

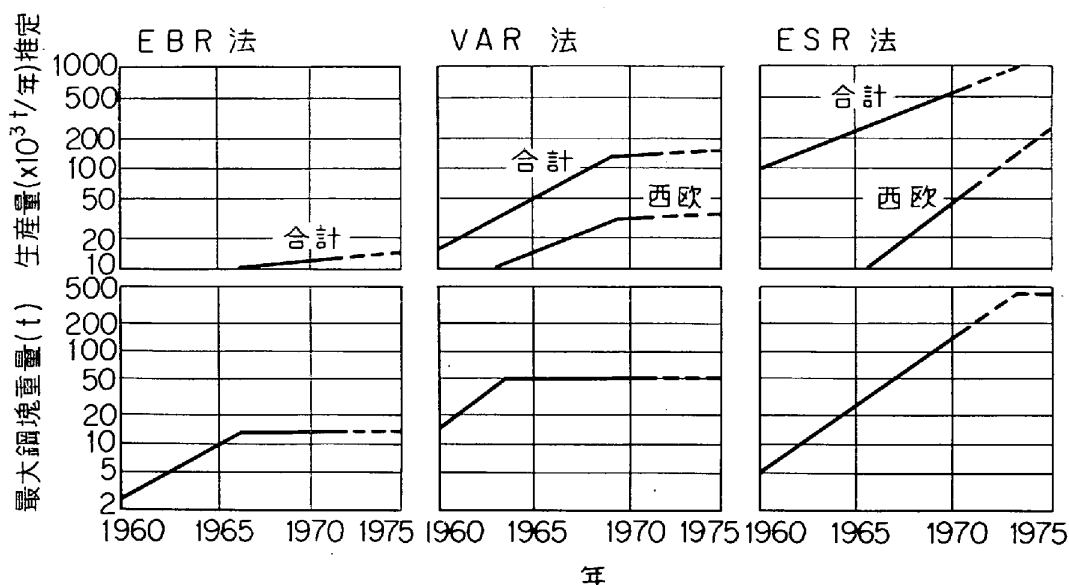


図 2-1-14 特殊溶解精錬法の生産量と最大鋼塊重量の推移
(M. WAHLSTER; 鉄と鋼, 60 (1974) 2, p. 296)

に適しているといわれている。いずれも注目すべき新技術で、今後の発展が期待されよう。参考までに、各方法の生産能力と鋼塊単重の推移を 図 2-1-14⁵⁾ に示す。

今後の問題としては、各方法に共通するコスト高の改善はもとより、ESR に関しては凝固プロセスの制御技術、VAR, EBR については連続溶解- casting 技術の開発などが挙げられる。

(8) 結 び

以上、個別に将来の製鋼技術の動向について述べたが、従来の製鋼技術は主として欧米からの導入技術が主体であったが、今後は日本の自力開発にウェイトをおかなければならない。

これに際してポイントとなるのは、常に周辺技術の動向を把握し、共に発展していくことが不可欠であり、特に耐火物の開発や、計測制御技術の発展はその基本となる。また、将来技術の動向を見極めるためには、いろいろなプロセスの長所、短所を理論的に整理する必要がある。精錬、造塊の基礎理論、たとえば、スラグ-メタル-ガスの相互反応理論や凝固理論などの今後の発展が切望される。

さらに、初めに述べたように、省エネルギー、公害などの環境条件を常に考慮に入れながらの技術開発が必要であることから、製鋼工場からの各種廃棄物、たとえばスラグの有効利用なども、真剣に取り組まなければならない時期に来ているといえよう。このようなことを考え合せると、各開発担当者が専門分野に偏することなく、広く衆知を集め、総合的に取り組むことが従来にも増して必要となってくるのではなからうか。

文 献

- 1) 中川, 吉松, 上田他; 鉄と鋼, 59 (1973) 3, p. 414
- 2) L. VON BOGDANDY; Stahl u. Eisen, 92 (1972), p. 1069
- 3) G. A. SCHNEIDER; 鉄と鋼, 50 (1974) 5, p. 549

4) B. TARMAN; AISI, Meeting, (1971), Sep.

5) M. WAHLSTER; 鉄と鋼, 60 (1974) 2, p. 296

2.2 製 鋼 法

2.2.1 製鋼法の推移

純酸素上吹転炉の出現は、製鋼分野では19世紀の溶鋼製造法の発明以来の画期的変革であると言われる。1952年末にオーストリアで実現したLD法は1957年(昭和32年)わが国にいち早く導入され、当時よりスクラップ需給に悩んでいたわが国で世界にさきがけて急速に普及したことは周知の事実となつている。

わが国における純酸素上吹転炉法の急速な発展の理由は主として以下に挙げられよう。

(i) わが国の大戦後の復興国策としての工業立国による鉄鋼需要の急速な伸び、およびこれに伴う新規生産設備の設立に際し、LD法の出現が時機を得たこと。

(ii) 海外資源が比較的安価に入手でき、かつこのための輸送コスト減を計るため、大量運搬方式が確立され、臨海大型製鉄所の立地条件に恵まれていたこと。

(iii) LD法の特色として、操業が他製鋼法に比べ単純で生産性の増加に大きな困難が伴わず、製出鋼種の幅が大きく、品質上、平炉鋼に比べ、特にガス成分が低く優れていること。

(iv) 高炉の操業技術が進み、大型化、量産化、コスト低下に大きく寄与したこと。

(v) 労働賃金の上昇に対し、生産性の増加、省力化が可能であったこと。

(vi) その他、周辺技術の発展

すなわち1962年頃からわが国の転炉は大型化を指向し、生産性の向上を目指した。これらの状況を世界の主要製鉄国である米国、西独に比較して 図 2-2-1 に示した。わが国の転炉の大型化はこれらの諸国に比べ着実に

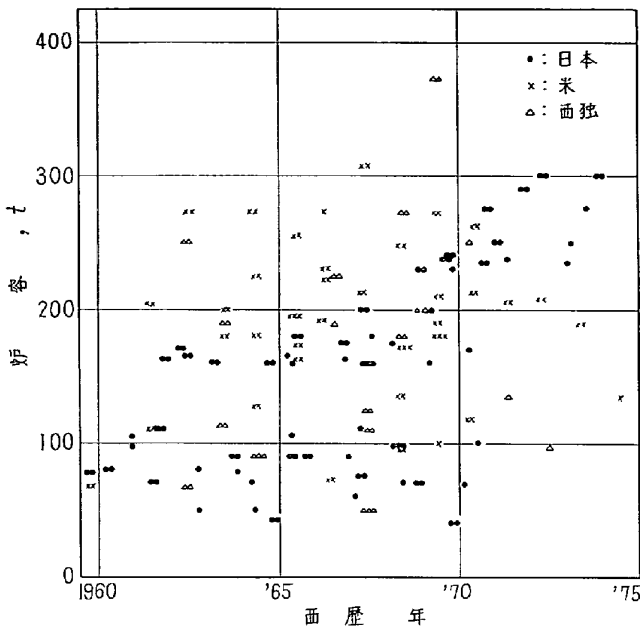


図 2.2.1 主要国の LD 転炉の容量推移
(Kaiser Engineers: LD Process Newsletter p. 2~5)

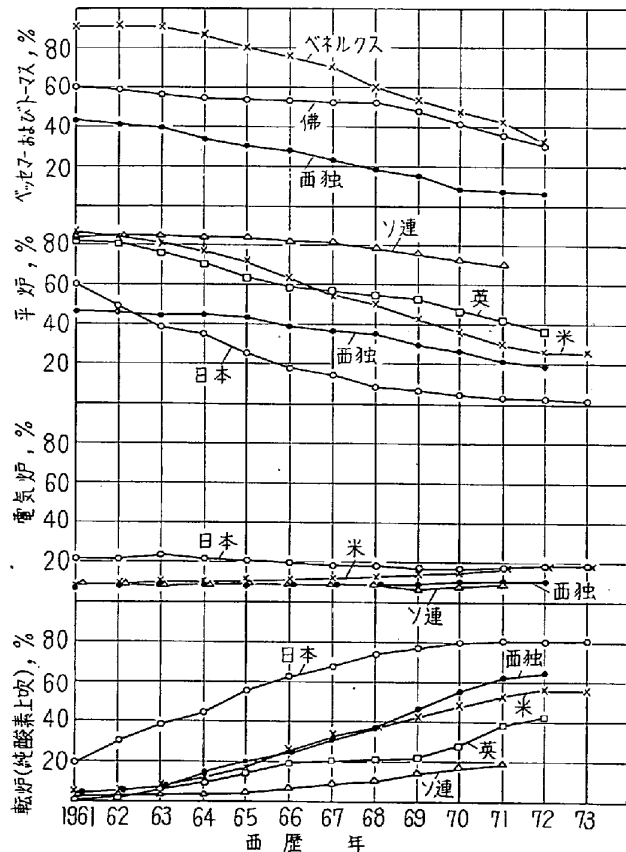


図 2.2.2 主要国の製鋼炉別粗鋼生産比率
(鉄鋼統計要覧 (1973) p. 48~54)

