

2. 製 鋼

2.1 製鋼理論と技術の展望

製鋼技術の最近 10 年間における特記すべきテーマとして溶銑予備処理法、純酸素転炉法、真空処理法および連続铸造法につき以下に展望するが、それらの背景として冶金学的、反応工学的な理論の進歩を記述する必要がある。

製鋼理論とは、一般に鉄鋼製錬における融体の構造、性質、融体間の物理的ないし化学的な反応を解析するものとされている。この方向にそつて化学熱力学、化学反応速度論、拡散理論、統計熱力学などが広範に取り入れられ着実に進展してきている。しかしながらいわゆる工業的規模における技術との関連においていまなお不十分な点が多々認められる。すなわち理論の積み上げによつて技術の改善あるいは新技術の開発がなされたという例は甚だ少ない。

製錬ないし冶金反応は一般に高温の下に行なわれ、耐火材を使用した反応装置の組合せによつて実施されるものである。すなわち小規模な机上実験が直ちに生産段階における有用な資料を提供するものではない。したがつて複雑な要因を整理して純粋系における精密な知識を提供したとしてもそれがすぐ役に立たない場合が多い。製鋼理論の進歩は、さきに述べた従来からの考え方に固定されると今一步の進展が期待できないのではないかと思う。

次節以降の各テーマに関連して具体的に概説する。

まず第 1 に溶銑の予備処理は高炉における事前処理に相当するもので、製鋼能率および品質の向上を目的とするものであり、理論的には冶金反応の促進にかかっていると考えられる。したがつて従来の平衡論的な取扱いはほとんど役に立たないおそれがある。これはあたかも純酸素転炉法における浴運動と冶金反応の関係に類似している。たとえば、シェーキングはかなり複雑な浴運動を与えるがこれが熱と物質の移動にどんな影響をもっているかはなかなかつかみにくい。将来はこのような観点で製鋼理論を進めるようにしなければならない。現在のいわゆる間接製鋼法は長い歴史をもっているけれども、個々の技術的な進歩はともかく全体の体系を変えるような新技術は製銑、製鋼の橋渡しとしての溶銑予備処理がどのように進歩するかにかかっているのではないか。

第 2 に純酸素転炉法はわが国において驚異的な進歩を遂げたものの一つで、本協会のパネル討論会においても、優れた研究発表をもとに活発な討論が行なわれた。しかしそれは高炭素鋼の溶製という限られたテーマに関するもので、近い将来さらに繰り返し公開の席で研鑽を積んでいかなければならないと思う。ここで一つ銘記すべきは作業の自動制御である。これは装置の設計、反応過程の解析などがよほど進まないとな成功するものではな

い。

第 3 に真空処理法は高温に加うるに減圧という要因を加えた新しい処理法で、鋼質の改善において著しい貢献をなしつつある。特殊な鉄鋼材料の製造において貢献したのはいうまでもないが、量産鋼の真空処理においても近年特筆すべき成果が得られている。これは原理としては何ら新鮮味はないが機械設備の発達によつて重要な冶金学的効果の得られたものの一例である。しかし細部を検討すると多くの問題点が残されている。

高温溶解の溶鋼と含有ガスの関係は古くから調べられてきたが、これはきわめて困難な問題である。静的なガスの吸収はよく分つていても、凝固過程における含有ガスの動きはなかなか把握できない。さらに凝固に関連して、鋼塊表面の状況、内部の偏析、凝固組織などを系統的に調査していく方向が大切である。

第 4 に連続铸造法もまた、画期的な技術の一つである。この技術が鉄鋼製造に取り入れられてより、驚異的な進歩を遂げたのは周知のごとくで、製造設備の改善によつてさらに高い品質が期待されるものと思う。しかしこれまた、凝固の本質が十分に分らないと、どこかで大きな障壁にぶつかるとおそれがある。さきに述べた製鋼理論は融体から固体への相変化を説明できるものでなければならぬ。

鉄鋼製錬は成分の調整、不純物の除去および含有ガスの量の調節を目的とするが、脱酸調整は融体においてはかなり厳密になされているが、凝固の段階で全く新しい事態にぶつかるからである。この連続铸造法は、さきの真空処理法とともにお互いに関連しながら発達していくものと思う。

最後に鉄鋼の品質は種々改善されていくとしても、これを使用する場合に適切な指導方針がないと製造技術の進歩が跛行的になる。今後この問題はさらに積極的に学術界、業界を挙げて考えていかなければならないと思う。

2.2 溶銑予備処理法

溶銑の予備処理は製鋼炉に装入する溶銑の品質管理として行なわれており、高炉の出銑ごとの成分の変動を消すための処理すなわち貯蔵と、出銑された溶銑の冶金学的処理すなわち予備精錬とに分類して考えることができる。

2.2.1 溶銑予備処理法の実施例とその結果

(1) 溶銑成分の均一化

混銑炉は高炉と製鋼炉の間に位置して溶銑を貯留し、需給関係を円滑にすると同時に、高炉における出銑ごとの溶銑成分および温度の変動を消して製鋼炉に受け入れる際の溶銑の成分を均一化することを目的としている。過去においては混銑炉において脱炭、脱磷などの冶金学

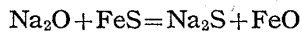
されずに鉄滓に入ってしまうため溶鉄中 Ti% は一般に低く、わが国ではほとんど全ての場合 0.3% 以下で上述の悪影響は現在では現われていない。わが国をはじめ、世界各国においても溶鉄予備処理の段階での脱 Ti は現在では行なわれていない模様であるが、将来、砂鉄など TiO_2 を多量に含有する鉄資源から高 Ti 鉄を安価に製造する技術が確立された暁にはこの問題を改めて研究する必要が生ずると考えられる。

6) 脱硫

脱硫は溶鉄予備処理の一環として現在常に行なわれており、今後もその重要性を保ち続けるものと考えられる。

溶鉄予備処理の段階で最も広く使用されている脱硫剤はソーダ灰 (Na_2CO_3) で、他に CaO 、 CaC_2 も使用されており、 Mg などの使用も研究されている。

ソーダ灰を脱硫剤として使用する場合、 Na_2CO_3 はまず溶鉄の熱によつて Na_2O と CO_2 に分解し、 Na_2O は FeS と下記の式にしたがつて反応する。



作業上最も広く行なわれている方法は高炉炉前を出鉄中に溶鉄鍋に連続的にソーダ灰を投入する方法である。他に①溶融ソーダ灰を溶鉄鍋に入れ、溶鉄を移注しながら脱硫を行なう方法、②後述のシェーキング・レードル法、などが研究され、一部実施されている。

CaO による脱硫は N_2 などの不活性ガスで CaO の粉末を溶鉄鍋に吹き込みながら行なう。LD-AC 法 (または OLP 法) も広義の CaO による脱硫とも考えられるが、これは製鋼工程での脱硫と考え、本項では触れない。

CaC_2 による脱硫はシェーキング・レードルの項目で述べる。

金属 Mg による脱硫はソ連において研究され、技術的には成功している模様である²⁾。

文 献

- 1) 鉄鋼便覧 昭和 37 年版 p. 560
- 2) 高等学校通報 (ソ連) 鉄冶金編 1964 年 4 月号 p. 31

2.2.2 シェーキング・レードル法

(1) 歴史と現状

シェーキング・レードル法とは、溶湯 (鉄) に各種の粉末 (あるいは溶融状態) の反応物質を加えて溶湯との反応 (脱硫など) を行なわせる際、相互反応を盛んにさせるために溶湯を入れた容器を揺動 (Shake) させる方法である。反応を活発に行なわせる方法としては、容器を静置したままでのガス吹込みによる攪拌、攪拌棒による機械的な攪拌、電気誘動による攪拌などが考えられ、また、容器を中心軸にそつて回転させる方法、あるいは溶湯を移注する方法なども考えられるが、現在では、溶湯を取鍋ごと偏心円運動させる方法すなわちシェーキング・レードル法が実用化されている。シェーキング・レードルとして現在世界で最も広く利用されている機構はスウェーデンの Stora Kopparbergs Bergslags AB 社の開発したものである。同社が Domnarfvet 工場に 3t の試験設備を完成させたのは、1958 年春といわれる。

その後、現在までに世界各地で合計約 24 基のこの種のシェーキング・レードルおよびコンバータ (後述) が完成している。うち 3 基は日本国内にありうち最大のものは一回の溶湯処理量 30t (脱硫用) に達している。Stora 社の方式とは別に、西独 Demag¹⁾、日本尼鉄²⁾ などでも独自の機構によるシェーキング・レードル法が開発され一部は実用化の域に達しているといわれている。

なおシェーキング・レードルは、当初もつぱら溶鉄の脱硫を目的として開発されたが、その後レードルの上に酸素ランスをとりつけて製鋼反応を行なわせるようにした装置もあらわれ、この種の装置はシェーキング・コンバータと呼ばれている。

(2) 原理および設備

1) 原理³⁾

シェーキング・レードル法の原理は、溶湯の入った取鍋に偏心円運動を行なわせ、中の溶湯と表面に浮かぶ反応物質との反応を促進する点にある。

研究の初期には内径 1160 mm の円筒容器に水を満たして実験が行なわれ、つぎの点が明らかとなつた。図 2.2.4 に示すとおり、偏心円運動の回転数が低い場合には、水面はほとんど平面的であるが、回転数を増すにしたがい、回転放物面になり浴の高さを増してくる。さらに回転数を増すと波頭が碎けて磯波のような捲込みがはじまり、浴の高さがいつたん減ずるようになる。この浴の高さが減じはじめるときの回転数を臨界回転数とよぶ。

臨界回転数は図 2.2.5 に示すように H/R の函数と

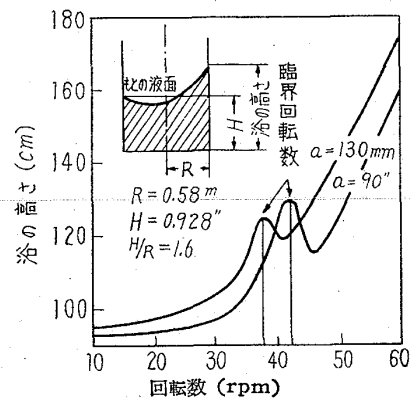


図 2.2.4 偏心運動の回転数と浴の高さの関係

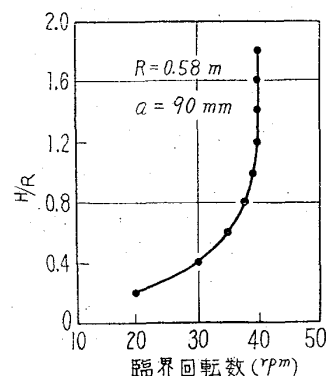


図 2.2.5 臨界回転数と H/R との関係

して実験的に求めることができる。

実際の溶銑を用いて行なつた脱硫実験の結果は 図 2・2・6 に示すとおりで、この場合は水を用いて行なつた実験で求めた臨界回転数より、約 10 rpm 程度高くすれば脱硫反応が非常によく約 95% 行なわれた。

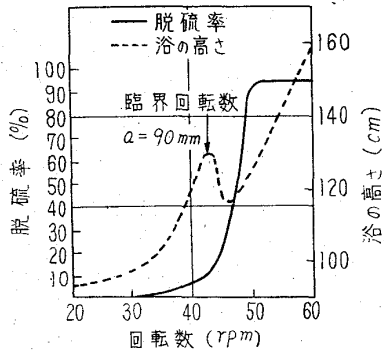
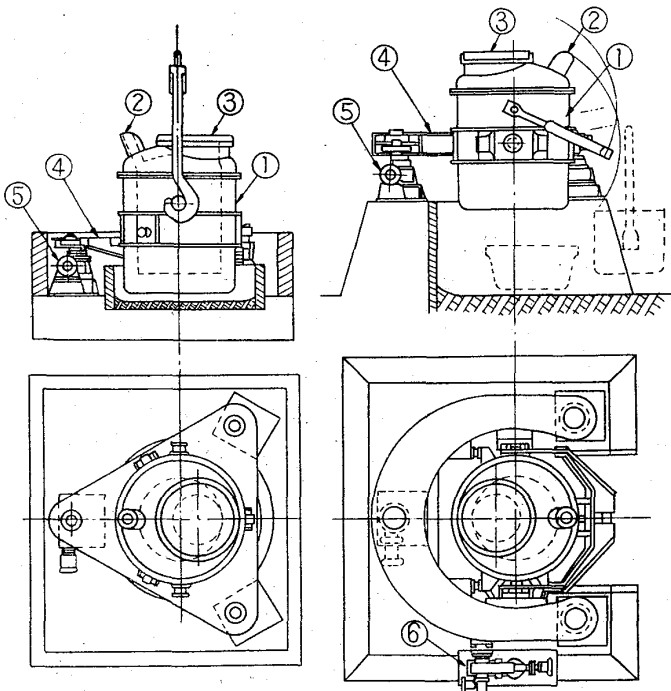


図 2・2・6 回転数と脱硫率との関係

シェーキング・レードルの設計は、これらの実験を基礎として行なわれており、その後各所で行なわれた諸実験の結果も、多くは上記の実験結果を裏づけている。

2) 設備

Stora 方式のシェーキング・レードルの構造を 図 2・2・7 に示す。溶湯の入つた取鍋は三角形あるいは馬蹄型の受台にのせる。この受台は3点で支持され、うち1点には駆動装置が設けられている。駆動装置は電動機およびウォームギヤなどよりなり、動力はこれらより垂直なクランク軸に伝えられる。このクランク軸は強固なベアリングにより一端を台盤上に固定された状態で回転し、



三角型 馬蹄型
①: 容器 ②: 出湯孔 ③: 装入口および蓋
④: フレーム ⑤: 主駆動装置 ⑥: 傾動装置

図 2・2・7 シェーキング・レードルの構造

上記受台に偏心円運動を与える。受台の他の2つの支持点には垂直なクランク軸のみがあり、受台および取鍋の荷重を支えており、駆動支持点の運動につられて各クランク軸も同様に回転し、受台が偏心円運動を行なえるようになっている。

馬蹄型の受台をもつシェーキング・レードル設備には取鍋の傾動装置を設けることができる。三角型および馬蹄型のいずれの場合も取鍋において精錬を行なうよう酸素吹精設備を設けることができる。(シェーキングコンバータ)

取鍋としては後述の攪拌操作を十分に行なわせるために、ほとんど垂直な側壁をもつたものを用い、溶湯の深さ(H)と鍋の半径(R)を適当に定める必要がある。また酸素吹精の有無にかかわらず、蓋を用いるのが普通であり、攪拌時の溶湯の溢流を防ぐために容量に対して大型の(酸素精錬を行なわない場合で 0.3~0.35m³/t, 酸素精錬を行なう場合で 0.6~1.0m³/t) 取鍋を用いる。炉材としては、酸素精錬を行なわない場合は通常の溶銑鍋と同じくシャモットレンガを用いることができるが、これを行なう場合は通常の転炉と同様の耐火材を用いる必要がある。

(3) 操業

1) シェーキング・レードルの操業

シェーキング・レードルによつて溶銑の脱硫を行なう場合の操業はほぼつぎのようになる。

脱硫剤としては今日では CaC₂ が多く用いられているが、他に CaO, Na₂CO₃ などの利用も考えられる。これらのいずれを用いるべきか、あるいは他の脱硫剤を用いるべきかは個々の場合について使用条件に合わせて決定すべきである。

脱硫剤の使用量と脱硫率の関係の一例を 図 2・2・8 に示す。溶銑の脱硫を行なう場合に脱硫剤としてカルシウム・カーバイドを用いるとすれば、その使用量は溶銑トン当り 4~6 kg が適当であるといわれている。

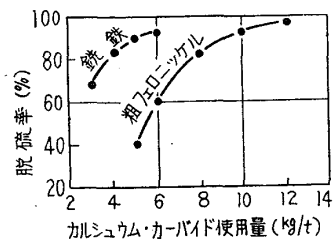


図 2・2・8 脱硫剤使用量と脱硫率との関係

シェーキング・レードルの偏心円運動の回転数の定め方についてはすでにのべた。

処理時間と脱硫率の関係の一例を 図 2・2・9 に示す。これらの各数値はレードルの大きさ、回転数、脱硫剤の種類、量、溶銑の温度、その他の諸特性などにより若干変化するが、通常では約 15 分程度の処理時間をかけて操業しているところが多い。

このようにしてシェーキング・レードルを用いて溶銑を処理することにより 90% 程度の脱硫はほぼ確実に行なえる。

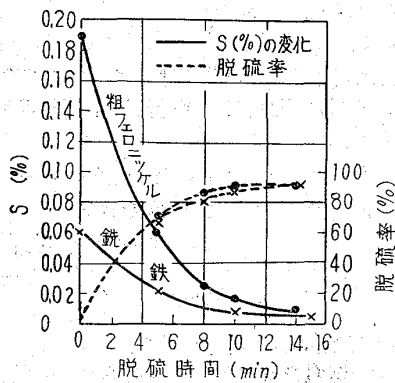


図 2.2.9 脱硫時間とSi%および脱硫率との関係

脱硫以外の目的にシェーキング・レードルを使用する場合の操業はそれぞれの使用目的により大幅に異なつたものとなる。

2) シェーキング・コンバータの操業

シェーキング・レードルに酸素吹精装置をとりつけてシェーキング・コンバータとして使用する際の操業は通常の上吹き転炉のそれに近いものとなるが、鋼浴と鋼滓との攪拌がよく行なわれるので P, Cr, などの優先酸化による滓化除去が行なわれやすい (図 2.2.10)。また、精錬後の合金剤添加が行ないやすく、そのため特殊鋼などの溶製に使用してもよい結果が得られるといわれている。

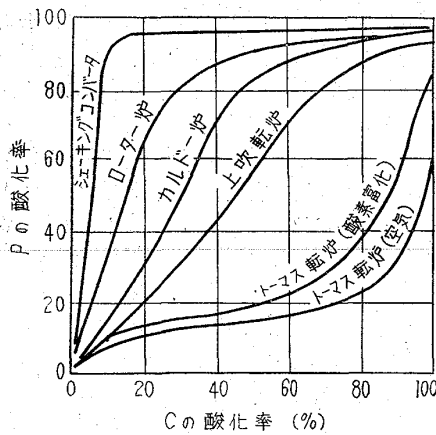


図 2.2.10 優先酸化程度の比較

(4) シェーキング・レードル法の応用範囲および問題点

シェーキング・レードル法は溶湯と反応物質との相互の反応を十分に行なわせることのできる方法である。そしてすでに述べたとおり、溶銑の脱硫に使用すれば、0.010% 以下の S の溶銑を容易に得ることができ、この方法の最大の長所である。また、酸化精錬を併用すれば合金鋼の溶製などにも効果を発揮させることができよう。

しかしながら、シェーキング・レードルは大きな可動部分を持ち、したがってまだ大容量の設備はなく、また処理中の温度降下などの問題もあるので普通鋼の大量生産に用いるために大容量の設備を製作することは今後の研究にまたねばならない。

文 献

- 1) Stahl und Eisen, 1964, Heft 15, IW 957
- 2) 特許公報 昭 37-14207
昭 39-12202
昭 39-12204
昭 39-13375 } 尼鉄出願特許
- 3) 奈古屋, 金属学会報, 2 (1963) 8, p. 449

2.2.3 将来の展望

(1) 一般的傾向

すでに述べたごとく、溶銑の予備処理は製鋼炉に装入する溶銑の品質管理であり、大別して成分および温度の変動を減らすバラツキの管理と、冶金学的処理すなわち平均値の管理とに分けて考えることができる。そして、現在の製銑および製鋼技術の状態から溶銑予備処理の将来についてつぎのように考えることができる。

製鋼技術の現状について眺めると、まず平炉についてはつぎのように述べる事ができる。酸素の使用が可能になり、その使用量が大幅に増加してきた現在では、酸化精錬が従来にくらべて容易に行なわれるようになり、溶銑配合率を高めて操業することが可能となつた。さらに、わが国では諸外国にくらべて屑鉄価格が高いことにより、溶銑配合率を高めることが経済的にも有利になる可能性が強い。また一方、近年発展しつつある酸素上吹き転炉法は従来の平炉法に比してはるかに高い溶銑配合率で操業しなくてはならない。したがって、製鋼工程全体として見た場合、溶銑配合率は今後なお上昇するものと考えられる。

つぎに鉄鋼業の一般的進歩にともない、最終製品である鋼材の成分に関する要求はますます厳格になるものと考えられる。

製鋼工程における溶銑配合率の上昇および最終製品の規格がより一層苛酷になることの2点は今後溶銑予備処理にますます力を注がなければならない最大の理由である。

これに対し、近年の鉄鉱山開発の進展にともない少なくともわが国においては、比較的品位が高く、かつ有害元素の含有量の少ない鉄鉱石が安価に入手できるようになり、高炉操業技術の進歩と相まって、溶銑成分は製鋼側の要求にはほぼ合つたものとなり、かつその変動も少なくなつてきた。

さらに、製鋼工程においては、すでに述べたごとく、多量の酸素が使用できるようになり、酸化精錬は非常に容易になり脱炭、脱珪なども早や重要な問題ではなくなつた。また一方では酸素転炉法の進歩により高磷銑も使用できるようになつた。

原料条件の変化、製銑作業の進歩および製鋼工程の発展は溶銑予備処理法の現状に少なからぬ影響を与えているものと考えられる。

上述の諸点から明らかなごとく、わが国においては、当面大型混銑炉による溶銑成分変動の管理と脱硫に溶銑予備処理の中心的課題があると考えられる。さらに詳しく眺めれば、脱硫は普通鋼多量生産のための大量の溶銑を処理して S% を若干低下させる処理と、特殊な目的にそつて溶銑中 S% を極度に (例えば 0.010% 以下)

低下させる処理とに分けて考えることができ、当面は、前者の目的に対しては高炉炉前におけるソーダ灰処理が、後者の目的に対してはシェーキング・レードル処理などの複雑な処理が行なわれるものと考えられる。

高磷鉄鉱石の多量に産出するヨーロッパにおいては、予備処理段階での脱磷の研究を行なうことは有意義と考えられるが、わが国において脱クロム、脱チタンなどの研究が実際に効果を生むのはさきに述べた現在の原料事情が変化した後のことと考えられる。

(2) 当面の問題点

1) ソーダ灰による脱硫

ソーダ灰による脱硫を高炉炉前で行なうときの問題点は下記のとおりである。

- ① ソーダ灰投入時にソーダ灰の少なからぬ部分が飛散するため、無駄が多く、処理後の S% のバラツキが大で、かつ作業環境が悪くなる。
- ② 現在の投入法では処理後 S% は 0.01~0.02% 程度までしか下げることができない。

これらの問題点に対する対策としてはつぎの案が考えられる。

- ① ソーダ灰の飛散を防止するためには、ソーダ灰をあらかじめ熔融してから添加するか、あるいは大きなブロックにして添加する方法など。
- ② 作業環境の改善のためには、高炉鑄床に収塵装置を取りつける。

これらの対策は、いずれも一部試験的に実施されているが、まだ広範囲には行なわれていない。

2) シェーキング・レードルによる脱硫

シェーキング・レードル法の当面の問題は下記のとおりである。

- ① 現在では能力 30t 以上の設備は製作の実績がない。
- ② 脱硫剤として CaC_2 を用いる限りは脱硫剤の費用が高い。

シェーキング・レードル法はまだ発展段階にある方法であるので、これらの点に対して、十分に検討を加えていく必要がある。具体的には、

- ① 徐々に大型設備の製作を行ない、実績を積んでいく。
- ② 操業試験を行ない、 CaO 、 Na_2CO_3 などを脱硫剤として使用した場合の効果を確認し、これら脱硫剤に合わせた操業法を確立する。

これらの検討が進めば、シェーキング・レードル法の使用目的、適用範囲もさらに広がることも考えられる。

3) 将来の課題

上に述べた当面の問題点からさらに将来を眺めると、溶銑予備処理としての脱硫に関してつぎのような課題が考えられる。

- ① 脱硫剤の開発；現在使用されている Na_2CO_3 、 CaC_2 などの他に、有効な脱硫剤を開発する必要がある。
- ② 攪拌方法の改良；脱硫反応は常に界面反応として行なわれるので、脱硫剤と溶湯との接触をよく

するための攪拌方法についてもさらに検討を加えなければならない。この問題について、現在、シェーキング・レードル法は一つの解決を与えているが、その他①ガス吹込みによる攪拌、②インペラによる攪拌、③電磁誘導による攪拌などについてもさらに検討を加え、最も経済的な方法を確立しなければならない。

- ③ その他の脱硫法の開発；現在考えられている脱硫法の多くは塩基性酸化物あるいは金属による化学的脱硫であるが、その他根本的に異なつた原理に基づいた脱硫法の可能性を調査する必要がある。この意味においては混銑炉スラグを溶銑上に浮かせて電気分解により脱硫を行なつた研究¹⁾などははなはだ興味深いものである。

文 献

- 1) R. G. WARD, K. A. SALMON: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 201 (1963) 3, p. 222

2.3 純酸素転炉法

2.3.1 純酸素上吹転炉法の歴史とその概要¹⁾

純酸素上吹転炉法 (LD 法) が日本において採用され稼動を開始したのは1957年(昭和 32 年)末でわずか7年前のことであるにもかかわらず、いまや製鋼法はその生産量において永年の間わが国の主要製鋼法であつた平炉製鋼法を凌駕するにいたつたことは周知の通りである。

製鋼法に酸素を使用する考えは古くから存在し、すでに 1856 年 Bessemer は軟鋼の生産において必要とする酸素源を、従来の製鋼法において用いられていた空気や鉄鉱石から得るのではなしに、気体酸素を使用してそれを溶銑の浴面に上から吹きつけるという考え方を発表したといわれるが、この考え方は当時安価で、かつ、十分な量の酸素を得ることが不可能であつたために考え方だけに終わり何の試験も行なわれなかつたようである。しかしながら、その後いわゆる Linde-Frenkel 法によつて安価な酸素が工業的に大量製造できるにおよんで、製鋼法への酸素の利用はさらにクローズアップされ、トーマス転炉をはじめとして数多くの試みがなされ一部好成績を得ることもできたが著しい発展はみられなかつた。

しかしながら、1930年(昭和 5 年)頃から始つた Dürer および Schwarz らの純酸素の使用についての研究に端を発して、第 2 次大戦後にいたつてようやく LD 法の研究がオーストリーにおいて取り入れられ Voest (Vereinigte Österreichische Eisen- und Stahlwerk, Linz) および Öamg (Österreichische Alpine Montangesellschaft, Donawitz) で共同研究が進められ製鋼法における純酸素利用の暁を迎えたわけである。すなわち、まず 1949 年(昭和 24 年) 6 月 Voest 社の 2t 炉で最初の吹錬に成功し、ついで Alpine 社で 5t および 10t、Voest 社でさらに 15t の試験炉によつて大規模な試験が行なわれたがこれらの一連の試験によつて純酸素転炉法の原理の正しさが十分立証され、さらに 1952 年(昭和 27 年) Voest 社で 30t 炉 3 基、28 年 Alpine 社で

同じく2基の純酸素転炉の本格的操業が開始された。

かくしてLD法がオーストリーにおいて平炉銑を対象として実現した結果は正に期待通り革命的ともいふべき製鋼法となつて現われたのである。すなわち従来の転炉鋼の問題点であつたP, N, Oの含有量を平炉鋼に比して遜色ないどころか、むしろ低い範囲に入れることを可能にしたのである。LD転炉はなかば密閉された梨型の炉内に主原料たる溶銑および屑鉄を装入し、比較的深い鋼浴を作り上方より水冷ランスを用いて浴面から離して超音速で純酸素のジェットを流し、酸素を直接鋼浴に対して高効率で反応せしめて高速精錬を行なうことを原理としているものである。

一般にいわれているようにLD法がその特長とする点は、化学反応の進行がきわめて急激で低炭素鋼の吹錬に適すると同時に、吹錬に流動性のよい鋼滓を形成し脱磷と脱炭が同時に最初から起こり場合によつては高炭素の範囲に吹錬を止めても脱磷、脱硫が十分完了していること、すなわち高炭素鋼を容易に製造する可能性があるということである。また、溶鋼中の含有される酸素は非金属介在物ないしは地氈の点で最も注意を要するものであるが、LD法においては原理的に鋼滓中の(FeO)のポテンシャルに頼らぬ直接酸化法を主としていることとCOの盛んな発生による還元雰囲気醸成を期待出来、かつ純酸素を使用するにもかかわらず鋼浴の脱酸が行なわれてかえつて酸素の低い鋼ができるという利点がある。

一方これに刺激を受けてRotor法およびKaldo法などが相ついで出現したが、主としてこれらの製鋼法はトーマス銑を処理する酸素製鋼法として世に出たものである。また、トーマス銑に対する純酸素製鋼法は長年の研究の結果、粉石灰を吹込むLD-AC法ないしはOLP法あるいはまた二重鋼滓法として完成されているがいずれにしても転炉製鋼法の進歩は純酸素を100%使用するLD法によつて代表されるといつても過言ではあるまい。

この間わが国の製鋼界の状況はどうであつたかという点、前述のヨーロッパにおいて研究されつつあつたLD法にいち早く着目して昭和27年頃より日本鋼管および八幡製鉄が試験を実施し、将来このLD法がわが国の鉄鋼界の発展ならびにわが国経済に大きな貢献をすることを認め昭和31年2月、日本鋼管が窓口となりオーストリーのAlpine社と技術導入契約を結び、昭和32年9月より八幡製鉄・洞岡の50t炉および昭和33年1月より日本鋼管・川崎の42t炉の操業が開始されたのである。これはオーストリーにおいて世界最初のLD転炉が本格的操業を開始して以来わずか5年弱の年月を経たにすぎず、その後わが国においては急速に本法が採用され、後述のごとくついに昭和38年にはこのLD法による粗鋼生産量は世界第一位を占めるにいたつたのである。

2.3.2 最近のLD法製鋼技術の展望

(1) 生産性の増大

LD法は、その優秀性のゆえにいまや代表的な製鋼法の一つとして確固たる地位を築きつつある。特にわが国

においては同法の有する利点中特に原料面での適性、操業上の利点などがわが国に最適かつ将来の発展に有望な条件であるため早くから注目され世界的にもかなり早い時期に導入され27年より稼動されるや折しも、第2次合理化計画とあいまつて製鋼部門合理化の基準路線はLD法に置かれ、各社とも相ついでLD転炉を新設稼動させた。その結果わが国の昨年のLD鋼生産高は1,205万tの数字を示し、2位の米国の775万tを引き離して転炉の保有基数、能力とも世界第1位となり世界のLD製鋼能力の27%を占めるにいたつている。また、昨年の粗鋼生産量において占めるLD鋼の割合をみると日本は38.2%で、オーストリーの62.7%、オランダの60.1%に次ぐ高い比率を示しており²⁾、さらに現在建設中のLDプラントを加えることによつて一両年中にLD鋼は平炉鋼をはるかに押えて粗鋼生産の過半を占めるものと思われる。なお、これらの概況をまとめると図2.3.1³⁾の通りである。

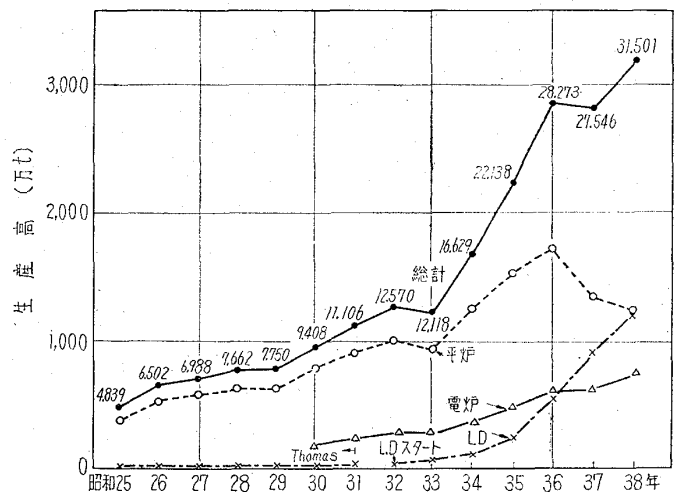


図 2.3.1 日本における鋼生産高 (平炉, 転炉, 電気炉の内訳)

1) LD鋼の生産量増大理由についての考察

前述のごとくLD法が特にわが国においていち早く栄えたということは、まず第一に第2次大戦後の復興に基づく急速な経済成長を基盤として鉄鋼需要の増大とこれに対する各社の爆発的な生産計画および第2次合理化計画の遂行という経済的背景のもとに、わが国鉄鋼業の輸入鉄屑に対する依存度が諸外国に比して非常に高いという原料事情の特殊性とあいまつて、LD転炉の生産性、設備費、経済性、製品の品質の優秀性等の利点によつて今日の地位を築くにいたつたと考えられる。

すなわち、現代製鋼法の特長としてまず挙げられるのが生産性の問題であつて、一般に製鋼炉の生産性は、各製鋼法における溶解時間に反比例し設備の利用可能性(炉体寿命、炉修、保全などに関係する)に正比例するといわれ、概算によつてたとえば低磷銑による低炭素鋼の生産能力1t当りの各製鋼法の年間生産量を示すと表2.3.1(a)⁴⁾の通りである。したがつてこれをもとにして計算すると1基当り年間50万tの生産能力を得るためのヒート・サイズを示すと表2.3.1(a)⁴⁾の通りであ

るが、わが国の場合はいずれの製鋼法においてもこれらの数値よりもはるかに好成績を示すがここで注意すべきことは当然次工程の設備能力、たとえば均熱炉能力などとの相関が問題となるわけである。

また各種製鋼法の労働生産性とそれに対する人力所要量について一例を示すと表 2.3.1(a)⁴⁾ の通りである。

次に各種製鋼法の設備費については数多くの文献がありさまざまな評価を受けているが、ここに一例として年間 100 万 t の平炉工場の設備費を 100 とした場合の各種製鋼法について相対的設備費を表 2.3.1(b)⁵⁾ に示す。

生産費については、これもいくつかのデータが発表されているが、原料、燃料エネルギーの価格は国ごとに、また国内でも相違しているのだからかなり普遍的でないものもあるが、一般的な例として国際連合のデータを使用して各製鋼法の実費を表 2.3.1(c)⁴⁾ に示す。

また、これに関連して製鋼法の一つの重大な特性として処理される原料と生産される鋼の品種構成に対する柔軟性の問題であるが、これについても LD 転炉は十分満足し得ると考えられ、他の製鋼法に比してきわめて有利であると断定されてきたわけである。

しかし何といても LD 法が今日の地位を築くに当たり、最大の魅力は非常に高度な生産性と経済性に負うところが大きいといえよう。

2) LD 転炉における生産性の増大

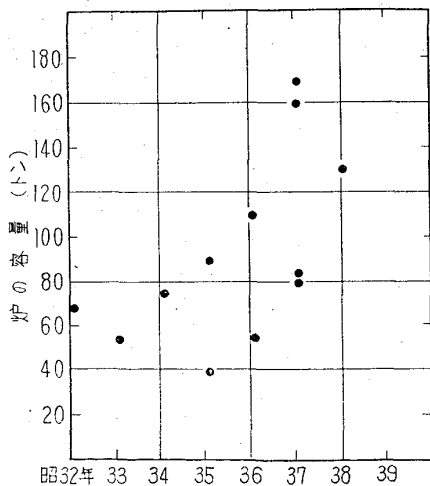
一般に生産性を増大する方法としては製鋼炉(工場)の増設および炉容の大型化、あるいはまた同一製鋼炉における生産能率の向上と製鋼歩留の改善という二つ

の面が考えられ、前者についてはすでに述べた通りである。

炉容の拡大については、炉容が生産性 (t/hr) に大きな影響を持ち、さらに大容量になることによつて操業費の大幅な切下げが期待出来、近年ますます大型化の傾向にありこの間の状況は図 2.3.2(a) に示す通りである。また世界における LD 転炉の炉容分布を示すと図 2.3.2(b) の通りで一般に炉容の大型化によつて多くの効果が

表 2.3.1 各種製鋼法の比較
(a) 各種製鋼法の比較 (国際連合, 1962)

製 鋼 炉	能力 t 当りの年間生産量 (t)	年間50万 t を生産するヒートサイズ (t)		労働生産性	
		低磷鉄	高磷鉄	t/man/hr	指数
平 炉	900~1000	415~500	500~550	0.5	100
電 気 炉	冷 材	1500~2000	250~335	—	80
	予備精錬鉄	2500~3000	165~200	165~200	0.35
	溶 鉄	2500~3000	165~200	200~250	0.35
L D 炉	7000~9000	55~70	17~83	0.28	56
カルド 炉	5500~7500	66~90	85~100	0.33	66
ローター 炉	5000~6000	85~100	100~125	—	—
ト ー マ ス 炉	酸素富化	—	—	55~62	0.25
	蒸気・酸素	—	—	62~70	—
	酸素・CO ₂	—	—	62~70	—
LD-AC, OLP	—	—	—	0.31	62



(a) 日本における LD 転炉の建設年次別炉容の推移

(b) 世界の純酸素転炉の炉容分布 (1963)

炉 容 (t)	~50	51~100	101~150	151~200	200~	合 計
基 数	57	59	54	11	13	194

(1964 年計画分を含む)

図 2.3.2 LD 転炉の炉容について

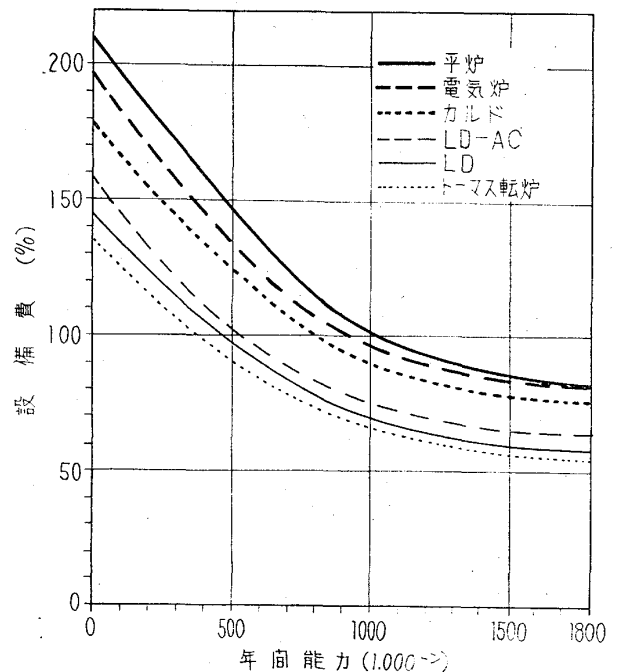


表 2.3.1
(b) 各種製鋼法の相対的設備費の比較 (BoT パンフレット)

表 2・3・1 (C) 各種製鋼法の生産費 (単位: 1t 当り円および百分比)

(a) 1 低 磷 銑			平 炉				LD					
項 目	単 位	価 格 円/t	標 準		酸素吹込み		70-30		75-25			
			70-30		50-50		70-30		75-25			
			使用量	価 格	使用量	価 格	使用量	価 格	使用量	価 格		
平 炉 銑	ton	19,200	0・749	14,380	0・535	10,372	0・801	15,379	0・788	15,129	0・847	16,262
屑 鉄	ton	11,692	0・321	3,733	0・535	6,255	0・343	4,010	0・340	3,944	0・283	3,282
仕 上 材	kg	58	8・0	464	8・0	464	10・0	580	7・0	406	7・0	406
計	ton		1・078	18,597	1・078	16,921	1・154	20,089	1・135	19,637	1・137	20,120
%				100		90		107		105		107
鉄 鉱 石	kg	3	80	240	60	180	20	60	—	—	—	—
フラックス			—	200	—	160	—	200	—	167	—	167
酸 素	m ³	4	30	120	25	100	50	200	50	200	50	200
加 工 費			—	3,775	—	3,866	—	3,633	—	2,355	—	2,355
燃 料	kg	58	110	6,380	125	7,250	50	2,900	—	—	—	—
電 力	kWh	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
電 極	kg	200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
労 本 力 費			—	640	—	640	—	640	—	375	—	375
(12%)			—	1,202	—	1,202	—	902	—	601	—	601
合計 (円)				24,204		22,557		25,084		22,960		23,443
%				100		93		103		94		96

(a) 2 低 磷 銑			カ ル ド		電 気 炉							
項 目	単 位	価 格 円/t	70-30		55-45		冷 銑 装 入		溶 銑 装 入			
			70-30		55-45		冷 銑 装 入		直 装	予 備 精 鍊		
			使用量	価 格	使用量	価 格	使用量	価 格	使用量	価 格	使用量	価 格
平 炉 銑	ton	19,200	0・758	14,558	0・611	11,733	0・054	1,036	0・723	13,881	0・797	15,301
屑 鉄	ton	11,692	0・325	3,770	0・450	5,220	1・023	1,761	0・310	3,596	0・342	3,967
仕 上 材	kg	58	6・0	348	6・0	348	5・0	290	5・0	290	5・0	290
計	ton		1・089	18,826	1・067	17,421	1・086	13,287	1・038	17,912	1・144	19,718
%				101		93		72		96		105
鉄 鉱 石	kg	3	55	165	—	—	10	30	120	360	20	60
フラックス			—	167	—	167	—	100	—	167	—	233
酸 素	m ³	4	60	240	50	200	10	40	—	—	30	120
加 工 費			—	2,739	—	2,739	—	5,600	—	4,902	—	3,633
燃 料	kg	58	—	—	—	—	—	—	—	—	10	580
電 力	kWh	5	—	—	—	—	55	2,750	450	2,250	250	1,250
電 極	kg	200	—	—	—	—	5・5	1,100	4・5	900	3・0	600
労 本 力 費			—	442	—	442	—	534	—	467	—	467
(12%)			—	701	—	701	—	902	—	601	—	701
合計 (円)				22,835		21,228		19,959		23,942		24,465
%				94		88		83		99		101

