ふえらむ

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan

Vol.20 / No.5 / 2015
(一社)日本鉄鋼協会会報
ISSN 1341-688X

一般社団法人 日本鉄鋼協会
The Iron and Steel Institute of Japan
https://www.isij.or.jp

ミンコ・熱電対とサンプラー

Minco 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）

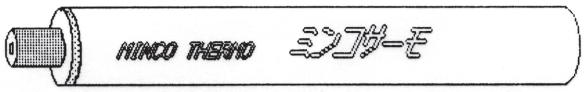
ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。

炉外精錬装置　脱ガス装置　電気炉　レードル　タンディシュ　CCモールド
高炉出銑樋　トピードカー　溶銑予備処理などあらゆる場所から採取できます

■ ミンコサーモ 消耗型熱電対

for IRONS, STEELS, FERROUS ALLOY

MMJ型　消耗型熱電対



TYPE R(13%)　IPTS 1968
白金・白金ロジウム

■ 標 準 試 料

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

日本ミンコ株式会社

ISO9001:2000 認証取得

※お問い合わせは
本　社　〒341-0032
埼玉県三郷市谷中398番地1
TEL.048(952)8701　FAX.048(952)8705
URL　http://www.minco.co.jp

東京事務所　〒166-0012
東京都杉並区和田3-36-7
TEL.03(5306)6265　FAX.03(5306)6268

MINCO U.S.A (WISCONSIN)
MINCO GERMANY (DÜSSELDORF)
MINCO AUSTRALIA (WOLLONGONG)

ふぇらむ
Vol.20 (2015) No.5

C O N T E N T S

目 次

Techno Scope　医工連携で注目を集めるチタン製カスタムメイドインプラント …… 166

連携記事　金属3Dプリンタの課題と将来展望
京極秀樹 …… 170

2014年鉄鋼生産技術の歩み
日本鉄鋼協会　生産技術部門 …… 176

入門講座　鉄鋼の日本工業規格－4
高炭素クロム軸受鋼（SUJ）
藤松威史 …… 195

躍動　高炉操業の安定化のために
田川智史 …… 202

会員へのお知らせトピックス …… 206

ホームページ　https://www.isij.or.jp

医工連携で注目を集める

チタン製カスタムメイドインプラント

チタン合金製人工股関節ステムを
つくりこむ型鍛造の様子

痛みを取り除き正常な関節の動きで
歩行能力を改善する人工股関節置換(イメージ)
(クレジット: ゲッティ イメージズ)

高齢化に伴って身体機能を補うため、生体内に人工関節などのインプラントを埋入する整形外科手術が急速に増加している。インプラントの材料には、生体適合性が要求されることから、チタンが広く適用されている。患者個々の骨格構造や症状などに適合化したカスタムメイド医療が求められているなか、医工連携によってインプラント製造技術が進化し、チタンの可能性が広がっている。

(左「型鍛造写真」出典:(独)産業技術総合研究所ヒューマンライフテクノロジー研究部門
高機能生体材料グループ 岡崎義光 上級主任研究員
「医療用チタンの薬事申請について」(平成26年度夏季賛助会員総会))

インプラントの約90%を海外に依存

総務省統計局の調べによれば、日本の65歳以上の人口が2013年に3,186万人となり、総人口に対する割合が25%を初めて超えた。類を見ない高齢化社会の到来に伴って、整形外科で入院・手術が必要となる運動器疾患が急増している。疾患内容は背骨(脊椎)の圧迫骨折や足の付け根(大腿骨頸部)の骨折といった骨粗鬆症が関連する骨折、椎間板の変性による変形性脊椎症、腰部脊柱管狭窄症など背骨の疾患である。これらの骨折や疾患は起立や移動を困難にし、生活機能を大幅に低下させる。こうした運動器疾患対策として関節障害や骨折手術・変形矯正手術の治療に、人工関節・骨接合用材料などの整形インプラントが用いられている(図1)。

整形インプラントは、その有効性や安全性が認められ、術後10～20年間の耐久性が示されてきた。部材は強度と延性のバランスが優れた金属材料がほとんどを占め、ステンレス鋼、Co-Cr-Mo合金およびチタン合金材料が使われている。整形インプラントではニッケルを含有する合金でもニッケルの溶出量が少なく、アレルギーなどの問題はほとんど見られないが、ニッケルを含むステンレス鋼の使用は減少している。Co-Cr-Mo合金は、人工股関節の骨頭、人工膝関節の大腿骨側摺動部材を中心に使用されている。またニッケルと鉄が添加されたCo-Cr-Ni-Mo-Fe合金は加工性に優れ、脊椎固定具や人工骨などの硬組織に埋入されるワイヤー製品に使われている。

整形インプラント分野の世界的市場規模は9,000億円に達し、年率5%以上の伸びで推移している。チタン合金材料も整形インプラントを中心に持続的な成長が見込まれている(図2)。こうしたなか、日本では整形インプラント製品の約90%を海外製品に依存しており、製品に使用する素材までも輸入に依存する傾向が強まっている。海外製品は欧米人の平均骨格形状や生活様式に基づいた設計による画一的なサイズのみで、日本人の骨格形状や生活様式への不適合が存在する。これまで海外製品の形状に合わせて整形外科医が患者の骨を削ることで対応してきたが、患者のQOL(生活の質)を向上させるため、これからは個々の骨格構造および症例に最適化したカスタムメイドインプラントを用いた治療の実現が求められている。

デバイスラグを生む薬事法の壁

厚生労働省の薬事工業生産動態統計によれば、日本の医療機器市場は、2013年に約2.7兆円となり過去最大規模となった。製品別にみると整形インプラントが大きく、冠動脈疾患の治療などに用いられるステントが急激に伸びている。歯科充填材料については、整形インプラントの4分の1程度の生産金額だが、

国内製品がほぼ100%のシェアを占めているのが大きな特徴だ。

整形インプラントは市場規模が大きく、医療機器自給率の向上と国内産業の活性化が期待されているにもかかわらず、海外企業による独占状態が続き、国内製品の普及が進まなかった。その要因の1つに、薬事製造承認の取得があげられている。日本では整形インプラントの開発は、一般工業製品と異なって、薬事製造許可を取得しなければならない。薬事法では不具合が生じた場合に人体のリスクが比較的高いクラスⅢおよびクラスⅣに分類され、高度管理医療機器に位置付けられている。そのため厚生労働大臣による承認と、大臣認可のためPMDA（医薬品医療機器総合機構）での審査が必要だ。日本では国が品質や有効性、安全性などを保証する体制が確立されている。しかし第三者機関が承認する欧米に比べ、薬事申請までに生じる開発ラグと薬事審査に要する時間により生じる審査ラグが課題となり、医療機器の承認・認証をめぐる国際的な時差（デバイスラグ）が指摘されてきた。

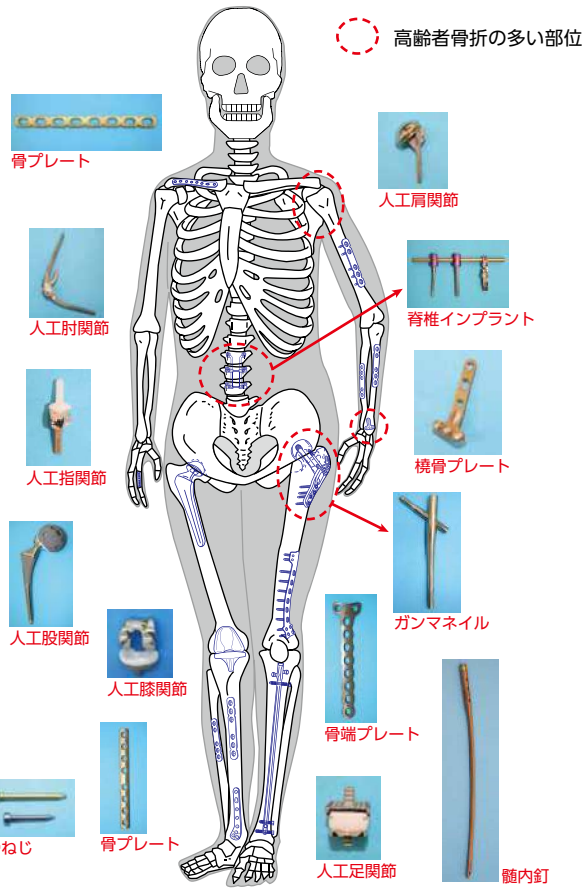
医工連携でカスタムメイドを目指す

こうしたなか、国内製品普及のためにオールジャパンでの対応を後押しする政策が展開されている。まず2005年から第三者認証制度に従いJISを引用した認証基準で審査され、製造承認の審査過程が透明化・迅速化された。チタン合金では引張強度800MPa以上、伸び12%以上の合金がJIS化され、耐食性を向上させる元素であるジルコニウム、ニオブ、タンタルを複合添加した日本独自のチタン合金として開発されたTi-15Zr-4Nb-4Ta合金も規格化された。JIS原案作成委員会などの場で医工連携が促進され、臨床的に要望の強い骨格構造に最適化した製品を実用化する機運が高まった。

また2014年11月25日に薬事法が改正された。医療機器の製造業については許可制から登録制に改められ要件が簡素化されるとともに、民間の第三者機関による認証制度を高度管理医療機器に拡大する措置が取られ医療機器の迅速な実用化が期待され、ビジネスチャンスが広がった。さらにレギュラトリーサイエンス（RS）の振興を規定した健康・医療戦略推進法が2014年5月23日に参議院本会議で可決され、法律として制定された。RSとは品質、有効性および安全性を科学的知見に基づき適正かつ迅速に予測、評価、判断することに関する科学のことで、医療機器の開発・実用化促進のためのガイドライン策定を推進していくことが規定されたことになる。

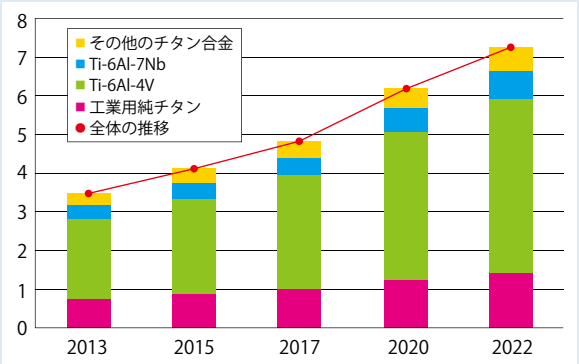
患者の骨格構造および症例に最適化したカスタムメイドインプラントの開発ガイドラインの策定は、次世代医療機器評価指標検討会（厚生労働省）と医療機器開発ガイドライン評価検討会（経済産業省）の合同事業として行われている。医療機器開発ガイドラインについては、これまで次世代（高機能）人工股関節、ハイブリッド型人工骨・骨補填材、カスタムメイド骨接合材料、カスタムメイド人工股関節、カスタムメイド人工膝関節が策定され、経済産業省や（独）産業技術総合研究所のホームページに掲載されて

●患者のQOLを向上させる整形インプラント（図1）



（出典：（独）産業技術総合研究所ヒューマンテクノロジー研究部門
高機能生体材料グループ 岡崎義光 上級主任研究員作成資料）

●医療用チタン合金材料市場の予測（図2）



ステンレス鋼やコバルト合金に比べ、生体適合性に優れるチタン合金材料は、世界的に見ても、整形インプラントを中心に医療用分野で持続的な成長が見込まれている。なかでもTi-6Al-4V合金の使用量が、今後とも伸びると予測されている。

（出典：2014年版「Global Biomedical Metal Market」Market Report（1ドル100円換算））

いる。審査ガイドラインについても厚生労働省やPMDAのホームページに掲載されており、開発段階から活用することで、カスタムメイドインプラントを用いた治療の実用化への期待が高まっている。

進化する型鍛造成型技術

カスタムメイドインプラントを用いた治療を実現するため、整形インプラントの製造プロセスの高度化については、型鍛造成型技術と積層造形技術の開発が進んでいる(図3)。

チタン合金材料の型鍛造成型技術は、合金のミクロ組織制御と製品形状成形を同時に行うことで、製品の強度、延性、疲労特性などの素材強度が鋳造材あるいは鍛造材の加工品に比べて高まり、品質と力学的安全性が向上する。ステンレス鋼に比べて高温変形性に優れるチタン合金の溶製プロセスは、まず目的組成となるようにスポンジチタンをプレスした電極を、真空アーク溶解技術で1次溶解した高生体適合性チタン合金を2次溶解する。2次溶解したインゴットを1,200～1,250 ℃程度の高温で5時間以上保持する均質化処理を施した後、分塊鍛造によりスラブを製造する。その後、丸棒圧延プロセスなどを用いて短時間・低コストでチタン合金丸棒を製造し、丸棒を切断し鍛造温度まで加熱後、型鍛造成型することによって材料の歩留りも向上する。

チタン合金丸棒材の化学組成、ミクロ組織、強度、延性、耐食性は、国内外のインプラント用材料の規格値を満たしている。疲労試験では約10年間の使用に相当する10^7回疲労強度700～900 MPaが得られ、400 MPa以上の目標を達成している。

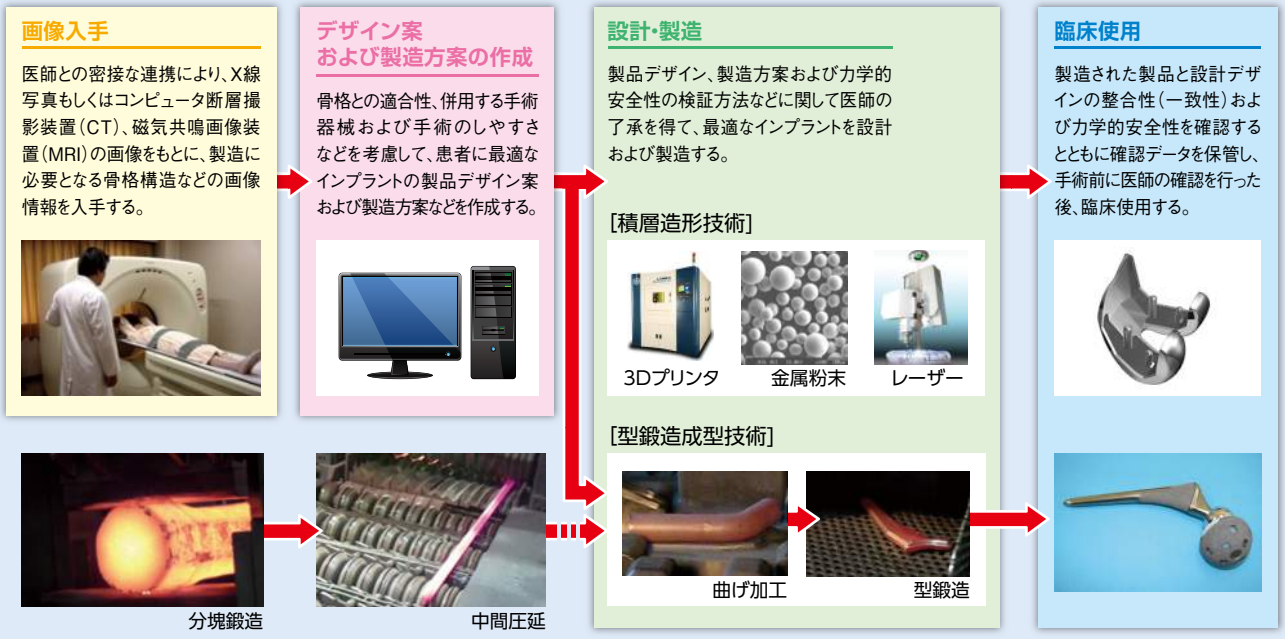
こうして製造されたチタン合金は、力学的安全性を検証した後、整形インプラントの設計デザイン通りに機械加工されていくのが、代表的な方法である。

積層造形技術への挑戦

一方、積層造形技術は、三次元CADデータを基に層状に立体造形するもので、加工方法の検討や金型を作製することなく製品を直接製造できるため、多品種単品生産の場合、従来と比較して大幅な製造期間の短縮とコスト低減が可能となる。形状形成では海綿骨形状、多孔体構造、三次元内部構造、中空構造、緻密体と多孔体の一体構造などの複雑形状でも、自由に短期間で製造することができる。またカスタム化が容易なため、骨欠損を伴う部位の各種人工関節(腫瘍、関節リウマチに伴う骨欠損など)の製造に利点がある。ただし考慮すべき点としては、力学強度の担保、空隙の形成、構造欠陥形成の可能性、異方性および残留応力の発生、表面の平滑化が困難なこと、残留粉末の除去処理、寸法精度、積層造形に最適な粉末の開発、推奨すべき粉末仕様などがあげられる。例えば粉末原料について見ると、チタン合金の融点は1,600～1,700 ℃、コバルトクロム合金は1,400 ℃で、チタン合金を溶かす方が多くのエネルギーを必要とするため、材料と供給できる粉末の大きさによって仕様を選択しなければならない。

こうした考慮すべき点を克服するため、さらなる技術革新が求められるが、金属粉末の三次元積層造形装置は現在その大半が海外製品に依存している。経済産業省は2014年度から

●カスタムメイド整形インプラントの製造プロセス(図3)



患者のCT情報から設計・加工技術までの連続化が実現

TOPICS 1 脊椎用カスタムメイドインプラントの研究開発例

京都大学医学部整形外科グループは、選択的レーザー溶融（SLM）法を用いた脊椎用カスタムメイドインプラントを開発し、京大医の倫理委員会の承認を得て、医学部附属病院で臨床試験を行っている。

SLM（Selective laser melting）とは、設計図に従いチタン粉末をレーザー照射で溶融し、この操作を繰り返して積層させることで三次元的な構造体を造形する3Dプリンタ（三次元積層造形）技術の1つだ。100 μm単位の微細な構造を造形でき、表面の化学処理を組み合わせることで、チタン金属を生体骨と埋植早期に強固に結合させることが可能となる。微細構造の造形によりインプラント外形状の精度は向上し、インプラント内部にも周囲の骨から新生骨が侵入しやすい格子状構造を造形できる。表面処理はすでに人工股関節で臨床応用されており、安全性と有効性が確認されている。

この技術を脊椎疾患に用いることにより、手術侵襲が低減するとともに手術の正確性・安全性が向上し、早期社会復帰が可能となることが期待できる。また同時に、この技術は九州大学病院顎顔面口腔外科で歯槽骨欠損に対する歯槽骨造成術および顎骨腫瘍切除後の顎骨再建術にも応用されている。研究開発は経済産業省の支援を受け、京都大学と九州大学がインプラントのデザインと臨床試験、中部大学がインプラントの力学試験や表面処理技術の開発、佐川印刷（株）が研究の総括および造形技術の開発を担う共同体制で行われている。

膨隆した椎間板により圧迫される脊髄（矢印）

頸椎インプラントを埋入した状態

TOPICS 2 三次元曲面加工技術を適用した人工関節の開発例

ナカシマメディカル（株）（岡山県岡山市）では、船舶のプロペラ製造で培った複雑な三次元曲面加工や、職人技を要する鏡面研磨の技術を人工関節のインプラント製造に応用している。メディカル事業を開始した経緯は、ある医師から「チタン合金でプロペラを製造できるなら、同じような技術を要する人工関節に『生体親和性の高いチタン合金』と『曲面加工の技術』を活かしたらどうか」とアドバイスされたことに始まる。

人工関節の製品寿命は一般に約15年と言われている。製品を長寿命化するためには摺動面の摩耗を小さくしなければならない。摺動面は形状が複雑なため研磨は困難を極めたが、同社では鏡面に磨き上げることに成功した。さらに5軸複合旋盤を用いた製造工程を構築し自動化を図り、リードタイムの短縮や多品種少量の生産体制を強化した。また金属摺動部材の相手材になる超高分子量ポリエチレン製摺動部材の力学特性の改善や耐酸化特性を向上させることで材料安定性を高め、耐摩耗性を向上させる開発が行われている。これにより手術適応年齢の引き下げや再置換回数の低減などを可能にし、患者のQOL向上を図っている。

5軸複合旋盤を導入し加工から研磨まで自動化

ビタミンEを添加した摺動部材で耐久性を高めた人工膝関節

「三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム（次世代型産業用3Dプリンタ技術開発及び超精密三次元造形システム技術開発）」を実施している。委託先に近畿大学が選定され、東北大学も参画する。ビーム光源メーカー、積層造形装置メーカー、金属粉原料メーカー、航空・宇宙関連メーカー、医療機器メーカー、自動車関連メーカーなど、日本の企業・団体の英知を結集し、5年間の予定で三次元積層造形技術や粉体材料の多様化・高機能複合化の技術開発などを行い、2020年にも最高水準の国産3Dプリンタの開発を目指している。

高まるチタン需要への対応

新しい材料や技術を用いると、一般的に普及している材料や技術を使う場合に比べて製造コストが高くなる。またカスタムメイドの整形インプラント製品は、個人の症例に合わせて設計・製造するため、既製品に比べて製造コストが増大する。そのため鍛造技術と積層技術をうまく組合せて低コスト化を図ることなどが必要だ。

高齢化の進展と新興国における医療需要拡大を受け、医療機器の世界市場は約8%の成長率を維持しており、今後も拡大すると予測されている。日本の医療サービスと機器一体となった海外展開を官民一体で推進することにより、開発した整形インプラント製品の輸出の拡大を図ることが可能だ。さらに国内で素材供給から整形インプラント製品まで一貫した生産体制が構築されれば、素材であるチタン需要も拡大する。

医療現場のニーズ把握、薬事法対応、販路開拓などハードルの高い多数の課題が存在するものの、現在、関係各省や関連機関、企業、地域援機関の医工連携が着実に進んでおり、開発初期段階から事業化に至るまで切れ目なく支援するネットワークが構築されようとしている。素材供給が十分でないところでの新たな製品開発は難しい。高品質・少量多品種生産にも柔軟に対応する鉄鋼メーカーのものづくり力に、大きな期待が寄せられている。

●取材協力　（独）産業技術総合研究所、京都大学医学部、ナカシマメディカル（株）
●文　杉山香里

連携記事

金属3Dプリンタの課題と将来展望

The Issues and Future Perspective of Additive Manufacturing Technology for Metals

京極秀樹
Hideki Kyogoku
近畿大学工学部　教授
次世代基盤技術研究所
3D造形技術研究センター　センター長

1 はじめに[1-4)]

最近の3次元積層造形技術の進展は目覚ましく、樹脂材料を対象とした3Dプリンタはもちろんのこと、金属材料を対象とした積層造形装置まで性能に優れる積層造形装置が開発され、適用製品や材料も多岐にわたってきている。3次元積層造形技術は、最近までRP (Rapid Prototyping)、RM (Rapid Manufacturing) 等の名称で呼ばれてきたが、2009年のASTM F42委員会においてAM (Additive Manufacturing) と呼ぶことが決定され、欧米では、樹脂を噴射する3Dプリンティングと区別している。金属積層造形技術の変遷をまとめたものを図1に示す。本技術の適用分野は、樹脂材料において、従来から利用されている日用品はもちろんのこと、自動車・航空宇宙などの試作品の分野から、最近脚光を浴びている医療分野における生体モデル、インテリア・宝飾など、昨今の3Dプリンタブームによりその裾野を急速に広げてきている。一方、金属材料においても、金属3Dプリンタの性能の大幅な向上により、航空・宇宙、自動車、産業機器用部品、さらにはインプラントなどの医用材料へとその利用範囲はますます拡大してきている。また、セラミックス材料についても、造形装置が開発されており、かなり精度のよい製品の開発ができるようになってきている。

本技術の最大の特徴は、従来の加工法では不可能であった形状で、かつ表面および内部構造までを考慮した製品の製造ができる点である。すなわち、トポロジー最適化法などのシミュレーションにより設計された製品や人体の複雑な3次元形状をCT (Computed Tomography) などで読み取り、造形する生体用インプラントなど、従来の加工法では不可能な

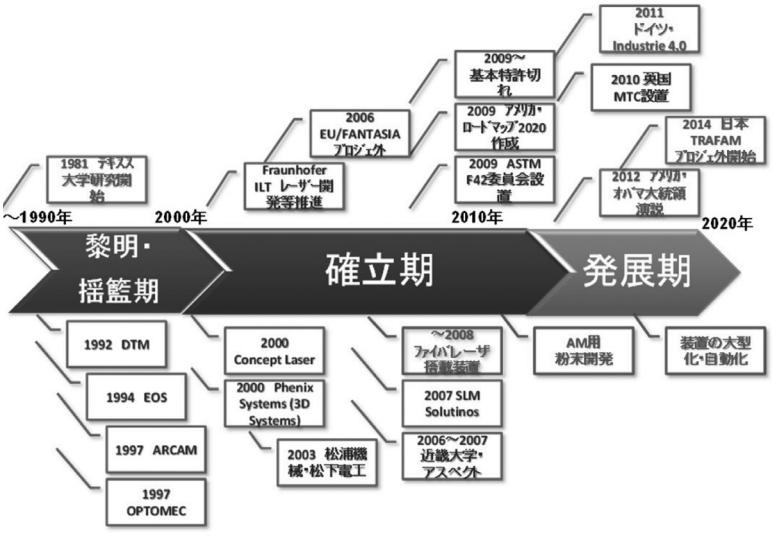


図1　金属積層造形技術の変遷

形状の製品を加工できる。また、切削加工では基本的に表面データを扱うが、AM技術では表面はもちろんのこと内部構造も取り扱うことができ、表面にテクスチャを付与させたり、内部をラティス構造や傾斜構造にすることが可能である。このような内部構造の記述は、航空・宇宙、自動車、産業機器などの製品の軽量化や生体材料における機能化を図る上で重要である。形状データは一般にSTL（Standard Triangulated Language）フォーマットであるが、ASTM F42委員会において、形状データだけでなく材質、内部組織なども考慮したAMF（Additive Manufacturing File）フォーマットが提案されている。

医療分野への主な適用事例についてみると、主として光造形により作製されるスキャフォールド（細胞の増殖を促して構造を保持するための環境である「足場」）や手術に利用する生体モデル、粉末積層溶融法により作製される生体に埋入するチタン及びチタン合金などの金属製インプラント、さらには歯科用インプラントやクラウンなどがあり、今後ますます利用の拡大が予測される。

本稿では、AM技術の現状、課題および将来展望について、医療分野への適用例を中心に紹介する。

2. AM技術の現状

2.1 AM技術の分類

AM技術は、ASTM F 42 委員会により、表1に示すカテゴリに分類されるなど、規格化が進められており、ISOもASTMと協調して規格化している。以下に、金属製品に関わる主なAM技術である、粉末積層溶融（Powder Bed Fusion）法と溶融堆積（Directed Energy Deposition）法の概要を述べる。

(1) 粉末積層溶融法

レーザビームあるいは電子ビームを熱源とした代表的な積層造形法で、樹脂粉末あるいは金属粉末を焼結あるいは溶融して積層造形する方法で、選択的レーザ焼結あるいは溶融法と呼ばれている。レーザを用いた方式では、CADデータをSTLファイルに変換して、ガルバノメータミラーを介してレーザを照射して、敷き詰めた粉末を焼結あるいは溶融する工程を繰り返すことにより積層造形を行う。また、電子ビームを用いた方式では、電子ビームにより高速かつ高温（材料により異なる）で仮焼結を行った後、積層造形を行うため、異方性を有する組織となることが多い。このような方式の違いにより、適用材料や造形体の組織、精度などの違いが生じる。

(2) 溶融堆積法

Fraunhofer研究所で開発したレーザ金属堆積（LMD：Laser Metal Deposition）法、Sandia国立研究所が開発したLENS®（Laser Engineered Net Shaping）法などがあり、金属粉末を噴射あるいはワイヤーを供給しながらレーザビームあるいは電子ビームを照射して溶融金属を堆積して積層造形する方法である。本法では、単純形状で、表面粗さや精度は粉末床溶融法には劣るものの、多色積層造形やアスペクト比の大きい製品の製造が可能である。また、真密度に近い複雑形状品の作製が可能となっており、アルミニウム合金、ステンレス鋼、工具鋼、チタン合金などの材種にも対応できるようになっている。

表1　ASTMによるAM技術の分類[5)]

Category	Description
Binder Jetting	Liquid bonding agent selectively deposited to join powder
Material Jetting	Droplets of build materials selectively deposited
Powder Bed Fusion	Thermal energy selectively fused regions of powder bed
Directed Energy Deposition	Focused thermal energy melts materials as deposited
Sheet Lamination	Sheet of material bonded together
Vat Photopolymerization	Liquid photopolymer selectively cured by light activation
Material Extrusion	Material selectively dispended through nozzle or orifice

2.2 金属粉末積層造形装置の現状[1-4)]

(1) 粉末積層溶融法

最近の金属粉末を対象としたレーザ積層造形装置の性能の向上は目覚ましく、レーザには400 Wあるいは1 kWの高出力ファイバーレーザが搭載されてきているとともに、多光源化が進んできている。このようなレーザの高出力化・多重光源化により製品製造における高速化・高精度化を進める傾向にある。最近の代表的な金属粉末積層造形装置の仕様を表2に示す。SLM Solutions社では、高速化のために400 Wと1 kWの2つのレーザを搭載した装置を開発しており、造形速度の高速化が図られてきている。インプラント製造可能な金属レーザ積層造形装置については、海外メーカーでEOS社（ドイツ）、Concept Laser 社（ドイツ）、SLM Solutions社（ドイツ）、Renishaw社（英国）、Phoenix社（フランス）（2013年、3D Systems社（アメリカ））などがある。我が国では、（株）松浦機械製作所の装置があり、切削機能を有している。一般

