基づいて操業の都度新たなモデルを構築する技術を脱硫、脱りん工程のモデリングに適用し、副原料あるいは酸素の投入量を最適化することによ

り、成分ばらつき低減を達成した。本技術は後に全地区に展開された。

山陽特殊製鋼(株)では、インゴット鑄造設備のみであった第一製鋼工場に60トン連続鑄造設備を新たに設置した。新連続鑄造設備は既設の第二製鋼工場と同一の大断面垂直型であり、高品質特殊鋼の安定生産が可能である。

鉄粉分野では、JFEスチール東日本製鐵所(千葉地区)で、海綿鉄微粉砕設備が増強された。自動車部品に使用される粉末冶金用や新規分野の農業、環境分野の需要増大に対応するため、鉄粉工場で海綿鉄の微粉砕機を3基から4基に増設し、還元鉄粉の製造能力を月間2,700トンから3,000トンへ22%引き上げた。

2.4 鋼材

2.4.1 薄板

新日鐵住金ステンレス(株)は、平成24年2月に光製造所薄板工場の圧延付帯設備3ラインを廃して1基に集約・新設した。旧設備の機械部品を一部流用・改造しつつ、ディスクレーザー溶接機導入や、レイアウト効率化、自動化設備導入等により、従来比2倍以上の大幅な生産性向上と物流の効率化並びに品質向上を達成した。

2.4.2 厚板

新日鐵住金(旧住金)は2011年12月鹿島製鐵所厚板工場に、世界最大級のレベラーを導入し、ハイエンド化、差別化を狙った一連の設備投資を完了した。2012年度は、圧延能力が前年度比で約10%拡大、新たな設備をフル活用し更なる拡販を進めている。

神戸製鋼所は加古川製鐵所厚板工場の熱処理炉の増設工事を完了し、2013年1月から営業運転を開始した。この熱処理能力増強により、着実な需要が見込まれるエネルギー分野向けの拡販を進め、市場でのプレゼンス向上と収益改善を目指す。

2.4.3 鋼管関連

新日鐵住金、住友鋼管(株)、日鉄住金プラント(株)の3社は、共同で3次元熱間曲げ焼入れ(3DQ)の量産加工技術を開発した。これにより、金型を使わずに複雑な形状の超ハイテン鋼管部材を製造することが可能となった。

JFEスチールは、電縫管溶接品質の非破壊評価技術を開発し⁶⁾、東日本製鐵所(京浜地区)および知多製造所に導入した。東日本製鐵所(京浜地区)では24インチ大径電縫管工場に適用し、オンラインフェーズドアレイ超音波探傷装置により溶接部全長をリアルタイムで探傷し、微小欠陥の非破壊検査が可能になった。これにより低温靱性に優れた電縫管の品質保証に貢献している。

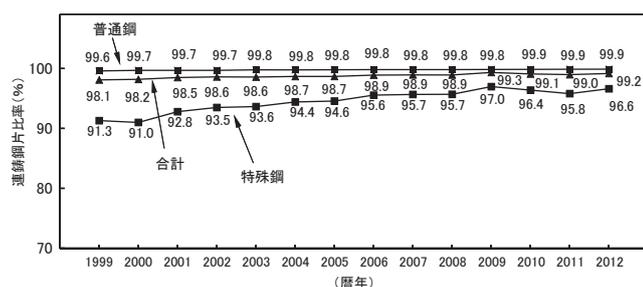


図2 圧延用鋼塊に占める連鑄鋼片の比率⁵⁾

2.5 計測・システム・分析

JFEスチールは局所帰帰モデルを用いたオンラインプロセス自動制御手法を開発し、脱硫プロセス制御システムに適用・実用化した。データベースに蓄積された操業実績に基づいて操業の都度新たなモデルを構築し、脱硫、脱りん工程の制御に適用し、副原料あるいは酸素の投入量を最適化することにより成分のばらつき低減を達成した。

JFEスチールは東日本製鉄所（京浜地区）厚板工場の熱処理設備向けの生産計画システムを開発した。納期余裕度を調整可能な製造ロット集約処理と生産能率を最大化する製造処理ロット順序決定処理とを組み合わせ、さらに2つの熱処理炉の生産計画を相互に連携して作成するシステムを構築することにより、納期余裕適正化と生産能率向上を同時に実現した。

東洋鋼板（株）は、表面処理鋼板や冷延鋼板等の各種鋼板用途に特化した表面検査装置の共同開発を（株）アヤハエンジニアリングと2006年から開始し、2011年に商品化（商標登録名：i-TOP）した。

JFEスチールでは、複数の製鉄所、配送センターからお客様への製品配送を一元的に計画・管理する「製品配送計画システム」を開発し、配送効率を向上させるとともに、CO₂排出量低減も達成した。

2.6 環境・エネルギー

2.6.1 政府の取組み

2012年11月26日から12月8日までカタール国のドーハにおいて、気候変動枠組条約第18回締約国会議（COP18）、京都議定書第8回締約国会合（CMP8）が開催された⁷⁾。

「強化された行動のためのダーバン・プラットフォーム特別作業部会（ADP）」、「京都議定書の下での付属書I国の更なる約束に関する特別作業部会（AWG-KP）」、「条約の下での長期的協力の行動のための特別作業部会（AWG-LCA）」、及び2つの補助機関会合における事務レベルの交渉を経て、ハイレベル・セグメントにおける協議の結果「ドーハ気候ゲートウェイ」として一連のCOPおよびCMP決定等が採択された。これにより、AWG-KPおよびAWG-LCAは終了し、来年以降のADPにおける交渉の段取りに合意した。この結果、「2020年以降の新しい法的枠組みに関する2015年までの合意に向け交渉の基礎的アレンジメントを整えた」とのメッセージを世界に示すことができた⁷⁾。

2.6.2 日本鉄鋼業の取組み

日本鉄鋼連盟は、「鉄鋼業の環境保全に関する自主行動計画」を策定し、以下の取組み内容を推進している⁸⁾。

①鉄鋼生産工程における省エネルギーへの取組み

(1) 粗鋼生産量1億トンを前提として、2010年度の鉄鋼生産工程におけるエネルギー消費量を、基準年の1990年度に対し、10%削減（エネルギー消費量の10%削減に見合うCO₂排出量は9%削減として設定）。

(2) ただし、粗鋼生産が1億トンを上回る状況においても京都メカニズムの活用等も含め目標達成に最大限努力する。

(3) 上記目標は、2008～2012年度の5年間の平均値として達成する。

②社会における省エネルギーへの貢献

(1) 集荷システムの確立を前提に、廃プラスチック等を100万トン活用。

(2) 製品・副産物による社会での省エネルギー貢献

(3) 国際技術協力による省エネルギー貢献

(4) 未利用エネルギーの近隣地域での活用

(5) 民生・業務・運輸における取り組みの強化

③革新的技術開発への取り組み（COURSE50）

(1) 高炉ガスからのCO₂分離回収技術

(2) コークス炉ガス改質水素による鉄鉱石の還元技術

上記自主行動計画（参加会社：90社）の2011年度の実績は、粗鋼生産量が10,238万トンと、1990年度比2.2%減の中、省エネ対策を積極的に推進することにより、2011年度のエネルギー消費量は2,212PJと、1990年度比で9.3%の減少となった。また、エネルギー起源CO₂排出量は183.7百万トン-CO₂と、1990年度比8.5%の減少となった⁸⁾。

また、日本鉄鋼連盟は、日本鉄鋼業の目指す方向として「日本鉄鋼業は、世界最高水準のエネルギー効率の更なる向上を図るとともに、日本を製造・開発拠点としつつ、製造業との間の密接な産業連携を強化しながら、エコプロセス、エコプロダクト、エコソリューションを世界に発信し、日本経済の成長や雇用創出に貢献するとともに、地球温暖化対策に積極的に取り組む」ことを明らかにしている。

このうち、エコプロダクトについては、最終製品として使用される段階において、2011年度で2,208万トン-CO₂の排出削減に貢献をしていると推定している⁸⁾。

また、エコソリューションについても世界最高水準の省エネ技術を、途上国を中心に移転・普及し、地球規模での削減に2011年度で約4,300万トン-CO₂の貢献をしていると推定している⁸⁾。

「革新的製鉄プロセス技術開発（COURSE 50）」の目指す方向は、水素による鉄鉱石の還元と高炉ガスからのCO₂分離回収により、生産工程におけるCO₂排出量を約30%削減することを目標とし、2030年までにCO₂貯留に関するインフラ整備と実機化に経済合理性が確保されることを前提にして1号

機の実機化を図り、高炉関連設備の更新タイミングを踏まえ2050年頃までに普及を目指すものである。水素による鉄鉱石還元技術については、スウェーデンLKAB社の試験高炉での実験を立案し、2012年4月～5月に試験操業を実施し水素の羽口吹込みおよびシャフト吹込みの各試験において、排出CO₂量の減少を確認した。また、上記還元技術に使用する水素の製造技術として、コークス炉ガス(COG)中のタールを熱分解することにより水素分を増幅する技術開発に取組み、触媒大型反応器(ベンチプラント)による実COGを用いた約30Nm³/h規模の試験を実施し水素の増幅率が2倍になることを確認した⁸⁾。

JFEスチールは、経済産業省の「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」において高炉4社などが共同開発中の新たな高炉原料「フェロコックス」の試験製造プラントを東日本製鉄所京浜地区で2011年11月に本格稼働させた。試験製造プラントは、低品位石炭と鉄鉱石の混合成形設備と堅型乾留炉からなる30t/dの設備で、成型、乾留技術を確立するとともに、2012年には本格的な長期操業試験に取り組んだ。本技術により、高炉で現在使用しているコークスの約3割をフェロコックスに置き換えた場合、製鉄プロセスへの投入エネルギー量が約10%低減し、低品位原料の使用比率向上、並びにCO₂排出量低減効果が期待される。

新日鐵住金ステンレスは、2012年9月にステンレス製造工程で生じるダストやスケール等の副生物から、クロム、ニッケルなどのレアメタルを回収する設備を光製造所に導入した。本設備は経済産業省の「レアアース等利用産業等設備導入事業」の補助金を一部活用して既設RHF工程を増強したもので、副産物のほぼ全量をリサイクル使用することにより年間で1千トン強のレアメタルリサイクル量の拡大ができるようになった。

3 技術貿易・技術開発

3.1 技術貿易

図3に鉄鋼業の2011年度までの技術貿易収支を示す⁹⁾。技術輸出対価受け取り額は前年度と比較して16%増加し、技術輸入対価支払い額は10%減少した。

3.2 研究費支出・研究者数

総務省統計局「科学技術研究調査」の結果にある企業等の第1表にあるデータを用いて、以下の3項目を整理した。

その結果を図4～図6に示す⁹⁾。

3.2.1 売上高対研究費支出比率

全産業・鉄鋼業とも支出比率が前年対比で増加した。一

方、2012年の鉄鋼業の研究費総額は1,633億円で2011年対比8.1%増加したが、開発研究に費やされた比率は69%と昨年対比若干低下した。

3.2.2 従業員1万人あたりの研究本務者数

全産業は、順調に増加傾向を継続している。一方、鉄鋼業も同様であるが、その割合は低い。なお、鉄鋼業の研究本務者総数は、約4,500人で2009年並みに減少した。

3.2.3 研究本務者1人あたりの研究費

2010年は、全産業では若干増加傾向を示しているが、特に鉄鋼業はほぼリーマンショック以前の2008年レベルに回復した。

3.3 公的資金を活用した研究開発の動向

鉄鋼関連の技術開発プロジェクトに関し、2012年度終了した主要プロジェクトは、①「環境調和型製鉄プロセス技術開発(COURSE 50)」(2008～2012年度)、②「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」(2009～2012年度)、③「難利用鉄系スクラップの利用拡大のための研究開発」(2010～2012年度)などである。①のCOURSE 50はフェーズ1のStep1が終了したもので、継続してStep2(2013～2017年度)へ移行する予定である。

2012年度着手の主要プロジェクトとしては、文部科学省の「元素戦略プロジェクト〈研究拠点形成型〉(構造材料)」(2012～2022年度、2012年度1.5億円)である。

また、主要継続プロジェクトは、①「ヘテロ構造制御金属材料プロジェクト」(2010～2019年度)、②「先進超々臨界圧

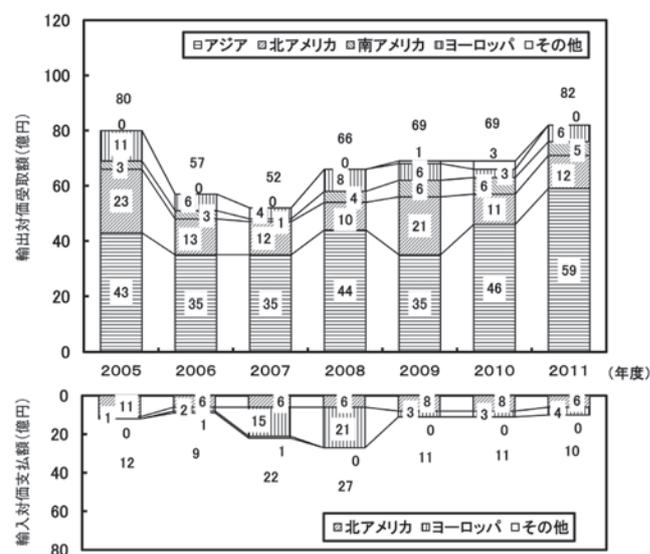


図3 鉄鋼業の技術貿易収支⁹⁾

プラント (A-USC) 技術開発」(2008～2016年度) などである。

公的資金を取得して行っている鉄鋼関連の研究・技術開発テーマの主なものを表2に示す。プロセス、環境・エネルギー分野、材料開発分野などで多くのテーマが取り組まれている。

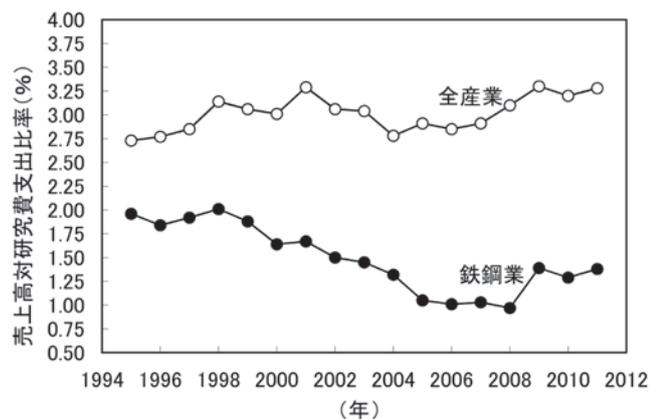


図4 売上高対研究費支出比率の経年変化⁹⁾

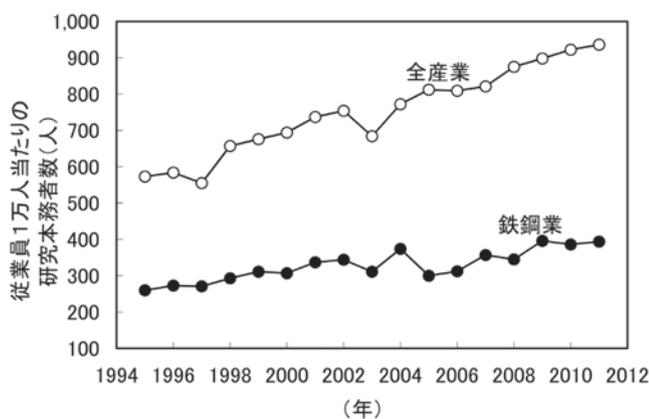


図5 従業員1万人当たりの研究本務者数の経年変化 (人)⁹⁾

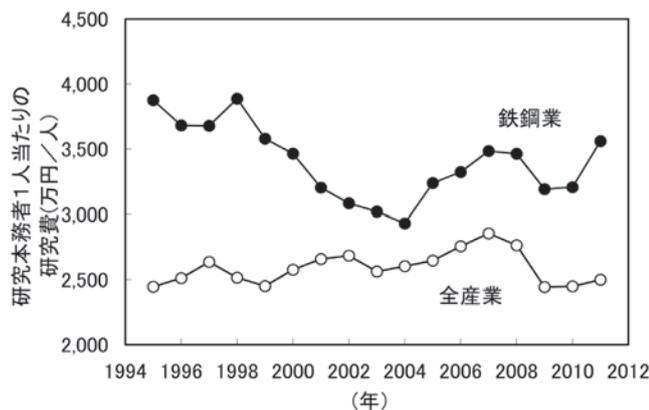


図6 研究本務者1人当たりの研究費の経年変化 (万円/人)⁹⁾

4 技術系人材育成

本会では、これまでも業界横断的な技術系中核人材育成を目的として、各種の育成事業(鉄鋼工学セミナー、鉄鋼工学セミナー専科、鉄鋼アドバンスセミナー、学生鉄鋼セミナー)を実施している。2012年度は2011年度と同様、主に基礎教育強化事業を本会の育成事業に取込み、修士学生対象である「鉄鋼工学概論セミナー」、学部学生対象である「最先端鉄鋼体験セミナー」を継続実施した。「鉄鋼工学概論セミナー」は、鉄鋼基礎工学と現場での技術開発について大学および企業側講師から講義を行い、最終日に工場見学(2012年度はJFEスチール東日本製鉄所(千葉地区))を行う4日コースの講座で、12大学から32名の参加者があった。

「最先端鉄鋼体験セミナー」は鉄鋼に関する最先端技術や将来の展望を紹介し、工場見学を行う1日コースの講座であり、新日鐵住金室蘭製鉄所、鹿島製鉄所、広畑製鉄所、JFEスチール西日本製鉄所(倉敷地区)の4箇所で開催された。材料系以外の学生も対象とし、トータル50名が参加した。

ものづくり産業である鉄鋼産業の魅力伝えて業界への関心を喚起する目的で、鉄鋼企業の経営幹部が順次講義を行う「大学特別講義」を2011年度に引き続き実施した。実施大学は2011年度と同様、国立7大学および東工大、横国大、早大の10大学で、トータル約1,300名の学生が聴講した。

上記セミナーおよび講義はいずれも昨年度と同様たいへん好評であり、来年度以降も継続して実施していく予定である。

5 本会における技術創出活動

本会では、生産技術部門に属する技術部会および技術検討部会が中心となって鉄鋼生産技術に関する技術情報の調査、技術開発課題の抽出と課題解決に向けた活動を行っている(表3)。

5.1 技術部会

本会特有の活動を推進している技術部会は、部会大会を定期的に開催し、現時点で重要な課題を共通・重点テーマとして調査等を行い、活発な議論を行っている(表3)。2012年度の部会大会は、2011年度とほぼ同様に34の大会(春季17大会、秋季17大会)が開催された。参加者延べ人数は2,767名(2011年度2,745名)であり、そのうち大学等研究者の延べ参加人数は55名(2011年度61名)と、2011年度とほぼ同水準であった。

また、技術部会は、学術部会との産学連携が定着し、部会大会への大学研究者の参加や、学術部会との合同企画など交

流が推進されている。

特定技術課題を共同で重点的に検討する技術検討会も、2012年度には19技術検討会が活動し、「圧延油除去プロセス（表面処理鋼板部会）等6件が終了、「製鋼工程における環境集塵プロセス技術」（製鋼部会）等9件が新規にスタートした。

なお、従来から継続している若手技術者対象の講演会や異業種見学・講演会などに加えて、海外技術の調査やプラントツアー等、さらなる部会活性化を狙った企画が実施された。

5.2 技術検討部会

分野横断的、業際的技術課題を検討する技術検討部会は期間を原則3年以内として活動している（表3）。

2012年度は、新たに「実用構造用鋼における信頼性向上」を共通テーマとした技術検討部会が活動を開始した。

「自動車用材料検討部会」は、2010年度から開始した第VI期が最終年度を迎え、2012年度は今後の進め方の検討と、表面硬化処理第III期WG、特殊鋼低コスト化技術WGのまとめが行われた。

また、圧力容器用材料技術検討部会では、鋼材規格検討WG、化学プラント用鋼材の水素脆化評価WG、高クロム鋼WGの3つのWGが、それぞれ調査検討、実験等の活動を行った。

5.3 研究助成

本会の研究助成に関する活動内容を表4に示す。「鉄鋼研

表2 鉄鋼業における公的資金取得研究テーマの一例

分類	事業名称	委託元	開始年度	終了年度
プロセス・製品	環境調和型製鉄プロセス技術開発（COURSE50）	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構	2008	2012
	資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、経済産業省	2009	2012
	難利用鉄系スクラップの利用拡大のための研究開発	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構	2010	2012
	レアアース等利用産業等設備導入補助	経済産業省	2011	2012
	国内立地推進事業費補助金 二次募集	経済産業省	2012	2014
要素技術	先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発費補助金	資源エネルギー庁	2008	2016
	次世代パワーエレクトロニクス技術開発（グリーンITプロジェクト）	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構	2009	2012
	収束イオンビーム/レーザーイオン化法による単一微粒子の履歴解析装置	(独)科学技術振興機構	2010	2012
	水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発事業	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構	2010	2014
	ヘテロ構造制御金属材料プロジェクト	科学技術振興機構	2010	2019
	製鉄プロセスにおける排熱を利用した熱発電技術の研究開発	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構	2011	2012
	アジア基準認証推進事業費補助金	経済産業省	2011	2012
	エネルギー最適化設計ソフトの開発	経済産業省	2011	2014
	次世代10MW級海洋温度差発電プラントのコア技術研究開発	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構	2011	2015
	元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型> 構造材料	文部科学省	2012	2021
製品	先進超々臨界圧プラント(A-USC)技術開発	経済産業省（資源エネルギー庁）	2008	2016
	FCA鋼の鉄道台車枠適用開発に関する技術	国土交通省（(独)鉄道・運輸機構）	2009	2012
	低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト	経済産業省	2010	2014
	次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料開発	経済産業省	2012	2016
その他	複雑系数理モデル学の基礎理論構築とその分野横断的科学研究応用	(独)日本学術振興会	2010	2014
	閉鎖性海域における水環境改善技術分野における実証対象技術「油ガス田坑井内に使用する鋼管選定のケーススタディー」に係る委託業務	環境省 (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構	2011	2012

