

特別講演

□第169回春季講演大会渡辺義介賞受賞記念特別講演
(平成27年3月18日)

環境にやさしい鉄鋼製品および プロセス技術の開発

Development of Eco - friendly Steel Products and Process Technologies



*脚注に略歴

関田貴司
Takashi Sekita

JFE ミネラル (株)
代表取締役社長

1 はじめに

この度、鉄鋼協会100周年という記念すべき年に栄えある渡辺義介賞を受賞させて頂き身に余る光栄と思っております。これも社内外の皆様方のご指導・ご支援のお蔭と、心より感謝申し上げます次第であります。本日は、省エネルギー、CO₂排出量の削減という観点で、これまでに取り組んで来たエコプロセス、エコプロダクトの開発についてお話しさせて頂きたいと思えます。

2 エコプロセスの開発

図1は、製鉄プロセスにおける、CO₂削減技術の開発例をまとめたものですが、右上の図にある様に、高炉、焼結、コークスの3つで全体のおよそ4分の3のCO₂を排出している、即ちエネルギーを使っているということが分かります。環境調和型製鉄プロセス開発技術 (COURSE50)¹⁾を始めとするいろいろな技術開発が進められていますが、これらの中からいくつかご紹介させて頂きます。

2.1 Super-SINTER[®](2)

Super-SINTER[®]とは、焼結機に都市ガスを吹き込むことによって、焼結層の温度を最適領域に保持して、冷間強度と被還元性に優れた組織を得る技術です。最初にこの話を聞いた時には、現場に都市ガスを吹き込む気なのか？と、私自身

驚きましたが、開発者と現場のエンジニアの非常なる熱意によって実機化に漕ぎ着けました。この技術は、2014年度の大河内記念技術賞をはじめとする様々な賞を頂いており、現在、JFEスチールの4つの製鉄所全てで使用されています。

この技術の狙いは、適切な温度制御によってカルシウムフェライトの比率の多い組織を生成させることによって、高い冷間強度をもち被還元性に優れた焼結鉱を得ようとするものです。この技術のメカニズムを図2に示します。空気のみを吹き込む従来技術では、点火後、焼結層の温度が急激に上昇するため、温度がオーバーシュートし適正温度範囲を超えてしまいます。またすぐに温度低下するため、適正温度範囲に保持できる時間が非常に短く、目標とする組織が十分に得

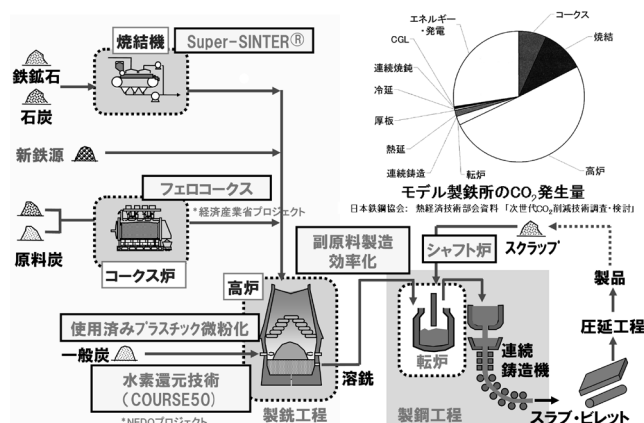


図1 製鉄プロセスにおけるCO₂削減技術開発

* 昭和50年3月東京工業大学大学院理工学研究科金属工学専攻修士課程を修了後、川崎製鉄(株)に入社。平成15年JFEスチール(株)薄板セクター部長、平成17年常務執行役員。平成21年専務執行役員スチール研究所長、平成24年代表取締役副社長、平成25年よりJFEミネラル代表取締役社長に就任し、現在に至る。

られません。これに対して、(空気+都市ガス)を吹き込んだ場合には、燃焼位置がより広範囲になるため温度変化が緩やかになり、適正温度範囲に保持できる時間が長くなるため、目標とする組織が得られるというものです。

Super-SINTER[®]をさらに進化させた技術であるSuper-SINTER[®] OXY³⁾(空気+都市ガス+酸素の吹き込み)を用いた場合には、燃焼位置がさらに広範囲に広がって適正温度範囲に保持できる時間がさらに長くなるため、より高品質の焼結鉱が得られるというものです。この技術は、千葉と京浜の2つの製鉄所で実用化されています。