表2　金属粉末積層造形装置の仕様（各社カタログより）

Machine	EOS M280	SLM SLM280HL	Concept Laser M2	3D Systems ProX300
Laser type	Fiber laser	Fiber laser	Fiber laser	Fiber laser
Power (W)	200 or 400	400/1000	200 or 400	500
Spot size (μm)	100～	70～120	50～200	—
Scan speed(m/s)	～7	～15	～7	—
Layer thickness (μm)	20～	20～75	20～80	10～100
Build speed (cm^3/h)	20	20～35	2～20	—
Build size (mm)	250x250×325	280x280x350	250x250x280	250x250x300

的には、表2に示すように造形サイズ250 mm×250 mmが一般的ではあるが。例えば、歯科用材料や宝飾品のような小物の製作に関しては、各社から小型装置が開発されているのに対して、Concept Laser社がFraunhofer研究所およびDimler社と共同で超大型自動車試作品用装置を開発している。我が国では、(株) 松浦機械製作所による切削機能を付加した複合装置がある。これにより、高精度・高機能金型の作製などが可能である。また、2014年秋にソディック (株) がほぼ同様の複合機を開発している。

また、電子ビームを光源とした積層造形装置は、ARCAM社 (スウェーデン) が唯一開発している。電子ビームを利用した場合には、真空雰囲気中での造形となるためチャージアップの問題などがあり、仮焼結の過程を経たのち造形を行う点がレーザの場合と大きく異なる点である。真空での造形のため酸化が問題となるチタンおよびチタン合金を中心としたインプラントや航空・宇宙部品の製造などに利用され、急速に拡大してきている。

(2) 溶融堆積法

Optomec社などから実用機も販売されている。最近では、大型の製品の作製も可能となってきているため、航空宇宙用の大型製品手の適用が期待されている。また、2013年から2014年にかけて、DMG森精機 (株)、ヤマザキマザック (株) が切削機能と融合した複合機を開発している。

(3) 金属3Dプリンタの課題

上述したように、製品化されている装置の造型サイズは250 mm×250 mmが標準であるため、適用製品のサイズが限定され、ユーザーからは大型化への要望がある。大型化に際しては、多光源化が必要となり、これに伴って高速化も要求される。それゆえ、レーザや電子ビームの高出力化も重要となり、高品質のレーザ発振器や長寿命である電子銃の開発が必須である。製品精度についてはレーザや電子ビーム光源の高品質化や照射パターンの最適化が必要となる。表面粗さについても鋳造品以上のものが求められてきており、さらなる微細粉末を利用可能な積層技術の開発などが必要となる。

このように、金属粉末を対象とした積層層造形装置については、ユーザーからの要望を大別すると、①高速化、②高精度化、③大型化が求められている。

また、溶融堆積方式の装置においては、大型製品への適用が可能であるが、複雑形状品の造形の難しさ、精度や表面粗さの問題があり、これらが改善されれば、さらなる応用範囲が広がるものと考えられる。そのためには、新たなノズルの開発や粉末噴射とレーザ出力の制御などが必要となる。樹脂材料において実現されてきている多種類の樹脂に対応した多色化・傾斜機能化の要求が金属材料おいてもあり、研究開発が必要である。

2.3 金属粉末

現状では装置メーカーが金属粉末を指定することが多く、このため材質的にも制限され、ユーザーの要求にあった仕様となっていない点や価格が非常に高い点が問題となっている。造形可能な材料の種類については、多くの材料について可能となっている。欧州ではAM用粉末の開発を行っているメーカーが数社あり、すでにAS9120 (航空宇宙) の認証を受けた粉末製造メーカーもある。本技術を普及させるためには、今後、粉末の低価格化を図っていくことが必要である。

金属粉末の粒径、粒度分布などの特性と造形条件の関連性については、装置性能への依存性も大きく、ユーザーにとっては、本技術を導入するためのハードルとなっている。このため、粉末特性と造形条件を考慮した最適条件を示すプロセスマップ、いわゆるレシピの作成が重要である。最近では、最適条件を予測するシミュレーション開発がアメリカやヨーロッパで行われているが、大型コンピュータの利用が必要であるなど、解決されるべき問題が多くある。

2.4 対象材料とその特性

積層造形により造形可能な金属材料は、装置の性能向上にともない多種多様となっている。従来はステンレス鋼、銅合金が中心であったが、最近では、工具鋼、生体材料用コバルトクロム合金、さらには航空宇宙用として利用されている耐熱・耐食用インコネル合金、チタン合金、アルミニウム合金など幅広い材質の製造が可能である。レーザ積層造形による造形体の機械的性質および表面粗さの値を表3に示すが、溶製材に匹敵する特性が得られるようになってきている。疲労強度についても、造形体だけでなくHIP処理をしたものについて報告がなされている。造形体の疲労強度は鋳造材よりかなり劣るが、HIP処理を施すことにより大幅に改善され、鋳造材よりもかなり高い値を示す[6]。

表3 レーザ積層造形体の機械的性質および表面粗さ (SLM Solutions社 データシートによる)

Metal or Alloy	0.2% Yield strength(MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HRC)	Surface roughness Rz(μm)
Ti	>180	>290	>20	-	36±4
Ti-6Al-4V	>865	>972	>10	37.3	36±4
Ti-6Al-7Nb	>905	>1020	>10	39.4	36±4
Co-Cr-Mo (ASTM F75)	>835	>1050	-	35	29±4
316L	525±30	625±30	-	237±4HV	38±4
15-5PH	1050±30	1100±50	16±4	32±3	14±2
H13	-	1730	-	54	34±4
AlSi	211	409	5	105HB	34±4
Inconel 718	858(±120)	1150(±140)	18(±5)	-	30
Inconel 625	410	680	30	-	28
Inconel HX	400	910	35	-	28

電子ビームの場合、ほぼ溶製材に近い値あるいはそれ以上の機械的特性が得られている（表4）。また、疲労強度についても、ARCAM社のデータシートにより、次の通り示されている。

・チタン合金（Ti-6Al-4V、Ti-6Al-4V ELI）

10^7回疲労強度：＞600 MPa

・生体材料用コバルトクロム合金（ASTM F75）

10^6回回転曲げ疲労強度：＞610 MPa

しかし、積層造形体では、組織が鋳造材と大きく異なり[7]、造形方向を考慮した特性を把握しておく必要がある。とりわけ、電子ビームでは従来の溶製材とは組織が大きく異なることが報告されており[7]、組織との関連も含めて詳細な検討が必要である。例えば、ASTM　F2971-13規格[8]では、X、YおよびZの3方向に造形した試験片による評価が求められている。

3 医療分野への適用例[9-11]

3.1 積層造形プロセス

積層造形においては、CADデータから形状データをSTLデータに変換して、レーザや電子ビームを操作して造形するが、生体では形状が複雑であるため、CTなどからDICOM（Digital Imaging and COmmunication in Medicine）データとして形状を読み取り、STLデータなどに変換する。図2に、医療分野における積層造形プロセスの例を示す。この図に示すように、CT、MRI（Magnetic Resonance Imaging）あるいはスキャナから画像データを取り込み、3Dモデリングを行い、このデータからCADによる最終的なシミュレーションを行った後、造形装置によりインプラントを作製する。具体的に骨構造データの構築の流れについてみると、カスタムインプラントにおけるデータの取り込みは、主として患者のCT画像のDICOMデータから行う。この画像データから必要部分のみをSTLデータあるいはIGES（Initial Graphics Exchange Specification）データとして分離して、インプラントの3Dモデリングを行う。その後、Solid Works、I-DEASなどの3D-CAD上で外表面の形状のスムージング等を行い、3D-CADデータを作成する。さらに、骨内部をCTあるいはMRI画像データと照らし合せながら、骨構造に近い3D-CADデータを作成する。このデータにより形状及び構造解析などのシミュレーションを行い、形状最適化を図り、最終的な3D-CADデータをSTL データに変換して、これにより金属レーザ積層造形装置あるいは電子ビーム装置でインプラントの造形を行う。なお、実際にインプラントに求められる精度は、±0.5 mm以内とされている。現在では、手術方法のシミュレーションも行いながらインプラント形状の最適化を図るソフトウェアも開発されている。

表4　電子ビーム積層造形体の機械的性質（ARCAM 社データシートによる）

Metal or Alloy	0.2% Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HRC)	SurfaceRoughness Rz(μm)
Ti ASTM grade2	540	570	21	-	-
Ti-6Al-4V	950	1020	14	33	-
Ti-6Al-4V ELI	930	970	16	34	-
Co-Cr-Mo(ASTM F75)	560	960	20	34	-

3.2 医療分野に利用される金属材料およびその特性

(1) 材質

一般的に、インプラント材料としてASTMに規格化されている金属材料は、ステンレス鋼、コバルトクロム合金、チタンおよびチタン合金である[9]。積層造形で利用されているインプラント用としては、チタンおよびチタン合金（Ti-6Al-4V、Ti-6Al-7Nb）、コバルトクロム合金およびステンレス鋼（SUS316L）などがある。従来の装置による材料では、密度が不十分なため、伸びが十分に出ていないことが報告されていたが、最近の装置では、造形条件設定を的確に行うことにより、ほぼ真密度に近い造形体が得られるため、延性・強度とも溶製材に匹敵している（表3）。また、電子ビームにおいては、上述したように組織の異方性を生じるために、この点を考慮した評価が必要である。

(2) 精度および表面粗さ

現在の金属レーザ積層造形装置では、一般的に製品精度は、形状にもよるが50～100 μm程度といわれている。EOS社のカタログでは、歯科インプラントでは最小±20 μm程度の精度で製品が製造できると記載されている。インプラントにおいては、表面性状も重要となり、表面粗さR_zはほとんどの材料で40 μm程度であるが、15-5PH析出硬化系ステンレ

図2　医療分野における積層造形プロセスの例

ス鋼では最小15 μm程度で、材料によっても変化する。このような、精度と表面粗さの向上は、今後の課題となっている。

(3) 表面および内部構造の表現[10,12]

3次元積層造形においては、複雑な表面構造や内部構造を有する製品を造形できる点が大きな特徴でもある。インプラントにおいては、骨に近い組織および弾性係数などの機械的性質を持たせる必要があるため、材質ならびに表面構造と併せて内部構造の表現が重要である。このメッシュ構造、ラティス (Lattice) 構造の表現については、これまでも種々の提案がなされており、ソフトウェアとして提供されている。金属積層造形におけるメッシュ構造の例を図3に示す。これらの表現が可能なソフトウェアを導入することにより、材料の軽量化はもとより、弾性率などの機械的性質の制御、表面構造においては、骨芽細胞の導入と破骨細胞の侵入制御などが可能となる。

3.3 医療分野における要求項目[13,14]

医療分野において特に注意する点は、人体への安全性の問題である。特に評価すべき安全性項目については、次の2点である。

①人体に有害な元素の含有の評価

人体に対する元素の有害性については多くの報告[15,16]があり、粉末の元素分析については、確実に実施する必要がある。また、積層造形体の耐食性についても、上記有害元素の溶出の有無について、評価しておくことは重要である。

②力学的評価

インプラントにおいては、埋入後に破損しないように、引張特性、曲げ特性、疲労特性などの機械的性質について評価しておくことは重要である。インプラント材料として一般的に利用されているチタンおよびチタン合金、ステンレス鋼、コバルトクロム合金の積層造形体の引張強度については、表2のようにカタログなどで示されており、溶製材に匹敵する値が得られている。現在、これらの材料についてもASTMやISOにおいてTi-6Al-4V、Inconel 718が規格化されている。疲労特性については、十分なデータが示されているわけでなく、試験方法も含めて今後の課題である。現状では、強度評価については、JIS規格などと比較評価する必要がある。

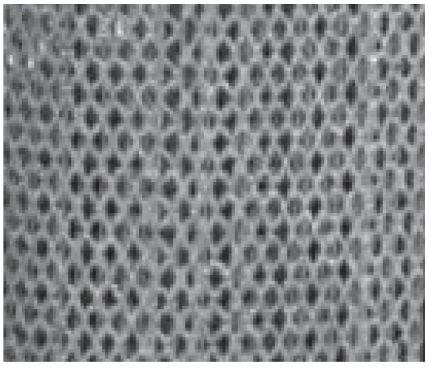


図3　金属積層造形におけるメッシュ構造の例

3.4 医療分野への応用例

医療分野への主な応用例としては、インプラントがある。インプラントの代表的な例としては、人工股関節（骨頭およびステム）インプラント、人工膝関節用インプラント、脊椎用インプラント（Ti-6Al-4V)、歯科用クラウン・ブリッジ（CoCrMo）などがある。Lima社をはじめ、数社が電子ビームあるいはレーザビーム積層造形装置によりこれらの製品を製造している。我が国においても、ナカシマメディカル社をはじめとして数社が開発中で、その一例を図4に示す。

4 将来展望

平成26年2月に公表された経済産業省「新ものづくり研究会」報告書[17]によれば、2020年には、世界における経済波及効果は21.8兆円、装置などの直接効果も1兆円以上と試算されている。レーザを利用した粉末積層溶融法および粉末噴射堆積法による装置の性能も、ここ数年で大幅に向上してきており、一層の拡大が予測される。しかしながら、積層造形装置の性能については、ユーザーからは現状ではまだ種々の面で不満足な点も多く、今後は造形品の高精度化および造形速度の高速化が可能なだけでなく、ユーザーフレンドリーな操作性を可能とするソフトウェアを搭載した装置開発が求められている。特に医療分野においては、CTやMRIのデータ処理の問題は大きく、これがうまくできなければ高精度の造形品も製造できないため、これらのノウハウを包含するソフトウェア開発も重要である。

このような中、2014年度より経済産業省の国家プロジェクトが開始され、世界最高水準の次世代型産業用3Dプリンタの開発が行われている[18]。本プロジェクトにおいては、世界最高水準の造形速度、高精度化、大型化さらには複層化を目指しており、金属積層造形においても装置の機能の大幅な向上が期待できる。また、我が国の企業に相応しいソフトウェアも含めた装置開発がされれば、設計・製造技術の革新がなされるものと期待される。

5 おわりに

金属積層造形技術は、レーザ性能の向上、ソフトウェアの開発などによる装置の高機能化が進んできているとともに、粉末製造技術の向上により、ますます製品の高精度・高機能

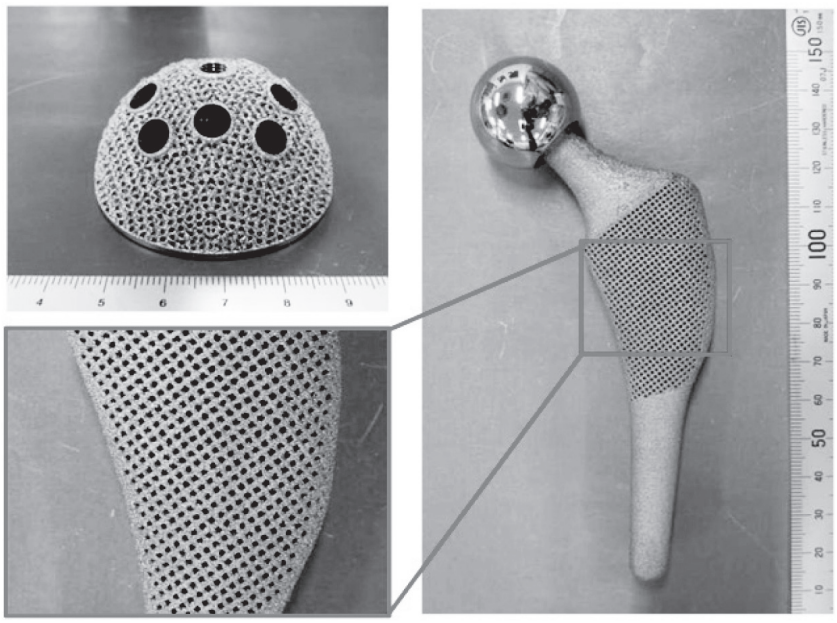


図4　人工股関節用インプラント（ナカシマメディカル（株）の好意による）

化が進むものと予測される。また、ソフトウェアや金属粉末の性能の向上により、従来法では不可能な表面や内部構造を有する製品の造形も可能となってきている。これに伴って、材質による部材の特性変更ではなく、ラティス構造などの構造自体の変更によっても特性変更できる。このように、これまで以上の高精度・高品質化、さらには高機能化を図った航空宇宙宇部品や自動車用試作品はもとより、インプラントなどの医療用部品の製造が可能となり、今後ますますあらゆる分野の製品の製造技術として導入が進むものと予測される。

参考文献

1）京極秀樹：近畿大学次世代基盤技術研究所報告, 5 (2014), 139.
2）京極秀樹：溶接学会誌, 83 (2014) 4, 250.
3）京極秀樹：日本ガスタービン学会誌, 42 (2014) 5, 420.
4）京極秀樹：レーザー研究,42 (2014) 11, 831.
5）Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies, ASTM Standard F2792-12a, (2012)
6）E.Brandl, C.Leyens and F.Palm：IOP Conf.Series：Materials Science and Engineering, 26 (2011), 012004.
7）千葉晶彦：スマートプロセス学会誌, 3 (2014) 3, 152.
8）Standard Practice for Reporting Data for Test Specimens Prepared by Additive Manufacturing, ASTM Standard F2971-13, (2013)
9）E.Dhoole：Advanced Manufacturing Technology for Medical Applications, ed. by I.Gibson, John Wiley & Sons, (2005)
10) I.Gibson, D.W.Rosen and B.Stucker：Addituve Manufacturing Technologies –Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing–, Springer, (2010)
11) 吉川秀樹ほか編：未来型人工関節を目指して, 日本医学館, (2013), 163.
12) A.Hussein, L.Hao, C.Y.Yan, R.Everson and P.Young：J.Materials Processing Technology, 213 (2013), 1019.
13) 例えば, 吉川秀樹ほか編集：未来型人工関節を目指して, 日本医学館, (2013)
14) 例えば, 整形インプラント解説資料集, 産業技術総合研究所, (2014)
15) Y.Okazaki, Y.Ito, A.Ito and T.Tateishi：Materials Transactions, JIM, 34 (1993) 12, 1217.
16) A.Biesiekierski, J.Wang, M.Abdel-Hady Gepreel and C.Wena：Acta Biomaterialia, 8 (2012) 5, 1661.
17) 経済産業省「新ものづくり研究会」報告書（平成26年2月), (2014)
18) 大胡田稔：素形材, 55 (2014) 7, 54.

(2015年2月6日受付)

2014年鉄鋼生産技術の歩み

Production and technology of Iron and Steel in Japan during 2014

日本鉄鋼協会　生産技術部門

The Technical Society, the Iron and Steel Institute of Japan

1 日本鉄鋼業の概況

先ず、2014年に生じた鉄鋼の生産技術や科学技術にも関連する出来事に目を向けてみよう。4月には、消費税率が5％から8％へ引き上げられた。1997年の3％から5％への引き上げ以来、17年ぶりの消費税増税となった。その後、消費税増税による反動の影響を受けて、実質GDP成長率が一転マイナスとなったこともあり、当初2015年10月に予定されていた消費税率10％への引き上げ時期を2017年4月に1年半延期することになった。12月には衆議院解散、総選挙が行われ、その結果、第3次安倍内閣が発足した。科学技術の分野では、2014年のノーベル物理学賞が青色LEDの開発者に贈呈された。我が国が優位とされる材料科学に関係する受賞内容であり、鉄鋼研究者にも大いに励みとなった。一方で、科学技術論文に関しては種々の分野でいわゆる論文不正の問題が顕在化し、改めて研究者の倫理や研究組織としての管理体制の是正等の必要性が再認識された。また、8月の局地的な豪雨による広島市北部の土砂災害や9月には御嶽山噴火等の自然災害が発生した。

我が国の経済情勢は、2012年末以降デフレ脱却と経済の好循環を狙いとした政府の経済政策が奏功し、円安、株高傾向が継続し、個人消費を中心に内需が主導する形で回復して、実質GDP成長率が2013年末までに累積で2.2％増加した[1)]。製造業・非製造業共に、増収・増益傾向で推移し2014年1－3月期には経常利益が過去最高水準となった。2014年前半は大形の公共事業予算が景気を下支えしてきたが、4月の消費税率引き上げに伴う駆け込み需要とその反動の影響を受けて、2014年後半には個人消費や住宅投資、さらには設備投資の回復遅れが続いた。この結果、実質GDP成長率は4－6月期、7－9月期と2期連続マイナスとなったが[1)]、年末にかけて円安の定着で日本企業の競争力が高まり輸出が増える効果が出始め、10～12月期では実質GDP成長率（速報値）がプラスに転じた[2)]。

このような我が国の経済情勢を反映して、2014年（暦年）の粗鋼生産量は1億1,067万トンとなり[3)]、2年連続の1億1千万トン超えとなった（図1）。中国の生産拡大に伴う鉄鋼原

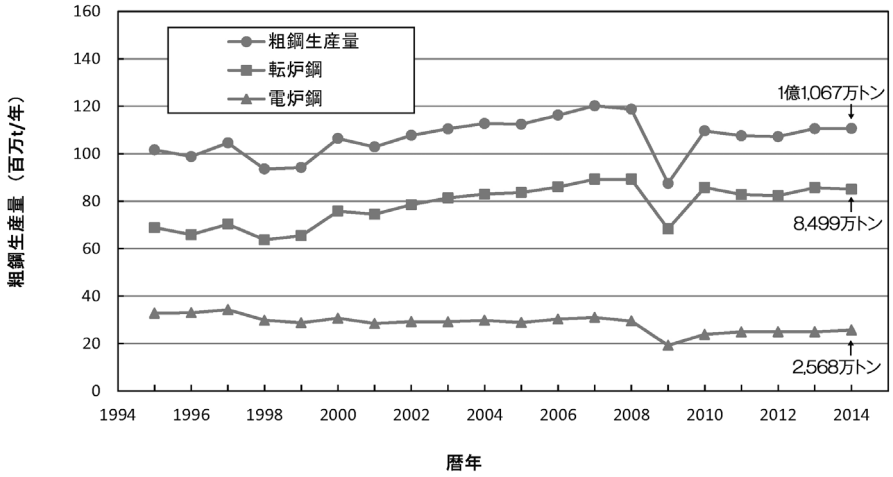


図1　我が国の粗鋼生産量の推移（暦年）[3,4)]

料のひっ迫により、鉄鉱石や原料炭の価格も高騰していたが、2011年をピークに下落傾向となり、2014年はピーク時の半値以下の水準となった。このような鉄鋼原料価格の変化は企業収益を押し上げる一因となり、鉄鋼メーカーの業績も総じて好転した。一方で、製鉄所における設備や操業トラブルが多発し、発生原因の究明、再発防止対策の検討が急務となった。また、2014年も海外、特に東南アジアへの投資・進出が続き、自動車用薄板の合弁や現地法人の一貫製鉄所設立への資本参加等の形態で海外展開が図られた。以下に、2014年の鉄鋼業を取り巻く状況として、鉄鋼原料の動向、鉄鋼需要産業の動向、我が国および世界の粗鋼生産の状況、鉄鋼企業のグローバル展開等について概要をまとめる。

1.1 鉄鋼原料の動向

2004年頃からの中国の鉄鋼生産拡大に伴い鉄鉱石や原料炭等の鉄鋼原料の需給がひっ迫し、価格が高騰していたが、2011年をピークとして価格低下が続いている。鉄鉱石は豪州、ブラジル等の鉄鉱石3大メジャー（ヴァーレ、リオ・ティント、BHPビリトン）が2015年を目標とする拡張計画を進めている上に、新興サプライヤーの参入もあり、供給力が拡大する一方で、2014年は中国の鉄鉱石消費が鈍化したことにより、鉄鉱石価格は大幅に下落した。鉄鉱石のスポット価格（鉄分62％粉鉱、中国着価格）は2013年夏には1トン140ドル前後であったが、2014年末には70ドル台に低下したとの報道もあった[5]。原料炭についても需給関係は鉄鉱石とほぼ同様に大手サプライヤーによる増産体制が継続するなか中国の鉄鋼生産の伸びが鈍化し中国国内産炭の増産もあり、需給関係は緩和した。強粘結炭2015年1-3月積み価格で1トン117ドル（本船渡し価格）と2010年4月以降で最安値となったとの報道があった[5]。図2には、世界鉄鋼協会、財務省通関統計等による、世界の銑鉄生産量と鉄鉱石および原料炭の輸入単価の推移を示す[6]。

1.2 鉄鋼需要産業の動向

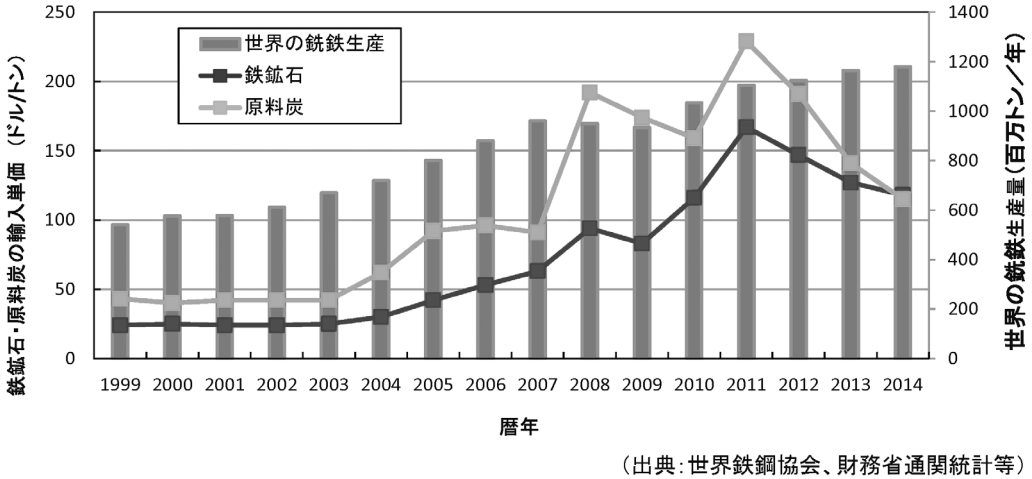
（一社）日本鉄鋼連盟の鉄鋼需給四半期報等によると、2014年の鉄鋼需要産業の動向は概略以下のとおりである[7]。詳細については、原典あるいは日本鉄鋼連盟のホームページを参照されたい。

［土木］ 2014年度は、2013年度補正予算と2014年度当初予算が一体化した「15ヵ月予算」の前倒し執行を受け、上期の公共土木の受注額は高い伸びとなった。下期に入ると、先行指標の公共工事請負保証金金額は鈍化しており、引続き鋼材需要は堅調なものの、受注金額は上期のような増勢基調はみられず、前年が高かった反動もあり、下期は減少傾向となった。

［建築］ 住宅建設は、2013年に消費増税前の駆け込み等の要因により、新設住宅着工戸数が100万戸台となったが、2014年は消費増税の反動が大きく、80万台に大幅に落ち込んだ。非住宅分野でも2013年度補正予算の効果の剥落により公務文教用が減少したが鉱工業用や商業・サービス業用等の民間設備投資により非住宅着工床面積は約5,500万m^2規模で概ね横ばいとなった。

［造船］ 2013年春以降、船価の底値感に加え、騒音規制強化前の駆け込み需要も相まって、輸出契約量の大幅増が2014年6月まで続いた。騒音規制強化後の2014年7月以降、新規受注には反動減がみられたが、2012年度に急激に落ち込んだ新造船起工量も約1,200万総トンレベルに回復した。

［自動車］ 2014年の国内販売台数は、夏前まで消費税増税前の受注残が下支えしたが、その後は増税の影響から販売が低迷した。しかしながら、通年の生産台数は前年より1.5％増の977万台となった[8]。また、完成車輸出は、為替が円安に振れ



（出典：世界鉄鋼協会、財務省通関統計等）

図2 世界の銑鉄生産量と鉄鉱石・原料炭の輸入単価推移（暦年）[6]

たものの、小型車を中心とした北米への現地生産シフトが進展しており、全体では前年比4.5％の減少となった。また、次世代の自動車として2014年末には燃料電池車（FCV）の市販が開始され、水素ステーションや貯蔵タンク、車載用水素容器等の技術開発が改めて注目された。

［産業機械］　建設機械は、排ガス規制強化前の中型～小型機種で駆け込み需要が発生する等、堅調な生産活動であった。運搬機械も物流倉庫の建築増等を背景に堅調に推移した。また、ボイラー・原動機は新興国の電力関係需要が下支えした。この結果、年間の機械受注額は前年比約10％増の約12兆円規模となった。

また、2014年には原油価格が大幅に変動した。年初は1バレル100ドルレベルであったが、年末には50ドルレベルと約半額まで下落した。このため北米シェール開発等のエネルギー開発需要への影響が懸念された。

