

当社の製鋼技術の変遷

瀬戸 浩蔵*

1. はじめに

先に、当社の製鋼、条鋼、製管ならびに熱処理について昭和8年（1933）の創業から今に至るまでの設備の軌跡を概括した¹⁾。続いて、製鋼技術を初めとして、それぞれの技術の変遷を記録に留めて置きたいと思う。先人達のその時に応じた技術開発と、その成果の積み重ねの上に今日の当社の技術がある。

まず、電気炉は3トン炉から始まり次第に大容量化する間に、UHP操業と炉外精錬の溶解技術を確立した。当初は6トン炉で一日4回の出鋼であったのが、後に60トン炉で22回の出鋼をした記録がある。

80kg鋼塊の上注から始まり150kg鋼塊の下注へと移った造塊技術は、鋼塊が大型化する間に次第に進歩し、やがて連続鑄造が主流の時を迎える。連続鑄では1タンディッシュで95時間の記録が残っている。

生産性向上ばかりでなく、鋼の高品質化への指向が製鋼技術の進歩をもたらした。非脱ガス鋼から始まり、脱ガスと下注造塊の技術を組合せたMGH鋼から、炉外精錬と連続鑄造技術によるMGZ鋼を経て、今日の極低酸素高纯净度を誇るEP鋼が生まれた。

2. 溶解技術

2・1 手装入のころ

昭和8年（1933）末、エル一式3トン電気炉（大同製）による初出鋼を行った。この時は、八幡製鉄所から招いた技術者の手によったという²⁾。

昭和13年（1938）に5トン炉（住友機械製）を、続いて昭和16年に6トン炉1号、2号（大同製）、さらに昭和19年に3号（住友機械製）と相次ぎ設置して、次第に製鋼工場の態様が整った。

5トン炉の電極昇降装置はスイスブラウンボエリー式であり、当時一般的であった米国ウェスチングハウス式より昇降動作が鋭敏で電力消費量が10%少ない画期的な装置を当社がいち早く採用したという³⁾。

当時の炉前作業はすべて手に頼っていた。出鋼の直後に

炉修削を損傷部めがけてスコップで投入。次に複数の樋状容器に予め手で入れて置いた鉄屑を炉頂から起重機を使い装入し終わるのに1時間余。溶落にも1時間かかって今度は横窓から追加鉄屑を投げ込むのに30分。やっと酸化精錬が始まり除滓と還元精錬が続いて、出鋼まで実に6時間余を要して一日4回の出鋼がやっとであった⁴⁾。

もちろん迅速分析機器の類いが無いので、成分の調整と精錬度合の判断はまさに職人芸であった。炉中から汲んだ溶鋼の火花の様子と凝固の引け具合、さらに素早く鍛伸後水冷した試片の破面とスラグの色などから判断した職長の「ヨシ！」の一声を待って出鋼していた。

今では思いもよらないが、当時を知る人達には懐かしい一コマであろう。

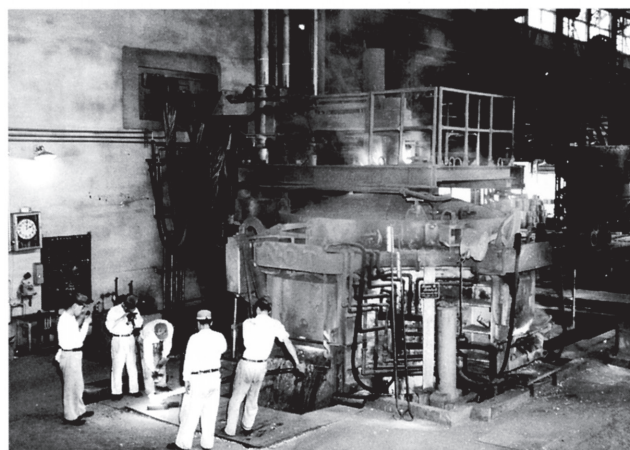


図1 6トン電気炉炉前風景

2・2 酸素吹精と炉容の拡大

戦後低迷を続けた電気炉操業は、朝鮮動乱勃発を契機に昭和25年頃からようやくフル稼働に入り、やがて生産性の向上を目指す技術開発が始まった。

まず、昭和28年（1953）に酸素吹精を開始した。大阪酸素堺工場から移設した酸素発生装置を用いて⁵⁾、棚吊りした鉄屑を溶断し溶落時間を短縮するとともに、スケール投入に代え溶鋼中に吹精することにより脱炭速度が著しく速まった。

