

ふえらむ

Bulletin of The Iron and Steel
Institute of Japan

Vol.19 / No.7 / 2014

(一社)日本鉄鋼協会会報

ISSN1341-688X

鐵

と

鋼

日
本
鐵
鋼
協
會
之
誌

平成二十六年七月一日刊行

第百卷記念特集号

次世代に向けた鉄鋼科学技術の変遷四
— 鉄鋼分析技術の課題と展開 —

第 百 卷
第 七 號

Tetsu-to-Hagané

Vol.100 / No.7 / 2014

ISSN0021-1575

一般社団法人 日本鉄鋼協会
The Iron and Steel Institute of Japan

<http://www.isij.or.jp>

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)

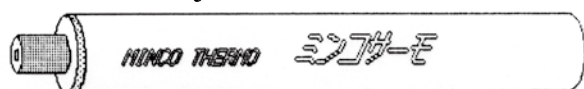


ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。
炉外精錬装置 脱ガス装置 電気炉 レードル タンディッシュ CCモールド
高炉出鉄樋 トピードカー 溶銑予備処理などあらゆる場所から採取できます

■ 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)

C O N T E N T S

目 次

「鉄と鋼」第100巻記念 座談会	分析分野座談会 ものづくりの根幹を支える分析研究の未来	438
会長就任にあたって	加藤雅治	449
「鉄と鋼」第100巻記念 連動記事	エポックを作った人物紹介-4 宗宮尚行先生と平野四蔵先生の鉄鋼分析 古谷圭一	450
	エポックを作った人物紹介-5 鉄鋼機器分析の道を拓く—廣川吉之助先生の業績 我妻和明	455
	エポックを作った人物紹介-6 日本の鉄鋼分析に新時代をもたらした技術者 佐伯正夫博士 小野昭紘	459
特別講演 (経営トップ)	鉄鋼業の世代交代とJFEスチールの取り組み 林田英治	464
(渡辺義介賞受賞記念)	製鉄業と私—鉄鋼業の持続的成長のために— 二村文友	470
(西山賞受賞記念)	鉄鋼凝固プロセスの基礎現象 鈴木俊夫	475
(浅田賞受賞記念)	ヘテロ組織を利用したMIM焼結低合金鋼の超強靱化 三浦秀士	479
入門講座	鋼の凝固入門-9 連続鑄造Ⅱ：鑄片の欠陥（表面品質、介在物制御） 三木祐司	482
躍 動	環境調和型冷延潤滑システムの開発を通じて 藤田昇輝	490
アラカルト	講演大会学生ポスターセッションに参加して 恩師の方々への感謝 金下武士	494
会員へのお知らせ		495
海外鉄鋼関連最新論文		514
平成25年度事業報告・収支決算および平成26年度事業計画・収支予算のお知らせ		517



分析分野座談会

ものづくりの根幹を支える 分析研究の未来

鉄鋼分析は、鉄鋼製造における工程管理、製品評価や環境調和型プロセスを支える技術として重要視されている。「鉄と鋼」第100巻を記念した分析分野座談会では、鉄鋼における分析がどのように発展してきたか、また今後期待することなどについて、幅広く意見を出していただいた。
(2014年4月2日収録)

出席者(敬称略)

古谷圭一	東京理科大学 名誉教授 [学会部門 評価・分析・解析部会 初代部会長]
小熊幸一	千葉大学 グランドフェロー [二代目部会長]
中原武利	大阪府立大学 名誉教授 [三代目部会長]
平井昭司	東京都市大学 名誉教授 [四代目部会長]
田中龍彦	東京理科大学 工学部 工業化学科 嘱託教授 [五代目部会長]
我妻和明	東北大学 金属材料研究所 分析科学研究部門 教授 [七代目部会長]
宮村一夫	東京理科大学 理学部 化学科 教授 [八代目部会長]
河合潤	京都大学 大学院工学研究科 材料工学専攻 教授 [九代目部会長] (司会)
佐伯正夫	元新日本製鐵(株) [元鉄鋼分析部会長]
小野昭紘	元新日本製鐵(株)
望月正	JFEテクノリサーチ(株) ソリューション本部(川崎) エコ分析技術部 部長 [生産技術部門 前分析技術部会長]
石橋耀一	JFEテクノリサーチ(株) 技術情報事業部 マネジメント支援部 主席研究員
池松陽一	新日鐵住金(株) 技術開発本部 先端技術研究所 解析科学研究部長 [生産技術部門 分析技術部会長]
井上亮	(一社)日本鉄鋼協会 論文誌編集委員会 分析分野担当幹事、「鉄と鋼」第100巻特命小委員会 委員

鉄鋼業の成長を支えてきた分析技術

河合 本日はお集まりいただき、ありがとうございます。鉄鋼界における分析研究の過去・現在・未来について、産学のお話を伺いたいと思います。まず最初に古谷先生から、日本の分析技術発展の初期について話をいただけますか。

古谷 1800年代の前半、アメリカの船がボイラーの爆発事故を

起こし、そういうふうには鉄が割れることに対して、分析をしないとダメなということから、ASTM、つまりアメリカの規格分析がスタートしました。日本で、鉄をつくり出したのは1901年の八幡製鉄所からですが、最初はそれぞれの会社が適当と思われる分析法を用いていました。大正時代後期の1917年に第一次世界大戦が勃発し、外国の輸入鉄が入らないので日本製の鉄を使うようになりました。その前後では価格変動が大きく、契約納入を

めぐってトラブルが発生します。その中で当時話題となったのが銑鉄1千万円訴訟です。この裁判のために国内の分析所で同じ試料について鑑定が行われ、その結果分かったのは、それぞれの分析所のノウハウとして用いている分析法の結果は互いにばらつき、信用できないということでした。これに本協会創立者のひとりであった俵國一先生が関わっていました。

昭和初期、日本海軍は極秘裏に大型戦艦建造計画を立てました。けれども問題は、偏析の少ない高強度装甲板をどのように作るかということでした。特殊鋼中に生じる白点がそれで、これに関係ある水素分析が必要として、軍産学公の共同研究が1934年日本学術振興会第19委員会として発足します。ここにおいて、製鋼研究者、分析研究者、分析担当者のオープンな協議の上に作られた納得できる分析法を用い、同一試料を用いた各分析所の結果が比較され、科学的に信頼できる方法が生まれます。戦艦大和の建造にはこのような歴史が隠されていました。その後もこの作業は他のガス元素に広げられ、さらに、合金元素や不純物元素などの工程管理のための迅速分析法の開発に広がりました。戦後の日本鉄鋼技術の進歩はこれに支えられたのです。

河合 中原先生にお伺いしたいのですが、関東で学術振興会の活動が始まった後、関西分析研究会が始まったのですか。

中原 日本鉄鋼協会関西支部は1939年に、遅れて日本金属学会関西支部は1941年にそれぞれ発足し、その後1948年になって両支部が合同して一緒に運営されることになりました。そのような関西支部内に関西分析研究会が、1952年に日本分析化学会の近畿支部ができる以前に発足したわけで、関西地区の分析技術を維持、向上させようという多大な努力がなされてきました。

戦後、日本の鉄鋼の成長の礎の1つとして鉄鋼標準試料があると思います。関西分析研究会では1954年に最初の4種類の鉄鋼標準試料が作られました。さらに非鉄金属材料の2種類を含め、1963年まで継続して全国に頒布されていました。その後、日本鉄鋼協会が標準試料を作るまで続けられ、1965年に関西分析研究会は鉄鋼標準試料調製の役割を終えました。

佐伯 これまでの100年の歴史を振り返ってみると、鉄鋼分析の役割はずいぶん変化したと思います。八幡製鉄所ができた1901年当時、5元素と言われた炭素、リン、硫黄、ケイ素、マンガンは手分析

■100年にわたる鉄鋼分析の変遷(図1)

	勃興期(1914~1945年)	復興期(1945~1958年)	高度成長期(1959~1973年)	成熟期(1974~1990年)	大競争期(1991~2014年)
分析技術	化学分析	迅速化学分析	機器分析	分析・解析技術の高性能化、システム化、総合的解析	効率化、合理化、分社化、新しいシーズ探索
技術開発での共同活動	欧米から書物で学ぶ、人材育成、富国強兵 1934 俵教授、宗宮教授 学振19委 第一分科会(分析)	技術改善、共同実験、統計的手法、米国から学ぶ 1952 関西分析研究会 1952 日本分析化学会	最新分析装置の導入と定着、分析試料の急増、公害問題 1960 後藤教授、廣川教授、我妻教授 鉄鋼分析部会 [5分科会、幹事会]	世界のトップに、国際交流、コンピューター活用 マテリアルキャラクタリゼーション 1988.1 古谷教授 化学計測協議会 評価・分析・解析部会 環境分析協議会	国際的大競争、中国の抬頭、新しいルールの制定 1997 分析技術部会 1995
標準化での共同活動	JES、学振法 1933 八幡製鉄標準試料	1953 JIS、学振法 1954 日本鉄鋼標準試料(JIS)	1965 認証標準物質 ISO GUIDE 34(CRM) 1961 ISO/TC107/SC2 (鉄鉱石分析) 1967 ISO/TC17/SC1 (鉄鋼分析)	1980 幹事国 議長(佐伯、柿田)	1990 ISO基本主義に ISO9000(品質保証) ISO/IEC 17025(試験所)
画期的な出来事	1920 銑鉄一千万円訴訟 (硫黄定量値)	1951、1963 「鉄鋼化学分析全書」 1945 宗宮教授 学士院賞(鋼中ガス分析)	1958、1961 後藤教授 鉄鋼分析の米国調査	1977 PDA発光分析法、大河内賞 1982 「日本鉄鋼業における分析技術」	1998 レーザーICP発光法、大河内賞

(資料提供:佐伯正夫氏)



古谷 圭一

東京理科大学
名誉教授

小熊 幸一

千葉大学
グランドフェロー

でやっていて、ガス分析は、研究開発をサポートするためのものだったと思います。戦前は学振第19委員会第1分科会が分析研究の中心でしたが、特徴的なのは迅速化学分析の研究でした。戦後、1955年頃から日本の鉄鋼業は復活が始まり、各社が大型高炉を持つようになり、猛烈に合理化計画をやって、増産体制に入っていきます。私が大学を卒業した1959年頃までは、平炉で4時間かけて精錬していましたが、これでは生産が間に合わない、各社は純酸素上吹き転炉(LD転炉)を導入しました。転炉なら20分で工程が終わりますが、鋼の状態は分析で調べなければいけないので、機器分析をやらなければいけないということになった。当時アメリカでは発光分光分析あるいは蛍光X線分析が非常に発達してきている、とのことで日本でも装置を導入することになりましたが、これは当時、1台3,000万円から4,000万円かかりました。初任給が月給1万5,000円の時代です。入れた以上は早く定着させなければいけないということで、日本鉄鋼協会の中に鉄鋼分析部会を開いたのが1960年です。その後、JISの検討も日本鉄鋼協会では実務者が集まった中でやるべきだということで、鉄鋼各社の分析技術者と大学側研究者との体制で鉄鋼分析部会がスタートしました。ここでは、化学分析分科会、機器分析分科会、発光分光分析分科会など5つの分科会あるいは小委員会をつくり、いろいろな形で活動しました。

高度成長期における機器分析の進展

河合 この頃、蛍光X線分析は、ピーク強度と濃度が全く関係なくて全然定量性がなかったのが、世界に冠たるファンダメンタルパラメータ法が住金の白岩・藤野両氏によって作られて、やっと普通に使えるようになったと聞いています。発光分光分析についてはどうだったのですか。

佐伯 発光分光分析は1959年頃の機器分析の代表でした。この方法では、アルゴン気流中で発光を行わせ、光のパスは全部真空にしている、波長の短いカーボンの定量ができるのが大きな特徴です。これに対し蛍光X線分析は、特殊鋼やステンレス鋼などでニッケルやクロムを定量するのに適していました。

中原 発光分光分析は、当初は写真乾板にスペクトルを焼いて写真測光をするという、非常に非生産的な測光方式でしたが、その後カントメーター(quantometer)という装置が世に出て、フォトマルをディテクターとする光電測光方式が急速にはやったのです。その後、C、P、Sの分析ができる真空紫外測光型のいわゆるカントバック(quantovac)が当時の大阪府立工業奨励館(現大阪府立産業技術総合研究所)に設置され、昭和天皇が視察に来られた時の記念写真が奨励館に大きく飾られていました。これを契機に、産官学で集中的に研究しようと関西分析研究会内に光源研究部会をつくり、その研究結果が学振第19委員会の分光分析協議会に提案されたそうです。

小野 生産技術部門の中に分析技術部会ができたのが1995年*でしょう。私は年代的に、分析技術部会の前身の鉄鋼分析部会でのかかわりが深かったですね。佐伯さんは部会長で全体の指導をされる立場でしたけど、私の場合は実際の部会の中身の運営というか、機器分析分科会の主査など実戦部隊としての活動をしてきました。発光分光分析や蛍光X線分析の精度向上やJIS改正などをやっていましたが、各社の持っている設備、機種、分析件数、要員数などは全部公開してもらっていませんでした。これによって共同実験結果の解析などがやりやすかったし、参加各社も他社情報を参考にできてよかったのではないのでしょうか。鉄鋼分析部会のあとは、古谷先生と一緒に評価・分析・解析部会の準備や立ち上げ支援で、活動計画案作成とか部会会員の勧誘とかを主にやっていたかと思います。

石橋 私も小野さんと一緒にやっていましたが、一番よかったのは全部オープンでやったということですね。工場見学も持ち回り、各社の主力工場の分析部門を見て、合理化などもお互い包み隠さず全部出し合ったというのが、今の成果につながったと思います。

望月 私は2011年から2013年まで分析技術部会を預かってきましたが、鉄鋼分析部会の発足当時と同じように、鉄鋼各社の専門家が集まってお互いに勉強し合って各社でそれを生か

*1995年、「リストラ80」と称して、日本鉄鋼協会の大幅な構造改革が行われた。その1つが、学会部門と生産技術部門を立ち上げ、従来の活動を両部門に集約再編成するものであった。

していこうという、その精神は引き継いでいます。ただし、活動の内容はずいぶん様変わりして、従来の湿式化学分析から現在のごく微量を追うような技術の開発が中心になっています。機器分析がだんだんとブラックボックス化する中で、特に生産現場の技術者にも正しい情報を発信し続けて技術の伝承を図るという活動をしています。

河合 我妻先生のいる東北大学の金研では後藤先生から廣川先生に代替わりする頃に湿式化学分析から機器分析に変わってきたのではないですか。

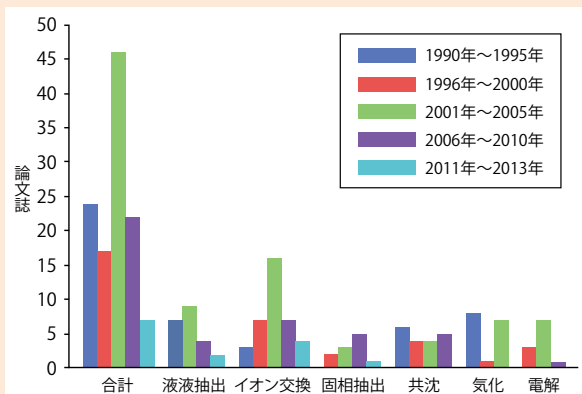
我妻 私は後藤先生の孫弟子にあたり、廣川先生の時代に採用していただきました。当時、廣川先生は、ESI (Electro Scientific Industries, Inc.) のエスカとPHI (Physical Electronics, Inc.) の初期型のオージェを熱心に研究されていました。私は修士の頃は表面の研究をやっていて、鉄の研究室だとは知らなかったのです。数年してから、この分光器に新しい光源をつけなさいと言われました。今思えば、その分光器は3.4mエバートといって、要するにカントバックのなれの果てだったのです。その後、助教授になってから古谷先生にお誘いを受けて、日本鉄鋼協会とのおつき合いが始まりました。

河合 鉄鋼メーカーは、表面分析は最初の頃から導入されていたよね。例えばEPMA (Electron Probe Micro Analyzer) も早くから入れたと聞いています。

佐伯 1962年頃、私が広畑製鉄所の分析研究にいたときにEPMAが導入されました。当初、私は大きなカルチャーショックを受けました。というのはEPMAは電子ビームを当てて、そこから出てくるX線を拾いますが、小さければ2 μ mぐらいまでビームを絞ることができるのです。それをスキャンして面の分析ができるし、3次元の分析ができる。それまでは元素を1つ1つ小銃で撃っていたが、EPMAでは機関銃のように大量の情報が出てくる。これは分析の革命だと思いました。その後EPMAは、めっきの表面の研究に非常に役に立ったし、介在物の分析にも役立ちました。

■鉄鋼分析に分離・濃縮法を用いた論文数の推移(図2)

(小熊幸一氏・上原伸夫氏の集計による)



(注) 2013年は前半までを集計



学会部門における評価・分析・解析部会の多彩な活動

古谷 1995年の日本鉄鋼協会の「リストラ80」で、学会部門の学術部会の中の1つのフォーラムとして評価・分析・解析部会の前身ができました。私を推薦してくれる人がいて、思いがけず初代の部会長を務めることになったのです。

小熊 私は二代目の部会長でした。設立までの詳細ですが、本部会は、高温プロセス部会と材料の組織と特性部会の両方に所属する「材料・プロセスの評価・分析フォーラム」としての2年間の活動後、1997年に評価・分析・析部会として独立しました。私は元々湿式化学分析が専門でしたので、日本鉄鋼協会でも溶液化学に基づく湿式化学分析を担当して今日に至っています。湿式化学分析のうちで重量分析と滴定とは標準物質を必要としない絶対的なもので、一次標準直接法 (Primary direct method) といわれSI (国際単位系) に直結するということで世界的にも重要視されています。今、分析の効率化ということで機器分析がよく使われますが、湿式化学分析というのは、単に標準物質の値づけをするときにだけ使うのではなくて、基本的な分析手法であるということをとときには思い出してほしいと思います。実は望月さんにもご協力いただき、分析技術部会で原子吸光分析あるいはICP発光分光分析を使うものも含めた湿式化学分析の熟練を要する操作が全部含まれるJIS法の検討会を足かけ5年行い、2014年3月で全スケジュールが終了しました。このように、分析技術の伝承は鉄鋼各社で心がけていると思いますので、私は楽観しています。

中原 私は2002年から2年間、第三代目の部会長となりましたが、部会長になった直後に、2000年から10年ないし15年のスパンでロードマップを作るように言われました(図4参照)。幸いにも我妻先生のご助力を得て初版のロードマップを作り、「ふえらむ」に原稿を出すことができました。私自身は原子吸光分析に始まり、ICP発光分光分析とかICP質量分析とか、MIP発光分光分析などについて研究してきて、特にMIP発光分光分析の鉄鋼分析への応用に関してはレビュー原稿にまとめて本特集号に寄稿していますので、ご覧いただけたらありがたいと思います。



平井 昭司

東京都市大学
名誉教授

石橋 今、ICP発光分光分析の話が出ました。鉄鋼化学分析は工程管理分析をきちんとやらなければならない、それで化学分析からカントバックの時代に移り、蛍光X線分析が入ってきました。その過程で、発光分光分析も進化し、特にオンライン分析に最適なものは何かというと、それは発光分光分析であろう、と。そこでICP発光分光分析のレベルの発光分析を目指し、レーザーアブレーションをICP発光分光分析装置につけた形のが研究され、転炉の迅速分析、その他の工程や製品の迅速分析という形で、速さとICP発光分光分析並みの精度を持つ発光分光分析が実用化しました。もう1つ、我妻先生が開発されたグロー放電も実際に工程管理に使われていて、特にめっきラインの深さ方向の分析ではラインにグロー放電を使った発光分析が実用化されており、これも発光分光分析の進化の1つだと思います。

平井 私は四代目の部会長になりますが、私の鉄鋼とのかかわりは1974年頃、公害問題が騒がれていた時期に、当時の武蔵工業大学で原子炉を使って放射化分析をしていた頃に始まりました。この方法は、多元素を同時に微量レベルまで分析でき、従来の化学法とは違い信頼性が非常に高いと言われていました。おそらく将来は鉄鋼分野の中で高純度のものが必要になり、そのとき放射化分析が有用になるだろうという先見の明があったと思います。それと現在、私は部会の広報として、部会発足当時からPEMAC（ピーマック）というニュースレターズを発行してきています。部会の中だけでなく、他の部会の方々に対しても、部会がどういう活動をしてきたか、広く知ってもらいたいと思っています。情報の共有化が大事です。

田中 私は平井先生の後、五代目の部会長です。同じ学内の古谷先生から誘っていただき日本鉄鋼協会に入ったのは1988年で、その後、分析対象が鉄の方にかなりシフトしてきました。私が研究しているのはパーセントオーダーの湿式化学分析で、鉄や非鉄の分析を電気化学的な手法を利用して進めました。SIそのものを使った分析手法で、電量滴定は非常に精度の高い絶対法であるということで、かなり厳しく技術をたたき込まれました。分析技術部会に参画したときには、学術部会にいたときと違った雰囲気でいろいろな情報が得られて、とても



田中 龍彦

東京理科大学
工学部
工業化学科
嘱託教授

勉強になりました。

望月 現在の分析技術部会には、評価・分析・解析部会長の先生に参加していただいております。いろいろなご意見をいただけて感謝しています。

我妻 私は40歳で部会に入り、その後8年間、講演大会協議会委員を務めたのですが、そのとき困ったのは、講演の数がとても少ないことでした。なぜこうなるのかと考えましたが、分析のターゲットがどんどんずれていき講演大会にマッチするようなテーマが少なくなっているのではないかと、思いました。それで、私が七代目の部会長になったとき、思い切っていろいろな先生方に声をかけて部会に入っていただきました。そのようにして、広がった運営ができて良かったという感想を持っています。

宮村 私は、我妻先生の後を継いで八代目部会長を仰せつかりました。私自身は錯体化学の研究室出身で、その後、古谷先生が使っていた部屋のある研究室に助手として入りました。古谷先生を始め、今日ここにおられる皆さんはよく知っている方々ばかりで、そう思えば、ここに来るのが既定路線だったのかなと思います。私が河合先生に引き継いだところで、2015年には日本鉄鋼協会の100周年を迎えますが、すでに我妻先生の時代にロードマップもできて、今後の方向性も確定していました。その一方、任期中に日本鉄鋼協会が一般社団法人化するとか、新日鐵住金が発足するというようなことがあり、協会を取り巻く環境が激変したというのが率直な感想です。幸い部会は会員数も増えていきますし、非常にいい時期を過ごさせていただいたと思っています。

井上 私は、本来は製鋼反応が専門ですが、大学で製鋼関係の研究室に入ったとき、「分析は自分でやりなさい。やらなかったら分析値に対して責任がとれない」と言われ、何もわからないところから学振の迅速分析法などを勉強して、現在に至っています。最近15年ぐらい介在物の分析をやらせていただいています。介在物というのは製品に直結するものですから、企業からデータがなかなか出てきません。もっとも、データが出てこないということは、それだけ鉄鋼製品で重要な役目を果たしているのだと、自分で納得しています。



我妻 和明

東北大学
金属材料研究所
分析科学研究部門
教授



宮村 一夫

東京理科大学
理学部 化学科
教授

河合 ところでどうして評価・分析・解析部会という名前が付いたのですか。

古谷 それまでの私の経験からしますと、分析の専門家は鉄のことを知らない。鉄の人は分析を知らず、むしろ別の分野だと思っている。これを何とか解決したいと思ったわけです。そして、キャラクターゼーションという考え方を名前の中に何とか持ち込みたいと思い、分析によってプロセス評価ができることと材料解析の意味も合わせたのです。

平井 さらに、分析の人だけでなく、表面の組織画像を測定し、その評価を行う分野などからも大勢の人に入ってほしいと思い、あえて評価を前に出したといういきさつもありました。

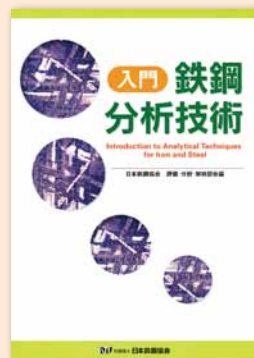
小野 その当時、鉄鋼業が新素材とか新しい方向に目を向け始めたときに、分析に対して周りからの期待が大きくなって、その中から分析分野と他分野との共同研究の流れが生まれました。特に他分野での新規開発には分析が研究段階での評価、判定に必須と認識されるようになったと思います。

標準化で存在感を見せる日本

佐伯 鉄鋼分析と標準化あるいはISOとの関連について、少しお話ししたいと思います。戦前は、JES法あるいは学振法というのが中心でしたが、戦後の1950年頃からはいよいよ鉄鋼分析のJISの活動が始まりました。発光分光分析、蛍光X線分析がだんだん現場で使われ始めましたが、最初は現場の製鋼の炉前の火花判定で、グラインダーで行う火花判定の結果と比較される程度でした。1960年代の後半になりようやく精度が改善しJISになりました。日本はJIS、ドイツはDIN、アメリカはASTMという国内法をつくっているのに対して、ヨーロッパが中心になってつくったのがISOです。ISOのIはInternationalというけれど、それはあくまでヨーロッパの中の話でした。日本は、1961年のTC102の活動に参加し、それからSC2で鉄鉱石の分析の幹事国を引き受けました。当時日本は、鉄鉱石を世界で一番多く買っている国だったので、鉄鉱石の分析値が正しくなければ莫大な損害が出る可能性があり、できるだけ国際的に分析法を

統一すべきだという考えで幹事国を引き受けたのです。それより少し遅れて、鉄鋼分析の方ではISO/TC17/SC1が始まりませんが、20年たってもなかなか動かない。そこで1980年に日本が幹事国を引き受けることになりました。その後1990年、今後のJISはISOを基本にすることになり、それからISOの9000シリーズ、品質管理あるいは品質保証の重要度が国際的に高まり、分析への関心が大きくなりました。その中にISO/IEC17025という「分析所の認定」項目があり、この機会にもっと分析所の管理状態をよくしようということになりました。一方、分析方法の標準化と並んで標準試料も非常に大事です。アメリカでNBSができたのは1900年頃のことですが、非常に高価なものでした。1933年には、八幡製鉄所で鉄鋼標準試料ができ、その後1954年にはこれが日本鉄鋼協会に移管されて日本鉄鋼標準試料となりました。昔はドイツやアメリカの分析技術のレベルが高かったのですが、1960～70年頃から欧米の鉄鋼会社の経営が傾いて分析に力を入れる余裕がなくなりました。一方、1990年代の初めになると、日本の鉄鋼分析の技術が世界を

■評価・分析・解析部会が編集・発行した2冊の図書(図3)



「入門鉄鋼分析技術」は2001年(平成13年)3月、「続 入門鉄鋼分析技術」は2006年(平成18年)2月に発行された。左の図書には、元素を定量する分析技術、材料を評価する分析技術、極表面を特性化する分析技術が紹介されている。右の図書には、元素を定量する分析技術、構造を解析する分析技術、分析評価と解析技術の最近が紹介されている。



佐伯 正夫

元新日本製鐵(株)

リードする時代が変わったのです。

河合 最近、ISOで主導権を外国にとられつつあるという話を聞いていますが、その点で鉄鋼分析規格は大丈夫でしょうか。

佐伯 私も非常に心配です。鉄鋼分析規格の幹事国は、今は日本から中国に移ったそうです。規格というのは、それをつくる人に一番メリットがあるのです。だから単に規格を守るだけではだめで、規格をつくる側に回らなければいけないと思います。

小野 分析方法の規格化についてですが、昔から鉄鋼分析部会、現在の分析技術部会でも、まず社内で新しい分析方法をつくって、次に協会法、その次にJIS法とし、ISOにいくというふうにやってきました。最近の例で言うと、鉄鋼中の酸素分析法は現在、「JIS Z 2613 金属材料の酸素定量方法通則」によっていますが、近いうちに鉄鋼分析方法として JIS Gの何番としてJIS化されます。現在でもまだJIS化しなければいけない項目がいくつかあります。例えば10ppm以下の微量酸素の定量は非常に難しいので今回のJIS化でも除外しているし、鉄鋼中の水素分析法は現在、「JIS Z 2614 金属材料中の水素定量方法通則」を用いていますが、鉄鋼の規格も必要があると思います。標準物質も同じで、日本の鉄鋼標準物質の整備は進んでいるんですけど、定量範囲が微領域に入ればそれに合わせた標準物質の追加整備が必要になると思います。

石橋 幹事国が中国に移ったといいますが、日本は現在の幹事国でなくても規格化の中心になって進めてほしいと思います。それがISOになれば、これから日本が製品開発する上でも大きな力になります。

新たな応用分野への広がり

井上 私は、環境応用分野で鉄鋼スラグを海域とか陸域で肥料あるいは環境補修材として使うための研究をしてきました。分析の専門家とは少し違った角度からのアプローチですが、学生にはむしろそちらの方が受けがいいように思いますし、今後も環境評価のための分析分野をもっと広げていきたいと思っています。

河合 環境応用は分析の人が得意な分野だと思いますので、

取り入れていくべきですね。

宮村 鉄鋼は構造材料の中核であることに変わりはないのですが、大学の分析研究の対象の中では、いろいろある材料の中で、鉄鋼はone of themにすぎないのですね。もし、鉄鋼の研究者から、我々がやっている分析の研究が鉄鋼の問題解決に役立つかもしれないと言われたらやってみようかと考える。大学の先生にはそういう人が多いのではないのでしょうか。

我妻 私も宮村先生の意見に全く同感で、鉄は数ある材料の1つであるという、そのことは避けて通れないのです。特に分析では方法論を重視していきますので、なかなか鉄に特化するという立場は難しいと思います。ところで、最近の分析研究のトピックは、マッピングではないかと私は思います。マッピングがいろいろな材料の進化に重要な役割を果たすのではないのでしょうか。

佐伯 マッピングは、非常に大事な技術だと思います。我々が扱うのは、均一系の溶液のようなものではなく、いろいろな金属組織や偏析がある不均質なものです。その中で、マッピングで得た情報を今後どうやって生かしていくのが重要でしょう。狙ったところをピンポイント攻撃のように精度よく分析することができるになれば、これまでの勘と経験で見えるのではなく、情報として正しく評価できるような技術ではないかと思っています。

河合 最近、ビッグデータの利用と言われるのですが、分析に対しても、そういう考え方が出てきて、とにかく手当たり次第に3次元、4次元で測った後で、それを解析するプログラムを使って何か意味のあるものを抽出しようという流れがでていますね。

小野 マッピングに関係する話として、標準物質の認証値に対する不確かさがありますが、この不確かさは実際にはもっと大きいのではないかと尋ねられたことがあります。標準物質の均質性に対する疑いです。そういうときにマッピングで、対象成分の厳密な分布の測定が必要です。以前、日本分析化学会でRoHS規制対応の鉛フリーはんだの標準物質を出しましたが、はんだの組織は結晶が大きいので、X線を数ミクロンに絞って時間をかけてマッピングすると、含有成分の偏析が大きいことがはつきりしました。そういうときは、蛍光X線分析するスポットを何mm以上にしてくださいという注意事項を書く必要があります。標準物質は均質性が非常に重要なので、そういうところでもマッピング技術は非常に重要だと思います。

井上 ところで、これまでの分析技術は、最初に湿式化学分析があり、そこから迅速法に行って、最近は迅速法に精緻さを求めるというような流れがあると思います。今後もそういう流れで鉄鋼業界は行くのでしょうか。あるいは、精緻さを求めるのではなく、例えば中性子のような特殊な分析技術に進むのか、どう思いますか。

小野 それは、目的に応じてケース・バイ・ケースということだと思います。私が以前にやっていた溶銅オンライン分析は、溶銅処理をしているときに元素の動きが即時にわかりますので、



小野 昭紘
元新日本製鐵(株)



石橋 耀一
JFEテクノリサーチ(株)
技術情報事業部
マネジメント支援部
主席研究員

それを現場で画面に映して、今マンガンの濃度がいくつだとか
が分かり、すぐに次のアクションを取ることができます。また迅速
と一言と言っても、極限まで迅速である必要がある場合とそう
でない場合もあるし、目的によると思うのです。

池松 小野さんが言われたように、目的によって分析技術を使
い分けしていくということだと思います。1つは、現場作業を支
える分析技術。介在物については迅速性と精緻さを求めるとい
う方向は変わらないでしょう。もう1つは新しい鋼材の開発で、例
えば、鋼材を変形させているその場でどういった現象が起きて
いるかを、中性子や放射光で測るとか。そのように分析技術も
目的に応じて使い分けるといえることだと思います。

小熊 私は日本鉄鋼協会に入会した翌年の1996年に研究
会の主査を担当することになりましたが、当時会議の後には企業
の現場の委員と酒を飲みながらざっくばらんに、将来のことを議
論し合ったものです。産官学の連携の発展という意味でも、互
いにコミュニケーションが取れる機会を、今後も心して設けるこ
とが必要だと思います。

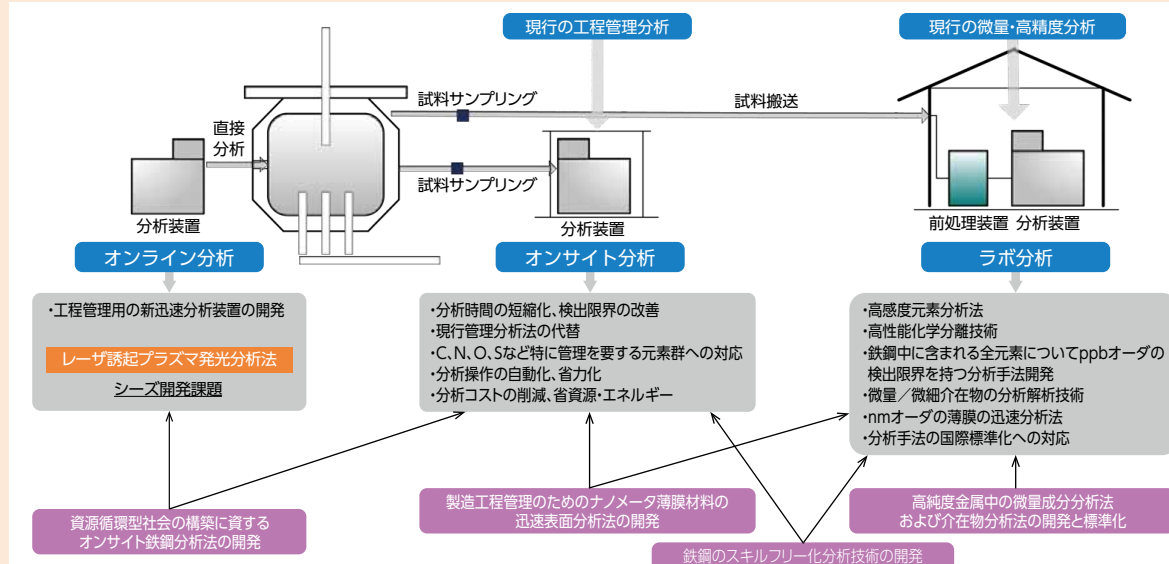
中原 大学の側は企業のニーズを聞く会を1年1回ぐらいは
持たたいいいのではないのでしょうか。そういう意見交換をすること
によって、共通の認識ができるようになると思います。

石橋 化学分析のような共通的な技術であれば、意見交換も
比較的やりやすいですね。介在物は各社の秘密があると思
いますが、単なる粒度解析のようなものには共通した要素がある
ように思います。

井上 学側と産側との個別の共同研究という話になると、産
側から「これは3年間は公開してはだめ」という話になることもあ
ります。大学側も発表という義務があるので、制限されると
ちょっとつらいと思います。

小野 確かに公開できないテーマと公開していいテーマがあり
ますが、公開してもいいニーズすらも伝えていない可能性がある
と思います。例えば、過去に高炉スラグの取り扱いで、社会的
な影響があつて非公開の研究チームを作り原因究明といろい
ろな処理方法を検討したことがありました。最終的に、エージン
グ処理と呼んだんですが、スラグ碎石を山積みにして散水して

■次世代の鉄鋼分析のための研究課題—初版ロードマップの一部(図4)



(出典: 学会部門 評価・分析・解析部会:ふえらむ Vol. 8(2003), No.12, p.878)



池松 陽一

新日鐵住金(株)
技術開発本部
先端技術研究所
解析科学研究部長



望月 正

JFEテクノリサーチ(株)
ソリューション本部(川崎)
エコ分析技術部 部長

太陽に当て、野ざらしにして、スラグ中に含まれる硫黄を硫酸カルシウムにするという方法で、高炉スラグの産業廃棄物化を逃れました。まさに硫黄の化学反応が解決策につながったのですが、そのようなテーマこそ、産と学との交流の中からシーズが見つかったり、アイデアを出し合うことができたのではないかと思います。

平井 鉄鋼業界にもう少し情報を出してほしいという思いは確かにあります。分析の研究者の多くは控え目で、何か餌があったらそこに食いつくけれど、自分から餌を探すことはあまりしない。だから新しいニーズの展開には、ぜひ産側で話し合っって情報を出してほしいですね。各社の間で共通性のあるものならいいと思います。

井上 分析者は、介在物にしても微量分析にしても、かなり大事なデータを出していると思うのです。それならば、もっと分析の側からプロセスに注文を出してもいいのではないのでしょうか。そういうアクティブな、肉食系の部会になってもいいのではないかと思います。

田中 もう少し暴れて、というか発言を強力にさせていただいてもいいのかもしれません。それから、企業の委員についてですが、あの委員会はあの人の、この委員会はこの人の、とばらばらだとこちらも対応できず、話が合わないこともあるので、それは改善してほしいと思います。

佐伯 私は鉄鋼分析部会長を10年やりましたが、2年ごとに替わるよりも責任を持ててできるし、次の世代のエキスパートを育てることも考えると、企業委員は少し長くやってもらった方がいいのかなと思います。

石橋 そういう継続性が大切で、短い期間では細かいニーズとシーズの関係が途中で途切れてしまうことがあるのです。本当に企業委員が2年ごとの任期でいいのかということも含めて、今後検討する必要があると思います。

鉄鋼メーカーから見た分析へのニーズ

河合 次に、鉄鋼業界からの分析へのニーズについて、池松さんからお話いただけますか。

池松 私は、分析に求められる基本的な役割は、以前からあまり変わっていないのではないかと思います。鉄鋼製造の中で、

高品位な製品を作るという方向性と、迅速に大量生産するという方向性はたぶん変わらない。分析技術は、それを支える重要な役目を持っています。それから、研究開発については材料の変遷があって、お客様が求める材料とともに、その材料に必要な分析技術があると思います。例えば、自動車に使われる高張力鋼で、キャラクタリゼーションにより要求される強度や加工性を実現するためには、材料の特性とともに材料の組織を正しく見るのが大事です。そこでは物理分析や表面分析が非常に重要で、組織制御も複雑で非常に微小なものをコントロールする必要があります。そういう意味では、全体を見ながらマイクロなところを解析する分析技術というのが必要だと思います。

望月 私は昨年度まで分析技術部会の部会長をやっていましたが、分析技術部会と評価・分析・解析部会とは、非常に連携がうまくいっていて、例えば現場技術者の育成では、技術検討会の中に継承活動の検討会を設けて、そこに部会の先生に入っていただいて、ご意見をいただきながら現場技術者を育てていこうという活動をしています。また、新しい技術の導入もしくは標準化という面では、2013年度まで田中龍彦先生にご指導いただいて、スラグ中のフリータイムの分析法をきっちり作ろうと取り組みました。

井上 分析技術部会の若手発表会で、分析方法をこのように改善した、という話が多く出てきて感心させられます。しかし、なぜそうなったかという考察が足りない。もう少し考察の面を強化すればもっと若手育成につながると思います。

田中 あれはあれなりにいいのではないですか。まだ深く突っ込んで調べていないけれど、今までの成果をまとめてみんなの前で公表する、そういうチャンスは与えたほうがいい。それも1つの育成ではないでしょうか。