安定のための多くの精力的な努力が払われ、当時いまだ量的には製鋼法の主流であつた平炉法に比べ、鋼種幅においても、品質においても、コスト的にも優れていることが確認され、平炉は1961年を頂点とし衰退していく。1973年にはその生産比率は僅かに1.5%を得るのみに至っている。

図 2.2.2 に1961年以降の世界主要鉄鋼生産国の製鋼炉別粗鋼生産比率の経年変化を示した。わが国の特徴として純酸素上吹転炉鋼の伸びが著しく、反面平炉鋼の激減が目立っている。これを米国のそれと比較した場合、明かに差が見られる。この差はベッセマー法によつて世界第1位の製鉄国となつた米国が、国内の豊富な屑鉄蓄積量を利用して塩基性平炉法中心に移行し、大型平炉工場を發展させており、例えば1957年 Bethlehem 社の Sparrow's Point 製鉄所に新製鋼工場を設立する際、当時小型であつた LD 転炉の経済性の論議がなされ、結局 400 t 平炉が採用された経過からも推察されるように、平炉時代の頂点がわが国に比べ时期的にずれたこと、および労働賃金が高く更に大型平炉より転炉法へのリブレースは巨額の投資を必要とし、投資意欲が損われた背景、さらに豊富な屑鉄の利用の観点によるものであろう。

米国の最近の動向としては、豊富な屑鉄をより安価に利用するため地域的な屑鉄を回収し、小容量の電気炉とミニミルの組合せによる工場の設置が盛んであり、AISE の“1973年における鉄鋼業の進展”によれば、米国における電気炉鋼の生産比率は年々増加し、今後も漸増を続け、1990年には米国全粗鋼生産量の中、電気炉鋼が50%を占めるとの予測もある。わが国の製鋼法の将来を考える時、製鉄における第1の先進国の歩みは将来の指標として見逃がせない。

わが国の1960年代は技術革新の時代である。経済の国際化が始まり、一方海外からの技術導入の条件は漸次厳しくなるとともに産業の発展に伴う労働賃金の上昇が目立ち始め、生産性の向上、省力化、技術革新が強く望まれた。加えて、国内および海外よりの強い鉄鋼需要に支えられ製鋼分野でも、省力、大量生産方式の確立化が始められたわけである。このため転炉容量はますます拡大し、多孔ランス、廃ガス処理設備、計算制御技術などの独自技術の開発がなされた。さらに炉内反応機構の解明や炉内反応制御技術などの研究開発に力が注がれる一方、溶鋼の大量処理および熱経済に有利な連続鋳造技術の導入やそれを有効に利用するための努力が重ねられ、さらに他産業の発展に伴う高度な品質要求に対応し、溶鉄の炉外脱硫、出鋼後の真空脱ガスなどの附帯技術の發展など、転炉の生産性向上、省力化、品質向上への飛躍的な技術展開が行なわれた。今日においてもこれらの努力はさらに続けられ、公害防止技術としての廃ガス処理設備の改良、副集塵機や建屋集塵による粉塵防止技術の開発、労働環境改善設備の開発に成果が見られている。

なお、他の主要製鉄国の動向においても、上述の傾向は見られ、転炉の大型化は Italsider の Taranto 工場の 350 トン炉を初めとし Rheinhausen, ソ連の Western Siberian Steel Works などの3大製鉄所の新規設立もしくは設立計画が進められ、純酸素上吹転炉法はさらに世界に大きく拡大されつつあり、反面、平炉法は今後も減

進み、その基数も多いことが判る。1972年末には転炉基数は90基、その製鋼能力は10,580万tとなり、後述されるように米国、西独、ソ連、英国などを大きく凌駕し、また数多くの大型臨海製鉄所を設立した。

また、大型化にさき立ち、溶製鋼種の幅の拡大や操業

退していくことが予測されている。

電気炉による生産量は、転炉鋼の大幅な生産量拡大に抱らず、世界的にも生産比率は漸増している。すなわち生産量の伸びは著しく、例えば米国における炭素鋼の電気炉生産はこの15年間に3.5倍に増加した。わが国の電気炉生産は昭和32以来の15年間で8.2倍、この10年間で3.1倍となつている。普通鋼の伸びを上廻り、特殊鋼の生産が伸びた（過去10年で4.1倍）ことにもよるが、米国と同様ミニミルの発達が大きく寄与している。わが国の電気炉は超大型の容量の炉は見られないが後述されるように、生産性の向上を計るため、装入屑鉄の早期溶解を目的とし、投入電力の大容量化およびガス燃焼加熱の併用技術が発達した。さらに脱ガス設備もしくは各種炉外精錬設備との組み合わせによる操業法の発展など、生産性の向上は眼を見張るべきものがある。例えば、従来行なわれていた電気炉内での還元期、仕上期などは省略され、その役割をより効率的な炉外精錬設備に託す操業法も珍らしくなくなつている。普通鋼の例ではあるが出鋼チャージが20ch/Dを超える炉も出現している。またピレットもしくはブルーム連铸機との組み合わせがわが国ばかりでなく世界的な傾向であり、主として条鋼用素材の製造に大きく寄与している。電気炉における公害防止技術は製錬過程における排ガス処理から、粉塵および排ガスもれ対策としての建屋集塵へと進んでいる。

ヨーロッパにおいても電気炉生産量は過去10年間に激増し、英は3.3倍、西独は1.7倍、仏は1.7倍、伊は2.0倍となり、比率的にも漸増している。これらの状況から推測されることは電炉法は小規模生産の特長を生かし、さらに将来への歩みを進めているといえよう。

ヨーロッパにおいては国内資源の積極的な利用の観点から、旧来ベッセマーおよびトーマス法の活用が盛んであつたが、図2.2.2に示されるようにヨーロッパ各国のこれらの製鋼法による生産比率は減少しており、量的にも減少の傾向にある。しかし、1967年西独の Maximilianshütte において O. B. M. 炉が稼働して以来、純酸素底吹転炉法による生産量は増加しつつある。1973年、U. S. Steel 社の Gary 製鉄所の 200 トン転炉稼働により現在、世界の純酸素底吹転炉製造能力は約 700 万 t となり、1974 年末には、1,500 万 t 能力に達する運びとなつている。純酸素底吹転炉は、その特徴として以下が挙げられている。

- (i) トーマス鋼の問題であつた[N], [P]の改善。
- (ii) 建屋が低いことからの建設費安、平炉のリブレスに有利。
- (iii) 静的反応による高歩留および同一生産量を得るに上吹炉に比較し炉容量を小さくしうる。
- (iv) 高熱効率による屑鉄配合比の増。

このため、平炉もしくはトーマス炉のリブレス、屑鉄資源の豊かな場合には純酸素上吹転炉より有利と考えられている。最近、U. S. Steel の Fairfield 製鉄所では、平炉のリブレスとして2基の200トン底吹転炉が稼働を始めている。図2.2.3に世界各国の純酸素底吹転炉の稼働状況を示した。

この純酸素底吹転炉法の発展の動向は注目されるべきものがあり、わが国においても近い将来、本法の採用の

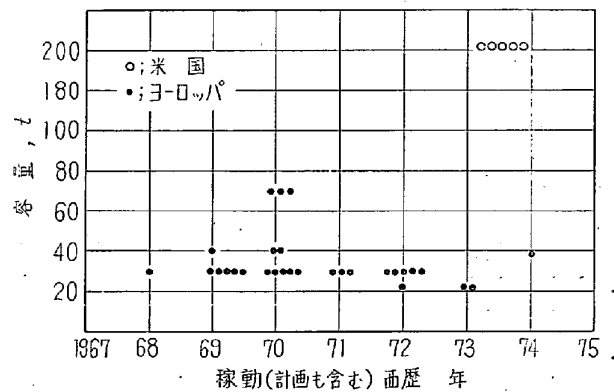


図 2.2.3 世界の純酸素底吹転炉の動向
(鉄と鋼, 60 (1974) 8, p. 1,188)

