

特別講演

□ 第155回春季講演大会渡辺義介賞受賞記念特別講演
(平成20年3月26日)

私の鉄鋼技術者時代

～その技術と忘れえぬ人々～

My Steel Engineering Days

— Technologies and Gentlemen I Will Never Forget —

數土文夫

Fumio Sudo

JFEホールディングス(株)
代表取締役社長



* 脚注に略歴

1 初めに

私は1964年に当時の川崎製鉄に入社し、千葉製鉄所で製鋼部門の技術者としてスタートを切り、以降28年間製鋼技術者として過ごしてきた。私がこれまで技術屋として関与した技術を振り返ってみると、主として「攪拌」という技術で製鋼に関する様々な開発・改善を行ってきた。もう今では知っている人も少ない平炉や造塊、そして、脱ガス、連続焼鈍、さらに底吹き転炉、溶銑予備処理で、攪拌の威力を肌で感じてきた。

そこで、「攪拌のメタラジー」という切り口で、その技術とその時々忘れることができない人々との思い出、さらには大学の先生方と企業研究者と現場技術者との交流の場、すなわち「人間の攪拌」の場であった日本鉄鋼協会や川渡セミナー、東京湾岸リーグなどでの忘れえぬ人々を紹介することで、私の人生における「攪拌のメタラジー」について述べたい。

2 平炉・造塊

平炉 (Open House Furnace) は、両サイドから重油バーナーでスクラップを加熱溶解し、精錬する。私が入社した頃の製鋼工場では、スクラップを使いながら一部溶銑も使っていたが、平炉としては当時世界で最も大量の純酸素を吹き込んで精錬を進行させていた。その時、溶鋼の攪拌を直に見たことが、私の冶金屋としてのスタートであった。平炉・造塊という非常に古い製造法ではあるが、方向性電磁鋼板・高級厚板・深絞り鋼、工具鋼を造っており、これが、正に私のエンジニアの原点である。

また、当時の川崎製鉄は、高級鋼である3.5%のSiを含有

した方向性珪素鋼を3鍋法で製造していた。3鍋法とは、図1に示す製造法である。平炉で出鋼してⅠ鍋に入れた後、リレードリングしてⅡ鍋でスラグカットして金属Siを添加し、その後Ⅲ鍋でフラックスを入れて介在物の浮上分離、脱P脱Sを行う。Ⅱ鍋でSiを3%以上入れると100℃くらいの融解熱が発生する。当時私は、Siが溶けたときに熱が発生するという非常にシンプルな原理原則を肌で感じてびっくりした。平炉製鋼法の弱点は、出鋼温度が均一でないということと、成分が均一でないということである。均一に溶鋼を混ぜるということは大変なことであるが、3鍋法は、リレードリングの攪拌によって、温度も成分も均一になり、清浄鋼を製造することができた。

3 RH・KM-CAL

当時の精錬法では、介在物は取れるが、水素は取れない。そこで、1967-68年頃に脱ガス設備の導入を検討した。当時、ドイツではDH (Dortmund Hörder) と RH (Ruhrstahl

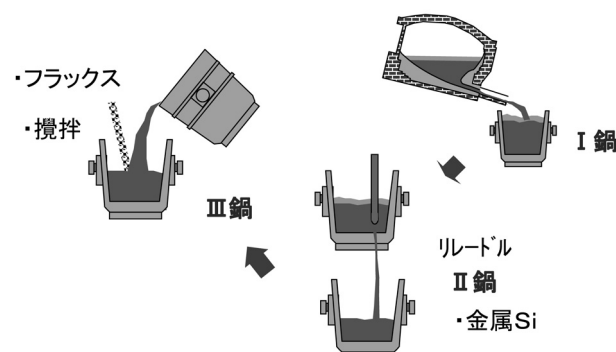


図1 3鍋法

* 昭和39年北大冶金工学科を卒業後、川崎製鉄入社。水島製鉄所製鋼部長、同企画部長などを経て千葉製鉄所副所長(平成6年取締役就任)、代表取締役副社長、代表取締役社長を歴任。平成15年JFEスチール誕生時に代表取締役社長、17年JFEホールディングス代表取締役社長に就任、現在に至る。19年より経済同友会副代表幹事。

