

試験高炉の歩みをふりかえって

館 充 / 東京大学名誉教授

東京大学生産技術研究所（以下生研）の試験高炉は今年廃止され、1955年以来30年余の歴史に終止符をうちました。この歴史そのものについては先に述べる機会がありました¹⁾、その間の設備の推移や運営のあり方については別の報告²⁾もありますので、ここでは試験高炉の歩みを特徴づけるいくつかの側面にふれてみたいと思います。

生研の試験高炉は金森九郎先生（故人）が湯溜吹精法による溶銑の脱クロムの試験を行うことを直接の目的としてつくられたものです。当時（1955年頃）未利用資源としてのラテライトの活用が一つの研究課題となっており、この研究はその一環でした。当初の試験高炉の手本となったのは戦前・中期に日鉄八幡で八木貞之助先生などが動かしておられた1 t 試験高炉でしたが、湯溜にランスパイプを挿入して精錬操作を行うため、炉床を通常のプロポジションに比べて深くし、これによる放熱増大を補うため、誘導加熱を適用しました。はじめは炉床部全体を底の厚い白状の炭素材（一体）でつくり、炉底炭素ブロックを誘導加熱する方法を採用していましたが、その炭素材が溶銑に急速に溶解することがわかり、結局湯溜内の溶銑を加熱する方式に転換しました。これに伴ってコイルを相対的に高位置に置くことになり、そのため炉床部の外皮（銅製）の誘導加熱、とくに出鉄口付近の開口部の過熱などのトラブルを招きました。

試験高炉も高炉である以上昼夜連続操業せねばならないので、そのための人手が30人程度必要でした。金森研究室には専門分野と教育経歴の異なる研究者や技術者が在籍していて、人には恵まれていましたが、数は不足でした。これを満たしてくれたのが全国各大学から募集に応じて参加した学生・院生でした。それによってまた実験工場での学生の実地教育の必要性を説かれた金森先生の年来の主張が実現したわけです。なお業界から様々な形で援助を受けたことはいうまでもありません。

ラテライトの使用によって生成する含Cr溶銑のCr濃度を湯溜内での予備精錬、すなわち湯溜吹精法によって製鋼作業に支障のない水準まで下げようという狙いは、粉銑石の吹き込みによる温度上昇の抑制と酸素富化空気による吹精とを組み合わせることによって達成されることが第5次操業（1957年）までに確認されました。その後は三池炭単味コークスの試験のように、炉床での脱硫だけでなく、炉

上部での挙動も注目されるようなテーマが選ばれ、試験高炉は自ずと高炉の試験装置として動かされるようになりました。そうすると生産高炉のモデルとしての試験高炉の性能、すなわち相似性が問われることになり、この後そのための系統的な取組が始まります。またこの段階で誘導加熱は上部でのプロセスの不首尾を見えなくしているのではないかという批判がありましたが、上部でのプロセスの成り行きいかんにかかわらず、湯溜と溶銑の状態を良好に保つというのが湯溜吹精法の基本思想だったのです。誘導加熱はやがて設備上の理由で廃止されますが、上部との関係についていえば、問題はむしろ炉上部の状態を的確に判断する方法が確立していなかったことであつたというべきでしょう。

1961年に金森先生が富士製鉄に転出され、代わって雀部高雄先生（故人）が生研の鉄鋼製錬部門を担当された後、試験高炉を高炉の試験装置として運用する方針が確定し、運営・共同研究の組織として生研に試験溶銑炉委員会、日本鉄鋼協会に試験高炉委員会が設けられました。これと前後して試験高炉の近代化と性能向上のための設備改造・新設が数次にわたって行われた結果、60年代半ばには出銑・滓以外の定常作業は自動化され、自溶性焼結銑の100%使用などの操業条件の改善とあいまって、コークス比も800kg/tと初期のその1/3に低下しました。さらにペブルベッド式熱風炉の新設と炉高の延長を主とする1970年の改造後は、コークス比は600kg/tに低下して、熱的性能の顕著な向上をみました。この間60年代前半には微粉炭吹き込みなどの複合送風の試験、後半には送風限界の試験、70年代にはコークスの低下限界とその炉内挙動の試験やコールドベレットの100%使用試験などを行っています。

試験高炉の操業にあたって一貫して問題としたのは炉頂ガス組成の情報でした。ガス分析は初期にはヘンペル法を採用していましたが、この方法にはCOの吸収液が劣化しやすいことから、低すぎる値を与えるだけでなく、少量の未吸収COが爆発ピペット法でH₂を燃焼させるさいにCO₂となり、それがCH₄に由来するものとみなされるため、実際には存在しないCH₄が存在するという結果を与えるという問題があることがわかりました。当時までの高炉のテキストに炉頂ガス中には0.5%程度のCH₄が含まれると書かれていたのは、おそらくこうした事情によるものであつたと思

