



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

製鋼プロセスの研究開発を通じて

Research and Development of Steelmaking Process

斧田博之

Hiroyuki Onoda

(株) 神戸製鋼所 鉄鋼事業部門
技術開発センター 製鋼開発部
製鋼開発室 主任研究員

1 はじめに

2004年に入社以来、製鋼プロセスにおける研究開発に従事している。入社後約10年は casting 分野、その後は二次精錬分野に携わっている。自らの経歴を振り返ってみると、casting 分野については、① casting 内の抜熱制御による縦割れ抑制¹⁾、② casting 内の溶鋼流動制御による操業安定化²⁾、③ タンディッシュ内スラグ付着防止による寿命向上³⁾、④ タンディッシュ内溶鋼流動制御による介在物浮上分離能向上⁴⁾、⑤ 鋼塊形状変更による分塊圧延時のフィッシュテール抑制⁵⁾、精錬分野については、⑥ RHにおける窒素濃度制御⁶⁾ など、様々な開発に携わってきた。

ここでは特に印象に残った③、⑥について紹介し、これまで感じたこと、今後どういう取り組みをしていくかについて述べる。なお、「若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢」との副題があるが、私は開発部署に在籍していることから、研究者というよりは「技術者」として、「実機プロセスへの実用化」の視点から述べたい。

2 熱間繰返しTDの寿命向上

加古川製鉄所の4CC-1STR、4CC-2STRでは、タンディッシュ(TD)を熱間で繰返し使用している。これは、数百ヒートにわたって耐火物を途中で補修せずに連続的に使い続けることができる世界初の画期的なプロセス⁷⁾であり、第42回大河内記念生産賞をいただいている。これと1ストランドマシンであることと相まって、連続 casting 操業のコストダウンに大きく貢献している。諸先輩が築き上げたプロセスを継承する中で、コストダウンをさらに多く享受し、品質の維持・向上と両立するには、1ヒート毎にTD内に堆積するスラグをキャスト終了時に、より効率的に排出する必要がある。ここでは、TDスラグ組成をコントロールすることにより付着物を抑制し、TD寿命を向上させた取り組みについて述べる。

まず、 casting 中のTD熔融スラグや使用後のTD壁の付着物を調査した。TD熔融スラグは小さい固体のスピネル相($\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)が多数懸濁していること (Fig.1 (a))、TD壁の付着物はTD熔融スラグよりも高 Al_2O_3 組成で高融点であることが分かった。

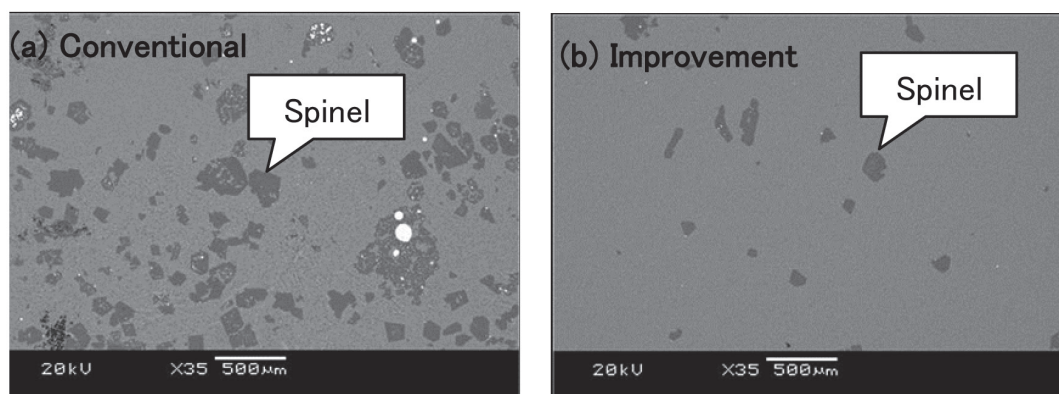


Fig.1 Micro structure of cover slag in tundish

次に、TD スラグ物性と実機のTD 温度調査結果より、 casting 終了直後のスラグ排出時にTD 内にスラグが一部残留し、TD 内の稼働面温度低下にともなうスラグから高融点酸化物が晶出していることが分かった。これが介在物浮上分離のために実施しているTD 内溶鋼保持（湯溜め）時に浮遊せずにTD 壁に残存すると推定した。よって、スラグ凝固温度を、 casting 前のTD 稼働面温度より低くすれば、TD への付着を防止できると仮説を立てた。そこで、MgO 濃度低減により低融点化したスラグで実機検証テストを実施した。TD 使用回数とTD 風袋重量の関係の一例をFig.2 に示す。MgO 濃度低減スラグでは、TD 風袋重量が低く推移すること、すなわち付着が抑制されていることが確認できた。また、TD スラグ中のスピネルは従来よりも低減し（Fig.1 (b)）、懸念されたスラグライン溶損速度の増加は認められなかった。この結果、熱間で700 ヒート以上の連続使用が可能となった。