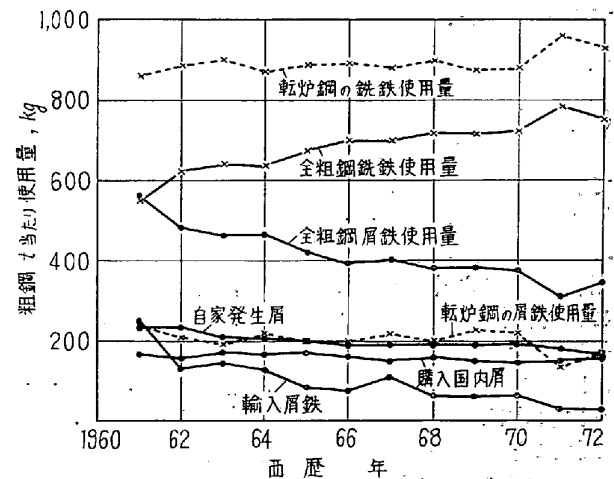


図 2.2.4 わが国製鋼工場の銑鉄および屑鉄使用比率の推移

実現が見込まれている。上吹に比べ、高歩留り、強攪拌などの利点、耐火物寿命、鋼中水素などの不利などについて、十分な検討が行なわれ、いずれ明確にされることであろう。

最後にわが国において、製鉄上当面している大きな問題として、屑鉄不足を挙げる必要がある。図2.2.4に示されるようにわが国の粗鋼トン当たりの屑鉄使用量は、この10年間に漸減しており、電気炉鋼の伸び、連铸比率の伸びに従つて転炉鋼粗鋼トン当たりの銑鉄使用量は漸増している。屑鉄の種別使用量内訳の統計数値が見当たらないので、鉄連統計による、鉄鋼工場の自家発生屑、鉄鋼工場の国内屑購入量、屑鉄輸入量を歴年粗鋼生産量で割つた値を示したが、これらの数値はほぼ粗鋼トン当たりの屑鉄使用量に近いと思われる。購入国内屑は生産量伸びに比例して、比率として横ばい、輸入屑鉄は米国の輸出規制などもあり、比率とし激減、自家発生屑は後述されるように連铸比率の増加により比率として漸減する傾向にある。鉄源的には銑配合を増加するか、屑鉄に替わる経済的価値をもつた鉄源、例えば還元鉄のようなものが必要となつてきている。前者の対策がすでに実施されていることは転炉鋼の銑鉄使用量の増加を見れば明らかであるが、最近の石油危機および製鉄用石炭の入手難

により、これを長期的に維持しかつ粗鋼生産量の安定した伸びを期待することはむずかしい局面となつている。後者による解決法として天然ガス、一般用粉炭、石炭ガスなどによる還元鉄の利用が世界的にクローズアップされている。還元鉄の製造法およびその利用法は今後のエネルギー資源の開発、国際情勢、原子力エネルギーの利用を含めた諸々の技術展開により、将来の製鋼法の動向に影響をもたらす可能性は小さくないであろうと思われる。しかしわが国の鉄鋼生産の伸びをふり返る時、近い将来においてその伸びが緩む時が必ず来ると思われる。現実的にも公害規制による新製鉄所の立地は極めてむずかしく、設備拡張の規制は年々厳しくなつている。伸びが鈍化し、それまでに蓄積された鉄が屑鉄となつて回収される時、わが国の製鋼法は、さらに変化をしてゆかねばならない。ここにおいては将来問題の投げかけとしてとどめたい。

2・2・2 純酸素上吹転炉法

(1) 発展の概要

純酸素上吹転炉 (LD 転炉) 法の実操業がオーストリアで開始されたのは1952年であるが、その高能率と鋼質の優秀性により、表2・2・1のように広く世界に普及した。日本では、昭和32年に操業が開始されて以来、日本の原料事情によく合つていたため、平炉に代り表2・2・2のごとく急速に採用されていった。生産量も、昭和39年に平炉鋼を上まわつて以来、図2・2・5のように急伸を続け、昭和48年までの10年間で5.5倍となり、表2・2・1のように日本は世界一の転炉能力を持つに至つた。

これにともない、日本の大手高炉会社の平炉工場は昭和41～46年にすべて休止または閉鎖され、転炉への切替が完了した。最近の10年間は平炉の転炉化の完了の時期であり、一方転炉としては、大型化、機械化、自動化の

推進により省力化が強力に進められた時期でもある。またここ数年は、環境保全に対する社会的な要請が高まり、公害防止対策にも力を入れている。

転炉の大型化の傾向は表2・2・2により知ることができるが、世界的には図2・2・6のような状況で、日本は必ずしも最先端ではない。しかしこれは技術レベルではなく、転炉設置時の考え方の差といえる。

日本で一貫製鉄所を新設する場合、転炉の炉容は高炉の能力と強い関係がある。高炉1基に転炉2基整備1基稼働とすると、1日に10,000t出鉄の大型高炉に対して、250～300t級の転炉が適合する。平炉を転炉化する場合でも、200トン平炉5基 (月産約20万t) は、90トン転炉の2基稼働 (3基整備) または180t転炉1基稼働 (2基整備) と同等であり、日本では90トン転炉 (213稼働) が採用されていた。

また、転炉の大型化を可能にした技術的裏付けとして

表 2・2・1 主要国の LD 工場稼働開始年と現状

稼働開始年	国名 (10 ⁶ t/year 以上)	LD設備能力 (1973) 10,000t/year	1973年粗鋼生産 10,000t/year
1952	オーストリア	400	424
54	アメリカ カナダ	7,680 835	13,646 1,348
57	西ドイツ ブラジル 日本	3,720 410 10,210	4,952 721 11,933
58	オランダ ソ連	600 2,520	561 12,000?
59	インド	160	692
62	オーストリア フランス ルクセンブルグ イギリス	585 1,380 335 2,080	770 2,526 593 2,673
63	ベルギー	1,325	1,553
64	イタリア	1,450	2,098
65	中国	195	?
66	ブルガリア チェコスロバキア ポーランド スペイン	120 360 200 650	? ? ? 1,081
67	フィンランド	110	162
68	ルーマニア	300	?
73	アルゼンチン 韓国	160 100	216 ?

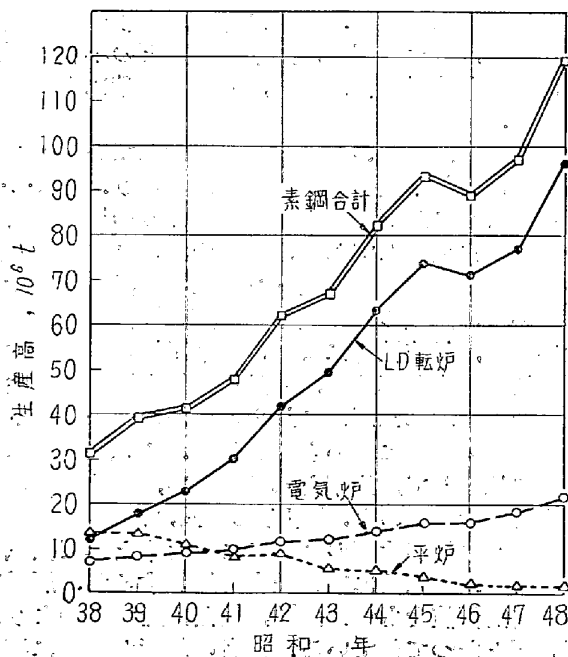


図 2・2・5 最近の素鋼生産量推移
(鉄鋼連盟統計)