Haüsen) の2つの方式があった。広畑と八幡でDHとRHとでどちらがいいか議論を戦わせていたが、川崎製鉄では、両方式を比較するため、研究所の小口征男氏が初めて水モデルというものを考えて実験を進めた。パラフィンなどを用いた水モデル実験を行った結果、RHの方がいいという結論になった。そこで、120tくらいの平炉の溶鋼をRHで処理していた富士製鐵の広畑にRHを教えて頂きに行った。当時、RHでの問題点は、攪拌であった。すなわち、環流ガス量を増やして攪拌量をどのように増やすか、溶鋼環流量をあげるためにどうしたらいいのかということが非常に大きな技術的な課題となった。RHの環流量は、当時25～26t/minくらいだったと思うが、種々の改善が行われ、現在の環流量は200～250t/minが主流となっている。

RHは、介在物の浮上と脱水素の他に脱炭に非常に有効である。ドイツでは既にそのことはわかっていたが、製品の製造にはまだ利用されていなかった。真空中に被爆する量を飛躍的に大きくすることで、脱炭が急速に進むので、図2に示すように、環流量が上がっていくと同時に到達Cが10ppmくらいまで製造することが各社できるようになった。

図3は、研究所の中西恭二氏が提唱した関係式である。方式が何であれ、また容器の形を問わず、均一混合時間(τ)

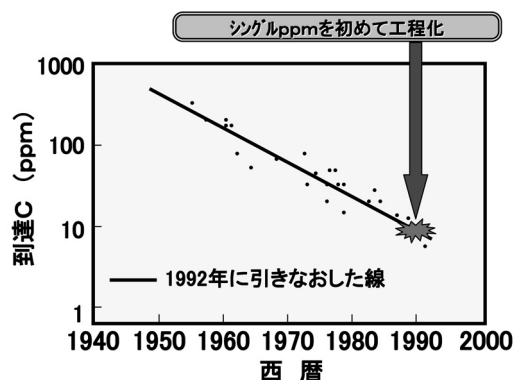


図2 到達Cの変遷¹⁾

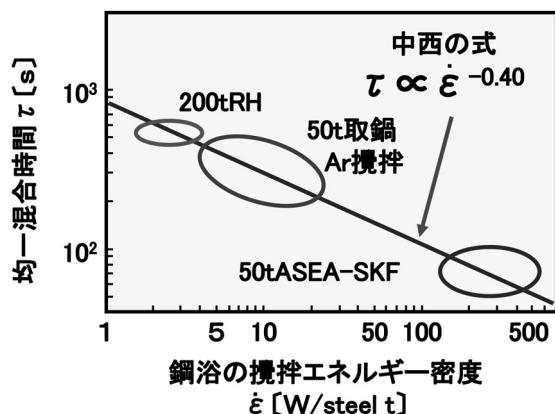


図3 鋼浴の攪拌エネルギー密度と均一混合時間^{2, 3)}

は鋼浴の攪拌エネルギー密度の0.4乗に比例する。中西氏が、ニューヨーク州立大学へ留学した際に、色々と研究を行い、この関係式を導きだした。

また、炭素を30ppm以下にまで下げることのできる大量生産方式を最初に確立したのは川崎製鉄であると思う。CAL (Continuous Annealing Line) には、加熱帯、均熱帯、過時効帯があるが、過時効帯では、過飽和の固溶Cを析出させて、固溶Cを減少させている。この工程は、材質に及ぼすCの影響を無くすためには必須の工程であると思っていたが、鋼中のCを30ppm以下にすべてできるのであれば、過時効帯は全く無くしてもいいのではないかと考えた。私の2年先輩の柳島氏から、「おまえCを下げれるんだったら、下げろ。こんなことができるぞ。」と言われたことで、Cを下げることに必死に取組んだ。その結果、川崎製鉄の薄板全体でCを下げ、薄板の連続焼鈍炉の過時効帯を無くしてしまった。これは大変な決断だった。この過時効帯を無くしたCALを川鉄では、KM-CAL (Kawatetsu Multi-purpose Continuous Annealing Line) と呼んでおり、建屋長の短縮が可能うえ、品質、生産性、省エネルギーで優れた設備である。KM-CALにより、加工性の優れたものを大量生産するような技術開発に突き進んだ。この技術は、CGLでの高品質のGA鋼板の製造にも応用された。これは、RH脱ガスの大還流量を可能にして、Cを30ppm以下に安定して製造することができたことから初めて可能となった。

