

随 想

Q-BOP 導入の頃の思い出

数 土 文 夫*

1. 初日の失敗

銀色に輝く新しい 240 t 転炉が初めての溶銑を受け入れようと、ゆっくり装入側に傾動されつつあった。満杯の溶銑を入れた装入鍋もすでに転炉の真正面にクレーンで吊られ、いまや遅しとまちかまえていた。傾動角度が 60 度ぐらいになろうとしたとたん、突然炉口から赤黒い火炎が猛烈に噴き出した。筆者(当時転炉掛長)は瞬間飛び上がるほど仰天した。何が起こったかはすぐ判断できた。転炉の絞り部のれんががまさに稼動寸前に崩落し、操業不能に落ち込んだのである。直接のれんがの被害だけでも 2 千万円くらい。かくして我々が何回もつか、かたずを飲んで、スタートさせようとした新転炉の寿命はゼロ回。これが昭和 52 年(1977 年)1 月 17 日、川崎製鉄千葉製鉄所に日本最初に導入された純酸素底吹き転炉、Q-BOP 稼動予定初日のことであった。純酸素底吹き転炉の稼動は延期された。

2. 重大な決定

純酸素底吹き転炉。この転炉は Canadian Liquid Air 社の Dr. LEE らによって開発された 2 重管羽口を最大の特徴としていた。この羽口を炉底に複数個配列すると同時にその羽口から、石灰、ホタル石、石灰石等の粉体をインジェクションする画期的なこの転炉は、当時の西独、Eisen-werk Gesellschaft Maximilians-Hütte MBH の Dr. BROTZMANN らによって 1968 年工業化されていた。同社の転炉は、30 t、60 t 規模でヨーロッパでの高りん銑を対象とし、OBM (Oxygen Bottom Maxhütte) と呼ばれていた。その後、米国の U. S. スチール社が Gary 工場、Fairfield 工場に 200 t 規模の低りん銑用転炉としてあいついで導入した。導入にあたって米国人らしく独自に Q-BOP と名付けた。Q は、Quality, Quiet, Quelle (ラテン語、泉の意) 等を意味するとされた。要するに開発者達は自分達の独自性ととも、この転炉の操業の安定性、品質の優位性を強調したかったのであろう。1972~1974 年の頃である。

川崎製鉄の製鋼技術者は 1973 年頃からこの OBM/Q-BOP 転炉に熱い眼差しを送っていたがついに 1977 年に稼動予定の千葉製鉄所西工場—4 500 m³ の高炉と、240 t 転炉 2 基を基本とする建設計画—への導入を決定した。決定にあたって、当時の川名製鋼部長は非常な一

大決意をもって臨んだ。理由はその底吹き羽口の短命さにあった。当時羽口の寿命は通常 100~200 回、よくて 250 回が限度であった。転炉の有効稼動率は 50%、とても 4 500 m³ の高炉に直結させる転炉としては採用しがたい状況にあった。一方当時の日本の LD 転炉の寿命は 1 000 回台、これが普通であった。耐火物コストはもちろん、生産性の面での致命傷は高炉を含めた西工場、千葉製鉄所の致命傷になることは十分予想できたのである。それでも川名部長に代表される川鉄の製鋼技術者は Q-BOP の強烈な魅力には勝てず重大な決意のもとにその導入に踏み切った。

3. Q-BOP の魅力と不安

Q-BOP の魅力とは何か。それは炉底からの強烈な溶鋼の攪拌と直接溶鋼へのフラックスインジェクションに尽きた。この強攪拌とインジェクションによって従来の LD 転炉にない冶金学的諸特質が創出、確認されつつあった。代表的なものとしては、

(1) 鋼浴の温度・成分の秀れた均一性

(2) 鋼浴の過酸化状態の抑止による

• FeMn, FeSi 等合金鉄歩留りの向上

• 鉄歩留りの向上

• 脱酸生成物の抑制

(3) 脱りん・脱硫効率の向上とこれによる副原料原単位の削減

等であった。鋼浴の攪拌の効果と魅力については、川鉄の製鋼技術者の間では、平炉の大量酸素吹錬、珪素鋼溶製時の 2 鍋返し法によるフラックス脱硫と脱酸、RH 脱ガス法、ASEA-SKF など一連の研究と操業経験から伝統的に重要視されており、中でも技術研究所の中西掛長(当時)などから Fig. 1, 2 に示すデータをもとに底吹き転炉の持つ攪拌エネルギーの強烈さとその未知の魅力について強いアピールがなされていた。要するに冶金反応の原理原則を重視すればするほどこの底吹き転炉はより魅力的な精錬炉に見えたのである。フラックスインジェクションはこの魅力を更に倍加させた。