続いて、昭和30年代に炉容を拡大するとともに、相次ぐ

* 山陽特殊製鋼株顧問

増設をしている。最初に15トン炉を昭和32年（1957）のレクトロメルト式1号（大同製）を初めとして、昭和37年に2号、さらに翌38年には3号と4号の計4基を設置した。これに並行して30トン炉を、昭和34年の1号（日精製）を初めとして、翌35年にアメリカンブリッジ式2号、さらに昭和37年に3号（三菱電機製）の計3基を設置して創業以来30年の間6トン炉を主体としてきた製鋼工場の様相がこの数年の間に一変した。

炉容の拡大は酸素吹精と電気炉設計技術の進歩がもたらしたものとはいえ、当時業界最大だった30トン炉に取替えて挑戦している。その後も当社は、60トン炉を経て90トン炉へと、最大の炉容に向けての絶えざるチャレンジを続けて今日に来た。

炉容の拡大は、溶解作業にも大きな変化をもたらした。もはや手作業に頼れず、炉修剤は今様の吹きつけになり、原料装入も炉頂からのバケット方式に変わった。一方では昭和34年（1959）に米国からわが国で二番目という迅速分析装置（カントバック）を導入している⁶⁾。

溶解時間は短くなったものなお精錬に律速されたが、それでも一日の出鋼回数は炉容の拡大にも拘らず7～8回となり最初の生産性向上が果たされた。

この頃、結晶粒度の不整により大量の鋼材を代替するという最初の大きな品質事故を経験している。溶鋼量が増大したため従来の棒状Alを取鋼中に挿入する方法では偏析が生じたものであり、この時から塊状Alを出鋼流に投入するようになった。

2・3 脱ガスと助燃装置の導入

脱ガス処理の開始が、鋼の品質だけでなく溶解技術にも一つの転機をもたらした。炉外精錬が次第に重要な役割を占めだしたのである。

まず、昭和39年（1964）に最初の60トン炉（大同製）を設置したが、この時に併せて西独から取鋼脱ガス装置を導入した。取鋼脱ガスは図2に示す方式なので、到達真空度が低い上にスラグを巻き込み鋼を汚染し易い欠点があった。脱ガス方式には、当時わが国でも既にRH法とDH法が実用化していたがライセンスの都合で取鋼法を止むを得ず採用した経緯がある。

続いて、昭和43年（1968）にRH脱ガス装置を30トン炉に付設した。RH法は当時主として転炉で採用されていたが、未だ小容量電気炉への適用例がなく温度低下が危惧される中、富士鉄広畑と綿密な討議を重ねて導入に踏み切った。RH法では容易に0.1torrの高真空が得られる上、スラグの混入も無く取鋼法の欠点を補って品質向上に著しい成果をもたらした。

操業時間を律速していた還元精錬と成分調整は、脱ガス処理を契機に次第に炉外へと移って行った。これに加えて昭和44年（1969）に最初の助燃装置トロイダルバーナーが採用され、さらに前年の43年に設置していた集塵装置の

効果もあって一日の出鋼数は10回ほどに高まった。60トンへの炉容拡大と相まって、いっそうの生産性の向上が果たされたのである。

なお、ステンレス鋼の溶解にRH-OB法が開発されたのもこの頃である。

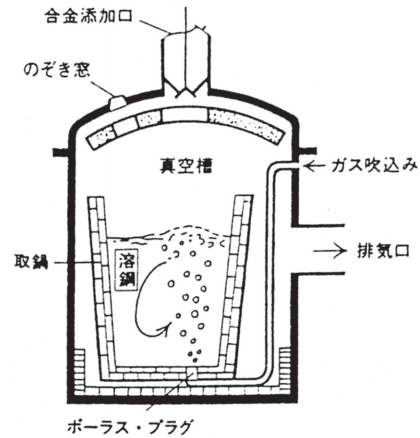


図2 取鋼脱ガス法

2・4 UHP操業技術の確立

昭和48年（1973）にさらなる生産性の向上を目指して、トランス容量60,000KVAの60トン2号電気炉（石播製）を建設した。相次ぐ炉容拡大の間に築き上げてきた溶解技術を結集した炉殻内径5,800mm、実容量が100トンにおよぶUHP（Ultra High Power）炉である。

UHP操業は大容量炉の溶解時間をいっそう短縮しようとするものであり、主として次の三つの技術要素の組合せで構成されている。

(1) 電力のインプットプログラム

電極周辺の鉄屑はアーク熱により溶解するが、炉底は主として上部溶鋼からの熱伝達によっていたので、溶落までに約100分を要していた。

UHP操業ではフルパワーで上部を溶解してから一旦電圧を下げる（図3）。電圧の低下は投入エネルギーの減少をもたらすが、一方、アーク長さが短くなり電極を溶鋼面に接近させ得るので、アーク波動が溶鋼面を強く叩いて溶鋼の流動を促すことにより炉底部への熱伝達が強まった結果、溶落は約60分にまで短縮されるとともに鋼浴の均一性も向上した。

