



アラカルト

高炉ガスのCO利用率 “イータCO (η_{co})”

Utilized Ratio of CO Gas in Blast Furnace “ η_{co} ”

小島勢一
Seiichi Kojima

元(株)神戸製鋼所 取締役神戸製鉄所長
元神鋼鋼線工業(株) 取締役社長

今を去る40数年前の昭和34年1月、神戸製鋼所は埋め立てた灘浜の地に建設した第一溶鋳炉に初火入れをして、ようやく鉄鋼一貫体制に仲間入りしました。

それまでの2年間、尼鉄での操業と現場作業の実習、富士鉄広畑での一週間の操業見学など、先輩各社の暖かい協力と激励を頂き、また囑託として八幡製鉄所で多年の現場経験を積まれた長老お二人に加勢して頂き順調に立ち上がりました。火入れの当日、列席された見知らぬ製鉄会社の役員の方が、まだ29歳だった私の手を握って

『神鋼さんおめでとう、よくやられた。あなた方は今日から俺たちの仲間だよ。何でも相談して下さい』と言われたとき、高炉に携わる男同士の友情に思わず目頭が熱くなったのを今も覚えています。

しかし、溶鋳炉の新生が、長くは数十年という経験と歴史を有する各社の高炉技術者と対等に議論ができるようになるには、少なくとも自社の高炉の実態を自ら解析評価し、操業の指針を自分なりに見出して先輩技術者達から批判を仰げるようになることがまずは第一歩と自分に言い聞かせました。また、神鋼がこの高炉にかけている期待を思うとき、私は虚心坦懐、先人達の足跡を謙虚に学び、自分の能力を駆使して溶鋳炉を自分で根本から考えて行かねばならないという使命感を意識していました。

この第一高炉が定常操業に移った頃から三交代勤務をしつつ、大学の鉄冶金講座のノートや資料、内外の文献、製鉄部会の報告などをもう一度読み直し、目下操業に携わっている溶鋳炉の技術的な体系とその本質を考える日々だったと回顧します。

当時の溶鋳炉は、現在の技術水準から見れば一昔以前の段階で、常圧操業、微粉炭はおろか重油の吹き込みも未だなく、装入物分布制御の必要を考え始めた段階で、ようやく装入原料の整粒や自溶性焼結鉱などの事前処理を進め、送風湿分の制御をしていたに過ぎない時代でした。それでも長老たちが

らは、『溶鋳炉も進んだものだ、昔は……』という言葉は何度も聞かされました。

当時、溶鋳炉は複雑な技術要素と反応を内蔵するブラックボックスと言われていましたが、それでも装入原料の粒度や形状、安息角、空隙率、通気抵抗、反応表面積と炉内分布の問題、炉内の還元メカニズム、融解と固液共存帯での溢流現象、棚吊りの機構、重油や有機ガスの吹き込み、羽口前燃焼帯の解析など、今思えば局所的な物質の挙動とその反応の仕組みを解明しようとする黎明期でした。これらの考察では、Boudouard-曲線に代表される気体の分圧と平衡、反応熱、気液固三相共存下での平衡、反応速度、活量、自由エネルギーなど、先人達が考え出した物理や化学の考えを活用していました。

一方、溶鋳炉を一つの系と見なして、ある期間のインプットとアウトプットの物質とその分析値に基づき、羽口前の燃焼、炭素による直接還元、COやH₂による間接還元を想定して、炭素、酸素、水素などの物質精算と熱精算(当時、熱経済部会法、旧鉄鋼協会法、Joseph法などがあった)を行い、炉内の反応や各物質の挙動などを推定する方法が一般に行われていました。当時、日常の高炉成績を左右する技術指標は、出鉄量、溶鉄成分、コークス比、鋳滓比、鋳滓成分、炉頂ガス温度、CO/CO₂間接還元率、それとJoseph法のソリューション・ロスぐらいだったと記憶しています。

このソリューション・ロスという概念は、当時の技術資料の中で時々出て来ていましたが、私は果たして実際の高炉の中で、CO₂+C=2COというソリューション反応が生じているのか?、これは高炉内の物質精算と熱精算の結果として出て来る便宜上の指標に過ぎないと判断し、炉内のプロセスにもっと直結した指標はないものかという疑念を常々抱いていました。

