

ふえらむ

*Bulletin of
The Iron
and Steel
Institute of
Japan*

Vol.18 / No.4 / 2013

(一社)日本鉄鋼協会会報

ISSN1341-688X

鉄と鋼

Tetsu-to-Hagané

Vol.99 / No.4 / 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)

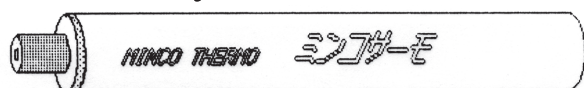


ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。
炉外精錬装置 脱ガス装置 電気炉 レードル タンディッシュ CCモールド
高炉出鉄樋 トピードカー 溶銑予備処理などあらゆる場所から採取できます

■ 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.18 (2013) No.4

C O N T E N T S

目 次

Techno Scope	太陽電池の製造に欠かせないソーワイヤ	170
入門講座	物理分析入門 ー初めて使う人のためにー1 物理解析の基礎と解析手法の選び方 佐藤 馨	174
躍 動	プロセス制御の開発を通じて 小笠原知義	182
アラカルト	産学連携による鉄鋼工学人材育成のための指針 ー平成24年度「鉄鋼工学セミナー」参加者による大学・社内教育アンケート調査結果ー 小島 彰、鈴木信邦	186
会員へのお知らせ		200
海外鉄鋼関連最新論文		215

会員アンケート協力をお願い

「個人会員向けサービス向上のための現状およびニーズ調査」のアンケートを行っております。
アンケートは本会ホームページ (<https://www.isij.or.jp/>) からご回答頂けます。
詳しくは本号の「会員へのお知らせ」ページをご覧ください。

創 立 1 0 0 周 年 事 業

現状およびニーズ調査の
アンケートにご協力願います



ホームページ <http://www.isij.or.jp>



マルチワイヤソー装置によるシリコンインゴットの切断工程(上)、使用されるソーワイヤ(下)
(写真提供:旭ダイヤモンド工業(株))

太陽電池の製造に 欠かせないソーワイヤ

再生可能エネルギーの代表格である太陽光発電への期待は世界各国で高まっており、太陽光発電システムの導入量は年々増加している。発電素子である太陽電池は、シリコンインゴットをスライス切断してウェーハを製造するが、この工程で使用する工具がソーワイヤである。太陽電池の生産性や寸法精度に直結するため、ソーワイヤには高い品質が求められ、清浄度に優れた高強度線材が使われている。

太陽光発電の市場環境の変化

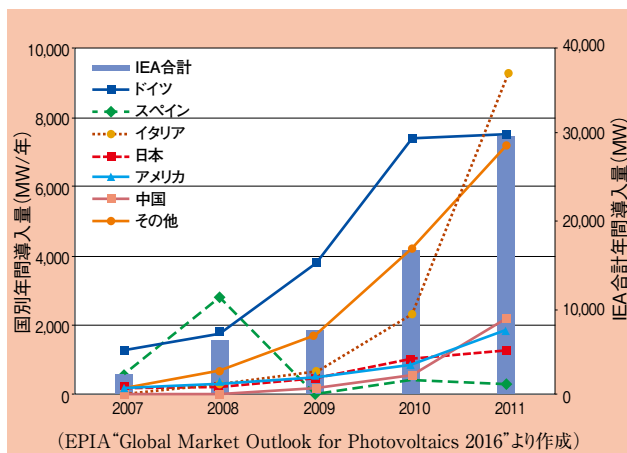
メガソーラーという言葉が広く知られるようになったのは2011年の東日本大震災以降のことだろうか。メガソーラーとは、出力が1MW以上の太陽光発電施設である。メンテナンスが容易、建物屋上にも設置できるなどの利点から、一般企業や自治体が増加している。日本では震災以降、再生可能エネルギーへの社会的な期待が高まり、2012年からは事業目的の全量固定価格買い取りが始まり、メガソーラー普及の後押しとなっている。

今から10年ほど前まで、日本は太陽光発電システムの累積導入量で世界一を維持してきた。しかし2005年にドイツがFIT (Feed-in Tariff: 固定価格買取制度) を導入し世界一となった。この広がりがスペインなど欧州各国に波及し、世界的には年率40%以上の成長を遂げた。リーマンショックなど一時的に停滞した時期もあったが、FITの広がりはさらに加速し、その後チェコやイタリアなどで導入量が大きく伸びている。また、パネル

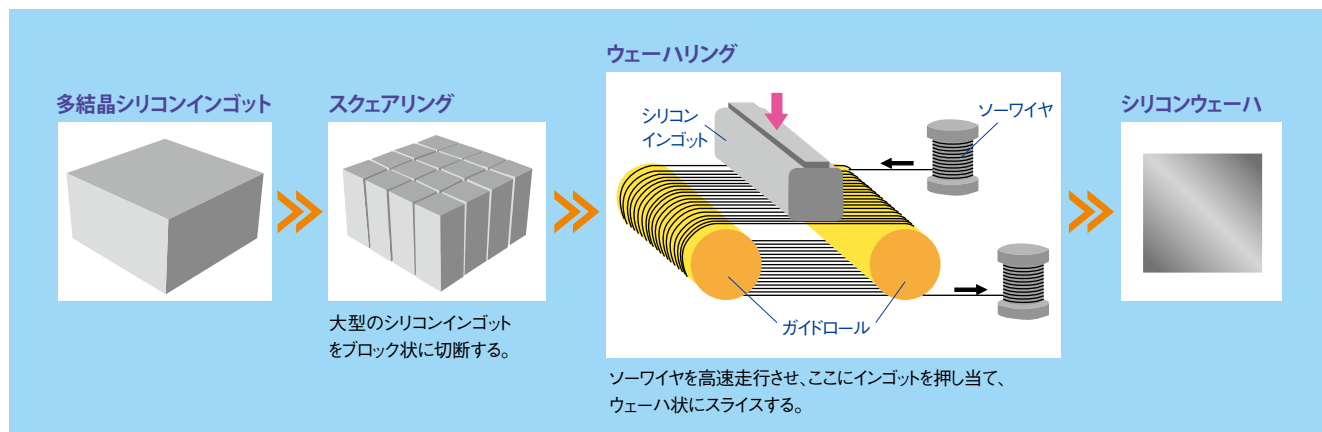
の生産ではここ数年中国メーカーが多数参入し、今では世界の生産量の半分以上を占めるといわれている。

これまでの太陽光発電システムの普及の道のりには、各国の導入支援制度の影響や急速に拡大した市場であることから、その成長は必ずしも安定していない。しかし、世界共通の

■世界各国の太陽光発電システム導入量の推移



■太陽電池用シリコンインゴット(多結晶シリコン)の加工工程



喫緊の課題である地球温暖化対策の有効な対策として、再生可能エネルギーへの期待は大きく、長期的に見れば太陽光発電市場の成長は今後も続くことだろう。

シリコンウェーハをスライスするソーワイヤ

太陽光発電には、太陽電池が必要である。太陽電池は太陽の光エネルギーを吸収して直接電気に変えるエネルギー変換素子であり、素材や構造によって、結晶系(単結晶、多結晶)シリコン、薄膜系シリコン、化合物系、有機物系などいろいろな種類がある。このうち一般的なものは結晶系(単結晶、多結晶)シリコンである。

材料となるシリコンインゴットは、ウェーハリングと呼ばれる工程で薄くスライス切断される。

シリコンインゴットの切断では、以前は内周刃を用いたスライス切断が多く使われていた。これは、ステンレス製の薄板の中央を円形に空いたドーナツ形に加工し、くりぬいた内径に刃先をつ

けた砥石(IDブレード)を用いて1枚ずつ切断するものである。

これに替わり、現在多く使われているのがマルチワイヤソー装置である。マルチワイヤソー装置のスライス切断工程は、針金を張ったゆで卵のスライス器を想像するとわかりやすい。ゆで卵を、平行に張った何本かの針金でスライス切断する。ゆで卵にあたるのがシリコンインゴットで、針金にあたるのがソーワイヤである。ソーワイヤは高強度の線材からできている。

実際のマルチワイヤソー装置では、1本のソーワイヤを2つのガイドロールの間に張り、ソーワイヤを走行させてシリコンインゴットを切断する。ガイドロールには、ソーワイヤが通る溝が約500本以上も平行に付けられるので、約500枚以上のウェーハを1回で作ることができる。ボビンに巻かれた長いソーワイヤは装置の片側から供給され、溝に沿って幾重にも張られ、もう片側で巻き取られる。その長さは、長いものでは50km以上になる。

最近では、高価なシリコンインゴットからより多くのウェーハが得られるように、ウェーハの薄型化が進んでおり、厚さ160～200 μm が主流となっており、多いものでは千数百枚のウェーハを一度に切断することができるものもある。

ソーワイヤで切断するウェーハの種類

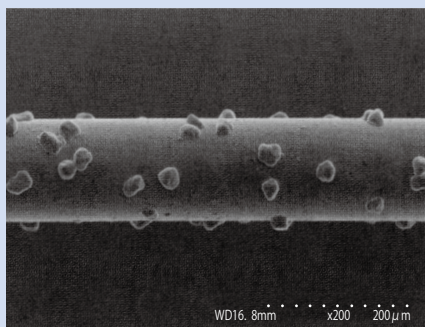
ソーワイヤでスライスするウェーハには、太陽電池や半導体デバイスに使われるシリコンを始め、LEDに使われるサファイヤ、パワーデバイス用に使われるSiCなどがある。同じシリコンでも、太陽電池向けが純度99.9999%(6N)以上なのに対し、半導体向けは99.999999999%(11N)以上と、グレードは異なる。これらのうち量的には圧倒的に太陽電池向けが多い。また、太陽電池向けでは半導体向けに比べ、純度より生産効率が重視される傾向にある。

進化するソーワイヤと切断技術

現在、ソーワイヤの方式としては、オイルと砥粒を混ぜたスラリーをワイヤに絡ませながら走行させて加工する「遊離砥粒ワイヤ」が一般的である。遊離砥粒ワイヤ方式では、多数枚を同時切断できる、大口径化対応がしやすい、基板の薄型化に対応できるなどの特徴がある一方で、廃棄物が発生する(ワイヤ、オイル、砥粒など)、などの問題もある。

遊離砥粒ワイヤに変わるものとして最近注目されているのが「固定砥粒ワイヤ」である。これは、ダイヤモンド砥粒を鋼線に電着固定したワイヤである。固定砥粒ワイヤ方式の長所は、加工時間が短縮できる、細径のワイヤが使用できるため切り代を小さくできる、産業廃棄物が少ない、などである。ただし遊離砥粒

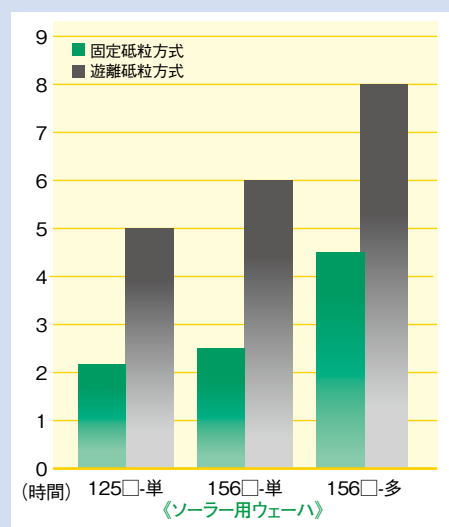
■固定砥粒ワイヤ



固定砥粒ワイヤの形状。銅線にダイヤモンド砥粒をニッケルめっきによって固定したもので、砥粒保持性が高い。シリコン基板の場合、素線(φ0.12mm)に砥粒(φ0.01~0.02mm)が固定されている。

固定砥粒ワイヤの用途と代表的なスペック

被削材	主な用途	素線径 (mm)	粒度 (μm)	仕上径 (mm)	供給長さ
シリコン	・太陽電池 ・半導体デバイス	φ0.12	10-20	φ0.145	10~50km /リール
サファイヤ	LED	φ0.18	30-40	φ0.250	



固定砥粒ワイヤと遊離砥粒ワイヤの切断時間の短縮例。このワイヤでは、ウェーハの径及び単結晶・多結晶の違いにかかわらず、固定砥粒ワイヤの切断時間は極めて短くなっている。

(資料提供:旭ダイヤモンド工業(株))

ワイヤに比べかなり高価であり、今後の普及のためにはコスト低減も大きな課題となっている。

最近ではマルチワイヤソー装置自体の開発が進み、ワイヤ使用量を節約したり、ワイヤにかかる負担を軽減したりするなどの工夫が行われている。また、のこぎりで材木を切るようにワイヤの角度を変化させながら切断する「揺動式」という切断方法が開発されており、硬度の高いサファイヤウェーハでも、所要時間を従来より大幅に短縮することができる。

断線しないソーワイヤへの挑戦

ソーワイヤを使ったスライス切断工程では、切断時間の短縮やウェーハの歩留り向上などが求められる。これを可能にするため、ソーワイヤには、生産効率向上のための細径化や、薄型ウェーハでもひずみのない良好な切断品質を得るためのワイヤの高強度化などが求められる。

これらの要求に対応し、極めて高強度なソーワイヤ用の線材が供給されている。一般的なソーワイヤ用の線材は、フェライト／セメンタイトが層状に並んだパーライト鋼を伸線加工強化したものであり、0.82%Cの共析鋼などC含有量が多いものが使われている。材料にφ5.5mm程度の熱間圧延線材を使用し、スケール除去、皮膜処理の後、乾式伸線、パテンティング、プラスめっき、湿式伸線などを行う。ここまでの工程は、高強度ワイヤとして知られるタイヤ補強用のスチールコードと同じである。しか

し、スチールコードの素線はφ0.15~0.38mmであるのに対し、ソーワイヤはそれよりさらに細いφ0.08~0.20mm程度である。

ソーワイヤ用線材に要求される最も重要な特性は「断線しないこと」である。それは、ソーワイヤが極めて細い上、スチールコードのようなより線ではなく単線であること、またスライス切断時にはソーワイヤに繰り返し曲げ応力と引張応力が作用すること、などの理由による。

たとえば、156mm角のシリコンインゴットをワイヤピッチ約0.3mmで切断する場合、ソーワイヤの全長は10kmにおよび、切断時間は固定砥粒ワイヤでも数時間かかる。この工程の途中でもし断線すると、材料のシリコンインゴットはすべて使用できなくなる。高純度のシリコンインゴットにおいて材料の歩留りを確保するには、ソーワイヤが断線しないことが必須条件である。

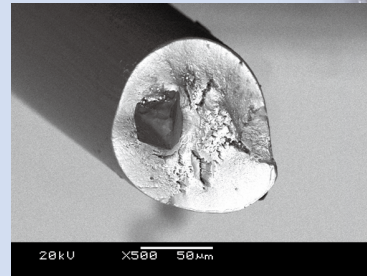
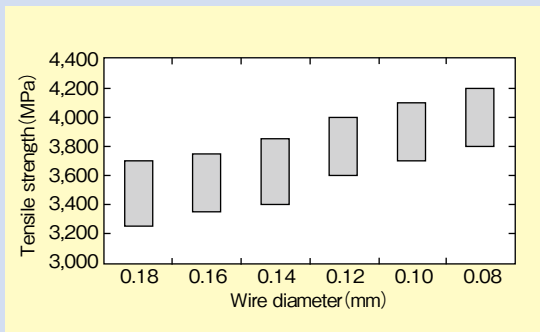
高強度線材に貢献する介在物無害化技術

ソーワイヤの断線を防ぐため、ソーワイヤ用線材ではさまざまな対策が講じられてきた。断線の主な原因は介在物、表面きず、中心偏析などといわれるが、なかでも重要なのは介在物の制御である。線材中の介在物はわずか数十μm程度でも断線の原因となり、ソーワイヤ用線材中の介在物の低減は大きな課題となっていた。

線材中に介在物が混入するルートは、大きく分けて2種類ある。1つ目は、製造工程で耐火物から混入するルートである。し

■ソーワイヤ用線材の開発例

ソーワイヤの引張強度

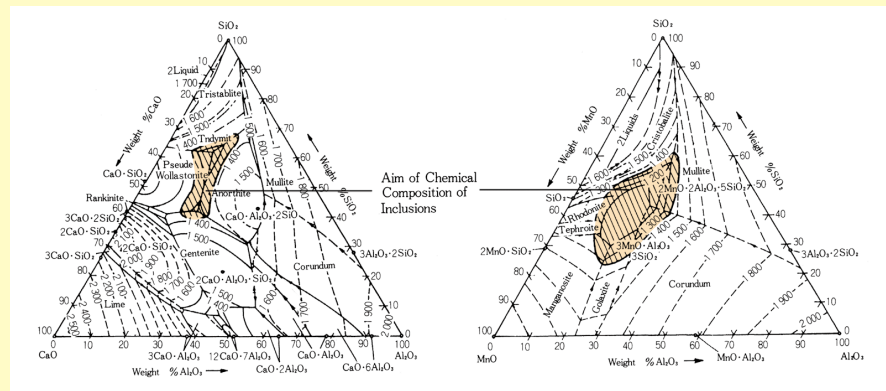


介在物の例。φ0.12mmの中にφ0.03mm程度の非金属介在物が存在する場合がある。



目標介在物組成

ソーワイヤ線材中の介在物は、スラグ起源の $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系と、脱酸生成物起源の $\text{MnO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系に大別される。状態図を見ると、両方の組成系において熱間圧延中に伸長される介在物の組成領域はアルミナ濃度20%近傍である。そこで、スラグ組成をコントロールすることにより、目標とするアルミナ濃度を得て、介在物を無害化することができる。



(資料提供: (株) 神戸製鋼所)

しかし、線材の製造工程では高温の溶鋼を取り扱うため耐火物の使用を避けることは不可能である。そこで、できるだけ溶損しにくい耐火物を選択したり、溶鋼を受ける箇所の耐火物の強度や耐食性を維持する、などの対策が講じられている。

2つ目は、溶鋼に含まれる成分から晶出して介在物となる場合である。代表的な介在物の成分は、硬質のアルミナ(Al_2O_3)などであり、熱間圧延や冷間加工時に伸びにくく壊れにくい性質を持つ。そこで、溶鋼中にあるアルミニウム濃度を低く抑え、さらに、生成する介在物がソーワイヤに害を及ぼさないようにする対策が検討された。

介在物を無害化するための取り組みの1つとして、介在物の融点を低くして延性を高め、それにより介在物をその後の加工工程で小さく破壊された形態とする技術が実用化されている。

ソーワイヤ用線材中の介在物は、スラグ起源の $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系と、脱酸生成物起源の $\text{MnO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系である。両方の組成系において、熱間圧延中に伸長される領域は介在物中の Al_2O_3 濃度20%近傍であることが明らかになった。そこで、スラグを目標組成に精度よくコントロールすることにより、硬質のアルミナを無害化することが可能となった。

もちろん高強度線材共通の品質向上技術として、表面欠陥

を防ぐために連続鋳造工程の制御技術や、鋼片検査の精度向上など、各種の作り込み技術が重要であることはいうまでもない。

鉄鋼製品中で最高強度を誇る線材

ソーワイヤは、スチールコードとならび、現在の鉄鋼製品のなかでも最高の強度レベルを持つ。現在使用されているソーワイヤのうち、最も強度の高いものは約4000MPaに及ぶ。高強度で有名な明石海峡大橋のワイヤでも約1900MPaであり、ソーワイヤ用線材はこれをはるかに超えている。