2.2 フェロコークスプロセス⁴⁻⁶⁾

フェロコークスとは、コークスの内部に微細な金属鉄を含んだものを指します。コークスと鉄の近接効果と金属鉄の触媒効果によって、コークスとCO₂の反応が促進され、焼結鉱の還元反応がより低温で進行することから、還元に要するコークスの量を大幅に削減でき、CO₂の発生を大幅に削減できる技術です。

京浜製鉄所に建設した30t/日のフェロコークスの製造プラントにて、低品位の鉄鉱石と低品位の石炭を用いてフェロコークスを作製し、5000m³クラスの実際の高炉に、延べ5日間フェロコークスを装入して試験を行った結果、安定操業を維持しつつ還元材比を低減できることが分かりました。これは環境にやさしい技術であり、ステップを踏んで実機化したと思っています。

2.3 使用済みプラスチック微粉化技術 (APR) *Advanced Plastic Recycling⁷⁾

当社では以前より、粒プラスチックを高炉に装入していましたが、燃焼効率が良くありませんでした。APRは、これを改善すべく、粒プラスチックを細かく粉砕して微粉炭の代わりに高炉に吹き込み、CO₂の排出量の削減に貢献する技術で

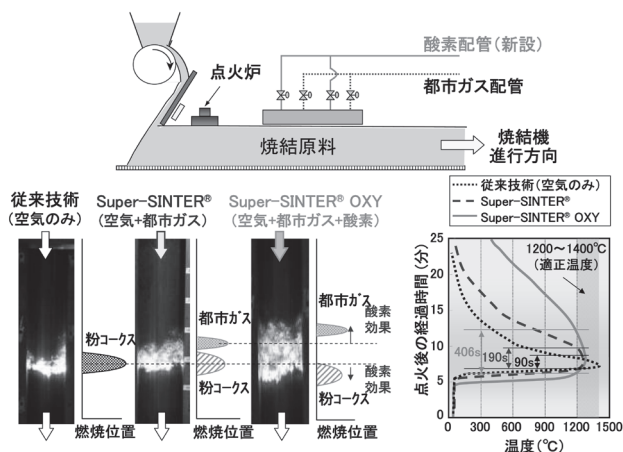


図2 Super-SINTER[®]の概要⁸⁾

す。この設備は現在京浜製鉄所で稼動しております。立ち上げ当初は、配管・バーナーの閉塞等多くのトラブルが発生し、苦勞しましたが、これも現場力で克服して、現在は順調に稼動しており、年間3.5万トンのCO₂排出量削減に貢献しております。この技術によって、2012年度の日経地球環境技術賞をはじめとする賞を受賞しております。

3 エコプロダクトの開発

3.1 エコプロダクト1(鉄鋼製品)

図3は、鋼材の使用段階のCO₂削減効果について、日本エネルギー経済研究所のデータを元に日本鉄鋼連盟がまとめたものです。自動車と変圧器の占める割合が圧倒的です。変圧器と言えば、方向性電磁鋼板です。昔に比べると、想像を絶する程電磁特性が向上していて、省エネルギーに貢献していることが実感できます。自動車では車体の軽量化による燃費の改善によるCO₂削減効果が大きいことを表しております。

図4は、自動車に用いられる鋼板の部位ごとの引っ張り強度を表したものです。

単に強度が高ければ良いという訳ではなく、衝突安全性と車体軽量化を両立した上で、加工性の良い鋼板が要求されます。2004年には、軟鋼が半分以上の割合で使用されているのに対して、2014年には、軟鋼は全体の半分以下の割合に減少し、尚且つ780MPa (80kgf/mm²)、980MPa (100kgf/mm²)と言った高強度の材料が使用される様になっています。