これらの特徴と魅力は、これからの鉄鋼製品市場で伸びていくと予想された薄板の品質向上とその溶製コストのダウンに特に有効に働くものと考えることができた。しかし、いかんせん炉寿命が 200 回足らずでは現実の製鋼技術者、工場管理者としては手の出しようもなかった。当時、川鉄の技術者と同様、世界中の製鋼屋は同じ思いで OBM/Q-BOP をみていたのではないかと思う。羽口寿命(炉寿命)の短命さからみて、特に転炉の稼動率が高く炉寿命が長かった当時の日本では、まだ開発途上の技術とみなされてもやむを得ない状況にあったといえる。リスクが高すぎた。

川鉄の技術者は酸素ガスをプロパンガスで囲んだ 2 重管羽口の寿命を伸ばすことの可能性について独自の立

* 川崎製鉄(株)水島製鉄所製鋼部部長

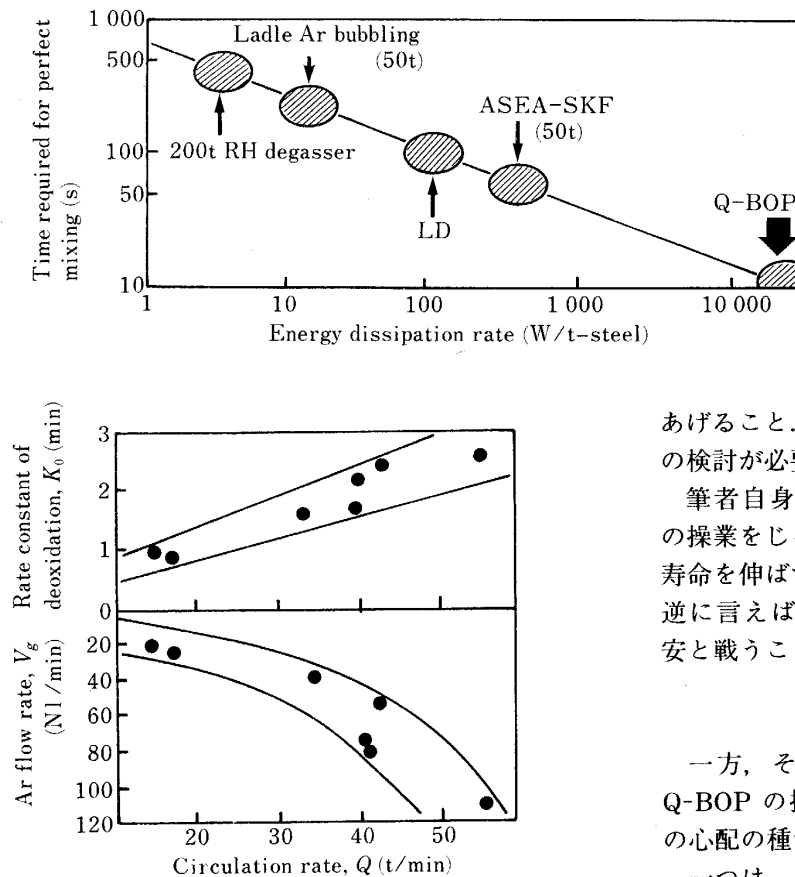


Fig. 2. Relation among Ar flow rate, circulation rate and rate constant of deoxidation.

場から懸命な検討と調査を行っていた。MaxhütteのOBMはもちろん、Gary Fairfield 両製鉄所の Q-BOP の立合いと彼ら技術者との討論が幾度となく持たれた。一連の調査検討の結果羽口寿命を伸ばすためには二重管羽口を取り囲む羽口れんがの寿命を伸ばすことが重要なポイントという結論に達しつつあったように思う。導入が決定された後の OBM/Q-BOP の見学及びそれら欧米の技術者との討論も正にこの一点に絞られた観があった。

羽口れんが寿命延長の可能性に関する我々の判断は、OBM/Q-BOP の操業を実際に自分の目で確認するにつれて現実の欧米の実績とは異なり少しずつ希望にふくらんでいくように思えた。主な理由は次の4点にあった。