日本のソーワイヤ用線材の品質は、世界的に定評がある。それを支えているのは、高い清浄度を実現する製鋼技術であり、品質を確保するための作りこみの技術である。

太陽光発電のマーケットが今後伸張していく上で、ソーワイヤメーカー間の競争はまだ激化する可能性がある。ソーワイヤの高強度化や細径化のニーズに応えるため、線材の高強度化や線材中の欠陥の改善への取り組みは今後も続くことだろう。

●取材協力 旭ダイヤモンド工業(株)、(株)神戸製鋼所
●文 杉山 香里



入門講座

物理分析入門—初めて使う人のために— 1

物理解析の基礎と解析手法の選び方

Introduction to Microanalysis
—Principles and How to Choose the Right Method—

佐藤 馨

Kaoru Sato

JFEスチール(株) スチール研究所
主席研究員

1 はじめに

近代製鉄業は分析や計測の進歩と共に発展してきた。溶鋼の正確な温度計測の必要性が物理学における量子力学、黒体輻射の研究と同期していた点は興味深い¹⁾。1960年代に入ると開発されたばかりの電子線マイクロアナライザ (EPMA, 開発当時はXMA; X線マイクロアナライザと呼ばれた) や透過電子顕微鏡 (TEM) を鉄鋼会社がいち早く導入したことから、鉄鋼業が新たに開発された分析・解析技術の導入に極めて積極的だったことがわかる²⁾。大同製鉄 (現 大同特殊鋼) や日本鋼管 (現 JFE スチール) が標準仕様で120kVであった最高加速電圧を150kVまで高めたTEMを1962年には導入している。1975年には加速電圧100万ボルトの超高圧透過電子顕微鏡を新日鐵 (現 新日鐵住金) が民間企業で唯一導入している。

筆者が鉄鋼会社に入社した1980年代は、超高真空を基本とした表面分析装置が実用的に使える時代を迎え、それらを物理解析の専門家が鉄鋼材料の解析に活用し始めた時代であった。また、電子顕微鏡に分析機能が付加され、本格的な分析電子顕微鏡の時代に入った。

実用材料の研究、開発、安定製造、クレーム処理など様々な場面で、材料の分析・解析の重要性が増している。手法は日々高度化しているが、利用者があれこれ悩まなくてよいように、装置メーカーは操作やデータ解析の簡易な装置を開発している。装置によっては、測定後にレポートまで出力するものもある。ある面で、高度な分析・解析装置はプリンタやスキャナと変わらないコンピュータの“周辺機器”にすぎないとの見方もある。しかし、現実には装置任せでは、材料の真の姿を見誤る可能性がある。手法の原理に関する知識とデータ解釈の基本や危険性をしっかり認識して各手法の限界を知ることが、解析結果を基に特性発現の機構や不良発生原因を考察していく上で必須である。この視点から日本金属学

会関東支部では、平成17年に「身近な分析技術 ブラックボックス化にひそむ落とし穴」³⁾ という企画を実施し、多くの参加者を集めた。

今月から始まる「ふえらむ」の物理分析入門—初めて使う人のために—の連載の第一回として本解説では、物理解析の基礎と解析手法の選び方について解説する。今後の連載で各手法の特徴と活用する際の注意事項を更に学んで頂きたい。

2 物理解析概論

2.1 物理解析の原理は難しくない

物理解析手法の原理は簡単である。図1に示したように、測ろうとする試料にエネルギーや波長を制御した線源 (一次ビーム) を照射し、材料との相互作用によって発生した信号を検出することで試料に関する種々の情報を得ている。

図2、3、4にそれぞれ電子、X線、イオンを一次ビームとする解析手法の例を示した。図中で試料から出ている信号の内、実線で示したものは、試料により一次ビームが散乱・回折されたもの、破線で示したものは試料から二次的に発生している信号である。

表1に本入門講座で紹介する主な物理解析手法について、一

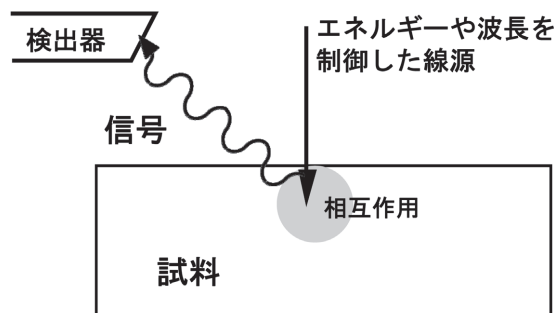


図1 物理解析の概念図

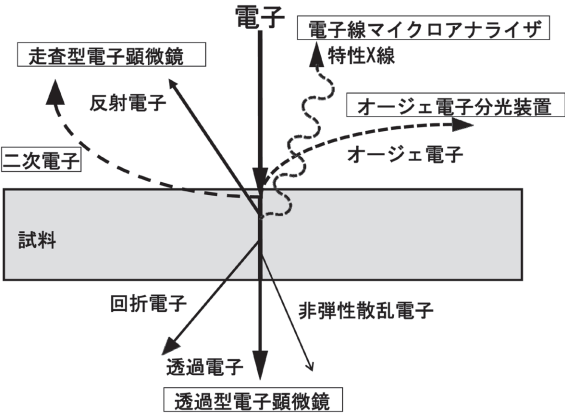


図2 電子を固体に入射させたときに発生する信号と解析装置名称

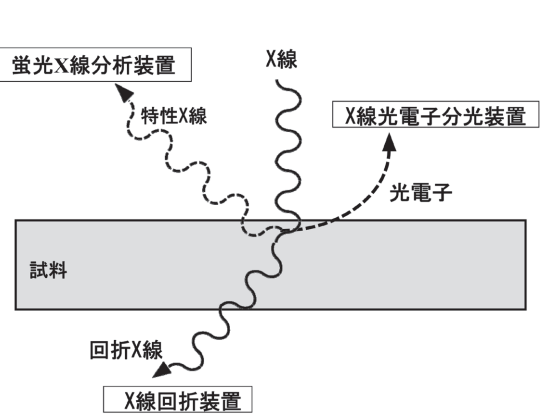


図3 X線を固体に入射させたときに発生する信号と解析装置名称

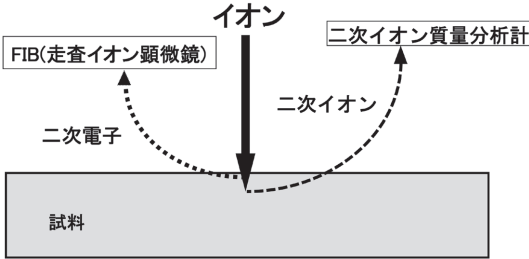


図4 イオンを固体に入射させたときに発生する信号と解析装置名称

表1 物理解析手法一覧表

装置（略号）	入射線	測定している信号	得られる主要情報	備考
走査電子顕微鏡 (SEM)	電子	二次電子 反射電子	表面形状	真空機器 低真空可能*
分析走査電子顕微鏡 電子線後方散乱パターンEBSP		特性X線 回折電子	微小領域の構成元素 結晶方位 結晶構造 相同定	
透過電子顕微鏡 (TEM)	電子	透過電子 回折電子	内部微細構造 極微小領域の結晶構造	真空機器 環境制御型可能*
分析(透過)電子顕微鏡 (AEM)		特性X線 非弾性散乱電子	極微小領域の構成元素 極微小領域の構成元素、化学結合	
X線回折装置 (XRD)	X線	回折X線	結晶構造 相同定 集合組織 応力	真空不要 放射光施設あり*
蛍光X線分析法 (XRF) (FX)	X線	特性X線	構成元素・平均組成	真空不要
電子線マイクロアナライザ (EPMA) (X線マイクロアナライザ, XMA)	電子	特性X線	微小領域の構成元素	真空機器
オージェ電子分光装置 (AES) 走査オージェ電子顕微鏡 (SAM)	電子	オージェ電子	表面の構成元素 (深さ方向の元素分布)	超高真空機器
X線光電子分光装置 (XPS) (ESCA)	X線	光電子	表面の構成元素 元素の化学結合状態 (深さ方向の元素分布)	超高真空機器 イオン研磨使用
二次イオン質量分析計 (SIMS) (イオン マイクロアナライザ, IMA)	イオン	二次イオン	表面の構成元素(含微量元素) 分子量 深さ方向の元素分布	超高真空機器 ソフトイオン化
グロー放電発光分光分析法 (GD-OES)	Arプラズマ	光（発光）	(平均) 組成 深さ方向の元素分析	真空機器
赤外吸収分光法 (IR)	光（赤外線）	光（赤外線吸収率）	分子振動から物質を決定	真空不要
ラマン分光法	光	非弾性散乱光	分子振動から化合物決定	真空不要
その他				
走査プローブ顕微鏡 (SPM) アトムプローブ電界イオン顕微鏡 (AP-FIM) 中性子散乱・回折 (NS, ND) 集束イオンビーム精密加工 (FIB)	プローブ（針） 針状試料に電界 中性子 イオン	プローブと試料間の力 イオン 散乱・回折中性子 (二次電子)	形状と物性値 原子レベルの分析 結晶情報 クラスターサイズ 微細加工, 断面観察試料作製, 形態観察 (SIM)	真空不要 超高真空機器と真空不要機器 超高真空機器

略号のフル表記（手法名で記載）

SEM(Scanning Electron Microscopy), TEM(Transmission Electron Microscopy), AEM(Analytical (Transmission) Electron Microscopy), XRD(X-ray Diffraction), XRF (X-ray fluorescence), FX(Fluorescent X-ray spectroscopy), EPMA(Electron Probe Microanalysis), XMA (X-ray Micro Analyzer), AES(Auger Electron Spectroscopy), SAM(Scanning Auger Microscopy), XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy), ESCA(Electron Spectroscopy for Chemical Analysis), SIMS(Secondary Ion Mass Spectroscopy), IM(M)A(Ion Microprobe (Mass) Analysis), GD-OES (Glow Discharge-Optical Emission Spectroscopy), IR (infrared spectroscopy), Raman spectroscopy, SPM (Scanning Probe Microscopy), AP-FIM (Atom-Probe Field Ion Microscopy), NS (Neutron Scattering), ND (Neutron Diffraction), FIB (Focused Ion Beam), SIM (Scanning Ion Microscopy)

次ビーム（線源）、信号、得られる情報をまとめた。それらの手法の略記とその英語名称も示した。これらの手法により、形や大きさなどの形態状態、結晶情報、組成・元素情報や化学結合状態の情報が得られる。手法は、顕微鏡法、回折法、分光法に分類できる。今日これらの複数の機能を有する装置が多い。例えば、もともと顕微鏡法として誕生した走査電子顕微鏡（SEM）にはX線分析装置が装着され、局所分析可能な手法に強化された。さらにEBSP（EBSD）：Electron Back-Scattering Pattern（Diffraction）が広く普及したことで、SEMを用いた結晶方位解析や相同定が日常的に用いられるようになった。今日、分析SEM、分析TEM共に顕微鏡法、分光法、回折法を兼備した手法となっている。

中性子回折法、アトムプローブ電界イオン顕微鏡（AP-FIM：Atom Probe Field Ion Microscope）と走査プローブ顕微鏡（SPM：Scanning Probe Microscopy）は今回の基礎講座では独立したテーマとして扱わないが、表中には斜体で示した。

メスバウア分光法⁴⁾、核磁気共鳴（NMR：Nuclear Magnetic Resonance）は鉄鋼材料の解析に有効な方法である。前者では、鉄鋼の常磁性相と強磁性相のそれぞれに対応した γ 線の共鳴吸収を測定することで、オーステナイト相の分率や鉄の酸化状態などを評価できる。NMRは強磁場中で試料の原子核が特定の周波数の電磁波と相互作用することを活用した構造解析手法である。生体や有機材料に広く用いられてきたが、無機系材料への有効性も報告されている⁵⁾。鉄鋼分野では、石炭⁶⁾やスラグ⁷⁾などの構造解析に活用されている。陽電子を活用した空孔などの解析⁸⁾や、宇宙線ミュオンを使った計測技術開発⁹⁾の取り組みもなされている。

個々の物理解析機器は万能ではないため、研究目的にあった装置を選ぶ、あるいは手法を複数組み合わせ、材料に関して総合的な情報を取得することが肝要である。詳しくは3章物理解析手法の使い分けで述べる。

最近学会発表や論文でも手法やデータの用語の間違いが目につく。そのいくつかを表2に記載した。X線回折（XRD）図形をX線回折スペクトルと表記するケースや、X線かいせきと読む事例がみられた。正しい用語の使用をお願いしたい。

表2 誤用が見られる用語と正しい用語

誤用	正しい用語
X線回析	X線回折
X線回折分析	X線回折（かいせつ）と読む
X線回折スペクトル	X線回折図形 X線回折チャート
電子回折像	電子回折図形 電子回折パターン
電界放射	電界放出

2.2 化学分析と物理解析の比較

化学分析は1mm³程度以上の試料を用いて、その体積中の各元素の組成を精度よく測定することに主眼をおいている。これに対して、物理解析では局所領域の情報を測定することに主眼をおいており、場所による不均一性を分析できる点が特徴である。EPMAでは、典型的な分析領域は（数 μ m）³のオーダーであり、これは化学分析の100万分の1未満の体積に対応している（図5）。

EPMAと同じように特性X線を分析する蛍光X線分析（XRFもしくはFX）では、入射ビームとしてX線を用いているため、典型的には30mm ϕ ×X線の脱出深さ（ $\sim$ 10 μ m）程度の体積の平均組成を求めている。XRFの測定体積はEPMAの場合の10万倍以上と見積もられる。表面分析法では測定している深さが1nm（1/1000 μ m）オーダーで、極表面からの情報を測定している。

化学分析は標準化が進んでいるのに対して、物理解析手法では、現在ISOの標準化が行われている過程である。各手法の一般的な使い方はあるが、対象とする材料や取得するデータに合わせて測定条件を変えて実験することが多い。実験条件を適切に設定して目的のデータを取得することが重要である。

2.3 空間分解能を決めている因子 一侵入深さと脱出深さ一

2.2と関連した重要なキーワードが侵入深さと脱出深さである（図6）。物理解析は、一次ビームが試料との相互作用により発生した信号を測定しているため、一次ビームが試料中で侵入する深さ、および発生した信号が試料から脱出できる深さの両方が重要となる。この侵入深さと脱出深さの小さい方の値が、用いる手法の分析深さを決める。

図7に加速電圧30kVと10kVの場合の電子の鉄中の侵入深さ¹⁰⁾を示した。加速電圧30kVの場合で侵入深さは3 μ m程度

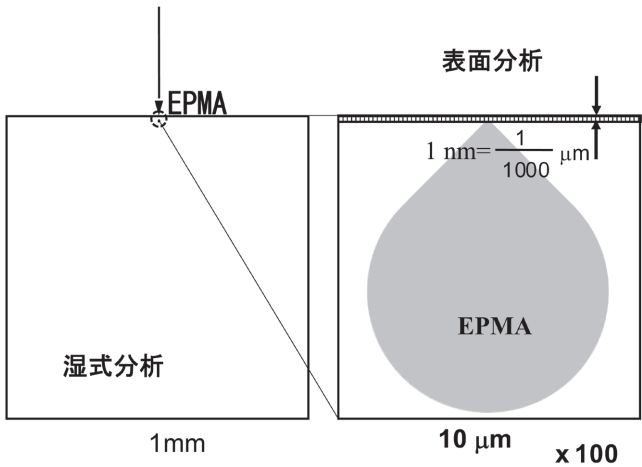


図5 分析領域の比較

である。また、10kVで加速した電子が、試料中でどの程度侵入するかを、Al、Fe、Wに対して計算した結果も示す。侵入深さは軽い元素に対して大きく、重い元素では小さい。SEMの講座で詳しく紹介するが、信号の脱出深さは、図2に示した二次電子では小さく、反射電子では大きい。

鉄に対するX線の侵入深さは、 $\text{MoK}\alpha$ 、 $\text{CuK}\alpha$ 、 $\text{CoK}\alpha$ 、 $\text{CrK}\alpha$ 各線の場合で、 $33\mu\text{m}$ 、 $4\mu\text{m}$ 、 $24\mu\text{m}$ 、 $12\mu\text{m}$ である。このことは、XRDで測定する場合、使用するX線によって測定深さが異なることを意味している。

オージェ電子分光法 (AES) やX線光電子分光法 (XPS) が「表面」分析法とよばれる理由は、検出するオージェ電子もしくは光電子の脱出深さが極めて小さい (図6) ことに起因する。これらの表面分析法で検出している電子の脱出深さは高々数nmである。

電子やイオンは荷電粒子であり、電場や磁場を活用してビームを細く絞れるため微小領域の分析に適する。 γ 線、X線、紫外線、可視光、赤外線などの電磁波を用いた手法では荷電粒子を用いた場合と比べて空間分解能が劣る。しかし手法開発により、赤外吸収分光 (IR) の顕微赤外法では $10\mu\text{m}$ 程

度まで、レーザーラマン分光では $1\mu\text{m}$ オーダーまでの測定が可能である。

表面分析法では表面をスパッタするArイオン銃が付属しており、表面のイオンエッチングを繰り返して深さ方向の元素プロファイルを測定できる。二次イオン質量分析計 (SIMS) は、一次ビームであるイオンが試料をスパッタすることで発生する二次イオンを測定するため、通常測定で深さ方向プロファイルが得られる。 $200\mu\text{m}$ 程度までの大きな深さ方向分析には、またグロー放電で、試料表面をスパッタし、飛び出した元素の発光スペクトルを測定するグロー放電発光分析法 (GD-OES) が適している。溶融亜鉛めっき鋼板などの皮膜組成の迅速分析などに活用されている。また、集束イオンビーム加工装置 (FIB) の普及により、対象とする試料組織の特定領域の微細加工が可能になった。SEMやTEMでFIBを用いた加工によって作製した試料を用いて、深さ方向の観察・分析が可能になった。

2.4 分析感度を決める因子

分析感度あるいは検出感度は、線源、即ち一次ビームの強さ、測定時間、また検出感度などに依存する信号量とバックグラウンドの比 (P/B比) で決まるため単純には記述できない。一般に精度の高い定量分析を実現するためには、強い一次ビームを用いる、測定時間を長くする、感度の高い検出器を用いることが重要である。しかし、その場合、試料の損傷や、測定中の試料移動 (ドリフト)、試料汚染を考慮する必要がある。また、濃度の低いところまで分析できる手法と、少ない原子数を分析できる手法では感度の定義も異なってくる。例えば二次イオン質量分析計 (SIMS) ではppmやppbレベルの微量元素まで検出できる。一方、TEM-電子エネルギー損失分光法 (EELS) やAP-FIMでは原子一個からの信号を検出できる。これらの詳細な説明は各講座に譲ることとする。