3.1.1 NANOハイテン^{®9)}

それらの高強度の鋼板の中で、超微細析出強化を使って高強度と良好な加工性を高い次元で同時に実現したものが、NANOハイテン[®]です。

図5に示す様に鋼板の強度と成形性の両立は非常に難しく、フェライトの様に伸びと伸びフランジ成形性が良好な組織では強度が低く、ベイナイト单相のように強度が高く伸び

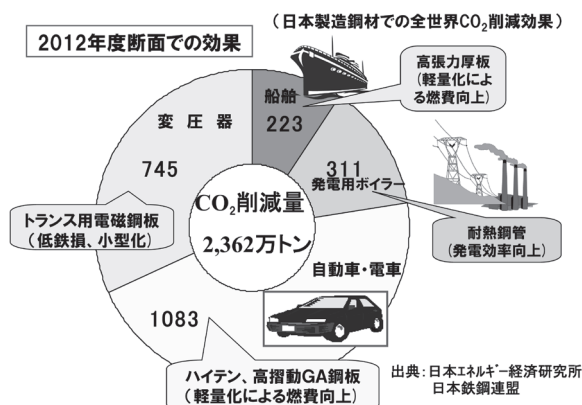


図3 鋼材使用段階のCO₂削減効果¹⁰⁾

フランジ成形性が良好な組織では伸びが小さく、フェライトとベイナイトの二相鋼の様に強度が高く伸びが大きい組織では伸びフランジ成形性が悪い。というのが、これまでの常識でした。ところが今回開発したNANOハイテン[®]は、フェライト単相の生地に、通常の電子顕微鏡では観察できない程、極めて微細な析出物を均一に分散させた組織を実現することによって、伸びが大きく伸びフランジ成形性が良好で尚且つ強度も高い、というこれまでの常識を破った画期的な鋼板です。高強度と良好な加工性が要求される用途に、広く使われています。従来は440MPa級の鋼板で製造されていたサスペンション・ロア・アームの様な複雑な形状の部品が780MPa級の鋼板で製造できるようになり、格段に軽量化されました。この製品により、2010年度の大河内記念賞をはじめとする様々な賞を頂いております。

これは、直径2nm程度の微細な析出物による強化であり、研究所に新たに導入した高分解能で尚且つ微小領域の分析が可能な収差補正電子顕微鏡 (FEI社製 Titan 80-300) を用いて初めて原子レベルでの観察が可能になったものであり、高性能の

分析機器が新製品の開発に大きく役立った例であります¹³⁻¹⁶⁾。

3.1.2 高機能防錆鋼板 (JAZ[®])¹⁷⁾

80年代より、カナダコード、ノルディックコード等の防錆基準に基づいて、表面処理鋼板はZn- α 合金めっき鋼板、溶融亜鉛めっき鋼板 (GA) と開発されてきました。現在の主流はGAですが、GAには、摩擦係数が大きく加工性が悪いという欠点がありました。この点を改良するため、①Fe系のめっきを施す、②潤滑皮膜の付与 (リン酸亜鉛系皮膜、金属複合皮膜等) 等、いろいろなアプローチが試みられたが、当社は、③めっき最表層の状態を最適化することにより、この欠点を解決しました。

この商品により、2009年度の大河内記念生産賞をはじめとして、たくさんの賞を頂いており、お客様でJFEグループ全体で年間50万トン程度を販売させて頂いております。

3.2 エコプロダクト2 (鉄鋼スラグ)

スラグは、碎石・砂の代用として省資源、高炉セメントとして省エネルギー・CO₂削減等、環境への負荷を低減させる製品です。

3.2.1 高炉スラグ

図6に普通セメントと高炉セメントの製造方法とCO₂排出量の比較を示します。高炉セメントとは、普通ポルトランドセメントの一部を高炉水砕スラグで置き換えたものです。普通ポルトランドセメントは、製造時に石灰石を焼成するため、大量のCO₂を排出するが、高炉セメントは粉碎した高炉水砕スラグを混ぜるだけでよく、原料にCO₂を含まないだけでなく、焼成のためのエネルギーも不要なことから、ポルトランドセメントを置き換えた分だけCO₂の排出量を削減できます。45%の高炉水砕スラグを配合した高炉セメントの場合、セメント1トン当たり318kgのCO₂排出量の削減になります。これは普通ポルトランドセメントに比べて43%の排出