われます。このため化学系出身の研究室員は早くからガスクロマトグラフによるガス分析の研究を進めたのでした。装置の不備とクロマト条件の選定の誤りのため最初の成功的導入の栄をになうことはできなかつたのですが。

ガスクロマトグラフによるガス分析は60年代に入ってから有能な実験家が研究室に加わって完成しましたが、コークス比が下がり始め、ガス利用率がかつての10%台から20%台に上がってくると装入-装入間のガス組成の変動がめだつてきて、分析間隔の短縮が課題となりました。ちょうどその頃雀部先生が長期的研究課題として「高炉の総合自動化」を設定されたこともあって、ガス分析の連続化に取り組むことになりました。この問題の解決は分析方式だけでなく、試料ガスの前処理系の確立によって始めて可能となったのですが、とにかく計器メーカーの協力をえて、CO、CO₂は赤外、H₂は熱伝導の方式を確立することができました。炉頂ガスの連続分析を実行してみればはっきりしてきたことは、ガス組成に1装入間隔を1周期とする小変動と1出鉄間隔を1周期とする大変動があるということでした。前者はもちろんストックレベルの変動によるものですが、後者は出鉄による装入物柱全体の急速降下——ストックレベルの大幅降下——とそれに続く連続的装入に由来するものでした。このことは試験高炉の定常操業というものが実は準定常的なものにすぎなかつたこと、その望ましい解決策は連続出鉄という言うに易く、行うに難い作業方式であったことを示すものでした。試験高炉にはこのほかに炉下部の保温の必要性とその結果としての急速な耐火物の浸食という、定常状態の成立を困難にする二律背反の問題もありました。こうした事情は試験高炉のモデルとしての性能の向上という課題がコークス比の大幅低下によって解決したのではないことを物語っています。

試験高炉はこうした問題点をかかえていましたが、有用性をも示しました。例えば送風限界の試験では、限界が炉下部でのフラッディングによる棚吊りによってではなく、炉上部での上昇管の赤熱コークスによる閉塞を伴う吹き抜けによって制約されるという結果が得られました。この結果は大型化の途上で激しい吹き抜け現象に遭遇していた生産高炉の関係者に、装入物分布制御の必要性を再確認させただけでなく、不均一分布、移動する低密度の充填材としてのコークス、高密度・高表面張力の2液相（溶鉄・滓）などの特徴をもつ高温域でのフラッディング現象の再検討の必要性をも示唆したのでした。

もう一つ重要なことは試験高炉がコークスの性状に対して鈍感ではないことがわかつたことでした。これは試験高炉に限らないことですが、小型高炉は弱いコークスでも操業できるという見解が戦前からあり、八幡では洞岡高炉用のコークスと東田高炉用のコークスで強度の規格を変えていたくらいでした。この見解は戦後早い時期に改められ、「コークスはできるだけ堅いことを要し、但し其のサイズ

は炉の容量に応じて一定大きさに揃うべきである」と述べられていたのですが、試験高炉のような極小高炉で、しかも常用粒度が10~20mmとなればまた話は別というのが常識でした。この常識は早く三池炭コークスの試験のさいに認められた異常炉況で半ば破綻していたのですが、認識を決定的に改めさせたのは石油危機の頃原料炭事情の悪化のもとで、たまたま劣質コークスを使用することとなつたさいに起こつた炉下部でのコークスの著しい粉化とそれによる異常炉況でした(1974年第25次操業)。しかも同じ時期に生産高炉でもコークスの劣化によるトラブルが頻発していたのでした。こういう事実があつたからといって、試験高炉がコークスの劣化に関して生産高炉と同等の感度をもつとはいえませんが、試験高炉が少なくとも生産高炉の操業上のトラブルをもたらしうようなコークスの本質的な劣化には鋭く応答することを知りえたことは重要な知見でした。

なお70年代には天然ガスの多量吹き込みと高温送風・酸素富化によってコークス比の下限に迫る試験を行いました。天然ガスに期待した効果が見られず、失敗に終わっています。これを含めて天然ガスの吹き込みは数次にわたつて試みて、いずれも肯定的な結果が得られなかつたのに、微粉炭吹き込み試験では燃焼率は75%程度(推定)にすぎなかつたのですが、非常によいコークス置換効果を得ています。その理由はこれまた推測の域を脱しませんが、天然ガスの場合はその一次的燃焼によって生成するH₂OのCとの反応が遅れるため、酸化性領域が拡大するのにはたいし、微粉炭の場合には一次燃焼生成物としてのチャーがH₂Oを速やかに還元することにあるのではないかと思います。