表 2.3.1 (C) のつづき

(b) 1 高 燐 鉄			平 炉		ト ー マ ス						OLP, LD-AC, LD-ポンペイ	
			使用量 価 格		酸 素 富 化		O ₂ +H ₂ O		O ₂ +CO ₂		70-30	
					使用量	価 格	使用量	価 格	使用量	価 格	使用量	価 格
トーマス鉄	ton	16,704	0.745	11,975	0.906	14,563	1.092	17,552	1.092	17,552	0.781	12,553
屑 鉄	ton	11,692	0.319	3,729	0.227	2,654	0.057	660	0.057	660	0.334	3,905
仕上材	kg	58	8.0	464	10.0	580	10.0	580	10.0	580	7.0	406
計	ton		1.072	16,168	1.143	17,797	1.159	18,792	1.159	18,792	1.122	16,864
%				100		110		118		118		104
鉄 鉱 石	kg	3	90.0	270	—	—	—	—	—	—	—	—
フラックス			—	417	—	467	—	542	—	542	—	400
酸 素	m ³	4	35.0	140	25	100	50	200	45	180	55	220
加工費			—	4,844	—	2,664	—	2,764	—	2,939	—	2,547
燃 料	kg	5	14.0	700	—	—	—	—	—	—	—	—
電 力	kWh	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
電 極	kg	200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
労 力			—	868	—	334	—	334	—	334	—	409
資 本 (12%)			—	1,513	—	501	—	551	—	601	—	651
合計 (円)				23,342		21,529		22,849		23,054		20,682
%				100		93		99		99		89

(b) 2 高 燐 鉄			OLP, LD-AC, LD-ポンペイ		カ ル ド			電 気 炉				
			75-25		70-30		55-45		直 装		予 備 精 錬	
			使用量	価 格	使用量	価 格	使用量	価 格	使用量	価 格	使用量	価 格
トーマス鉄	ton	16,704	0.837	13,453	0.753	12,103	0.607	9,756	0.722	11,605	0.791	12,714
屑 鉄	ton	11,692	0.279	3,262	0.323	3,776	0.496	5,999	0.309	3,612	0.339	3,963
仕上材	kg	58	7.0	406	6.0	348	6.0	348	5.0	290	5.0	290
計	ton		1.123	17,121	1.082	16,209	1.109	15,903	1.036	15,507	1.135	16,967
%				106		100		98		96		105
鉄 鉱 石	kg	3	—	—	55	165	—	—	140	420	20	60
フラックス			—	417	—	400	—	330	—	400	—	400
酸 素	m ³	4	55	220	60	240	55	220	—	—	35	140
加工費			—	2,547	—	2,739	—	2,739	—	5,696	—	3,633
燃 料	kg	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
電 力	kWh	5	—	—	—	—	—	—	480	2,500	250	1,250
電 極	kg	200	—	—	—	—	—	—	5	1,000	3	600
労 力			—	409	—	442	—	442	—	467	—	467
資 本 (12%)			—	651	—	751	—	751	—	701	—	751
合計 (円)				20,956		20,502		19,943		22,624		21,951
%				90		88		85		95		94

(国際連合, 諸製鋼法の比較, 1962)

得られるが、炉容の大型化はその反面製鋼工場およびその前後の工程条件すなわち立地条件、原料事情、鋼塊サイズ、均熱炉能力さらには製品需要のロットの大きさなどにも関係し転炉のみによる大型化は考えられずおのずからある制限が付随してくるのが常である。さらに炉容の大型化において無視し得ぬ条件として付帯設備の問題があり、これら転炉を支える機械工業、電気工業などの技術水準の向上が重要であつて、これら環境条件の進歩によつて炉容の大型化は進むものと思われる。参考として日本および米国のいくつかのLD転炉につき鉄皮プロフィールとその大きさを示すと図2・3・3の通りである。

次に同一プラントにおける生産性および能率を向上させる要因としては、一般に表2・3・2の関係が考えられる。まずチャージ当りの製鋼量増加の問題であるが、同

一鉄皮内容積のもとで煉瓦積の厚さをうすくし、あるいは煉瓦積のプロフィールを変更することによつて煉瓦積後の炉内容積を拡大する方法も考えられ、これによつてt/chの増加に成功している例が多く、1チャージ当り約30%の増加を得たという報告もある。一般に炉体の煉瓦積内容積と装入量の関係は0.8m³/tが適当といわれているが近年この数値は徐々に小さくなりつつあり0.6m³/t程度のもも見受けられるが、この点に関しては作業性、吹錬性などの面から考えて今後さらに十分検討を加える余地があるものと思われる。既存の炉体に対して炉容の拡大を行ないチャージ当りの製鋼量を増加させる場合は、いずれも操業条件特に噴出あるいは炉体傾動装置、起重機、原料、造塊、(鋼塊単重と鑄込み本数とに關係する)あるいは廃ガス処理設備などに関係し単

表 2・3・2 生産性 (能率, 歩留) の向上対策

	対 策	内 容	方 法
生 産 性 (能率, 歩留) の 向 上	1. 1ch の製鋼量の増加	1) 増装入	レンガ積内容積の検討 増装入に伴う付帯事項の検討
	2. 製鋼時間の短縮	1) 原料装入時間 2) 吹錬時間 3) 滓絞り(サンプリング) 間時 4) 出鋼時間の短縮	1 杯 装 入 高圧吹錬, ランス, ノズル 適正出鋼口の検討
	3. 非製鋼時間の短縮	1) 分析時間 2) 炉口手入れ, 口元付着地 金取り 3) 炉体補修 4) 出鋼口取替時間	地金飛散防止, 地金取りの検討 耐火物の改良 スリーブ煉瓦の改良
	4. 作業時間の延長	1) 修理時間の短縮	吹錬方法ランスノズル酸素圧力 ランス高さ装入原料の管理
	5. 歩留の向上	1) 噴出防止 2) 地金飛散防止 3) (TFe) の減少 4) 鋼滓量の減少 5) 残塊不良鋼塊発生の減少	炉体プロフィール 高圧吹錬ランスノズル 石灰配合

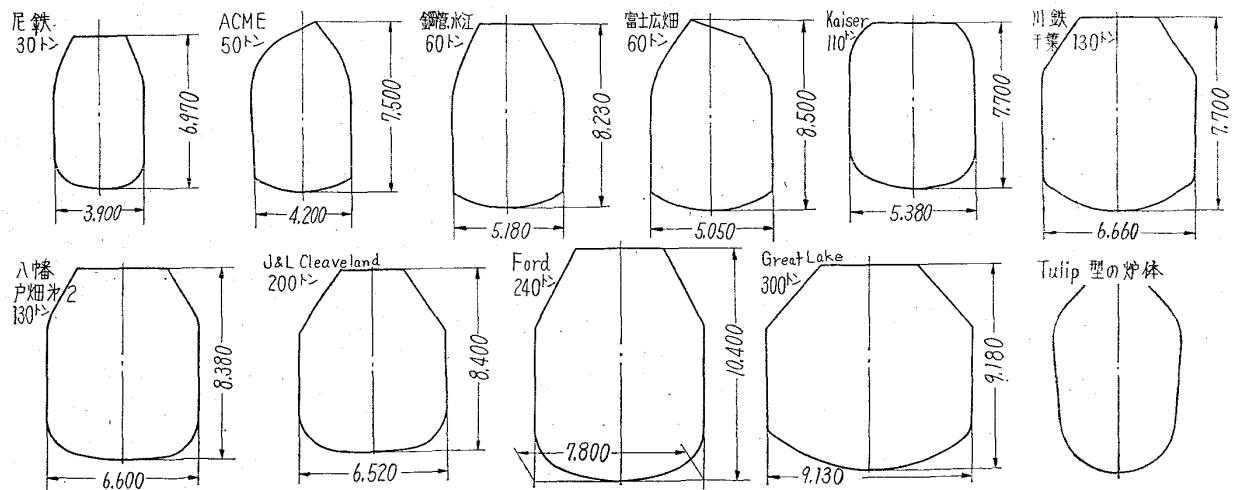


図 2・3・3 世界の LD 鉄皮形状の比較 (縮尺約 1/400)

独では決定し得ない問題が多い。

製鋼時間の短縮については、原料装入時間、吹錬時間出鋼時間その他の短縮が考えられる。一般に吹錬時間の長短については、溶銑、屑鉄の使用量および成分などの原料事情によつても左右されるが、これらが一定の場合にも最も大きな影響をおよぼす要因は単位時間に供給される酸素の流量であつて、酸素流量を決定するものは噴射前の酸素圧力、ランス、ノズルの径および形状等である。今後さらにこれらの効率を最大とするためには酸素ジェットはよる鋼浴の酸化機構についても十分検討する必要がある。

また非製鋼時間の短縮に関しては、吹錬中の噴出による口元付着地金（ベレーン）除去および出鋼口取替の所要時間が特に問題である。前者については吹錬中の噴出を少なくし、かつベレーン付着量の少ない炉口構造あるいは耐火物の研究およびベレーンの除去方法などについての改善が必要であつて、これらについては最近多孔ノズルのランスを使用して効果を上げている場合が多い。また後者については、出鋼口用スリーブ、レンガの改良が急務であるが構造的に外挿式出鋼口等によつて解決はかつている例もある。

以上 LD 法における生産性の増大について概要を述べたが、前述のとおり LD 鋼の生産量は一層の上昇がみられるであろうし、また各社とも生産性の向上について検討を加えているので今後さらに生産性は向上されるものと思われる。また、炉容の拡大についてはわが国でもさらにその平均値が上昇するものと思われるが、検討すべき点も多い。今後の問題として 3 基整備 2 基稼動における生産性の向上についても興味があろう。

(2) 多孔ノズル・ランスについて

LD 法における多孔ノズル・ランスについては日本において他国にさきがけてその適用が考えられ昭和 37 年ごろから八幡製鉄、川崎製鉄などの大型転炉において採用され、現在国内ではほとんどの LD 工場で採用もしくは試験されており、諸外国においても漸次多孔ノズル・ランスが採用されている傾向にある。

1) 多孔ノズルの概要

かえりみるに鋼浴上から酸素を鋼浴面に吹きつけて急速な精錬反応を起こさせる LD 転炉の発明に大きな貢献をなしたのはランス・ノズルの研究であつて、それは鋼浴面に衝突エネルギーを与えるため超音速で酸素を噴射させるように次第に細まりつぎにひろがるようなラパール管をランス先端の構造にとり入れ、酸素を 1 コのノズルから噴射して鋼浴の表面に垂直に衝突させる方法によるものである。この単孔ノズル・ランスにより従来の底吹転炉にみられなかつた画期的な精錬が行なわれ、LD 法はめざましく進展したが酸素ジェットによる鋼浴の運動ならびに反応機構については残念ながらもまだ本質的解明が十分なされていない。

近年転炉の容量が大型化するにつれて酸素の通入方法が問題となつてきた。すなわち、転炉の炉容が大型化し高能率を得ようとすれば当然時間当たりの送酸量を増加する必要を生ずるが、単孔ノズルで吹錬する場合には鋼浴面における狭い火点 (Fire Spot) で酸素の授受が行なわれるため高圧で大量の酸素を噴射することによつて

炉底の損傷および吹錬中の噴出現象が増加し、かえつて能率の低下をきたす場合が多い。またランス高さを上げたりあるいはまた低圧で酸素を噴射させる方法については、酸素ジェットのエネルギーが減少し本来の LD 法の特徴が失なわれるので従来の単孔ノズルの使用にはある限度を生じてきた。そこで鋼浴面における火点を広くするため単孔ノズル・ランスを数本同時に使用する試みもなされたが設備上に難点があるので 1 本のランスにかような効果をもたせるべく開発されたのがいわゆる多孔ノズルである。

すなわち多孔ノズル・ランスにおいては酸素をランス先端で分流し数個のノズル（普通 3 孔）から分散させて噴射する方法であつて、単孔ノズルと多孔ノズルを比較すると同じ送酸条件においては多孔ノズルの方が鋼浴面の火点面積が大きく、酸素ジェットの鋼浴中への浸入深さは少なく、したがつて鋼浴面での単位面積当たりの酸素ジェットエネルギーは小さくなりいわゆるソフト・ブローの傾向になるといえる。しかしながら多孔ノズルを使用することによつて吹錬中の溶鋼の攪拌運動が変化し吹錬性が改善されるのは大きな特徴の 1 つであり、これは酸素が鋼浴にある角度をもつて衝突することによるためか、あるいは火点が広がるためか不明な点が多く今後理論的に解明すべき問題である。また多孔ノズル・ランスの先端形状について一例を示すと表 2・3・3 のとおりであつて、図中 θ および d は種々試験されているがその値は工場の条件によつては影響されるので必ずしも各社一定の値ではない。つぎに多孔ノズルによる吹錬上の効果は大要下記のとおりである。

2) 噴出の減少と製出鋼歩留の向上

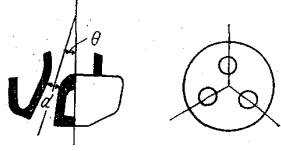
一般に吹錬中の噴出物は 1 つは炉口煉瓦上に堆積（ベレーン）し 1 つは炉外に飛散して炉下に堆積するので、しばしばこれらを除去するために作業が中断される。また噴出の際に若干の地金が同時に炉外へ持ち去られるので歩留の低下をきたすが、多孔ノズルの採用により一例をあげると表 2・3・3⁶⁾ のごとくその値は改善されて製鋼能率の向上に寄与していることがわかる。

吹錬中の噴出については、多孔ノズルを使用する場合になぜ少ないかということは興味のある問題であつて、これまで模型実験⁶⁾ などによつて検討されているがその機構については不明な点が多い。噴出には通常スロッピングとスピittingの現象があり、前者は主として化学反応と関係し、後者は酸素ジェットの鋼浴との衝突によつて起こる物理的なものに関係すると考えられる。スピittingの検討には水と空気を用いた模型実験から関係式を求め、スロッピングについては NaHCO_3 (鋼浴)、パラフィン (滓)、 HCl (酸素ジェット) などを用いて模型実験が試みられている⁶⁾ が総合的な解明にはいたっていないようである。

3) 吹錬時間の短縮および熱効率の向上

多孔ノズルにおいては同じ吹錬条件で単孔ノズルと比較した場合ソフト・ブローになり、通入酸素量のうち鋼浴から発生する CO の二次燃焼に消費される割合が増加すると考えられ、同じ送酸量ならばその効率から考えて当然酸素使用量は増加し、吹錬時間も延長されるが前述のとおり歩留の向上により結果としては良塊トン当た

表 2・3・3 多孔ノズル・1孔ノズルの比較

	ノズルタイプ	Throat dia mm φ	孔 数	ノズル孔の傾き	多孔ノズルの一例
多孔ノズルの Throat dia, 孔数ノズル孔 の傾き角 (θ) (川鉄千葉)	A	35	3	8	
	B	35	3	5	
	C	35	3	10	
	D	27	6	8	
	E	30	4	10	
	F	38	3	8	

No.	ノズル区分		多孔ノズル				1孔ノズル				
	項 目		単 位	スロッピング	スピitting	スロッピング	スピitting	スロッピング	スピitting		
1	ノピインズル別・スビロツテ	噴出の程度	大	7	0	9	3				
			中	31	16	34	26				
			小	88	98	62	76				
			ナシ	34	46	4	4				
			備考	35φ×3×8" (川鉄)				60φ (川鉄)			
			備考								
2	鋼歩留の差	製出鋼歩留	%	A社 n 158	B社 n 58	A社 n 110	B社 n 52	93・33	93・47	91・96	92・75
			備考	A社 C=0・04% 以下を除く, リムド鋼 B社 低炭キャップド鋼 (C=0・05%)							
3	ノ理要別噴出物比較	ベーレン除去	%	0・97				3・41			
		ランス地金去	%	0・03				0・10			
		炉下清浄	%	0・29				0・78			
		計	%	1・29				4・29			
		備考		休止時間/稼働歴時間 (%) (八幡)							
4	ノ熱酸の差 ズル率効 別・率	熱効率	%	85・1				82・6			
		酸素効率	%	95・6				93・0			

りの酸素原単価はほとんど差がないといわれる⁹⁾。熱効率の問題については、炉内の二次燃焼の増加により表2.3・3⁹⁾のとおり熱効率の向上が期待され屑鉄の配合率を増すことも可能である。また、廃ガス中のCO濃度が低下することにより、廃熱ボイラ内での発熱量が減少するのとあいまって、噴出が減少してペーレンの付着が減るので送酸量をさらに増すことが可能で、その結果吹錬時間の短縮を行ない得る。

4) 脱磷反応

多孔ノズルは一般に前に述べたとおり単孔ノズルに比べてソフト・ブローになることから鋼滓中の(T. Fe)は概して2%程度高い⁷⁾が、高炭素鋼を吹錬する場合にはむしろ脱磷反応が促進されて有利であることも考えられる。

5) 多孔ノズルにおける今後の問題点

すでに述べたように多孔ノズルは多くの利点を有してはいるが単孔ノズルのごときハード・ブローが得がたいために極軟鋼を吹錬する場合には脱炭効率が低下して鋼滓中の(T. Fe)の増加による鋼浴の過酸化が起きやすくなることおよび炉体耐火物の損傷が多くなるという欠点をあわせてもっている。このためランス高さを下げてハード・ブローを得ようとするランス先端において熱影響による溶損を生じランス先端の寿命の低下をきたす場合も考えられる。したがって今後の多孔ノズルの研究にあたっては、まず吹錬条件確立のための本質的解明が急務であつて、それとともにノズル先端の十分な水冷構造ならびに耐熱性材料の使用などの問題も必要であると思われる。

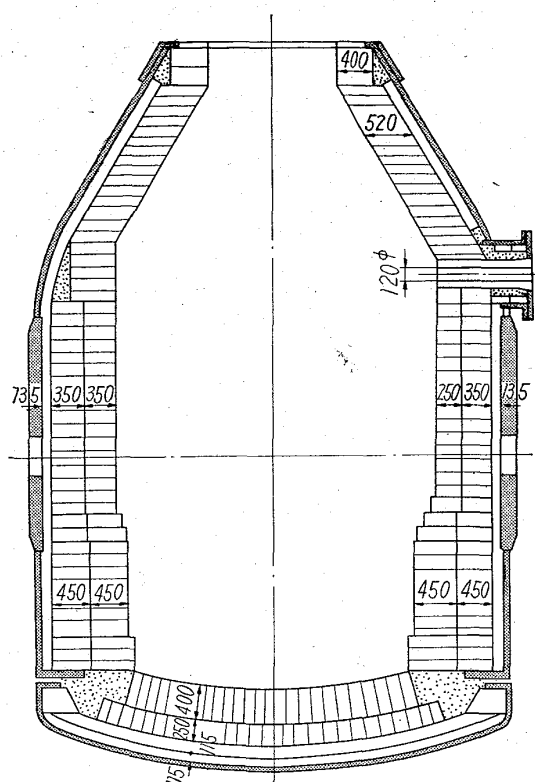
(3) 転炉耐火物

LD転炉の内張耐火物の寿命は、煉瓦材質のほかに煉瓦積の設計、操業方法、製造する鋼種によつて影響されその寿命はそれぞれの工場によつて差異があり、また炉の各部分の損傷度に応じて煉瓦の品質および煉瓦積の厚さが工夫されている。従来の塩基性製鋼炉ではマグネシア系耐火物が多く使用されているが、LD転炉の場合には鋼滓に対しマグネシア耐火物はペリクレーズは強いがマトリックス部分が弱いので使用中構造的スポーリングを起こしやすく、そのためにマトリックス部分を強化せねばならないといわれている¹⁰⁾。一方ドロマイト系耐火物は耐消化性に難点があり、またペリクレーズ含有量が少なく耐火度が低いにもかかわらず低溶融物を生ずるような不純物が少ないのでLD転炉に用いて良好なる成績が得られるものと思われる。

日本においてはドロマイトの埋蔵量が豊富であり、また近年海水から高純度のマグネシアクリンカーが得られるようになってドロマイト系耐火物の材質は著しく進歩した。以下簡単に最近の転炉耐火物について概要を述べる。

1) 煉瓦積の設計

LD転炉の煉瓦積は一般に図2.3.4のごとく炉殻外板に接する部分に焼成マグネシア・煉瓦で permanent liningを行ない、その内側に炉修理ごとに更新する wear liningがあり、その間をカラ目地の場合とスタンプ層を設ける場合とがある。そのプロフィールを決める場合には一般につきの3点に考慮する必要がある。



転炉煉瓦積の一例

各社LD炉の耐火物と炉寿命

工場名	炉容量	炉寿命	使用耐火物
日本鋼管 川崎	42 t	300~380	ベーキング煉瓦
〃 水江	60 t	300~360	〃
〃 鶴見	60 t	500~600	〃
八幡洞 岡	50 t	400~450	ベーキング煉瓦+焼成ドロマイト煉瓦
〃 戸畑第1	60 t	350~400	〃
〃 戸畑第2	130 t	350~400	〃
富士鉄 広畑	60 t	350~480	ベーキング煉瓦
〃 室蘭	70 t	230~380	〃
川鉄 千葉	130 t	280~350	〃 + 焼成ドロマイト煉瓦
住友 小倉	40 t	400~480	ベーキング煉瓦+焼成ドロマイト煉瓦
〃 和歌山	120 t	400~450	ベーキング煉瓦
尼崎 尼崎	30 t	560~670	タールマグネシア煉瓦
神鋼 灘浜	60 t	500~620	ベーキング煉瓦+焼成ドロマイト煉瓦

図2.3.4 LD炉の耐火物

- イ 吹錬上好ましい炉内容積
- ロ 吹錬性のよい鋼浴形状になるように湯留部分の厚さの決定。
- ハ 使用後の煉瓦残存厚さが、ほぼ一樣になるように各部分の損傷度に応じた煉瓦材質と厚さの決定。
- ニ 施工が容易であり、また煉瓦種類が多くならな

いような煉瓦割の決定.

また、通常最も耐火物が損傷を受けるのはつぎの個所である^{9,11,12}。

- イ 屑鉄を装入する際の衝撃により、装入物の落下場所 (テーピッチ) の機械的損傷.
- ロ 鋼滓により、倒炉時のスラグラインの化学的侵蝕,
- ハ 吹錬中の廃ガス、および噴出物 (ベーレン) 除去の際の炉口煉瓦損傷.
- ニ 出鋼の際の出鋼口煉瓦の溶損
- ホ 吹錬中の酸素ジェットによる炉底部分の侵蝕

2) 煉瓦の損傷と操業との関係

屑鉄の装入 転炉に装入する屑鉄の形状、量により落下場所 (テーピッチ) の受ける損傷が影響されるわけで、テーピッチ用の煉瓦は使用状態における熱間強度の大きいものでなければならず、焼成煉瓦よりもタールボンド煉瓦が適当であるといわれる。しかし装入方法の改善もきわめて重要であつて¹³、補助的手段として、滓および石灰によるクッションも効果的であるといわれる。

滓の組成 煉瓦は鋼滓中の酸化鉄の透過により低融物を形成し、溶損されるので^{14,15,16}、鋼滓中の (T-Fe) が増加すれば、炉寿命は著しく低下する。(T-Fe) は吹錬終点における [C] と密接な関係があり、したがって製造する鋼種と炉寿命とは最も明瞭な関係があるといえるが、一方、再吹錬を行なうことによつても (T-Fe) が増加するので、吹錬作業の管理は煉瓦寿命にとつても重要な要素であるといえよう。

また、鋼滓の塩基度の増加について一般に炉寿命は延長するが、塩基度の高過ぎる場合は鋼滓量も増加し、また吹錬上の弊害も生ずるので好ましくない。

また、溶銑の Si も高過ぎる場合には炉寿命は低下する。耐蝕性を強化した煉瓦をスラグラインに使用することは必要で、これには滓にぬれないために炭素結合の煉瓦も^{17,18} 使用されている。

炉の稼働率 転炉の加熱、冷却を頻繁にくり返すとスポーリングにより炉寿命は低下し¹⁹、転炉の稼働率と炉寿命との間には一般に有意な相関関係が生ずる。これを防止するためには炉体の冷却をできるだけ避ける必要があり、休止中積極的な保熱方法をとることによつて相当な効果を上げている例もある。

噴出 転炉吹錬中に炉口から滓および若干の地金が噴出し、これが炉口煉瓦上に堆積され、いわゆるベーレンとなるがこれを取り除くときに炉口煉瓦はしばしば損傷を受けるので噴出を少なくするように吹錬上留意せねばならないが、一方堆積物が容易に剥離するような煉瓦が望まれるわけである。一般にドロマイト系耐火物はベーレン剥離性が悪く、これに代わつて一部では黒鉛煉瓦が使用され、その効果が確認されているが、熱伝などの良好なことから炉殻鉄皮の過熱、急冷による煉瓦亀裂の発生などが考えられるので、なお改良の余地があるものと思われる。

熱間補修 転炉寿命の延長に有効であつて、特に局部溶損に対して効果が大きく、補修材としては、一般にタール結合のドロマイトペーストを投入使用するが、最近では吹付機 (キャスター・ガン) により、石灰の消化し

ない 550°C 以上の炉壁温度でドロマイト系補修材を水とともに吹付け修理することも行なわれ、補修時間が短縮され、一層効果的となつた。

3) 耐火物の使用実績

純酸素転炉用耐火物の材質として Wear lining に現在使用されているものは大要つぎのとおりである。

- イ タールマグネシヤ煉瓦……
(Tar magnesite brick)
- ロ 焼成ドロマイド煉瓦………
(double burned dolomite brick)
- ハ 半安定ドロマイド煉瓦………
(dolomite baking brick)
- ニ 特殊煉瓦

表 2.3.4 各種煉瓦の性質

	タールマ グネシヤ	焼成ドロ マイド	ベーキング ドロマイド	焼成マグ ネシヤ	
嵩 比 重	2.80 ~2.95	2.80 ~2.95	2.80 ~2.95	3.01	
比 孔 率	5.0~9.0	13.5 ~17.5	5.5 ~9.0	16.6	
圧 縮 強 さ	300~500	650 ~1000	800 ~500	1000	
荷重軟化温度	1700<	1700<	1700<	1700<	
化 学 成 分 %	Ig. loss	5.5~7.0	0.1	5.0~6.5	0.44
	SiO ₂	4.0~6.0	9.1	2.5~3.5	0.98
	Fe ₂ O ₃	0.5~2.0	3.8	2.5~4.0	7.79
	Al ₂ O ₃	1.5~3.0	1.5	1.0~2.5	0.82
	CaO	1.0~2.5	20.9	30~36	2.41
	MgO	77~86	64.5	48~55	87.31

わが国の原料事情から、埋蔵量の多いドロマイドを使用することは有利であるが湿度の高い日本では耐消化性に難点があり、表 2.3.5 の例に示すごとく、わが国の

表 2.3.5 日本と外国とのドロマイト
クリンカーの化学成分の比較

会社名	化学成分				
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
Dofasco	1.0	4.5	—	54	34~35
Kaiser	1.0 ~1.5	5.5	—	56~58	36~38
日 本 鋼 管	0.4 ~1.0	5.0	0.8	60~62	30~32
J & L	—	—	—	53	37

ドロマイド・クリンカーは一般に MgO が低く CaO が高いのが普通である。この耐消化性ならびに耐侵蝕性を改善するために SiO₂ を安定化成分とした安定ドロマイトクリンカーにマグネシヤクリンカーを加えて高温焼成した焼成ドロマイド煉瓦が開発されたが、高価な煉瓦となり、また、それだけの耐用回数を得られないので部分的に使用するにとどまっているのが現状である。しかるに酸化鉄を添加して硬焼したドロマイトクリンカーに高純度のマグネシヤクリンカーを加えて結合タールが炭

化する程度の温度でいわゆるベーキングした煉瓦は耐消化性においてやや不安定ではあるが耐侵蝕性が改善され価格も低廉なので近時急速な発展をみている。

しかし酸化鉄の多い鋼滓や高温吹錬の場合にはドロマイト系耐火物では特にスラグラインには不十分である。

また一方では出鋼口煉瓦のように激しい溶鋼流に対し、抵抗性のある煉瓦の開発も望まれるところである。

特殊煉瓦としてはオーストリーの Veitscher 社で開発された高温焼成マグネシヤ煉瓦 (通称 O_2) があり、また最近カルド転炉用に研究されている高温焼成タール透過マグネシヤ煉瓦 (Anker T) などマグネシヤ系耐火物があるが、いかなる操業条件の場合にそれを使用するのが有利であるかを決定することが重要である。

4) 今後の問題

転炉用の耐火物はその国、その工場の立地条件によつて相違があり、日本ではベーキング・ドロマイト煉瓦が多く使用され発展してきたが、一種類の耐火物が転炉各部分に万能な性質を具備することは困難であつて、使用条件に適応した煉瓦材質を選ばねばならない。

湿度の高い日本において、自社製でない煉瓦を使用する限り、耐消化性は問題の1つであつて、将来海水マグネシヤクリンカーの品質向上、コストダウンなどを考慮した場合、煉瓦の損耗機構の解明とともに総合的な検討が必要であらう。

また、炉体の煉瓦積に関連して英国の Consett 社の新型転炉などにもみられるごとく、チューリップ型の鉄皮プロファイルによる煉瓦積の検討についても非常に興味のある問題と思われる。

(4) LD 法における屑鉄配合率の拡大^{20,21)}

LD 法における屑鉄配合率は一般に 15~25% 程度が普通であつて、これは LD 法が溶銑の顕熱と潜熱 (反応熱) のみで精錬を行ないその余剰熱量をもつて屑鉄を溶解することに起因し、溶銑の顕熱および潜熱のみを利用する通常の操業法では熱効率のよいといわれる大型転炉においても現状の屑鉄配合率は 30% 程度が限度とされている。

LD 法のコストを大きく変動させる要因の1つは溶銑と屑鉄の価格差であるが、現状のように LD 法が設備費・生産性・作業費などの面で他の製鋼法に比べて有利であると認められ LD 工場が数多く建設されている昨今では近い将来において溶銑高、屑鉄安の到来も考えられ、あるいはまた地域差もあるが米国のごとき屑鉄事情のもとでは LD 法における屑鉄配合率の限界というものが1つの問題となるといえよう。また、屑鉄配合率についてはこれらのほかに個々の工場の事情によつても、すなわち高炉能力と製鋼能力のバランスからも高屑鉄配合が要求されることもあり、その研究および実用化はかなり以前から行なわれてきた。

屑鉄配合率を増大させるためには、一般に入熱側の熱量を高める積極的対策と出熱側を減少させる対策とが考えられる。前者については溶銑および屑鉄などの主原料の顕熱あるいは潜熱を高める方法、系の外部から熱源を供給する方法および炉内における熱効率を増大させる方法などがあげられる。この熱効率を増大させる方法の最たるものはカルド法であるが、これについては別項で述

べる。また後者の出熱側を減少させる方法としては、炉体からの放散熱の減少および冷却効果の大なる材料を可能な限り減少させることであるが、これによつては屑鉄配合率の飛躍的な増大は期待できないと思われるので、ここでは主原料の顕熱および潜熱を高める方法と外部から熱源を供給する方法についてその概要を述べる。

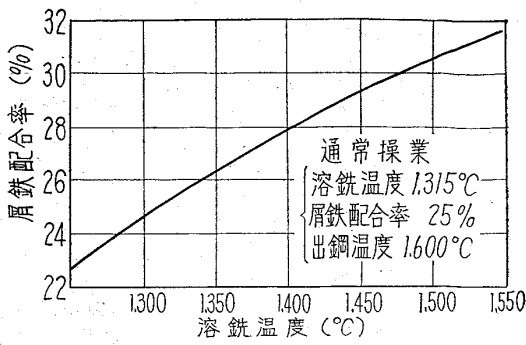
1) 溶銑の顕熱および潜熱

まず、溶銑の顕熱を高くする方法であるが、溶銑の顕熱は全入熱量の 50% 強を占めている。したがつてこの温度をいくらかでも高くすればそれだけ屑鉄配合率を増加させることが可能であつて、図 2.3.5(a)²²⁾ は溶銑温度を上昇させることによりどれくらいの量の屑鉄が使用し得るかを理論的に示したものである。この方法は、実際作業としては溶銑温度の低下防止という消極的方法とならぬ燃料を使つて溶銑を加熱する積極的方法とがあるが、1,200°C 以上の溶銑をさらに加熱する方法は一般にむずかしい。酸素富化燃料を使用して溶銑装入鍋において溶銑加熱を行なう方法のメリットについての報告²²⁾ によると屑鉄の価格が溶銑の価格よりも 3,600 円安い場合、溶銑温度を 100°C 加熱することにより鋼塊トン当たり約 150 円の利益があるとされている。

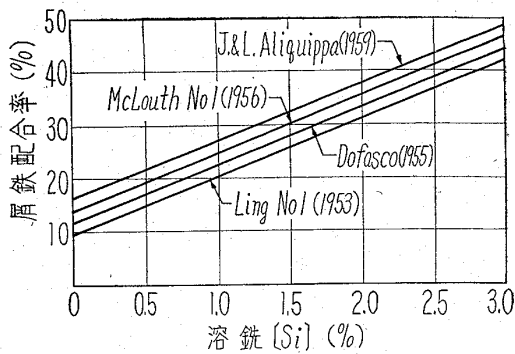
つぎに溶銑の潜熱を高くする方法については、溶銑の潜熱は大部分が C および Si の酸化反応熱であつて、したがつて溶銑中の C および Si を高くする方法がある。溶銑中の C については通常の高炉操業法では 4.0~4.5% 程度であつてさらにこれを高くすることは期待できない。また溶銑中の Si 含有量を高くすることに関しては高炉操業の調節による方法と、二次的に溶銑中に Fe-Si を添加する方法があるが、一般には後者の方法が行なわれこれについては後述する。図 2.3.5(b)²²⁾ に溶銑中 Si% と屑鉄配合率の関係を示す。

2) 酸化反応熱の大きな材料を利用する方法

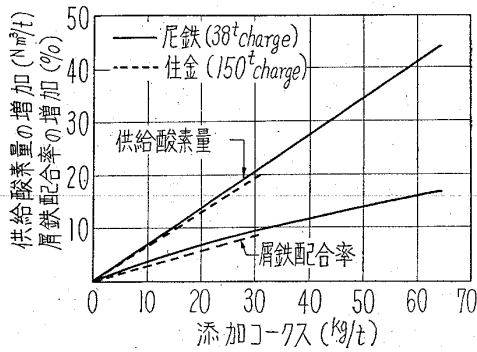
すでに述べたごとく溶銑中の C や Si の含有量が不足する場合には別な形で C や Si を添加すればよいわけである。コークスの添加方法として転炉装入前に溶銑鍋に添加する方法と吹錬開始後炉内に装入する方法があるがその効果は後者の方がよいといわれる。コークスの投入には作業的に容易な副原料シュートをを用い、固定 C が 87~88% 程度の高炉コークスを吹錬開始後着火と同時に投入する方法がとられている。図 2.3.5(c)²³⁾ はこの方法による屑鉄配合率の増加を示したものである。この場合のコークスの屑鉄溶解能力は、コークス中の C が CO に燃焼する際の発熱量からの理論値とほぼ一致する。このことはとりもなおさずそれだけの供給酸素が必要なことを意味し、その結果酸素原単位は増加する。図 2.3.5(c)²³⁾ はコークス添加による供給酸素の増加割合も示し、この供給酸素の増加は溶銑量の減少による供給酸素の減少と、添加コークスによる供給酸素の増加の相殺されたものである。図 2.3.5(c) からわかるごとく、もしこの方法で 12~13% 程度の屑鉄配合率を上昇しようとするれば、供給酸素量は通常の場合の約 1.5 倍となり、もし廃熱ボイラーの蒸気発生量その他で酸素流量に制限がある場合にはそれだけ吹錬時間が延長し、生産率も低下する。そのほかの方法によると鋼浴の酸化度が若干低下し、吹錬終点の Mn および P については



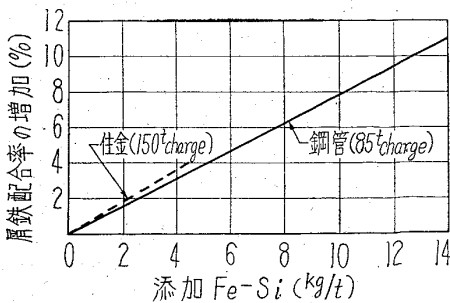
(a) 溶銑温度と鉄屑配合率の関係



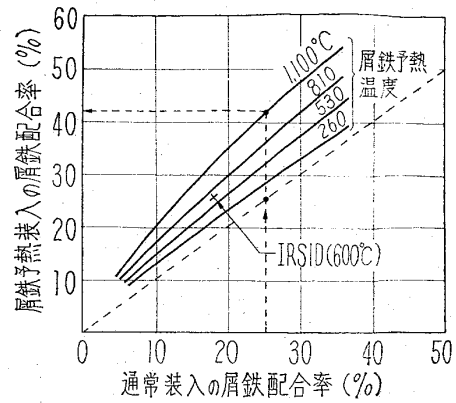
(b) 溶銑中 Si %と屑鉄配合率の関係
(J. K. Stone : Iron & Steel Engineer 7/1963)



(c) 添加コークス量と屑鉄配合率
および供給酸素量の関係

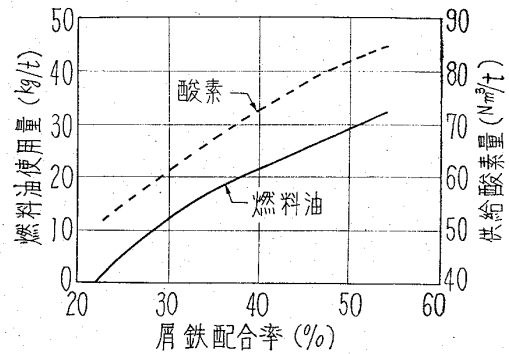


(d) Fe-Si 添加による屑鉄配合率の増加

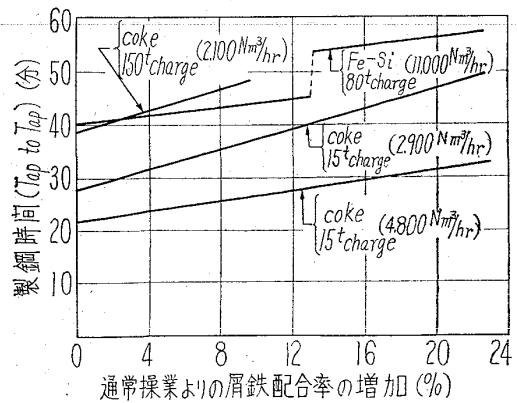


(e) 屑鉄配合率におよぼす屑鉄予熱
温度の影響

(J. K. Stone : Iron & Steel Engineer 7/1963)



(f) 屑鉄配合率と燃料油, 酸素使用量
(R. F. Rinesh : J. Metals 14 7/1962)



(g) 屑鉄配合率の増加と生産能率

図 2.3.5 屑鉄配合率に関する諸データ

屑鉄配合の増加に伴ない若干上昇する傾向を有し、コークス中の S により吹錬終点における S も若干上昇する。

コークス中の C は炉内において CO までにしか燃焼しないため、その酸素所要量の割には発熱量が低くその結果コークスの大量使用の場合には生産能率の大幅な低下は避けられない。そこで能率低下防止法として Fe-Si 添加方法があるが、図 2.3.5(d)²³⁾ は Fe-Si (75%) を添加した場合の屑鉄配合率の増加状況を示したもので、この場合にはいずれも Fe-Si は主原料であるスクラップと一緒に装入している。この方法によると供給酸素量の増加は $0.4 \text{ Nm}^3/\text{kg Fe-Si}$ 程度であつて、これはコークス添加の場合の $1/4$ 以下の供給酸素の増加で同一屑鉄配合率を達成できるので、生産能率には大きな被害はないといえる。この方法の 1 つの特徴はスラグの塩基度を一定に保つためには Si 増量と見合うだけの生石灰を投入する必要があることで、その結果鋼滓量が多くなるが出鋼歩留の点については大きな低下はみられないようである。すなわちこの方法においても鋼浴の酸化ならびに鋼滓の (T·Fe) の低下がみられ、それによつてある程度相殺されていると考えられる。また脱磷、脱硫に関してはスラグ量の増加によりむしろよくなつていているといえる。

3) 屑鉄の顕熱を高くする方法

屑鉄は転炉に装入される主原料のうちで溶銑とは別の意味での最大の熱の媒体と考えられ、これをなんらかの方法によつて予熱することによつて屑鉄配合率の増加が可能である。図 2.3.5(e)²²⁾ は屑鉄予熱温度と屑鉄配合率について理論計算値を示したものであつて、たとえば通常の作業で 25% の屑鉄配合率で操作している転炉では屑鉄を 1100°C に予熱することにより、屑鉄配合率は 25% から 43% にその差 18% 上昇できることを示している。この方法についてはすでに BOT の特許もあり、炉内加熱あるいは炉外加熱が検討されているようである。

IRSID の Trentni は 6t の LD 転炉で行なつた屑鉄の予熱についての報告²⁴⁾を行なつていいるが、それによればあらかじめ炉内に装入された屑鉄を図 2.3.6(a) に示すような酸素富化バーナを使用して燃料によつてその加熱を行ない、その後バーナを上げ溶銑を装入して吹錬を行なう方法であつて、それによれば屑鉄を 600°C に加熱することにより 16.7% から 22% に屑鉄配合率を増加させているが、この結果は図 2.3.5(e) の理論値とよく一致している。

屑鉄予熱についての大規模実験についての報告はないが、つぎのようなことが問題点として考えられる。すなわち

- イ 屑鉄の密度、加熱時間、燃料の種類、燃焼用酸素として純酸素ガスの代わりに空気の使用および燃焼効果の検討。
- ロ 屑鉄の過酸化による損失、その結果溶銑との激しい反応および炉体耐火物を損傷することなく屑鉄を加熱できる最高温度。
- ハ いかにして屑鉄の温度を均一に所定温度にするか、また転炉の操業ピッチに与える影響。

