

ふえらむ

Bulletin of The Iron and Steel
Institute of Japan

Vol.19 / No.5 / 2014

(一社)日本鉄鋼協会会報

ISSN1341-688X

鐵 と 鋼

日
本
鐵
鋼
協
會
之
誌

平成二十六年五月一日刊行

第 第
五 百
號 卷

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)

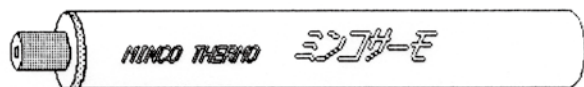


ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。
炉外精錬装置 脱ガス装置 電気炉 レードル タンディッシュ CCモールド
高炉出鉄樋 トピードカー 溶銑予備処理などあらゆる場所から採取できます

■ 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.19 (2014) No.5

C O N T E N T S

目 次

Techno Scope	日本の新たなエネルギー 海洋温度差発電	294
連携記事	高伝熱チタン板とそのプレート式熱交換器への適用 逸見義男、田村圭太郎、大山英人、岡本明夫	298
2013年鉄鋼生産技術の歩み	日本鉄鋼協会 生産技術部門	302
入門講座	物理分析入門ー初めて使う人のためにー13 ラマン分光法の原理と応用事例 高橋貴文	318
躍 動	製鋼プロセス研究開発を通じて 松井章敏	325
会員へのお知らせ		329
海外鉄鋼関連最新論文		350

日本の新たなエネルギー

海洋温度差発電

海には膨大なエネルギーが蓄えられており、その1つが、海水の温度差を利用して発電する海洋温度差発電である。実用化のためには、熱効率の向上と経済性の確保が大きなハードルとなっている。現在、熱交換器用チタン板の開発が進められ、世界をリードする日本のチタン開発技術に期待が集まっている。

2013年4月、世界初の実証実験を開始した海洋温度差発電プラント（沖縄県久米島の沖縄県海洋深層水研究所）。



温かい海水と冷たい海水の温度差を利用

地球は水の惑星と呼ばれるように、地球の表面の7割を海が占めている。海には、波力や潮流などの運動エネルギーをはじめとする豊富なエネルギーがさまざまな形で蓄えられている。このような海洋エネルギーを取り出すことにより、化石燃料に代わるクリーンエネルギーとして利用することができる。

日頃、地上で生活している私たちは、海全体のほんの一部しか目にしていないが、海の中には多くの異なる環境が存在している。例えば、太陽の光は海面に降り注ぐが、海中に入ると太陽光の届くのは深さ200mまでの範囲でしかない。太陽光が届かない200m以深の海は「深海」と呼ばれるが、地球の海全体のじつに98%が深海である。

海では深くなるとともに温度も下がる。海水は、太陽光線をあまり多く通さないため、海面の温かい海水（表層水）と、200m以深の冷たい海水（深層水）との間には10～25℃の温度差がある。この温度差として存在する熱エネルギーを電気エネルギーに変換するのが、海洋温度差発電（Ocean Thermal Energy Conversion、以下OTEC）である。

OTECは、太陽光発電や風力発電など、他の再生可能エネルギーと比べると、昼夜の変動がなく比較的安定したエネルギー源であり、また季節変動が予測可能であるため計画的な発電が可能であるという特徴を持つ。まさに、太陽が海水を

温めるかぎり得ることが可能な、無尽蔵なエネルギーなのである。発電できる条件は、海水の温度差が20℃以上あることである。この条件を満たすのは、北緯40°から南緯40°に至るまでの広い海域であり、特に、赤道周辺で、かつ海底が深い海域は海水の温度差が大きく、OTECに適している。

OTECのアイデアは意外に古く、1881年にフランスで発電のアイデアが提案されている。それから約90年を経て1970年代の石油ショックで、代替エネルギーへの世界的な要請が高まるとともに、日本や欧米各国でOTEC研究が始まった。

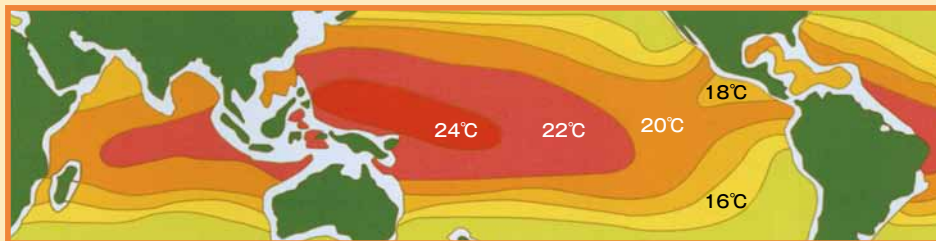
日本では、1973年に佐賀大学がOTEC研究を開始したのが先駆けとなった。1985年には当時世界最大規模となる出力75kwのパイロットプラントを製作、1994年には「佐賀大学方式」と呼ばれる熱効率に優れたシステムを発表した。現在では、出力30kWのOTEC基礎実験装置（佐賀県伊万里市）で、実証的研究が行われている。

プレート式熱交換器でいかに熱効率を高めるか

次に、OTECの発電の仕組みについて紹介しよう。

OTECの発電方式には、オープンサイクル、クローズドサイクル、ハイブリッドサイクルなどの種類がある。ここでは代表的な方式であるクローズドサイクルについて説明する。クローズドサイクルは、蒸発器、タービン、発電機、凝縮器、作動流体ポンプ、表層水ポンプ、深層水ポンプで構成され、各機器はパイプで連結され

世界の海水温度差の分布



(出典:佐賀大学海洋エネルギー研究センター資料)

表層と深層の海水温度差の分布図。例えば、赤道近くでは温度差24℃の海域が広がり、20℃以上は北緯40°から南緯40°に至るまでの広い海域にわたっている。この温度差を利用して、OTECを行う。

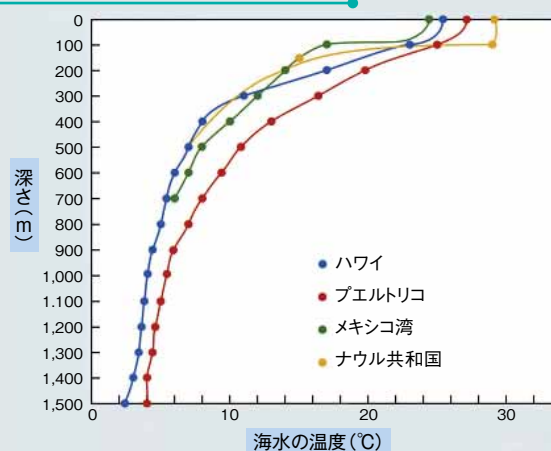
ている(4ページ参照)。

まず、海から汲み上げた表層水を蒸発器に送り、作動流体(後述)と呼ばれる液体の蒸気を発生させ、この蒸気をタービンの羽根に当ててタービンを回して発電する。タービンを出た蒸気は、凝縮器に送られ、冷たい深層水で冷却されて、再び液体にもどる。発電の基本的な仕組みは、火力発電などと同じである。異なる点は、蒸気を得るのに、化石燃料を燃焼させて熱を得るのではなく、表層水の熱で作動流体を気化させ、深層水で液化させることである。OTECは低い温度域を利用するため、作動流体には水よりも沸点の低いアンモニアと水の混合流体が使用される。

表層水と深層水の温度差は20℃と小さく、OTEC実用化の最大の技術的な課題は、いかに熱効率を高めるか、である。ここで重要な役割を果たすのが、プレート式熱交換器である。プレート式熱交換器は、薄いプレートを何層にも重ねて、海水と作動流体とを交互に流す構造をしており、チューブ型熱交換器に比べ、単位体積当たりの伝熱面積を大きくでき、海水と作動流体との間で高い熱伝達率が実現できる。しかも、分解がしやすくメンテナンス性に優れている、などの特徴を併せ持つ。

熱交換器プレートの材料にはチタンが使用されているが、その理由は、海水に対する耐食性にきわめて優れるからである。実は海外では、熱交換器にアルミニウムなどが使用されており、

海洋の深度による温度の変化



熱帯および亜熱帯の海洋における、海水の垂直方向温度の分布グラフ。表層は20～30℃だが、深くなるにつれ温度が下がり続け、深さ1,000mでは5℃以下にまで下がる。

(出典:佐賀大学海洋エネルギー研究センター資料)

チタン製の熱交換器プレートは、日本の技術的優位性を発揮しているコア技術の1つだといわれている。

ただしチタンは、他素材に比べ高価である。OTECプラントでは、初期コストの内訳は、4分の1がプレート式熱交換器、4分の1が浮体構造物(浮体型OTECの場合)、残りが取水管ほか

OTECプラントで期待される波及効果

OTECプラントは、発電以外にもさまざまな波及効果が期待される。OTECで利用する温度の低い深層水は200m以深から汲み上げ、多くのミネラル分を含む海洋深層水として注目されている。この中には、植物の育成に役立つ窒素やりんが含まれ、藻類や貝類の成長に役立ち、養殖への利用に有望である。

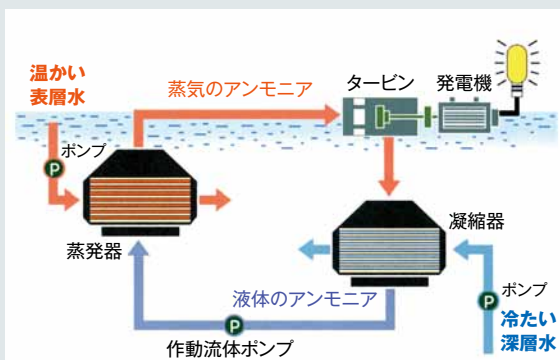
この水はOTECプラントに海水淡水化装置を組み合わせることで、飲料水用のミネラルウォーターや、農業用の真水を得ることができる。このように、電力供給と水問題の解決につながるため、シーアセアンと呼ばれる東南アジア諸国や離島、発展途上国などでOTECの導入の検討が進んでいる。またOTECで汲み上げた海水に含まれるリチウムを回収して、リチウムイオン電池の材料として利用することができ、諸外国からも注目されている。



OTEC技術を利用した海水淡水化プラント船

2007年4月、インド国立海洋技術研究所は、OTEC技術を利用した海水淡水化装置の洋上実証実験に世界で初めて成功したと発表した。これはインド洋で深さ500mから深層海水を汲み上げ淡水化するもので、淡水製造能力は1,000t/日に達する。このようにアジア諸国ではOTECの導入に大きな期待を寄せ、日本との共同研究も盛んに行われている。

OTECのクローズドサイクルの仕組み



蒸発器では、温かい表層水(25~30℃)により作動流体が加熱され気化する。作動流体の蒸気によりタービン発電機を駆動し、発電する。その後、蒸気は凝縮器に送られ、冷たい深層水(5℃前後)により冷却され液化する。

の設備費である。ランニングコストの点では、海水の汲み上げに必要なエネルギーは自前の電力で賄うことができ、設備の補修などのメンテナンス費用も少なくすむ。したがって、経済性を左右する要因は、プラント建設時の初期コストにかかっている。

つまり、プレート式熱交換器の高性能化及び小型化は、全体コスト低減を図るための重要な要件となる。そのためには、チタン製プレートの熱伝達性能を向上することが必要となる。さらに熱交換器プレートとしての性能を確保するため、チタン

材料には素材の高強度化、プレート形状のプレス成形性向上、なども同時に確保することが求められた。

微細な突起を転写して熱伝達性能を向上

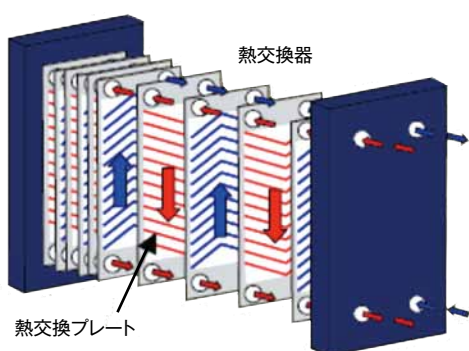
このような課題に対応して開発されたのが高伝熱チタン板である。このチタン板には、表面に高さ数十 μm の微細な突起が成形されている。

蒸発器の熱交換器プレートでは、プレートの片側に温かい表層水、もう一方の側に作動流体が接しており、作動流体はプレートを介して伝わった熱により気化する。作動流体の気化を促進するためには、沸騰の起点となる発泡核が形成しやすいようにする必要がある。検討の結果、プレート表面に微細な突起を設けるのが効果的であることが明らかになった。

微細な突起は、高速加工が可能な冷間圧延工程での転写圧延(ワークロールに凹凸形状を付与し、チタン板を2本のロールで圧下するときに凹凸形状を転写する)で成形される。チタン板表面に凹凸を付与するには、酸洗によるエッチングなどの方法も考えられるが、生産性や加工コストなどを考慮し転写による成形が採用された。製造にあたっては、伝熱特性と圧延転写性を考慮した凹凸形状や、圧延条件などの工程の最適化が図られた。

この高伝熱チタン板をプレート式熱交換器に使用した場合の性能は、平滑板を使用した場合と比較して沸騰熱伝達性

■ プレート式熱交換器の構造



チタン製プレートのプレス成形例
(資料提供:佐賀大学海洋エネルギー研究センター)

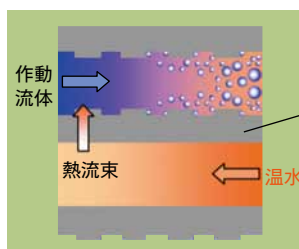
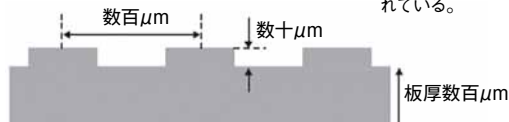
■ 高伝熱チタン板の表面形状



表面写真



チタン板表面には高さ数十 μm の微細な突起が均一に成形されている。



熱伝達の仕組み。微細な突起の側面が、流体を沸騰させる発泡核の役割を果たしている。
(資料提供:(株)神戸製鋼所)

OTEC基礎実験装置(佐賀大学海洋エネルギー研究センター)



OTEC基礎実験装置(出力30kW)(左)とプレート式熱交換器(右)。緑色の装置がプレート式熱交換器であり、内部にはチタン製熱交換器プレート26枚が積層されている。

能が約20%向上することが明らかになった。高伝熱チタン板を使うことで、プレート枚数を従来より少なくでき、システム全体の機器の小型化、低コスト化を図ることができた*。

2013年4月、世界に先駆けてOTEC発電利用実証事業(沖縄県久米島、出力50kW)が電力会社への電力供給を開始した。この久米島のプラントには、新しく開発された高伝熱チタン板が使用され、熱伝達性能の向上が発電プラントでも実証された。

商用運転を目指す各国の取り組み

再生可能エネルギーの導入を考えると、経済性は大きな課題である。太陽光発電や風力発電では、運転が自然条件に左右されやすく、出力が不安定、などの点から発電コストを安くするのが難しい。これに対し、OTECプラントの稼働率は80～90%と高く、比較的安定した運転が可能である。そのため、家庭用などの小規模分散型の発電にとどまらず、比較的出力規模が大きいプラントでの商用運転への期待が高まっている。

現在、日本では1MW以上のOTECプラントを、米国やフランスなどに先駆けて建設することを目指している。そのためには、今後1MW級の実証試験を行って性能を確認し、さらに商用運転には10MW以上の出力が必要だといわれる。このような大規模なプラントを建設するには、例えば出力10MWでは建設コストが数百億円規模となり、発電コストは20円/kWh程度かかる

いわれている。

1970年代にOTEC研究を行っていた諸外国では、その後原油価格が安くなったため化石燃料にシフトして、OTECの研究を中断してしまったという経緯があった。2000年代になり、原油価格の高騰や環境問題などの社会的背景により、米国やフランスなどでOTEC研究への取り組みが再開したのである。また最近数年では、経済成長とともにエネルギー需要が高まる中国やインドでもOTECへの期待が高まり、特許件数が飛躍的に伸びている。

先ごろ、米国大手メーカーが中国の投資会社との間で、中国に世界最大級のOTECプラントの建設に関する契約に調印した、と発表した。これにより、OTECの商用運転への道筋は、いよいよ現実味を帯びてきた。

各国が実用化研究を本格化させ、どの国も1基目は国家プロジェクトとして立ち上げることになるが、その後は新しいビジネスとして成り立つかどうかは鍵となる。

日本では2007年に海洋基本法が策定され、国として海洋エネルギー開発への戦略的な取り組みが始まった。海洋エネルギーの有効利用は、エネルギー問題だけでなく地球温暖化対策にも大きな効果が期待できる。海とともに生きてきた島国、日本。大海原に眠る豊富な海洋エネルギーは、将来、社会に大きなインパクトを与えるかもしれない。

*NEDOによる平成23～26年度次世代海洋エネルギー発電技術研究開発による研究成果

●取材協力 佐賀大学海洋エネルギー研究センター、(株)神戸製鋼所
●文 杉山香里

連 携 記 事

高伝熱チタン板と
そのプレート式熱交換器への適用

High Heat-Transfer Titanium Sheet and
Its Application to Plate Type Heat Exchangers

(株) 神戸製鋼所 鉄鋼事業部門
チタン本部チタン研究開発室
主任研究員

逸見義男
Yoshio Itsumi

(株) 神戸製鋼所 鉄鋼事業部門
チタン本部チタン研究開発室
室長

大山英人
Hideto Oyama

(株) 神戸製鋼所 鉄鋼事業部門
チタン本部チタン研究開発室
研究員

田村圭太郎
Keitaro Tamura

(株) 神戸製鋼所 鉄鋼事業部門
チタン本部チタン商品技術室
室長

岡本明夫
Akio Okamoto

1 はじめに

純チタンは、他の実用金属材料と比べて海水に対して圧倒的に高い耐食性を示す¹⁾ことから、海水を常時使用する熱交換器は、純チタンの主用途の一つとなっている。環境問題、熱エネルギーの有効利用、省エネルギー等の観点から熱交換器の高効率化の要求はますます高まっている。これらの性能は熱交換器の構造そのものに大きく依存するが、伝熱面の熱伝達によっても変化する。著者らは、その構造を構成する素材を置き換えただけでも、熱交換性能が向上する高伝熱チタン板 (HEETTM) を開発した。温暖な島嶼において比較的天候に左右され難く安定な再生可能エネルギー源候補として注目されている海洋温度差発電の実証プラントが、沖縄県久米島にて2013年度より連続運転を開始しているが、その熱交換器に採用された高伝熱チタン板の技術を中心に紹介する。

2 海水耐食性に優れたチタンと熱交換器

チタンは、冒頭に述べたように他の実用金属材料と比べて海水に対して、圧倒的に高い耐食性を示す。常に海水を流す熱交換器において、予期せぬ時に板が腐食で貫通し、板を隔てた媒体が外海に漏れたり、構造体としても機能しなくなるなどの事態は、重大な事故に繋がる可能性が高く、特に電力などを社会に対して安定供給するような事業においてはあってはならないとされている。そのため、構造材の腐食減量を想定し、定期的なメンテナンス、場合によっては構造材の置き換えを想定した運転が必要となる。但し、突発的な腐食の進行は環境の変化等の影響を受け、正確に予測することは難

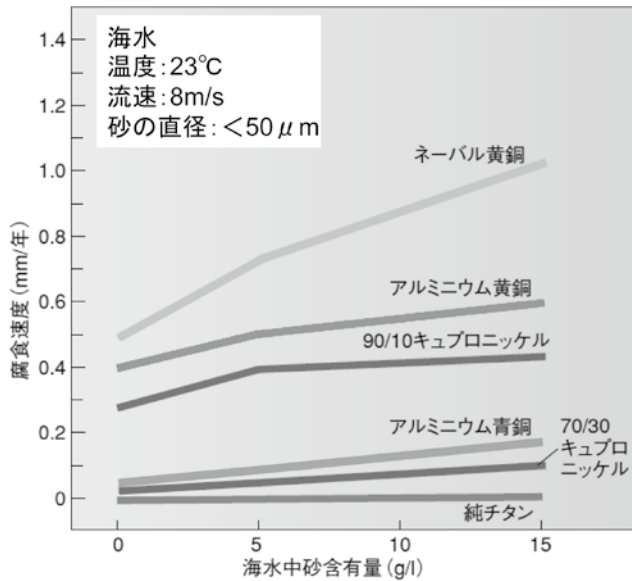
しい。しかしながら、耐孔食性、ならびに実海水に巻き込まれた砂、貝殻等の硬質粒子の接触に伴う加速腐食として耐エロージョン性は評価しておく必要がある。海水中での各代表材料の耐孔食性を表1¹⁾に示す。表中の孔食電位は、材料にそれ以上の電位がかかれば局所的な腐食としての孔食が始まる電位を示すが、チタンは他の金属材料と比較し飛び抜けて高く、海水中では、事実上孔食は起こらないことを示している。また、耐サンドエロージョン性を図1²⁾に示すが、チタンは、図中の銅合金より軟質材にも関わらず著しく低い腐食速度を示している。

1979年にわが国初の火力および原子力発電所において全チタン復水器が初めて採用されて以来³⁾、現在に至るまで国内96の発電所に、僅か肉厚0.5mm前後で、総重量1万トン、長さにして実に5万kmを超える溶接管が熱交換器の復水管として採用されてきた。20年を優に超えて稼動する発電所が多くある中であっても、チタンの腐食損傷に関わる報告はこれまで一切無く、発電所の安定稼動に貢献している。

このように、熱交換の媒体として海水が用いられ、かつ発電

表1 海水中における各種金属材料の孔食電位¹⁾

材料	海水温度(°C)と流速(m/s)	孔食電位(V vs SCE)	自然電位(V vs SCE)
アルミニウム	25/0(静止)	-0.76	-8~+10
Al青銅	25/1.5	-0.10	-0.26
70/30 キュプロニックル	25/1.5	-0.08	-0.27
SUS304	25/1.5	+0.3	-0.5
SUS316	25/1.5	+0.5	-0.4
チタン	25/1.5	+8~+10	-0.2~+0.1

