



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

鉄鋼業でのプロセス研究開発を通じて Research and Development of Innovative Processes

黒木高志
Takashi Kuroki

JFEスチール(株)
スチール研究所 環境プロセス研究部
主任研究員

1 はじめに

近年、海外鉄鋼メーカーとの競争の激化や良質資源の枯渇、高騰する原料などを含むエネルギー安全保障などの問題が顕在化する中、日本の鉄鋼メーカーの地位を維持し、持続的に成長させていくためには、低品位の原料の利用拡大や鉄鋼材料の機能発現に欠かせない添加合金元素の使用量削減・代替元素開発などが求められている。さらに、地球環境問題への取り組みについては、従来にも増して、省資源・省エネルギー型で環境負荷の少ない製鉄プロセスの実現が急務である。日本の鉄鋼生産におけるエネルギー原単位は、これまでの二度の石油危機を乗り越えたことにより、世界最小レベルではあるが、現在でも比較的低温の排熱は利用されず放散されている物が多い。このような排熱の利用法を見出し、より省エネルギー型の製造プロセスの開発が望まれている。このように、鉄鋼プロセスの開発に求められるニーズは、鉄鋼製品を低コストで製造可能とする新プロセス技術の開発と、より一層の省エネルギー型プロセスの開発だと考えられる。本稿では、著者らがこれまでに取り組んだTMCP (Thermo-mechanical control process) 技術、省エネルギー技術の研究開発事例を紹介する。

2 TMCP技術の研究開発事例

TMCPは制御圧延技術と制御冷却技術を組み合わせ、優れた機械的特性を引き出す鋼材の製造技術である。その発展はオフラインの熱処理でしか製造できなかった高強度と高靱性の機能両立を可能にした。その中で冷却プロセスは重要な役割のひとつを果たしている。鋼材の水冷において、膜沸騰から核沸騰に遷移する現象についての研究は、これまで数多くなされてきた¹⁻⁵⁾。

著者らは、高温面に衝突する微小液滴の挙動(液滴径、液

滴速度、表面性状の影響)の影響の評価⁶⁾や、スケール厚さと表面粗さをそれぞれ単独に変化するパラメータとした冷却実験で、膜沸騰および各沸騰における熱伝達率やクエンチ点温度などの冷却特性に及ぼす影響を個別に評価⁷⁾するなど、基礎的な研究を実施するとともに、これまでほとんど議論されていなかった板厚が比較的厚く高温の鋼材に圧延と水冷を同時に行うことで生産の高効率化を図れる制御圧延を検討し、高水量密度で、鋼板の表面温度が850℃~1100℃という比較的高い温度域での冷却能力の定量化を行った⁸⁾。また、材質の影響も考慮し、圧延パス間での高水量密度冷却の適用可能性について検討した⁹⁾。そして、高まる厚板ハイテン材の製造精度・能率の向上を、これまでにない冷却パターンの制御で実現する、制御圧延の連続化という新しい概念を提案し、Super-CRを実用化している。Fig. 1に設備の配置を示す。Super-CRは圧延機直前に設置した強冷却設備であり、特殊な水流制御により、鋼板全体を急速かつ均一に冷却する技術を確認したことで、厚板のようなりバース式圧延と水冷

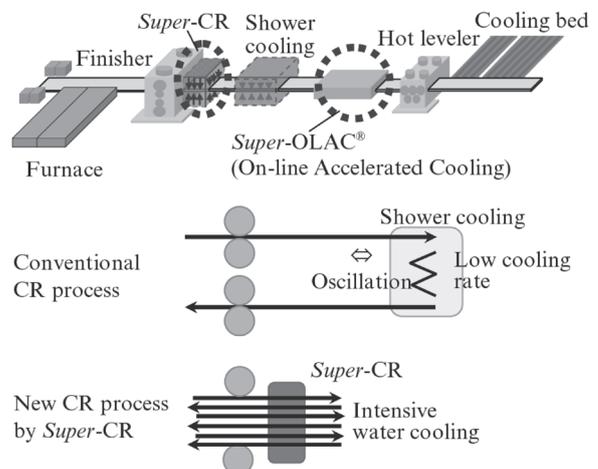


Fig.1 Layout of plate mill of JFE Steel Corporation's East Japan Works (Keihin) and new controlled rolling process by Super-CR¹⁰⁾.