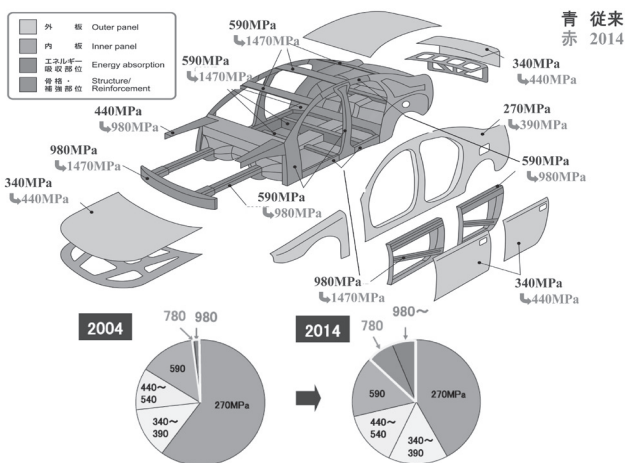


図4 自動車軽量化に寄与する高強度鋼板¹¹⁾

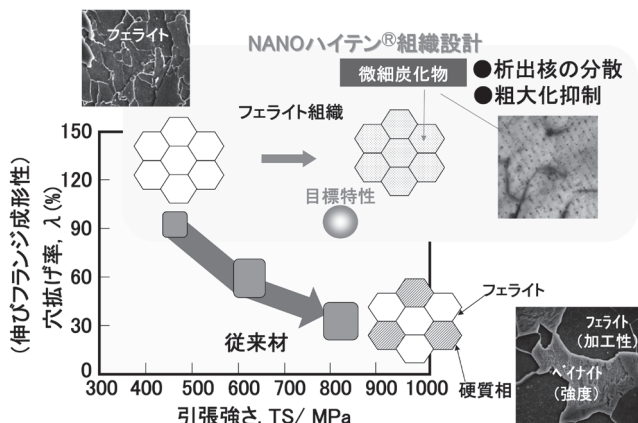
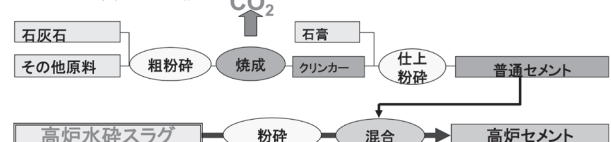


図5 NANOハイテン[®]の設計思想¹²⁾

<セメント製造法比較>



<CO₂ 排出量比較>

	石灰石	エネルギー	
普通ポルトランドセメント	445	285	730kg/t
高炉セメント [高炉水砕スラグ 45%配合]	245	167	412kg/t (▲318kg/t)

図6 高炉セメントと普通セメントの比較¹⁸⁾

量削減に相当します。

図7はJFEの高炉水砕スラグの輸出量を表しています。2005年より輸出量は年々増加し、2012年度からは500万トンを超える量を輸出しており、アジア、中東、アフリカを始めとした新興国・発展途上国の経済発展下での環境負荷低減に貢献していると自負しております。

3.2.2 製鋼スラグ

福山内港における製鋼スラグを用いた海域利用の実証試験¹⁹⁾の結果について述べます。この実験の狙いは、瀬んだ、水質も悪く、硫化水素による悪臭も発生している海域を、スラグ中の鉄によって泥中の硫化物、硫化水素を分解し再生しようというものです。

図8に見られる様に、スラグを施工したエリアでは、施工後2年が経過しても依然として残存硫化物の濃度が低く保たれており、スラグによる硫化物分解効果は明らかです。

他にも製鋼スラグの製品として、潜堤に使われる製鋼スラグ水和固化体²²⁾、浅場・藻場の水質改善に有効な製鋼スラグと浚渫土を混ぜた改質浚渫土²³⁾、海藻・サンゴの着生基盤として使われる製鋼スラグ炭酸固化体等²⁴⁾、いろいろと取り揃えており、環境改善に役立てて行きたいと考えております。

