



鉄の歴史

私見・鉄の歴史の周辺で

ソーダ灰精錬の顛末

丸川雄浄

Katsukiyo Marukawa

住友金属工業(株) 技監
大阪大学 客員教授

The Whole Story of the Refining Process of Molten Iron by Sodium Carbonate

1 はじめに

平成11年の5月に、千葉工業大学で「企業から見た望ましい学生像」と題して、100名余りの学生さんにお話をさせていただきました。講演後の懇談の席で、増子昇先生から「丸川さんがおやりになったソーダ灰精錬は結局どうだったの?」という質問をいただき、お答えしているのを側で聞いておられた雀部実先生が、面白いので「ふえらむ」に「ソーダ灰精錬の顛末」として書くようにとのご依頼があり、寄稿することになりました。

2 ソーダ灰精錬反応の研究

住友金属工業(株)鹿島製鉄所の創生期の末期ぐらゐに位置づけられる昭和51年に、オイルショックの不況を跳ね返し鹿島製鉄所を黒字浮上させ名実ともに第一級製鉄所へ仕上げるために、所内にZプロジェクト(Z旗を掲げて不退転で進めるプロジェクト)と名付けられた何でもありの開発集団が組織された。

ソーダ灰精錬はこの自由かつ果敢な開発集団の中からスタートした。筆者が最初にソーダ灰精錬反応の可能性に着目したのは、同僚の姉崎正治君の研究レポートであった。

それから鹿島製鉄所内の製鋼研究グループの中で拙い実験を積み重ね、その結果をまとめて東北大学の川渡セミナーで恐る恐る初めて発表させていただいた。これが水渡先生から厳しいご指摘とそれ以降の丁寧なご指導を頂くきっかけになったり、東北大不破祐先生、東大の佐野信雄先生、中村泰先生から新しい精錬反応に対する適切なアドバイスを頂いたりして、今から考えれば理想的な産学連携がすすみ、ソーダ精錬反応の基礎が固められた。これをまとめて論文¹⁾にしたものが俵論文賞という我々現場技術者にとっては望むべくもない賞まで頂くことになったのは自

分たち自身での驚きであった。

研究論文ではない本稿では、技術のディテイルにわたる論述はさておき、文学的表現でのソーダ灰精錬反応を簡単に要約すると、化学的活性度がカルシュームに比べて格段に高いので、御し難いけれども使い方によっては極めて有用な精錬反応材であること⁴⁾。化学的活性度が高い点を挙げれば、石灰系のように脱りん反応を促進させるにはその反応系の酸素ポテンシャルを高くしなければ反応が進まず、脱硫反応を促進させるには酸素ポテンシャルを低くしなければ反応が進まず、同時脱りん脱硫は不可能であるのに対して、ソーダ系の場合、中間の酸素ポテンシャルで、高い脱りん能と脱硫能を同時に示すのである(図1²⁾、図2³⁾)。

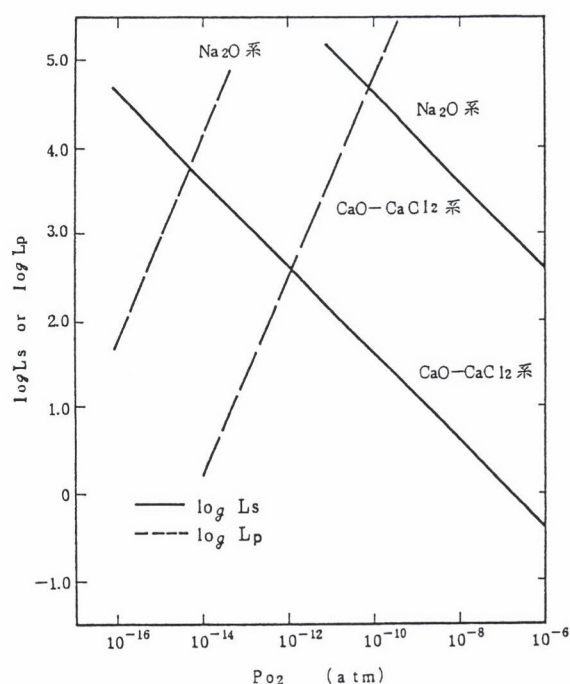
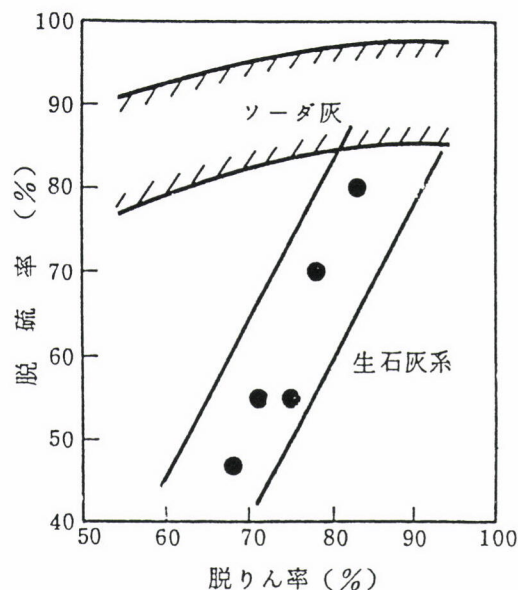