図1 流動海中における耐サンドエロージョン性²⁾

などを対象とした安定稼動が求められるような設備の場合は、チタンが熱交換器の主要材料として最も相応しいといえる。

この熱交換器のタイプには、大きく別けて先に示した溶接管を用いたシェル&チューブ方式とプレート方式 (PHE) に分かれる。本稿で述べるPHEは、化学プラント、発電プラント、造水器、セントラルクーリングシステムや船舶でのエンジン冷却など、多くの産業用途で、活用されている。

PHEは単位体積当りの伝熱面積が大きく取れる利点があり、中谷ら⁴⁾は、冷凍機における熱交換器では、同じ性能においてPHEは重量にして1/3～1/4、冷媒充填量も1/2～1/4になると報告されており、設備のコンパクト化が可能である。海洋温度差発電においても熱交換器が設備面積の過半を占めるため、可能な限りコンパクトな熱交換器を採用することにより初期設備投資コスト圧縮に繋がる。このPHEの構造と原理を図2に示す。チタン等薄板の金属製プレートを挟んで暖かい作動流体と冷たい作動流体を交互に流すことにより熱交換を行う。熱の授受はこのプレートを通して行われる。そのプレートは、複雑な波型形状、例えばヘリンボーン (にしんの骨の意) パターンの形状に成形加工されている。この波型形状が構造体としての剛性を確保するとともに、伝熱面積を増やしかつ流体の流れを妨げることで生じる乱流により効率よく熱伝達を促す役割を果たしている。

プレートは軟質な純チタンの薄板を所望のプレート形状にプレス加工することで製造される。プレートの材料として、一般的には板厚1mm未満の純チタン薄板が用いられるが、チタン板に対する要求特性としては、設計されたプレート形状に成形できるだけのプレス成形性と定格の圧力に耐えるだけの強度を有していることが求められる。

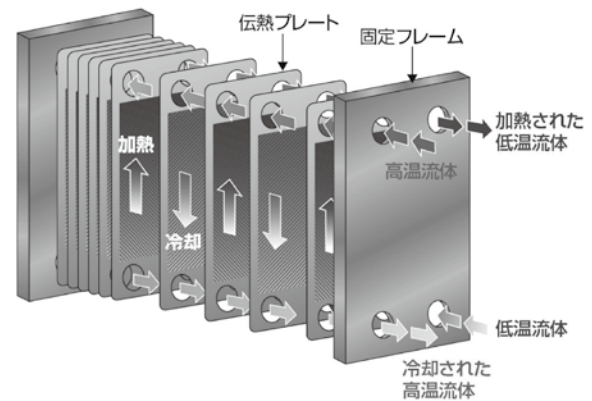


図2 プレート式熱交換器の構造と原理

3 素材表面への微細凹凸加工による伝熱促進

金属の表面に微細な加工を加えて伝熱促進の機能を与えることは、シェル&チューブ方式の熱交換器では、伝熱管表面に転造でフィンを立てる方法が銅管などで工業化されている⁵⁾。しかしPHEでは、微細な金属粒子を溶射する方法など⁶⁾が提案されているが、表面から脱落した溶射粉がタービンなどに流入すれば機器を損傷する恐れがあり、安定かつ安価に製造できる事例は殆ど無かった。そこで筆者らは、工業的に安定させる方法として薄板表面に微細な凹凸を付与することに着目した。チタン薄板表面に等間隔の微細凹凸溝 (凹部幅200μm, 凸部幅100μm, 深さ30μm) をエッチング法により微細加工を施し、冷媒であるアンモニアの流れに対して溝の向きを変えて沸騰伝熱試験を行い、平滑面を有する従来板と比較した。その結果、微細凹凸溝が施された薄板面の熱伝達係数は、平滑面の場合に比べて上昇した。また、その上昇率は、媒体の流れに対する凹凸溝の向きによって異なり、流れが凹凸溝と直行する場合の従来平滑面に対する熱伝達係数の向上率が22%であったのに対し、流れが平行の場合は10%に留まった。凹凸溝の凹部がキャビティとなり、沸騰核の発泡点となって核沸騰を促進させると考えられるが、流れの方向により熱伝達係数の改善度合いが異なることが示された^{7,8)}。

PHE内部に流れる媒体は、プレートの起伏に当って、方向を変えながら流れていくため、どの方角から媒体が流れてきても、活性キャビティが生じるように、方向性を有する溝形状から無方向性である微細円柱状突起形状を千鳥に配置する水玉模様デザインとした。

その微細水玉の突起高さと伝熱性能の関係を図3に示す。微細水玉の突起高さが高いほど総括熱伝達係数が向上して

いることがわかる。これは、微細水玉突起部の付け根を沸騰核とする活性キャピティとなれるサイズに適合しており、かつ、突起部が高いほど、過熱度も下がることによるものと考えている。

この効果は、沸騰型の伝熱促進についての推定であるが、熱交換器の利用形態である気体状態から液体状態に戻す伝熱として凝縮型、液体同士の伝熱として強制対流型の性能を、同じ微細水玉模様の平面板で評価した結果を図4に示す。微細水玉凸凹は、沸騰型伝熱の促進に最も効果的であるが、凝縮型、強制対流型でも効果があることを確認している⁹⁾。

4 高伝熱チタン板の実機試作とPHEでの評価

上記のような表面形状加工を工業的に実現するために、冷間圧延工程においてワークロールに付与した微細凹凸を薄板表面に転写する製造方法を確立し、高伝熱チタン板を開発した。図5に転写圧延で実機製造したコイルの概観、ならびに従来材と転写圧延材の板表面の比較を示す。コイル全面に

わたって均等な凹凸を付与することができている。また、微細凹凸転写による材料特性への影響を評価した結果、従来のPHE材に要求される機械的特性、ならびにプレス成形性の基礎評価からも、従来材と同等であることを確認している。

さらにPHEでは、伝熱効率をあげるためにチタン板は、ヘリンボーンのような形状に成形加工されており、このような実際のPHE構造での伝熱特性の評価を行った。海洋温度差発電実証プラントに搭載されている同型のPHEに、プレス加工された従来材および高伝熱チタン板を組み込んで、それぞれ伝熱性能を評価した結果を図6に示す。この図より、実機で製造した高伝熱チタン板と、従来の表面が平滑な板に対して、それぞれの同形状のPHEを作製し、個々に評価した結果、実機サイズのPHEにおいても高伝熱チタン板は、20%の伝熱促進効果が得られている。次に、現在、沖縄県久米島で連続運転を続けている実証プラントで採取したデータを図7¹⁰⁾に示す。これは、高伝熱チタン板を搭載した実証プラントの蒸発器での総括熱伝達係数を、図6のデータに基づき予測される従来材での総括熱伝達係数で除し、高伝熱チタン板の伝熱性能向上効果の経時変化として表した結果である。

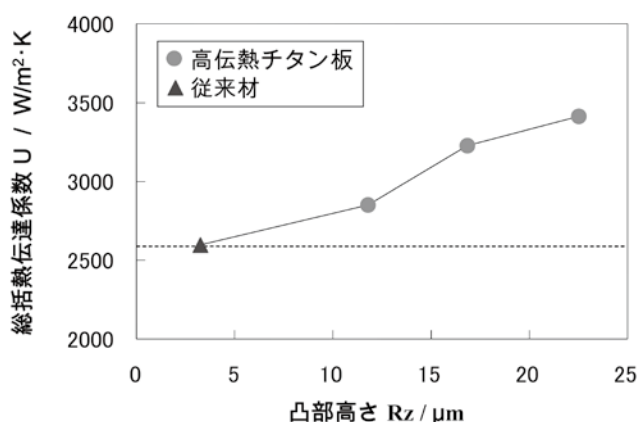


図3 総括熱伝達係数に及ぼす凸部高さの影響

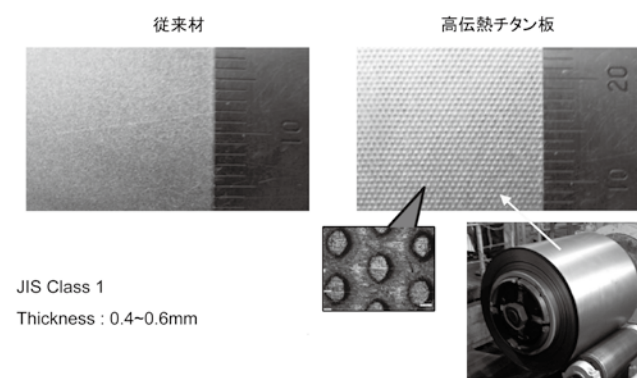


図5 高伝熱チタン板の転写圧延後のコイル概観と板面拡大写真

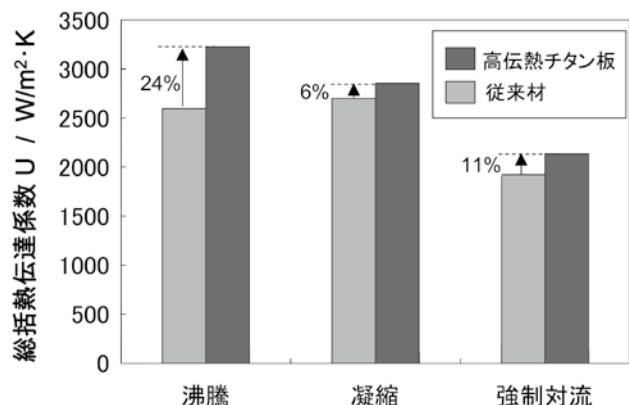


図4 高伝熱チタン板の各種伝熱形式での伝熱特性

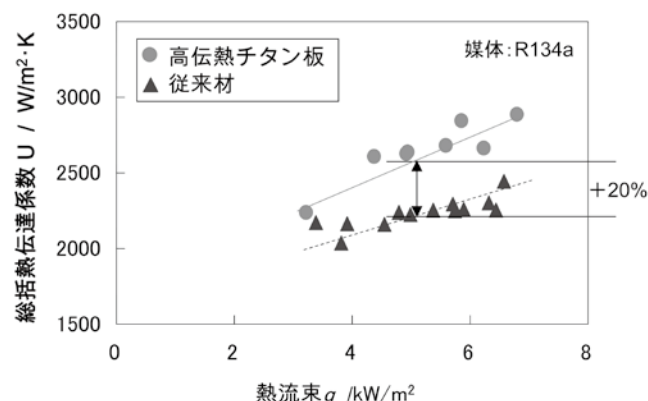


図6 大型PHEに組み込んだ状態での高伝熱チタン板の沸騰伝熱特性

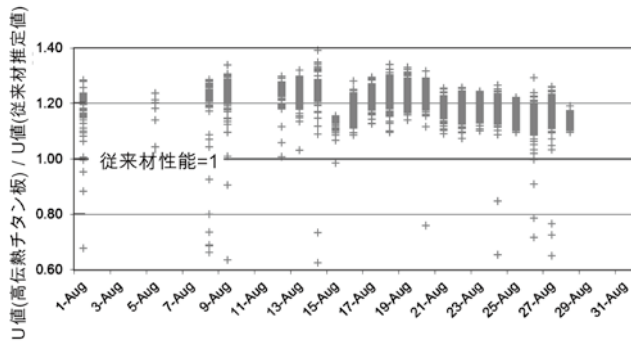


図7 海洋温度差発電実証機の2013年8月における蒸発器のU値高伝熱チタン板／U値(従来材推定値)の時間推移(データポイント：10分間の平均値)

資料提供：株式会社ゼネシス

時々の水量、表層の海水温等が異なるため、日、時間により変動はあるが、平均として20%向上が実証されている。

5 おわりに

本報では、高伝熱チタン板の特徴等について紹介した。

海洋温度差発電実証プラントは、順調に、熱サイクルの安定性・制御性の検証や熱交換器の性能を評価中であり、次なる1MW/10MWクラスの大型実証プラントの早期実現が待たれる。また、本技術は、様々なタイプの熱交換器への適用

が可能であり、エネルギープラントや造船向けなど、広範囲な用途で利用されることを期待する。

参考文献

- 1) 佐藤廣士：日本海水学会誌, 44 (1990) 3, 200.
- 2) 神戸チタン総合カタログ, 18.
- 3) 里卓郎：R&D 神戸製鋼技報, 49 (1999) 3, 2.
- 4) 中谷清裕：冷凍, 70 (1995) 812, 646.
- 5) 高橋宏行, 佐伯主税：伸銅技術研究会誌, 40 (2001) 1, 223.
- 6) 池上康之, 新郷正志, 坂口俊之, 江頭正和, 平尾泰博：日本伝熱シンポジウム講演論文集, (2000) ,825.
- 7) 岡本明夫, 有馬博史, 池上康之：R&D 神戸製鋼技報, 60 (2010) 2, 60.
- 8) 有馬博史, 松尾伸彦, 執行啓太, 岡本明夫, 池上康之：OTEC, 15 (2010) 19.
- 9) 田村圭太郎, 逸見義男, 大山英人, 有馬博史, 池上康之：2013 年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, (2013), 339.
- 10) A.Okamoto：Titanium 2013, ITA 29th Annual Conference, (2013)

(2014年3月10日受付)

2013年鉄鋼生産技術の歩み

Production and technology of Iron and Steel in Japan during 2013

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年末に政権が交代し安倍政権が発足した。2013年は新たな変化への期待感の中でのスタートとなったが、アベノミクスと呼ばれる「金融政策」、「財政政策」、「成長戦略」からなる経済政策が示され、年初から大胆な金融緩和、補正予算による緊急経済対策が講じられた。この結果、円高が解消し株価も上昇して、我が国の経済情勢は大きく好転した。更に、実質GDP成長率は年を通じてプラスを維持し、物価上昇率の向上、完全失業率の改善が進み、实体经济への効果が確認されるようになった。ただし、2011年に発生した東日本大震災および原発事故からの復興は、未だ緒に就いた感が否めず、引き続き復興・復旧対策を確実に進めていくことの重要性が再認識された。

このように経済情勢が好転したことにより、2013年の我が国の粗鋼生産量は、1億1,057万トンとなり、前年比3.1%増の高水準となった。原料コストも円安ながら比較的安定した上、鋼材価格も改善したことにより、高炉メーカーを中心に業績は改善した。しかしながら、電力コストの上昇を抱える電炉メーカーには厳しい状況となった。国内では、新日鐵住金(株)や(株)神戸製鋼所における高炉休止を含む構造改革や流通業界にも及ぶ企業再編の動きが継続した。一方で、高炉大手による海外の製造ラインの増強や工場買収の動きもあり、国内から海外へのシフトがゆっくりではあるが確かな変化の1年となった。以下に、2013年の鉄鋼業を取り巻く状況として、鉄鋼原料の動向、鉄鋼需要産業の動向、我が国および世界の粗鋼生産の状況、鉄鋼企業のグローバル展開等について概括する。

1.1 鉄鋼原料の動向

2004年頃からの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ひっ迫し、価格が高騰していたが、鉄鉱

石は豪州、ブラジル等から、原料炭は豪州、カナダ等からの供給量拡大により2011年がピークとなり、2013年は前年に続き安定化する傾向となった。原料価格については、鉄鉱石(豪州・粉鉱石)は年平均で約120US\$/トンレベルとなり、2012年とほぼ同じ水準だった。また、原料炭(豪州・強粘結炭)は豪州やカナダからの供給量過多の傾向にあり、年平均で約150US\$/トンとなり、2012年よりも一段安価となった。

また、インドネシアの新鉱業法によるニッケル鉱石等の輸出禁止等の資源ナショナリズムの問題も引き続き顕在化した。

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、2013年の鉄鋼需要産業の動向は概略以下のとおりである。詳細は、原典あるいは鉄鋼連盟のホームページを参照されたい。

〔土木〕 2013年1月に講じられた総額10兆円にのぼる緊急経済対策では、公共事業費・施設費として、当初予算に匹敵する約5兆円が上積みされ、上期にかけて公共土木受注額は高い伸びを示した。

〔建築〕 住宅建設は、消費増税前の駆け込み等の要因により、リーマンショック後に年率80万戸台に落ち込んでいた新設住宅着工戸数が100万戸台に回復した。非住宅分野でも着工床面積が堅調に増加した。

〔造船〕 リーマンショック前に受注した新造船の大量竣工があり、世界経済の停滞感から海運市況低迷という状況に変わりはなく、2013年に入り輸出船契約量が増加した。

〔自動車〕 2013年の国内販売台数は当初予想ではエコカー補助金の終了等により前年割れとなる予想であったが、軽自動車人気の拡大、ハイブリッド車等の新型車効果等により前年度を上回る見通しである。また、2013暦年の四輪車の生産

台数は963万台で対前年3.1%の減少となった¹⁾。

〔産業機械〕 建設機械は、復興需要等により堅調な生産活動が期待され、外需も含めると緩やかな回復傾向である。運搬機械は国内の合理化投資等を背景に好調な推移が見込まれる。また、ボイラー・原動機では国内での電力業向けや新興国向けの外需が見込まれ前年度を上回る見込みである。

〔電気機械〕 重電機器生産は新興国を中心に海外での電力需要が伸びていること等から外需主導で持ち直したが、国内市場では電力会社向けは厳しい状況である。家電・電子機器、白物家電では消費税増税による駆け込みや猛暑・残暑の影響で活動水準を下支えている。一方で、電子機器については地デジ移行後の反動減の影響により大きく停滞している。

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2013年も新たな製品が開発された。これらの詳細については、後述の表8に示す通りである。

1.3 粗鋼生産量の状況

我が国の2013暦年の粗鋼生産量は1億1,057万トンと前年に比べて3.1%の増加となった。リーマンショック以降4年続けて1億トン台の生産となり、5年振りに1億1,000万トンを超えた。炉別生産では、転炉鋼が8,568万トン、電炉鋼が2,489万トンで、対前年比率では転炉鋼が337万トン増加、電炉鋼は4万トンの減少となった(図1)²⁾。

世界の粗鋼生産量は、2013暦年では対前年3.1%増の16億723万トンとなった³⁾。引き続き右肩上がりの情勢であり、初めて16億トンを超えた。2013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6.6%であり、依然として高い成長率を維持している。また、我が国も3.1%、インドも5.0%の伸びとなったが、10位以内の他国は対前年比マイナスの傾向となった。

また、世界の鉄鋼業の2013年末の操業率は74.2%であ

り³⁾、昨年末の72.0%よりも上昇した。生産能力については、特に、中国の過剰生産能力が顕著な状況が続いている。

日本鉄鋼連盟では、2014年度の国内鉄鋼需要見通しを発表している。これによると消費税増税に伴う需要の反動減により個人消費や住宅投資の落込みは避けられないものの、企業収益改善による設備投資の回復、米国を中心とした海外経済の持ち直し等による輸出の回復等から、景気はプラス成長を維持するとみられるとしている⁴⁾。

1.4 グローバル化の展開

2013年も鉄鋼各社の海外展開に関する報道があった。新日鐵住金では、6月にインド、メキシコにおける自動車用鋼管事業の量産や営業運転開始、9月～10月にはメキシコ、タイでの溶融垂鉛めっき鋼板工場の営業運転開始、9月に中国での自動車用鋼板合弁会社の能力増強が報じられた。さらに、11月末には、アルセロールミタル社と共同で、ティッセンクルップ社の米国の薄板工場を買収し合弁事業化するとの発表があった。

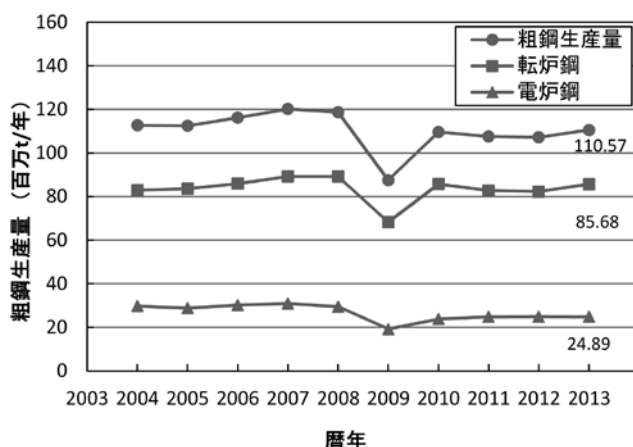


図1 我が国の粗鋼生産量の推移（暦年）²⁾

表1 粗鋼生産量のトップ10（出所：WSA；百万トン）³⁾

	2013年 トップ10	2010年	2011年	対前年伸び率 2011/2010(%)	2012年	対前年伸び率 2012/2011(%)	2013年	対前年伸び率 2013/2012(%)
1	中国	638.7	702.0	9.9	731.0	4.1	779.0	6.6
2	日本	109.6	107.6	▲1.8	107.2	▲0.4	110.6	3.1
3	アメリカ	80.5	86.4	7.3	88.7	2.7	87.0	▲1.9
4	インド	69.0	73.5	6.5	77.3	5.2	81.2	5.0
5	ロシア	66.9	68.9	3.0	70.4	2.2	69.4	▲1.4
6	韓国	58.9	68.5	16.3	69.1	0.9	66.0	▲4.5
7	ドイツ	43.8	44.3	1.1	42.7	▲3.6	42.6	▲0.2
8	トルコ	29.1	34.1	17.2	35.9	5.3	34.7	▲3.3
9	ブラジル	32.9	35.2	7.0	34.5	▲2.0	34.2	▲0.9
10	ウクライナ	33.4	35.3	5.7	33.0	▲6.5	32.8	▲0.6

JFEスチール(株)では、4月にタイで溶融亜鉛めっき鋼板製造設備が稼働し、11月には開所式が開催された。また、6月にはインドネシアにおける自動車用溶融亜鉛めっきライン建設が報じられた。

神戸製鋼所では、3月に同社が設立した中国における高級ばね用鋼線の製造・販売会社が稼働開始、5月には北米における自動車用冷延ハイテンの連続焼鈍設備の営業運転を開始、10月には中国で自動車用冷延ハイテン製造合弁会社の契約締結が行われた。

以下に、2013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

2013年は、経済情勢の好転もあり、我が国の粗鋼生産量は5年ぶりに1億1,000万トンを超える水準となった。このような中、国内の数社の製造現場では高炉休止を含むような構造改革の方向性が打ち出され、一方で自動車用鋼板をはじめとする海外シフトの動きが大きく進展した年であった。また、鉄鋼業の地球温暖化対策として、粗鋼生産量1億トンを前提として、2008～2012年の5年間平均で、鉄鋼生産工程におけるエネルギー消費量を基準年(1990年)に対して10%削減するとした自主行動計画を達成することが出来たという報告もあった。

