



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

製鋼プロセス研究開発を通じて

Through the Research and Development of Steelmaking Process

松井章敏

Akitoshi Matsui

JFEスチール (株)
スチール研究所 製鋼研究部
主任研究員

1 はじめに

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

2 製鋼プロセスの研究開発を通じて感じたこと

2.1 溶銑脱りんの反応効率改善

鋼材品質の厳格化や製鋼スラグ発生量低減を目的に、日本では溶銑脱りんプロセスが広く導入されている。ところが、2001年のフッ素の土壌への溶出基準値改正に伴い、効果的な媒溶材であった蛍石 (CaF₂) の使用が制限され、溶銑脱りんのフッ素レス化という大きな変化点を迎えた。CaOの溶融促進や酸素ポテンシャルの増大といった蛍石の効果^{1,2)}を補うためには、脱りんスラグ中の酸化鉄濃度を高めることが有効であるが、スラグ中の酸化鉄は非平衡に生成するため、鉄の酸化と溶銑中の炭素による還元を同時に取り扱う必要があり、スラグ中の酸化鉄濃度を制御することは非常に困難である。

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

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

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

2.2 溶銑脱硫の反応効率改善

厚板やラインパイプ材の品質要求の厳格化に伴い、溶銑脱

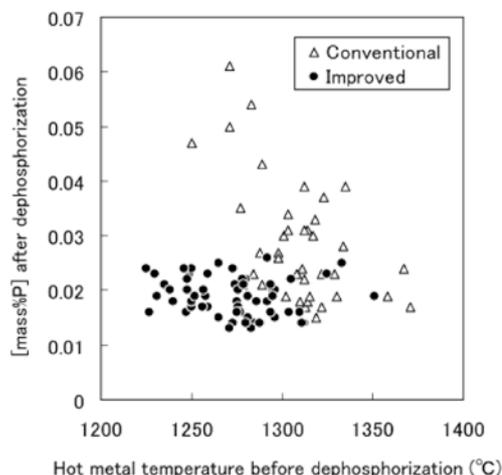


図1 フッ素レス条件下での脱りん改善結果³⁾

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

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

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

3 将来的な研究開発についての想い

3.1 製鋼スラグの有効利用

国土面積が決して大きくなく、資源の乏しい日本において

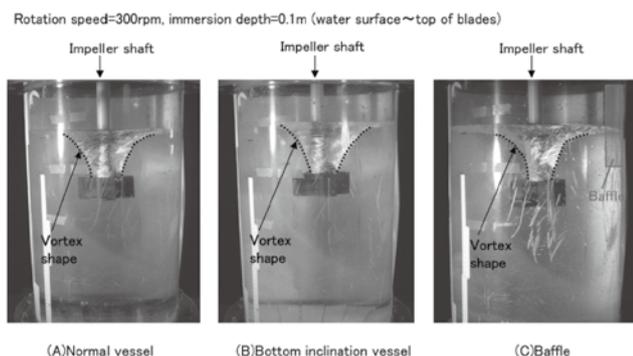


図2 容器底部傾斜による渦偏心結果¹⁰⁾

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

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

3.2 数値計算のプロセス開発への利用

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

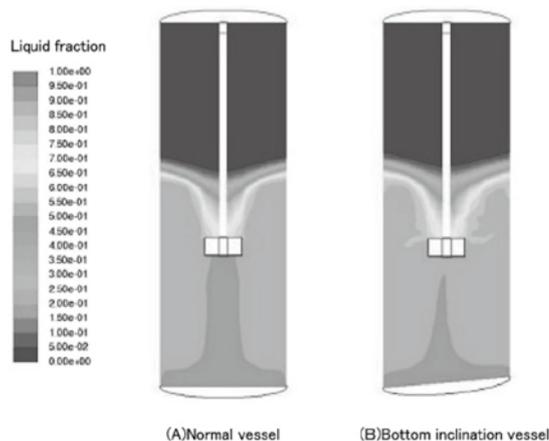


図3 KR法における流動解析事例¹⁰⁾

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

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

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

4 おわりに

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

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



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

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

参考文献

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

(2014年2月18日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

大阪大学 大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻 准教授

小野 英樹

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

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

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

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

日新製鋼(株) 呉製鉄所 製鋼部 製鋼プロセス研究チーム チームリーダー

平賀 由多可

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

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

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

言うまでもないことですが、プロセス研究は製造現場に適

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

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

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