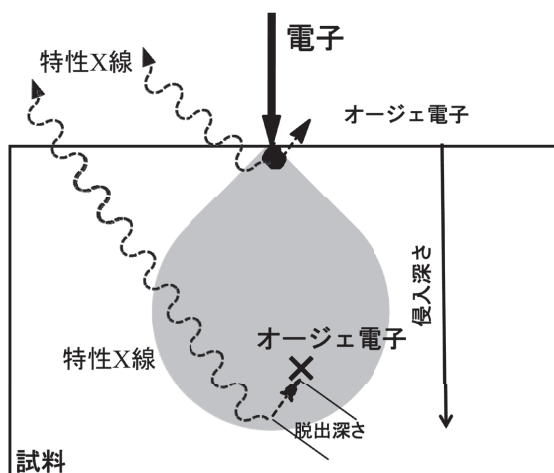


図6 侵入深さと脱出深さ

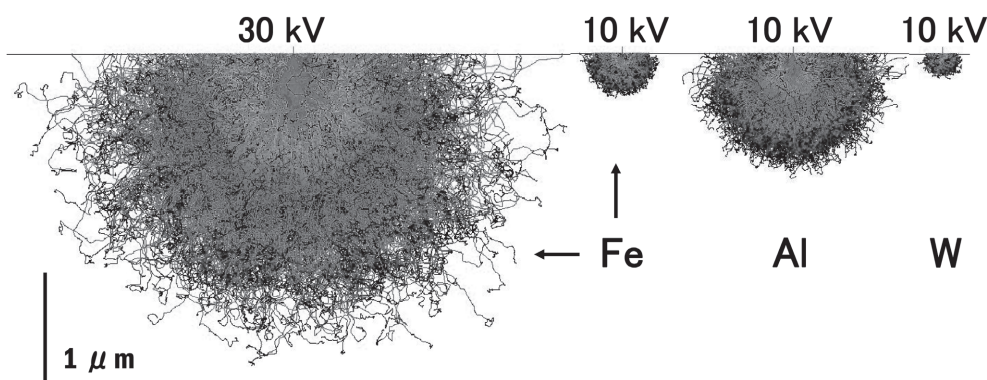


図7 電子のFe、Al、W中の侵入深さ (神田公生氏の走査電顕モンテ・カルロ (3.1/95)¹⁰⁾ を用いて計算)

3 物理解析手法の使い分け

物理解析手法を用いた解析の流れを図8に、得られる情報と空間分解能、深さ分析能力を表3に示す。図8では、成分分析、形態観察・微小分析、相同定・結晶情報、化合物同定に分析目的を分け、種々の手法を関連づけた。表3では広い領域を分析する手法を左側に、より微小な領域を分析する手法を右側に記載した。空間分解能は到達可能な代表的な値を示した。また深さ方向の分析能力についてもある程度わかるようにした。分析領域に対応した鉄鋼の解析対象も示した。

図8と表3を関連づけて、未知試料の解析の流れを説明する。まずは対象材料で起こっている特性の変化や欠陥などが何であるかの情報を整理した上で、目視や実体顕微鏡で試料を観察する。次にSEMのように低い倍率から高い倍率の観察が可能な装置を用いて観察と元素分析を行う。対象とする構造が微細な場合はTEMの解析に進む、あるいは表面の極く薄い層が問題である場合には表面分析法の利用へと進むのが一般的である。深さ方向の元素プロファイルが必要な場

合、深さレンジが大きい順にGD-OES、SIMS、Ar イオンスパッタを用いたXPS、AESの深さ方向分析を行う。また、FIB加工でFIB装置内、SEM-FIB複合装置内、あるいはTEMで深さ方向の構造の直接観察や組成の高空間分解能解析が可能である。近年はソフトウェアの整備で、3次元の構造を再構築して表示できる機能が強化されている。精度の高いバルク試料の成分分析にはXRFを用いる。有機系の皮膜や異物の同定にはIRやラマン分光分析を用いる。なお、一般には、試料の全体像をつかみやすい、SEMとXRDを解析の入り口とするといふ。

物質（相）の決定には回折法が有効である。XRDが一般的であり、実験室でも数10μmの面積までの解析が可能で、放射光を用いれば1μm未満の測定も可能である。微小領域の物質同定には電子回折を用いる。SEM-EBSPでも、結晶方位解析に加えて相の同定も可能である¹¹⁾。一般に物質の同定は既知試料から測定済のデータとの照合で行う。回折法ではICDDデータ¹²⁾との照合、IRではSadtler¹³⁾などのデータベースとの照合を行う。Raman分光でもデータベースがそろいつ

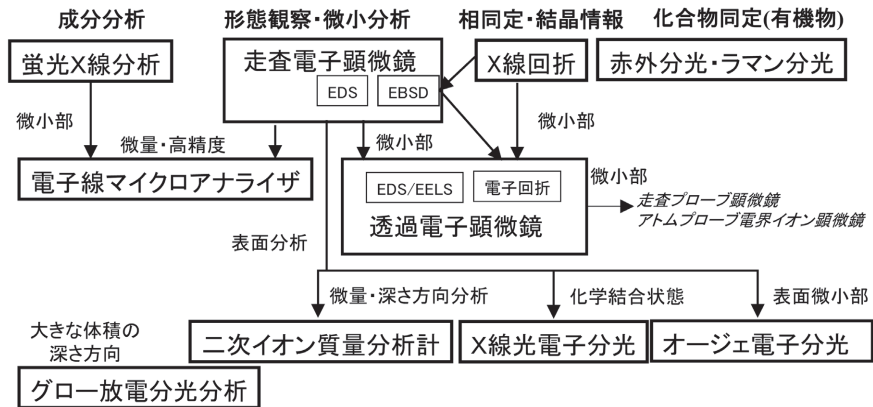


図8 未知試料を解析する場合の一般的な物理解析手法利用フロー

表3 物理解析手法：得られる情報と空間分解能、深さ方向分析能

情報	空間分解能			
	(解析対象例) mm	結晶粒 μm	析出物 μm	界面・粒界 nm
物質の同定				
相の同定・結晶情報(応力・集合組織)	中性子回折	XRD	電子回折	TEM-ED
化合物の同定	IR	Raman	TOF-SIMS	SEM-EBSP
形態観察	中性子 X線 (イメージング)		SEM (EPMA, AES含む) FIB	TEM SPM FIM
元素分析	XRF	EPMA SIMS	SEM-EDS AES(SAM)	TEM(EDS, EELS) AP-FIM
極表面分析 (解析対象例) 深さ方向 自然酸化膜 化成処理膜 電気めっき 溶融めっき スケール・大気腐食さび 深さ方向 nm~μm 数μm ~100μm	XPS		AES(SAM)	↑ FIB-TEM ↓ AP-FIM
化学結合	GD-OES	XPS	XAFS	[AES] [EPMA] TEM-EELS

TOF-SIMS (Time-of-flight SIMS)

斜体字:本講座では取り上げない

つある。化学結合状態の決定も、標準スペクトルとの比較・照合で行われる場合が多い。XPS¹⁴⁾、AES¹⁵⁾、EELS¹⁶⁾などでは各種化合物の測定データがアトラスとして整備されている。

4 物理解析手法利用の一般的な注意事項

ここでは物理解析手法を利用する際の一般的な注意事項について述べる。

4.1 試料の導電性

電子顕微鏡および表面分析手法では、一次ビームと試料の相互作用はすべて表面における荷電粒子（電子やイオン）の出入りを伴う。試料の導電性が悪いと表面に電荷がたまってしまう。このチャージアップ現象は、試料から放出される電子、イオンのエネルギーのずれ、像の乱れ、倍率の異常や分解能の低下をひきおこし、ひどいときには測定が不可能になる。

SEMでは、形状観察だけならAuやPt-Pdを、元素分析も行うならカーボンを蒸着するなど導電処理を施せばよい。表面分析では、目的元素の測定が困難にならないよう、蒸着無しで分析しなければならない。その場合、試料の帯電により、化学結合状態を反映するスペクトルのケミカルシフトに異常が現れ、結合状態の判定を誤る危険性がある。これを回避する手法としてイオンや電子のシャワーを浴びせる方法がある。

4.2 試料の制約

電磁波利用解析、中性子利用解析、走査プローブ顕微鏡の大気型装置等を除く物理解析装置では線源、検出器とも高真空の容器の中に収められている。電子やイオンはガス中を進めないためである。真空装置中ではよく乾燥した試料を用いる必要がある。近年、環境制御型電子顕微鏡の開発でこの制約が回避されてきた。この他、生物観察用に開発されたクライオ（Cryo）電子顕微鏡という、試料を冷却して液中での現象を「凍結」して観察する技術も無機系材料の解析に活用され始めた。この方法は、電子線やイオンビームによる試料損傷の低減にも有効である。

TEMでは、電子が試料を透過するように0.1 μ m程度以下の十分に薄い試料が必要となる。試料を薄膜化する方法として、電解研磨法、イオンミリング法、超薄切片法（マイクローム）が開発されており、FIBも普及している。

4.3 定量性 一元素マッピングの落とし穴

定量値の取り扱いには細心の注意が必要である。例えば、分析電子顕微鏡による定量分析結果をFe75.4637%のように大きな桁数で表示する装置もみられるが、小数点以下2桁以降には意味がない場合が多い。また、表面分析では、分析領域間、試料間の相対比較として分析値を用いるのは問題ないが、分析値の絶対値を議論する場合は検量線を作成するなど工夫が必要である。

EPMAでは見栄えがよいと、元素マッピングを行うことが多い。しかし、点分析、線分析、面分析を比較した場合、通常の使い方では試料の一点当たりの測定時間即ち信号量はこの順に大幅に減少する。そのため、データの信頼性即ち統計的な精度は点分析が最も高く、面分析では最も低い。場合によっては、物理的に全く意味のないマッピングデータが作られる危険性があることに注意する必要がある。

4.4 苦手な元素

水素は測定が難しい元素である。水素の分析はSIMS、AP-FIMや中性子で原理的には可能であるが、水素の鉄鋼中での拡散が速いことなどにより、実際の測定では工夫が必要である。

真空ポンプの油分や試料からの持ち込みによる汚染（コンタミネーション）の問題から、一般にCの定量分析も難しく、分析値の扱いには注意が必要である。

各種分光分析や質量分析では、異なる元素や分子のピークの重なる場合がある。あるいは、分析装置の検出器に起因したサムピークやエスケープピークなどが出現することもある。これらを考慮して正確に元素を決定しなければならない。

5 1990年代以降の手法の発展

1990年代以降、高輝度一次線の活用により測定が高度化してきた。電子顕微鏡では電界放出型電子銃（FEG：Field Emission Gun）の普及によりSEMの解像度が大幅に向上した¹⁷⁾。また、2000年以降、低加速電圧SEMによる最表面観察が強化された¹⁸⁾。TEMではFE-TEMによるナノメートルレベルの分析が実現した。エネルギーフィルタを搭載したTEMが普及し、元素分布をナノメートルレベルで直視できるようになった。高分解能TEM像は球面収差の制約で計算シミュレーションによる画像計算と組み合わせて像解釈がなされてきたが、2005年頃から、球面収差補正TEMが現実のものとなってきたことにより直接解釈可能なサブオングストローム分解能の観察とサブナノメートルの分析が可能な時代に入ってきた。また、TEM観察においては観察試料作製が大きな負荷

であったが、FIBの普及により、異相界面や目的位置のピンポイント観察が可能になった¹⁹⁾。

X線利用分析技術では、高輝度放射光が使えるようになったことで、分析精度が飛躍的に向上した。分析の原理は実験室用のX線源を用いた場合と同じであるが、放射光では輝度が 10^5 倍程度高くなる。これにより、微量元素の状態分析や空間分解能、時間分解能の高い構造変化の測定が実現した。X線吸収スペクトル微細構造法 (XAFS) を用いた耐候性鋼のさび解析²⁰⁾、鋼中のTi、Mo、Cuなどの固溶・析出率の決定²¹⁾、XRDを用いた溶融亜鉛めっきの合金化反応の測定²²⁾、さらに鋼の凝固の動的イメージング²³⁾も実現している。

また、放射光と同じく「量子ビーム」に分類される中性子を利用した鉄鋼解析の事例も増えている。電荷を持たない中性子は物質との相互作用が弱く、材料をよく透過することからX線と比べて厚い試料の分析が可能になる。2006年以降、鉄鋼協会の産発プロジェクト展開鉄鋼研究やC型研究会で鉄鋼材料の中性子利用解析技術の検討がなされており、今後応用研究への展開が期待される²⁴⁾。中性子回折・小角散乱がバルク試料の応力解析²⁵⁾や、第二相粒子の平均サイズの決定²⁶⁾に活用されている。また、複相組織鋼の変態過程での応力分配の測定が実現している²⁵⁾。J-PARC (Japan Proton Accelerator Complex) の大強度ビームを使えば時分割で組織変化を動的に追跡することが可能になる。中性子は鋼中の水素の挙動²⁷⁾の解析にも有望な手段である。最近、小型中性子源を用いた実験室向けの解析装置開発の検討も始まっている。

電磁波や中性子を線源とする手法や走査プローブ顕微鏡では、上で紹介した高温下、応力下、液中などでの「その場」観察技術が進歩を続けている。環境制御型のSEMやTEMでも同様のその場観察が高い空間分解能で実現しており、電気化学反応の観察事例も報告されている²⁸⁾。その場観察は実際に対象試料が動作している、あるいは機能を発現している状態での観察・分析であるoperando解析へと進化を続けている。

6 おわりに —物理解析が拓く鉄鋼の夢—

物理解析手法の原理、主に得られる情報を利用者の視点に立って概括し手法の使い分けについて解説した。各手法を活用する場合の一般的な注意点も示した。物理解析装置のブラックボックス化がどんどん進んでいる。物理解析の専門ではない方々が手法の詳細を理解するのは難しいであろうが、データを鵜呑みにしない感性を失って欲しくない。また、データ解釈に関して社内、大学等の研究機関あるいは装置メーカーに相談できる環境を作っておくことも重要である。

私たちの先人たちは、鉄鋼材料の真の微細構造を知りたい情熱に溢れていた。最新の解析技術の進展を紹介すると、「自分が研究者の現役だった時代にこんな装置があったら」と羨ましがる。逆に言えば、先人たちは実証データが測定できない中で、あれこれ推測しながら高性能な鉄鋼材料を生み出してきたわけである。

いよいよ「観察科学」が実用材料の設計を先導する時代が到来した。極めて恵まれた時代に研究をしている私たちは、これらの高度手法の原理と限界を理解した上で、各手法を駆使して、更なる鉄鋼材料の発展に挑戦していくべきである。現状の限界を打破するような新しい解析手法の開発も続ける必要がある。若手研究者が、いまだに見いだされていない鉄鋼材料の持つポテンシャルを引出すことに本入門講座が役立てば何よりの幸せである。

参考文献

- 1) e.g. A.Baracca : LLULL, 28 (2005) , 295.
- 2) K.Sato : ISSS2012, (2013) , in press.
- 3) 日本金属学会関東支部講習会「身近な分析技術 ブラックボックス化にひそむ落とし穴」案内サイト
http://www.sendai.kopas.co.jp/METAL/EVENTS/branch/brch_227.html, (20130131)
- 4) 藤田英一：メスバウア分光入門—その原理と応用，アグネ技術センター，(1999)
- 5) 前川英己：セラミックス，41 (2006) , 1020.
- 6) 斎藤公児，国友和也，福田耕一，加藤健次，古牧育男：鉄と鋼，88 (2002) , 651.
- 7) 金橋康二，斎藤公児，畠山盛明，松宮徹：鉄と鋼，89 (2003) , 1031.
- 8) 白井泰治：まてりあ，37 (1998) , 61.
- 9) 篠竹昭彦，松崎眞六，国友和也，内藤誠章，橋本操，圃中朝夫，長根利弘，永嶺謙忠，田中宏幸：鉄と鋼，95 (2009) , 665.
- 10) 神田公生，走査電顕モンテ・カルロ (3.1/95)
<http://www.vector.co.jp/soft/win31/edu/se059369.html>, (2013年1月31日)
- 11) 濱田悦男，名越正泰，佐藤馨，黒田光太郎：日本金属学会誌，68 (2004) , 145.
- 12) ICDD : International Centre for Diffraction Data :
<http://www.icdd.com/>, (2013年1月31日)
- 13) Sadtler Handbook of Infrared Spectra, Sadtler Research Laboratories, (1978)
- 14) J.F.Moulder, W.F.Stickle, P.E.Sobol and K.D.Bomben : Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy, ed. by J.Chastain and R.C.King, Jr. Physical Electronics Inc.,

- Eden Prairie, MN, (1995)
- 15) K.D.Childs, B.A.Carlson, L.A.LaVanier, J.F.Moulder, D.F.Paul, W.F.Stickle and D.G.Watson : Handbook of Auger Electron Spectroscopy, ed. by C.L.Hedberg, Physical Electronics., Eden Prairie, MN, (1995)
 - 16) C.C.Ahn and O.L.Krivanek : EELS Atlas published by Arizona State University and Gatan (1983)
 - 17) 永谷隆, 斎藤尚武 : 電子顕微鏡, 24, (1989) , 107.
 - 18) 佐藤馨, 名越正泰, 河野崇史 : 鉄と鋼, 93 (2007) , 99.
 - 19) J.Orloff, M.Utlaut and L.Swanson : High resolution focused ion beams : FIB and its applications, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, (2003)
 - 20) 木村正雄, 紀平寛 : 新日鉄技報, 381 (2004) , 77.
 - 21) M.Nagoshi, T.Kawano, K.Sato, M.Funakawa, T.Shiozaki and K.Kobayashi : Physica Scripta., T115 (2005) , 480.
 - 22) 木村正雄, 今福宗行, 黒崎将夫, 藤井史朗, 森本康秀 : 鉄と鋼, 85 (1999) , 169.
 - 23) 安田秀幸, 柳樂知也, 杉山明, 吉矢真人, 中塚憲章, 上杉健太郎, 梅谷啓二 : ふえらむ, 15 (2010) , 9.
 - 24) 小松原道郎 : 波紋, 19 (2009) , 246.
 - 25) 友田陽 : ふえらむ, 9 (2004) , 544.
 - 26) 安原久雄, 佐藤馨, 田路勇樹, 大沼正人, 鈴木淳市, 友田陽 : 鉄と鋼, 96 (2010) , 545.
 - 27) M.Ohnuma, J.Suzuki, F.Wei and K.Tsuzaki : Scr. Mater., 58 (2008) , 142.
 - 28) Frances M.Ross, Mark J.Williamson, Rudolf M.Tromp, Robert Hull and Philippe M.Vereecken : Microscopy and Microanalysis, 8 (Suppl. 02) (2002) , 420.

(2013年2月7日受付)

付 録

1. 教科書 (引用文献として挙げた以外)

- (1) 日本表面科学会編 : 「ナノテクノロジーのための走査電子顕微鏡」 (表面分析技術選書), 丸善 (2004)
- (2) 副島啓義 : 電子線マイクロアナリシス, 日刊工業新聞社, (1987)
- (3) 日本表面科学会編 : 電子プローブ・マイクロアナライザー (表面分析技術選書), 丸善 (1998)
- (4) 進藤大輔, 及川哲夫 : 材料評価のための分析電子顕微鏡法, 共立出版, (1999)
- (5) カリティ : 新版 X線回折要論, アグネ, (1980)
- (6) X線回折ハンドブック, 理学電機, (2000)
- (7) 日本表面科学会編 : オージェ電子分光法 (表面分析技術選書), 丸善, (2001) ほか X線光電子分光法 (1998), 二次イオン質量分析法 (1999)
- (8) 日本鉄鋼協会編 : 第4版鉄鋼便覧 CR-ROM版 第2編 5.3組織試験法および5.4物理分析試験法 (2002). 現在第5版準備中.