次に、鉄鋼産業に関わりの深い国家プロジェクトでも、2013年には大きな進展があった。

第一に、我が国の鉄鋼業界が総力を挙げて取り組んでいる「環境調和型革新的製鉄プロセス開発」(COURSE50)は前年までにフェーズ1の第1ステップ(2008～2012年)を終了し、第2ステップへ移行した。第2ステップでは試験高炉を建設して水素還元とCO₂分離回収を連動させる試験を行う予定である。二番目には、材料系の大型の国家プロジェクトとして、鉄鋼技術分野が企画立案を主導してきた「革新的構造材料」プロジェクトが技術研究組合を立ち上げて、技術開発が始動した。10年間のロングレンジでの技術開発を行うプロジェクトであり、自動車のマルチマテリアル化を目標にした取組みが期待される。

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

2013暦年の鉄生産量は、8,385万トンであり、2012年の8,141万トンと比べ3.0%増となった⁵⁾。平均出鉄比は2012年の1.88トン/m³・日に対して、1.94トン/m³・日に増加した。2013年末の高炉稼働状況については、2013年末が27基と増減はなかった。内容積5,000m³以上の高炉は2012年末と同様

13基である。

新日鐵住金では名古屋製鐵所において、今回が第2号プラントとなる次世代コークス製造技術「SCOPE21」を導入したコークス炉が6月に竣工した。原料炭の事前急速加熱によるコークスの品質向上および製造時間の短縮など、低品位原料炭の利用拡大や大幅な省エネルギー効果などを発揮すると見込まれる。

2.3 製鋼

2013暦年の粗鋼生産は、1億1,057万トンであり、2012年の1億723万トンと比べ、3.1%増となった(図1)。圧延用鋼塊に占める連铸鋼片の比率を図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97.1%と増加している。

日新製鋼(株)周南製鋼所では、ステンレス製造プロセスとしては世界初の試みとなる機械式炉外脱硫設備を導入した。電気炉におけるCaF₂使用量をゼロとするとともに、大幅なエネルギー原単位の低減を達成した。

大同特殊鋼(株)では、知多工場の約200億円の製鋼増強(製鋼プロセス改革)投資を完了し、2013年11月にホットランを開始した。150トン電気炉の新設、物流の整流化などにより能力増強や品質・コスト競争力強化を図るものであり、材料特性確認を経て、2014年度早々には新製鋼プロセスによる生産へ切り替える見通しである。

新日鐵住金株式会社と東邦チタニウム(株)は、航空機向けチタン合金製造の分野で合弁会社を設立して2014年4月から共同で事業を開始することを発表した。新日鐵住金直江津製造所が保有するEB炉(Electron Beam Furnace)1基に加え、新たに(株)大阪チタニウムテクノロジーが保有するVAR炉(Vacuum Arc Remelting Furnace)2基を購入し、中間製品であるチタンインゴットの成分均質化を確保し、製造能力、品質及びコスト競争力の向上を狙ったものである。

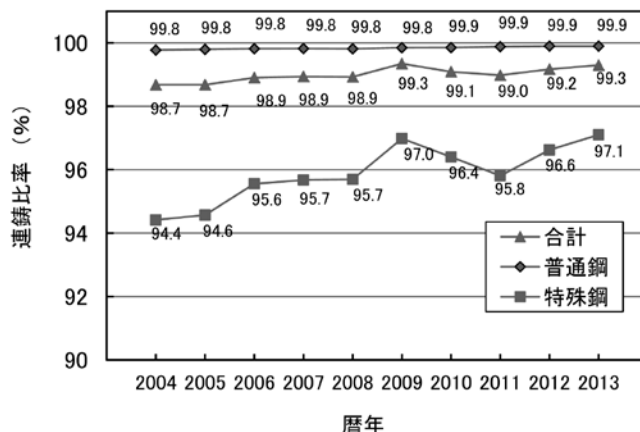


図2 圧延用鋼塊に占める連铸鋼片の比率⁵⁾

2.4 鋼材

2.4.1 薄板

JFE スチールは、高速圧延における優れた潤滑性と圧延油消費量の低減を両立した「ハイブリッド潤滑による冷間タンデムミルの高速圧延技術」を開発し、(一社)日本塑性加工学会より平成25年度日本塑性加工学会賞の大賞を受賞した。これはエステル系合成潤滑油を界面活性剤により低濃度(1～3%)で乳化したエマルジョンを循環使用する給油システムをベースとして、エマルジョン中の油滴が鋼板表面で油膜を形成する挙動を積極的に制御するものである。

また利用技術に関する開発も活発に行われた。新日鐵住金は、ガasketに加工されたステンレス薄鋼板の疲労強度を簡便かつ適切に評価する方法を開発した。さらにホットスタンプにおいて成形時の下死点保持時間を大幅に短縮する直水冷金型技術や超ハイテンの易成形化を可能とする革新的な新プレス工法を開発した。

JFE スチールは(株)日立製作所と共同で、実使用環境下での耐食性を適正に評価できる表面処理鋼板の耐食性試験法を開発し、2013年3月にISO国際規格に制定された。

2.4.2 厚板

新日鐵住金は、無機Znプライマとの組合せで、高塩害環境において優れた耐食性を有する6%Cr-高Al添加低合金鋼鋼材を開発した。鋼板表面の不動態化状態を安定的に維持し、Zn犠牲防食機構と腐食生成物の活用により高塩害環境において優れた耐赤さび効果を有する地球環境に優しい低合金鋼である。

JFE スチールは2013年9月に引張強度590N/mm²級の建築向け高強度厚板の最大板厚を従来比2倍の100mmまで拡大し、国土交通省の認定を取得した。

2.4.3 鋼管関連

溶接鋼管メーカーの住友鋼管(株)と日鉄鋼管(株)が合併し、「日鉄住金鋼管(株)」が発足した。両社各々の技術・ノウハウを結集することでシナジーを高めるとともに、販売品種の強化や生産体制の最適化を実施し、事業の効率化や顧客対応力の向上を図っている。

JFE スチールは、API X80グレードの管厚20mm超えの高強度厚肉電縫鋼管を開発した。深海での外部圧力に耐える強度と厚みを満たす電縫鋼管として、オーストラリアのエネルギー開発会社向けに伊藤忠丸紅鉄鋼(株)と共同で納入した。

2.5 計測・システム・分析

JFE スチールは、連続鍛造のモールド湯面レベル制御に、定在波の周期成分を選択的に抽出し制御する技術を開発し、

2011年から工程適用し鍛造速度向上に寄与している。棒鋼圧延ミルでは画像処理技術を用いてカリバーロール配置をガイダンス表示する装置を開発し、2008年にJFE スチール西日本(倉敷)に設置し以後稼働している。また、大量操業実績データに基づいて操業の都度最適な予測モデルを構築する技術を冷延工程に適用することにより冷延鋼板の引張強度ばらつき低減を達成した。

大同特殊鋼は、交流電気炉の高調波と炉内発生音により鉄スクラップの溶け落ち時期を判定する交流電気炉用操業支援システムを開発し、2013年4月から発売した。

分析関連では、JFE スチールが高周波燃焼法の長所である迅速性、および紫外線蛍光法の長所である高感度かつ妨害成分が少ない点を組み合わせることで、鉄鋼材料中の硫黄の含有量を0.1ppmレベルまで分析できる装置を開発した。

2.6 環境・エネルギー

2.6.1 政府の取組み

2013年11月11日から28日までポーランドのワルシャワにおいて、気候変動枠組条約第19回締約国会議(COP19)、京都議定書第9回締約国会合(CMP9)が開催された⁶⁾。

「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)」および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、最終的に①ADP7の作業計画を含む決定、②気候資金に関する一連の決定、③気候変動の悪影響に関する損失と被害に関する決定等が採択された。また、ハイレベル・セグメントの演説において石原環境大臣は、京都議定書第一約束期間の日本の温室効果ガス排出量の削減実績は基準年比で8.2%が見込まれ、6%削減目標を達成すること、2020年の削減目標を2005年比3.8%減とすることを表明した⁶⁾。

2.6.2 日本鉄鋼業の取り組み

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、以下の取り組み内容を推進している⁷⁾。

①鉄鋼生産工程における省エネルギーへの取り組み

- (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2012年度の実績は、粗鋼生産量が103,944万トンと、1990年度比0.7%減の中、省エネ対策を積極的に推進することにより、2012年度のエネルギー消費量は2,227PJと、1990年度比で8.7%の減少となった。また、エネルギー起源CO₂排出量は185.8百万トン-CO₂と、1990年度比7.4%の減少となった⁷⁾。2008年～2012年度平均では、エネルギー消費量は2,178PJと、1990年度比で10.7%の減少であり10%減の目標を達成した。また、同上年度の平均でエネルギー起源CO₂排出量は179.5百万トン-CO₂と、1990年度比10.5%の減少であり、9%の削減目安を達成した⁷⁾。

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、2012年度で2,362万トン-CO₂の排出削減に貢献をしていると推定している⁷⁾。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2012年度で約4,692万トン-CO₂の貢献をしていると推定している⁷⁾。

革新的技術開発については、高炉からのCO₂排出の抑制と高炉ガスからのCO₂分離・回収により、CO₂排出量を約30%削減する「革新的製鉄プロセス技術開発 (COURSE 50)」に2008年度から取り組んでいるが、2012年度にフェーズ1Step1が終了し2013年度から5年間の予定でフェーズ1Step2の開発が開始された。Step2の主目的は、ミニ試験高炉を主体とした「水素還元と分離回収の統合開発」であり、水素還元の効果を最大化する送風操作技術を確認するため、CO₂分離試験設備と試験高炉との連動試験を実施する予定である⁷⁾。

鉄鋼スラグを環境修復や環境改善に適用した事例として、新日鐵住金は、東日本大震災における津波被害農地の除塩対策として福島県相馬地域での実証プロジェクトに転炉スラグ肥料

を活用し、効果を発揮している。また、JFEスチールは、山口県岩国市沿岸での藻場生育基盤造成や福山内港での硫化物抑制実証試験に製鋼スラグを活用した実証事業等に協力している。

エネルギー分野では、神戸製鋼所がプレート式熱交換器向けの熱伝達性能を約20%向上させる高伝熱チタン板を開発し、沖縄県の海洋深層水の利用高度化に向けた発電利用実証事業で使用されている50kW実証プラントの熱交換器に採用された。

2.7 建築・土木

新日鐵住金は、がれき混じり泥土の再生利用技術を開発し、2012年度末に釜石市の災害廃棄物処理事業に採用され、約20万tの津波堆積物を再生処理した。また、工場生産によるパネルを建設現場で乾式接合組立によるプラットホーム工法を開発し、同工法によるスチールハウスが釜石市上中島復興公営住宅に採用され2013年3月に竣工した。さらに (株) 技研製作所と共同で、止水性に優れたハット形鋼矢板と剛性の高い鋼管杭を組み合わせた壁体を構築する工法を開発し、2013年7月に国土交通省新技術情報提供システム「NETIS」に登録された。

3 技術貿易・技術開発

3.1 技術貿易

図3に鉄鋼業の2012年度までの技術貿易収支を示す⁸⁾。技術輸出対価受け取り額は前年度と比較して85%増加し、技術輸入対価支払い額は180%増加した。

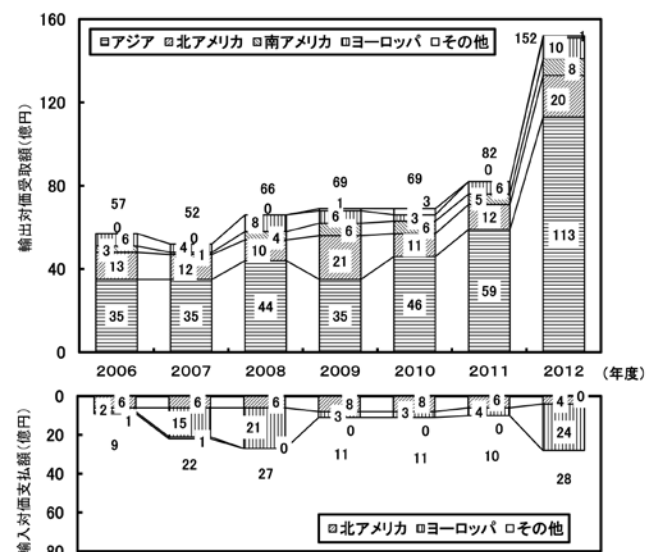


図3 鉄鋼業の技術貿易収支⁸⁾

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⁸⁾。

3.2.1 売上高対研究費支出比率

全産業はここ3年ほぼ横ばい、一方、鉄鋼業は減少傾向が認められる。特に鉄鋼業は2009年度の1.39%に対して、2012年度は1.18%と2.1%減少している。

3.2.2 従業員1万人あたりの研究本務者数

全産業、鉄鋼業とも、2011年度まで増加傾向を継続していたが、2012年度は全産業、鉄鋼業ともに若干の落ち込みが認められる。

3.2.3 研究本務者1人あたりの研究費

2012年度は、全産業ではリーマンショック以前の2008年度レベルに回復していないものの若干増加傾向を示している。しかしながら、鉄鋼業では昨年度2008年度レベルに回復したが、2012年度は2009-2010年度レベルに落ち込んだ。

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) へ移行した。

2013年度着手の主要プロジェクトとしては、経済産業省

の「革新的新構造材料技術開発」(2013～2022年度、2013年度60.5億円) がスタートした。本事業は、自動車、航空機、鉄道車両等の抜本的な軽量化 (半減) に向けて、革新的なアルミニウム材、チタン材、マグネシウム材、銅板、炭素繊維及び炭素繊維強化樹脂 (CFRP)、これらの材料を適材適所に使うために必要な接合技術の開発等を行うものである。材料供給メーカー、材料加工メーカー、自動車メーカー、大学等接合技術および各材料分野においてコアとなる技術シーズを保有している企業等が川上から川下まで参画した研究開発共同体を形成し、有機的連携を図りつつ研究開発を行う。本事業は文部科学省の「元素戦略プロジェクト」等とも緊密に連携し、成果の産業化展開、産業界の課題解決のための協力、知的財産・研究設備の活用を促進するガバナリング・ボードを設置して推進することになっている。

また、主要継続プロジェクトは、①「環境調和型製鉄プロセス技術開発 (COURSE 50) Step2」(2013～2017年度)、②「ヘテロ構造制御金属材料プロジェクト」(2010～2019年度)、③「先進超々臨界圧プラント (A-USC) 技術開発」(2008

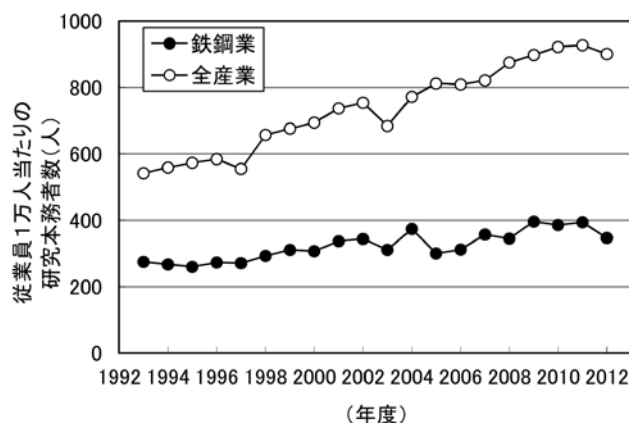


図5 従業員1万人当たりの研究本務者数の経年変化 (人)⁸⁾

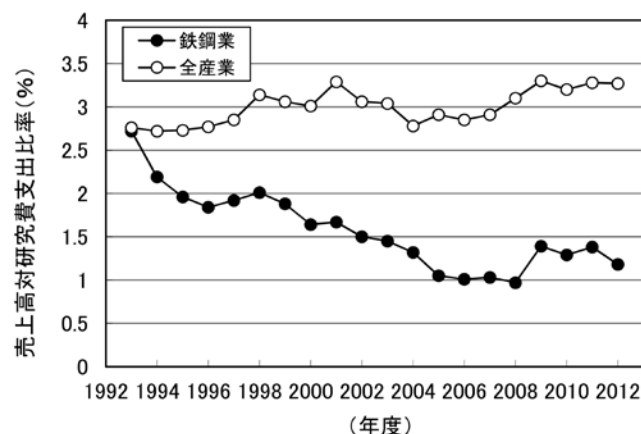


図4 売上高対研究費支出比率の経年変化⁸⁾

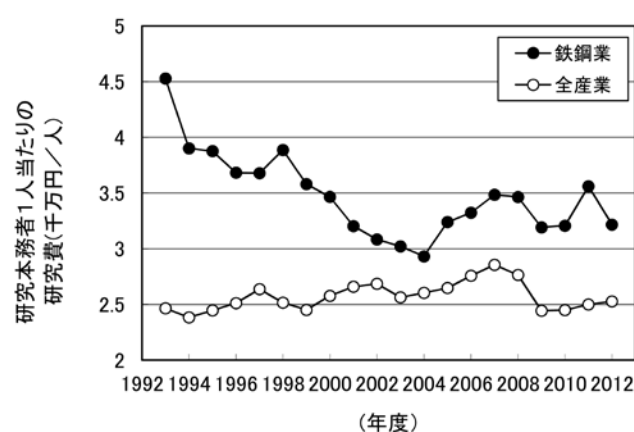


図6 研究本務者1人当たりの研究費の経年変化 (万円/人)⁸⁾

～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。

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、鉄鋼アドバンストセミナー、学生鉄鋼セミナー）を実施している。2013年度は2012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（2013年度は神戸製鋼所神戸製鉄所）を行う3日コースの講座で、17大学から42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、JFEスチール東日本製鉄所（千葉地区）、神戸製鋼所加古川製鉄所、新日鐵住金名古屋製鉄所の3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75名が参加した。

ものづくり産業である鉄鋼産業の魅力を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2012年度に引き続き実施した。実施大学は2012年度の国立7大学および東工大・横国大・早大に、本年度から新たに慶応大を加えた11大学で実施し、トータル約1,500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）。

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	国内立地推進事業費補助金 二次募集	経済産業省	2012	2014
	円高・エネルギー制約対策のための先端設備等投資推進事業	経済産業省	2013	2014
	環境調和型製鉄プロセス技術開発（COURSE50）Step2	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構	2013	2017
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	経済産業省	2008	2016
	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	(独)科学技術振興機構	2010	2019
	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
	先進超々臨界圧プラント(A-USC)技術開発	経済産業省	2008	2016
製 品	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
	先端省エネルギー部素材開発事業	経済産業省	2013	2014
	革新的新構造材料技術開発	経済産業省	2013	2022
	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技術応用	(独)日本学術振興会	2010	2014

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	・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、以上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、産学連携活動 ・活 動：部会大会(年1～2回)を開催、特定テーマを扱う技術検討会活動実施、若手育成のための講習会等各種企画実施、等
技術検討部会	・対 象：鉄鋼生産プロセスの各分野にまたがる分野横断的、または業際技術課題 ・部会種類：自動車用材料検討部会(第Ⅶ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、以上3部会 ・活動内容：技術の方向と課題解決のための技術討議、調査等の研究活動、他学協会との情報交流活動、等

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)。2013年度の部会大会は、2012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2,650(そのうち大学等研究者の延べ参加人数は53)であり、2012年度の2765名に比べ115名減少した。

また、学術部会との産学連携も定着し、部会大会や若手育成のための企画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、23技術検討会が活動した。

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)。2013年度は、「実用構造用鋼における信頼性向上」技術検討部会の活動が2年目に入り、文献調査等が進められた。「自動車用材料検討部会」では、自動車メーカーとの新たな協力関係のあり方を模索しつつ、見学会、講演会等を行った。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、実験等の活動を行い、これまでの成果をまとめた。

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。「鉄鋼研究振興助成」では、2013年度から受給開始となる対象者として新たに36件(若手13件)が採択され、2012年度から受給を開始した41件と合わせて2013年度は合計77件が助成された。

「研究会」は、2013年度19研究会が活動し、その内の6研究会が同年度に終了した。

2013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、6件が新規に活動を開始した(表5)。2014年度は新たにⅠ型研究会が4件、Ⅱ型研究会が3件採択された

(表6)。「産発プロジェクト展開鉄鋼研究」は、2010年度採択のテーマが9月末で、2011年度採択のテーマが3月末で活動を終了し、2012年度採択、2013年度採択の2テーマが活動中である。また、2014年度の新規採択案件はなかった。(表7)。

参考文献

- 1) 2013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：2014年2月5日
<http://www.jama.or.jp/stats/product/20140131.html>
- 2) 鉄鋼生産速報 暦年、“全国鉄鋼生産高／全国鋼材生産高”，(一社)日本鉄鋼連盟 ホームページ記事、参照日：2014年2月5日
<http://www.jisf.or.jp/data/seisan/index.html>
- 3) WSA (World Steel Association) ホームページ記事、参照日：2014年2月5日
<https://www.worldsteel.org/>
- 4) 2014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：2014年2月5日
http://www.jisf.or.jp/news/topics/documents/FY2014_tekko-juyo.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：2014年1月31日
http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/resourceData/08_seidou/kakuho/2013/h2daa2013zz_tetu_kmc.xls
- 6) 気候変動枠組条約第19回締約国会議(COP19)及び京都議定書第9回締約国会合(COP/MOP9)の結果について、環境省、ホームページ記事、参照日：2014年2月3日
<http://www.env.go.jp/earth/cop/cop19/index.html>
- 7) 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：2014年2月3日
<http://www.jisf.or.jp/business/ondanka/kouken/joukyo/documents/gaiyou.pdf>
- 8) 総務省 統計局統計センター、科学技術研究調査報告

(2014年2月27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	・主旨：鉄鋼研究の活性化、鉄鋼の基礎的基盤的研究の支援、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(2013年度受給者数)
研究会	・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：18件(2013年12月末現在)
産発プロジェクト 展開鉄鋼研究	・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(2013年12月末現在)