を同時に行うことをはじめて可能とし、生産の高能率化を図ることに成功している¹⁰⁾。

3 省エネルギー技術の研究開発事例

前述のように、日本の鉄鋼業のエネルギー効率は世界最高水準であるが、CO₂削減やエネルギーセキュリティーに対するニーズの高まりから更なる省エネ推進が求められている。現状、未利用のまま有効利用されていない排熱は、小規模で分散していたり、変動が大きかったり、また、発生温度が低かったりと、既存技術では対応が困難、つまり、排熱回収を行うには設備的、技術的にきわめてハードルが高いものである。

温度差により生じる熱起電力を利用した熱電発電は小規模で分散した排熱源に対しても適用でき、未利用熱エネルギーを有効利用できる技術の一つである。製鉄プロセスにおいては赤熱した鋼板や鋼材が熱を大気中に放散させながら搬送されるケースが多くある。著者らは、ラボ実験から、鍛接管工場での小規模実機実験を経て、鑄造中のスラブ(圧延用半製品鋼塊)から放出されるふく射熱を利用した熱電発電技術の開発を実施し¹¹⁾、伝熱/熱電解析結果と連続鑄造ラインでの実機発電実験結果の整合性を確認している (Fig. 2)¹²⁾。

4 おわりに

著者はこれまで、上工程から下工程の幅広い分野で、大学との共同研究を含めたラボ基礎研究から、実機設備・実機プロトタイプ設備での検証、さらにはプロセスの実機化までというプロセス研究者として非常に恵まれた環境で研究開発業務に携わってきた。規模が大きく異なる実験室と実機レベルで結果に差が生じることは、多々あるが、原因を追究し、そ

の対策を問題が大きくなるうちに講じ、新技術を確実に具現化していくことがプロセス開発の最も重要な点の一つであると考えている。

今後は、現場・現実・現物の3現主義を大切にするとともに、原理、原則に従って、出来事を見て、原因を特定し、対策を決めていく考え方を常に念頭に置きながら、様々な分野で研究活動を実施し、異分野の知見をうまく結合させ、省資源・省エネルギー型の製鉄プロセス技術開発や、革新的な商品開発が行えるツールとなりうるプロセス自体の開発などを続けていきたい。

本稿で紹介した事例は多くの関係者の方々のご助言や議論を通じて得られたものです。皆様に感謝申し上げます。また、技術の開発を通して、社会に貢献できる人材となれるよう日々精進して参りたいと考えていますので、今後とも、ご指導、ご鞭撻を賜りますよう、宜しくお願い申し上げます。