しかし、灘浜の溶鋳炉の現場では、送風羽口や冷却板、鋳滓羽口の破損、突発停電など、の異常事態が散発し、またガ

ス中毒、スキップカー・ピットへの原料誤投下などの作業未熟による事故もあり、三交代勤務に携わっていた私はその都度、応急処置と装入原料配合の変更、関連部署への連絡、現場作業の指揮、監督に忙殺され、溶鉱炉の技術的考察どころではない事態を何度か経験していました。

火入れから半年ほど経った夏の夜勤番のときでした。複雑な要素を省いてコークスと鉄鉱石（酸化鉄）のみを装入し、羽口からは純酸素だけを吹き込む単純な高炉模型を想定して考えることを思い付きました。こういう単純化シミュレーションした高炉模型でも酸化鉄は上昇するボッシュ・ガス中のCOによるガス還元が考えられ、いわゆる間接還元率が求められますが、視点を炉内を上昇して行くCOガスに移したとき、このCOの間接還元への利用率（寄与率）という考えが頭に浮かびました。これを記号で表すときに、一般に効率の指標として用いられていたイータ（ η ）を当然のように思って用い、高炉ではCO以外にH₂による還元作用も考えられるので、 η_{CO} とか η_{H_2} という記号を付しました。この指標を用いて高炉模型の反応を整理し、これを実際の灘浜第1高炉の実績データに適用すると面白い結果が出て来ました。

昭和35年に入り、製鉄課長（故・松尾英一氏）から5月の釜石での第14回製鉄部会の発表資料に何か適当なものはないかという相談があり、私の炉内の還元に関する考察を発表させて下さいと申し出ました。夜勤をしつつ電動計算機（未だコンピュータはおろか手軽な計算機すらなかった）を使い、計算を何度もやり直し、2度ばかり下書きをしてこれを薄手のトレーシングペーパーに黒インキでペン書き（当時は感光紙を液に通す複写機しかなく、鉛筆書きより黒インキ書きの方が鮮明な青焼きコピーが得られた）して原稿を作成しました。この原稿は今も私の手元に残っています。

課長に提出すると、『こういう考え方や指標は見たことがないが、君が考えたものか？技術的に間違いはないか？、一度、印刷するまでに製鉄所の幹部を交え、所内でリハーサルをして誤りや不備がないかチェックを受けたいと思う』と言われました。

手元の資料では、昭和35年4月9日、リハーサルで説明した記録が残っています。今でこそ語れる話ですが、初の溶鉱炉が稼働して半年という製鉄所内での高炉に関する技術論文のリハーサルですから、説明する私も聞かれる側も何とも勝手の違った雰囲気、質問らしい質問はなく、製鉄所長（故杉沢英男氏）が製鉄課長にこの論文に対する意見を求められました。製鉄課長は

『この論旨は大体合っていると思います。ただ η_{CO} （COガス利用率）*という指標は今まで見聞したことがありません。これは小島君が考え出したもので、概念的には高炉屋として

理解はできますが、細かい計算に間違いがないかどうか、私は分かりません』

と答えられた。すると他部門の方から、

『高炉の1年生が、先輩各社の技術者が揃っている場で、自分が考え出した前代未聞の係数を語るのには遠慮すべきではないか？』と、論文の内容よりも発表すること自体の是非を問題にする意見が出て来ました。しばらく考えておられた杉沢所長は

『こういう思い切った論文は、仮に間違っていたとしても溶鉱炉の新参会社の今なればこそ、恥ずかしくなく発表できるものだと思う。小島君、君は先輩の胸を借りるつもりで発表したら良い。ただし製鉄課長と焼結課長には君に同行してもらうから自信を持って発表して来い』と励ましの言葉を頂いた一幕がありました。

昭和35年5月、煙を吐く汽車を乗り継ぎ、生まれて始めて釜石に赴きました。部会は第1日目が各社の技術資料の発表と夜の懇親会、2日目は我が国の高炉発祥の跡地と釜石製鉄所の見学だったと思います。

自信があったとはいえ不安も交錯し、緊張していましたので、当日、各社がそれぞれ何を発表されたかなど覚えていません。私の発表のテーマは手元の資料によると

『灘浜第一高炉の炉内還元に関する検討』

（コークス比を規定する因子の考察）と記しています。

説明は20分余りを要し、終わるや否や質問が次々に出て来ました。計算の基礎に用いた数値の根拠やその測定方法、今の操業状態と成績などに関する質問もありましたが

『 η_{CO} というのは一体何ですか』

『 η_{CO} と間接還元率とはどういう関係ですか』

『 η_{CO} とソリューション・ロスとはどういう関係になるのですか』

『 η_{CO} や η_{H_2} を何故考えたのですか』

等々、質問の長さに比べ、答える時間に数倍要する応答が続きました。高炉を稼働してまだ1年程度のシンガリ会社、その若い技術者が発表した高炉の新指標に質問が集中するのは覚悟していました。部会長は質疑応答の時間が長引くので