中原 まず、部会で若手が発表して、先生方の注文を入れて肉づけしたものが、次の段階として講演大会で発表される、というように、会社でも指導されていると思いますよ。最後は、論文の形にまとめて「鉄と鋼」などに投稿してほしいですね。

望月 生産技術部門としては、分析精度や信頼性を高めることが大事で、精度のいい分析をしたい、というのが永遠のテーマです。



井上 亮

(一社)日本鉄鋼協会
論文誌編集委員会
分析分野担当幹事、
「鉄と鋼」第100巻
特命小委員会 委員
秋田大学
国際資源学部 教授



(司会) 河合 潤

京都大学
大学院工学研究科
材料工学専攻 教授

今後もきっちり品質保証していくために、今よりもっと精度のいい分析法が必要だと思います。

井上 企業から大学側への要望はありますか。

池松 まず、企業側から大学側にニーズを伝えることが大前提だと思うのですが、その後は、そこで必要な技術に詳しい先生にぜひ新たに加わっていただきたいと思います。例えば中性子解析が今年度から研究会で活動を本格的に始めますが、そういった活動がぜひ続くいいと思います。もう1つお願いなのですが、先ほど鉄鋼材料はone of themだという話がありましたが、それは鉄鋼においてはチャンスかもしれません。他の材料で使える技術は、うまくいけば鉄鋼材料にも使えるかもしれない。ですから大学の先生方には今までどおり他の材料も広く見ていただいて「この技術なら鉄鋼への応用ができそうだ」ということを発信していただけるとありがたいと思います。

分析の魅力をもっとPRするために

河合 大学の学生にとって、分析は応用化学の中であまり人気がないように思います。学生実験が多いということもあるので

しょうか。学生にとって魅力ややりがいを感じられるとしたら、どういこうところでしょうか。

田中 学生の意識を変えるには、まず教員の意識を変えなければならぬ、と私は思いますよ。だって、学生が自分で課題を見つけるといことはできませんから、教員が学生にそれをフィードバックしていくわけでしょう。

中原 学生を製鉄会社の現場に案内すると、強烈な印象を持つようです。ただ座学ばかりで大学で勉強するよりも、はるかにインパクトが大きいと思います。こういうのは、地道な活動ではあるけれども効果的だと思います。日本鉄鋼協会では今も学生の製鉄現場見学会をやっていると思いますが、参加する学生の中に分析の人はあまりいないのではないのでしょうか。

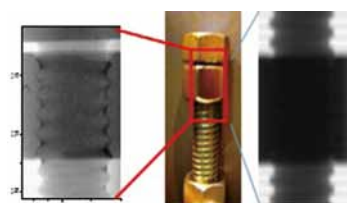
我妻 私の大学の学生では、素材産業に行きたいという人がかなりいて、それなりにみんな勉強していますし、自分の目標もはっきりしています。だから、鉄だから学生が集まらないということではない。ただ、素材に進んだとしても分析には行かないですね。要するに、うちはものづくりの学科なので材料研究の方に行って、分析系には配属にならないですね。

池松 分析も大事ですが、私はどちらかというと、材料のキャラ

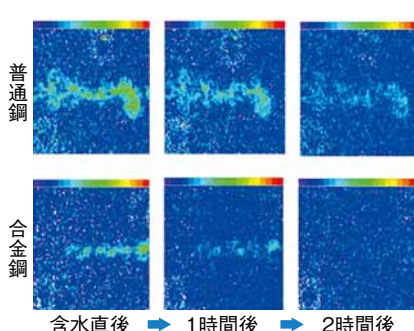
■中性子線の特徴と小型中性子源による実験結果

「コンパクト中性子源を利用した新組織解析法FS(フィージブルスタディ)」1型研究会での取り組み例(図5)

中性子線は高い透過能(図1)、水素、リチウム、ホウ素といった軽元素に高感度であることを利用して、中性子線による鋼の塗膜下腐食および水の出入りの非破壊計測に成功(図2)。



(図1) ボルトとナット(中央写真)の透過像(影絵) 右側エックス線像(450kV)、左側中性子画像(25meV熱中性子)。左図では山のあたりまで鮮明に見える。



(図2) 普通鋼および合金鋼の塗膜下腐食の水の出入り。中性子線透過像による水分減少量。真中の薄い色が水分を表す。左側が完全に濡らした直後の図。数は4,000秒経過後の中性子線イメージング。

(第167回講演大会 FS研究会終了報告シンポジウムにて 理研 竹谷発表。
神戸製鋼所中山様提案実験:鉄と鋼Vol.100 (2014), pp. 429-431)

(資料提供: 理化学研究所 大竹淑恵氏)

クオリゼーションをする側という立場で研究をやってきました。つまり、分析の専門家もものづくりをするというスタンスに立つことが大事だと思うのです。材料のキャラクターゼーションをする中で、ものづくりの原理原則が見えてくる。それを次のシーズにして、自分から積極的にものづくりをするということが大事です。会社の中では、現場のものづくりの基礎に分析技術があって、だから分析することは、ものづくりの根幹につながっているという意味合いがある。これを理解してもらえるように、我々がPRする必要があります。

古谷 私の研究室を出た卒業生でも、分析的な考え方を身につけると、他へ移ってからとても役に立ちます。この点はもっと自信を持っていい。分析発の新しい材料開発というべきですね。

我妻 分析の側でも、分析値を使って対等に材料研究者と話ができないとだめですね。分析値が正しいかどうか議論するときに、自分が何を測っているかわかって初めて、相手の言っていることが間違いなのか、自分の言っていることが正しいのかという見当がつくのです。

宮村 日本鉄鋼協会の中で分析に期待する声は非常に強い。とにかく、授業などを通して、分析でいろいろなことがわかるようになるのだ、ということを常々アピールしていけばいい。企業の中でも、次の新素材を開発するときに分析技術を持った人が活躍するというのが、もっと表に出てくるようにしたい。そうす

れば、この大競争時代の後にバラ色の未来が待っていると思えるのではないかと、私は思っています。

石橋 最先端の解析技術は、材料開発に直接寄与できます。各社でも、最高レベルの電子顕微鏡とか表面解析装置を持っていますので、そういう装置に直接触れることができ、最先端の材料開発に直接タッチできる部署であるということもPRポイントだと思います。

井上 鉄鋼分析分野がこの先発展するために、例えば新分野の創出とか分野融合とかということが言われていますが、これから何をすべきか、河合先生はどうお考えですか。

河合 分析化学だけ研究していると、熱力学とか量子力学とか物性とか、そういう分野がどうしても落ちてきます。あと環境も大事ですね。分析化学に加えていろいろなことにアクセスできるような研究が、将来的に必要となると思っています。

宮村 ちょっと違った観点からの話ですが、ソフトウェアの開発ではオープンソース化というのが1つの流れとなっており、かわる人数を増やせば増やすほど技術が進むということがあります。同じように、鉄鋼の分析評価にかかわる人数を増やす必要があるのではないのでしょうか。技術というのはいずれ拡散していくもので、タイムラグだけの勝負のようなところもある。だとすれば、どこまでオープン化して、かわる人数をどれだけ多く巻き込めるか。したがって、鉄鋼以外でもこういった技術が使えるかもしれないという観点から、他分野の人を誘うようなことも重要だと感じます。

小熊 これまでとは違う分野の人を誘う、というのは同感です。実は2014年3月からスタートしたスラグ中のフリー酸化マグネシウム定量的な新しい研究会に私の元と同僚2人がメンバーとして加わりました。1人は触媒を研究している人で、もう1人は放射性廃棄物のガラス化処理を研究している人です。宮村先生が言われるように、実際に異分野の2人の方に仲間に入らせていただきました。

我妻 材料系の学会に行くといろいろな人がいて、専門が分析でなくても、非常に精緻な解析をやっている人がいます。そういう人に入ってもらって、この部会の幅が広がってくるのは間違いないと思います。大学の我々よりは、むしろ企業の人のの方がそういう人に出会えるのかもしれないですね。

佐伯 鉄鋼業は大競争時代から、今後さらに新しいページに移っていくと思います。我々の主戦場はむしろアジアになっていますが、その中で、日本がこれだけ高い技術を持っているわけですから、今のうちにもっとアジアや世界を指導するぐらいの気構えでやっていただきたい。そうしないと、日本の存在価値は本当に小さくなってしまいますし、それは私には耐えられない。アジア各国を積極的にリードするような立場で活動していただくように、ぜひお願いしたいと思います。

河合 本日は分析研究の発展に結びつくいろいろなご意見をいただき、どうもありがとうございました。

■ポケットパーク「鉄」(図6)



文京シビックセンター脇の春日交差点。そこに、ポケットパークという10m²ほどのミニ公園が、交差点を囲む4つの角に設置されている。写真はその1つ、「鉄」のポケットパークである。そこには中心に大1枚、周囲に小24枚の四角い鉄板の台が丈の低い木々に囲まれるように配置されている。文京区役所みどり公園課によれば、各ポケットパークは、人間生活へのかかわりが深い、木、石、水、鉄をテーマとし、デザインの公募を経て、平成18年3月に設置したとのこと。衣食住にかかわる物質がテーマと言ってよいだろう。あらためて4テーマを見ると、鉄だけが人工物であることに気付く。いかに人間生活にとって「鉄」が重要か、示しているように感じたので、ここに紹介する。

春日交差点:都営三田線・大江戸線春日駅A1~A3出口を出てすぐ。

(文:宮村一夫氏)

会長就任にあたって



加藤 雅治 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 教授

この度、第52代日本鉄鋼協会会長に選定されました。大変光栄に存じますが、同時に責任の重大さに身の引き締まる思いがしております。田中敏宏副会長、柳川欽也副会長をはじめ、理事、代議員、会員および事務局の皆様のお力をお借りして、微力ながら精一杯努めさせていただきます。

日本鉄鋼協会は1915年に設立され、野呂景義先生が初代会長に就かれました。以来、鉄鋼に関する科学技術の発展を支え続け、来年には創立100周年を迎えます。各種の記念事業が計画されていますが、先陣を切って「鉄と鋼」の100巻特集号がほぼ隔号で刊行されており、「第5版鉄鋼便覧」も発刊に向かっていきます。関係各位のご尽力によって、いずれも本会の100年を祝うに相応しい充実した内容になっています。さらに来年には記念式典の挙行、「鉄鋼材料と合金元素改訂版」の記念出版、国際会議「Asia Steel 2015」の開催などを予定しています。皆様のご協力をよろしくお願い申し上げます。

日本の鉄鋼業は、他国の追随を許さない優れた生産技術を駆使して、付加価値の高い鋼を市場に送り出し、我が国の経済発展を担ってきました。しかし、東アジアを中心とした新興国の技術も、急速に我が国に迫いつこうとしています。東日本大震災からの復興を含め、安全・安心な我が国の持続的発展を可能にし、ひいては世界のエネルギー・環境問題にも貢献するためには、社会基盤材料たる鉄鋼およびその周辺の科学技術の進展を、産官学が一丸となって加速させる必要があります。そして、そのために日本鉄鋼協会が果たすべき役割には、極めて大きいものがあります。

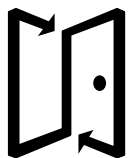
講演大会・研修会等の開催、研究の助成と業績の表彰、学術誌・学術図書の発行は、本会の基本活動の柱です。たとえば論文誌では、編集委員会のご努力によって、電子投稿・審査システムの導入やフリーアクセス化が実現され、「ISIJ International」は国際的な論文誌として確固たる地位を築いています。今後は、欧文誌のさらなる充実を図るとともに、「鉄と鋼」も読みやすく親しみやすい和文誌として編集方針を検討し、論文数の増加を目指します。また、2015年からは会報「ふえらむ」の電子化も行う予定です。これに伴って、2008年から合本発行しておりました「ふえらむ」と「鉄と鋼」が、再び分離することになります。

講演大会では、現在行われている諸事業の継続に加えて、鉄鋼材料や構造材料に関する我が国の大型プロジェクトのシンポジウムなどを同時開催する試みを検討します。オールジャパン体制での構造材料研究の推進に貢献し、我が国の科学技術政策に対して適切な提言と対応を行うことも本会の重要な役割の一つと考えています。

学術部会、技術部会は、密度の濃い活動を続けています。私自身、若い頃から研究会やフォーラムで勉強させていただき、多くの技術者、研究者と知り合いになりました。これらの方々は、今でも親しい友人や研究仲間として、私の財産になっています。このように、部会活動は、学術・技術の発展に資することはもとより、人材育成や人間関係の涵養の観点からも非常に重要ですので、より一層充実させ、部会発の成果を論文や技術報告として本会の論文誌に投稿することも推奨したいと思います。

本会理事会の下に設置された鉄鋼プレゼンス研究調査委員会（委員長：小島彰前専務理事）が「鉄鋼プレゼンス向上に関する提言」を2013年4月にまとめました。8つの具体的な提言が示されていますが、その多くが人材育成と啓発活動に関連します。鉄鋼および材料分野の重要性和魅力を広く社会にPRし、次世代を担う若手を育成する責務が本会にはあります。本会ではすでに種々の育成・教育活動を行っていますが、今後は日本鉄鋼連盟、日本金属学会をはじめ、他の学協会等との連携を強化して、人材育成活動や広報活動をさらに活性化させます。その他、会員サービスの向上、情報管理システムの改善、学への助成、国際交流の推進など、歴代会長の下で実行されてきた諸方策を継続して進めます。

以上に述べたことを着実に実行するためには、会員各位のご協力が不可欠です。皆様の忌憚のないご意見をお聞かせいただくとともに、ご支援、ご鞭撻を賜りますよう、重ねてお願い申し上げます。



「鉄と鋼」第100巻記念連動記事
エポックを作った人物紹介-4

宗宮尚行先生と平野四蔵先生の鉄鋼分析

Professor Takayuki Somiya and Professor Shizo Hirano and
Their Iron & Steel Analysis

古谷圭一
Keiichi Furuya

東京理科大学
名誉教授

1 はしがき

鉄鋼研究における分析作業は、その品質を示したり、工程の進捗状況を知るため、かなり古くから行われてきたが、勘や腕に頼る経験的なものが多く、担当者それぞれの秘技に属するものであった。例えば現場では、鉄鋼中の炭素量はグラインダーによる火花の形状で判定したり、銑鉄中のケイ素は破面をなめて舌で判断するなどが大正期頃まで行われていた。製品品質の保証や工程反応過程における熔銑、熔鋼、熔滓の時々刻々の組成変化を把握することは、工程の管理を容易とし、品質と同時に製造効率を高めるために製造の現場では絶対に必要なことである。工業の現場では、冶金学だけの問題は存在せず、あらゆる学問と関連する課題を総合的に取り上げて解決しなければ、優れた技術は開発できない。この認識は、当時、第一次世界大戦後の世界情勢の変化、および、関東大震災による被害を受けた東京大学工学部の学制改革に取り組んだ俵國一先生(1872-1958)の鉄鋼研究者としての信念であった。先生はこのために、これまでは各学科に分かれ学年制であった工学部カリキュラムを単位制に変え、四つの部ごとに共通講座をもうけ、応用化学、冶金学、鉱山学、採鉱学共通の工学部長直属共通実験講座をもうけ、工業分析化学講座とした。

宗宮尚行先生(1895-1989)は、当時卒業後大学に残って2年目であったが、この講座担当として助教授に任じられ、その後の運営の中心となられた。平野四蔵先生(1902-1987)は、この講座の実験助手として東京砲兵工廠からこれに加われ、この講座の研究と教育の具体的な腕となられた。

工業分析担当技術者は、単なる数値の測定を行うことを目的とするのではなく、その分析方法の目的に合致した信頼性の向上を実現し、対象とする工程の効率化、高機能化をはかるといった使命を持っている。そのため、分析作業が鉄鋼反応、材料物性それ自体からは外れた縁の下の力持ちとして取り扱

われることが多かったが、反応や物性研究の科学的普遍性が必要とされるに従い、たとえば、鉄鋼物理化学的定数値を求めるには、十分に信頼できる真の値を算出できる正確さをもつように十分に検討された分析方法を用いた分析値を用いなければならない。冶金学者の中でも信頼できる正確さをもつ分析法をみずから開発してこれに臨む人々も増えてきつつあったのが当時の状況であった。

2 俵國一先生と銑鉄一千万円事件

これ以前に遡るが、わが国の鉄鋼研究において分析方法がはっきりと問題にされたのは、大正年間(1917-1919)の第1次世界大戦前後に生じた川崎造船所・本溪湖煤鉄公司間の売買契約に関する銑鉄中いおう分析値をめぐる事件である¹⁾。この訴訟事件は、互いに関連する3つの訴訟からなり、大正9年(ワ)1168号事件(控訴審では、大正12年(ネ)1010事件)、大正9年(ワ)848事件(控訴審では、大正12年(ネ)993事件)、および、大正9年(ネ)857号事件(控訴審では、大正12年(ネ)993事件)と呼ばれた二財閥の存立を賭けて戦われた事件で、その互いの請求賠償額を合わせた1千万円をもって一般に呼ばれたものである。銑鉄価格が3倍以上も変動上下した大戦前後に契約された納入すべき製品の契約品位に関する訴訟事件で、契約時に協定されたいおう分析法による値の信頼性が問われ、この鑑定には、当時権威あるとされていた国内各社の方法が共通の試料を用いて比較され、さらに、新しく高回収率をうたう京都大学法がこれに付け加えられた。期せずしてこれは、それぞれ異なる分析法を用いた分析値を比較する大規模な共同比較実験となった。その結果、京大法のみは他より高い分析値が得られ、川崎造船所法は他の分析値とまったくの相関がなく、分析結果は信頼できるものでないことがわかった。その他の分析方法では、おおむね大体の相関が認められたが、その値はいおうの真の存在量を示す

ものではないことが明らかであった。この結果に対して、俵先生が参考人として意見を求められ、「別紙銑鉄分析方法三種について批評を乞はれたるが、従来我国に於いて商取引又は工業用として採用せる分析方法是多所多様にして何れも其当事者の選択に任し、標準たるべき一定の方法の之れなきが為め不便の点が尠からず。予も夙に之の統一の必要を感ぜる一人にして、当業者並に斯界専門学者の議に附し、之が統一を図ることは工業会並びに商業界の現状に鑑み、尤も緊急の措置なりと信じ、近く日本鉄鋼協会に於いて之れを発議なさんと期待して居る次第なり。」²⁾と述べ、最終的判斷は控えている。

3 日本學術振興会第19小委員会(特殊鋼材)と宗宮先生

俵先生の意見は、やがて、商工省に規格統一調査会が組織されて具体化され、俵先生は鉄鋼分析法に関する審議があるときには、宗宮先生を伴われてこれに出席されたようである。これはその後日本工業規格法による鉄鋼分析法(JES規格)の制定となって実現するが、それ以前の段階で、宗宮先生、平野先生や国内の大学、研究所、軍、有力鉄鋼企業の分析担当者を巻き込んだ日本學術振興会第19小委員会の活躍がある。冶金学の俵先生と応用化学の宗宮先生との関係は、東京大学工学部改革リーダーと将来の希望に満ちた新進気鋭の若手との関係で、宗宮先生は、「(当時は)わたしは工学なる学問も体得しておりませず、東も西もまだ何も弁えぬままに、工業分析のあり方については勿論のこと、教育方面のことは言うにも及ばず、研究方面迄も懇切丁寧に御指導下さいました。」³⁾と述べ、専門の枠を越えた俵先生の影響の偉大であったことを述べていて、ご自身も俵先生にならって若輩の研究者や現場の人々に向かって、常に丁寧な言葉で話しかけられ、その才を延ばそうとされ、専門の異なる領域に対する強い関心と興味を抱き続けられた。そして、これは平野先生においてもまったく同様であった。

当時、昭和6(1931)年に日本はロンドン海軍軍縮条約を締結し、軍艦保有量に制限を受けており、戦艦に関しては、新造艦は長門型戦艦2隻のみで、他は艦齢20年以上の旧型艦のため、条約解禁の昭和12(1937)年を目指して海軍当局は極機密裏に大和級戦艦建造計画を作成した。これには砲塔防御用特殊鋼板の製造が必要とされ、その鑄造の際に生じる偏析白点の形成には水素の濃縮がかかわるとされた。後藤先生は折からドイツに留学中の宗宮先生に電報を打ち、ドイツにおける鉄鋼中ガス成分分析法の秘密調査を指示された。宗宮先生はクルップ製鉄所、マックスプランク研究所、アーヘン工科大学の化学分析関係部署を見学し、昭和10(1935)年春帰

国して報告した。

昭和9(1934)年、日本學術振興会は昭和天皇御下賜金を基金として組織され、特殊鋼製造に関する総合研究が取り上げられ、翌昭和10(1935)年10月から俵先生を委員長とする第19小委員会(特殊鋼材)が活動を開始した。最初のテーマとして、鉄鋼中のガス分析法の確立が選ばれた。これには参加各事業所で行われている分析法の紹介、これに対する問題点と改善の提案が積極的に毎回午後9時ごろまで行われ、宗宮研究室が中心となって共通試料を用いての共同比較実験を行った。この上に立って操作中の汚染、逸失のもっとも少なく、高感度かつ操作性の良い装置および方法を工夫、設計してこれらを学振19小委第1号法(窒素分析法)、同第3号法(酸素分析法)、および、同第4号法(水素分析法)として昭和13(1938)年末までに取りまとめた。「鉄と鋼」誌には、このうち、第4法についてのみ報告されている⁴⁻⁷⁾。図1は、この際に制定された鋼中水素定量装置(真空加熱法)の構成図⁴⁾である。この会議には現場技術者の発言も認められ、若手研究者たちもその場の真剣な討議に参加して学問研究としての工学のあり方を学ぶ機会を与えるものであった。

この成果は直ちに製鋼現場に適用せられ、これにより偏析の少ない特殊鋼の製造を可能なものとした。これについて

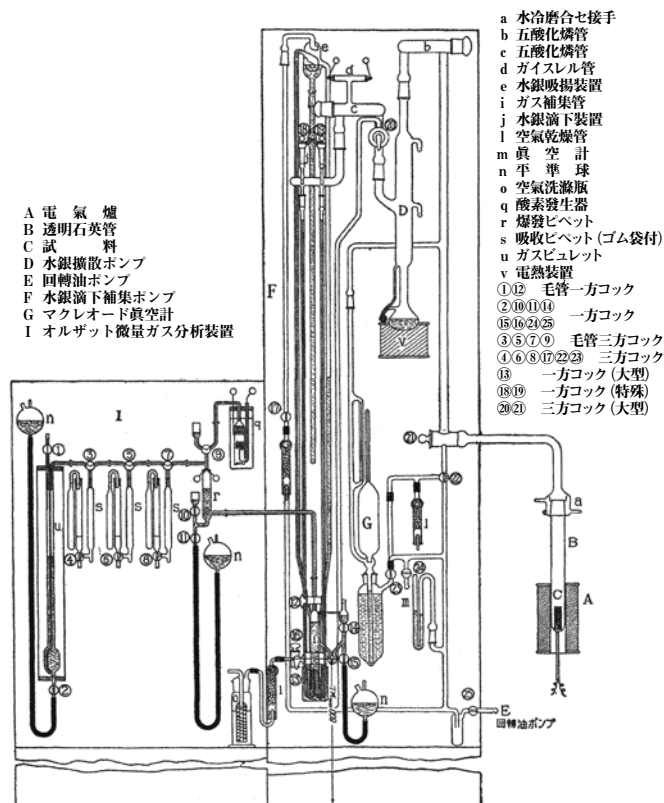


図1 鋼中水素定量装置(真空加熱法)構成図⁴⁾

最近の朝日新聞⁸⁾は、大和の装甲板の強度について世界中の軍艦に使われている大砲や装甲板に関する権威で、インターネットで膨大な研究成果を公表しているウェィサン・オーバン (65) の言葉を引用して、「(19) 46年に米軍が行った試射実験では、確かに大和の装甲板は貫通された。だが、それは実戦ではあり得ない条件下で行われたものだ。実戦では、大和の砲塔に使われた厚さ66センチの装甲板は、古今東西の軍艦に使われた装甲板の中で唯一、決して敵の砲弾には撃ち抜かれしないと断言できる。」と伝えている。

これらの分析方法は、学振法とよばれた標準分析法として、その後広く斯界において利用され、また、これらは宗宮先生の1945年度帝国学士院鹿島記念賞受賞の対象の一部となっている。

4 平野四蔵先生と学振鉄鋼迅速化学分析法

日本学術振興会第19小委員会(特殊鋼材)の最初の課題であるガス分析法の開発に目処がついた昭和16(1941)年からは、工程操作に即応する鉄鋼中各成分分析方法の課題が中心となり、宗宮先生と共に、少年期から官営八幡製鉄所、東京砲兵工廠でこれに携わり、東京大学工学部に移ってからは工業分析化学講座の実験助手として勤務しながら、蔵前高等工業専門学校で勉強を終えた平野四蔵先生がこれに加わられた。この経歴を見ても分かるように、平野先生は極めて真面目な努力家で、その分析技術は神業とも評されるものであり、応用化学科主任亀山直人教授は、平野先生を宗宮研の三羽鳥のひとりと呼ばれたことが記録されており、信頼が極めて厚かったことを述べている。

当初は、宗宮先生の発想の微量熱天秤の研究を担当し、これを石炭中水分、揮発分、灰分の定量法に応用し⁹⁻¹¹⁾パリにおける国際会議で規格として採用されている。

この当時の鉄鋼成分分析に要する時間は、例えば鋼中いお

う分析法では、試料を酸化酸分解し硫酸バリウムとして熟成沈殿させるためにはほぼ半日を要していた。当時の平炉作業では試料採取から分析値入手のための所要時間は最大30分が許容限度であった。

「製鋼過程において、熔鋼および熔滓は活物(いきもの)であって時々刻々その成分は変化する。従って、その成分を速やかに測定することができなければ製鋼法の進歩はあり得ない。そのための迅速分析が製鋼技術進歩のために是非必要である。」⁹⁾との俵先生のお考えを具体化する作業の中心となったのが平野先生である。それまでの迅速分析とは、時間のみを間に合わせるために、必要な操作を省略したり、熟成時間を無視したりするような非科学的意味を持っていたが、ここでは、それがまったく改められた内容となっている。

一方、俵先生も、「第十九委員会でしたが、…報告は四千以上も出ております。ほかの冶金学以外の専門家を引っ張り込んだというのが私の誇りという何ですが、いい所だと思っています。だから宗宮さんでもまるで製鉄ばかり見ている。…宗宮さんはガス分析を専門にやっておられ、よく研究していました。宗宮さんの後には平野さんが来ましたが、あの方も偉い人でした。」¹³⁾と当時を回顧している。

1950年当時の委員会の写真¹⁴⁾があるが、正面の机の左脇に沢村宏、俵國一各先生、右脇には後藤秀弘、田中清治各先生、中心に、宗宮先生と平野先生が議事を取られている。このように第一分科会の審議は、宗宮先生と平野先生が実質的議長としての役を果たされ、三代の委員長がその方向、冶金学からの意見を加えられるというやり方をしていたことがわかる。審議は、現状の分析法、提案すべき意見交換(試薬、器具、方法)、新手法(遠心分離、吸光光度法)の採用、これらによる共通試料を用いた結果の比較が行われて、信頼性の保証を行っている。

このようにして、昭和17(1942)年にはまず炭素、いおう、



写真1 宗宮尚行先生



写真2 学振第19委員会第1分科会の審議
正面左より、沢村宏、俵國一、宗宮尚行、平野四蔵、田中清治、後藤秀弘、各教授

マンガン、クロム、りん、ケイ素の6元素の鉄鋼迅速分析法をまとめることができ、これらに要する目標分析時間は15分、実際は平均約10分、最大20分以内におさまるようになった¹⁵⁾。また、全国6事業所からの30名の分析担当者を集めて同じ試料、方法を用いて比較実験を企画した。当時は戦時中であつたため、平野先生のこれに関する発表は、戦後に主として工業化学雑誌に発表されている。この間、平野先生は文部省教授資格認定試験に合格せられている。

昭和21(1941)年1月の委員会で平野先生はそれまでに制定された学振法を中心にまとめて出版することを提案され、編集の中心となられ、その解説は、(旧制)中学校卒業程度理解を目標とし、実際の現場分析作業者を意識したもので、分析方法だけでなく器具試薬の取り扱いから、鉄鋼だけでなく、鉄鉱石、石炭コークス、ガスおよび耐火材料、鋼滓、鉄滓をも取り扱うもので、以後5年を費やして完成した。その編集は、細かな表現に至るまで配慮が行き届いたもので、その後のわが国の鉄鋼業の高度成長を支える土台となった¹⁶⁾。それ以降も、宗宮先生を継いで東京大学工業分析化学講座担当教

授となられた平野先生が中心となって第一分科会(分析)座長としての日本学術振興会第19小委員会の審議は続けられ、新検出法の導入、機器分析法の採用、試料採取法、品質管理手法の導入などの改訂作業の中心となられ、これに続く成書



写真3 教室旅行の一瞬(1959年夏)
中央 平野四蔵先生、その左隣 筆者

表1 関連する三人の年表

年	一般	依國一	宗宮尚行	平野四蔵
1872(明治5)		島根県に生まれる		
1895(明治28)			岐阜県に生まれる	
1897(明治30)		東京帝国大学採鉱冶金学科卒業 Freiburg鉱山大学留学		
1899(明治32)				
1900(明治33)	八幡製鉄所操業			
1902(明治35)		佛国、東京帝国大学教授(鉄冶金学) 日本鉄鋼協会創立者の一人		大分県に生まれる
1915(大4)	日本鉄鋼協会発足			
1917(大6)	第一次世界大戦勃発			
1919(大8)	ベルサイユ会議			
1920(大9)	鉄鋼1千万円訴訟		東京帝国大学応用化学卒業 同助教	
1921(大10)		帝国学士院賞受賞	東京帝国大学教授(工業分析化学) 温度滴定法、熱天秤法の研究	東京帝国大学助手に任官
1922(大11)		日本鉄鋼協会第4代会長 工学部長、工学部改革案		蔵前工専高等科卒業
1923(大12)	鉄鋼1千万円訴訟控訴 関東大震災			
1925(大15)				
1926(大15)				
1929(昭和4)		日本鉄鋼協会第6代会長 定年退官	石炭分析、日本鉄鋼標準試料調製	旧制高校高等科教員免許取得 この頃、東京帝国大学工学部講師
1930(昭和5)			工学博士号取得、英に留学 独に留学、金属中ガス分析法調査 和、仏、北欧、米を経由して佛国 教授、学振19小委ガス分析協議会に	
1932(昭和7)	日本学術振興会設立			
1933(昭和8)		学振第19小委員長		
1934(昭和9)				
1935(昭和10)	戦艦大和起工		鉄鋼中ガス分析学振法制定 帝国学士院賞受賞 学振第54委員会委員 鉄鋼水素分析装置特許	「工業分析化学実験」刊行 以降学振19小委に迅速化学分析法提出報告多数 この頃、工学院工学専門学校教頭 「光度滴定法の研究」工学博士号取得
1937(昭和12)				
1938(昭和13)				
1940(昭和15)				
1943(昭和18)				
1944(昭和19)				
1945(昭和20)	第二次世界大戦終結			
1946(昭和21)		文化勲章受章		
1949(昭和24)			学振第1分科会主査	この頃、山梨大工学部教授 名古屋大学工学部教授 「鉄鋼迅速化学分析全書上」刊行 「鉄鋼迅速化学分析全書下」刊行
1950(昭和25)	朝鮮戦争はじまる	学振第19、54委員長辞任 文化功労章受章		
1951(昭和26)	サンフランシスコ講和会議		日本分析化学会創設メンバーの一人	
1952(昭和27)	日本分析化学会創設			
1953(昭和28)		「日本刀の科学的研究」刊行		
1955(昭和30)	神武景気始まる		日本分析化学会会長 定年退官、名古屋大学教授	東京大学教授
1956(昭和31)				
1958(昭和33)		逝去		
1959(昭和34)	安保デモ、岩戸景気		定年退官 工学院大学教授	
1960(昭和35)	安保条約改定			学振19委第1分科会幹事 定年退官、東洋大学教授
1962(昭和37)	高度成長開始			
1967(昭和42)	公害対策基本法公布			
1968(昭和43)				
1972(昭和47)	日中国交正常化			日本分析化学会会長
1974(昭和49)				東洋大学退職
1982(昭和57)			学振第1分科会主査辞任	
1987(昭和62)				逝去
1989(平成元)	ベルリンの壁崩壊		逝去	

が刊行されている¹⁷⁻¹⁹⁾。これには、鉄鋼中の18元素、51方法、9種のフェロアロイ中の10元素、33方法、銅滓中の11物質、18方法、原料中の4成分、6方法、非金属介在物中の3元素、6方法が挙げられ、そのうちから日本工業規格 (JIS) 法とされたものは、20元素33方法にも達している¹⁵⁾。これらの結果の一部は本誌、雑録の委員会報告として掲載されている²⁰⁾。

なお、表1に、俵、宗宮、平野各先生の本論文に関するご活躍に関する事項について年表としてとりまとめた。

5 まとめ

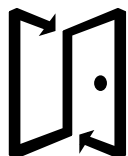
「工業の現場ではあらゆる問題がこれに関連する。専門に捉われない自由、対等の科学的検討の共同作業こそが真の進歩をもたらす」とする俵國一先生の識見が、宗宮尚行先生、平野四蔵先生のエポックメイキングな働きを育て、導いた。

振り返って現在、日本鉄鋼業の直面する課題に立ち向かうためには、より多くの関連する分野の研究者とのつながりを深め、その分野からの製鉄製鋼への興味と関心を深めて、鉄鋼関係者の側もこれらの分野の潜在性に対する認識を深めていくことが改めて重要であろう。

参考文献

- 1) 古谷圭一：大正前期の工業分析化学—いわゆる銑鉄一千万円訴訟事件について，化学史研究，9 (1979)，9.
- 2) 俵國一：大正9年（ワ）847事件乙第19号証，（大正11.11.11.）
- 3) 宗宮尚行：工業分析の大恩人俵先生，俵國一先生を偲ぶ，俵先生記念出版会，(1959)，383.
- 4) 俵國一：学振19小委第1号銑鉄及び鋼水素分析方法（真空加熱法），鉄と鋼，25 (1939)，413. 本論文の付録として掲載されている操作法と装置部分は，日本學術振興会第19小委員会報告 VIII, (1939) の予告部分である。
- 5) 宗宮尚行：鐵及鋼水素分析装置（第1報） ガス分析装置，鉄と鋼，27 (1941)，184.
- 6) 宗宮尚行：鐵及鋼水素分析装置（第2報） ガス抽出捕集装置，鉄と鋼，27 (1941)，293.
- 7) 宗宮尚行，中村良夫，白石真三郎：鐵及鋼水素分析装置（第3報） 分析操作及び分析結果，鉄と鋼，27 (1941)，301.
- 8) 太田啓之：（大和をたどって：2）世界最強は本当だったのか，朝日新聞DIGITAL, (2014.2.27)
- 9) 平野四蔵，宗宮尚行：高温用化学天秤による石炭水分定量法への批判，工化誌，32 (1929)，844.
- 10) 平野四蔵，宗宮尚行：高温用化学天秤による石炭熱分解殊に揮発分の定量に関する研究，工化誌，33 (1930)，737.
- 11) 平野四蔵，宗宮尚行：高温用化学天秤による石炭灰分の加熱変化に関する研究，工化誌，42 (1939)，45.
- 12) 平野四蔵：分析化学者の俵國一先生，俵先生を偲ぶ，俵先生記念出版会，(1959)，399.
- 13) 俵國一：思い出すま（上） 俵國一先生回顧談，鉄鋼界，4 (1956. 8.)，31.
- 14) 宗宮尚行：分析化学のあゆみ 工業分析と私，ぶんせき，1 (1971)，68.
- 15) 宗宮尚行：最近の鉄鋼分析法の進歩，鉄と鋼，41 (1955)，829.
- 16) 鉄鋼迅速分析法，日本學術振興会，(1956)
- 17) 鉄鋼化学分析全書，日刊工業新聞社，全10巻，(1963)
- 18) 鉄鋼迅速分析法，丸善，全2巻，(1966)
- 19) 鉄鋼迅速分析法続 付解説，日本學術振興会，(1976)
- 20) 平野四蔵：鉄鋼迅速分析法，日本學術振興会第19委員会，37 (1951) 685, 38 (1952) 168, 481, 571, 667, 765, 1127, 1388, 39 (1953) 69, 169, 484, 579, 658, 746, 835, 1046, 1098, 40 (1954) 77, 73, 746, 41 (1955) 77, 173.