- (1) 吹止めから出鋼までの時間を短縮すること。特に再吹錬をなくすこと。欧米にはサブランス技術がないこともあってこの高温部での吹錬時間が長かった。
- (2) スラグコーティングを徹底してやること。当時欧米ではスラグコーティングの有効性が十分認識されていなかった。
- (3) れんがが形状の仕上げ精度、施工技術のレベルが十分とは思えなかった。日本に比べ粗雑さが目についた。
- (4) れんがの材質、特に組成を含めたれんがの品質を

あげること。羽口の損耗メカニズムに合ったれんが材質の検討が必要と思われた。

筆者自身、Gary, Fairfield 両製鉄所における Q-BOP の操業をじっくり観察しているうちに、この4点が羽口寿命を伸ばすポイントだと確信するようになっていた。逆に言えばこの確信があって初めて Q-BOP 導入の不安と戦うことができた。

4. Q-BOP の実操業と成果

一方、その他は大丈夫だろうと思っていた OBM/Q-BOP の操業にも実際に立ち合ってみるといろいろの心配の種がでてきて困った。

一つは、バーンバックとバックファイヤーとよばれる現象であった。これが最も恐かった。バーンバックは吹錬中羽口が焼損により極端に後退してしまう現象 (Fig. 3)。一回の吹錬で 200~300 mm くらいのバーンバックはめずらしくなかった。またバックファイヤーは吹錬中、またはその前後に突然炉底の羽口配管、時には炉側の酸素配管に至るまで爆発的に燃焼しつくし、一瞬のうちに操業不能になることはもちろん漏鋼につながる現象 (Photo. 1)。当時、この発生メカニズムについては解明されていなかったし、そのような現象が起こるといことも公表されていなかった。Q-BOP 導入決定後もこの恐怖があったため、川鉄では 5 t Q-BOP 炉を直ちに設計、建設、未知の現象の解明に全力を尽くした。この究明には技術研究所の江見、中西、野崎らの研究者があたったが、実験炉では、人為的にバックファイヤーなどを起こしたり、時には漏鋼の実験さえもが試みられた。結果的にはこれらの現象はほぼ一年以内に解明され、この 5 t 試験転炉はその後川鉄の精錬技術の開発のため非常に大きな戦力となった。それでも研究が間に合わず、筆者は現場の掛長として 2 回のバックファイヤーを経験し、泣きの涙の時があった。

もう一つの困った現象はゴット・セイングであった。“God Saying, 神の御告げ”である。吹錬 3~5 min くらいで突然転炉内で大突沸現象が起こり、内容物の溶銑が 50~60 t、時には 100 t もの量が転炉から飛び出してしまうのである。これはある条件がそろったとき、すなわ

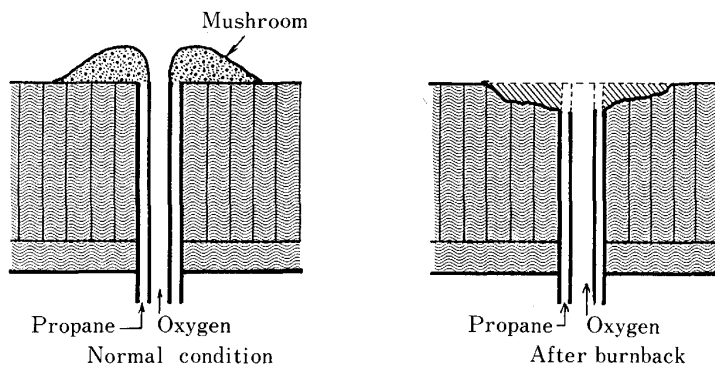


Fig. 3. Configuration of tuyere.



Photo. 1. Melted piping of Q-BOP bottom after back-fire trouble.

ち、溶銑の Si% が高く、溶銑率も高く、熱的に余裕があるヒートで脱 Si 期の終了時に起こった。これも 5 t 試験炉でそのメカニズムが解明された。要約すると脱 Si の終わりに粘性の高い Glassy なスラグが急速に形成される一方、溶鋼中の FeO もリッチになり急な鋼浴温度の上昇にともなって CO 反応が粘性の高いスラグの下で爆発的に進行する結果としてひきおこされる。