表 2・2・2 日本における LD 工場建設状況および現状

稼働開始年 (昭和)	会 社	工 場	当初炉容×基数	その後の増設	49年3月現在
32	新 日 鉄	八 幡 5	50 ^t × 2	39年 60 ^t × 1	50 ^t × 1, 60 ^t × 2
33	鋼 管	京 浜 2	42 × 2	39 42 × 1	49年1月休止
34	新 日 鉄	八 幡 1	60 × 2	35 70 × 1	60 × 2
35	鋼 管 神 鋼 新 日 鉄	京 浜 1	60 × 2	37 60 × 1	60 × 3
		尼 崎	40 × 2		42 × 2
		広 畑 1	100 × 2	40 120 × 1	100 × 2, 120 × 1
36	住 金 新 日 鉄 神 鋼	小 倉 1	40 × 2		70 × 2
		室 蘭 2	110 × 2	42 120 × 1	110 × 2, 120 × 1
		神 戸	60 × 2	41 60 × 1	60 × 3
37	新 日 鉄 新 川 鉄	八 幡 2	130 × 2	45 150 × 1	150 × 3
		千 葉 2	150 × 2	40 150 × 1	150 × 3
38	住 金 太 平 洋 鋼 管	和歌山 2	150 × 2	40 150 × 1	150 × 3
		八 戸	13 × 1		—
		京 浜 3	60 × 2		60 × 2
39	新 日 鉄 " " 阪	室 蘭 1	50 × 1	42 60 × 1	50 × 1, 60 × 1
		名古屋 1	160 × 2	42 170 × 1	160 × 2, 170 × 1
		西 島	30 × 2		40 × 2
40	日 新 鉄 " " 新	呉 1	60 × 2	41 60 × 1	90 × 3
		堺 1	170 × 2	42 170 × 1	170 × 3
		釜 石	90 × 2		90 × 2
41	" 鋼 管	八 幡 3	75 × 1	42 75 × 1	75 × 2
		福 山 1	160 × 2	43 160 × 1	160 × 3
42	川 鉄 住 金	水 島 1	180 × 1	44 180 × 1	180 × 3
		和歌山 3	160 × 2	44 160 × 1	160 × 3
43	新 日 鉄 住 金 新 日 鉄 新 東 海 特 殊	広 畑 2	100 × 2	49 120 × 1	100 × 2, 120 × 1
		和歌山 1	70 × 1		70 × 1
		君 津 1	220 × 2	44 220 × 1	220 × 3
		名古屋	72 × 2		72 × 2
44	鋼 管 新 日 鉄	福 山 2	250 × 2	46 250 × 1	250 × 3
		名古屋 2	250 × 2		250 × 2
45	住 金 川 鉄 " 鋼	小 倉 2	70 × 1		70 × 1
		千 葉 1	85 × 2		85 × 2
		水 島 2	250 × 2	48 250 × 1	250 × 3
		加古川	200 × 2	48 200 × 1	200 × 3
46	住 金 新 日 鉄	鹿 島 2	250 × 2	48 250 × 1	250 × 3
		君 津	300 × 2		300 × 2
47	" "	大 分	300 × 2		300 × 2
48	鋼 管	福 山 3	300 × 2		300 × 2

は、炉およびランス形状、吹錬方法の適切な設定の他に、鋼塊の大型化、連続鑄造機の大型化による造塊能率向上を忘れることができない。

転炉作業の機械化は、省力化の強い要請と、高熱重筋作業の解消、作業環境の改善の必要性により、近年著しく進んだ。また自動化は、コンピューター利用の一般化によつて急速に推進されている。

これらの発展により最近の生産性は表 2・2・3 のように向上している。最近 6 年間で、平均炉容と時間当たり生産性は 1.4 倍になったが、労働生産性はこれを上回る 1.6 倍となっており、各工場とも省力化が強力に進められたことを示している。

環境保全は最近とみに注目されている。転炉工場では大量の排ガス、転炉滓、各種の粉塵が発生する。粉塵対策には各種の換気集塵装置の設置が一般的になった。排ガスは多量の酸化鉄微粉を含んでおり、転炉の初期から種々の集塵装置が開発されている。転炉滓は、現在はほとんどが埋立などに使用されているが、有効利用への検討も開始されている。

エネルギー問題は、海中油田、極寒地のパイプライン

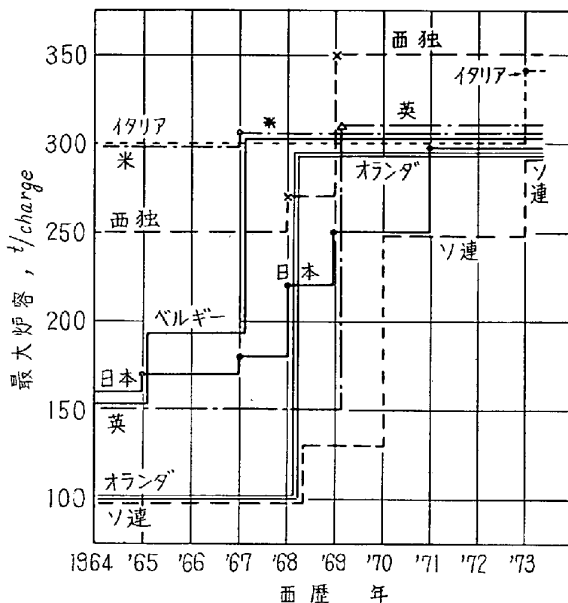


図 2・2・6 300 トン炉を持つ国の最大炉容推移

表 2・2・3 日本における転炉の生産性推移

年 次 (昭和)	43	44	45	46	47	48
労働生産性 (t/man・hr)	2.4	2.9	3.2	2.9	3.2	3.8
生産能率 (t/hr)	175.8	195.9	210.3	206.3	217.6	245.0
平均良塊量 (t/charge)	108.1	116.0	122.7	123.5	132.7	144.6
新設 LD 工場数	4	2	4	2	1	1
最大 LD 炉容 (t/charge)	220	250	250	300	300	300
増強 LD 工場数	1	3	1	1	0	3

など、新しい高級鋼の需要を作り、転炉による高級鋼の大量生産が行なわれるようになったことも最近の変化であろう。このため溶銑脱硫、特殊元素の添加、真空脱ガスなど転炉の組合せによる高級鋼の大量生産の体制が一般的になりつつある。

(2) 製鋼反応

製鋼反応には、炉内で鋼浴、鋼滓、酸素ジェットによつておこる酸化精錬反応と、精錬後合金剤の添加による脱酸反応とがある。

炉内反応は、①高速で吹付けられる酸素ジェットが鋼浴と衝突し、Si, C, Mn, Fe, P などを急激に酸化して高温の火点を形成すること、② 2,000~3,000°C といわれる火点の高温により造滓剤が溶解して SiO_2 , FeO などと反応し鋼滓ができること、③酸素ジェットの運動エ

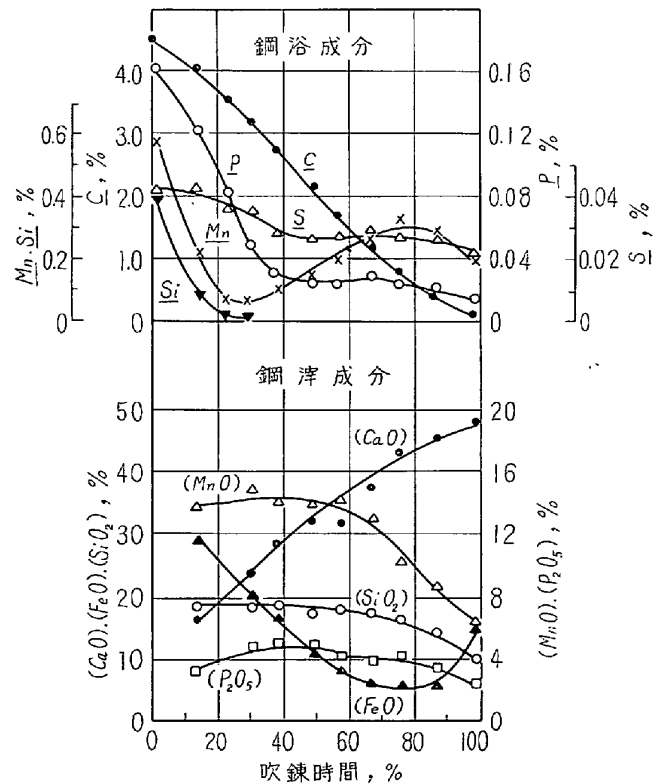


図 2・2・7 吹錬中の鋼浴および鋼滓の成分変化
(二上, 松田他: 鉄と鋼, 52 (1966) 9, p. 1, 491)

エネルギーにより鋼浴が攪拌や飛散などの運動をおこし鋼滓との反応が進むこと、④酸化反応熱により鋼浴温度上昇と屑鉄の溶解が進むこと、によつて進行すると考えられている。図 2・2・7 に、吹錬中の鋼浴と鋼滓の成分変化の例を示す。このような成分変化は早くから多くの調査が行なわれ、ほぼ定量化されてきているが、その反応機構や理論についてはなお多くの説がある。ここ10年間の能率や省力化の進歩に比べるとまだもの足りない感もあり、今後のいつその発展が期待される。以下主な反応について簡単に説明する。