脱ガス装置導入時の忘れえぬ方々は、DHでは、Dr. Prof. Brotzmann氏、八幡製鐵の王寺睦満氏、RHでは、ドイツのホルターマン氏、富士製鐵広畑の中山正時氏と有馬良士氏であり、特に中山氏と有馬氏には、非常に懇切丁寧に脱ガスを教えて頂き、私の恩人である。Dr. Prof. Brotzmann氏は、そのDH技術は採用されなかったが、後述するQ-BOPの開発者の一人で、Maximilians-Hütte社の研究所長である。王寺氏には、新日本製鐵の副社長になられてからも、懇切丁寧に指導して頂き心から感謝している。

4 底吹き転炉・溶銑予備処理

川崎製鐵千葉製鐵所では、4500 m³の高炉とともに新しい製鋼工場を建設する際に、230tの転炉、しかも底吹き転炉を建設することを決めた。決めた当時、私は千葉製鐵所第2製鋼工場の転炉掛長、上吹き転炉の掛長を担当しており、転炉の炉体寿命が1500回になった、或いは生石灰の原単位が25 kg/tになったとか、色々喜んでいたが、その新製鋼工場の建設の大詰めで新ラインの転炉掛長を担当することになった。慌ててその内容を確認すると、炉底から純酸素を吹いて精錬するQ-BOPであった。そのようなものできるわけがな

いと思った。底吹き転炉の転炉掛長だと知った際には、大変なポジションになったものだなと思わざるを得なかった。喜んでやらせて頂きますと返したものの、本当にできるのが不思議で、先行きどうなるか全くわからなかった。導入を決意した当時の製鋼部長の川名昌志氏も辞表を机にしまいながら、底吹き転炉を導入していたことを後から聞かされた。それを知って、全く頭が下がる思いだった。

しかし、私は、平炉での3鍋法や脱ガスで「攪拌の威力」を色々体験してきた。Q-BOPは、強烈な攪拌力を備えており、フラックスを直接酸素気流にのせて溶鋼に吹き込む方法でフラックスインジェクションを行う。これは正に原理原則にかなった精錬炉であり、工程的に可能なプロセスになれば、これは製鋼屋の夢がかなうと確信した。但し、当時は生産性と経済性と操業の安定性は全く保証されていなかった。

Q-BOPは、Dr. Prof. Brotzmann氏がMaximilians-Hütte社で、30t、60t規模で操業していたが、底吹きの羽口寿命は、30回～50回良くて100回だった。しかし、4500 m³の千葉第6高炉からは一日1万トンの溶銑が攻めてくるので、この転炉でこれに挑戦するしかなかった。私は、1977年の1月からこの転炉掛長になったが、操業スタートした時は、100回しか羽口寿命が持たなかった。色々努力した結果、図4に示すように2年余りで寿命は2000回となった。この際にもいろんな方々の支援を受けたが、寿命が2000回になることで、Q-BOPが、本当に経済的にも生産的にも品質的にも素晴らしい転炉だと確信することができた。

Q-BOPでは、羽口は二重管となっており、酸素を囲んでその外側でプロパンを吹いている。そのプロパンが分解する際の冷却熱により、凝固鉄すなわちマッシュルूमができる。当初、羽口レンガは、MgO-CaOが主成分であるマグネシアドロマイトレンガであったが、Cを20%入れたマグカーボンレンガへ変えることで、羽口寿命を2000回まで伸ばしてきた。このレンガは、黒崎窯業の片岡稔氏と川崎製鉄の針田彬氏から推奨されたものである。酸素のところにCを持ってくるという発想は、普通考えられない発想であったため、

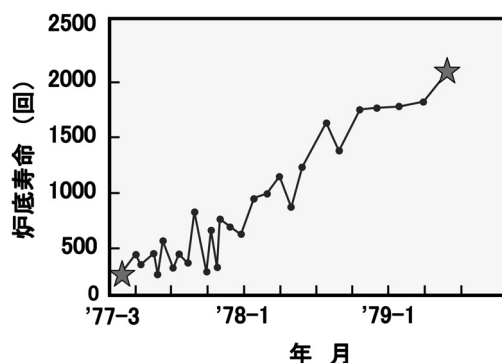


図4 炉底羽口寿命の推移⁴⁾

このレンガへ変える際にも、大変な度胸が必要だった。しかし、このレンガは、熱伝導率が大きく、抜熱が非常に有効に行われ、マッシュルूमが成長し、それが羽口を保護し、耐火物の損傷を防ぐことができた。その結果、羽口寿命が急速に伸びた。我々にとっては画期的な技術だった。