本開発では、現物や操業を現地で徹底的に観察したことが課題解決に繋がったと考える。このような行動を取ると、毎日現物を相手にしているオペレータの方々から、現物に対する新たな視点を頂くことが多々ある。例えば、TD からのスラグ排滓時に滴り落ちる様子とTD 内壁への付着状態との関連性などについて、私にとっては、同じにしか見えない違いを教えていただける。机上や実験室でのデータ整理だけでは得られない貴重な情報であり、これ以外にも問題の解決に繋がるヒントを多くいただいた。理論を理解した上で、実際の生きている情報を整理することが、特にプロセス開発においては、筋の良い仮説の立案と無駄の少ない検証につながると考える。現場で起こっている現象を精確に捉えて、原理原則を現実の中で活かし、高品質の製品をより効率的に製造できる操業プロセスの開発に取り組んでいきたい。

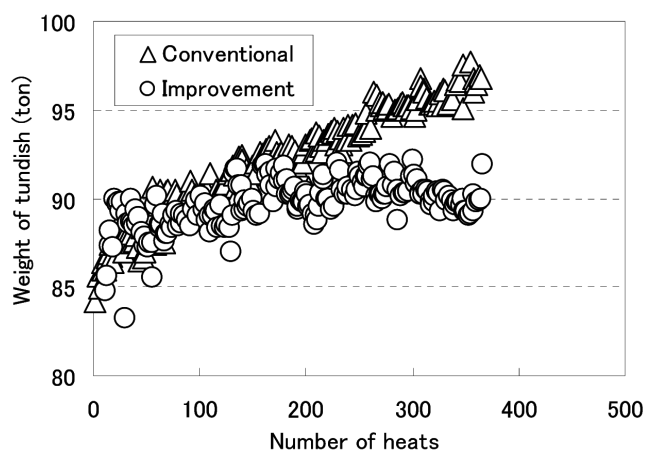


Fig.2 Changes of tundish weight

3 RH 真空脱ガス装置における鋼中窒素濃度の制御精度向上

2017年11月に実施した神戸製鉄所の製鉄製鋼プロセスの加古川製鉄所への統合⁸⁾は、失敗が許されず、後戻りのできない全社的大プロジェクトであった。ここでは、私がこのプロジェクトの中で担った「高窒素鋼溶製の加古川への移管」について述べる。

高靱性化、高寿命化のために窒素を添加している肌焼鋼は、これまで神戸製鉄所のVD (ASEA-SKF) で溶製されてきたが、前述の加古川製鉄所への上工程集約に伴い、これらの鋼種（特に加古川製鉄所では経験したことのない高窒素濃度領域かつ様々な成分規格を持つ鋼種）をRH で溶製する必要がある。しかし、RH は真空槽内の溶鋼上にスラグが無いいため、溶鋼表面が真空中に曝露される面積が大きく、窒化合金などで窒素濃度を高めても急激に脱窒される。また、窒素濃度に加えて、脱窒速度や吸窒速度に大きく影響を及ぼす硫黄濃度の規格也多岐にわたる。そこで、窒素を還流ガスとして、鋼中窒素濃度を高めるとともに、窒素濃度を各鋼種の規格内に処理できるようにするために、環流ガス量、真空度、溶鋼成分、処理時間などの条件を反映して窒素濃度を予測計算できるシステムを構築した。

まず、初期窒素濃度、環流窒素ガス流量、真空度、溶鋼成分が窒素濃度挙動へ及ぼす影響を、実機RH を用いて約30 ヒートにわたって調査した。溶鋼成分のうち、特に [S] は濃度の大小によって、[N] の挙動が大きく変わり、同じ操業条件においても、脱窒に進んだり、吸窒に転じたりすることが分かった。本システムの基となっている計算モデルの詳細は既報⁹⁾にあるが、RH 槽内の真空度に応じて各種パラメータを持たせるなど、独自の工夫を施すことで、制御精度の向上を図った⁶⁾。