図1 脱りん脱硫同時反応に対する酸素ポテンシャルの影響²⁾
(Na₂O系: Na₂O/SiO₂ > 4, T=1400°C)
(CaO-CaCl₂系: CaO=33.3%, T=1400°C)

図2 同時脱りん脱硫³⁾

また、後述のスラグを湿式処理をしていわゆるソーダリーチングもこの高い化学活性度の一つの作用と考えられる。ただし、化学的活性度が高いのは、諸刃の剣であり、問題点を良く克服することが出来るかどうか、ソーダ精錬が実現するかどうかがかかっている。

第一の課題は、化学的活性度が高いが故の耐火物との反応であった。これには耐火物メーカーとの困難なねばり強い共同研究が必要であった。幸い日本の耐火物メーカーの世界最先端の強力なご協力を得て見事にクリア出来たのであった⁵⁾。恐らく耐火物課題の中でも最も過酷な難題の一つであったこの課題をクリアすることが出来て、耐火物技術も一周りも二周りも進化したと考えられる。結論からいって、シリカ(SiO_2)成分を極力下げたアルミナグラファイト系(Al_2O_3 - MgO -C、 Al_2O_3 -SiC-C)が最もソーダ系スラグに耐性を示し、工業的にも十分許容できる技術を達成することが出来た⁶⁾。

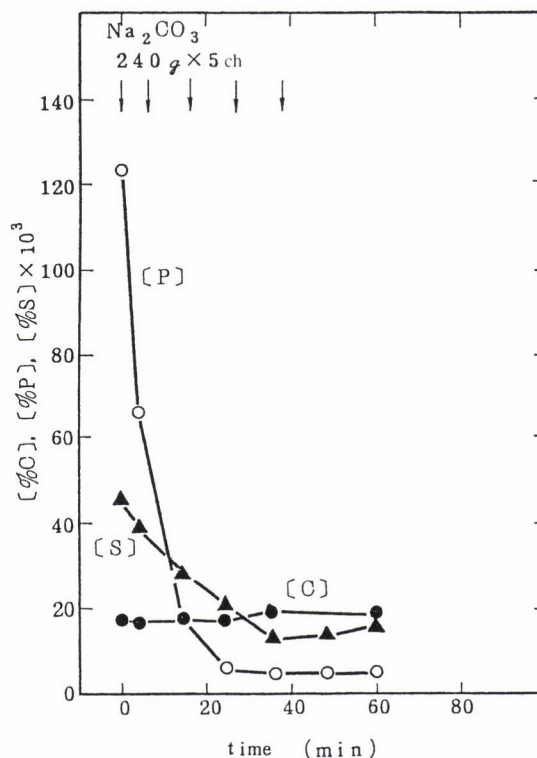
別の観点からの問題の一つは、ソーダヒュームをどの程度まで抑えられるかであった。ソーダヒュームの発生は、溶鉄中の炭素との反応であり、溶銑処理では炭素との反応は避けられない反応であり、それに対する余裕を持った集塵設備の設置が必要であり、設備対応が出来ておれば特に問題はないのであるが、あらかじめ計算で予測できるものではなく、筆者らの場合結局は集塵設備が貧弱すぎて現場の作業者の環境負担を掛けるものになってしまった。そのため必要以上のそろそろ吹き込みの長時間処理を余儀なくしてしまったという苦い経験が残った。後日談になるが、某社の数年後のこの種の集塵設備は大きなものになり全く問題ないと聴かれ、最初のコロンブスの辛さを感じた次第である。