(2) 水冷炉壁

輻射熱にさらされる電極周辺の炉壁は損傷が激しいので出鋼ごとに不定形耐火物を吹きつけた上、一週間の周期で築炉補修を行っていた。

そこで、特殊な構造の水冷管パネルを開発して、炉壁面積の約75%にあたる溶鋼表面直上までの全円周と天井面積の約70%に取りつけたことにより、築炉補修の周期を一ヶ月半にまで延長することができた。

(3) コールドスポット部の助燃

炉の円周方向で電極から遠い位置は、輻射熱の到達が少なく溶解に時間を要していた。

そこで、コールドスポット部にあたる炉壁の3ヶ所に開孔部を設け、炉外から酸素オイルバーナーで助燃することにより溶落時間の短縮に役立てた。

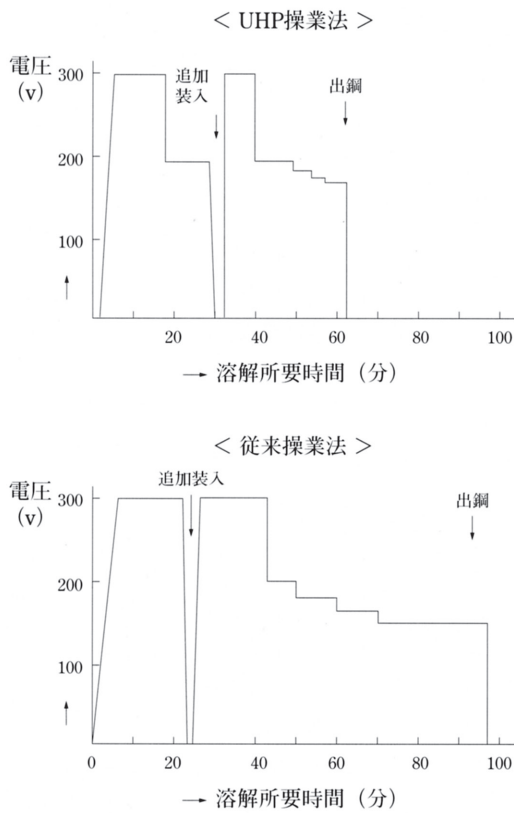


図3 UHP電力インプットプログラム

UHP操業は、一日の出鋼回数を一挙に22回にまで高めるとともに電力原単位が約20%減少して溶解技術に画期的な進歩をもたらした。

この技術は、国内外の特許を取得して一躍注目を浴びた結果、諸外国から相次いで技術援助の申し入れがあった。昭和51年(1976)独ズードヴェストファーレン社を初めとして、昭和52年英ブリティッシュスチール社、昭和53年加アトラススチール社、昭和54年仏パロレック社、さらに昭和55年にスエーデンSKF社へとこの頃毎年のように技術供与を行っている。

その後60トン2号炉はさらなる生産性の向上を目指して昭和56年(1981)にスクラップ予熱装置を付設して今の姿に至った。

2・5 90トン電気炉と取鋼精錬炉

昭和57年(1982)に建設した90トン電気炉(石播製)は、それまでに築いてきた当社の溶解技術の総決算でもあった。30トンと60トン各一基の代替の建て前から公称90

トン炉としたが、70,000KVAのトランス容量と7,000mmの炉殻内径ならびに5本のジェットバーナーとスクラップ予熱装置を備えた、実容量が120トンのSuper-UHP電気炉である。後に実容量を150トンまで拡大しているが、特殊鋼専用炉では当初から世界最大であった。

この時に併せて設置した取鋼精錬炉(LF)は、連続鋳造とのマッチングのために欠かせないが、同時に溶解時間を律速していた還元精錬のすべてを電気炉から取り込んだ。電気炉では、大容量トランスを溶解期と酸化期に最大限に活用した後、酸化性のスラグを流淨してほぼ未脱酸状態で出鋼する。LFでは、塩基度が4.0~5.0の高塩基性スラグのもとで取鍋底から不活性ガスを吹き込み攪拌力を利用して還元精錬を行うようになった。

さらに、昭和61年(1986)に90トン炉を偏心炉底出鋼方式EBT(Eccentric Bottom Tapping)に改造している。出鋼時の炉傾時間を短縮するとともに、酸化性スラグの流出を防ぎLFでの還元精錬を容易にして品質向上を目指したものである。