(2014年5月15日受付)



「鉄と鋼」第100巻記念連動記事

エポックを作った人物紹介ー5

鉄鋼機器分析の道を拓く — 廣川吉之助先生の業績

Pioneer in the Field of Instrumental Analysis for Steel Materials,
Professor Kichinosuke Hirokawa

我妻和明

東北大学 金属材料研究所
教授

Kazuaki Wagatsuma

1 はじめに

第二次世界大戦終結後の我が国の鉄鋼業の発展を、分析・解析分野の視座から、佐伯正夫氏はその著書の中で次の四つの時代区分を提示されている¹⁾。

第1期 戦後復興期 (1945-1958年)。迅速化学分析の時代。

第2期 高度成長期 (1959-1974年)。迅速機器分析の導入と定着の時代。

第3期 成熟期 (1975-1990年)。分析・解析の高性能化、システム化の時代。

第4期 大競争時代 (1991-1990年代)。分析・解析の国際化と信頼性確保の時代。

これに続く第5期である2000年代は、国家間の競争と持続的成長社会に適応する鉄鋼業の2つの要素が同時進行する、極めて複雑な時代となっている。現在を分析・解析分野から捉えた場合のキーワードとしては、多様な分析プローブによる解析、分析対象の局所化・微小化などが挙げられると思われる。

廣川吉之助先生が、鉄鋼材料の分析・解析分野で先導的な研究活動をされたのは、上記年表の第2期に当たり、鉄鋼機器分析の発展に多大の貢献をなされた。東北大学金属材料研究所で示性分析学講座を最初に担当された後藤秀弘先生は、鉄鋼分析の第1期と第2期を繋ぐキーパーソンであり、その講座を継承された廣川先生はそれを完成させる研究をされた。金属材料研究所の活動として今に語り継がれている仕事で、私をはじめとして廣川先生の指導を受けた門下生の誇りとするべきものと考えている。私が、金属材料研究所助手として奉職したのは1982年であり、鉄鋼機器分析の創成期は終わり、分析装置の高感度・高精度化に研究目標が移った時代である。従って、先生の鉄鋼分析の第2期における活動に



写真1 廣川吉之助先生 (1996年、ご退官の頃)
(写真提供：東北大学史料館)

関しては間接的な情報、伝聞によるものであるため、十分に記述することができないことを予めお許しいただきたい。先生は定年退官されるまで、鉄鋼材料に限らず、また、さまざまな分析・解析装置を用いて多彩な研究活動をされた。本稿では、その一端をお伝えすることが出来れば幸いである。

2 廣川先生のご略歴

廣川吉之助先生は、1933年3月8日新潟県に生まれ、1955年3月新潟大学工学部工業化学科を卒業、1957年3月東北大学大学院工学研究科修士課程修了、1960年3月東北大学大学院工学研究科博士課程を修了し工学博士の学位を取得した。1960年4月東北大学金属材料研究所助手、1964年1月東北大学金属材料研究所助教授に昇任し、1964年9月から1年間フンボルト財団留学生としてドルトムント分光化学研究所で研究を積み、1975年3月より東北大学金属材料研究所教授

として示性分析学講座、のちの分析科学研究部門を担当し、1996年3月に定年により退職するまで材料分析科学の研究・教育に尽力し、1996年4月に東北大学名誉教授の称号が授与された。教授在職中、東北大学工学部と同大学院工学研究科の授業を担当し、多数の研究者と技術者の育成、学生教育に尽力してきた。

廣川先生は常にわが国の分析科学研究の先頭に立ち、数々の学術賞にその名を刻まれている。蛍光X線分析法研究では1967年に日本化学会進歩賞を受賞、発光分光光源の研究では1973年3月に科学計測振興会賞を受賞、金属分析への分光化学手法の研究では1975年4月に日本金属学会功績賞を受賞、固体試料の原子スペクトル分析の研究では1986年10月に日本分析化学会学会賞を受賞、鉄鋼機器分析法の開発の研究では1994年10月日本鉄鋼協会浅田賞を受賞した。

また、廣川先生は、日本鉄鋼協会では分科会委員、分析部会委員ならびに標準試料委員会委員を歴任し、日本分析化学会では理事、東北支部支部長等を務めた。その他、日本化学会東北支部監事、日本金属学会評議員、日本分光学会理事、同評議員、表面科学会理事、同評議員、学術振興会第19委員会ならびに141委員会委員、表面化学分析技術国際標準化(ISO/TC201)委員等を務め、日本国内外の学会、産業界に発展のために活動した。

廣川先生の主な研究分野は、プラズマ分光(発光分光)分析法、蛍光X線分析法、原子吸光分析ならびに前方共鳴分光法、X線光電子分光・オージェ電子分光法等、固体試料に関する分析の基礎から応用に及ぶものである。先生の主な研究業績を紹介する。

3 プラズマ分光(発光分光)分析法の研究

アーク・スパーク放電プラズマによる発光分光法については、鉄鋼中各種元素の定量分析に関する研究を行い、現在、工程管理に幅広く適用されている同分析法の基礎を築いた。特に、真空紫外領域の非金属元素の発光線の分析学的挙動についての研究成果は、酸素、窒素、炭素等の定量分析へ道と開いたものとして高く評価されている^{2,3)}。上述した鉄鋼分析の時代区分第2期における先生の代表的な業績である。その後、分光光源の研究として単電極アークプラズマ炎、高周波誘導プラズマジェット炎、誘導結合プラズマの応用研究を行った^{4,5)}。一方、グロー放電プラズマによる発光分光分析の研究は、その基礎及び応用にわたって多くの成果を報告してきた^{6,7)}。我国に分析光源としてのグロー放電プラズマの存在/特性を最初に紹介し、また世界的にもこの分野を代表する研究者の一人である⁸⁾。プラズマの発光機構の解明に尽力

し、プラズマガスの励起準位の考察から、電荷移動衝突における励起過程がグロー放電スペクトルを特徴付ける重要な衝突反応であることを示した^{9,10)}。グロー放電発光分光法の欠点の一つは発光強度が比較的小さいことにある。その欠点を克服するため、印加電圧変調法や放電管構造の改良等の新たな測光法の提案を行ない注目を集めた^{11,12)}。また、グロー放電発光分光法は、表面処理鋼板等の比較的厚い皮膜の深さ方向分析として有効に応用できる。深さ方向分析法としてISO/TC201-WG1(現在のSC8)でISO規格が制定され、この国際規格の立案責任者としての重責を果たした。

先生の“発光分光分析の展望”と題された解説論文の結言として次の一文がある¹³⁾。“分光系、測光システムの一部の発展、操作部のロボット化を含めて分析ソフトの充実が光源の発展より急速である。同時に、発光分光分析システムのセンサー化が一部ブラックボックスのまま進展する可能性も大きいことに留意しておかなければならない。”これは、今日の分光分析装置の問題点の核心をついたものであり、我々が特に注意を払わなければならない事項である。

4 蛍光X線分析法に関する研究

試料から発せられる蛍光X線のエネルギーはその元素に固有であるため以前から定性分析に利用されてきたが、蛍光X線の発生機構は複雑であるためその強度から直ちに試料の組成を求めることはできない。特に、蛍光X線の脱出過程での吸収・励起効果の補正が必要であり、これについての補正を含んだ強度式を提案した。この強度式を様々な合金試料について適用し、蛍光X線分析による定量分析法を確立した^{14,15)}。この仕事は鉄鋼各社との共同実験の成果として公にされたもので、先生はその中核となって取り纏めを行った。発光分析と共に時代区分第2期における業績に数えられるものである¹⁶⁾。1990年代に発表した研究成果としては、X線の全反射現象を利用する新しいタイプの蛍光X線分析法の開発がある¹⁷⁾。蛍光X線を試料表面にほぼ平行の取り出し角度(検出角度)で検出すると、全反射臨界角近傍でX線強度が最大値を示すことに着目したものである¹⁸⁾。この最大強度を示す取り出し角度は試料表面の密度に依存することから、試料表面の密度、薄膜試料の存在状態を評価できることを明らかにした^{19,20)}。さらにこの研究を進め、一次X線の入射角と蛍光X線の取り出し角について角度依存曲線を理論計算し、実験結果とフィッティングさせることにより、より厳密な表面近傍のキャラクタリゼーションを行うことを提案した²¹⁾。この結果、非破壊的深さ方向分析や内部に埋もれた界面分析が可能となり、国内外で高い評価を得た。

5 原子吸光分析及び 前方共鳴散乱分光分析法の研究

黒鉛炉原子吸光分析法で分析感度を上昇させるために使用されているマトリックスモディファイアの動作機構を原子蒸気温度測定、走査顕微鏡による直接観察などの手段を用いて研究を行い、合金状態図との関連や熱力学的考察により統一に解釈することに成功した^{22,23)}。これまでマトリックスモディファイアの選択は経験的に行われていたがこの研究により理論的に分析元素に応じて選択する道を開くことができた。また固体試料中の微量不純物の迅速分析のために試料直接加熱原子化法についても研究を行い、原子吸光信号強度の特異な時間変化の機構の解明など定量分析を高精度化するのに必要な成果を得た^{24,25)}。また、原子吸光分析法と同様の情報を与え、かつ原子吸光分析法では困難な多元素同時分析が可能である前方共鳴散乱分光法の研究を世界でも早い時期から行い²⁶⁾、前方共鳴散乱分光分析用の励起光源の開発²⁷⁾、実際試料への応用²⁸⁾、連続光源と光学音響素子を使用した多元素分析用装置の開発²⁹⁾などを発表し世界的に注目された。

6 X線光電子分光法、 オージェ電子分光法の研究

X線光電子分光法において、研究初期段階から光電子計数に基づく定量分析法の開発を行い、光電子の非弾性散乱係数、装置関数等を考慮した定量プログラムを提案した³⁰⁾。本

法で測定対象となる試料の最表面部分は制御できない因子があるため、十分定義されている“標準表面”を得ることが難しい。このような標準試料を基準としなくても使用できる定量分析法の研究を行った³¹⁾。さらに状態分析の基礎的研究として、分光器中で生じるガス脱離、還元、偏析等の化学反応を主として試料加熱により調べた³²⁾。特に高温でのみ安定な鉄酸化物ウスタイトを状態図との相関から、パルク組成と対応する光電子スペクトルを初めて得た³³⁾。X線光電子と同時に測定できるX線励起オージェ電子スペクトルについても研究しているが、電子線励起オージェ電子分光法に関する研究としては、価電子帯構造とスペクトル微細構造の関連を明らかにすることから、鉄の粒界に存在するリン・イオウの化学状態の解明、相対感度係数など定量化を行った³⁴⁾。またオージェ電子と同時に測定できる電子エネルギー損失分光法が更に薄い表面分析に有効であることを示した³⁵⁾。

7 おわりに

廣川吉之助先生は、材料分野における分析科学の領域に顕著な学術的貢献をもたらした。その功績により、2013年春の叙勲において瑞宝中綬賞が授章された。写真2は、門下生が中心となって開催した、そのお祝いの会のときに撮影されたものである。東北大学を退官したあと公の場に出られる機会は少なくなったが、これからもお元気で金属材料研究所にもお出かけいただき、材料分析・解析分野の現在と将来に関して引き続きご指導を得たいと希望している。

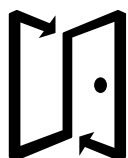


写真2 瑞宝中綬賞受賞お祝いの会（2013年10月19日、松島大観荘）

参考文献

- 1) 佐伯正夫：鉄鋼の迅速分析, 鉄鋼技術の流れ10, 地人書館, (1995)
- 2) H.Goto, S.Ikeda, K.Horokawa and M.Suzuki : Z.Anal. Chem., 228 (1967) , 181.
- 3) K.Hirokawa and H.Goto : Z.Anal.Chem., 240 (1968) , 311.
- 4) H.Goto, K.Hirokawa and M.Suzuki : Z.Anal.Chem., 225 (1967) , 130.
- 5) K.Hirokawa and H.Goto : Bull.Chem.Soc.Japan, 42 (1969) , 693.
- 6) K.Wagatsuma and K.Hirokawa : Anal.Chem., 56 (1984) , 412.
- 7) K.Wagatsuma and K.Hirokawa : Surf.Interface Anal., 6 (1984) 167.
- 8) 広川吉之助：分光研究, 22 (1973) , 317.
- 9) K.Wagatsuma and K.Hirokawa : Spectrochim.Acta, 42B (1987) , 523.
- 10) K.Wagatsuma and K.Hirokawa : Spectrochim.Acta, 48B (1993) , 1039.
- 11) K.Wagatsuma and K.Hirokawa : Anal.Sci., 7 (1991) , 289.
- 12) 広川吉之助, 我妻和明：鉄と鋼, 77 (1991) , 1823.
- 13) 広川吉之助：鉄と鋼, 75 (1989) , 1964.
- 14) 広川吉之助：金属学会誌, 24 (1960) , 692, 696.
- 15) 広川吉之助：金属学会誌, 25 (1961) , 524.
- 16) 日本鉄鋼協会編：鉄鋼の工業蛍光X線分析方法, (1973)
- 17) Y.C.Sasaki and K.Hirokawa : Appl.Phys., 50A (1990) , 397.
- 18) Y.C.Sasaki and K.Hirokawa : Appl.Surf.Sci., 47 (1991) , 371.
- 19) K.Tsuji and K.Hirokawa : Spectrochim.Acta, 48B (1993) , 1471.
- 20) K.Tsuji, A.Sasaki and K.Hirokawa : Jpn.J.Appl.Phys., 33 (1994) , 6316.
- 21) S.Sato, K.Tsuji and K.Hirokawa : Appl.Phys.A, 62 (1996) , 87.
- 22) Y.Terui, K.Yasuda and K.Hirokawa : Anal.Sci., 7 (1991) , 397.
- 23) K.Oishi, K.Yasuda and K.Hirokawa : Anal.Sci., 7 (1991) , 883.
- 24) K.Takada and K.Hirokawa : Fresenius Z.Anal.Chem., 312 (1982) , 109.
- 25) K.Takada and K.Hirokawa : Talanta, 29 (1982) , 849.
- 26) K.Hirokawa : Anal.Chem., 52 (1980) , 1966.
- 27) 広川吉之助, 並木美智子：分析化学, 31 (1982) , 158.
- 28) K.Hirokawa and M.Namiki : Spectrochim.Acta, 35B (1981) , 653.
- 29) K.Hirokawa and M.Namiki : Spectrochim.Acta, 37B (1982) , 165.
- 30) M.F.Ebel, H.Ebel and K.Hirokawa : Spectrochim.Acta, 37B (1982) , 461.
- 31) K.Hirokawa and M.Oku : Z.Anal.Chem., 285 (1977) 193.
- 32) F.Honda and K.Hirokawa : Talanta, 25 (1978) , 383.
- 33) M.Oku and K.Hirokawa : J.Appl.Phys., 50 (1979) , 6303.
- 34) M.Oku, S.Suzuki, K.Abiko, H.Kimura, and K.Hirokawa : J.Electron Spectrosc.Relat.Phenom., 40 (1986) , 227.
- 35) M.Oku, S.Suzuki, K.Abiko, H.Kimura and K.Hirokawa : J.Electron Spectrosc.Relat.Phenom., 32 (1983) , 313.

(2014年4月21日受付)



「鉄と鋼」第100巻記念連動記事
エポックを作った人物紹介-6

日本の鉄鋼分析に新時代をもたらした技術者 佐伯正夫博士

Dr. Masao Saeki and Japanese Iron and Steel Analysis of the New Era

小野昭紘
Akihiro Ono

オノサイエンス 代表
(元新日本製鐵株式会社
先端技術研究所)

1 概要

佐伯博士は一言でいえば、企業所属の分析技術者、管理者である。その特徴は企業内における技術開発の業績や研究推進体制の構築に、さらには学協会活動において指導的役割を果たしたことである。日本の鉄鋼分析技術の高度化、活用範囲の拡大並びに国際標準化に大きく貢献し、この分野に新時代をもたらした人物と考える。

日本の近代鉄鋼業の歴史は、20世紀初頭以来、勃興期、復興期、高度成長期、成熟期及び大競争期に大別できるとする博士のお話はよく聞いていたし、著書もある¹⁾。それぞれの時期ごとに業態や技術が大きく変化し、分析分野もそれに伴って変遷を遂げてきたことはそのとおりである。勃興期、復興期は湿式化学分析全盛の時代で戦前世代の先人たちが、宗宮尚行東大教授の指導の下で欧米に早く追いつくべく努力した。高度成長期に入ると、湿式化学分析を基盤とした迅速機器分析の導入と定着に戦中世代の技術者（神森大彦、川村和郎、井樋田睦、針間矢宣一、成田貴一ら）が、後藤秀弘東北大教授の指導で懸命の努力を傾けた時代である。オイルショック後の成熟期は、操業管理用機器分析の精度向上、研究開発用の総合的材料解析体制の確立、環境管理のための分析や新規事業のための分析、さらに分析事業化など広範な課題への対応に迫られた。その上に、グローバル化の進展で国際交流、国際標準化への現実的な対応に迫られる時代となり、戦後世代の技術者が、廣川吉之助東北大教授、古谷圭一東京理科大学教授の指導もあり着々と成果をあげ、分析分野も成熟期を迎え、世界をリードする立場となった。この時期の企業側の指導者の中心が佐伯博士であり、国際的にも著名で、エポックを作った人物としてここに紹介したい。

博士は、東京大学工学部応用化学科工業分析化学コースの平野四蔵教授（宗宮教授の後継）の研究室で水池敦先生（の



写真1 最近の佐伯博士

ちに名大教授）の下で分析化学を学んだ。1959年に富士製鐵（株）に入社して以来、1995年までの約35年間にわたり、鉄鋼分析に従事した。その前半は同社の製鉄所分析課において操業管理分析のための技術開発に、後半は八幡製鐵（株）と合併してできた新日本製鐵（株）の研究所において研究開発の推進や総合的材料解析体制の構築に成果をあげた。また、日本鉄鋼協会などでの共同研究活動を指導して業界全体の分析技術の高度化や標準化の推進につとめた。さらに、ISO標準化活動に力を注ぎ、TC17/SC1（鉄鋼分析）の常任議長を約10年間担当し、諸外国の分析技術者と積極的に交流を深め、世界の鉄鋼分析をリードしたその功績は大きなものであった。

以下に博士の主な業績とその功績について述べる。

2 製鉄所における分析技術開発

1960年代から製鋼操業では真空脱ガスや連続鋳造設備の普及が始まり、転炉出鋼から二次精錬、そしてスラブ製造ま

での時間が大幅に短縮された。また、鋼種も増えて管理する成分数も増え、その成分含有量の許容範囲の狭小化の流れとなり、分析部門には一層の迅速化と精度向上が強く要求されるようになった。その代表的な例として、自動車用鋼板の品質管理を目的とした鋼中酸可溶性アルミニウムの迅速定量があげられる。

高品位の自動車用鋼板は、酸可溶性アルミニウム (acid soluble Al) の含有量とその品質管理の有効な指標になることが分かり、鋼中に存在する酸可溶性及び酸不溶性アルミニウム (acid insoluble Al) の形態別定量が必要になった。当時、鋼中酸可溶性アルミニウムの定量は、鋼中に存在するアルミニウムの各種形態の酸に対する溶解度の差を利用した湿式化学分析法により約2時間かけて人海戦術で行っていた。そこで、迅速化の武器であったスパーク放電発光分光分析法 (通称、カントバック) の適用が考えられたが、この方法は鋼中に存在する全アルミニウム (Total Al = acid soluble Al + acid insoluble Al) の量を求めるものであり、形態別に定量するという概念は全くなかったのである。さらに、発光分光分析法による全アルミニウム定量の精度も悪く、実用不可能という状態であった。そこで佐伯博士らは、当初、全アルミニウム定量の精度向上を目的にスパーク放電現象を詳細に観察していたが、アルミニウムの存在形態が定量精度に悪影響を与えている可能性を発見した。スパーク放電発光分光分析は、電極と鋼表面に高電圧をかけてスパーク放電を行わせ、その両極間に発生する高温プラズマ中で原子化する鋼中各元素の原子発光スペクトルを分光分析して各元素量を定量する方法である。スパーク放電を400Hzで5秒間行えば2000パルスの放電が行われて2000回分の原子発光スペクトルが得られるが、博士らはその1パルスごとの発光強度を解析する地道な研究を行った。その結果、1パルスごとのアルミニウムの原子発光スペクトル強度には相当大きなばらつきがあり、そのことがアルミニウムの定量精度を低下させている要因であることを発見した。さらに、鋼中のアルミニウムの存在形態の冶金学的な考察とアルミニウムの原子発光スペクトル強度のばらつきとの相関関係を解析し、そのばらつきはアルミナ系介在物 (acid insoluble Al) に対するスパークの選択放電に起因することを確認するに至った。続いて、スパーク放電条件の選定、放電パルスごとの発光強度とその分布状態の把握、分布の統計的解析などについて詳細に検討し、分析装置化を図り、これまで困難と考えられていた発光分光分析による酸可溶性アルミニウムの形態別定量を可能にし、同時に全アルミニウム定量の精度向上を達成したのである²⁾。この新しい発光分光分析法の開発は、PDA (Pulse Distribution Analysis) 発光分光分析法として高い評価を得て、現在でも国際的に活用されている。

この研究開発は、鉄鋼分析技術者と分析機器メーカーが共同で数年かけて完成させたもので、分析技術、冶金学的知識、統計処理手法、分光測光技術、小型電算機利用技術の総合的成果であったといえる。このPDA法は発光分光分析の全般的な精度向上にも寄与し、国内で急速に普及するとともに欧米にも輸出された。これによって博士の知名度は国際的に高まり、後年のISO標準化活動においても役に立ったのではないと思う。この技術開発は、1978年大河内記念技術賞を受賞し、鉄鋼分析分野での第1号となった。

また、湿式化学分析法の研究開発では、鉄鉱石中の全鉄定量法で水銀試薬を使わずに三塩化チタンを還元剤として用いる滴定法を開発した³⁾。この方法は定量値の正確さを上げるとともに環境に配慮した方法としてJIS及びISOとなり、商取引にも国際的に広く使われるようになった。

3 溶鋼オンライン分析法の開発と材料の総合的分析・解析体制の確立

3.1 溶鋼オンライン分析法の開発

1980年代には製鋼操業の溶銑予備処理、転炉精錬、二次精錬及び連続 casting などの多段階プロセス化が一般化した。それらの操業時間短縮やプロセス間の時間適合性向上の狙いから、通常のように溶鋼からの試料採取を行わずに、その場で直接分析する、いわゆる溶鋼直接分析法が要望されるようになった。当時、溶鋼直接分析法の研究開発としては、国内外の実験室規模での研究結果の報告はあったが、いずれも現場設備としての実用化にはほど遠いものであり、現場の悪環境下で実用可能な分析方法を開発する目的で新日鐵でも研究を実施した。特徴的なことは分析部門と製鋼部門の研究者・技術者がプロジェクトチームに参画し、基礎となる各種分析法シーズの基礎研究、製鋼現場での応用研究、そして実用化研究の各ステップを共同して実施したことである。

これらの研究開発は、各種シーズに基づく分析法によって溶銑予備処理工程、転炉精錬工程及び二次精錬工程などで実施した。佐伯博士は、研究体制の整備から研究指導に積極的に参画して貢献し研究成果をあげた。溶銑予備処理工程での研究開発は、銑床脱Si処理の円滑化を目的に溶銑中のけい素をオンラインで分析するものである。高炉出銑銑を流れる溶銑中にプローブを浸漬してアルゴンガスをバブリングさせ、発生した微粒子をアルゴンガス気流によって40 m先のICPトーチに導入し、溶銑中けい素を発光分光分析する方法を開発し、同時期に採取して固化後に分析する従来法によるけい素定量値との相関が得られた^{4,5)}。二次精錬工程での研究開発は、真空脱ガス処理 (RH) 中の溶鋼中の水素をオンラインで分析するものである。RH溶鋼中に浸漬したプローブから溶鋼

中にアルゴンガス気泡を吹き込み、気泡中に拡散する溶鋼中の水素を回収して浮上してきたアルゴンガスを赤外線吸収検出器に導入して再度プローブと検出器を循環するアルゴンガス中の水素量を測定した。アルゴンガス吹き込み流量と溶鋼中への吹き込み深さの最適条件下で、回収ガス中の水素量と溶鋼中の水素定量値との良好な相関が得られた。従来法の課題であった溶鋼採取及び水冷操作時の水素の散逸を防ぐことができ、分析精度の向上及び分析時間の短縮が達成された^{6,7)}。

転炉精錬工程⁸⁻¹¹⁾での研究開発は、特に集中的に実施し、製鉄現場で実用化されたもので、転炉溶鉄中のマンガン濃度をオンラインリアルタイムで分析するものである。この研究目的は、吹錬中の成分濃度を時々刻々に検出して炉内反応を直接モニターし、製鋼制御アクション結果を直接把握しながら操業コントロールができるようにして、より精密な吹錬制御を目指すことにあった。従来は溶鋼を採取して分析センターに気送し、切断、研磨をして発光分光分析をする手順となるが、本研究では上吹き酸素吹錬時に溶鉄表面に形成される火点が2000℃以上の高温であり、そこで溶鉄中の元素が原子化して励起・発光している可能性の追求から始まった。最初は、蒸気圧の異なる各元素を添加した溶鉄の火点における発光現象の解明⁸⁾、あるいは原子発光スペクトルの光ファイバー伝送⁹⁾などの基礎実験を忍耐強く続けた。その後、製鉄所の170 t 転炉の酸素吹錬ランス内に光ファイバーを設置し、火点における発光を80m離れた測光システム及び二色高温計に伝送するオンライン分析システムを完成した。実際の操業に合わせての現場実験を重ね、火点におけるマンガン及び鉄の原子発光スペクトルを測定し、マンガン発光強度の外乱による変動を抑制するために鉄の発光強度や火点温度等で補正する方法を確立して溶鉄中のマンガン濃度をオンラインリアルタイムで測定できるようにした^{10,11)}。この研究開発

は、日本分析化学会の論文賞の受賞となった。

3.2 材料の総合的分析・解析体制の確立

1970年頃、米国で「キャラクターゼーション」という言葉が用いられ始めた。この言葉の定義は、「材料の組成と構造に関する情報を集めて特徴を把握、記述すること。その特徴とは、材料の製造、物性研究あるいは実用化に役立つものでなくてはならない」という概念¹¹⁾であり、これは分析技術者、研究者に明るい大きな夢を与えるものであった。

わが国の鉄鋼各社でも新材料の開発研究が高度化し、電子顕微鏡、オージェ電子分光など高価な解析装置を用いるようになった。それらから得られる情報が材料研究の質を高めることが実証され始めると、各研究所にそれらの解析装置が設置されるようになり、それを取り扱う研究者の増員、設備費の肥大化が起り、また、装置のオープンな利用が制約されるなどのデメリットが現実化してきた。そこで、新日鐵(株)ではまず、これまで各地にあった3研究所の分析研究室を統合して分析研究センターとし、ここに材料の総合的分析・解析(材料のキャラクターゼーション)ができる組織をつくることになり、1980年に博士が基礎研究所に転勤してその推進責任者となったのである。

「見ると測るは科学の原点」を合言葉に、1984年には元素分析、介在物析出物分析、表面界面分析、電顕やX線を用いる微細構造解析、有機構造解析の5グループを統合したセンターにし、名称も「解析科学研究所」(佐伯部長)と改め、在籍の研究者には分析・解析の手法の研究だけではなく、材料研究にも参加し、かつ、時には分析依頼にも応ずるという過酷な任務を与えた。研究対象は広範囲で困難な課題が多かったが、各グループのリーダーに有能な研究者を得て順調に立ち上げることができた。この体制は、集中的投資による最新鋭解析設備の設置や研究者の切磋琢磨により強固な共通基礎基盤を形成し、社全体の研究開発に、特に新素材研究の質的向上に貢献したが、これはひとえに博士の人間性と指導力によるものであったと思う。

現在、わが国の鉄鋼大手企業はこの分析センター体制をとるようになっていく。外国企業ではあまり見られないが、これは日本鉄鋼業の技術の先進性を担保するものであろう。博士は、将来は「分析発の新材料開発」¹³⁾が実現するのではと、若い世代に期待をしているようだ。



写真2 1989年当時 日本分析化学会論文賞受賞
向かって右から佐伯博士、千葉氏、筆者

4 鉄鋼分析分野における 共同研究活動の推進と国際連携

1985年に佐伯博士は、当協会の鉄鋼分析分野での共同研究活動の中心であった鉄鋼分析部会部会長を川村和郎博士から

引継ぎ、その後10年間続けた。当時、わが国の鉄鋼業は非常に苦しい時期を迎えており、各社とも生き残りを賭けてコスト低減、要員合理化、高級鋼生産、新事業展開等に努力していた。鉄鋼分析部会でも機器分析法及び化学分析法の定量下限拡大、自動化、表面分析法の精度向上、微細析出物の形態別定量の共同研究や、分析室の設備、要員の合理化などの検討を進めた。博士は、合理化によって既に少数となった分析技術者で効率的な活動を実施できるように的確な指導をし、また関連する外部の委員会との連携強化にも尽力した¹⁴⁾。この部会と車の両輪の関係にある鉄鋼標準試料委員会の委員長も同様に引き継いだ。そして、標準物質の安定的な製造・頒布体制の構築、高純度鉄などの新品種の製造、ISO Guide 34 に対応した認証標準物質生産への準備を行い、日本鉄鋼標準物質 (JSS/Japanese Steel and Iron Standards) の国際的評価を高める基盤を構築した¹⁵⁾。「日本の鉄鋼分析技術のレベルは高い」との評価が内外で高まったのもこの頃であったと思う。その根拠は、日本発の技術論文数が世界一となり、内容も優れていたためであり、博士らのISO活動での個人的交流の影響でもあり、また、フランス、イタリア、米国、北欧各国からの調査団が来日して実感した結果でもあった。

分析方法の標準化活動にも積極的に取組んだが、1990年にわが国もJIS中心主義からISO基本主義に変わり、ISO鉄鋼分析規格をしっかりとしたものにするニーズが高まった。当時、ISO/TC17/SC1 (鉄鋼分析) は日本が幹事国を引き受けて堅実な運営をしていた。だが、より積極的にリードできるように1992年から約10年間にわたって博士が初代の常任議長になった。そして、品質保証の一環としてのISOを作成するよう欧米諸国を説得し、その路線に従った規格作成を急ぎ、このISO活動の活性化に大きな貢献を果たした¹⁶⁾。博士は技術的な面でも積極的に活動し、SC1国内委員会の協力を得て分析方法規格の提案を行い、多くの日本案が採用された。例えば、鋼中空素の不活性ガス融解法ではこれまで検量線の作成は鉄鋼標準物質を用いる以外の方法はなく、分析方法のトレーサビリティ確保の面で課題となっていた。SIの質量にトレーサブルな手法として、硝酸カリウム標準液を用いる湿式化学分析手法も取り入れた新規方法を提案した¹⁷⁾。この方法はISO 10720及びJIS G 1228に採用された。

博士は英会話の特訓を受け、2年ごとの国際会議では3日間英語で議事運営、調整、議事録作成、会食をこなし、メンバーとはファーストネームで呼び合っていたが、心労と睡眠不足で2~3 kg体重を減らしたのを著者はよく存じ上げている。このSC1の活動は、当協会の山岡賞の受賞となった。さらに、ISO国際会議における博士の提唱で、世界の鉄鋼分析の方向づけを行うべく「国際鉄鋼分析者委員会 (ICASI)」を組織し、その議長も務めた。

5 分析の社会貢献と信頼性向上

「分析」は物質に関する情報量を求める行為であるから、産業・学術に役立つだけでなく、社会にも広く役立つ分野であり、環境分析がその典型である。1970年代、光化学スモッグが問題となった頃、佐伯博士らはその原因物質としての排ガス中空素酸化物 (NO_x) の定量法を検討した。従来の分析法 (ザルツマン法) に基本的な過誤があることを見出し、抜本的な改善を行い、亜鉛還元NEDA吸光光度法を開発した。この方法により、正確かつ簡便に NO_x 定量ができ、 NO_x 排出量の把握、低減化対策の評価、環境管理に貢献した。また、この方法はのちに慶応大学柳沢三郎教授、鈴木孝治教授らのご尽力もあり、JIS、さらにはISOの公的規格となり、国内外で広く使われた¹⁸⁾。

また、環境対策に力を入れていた鉄鋼業界の環境分析の技術力や処理能力は他産業より優れていた。これらの能力を社外にも活用してもらうため、博士は1976年姫路環境分析センター (株) の立ち上げを指導した。さらに、研究所の総合的分析解析体制を広く社会に開放するために1985年には日鉄テクノリサーチ (株) の立ち上げにも尽力した。この両社は、現在の日鉄住金テクノロジー (株) の源流でもある。

1990年代は、国際貿易の拡大に伴って分析の信頼性の確保がISO活動でも課題となり、そのためには産業界だけでなく学界による学術的な裏づけも重要との認識が高まった。博士は1993、1994年度の日本分析化学会の副会長となり、この会に学術的な活動だけでなく、「分析信頼性委員会」を立ち上げて信頼性向上を目的とする社会貢献活動をも行える体制作りを行った。現在もこの学会は、分析の基準となる認証標準物質の開発・供給、分析技術者の教育や資格認定、企業の分析技術力の維持・向上のための技能試験などを行い、企業会員のみならず社会全体への貢献をしている。なお、博士は東大、



写真3 1990年当時 ISO/TC17/SC1 国際会議で感謝状を渡す佐伯博士

名大、東理大など複数の大学で将来の技術者となる多くの工学部学生たちに企業技術者の立場からの教育を非常勤講師として行っていることも付け加えておきたい。

佐伯博士の信条は「思考は長期的に、多面的に、根本的に」とする思考の三原則にあり、約35年間にわたり現実に直面する課題を、状況に適応した考え方、強い意志、協力者とのコミュニケーション、地道な努力で解決してきました。このような尊敬してやまない生き方が新しい時代を開拓した、まさしくエポックメイキングな人物であると考えます。

6 ご略歴など

1936年 静岡県に生まれる
 1959年 東大工学部応用化学科を卒業
 1959年 富士製鐵(株) 広畑製鐵所に入社
 1970年 富士製鐵(株)と八幡製鐵(株)が合併により新日本製鐵(株)となる
 1972年 新日本製鐵(株) 広畑製鐵所分析課長
 1978年 大河内記念会 大河内記念技術賞受賞
 1980年 同社 基礎研究所(副部長研究員)に転勤
 1984年 同所 分析研究センター所長、のち、解析科学研究部長
 1989年 日本分析化学会 論文賞受賞
 1991年 同社 技術開発本部参与
 1991年 日本鉄鋼協会 野呂賞受賞
 1993年 日本分析化学会 技術功績賞受賞
 1993年 通商産業大臣 工業標準化功労賞受賞
 1995年 同社退職、同時に富士物産株式会社 社長
 1996年 日本鉄鋼協会 浅田賞受賞
 1997年 工学博士授与(名古屋大学)
 2005年 日立環境財団 環境賞優良賞受賞
 2009年 同社会長
 現在 同社取締役相談役

参考文献

- 1) 佐伯正夫：鉄鋼の迅速分析 速さ、精度、信頼性への挑戦, 地人書館, (1998)
- 2) 小野寺政昭, 佐伯正夫, 西坂孝一, 坂田忠義, 小野準一, 福井勲, 今村直樹：鉄と鋼, 60 (1974), 2002.
- 3) 佐伯正夫, 西坂孝一, 岩本元繁, 安達晃：鉄と鋼, 60 (1974), 2045.
- 4) A.Ono, M.Saeki and K.Chiba : Applied Spectroscopy, 41 (1987), 970.
- 5) 小野昭紘, 千葉光一, 佐伯正夫, 仁部晴美, 笠井茂夫：鉄と鋼, 75 (1989), 902.
- 6) M.Saeki, A.Ono, Y.Hayakawa and K.Senoo : International Conference on Progress of Analytical Chemistry in Iron and Steel Industry, (1992), 247.
- 7) 早川泰弘, 小野昭紘, 佐伯正夫, 妹尾健吾, 木村秀明：鉄と鋼, 77 (1991), 1527.
- 8) 千葉光一, 小野昭紘, 佐伯正夫, 大野剛正：鉄と鋼, 77 (1991), 1874.
- 9) 小野昭紘, 佐伯正夫：鉄と鋼, 71 (1985), 901.
- 10) K.Chiba, A.Ono and M.Saeki : Analytical Sciences, 7 (1991), 655.
- 11) 大野剛正, 千葉光一, 小野昭紘, 佐伯正夫, 山内雅夫, 金本通隆：鉄と鋼, 77 (1991), 805.
- 12) 鎌田仁編：最新の鉄鋼状態分析, アグネ, (1979)
- 13) 田中裕二：ふえらむ 19 (2014), 126.
- 14) 佐伯正夫, 芝池成元：鉄と鋼, 77 (1991), 1756.
- 15) 佐伯正夫, 稲本勇：鉄と鋼, 77 (1991), 1780.
- 16) 大槻孝：鉄と鋼, 77 (1991), 1786.
- 17) A.Ono and M.Saeki : Proceedings of The Forty-Fourth Chemist' Conference, (1992), 81.
- 18) K.Suzuki, T.Niimi, N.Yamamoto, M.Shibata, M.Saeki, A.Ono, T.Shirai and S.Yanagisawa : Analytica Chimica Acta, 295 (1994), 135.