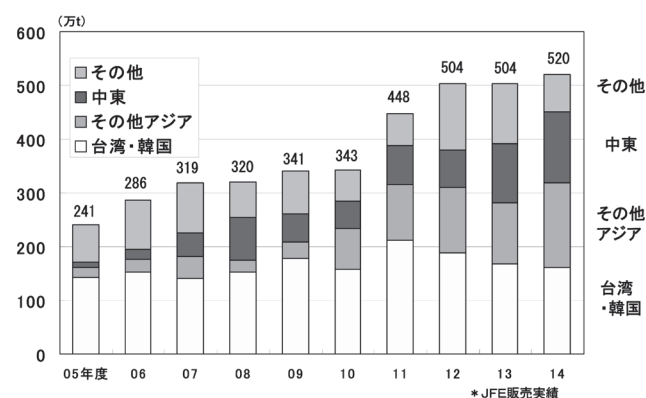


図7 JFEグループの高炉水砕スラグ輸出量推移²⁰⁾

福山港内港での実証試験結果

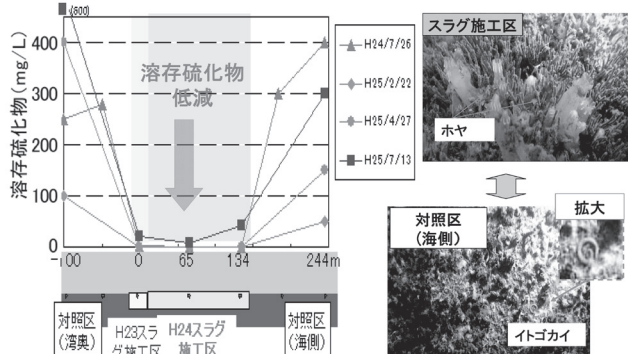


図8 製鋼スラグによる海底泥質改善技術²¹⁾

図9は、5年前に製鋼スラグ炭酸固化体の上に着生させたサンゴの幼生が、こんなに大きく育ちました。という実例です。

3.3 エコプロダクト3 (鉄鋼以外の製品)

ここでお時間を頂戴して、現在、私が勤めておりますJFEミネラルの技術開発について、述べさせていただきます。

3.3.1 VOCs分解鉄粉

はじめに、鉄粉による土壌改良について示します。1つ目は、VOCs分解鉄粉です。

その概略を図10に示します。鉄粉表面を触媒処理したもので、従来の鉄粉の2倍の分解速度をもっており、工法の特徴としては、狭小地や大深度の土壌の改良に適しています。

3.3.2 重金属吸着鉄粉

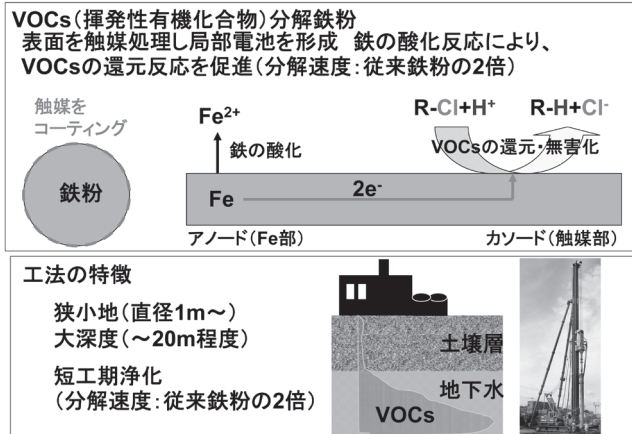
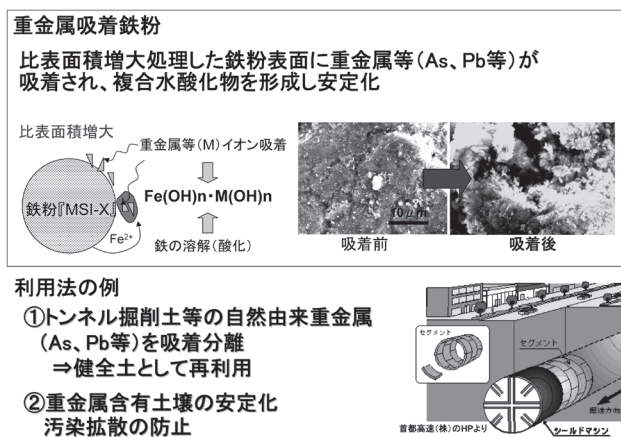
2つ目は、重金属吸着鉄粉です。その概略を図11に示します。これは鉄粉表面を活性化処理したもので、重金属を吸着し安定化するものです。リニア新幹線等のトンネル工事で出る大量の掘削土の自然由来の重金属処理に貢献できるものと考えております。

3.3.3 ニッケル超微粉²⁶⁻³¹⁾

次に、電子材料用のニッケル超微粉についてお話しします。当社の製品にタバコの煙の粒子(約0.5 μ m)よりも小さいサイズ(0.1~0.4 μ m)のニッケル超微粉というものがあります。図12に示したMLCC(積層セラミックコンデンサ)の内部電極に使用されている粉ですが、通常の粉碎法ではとても製造できないサイズなので、塩化ニッケルを加熱蒸発させたものを、水素で還元し微細な粒子を得るCVD法によって製造しています。当社がニッケル超微粉の事業を始めて20年経ちますが、ニッケル超微粉も図13に見られる様に、平均粒径の微細化と粗大粒子の排除により、絶えず進化を遂げて来ました。それらの努力によって、同じ容量のMLCCが20年間で5,000分の1の大きさになり、機器の小型化・軽量化・