90トン電気炉とLFならびにRHの組合せにより溶解期と酸化期ならびに還元期を分離した合理的な溶解技術を確認するとともに、Al脱酸と化学成分の微調整も容易となって生産性が著しく向上した。平成3年5月にこの一連の設備で月間粗鋼量94,594トンの生産をしているが、特殊鋼の単一電気炉ではおそらく世界最高であろう。

この間の生産性の向上を示したのが図4であり、各種の原単位の推移を示したのが図5である。いずれも昭和40年以降の数値であるが、図4から生産性の向上は15t/hから125t/hへと実に8倍の伸びを示しており、図5から原単位の低減は生産性向上の効果とともにコスト低減の努力の結果を示している⁷⁾。なお、90トン炉は電極の水冷を実施しており、電極原単位の低減だけでなく生産性の向上にも貢献している。

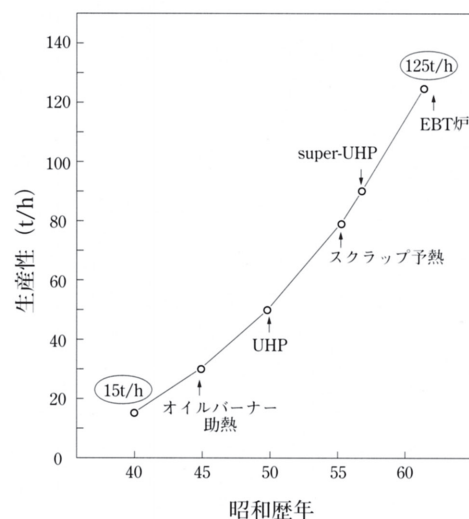


図4 電気炉の生産性の推移

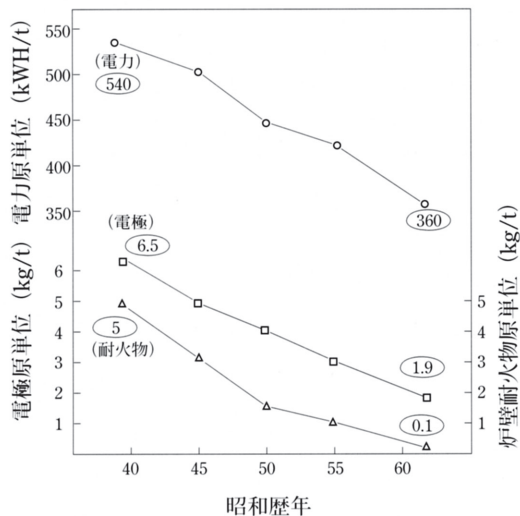


図5 各種原単位の推移

3. 造塊技術

3・1 上注のころ

昭和8年（1933）に3トン電気炉から初出鋼した溶鋼は80kg鑄型に上注で鑄込まれたという⁸⁾。

当時の鋼塊の種類は明らかでないが、昭和16年（1941）小形と中形の圧延機が設置されてから、やがてそれぞれの圧延機用に150kgと250kgの鋼塊が主流になった。いずれも丸鑄型への上注である。

丸鋼塊だったのは旋盤で皮削りするためであり、鋼種によっては焼なまし後に旋削して圧延に供していた。当時、歩留向上と工程省略のため溶鋼注入の直前に熔融スラグを鑄型内に流入してから上注するいわゆる衣造塊が研究されていた。実験的には成功したが終戦で量産に至らなかったという⁹⁾。衣造塊は大同製鋼がその後も研究を続け戦後に特許を取得しているが、やがて下注造塊の始まりとともに実用には供されなかった。

いずれにしても当時の造塊は、多数の小鋼塊を一本づつ上注することと、温度低下やスプラッシュあるいは大気ともろに接触するなど、その作業の困難さと鋼の品質の程が俵ばれるものであった。

3・2 下注の始まりとその進歩

下注造塊が何時から始まったか明らかでないが、戦後の早い時期に上注造塊は姿を消した。この時から連続鑄造が始まるまでの30数年の間に、下注造塊の技術はさまざまな進歩を遂げた。

まず、昭和27年頃から複数定盤への分割下注の適正化に取り組んでいる。当初の小型電気炉の溶鋼は一定盤鑄込であったが、間もなく多数の小鋼塊を鑄込むため複数定盤になった。仮に、15トン炉の溶鋼を250kg鋼塊に下注すると

60本の鑄型になる。温度の低下による流動性の悪化と溶鋼高さの減少による流出圧力の低下に対応して、例えば30本から20本さらに10本へと三定盤に分割するなど最適本数の試行錯誤が繰り返された。