［電気機械］　重電関連は、国内の電力会社向けには厳しい受注環境が続いたが、底堅い企業収益を背景に設備投資が増加基調で推移したことや新興国を中心とした海外での電力需要が増加したため堅調な推移を続けた。家電は海外生産シフトが続き、消費税増税前の駆込み需要に対する反動減等もあり後半は減少が続いた。電子機器では、産業用電子がパソコンの旧OSサポート終了後から大幅減が継続し、民生用電子も地デジ移行終了後の薄型テレビ生産の大幅減以降の低迷が継続した。

このような鉄鋼の需要産業の動向に対して、本会維持会員企業においては2014年も後述の表8に詳細を示す通り、新たな製品が開発された。

1.3　粗鋼生産量の状況

我が国の2014年（暦年）の粗鋼生産量は1億1,067万トンとなり、前年の1億1,059万トンに比べて0.1％の増加であり、2年連続の1億1千万トン超えとなった。炉別生産では、転炉鋼が8,499万トン（前年比0.8％減）、電炉鋼が2,568万トン（前年比3.1％増）となり、電炉鋼比率は23.2％（前年比0.7ポイント増）となった（図1）[4]。

世界の2014年（暦年）の粗鋼生産量は16億62百万トンとなり、前年の16億42百万トンに比べて1.2％の増加となった[9]。引き続き右肩上がりの情勢であるが、中国の粗鋼生産量の伸び率が鈍化したため、世界の粗鋼生産量も緩やかになった。2014年の粗鋼生産量のトップ10の国は、中国、日本、米国、…等で、表1に示す通りである。上位の各国はいずれも数％の対前年伸び率となったが、中国の伸び率は0.9％であり、伸び率が鈍化した。世界鉄鋼協会（WSA）によると、主要65か国の2014年の平均操業率は76.7％であり[9]、前年の78.4％よりも1.7ポイント低下した。生産能力については、特に、中国の過剰生産能力が顕著な状況が継続しており、中国内の需給緩和から中国からの鋼材輸出が増加した。

日本鉄鋼連盟では、2015年度の国内鉄鋼需要見通しを発表している。これによると公共事業予算の押し上げ効果が剥落するものの、消費税増税の影響から落ち込んでいた住宅投資が底入れに向かい、非住宅建築や機械など設備投資関連も堅調に推移するとみられる。この結果、2015年度の粗鋼生産は、2014年度並みの1億1千万トンを上回る水準を維持する見通しである、としている[10]。

1.4　鉄鋼企業のグローバル展開の状況

2014年も鉄鋼各社による海外事業投資等のグローバル展開に関する報道があった[11]。

新日鐵住金（株）では、1月に中国ブリキ合弁会社の商業生産開始、2月に米国におけるArcelorMittal社との合弁事業の開始、8月にインドネシアにおける自動車用鋼板製造・販売合弁事業の最終契約締結、9月にインド自動車用冷延鋼板工場の開所式、11月にThe Brunei Shell Petroleum社との油井管供給に関する契約締結およびブルネイ・ダルサラーム国における油井管継手加工の新会社設立等が行われた。

JFEスチール（株）では、9月にベトナムでの製鉄所建設に関するFSを中止、同じく9月に米国のCalifornia Steel Industries社との電縫管製造設備が稼働、11月にはブラジル

表1　粗鋼生産量のトップ10（出所：WSA；百万トン）[9]

	2014年トップ10	2011年	2012年	対前年伸び率 2012/2011(%)	2013年	対前年伸び率 2013/2012(%)	2014年	対前年伸び率 2014/2013(%)
1	中国	702.0	731.0	4.1	815.4	11.5	822.7	0.9
2	日本	107.6	107.2	▲0.4	110.6	3.2	110.7	0.1
3	アメリカ	86.4	88.7	2.7	86.9	▲2.0	88.3	1.6
4	インド	73.5	77.3	5.2	81.3	5.2	83.2	2.3
5	韓国	68.5	69.1	0.9	66.1	▲4.3	71.0	7.4
6	ロシア	68.9	70.4	2.2	68.9	▲2.1	70.7	2.6
7	ドイツ	44.3	42.7	▲3.6	42.6	▲0.2	42.9	0.7
8	トルコ	34.1	35.9	5.3	34.7	▲3.3	34.0	▲2.0
9	ブラジル	35.2	34.5	▲2.0	34.2	▲0.9	33.9	▲0.9
10	ウクライナ	35.3	33.0	▲6.5	32.8	▲0.6	27.2	▲17.1

鉄鉱石事業関連資産の統合等が行われた。

（株）神戸製鋼所では、3月にルクセンブルグPAUL WURTH社へのMIDREX®直接還元製鉄法のライセンス契約締結、4月にインドFLS社とペレットプラントに関するライセンス契約締結、7月に中国おける線材二次加工拠点の能力増強、8月に「鞍鋼神鋼冷延高張力自動車鋼板有限公司」を設立、9月にメキシコにおける線材二次加工拠点の設立等が行われた。

特殊鋼事業では、大同特殊鋼（株）が、7月にインドのSunflag Iron & Steel社への資本参加を決めた。三菱製鋼（株）は、7月にインドネシアのPT.JATIM TAMAN STEEL MFG.社に34％資本参加することを決めた。また、鉄鋳物事業では、日立金属（株）が8月に北米市場において輸送機器向け鉄鋳物事業を展開するWaupaca Foundry Holdings社の全株式を取得し小会社化することで合意した。

2 技術と設備

2.1 日本鉄鋼業の技術的環境

2014年は4月の消費税増税前後で鉄鋼の需要環境にも影響がもたらされたが、前年からの種々の経済対策による経済情勢の好転もあり、我が国の粗鋼生産量は2年続けて1億1,000万トンを超えた。このため、特に高炉メーカーでは年間を通じてほぼフル稼働に近い操業となった[12]。このような中、複数の製鉄所に於いて、火災や停電による設備事故が発生し、生産への影響が生じた。これらの再発防止のための原因究明と対応策が検討された。また、中国や韓国の生産能力拡大による鉄鋼生産設備の過剰問題に加えて、自国内の需給緩和により我が国への普通鋼鋼材輸入が増加した。特に、中国から我が国への普通鋼鋼材輸入は年間60万トン規模と従来の2倍規模という過去最高水準となった。

鉄鋼技術に関する研究開発に関しても、中国やインド等の鉄鋼新興国の活動拡大が続いており、例えば日本鉄鋼協会の欧文論文誌であるISIJ Internationalへの論文投稿数は年々増加を示している。現時点では、論文投稿数に比べて論文掲載数の増加は顕著ではないが、製銑・製鋼等の上工程分野、環境・エネルギー分野、および自動車用鋼板等の製品分野等々において、確実に技術的な進展が図られていると考えられる。一方で、最近、大形の技術流出事例が相次いで顕在化したこともあり、経済産業省の産業構造審議会知的財産分科会では、2014年9月から「技術流出防止・営業秘密保護強化について」の検討が行われ、今後、世界最高レベルの営業秘密保護の実現に向けて産学官が連携して取組むことの必要性が打出された[13]。

次に、鉄鋼産業に関わりの深い国家プロジェクトでも、2014年は前年に続いて大きな進展があった。経済産業省の「環境調和型革新的製銑プロセス開発」（COURSE50）では、2013年から第2ステップへ移行し、水素還元とCO_2分離回収を連動させる試験を行うために新日鐵住金・君津製鐵所に内容積10m^{3}の試験高炉を設置すべく、その建設に着手した。同じく経済産業省の「革新的新構造材料」プロジェクトでは、2013年12月に新構造材料技術研究組合（Innovative Structural Materials Association、略称：ISMA[14]）を立ち上げて、2014年から本格的に技術開発が開始された。このプロジェクトは自動車を中心とした輸送機器の抜本的な軽量化に向けた技術開発および輸送機器の主要な構造材料である鋼材、アルミニウム材等の高強度化等に係る技術開発の推進を目的としている。次に、内閣府の総合科学技術・イノベーション会議が主導する戦略的イノベーション創造プログラム（Cross Ministerial Strategic Innovation Promotion Program、略称：SIP[15]）では本プログラムが推進する10テーマの一つに「革新的構造材料」が取り上げられ、研究開発がスタートした。また、文部科学省、（独）科学技術振興機構（JST）が主管する産学共創基礎基盤研究プログラムでは、「革新的構造用金属材料創製を目指したヘテロ構造制御に基づく新指導原理の構築[16]」が5年目を迎え、2014年には新たに3件の新テーマが採択された。　10年間のロングレンジでの技術開発を行うプロジェクトであり、自動車のマルチマテリアル化を目標にした取組みが期待される。

上記のように、我が国の鉄鋼産業ではフル稼働の生産が継続する中で、一層激化する国際競争に打ち勝つべく産学官が連携して技術レベルの向上に努めている。以下には、鉄鋼技術の分野別に主要な技術動向や維持会員企業の技術的なトピックスを紹介する。

2.2 製銑

2014暦年の銑鉄生産量は、8,387万トンであり、2013年の8,385万トンと比べほぼ同レベルであった[17]。平均出銑比も2013年の1.94トン/m^3･日に対して、1.93トン/m^3･日と横ばいである。2014年末の高炉稼働状況については、27基と前年からの増減はなかった。内容積5,000m^{3}以上の高炉は2013年末から1基増の14基である。

新日鐵住金・八幡製鐵所の戸畑第4高炉は約16年の3次操業後、改修工事に入り、2014年4月に火入れした。内容積を4,250m^{3}から5,000m^{3}に拡大、炉頂装入装置をベル式からベルレス式に変更、操業安定化・コスト競争力のある高炉へ生まれ変わった。

新日鐵住金では大分製鐵所の焼結工程において、巨額な脱硝設備に頼らない排出ガス中NO_x低減を目的として、粉コークス表層にCaOをコーティングする事前処理方法を考案し、実機で10%以上のNO_x低減を実現した。

JFEスチールは酸素と水素系ガスを複合的に焼結機へ吹込み、焼結用粉コークスと水素系ガスの燃焼性を改善する技術を開発し、千葉第4焼結工場および京浜第1焼結工場で実用化した。本技術の適用により、焼結中の通気性および焼結鉱の強度が改善し、生産性を改善することができる。

2.3 製鋼

2014暦年の粗鋼生産は、1億1,067万トンであり、2013年の1億1,059万トンと比べ、微増であった（図1）。圧延用鋼塊に占める連鋳鋼片の比率を図3に示す[17]。特殊鋼の連鋳比率は、94.8%と低下している。なお、2014年1月分から、普通鋼の「連続鋳造によるもの」は調査されなくなった。

神戸製鋼所は特殊鋼線材・条鋼、自動車向けハイテン鋼板、エネルギー向け厚板など低りん・低硫高級鋼の生産能力向上のため、加古川製鉄所に新溶銑処理工場を建設し、2014年4月より稼働を開始した。機械撹拌式脱硫設備（KR）2基と脱りん炉1基を新設し、高級鋼の増産と大幅なコスト削減を図る。

JFEスチールは、福山第3製鋼工場3号転炉を2014年12月に稼働させ、同転炉を活用した最新の溶銑予備処理プロセスを導入した。当プロセスでは、脱珪工程で発生する二酸化珪素を一旦排出することで、脱りん時の反応効率低下を抑止し、石灰を大幅に削減することが可能である。

2.4 鋼材

2.4.1 薄板

新日鐵住金は、熱間圧延時に走行する鋼板形状測定方法で従来課題とされた測定安定性や板波定在現象（鋼板移動に応じた形状変化）時の精度悪化を解決する為に、高輝度LEDチップの配列で千鳥状投影パターンを鋼板表面に形成して照度むらなく安定した形状測定技術を鹿島製鐵所にて開発した。

JFEスチールは自動車骨格部品用鋼板として、伸び特性に加えて伸びフランジ成形性にも優れた590～980MPa級の高伸び－伸びフランジ型高張力合金化溶融亜鉛めっき（ハイテンGA）鋼板を開発した。開発した鋼板は、従来材に比べて伸びフランジ成形性を示す指標の穴広げ率が約2倍となっている。これにより、自動車骨格部品の形状自由度が広がり、深い絞り形状のピラーロアなどの車体骨格部品について、更に強度の高いハイテンGAを積極的に適用することが可能となり、自動車の更なる軽量化に大きく寄与できるものと期待される。

2.4.2 厚板

タンカーの防食対策が国際海事機関（IMO）でルール化され、防食塗装か耐食鋼の使用かのいずれかが求められており、今後造船耐食鋼の需要拡大が見込まれる。新日鐵住金のタンク底板用の耐食鋼は既に1万トンを越える供給実績を持ち、上部用の耐食鋼も2014年に商品化した。これによりタンカー建造時の工期、コスト低減のほか、LCC低減、塗装回避による環境負荷軽減などの効果が期待される。

また新日鐵住金は衝突安全性に優れた造船用鋼板を開発した。これは、従来の施工性を維持しながら、高い延び性を有することにより、船舶の衝突安全性を高めることができる新しい鋼板で、化学成分の適正化と結晶粒レベルの組織制御を行うことで高強度と高延性の両立を可能にした。本鋼板は延びに優れる為、破口までの衝撃吸収エネルギーが従来鋼の約3倍であり、船舶の側面衝突時に破口が生じにくくなり、浸水防止や貨物保護、深刻な環境汚染につながる油流出の防止に貢献する。

JFEスチールは石炭運搬船用高耐食性厚鋼板を開発した。石炭船のカーゴホールドでは石炭の硫黄分を腐食因子とする腐食が激しくメンテナンスやリプレースコストが増大していた。最適な合金添加により、この石炭環境での腐食減耗を抑制されることを見いだし、さらに従来鋼と同等の溶接性と加工性を兼ね備えた船体用鋼板を開発した。実船のカーゴホールド内での暴露試験によりその性能を実証し、2014年には新

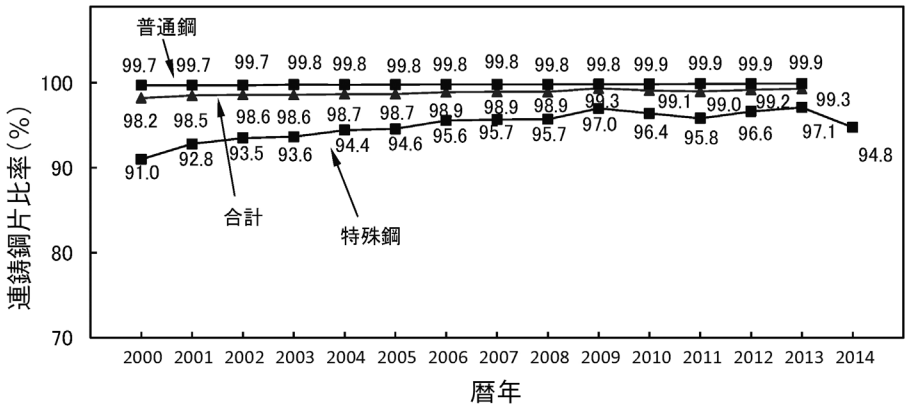


図3 圧延用鋼塊に占める連鋳鋼片の比率[17]

造の石炭運搬船に初採用された。

またJFEスチールは世界最大厚の降伏強度460MPa級高アレスト鋼板を開発した。超大型コンテナ船の上部構造には安全性要求から、極厚高強度かつ優れたぜい性亀裂伝播停止性能（アレスト性能）を有した鋼板が要求される。高度なTMCP技術と独自の結晶方位制御技術を活用して、アレスト性能を向上させた世界最大厚のYP460MPa級船体構造用鋼板を開発し船級承認を取得した。これにより、16,000TEU超の大型コンテナ船の安全設計が可能となる。

神戸製鋼所は加古川製鉄所厚板工場の加速冷却設備を2014年7月に改造した。既存の加速冷却設備を、水冷ノズルを稠密に配置しかつ鋼板に近づけると共に、水を高圧で噴射する方式に改造することで、鋼板の均一冷却に適したものとし安全性の確保と良好な溶接施工性の双方を実現した。これによりエネルギー分野向けの高機能鋼の対応力を強化できると共に、造船や建材分野向け製品についても高機能化が見込まれる。

また神戸製鋼所は溶接ビード形状と塗装膜厚との関連性の研究をもとに、水平すみ肉溶接のビード形状に影響を及ぼす溶融スラグの粘度と凝固温度の最適化を図ることで、1パスで8mm程度の大脚長溶接を可能とし、溶接作業効率と塗装性の向上が期待できる溶接用フラックス入りワイヤを開発した。

2.4.3　鋼管関連

JFEスチールは、ブラジル国営石油会社Petróleo Brasileiro社がブラジル沖合で展開する油田開発プロジェクト向けに、ケーシングパイプ用油井管を、（株）メタルワンと共同で280トン受注した。耐腐食性に優れた継目無鋼管の受注は今回が初めてであり、管厚13.84mm、外径9.625インチ（244.4mm）の鋼管を知多製造所で製造、出荷した。

2.4.4　水素ステーションおよび輸送機関連

新日鐵住金は高圧水素用高強度高窒素ステンレス鋼を開発した。燃料電池自動車の実用化が進められており、燃料供給基地となる水素ステーションは2025年迄に1000基以上の建設が計画されている。高強度かつ耐水素脆性に優れる開発鋼を適用することで、軽量化による水素ステーションの建設コストの圧縮が可能となり、普及への貢献が期待される。

（株）日本製鋼所は長年の水素ガス脆化に対する材料研究を基に、設計圧力99MPaの高耐久・高信頼性の鋼製水素蓄圧器の開発に成功した。この材料は海外で超高圧圧力容器への使用が認められている、強度とじん性に優れた低合金鋼：SA723鋼（NiCrMoV鋼）を適用し、溶製～熱処理～加工～検査の各工程において水素脆性の影響を低減させるための種々の対策を施している。特に加工工程では、水素中で疲労亀裂の進展を抑制するための高耐久化施工を施し、寿命10万回で年数制限なく使用可能なものとして高圧ガス保安協会（KHK）の認可を取得している。また、蓄圧器の形状は、供用中でも蓄圧器の外面からの超音波探傷（UT）により内面欠陥の有無を確認でき、カバーを開放することで内面の精密検査することが可能なストレート形状とし、供用中の信頼性も確保できる構造となっている。

また新日鐵住金は鉄道車両用歯車装置の低騒音化を実現した。新幹線を始め、鉄道車両の高速化、利便性の向上に伴い、沿線騒音や車内騒音の低減のニーズが高まっている。歯車装置の歯車に新たな3次元形状の歯面修整を施す技術を確立し、新しい車両に採用され低騒音化の効果を確認できた。一方、新日鐵住金は八幡製鐵所にて鉄道用レールの中で世界最長となる150mレールの製造・出荷体制を整備した。従来鉄道用レールは、圧延後レール長25mを標準として最長50mに切断して出荷していたが、レールとレールの継目は乗り心地の阻害要因や騒音・振動の発生原因の一つであり、また線路保守上の弱点である。そのため、鉄道事業各社はレール継目を溶接してロングレール化するなどの改善を図っていた。

2.5　計測・システム・分析

JFEスチールは、薄鋼板表面のロール性の微小凹凸表面欠陥を漏洩磁束法により検出する技術を開発し、2010年1月からオンラインで自動検査を実施している。神戸製鋼所加古川製鉄所の厚板工場では、エネルギー分野向け鋼板の内質保証を目的に、2014年12月に超音波自動探傷装置をせん断ラインに新設した。日本製鋼所では直径が最大3,200mmにもなる超大型のロータシャフトの内部欠陥の検出を、自動UT装置によるフェーズアレイUT技術を適用する事により正確で信頼性の高い品質評価手法を確立した。

分析関連では、JFEスチールが、鉄鋼材料に含まれる炭素含有量を世界最高精度で定量分析できる装置を開発し、2014年2月にスチール研究所に設置した。これにより、従来炭素含有量0.1%レベルまでであった定量分析精度を従来装置の10倍の高精度の0.01%レベルまで高めることができた。この開発は国家プロジェクト「革新的新構造材料等研究開発」における「革新鋼板の開発」テーマの中で、NEDOと新構造材料技術研究組合（ISMA）、およびISMAの組合員であるJFEスチールが既存のFE-EPMAを改良して分析精度を高めたものである。今後JFEスチールは、同プロジェクトの一環でさらに精度を高め0.003%以下の精度の分析方法の確立を目指す。

2.6　環境・エネルギー

2.6.1　政府の取組み

2014年12月1日から14日までペルーのリマにおいて、気

候変動枠組条約第20回締約国会議 (COP20)、京都議定書第10回締約国会合 (CMP10) が開催された[18]。

「強化された行動のためのダーバン・プラットフォーム特別作業部会 (ADP)」および2つの補助機関会合における事務レベルの交渉を経て、ハイレベル・セグメントにおける協議の結果、2020年以降の枠組みに向けて各国が提出する約束草案等に関する決定を含むCOP及びCMPの決定等が採択された。また、ハイレベル・セグメントの演説において望月環境大臣は、「2050年までに世界全体で50%減、先進国全体で80%減」という目標を改めて掲げるとともに、約束草案をできるだけ早期に提出することを目指すこと、我が国の技術を活用した世界全体の排出削減への貢献等について言及した[18]。

2.6.2 日本鉄鋼業の取り組み

日本鉄鋼連盟は、「鉄鋼業の環境保全に関する自主行動計画」を策定し、以下の目標を設定し取組んできた。

(1) 粗鋼生産量1億トンを前提として、2010年度の鉄鋼生産工程におけるエネルギー消費量を、基準年の1990年度に対し、10%削減。

(2) 上記目標は、2008 ～ 2012年度の5年間の平均値として達成する。

同連盟は2013年12月に自主行動計画の実績をまとめ、目標期間5年間における実績の平均値は10.7%削減であり、自主行動計画の目標を達成したと報告した[19]。また、CO_2排出量は1990年度比10.5%削減となった。

さらに2013年1月には「低炭素社会実行計画」を策定し、国内企業活動における2020年の削減目標としては、「それぞれの生産量において想定されるCO_2排出量 (BAU排出量) から最先端技術の最大限の導入により500万t－ CO_2削減」を目指し、引き続き鉄鋼製造プロセスで世界最高水準のエネルギー効率の向上を図っていくべく取り組んでいる。2013年度における低炭素社会実行計画の取り組みの結果、低炭素社会計画参加会社合計の2013年度の粗鋼生産量1億846万トンに対しBAU排出量は1億8,879万トン- CO_2であり、一方この生産量に対応する CO_2排出量は1億8,942万トン- CO_2であり、BAU排出量からの削減実績は＋63万トン- CO_2で、目標比＋563万トン- CO_2であった[20]。このように2013年度の実績は、自助努力による削減は着実に進展しているものの、目標設定において想定できなかった増加要因により、BAUを上回る形となった。ちなみに2013年度の我が国鉄鋼業全体の粗鋼生産量は1億1,152万トンである。

革新的技術開発については、高炉からの CO_2排出の抑制と高炉ガスからの CO_2分離・回収により、CO_2排出量を約30％削減する「革新的製鉄プロセス技術開発 (COURSE50)」に2008年度から取り組んでいるが、2012年度にフェーズ1Step1が終了し2013年度から5年間の予定でフェーズ1Step2の開発が開始された。Step2の主目的は、ミニ試験高炉を主体とした「水素還元と分離回収の統合開発」であり、水素還元の効果を最大化する送風操作技術を確立するため、CO_2分離試験設備と試験高炉との連動試験を実施する予定である[20]。2014年度は、高炉での水素による鉄鉱石の還元に係り、10m^{3}規模の試験高炉の建設を開始し、水素還元の効果を最大化する技術開発を進めた。また、高炉ガスからのCO_2分離エネルギー・コスト削減技術開発、物理吸着法のコスト削減とスケールアップ検証、化学吸着法に必要な未利用排熱活用技術の開発を行った[6]。

鉄鋼スラグを環境修復や環境改善に適用した事例として、JFEスチールは、横浜市と行っている横浜市山下公園前海域での製鋼スラグ製品を活用した共同研究で、当海域での自生のアマモ (海草) をはじめとする生物数種の増加を確認し、鉄鋼スラグ製品が生物付着基盤として有効に機能していることを確認した。

エネルギー分野では、神戸製鋼所が栃木県真岡市にガス火力発電所を建設し、発電した電力全量を東京ガス株式会社に供給することに関する契約を2014年9月に締結した。神戸製鋼所は60万kW級×2基の合計120万kW級のガスタービン・コンバインドサイクル方式 (GTCC) の発電所を建設し、1号機は2019年後半、2号機は2020年前半の稼働を目指している。

3 技術貿易・技術開発

3.1 技術貿易

図4に鉄鋼業の2013年度までの技術貿易収支の推移を示す[21]。技術輸出対価受け取り額は前年度と比較して3％増加し、技術輸入対価支払い額は66％減少した。

3.2 研究費支出・研究者数

総務省統計局「科学技術研究調査」の結果にある企業等の第1表にあるデータを用いて、以下の3項目を整理した。その結果を図5 ～図7に示す[21]。

[売上高対研究費支出比率]

全産業はここ3年ほぼ横ばい、一方、鉄鋼業は減少傾向が認められる。特に鉄鋼業は2009年度の1.39%に対して、2013年度は1.19%と0.2%減少している。

[従業員1万人あたりの研究本務者数]

全産業、鉄鋼業とも、2011年度まで増加傾向を継続し、いずれも2012年度に若干の落ち込みが認められたが、2013年度は再び増加傾向である。

[研究本務者1人あたりの研究費]

2013年度は、全産業ではリーマンショック以前の2008年

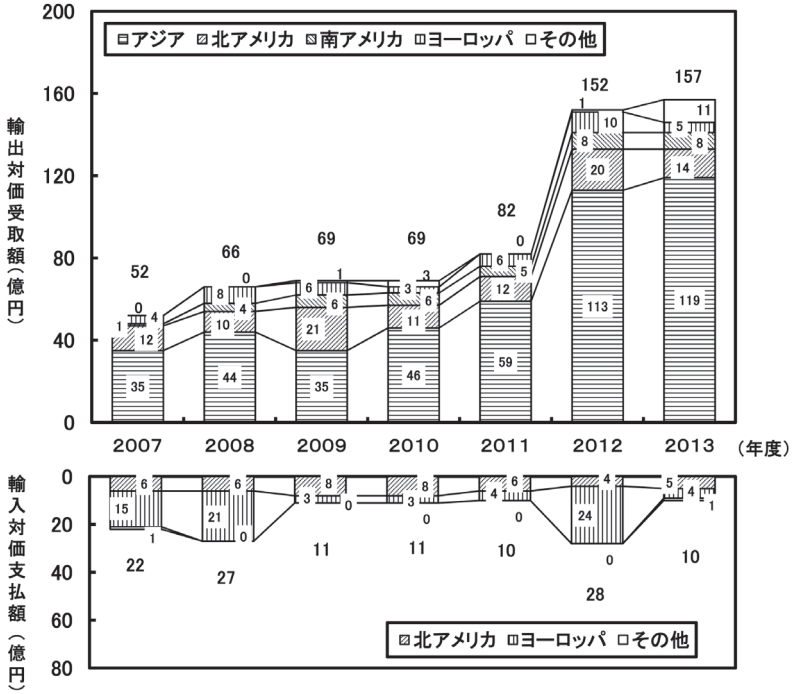


図4　鉄鋼業の技術貿易収支[21)]

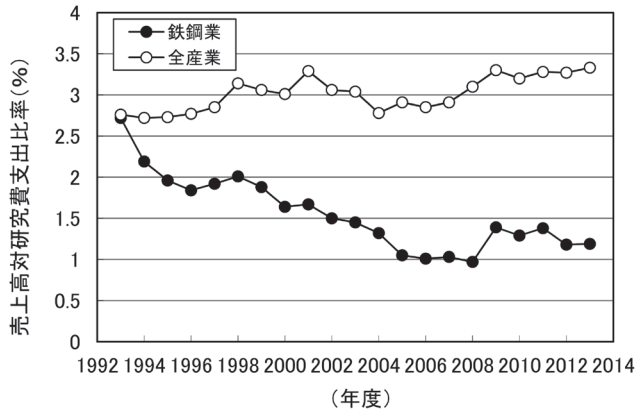


図5　売上高対研究費支出比率の経年変化[21)]

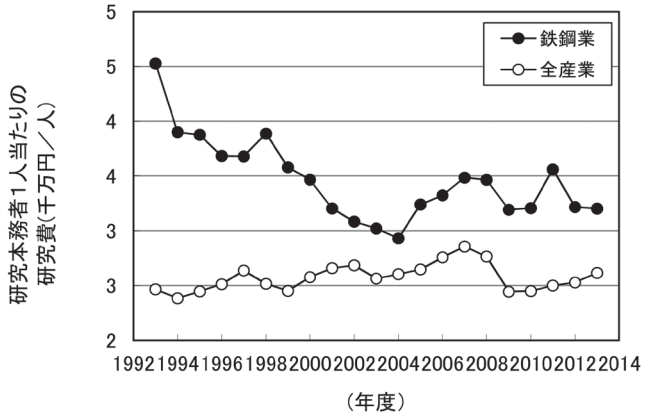


図7　研究本務者1人当たりの研究費の経年変化[21)]