(2014年5月2日受付)

特別講演

□第167回春季講演大会経営トップ特別講演
(平成26年3月21日)

鉄鋼業の世代交代と JFEスチールの取り組み

Generation Change in the Steel Industry
and the Activity of JFE Steel

林田英治

Eiji Hayashida

JFEスチール(株) 代表取締役社長



*脚注に略歴

1 はじめに

日本の産業は戦後豊富な労働力を背景に生産量を拡大し成長を続けてきたが、ここ最近では団塊世代の退職と少子化による労働力人口の減少により、大きな転換期に直面している。日本の鉄鋼業が将来にわたり他国に対して優位性を持ちながら競争していくために、これまで培ってきた技術を若い世代につなぐこと、質の高い労働力を安定的に確保して生産性を維持することが重要な課題である。

以下、日本の鉄鋼業が直面している労働面での状況を分析し、鉄鋼業における課題を整理したうえで、JFEスチールが取り組んでいる施策事例を紹介する。

2 日本の少子高齢化

世界の人口は年々増加し続けており、1950年には約25億人であった人口が、現在では約69億人に達し、2050年には約93億人にまで延びると予測されている。世界の人口は増加する一方で、日本の人口は2010年を境に減少に転じており、2050年には現在よりも約20%人口が減少するものと考えられる(図1)。年齢構成においても、少子高齢化が進み、15～64歳の労働力人口の割合は現在の64%から2050年には52%にまで低下する(図2)。日本においては、総人口の減少と労働力人口の低下という2つの変化により、労働力が急速に減少していくことが必至であり、労働力面で年々厳しい環境になっていくことは避けられない状況である。

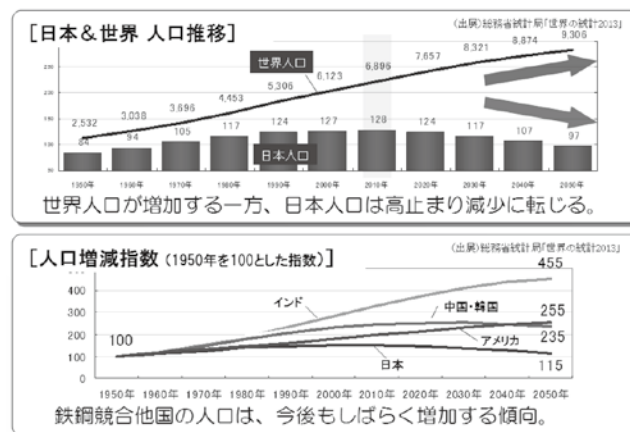


図1 世界の人口推移

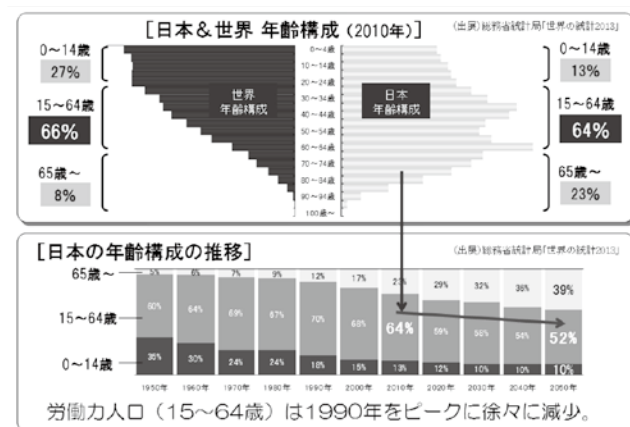


図2 日本の年齢構成

*1973年3月慶応義塾大学経済学部卒業、1973年4月川崎製鉄株式会社入社、1997年7月鉄鋼企画部企画室主査、1998年7月経営企画部海外事業管理室長、1999年7月経理部長、2002年9月JFEホールディングス株式会社常務執行役員就任、2005年4月専務執行役員、2008年6月代表取締役専務執行役員、2009年4月JFEスチール株式会社代表取締役副社長就任、2010年4月代表取締役社長

そのような中で、2013年4月より厚生年金の支給年齢が段階的に引き上げられることに連動し、高年齢者雇用安定法が改正され、国全体で60歳以上の労働力を活用する基盤が整備されている。鉄鋼業においても、60歳以上の社員を積極活用することで労働力の確保や技能喪失の歯止めを行なっていくことが企業の競争力を維持するために重要なポイントとなる。

3 日本鉄鋼業の歴史

世界の鉄鋼生産量は、戦後の復興期に急拡大し、その後1970年代から約25年間7～8億トンの生産量を推移し続けてきた。2000年代に入り、BRICs（ブラジル・ロシア・インド・中国）やアジアの新興国における目覚ましい経済発展により、鉄鋼生産量も急速な増加を現在まで遂げてきている（図3）。特に中国における鉄鋼消費量の増加が顕著であり、北京オリンピックの開催があったことも大きな要因となり、この6年間で約2倍（10年間で約4倍）に鉄鋼消費量が拡大している（図4）。

【世界鉄鋼生産量の推移】

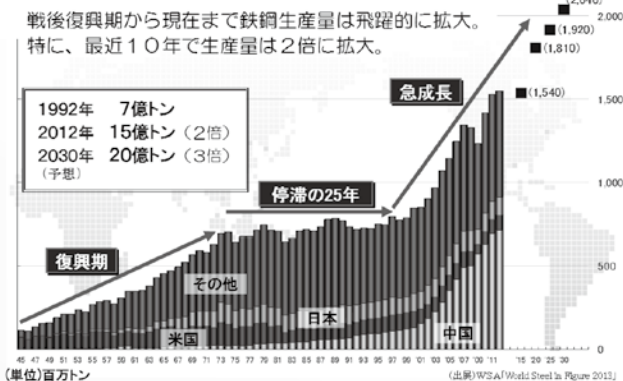


図3 世界鉄鋼量の推移

【世界の実質GDPの実績&予測】

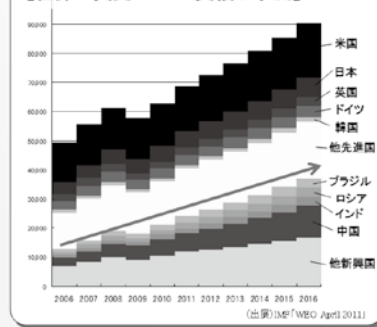
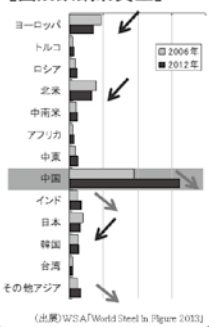


図4 国別鉄鋼消費量

【国別鉄鋼消費量】



日本の鉄鋼業は戦後の高度成長期の需要拡大に伴い、自国の生産能力を飛躍的に拡大したことにより、1970年代にはアメリカに次ぎ世界2位の生産量、1980年代には世界で最も多くの生産量を誇る産業にまで発展した。2000年代に入り、中国鉄鋼会社の生産規模が圧倒的に大きくなってきているが、日本は依然として世界2位の生産量を確保している。このような圧倒的な生産量を誇る中国や、インド、韓国といった新興国の台頭に対し、日本の鉄鋼業は高い技術・技能を保持して製品の差別化を図ることにより鉄鋼大国としての存在感を維持している。また、海外の需要拡大に対応し、輸出やアライアンスにより海外戦略を推進することで、輸出量を1991年の1,809万トンから2012年の4,379万トンにまで高めてきた。

このような環境変化の中で、日本鉄鋼業の労働構成は大きな変化を遂げてきている。高炉4社の従業員数は、1970年に直社員・外注社員合わせて30万人を超えていたが現在は10万人程度と1/3にまで減少してきており、直社員だけで見ると1970年に20万人であったものが現在は5万人と1/4にまで縮減してきている。新興国の安価な労働力に対抗するために人員を削減して労働生産性を高めていくことで競争力を確保することが必要な対策となっていた。そのため、①製造設備のオートメーション化、②業務効率向上、③外注化推進（1970年外注比率35%→現在53%）によって人員の削減を行なってきた。この結果、1970年代以降、労働生産性は飛躍的に向上してきたが、2006年以降は従業員数が一定規模より下がり、労働生産性も高止まりを見せている（図5）。

高炉3社の収益と新規採用者の過去の推移を見てみると、全体的に新規採用数は減少傾向にある。また、オイルショック時、プラザ合意後の円高不況時、バブル崩壊時の各不況時に経常利益がマイナスに転じており、特にこれらの時代に採用数を抑制してきたことがわかる（図6）。これらの時代の採用者は、現在製鉄所の現業系では、52～53歳、43～44歳、

【高炉4社の従業員数推移】



また、従業員数は40年間で1/4に減少。（20万人→5万人）
①製造設備のオートメーション化、②業務効率向上、③外注化推進により従業員を縮減し、労働生産性を高めている。

図5 高炉4社の従業員数推移

35～36歳あたり、この世代が日本鉄鋼業の労務構成において大きく欠落してしまっていることが、現在の年齢構成の歪につながっている。この歪により、技能継承の継承先が不足しているという課題や、次期管理監督者層が若返り化しているといった課題が足下発生している。

4 JFEスチールにおける課題

JFEスチールの年齢構成は、前述の過去の不況時の採用抑制により、52～53歳が極端に少なく、一方で団塊世代の56～62歳が多いという山谷のある年齢構成となっている。今から7年後の2020年の現業系社員の年齢構成をシミュレーションしてみると、これら団塊世代の退職による減少が顕著となり、平均年齢も現在の41歳から36歳にまで低下する(図7)。団塊世代が有している高い技能の喪失と若返り化による全体技能の低下が喫緊の懸念事項となっている。

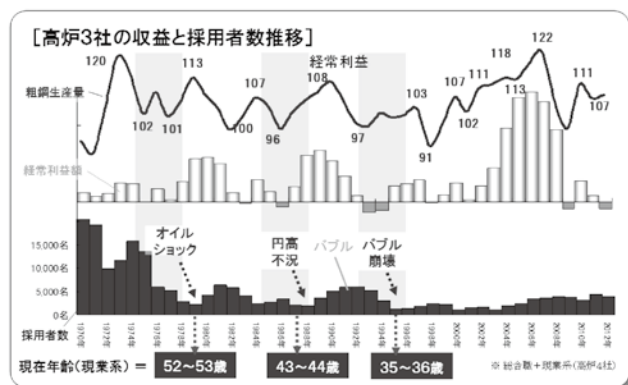
このような年齢構成の中、現場の監督者の年齢構成にも変化が生じている。10年前であれば、監督者は最適な年齢構成の中でピラミッドを構成していたが、途中世代が欠落してい

ることにより、20代後半～30代前半の監督者を発生させており、極端な若返り化が起きている(図8)。現場の各班を監督するリーダーなども10年前は30代が145名であったものが現在では900名にまで増えており、経験年数20年以上のベテランから経験年数10年程度の若手リーダー中心にシフトしてきている。これら若手監督者層の力量へのでこ入れが現場力を維持するための重要なポイントとなってきている。

また、労働災害の発生件数を年齢別に見てみると、10代・20代での災害度数が他の世代に比べて高い(図9)。経験年数別を見ても、経験年数5年未満での災害(不休以上)の発生件数が全体の30～40%を占めている。安全管理面からも、若手世代の技能の弱さは顕著であり、やはり若手世代の技能の引き上げが鉄鋼業にとって大きな課題であると言える。

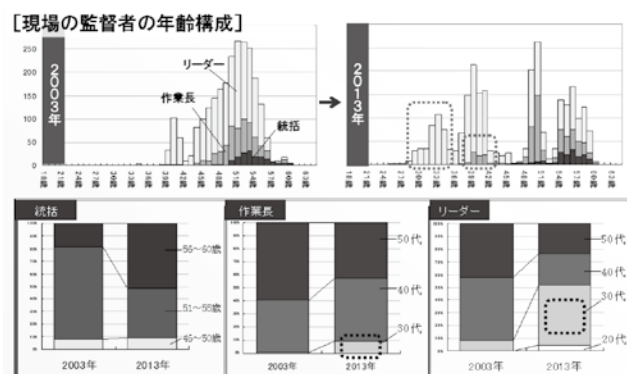
5 JFEスチールでの施策内容

これまで述べてきたような日本の鉄鋼業が直面している少子高齢化や課題を克服するため、JFEスチールでは次の4つの施策を実施または検討している。これらは、鉄鋼業全体で



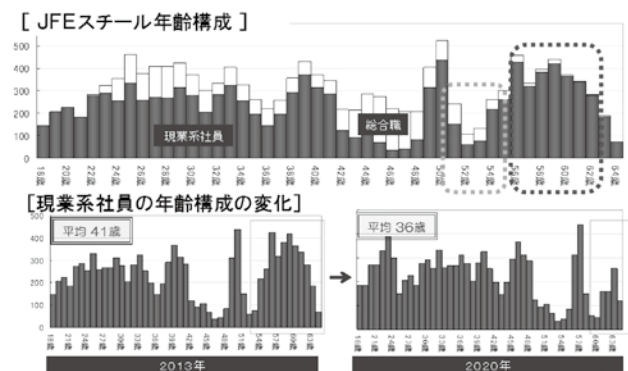
景気に応じた採用抑制により、年齢構成には歪みが生じている。

図6 高炉3社の収益と採用者数



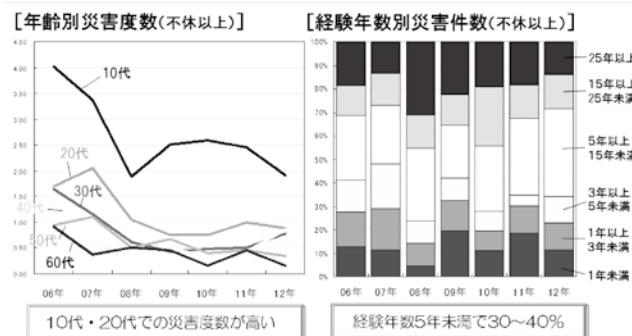
年齢構成の変化に伴い、現場の監督者の若返り化が顕著。

図8 現場監督者の年齢構成



団塊世代の退職に伴う世代交代により、年齢構成が大幅に変化する。

図7 JFEスチールの年齢構成



経験の浅い若手社員での災害発生が顕著であり、安全管理面からも若手社員への技能育成が引き続き重要な課題。

図9 年齢・経験年数別災害発生状況

の問題に基づくものであり、鉄鋼業共通の課題認識を持って取り組まなければならないことでもあるため今回紹介したい。

5.1 ダイバーシティの推進

労働力人口の減少に伴い、女性・外国人・高齢者などの幅広い労働ソースを活用することが優秀な人材を確保することにつながると考えており、多様な社員を雇用するダイバーシティ(多様化)を積極的に推進している。

まず、高年齢者活用の対策として、2000年に60歳で定年退職した社員を再雇用する「シニアエキスパート」制度を開始し、60～64歳社員の活用を積極的に行なうよう取り組んでいる。この取り組みにより、60～64歳の雇用数は年々増加し、現在では社員全体の約10%の1,200名もの高年齢者を雇用している(図10)。これらの社員は原則定年前の業務を継続することで、高い技能の担保と後継者の育成に努めている。更に、2013年に高年齢者雇用安定法の改正と厚生年金の受給開始年齢の段階的引き上げが行なわれたことに伴い、当制度の対象者の更なる拡大や処遇の引き上げを行なうといった制度の拡充を行なっている。この見直しにより、従来約70%であった再雇用率が2013年度は80%にまで上昇しており、今後更に再雇用による高年齢者の社内での活躍が期待される。

一方で、優秀な人材を確保するために、2012年度入社より総合職、現業職ともに女性の採用を積極的に推進している。総合職は大学のキャンパスにおける女性比率(事務系30%、技術系10%)を目標とし、現業職は工業高校における女性比率(10%)を目標に掲げ、採用活動を行なっている。過去2年間ににおいてはほぼ目標通りの採用を実行してきた(図11)。これら女性社員は総合職・現業職ともに男性と基本的には同じ職種(総合職＝工場エンジニア・研究員・営業・スタッフ等、現業職＝製造ライン3交替勤務・研究補助等)に配置してい

る。女性が社内で安心して働ける体制作りも重視しており、「育児休業期間の延長」「フレックス制度の拡大」「育児短時間勤務の延長」「休暇取得制度の拡充」といった出産・育児と仕事の両立を支援する制度の構築を進めている。また、特に現業職においては、現場でのシャワー・トイレといったインフラの整備が女性の働きやすい環境を提供するために必要であり、2012年度より段階的に投資を行い、現時点までで約50箇所のシャワー・トイレの設置を行なってきた。その他、現場においては、女性社員が作業を行ないやすいように、治具を導入したり、背の低い者でも作業ができるよう昇降台を設置したりと、個々の作業面でも改善を行なうよう進めている。

5.2 技能教育の強化

団塊世代が大量に退職期を迎える中、再雇用により高い技能の喪失を防ぐ一方、これらベテラン技能の確実な継承が必要であり、様々な技能継承への取り組みを実施している。

2007年より「技能マップ」の運用を全社的に実施している。各職場における技能項目を半年に1回5段階評価することで技能の定量把握を行なっている。定量把握を行ない、システムで一元的に管理することで、今後、高年齢層の退職に伴い技能の喪失がどれくらいあり、そのために技能の引き上げをどれくらい行なわなければならないかを分析することが可能になっている。技能評価については、半年に1回上司が本人と面談したうえで評価を行うこととしており、前期の実績評価と来期の技能目標を立てることでPDCAサイクルをまわして運用している。この運用の徹底により、高年齢者の退職に伴う総技能ポイントの低下を量的に見極め、これを補う技能教育を実施することで技能点の維持・向上を行なってきた。

2013年7月より「テクニカルエキスパート制度」を新たに開始した。前述の技能評価とそれに伴う技能教育の実施により、定常的な作業の教育は行なってきた。一方で、近年、ベテ

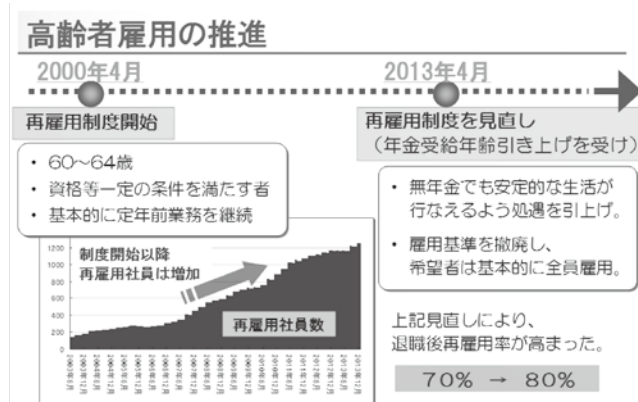


図10 高齢者雇用の促進

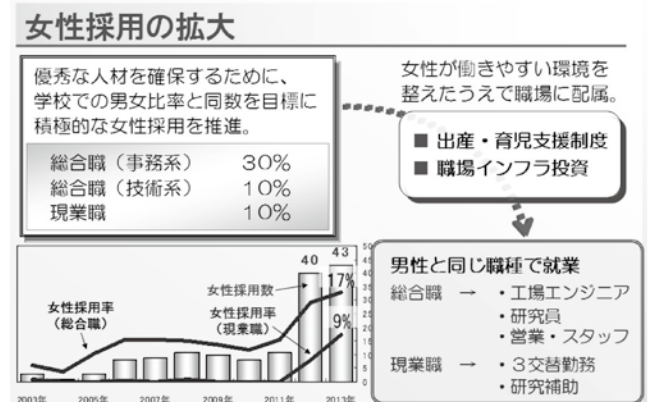


図11 女性採用の拡大

ラン社員の退職に伴い非常・低頻度作業における対応力が低下してきており、トラブル発生時の復旧に時間を要するといった問題を抱えている。また、日本の鉄鋼業は歴史が古いことから設備の高齢化が進んでおり、設備要因によるトラブルの発生件数も増えてきている。そのため、非常・低頻度作業の技能教育のために、ベテランが保有する固有技能・設備知識を講師として教育する「テクニカルエキスパート」を配置する取り組みを開始した(図12、図13)。これらテクニカルエキスパートは技能を有するベテランのOB・再雇用者を中心に選出し、製鉄所の重要プロセスごとに現在は80名程度配置しており、今後更に増員を予定している。テクニカルエキスパートの役割は、①非常作業訓練の講師、②トラブル事例集等の教育資料の作成、といったことを行っている。

5.3 外注政策の評価と今後の対応

JFEスチールの各製鉄所では、当社社員だけでなく、多くの協力会社(外注会社)社員が輸送、梱包、補修、精整、築炉等の作業を担っている。製鉄所によって外注化の歴史は異なるが、古くから外注化してきた運搬、補修等のエリアに加え、

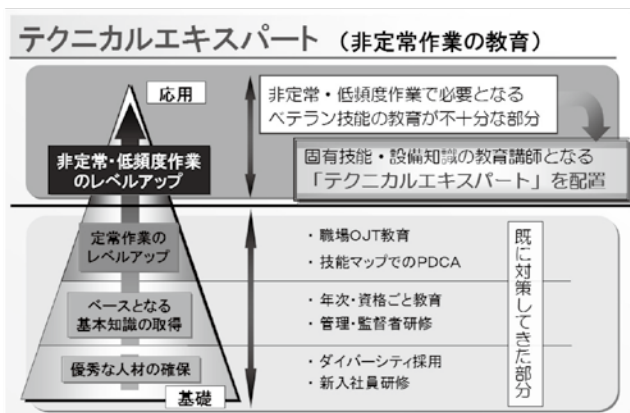


図12 テクニカルエキスパートの目的

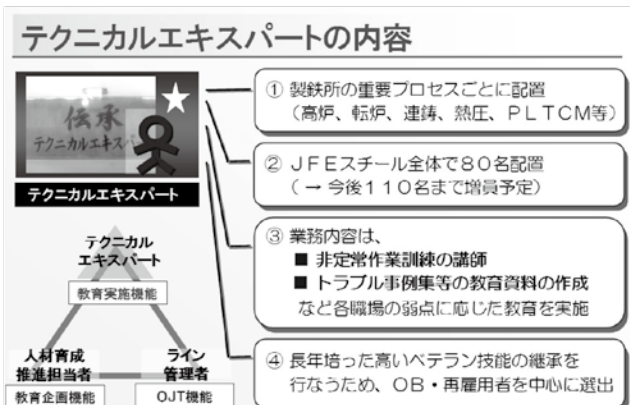


図13 テクニカルエキスパートの内容

2000年頃に比較的高技能な作業を効率化推進を目的にアウトソーシングしたため、現在では外注化比率は62%となっている。これら主要職場の協力会社社員の年齢構成を見ると、全体的な年齢構成は直社員同様の構成をしている。その中で、特に60歳前後に当社からの出向者や移籍者が多く占め、これらの出向者が保持していた高い技能を協力会社プロパー社員に移転する過渡期に直面していることがわかる(図14)。ベテランの出向者が持っている技能を協力会社の若手社員に移転することが大きな課題である。鉄の生産、販売を円滑に行なうためには、協力会社職場の役割も非常に重要であり、これら職場で作業の質を担保するため、今後は協力会社での教育施策の強化や直協区分のあり方の再検討を行っていききたい。他の企業でも過去アウトソーシングしたメンテナンス職場を社内化するなどの施策を行なっているところがあり、当社においても外注職場のうち重要職場について、今後の技能継承や作業の質が担保できるかどうかを見極め、必要に応じて社内化することも一部必要になってきているのではないかと考えている。

5.4 若手社員の労働時間管理

日本の労働環境は手厚い労働法制によって、従業員の労働時間は過度に抑制されており、そのため、年間の労働時間は年々穏やかに減少している。一方、鉄鋼のライバル国である韓国の労働時間を見てみると、2011年実績で年間約2100時間の労働時間となっており、約1700時間の日本との労働時間の差は大きい。過重労働による健康面への影響は絶対に回避しなければならない社会的な問題であるが、一方で厳しい労働法制で規制された環境下において自発的に学びながら働きたい若手社員の労働意欲を減退させるなど、若手の成長を阻害している側面もある。特に総合職に関してはアメリカや欧州にはホワイトカラーエグゼンプションという制度があり向学心を満たす働き方ができるが、日本の裁量労働制はごく

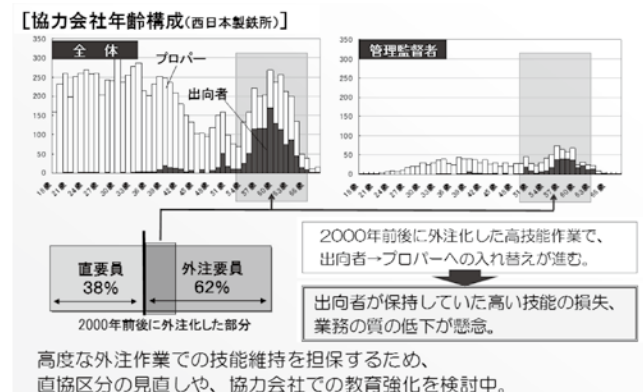


図14 協力会社の年齢構成

限られた職種にしか適用できない。こういった労働法制のみならず、核家族化、ゆとり教育世代といった「教育・家庭環境」、携帯電話やインターネットの普及によるコミュニケーションなどの「ライフスタイルの変化」といったことが若手社員の置かれている環境であり、一昔前と比べてその時代背景は大きく変容している（図15）。このような時代背景の中で、いかに強い若手社員を育てていくかが会社としても求められており、当社では次の施策を推進している（図16）。

1つ目は職場環境対策である。メンタルヘルス、コーチング等の研修を上司や先輩社員へ実施し、若手社員への接し方から指導方法など職場へ浸透するよう図っている。また、新入社員を対象にメンター制を導入し、プライベートのことも含めて何でも気軽に相談できる先輩社員を各新入社員につけ、企業内での孤立を回避し、きめ細かいフォローができる風土作りに取り組んでいる。

2つ目は若手社員への教育対応である。若手社員の自主的に学びたいと思うモチベーションを尊重し、教育・自習に用途を限定した残業時間を与えることで教育時間の確保を行っている。また、若手社員は海外で働きたい、世界規模でのビジネスに携わりたい、といったグローバル意識が高い傾向になってきていることに対応し、海外留学の機会を増やしたり、海外語学研修制度を新たに設置したりしている。2014年度からは、事務系新入社員全員に対し、3ヶ月間海外事務所に派遣して営業実務に触れたり語学を学んだりする制度を

スタートさせることとした。

最後に労働法制について触れておきたい。現在、規制改革会議等で議論されている今後の労働法制の改革において、若手社員の育成という観点から、より裁量をもって働ける制度への改革が行なわれるよう期待したい。また、新たな裁量労働制の導入やジョブ型雇用ルールを整備など、若手社員が高い意識を持ちながら技術を高めていくことのできる新法制度を柔軟に取り入れていきたい。

6 おわりに

日本の製造業が21世紀に渡って競争力を持続させるためには、技術開発に投資するのはもちろん、人材の育成に投資をする必要があると強く感じている。これまで長い間、効率化を主眼に経営を行ってきたが、これからは効率を多少犠牲にしても、「人材を育てる」「技術を高める」「経験を積ませる」といったことに経営資源を投入することが経営に求められているのではないかと考える。これらの課題は日本の製造業、鉄鋼業にとって共通の課題であり、日本鉄鋼協会、日本鉄鋼連盟、大学、企業が協力し合い、また、皆様にご支援をいただきながら取り組んでいきたい。

（2014年4月15日受付）

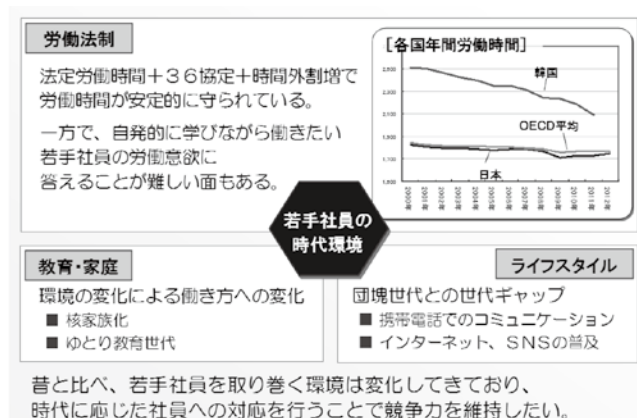


図15 若手社員の時代環境

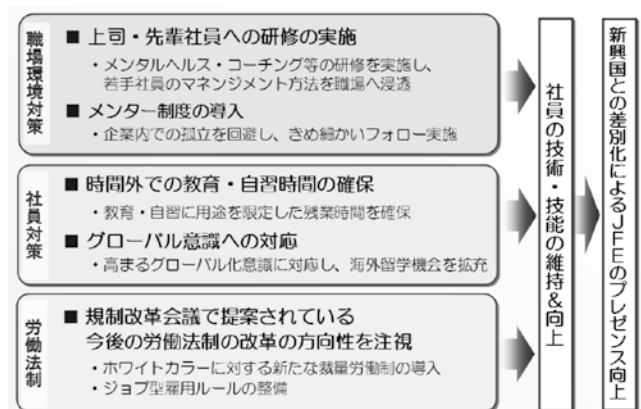


図16 若手社員への環境整備

特別講演

□第167回春季講演大会渡辺義介賞受賞記念特別講演
(平成26年3月21日)

製鉄業と私 —鉄鋼業の持続的成長のために—

Steel Manufacturing and Myself
— Steel Manufacturing in Japan for Sustainable Growth —

二村文友 新日鉄住金化学(株) 取締役相談役
Bunyu Futamura



*脚注に略歴

1 はじめに

この度は、栄誉ある渡辺義介賞を頂いた上に、このような場まで与えて頂き、誠に勿体なく思う次第です。製鉄業で育てられた小生の体験から今後のために皆様のお役に立てるようなことを少しでもお伝えできればと思います。製鉄業は資源・エネルギーに乏しいものづくり立国にとっての基幹産業であり、鉄鋼人は常に社会に役立つ鋼材を安定供給することで成長し、またそのことで生甲斐を感じているのだと思います。その意味において、「製鉄」とは、鉄鋼人の組織的集団芸術とも云えるのではないのでしょうか。従って、製鉄企業の持続は、鉄鋼人の人生の大前提だと思いますので、企業の持続的成長に不可欠な要素、即ち、社会の役に立ち続けるために具備すべきことについて、技術的側面から限られた経験の範囲内ですが、以下、お話しさせていただきます。

2 鉄鋼業を取り巻く環境変化と対応

新日本製鐵(株)に入社した翌年の1973年に石油危機が起これ、経済が停滞し、局面を打開すべく、我が国の製造業ではエネルギーの多様化、省エネルギー化への急速な転換が始まりました(図1)。鉄鋼業では、それに加え、鋼材に対する顧客からの品質要求の多様化・厳格化が目まぐるしく進展し、量伸びのない中で大合理化を進めながら、多品種・小ロット生産へとシフトして行きました。まさに「量から質への大転換」の始まりだったと思います。品質競争は激しさを

増す一方で、顧客ニーズへの速やかな対応が肝要で、従来以上に、「製・販・研(製造/工場・販売/営業・研究)」の一体運営の重要度が増した様に思いました。以下に、小生が勤務した名古屋製鐵所での体験を中心に、厚板と薄板での対応をお話し致します。

2.1 寒冷深海域の海底油田開発ニーズに応える厚板低温靱性鋼の開発

2度にわたる石油危機を契機に、中東産油国への一極集中のリスクを分散させるために、それまで顧みられなかった寒冷地や氷海での油田開発の動きが一気に始まりました。そこで、寒冷深海域の石油掘削リグ用に低温靱性に優れた高強度良溶接性厚板の供給が求められ、当社は積極的に受注する営業方針を取りました。その結果、名古屋製鐵所の厚板工場はそれまでの一般構造用および造船用普通鋼の大ロット大量製造体制を、海洋構造物を始め、ボイラー・圧力容器、そして低操業下に於ける全社ミル集約もあり、産機用の非調質・調質ハイテンや耐摩耗鋼、SC鋼等、小ロット多品種の品質嚴格材へ、製造プロセスの抜本的な転換を進めました(図2)。石油危機を境に鉄鋼業界だけでなく製造業全体が、汎用品を作れば売れる量の時代から高品質・高機能材料を追求する質の時代に、はっきり変化したと認識しました。

そこで、特殊鋼厚板の新しい製造体制を整えるために、材質・内部品質(中心偏析、介在物)・表面品質に関する各製造工程における品質目標を品質設計・工程冶金・研究、そして製造部門と連携して明確化し、それを実現できる設備対策の

* 昭和47年京大大学院資源工学科卒業後直ちに新日本製鐵(株)に入社、名古屋製鐵所生産技術部長、本社技術総括部長等を歴任、平成15年取締役名古屋製鐵所長、18年常務取締役、19年副社長技術開発本部長歴任。21年新日鐵化学(株)社長、25年取締役相談役、26年4月より相談役。19年20年鉄鋼協会副会長。

検討・成案化とタイムリーな実行推進、即ち、現場で製鋼から厚板・出荷までの一貫製造プロセスを確立することに専念しました。

高価な合金元素を最小限にして、低Ceqで高強度と低温靱性を両立させる製造方法の開発が進められました。低温加熱、制御圧延と制御冷却を組み合わせ、結晶粒微細化を最大限使い、従来の熱処理法では得られない強度と靱性のバランスを実現する新しいメタラジー TMCP (Thermo-Mechanical Control Process) が開発されました。TMCP鋼を安定製造するための鋼の清浄度の目標やTMCPの仕様が明確になり、高純度二次精錬技術と厚板制御圧延制御冷却技術の開発に着手し、P<50ppm、S<10ppm、H<1.5ppm、T.O<15ppmを保証する量産製造プロセスNSR¹⁾ (New Secondary Refining) と、制御圧延制御冷却設備CLC (Continuous on Line Control Process) をそれぞれ1982, 84年に完成させまし

た(図3²⁾)。また最も重要な低温破壊靱性は、シャルピー試験だけでは不十分であり、大型実厚CTOD (Crack Tip Opening Displacement: き裂先端開口変位) 試験機や、総合研究所で大型引張試験機による、実厚の鋼材および溶接部での実証も可能となりました(図4³⁾)。この特殊鋼厚板一貫製造プロセス確立により、オイルショック以降の低操業時代に対応する全社厚板ミル集約の下で名古屋製鐵所の役割:「特殊鋼・大単重」が整ったと思います。

特殊鋼厚板の連铸化は悲願で、既存連铸機の垂直曲げ化による介在物対策や稠密ロール軽圧下による中心偏析対策等を実行推進しました。しかし、それでもなお当時、品質厳格材では鋼片段階で偏析の均熱拡散処理を余儀なくされたものがありました。B添加する調質ハイテンを始め連铸曲げ戻し部で生じる横割れの無手入化は、程遠いことでありました。その後、連铸機での電磁力利用、極厚垂直連铸機など、製鋼技

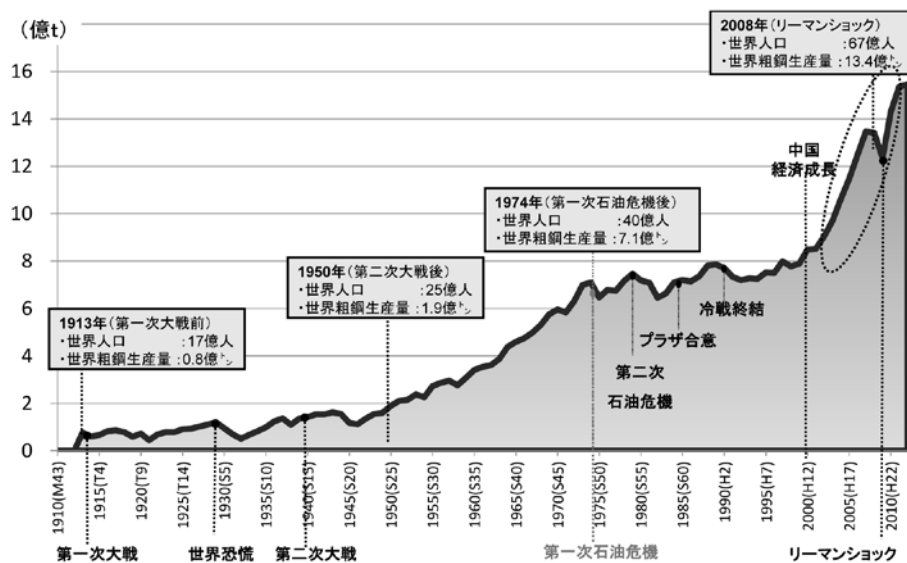


図1 世界の粗鋼生産

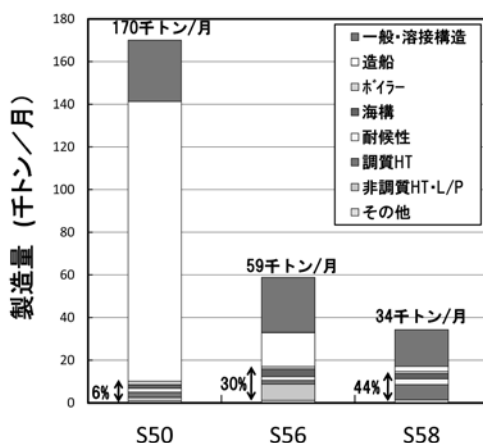


図2 厚板生産量と品種の変化(新日鐵住金(株)名古屋製鐵所)

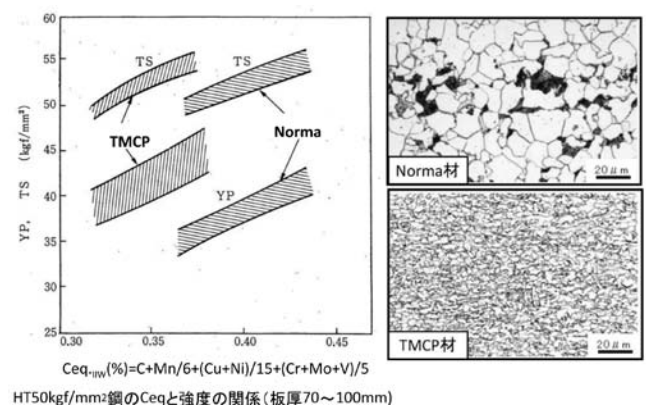


図3 TMCP鋼の開発²⁾ (写真提供: 新日鐵住金(株))

術がさらに高度化し、現在では、ジャッキアップ型石油掘削リグのラック&コード用極厚780MPa厚板（-60℃低温靱性保証、最大板厚210mm）のCC（Continuous Casting：連続鋳造）化も実現して居ります（図5⁴⁾）。

2.2 自動車軽量化による燃費向上と衝突安全性両立のニーズに応える薄板ハイテン鋼の開発

薄板の代表品種である自動車用鋼板においても、1973年のオイルショックを契機に70年代後半から80年代半ばにかけて、燃費向上・軽量化と耐久性向上・防錆強化ニーズが高まり、90年代に入ると衝突安全性の基準も順次強化され、更に90年代末以降は、地球環境問題からも排ガス中のCO₂規制により、一層の燃費向上・軽量化が問いつけられています。これらのニーズに応えるために、1980年代より名古屋製鐵所では、低炭Alキルドの冷薄で作っていた自動車用外板の防錆性能を一層強化すべく、顧客との強い連携のもとにZnメッキ鋼板化に全力で取り組みました。Znメッキ鋼板で、外板に必要なプレス成形性、塗装後の耐食性および溶接性（連続打点性）を同時に成り立たせるのは容易ではありません

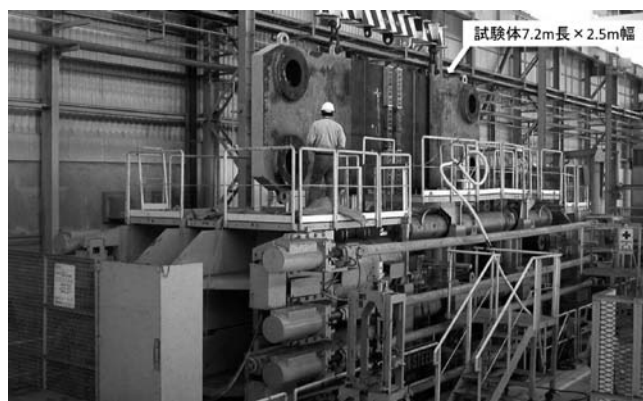


図4 実厚鋼板の引張試験機³⁾

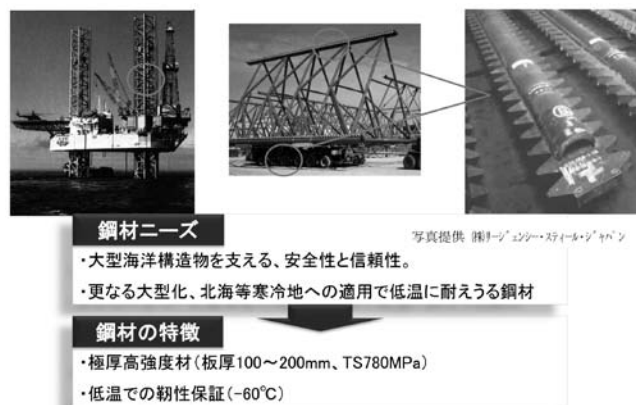


図5 石油掘削リグのラック&コード用極厚ハイテン厚板⁴⁾

でした。試行錯誤の後、研究・品質設計部隊が中心になって、一貫プロセスメタラジーとしてIF（Interstitial Free）鋼でその解を出し、更に外板の軽量化対策としてのBH（Bake Hardening：焼付硬化型）ハイテン化も同時にIF鋼でその解を見出しました。即ち、顧客での焼付塗装時に発現するBH量とIF鋼に於けるExcess-C（微量の固溶C）との関係を原理原則レベルで明確にしました。NbとTiの複合マイクロアロイングによるExcess-Cを制御する新しい発想により、自動車用外板の防錆強化とBHハイテン化の両立を世界に先駆け開発しました（図6⁵⁾）。

この一貫プロセスメタラジーを安定的に実現するための設備対策を、研究・品質設計・工程冶金・製造部門と連携して成案化し、実行推進しました。自動車外板に要求される外観の厳しさは云うまでもありませんが、Znメッキ化は予想に反して原板の造り込みを一段と厳格にする必要が生じました。Znメッキは原板の疵を隠すどころか、むしろ目立たせることが分かったのです。これらを踏まえ、IF鋼の増大に対応すべく、製鋼ではRH（Rheinstahl Hüttenwerke）真空脱炭装置の大還流化、CCモールド内電磁力利用技術導入による高速鋳造化等を、熱延では粗圧延再配置や仕上直後急冷等のIF鋼対策を、冷延工程では、高冷延率化やCGL（Continuous Galvanizing Line）高温焼鈍化等、一貫製造プロセスを整えました。

その後、90年代に入ると衝突安全対策として補強部材の追加による重量アップを打ち消すべくさらなる自動車軽量化が喫緊の課題となり、車体や足回りの強度部材を軽量化するため590MPa以上の各種ハイテンの開発が進められました。開発の早い段階すなわち、顧客に於ける設計段階から部品メーカーと共に参加し、強度部材の軽量化の総合的な提案、例えば部品点数を減らすことを可能にするハイテン、部品の一体成形を可能にするハイドロフォームに適するハイテン、形状凍結性などのハイテンの課題を克服するためのプレス技術などの提案を行い、部品の試作までを見せ、真に顧客・部品

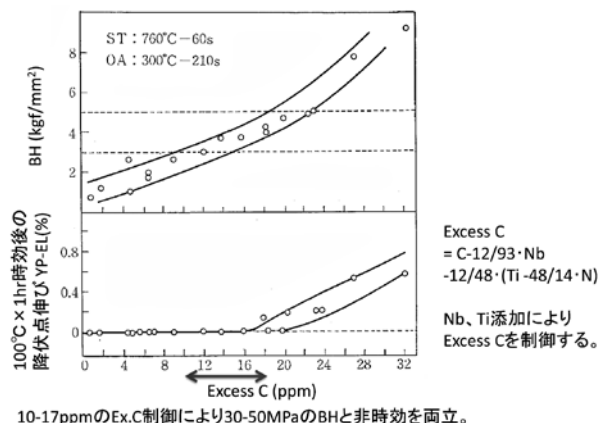


図6 Excess C制御によるBHと非時効の両立⁵⁾

メーカーと一体となった開発を指向しました。衝突時の吸収エネルギーを評価する装置を実機化し、材料評価並びに衝突シミュレーションの精度を高め、全体の開発工期を短縮するのに大きく寄与したと思います。

こうして自動車用ハイテンは、パーツや使用目的に応じ、DP (Dual Phase) 鋼、TRIP (Transformation Induced Plasticity) 鋼、高穴伸び性ハイテン、1GPa以上の超ハイテン等の開発を進め、軽量化と衝突安全に大きく寄与しています。しかし、まさに小ロット多品種の典型であり、信頼性の高いリピート注文ではありますが、少ない在庫で如何に効率生産するかが残された課題です。

3 企業の持続的成長の不可欠要素

石油危機以降の量から質への大転換への対応の様子を、2つの事例で経験に基づいて紹介致しました。諸先輩が、その変化に対応し乗り越えて来た姿を目の当たりにし、その知恵と工夫を学びながら、私自身も与えられた持ち場・立場で、その後も一層目まぐるしく生じる変化と激しい競争の中で、変化への対応力の強化に見様見まねで努力して参りました。

企業の持続的成長に欠かせぬ要素の第1番目は、変化に強い体質作り、即ち変化への対応力強化だと思います。変化する時代の流れと、それに呼応して生じて来る様々な顧客からのニーズ等を、適確に把握し、顧客と一体となった早期開発着手とニーズに間に合う開発力、これが互いの信頼を深めながら共に変化を乗り越えて行くための要諦だと考えます。図7は、「製・販・研」一体運営に必要な組織間の連携と、それぞれの組織の果たす役割を表しています。ポイントは顧客ニーズとその対応について、常に「製・販・研」で情報を共有化することと、オンサイト研究と総合研究所の機能・役割です。オンサイト研究は、総合研究所の一般解の追求を拠り所としながら、事例でも申し上げた通り、個別ユーザーに対する解をその製鉄所の製造技術と設備で実現するために、達成すべき品質目標を製鉄所の品質設計・工程冶金・製造部門と連携