次に、同じ頃から大気の遮断が始まっている。最初は、鑄型内を上昇する溶鋼の表面を大気から保護するのに浮板（円板状木片）を用いた。燃焼による一酸化炭素の発生がある程度有効であったが、鑄込みが完了する鑄型上部まで燃焼を続ける材質の選定と、炭化破碎して巻き込んだ時の浸炭による品質事故に悩まされた。一時期粉末を固化成型した円板を用いたこともあるが原料中にBが含まれていてこれも品質事故に至ったことがある。その後、昭和39年頃に西独から酸化防止被覆剤テルモフィンを導入した。この石炭灰を主成分とする断熱性パウダーは、溶鋼との接触面は溶融状態となり順次消耗しながら、上面は粉体のままの間に鑄込みを終えようとするものである。溶融部が溶鋼の表面を完全に覆うので大気が遮断され、鋼塊の品質改善に多大の効果をもたらした。鋼種ごとの鑄込温度に溶融温度を合わせるべく、材料配合に改良を重ねて国産化したのが今のサンライトである。



図6 250kg鋼塊下注風景（浮板使用）

その後、昭和39年（1964）に建設した60トン1号炉と、脱ガスの開始が造塊技術にいつその進歩をもたらした。出鋼量増大と鋼塊の大型化に対応して下注造塊は台車鑄込になり一挙に近代化するとともに、折角脱ガスした溶鋼を鑄込み中に再び汚染させないための技術開発が数多くなされている。

その一つは、大気を遮断する装置の開発である。鍋下と注入管までの間、ならびに注入管から湯道と鑄型内まで、溶鋼流と接触する大気をできるだけ不活性ガスに強制的に置換する装置が相次いで開発された。断熱性のパウダーに続いて、これらの周辺技術を集大成したのが今日の雰囲気造塊である。

続いて、溶鋼をなるべく整流に保つ技術の開発である。乱流になるほど介在物の凝集捕捉と湯道煉瓦の溶損を助長するので、実験と計算を重ねた上で、鑄型配列を従来のH型（図7）を廃止して串型とし、湯道径を溶鋼流量が少なくなる先端ほど順次細くするとともに、底定盤ならびに鑄型底部の形状に変更を加えた。これらを集大成して後に改良したのが今日の下注定盤である。

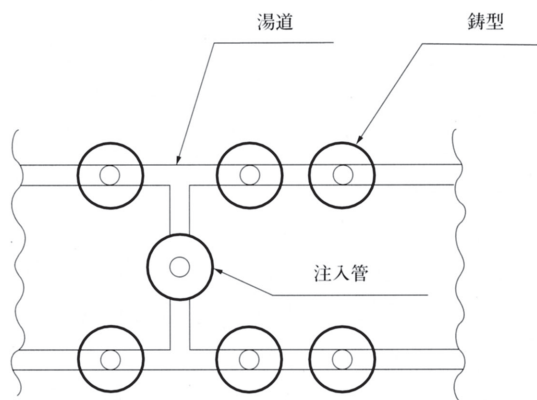


図7 H型鑄型配列

さらに、耐火煉瓦の材質改良を進めている。取鍋煉瓦は炭珪質を用いていたが、脱ガス処理のために溶鋼が高温となり溶損が激しくなった。耐火度を上げるべくアルミナの含有量を順次高めていったところ、溶鋼への酸素供給源になっていた不安定な酸化物が相対的に少なくなったため、鋼の酸素値が低減するという予期以上の効果が得られた。このことから注入管と湯道に至るまでのすべての耐火物を高アルミナ質にすることが試みられた。アルミナ含有量が高くなるほど耐火度はあるが、硬質となって成型が難しくまた欠損が生じ易い。煉瓦メーカーと共同して、含有量を従来の25%から順次60%まで高めて行き最後には80%の煉瓦まで実用化するに至った。

なお、昭和48年（1973）に60トン2号炉が加わったのを機会に型抜きヤードを増設したが、この時に鑄込後の移動時間を誤ったため異常な偏析が発生するという品質事故を経験している。

3・3 鋼塊の形状

150kgと250kgの鋼塊が小形と中形の圧延機用として主流を占め、500kg鋼塊が高品質鋼の鍛片用として僅かに鑄込まれる態勢が永く続いた。

昭和30年代に入り、一連の設備投資にともなって鋼塊の大型化が始まった。まず、昭和34年（1959）押出プレスが建設されて管材の鍛造用に750kg鋼塊が、次いで翌35年に分塊大形圧延機が建設されて1.4トン鋼塊が鑄込まれた。この時に初めて1トンを超える鋼塊となったが、ここまですべての鋼塊は丸型であって、皮削りしてから圧延に供している。