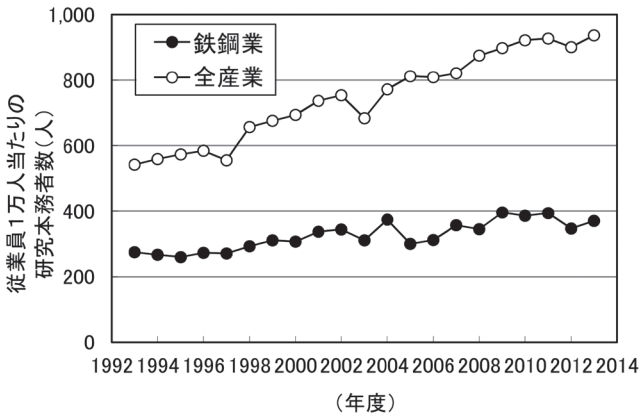


図6　従業員1万人当りの研究本務者数の経年変化[21)]

度レベルに回復していないものの若干増加傾向を示している。しかしながら、鉄鋼業では2011年に2008年度レベルまで回復したが、2013年度は2012年度よりも更に減少した。

3.3　公的資金を活用した研究開発の動向

鉄鋼関連の技術開発プロジェクトに関し、2013年度で終了した主要プロジェクトは無く、2014年度に新たに着手した主要プロジェクトとしては、内閣府の「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP：エスアイピー）」の「革新的構造材料」（2014 ～ 2018年度、管理法人；科学技術振興機構（JST）、2014年度予算36.08億円）がスタートした。本事業における研究開発では、特に、航空機機体・エンジン、発電設備、大型

構造用FRPを出口として想定し、新材料技術を利用して、材料技術を通した持続的イノベーションを可能にする仕組みを構築するものである。特に、鉄鋼関連研究者は「耐熱合金・金属間化合物の開発」および「マテリアルズインテグレーション」に関与している。その他、「戦略的エネルギー技術革新プログラム」((独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：NEDO) の実用化開発フェーズのテーマとして「鉄鋼スラグからの鉄源回収技術の開発」(2014 ～ 2016年度) などが採択された。

また、主要継続プロジェクトは、①「環境調和型製鉄プロセス技術開発 (COURSE 50) Step2」(2013 ～ 2017年度)、②「ヘテロ構造制御金属材料プロジェクト」(2010 ～ 2019年度)、③「先進超々臨界圧プラント (A－USC) 技術開発」(2008 ～ 2016年度) などである。

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

4 技術系人材育成

本会では、これまでも業界横断的な技術系中核人材育成を目的として、各種の育成事業 (鉄鋼工学セミナー、鉄鋼工学セミナー専科、鉄鋼アドバンストセミナー、学生鉄鋼セミナー) を実施している。2014年度は2013年度と同様、主に基礎教育強化事業を本会の育成事業に取込み、修士学生対象である「鉄鋼工学概論セミナー」、学部学生対象である「最先端鉄鋼体験セミナー」を継続実施した。「鉄鋼工学概論セミナー」は、鉄鋼基礎工学と現場での技術開発について大学および企業側講師から講義を行い、最終日に工場見学 (2014年度は新日鐵住金君津製鐵所) を行う3.5日コースの講座で、10大学から21名の参加者があった。

「最先端鉄鋼体験セミナー」は鉄鋼に関する最先端技術や将来の展望を紹介し、工場見学を行う1日コースの講座であり、JFEスチール東日本製鉄所 (京浜地区)、新日鐵住金和歌山製鐵所、新日鐵住金八幡製鐵所、日新製鋼 (株) 呉製鉄所の4箇所で開催された。材料系以外の学生も対象とし、トータル65名が参加した。

ものづくり産業である鉄鋼産業の魅力を伝えて業界への関心を喚起する目的で、鉄鋼企業の経営幹部による「経営トップによる大学特別講義」を2013年度に引き続き実施した。実施大学は2013年度と同様に11大学で実施し、トータル約1,300名の学生が聴講した。また、これまで行ってきた「経産省による大学特別講義」を、新たに鉄鋼企業の研究所長・部長クラスの講師を加えて「鉄鋼技術特別講義」と改称して12大学で実施し、トータル約800名の学生が聴講した。

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

5 本会における技術創出活動

本会では、生産技術部門に属する技術部会および技術検討部会が中心となって鉄鋼生産技術に関する技術情報の調査、技術

表2　鉄鋼業における公的資金取得研究テーマの一例

分類	事業名称	委託元	開始年度	終了年度
プロセス	国内立地推進事業費補助金　二次募集	経済産業省	2012	2014
	円高・エネルギー制約対策のための先端設備等投資推進事業	経済産業省	2013	2014
	環境調和型製鉄プロセス技術開発 (COURSE50) Step2	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構	2013	2017
	戦略的エネルギー技術革新プログラム	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構	2014	2016
要素技術	先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発費補助金	経済産業省	2008	2016
	水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発事業	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構	2010	2014
	ヘテロ構造制御金属材料プロジェクト	(独)科学技術振興機構	2010	2019
	エネルギー最適化設計ソフトの開発	経済産業省	2011	2014
	次世代10MW級海洋温度差発電プラントのコア技術研究開発	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構	2011	2015
	元素戦略プロジェクト＜研究拠点形成型＞　構造材料	文部科学省	2012	2021
	ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構	2014	2017
	戦略的イノベーション創造プログラム	内閣府	2014	2018
製　品	先進超々臨界圧プラント(A-USC)技術開発	経済産業省	2008	2016
	低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト	経済産業省	2010	2014
	次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料開発	経済産業省	2012	2016
	先端省エネルギー等部素材開発事業	経済産業省	2013	2014
	革新的新構造材料等技術開発	経済産業省	2013	2022
その他	複雑系数理モデル学の基礎理論構築とその分野横断的科学技術応用	(独)日本学術振興会	2010	2014

開発課題の抽出と課題解決に向けた活動を行っている（表3）。

5.1 技術部会

鉄鋼製造にかかわる特定分野毎の活動を推進している技術部会は、部会大会を定期的に開催し、現時点で重要な課題を共通・重点テーマとして調査等を行い、活発な議論を行っている（表3）。2014年度の部会大会は、2013年度とほぼ同様に34の大会（春季17大会、秋季17大会）が開催された。中でも、熱延鋼板部会、冷延部会、大形部会は、それぞれ第100回の部会大会を迎え、記念企画が行われた。参加者延べ人数は2,724名（そのうち大学等研究者の延べ参加人数は68名、2013年度から15名増）であり、2013年度の2,650名に比べ若干増加した。

また、学術部会との産学連携も定着しており、部会大会や若手育成のための企画への大学研究者の参加、学術部会との合同企画等、交流が推進されている。

特定技術課題を共同で重点的に検討する技術検討会については、19件の技術術検討会が活動した。

なお、従来から継続している若手技術者対象の講演会や異業種見学・講演会などに加えて、海外技術の調査やプラントツアー等、さらなる部会活性化を狙った企画の実施とともに、海外からの工場見学および合同技術ミーティング開催の要望を受け入れた。

5.2 技術検討部会

分野横断的、業際的技術課題を検討する技術検討部会は期間を原則3年以内として活動している（表3）。2014年度は、「実用構造用鋼における信頼性向上」技術検討部会の活動が3年目に入り、文献調査等が進められた。「自動車用材料検討部会」では、自動車メーカーとの新たな協力関係のあり方を模索しつつ、見学会、（公社）自動車技術会への話題提供等を行った。また、圧力容器用材料技術検討部会では、鋼材規格検討WG、化学プラント用鋼材の水素脆化評価WGが、それぞれ調査検討、実験等の活動を継続するとともに、新たに高強度耐熱鋼WGが発足した。

5.3 研究助成

本会の研究助成に関する活動内容を表4に示す。「鉄鋼研究振興助成」では、2014年度から受給開始となる対象者として新たに35件（若手13件）が採択され、2013年度から受給を開始した41件と合わせて2014年度は合計76件が助成された。

「研究会」は、2014年度には19研究会が活動し、その内の7研究会が同年度に終了した。

2014年度には、研究会Ⅰ（シーズ型）、研究会Ⅱ（ニーズ型）の各研究会で、7件が新規に活動を開始した（表5）。2015年度は新たに研究会Ⅰが5件、研究会Ⅱが1件採択された（表6）。「産発プロジェクト展開鉄鋼研究」は、2012年度採択のテーマが3月末で活動を終了し、2013年度採択の1テーマが

表3　生産技術部門における技術創出活動の主体

種　類	活動内容
技術部会	・対　　象：鉄鋼製造全般にかかわる特定分野 ・部会種類：製銑、コークス、製鋼、電気炉、特殊鋼、耐火物、厚板、熱延鋼板、冷延、表面処理鋼板、大形、棒線圧延、鋼管、圧延理論、熱経済技術、制御技術、設備技術、品質管理、分析技術、以上19部会 ・参 加 者：鉄鋼企業の技術者、研究者、大学等教職員 ・活動目的：現場技術水準の向上を目的とした鉄鋼生産に関する技術交流、各分野における技術課題の抽出と課題解決、若手技術者の育成、産学連携による技術向上 ・活　　動：部会大会（年１～２回）、特定テーマを扱う技術検討会、若手育成のための講習会等各種企画、等
技術検討部会	・対　　象：鉄鋼生産プロセスの各分野にまたがる分野横断的、または業際的技術課題 ・部会種類：自動車用材料検討部会（第Ⅶ期）、実用構造用鋼における信頼性向上技術検討部会、圧力容器用材料技術検討部会、以上3部会 ・活動内容：技術の方向と課題解決のための技術討議、調査等の研究、他学協会との情報交流、等

表4　日本鉄鋼協会の研究助成制度

種　類	活動内容
鉄鋼研究振興助成	・主旨：鉄鋼研究の活性化、鉄鋼の基礎的基盤的研究の支援、若手研究者の育成 ・募集：公募により毎年採択、受給期間は2年間。 ・特徴：研究者個人を対象、若手枠を設置 ・件数：76件（2014年度受給者数）
研究会	・主旨・鉄鋼研究の活性化、技術革新の基盤創生、産学連携による人的研究ネットワーク構築 ・募集：提案、公募により毎年度採択、活動期間は原則として3年間 ・特徴：大学等研究機関からのシーズ主導の基礎的・先端的テーマを扱う研究会（研究会Ⅰ）と鉄鋼企業からのニーズ主導の応用的・産業的テーマを扱う研究会（研究会Ⅱ）を設置 ・件数：19件（2014年12月末現在活動中）
産発プロジェクト展開鉄鋼研究	・主旨：鉄鋼業の技術課題の解決、重要かつ基盤的領域の研究、国家プロジェクト等への展開 ・募集：公募により採択、活動期間は原則として3年間 ・特徴：鉄鋼企業からのニーズ主体のプロジェクト ・件数：2件（2014年12月末現在活動中）

表5　2014年度活動　研究会

型	研　究　会　名	部　会	主　　査	研究期間
Ⅰ	電磁振動印加時の物理現象解明	高プロ	岩井　一彦(北大)	2012～2014年度
Ⅰ	非金属介在物と硫化物・窒化物の固相内反応	高プロ	柴田　浩幸(東北大)	2012～2014年度
Ⅰ	ワイヤレスセンサネットワークの鉄鋼応用	計測	榎　学(東大)	2012～2014年度
Ⅰ	加工プロセスにおける酸化被膜の影響	創形	宇都宮　裕(阪大)	2012～2014年度
Ⅰ	高強度鋼の破壊靭性	材料	粟飯原　周二(東大)	2012～2014年度
Ⅱ	鋼材矯正後残留応力の予測・評価	圧延理論	早川　邦夫(静大)	2012～2014年度
Ⅱ	鉄鋼分析における技術基盤の再構築を指向した統合型データベース開発	分析技術	上原　伸夫(宇都宮大)	2011年度下期～2014年度上期
Ⅰ	生石灰高速滓化によるスラグフォーメーション	高プロ	小林　能直(東工大)	2013～2015年度
Ⅰ	資源対応型高品質焼結鉱製造プロセス	高プロ	村上　太一(東北大)	2013～2015年度
Ⅰ	革新的水素不働態表面構築の原理探求	材料	坂入　正敏(北大)	2013～2015年度
Ⅱ	粒子法による製鋼プロセス解析ツールの開発	製鋼	安斎　浩一(東北大)	2013～2015年度
Ⅱ	高亜鉛含有ダストの高度資源化	電気炉	長坂　徹也(東北大)	2013～2015年度
Ⅰ	固液共存体の挙動制御によるマクロ偏析低減	高プロ	大野　宗一(北大)	2014～2016年度
Ⅰ	熱間圧延ロール	創形	小森　和武(大同大)	2014～2016年度
Ⅰ	鉄鋼インフォマティクス	材料／創形	足立　吉隆(鹿児島大)	2014～2016年度
Ⅰ	小型中性子源による鉄鋼組織解析法	評価分析	大竹　淑恵(理研)	2014～2016年度
Ⅱ	円周ガイド波による配管減肉検出技術 Ⅱ	設備技術	西野　秀郎(徳島大)	2014～2016年度
Ⅱ	鉄鋼スラグ中フリーMgO分析法の開発と標準化	分析技術	渋川　雅美(埼玉大)	2014～2016年度
Ⅱ	スケールの伝熱特性支配因子調査	圧延理論	須佐　匡裕(東工大)	2014～2016年度

表6　2015年度採択　研究会

型	研　究　会　名	部　会	主　　査	研究期間
Ⅰ	高度循環製鉄に向けた鋼中遷移金属・循環元素の熱力学	高プロ	小野　英樹(阪大)	2015～2017年度
Ⅰ	スマート製鉄システム	環境	加藤　之貴(東工大)	2015～2017年度
Ⅰ	先進的多軸応力試験による鋼板成形の高度化	創形	桑原　利彦(農工大)	2015～2017年度
Ⅰ	鉄系金属ガラスの粘性流動成形技術開発	創形	川崎　亮(東北大)	2015～2017年度
Ⅰ	水素脆化の基本要因と特性評価	材料	高井　健一(上智大)	2015～2017年度
Ⅱ	新規コークス製造プロセス要素技術	コークス	青木　秀之(東北大)	2015～2017年度

表7　産発プロジェクト展開鉄鋼研究の研究テーマ

研究テーマ	研　究　目　的	主 査	研究期間
製鋼スラグによる東日本大震災で被災した沿岸田園地域の再生	東日本大震災で被災した沿岸田園の除塩、土壌改良に対する製鋼スラグの有効性の確認と、農業利用のためのスラグの組成・組織制御技術の開発を行う。	北村　信也（東北大）	2012～2014年度
GA皮膜加工特性の飛躍的向上に関する研究	GA鋼板の弱点であるプレス加工時のめっき皮膜加工性の飛躍的向上を目指し、Fe-Zn金属間化合物多結晶組織であるめっき皮膜の剥離現象を極限まで抑制する優れた加工特性を有するめっき皮膜の開発に向けた基礎研究を推進する。	山口　周（東大）	2013～2015年度
鋼の脆性き裂伝播挙動機構理解深化とLNG貯槽次世代材料設計指針提案	LNG貯槽用鋼材を構造材として使用した場合に、脆性き裂伝播停止特性の付与により、絶対に大規模破壊事故に至らない材料設計が可能であることを実証し安心して使用する基礎環境を整える。	川畑　友弥（東大）	2015～2017年度

活動中である。また、2015年度の新規案件として、新たに1件が採択された。(表7)。

参考文献

1) 内閣府政策総括室：“日本経済2014-2015－好循環実現に向けた挑戦－”, 内閣府 (2015年1月)

2) 内閣府：四半期別GDP速報, 検討結果“統計表一覧”, 内閣府ホームページ, (参照日2015年2月17日)

3) 日本鉄鋼連盟鉄鋼統計専門委員会：“鉄鋼統計要覧-2014年度版”, 日本鉄鋼連盟, (2014年10月29日)

4) 鉄鋼生産速報 暦年, “全国鉄鋼生産高／全国鋼材生産高”, 日本鉄鋼連盟ホームページ, http://www.jisf.or.jp/data/

seisan/index.html,（参照日：2015年2月10日）
5）“2015年の鉄鋼原料需給”, 鉄鋼新聞記事, 鉄鋼新聞社（2015年1月5日）
6）“日本の鉄鋼業2014”, 日本鉄鋼連盟（2014年6月）
7）“鉄鋼需給四半期報”, 日本鉄鋼連盟（2015年1月）
8）2014年12月の自動車生産実績, 日本自動車工業会ホームページ, http://www.jama.or.jp/stats/product/20150130.html,（参照日：2015年2月10日）
9）WSA（World Steel Association）ホームページ, https://www.worldsteel.org/,（参照日：2015年2月10日）
10）2015年度の鉄鋼需要の動向について, 日本鉄鋼連盟ホームページ, http://www.jisf.or.jp/news/topics/141216.html,（参照日：2015年2月10日）
11）鉄鋼各社ホームページ,（参照日2015年2月10日）
12）“鉄鋼需給統計月報2015.1”, 日本鉄鋼連盟（2015年1月16日）
13）経済産業省産業構造審議会知的財産分科会：技術流出防止・営業秘密保護強化について, 経済産業省ホームページ, http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/chitekizaisan/eigyohimitsu/pdf/001_05_00.pdf,（2014年9月30日等）
14）新構造材料技術研究組合ホームページ, http://isma.jp/,（参照日2015年2月10日）
15）戦略的イノベーション戦略プログラム, 総合科学技術・イノベーション会議ホームページ, http://sip-cao.jp/,（参照日2015年2月10日）
16）産学共創基礎基盤研究プログラム「革新的構造用金属材料創製を目指したヘテロ構造制御に基づく新指導原理の構築」, 科学技術振興機構（JST）ホームページ, http://www.jst.go.jp/kyousou/theme/h22theme01.html http://www.jisf.or.jp/news/topics/documents/FY2014tekko-juyo.pdf,（参照日2015年2月10日）
17）経済産業省 経済産業政策局 調査統計部 工業動態統計室：鉄鋼・非金属・金属製品統計月報, 経済産業省ホームページ, http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/08_seidow.html,（参照日：2015年2月18日）
18）気候変動枠組条約第20回締約国会議（COP20）及び京都議定書第10回締約国会合（COP/MOP10）の結果について, 環境省, ホームページ, http://www.env.go.jp/earth/cop/cop20/index.html,（参照日：2015年1月23日）
19）“日本鉄鋼連盟, 自主行動計画を達成 10年度エネ消費10%削減”, 産業新聞記事, 産業新聞社（2013年12月16日）
20）鉄鋼業の地球温暖化対策への取組低炭素社会実行計画 実績報告, 平成27年1月, 一般社団法人日本鉄鋼連盟, ホームページ, http://www.jisf.or.jp/business/ondanka/kouken/keikaku/documents/gaiyou.pdf,（参照日：2015年3月16日）
21）総務省 統計局統計ホームページ, “科学技術研究調査 調査の結果 統計表一覧”, http://www.stat.go.jp/data/kagaku/kekka/index.htm#kekka2,（参照日：2015年1月23日）

（2015年2月26日受付）

☆新製品☆

本会維持会員企業における最近の新製品を表8に示す。

表8　新製品一覧表

分類	会社名	製品名および動向	内　容
土木・建築	日新製鋼	ＺＡＭ＋®(ＺＡＭ®プラス)	溶融Ｚｎ－Ａｌ－Ｍｇ合金めっき鋼板(ＺＡＭ®)の高耐食性に新たな機能をプラスした製品(塗装性付与、防眩性付与の２タイプ)。
	日鉄住金鋼板	エスジーエル®(ＳＧＬ®)	ガルバリウム鋼板®（55%アルミニウム－1.6%シリコン－残部亜鉛）にマグネシウムを 2%添加することで耐食性を飛躍的に向上させた溶融めっき鋼板。日鉄住金鋼板、新日鐵住金株式会社、豪州ブルースコープ社との共同研究開発品である。
産業機械	神戸製鋼所	高疲労強度クランク軸と舵用鋳鍛鋼部材	船舶ディーゼルエンジン用組立型クランクシャフトの「型入れ鍛造法」に関して、日本海事協会殿より「設計疲労強度向上」の認証を世界で初めて取得。
	ＪＦＥスチール	世界最大厚の降伏強度 460MPa 級高アレスト鋼板	超大型コンテナ船の安全性保証に必要となる、優れたアレスト性能を有したYP460MPa級極厚高強度鋼板。
電気機械	ＪＦＥスチール	スーパーコア®JNSF	高い飽和磁束密度と高周波低鉄損を従来以上に高レベルで両立した表層 6.5%の Si 濃度傾斜型電磁鋼板。2014 年度金属学会技術開発賞受賞。リアクトル、モーター等の小型、高能率化に貢献。
自動車	ＪＦＥスチール	JIP クリーンミックス JFM®X	ドリル加工性と旋盤切削性の両方に優れるオールマイティーな被削性に優れる偏析防止処理鉄粉。
		JIP クリーンミックス® ZERO	特殊な潤滑材を用いて粉末の充填性を高める事で焼結部品の重量や寸法安定性を向上できる偏析防止処理鉄粉。
エネルギー分野	新日鐵住金	原油タンカー用高耐食性鋼板 NSGP®-2	タンカーの上甲板や隔壁の腐食環境に耐える鋼板。※NSGP®-1 はタンカーの底部用耐食鋼。
		衝突安全性に優れた造船用鋼板 NSafe®-Hull	高延性とすることで、船舶の衝突時の吸収エネルギーを増加させ、沈没等の致命的事故の回避に有効な鋼板。
		高圧水素用高強度高窒素ステンレス鋼 HRX19®	水素ステーションや燃料電池自動車の軽量化に貢献できる高強度かつ耐水素脆性に優れる新材料。
	ＪＦＥスチール	X80 グレードの管厚 1 インチ（25.4mm）電縫鋼管	高強度・厚肉材の豊富な製造実績を基にした独自の成形技術により実現した世界で初めての電縫鋼管。
		石炭運搬船用高耐食性厚鋼板「JFE-SIP®-CC」	石炭運搬船のカーゴホールドの腐食を低減し、メンテナンスコストの削減を可能とする世界初の高耐食性鋼板。
	日本製鋼所	水素ステーション用蓄圧器	容量 300L、設計圧力 99MPa の鋼製蓄圧器。疲労き裂進展を抑制する高耐久化施工、高精度検査により 10 万回の寿命を達成。
その他	ＪＦＥスチール	JIP S91（粉美人®）	あらかじめ鉄粉と焼石膏を所定割合で均一配合した直播稲作で使用される種子コーティング用の鉄粉。
	神戸製鋼所	高機能抗菌めっき技術『KENIFINE®（ケニファイン）』	神戸製鋼所が独自開発した高機能ニッケル系合金めっき技術であるケニファイン「KENIFINE®」を植物プラントへ初採用。植物プラント内の床や壁などにケニファイン水系コート を塗布。
	大同特殊鋼	ダイカスト金型専用溶接補修材 DHW	溶接ままで金型と同等の硬さとなる溶接補修材。従来材よりも補修部のヒートチェックの発生や進行を遅らせる。
		DAT58　(TNCZ)	人体に優しい元素からなり、しなやかさと複雑な形状にも加工できる成形性を有した低弾性率チタン合金。

☆生産技術のトピックス☆

2014年の注目すべき技術開発、新設備、新製品などの概要を紹介する。

粉コークス改質（LCC：Lime Coating Coke）による焼結NO_x低減技術

新日鐵住金（株）

鉄鉱石焼結工程においては燃料である粉コークスを燃焼させる際に、含有窒素分の一部が酸化されることによって窒素酸化物（以下、NO_x）が発生する。焼結鉱増産に伴い、NO_x排出量もそれに応じて増加するため、NO_xの低減対策は不可避となっている。

これまで、発生NO_xを系外で還元処理する脱硝設備対策が広く普及したが、設備費やランニングコストが高額である問題があった。

そこで、本技術（LCC）では、粉コークスと水和生石灰を事前造粒し、粉コークス表面に$Ca(OH)_2$被覆層を形成する粒子を作込む斬新なアイデアを取り入れた。その狙いは、1200℃以上の高温下において、被覆水和生石灰と周囲の鉄鉱石とを反応・溶融せしめ、粉コークスからの脱離により燃焼を活発化させる点である。この結果、粉コークス表層の酸素分圧低下を介して、NO_x生成量が低減する。

本件は2009年に研究を着手し、ラボ試験・実機試験を経て、2013年1月に大分第二焼結機へ導入した。その結果、NO_x排出量は15%低下した。併せて、粉コークスの造粒強化によって、1.1%の歩留改善効果や0.6t/d/m^2の生産率向上効果も得られた。

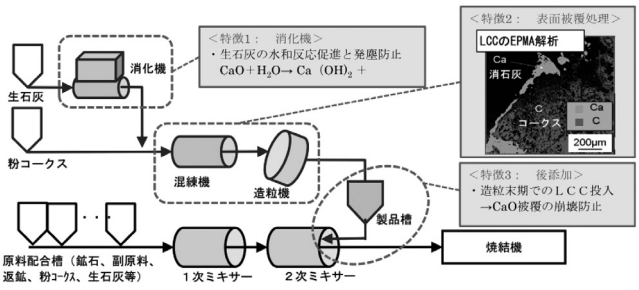


図　LCCプロセスフロー

溶解プロセス合理化順調稼働

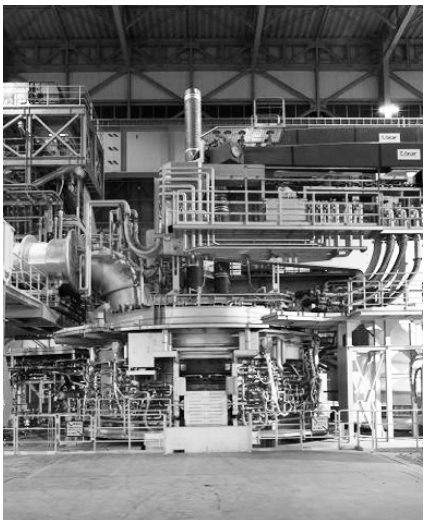
大同特殊鋼（株）

13年11月に知多・製鋼工場に導入した150t電気炉を含む溶解プロセスは順調に稼働し、2014年度の粗鋼生産は約150万tとなる見込みである。

本プロセスは、関連設備を含め総額約200億円を投じたもので、炉容量の拡大と共に製鋼工場内の溶鋼搬送ラインを整流化し、連続鋳造機能力をフルに発揮させ、品質の更なる向上とコスト競争力アップを図るもので、トータルの生産効率を大幅にさせた。

また溶解入熱効率の向上、ガスや炭材など代替エネルギーの積極活用によるエネルギー多様化など様々な新技術の導入により、エネルギーコストに関しても従来対比、約10%低減。電気料金値上げに対応すると共に、粗鋼生産能力も約20%向上させた。

この合理化により、自動車や産業機械向け特殊鋼を中心にものづくり競争力を更に高めていく。



原油タンカー用耐食鋼の開発

新日鐵住金（株）

新日鐵住金は、IMO（国際海事機関）が定める原油タンカーの貨物タンク（COT）甲板（天井部）の耐食性能基準を満たす高耐食鋼板NSGP®-2を開発し、（一財）日本海事協会及びロイド船級協会から、共に世界で初めて承認を取得した。

2010年のCOT防食措置に関する国際条約改正により、2013年以降建造契約されるタンカーの腐食対策が義務付けられた。この対策として耐食鋼を使用する場合は、IMOおよび船級協会のルールを満足するものとして承認を得ることが必要となる。NSGP®-2が船級協会から承認を受けたことで、防食が義務付けられるCOTに適用する際、正式に塗装なしで使用できることとなった。

COTの天井部は防爆目的で導入されるエンジン排ガス成分（CO_2, O_2, SO_2）と原油由来のH_2Sが存在し、昼夜の温度差により濡れと乾きが繰り返される極めて特異な腐食環境下にある。この環境においては弱酸性の結露水による乾湿繰り返しにより腐食が進行するという機構をベースに再現試験法を確立し、少量の合金元素添加により耐食性を大幅に向上させたNSGP®-2を開発した。

NSGP®-2は船級規格を満足する材料特性と従来鋼とほぼ同等の施工性を有する鋼材であり、原油タンカー COT天井部に約8年間適用し実環境で優れた耐食性を有することを検証した。本結果を基に25年後の推定板厚減少量を求めたところ、IMO規定の腐食試験の合格基準である2mmに対し、従来鋼は2.7mmとなり基準を上回るが、NSGP®-2では約1.6mmと従来鋼の6割程度で、長期間の無塗装使用が可能となると考えられる[1)]。

新日鐵住金が既に開発し2011年に船級協会の承認を取得している原油タンカー COT底板用の耐食鋼NSGP®-1とNSGP®-2とを組み合わせることで原油タンク底部から天井部まで塗装が不要となり、建造時や竣工後の定期的維持管理に際し、塗装・点検用足場等の周辺準備等含め、塗装費削減や工期短縮、更にはVOC (揮発性有機化合物) の削減による環境負荷軽減にも寄与する。

1) 新日鐵住金技報 , 400 (2014) 86.