表5 2013年度活動の研究会

型	研 究 会 名	部 会	主 査	研究期間	
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	終了
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	終了
I	炭素循環製鉄	環境エネ社会	加藤 之貴(東工大)	2011～2013年度	終了
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	終了
I	コンパクト中性子源を利用した新組織解析法(FS)	評価分析	大竹 淑恵(理研)	2013年度	新規・終了
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)	2012～2013年度	終了
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)	2011～2014年度上期	継続
I	電磁振動印加時の物理現象解明	高プロ	岩井 一彦(北大)	2012～2014年度	継続
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	継続
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	継続
I	高強度鋼の破壊靱性	材料	栗飯原 周二(東大)	2012～2014年度	継続
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	継続
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	継続
I	生石灰高速溶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	新規
I	資源対応型高品質焼結鋳造プロセス	高プロ	村上 太一(東北大)	2013～2015年度	新規
I	革新的水素不動態表面構築の原理探求	材料	坂入 正敏(北大)	2013～2015年度	新規
II	粒子法による製鋼プロセス解析ツールの開発	製鋼	安斎 浩一(東北大)	2013～2015年度	新規
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	新規

表6 2014年度採択の研究会

型	研 究 会 名	部 会	主 査	研究期間	
I	固液共存体の挙動制御によるマクロ偏析低減	高プロ	大野 宗一(北大)	2014～2016年度	採択
I	熱間圧延ロール	創形	小森 和武(大同大)	2014～2016年度	採択
I	鉄鋼インフォーマティクス	材料／創形	足立 吉隆(鹿児島大)	2014～2016年度	採択
I	小型中性子源による鉄鋼組織解析法	評価分析	大竹 淑恵(理研)	2014～2016年度	採択
II	円周ガイド波による配管減肉検出技術Ⅱ	設備技術	西野 秀郎(徳島大)	2014～2016年度	採択
II	鉄鋼スラグ中フリーMgO分析法の開発と標準化	分析技術	浪川 雅美(埼玉大)	2014～2016年度	採択
II	スケールの伝熱特性支配因子調査	圧延理論	須佐 匡裕(東工大)	2014～2016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 上期
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」、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 (九大)	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圃地域の再生	東日本大震災で被災した沿岸田圃の除塩、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あるめっき被膜の剥離現象を極限まで抑制する優れた加工特性を有するめっき被膜の開発に向けた基礎研究を推進する。	山口 周 (東大)	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

分類	会社名	製品名および動向	内 容
土木・建築	新日鐵住金	低合金耐食鋼 「ARU-TEN [®] 」	屋外の高塩害環境においては無機 Zn プライマを塗布することでステンレス鋼と同等の耐赤さび性を有し、低塩害環境の屋内では裸仕様で優れた耐食性を示す低合金耐食鋼。
	新日鐵住金 ステンレス	遮熱塗装ステンレス鋼板 「ナルカラー」	錆に強いステンレスに遮熱効果のある塗装を施し、日射による屋根面の温度上昇を抑制することで住環境を改善。
	JFE スチール	厚肉冷間ロールコラム 「JBCR295」	厚肉サイズでありながら最適な化学成分と製造方法により強度と靱性の両立を実現した建築構造用冷間ロールコラム。
		超高層ビルの安全性と経済性向上に貢献する超大入熱溶接用高強度鋼板	オンライン加速冷却により高強度化を実現し、さらに微量添加元素の最適利用技術により溶接熱影響部の材質変化を防止し、超大入熱溶接部の靱性向上と高強度化を両立。第5回ものづくり日本大賞の経済産業大臣賞受賞。
		建築物の耐震安全性を実現するデザイン性に優れた鋼管ブレース	建築物の耐震安全性を実現するデザイン性に優れた鋼管ブレース。「第45回市村産業賞貢献賞」を受賞。
産業機械	新日鐵住金	鉄道車両用動揺防止制御装置（アクティブサスペンション）	鉄道車両用動揺防止制御装置（アクティブサスペンション）が、近畿日本鉄道株式会社の観光特急「しまかぜ」の全車両、および JR 九州の豪華寝台列車「ななつ星 in 九州」に採用。
電機機械	新日鐵住金	精密加工用ステンレス鋼板 SUS304 H-SR3	SUS304 の JIS 規格成分内で結晶粒径を 2μm（従来鋼の 1/10）以下に微細化。エッチングやレーザー加工などの加工精度向上に有効。
		高耐食性亜鉛めっき鋼板 「スーパーダイマ [®] 」	亜鉛を主成分に、約 11% のアルミニウム、約 3% のマグネシウム、微量のシリコンのめっきからなる高耐食性亜鉛めっき鋼板。文部科学大臣表彰、第 10 回エコプロダクツ大賞推進協議会会長賞（優秀賞）を受賞。めっき外観およびクロメートフリー潤滑被膜の改善によりエアコン室外機外板の後塗装の省略に寄与し、また自動車のボディパネルとしても初採用。
自動車	新日鐵住金	強度 1180MPa 級の溶融亜鉛めっきハイテン	強度と成形性を両立させる最適な微細金属組織を、めっきプロセスを考慮した成分設計と製造プロセスの高度化で実現、自動車骨格部品に適用。
		ディーゼルエンジン用高耐圧コモンレール用鋼	従来比 125% の高強度化を達成し、燃費改善に寄与する燃料噴射圧の更なる高圧化に貢献。
		高バーリング合金化溶融亜鉛めっき熱延 590、780 MPa 級ハイテン	自動車足廻り部品の軽量化を実現する高強度かつ穴抜け特性に優れた合金化溶融亜鉛めっき熱延ハイテン。
		冷延 1180MPa 級 TRIP ハイテン	成分および焼鈍工程の条件を最適化し、組織分率と粒径を制御して高強度でも伸びと穴抜け性を確保した冷延ハイテン。
	JFE スチール	新高炭素熱延鋼板 「スーパーホット [®] -G」	合金元素量の最適化と、熱間圧延工程における組織制御と球状化焼鈍の組み合わせにより、超高加工性化と軟質化を実現。
エネルギー分野	新日鐵住金	LNG タンク用 7% ニッケル鋼板の規格取得、実用化	熱加工制御技術 TMCP の適用と化学成分の最適化によって鋼材組織を微細化し、ニッケルの添加量を約 20% 削減しながら従来鋼と同等の高い安全性と強度を有する。JIS 規格を取得し、世界最大規模の LNG タンクに採用、建設中。
	神戸製鋼所	低温靱性に優れた圧力容器用極厚 1.25%Cr-0.5%Mo 鋼板	組織微細化および不純物低減により、低温靱性を向上させ、2.25%Cr-1.0%Mo 鋼板との代替を可能にした。
		高耐食鋼「KPAC-1」	従来鋼と比較しておよそ 4 倍程度の耐食性能を有している鋼板。タンカーの底板に業界初採用。
その他	神戸製鋼所	汚染土壌・地下水浄化用鉄粉「エコメル」	揮発性有機化合物（VOC）の無害化とヒ素に代表される自然由来の重金属を吸着する鉄粉製品。国土交通省の新技术情報提供システムに登録。
		成形瓦用チタン	チタン薄板の表面に酸化被膜を生成させることにより、瓦らしい落ち着いた色調と変色が抑えられた優れた耐候性が得られると共に、高いプレス成形性と生産性が得られる。
	大同特殊製鋼	熱間ダイス鋼 「DHA-WORLD」	熱伝導率と焼入れ性が高い熱間ダイス鋼。ダイカスト金型に適用すると、大割れとヒートチェックが抑制される。

☆生産技術のトピックス☆

2013年の注目すべき技術開発、新設備、新製品などの概要を紹介する。

1. 交流電気炉操業支援システム (E-adjust)

大同特殊鋼 (株)

大同特殊鋼は、交流電気炉操業のスキルフリー化に効果を発揮する交流電気炉操業支援システム「E-adjust」を2013年4月から発売した。

「E-adjust」は交流電気炉の高調波と炉内発生音を独自のアルゴリズムにて計測・解析することで、装入した原料である鉄スクラップの最適な溶け落ち時期を定量的に自動判定し、オペレーターにガイダンスするシステムである。

当システム導入により、従来はオペレーターが各々の経験に基づいて判断していた鉄スクラップの溶け落ち時期を、定量的に判定することが可能となる。その結果、交流電気炉の均一な操業が可能となり、電力原単位のバラツキを低減できる。

また、経験の浅いオペレーターでも、熟練オペレーターと同等に溶け落ち時期を判断できるようになるため、オペレーターのスキルフリー化及び、余分な電力投入の抑制による電力原単位の低減が可能となる。

また、電気炉制御システム「ARMS」と組合せることで、より一層の自動操業が実現可能。



2. 定在波オブザーバーによる連铸湯面レベル安定化

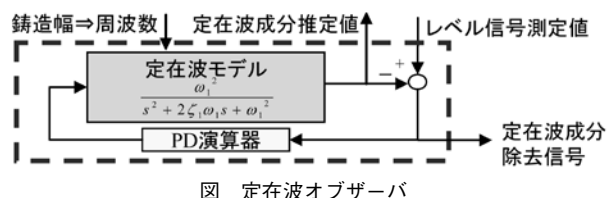
JFE スチール (株)

JFE スチール (株) は、連続铸造機のモールド湯面レベル制御において、高速铸造、かつ広幅材で発生しやすい定在波に対応する制御システムを開発した。

铸件の品質維持や生産性向上のため、高速铸造下でモールド湯面レベルの安定を維持することが要求されている。湯面レベル制御の対象は、モールド内への溶鋼入出力によるマス

フロー性の変動である。一方、定在波は湯面がモールド幅に応じた周波数で波立つだけの変動であり、制御の対象外であるが、湯面レベルセンサでは定在波も制御すべき変動として検知してしまうため、湯面レベル制御のゲインを低く抑えざるを得ないという課題があった。

今回、図に示す溶鋼揺動モデルに基づいた定在波オブザーバーを開発し、定在波の周期成分だけを選択的に抽出することを可能とした。この抽出した定在波を元のレベル測定値から差し引くことにより、定在波による制御の過剰動作を低減し、制御による定在波の助長を防止することを実機試験にて確認した。本技術は2011年から工程適用中であり、適用なし時と比べ約1.1倍の増速効果 (※レベル変動は同程度) を確認した。



3. 低温靱性 (−30℃) に優れた圧力容器用極厚クロム−モリブデン鋼板 (1.25%Cr−0.5%Mo) の開発

(株) 神戸製鋼所

神戸製鋼所はボイラや圧力容器などの耐熱性部位に使用されるクロム−モリブデン鋼板において、低合金型鋼板 (1.25Cr−0.5%Mo) の極低温における靱性を大幅に向上させた鋼板を開発した。本鋼板は高合金型鋼板 (2.25Cr−1.0%Mo) が使用されてきた極寒冷地への適用拡大が可能となるとともに、クロムやモリブデンというレアメタルの使用量を従来鋼より大幅に削減できるものである。

これまで、−10℃以上の設置環境の場合には低合金型鋼板が汎用され、−10℃以下の場合や一般的に靱性が低下する極厚の場合には低温でも高靱性を示す高合金型鋼板が使用されてきた。しかし、高合金型の場合、レアメタルを多量に含む鋼成分であることより、環境負荷低減の観点から低合金型鋼板の極低温での靱性を向上させ、適応可能環境の拡大が可能となるよう検討を進めてきた。

その結果、合金成分の最適化および製造方法の改善によって組織の微細化を図り、へき開破壊を抑制するとともに、不純物を低減させることにより粒界破壊を極限まで抑制することで、低合金型鋼板において−30℃の極低温かつ板厚100mmを超える極厚でも高靱性を達成することに成功した。

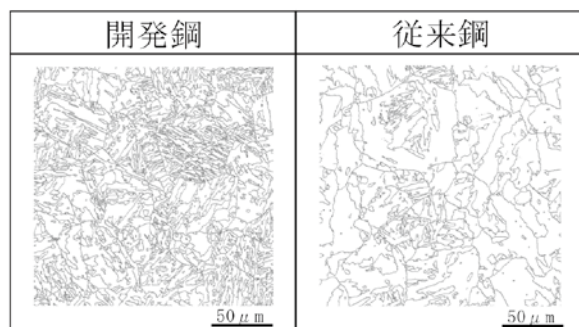


図 Grain Boundary Map (Grain tolerance angle : 15°)

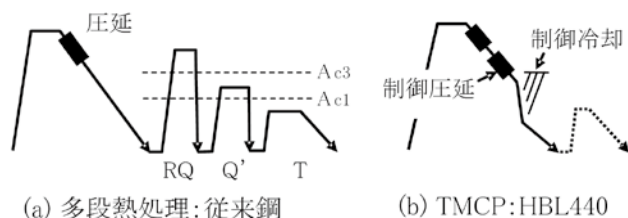
4. 建築構造用590N/mm²級 TMCP鋼板「HBL[®]440」

JFEスチール(株)

JFEスチール(株)は、TMCP技術を活用した、建築構造用高性能590N/mm²級鋼材「HBL[®]440」の製造板厚範囲を100mmまで拡大し国土交通大臣の認定を取得した。

高層ビルなどに広く使用されている建築構造用590N/mm²級鋼材である「SA440」は、高強度と低降伏比を両立させるために従来は多段熱処理工程が必要であった。「HBL[®]440」は、母材成分設計と圧延・冷却条件の最適化及びオンライン加速冷却装置Super-OLAC[®]による高精度な冷却コントロールにより、多段熱処理工程を省略し納期短縮を実現した。板厚19mmから100mmまでの極厚領域の商品化を完了し、4面ボックス柱を含む、建築鉄骨のあらゆる部材への対応が可能である。

さらに「HBL[®]440」は、TMCP技術の適用により溶接割れ感受性組成を低く抑えることで、従来の「SA440」に比較して、予熱条件が緩和されるなど、溶接施工性が向上している。また、4面ボックス柱の製作に適用される大入熱溶接の継手部品質に優れた鋼材も揃えており、耐震設計上の重要部位にも適用可能な高付加価値商品である。今後、「HBL[®]440」が有する短納期、高溶接施工性の長を生かして、本鋼材の高層ビルや大規模建築物等への適用を積極的に進めていく。

図 590N/mm²級 TMCP 鋼材「HBL[®]440」の製造プロセス

5. 優れた耐食性を有する低合金耐食鋼「ARU-TEN[®]」

新日鐵住金(株)

新日鐵住金が開発した6%Cr－高Al添加ARU-TEN[®] (Anti-Rust High-tensile-strength steel) 鋼は、低合金鋼であり

ながら無機Znプライマとの組合せで、高塩害環境中においてステンレス鋼に近い優れた耐食性を有する鋼材である。ARU-TEN[®]鋼は、無機Znプライマの腐食生成物(酸化亜鉛(ZnO)、塩基性塩化亜鉛(Zn₅(OH)₈Cl₂・H₂O)等)による弱アルカリ化に加え、CrやAlなどの合金元素添加によって、鋼板表面の不働態化状態を安定的に維持できる。Zn犠牲防食機構に加え腐食生成物を活用することから、より長寿命化が図れる。また、合金添加量を抑制していることから比較的安価であり、高塩害環境において優れた耐赤さび効果を有する地球環境に優しい低合金鋼である。

母材特性やSUS309系溶接材料を用いた溶接継手特性も確認され、構造用鋼としての性能を満足している。また、着磁性を有し、切削・穴あけなどの機械加工特性は普通鋼並みの良好な特性を有している。ARU-TEN[®]鋼は、製鉄設備などの高塩害地域にある設備に適用され、実環境・実構造物でも優れた耐食性が確認されており、今後、さらに適用拡大を図っていく。

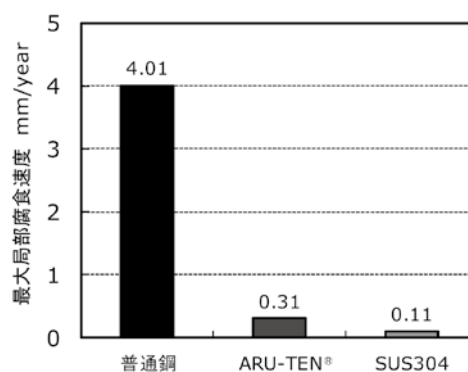


図 人工海水乾湿繰り返し試験結果

6. 操業データベースを活用した冷延鋼板材質制御

JFEスチール(株)

JFEスチール(株)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、本技術による冷延鋼板材質制御システムを実用化した。

従来、冷延鋼板の引張強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。さまざまな品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。

新しく開発した冷延鋼板材質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、引張強度制御誤差の根平均二乗誤差は約32%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。

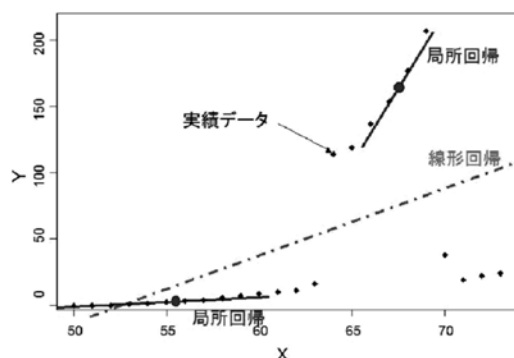


図1 局所回帰モデリング (計測と制御 Vol.49, No.7, pp.441 から引用)

7. 冷延1180TRIPハイテンの開発

新日鐵住金(株)

新日鐵住金は自動車の骨格部品に適用可能な高い成形性と1180MPa級の強度を併せ持つ高張力冷延鋼板を開発し、2013年に日産自動車(株)で世界で初めて適用された。

これまで新日鐵住金でも強度1180MPa級のハイテン材を製造していたが、強度と相反する性質である成形性の制約から、適用範囲は難成形部品以外の用途に限定され、骨格部品への適用は980MPa級ハイテンまでとなっていた。車の安全性を支え、複雑な形状を持つ骨格部品に1180MPa級ハイテンを適用し、車体の更なる軽量化を実現するには、成形性・衝撃吸収性・溶接性などの材料特性が必要となり、新日鐵住金は日産自動車とこれらの要求特性や実用化の検討を共同で実施し、強度と各種特性を高い次元で両立させた高張力鋼板として、高延性冷延1180ハイテンを開発した。

今回開発した高延性冷延1180ハイテンは、プレス成形性の指標である伸び特性が従来の同強度の2倍程度であり、2ランク低い強度レベルの780MPa級と同等程度の成形性を併せ持つ。高延性冷延1180ハイテンの開発では、各製造プロセスでの金属組織変化の過程を詳細に解析し、高い成形性・衝撃吸収特性・溶接性などを確保するため、複数の微細金属組織の最適化(図1)を実現する成分設計と製造プロセスを確立し、需要家での使用性能を満たす鋼板の開発に成功した。

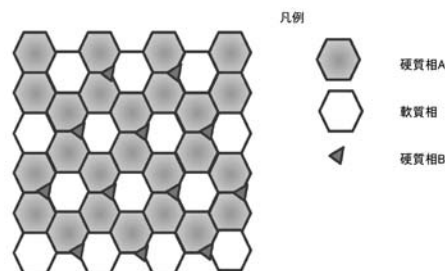


図1 開発鋼微細組織概念図

8. 遮熱塗装ステンレス 鋼板“ナルカラー®”

新日鐵住金ステンレス(株)

新日鐵住金ステンレスは、塗装ステンレス鋼板“ナルカラー”に遮熱機能を標準装備した屋根用14色を2013年3月に商品化し、現在約3千t/年のペースで生産を行っている。

ナルカラーは錆に強いステンレスを塗装した30年以上の歴史ある商品であり、塗装により錆を防ぎ、景観により色を選ぶことができることが特徴である。

さらに今回、塗膜に遮熱効果のある顔料を使用する事で、従来の同色系品に比べ、日射による屋根面の温度上昇を大きく抑制することが可能となった。

日射を模した白熱ランプ照射試験では、鋼板表面の到達温度が、濃色系で20℃以上低くなることを確認している(図)。

遮熱機能をもつナルカラーを建築物の屋根面へ採用することにより、夏季における住環境の改善や省エネが期待される(効果は、採用色、環境、工法等で異なる)。

商品サイズは、板厚0.3～0.8mmで巾917,1000mmを中心に建材として流通しており、市中入手が可能である。

現在、塗装ステンレス鋼板の原板はSUS304が主体であるが、遮熱塗装の技術はステンレスの他鋼種へも適用が可能であり、原料価格の変動影響を受けにくい省資源ステンレス(錫を添加した高純度フェライト系ステンレス等)との組み合わせにより、耐食性、資源保護、経済性の全てに優れる外装建材としての普及を目指している。

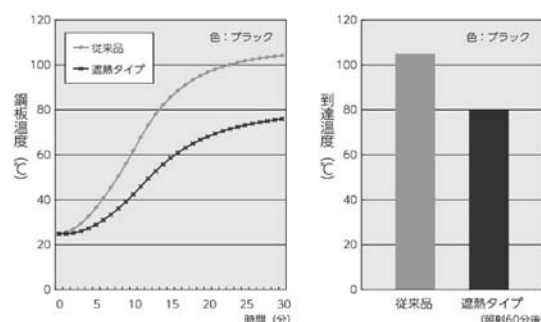


図 ランプ照射法による遮熱性能評価

9. 表面処理鋼板の耐食性試験法「ACTE[®]」がISO国際規格に制定

JFEスチール（株）

JFEスチールが（株）日立製作所と共同開発した、実使用環境下での耐食性を適正に評価できる表面処理鋼板の耐食性試験法「ACTE[®]」（Accelerated Corrosion Test for Electric Appliances）が、2013年3月1日付でISO国際規格（ISO16539-Method B）に制定された。ISO16539は、人工的に調整された海水を試料表面に均一に噴霧付着させる工程と、絶対湿度一定下で乾燥・湿潤のサイクルを繰り返す工程の組み合わせを特徴とする耐食性試験法である。

自動車・家電・建材用など多様な環境下で長期間使用される表面処理鋼板には実使用環境下での高度な耐久信頼性が求められるが、従来の耐食性試験法（塩水噴霧試験など）では実使用環境下での耐食性を適正に予測することが困難だった。国際規格化されたISO16539-Method B（「ACTE[®]」）は実使用環境下における腐食との相関性が高く、本試験法を活用することにより、製品・部品の設計寿命の最終段階まで耐食性を保持させるための適正な材料選択が可能となる。