昭和40年代に入って、ホットスカーファアの付設により鋼塊は角型になる一方、会社再建のため徹底した合理化を迫られ鋼塊は次第に大型化していった。最初の角型鋼塊は1.7トン塊であるが短期間の内に2.1トンから2.3トンを経て2.5トン塊まで順次大型化した。生産性の向上のためパス回数を少なくする傾斜比と、歩留向上のため押湯比を極限まで小さくして、分塊能力一杯にまで大型化したのが今の2.6トン鋼塊である。

鍛鋼用の鋼塊も、丸型の750kg塊から角型の1.7トン塊を経て、やがて波型の3トン塊、5トン塊、8トン塊へと順次大型化した。今では大容量プレスの設置に伴い15トン塊が鑄込まれるまでになっている。

なお、昭和40年代半ばにP鋼塊、ならびにM鋼塊と呼ぶ特殊な鋼塊が鑄込まれていた。前者のP鋼塊は、分塊圧延することなく直接押出管材に供しようとするものであり、その単重からP340、P430、P530あるいはP670など数種類があった。その形状は押出プレスのコンテナ径に合わせた径175～250mm高さ1,200～1,800mmの丸型鋼塊である。後者のM鋼塊も、中小形連続圧延機（現第一棒線）に直接供しようとするものでありその単重からM300鋼塊と呼んでいた。その形状は加熱炉に合わせた角160mm高さ2,100mmの角型鋼塊である。両鋼塊とも、工程省略による徹底したコストダウンを図ったものであるが、その使い方からテーパを殆ど取れないローソク型だったので、造塊作業が困難を極めた上介在物の狭雑による品質事故が多発して永続しなかった。

3・4 連続鑄造

当社の連続鑄造機の構造とその操業については、詳細が既に報告されているので¹⁰⁾、ここでは導入当初の経緯を主体に記しておく。

当社は昭和30年代に連続鑄造に多大の関心を寄せ、他の特殊鋼会社と共同でビレット連鑄機の操業に関与していたことがあるが、品質面で満足な結果が得られずに終焉した経緯がある¹¹⁾。その後、ブルーム連鑄機が実用化されたのを機会に昭和50年代に入って再び本格的な検討を始め、昭和57年（1982）に完全垂直型ブルーム連鑄を設置した。当時、生産性の高い湾曲型連鑄機が主流を占めていたが、国内外の連鑄片を入手して綿密な調査と検討を重ねた結果敢えて垂直型の採用に踏み切った。鋼の品質を最優先して決断したものであり、生産性の低下は370×480mm形状の大断面ブルームを3ストランド鑄造することにより補ったのである。また、連鑄機の故障に備えて造塊設備の付設も検討したが、溶鋼のすべてを連鑄機に受けるいわば背水の陣を敷く設備とした。

垂直型連鑄機の建設は沿岸部に直径と深さが40mの穴を掘削する工期と工費を要する難工事であったが、垂直型の採用が高炭素鋼から低炭素鋼まであらゆる特殊鋼の連鑄を容易にした。特に、軸受鋼など凝固温度範囲が広い鋼種は

曲げによる内部クラックの発生がないので、操業当初から良好な品質が得られ敢えて垂直型を決定した正当性が立証できた。その後は特殊鋼他社も追随して垂直型が採用されだしている。

操業当初の技術開発の焦点は、浸漬ノズルの閉塞防止にあった。ノズルの閉塞は酸化物の析出によるので、清浄な溶鋼の供給に加えて、タンディッシュ内での介在物の浮上分離の促進と再酸化の防止が重要である。まず、介在物の浮上分離については、水模型実験を繰り返して現用の堰を設けた大容量タンディッシュの形状を決定した。続いて、再酸化を防ぐには完全密閉が必要なため、水冷構造により熱変形を少なくして不活性ガスの使用量を極力減らし酸素濃度がほぼ0になるようにした。また、耐火物からの汚染防止のため材質選定にも留意している。

これらの技術開発により昭和60年（1985）にはノズル閉塞することなく、90トン炉の68チャージ計10,150トンの溶鋼をタンディッシュで94.5時間にわたって連々铸するという記録を樹てた。おそらく特殊鋼では今も世界最高の数字であろう。

その後、いっそうの生産性向上のためにブルーム形状を380×490mmに拡大する一方、さらなる品質向上のために電磁攪拌の増設と軽圧下装置を付設した。これらの装置による技術開発は今も続いている。

なお、建設当初はホットスカーファアを付設していた。PSW圧延機に供するには分塊圧延で粗丸鋼片にする必要があり止むを得ず加熱炉の後に配置した。しかし、ブルームのままですカーフしても表面疵には効果がなかったのと、何よりもスカーフを必要としないブルーム肌と脱炭深さが得られ、ブルーム温度制御の技術開発もあって稼働しないまま早々に撤去した。