脱炭反応は、平炉と異なり、吹付けられた酸素と鋼浴中の炭素の直接的な反応が主体であると考えられている。このため、平均脱炭速度は $0.3 \sim 0.4\%/min$ と非常に高く、酸素の脱炭効率も高く、 Q も平炉より低く平衡値に近い値が得られる。吹錬初期は温度が低く、 Si も高いので、 Si の優先酸化がおこる。温度の上昇、 Si の低下により酸素はほぼ全量が脱炭のため消費されるようになり、脱炭効率は100%に近くなる。この時期までは Q はほとんど増えない。 C が $1.0 \sim 0.5\%$ 程度に下ると鉄の酸化が始まる。このため図 2・2・8 のように脱炭効率が低下し、 Q も上昇を始める。また、脱炭効率が吹錬条件によつて変化することも知られている。

脱炭効率については、送酸速度を現在の5倍程度に上げても低下しないことが実験的に確認されており、炉体、排ガス処理、滓化速度と脱磷・脱硫などの問題が解決されれば吹錬時間を現在の $1/5$ にすることも不可能ではなく、今後の能率向上の可能性は十分にあるといえる。

脱磷および脱硫は、鋼浴と鋼滓の平衡的反応の代表例とされている。図 2・2・7 からわかるように、 CaO の溶解進行は必ずしも速くなく、鋼滓中の (CaO) は吹錬中増加を続けている。装入の CaO から計算した塩基度 $(CaO)/(SiO_2)$ よりも実測の塩基度が低く、 CaO の滓化率は終点においても $80 \sim 90\%$ のことが多い。実際の鋼滓中に、末反応の CaO が残留していることも観察されて

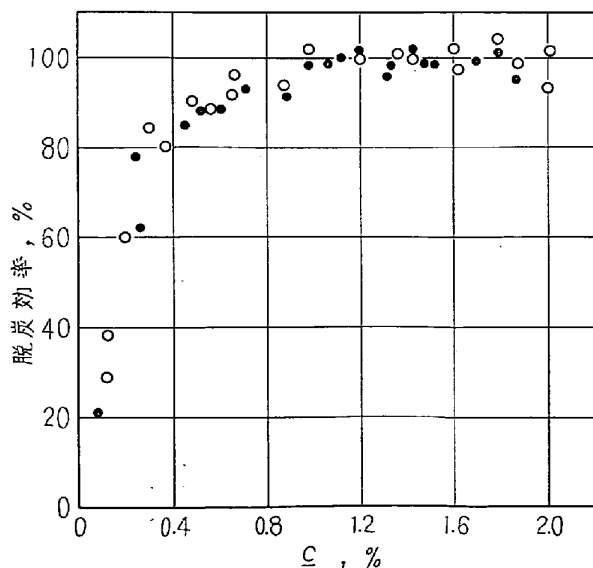


図 2・2・8 C と脱炭効率の関係
(藤井, 荒木: 鉄と鋼, 50 (1964) 11, p. 1,738)

いる。この滓化の進行状況や最終的な CaO の滓化率は、吹錬条件、ランス形状、鋼浴温度、吹錬時間、螢石添加量など多くの要因の影響をうけることが知られている。

吹錬終了時での S の鋼滓と鋼浴の分配率は、図 2・2・9

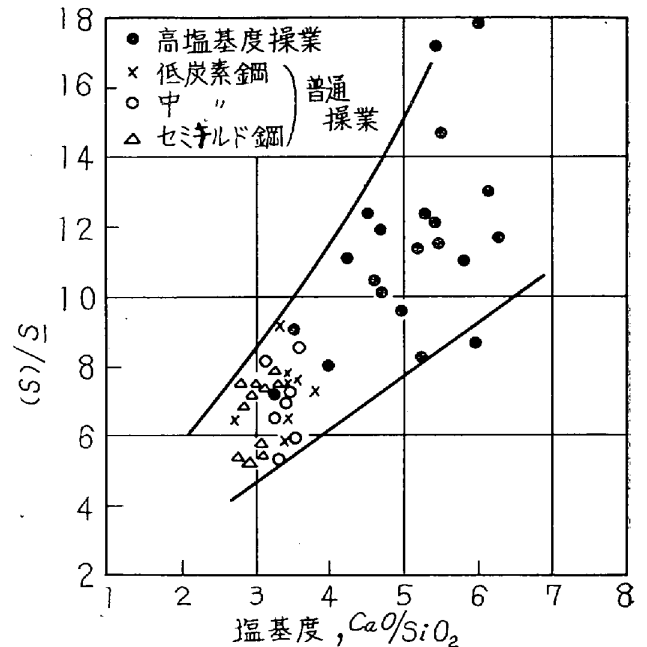


図 2・2・9 滓の塩基度と $(S)/S$
(鋼管福山: 第45回製鋼部会資料 45-14 (1970))

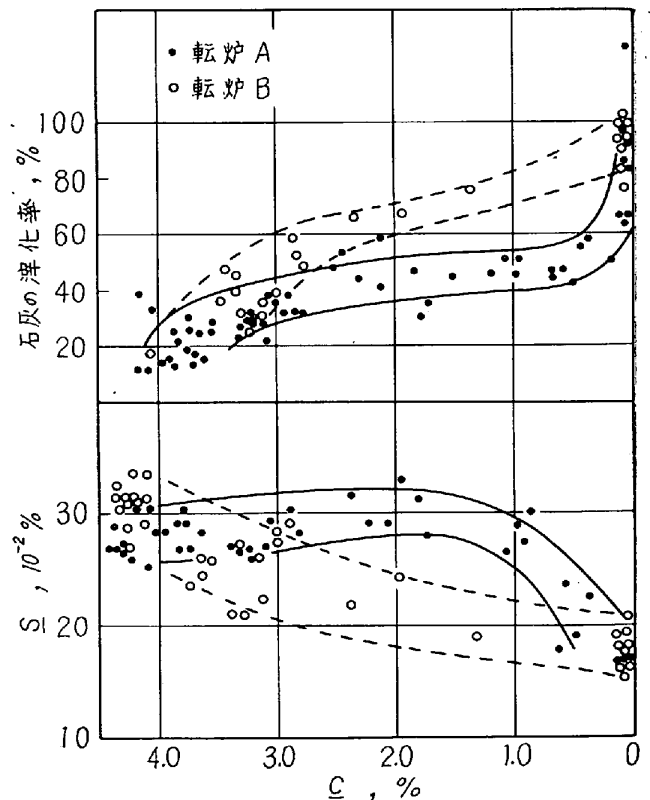


図 2・2・10 吹錬中の滓化と脱硫の進行状況
(吉井, 一戸: 鉄と鋼, 56 (1970) 2, p. 178)

のように鋼滓塩基度と最も強い相関を示している。吹錬中の脱硫の進行状況は、図 2・2・10 のように滓化の進行とよく対応することも観察されている。また硫黄の酸化による気化脱硫の寄与は小さいとする意見が多い。

脱磷については、平炉時代から種々の平衡式が提案されているが、転炉の終点以外では実際と合わないものが多い。一般に脱磷は鋼滓の塩基度、 (FeO) 、温度との相関が強いことが知られており、Balajiva & Vajragupta や Turkdogan & Pearson の式によれば吹錬中の P の変化をよく説明できるとも言われている。

吹錬中の鋼浴、鋼滓の温度は、図 2・2・11 に示すように吹錬中徐々に上昇する。平均的な昇温速度は $20^{\circ}C/min$ 程度であるが、吹錬中の測定ではばらつきが大きい。鋼滓の温度は鋼浴の温度より高いが、吹錬の進行とともにこの差は小さくなる。温度上昇には屑鉄の溶解も影響するがこの定量的な把握は普通では困難である。冷却剤には酸化鉄と石灰石が使用される。酸化鉄は炉内で吸熱して還元され酸素を放出するので脱炭にも関係してくる。石灰石 ($CaCO_3$) も吸熱して CO_2 を放出し CaO となる。

全般的に、温度変化の定量的把握は、成分変化のそれに比べ不十分の感があり、今後の課題の一つであろう。

吹錬中の鋼浴は、酸素ジェットによつて、表層が火点から炉壁に向うような運動を与えられることが、種々の実験および炉内偏析の調査から推定されている。これはまた、吹錬中の鋼浴では成分と温度の偏析がさけられないことを示すものである。

吹錬後の溶鋼の脱酸は、出鋼時に Si と Al で行なわれることが多い。脱酸は、 $Fe-Si-O$ および $Fe-Al-O$ の平衡に従う Q の減少と SiO_2 および Al_2O_3 の生成がおこり、次にこの脱酸生成物が溶鋼から浮上分離して全酸素の減少がおこることにより進行する。特に Si , Al の添加量の多いキルド鋼では、後者の浮上分離が重要である。 Si は $Fe-Si$, $Si-Mn$ などの合金鉄で添加され Al は塊または粒の Al 地金の形で添加されるのが普通である。