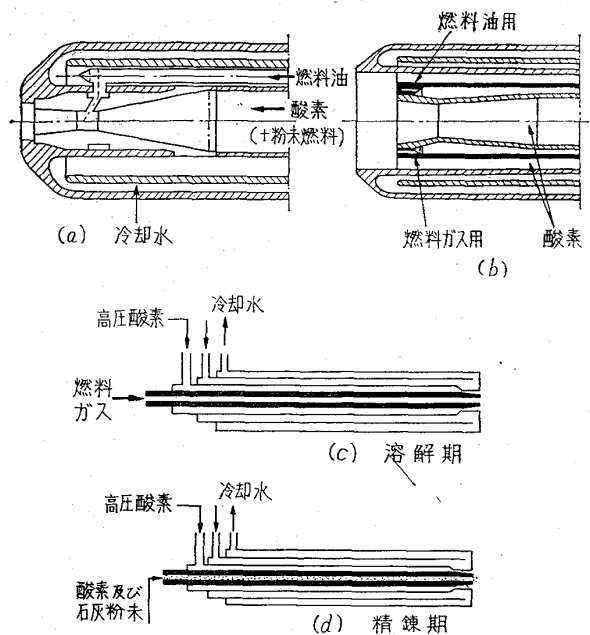


図 2.3.6 各種予熱および精錬用ノズル

さらにこれらの問題を解決する手段としては特別の屑鉄予熱炉を設けることも 1 つの方法として検討する余地があるものと思われる。

4) 補助燃料 (固体、液体、気体) の使用

この方法は吹錬中にランスから酸素と同時に固体、液体あるいは気体燃料を吹き込み、屑鉄溶解に要する熱量を補給する方法であつて、これらの方法に使用されるランスノズルの一例を示すと図 2.3.6(a) のとおりである。固体燃料としては一般に粉コークスが使用されるが、これは前にも述べた方法と原則的には同一方法である。

液体燃料の使用については R. F. Rinesh の報告²⁵⁾があるが彼は 30t 転炉において図 2.3.6(b) に示したノズルを用いて屑鉄配合率を 22% から 55% に増加することに成功している。図 2.3.5(f) はその場合の液体燃料の噴射量と酸素使用量および屑鉄配合率の関係を示したものである。その操業方法としては、まず燃料の伝熱効率をよくするために装入方法は溶銑、重量スクラップ、軽量スクラップの順に行ない、つぎにランスを下げ燃料と酸素を供給するわけであるがその場合炎が炉壁耐火物に直接当たらないように炎の長さを調節する必要がある。加熱に要する燃料の量は装入トン当たりの顕熱および潜熱によつて決まるが、装入物全体が半熔融状態の点でランスを通常の高さまで上げ、酸素流量を増して精錬を行なう。この場合の燃料の熱効率は 50~60% の結果が得られるといわれる。

また、気体燃料の使用については L. Cook の模型実験による報告²⁶⁾があるが、それは気体燃料としてプロパンガスを用い、ノズルは図 2.3.6(c), (d) に示すようなものであるが、この方法により 50% 屑鉄 - 50% 溶銑、33% 屑鉄 - 67% 冷銑などの実験も行なつていいる。いずれにしてもこのような補助燃料の使用にあつては 100% 冷材による吹錬も可能であるが、一方屑鉄配合率の増加に伴つて燃料および酸素使用などの増加がみら

れ、さらに生産率も当然低下するわけで、このような特別な燃料噴射ランスを使用して屑鉄の配合量を増加させることは、なんらかの事情により、より多くの屑鉄を配

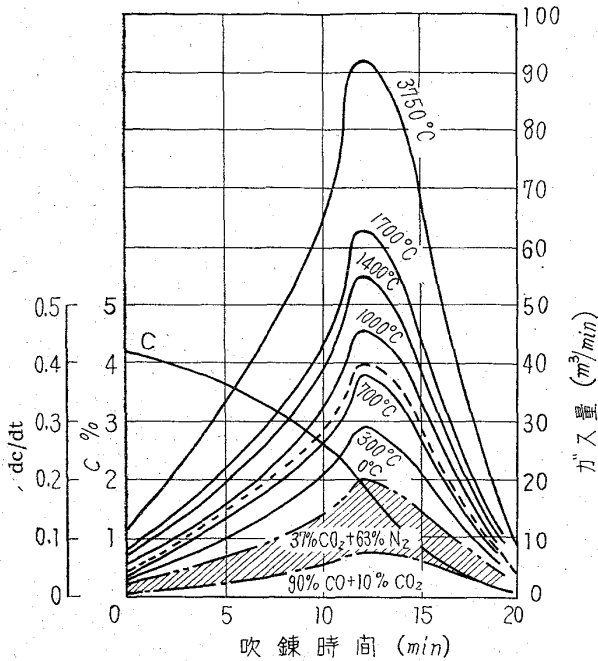
合せねばならぬ場合とか、あるいはまた屑鉄の価格などの問題でこの方法を採用してしても燃料、酸素のコストおよび生産性の減少によるコスト高を相殺し得るような場合にのみその効果を発揮するものと考えられる。

5) 今後の問題

以上 L-D 法における屑鉄配合率の増加という問題についていくつかの方法が考えられるが、前述のごとく通常の操業法に比べて燃料、酸素の原単位などが高くなり、また図 2.3.5 (g) に示したごとく製鋼時間の延長により生産性の減少という問題が付随してくるが、その中で屑鉄の予熱という方法は設備、使用燃料、その他の面で問題はあるが1番実的であると考える。また、これに関連して石灰、鉄鉱石などの副原料、あるいは酸素などを予熱することも補助的手段として考えられていると聞く。今後、転炉の廃熱利用という面からも検討されていくこととなる。

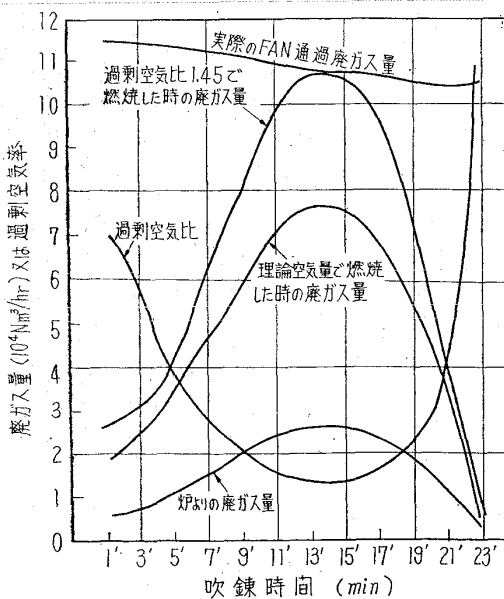
(5) 廃ガス処理設備

純酸素転炉の操業における廃ガス処理は、純酸素を大量に使用することに起因して従来の製鋼法に比して非常に大きな問題である。すなわち発生する CO ガスは、理論的に吹込まれる酸素が全部 C と反応するとして吹込み酸素量の2倍(標準状態)に相当し、(実際には吹錬最盛期においては鋼、鋼滓からの酸素の戻りおよび炉内に添加される他の酸素源によつて 20~30% 程度さらに増加する)、転炉から出る廃ガス中 90% 程度を占める CO ガスは空気に触れることによつて非常に高い発熱反応を伴つて CO₂ となり、同時に廃ガス量も増加する(図 2.3.7 (a)²⁷⁾。一方純酸素と接触する鋼浴面(火点)は非常に高温(2000~3000°C)となり、その温度における蒸気圧を保つため多量の鉄が気化しこれが極微細鉄粉として廃ガスとともに炉外にでてくるが、この量は未燃焼状態で廃ガス 1 Nm³ 当たり 70~90 g にも達するといわれる。したがつてこの大量のダストをとり除く場合、現在の集塵機では廃ガスの処理可能温度がせいぜい 300°C までであるので、まず高温かつ多量のガスを冷却する必要を生ずる。また除塵にあつてはダストの大きさが可視光線の範囲にあるほど微細であつて²⁸⁾、廃ガス特有の赤褐色は廃ガス中のダスト量が 0.1 g/Nm³ 以下まで除塵しなければ消えないといわれ、これがために莫大な建設費と操業費を要するので各社とも廃ガス処理設備には相当な検討を加えている(図 2.3.8)。



(a) 銑鉄 (C 4.2% が 0.1% まで下がる時の) 1,000 kg あたり、吹錬時間とともに変化する炉内のガス生成と集塵機内の廃ガス量 (Stahl u. Eisen, Heft 9, 1961)

- 90% の CO を燃やすに必要な理論空気量を一定付加した湿つた廃ガス量(但し種々の温度)
- - - " (0°C の場合)
- · - · 炉口における発生ガス量
- - - - dc/dt



(b) 転炉廃ガス量 (60 T の例) (日本 LD 委員会資料)

図 2.3.7 吹錬過程における廃ガス量

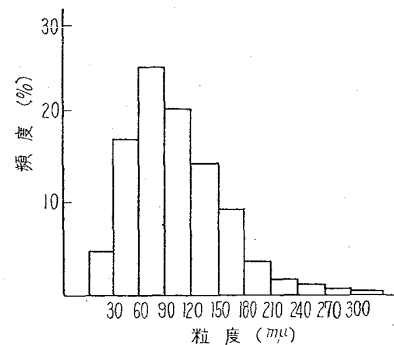


図 2.3.8 ダストの粒度 (燃焼方式の場合) (LD 委員会資料)

廃ガス冷却設備を大別すると

- イ 熱を回収しないで冷却する方法
- ロ 熱を回収して冷却する方法

の2つに分けられ、一方集塵装置については

- イ 湿式、乾式電気集塵機
- ロ ベンチュリー、スクラバー
- ハ バッグ、フィルター

に分類することができる。また、最近の開発による結果として

- イ 廃ガスを燃焼させる方式
- ロ 未燃焼のまま冷却集塵する方式

とに分けることもできる。これらの装置および方式については年々進歩し、各工場の立地条件によりさまざまなものが採用されているが以下簡単にそれぞれについて概要を述べる。

1) 廃ガス冷却装置

空気冷却方式 (ウォーター・ジャケット)： 転炉から発生する大量かつ高温の廃ガスの熱を回収することなく、一部水冷箱を備えた煙道に廃ガスを導き、理論燃焼空気の数倍の空気を混入させることによつて、廃ガスを燃焼冷却する方法であつて、一般にこの場合煙道出口で 1,000°C 前後にまで冷却され、その後クーリーンボックス (またはスパークボックス) において散水することにより、100~200°C 程度にまで冷却され、ベンチュリースクラバーもしくは、電気集塵機に入り集塵されるのが普通である (図 2.3.9(a)²⁹⁾)。またこの方法は部分的にウォータージャケットを備えた単なる煙道のため設備費は安い、多費の空気を混入するので動力消費量はかなり大きなものとなつてくるようである。前者、すなわちベンチュリー・スクラバーとの組合わせの例としては、日本鋼管川崎, McLouth Detroit, Algoma などの各転炉工場にみられ、後者すなわち電気集塵機との組合わせの例としては J&L Aliquippa, Kaiser Steel Fontana, CF&L Pueblo, J&L Cleveland など米国の工場に多くみられる。

水が豊富にあり、電力費の安いところでは建設費の安い本方式の採用が今後とも行なわれるものと思われ、また最近の方向としてはベンチュリータイプの集塵機の組合わせにおいて過剰空気を減少して、ガス量を減らし、動力費の節約をはかろうとしている例も 2~3 みられる。

ボイラー方式： 転炉から発生する大量の熱を回収するため、転炉炉上煙道部をボイラーとしてガスを冷却するとともに蒸気として熱を回収しようとするものであつて、本方式はオーストリーの Waagner-Biro 社が、Vöest 社との協力によりいち早く手がけ、現在世界で最も多く採用されているガス冷却方式である。このボイラーの構造は、図 2.3.9(b) に示すように、一般に輻射帯、接触帯 (温熱器) および節炭器からなり、1.2~1.5 倍の空気を送り込み、十分燃焼させた上、完全ボイラーにおいては、節炭器出口で 300~350°C にまで温度が下げられ集塵機に導かれる。この熱回収の効率は比較的高く 70% 程度でかつ廃熱を利用するため安い蒸気が得られること、また過剰空気、空気抵抗が少ないため動力消費が少なく、また蒸気冷却によるので、水の消費が少ないな

どの利点があるが、転炉が間歇操業であるため発生蒸気が一定でないこと、建設費が高くつく点にやや難点があるといえよう。しかし現在ヨーロッパ、および日本では数多く採用され、日本においては 9 工場に採用されている。また蒸気冷却が最も効率よく、廃ガスの冷却ができることから、蒸気の不必要な工場では水の消費を最小限におさえる目的で発生した蒸気を冷却し、再循環しているところもある (Bochmer Verein, 図 2.3.9(c)³⁰⁾)。この場合ボイラーは過熱器を備えていない。この場合ボイラーによつて冷却された後の工程の集塵機には図 2.3.9(b) または (d) に示すように、電気集塵機、ベンチュリースクラバーのいずれでもよい。

2) 最近のガス冷却装置の発達

これらの現有の方式に対し、ここ 2~3 年の間に採用され、発達されてきた廃ガス冷却方式に、ハーフボイラー (温水ボイラー) と、非燃焼方式とがある。

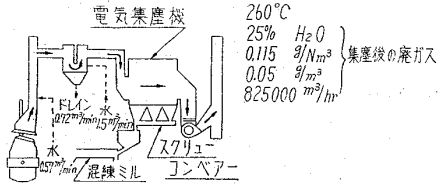
ハーフボイラー：すでに述べたフルボイラーが、輻射帯過熱器、節炭器を備えていたのに対し、輻射帯のみをもつた、または輻射帯と節炭器のみをもつたボイラーであつて、約 1000°C 程度にまでこのボイラーで冷却した後、散水によつて集塵機に必要な温度にまで冷却するものである。本方式の特徴としては、建設費が安くなることであつて、フルボイラーの 50~60% といわれ、あるいはまた蒸気が低圧でも可とされるためボイラーを予熱することなく冷たい状態からの転炉操業が可能であるなどの利点をもっているが、一方熱効率が低い (フルボイラーの 50~60%) という欠点もある。最近の国内の例としては、日本鋼管鶴見の転炉工場にみられるが、同工場では蒸気バランスに余裕があるため、取り出した蒸気は冷却後再循環させている。またボイラーの形式をとりながら蒸気として取り出さず、温水として取り出し、再循環させる方式が米国においてもみられるようになり、一例としては Great Lakes 社において、新設各工場に採用されている (図 2.3.9(c)³⁰⁾)。この方式においては、ボイラーチューブを継ぎ合わせて円型のフードを構成しており、非常に軽量であつて、蒸気によつてガスを冷却するのが目的ではなく、従来の空気冷却式において用いられていた水冷ボックスの損傷を防ぎ、それによる作業停止を著しく減じており、また保守費も低減できるといわれる。

一方このハーフボイラーにおいて、熱効率をあげるため、過剰空気の制御を行なおうとしている。すなわち通常集塵機出口にあるブローアはほとんど一定量吸引しているために、図 2.3.7(b)²⁸⁾ に示すように、ガス発生ピーク時を最低値としてその前後は非常に大きな過剰空気が入つてガスを冷却し、効率を下げていることになるのであるが、この場合ガス発生量に合わせて一定の過剰空気率になるよう吸引量を制御すれば当然熱効率は上つてくると考えられる。

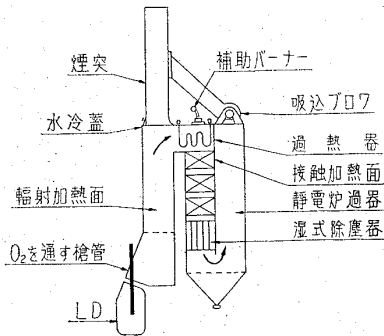
Hans Hoff はその効率を図 2.3.10²⁷⁾ のように示しており、今後建設費の安いハーフボイラーは次第にこの方向に向うものと思われる。

非燃焼方式：非燃焼方式は厳密に言えば、ガス冷却方式と直接関係があるわけではないが、従来の方式が廃ガスを炉上で燃焼させるのに対して、空気をしゃ断し

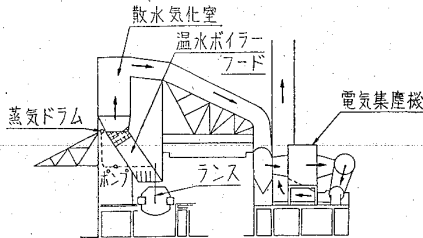
て未燃焼のまま生ガスとして取り出すものである。すなわち前出のハーフボイラーでの吸引制御をさらに進めて、燃焼空気を吸い込まないようにフード下部における圧力をゼロもしくはごくわずかプラスになるように、発生ガス量に応じて吸引制御を行なえば 70~80% の CO



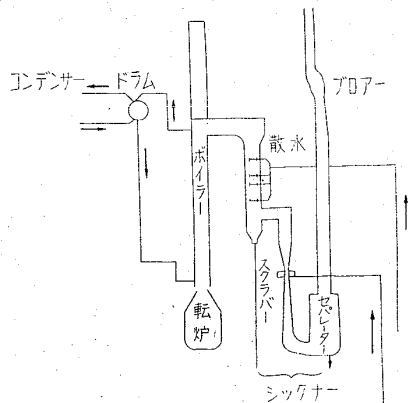
(a) 145 t 炉の場合の空気冷却、散水冷却、電気集塵機の組合せ系統図 (Stahl u. Eisen, Nr13, 1962)



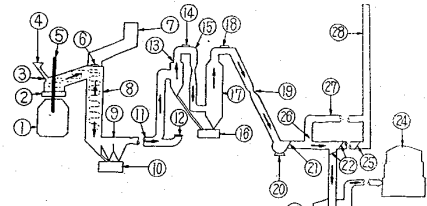
(b) 湿式電気集塵機をもつた廃熱ボイラー



(c) Great Lakes における廃ガス処理系統図 (Stahl u. Eisen, Nr13, 1962)

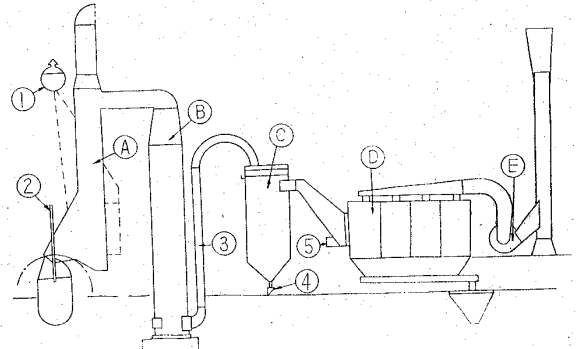


(d) Bochmer Verelin におけるボイラーベンチュリースクラバー系統図 (J. of Metals, July 1960)



- | | |
|--------------------|--------------------|
| 1. 転 炉 | 2. スカート (可動フード) |
| 3. フード (固定) | 4. 副原料 |
| 5. ランス | 6. 12 14 18 爆発ドア |
| 7. 非常放散ダクト | 8. 冷却器 |
| 9. 一次除塵器 (スプレー形) | 10. 水 そ ろ |
| 11. 水平煙道 | 12. 水平煙道 |
| 13. 二次除塵器 (スプーン形) | 14. 二次除塵器 (スプーン形) |
| 15. 二次除塵器 (ベンチュリ形) | 16. 二次除塵器 (ベンチュリ形) |
| 17. サイクロンセパレーター | 18. サイクロンセパレーター |
| 19. ベンチュリー管 (流量計) | 20. IDF |
| 21. 炉内圧力調節ダンパ | 22. 三方切換ダンパ |
| 23. 水封逆止器 | 24. ガスホルダ |
| 25. 煙突側圧力調節ダンパ | 26. バイパスダンパ |
| 27. バイパスダクト | 28. 煙 突 |

(e) OG 装置 配置 図



- | | |
|---------|------------|
| A 煙 筒 | 1 膨張タンク |
| B 蓄 熱 器 | 2 酸素ノズル |
| C 撒 水 塔 | 3 調節用ダンパー |
| D フィルター | 4 排 出 口 |
| E 送 風 機 | 5 安全用空気取入口 |

(f) バッグフィルター (蓄熱器冷却と組合せた一例) 帝国酸素カタログ

図 2-3-9 廃ガス処理設備

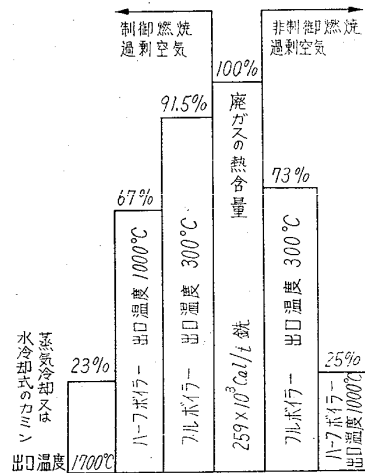


図 2-3-10 銑鉄 1,000 kg あたり制御ならびに非制御燃焼の際の全吹鍊時にわたる平均値としての熱回収率 (Stahl u. Eisen, Heft 9, 1961)

を含む生ガスが取り出されるわけである。本方式の考え方については Dr. Baum がすでに特許として取得していたが、実際操業については、フランスにおいては IR-SID-CAFL、西ドイツでは KRUPP、わが国においては八幡製鉄—横山工業と各方面で研究がなされ、本格稼動に入つたのは昭和 37 年 3 月、八幡製鉄戸畑の第 2 転炉工場での八幡—横山方式が最初である。その後国内においては、住友金属和歌山も昭和 38 年 2 月、八幡—横山方式を取り入れ稼動を開始している。また外国ではフランス USINOR の Dunkerque が IRSID-CAFL 法で、西ドイツの Dortmund が KRUPP 法でそれぞれ稼動を開始している。なお、日本でもさらに東海製鉄がまもなく IRSID-CAFL 法を取り入れ稼動するといわれている。八幡—横山方式は、Oxygen Converter Gas Recovery Process と名づけ通常 OG 法と呼んでいる。

この非燃焼方式の特色は、

- イ 燃焼空気がないため、従来のフルボイラーと比較するとガス冷却設備が小さくてすむ。したがって転炉上部の建屋構造と合せて建設費が安くなる。
- ロ ガス量が少ないこと、とガスが未燃焼であることからダストの Fe_2O_3 化が防止され、Metallic Fe と Fe_3O_4 に富むため集塵機が小さくてすむ。
- ハ 廃熱ボイラーの場合には、蒸気の発生が間歇的であり、ボイラー自身の効率が低いのに対し、取られたガスを容量の大きいホルダーに収容すれば、小型のボイラーの燃料としてボイラーの効率をよくして使用できる。

などであるが、一方

- ニ 扱われるガスが CO であるために設備上、(シールの完全性、圧力制御の精密さなど) 作業上安全に対して十分な注意をしなければならない。
- ホ 上記安全に関連し、製鋼作業、とくに作業ピッチに影響を与えやすい。
- ヘ 取られたガスが CO であるために集塵機は湿式とせざるを得ない。
- ト 燃料として使用する場合には、発生が間歇的であるためかなり大きな容量のホルダーが、必要となる。

などの問題もある。

IRSID-CAFL, KRUPP, 八幡—横山法ともども、原理的には可動フードを下げて、炉とフードとの間のすき間をなくし、フード下部における圧力を制御して空気の侵入をなくするようにしたもので、制御しきれない小さな圧力変動に対しては、ガスの流出、空気の侵入を防ぐため、IRSID-CAFL および KRUPP では、二重フードで、八幡—横山法では、窒素のシールで押えている。一例としては八幡製鉄戸畑におけるガス回収設備系統図を図 2-3-9(e)³¹⁾ に示すが、この場合回収されたガスは、CO 約 75%、含有熱量 2200 kcal/Nm³ 鋼塊トン当り回収ガス量約 55 Nm³ であるといわれる。八幡—横山法においては主として燃料としてのガスの利用を目的としているが、Dunkerque および Dortmund の工場は燃料として使用せず、上部煙道で燃やしており、熱(ガス)を回収することが目的ではなく、ただ単にガス冷却設備を

小さくすることが目的で作られているようである。

3) 集塵機

集塵機はすでに述べたとおりガス冷却装置とのいろいろな組合せで設備されており稼動当初からそれほど大きな変更点はない。

ベンチュリースクラバー(図 2-3-9(d))：廃ガスを細い、ベンチュリーを通して高速とし、ここに噴水して、ガス中の粉塵を湿らし、霧状にしてからスクラバーに導いてここで凝縮させて捕捉するものであつて、乾式電気集塵機より場所は取らず、ガス量が少なくてもよく、(CO 爆発の心配がない) 設備費は安いという利点があるが一方電力費、水の消費、保守費は多く、また捕捉された泥状のスラジの処理に問題がある。

湿式電気集塵機(図 2-3-9(b))：Waagner-Biro 社の発熱ボイラーと組合せたものが多く、図に示すごとく一般に、前段に湿式の集塵装置を備えており、水分のある状態で電極にダストを吸着させるが、この場合もやはり動力費水の消費は大きい。ダストの処理も面倒である。

乾式電気集塵機(図 2-3-9(b), (c))：放電線と集塵板の間に放電させ、帯電したダストを吸着集塵するもので、現在最も多く用いられている。本法は場所を大きく取り CO の混入において、爆発の可能性があるが、動力費、水の消費が少なく、ダストがドライで処理しやすいなどの利点がある。

バッグフィルター(図 2-3-9(f)³²⁾)：電気炉には多く用いられているが、転炉にはまだ数が少なく、フランスの Prat-Daniel 社が、同国 Pompey の工場に設置している。これは図に示すように、ガス冷却方式としては煉瓦積による蓄熱器を備え、これによつてガスを冷却し、吹錬休止中にこの蓄熱器を空気で冷却し、さらにつぎの吹錬でまた熱を吸収して、ガスを冷却するという方法である。

4) 今後の問題点

このように廃ガス処理設備は、種々の方式が用いられておりそれぞれ特色を有しているが、いずれにしても電力および水の事情などの環境条件、あるいは各工場における蒸気、ガスなどの需要関係など、その工場の持つ立地条件によつて、付加価値が決つてくるものであつて、いずれが有利かは即断できない。しかしながら、今後の方向としては熱回収の有無あるいはガス回収の有無に拘らず、発生ガス量に合わせて制御吸引を行ない、設備の縮小または効率の増大を図る方に進むものと考えられる。なお、表 2-3-6 に現在わが国において稼動中の転炉工場における廃ガス処理設備を示す。

(6) LD 法における高級鋼の溶製³³⁾

LD 法は元来低炭素鋼の場合においてとくに良好な性質を発揮するものであるが、普通いわれているような LD 鋼の優秀性に加えてさらにつぎのような特徴も兼ね備えているので当然特殊鋼への応用も考えられ、適当な方法を講ずれば高炭素鋼や合金鋼の溶製にも十分使用し得る素質を持つている。すなわち、

- イ 溶銑を主原料とするので Cu, Ni, Cr などの浮動元素が少ない。
- ロ 溶鋼温度の調節が可能であり合金元素の添加も

表 2・3・6 日本国内 LD 工場の廃ガス処理設備

会 社 名	工 場 名	ガス冷却方式	集 塵 機
日 本 鋼 管	川 崎	空 気 冷 却	Baum 式ベンチュリースクラバー
	水 江	Waagnerbiro boiler	Lurgi 乾式電気集塵機
	鶴 見	Waagnerbiro Halfboiler + Sparkbox	Western "
八 幡 製 鉄	洞 岡	Waagnerbiroboiler	Waagner 湿式
	戸 畑 第 1	"	"
	戸 畑 第 2	温水 boiler + 散水 (OG 法)	スプレーおよびベンチュリー
富 士 製 鉄	広 畑	Waagnerbiro boiler	Waagner ベンチュリー
	室 蘭	"	Hergi 乾式電気集塵機
	東 海	IRSID CAFL ガス回収	ベンチュリースクラバー
川 崎 製 鉄	千 葉	Waagnerbiro boiler	日立乾式電気集塵機
住 友 金 属	小 倉	Waagnerbiro boiler (OG 法)	ベンチュリースクラバー Waagner
	和 歌 山	温水 boiler + 散水	ベンチュリースクラバー
尼 崎 製 鉄	尼 崎	Waagnerbiro boiler	Waagner 温水
神 戸 製 鋼	灘 浜	横山工業 boiler	Lurgi 乾式電気集塵機

容易である。

したがって LD 法における合金鋼の製造にあたっては、まず優良な炭素鋼を造ること、合金を行なうための熱調節の究明を組み合わせること、ならびに脱酸方法の改良によつてその実現は原理的にも容易に見通しのつくことである。

ドイツあるいはオーストリーのようにはじめから LD 法を高炭素鋼はもちろん合金鋼をも製造するための製鋼法として採用した工場もあつたが、その他の工場においてもこのような LD 法の優位性からその意図は着実に実行に移され、LD 法の本家であるオーストリーの Donawitz をはじめ、ドイツ、日本を含めた諸国において高炭素鋼、工具鋼、レール鋼、浸炭 Cr 鋼、浸炭 Cr-Mn 鋼、熱処理用 Cr-Mo 鋼、Cr-V 鋼などの溶製が作業化され、すでに 18Cr-8Ni ステンレス鋼の溶製も成功裡に試験されまた生産されているのが現状である³⁴⁾。わが国においても、LD 工場は最初概して軟鋼用とくに薄板用の鋼塊を製造する工場における製鋼設備として設置されてきたものが多いが、その後高炭素鋼の分野を目的とする LD 工場の設立も多くそれぞれ満足すべき結果を得ている。

1) 高炭素鋼の溶製³⁵⁻³⁸⁾

まず LD 転炉による高炭素鋼製造技術の要点は脱炭と脱燐および脱硫の進行の調整である。一般にその具体的製造方法としては、主原料である溶鉄の燐含有量および成品として要求される燐の含有量によつて、

イ 二重鋼滓法 (ダブル・スラグ法)

ロ シングル・スラグ法

また、終点目標炭素の補足法によつては、

ハ キャッチ・カーボン法

ニ 加炭法

などの四方法の組合わせが採用されるが、これらの詳細についてはすでに数多くの報告があるので、ここではあらためて触れないが結局高炭素鋼の製造においては脱燐に留意するとともに製鋼時間を短かくすることにより経済性を向上せしめ、さらに鋼質を向上させることが今後の使命といえよう。とくに鋼質の向上については、ソフト・ブローというような鋼滓中の (T.Fe) が高くなる操業方法は多少の問題があるのではないかと考えられ、今後はこの点の研究が望まれるところである。

2) 合金鋼の溶製³⁹⁻⁴¹⁾

一般に LD 法において特殊鋼を溶製する際その前提条件となるものはおおよそつぎのとおりである。

まず第一に、高炉鉄を主原料として使用するため合金剤、とくに Cr を添加する前に系中の燐をほぼ完全に除去しておく必要があり、鋼滓中の (P₂O₅) としても存在することは好ましくないといえる。

第二に、合金元素の添加方法であるがフェロアロイなど精製された合金剤による場合、リターン・スクラップなどによる場合および合金元素を含有する酸化物 (鉱石など) からの直接還元法による場合の三方法が考えられるが、いずれにしても合金元素の添加は短時間内に安定して行なわなければならない。

第三に、良質な圧延製品を製造するためには鋼浴について合金成分などを規格に改めることはもちろんであるが、さらに重要な点は鋼中ガスとくに酸素含有量の低

下、すなわち良好な脱酸状態を得ることで、地疵、介在物表面欠陥などの発生に対しては嚴重にこれを避けねばならない。

しかるに LD 法においては、ここに述べた諸条件に対して、

- イ 激烈な沸騰精錬 (電気炉では困難)
- ロ 温度の急速な調節 (電気炉では困難) および超高温精錬
- ハ 十分な還元精錬 (平炉では困難)

という LD 法の長所を十分有効に活用させることにより、LD 転炉の優れた生産能率をそれほど損うことなく対処できるものである。また、第一の条件である溶銑の問題については西独 Witten 社などにおいて実施しているごとく、熱風キューボラによる低磷銑の使用なども考えられるが、現在わが国の溶銑および屑鉄事情と付帯設備などを考え併せて、LD 法の脱磷技術と排滓作業を合理化することにより十分一般の溶銑 (平炉銑) を原料とすることが可能であつて、むしろ高炉溶銑は磷と硫黄を除けばその他の微量元素について処女性がよいといえる。つぎに良好な脱酸状態の実現には若干高度の技術を必要とするが、とくに含 Cr 合金鋼などを取鍋内だけで十分脱酸することはほぼ不可能であるため、一般に出鋼前の鋼浴については十分な還元性雰囲気を与えておくことが必要である。このため、鋼滓については少なくともその酸化能力を極力押えろとか、あるいは積極的に鋼中の酸素を吸収させるようにし、溶鋼については活量の低下に伴う被脱酸性をカバーするとともに、生じた脱酸生成物の浮上を容易にして鋼中酸素レベルの絶対値の減少と非金属介在物による鋼の汚染を極力防止することが必要である。なお、このような厳しい脱酸状況は溶鋼の復磷現象と直結しており、この点十分なる注意が必要である。

脱磷：すでに一部高炭素鋼の溶製の項で述べたとおりであるが、試みに各炭素含有量範囲に対する脱磷限界の実例を試験データから示すと図 2.3.11⁴¹⁾ のとおりであつて、鋼中の [P] は鋼滓中の (T-Fe) を大にすることにより [C] にはほぼ無関係にきわめて低い値にまで下げ得ることがわかる。

合金元素の添加：一般に LD 法における合金鋼の溶製にあつて合金元素の溶解方法から大別してつぎの 3 つの方法が考えられる。すなわち、

イ 合金鉄溶解用電気炉を設置する場合 これは高炉銑を LD 転炉で吹錬し、電気炉で溶解した合金元素と合せて使用するいわゆる cook tail 法である。

ロ 熱風キューボラを設置する場合 熱風キューボラにスクラップを装入して溶融キューボラ銑を製造し、これを原料とするわけでの成分については磷、硫黄含有量に関しては装入材料を管理することによつてかなり低く押えることができる。したがつてこの方法においては、吹錬の最初から Cr などを含有するトップチャージ法も可能である。

しかるに、一般の合金剤添加作業において Ni や Mo は酸化損失がほとんどないので装入原料中に配合してもよく、あるいは出鋼時に添加してもよい。したがつて LD 法による場合特殊鋼溶製の問題点は Cr の添加に

グループ	鉄配合 %	塩基度	酸素流速 Nm ³ /min.t	状況吹錬	吹錬終点	
					[C] %	鋼溶温度 °C
※※ A	90		1.6~2.0	ソフトブロー	2.0~3.0	1400±50
B	90	3.5	2.2~2.8		0.5~1.0	1620±20
C	90~100	4.5	2.5~3.0	ハードブロー	0.05±0.02	1600±20
D	79~82		2.1~2.5	多孔ノズル	0.05±0.01	1620±20

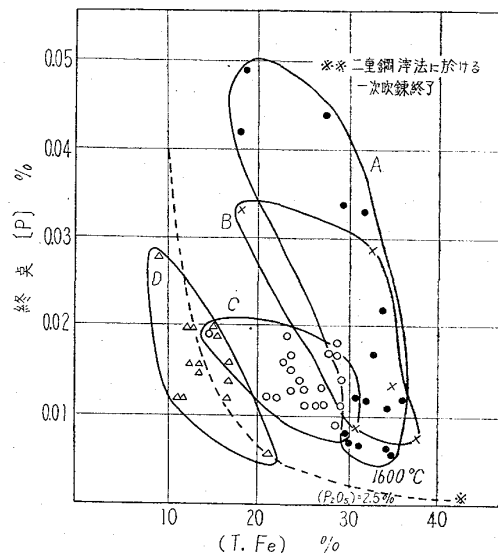


図 2.3.11 吹錬条件別にみた (T-Fe) と [P] の関係

※ H. Knuppel et al 平衡曲線 (15t 小型転炉によるデータ)

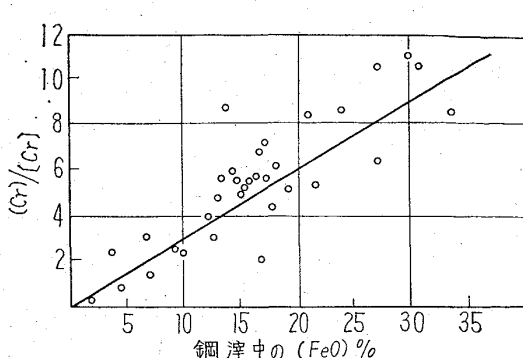
※※ 二重鋼滓法に於ける一次吹錬終了 (日本鋼管, 学振19委製鋼反応協議会資料, 1964)

紋られ、Cr をいかなる方法で添加するかが主題となるといつても過言ではない。また、現在わが国に設置されている LD プラントの設備状況から考えて、転炉における Cr の添加方法としては上記二方法の他につぎの方法が考えられる。すなわち、

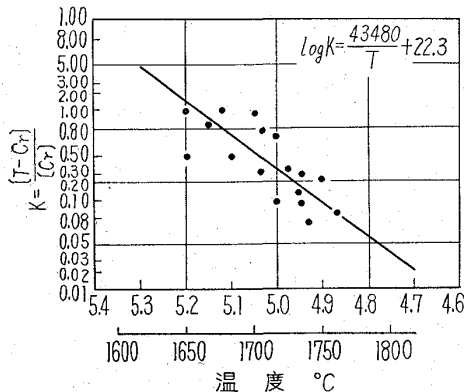
ハ 転炉の吹錬終了後合金鉄を炉内で投入し合金元素の溶解をまつて出鋼する方法 この場合、合金鉄溶解による温度の低下を見込んであらかじめ高温に吹止めることにより可能であるが、当然脱磷や合金鉄の鋼滓への酸化損失が問題となる。

ニ 合金鉄を取鍋へ直接投入する方法 Cr 添加量が 1% 程度以内であれば、発熱性 Fe-Cr を使用することにより取鍋へ全量投入することも可能であるといわれる。この場合、出鋼前に Si あるいは Mn などにより予備脱酸して出鋼すればさらに効果があるものと思われる。

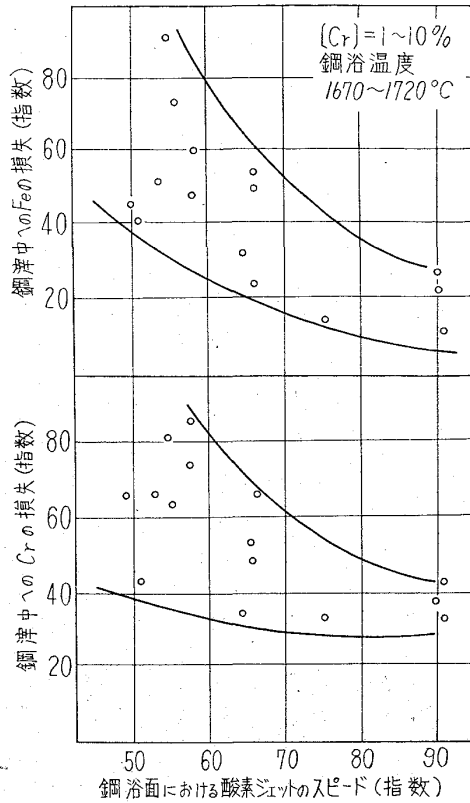
ホ Si による方法 鋼浴温度を上げると脱磷に難点があるので、温度はなるべく上げずに Fe-Si によつて Cr を溶かし込む方法である。すなわち、鋼浴中に Cr を添加して吹錬を行なえば酸化性の鋼滓のもとでは多量の Cr が酸化されて鋼滓中へ逃げることは図 2.3.12(a)⁴⁰⁾ に示すとおりである。一般に Cr の溶解に際しては Si との平衡関係が最も問題であつて、目標の [C] で出鋼温度まで上げ完全除滓後炉内に Fe-Si と



(a) 鋼浴中の(FeO)とCr分配比の関係
(尾崎製鉄. 第13回LD技術懇談会資料 1964)



(b) 鋼浴温度とCrの分配比の関係
(日本鋼管. 学振19委製鋼反応協議会資料. 1964)



(c) 溶解吹錬における酸素ジェットスPEEDとFeおよびCrの鋼浴中への損失の関係
(日本鋼管. 学振19委製鋼反応協議会資料 1964)

図 2・3・12 合金鋼溶製における Cr の挙動

Fe-Cr とを同時に投入し、脱炭を押えながら低圧で吹錬して Si の発熱により鋼浴中に Cr を溶解させるのであつて、この際前記の平衡 [Si] より若干過剰の [Si] を鋼中に残存させることが必要である。

この Fe-Si による溶解吹錬は、その後の鋼質、成分などにきわめて重大な影響を与えるので注意して実施することが必要である。すなわち、Cr, Si, Mn, C, Fe などの存在する鋼浴において Si のみの優先選択酸化を強制するもので、これには各成分の酸素に対する親和力の差をうまく利用しなければならぬので温度についても十分なる検討が必要である。図 2・3・12(b)⁴¹⁾ はこれらの関係を示したものである。

また、溶解吹錬における吹錬技術の問題の一つである酸素の鋼浴への吹きつけ条件については普通鋼吹錬の時と同様の特性を有し、しかも普通鋼の場合よりもはるかに敏感であるようである。酸素の吹きつけ条件を種々変化させた場合の鋼中の Fe および Cr の酸化損失の一例を図 2・3・12(c)⁴¹⁾ に示すが、図によれば吹錬条件を適切に選ぶことによつて Fe, Cr とともに酸化損失はきわめて少量に押えることが可能であると思われる。

また、合金剤の添加量によつて加えるべき熱量も変化するわけであるが、その状況を代表的な鋼種について図 2・3・13⁴¹⁾ に示すが、これは二次吹錬後の鋼浴状況を基準として合金剤添加吹錬の熱精算を小型炉の例からとつたものである。

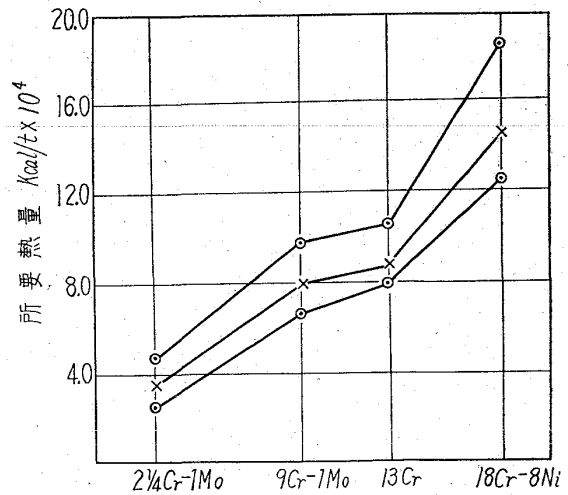


図 2・3・13 溶解吹錬における熱バランス
(日本鋼管, 学振 19委製鋼反応協議会資料, 1964)

つぎに問題となるのは、還元溶解吹錬が適切に行なわれても多量の合金元素が添加されると、例えば Cr などは鋼中酸素の活量係数を大幅に低下させるため Si を共存させてもその脱酸は不十分なままで止つてしまうことであつて、このためこのような場合は炉中において還元溶解吹錬後の鋼浴に酸素との親和力が大なる元素、例えば Al, Ti, Ca, Mg などを添加して強制拡散脱酸をは