第である。

この炭素とソーダ灰との反応を回避するための基礎研究と開発もその当時考えられており、実現までには到らなかったが、今後も新しい切り口として考えても良い研究成果も残している。それは、ソーダ灰精錬を溶銑予備処理ではなく、脱炭精錬終了後の低炭素領域でのソーダ灰脱りん処理である。図に示すごとく溶銑処理時に比べて極めて大きな脱りん能力を示しており、また復りんもなく研究的に非常に興味深い現象である。ことほど左様にソーダ精錬はまだ奥が深く、将来も研究開発されるべきジャンルだと考えられる(図3⁷⁾)。

3 ソーダ精錬プロセスの実現

ソーダ灰精錬反応では、前述のように脱りん、脱硫、さらには脱バナジウム反応が同時に進行するばかりでなく、処理後のスラグが、石灰系と比べて水に溶け易いという特徴をもっている。これは、非鉄精錬では長い歴史をもつソーダリーチングにつながる性質であり、スラグ中の有用な諸成分を容易に分離回収できるものである。ソーダの回収は勿論のこと、りんはりん酸カルシウムとして回収でき、バナジウムもアンモニウム塩として回収できることを明らかにし実操業設備まで発展させたのである(図4⁸⁾、図5⁸⁾)。

図3 低炭未脱酸溶鋼へのソーダ灰添加による溶鋼中成分元素の変化⁷⁾

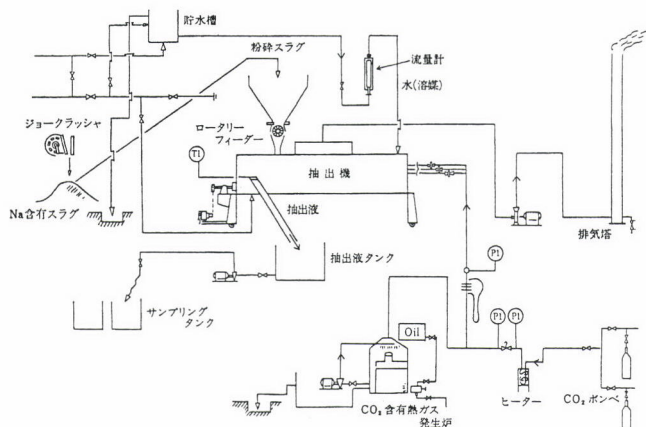


図4 ソーダ回収パイロットプラントフローシート⁸⁾

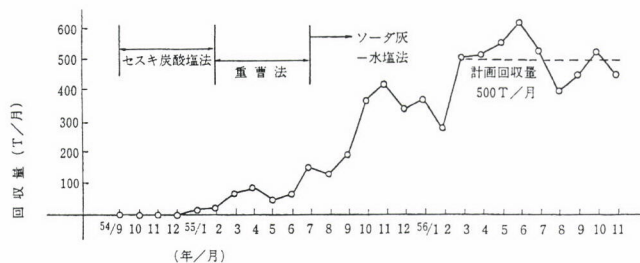


図5 ソーダ灰回収量推移⁸⁾

したがって、石灰系とソーダ系を比較する場合においては、単に脱りん処理コストの比較ではなく、ソーダ灰、りん、バナジウムの回収そしてスラグ埋立処分費まで総合して比較しなければならない。後述のように日本の特殊事情での高純度ソーダ灰の高価格の為に、脱りん脱硫コストのみの比較であれば、ソーダ灰精錬の方が高くても、スラグ処理までの総合システムとして比較すると、ソーダ灰精錬の方が有利になってくる場合も出てくるのである。今から比べればスラグ埋め立て余裕も充分あり、処理費も大したものではなかったその当時でもそういう総合的判断をするとソーダ灰精錬の方が有利であった。更に緊急的課題としてラインパイプ用の大径管のりんのスペックが急速に厳しく低下してきて、溶銑予備処理をしなければ対処できないという足下課題も急浮上して来ていた時であった。

そこで、鹿島製鉄所にこのソーダ灰精錬総合システム(SARP: Sumitomo Alkali Refining Process)の案画を実現することになった(図6³⁾、図7³⁾)。