して明確化し、ハード・ソフト両面の具体的対策の実機化を促進支援する役割があります。いわば、現実的特殊解を実行する役割です。一方、総合研究所は、中長期的視点で、顧客で起こりそうなイノベーションに常に耳を傾けながら、ナノからマクロまで階層的な鋼の観察解析技術とシミュレーション技術を磨き、それを武器に鋼の本質に迫るところから、先進技術として顧客に応えるソリューションを見出し、オンサイト研究を通じ、製鉄所に於ける実機化・製造を実現して行くのが、最大の役割であります。こうして「製・販・研」一体運営が円滑に機能して始めて、変化への対応力の強化が図られると確信して参りました。図8⁶⁾は参考までに高度観察解析技術等の例を示しています。物理化学現象が、サブナノのオーダーで且つ3D (3次元) で観察解析出来る様になり、そこには新しい事実の発見と新たな鋼の可能性や、材質予測モデルの精度向上につながる知見も見出しつつあります。

持続的成長に欠かせない2つ目の要素として、今日は多くを話すことは出来ませんが、持続的な製造基盤整備があります。創業以来、半世紀を過ぎる製鉄所は多く、設備の計画保全を徹底し、重大設備事故を未然に防ぐことは極めて重要です。また、目覚ましい発展を遂げているITを駆使した業務改革はもちろん、もの造りにもシミュレーション技術や予測技術に取り込んで、精度向上や工期の圧縮にも活用し、競争力を高める必要があります。

地域に対する環境対策は、云うまでもなく、地球環境問題即ちCO₂削減にも業界共通の課題として取り組んで行く必要があります。

最後は人材育成の持続です。社会ニーズ、顧客ニーズに対応して、前述した「製・販・研」一体連携のチームに参加して解を見出す仕事は、必ず人材を育てると考えます。解決能力を高め、達成感を覚え、自己の成長を実感するに至ると思います。そういう人材を組織として継続的に育てて行くのに大事

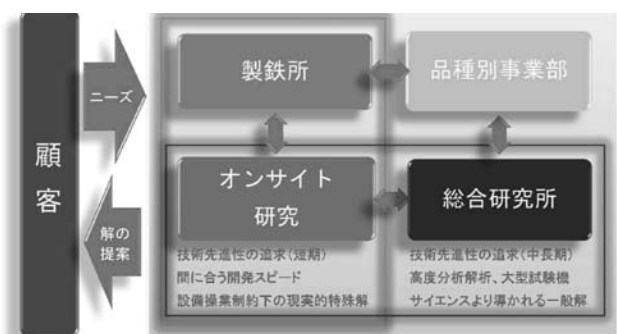


図7 「製・販・研」一体運営

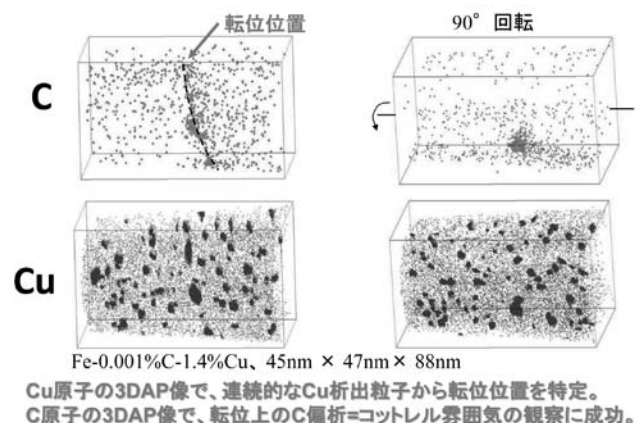


図8 転位へのC固着(コッレル雰囲気)の3Dアトムブローブ観察⁶⁾
提供：新日鐵住金(株)

なことについて一云したいと思います。人材育成の継続性の鍵を握っているのは、45～50才代の部門長クラスだということです。組織の中の一部門の長を任せ、人生のマイルストーンから見ても、論語によれば「天命を知る」年代でもあります。即ち世の中の役に立つ鋼材を開発して、安定供給し、喜んで使って頂くこのミッションを果すために、私達鉄鋼人は生まれて来た、そういう自覚をする年代だということです。少し銜った云い方になりますが、鉄鋼人が集団芸術家の一人として「生きている必然性」を自覚しなくてはならない年代で、その自覚を若い世代に日常的に伝えて行くことが、人材育成の継続性に最も重要なことだと確信して居ります。

4 おわりに

石油危機を契機に始まった、量から質への大転換の實際を目の当たりにし、自からも諸先輩の薫陶を得ながら、参加出来たことを幸せに思います。しかも中部地区の政財界からの強い要請で、地域の行政、多数の顧客群および金融とのJVで

始まった名古屋製鐵所で、大転換に携われたことに妙な縁を感じて居ります。即ち経緯からして、そもそもこの製鐵所は、地域社会、顧客のニーズに対応して、役に立つ鋼材を届けるために生まれたという背景があったからです。

省エネ・省資源、そして大合理化を進めながら、質への転換を「製・販・研」一体運営強化のもとに、顧客の声に耳を傾け、ニーズに見合う品質装備力を整えて行くことに携わりながら、集団芸術家達の創作活動の支援が出来たことは、小生の人生にとっても誠に悔のない有意義なことであったと感謝して居ります。図9は、これからの創作活動についての期待を表しています。電子顕微鏡を始め、種々のナノ観察機器と計算機の進歩・発達により、鋼のメタラジーに関する仮説が次々に実証（もちろん否定もある）され、鋼の中で生じる物理化学現象のメカニズムが解き明かされつつあります。今や、鋼のメタラジーにも、鋼の本質に立ち返ったシンプルなサプライズがますます期待される時ではないでしょうか。

参考文献

- 1) Y.Ohnishi, T.Komai, H.Siino, Y.Mizukami, I.Kobayashi and S.Fujino : I & SM, Feb., (1985) , 29.
- 2) 服部恵一, 田中淳夫, 岡本健太郎, 富田幸男, 津田幸夫, 山場良太, 土師利昭, 伊藤亀太郎: 製鉄研究, 314 (1984) , 19.
- 3) 新日鐵住金 (株) : 季刊 新日鐵住金, 2 (2013) , 22.
- 4) 新日鐵住金 (株) : <http://www.nssmc.com> および (株) リージェンシー・スチール・ジャパン
- 5) 山田正人, 徳永良邦, 伊藤亀太郎: 製鉄研究, 322 (1986) , 90.
- 6) 3DAP解析として例えば, J.Takahashi, K.Kawakami and Y.Kobayashi : Mater.Sci.Eng., A 535 (2012) , 144.

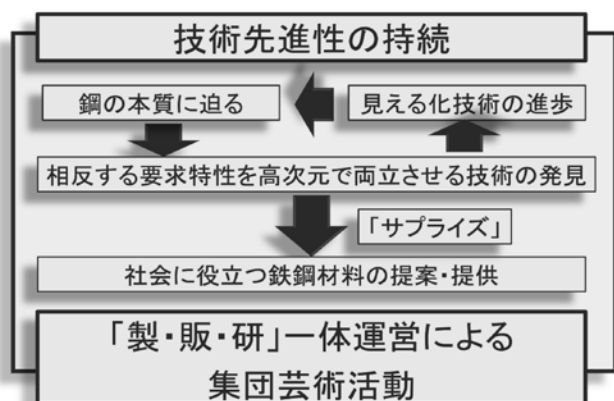


図9 「製・販・研」一体運営による技術先進性の持続

(2014年3月20日受付)

特別講演

□第167回春季講演大会西山賞受賞記念特別講演
(平成26年3月21日)

鉄鋼凝固プロセスの基礎現象

Fundamental Phenomena in the Solidification of Steels

鈴木俊夫

Toshio Suzuki

東京大学 名誉教授
JFEスチール(株)スチール研究所 リサーチアドバイザー



*脚注に略歴

1 はじめに

この度は栄えある西山賞をいただき、身に余る光栄である。西山弥太郎先生は大学の大先輩でもあり、とりわけ嬉しく感じている。このように評価いただけたのも、ひとえにこれまで仕事をともにした多くの優れた方々のおかげに外ならない。また、凝固分野が著しく発展した時期に研究職にあったことも、幸いであったと思う。そこで、これまで凝固分野の研究を担われてこられた数多くの方々を代表して、謹んで賞をお受けする次第である。本日は特別講演ということで、個人的な感想も交え、鉄鋼凝固プロセスの基礎研究について述べてみたい。

2 組成的過冷却の理論とその展開

まず、凝固基礎研究の歴史に簡単に触れよう。表1に20世紀の重要な研究を年代順に示した¹⁻¹⁶⁾。中でも組成的過冷却の理論³⁾は1953年にJ.W.Tiller先生らによって提案された凝固組織変化を取り扱う初めての理論であり、今日に至る凝固理論への道を開いたものとして重要である。それまでは合金によるとされていた鑄造組織が、温度勾配と凝固速度により変化する。その理論のインパクトの大きさは想像に難くない。組成的過冷却の理論の提案以降、さまざまな合金でマイクロ組織・マクロ組織が凝固条件に対して整理され、理解されていった。

実は、組成的過冷却の理論は凝固組織の研究から生まれたわけではない。当時は半導体産業の発展期にあたり、結晶育

表1 20世紀の重要な凝固研究

	凝固理論	解析モデル	基礎実験
1942		Scheilの偏析モデル ¹⁾	
1947		Ivantsovの解 ²⁾	
1953	組成的過冷却の理論 ³⁾		
1963	MS理論 ⁴⁾		
1966		Brody-Flemingsのマイクロ偏析モデル ⁶⁾	2次デンドライトアーム間隔測定 ⁵⁾
1967		Flemings-Neroのマクロ偏析モデル ⁷⁾	
1974			一方向凝固デンドライト先端温度測定 ⁸⁾
1976			SCNデンドライトの先端曲率半径・成長速度測定 ⁹⁾
1977	中立安定性理論 ¹⁰⁾		
1981		Kurz-Fisherのデンドライトモデル ¹¹⁾	
1986		Langerのフェース・フィルドモデル提案 ¹²⁾	
1987		Lipton-Kurz-Trivediのデンドライトモデル ¹³⁾	
1991		Kobayashiのフェース・フィルドモデル ¹⁴⁾	
1998		Karma-Rappelの定量フェース・フィルドモデル ¹⁵⁾	
1999		Kim-Kim-Suzukiの合金定量的フェース・フィルドモデル ¹⁶⁾	

* 昭和47年4月東京大学工学部冶金学科を卒業、52年3月大学院博士課程を修了し、53年4月長岡技術科学大学助手、講師、助教授を経て、昭和63年4月東京大学に転任、平成6年6月教授に昇任した。平成24年3月には東京大学を退職し、同年6月名誉教授となる。

成時の溶質変動や偏析セルなどの欠陥制御が喫緊の課題であった。Tiller先生とK.A.Jackson先生はToronto大学物理冶金研究室で、シリコン結晶成長のbandingとstriationをテーマに修士研究に取り組んでいた。これに博士研究員であったJ.W.Rutter先生も加わり、日々の熱気にあふれた議論の中から新たな理論が生み出された。

組成的過冷却の理論がもたらした界面安定性の概念はさらに一般化され、1963年にはW.W.Mullins先生とR.F.Sekerka先生による、いわゆるMS理論が提案される⁴⁾。MS理論では、固液界面エネルギーと固液相の温度特性差を考慮して界面の安定性が解析される。その手法として一般的な摂動論が用いられたことから理論研究者にも注目され、さまざまな系での界面安定性が検証された。ただ、通常の合金系では固液の熱物性差は少なく、分配係数も1より小さいので、MS理論と組成的過冷却の理論による平滑界面の安定条件はさほど変わらない。このため、材料分野への影響は大きくなかった。

一方、1960年代に実用的な側面では画期的な研究がなされていた。M.C.Flemings先生らが1966年に発表したデンドライト2次アーム間隔と部分凝固時間の関係⁵⁾は、材料分野の大いなる驚きであった。凝固組織のみならず凝固組織サイズも、凝固条件によって決まる。同年に提案されたマイクロ偏析モデル⁶⁾を用いれば、鑄造材料の偏析の予測や制御も可能になる。というわけで、ほぼ全てと言ってよいほどの実用合金で、デンドライトアーム間隔と冷却速度の関係が求められた。また、凝固条件を正確に制御できる一方向凝固実験の手法が一般化していくのも、この時期である。このように1970年代はMS理論に端を発した界面安定性の理論的研究と、凝固組織・マイクロ偏析・マクロ偏析の制御を目指す応用的研究が並行して進んでいった時代であった。

3 デンドライト成長モデルとフェーズフィールドモデル

ここで、今日の凝固理論の根幹をなすデンドライト成長について述べよう。過冷却液中で成長するデンドライトは自由デンドライトと呼ばれ、その研究は1930年代にまで遡る。これまでに提案された解析モデルは、デンドライト先端の回転放物体近似と定常成長を仮定している。自由デンドライトの成長は、潜熱の移動に律速される。そこで、界面温度一定の仮定の下で回転放物体座標系の熱伝導方程式の解を求め、先端での保存則を適用すれば、次式のIvantsovの解²⁾が得られる。

$$\Delta T = \frac{\Delta H}{C} I_V(P) \quad (I_V(z) = ze^z E_1(z))$$

ここで、 ΔT は過冷却度(= $T_M - T_\infty$)、 ΔH 潜熱、 C は体積当り

比熱、 P はPeclet数(= $\rho V/2a$ 、 ρ は先端曲率半径、 a は温度伝導度、 V は成長速度)、 $E_1(z)$ は積分指数関数。

デンドライト成長の解析解は、実験で得られる過冷却度と成長速度の関係予測に用いられていた。ただ、上式では過冷却度がPeclet数の関数となり、曲率半径と成長速度を分離して決定することができない。そこで曲率過冷項を導入した修正Ivantsov解に最大成長速度の仮定 $\partial V/\partial \rho = 0$ を適用して、デンドライト成長速度と過冷却度を決める。これにより実験結果を解析し、界面エネルギーなどが求められていた。しかし、M.E.Glicksman先生らの実験が状況を一変させる。透明有機物サクシノニトリル過冷却デンドライト成長の直接観察による成長速度と先端曲率半径の測定結果は、最大成長速度の仮定から大きく異なり、 $\rho^2 V = \text{const.}$ の関係となることが示された⁹⁾。この結果を説明するべくさまざまな先端安定条件が検討されたが、1977年のJ.S.Langer先生らによる中立安定基準の提案により決着がついた¹⁰⁾。

MS理論によれば界面変動の振幅速度は波長に依存し、中立安定波長 λ_m を境に振幅速度の正負が逆転する。中立安定性基準では、デンドライト先端曲率半径が中立安定波長に等しいとする。この波長は拡散長 l_d と毛管長 d_0 の幾何学平均となり、先端曲率半径を減少させる拡散駆動力と増大させる毛管駆動力の2つの力のトレードオフにより先端安定性が決まることを示している。

$$\rho \approx \lambda_m = 2\pi \sqrt{l_d d_0}$$

デンドライト成長の基礎研究の一方、鋼のデンドライトアーム間隔測定、マイクロ偏析と熱力学条件を組み合わせた介在物晶出モデル、中心偏析数値モデルなど、応用面での研究は着実に進んでいた。また基礎的な実験も活発に行われ、一方向凝固デンドライトの先端温度計測⁸⁾といった歴史的な実験も出現する。そして、1981年にW.Kurz先生らが中立安定性基準を取り入れた合金の一方向凝固デンドライト成長モデル¹¹⁾を提案し、新たな展開が生まれた。MS理論では、合金系の中立安定波長は界面前方の濃度勾配 G と濃度勾配 G_c の関数となる。

$$\rho \approx \lambda_m = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\Gamma}{mG_c - G} \right)^{\frac{1}{2}}$$

ここで、 Γ はGibbs-Thomson係数、 m は液相線温度勾配。一方向凝固では温度勾配と成長速度は制御されている。そこで、Ivantsovの解から先端前方の溶質濃度勾配を求めれば、上式より先端曲率半径は決まる。また、デンドライトの全体形状を回転楕円体に近似すれば、デンドライト1次アーム間隔も求められる。その後Kurz先生のモデルはLKTモデル¹³⁾へと発展し、80年代、90年代の凝固分野を席卷することとなった。

LKTモデルが瞬く間に凝固の応用分野に普及していく一

方、物理分野ではデンドライトの先端安定性の理論研究が着々と進行していた。MS理論に端を発した線形安定性理論は、非線形安定性理論、可解性理論へと進んでいった。しかし、1986年にLanger先生が、デンドライト成長の記述に対するGinzburg-Landau型方程式の可能性、フェーズフィールドモデルを提案した¹²⁾。そして、広島大学(現在)の小林亮先生が独自に構築したモデル¹⁴⁾を米国の研究所で披露したのをきっかけに、材料分野での研究は活発化していった。

フェーズフィールドモデルの研究には比較的初期から関わってきたので、少し詳しく述べよう。フェーズフィールドモデルでは、系の状態を固液界面領域で連続変化するフェーズフィールド ϕ により表し、 ϕ は系の自由エネルギー変分に比例して時間変化するとして、次のフェーズフィールド方程式を導く。

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = M \left(\varepsilon^2 \nabla^2 \phi - \frac{\partial f}{\partial \phi} \right)$$

ここで、 f は自由エネルギー密度で、固相率関数 $h(\phi)$ と固液界面エネルギーに関連する二重井戸型関数 $g(\phi)$ を用いて $f(\phi) = h(\phi)f_s + (1-h(\phi))f_l + W_g(\phi)$ と表す。また、 M 、 ε はフェーズフィールド移動度、勾配エネルギー係数で、それぞれ界面カINETIC係数、界面エネルギーから決定する。

純金属では上式と熱伝導方程式を連立して解けば、 ϕ の時間変化として固液界面の形状変化が得られる。ただ、初期のモデルではカINETIC係数無限大の条件で得られる数値理論解との比較ができなかった。また、移動度導出時に想定した界面過冷度と数値計算時の界面過冷度に差が生じるために、低過冷度での計算が不安定となった。このためフェーズフィールドモデルに否定的な研究者も多かった。A.Karma先生らは、界面領域の温度場の漸近解より界面過冷度を正しく求め、これより移動度を決める定量的モデル¹⁵⁾を提案した。これによりフェーズフィールドモデルの問題は解決され、数値解析手法としての地位を確立した。

合金系では熱伝導方程式に代えて溶質拡散方程式を連立する。ここで溶質濃度を $C(\phi) = h(\phi)C_s + (1-h(\phi))C_l$ とするが、このままでは界面領域に過剰な自由エネルギーが生じ、計算が不安定になる。これは固液相の熱力学的関係を無視したためで、両相の化学ポテンシャルが等しい、正確には、固液相が自由エネルギー曲線の平行接線関係を満たす条件を付加すれば解決できる。また、漸近解析により求めた界面駆動力から移動度は決定する。つまり、純金属で変数場として温度を用いるように、合金系では化学ポテンシャルを用いたわけである。これがS.G.Kim先生とともに提案した定量的合金モデル¹⁶⁾であり、今もそれなりに引用されている。以降、フェーズフィールドモデルは多元系合金、多相系合金、ファセット結晶へと拡張されるほか、熱力学データベースとの結

合やオープンソース化が試みられるなど、実用的な数値解析手法として発展し続ける。

4 鋼の初期凝固過程

これまで凝固研究の歴史を簡単に述べてきたが、鉄鋼の凝固プロセスに関連した研究として、ステンレス鋼の初期凝固過程計測の実験を紹介しよう。この実験に携わった時期は、鉄鋼各社では新たなプロセス開発を目指し、ストリップ castingの研究が盛んに行われていた。急速凝固プロセスは緩和時間が短く、大学での実験もやり易い。当時大学院に在籍していた水上英夫氏は18-8ステンレス鋼凝固組織を観察し、表面近傍では準安定オーステナイト相セルが成長することを見出した。ステンレス鋼の初晶相は合金組成や冷却条件により変化する。しかし、その詳しい条件は不明であったので、フォトダイオードを使って初期凝固過程を測定することとなった。フォトダイオードで過冷デンドライトの成長速度を測定する実験を行った経験があった。今度は、銅の鋳型底部にフォトダイオードを取り付け、その鋳型上に溶解した試料小滴を落下させて、試料表面温度を測った¹⁷⁾。当時フォトダイオードは100円程度で買えたので費用はかからないが、手間は大変であった。いろいろ工夫を重ねるうちに全体像が見えてきた。表面冷却速度と核生成過冷度は線形関係にあり、過冷度が約50K以上で初晶晶出相が δ フェライト相からオーステナイト相に遷移することもわかった¹⁸⁾。この準安定相晶出がストリップの表面欠陥に関連していたわけである。残念ながらストリップ castingはもう行われていないが、大学でも実用的研究ができたこと、少し誇らしく感じている。なお、Kurz先生はこの結果を気に入り、LKTモデルで安定相/準安定相の遷移を説明する相選択基準へと展開していった。

最後に最近の話題に触れよう。数年前まで凝固研究は終わりと思っていたが、興味深い研究結果が報告された。京都大学の安田秀幸先生らは鋼の凝固過程を高輝度光によって直接観察した。鋼は初晶として δ フェライトのデンドライトが成長し、続く包晶反応によりオーステナイトに変態していく。鋳片表面に加わる変態応力は炭素組成によっても異なり、亜包晶鋼では鋳片の不均一凝固や表面割れなどの原因になる。安田先生の結果によれば、通常の包晶凝固過程も観察されるが、冷却速度を上げると包晶反応は抑制される。そして、試料全域で δ フェライトのデンドライト成長が終わった後も試料はそのまま過冷され、突然にフェライト相からオーステナイト相への変態、いわゆるマッシブ変態が生じる¹⁹⁾。一般に包晶反応は過冷しやすいが、鋼で包晶マッシブ変態が生じるとは意外であった。その後の実験によりマッシブ変態は広い炭素組成範囲で生じ、開始過冷度や変態速度も一定でもない

ことが示された。もちろん、連铸鑄片でマッシブ変態が起きているか否かは不明だが、このマッシブ変態が亜包晶鋼縦割れの原因とする外国の先生もいる。さすがにとは思うが、各社の連铸研究者も興味を持って検討中である。もしも、このようなマッシブ変態が常に生じているならば、鋼の初期凝固過程の考え方も変える必要がありそうだ。また、新たな連铸の欠陥制御の方向を見いだす可能性があるかもしれない。

幸いここ数年で鋼の凝固過程のフェーズフィールドシミュレーションも著しく進歩した。Kim先生は包晶鋼の初期凝固過程を解析し、 δ フェライトのデンドライト成長とそれに続くオーステナイト成長を見事に再現した²⁰⁾。また、北海道大学の大野宗一先生は、包晶反応後のオーステナイト結晶粒成長を解析し、凝固条件や包晶反応での液相消滅速度により粗大な柱状オーステナイト粒の形成条件を定量的に予測している²¹⁾。このように鋼の初晶凝固から包晶反応後のオーステナイト粒成長に至る一連の組織変化を解析する準備は整っている。これらに熱力学的な条件を加えれば、鋼の包晶マッシブ変態の開始条件を数値的に検討することも可能であろう。また、このような基礎的研究から新たな凝固プロセスも生まれるかもしれない。今後の研究が大いに期待されるところである。

5 おわりに

これまで凝固の基礎現象について述べてきた。もう凝固研究も終わりと思う時期もあったが、予想もしなかった結果が報告され、うれしい展開である。幸いにも凝固分野には若くて優秀な研究者や先生方がたくさんおられるので、鋼の凝固プロセス研究はさらに進んでいくだろう。数年後にどのような成果が報告されるのか、ますます楽しみである。最後に、梶山正孝先生、木村康夫先生、梅田高照先生はじめ多くの先生方、これまで研究をともにした方々に改めてお礼申し上げます、話を終えさせていただく。

参考文献

- 1) E.Scheil : Z.Metallk., 34 (1942) , 70.
 - 2) G.P.Ivantsov : Dokl.Akad.Nauk SSSR, 58 (1947) , 567.
 - 3) W.A.Tiller, K.A.Jackson : J.W.Rutter and B.Charmers : Acta Metall., 1 (1953) , 428.
 - 4) W.W.Mullins and R.F.Sekerka : J.Appl.Phys., 34 (1963) , 323.
 - 5) T.F.Bower, H.D.Brody and M.C.Flemings : Trans.AIME, 236 (1966) , 624.
 - 6) H.D.Brody and M.C.Flemings : Trans.AIME, 236 (1966) , 615.
 - 7) M.C.Flemings and G.E.Nero : Trans.AIME, 237 (1967) , 1449.
 - 8) M.H.Burden and J.D.Hunt : J.Crystal.Growth, 22 (1974) , 99, 109.
 - 9) M.E.Glicksman, R.J.Scheafer and J.D.Ayers : Metall., Trans., 7A (1976) , 1747.
 - 10) J.S.Langer and H.Müller-Krumbhaar : J.Crystal Growth, 42 (1977) , 11.
 - 11) W.Kurz and D.J.Fisher : Acta Metall., 29 (1981) , 11..
 - 12) J.S.Langer : Directions in Condensed Matter, ed.by G.Grinstein and G.Mazenko, World Scientific, (1986) , 164.
 - 13) J.Lipton, W.Kurz and R.Trivedi : Acta Metall., 35 (1987) , 957.
 - 14) 小林亮 : 日本結晶成長学会誌, 18 (1991) , 209.
 - 15) A.Karma and W.J.Rappel : Phys.Rev.E, 57 (1998) , 4323.
 - 16) S.G.Kim, W.T.Kim and T.Suzuki : Phys.Rev.E, 60 (1999) , 7186.
 - 17) 水上英夫, 鈴木俊夫, 梅田高照 : 鉄と鋼, 77 (1991) , 1672.
 - 18) H.Mizukami, T.Suzuki, T.Umeda and W.Kurz : Mater. Sci.Eng., A173 (1993) , 363.
 - 19) H.Yasuda, T.Nagira, M.Yoshiya, A.Sugiyama, N.Nakatsuka, M.Kiire, M.Uesugi, K.Uesugi, K.Umetani and K.Kajiwara : Mater.Sci.Eng., 33 (2012) , 012036.
 - 20) S.G.Kim, W.T.Kim, P.-R.Cha, H.Y.Seo and J.T.Chio : NIMS Conference 2012, Tsukuba, (2012) , TS4-4.
 - 21) M.Ohno, S.Tsuchiya and K.Matsuura : Acta Mater., 59 (2011) , 5700.
- なお、以下に主な教科書と解説を示すので適宜参照されたい。
- 22) B.Chalmers : Principles of Solidification, John Wiley& Sons, New York, (1964)
(岡本平, 鈴木章訳 : 金属の凝固, 丸善 (1971))
 - 23) M.C.Flemings : Solidification Processing, McGraw-Hill Book Company, New York, (1974)
 - 24) W.Kurz and D.J.Fisher : Fundamentals of Solidification (Forth revised edition) , Trans Tech Publication, Aedermannsdorf, (1998)
 - 25) R.Trivedi and W.Kurz : Int.Mater.Rev., 39 (1994) , 49.
 - 26) W.J.Boettinger, S.R.Coriell, A.L.Greer, A.Karma, W.Kurz, M.Rappaz and R.Trivedi : Acta Mater., 48 (2000) , 43.
 - 27) M.Ode, S.G.Kim and T.Suzuki : ISIJ Int., 41 (2001) , 1076.
 - 28) W.J.Boettinger, J.A.Warren, C.Beckermann and A.Karma : Ann.Rev.Mater.Sci., 32 (2002) , 163.

(2014年3月28日受付)

特別講演

□第167回春季講演大会浅田賞受賞記念特別講演
(平成26年3月22日)

ヘテロ組織を利用した MIM焼結低合金鋼の超強靱化

Super-high Strength Low Alloy Steels Produced by Injection
Molding and their Heterogeneous Microstructures



*脚注に略歴

三浦秀士
Hideshi Miura

九州大学大学院 工学研究院 機械工学部門 教授

1 緒言

著者らは、これまでの研究において新しい金属粉末射出成形 (Metal Injection Molding) プロセスでの雰囲気制御による炭素量の精密制御法を提案するとともに、従来の粉末冶金法 (金型プレス成形の場合、通常の焼結低合金鋼の引張強さは1000 MPa級で伸びも1~2%) では得られない引張強度1800 MPa、伸び3~4%の極めて高性能な機械的性質 (焼結鍛造材に匹敵) を示す混合粉末法による焼結低合金鋼 (Fe-2%Ni-0.5%Mo-0.4%C熱処理材) を開発した¹⁾。これに関しては、混合粉末による焼結材料特有の局所的に成分が傾斜した微細不均質 (ヘテロ) 組織 (とくに凝集Ni粉のFe基体粉への不十分な拡散により、最終的にNi濃度の傾斜に応じて出現するマルテンサイト相 (濃度が高い場合は残留オーステナイト相) を網目状に焼き戻しマルテンサイト相が取り囲んだ組織) が優れた特性を発現しているものと考えている。そこで、上記特性がNi粉の凝集という自然現象とFe-2%Ni-0.5%Moの組成のみを用いて得られたものであり、本鋼種を基本に人工的にNi粉の大きさや量あるいは焼結・熱処理条件などを変えることによって、さらに優れた特性 (目標: 引張強度2000 MPa以上、伸び5%以上、回転曲げ疲労強度600 MPa以上) を発現させることが十分に期待できることから、ヘテロ組織を構成する各相の成分や割合およびそれらの分散度合などマイクロレベルでの組織形態の最適化について検討を行った。

2 実験方法

使用した粉末は、カーボニル鉄粉 (Fe-OM、平均粒径4.4 μm 、福田金属箔粉工業 (株) 製) である。また、添加するNiとして、水アトマイズ粉末 (AKT-Ni、三菱製鋼 (株) 製) を3種類の粒度に分級して用いた。平均粒径は6、16、24 μm であり、それぞれを、Fine、Medium、Coarseと称する。粉末のSEM写真をFig.1に、化学成分をTable1に示す。それぞれの粉末は、Niの添加量が4、6、8 mass%となるように混合して用いた。バインダとして、パラフィンワックスを69 mass%、アタックチックポリプロピレンを20 mass%、カルナウバワックスを10 mass%およびステアリン酸を1 mass%配合した。粉末およびバインダは、粉末の配合比が65 vol%となるように混練を行い、得られた原料を用いて射出成形により平板のダンベル型引張試験片を作製した。成形体はまずヘプタン気相中での溶媒脱脂によりパラフィンワックスを抽出し、その後、加熱脱脂および焼結を連続的に行った。焼結は 10^{-1} Paの真空中で行い、焼結温度1200~1350 $^{\circ}\text{C}$ で1時間保持した。得られた焼結体はAr雰囲気中で熱処理を行った。900 $^{\circ}\text{C}$ にて30分保持した後、油中にて焼入れを行い、その後200 $^{\circ}\text{C}$ にて120分保持した後空冷にて焼もどした。得られた試験片は、アルキメデス法による相対密度測定、炭素量分析、組織観察、EPMAによるNi分布状況の解析、および引張試験に供した。

* 昭和52年に九州大学大学院工学研究科鉄鋼冶金学修士課程を修了、直ちに九州大学工学部・助手に任用、昭和61年7月に工学博士号を取得後、同年12月より熊本大学工学部・助教授、平成7年に教授昇任、平成16年に九州大学工学部・教授に転任、現在に至る。

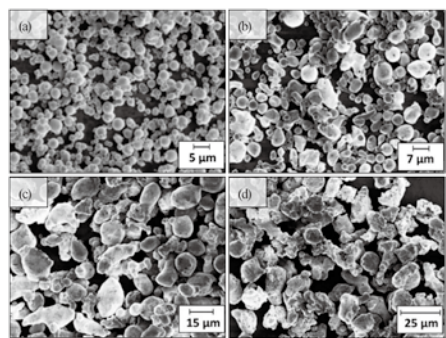


Fig.1 Secondary electron images of powders; a) fine Fe, b) fine Ni, c) medium Ni, and d) coarse Ni particles.

Table1 The chemical composition of Fe and Ni powders (mass%).

mass%	C	Si	Mn	Fe	Ni	O
Fe	0.76	-	-	Bal	-	0.30
Ni	0.01	1.10	0.19	0.28	Bal	0.001

3 実験結果および考察

得られた焼結体の密度は、いずれのNi粉末粒径、Ni添加量においても相対密度95 %以上を示した。また、熱処理材の炭素量はいずれも0.4 mass%程度であった。

Fig.2に代表的な熱処理材の組織写真を示す。いずれの組織にも、図中に矢印で示すように、白く見えるNiリッチな領域が点在しており、その周囲に焼もどしマルテンサイト相が取り囲むネットワーク構造を呈していることがわかる。その場合、Ni粉末粒径が大きいほど、またNi添加量が多いほど、Niリッチな領域は大きくなっていることが観察される。

EPMAによるNiの分布状況をFig.3に示す。図中のスケールは、Ni濃度を表している。Ni濃度の高い部分と低い部分が存在しており、Ni濃度傾斜に伴うヘテロ組織であることが明らかである。なお、粒径の小さいNi粉末を使用することにより、NiがFeマトリックスにより拡散し、濃度差は小さくなっていることがわかった。また、Ni添加量が高いと濃度差も大きいことがわかった。

Fig.4に引張試験により得られた引張強度を示す。いずれも2000 MPa程度の非常に高い値を示している。その際、Ni粉末の粒径が小さいほうが高い強度および伸びを示しており、Ni添加量は6 %のものが最大の値を示した。また、Fig.5に伸びを示す。伸びもNi粉末の粒径が小さいものほど高い値を示し、やはりNi添加量6 %で最大の値を示した。Fine Niで添加量6 %においては、引張強度2040 MPa、伸び8.1 %という非常に強靱な特性を示した。これは、報告されているMIMによる焼結低合金鋼^{2,5)}で最高のレベルであり、微細な

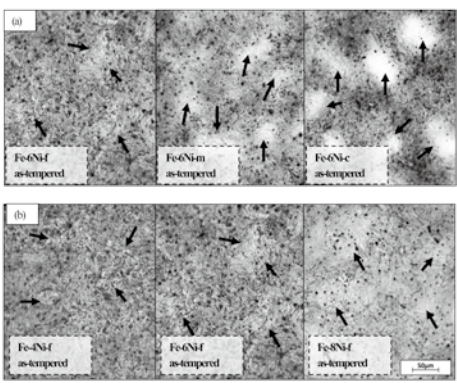


Fig.2 Optical Microstructure of the steel compacts sintered at 1250 °C for 1 hour in vacuum followed by quenched and tempered: (a) Fe-6Ni with different Ni powder size, and (b) Fe-4Ni, -6Ni and -8Ni with fine Ni particle. The -f, -m and -c stand for fine, medium and coarse particles, respectively. The arrows show the bright area in Ni-rich area.

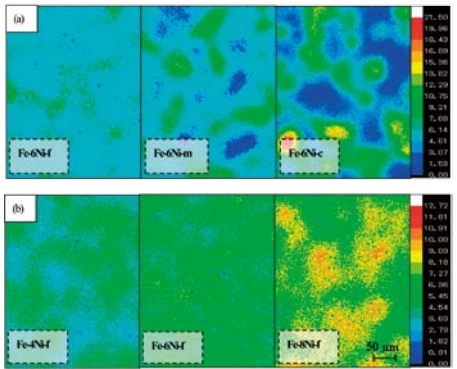


Fig.3 X-ray mapping for Ni by EPMA analysis for the steel compacts: (a) Fe-6Ni with different Ni particle size and (b) Fe-4Ni, -6Ni and -8Ni with fine Ni particle.

ヘテロ組織を有することから、このような超強靱な特性が得られたものと考えられる。

Fig.6に、Fine粉末を用いたNi添加量6 %材の引張試験前後の硬度を示す。引張試験前は、Niリッチな領域は焼もどしマルテンサイト相に比べ、低い値を示していた。一方、引張試験後、Niリッチな領域の硬度は試験前に比べて20 %近く増加しており、焼もどしマルテンサイト相より高い値を示している。一方、焼もどしマルテンサイト相では硬度の変化はほとんど見られない。

ここでさらに、X線回折 (XRD) による引張試験前後の残留オーステナイトの定量化も試みた。Fig.7に引張試験前後の残留オーステナイト量を示す。試験前に17 %近く存在していた残留オーステナイトは、試験後は6 %まで低減していた。以上のことから、Niリッチな領域で応力誘起マルテンサイト変態 (TRIP) が起こり、硬度の向上がみられたと考えられ、このことも起因して、ヘテロ組織を有する焼結低合金鋼の熱処理材で、超強靱な引張特性を示すことが明らかとなった。

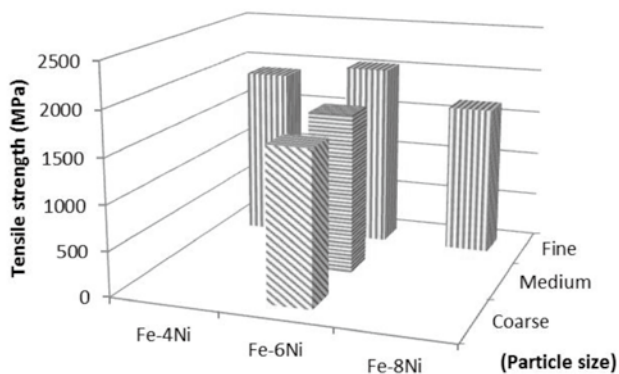


Fig.4 Tensile strength of Fe-Ni compact with different Ni content and particle size.

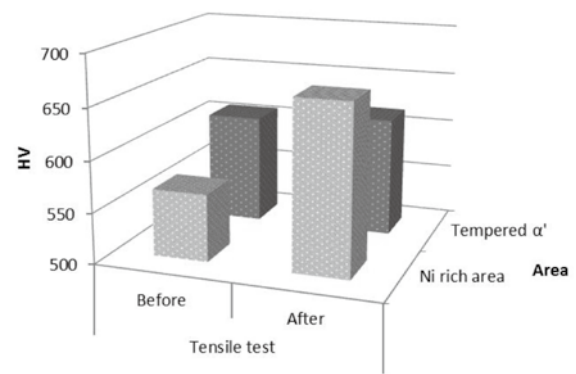


Fig.6 Influence of tensile deformation on hardness of the Fe-6Ni-f.

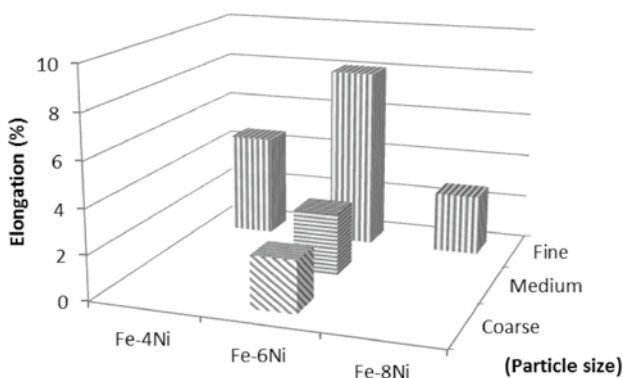


Fig.5 Elongation of Fe-Ni compact with different Ni content and particle size.

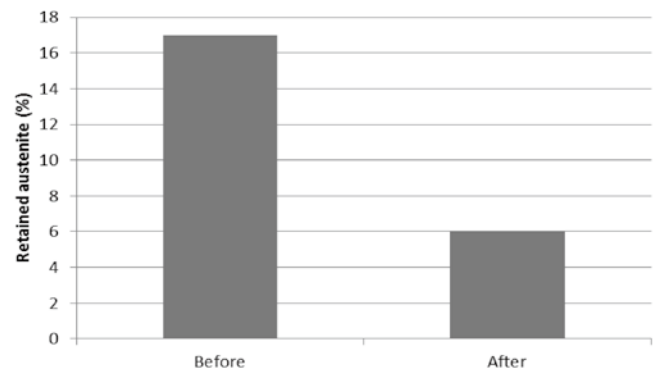


Fig.7 Influence of tensile deformation on volume of retained austenite phase in the Fe-6Ni-f.