2. 各種講座 学会主催のセミナー

TEM : 分析電子顕微鏡討論会 (日本顕微鏡学会)
SEM : SCANTECH (日本顕微鏡学会)
電子顕微鏡全般 : 電子顕微鏡大学 (日本顕微鏡学会)
表面分析 : 表面科学基礎講座 (日本表面科学会)
X線回折 : 「粉末X線解析の実際」 (日本結晶学会)



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

プロセス制御の開発を通じて

小笠原知義

Tomoyoshi Ogasahara

JFEスチール(株)スチール研究所
計測制御研究部

主任研究員(係長)

私が所属する研究部では、主にプロセス制御開発、センサー開発、生産物流最適化に関連するテーマを扱っている。本稿では、私が携わった熱延プロセス制御の開発事例について紹介すると共に、普段から研究開発について感じていることを述べさせて頂く。

熱延プロセスでは、加熱炉で約1200度に加熱した約260mm厚のスラブを粗圧延機と仕上圧延機で1.0mm～25mm程度の目標厚になるように圧延し、その後はランナウトテーブル上で冷却して、最終的にコイラーで巻き取る。熱延鋼板の品質は形状や板厚といった寸法と機械的性質に大別できる。前者については圧延機により直接的に制御できるが、後者は鋼板の金属組織と対応するものであるため、規格毎の圧延条件の設定と鋼板温度の制御により間接的に造り込む必要がある。また、鋼板変形抵抗の温度依存性のため、圧延時の温度制御精度を向上させることが寸法精度向上に繋がることは明らかであり、熱延鋼板の品質に対して温度制御の果たす役割は非常に大きい¹⁻³⁾。近年、熱延プロセスにおいては品質や歩留まり改善に対する要求が益々高まっており、その中で重要な制御の一つである熱延仕上温度制御の研究開発

事例について示す。

1 熱延仕上温度制御の研究開発事例

熱延仕上温度制御の目的は、最終仕上圧延スタンド出側の鋼板板温である仕上出側温度(FDT: Finisher Delivery Temp.)を規格毎に設定した目標温度ないし温度公差範囲内に収めることである。これにより、寸法精度確保や機械的性質の安定化が実現できる。

図1に熱延仕上圧延設備を示す。FDT制御では、粗圧延出側での鋼板温度(RDT: Rough rolling mill Delivery Temp.)または、仕上圧延機入側での鋼板温度(FET: Finisher Entry Temp.)の測定値を制御の起点として、各圧延スタンド間に設置されたスタンド間スプレーによりFDT目標値まで冷却する。ここで、各スタンド間スプレーは、電磁弁への開閉指令により使用または不使用の設定が可能であるが、水量の調整はできない。そして、スケール性欠陥抑制の観点から規格毎にスタンド間スプレーの使用優先順と全長にわたり注水するスプレーが予め指定されている。

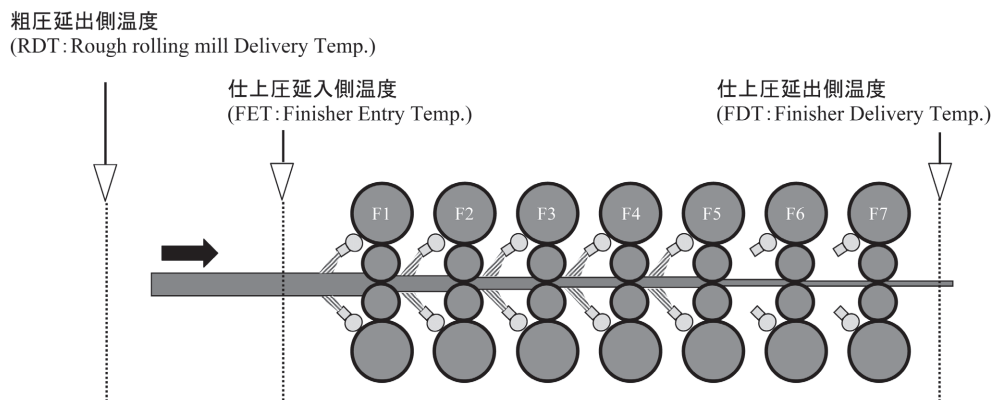


図1 熱延仕上圧延設備

この仕上圧延設備の構造上、FDT測定地点からスタンド間スプレーまでの距離が長いいためスタンド間スプレーによる冷却がFDTに現れるまでのむだ時間が大きく、それは通板速度や使用するスタンド間スプレーの設置位置の違いにより変動する。また、加熱炉のスキッドマークに起因するFETの周期変動とオペレータの手介入、自動板厚制御系、張力制御系、加速圧延設定等に起因する圧延条件の変動がFDTの外乱要因となっている。以上、“むだ時間”と“外乱”がFDT制御を困難にしている要因であり、対処すべき課題である。

そこで、課題を解決すべくFDT制御の高精度化を検討した。一般的に、プラントがむだ時間を含む場合のフィードバック制御系の設計方法としてスミス補償⁴⁾が知られているが、速度外乱があるFDT制御の場合には、むだ時間の正確な推定は困難であるので適用が難しい。そして、フィードバック制御を導入したとしてもむだ時間により、系全体が不安定になる可能性があるため制御ゲインを上げることができず、応答性の観点からは不十分なものになってしまう。逆に応答性を上げるためには、FDTの外乱要因を捉えて、それを打ち消すようにフィードフォワード制御することが有効であるが、通常はフィードフォワード制御で使用する温度モデルの誤差が影響し、目標とするFDTに追従することができない。しかし、検討の結果、オンラインで制御誤差による温度モデル学習を周期的に実施すれば、追従性の観点で実用的なモデル精度を確保できるという知見が得られた。そこで、オンライン学習機能付のフィードフォワード制御を主体とする制御系を設計した。

本制御系の概要を図2に示す。特徴としては、鋼板を仮想的に定長ピッチ分割した制御単位毎に設定計算とフィード

フォワード制御とモデル学習を行う機能を有する。まず、初期設定計算では、制御単位がFET測定地点通過時にRDTの実績値を起点として計算したFET予測値またはFET実績値と現時点以降の圧延条件予測値と最新モデル学習値（先端部がFDT未到達の場合は、学習テーブルの格納値）を用いて、FDT目標値に最も近くなるスタンド間スプレーの使用パターンを温度モデルに基づき設定する。続いて、フィードフォワード制御では、各制御点が仕上圧延ミル内の指定地点到達時に、制御点のこれまでの圧延条件実績値とスタンド間スプレーの使用数の実績と現地点以降の圧延条件予測値と最新モデル学習値を用いて、スタンド間スプレーの使用パターンを温度モデルに基づきダイナミックに設定する。このように、制御点毎の圧延条件、スタンド間スプレーの実績履歴を取り込み、再計算することにより外乱要因を考慮したスタンド間スプレーの設定が可能となる。ただし、上記の制御では、モデル誤差の影響を受けるという問題があるため各制御単位がFDT測定時点でモデル学習を実施し、その学習係数を上流側の各制御単位にフィードバックする学習機能を設ける。これらにより、最新モデル学習値がフィードフォワード制御に反映されるまでのむだ時間の影響を軽減しつつ、外乱への対処を施した制御系を構築することができる。また、学習値をテーブルに保存して次の材料に適用することで、設定精度向上を図っている。

本制御を適用した際のFDTチャートの一例を図3に示す。この規格の公差範囲はFDT目標値に対して3.5%であるが、実績は公差範囲の1.5%以内に制御されており、精度良好である。また、図4に示す通り加速圧延しており搬送速度が先端から尾端にかけて上昇している。このように、速度が高くな

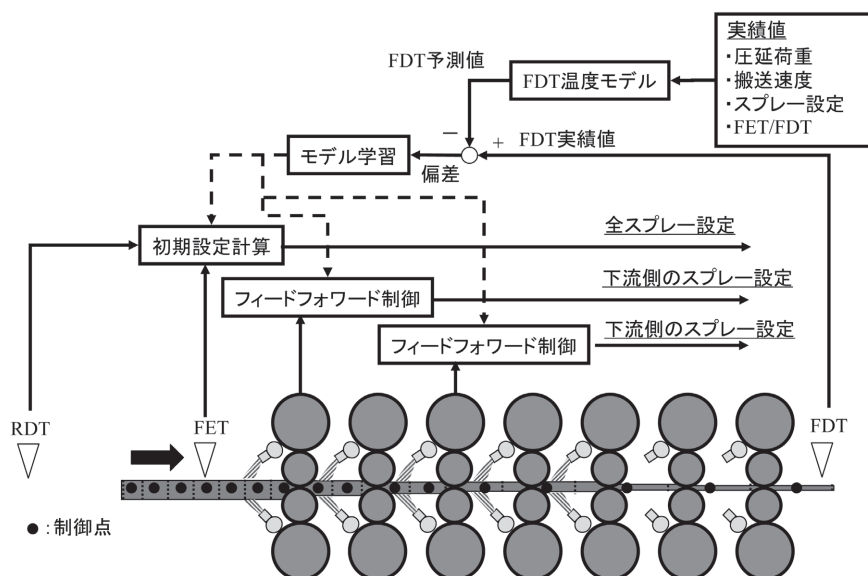


図2 FDT制御系の概要

ると仕上圧延ミル内での冷却能力が低くなるため、それを補償すべくスタンド間スプレーの注水本数を増加することでFDTの高め外れを防止している(図5)。また、尾端にかけてはFETが低下するため、注水本数を減少させている。

ここで示したFDT自動制御の導入により、従来に比較して制御精度が著しく向上し、熱延鋼板の品質安定化に寄与している。

2 プロセス制御の研究開発について 思うこと

普段、私がプロセス制御の開発について思うところは、まず制御対象の全体的なイメージを思い描けることが重要だということだ。制御対象やそれを制御する仕組みの中でリスクは何か、どの情報を信頼して、どういう方向で操作すれば、良い操業に繋がるのかをイメージできることで、実際の操業データが示す意味を考察できるようになり、制御の改善のヒ

ントが得られる。逆にそれがイメージできなければ、多くの現象が絡み合っている鉄鋼プロセスの操業データがあったとしても、因果関係が分からなくなり、良質な情報が抽出できないことになる。このようにデータに騙されないためにも、製造プロセスの勉強、オペレータへのヒアリング、世の中の

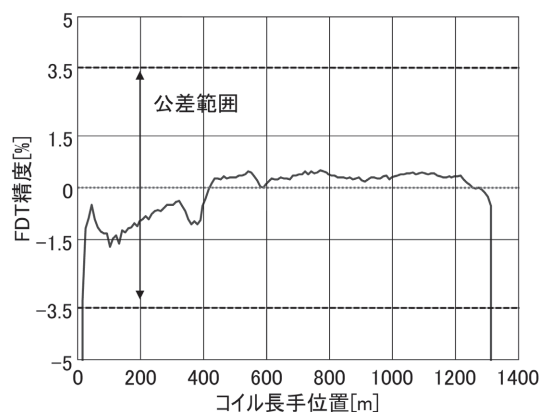


図3 FDTチャート

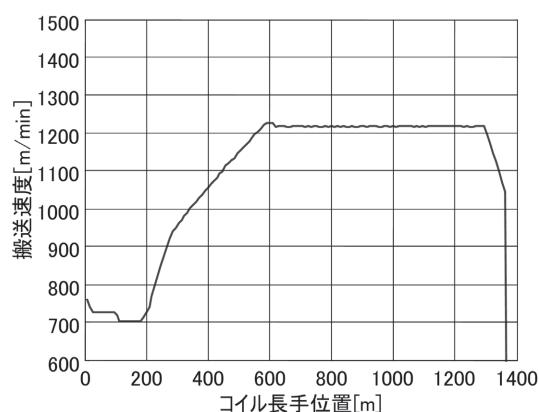


図4 搬送速度

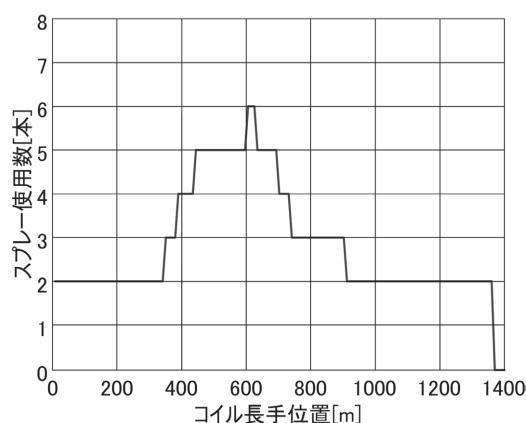


図5 スタンド間スプレー使用数



図6 産業技術総合研究所(つくばセンター)見学会のメンバー(2011年8月撮影、前列中腰の右から4人目が筆者)

新しい技術の習得を通じて視点を広げていく努力が必要である。私がそのようなことを十分できているかという反省すべき点も多々あるのだが、日々、色々なことにチャレンジしていきたいと考えている。そのような中、2011年度には、計測・制御・システム工学部会若手フォーラムの代表幹事という役回りを務めさせて頂き、座長の京都大学 東俊一先生、鉄鋼会社各社の幹事の方々とセミナーや製鉄所見学会等のイベントを企画した。普段の実務では関わりのない大学の先生方や企業の若手研究員・技術者との交流を通じて、今後の研究開発のモチベーションに良い刺激となった。後輩たちのためにも今後もこのような場を継続して設けて欲しいと思う。最後にこのような情報発信の機会を与えて頂いたことに対して

感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 中川繁政, 橘久好: 計測自動制御学会論文集, 4 (2009), 233.
- 2) 佃岳洋, 白坂貴成, 西田吉晴, 長谷川裕之, 小林正宜, 土肥広大: 神戸製鋼技報, 2 (2001)
- 3) 関口邦男: 電気学会論文誌D, 2 (2004), 190.
- 4) 片山徹: 新版フィードバック制御の基礎, 朝倉書店, (2002)

(2013年1月22日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 知能システム制御研究室 准教授

平田 健太郎

早いもので小笠原くんが社会に出てから6年が過ぎました。その技術者としての活躍ぶりは今回の記事を拝見しても十分にうかがえますが、大学院の2年間に研究したよしみで、蛇足ながら彼のこれまでを振り返り、またこれからへのエールを送らせていただきます。

彼は、電気・情報系で制御を学び、現在の職に就きました。したがって材料工学や圧延理論とはほぼ無縁の状態からスタートしたことになります。その彼が、今では最前線で製鉄プロセスに密着した計測制御技術の研究開発に従事しています。歳月のなせる業とはいえ、まずはそのことを非常に素晴らしく、また頼もしく思います。横断型の学問領域である制御の出身者にとって、対象の理解において後塵を拝することは、なかば宿命です。業務をこなしながら専門分野を広げていくのは容易ではありませんから、持ち前の飄々たる雰囲気とは裏腹に、陰ながらの努力を重ねたことでしょう。それを克服して第一線に立っている彼のあり方は、制御技術者のひとつのロールモデルといえると思います。彼の修士論文を改めて読み返してみると、補間理論を用いたある種のネットワーク制御系設計という理論的課題に加えて、RT-Linuxと実ネットワークを用いた制御実験にまで取り組んでおり、その充実度には驚かされます。一方で彼が音を上げていたような記憶は全くないので、常に淡々と着実に物事に取り組む資質は天性のものなのでしょう。

今回の記事で触れられている仕上げ圧延時の温度制御に

ついて、本人から直接ご説明いただく機会を得ました。偶然ながら、私もランナウトテーブルの冷却制御に関して他の鉄鋼メーカーと共同研究をさせていただいていることもあり、温度計測できる場所が限られている、加工熱、ロール伝熱、摩擦熱など水冷以外の要因があるなど、また違った難しさがあるということがよく分かりました。技術的にたいへん興味深いと感じる一方で、(私自身はまだその経験がありませんが) 成長した子供と大人の会話をしているようなある種の感慨も持ちました。

横断型学問分野を論じる際には、しばしば、機械・電気・化学など基幹産業と結びついた工学分野が縦糸に、ORや制御などの数理システム工学分野が横糸にたとえられます。彼の場合、上述のように製鉄プロセスという縦糸と制御という横糸を組み合わせることで本領発揮の余地があるのだと思います。そして、そこから生まれるスタンス、つまり縦方向の深みだけでなく、横方向の広がりも意識した視野の持ち方は、本文中で彼が述べている「全体のイメージを思い描くこと」とどこかで繋がっているような気がします。

ふと難問をぶつけてみようという気になって、鉄鋼業の今後の展望を尋ねてみたところ、社会／世界情勢に即した明快な答えが返ってきました。イメージの大切さを説く彼は、同時にさらにその奥にあるビジョンをもちちゃんと持っているのだな、と感じ入りました。彼のような若手技術者が多く育ってくれることを願ってやみません。



アラカルト

産学連携による鉄鋼工学人材育成のための指針

—平成24年度「鉄鋼工学セミナー」参加者による大学・社内教育アンケート調査結果—

Tips on Human Resources Development in Steelmakers

—Voices of Participants in ISIJ Engineering Seminar in 2012—

日本鉄鋼協会
専務理事

小島 彰
Akira Kojima

日本鉄鋼協会 事務局
ゼネラルマネージャー

鈴木信邦
Nobukuni Suzuki

1 はじめに

日本鉄鋼協会では、毎年7月に実施される社会人向けの「鉄鋼工学セミナー」の参加者に対して大学教育や社内教育に関するアンケート調査をPDCAサイクル構成の観点から定点観測的に実施している。第1回調査は平成22年度に実施され、今回は第3回となる。各回の調査結果は鉄鋼協会の育成委員会、鉄鋼工学セミナーWG等の関係委員会をはじめ、春秋の講演大会時に開催される全国大学材料関係教室協議会でも紹介し、大学の教育関係者にフィードバックしている。また、より広く鉄鋼協会会員へ周知するために広報誌の「ふえらむ」にも今回と同様に掲載を行っている^{1,2)}。

本報告では、平成24年度に実施されたアンケート調査結果を主体に、これまでの3回の調査で得られた知見も合わせて報告する。「鉄鋼工学セミナー」の参加者は複数の企業から入社5～6年程度の技術者が参加しており、毎年対象者は異なるが今回を含む3回の調査結果では大学教育や社内教育の効用や反省点について一定の方向性が認められる興味深い結果となっている。

また、今回の調査から新たな設問を設けて調査を行った項目もあり、合わせて報告を行う。

今後も本調査を継続するとともに、企業技術者の対象者を

増やす対応も行い、その結果が大学教育改善への材料として効果的に活用されることを期待したい。

2 アンケート調査内容

アンケート調査では、大学での教育についての評価・改善提案、社内教育の評価・改善提案、および入社の動機や大学生に鉄鋼業をアピールするための手段等について質問した。また、今回からアンケート形式を記述式から複数選択肢からの選択方式をベースにするように改善を行った。

3 回答者の属性

1) 回答者の概要、年齢構成

過去3回の回答者の概要は表1に示す通りである。「鉄鋼工学セミナー」の受講生は概ね140人から150人規模であり、今回は男性146人、女性7人、合計153人を対象に調査を行った。平均年齢は約30歳、入社後約6年の若手技術者である。

2) 学歴

過去3回の回答者の学歴は表2に示す通りであり、概ね同様の傾向となっている。今回は、有効回答153人のうち、博士卒12人、修士卒117人、学士卒23人、高専卒1人であった。

表1 回答者の概要

調査年	回答者 (計)			平均 年齢	入社後 年数	入社 区分		
		男性	女性				新卒	中途
平成22年 (2010年)	140人	136人	4人	30.0歳	5.9年	未調査	—	—
平成23年 (2011年)	142人	141人	1人	30.3歳	6.2年	128人	124人	4人
平成24年 (2012年)	153人	146人	7人	30.2歳	6.3年	147人	144人	3人

表2 回答者の学歴

調査年	有効 回答計	博士	修士	学士	高専	高校	不明
平成22年 (2010年)	139人	9人	101人	29人	—	—	—
平成23年 (2011年)	133人	7人	102人	24人	—	—	—
平成24年 (2012年)	153人	12人	117人	23人	1人	—	—

3) 出身大学

過去3回の回答者の主要な出身大学等は図1に示す通りである。今回の有効回答152人については、46大学、3高専であった。出身者の多い大学に大きな差異はないが、一部に増減が認められた。