試験高炉は29次の操業を重ね、その間820名余の院生・学生の参加をみました。1出鉄間隔内に各種の精錬操作やサンプリングなどが行われる湯溜吹精法の試験期を別とすれば、高炉操業は概して単調で十分教育的であつたという自信はありませんが、製鉄プロセスというものを肌で体験す



試験熔鉱炉を記念して作成されたレリーフ。題字は創始者の金森九郎教授(当時)の筆跡。上は初期の建屋外観、下は第1次改造後の試験熔鉱炉本体。

る機会を提供したという意味で、教育的な役割を果たすことができたと思っています。

写真は試験高炉の操業にかかわった東大の教職員とその遺族、他大学の教職員、全国各大学の院生・学生、企業からの派遣者の有志の拠金によって製作されたレリーフ（鑄鉄製、400×600mm）で、題字「試験熔鋳炉」は金森先生の筆跡、上は初期の建屋、下は第1次改造後（1961年）の試験高炉を表します。レリーフの制作は山本伸樹氏（画家）、製造は松本石川島精密鑄造株式会社に依頼しました。同社への依頼は金森研究室員として初期の操業に加わった松瀬昭三氏が同社顧問であったことによるものですが、同社が

試験高炉の建設から改造まで一貫して関与され、協力を惜しまれなかった石川島播磨重工業株式会社の関係会社であることは奇縁というほかありません。なおレリーフは試験高炉の最後の操業後の炉底煉瓦とともに、その跡地に新設される建屋内に飾られる予定です。

文 献

- 1) 館 充：鉄と鋼，70（1984）p.1501
- 2) 東京大学生産技術研究所鉄鋼研究室研究グループ：東京大学生産技術研究所大型共同研究成果概要No.4，（1983）
- 3) 和田亀吉：鉄と鋼，40（1954）p.128

（平成6年12月26日受付）

なぜ、中学校で “タタラ製鉄学習実験”ができたか？

高橋 礼二郎／東北大学素材工学研究所

小さな中学校から世界に向けての大きな発信

会議に参加した方はご存じと思いますが、1994年6月14～17日、仙台国際センターで開催された第1回世界製鉄会議（The First International Congress on Science and Technology of Ironmaking, ICSTI 94）において、仙台市立根白石中学校で実施された製鉄学習実験の結果が、DIOSと並んでTATARAの名称でポスター展示された。そのキャッチフレーズは、A BIG MESSAGE FROM A SMALL SCHOOL TO THE WORLD（小さな学校から世界に向けての大きな発信）であった。それまで行われた2回の実験の様子を写真にまとめたもので、説明は先生と生徒たちによってなされたが、私の目から見るとDIOSよりも人気があり（!）好評だったように見えた。アンケートに対する回答が、国内外28名の方から寄せられたが、ここにそのいくつかを紹介する。

I believe it is a good practice to teach ancient handcrafts and technology which reside in the history of your country (Werberg, Germany). It is very good idea, and I would like to have the same thing in France (Leclercq, France). Excellent learning experience for the students. Good model for other schools to follow (J. Wright, Australia).

非常に素晴らしい試みだと思います。このような機会を利用して、物を造る喜び、素晴らしさを味わう体験を大事にして下さい（富田幸雄）。

たいへん良く展示されていました。こうした体験学習が行われていることに感動しました。科学の原点は興味を抱

くことにありますからいろいろな事にチャレンジして下さい（清水正賢）。

大学の理工離れが憂慮されている今日、その一因が受験競争による詰め込み教育によって、理科の楽しみを学生が体験できないことにあると言われているが、このような製鉄体験は教育上の問題を解決する意味で有意義だと思う（稲角忠弘）。

すでに3回行われた製鉄実験

根白石中学校では文部省の方針で平成5年度から新しく始められた選択学習の中に製鉄実験を取り入れている。1993年2月に第1回、94年2月に第2回、そして94年11月19、20日に第3回目の実験が実施された。この時は土曜日の午後から準備を始め、夜中の10時火入、翌日午後2時に炉を解体する徹夜の実験となった。1、2回の実験は早朝に火入れだったが、終了後は暗闇になってしまうために今回は時間をずらして行ったものである。状況を詳しく書く余裕はないが、今回もまた生徒とともに、新たな発見、感動に出会う実験となった。

なぜ、この実験に参加するようになったか

本誌に随想「炭焼きの記」（鉄と鋼，76，（1990）No.1，P.128）を載せてもらったことがある。炭焼きを始めたそもその動機は、小さなタタラ炉のようなもので、子供たちや学生に鉄を造る体験をさせてあげたいと思ったことにある。そこで、まずはエネルギー源としての炭造りから始