4 結言

金属粉末射出成形を用いて、素粉末混合によりFe-Ni系の焼結低合金鋼を作製し、添加するNi粉末の粒径および添加量を検討した結果、以下の結果が得られた。

1. いずれの条件においても、熱処理材ではNiリッチな領域を網目状に取り囲んだ焼もどしマルテンサイト相から成る組織が観察された。
2. EPMAの結果、粒径の小さいNi粉末を使用した場合、よりNiの拡散が進行し、Niリッチな領域および焼もどしマルテンサイト相のNi濃度差は小さくなるものの、ミクロ的には依然としてヘテロな組織を呈していた。
3. 平均粒径6 μmのNi粉末を使用し、そのNi添加量を6%とした、Fe-6Ni-0.4Cの引張強度は2040MPa、伸びは8.1%と超強靱な特性を示した。これは、従来より報告されている焼結低合金鋼では最高レベルである。
4. 引張試験前後の硬度変化および残留オーステナイトの定量により、Niリッチな領域での応力誘起マルテンサイト変態も起因して、提案のヘテロ組織が超強靱な特性を示したものと思われる。

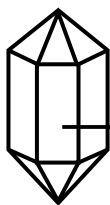
謝 辞

本研究の遂行にあたり、九州大学大学院工学研究院機械工学部門、津守不二夫准教授、長田稔子助教、博士後期課程学生Wan Sharzi Wan Harun氏および材料加工工学研究室的の諸氏の絶大なる協力に謝意を表す。また本研究はJSPS科研費24246123の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 三浦秀士, 味富信三, 安藤新二, 本田忠敏: 粉体および粉末冶金, 42 (1995) 3, 378.
- 2) H.Miura and M.Matsuda: Material Transactions, 43 (2002), 343.
- 3) Materials Standards for PM Structural Parts, 2009 Edition, MPIF, Princeton, NJ, (2009), 48.
- 4) Materials Standards for Metal Injection Molded Parts, 2007 Edition, MPIF, Princeton, NJ, (2007), 16.
- 5) Metals Handbook, 10th ed., vol. 1, ASM Int., Materials Park, OH, (1990), 430, 793.

(2014年3月31日受付)



入門講座

鋼の凝固入門-9

連続 casting II: 鑄片の欠陥 (表面品質、介在物制御)

Continuous Casting II :
Defects of Cast Steel (Surface Quality and Control of Inclusions)

三木祐司

Yuji Miki

JFEスチール(株) スチール研究所
製鋼研究部長(理事)

1 緒言

連続 casting プロセス (以下、連铸と略称) は、鋼材の品質を左右するプロセスのひとつである。鋼材の表面性状は、 casting 時の鑄片表層の欠陥や組織に依存し、鑄片厚み中央の中心偏析は、鋼材の品質劣化を引き起こす。

鋼材の品質厳格化の流れの中で、連铸表面欠陥低減について、多くの取り組みがなされて来ている。連铸鑄片表面欠陥は、 casting 型内初期凝固シェルへの脱酸生成物やスラグの捕捉、モールドフラックス巻き込みと付着に起因する介在物欠陥と、表面割れに起因する欠陥に大別される。介在物欠陥は連铸上部の casting 型内で発生することが多く、割れ欠陥は casting 型内あるいは二次冷却帯で発生する。

本稿は、これらの欠陥例とともに、連続 casting II として、特に、表面品質・非金属介在物 (以下、介在物と略称) 制御に関してレビューし、紙面の許す範囲で、主要な対策についても記載した。

2 介在物欠陥の生成原因と防止策

2.1 一次介在物

casting 前の溶鋼中に存在する介在物 (1次脱酸生成物、混入スラグ・耐火物、モールドフラックスの巻き込み) を1次介在物と称する。連铸 casting 型内の溶鋼流動と欠陥発生機構を模式的に図1に示した。

2.1.1 脱酸生成物、スラグ性欠陥

溶鋼の脱酸には通常 Al が用いられ、脱酸生成物の主組成はアルミナ (Al_2O_3) であるが、精錬工程のスラグが持ち越されて脱酸生成物と合体した介在物も多い。

溶鋼中アルミナの粒子およびクラスターは浮上・分離して低減する。しかし、その隙間に溶鋼が充填されたクラスターは見かけ密度が高く、一体となって溶鋼に残留することがある。

タンディッシュから casting 型へ溶鋼を供給するノズルの閉塞を防止するために Ar ガスを吹き込んでいる。Ar 気泡は casting 型内で浮上して除去されるが、溶鋼中に分散し残留した Ar 気泡がクラスター状のアルミナを捕捉し合体する。図2に鑄片 (スラブ) 中の Ar 気泡の走査型電子顕微鏡像と鋼板欠陥の例を示す。気泡の周りにアルミナ粒子が捕捉され、これが凝固シェルに捕捉されて表面欠陥となることがわかる¹⁾。

2.1.2 介在物の凝集・浮上分離

(1) アルミナクラスターの生成機構

アルミナ粒子はブラウン運動、また粒子間に働くファンデルワールス力、流体力学的な引力、さらには溶鋼流動による粒子間衝突や乱流凝集などによって粒子が付着・成長してクラスターを形成する。クラスターの大きさは数十～数百 μm で、数 μm のアルミナ粒子が3次的に集合²⁾している。

非平衡的に生成し溶鋼中に懸濁した FeO 液相がアルミナ粒子間の架橋力となり、アルミナ粒子の凝集・合体を著しく促進することが報告された³⁾。

(2) RH 処理による介在物の低減

Al キルド極低炭素鋼の RH 処理時間、タンディッシュおよび鑄片の介在物の推移を図3⁴⁾に示した。RH 処理時間とともに介在物数は減少するが、タンディッシュで増加し、 casting 型内

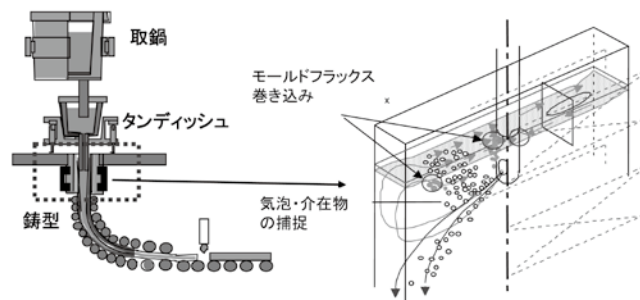


図1 連铸 casting 型内溶鋼流動と鑄片欠陥発生機構の模式図

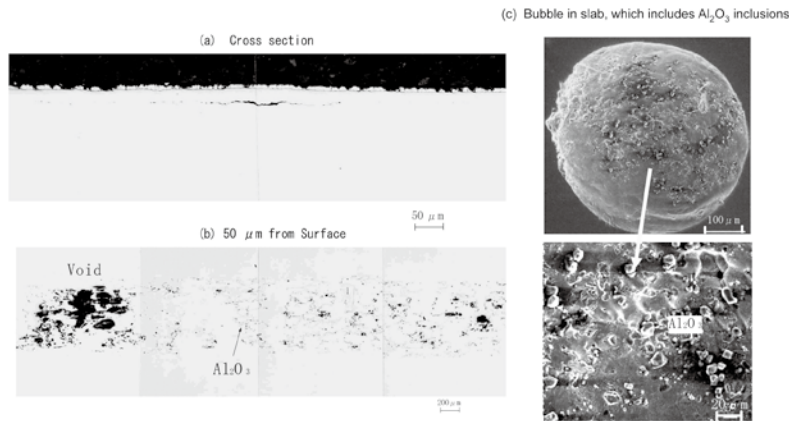


図2 鋼板欠陥部の光学顕微鏡像およびスラブ中のAr気泡の走査型電顕観察像¹⁾
a) 鋼板断面 b) 鋼板表面 c) スラブ中の気泡

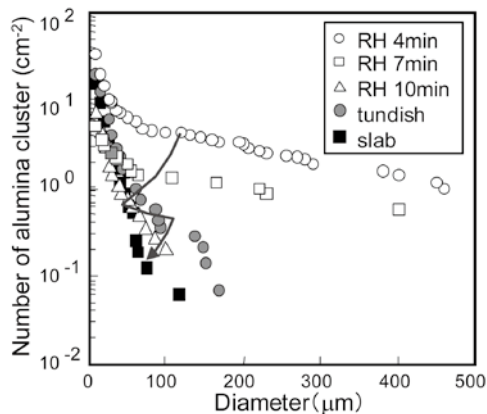


図3 RH、タンディッシュおよび鋳片の介在物粒径分布の推移⁴⁾

で浮上分離して鋳片で減少する。鋼種や処理条件で介在物量推移は異なるがタンディッシュでの、酸化、スラグ巻き込みによる介在物増加を抑制することがRH処理時間の短縮につながることは言うまでもない。

RH処理では、環流量の拡大などにより攪拌動力密度を上げて介在物の合体・凝集を加速しつつ、浮上分離する。留意すべきことは酸素濃度値と介在物の挙動の違いである。図4⁵⁾は、実測および計算によるRH処理中の酸素値と介在物粒径分布の変化を示している。RH処理では、環流回数で、酸素濃度 (Al_2O_3 濃度) が横ばいになった後でも、大型介在物は減少し続けるため、処理時間増加は大型の介在物分離促進に効果があることがわかる。

(3) タンディッシュ、鋳型内での介在物分離

介在物の合体を考慮したタンディッシュにおける介在物分離率の数値計算結果を図5に示す⁶⁾。本計算条件では、たとえば、60~70 μm 径の介在物は80%が分離することになる。また、再酸化の影響を推定した計算結果⁷⁾では、再酸化によって生成される微細な Al_2O_3 が、凝集・合体によって粗大化し、一方で、粗大化した介在物が浮上分離することが示された。タンディッシュでは、空気や酸化性スラグによる再酸化を防

止することも重要である。

垂直曲げ連鋳機における、鋳造速度と鋳型内での介在物浮上速度の関係を図6⁸⁾に示す。たとえば、鋳造速度1 m/minでは、約200 μm 径以上の介在物が浮上するとしている。タンディッシュ、鋳型とも、介在物の分離率はその形状とスループット (単位時間当たりの溶鋼注入量、t/min) に大きく影響を受ける。図6で、鋳造速度が2 m/minになると、浮上できる介在物は400 μm 程度以上となり、溶鋼清浄性が悪化することがわかる。鋳型およびストランド (2次冷却帯) 内では、浮上分離促進と凝固シェルへの介在物 (気泡) 捕捉を抑制することが求められる。

スループットを大きくすると溶鋼の清浄度が悪化するため、タンディッシュでは、大容量化、形状 (H型タンディッシュ⁹⁾)、堰とその位置・形状の最適化が行われている。また、鋳型では、電磁力の適用やノズル形状の最適化による溶鋼流動制御がなされてきている。

2.1.3 モールドフラックスの巻き込み

鋳型内の溶鋼流動が最適化されていないと、鋳型内湯面上のモールドフラックスが溶鋼に巻き込まれ、これが初期凝固シェルに捕捉されて欠陥となる。

巻き込み防止には、フラックス溶融層の粘度値を高くすることが有効である。

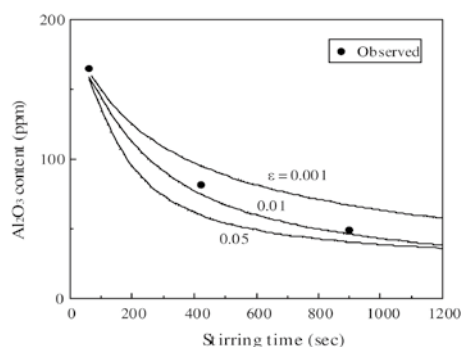
また、鋳型内溶鋼の湯面近くの温度分布が不均一であると、モールドフラックスの溶融が不均一となり、初期凝固シェルにモールドフラックスが付着して欠陥を引き起こすこともある。

鋳造条件に応じたモールドフラックスの組成・物性に関するきめ細かな対策が求められている。

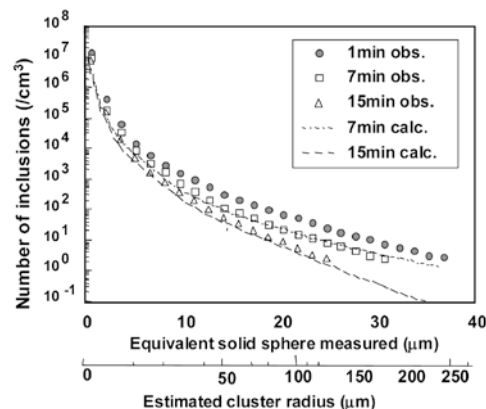
2.1.4 鋳型内溶鋼流動の適正化

(1) 凝固シェルへの介在物の捕捉機構

凝固シェルへの介在物の捕捉に関する理論的研究は、平滑



酸素値の推移（計算と実測）



介在物粒径分布の変化

図4 RH処理中の酸素値と介在物の変化⁵⁾

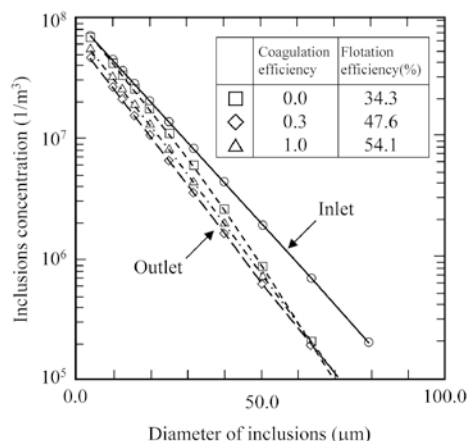


図5 タンディッシュにおける介在物分離率（計算値）⁶⁾

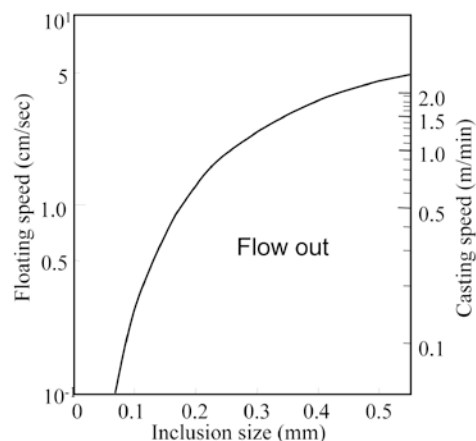


図6 鋳造速度と介在物径の関係（計算値）⁸⁾

凝固界面の場合に限られていたが、近年、セル状や樹枝状凝固の場合についても行われつつある。

凝固シェルと溶鋼界面の介在物や気泡には、密度差に基づく浮力だけでなく、粘性力や濃度差に起因する界面張力勾配による力、速度勾配のある流れの中で粒子に働く力（サフマン力）などが作用することが知られている¹⁰⁻¹³⁾。

向井と林^{11,12)}は、[S]、[O]、[Ti]の界面張力勾配により気泡や介在物が凝固界面に向かう速度を算出、これらの溶鋼成分が凝固シェルへの介在物捕捉に及ぼす影響を定量化した。Zeze and Mukai¹³⁾は、連鋳スラブの調査からこの影響を確認している。大野と三木¹⁰⁾は、溶鋼の[S]濃度を変化させて介在物捕捉のラボ実験を行った。[S]濃度が高くなるにつれて介在物捕捉が増加するが、凝固界面における溶鋼流速を増すとこの増加効果が減少した。この現象を図7に示すような介在物に働く力の1つである界面張力勾配に起因する凝固シェルへ向かう力で説明できるとした。

鋳型内凝固シェルへの介在物捕捉を防止する技術として電磁力が適用されている。凝固界面近くのバルクに水平方向の電磁攪拌を加えると、図8に示すように、捕捉介在物が減少する¹⁴⁾。

三木ら¹⁵⁾は、溶鋼に浸漬した回転鋼円柱に凝固シェルを成長させて介在物捕捉実験と数値シミュレーションを行い、介在物捕捉に及ぼすバルク流速の影響を調べた。図9に示すように、バルク流速が0.05 m/sという従来の報告よりも低い流速で捕捉される介在物の最大径が大きく低減することを明らかにした。

(2) 偏流の抑制

溶鋼流動は時間的に不安定で、鋳型の幅方向、厚み方向での対象性が崩れて、適正な流動状況が得られないだけでなく、最適流速範囲から逸脱することが知られている。鋳型内溶鋼流速分布変化を図10に示す¹⁾。鋳型へのスループットが増加すると、偏流が助長されることも知られており、介在物の浮上分離を阻害している。この対策として、電磁ブレーキなどが活用され、高スループット時の偏流を抑制している¹⁾。

2.1.5 介在物組成・形態制御

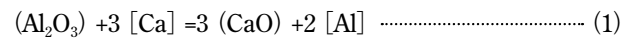
溶鋼から鋳片を製造する過程では、耐水素誘起割れ（耐HIC：Hydrogen Induced Crack）鋼で水素誘起割れの起点となるMnSをCaSとする硫化物の形態制御¹⁶⁾、鋳片の冷却過程における炭・窒化物の析出制御、介在物を核生成剤と

して凝固組織を微細化する方法^{17,18)}や微細な介在物を分散させて鋼の材質制御を行うオキサイドメタラジィ (Oxide Metallurgy)¹⁹⁾などが提案され、材料強度向上を目的とした介在物組成・形態制御が行われている。“介在物の無害化と積極利用”を目的に行われる溶鋼中の酸化物系介在物の組成・形態制御について述べる。

(1) Ca処理によるアルミナの組成・形態制御

電縫管パイプなどに用いられる極低硫鋼では、アルミナ欠陥の防止と圧延時に伸び易いMnSをCaO-Al₂O₃-CaS系の球状介在物にするために、また、薄スラブ (鋳片厚さ<90mm) 連鋳機では、アルミナによる浸漬ノズルの閉塞と製品欠陥を防止するCaO-Al₂O₃系の球状介在物にするために、CaSi合金ワイヤーを用いた溶鋼処理が行われる。Ca処理によるアルミナの形態制御は、CaO-Al₂O₃系、CaO-Al₂O₃-SiO₂系を主成分とする介在物を1823K以下の低融点組成とし、用途によっては、凝固時に初晶 (CaO) を晶出しない組成が求められる。

[Ca] によるアルミナの形態制御反応を (1) 式で表し、未反応殻モデルにより反応速度解析を行い、実測値と比較した。反応の律速段階は介在物中の物質移動 (Caの拡散) であると考えられた²⁰⁾。



(2) 変形能に優れた介在物への組成制御

自動車のラジアルタイヤなどに用いられるスチールコードは0.7~0.85mass%C, 0.2mass%Si, 0.5mass%Mnの主組成であり、鋳片を直径5.5mmの素線まで熱間圧延を行ったのち、直径0.20~0.30mmに冷間引抜き加工される。硬くて変形しないアルミナは加工時の断線の原因となるので、Si-Mnキルド鋼で製造される。

MnO-SiO₂-Al₂O₃系介在物の (Al₂O₃) 濃度をスペサタイト領

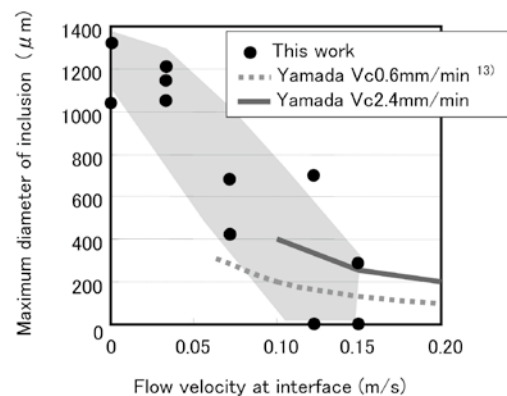


図9 凝固界面における溶鋼バルク流速と凝固シェルへの捕捉介在物¹⁴⁾

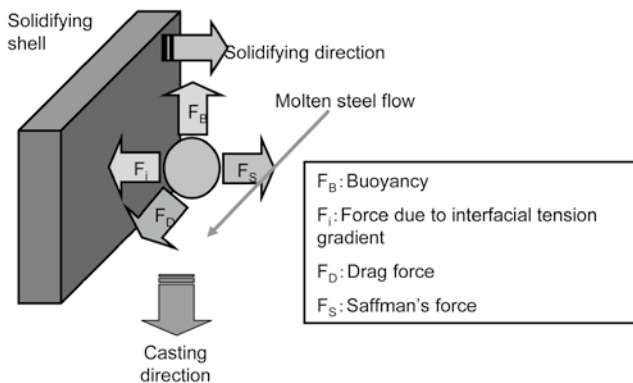


図7 凝固シェルと溶鋼界面に作用する力⁹⁾

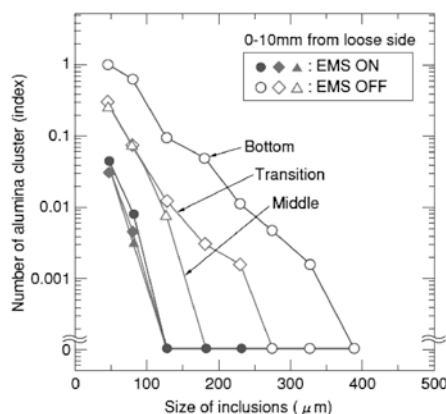


図8 水平方向の鋳型内電磁攪拌による凝固シェルへの捕捉介在物減少¹³⁾

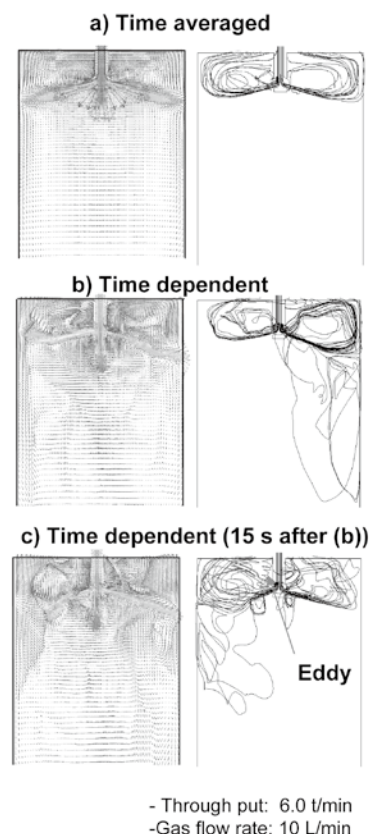


図10 LESモデルによる非定常、非対称流れの流速ベクトルとφ1mm気泡の軌跡計算結果¹⁵⁾

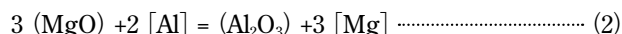
域とするには、タンディッシュの溶鋼 [Al] 濃度を数ppm以下の狭い範囲に制御する²¹⁾。このためには、フラックスを用いた処理を行い、フラックスおよびスラグの (Al_2O_3) 濃度、溶鋼温度、取鍋とタンディッシュの耐火物の組成を最適化する。

微量のREM (Rare Earth Metal) を含むFeSi合金とスラグ組成制御を組み合わせると、[Al] 濃度制御による介在物組成制御をより安定化することが可能である²¹⁾。

(3) ステンレス鋼におけるマグネシアスピネル ($\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) の生成防止

Al脱酸されたSUS304およびSUS430ステンレス鋼では、スピネル介在物 ($\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) が形成され、ノズル閉塞や表面欠陥の原因となる。

$\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 系スラグは、(2) 式の反応によってスラグの (MgO) が溶鋼中の [Al] により還元され、溶鋼中の [Mg] 濃度が上昇する。(2) 式の反応はスラグ/溶鋼界面のMgの拡散律速であり、[Mg] =1 ppm程度でも進行する²²⁾。Si脱酸したSUS304ステンレス鋼においても、溶鋼中の微量の [Al] がスピネル介在物の生成を促進する²³⁾。



熱力学ソフトウェアFactSageTMを用いてスピネル介在物の生成条件を検討した結果²⁴⁾では、溶鋼中に微量の [Ca] を含むと、スピネル生成領域が狭くなって液相領域となることが知られている。

2.2 二次介在物

鋼の凝固時の温度低下により溶質元素濃度が溶解度積を超えた場合に生成する介在物、凝固後に拡散によって生成する析出物などを2次介在物と称する。

2.2.1 オキシドメタラジ

オキシドメタラジでの酸化物系介在物の役割は、① MnSの析出核、② γ - α 相変態の粒内フェライト核、③組織

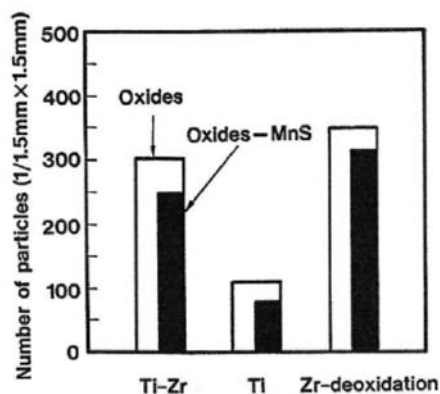


図11 溶鋼の脱酸方法と酸化物および酸化物・MnS複合介在物の個数²⁶⁾

微細化、があげられる²⁵⁾。

若生ら²⁶⁾は、MnS析出に及ぼす酸化物の影響について実験を行い、Mn-Si複合酸化物やMn-Al複合酸化物がMnSの析出核になり易いこと、酸化物へのMnS析出には、融点が低くサルファイドキャパシティ (Sulphide Capacity) の高いMn系酸化物組成が有効であることを、明らかにした。溶鋼で溶融酸化物に分配された (S) が冷却過程で (MnS) として酸化物上に晶出、ここに鋼中の [Mn], [S] が拡散して析出・成長すると考えている。

Mn、Siで予備脱酸後にZrおよびTi-Zrで脱酸を行うことにより、ZrおよびTi-Zr系複合脱酸生成物を析出核として (MnS) を均一に微細分散させる方法^{27,28)}、などが報告されている。若生ら²⁸⁾の100kg鋼塊を用いたラボ実験で得られた酸化物と (MnS) の個数を図11に示す。Ti-Zr脱酸鋼の酸化物個数はTi脱酸に比べ2.5倍に増加している。脱酸過程と介在物の組成・形態の変化を図12に示す。Zrを用いると生成した介在物の比重が大きくなり、溶鋼中に滞留し易いだけでなく、マンガンシリケートのような弱脱酸による介在物を還元して微細にする効果があると考えられている²⁷⁾。

クラスターを形成し難い脱酸元素の検討とその応用²⁹⁾、熱力学ソフトや凝固偏析モデルを凝固時の介在物晶出挙動に用いる³⁰⁾などの研究や技術開発も行われている。

大型介在物を除去して大きさが数 μm 以下の極微小介在物の組成と分布を制御し、析出物の核とするには、脱酸元素の種類、添加方法 (複合添加など)、添加の順序、脱酸開始時の溶鋼中 [O] 濃度、脱酸元素後の保定時間、凝固速度など製鋼プロセス全体の適正化、核と析出物の格子整合性が重要となる。

2.2.2 硫化物の形態制御

FeSをMnSとすることによる熱間脆性の改善、MnSを球状化して製品の被削性を向上するために介在物を利用する技術³¹⁾、前述のCa¹⁷⁾のほかにREM (Rare Earth Metal)³²⁾によ

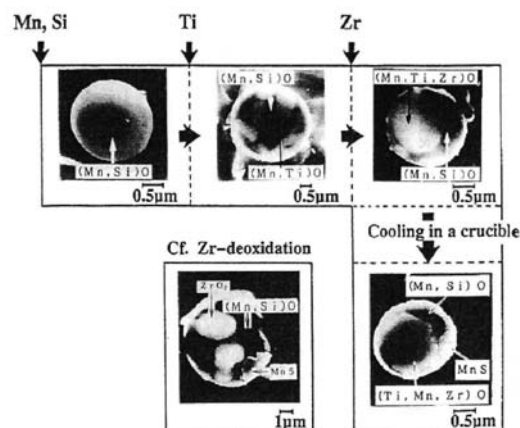


図12 TiとZrによる複合脱酸時の介在物形態変化²⁸⁾

る硫化物形態制御などが実用化された。

山本ら³³⁾は、鉄スクラップ由来のトランプエレメント (Cu, Sn) を有効活用する Cu 添加型高強度 IF 鋼 (Institutional Free Steel) を目的として、Mn を含む Fe-Cu-Sn 鋼における (Mn, Cu) S および CuS の析出と微細化を行っている。

3 表面割れ欠陥の生成原因と防止策

Wolf, 鈴木ら^{34,35)}は、鋼の高温における脆化域を、図13に示すように、3つの温度域に分け、それぞれの脆化域の特徴を示した。鋳片の表面欠陥は、主として領域I脆化による鋳型内での凝固割れと、領域III脆化による二次冷却帯での曲げ・矯正時の割れに大別される。

3.1 凝固割れ

凝固時に生成する割れは、デンドライト樹間の液相やオーステナイト粒界の液膜が影響する。抗張力消失温度 (ZST: Zero Strength Temperature, 抗張力がゼロになる温度あるいは強度発現温度) と延性発現温度 (ZDT: Zero Ductility Temperature, 絞り値がゼロになる温度) の間の温度範囲 (ZST-ZDT) が領域Iの脆化域に相当し、脆化には凝固時のミクロ偏析が関係する。僅かの歪で割れに至る。

Fe-C-1.0mass%Mn 系での実験³⁶⁾では、ZSTはFe-C系での固相率が0.6~0.7に相当する温度、ZDTは固相線温度より30~60℃程度低い温度でミクロ偏析を考慮した完全凝固温度とほぼ一致した。

3.1.1 凝固割れの生成機構

面縦割れは、鋳型内の初期凝固において生じた凝固遅れ部に凝固に伴う鋳片幅方向収縮を阻害する外力 (鋳型との摩擦力など) が集中すると生成する。鋳片幅中央付近に鋳込み方向に生成、その長さは数十mm程度であるが、数百mmにおよぶ

こともある。面縦割れは、凝固時に包晶反応を伴う中炭素鋼、マルテンサイト系ステンレス鋼で発生し易く、また、鋳造速度が5m/minを超えるような中厚スラブ (90mm ≤ 鋳片厚さ ≤ 150mm) の鋳造では、低炭素鋼でも生成して問題となる³⁷⁾。面縦割れは圧延後に欠陥となるので、鋳片を溶削して除去する。

凝固シェルの不均一成長と [C] 濃度の関係は、Singh and Blazek³⁸⁾が初めて明らかにした。[C] 濃度が0.08~0.16mass%の中炭素 (亜包晶) 鋼は $\delta \rightarrow \gamma$ 変態による収縮によって凝固シェルと鋳型壁間に局所的な空隙が生成し、凝固遅れが生じやすい³⁹⁾。

松宮ら⁴⁰⁾は、 $\delta \rightarrow \gamma$ 変態および包晶反応を考慮した数学モデルによって、凝固シェル内の応力分布を解析し、鋳片幅方向に凝固シェルの不均一が生じる条件と割れ発生に到る不均一度の関係を明らかにした。凝固時にはシェルの内側 (凝固界面側) には引張応力、鋳型壁面側には圧縮応力が働くので、シェルは鋳型壁に対して凸面に反ろうとするモーメントが働く。正常部で反りが、より強度の小さい凝固遅れ部で折れ曲がるような変形が生じると考えている。

凝固界面近くのデンドライト樹間に生じた割れと溶質偏析部が鋳型内および鋳型直下の不均一冷却、強冷却により鋳片表面で開口すると考えられ、図14に示すように、縦割れが生成する凝固シェルの不均一度は鋳型下端で10%^{40,41)}と報告されている。

コーナー縦割れは、鋳片角部から数十mm離れた広面に鋳込み方向に深い凹みを伴っていることが多く、この凹み部に生

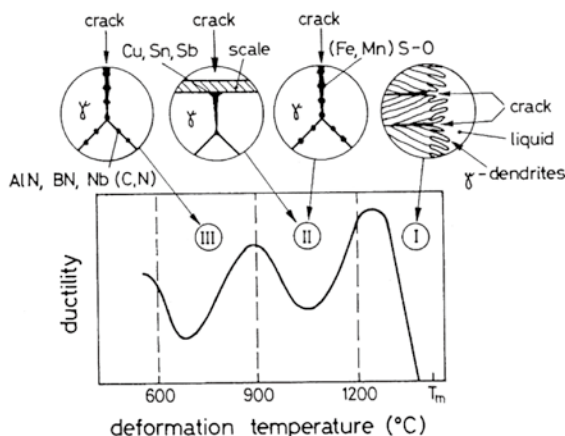


図13 鋼の高温における脆化域³⁵⁾

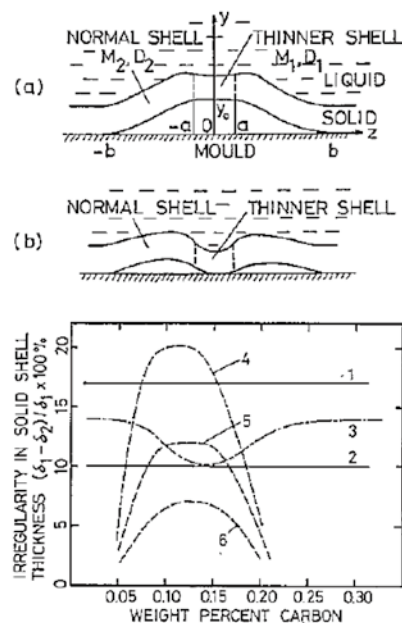


図14 鋳片幅方向の凝固シェル不均一度と面縦割れ生成機構⁴⁰⁾
(a): 0.12-0.15mass%C steel, (b): 0.05mass%C steel
1,2,3: 割れが生成また伝播する限界不均一度
(1: 2次冷却での弱冷却, 2: 2次冷却での急速冷却, 3: 鋳型内での急速冷却)
4,5,6: メニスカスでの凝固シェル不均一が3mm, 2mm, 1mmの場合に引き起こされる鋳型出口での不均一度

成する。連铸鑄型は鑄片の凝固進行による収縮量に応じたテーパーを付与する。このテーパーが適正でない場合にコーナー縦割れが生成し易い。コーナー縦割れは、ブレイクアウト (Break Out) と呼ばれる溶鋼漏れによって鑄造中断に至ることがある。

3.1.2 凝固割れの防止対策

(1) 鑄型内緩冷却

先に述べた生成機構からも明らかなように、鑄型内初期凝固において均一な凝固シェルを成長させることが面縦割れを防止する必須要件とされている。均一凝固シェル成長には緩冷却が有効であり、杉谷ら⁴²⁾はラボ実験によって平均熱流束 0.93 MW/m^2 以下が望ましいことを示した。花尾ら^{43,44)}によれば、不均一凝固が生じ始める時間は $0.1 \sim 1.0 \text{ sec}$ 、その局所限界熱流束は、鑄型内湯面メニスカス下 45 mm の地点で 1.7 MW/m^2 である。木下ら⁴⁵⁾の応力解析では、鑄片表面から $2 \sim 3 \text{ mm}$ 内側において凝固シェルに引張り応力が生成している。

面縦割れを防止するには、数 mm の凝固シェルが成長する凝固初期のメニスカスから数十 mm の領域において、幅方向にできる限り均一にかつ緩冷却を行うことが必要である。

(2) 凝固時に結晶析出しやすいモールドフラックス

鑄型内緩冷却を実現する手段として結晶化を促進したモールドフラックスが使用され、面縦割れ防止に効果を発揮している。一般的には、 CaO/SiO_2 が高く、かつ、凝固温度が高い、凝固時にカスピダイン (Cuspidine, $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{CaF}_2$) が晶出しやすい組成のフラックスが用いられている。このモールドフラックスによる鑄型内初期凝固での緩冷却効果は、①スラグフィルム内に形成される微細気泡による見かけの熱伝導度の低下⁴⁶⁾、②スラグフィルムと鑄型壁面との界面熱抵抗⁴⁷⁾と結晶化による表面粗さの増加⁵⁰⁾、③結晶化による輻射伝熱量の減少⁴⁹⁾、によると考えられている。

3.2 曲げ・矯正帯における割れ

3.2.1 曲げ・矯正帯割れの生成機構

領域III脆化域は、低炭素鋼では γ - α 変態温度域、 γ 単相鋼では再結晶開始温度域に相当し、脆化は歪速度が小さい場合ほど顕著に現れる。旧オーステナイト粒界に沿って割れ、オーステナイト-フェライトの2相域では初析フェライトが、オーステナイト相の低温度域では粒界の析出物、炭・窒化物が、それぞれ割れの起点となる。フェライトの変形応力はオーステナイトの変形応力に比べて小さく、加工時の変形がフェライトに集中して割れの起点となる。Nbを含む中炭素鋼では、微細なNb (CN) がオーステナイト粒界に析出して応力集中源となってボイドを生成、これらが連結して割れとなる。

$0.05 \text{ mass\%C}$ 鋼、 $0.06 \text{ mass\%C} - 1.6 \text{ mass\%Mn} - 0.04 \text{ mass\%Nb}$ 鋼の絞り値 (R.A.) に及ぼす温度、歪速度の影響を調査した

結果では、R.A. は 750°C 付近で最小になり、歪速度が小さいほど小さい。破面減少率R.A. が最小になる温度は $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態開始温度に一致する³⁶⁾。

鑄片の曲げもしくは矯正時の表面温度が領域IIIの温度範囲にあると、鑄片の凹み部 (Depression)、オシレーションマークの谷部などに応力が集中して横割れが生成する。オシレーションマークは、谷部への応力集中に加えて冷却速度の減少によるオーステナイト粒の粗大化があり、割れ感受性を高める⁵²⁾。深いオシレーションマークは偏析を伴うことが多いが、偏析により限界歪が小さくなることも割れの原因と考えられている⁵³⁾。

$0.10 \sim 0.15 \text{ mass\%C}$ の亜包晶鋼は、面横割れも生成し易く、凝固後の包晶反応によりオーステナイト粒径が粗大化して脆化域が拡大することによると考えられている⁵²⁾。また、鑄片のコーナー部に広面と狭面にまたがってかぎ形状に生成した横割れをコーナーかぎ割れと呼んでいる。

3.2.2 曲げ・矯正帯割れの防止対策

(1) 鑄型直下での鑄片冷却適正化

領域IIIの脆化を回避するには、鑄型直下の冷却で $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態を完了させることが重要である。変態が完了しない状態で復熱すると変態時にオーステナイト粒界に析出したフィルム状フェライトが再加熱によって消失しないので脆化温度範囲が拡大する。 $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態完了後に再加熱した場合は、オーステナイト粒が微細化するので延性が増加する⁵⁴⁾。

(2) TiNの粒内析出

Nb含有鋼のNb炭窒化物のオーステナイト粒界析出による脆化を防止する対策として、 $0.03 \text{ mass\%Nb}$ 鋼の場合、 $0.015 \sim 0.030 \text{ mass\%Ti}$ によるTiNの粒内析出が促進され、Nb (C,N) 粒界析出の抑制される。

(3) 鑄型振動条件の改善

鑄型振動を高周波数、低振幅にするほど、オシレーションマーク深さは減少する。この結果、オシレーション谷部の冷却が強化され、オーステナイト粒の微細化と応力集中緩和により、横割れ防止効果が認められる。

4 結言

本稿では、鋼の製品欠陥となる介在物と表面割れについて、その生成機構と防止策を紹介した。入門講座ではあるが、経験のある技術者の方も意識して記載したため、初めての方には難解な部分もあったと思いますが、その点ご容赦願います。