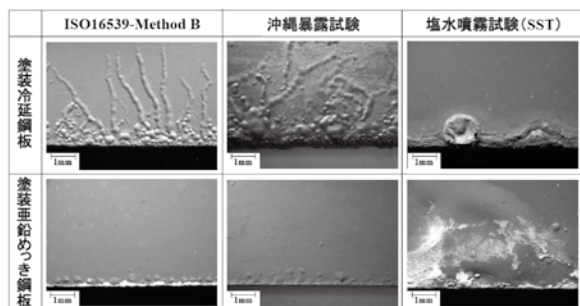


図 塗装鋼板端面の塗膜膨れ形態の比較

10. 棒鋼圧延ミルのカリバーロール配置ガイダンス装置

JFEスチール（株）

近年の線棒製品は、高速回転体の軸受などの精密機械部品素材として利用されるため、製品断面の寸法精度や形状に対する要求がますます厳しくなっている。これに対しJFEスチール（株）西日本製鉄所では、カリバーロールを上下左右対称に配置した仕上圧延機（4ロールミル）を開発し高精度な断面形状の製品を供給してきたが、そのロールの配置の調整は従来より治具を用いた作業員の目視判断により行われているため、昨今のお客様の高度な要求にこたえるためにもロール配置調整作業の客観化、定量化が求められていた。このような背景より、画像処理技術を用いてカリバーロールミルの相互の位置関係を検出し作業者にガイダンス表示する装置を開発した。本装置は、ミルハウジングの外側からロール

カリバー部の形状を投影する長焦点の平行投影光学系、得られた投影画像からロールカリバーの形状を抽出する超解像画像処理技法、ロールカリバーの位置を形状の先験情報を用いずに統計的に検出するデータ処理アルゴリズム、などの要素技術から構成されており、実用化試験においてロールカリバーの変位を0.1mm以内の精度で検出可能であることを確認している。本設備は2008年秋にJFEスチール西日本製鉄所倉敷地区に設置され、以後順調に稼働中である。

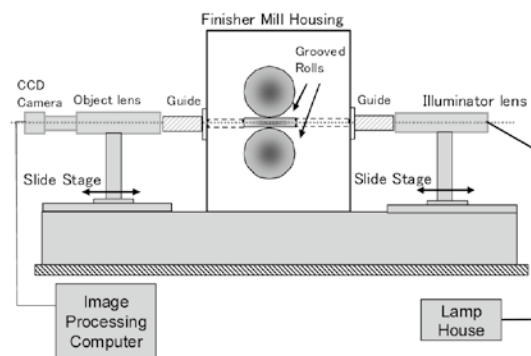


図 ロール配置ガイダンス装置の構成図

11. 厚肉冷間ロールコラム「JBCR295」

JFEスチール（株）

従来の建築構造用冷間ロール成形角鋼管（ロールコラム）「BCR*295」は、（一社）日本鉄鋼連盟の製品規定で、製造範囲は外径150～550mm、板厚6～22mmである。

これに対し、JFEスチール（株）は独自の規格として、外径400～550mmで板厚22mm超25mm以下の冷間ロールコラム「JBCR295」を国内で初めて開発し、2013年3月に国土交通大臣の認定（認定番号：MSTL-0401）を取得した。「JBCR295」は「BCR295」と同等の材料特性を有する鋼材で、最適な化学成分と製造方法により、厚肉サイズでありながら強度と靱性の両立を実現し、高い設計基準強度や溶接施工の広い適用性など、「BCR295」の特長を維持している。

また、写真1及び図1に示すような部材実験により、「BCR295」と同様の設計指標の適用を認める（一財）日本建築センターの設計法評定（評定番号：BCJ評定-ST0216-01）を取得し、設計上の利便性を確保している。

これにより、JFEスチールは建築構造用ロールコラムの標準供給サイズを、従来の「BCR295」と併せて全38サイズへと拡充した。

『JBCR295』の活用により、主要な用途である事務所、倉庫等の中低層建築分野において、ロールコラムで設計可能な建物規模が拡大するものである。

*：「BCR」は日本鉄鋼連盟の登録商標です。



写真1 柱曲げ実験例

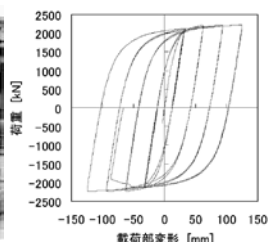


図1 荷重変形関係例

12. 高強度極厚ケーシングパイプ用鋼管 (UHP[®]15CR-125) 1,900t納入

JFEスチール (株)

JFEスチール (株) は、アメリカのFreeport-McMoRan Oil & Gas LLCがメキシコ湾シェルフ (大陸棚) で展開する超深部のガス田開発プロジェクト向けに、ケーシングパイプ用油井管『JFE-UHP[®]-15CR-125』1,900トン进行納入し、無事現地に設置された。知多製造所で製造した最大管厚34.29mm、外径7～9インチの耐腐食性に優れた継目無鋼管を納入し、2本の井戸に使用された。

同プロジェクトで使用するガス井は、従来は開発が難しいとされてきた超深部 (8,900m) のガス田から天然ガスを産出する商業井戸で、従来開発されてきた深さ5,000mレベルを大きく上回る超深井戸の為、内圧及び荷重が高く、従来よりも高強度かつ厚肉の鋼管が求められた。また、最深部は230℃を超える高温環境のため、高温対応かつ耐腐食性のある鋼管が求められた。

これに対しJFEスチールは、独自に開発した高強度で高温特性に優れた耐腐食性鋼管である『JFE-UHP[®]-15CR-125』について、一般的なケーシングに使用される標準板厚13mm程度を大きく超える厚肉での製造技術を確立した。パイプ同士の接続部には、厚肉ケーシングパイプ専用の特殊ネジである『JFELION[™]-HW』を新たに開発し、初めて採用された。

従来開発されていた石油・ガス層の下のガス層で天然ガスの埋蔵が確認されており、同プロジェクトの開発成功を機に同様の超深井戸の開発が進展することが期待される。

図 JFE-UHP[®]-15CR-125 および JFELION[™]-HW

13. カルスピン[®]工法によるがれき混じり泥土の再生利用技術

新日鐵住金 (株)

津波堆積物には木片等の震災がれきが多量に混入している。また、その土質性状は含水比が高いドロドロの泥土であり、このままでは土木材料としては利用できず、埋立処分するしかない。この津波堆積物に対して「①がれきの分別」と「②強度・締固め特性の改善」を同時に行い、土木材料 (カルシア改質土) へ再生する工法を開発した。

①⇒がれきの減量化 (処分費削減・焼却灰の減量)

②⇒再生資材化 (復興資材不足にも貢献)

本工法のポイントは、回転式破碎混合機の採用とカルシア改質材 (製鋼スラグを主原料) の混合であり、これらが上手く融合し機能し合うことで、津波堆積物を「早く安く精度良く」分別・改質ができることである。

本工法は、2012年度末に釜石市の災害廃棄物処理事業 (大成JVの下で新日鉄住金エンジニアリングが受託) に採用され、約20万トンの津波堆積物を再生処理した。改質された津波堆積物 (カルシア改質土) は、釜石市の整備工事 (グリーンベルト堤体材料、競技場等の地盤かさ上げ材料) に有効利用される予定である。

また、2012年度地盤工学会賞 (地盤環境賞) を受賞、2013年8月に一般財団法人 土木研究センター建設技術審査証明 (建技審証 第1305号) を取得している。

図 カルスピン[®]工法の全景 (釜石市災害廃棄物処理事業)

14. 高伝熱チタン板「HEET」の海洋温度差発電実証プラントへの採用

(株) 神戸製鋼所

神戸製鋼所が開発した高伝熱チタン板 (HEET[™]) が、沖縄県久米島にて発電利用実証事業で使用されている50kW海洋温度差発電実証プラント (図1) の熱交換器プレートに採用された。海洋温度差発電は、海洋エネルギーを有効に使う再生可能エネルギー源の有力候補で、海洋の深層から汲み出す冷たい海水と表層の暖かい海水との、20～30℃の僅かな温度差を利用して、代替フロンなどの低沸点媒体を気化

させその蒸気でタービンを回し電気を生み出す仕組みである。このため、熱交換器の性能が発電効率を大きく左右する。HEET™は、図2に示すように表面に均等な間隔でサブミリサイズの凸凹が設けられており、この凸部が、特に液体を気化させるような沸騰型の伝熱において、沸騰核を容易に形成させて伝熱を促進させる。V字型の波形状のプレートにHEET™を成形し、PHEに組み込んだ状態での蒸発伝熱は、従来の表面が平滑な板と比べて伝熱性能が約20%向上することから、その高い伝熱性能が評価された。

現在、熱サイクルの安定性・制御性の検証や熱交換器の性能評価中であり、次なる1MWクラス的大型実証プラントの早期実現が待たれる。また、HEET™は、様々なタイプの熱交換器の効率も向上させることから、エネルギープラントや造船向けの熱交換器への適用も期待される。



図1 海洋温度差発電実証機と熱交換器

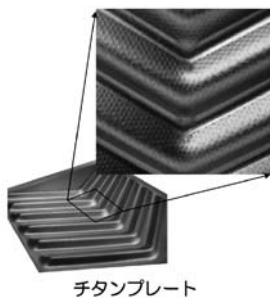


図2 HEET™の概観

15. 「釜石市上中島復興公営住宅Ⅰ期」でスチールハウスが竣工

新日鐵住金（株）

新日鐵住金が開発したNSスーパーフレーム工法®によるスチールハウスが、釜石市復興公営住宅（54戸、延床面積：3,507.51m²）に採用され、2013年3月27日に竣工した。岩手県において3階建て以上（木造を除く）としては最初の復興公営住宅である。

本工法は、予め工場で生産した壁・床・屋根パネルを建設現場でドリルねじや接合金物で結合して箱型に組み立てるプラットホーム工法である。各パネルは、厚さ1mm前後の薄板軽量形鋼の枠組みに窯業系の構造面材をドリルねじで固定して構成されている。これらの部材をベースに、（一財）日本建築センターの構造評定や、国土交通大臣の建築基準法施行規則第1条の3認定、1時間耐火認定を取得している。加えて、省エネルギー対策や、界壁・界床の遮音性能、劣化対策において、住宅の品質確保の促進等に関する法律の等級や特別評価方法認定など、広範囲の公的認可を保有している。

躯体重量はRC造の約1/3であるため基礎工事を軽減できる。さらに、工場生産によるパネル化や現場での乾式接合組

立て等により、短工期化が実現できる（釜石市復興公営住宅の工期は5.5カ月）。今後も、コンクリート等の建設資材や職方不足が問題となっている被災地において、高品質かつ短工期で建設可能な工法として期待が寄せられている。



図1 釜石市上中島復興公営住宅

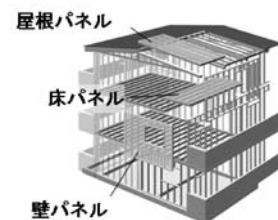


図2 躯体構成

16. コンビジャイロ工法®

新日鐵住金（株）

新日鐵住金は、（株）技研製作所と共同で、止水性に優れたハット形鋼矢板と剛性の高い鋼管杭を組み合わせた壁体を構築する工法「コンビジャイロ工法®」を開発した。

このコンビジャイロ工法®は、これまでに実績を積み上げてきた、先端に切削爪の付いた鋼管杭を地盤に回転切削圧入する「ジャイロプレス工法®」を応用して開発したものである。専用の圧入機を技研製作所が開発し、施工用の把持装置を交換することにより、ハット形鋼矢板と鋼管杭の圧入を1台の機械で行うことのできる仕様となっている。専用の圧入機完成後、技研製作所の関西工場にて、以下の手順による実証試験を実施し、安定して施工可能であることを確認した。

1. 鋼矢板施工用把持装置にて鋼矢板を圧入
2. 施工用把持装置を取り替え
3. 鋼矢板から反力を取って鋼管を回転切削圧入

本工法は、鋼矢板から反力を取るため、鋼管杭の設置間隔を飛ばして施工することができ、工期短縮、工費削減が可能になる。壁体上に施工機械を配置し、狭隘な場所や水上等の制約を受ける場所での施工が容易に行えるため、都市部での道路擁壁や河川・海岸護岸などで、コンクリートを使った従来の構造からの転換が期待できる。また、本工法は国土交通省新技術情報提供システム「NETIS」に2013年7月に登録されている（登録番号：CB-130005-A）。



図1 実証試験の様子

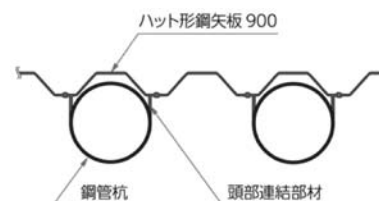
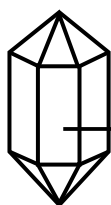


図2 壁体の断面形状



入門講座

物理分析入門—初めて使う人のために— 13

ラマン分光法の原理と応用事例

Principles and Applications of Raman Spectroscopy

高橋貴文

Takafumi Takahashi

新日鉄住金(株)

先端技術研究所 解析科学研究部

主任研究員

1 はじめに

物質に光を照射すると散乱光が生じる。この散乱光の中には、入射光とわずかに振動数が異なる散乱光が含まれている。これがラマン散乱光であり、1928年、C.V.RamanとK.S.Krishnanによって発見された¹⁾。

ラマンスペクトルとは、上記の入射光とラマン散乱光の僅かな振動数の差に基づくスペクトルであり、分子の結合に関する情報を与えてくれる。このラマンスペクトルに基づいて、物質の同定、構造解析等を行う実験法が、ラマン分光法(Raman spectroscopy)である。

ラマン分光法は、赤外分光法とともに振動分光法の一種であり、両者は相補的な役割を果たす。非常に単純化した捉え方となるが、一般的に、ラマン分光法は分子の骨格構造解析に有効であるのに対し、赤外分光法はOH等の官能基の解析に有効である。

近年、ラマン分光法と顕微鏡を組み合わせたラマン顕微鏡の技術発展が著しい。従来の顕微ラマン装置と比べると、測定が高速化され、イメージング分解能も数百nm~1μm/pixel程度と向上している。ラマン顕微鏡では、化学構造の種類と場所を特定するケミカルイメージングが可能である。また、単なる化学構造の分布だけでなく、半値幅や波数シフトなどをパラメータとすることで結晶性や応力分布などの解析も可能である。このように、多様な指標を用いることができるという点で、核磁気共鳴分光を応用したMRI(磁気共鳴イメージング)と似ている。本稿では、ラマン分光法の原理を説明するとともに、その応用事例について紹介する。尚、ラマン分光に関しては他に優れた教科書^{2,5)}もあるので、適宜、これらも参照して頂きたい。

2 ラマン分光法の原理と特徴

2.1 原理

物質に光が照射されると、吸収、透過、散乱、屈折など様々な現象が起きる。光散乱は、入射した光の一部が様々な方向に散らされる現象であり、波長の短い青い光の方が散乱されやすいことが知られている。この光散乱現象は、物理的には次のように捉えることができる。図1に電場内での非極性2原子分子(中性分子)の挙動を模式的に示す。入射光によって、分子内部に電荷の偏り(分極)が生まれ、双極子モーメントが発生する。この誘起双極子の大きさは、電子雲の歪み程度に依存しており、これを分極率(α)で表す。この誘起双極子モーメントの振動に起因して電磁波が再放出され、この電磁波がさらに別の分子に伝播し、新たな電磁波発生源となり伝播してゆく。散乱光とは、こうした物質と光との相互作用によって生じる電磁波のことであり、それゆえ、物質を構成する分子の構造(化学構造)についての情報を内包している。

散乱光には、入射光と同じ周波数を持つレイリー(Rayleigh)

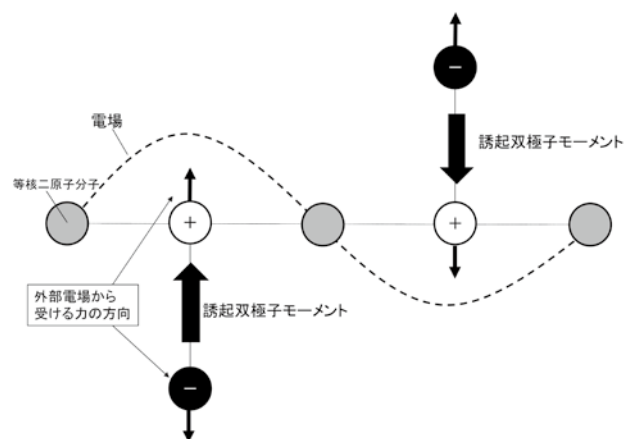


図1 光(電磁波)と分子の相互作用

散乱光と、周波数が異なるラマン (Raman) 散乱光が含まれる。散乱光の大部分はレイリー光で占められ、ラマン散乱光は少ない。レイリー光の強度は入射光強度の 10^{-3} 以下であるのに対し、ラマン散乱光は、レイリー光よりさらに強度が弱く、入射光強度の 10^{-9} 以下である。

図2に、ラマンスペクトルの一例を示す。ラマンスペクトルは、横軸に励起光とラマン散乱光の振動数の差を波数 $[\text{cm}^{-1}]$ でとり、縦軸に強度をとったものである。多くのラマン分光測定では、紫外、可視、赤外領域の単一周波数を持ったレーザーを励起光として用いる。この場合、励起光が可視領域にあれば、ラマン散乱光もまた可視領域に観測されることになる。ラマン散乱光には、入射光より周波数が低いストークス線と、周波数が高いアンチストークス線の2種類が含まれており、両者の比は温度依存性を示す。分子が基底振動状態にあれば、光照射によってストークスラマン散乱を示し、振動励起状態にあればアンチストークス散乱を示す。殆どの分子は、室温下では基底状態にあるので、通常、ストークス線の方が、アンチストークス線より十分に強度が強い。従って、多くのラマンスペクトル測定においては、ストークス線を観測する。

ラマン散乱光の強度 I は、次のように与えられる²⁾。

$$I \propto \nu^4 I_0 N \left(\frac{\partial \alpha}{\partial Q} \right)^2 \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 I_0 は、励起レーザー強度、 N は散乱分子数、 ν は励起レーザー周波数、 α は分子の分極率、 Q は基準振動の振幅を表す。この式には、ラマン分光法の重要な特徴が示されて

いる。1つは、分極率 α の変化を伴う分子だけがラマン活性であり、強度は分極率の変化の2乗に比例していること。2つ目には、ラマンの信号強度は濃度 (N) に比例するので、定量が可能であるということ。最後に、レーザー波長を短くする、または照射レーザー強度を強くすると、ラマン散乱強度も強くなるということである。

レーザー照射による侵入深さは、物質の吸光係数によって変化する。侵入長の定義は、入射光 I_0 の強度が $1/e$ になる侵入距離である。よく知られたLambert-Beerの法則より、吸光係数 α $[\text{cm}^{-1}]$ とすると、レーザーが侵入する距離 (L) は、以下のように見積もられる。

$$L = \frac{1}{2\alpha} \dots\dots\dots (2)$$

例えば、波長488nmで吸光係数が 2.5×10^4 $[\text{cm}^{-1}]$ の物質について、レーザー波長488nmでラマン分光測定を行うと表面から200nm程度の情報を反映したラマンスペクトルを測定していることになる。

2.2 分子の対称性とラマンスペクトル

ラマン分光法で分子のどのような振動が検出できるのかを理解するには、分子の対称性について理解することが重要である。分子対称性については他参考書⁶⁾に譲るとし、ここでは簡単な例を用いて、ラマンスペクトルと赤外スペクトルの比較からラマン分光法で観測できる振動モードを具体的に説明する。

図3に、対称分子の1つ、ベンゼン (C_6H_6) のラマンスペクトルおよび赤外スペクトルを示す。この図の中で、主な

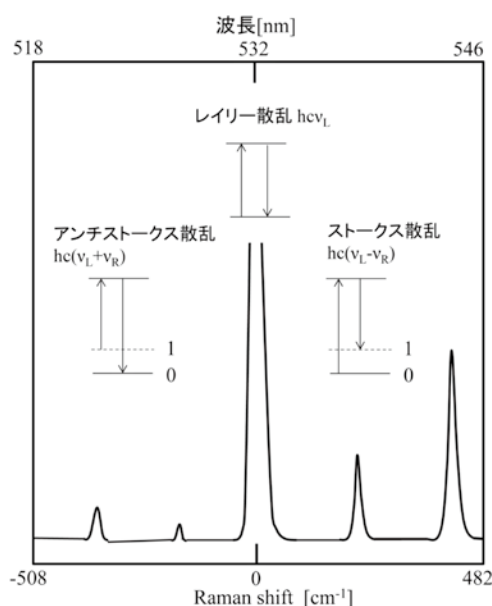


図2 散乱光のエネルギー準位とラマンスペクトル

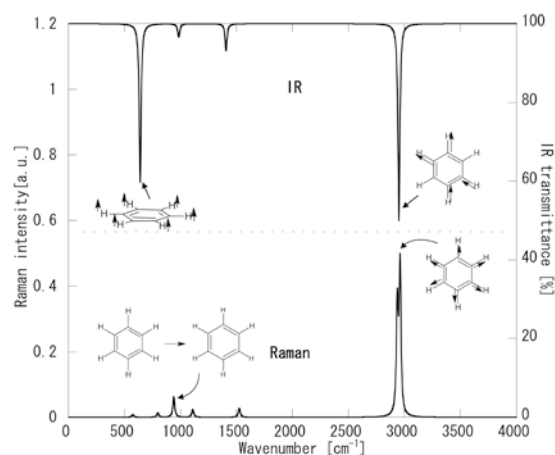


図3 ベンゼン (C_6H_6) のラマンおよび赤外スペクトル
図下：ラマンスペクトル、図上：赤外スペクトル。
スペクトルは、量子化学計算プログラムGAMESS⁷を用いて、基底関数6-31G^{**}、B3LYP-DFT計算により求めた理論的スペクトル。横軸はスケールリングファクターによって補正済みであるが、実測値とは若干、観測波数や強度が異なる。また、ラマンスペクトルと赤外スペクトルを同図上に表示しているため、横軸はラマンシフトではなく、wavenumber (波数) と表示している。