また、操業当初に端面酸化による切捨増大により歩留低下をきたしたことがある。ブルームの端面を溶接あるいは圧下するなど種々の対策を試みたが、生産性を阻害することなく品質を満たす方法として結局ポンチプレスを設置するに至った。ポンチの形状や圧力の試行錯誤を繰り返して決定したのが現行の設備である。

4. 鋼の品質と製鋼技術

鋼の品質は製鋼技術によってその大半が決まる。当社の鋼の品質の変遷について軸受鋼を例にした幾つかの報告があるが¹²⁾、ここでは溶解ならびに造塊技術との関わりについて略記した。

4・1 脱ガスの開始まで

当社が創業した頃のが国特殊鋼は、輸入からようやく国産化の動きが始まった頃である。しかし、6トン炉など小容量電気炉で6時間もかけて溶解精錬した後に150kgなど小鋼塊に上注したものであり、その鋼の品質は化学成分を

模倣したにすぎず輸入材には遠くおよびなかつた。当時の品質は、引張試験や圧壊値などの機械的性質、地キズなど巨視的介在物、あるいは破面粗度などによって評価されていたが、製鋼技術よりむしろ鋼塊の皮削りと鍛圧比などの後工程が問題にされていた。

昭和20年代に入り、下注造塊法の採用に伴って地キズは著しく改善されたが、一方では顕微鏡による介在物評価が規格化されさらなる品質改善が求められた。これに応じて炉中での溶鋼精錬と、複数定盤に均一に鑄込みばらつきをできるだけ少なくする下注造塊ならびに鑄型上部の溶鋼を被覆して酸化被膜の捲れ込みを防ぐことなど、当時の製鋼技術の焦点をめぐる研究開発が盛んに行われている。ようやく特殊鋼の品質らしくなったのは下注造塊の基礎ができたこの頃と言ってもよい。

昭和30年代に入ると、疲労試験が繰り返されて酸化物系介在物が俄かにクローズアップされてきた。これに応じて昭和39年（1964）取鍋脱ガス処理を開始したことにより、鋼の品質は酸素量が半減して疲労寿命が一挙に倍加するという画期的な進歩を遂げた。脱ガス処理は溶解技術の転機だったばかりでなく、その後の様々な技術開発により世界最高の品質水準に至る端緒となった。さらに、昭和43年にRH脱ガス設備を加えた当社は今日の特殊鋼全量脱ガス化への先鞭をつけたのである。

4・2 MG鋼からMGH鋼へ

昭和40年代に入って、東海道新幹線の走行開始を契機として軸受鋼の品質に対する要求はさらに厳しさを増した。一方では磁気探傷法あるいは超音波探傷法など非破壊検査技術が進歩して表面に現れない介在物が検出されるようになり、溶鋼のいっそうの低酸素化と汚染防止のための技術開発が始まった。

まず、内的要因により析出する酸化物系介在物を減らすには、何よりも溶鋼の酸素含有量を低減することが肝要であり、主として脱ガス操業と脱酸方法などに開発の焦点が置かれた。

次に、折角低酸素化した溶鋼が外的要因により汚染するのを防ぐため、脱ガス槽内のスブラッシュ防止と造塊時に大気を遮断して再酸化を防ぐこと、鑄型配列と湯道などの形状を改善してできるだけ整流を保ち介在物の凝集捕捉を防ぐこと、さらには溶損の少ない耐火物の選定などがこの頃に研究開発されている。

これらの技術開発により、酸素含有量はさらに半減して軸受鋼では10ppm以下が定期的に分得られるようになった。図8はこの間の推移を端的に示すものである。当社では初期の脱ガス処理をただけの鋼をMG鋼（磁気探傷キズを保証した鋼）と呼び、酸素含有量を10ppm以下まで下げた鋼をMGH鋼（磁気探傷キズを高度に保証した鋼）と呼んで区分していた。この技術を軸受鋼ばかりでなく合金鋼まで広く適用した結果、MGH鋼は顧客から信頼性のある材料と

して極めて高い評価を受け、受注量増大に多いに寄与するところとなった。

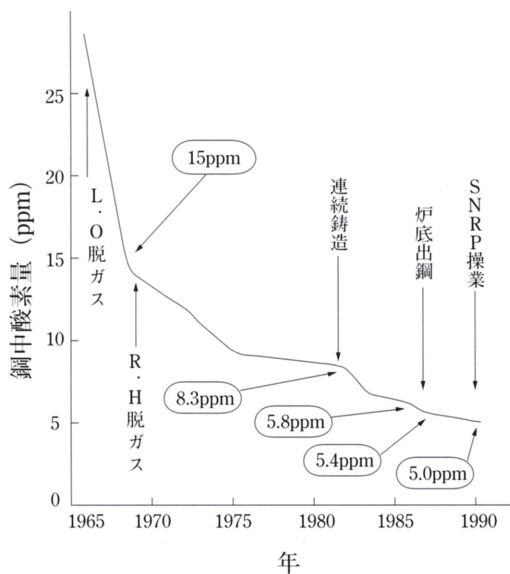


図8 軸受鋼の酸素含有量の推移

この時期は、生産性向上に対するUHP操業とともに品質向上に対する脱ガス処理と下注造塊技術が著しく進歩して世界最高の品質水準に至った時期であり、当社製鋼技術の礎ができた重要な時期でもある。