表 2-3-7 代表的鋼種の溶製記録例

鋼 種	鋼浴中の (P) の挙動				合金剤還元溶解後 [P]		合金剤溶解後 [P]		合金剤溶解後 (O)			(Cr) 歩 留	素 鋼 成 分							製 鋼 時 間 (分)	
	二重排滓による炉外への脱 P		一次吹錬二次吹錬 [P]		合金剤還元溶解後 [P]		合金剤溶解後 [P]		合金剤溶解後 (O)				C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo		Ni
	溶銑 P	脱 P	一次吹錬 [P]	二次吹錬 [P]	合金剤還元溶解後 [P]	合金剤溶解後 [P]	合金剤溶解後 (O)	合金剤溶解後 (O)	合金剤溶解後 (O)	合金剤溶解後 (O)	合金剤溶解後 (O)										
1Cr-0.5Mo	0.172	0.012	0.012	0.006	0.012	1	10.61	0.74	3	0.0065	90.3	0.28	0.42	0.014	0.014	1.12	0.60	70			
2¼Cr-1Mo	0.150	0.015	0.044	0.012	0.015	1	7.11	0.63	2	0.0050	66.3	0.23	0.46	0.018	0.014	2.31	1.05	70			
5Cr-0.5Mo	0.162	0.033	0.033	0.011	0.026	2	2.01	0.55	30	—	90.2	0.28	0.43	0.026	0.013	5.05	0.60	80			
9Cr-1Mo	0.134	0.049	0.049	0.004	0.020	2	4.47	0.55	30	0.0034	90.1	0.54	0.41	0.023	0.014	9.28	1.02	90			
13Cr	0.153	0.007	0.007	0.005	0.012	2	3.36	0.98	60	0.0022	85.9	0.55	0.57	0.020	0.012	11.58	—	90			
18Cr-8Ni	0.169	0.004	0.004	0.005	0.024	3	2.23	0.80	80	—	91.0	0.76	1.19	0.026	0.011	18.22	—	120			
SCM-3	0.150	0.027	0.027	0.007	0.016	1	1.73	1.22	15	0.0043	96.1	0.19	0.63	0.023	0.011	1.55	0.30	70			

熱源は主として Si-Cr にて供給

後ろプロト排滓及び自然排滓の90%を除く

溶銑配合 約90%

備 考

(日本鋼管, 学振 19 委製鋼反応協議会資料, 1964)

かつて解決している例もある。

鋼中ガスの挙動：一次吹錬および二次吹錬によつて鋼中の窒素，水素は相当低下するが，その後合金剤溶解吹錬や出鋼作業などを経て吸収し，取鍋下分析値ではほぼ電気炉鋼程度になる模様である。

3) LD 法による合金鋼溶製の実例

小型転炉で二重鋼滓法によつて合金鋼を溶製したデータの概要を示すと表 2-3-7⁴⁾ のとおりである。

4) LD 法による合金鋼のコスト

産業構造調査会特殊鋼小委員会の資料を用いて構造用合金鋼，バネ鋼などの量産性鋼種を主に電気炉および転炉のモデルプラントとコスト効果を比較すると表 2-3-8⁴⁾ のとおりであつて，LD 転炉においては資本費が電気炉に比べて若干高いということはあるが，表に見られるごとく主原料費，作業費，人件費などを考慮すると LD 転炉がはるかに安いことがわかる。

5) 高級鋼溶製に関する今後の問題点

低炭素鋼を主体に発達した LD 法は，その優れた生産能率，経済性および鋼質の優秀性などの特徴を生かして数多くの高炭素鋼や合金鋼の溶製に成功し，今後その大量生産にまで発展することが期待されており，製鋼法における LD 法のシェアを著しく拡大する見込を得たわけであるがさらに一層の技術的向上と研究を進めて行くべきであろうと思われる。

すなわち，高合金鋼溶製における熱補償の問題（現状では Fe-Si を使用している例が多い），あるいはまた [C] 1% 程度の高炭素（工具鋼，軸受鋼など）の溶製における LD 法の生産能率を念頭においた脱磷技術およびその作業などの改良は急務である。

また，LD 法による高級鋼生産量の増大にあつては，LD 鋼の品質に対する使用者側の認識をさらに広めさせることも必要であつて，これがためには JIS などの法規的処置についても万全の対策をとることが必要であると思われる。

(7) LD-AC 法の導入

LD 法はすでに述べたようにオーストリーにおいて開発完成され，急速に世界に拡まつていつたが欧州においてはあまり発展は認められなかつたようである。その理由としては，オーストリーの産出鉄鉱石が低磷鉄であるのに対し，ヨーロッパとくにドイツ，フランス，ベルギー，ルクセンブルグなどの主要鉄鋼生産国において最も入手しやすい鉄鉄が磷の高いいわゆるトーマス鉄であつて，初期の LD 法によるトーマス鉄処理という問題に直面したためと思われる。トーマス鉄の処理については，トーマス転炉（底吹）が最も有利な方法としてヨーロッパ鉄鋼生産の主力をなしていることは周知のとおりであつて，LD 法によるトーマス鉄処理の方向は当然のことながらトーマス転炉では得られない低磷，低窒素鋼に向けられ研究されていたわけであるが，LD 法によるトーマス鉄処理上の問題点としては一般につきのとおりである。すなわち，

イ 高磷鉄の脱磷をはかるため大量の石灰を投入する必要があり，鋼滓量の著しい増加に伴つて円滑な操業ができず，また磷の平衡から考えても十分に脱磷することが困難である。

表 2・3・8 モデルプラントのコスト効果

	現 状	モデルプラント案					30 t 万案
		50 万 t 案					
主 原 料 費 (現状との差)	電 炉	電炉(A)	電炉(B)	LD 転炉 (A)	LD 転炉 (B)	カルド炉	電 炉
	24,458	24,415 (△43)	22,636 (△1,822)	24,770 (312)	21,360 (△3,098)	22,193 (△2,265)	24,266 (△192)
作 業 費 (現状との差)	13,764	電 炉		LD 転 炉		電 炉	
		11,030 (△2,784)		8,289 (△5,475)		12,507 (△1,257)	
人 件 費 (現状との差)	6,850	1,513 △5,337					2,550 (△4,300)

(単位 鋼材 t 当り円)

- 注) 1. 主原料費中電炉 (A) および LD(A) は鉄くず価格と銑鉄価格を等しいとみた、また、電炉 (B) および LD(B) は鉄くず価格 21t/千円とみた。さらに 30 t 万案は配合率を現状とみた。
 2. モデルプラントの資本費は完成時をとつた。
 3. △印はマイナスをあらわす。
 (産業構造調査会特殊鋼小委員会資料 1962)

ロ 十分な脱磷をはかるためにはいわゆる二重鋼滓法が考えられるが、通常の塊状石灰を使用した場合焼石灰の溶解速度から反応性のよい熔融鋼滓が急速にできにくいので一次吹錬における脱磷、二次吹錬での造滓に問題がある。

このような状況のもとで昭和 31 年頃よりベルギーの CNRM およびフランスの IRSID において全く別個に研究が行なわれ、その後前者は ARBED の Dudelange 工場 (ルクセンブルグ) で、後者は USINOR の Denain 工場 (フランス) においてそれぞれ 25t のトーマス転炉を改造して実験操作を行ない、トーマス銑の吹錬に非常に優れた能力のあることが認められた。また、CNRM 法は当初 OCP 法と呼ばれ、IRSID の場合は OLP 法と呼ばれていたが、後に両者が BOT に加入するにおよんで LD-AC 法となつたものであつて、その原理は本質的に全く同じものといえる。

1) 原理と特徴

LD-AC 法はすでに触れたように、LD 法による高磷銑の処理という命題のもとに、反応性のよい鋼滓を急速に得る目的で粉状 (2mm 以下) の石灰を酸素気流中に懸濁させ、ランスを通して酸素とともに連続的に鋼浴に吹きつける方法である。その特徴をあげるとつぎのとおりである。すなわち、

イ LD 法に対し広い成分範囲の溶銑を使用し有利に吹錬を遂行できる

ロ 反応性のよい滓が急速にでき、したがって脱磷が容易であつて、とくに高炭素低磷鋼の製造に適する。また脱硫も良好である。

LD-AC 法においては酸素気流中に懸濁している粉状石灰が直接高温の火点に供給され急速に滓化し活性な鋼滓を造るものと思われる。例えば図 2・3・14(a), (b)⁴³⁾に

LD 法と LD-AC 法のそれぞれの鋼中酸素 (NO^{--}) と鋼滓の ($a_{\text{MnO}}/N_{\text{Mn}}$) との関係を示すが、これによると平衡値からの偏りは LD-AC 法が LD 法よりも大きく、それぞれ 2.2 倍、1.7 倍となつている。これら鋼滓鋼浴間の反応機構については今後解明すべき点が多い。また、

- ハ 石灰の使用量を減少させることが可能
- ニ 石灰粉の貯蔵、輸送、装入量制御などの設備
- ホ 石灰粉による配管系統の摩耗

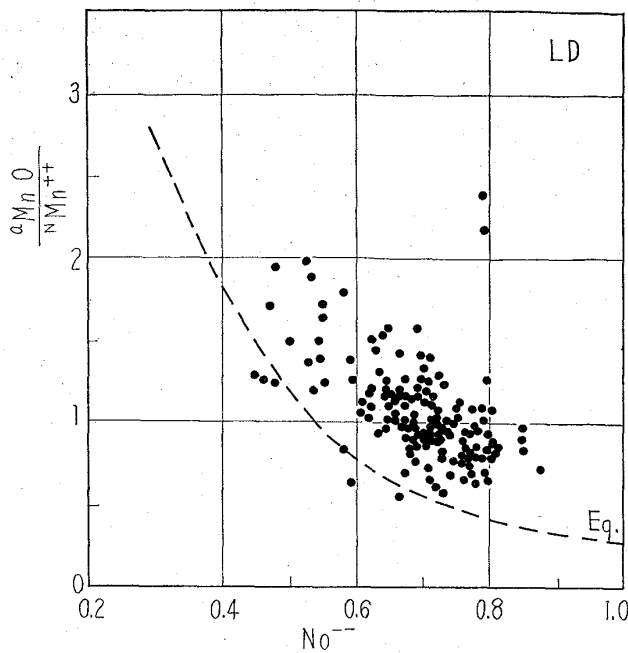
などが考えられる。また LD-AC 法におけるランス、ノズルは本質的には LD 法に使用されるものと同様であるが、酸素気流中に懸濁している石灰のため摩耗変形が激しいという問題もあり種々のランスが工夫されているようである。なお LD-AC 法における高磷銑を使用した吹錬状況の例を示すと図 2・3・14(c)⁴⁴⁾ のとおりである。

2) 日本における LD-AC 法の導入およびその問題点

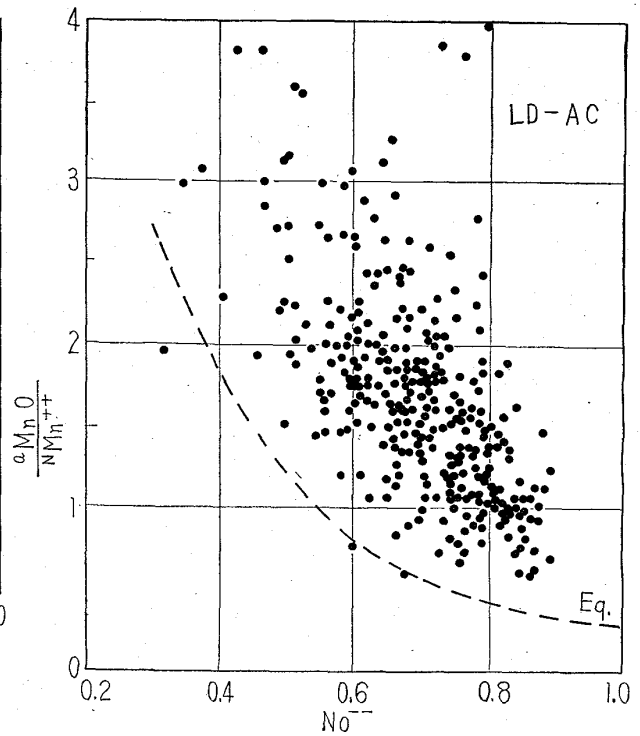
前述のように歴史的経過を見ても明らかごとく、ヨーロッパにおいてはトーマス銑処理という命題から種々研究が行なわれ、LD 法に若干の付加的設備を備えることにより LD-AC 法が開発されたわけであるが、わが国において本法を導入する場合の目的としては当然ながらヨーロッパにおけるそれとは異なるわけである。すなわち、

イ 現状の溶銑 ($P=0.200\%$ 前後) により、ごく低磷 (0.01%) 程度の高炭素鋼または合金鋼を製造する場合の適用

ロ わが国の溶銑の磷が現状よりもさらに高くなるざるを得ないような原料事情になつた場合の適用などが考えられる。前者についてはすでにわが国におい



(a) 酸素イオンとMn平衡の関係(LD)
(CNRM 資料, 1962)



(b) 酸素イオンとMn平衡の関係(LD-AC)
(CNRM 資料, 1962)

(c) LD-ACの吹錬記録の一例 (15ト炉, Sulzbach-Rosenberg)

吹錬経過	作業状況	装入量 kg Nm ³	理論石灰量	鋼浴温度	鋼浴成分							鋼滓成分						
					C	Si	Mn	P	S	N	O	FeO	MnO	CaO	P ₂ O ₅	SiO ₂	MgO	
14分	溶 銑	14200	1100	1595	3.45	0.39	0.86	1.80	0.050	0.006	-	14.0	5.0	47.8	1.6	21.0	8.7	
	冷 銑	2100																
	屑鉄(排滓)	1800																
5	酸 素	620	130	1615	0.69	-	0.30	0.079	0.037	0.003	0.012	40.1	4.6	37.8	7.2	10.0	3.7	
	粉末石灰	1060																
	屑鉄	200																
3.9	塊状石灰(排滓)	120	30	1620	0.26	-	0.13	0.029	0.027	0.002	0.025	34.7	4.1	50.0	26.5	5.2	2.6	
	酸 素	190																
	粉末石灰	420																
22.9	塊状石灰(排滓)	150																
	酸 素	140																
	粉末石灰	550																

(W.A. Fischer 他, Stahl u. Eisen, Heft 3 84 Jahr 1964)

図 2.3.14 LD-AC における操業例

て LD 法によつて機械構造用炭素鋼, 合金鋼, 低合金ポイラーチューブなどかなりの高級鋼を出鋼しているが, 各社とも二重鋼滓法, 高塩基度作業など低磷を得るため種々の手段を講じて作業を行なつているが, 能率, 歩留の低下はまぬがれない。したがつて主として高炭素鋼や合金鋼を製造している LD プラントでは粉石灰吹き込みによる迅速な造滓性の有効利用による低磷高級鋼の製造ということに大きな期待をかけており, 昭和 37 年 12 月に日本鋼管をゼネラルライセンサーとして前記

CNRM, ARBED との LD-AC に関する技術提携が認可された。また, これに基づいて LD グループ各社は昭和 38 年ヨーロッパに実習団を派遣しており, 近々 1, 2 の工場で操業を開始する予定である。

つぎに, 前記の溶銑原料事情に基づく第二の場合であるが, 現在わが国鉄鋼業において増産とともにますます増加してくる輸入鉄鉱石の磷含有量から考えて, むしろ磷は低くなるのではないかと考えられ, 一応現状での直接的な要求はないので, 将来の課題とすべきものと思わ

れる。

いずれにしても、燐の高いトーマス銑の処理として発達した LD-AC 法であるだけに、ヨーロッパにおいては日本におけるような低燐銑での LD-AC の応用結果は知られておらず、むしろ日本での結果に注目している現状であつて、今後の操業が期待されるわけである。

(8) 計算制御

鉄鋼設備にとり入れられつつある計測および自動制御、すなわちオートメーションは、ここ 10 年間急速に発展し、最近では規模も大きくその制御内容も当初に比べてかなり複雑、高度な技術をもつものが多く見られるようになった。しかし、従来の計測、自動制御設備は、一般に直接品質を測定あるいは制御したりまた、プラントの効率そのものを測定あるいは制御するものではなく、単に品質や効率に関連するプロセス変数の一部を、個々別々に計測、制御する機能を持つにとどまっていた。これは、第一には製品品質やプラント効率などを検出、測定することが技術的に困難であつたこと、第二には品質や能率に影響する工程の諸要因や、その相互関係が非常に複雑で解析が困難であつたため、正確な制御方式が設立できなかったことによるものである。

例えば高炉、転炉および平炉などのプロセスを考えても、それらの製品の品質および能率に影響をおよぼす要因変数は非常に多数で、その相互関係も複雑なので、2, 3 の要因変数を一定に自動制御してみても、炉況とか負荷などの環境条件が変化したり、外乱を蒙つた場合は要因の効果が度合が変化してくるので、従来の計器調節ではこれを補うことがほとんどできない状態であつた。

そこで、その生産工程の品質や能率を直接制御し、しかも操業上の種々な条件変化に自ら適応して、安定した制御状態を持続するような制御方式の設立が必要となり、計算制御の開発研究が活発になつたのである。

鉄鋼業界の計算制御において、従来実用の域に達していた事例のほとんどのものは圧延以降のプロセスであつて、大型圧延機の圧下スケジュール、ストリップミルなどの連続フロー、酸洗、鍍金の連続処理ラインがおもなもので、これらはいわゆるシーケンスまたはプログラム制御に属するものである。しかしながら、最近にいたり制御すべきプロセスの複雑な数式モデルを必要とする転炉あるいは高炉の計算制御が実用化される域にまで達したことは誠に喜ばしいことである。

1) LD 転炉における計算制御の必要性

LD 転炉法における製鋼時間の 1 サイクルは平常 30 ~ 40 分であつて非常に短かく、とくにその中心をなす吹錬過程はわずか 20 分程度で他の製鋼法と比較してきわめて高速吹錬となつており、この吹錬過程を正しく制御することが、転炉技術のもつとも重要な問題となる。

吹錬過程の制御目標は、鋼浴の成分および温度の変化を制御し、終点の鋼浴成分および温度を目的とする値に合致させることであるが、この成分、温度の変化に影響をおよぼす要因は非常に多く、終点を正確に制御することは決して容易なことではない。たとえば、要因としてあげられるものには人為的に制御できる吹込酸素の量、圧力、主原料、副原料の使用量などのほかに、人為的な

制御はできないが測定可能な溶鉄の温度、成分など、あるいは測定も困難とされている炉内の形状などがある。そして実際操業では、これら各種の要因が相互に密接な関連を有しており、どの要因の一つをとりあげても、他の要因と切離して考えることは困難であり、これら種々の要因を個々に把握しかつ総合的な吹錬過程の制御を常に正確さを以つて行なうところに計算機の必要性を生ずるわけである。

一方 LD 転炉に対する計算制御の適用性を考えると製鋼反応が比較的理論的に進行しやすくその結果反応を制御しやすいという点から、確かに他の製鋼炉に対するよりも優位にあるといえよう。

2) 計算制御の開発状況

計算制御を転炉の操業に適用しようとする試みは、まず昭和 35 年秋に米国 J.&L. Aliquippa 製鉄所ではじめられ⁴⁵⁾、その後、国内、国外の多くの鉄鋼会社、計器メーカーなどが精力的に研究を進め、転炉の計算制御に関する各種の報告がなされている。従来の報告、資料などから得られた内容を一括すると表 2.3.9 のごとくである。

J. & L. Aliquippa 製鉄所においては最初、終点温度制御を対象として熱精算、物質精算などから理論的に数式を導き、特殊な計算尺、図表を用いて計算していたが、その後、アナログ計算機を設置して計算を行なつたようである。しかし最近の報告⁴⁶⁾によると、アナログ計算機では制御の限界があるとし、デジタル計算機を設置し、また、排ガス中の CO₂ 量の連続測定を行なつてこれを計算制御に関連づけるなど⁴⁷⁾、ダイナミックな方法を研究中である。また米国 Sharon Steel 社の Kaldo 炉は昭和 37 年末より操業を開始したが、これと同時にデジタル計算機による計算制御を行なうべく操業を開始し、以後研究、改善を重ねつつその精度を向上せんと努力している⁴⁸⁾。

これに対し、国内においては日本鋼管が昭和 35 年より計算制御の研究開発を開始し、37 年数式モデルを完成、38 年 3 月より on-line デジタル計算機による計算制御操業を本格的に開始した^{49, 51)}。一方、富士製鉄広畑製鉄所は、37 年 6 月、アナログ計算機を設置し、終点温度の計算を同年 11 月より開始した⁵²⁾。また川崎製鉄、千葉製鉄所は、38 年 11 月からデジタル計算機による計算制御操業を開始している⁵³⁾。

3) 制御対象と制御するための操作因子

制御すべき対象およびその対象を制御するための操作因子としていかなる項目を選定するかは、計算制御を成功させるために、また、その目的とする効果を上げるために重要なことである。純酸素転炉の工程は吹錬過程と調整過程の 2 段階に大別されるが、一般には最も重要な吹錬過程の最終点である終点における鋼浴の温度および成分を制御の対象とする場合が多く一例として各工場の制御の対象を表 2.3.10(a) に示す。

また制御するための操作因子は各工場により必ずしも一定しないが、日本鋼管の場合は表 2.3.10(b) に示すごとく⁴⁹⁾、終点 C% に対しては酸素使用量、終点 P% に対しては焼石灰使用量および終点温度に対しては鉄鉱石使用量をとつている。しかし工場によつては終点温

表 2・3・9 国内、国外の転炉計算制御の開発状況

	会社名	工場	国	発表	共同研究	内 容	主な資料
1	富士製鉄	広畑	日	1963.3	横河電機	off-line, アナログ計算機	52 54
2	日本鋼管	川崎	日	1963.5	北辰電気	on-line, デジタル計算機	49 50 51
3	川崎製鉄	千葉	日	1964.4	日本電気	on-line, デジタル	53
4	八幡製鉄	洞岡	日	1963.9	(富士電機)	計算尺, 計算図表	55 56
5	尼崎製鉄	尼崎	日	未	富士電機	計画中	
6	住友金属	和歌山	日	未	日本電気	計画中	
7	神戸製鋼	灘浜	日	未	?	計画中	
8	J. & L.	Aliquippa	米	1960.3	Electric Association	アナログ, 最近デジタル	45 46 47 57 58
9	J. & L.	Cleveland	米	1962	Honeywell	アナログ	59
10	Great Lakes	—	米	1962	T. R. W.	on-line, デジタル, (休止中)	59
11	Sharon Steel	Roemer	米	1962	Honeywell	カルド転炉, デジタル	48
12	Mclouth Steel	Treton	米	1963	I. B. M.	内容不詳	
13	Ford Motors	Rouge	米	未	Honeywell	同上	
14	Armco Steel	Ashland	米	未	I. B. M.	同上	
15	Colorado Fuel & Iron	Pueblo	米	未	Westing-house	研究中	60
16	Lysaght's (G. K. N.)	Scunthorpe	英	1963	English Electric	on-line デジタル LD-AC 法	61
17	Ijmuiden	—	オランダ	1962	—	研究中	62
18	USINOR	Denain	フランス	1963	IRSID	同上 (OLP 法)	63
19	Cocheriel-Dugrel	—	フランス	未		内容不詳	

度に対して屑鉄使用量を操作因子としているところもあるようである。

4) 数式モデル

制御の対象に対してどんな要因がどれくらいの度合で影響をおよぼしているかを定量的に把握して、これを1つの数式に組立てることにより数式モデルが形成されるが、このモデルの良否が計算制御の精度を決定づけるといえよう。数式モデルを作成する場合大別すると2通りの考え方がある。すなわち

イ 一回のチャージを1バッチと考え熱精算、物質精算などからスタティックに理論的に解析して作成しようとするもの。

ロ (イ)を基礎としさらに統計的手法(重回帰分析など)によつて解析して作成しようとするもの。

次に各工場の数式モデル作成の考え方を表 2・3・10(a)に示すがこれによると大部分の工場がロの考え方に基づいて数式モデルを構成していることがわかる。

表 2・3・10(b)に主たる要因の一例を示すが、要因の中には定量的に把握できるような項目(たとえば炉の形状、ランスの形状など)もあり、この処理方法として、その

影響をなくするために前チャージのデータを利用する方法がある。(日本鋼管, その他).すなわち「前チャージの変数 (x_1) と操業結果 (y_1) との関係」を「次のチャージの変数 (x_0) と結果 (y_0)」の関係に適用することにより、次のチャージの結果 (y_0) を推定する方法であつて、これは簡単に

$$y_0 = y_1 + f(x_0 - x_1)$$

なる式で示される。

また吹錬中の炉口排ガス中の CO_2 量を分析してこれを計算制御に利用しようとする試み(J. & L., Lysaght'sら)などいわゆるプロセスをダイナミックな形でとらえようとする考え方もあり、その研究も一方で続けられているようである。

5) 制御システム

数式モデルが作成された後これまでのような計算機を使用し、いかなる順序で計算するか、すなわち計算制御システムの決定が次の課題となる。計算機の種類は大別するとアナログ計算機とデジタル計算機があり、デジタル計算機は判断機能を必要とする場合やダイナミックな計算を必要とすることおよび今後の改善によつて計算

表 2-3-10 転 炉 計 算 制 御 の 実 施 例

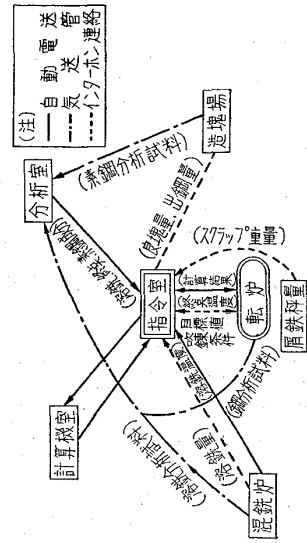
(a) 制 御 の 対 象 , 数 式 モ デ ル , 計 算 機 の 概 要

項 目 社 会	制 御 の 対 象 (○印)						数 式 モ デ ル の 構 成 の 仕 方	計 算 機			
	終 点			素 鋼				計 算 機 の 種 類		on-line または off-line	
	温 度	C	P	C	Mn	P		デ ィ ジ タ ル	ア ナ ロ グ	on-line	off-line
富 士 製 鉄	○	×	×	×	×	×	特 性 値 と 要 因 の 関 係 を 主 と し て 統 計 的 手 法 (重 回 帰 分 析) に よ っ て 解 析 する 事 が 強 い	—	○	—	○
日 本 鋼 管	○	○	○	○	○	○	主 と し て 統 計 的 手 法 に よ っ て 解 析 し , プ ロ セ ス を ダイ ナ ミ ッ ク (前 ヒー ト と 今 ヒー ト の 差) に と ら え る	○	—	○	—
川 崎 製 鉄	○	○	×	×	×	×	前 2 項 と 同 じ	○	—	○	—
八 幡 製 鉄	○	○	×	×	×	×	同 上	—	—	—	—

(b) 吹 錬 過 程 に お け る 制 御 式 の 要 因

要 因 制 御 対 象	制 御 可 能							制 御 不 可 能				
	溶 銜 量	冷 銜 量	ス ク ラ ッ プ 量	ス ク ラ ッ プ 高 さ	酸 素 圧 力	酸 素 使 用 量	炉 内 状 況	溶 銜 温 度	" P	" Si	溶 銜 成 分 C	
終 点 C %	○	○	○	○	◎	○	○				○	
終 点 P %	○	○		○	○	○	○			○	○	
終 点 温 度	○	○	○	○	○	○	○			○	○	

(注) ◎印各対象の制御に用い、る要因

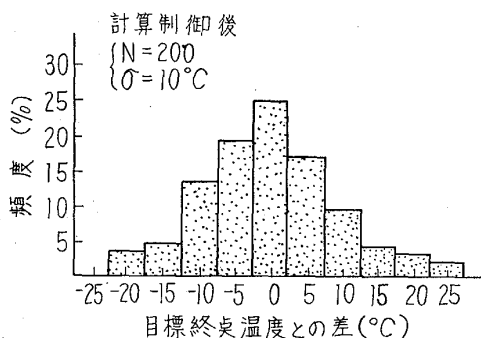
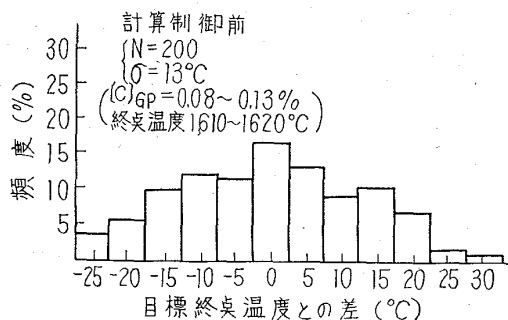


(c) 転炉計算制御の全般的システム (日本鋼管・川崎)

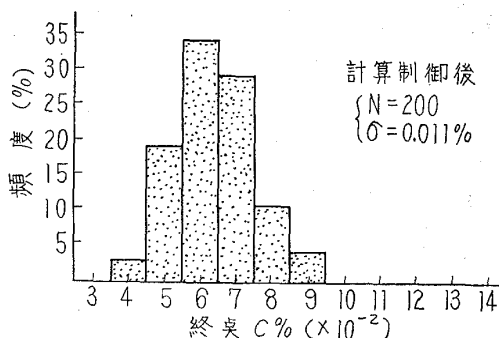
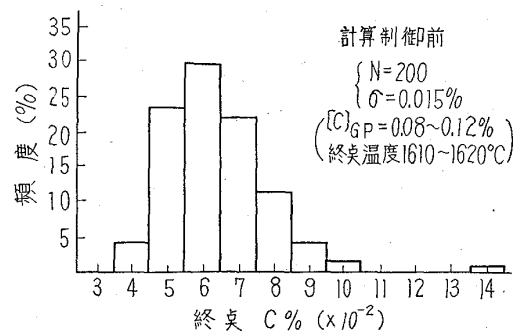
式を変更する場合、さらに closed loop 制御に発展する場合、自動記録を行なう場合などに必要となる。また、計算機は制御システムにおける役割の違いから、一般に on-line かあるいは off-line かに区別されるが、各工場の計算制御システムの概要を示すと表 2.3.10(a) の通りであつて、今後の趨勢から考えて将来は on-line のデジタル計算機の方に向うものと思われる。

次に計算制御の行なわれる手順の一例（日本鋼管）を示すと表 2.3.10(c) の通りである。すなわち、ここでは制御は指令室が中心になつて行なわれ計算機に対する情報の input の仕方は大別して次の3通りである。すなわち直接自動電送されるもの（溶銑温度、成分など）と指令室の操作員が他からインターホーンで情報を受け

てそれを計算機に input するもの（溶銑、スクラップ量など）とさらに目標値（終点温度、終点 C など）を input するものである。これに基づいて計算機が計算を行ない、各操作因子（鉄鉱石、酸素量など）の結果が指令室と転炉炉前に自動表示され、炉前作業員がこの結果にしたがつて作業するわけであるが、一方終点の測定値（成分、温度）は計算機に自動電送され、その計算結果に基づき次の調整作業（溶鋼 C, Mn, P など）が行なわれる。また当該チャージの一連の作業が終了すると、素鋼の成分、良塊量、出鋼量などの値が計算機に送られ、記憶される一方操作データはすべて自動タイピングされ次チャージの参考とされる。なお、これらの手順ならびに計算に要する時間は急速な吹錬作業においても十分間に



(a) 計算制御適用前後の終点温度の分布

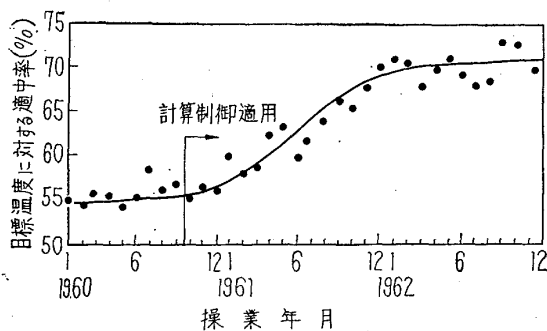


(b) 計算制御適用前後の終点 C% の分布

制御対象	鋼種	計算機	吹錬者
終点温度 適中率 (%)	リムド低 [c]	91.1	83.9
	それ以外	89.8	81.4
	計	90.5	82.9
終点 [c] 適中率 (%)	リムド低 [c]	75.0	61.9
	それ以外	70.8	64.6
	計	73.1	63.0

但し 1) 終点温度の適中範囲は -10~+15°C
 2) 終点 [c] の " C<0.06% では ±0.01%
 0.06≤C≤0.10 では ±0.015%
 0.10<C では ±0.025%

(c) 終点温度並びに C% に対する計算機と吹錬者の適中率の比較 (川鉄, 千葉)



(d) 終点温度に対する計算制御適用前後の適中率の変化

(J. & L., Aliquippa)

図 2.3.15 計算制御適用の効果

合う程度のものである。

6) 計算制御適用の効果

終点温度および終点 C に対する計算制御適用前後の結果について、日本鋼管⁵¹⁾、川崎製鉄 (千葉)⁵²⁾、J. & L.⁴⁶⁾ の例をそれぞれ図 2.3.15(a) (b) (c) (d) に示すがこれらによれば計算機の適用によつて制御項目の値のバラツキが減少し、目標値に対する的中率もよくなり作業が安定するとともに品質の安定も期待し得るという結果を得ている。もちろんこれらの結果はさらに技術レベルの向上によつてその効果は顕著なものとなるものと思われる。

以上計算制御の概略を述べたが、LD 転炉における計算制御操業は今後ますます発展するであろう。すなわち、LD 転炉操業技術の進歩・改善ならびに操業の安定化の推進によつて、計算制御の精度の一層の向上が期待されるとともに、さらに設備上の点からはクロズド・システムへ発展していくものと思われる。

2.3.3 カ ル ド 法

LD 製鋼法の発展とともにこれに刺激を受けてヨーロッパおよび北欧の高燐銑処理という原料事情を背景とした酸素製鋼法として相ついで世に出たものがいわゆるカルド法およびローター法であるが両製鋼法の日本における将来性を考えてここではカルド法について述べる。

スウェーデンにおいては元来高燐のトーマス銑が相当量生産されているが、これを原料として低燐良質の鋼を得るため LD 法の研究が行なわれたが、その初期の段階ではトーマス銑を処理するに当り能率の低下および鋼滓相への鉄分損失に伴う歩留低下が著しかつたといわれる。これを解決する方法として、昭和 23 年頃より Bo Kalling によつて行なわれていた炉体回転による鋼浴—鋼滓反応促進による回転酸素転炉の研究結果に基づき、昭和 31 年にスウェーデンの Stora Kopparbergs Bergslags 社の Domnarvet 工場において 25t 炉による工業化試験に成功し、これをカルド (Kaldo) 法と名づけた。その後、本法により低燐銑の溶製も可能であり、また高 Si 銑も攪拌がよいので有利であることから、トーマス銑を原料とする製鋼法にとどまらず、低燐銑から特に鋼中 P, S の低い高炭素鋼が得られる製鋼法としても注目

表 2.3.11 カルド転炉の稼動状況

稼動時期	工場名	国	炉容	原料銑	製造鋼種
1956	Stora	スウェーデン	30t×1	高燐銑	鋼板、線材
1960	Sollac	フランス	120t×1	"	鋼板
1961	Grangesberg	スウェーデン	120t×2	0.03% P	造船用鋼板
1962	Consett	イギリス	120t×2	中燐銑	中・高・炭素鋼
1962	Sharon	アメリカ	130t×2	0.2% P	低合金鋼
1963	Parkgate	イギリス	75t×2	1.8% P	高級鋼
1963	Shelton	イギリス	45t×2	0.7% P	低合金鋼
1964	Stora	スウェーデン	60t×2	1.8% P	"

され、最近あらゆる角度から定置型の LD 法と比較検討されて欧米各社においてもこの方法を採用するにいたっている。なお現在稼動中のカルド炉は表 2.3.11 の通りである。

1) 原理の特長

一般に高燐銑の吹錬に当つては投入石灰量が多く、普通の LD 転炉では炉内における鋼滓の厚さが大となり、熱精算上からも酸素の吹付け効率の点でも好ましくなく、そのため鋼浴面を大きくしかつ酸素吹込みにより生ずる CO を炉内において完全燃焼させて、その熱が鋼浴に対してよく伝わるよう考えたのがカルド法であつて、この場合鋼浴の攪拌は酸素吹込みの条件のいかにかわらなく調節ができ、攪拌は酸素を鋼浴に吹込まないでも、また、ただ鋼浴面に圧力を小さくして吹付けても炉体回転によつて十分行なわれるという特徴を持っている。炉を傾斜させたまま 0~30 r.p.m. 程度の速度で回転させながら炉口からランスにより鋼浴面に対して斜めに酸素を吹付けるものであるが、吹錬の管理調節は一般に簡単な観察とランスの鋼浴面に対する角度および炉体回転速度によつて行なわれる。

一般に炉体の回転速度についてはカルド法の操業に大きな影響をおよぼすものであるが、たとえば高速回転により鋼浴と鋼滓の接触の増大によつて (FeO) の量が鋼滓中に少なくなり逆に低速にすると (FeO) の量が多くなる効果を生ずるといわれる。カルド法における吹錬機構は、平炉における考え方に近く鋼滓を介して吹錬を遂行するものと思われ、さらに鋼浴面に対してある角度を持つて噴射される酸素ジェットと、炉体の回転運動の効果が加味されたものである。

一般にカルド法においては鋼滓面における酸素吸収量を加速してやることによつてのみ脱炭速度と脱燐速度を同時に促進し得るものであつて、これはとりもなおさず炉体の回転速度を大にすることは、脱燐を促進するよりもむしろ脱燐速度を低減してしまうという理由にほかならない。したがつて、カルド法においては、これらの要因を十分検討し組合わせることによつて良好な吹錬状態が得られるものと思われる⁶⁴⁾。

カルド法の操業面の特長のおもなものをあげると次の通りである。すなわち、

イ 回転速度、酸素吹込み方法の調節により所定の鋼滓の形成を容易にし吹錬効果を上げることが可能で作業に柔軟性を持つ。

ロ 鋼中の [C] を比較的高く保ちながら、[P]、[S] の含有量をきわめて低減し得るので高級鋼の吹錬にも適する。

ハ 炉中で CO ガスの大部分を CO₂ に燃焼できるので熱経済性にすぐれ、大量の屑鉄または鉄鉱石の溶解が可能である。(図 2.3.16 (a).)

