



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

骨を埋める価値のある製鉄研究

Ironmaking Research Worth a Lifetime

岩見友司

Yuji Iwami

JFEスチール(株)

スチール研究所

製鉄研究部 主任研究員

1 はじめに

筆者は卒業論文、修士論文以来、2009年にJFEスチール(株)に入社して今に至るまで製鉄分野、特に原料・焼結における研究開発に従事してきた。製鉄研究に関わることになるスタート地点は学部3年生末での配属研究室の選択であるが、筆者が当時好きだった反応工学の講義をされていた先生が所属されている研究室という単純な理由であった。しかし、今思えば現在に至るまで15年止めずに続けられることから適した選択だったのではないかとと思われる。その後JFEスチール(株)に入社し、そのまま製鉄研究を続けられているということで、大学での知見をそのまま活かした点においては、筆者は恵まれていたと今でも感じている。

前述したように筆者は現在、産側に所属しているので、当然研究開発についても常に操業におけるコストダウンを念頭に置きながら遂行しているが、他分野に対する製鉄分野でのコストインパクトは絶大で、このコロナ禍による製造業への打撃を受けてその責任感・使命感は日に日に増している。さらに環境面においても、近年ではSDGsにおける目標の一つである「気候変動に具体的な対策を」やパリ協定を受けて、温室効果ガス排出量の低減が大きな課題として挙げられるようになり、CO₂排出量の大きい鉄鋼業、その中でもとりわけ排出比率の大きい製鉄分野には大きな変革が求められつつある。そういった意味でも、2006年に卒業論文の研究テーマ通じて製鉄の研究を開始してから今年度で15年になるが、その奥深さ・興味深さに飽くことはなく、さらに日々直面する課題の大きさに尻を叩かれ続けているようにさえ思える。

前述のように製鉄研究を開始してから15年になり、「若手か?」というご意見もあるかもしれないが、今回「躍動」を執筆する機会を頂戴したので、今まで従事した研究テーマの中から代表的なものを紹介させていただくこととする。

2 焼結鉱の品質とヒートパターン

筆者が研究対象として主にかかわってきた焼結工程では高炉に装入する原料である「焼結鉱」を日々製造している。粉鉱石とフラックスである石灰石や生石灰、熱源である粉コークスを水で造粒した後、焼結機に装入し、下端から空気を吸引しながら上端に点火を行う。これにより粉コークスの燃焼が上端から下端に向かって伝播し、液相焼結が進行する。焼結鉱は高炉への搬送中での粉化防止や高炉内での荷重に耐えるための強度、高炉内での還被還元性、その還元に伴う粉化性を管理しながら、操業を行っている。

焼結工程における液相焼結は、1200℃付近で融液の生成を開始し、CaOやAl₂O₃成分が溶け込んだ後、酸化鉄と反応しカルシウムフェライト等の鉱物相を形成する。さらに温度が上昇し、1300℃を超えるとカルシウムフェライトが分解し、冷却時にヘマタイトやマグネタイトとスラグ相に分かれた組織を形成する。焼結鉱組織において、このカルシウムフェライト相が強度や被還元性に優れ、スラグ相が劣るということは従来の研究によって明らかにされており¹⁾、さらに冷却時に晶出したヘマタイトは特に骸晶状菱形ヘマタイトと呼ばれ非常に還元粉化しやすいことが報告されている²⁾。そのため、高被還元性、低還元粉化性の焼結鉱を製造するためには、中下層の到達温度を1300℃程度に抑え、その温度での保持時間を延長することが望ましいとされる「C型焼結法」等も提唱されている³⁾。また、現在普及しているドワイトロイド型焼結機共通の課題として上層部の強度(歩留)が低いということが挙げられる⁴⁾。これは上層部が外気を直接吸引するため熱不足になりやすく、温度が十分に上がっていない、もしくは高温での保持時間が十分ではないということに起因している。

3 焼結層への水素系気体燃料 吹込み技術の開発

前述したように、強度が低くなりやすい上層部において、下層部の最高到達温度を1300℃に抑えつつ、1200℃以上の保持時間を延長させるヒートパターンの制御方法の開発が研究開発目標として挙げられている。一般的な焼結操業におけるヒートパターンの制御法としては、熱源として使用している粉コークスの配合条件を変更することが挙げられる。粉コークスの配合量を多くすれば、1200℃以上の保持時間を延長することができるが、一方で最高到達温度が大幅に上昇してしまう。これでは、上層部の強度改善と同時に下層部の強度や被還元性が低下してしまう可能性がある。この課題に対処すべく、弊社では焼結機への水素系気体燃料吹込み技術が開発された⁵⁾。本技術では、一部凝結材の配合量を削減し、その代替として燃焼下限濃度以下に希薄された気体燃料を空気と一緒に焼結層内に吸引することで、最高到達温度を上げずに1200℃以上の保持時間を延長させることができる (Fig.1)。筆者は数値シミュレーションや基礎実験を通じ、この現象のメカニズム解明とその操業条件の適正化のメンバーとしてテーマに参加した。Fig.2に水素系気体燃料としてメタンガスを用いた際の本技術における層内温度とコークス、メタン