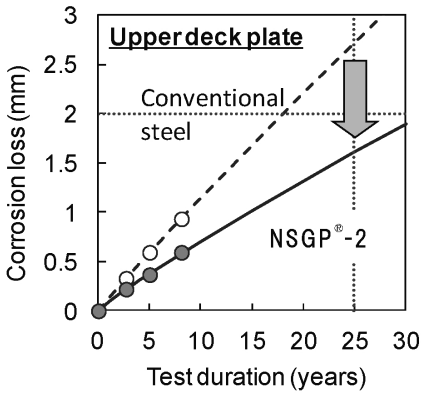


図　NSGP®-2の実船試験結果および25年後推定腐食量

衝突安全性に優れた造船用鋼板「NSafe®-Hull」

新日鐵住金 (株)
今治造船 (株)
(独) 海上技術安全研究所

新日鐵住金が開発した、衝突安全性に優れた高延性造船用鋼板「NSafe®-Hull (エヌセーフ ハル)」が、今治造船、海上技術安全研究所との実用化に向けた共同研究を経て、世界で初めて (株) 商船三井の船舶 (ばら積み船) に採用され、2014年8月2日に進水した。

NSafe®-Hullは、従来の施工性を維持しながら、化学成分の適正化とTMCP (Thermomechanical Control Process) 技術の活用により、フェライトと第二相の組織分率を最適化し、かつ第二相を微細分散させるミクロ組織制御を行うことで、高強度と高延性の両立を可能にした。さらに、Sの低減と介在物制御を行うことで、延性破壊のボイドの起点となり得る粗大介在物を減少させ、伸びのばらつきを低減した。TMCP 技術の活用は, 炭素当量及び溶接割れ感受性組成の低減にも寄与しており、十分な溶接性と溶接熱影響部靭性を確保した。

NSafe®-Hullは延びに優れるので、非線形有限要素法解析によるシミュレーションの結果、例えば、ばら積み船に適用した場合、船体中央部に側面から衝突された際に破口発生までの衝撃吸収エネルギーが従来鋼に比べ約3倍となる (図1)。船体の破口発生の抑制により、貨物の保護、深刻な環境汚染につながる油流出の防止の役割を担う。

今回実用化された船舶には、貨物倉船側部、燃料タンク部などの高い衝突安全性が求められる部位に、合計約3000tのNSafe®-Hullが採用された。さらに2015年10月に竣工予定のばら積み運搬船にも約2000t適用される予定である。

今後は、(一財) 日本海事協会では、本船のように安全性を高めた船舶に対し「ノーテーション (識別表示)」を付与し、船舶の安全性向上を推進することを検討している。

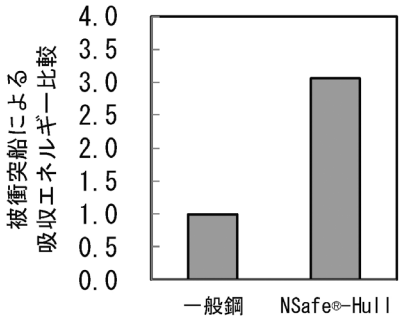


図1　被衝突船 (ばら積み船) による吸収エネルギーの比較 (一般鋼の場合を1として正規化)

厚板加速冷却設備の改造

(株) 神戸製鋼所

神戸製鋼所は加古川製鉄所　厚板工場の加速冷却設備を2014年7月に改造した。2015年3月に本格稼働の予定。

新興国を中心とした世界的なエネルギー需要の増大・北米でのシェールガス革命等により、石油やガスを生産・輸送する海洋構造物やパイプラインの市場は将来的に拡大して行くと予想されている。そのトレンドに対応するため、当社では海洋構造物用鋼板やラインパイプ用鋼板の開発と拡販を進めている。

海洋構造物やラインパイプに使用される鋼板の多くは、圧延直後の加速冷却設備で鋼板全体を高速で均一に冷却し、かつ冷却温度域を高い精度で管理することで組織微細化を行い、破壊に対する高い安全性の確保と良好な溶接施工性を実現するためにTMCP※が適用されている。

今回既存の加速冷却設備を、水冷ノズルを稠密に配置しかつ鋼板に近づけると共に、水を高圧で噴射する方式に改造することで、鋼板の均一冷却に適したものとし安全性の確保と良好な溶接施工性の双方を実現した。これによりエネルギー分野向けの高機能鋼の対応力を強化できると共に、造船や建材分野向け製品についても高機能化を図る。

※Thermo Mechanical Control Process（制御圧延、制御冷却を適用した製造技術）

石炭運搬船用高耐食性厚鋼板「JFE-SIP®-CC」

JFEスチール（株）

JFEスチールは、石炭運搬船カーゴホールド（貨物倉）の腐食を抑制する高耐食性厚鋼板「JFE-SIP®-CC」を世界で初めて開発し、石炭運搬船に初採用された。

石炭運搬船のカーゴホールドでは、石炭の硫黄分が結露水と反応して希硫酸水溶液が生成され、鋼板が激しく腐食する。そのため、定期的な再塗装や、場合によっては鋼板の交換が必要となり、メンテナンスコストを増大させていた。更に腐食が広範囲に渡る場合は、船の寿命自体に影響を与えていた。

JFEスチールは、適切な合金元素の添加により、石炭に由来する硫酸イオンの鋼材表面への侵入をブロックする保護性の高い緻密な錆層が形成されることを見いだし、腐食減肉を遅らせることが可能な本耐食鋼を開発した（図1、図2）。

実際のカーゴホールド内での暴露試験でも、実験室での腐食試験と同様に耐食鋼の優位性を確認している。実験室での石炭積載腐食試験では、鋼板の寿命が大幅に延びることが確認されており、石炭運搬船のメンテナンスコストの削減が期待される。また、本耐食鋼は、従来鋼と同等の溶接性や加工性を有しており、船舶建造に際しての特別な施工管理も必要としない。今後、本耐食鋼の適用拡大により、石炭運搬船のライフサイクルコスト低減に寄与していく。

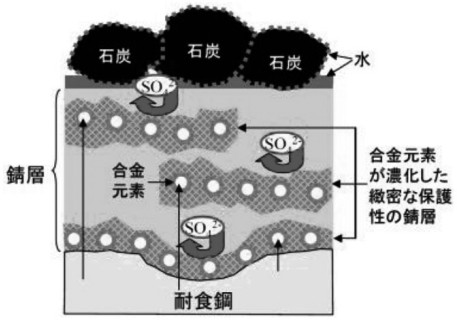


図1　防食機構

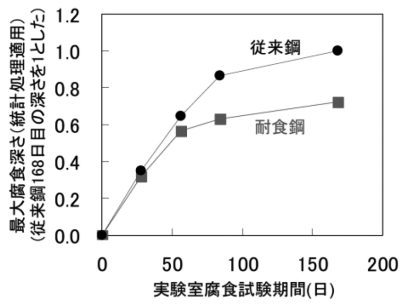


図2　実験室石炭積載腐食試験結果

世界最大厚の降伏強度460MPa級高アレスト鋼板

JFEスチール（株）

JFEスチールは、メガコンテナ船に用いられる世界最大厚（80mm）の降伏強度460MPa級高アレスト鋼板を開発し、（一財）日本海事協会より認証を取得した。

コンテナ船は、その構造上大きな開口部を有し、デッキ上部構造に高強度厚肉の鋼材を使用する必要がある。更に近年、16,000TEUを超えるメガコンテナ船も建造され始め、デッキ上部構造では降伏強度460MPa級、板厚80mmの鋼板が必要となった。しかし、鋼板は高強度厚肉になるほど靭性が低下し、亀裂の伝播を抑制するアレスト特性も低くなるため、メガコンテナ船デッキ上部構造用の高アレスト鋼板を製造することは困難であった。さらに、IACSにより、2014年以降に新規契約されるコンテナ船にはデッキ上部構造へのアレスト設計が義務付けられることとなった。この様な背景から、新規メガコンテナ船用に適用できる極厚の高強度かつ高アレスト鋼板が求められていた。

JFEスチールは、鋼板のアレスト特性向上のために、結晶粒の微細化に加えて、TMCP技術を駆使することにより、亀裂進展の抵抗となる向きの結晶比率を通常より上昇させる独自の結晶方位制御技術を適用し、極厚・高強度の鋼材においても高いアレスト性を確保することを可能とした。今後、コンテナ船の大型化による輸送効率の更なる向上や船舶航行の安全確保に貢献していく。

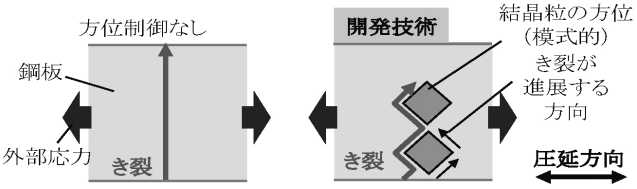


図　結晶方位制御によるき裂伝播抑制技術

高伸び-伸びフランジ型高張力合金化溶融亜鉛めっき鋼板

JFEスチール（株）

自動車軽量化のために車体強度や耐衝突特性を支える骨格部品向けにプレス成形性の優れた鋼板として伸びの高い高張力合金化溶融亜鉛めっきが開発されてきたが、高い伸びだけではプレス成形出来ない部品に対しても高強度化の必要性が迫ってきている。JFEスチールは、この状況に対して従来鋼に比べて伸びフランジ成形性を向上させた、高伸び-伸びフランジ型高張力合金化溶融亜鉛めっき鋼板の開発に取り組んできた。

従来、高強度で高い伸びを得るために硬度差のある複数の金属組織を鋼板の中に共存させる方法がとられていた。この方法では、鋼板をプレス用ブランク素材に打抜く工程において金属組織の硬度差が原因となって成形時に鋼板端面内部に

おいて割れの起点となるボイドが発生しやすくなる。このボイドが鋼板の伸びフランジ成形性を低下させることになり、図1に示すように伸びフランジ成形性が自動車骨格部品への高張力合金化溶融亜鉛めっき鋼板の更なる適用拡大での大きな課題となっていた。JFEスチールは独自の熱処理により金属組織それぞれの硬度や体積などを精緻にコントロールする画期的な組織制御技術を開発し、図2に示す伸びを高く維持したままで伸びフランジ成形性に優れた590～980MPa級合金化溶融亜鉛めっきを開発した。

この開発鋼板は、従来鋼に比べて約2倍もの穴広げ率を有している。これにより、自動車骨格部品の形状自由度が広がることから、深い絞り形状のピラーロアなどの車体骨格部品について高張力合金化溶融亜鉛めっき鋼板のさらなる適用拡大に貢献できる。

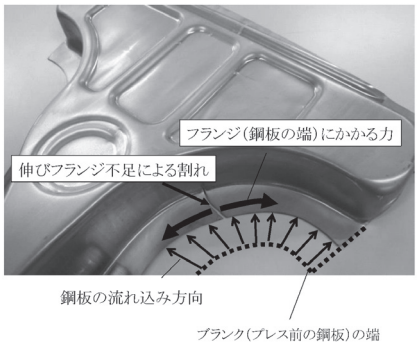


図1　伸びフランジ成形性不足による高張力合金化溶融亜鉛めっき鋼板のプレス割れ事例

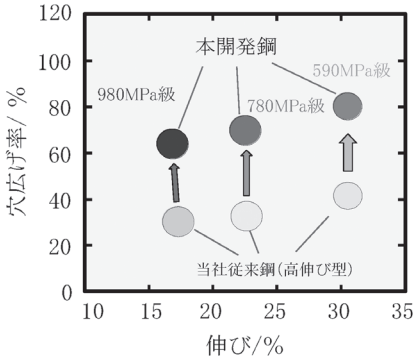


図2　開発鋼の伸びフランジ成形性

高圧水素用高強度高窒素ステンレス鋼HRX19®の開発

新日鐵住金（株）

新日鐵住金は燃料電池自動車や水素ステーションなどの高圧水素用途の高強度ステンレス鋼HRX19®を開発した。この開発材は既に複数の商用水素ステーションに採用されている。

燃料電池自動車の航続距離向上のためには従来の35MPaよりも圧力が高い70MPa級の水素タンクが必要となる。また、水素ステーションでの充填を高速度化するためには配管内径の拡大が必要となる。これを実現するためには、自動車やステーションに使われる金属材料に、これまで用いられてきた材料（SUS316L等）より高強度が必要で、あわせて、水素ガスの漏洩防止や施工コスト低減のため、溶接ができることが強く望まれていた。

そこで新日鐵住金はNi添加量をSUS316Lレベルに抑えつつ、Niと比較して安価な元素であるMnやCr、Nの添加量を適正化することで金属材料では最高レベルの耐水素脆性（図1）と高強度（図2）の両立を実現した新材料を開発した。開発材は溶体化熱処理ままで高強度を達成しており、溶接施工も可能となる。

水素ステーション普及に向けた課題の一つに莫大な建設・運転コストが挙げられるが、このHRX19®を使用することにより装置の小型化、軽量化が可能となりコスト低減が図られる。さらには溶接施工を適用することでメンテナンスコストの低減に加え、安全性の更なる向上も期待される。まさに水素社会に変革をもたらす優れた材料である。

新日鐵住金は今回紹介した開発材だけでなく、製鉄所で副生する水素の活用や水素輸送に用いられる各種配管の製造など、二酸化炭素を排出しない燃料電池の普及に向け、これからも貢献していく。

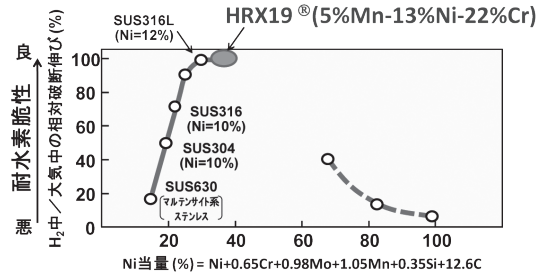


図1　HRX19®の耐水素脆性

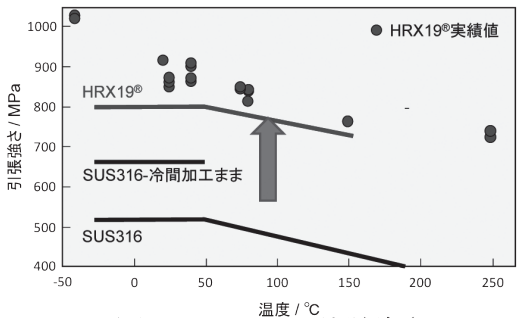


図2　HRX19®の引張強さ

高耐食性継目無鋼管『JFE-UHP®-17CR-110』初納入

JFEスチール（株）

JFEスチールは、ブラジル国営石油会社Petróleo Brasileiro S.A.（以下、「ペトロブラス社」）がブラジル沖合で展開する油田開発プロジェクト向けに、ケーシングパイプ用油井管『JFE-

UHP®-17CR-110』280トンを納入した。耐腐食性に優れた継目無鋼管『JFE-UHP®-17CR-110』の納入は今回が初めてであり、管厚13.84mm、外径9.625インチ（244.4mm）の鋼管を知多製造所で製造、出荷した。

同プロジェクトは、ブラジル沖合の海底盆地の海底下3,000m ～ 4,000mにあるプレソルトと呼ばれる層から原油を産出するプロジェクトである。プレソルトは高腐食環境であり、従来は耐腐食性に優れた二相系ステンレス鋼と呼ばれる超高級材が多く使用されてきた。当社が独自に開発した『JFE-UHP®-17CR-110』は、高強度で高温特性に優れた耐腐食性鋼管である『JFEUHP®-15CR』よりもさらに耐腐食性を高めた鋼材で、二相系ステンレス鋼に比べてコスト面・納期面でのメリットが見込まれる。

また、パイプ同士の接続部には、シール形状に特徴がある最新特殊ネジの『JFELION®』が使用される。

本件は『JFE-UHP®-17CR-110』の初納入案件である。当社の長年にわたる世界の様々な油田・ガス田開発プロジェクトへの高級鋼管の供給実績、およびそれを支える最先端の鋼管製造技術と品質への高い信頼性が評価され、今回の初受注に至った。

図　製造中の『JFE-UHP®-17CR-110』

鋼板凹凸表面欠陥検査システム

JFEスチール（株）

薄鋼板表面の凹凸量が数μm程度の非常に小さいロール疵は、そのままの状態では目視確認できないが、お客様で加工時に塗装されると明瞭に見えるようになり、外観上大きな問題となる。従来、このロール疵を見つけるために、鋼板の走行を一旦停止し、砥石がけを行った後に目視検査を行っていたが、生産性を阻害する一要因となっていた。

上記に対し、ロール疵部での残留応力に起因した歪みが透磁率変化を引き起こすメカニズムを解明、漏洩磁束法の適用に取り組み、JFEスチール西日本製鉄所福山地区No.4CALへ検査装置を設備化した。本装置における探傷ヘッドは、幅方向磁化器と1mmピッチで配置された100chのホール素子より構成され、1回につき幅方向100mm、長手方向24mを検査する。ここでロール疵は、幅方向同一位置に該当ロール周期でコイル全長に渡って発生することから、一方の板エッジから他方に向かって、上記所定長さ分を検査、横行、検査を繰り返しながら全幅検査する。各ホール素子からの探傷信号は、10回の同期加算処理を施すことでS/Nを3倍程度向上、安定したオンライン探傷を実現した。

本装置は2010年1月より運用を開始、ライン停止を伴う定期的な砥石がけ頻度を従来の4割まで低減させることで、ライン生産能率が大きく向上した。

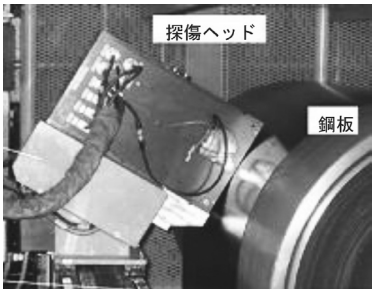


図　探傷ヘッド外観

Phased-Array UTを用いた超大型ロータ軸材の評価手順確立

（株）日本製鋼所

一体LPロータ軸材の超大型化が進み、近年では最大径がφ3,200mmにまで達しているが軸材を伝播する超音波のエネルギは軸材径の二乗に反比例して減衰することから従来UT法では“きず”の「検出能」を上げる事が困難になっている。

「検出能」を上げられない主要因は超音波が鋼中で拡散しながら伝搬する「拡散損失」によりエネルギが減衰するからであり、もう一つは探触子と探傷面が密着せずに超音波のエネルギをロスする「伝達損失」である。

「拡散損失」を防ぎエネルギを軸材の中心部まで到達させるために、超音波を電気的に収束させるPA-UTの機能 “Zone Focusing”（図1）を応用して“近距離”“中距離”および“遠距離”のそれぞれに収束させるような超音波特性を設計する事で一度の探傷走査で全域をカバーする事を可能とした。その特性を用いて“きず”の「検出能」を評価した結果、最小検出欠陥（きず）サイズが従来UT法では一体LPロータ軸材の中心部でφ1.2mm程度に対し本方法ではφ0.4mmと大幅に向上させる事が可能になった。また「伝達損失」を軽減する為に、1つの探触子を4つのハウジングに分割し、個々のハウジングが外周面の曲面に追従するようにデザインした探触子を開発した。

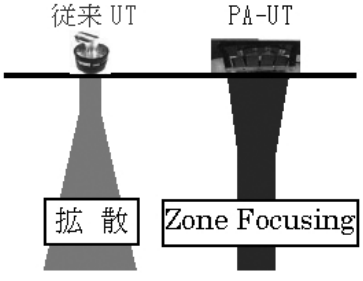


図1　PA-UT/Zone Focusing

日本製鋼所では、確立した品質評価手順を自動UT装置に組入れて一体LPロータを探傷することで「高い検出能」を維持したまま、要求する探傷デ-タを効率よく正確に採取する事を可能とした (図2)。

図2　自動UT装置による探傷

水素ステーション用蓄圧器

(株) 日本製鋼所

日本製鋼所は、水素ガス脆性に対する長年の材料研究を基に設計圧力99MPaの高耐久・高信頼性を有する鋼製水素蓄圧器の開発に成功し、燃料電池自動車 (FCV) 用の水素ステーションに採用された。

水素蓄圧器は、高圧容器としての設計・製造要求に加え、水素環境下での材料の脆性も考慮する必要がある。材料はアメリカ機械学会 (ASME) で超高圧圧力容器への使用が認められている強度・じん性に優れた低合金鋼SA-723Mを用い、高圧水素中での各種評価試験により高い安全性を確認している。また、製造の各工程においても水素脆性の影響を低減させるための種々の対策を施し、特に加工工程では水素中の疲労き裂進展を抑制するための高耐久化処理も施している。製造中の検査においては、圧力容器メーカーとしての数多くの実績やノウハウを基に厳しい検査項目を設け、万全な品質管理体制で製造している。その結果、サイクル寿命10万回かつ年数無制限で使用可能な蓄圧器として高圧ガス保安協会 (KHK) の認可を取得し、高い安全性と信頼性を実現した。蓄圧器は、外面からの超音波探傷検査で内表面の欠陥の有無に関する検査ができ、カバーを開放することで内表面の精密検査が可能なストレート形状とし、供用中の信頼性を確保できる構造となっている (図)。

鋼製水素蓄圧器は更に寿命を延ばすことが可能であり、今後のFCV普及期における蓄圧器として期待されている。

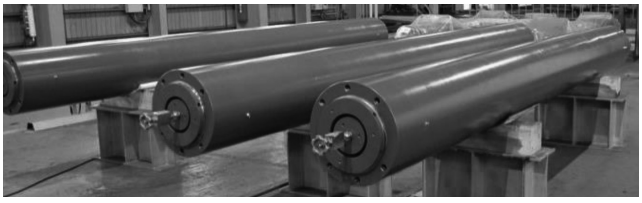


図　300リットル鋼製水素蓄圧器

鉄道車両用歯車装置の低騒音化

新日鐵住金 (株)

近年、省エネルギーおよびCO_2削減の推進により、鉄道の利用増加とともに、利便性改善に伴う鉄道車両の高速化や運用距離の延長等の対策が講じられ、車内の快適性向上や周辺環境の騒音低減要求が高まっている。

新日鐵住金は、歯車装置の一歯毎の噛み合い運動に注目し、騒音の原因となる歯の撓みにより発生する噛み合いの振動起振力が、可能な限り小さくなる様に以下の特徴を持つ新しい歯面修整形状 (図1) の開発に成功した。

1. 噛み合い進行方向にできるだけ長く相手歯車との歯当り接触を保つ事ができる。
2. 走行中の幅広いトルク変動でも噛み合いの起振力の変動が少ない (図2)。
3. 走行中に歯車装置の変位が発生しても、極端な歯面の片当りを防止できる。

この様な特徴を持つ歯面修整として、三次元的な滑らかな歯面修整を施した歯車を開発する事により、現状の寸法形状を維持しつつ、歯車装置の騒音を従来より約10dB低減させる事ができた。これにより新幹線を始めとする高速鉄道や、在来線、地下鉄等幅広い鉄道分野への活用が可能となり、車内の静粛性向上や周辺環境の騒音低減に効果を得ている。

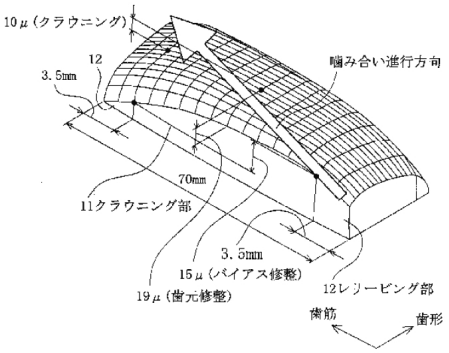


図1　歯面修整形状例

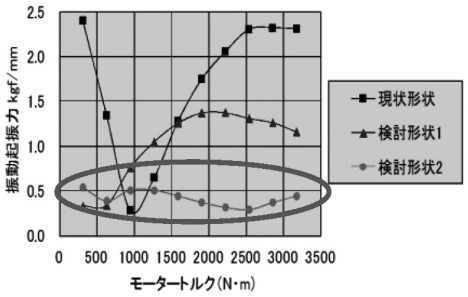


図2. 振動起振力検討結果

入門講座

鉄鋼の日本工業規格－4

高炭素クロム軸受鋼（SUJ）

High Carbon Chromium Bearing Steels (SUJ)

藤松威史
Takeshi Fujimatsu
山陽特殊製鋼（株）
研究・開発センター
軸受・構造用鋼グループ
主任研究員

1 はじめに

SUJ種の軸受鋼は日本規格協会発行のJISハンドブックにおいて特殊用途鋼に分類され、JIS G 4805の「高炭素クロム軸受鋼鋼材」として規格化されている。同規格の制定は1950年に遡り、工具鋼やばね鋼と並び半世紀を越える歴史を刻んでいる。その基本成分系は、1900年代初頭に欧州で登場し、その後一世紀以上にわたって大きな変更はなく、その設計思想の先見性に驚かされる。

軸受は、回転運動や往復運動をする軸などの要素部品を支持し、その回転運動を円滑にして伝達損失を抑える役割を担っている。部品寿命を飛躍的に延長させることから、家電や自動車といった身近な製品をはじめ、産業機械、航空、宇宙分野に及ぶ広範な用途で使用されている。軸受は、すべり軸受（メタル軸受）と転がり軸受に大別され、後者の転がり軸受に対して軸受鋼（SUJ種）が適用されている。我が国では世界規模の軸受メーカー各社によって玉軸受、ころ軸受、円錐ころ軸受、ニードル軸受などの多種多様、大小さまざまな転がり軸受が生産されている。転がり軸受は対となるリング状部品（軌道輪、レース、内・外輪等の呼称があり、本稿では軌道輪で統一する）の間に転動体（前述の玉、ころ、ニードル等）、および転動体を一定の間隔に配置して転動体同士の接触を防ぐための保持器を挟んだ基本構成になっている。また、潤滑性向上ならびに軌道輪と転動体の金属接触を抑えるためグリースや油が用いられる。また、転動体が単列で組み込まれた一般形状の他、複列で組み込まれたものもある。これらの構成は軸受に加わる荷重の大きさや方向を考慮して決定されている。軸受を回転軸と支持側部品（固定軸）の間に導入すると、軸の回転により非回転側の固定軸との間で生じる相対回転を軸受の軌道輪と転動体との転がり運動に置き換えて小さい摩擦抵抗で回転するので、起動時および回転時とも動力損失を最小限に抑えられる[1)]。

一方で、転動体と軌道輪との微小接触部分が荷重を分担する構造的特徴から、軌道輪には数GPaに達する高い面圧（ヘルツ応力）が加わる。したがって軸受鋼には高面圧に繰返し耐えうるだけの高い信頼性が必要となる。以下、本稿では軸受鋼（SUJ）の規格概要、軸受鋼のミクロ組織の特徴、軸受鋼の機能向上の変遷、および軸受鋼の転がり疲れに関する研究事例について紹介する。

2 軸受鋼（SUJ）の規格概要

2014年度版のJISハンドブックによればJIS G 4805「高炭素クロム軸受鋼鋼材」にはSUJ2、SUJ3、SUJ4、SUJ5の4鋼種が示されている。なお、SUJ2やSUJ3の規格制定（1950年）に遅れて、SUJ4やSUJ5が1970年から規格化されている。

表1にSUJ2～SUJ5の化学成分を示す。なかでもSUJ2は生産比率が最も多く、その基本成分は1%Cと1.5%前後のCrの含有が基調になる。世界的にも100Cr6鋼（DIN規格）や52100鋼（SAE、ASTM規格）といったSUJ2と成分が類似した鋼種が広く使用されている。SUJ3～SUJ5は、SUJ2に比べて焼入性向上元素のSi、Mn、Moが適宜増量添加されており、比較的大きな部品に対して適用される。特に大形の軸受用途に対してはSUJ5を選定したり、さらにSUJ種以外で焼入性の高いNi－Mo系はだ焼鋼（SNCM815など）を浸炭して用いることも多い。焼入性とはJISでは「鋼材を焼入硬化させた場合の焼きの入りやすさ、すなわち焼きの入る深さと硬さの分布を支配する性能」と定義されている。図1[2)]にSUJ1～SUJ5種のJIS G 0561の一端焼入方法に基づくジョミニー試験後の焼入端からの距離と硬さの関係（ジョミニーカーブ）を示す。SUJ1（現行JIS 規格からは削除）、SUJ2、SUJ4、SUJ3、およびSUJ5の順にジョミニーカーブの変曲点

表1　化学成分（単位：mass%、JIS G 4805より抜粋）

種類の記号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
SUJ2	0.95～1.10	0.15～0.35	0.50 以下	0.025 以下	0.025 以下	1.30～1.60	—
SUJ3	0.95～1.10	0.40～0.70	0.90～1.15	0.025 以下	0.025 以下	0.90～1.20	—
SUJ4	0.95～1.10	0.15～0.35	0.50 以下	0.025 以下	0.025 以下	1.30～1.60	0.10～0.25
SUJ5	0.95～1.10	0.40～0.70	0.90～1.15	0.025 以下	0.025 以下	0.90～1.20	0.10～0.25

※不純物としての Ni 及び Cu は、それぞれ 0.25%を超えてはならない。ただし、線材の Cu は、0.20%以下とする。不純物として SUJ2 及び SUJ3 の Mo は、0.08%を超えてはならない。

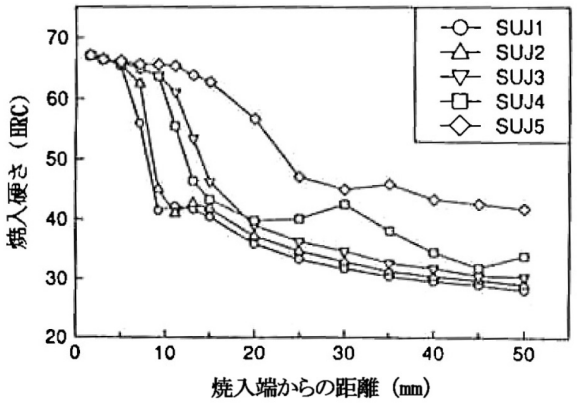


図1　SUJ1～SUJ5のジョミニーカーブ[2)]