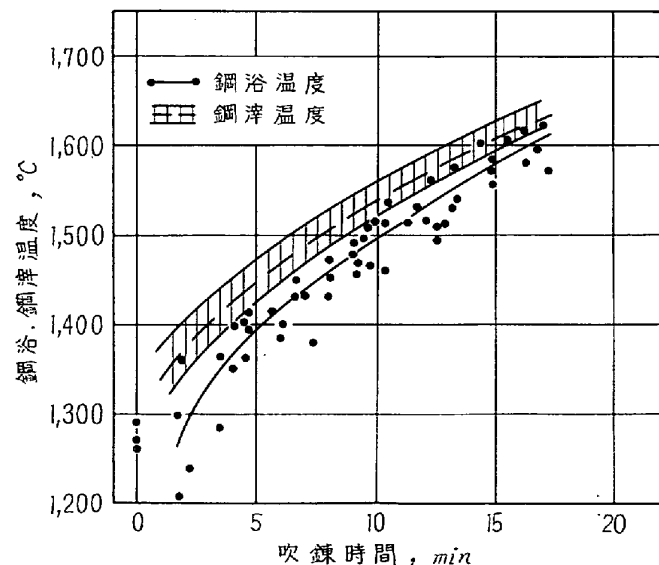


図 2・2・11 吹錬中の鋼浴、鋼滓温度変化
(鋼管技研：第44回製鋼部会資料 44-10 (1969))

Si , Al 以外に、 Mn , Ti , Nb , V , Ca などの添加によつても Q が変動する場合もある。 Ca の添加は、 Ca 快削鋼製造のためになりに行なわれるようになった。

(3) 設備と操業

(a) 主原料 (溶鉄、屑鉄) 関係

溶鉄の予備処理については別に述べられるので、ここでは転炉工場内の作業について述べる。従来、溶鉄は高炉から比較的小容量の鍋で輸送され、これを混鉄炉に装入し、そこから転炉装入用鍋に払出して転炉に装入されていた。一方、約10年前から日本でも新設の大型転炉では混鉄車 (Torpedo Car または Submarine Ladle) が採用されるようになった。従来の方式では、高炉、転炉の大型化にともない、溶鉄鍋と混鉄炉の大型化が必要となる。ここで溶鉄鍋を混鉄車におきかえて容量をさらに大きくすれば、混鉄炉の持つ混鉄と貯鉄の機能のある程度代用でき、混鉄炉をなくすることができる。表 2・2・4 に 200 t 以上の転炉での採用状況を示した。混鉄車は、特に混鉄の機能では混鉄炉にはおよばないが、コンピューターの採用など、転炉吹錬技術向上によつてカバーされており、混鉄車の採用による合理化が一般に行なわれるようになった。将来的には、混鉄車の煉瓦張作業の環境の悪さが問題となるであろう。混鉄車は溶鉄鍋と違って形状が単純でなく、耐火物張替の機械化はむずかしい。転炉工場では設備の点検修理のための定期休止を月に数回行なつており、これが貯鉄、保温能力の必要な大きな理由となつてはいるが、将来は設備能力に余裕を持たせる事により、この必要性は少なくなるであろう。したがって耐火物張替の機械化が容易な大型溶鉄鍋のみを持ち、混鉄車、混鉄炉とも使用しない方向に進むと思われる。

装入鍋の溶鉄は、排滓、测温・サンプリングの後転炉に装入されるが、この排滓は現在ほとんどの工場で機械化が進んでいる。测温・サンプリングも一部で自動化が実施されるようになった。

屑鉄は、屑鉄積込ヤードで装入用シュートに積込まれる。積込はリフマグ付クレーンやダンプトラックによつ

表 2・2・4 日本の大型転炉における混鉄炉、
混鉄車採用状況

稼働年	工場	転炉炉容 (稼働)	混鉄炉炉容 (基数)	混鉄車容 量(基数)	備 考
1968	君 津 1	220 ^t (2/3)	—	320 ^t	
1969	福 山 2	250 (2/3)	2500 ^t (3)	—	200 ^t 溶鉄鍋使
	名古屋 2	250 (1/2)	—	300 (10)	用
1970	水 島 2	250 (2/3)	—	250	水島 1 と共通
	加古川	200 (2/3)	—	350 (21)	
1971	君 津 2	300 (1/2)	—	320	君津 1 と共通
	鹿 島	250 (2/3)	—	400 (14)	
1972	大 分	300 (1/2)	—	600 (13)	
1973	福 山 3	300 (1/2)	—	—	福山 2 と共通 200 ^t 溶鉄鍋 使用

て行なわれるが、省力化のためダンプトラックからの直接積込はますます増えるであろう。

溶銑配合率（溶銑量／（屑鉄量＋溶銑量））は、従来は80％程度であったが、最近連続鋳造の一般化など技術改善により一貫歩留が向上し屑鉄発生比率は低下の傾向にあり、加えて輸入あるいは市中スクラップの入手が困難のため、新設製鉄所では90％以上の溶銑配合を想定するようになった。一方、最近高炉の巻替間隔が短くなり、その間の溶銑不足を低溶銑配合操業で補う技術も種々確立されている。

(b) 副原料（造滓剤、冷却剤、合金剤）関係

転炉では多くの副原料を使用するが、主なものの原単位を表2・2・5に示す。転炉の大型化による出鋼増とともに副原料の取扱量も増加する。副原料関係の添加は古くから機械化が進んでいたが、最近コンピューターを利用して炉上パンカーの残量管理、受入パンカーからの自動補給までが行なわれるようになった。螢石は媒溶剤としてCaOの滓化を促進し、滓の流動性、反応性を高める効果があり、転炉では重要な副原料である。鉄鋼業以外でも、弗素源として大量に使用されており、昭和44年頃不足がいわれたことがある。このため螢石に代る物が探され、種々の試験が行なわれた。この結果の概要を表2・2・6に示すが、螢石をしのぐものはなかったといつてもよい。また螢石不足の影響をうけ、造滓性を促進するための合成石灰の研究も行なわれたが、実用化されるには到らなかった。

表 2・2・5 転炉の主要副原料と原単位
(1973年全国平均)
(鉄鋼連盟統計)

目 的	銘 柄	使用原単位
造 滓	焼 石 灰	52.9kg/t
	螢 石	2.5
冷却、造滓	鉄 鋼 石 他	29.3
	石 灰 石	2.1
成分調整	Fe—Mn	4.8
	Si—Mn	2.6
	Fe—Si	1.3

(c) 炉体およびランス

先に述べたように、炉容の拡大が進んだが、炉体形状の例を図2・2・12に示す。炉体形状のうち、高さとの比（ H/D ）は設備・操業上におよぼす影響が特に大きいと考えられている。同容量でも H/D が大きいと、炉の傾動時のトルクが必要となり、転炉工場の建屋高さも高くなる。また鋼浴深さが大きくなり、高圧吹錬時の炉底保護には有利とされる。鋼浴面から炉口までの高さも大となり、吹錬中の噴出にも有利と考えられる。最近の大型転炉では、 H/D が大きくなる傾向が見られる。

炉体寿命は、いわゆる2／3稼働を順調に行なうためには400回以上が望ましい。現在の寿命は全国平均で約800回程度であり、寿命は煉瓦費および補修費との関連で管理されている。

転炉の炉体寿命400回以上が全国的に達成されたのはほぼ10年前であり、これによつて転炉の2／3稼働が確立したのである。その後は図2・2・13に示すように向上を続け、炉体煉瓦原単位も低下した。現在では、造塊に余裕があれば3／3稼働もかなり行なえる程度の寿命となり、現実に実施しているところもある。この発展は耐火物原料、製造方法の進歩と、炉体各部の損耗原因の解明とその対策が適切にとられるようになった事による。また最近鋼滓へのドロマイト添加、熱間吹付補修法の進歩なども寿命延長に寄与している。1／1稼働、2／2稼働などを定常的に行なっている工場では、炉修が直接生産減に結びつくため、寿命延長は重要な課題であり、図2・2・13の記録も主にこのような工場で作られた

公称能力	85 ^t	250 ^t	300 ^t
炉体鉄皮形状			
内容積 煉瓦積 鉄皮	863 ^{m³} / 177.5 ^{m³}	221 ^{m³} / 412 ^{m³}	256 ^{m³} / 553 ^{m³}
H/D	1.42	1.31	1.43