表3 生産技術部門における技術創出活動の主体

種類	活動内容
技術部会	<ul style="list-style-type: none"> 対象：鉄鋼製造全般にかかわる特定分野 部会種類：製鉄、コークス、製鋼、電気炉、特殊鋼、耐火物、厚板、熱延鋼板、冷延、表面処理鋼板、大形、棒線圧延、鋼管、圧延理論、熱経済技術、制御技術、設備技術、品質管理、分析技術、計19部会 参加者：鉄鋼企業の技術者、研究者、大学等教職員 活動目的：現場技術水準の向上を目的とした鉄鋼生産に関する技術交流、各分野における技術課題の抽出と課題解決に向けた活動、若手技術者の育成 活動：部会大会(年1～2回)を開催
技術検討部会	<ul style="list-style-type: none"> 対象：鉄鋼生産プロセスの各分野にまたがる分野横断的、または業際的技術課題 部会種類：自動車用材料検討部会(第VI期)、実用構造用鋼における信頼性向上技術検討部会、圧力容器用材料技術検討部会、計3部会 活動内容：技術開発の方針と課題解決のための討議、調査等の研究活動

究振興助成」では、2012年度の助成対象者として新たに41件(若手19件)が採択され、2011年度に採択された36件と合わせて2013年度には合計77件が助成されることになった。

「研究会」は、2012年度24研究会が活動し、その内の12研究会が2013年3月に終了した。

2012年度には、研究会Ⅰ(シーズ型)、研究会Ⅱ(ニーズ型)の各研究会で、7件が新規に活動を開始した(表5)。なお、知識集約型(A型)、技術開発型(B型)、鉄鋼関連新分野探索型(C型)の3分類の旧型研究会制度は2012年度ですべて終了する。2013年度からは新たにⅠ型研究会が4件、Ⅱ型研究会が2件採択された(表6)。

「産発プロジェクト展開鉄鋼研究」は、2010年度から2012年度採択の3テーマが活動中である。また、2013年度新規案件として、新たに1件が採択された(表7)。

参考文献

1) 2012年12月の自動車生産実績, (一社)日本自動車工業会ホームページ, 参照日: 2013年1月31日
<http://www.jama.or.jp/stats/product/20130131.html>

2) 鉄鋼生産速報(一社)日本鉄鋼連盟 ホームページ記事, 参照日: 2013年1月31日
<http://www.jisf.or.jp/data/seisan/index.html>

3) World crude steel output increases by 1.2% in 2012, WSA (World Steel Association) ホームページ記事, 参照日: 2013年1月22日
[http://www.worldsteel.org/media-centre/press-](http://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2012/12-2012-crude-steel.html)

releases/2012/12-2012-crude-steel.html

4) 2013年度の鉄鋼需要の動向について, (一社)日本鉄鋼連盟ホームページ記事, 参照日: 2012年12月18日
<http://www.jisf.or.jp/news/topics/documents/2013tekkojuyo.pdf>

5) 経済産業省 経済産業政策局 調査統計部 工業動態統計室「鉄鋼・非金属・金属製品統計月報」ホームページ記事, 参照日: 2013年1月31日
http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/resourceData/01_tekko/kakuho/01_tokei/01_tekko/h2daais201212khc.xls

6) 井上智弘, 鈴木雅仁, 岡部能知, 松井譲: JFE技法, 29(2012), 17.

7) 報道発表資料 -平成24年12月10日- 国連気候変動枠組条約第18回締約国会議(COP18)及び京都議定書第8回締約国会合(COP/MOP8)の結果について(お知らせ), 環境省, ホームページ記事, 参照日: 2013年2月26日
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=16085>

8) 鉄鋼業の地球温暖化対策への取組 自主行動計画進捗状況報告, 一般社団法人日本鉄鋼連盟, ホームページ記事, 参照日: 2013年2月26日
<http://www.jisf.or.jp/business/ondanka/kouken/joukyo/documents/121214gaiyo.pdf>

9) 総務省 統計局統計センター「科学技術研究調査報告」

(2013年2月28日受付)

表4 日本鉄鋼協会の研究助成制度

種 類	活動内容
鉄鋼研究振興助成	<ul style="list-style-type: none"> ・主旨: 鉄鋼研究の活性化、鉄鋼の基礎的盤的研究の支援、若手研究者の育成 ・募集: 公募により毎年採択、受給期間は2年間。 ・特徴: 研究者個人を対象、若手枠を設置 ・件数: 77件(2012年度)
研究会	<ul style="list-style-type: none"> ・主旨: 鉄鋼研究の活性化、技術革新の基盤創生、産学連携による人的研究ネットワーク構築 ・募集: 提案、公募により毎年度採択、活動期間は原則として3年間 ・特徴: 大学等研究機関からのシーズ主導の基礎的・先端的テーマを扱う研究会(研究会Ⅰ)と鉄鋼企業からのニーズ主導の応用的・産業的テーマを扱う研究会(研究会Ⅱ)を設置 ・件数: 24件(2012年12月末現在)
産発プロジェクト 展開鉄鋼研究	<ul style="list-style-type: none"> ・主旨: 鉄鋼業の技術課題の解決、重要かつ基盤的領域、産官学の連携 ・募集: 公募により採択、活動期間は原則として3年間 ・特徴: 鉄鋼企業からのニーズ主体のプロジェクト ・件数: 3件(2012年12月末現在)

表5 2012年度活動 研究会

型	研究会名	部会	主査	研究期間	
A	水素脆化研究の基盤構築	材料	高井健一(上智大)	2009～2012年度	終了
A	ミクロ・マクロ偏析制御	高プロ	江阪久雄(防衛大)	2009～2012年度	終了
A	低炭素焼結技術原理の創成	高プロ	葛西栄輝(東北大)	2009～2012年度	終了
B	鉄鋼スラグ中フリーCaOのキャラクタリゼーション技術の標準化	分析技術	田中龍彦(理科大)	2009～2012年度	終了
C	ばらつきのない製造を実現する大量データ活用型モデルベース制御技術	計測	藤崎泰正(神戸大)	2009～2012年度	終了
C	新世代中性子源を利用した鉄鋼元素機能	分析	大沼正人(NIMS)	2009～2012年度	終了
A	合金化溶融亜鉛めっき鋼板の皮膜特性に及ぼす鋼中Si添加の影響	材料	山口 周(東大)	2010～2012年度	終了
A	計算工学による組織と特性予測技術Ⅱ	材料	小山敏幸(NIMS)	2010～2012年度	終了
A	劣質・未利用炭素資源コークス化技術	高プロ	青木秀之(東北大)	2010～2012年度	終了
A	精錬反応プロセスにおける混相流・多重スケール解析技術の開発	高プロ	嶋崎真一(東北大)	2010～2012年度	終了
A	鋼中非金属介在物粒子の多面的評価	分析	井上 亮(東北大)	2010～2012年度	終了
B	熱延ROT冷却モデル構築	圧延理論	大久保英敏(玉川大)	2010～2012年度	終了
I	鉄鋼材料の組織と延性破壊	材料	高木節雄(九大)	2011～2013年度	継続
I	低炭素高炉実現を目指した固気液3相の移動現象最適化	高プロ	植田 滋(東北大)	2011～2013年度	継続
I	炭素循環製鉄	環境エネ社会	加藤之貴(東工大)	2011～2013年度	継続
I	素材産業から見た自動車リサイクル	環境エネ社会	松八重一代(東北大)	2011～2013年度	継続
II	鉄鋼分析における技術基盤の再構築を指向した統合型データベース開発	分析技術	上原伸夫(宇都宮大)	2011～2013年度	継続
I	電磁振動印加時の物理現象解明	高プロ	岩井一彦(名大)	2012～2014年度	新規
I	非金属介在物と硫化物・窒化物の固相内反応	高プロ、振興助成	柴田浩幸(東北大)	2012～2014年度	新規
I	加工プロセスにおける酸化被膜の影響	創形	宇都宮裕(阪大)	2012～2014年度	新規
I	高強度鋼の破壊靱性	材料	栗飯原周二(東大)	2012～2014年度	新規
I	ワイヤレスセンサネットワークの鉄鋼応用	振興助成(計測)	榎 学(東大)	2012～2014年度	新規
II	鋼材矯正後残留応力の予測・評価	圧延理論	早川邦夫(静大)	2012～2014年度	新規
II	円周ガイド波による配管減肉検出技術	設備技術	西野秀郎(徳島大)	2012～2014年度	新規

表6 2013年度採択 研究会

型	研究会名	部会	主査	研究期間	
I	生石灰高速滓化によるスラグフォーメーション	高プロ	小林 能直(東工大)	2013～2015年度	採択
I	資源対応型高品質焼結鉄製造プロセス	高プロ	村上 太一(東北大)	2013～2015年度	採択
I	革新的水素不働態表面構築の原理探求	材料	坂入 正敏(北大)	2013～2015年度	採択
I	コンパクト中性子源を利用した新組織解析法(FS)	評価	大竹 淑恵(理研)	2013年度	採択
II	粒子法による製鋼プロセス解析ツールの開発	製鋼	安齋 浩一(東北大)	2013～2015年度	採択
II	高亜鉛含有ダストの高度資源化	電気炉	長坂 徹也(東北大)	2013～2015年度	採択

表7 産発プロジェクト展開鉄鋼研究の研究テーマ

研究テーマ	研究目的	主査	研究期間
海洋環境での製鋼スラグの利用技術開発	製鋼スラグの有効利用のため、製鋼スラグ及びその混合材による、海洋域造成材、海洋植物成長促進のための材料としての利用、海洋環境の修復・保持材としての利用効果を明らかにする。	月橋文孝(東大)	2010～2013年度
4Dイメージング実現による鉄鋼材料研究の飛躍的高度化	軽金属で開発されてきた3D/4Dイメージングと応用技法を鉄鋼材料に適用可能にし、鉄鋼の変形・破壊過程を4D「その場観察」し、局所的な変形挙動や3Dミクロ構造との関係を定量評価して塑性変形・破壊機構を解明する。	戸田裕之(豊橋科大)	2011～2013年度
製鋼スラグによる東日本大震災で被災した沿岸田園地域の再生	東日本大震災で被災した沿岸田園の除塩、土壌改良に対する製鋼スラグの有効性の確認と、農業利用のためのスラグの組成・組織制御技術の開発を行う。	北村信也(東北大)	2012～2014年度
GA被膜加工特性の飛躍的向上に関する研究	GA鋼板の弱点であるプレス加工時のめっき被膜加工性の飛躍的向上を目指し、Fe-Zn金属間化合物多結晶組織で形成されるめっき被膜の剥離現象を極限まで抑制するための基礎研究を推進する。	山口 周(東京大)	2013～2015年度

☆新製品☆

本会維持会員企業における最近の新製品を表8に示す。

表8 新製品一覧表

用途	会社名	製品名	内容	発表時期
土木・建築	新日鐵住金	スズ添加・新耐食鋼	高塩害環境下における塗装塗替え期間延長による LCC 削減が期待される耐食鋼。	2012.6
		橋梁用高性能鋼「SBHS400W」	SBHS は、高強度・高靱性で、溶接性に優れた橋梁用高性能鋼材。	2012.9
		ハイパービーム VE®「NSYP®345B」	従来の建築構造用鋼材 (SN490B) に対し、設計基準強度を 20N/mm ² 高めた(325→345N/mm ²)490N 級の外法一定 H 形鋼。	2012.9
	JFE スチール	先端翼付き回転貫入鋼管杭「つばさ杭®」	先端に 2 枚の平板を交差させて取り付け鋼管杭。回転貫入により完全無排土で施工でき、押込・引抜で大支持力が可能。	2012.9
		建築構造用高性能 590N/mm ² 級 TMCP 鋼材「HBL®440」	高強度と低降伏比を両立させ、溶接施工性を向上させた建築構造用高性能 590N/mm ² TMCP 鋼材。	2012.5
自動車	新日鐵住金	自動車外板にも適用可能な冷延 590TRIP ハイテン	優れた伸び特性と外観品位を有し、世界で初めて外板として適用が可能となった冷延 590TRIP ハイテン鋼板。	2012.5
	JFE スチール	ホットプレス用酸化防止皮膜鋼板「JAG™」	自動車部品の軽量化に対応し、耐酸化性と耐食性に優れたホットプレス用酸化防止被覆鋼板。	2012.9
	神戸製鋼所	高強度冷間鍛造歯車用鋼 KSG シリーズ	クロムモリブデン鋼並の強度を有するとともに、冷間鍛造性に優れ、金型寿命の改善等が可能な高強度歯車用鋼。	2013.1
		TBF 型 1180MPa 級自動車用冷延ハイテン	車体軽量化、衝突安全向上を両立させる高加工性ハイテン鋼板。ボディ骨格の主要部品に世界で初めて全面採用された。	2011.10
	山陽特殊製鋼	高信頼性長寿命軸受鋼「PremiumJ2」	新しい製鋼技術と検査技術を開発・組み合わせることで清浄度の信頼性を高め軸受の小型化を可能とする高信頼性長寿命鋼。	2012.5
	日本高周波	冷間工具「KD11MAX」	板金プレス成形における金型寿命の向上と金型寿命の向上と金型のつくりやすさを向上させた汎用冷間工具。	2011.6
産業機械	山陽特殊製鋼	熱間金型用鋼「QT41-HARMOTEX」	合金元素を減少させながら鋼材の組織をより最適化することにより、従来材より靱性と軟化抵抗性を向上させた熱間金型用鋼。	2012.7
電機機械	新日鐵住金	精密加工用の細粒化ステンレス鋼板	SUS304 の成分系で結晶粒径を 5μm まで微細化。曲げ加工後の肌荒れの防止や湿式エッチング加工後の表面平滑化に有効なステンレス鋼板。	2012.1
		新意匠鋼板「NS ジンコート®カラー」	需要家側での塗装工程省略を目的に意匠性と耐食性等の基本性能をトップコート一層で実現させた着色鋼板。	2012.1
エネルギー分野	新日鐵住金	ラインパイプ用高耐食二相ステンレス鋼管「SM2505-65 (DP25U)」	溶接施工後熱処理をせずとも十分な耐 SCC 性を発揮し、かつ既存鋼より経済性に優れたラインパイプ用二相ステンレス鋼。	2012.9
		高強度マイルドサワー用低合金油井管「SM-125ES」	125ksi 級の低合金油井管として世界最高レベルの耐サワー性能(≤0.1bar H ₂ S)を達成した大深度油井開発に適した油井管。	2012.10
		海洋構造物用 Grade80	オイルメジャーがメキシコ湾で建設中の大型海洋構造物向けに世界で初めて開発したグレード 80 の厚鋼板。	2012.2
	JFE スチール	ラインパイプ用 TMCP 型ステンレスクラッド鋼板	母材の強度・靱性と合わせ材の耐食性を兼ね備え、かつ経済性に優れた TMCP 型ラインパイプ用クラッド鋼板。	2012.10
	新日鐵住金 ステンレス	大入熱溶接が可能なリーン型二相ステンレス鋼「NSSC® 2120」	SUS304 の 2 倍の強度を有し、溶接性に優れ Ni 量を削減した、SUS304 代替可能な省資源型の二相ステンレス鋼。	2012.4

☆生産技術のトピックス☆

2012年の注目すべき技術開発、新設備、新製品などの概要をご紹介します。

1. クロム鉬石溶融還元炉における

鉬石バーナー加熱添加技術の開発

JFEスチール(株)

JFEスチールは、クロム鉬石溶融還元炉において鉬石バーナー加熱添加ランスを開発し、東日本製鉄所千葉地区製鋼工場に導入した。

JFEスチールの上底吹き酸素転炉型溶融還元炉は、粉粒状のクロム鉬石を炉内に添加するクロム鉬石投入ランスを有するオンリーワン技術である。ステンレス鋼のCr源のひとつとしてクロム鉬石を利用することが可能であるため、Cr原料選択の自由度の高いプロセスである。

しかしながら、クロム鉬石の溶融還元ではエネルギー源として炭材を使用しており、二酸化炭素排出量削減などの環境負荷軽減のためには、エネルギー原単位削減による炭材使用量の低減が大きな課題であった。

今回導入した技術は、従来のクロム鉬石投入ランスに水素系ガスを燃料とする純酸素バーナー機能を付与し、炉内でバーナー火炎を介して粉粒状のクロム鉬石を添加することが可能である。上底吹き酸素による炭材燃焼のエネルギーの一部代替として水素系燃料バーナーを利用するため、燃料として利用される炭材使用量の削減が可能である。また、バーナー火炎により加熱された鉬石粒子が伝熱媒体として機能するため、バーナー燃焼熱を炉内の溶銑およびスラグに効率的に伝熱することが可能である。その結果、鉬石量あたりの供給エネルギー量が約20%低減した。

本技術の導入により、溶融還元炉でのCr原料選択の自由度が従来以上に向上するとともに、エネルギー原単位の削減による環境負荷軽減が可能となった。

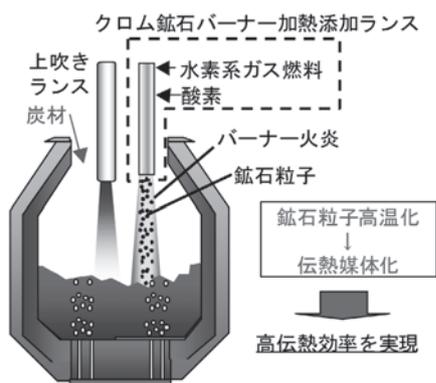


図 クロム鉬石バーナー加熱添加ランスによる溶融還元法の概要

2. 大入熱溶接が可能なリーン型二相ステンレス鋼

“NSSC[®]2120”

新日鐵住金ステンレス(株)

新日鐵住金ステンレスはSUS304代替で使用可能な新しい二相ステンレス鋼“NSSC[®]2120”を開発・商品化した。既にASTM規格に登録(UNS S82122)されており、日本海事協会より製造法承認を取得済み、国土交通省の新技術情報提供システム「NETIS(QS-120023-A)」にも登録されている。

NSSC[®]2120(21Cr-2Ni-3Mn-1Cu-N)は、低Ni・低Moのリーン型二相ステンレス鋼ゆえ価格安定性に優れ、SUS304の約2倍の強度を持つことから、薄肉・軽量設計が可能。

また、耐孔食性・耐酸性・耐応力腐食割れ性において、SUS304同等以上の性能を有しており、従来のSUS304代替タイプの二相ステンレス鋼の課題であった溶接性を改善し、SUS304と同等の大入熱溶接を世界で初めて可能にした。

以上の特性から、ケミカルタンカーや海水淡水化装置などの大型構造物から、貯水・食品などの容器・タンク、更には溶接H形鋼を含めた土木・建築分野まで、SUS304あるいは普通鋼(+塗装)の代替として、広範囲の用途での使用が期待されている。

商品メニューは、板厚は60mm～0.8mmまでで、厚板製品、ホットコイル製品、冷延製品の全てに対応可能。また船舶向けについては、通常熱処理材、TMCP(熱処理省略)材、クラッド材の3種類を供給可能である。



図 溶接H形鋼(同強度となるようにNSSC2120とSUS304で製作)

3. 橋梁用鋼板「エコビュー[®]」国土交通省NETISに登録

(株)神戸製鋼所

神戸製鋼所は、従来の溶接構造用圧延鋼材にTi、Ni、Cuを適量添加し、塗膜劣化部の生成さびを緻密化させ、塗膜下腐食の進行抑制を図ったロングライフ塗装用鋼板「エコビュー[®]」を開発、商品化し、これまでに12橋以上、約3,000トンの実績を上げてきた。さらに、「エコビュー[®]」適用橋梁での実橋暴露試験を通して想定通りの性能が発揮できている

ことを確認してきた。

今般、国土交通省に上記の実橋暴露試験による防食性能が評価され、2012年10月25日付で国土交通省の新技术情報提供システム (NETIS) に登録された (登録番号: KK-120027-A)。

「エコビュー®」を塗装橋梁に適用した場合、従来鋼に比べて塗装塗り替え周期が1.5倍に長期化させることが可能と考えられ、神戸製鋼所の試算例では、橋梁の耐用年数を100年とした場合、約15%のライフサイクルコスト低減に寄与する。

さらに、橋梁の架設環境、部位別腐食環境等を考慮して、適材適所で採用することで、塗装欠陥部からの急激な腐食進行を抑制し、効率的な維持管理が図られることである。

神戸製鋼所は、「エコビュー®」のNETIS登録を契機に、鋼橋の約7割を占める塗装橋梁への「エコビュー®」の利用技術提案を積極的に推進し、鋼橋の安全性を確保しつつ、ライフサイクルコスト最小化に取り組んでいく。