図9 製鋼スラグ炭酸固化体上で成長したサンゴ²⁵⁾

図10 VOCs分解鉄粉の原理と工法例³²⁾図11 重金属吸着鉄粉の原理と利用法例³³⁾

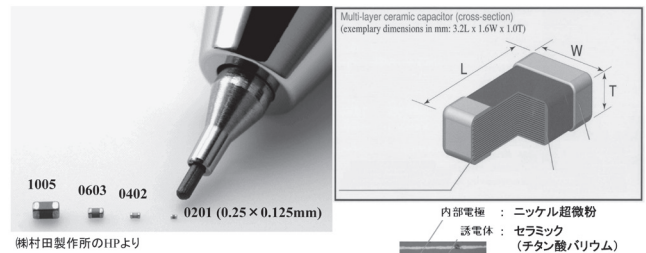
省電力化に寄与することができたと自負しております。いまやMLCCは自動車1台に3,000個以上、スマートフォン1台に300~500個、iphone6には800個弱が使用されており、生活には欠かせない存在となっています。当社のニッケル超微粉の生産も、20年間の累計で1万トンを達成致しました。

4 おわりに

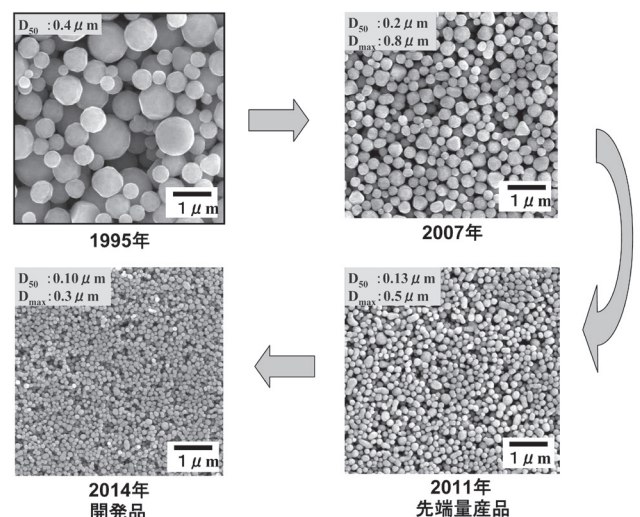
以上、様々な場・分野での技術開発について述べました。我々素材産業がグローバルに競争力を維持し、社会に貢献していく為には、絶え間ない研究開発・技術開発が必須であると実感しています。また、モノ造りを実際に行う為には技術力・現場力が不可欠です。これを支えるのは人であり、人材育成・技能伝承の重要性が久しく叫ばれています。鉄鋼協会でも春秋の講演大会、鉄鋼工学セミナー、西山・白石記念講座等、様々なメニューを取り揃えて人材育成に貢献してきています。

そしてもう一つ忘れてはならない、私が強調したいのが「技術部会」です。図14は、昨年11月に鹿島で開催された「冷

MLCC(積層セラミックコンデンサ)の内部電極



同容量のMLCCが
20年間で5,000分の1の体積に
→ 機器の小型・軽量化・省電力化に寄与

図12 ニッケル超微粉の用途³⁴⁾図13 ニッケル超微粉の20年の進化³⁵⁾

延部会100回大会」の写真です。技術部会はエンジニア各層の情報交換・切磋琢磨の場であるとともに、作業長チームによる「技能伝承」の議論の場でもあります。まさしく人材育成を通じて、技術向上に貢献してきた「日本鉄鋼業界の宝」と言っても過言ではないと思っています。今後とも、人材育成・技能伝承の「場」として技術部会・鉄鋼協会がその役割を十二分に発揮し続け、日本鉄鋼業の発展に寄与していく事を祈念して私の講演を終わります。

ご清聴ありがとうございました。ご安全に!