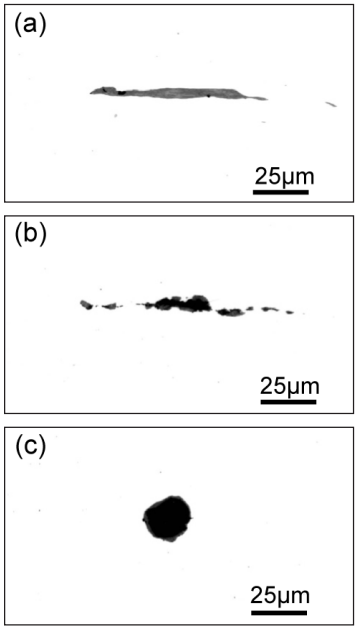


図2　非金属介在物の光学顕微鏡写真（エッチングなし）(a) 硫化物（グループA)、(b) 酸化物（グループB)、(c) 酸化物（グループDS相当)、分類方法は表2に準じる

が焼入端から離れており、これは同一条件焼入れにおいて深くまで高い硬さが得られること、すなわち焼入性が高いことを表す。

続いて製造方法について触れる。JISでは「鋼材は、溶鋼に真空脱ガス処理を行ったキルド鋼又は受渡当事者間で協定した方法によるキルド鋼から製造する」と規定される。キルド鋼（強脱酸鋼）から製造するとの記述は他のJIS規格鋼材にも見受けられるが、真空脱ガス処理を行うとの記述は軸受鋼にのみ見られる。これは後述するように鋼材の真空脱ガス処理による鋼中酸素量低減と軸受鋼の性能向上とが連動してきたことと無縁ではないであろう。また、熱処理に関し、「鋼材は通常、球状化焼なましを行う。ただし、注文者の指定によって、球状化焼なましを省略することができる。」との記述がある。前半の記述は、軸受鋼から部品を製造する工程において球状化焼なましの実施が欠かせないことに起因する。後半で省略することができるとあるのは、需要家で部品を製造する過程において熱間ローリングや熱間鍛造を利用すると球状化焼なまし組織がいったんキャンセルされてしまうためであり、この場合は需要家において球状化焼なましが行われる。

軸受鋼の非金属介在物についても規定がある。非金属介在物とは、鋼を溶解して製造する工程で不可避的に生成混入する非金属性の微小異物であり、軸受の主な破損要因の一つとされる。したがって、これらは鋼中に存在しないことが望ましいが、現代の精錬技術で完全に除去することは不可能である。JIS G 4805には軸受鋼の非金属介在物の試験方法として、「･･･特に指定のない限り、JIS G 0555の附属書1による。」との記述がある。附属書1「点算法による非金属介在物の顕微鏡試験方法」に記載の方法は、光学顕微鏡の接眼レンズに規定の格子線をもつガラス板を挿入して、被検面を検鏡し、格子点と所定観察視野内の介在物とが重なった交点の数によって清浄度を評価する方法である。JIS G 4805 にはこの方法による清浄度の規格値のみが記載されている。同方法は大量に介在物を含有する鋼に対しては有効であるが、清浄度を高めて介在物数を低減した昨今の軸受鋼では清浄度の差異を判定するのに十分な方法ではなくなりつつある。

図2は軸受鋼中の非金属介在物の観察例である。軸受鋼には例示した延伸性あるいは非延伸性の介在物が頻度や大きさの差こそあれ包含されている。非金属介在物（硫化物や酸化物等）は、母相である軸受鋼とは異なる物性値（硬さ、ヤング率、剛性率など）を有しており、負荷応力に対して応力集中源としての作用をもたらし、転がり疲れ寿命に影響を及ぼす

と考えられる。

現在、JIS G 0555の「鋼の非金属介在物の顕微鏡試験方法」では、より詳細な介在物検査法の一つであるISO 4967：1998（Steel－Determination of content of nonmetallic inclusions－Micrographic method using standard diagrams）を翻訳し、その技術内容を変更することなく作成した規格内容が主に用いられている。それによれば、非金属介在物は図2に例示した形態を含むグループA、B、C、D、およびDSの5群に大別される（表2）。なお、ISO 4967：1998と類似した試験方法としてASTM E45-13（Standard test methods for determining the inclusion content of steel）があり、通称ASTM法として国内でも良く利用されている。この方法ではDSの区分は特に設けていない。

以上に挙げた方法は、鋼材の供給者、および需要家の双方にとって鋼材の品質評価手段として一定の効力を有する。しかしながら、この評価をもって鋼材の疲労強度を予測することはできないのが現状である。近年、大体積の鋼材の清浄度を評価するために統計的手法を利用した介在物径予測方法[3]や、超音波探傷法を利用した評価方法[4,5]が検討されている。その有用性は大いに認められるが、現在のところJISの規格化には至っていない。

3 軸受鋼のミクロ組織の特徴

軸受鋼はその使用に際して特有の熱処理が施されており、その熱処理に応じた軸受鋼のミクロ組織に注目して解説する。軸受鋼は素材としての棒鋼や鋼管、あるいは熱間鍛造品に対して球状化焼なまし処理を行って硬さを十分に低減することで、その後の部品加工時の切削や冷間加工が容易になる。その後、焼入れと低温焼戻しを施して60HRC（一般に軸受に必要な硬さは58HRC以上）を超える高硬度と球状炭化物がマルテンサイト中に分散したミクロ組織にすることで所望の転がり疲れ特性や耐摩耗性が備わる。

図3はSUJ2の圧延材のミクロ組織である。1%C-1.5%Crをベース組成とする過共析鋼であるのでパーライト組織が主体になる。これに適切な球状化焼なましを加えると、図4[6]のように炭化物が球状化し、かつ均一に分散したミクロ組織が得られる。球状化焼なましの加熱方法は一般的に最高点温度780～810℃程度まで加熱保持後（SUJ3、SUJ5では760～790℃程度）、650℃程度まで徐冷する方法が採られる。この際、最高点温度が低すぎると熱間加工後のパーライトが残存し、高すぎても徐冷中にパーライトが析出していずれも球状

表2　非金属介在物の形態による分類（JIS G 0555より抜粋※）

グループA（硫化物系）	一般的に端が丸く、高延伸性で、アスペクト比（長さ／厚さ）が広い範囲をとる灰色の個別の粒子
グループB（アルミナ系）	多数の変形しないで、角があり、低アスペクト比（一般的に3未満）をとる黒か青みがかった変形方向に整列した（3以上の）粒子群
グループC（シリケート系）	一般的に端が鋭く、高延伸性で、アスペクト比は広い範囲（一般的に3以上）をとり、黒か濃い灰色の個別の粒子
グループD（粒状酸化物系）	変形しないで、角張っているか又は円形の低アスペクト比（一般的に3未満）をとる黒又は青みがかったランダムに分布する粒子
グループDS（個別粒状介在物系）	円形又は円形に近く、直径が13μm以上の単独の粒子

※この介在物分類はJIS G 0555の附属書1に規定される分類方法とは異なる

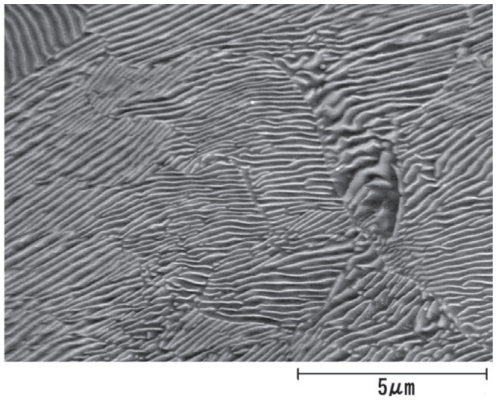


図3　SUJ2圧延材のSEM観察写真（ナイタール腐食）

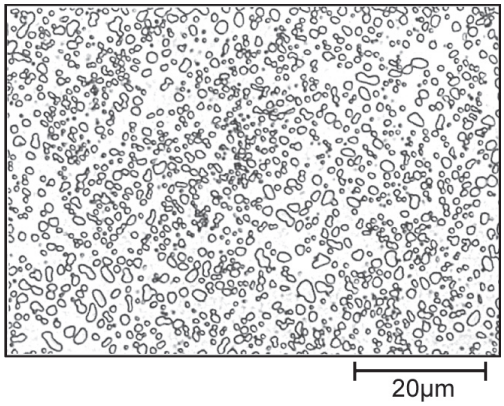


図4　SUJ2の球状化焼なまし組織の光学顕微鏡写真（ピクラール腐食）[6]

化組織不良となる。炭化物を球状化するのは、良好な被削性、および冷間加工性を確保することだけが目的ではない。球状化することで焼入加熱保持中の炭化物の急速溶解が抑制され、マトリクス中に炭素が過剰に溶け込むことを防ぐ。なお、1.5％程度のCr含有は、焼入性への寄与以外に球状化焼なましの炭化物を微細かつ安定にして焼入作業を容易にする意味合いがある。

続いて焼入れにおける軸受鋼のミクロ組織について紹介する。図5はSUJ2のジョミニー試験後の試験片における焼入端から5、7、9および11mmにおけるミクロ組織の観察結果である。焼入端から5mmの位置は良好な焼入れ組織である。マトリクスの微細組織構造はピクラール腐食では明瞭ではないがマルテンサイト組織が主体であり、それ以外に球状炭化物、および10%程度の残留オーステナイトを含んでいる。炭化物径は球状化焼なましに比べて微細であり、これは焼入保持中に炭化物の一部がマトリクス中に固溶するためである。なお、軸受鋼のマトリクスの固溶炭素量は0.5％前後程度が寿命に最適とされている[7,8]。7mm位置では黒く腐食された部分が見られ、9mmではさらに顕著になる。これらは不完全焼入れによるベイナイト組織である。11mmでは全体的に黒く腐食され、もはや正常なSUJ2の焼入組織とはかけ離れた不完全焼入れ組織を呈する。つまりSUJ2は焼入性がそれほど高くないのであり、焼入作業には注意が必要である。目安として、丸棒中心部で60HRCの硬さが得られる最大直径はSUJ2で25mm、SUJ3で51mm、SUJ4で43mm、SUJ5で89mmである[9]。なお、標準的な熱処理としてSUJ2では800～840℃（SUJ3、SUJ5は790～830℃）で加熱保持後、油中あるいは水中への焼入れ[9]、および狙い硬さに応じた120～200℃で1～2h程度の焼戻しを行う。

図6[10]はSUJ2について、温度T（単位：K）と時間t（単位：h）からT・(35＋logt) に従って計算される焼入れパラメータPと焼入れ硬さ、残留オーステナイト量の関係を示している。一見すると比較的広いパラメータ範囲で同様の硬さが得られている。しかし、残留オーステナイト量に注目するとパラメータ値の増大とともに単調に増加していることが分かる。これは主にマトリクスへの炭素の固溶が多くなるためであり、先に述べた適正なマトリクス炭素量からの逸脱を意味する。通常、対象部品を炉加熱する場合には高温・短時間の熱処理より低温・長時間の熱処理の方が推奨される。

4 軸受鋼の機能向上の変遷

一般に、鋼の諸特性はその化学成分によって大きく変化し、機能向上を迫られれば鋼種の再選定・新鋼種設計が手段の一つになる。ところが、軸受鋼は一世紀以上の長きにわたりその基本成分を大きく変えていない。それでは軸受鋼の性能も変化していないのだろうか。経験上、国内外の成分がほぼ同様の高炭素クロム軸受鋼であっても、転がり疲れ特性に差が見られることがある。それは製鋼メーカー各社の操業条件や所有設備の違いによって、鋼の製造過程で不可避的に含有される非金属介在物、とりわけ酸化物系介在物について、その大きさや頻度といった鋼中での存在状態に差があることに一

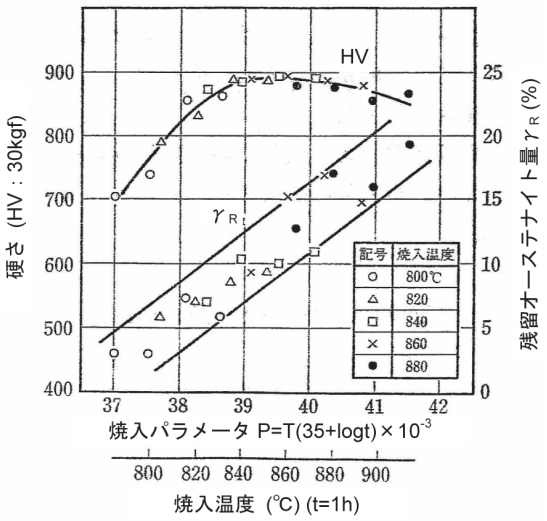


図6　焼入パラメータと焼入硬さ、残留オーステナイト量の関係[10]

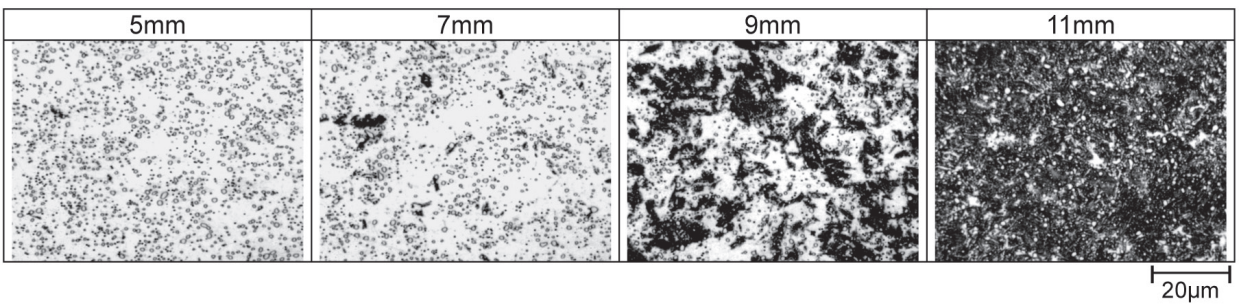


図5　SUJ2のジョミニー焼入試験片の焼入端から5、7、9、および11mmにおけるミクロ組織の光学顕微鏡写真（ピクラール腐食、試験は焼ならし、球状化焼なまし後に845℃加熱焼入れにて実施）

因がある。軸受鋼の性能向上は精錬や鋳造といった製造技術の発展と密接に関わり、今日、飛躍的な性能向上を果たしている。以下に連続鋳造における軸受鋼の製造工程として当社の概略工程を例示し、その工程について簡単な説明を加える。

電気炉（EF）溶解→取鍋（LF）精錬→RH脱ガス→連続鋳造（CC）

上記工程において、当社ではまず電気炉（Electric Furnace（EF））を用いてスクラップなどの主原料を溶解している。そして、溶解した鋼は汚染防止のため偏心炉底出鋼（Eccentric Bottom Tapping（EBT））により取鍋に移される。次の取鍋（Ladle Furnace（LF））精錬工程では脱硫と酸化物系介在物の除去、および成分調整を行い、さらにRH脱ガス工程では溶鋼を真空槽中へ引き込んで還流させ、水素や酸素といったガス成分を除去している。その後、清浄に保たれた溶鋼を外気と遮断した状態で大断面垂直型の連続鋳造（Continuous Casting（CC））設備に鋳込む。この鋳込み方式は鋳造中にも介在物の浮上除去が促進されるため、高清浄度鋼の製造に適する。得られた清浄度の高い軸受鋼鋳片は、均熱拡散処理（ソーキング）や圧延・鍛造加工を経て棒鋼、鋼管、あるいは熱間鍛造品等に加工される。その後、球状化焼なまし－切削・冷間加工－焼入焼戻しにより適切な炭化物分散と必要硬さを得て、仕上げ加工ののち軸受製品に加工される。軸受鋼の性能向上の歴史は酸化物系介在物の低減、すなわち酸素含有量の低減の歴史と見事に重なる。図7[11]は過去数十年の酸素量低減の推移を示し、脱ガスと汚染防止に注力した製造技術の洗練によって、今日では5ppm程度まで低減することも可能になった。さらに図8[11]は軸受鋼中の酸素含有量と転がり疲れ寿命（L_{10}寿命：ここでは同一ロットの試験片を同じ条件で試験した場合に、そのうちの90%の試験片がはく離するこ

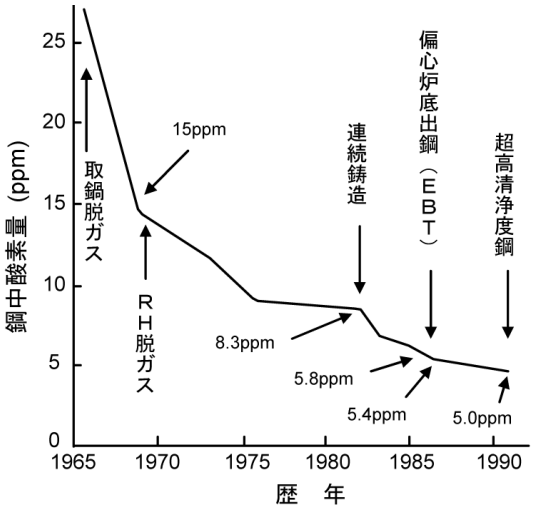


図7　軸受鋼の酸素含有量の推移[11]

となく回転するサイクル数を指す）の関係を示し、脱ガス工程の導入以前に比べて寿命は数十倍に達している。

5 軸受鋼の転がり疲れに関する研究事例

軸受の破損形態には内部起点型と表面起点型がある。前者には非金属介在物起点型と白色組織変化型[12-14]が存在し、後者には異物圧痕型と金属接触型がある[12]。白色組織変化型や表面起点型については、その破損対策としてSUJ種以外の鋼が適用される場合があるため本稿では説明を省略した。一般に理想潤滑条件下で使用される軸受の主要な破損形態は内部起点型とされる。図9に模式的に示すように、軌道輪には転動体との弾性接触部直下から少し内部に入った所に高いせん断応力が作用する[15]。このせん断応力の繰返し負荷のもと、応力作用深さ付近に非金属介在物が存在すると、その周囲に応力集中が起こり、やがてクラックが発生し、その後の伝ぱ

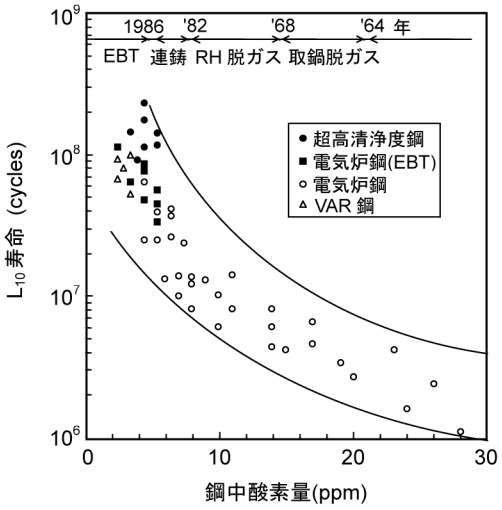


図8　軸受鋼の酸素含有量と転がり疲れ寿命[11]

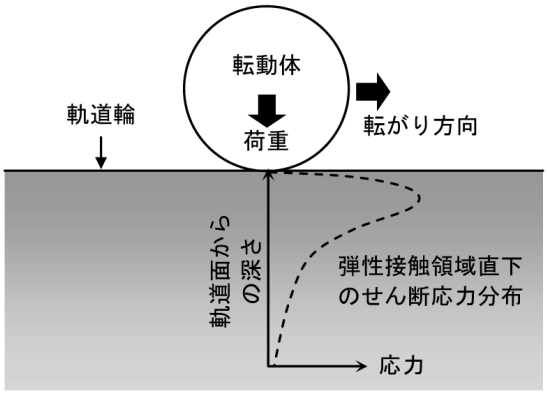


図9　転がり疲れにおいて作用するせん断応力の概念図

により軌道面に到達することではく離が生じるとの考え方が根強い。

非金属介在物に起因するはく離対策として、軸受鋼の酸素含有量低減、すなわち酸化物総量の低減は最も有効な対策の一つであった。この点からも上記の転がり疲れメカニズムは概ね正しいと考えられる。しかし、酸素量が数ppmレベルにまで低減可能となった昨今においても軸受寿命にはばらつきがあることが分かってきた。図10[16]は長尾らによる実験結果である。横軸は、10種類の供試材（SUJ2）のそれぞれについて基準観察面積（ここでは100mm^2）中の各種最大介在物径のデータを複数取得し、それを元に極値統計法を用いて算出した予測面積30,000mm^{2}中の最大介在物径（$\sqrt{\text{area max}}$）である。さらに各種介在物の予測最大介在物径の中でさらに最大のものは塗り潰しのプロットで示される。予測最大介在物径が大きいほどL_{10}寿命が低下する傾向が認められており、介在物種類によらず最大の非金属介在物の大きさが転がり疲れの影響要因であることが読み取れる。しかし、そのプロットのばらつきの幅は寿命にして10倍程度の差があり、軸受寿命と介在物大きさとの一義的な関係を得るには未だ至っていない。

筆者らは、せん断応力起因と考えられているき裂発生のメカニズムを確認する目的で、人工的に多数の空洞を内在させたSUJ2相当成分材のスラスト型転がり疲れ試験を行っている[17]。転がり疲れのごく初期の5×10^{4}サイクルで試験を中断後、き裂を伴う空洞を多数観察し、その転動面に対する深さとき裂角度の状況から、き裂発生に対してせん断応力ではな

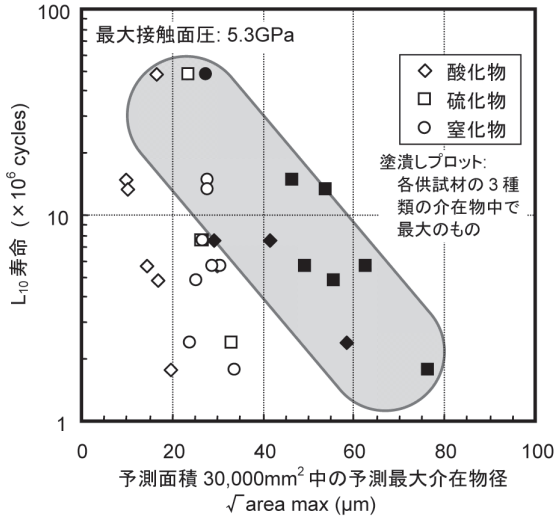


図10　予測最大介在物径とL_{10}寿命の関係[16]

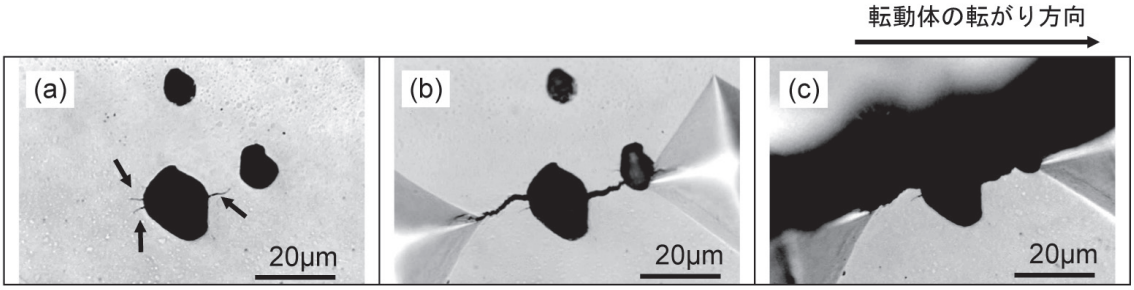


図11　最大接触面圧3.95GPaのスラスト型転がり疲れ試験（5×10^{4}サイクルで中断）で軌道下80μmの位置に存在する空洞周囲に発生したき裂（観察面は軌道の接線方向断面）、およびその観察のための試料調製[17]
(a) き裂（矢印で図示）、(b) 圧痕付与によるき裂の強制進展、(c) 強制破断後

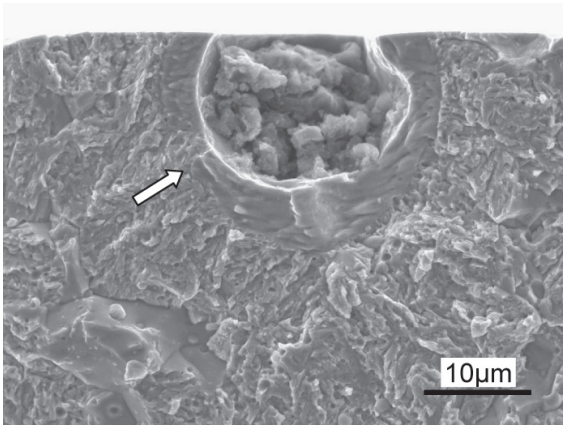


図12　空洞周囲のき裂面のSEM観察結果[17]

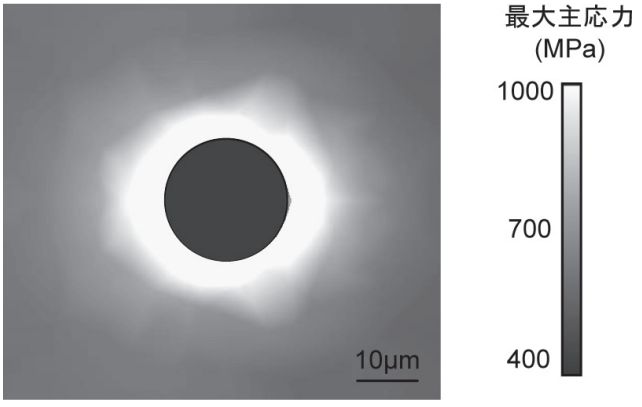


図13　3次元CAE解析による空洞周囲の最大主応力分布[18]

く主応力（引張）が関与する可能性を見出している。図11[17]は5×10^4サイクル中断後に見られた空洞周囲の微小き裂の断面観察結果とき裂面観察のための試料調製状況を示し、また図12[17]はそのき裂面観察の結果である。断面観察（図11）では矢印のように空洞周囲に転動方向に対して浅い角度を有する微小き裂（主応力起因と推定）が見られる。き裂面観察（図12）では空洞周囲を概ね同心円状にとり囲むようにき裂が観察される。このようなき裂発生状況は3次元CAEモデルで計算した空洞周囲の最大主応力（図13[18]、転動面に対して平行面内での引張成分を表示）の状態と良い一致を見ている。この事例はあくまで人為的に鋼中に導入した空洞に関する結果であるが、実際の非金属介在物と母相との界面状態が転がり疲れに及ぼす影響についての有用な示唆を与えている。

一般に軸受寿命は膨大な実験データを背景に負荷荷重と軸受形状や転動体種別（玉、ころ）を主に考慮した式が提唱され、軸受の型番選定の重要指針となっているが、非金属介在物の大きさは寿命式には反映されていない。転がり疲れにおける非金属介在物の悪影響については疑う余地は無いものの、依然として疲労試験の寿命ばらつきの原因には不明な点が多い。非金属介在物周囲のき裂の発生・伝ぱのメカニズムを改めて問い直すことで、軸受鋼のさらなる性能向上につながるブレークスルーの余地があると期待している。

6 おわりに

入門講座執筆にあたり、内容は初歩的なものに留めており、物足りなさを感じる点も多いと思われるので、興味を持たれた折には一部紹介した文献等を頼っていただければ幸甚である。近年、地球規模での環境保全や資源維持のためCO_2排出量削減や省資源、省エネルギー化が生産・消費活動において避けて通れない課題になっている。軸受鋼を含む鉄鋼材料全般は製品廃却後の資源循環サイクルが確立しやすく、資源有効利用に資する素材である。それ以外に鉄鋼製品の目指すべき方向の一つとして小型・軽量化への寄与がある。軸受は、回転要素の支持部品としてその能力を如何なく発揮しているが、軸受をより小型化できれば回転要素と支持部をさらに接近させることができるため周辺部品の小型軽量化への波及作用が大いに期待できる。軸受鋼は、誕生当初からその化学成分こそ大きく変化していないもののその性能は比べ物にならないほど進歩してきた。今後も長寿命化や信頼性向上の市場ニーズに応える鋼材のさらなるブラッシュアップが望まれる。

参考文献

1）高田浩年，相原了：転がり軸受の寿命と信頼性，日刊工業新聞社，(2005)
2）坪田一一：Sanyo Technical Report，5 (1998)，105.
3）村上敬宜：金属疲労 微小欠陥と介在物の影響，養賢堂，(1993)
4）加藤恵之，佐藤海広，平岡和彦，塗嘉夫：Sanyo Technical Report，8 (2001)，59.
5）Y. Unigame，K. Hiraoka，I. Takasu and Y. Kato：Journal of ASTM International，3，5 (2006)，Paper ID JAI14030.
6）木下斎：特殊鋼，51 (2002) 1，44.
7）矢島悦次郎，宮崎亨，杉山敏彦，寺島博夫：日本金属学会誌，36 (1972) 7，711.
8）門間改三，丸田良平，山本俊郎，脇門恵洋：日本金属学会誌，32 (1968) 12，1193.
9）特殊鋼ガイド第4編ー熱処理，特殊鋼倶楽部，(1994)，98.
10）小林一博：熱処理，22 (1982) 1，35.
11）瀬戸浩蔵：軸受用鋼，日本鉄鋼協会，(1999)，37.
12）平岡和彦：第188回・189回西山記念技術講座，日本鉄鋼協会編，(2006)，117.
13）平岡和彦：CAMP-ISIJ，20 (2007)，424.
14）平岡和彦：Sanyo Technical Report，15 (2008)，43.
15）転がり軸受工学編集委員会編：転がり軸受工学，養賢堂，(1975)，169.
16）長尾実佐樹，平岡和彦，雲丹亀泰和：Sanyo Technical Report，12 (2005)，38.
17）藤松威史，平岡和彦，山本厚之：鉄と鋼，94 (2008)，13.
18）山陽特殊製鋼株式会社社内資料，(2011)