また、平炉、LD転炉、Q-BOPで酸素量も、攪拌力も違うが、Q-BOPの鋼浴の攪拌エネルギー密度を整理すると前述した中西氏の式のライン上にのっている。さらに、上底吹き転炉技術はオープンにされ、K-BOP、LD-KG、LD-CB、LD-OBなど各社で上底吹き転炉が華開いた。

-BOPのフラックスインジェクションで非常に重要だったことは、酸素気泡の中にフラックスが含まれていることである。CaOが浮上していく間に脱Pが行われるトランジトリリアクション、また、スラグと溶鋼界面で脱Sが行われるパーマネントリアクション、これらの反応により脱Pと脱Sが同時に起こることがわかった。

この技術を溶銑予備処理における脱S、脱P或いは脱Siにも利用できないか考えた。トビードカーの中で底吹き転炉技術を利用できないか考えた結果、垂直に吹くT字型ではなく、斜め吹きランスで吹くことで攪拌が大幅に改善され、トビードカー両端のデッドゾーンが解消された。但し、斜め吹きの場合にはランスがもたないため、ランスの開発に血道をあげた。その結果、Q-BOPの時と違って、細いランスでは寿命がもたないので、気体酸素の代わりに固体酸素であるFe₂O₃を入れる技術へと展開された。

図5に示すように平炉の大量酸素使用から大還流量のRH、3鍋法から溶鋼脱S、そしてQ-BOP、更に溶銑予備処理のトビードや上底吹き転炉へと攪拌力やフラックスインジェクションの技術が展開されてきた。

さらにもうひとつおもしろいことは、精錬だけでなく、連铸のモールド内攪拌(電磁攪拌)でも、攪拌、流動制御、ブレーキ、加速など鋼浴の攪拌メタラジーとして非常に有効な手段になるということである。名古屋大学の浅井滋生先生はこの分野で非常に力を入れられた。現在では、精錬、連铸を

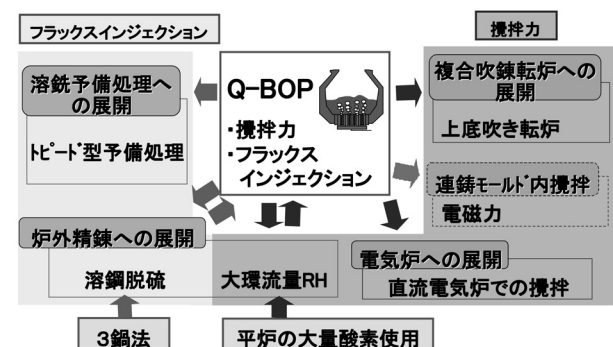


図5 Q-BOP技術の拡がり

問わず、混合、攪拌、或いは流動の技術が、非常に重要になっている。

Q-BOP導入時には、多くの思い出があり、多くの忘れえぬ方々がいる。実は私は転炉の炉底を何回か抜かしたことがある。吹錬中羽口が焼損により極端に損耗してしまうバーンバック現象やバックファイアーと言って吹錬中に突然炉底の羽口配管が燃焼し尽くし、一瞬にして炉底が無くなってしまいう現象を目の当たりに体験した。

革新的な技術であるQ-BOPの底吹き二重管羽口はCanadian Liquid Air社のRobert G.H. Lee氏が発明した。また、ドイツのMaxhütte社のWirth氏は、私より先に底吹き転炉掛長になられて、苦勞をされていた。さらに、Dr. Prof. Brotzmann氏(図6)は、Maxhütte社で純酸素の中にフラックスをインジェクションする操業法の工業化を実践した。次に、Maxhütte社で底吹き転炉を盛り上げたのは、Dr. Grossmann氏である。また、Fritz氏には、Dr. Grossmann氏とともに色々協力を頂いた。一方、中西氏は、ニューヨーク州立大学のSzekely教授の研究室へ留学し、鉄鋼精錬技術向上のための鋼浴の攪拌を研究しており、底吹き転炉の成功への貢献度は非常に大きかった。また、残念ながら亡くなら