4) 出身専攻学科

過去3回の回答者の出身専攻学科は図2に示す通りであり、大きな傾向は変わらない。今回は、材料（マテリアル）が90人で最も多く、次に機械工学の38人となっている。

5) 所属企業、所属職場

過去3回の回答者の所属企業と所属職場を表3に示す。所属企業は、約70%が高炉企業、約25%が電炉企業となっており、3回ともこの傾向は変わらない。今回は、有効回答150人のうち、高炉企業108人、電炉企業38人であった。

また、所属職場については、約60%弱が生産部門、約40%弱が研究部門となっている。この傾向も大きな変化はなく、今回は、有効回答152人のうち、生産部門86人、設備部門9人、研究部門56人、本社部門1人であった。

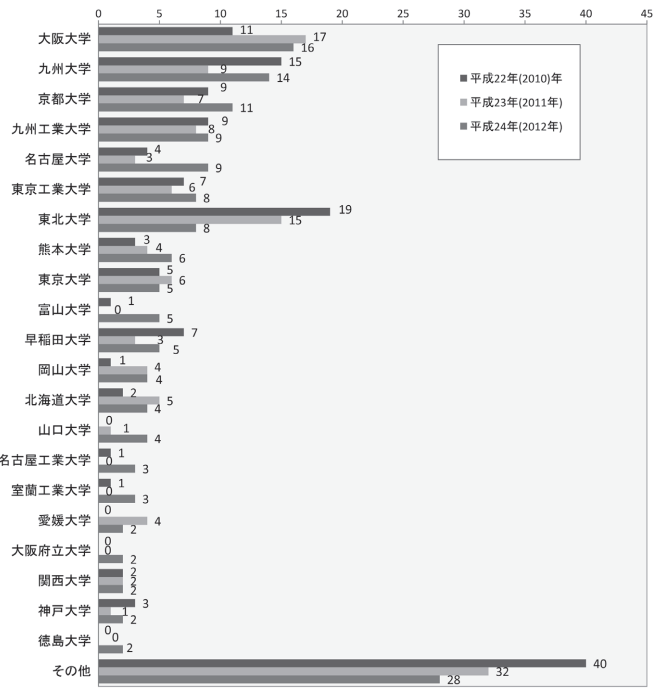


図1 回答者の出身大学等【人数】
(平成24年の参加者の多い大学順に記載)

4 アンケート結果

4.1 大学教育について

4.1.1 大学教育によりプラスになった点

1) 効果のあった大学教育

大学教育の中で、入社後の実際の業務に役立っている、あるいは幅広い能力育成に貢献した等の視点で有効であったものは何かを選択肢を示して尋ねた。アンケート結果では、今回の調査でも「専門科目の講義」、「卒論・修論・博論などの研究」をあげるものが多かった(図3)。

この結果は、図4と5に示す過去2回の調査(平成22年度、平成23年度)と比較しても、ほぼ同様の結果であることが分かり、精度の高い再現性があることから、信頼性の高い結果と考えることができる。一方で、演習、ゼミ、インターンシップ等の参加型科目を有効とする回答は思ったよりも低いことが分かった。

次にこれを回答者の大学専攻別に比較した。ここでは専攻を、材料(マテリアル)、機械工学、その他(電気・電子、物理、化学等)に3分類し、それぞれの専攻別に回答者の総数に対する当該回答の比率を示したが(図6)、各専攻による大きな差異は見られなかった。

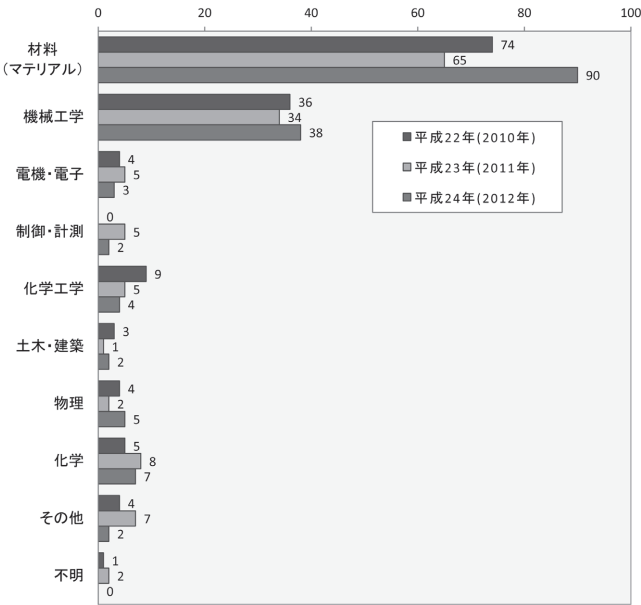


図2 回答者の出身専攻学科【人数】

表3 回答者の所属企業、所属職場

調査年	有効 回答	所属企業			有効 回答	所属企業			
		高炉	電炉	他		生産	設備	研究	本社
平成22年(2010年)	140人	98	26	16	140人	75	15	48	2
平成23年(2011年)	132人	97	28	7	129人	74	7	46	2
平成24年(2012年)	150人	108	38	4	152人	86	9	56	1

2) 教育効果の理由

次に、効果のあった大学教育として選択率が高かった「専門科目」と「修了研究」について、その内容を考察した。先ず、「専門科目」について、具体的にどの科目が有効であったかを尋ねた。結果は、図7に示す通りであり、材料（マテリアル）系の出身者は、材料組織学や熱力学をあげており、機械工学

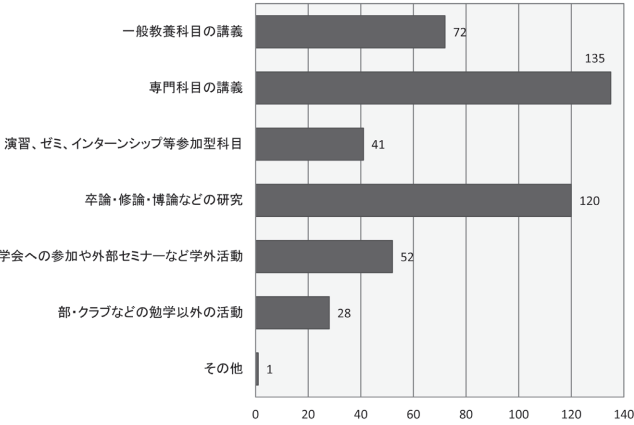


図3 大学教育によりプラスになった点（平成24年度）【人数】

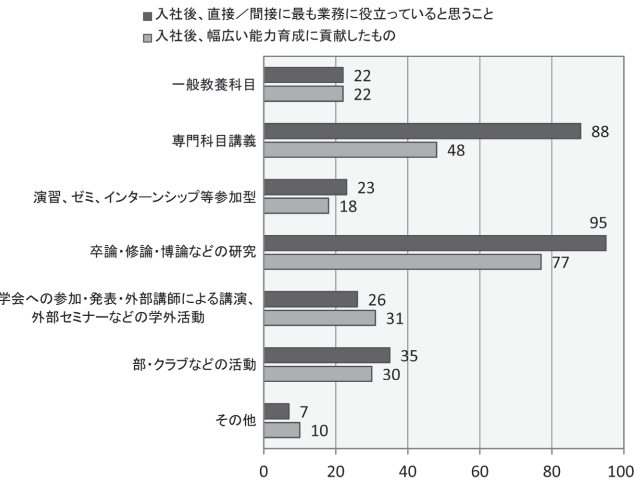


図4 大学教育によりプラスになった点（平成23年度）【人数】

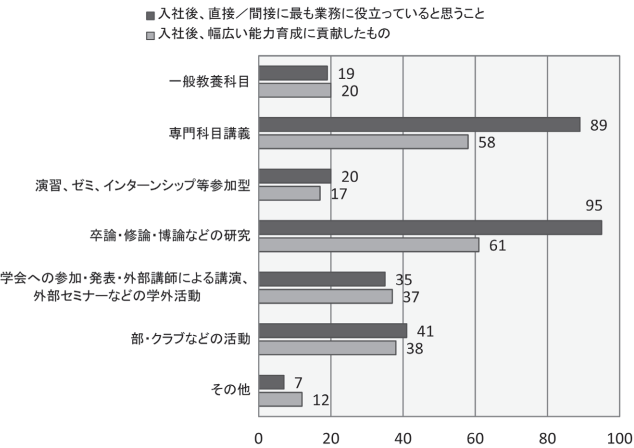


図5 大学教育によりプラスになった点（平成22年度）【人数】

出身者は、材料力学、熱力学、流体力学等をあげた。

また、その理由としては、図8に示すように、出身学科によらず、「業務上の基礎知識として有効である」、「直接あるいは間接に業務に役立っている」という理由が多くあげられた。

次に、「修了研究」を選択した理由としては、図9に示すように、出身学科によらず、「論理的思考の育成に有効である」、「推進手法が直接、業務に役立つ」という理由が多くあげられた。

3) 大学教育によって向上した能力

大学教育によって向上した能力について選択式で尋ねたところ、「専門知識」、「基礎学力」、「研究方法・論文作成方法」、「提案力・プレゼンテーション力」、「コミュニケーション力」を選択した回答者が多かった（図10）。また、出身学科によって大きな相違は認められなかった。昨年、平成23年度調査では、「基礎学力」をあげた回答者が特に多かったが、その他の項目も選択されており、概ね同様の傾向であった。

4.1.2 大学教育の反省点

1) もっと勉強しておけば良かったと思う科目

〈一般教養科目〉

もっと勉強しておけば良かったと思う一般教養科目に関しては、出身学科によらず、「英語」をあげる回答者が最も多かった。次いで、「数学」、「物理」等が選択された（図11）。

〈専門科目〉

もっと勉強しておけば良かったと思う専門科目を尋ねたところ、「熱力学」、「材料組織学」、「材料力学」をあげた回答者が多かった（図12～14）。平成24年度の調査から、複数選択を可とする選択方式としたため、1つの項目の選択人数が過去の調査に比べて多くなっているが、この結果は、平成22年度、平成23年度の調査結果と概ね同様の傾向であり、熱力学や材料組織学等の基礎学問の理解を深めるべきであったとい

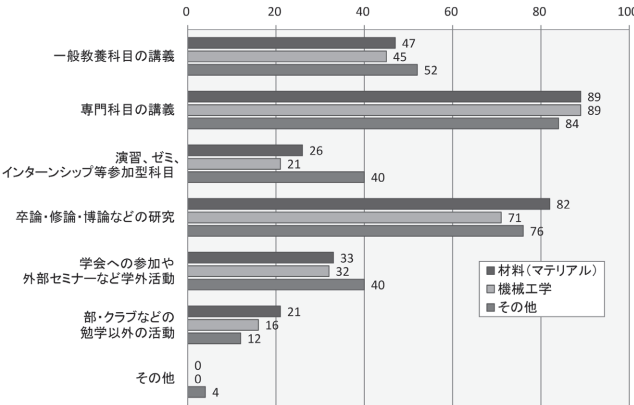


図6 大学教育によりプラスになった点（大学の専攻別）【％】

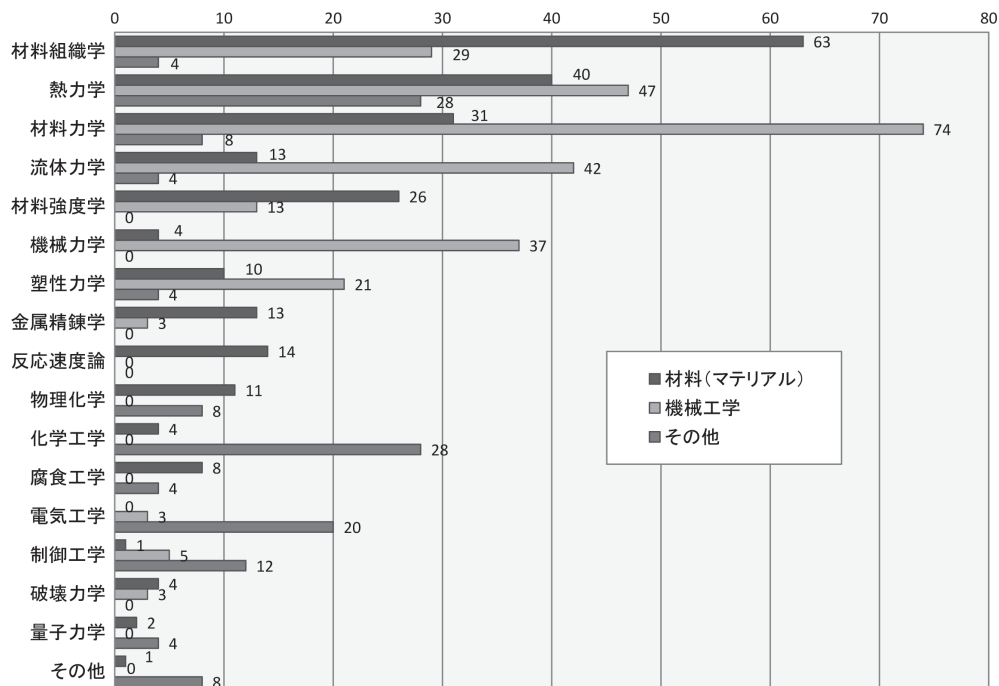


図7 教育効果の高かった専門科目(大学の専攻別回答)【%】

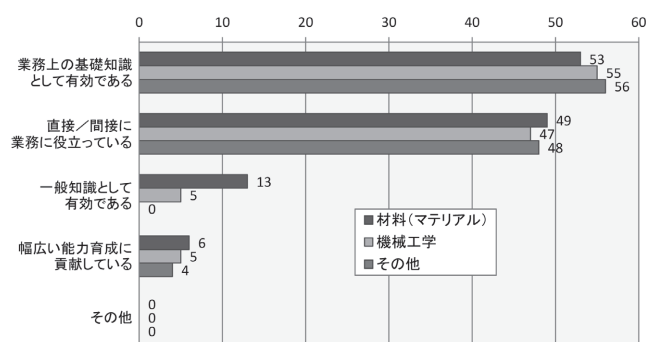


図8 専門科目講義の教育効果(大学での専攻別)【%】

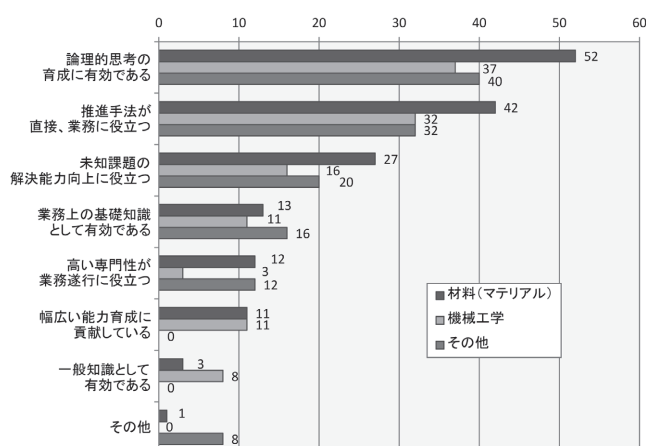


図9 修了研究の教育効果(大学での専攻別)【%】

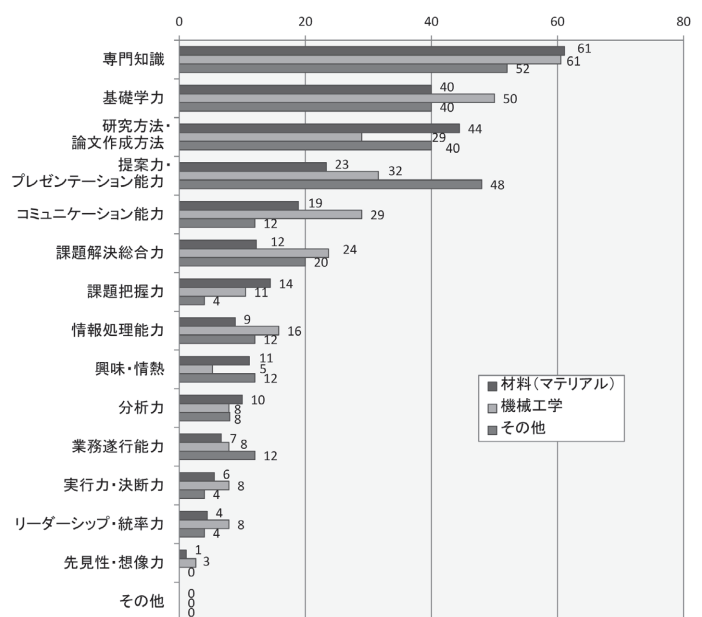


図10 大学教育によって向上した能力(大学での専攻別)【%】

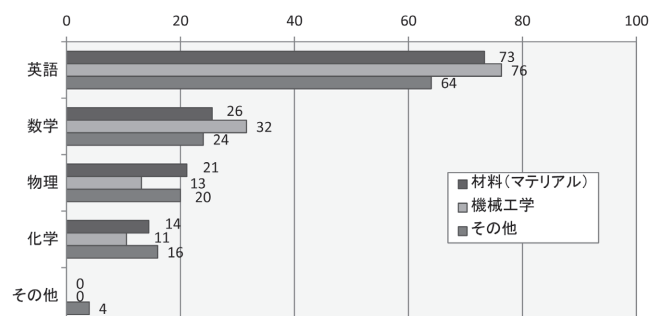


図11 もっと勉強しておけば良かったと思う一般教養科目(大学での専攻別回答)【%】

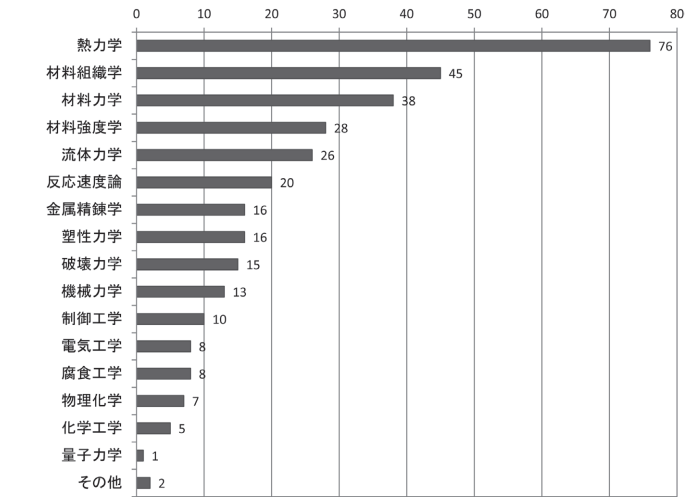


図12 もっと勉強しておけば良かったと思う専門科目 (平成24年度)【人数】(複数選択方式に変更)