謝 辞

本レビュー作成にあたり、中戸参氏に資料収集、助言等、多大なご協力をいただきました。ここに記して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Y.Miki and S.Takeuchi : ISIJ Int., 43 (2003) , 1548.
- 2) 大井浩, 関根稔弘, 河西悟郎 : 鉄と鋼, 59 (1973) , 1078.
- 3) 溝口利明, 上島良之, 杉山昌章, 水上和実 : 鉄と鋼, 99 (2013) , 601.
- 4) 桐原理, 戸澤宏一, 反町健一 : CAMP-ISIJ, 13 (2000) , 120.
- 5) Y.Miki, Y.Shimada, B.G.Thomas and A.Denissov : Iron & Steelmaker, 32 (1997) 8, 31.
- 6) 高谷幸司, 宇治澤優, 谷澤好徳 : 住友金属, 50 (1998) 2, 84.
- 7) Y.Miki and B.G.Thomas : Metall. Trans., 30B (1999) August, 639.
- 8) 田中宏幸, 今村晃, 西原良治 : 鉄と鋼, 78 (1992) , 1464.
- 9) 大崎眞宏, 堤直人, 幸加木直治, 森正晃 : CAMP-ISIJ, 1 (1998) , 303.
- 10) 大野浩之, 三木祐司 : 鉄と鋼, 99 (2013) , 198.
- 11) 向井楠宏 : 鉄と鋼, 82 (1996) , 8.
- 12) 向井楠宏, 林煒 : 鉄と鋼, 80 (1994) , 527.
- 13) M.Zeze and K.Mukai : ICS Proceedings-2005, AIST, Warrendale, PA, (2005) , 873.
- 14) 山田亘, 清瀬明人, 中島潤二, 福田淳, 岡澤健介, 宮沢憲一 : CAMP-ISIJ, 12 (1999) , 682.
- 15) 三木祐司, 大野浩之, 岸本康夫, 田中進也 : 鉄と鋼, 97 (2011) , 423.
- 16) 拝田治, 江見俊彦, 河西悟郎, 内藤雅夫, 森脇三郎 : 鉄と鋼, 66 (1980) , 354.
- 17) 大橋徹郎, 広本健, 藤井博務, 塗嘉夫, 浅野鋼一 : 鉄と鋼, 62 (1976) , 614.
- 18) 藤村浩志, 柘植信二, 小溝裕一, 西沢泰二 : 鉄と鋼, 87 (2001) , 707.
- 19) J.Takamura and S.Mizoguchi : Proc. Sixth Int. Iron and Steel Congress, 1, ISIJ, Tokyo, (1990) , 591.
- 20) Y.Itoh, M.Suda, Y.Kato, H.Nakato and K.Sorimachi : ISIJ Int., 36 (1996) , S148.
- 21) 鍋島誠司, 中戸参, 戸澤宏一, 反町健一 : CAMP-ISIJ, 14 (2001) , 216.
- 22) G.Okuyama, K.Yamaguchi, S.Takeuchi and K.Sorimachi : ISIJ Int., 40 (2000) , 121.
- 23) H.Todoroki, K.Mizuno, M.Noda and T.Tohe : Steelmaking Conf. Proc., ISS, Warrendale, 84 (2001) , 331.
- 24) J.H.Park and H.Todoroki : ISIJ Int., 50 (2010) , 1333.
- 25) 若生昌光 : ふえらむ, 14 (2009) , 713.
- 26) 若生昌光, 澤井隆, 溝口庄三 : 鉄と鋼, 78 (1992) , 1697.
- 27) 澤井隆, 若生昌光, 溝口庄三 : 鉄と鋼, 82 (1996) , 587.
- 28) 若生昌光, 澤井隆, 溝口庄三 : 鉄と鋼, 82 (1996) , 593.
- 29) 上島良之, 湯山英俊, 溝口庄三, 梶岡博幸 : 鉄と鋼, 75 (1989) , 501.
- 30) W.Yamada, T.Matsumiya and A.Ito : Proc. Sixth Int. Iron and Steel Congress, 1, ISIJ, Tokyo, (1990) , 618.
- 31) 竹内英磨, 松浦省吾, 池原康允, 日高良一 : 鉄と鋼, 66 (1980) , S739.
- 32) 櫻谷敏和, 江見俊彦, 垣生泰弘, 江島彬夫, 三本木貢司 : 鉄と鋼, 62 (1976) , 1653.
- 33) 山本研一, 柴田浩幸, 溝口庄三 : CAMP-ISIJ, 17 (2004) , 72.
- 34) M.M.Wolf : Trans.ISIJ, 24 (1984) , 351.
- 35) 鈴木洋夫, 西村哲, 山口重裕 : 鉄と鋼, 65 (1979) , 2038.
- 36) 申健, 梶谷敏之, 鈴木俊夫, 梅田高照 : 鉄と鋼, 78 (1992) , 587.
- 37) 金沢敬, 平城正, 川本正幸, 中井健, 花崎一治, 村上敏彦 : 鉄と鋼, 83 (1997) , 701.
- 38) S.N.Singh and K.E.Blazek : J.Metals, 26 (1974) , 17.
- 39) A.Grill, K.Sorimachi and J.Brimacombe : Metall. Trans., B, 7B (1976) , 17.
- 40) 松宮徹, 佐伯毅, 田中純, 有吉敏彦 : 鉄と鋼, 68 (1982) , 1782.
- 41) 佐伯毅, 大口滋, 溝口庄三, 山本利樹, 常岡聡 : 鉄と鋼, 68 (1982) , 1773.
- 42) 杉谷泰夫, 中村正宣, 渡辺忠男 : 鉄と鋼, 67 (1981) , 1508.
- 43) M.Hanao and M.Kawamoto : ISIJ Int., 48 (2008) , 1210.
- 44) M.Hanao, M.Kawamoto and A.Yamanaka : ISIJ Int., 49 (2009) , 365.
- 45) 木下勝雄, 北岡英就, 江見俊彦 : 鉄と鋼, 67 (1981) , 93.
- 46) T.Chikano, K.Ichikawa and O.Nomura : Shinagawa Technical Report, 31 (1988) , 75.
- 47) 中戸参, 小沢三千春, 木下勝雄, 垣生泰弘, 江見俊彦 : 鉄と鋼, 67 (1981) , 1200.
- 48) S.Ohmiya, K.H.Tacke and K.Schwerdtfeger : Ironmaking and Steelmaking, 10 (1983) , 24.
- 49) 山内章, 反町健一, 櫻谷敏和, 藤井徹也 : 鉄と鋼, 79 (1993) , 167.
- 50) 渡辺圭兒, 鈴木真, 村上勝彦, 近藤裕計, 宮本明, 塩見剛温 : 鉄と鋼, 83 (1997) , 115.
- 51) 花尾方史, 川本正幸 : 鉄と鋼, 92 (2006) , 655.
- 52) Y.Maehara, K.Yasumoto, Y.Sugitani and K.Gunji : Trans. ISIJ, 25 (1985) , 1045.
- 53) M.Suzuki, H.Shibata and T.Emi : Steel Research, 70 (1999) , 412.
- 54) 例えば, 伊藤義起, 加藤徹, 山中章裕, 渡部忠男 : 鉄と鋼, 89 (2003) , 1023.

(2014年4月22日受付)



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

環境調和型冷延潤滑システムの開発を通じて

Development of Ecological Lubrication System in Tandem Cold-Rolling Mill

藤田昇輝

Noriki Fujita

JFE スチール (株)
スチール研究所 鋼材研究部
主任研究員 (副課長)

1 はじめに

筆者は入社以来、主に冷延鋼板の圧延・潤滑技術に関する研究開発を行ってきた。その中では実験室レベルでの基礎的な研究から実機設備での検証、更には実用化設備の工程化までというプロセス研究者としてある意味理想的な開発ステップを経験させて頂きました。本稿では、筆者が携わった冷延潤滑制御の開発事例について紹介すると共に、プロセス研究開発を振り返って感じてきたことを述べたいと思います。

近年、車体軽量化や地球環境問題の高まりを受け、冷延鋼板の高強度化、薄物化（ゲージダウン）が着実に進行している。特に、薄物材の高速圧延では潤滑不足に伴ってチャタリング¹⁾と呼ばれる圧延機振動やヒートスクラッチ²⁾と呼ばれるワークロールと鋼板との焼付きに起因する表面欠陥が発生するため、圧延負荷の軽減だけでなく表面品質安定化のための潤滑技術が要求されるようになってきている。

今回開発した技術は、缶用鋼板等の極薄材を主な対象とする冷間タンデムミルにおいて、新しい発想の潤滑システムの構築により、薄ゲージかつ硬質材の安定高速圧延を実現することを狙いとした。その際、圧延油の循環使用による圧延油消費量の抑制により、地球環境に優しく、かつ多様なプロダクトミクスに柔軟に対応可能な潤滑システムの実現を目指したものである。

2 新ハイブリッド潤滑技術の研究開発事例

2.1 冷間タンデムミルの潤滑システム

冷間タンデムミルの潤滑システムは、図1に示すように循環給油方式 (Re-circulation system) と直接給油方式 (Direct application system) とに大別される。いずれの方式においても、潤滑剤として水中に油分が小滴となって分散したエマルションが用いられる。

循環給油方式では、低濃度 (1~3% 程度) のエマルションを循環使用することから、圧延油原単位 (単位重量の鋼板を製造する際に消費される圧延油量) が低く、かつ廃液処理の負荷が小さい点が利点となる。一方で、圧延油を循環使用する観点から、十分な界面活性剤を含有した安定なエマルションが用いられており、潤滑性能に乏しい。

直接給油方式は、高濃度 (5~15% 程度) のエマルションが鋼板に供給される。エマルションを不安定化させることで油膜形成能を向上させ、高い潤滑性が得られるのが特徴である。しかし、圧延油原単位が高く、廃液処理の負荷も大きいのが欠点である。

2.2 エマルションの潤滑メカニズム

冷間圧延に使用されるエマルションの潤滑作用は極めてユニークである。上述したように大部分が水であるため全体としては低粘度の流体であるが、ロールバイトへ導入されるのはその粘度から予測されるよりも厚い油の流体膜が形成される点である。このような挙動を説明するため、エマルションから油膜が形成される現象に関して、図2に示すプレートアウトと動的濃化という二つの機構が知られている。

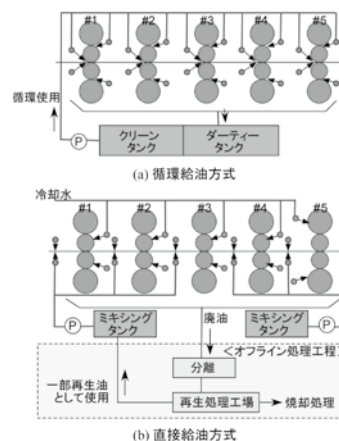


図1 冷間タンデムミルの潤滑システム

プレートアウトとは、エマルションが鋼板に衝突して、その油分のみが鋼板表面に付着される現象^{3,4)}であり、鋼板に直接高濃度のエマルションを供給する直接給油方式にて用いられる潤滑方式である。一方、動的濃化はロールバイト入口のくさび域で、ロールと鋼板との隙間にエマルション中の油滴が一定の確率で捕捉（トラップ）され、ロールバイトに引き込まれるというものである^{5,6)}。この動的濃化現象は循環給油方式にて支配的な役割を果たしていると考えられている。

一方、実操業における潤滑制御の観点からは、動的濃化挙動を直接的に操作することは困難であるのに対し、プレートアウト挙動についてはエマルションの供給条件を変更することで、潤滑状態を制御できる可能性がある。そこで、鋼板にプレートアウトした油膜が冷間圧延特性に与える影響について、独自の検討を行い、冷間圧延における潤滑機構の解明と効率化に関する諸改善を行った。

2.3 エマルションの高効率プレートアウト技術

2000m/min.を超える薄物材の高速圧延では、エマルションを供給してからロールバイトに到達するまでの時間が0.1秒以下になることも珍しくない。このような極短時間でのプレートアウト特性を評価した例はなく、新たに図3に示す評価方法を確立した⁷⁾。本装置により、従来は準静的な現象として認識されていたエマルションのプレートアウト挙動が、極短時間（0.1秒オーダー）であっても、明確な時間依存性を示す動的な現象であることが明らかとなった。また、プレートアウトを促進させるアプローチとして、従来から認識されていた「高濃度化」に加え、「エマルションの大粒径化」、「気水ノズルによるスプレー供給」⁸⁾を適用することで、界面活性剤を含有した安定なエマルションを用いた場合であっても、直接給油方式に匹敵するレベルの優れたプレートアウト特性を実現することが可能となった⁹⁾。

更に、適切なエマルション供給による高効率なプレートアウトの実現と共に、それを活用しながら高速圧延での潤滑状態を効果的に制御する技術の確立が必要であった。一方で、

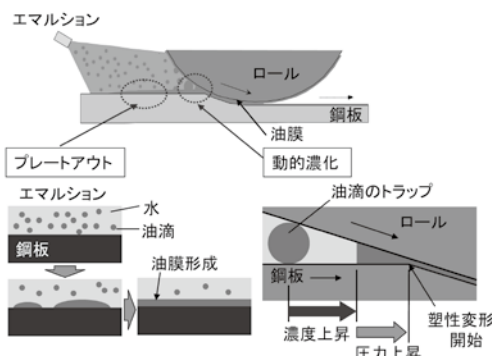


図2 エマルションの油膜形成のメカニズム

冷間タンデム圧延における潤滑挙動はエマルションの特性のみならず圧延条件及び金属表面の粗さなど様々な因子が作用するものであり、プレートアウト現象単独の評価のみでは不十分と感じていた。

そこで、図4に示すようにプレートアウト制御装置を備えたラボ圧延機を開発し、冷間タンデム圧延のような複数の因子を伴った潤滑現象を忠実に再現することを試みた。摩擦係数制御に関する基礎的な検討¹⁰⁾を行った結果、プレートアウト現象を活用した高速圧延時の摩擦係数制御は十分可能であると共に、効果的な制御には、圧延ロールの摩耗による表面粗さの変化などを考慮する必要があることを明らかにした。さらに、実機冷間タンデムミルにテストヘッダーを設置することで効果を確認し、プレートアウトを活用した潤滑システムが高速圧延時の摩擦係数制御に有効なことを実証した¹¹⁾。

2.5 ハイブリッド潤滑システムの実用化

ハイブリッド潤滑システムの基本構成を図5に示す。低濃度で安定なエマルションを循環使用する循環給油システムをベースに、それとは別のハイブリッド潤滑システムを組み合わせた。ハイブリッド潤滑システムから供給するエマルションは、高濃度かつ大粒径のエマルションであり、循環給油システムと同一の基油および界面活性剤を含有しているエマルションを使用するため、循環システムに混入してもエマルション性状が変動することはない。

開発したハイブリッド潤滑システムは、JFE スチール株式会社西日本製鉄所（福山地区）において実用化された¹²⁾。図6は、潤滑制御によりチャタリングを防止して、設備仕様であ

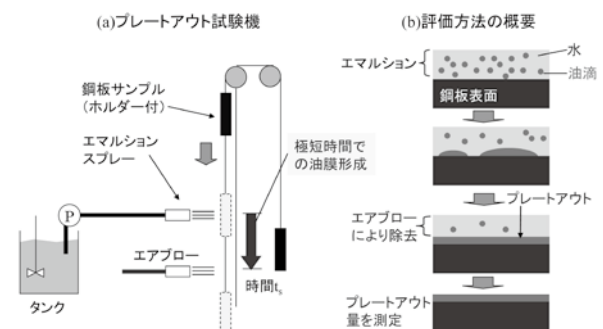


図3 極短時間でのプレートアウト評価装置の概要

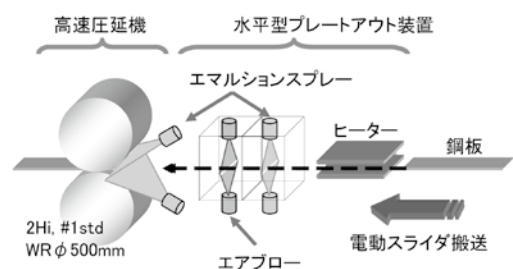


図4 プレートアウト制御ラボ圧延機

る最高速度2100mpmを安定的に達成していることを示すものである。特に、硬質材に対する最高速度の達成率は従来に比べて7倍程度向上し、生産能率の向上に寄与している。

一方で、圧延油原単位については従来の循環給油方式と同レベルを維持している。これは、従来の循環給油方式において圧延油を常時補給していたのに代替して、ハイブリッド潤滑系統を通じて圧延油を循環給油系統へ補給していることに相当する。

薄鋼板の薄ゲージ化と硬質化の動向に対して、圧延の高速化と圧延油原単位という、相反する特性を両立する冷間タンデムミルの潤滑システムを構築した。その意味で、省資源(economical)、環境調和(ecological)の観点で「エコな冷延潤滑システム」であるといえる。

③ プロセスの実機化までを通じて

冷間圧延のトライボロジー現象に限らず、鉄鋼ではこれまで膨大な知見が蓄積されており、極めて多くの影響因子が存在している。それぞれがどのような影響を与えているかを検討していく必要があるが、実験的評価手法の多くが実際の現象の一部分のみを抽出して現象を把握しようとするものである。図3で評価したような単独の実験だけでは実際の現象の全体を理解することはできず、それぞれの結果を総合的に判断して実現象の解明を進めていく必要がある。実験した多量のデータから意味のある関係を見出し、他のパラメータの影響を排除することを心がけると共に、それら総合的な結果を

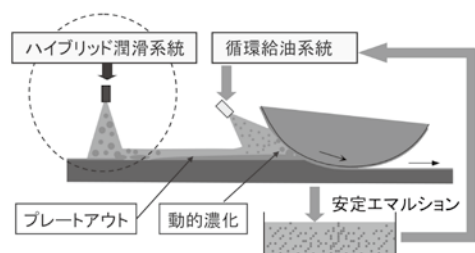


図5 ハイブリッド潤滑システムの基本構成

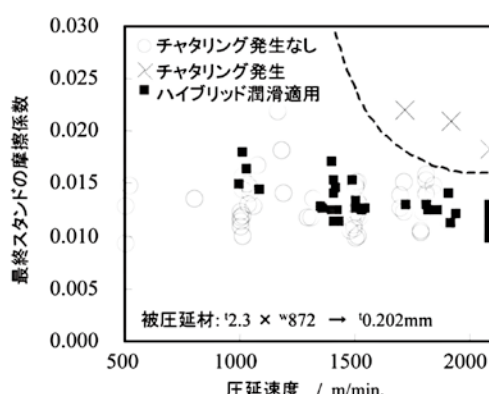


図6 潤滑制御システムの概要

いかに確信に変えていくかが研究者として苦勞することではないだろうか（振り返ってみると、このような実験も行っておくべきだったと反省すべき点も多々あるのだが）。実際の冷間圧延現象を再現するべく、足繁く工場に通い、漠然とした機能、性能、規模などについて具体化しながら、図4のような全く新しい評価手法を完成させるまでには時間を要したが、潤滑メカニズムに関する基礎的な成果をもとに、実プロセスでの実用化技術にまで発展させた達成感は何とも言いがたいものがある。この間には、機械、制御を含む工場のエンジニアとの協力が不可欠でした。また、基礎成果を元に投稿された論文が平成25年度俵論文賞を受賞し、学術的にも高い評価を受けたことは大変光栄に思っている。

冷延潤滑の開発に一区切りがつき、企業研究者として10年という節目を迎えた頃、鋼材開発の研究部に異動する機会を得た。大学時代に冶金を専攻していたため、それほど違和感はないが、これまでのプロセスエンジニアからメタラジストへと大きく環境が変化したことで大変良い刺激を受けて始めている。この刺激が研究人生にとって大きなプラスになることを祈りつつ、常に飛躍を目指した研究に突き進んで行きたいと思っている。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申し上げます。

参考文献

- 1) 鈴木弘：機械の研究, 48 (1996) 5, 583.
- 2) 鏑田征雄, 北村邦雄, 北浜正法, 片岡健二, 中川吉左衛門, 青木茂雄, 松田修：鉄と鋼, 67 (1981) 14, 2152.
- 3) W. L. Roberts : Trans. ASME. 88 (1966) , 103.
- 4) 間瀬俊朗, 河野輝雄, 山本秀男：28回塑加連講論, (1977) , 114.
- 5) Y. Kimura and K. Okada : Proc. JSLE Int. Tribol. Conf. (1985) , 937.
- 6) 小豆島明, 野呂和也, 井柳好貴：トライボロジスト, 34 (1989) 12, 879.
- 7) 木村幸雄, 藤田昇輝, 三原豊：鉄と鋼, 95 (2009) 4, 340.
- 8) N. Fujita and Y. Kimura : Proc. ImechE, Part J : J. Engineering Tribology, 227 (2013) 5, 413.
- 9) 木村幸雄, 藤田昇輝, 松原行宏, 小林宏爾, 天沼陽介, 吉岡修, 曾谷保博：塑性と加工, 55 (2014) , 346.
- 10) 藤田昇輝, 木村幸雄：鉄と鋼, 97 (2011) 10, 532.
- 11) 藤田昇輝, 木村幸雄, 小林宏爾, 天沼陽介, 曾谷保博：63回塑加連講論, (2012) , 451.
- 12) 藤田昇輝, 木村幸雄, 松原行宏, 小林宏爾, 天沼陽介, 吉岡修, 曾谷保博：塑性と加工, 55 (2014) , 445.

(2014年4月8日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

横浜国立大学 名誉教授

小豆島 明

圧延トライボロジーに関連した事象について大学で40年を越える期間にわたり研究した私が、藤田氏の「環境調和型冷延潤滑システムの開発を通じて」の原稿を読み、これまで繰り返し鉄鋼会社の圧延トライボロジーに関して研究されている方々にお話している「圧延トライボロジーの研究手法」を適確に再現して研究を遂行され、素晴らしい成果を挙げられていることに対して非常に喜ばしく思っております。

鉄鋼の圧延プロセスのトライボロジー研究は、自動車のトライボロジー研究とは異なり実機を用いて行うことが現在の状況においては困難なため、圧延プロセスのトライボロジー問題をシミュレートするシミュレーション方法を独自に開発することが素晴らしい成果を挙げるキーとなります。

私が話している「圧延トライボロジーの研究手法」は

- (1) 問題解決のために現象を現場でよく観察する。
- (2) 得られたデータから、多くのトライボロジー因子のうち、その現象に強い相関関係がある重要因子を特定する。
- (3) シミュレートするトライボロジー問題に対し、得られた重要因子を評価できるシミュレーターを開発する。
- (4) シミュレーターで得られた重要因子のデータと実機のデー

タの間に基礎理論を介して定量的な相関関係を求める。

- (5) 得られた相関関係から実機の圧延プロセスに対して新しいトライボロジー設計を行う。

藤田氏はこの「圧延トライボロジーの研究手法」を着実に進められ、その成果に対して日本鉄鋼協会から論文賞、日本塑性加工学会から技術大賞を授与されています。あまり表には出づらい圧延プロセスの基盤的技術であるトライボロジー分野で若手研究者として非常に努力されたことと思われます。特に、トライボロジー研究を行うためには機械、化学、金属などの広範な領域に対応しなければならない環境での成果であることを強く述べておきたいと思います。

最近の若手研究者の圧延トライボロジーの研究発表を聞くに付け、問題にしているトライボロジー現象を現場でよく観察していない、その現象に適用する基礎理論の理解が乏しい、問題解決を基礎理論解析に頼りすぎて新しいシミュレーターに目が向いていないなどが目につきます。「圧延トライボロジーの研究手法」をこの機会に各鉄鋼会社において再認識していただければと思う次第です。

(株) 神戸製鋼所 技術開発本部 材料研究所 研究首席

前田 恭志

藤田さんとは、学会等でお会いしていますが、あまりお話をさせていただいた記憶がありません。今回、コメントをということで感想を書かせていただきます。

まずは、今回の潤滑システムですが、大変ユニークな研究で実用化にも成功されて、大変感心しています。私も、圧延潤滑に関しては、工場でのいくつかの課題に関与しました。しかしながら、特にエマルジョン潤滑はまさに水物で、LAB実験と実機での現象が定量的に結びつかなくて、まさに「やってみなくては分からない。」ことだらけとの認識です。エマルジョンでの、プレートアウトを含めた油の導入メカニズムと油単独の潤滑メカニズムが複雑に影響し合っているのが問題だと想像していますが、どちらも実機でそのまま使えるような理論に至っていないと思います。今回の開発も、文面ではすっきりまとめられていますが、潤滑システム自身を変更するため、実機適用のための工場への説得や、工場に納得してもらうための沢山のデータ採取、LAB評価法のための実験技術や分析方法など、行間に隠されたご苦労を想像すると頭の下がる思いです。

圧延潤滑は、高面圧で塑性変形による新生面が形成され、

ロールと材料の界面が本当にどのようなになっているかなど誰も見たことがない世界です。圧延荷重、先進率、ロール温度、板温度など、界面のマクロな全体的な力学的性質を観察したり、圧延後の板表面、ロール表面、摩耗粉や残油などの光学的、化学的な履歴を観察したりしながら、そこで起こっている現象を想像し、理解しているというのが現状ではないでしょうか。他方、企業側として、より重要なのは、圧延潤滑をどうしたいのかと言うコンセプトです。今回の開発のように、チャタリングを防止するための潤滑制御を行うと言う考え方とそれを進めるドライビングフォースが企業に求められている機能だと思います。たとえば、スリップが起らない極限の低摩擦圧延など、潤滑圧延でできることはまだまだあるのではないかと思います。

近年、圧延潤滑をやっている研究者は少なくなったように思いますが、まずは潤滑圧延で何をやるか、そのために圧延潤滑の何が問題（油成の調整だけでは限界？）なのか、まだまだ冷間圧延においてもやるべきことは残されていると思います。今回の開発で培ってきた多くの経験を生かし、今後も益々の御活躍を期待しています。



アラカト

講演大会学生ポスターセッションに参加して

恩師の方々への感謝

金下 武士
Takeshi Kaneshita

東北大学大学院 工学研究科
金属フロンティア工学専攻 古原研究室
博士1年

1. はじめに

2014年日本鉄鋼協会第167回春季講演大会学生ポスターセッションにて、「Fe-2Mn-C合金のオーステナイト粒界から生成したベイナイトのバリエーション選択」と題して発表させていただいたところ、最優秀賞をいただき、大変光栄に思っております。本稿では日ごろの研究生活や研究内容について紹介させていただきます。

2. 研究生活について

私は学部4年時には九州工業大学の太谷博司教授（現東北大学教授）、飯久保智准教授、榎木勝徳博士そして長谷部光弘教授の下「鉄合金の熱力学の理論計算」に関する研究に携わらせていただきました。熱力学的な考えや計算方法は金属材料を考える上で私の貴重な財産となっており、ご指導いただいた太谷先生に感謝しております。

修士課程では専門性の高い実験的研究に携わりたいとの思いから、東北大学金属材料研究所で鉄鋼材料の組織制御に関する研究を行っている古原忠教授の研究室を選びました。

研究室の雰囲気は楽しく朗らかで（写真 参照）、近年は留学生も多く国際色も豊かです。古原教授をはじめ、宮本吾郎准教授、紙川尚也助教は学生に対して、熱心に研究やプロ意識についてご指導されており、ほぼ毎日のように学生との議論に付き合ってください、先生方には大変感謝しています。古原研究室では試料を熱処理して、組織観察/解析し、実験を行っています。研究に悩むこともありますが、古原先生は金属材料に関する幅広い知見をお持ちなので、研究を進めるための的確な方向性を示してくださり、学生は自信を持って研究に打ち込むことができます。

修士課程の二年間では多くのことを学ぶのに忙しく、特に後半は修論執筆で連日多忙な日々を送っていました。そういった状況で学会発表することに躊躇していた私の背中を古原先生に押ししていただ

き、今回も挑戦しようと思い、ポスター発表に申込みました。当日の発表では、多くの方と議論する際に、日ごろの先生方とのディスカッションの経験が役に立ち、最優秀賞を受賞することができ、ご指導いただいた古原先生をはじめ皆様に感謝しております。

3. 研究内容

私は鉄鋼材料におけるベイナイト変態の組織制御に関する研究を行っています。ベイナイトは拡散変態温度域と無拡散変態温度域の中間の温度域で、Fe原子の拡散は困難であるが、C原子の拡散は十分おこる温度域での変態です。ベイナイトはマルテンサイトと類似の形態を示し、マルテンサイトは炭化物を伴わず硬く脆いのに対し、ベイナイトは炭化物を伴って形成されるためある程度靱性を示すことが特徴です。近年では、非調質で強度と靱性に優れたベイナイト組織が様々な炭素濃度で実用化されています。ベイナイトは母相オーステナイト（ γ ）に対して特定の結晶方位関係を持つ結果、一つの母相 γ から複数の方位を持つフェライトが生成することができ、これらをバリエーションと呼んでいます。ベイナイトが γ 粒界から核生成する際には特定のバリエーションしか生成しない「バリエーション選択」が働き、組織の粗大化の要因になるため工業的にもバリエーション選択の解明が求められています。そこで、私は炭素濃度を変化させた低合金鋼についてバリエーション選択則の調査をしました。

実験ではまず得られた試料組織を光学顕微鏡で丹念に観察し、美しい組織写真を取り代表的な組織を選び抜くことを心がけました。結晶学的な解析には電子線後方散乱回折（EBSD）測定から得られる結晶学的なデータに対して、マルテンサイト変態の結晶学的な理論に基づき¹⁻³⁾、バリエーション選択則を定量的に計算しました。この結晶学的な解析には主に当時留学でオランダに滞在しておられた宮本先生から国際電話でアドバイスをいただきながら、解析方法を構築するのに数か月を要しました。その結果、ベイナイト組織形成過程において、バリエーション選択が重要な役割を果たしていることを定量的に示すことができました。

4. 今後の抱負

今後は本年4月から古原研究室で博士課程に進学いたします。浅学非才な私ですが、とにかく研究が好きです。粘り強く柔軟さを持ち、出会いを大切にして研究に日々精進していきたいと思います。どうぞよろしくお願いいたします。

5. おわりに

このような機会を与えて下さった日本鉄鋼協会の関係者の皆様方に厚くお礼申し上げます。また、研究を進めるに上でご指導いただいた先生方、スタッフの皆様、学生の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) C.M.Wayman : Introduction to the Crystallography of Martensitic Transformations, The Macmillan Company (1964), 清水謙一訳：マルテンサイト変態の結晶学, 丸善三, (1969)
- 2) 西山善次：マルテンサイト変態 基本編, 丸善, (1974), 29
- 3) P.M.Kelly : Mater. Trans., JIM, 33 (1992), 235



写真 古原研究室一同（後列左3人目が著者）

（2014年5月2日受付）

会員へのお知らせ目次

行事等予定	495頁
総合	
平成26年度代表理事選定の報告	500頁
平成26年度（一社）日本鉄鋼協会役員一覧	500頁
和文誌「鉄と鋼」の会員年間定期購読の事前予約のご案内	501頁
（一社）日本鉄鋼協会 第24回（平成27年度助成開始）鉄鋼研究振興助成（含む石原・浅田研究助成）募集案内	501頁
日本鉄鋼協会 研究会Ⅰ、研究会Ⅱ、産発プロジェクト展開鉄鋼研究 平成27年度募集案内（公募）	502頁
平成26年度 学生育成事業の概要	503頁
イベント情報	
鉄鋼を知ろう！「最先端鉄鋼体験セミナー」参加者募集	504頁
平成26年度 修士学生向け「鉄鋼工学概論セミナー」参加者募集案内	505頁
第219・220回西山記念技術講座開催のご案内	
「材料設計を先導する物理解析技術・計算科学—活用事例と今後への期待—」	506頁
鉄鋼工学セミナー「専科」平成26年度受講のご案内	507頁
鉄鋼プレゼンス研究調査委員会 歴史を変える転換技術研究フォーラム	
「第30回 歴史を変える転換技術研究会」開催のお知らせ	508頁
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、平成26年度フォーラム総会開催案内	508頁
平成26年度レアメタル研究会のご案内	509頁
支部	
北陸信越支部 湯川記念講演会のお知らせ	510頁
平成26年度日本金属学会、日本鉄鋼協会両北海道支部合同サマーセッション開催のお知らせ	510頁
報告事項	
平成26年度一般社団法人日本鉄鋼協会定時社員総会報告	510頁
平成26年度一般社団法人日本鉄鋼協会第2回理事会報告	510頁
公募	511頁
次号目次案内	512頁
会員欄（入会者・死亡退会者一覧）	513頁
海外鉄鋼関連最新論文	514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.uchiyama@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)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
3, 4日	第45回トライボロジー入門講座(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/
4日	第61回レアメタル研究会(東京 本号509頁)	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/
8～9日	圧力設備の材料、設計、施工、維持管理の基礎(東京)	日本高圧力技術協会	Tel. 03-3255-3486 tanaka@hpij.org http://www.jidosya-kaikan.com/map.html
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.jpn.org http://ems.jpn.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
10, 11日	第25回新構造・機能制御と傾斜機能材料シンポジウム(FGMsシンポジウム)(福島)	傾斜機能材料研究会	シンポジウム事務局 矢野歳和 Tel. 022-343-9161 fgms@f-jast.or.jp http://www.fgms.net/?page_id=21

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
11日	鉄鋼を知らう！「最先端鉄鋼体験セミナー」(神奈川 6号391頁 申込締切6月11日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
11, 12日	PF研究会「次世代放射光源で期待されるXAFSを活用したサイエンス」(茨城)	高エネルギー 加速器研究機構 放射光科学研究施設	高橋良美 Tel. 029-864-5196 tyoshimi@post.kek.jp http://pfwww.kek.jp/pf-seminar/xafs2014/
12～15日	The 2nd International Symposium on Science at J-PARC (茨城)	J-PARCセンター・ 日本原子力研究開発 機構・高エネルギー 加速器研究機構	j-parc2014@j-parc.jp http://j-parc.jp/symposium/j-parc2014/index.html
19, 20日	第23回日本エネルギー学会大会(福岡)	日本エネルギー学会	「大会」係 Tel. 03-3834-6456 taikai23@jie.or.jp http://www.jie.or.jp/2014/taikai/23taikai.htm
22日	腐食防食部門委員会 第299回例会(大阪)	日本材料学会	船越英子 Tel. 075-761-5321 jimu@jsms.jp
23日	日本鉄鋼協会 第24回(平成27年度助成開始)鉄鋼研究振興助成(含む石原・浅田研究助成)募集締切(本号501頁)	日本鉄鋼協会	学術企画グループ Tel. 03-3669-5932
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 Tel. 075-761-5321 jimu@jsms.jp
25日	鉄鋼プレゼンス研究調査委員会 歴史を変える転換技術研究フォーラム「第30回 歴史を変える転換技術研究会」(東京 本号508頁)	日本鉄鋼協会	京都大学 山末英嗣 Fax. 075-753-5488 yamasue@energy.kyoto-u.ac.jp
25日	湯川記念講演会(富山 本号510頁 申込締切7月22日)	日本鉄鋼協会 北越信越支部	事務局 松田 Tel&Fax:076-445-6839 matsuda@eng.u-toyama.ac.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、平成26年度フォーラム総会(東京 本号508頁 申込締切7月18日)	日本鉄鋼協会	「鉄の技術と歴史」研究フォーラム 幹事 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)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
28日	平成26年度日本金属学会、日本鉄鋼協会両北海道支部合同サマーセッション(北海道 本号510頁)	日本鉄鋼協会 北海道支部	日本金属学会 北海道支部事務局 磯部繁人 TEL. 011-706-6771 jim_hokkaido@eng.hokudai.ac.jp
28, 29日	第44回初心者のための有限要素法講習会(演習付き):第1部(京都)	日本材料学会	船越英子 Tel. 075-761-5321 jimu@jsms.jp http://www.jsms.jp/kaikoku/44yugen.htm
28, 29日	日本が誇るマテリアルの世界 材料フェスタ in 仙台(宮城)	産業技術総合研 究所、東北大学、物 質・材料研究機構	材料フェスタ事務局 festa-sendai-ml@aist.go.jp https://unit.aist.go.jp/rp-nanomatman/zfes/
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/
28～1日	平成26年度熱処理大学(東京)	日本熱処理 技術協会	代表理事 川寄一博 Tel. 03-6661-7167 info@jsht.or.jp http://www.jsht.or.jp
30日	EcoDePS 2014-Ecodesign Products & Service Symposium (東京)	エコデザイン学会 連合、特定非営利 法人エコデザイン	イートレイ株式会社(エコデザイン推進機構業務代行) 宇野・荻原 Tel. 03-5840-8141 secretariat@ecodenet.com http://ecodenet.com/EcoDePS/
2014年8月			
1日	第7回 腐食防食セミナー(大阪)	腐食防食協会 関西支部	事務局 土谷博昭 Tel. 06-6879-7470 tsuchiya@mat.eng.osaka-u.ac.jp
4, 5日	第201回塑性加工技術セミナー(愛知)	日本塑性 加工学会	Tel. 03-3435-8301 jstp@jstp.or.jp
5日	鉄鋼を知らう！「最先端鉄鋼体験セミナー」(和歌山 本号504頁 申込締切7月4日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
7日	鉄鋼を知らう！「最先端鉄鋼体験セミナー」(福岡 本号504頁 申込締切7月7日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
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@e3eei.eng.osaka-u.ac.jp
21日	『ここまでできる. 計算材料科学入門』(東京)	日本金属学会 関東支部	事務局 多賀三千代 Tel. 03-5734-3136 jim-kanto@mtl.titech.ac.jp http://jim.or.jp/EVENTS/branch/shibu-index.html
21, 22日	鉄鋼工学セミナー「腐食・表面処理専科」(東京 5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
22日	熱切断作業の品質と安全講習会(福山)	日本溶接協会、 全国厚板シャリ ング工業組合	日本溶接協会 業務部 日暮(ヒグラシ) Tel. 03-5823-6324 higurashi@jwes.or.jp http://www.jwes.or.jp/mt/senmon/gs/archives/2014/04/23.html
22日	第58回塑性加工技術フォーラム(東京)	日本塑性 加工学会	Tel. 03-3435-8301 jstp@jstp.or.jp
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
25～27日	第136回塑性加工学講座(福岡)	日本塑性加工学会	Tel. 03-3435-8301 jstp@jstp.or.jp
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
27, 28日	第44回初心者のための有限要素法講習会(演習付き):第2部(京都)	日本材料学会	船越英子 Tel. 075-761-5321 jimu@jsms.jp http://www.jsms.jp/kaikoku/44yugen.htm
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
29日	日本鉄鋼協会 研究会Ⅰ、研究会Ⅱ、産発プロジェクト展開鉄鋼研究 平成27年度募集締切(本号502頁)	日本鉄鋼協会	Ⅰ:学術企画グループ Tel. 03-3669-5932 Ⅱ:技術企画グループ Tel. 03-3669-5932
29日	第202回塑性加工技術セミナー(東京)	日本塑性加工学会	Tel. 03-3435-8301 jstp@jstp.or.jp
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
1, 2日	第22回初心者のための疲労設計講習会(大阪)	日本材料学会	Tel. 075-761-5321 jimu@jsms.jp
1～3日	第17回XAFS討論会(徳島)	日本XAFS研究会	徳島大学大学院 総合科学教育部 山本 孝 Tel. 088-656-7263 takashi-yamamoto.ias@tokushima-u.ac.jp http://web.ias.tokushima-u.ac.jp/jxafs17/
2～5日	第54回(2014年度)真空夏季大学(静岡)	日本真空学会	Tel. 03-3431-4395 ofc-vs@vacuum-jp.org http://www.vacuum-jp.org/
4, 5日	鉄鋼工学セミナー「水素脆化専科」(東京 5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
4, 5日	第23回初心者のための疲労設計講習会(東京)	日本材料学会	船越英子 Tel. 075-761-5321 jimu@jsms.jp
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/
11, 12日	第11回ノートパソコンで出来る原子レベルのシミュレーション入門講習会～分子動力学計算と電子状態計算～(東京)	日本材料学会	Tel. 075-761-5321 jimu@jsms.jp
11, 18, 19日	H26年度KAST教育講座 塑性加工基盤技術シリーズ1,2「塑性力学の基礎コース」(東京)	神奈川科学技術アカデミー	教育研修グループ Tel. 044-819-2033 ed@newkast.or.jp http://www.newkast.or.jp/kyouiku/edu_h26/ed26_seminar_2.html
12日	分科会シンポジウム 3Dプリンターによる次世代ものづくり(東京)	日本金属学会	シンポジウム参加係 Tel. 022-223-3685 meeting@jim.or.jp http://jim.or.jp/EVENTS/subcom/sub_index.html
13, 14日	SPring-8シンポジウム2014(東京)	SPring-8ユーザー協同体(SPRUC)、高輝度光科学研究センター、理化学研究所、東京大学高輝度光科学研究センター	SPring-8シンポジウム事務局 Tel. 0791-58-0949 sp8sympo2014@spring8.or.jp http://www.spring8.or.jp/ja/science/meetings/2014/sp8sympo2014/
15～17日	資源・素材2014(熊本)	資源・素材学会	事務局 Tel. 03-3402-0541 info@mmij.or.jp http://www.mmij-kyushu.com/mmij2014/
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 本号509頁)	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 5号332頁)	日本鉄鋼協会	学術企画グループ Tel. 03-3669-5932
25, 26日	第31回センシングフォーラム計測部門大会(佐賀)	計測自動制御学会	信州大学繊維学部 小関道彦 Tel. 0268-21-5347 koseki@shinshu-u.ac.jp http://fiber.shinshu-u.ac.jp/sice/sf31/