『まだ、発表して頂く各社の資料も残っています。今の神鋼さんのご発表については私ももう一度ゆっくり読ませて頂きます。何なら今夜の懇親会で続きをやりましょう』

といわれて次に進まれた。私は、これでは今夜の懇親会には自分だけは骨休めにならないと腹をくくりました。

懇親会では、肩書きやお名前は忘れましたが日本鋼管の方から

『小島さん、まだ高炉を勉強し始めて年月の浅い貴方はよく考えられました。複雑な高炉をシミュレーションしてボッ

* $\eta_{CO} = CO_2 / (CO + CO_2)$

シュガスの上昇中の反応変化に着目して η_{CO} という係数を考えられ、それを実際の高炉に適用するとき、カーボン精算、酸素精算、水素精算の他に、巧みに窒素精算を使っておやりになった。すばらしいですよ』

とお褒めの言葉を頂きましたが、私は η_{CO} という考えに誤りはなくて良かったと感じただけでした。しかし八幡製鉄か富士製鉄の部長さん（お名前は失念）から

『高炉屋の仲間に入られて1年しかならない神鋼さんが、我々何十年も溶鉱炉をやっている者が考え付かなかった高炉の新しい指標を発表されたのに感銘しましたよ。神鋼さんはもう初心者じゃなく、対等に切磋琢磨し合える仲間ですよ』

と言って握手をして頂いたとき、涙がこぼれそうになりました。

一通りお互いの交歓が終わった頃、住金の部長さんがエノケンの『伊達男（俺は村中で一番、モボと言われた男、……）』という歌を最後まで身振り手振りでホステスの女性を相手に披露され場を盛り上げられたことを記憶しています。釜石からの帰路、お二人の課長から私への慰労として一緒にゆだ温泉で一泊のくつろぎを頂戴しました。

その後、この論文を整理し、昭和35年秋の札幌における日本鉄鋼協会講演大会¹⁾、さらに η_{H_2} を組み入れた考察を翌年の秋田での講演大会²⁾ で発表しました。

高度経済成長に移り、鉄鋼会社は相次いで新しい技術や設備の導入期を迎え、私は昭和36年の灘浜第二高炉の火入れが終わるや、製鋼部門に移って連続铸造と電磁攪拌技術、圧延部門でIE手法による作業改善、管理部門で技術企画、技術協力、技術紛争の折衝など、次々と新しい分野で新しい技術を経営の糧に仕上げる役割に従事しているうちに、 η_{CO} を

考え出したことなど忘れてしまいました。1986年頃には日本鉄鋼協会線材分科会の長を仰せつかり、その後は長大橋のケーブルやワイヤーロープなどの線材2次製品を製造する神鋼鋼線工業（株）の経営トップを勤め、文字通り鉄鉱石からケーブルまでの技術屋冥利に尽きる鉄鋼の現場と経営を経験しました。

1990年頃、昔、製鉄部門で私の部下だった上仲俊行君が私の部屋を訪れ、雑談の中で、

『その昔小島さんが考えられた η_{CO} という指標は、今では高炉の技術屋の間で常識的に使われていますよ』と教えてくれたのを聞いたときは隔世の感がしました。

今なら『〇〇指標』と名付けた技術概念として登録するかも知れませんが、数十年前は新米の若僧が言い出した考えなど、個人レベルでは評価していても公には認められない空気があったと回顧します。しかし最近、外国の文献でもこの指標が使われていると聞くと、これを考え出したのは初高炉の火入れ間もない日本の神戸製鋼の一技術者だったことを銘記し、「もの作り」の基幹産業と言われた鉄鋼製造の技術者の方々に胸を張って頂きたいとの思いで筆をとった次第です。

参考文献

- 1) 杉沢英男，松尾英一，小島勢一：鉄と鋼，46（1960），1091.
- 2) 杉沢英男，松尾英一，小島勢一，国井和扶，喜多島正治：鉄と鋼，47（1961），1264.

（2002年12月6日受付）