ガスの燃焼速度の位置分布をシミュレーションモデルによって再現した図を示す。これによれば、焼結層上端から焼結層内に吹き込んだ水素系気体燃料がコークスの燃焼している位置よりも上層で燃焼し、焼結層内の冷却を緩和することで1200℃以上温度領域を拡大させ、結果として1200℃以上の保持時間を延長させることができたと考えられる。

実用化においては水素系気体燃料の種類、その濃度、焼結機上における吹込み範囲を提示する必要がある。まずは、使用する水素系気体燃料の選定を行った。ラボにおいて様々な種類の水素系気体燃料で実験を実施し、同熱量相当の濃度に調整すれば、同様な効果を得られることが分かった。実用化においては、効果が最大化する条件が最適な条件ではなく、コストや安全性を考慮する必要がある。弊社では安全性を重視し、都市ガスを採用した。濃度についてもシミュレーションモデルや実験を通して濃度と効果の関係性を明らかにし、コストの兼ね合いから濃度仕様を決定した。吹込み距離については電気炉試験により1200℃以上での保持時間と焼結鉱の強度の関係性を調査し、1200℃以上の保持時間が150秒未満の領域に吹き込むこととした。実機における150秒未満の領域は実際の焼結機で高さ方向に1200℃以上の保持時間の保持時間を実測することで特定した。

本技術は2009年に1号機の実用化を完了した (Fig.3)。筆

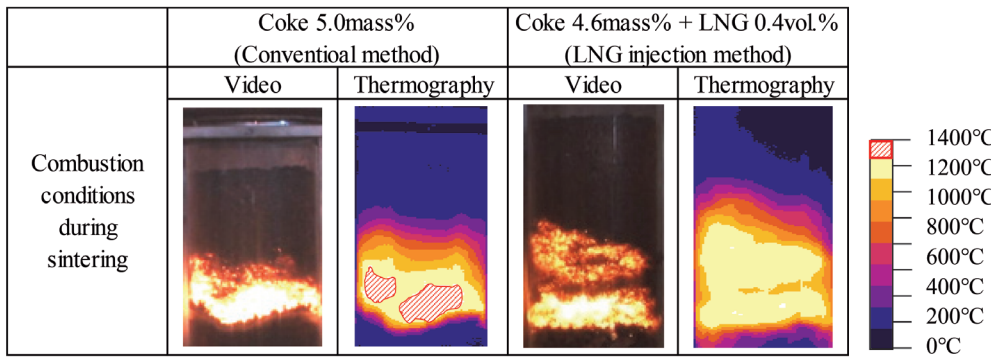


Fig.1 Effect of the gaseous fuel injection method on temperature distribution measured by the thermography at 250 s after ignition.

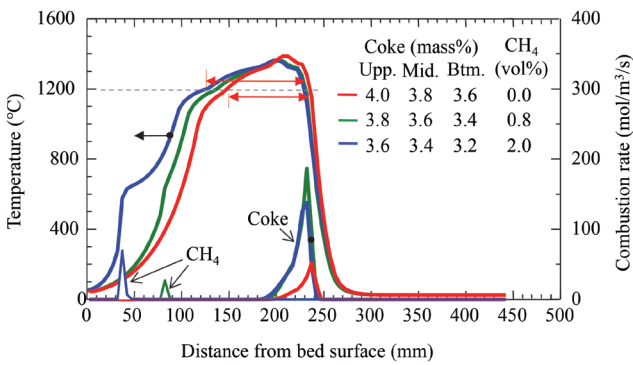


Fig.2 Effect of the gaseous fuel injection method on the temperature distribution with the mathematical model at 600 s after ignition.



Fig.3 Equipment of gaseous fuel injection technology in Keihin No.1 sinter plant.