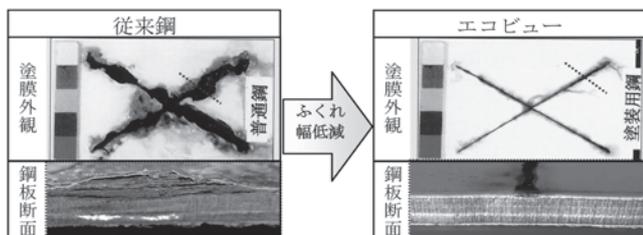


図 従来鋼とエコビューとの複合サイクル試験結果

4. TMCP型ラインパイプ用ステンレスクラッド鋼板

JFEスチール (株)

JFEスチールはラインパイプ原板用途にTMCP型圧延クラッド鋼板の製造技術を確認した。クラッド鋼板は母材の機械的特性と合わせ材の耐食性を兼ね備え、かつ経済性に優れた高機能鋼板であり、エネルギー開発分野の成長とともに、近年需要が高まっている。また、高強度な母材を用いることにより鋼板の薄肉化も可能でありラインパイプの重量削減と施工コスト低減にも寄与する。

ラインパイプ用鋼は優れた母材の強度・靱性バランスとともに良好な溶接性が求められるため、鋼板の化学成分を制限した上で機械的特性を向上させることのできるTMCPにより製造される。しかし、クラッド鋼板では合わせ材の接合強度も圧延により確保する必要があるため、圧延条件に制約があるなどの理由から、TMCPの適用は容易ではなかった。JFEスチールはクラッド鋼板製造プロセスに適した母材成分設計と圧延・冷却条件の最適化およびSuper-OLAC®による高精度な冷却コントロールにより、接合強度と母材の機械的

特性を両立する量産製造条件を確認した。

すでに、API規格のX65グレードの母材にSUS316Lを合わせたラインパイプ原板を受注し製造を完了している。今後も製造能力の拡大を図るとともに、各種の腐食環境に対応できる耐食鋼を合わせ材としたクラッド鋼板の開発を強化し、ラインパイプの製造コスト低減に貢献していく。

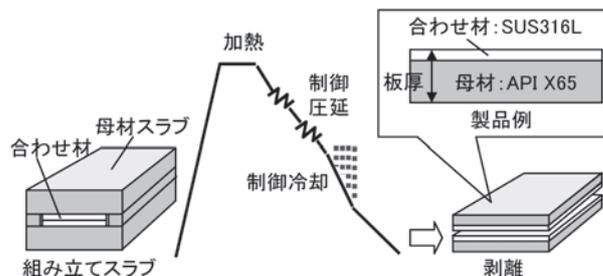


図 TMCP型圧延クラッド鋼板の製造プロセス

5. 7%ニッケル鋼板の実用化

新日鐵住金 (株)

ニッケル量を従来の9%ニッケル鋼板 (9%Ni鋼板) から20%低減した7%ニッケル鋼板 (7%Ni鋼板) が世界最大容量230,000m³の地上式LNGタンクに採用された。

LNGの大容量タンクには、-162℃という低温で破壊に対する高い抵抗性と強度を有する鋼板が必要とされ、従来、ニッケルを9%含有する9%Ni鋼板 (JIS G 3127 SL9N590) が使用されてきた。7%Ni鋼板は、高価で希少な金属資源であるニッケルの保護とLNGタンク建設コストの縮減を目的に新日鐵住金が開発を進めてきた鋼材であり、高度な加工熱処理 (TMCP) による組織の微細化と化学成分の最適化により、焼入焼戻しにより製造される従来の9%Ni鋼板に比べ、ニッケルの添加量を20%低減しながら9%Ni鋼板と同等の性能を発現する鋼材である。実用化に当たり、ガス事業者およびタンク製造業者と共同で、-196℃での大型破壊試験などタンクの安全性を検証する様々な試験を行い、大容量地上式LNGタンクへの適用を検討した結果、平成22年度に経済産業省より7%Ni鋼板がガス工作物の技術基準に適合するとともに

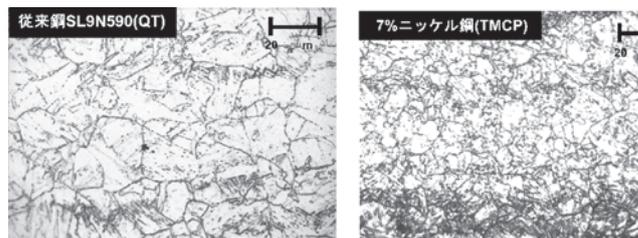


図 7%Ni鋼板の金属組織例

JIS G 3127の9%Ni鋼板と同等の性能を有していると評価された。これにより、世界最大容量230,000m³の地上式LNGタンクで最大厚約50mmを含む約3,500トンの7%Ni鋼板が採用される事となった。7%Ni鋼板は2013年に種類の記号をSL7N590としてJIS G 3127(低温圧力容器用ニッケル鋼鋼板)に登録され、また、国内2件目への適用も予定されている。省資源型高機能鋼材として今後の需要拡大が期待される。

6. 高伸び型高張力合金化溶融亜鉛めっき鋼板

JFEスチール(株)

自動車の骨格部品では、車体軽量化による燃費向上と衝突時の安全性の確保を目的に、ハイテン化が進められている。同時に、防錆寿命保証の長期化のために合金化溶融亜鉛めっき(以下、GA)鋼板の使用比率が高まっている。キャビン周りの主要な骨格部品でも、ベルトラインより下部に配置される部品では防錆性を要求されており、高強度のGA鋼板が必要となっている。これら部品は自動車の車体の設計形状から難成形であることが多く、高強度と高成形性を兼ね備えるハイテン材の開発が望まれている。

これに対し、JFEスチールでは、独自のプロセス技術の導入により、新しい成分設計に基づく高伸び型のGAハイテン商品群を開発している。高伸び型のGAハイテンでは、フェライト相とマルテンサイト相からなるDP組織において、

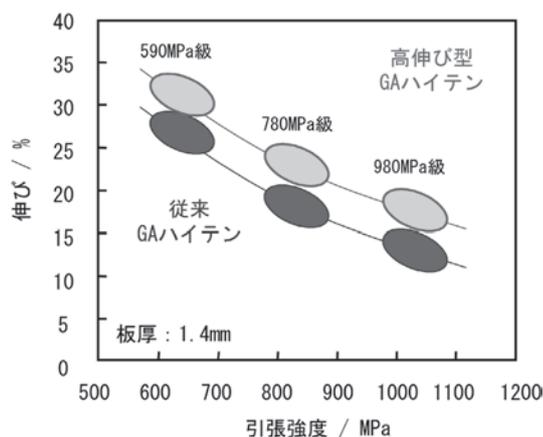


図1 高伸び型ハイテンGAと従来ハイテンGAの伸び特性の比較

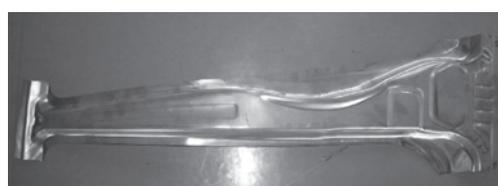


図2 高伸び型980MPa級ハイテンGAの成形例(センターピラーモデル金型)

フェライト相の加工硬化能を高めることで優れた延性を達成し、絞り、張出し成形性を高めている。このとき、各々の構成相の体積分率を調整することにより、590MPaから980MPaまでの幅広いTSグレードに対応している。高伸び型のGAハイテンの伸び特性を従来のGAハイテンと比較して図1に示すが、高伸び型は従来の材料と比較して、全伸び値が約2割高い水準にあり、大幅なプレス成形性の改善を実現している。

このような延性の改善により、図2に事例を示すような難成形部品に対しても高強度GAハイテン材を積極的に適用することが可能となり、キャビン廻りの骨格部品における防錆性能と衝突性能の両立が期待され軽量化(薄肉化)に大きく寄与する。

7. 新グレードの軸受鋼「PremiumJ2」の開発・商品化

山陽特殊製鋼(株)

山陽特殊製鋼は軸受の長寿命化・小型化を可能とする新グレードの軸受鋼「PremiumJ2」を開発し、量産化技術を確立した。

近年、自動車の燃費向上を目指した部品小型化のニーズが高まっており、中でも軸受の小型化は周辺部品にも派生するため、自動車の軽量化に非常に有効と考えられる。軸受使用時、鋼中の非金属介在物が高応力の転がり疲れを受ける領域に存在すると、それを起点としてき裂が生成・伝ばし、はく離をもたらすことが知られている。これまでの研究により、軸受の小型化に対応するには寿命ばらつきの下限値を向上させることが有効であり、そのためには特定の大きさ以上の有害な非金属介在物を低減させる必要があることを見出した。「PremiumJ2」は「短寿命はく離の原因となる有害な非金属介在物を極限まで低減させる製鋼技術」と、「従来から用いられているASTM E45 A法やJIS G0555などに規定された評価

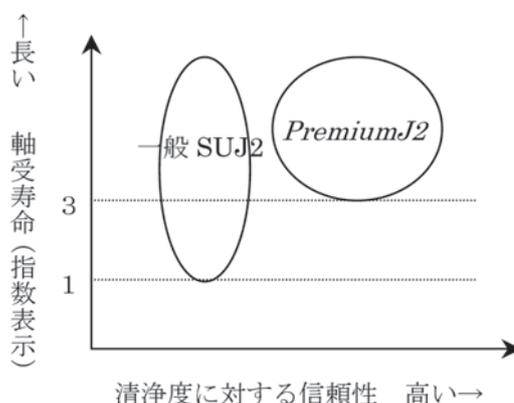


図 転がり疲れ寿命のばらつき改善イメージ

方法に比べ、有害な非金属介在物の存在頻度を大体積で評価する検査技術を開発・組み合わせることで、信頼性をより高めた高信頼性長寿命鋼である。

図に示すように、軸受を模擬した転がり疲れ寿命試験において、一般的な軸受鋼に比べ「PremiumJ2」は、寿命下限値が3倍程度改善するという結果が得られており、軸受の短寿命はく離の抑制、ならびに小型化が期待できる。

8. 熱間金型用鋼「QT41-HARMOTEX」の開発

山陽特殊製鋼(株)

山陽特殊製鋼は従来の熱間金型用鋼の材料特性を大幅に改善した新熱間金型用鋼「QT41-HARMOTEX」を開発した。

被加工材の温度が900～1200℃程度で使用されるハンマー鍛造などの金型には、代表的な熱間金型用鋼としてJIS規格鋼SKT4が使用されており、山陽特殊製鋼ではSKT4に改良を加えた熱間金型用鋼QT41を開発、量産化している。しかし、近年の塑性加工技術の進歩に伴い、製品の複雑形状化が進み、金型への負荷はますます増大しており、金型材料には一層の割れ・欠けや磨耗・ヘタリに対する抵抗性の向上による長寿命化が求められている。その対応策として開発された「QT41-HARMOTEX」は、合金元素を減少させながら鋼材の組織を最適化することにより、種々の材料特性を向上させている。図に示すように、炭化物の形態制御によって、靱性は従来材の約2倍に向上しており、金型使用時の割れ・欠けを抑制する。また、組織の熱的安定性を高めたことで、軟化抵抗性は従来材の約1.5倍に改善しており、金型の長期使用時の磨耗・ヘタリを抑制する。

なお「QT41-HARMOTEX」は、すでに一部ユーザーに納入しており、良好な評価を得ている。ターゲットとしている主な用途は、自動車部品製造に使用されるハンマー鍛造用型やダイホルダーなど、特に高い耐久性が要求される金型や鍛造機部品が挙げられる。

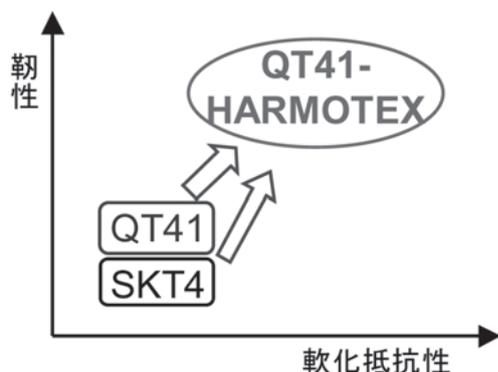


図 「QT41-HARMOTEX」の位置付け

9. 回転貫入鋼管杭「つばさ杭®」の適用可能範囲を拡大

JFEスチール(株)

JFEスチールが開発した「つばさ杭®」は、鋼管の先端に取り付けた2枚の半円状の平板の先端翼を特徴とし、回転貫入により施工する鋼管杭である。無排土、低騒音・低振動、地下水汚染なしを実現した環境にやさしい工法であり、最大で杭径の3倍の直径を持つ先端翼により大きな支持力が期待できる。

建築基礎向けに、従来は中径サイズ(杭径318.5mm～609.6mm)を主な適用対象としていたが、適用範囲の拡充と施工性の向上に取り組み、小径サイズ(最小径114.3mm)を追加するとともに、従来の閉端タイプ(図1)に加えて、施工時に土を管内に取り込むことで硬質地盤における大径杭の貫入性を向上させた開端タイプ(図2)を追加した。その結果、閉端タイプ、開端タイプともに114.3mm～1200mmの範囲で押し込み支持力性能に関する国土交通大臣認定を取得し、幅広い構造物への適用が可能となった。

また、耐震補強などの観点で社会的要請が高くなっている引き抜き抵抗力についても、全ての杭径で(財)日本建築総合試験所の建築技術性能証明を取得し、設計で大きな引き抜き抵抗力が求められる構造物への適用性を向上させた。

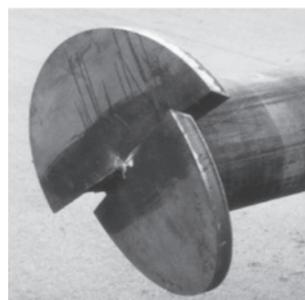


図1 閉端タイプ



図2 開端タイプ

10. シームレスラインパイプ用高耐食二相ステンレス鋼管「SM65-2505 (DP25U)」の開発

新日鐵住金(株)

新日鐵住金はシームレスラインパイプ用高耐食二相ステンレス鋼管「SM65-2505 (以下DP25U)」を開発した。

従来、フローライン用途としてスーパーマルテンサイト系ステンレス鋼(S13Cr鋼)が使用されており、北海・北アフリカを中心に広く適用されている。S13Cr鋼は炭酸ガスを含む腐食性環境における溶接継手部でのSCCを防止するため溶接後熱処理(以下PWHT)の実施が必要であった。

新日鐵住金ではPWHTを省略可能で且つ炭酸ガスや炭酸ガスに微量硫化水素を含んだ高温環境での耐食性を満足する

合金系を研究し25%Cr-1%Mo-5%Ni-2.5%Cu鋼を開発した。Crを25%含有させることで不動態皮膜を強化し、S13Cr鋼を上回る高耐食性を実現した。またPWHTが省略可能であることによりユーザーでの溶接施工性が大幅に向上した。

DP25Uは16”までのサイズが製造可能であり、今後増加する大深度の油井・ガス井開発への適用が検討されている。

表1 DP25U、S13Crの成分(単位:wt%)

材料	C	Cr	Ni	Mo	Cu	N
DP25U	0.02	25.0	5.0	1.0	2.5	0.2
S13Cr	0.01	12.0	6.5	2.5	-	-

表2 DP25U、S13Crの溶接継手部の4点曲げ試験結果

材料	PWHT	Cl ⁻ (mg/L)	温度 (°C)	試験結果
DP25U	無	180,000	175	No SCC
S13Cr	無	180,000	110	SCC
	有			No SCC

11. i-TOP (鋼板用表面検査装置) の開発・商品化

東洋鋼板 (株)

東洋鋼板は表面処理鋼板、冷延鋼板等、各種鋼板用途に特化した表面検査装置を開発・商品化した。

東洋鋼板は1980年代よりアナログCCDラインセンサーカメラを用いた表面検査装置を自社開発し、社内で運用していた。しかし、近年カメラのデジタル化およびPCの能力向上に伴い、フィルム・紙用途を中心に安価な汎用表面検査装置が開発された。東洋鋼板は同装置の鋼板用途への適用を図るため、2006年から(株)アヤハエンジニアリングと共同開発を開始した。

同装置はCCDラインセンサーの信号を二次元化後に、都合ノイズの除去、欠点信号の強調等の画像処理を行う汎用表面検査装置に、東洋鋼板内で実績のある光学系、装置構成、検査レシピ、運用方法等を組み合わせ、鋼板用途に特化した

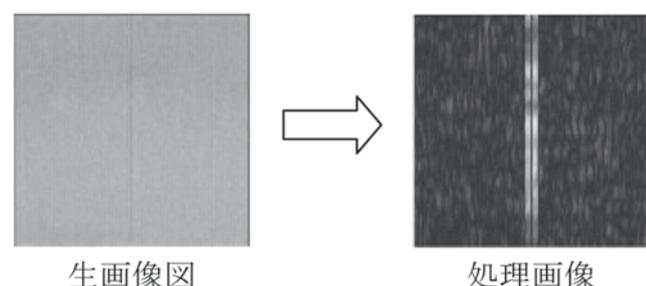


図 画像処理例：スケール欠点強調処理

表面検査装置として提供している。

同装置の特徴を以下に示す。

1. 表面に防錆油が塗布されている冷延鋼板等において、油の影響が少ない光学系・画像処理の提案。
2. 鋼板特有の長手方向欠点を強調する画像処理。(図)
3. 東洋鋼板内での知見を活かした設備構成の提案。

同装置は2011年に商品化。(商標登録名:i-TOP) 納入ユーザーから、使い易さを含めた運用面で好評を得ている。今後、鋼板検査の標準機を目指して展開していく。

12. 操業データベースを活用した製鋼プロセス制御技術の開発 JFEスチール (株)

JFEスチールは局所回帰モデル(図1)を用いたオンラインプロセス自動制御手法を開発し、本技術による脱硫プロセス制御システムを実用化した。

従来、溶銑中の硫黄濃度を目標値にするためのフィードフォワード制御が、回帰モデルをもとに行われていた。さまざまな鋼種毎に与えられた多数のモデルパラメータを環境変化の生じるたびにスタッフが統計解析を行い調整していたが、その作業負荷が高く精度維持に限界があった。

新しく開発した脱硫制御システムにおいては、データベースに蓄積された大量の実績データから予測の必要が生じる毎に局所的にフィッティングする予測モデルを用いた。先入れ先出しにより更新される実績データセットをもとにモデルパラメータをリアルタイムに自動的に計算させることにより、スタッフによるパラメータテーブルのメンテナンス負荷を低減するとともに、予測精度ならびに制御精度を向上させることができる。実機に適用したところ、処理後硫黄濃度制御誤差の根平均二乗誤差は約45%低減した。

本技術は汎用性があるものと大いに期待できる。今後も、物理モデルの構築が困難、または環境変化によりモデルの精度の維持が困難な他のさまざまな鉄鋼プロセスの制御に対して、本手法の適用範囲を拡大していく予定である。

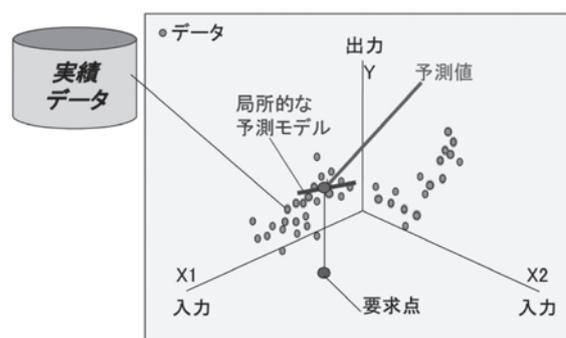


図1 局所回帰モデリング(計測と制御 Vol.49, No.7, pp.441 から引用)

13. 製品配送計画システムの開発

JFEスチール (株)

JFEスチール東日本製鉄所における製品配送はトラック、セミトレーラによる陸上輸送が中心である。近年、燃料価格の高騰等により物流コストの増加を招いており、コスト削減への取り組みが急務である。

以上の課題に対して、東日本製鉄所の出荷3拠点(千葉、京浜地区、東京物流センター)で個別に行われていた配送業務を統合し、「一つの製鉄所と呼ぶにふさわしい製品配送計画システム」を開発した。

製品配送計画システムで中核となる技術は、統合された3拠点の出荷材源と配送車両に対して、最適な配送ロットとルート作成する配車計画エンジンである。

図に示すように配車計画エンジンはメタヒューリスティック法の1つである反復局所探索法をベースに配送ロット作成と配送ルート選択を交互に繰り返しながら、配送コスト(車両固定費、燃料費)が最小となる配車計画を作成する。また、大規模な配車計画に対応するため、近傍探索の単位を積み荷単位、顧客単位、車両単位、配送回数単位と探索段階に応じて可変とすることで、探索効率の向上を図った。