これに対しては、脱 Si 期の終了までに CaO 粉をインジェクションすることで解決できたが、千葉の高炉溶銑の Si% が急速に低下していったため、この“御告げ”も急速に解消された。しかし、筆者はこの洗礼も確実に受けた。いずれにしても、Q-BOP 導入の前後を通じて炉底に 28 mmφ~32 mmφ の羽口を 18~22 本有する精錬炉を安全に、安定して運転するためには、ガスの厳密な流量制御や圧力制御、フラックスの確実な搬送やインジェクションがいかに重要かを痛感させられた。精密な電気、計装、機械制御技術とスキルがあって初めてその秀れた冶金的諸特性の思恵にあずかれたのであった。周辺技術の差も成功、不成功の重要な分岐点であったと思う。

話題を元に戻して、冒頭の事故。これも Q-BOP 操業の特徴に深く関係していた。あのようなはずかしいことがなぜ起こったのか？。LD 転炉では、初湯に際しての炉の昇熱は通常、炉内にコークスを入れてコークス吹

きというかたちで行われていたが、Q-BOP の場合は炉底に 30 mm 径くらいの酸素用羽口が約 20 本あるためこの方法は採用できない。かわりに 2 重管羽口の外側の間隙からプロパンガス、30 mm 径くらいの内管から酸素ガスを流しこれに着火燃焼させることによって炉のれんがを昇熱する。この方法で炉底部、胴部、絞り部など全面を均等に手際よく昇熱するには、多少の経験と熟練を要する。れんがの材質や炉の形状に応じて、プロパンの流量や過剰酸素比、火炎の長短とその燃焼時間等に最適な条件がある。LD のバカチョン昇熱とは違っていた。そして我々は経験がないこともあって、U. S. スチールサイドのスーパーバイザーにまかせすぎて失敗した。U. S. スチールと我々の転炉の間にはそのプロフィールとれんが材質に大きな差がありすぎた。彼らの経験が効果的に発揮できなかったのである。のちにこの昇熱パターンが深く研究され、この良否が羽口れんが寿命にも強く影響してくることがわかった。しかし、当初は、そんな余裕はまったくなかった。最初のトラブルはもちろん公表されることなく、改めて 1 月 24 日に、初吹錬が実施された。

事実上、初めてのこの Q-BOP の羽口寿命は 169 回。半年後の 7 月には 711 回の記録がつくられた。羽口寿命は、この後も 53 年 4 月に 1000 回、8 月に 1500 回を突破、順調にその寿命を伸ばしていった。この間、実操業で確認されていった底吹き転炉のメリットは当初の予想をはるかに上回るものであった。この順調な操業をみて国内外の製鋼技術者の間に既存の LD 転炉に底吹きの機能を付加させようという動きが急速に高まり、その後の上底吹き転炉全盛時代を招来した。

羽口れんがの開発には川鉄の技術研究所で開発されたアコースティックエミッション (AE) 法によるれんがの耐スポーリング性テスト装置が威力を発揮した。羽口れんがは吹錬酸素の On-Off によってその温度が急激に上下を繰り返すので微小き裂が発生し順次損耗していくことが解明され、この微小き裂発生時の難易を見定めるためにこの AE 法が非常に適確に働いてくれた。羽口れんがは、はじめ焼成マグドロれんがを使用していた。こ

のれんがを改善し、(A)、(B)、(C)と順次寿命を伸ばしていったが、終局的には、マグネシアカーボン(MgO-C)れんがに到達した(Fig. 4)。また、急速加熱時の羽口れんが形状と熱応力の関係等も明確にされ羽口れんがは小型化されていった。もちろん、スラグコーティングや吹錬の中率の効果も期待以上に大きかった。このQ-BOPは現在、耐火物総原単位0.6 kg/tのすばらしい記録を持っているが、導入前後の事情を知るものにとっては容易には信じがたい成果である。

フラックスインジェクションについても強烈な印象がある。稼動当初、CaOパウダーの溶鋼へのインジェクションによって、いとも簡単に[S]が下がってしまうのに驚くと同時に、これにヒントを得て、我々はトーピード・カーでの溶銑の脱硫剤をATH方式のカーバイド系からCaO系に替えてしまった。これによって脱硫コストは驚くほど安価にできた。

一方、転炉で実験していた新入社員の森下仁君(現：アメリカ法人、NBK社)がある日「大発見!! 2.5 minで溶銑の脱りんが完全に終わっちゃった!」と事務所に

飛び込んで来た。石灰系フラックスによる溶銑の脱りんの端緒になった貴重な発見であった(Fig. 5)。この発見もその後の我が国の溶銑予備処理に相当のインパクトを与えたと思っている。

Q-BOPの導入にあたって、当時の川名製鋼部長は、「大丈夫! 原理原則にかなった精錬炉だ。必ず成功するし、新しい発見もあるから思いきっていけ!」と我々若い技術者を励まされていた。しかし辞表はいつも机の中にあったと後から聞いた。