4・3 MGZ鋼からEP鋼へ

昭和57年（1982）に建設した第二製鋼工場は、生産性の向上ばかりではなくいっそうの品質向上をもたらした。RH脱ガスに加えて新たに付設した取鋼精錬炉が、十分な精錬を可能にするとともに連続鋳造が大気の遮断を容易にして溶鋼の再酸化を防ぎタンディッシュでの介在物の浮上と耐火物からの汚染を少なくした。

この一連のプロセスによって、酸素含有量は下注造塊に比べて一段と低下したが、さらに昭和61年（1986）導入したEBT方式によって軸受鋼では遂に5ppm近くの値を得るに至った（図8）。この鋼をMGZ鋼（磁気探傷キズを最高に保証した鋼）と呼んでおり、当社の鋼の現在の標準品質である。

しかし、産業技術の高度化に伴って特定部品用の材料に極限までの信頼性が求められるようになった。一方、酸素含有量が5ppmともなると従来の顕微鏡や磁気探傷または超音波探傷法などでは介在物の評価が困難となってきた。これらに代わり、一定の被検面に存在する介在物の大きさと数を顕微鏡測定した後に最大介在物を統計的に類推するいわゆる極値統計法が採用された。ここに、酸素量を下げて介在物の絶対量を少なくするだけでなく、介在物の分布と形状さらには組成まで制御する技術の開発が必要と

なってきた。

これに対応したのが平成4年（1992）に開発した操業法SNRP（Sanyo New Refining Process）であり、それまでの精錬技術と連鋳技術の集大成に加えて、特にLFとRHでの攪拌精錬を重視して開発したものである。その成果であるEP鋼（Extremely Purified Steel）は酸素含有量が5ppmを切る極低酸素鋼で、介在物総量が少ないばかりでなく最大径を保証した文字どおりの超高清浄度鋼である。SNRPとそれによるEP鋼は、当社の製鋼技術水準の高さを示すものであり我々の誇りとするものである。

5. あとがき

創業から今日に至るまでの製鋼技術と、それによる鋼の品質の変遷を辿ってきた。

当社の溶解技術は、業界最大の電気炉に対する弛まざる挑戦であり、常に先端を行く技術開発の蓄積の上に今日がある。実容量150トンのSuper UHP炉の生産性とSNRPがその象徴であろう。

下注造塊技術も幾多の技術開発の上に今日があり、また垂直型連鋳機の採用は誤りのない決断であった。90トン炉から連続鋳造を経てPSW圧延まで続く一連の設備は、その生産性において他に類をみないものである。

鋼の品質は酸素量の低減につれて向上したが、酸素値も限界に近づき介在物の制御が求められて超高清浄度を誇るEP鋼が生まれた。

しかし、まだ残された課題も多い。高い生産性のもとで安定して高品質が得られる連鋳技術とEP鋼の品質水準を量産する精錬技術の開発などが当面の課題であろう。過去蓄積してきた製鋼技術の上に、今後のさらなる技術開発が求められている。

文 献

- 1) 瀬戸浩蔵：山陽特殊製鋼技報, 3 (1996), 124.
- 2) 山陽特殊製鋼30年史：(1964), 19.
- 3) 山陽特殊製鋼30年史：(1964), 62.
- 4) 山崎清一：躍進山陽60周年記念特集号, (1993), 33.
- 5) 山陽特殊製鋼30年史：(1964), 253.
- 6) 山陽特殊製鋼30年史：(1964), 343.
- 7) 上杉年一：鉄と鋼, 74 (1988), 1889.
- 8) 高田初義：躍進山陽60周年記念特集号, (1993), 25.
- 9) 山陽特殊製鋼30年史：(1964), 105.
- 10) 例えば, 上杉年一：鉄と鋼, 71 (1985), 1631.
- 11) 瀬戸浩蔵：山陽特殊製鋼技報, 2 (1995), 67.
- 12) 例えば, 瀬戸浩蔵：山陽特殊製鋼技報, 2 (1995), 61.