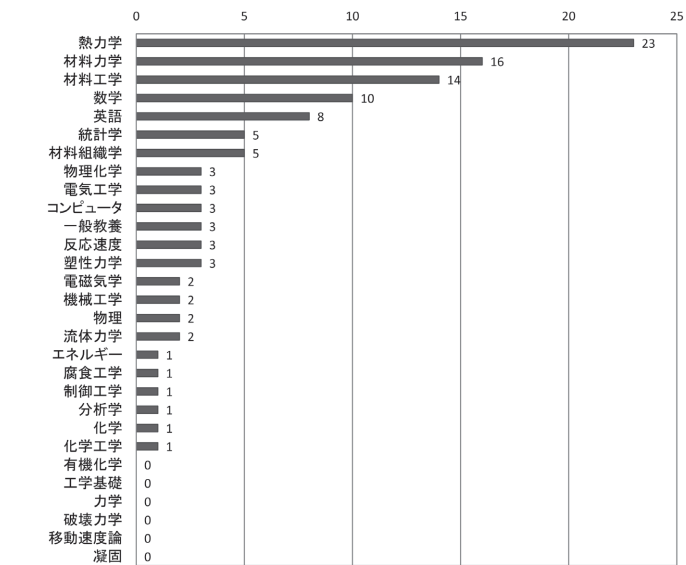


図13 もっと勉強しておけば良かったと思う専門科目 (平成23年度)【人数】

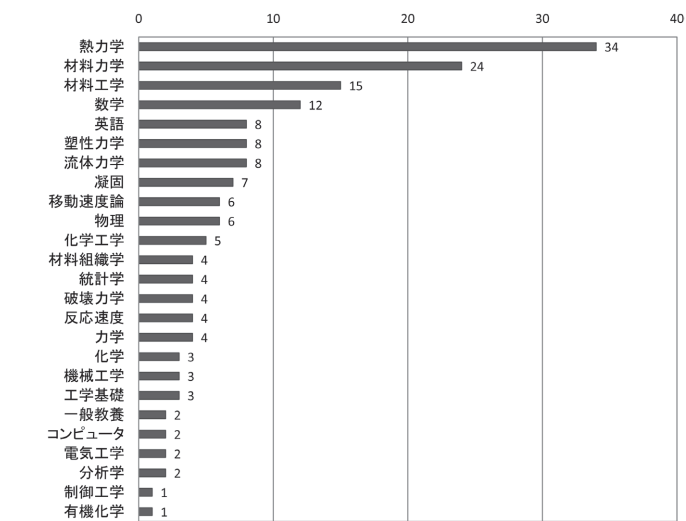


図14 もっと勉強しておけば良かったと思う専門科目 (平成22年度)【人数】

う反省点は恒常的なものであると推察できる。

この傾向は、出身学科別にみると、出身学科の専門科目を特にもっと勉強しておけば良かったとしている点等、多少の学科による特徴が認められるが、概ね同様の傾向であることが分かる (図15)。

2) 機会が無かったが学びたかった科目

〈一般教養科目〉

機会が無かったが学びたかった科目について、先ず、一般教養科目について尋ねたところ「統計学」、「コンピュータ (ソフト)」、「経営学」をあげるものが多かった (図16)。出身学科別にみても概ね同様の傾向であり、社会人になってから実務的な必要に迫られて学習の必要性が再認識された模様である。

〈専門科目〉

次に、機会が無かったが学びたかった専門科目については、出身学科以外の科目が選択されているが、「材料組織学」、「金属精錬学」、「腐食工学」、「材料力学」等、即戦力となりそのような科目が選択されている (図17)。

3) 大学時代の授業科目で不要であると感じた科目

今年度から新たに、大学時代の授業科目で不要であると感じた科目について尋ねた。

対象者153人のうち、一般教養科目で不要であると感じた科目があると回答した人は39人で、第2外国語22人、数学5人、その他、英語、体育、歴史関係、哲学、心理学等があげられた。

また、専門科目で不要であると感じた科目があると回答した人は14人で、その内訳は量子力学4人、生物化学2人、物理化学2人、制御工学2人等で、いずれも現在の企業での業務では使用していないという理由であった。

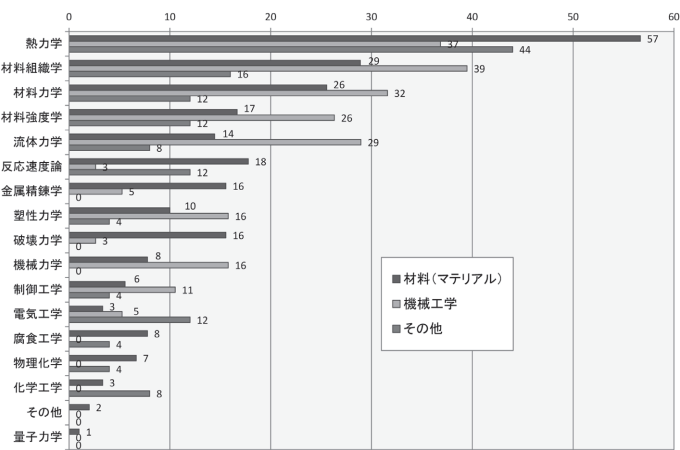


図15 もっと勉強しておけば良かったと思う専門科目 (平成24年度) (大学での専攻別回答)【%】

4) 大学の教育と企業業務の関連性

大学で学ぶことと企業での業務について関連性を尋ねたところ、全体の83%が「関係ある」との回答であり、出身学科を問わず同様の傾向であった(図18～20)。その理由として、「要務遂行上の基本的要素として有効である」、「基礎知識として直接的に有効」、「応用／課題解決を教わる機会として有効」等があげられた。一方で、「大学で学んだことは直接利用できない」として、「関係ない」を選択した人は約20%弱であった。「関係ある」を選択した人は、昨年度の調査でも75%であり、同様の傾向を示している。

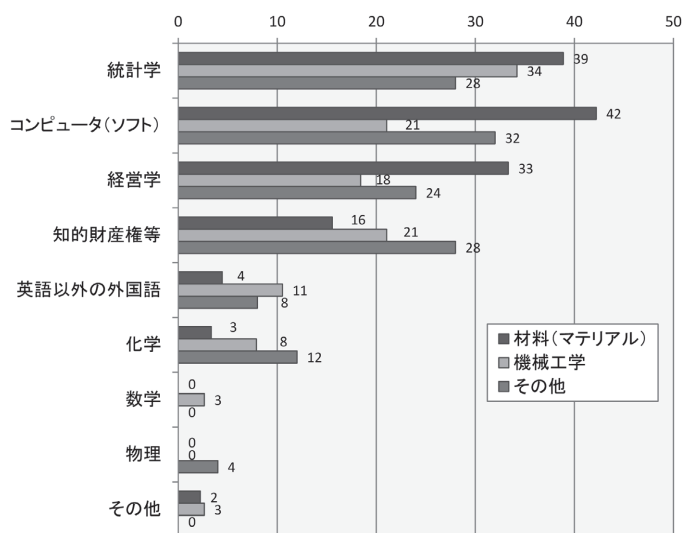


図16 機会が無かったが学びたかった一般教養科目(大学での専攻別回答)【%】

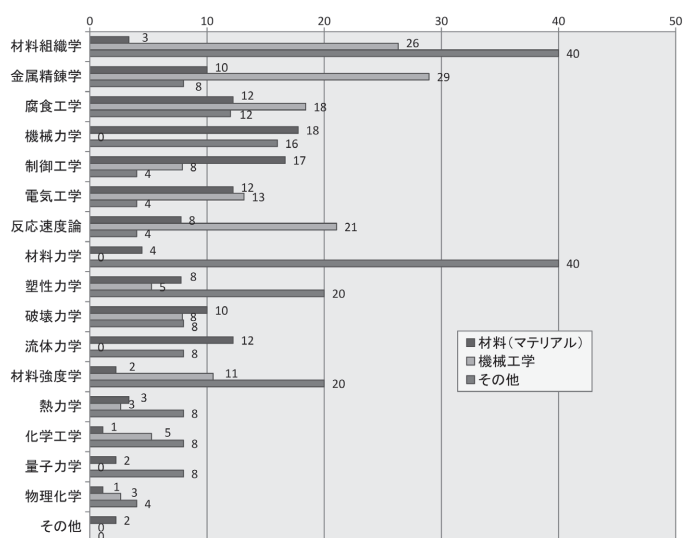


図17 機会が無かったが、学びたかった専門科目(大学での専攻別回答)【%】

4.1.3 大学教育の評価

1) 大学教育の満足度

大学の教育に満足しているかの問いに対しては、全体の20%が満足していると回答しているが、何らかの改善が必要であると回答している人が80%であった(図21)。これは、出身学科を問わず、同様の傾向であった。今後の改善が望まれる改善点としては、「基礎的学問の社会での役立ち方の例示が必要」、「企業経験のある先生が必要である」、「教授陣に格差があり改善が必要である」、「演習や発表の充実が必要である」等をあげる人が多かった(図22)。

大学教育への満足度は、過去3回の調査で概ね同様の傾向

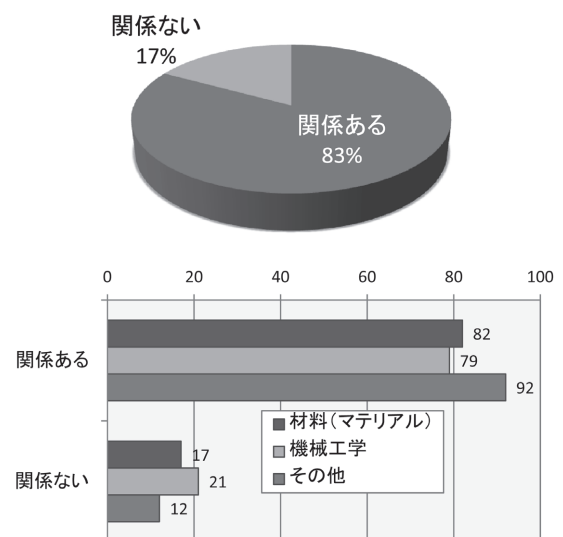


図18 大学教育と企業での業務について関連性【%】

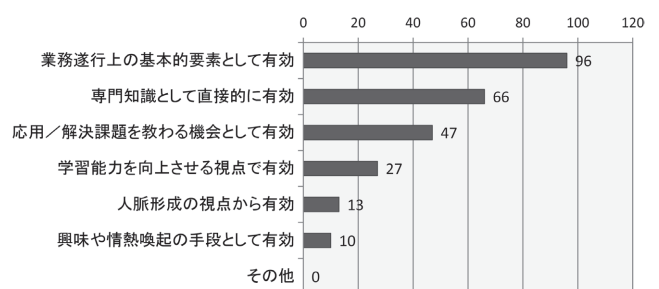


図19 「関係ある」とした理由【人数】

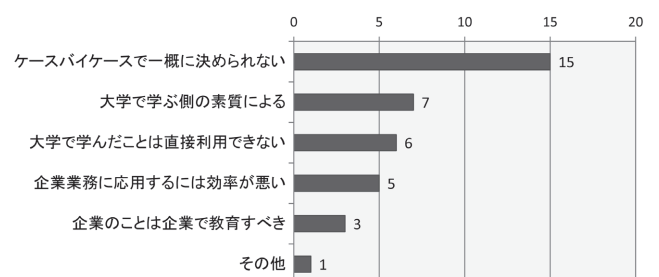


図20 「関係ない」とした理由【人数】

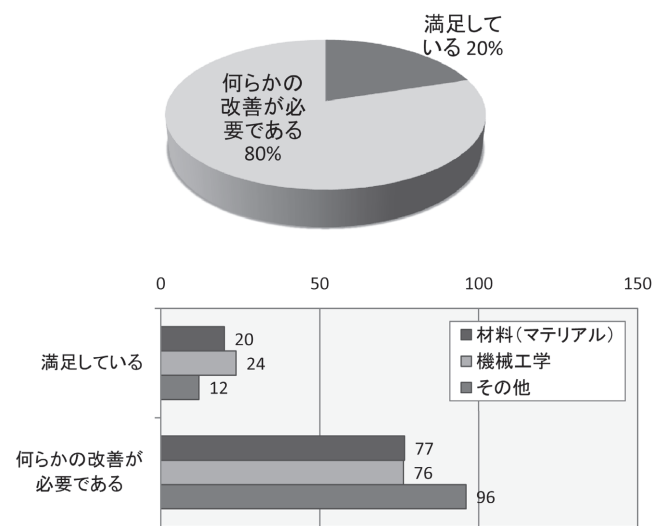


図21 大学教育の満足度【%】

であり、何らかの改善が必要であるとの認識が多かった（表4）。

また、今回の調査で改善点に関する自由記述では、表5に示すような指摘もあった。

2) 他の学科より優れている点、反省すべき点

大学時代の自分の専攻学科について、他の学科よりも優れている点、反省すべき点を尋ねた。専攻以外の他の学科の状況が分からないので回答できないとの記述も多く、学科間の交流や連携自体が必ずしも十分ではないように思われる。専攻学科別の主な記述は表6の通りである。

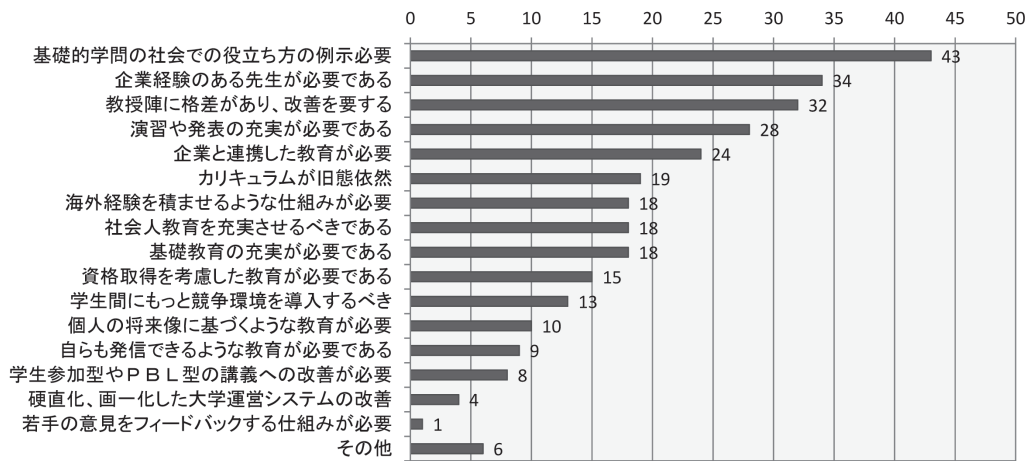


図22 大学教育の改善が必要と考えられる事項【人数】 PBL：Project-Based Learning 課題解決型の略

表4 大学教育の満足度の推移

評価	平成22年	平成23年	平成24年
満足している	25%	30%	20%
どちらとも言えない、何らかの改善が必要、不満足	75%	67%	80%

表5 大学教育の改善点について

・ Technical writingやTechnical Presentationに相当する日本語での技術文書作成や発表の方法に関する教育をしてほしい。 ・ 一般教養の内容が改善必要。特に純粋数学よりむしろ（数学を利用する立場に立った）応用数学で工業的問題を中心にすべき。むしろ高専での数学の方が役に立った。 ・ 理学部では実用面と関連させた話をするほうが良い。 ・ その学問が必要となる工学的背景の教育が必要である。流体学、冶金、移動現象など大学の講義の時は、これらを使うイメージができなくて、とっつきにくかった。 ・ 大学教育の重要性を学生に認識させ、意識を高めさせるべき。 ・ 学生に学問のおもしろさを伝えることのできる授業を展開できる先生が少なすぎる。 ・ 講義でだらだらと数式を並べる。体系だって説明できていないetc. ・ レポートをもっと出す。強制力によるものでも、情報に触れたり、まとめる機会になる。

表6 他の学科よりも優れている点、反省すべき点

学科	他学科よりも優れている点	他学科と比較して反省すべき点
材料 (マテリアル)	・より広範囲の基礎知識を体得 ・実物の実験、実習が多い ・特別講義や実際のプロジェクトに関与できる	・図面を読むのに苦労する ・数学的アプローチが弱い ・化学系分野を学ぶ機会が無い ・現物を使った講義が不足
機械工学	・幅広く基礎知識を体得 ・実験、実習が多い ・機械エンジニアリング、実際のモノづくりを体験できる	・実学中心でサイエンスが不足 ・器用貧乏になりがち ・広汎に学べるが知識が浅い
その他	・情報収集に重点を置いた教育 ・基礎理論をしっかり学べる	・定量的な考え方が不足 ・勉強しても応用に繋がらない

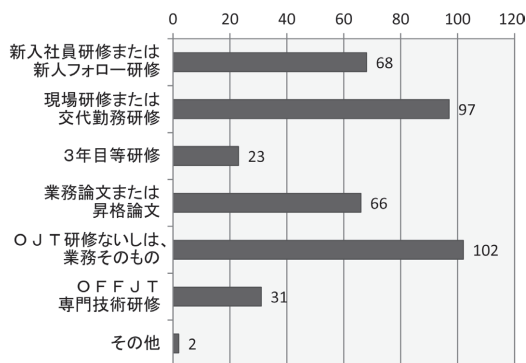


図23 社内教育によりプラスになった点（成功体験）（平成24年度）【人数】

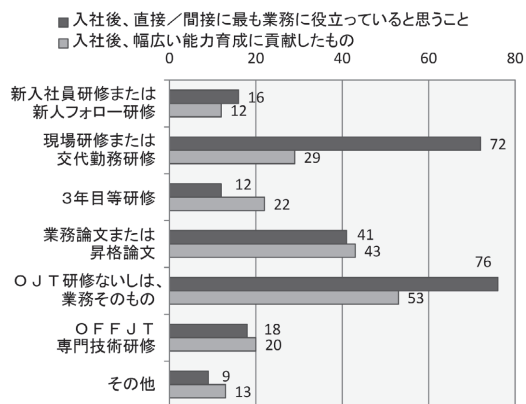


図24 社内教育によりプラスになった点（成功体験）（平成23年度）【人数】

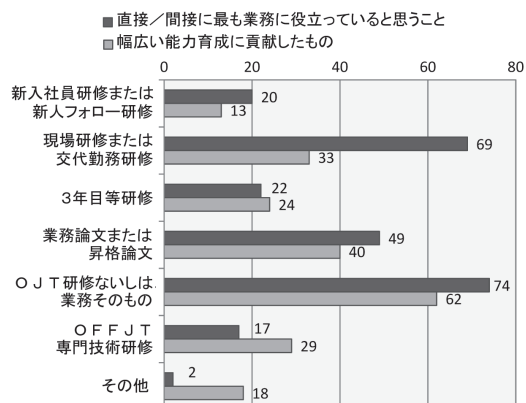


図25 社内教育によりプラスになった点（成功体験）（平成22年度）【人数】

4.2 社内教育について

4.2.1 社内教育によりプラスになった点

1) 社内教育の効用

社内教育の効用については、「OJT研修ないしは業務そのもの」、「現場研修または交代勤務研修」、「新入社員研修または新人フォロー研修」、「業務論文または昇格論文」をあげる回答者が多かった（図23）。

これらは、平成22年度、平成23年度の調査結果も、概ね同様の傾向であった（図24、図25）。

高炉企業、電炉企業等の企業別に見た場合にも、概ね同様の傾向であることが分かる（図26）。

また、会社における所属部門別でも、概ね同様の結果であった（図27）。

2) 社内教育で身に付いた能力

一方で、現在の能力が入社後のどのようなやり方で身に付いたかを尋ねたところ、今回は「上司・同僚の指導」、「OJT」、次に「独学・自己学習」の回答が多かった（図28）。