	LNG (Nm ³ /hr)	Bonding agent (kg/t-s)
—	0	59
.....	250	56

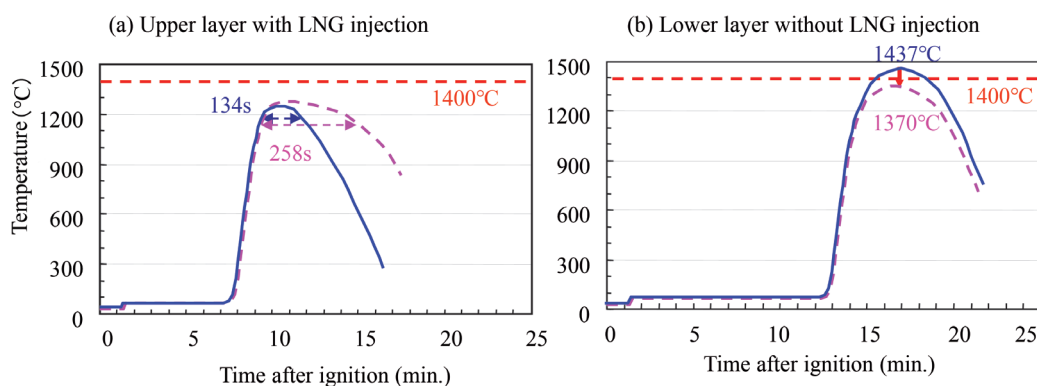


Fig.4 Effects of LNG injection method on temperature distribution at Keihin No. 1 sinter plant.

者も2号機以降の実用化については主担当として参加した。まずは、提案した設備仕様が効果を発揮しているか焼結機のサイドウォールに穴をあけて熱電対を挿入し、都市ガスあり、なし条件で層内温度を実測することで効果の確認を行った。結果として上層部における1200℃以上の保持時間が延長し、同時に下層部の最高到達温度が低下していることを確認した (Fig.4)。本技術は2012年までに弊社の全焼結機への実用化を完了している。

4 終わりに

本稿では、15年の製鉄研究の中で特に思い入れの大きいテーマについて紹介させていただいた。本技術開発によって得られた効果は、先に述べた温室効果ガスの削減等、製鉄部門が抱える課題解決の一助になっていると考えているが、ほんの一部にしか過ぎないとも考えている。課題解決に向け、引切り無しにあの手この手を考えている現状である。本テーマが終了していないうちから別のテーマに取り掛かり、そのテーマが終わらないうちに別のテーマに取り掛かる、というように一息つく暇もないが、そうなるくらいに可能性を秘めた研究分野であることも間違いない。残りの研究人生でどこまで製鉄分野の秘める可能性を開花させられるかはわか

らないが、筆者にできることはやってみようと思う。

最後に、本テーマで筆者がかかわった部分はほんの一部であり、産学連携も含めて数多くの方が参画されている。まずはその方々にお礼申し上げたい。また、製鉄研究に係わってから今に至るまで、本テーマ以外でも多くの方々にご指導ご鞭撻を賜っており、現在の筆者を形成する重要な要素となっている。ここに紙面を借りてお礼申し上げるとともに、今後とも倍旧のご指導ご鞭撻をお願いしたい。

参考文献

- 1) D.A. Kissin and T.I. Litvinova : STAL', 5 (1960), 318.
- 2) 坂本登, 福与寛, 岩田嘉人, 宮下恒雄: 鉄と鋼, 70 (1984), 512.
- 3) 佐々木稔, 榎戸恒夫: 製鉄研究, 288 (1976), 11807.
- 4) 大山伸幸, 主代晃一, 小西行雄, 井川勝利, 反町健一: 鉄と鋼, 82 (1996), 719.
- 5) N. Oyama, Y. Iwami, T. Yamamoto, S. Machida, T. Higuchi, H. Sato, M. Sato, K. Takeda, Y. Watanabe, M. Shimizu and K. Nishioka : ISIJ Int., 51 (2011), 913.