石橋を叩いても渡らないといわれた風土の中で、世の中に全くない、しかも少し考えただけでも難しく、よくよく考えれば君子危うきに近寄らずに属するこのソーダ精錬プロセスの建設に踏み切った当時の所の上司(故植田嗣治氏他)、会社のトップ(栗田満信氏他)に今更ながら、人と技術を大切にす伝統とロマンを懐かしく思い出すのである。

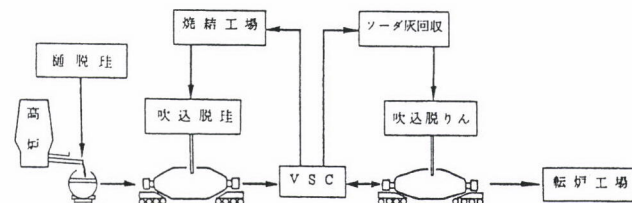


図6 溶銑脱珪、脱りん設備のフロー³⁾
VSC: 真空スラグクリーナー

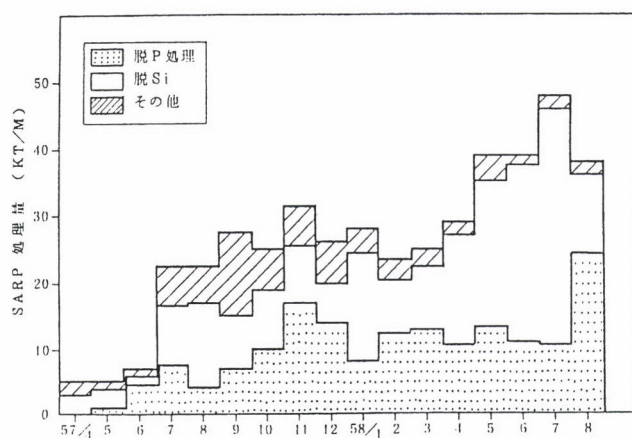


図7 SARP溶銑処理量の推移⁷⁾

4 ソーダ精錬がなぜ短命に終わったか

この見出しを出したからといってもソーダ精錬は失敗であったとは考えていない。昭和54年9月稼働開始より約10年間、ラインパイプ用の大径鋼管を代表に低りん濃度規格を大量生産の中で十分に満足させ、社内の最高の賞である社長賞も頂いているし、金属学会の技術賞も昭和57年に頂いている。

また、ソーダ灰スラグの回収においても昭和58年に通産大臣賞を頂いている。

しかし技術屋として、世の中にない新しい技術を生み出した後の発展の思い入れと現実とのギャップはかなり大きく、例えていえば、人の子の親の気持ちで、ああもしてやりたかった、こうであったらもっと発展していたののに思いが沢山あるのである。いろいろ賞は頂いても技術者として振り返ってみれば、誇らしい気持ちは全く無く、むしろ恥ずかしい思いが強く慚愧の念が強いので掲題のような書き出しになった次第である。

これには溶銑予備処理自体の話とスラグ処理プロセスの問題と二つある。

まず、溶銑予備処理の方のコスト的観点から考えると、

先ほども少し触れたが、日本のソーダ灰は輸入岩塩からの化学合成製品であり、4社の寡占体制が伝統になっており、極めて高純度であり、化学工業の全てにオールマイティの高品質のものである。冶金精錬用のソーダ灰としての純度は90%以上あれば十分であり、日本のソーダ灰のように99%以上という試薬的高純度である必要は全くない。低純度でも良いから低価格のものが欲しいので、いろいろ探したが、日本には高純度製品のみしかなかった。しかし世界的に見ると、天然ソーダ灰の導入利用というアイテムがあった。これは、1980年代の製造ソーダ灰のコストが、4～5万円/トンと生石灰の約4倍程度のコスト高と比べ、当時の調査での天然ソーダ灰のコストは約1万円/トンであった。当時の天然ソーダ灰の産地は、アフリカのケニア地区及び北米であり、ケニアのマガジソーダカンパニー(英国ICI社の子会社)の調査に英国のインペリアルケミカルインダストリー(ICI)の本社まで出かけてマガジカンパニーの方々からのお話を聞くことまでして輸入の画策もやった。日本は石灰石(CaCO_3)が無尽蔵的に産出するが、ケニアではソーダ灰(Na_2CO_3)が無尽蔵的に産出し、コストも石灰石並ということであった。後述するが、ソーダ灰が生石灰と同じくらいの値段だとするとコスト的には大変な革命を来すようなものであるが、残念ながら当時、天然ソーダ灰の輸入は、貿易の自由化の進展が遅い時期でもあり実現せず、大変高価な製造ソーダ灰を使わざるを得なかった。