制御方法は、Fig.3 に示すように、処理前の窒素濃度分析値

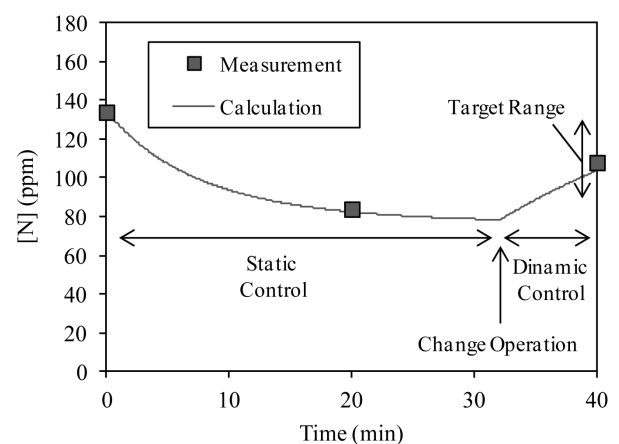


Fig.3 Behavior of Nitrogen in RH

から事前に操業条件を決めておくスタティック制御と、処理中の窒素濃度分析値から操業条件を変更するダイナミック制御とした。これにより、窒素濃度の目標値と実績値との乖離のばらつき (3σ) を、規格幅の範囲内に収めることができ、RHへの全量移管を可能とした。

本開発は、上工程集約までの限られた時間、費用、マンパワーの中で、実機プロセスの操業ばらつきを考慮しながら、いかに窒素制御精度を向上させるかという取り組みであった。集約後の実機溶製時は、処理時間内で規格に収まらなければ廃却となるため、成分脱線は許されない。よって、1ヒート毎の処理が真剣勝負であり、本システムの予測精度検証の場となる。処理中の窒素分析値が判明した時点で、本システムを元に処理変更条件をオペレータに指示する。そして、処理終了時の窒素濃度が当初の狙いどおりとなることを確認し、次の処理に備える。これを繰り返してデータを蓄積し、システムの精度を向上させ、最終的には現場の作業マニュアルに落とし込んだ。本システムは既存のモデル⁹⁾を参考に構築したが、限られた時間の中で解を見つけることも、非常に重要な開発の側面であり、大プロジェクトの一翼を担えたことは、非常に良い経験であった。

4 終わりに

ここでは成功例しか記載していないが、実機プロセスに落とし込めなかった案件も多々ある。それは、原理原則に則っていない、操業が成り立たない、別のデメリットが大きい、などが原因であったと思う。何かを開発するためには、原理原則に基づいた理論と改善後の操業方法イメージをしっかり持ち、関連工程への様々な影響を十分に把握することが求められる。一方に視点が偏ると、実機適用のハードルが低い開発(易きに流れる)や、操業に落とし込めない開発(夢物語)ばかりになったりする。現場と原理原則の両方を良く知らな

ればと判ってはいるが、まだまだ私の未熟さを痛感する次第である。

最後になるが、社内や社外の技術者、大学の先生、そして文献や書籍等の膨大な知見など、多くの支えが無ければ、達成できなかったものばかりであるし、今後も達成できないであろう。この場を借りて厚く御礼申し上げるとともに、今度は私が研究・開発成果を発信する側になり、世の中に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 寺内雅彦, 中田等: CAMP-ISIJ, 18 (2005), 153.
- 2) 吉田仁, 森下雅史, 三村毅: CAMP-ISIJ, 21 (2008), 87, CD-ROM.
- 3) 斧田博之, 太田裕己, 森下雅史, 隅田一毅: CAMP-ISIJ, 24 (2008), 126, CD-ROM.
- 4) H. Onoda, M. Morishita, T. Inoue, K. Semura, Y. Yoshida and H. Sakai: 8th European Continuous Casting Conference, (2014)
- 5) 斧田博之, 森下雅史, 木村世意, 瀬村康一郎: CAMP-ISIJ, 29 (2016), 54, CD-ROM.
- 6) S. Tanaka, H. Onoda, S. Kimura and K. Semura: 7th International Congress on Science and Technology of Steelmaking, (2018)
- 7) T. Ishikura, T. Saito, T. Yasui, K. Matsuo, M. Yokoyama and H. Fujimoto: AIME 9th Process Technology Conference, (1990)
- 8) ふえらむ, 23 (2018) 5, 202.
- 9) 鍋島誠司, 小川尚志, 三木祐司: 鉄と鋼, 101 (2015), 627.