振動バンドについて、どのような振動モードに対応するかを示している。ラマンスペクトルでは、CHの対称伸縮振動 (3082cm^{-1}) やベンゼン環の呼吸振動 (980cm^{-1}) を観測することができる。この場合、双極子モーメントは変化しないが、分極率が変化するのでラマン活性かつ赤外非活性である。一方、赤外スペクトルにおいては、CHの非対称伸縮振動 (3370cm^{-1}) や変角振動 (667cm^{-1}) を観測することができる。この場合、双極子モーメントは変化するが、分極率は変化しないのでラマン非活性である。

以上、ここで示した簡単な例からも分かるように、ラマン分光と赤外分光とは相補的な関係であり、各手法で検出可能な振動モードは、分子の対称性からある程度予測可能である。

2.3 ラマンスペクトルの帰属と解釈

ラマンスペクトルから物質同定を行う際には、一般的な方法として、データベースに集積された標準物質のラマンスペクトルと照合を行う。データベースには、有償・無償両方があり、さらに登録物質の観点から有機物質は充実しているが無機物質は少ないもの、あるいはその逆等、それぞれに特徴がある。全体的な傾向として、ラマンのデータベースは赤外ほど充実していないため、自ら標準試料を測定してスペクトルを収集する必要もある。データベースと照合する方法では、各ラマンバンドを帰属しなくても、短時間で物質を同定できるメリットがある。一方、観測されたラマンバンドと化学結合との関係を詳細に解析すれば、化学構造をより深く理解し、メカニズムを考察する際に役立つ。現在、量子化学計算^{7,9)}により分子の振動モード解析し、ラマンスペクトル／赤外スペクトルを予測することも可能になっている。実測スペクトルと理論的スペクトルとを比較・検討することによって、単なるラマンバンドの帰属にとどまらず、注目すべき振動バンドを見つけ出し、材料開発の指針を得ることも期待できる。

2.4 ラマン分光装置

現在、多くのラマン分光装置は、顕微鏡との組み合わせであることから、ここでは顕微鏡型ラマン分光装置に絞って説明する。FT-ラマン装置については、他の文献¹⁰⁾を参照いただきたい。顕微鏡型ラマン装置は、主に顕微鏡、分光計、検出器、励起レーザー、制御用PCから構成されている (図4)。

顕微鏡は、光学顕微鏡を基本とし、これに電動ステージが組み込まれている場合もある。ラマン分光法と顕微鏡を組み合わせることで、幾つかのメリットが生まれる。1つは、光学顕微鏡で観察しながら目的位置を定めてレーザー照射ができるので、微量サンプルの分析が可能となることである。更に、共焦点光学系の採用により、焦点以外のマトリクスから生じる蛍光等の妨害シグナルを低減し、目的箇所のラマンスペク

トルを効率よく取得可能となることである。

励起レーザーは、多くの装置で連続発振型のものが使われおり、アルゴンイオンレーザー等の気体レーザー、半導体レーザー、固体レーザーなどが搭載されている。目的に応じて、紫外～可視～赤外領域のレーザー波長を選択できる。ラマンスペクトルを測定するには、レーザー自体の発振線幅はおよそ 1cm^{-1} 以下で、かつ長時間の発振安定性が必要とされる。現在の顕微鏡型ラマン装置には、選択した領域のラマンスペクトルを網羅的に測定するため、レーザー光走査方式、ステージ走査方式、両者併用の走査方式などが搭載されている。

顕微鏡型ラマンの分光計は、回折格子を備えたシングルモノクロメーターあるいはトリプルモノクロメーターで構成されていることが多い。モノクロメーターの前段部にはフィルターが設置され、選択的にレイリー光を減衰させる。一般的なフィルターとして、エッジフィルターやノッチフィルターがあり、エッジフィルターではストークス散乱のみ検出可能であるのに対し、ノッチフィルターを用いるとストークス散乱とアンチストークス散乱の両方を検出可能となる。ラマン散乱光は、フィルターを通してモノクロメーター内に導入され、分光されて検出器へ到達する。

現在、殆どのラマン分光装置では、検出器としてCCDが採用されている。CCDは、 $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ 程度の素子を2次元に配置したものである。CCD検出器は、感度が波長に依存する (波長感度特性) ため、搭載したレーザー波長に応じて、感度を損なわないように最適な検出器を選択する必要がある。従って、紫外領域と赤外領域のレーザーを装置に搭載し、1つのCCD検出器で高感度な分析を期待することは無理があり、ユーザー側がニーズを踏まえて、搭載するレーザー波長領域を絞りこむことが大切である。

CCD検出器では、ラマン散乱光が微弱であるため、CCD素子を仮想的に結合して1ピクセルあたりのS/Nを改善す

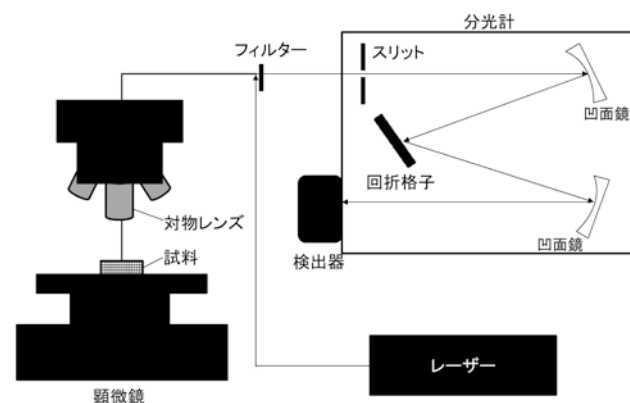


図4 ラマン顕微鏡装置構成の概要：分光計はシングルモノクロメーター仕様

る、ビニングという操作が行われる。ビニングはS/N改善には有効であるが、空間分解能低下を招く場合もあるので注意が必要である。また、CCD検出器のピクセル数には、256, 512, 1064等の制限がある。よって、モノクロメーターの回折格子の刻線数が少なければ、広い波数範囲のラマンスペクトル測定が可能となるが、この場合スペクトルの波数分解能は低下する。これに対し、刻線数が多ければ、波数分解能は向上し、迷光の影響を低減できるメリットはあるが、一方で観測可能な波数領域は狭くなり、ハードウェアへの要求精度も高くなる。実際の測定時には、これらの点も踏まえて、目的に見合った回折格子を選択する。

制御用PCでは、顕微鏡画像を見ながら測定領域や条件の設定をしたり、データ解析を行う。制御用ソフトと解析用ソフトが独立であれば、測定中もデータ解析を進めることができる。ただし、ラマンイメージング測定ファイルは、多数のスペクトルデータを内包しているためデータ容量は大きくなる傾向にあり、PCへの負荷は大きくなることに注意が必要である。

2.5 試料形態とその取り扱い

ラマン分光測定のための試料前処理は、基本的に簡便である。また、測定自体も真空不要で、大気環境下で実施可能であるので、含水試料もそのまま測定できる。液体試料は、透明なガラスあるいはプラスチック製のセルに入れたまま測定可能である。粉体試料については、カバーガラスやその他試料台の上に、数十mg～数g程度置くだけで十分である。粉体の粒径が小さい場合、レーザー光を照射した際に迷光が発生し、ラマンバンドが殆ど観測されない場合もある。この場合には、レーザー出力を下げ、取り込み時間（露光時間）を長めに設定すると、スペクトルが改善される場合がある。

2次元のイメージング測定を実施する場合には、平面性を担保する必要がある。固体試料に関しては、タブレットにする錠剤成型や埋め込み研磨により試料調製が可能である。ただし、加圧によって多結晶化し、本来の構造とは変わってしまう試料もあるので、錠剤成型には注意が必要である。固体より柔らかいゲルのような試料であれば、カバーガラスに挟む方法なども使うことが可能である。

3 応用事例

以下に、ラマン分光法を用いた解析応用例について紹介する。尚、ここで示す応用例は、通常の顕微ラマン装置を想定し、基本的な測定に基づくものである。この他のラマン分光測定として、やや特殊な測定法にはなるが、表面増強ラマン²⁶⁾やCARS (coherent anti-Stokes Raman scattering)²⁷⁾といった技術もある。これらについては、鉄鋼分野ではニーズ

が少ないと考えられることから本稿では割愛するが、興味を持たれた方は参考文献を参照して頂きたい。

3.1 SiO₂化学構造の識別と分布解明

元素組成は同じであっても、化学構造がわずかに異なるために振動モードに違いが生じる場合がある。ラマン分光法は、こうした化学構造の違いを抽出し、画像化するための強力な分析ツールである。その一例として、SiO₂試料の顕微ラマン分析結果を紹介する。SiO₂の代表的鉱物は石英 (quartz) であり、鉄鉱石の脈石としてもしばしば見出される。また、SiO₂には石英以外の形態として、工業的なプロセスの副生成物として生じるアモルファス状シリカもある。

図5に元素組成がSiO₂約100%試料のラマンスペクトルを示す。492cm⁻¹ (成分A) および520cm⁻¹ (成分B) にラマンバンドが観測されており、化学構造の異なる2種類のSiO₂が存在していることが分かる。成分Aのラマンシフトは石英のものと一致した。一方、成分Bは、データーベースとの照合では該当するものを見出せなかったが、高波数シフトを示していることから、石英に比べてSi-O間の結合が若干弱い構造であることが推定される。

ここで、観測された2つのラマンピークを用いると、図5に示すようにA,B各成分の分布を把握することができる。成分A (緑) が比較的細かい粒径で分布しているのに対し、成分B (赤) は見かけ上、粗大な固まりとして存在していることが分かる。

以上のように、顕微ラマン分光法を使うと、化学成分だけでは捉えきれない構造的差異を明確にし、その2次元分布を把握することが可能である。

3.2 セメント硬化体のラマンイメージング

セメント材料自体は、研究の歴史が長いにも関わらず、特性や構造に未知の部分が多く残されており¹¹⁾、材料科学の視点から興味深い研究対象である。また、ポルトランドセメントは比較的安価であるため、製鉄プロセスにおいては、造粒・塊成化のためのバインダーとして使用されることがある¹²⁾。そのため、セメント水和過程における化学構造変化を解き明かすことは、プロセス開発の指針を得るうえでも重要である。

セメント硬化体は、時間経過とともに、化学構造や組織 (主に空隙構造) が変化する複雑な現象である。従って、水和熱解析、化学構造解析、表面・組織解析など複数のアプローチが必要とされる。ここでは、化学構造の解析法の一つとして、ラマン顕微鏡を用いたCa (OH)₂の分布解析について紹介する。尚、セメント材料へのラマン分光法の応用については、他参考文献も参考にしていきたい^{13, 14)}。

Ca (OH)₂は、ポルトランドセメントの水和によって生ずる

主要な水和物の1つであり、その挙動はセメント硬化プロセスを考えるうえで重要である。図6にCa(OH)₂のラマンスペクトルを示す。これを見ると、高波数の3620cm⁻¹にラマンバンドが観測されていることが分かる。一般的には、OH等官能基の観測や同定は赤外分光法の方が有利と言われるが、試料によっては、ラマン分光法で明瞭に観測できるケースがある。

図7に示すように、高波数側のラマンピークを用いて、水和反応開始から72時間後までCa(OH)₂の分布を追跡した。この結果をみると、時間経過とともにCa(OH)₂の分布は、次第に細粒化していることが分かり、空隙構造が微細化していることと整合的な結果を得られた。今後、Ca(OH)₂に限らず、クリンカー（未水和セメント鉱物）、その他水和物の分布状態解析への展開も考えられる。

3.3 炭素材料の高温その場 (In situ) ラマンスペクトル測定

ラマン分光法で最もよく研究されている材料の1つとして炭素材料がある。グラファイト¹⁵⁾をはじめ、カーボンナノ

チューブ¹⁶⁾、グラフェン¹⁷⁾に代表される機能性ナノ材料や鉄鋼関係では石炭の構造解析¹⁸⁾にラマン分光法が利用されている。炭素材料のラマンスペクトルの特徴は、1580cm⁻¹付近に現れるGバンドと1360cm⁻¹付近に現れるDバンドである。これまでの綿密な研究によって、Gバンドはグラファイト構造に起因し、Dバンドは、欠陥や構造の乱れ等に起因することが分かっている¹⁹⁾。よって、このGバンドとDバンドの比は、グラファイト構造の発達具合を示す指標としてよく利用されている^{15, 19, 21)}。指標の詳細については、引用文献を参照して頂きたい。

本稿では、ラマン顕微鏡による炭素材料の高温その場 (*in situ*) 測定について紹介する。ラマン顕微鏡では、高温用セルを用いることにより、比較的容易に高温*in situ*の測定を行うことが可能である。観察領域は限られるが、光学顕微鏡による観察と平行して、ラマンスペクトルを測定することができる。

図8に、石炭を昇温しながら測定したラマンスペクトルを示す。昇温過程において、Dバンド(1360cm⁻¹)、Gバンド

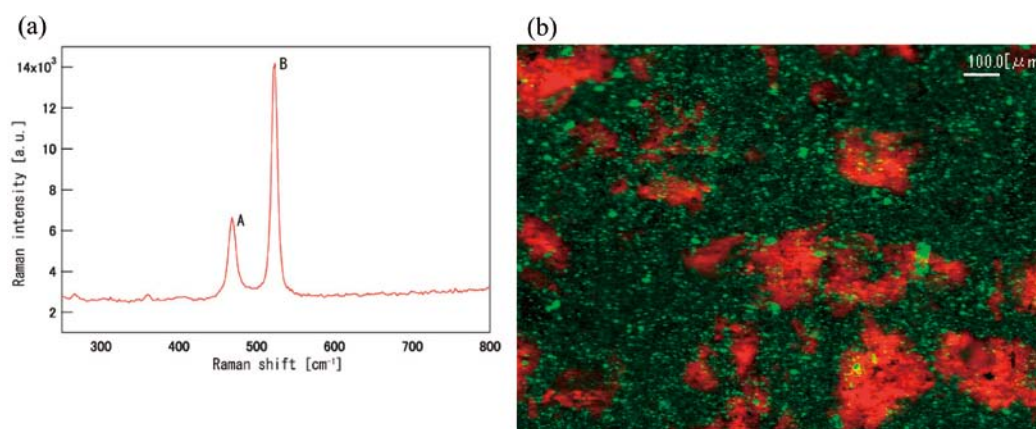


図5 SiO₂試料の (a) ラマンスペクトルと (b) ラマンイメージング。緑色：成分A、赤色：成分B

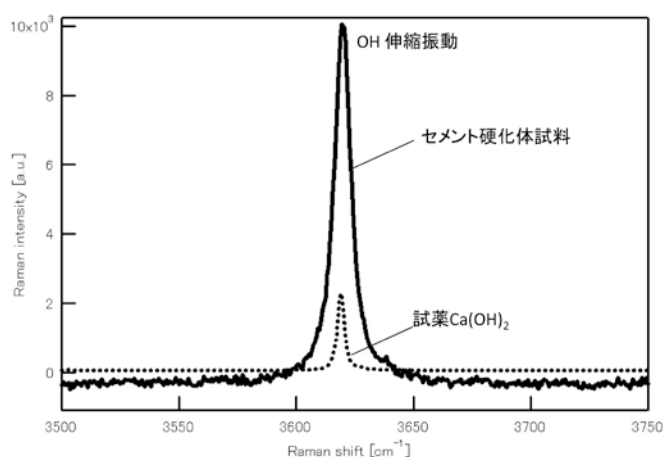


図6 セメントペースト試料と標準試料Ca(OH)₂のラマンスペクトル比較

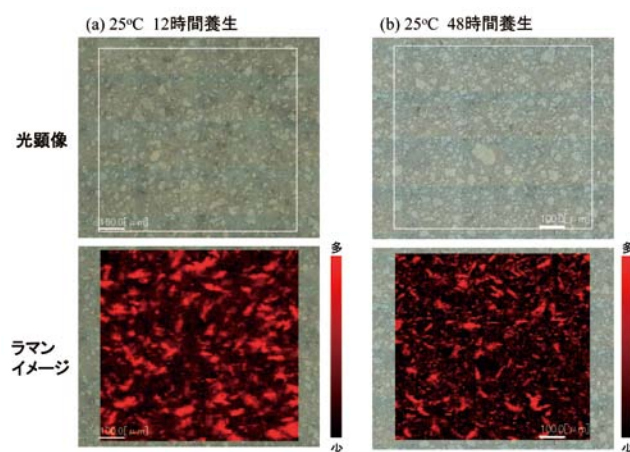


図7 OH伸縮振動バンドに基づくCa(OH)₂のラマンイメージング：赤色がCa(OH)₂分布領域を示す

(1592cm^{-1}) のピークトップがともに低波数シフトし、 25°C から 600°C への昇温で、約 20cm^{-1} の低波数シフトが観測された。測定中のレーザー強度および露光時間は一定であることから、これは、レーザー加熱による低波数シフト²²⁾ではなく、グラファイト構造をはじめとする炭素骨格構造に生じた歪によるものと推定される。さらに、昇温するにつれて、高波数側のブロードな成分が低下している。これは高波数側に観測されていた蛍光をもたらす有機物成分が分解したことを示唆している。このように、*in situ* 観察および測定を比較的容易に実施できることは、ラマン顕微鏡の長所の1つであり、ラマン分光法は高温に限らず、湿潤状態、ガス雰囲気など様々な環境下での分析技術として有用である。

3.4 その他応用事例

ラマン分光法は、金属そのものを測定することは出来ないが、鋼の腐食生成物や酸化皮膜を観測することはできる。例えば、松田ら²³⁾は、ラマン分光法をステンレス鋼の熱処理によって生じた表面酸化物の解析に用いている。また、Bernard ら^{24, 25)}は、ラマン分光を用いてZnめっきの腐食生成物の同定を行い、その安定性について考察している。ラマン顕微鏡のメリットを最大限に生かすことにより、鋼表面の酸化物・水酸化物の解析にも更なる進展が期待できる。

4 まとめ

ラマン分光法は、物質に光を当てることによって発生する散乱光を利用したシンプルな分析法である。その優れた特徴として、煩雑な試料の前処理が不要であること、さらに固体、

液体、気体など様々な形態のものを非破壊で測定できることなどがある。ラマンスペクトルに基づいて、物質を同定し、化学構造を理解するとともに、試料中での物質の分布を理解することができる。今後は、計算科学的手法も取り入れて、より詳細な構造解析、材料開発への展開が進むと考えられる。

ラマン分光装置に関しては、共焦点光学系の普及、レーザー走査技術の発展などにより一世代前のラマン分光装置と比べて、測定の高感度化・高速化および高空間分解能化が実現している。現在、多くのラマン分光装置には、光学顕微鏡が組み込まれているが、材料によっては更に空間分解能を求められるケースも出てきている。こうしたニーズに対応して、近年では、AFM (原子間力顕微鏡) と組み合わせたラマン分光測定も普及し始めており、ラマン分光法の新たな展開が期待されている。

参考文献

- 1) C.V.Raman and K.S.Krishnan : Nature, 121 (1928) , 501.
- 2) P.J.Larkin : IR & Raman spectroscopy, Elsevier, (2012)
- 3) 日本分光学会 [編] : 分光測定入門シリーズ 赤外・ラマン分光法, 講談社, (2009)
- 4) 濱口宏夫, 平川暁子 編 : 日本分光学会測定法シリーズ 17, ラマン分光法, 学会出版センター, (1988)
- 5) E.Smith and G.Dent : Modern Raman Spectroscopy-A practical approach, John Wiley & Sons, Ltd., (2005)
- 6) 中崎 昌雄 : 分子の対称と群論, 東京化学同人, (1973)
- 7) M.W.Schmidt, K.K.Baldrige, J.A.Boatz, S.T.Elbert, M.S.Gordon, J.J.Jensen, S.Koseki, N.Matsunaga, K.A.Nguyen, S.Su, T.L.Windus, M.Dupuis and J.A.Montgomery : J.Comput.Chem., 14 (1993) , 1347.
- 8) 堀 憲次 (監修) : Gaussianプログラムによる量子化学計算マニュアル, 新化学発展協会 (編集), 丸善, (2009)
- 9) J.J.P.Stewart : J.Mol.Modeling, 19 (2013) , 1.
- 10) D.B.Chase and J.F.Rabolt : Fourier Transform Raman spectroscopy, From Concept to Experiment, Academic, (1994)
- 11) J.W.Bullarda, H.M.Jennings, R.A.Livingston, A.Nonat, G.W.Scherer, J.S.Schweitzer, K.L.Scrivener and J.J.Thomas : Cem.Concr.Res., 41 (2011) , 1208.
- 12) T.C.Eilsele and S.K.Kawatra : Min.Proc.Extr.Metall. Rev., 24 (2003) , 1.
- 13) S.S.Potgieter-Vermaak, J.H.Potgieter, M.Belleil, F.DeWeerd and R.Van Grieken : Cem.Concr.Res., 36 (2006) , 656.
- 14) S.S.Potgieter-Vermaak, J.H.Potgieter, M.Belleil, F.DeWeerd and R.Van Grieken : Cem.Concr.Res., 36

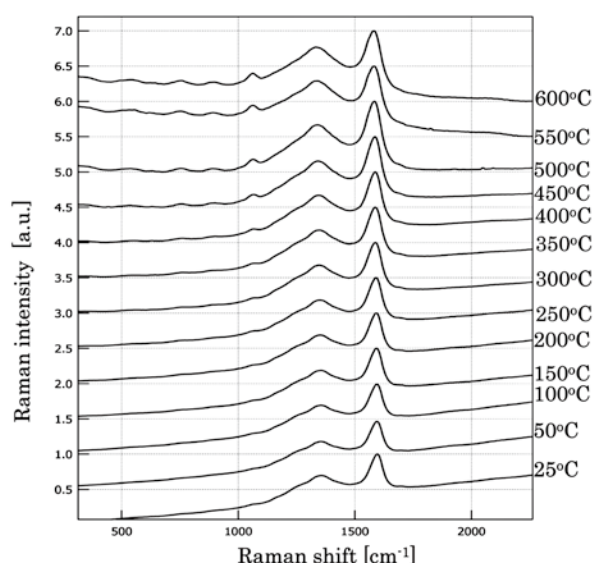


図8 昇温過程における炭素材料のラマンスペクトル

- (2006) , 663.
- 15) V.M.Irurzun, M.P.Ruiz and D.E.Resasco : Carbon, 48 (2010) , 2873.
 - 16) R.Saito, T.Takeya, and T.Kimura: Phys.Rev.B, 57 (1998) , 4145.
 - 17) A.C.Ferrari and D.M.Basko : Nature Nanotech., 8 (2013) , 235.
 - 18) S.S.Potgieter-Vermaak, N.Maledi, N.Wanger, J.H.P.Van Heerden, R.Van Grieken and J.H.Potgieter : J.Raman Spectrosc., 42 (2011) , 123.
 - 19) M.A.Pienta, G.Dresselhaus, M.S.Dresselhaus and L.G.Cancado : Phys.Chem.Chem.Phys., 9 (1277) , 1276.
 - 20) 花田一利, 白井幸夫, 藤本京子 : 材料とプロセス, 25 (2012) , 411.
 - 21) X.Guo, H.L.Tay, S.Zhang and C.-Z.Li : Energy & Fuels, 22 (2008) , 4034.
 - 22) H.Kagi, I.Tsuchida, M.Wakatsuki, K.Takahashi, N.Kamimura, K.Iuchi and H.Wada : Geochim. Cosmochim. Acta, 58 (1994) , 3527.
 - 23) Y.Matsuda, S.Hinotani and K.Yamanaka : Tetsu-to-Hagané, 79 (1992) , 48.
 - 24) M.C.Bernard, A.Hugot-Le Goff and N.Phillips : J.Electrochem.Soc., 142 (1995) , 2162.
 - 25) M.C.Bernard, A.Hugot-Le Goff, and N.Phillips : J.Electrochem.Soc., 142 (1995) , 2167.
 - 26) 二又 政之 : 表面科学, 33 (2012) , 216.
 - 27) C.L.Evans, E.O.Potma, M.P.Puoris'haag, D.Cote, C.P.Lin and X.S.Xie : PNAS, 102 (2005) , 16807.