図 2・2・12 最近の炉体形状例

表 2・2・6 螢石代替品の試験結果概要

銘	柄	主要成分例 (%)	螢石代替の可能性
MgO 系	軽焼ドロマイト	MgO 34 CaO 64	螢石1：5～10程度で可。CaO含むため、石灰量減少可。炉体寿命延長効果大。
	ブルーナイト	MgO 44, SiO ₂ 36, H ₂ O 13	螢石1：5程度で一部可。SiO ₂ 含むため、石灰量増加必要。
	蛇紋岩	MgO 41, SiO ₂ 35, H ₂ O 13	
B ₂ O ₃ 系	硼砂	B ₂ O ₃ 50	螢石1：1で一部可。
Al ₂ O ₃	ボーキサイト	Al ₂ O ₃	螢石1：3で一部可。流動性悪化傾向。

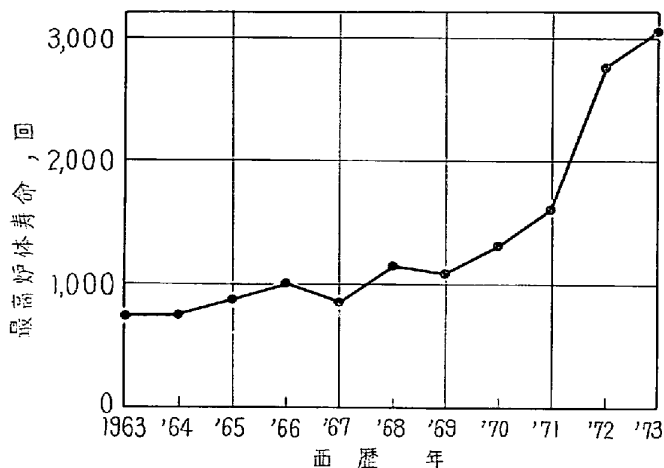


図 2-2-13 転炉の最高炉体寿命推移

ものである。

ランスについては、3～4孔の多孔ノズルランスが最も一般的に採用されている。多孔ノズルの最適形状についての理論的解明は必ずしも十分ではなく、各工場とも試行錯誤的な改良が行なわれているが、炉の大型化にともなう送酸量の増加にしたがつて孔数を増加する傾向にある。

(d) 吹 錬

転炉の吹錬は、終点の成分 (C, Mn, P, S) と温度を所定の目標範囲に適中させる作業である。当初は吹錬中の成分、温度を知る方法がなく、周辺条件から吹錬方法を推定計算して作業を行なっていた。終点成分のうちP, Sは一般的にはある規定値以下であればよく、Mnも通常は素鋼目標より低くなるので出鋼時に添加調整すればよい。したがってCと温度の適中が最も重要である。Cと温度が目標をはずれると、再吹錬、冷却、加炭などによる修正が必要となり、能率低下と鋼質のばらつきが生じやすい。吹錬は図2-2-14に示すような工程で行なわれ、表2-2-7のような制御を行なうのが普通である。この終点制御計算にコンピューターを利用する事が一般に行なわれるようになったが、これについては別に述べる。吹錬終了後の测温・サンプリングを、炉を直立した

表 2-2-7 一般的な終点制御の要因

特 性	制 御 要 因	関 連 要 因
終 点 温 度	溶銑配合率, 冷却剤量, 送酸方法	終点 C 目標 溶銑 Si, 温度
終 点 C	送酸量, 送酸方法	溶銑配合率, 冷却剤量, 溶銑 C, Si
終 点 P, S	造滓剤量, 送酸方法 溶銑脱硫処理	終点 C, 温度目標 冷却剤量 溶銑 P, S, Si

ままサブランスによつて機械的に迅速に行なう方式も一部で採用され、能率向上に効果をあげている。

(e) 転炉工場のコンピューターコントロール

まず、転炉作業の中心である終点制御について述べる。コンピューターによる終点制御は昭和35年頃から行なわれ、今日まで多くの報告がなされている。当初は吹錬中のC、温度を測定する適当な方法がなく、いわゆるスタティック (Static) な方式であり、理論式を中心にするものと、過去のデータの統計的処理結果を中心にするものとがあつたが、精度向上のため両方を組合せる方向に進んでいった。式の構造には種々のものがあるが、いずれも吹錬中の情報のフィードバックがなく、チャージごとの作業状況のばらつきが解決されず、精度向上には限界があるとみられている。この限界を打破するため、吹錬中の情報を得る多くの試みがなされた。昭和40年頃から、排ガスから脱炭の情報を得る方式と、吹錬中のスポット的测温による温度情報を得る方式が開始され、いわゆるダイナミック (Dynamic) 方式へと進展した。

排ガスから脱炭の情報を得る方式の例として、脱炭速度計によるCの推定方式がある。Cと脱炭効率には先の図2-2-9のような関係があり、送酸量と脱炭速度を知ればCの推定ができる。排ガス中のCO、CO₂含有率と排ガス流量を連続的に測定すれば、脱炭速度の計算ができ、Cの連続的な推定ができる。この方式は排ガスの測

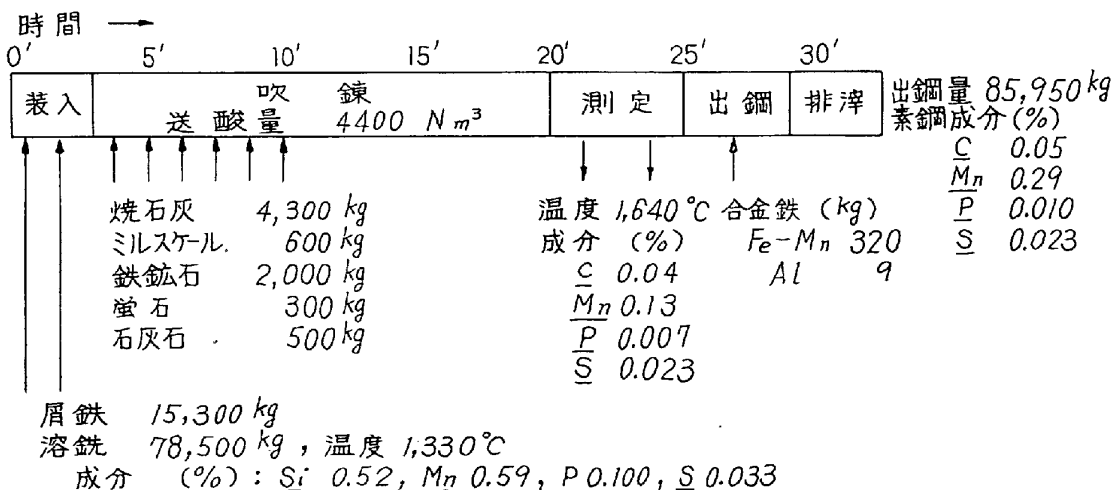


図 2-2-14 普通吹錬作業例 (低炭リムド鋼)

定誤差を少なくする努力により、昭和44年頃からスポット测温と組合せて実用化が進められている。

一方、鋼浴のCを迅速に測定する方法も研究され、溶鋼の凝固温度を $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 程度の高精度で測定することによりCの推定を行なう測定器が実現し、昭和45年頃から実用化されはじめた。これを炉中測定用に工夫して、吹錬中のCと温度を、サブランスでスポット的に知りうる測定器が開発され、昭和46年頃から制御システムの実用化が進められている。この一例を図2・2・15に示す。

测温については、熱電対を利用した連続测温が可能ではなく、炉体に熱電対を埋込むなどの試みが早くからなされたが実用化には到らなかった。昭和45年頃、サブランスを使用する連続测温法が開発されたが、耐久性、価格、応答速度、測定値の信頼性などが問題とされており、日本ではまだ実操業には採用されていない。

上記のシステムはいずれもいまだ完全ではなく、現状では吹錬設計のガイド的な性格が強いが、終点の適中率向上とそれによる能率向上の効果はかなりある。

今後は、排ガス測定とサブランスによる測定の組合せが有効であろうが、炉内反応機構の解明がさらに進められることも必要であると考えられる。

コンピュータは、終点制御だけでなく、転炉工場全体の運用管理にも利用されるようになった。転炉と造塊、連続铸造を有機的に運用し、要員や設備の負荷を最適にすることは、省力化などの面でも重要である。したがって、転炉の出鋼計画作成、各工程の準備作業の計画、作業進捗状況の把握と指示伝達などがコンピュータで迅速・正確に行なわれれば、効果は大きい。これら

のシステムは製鉄所全体の工程管理合理化の一部として普及しつつある。

(f) 脱酸および成分調整

転炉の脱酸および成分調整は、出鋼時に合金鉄添加によって行なわれるのが普通である。合金鉄も、最近はその副原料同様に炉上ホッパーから機械的に切出されて炉内または鍋内に添加されるようになり、省力化が進んでいる。