事前の効果検証により7%の配送効率向上を確認し、実機化を推進した。本製品配送計画システムは2010年度より日々の配送業務に活用されている。

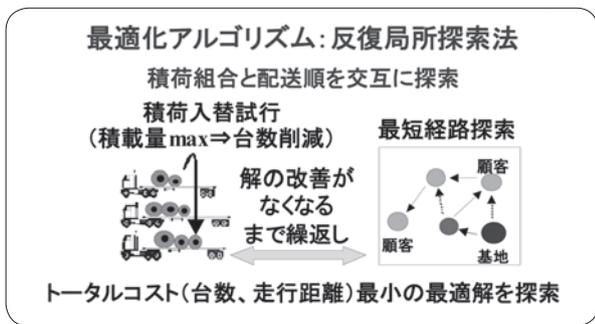


図 配車計画エンジンアルゴリズム

14. 厚板熱処理計画システムの開発

JFEスチール (株)

JFEスチールでは高強度・高機能厚板に対するニーズの高まりに応えるべく、生産能力を拡大してきた。

JFEスチール東日本製鉄所京浜地区厚板工場の熱処理設備向けの生産計画システムを開発し、納期余裕適正化と生産効率向上の両面において効果を得た。

熱処理工程は厳密な温度管理と在炉時間管理が要求されるため、種別(焼き入れ、焼ならし、焼き戻し、焼きなまし)や設定温度毎に製造ロットをまとめるのが効率がよい。しかし注

文の納期は必ずしもまとまっていないため、納期余裕の確保と生産効率の向上はトレードオフ関係にある。

今回開発したシステムは、納期余裕代を調整可能な製造ロット集約処理と生産効率を最大化する製造処理ロット順序決定処理とを組み合わせ、さらに2つの熱処理炉の生産計画を相互に連携して作成することにより、納期余裕適正化(製造リードタイムのバラつき削減)と生産効率向上(オフライン検証: 対実績+5%)を同時に実現した。

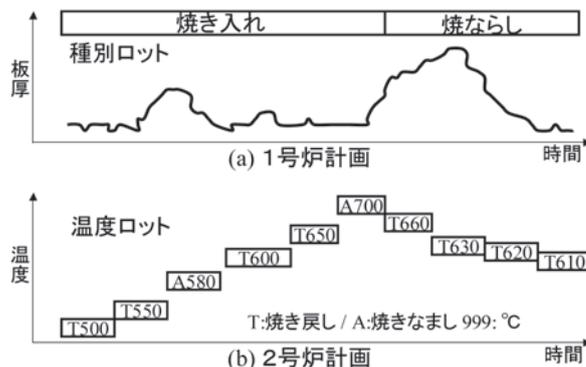


図 熱処理計画の結果例

15. 高品質電縫鋼管溶接部の超音波非破壊評価技術

JFEスチール (株)

JFEスチールは電縫鋼管溶接部の微小酸化物の分布をオンラインで非破壊評価可能な探傷技術を開発した。

電縫鋼管は従来からラインパイプをはじめとして広範囲の用途に用いられているが、溶接時に生じる微量の酸化物の影響により溶接部の機械的特性が不足する可能性があり、極寒冷地向けなどに特に厳しい用途への使用には制約があった。開発した非破壊評価技術(図1)は、電子走査、および焦点位置や超音波の送受信方向を制御可能なフェーズドアレイ超音波探傷技術を活用した点集束タンデム探傷法により、従来の溶接部斜角探傷法と比べて10倍以上の高い感度を実現した。

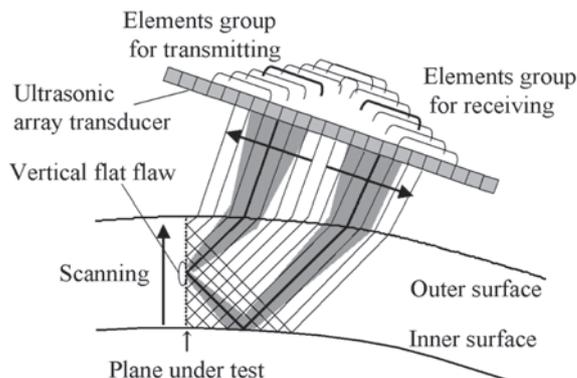


図1 フェーズドアレイUTを用いた点集束ビームタンデム法

さらに、高精度シーム追従技術により、微小酸化物の分布をオンラインリアルタイムにマッピングするとともに溶接部の機械的特性を全長評価可能とした。

本技術は、溶接部の信頼性を飛躍的に向上させた電縫鋼管「マイティーシーム®」の検査技術として京浜地区と知多地区に導入しており、電縫鋼管の用途拡大への貢献が期待される。

16. 高天井用高効率反射笠「SetsuDenミラー」

東洋鋼鉄(株)

東洋鋼鉄は金属の中でも光の波長の長短に関りなく安定して高い反射率が得られる銀を各種金属表面にめっきする技術を用いて、全反射率95%の「銀鏡めっき金属板ミラーコートK」を開発し、更にミラーコートKの利用技術として照明反射板用途として「SetsuDenミラー」を生み出した。

「SetsuDenミラー」は既存反射笠の特性を分析研究し「ランプ光源のパワーを全て生かす形」と「反射光を照射面にバランス良く配光できる形」を追求した結果、既存反射笠を40%以上上回る照明効率特性を得ることができた。(特許第4982592号) さらに、2012年度の環境省による環境技術実証事業の地球温暖化対策技術分野に選定され性能実証された。

昨今照明のLED化が声高に叫ばれているが「SetsuDenミラー」はLEDよりも発光効率の優れたセラミックメタルハイドランプ、ナトリウムランプとの組み合わせにより、設置高さ20m以上の大型施設への設置で「節電しても明るい効果」がローコストで得られる「スマート節電」が評価され、鉄鋼各社、コイルセンターで多数の導入実績がある。

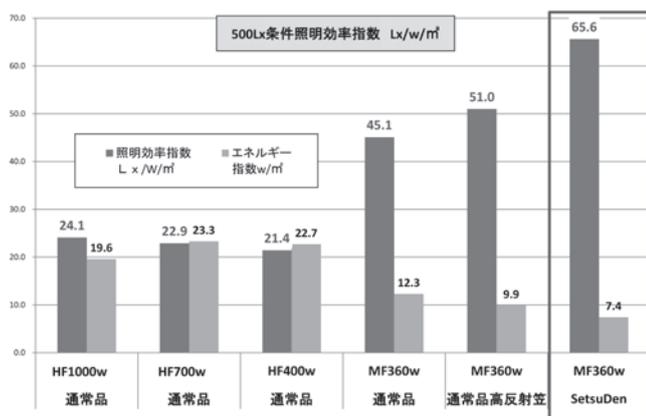


図 照明効率指数とエネルギー指数の比較

17. 切削改善材「JFM®4」を添加した鉄粉の自動車部品 初採用および「JFM®3」を添加した鉄粉の採用拡大

JFE スチール(株)

JFE スチールでは、鉄粉に少量混合することにより、最終製品である焼結部品の切削加工における工具寿命を格段に改善する切削改善材2種を開発した。ひとつは、旋盤切削性改善に寄与する「JFM4」であり、他方はドリル穿孔性を改善する「JFM3」である。本稿では、これらの製品の特長と採用状況を報告する。

旋盤切削性改善に寄与するJFM4は、SiO₂等からなる複合酸化物微細粉末であり、鉄粉および副原料粉末に0.2mass%程度添加され、焼結部品用原料として使用される。JFM4は、焼結部品中に均一に分散しており、旋削部位の摩擦熱によって軟化・伸展して被削材外部に抽出され、工具表面に潤滑・保護膜(ベラーク層)を形成する。ベラーク層の存在によって、工具-被削材間の摩擦力が低減され、加工時の工具磨耗が抑制される(図1)。

この度、この特長が評価され、旋削加工の多い自動車用歯車部品に初採用された。

一方、ドリル穿孔性を改善するJFM3は、軟質の無機化合物混合粉末より成り、JFM4と同じく焼結部品原料粉末に1mass%弱添加して使用される。JFM3は焼結体の空孔のサイズ分布と相似の粒度分布を持つことが特長で、焼結体中の気孔を効率よく塞ぎ、気孔に起因する材質の不均質性が緩和

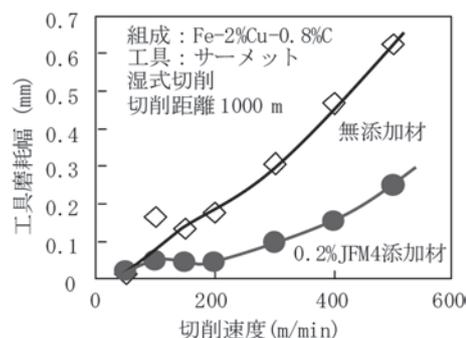


図1 JFM4添加焼結材の旋削時の工具磨耗

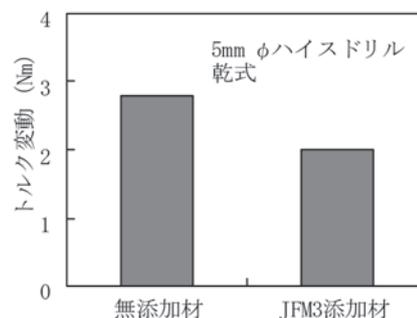


図2 JFM3添加焼結材の穿孔加工時にドリルが受けるトルクの変動量

されるため、ドリルへの断続的な衝撃力となる切削抵抗の変動を軽減する(図2)。さらに、応力集中点として切り屑を微細化し、穿孔部位外部への排出性を改善するため、被削片の巻き込みによるドリル回転の拘束が解消され、突発的なドリル折損が抑制される。

このような特徴が評価され、複数の油抜け穴を穿孔加工するショックアブソーバピストン等への採用が広がり、今後、さらなる適用例の増加が期待される。

18. 液状化対策用「NSSMCハイドレール鋼管杭」の津波避難ビルへの採用

新日鐵住金(株)

新日鐵住金の液状化対策に効果を発揮する「NSSMCハイドレール鋼管杭」が共英製鋼(株)開発センター兼避難ビルに採用された。

「NSSMCハイドレール鋼管杭」は、鋼管杭に排水部材を設けることで周囲地盤の液状化を抑制し高い水平安定性を保つことができ、通常的基础杭に見られる、杭近傍地盤が液状化し反力が失われやすいという弱点を補うことから、杭の仕様、本数などのスリム化が可能となる。また、鋼管杭であるので、津波避難ビルに要求される、津波に対する大きなせん断抵抗力も備えているので、液状化地盤に設けられる災害避難ビルに特に適している。

共英製鋼名古屋事業所の現場では、径1,200～900mm、板厚19～9mm、長さ30m強のスパイラル鋼管製の杭が18セット採用された。当ビルは、RC造3階建て+屋上、屋上フロア部の高さは地上16mで、2012年9月に完成し、現在供用中である。



図1 共英製鋼開発センター兼避難ビル



図2 NSSMCハイドレール鋼管杭

現在、東日本大震災からの復興、南海トラフ巨大地震などへの備えが喫緊の課題となっている。今後、「NSSMCハイドレール鋼管杭」は、災害避難ビルを初め液状化地盤に設けられる構造物に採用され、安全性、安定性向上に資することが期待される。

19. 地下鉄用操舵台車の量産適用

新日鐵住金(株)

新日鐵住金は、東京地下鉄株式会社と共同で、曲線区間で、輪軸を曲線方向に操舵し、滑らかに通過する台車を開発した。

鉄道車両用台車は、前後2対の輪軸が台車と平行に保持されるため、曲線区間を走行する時に、先頭輪軸の車輪レール間にアタック角が発生し、車輪レール接触部ですべりと抵抗力を受けながら車輪が回転する。

この作用によって、曲線区間を走行する際、大きな高周波振動、騒音、車輪摩耗、レール摩耗等の問題が発生するため、特に曲線の多い地下鉄では、地上や車上から塗油を行い、摩擦係数を下げることが対策としてきた。しかし塗油による対策は、力行、制動時に、空転、滑走が発生するため、潤滑メンテナンスの負担が大きかった。そこで輪軸を操舵し曲線を滑らかに通過する操舵台車を開発した。

2012年春から営業運転を開始した東京メトロ銀座線1000系車両用のSC101台車を図1に示す。操舵台車が地下鉄新形式車両に採用されるのは国内初である。

今後も、操舵台車の曲線通過性能を高め、さらなる最適化を図っていく予定である。

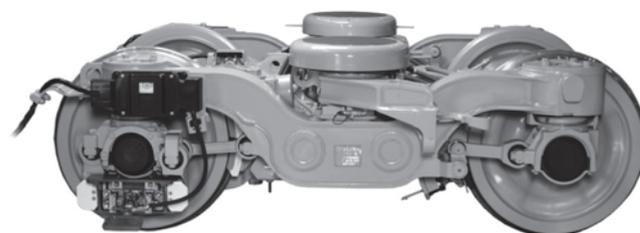


図 東京メトロ銀座線 1000系車両用SC101台車



入門講座

物理分析入門—初めて使う人のために—2

走査電子顕微鏡 / 電子線マイクロアナライザの原理と得られる情報

The Principle of Scanning Electron Microscope / Electron Probe Micro Analyzer and Information to be Provided

野呂寿人
Hisato Noro

JFEスチール(株)スチール研究所
分析・物性研究部 部長

1 はじめに

走査電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope : SEM) は、試料の表面形態を高倍率で観察する装置、電子線マイクロアナライザ (Electron Probe Micro-Analyzer : EPMA) は試料上の微小領域の組成を非破壊的に分析する装置である。SEMとEPMAは、独立に開発され、また、名前も異なることから、これらは全く別物と思われがちだが、いずれも入射プローブ*1に電子線を用いており、装置構成や基本原理の点でも数多くの共通点を持っている。最近のSEMには元素分析機能がオプションで用意されており、EPMAもSEMの像観察機能を標準で装備している。したがって、これらは類似の装置と考えた方が理解しやすい。

電子線走査と二次電子を利用したSEMの着想は、1935年のKnollの実験¹⁾に遡るが、今日のSEMの基本技術の大半は、Cambridge大学のOatleyのグループによって開発されたものである²⁾。1965年に最初の製品化が行われてから半世紀近い年月が経過する間、電界放出型電子銃、デジタル処理技術、PC制御技術などの開発により、SEMの性能と利便性は飛躍的に向上し、今日では素材やデバイスなどの研究・開発に欠かすことのできない評価ツールとなっている。

EPMAの歴史は、Hillierによる1947年の米国特許の申請に始まるが、その実質的な創始者は、1951年にParis大学で今日の原型を築いたCastaingである³⁾。SEMの商用機が登場するよりも前の1958年には、仏CAMECA社によって最初の製品化が行われた。Castaingの指導教官であったGuinierの影響もあって、EPMAは開発当初から金属組織の解析に利用され、その後、地質/鉱物学分野などでも盛んに利用されるようになった。1970年代後半には、試料ステージ駆動による

マッピング技術 (後述) が開発され、微小領域だけでなく、工業製品の大きさに対応した領域でも元素分布の観察が可能になり、EPMAは産業界に急速に普及していった。

2 顕微鏡観察の原理

2.1 放出電子のエネルギー分布

試料に電子線を照射すると、その表面には図1に示すような電子や光などの種々の信号が発生する。このうち、試料表面から放出される電子は、図2に示すような運動エネルギー分布を持っている⁴⁾。Aのエネルギー領域に対応する放出電子は、試料表面でほぼ弾性的に散乱された電子に対応する。これらとBの高エネルギー領域に対応する放出電子を合わせて“反射電子 (後方散乱電子)”と呼んでいる。一方、数eV付

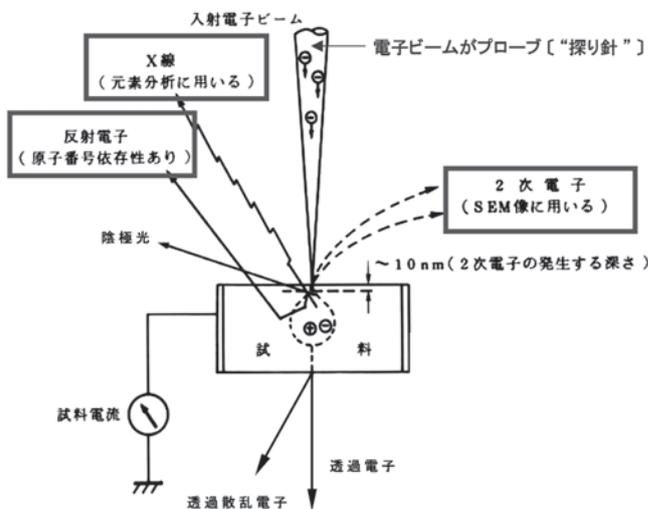


図1 電子線照射で生じる各種の信号⁴⁾

*1 試料から何某かの信号を得るために試料に照射される素性のよくわかった線源のこと (入門講座第1回参照)。プローブには“探り針”という意味がある。

近にブロードなピークを有する低エネルギー領域 (C) は入射電子の試料内部での非弾性散乱過程で試料表面から放出された電子に対応し、これらを、通常“二次電子*2”と呼んでいる。

2.2 二次電子像

二次電子の放出量には物質依存性があるが、凹凸を有する試料表面では、通常、表面形状がその支配因子になる。二次電子は、入射電子が試料内で散乱される過程でその経路の周辺に発生するが、エネルギーが高々数10eVしかない荷電粒子のため、試料表面から数nmの深さで発生した場合でなければ試料の内部で吸収され、試料表面を抜け出すことができない。そのため、二次電子は入射電子の散乱経路が表面側に偏る傾斜角が大きい領域で発生しやすい(図3)。この“傾斜角効果”を利用して、細く絞った電子線で試料表面を走査しながら二次電子の放出量をモニターし、これを電子線走査と同期させてディスプレイ上に明るさとして表示すると、試料の表面形状を反映した“二次電子像”を得ることができる。

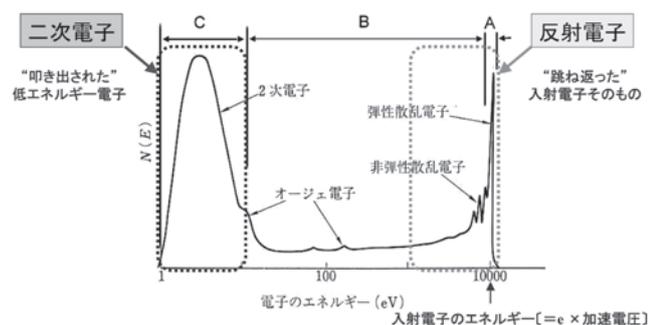


図2 電子線照射により試料表面から放出される電子のエネルギー分布 (10kV入射)⁴⁾
 A: ほぼ弾性的に散乱された電子の領域、B: 大きなエネルギー損失を受けた電子の領域、C: 二次電子の領域

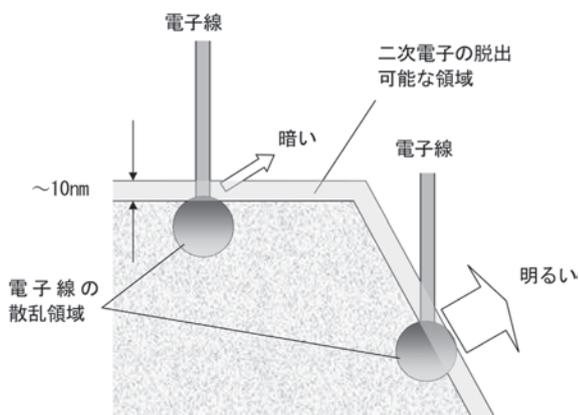


図3 二次電子の放出量に対する試料表面の傾斜角の影響

通常、電子線の走査エリアは観察用ディスプレイと同じ縦横比に設定されており、例えば、走査エリアの幅(横方向の走査幅)を ℓ 、ディスプレイの幅をLとすれば、 L/ℓ が観察倍率になる。ディスプレイの幅Lは一定なので、 ℓ を小さくするほど拡大された像として観察できるため、顕微鏡として機能する訳である。例として、図4にCuメッシュ上のステンレス製球状粒子の二次電子像を示す。平坦な中心部で暗く、傾斜のついた周辺部が明るくなっており、粒子の下のメッシュもくっきりと観察されている。このように二次電子像には、光学顕微鏡像に較べて焦点深度が深く、影が殆ど無いという特徴がある。

2.3 反射電子像(後方散乱電子像)

二次電子の代わりに反射電子を検出信号として得られるSEM像は、“反射電子像”(もしくは、後方散乱電子像)と呼ばれ、試料表面の組成的な不均一性を評価する場合などに用いられる。反射電子は、電子線照射位置の平均的なクーロンポテンシャルによって入射電子が後方に散乱される結果生じる(図5)⁵⁾。そのため、反射電子像では平均的なクーロンポテンシャルが強い、すなわち、平均原子番号が大きい箇所ほど明るくなる。

図6は、めっき皮膜がAlリッチな相とZnリッチな相を含む55%Al-Znめっき鋼板表面の二次電子像と反射電子像の例である⁵⁾。図6bの反射電子像ではこれらの相を明暗の違いとして識別することができる(反射電子像で白く見えている部分がZnリッチ相)。このように、反射電子像は組成的な変化が生じている部分を迅速に識別したい場合に特に有効で、元素分析を行いたい場合の位置決めなどに利用すると効果的である。