平成22年度と平成23年度の調査結果では、いずれも「OJT」が最も多かったが、今回は「上司・同僚の指導」が最も多かつ

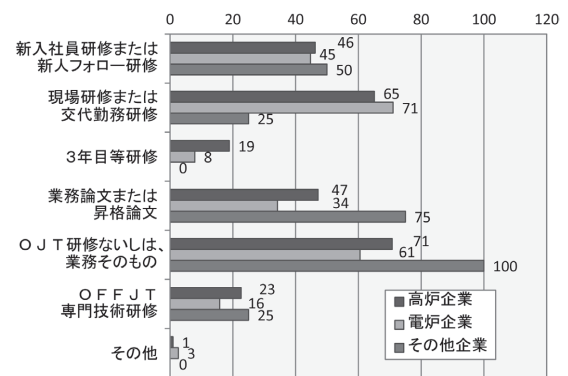


図26 社内教育によりプラスになった点（企業別）【%】

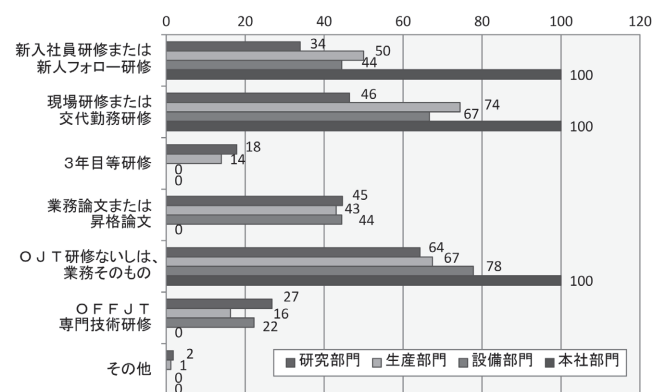


図27 社内教育によりプラスになった点（会社の所属部門別）【%】

た。ただし、上位の3項目は変わらなかった(図29、30)。

4.2.2 社内教育の反省点

入社後に受講した社内教育を振り返って、反省や改善すべき点を自由記述方式で尋ねたところ、対象者153人のうち45人から以下の回答があった(表7)。総じて、実務への有効な反映が行われないケースへの反省点があげられた。

4.2.3 企業の人材育成システムの評価

会社の教育システムに満足しているかの質問に対しては、36%の人が満足と回答しているが、64%の人は何らかの改善が必要であるとの回答であった(図31)。

満足していると回答した人の理由としては、「英語研修」、「階層別のカリキュラムの整備」、「ビジネススキルの習得」等が挙げられた。

改善を必要とする理由については、「業務との両立が困難」、「育成メニューの内容」自体をあげる人が多く、次に「育成側、あるいは受講側のマインドの問題」があげられた(図32)。

平成22年度、平成23年度の調査でも、会社の教育システムに満足している人は、同じく36%であり年次によっても同様の傾向であることが分かった(表8)。

また、改善を必要とする理由でも、年次によって多少の差異はあるが、「育成メニューの内容の問題」、「業務との両立の困難さ」をあげる人が多かった。

5 鉄鋼人材の育成について

1) 大学時代と入社後での企業の実態の相違点

大学時代の企業に対する認識と入社後の企業の実態とを

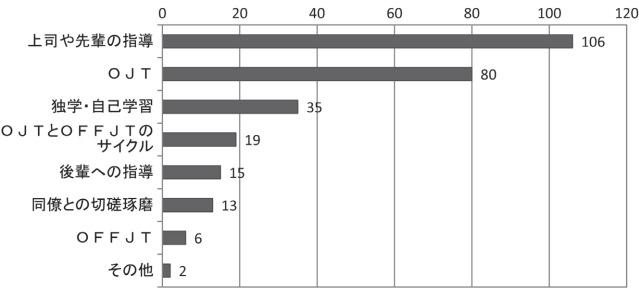


図28 どのようなやり方で身に付いたか(平成24年度)【人数】
(複数選択方式に変更)

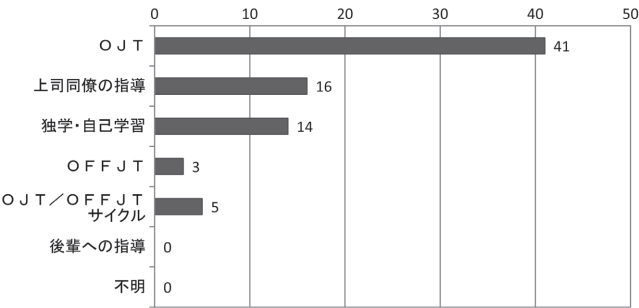


図29 どのようなやり方で身に付いたか(平成23年度)【人数】

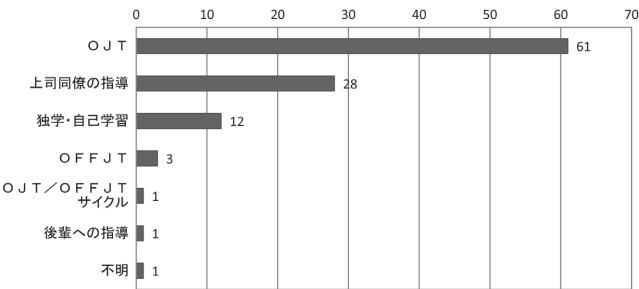


図30 どのようなやり方で身に付いたか(平成22年度)【人数】

表7 社内教育の反省点、改善点

- ・英語等の語学教育を真剣に受講するべきであった。(2人)
- ・実際の業務に関わりのある専門的な教育を増やす、あるいは受講するべきであった。(8人)
- ・社内教育に関する予習や復習が充分に行えずに身に付いていないことがある。(7人)
- ・興味のない教育には関心が無かったが、折角の教育の機会を活かすべきだった。(7人)
- ・教育時間、講師、画一的な教育は改善すべき。受講者のレベルに合わせた教育が必要である。(7人)
- ・類似した研修や重複感のある内容があり、体系的になっていない(2人)

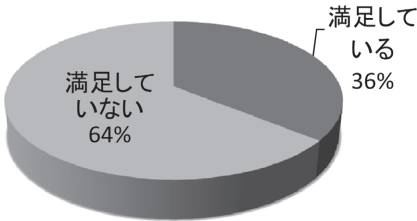


図31 社内教育に満足しているか？

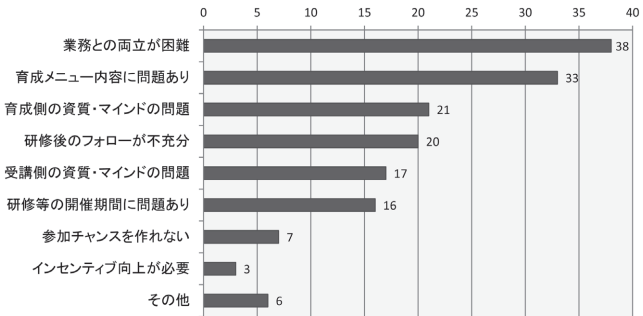


図32 社内教育の満足度に対する理由【人数】

比較して、最も違っていた点は何かの問いに対して、最も多かった回答は「経済合理性」であり、次いで「時間軸の速さ」、「要因の多さ・煩雑さ」等の項目があげられた(図33)。

指摘された内容は、平成22年度、平成23年度調査でも概ね同様の傾向であった(図34、35)。

2) 入社前後のギャップを埋めるためにどのような対策が重要か

このような、入社前後の認識のギャップを埋めるために、大学教育と社内教育でどのような対策が重要かを尋ねた。先ず、大学教育と社内教育のいずれが重要かの設問に対しては、概ね半々の回答となった(図36)。

その理由と、対応策については表9に示す回答があった。

一方で、大学時代の企業に対する認識と入社後の企業の実態とにギャップを感じるのには仕方がないことであり、むしろ、このようなギャップを感じてその差を埋めるために自己研鑽することで成長できるので、あまり心配していないとの意見も多くあった。

3) 現在の会社を選んだ契機、動機について

入社の動機について尋ねたところ、「大学での専門(専攻)の技術分野が合致している」との回答が多く、「鉄鋼業の産業としての意義」、「工場見学を行った際に魅力を感じた」等があげられた(図37)。この傾向は、平成22年度や平成23年度の調査でも同様であり、自分の技術的な専門性を第一に考えていることが分かる。

4) 大学時代に鉄鋼業のことは良く知っていたか

「良く知っていた」、「概ね知っていた」人は全体の約33%であり、周知度はあまり高くは無い状況が分かる。このため、

各人では「工場見学を活用」したり、「先輩やリクルーター等から」話を聞いたりして情報収集に努めた様子が分かる(図38、図39)。

これを、大学の専攻別にみると、材料(マテリアル)では「良く知っていた」、「概ね知っていた」と回答した比率が高いが、機械工学やその他の専攻の人には鉄鋼業があまり周知されていないことが分かる(図40)。平成22年度や平成23年度の調査でも同様の結果が得られている。

5) 大学時代に製鉄所を見学する機会があったか

次に、大学時代に製鉄所を見学する機会があったか、また見学により就職の選択に影響したかを尋ねた。約8割強の人が見学の機会があり、就職にも半数近くの人が、影響があったとの回答であった(図41、42)。

6) 大学時代に鉄鋼業以外の製造現場を見学する機会があったか

また、大学時代に鉄鋼業以外の製造現場を見学する機会があったかを尋ねたところ、約7割弱の人は見学の機会があったとの回答であり、業種としては、自動車、非鉄金属、重工、電機、化学、造船、電力、機械等があげられた(図43、44)。

7) 大学生に鉄鋼業を理解してもらうために産学が協力してなすべきこと

大学生に鉄鋼業を理解してもらうために、大学と鉄鋼会社は協力して何をすれば良いかを尋ねたところ、最も多かった回答は「工場見学の実施」であり、続いて「インターンシップ活用」、「産学連携・共同研究」があげられた。また、これらに続いて、鉄鋼業の重要性や新技術・先端技術、あるいは鉄鋼業の良さのPRを行うことが選択された(図45)。

本件に関しても、平成22年度、平成23年度と同様の結果となった。

8) 鉄鋼会社を若い人にPRする上での「強み」「弱み」について

鉄鋼会社を若い人にPRする際の「強み」と「弱み」と考えられることについて聞いた。

「強み」としては、鉄鋼業は我が国の「基幹・基盤産業であ

表8 社内教育の満足度の推移【人数】

評 価	平成22年	平成23年	平成24年
満足している	36	36	36
満足していない、何らかの改善が必要	20	41	64
無回答、特になし、どちらとも言えない	44	23	0

(平成24年度から、選択方式)

表9 ギャップを埋めるための対応策

大学教育の充実	社内教育の充実
・インターンシップの充実(12人) ・大学の講義内容と実際の業務の説明(8人) ・企業講師による講義の充実(4人) ・製造現場の見学や研修(3人) ・企業財務等のビジネス感覚醸成(2人)	・実務経験を重ね、実践を重ねること(7人) ・マネジメントや課題解決手法の教育(3人) ・専門知識教育の充実(3人)

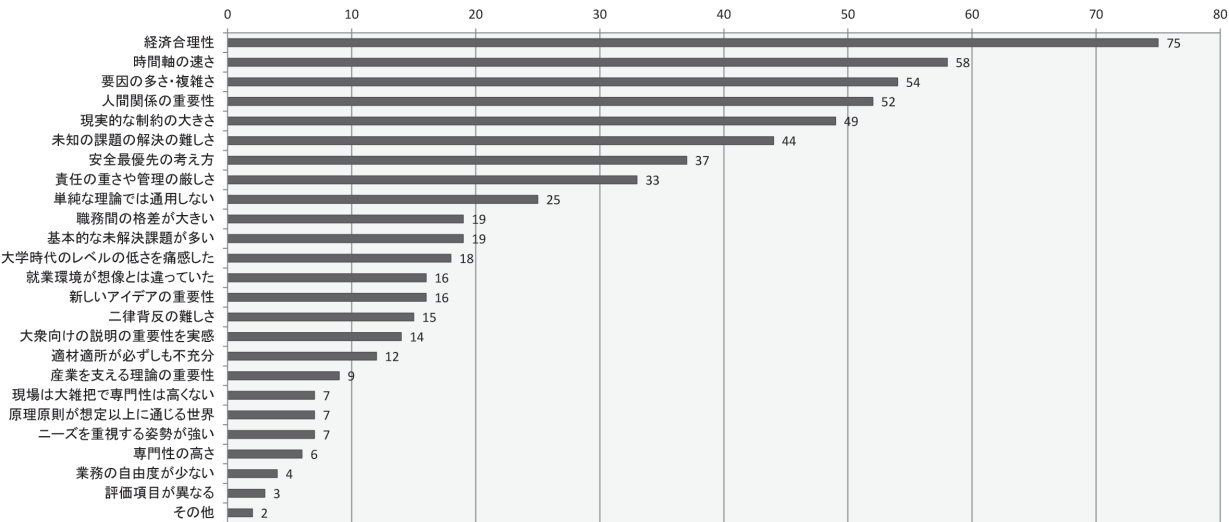


図33 大学時代と入社後での企業の実態の相違点（平成24年度）【人数】（複数選択方式に変更）

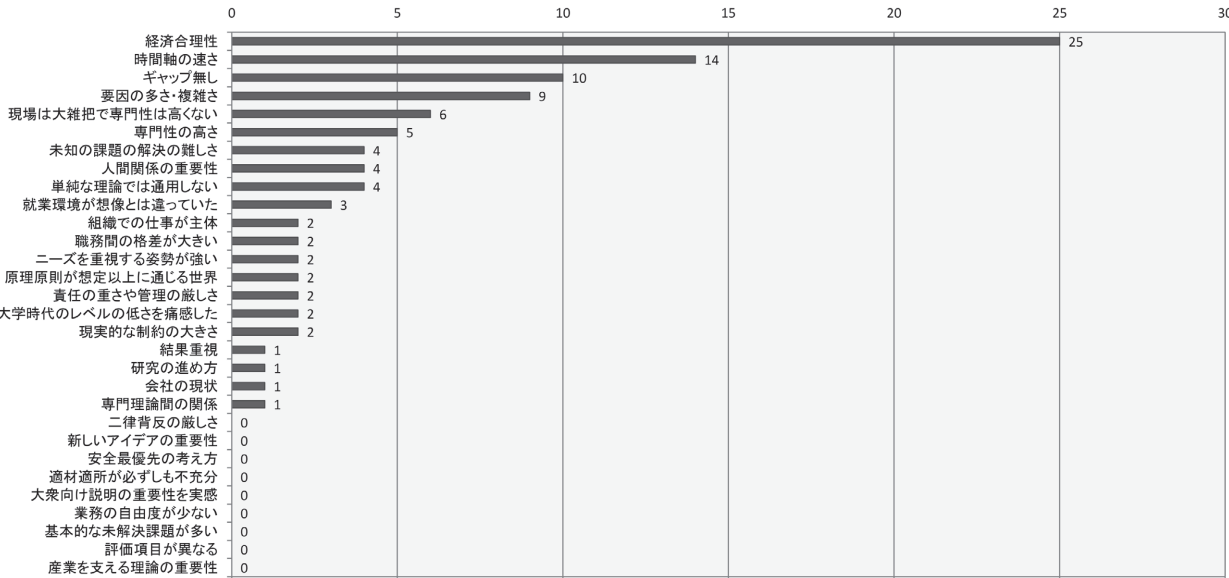


図34 大学時代と入社後の企業との相違点（平成23年度）【人数】

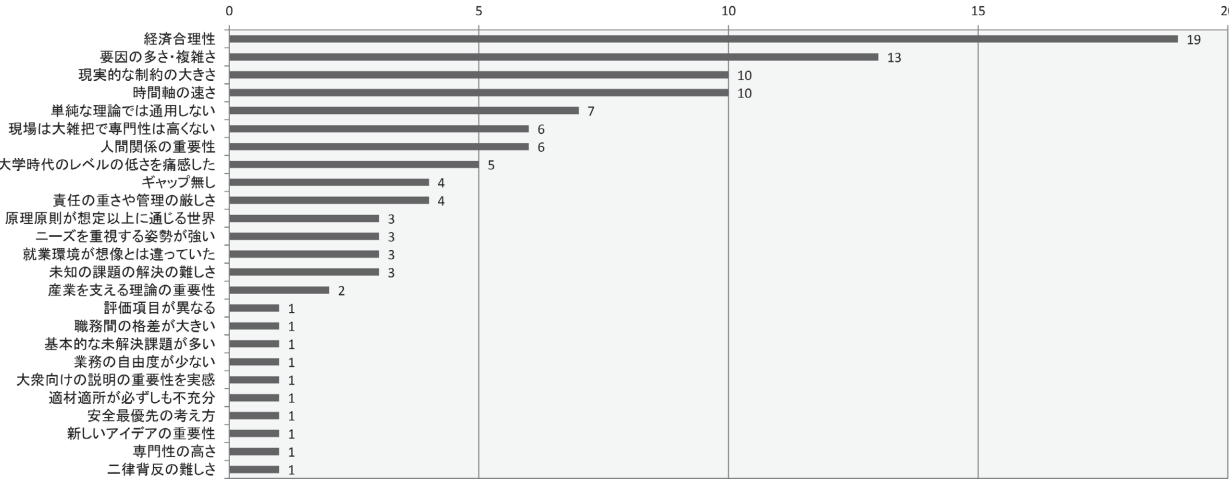


図35 大学時代と入社後での企業の実態の相違点（平成22年度）【％】

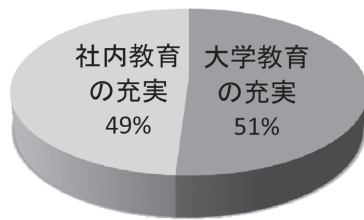


図36 入社前後の認識のギャップを埋める対策

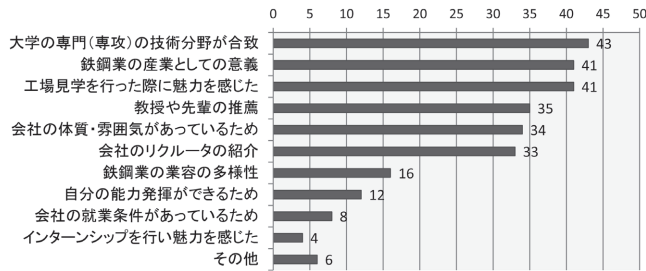


図37 現在の会社への入社の動機【人数】

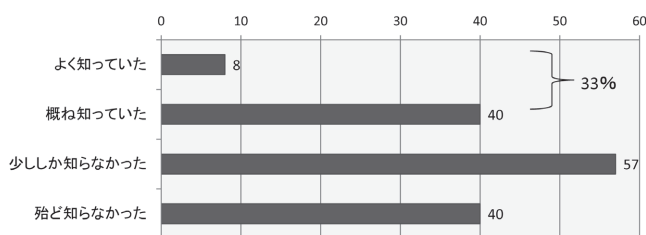


図38 大学時代に鉄鋼業のことは良く知っていたか【人数】

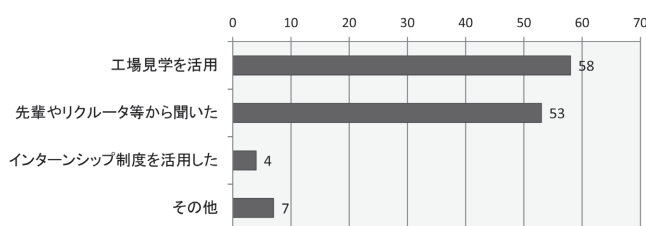


図39 鉄鋼業を知るためにどのような努力をしたか【人数】

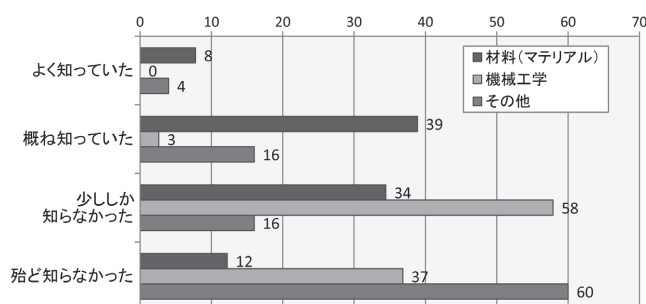


図40 大学時代に鉄鋼業のことは良く知っていたか(大学の専攻別)【%】

ること」、「スケールの大きな仕事・やりがいのある仕事であること」をあげる回答者が多かった(図46)。一方で、「弱み」としては、「古臭い、成熟、地味なイメージ」、「3K職場」等があげられた(図47)。