参考文献

- 1) 三塚正志：鉄と鋼, 54 (1968) , 1457.
- 2) 大久保英敏, 西尾茂文：日本機械学会論文集 .B 編, 54 (1988) , 934.
- 3) 村田杏坪, 西尾茂文：鉄と鋼, 79 (1993) , 55.
- 4) 玉利孝徳, 吉田博：材料とプロセス, 8 (1995) , 444.
- 5) 加藤徹, 原口洋一, 川本正幸, 渡部忠男：鉄と鋼, 83 (1997) , 611.
- 6) Y.Takata, S.Hidaka, M.Kohno, N.Ishihara, K.Tagashira and T.Kuroki : Proceedings of the 7th ECI International Conference on Boiling Heat Transfer, Florianopolis, Brazil, May 3-7, (2009) , 2009.05.
- 7) 福田啓之, 中田直樹, 木島秀夫, 黒木高志, 藤林晃夫, 高田保之, 日高澄具：鉄と鋼, 100 (2014) , 1514.
- 8) 中田直樹, 黒木高志, 藤林晃夫, 宇高義郎：鉄と鋼, 99 (2013) , 635.
- 9) 中田直樹, 黒木高志, 藤林晃夫, 日野善道, 宇高義郎：鉄と鋼, 100 (2014) , 958.
- 10) 遠藤茂, 中田直樹：JFE 技報, 33 (2014) , 1.
- 11) T.Kuroki, K.Kabeya, K.Makino, T.Kajihara, H.Kaibe, H.Hachiuma, H.Matsuno and A.Fujibayashi : J.Electron. Mater., 43 (2014) , 2405.
- 12) 黒木高志, 村井亮太, 松野英寿, 深見真行, 藤田浩起, 高岡隆司, 梶原健, 八馬弘邦：材料とプロセス, 27 (2014) , 781.

(2014年11月14日受付)

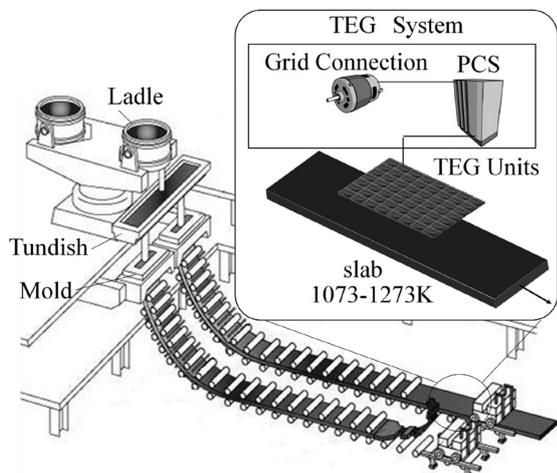


Fig.2 Layout image of thermoelectric generation(TEG) system installed in continuous casting line¹²⁾.

先輩研究者・技術者からのエール

北海道大学 工学研究院附属エネルギー・マテリアル融合領域研究センター 教授

秋山 友宏

黒木氏はエクセルギー概念¹⁾を理解した、新進気鋭の若手研究者であることから、彼の今後の活躍にエールを送りたい。出会いは数年前、共同研究で実施した、熱風炉の省エネ対策にはじまる。排熱回収法として、化学的熱回収法や潜熱蓄熱法導入の効果をエクセルギー解析により実施し、定量的に評価した。彼は短時間のうちに比較的複雑な基礎式及びプログラムを完全に理解しました。その計算結果には信頼性があり、ケーススタディを積極的に提案するなど真摯に取り組む姿勢は誠に好感が持てました。また、最近ではNEDOの支援を受け、鉄鋼業として世界で初めて、連続鋳造プロセスからの熱電素子による排熱回収プロジェクトに参画し成果を上げています。

このPJはエクセルギー率が小さい熱を、エクセルギー率100%の電気に変換する画期的な取り組みと言えます。ここでは温度差が重要であることから、排熱とともに冷却水の供給も重要となります。また連鋳は冷却プロセスですから、その冷却速度に悪影響を与えてはいけません。希少金属を原料に熱電素子を作っているのであれば、その製造過程に投入されるエネルギーも気にかかります。また寿命はどの程度か等々、種々の観点から総合的にPJでは検討されました。その結果、素子の設置が冷却速度に及ぼす影響は無視でき、LCA的解析で熱電素子発電による優位性を定量的に示しました²⁾。

前述の熱風炉の改善、連鋳の排熱回収はいずれもエクセルギー的概念に基づいて発想されています。我々は保存則から、「エネルギーは保存され、不生不滅であり、その形を変えこそすれ量は一定である」ことを知っています。保存されるエネルギーをなぜ大切にしなければならないのでしょうか。省エ