3 他のコントラスト要因

二次電子像では表面形状が、反射電子像では組成の違い

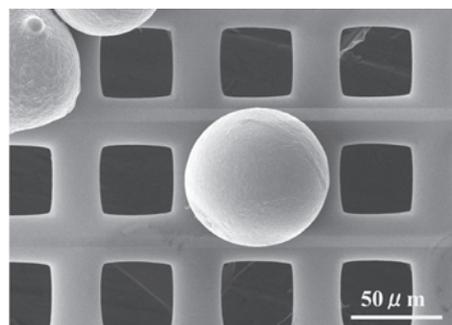


図4 Cuメッシュ上のステンレス製球状粒子の二次電子像

*2 一次電子である入射プローブに対してこの様に呼ばれる。

(平均原子番号) が、それぞれのコントラストの主要因であると述べた。しかし、実際の顕微鏡像のコントラストは他の要因によっても左右される。これらを理解していると像解釈を誤る危険性が減り、試料に関して予期していなかった情報を得られる場合もある。

3.1 結晶方位の影響

表面に歪みや欠陥が集中していない多結晶体の試料では、反射電子像(および二次電子像)に、各結晶粒の方位に依存したコントラストが現れる場合がある。これを電子チャネリングコントラスト(Electron Channeling Contrast: ECC)と呼んでいる。例として、図7に電解研磨したオーステナイト系ステンレス鋼板表面の反射電子像を示す。これらのコントラストは、電子線が各結晶粒の方位に応じて回折現象を起こし、それが反射電子の空間的な強度分布を変化させるために生じ

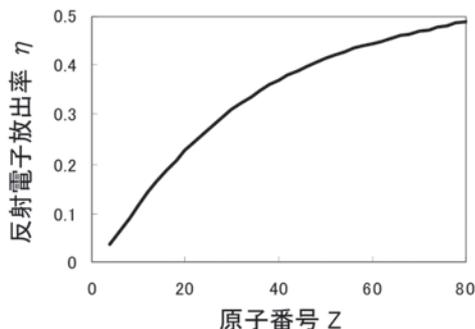
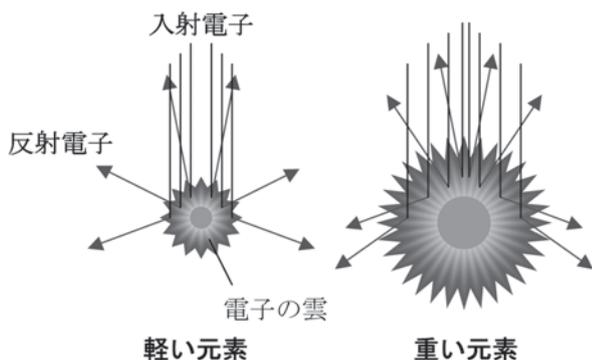


図5 反射電子放出効率の原子番号依存性⁵⁾

ている。これらのコントラストが、組成の違いではなく、各結晶粒の方位に依存して生じているものであることは、電子線の入射角度を変化させた時の急激な変化から確認できる。

3.2 エッジ効果

試料表面に存在する突起やエッジ部に照射された入射電子は、表面の極近傍に多量の二次電子を発生させるため、二次電子像ではエッジ部分が異常に明るく観察される事がある(図8)。この現象は“エッジ効果”と呼ばれており、多くの場合、像の立体感を高める効果をもたらすが、極端な場合にはエッジ部周辺の微細形状がこの明るさの中に隠されて見えなくなる。エッジ効果を抑制したい場合には入射電子の加速電圧を下げ、試料内での散乱領域を小さくするのが効果的である。

3.3 その他の効果

二次電子や反射電子の軌道は、試料表面の局所的な電場や磁場の影響を受けるため、強磁性体の磁区や強誘電体の電区がコントラストに現れる場合がある。また、試料表面に導電性の不良な部分が存在すると、そこが帯電(チャージアップ)して像障害が生じる場合もある。チャージアップの抑制策としては、金や白金-パラジウムなどの金属コーティングが一般的であるが、試料室の真空度を変えられる装置では、低真空にすることで、残留ガス分子と電子の衝突によってできるプラスイオンを利用して帯電を抑制できる。加速電圧を1kV程度まで下げても解像度とコントラストをある程度維持でき

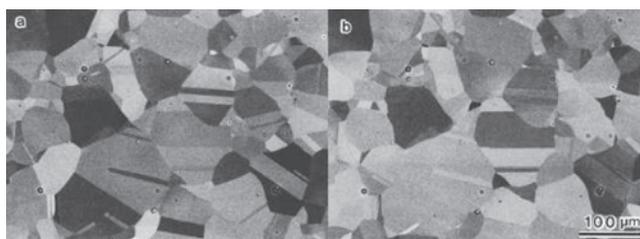


図7 反射電子像に認められるチャネリングコントラストの例(試料: オーステナイト系ステンレス鋼板; a,bは同一視野で、電子線の入射角が2°異なる)

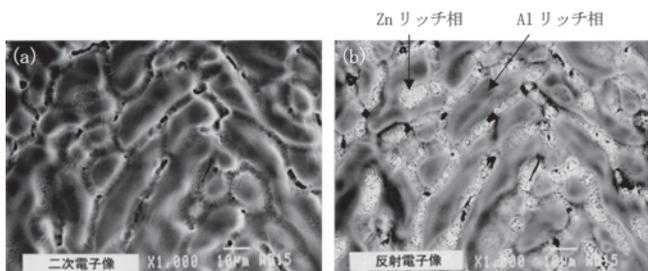


図6 55%Al-Znめっき鋼板表面の二次電子像(a)と反射電子像(b)⁵⁾

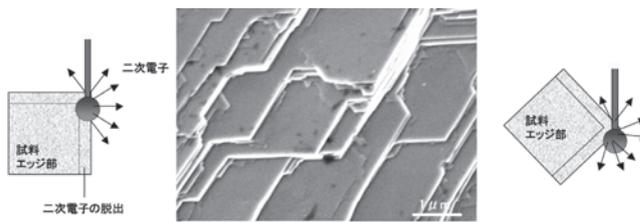


図8 二次電子像に認められるエッジ効果の例(試料: 電気亜鉛めっき鋼板)

るSEMの場合、二次電子の発生効率が1になる値（通常1～2kVの範囲にある）に設定して二次電子の放出量を入射電子の量とバランスさせる方法も有効である。

4 元素分析の原理

一般に、X線・粒子線（今の場合、電子線）を試料に照射すると、試料を構成する原子の内殻準位にいる電子がそのエネルギーの一部を吸収して原子の外に飛び出す。その結果、内殻準位には空孔が生じる。この状態は、内殻準位の電子が飛び出す前の状態（基底状態）に比べてエネルギーが高い不安定な状態（励起状態）のため、この空き準位を埋めようとして上の準位にいる電子がそこに遷移する（落ち込む）*3。この過程に伴って、これら二準位間のエネルギー差に対応するエネルギーが原子の中で余る。このエネルギーの一部はオージェ電子*4として、残りのエネルギーは特性X線と呼ばれるX線の形で原子から放出される。この様子を図9に示した。特性X線の波長やエネルギーは元素に固有なので、X線分光器を備えたSEMやEPMAでは、この特性X線を検出して元素分析を行っている*5。

4.1 2種類のX線分光器

試料から放出される特性X線の測定にはX線分光器が用いられる。X線分光器には、波長分散型X線分光器（Wavelength Dispersive X-ray Spectrometer : WDS or WDX）と呼ばれる“X線の波長を識別するタイプの分光器”と、エネルギー

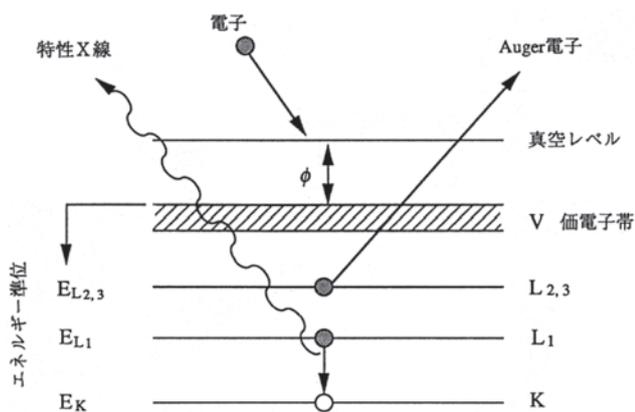


図9 特性X線およびオージェ電子の発生メカニズム

分散型X線分光器（Energy Dispersive X-ray Spectrometer : EDS or EDX）と呼ばれる“X線のエネルギーを識別するタイプの分光器”の2種類がある。WDSを備えた装置をEPMAと呼び、オプションとしてSEMに分析機能を加える場合にはEDSを装着するのが通例である*6。EPMAの中には、これらを同時に装備している機種もある（図10）。

4.2 EDSの原理

EDSの本体は、半導体結晶からなる一種の電離箱で構成されている（図11上段⁶⁾）。最近のEDSにはSDD（Silicon Drift Detector）と呼ばれるX線の検出効率に優れた半導体検出器も多用されているが、ここでは、原理的にわかりやすい、Liを拡散させて欠陥を補償したSi結晶（これをSi(Li)と表示する）からなるオーソドックスなEDSについて説明する。Si(Li)は、通常、液体窒素で冷却しながら使用される。

エネルギー粒子であるX線（X線光子）がEDSに入射すると、光電効果によってSi(Li)中にX線のエネルギーに対応した運動エネルギーを持つ光電子が発生する。この光電子は、そのエネルギーに比例した数の電子-正孔対を発生させてSi(Li)中に吸収される。あらかじめSi(Li)結晶に直流電圧を印加しておけば、発生した電子と正孔は逆方向に移動して、電子-正孔対の数に比例した強さの電流パルスを生じる

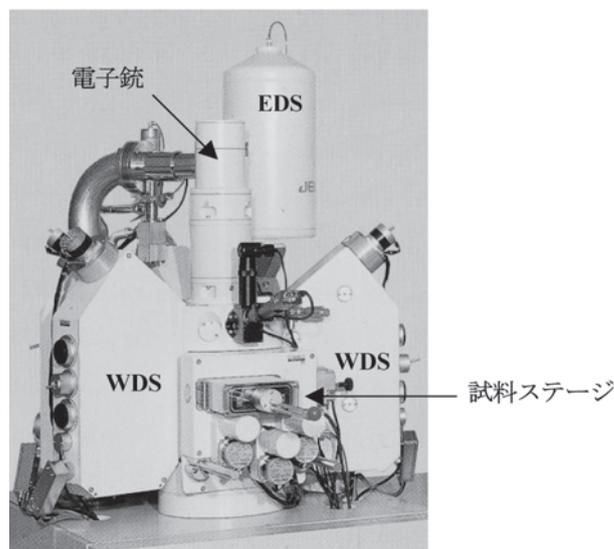


図10 EDSとWDSの外観（日本電子製JXA-8900）
（EPMAは3～5器のWDSを同時に搭載している場合が多い）

*3 おもちゃのダルマ落としをイメージするとわかりやすいかもしれない（内殻準位はダルマの各部分の高さ、そこを占める電子はダルマの各部分、入射プローブはその最下段を叩くハンマー…というような塩梅）。
*4 余ったエネルギーを吸収して原子から飛び出す同じ原子内の別の電子（11月号掲載予定の本入門講座参照）。発生メカニズムを明らかにしたフランス人研究者P.Augerの名前にちなむ。
*5 未知試料中に存在する元素種の特定を目的とする分析を、特に、定性分析と呼ぶ。
*6 EDSを装着したSEMを“分析SEM”やSEM-EDSと呼ぶことが多いが、入射プローブで励起された特性X線を検出して微小部を分析するというEPMAの基本概念から、これもEPMAと呼ぶことがある。

から、この電流パルス測定すれば、検出器に入射したX線のエネルギー、すなわち、元素の種類がわかる*7。入射したX線の強度 (X線光子の数) は、このようにして検出される電流パルスの数として測定される。

オーソドックスなEDSには、半導体結晶の汚染と劣化防止のため、X線の取り込み口に低エネルギーX線を吸収しやすいBe製の窓が設けられている。そのため、原子番号がNa

よりも大きい元素しか検出できないという課題があったが、近年、汎用的に用いられるようになった特殊な材料でできた薄い窓を備えたEDSや窓の無いタイプのEDSでは、原子番号がBよりも大きい元素を分析できるようになっている。

EDSで測定した定性分析スペクトルの例を図12aに示す。EDSでは“一本のピーク＝種類の特性X線”という単純な見方が成り立つため、分析結果の解釈は比較的容易である。

4.3 WDSの原理

WDSではX線の回折現象が利用されている (図11下段⁶⁾)。試料から発生した特性X線を面間隔のわかっている分光結晶に照射した状態で、この分光結晶を回転させていくと、特性X線の波長に応じたある特定の回転角で回折現象が起こる。この現象を利用して分光結晶の回転角と面間隔から特性X線の波長、すなわち、元素の種類を求めることができる。WDSでは原子番号がBeよりも大きい元素を分析できる。

WDSで測定した定性分析スペクトルの例を図12bに示す。この例からもわかるように、EPMAの定性分析では、複数の分光結晶に対応するスペクトルが重ね書き表示される。これは、一個の分光結晶でカバーできるX線の波長範囲に限りがあるため、複数の分光結晶を使って全元素の波長範囲を測定する必要があるからである。一つのWDS内で分光結晶を逐次交換して全波長範囲を測定するには長時間を要する。そのため、実際の測定では複数のWDSを同時に使用して測定時間の短縮化が図られている。WDSの一つの分光結晶からのスペクトルに注目すると、一種類の特性X線に対して高次の回折線が数本現れていることに気付く。このことからわかるように、WDSを使って定性分析する際は、EDSの時のよう

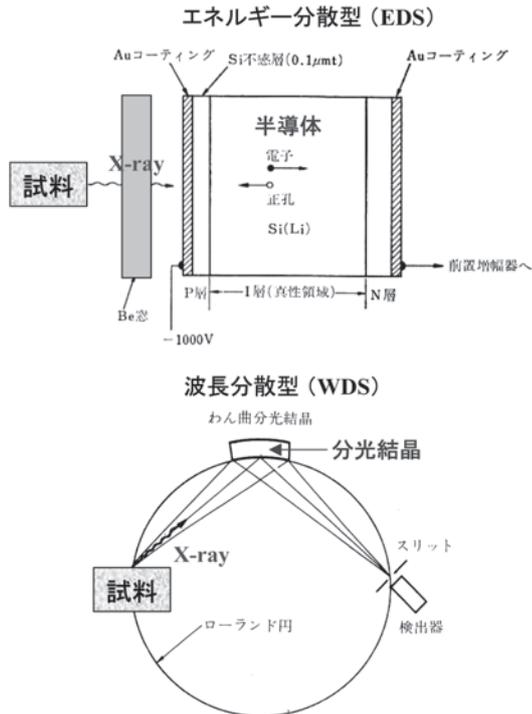


図11 エネルギー分散型X線分光器 (EDS) と波長分散型X線分光器 (WDS) の動作原理⁶⁾

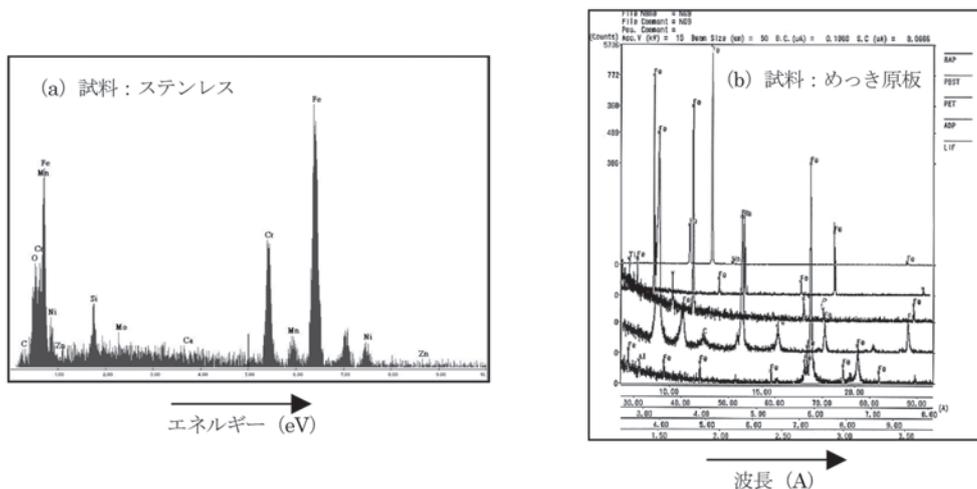


図12 EDSとWDSで測定した定性分析スペクトルの例：(a) EDS (b) WDS

*7 通常、X線光子が一粒毎、まばらに検出器に入射すると考えて良く、複数同時に入射した場合には数えないようにする工夫がなされている。

な“一本のピーク＝種類の特性X線”という単純な見方が成り立たない。このように、WDSで測定した定性分析スペクトルは煩雑であるため、測定結果を正しく解釈するにはある程度慣れが必要である。WDSにはこのようなデータ解釈の難しさに加え、測定上の制約も多い。一方、感度と元素の識別能力の点ではEDSよりも格段に優れている。

4.4 定量分析

SEM-EDSやEPMAでは、定性分析した未知試料の定量分析も可能である。定量分析では、未知試料と組成が既知の標準試料の特性X線強度をペアで測定するスタンダード定量法が基本である。スタンダード定量法では、測定元素毎の特性X線強度を標準試料と比較し、標準試料の濃度から比例配分で未知試料の“見かけ濃度”をまず求める。“見かけ”と表現したのは、試料内で起こる元素間でのX線の吸収や再放出の程度が組成によって異なるため、同一濃度でも測定される特性X線の強度が若干変化するという事情があるからである。見かけ濃度から真の濃度(定量値)を求める補正法には様々なものがあるが、①原子番号(Z)に依存した特性X線の発生効率、②試料による特性X線の吸収(Absorption)、③吸収で生じる蛍光励起(Fluorescence)の影響、の3つを逐次近似型の収束計算によって補正するZAF法(ZAF補正)などが基本になっている。

未知試料と組成的に類似した均一組成の標準試料を多数用意できる場合には、検量線法も用いられる。特に、1%を下回る微量元素(例えば、鉄鋼材料中の0.1%前後のC)の定量に関しては、ZAF法よりも検量線法の方が精度の高い結果を得られる。

4.5 線分析とマッピング(特性X線像)

電子線を試料面上で一次的に走査しながら、注目する元素の特性X線強度を測定すると、走査した直線上での注目元素の濃度分布を反映したプロファイルを得ることができる。このような分析方法を線分析と呼んでいる。線分析は一次的な濃度分布を知りたい場合に特に効果的であり、実験的な

スループットの点では次に述べる面分析よりも優れている。

電子線を試料面上で二次元的に走査しながら、注目する元素の特性X線強度を検出すると、注目元素の二次元的な濃度分布を反映した像が得られる。このような像を注目元素の特性X線像、このような分析方法をマッピング(あるいは面分析)と呼んでいる。

図13は、市販のブリキ(Snめっき鋼板)の表面をSEM-EDSでマッピングした例である。二次電子像と反射電子像から島部の平均原子番号が下地よりも大きい島状構造が形成されていることが同われ、面分析からこの島部がSn主体であることが明らかである。この例からわかるように、マッピングデータは直感的に理解しやすい。但し、線分析に較べて測定点数が桁外れに多いため、測定には時間がかかる事が多い。また、二次電子や反射電子に較べて発生量が圧倒的に少ない特性X線を検出信号にしており、試料の形状や検出器の配置などの幾何学的影響も受けやすい。そのため、バックグラウンドの強度の方が顕著な元素を測定対象にするとか、検出器から見て影になるような形状を持った試料を不用意に測定すると、誤解を招くデータが得られることがあるが、これらに十分注意すれば、材料解析に大変有効な手段である。

EPMAでは、試料ステージの駆動をPCで制御しながら100mm角程度の大きな試料を多点分析したり、その中の広い領域をマッピングすることも可能である。また、事前に設定した条件で自動測定する機能もほぼ標準で備えており、長時間を要するマッピングを夜間や休日を利用して効率よく行えるように工夫されている。

5 より良い情報を得るための測定条件

5.1 加速電圧と分析領域の大きさ

入射電子線の加速電圧は、測定されるデータに様々な影響を及ぼす。特に注意しなければならないのは、加速電圧と分析領域の大きさおよび特性X線の発生効率の関係である。図14は入射電子線の散乱領域と各種信号の発生領域の関係を

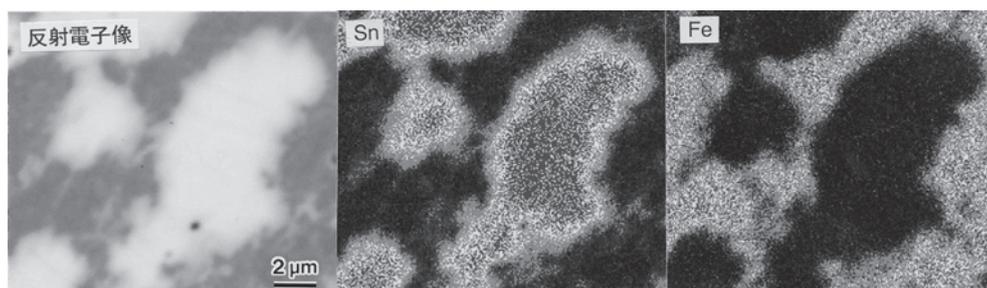


図13 ブリキ(Snめっき鋼板)表面の反射電子像ならびに特性X線像

示す模式図である。この図から特性X線の発生領域が入射電子線の試料内部での散乱領域にほぼ等しいと考えてよいことがわかる*8。図15は、15kVで加速された電子線がC、Al、CuおよびAuの表面に垂直入射した場合の入射電子の散乱挙動に関するシミュレーションの結果であるが、これから予想されるように、入射電子の試料内部での散乱領域は、加速電圧(即ち、入射電子の運動エネルギー)が高いほど、また、試料の平均原子番号が小さいほど大きくなる。