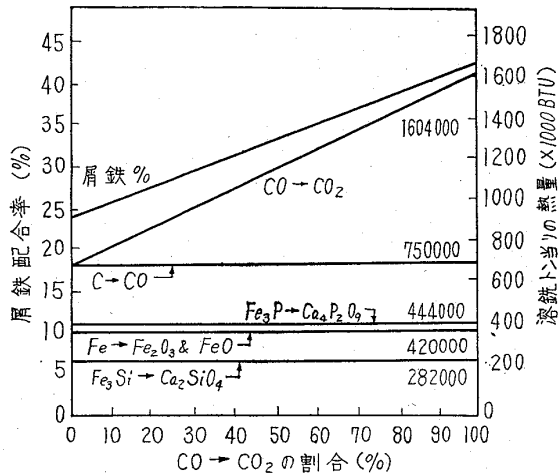
ニ 使用する酸素純度が低くても低窒素鋼を得ることができる。

ホ 鋼滓およびダストへの鉄損失は少なく、歩留は良好であり、また廃ガスの除塵装置は比較的小型で済む。

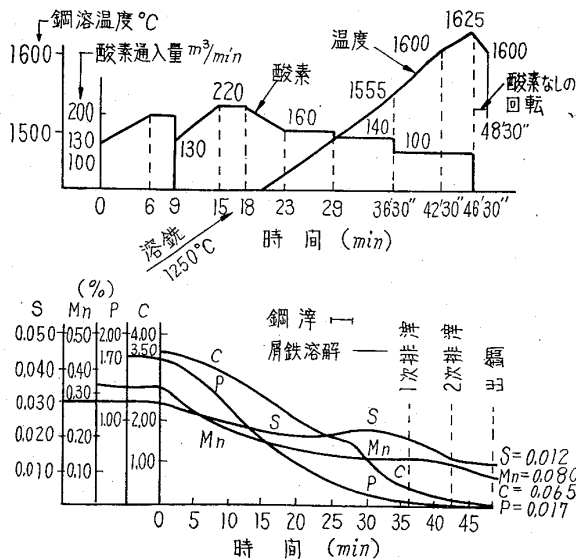
ヘ 使用原料に対し多様性がある。

2) カルド法の操業例

カルド法は各工場の立地条件によりさまざまな使い方が考えられるが例として Domnarvet および Sollac の



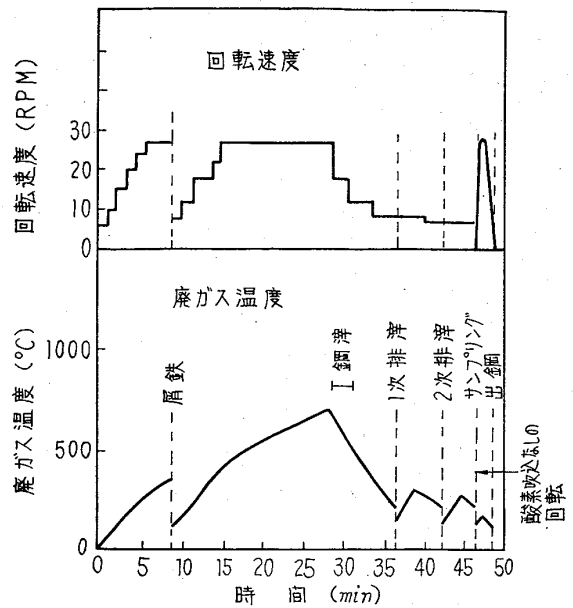
(a) CO→CO₂ 変化による熱効率 (カルド法)
(T. Olof Dormsjo, D. R. Berg)



(b) SOLLAC における吹錬中の成分変化と酸素通入量、鋼浴温度の状況 (低炭リムド鋼)

- 溶 鉄 675 kg/t
- 屑 鉄 215 (10 分後 200 kg 追加)
- 焼 石 灰 58 (1 次排滓後 13 kg 追加)
- 前回の滓 26
- 鉄 鉱 石 (1 次排滓後: 温度により使用)

(R. H. Colmant : J. Metals, July 1962)



(c) SOLLAC における低炭リムド鋼製造の際の炉体回転速度と廃ガス温度
(R. H. Colmant : J. Metals, July 1962)

図 2.3.16 カルド法の操業例

場合をあげる。

Domnarvet の操業例を示すと、銑鉄成分は

C	Si	Mn	P
3.5%	0.2~0.3	0.7	1.8~2.0

程度のものを使用し、鋼浴を冷却する場合に銑鉄トン当たり 140 kg の鉄鉱石を使用しており、屑鉄を鉄鉱石の代わりに使用すればほぼ 40% の屑鉄に相当するが、スウェーデンにおいては屑鉄が不足しているので大量の屑鉄使用は行なわれなるといわれる。また、カルド法は脱硫がよく、Stora 社では高磷銑から低磷、低硫、低窒素の良質鋼を製造するために操業しているようである。

次に、Sollac の場合は、事情が異なり大量の屑鉄の処理が可能であることから、120t のカルド炉を建設し昭和 35 年以来実用されている。その操業例を示すと図 2.3.16(b)(c) の通りである。

3) カルド法における今後の問題点

カルド法は LD 法と出発点を異にし高磷銑から容易に [P], [S] の低い鋼を造る方法として、非常に興味のあるもので、その上熱的にはたとえば合金剤を相当量添加できるほどの過剰熱が得られるので、特殊鋼の溶製にも使用が可能であり、また設備的にも廃ガス処理が比較的楽であるという利点も持っている。しかしながら、炉体内張耐火物の損傷が著しく、寿命も 50~100 回程度であるといわれ、CO の燃焼による熱の有効利用という利点はあるにしても、酸素の使用量は必ずしも少ないとはいえず、低磷銑を使用する場合 LD 炉にくらべて生産性が低いという問題もある。

また、わが国においてもすでに 2, 3 の鉄鋼メーカーが特殊鋼の製造を目的として技術提携を結び、近々カルド炉の建設が行なわれるといわれている。わが国におけるカルド法については、その目的はカルド法本来のもの

とはいささか異なり、その問題点は低磷鉄による超低磷鋼の溶製、脱炭制御による高級鋼の製造、あるいは高層鉄配合というような点に置かれ、このような問題点に対する LD 法の技術的進歩と合わせてカルド法の将来が決定されるものと思われる。

2.3.4 将来の展望

現在、世界における各種製鋼法としては純酸素転炉法を始めとして、平炉製鋼法、電気炉製鋼法、トーマス転炉法など数多く存在するが、これら各種製鋼法が将来いかなる状態において発展あるいは減退してゆくであろうか、という問題を適確に予想することは難かしい。しかし、世界的にみても現在純酸素転炉法がその主要製鋼法となりつつあることは間違いのないところである。

最近 ECE⁹⁾ から諸製鋼法の比較について、広範囲の調査資料が提出されているが、これによると主要製鋼国においては今後 4~5 年のあいだ、純酸素転炉の設置に主として力点が置かれ、各種酸素転炉の世界の能力合計は、1965 年までに 1 億 t を超え、1965 年の世界の粗鋼生産能力を 5 億 t とすれば酸素吹製鋼の割合は合計能力の 20~25% になろうと述べている。このような急速な発展の基礎となるものはいうまでもなく、純酸素転炉法の優秀性であるが、その優秀性はすでに本文中で述べたごとく、他製鋼法に比較してその生産性のきわめて高いこと、製造鋼種の範囲が低炭素鋼から高炭素鋼および合金鋼までにおよび他製鋼法にその類をみないこと、建設費、製造費の低廉なこと、などによるものである。

このように、現状の技術レベルにおいても、すでに純酸素転炉法の優秀性は決定的なものであるが、本法の現状の技術は必ずしも完成されたものでなく、今後さらに一層の技術改善をはかることによつて、本法の発展性は一段と増すことになろう。

幸いにして、BOT 社を代表とする特許技術契約によつて世界的にも技術相互援助がなされ、また国内においても LD 技術懇談会の名の下に研究発表討論を定期的実施するとともに、また差支えない限り日本鉄鋼協会にもその成果を発表するなどの方法により、技術的發展をはかっている現状であり、大いにその成果が今後期待されるものと信ずる。

参 考 文 献

- 1) M. H. TRENKLER: Ein Jahrzehnt LD-Verfahren, (1961)
- 2) 日本鉄鋼連盟: 鉄鋼界報, No. 673 (1964)
- 3) 日本鉄鋼連盟: 鉄鋼界, 14 (1964) 5
- 4) 国際連合: 諸製鋼法の比較 (1962)
- 5) BOT 資料
- 6) 川崎製鉄: 第 11 回 LD 技術懇談会資料 (1963)
- 7) 八幡製鉄: 第 13 回 LD 技術懇談会資料 (1964)
- 8) J. M. LANGEN: J. Iron & Steel Inst. (U.K.),
- 9) 八幡製鉄: 鉄と鋼, 45 (1959)
- 10) 日本鋼管: 第 3 回国際 LD 会議資料, (1962)
- 11) A. WEGSCHEIDER: Stahl u. Eisen, 76 Jahr., (1956)
- 12) F. C. MUTTITT: J. Metals Jul. (1960)
- 13) J. N. ALBAUGH: J. Metals., Sept, (1961)
- 14) 長崎勸: 窯業協会誌, 68 (1960)
- 15) 八幡製鉄: 鉄と鋼, 47 (1961)
- 16) A. L. BRADLEY: J. Iron and Steel Inst. (Special Report), (1946)
- 17) P. METZ: Stahl u. Eisen, 74 Jahr., (1954)
- 18) R. GREGOIRE: Stahl u. Eisen, 74 Jahr. (1954)
- 19) 尼崎製鉄: 鉄と鋼, 48 (1962)
- 20) J. K. STONE: T. Iron & Steel Eng., June, (1963)
- 21) 八幡製鉄: 製鉄研究. No. 245
- 22) 八幡製鉄: 鉄と鋼, 47 (1961) 10
- 23) 尼崎製鉄: 鉄と鋼, 48 (1962) 11; 住友金属: 鉄と鋼, 50 (1964) 3
- 24) B. TRENTINI: J. Metals, Flug., (1962)
- 25) R. F. RINESH: J. Metals, Jul., (1962)
- 26) L. COOK: Steel & Coal, Vol. 184, No. 4964, (1964)
- 27) H. HOFF: Stahl u. Eisen, Heft 9, 81 Jahr. (1961)
- 28) 日本鋼管: 第 10 回 LD 技術懇談会資料, (1962)
- 29) K. GUTHMANN: Stahl u. Eisen, Heft 13, 82 Jahr., (1962)
- 30) J. Metals, Jul., (1960)
- 31) 竹内実他: 富士時報, 9 (1963)
- 32) 帝国酸素カタログ
- 33) 川村宏矣: 特殊鋼, 11 (1962) 10
- 34) 住友金属: 第 13 回 LD 技術懇談会資料, (1964); 神戸製鋼: 第 13 回 LD 技術懇談会資料, (1964); K. Rösner 他: Iron & Coal Trade Rev. Vol. 177, No. 4709, (1958); F. DOBLOWSKY: 第 2 回国際 LD 会議資料, (1961); Steel & Coal. Vol. 185, No. 4928 (1962); 日本鋼管: 第 13 回 LD 技術懇談会資料, (1964)
- 35) 神戸製鋼: 鉄と鋼, 50 (1964) 2
- 36) 尼崎製鉄: 鉄と鋼, 50 (1964) 2
- 37) 日本鋼管: 鉄と鋼, 50 (1964) 2
- 38) 日本鋼管: 第 11 回 LD 技術懇談会資料, (1963)
- 39) 日本鋼管: 第 13 回 LD 技術懇談会資料, (1964)
- 40) 尼崎製鉄: 第 13 回 LD 技術懇談会資料, (1964)
- 41) 日本鋼管: 学振 19 委製鋼反応協議会資料, (1964)
- 42) 産業構造調査会特殊鋼小委員会資料, (1962)
- 43) A. DECKER 他: CNRM 資料, (1962)
- 44) W. A. FISCHER 他: Stahl u. Eisen, Heft 3, 84 Jahr., (1964)
- 45) W. J. Slatosky: J. Metals.
- 46) H. W. MEYER 他: 国際酸素製鋼会議資料, (1963)
- 47) D. A. DUKELOW 他: AISI Fall Convention, (1963)
- 48) L. H. JAQUAY 他: Annual Meeting of AIME, (1964)
- 49) 日本鋼管: 日本鋼管技報, No. 26, (1963)

- 50) 板岡, 伊藤他: 金属, 6月15日号, (1963)
 51) 日本鋼管: 第12回LD技術懇談会資料, (1963)
 52) 富士製鉄: 第11回LD技術懇談会資料, (1963)
 53) 川崎製鉄: 第13回LD技術懇談会資料, (1964)
 54) 富士製鉄: 鉄と鋼, 49 (1963) 3
 55) 八幡製鉄: 第12回LD技術懇談会資料, (1963)
 56) 八幡製鉄: 第13回LD技術懇談会資料, (1964)
 57) W. J. STATOSKY: Trans. AIME Feb., (1961)
 58) W. J. STATOSKY: J. Iron & Steel Ins., (1962)
 59) MADISON: Iron & Steel Eng., Jau. (1962)
 60) E. J. BORREBACH 他: Iron & Steel Eng. Dec., (1962)
 61) N. E. WEBER-BROWN: 国際酸素製鋼会議資料, (1963)
 62) G. W. STEIN CALLENFELS: J. Iron & Steel Inst. Feb. (1962)
 63) B. TRENTINI: J. Metals, Aug., (1962)
 64) P. ROCQUET: J. Metals, Jul., (1962)
 65) R. H. COLMANT: J. Metals, Jul., (1962)

2.4 真空処理法

2.4.1 真空溶解法

(1) 消耗電極式アーク溶解法

1) 開発の経緯

消耗電極式アーク溶解法は10年近くの開発歴史しか有せず, そのプロセスの性格上生産性が劣り, 操業のコスト高など解決すべき問題を多々含んでいるが, 最近のような機械の高性能化にともなう材料の高度化の要望に対応するものとして, ひとつの技術分野を占めつつある。

そもそも, 消耗電極式アーク溶解法は金属ジルコニウムの溶製のために, 米国鉱山局で研究されたもので, わが国においては1953年(昭和28年)以降, 金属チタンの溶解法として神戸製鋼所などで研究開発されてきた¹⁾。この開発の段階で神戸製鋼所が本溶解法を特殊鋼の溶解に応用することに先鞭をつけ^{2), 3)}。その後日本鉄鋼協会では新技術開発部会真空冶金分科会において, 長谷川主査を中心として研究会もち, 本技術の普及発展のため尽力してきた⁴⁾。また, 最近では電気炉工業会においても本炉の専門部会を設け, 大同製鋼, 日本真空技術および神戸製鋼所の3社が協力して, 本溶解炉の普及と発展に努力している。本溶解法の欧米の状況をみると, わが国とときを同じくして米国において本溶解法を特殊鋼の溶解に応用することが始められ, 宇宙開発をはじめとする新技術分野での多量の高性能材料の需要とあいまって, 急速な発展をとげている。また, 欧州諸国においても漸次実用化されつつある。表2.4.1に国内における本溶解炉の設置会社名, 鑄塊直径と重量および炉数を, 表2.4.2には欧米における設置状況を示す。

2) 消耗電極式アーク溶解法と材料の特徴

消耗電極式アーク溶解法, すなわち Consumable Electrode Arc 溶解法は溶製しようとする材料で消耗電極を作り, これを水冷鑄型の中でアーク熱により溶解し, 水冷鑄型の中に layer by layer に鑄塊を凝固させて

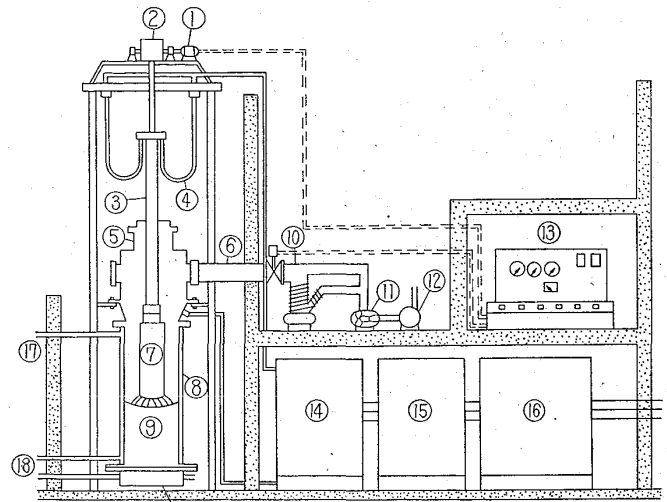
表 2.4.1 日本における消耗電極式アーク炉設置状況

会社名	鑄塊径, 重量	基数
関東特殊製鋼	980 mmφ × 15 t	1
	500 mmφ × 4 t	1
川崎製鉄	850 mmφ × 12 t	1
神戸製鋼所	740 mmφ × 10 t	1
	200 mmφ × 0.1 t	1
日立製作所(勝田)	800 mmφ × 10 t	1
特殊製鋼	640 mmφ × 6.8 t	1
日本特殊鋼	490 mmφ × 3 t	1
不二越鋼材	400 mmφ × 1 t	1
日本冶金工業	400 mmφ × 1.5 t	1
日本ステンレス	350 mmφ × 1 t	1
大同製鋼	324 mmφ × 0.7 t	1
	196 mmφ × 0.4 t	1
山陽特殊製鋼	330 mmφ × 1 t	1
日立金属	300 mmφ × 1 t	1
住友金属	300 mmφ × 1 t	1

表 2.4.2 欧米における消耗電極式アーク炉設置状況

会社名	国名	鑄塊径, 重量	基数
Allegheny Ludlum Steel Corp.	米	700 mmφ × 9 t	6
		1,270 mmφ × 23 t	1
Braeburn Alloy Steel Co.	米	750 mmφ × 10 t	1
Carpenter Steel Co.	米	500 mmφ × 2.3 t	1
		750 mmφ × 10 t	1
Crucible Steel Co.	米	810 mmφ × 7.6 t	3
		750 mmφ × 10 t	1
Huntington Alloys Div., International Nickel Co.	米	750 mmφ × 10 t	1
Latrobe Steel Co.	米	500 mmφ × 3.6 t	2
		750 mmφ × 12 t	1
		910 mmφ × 12 t	1
Midvale-Heppenstall Co.	米	530 mmφ × 4.2 t	2
		1,500 mmφ × 50 t	1
Republic Steel Corp.	米	810 mmφ × 9 t	2

会 社 名	国名	铸塊径, 重 量	基数
Special Metals	米	810 mmφ × 10 t	2
Standard Steel Works Div., Baldwin-Lima- Hamilton Corp.	米	750 mmφ × 10 t	1
		1,000 mmφ × 23 t	1
Universal Cyclops Steel Corp.	米	625 mmφ × 5.5 t	3
		1,000 mmφ × 23 t	2
Vanadium Alloys Steel Corp.	米	610 mmφ × 4 t	1
		810 mmφ	1
Westinghouse Electric Corp.	米	400 mmφ × 1.5 t	2
		500 mmφ × 3.8 t	1
English Steel Corp.	英	640 mmφ × 6 t	1
Firth Brown Ltd.	英	640 mmφ × 6 t	1
Hadfields Ltd.	英	750 mmφ × 9 t	1
Imperial Metal Industries	英	690 mmφ × 6 t	1
Jessop and Sons Ltd.	英	580 mmφ	1
		640 mmφ × 6 t	1
Gebr. Boehler	独	330 mmφ	1
Deutsche Edelsathlwe- rke	独	830 mmφ × 12 t	1
W. C. Heraeus	独	390 mmφ	1
FR. Krupp	独	390 mmφ	1
Roehling	独	640 mmφ × 6 t	1
		800 mmφ × 10 t	1
Aubert & Duval	仏	640 mmφ × 6 t	1
Sté Metallurgique d'Imphy	仏	600 mmφ ×	1
		800 mmφ × 12 t	1
AB. Bofors	スウ エ デン	600 mmφ	1
Sandviken Jernverks	スウ エ デン	220 mmφ	1
		830 mmφ × 12 t	2



- ① 電極昇降用モーター
- ② 電極昇降用減速機
- ③ スティンガーロッド (電極昇降棒)
- ④ 電力供給ケーブル
- ⑤ 炉 体
- ⑥ 真空排気管
- ⑦ 消耗電極
- ⑧ 水 冷 鋳 型
- ⑨ 鋳
- ⑩ 拡散ポンプ
- ⑪ メカニカルブースター
- ⑫ 油回転ポンプ
- ⑬ 操作パネル
- ⑭ 整流装置
- ⑮ "
- ⑯ "
- ⑰ 冷却水出口
- ⑱ 冷却水入口
- ⑲ スツール (炉底)

図 2.4.1 消耗電極式アーク炉概略図

表 2.4.3 消耗電極式アーク溶解における脱ガス効果

鋼 種	種 別	ガス含有量 (ppm)		
		O	N	H
AISI 304	電 極 材 消耗電極式アーク材	177	290	4
		41	290	tr
AISI 316 L	電 極 材 消耗電極式アーク材	319	440	tr
		11	140	tr
17-7 PH	電 極 材 消耗電極式アーク材	51	200	1
		10	140	tr
ニモニック 80	電 極 材 消耗電極式アーク材	76	112	5
		23	41	tr
SAE 4340	電 極 材 消耗電極式アーク材	43	97	tr
		16	65	tr

いくものであり、一般に図 2.4.1 に示すとき構造の溶解炉が使用され、下記のごとき特徴をもっている⁴⁾。

- 1) 脱ガス効果が顕著である。(表 2.4.3)⁴⁾
- 2) 非金属介在物の浮上分離が顕著。
- 3) layer by layer な凝固により偏析、収縮孔などの欠陥がなく、材料の信頼性が著しく高い。
- 4) 耐火物による汚染がない。
- 5) 50 t 以上の大型鋼塊の溶製も可能である。

本溶解法を高速エンジン用クランク軸やガスタービンローター軸などの製造に応用すれば、非金属介在物が均一微細に分布し、しかも著減してまったく健全で、材料としての信頼性のきわめて高い製品が得られると同

時に、これらの欠陥による廃却が皆無となるためにかえってコストの低減も行なわれている。また、蒸気タービンブレード用 13% Cr 鋼においては従来、鋼塊中心の欠陥部分を除去して製造していたが、これを消耗電極式アーク溶解材にかえることによつて格段に歩留りが向上し、地疵のまったく清浄な材料が常に安定して得られるようになって、現在ではわが国の蒸気タービンブレード材はほとんど本溶解法で製造されるようになってきている⁵⁾。米国においては航空機用高級軸受には消耗電

極式アーク溶解材を使用することを規格化しており、精密計器用の軸受にも多量に使用しているといわれるが、わが国においても航空機や高速車輛などに必要な高性能軸受に使用されはじめ、ミニチュアベアリング用としても実用化されつつある。

ステンレス鋼、耐熱鋼および耐熱合金においては、クリープ特性と加工性の向上が顕著であり、また横目の疲労強度が大気中溶解材に比して高く、ジェットエンジンおよびミサイル用の材料はほとんど本溶解法によつて製造され、実際これらの用途においては消耗電極式アーク溶解材の使用が規格化されていることは周知のとおりである。また、型鋼などの熱間工具鋼についても寿命が改善されたとの報告もある⁶⁾。さらに、原子炉用燃料被覆管のごとききわめて高い信頼性を要求する高級鋼管においてもすでに実用に供されている⁷⁾。自動車エンジン排気弁にも実際に使用されて良好な結果が得られている⁸⁾。

センジマーロール、金属箔圧延用ロール、冷間仕上圧延用高級ロールにおいては、ロール表面のわずかな砂疵さえも問題となり、従来法ではとうてい満足な品質のロールは得られないとして、米国はもちろん、わが国においても消耗電極式アーク溶解材によるロールの製造が行なわれている。今後、機器の性能が高度化し、その使用条件が苛酷になるにしたがつて、高品質で、かつ高い信頼性を有する材料に対する需要は急速に伸び、消耗電極式アーク溶解材の適用範囲はますます広がるものと確信する。

3) 経済性

消耗電極式アーク溶解法ではそれ自身金属材料として使用できるものを消耗電極材として再溶解するために、大気中溶解材よりも溶解費が余分にかさむことはいない事実であるが、高い材料歩留りと製品歩留りによつてむくいる。表 2・4・4 に単重 5 t の鋼塊について溶解費の試算例を示したが、理想的な場合の計算であり、実際には炉の稼働率が低いので、1 t 当たり 5 万円前後となつているのが現状である。しかし、将来需要が増加し、炉の稼働率が上れば表 2・4・4 の値になることが期待される。現状では消耗電極式アーク溶解材の方が大気中溶解材に比べて普通の材料では高価になるが、どうしても消耗電極式アーク溶解法に頼らねばならない材料

表 2・4・4 消耗電極式アーク溶解費 (円/t)

項 目	経 費 (円/t)	備 考
消 耗 費	6,230	電気料 1,000 kWh/t ほか
人 件 費	1,160	係員 1 名, 作業員 6 名, 2 交替
減 価 償 却 費	3,038	耐用年数 15 年, 償却率半期 7.4% (5 年平均)
諸 経 費	680	固定資産税 1.4%/年 保険料 1%/年
管 理 費	2,000	500,000 円/月
合 計	13,108	

は別として、一般の高級鍛鋼品でもしばしば工程の終わり近くになつて砂疵、ゴーストなどによる廃却があり、これを考慮に入れると、1 t 当たり 5 万円前後の溶解費はむしろ安いといえるのではある。また水素含有量がきわめて低いために、水素拡散のための長時間の拡散焼鈍をまったく必要とせず、その費用によつても溶解費をカバーすることができる。

(2) 真空誘導溶解

1) 開発の経緯およびわが国の現状⁹⁾

元来高純度の試料を得るための実験手段として古くから実用化されてきたが、工業的な製鋼手段として開発されたのは比較的最近のことである。これは大容量の真空機器の性能が十分でなかつたことや電気的な技術上の障害がおもな原因であつた。第 2 次大戦後の大型真空ポンプの開発は高周波発電機を電源とする内熱式の溶解炉の技術的な障害を解消し、大量溶解を可能とする工業炉の出現をみ、高級鉄鋼材料の製鋼手段としてようやく実用化の段階に入つた。

わが国の開発の初期の段階においては排気された石英管内にルツボを置き、石英管の外側に巻かれた溶解線輪に供給される高周波電力により溶解するもので主として管球材料、磁気材料を対象として研究室の中で育つた。この方法は外熱式といわれるもので溶解量も数 kg の域をでなかつた。わが国にはじめて工業的規模の炉が設置されたのは昭和 29 年東北金属(株)に米国 N. R. C. 社製溶解量 50 kg のバッチ式溶解炉であり、電磁気材料を主体とした工業生産を開始した。

その後国内真空機器メーカーの開発態勢もようやく活発となり、真空ポンプその他設計面においても日本真空技術(株)その他において工業設備の国産化態勢も完了した段階といえることができる。すなわち初期に建設された溶解炉は 1 回の溶解ごとに真空をやぶつて鑄型の準備、材料の装入などを行なうバッチ式のもので運転効率の著しく低いものであつたが、最近建設されるものは半連続形式のもので、材料装入、鑄型の交換などを溶解室に相当する主タンクからバルブで仕切られた材料添加室、モールド室で作業を行なうことができるので連続作業が可能となり工業炉としての性能も改善された。その他技術的な面でも、たとえば加熱コイルの電圧は初期においては、真空放電を防止するため 250 V 以下におさえていたが、最近では絶縁技術の進歩により発電機電圧 800 V の高電圧をそのまま使用し電気的な効率を改善すると、大型メカニカル・ブースターポンプの採用など技術的な改良がなされ、1 t 規模の大容量の溶解装置も国産実用化されている。このように半連続炉は、排気装置の容量を軽減でき、電力消費が少なく、操業時間を短縮できて炉材耐火材に対する加熱冷却の熱衝撃の負荷を減少しうるなどの利点を具備し、工業炉として生産性の高いものになつた。しかしルツボ耐火材料については性能上の点から国産品を使用する段階にいたらず輸入材料にたどっている現状である。表 2・4・5 にわが国鉄鋼工場の生産用溶解設備の趨勢を示した。最も普及している規模は 100 kg 程度の比較的小型のものが多い。溶解鋼種も磁性材料など電気材料が主体となつている。米国においては 1958 年(昭和 33 年)末すでに 75 基が設置稼動

表 2.4.5 国内真空誘導溶解設備一覽
(1962年12月現在)

会社, 事業所名	型式	溶解量 (kg)	基数	完 成 年 月
日 本 鋼 管 (富 山)	半 連 続	150	1	37. 8
住友特殊金属	内熱管 バッチ式	50	1	30. 8
住友特殊金属	内熱管 バッチ式	100	1	31. 11
住友特殊金属	内熱式 半連続式	500	1	35. 5
神 戸 製 鋼	内熱型 半連続式 バッチ式	100	1	35. 9
特 殊 製 鋼	内熱型 半連続式 バッチ式	100	1	33. 3
三 菱 鋼 材 (大 島)	半 連 続	100	1	35. 8
日 本 冶 金 工 業 (川 崎)	半 連 続	1,000	1	37. 6
日 本 金 属 工 業	バ ッ チ 式	100	1	34. 7
山 陽 特 殊 製 鋼	バ ッ チ 式	100	1	29. 7
東 北 金 属 工 業	バ ッ チ 式	50	1	29. 7
東 北 金 属 工 業	半 連 続 式	500	1	32. 9
小 松 製 作 所 (大 阪)	バ ッ チ 式	50	1	37. 3
志 村 化 工	半 連 続 式	1,000	1	35. 3
日 本 楽 器	半 連 続 式	100	1	35. 8
三 菱 電 機	内熱型 半連続型	150	1	36. 10
金属材料技術研究所	内熱型 半連続型	100	1	36. 1

中で溶解容量も最大 2.5 t 規模のものと伝えられ、わが国の場合と比較すると設備能力、溶解容量ともに格段の差がある。このことは米国における真空誘導炉の発展が航空機工業の成長とともに膨張し、航空機用ジェットエンジン耐熱鋼が主要な製造対象であることがおもな理由であろう。ヨーロッパの場合、真空誘導炉溶解はわが国同様あまり活発でなく電磁気材料を主体とした小規模溶解が普及している。このように真空誘導炉溶解法は真空脱ガス法あるいは真空アーク溶解法などよりは早期に開発実用化されたが、その普及の面では十分とは

いえない。

2) 精錬上の特徴^{10)~13)}

真空誘導炉溶解法の開発と相まって減圧下における製鋼反応に関する基礎研究や、金属材料学的観点から真空誘導炉材を評価した研究もきわめて広範囲に行なわれ真空誘導炉の技術的な発達に貢献してきた。

真空誘導炉溶解法の操業中の真空度は実験炉のような特殊な場合を除いては 10^{-2} ~ 10^{-3} mmHg で操業される。精錬上の特質をあげれば、

1) 減圧下における C-Q 平衡関係の移動を利用し十分な脱酸が行なわれる。

2) Si, Mn などの非金属介在物を析出するような脱酸剤を使用しないで溶解できる。したがって清浄性はきわめて良好である。

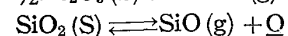
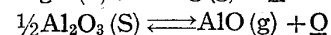
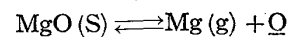
3) Ti, Al などの活性元素が空気による酸化、窒化の影響をうけることなく多量適確に添加合金することができる。

4) 溶鋼から一部の不純成分を蒸発除去することができる。

5) ルツボ耐火材料による溶鋼の汚染が生じやすい。このように本溶解法の製鋼冶金学的特徴は減圧下長時間の製鋼反応により大気溶解では到達しえない脱酸、脱ガス作用を行なわせ高度の純化作用が期待されるが一方減圧条件はルツボ耐火物と溶鋼間の反応傾向を増加する。

通常の大気溶解の場合脱酸、脱ガスは Si, Mn, Ti などの酸素あるいは窒素などと親和力の強い元素を溶鋼中に添加し精錬目的を達する。しかしこの場合凝固にあたって反応生成物を析出し介在物として鋼材中に残る。本溶解法の場合は反応生成物がガス体となる C-Q-CO(g)系, Q-H₂(g)-H₂O(g)系反応を利用し脱酸作用を行なわせることができる。前者の反応系では溶鋼上のガス圧力が事実上無視しうる真空誘導炉においては炭素の脱酸ポテンシャルは著しく増大する。後者の反応系では水素ガスを十分浄化し水蒸気分圧を極度に低くした高純度水素ガスと平衡させることにより大きな脱酸力が得られる。このように炭素、水素による脱酸反応は本溶解法の重要な精錬反応であるので多くの研究成果が公表されている。溶鋼中の窒素や水素の溶解度は Sieverts の法則にしたがうことがよく知られており、したがって溶鋼を単に真空中にさらすことにより脱ガスの目的が達せられる。しかしながら真空誘導炉で到達しうる脱酸限界値は理論的に到達しうる値よりもはるかに高い値を示す。この原因としてはルツボ材からの酸素導入、真空槽中の微少リークの酸素分圧による酸化、CO 気泡核の生成条件など反応速度論的制約が上げられる。

真空中におけるルツボ耐火材料と溶鋼の反応は本溶解法の negative な面の大きな特徴である。一般に使用される耐火材料はマグネシヤ、アルミナなどである。真空中のルツボ耐火材料の解離平衡は次式のごとく考えられている。



Mg, SiO, AlO などのガス生成物が連続的に排気除去されると上記反応は酸素飽和に進む。溶鋼中の炭素とル

ツボ耐火材の反応，ルツボ耐火材中に含有される不純物としての低級酸化物の影響， SiO_2 、 Al_2O_3 など suboxide ガスの生成条件の解明などが研究焦点となつている。このように真空誘導炉精錬作業は一方ではきわめて高いポテンシャルで脱酸が進行し，一方では溶鋼への酸素の導入反応が行なわれて精錬が進行し両者がバランスした状態に到達して精錬作業が終了したとみなすことができる。

真空誘導炉の精錬目標の1つは熱間加工性あるいは鋼塊の健全性を害する微量不純物の除去である。これはこれらの成分によつては長時間溶鋼を真空中にさらすことにより目的を達することができる。鉄自体の蒸気圧も 1600°C において 0.1 mmHg で溶解真空度よりも高く，合金成分として含有する元素もそれぞれの蒸発割合と鉄の蒸発に応じて減少あるいは濃縮する。したがつて溶質元素の真空溶解における成分変動も大きな研究課題である。溶鉄中に溶解する溶質元素の蒸気圧は厳密には活量に応じた値を示すわけであるが，一部の溶鉄中の熱力学的な性質の不明な元素を除いては Raoult の法則を基盤としてその動向を考察しても大きなあやまりはなく，蒸発反応から除去可能な元素は Cu 、 Pb 、 Mg 、 As などで， S 、 P 、 Sn 、 As などはきわめて微量の場合十分な蒸発純化を期待することは困難である。また蒸発速度，蒸発機構など反応速度論の見地からの理論的解明も着々進みつつある。

このように真空誘導精錬は従来の製鋼精錬ではみられない特異な要素を有しているため，製鋼理論と実際操業の両面から研究開発を進めなお一段の技術的進歩が望まれる。

3) 真空誘導炉材の特質

前項に述べた真空誘導炉の精錬上の特性から明らかのごとく，真空誘導炉の開発により従来の空気中の溶解では純度あるいは合金組成の点から製造不可能であつた各種金属材料の製造が可能となつた。現在真空誘導炉による製造対象鋼種としては純鉄，純ニッケル，コバルトなど各種真空管材料，磁気材料，軸受鋼，ステンレス鋼，高合金耐蝕耐熱材料など多岐にわたつているが真空処理鋼の中の量的な比率はきわめて低い。

電磁気材料についてみると真空溶解により材料中に溶解しているガスあるいは炭素はきわめて減少する。これは管球材料としてきわめて有利であるばかりでなく，脱酸生成物としての非金属介在物を含有しないため電気的性能を著しく向上させる。たとえば純鉄，珪素鋼などに起こる微量の残留炭素あるいは窒素による時効性を改善する。またパーマロイの場合微量不純物の除去により，強度の冷間加工が可能となり磁気的性能を顕著に向上する。最近の電気部品の品質の向上は真空誘導炉の開発に負うところが大きい。

真空誘導炉の最も大きな工業的貢献を与えたものは耐熱鋼の分野である。実質的な効果の1つとしては熱間加工性の改善があげられる。耐熱合金の多くは Ti 、 Al などの活性元素の合金量がきわめて高いため空气中溶解で製造された鋼塊では Ti 窒化物，カーボナイトライド，酸化物などのストリンガーが存在し熱間加工がきわめて困難であつたが真空溶解の開発により経済的な基盤で製造

可能となつた。また真空溶解材は高温靱性，クリープ・ラプチャー特性などの高温性能を改善し Ti 、 Al などの強化元素をさらに多量に配合した新合金の開発も可能である。

また最近開発された超高張力鋼“マル・エージング鋼”も真空溶解の開発に負うところが多い。該鋼種は Ni 、 Co 、 Mo 、 Al 、 Ti などを含有し標準熱処理状態において， 200 kg/mm^2 以上の抗張力を有しかつ良好な靱性を保持している。この鋼の特徴は低炭素でかつ Si 、 Mn などの合金成分以外の元素を規制し，マルテンサイトの靱性改善を企図したもので真空溶解によりのみ得られる合金組成であるといえる。

ステンレス鋼に対しては工業的な規模で真空溶解炉が十分活用されている段階とはいえない。しかし真空誘導炉の精錬上の特徴を利用して微量元素を規制し，大気溶解材では製造しえない高純度組成にした場合種々の特性が得られ特殊な性能を与えた合金が開発される可能性がある。たとえば $\text{C} < 0.01\%$ に制御したステンレス鋼は粒界腐蝕に対しては完全な免疫性が得られる。また $\text{N} < 0.01\%$ に脱窒したステンレス鋼は耐応力腐蝕性がきわめて優れている。これも真空誘導炉によつてのみ得られる組成である。その他原子力工業の分野においても中性子吸収断面積，照射損傷特性，誘導放射能の強さなどを考慮し， Mn 、 Co 、 Ta などの諸元素を制御したステンレス鋼は原子炉工学上特異な性能を発揮する。

2.4.2 造塊法の改善と真空処理技術の導入

第2次大戦後，鉄鋼需要の増加につれて，より経済的に良質の鋼をつくるすなわち安価な精錬方法で良質の鋼を得ようとする試みが活発になり，真空溶解の代わりに普通の大気中の炉で精錬した溶鋼を短時間真空処理する試みが行なわれた。また一方では排気速度の大きな真空ポンプの製作技術の急速な進歩があり，この背景のもとに昭和25年，大気中で精錬された溶鋼を真空容器中で鑄造し，脱ガスすることが大規模に試みられ，鍛造用大鋼塊の脱水素に著しい効果を収めたが，同時に脱酸効果も期待されるようになった。すなわち鋼塊の大型化に伴ない生じやすい多くの内部欠陥の除去，特に水素に起因する諸欠陥はもちろん非金属介在物の減少にも著しい効果を認めることができるようになった。

大気中で溶解精錬された溶鋼を真空処理して溶解ガスを低減させる試みは決して新しいものではなく，米国では1883年 (U. S., Patent 287, 273) に英国では1882年 (British Patent No. 1, 533) に特許がみられ，わが国でも明治38年 (1905年) に“低圧鑄造法”日本特許第8709号) があり，1925年には理化学研究所において真空を適用する“鑄造の気泡を除去する方法”が着想された。これらはいずれも現行工業的真空脱ガス法と根本的な相違を認められず真空技術が伴なわなかつたり，経済的な理由で工業化されなかつた。その後，理化学研究所において主として鑄物を対象として“連続排気鑄造法” (昭和31年特公昭31-2307) “排気鑄造法” (昭和31年特公昭31-9363) の考案がなされ，ことに前者は最近 BISRA で試験された“連続真空脱ガス法” (British Patent Application 890467) とまつたく同じもので

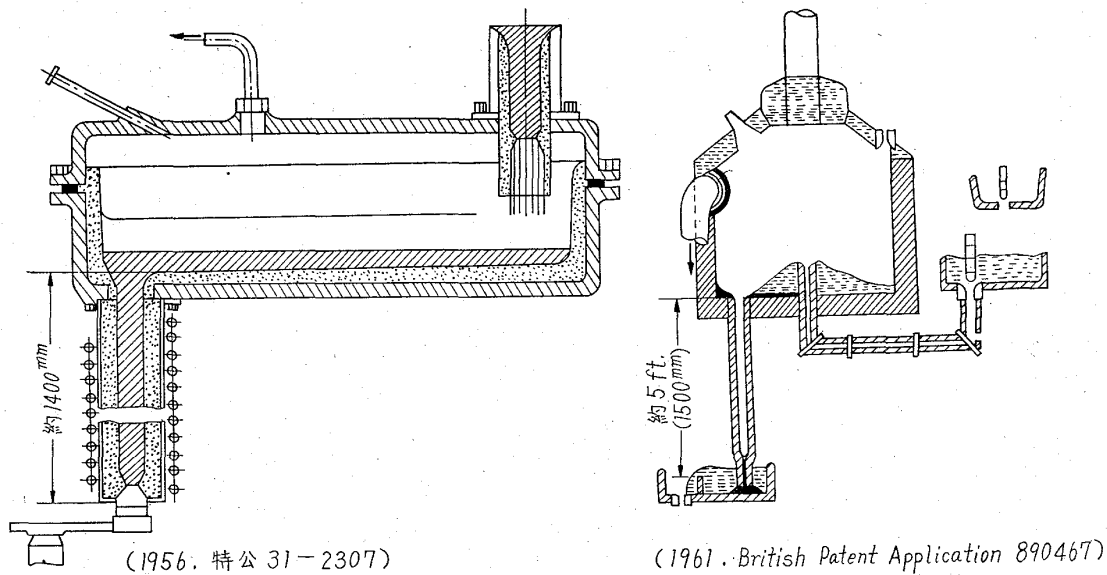


図 2.4.2 連続真空脱ガス

ある。(図 2.4.2)

1950年 Bochumer Verein は真空脱ガスの開発試験を行ない、取鍋脱ガス法(単純取鍋脱ガス法)、取鍋流滴脱ガス法、真空造塊法(鋼塊流滴脱ガス法)のいわゆる Bochumer 法を工業化し、工業的真空脱ガス法の先鞭をつけた。わが国では真空技術の進歩と相まって昭和32年以来飛躍的な発展をとげ鍛造品製造法における過去幾十年間の改善の歴史に照してみてもまことに画期的な進歩である。最近にいたるまで製鋼技術の改善は温度の変化を重視してきた。しかし真空技術の導入によって圧力を変化させることができ、多くの場合温度の変化よりも効果的で鋼の品質を改善し、複雑な問題を解決する新しい手段となつている。水素による欠陥はゴースト、クラックまたは白点として、また非金属介在物による欠陥は砂きずとして現われる。しかし従来の製鋼法はすべて大気圧下における作業であり、いかほどガス含有量の少ない鋼塊を得ようとしても大気圧に平衡する値以下に減少させることは不可能である。昭和10年に特殊鋼に発生する白点の主因が水素であることが判明し、この発見に基づいて白点に対する諸対策、技術が究明されてきたが以来約20年にして真空処理技術の導入によりはじめて大型、高級鍛造品の製造技術が確立されたといつても過言ではない。また一方においては大量に製造される圧延鋼材を対象とする場合、真空処理のために精錬、造塊作業の流れを乱さないことが要求されるがそのためには真空処理中の温度降下が少ないこと、造塊作業は普通と同様であることが望まれた。

このような要求に適した真空処理方法として昭和31年頃西独の Dortmund Hörder Hüttenunion A.G. で開発された DH 法と昭和33年以降西独の Heraeus 社で考案され Rheinstahl (旧称 Ruhstahl) 製鉄所(Ha-ttingen) で実用化された RH 法がある。後者は翌34年5月¹⁴⁾にはじめておおよげにされた。これら両者はいずれも耐火物で裏張りされた真空容器中に取鍋内の溶鋼を吸上げて脱ガスする方法であるが、DH 法は比較的多量

の溶鋼を広い面積をもつた真空容器中に断続的に吸上げるのに対し、RH 法は真空容器中に滞留する溶鋼量は少ないが、迅速に真空容器中を通過させ、連続的に溶鋼を取鍋を真空容器の間に循環させることが特徴であり、循環脱ガス法とも呼ばれている。両者はそれぞれ特徴があり、簡単に優劣は論じたいが RH 法は建設費や脱ガス処理費が安く温度降下も少なく、稼働率も高く脱ガス効果も大きいといわれている。

2.4.3 真空脱ガス法の現況と真空処理鋼の品質

(1) いわゆる真空脱ガス法について

現在18社、19工場で実施されている。次表にその発展経路を示す。(真空脱ガス設備の詳細については“鉄と鋼”49, (1963) 5, p. 799~801 参照) 写真 2.4.1 は1957年におけるわが国最初のプラントで排気系は油回転ポンプが使用され、写真 2.4.2 はメカニカル・ブラスターによる排気系を示し、現在大多数の会社がこの系統を採用している。

表 2.4.6 わが国の真空脱ガス設備

年代	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963
会社数	1	3	11	14	17	18	18

日本製鋼、神戸製鋼、三菱製鋼の3社は昭和34年に Bochumer Verein および Leybold 社と技術提携した以外は独自にそれぞれの生産規模に応じて開発し各社から出願された特許にみられるように方法、装置に種々の改良が加えられている。まず第一に、所要最高真空度を可及的最短時間に得るよう大量のガスを処理せねばならぬから高性能かつ大容量の真空ポンプを必要とする。その方法として住金製鋼所および日本鋼管ではスチームエゼクターを採用しほかはすべてメカニカル・ブラスターである。設備としてはそのほかに真空タンク、中間取