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
29日	鉄鋼を知らう!「最先端鉄鋼体験セミナー」(広島 本号505頁 申込締切8月29日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
29~2日	平成26年度 修士学生向け「鉄鋼工学概論セミナー」(神奈川 本号505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
2014年10月			
2, 3日	H26年度KAST教育講座 塑性加工基盤技術シリーズ1.2「基礎から考えるプレス成形加工コース」(東京)	神奈川 科学技術 アカデミー	教育研修グループ Tel. 044-819-2033 ed@newkast.or.jp http://www.newkast.or.jp/kyouiku/edu_h26/ed26_seminar_3.html
2~4日	Techno-Ocean2014(兵庫)	テクノ オーシャン・ ネットワーク	神戸国際観光コンベンション協会 Tel. 078-303-0029 techno-ocean@kcva.or.jp http://www.techno-ocean2014.com
8, 9日	第37回鉄溝塗装技術討論会(東京)	日本鋼構造 協会	『第37回鉄溝塗装技術討論会』係 Tel. 03-5919-1535 h.sugitani@jssc.or.jp http://www.jssc.or.jp/course/index.html#2014tekoutosou
8~10日	第8回学生鉄鋼セミナー 製鉄・製鋼コース(兵庫 6号391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
16~18日	第22回鉄鋼工学アドバンストセミナー(神奈川 6号388頁)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
24日	第66回白石記念講座「枯渇する金属資源に「今」我々ができること・すべきこと〜金属資源確保と材料設計の元素戦略〜」(東京 6号388頁)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
27, 28日	第58回材料工学連合講演会(京都)	日本学術会議 材料工学委員会	日本材料学会 材料工学連合講演会係 Tel. 075-761-5321 FAX. 075-761-5325 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 5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
10, 11日	Innovation of Ironmaking Technologies and Future International Collaboration - to Overcome Energy & Resource Restrictions in Accordance with Environments - (東京)	日本学術振興会 製鉄第54委員会	東北大学 村上太一 Tel. 022-795-4896 taichi@material.tohoku.ac.jp http://www.material.tohoku.ac.jp/~saisei/event/141110/JSPS54_IntSymp.pdf
10~12日	第57回自動制御連合講演会(群馬)	計測自動 制御学会、他	rengo57@sice.or.jp http://www.sice.or.jp/~rengo57/
12~14日	ものづくりNEXT↑2014(東京)	日本能率協会	ものづくりNEXT↑事務局 Tel. 03-3434-1988 mono@convention.jma.or.jp http://www.jma.or.jp/next/
14日	第13回フラクトグラフィシンポジウム(滋賀)	日本材料学会	船越英子 Tel. 075-761-5321 jimu@jsms.jp
18日	第219回西山記念技術講座開催のご案内「材料設計を先導する物理解析技術・計算科学—活用事例と今後への期待—」(大阪 本号506頁)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
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/
19~21日	第8回学生鉄鋼セミナー 材料コース(茨城 6号391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
22~24日	第35回日本熱物性シンポジウム(東京)	日本熱物性 学会	第35回日本熱物性シンポジウム実行委員会 Tel. 03-5876-1326 jstp2014@rs.tus.ac.jp http://www.rs.tus.ac.jp/jstp2014/
22~24日	第55回高圧討論会(徳島)	日本高圧力 学会	徳島大学 魚崎泰弘 Tel. 070-5658-7626 http://www.highpressure.jp/new/55forum/
24~26日	9th Pacific Rim International Conference on Modeling of Casting and Solidification Processes(大阪)	MCSP-9 組織委員会	京都大学 安田秀幸 contact@mcsp2014.com http://www.mcsp2014.com
25日	第220回西山記念技術講座開催のご案内「材料設計を先導する物理解析技術・計算科学—活用事例と今後への期待—」(東京 本号506頁)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
26~28日	国際粉体工業展東京2014(東京)	日本粉体工業 技術協会	東京事務所 野出 毅 Tel. 03-3815-3955 info2014@powtex.com http://www.powtex.com/tokyo/

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
28日	第63回レアメタル研究会(東京 本号509頁)	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
29, 30日	第11回材料の衝撃問題シンポジウム(愛知)	日本材料学会	船越英子 Tel. 075-761-5321 jimu@jsms.jp
30~5日	第19回フローインジェクション分析国際会議(福岡)	日本分析化学会フローインジェクション分析研究懇談会	九州大学 工学研究院 応用化学部門内 19th ICFA 事務局 石松亮一 Tel. 092-802-2891 ishimatsu@cstf.kyushu-u.ac.jp http://icfia.kyushu-u/
2014年12月			
4, 5日	溶接構造シンポジウム2014(大阪)	溶接学会 溶接構造研究委員会	溶接構造シンポジウム2014 Tel. 072-254-9345 shibahara@marine.osakafu-u.ac.jp http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/~conf/wmd2014/
8日	鉄鋼工学セミナー「材質制御専科」(東京 本号507頁 申込締切11月7日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-3669-5933
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 本号509頁)	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
18~20日	第169回春季講演大会(東京)	日本鉄鋼協会	学術企画グループ Tel. 03-3669-5932
2015年5月			
12~14日	○ The 6th International Congress on the Science and Technology of Steelmaking (ICS2015)(Beijing, China)	The Chinese Society of Metals	ics2015@csm.org.cn, ics2015@csmorg.cn www.ics-2015.com
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
21~26日	Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes (MCWASP XIV 2015) (兵庫)	MCWASP XIV 組織委員会	京都大学 安田秀幸 contact@mcwasp2015.jp http://mcwasp2015.jp
2015年9月			
8~10日	9th International Conference on Clean Steel(Clean Steel 9) (Budapest, Hungary)	Hungarian Mining and Metallurgical Society (OMBKE)	MVAE CONFERENCE OFFICE info@clensteel9.com www.cleansteel9.com
16~18日	第170回秋季講演大会(九州)	日本鉄鋼協会	学術企画グループ Tel. 03-3669-5932
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



編集後記

気象庁から、6月から8月の3ヶ月予報が発表されました。4月の発表と同じく、エルニーニョ現象が発生する可能性が高く、その影響で北日本は冷夏の予報に変わりありません。エルニーニョ現象が発生すると太平洋高気圧の勢力が弱くなり、梅雨前線を北へ押し上げることができません。そのため、梅雨明けが遅れることになります。

皆様の手に本誌が届く頃、梅雨明けはどうなっていますでしょうか。昨年はゲリラ豪雨が問題となりましたが、雨が降りやすい状態が続き各地で集中豪雨や土砂崩れなどの発生も懸念

されます。一方、経済活動に目を向けると、海外企業の大型買収や黒字決算などの上向きの状況も報告されていますが、消費税率が8%に上がり、原子力発電所問題、タイにおける軍のクーデター、中越による南シナ海域での船の衝突、東ウクライナにおける内戦、新疆ウイグル自治区における暴動など、不安定要因も様々です。地球環境のみならず、経済、産業、国民生活をはじめ何事も世界は連動しています。それゆえ、正しい知識と理性的判断の重要性がより高まっていると感じます。

(O.U.)

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)
	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)	轟 秀和 (日本冶金工業 (株))
	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5,715円+税)

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan / Tetsu-to-Hagané : Unit Price ¥5,715
 1996年5月10日第三種郵便物認可 2014年6月25日印刷納本、2014年7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

平成25年度一般社団法人日本鉄鋼協会事業報告・収支決算 (平成25年3月1日～平成26年2月28日) および 平成26年度一般社団法人日本鉄鋼協会事業計画・収支予算 (平成26年3月1日～平成27年2月28日)

平成26年4月24日に開催されました一般社団法人日本鉄鋼協会定時社員総会において、標記報告等が承認されました。以下にその概要をお知らせします。

Ⅰ. 平成25年度一般社団法人日本鉄鋼協会事業報告・収支決算 (H25.3.1～H26.2.28)

平成25年度は一般社団法人として1年間を通じた活動を行ったが、平成25年度を初年度とする中期財務計画の初年度の年であった。活動内容としては①協会基本活動の活性化、②情報発信機能の強化、③国際化の促進、④鉄鋼の学術・技術の活性化、⑤他学協会との連携強化等を進めると共に、鉄鋼協会の今後の強化活動項目として取り上げられた人材育成について事業活動を展開した。

1. 協会基本活動の活性化

会員数、講演大会発表件数、論文誌への投稿論文数の増大を学協会の基本活動として重点を置いている。

会員数はリーマンショック後の景気変動の影響も受け、微減傾向が続いている。会員総数で9,088名(前年度末9,174名)、正会員7,834名(前年度末7,799名)、維持会員161社(前年度末174社)である。また、60歳以上の会員の増加を目的に21年から導入されたシニア会員制度は162名が活用している。

25年度の春季大会は東京電機大学で、秋季講演大会は金沢大学で開催された。講演大会での研究発表件数は一般講演春季大会350件、秋季大会370件、討論会春季大会25件、秋季大会67件、国際セッション春季大会1テーマ8件、秋季大会1テーマ14件で合計春季大会383件、秋季大会451件であった。登録参加者は、春季大会1,410名、秋季大会1,195名であった。学生ポスターセッションの発表は春季82件、秋季91件であった。

論文の状況は、1～12月の合計で、投稿論文数は「鉄と鋼」156(121:前年)件、「ISIJ Int.」747(572)件、同様に掲載論文数は「鉄と鋼」90(85)件、「ISIJ Int.」311(321)件であり、前年とはほぼ同様の水準であるが、投稿数は大幅に増加した。21年度から導入された査読報酬奨励金制度は円滑に進行している。

2. 情報発信機能の強化

科学技術振興機構が運営するJ-STAGEにおいて「ISIJ Int.」をフリーアクセスとして、情報発信の強化を図っている。電子投稿・審査システムは「ISIJ Int.」については23年10月から、「鉄と鋼」については24年1月から新J-STAGE3の投稿・審査システムを活用している。25年度の科研費(国際情報発信強化)の交付を受けAdvisory Boardの積極的活用や鉄鋼技術ジャーナルサイトの開設を行った。

3. 国際会議・国際交流の促進

第8回金属の歴史国際会議(BUMA 8)が9月10～15日に奈良市の奈良県文化会館で開催され、参加19ヶ国から147名が参加し、102件の発表が行われた。低炭素・炭素循環スマート製鉄国際会議(ICSRI)が10月2～4日に神奈川県湘南国際村センターの国際会議場で開催され、参加8ヶ国から51名が参加し、30件の発表が行われた。

「日本-ドイツ-ノルディック諸国合同鉄鋼シンポジウム」は4

月15～16日に大阪大学銀杏会館国際会議場で開催され、82名が参加し、32件の発表が行われた。海外からの参加者は引き続き工場見学を行った。「日本-中国鉄鋼学術シンポジウム」は11月18～19日に中国北京で開催され、93名が参加し25件の発表が行われた。

4. 鉄鋼の学術・技術の活性化

①産学連携

学術部会と技術部会の活性化および産学連携の強化を図った。

②鉄鋼研究の強化

産発プロジェクト展開鉄鋼研究(「GA皮膜加工特性の飛躍的向上に関する研究(研究チーム主査東京大学山口周教授)」及び6研究会(「生石灰高速滓化によるスラグフォーメーション(I)」、「資源対応型高品質焼結鉄製造プロセス(I)」、「革新的水素不動態表面構築の原理探求(I)」、「粒子法による製鋼プロセス解析ツールの開発(II)」及び、「高亜鉛含有ダストの高度資源化(II)」)の5研究会並びにFSとして「コンパクト中性子源を利用した新組織解析法」の計6件)が新規に着手された。また、3件の産発プロジェクト、12件の研究会については継続研究を実施した。

前年度に採択決定した鉄鋼研究振興助成(41件)について助成を行った。

26年度に向けて研究会Ⅰ 4件、研究会Ⅱ 3件、鉄鋼研究振興助成 35件の採択を行った。産発プロジェクト展開鉄鋼研究の採択はなかった。

5. 他学協会等との連携促進

日本金属学会との講演大会相互聴講、男女共同参画ランチョンミーティングを実施した。日本金属学会、日本熱処理技術協会とは事務所移転後も継続して連携を強化した。新たに日本鉄鋼連盟をはじめとして鉄鋼環境基金、鉄鋼スラグ協会、日本鋼構造協会等との連携強化に繋がる活動を開始した。

6. 人材育成

企業人材育成として、39回目となる蔵王での鉄鋼工学セミナー(164名参加)が開催されたほか、鉄鋼工学セミナー専科については凝固、腐食・表面処理、強化機構、熱力学的原理に基づく製鉄プロセスの解析と演習、材質制御、スラグ処理の6テーマ、21回目となる鉄鋼工学アドバンストセミナー(33名参加)が開催された。

学生育成として、経済産業省等による大学特別講義が15大学で実施された。企業経営幹部による大学特別講義は、新たに参加した3社も加えて、11大学で実施された。学生鉄鋼セミナーは3コースが実施され28名の参加、修士学生向け鉄鋼工学概論セミナーは42名、学部学生向け最先端鉄鋼体験セミナーは千葉34名、加古川10名、名古屋31名の参加であった。学部学生の製鉄所見学は13回実施され、総計520名が参加した。

西山記念技術講座では、「自動車部材軽量化の為に制御鍛造とメタラジー」及び「省資源型金属材料開発の基礎・応用と今後の展望」をテーマに開催した。また、白石記念講座は特別シンポジウムとして「日本のものづくり力」を開催したほか、「品質保証・品質管理の現状と今後の展望」をテーマに開催した。

7. 科学技術政策への対応

日本鉄鋼協会が提案した科学技術振興機構の産学共創基礎基盤技術開発制度「ヘテロ構造制御金属材料プロジェクト」の支援、政府の未来開拓研究制度での構造材料研究について必要な支援を行った。

Ⅱ. 平成25年度決算

貸借対照表

科 目		(単位：円)		
当 年 度	前 年 度	増	減	
I 資産の部				
1. 流動資産				
現金預金	158,443,060	120,194,500	38,248,560	
未収会費	1,456,000	△ 45,000	△ 45,000	
未収金	3,412,331	3,450,422	△ 38,091	
仮払金	80,456	65,620	14,836	
有価証券	6,650,754	5,025,580	1,622,174	
前払金	40,917,959	40,897,062	20,897	
仕掛資産	26,601,916	28,064,171	△ 1,462,255	
棚卸品	5,379,258	0	5,379,258	
流動資産合計	242,941,734	199,201,355	43,740,379	
2. 固定資産				
定期預金	11,599,912	11,599,912	0	
基本財産合計	11,599,912	11,599,912	0	
(2) 特定資産				
退職給付引当資産	228,546,860	217,482,862	11,063,998	
特別資金	478,334,520	482,204,002	△ 3,870,082	
鉄鋼研究振興資金	898,064,889	905,295,334	△ 7,230,445	
学会部門事業積立資産	53,150,875	59,619,816	△ 6,468,941	
国際技術部門事業積立資産	14,395,803	23,401,202	△ 9,005,399	
国際会議支援積立資産	5,311,385	7,381,547	△ 2,070,162	
情報化等事業積立資産	0	2,305,111	△ 2,305,111	
事業強化積立資産	50,076,379	62,288,073	△ 12,211,694	
支那事業積立資産	0	200,000	△ 200,000	
記念出版事業積立資産	20,493,940	21,233,443	△ 739,503	
創立100周年事業積立資産	4,000,000	0	4,000,000	
特定資産合計	1,752,374,651	1,781,411,990	△ 29,037,339	
(3) その他固定資産				
什器備品	1,639,177	2,892,043	△ 1,252,866	
ソフトウェア	4,920,811	4,572,600	348,211	
敷金	8,486,320	8,486,320	0	
その他固定資産合計	15,046,308	15,950,963	△ 904,655	
固定資産合計	1,779,020,871	1,808,962,865	△ 29,941,994	
資産合計	2,021,962,605	2,008,164,220	13,798,385	
Ⅱ 負債の部				
1. 流動負債				
未払金	12,004,486	8,778,051	3,226,435	
未払消費税等	4,478,800	3,887,400	591,400	
前受金	152,360,379	108,024,041	44,336,338	
預り金	1,497,100	1,232,618	264,482	
仮受金	448,420	0	448,420	
賞与引当金	8,000,000	7,825,000	175,000	
流動負債合計	178,789,185	129,747,110	49,042,075	
2. 固定負債				
退職給付引当金	228,546,860	217,482,862	11,063,998	
固定負債合計	228,546,860	217,482,862	11,063,998	
負債合計	407,336,045	347,229,972	60,106,073	
Ⅲ 正味財産の部				
1. 指定正味財産				
特別資金	324,030,000	324,030,000	0	
鉄鋼研究振興資金	635,000,000	635,000,000	0	
指定正味財産合計	959,030,000	959,030,000	0	
(うち基本財産への充当額)				
0	0	0	0	
2. 一般正味財産				
(うち特定資産への充当額)	(959,030,000)	(959,030,000)	0	
(うち基本財産への充当額)	655,596,560	701,904,248	△ 46,307,688	
(うち特定資産への充当額)	(11,599,912)	(11,599,912)	0	
(うち特定資産への充当額)	(564,797,791)	(604,899,128)	(△ 40,101,337)	
正味財産合計	1,614,626,560	1,660,934,248	△ 46,307,688	
負債及び正味財産合計	2,021,962,605	2,008,164,220	13,798,385	

実施事業資産は、以下のとおりである。

特別資金	324,030,000
鉄鋼研究振興資金	816,736,596
合計	1,140,766,596

正味財産増減計算書

科 目		(単位：円)		
当 年 度	前 年 度	増	減	
I 一般正味財産増減の部				
1. (1) 特定正味財産				
特別資金増減	18,248,599	7,926,615	10,322,284	
受取利息	513,900	192,600	321,300	
受取配当金	76,234,713	45,729,251	30,505,462	
受取入金金	430,348,332	240,313,334	190,034,998	
受取配当金	54,652,347	39,621,825	15,030,522	
受取配当金	38,832,715	20,202,810	18,629,905	
受取配当金	2,692,395	2,482,311	210,084	
受取配当金	1,656,656	1,018,828	637,828	
受取配当金	1,552,054	0	1,552,054	
受取補助金等	7,840,000	3,100,000	4,740,000	
受取補助金	1,145,068	2,766,075	△ 1,620,907	
受取寄付金	500,000	0	500,000	
受取利息	43,307	43,692	△ 385	
受取事務所負担金	375,430	256,834	118,596	
受取配当金	37,109	37,109	0	
特定正味財産増減合計	637,945,635	356,524,535	281,421,100	
(2) 一般正味財産				
事業費	149,719,597	75,149,659	74,569,938	
退職給付費用	10,079,390	8,052,243	2,027,147	
福利厚生費	17,844,049	9,768,205	8,075,844	
事務所管理費	25,891,777	7,441,613	18,450,164	
会議・会費	23,908,619	14,883,445	9,025,174	
会費・会議費	48,406,803	22,932,437	25,474,366	
旅費交通費	8,824,185	5,827,189	2,996,996	
印刷製本費	2,625,337	7,798,645	△ 5,173,308	
雑費	283,572	217,689	65,883	
電子文書費	349,453	1,735,841	△ 1,386,388	
消耗品費	5,533,227	3,006,010	2,527,217	
印刷製本費	60,238,164	33,516,783	26,721,381	
委託費	1,466,028	3,618,088	△ 2,152,060	
印刷製本費	26,064,171	26,317,422	△ 252,251	
期首仕入品物棚卸高	△ 26,064,171	△ 28,064,171	2,000,000	
期末仕入品物棚卸高	△ 1,893,531	△ 1,893,531	0	
期首仕入品物棚卸高	13,692,509	6,544,021	7,148,488	
期末仕入品物棚卸高	2,191,525	1,388,803	802,722	
期首仕入品物棚卸高	3,862,860	1,529,778	2,333,082	
期末仕入品物棚卸高	7,077,603	4,704,236	2,373,367	
委託費	129,992	1,444,909	△ 1,314,917	
臨時側金費	1,517,920	873,600	644,320	
貸手・贈与金	5,284,718	4,096,877	1,187,841	
貸手・贈与金	18,497,369	6,963,989	11,533,380	
地庫	4,574,501	2,330,941	2,243,560	
システム費	641,284,979	360,594,201	280,690,777	
管理費	17,752,002	5,696,625	12,055,377	
給与手当等	984,698	312,449	672,249	
退職給付費用	1,454,463	1,454,463	0	
事務所管理費	3,434,707	974,890	2,459,817	
会費・会議費	140,964	28,070	112,894	
旅費交通費	1,177,896	4,891,627	△ 3,713,731	
印刷製本費	310,987	176,029	134,958	
消耗品費	912,598	916,316	△ 3,718	
雑費	33,653,011	33,653,011	0	
事務所経理費用	731,181	9,799,773	△ 9,068,592	
印刷製本費	387,590	343,591	44,000	
委託費	224,533	648,118	△ 423,585	
印刷製本費	4,330,943	1,713,902	2,617,041	
租税公課	97,002	51,122	45,880	
支払負担金	7,655,656	1,652,544	6,003,112	
手数料	2,931	0	2,931	
研修旅費	10,000	10,000	0	
臨時側金費	63,315	152,134	△ 88,819	
システム費	596,832	855,922	△ 259,090	
システム費	641,284,979	360,594,201	280,690,777	
管理費	17,752,002	5,696,625	12,055,377	
給与手当等	984,698	312,449	672,249	
退職給付費用	1,454,463	1,454,463	0	
事務所管理費	3,434,707	974,890	2,459,817	
会費・会議費	140,964	28,070	112,894	
旅費交通費	1,177,896	4,891,627	△ 3,713,731	
印刷製本費	310,987	176,029	134,958	
消耗品費	912,598	916,316	△ 3,718	
雑費	33,653,011	33,653,011	0	
事務所経理費用	731,181	9,799,773	△ 9,068,592	
印刷製本費	387,590	343,591	44,000	
委託費	224,533	648,118	△ 423,585	
印刷製本費	4,330,943	1,713,902	2,617,041	
租税公課	97,002	51,122	45,880	
支払負担金	7,655,656	1,652,544	6,003,112	
手数料	2,931	0	2,931	
研修旅費	10,000	10,000	0	
臨時側金費	63,315	152,134	△ 88,819	
システム費	596,832	855,922	△ 259,090	
システム費	641,284,979	360,594,201	280,690,777	
管理費	17,752,002	5,696,625	12,055,377	
給与手当等	984,698	312,449	672,249	
退職給付費用	1,454,463	1,454,463	0	
事務所管理費	3,434,707	974,890	2,459,817	
会費・会議費	140,964	28,070	112,894	
旅費交通費	1,177,896	4,891,627	△ 3,713,731	
印刷製本費	310,987	176,029	134,958	
消耗品費	912,598	916,316	△ 3,718	
雑費	33,653,011	33,653,011	0	
事務所経理費用	731,181	9,799,773	△ 9,068,592	
印刷製本費	387,590	343,591	44,000	
委託費	224,533	648,118	△ 423,585	
印刷製本費	4,330,943	1,713,902	2,617,041	
租税公課	97,002	51,122	45,880	
支払負担金	7,655,656	1,652,544	6,003,112	
手数料	2,931	0	2,931	
研修旅費	10,000	10,000	0	
臨時側金費	63,315	152,134	△ 88,819	
システム費	596,832	855,922	△ 259,090	
システム費	641,284,979	360,594,201	280,690,777	
管理費	17,752,002	5,696,625	12,055,377	
給与手当等	984,698	312,449	672,249	
退職給付費用	1,454,463	1,454,463	0	
事務所管理費	3,434,707	974,890	2,459,817	
会費・会議費	140,964	28,070	112,894	
旅費交通費	1,177,896	4,891,627	△ 3,713,731	
印刷製本費	310,987	176,029	134,958	
消耗品費	912,598	916,316	△ 3,718	
雑費	33,653,011	33,653,011	0	
事務所経理費用	731,181	9,799,773	△ 9,068,592	
印刷製本費	387,590	343,591	44,000	
委託費	224,533	648,118	△ 423,585	
印刷製本費	4,330,943	1,713,902	2,617,041	
租税公課	97,002	51,122	45,880	
支払負担金	7,655,656	1,652,544	6,003,112	
手数料	2,931	0	2,931	
研修旅費	10,000	10,000	0	
臨時側金費	63,315	152,134	△ 88,819	
システム費	596,832	855,922	△ 259,090	
システム費	641,284,979	360,594,201	280,690,777	
管理費	17,752,002	5,696,625	12,055,377	
給与手当等	984,698	312,449	672,249	
退職給付費用	1,454,463	1,454,463	0	
事務所管理費	3,434,707	974,890	2,459,817	
会費・会議費	140,964	28,070	112,894	
旅費交通費	1,177,896	4,891,627	△ 3,713,731	
印刷製本費	310,987	176,029	134,958	
消耗品費	912,598	916,316	△ 3,718	
雑費	33,653,011	33,653,011	0	
事務所経理費用	731,181	9,799,773	△ 9,068,592	
印刷製本費	387,590	343,591	44,000	
委託費	224,533	648,118	△ 423,585	
印刷製本費	4,330,943	1,713,902	2,617,041	
租税公課	97,002	51,122	45,880	
支払負担金	7,655,656	1,652,544	6,003,112	
手数料	2,931	0	2,931	
研修旅費	10,000	10,000	0	

財産目録

貸借対照表科目		場所・物量等	金額	
(流動資産)	現金預金	現金手許有高 郵便振替 普通預金 普通預金 普通預金 普通預金 普通預金 普通預金 普通預金 普通預金 普通預金 普通預金 普通預金 普通預金	115,494 474,283 3,099,221 143,269,379 2,801,351 562,684 333,496 2,242,950 517,458 532,538 196,049 945,790 1,700,225 1,445,070 207,072	
		ゆうちょ銀行 みずほ銀行 丸之内支店 三菱東京UFJ銀行 神田駅前支店 三井住友銀行 東京営業部 みずほ信託銀行 本店 山陰合同銀行 東京支店 北洋銀行 荏賀中央支店 七十七銀行 本店営業部 富山第一銀行 五箇支店 三井住友銀行 本山支店 富山第一銀行 大阪支店 広島銀行 八丁堀支店 みずほ銀行 八幡支店	1,456,000 3,412,331 80,456 6,650,754 40,917,959 26,601,916 5,379,258	
	未収金 費	平成25年度会費		
	未収金	プリペイドカード未使用分 他		
	仮払金	保険料 他		
	前払金	中期国債ファンド大和証券 本店		
	有価証券	図書		
	棚卸資産	図書		
	仕掛品			
	流動資産合計			242,941,734
		(固定資産)		
	基本財産	定期預金	みずほ銀行 丸之内支店	11,599,912
		退職給付引当資産	みずほ銀行 丸之内支店 みずほ銀行 丸之内支店 みずほ銀行 丸之内支店 三井住友銀行 東京営業部 みずほ信託銀行 本店 野村證券 虎ノ門支店 大和証券 本店	20,254,060 29,000,000 30,000,000 49,000,000 50,177,800 50,115,000 14,337,564
	特定資産	特別資金	みずほ銀行 丸之内支店 みずほ銀行 丸之内支店 野村證券 虎ノ門支店 SMBC日興証券 第四公益法人部 三菱UFJ信託銀行 証券 本店 大和証券 本店	44,030,000 139,966,956 100,000,000 50,000,000 30,000,000 100,000,000
鉄鋼研究振興資金		SMBC日興証券 第四公益法人部 みずほ銀行 丸之内支店 野村證券 虎ノ門支店 利付国債 円建外債 円建外債 三菱東京UFJ銀行債 東京再生都債 JICA債 普通預金 定期預金 利付国債 利付国債 円建外債 円建外		

Ⅲ. 平成26年度一般社団法人日本鉄鋼協会事業計画・収支予算 (H26.3.1 ~ H27.2.28)

活動方針

政府の経済金融政策や為替の効果に加え自動車をはじめとする需要産業の回復もあり、足元では鉄鋼生産は前年対比では増加の見通しであるが、中期的には世界的な過剰能力が存在する中で新たな鉄鋼生産能力が見込まれ、世界的な鉄鋼大競争時代を迎えている。中国、韓国等新興国の追い上げは厳しさを増し、生産能力のみならず、品質面、技術面でも向上が著しく、世界のトップを走る我が国としては官民を挙げてその地位を確保することが大きな課題である。最近、国の技術政策の中で構造物の重要性が認識され、新たなプロジェクトの発足等これまでにない歩みを見せていることは心強い限りであるが、こうした流れが継続するように鉄鋼協会として活動する必要がある。

大学では、足の長い構造物材料研究に対する危機感が共有される中、鉄鋼研究のベースを確保することは喫緊の課題である。また、大学での人材育成への産側のニーズは高いが、大学教育の流れの中できめ細かい鉄鋼技術教育を期待することが困難な状況となっている。こうした状況の中、産学が問題を共有し、鉄鋼に係る新技術開発、人材育成、イノベーションを可能とする社会システムの改革を促進するべく鉄鋼協会の活動を進める。

このため、鉄鋼協会の活動をそれ自体で完結することなく、協会の伝統である産学連携活動をベースとして文部科学省、経済産業省等の政策主体、大学・独法等の研究教育機関、関連団体、企業活動との連携を深め、コストパフォーマンスの高い協会活動を指向する。

これらを踏まえ、平成26年度の本会活動としては、①協会基本活動の活性化、②鉄鋼の学術・技術の活性化、③若手企業技術者や大学生の人材育成などこれまでの施策を効率的、重点的に進めると共に、④他学協会・団体との連携強化、⑤政府の科学技術・産業技術政策への対応、⑥内外へのプレゼンスの強化等の実施に重点をおいた事業活動を展開する。

平成27年2月6日で鉄鋼協会は創立100周年を迎える。これをプレゼンス強化の契機ととらえ、鉄と鋼第100巻記念特集号、第5版鉄鋼便覧の発刊と併せ、平成27年2月3日に記念式典を開催する。さらに27年10月に予定されているアジアスチール国際会議の準備を進める。

具体的な施策

1. 協会基本活動の活性化

関係する学術・技術部会、委員会の主導のもと、具体的な取り組みを行ない、会員数、講演大会発表件数、論文誌への投稿数の増加といった学協会としての基本的活動の強化を図る。また会員サービスの向上とともに協会活動を支える協会の管理・

情報システムの改善を図る。

2. 鉄鋼の学術・技術の活性化

- 1) 学術部会と技術部会との連携強化をベースとして助成制度の改善、新しい研究課題の発信を図る。
- 2) 学術部会ではフォーラム活動や研究会の充実、理学等も含めた新たな学術シーズの取り込みを進める。
- 3) 技術部会では新たな業界構造も加味した機動的、弾力的運営を行う。

3. 人材育成

- 1) 23年度から開始した「修士学生向け鉄鋼工学概論セミナー」、「学部学生向け最先端鉄鋼体験セミナー」、「企業経営幹部による大学特別講義」の円滑な推進を図る。
- 2) 企業技術者の育成事業である「鉄鋼工学セミナー・専科」、「アドバンスセミナー」は企業の人材ニーズに対応した展開を図る。また、鉄鋼工学セミナーを活用した大学教育の定点観測調査を継続する。
- 3) 西山記念技術講座・白石記念講座等はニーズを踏まえたタイムリーな企画を進め、内容充実を図る。

4. 他学協会等との連携強化

- 1) 鉄鋼会館への移転を契機として日本鉄鋼連盟、鉄鋼環境基金、日本鋼構造協会等と研究助成、人材育成等の面で連携強化のための協議が行われているが、これを着実に進め、具体的な成果につなげる。
- 2) 日本金属学会、日本熱処理技術協会等、関係の学協会との協力推進について協議を進める。

5. 政府の科学技術・産業技術政策への対応

- 1) 政府で推進している構造物材料技術開発プロジェクトの円滑な推進に向けて協力する。
- 2) 科学技術振興機構の産学共創基礎基盤研究「ヘテロ構造物制御金属材料プロジェクト」に協力を行う。
- 3) 材料戦略委員会、日本学術会議とも連携し、材料分野の学術・技術政策の充実を図る。

6. 内外へのプレゼンスの強化

- 1) 平成27年2月3日に本会創立100周年記念式典を開催し、効果的なプレゼンス向上を図る。
- 2) 創立100周年を記念して「第5版鉄鋼便覧」を発刊する。さらに「鉄鋼材料と合金元素改訂版」の編集作業を進めるとともに、「鉄と鋼」第100巻記念特集号を発刊する。
- 3) 講演大会時の経営トップ特別講演を進めるとともに大会を活用したプレゼンス向上策を検討する。
- 4) 高温酸化・高温腐食国際シンポジウム2014 (ISHOC-14)、第4回国際鉄鋼科学シンポジウム (ISSS 2014) を開催し、国際的な情報発信、国際交流を深める。
- 5) 論文誌のオープンアクセス、会報誌の電子化等最近のICTを活用し、発信力を強化する。

IV. 平成26年度収支予算
収支予算書（損益ベース）

目 目 科	予 算 額	前 年 度 予 算 額	差	異
1 一般行政事務費の部				
1. (1) 経常収益				
特定資産運用収益	15,714,000	13,443,000	2,271,000	
受取入金金	495,000	495,000	0	
受取会費	77,598,000	78,537,000	△ 939,000	
受取会費	434,000,000	434,000,000	0	
事業収益	110,972,000	53,457,000	57,515,000	
受取原書出版料	1,000,000	1,000,000	0	
受取印刷料	32,331,000	3,627,000	28,704,000	
受取会費	3,005,000	3,005,000	0	
受取分相給金	1,230,000	1,140,000	90,000	
受取その他の事業収益	2,642,000	2,075,000	567,000	
受取補助金	1,500,000	1,000,000	500,000	
受取委託金	5,300,000	1,143,000	4,157,000	
受取寄付金	500,000	500,000	0	
雑収益	60,000	62,000	△ 2,000	
受取事務所負担金	114,000	215,000	△ 101,000	
受取事務所負担金	15,000	15,000	0	
経常収益計	699,815,000	630,129,000	69,686,000	
(2) 経常費用				
事業費	144,407,000	153,611,000	△ 9,155,000	
退職給付費用	14,307,000	10,077,000	△ 4,230,000	
福利厚生費	13,166,000	15,351,000	△ 2,185,000	
事務管理費	25,277,000	26,188,000	△ 912,000	
賃借料	182,700,000	183,000,000	△ 300,000	
会費・会費	32,702,000	18,800,000	13,902,000	
旅費交通費	43,645,000	41,727,000	1,918,000	
通信運搬費	20,000,000	16,228,000	3,774,000	
雑費	1,623,000	2,271,000	△ 648,000	
雑費	1,280,000	2,271,000	△ 991,000	
消耗品費	21,500,000	30,500,000	△ 9,000,000	
印刷製版費	5,699,000	4,600,000	1,099,000	
印刷製版費	84,698,000	62,415,000	22,283,000	
印刷製版費	4,770,000	3,868,000	△ 902,000	
長・寄附費	1,848,000	1,872,000	△ 24,000	
印製費	23,111,000	13,242,000	△ 9,869,000	
雑費	22,275,000	13,242,000	△ 9,033,000	
システム活動費	2,006,000	3,319,000	△ 1,313,000	
支払負担金	14,634,000	6,762,000	7,872,000	
委託費	2,236,000	223,000	△ 2,013,000	
委託費	4,230,000	223,000	△ 3,997,000	
臨時職外費	1,410,000	2,078,000	△ 668,000	
臨時職外費	6,588,000	6,479,000	109,000	
会費・課外会費	13,510,000	12,500,000	1,010,000	
研究費	14,715,000	10,347,000	4,368,000	
システム費	3,524,000	4,382,000	△ 858,000	
事業費計	697,577,000	659,465,000	38,112,000	
管理費	19,514,000	18,245,000	1,269,000	
臨時手当等	1,771,000	1,857,000	△ 86,000	
退職給付費用	1,780,000	1,822,000	△ 42,000	
福利厚生費	3,321,000	3,253,000	68,000	
会費・会費	3,232,000	2,810,000	△ 422,000	
旅費交通費	1,669,000	2,392,000	△ 723,000	
通信運搬費	1,661,000	1,724,000	△ 63,000	
雑費	236,000	298,000	△ 62,000	
雑費	1,400,000	1,400,000	0	
印刷製版費	40,000	85,000	△ 45,000	
印刷製版費	791,000	36,000	△ 82,000	
印刷製版費	252,000	224,000	28,000	
印刷製版費	3,715,000	3,664,000	51,000	
委託費	119,000	106,000	13,000	
支払負担金	7,883,000	11,810,000	△ 3,927,000	
委託費	14,000	37,000	△ 23,000	
臨時職外費	14,000	13,000	1,000	
雑費	100,000	100,000	0	
システム費	476,000	518,000	△ 42,000	
システム費	19,497,000	19,497,000	0	
経常費用計	729,097,000	707,226,000	21,871,000	
経常費用計	△ 35,114,000	△ 17,700,000	△ 17,414,000	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0	0	
経常費用	0	0</		

収支予算書は、「公益法人会計基準」（平成20年4月11日改正 内閣府公益認定等委員会）により、損益ベースで作成している。

正味財産 期末残高	1,376,440,248	1,370,090,933
-----------	---------------	---------------

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

世界のPSA技術

住友精化は、PSAガス分離精製装置の専門メーカーです。

O₂、N₂、H₂、CO₂、Ar、CH₄、など先進の各種PSAガス分離精製技術により
数多くの納入実績を有しています。

■ PSAガス分離精製装置

夢をはぐくむ
化学の力

住友精化は、夢を語り、
未来の化学を語る
企業であり続けたいと
考えています。

O₂-PSA

H₂-PSA

N₂-PSA

 住友精化株式会社

ガス事業部 機器システム部

本社(東京) 〒102-0073 東京都千代田区九段北1丁目13番5号(ヒューリック九段ビル)

TEL.03-3230-8576 FAX.03-3230-8528

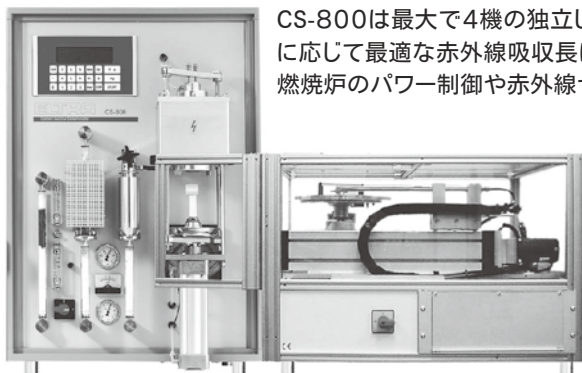
<http://www.sumitomoseika.co.jp/>

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