図16に示したノモグラム⁷⁾は、このような入射電子の散乱領域の大きさの目安を知るのに利用できる。例えば、このノモグラムから、通常よく使う15kV程度の加速電圧では、亜鉛に対する入射電子の散乱領域の大きさが1 μ m弱あることがわかる。このことを理解していれば、鋼板上に形成された膜厚が1 μ mに満たない電気亜鉛めっき層を15kVで元素分析する際に、Feの特性X線が検出されても、Fe-Zn合金めっき層が形成されている?といった誤った判断をしないで済む。また、試料上の僅かに離れた2点を分析することに意味があるかどうか、あるいは、分析位置から若干離れた位置の組成がスペクトルに影響を及ぼしうるのかどうかについても同様

にして判断できる。

加速電圧を下げていくと入射電子の散乱領域の大きさが小さくなって行くので、一見、どんな材料のどんなに小さな対象物からでも、それ単独の組成情報を引き出せるように思われるかもしれない。しかし、注目する元素から特性X線を放出させるためには、そうさせるのに必要な最低の加速電圧(臨界励起電圧)よりも高い加速電圧で分析しなければならないという制約があり、その下げ代にも自ずと限界がある*9。

5.2 加速電圧と二次電子像の空間分解能および情報深さ

空間分解能とは、顕微鏡像上で区別できる試料上の最も近接した2点間の距離のことであるが、SEMで観察できる各種画像、特に、二次電子像の分解能は加速電圧に大きく影響される。通常のSEMでは、加速電圧が高いほど電子線のビーム径を細くできる。そのため、二次電子が試料表面上の入射プローブの照射領域だけから生じるなら、加速電圧が高い方が分解能は上がることになる。しかし、前述の通り、加速電圧を上げていくと入射電子の試料内部での散乱領域が広がり、その影響を受けて入射プローブの照射領域以外の領域からも二次電子が発生するようになる。従って、SEMでは、加速電

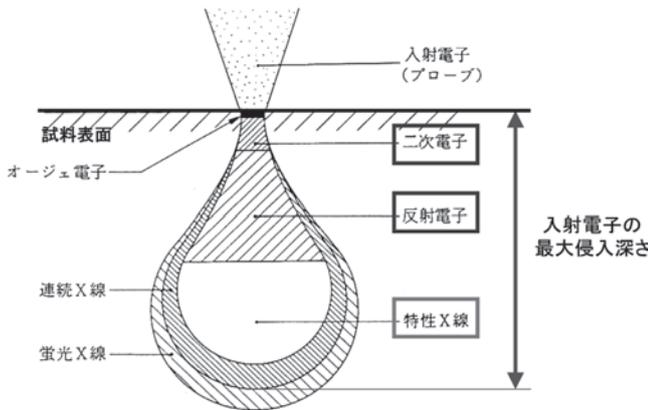


図14 入射電子の固体中での散乱領域と各信号の発生領域 [Goldsteinによる]

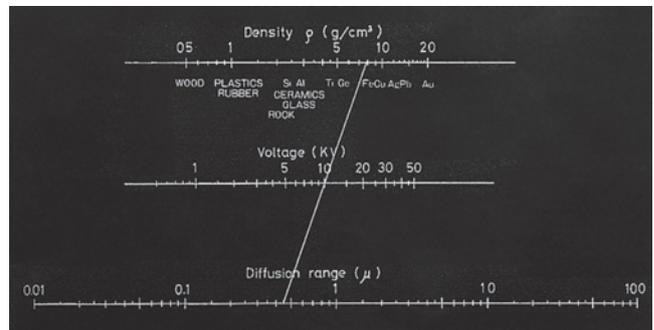


図16 入射電子の散乱領域の大きさを与えるノモグラム⁷⁾ (10kVで加速された電子が鉄に入射する場合を例示してある)



図15 15kVで加速した時のC,Al,Cu,Auに対する入射電子の侵入深さ (モンテカルロシミュレーション)

*8 注目する特性X線の臨界励起電圧(後述)を僅かに超える程度の加速電圧では、この限りでない。

*9 通常、この臨界励起電圧の2~4倍の加速電圧でないと定量が可能な程度の量の特性X線を発生させることができない。

圧を上げ過ぎると分解能はむしろ悪くなる。このように、試料の種類毎に最も高分解能で観察できる加速電圧が存在する訳で、達成可能な分解能も使用する装置と試料の種類によって異なる*10。試料表面の微細組織をベストの条件で観察したいなら、その試料に最適な加速電圧を選ぶように心掛けることが重要である。

5.3 作動距離

“対物レンズの底面から試料表面までの距離”で定義される作動距離 (Working Distance : WD) は、各種画像の画質や元素分析の条件に大きく影響する。通常、対物レンズが電子ビームを細く絞る能力は、WDが短いほど高い。そのため、高分解能で表面を観察する場合には、二次電子の信号量を確保できる範囲でWDをなるべく短くする方が有利である。また、WDが短いほど、反射電子像の画質も向上する。これは、反射電子検出器が対物レンズの底面近くに配置されるため、反射電子の取り込み量が増えるからである。

一方、二次電子像の焦点深度を稼いでより立体的な像を得ようとする場合や、大きな角度で試料傾斜させたい場合には、WDが長い方が有利である。SEM-EDSでEDSを試料近くに配置して試料からの特性X線のカウント数を稼ぎ易くするためには、EDSのX線取り込み口が入る程度のWDを確保しなければならない。特に、EPMAでは、元素分析時にWDを一定にしなければならないという制約があるため、WDには殆ど自由度が無い。

5.4 ECPとEBSP

入射プローブを試料上の一点に固定した状態で、入射プローブの入射角だけを連続的に変えながら反射電子の放出量を測定すると、電子チャンネルングパターン (Electron Channeling Pattern : ECP) と呼ばれる幾何学模様が得られる。これに対して、試料面上の一点に電子線を完全に固定した状態で、電子線照射位置から放出される反射電子の空間分布を蛍光板などの二次元検出器で測定すると、ECPに類似のEBSP (Electron Back-Scattering Pattern) もしくはEBSD (Electron Back-Scatter Diffraction) と呼ばれる幾何学模様が得られる。これらの幾何学模様は、いずれも、入射電子の回折現象に起因するもので、入射プローブ照射位置の結晶構造と方位によって変化するため、方位解析や相同定などに利用できる。特に、EBSPは、ECPよりも取り込める角度範囲が広く、短時間で測定できるため、多結晶体の自動方位解析での利用価値が高い*11。

5.5 SEMとEPMAの使い分け

単に表面形態を観察したいだけならSEMを使えばよい。元素分析も同時に行いたい場合の使い分けは、知りたい内容によって異なるが、SEM-EDSとEPMAを比較すると、前者は、短時間での定性的な組成分析と形態観察に適しており、後者は、定量精度と検出下限ならびに広領域でのマッピング機能に優れている。短時間で試料の概要を把握したい場合にはSEM-EDS、分析に重点を置きたい場合にはEPMA、ということになる。B、C、Nの分析が重要ならEPMAを使う方が無難である。EPMAではこれらの軽元素用に人工累積膜を用いた分光素子が開発され、感度向上が図られており、C、Nでは1%以下の定量も十分可能である。最近のEDSではこれら軽元素の分析も可能だが、Bの場合、濃度が10mass%以下だと実際には検出されない場合もある。分析対象物の大きさや電子線による試料へのダメージが問題になるなら、入射プローブの電流量が二桁程度少なく済むSEM-EDSの方が好ましい。尚、元素分析時の入射プローブの径は、通常のSEM-EDSで数10nm程度、EPMAで1 μ m程度である。

参考文献

- 1) M.Knoll and E.Ruska : Z. Physik, 78 (1932) , 318.
- 2) C.W.Oatley : The Scanning Electron Microscope, Cambridge University Press, (1972)
- 3) R.Castaing : Ph. D. Dissertation, Univ. Paris, (1951)
- 4) 市ノ川竹男 : 走査電子顕微鏡の基礎と応用, 日本電子顕微鏡学会関東支部編, 共立出版, (1983) 5, 39.
- 5) 野呂寿人, 土谷康夫 : 新訂版・表面科学の基礎と応用, 日本表面科学会編, (2004) , 600.
- 6) 副島啓義 : 電子線マイクロアナリシス : 日刊工業新聞社, (1987) 64, 73.
- 7) 日本電子株式会社のEPMAカタログから引用。

参考図書

1. 走査電子顕微鏡, 日本電子顕微鏡学会関東支部編, 共立出版 (2000)
2. J.I.Goldstein et al. : Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis, Plenum Press, New York, (1981)
3. D.E.Newbury et al. : Advanced Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis, Plenum Press, New York, (1986)

(2013年3月7日受付)

*10 装置メーカーのカatalogに記載された空間分解能は、メーカーが決めた標準試料を特定の加速電圧で測定した、その加速電圧で達成可能なプローブ径の目安と考えるべき値。

*11 7月号掲載予定の本入門講座参照。



若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

中性子・X線小角散乱法の普及を目指して

Toward the Spread of Small-Angle Neutron and X-ray Scattering
for Steel Research

大場洋次郎

Yojiro Oba

京都大学
原子炉実験所
助教

1 はじめに

筆者が所属する研究室(粒子線基礎物性研究部門 粒子線物性学研究分野)は、中性子線小角散乱法(SANS)とX線小角散乱法(SAXS)を用いた様々な材料のナノ構造解析を行っている。SANSとSAXSの適用範囲は広く、ポリマーやゲル等のソフトマターの解析でこれらの手法がよく用いられている一方で、鉄鋼等の金属材料や磁性材料の微細構造解析にも有効である。当研究室では、これまでソフトマターやバイオマターを中心にSANSとSAXSを用いた研究が進められてきており、これに加えて筆者は鉄鋼材料や磁性材料等への展開を進めている。本稿ではSANSとSAXSの特徴を概説し、筆者が取り組んできた鉄鋼材料への応用例の一端を紹介する。また、小角散乱法の最近の進展に合わせた現在の新たな取り組みについても述べる。

2 小角散乱法

小角散乱法は鉄鋼研究においてはなじみの薄い手法であると思うので、最初にその特徴を簡単に説明する。詳細については参考文献^{1,2)}等をご参照頂きたい。小角散乱法は構造解析に用いられる散乱法の一つであり、X線回折法でよく利用されるScherrerの式やWilliamson-Hallプロット等のような、散乱プロファイルの線幅の解析に近い。基本的なSANS・SAXS装置の構成を図1に示す。回折法と同様に試料に中性子もしくはX線を照射し、散乱角 2θ の方向に生じた散乱中性子・X線のプロファイルを測定する。大きな違いは、名前の通り散乱角が約 10° 以下、場合によっては 0.01° 以下の小角領域を測定することである。これを可能にするために、極小のピンホールを線源と試料の間に複数配置し、発散角の小さなビームのみを試料に入射させる。回折法よりも小さな散乱角の測定であるため、実空間では結晶構造よりも大きな約 0.5nm から数

μm 程度までの構造がターゲットとなる。小角散乱法では線幅だけでなくプロファイルの形状(散乱ベクトル依存性)を解析し、散乱強度を絶対強度で扱うことにより、散乱体の形状やサイズ、数密度等を詳細に見積もることができる。

同様の微細組織の解析法としては、TEMやSEMをはじめとする顕微鏡が盛んに利用されている。これらの直接観察手法は微細組織の形態について明快な結果を与える優れた手法である。これと比較してSANS・SAXSは、得られた結果の解釈が難しいという欠点はあるが、測定領域が圧倒的に大きく、定量性に優れるという特徴を持つ。例えば、数 nm の組織を観察する場合、1枚のTEM像で観察できる試料の体積は大まかに言って $10^{-3} - 0.1\mu\text{m}^3$ 程度であろう。これに対してSAXSでは、直径 $0.1 - 0.5\text{mm}$ 程度のビームを厚さ約 $30\mu\text{m}$ の試料に照射して測定するため、一度に約 $10^5 - 10^6\mu\text{m}^3$ の体積を測定できる。さらにSANSでは、直径 10mm 程度のビームを厚さ約 2mm の試料に照射するため、測定できる体積は約 $10^{11}\mu\text{m}^3$ となる³⁾。

3 SAXSとSANSを併用した鉄鋼中の微細組織の解析

鉄鋼材料にSANS・SAXSを適用することで、析出物・介

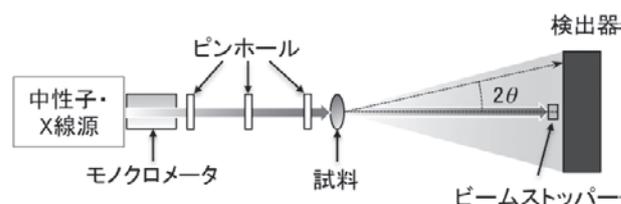


図1 SANS・SAXS装置の模式図
線源から入射した中性子・X線はモノクロメータで単色化され、ピンホールで発散角の小さなビームのみが取り出される。ダイレクトビームは検出器前のビームストッパーで遮られ、試料による散乱ビームのみが検出される

在物等の形状やサイズ、数密度、配向性等の定量的な評価が可能となる。これまで、微細組織の解析は電子顕微鏡の発達と共に進歩し、様々な新現象が発見されてきた。次の段階では、微細組織と力学特性の関係を定量的な値を用いて精密化し、より高度な材料開発へと発展させることが期待される。日本鉄鋼協会の平成18年度産発プロジェクト「中性子利用鉄鋼評価技術の基礎検討に係る研究」やC型研究会「新世代中性子源を利用した鉄鋼元素機能研究会」を通して、SANSとSAXSについても様々な検討がなされ、鉄鋼材料への適用とノウハウの蓄積が行われてきた。

これらの活動の中から、SANSとSAXSの併用が鉄鋼材料の解析に有効であることが分かってきた。SANSとSAXSから得られる微細組織の情報は基本的に同じものであるが、両者には各元素の中性子とX線に対する散乱能の違いが反映される。SANSプロファイルとSAXSプロファイルの比 I_{SAXS}/I_{SANS} を取ることで散乱能の情報 $\Delta\rho_x^2/\Delta\rho_n^2$ を抽出することができ、この値が微細組織の組成によって一意に決まることから、微細組織の組成を解析することができる^{4,5)}。析出物が小さくなるに連れて従来の手法では析出物の組成解析は困難になっていたが、この I_{SAXS}/I_{SANS} を利用した解析は1nmよりも小さなサイズに対しても基本的に適用可能であるという強みを持っている。

これまで筆者は、平成21年度から上記のC型研究会に参加し、SANSとSAXSを併用して鉄鋼中の析出物や介在物の解析を行ってきた。V添加中炭素鋼の解析では、析出過程における保持温度の上昇に伴って析出物が粗大化し、数密度が減少することを定量的に見積れることを示した⁶⁾。また、高温では析出物は円盤状で、組成はNaCl型VCであるのに対し、低温では球状に近くなり、組成は炭素の欠損したVC_{0.9}となることを明らかにした。さらに低温においては、析出物の組成は炭素の欠損したVC_x系では説明できず、FeがVを約3割置換している可能性を見出した(図2)⁷⁾。同様に、V-TiおよびV-Nb複合添加鋼についても小角散乱法を適用した解析を行った⁸⁾。この他に、硫黄快削鋼中の介在物についてもSANSとSAXSを適用し、介在物の形状、サイズ、数密度、組成に加えて、異方性と配向性等も定量的に解析できることを示した⁹⁾。近年は鉄鋼さびにもSANSとSAXSの適用を進めている。人工合成Fe-Ti混合非晶質さび粒子において、Tiの添加量に依存した水の吸着状態の変化を明らかにした¹⁰⁾。

4 鉄鋼研究における小角散乱法の展開

以上のようにSANS・SAXSは微細組織の解析に有効な手法であるが、実験装置・施設は回折法や電子顕微鏡に比べ

て限られている。特にSANS測定可能な場所は極めて少なく、現在稼働中の国内の共用SANS装置は、大型加速器中性子源J-PARCに設置されたTAIKANと京都大学研究用原子炉KURに設置されたKUR-SANSのみである(図3)。

KUR-SANSは、強度が弱いことからこれまであまり注目されていなかったが、貴重なSANS装置の一つである¹¹⁾。SANSの利用拡大には、このような装置も見逃さず効果的に活用し、SANS利用の機会を増加させる必要がある。2011年度にKUR-SANSにおいて鉄鋼材料の測定の可能性の検討が行われ、数時間から一晩程度の長時間測定することで良好な結果が得られ、充分実用的なレベルであることが分かった。筆者もこの検討に加わり、2012年度からKUR-SANSの装置管理グループに着任し、鉄鋼材料の測定に合わせたKUR-SANSの改修計画をスタートした。2012年度は、鉄鋼の測定に必須となる磁場印加装置や、結晶材料で問題となる多重回折を

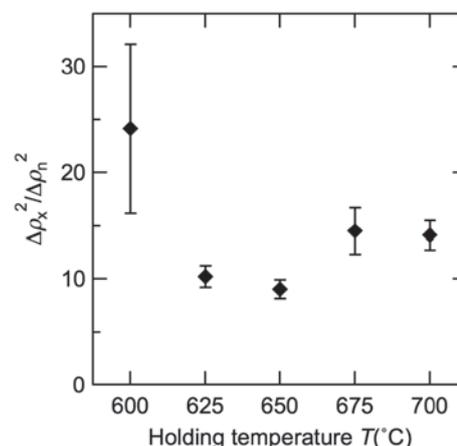


図2 V添加中炭素鋼のSAXS・SANSプロファイルの比 I_{SAXS}/I_{SANS} から得られた散乱能の情報 $\Delta\rho_x^2/\Delta\rho_n^2$ と保持温度の関係⁶⁾。比は、最低温で高い値を示した後に中間温度で最低値、さらに高温では中間の値を取り、全体で3段階の変化を示している。これは、析出物の組成が3段階に変化していることを示す結果である

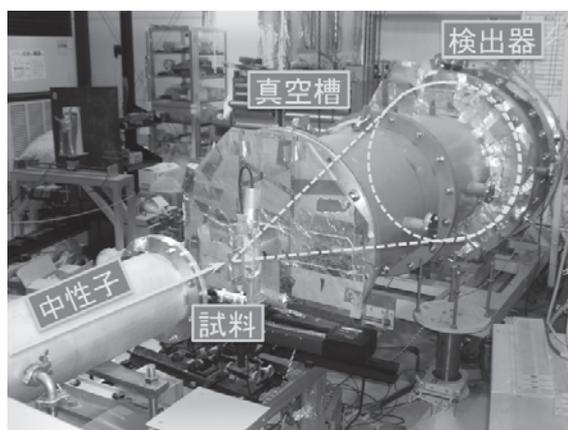


図3 KURに設置されたSANS装置KUR-SANS

抑える長波長用モノクロメータ等の導入を行うことができ、いよいよ本格的な鉄鋼材料測定環境が整った。また、既にKUR-SANSを利用した鉄鋼研究も始まっており、鉄鋼さびの測定等が実施された¹⁰⁾。

KUR-SANSの取り組みは、中・小型中性子源の活用という意味合いでも重要である。中・小型中性子源でも材料研究が可能ということが示されれば、新たなSANS装置の導入が容易となり、SANS利用機会を増加させることができる。現在、北海道大学と理化学研究所においてそれぞれ小型加速器中性子源を用いたSANS測定装置の計画と開発が進められており、これらの装置を有効活用するためにはKUR-SANSでの知見が役に立つと考えられる。

一方、世界でも最先端のSANS装置であるTAIKANでは、これまで以上の高精度な測定が可能になるばかりでなく、従来にない新しい研究が創出されることが期待される。これまでも、広い散乱角領域の同時測定が可能になることから、加熱中や引張中のその場測定や、中性子回折とSANSの同時測定等が検討され、一部は既に実行に移されている。筆者も、TAIKANを利用したSANSの新たな実験技術開発の取り組みを開始した¹²⁾。これは、中性子イメージング法で最近発展の著しいBragg edge解析の手法をSANSに応用することで、これまでのSANSでは得られなかった結晶粒の情報を解析可能にするものである。Bragg edge解析はJ-PARCのようなパルス中性子源でこそ実現する手法であり、この手法を取り入れることで、通常のSANSでは使用に制限のあった短波長の中性子を効果的に解析に役立て、パルス中性子源の特性を最大限に活用することを目指す。

5 おわりに

筆者が鉄鋼材料に関わりを持ち出したのは大学院修了後であるため、まだ鉄鋼研究者としては素人同然であり、学生時代のように勉強の日々である。したがって、本稿は卓越した鉄鋼研究者である読者の皆様には物足りない内容であったかも知れない。しかし、小角散乱法を用いることで、駆け出しの研究者でさえ鉄鋼研究に新たな知見をもたらすことができるということにご注目頂きたい。今後、鉄鋼材料のプロ