参考文献

- 1) T.Miwa and H.Okuda: Journal of the Japan Institute of Energy, 89 (2010), 28.
- 2) 大山伸幸, 岩見友司, 山本哲也, 町田智, 樋口隆英, 佐藤秀明, 佐藤道貴, 武田幹治, 渡辺芳典, 清水正賢, 西岡浩樹: 鉄と鋼, 97 (2011) 10, 510.
- 3) 岩見友司, 山本哲也, 樋口隆英, 大山伸幸, 佐藤道貴, 曾谷



(2014年11月 於 新日鐵住金鹿島製鉄所)

図14 鉄鋼協会・技術部会活動³⁶⁾

- 保博：鉄と鋼, 101 (2015) 9, 177.
- 4) 山本哲也, 佐藤健, 藤本英和, 庵屋敷孝思, 佐藤道貴, 武田幹治：鉄と鋼, 96 (2010) 12, 683.
 - 5) 山本哲也, 佐藤健, 藤本英和, 庵屋敷孝思, 深田喜代志, 佐藤道貴, 武田幹治, 有山達郎：鉄と鋼, 97 (2011) 10, 501.
 - 6) 内藤誠章, 武田幹治, 松井良行：鉄と鋼, 100 (2014) 1, 2.
 - 7) M.Asanuma, K.Terada, T.Inoguchi and N.Takashima : JFE Giho, 32 (2013), 24.
 - 8) JFE スチール (株) 社内資料
 - 9) Y.Funakawa, T.Shizaki, K.Tomita, T.Yamamoto and E.Maeda : ISIJ Int., 44 (2004) 11, 1945.
 - 10) 鉄鋼業における地球温暖化対策の取組 2012年度版 (PDF), 日本鉄鋼連盟, 16.
 - 11) JFE スチール (株) 社内資料
 - 12) JFE スチール (株) 社内資料
 - 13) 山田克美, 佐藤馨, 仲道治郎：ふえらむ, 12 (2007), 771.
 - 14) M.Haider, G.Braunshausen and E.Schwan : Optik, 99 (1995), 167.
 - 15) K.Yamada, K.Seto, K.Sato and K.Inoke : Collected Abstracts of the 2009 Spring Meeting of the Japan Inst. Metals (Japanese), 144 (2009), 254.
 - 16) 石井知洋, 宇城工, 濱田悦男, 石川伸, 加藤康：鉄と鋼, 97 (2011), 441.
 - 17) 平章一郎：ふえらむ, 15 (2010), 702.
 - 18) JFE ミネラル (株) 社内資料
 - 19) 宮田康人, 林明夫, 桑山道弘, 山本民次, 谷敷多穂, ト部憲登：鉄と鋼, 100 (2014) 11, 1426.
 - 20) JFE ミネラル (株) 社内資料
 - 21) JFE スチール (株) 社内資料
 - 22) 松永久宏, 小菊史男, 高木正人, 谷敷多穂：コンクリート工学, 41 (2003) 4, 54.
 - 23) 転炉系製鋼スラグ海域利用の手引き, 日本鉄鋼連盟, (2008)
 - 24) K.Oyamada, M.Tsukidate, K.Watanabe, T.Takahashi, T.Isoo and T.Terawaki : Journal of Applied Phycology, 20 (2008), 863.
 - 25) JFE スチール (株) 社内資料
 - 26) CVD 法によるNi超微粉の特徴と応用 日本鉱業協会第3回新素材交流会議講演集, (1994), 7.
 - 27) Process Development and Characteristics of Nickel Ultrafine Powder Proc.5th Japan International SAMPE Symposium, (1997), 271.
 - 28) Improved Nickel Powders for Base Metal Electrodes in MLCC Proc.CARTS-EUROPE 2002, (2002), 255.
 - 29) CVD 法で製造した積層セラミックコンデンサー用Ni超微粉, 川崎製鉄技報, 34 (2002) 3, 10.
 - 30) 2024年までの電子部品技術ロードマップ, 電子技術産業境界, 145.
 - 31) 2024年までの電子部品技術ロードマップ, 電子技術産業境界, 149.
 - 32) JFE ミネラル (株) 社内資料
 - 33) JFE ミネラル (株) 社内資料
 - 34) JFE ミネラル (株) 社内資料
 - 35) JFE ミネラル (株) 社内資料
 - 36) 創立100周年 日本鉄鋼協会史, 日本鉄鋼協会, (2015), 267.

(2015年4月24日受付)