(2014年1月31日受付)



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

製鋼プロセス研究開発を通じて

Through the Research and Development of Steelmaking Process

松井章敏

Akitoshi Matsui

JFEスチール（株）

スチール研究所 製鋼研究部

主任研究員

1 はじめに

筆者は2002年に旧NKK（株）に入社以来、製鋼プロセスにおける研究開発に取り組んでいる。入社後約10年間、精錬分野の研究開発に携わり、現在は連続铸造分野の研究に取り組んでいる。今回、本稿を執筆する機会を与えて頂いたことにまず感謝を申し上げ、筆者が取り組んできた製鋼プロセス研究開発事例を紹介させて頂くとともに、今後の研究開発についての想いを述べさせて頂く。

2 製鋼プロセスの研究開発を通じて感じたこと

2.1 溶銑脱りん反応効率改善

鋼材品質の厳格化や製鋼スラグ発生量低減を目的に、日本では溶銑脱りんプロセスが広く導入されている。ところが、2001年のフッ素の土壌への溶出基準値改正に伴い、効果的な媒溶材であった蛍石（ CaF_2 ）の使用が制限され、溶銑脱りんのフッ素レス化という大きな変化点を迎えた。 CaO の溶融促進や酸素ポテンシャルの増大といった蛍石の効果^{1,2)}を補うためには、脱りんスラグ中の酸化鉄濃度を高めることが有効であるが、スラグ中の酸化鉄は非平衡に生成するため、鉄の酸化と溶銑中の炭素による還元を同時に取り扱う必要があり、スラグ中の酸化鉄濃度を制御することは非常に困難である。

筆者らは、酸化鉄の生成と還元的基础現象に注目し、酸化鉄生成・還元速度に及ぼす溶銑温度、送酸速度及び攪拌の影響を小型実験により定量化し、酸化鉄生成モデル³⁾を構築した。更に競合反応モデル⁴⁾と酸化鉄生成モデルを組み合わせることで溶銑脱りん操業条件の最適化を図り、図1に示すようにフッ素レス条件下での脱りん安定化を実現した。

フッ素の溶出規制という変化点により、 CaO の未溶融に起因する脱りん不良等の課題が生じたが、基本に立ち返り、基

礎現象に着目することで新たな技術的展望が開けてくると筆者は感じる。本研究は、鉄鋼協会講演大会やマルチフェーズフラックスに関する研究会⁵⁾等の様々な場において議論させて頂いた。マルチフェーズフラックス研究会では、スラグ中の固相を積極的に利用し、固相中へりんを濃縮させることで、反応効率を高めるという新たな思想が生まれ、スラグ中固相に関する定量的な基礎知見も整備されつつある。このような思想を実操業に適用できれば、極めて少量のスラグで精錬ができる可能性が秘められている。マルチフェーズフラックス精錬の実操業への適用には、最適スラグ組成の模索やスラグ組成制御方法など種々の開発課題があるが、それら乗り越えていくことに企業研究者としての面白みがあると思う。新しい技術思想の実操業への適用・工業化に今後もチャレンジしていきたい。

2.2 溶銑脱硫の反応効率改善

厚板やラインパイプ材の品質要求の厳格化に伴い、溶銑脱

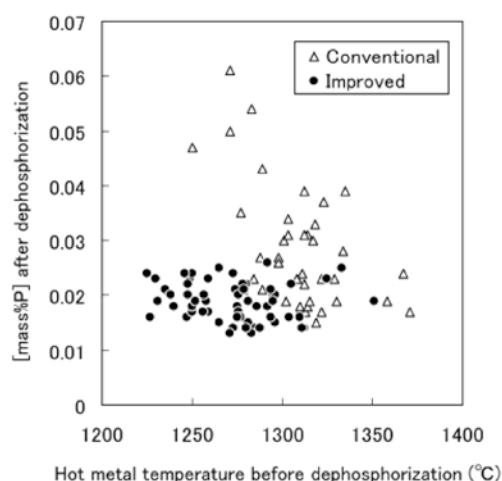


図1 フッ素レス条件下での脱りん改善結果³⁾

硫効率の向上は重要な課題となっている。溶銑脱硫においても基礎現象の調査・観察に関する種々の研究が行われ、機械攪拌式脱硫法 (KR法)⁶⁾ においては、溶銑浴中への脱硫剤の巻き込み・分散が反応効率向上のために重要である⁷⁾。脱硫剤の巻き込み・分散を強化することを目的に、邪魔板やインペラー偏心の効果の研究され^{8,9)}、インペラー攪拌により生成する渦の乱れや偏心により、脱硫剤の巻き込み・分散能が向上する知見が得られているが、設備制約等により十分な工業化が図られていなかった。

筆者らは、インペラー攪拌により生成する渦をいかにして偏心させるかという観点に立ち返り、反応容器そのものを用いて渦を偏心させる発想を得た。容器の底に傾斜勾配をつけることで図2に示すように渦は偏心し、脱硫剤の巻き込み・分散強化が図れることを見出した¹⁰⁾。

本研究も、基礎現象の調査・観察を重視する点は、先述の溶銑脱りんにおける研究開発と同様である。それに加えて、本研究では、思いついたジャストアイデアに対して水モデル実験で効果を確認し、その後ラボホットモデル実験から実機試験へと比較的短期間のうちに展開した点が特徴的であったと感じている。企業における研究開発では、迅速さを求められることが多々あり、時には「そんな無茶な…」という納期を要望され戸惑うこともある。しかし、迅速さを求められているということは、その研究が必要とされているのだと前向きに捉え、自身を奮い立たせていきたいと思う。まだまだ筆者の努力・能力不足のため、要求される開発スピードに付いていけない局面が多いが、基礎現象を大事に捉え、着実・誠実に、できる限り迅速に研究開発に取り組んでいきたいと思う。

3 将来的な研究開発についての想い

3.1 製鋼スラグの有効利用

国土面積が決して大きくなく、資源の乏しい日本において

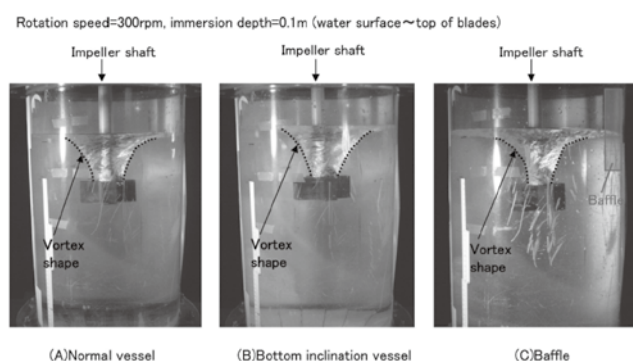


図2 容器底部傾斜による渦偏心結果¹⁰⁾

製鉄業を継続していくには、環境負荷の小さい持続可能な製鉄プロセスの構築が必要であり、鉄鋼業においても炭酸ガス排出量低減や省エネルギー化に積極的に取り組んでいる。加えて、製鉄プロセスは多くの副産物を生成しており、従来からその有効利用を進めてきた。この内、高炉スラグは発生量が300kg/t-steel程度であり、そのほぼ全量がセメント原料等の付加価値の高い製品として有効に利用されている。一方で製鋼スラグは120kg/t-steel程度の発生量があるが、製鋼スラグ中に存在する未滓化石灰に起因する膨張崩壊性のため高炉スラグに比べて高付加価値の用途が少なく、製鋼スラグの処理は製鉄各社にとって重要かつ大きな課題と考えられる。

そこで、筆者らは、製鋼スラグ中のPを除去し、製鋼スラグ中のFe, CaO源を製鉄プロセスの中で循環利用するという挑戦的なテーマに取り組んだ¹¹⁾。本研究はまだ、製鋼スラグ中のPを炭素で還元するための反応温度やスラグ組成の影響を調査するといった基礎現象を整理するステージであり、工業化には幾多もの高いハードルが待ち構えていると思う。しかし、処理コストに見合うような製鋼スラグの循環プロセスが確立されれば、究極の資源循環型製鉄プロセスに近づくことができると考えており、夢と誇りをもってこのような理想を追求する研究開発にも取り組んでいきたいと考えている。

3.2 数値計算のプロセス開発への利用

近年、計算機能力の飛躍的な進歩により、製鋼プロセス分野の研究開発においても数値流体解析が有効なツールとなってきた。例えば、精錬分野におけるKR流動解析¹²⁾や、鑄造分野における鑄型内のAr気泡捕捉分布計算¹³⁾等、様々な局面で数値流体解析が用いられている。筆者も2.2で述べた溶銑脱硫に関する研究において、数値計算を用いた考察にチャレンジし (図3)¹⁰⁾、数値計算のプロセス開発への応用

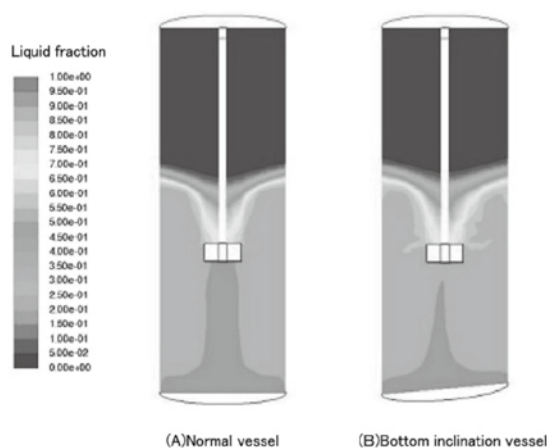


図3 KR法における流動解析事例¹⁰⁾

に興味を抱きつつある。数値流体解析の技術が日々進歩する中、近年では、新たな計算手法である粒子法¹⁴⁾にも注目が集まっている。粒子法は自由表面を含む多相連成現象の解析に適しており、例えば、界面が複雑形状となる連続鑄造の2次冷却のスプレー水挙動解析¹⁵⁾への適用例も報告されている。

粒子法を活用することで自由界面を含む現象の解析の発展が期待でき、数値計算の有用性は一段と向上すると考えられる。

粒子法のプロセス解析への実用化に向けたアプローチとして、「粒子法による製鋼プロセス解析ツールの開発」研究会¹⁶⁾が設立され議論が交わされている。筆者も企業側委員の1人として当研究会に参加しており、粒子法の製鉄プロセスへの工業的利用・普及を目指し、尽力したいと考えている。

4 おわりに

早いもので、入社から製鋼プロセスの研究者として12年が経過した。この間には、残念ながら力及ばず失敗した研究テーマも多々あった。振り返ってみると、失敗した研究では、どこか原理・原則に反した考え方で研究を進めてしまったことに気付かされる。今回、本稿を執筆する機会を与えて頂いたおかげで、改めて原理・原則の重要性を認識でき、感謝の意を表したい。今後も色々と失敗することもあると思うが、真摯に現象・課題と向き合い、1つでも多く製鋼プロセスの発展に貢献できる研究活動を続けていきたい。

ところで、12年も会社にいると、いつの間にか所属部署内でも、いわゆる“中堅どころ”となり、先に述べた粒子法研究

会や13年11月に北京で開催された第13回日中鉄鋼学術会議など、社外で大学の先生方や鉄鋼他社の研究者・エンジニアの方々と議論をする場が増えてきたように思う。当然ながら社内の会議とは性質が異なり、多種多様な視点での議論が交わされ、大いに刺激を受けることができている。このような研究会の場においても、企業側研究者として企業の正確なニーズをお伝えし、積極的に議論に参加できるよう努力していきたい。

参考文献

- 1) 伊藤公久, 佐野信雄: 鉄と鋼, 69 (1983), 1747.
- 2) 河井良彦, 中村英夫, 川上公成, 豊田剛治, 石坂祥, 海老沢勉: 鉄と鋼, 69 (1983), 1755.
- 3) 松井章敏, 鍋島誠司, 松野英寿, 菊池直樹, 岸本康夫: 鉄と鋼, 95 (2009), 207.
- 4) S.Ohguchi, D.G.C.Robertson, B.Deo, P.Gieveson and J.H.E.Jeffes: Ironmaking Steelmaking, 11 (1984), 202.
- 5) マルチフェーズフラックスを利用した新製錬プロセス技術研究会: マルチフェーズフラックスを利用した製錬プロセス技術の新展開, 日本鉄鋼協会編, (2009)
- 6) 黒川伸洋, 松尾重良, 城口弘, 山田和之, 渡辺吉夫: 住友金属, 45 (1993), 52.
- 7) Y.Nakai, I.Sumi, H.Matsuno, N.Kikuchi and Y.Kishimoto: ISIJ Int., 50 (2010), 403.
- 8) 野村卓也, 井口学: 鉄と鋼, 88 (2002), 1.
- 9) 畔柳重義, 山本典広, 射場淳, 堀井寛之, 伊藤公久, 菊池直樹: 鉄と鋼, 90 (2004), 329.
- 10) 松井章敏, 中井由枝, 菊池直樹, 三木裕司, 佐藤新吾, 川畑涼, 市川彰: 鉄と鋼, 99 (2013), 458
- 11) 松井章敏, 中瀬憲治, 菊池直樹, 岸本康夫, 高橋克則, 石田匡平: 鉄と鋼, 97 (2011), 416.
- 12) T.Tamura, M.Miyata, Y.Higuchi and S.Shimazaki: CAMP-ISIJ, 26 (2013), 187.
- 13) 三木裕司, 大野浩之, 岸本康夫, 田中進也: 鉄と鋼, 97 (2011), 423.
- 14) 越塚誠一: 粒子法, 丸善, 東京, (2005), 9.
- 15) 山崎伯公, 嶋省三, 恒成敬二, 林聡, 土岐正弘: 鉄と鋼, 99 (2013), 593.
- 16) 日本鉄鋼協会HP <https://www.isij.or.jp/mu4msanhn#seido1>



図4 第13回日中鉄鋼学術会議のConference Dinnerにて(2013年11月撮影、右から2人目が筆者)

(2014年2月18日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

大阪大学 大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻 准教授

小野 英樹

松 井章敏君は、私が所属する研究室の出身です。私も大学教員になってまだ数年で、指導といえるほどのことはしていなかったと思いますが、学部4年生から修士修了までの3年間一緒に研究を行った者の立場からコメントさせていただきます。

松井君は当時から熱力学や反応速度論に強く、当時行っていた研究に対しても着実に成果を挙げ、卒業論文、修士論文の内容がそれぞれISIJ International に掲載されています。大学における高温反応プロセスの研究は、実際との規模の違いからアプローチが難しく、反応のゴール地点を示す熱力学研究やプロセスの中の一つの現象に着目した基礎研究ならびに要素技術研究が中心となります。そのため、複雑な現象の絡み合う実プロセスに対してどれぐらい役に立つかというと、残念ながら直接的にはほとんど役に立たないというのが実際のところでしょう。そのため卒業生が実際に企業に入って本当に活躍できるかというのは非常に心配なところです。松井君は、まさに企業に入り製鋼プロセスの研究開発に携わっている卒業生代表の一人であり、松井君がどれぐらい活躍できるかというのは、期待と不安が入り交じるところです。そんな中、JFE21世紀財団が大学教材「鉄鋼工学」を発行していますが、その製鋼の部分を読ませて頂いたときに、“最

近、松井ら⁹⁾¹⁰⁾は2本ランスを用いたインジェクションによるトピード内溶銑脱りん法を実用化した。”との記述があり参考文献を確認したところ、松井章敏君の2006年の文献であることを確認したときには、入社して数年の仕事で、早くも実用化される成果を残していることを知り、活躍を大変うれしく思いました。すなわち、松井君は大学で学んだことはほとんど役に立たないと容易に想像される中、自らの努力と頑張りで企業のプロセス研究に携わって実際に活躍してくれている非常に心強い存在です。

今回、本記事を読み、溶銑脱りん、脱硫に関するプロセス研究や製鋼スラグの有効利用に関する研究を進めるとともに、さらに数値計算のプロセス開発への利用にも視野を広げていることを知りました。不純物を化合物として捉えることで除去効率を大きく向上させ、さらにスラグ量低減につなげること、複雑な現象の絡み合う実プロセスに数値計算でどこまで切り込むことができるか、これらはまさに今後の製鋼研究の中心的課題です。また、現在は、凝固・連铸分野の研究開発に携わっていると聞いています。これも製鋼研究全体を見渡せる中心的な研究者になるためのステップだと思いますので、頑張ってください。今後の活躍を大いに期待しています。

日新製鋼(株) 呉製鉄所 製鋼部 製鋼プロセス研究チーム チームリーダー

平賀 由多可

こ れまでの「躍動」の記事を見るにつけ、産・学の錚々たる方々が登場されている本欄に小職のような者が執筆することに相応の戸惑いを感じておりますが、ご指名ということで大変僥倖ながらコメントをさせていただくこととなりました。

松井さんとは、記事中にも触れられている「粒子法による製鋼プロセス解析ツールの開発」研究会において企業委員の一員として同席させていただいているのに加え、先般の第13回日中鉄鋼学術会議においても日本側委員としてともに参加させていただきました。小職はこのような外部での活動を担当することが多く、都度他社の若手技術者の皆さんの優秀さに刺激を受けていますが、松井さんはそのような優秀な若手の一人であります。

製鋼プロセス研究開発の末端に関わるものとして、松井さんの研究内容や研究に対する思いには共感させられるものが多くありました。また同時に、自分自身が十数年前にこのような確固たる考えを持って課題に取り組んでいたかと考えると、自信がないのが本音です。そのため役者不足の感を禁じ得ませんが、ひとつお願いとアドバイスらしきものを。

言うまでもないことですが、プロセス研究は製造現場に適

用されて初めて価値を生じるものですので、研究部門としての立場に止まらず、可能な限り現場を歩いてオペレータの方々と話をしたいと思えます。運転室で操業の状況を見ながら、内容は研究者としてやりたいことの説明や、逆に現場の要望を聞きだすことでも良いと思います。現場には問題解決のヒントや取り組むべき課題の種がたくさん転がっています。また、実操業における現象・挙動を数多く見ておくことで、ラボ実験やシミュレーションでの結果解析にも違った視点をおくことができる場合も数多くあると考えます。

また、課題としてスラグの再利用を取り上げておられますが、このような静脈系のプロセスへの対応を一部門で進めるのは大変だと思います。事情の違いはあるでしょうができる限り多くの関連部署を巻き込んで、製鉄所全体としての課題として進める必要があらうかと考えています。そしてその中心で仕事できればやりがいも一層大きくなるでしょう。

先般の訪問で中国の勢いを肌で感じたのは一緒だと思いますが、松井さんらの世代の活躍があれば日本が後塵を拝することはないと考えます。期待しております。我々の世代もまだまだ頑張らねばなりません。