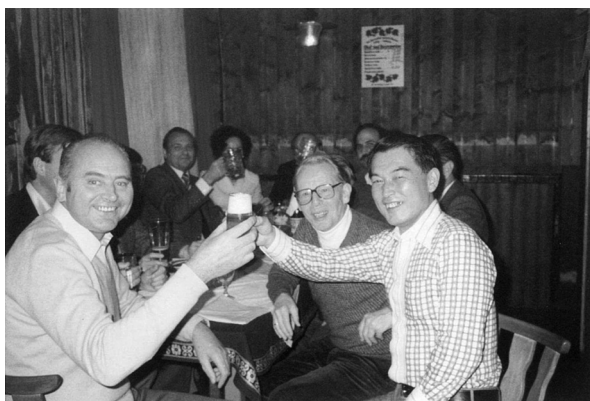


図6 Dr. Prof. Brotzmann氏と川名製鋼部長(当時)⁵⁾

れた川崎製鉄の技術研究所の製鋼研究部長を勤めた竹内秀次氏は攪拌技術の研究開発を推進した。Q-BOPの成功は、これらの方々の支援なくしては存在しないと言っても過言でない。

また、溶銑予備処理、転炉の攪拌技術では、徳田昌則先生、水渡英昭先生、八木順一郎先生、佐野信雄先生、雀部実先生、色々教えて頂いて、忘れることができない感謝の気持ちでいっぱいである。企業では、住友金属の丸川雄浄氏、城田良康氏、戸崎泰之氏、NKKの宮下恒雄氏である。また、佐野先生が東大の教授の時に、研究室の学生を底吹き転炉の実習に行かせたいという話があり、3人の学生を受け入れた。その学生の方々が、前田正史先生と伊藤公久先生と月橋文孝先生であった。この3人の方々は、フランクに色々議論させて頂いた。残念ながら川崎製鉄には来て頂けなかったが、今は大学教授になられており、心から敬意を表したい。

また、82年頃POSCOに上下吹き転炉を技術移転したが、その時に一緒に仕事をした方々とは、約25年間間断なく付き合っている。まさに、「友あり遠方より来たるまた楽しからずや」ということである。

5 日本鉄鋼協会、川渡セミナー、東京湾岸リーグ

日本鉄鋼協会では、耐火物部会長と製鋼部会長を約3年務めた。技術交流の会であるが、永田和宏先生、川上正博先生、岩瀬正則先生には楽しいつきあいをさせて頂いた。

もうひとつ忘れられない交わりとして、東北大学の的場記念川渡セミナーがある。第7回(図7)と第20回に参加したが、的場幸雄先生、大谷正康先生、徳田先生、松下幸雄先生、丸川氏、水渡先生、新日鐵の藤野伸司氏など多くの方々と交わることができた。この会も、技術の交流のみならず、人の交流、すなわち、大学の先生方と企業の研究者、また企業の



図7 第7回川渡セミナー(1980年8月27～29日)

現場技術者との一体となった交流であり、これこそ攪拌、混合の場であったと思っている。

また、東京湾岸リーグでは、当時の新日鐵君津、NKK 京浜、川鉄千葉でソフトボールなど色々なこと行い楽しんでいった。ここへ湾岸リーグと言う名であったが、住金鹿島も加わり、更に交流の輪が広まった。当時、新日鐵の奥村治彦氏、中村皓一氏、住友金属の山崎勲氏、NKK 京浜の内堀秀男氏など、非常に親しくさせて頂いており、忘れがたい思い出である。

さらに、私が最も強く影響を受けた人は、私の大学の恩師である吉井周雄先生である。人間大好きな先生であり、卒業前に就職を決める際、「君だったら川鉄に行け。行ったら、人事の面接で間違っても研究なんて言うなよ。ただ、ひたすら現場だと言え。現場に行ったら、技術のことはそんなに重要ではない。ただ人間関係だけをよくすることを考えたら、おまえは何とか会社生活を全うできるかもしれない。」という言葉を受けた。私にとって生涯忘れられない言葉のひとつである。先生も私が本当の技術屋になると思ってなかったで

あろう。さらに、日本鉄鋼協会をはじめ学会で論文を発表するとは思ってもいなかったと思う。そういう私でも外国での発表論文が28件、出願特許が49件ある。現場でも長いことやっていれば、これくらいのことができるということだと思う。今の若い技術者の方々も技術の交流、人との交流を基軸にして頑張ってもらいたい。技術も人も『攪拌』がキーワードだと思う。

参考文献

- 1) 雀部実：第143・144回西山記念技術講座，(1992)，19.
- 2) 中西恭二他：川崎製鉄技報，15 (1983) 2，8.
- 3) 数土文夫：鉄と鋼，76 (1990) 11，6.
- 4) 非公開資料：第80回製鋼部会，(1981)
- 5) 中西恭二：ふえらむ，3 (1998) 6，31.

(2008年4月24日受付)