(2021年1月18日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

東北大学 大学院環境科学研究科 准教授

村上 太一

岩見さんと一緒に仕事をさせてもらった最初のタイミングは、葛西先生（東北大）が主査をされた「低炭素焼結技術原理の創成」研究会（2009-2012年）でした。中間報告会で、入社数年にもかかわらず本原稿で紹介されていた焼結プロセスへの水素系気体燃料吹込み技術について発表されていました。本当にこの研究は素晴らしい成果で、多数の受賞もされました。私が主査をさせていただいた二つの研究会でも一緒にさせていただき、特に「資源環境調和型焼結技術創成」研究会では、本社に異動されるまでのしばらくの間、同じグループに属し、様々な議論をさせていただきました。積極的に議論に参加する姿勢を拝見し、素晴らしいなと思っておりました。

鉄鋼業界は戦後、銑鋼一貫臨海製鉄というビジネスモデルで躍進を遂げました。しかし今、岩見さんのフィールドである製鉄分野には鉄鉱石資源の劣質化と二酸化炭素排出問題という大きな二つ課題を抱えています。良質な鉄鉱石資源は枯渇に向かい、 SiO_2 や Al_2O_3 といった不純物が多くなる方向にあります。さらに、製鋼での脱リン負荷が高くなる高リン鉱石の増加も予想されています。このような背景から高炉原料としての焼結鉱の製造について広い視野で考える必要があります。さらに、二

酸化炭素排出問題はより深刻です。これまで政府は2030年度に2013年度比で26%削減し、2050年には80%という目標を掲げていましたが、昨年10月に2050年までに温室効果ガスの排出量を実質ゼロにすると首相の所信表明演説で発表されました。ご存知のように鉄鋼業界からの排出割合は高く、現状の高炉法ではコークスが必須であるため、これまで通りのやり方ではこの目標に到達しません。COURSE50やゼロカーボンスチールなどのプロジェクトが走っていますが、その時の製鉄プロセスに必要な鉄源の形は、焼結鉱ではないかもしれません。いや、まったく異なるものになっているかもしれません。岩見さんのような世代の方（もちろん、私も含みますが）が真剣になってこの問題に向かっていき、世界に先駆けて低炭素・脱炭素の新しいビジネスモデルの基礎となる技術を構築することが求められています。

5年前に迎えた日本鉄鋼協会100周年の際に、「次の100年に向けて」とありました。足元の山積した問題もあるとは思いますが、2050年に向けてだけでなく、今後100年続く新たな製鉄に向けて一緒に頑張っていきましょう。

日本製鉄(株) 技術開発本部 プロセス研究所 試験高炉プロジェクト推進部

上城 親司

この度、焼結研究会で一緒にご縁で、岩見さんへのメッセージを書く機会を頂きました。岩見さんは冒頭にご自身の研究遍歴を書かれていますが、実は岩見さんと私のオリジンは同じで、時を隔てて同じ先生のお世話になりました（場所は、東区と西区で違うと思いますが）。そんな、15年も時を隔てた後輩へのエールを、紙面を通じでできるというのは滅多に得られない機会です。感謝を申し上げます。

さて、岩見さんが書いている通り、我々企業の研究者は常にコストダウンを念頭に研究開発しなければなりません。小規模の基礎試験から始めて、良好な結果を積み上げ、裏付けとなる理論を構築し、費用対効果を計算し、効果があるとの確信を胸に現場へ説明に出張っていき、現場スタッフをたらしこんで（失敬！）実機テストに持ち込み、そして実機適用までこぎつける。彼が紹介してくれた焼結層への水素系気体燃料吹込技術の文章の行間からは、その長い長い道のりを苦勞して苦勞して、とうとう全社展開までこぎつけたご努力が忍ばれ、心から拍手を贈りたいと思います。

一方研究開発という仕事は、毎回全てが上手く進むなんてことは全然なく、考えた通りにならない実験結果の山を築き、「何故そうなるのか」という理屈が解らず悶絶

し、「費用の割に効果が小さいから」という理由で現場には見向きもされず、ようやくこぎつけた実機試験で予想した効果がでなくて落胆し、リベンジを誓って基礎試験に立ち戻って対策を練り、etc., etc.。そんな数多の屍を築いて、たった一個の成功を勝ち取る。私の同僚が「真綿で首を絞められてるようだ」と形容した苦しさがあります。それでも、そのたった一個の成功を手に入れたくてやめられないのが、研究者という稼業だと思います。

岩見さんも、そこに魅せられて「骨を埋める」というギョツとするようなタイトルを付けたのかなあ、と感じます。ですが、終わりの方で「できることはやってみよう」などと書いているのは、まだ覚悟が足りないのではないですか？そこは「やる」と言い切らなければ。研究者稼業にアナログイズムが適用可能なら、岩見さんは後15年は製鉄研究から足を洗うことはできないはずで、色々挑戦ができると思います。世はカーボンフリー、カーボンニュートラルへの関心が最高潮で、原料屋としても策を練らねばなりません。岩見さんの先輩方がHPSを作ったように、革新的なNew塊成鉱を作る、今がそのチャンスです。ここからは私とどちらが先か、ぜひ競っていきましょう。