しかしこれは覚悟の上の案画であったから、失敗ではなかったが、先ほども触れた簡易な集塵設備の設計段階からの誤りは、後から修正が利きにくいだけに悔いが残るものであった。その他精錬自体についてはそれほど大きな予期せぬ問題ではなかった。

次に、ソーダ灰スラグ処理プロセスの問題点について述べる。まずコストに関わる問題である。一つには、前と同じく設備設計に関するものであり、蒸発塔の設備的問題である。これは、ナトリウムを含んだスラグ浸出液を上方よりスプレーし、下方より熱風を対向させて蒸発させて溶質分を粉体として回収しようとするものである。判りやすいえば天然塩の製法に似たやり方である。筆者らの当初からのもくろみは、コスト的に廃熱回収等にならない300℃以下の大量に発生し放散している製鉄所内の排ガス顕熱を利用するものであった。

設備費の削減の観点とか浸出溶質成分の濃度が設計よりも低くせざるを得なかったことなどが重なって、蒸発塔の径が必要十分な径に満たないことになった。すなわち、水分を蒸発させてしまう熱量を排ガスでもって下から吹き込もうとすると、風速が強くなり過ぎて上方からのスプレー

水が巻き上げられてしまうことになり、やむを得ず燃料を焚いて高温で少量の風量のガスで蒸発させるやり方に変更せざるを得なくなった。これはソーダ灰の回収コストを大幅に高くすることになってしまった。

二つには、バナジウムの回収便益が著しく低下したことである。これには二つの要因がある。案画当時の輸入鉄鉱石中のバナジウム濃度は、りんと同じ程度入っており、溶銑中に0.08～0.10%になっていた。これが設備が稼働始めた2年後には1/3～1/4に低下してしまったのである。調べたところ低下の理由は、必然的なものであった。もともとりんもバナジウムも鉄鉱石中に均等に入っているものではなく、銘柄によって大きく異なるものである。その中のバナジウムの高い銘柄が2港上げの回避(小さな港へは小さな船で、大きな港には大きな船で運び2港にまたがらないで、コストアップを抑制する)から鹿島製鉄所に入ってしまったのであった。

もう一つの要因は、比較的安定していたバナジウムの価格が、操業開始頃から半値くらいにまで下がり、回収便益が大幅に低下した(回収操業を止め、設備を廃却して間もなく、バナジウムが4倍くらいに高騰することになるが)ことも要因の一つであった。

以上のことから全く新しい技術の育ちは、最初から多事多難であり、どうしても初期の案画値のコストまで下げ、案画便益を上げることは出来なかった。今から思えば沢山の「たら」「れば」があり、もう一度再挑戦させて貰えればという思いは強かったが歴史の歯車の回転はそれを許すものではない。

5 ソーダ灰精錬の顛末からの教訓

一つには、新しいプロセス開発は、設備プロセスとしての完成度が非常に重要であるということである。すなわち、99点ではだめであり100点でなければならないということである。特に、改造できない主要設備は特にそうである。

二つには、特許制度の問題性である。先端技術の開拓者は、当然特許を取得することが出来るが、その実現に失敗するとか、途中で止めた場合、その方向の道を後続の人類に閉ざしてしまうことになるということである。成功した場合は、特許制度は発明のインセンティブとして人類的に評価できる物であるが、特許権を取って実用化の段階で失敗した場合は、たとえその技術が本質的に優れ有意義な物であっても、その失敗が些細なミスでもたまたまのタイミングの悪さであっても、最初に転べばその道は閉ざされてしまうということである。それは、特許権があるために誰も手を出せないということと、特許権者がやりかけて失敗

7 おわりに

「歴史は二度と同じことを繰り返さない」は真理であるが、過去のものの造りの歴史を精緻な技術の筋目で洗ってみると、技術開発の教訓とともに技術発展の必然性が見えてくるのも真理である。

増子先生と雀部先生のご教導により、筆者がかつて関与した埋もれかかったものの造りの歴史のひとこまを振り返り考えることが出来た。半分は懺悔録であり、半分は技術屋の執念でもあったが、ものの造りの歴史のダイナミズムから将来への教訓と発展の方向付けのヒントが少しでも出てくれば技術者冥利に尽きるというものである。

このような機会を与えていただいた増子昇先生、雀部実先生に感謝申し上げます。

参考文献

1) 丸川雄浄, 城田良康, 姉崎正治, 平原弘章: 鉄と銅,

2 (1981), 323.