川名部長の予言どおり、この他にも予想外の成果が続々出つつあった。サブランスを使って実証されたひときわ秀れた吹錬の制御性、ほぼ完璧に近い転炉ガス回収、などが代表的なものである。欧米では転炉ガス回収は行われておらず、一方Q-BOPの排ガス中にはプロパンからのH₂が8%くらいあり、その回収にはたいへんなシステム上の配慮と工夫が必要だった。

5. おわりに

Q-BOP導入の頃を思い出して、非常に印象深くかつ考えさせられることがある。1976年当時、U. S. スチールのGary, Fairfield両工場とも、その技術者達は、我々日本人に、技術を教える自信と迫りに満ちあふれていた。一度駄目になった底吹き転炉をよくもこのような大型転炉で甦らせたものだと感心した。しかし今の彼らの状況はどうか。あれからの十数年の間に、米国鉄鋼業を取り巻く環境は激変した。

近年は、技術的あるいは経済的に米国鉄鋼業は回復基調に入りつつあるが、ここに至るまでに多くの苦しみを体験しなければならなかった。これに対し、我々日本の鉄鋼メーカーの10年後、20年後はどうであろうか。企業盛衰の厳しさをしみじみと考えさせられる。

もう一つ、川鉄の製鋼技術者、研究者はOBM/Q-

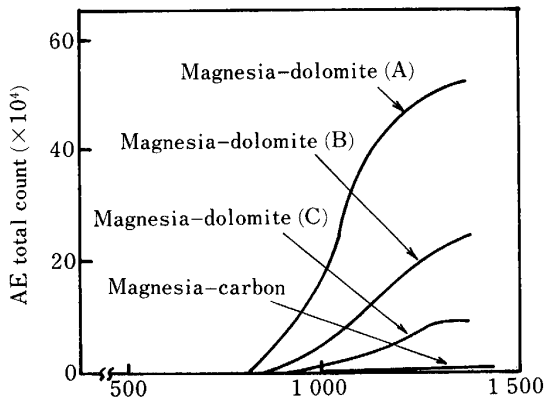
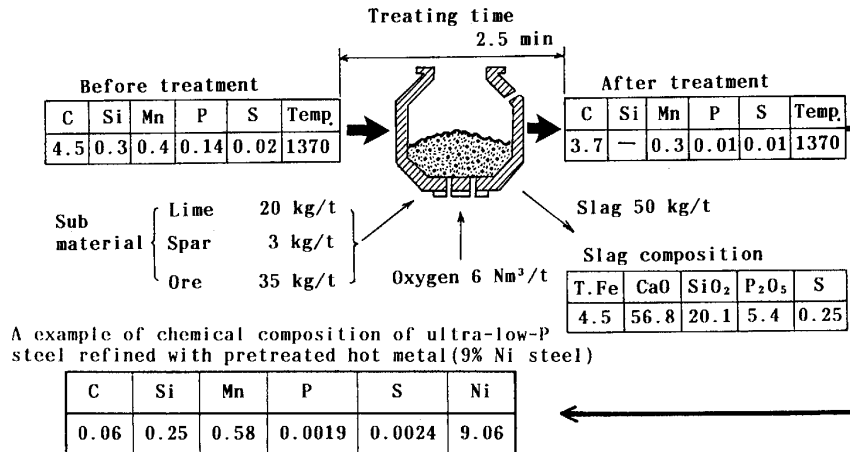


Fig. 4. Results of brick spalling test by panel-AE method.



Hot metal dephosphorization and desulfurization by lime base flux

Fig. 5. Application of bottom-blown converters to hot metal pretreatment.

BOP を通じて欧米の技術者、研究者と非常に親しくかつ情熱を持ってつきあうことができた。Dr. BROTMANN をはじめ、Dr. GROSSMANN (現 : Klöckner), Mr. E. FRITZ (現 : Voest Alpine), Dr. LEE, Dr. NILES (CRM), Dr. DAUBY (現 : LTV) その他多くの人々との交友は我々川鉄の技術者、研究者達にとってかけがえのない財産と

思い出をつくりだしてくれた。この友人たちとの友好は主に OBM/Q-BOP ファミリー会議で行われた。本当に Q-BOP とその関連の人々には感謝の気持でいっぱいである。この人達に川鉄は今もさまざまな面でお世話になることが多い。