フェッショナルが小角散乱法に本格的に取り組めば、さらに素晴らしい未来が拓かれることが期待される。鉄鋼研究に携わる人々が気兼ねなく小角散乱法を利用する日が来るように精進いたします。今後ともご指導・ご鞭撻の程よろしくお願いいいたします。

参考文献

- 1) L.A.Feigin and D.I.Svergun: Structure Analysis by Small-Angle X-ray and Neutron Scattering, Plenum Press, New York, (1987)
- 2) 大沼正人: 非破壊検査, 60 (2011), 86.
- 3) S.Ohtsuka, T.Kaito, S.Kim, M.Inoue, T.Asayama, M.Ohnuma and J.Suzuki: Mater. Trans., 50 (2009), 1778.
- 4) V.Gerold, J.E.Epperson and G.Kostorz: J. Appl. Cryst., 10 (1977), 28.
- 5) M.Ohnuma, J.Suzuki, S.Ohtsuka, S.-W.Kim, T.Kaito, M.Inoue and H.Kitazawa: Acta Mater., 57 (2009), 5571.
- 6) Y.Oba, S.Koppoju, M.Ohnuma, T.Murakami, H.Hatano, K.Sasakawa, A.Kitahara and J.Suzuki: ISIJ Int., 51 (2011), 1852.
- 7) Y.Oba, M.Ohnuma, T.Murakami, H.Hatano and J.Suzuki: 20th Academic Symposium of MRS-Japan 2010 Abstracts, 日本MRS編, (2010), 42.
- 8) Y.Oba, M.Ohnuma, E.Kakiuchi, T.Murakami, H.Hatano, J.Suzuki: CAMP-ISIJ, 24 (2011), 552.
- 9) Y.Oba, S.Koppoju, M.Ohnuma, Y.Kinjo, S.Morooka, Y.Tomota, J.Suzuki, D.Yamaguchi, S.Koizumi, M.Sato and T.Shiraga: ISIJ Int., 52 (2012), 457.
- 10) 大場洋次郎, 佐藤信浩, 杉山正明, 中山武典, 若林琢巳, 石川達雄: CAMP-ISIJ, 25 (2012), 1275.
- 11) M.Sugiyama and Y.Maeda: Jpn. J. Appl. Phys., 33 (1994), 6396.
- 12) 日本鉄鋼協会鉄鋼研究振興助成 第22回受給研究テーマ

(2013年2月19日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

JFEスチール スチール研究所 主席研究員

佐藤 馨

【SAXS・SANS】

大場洋次郎先生の躍動「中性子・X線小角散乱法の普及を目指して」を拝読して、技術の系譜や位置付けがよく見渡せていることに感心しました。小角散乱の特徴、X線と中性子の違い、さらにJ-PARCとKUR(京大)、HUNS(北大)、ビームが出始めた理研の小型中性子源の役割を見事に整理されています。大場先生とは、友田陽茨城大教授をリーダーとする日本鉄鋼協会の産発プロジェクト展開研究の第一号である「中性子利用鉄鋼評価技術の基礎検討」で出会いました。ベテラン研究者が多い中で貴重な若手研究者の一人でした。大場先生の印象は、遠慮深く自己主張しないタイプにみえました。しかし、研究会での発表を聴くと、鉄鋼会社の研究者の発表をよく理解し、ご自身が新たに取組む鉄鋼分野の本質課題を的確に捉えていることがわかりました。これは、研究者にとって重要な素養であると思います。

【鉄鋼への挑戦】

鉄鋼材料では、析出の初期や、水素の振舞いなど未解明の現象が多くあります。これらの理解が未だ見出されていない鉄鋼材料の可能性を引き出す力になります。大場先生は小角散乱法が電子顕微鏡よりも広い領域の解析に適し、材料特性との関係を定量的に議論できる強みを複数の実例で示されました。SAXSとSANSのプロファイルの比をとる手法は秀逸

で今後の発展が期待されます。

【逆空間? 実空間?】

近年の材料微細構造解析手法を俯瞰すると、顕微法が優勢であり、散乱・回折法は目立たない状況です。小角散乱のデータは逆空間のプロファイルであるために非専門家にはわかりにくい面があります。逆空間の情報をより直感的な「実空間」の情報として見せる工夫が必要であると考えます。大場先生が強く意識されているように解析手法の「普及」のための啓蒙・教育、そして使い勝手のよい解析ソフトの開発が必須です。鉄鋼研究者が実空間と逆空間の解析結果を相補的に最大活用していく上で、小角散乱の高い専門性と鉄鋼研究者と同じ言語で会話できる能力を兼備している大場先生は頼りになる存在です。

【異分野融合】

産発研究から連綿と続く、中性子利用鉄鋼研究・小角散乱のネットワークには、これまで鉄鋼とは無縁であった、多くの分野の研究者が参加しており、科学と工学が融合した場になっています。今後、手法の発展に加え、応用が材料分野からプロセスや計測分野に広がっていくことが望まれます。そのような夢のある展開を牽引してくれる大場先生のますますのご活躍に期待しています。

(財)総合科学研究機構 東海事業センター 利用研究促進部 部長

鈴木 淳市

大場先生の「躍動」の記事「中性子・X線の小角散乱法の普及を目指して」を読み、大強度陽子加速器施設J-PARCで中性子の利用促進と中性子小角・広角散乱装置“大観(TAIKAN)”の運営を担う筆者在コメントさせていただきます。

大場先生の記事にあるように、日本鉄鋼協会の産発プロジェクト展開鉄鋼研究「中性子利用鉄鋼評価技術の基礎検討に係る研究(平成18~20年度)」やC型研究会「新世代中性子源を利用した鉄鋼元素機能研究会(平成21~24年度)」を通して、中性子の高い透過力や軽元素識別力が鉄鋼材料の評価に有効であることが明らかになってきました。大場先生は、このような中性子の特徴に加え、鉄鋼材料による中性子とX線の散乱のされ方の違いを利用して、鉄鋼材料中の析出物や介在物の形状、サイズ、数密度、配向等の定量解析を大いに展開し、活躍されています。

鉄鋼材料は、多くの場合に強磁性を示します。中性子は高い磁気解析力も持つので、この磁性の担い手の磁気モーメントでも散乱されます(磁気散乱)。鉄の磁性は興味深い研究テーマですが、その磁性に興味が無い場合には、この磁気散乱は鉄鋼材料の得たい構造情報を隠す余分な散乱となりま

す。この余分な散乱を取り除くには、1テスラ程度の磁場を加えて鉄鋼材料の磁化を飽和させる方法や偏極中性子を利用する方法等があります。一般には前者の方法が利用されますが、析出物や介在物等の散乱体が異方的な形状を持ち、配向しているような場合には、後者の方法が有効です。大場先生は、大学院の博士課程において、パラジウムナノ粒子で発現する強磁性の研究をされていますが、その研究でこれらの中性子小角散乱(SANS)法の利用を偏極中性子を用いて始めています。SANS法を鉄鋼材料の評価に応用する技術基盤をこの時に構築されたのではないかと思います。パラジウムナノ粒子の研究では、X線磁気円二色性(XMCD)法とX線回折法をSANS法と併用することで、ナノ粒子内部に発現した強磁性構造の解析に成功されていますが、異なる手法を巧く組み合わせ、構造解析の定量性を高める取り組みは、その後の活動でも展開されています。このような研究背景を持つ大場先生だから、色々な中性子源の利用展開の方向性が見え、Bragg edge解析法をSANS法に応用する着想を得られるのだと思います。大場先生が、鉄鋼材料研究の素晴らしい未来を切り拓かれることを期待します。



アラカルト

レゴブロックと鋼について

三井淳平
Jumpei Mitsui

新日鐵住金(株) 君津製鐵所
厚板部厚板工場 厚板課

1 はじめに

私は現在、新日鐵住金株式会社君津製鐵所の厚板工場にてエンジニアとして勤めております。同時に、レゴ認定プロビルダー (LEGO Certified Professional) という資格をもっています。この資格はデンマークのレゴ本社から認定されたもので、レゴブロックを使った作品制作の能力や、作品制作を通じて様々な活動を提案できる発想力、実行力などが評価された人に与えられており、現在では私も含めて世界で13人が資格を与えられ活動を行っています。レゴブロックは子ども用のおもちゃとしてよく知られていますが、技術を身につければ粘土のように自在に形を表現することができるため、作品制作の素材として魅力があり大人のファンも多く獲得しています。

私は3歳からブロックに触れて、以後ずっと作品を作り続けています。私が作った作品の中で最も大きなものは全長6.6mの戦艦大和で、制作には6年半かかりました。今でも休日を利用して様々な作品を制作しています。

元々、私は有機化学に興味を持って高校から勉強してきました。しかし、大学に入ってから鋼の組織に強い関心を持つようになりました。結晶格子や結晶粒などのミクロな組織構造がどこかレゴブロックに通じると感じたのだと思います。研究室に入ってから鋼中介在物を用いたHAZ韌性向上の研究を行いました。そこで日々、鋼の組織を光学顕微鏡で観察したり、電子顕微鏡で結晶方位解析を行ったりする中で組織制御にさらに強く魅力を感じるようになっていきました。今回は執筆の機会をいただきましたので、レゴブロックと鋼について私なりに思ったところを書かせていただきたいと思います。

2 レゴブロックと鋼の共通点

鋼に要求される特性の代表的なものとして強度と韌性がありますが、それらは相反する要素です。実はブロックにも同じようなことがあります。それは外見と強度の関係です。

作品としての質を高めるためには、まず外見の美しさが必要になります。外見をよくするためにはできるだけ細かいブロックを使い、曲面を表現しなければなりません。しかし、同時に作品全体の強度を確保することも求められます。ブロック同士の接合力は子どもの手でも簡単に外せるように設計されているため、ある程度の力がかかると分離するようになっていきます。そのため細かいブロックを使うことは、ブロック同士の境界面を増やすことになるため、壊れやすいポイントを増加させてしまいます。結果として形を追い求めることは、強度の低下につながります。このようにブロックには外見と強度という、相反する要素があります。これらを両立させられることが作り手の技術力に相当します。

一方で、ブロックは組み方次第で全体の強度を上げることができます。レゴブロックで作品を作るとき最も基本となる組み方は、基本ブロックと呼ばれる四角いブロックを積み上げていく方法です。ブロックを積み上げるときにはお互いのブロック同士ができる限りつながり合うよう、形や位置を選びながら作っていきます。図1 (a)～(c) に示すのはブロックの組み方の一例です。それぞれほぼ同じ大きさのブロックで構成されていますが、強度としては (a) < (b) < (c) の順になります。(a) と (b) は組み方としてはよく似ていますが、亀裂の進み方が異なるため壊れやすさは大きく異なり、(b)の方が亀裂の進展ルートがより複雑になるため高い強度を示します。一方で、(c)の組み方では薄いプレート状のパーツを加えることで、上からの圧縮力、左右からの引張力、ねじれ方向の力、いずれに対しても強い構造になっています。こういった組み方を作品の内部構造として用いることでさらに丈

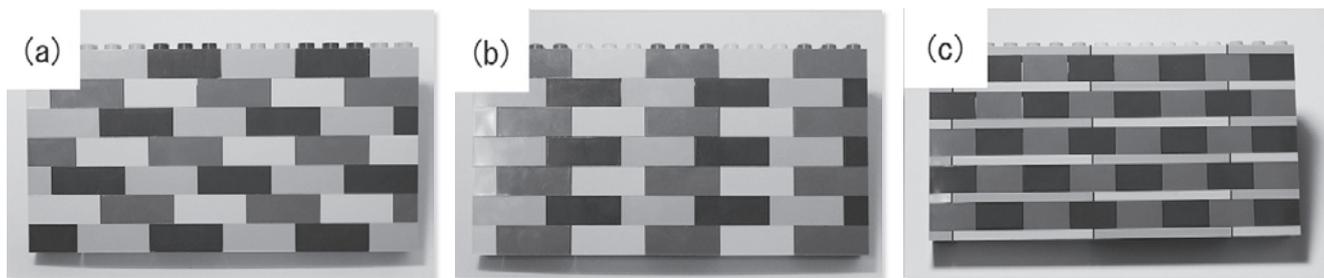


図1 (a)～(c) ブロックの組み方例

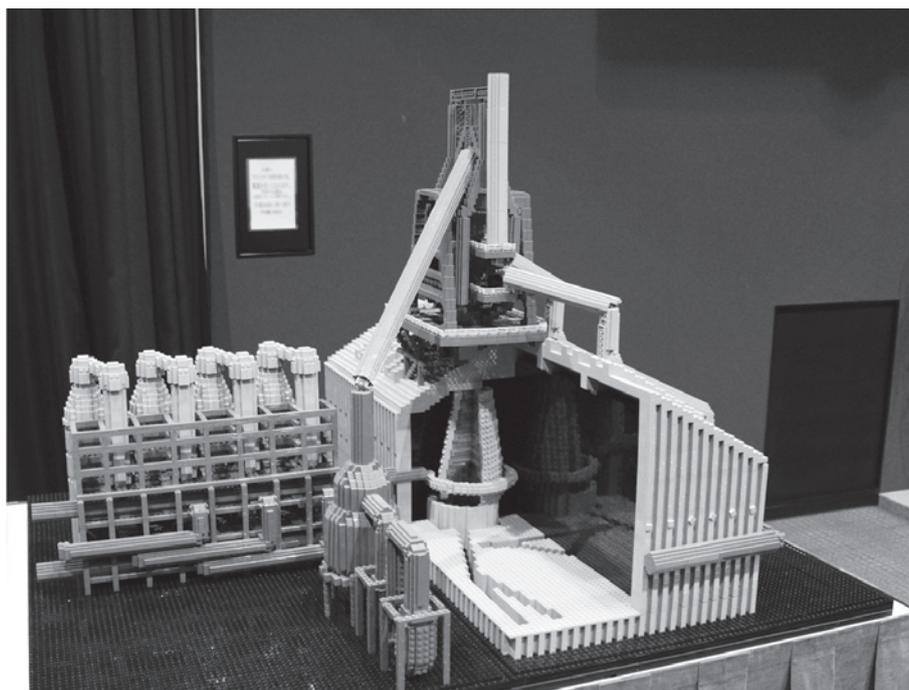


図2 レゴブロックで制作した高炉

夫な作品を作ることができます。このようにブロックの組み方は鋼の組織制御ととてもよく似ており、見た目は変わらなくてもミクロな制御により機械特性が大きく変わるので、ミクロな構造と強度の関係について体感的にわかるツールとして、レゴブロックはとても面白いアイテムであると感じています。今回は二次元的な組み方を例として掲載しましたが、三次元的な構造理解にも役立つのではないかと思います。

また、多様性という観点でもレゴブロックと鋼は似ていると感じています。例えば、上面に突起物が8つあるブロックを2個組み合わせる方法は24通りですが、6個になるとその組み合わせ方は約9億通りあると言われていています。すなわち100個ブロックがあれば無限の組み合わせ方があるといっても過言ではありません。私は、冷却温度履歴や成分によって様々な組織を造り込むことができる鋼にはさらに大きな可能性があると信じています。組み合わせ次第で今までになかったものを生み出せる楽しさや、やりがいを、鋼にもレゴブロックにも強く感じます。

3 今後について

現在、君津製鐵所では私がレゴブロックで作った高炉の模型を展示させていただいています(図2)。製鐵所は社外のお客様や、工場見学に訪れる子どもたちなど、様々な方が訪れる場所です。外部からではわかりにくい高炉の構造を模型の形で三次元としてお見せすることで、少しでも関心を持っていただければと思って制作いたしました。今後もレゴブロックを使って、鋼の学問的な面白さや鉄鋼業のダイナミックな魅力を身近なものと感じてもらえるよう伝えていければと考えております。

最後に、私の活動について理解を示し今まで支えてくださった先生方や両親、また現在の職場の皆さんに深く感謝いたします。

(2013年2月27日受付)

会員へのお知らせ目次

行事等予定	263頁
総合	
「鉄と鋼」第100巻記念特集号の2014年発刊予定と原稿募集案内	266頁
本会論文誌における優れた査読に対して	268頁
第166回秋季講演大会講演募集案内	268頁
イベント情報	
鉄鋼を知ろう！「最先端鉄鋼体験セミナー」参加者募集	276頁
平成25年度修正学生向け「鉄鋼工学概論セミナー」参加者募集案内	276頁
鉄鋼工学セミナー「専科」平成25年度受講のご案内	277頁
高温プロセス部会 製鉄プロセスフォーラム 次世代製鉄プロセス研究Gr. 主催	
ワークショップ「最新のシェールガス事情と東南アジアの鉄鋼企業動向並びに還元鉄製造技術を学ぶ」開催案内	278頁
高温プロセス部会/環境・エネルギー・社会工学部会共催	
「低炭素・炭素循環スマート製鉄国際会議 (ICSRI)」開催案内	279頁
平成25年度 レアメタル研究会のご案内	279頁
材料の組織と特性部会 第3回鉄鋼科学セミナー	
「鉄鋼における微視的不均一 —基礎および微細組織と特性への影響—」開催案内	279頁
新刊案内 ISSS-2012プロシーディングス	280頁
報告事項	
平成25年度文部科学大臣表彰受賞のお知らせ	280頁
(公財) 新技術開発財団 第45回市村産業賞受賞のお知らせ	280頁
第21回日本鉄鋼協会・日本金属学会奨学賞受賞者 (平成25年3月)	281頁
次号目次案内	282頁
会員欄 (入会者・死亡退会者一覧)	283頁
海外鉄鋼関連最新論文	284頁
ブックレビュー	272頁

行事等予定

太字は本会主催の行事。国際会議で○は協会にてサーキュラー等入手できます。

開催期日	行事 (開催地/詳細掲載号および頁)	主催者	問合せ・連絡先
2013年5月			
6~9日	AISTech 2013 The Iron & Steel Technology Conference and Exposition (U.S.A.)	AIST	http://aist.org/13_aistech/13_aistech.htm
9日	材料の組織と特性部会, 創形創質工学部会「計算工学による組織と特性予測技術II研究会最終報告会」(東京 2号211頁)	日本鉄鋼協会	名古屋工業大学 小山敏幸/塚田祐貴 koyama.toshiyuki@nitech.ac.jp
14日	第195回塑性加工技術セミナー「伸線(引抜き)加工の基礎技術」—伸線・引抜き・矯正・潤滑— (大阪)	日本塑性加工学会	日本塑性加工学会 Tel. 03-3435-8301 http://www.jstp.or.jp
15~17日	第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム (神奈川)	日本機械学会	日本機械学会 大竹英雄 Tel. 03-5360-3505 http://www.ed.u-tokai.ac.jp/sead25/
16日	第302回塑性加工シンポジウム (愛知)	日本塑性加工学会	Tel. 03-3435-8301 jstp@jstp.or.jp
17日	第18回分子動力学シンポジウム (東京)	日本材料学会	シンポジウム係 http://www.jsms.jp/
20~22日	トライボロジー会議2013春東京 (東京)	日本トライボロジー学会	Tel. 03-3434-1926 member@tribology.jp http://www.tribology.jp
20~23日	The 3rd International Symposium on Cutting Edge of Computer Simulation of Solidification, Casting and Refining (CSSCR2013) (Sweden & Finland)	KTH & Aalto Univ.	csscr2013@mse.kth.se http://www.kth.se/en/itm/inst/mse/research/applied-process-metallurgy/csscr2013/
21~24日	第49回真空技術基礎講習会 (大阪)	日本真空学会	大阪府技術協会 山中富世 http://www.vacuum-jp.org/
29~31日	第50回日本伝熱シンポジウム (宮城)	日本伝熱学会	シンポジウム事務局 Tel. 022-217-5244 http://web.tohoku.ac.jp/nhts2013/index.html
30, 31日	平成25年度第1回熱処理技術セミナー (東京)	日本熱処理技術協会	Tel. 03-6661-7167 info@jsht.or.jp http://www.jsht.or.jp
31日	温度計測基礎講座 (東京)	計測自動制御学会計測部門	JFEスチール(株)スチール研究所 計測制御研究部 Tel. 044-322-6220 http://www.sice.or.jp/~temp_m/
31日	「鉄と鋼」第100巻記念特集号 第2号 原稿募集締切 (12号874頁)	日本鉄鋼協会	東北大学 村上 taichi@material.tohoku.ac.jp JFEスチール(株) 武田 k-takeda@jfe-steel.co.jp