9) 鉄鋼を希望する人材が減少傾向とすれば、その理由は何か
鉄鋼を希望する人材が減少傾向とすれば、その理由は何か

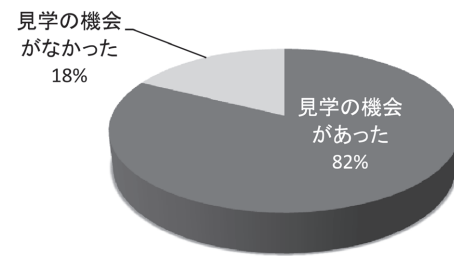


図41 大学時代に製鉄所を見学する機会があったか【%】

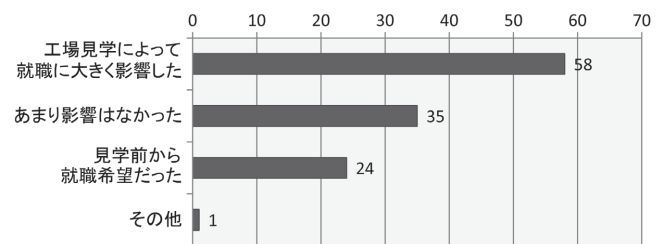


図42 製鉄所見学の就職への影響【人数】

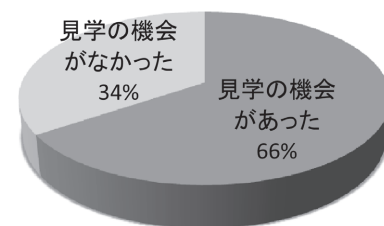


図43 鉄鋼以外の他業種の見学の機会があったか【%】

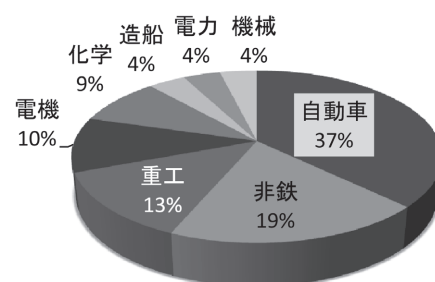


図44 見学の機会があった他業種【%】

を聞いた。多くの人が、鉄鋼業の「将来性、先進性、明るい未来がない」、「他業界（自動車、IT等）の方が人気が高い」、「古い、3K等の暗いイメージ」をあげた（図48）。

10) 鉄鋼を希望する人材を増やすために改善すべきこと

鉄鋼を希望する人材を増やすために、鉄鋼会社が行っている努力に対する改善点を聞いたところ、「工場・研究所見学機会の増加」、「知名度の向上（CM等）」が多く、続いて、「情報提供、鉄鋼業の良さのPR」、「最先端の技術開発」、「仕事の

内容、やりがいをPR」等の項目があげられた（図49）。選択された項目順多少の相違はあるが、平成22年度、平成23年度でも概ね同様の回答が得られている。

6 調査結果の評価

日本鉄鋼協会では、社会人向けの人材育成セミナーに参加する30歳前後の若手技術者に対して、大学教育や社内教育に対する有効性や改善点について、定点観測的に調査を行っ

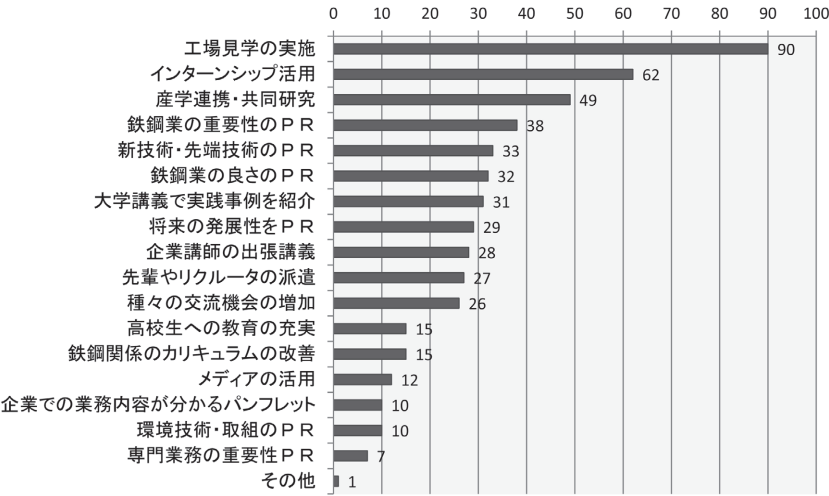


図45 大学生に鉄鋼業を理解してもらうためになすべきこと【人数】

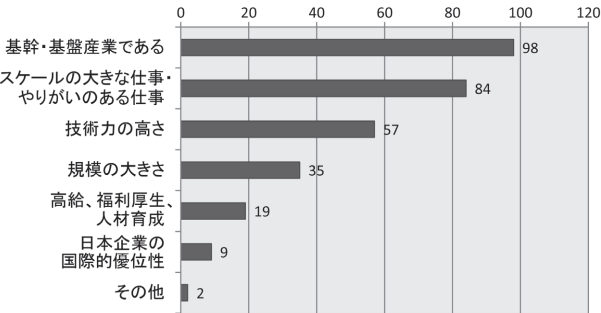


図46 鉄鋼会社を若い人にPRする「強み」は何か【人数】

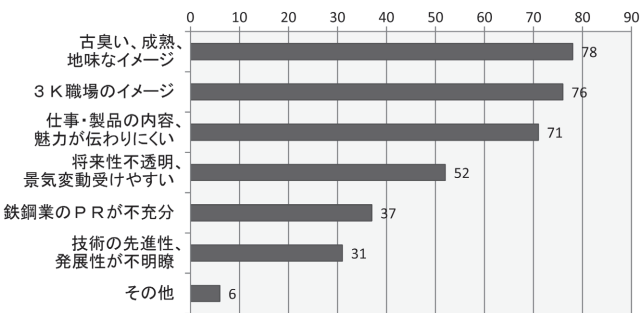


図47 鉄鋼会社を若い人にPRする「弱み」は何か【人数】

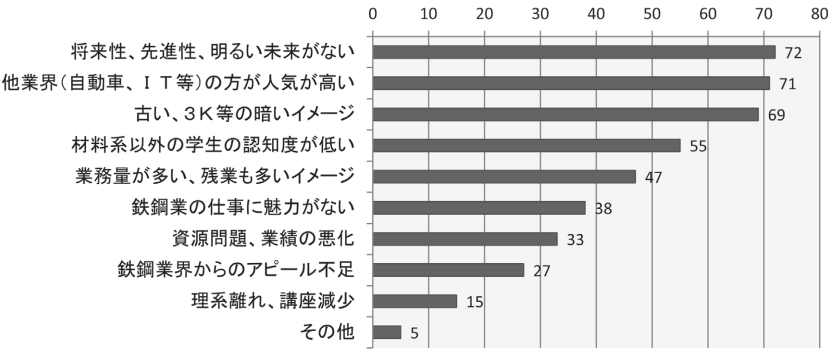


図48 鉄鋼を希望する人材が減少傾向とすれば、その理由は何か【人数】

ている。

本調査は平成22年度に開始し、本年度で3回目となった。対象となる若手技術者は、大学卒業後数年経過したもので、大学時代の教育を振り返るのに最も実体験に富む世代である。また、就職後に実務経験の真最中であり、双方の視点から興味深い示唆を得ることができた。

調査結果は、図表等にまとめたが、大学教育、社内教育ともに現状の姿に対して、何らかの改善が必要であると考えている人が多く、これからの鉄鋼業を担う若手技術者の貴重な意見として今後の具体的な改善施策に結び付けていきたい。

これらの結果は、毎年3月に開催される「全国大学材料関係教室協議会」での報告や、関係先への報告を行い、さらに多くの大学、企業等関係者に共有していただき、今後の人材育成活動に反映していただければ幸いである。

このような定点観測調査は鉄鋼業に限らず、幅広い産業界で実施することにより、工学教育全体への改善の方向が示されるものと考えている。このため、鉄鋼協会からは本結果を踏まえ、文部科学省、経済産業省、経済団体連合会等関連の機関へも結果の報告を行っている。これら結果が有効に活用されることを希望する。

最後に本調査結果に協力していただいた日本鉄鋼協会の鉄鋼工学セミナー参加者へ感謝する。

参考文献

- 1) 小島彰：ふえらむ，16 (2011) 10, 673.
- 2) 小島彰，鈴木信邦：ふえらむ，17 (2012) 6, 386.

(2013年2月5日受付)

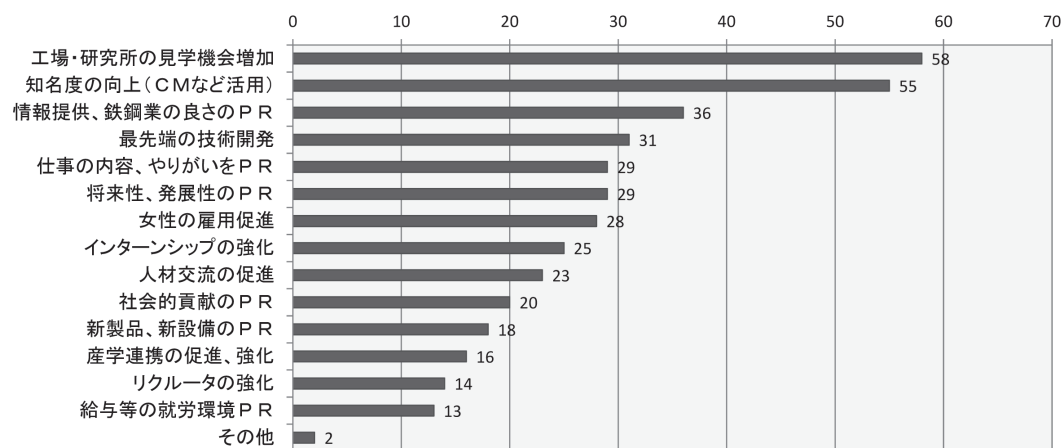


図49 鉄鋼を希望する人材を増やすために改善すべきこと【人数】

会員へのお知らせ目次

行事等予定	200頁
総合	
第5版鉄鋼便覧予約受付開始のお知らせ	203頁
「鉄と鋼」第100巻記念特集号 第7号(分析分野特集号)	
「次世代に向けた鉄鋼科学技術の変遷4ー鉄鋼分析技術の課題と展開ー」原稿募集のご案内	203頁
「鉄と鋼」第100巻記念特集号 第12号(加工分野特集号)	
「次世代に向けた鉄鋼科学技術の変遷7ー圧延・成形加工ー」原稿募集のご案内	203頁
材料の組織と特性部会 平成25年度新規発足フォーラムと参加へのご案内	204頁
材料の組織と特性部会 平成25年度新規「自主フォーラム」発足および設置提案募集のご案内	205頁
学部学生の製鉄所見学事業の募集案内	206頁
イベント情報	
第213・214回西山記念技術講座「自動車部材軽量化の為の制御鍛造とメタラジー」開催のお知らせ	206頁
鉄鋼工学セミナー「専科」平成25年度受講のご案内	208頁
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」開催案内	211頁
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 開催案内	
テーマ:「形・管・棒鋼圧延のトライボロジー」	211頁
日本鉄鋼協会 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25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」開催案内	211頁
平成25年度 レアメタル研究会のご案内	212頁
報告事項	
(公財)大河内記念会 第59回(平成24年度)大河内賞受賞のお知らせ	212頁
平成24年度一般社団法人日本鉄鋼協会第4回理事会報告	212頁
次号目次案内	213頁
会員欄(入会者・死亡退会者一覧)	214頁
海外鉄鋼関連最新論文	215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4月			
13日	第2回日本学術会議材料工学委員会シンポジウム「材料工学の人材育成」(東京)	日本学術会議	東京大学 生産技術研究所前田研究室 高田 secretar@iis.u-tokyo.ac.jp
15, 16日	ISIJ-VDEh-Jernkontoret Joint Symposium(The 14 th ISIJ-VDEh Seminar, The 8 th Japan-Nordic Countries Joint Symposium on Science and technology of Process Metallurgy)日独北欧合同シンポジウム(大阪 2号97頁)	日本鉄鋼協会	技術企画・部会グループ Tel. 03-3669-5932
16~18日	第47回空気調和・冷凍連合講演会(東京)	日本機械学会	講演会係 http://www.env-jsme.com/
18, 19日	第26回環境工学連合講演会(東京)	日本学術会議	第26回環境工学連合講演会ホームページ http://www.csj.jp/es/26kankyokougaku/index.html
27日	日本鉄鋼協会 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25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」 (千葉 本号211頁)	日本鉄鋼協会	「鉄の技術と歴史」研究フォーラム運営委員 松井良行 Fax. 078-993-4403 matsui.yoshiyuki@kki.kobelco.com
30日	ISIJ International 特集号 "Diversified Estimation of Nonmetallic Inclusion Particles in Steel" 原稿募集締切(12号874頁)	日本鉄鋼協会	東北大学 井上亮 ryo@tagen.tohoku.ac.jp
2013年5月			
5~10日	The 5th international conference on Recrystallization and Grain Growth (Australia)	Organizing Committee	http://www.rex-gg2013.org/
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 本号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」ー伸線・引抜き・矯正・潤滑ー(大阪)	日本塑性加工学会	日本塑性加工学会 Tel. 03-3435-8301 http://www.jstip.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
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	「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
2013年6月			
2～7日	The 19th International Conference on Solid State Ionic (京都)	国際固体イオンクス学会	徳島大学 中村浩一 Tel. 088-656-7577 http://www.ssi-19.net/
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 本号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@kyodoyushi.co.jp
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
19～21日	第18回計算工学講演会（東京）	日本計算工学学会	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 本号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 本号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	舟橋良次 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.jrias.or.jp/
4, 5日	鉄鋼工学セミナー「凝固専科」（神奈川 本号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）	日本学術会議	電気学会 事業サービス課 Tel. 03-3221-7313
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, 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
12日	第56回レアメタル研究会（東京 本号212頁）	レアメタル研究会	東京大学 宮崎智子 tmiya@iis.u-tokyo.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
29～31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 本号 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）	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212頁）	レアメタル研究会	東京大学 宮崎智子 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	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）	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）	名古屋親市委員会	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（分析分野特集号） 「次世代に向けた鉄鋼科学技術の変遷4—鉄鋼分析技術の課題と展開—」原稿募集締切（本号203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	8th ISEM'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 本号 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212頁）	レアメタル研究会	東京大学 宮崎智子 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/
2014年1月			
10日	第59回レアメタル研究会（東京 本号212頁）	レアメタル研究会	東京大学 宮崎智子 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp
2014年3月			
20日	第60回レアメタル研究会（東京 本号212頁）	レアメタル研究会	東京大学 宮崎智子 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp
31日	「鉄と鋼」第100巻記念特集号 第12号（加工分野特集号） 「次世代に向けた鉄鋼科学技術の変遷7—圧延・成形加工—」原稿募集締切（本号203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 utsu@mat.eng.osaka-u.ac.jp

編集後記

新年度がスタートしました。進学・就職・異動などで環境が大きく変わった方々は、期待と不安が入り混じった日々を過ごしていることと思います。新しい人々を迎える側にとっても、入学・入社時の初心を思い起こすことが多い貴重な時期ではないでしょうか。学びの喜び、仕事のやりがい、達成感などを今一度しっかりと確認して、新年度も充実した年にしたいものです。

さて、「ふえらむ」では、大学や企業において鉄鋼業界に携わる新人・初学者の方々のために、本4月号から入門講座「物理分

析入門-初めて使う人のために」シリーズを掲載しています。普段から疑問に思っていたことや見落としていたことを確認・理解する良い機会になれば幸いです。是非、ご一読下さい。また、本年8月号から入門講座「鋼の凝固入門」も始まる予定です。凝固・鍛造・溶接に係わる方々にその分野の基礎から応用までを俯瞰できるような内容をご提供できればと思っております。本年度も「ふえらむ」が鉄鋼業界の発展に貢献できるよう会報委員としての初心を忘れずに努力していきます。(M.O.)

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 卓也 (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)	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)	山内 昭良 (日本鉄鋼協会)	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-Hagane: Unit Price ¥4,000 (Free of seamail charge)

1996年5月10日第三種郵便物認可 2013年3月25日印刷納本、2013年4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

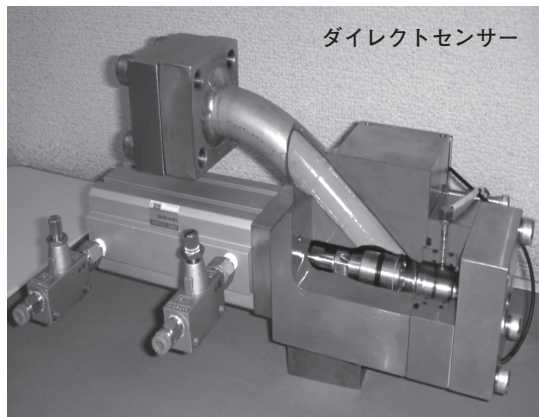
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA

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

熱間圧延機用油圧延システム

濃度管理から混合度管理へ !!

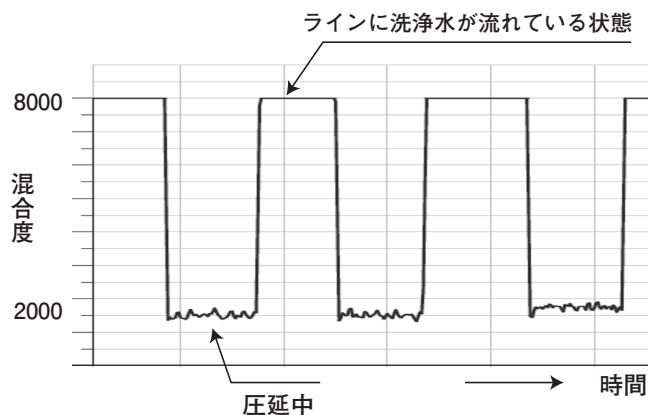
混合度とは、濃度を含む油と水の混ざり具合で、**混合度**で油圧延の効果が決まります。



ダイレクトセンサー

ミキサーとスプレーヘッダーの間に取付け光技術を利用して混合度を画像化する。

油圧延を、光センサーを使って目で見える形にします。



 **豊産マシナリー株式会社**

〒290-0036 千葉県市原市松ヶ島西1-1-19

TEL. 0436-25-6411 FAX. 0436-25-6414

URL <http://www.toyo-sun.com/> e-mail toyosun@mb.infoweb.ne.jp

日本鉄鋼協会発行誌 広告のご案内

ふえらむ・鉄と鋼

- 前付1色 1頁／120,000円
- 後付1色 1頁／100,000円 1/2頁／60,000円
- 2色刷り／上記金額に40,000円加算
- 4色刷り／上記金額に140,000円加算

ISIJ International

- 1色 1頁／120,000円
- 1色 1/2頁／70,000円
- 2色 1頁／170,000円
- 4色 1頁／250,000円

※料金に消費税は含まれておりません。

※上記広告についてのお問い合わせ、お申し込みは下記までご連絡下さい。

詳しい資料をご用意しています。

株式会社 明報社

〒104-0061 東京都中央区銀座7丁目12番4号(友野本社ビル)

TEL.03(3546)1337(代) FAX.03(3546)6306

<http://www.meihosha.co.jp> E-mail: info@meihosha.co.jp

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、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