2) 大谷正康, 徳田昌則, 井上博文: 鉄と銅, (1980), A 137.

3) 日本鉄鋼協会製鋼部会(住友金属工業提出資料), 銅, 86 (1983)

4) 丸川雄浄: 東北大学工学博士学位論文, (1982)

5) 丸川雄浄, 山崎 勲, 村上陽一, 広木伸好, 黒木隆秀: 鉄と銅, 69 (1983), 221.

6) 丸川雄浄, 広木伸好, 城田良康: 耐火物, 9 (1984), 498.

7) 丸川雄浄, 姉崎正治, 城田良康: 鉄と銅, 67(1981) 2, 323.

8) クリーンジャパン, 住友金属工業株式会社鹿島製鉄所, 40 (1983), 5.

9) 丸川雄浄: 日本学術振興会製鋼第19委員会, 1 (1997)

10) 丸川雄浄: 日本鉄鋼協会, ふえらむ, 3 (1998), 23.
(2000年3月2日受付)

ふえらむの窓

ふえらむ「私見・鉄の歴史の周辺で」記事募集のご案内

この度、「鉄の歴史」の新シリーズとして、「私見・鉄の歴史の周辺で」シリーズを企画致しました。その趣意書は下記の通りです。従来通り、会報委員会企画もごさいますが、広く読者の皆様からの御投稿を歓迎致します。「アラカルト」か「ふえらむの窓」に掲載したいと思ひます。

なお、比較まとまったものは、投稿記事であっても、依頼原稿並に扱って、常設の「鉄の歴史」の中の小ジャンルとして取り扱いたいと考えております。

「私見・鉄の歴史の周辺で」の目的・趣旨

「ふえらむ」誌は創刊に際し、鉄鋼技術発展の歴史を保存資料として記録を残しておきたい、という意図の下に「鉄の歴史」のジャンルを企画し、今までに「戦後復興・発展期における我が国」鉄鋼製造技術史(技術編、学術編)」シリーズ、およびその他貴重な記録を掲載して参りました。そして現在、「鉄の人物史」シリーズを連載中であります。

さて、一般に鉄の歴史の記述では、ともすれば、学術的な正確さを期する余り、膨大な資料と定説が重視されることが考えられます。一方、より面白く読める、史実から多少は離れた観点からの歴史的考察も興味のあるところです。また、歴史を学ぶ目的の一つに「温故知新」があると思ひます。

以上の観点より、本シリーズでは、鉄(金属)の技術史を学ぶ中で、読者(著者)が疑問に感じたこと、関心をもったことなどを綴ってもらおうとするものです。通常の鉄の技術史の記載には出てこない異なった視点や観点からの考察が期待されます。このような観点からの記述は、史実と遺物にもとづいた、通常の技術史の中ではお目にかかれませんが、大胆な推理展開があつても、その前提をはっきりさせて論旨を展開することは、技術史を学ぶ上でも役に立つものと考えます。

また、執筆者御自身が鉄鋼技術者として、実際に業務等で係わった貴重な事例・体験を「鉄の歴史」の流れの視点で捉えて記録として残して頂くことも大変有意義だと思います。それらは生きた教訓として、形を変えて後輩の技術者に受け継がれていくことでしょう。

更に趣旨を拡げて、鉄の歴史に関わる技術史だけでなく文化的なことまで視野を拡げ談話室風読み物として御執筆頂くことも歓迎致します。また、例えば、「たたらはどうしてあの程度の低い高さに止まったのか?」、「前近代の日本では、なぜ高炉法が生まれなかったか?」など、小説風な読み物も面白いと思ひます。

(東京理科大 大河内 春乃 2000年4月3日受付)