(2015年1月29日受付)

躍 動
若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

高炉操業の安定化のために

Developments for Stabilization of Blast Furnace Operations

田川智史
Toshifumi Tagawa
(株) 神戸製鋼所　鉄鋼事業部門
技術総括部　課長

1 はじめに

筆者は2000年に (株) 神戸製鋼所に入社以来、加古川製鉄所において高炉の操業管理、技術開発、設備投資など、高炉に関する業務を担当してきました。加古川製鉄所の鉄源のほぼ全量を高炉で製造しているため、操業管理担当時代には特に操業の安定化に尽力してきました。本稿では高炉操業の安定化のための取り組みをご紹介し、今後、更なる安定化に向けた想いについて述べさせていただきます。

2 取り組みの背景

2.1 神戸製鋼の高炉が克服すべき通気性への課題

高炉操業管理上、最も重要なことは炉熱の管理です。焼結鉱の被還元性など原料性状の変動でも炉熱の変動は起こりますが、原料、還元材の品質管理基準を順守することで重大な影響を引き起こすことはほとんどありません。むしろ種々の要因で発生する高炉炉内通気性の悪化が、原料の降下不良、還元ガスの吹き抜け (チャネリング) を誘発し大きな炉熱低下を引き起こします。炉熱の大きな低下は溶銑やスラグの排出不良を引き起こし、通気・通液性の悪化が更に助長されます。その結果、羽口やステーブなどの破損を誘発すると炉内浸水により炉熱低下が更に加速します。このため、高炉の通気性を安定維持することは極めて重要な課題であると言えます。

加古川製鉄所は国内で唯一のペレット工場を有し、焼結工場では使用が難しい微粉鉱石から高炉用原料であるペレット鉱を製造できるという大きな利点があります。一方でペレット鉱は粒径が小さいなど、焼結鉱との性状の違いにより、高炉炉内通気性への影響は焼結鉱よりも大きいと言えます。加えて、弊社はコークス工場を有していないため、コークス比を低減することは溶銑コストの低減のための最重要課題であります。コークスは炉内の通気性を維持する重要な役割を有しているためコークス比の低減は炉内通気抵抗の上昇を伴います。ペレットの多配合に加えて低コークス比操業を指向することは通気面で非常に困難な操業となりますが、これを達成することを神戸製鋼の高炉では常に要求されてきました。

2.2 神戸製鋼の高炉操業の中心ガス流思想

弊社高炉における上述の課題を克服する重要な技術としてコークス中心装入が開発されました[1,2]。高炉中心部の数%の断面積の領域にコークスカラムを形成させることで、低安息角のペレットを多配合しても中心部への鉱石の流れ込みを抑制することができ、中心部の通気性を良好に維持することができます。この中心部の低通気抵抗領域を形成する、即ち中心ガス流を安定維持することで低コークス比による炉内通気抵抗の高い状況においてもチャネリングやガス流変動の発生を抑制することができました。この安定した中心ガス流の確保は神戸製鋼の高炉安定操業にとって欠くことのできないものであることを私自身が実感しています。この操業技術を改善、最適化するために取り組んできたことについて紹介します。尚、紹介事例はもちろん私自身が取り組んできたことですが、研究開発部隊や関係各署と課題を共有し、思いを同じにして取り組んできた成果であることを付け加えさせて頂きます。

3 高炉操業安定化のために取り組んできたこと

3.1 高炉低温度域でのコークスガス化反応制御

中心ガス流の安定化のために、コークス中心装入技術の活用による高炉中心部の通気性改善は必要不可欠ですが、ペレット多配合下での低コークス比操業ではムーバブルアーマーによる原料落下位置の調整と合わせた装入物分布の調整が重要です。このような操業条件下で中心ガス流を安定化するために、相対的に周辺部では鉱石層厚が大きく、コークス層

厚が小さい装入物分布を指向してきましたが、周辺部の鉱石の還元がネックとなり、羽口が破損するという課題がありました。このため安定してコークス比を低減するためには中心ガス流の安定維持と高炉周辺部の還元率の改善の両立が不可欠と考えました。

その対策として鉱石混合コークスの小粒径化について取り組みました[3,4]。従来、鉱石よりも大きい20mm以上のコークスを混合し、篩下コークスを活用してきましたが、粒径を小さくすることで次のメリットがあると考えました。①コークスの反応面積の増大、②鉱石と同等の粒径にすることによる鉱石との混合性の改善（偏析抑制）、③分散性の改善、①～③により鉱石混合コークスのガス化反応が促進されることで鉱石の還元率が上昇するとともに、鉱石混合コークスの優先的な反応により、④塊コークスの反応劣化の抑制、も期待しました。この実機適用結果を図1および表1に示します。図1は、炉上部からプローブを原料とともに降下させ、径方向の温度分布を測定する垂直水平ゾンデに改良を加えガスサンプリングも同時に行い、解析した結果を示しています。鉱石混合コークスの低粒径化および増量により、従来より低温域のコークスガス化反応量の上昇を確認しました。その結果として、表1に示すように炉内通気性を低減しつつ、還元材比およびコークス比の低減を実現することができました。

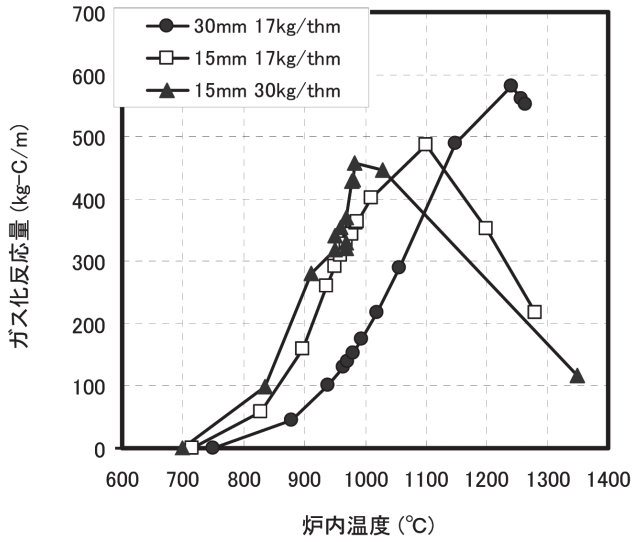


図1　周辺部における炭素ガス化速度と温度との関係

3.2　シミュレーションモデルの刷新による装入物分布制御の高度化

加古川2高炉3次を2007年5月24日に火入れしましたが、この時期は鋼材需要が旺盛であり、計画出銑量を確実に達成することに加え、高価な輸入コークスを削減するために低コークス比操業も早期に実現することが求められました。しかしながら加古川2高炉3次は炉内容積が5400m^{3}と神戸製鋼で初めて5000m^{3}を超える高炉であり、装入物分布の作りこみが一層難しくなると考えました。

火入れ後の装入物分布の指針を作成するために研究開発部隊と議論を重ね、装入物分布シミュレーションの刷新に取り組みました。このシミュレーションでは、過去の実機操業における装入物分布データの整理に加え、実炉で確認できない炉口径影響やコークス削り取り影響などは模型実験結果を採用しました。この装入物分布シミュレーションを活用した装入物分布計画により円滑に定常操業に移行することができました[5]。

また、2高炉3次では装入能力増強など既設高炉より中心装入コークスの機能の強化を施しています。この機能を最大限活用した装入物分布の調整などにより中心ガス流を安定して維持することができ、火入れ後6か月で300kg/tレベルの低コークス比操業を安定生産のもとで実現することができました（図2）。

表1　鉱石混合鉱石の小粒経化および増配の結果

			期間	A	B	C	D
混合コークス平均粒径			mm	30	15	15	15
還元材比			kg/thm	488	485	482	480
	コークス比		kg/thm	328	322	330	312
		塊コークス比	kg/thm	311	305	300	282
		混合コークス比	kg/thm	17	17	30	30
	微粉炭比		kg/thm	160	163	152	168
ガス利用率　ηco			%	48.8	49.8	49.9	49.6
ソリューションロスカーボン量			kg/thm	88	81	87	91
熱損失			Mcal/thm	277	261	235	239
炉内圧損			kg/cm^2	2.001	1.866	1.773	1.852

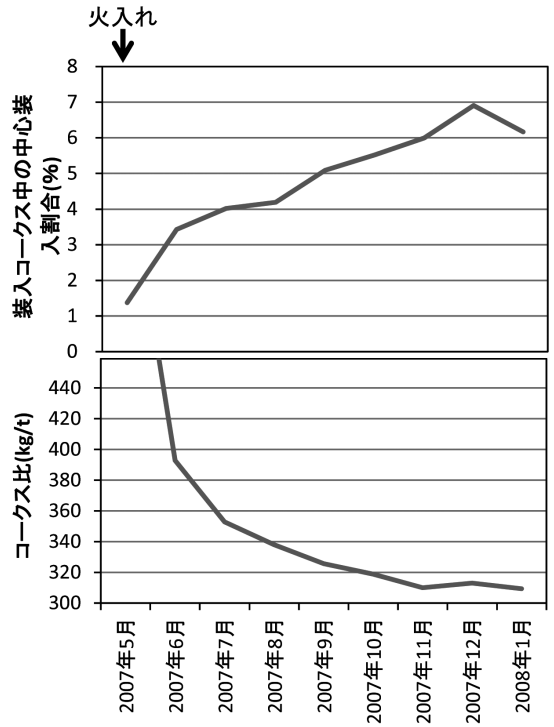


図2　加古川2高炉3次火入れからの操業実績(月間値)

4 高炉操業管理技術向上のための今後の取り組み

上述のような取り組みにより安定操業のための技術レベルの向上を実現してきましたが、2010年に2高炉において出銑設備のトラブルに起因した炉況異常により冷え込みトラブルを発生させました。安定操業のための技術レベルがまだまだ不足していることに他なりません。特に、炉内状況を把握するためのセンサー技術が不足していると感じています。

例えば、炉内の溶銑滓の液面レベルセンサーや融着帯レベルセンサーが開発されれば冷え込み等の重大トラブル回避に大いに寄与すると考えます。また、良質鉄鉱石の枯渇による原料品位の低下により高炉や焼結工場などへの装入原料の管理技術の向上も望まれます。

このようなセンサーは以前から望まれていますが、実現の目途を得ていません。神鋼単独での開発のみならず、鉄鋼各社と共同による産学連携、他分野との技術交流なども含めて開発していくことも必要であると考えます。

5 おわりに

入社以来、加古川製鉄所の高炉のみを担当してきたため、高炉の立場でしか物事を考えてきませんでした。2014年4月より現在の技術総括部に異動し、製鉄分野全体を考える立場になったことに加えて、日本鉄鋼協会での活動を中心に鉄鋼他社の技術者や大学先生と議論する機会が大いに増えました。今まで井の中の蛙であったことを改めて思い知りましたが、一方で高炉の現場で培ってきた技術と経験を発信する機会を得たと感じています。

本稿で述べさせていただいた今後必要と考える取り組みのみならず、産学間の情報交換を積極的に行い製鉄分野が抱える課題を一つでも多く解消し、日本の製鉄分野の技術レベルの向上に寄与できるよう努めていきたいと考えています。私自身は大変微力ではありますが、大学の先生方、鉄鋼他社の技術者、研究者の皆様のお力添えを頂きたくよろしくお願い申し上げます。

参考文献

1) T.Uenaka, H.Miyatani, R.Hori, F.Noma, M.Shimizu, Y.Kimura and S.Inaba：Iron & Steelmaker, November, (1988), 34.
2) 松井良行, 柴田耕一朗, 吉田康夫, 小野玲児：R&D 神戸製鋼技報, 55 (Sep.2005) 2.
3) 澤山宗義, 宮川一也, 松井良行, 田川智史, 北野新治：材料とプロセス, 20 (2007), 77.
4) M.Sawayama, K.Miyagawa, K.Nozawa, Y.Matsui and K.Shibata：Proc. of the 5th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking (ICSTI'09), October, (2009), 659.
5) 澤山宗義, 田川智史, 平井真, 大塚喜久, 八十格：材料とプロセス, 21 (2008), 892.

(2015年1月23日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

前九州大学　教授

清水　正賢

「充填層型反応器の効率は原料の充填状態でほぼ決まります。したがって、原料の装入装置や装入方法に最も力を注いでください」。これは、約45年前、私が化学工学を専攻する学生時代に化学機械の集中講義で来られた八田四郎次先生（東北大学名誉教授で日本の化学工学の祖）が力説された言葉で、今でも強く印象に残っています。まだ学生で、その真意は理解できませんでしたが、後に製鉄会社に入り、高炉研究に携わっていく中で、その重要性を肌を通して認識できるようになりました。以後30年に渡って粉粒体と対峙し続けることになったのですが、まさにこれは八田先生の言葉そのままの道筋であったと言えます。「鉄と鋼」68（1982）の製銑特集号（p.2320）にも、「高炉の90％は装入物分布で決まる」という言葉が出てきます。事実、過去長きに渡る高炉研究を見ましても、その多くが装入物分布や粉粒体制御に関するもので、今も変っていません。高炉操業にとって装入物分布制御は切っても切れない最も重要なテーマと言えます。

田川さんの高炉技術者としての取り組みを見ましても、その中心は装入物分布の最適化と高度化にあったように思えます。特に、還元材比低減に向けた高炉低温域でのコークスガス化の促進策として、小粒コークスを鉱石層に混合する考えは、熱保存帯温度の低減や塊コークスの劣化抑制、また浸炭反応の促進など、高炉製錬の理論に適ったものであり、高炉の本質的な機能強化につながるものです。本技術の一層の進展を期待します。

今後は高炉計測技術の開発にも注力したいとのこと。装入物分布制御のみならず高炉管理の高精度化には各種高炉情報の迅速かつ正しい計測が不可欠です。指摘されているように、製銑工程は殆どが粉粒体制御であるにも関わらず、そのセンシング技術は十分ではありません。異分野との交流を強化し、新しい管理技術の確立に努めてください。

最後に田川さんへの要望ですが、神鋼は高炉に加え天然ガスによる還元鉄製造、FASTMET法、ITmk3法など種々の製鉄プロセスを扱う唯一の会社です。その総合力から、次世代の鉄造りの在り方を技術的に確度の高い視点で考究できるはずです。資源の劣質化、スクラップの増大、天然ガスの利用、CO_2削減など鉄鋼分野の環境変化に対応できる新しい製鉄モデルを築いてほしく思います。グローバルな視点に立ち、世界の牽引役として次代を切り開いてください。

新日鐵住金（株）　製銑技術部　上席主幹

宇治澤　優

この度、製銑分野の若手技術者としてご活躍されている田川氏の躍動記事について、一言コメントさせて頂きます。田川氏はこれまで、神戸製鋼所の「高炉操業の安定化」について精力的に取り組まれ、高炉操業管理向上に多大な貢献をされてきました。一貫製鉄所において、すべての鉄鋼製品の鉄源と熱源を供給している高炉の使命は、 銑鉄と副生ガスの安定生産であり、氏が取り組んだ「高炉操業の安定化」はまさに高炉技術者が取り組むべき最重要課題と言える。「安定化」という言葉は、定量的な言葉ではないが、高炉関係者がいつも口にする言葉である。ここでいう「安定化」とは、高炉内の物質、熱、および力学的バランスをいかに保つかを意味しており、高炉技術者は日々、これらのバランスを保つように操業操作、操業管理を行っている。即ち、高炉内のバランス問題を解くことが高炉技術者の役割である。特に、ガスと固体の向流移動層である高炉反応容器の力学的バランスを保つことは、物質、熱バランスを保って銑鉄を製造する上での要であり、氏が取り組んだ高炉内ガス通気性改善のための「コークス中心装入技術を軸とした鉱石・小塊コークス混合装入技術」、それを支える基盤技術である「装入物分布制御技術の高度化」は、「高炉操業の安定化」の技術レベル向上に大きく寄与している。しかしながら、氏が記事の中で指摘しているように、「安定化」技術は完全ではなく、「不安定化」が起こる事態が発生する事があり、更なる技術向上が必要である。そのためには、氏が述べているように「高炉内を知る」センサー技術の進展が不可欠であると同時に、どのようなセンサーが有効かを議論するためには、高炉内のバランスを数学的に記述したシミュレーション技術を活用した「高炉内の定量的な理解」が重要と思う。若手技術者である田川氏には、これまで培ってきた知識と経験、ならびに製銑技術者同士の技術交流のみならず、異分野の技術者たちとの交流も通じて、「安定化」のための不断の技術改善・開発に大いに期待したい。私自身もその開発の一助となるように非力ながら支援を行わせて頂きたいと思う。

会員へのお知らせトピックス

※詳細は本会ホームページをご覧下さい。

「鉄と鋼」第102巻第6号特集号「鋼脆性破壊の微視的機構と靭性のミクロ組織依存性」原稿募集
（投稿締切日：2015年9月30日）
https://www.isij.or.jp/jotaw4ktz-15/#_15

計測・制御・システム工学部会シンポジウム（制御技術部会併設）
「知識獲得、最適設計およびデータ活用の最新動向」開催案内
6月3日（水）13：00 ～ 17：30、於：新日鐵住金（株）八幡製鐵所（戸畑地区）総合センターマルチホール、
申込締切：5月25日　https://www.isij.or.jp/muc2r275r

鉄鋼を知ろう！「最先端鉄鋼体験セミナー」参加者募集案内
（1）8月3日（月）9：30 ～ 16：30、於：新日鐵住金（株）君津製鉄所、申込締切：7月3日
https://www.isij.or.jp/mu86mrtpg
（2）8月28日（金）9：30 ～ 16：30、於：（株）神戸製鋼所　加古川製鉄所、申込締切：7月28日
https://www.isij.or.jp/mu86mrtpg
（3）9月2日（水）9：30 ～ 16：00、於：大同特殊鋼（株）知多工場、申込締切：8月3日
https://www.isij.or.jp/mu86mrtpg
（4）9月9日（水）9：30 ～ 16：30、於：新日鐵住金（株）室蘭製鉄所、申込締切：8月10日
https://www.isij.or.jp/mu86mrtpg

鉄鋼工学セミナー「強化機構専科」平成27年度受講案内
9月3日（木）13：00 ～ 4日（金）15：00、於：国家公務員共済組合連合会　びわこ保養所（KKRホテル　びわこ）会議室、
申込締切：8月5日　https://www.isij.or.jp/mubu4qjm4

鉄鋼工学セミナー「水素脆化専科」平成27年度受講案内
9月3日（木）13 :00 ～ 4日（金）12：30、於：上智大学　四ッ谷キャンパス　クルップホール4階423室、
申込締切：8月5日　https://www.isij.or.jp/mujwk064b

平成27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
9月27日（日）～ 30日（水）、於：新大阪ブリックビル　3階会議室、申込締切：6月30日　https://www.isij.or.jp/mutm9dykh

第23回鉄鋼工学アドバンストセミナー受講者募集案内
10月29日（木）～ 31日（土）、於：（株）ホテルKSP、申込締切：6月12日　https://www.isij.or.jp/murw9soh8

行事等予定 …… 206頁
第170回秋季講演大会
講演募集案内 …… 210頁
学生ポスターセッション発表募集案内 …… 210頁
討論会／予告セッション／国際セッション／共同セッション募集案内 …… 211頁
講演大会参加方法のご案内 …… 211頁
次号目次案内 …… 212頁
会員欄（入会者・死亡退会者一覧） …… 213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を入手できます。

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
2015年5月			
4～7日	AISTech 2015（Ohio, USA）	AIST	https://www.aist.org/conference-expositions/aistech
12日	腐食防食部門委員会第304回例会（大阪）	日本材料学会	船越英子　Tel. 075-761-5321 jimu@jsms.jp　http://www.jsms.jp/
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
14, 15日	第27回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム（SEAD27）（長崎）	電気学会	事務局　横井裕一 sead27@ml.nagasaki-u.ac.jp
15日	第28回環境工学連合講演会（東京）	日本学術会議土木工学・建築学委員会	化学工学会　老田 Tel. 03-3943-3527　oida@scej.org https://www.scej.org/rn3/event/28thNCES.html
15～17日	軽金属学会第128回春期大会（宮城）	軽金属学会	Tel. 03-3538-0232　jilm1951@jilm.or.jp http://www.jilm.or.jp/society/?mode=content&pid=156
18日	**鉄鋼プレゼンス委員会　歴史を変える転換技術研究フォーラム「第32回　歴史を変える転換技術研究会」（東京）**	**日本鉄鋼協会**	**京都大学　山末英嗣　Fax. 075-753-5488 yamasue@energy.kyoto-u.ac.jp**

開催期日	行事(開催地／詳細掲載号および頁)	主催者	問合せ・連絡先
19～22日	第51回真空技術基礎講習会(大阪)	日本真空学会関西支部・大阪府技術協会・日本真空工業会関西支部	大阪府技術協会　Tel. 0725-53-2329 g-kyoukai@dantai.tri-osaka.jp http://www.vacuum-jp.org/
20～22日	自動車技術展：人とくるまのテクノロジー展2015(神奈川)	自動車技術会	湯川　Tel. 03-3262-8214 yukawa@jsae.or.jp　http://expo.jsae.or.jp/
22日	第20回分子動力学シンポジウム(山形)	日本材料学会	船越英子　Tel. 075-761-5321　jimu@jsms.jp http://www.jsms.jp/kaikoku/20mdsymboshu.htm
27～30日	トライボロジー会議2015春 姫路(兵庫)	日本トライボロジー学会	事務局　井上　滉　Tel. 03-3434-1926 jast@tribology.jp　http://www.tribology.jp/
29～31日	平成27年度塑性加工春季講演会(神奈川)	日本塑性加工学会	事務局　井上聡美　Tel. 03-3435-8301　inoue@jstp.or.jp
2015年6月			
3日	**計測・制御・システム工学部会シンポジウム(制御技術部会併設)「知識獲得、最適設計およびデータ活用の最新動向」開催(九州)**	**日本鉄鋼協会**	**学術企画グループ　Tel. 03-3669-5932**
3～5日	第52回日本伝熱シンポジウム(福岡)	日本伝熱学会	第52回日本伝熱シンポジウム　事務局　藏田耕作 Tel. 092-802-3124　symp2015@htsj-conf.org http://htsj-conf.org/symp2015/
3～5日	METAL 2015–24th International Conference on Metallurgy and Materials(Brno, Czech Republic)	TANGER Ltd.	info@metal2015.com http://www.metal2015.com
4日	**第170回秋季講演大会討論会・国際セッション申込締切(本号210頁)**	**日本鉄鋼協会**	**学術企画グループ　Tel. 03-3669-5932**
4, 5日	第140回塑性加工学講座(愛知)	日本塑性加工学会	Tel. 03-3435-8301　jstp@jstp.or.jp http://www.jstp.jp/r/jp08/index2.php?emode=event_list.php
5日	第94回シンポジウム「次世代自動車の車体軽量化における材料・加工技術の開発トレンドⅡ」～軽金属材料の競合たちの現状と将来展望～(東京)	軽金属学会	Tel. 03-3538-0232　jilm1951@jilm.or.jp http://www.jilm.or.jp/society/
6日	第61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 http://www.jstp.jp/r/jp08/index2.php?emode=event_list.php
6日	**九州支部　平成27年度合同学術講演会(九州)**	**日本鉄鋼協会、日本金属学会、軽金属学会九州支部**	**九州工業大学　徳永辰也 Tel. 093-884-3379　Fax. 093-884-3350 q-shibu@post.matsc.kyutech.ac.jp**
8～10日	第20回計算工学講演会(茨城)	日本計算工学会	石塚弥生　Tel. 03-3868-8957　office@jsces.org http://www.jsces.org/koenkai/20/
9日	**創形創質工学部会　第42回トライボロジーフォーラム研究会(東京　申込締切5月26日)**	**日本鉄鋼協会**	**JFEスチール(株)スチール研究所　松原行宏 Tel. 086-447-3931　Fax. 086-447-3929 yu-matsubara@jfe-steel.co.jp**
10日	**第221回西山記念技術講座「鋼板圧延技術の系譜(圧延品質に影響を与える周辺技術)」(大阪)**	**日本鉄鋼協会**	**育成グループ　Tel. 03-3669-5933**
11, 12日	第25回電子顕微鏡大学(東京)	日本顕微鏡学会	電子顕微鏡大学ヘルプデスク jsm-denken@bunken.co.jp http://www.microscopy.or.jp/denken/
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
17日	**第222回西山記念技術講座「鋼板圧延技術の系譜(圧延品質に影響を与える周辺技術)」(東京)**	**日本鉄鋼協会**	**育成グループ　Tel. 03-3669-5933**
18, 19日	No.15-12 第20回動力・エネルギー技術シンポジウム(宮城)	日本機械学会	Tel. 03-5360-3505　sakurai@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/pes/index-j.html
18, 19日	第56回塗料入門講座(大阪)	色材協会	事務局　Tel. 03-3443-2811　seminar@jscm.or.jp http://www.shikizai.org/
19日	実用顕微評価技術セミナー2015(東京)	日本表面科学会	事務局　上村恵美子　Tel. 03-3812-0266 shomu@sssj.org　http://www.sssj.org/
19日	**創形創質工学部会　若手フォーラム　若手研究者・技術者講演会 金属材料加工シンポジウム(東京)**	**日本鉄鋼協会**	**広島大学　濱崎　洋　Tel. 082-424-7540 hamahiro@hiroshima-u.ac.jp**
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
30日	**「鉄と鋼」第102巻第3号特集号「電磁振動印加時の物理現象」原稿募集締切(12号933頁)**	**日本鉄鋼協会**	**北海道大学　岩井一彦　Tel. 011-706-7810 iwai@eng.hokudai.ac.jp**
2015年7月			
2日	**第170回秋季講演大会一般講演・予告セッション・共同セッション・学生ポスターセッション申込締切(本号210頁)**	**日本鉄鋼協会**	**学術企画グループ　Tel. 03-3669-5932**
2～3日	**鉄鋼工学セミナー「凝固専科」(神奈川　申込締切6月2日)**	**日本鉄鋼協会**	**新日鐵住金(株)　高平信幸 Tel. 0439-50-2888 takahira.52f.nobuyuki@jp.nssmc.com**
3日	第95回シンポジウム「電子顕微鏡による材料研究(Ⅱ)」～ミクロ組織観察の現状～(東京)	軽金属学会	Tel. 03-3538-0232　jilm1951@jilm.or.jp http://www.jilm.or.jp/society/