会員へのお知らせ目次

行事等予定	329頁
総合	
第168回秋季講演大会 講演募集案内	332頁
イベント情報	
鉄鋼工学セミナー「専科」平成26年度受講のご案内	341頁
材料の組織と特性部会 第4回国際鉄鋼科学シンポジウム (ISSS 2014) 開催のご案内	343頁
平成26年度レアメタル研究会のご案内	343頁
報告事項	
平成26年度文部科学大臣表彰受賞のお知らせ	344頁
(公財) 新技術開発財団 第46回市村産業賞受賞のお知らせ	344頁
第22回日本鉄鋼協会・日本金属学会奨学賞受賞者 (平成26年3月)	345頁
人材募集案内	346頁
訂正とお詫び	346, 347頁
次号目次案内	348頁
会員欄 (入会者・死亡退会者一覧)	349頁
海外鉄鋼関連最新論文	350頁
ブックレビュー	344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
2014年5月			
5～8日	AISTech 2014(IN, USA)	AIST	http://www.aist.org/conference-expositions/aistech
11～13日	公益社団法人日本顕微鏡学会第70回記念学術講演会(千葉)	日本顕微鏡学会	学術講演会事務局 Tel. 03-5389-6640 jsm-desk@bunken.co.jp http://www.microscopy.or.jp/conf2014
14日	日本塑性加工学会関西支部「設立50周年記念式典」(大阪)	日本塑性加工学会 関西支部	日本塑性加工学会関西支部事務局 Tel. 090-9280-0383 kansai@istp.or.jp
16日	第19回分子動力学シンポジウム(福岡)	日本材料学会	事務局 船越英子 Tel. 075-761-5321 jimu@jsms.jp
16日	第308回塑性加工シンポジウム(東京)	日本塑性加工学会	Tel. 03-3435-8301 jstp@jstp.or.jp
17日	鉄鋼プレゼンス研究調査委員会「鉄の技術と歴史」研究フォーラム・第27回フォーラム講演会「どのようにして従来製鉄法をプロセス工学的に解明するか(Part-II)」(千葉)(3号213頁)(申込締切5月9日)	日本鉄鋼協会	(株)コベルコ科研 松井良行 Fax. 078-993-4403 Matsui.yoshiyuki@kki.kobelco.com
19～21日	トライボロジー会議 2014 春 東京(東京)	日本トライボロジー学会	井上 滉 Tel. 03-3434-1926 jast@tribology.jp http://www.tribology.jp/
20～23日	第50回真空技術基礎講習会(大阪)	日本真空学会 関西支部	大阪府技術協会 山中富世 Tel. 0725-53-2329 yamanaka@dantai.tri-osaka.jp http://www.vacuum-jp.org/
21～23日	第26回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム(SEAD26 in 盛岡)(岩手)	日本AEM学会	岩手大学・鎌田康寛 Tel. 019-621-6431 sead26@iwate-u.ac.jp http://www.ndesrc.eng.iwate-u.ac.jp/sead26/
21～23日	自動車技術展:人とするまのテクノロジー展2014(神奈川)	自動車技術会	湯川 Tel. 03-3262-8214 yukawa@jsae.or.jp http://expo.jsae.or.jp/
21～23日	第51回日本伝熱シンポジウム(静岡)	日本伝熱学会	第51回日本伝熱シンポジウム実行委員会 事務局 Tel. 053-478-1046 tnhts51@ipc.shizuoka.ac.jp http://thermo.web.nitech.ac.jp/nhts2014/index.html
27日	腐食防食部門委員会第298回例会(大阪)	日本材料学会	船越英子 Tel. 075-761-5321 jimu@jsms.jp
30日	「鉄と鋼」特集号「精錬プロセスにおける混相現象」原稿締切(2号152頁)	日本鉄鋼協会	岩手大学 上野和之 Tel&Fax. 019-621-6297 uenok@iwate-u.ac.jp
2014年6月			
2日	金属粉末の積層造形技術セミナー(東京)	粉体粉末冶金協会	Tel. 075-721-3650 info@jspm.or.jp http://www.jspm.or.jp
3日	創形創質工学会 第40回トライボロジーフォーラム研究会 テーマ:「塑性加工用工具材料と表面改質の最近の動向」(東京 4号285頁 申込締切5月23日)	日本鉄鋼協会	JFEスチール(株) 松原行宏 yu-matsubara@jfe-steel.co.jp
5日	第92回シンポジウム「電子顕微鏡による材料研究」～組織分析と材料評価の現状～(東京)	軽金属学会	軽金属学会HP (http://www.jilm.or.jp/) Tel. 03-3538-0232 jilm1951@jilm.or.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
6日	第217回西山記念技術講座「日本の鉄鋼の発展を支えてきた製鉄・製鋼技術」(東京) (3号212頁) (4号281頁)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
6~8日	平成26年度塑性加工春季講演会(茨城)	日本塑性加工学会	井上聡美 Tel. 03-3435-8301 inoue@jstp.or.jp
7日	第56回塑性加工技術フォーラム(茨城)	日本塑性加工学会	Tel. 03-3435-8301 jstp@jstp.or.jp
6~8日	1st International Process Integration Forum for the Steel Industry (Luleå, Sweden)	Swerea MEFOS	mikael.larsson@swerea.se http://www.swerea.se/piforum
11~13日	第19回計算工学講演会(広島)	日本計算 工学会	事務局 石塚弥生、講演会担当者 岡田 裕 Tel. 03-3868-8957 office@jsces.org hokada@rs.noda.tus.ac.jp http://www.jeces.org/koenkai/18/
12, 13日	第24回電子顕微鏡大学(東京)	日本顕微鏡 学会	日本顕微鏡学会 電子顕微鏡大学ヘルプデスク Tel. 03-3362-9743 jsm-denken@bunken.co.jp http://www.microscopy.or.jp/denken/index.html
12, 13日	第55回塗料入門講座(東京)	色材協会	事務局 Tel. 03-3443-2811 seminar@jscm.or.jp
16日	第218回西山記念技術講座「日本の鉄鋼の発展を支えてきた製鉄・製鋼技術」(大阪) (3号212頁) (4号281頁)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
17, 18日	粉体工学会第49回技術討論会(東京)	粉体工学会	事務局 Tel. 075-351-2318 hptj@nifty.com http://www.sptj.jp/
19, 20日	第10回核融合エネルギー連合講演会(茨城)	プラズマ・核融合学会、 日本原子力学会	プラズマ・核融合学会 Tel. 052-735-3185 plasma@jspfor.jp http://www.jspfor.jp/10rengo/
23, 24日	日本学術振興会 第172委員会 第8回状態図・統計力学セミナー (京都) (4号285頁)	日本学術振興会 第172委員会	東京工業大学 梶原正憲 Tel. 045-924-5635 kajihara@materia.titech.ac.jp http://j2www.materia.titech.ac.jp/seminar/
23, 24日	第135回塑性加工工学講座(東京)	日本塑性加工学会	杉山 聡 Tel. 03-3435-8301 jstp@jstp.or.jp
23~27日	材料の組織と特性部会 高温酸化・高温腐食国際シンポジウム2014 (International Symposium on High-temperature Oxidation and Corrosion 2014(ISHOC 2014)) (北海道) (4号285頁)	日本鉄鋼協会	北海道大学 林 重成 hayashi@eng.hokudai.ac.jp http://www.mmm.muroran-it.ac.jp/~ishoc2014/
25~27日	XVII International Colloquium "MECHANICAL FATIGUE OF METALS" (ICMFM-XVII) (Lake Maggiore, Verbania, Italy)	Politecnico di Milano	info@icmfm17.org, secretary@icmfm17.org http://www.icmfm17.org
26, 27日	第19回動力・エネルギー技術シンポジウム(福井)	日本機械学会 動力エネルギー システム部門	日本機械学会 山口愛子 Tel. 03-5360-3505 yamaguchi@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/pes/index-j.html
27日	第309回塑性加工シンポジウム(東京)	日本塑性加工学会	Tel. 03-3435-8301 jstp@jstp.or.jp
30日	第57回塑性加工技術フォーラム(東京)	日本塑性加工学会	杉山 聡 Tel. 03-3435-8301 jstp@jstp.or.jp
2014年7月			
2~4日	表面改質展2014(愛知)	日刊工業 新聞	事業出版部 内山尚忠 Tel. 06-6946-3384 n.uchiama@media.nikkan.co.jp http://www.nikkan-event.jp/nh/
3, 4日	鉄鋼工学セミナー「凝固専科」(神奈川 4号282頁 申込締切6月3日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
4日	第61回レアメタル研究会(東京)	レアメタル 研究会	東京大学 宮崎智子 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html
7~9日	第51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 須貝理央 Tel. 03-5395-8081 gakujutsu@jrias.or.jp http://www.jrias.or.jp/
9~11日	第33回電子材料シンポジウム(EMS-33) (静岡)	電子材料シンポ ジウム運営委員会	第33回電子材料シンポジウムWebページにて参加申し込み ems@ems.jp.n.org http://ems.jp.n.org/
10, 11日	第34回防錆防食技術発表大会(東京)	日本防錆 技術協会	第34回防錆防食技術発表大会事務局 Tel. 03-3434-0451 acc@mbf.sphere.ne.jp http://www1.sphere.ne.jp/jacc/hapy34.pdf
10, 11日	第55回塗料入門講座(東京)	色材協会	事務局 Tel. 03-3443-2811 seminar@jscm.or.jp
24, 25日	第48回X線材料強度に関するシンポジウム(大阪)	日本材料学会	事務局 船越英子 075-761-5321 jimu@jsms.jp
26日	鉄鋼プレゼンス研究調査委員会「鉄の技術と歴史」研究フォーラム第 19回公開研究発表会(3号213頁)	日本鉄鋼協会	佐藤公昭 Fax. 047-443-9208 kera_k_sato@hb.tp1.jp
27~1日	第40回鉄鋼工学セミナー(宮城) (3号209頁 申込締切5月8日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
28~30日	日本混相流シンポジウム2014(北海道)	日本混相流 学会	実行委員会事務局 総務 小林一道(北海道大学) Tel. 011-706-6429 kobakazu@eng.hokudai.ac.jp http://www.jsmf.gr.jp/mfsymp2014/
2014年8月			
20, 21日	第6回役に立つ真空技術入門講座(大阪)	日本真空学会	関西支部 真空技術入門講座 担当 深沢博之 Tel. 06-6397-2279 shinku-kansai@e3.eei.eng.osaka-u.ac.jp
21, 22日	鉄鋼工学セミナー「腐食・表面処理専科」(東京 本号341頁 申込締切7月25日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
24~28日	国際材料研究学会連合ーアジア国際会議2014(福岡)	日本MRS	事務局 室井 Tel. 045-263-8538 iumrs-ica2014@mrs-jorg http://www.iumrs-ica2014.org/

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
26~29日	Dynamics and Design Conference 2014(東京)	日本機械学会	大竹英雄 Tel. 03-5360-3505 otake@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/conference/dmconf14/index.html
28~30日	日本実験力学学会2014年度年次講演会(兵庫)	日本実験力学学会	兵庫県立大学 格内 敏 Tel. 0792-67-4838 jikken@eng.u-hyogo.ac.jp http://jsem.jp/
28~30日	平成26年度工学教育研究講演会(広島)	日本工学教育協会、中国・四国工学教育協会	日本工学教育協会 Tel. 03-5442-1021 2014_jsee_conference@jsee.or.jp https://www.jsee.or.jp/muvoc4vm0
30日	第2回「エネルギー検定(筆記試験)」(関東:東京、中部:愛知、関西:大阪)	日本エネルギー学会、エネルギー資源学会	日本エネルギー学会事務局 大瀧 哲 Tel. 03-3834-6456 ootaki_jie1921@jie.or.jp
31日	平成26年度 高温プロセス部会 博士後期課程学生を対象とした国際会議等参加費支援 第1期申込締切(4号278頁)	日本鉄鋼協会	学術企画グループ Tel. 03-3669-5932
31~4日	2nd International Conference High Manganese Steel 2014 (HMnS 2014) (Aachen, Germany)	RWTH Aachen University	info@hmns2014.de http://www.hmns2014.de
2014年9月			
1日	[ISIJ International]特集号「Development of Technologies for the Low Carbon Ironmaking」原稿募集締切(3号208頁)	日本鉄鋼協会	東北大学 植田 滋 Tel. 022-217-5159 tie@tagen.tohoku.ac.jp
1, 2日	鉄鋼工学セミナー「精錬プロセス解析専科」(宮城 4号283頁 申込締切8月1日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
4, 5日	鉄鋼工学セミナー「水素脆化専科」(東京 本号342頁 申込締切7月25日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
10~12日	12th China International Coking Technology and Coke Market Congress 2014(Hilton Zhengzhou, China)	China Iron and Steel Association China Coking Industry Association	Mr. Willson Chiu or Miss Iris Zeng chiu@mcchina.org.cn http://www.coke-china.com/en/
18, 19日	鉄鋼工学セミナー「強化機構専科」(神奈川 4号284頁 申込締切8月18日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
19日	第62回レアメタル研究会(東京)	レアメタル研究会	東京大学 宮崎智子 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html
24~26日	第168回秋季講演大会(名古屋 本号332頁)	日本鉄鋼協会	学術企画グループ Tel. 03-3669-5932
2014年10月			
27, 28日	第58回材料工学連合講演会(京都)	日本学会議 材料工学委員会	日本材料学会 Tel. 075-761-5321 jimu@jsms.jp
27~30日	第11回エコバランス国際会議(茨城)	日本LCA学会	第11回エコバランス国際会議事務局 末次 Tel. 03-3503-4681 EcoBalance2014@sntt.or.jp http://ilcaj.sntt.or.jp/EcoBalance2014/
2014年11月			
1~6日	The 9th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics(New Delhi, India)	日本実験力学学会	和歌山大学 藤垣元治 Tel. 073-457-8176 isem9@jsem.jp http://jsem.jp/ISEM9/
3~6日	材料の組織と特性部会 第4回国際鉄鋼科学シンポジウム The 4th International Symposium on Steel Science(ISSS 2014) (京都 本号343頁)	日本鉄鋼協会	九州大学 津崎兼彰 Tel. 092-802-3059 ktsuzaki@mech.kyusyu-u.ac.jp http://www.steelscience.org/
4~6日	IAS Steel Conference 2014(Rosario, Argentina)	IAS	conferencia2014@siderurgia.org.ar http://www.siderurgia.org.ar/conf14/home
6~8日	第32回疲労シンポジウム・第3回日中合同疲労シンポジウム(岐阜)	日本材料学会	船越英子 Tel. 075-761-5321 jimu@jsms.jp
18~21日	Plasma Conference 2014(新潟)	日本物理学会(領域2)、プラズマ・核融合学会、応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会	プラズマ科学連合 Tel. 052-735-3185 plasma@jspf.or.jp http://www.jspf.or.jp/PLASMA2014/
28日	第63回レアメタル研究会(東京)	レアメタル研究会	東京大学 宮崎智子 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html
2015年1月			
9日	平成26年度 高温プロセス部会 博士後期課程学生を対象とした国際会議等参加費支援 第2期申込締切(4号278頁)	日本鉄鋼協会	学術企画グループ Tel. 03-3669-5932
9日	第64回レアメタル研究会(東京)	レアメタル研究会	東京大学 宮崎智子 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html
2015年3月			
13日	第65回レアメタル研究会(東京)	レアメタル研究会	東京大学 宮崎智子 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html
2015年6月			
15~19日	○ METEC InSteelCon and ESTAD 2015 (Düsseldorf, Germany)	Steel Institute VDEh	TEMA Technologie Marketing AG metec@tema.de http://www.metec-insteelcon2015.com

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
2015年10月			
5～8日	○Asia Steel International Conference 2015 (Asia Steel 2015) (横浜)	日本鉄鋼協会	asiasteel2015@issjp.com http://www.asiasteel2015.com/
2016年6月			
12～15日	SCANMET V - 5th International Conference on Process Development in Iron and Steelmaking (Luleå, Sweden)	Swerea MEFOS	lotti.jarlebro@swerea.se http://www.scanmet.info

総 合

第168回秋季講演大会 講演募集案内

- ・ 前回より講演申込および原稿送信方法が変更になりました。講演原稿PDFは、これまでのように電子メールに添付するのではなく、講演申込ページから送信して下さい。
- ・ 会場には発表用PCの用意はありません。発表者は必ずご自身で発表用PCをご持参下さい。
- ・ 台風、地震などの天災地変、公共交通機関不通などの非常事態、もしくはその他余儀なき理由によって講演大会の開催を中止する場合、可能な限りホームページのトップページ(<https://www.isij.or.jp/>)に「緊急のお知らせ」として掲載しますので、各自ご確認ください。

1. 会期：2014年9月24日（水）～26日（金）
2. 会場：名古屋大学 東山キャンパス（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）
3. 詳細：学生ポスターセッション申込につきましては、336頁をご参照下さい。

	講演申込および原稿提出締切期日（厳守） 下記の締切までに必ずホームページにアクセスし、申込手续を行って下さい。なお、プログラム編成および講演概要集「材料とプロセス」作成の都合上、期限を過ぎてのお申込みはいっさいお受けできません。
一般講演 予告セッション 共同セッション	講演申込、原稿提出とも ※2014年7月3日（木） 17：00まで
討論会 国際セッション	講演申込、原稿提出とも ※2014年6月5日（木） 17：00まで 国際セッションの講演申込書および原稿は英語で作成願います。
講演申込方法	①1タイトルにつき1回、申込をお願いします。 →連報原稿につきましても、一報ごとに1回ずつ講演をお申込下さい。 ②講演大会講演申込コード表につきましては、ホームページ上の講演申込画面にてご確認ください。
講演原稿作成形式 ¹⁾	①PDFファイル形式 ²⁾ →講演申込時の発表タイトルと講演原稿のタイトルは必ず同一にして下さい。 ②原稿枚数:A4サイズ1枚（討論会、国際セッションは4枚以内） ※2014年春季大会より、講演原稿は必ずホームページからファイル送信していただくことになりました。 従来のようなE-mailでの送信はお受けできませんので、ご注意下さい。
その他	・ 投稿原稿の著作権（著作権法第27条または第28条に規定する権利を含む）は受付年月日より本会に帰属します。「材料とプロセス」の発行日は、9月1日です。 ・ 締切後の原稿差し替えおよび取り消しはお受けできません。必要な所属機関内手続き等はお済ませの上、原稿を提出願います。 ・ 申込データをもとに講演プログラムを作成します。プログラムには、氏名、所属、題目、発表時間、発表会場が掲載されます。プログラムは、ホームページ上での公開、「材料とプロセス」への掲載、「ふえらむ」付録への掲載を行います。なお、申込データは講演大会に関する業務以外には使用しません。

- 1) 具体的な講演原稿の書き方については、338頁の『講演原稿の書き方』をご参照下さい。
- 2) PDF形式での原稿作成方法については、335頁の『PDF原稿作成要領』をご参照下さい。

編集後記

新年度がスタートしてから1か月、皆様いかがお過ごしでしょうか。本誌が皆様のお手元に届く少し前に本原稿を書いておりますが、本日、大学の卒業式が行われました。夢や希望を持って新しい生活をスタートした卒業生が、新天地で元気に活躍してくれることを願っております。例年、新年度を迎えた4月のキャンパスはとても賑やかですが、5月に入ると落ち着いてきて、少しずつ静けさが戻ってまいります。また、この時期、なかなか思うようにいかないとか、期待と違うとか悩む学生も少しずつ出てきたりします。昨年、プロ野球で楽天イー

グルスが感動的な日本一を成し遂げました。記録を振り返りますと、3月29日に開幕し、およそ1か月後の4月末の順位は最下位でした。しかし、7月4日に首位となってからは、一度も順位を下げず、リーグ制覇しております。このことから、スタートで少し出遅れても、十分追いつき、追い越せるチャンスがあることがわかります。いろいろと煮詰まった時には、リラックスした気分で「ふえらむ」を読んで、気分転換をされてはいかがでしょうか？新しい発見があるかもしれません。

(T.M.)

会報委員会 (五十音順)

委員長	山本 三幸 (新日鐵住金 (株))		
副委員長	梅澤 修 (横浜国立大学)		
委員	遠藤 茂 (JFEスチール (株))	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))	戸田 佳明 (物質・材料研究機構)	戸高 義一 (豊橋技術科学大学)
	丹羽 誠 (大同特殊鋼 (株))	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 (本体価格3,810円＋税)

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan / Tetsu-to-Hagané : Unit Price ¥3,810

1996年5月10日第三種郵便物認可 2014年4月25日印刷納本、2014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 業務執行理事・専務理事 脇本眞也

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 2014 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

ガラス物性データベース SciGlass 7.7

価格(税別) ¥700,000.- (一般向け) ¥400,000.- (教育機関向け)

■ガラス

252,000件の酸化ガラス、15,860のハロゲン化ガラス、3,3808のカルコゲナイドガラスなど338,101件のガラス。

■物性

1,000,000件以上の実測値と合成法、測定法の情報。

■物性推測計算

100通り以上の推測法で16種類の物性を推測。実測値との比較プロット。

■最適ガラスの検索

■光学スペクトルデータ (UV, NIR)

Glass #	SiO ₂	Na ₂ O	logD	α, g/cm ³	n _D ²⁰ , n _D ²⁵	n _D ²⁰ , n _D ²⁵	T _g , °C	T _m , °C
14075	40.12	40.15	-	2.552	1.54	1.52	430	460
14080	47.65	44.25	-	2.576	1.75	1.67	456	491
14081	47.15	42.37	-	2.584	1.73	1.66	462	491
14082	46.52	41.14	-	2.562	1.66	1.72	462	501
14083	46.23	39.40	-	2.540	1.67	1.69	479	521

Comp	%
SiO ₂	29.68
B ₂ O ₃	10.74
La ₂ O ₃	5.82
BeO	20.34
CoO	3.10
TiO ₂	16.83
ZnO	3.40

Property group: Viscosity
log₁₀ at 1200°C
Method: Priven-2000

システムプラットフォーム: Windows 2000/XP/Vista/7

化学プロセス用の物性データベース

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

価格(税別) ¥350,000.- (一般向け) ¥60,000.- (教育機関向け)

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(DIADDEM)付きのスタンドアロンシステムです。

おもな機能 (DIADDEM)

- 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式の立体表示
- 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)

25,000件のセラミックス状態図データベース

ACerS-NIST

Phase Equilibria Diagrams, Version 4.0

価格(税別) ¥160,000.- マルチユーザー ¥260,000.-

検索条件

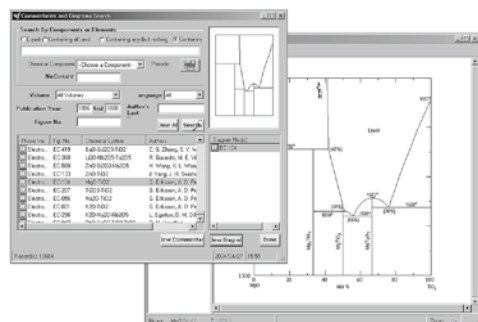
- 成分系、元素記号
- 著者、出典誌名、出版年
- 状態図番号

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), Phase Diagrams for Zirconium + Zirconia Systems and Phase Diagrams for Electronic Ceramics Vol.15)



システムプラットフォーム: Windows XP/Vista/7

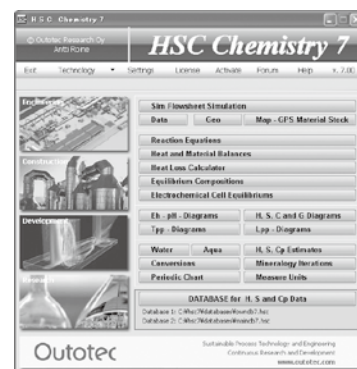
化学反応/平衡計算ソフトウェア

HSC Chemistry for Windows, Ver.7

価格(税別) ¥300,000.-

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、鉬石、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ほかは、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.

グリーブル試験機シリーズ



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
ジャパン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