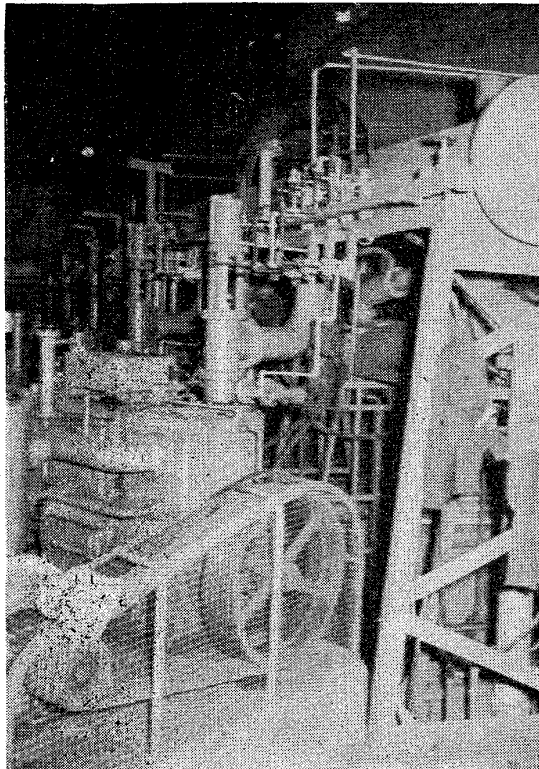


写真 2.4.1 わが国初の真空脱ガス・排気系

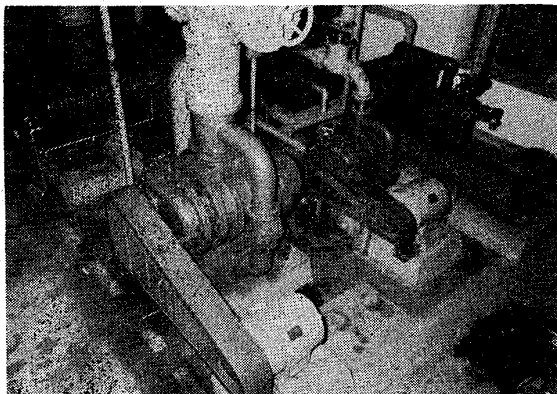


写真 2.4.2 メカニカル・ブースターによる排気系

鍋, ダストキャッチャー, 真空計, その他の補助装置を備え, 大同小異である。日本製鋼における 250 t 設備による 160 t 鋼塊の実績はあるが大部分は中, 小型鋼塊でしかも多数の鋳型を使用しており, 比較的小容量の溶鋼を

処理する場合が多い。取鍋脱ガス法は日本製鋼, 愛知製鋼, 日本鋼管, 日曹製鋼¹⁵⁾で適用された。溶解炉から出鋼した溶湯の入った取鍋を真空タンクに移動し, 蓋をして室内をできるだけ急速に減圧する。1例として圧力が 2~5 mmHg に下るまで 15min 排気が続けられ, その間真空度上昇するにしたがい激しい沸騰とともに溶鋼からガスが放出される。真空処理鋼は一般に空气中で注入される。脱ガス度は取鍋内溶鋼の静圧によつて制限を受ける。すなわち 1 気圧の圧力は取鍋内の溶鋼約 1,500mm の深さに等しい。したがつて下部の溶鋼は効果的に脱ガスされない。そこで取鍋に誘導攪拌装置を取付けて垂直方向の動きを与える。またヘリウムその他の不活性ガスを吹込んで攪拌するなどの方法が考えられているがわが国では実際に適用されていない。一方取鍋脱ガス処理の静圧は必ずしも否定する決定的なものではなく, 真空処理中は溶鋼は攪拌される結果内部でも脱ガスが行なわれるとの意見もあり, ソ連ではかなり盛んに行なわれているようである。わが国の場合は処理鋼量が少ないため静圧の影響が比較的少ない反面, 温度降下が著しい。

表 2.4.7 に操業例を示す。

取鍋流滴ガス法は 2, 3 の会社で適用された。静圧の問題はこの方法によつて回避される。真空タンク内に空の方で取鍋が置かれ, 脱ガスされる。真空タンクの入口は Al 板でシールされ, 溶鋼が中間取鍋または第 1 取鍋から注入されると Al 板を熔融し, 流滴となり, 効果的に脱ガスされる。ついで真空処理された溶鋼を取り出し普通の大气中で鋳型に注入する。この方法は小型鋼塊または鋳物製造に利用され, 概して取鍋脱ガス法より効果的と考えられ, 真空処理後空气中におけるガスの再吸収はほとんど問題ないようである。表 2.4.8 はその操業例である。

真空造塊法 (鋼塊流滴脱ガス法) は単に真空脱ガス法, 真空鋳造法といわれるほど最も広く適用され, わが国の真空脱ガス設備をもつ大部分の会社が採用した。装置は真空室内の取鍋を鋼塊鋳型に置換える点を除いて取鍋流滴脱ガス法と同じで真空タンク内はあらかじめ排気されている。鋳型が満されるや否や大気圧が回復される。取鍋脱ガス法または取鍋流滴脱ガス法に対して大きな利点は直接真空室中で鋳込み, 温度降下をとくに考慮する必要がない点である。表 2.4.9 は各社の操業例を示す。

取鍋脱ガス法および流滴脱ガス法には前記基本的な方法のほかいくつかの変形法があるが, それらはわが国ではほとんど行なわれていない。

表 2.4.7 取 鍋 脱 ガ ス

会 社 名	操 作 圧 (mmHg)	処 理 時 間 (min)	溶 鋼 量 (t)	温 度 降 下 (°C)	脱 ガ ス 率 (%)			適 用 鋼 種
					H	O	N	
日 鋼	1				60			炭素鋼, 低合金鋼
愛 知		5~12	54~11.5		26~65	5~22	10~23	
日 本 鋼 管	0.6~7.5	10~14	6.5	50~60	50~60	80~95		リ ム ド 鋼
日 曹	3~30	6~9	3.5~11	75~130	30~40	10~40	0~25	炭 素 鋼

表 2-4-8 取鍋 流滴脱ガス

会 社 名	操 作 圧 (mmHg)	鑄込速度 (t/min)	溶 鋼 量 (t)	温度降下 (°C)	脱ガス率(%)			適 用 鋼 種
					H	O	N	
住 金 製 鋼 所	0.5~1.5	4~5	10~20	出鋼→鑄込 200	65		0	鑄鋼ロール
大 同	1~5	1.2~2.2			60			合金鋼, ステン レス
愛 知	1~3	2.5			50~80	30~40		炭素鋼, ばね鋼
日 鋼					62			

表 2-4-9 各 社 の 操 業 例

会 社 名	操 作 圧 (mmHg)	鑄込速度 (t/min)	脱ガス率(%)			適 用 鋼 種
			H	O	N	
日 本 鋼 管	0.6~1	2~3	40~70	40	8.5	(上注法)
	0.6~0.9	2.8~4	60	62.7		(下注法) 炭素鋼
日 立, 水 戸	3	4~5	65	30~60	12	炭素鋼, 特殊鋼
日 鋼	0.4		58	35	12	
住 金, 製 鋼 所	0.2~0.5		70	40	12	
住 金, 鋼 管	1~2	2.2	60	30		
日 立, 安 来	1					
川 鉄, 兵 庫	2		60	30	17	炭 素 鋼
富 士, 広 畑	1.5~2.5	3.2	50	55	5	ハイテン鋼板
日 金 工	2~3	1.5~0.75	56			ステンレス
関 特	1.5~3	2	60	30~40	9	特 殊 鋼
特 殊 製 鋼	1~3		60~70	30~50		炭素鋼, 特殊鋼
神 鋼			50	45~50	25~37	炭素鋼, 低合金鋼
日 曹	2~5					

(注): 日本鋼管は下注法にも適用し, 富士製鉄, 広畑は初期に真空造塊を行ない, 現在は HR 法に転換した。

タップ脱ガス 取鍋に気密な蓋をつけて真空に引き, 上部に設けた中間取鍋に直接出鋼時の湯を受けて取鍋に注入し, 出鋼と同時に脱ガスする方法で温度損失が小さい。

直接鑄込による脱ガス 真空タンクを使用せず鑄型それ自身が真空室となる鋼塊鑄型脱ガス法で小型鋼塊に適用される。

凝固時の真空脱ガス 大気中で造塊完了後, 脱ガスを行なうものでリムド鋼に適用され, 真空度は 2~20 mm Hg で処理時間は 15~22 min である。富士製鉄, 広畑でこの方法が採用され興味深い結果が報告された。

真空誘導脱ガス 大気中で溶解した溶鋼を真空誘導維持炉に装入し脱ガスする方法で脱ガス後, 大気中または真空中で鑄造される。取鍋脱ガスまたは取鍋流滴脱ガス法における問題の 1 つは温度損失で加熱ができない, また真空造塊法では合金を添加する機会が少ないことである。他方高真空溶解炉では種々の制御, 測定器具などに複雑な設備が必要で排気精練時間が長くなり, 操業費が高いので数年前「ASEA」および英国でこの方法が着目された。しかしこの方法は容量的に小さく, 特殊の用

途しかなく, 将来もあまり発展しないであろうと見られていたが最近他の脱ガス法との結合が注目されている。

多段式脱ガス 第 2 次脱ガス処理を行なうものでは 2, 3 の方法がある。

(i) 小型鋼塊に対し中間取鍋から出た溶鋼をドームに集め流滴脱ガスし, ついでその下にあるトンネル中の鑄型へ真空造塊する。

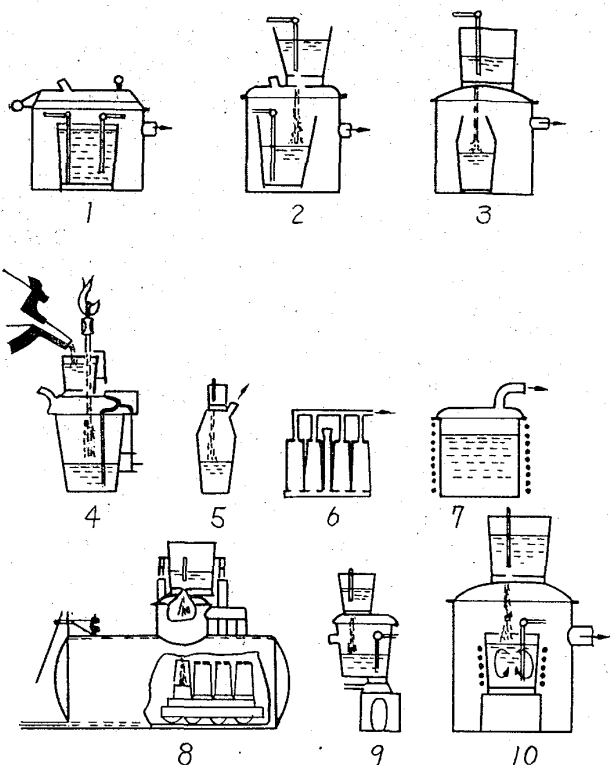
(ii) 取鍋流滴脱ガスと真空造塊法の併用。

(iii) 流滴脱ガス法と真空誘導脱ガス法の併用または誘導攪拌装置をつけた取鍋脱ガス法の併用。以上のような諸方法を図 2-4-3 にて図解した。

取鍋脱ガス法または流滴脱ガス法を適用した鋼種はリムド鋼, 炭素鋼, 低合金鋼, ステンレスなどで発電機タービン・シャフト, 珪素鋼板, 深絞鋼, 鑄鋼ロール, 鍛鋼焼入ロール, 型用鋼, 構造用鋼, 高張力鋼, 軸受鋼, 管材などが製造されている。

(2) DH 法について

西独の Dortmund Hörder Hüttenunion 社で 1955 (昭和 30 年) 年頃から開発が進められた。その結果, 脱水素, 脱酸, 脱炭および非金属介在物の減少効果, さ



1. 取鍋脱ガス法
2. 取鍋流滴脱ガス法
3. 真空造塊法 (鋼塊流滴脱ガス法)
4. タップ脱ガス法
5. 鋼塊鑄型脱ガス法
6. 凝固時の真空脱ガス法
7. 真空誘導脱ガス法
8. 9. 10. 多段式脱ガス法

図 2.4.3 取鍋脱ガス法・流滴脱ガス法

らに脱ガス中に真空容器内に合金元素を歩留りよく加えることにより溶鋼の化学成分が微細に調節できる利点などが認められ、次第に多くの鋼種に採用されるようになり、図2.4.4 に示したように設備基数は昭和 36 年頃から急激に増加した。米国においては近年とくに著しい増加をみせている。

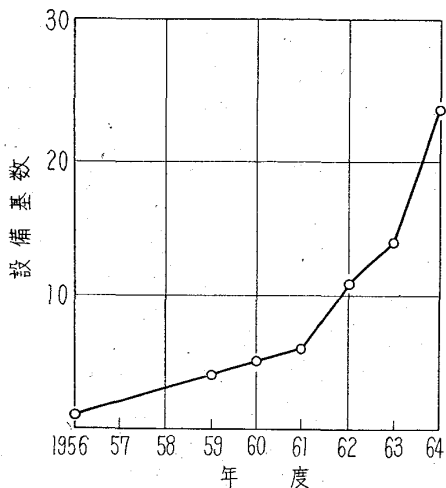


図 2.4.4 世界の DH 設備の推移

日本では 34 年に八幡製鉄が 30 t の溶鋼を処理する試験設備を処置して実験を行ない、その効果を確認して 36 年、37 年と相ついで 70 t の処理ができる設備を設置して脱ガス鋼の生産を行ない、品質・歩留の向上、工程の簡略化などの利益をあげてきたが、40 年 4 月には住友金属工業製鋼所に 80 t の溶鋼を処理する設備が稼動する予定である。

1) 脱ガス方法

平炉、転炉、電気炉などの溶鋼を取鍋に受け、図 2.4.5 のような吸上管を有する真空容器の下部に運び、取鍋内溶鋼に吸上管の先端を浸漬したのち真空ポンプで真空容器を排気減圧すると、図 2.4.5 の左に示したようにほぼ大気圧に相当する溶鋼の高さだけ溶鋼は真空容器に吸上げられ、脱ガスされる。取鍋または真空容器を下または上に移動させて図 2.4.5 の右のようにすると、真空容器中のすでに脱ガスされた溶鋼は取鍋に急速に戻り取鍋内の溶鋼は激しく攪拌され、脱ガスされた鋼は取鍋内の溶鋼と混合し均一となる。ついでまた図 2.4.5 の左のような位置にして取鍋内溶鋼の一部を吸上げて脱ガスする。これを周期的にくりかえし、取鍋内の溶鋼を逐次脱ガスしていく。

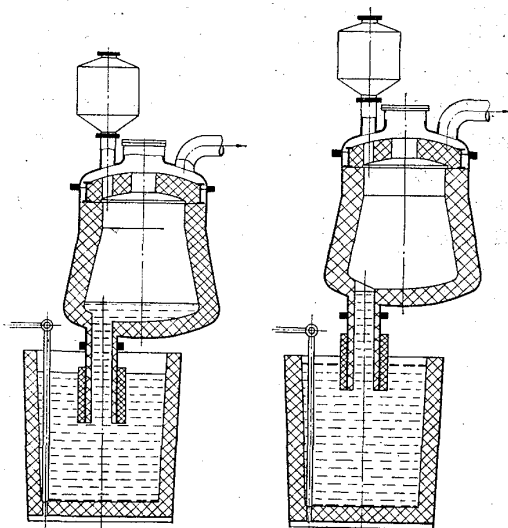


図 2.4.5 真空容器への溶鋼の出入 (DH 法)

脱ガスの目的が脱水素、脱炭、酸化介在物の減少、成分元素の調整などのいずれに重きをおくかにより最も適した作業方法が選ばれる。一例を述べると普通の場合より 20~30°C 高い温度で出鋼し、なるべく短い時間のうちに DH 装置に取鍋を運び溶鋼に吸上管を浸漬してから排気し脱ガスを開始する。脱ガスのごく初期で取鍋内が十分攪拌された時期に分析のための試料を取鍋より採取して分析し、その結果に基づいて真空容器内に必要量の合金を加え成分の調整を行ない、脱ガスと攪拌を十分行なったのち真空容器内を大気圧に戻して脱ガスを終る。約 17 分間の脱ガスに伴う溶鋼の温度降下は 80 t 取鍋の場合約 30°C であるが、このほかに真空容器で加える合金鉄による温度降下も考慮する必要がある。しかし脱ガス鋼は流動性がよいので 15~20°C 低い温度でも困難なく注入できるとされている^{16), 17)}。

2) 設備

脱ガス設備は大きく分けてつぎの3つの部分からなる。

a) 真空容器

形状は処理する鋼種、量などによって若干異なるが図2.4.5のような梨型断面をしたものが多い。真空容器内面は耐火物で裏張りされ、脱ガスの際の溶鋼の温度降下を少なくするために約1,600°Cに電気抵抗加熱によってあらかじめ加熱される。近年これをより安価なガス加熱あるいは重油加熱が採用されるようになった¹⁸⁾。

また真空容器の上部には炭素その他鋼の化学成分を細かく調整するための合金ホッパーを数個備えており、おのおの合金ホッパーは微量な添加調整が可能となっている。

真空容器は上部から排気し、下部には前述したような吸上管を有している。

b) 真空ポンプ

水蒸気の発生装置をもっている多くの製鉄工場では建設費が安く、整備の容易なスチーム・エゼクターを採用している。ポンプは脱ガス初期に真空容器を急速に排気するため荒引ポンプを備えている。

c) 昇降装置

取鍋を昇降させる方式のものと真空容器を昇降させる方式とがある。取鍋を昇降させる場合には真空容器からポンプにいたる配管にフレキシブルな部分を必要としないため配管が簡単である。また合金を添加するための多数の容器に合金を自動的に供給する場合などに便利であるため、この方式のものが近年多くなつてきており、とくに米国に多い。しかし大容量の取鍋の場合など真空容器を昇降させる方が有利なことがある。昇降機構は多くが油圧を採用している。

3) 脱ガス効果

脱水素 水素は拡散速度が大きく短時間で脱ガスが進行するので、他の脱ガス方法と同じく鍛造機の白点の発生を防止するに十分な2 p.p.m.程度の水素含有量にまで脱ガスされる。図2.4.6にその例を示した¹⁹⁾。大型鍛造機あるいは板厚のごく厚い厚板の白点、毛割れなどの内部欠陥の防止、熱処理の簡略化などの大きな利益をもたらすに十分である。

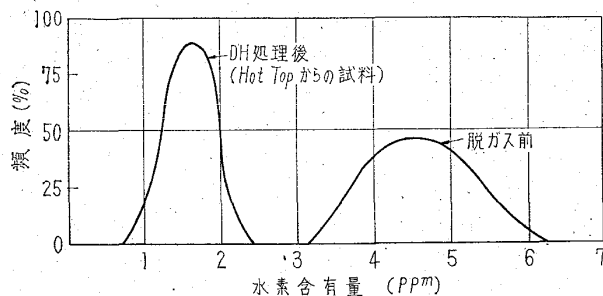


図 2.4.6 電気炉鋼の水素含有量の DH 処理による変化

脱酸および脱炭 DH法の最近の著しい発展は真空処理により脱酸を強力に進め、あるいは脱酸の程度を自由に調節できることが大量生産される圧延鋼材にとくに適

していたためと考えられる。

平炉、転炉で出鋼した未脱酸の鋼を真空処理することによって鋼中の酸素は炭素と反応してCOガスとして除去されるので酸化介在物の少ない清浄な鋼を得ることができる。また比較的酸素含有量の多い低炭素鋼の場合にはCO反応によって脱酸とともに脱炭を進め、普通の大気中の炉では耐火物の損傷のため経済的に大量に製造することが困難な0.01%以下の炭素含有量の極低炭素鋼、例えば深絞り用鋼板あるいは電気鉄板を容易に製造することができる。図2.4.7にDortmund工場における炭素鋼の炭素含有量に応じた脱酸の状況を示した²⁰⁾。また脱酸の進行速度については数多くの実験結果から反応速度係数、脱ガス表面積などの係数を求め、真空容器の形状、溶鋼の吸上量、吸上周期などから鋼種、作業条件によって脱酸および脱炭の進行がいかに変化するかを推定できるようになった。

図 2.4.8 は C=0, 20%, O=0.025% の溶鋼について

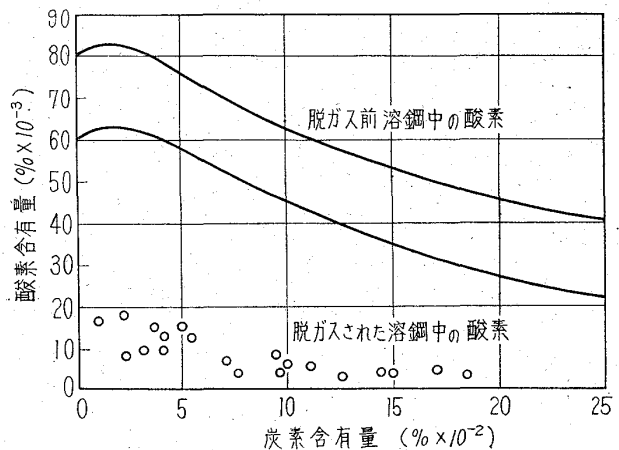


図 2.4.7 DH 処理による脱酸、C 含有量との関係

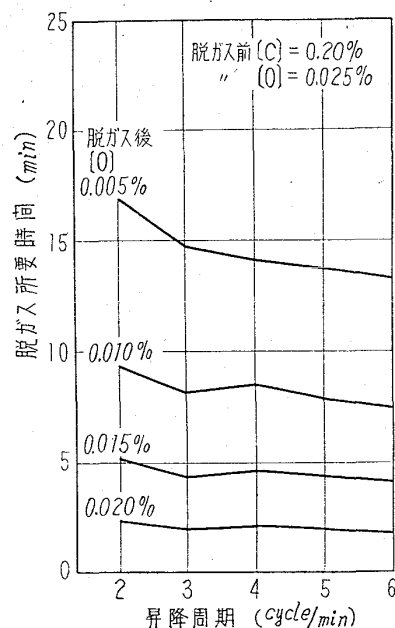


図 2.4.8 昇降周期と脱ガス所要時間

て吸上周期を変えた場合、酸素含有量が時間の経過に伴っていかに変化するかを示したものである。

またこのような脱酸の進行の推定と併せて脱ガス中の圧力の変化状況から鋼の酸素含有量を推定して脱酸剤を全く加えないでセミキルド鋼をつくることができる。とくに従来困難とされていた $C < 0.10\%$ の低炭素鋼のセミキルド鋼塊が Si を全く使用せずに安定して製造できるようになった。真空処理によつて製造したセミキルド鋼塊は脱酸剤を全く加えないか加えてもごく少量の Al であるため清浄であり、非金属介在物は普通のセミキルド鋼に比し $\frac{1}{2}$ に減少した。また鋼塊の肌近くの巨大な介在物が激減した。

脱窒素 平炉もしくは転炉で精錬される鋼は窒素含有量が DH 処理におけるような減圧下の平衡溶解度に近いため、他の真空脱ガス法と同じように脱窒素は行なわれ難い。しかし電炉出鋼の場合とかとくに窒素含有量が高い場合には脱窒素が相当進行し、例えば脱ガス前の窒素含有量が 0.02% であると約 50% の脱窒素率を示す。

3) RH 法について

1) RH 方式の機構

図 2.4.9 に RH 法真空槽本体の断面図を示す。真空槽は上昇管、下降管が取鍋中の溶鋼面下に約 30cm 浸漬するよう適当な昇降装置を用いて下げる。

不活性のアルゴンガスまたは反応性ガスを多孔質のレンガを通して上昇管に導入しこれによつて取鍋中の溶鋼を上昇させる。真空室に溶鋼が流入し真空下で細粒となり、同時に表面積が増大して酸素、水素が除去され窒素もわずかに減少する。脱ガスされた溶鋼は下降管を通つて取鍋中に戻る。環流速度は真空度およびアルゴンガス量で調整され 2~3 回の環流で溶鋼中のガス量は非常に減少し脱ガス後合金が添加され混合が行なわれる。

2) 設備概要

図 2.4.10 に設備配置図の概略を示す²¹⁾。真空ポンプ

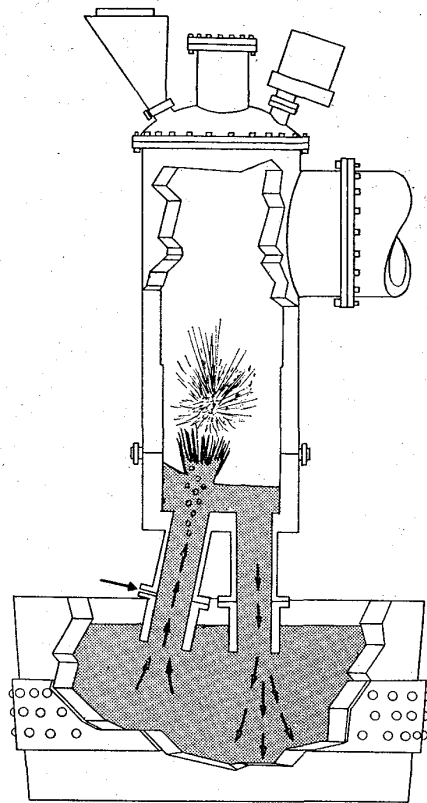


図 2.4.9 脱ガス容器の断面

の形式は 2 段ブースター型、4 段スチームエジェクターである。写真 2.4.3 は Rheinstahl 製鉄所 (Hattingen) の初期の真空槽の全貌を示した。

現在の合金添加装置は真空槽の最上部に取りつけられている。真空槽は合金添加装置の他、温度測定装置、各種ガス吹込装置などを備え計器室には各種圧力指示計、ガス分析計 (CO , CO_2 , H_2 , O_2) 廃ガス流量計その他が備えられ、操作は手動の他セミオートマチック、ワンマ

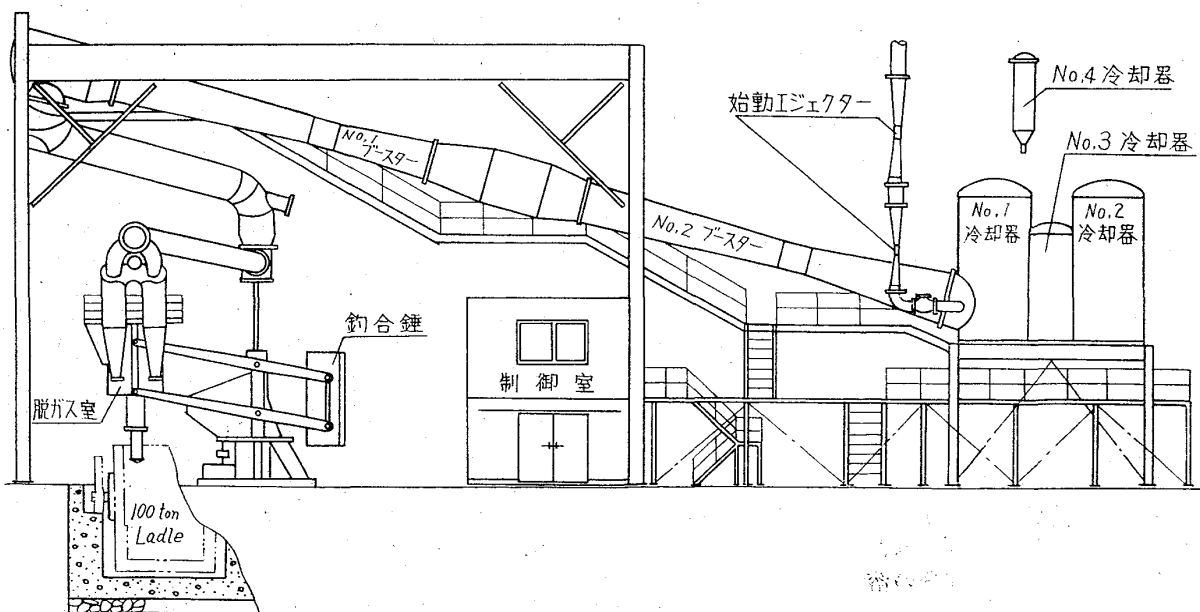


図 2.4.10 RH 脱ガスプラントの略図

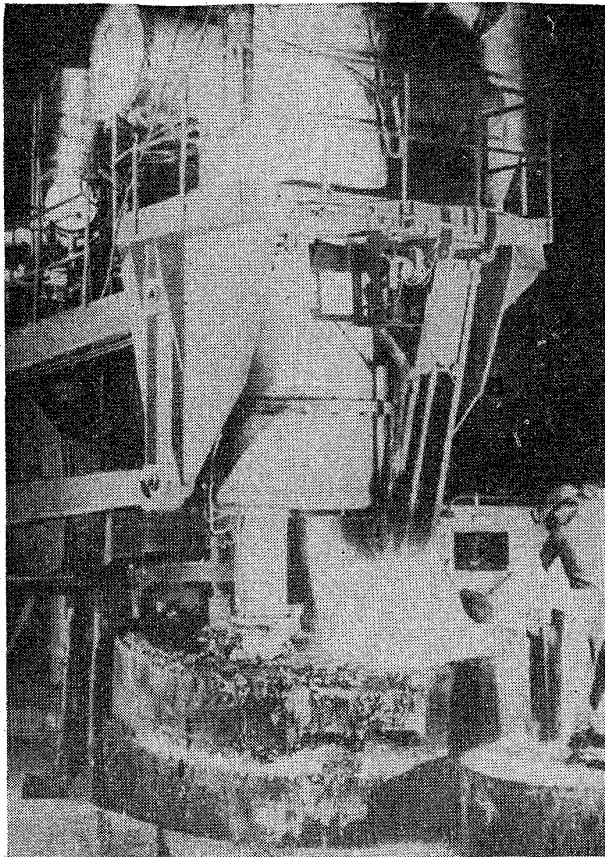


写真 2.4.3 RH 法真空容器の外観

ンコントロールにより行なうことができる。

3) RH 方式の各種操業特性

環流速度 RH 法は空気ポンプの原理を利用するものである。空気ポンプは直径約 400 mm まで利用できる。ラジオアイソトープ (^{198}Au) を用いて測定した結果では、毎分 10~20 t の環流速度である^{22), 23)} アルゴンはトン当たり 150 l 前後使用する。環流速度は上昇管の径とともに増大し鋼種によつても異なり溶鋼温度上昇管ならびに下降管のレンガの侵食状況などによつても影響を受けるが、上昇管直径が同一の場合環流速度はアルゴン流量を変えることによつて、2.5 倍程度の範囲内で任意に変え得る。また気泡の小さい方が速い速度が得られる。

混合 ガス含有量の変化は次式に基づいて説明される。

$$\bar{C}_t = C_e + m \cdot (C_o - C_e) \exp\left\{-\frac{1}{m} \frac{v}{v} (t - t_0)\right\}$$

ここに

\bar{C} = 脱ガスされた溶鋼の任意の時期における平均ガス濃度

C_e = 平衡時のガス濃度

C_o = 脱ガス前のガス濃度

m = 混合係数 (取鍋中の溶鋼量を 1 としたとき、脱ガスされて下降管から降りてきた溶鋼が取鍋中の溶鋼のある限られた部分のみと均一混合すると考えた時、その限られた部分の溶鋼量)

v = 取鍋中溶鋼量

v = 環流速度

t = 脱ガス開始からの時間

t_0 = 下降管より降下した溶鋼がはじめて上昇管に到達するまでの時間

(イ) $m=0$ のとき 脱ガスされた溶鋼は未脱ガス溶鋼と全く混合しないで鍋底へ層を作つて堆積する場合であり、処理時間と真空度が十分であれば 1 回の環流で平衡に達する理想的な場合であるが、実現不可能である。

(ロ) $m=1$ のとき 脱ガスされた溶鋼が下降管から出るや否や即座に取鍋中の全溶鋼と均一に混合する場合である。混合と拡散には好都合であるが脱ガス上は好ましくない。このような状態は下降管から流出する溶鋼の速度が速すぎる時に生ずる。

(ハ) $1 > m > 0$ のとき 実際作業上好ましい混合・拡散過程を示す場合である。下降管から流出する溶鋼速度が適当であれば、脱ガスされた溶鋼が取鍋底部に層状に重なつて行く。

(ニ) $m > 1$ のとき 環流が短絡した (下降管から出た溶鋼が直ちに上昇管に入つていく) 場合である。これは下降管から流出する溶鋼速度が遅すぎたり、速すぎたり、上昇管と下降管が近すぎすぎたりしたような場合などに起る。脱ガス条件が最も不良な場合である。

図 2.4.11 は混合係数が変化した場合の環流回数と溶鋼中のガス濃度の変化の関係を理論値と実測値について示したものである。

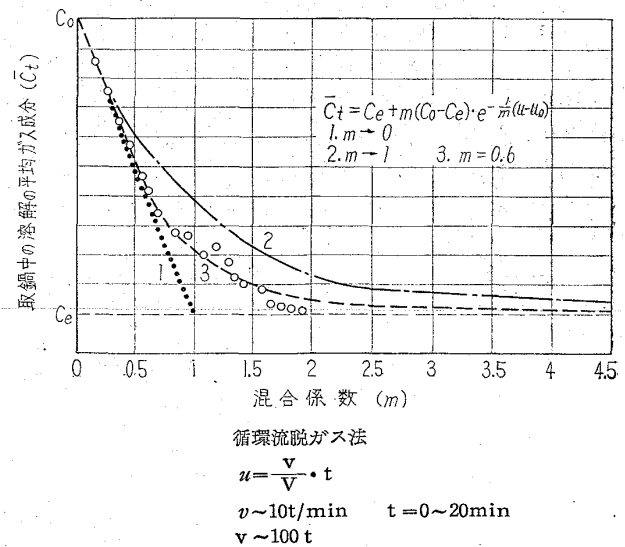


図 2.4.11 取鍋中の溶鋼の平均ガス濃度と環流速度との関係

他方ラジオアイソトープ (^{198}Au) を用いて取鍋中の種々の位置における溶鋼の混合状況を調査した結果^{22), 23)}によれば、鍋底隅に添加した (^{198}Au) は約 1 分後からその一部が環流しはじめ、5 分程度で完全混合することがわかり、また鍋底中央に添加した (^{198}Au) は添加後 1~3 分で殆んど環流・混合することが明らかとなつた。さらに溶鋼表面の部分で上昇管と下降管で狭まれた位置に添加した (^{198}Au) も 2~4 min 程度で混合することが明らかにされ、これらの結果から取鍋内の溶鋼が均一に脱ガスされることが確認された。

このことは同時に取鍋下塊番ごとにおける放射能の分

布ならびに成分分布の調査結果からも肯定された。
 図 2.4.12 はその一例を示したものである。

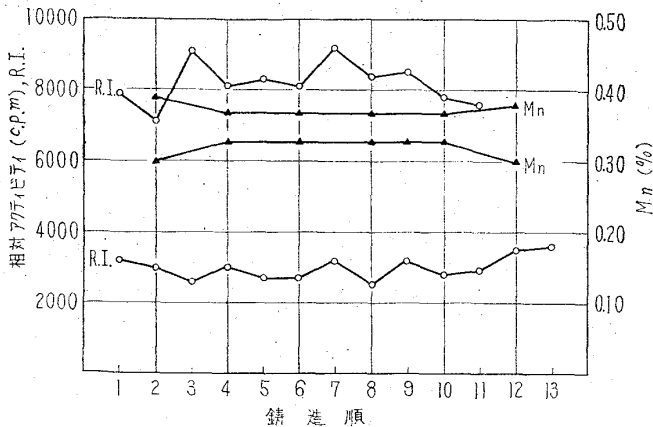


図 2.4.12 RH 脱ガス鋼の均質性

a) 脱ガスの時間的経過 図 2.4.13 は、軟鋼における廃ガス量および廃ガス組成の時間的経過を示したものである²⁴⁾ (Rheinstahl 社における初期のデータ)。現在の設備では操作真空度は $0.2 \sim 0.3$ Torr であり、脱ガス開始から 3~5 分で 0.5 Torr 程度に達し、脱ガス

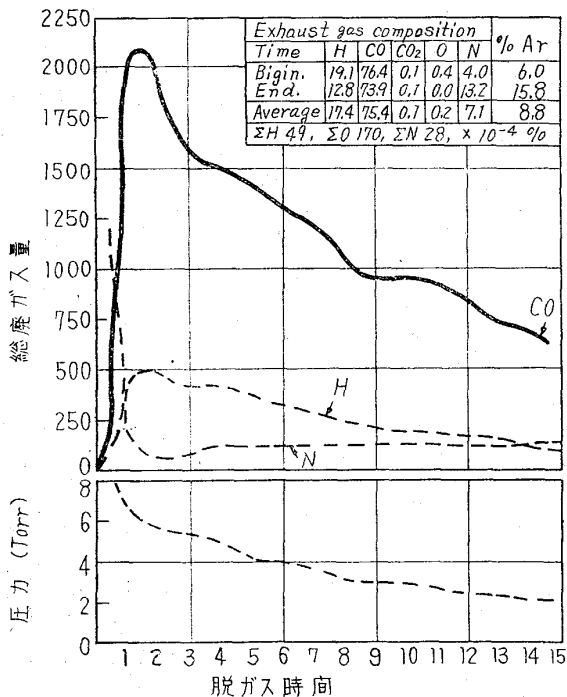


図 2.4.13 廃ガス量および廃ガス組成の時間的変化

末期には $0.2 \sim 0.3$ Torr に到達する。

脱炭および脱酸 図 2.4.14 に脱ガス処理前後の C-O 関係を示す。出鋼前の C-O 関係は $P_{CO} = 1$ atm の線上もしくはそれより高炭素側にずれているが、処理前の C-O 関係は出鋼時の脱酸剤の添加によりこの線よりも低炭素側にずれている。さらにこの溶鋼を処理することにより処理後の C-O 関係は $P_{CO} = 0.15$ atm ~ 0.07 atm としたときの C-O 反応の平衡値に近づく。処理により C および O の減少する方向は C:O がほぼ 12:16 で

減少している場合が大半を占めており、真空槽内部で $C + O \rightarrow CO$ の反応が進行し脱炭、脱酸が行なわれているものと考えられる。

また上昇ガスに反応性ガスを用いて脱炭、脱酸を促進することが可能であり、これは RH 法の大きな特質である。

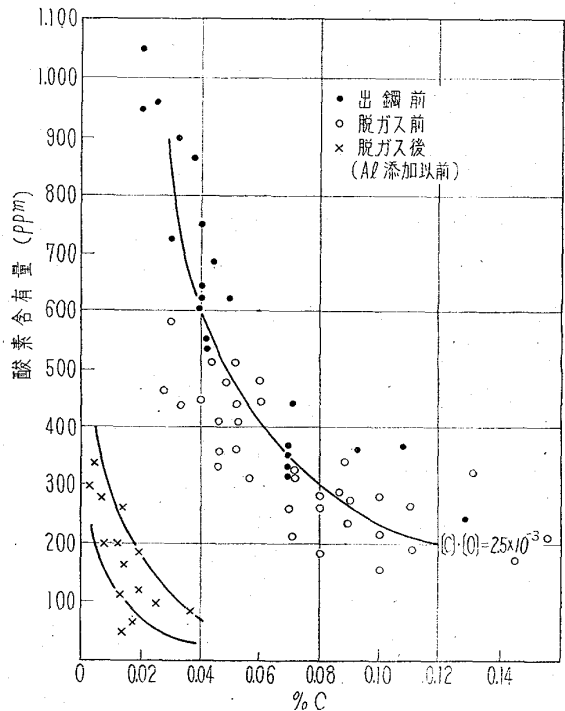


図 2.4.14 RH 法における炭素と酸素の関係

脱水素 図 2.4.15 は脱ガス処理前後の水素含有量の変化を示す。処理後の水素含有量は処理前の水素含有量にはあまり関係なく、平均 2 ppm 前後であり、平均脱水素率は 60% 前後である。

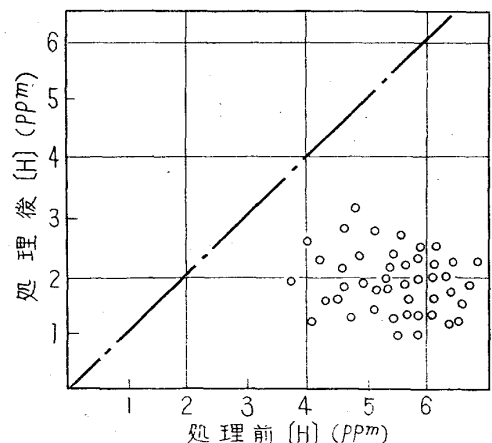


図 2.4.15 処理前後の水素含量の関係

脱窒素 窒素含有量は図 2.4.16 に示すごとく処理によってもあまり減少せず、脱窒素率で 10% 程度である。

これは鋼中における窒素の拡散速度が遅いことによるものと考えられる。

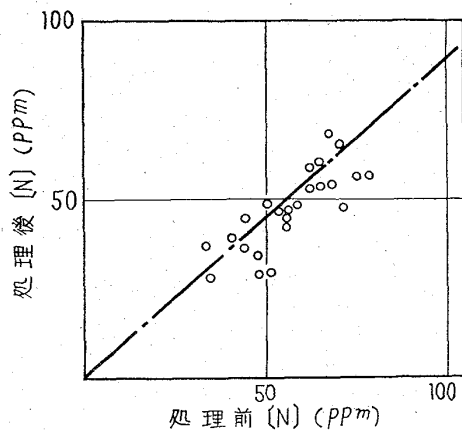


図 2.4.16 処理前後の窒素含量の関係

b) 化学成分の変化 炭素 処理前の P_{CO} が高いほど脱炭量が多いがその値は理論値より 0.01% 前後多く処理前の炭素量との関係についてみれば脱炭量が最大となる処理前炭素量は理論値より 0.02% 程度高炭素側へずれている。最大の脱炭量は [C] が 0.06% 近辺で得られ、脱炭量は 0.05% におよんでいる。

マンガン 平均 0.06% 程度減少する。これは真空槽中における Mn の蒸発と考えられる。鋼種による相違はないようであるが、脱ガス前の脱酸程度が弱いほど大きくなる。

シリコン 増加する。その値はシリマナイト系耐火物を用いていたときの実績では 0.006~0.013% 程度で、これは真空槽内における耐火物の C による還元と考えられる。ただし現在はコランダム系耐火物を用いることにより殆んど上昇は認められなくなっている。