開催期日	行事(開催地/詳細掲載号および頁)	主催者	問合せ・連絡先
2013年6月			
2~7日	The 19th International Conference on Solid State Ionic (京都)	国際固体イオニクス学会	徳島大学 中村浩一 Tel.088-656-7577 http://www.ssi-19.net/
3日	材料の組織と特性部会 第3回鉄鋼科学セミナー「鉄鋼における微視的不均一—基礎および微細組織と特性への影響—」(東京 本号279頁)	日本鉄鋼協会	大阪府立大学 沼倉 Tel.072-254-9310 iss2012@mtr.osakafu-u.ac.jp
4日	創形創質工学部会 創形基礎フォーラム(トライボロジー) 第38回 トライボロジーフォーラム研究会 テーマ:「形・管・棒鋼圧延のトライボロジー」(東京 4号211頁)	日本鉄鋼協会	協同油脂(株) 須田三孝 Tel.0466-33-3112 Fax.0466-33-3389 mitsutaka-suda@kyodoyoshi.co.jp
7日	第91回シンポジウム「次世代自動車の車体軽量化における材料・加工技術の開発トレンド」~究極のマルチマテリアル車体を目指して~(東京)	軽金属学会	Tel.03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/society/symp_detail.php?ID=90
7~9日	平成25年度塑性加工春季講演会(愛知)	日本塑性加工学会	事務局 井上聡美 inoue@jstp.or.jp
13,14日	第23回電子顕微鏡大学(東京)	日本顕微鏡学会	電子顕微鏡大学ヘルプデスク http://www.microscopy.or.jp/denken/index.html
13,14日	第54回塗料入門講座(東京)	色材協会	色材協会 関東支部 Tel.03-3443-2811 shikizai@poem.ocn.ne.jp
14日	センシング技術応用セミナー「ビッグデータとセンシング」(大阪)	センシング技術応用研究会	(社)大阪府技術協会 Tel.0725-51-2541 http://www.tri.pref.osaka.jp/dantai/sstj/
19~21日	第18回計算工学講演会(東京)	日本計算工学会	http://www.jsces.org/koenkai/18/
20日	第213回西山記念技術講座「自動車部材軽量化の為に制御鍛造とメタラジ」(大阪 4号206頁)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel.03-3669-5933
20,21日	第18回動力・エネルギー技術シンポジウム(千葉)	日本機械学会	http://www.jsme.or.jp/pes/Event/symposium.html (準備中)
28日	第214回西山記念技術講座「自動車部材軽量化の為に制御鍛造とメタラジ」(東京 4号206頁)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel.03-3669-5933
28日	ISIJ International 特集号「Cutting Edge of Computer Simulation of Solidification, Casting and Refining」原稿締切(11号797頁)	日本鉄鋼協会	CSSCR2013組織委員長 中島敬治 csscr2013@mse.kth.se
30~4日	第32回熱電変換国際会議(兵庫)	産業総合研究所	http://www.aist.go.jp/aist_j/aistinfo/index.html
2013年7月			
3~5日	第50回アイソトープ・放射線研究発表会(東京)	日本アイソトープ協会	学術振興部学術・出版課 須貝、高田 http://www.jriass.or.jp/
3~5日	第6回国際工業炉・関連機器展「サーモテック2013」(東京)	日本工業炉協会	サーモテック2013事務局 Tel.03-3262-8460 http://thermotec-expo.com/
4,5日	鉄鋼工学セミナー「凝固専科」(神奈川 4号208頁 申込締切6月4日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel.03-3669-5933
4,5日	安全工学シンポジウム2013(東京)	日本学会会議	電気学会 事業サービス課 Tel.03-3221-7313
8~10日	日本結晶学会講習会「粉末X線解析の実際」(東京)	日本結晶学会	Tel.03-5389-6372 crsj-xray@bunken.co.jp http://www.crsj.jp/news-j/130305PowderCourse.html
10~12日	第32回電子材料シンポジウム(EMS-32)(滋賀)	電子材料シンポジウム運営委員会	第32回電子材料シンポジウムWebページ http://ems.jpn.org/
10~12日	第23回環境工学総合シンポジウム2013(東京)	日本機械学会	村山 Tel.03-5360-3506 http://www.env-jsme.com/
11日	鉄鋼を知ろう!「最先端鉄鋼体験セミナー」(千葉 本号276頁 申込締切6月11日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel.03-3669-5933
11,12日	第33回防錆防食技術発表大会(東京)	日本防錆技術協会	事務局 Tel.03-3434-0451 jacc@mbf.sphere.ne.jp
11,12日	第54回塗料入門講座(東京)	色材協会	色材協会 関東支部 Tel.03-3443-2811 shikizai@poem.ocn.ne.jp
12日	第56回レアメタル研究会(東京 本号279頁)	レアメタル研究会	東京大学 宮寄智子 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp
16日	高温プロセス部会 製鉄プロセスフォーラム 次世代製鉄プロセス研究Gr主催ワークショップ「最新のシェールガス事情と東南アジアの鉄鋼企業動向並びに還元鉄製造技術を学ぶ」(東京 本号278頁)	日本鉄鋼協会	東北大学 有山達郎 ariyama@tagen.tohoku.ac.jp
16~18日	「Strength of Fine Grained Materials —60 years of Hall-Petch—」(東京 12号880頁)	日本学術振興会 第133委員会	東京学芸大学 准教授 小坂知己 E-mail:sfgm2013@gmail.com
18,19日	第47回X線材料強度に関するシンポジウム(東京)	日本材料学会	山梨県工業技術センター企画情報部 八代浩二 Tel.055-243-6111 http://www.jsms.jp/
21~26日	第39回鉄鋼工学セミナー(宮城 3号149頁)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel.03-3669-5933
27日	「鉄の技術と歴史」研究フォーラム 第18回公開研究発表会講演募集(千葉 3号154頁)	日本鉄鋼協会	フォーラム幹事 佐藤公昭 kera_k_sato@hb.tp1.jp
31日	「鉄と鋼」第100巻記念特集号 第4号 原稿募集締切(2号95頁)	日本鉄鋼協会	東京大学 吉川 t-yoshi@iis.u-tokyo.ac.jp 九州大学 中島 nakasima@zaiko.kyushu-u.ac.jp

開催期日	行事(開催地/詳細掲載号および頁)	主催者	問合せ・連絡先
2013年8月			
20~22日	日本実験力学会2013年度年次講演会(秋田)	日本実験力学会	秋田県立大学 須藤誠一 Tel.0184-27-2111 http://www.jsem.jp/event/Annual13/index.html
29,30日	鉄鋼工学セミナー「腐食・表面処理専科」(東京 本号277頁 申込締切7月26日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel.03-3669-5933
29,30日	第30回センシングフォーラム 計測部門大会(長野)	計測自動制御学会	信州大学 小関道彦 Tel.0268-21-5347 http://fiber.shinshu-u.ac.jp/sice/sf30/
29~31日	平成25年度工学教育研究講演会(新潟)	日本工学教育協会他	日本工学教育協会 川上理英 kawakami@jsee.or.jp
2013年9月			
2~6日	第8回衝撃工学に関する国際シンポジウム(大阪)	ISIE2013 組織委員会	委員長 小林 秀敏 Tel.06-6850-6200 http://isie2013.jsms.jp/
4,5日	鉄鋼工学セミナー「強化機構専科」(神奈川 4号208頁 申込締切7月31日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel.03-3669-5933
10~15日	The 8th International Conference on the Beginning of the Use of Metals and Alloys (第8回金属の歴史国際会議(BUMA8)) (奈良 7号511頁)	日本鉄鋼協会	学術企画グループ Tel.03-3669-5932
13日	ISIJ International 特集号 “Ancient and pre-modern production of iron and non-ferrous metals and their crafts” 原稿募集締切(2号96頁)	日本鉄鋼協会	BUMA8組織委員長 永田和宏 buma.2013@gmail.com
17~19日	第166回秋季講演大会(石川 本号268頁)	日本鉄鋼協会	学術企画グループ Tel.03-3669-5932
20日	第57回レアメタル研究会(東京 本号279頁)	レアメタル研究会	東京大学 宮寄智子 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp
22~25日	2013 Liquid Metal Processing and Casting (Austin (USA))	TMS	http://www.tms.org/meetings/2013/LMPC2013/home.asp
23,24日	第26回プラズマ材料科学シンポジウム(福岡)	日本学術振興会 第153委員会	SPSM26事務局 運営委員長 白谷正治 http://plasma.ed.kyushu-u.ac.jp/~spsm26/org.html
23~27日	第15回全反射蛍光X線分析法国際会議および第49回X線分析討論会合同会議(大阪)	日本分析化学会	大阪市立大学 辻幸一 Tel.06-6605-3080 http://www.a-chem.eng.osaka-cu.ac.jp/txrf2013/
25~27日	平成25年度修士学生向け「鉄鋼工学概論セミナー」(神戸 本号276頁 申込締切7月5日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel.03-3669-5933
25~27日	国際セラミックス総合展2013(東京)	日本セラミックス協会、他	シー・エヌ・ティ Tel.03-5297-8855 http://www.ceramic-expo.jp/
30日	「鉄と鋼」第100巻記念特集号 第6号 原稿募集締切(1号44頁)	日本鉄鋼協会	国立環境研究所 中島 nakajima.kenichi@nies.go.jp 東北大学 長坂 t-nagasaka@tohoku.ac.jp
2013年10月			
2~4日	International Conference on Smart Carbon Saving and Recycling for Ironmaking (ICSRI) (神奈川 本号279頁)	日本鉄鋼協会	東京工業大学 加藤之貴 yukitaka@nr.titech.ac.jp
9~11日	第3回次世代ものづくり基盤技術産業展-TECH Biz EXPO 2013-(愛知)	名古屋観光委員会	事務局 加藤正臣 Tel.052-735-4831
31日	「鉄と鋼」第100巻記念特集号 第7号原稿募集締切(本号266頁)	日本鉄鋼協会	東北大学 井上亮 Tel&Fax.022-217-5157 ryo@tagen.tohoku.ac.jp
2013年11月			
3~6日	8thISEM 13-Sendai(宮城)	日本実験力学会	東北大学 高橋弘 Tel.022-795-7394 htaka@mail.kankyo.tohoku.ac.jp
14,15日	鉄鋼工学セミナー「熱力学原理に基づく製鉄プロセスの解析と演習(Ristモデル)専科」(東京 4号209頁 申込締切10月15日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel.03-3669-5933
29日	第58回レアメタル研究会(東京 本号279頁)	レアメタル研究会	東京大学 宮寄智子 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp
2013年12月			
2~6日	8th International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials (THERMEC2013) (Las Vegas, USA)	THERMEC2013 運営委員会	物質・材料研究機構 津崎兼彰 Tel.029-859-2101 http://www.thermec.org/2013/
26日	「鉄と鋼」第100巻記念特集号 第9号原稿募集締切(本号266頁)	日本鉄鋼協会	九州大学 土山聡宏 Tel&Fax.092-802-2961 toshi@zaiko.kyushu-u.ac.jp
2014年1月			
10日	第59回レアメタル研究会(東京 本号279頁)	レアメタル研究会	東京大学 宮寄智子 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp
31日	「鉄と鋼」第100巻記念特集号 第10号原稿募集締切(本号266頁)	日本鉄鋼協会	九州大学 土山聡宏 Tel&Fax.092-802-2961 toshi@zaiko.kyushu-u.ac.jp
2014年3月			
20日	第60回レアメタル研究会(東京 本号279頁)	レアメタル研究会	東京大学 宮寄智子 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp
31日	「鉄と鋼」第100巻記念特集号 第12号原稿募集締切(本号266頁)	日本鉄鋼協会	東京大学 柳本潤 yan@iis.u-tokyo.ac.jp 大阪大学 宇都宮裕 uts@mat.eng.osaka-u.ac.jp

編集後記

春一番と桜前線が日本を南から北に駆け抜け、日本全国で初夏の風景がみられるようになりました。新年度が始まって1ヶ月。会社では新入社員も配属先に顔を出し、先輩方より仕事を一から教わっていると思います。また、大学の研究室でも新たに配属された学生に、一学年繰り上がった先輩たちが研究内容を教えていると思います。季節、組織改正、新人など、いずれも変化は活性化の原動力になるようです。

会報編集委員も新年度を区切りとして一部交代があり、新メンバーで編集がスタートしました。従来からの記事にさらに新しい風が吹き込まれようとしています。巻頭のアラカルトに連携記

事、解説記事などでは今話題となっていることを、今まで以上に積極的に取り上げようと考えています。また、会員のみなさまの活動の技術面の手がかりとしての入門講座も、さらなる充実を図ろうとしています。会報編集委員会は、会員のみなさまの情報源となるべくさらなる工夫を考えてゆきます。

従来よりふえらむを愛読していただいている方々におかれましては、新たに仲間となった方々にも、是非、『ふえらむにはおもしろいことが書いてあるよ』と、目を通すことを進めていただければ幸いです。

(Y.F.)

会報委員会 (五十音順)

委員長	森田 一樹 (東京大学)			
副委員長	山本 三幸 (新日鐵住金 (株))			
委員	遠藤 茂 (JFEスチール (株))	小野 嘉則 (物質・材料研究機構)	大野 宗一 (北海道大学)	
	梶野 智史 (産業技術総合研究所)	神戸 雄一 (日本冶金工業 (株))	木村 好里 (東京工業大学)	
	杉本 淳 (愛知製鋼 (株))	高谷 英明 (三菱重工業(株))	寺岡 浩 (大同特殊鋼 (株))	
	戸高 義一 (豊橋技術科学大学)	野村 茂樹 (日本鉄鋼協会)	早川 朋久 (東京工業大学)	
	藤本 延和 (日新製鋼(株))	船川 義正 (JFEスチール (株))	前田 恭志 (株) 神戸製鋼所	
	森 善一 (新日鐵住金 (株))	三木 貴博 (東北大学)	山本 憲志 (日野自動車 (株))	

ふえらむ/鉄と鋼 合本誌 定価 4,000円 (消費税等込・送料本会負担)

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan/Tetsu-to-Hagané : Unit Price ¥4,000 (Free of seamail charge)

1996年5月10日第三種郵便物認可 2013年4月25日印刷納本、2013年5月1日発行 (毎月1回1日発行)

編集兼発行人 東京都中央区日本橋茅場町3-2-10 鉄鋼会館5階 (一社) 日本鉄鋼協会 専務理事 小島 彰

Tel: 03-3669-5933 Fax: 03-3669-5934(共通)

(会員の購読料は会費に含む)

印刷所 東京都文京区本駒込3-9-3 (株) トライ

©COPYRIGHT 2013 一般社団法人日本鉄鋼協会

複写をご希望の方へ

本会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(一社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター ((一社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体) と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません (社外頒布目的の複写については、許諾が必要です)。

権利委託先：一般社団法人学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル

TEL.03-3475-5618 FAX.03-3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp

複写以外の許諾 (著作物の引用、転載、翻訳等) に関しては、(一社)学術著作権協会に委託致していません。

直接、本会へお問い合わせください。

また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡して下さい。

©Copyright Clearance Center, Inc

222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA

TEL.1-978-750-8400 FAX.1-978-646-8600

結晶構造作成ソフトウェア Crystal Studio, Ver.13

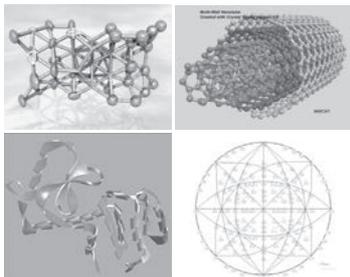
定価 Professional ¥241,500.-/¥199,500.-
Enterprise ¥262,500.-/¥220,500.-

(旧バージョンからのアップグレードについては要問い合わせ)

230の標準空間群情報、原子価、結合半径、最新の電子錯乱幅を備えた元素データ情報、回折計算に使われるデバイワラー因子から成るデータベースを内在し、作成された結晶を写真品位の画像で表現し、アニメーションをAVIファイルに保存できます。非標準の空間群を作成し、データベースを530までの空間群に拡張できます。空位、格子間原子、転位、積層欠陥他の項目を持つDefectメニューが追加されています。

おもな機能

- 格子定数や空間群番号から結晶を作成
- CIF、PDB、mmCIF、ICSDファイルのインポート
- 原子間距離と角度をCSVファイルにエクスポート
- ラベリングの自在性
- X線回折パターン、ステレオ投影図、逆格子の作成
- 単層カーボン、窒化ホウ素などのナノチューブとナノコーンも作成
- 結晶データベース
(Professionalには2000件
/Enterpriseには3000件)



システムプラットフォーム：
Windows98/Me/2000/Xp/Vista/7 (CrystalSoft Corp.製作)

化学プロセス用の物性データベース

DIPPR with DIADEM pro (Design Institute for Physical Property Data)

定価 ¥367,500.-/¥63,000.- (一般/教育)

2,030化合物についての49種類の熱物性値(実測値)、複数の推算式、原文献データと15種類の温度依存物性には推算式の係数などのデータベースです。AIChE推奨のインターフェイスソフトウェア(DIADEM)付きのスタンドアロンシステムです。

おもな機能 (DIADEM)

- 検索対象: Name, Formula, CAS番号、物性データ
- 物性値: 実測値、推算式による予測値
- データ表示: テーブルとグラフプロット
- 複数化合物データの重ね合わせプロット
- MDL Chimeプラグインによる構造的立体表示
- ユーザーデータベースの作成



システムプラットフォーム：
Windows Xp/Vista/7 (AIChE DIPPR Project 801)

24,800件のセラミックス状態図データベース

ACerS-NIST

Phase Equilibria Diagrams, Version 3.4

定価 ¥168,000.- マルチユーザー ¥273,000.-

検索条件

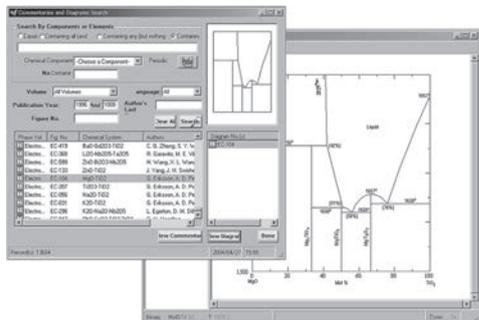
- 成分系、元素記号
- 著者、出典誌名、出版年
- 状態図番号

データ表示

- ◆モル百分率 ↔ 重量百分率
- ◆Lever rule計算
- ◆ズームアップ/ズームダウン

データソース/新データ2,500件を追加

●Phase Diagrams for Ceramists (Volumes I・III, Annual Volumes '91, '92 and '93, High Tc Superconductor monographs (two), Phas Diagrams for Zirconium + Zirconia Systems and Phase Diagrams for Electronic Ceramics I)



システムプラットフォーム: Windows95/98/Me/NT4.0/2000/XP/Vista/7

化学反応/平衡計算ソフトウェア

HSC Chemistry for Windows, Ver.7.0

定価 ¥315,000.-

約25,000種についてのエンタルピー(H)、エントロピー(S)、熱容量(Cp)のデータベースを基に化学反応の計算やGIBBSまたはSOLGASMIXのルーチンによる化学平衡を計算します。反応、熱平衡、分子量計算などの一般的なモジュールの他、エリンガム状態図、Eh-pH(プルベ)状態図、TppとLppの相安定性状態図の作成などユニークなモジュールを持ち合わせています。計算結果のテーブルと状態図はクリップボードにコピーできます。

SIM Flowsheet モジュールにより複数のユニットプロセスからなるプロセス全体のシミュレーションとモデリング、Excel上でのHSC計算が可能になるExcelAdd-In関数、プライベートデータベースを作成するための熱化学データからH、S、Cpを計算する変換機能などもあります。



システムプラットフォーム: Windows2000/XP/Vista/7
(Outokumpu Research Oy.製作)

株式会社 デジタルデータマネジメント

東京都中央区日本橋茅場町1-11-8 紅萌ビル 〒103-0025

TEL.03-5641-1771 FAX.03-5641-1772 <http://www.ddmcorp.com>

ELTRA
Analysers made in Germany

業界注目!!
この機能で低廉価格(500万~)発売中!!

炭素/硫黄分析装置 CS-800

システム概要



CS-800はJIS燃焼-赤外線吸収法に準拠した炭素/硫黄分析装置です。鋼、鋳鉄、銅、鉍石、セメント、セラミックスその他の材料中の炭素及び硫黄を高速同時定量します。CS-800は最大で4機の独立した赤外線セルを備えることができ、それぞれが分析用例に応じて最適な赤外線吸収長に設定されます。16ビットマイクロプロセッサにより誘導燃焼炉のパワー制御や赤外線セル検出器のゼロ及び感度調整を行います。

特 徴

- ソリッドステート赤外線セル 4 機搭載
- 燃焼炉の自動クリーニング機構
- 誘導炉出力制御
- 単独及び外部PC制御による運転
- 助燃剤なしでの最大20gまでのCu試料分析



固体発光分析装置 OBLF GmbH [GERMANY]

鉄・鋼・アルミニウム等の品質保証・工程管理分析(JSG 1253)等に最適!!

GS1000

500mmタイプの光学系を持つGS1000は、最大分析受光部数に制約がある場合は、放電スタンド、データ処理部、発光電源部等はQSN/QSG750と完全に共通です。目的が明確化されたルーチン分析に圧倒的な高精度と安全性およびコストパフォーマンスを誇ります。

DSI

Dynamic Systems Inc.



グローバル試験機シリーズ

熱・機械プロセスの物理シミュレーションのための業界基準となります。

高速加熱と広範囲の機械能力により、溶接HAZシミュレーション、ゼロ強度、熱サイクル、熱処理研究、低力試験、高温引張り試験、さらには高速圧縮・引張り試験、多衝撃高温変形試験、溶融および凝固、そしてストリップ焼なましなどの試験に理想的です。



日本総代理店
ジャパロマシナリー株式会社
JAPAN MACHINERY COMPANY

第三営業部 〒144-0046 東京都大田区東六郷 2-19-6 (JMCビル)
TEL.03-3730-6061(代表) FAX.03-3730-3737
関西営業課 〒530-0002 大阪府大阪市北区曽根崎新地 1-3-16(京富ビル)
TEL.06-6342-1550 FAX.06-6342-1557