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
4〜6日	スケジューリング国際シンポジウム2015(兵庫)	スケジューリング学会	神戸大学　貝原俊也　Tel. 078-803-6086　kaihara@kobe-u.ac.jp
8〜10日	第52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/
8〜10日	第25回環境工学総合シンポジウム2015(東京)	日本機械学会環境工学部門	担当職員　村山ゆかり　Tel. 03-5360-3506 murayama@jsme.or.jp　http://www.env-jsme.com/
9, 10日	第35回防錆防食技術発表大会　(東京)	日本防錆技術協会	Tel. 03-3434-0451　jacc@mbf.sphere.ne.jp
9, 10日	第56回塗料入門講座(大阪)	色材協会	事務局　Tel. 03-3443-2811　seminar@jscm.or.jp http://www.shikizai.org/
13〜15日	TUBE＆PIPE OSAKA 2015　(大阪)	日本塑性加工学会	徳島大学大学院　長町拓夫 准教授 Tel. 088-656-9187　rollform@jstp.or.jp
13〜15日	日本結晶学会講習会「粉末X線解析の実際」(東京)	日本結晶学会	7月講習会ヘルプデスク　Tel. 03-3362-9743 crsj-xray@bunken.co.jp http://www.crsj.jp/news-j/150713PowderCourse.html
14〜16日	NIMS Conference 2015(茨城)	物質・材料研究機構	内山　Tel. 029-851-3354
15〜17日	第34回電子材料シンポジウム(EMS-34)(滋賀)	電子材料シンポジウム運営委員会・実行委員会	産業技術総合研究所　西奈慈郎 Tel. 029-861-5042　jiro.nishinaga@aist.go.jp http://ems.jpn.org/
16, 17日	第49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	船越　Tel. 075-761-5321　jimu@jsms.jp http://www.jsms.jp/kaikoku/49xsymboshu.htm
17日	レアメタル研究会(東京)	東京大学生産技術研究所	東京大学生産技術研究所　岡部　徹 研究室 学術支援専門職員　宮嵜智子 Tel. 03-5452-6314　tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html
17日	第32回軽金属セミナー「アルミニウム合金の状態図と組織―入門編」(大阪)	軽金属学会	Tel. 03-3538-0232　jilm1951@jilm.or.jp http://www.jilm.or.jp/society/
17日	**平成27年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同サマーセッション(北海道)**	**日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部**	**日本鉄鋼協会北海道支部事務局　田中重雄 Tel. 0143-47-2651 mu_tekkyo@jp.nssmc.com**
21日	第33回軽金属セミナー「アルミニウム合金の時効析出　―中級編―」(東京)	軽金属学会	Tel. 03-3538-0232　jilm1951@jilm.or.jp http://www.jilm.or.jp/society/
25日	**「鉄の技術と歴史」研究フォーラム第20回公開研究発表会(東京)**	**日本鉄鋼協会**	**幹事　佐藤公昭　Fax. 047-443-9208 kera_k_sato@hb.tp1.jp**
26〜31日	**第41回鉄鋼工学セミナー(宮城　申込締切5月8日)**	**日本鉄鋼協会**	**育成グループ　Tel. 03-3669-5933**
2015年8月			
3日	**鉄鋼を知ろう！「最先端鉄鋼体験セミナー」(千葉　申込締切7月3日)**	**日本鉄鋼協会**	**育成グループ　Tel. 03-3669-5933**
4〜6日	日本混相流学会混相流シンポジウム2015(高知)	日本混相流学会	事務局　Tel. 06-6466-1588　office@jsmf.gr.jp http://www.jsmf.gr.jp/index.shtml
16〜20日	The 13th World Conference on Titanium(Ti-2015) チタン世界会議2015(California, USA)	TMS	チタン世界会議日本代表国際組織委員　東北大学　新家光雄 niinomi@imr.tohoku.ac.jp http://www.tms.org/meetings/2015/Ti2015/home.aspx#.VE85Emfrcs
20, 21日	サマースクール2015年in東京「非線形有限要素法による弾塑性解析の理論と実践」(東京)	日本計算工学会	東北大学　山川優樹　Tel. 022-795-7417 nonlinearfem@msd.civil.tohoku.ac.jp http://msd.civil.tohoku.ac.jp/nonlinearfem2015/
25〜28日	Dynamics and Design Conference 2015(青森)	日本機械学会	大竹英雄　Tel. 03-5360-3505　otake@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/conference/dmcconf15/
27日	第5回講習会「X線反射率による薄膜・多層膜の解析」(茨城)	応用物理学会	埋もれた界面のX線中性子解析研究会　桜井健次 Tel. 029-859-2821　SAKURAI.Kenji@nims.go.jp http://www.nims.go.jp/xray/ref/
28日	**鉄鋼を知ろう！「最先端鉄鋼体験セミナー」(兵庫　申込締切7月28日)**	**日本鉄鋼協会**	**育成グループ　Tel. 03-3669-5933**
28, 29日	日本実験力学会2015年度年次講演会(新潟)	日本実験力学会	新潟大学工学部機械システム工学科　田邊裕治 Tel. 025-262-6806 y.tanabe@eng.niigata-u.ac.jp　http://jsem.jp/
31日	**平成27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　申込締切**	**日本鉄鋼協会**	**学術企画グループ　Tel. 03-3669-5932**
31〜1日	**鉄鋼工学セミナー「精錬プロセス解析専科」(宮城　申込締切8月7日)**	**日本鉄鋼協会**	**新日鐵住金(株)　佐々木直人 Tel. 0479-46-5510　Fax. 0479-46-5142 sasaki.29k.naoto@jp.nssmc.com**
2015年9月			
2日	**鉄鋼を知ろう！「最先端鉄鋼体験セミナー」(愛知　申込締切8月3日)**	**日本鉄鋼協会**	**育成グループ　Tel. 03-3669-5933**

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
2～4日	平成27年度工学教育研究講演会(福岡)	日本工学教育協会、九州工学教育協会	日本工学教育協会　川上理英 Tel. 03-5442-1021　kawakami@jsee.or.jp https://www.jsee.or.jp/taikai/kenkyu/
3～4日	**鉄鋼工学セミナー「強化機構専科」(滋賀　申込締切8月5日)**	**日本鉄鋼協会**	**JFEスチール(株)　吉田裕美 Tel. 084-945-4163　Fax. 084-945-4059 hirom-yoshida@jfe-steel.co.jp**
3～4日	**鉄鋼工学セミナー「水素脆化専科」(東京　申込締切8月5日)**	**日本鉄鋼協会**	**JFEスチール(株)　高木周作 Tel. 044-322-6050　Fax. 044-322-6518 s-takagi@jfe-steel.co.jp**
3～4日	**Challenges and Transformative Solutions to Sustainable Steelmaking and Casting-for Environment-Friendly Metallurgical Innovation- (CTSSC-EMI Symposium)(東京)**	**日本鉄鋼協会 東北大学**	**東北大学　柴田浩幸 shibata@tagen.tohoku.ac.jp**
7~11日	12th International Conference on Superplasticity in Advanced Materials(ICSAM)2015(東京)	ICSAM2015実行委員会	茨城大学　伊藤吾朗　Tel. 0294-38-5023 gitoh@mx.ibaraki.ac.jp　http://icsam2015.jp
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
9日	**鉄鋼を知ろう！「最先端鉄鋼体験セミナー」(北海道　申込締切8月10日)**	**日本鉄鋼協会**	**育成グループ　Tel. 03-3669-5933**
9, 10日	第43回日本ガスタービン学会定期講演会(鳥取)	日本ガスタービン学会	Tel. 03-3365-0095　gtsj-office@gtsj.org http://www.gtsj.org/html_calender/141105-teikoyokoku.html
11日	サマースクール2015年in東京「非線形有限要素法による弾塑性解析の理論と実践」(東京)	日本計算工学会	東北大学　山川優樹　Tel. 022-795-7417 nonlinearfem@msd.civil.tohoku.ac.jp http://msd.civil.tohoku.ac.jp/nonlinearfem2015/
16～18日	**第170回秋季講演大会(九州　本号210頁)**	**日本鉄鋼協会**	**学術企画グループ　Tel. 03-3669-5932**
16～18日	セラミックス&ガラス技術展2015(東京)	日本セラミックス協会　他	フジサンケイ　ビジネスアイ　中村理香 Tel. 03-3273-6180　r.nakamura@sankei.co.jp http://www.cgt-expo.jp/
21～23日	第20回電磁非破壊評価国際ワークショップ(宮城)	ENDE2015実行委員会	東北大学　遊佐訓孝　Tel. 022-795-6319 ende2015@karma.qse.tohoku.ac.jp http://afre.qse.tohoku.ac.jp/ende2015/index.htm
27～30日	**平成27年度 修士学生向け「鉄鋼工学概論セミナー」 (大阪　申込締切6月30日)**	**日本鉄鋼協会**	**育成グループ　Tel. 03-3669-5933**
30日	**「鉄と鋼」第102巻第6号特集号「鋼脆性破壊の微視的機構と靭性のミクロ組織依存性」原稿募集締切**	**日本鉄鋼協会**	**東京大学　粟飯原周二 Tel. 03-5841-6505　aihara@fract.t.u-tokyo.ac.jp**
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/**
12～16日	ICRP-9／GEC-68／SPP-33(ハワイ)	ICRP-9／GEC-68／SPP-33組織委員会	ICRP-9 運営事務局　鈴木健吾 Tel. 052-581-3241　icrp9@intergroup.co.jp http://www.plasma.engg.nagoya-u.ac.jp/icrp-9/
14～16日	粉体工業展大阪2015(大阪)	日本粉体工業技術協会	シー・エヌ・ティ　Tel. 03-5297-8855 info2015@powtex.com　http://www.powtex.com/osaka/
29～31日	**第23回鉄鋼工学アドバンストセミナー(神奈川　申込締切6月12日)**	**日本鉄鋼協会**	**育成グループ　Tel. 03-3669-5933**
2015年11月			
18～20日	第5回 次世代ものづくり基盤技術産業展 ―TECH Biz EXPO 2015― (愛知)	名古屋国際見本市委員会	名古屋国際見本市委員会事務局　眞田絵梨 Tel. 052-735-4831　http://www.nagoya-trade-expo.jp/
2015年12月			
2～4日	EcoDesign 2015(東京)	エコデザイン学会連合、産業技術総合研究所	EcoDesign 2015 事務局　高橋裕香里 Tel. 03-5841-6499 ecodesign2015_secretariat@ecodenet.com http://ecodenet.com/ed2015/eng/indexeng.html
18～20日	TWENTY-FOURTH International Symposium on PROCESSING AND FABRICATION OF ADVANCED MATERIALS(PFAM XXIV)(大阪)	関西大学	関西大学 化学生命工学部　池田勝彦 Tel. 06-6368-0846　hikoik@kansai-u.ac.jp
2016年3月			
23～25日	**第171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**
2016年5月			
30～3日	先端材料会議(THERMEC2016)(Graz, Austria)		
2016年6月			
12～15日	SCANMET V - 5th International Conference on Process Development in Iron and Steelmaking(Luleå, Sweden)	Swerea MEFOS	lotti.järlebro@swerea.se http://www.scanmet.info

第170回秋季講演大会　講演募集案内

■会期：2015年9月16日(水)～ 18日(金)

■会場：九州大学　伊都キャンパス（〒819-0395 福岡市西区元岡744番地）

1．講演内容：
鉄鋼およびその周辺領域に関連がある**オリジナルな内容**に限ります。

2．講演資格：
講演発表者は**本会個人会員**に限ります。非会員（依頼講演を除く）で発表を希望される方は、早めに所定の入会手続きをお済ませ下さい。なお、共著者の半数以上を会員として下さい。

3．講演時間：
一般講演の発表時間は15分、質疑討論時間5分です。討論会、国際セッションの場合は、座長のプログラミングにより若干時間が異なります（目安時間：発表時間および質疑討論時間を含め、20 ～ 30分）。**全会場、PCプロジェクターを用いての発表となります。会場には発表用PCの用意はありません。発表者は必ずご自身で発表用PCをご持参下さい。**

4．プログラム：
ホームページ上には、7月下旬にプログラム暫定版を掲載し、8月下旬に最終版を掲載します。プログラムおよび講演原稿は、講演概要集「材料とプロセス」Vol.28（2015）No.2に掲載します。
「材料とプロセス」は年間予約者にのみ事前配布します。予約をされなかった場合は、大会当日、会場でお求めいただくことになりますので、ご注意願います。

5．講演申込方法：下記締切までに必ず次の手順で申込と原稿提出を行って下さい。講演大会トップページ（https://www.isij.or.jp/lecture-meeting/）から、「講演申込み」を選択して下さい。講演申込みページ（https://www.isij.or.jp/mu3clk2vi）が表示されますので、さらに「講演申込み」ボタンを押して、申込画面にアクセスして下さい（外部のサイトへ移動します）。

6．講演原稿作成・提出方法：①PDFファイル形式、②原稿枚数：A4サイズ1枚（討論会、国際セッションは4枚以内）
※ホームページに、『講演原稿の書き方』『PDF原稿作成要領』を掲載していますので、ご参照下さい。
※国際セッションの講演申込および原稿は英語で作成願います。
※締切後の原稿差し替えおよび取消はお受けできません。必要な所属機関内手続き等はお済ませの上、原稿を提出願います。
※2014年春季大会より、講演原稿は必ずホームページからファイル送信していただくことになりました。従来のようなE-mailでの送信はお受けできませんので、ご注意下さい。

7．締切：
一般講演、予告セッション、共同セッション：講演申込、原稿提出とも2015年7月2日（木）17：00まで
討論会、国際セッション　　：講演申込、原稿提出とも2015年6月4日（木）17：00まで

8．その他：
・投稿原稿の著作権（著作権法第27条または第28条に規定する権利を含む）は受付年月日より本会に帰属します。
「材料とプロセス」の発行日は、9月1日です。
・申込データをもとに講演プログラムを作成します。プログラムには、氏名、所属、題目、発表時間、発表会場が掲載されます。プログラムは、ホームページ上での公開、「材料とプロセス」への掲載を行います。なお、申込データは講演大会に関する業務以外には使用しません。

学生ポスターセッション発表募集案内

当会では、多くの学生に春秋の講演大会での発表の機会を提供するために、学生ポスターセッションを開催しています。学生の方々が、研究途上の結果でも気軽に話題として発表されるよう希望します。実施要領は以下の通りです。

1．発表資格：会員・非会員を問わず学生（学部・大学院）に限ります。

2．発表申込方法：下記締切までに必ず次の手順で申込と原稿提出を行って下さい。講演大会トップページ（https://www.isij.or.jp/lecture-meeting/）から、「講演申込み」を選択して下さい。講演申込みページ（https://www.isij.or.jp/mu3clk2vi）が表示されますので、「学生ポスターセッション発表申込み」ボタンを押して、申込画面にアクセスして下さい（外部のサイトへ移動します）。
申込締切後、約1週間後にホームページに学生ポスターセッション講演番号、参加スケジュールを掲載しますのでご確認下さい。

3．アブストラクトの作成・提出方法：①PDFファイル形式、②原稿枚数：A4サイズ1枚
ホームページの「学生ポスターセッション発表申込み」から、申込み時に発行された受付番号とパスワードを使ってPDF原稿を送信してください。提出いただきました原稿は第170回秋季講演大会講演概要集「材料とプロセス（CD-ROM）」Vol.28（2015）No.2に掲載いたします。
なお、指導教官が非会員の場合は掲載されませんので、指導教官の方は必ずご入会下さい。

4．締切：発表申込　　2015年7月2日（木）17：00まで
アブストラクト提出　2015年7月10日（金）17：00まで

5．展示：
ポスター1発表ごとに、パネル1枚を準備します。展示・発表は講演大会2日目午後に行います。引き続き、同日夕刻に近接の場所で開かれるISIJビアパーティに無料でご参加いただきます。

6．表彰：
審査員の投票により優秀ポスターを選出の上、ISIJビアパーティ席上で発表し賞品を贈呈します。

7．参加賞：
発表者が非会員の場合1年間の学生会員資格を、すでに学生会員の場合別途参加賞を進呈いたします。
なお、非会員の方につきましては、約1週間後に本会ホームページへ入会手続き方法をご案内しますので、それまでは入会申込みはお待ち下さい。一般講演、予告セッション、共同セッション、討論会、国際セッションを聴講するには、学生会員としての参加費3,000円が必要です。

討論会／予告セッション／国際セッション／共同セッション募集案内

討論会、予告セッション、国際セッションおよび共同セッションにつきましては、インターネット申込開始に合わせ、鉄鋼協会ホームページに5月上旬よりテーマ内容を掲載しますのでご確認下さい。

講演大会参加方法のご案内

講演大会に参加する場合、講演概要集「材料とプロセス（CD-ROM）」（参加費含む）の購入と、ネームカードの着用が必要です。「材料とプロセス」は、次の方法で購入できます**（講演発表者も「材料とプロセス（CD-ROM）」の購入と、ネームカードの着用が必要です）。なお、今年度の年間予約は受付を終了しております。**

1．当日参加：
会員・非会員を問わず、「材料とプロセス」を当日価格でご購入いただき、ネームカードをお受け取り下さい。
会員の方には、必ず会員証のご提示をお願いしております。
なお、非会員の方は、当日ご入会いただき、会員と同じサービスでご参加いただくことが可能です。
当日入会するには、以下の年会費（入会金含む）も必要です。
正会員・外国会員10,700円、正（シニア）会員5,800円、準会員4,900円、学生会員3,000円。

「材料とプロセス」価格（2015年秋季大会1回分）

会員分類	CD-ROM1枚
正・準・賛助・外国会員	8,000円
学生会員	3,000円
非会員	21,000円
非会員学生	6,500円

2．相互聴講：
本会に参加登録された方で日本金属学会での聴講を希望される方は、下記価格にてご参加いただけます。
日本金属学会に参加登録された方で本会での聴講を希望される方も相互聴講制度をご利用いただけますが、**本会で発表する方は、この制度をご利用いただけません。**

当日聴講価格（2015年秋季大会1回分）

参加分類	聴講＋CD-ROM1枚	聴講のみ
日本金属学会会員	6,000円	3,000円

次号目次案内

＊定期刊行物の掲載記事及び題目は変更になる場合があります。

ふぇらむ Vol.20（2015）No.6 掲載記事

Techno Scope　ロケットの信頼性を守る材料試験

連携記事

ロケットエンジン用材料の力学特性評価
　―宇宙関連材料強度データシートのはじまりと現状―…… 小野嘉則、他（物質・材料研究機構）

創立100周年記念式典記念講演

構造材料研究の潮流再び…… 岸　輝雄（東京大学／新構造材料技術研究組合）
世界の鉄鋼業の現状と今後の展望～100年の歩みとともに～…… 宗岡正二（新日鐵住金（株））

入門講座

鉄鋼の日本工業規格-5

線材と線～針金から長大橋まで～…… 冨田邦和（JFEスチール（株））

躍動

電縫鋼管に関する技術開発を通じて…… 井口敬之助（新日鐵住金（株））

「鉄と鋼」Vol.101（2015）No.6　掲載記事

分析・解析

Cu添加フェライト系ステンレス鋼における転位と粒子の相互作用のTEM内高温引張その場観察 …… 小林周平、他

加工・加工熱処理

片側駆動圧延における板材の反り挙動とその機構…… 河西大輔、他
弾性変形域における工具と素材間の熱間接触熱伝達特性…… 上岡悟史、他

相変態・材料組織

フェーズフィールド法による高温安定性フェライト鋼における窒素吸収・相変態挙動の解析…… 光井　啓、他

社会・環境

廃石膏ボードを利用したカルシウムフェライトの製造…… 樋口謙一、他

ISIJ International Vol.55 No.6 掲載記事

Special Issue on "Development of Technologies for the Low Carbon Ironmaking"

Low carbon operation of super-large blast furnaces in china（Review） Z. Liu *et al.*
DRI from recycled iron bearing wastes for lower carbon in the blast furnace S. H. Chung *et al.*
Development of charging technique for controlling mixed coke distribution in ore layer Y. Kashihara *et al.*
Development of control techniques for mixing small coke at bell-less top blast furnac A. Murao *et al.*
Reduction and disintegration behavior of sinter under N_2-CO-CO_2-H_2-H_2O gas at 773 K T. Murakami *et al.*
Reduction mechanism of composite consisted of coal and hematite ore by volatile matter at 700-1100K Y. Takyu *et al.*
Effect of the reduction of calcium ferrite on disintegration behavior of sinter under high hydrogen atmosphere T. Murakami *et al.*
Reaction between iron oxide and gangue minerals at 1373K under Ar atmosphere T. Miki *et al.*
High temperature microscope observation of melt formation at the interface between crystalline olivine and wüstite（Note） M. Hayashi *et al.*
Reduction behavior of packed bed of sinter reduced by CO-CO_2-H_2-H_2O-N_2 gas T. Kon *et al.*
Microstructure change and primary slag melting of sinter in the cohesive zone of a blast furnace M. Hayashi *et al.*
Influence of shape of cohesive zone on gas flow and permeability in the blast furnace analyzed by DEM-CFD model S. Ueda *et al.*
Effect of unconsumed mixed small coke on permeability in lower part of blast furnace Y. Kashihara *et al.*
Effects of ash amount and molten ash's behavior on initial Fe-C liquid formation temperature due to iron carburization reaction K. Ohno *et al.*
Effect of carbon dissolution reaction on wetting behavior between liquid iron and carbonaceous material K. Ohno *et al.*
Characterization of liquid trickle flow in poor-wetting packed bed S. Natsui *et al.*
Dispersion characteristics of laterally injected fluid into main stream in packed bed M. Kamata *et al.*
Droplet motion on non-smooth solid surface S. Ueda *et al.*
Analysis of effect of packed bed structure on liquid flow in packed bed using moving particle semi-implicit method T. Kon *et al.*
Numerical analysis on passage and blockage behaviors of fine particles through an orifice consists of coarse particles M. Fukuda *et al.*
Effect of CaO/SiO_2 ratio on surface tension of CaO-SiO_2-Al_2O_3-MgO melts S. Sukenaga *et al.*
Combustion behavior of pulverized coal and ash particle properties during combustion Y. Ueki *et al.*
Analysis of powder motion in a packed bed of blast furnace using the discrete element method S. Kikuchi *et al.*
Advanced blast furnace reaction simulator combining a calculation model and experimental furnace T. Hirosawa *et al.*
Formation of vertically inverse pressure distribution due to packing structure of near wall region of blast furnace M. Kamata *et al.*

会員欄

新規入会

饗庭　典宏

石垣　文彦
井手上　敦
糸井　貴臣
大島　伸一
小田　信彦
門野　純一郎

佐藤　紘一
正司　雅朗
鷹羽　新二
竹内　正芳
津田　斉祐
中山　健一

疋田　尚志
久田　浩士
平山　恭介
堀之内　寛輝
前田　康裕
三宅　亮一

村瀬　彰
山口　政臣
山根　諒
山本　幸治
吉田　啓太
魏　鋼城

ご冥福をお祈り申し上げます。
川地　博行
丸岡　秀俊

編 集 後 記

西日本から会報委員会に出席するときには、毎回新幹線を使います。飛行機の方が楽なケースもありますが、新幹線を使う一番の理由は外の景色がどんどん変わって行くことです。春の青い空、夏の深緑、秋の紅葉、冬の白い山。雨の日でも、雲が低いときには雲の動きが目にとまります。窓際のコンセントにつないでいるパソコン画面から目を離すと自然の豊かな表情が目に飛び込んできて、無味乾燥の画面を見続けている目には清涼剤となります。

最近は、新幹線車内で、『富士山が綺麗に見えます。よろしければ窓からご覧ください』とアナウンスもされるようになりました。本当にきれいな典型的な山の形、頂上が白い王冠をいただいており、まさに日本の象徴です。三月の委員会への道程では、その見事な美しさに携帯カメラで写真を撮りました。周りからもシャッター音。普段見ている景色でも改めて美しいと感じました。

4月になると周囲のメンバーも替わります。移り変わりを敏感に察知するとともに、今ある状況の中で美しい一面を見いだして、これらを融合して行くとよい未来がきっとくると思います。ふぇらむの編集委員にも新たなメンバーも加わりました。おもしろい記事をお届けするように頑張ります。

(Y. F.)

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　岩﨑　修吾（三菱重工業（株））
大野　宗一（北海道大学）
小森　和武（大同大学）
田中　將己（九州大学）
難波　茂信（(株) 神戸製鋼所）
船川　義正（JFEスチール（株））
植田　　滋（東北大学）
沖　　修一（富士重工業（株））
杉本　　淳（愛知製鋼（株））
戸田　佳明（物質・材料研究機構）
丹羽　　誠（大同特殊鋼（株））
森　　善一（新日鐵住金（株））
遠藤　　茂（JFEスチール（株））
木村　好里（東京工業大学）
諏訪　晴彦（摂南大学）
轟　　秀和（日本冶金工業（株））
藤本　延和（日新製鋼（株））

ふぇらむ　定価（本体価格2,000円＋税）
Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan：Unit Price ￥2,000
2015年4月25日印刷納本、2015年5月1日発行（毎月1回1日発行）
編集兼発行人　東京都中央区日本橋茅場町3-2-10　鉄鋼会館5階
(一社)日本鉄鋼協会　業務執行理事・専務理事　脇本眞也
Tel：03-3669-5933　Fax：03-3669-5934(共通)
印　刷　所　東京都文京区本駒込3-9-3 （株）トライ

©COPYRIGHT 2015　**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おりません。
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,MA01923 USA
TEL.1-978-750-8400 FAX.1-978-646-8600

ガラス物性データベース

SciGlass 7.7

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

■ガラス

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

■物性

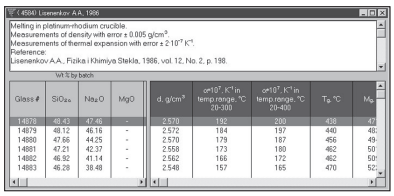
1,000,000件以上の実測値と合成法、測定法の情報。

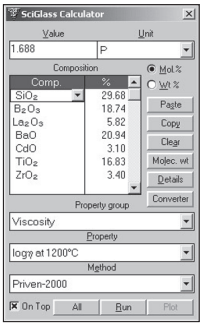
■物性推測計算

100通り以上の推測法で16種類の物性を推測。実測値との比較プロット。

■最適ガラスの検索

■光学スペクトルデータ（UV、NIR）





システムプラットホーム：Windows 2000/XP/Vista/7

化学プロセス用の物性データベース

DIPPR with DIADEM pro

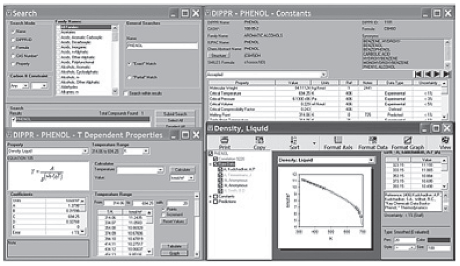
(Design Institute for Phycical Property Data)

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

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

おもな機能（DIADEM）

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



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

25,000件のセラミックス状態図データベース

ACerS-NIST

Phase Equilibia Diagrams, Version 4.0

価格(税別) ￥160,000.- マルチユーザー￥260,000.-

検索条件

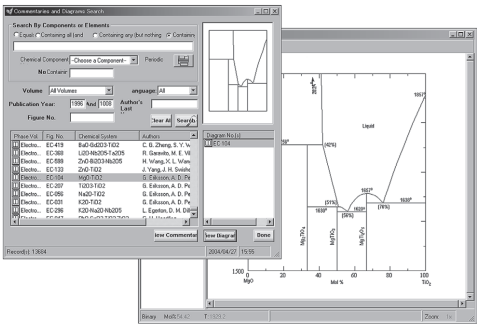
■成分系、元素記号
■著者、出典誌名、出版年
■状態図番号

データ表示

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

データソース／新データ2,500件を追加

●Phase Diagrams for Ceramists（Volumes I・III, Annual Volumes '91, '92 and'93, High Tc Superconductor monographs（two）, Phas Diagrams for Zirconium + Zirconia Systems and Phase Diagrams for Electronic Ceramics Vol.15）



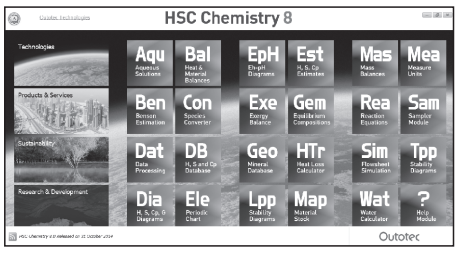
システムプラットフォーム：Windows XP/Vista/7

化学反応／平衡計算ソフトウエア

HSC Chemistry for Windows,Ver.8.0

価格(税別) ￥390,000.-/¥320,000.-(一般／教育)

約28,000種についてのエンタルピー、エントロピー、熱容量のデータベースを基に化学反応の計算やGIBBSまたはSOLGASMIX のルーチンによる化学平衡を計算します。反応、熱平衡、分子量計算などの一般的なモジュールの他、電気化学セル平衡と相安定性、腐食の研究に使われるEh-pH（プールベ）状態図の作成などユニークなモジュールを持ち合わせています。計算結果のテーブルと状態図はクリップボードにコピーできます。SIM Flowsheetモジュールもあり、複数のユニットプロセスからなるプロセス全体のシミュレーションとモデリングができます。



システムプラットフォーム：Windows XP/Vista/7/8
(Outotec Research Oy. 製作)

株式会社 ディジタルデータマネジメント

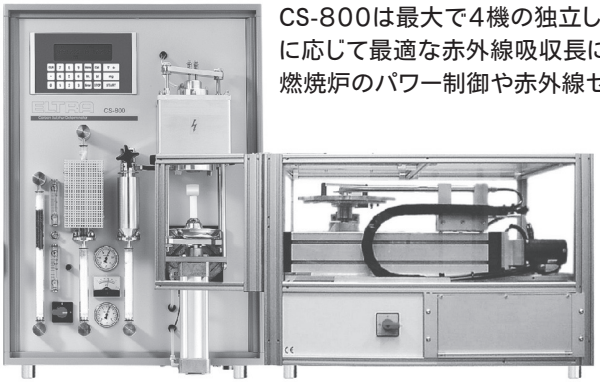
東京都中央区日本橋茅場町1-11-8　紅萌ビル　〒103-0025
TEL.03-5641-1771　FAX.03-5641-1772　http://www.ddmcorp.com

ELTRA
Analysers made in Germany

業界注目!!
この機能で低廉価格(500万～)発売中!!

炭素／硫黄分析装置 CS-800

システム概要



CS-800はJIS燃焼—赤外線吸収法に準拠した炭素/硫黄分析装置です。鋼，鋳鉄，銅，鉱石，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-Ⅱ

500mmタイプの光学系を持つGS1000-Ⅱ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-Ⅱ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

関西営業所　〒658-0015 神戸市東灘区本山南町8-6-26(東神戸センタービル)
TEL.078-411-3312(代表)　FAX.078-411-3313

定価 本体価格 2,000 円＋税

本誌広告取扱　株式会社 明報社　〒104-0061 東京都中央区銀座 7–12–4（友野本社ビル）Tel. 03–3546–1337（代）Fax. 03–3546–6306
URL: http://www.meihosha.co.jp　E-mail: info@meihosha.co.jp