硫黄、磷は殆んど変化が認められない。

c) 合金添加 真空槽内に入る溶鋼量は約 2t であるが真空槽における溶鋼の滞留時間は環流速度を 15~20 t/min とすると 7~8 秒程度と推定される。

合金は小さい粒状で真空槽内へ添加されるが環流速度の 2% 程度の合金添加が可能である。

取鍋中の溶鋼量に対して吸熱合金では 1% が、また発熱合金では 2% 程度が添加可能である。

d) 成分の調整 脱ガス処理後の成分調整は廃ガス流量、廃ガス分析、温度ならびに処理前成分の分析結果に基づき必要合金量をホッパーより真空槽内に添加することにより行なわれる。

成分適中率はほぼ 100% を取めている。

e) 温度降下 脱ガス中溶鋼の加熱は必要としない。真空槽は処理前に上部の地金付着防止のため 1,300°C 前後に予熱する。ただし温度降下のみに対しては 700~800°C の加熱で十分である。取鍋は予熱を行なわない。

出鋼より処理までの温度降下は 30~40°C 程度である。処理中の温度降下は図 2.4.17 に示すとおりである。これらの温度降下に対しては 30~40°C 出鋼温度を高めることにより十分補なわれる。

f) 耐火物 真空槽は上昇、下降両管を含む下部、胴部および上部の 3 つに分けて考えられる。真空槽内張

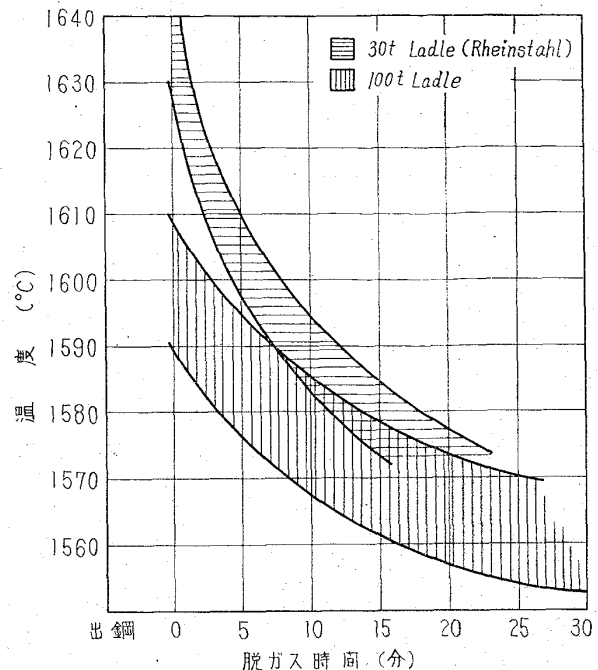


図 2.4.17 RH 法における温度降下

用耐火物としては主にコランダム系のものが使用されているが、最も侵食を受けやすく、いたみやすいのは上昇管レンガ、ついで下部側壁レンガである。現在使用している耐火物の寿命は真空槽下部で 25 回 50 回程度であり上部はキャストブルを用いるが 50 回程度である。新しい耐火物を開発することが重要な問題であろう。

4) 真空処理鋼の品質について

以上述べたように真空脱ガス法は原理的にはいずれもほとんど変りはないが、それぞれの方法自身の特色は脱ガス効果に多少の相違があり、したがって目的とする鋼種用途に応じた脱ガス法をとることが望ましい。脱ガス法別に鋼質におよぼす効果をまとめると次のようになる。

a) 取鍋脱ガスまたは流滴脱ガス法 通常平炉または電気炉の溶鋼は大略 4~8ppm の水素を含んでいる。

真空脱ガス処理は比較的短時間であり、したがって Sievert の平衡値には到着し得ないということが懸念されたが実験値をとつてみると Sievert の式に示す圧力と水素との関係はほぼ直線で、バラツキはきわめて少ないことが見られ、脱水素の程度は鋼種、鑄込速度の相違にかかわらず、かなり一定であることも示された。一般に 60% 程度の水素が除かれ、1~3 ppm となり、また水素の値が少なくなると同時に分布も均一になる。

近年、砂さび発生の有効な要因として脱酸生成物および溶鋼の空気酸化があげられているが、出鋼および造塊時における空気酸化、空気まきこみ、スプラッシュなどにより外部からの酸素の供給が避けられない。実際の鑄造流の Reynolds 数は 10^5 程度で乱流域にあり層流は得られず²⁵⁾、鑄造中の酸化は鋼中の介在物発生に重大な関係がある。真空処理による脱酸は本質的に主として CO の放出によつて行なわれ、低圧下における C-O 関係は 1 気圧以上におけるこの反応の平衡定数をそのまま延長適用される²⁶⁾。 $[C] + [O] \rightleftharpoons (CO)$

$$[\%C] \cdot [\%O] / P_{CO} = K$$

したがって $[\%C] \cdot [\%O]$ の値はおよそ P_{CO} によって定まり、 P_{CO} の値が低下するとすなわち $[\%C] \cdot [\%O]$ が低下すると炭素の脱酸力が増加することになる、これは製鋼に真空技術を適用することによって得られる重大な利益の1つで炭素を脱酸剤として用いることができれば溶解酸素の低い、脱酸生成物のない鋼を製造することができる。減圧は铸造流の保護雰囲気を形成し、かつ脱酸剤を添加することなく鋼の酸素濃度を下げる手段である。しかし酸素の減少は水素ほど明瞭ではなく鋼種によって異なる。例えばリムド鋼が最高で約 80~95% の酸素が除去され、キルド鋼で 30~50%、また高クロム鋼の場合は少なく、炭素鋼の場合にはかなりの脱酸効果がある。取鍋脱ガスでは約 40% の減少を示している。実際鋼中には炭素以外に多くの元素を溶解しているのできわめて複雑であり、短時間の脱ガス処理における脱酸効果を理解するのに十分な資料はない。

窒素量も若干の減少が認められる。

かように真空脱ガス処理により酸素が減少するにしたがって酸化物系介在物も減少する。一般にサンドは 20~30% 減少するがとくに SiO_2 , MnO , FeO の減少が顕著であり、一方 Al_2O_3 については一定しない。この結果として清浄度は若干改善される。

地きずに対する効果は必ずしも一致しない。すなわち真空造塊をしたものの地きず組成、バラツキは軽減されるという報告に対しむしろ効果がない、または鋼塊の表面層に大気材に劣り、内部はすぐれるとする報告があり今後研究すべき課題であろう。しかしゴーストに原因する地きずは軽減される。

真空処理による機械的性質の改善については降伏点は 3~7% 向上するとするもの、やや低くなる、差がないとするものに分れ、抗張力についても 5~10% 向上するという報告がある一方、差がない、低いという結果も出ている。しかし伸びでは 2~10% 向上し、絞りも 10~20% 程度増加し、衝撃値は 12~35% 程度改善される。リムド鋼についてエリクセン値、コニカルカップ値はすぐれた値を示す。ステンレスにおいて高温捻回試験の結果、高温側において真空铸造材がすぐれるという報告がある。酸化物系介在物は機械的性質を低下せしめることは明らかであり、真空脱ガスによって鋼中の水素および酸素量または酸化物系介在物が低減しかつそれらの偏析が少な

くなるので機械的性質にかなりの向上を期待されるが実際には著しく向上せしめることはできない。

マクロ組織は顕著な差は認められないといわれる一方つぎのごとき観察がある。樹枝状組織はきわめて微細であり、柱状晶がやや深く、軸心部の等軸晶は若干細くなる。また取鍋脱ガスを行なったものにピット発生量が多いなどの報告があり一定の効果は認め難い。

サルファプリントには大差は認められないという報告に対し、V 偏析はほとんど消失し、A 偏析はかなり内側に入つてしかも軽減されるという報告がある。リムド鋼の真空処理材ではサルファ濃厚偏析線が全く認められない。またリム層の厚さは真空処理材で 22~37 mm、大気材で 105~135 mm と大きな差がある。

オーステナイト結晶粒度は観察者によつて結果が異なっている。非金属介在物の数、性質、分布の変化が結晶成長におよぼす影響はなお調査すべき議題であろう。

ステンレスの腐食試験に差はなかつた。

ゴースト、ガス量、介在物の減少に伴い内部欠陥が非常に少なくなり、健全で超音波探傷結果は著しく改善される。真空铸造鋼塊では凝固過程におけるガスの析出が抑制されるために偏析が低減され、ことに大型鋼塊の内部性状が著しく改善される。しかしキルド鋼では成分の偏析は本質的にまたは全体の傾向には差を認め難い。リムド鋼ではコワー部の状況がセミキルド鋼のそれに類似し、サルファの偏析は $1/4$ となる。真空処理材は大気材に比べて酸素および酸化物系介在物のバラツキが少なく、偏析が少なくなつている。水素の偏析も少なくなつており、白点感受性が低減することは当然で長時間にわたる熱処理を短縮することができる。窒素の分布については明瞭ではない。

b) DH 法

酸化介在物の減少することが認められている。多数の圧延鋼片の酸素含有量の比較を行なった結果を図 2.4.18 に、また鍛造用鋼塊の酸化介在物の比較を図 2.4.19 に示した¹⁶⁾。酸化介在物の量の減少が認められるほか介在物の大きさが減少することも認められている。

酸化介在物の減少、介在物の大きさの減少は水素含有量の減少と相まつて圧延鋼材の均質性を向上し内部欠陥を減少した。その結果鍛造材、厚板などの超音波探傷成績が著しく向上した。図 2.4.20 に板厚 35 mm~150 mm のボイラー用厚板の超音波探傷成績を非処理の平炉鋼および長時間の熱処理を行なつて脱水素を図つた電気炉鋼と比較して示した。平炉で精錬し DH 処理した鋼はとくに長時間の熱処理を行なわなくてもほぼ電気炉鋼程度の成績を示している。

また鋼材の圧延方向とそれと直角の方向の機械的性質の差が図 2.4.21 に示したように小さくなつた。同様の効果は鋼の衝撃値の改善、異方性の減少にも認められている²⁵⁾。酸化介在物の大きさおよび量の減少は鋼材地きずの減少に効果的であり、熱間あるいは冷間の加工性の向上をも

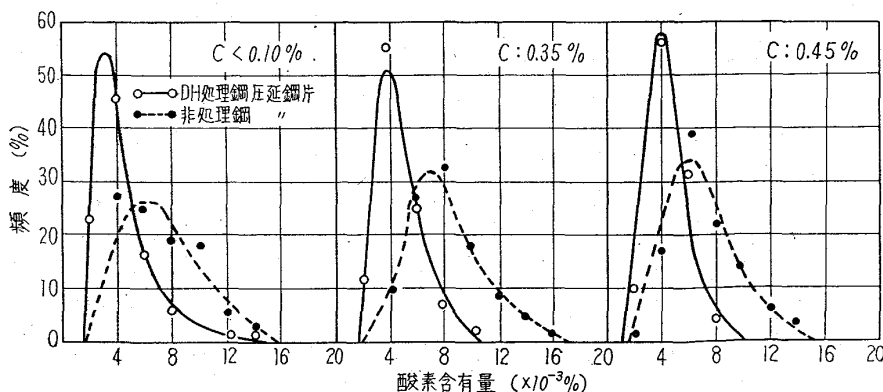


図 2.4.18 DH 処理鋼と非処理鋼の鋼中酸素含有量の比較

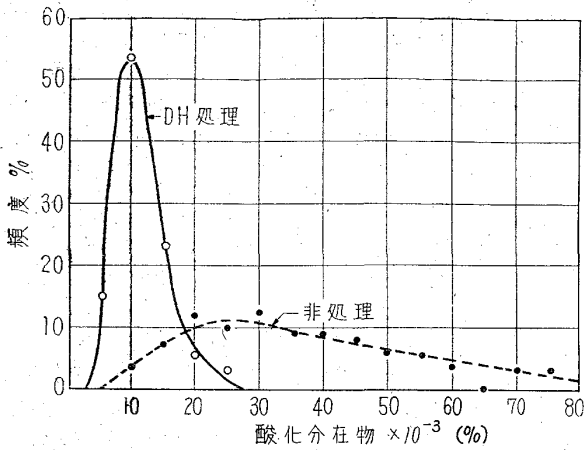


図 2.4.19 鍛造用鋼塊の酸化分在物の比較

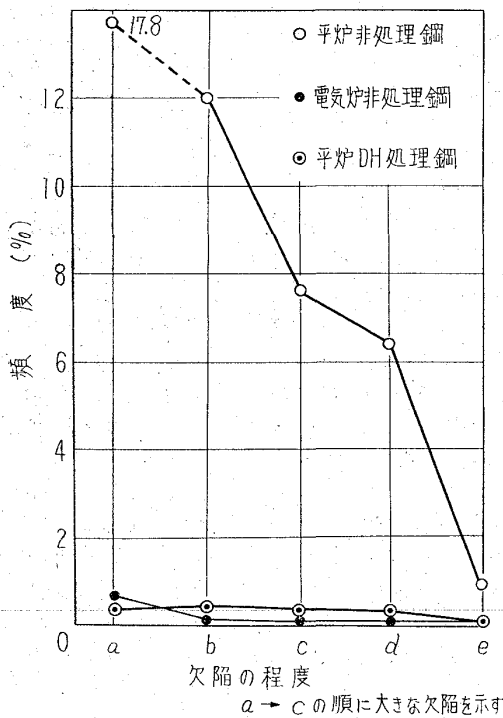


図 2.4.20 板厚 38 mm 以上の厚板の超音波探傷結果

たらした。とくに苛酷な冷間加工が行なわれる冷間衝撃加工に適した鋼材が得られるようになった。

また鋼材の C, Mn, Cr, Al などの成分範囲をごく狭い範囲としてより安定した品位の鋼材が得られるようになった。

例えば C は目標に対して $\pm 0.015\%$, Al は $\pm 0.002\%$ となつている^{19), 28)}。とくに Al, B, Nb, Zr などの酸化しやすい元素であつても真空容器中で歩留りよく安定して添加できる結果、必要以上の添加を行なわずにすむため安価に安定した品位の鋼材が得られるようになった。一方これらの特長は精錬時間の短縮を可能とするもので、より経済的に良質の鋼を製造するために役立つ。

c) RH 法

効果は鋼種によつて異なるがここでは 1 例として高張

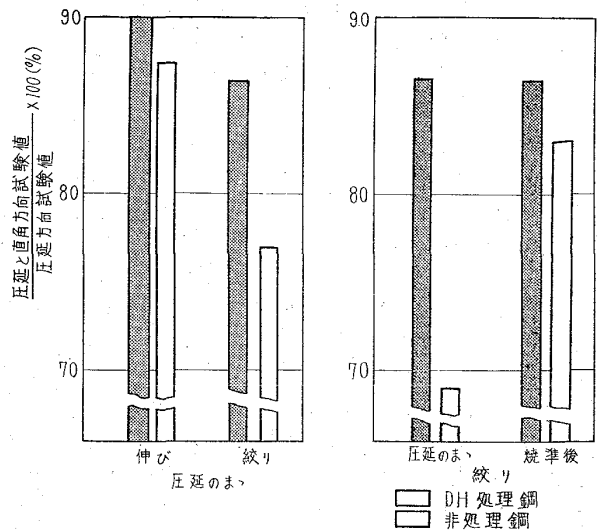


図 2.4.21 厚板の異方性の比較

力鋼板造船用アルミンリコンキルド鋼の鋼板の表面および内部欠陥などの発生率、材質試験値、超音波探傷結果などについて述べる²⁹⁾。

なお材質調査を行なつた高張力鋼板のスラブ厚は全て 200 mm、鋼板厚は 20 mm および 25 mm である。

- (イ) 溶鋼中の水素含有量は 1.5~2.5 ppm となる。非脱ガス鋼では水素含有量は 6 ppm 位である。
- (ロ) 引張試験、曲げ試験 抗張力、降伏点、伸びおよび曲げは普通材と殆んど差がない。
- (ハ) 衝撃値 殆んど差がないが、L 方向と C 方向の値の差が普通材よりはるかに小さく鋼板の C 方向材質が向上している。
- (ニ) 鋼板内非金属介在物 鋼塊底部側の Al_2O_3 系介在物を中心とした延性の乏しい介在物ははるかに少ない。

ただし処理材にもかなり大きな介在物が存在することがあり、これは注入など造塊要因によるものと考えられる。

- (ホ) 探傷欠陥 超音波探傷により発見される欠陥がきわめて少なくなる。
- (ヘ) ラミネーションおよびブリストア発生率 鋼板の端面に発生するラミネーション発生率は 1/6 程度に減少し、また鋼板表面に発生するブリストアの発生率も半分以下に減少する。

他の鋼種でも非金属介在物あるいは鋼中ガス成分に依存すると考えられる諸種の鋼の欠陥の防止に多大の効果を示している。

2.4.4 将来の展望

高級材料の製鋼手段として真空誘導炉法と消耗電極式アーク溶解法の特質を比較すると真空誘導炉法は容量的に限界があり、偏析、鋼塊組織の健全性などの面では消耗電極式アーク溶解法がすぐれ、大型鋼塊の製造に適している。

わが国において消耗電極式アーク溶解法はヨーロッパ諸国よりもはるかに進んでいるが、今後も機器の高性能化にともなつて、高性能で高い信頼性を有する材料に対

る需要は増大する一方であり、生産性およびコストの点で消耗電極式アーク溶解法が他の方法に比してはるかに有利であり、今後も急速な発展をとげるであろう。コストの点も需要の増加にともなつて炉の生産性が向上すれば、原単位 10,000 円前後まで低下する可能性があり、歩留り向上とあいまつて、さらに普及が進むであろう。大型鋼塊の溶解も比較的容易であり欧米では 1 チャージ 1000 t 程度の炉も計画されているといわれる。このような大型鋼塊が得られれば、大型鍛鋼品の分野にも新しい用途が開けてくるであろう。

真空誘導炉法は前述のごとく不利な欠点もあるがなお高級材料の製鋼法としては有力なものといえよう。今日のところ、工業的見地から見た場合、電磁気材料などの分野を除いて必ずしも活発なものとはいえないが、今後新しい性能を具備した合金の製造開発手段として大きな飛躍が期待される^{9),30)}。

真空脱ガス法は特殊鋼ばかりでなく、普通鋼に対しても常識となる程度に普及し、経験と実績が積み、昨今ようやく経済性、品質の面からいずれの方法が最もすぐれているかという議題が欧米でも採り上げられているが生産品種、規模、工場の特殊事情などから一定の結論は出ていない。水素低減は真空脱ガスの最初の目的であつたが、もはや問題ではなく真空脱酸が重要な議題となつてきている。

流滴脱ガス法では水素除去には十分であるが脱酸または砂きずに対しては一定の効果がなく真空を部分的にししか活用していない。すなわち炭素は真空中では最も強力な脱酸剤となるが溶鋼から酸素を除くには水素ほど迅速ではなく、かつキルド鋼では脱ガス処理前すでに脱酸剤により、脱酸されており炭素による脱酸を困難ならしめる。また溶鋼が真空室に入ると扇形にひろがるが、溶鋼のひろがり制限するために一般に円筒状耐火物または受皿を設けているが完全に防止することはできず、小型鋼塊または高度の表面品位を要求するものには障害となり、これを克服するには整流の得られる脱ガス法、例えば取鍋脱ガス法、DH 法、RH 法を採用すべきかも知れない。

一方取鍋脱ガス法および取鍋流滴脱ガス法では溶鋼の移動および脱ガス処理中に大きな温度降下を生ずる。容器の予熱、出鋼温度の上昇だけでは補ないきれない。1 例として 90 t 取鍋で取鍋脱ガスを行なつた場合、出鋼してから取鍋を真空タンクから取り出すまでに 30~40 min を要し、その間に 100°C 以上の温度降下があり、取鍋流滴脱ガス法では取鍋一取鍋間でさらに大きな温度損失がある。とくに小容量の場合には温度損失はかなり顕著になりしばしば操業を困難ならしめる。溶鋼の静圧と温度低下によつて、適用範囲が限られていて、あまり顧みられなかつた取鍋脱ガス法の欠点を誘導加熱装置により補ない、一方処理前すでに酸化物が安定して、かつ処理時間の短い流滴脱ガス法を組合せ脱水素および脱酸を行なえば白点および砂きずを対象とする鋼種に強力な手段となるものと考えられる。近代工業技術の水準が高まり、この要求を満すためにさらに高級鋼が必要であり、真空脱ガス法と他の製鋼法または造塊法との結合は有力な一方策であり、現に国内の 1, 2 の真空器機メー

カーおよび製鋼会社でつぎのごとき結合が検討されている。

流滴脱ガス法——〔誘導加熱装置をつけた取鍋脱ガス法〕
〔真空誘導脱ガス法〕
——〔真空造塊〕
〔大気造塊〕

DH 法はこれが開発されて以来数年の間に多くの処理効果が認められ、DH 処理される鋼種は低炭素鋼、高炭素鋼、低合金鋼、および高合金鋼の各種におよんでおり、なお多くの発展の可能性を残している。

最近とくに注目されているのは連続铸造との組合せである。これはつぎに述べる RH 法についても同様のことがいえるが、すでに西独 Benteler および Dillinger Hüttenwerke、カナダの Atlas Steel がそれぞれ炭素鋼あるいは高合金鋼について DH 処理後連続铸造することを行なつており、また米国 National Steel では 300 t の平炉鋼を DH 処理した後、連続铸造し薄板を生産すべく DH 処理設備を建設中と伝えられ、米国の Copperweld Steel もビレットを対象として設備建設中である。これらの計画は DH 処理によつて鋼をより均質な清浄度の高いものとする目的のほか、リムド鋼の脱酸度の調節を DH 処理により行なおうとする目的もある。真空容器を一つの分析用容器と考え、溶鋼の吸上量と発生ガス量の観測から鋼中ガス含有量を推定しようとするもので、前述のセミキルド鋼の脱酸調整をさらにリムド鋼にまで進めるものといえよう。

真空容器の耐火物の寿命が年々延長されるにつれて製鋼時間の短い純酸素転炉の出鋼に合わせて順次 DH 処理する設備の建設も考えられるようになった。また耐火物の寿命が延びた結果、耐火物のコストに占める割合が非常に少なくなりつつあり、最近はさらにコスト低下を図るため真空容器のガスまたは重油による加熱、成分調節、測温などの自動化が進められる傾向にある。

また R-H 環流脱ガス法は他の脱ガス法に見られない種々の有利な特質を有している。したがつて鋼の品質向上あるいは新しい鋼種の開発のために今後いよいよ盛んに採用されて行くものと考えられるが、製鋼技術革新の趨勢からみて、つぎに述べる点においてとくに意義が認められる。

(1) 転炉鋼の全量脱ガス処理

RH 法の 1 つの大きな特質は生産性が高いことである。写真 2・4・4 は真空槽を 2 個備えた半固定式 R-H 脱ガス装置であるが、このように 2 個あるいは複数個の真空槽を設置し、常時 1 基の真空槽を整備状態とし、他の 1 あるいは複数基を稼働させることにより生産性は一段と増大し、転炉の溶鋼を全量連続的に脱ガス処理することも不可能ではない。さらにまたこれを連続铸造と組合せることも可能である。

(2) 電気炉との組合せ

図 2・4・22 は電気炉に RH 法を設備するときの 1 つの構想図である³²⁾。精錬後炉内に脱ガス槽を直接降下せしめ炉内で脱ガス処理を行なうものである。これによつて還元期を省略し生産性を高めることができる。また脱ガス処理による温度降下はその後容易に補なうことができる。RH 法は溶鋼の混合に対して有利な特性をもつているため高合金鋼の炉内における成分均一をはかるの

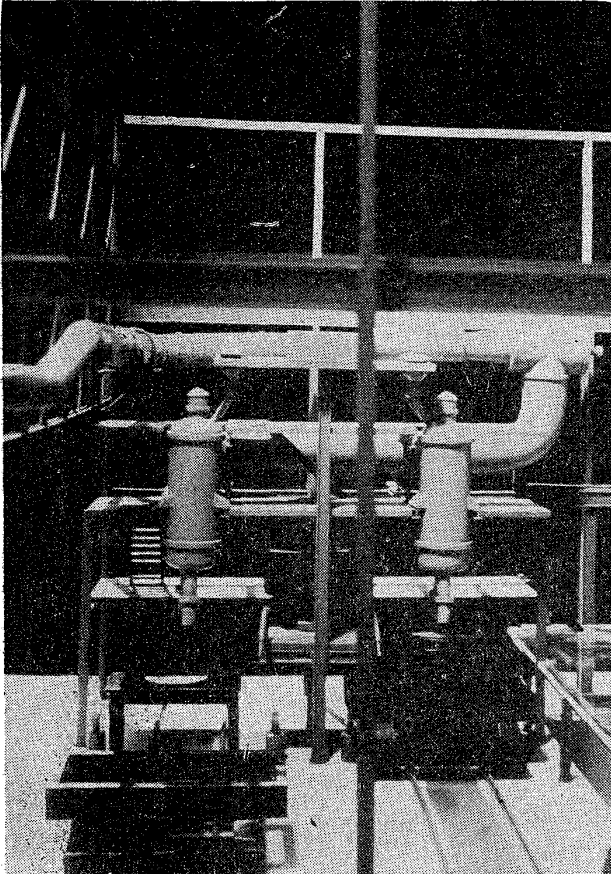


写真 2・4・4 半固定式 R-H 脱ガスのモデル

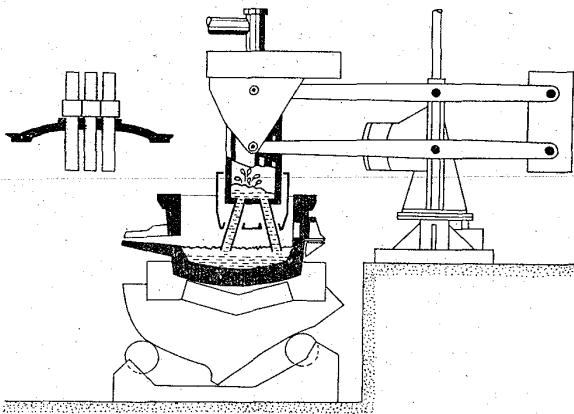


図 2・4・22 RH 法の電気炉への応用

に誘導攪拌装置に優る効果を発揮できるものと考えられる。

なお誘導攪拌装置を脱ガス槽あるいは脱ガスを行なう取鍋に取付けて脱ガス効果を高め、また添加成分の均一混合を補助することも可能である。これらは RH 法適用の一例にすぎないが製鋼技術の一環として RH 法が今後さらに未開の分野を開拓することは疑いないものと考えられる。

文 献

- 1) 高尾, 草道: 鉄と鋼, 41 (1955) 8, p. 887;
鉄と鋼, 42 (1956) 2, p. 127; 鉄と鋼, 42

(1956) 5, p. 426

- 2) 高尾, 草道, 八木: 鉄と鋼, 44 (1958) 11, p. 46
- 3) 特許番号 259671, 鉄基およびニッケル基高級合金の溶解造塊法
- 4) 遠藤, 長谷川: 鉄と鋼, 49 (1963) 5, p. 797
- 5) 草道, 福原: 神戸製鋼技報, 13, 5, p. 347
- 6) 大橋, 坂上, 大沢: 鉄と鋼, 48 (1962) 11, p. 1413
- 7) 寺井, 中村, 高井, 高橋: 住友金属, 16 (1964) 2, p. 83
- 8) 荒木, 矢野, 大橋: 鉄と鋼, 48 (1962) 11, p. 1411
- 9) 遠藤, 長谷川: 鉄と鋼, 49 (1963) 5, p. 797~837
- 10) 斎藤, 川合: 学振 19 委—5862
- 11) 渡辺: 鉄と鋼, 46 (1960) 10, p. 1423
- 12) 渡辺: 鉄と鋼, 47 (1961) 12, p. 1670
- 13) 郡司: 鉄と鋼, 48 (1962) 11, p. 1287
- 14) G. HOYLE: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 200 (1962) 8, p. 605~607
- 15) 大橋, 奥山: 日曹製鋼技報, 3 (1963) 1, p. 24~33
- 16) C. H. POTTGISSER: Stahl u. Eisen 79 (1959) Nr. 8, p. 465
- 17) H. KNÜPPEL: Stahl u. Eisen 79 (1959) 5, p. 273
- 18) W. SIECKMAN: Iron & Steel Engr. 150, 15, p. 120
- 19) W. L. FINLAY: Blast Fée & Steel Plant 49 (1961) 9, p. 875
- 20) F. HARDERS: J. Metals, 12 (1960) 5, p. 399
- 21) 渡辺, 他: 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 456~458
- 22) G. H. PRÖPSTL: Stahl u. Eisen, 80 (1960) 13, p. 863
- 23) 渡辺, 他: 鉄と鋼, 50 (1964) ... 本年秋の鉄鋼協会講演大会で発表予定
- 24) H. THIELMANN u. H. MAAS: Stahl u. Eisen. 76 (1959) 5, p. 272-282
- 25) 斎藤, 川合, 津: 鉄と鋼, 47 (1961) 10, p. 1382
- 26) 藤井: 鉄と鋼, 46 (1960) 3, p. 285
- 27) F. HARDERS: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 196 (1958) 11, p. 310
- 28) C. H. POTTGISSER: Stahl u. Eisen 79 (1959) Nr. 8, p. 469
- 29) 鉄鋼協会共同研究会第 27 回製鋼部会提出資料 (1963 年 3 月)
- 30) 長谷川: 鉄と鋼, 45 (1959) 10, p. 64
- 31) W. ARMBRUSTER and H. MAAS: Fifth Annual Conference on Vacuum Metallurgy, June 18, 19 (1962)

2.5 連続铸造法

2.5.1 連続铸造法発展の経過

連続铸造の歴史は約 100 年前にその基本的な着想が発表されて以来、これを具体化するための方法が数多く案出、試験されてきた。¹⁻³⁾しかしながらこれが鋼において工業化されたのは近々 1950 年 (昭和 25 年) 代に入つて以来のことであつて比較的新しい。これは凝固点が高く、熱伝導率が小さい、いいかえれば凝固ならびに冷却の過程で問題を起ししやすい鋼を手際よく取り扱う製鋼、造塊技術の近年における著しい発展と相まつて始めてその工業化が達成されるにいたつたからである。しかしながらこれが工業化されて以来の発展は目ざましく、たとえば 1950 年以降の世界における設備数は図 2.5.1 に示すごとく級数的な発展を続けてきている。これは従来の造塊、分塊という鋼製造法にくらべて溶鋼から直接ビレットを連続的に铸造する本法においては設備費が低廉で、高い歩留を実現出来、しかも得られたビレットの表面がすぐれており、内部に偏析がないなどの経済的品質的、利点を数多く備えていることが広く認識され、本法に対する信頼度が高まつたからにはかならない。

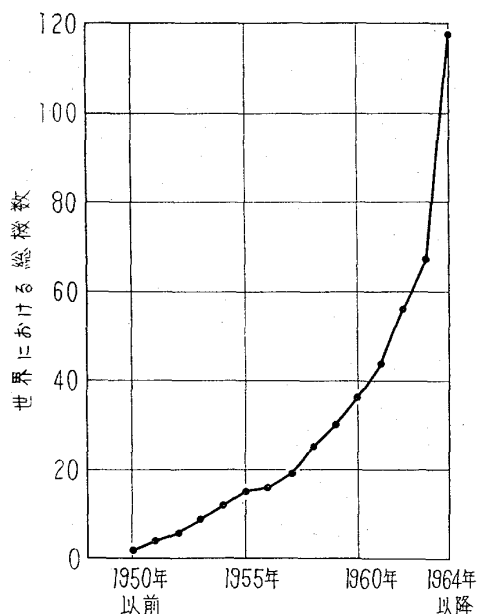


図 2.5.1 世界における鋼の連続铸造機の建設経過 (1964 年 8 月調査, 文献 38), 39) および Concast A. G. よりの情報に基づく)

さて諸外国における鋼の連続铸造の発展の概要は、まず欧州諸国、ソ連邦において古くから活発な研究が行なわれ、これらの成果に基づいてアジア、アフリカ、南北米諸国においても近年急速に普及してきたといえよう。まずドイツにおいては 1940 年 (昭和 15 年) 代から Mannesmann A. G. の Huckingen 工場において Dr. Junghans の伝統を受けついで多角的な研究を進めており⁴⁾、豊富な経験に基づいて Mannesmann 法の発展に力を尽してきた。英国においては 1947 年 (昭和 22 年)

BISRA が London 研究所で研究を開始して以来、ばね懸垂式鑄型を採用したいわゆる BISRA 法を逐次改造し⁵⁾、最近では正方形断面のビレットをその横断面の対角線上に複数個連ねて生産性を高めた Weybridge 方式を発表しており⁶⁾、その後も活発な研究が続けている。そのほかフランス、イタリア、スイスを始め欧州諸国においては比較的早くから連続铸造が意欲的に取り入れられている。そして本法の工業的設備を欧州諸国のみならず全世界に普及するのにここ 10 年来寄与したのが Mr. Rossi の統いる Concast グループの活動によるといえよう。

一方ソ連邦においては鋼の連続铸造に対する評価は早くからきわめて高く、大型設備での多量生産を目標として独自に精力的な研究が続けられている。ビレットの凝固、冷却理論から铸造技術、設備の設計にわたる広範囲の研究成果が多量に発表されている。これに伴つて同じ共産圏諸国の東欧諸国、中国などにおいても近年その設備が徐々に普及しつつある。特に中国においては 1958 年 (昭和 33 年) 以来ビレットについての研究を行ないこの工業化に成功し、近く広幅スラブ専用機を完成するまでにいたつているといわれている⁷⁾。

さてわが国における鋼の連続铸造の歴史は古く 1930 年 (昭和 5 年) 代に村上氏によつて鋼板の連続铸造の特許が取得されており⁸⁾、その後昭和 22 年以来住友金属工業の鋼管製造所において半連続式の試験設備によつて基礎的な研究が進められた⁹⁾。30 年にいたつて同社の製鋼所に単列式、铸造能率 8 t/h の Concast の設備を導入し、設備上、品質上の試験研究を行ない^{10)~17)} キルド鋼ビレットに関する本法の工業化に成功した。この成果に基づいて 35 年同設備を 2 連式、铸造能率 30 t/h の設備に改造し、260 mm φ までの各種のキルド鋼ビレットの生産を行なつている。また 32 年には兵庫県中央工業試験所において管材の連続铸造の実験を行ない、その工業化の見通しがきわめて有望であることを確めている¹⁸⁾。35 年には八幡製鉄において Concast より当時としては世界最大の幅 1250 mm までの大型スラブを铸造し得る設備を導入し、18-8 ステンレス鋼を始めとする各種の大型スラブの铸造技術を完成した¹⁹⁾。このほか 34 年には神戸製鋼において試験設備を設置し各種の鋼の連続铸造の研究が行なわれており²⁰⁾、日立製作所においても 36 年以来半工業的規模の設備で試験を開始している²¹⁾。また北日本特殊鋼においては近年 Mannesmann の設備を導入してすでに操業中であるといわれている。現在このほか数社において設備を建設中または具体的な建設計画が進められている。もちろんいずれも铸造能率の高い生産設備である。

2.5.2 連続铸造の現況

現在鋼の連続铸造は全世界に普及しつつあり、すでに表 2.5.1 に示すごとく建設中のものを含めるとその設備は実に 100 機以上におよんでいる。そこでつぎに連続铸造の現況について、その設備、操業法、生産性、経済性ならびに鑄片の品質がいかなる水準にあるかを述べる。

1) 設 備

鋼の連続铸造設備は過去において非常に多種類のもの

表 2.5.1 世界における鋼の連続铸造機の現状
(建設中のものも含む) (1964年 8
月調査, 文献 38) 39) および Co-
ncast A. G. よりの情報に基づく)

	ビレット 専用機	大型 スラブ 専用機	ビレットお よび小型 スラブ兼用 機ならびに 詳細不明の もの	計
Concast グループ	29	13	16	58
Mannesmann-Böhler グル ープ	7	3	5	15
Continuous Casting Co. Weybridge-CNRM グル ープ	4	1	0	5
ソ 連 邦	2	7	5	14
そ の 他	12	4	10	26
計	54	28	36	118

が案出され試験されているが²³⁾, 結局現在工業化されているものは大部分が垂直式およびこれの変形型で, このほか傾斜型の設備がソ連邦の一部で稼動中であるといわれており, 水平型の工業化設備はない. 傾斜型は図 2.5.2 に示すごときいわゆる Goldbin 型といわれているもので割型の鑄型を2つの傾斜したベルトに配置し, 鑄型の合わせ始めの位置で注入された溶鋼が順次凝固せしめられ, 斜方向にビレットが連続的に引出されてくる形式の設備である. ソ連邦では生産機械として挙げられているが, 実際には湯面の面積が非常に大きいためビレットの表面欠陥が多いことや下側鑄型の消耗が激しいことなどのために工業的には問題が多いようである²²⁾.

さて現在の工業化設備の主流をなす垂直型鋼連続铸造機はその変形も含めて3種類に大別することができる.

すなわち図 2.5.3 に示すごとく垂直型, 垂直型ビレット屈曲方式および全彎曲式のいわゆる S 型である. 垂直型の鋼連続铸造設備の最大の欠点はその設備高さが非常に高いことで, やや大型の生産機械ではその高さが 20 m 以上に達するのが普通である. そこでこの高さを減少せしめて従来の造塊体ないしはその延長に比較的安価に連続铸造機を設置しようという要求はきわめて自然である. そこでピンチロールから下の部分のビレットを水平方向に屈曲せしめて全体の設備高さを軽減しようとしたのが垂直型ビレット屈曲方式の設備である. しかしこれでは十分な高さの減少は望み得ず, さらに積極的に高さを減少せしめて垂直型の 1/2 ないし 1/3 の高さにまで設備高さを低めたのが Concast グループの開発した全彎曲式のいわゆる S 型連続铸造機である.

すなわち溶鋼を円弧状の鑄型に鑄込み, これをそのままの円弧に沿って鑄型から引抜き, スプレー帯, 放冷帯を通して凝固を完了せしめたのち, 4分の1円弧を経たところでビレットを水平に屈曲せしめ, 所定の長さに切断して機外に搬出する. この円弧の半径 R は鑄造すべきビレットの厚さを d とすると $d/2=0.015R$ で表わされる値を標準とするといわれている²³⁾. すなわちビレットの厚さの約 30 倍の半径いいかえればこの高さがあればよいことになるから設備高さは大幅に軽減される. 現在この S 型連続铸造機は世界で1機が稼動中であり, この成果に基づいて続々と計画が進められており, その総数は 20 機以上といわれている²⁴⁾. 現在稼動中のわが国の設備はいずれも垂直型であるが, 計画中のものは大部分全彎曲式の S 型であり, いずれはこの種の設備が普及するものと考えられている.