ネルギーとか、エネルギーを大切にしようと言っている時、実はエクセルギーという言葉は知らなくとも、エクセルギー概念で物事を見つめていることに気が付きます。鉄鋼業はエネルギー多消費産業だという人がいますが、エネルギーは保存されるので厳密には間違った表現であり、エクセルギー多消費産業です。流入した化石燃料は化学物質（鉄鋼、スラグ、COGなどなど）と熱に変換され、そのエネルギー量は全く同一となります。ただ仕事として使いづらくなっただけです。これに気づけば排熱回収技術は、鉄鋼業界が主役になれば、且つ他産業にも売り込める大きなマーケットとなります。

黒木氏のような若手研究者がエクセルギー概念を理解し、受け継ぎ、さらにこの技術開発が展開されることを頼もしく感じます。エクセルギー概念はネットワーク理論³⁾を経てコンストラクショナル理論⁴⁾へと進化、展開していることをお伝え致します。これらの概念を理解するならば、新しい省エネのアイディアが次から次へと湧いてきますから。

参考文献

- 1) 葛西, 秋山: 物質・エネルギー再生の科学と工学, 共立出版, (2006)
- 2) 菊地麻美: 学位論文 (Feasibility Study of Thermoelectric Generation System Using Exhaust Heat from Steel Industry), 北海道大学, (2014)
- 3) アルバート・ラズロ・バラバシ: 新ネットワーク思考—世界のしくみを読み解く, NHK出版, (2002)
- 4) エイドリアン・ベジャン: 流れとかたち—万物のデザインを決める新たな物理法則, 紀伊国屋書店, (2013)

新日鐵住金(株) 技術開発本部 プロセス研究所 プロセス技術部 部長

村上 英樹

黒木さんとは、JFE倉敷で行われた2014年の熱経済技術部会大会でお会しました。

黒木さんは、この大会で、躍動の記事の後半に紹介されている「製鉄所排熱を利用した熱電発電技術の開発」について講演され、見事優秀講演賞を獲得されました。講演とその後会話させて頂いた印象は、非常に落ち着いておられ、若手と称するのは失礼な印象を受けました。黒木さんは、学位を取得してから企業研究所に入られ、圧延加工プロセス研、環境プロセス研で、今回紹介の鋼板の新冷却技術、排熱回収技術の研究に従事されてきています。これらは、古くから鉄鋼業の中で培われてきた「熱技術/プロセス技術」と呼ばれる分野で、当該分野に20年以上従事している者として、僭越ながらエールを贈らせて頂きます。

黒木さんが前段に書かれている厚板のTMCPは、日本の鉄鋼業が世界に勝ち抜いてきた原動力のひとつとも云えるプロセス技術で、上司の方々が研究されてきた技術を共に仕上げて具体的な設備化に繋がられています。プロセス技術者とし

て最も重要なミッションのひとつは、要素技術を練り上げて実用化まで持っていくことです。入社早々にそのような功績を上げられた黒木さんは、課題や上司に恵まれただけではなく、高い理解力と粘り強いデータ蓄積、その解析、工場との連携等によって本開発を成し遂げられてきてたはずで。一方で、後半に紹介されている熱電発電による排熱回収技術は、従来の延長線上にはない新しい高度な基礎技術を元に、国家プロジェクトの枠組みを利用しながら、実機試験実行による設備課題や効果の明確化を行っていくという、これもプロセス技術研究者の重要な役割のひとつを実行されています。本人も記事の中で述べられているように、規模が大きく異なる実験室と実機レベルの技術的谷間を埋めて、新技術を具現化していくことは、プロセス開発の肝であり、その苦労を早い時期から経験し、現場・現実・現物の大切さを実感されている黒木さんには、大きな期待を感じております。是非、高い専門性を活かして、原理・原則の基づくプロセス開発を進めてください。今後の活躍を大いに期待しております。