(2018年8月1日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

東北大学 多元物質科学研究所 材料分離プロセス研究分野 教授

柴田 浩幸

斧 田さんの成功体験に基づいた研究開発の記事を拝読いたしました。当たり前のことと思いますが、研究するうえで最も重要なことは対象の事象をよく観察することです。できるだけ実際の現象をその場で観察することが重要だと思います。前半の「TDの寿命向上」のプロジェクトにおいて、斧田さんは「現地で徹底的に観察したことが課題解決に繋がった」と述べておられます。まさにその通りだと思います。現場の声をきちんと聴き、それを咀嚼した科学的な考察ができているからこそ、開発プロジェクトを成功に導くことができていないかと思っています。また、日頃より課題に対する意識を高く持ち、よく準備しているから対象の現象の課題を抽出することができていると推察いたします。同じ現象を観察し経験しても、そこから何が得られるのかは観察者の経験、知識、直感によって大きく異なるようです。斧田さんには「セレンディピティ」があるという言い方ができるのかもしれませんが、「筋の良い仮説の立案と無駄の少ない検証」の重要性にも触れられていますが、これもまさに研究そのものであるかと思っています。後半には

「高窒素鋼溶製の加古川への移管」プロジェクトのあらましが紹介されています。このプロジェクトでは現場での時間やコストとの戦いが行間ににじみ出ていると感じました。鉄鋼の製造プロセスは製造装置や原料などのローカルな条件が様々であろうと思います。このような条件の下で、かつ限られた時間の中で最適解を見つけるということは大学の研究とはだいぶ異なりますが、原理原則を重視したことが期間内での目的達成の神髄であろうと思います。

研究者と技術者に大きな差はないかと思いますが、図らずも、斧田さんが述べておられる「改善後の操業イメージ」を持つという点において斧田さんは優れた技術者なのだろうと思います。鉄鋼プロセスの操業の高度化が現場の技術者の方に支えられていることが良く分かりました。今後も実際のプロセスをよく観察し、プロセスの課題を解決可能な課題にブレイクダウンしたうえでの原理原則に基づいた開発が継続的に行われることを期待しております。

新日鐵住金(株) 技術開発本部 プロセス研究所 製鋼研究部 主幹研究員

塚口 友一

製 鋼プロセスは、高温・粉塵など作業にとって辛い環境下にありますが、研究開発にとっても困難が多い対象です。それは、定量的評価すなわち測定が難しいことを意味します。斧田さんが、タンディッシュの寿命向上の取り組みに関して、「現物や操業を現地で徹底的に観察したことが課題解決に繋がった」と書かれているのは、まさにその困難を、五感を駆使して乗り越えられたことを示しています。定量的な測定は無理でも、スラグの滴り具合を毎日見ていれば、粘性の違いや、固相率の違いを感じることができます。その結果を、スラグの分析値やフラックスの組成などと対比しながら、的確な現象把握を積み重ねられたと推察します。

製造現場では、すぐには理解できない現象が日々起こります。採取できているデータからは全く原因が掴めないことも少なくありません。そこを解明するのが現場の技術者にとっての腕の見せ所です。是非、斧田さんが身に着けられた現場現物主義と五感を駆使する筋の良い仮説構築の力を、後輩達にもしっかりと伝えてあげて下さい。日本の製造業の実力低下が伝えられる昨今ですが、記事を読んで心強く感じた次第です。

製造現場の技術者にとって、タイムリー仕事を仕上げることは、常に必要とされる要件です。試作/製造スケ

ジュールは予め決められており、それに遅れることは許されないからです。斧田さんが取り組まれた、RH精錬における窒素制御精度の向上は、まさにそのような仕事であったと思います。基本方針としては既存のモデルを使いながら、そこに事前調査に基づいた改善と、実精錬データを用いた精度向上を加えて、現場操業システムへの実装に到る過程は、見事期待に応えた仕事ぶりであったことでしょう。

研究開発にのめり込んでいると、つい満点を目指してしまいがちです。しかしながら理想の実現には多くのハードルが立ちます。私の経験を申し上げますと、研究開発スタート当初は次善の策と考えていたものが、最終的には実用化に到り、予想以上に大きな成果をあげる例が少なくありません。必要以上のレベルを追究することなく、タイムリーに仕事を仕上げる習慣は、研究者/技術者が理想の追求にはしらずバランスを保って仕事を進める上で、実は大切なことだと思います。そのような経験を積まれた斧田さんは、研究開発をマネジメントする力も蓄えられたことでしょう。

斧田さんと同じ製鋼プロセスの研究開発に長く携わり、同じ苦労を共有する仲間・先輩として、今後の益々のご活躍を祈念しています。