連続铸造においては鑄型に鑄込んだ溶鋼を外層部のみ凝固せしめ, 内部がなお溶融状態のままのビレットとして連続的に鑄型から引抜くので, この鑄型からのビレットの引抜き方法が最も重要な操作の一つとなる. したがって従来鑄型からのビレットの引抜き方法として種々の

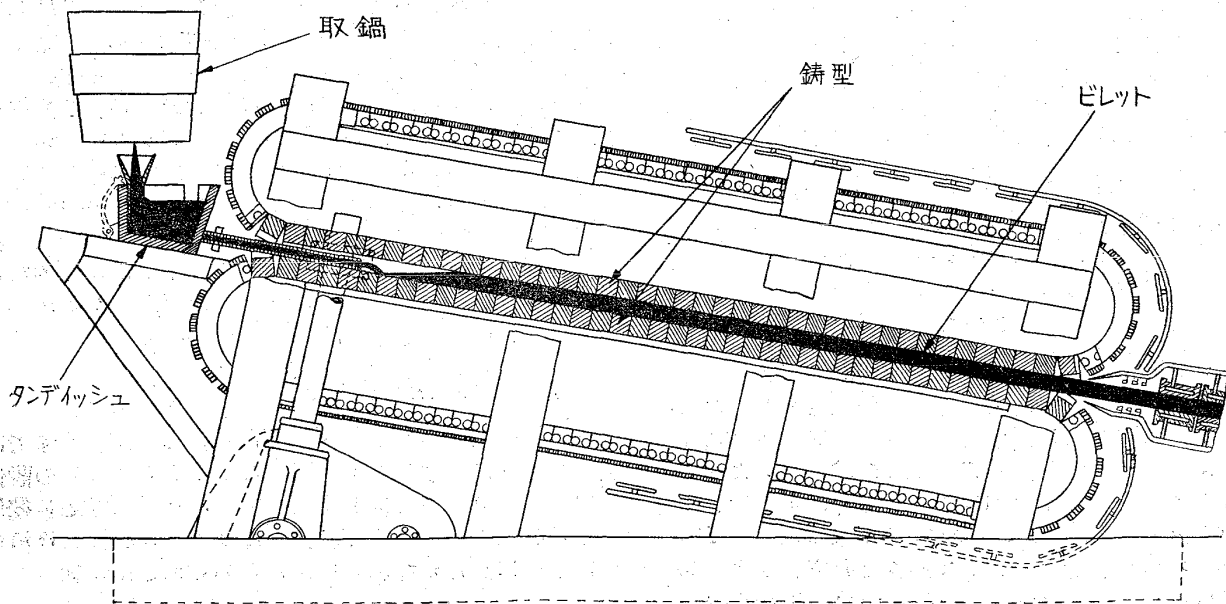


図 2.5.2 傾斜型連続铸造機 (Goldbin 型)

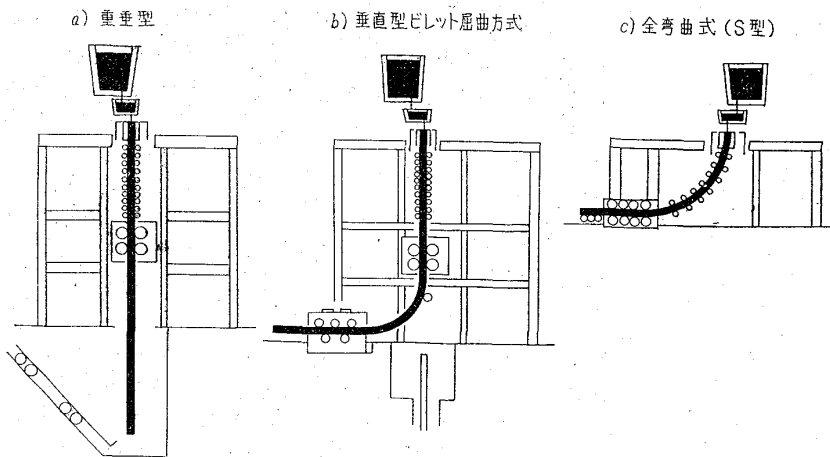


図 2.5.3 鋼の連続铸造設備の型式

方法が考え出された。すなわち静止鑄型からビレットを連続的に滑らせて引抜く Böhler 法，静止鑄型からビレットを断続的に引抜く Babcock & Wilcox 法，鑄型をばねの上に設置してビレットを連続的に引抜く BISRA 法，鑄型に強制的な上下往復運動を与えておいてビレットを連続的に引抜く Junghans-Rossi 法などである。しかしながら工業的に成功したのは最後の Junghans-Rossi 法で現在の工業設備はいずれもこの強制的に鑄型を上下往復運動せしめる方式を採用している。この上下往復運動方式においては一般に鑄型の下降速度をビレットの引抜き速度に等しくしてあるがビレットの引抜き速度の大きい場合は鑄型の下降速度をビレットの引抜き速度よりも若干大きくした Negative strip²⁵⁾ ないし Compressed relieved 鑄型方式²⁶⁾などの改良方式が案出されている。一般に鑄型の上昇速度は下降速度の数倍であり，最も普通には3倍が採用されているようである。

またこの上下往復運動の駆動方法としては従来すべて機械的なカム方式が採用されていたが，住友金属工業においてはその設備を1ストランドから2ストランドに改造するに当ってこれに電気同調を導入して上下往復運動の精度を上げるとともに機械全体に発生する振動を防止した。35年に前記の八幡製鉄，光製鉄所の大型スラブ用設備において住友金属工業の設計になる油圧方式が世界で初めて採用され円滑なる作動によって本方式の優劣性が証明された。

さて鑄型の材質は着想ないしは試験的に使用されたものとしては鉄，黒鉛，銅合金などがあるが，現在工業的に使われているものは主として純銅である。鑄型の形式は銅管の外側に鉄管を嵌めこの間隙を冷却水が流通する型式の管状鑄型，銅塊の軸心に孔を開けこの周囲に冷却水の流通孔を具備した形式の塊状鑄型，銅板を組立てて鉄枠内に納め銅板と枠との間を冷却水が流通する型式の組立鑄型などがある。それぞれ長所，短所を持っており管状鑄型は構造が簡単で製作が容易であるが銅管の変形が大きくしばしば矯正しつつ主として小断面のビレット用として使われている。塊状鑄型は変形が少なく，変形してもこれを削正することによって長い寿命が期待でき¹⁴⁾,²⁷⁾，ビレット用または小断面のスラブ用として広く使用される。組立て式鑄型は変形を防止し，継ぎ目の弛開を防止するのに工夫を要するが²⁸⁾，大断面の特にスラ

ブ用鑄型として経済的に最もすぐれている。鑄型の長さは Inland Steel Co. が試験を行なった 250 mm²⁹⁾ のものが最小であり，多くは 600 mm ないし 900 mm の範囲のものが使用されているが，ソ連邦においては 1,500 mm という長い鑄型がよく使用されているようである³⁰⁾。

スプレーによる冷却帯はビレット内部の凝固を進行せしめると同時にビレットの断面形状を正しく保つ作用をも具備していなければならないから，スプレーの噴射ノズルとローラーエプロンとを組合わせたものが普通である¹¹⁾。すなわちビレットの表面に接して軸が水平のローラーを鑄型の直下から 10 数段エプロン状に配置し，このローラーの外側からローラーの間を通してスプレーがビレット表面に達するようにスプレーノズルを配置する。スプレーのノズル³¹⁾,³²⁾ およびその配置方法はビレットの形状，鋼種によってそれぞれ工夫が凝らされている。住友金属工業においてはいち早くこのローラーエプロンの重要性を認め，30年 Concast の設備を導入後年余を出ずして完全なるローラーエプロンを設計して実用に移した¹¹⁾。

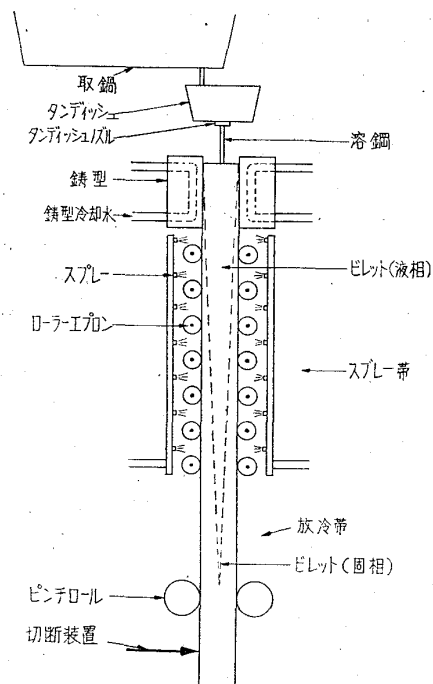


図 2.5.4 連続铸造の操業概略図 (垂直型の場合)

2) 操業法

図 2.5.4 は連続铸造の操業を示す概略図である。すなわちあらかじめ十分予熱した取鍋に溶鋼を受鋼する。連続铸造においては鑄込時間が比較的長いから必要に応じてさらに取鍋中の溶鋼を加熱または十分に保温する。取鍋を鑄込塔上のタンディッシュの上に設置する。機械

の作動準備が完全であることを確めた上で鑄型に冷却水および潤滑油を流通せしめて鑄込みを開始する。取鍋からタンディッシュに注入された溶鋼はタンディッシュノズルを通して鑄型に入る。鑄型にはあらかじめダミーバーを下方から挿入して一時的に鑄型の底としてあるが、鑄型に入った溶鋼は順次鑄型内にたまとともにその底および側壁にそつて凝固を開始する。鑄型の上部まで溶鋼がたまとピンチロールを作動せしめてダミーバーの引抜きを開始するとともに鑄型の往復運動を開始する。ダミーバーの頂部に固着したピレットは内部がまだ溶融状態のままダミーバーとともに鑄型を出て順次下方に降下してスプレー帯のローラーエプロンの中を通過する。これと同時にスプレー帯での水の噴射を開始しピレットを表面から冷却する。スプレー帯を通過した後ピレットはさらに放冷帯を経てピンチロールを通過する。ダミーバーは順次分解して取りはずし機外に除去する。この間にピレットは中心部まで凝固を完了する。以上は垂直型の連続鑄造の操業法の概要であるがピレット屈曲型またはS型においてはピンチロールを通過した後ピレットを屈曲または矯正して水平方向に引抜く。最後にピレットを所定の長さに切断して機外に搬出する。これらの操作を前鍋の溶鋼が全部注入し終わるまで継続する。

上記の操業法で明らかなように連続鑄造は取鍋一杯の溶鋼は確かに連続的に鑄込み得るが、つぎの取鍋の溶鋼を鑄込むまでの間休止する。したがって現在では完全に24時間連続的に鑄造を続ける操業は行なわれていない。もちろん機械の操業度を上げるためにこの休止時間をなくして完全に連続運転を行なわんとする計画も行なわれている^{33), 39)}。このためには炉の出鋼時間の調節、長時間の使用に耐える耐火物の確保などの問題を解決しなければならない。

さて連続鑄造の操業は従来の鋼塊の造塊法にくらべるとはるかに細かい注意が必要である。そこでつぎに操業法のうちのおもな注意点を、主としてわが国における実験結果に基づいて述べる。まず連続鑄造においては鑄造能率が比較的小さくこれは主としてタンディッシュノズルの径で決まる。すなわちタンディッシュには10数mmないし20数mmの径のノズルを使用するのが普通である。長時間の鑄込み中にもなるべく一定の鑄込み速度を保つことが望ましく、タンディッシュノズルの径が大きくならないようにするためには良質の耐火物を使う必要がある。一方タンディッシュ以前すなわち取鍋あるいは炉に脱酸剤としてたとえばAlを添加するとこのタンディッシュノズルが詰り鑄込み不能となる。タンディッシュを通過するとき鋼中に含有し得るAlの量は鋼種、鑄込み温度、ノズルの径などにもよるが一般にきわめて低く^{34), 35)}、現在Alはタンディッシュ通過後鑄型に入るまでの間の溶鋼流に添加するのが普通である。このタンディッシュ下でのAl線の連続投入は住友金属工業が世界に先がけて連続鑄造法に採用した方法で鋼の連続鑄造の操業をきわめて容易ならしめた。

つぎに鑄込み温度と鑄込み速度の調節はきわめて重要であつて鋼種、ピレットの断面形状などによつて適切な値を選ばねばならないが、一般に過度の高温鑄込みおよび高速鑄込みはさげなければならない。すなわち鑄込み

温度が高すぎると図2.5.5¹⁰⁾に示すごとくピレットの表面に縦割れがでやすくかつ表2.5.2¹¹⁾に示すごとくピレットの内部に割れが発生しやすい。したがって鑄込み温度はある程度低くする必要があるが前記のごとくタンディッシュノズルの径が比較的小さいので鑄込み温度が低くなりすぎるとノズルが詰り鑄込み不能となる。ゆえに鑄込み温度はこの間の適切な温度に特に注意深く調節する必要がある。このために通常土瓶式取鍋においては蓋をつけさらにバーナーで溶鋼を加熱しつつ鑄込むが、このかわりに蓋もバーナーも要せず湯面上に多量のモミ殻を投入することによつて溶鋼の温度降下をきわめて小さくすることができる。これは住友金属工業で案出された方法で、本法によれば小型取鍋においても保守の簡単なストッパー式取鍋を普通造塊法におけると同様に連続鑄造においても使用し得る。また鑄込み速度が大きすぎ

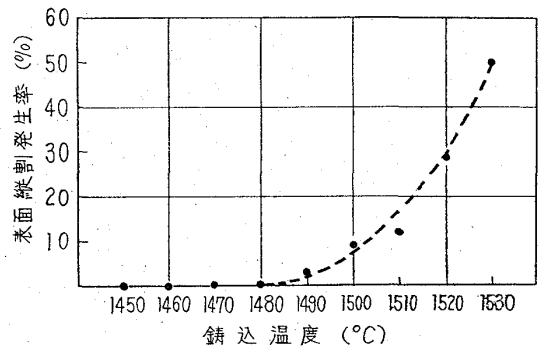


図 2.5.5 鑄込温度がピレット表面の縦割れの発生におよぼす影響¹⁰⁾

(鋼種; JIS, SUP 6, ピレット寸法; 130 mm φ, 鑄込速度; 1,000 ± 50 mm/min)

表 2.5.2 鑄込温度がピレットの内部割れの発生におよぼす影響¹¹⁾

(鋼種; 中炭素鋼, ピレット寸法; 91 mm φ, 鑄込速度; 2,050 ± 100 mm/min)

鑄込温度 (°C)	1460	1470	1480	1490	1500	1510
ピレットの内部割れの有無	○	○	○	○	●	●
		○	○	●	●	●
			○		●	●

○内部割れなし ●内部割れ発生

表 2.5.3 鑄込速度が円形断面ピレット表面の縦割れの発生におよぼす影響¹⁰⁾

(鋼種; 低炭素鋼, ピレット寸法; 115 mm φ)

	鑄込速度 (mm/min)	鑄込温度 (°C)	ピレット表面の縦割れ発生率 (%)
低速鑄込	1200	1555~1565	9
高速鑄込	1700	1550~1555	100

表 2.5.4 鋳型内におけるビレットの冷却の均一性が表面縦割れの発生におよぼす影響¹⁰⁾

(鋼種; JIS, SUP6, ビレット寸法: 130 mm φ, 鋳込速度; 1000 ± 50 mm/min)

		鋳込温度 (°C)	鋳込速度 (mm/min)	鋳型冷却水温度 (°C)				ビレット表面の縦割れ発生率 (%)	
				給 水	排 水				
					東 面	南 面	西 面		北 面
不均一冷却	鋳込始	1485	1,000 ± 50	17	28	21	22	23	56
	鋳込終	1460		22	33	26	27	28	
均一冷却	鋳込始	1480	1,000 ± 50	17	21	21	22	22	0
	鋳込終	1470		22	26	26	27	27	

ると表 2.5.3¹⁰⁾ に示すごとく特殊な断面形状のビレットではその表面に縦割れが発生しやすくなるので過度の高速鋳込みはさける必要がある。

鋳型内におけるビレットの冷却速度についてはつぎの諸点に注意を払う必要がある。すなわち4角断面のビレットの場合この隅角部の形状をビレットの断面寸法に応じて図 2.5.6 に示すごとく適切な形を選ぶこと¹⁰⁾、表 2.5.4 に示すごとく4面おのおの冷却の相対的均一性を維持すること¹⁰⁾などである。これらの条件が不適切な場合はビレットの表面に縦割れの発生を招くおそれがある。つぎにスプレー帯における冷却についてはローラーエプロンを使用しかつスプレーノズルからの水の噴射量を確め各面の相対的冷却の均一性を維持すること¹¹⁾、表 2.5.5 に示すごとくスプレーによる過度の冷却をさけること¹¹⁾などが必要である。これらの条件が不適切な場合はビレットの内部に割れの発生を招くおそれがある。特に割れのでやすい鋼についてはスプレー帯での冷却に温水を使用すると安定した操業が得られることが知られている³⁶⁾。

3) 生産性と経済性

鋼の連続鋳造の生産性は普通造塊法において鋼塊を製造する場合にくらべると一般に低い。これは鋳造の開始点すなわち鋳型内の湯面から切断装置に達するまでにビレットは凝固を完了していなければならないからである。まず正方形断面のビレットの場合について考えると

表 2.5.5 スプレーによる冷却の強さがビレットの内部割れの発生におよぼす影響¹¹⁾

(鋼種; 中炭素鋼, ビレット寸法; 91 mm φ, 鋳込温度; 1,475~1,490°C, 鋳込速度 2,050 mm/min)

ビレット番号	スプレーの流量		ビレットの内部割れの有無
	(l/min)	(l/kg of steel)	
1	280	2.10	有
2	220	1.65	有
3	170	1.28	有
4	140	1.05	無

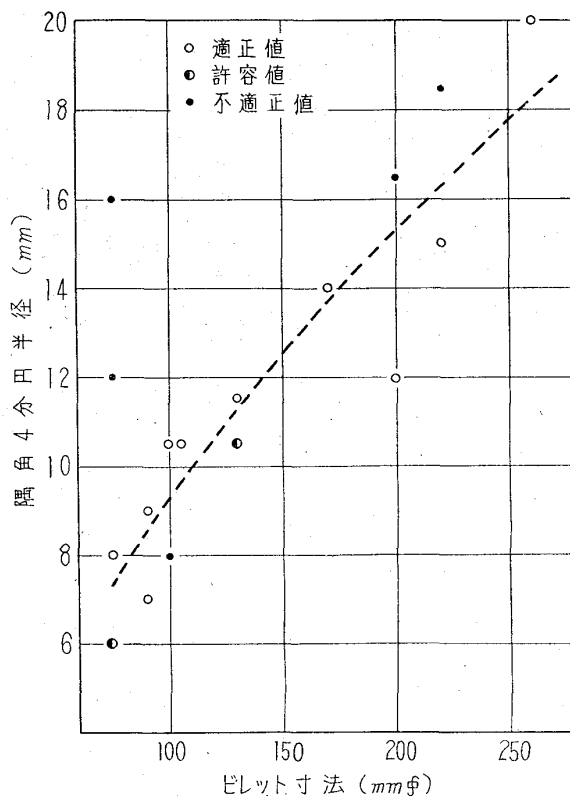


図 2.5.6 隅角部の形状が正方形断面ビレットの表面縦割れの発生におよぼす影響 (文献¹⁰⁾ およびその後の同著者の研究結果による)

一般に金属の凝固速度はその厚さを D (mm), 凝固時間を t (min), k を定数とすると $D/2 = k\sqrt{t}$ で表わされ、鋼におけるこの k の値は銅や Al の場合にくらべるとはるかに小さい。急冷が行なわれている連続鋳造においてさえもこの k の値は 25~33 (mm/min^{1/2}) 程度で最も多くは 29 (mm/min^{1/2}) とされている³⁷⁾。生産性を上げるために鋳込み速度を増大せしめることは湯面から切断装置までの距離すなわち設備高さを大とせざるを得なくなると同時に前述のごとくビレットに欠陥の発生する機会を増加せしめる。したがって一般に鋳込み速

度の増大には限界があり、たとえば **Concast** グループの各設備で行なわれているのは図 2.5.7 に示すごとく 10~20 t/h で製造されるのが普通である³⁹⁾。

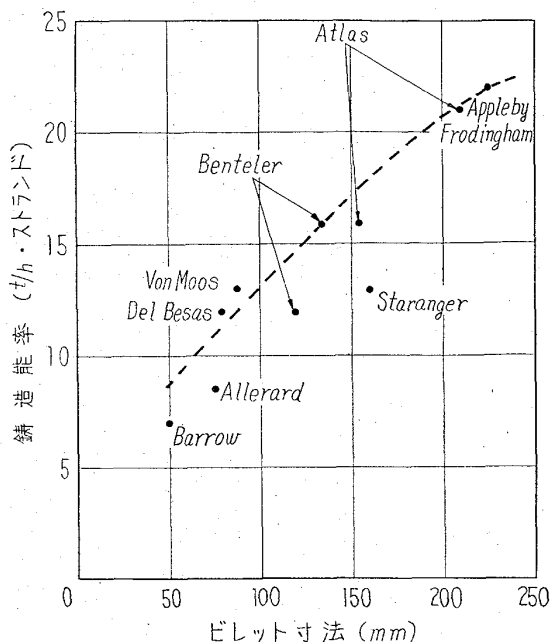


図 2.5.7 Concast グループの製造能率³⁹⁾

さて連続製造における一溶解の鑄込み時間は耐火物の耐久度、適切な鑄込み条件の維持などの点から最大 1h というのが現在普通に考えられている値である。

上に述べた鋼の連続製造の生産性は正方形断面のビレット 1本の場合であるが、現在の溶解炉の大きさは数 10t あるいは 100t 以上が常識であつてこれを 1h 以内に鑄込むためにはどうしても生産性の増大が必須条件となつてくる。このために一般に複数個のビレットを同時に鑄造し得る多ストランド連続製造機が設計されている。現在 2本または 4本のビレットを同時に鑄込む装置が多数稼動中であり、イタリアの Terni は 8ストランドが可能な設備を保有しており³⁹⁾、米国の National Steel は 6ストランド設備を計画中と伝えられている³⁸⁾。これを 1ストランドにまとめたのが BISRA で開発した Weybridge 方式⁶⁾で、正方形断面のビレットをその対角線上に複数個重ねて 1本として鑄込み、凝固完了後複数個のビレットに分離す着想である。一方矩形断面のスラブの場合には厚さは比較的小さくても多量の溶鋼を鑄込み得るから製造能率の増加は容易であり 1ストランドで数 10t/h の生産性を実現し得る。この意味において前記のごとく八幡製鉄がいち早く大型スラブの専用機を建設したことはきわめて賢明であつた。

さて連続製造の経済性はその設備が従来の造塊、分塊工場に代替し得る点でまず設備費において、つぎに高歩留を実現し得るといふ点でビレット製造費においても著しい経済性を発揮する。まず設備費はその立地条件によつても相当変わってくるが機械本体のみの価格は概略図 2.5.8 に示すようにストランド当り数億円といわれている⁴⁰⁾。いま仮に年産 100t 万の設備を従来の造塊、分塊方式の場合と連続製造方式の場合とで比較すると表 2.5

6 に示すごとくである⁴¹⁾。すなわち従来の造塊、分塊法ではスラブを製造するまでに 40,000 m² の面積と 1.4 億 DM (約 126 億円) の資金が必要であるのに対して、連続製造法によればこれが 20,000 m² の面積と 1 億 DM (約 90 億円) ですむことになる。

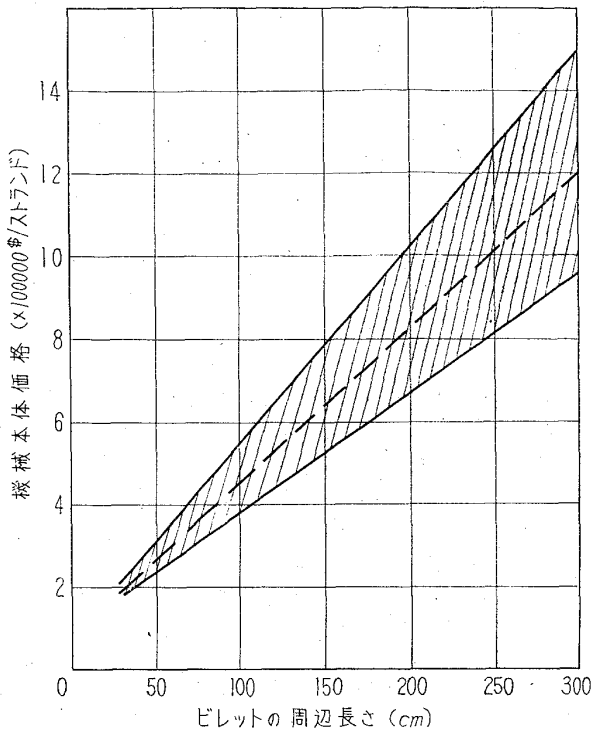


図 2.5.8 連続製造機本体の価格⁴⁰⁾

表 2.5.6 年産 200万 t のスラブ製造設備の所要面積と設備資金の比較⁴¹⁾

		所要面積 (m ²)	設備資金 (×10 ⁶ DM)
造塊 分塊 法	(1) 造塊場、起重機	7,500	20
	(2) 鑄型、鑄型台車		10
	(3) 鑄型整備場	7,000	15
	(4) ソーキングピット、鋼塊置場	8,000	25
	(5) スラブ分塊機	10,000	60
	(6) スラブ置場	7,500	10
計		40,000	140
連続 製造 法	(1) 鑄込場、起重機		15
	(2) 2ストランド連続製造機、5機	12,500	75
	(3) スラブ置場	7,500	10
計		20,000	100

つぎにビレットの製造費は高い歩留が実現し得てしかも鑄造費用が特に大きくないので従来の造塊、分塊法よりもはるかに低廉である。たとえば昭和 38 年の住友金属工業製鋼所におけるビレットでの実績および 37 年以降の八幡製鉄光製鉄所における大型スラブでの実績¹⁹⁾

はそれぞれ表 2.5.7~2.5.8 に示すごとくで、従来法の

表 2.5.7 連続鑄造の歩留 (昭和 38 年住友金属
におけるビレットの実績)

ビレット寸法 (mm φ)	良鑄込 出 鋼 (%)	良品率 (%)	事故による 溶鋼棄却率 (%)
135	99.1	99.5	0.54
180	97.5		

表 2.5.8 連続鑄造の歩留 (八幡製鉄における
大型スラブの実績)¹⁹⁾

出 鋼 量		3,720.620 t	100.0%
鑄 造 内 容	鑄造スラブ量 (T.B. 切捨 後)	3,547.270 t	95.4%
	鑄造鋼塊量 (振替鑄造)	70.460 t	1.9
	T.B. 切捨屑	56.460 t	1.5
	鑄 屑	38.550 t	1.0
	切断スケール	7.800 t	0.2

(昭和 37 年から昭和 38 年 4 月までの実績
その後の溶鋼対スラブ歩留は 97.3% に達してお
り、長期間の平均としては 97.5% を期待してよ
い。

分塊後のビレットの歩留よりも 10% 以上も高い歩留が
実現して得ている。また英国における検討結果では鑄造
費用の内訳は表 2.5.9 に示すごとくであり、ビレット
の価格は 4.5 ポンド約 12.5% 安くなるとされている²⁾。最初の設備資金ならびに日常のビレット製造費用
の両面における利点を合わせると連続鑄造法の経済性は
莫大なものとなる。

表 2.5.9 連続鑄造ビレット製造費の一例⁴²⁾

	ポンド	シリ ング	ペンス
溶 鋼 価 格	24	13	0
2% 歩 留 減		9	10
取 鋼 加 熱 費 用		7	6
酸 素 お よ び プ ロ パ ン 価 格		3	9
ノ ズ ル 価 格		1	6
電 気 費 用		2	0
鑄 型 費 用		2	0
労 働 賃 金		6	6
保 守 費 用 (耐 火 物 費 用 を 含 む)	1	19	4
ロ イ ヤ リ テ ィ		18	6
そ の 他		3	3
計	29	7	2

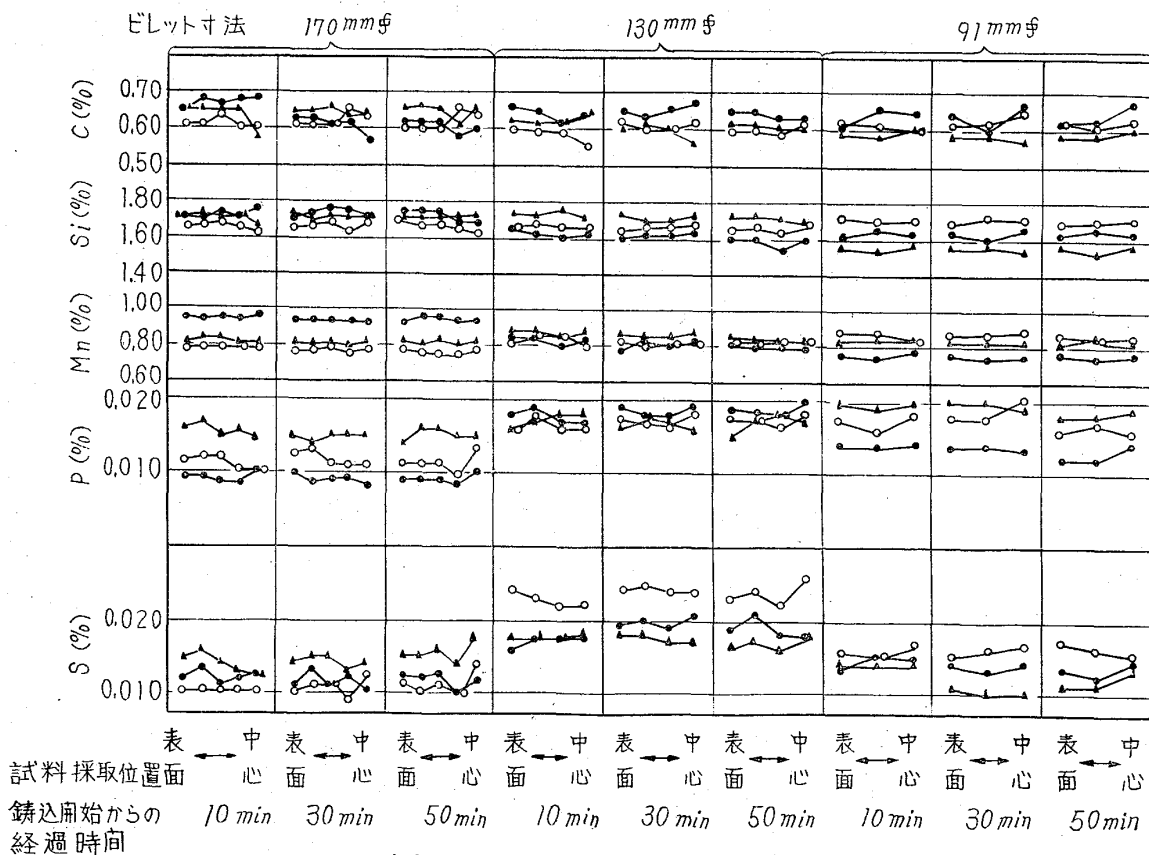


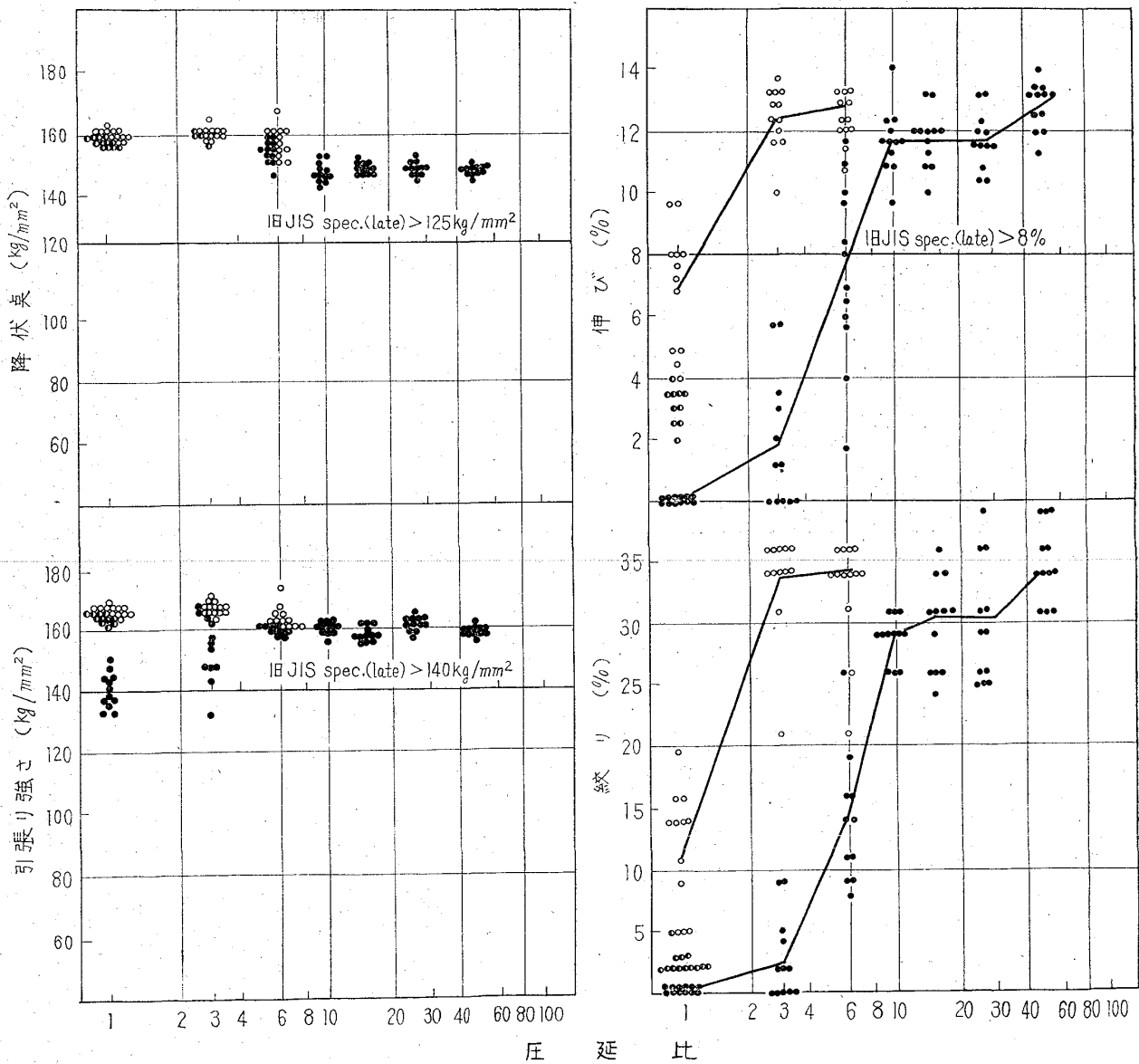
図 2.5.9 連続鑄造ビレットの化学成分の均一性¹⁷⁾

4) 品 質

キルド鋼に関する連続鋳造法はほとんどの鋼種について現在すでに完成されている。したがって連続鋳造したキルド鋼ビレットの品質はすぐれたものであることが明らかにされている。すでに述べたような適切な鋳込み条件を守らなかつた場合にはビレットに欠陥の発生することもあるが⁴³⁾、鋳込み条件さえ適切であるならばその品質は従来の造塊、分塊法で製造したビレットの品質にまさるとも劣らないものを有している。以下に住友金属工業における試験の結果に基づいてこれを示す¹⁷⁾。すなわち図 2・5・9 に示すごとく比較的長時間の鋳込み時間にもかかわらずビレットには化学成分の偏析はなく、酸素、サンド、非金属介在物などの偏析もなくその含有量も普通である。ビレットの中心部には収縮孔が存在する

がこれも少量の圧延を加えることによつて容易に圧着し図 2・5・10 に示すごとく通常の機械的性質を有する棒鋼を得ることができる。鋼板についても同様に若干の圧延を加えることによつて製品として十分な性質を具備せしめることが可能であるなどのことがわかつている⁴⁴⁾。八幡製鉄においては 18~8 を始めとする各種のステンレス鋼の鋼板、線材、熱間押し鋼管などについて豊富な製造経験を有しており、これら連続鋳造ビレットまたはスラブから製造した製品が従来の鋼塊から製造したものとくらべて何ら変わらない品質を有するものであることを明らかにした⁴⁵⁾。また特に同社においては連続鋳造ビレットから熱間押しによつて軸受鋼を生産しているといわれている。

さてつぎにリムド鋼については現在のところわが国に



鋼 種： Si-Mn ばね鋼 (JIS, SUP.6)

熱 処 理： 850°C→OQ., 450°C→AC

試料採取位置： ○表面部, ●中間部, ●中心部

図 2・5・10 圧延比が連続鋳造ビレットの機械的性質に及ぼす影響¹⁷⁾

においてはもちろん世界的にもその連続铸造はまだ生産化されていない。リムド鋼の铸造の経験についてはドイツの Mannesmann⁴⁾, Klöckner⁶⁾, Dillingen⁴⁷⁾, オーストリアの Böhler⁴⁸⁾, ベルギーの CNRM⁵⁾, 英国の Barrow³³⁾, Appleby⁴⁹⁾, カナダの Atlas²⁹⁾, およびソ連邦^{50)~52)} などで結果が報告されているが、これらのほとんどはリムド鋼の連続铸造は実験的には可能であるが、非常に細かい铸造条件の調節が必要であることを報じており、生産規模で操業しているところはない。ただ一つソ連邦の Novo-Lipetsk においては 500 溶解の铸造経験を有しリムド鋼の工業化は完了したと報告しているが⁵⁰⁾, その後のフランスからの調査団の報告ではソ連邦におけるリムド鋼の連続铸造は未完成であると断じている。⁵³⁾

連続铸造においてリムド鋼の铸造が容易でないのは、比較的長時間の铸込み中安定したリングアクションを維持するのに必要な適切な脱炭度および铸込み温度の維持が難しいという操業上の問題以外に、ビレットのリム層を形成する铸型内およびスプレー帯上部での冷却が強すぎることや、液相の深さが非常に大きいことなどの連続铸造特有の本質的な要素がリムド鋼に適していないからである。もちろん現在なお英国、米国などではリムド鋼の連続铸造の工業化をはかる計画あるいは試験が非常に熱意をもって進められているといわれており、これらの結果は大いに注目すべきであろう。現在真空脱ガスと連続铸造との併用にきわめて期待がかけられている^{53)~55)} のもこの辺の問題に焦点が合わせられているものと考えられるが、近き将来やや形を変えた姿でリムド鋼の連続铸造が工業的に可能となるかも知れない。要するに現在なおリムド鋼の連続铸造は研究段階にあるというのが最も正しいようである。

2.5.3 連続铸造法の将来

上に述べた発展の経過と現況とから鋼の連続铸造法の将来を展望することは容易である。すなわち世界的な傾向としてつぎの3つの方向における発展は大いに注目し価値する。まず設備的には鋼の連続铸造の生産性の低いという欠点を最も容易に克服し得るのは矩形断面すなわちスラブの铸造である。したがって将来連続铸造がスラブそれも大容量の炉に連結して大型スラブの分野で大いに発展するであろう。つぎに従来の連続铸造設備の主流であった垂直型設備に革命的ともいえる改善を加えた S 型連続铸造設備はこれが具備する大きな利点とともに将来大いに普及するものと予測せられる。また品質的にはリムド鋼の铸造の可否に注目すべきである。従来の結果ではリムド鋼の連続铸造の生産化は非常に難しいといわざるを得ない。しかしながら現在なお意欲的な試験が行なわれており、何らかの形たとえば真空脱ガスの併用によつて成功の道が見出せるかも知れない。いずれにせよ鋼の連続铸造が今後とも発展することは疑いなく、大量の鋼を処理するようになることが予測されている^{22), 54)}。

もちろんわが国においても鋼の連続铸造は現在すでに急速に普及しつつあり、その高い技術水準からすればこの分野においても世界の最高水準を行くであろうことは想像に難くない。

文 献

- 1) J. W. LIPPERT : Metals Technology, 12 (1945) p. 2
- 2) N. P. Goss : Metals Technology, 12 (1945) p. 10
- 3) J. GOUZON : Publications de l'Association des Ingénieurs de la Faculté Polytechnique de Mons, (1954) 1, p. 10
- 4) K. G. SPEITH & A. BUNGEROTH : Stahl u. Eisen 72 (1952) 15, p. 869
- 5) G. FENTON, G. LITTLEWOOD & J. ZAEVYDYT : Iron & Coal Trades Rev., 182 (1961) No. 4837, p. 681
- 6) J. SAVAGE & J. PEARSON : Iron & Coal Trades Rev., 182 (1961) No. 4838, p. 725
- 7) 王鉄雲 : 特殊鋼, 13 (1964) 6, p. 27
- 8) 村上義道 : 日本特許第, 103144 号
- 9) 下川義男 : 扶桑金属, 1 (1949) 1, p. 7
- 10) 明田義男, 他 : 鉄と鋼, 45 (1959) 12, p. 1341
- 11) 明田義男, 牛島清人 : 鉄と鋼, 46 (1960) 7, p. 753
- 12) 明田義男, 牛島清人 : 鉄と鋼, 46 (1960) 14, p. 1733
- 13) 牛島清人 : 鉄と鋼, 47 (1961) 2, p. 116
- 14) 牛島清人 : 鉄と鋼, 48 (1962) 5, p. 662
- 15) 牛島清人 : 鉄と鋼, 48 (1962) 6, p. 747
- 16) 牛島清人 : 鉄と鋼, 48 (1962) 7, p. 845
- 17) 明田義男, 牛島清人 : 鉄と鋼, 48 (1962) 8, p. 933
- 18) 藤田忠男 : 鉄と鋼, 42 (1956) 9, p. 930
- 19) 西郷吉郎 : 鉄と鋼, 49 (1963) 7, p. 1022
- 20) 井上正義, 他 : 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 447
- 21) 町田金吾 : 日本機械学会日立地方講演会にて講演 (昭和 37 年 11 月 15 日)
- 22) B. V. FITILEV, S. V. GUBERT & A. I. OSIPOV : Stal in English, (1963) 10, p. 771
- 23) Steel Times, 188 (1964) 4998, p. 572
- 24) Concast News, 3 (1964) 1 および No. 2~3
- 25) I. M. D. HALLIDAY : Iron & Steel 31 (1958) 9, p. 417
- 26) T. SAVAGE : Iron & Coal Trades Rev. 182 (1961) No. 4839, p. 787
- 27) B. TANMANN & O. KLEINHAGAUER : Stahl u. Eisen, 81 (1961) 2, p. 111
- 28) V. P. PRUZHININ & A. I. MAZUN : Stal in English (1961) 5, p. 328
- 29) F. G. JAICKS, L. E. KRAAY & M. TENENBAUM : J. Metals, 9 (1957) 8, p. 1057
- 30) M. S. BOJTJENKO, V. S. RUTES & H. A. NIKOLAJEFF : Stal, (1956) 6, p. 505
- 31) I. M. D. HALLIDAY : J. Iron & Steel Inst., 191 (1959) Feb. p. 121
- 32) M. Y. BROVMANN, E. V. SURIN & V. S. LITVINOV : Stal in English, (1960) 5, p. 334
- 33) I. M. D. HALLIDAY : Paper Presented to the

- Fall Meeting of AIME (1961) Oct. 23~26, Detroit
- 34) L. F. BARNHARDT, G. E. STOCK & W. U. POTER : J. of Metals, 9 (1957) 8, p. 1050
- 35) B. H. C. WATERS, W. H. PRITCHARD, A. BRAYBROOK & G. T. HARRIS : J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 190 (1958) 5, p. 233
- 36) 大中都四郎, 明田義男 : 日本特許, 第267385号
- 37) 大中都四郎, 牛島清人 : 鉄と鋼, 47 (1961) 9, p. 1175
- 38) Metal Bulletin, (1964) Jun. 31, 4868, p. 9 (1964) Feb. 4, No. 4869, p. 14
- 39) Iron & Steel Engineer, 41 (1964) 7, p. 67
- 40) J. SAVAGE : Steel & Coal, 186 (1963) Feb. 15, No. 4935, p. 320
- 41) P. DESFOSSEZ : Stahl u. Eisen, 82 (1962) No. 22, p. 1469
- 42) G. LITTLEWOOD : Steel & Coal, 187 (1963) Aug. 9, No. 4960, p. 268
- 43) 相山太郎 : 日本金属学会会報 3 (1964) 1, p. 25
- 44) 住友金属製鋼所 : 第 28 回製鋼部会資料 No. 752 昭和 39 年 7 月 18 日
- 45) 太田隆美 : AISE 秋季大会にて講演, (1964) Sep. 24 Cleveland
- 46) H. KOSMIDER, H. NEUHANS & A. WEYEL : Stahl u. Eisen, 76 (1956) 11, p. 668
- 47) W. GERLING & K. H. BANER : Stahl u. Eisen, 82 (1962) 20, p. 1349
- 48) E. PLOCKINGER & B. TAVMANN : Stahl u. Eisen 82 (1962) 23, p. 1647
- 49) R. JOHNSON, J. W. MIDDLETON & D. FORD : J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 202 (1964) Mar. p. 193
- 50) G. M. ITSKOVICH & V. B. GANKIN : Stal in English, (1961) 6, p. 407
- 51) G. M. ITSKOVICH, A. G. ZUBARER, V. B. GANKIN, D. P. PERICHENKO & V. Y. GENKIN : Stal in English, (1962) 5, p. 357
- 52) V. V. SLICHANSKAYA, G. M. ITSKOVICH & N. I. SAUTKIN : Stal in English, (1964) 2, p. 106
- 53) J. DUFLLOT : Circulaire d'Informations Techniques, 20 (1963) 2, p. 468
- 54) F. L. BYRON : Blast Furn. & Steel Plant, 52 (1964) 3, p. 256
- 55) Iron Age, 192 (1963) No. 10, p. 44