合金鉄の添加量も、終点成分や温度による歩留変動の推定計算によりコンピュータで決定することもある。

リムド鋼の脱酸は、Q調整のためにごく少量のAl添加によることが多い。リムド鋼は造塊時に鑄型内で、適当なリミングアクションをおこなうことが重要で、Al添加量もリミング調整のためであつて、添加量は経験的に決められていることが多い。最近、酸素濃淡電池を利用した酸素メータが実用化されており、溶解酸素が迅速に測定できるようになった。これをリムド鋼の脱酸調整に用いることも一部で行なわれている。

セミキルド鋼はSiによる脱酸が主体であるが、Alのみで脱酸する場合もある。Alのみによる脱酸は、Siによる場合よりも不安定になりやすいが、 SiO_2 系の介在物が問題になる電縫管材などで用いられることもある。

キルド鋼の脱酸は最も多様であるが、SiとAlによる脱酸が最も普通に行なわれている。また軟鋼ではAlのみの脱酸も多い。これは介在物の形態のコントロール、Siによる鋼の硬化、Alによる結晶粒度調整とNの固定の必要性など、多くの要因を考慮して選択される。Alのみの脱酸脱酸ではAlのばらつきが大きくなりがちで

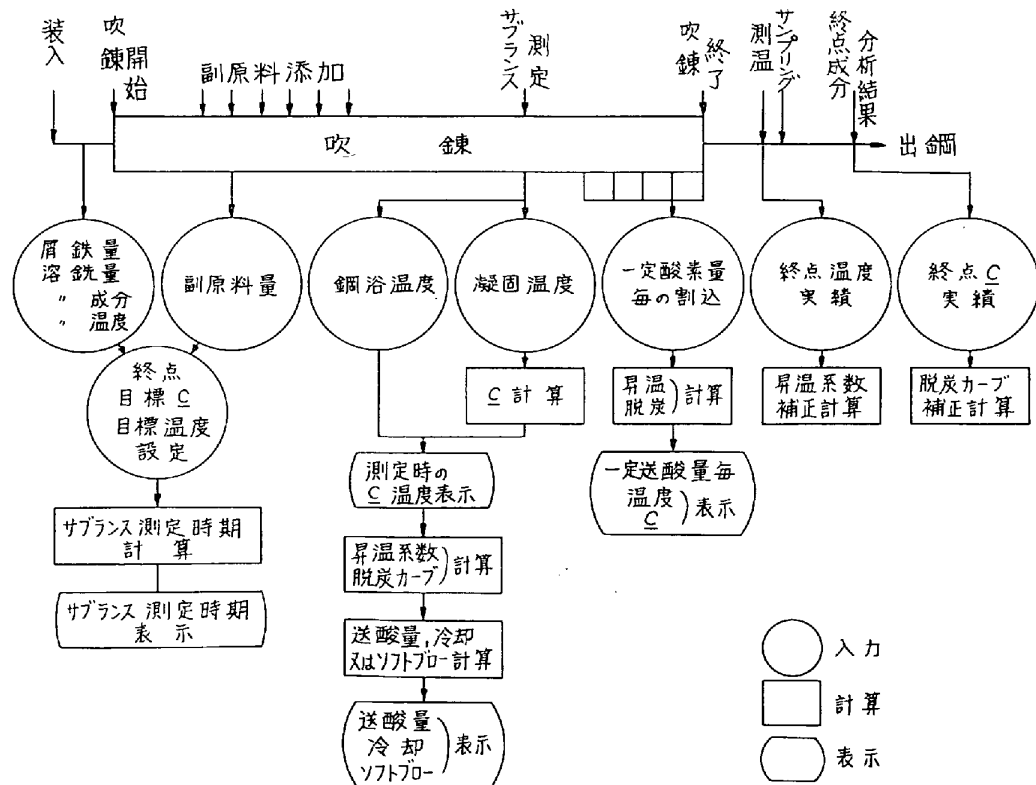


図 2・2・15 C、温度スポット測定による終点制御システム例
(鋼管京浜：第53回製鋼部会資料 53-3 (1972))

ある。これは Al 添加前の Q のばらつきの他に、Al の比重が軽く、添加した Al が溶鋼中にはいらずに溶鋼表面で溶解して空気や鋼滓により酸化されることが多いからである。これを防ぐため、キャンデー Al 法、ワイヤー Al 法、Al 弾打込法などの方法も採用されている。

キルド鋼では、脱酸反応終了後の脱酸生成物の浮上分離が重要である。通常のキルド鋼では鋼中の全酸素は 30～50ppm 程度あるが、Al が 0.01% 含まれれば、これと平衡する溶解酸素は $1,600^{\circ}\text{C}$ で 5 ppm 程度であるから、大部分が酸化物による酸素である。酸化物の分離は Storks の法則に従うと考えられており、凝集して大きな粒になりやすい組成とすることが有効で、Ca の添加などが行なわれることもある。また溶鋼に不活性（または非酸化性）ガスの吹込を行なうなど、溶鋼を攪拌することも効果があり、必要に応じて行なわれる。

(g) 環境対策

転炉は、C が 4.5% 程度の溶銑を短時間に 0.1% 程度まで脱炭させるので、極めて多量で高温のガスが、短時間で発生する。また吹錬中の火点は高温で、鉄の蒸発がおこり、これが排ガス中に極めて微細な酸化鉄粉となつて含まれるので、大量の排ガスの除塵が必要である。排ガスは CO 濃度が高く、温度も高いので、除塵とともにこの潜熱・顕熱の回収も当初から考えられ、種々の方式が開発されたが、これらは排ガス燃焼型と、非燃焼回収型に大別できる。図 2・2・16 に両方式の概念図を示す。燃焼型は CO を炉口および上部煙道で空気により燃焼させる方式で、この熱はボイラーにより回収することが多い。その後ガスの冷却、除塵をして放散する。これは初期に多く採用された方式であるが、排ガスを燃焼させる空気を必要とするため、排ガス量が非常に増える。除塵には、圧損の少ない電気集塵機を用いるのが普通である。

非燃焼型は、炉口からの空気侵入を防ぎ、CO の燃焼をできるだけ防いで冷却・除塵して回収し、別途燃料として利用する方式で、顕熱をボイラで回収する方式もある。除塵は CO の爆発防止のため、ベンチュリースクラバが使用される。この方式は侵入空気が少なく排ガス量

はあまり増えず、排ガス中の酸化鉄粒度も燃焼方式より大きいとされ、除塵に有利と考えられている。

日本では、昭和 37 年に非燃焼方式が初めて採用され、その後急速に普及した。昭和 38 年までに日本では 14 の転炉工場が建設されたが、非燃焼方式の採用は 2 工場であった。昭和 39～48 年の 10 年には 24 工場が建設され、18 工場で非燃焼方式が採用された。特に昭和 45 年以降の 8 工場はすべて非燃焼方式である。これは、設備費、運転費、作業性の他に、集塵効率でも非燃焼方式が有利と見なされるようになったためである。回収された排ガスは低硫黄燃料として利用されており、集塵された酸化鉄粉は、焼結原料、セメント原料、転炉の冷却剤、カルシウムフェライトの原料などに用いられている。

排ガス以外でも、転炉工場では粉塵の発生は多い。主なものに、溶銑の受払、除滓、装入時に発生するグラフィットと、副原料の輸送、切出時に発生する副原料の粉塵がある。これらの除塵のため、排ガス用とは別の集塵装置の設置が普通になつた。

今後の最大の問題は転炉滓の処理であろう。転炉滓の発生量は粗鋼の 10～15% に相当するので、昭和 48 年には、日本国内で 1,000 万 t 以上の転炉滓が発生したことになる。この中には磁選で回収できる鉄分が 2～4% 程度あり、この回収はいくつかの工場で行なわれているが、滓自体の大量の利用はまだ行なわれていない。転炉滓中には未反応の CaO があつて大気中の水分と徐々に反応して膨張し割れを発生させるため、高炉滓のように土木用骨材として利用するためにはこの問題の解決が先決であろう。

(4) 材質の高級化

最近の 10 年で、転炉での高級鋼の概念はかなり変化したといえよう。まず、高炭素鋼、低合金鋼など、成分的な面で高級とされていた鋼の溶製法の一般化がある。従来、ダブルスラグ法、LD-AC 法、溶解吹法などが行なわれたが、現在はほとんど普通吹錬により能率よく溶製できるようになった。次に、溶銑脱硫、真空脱ガスなどの応用技術の向上がある。この成果の一つは転炉によるステンレス溶製の実用化であり、他の一つは新しい高級

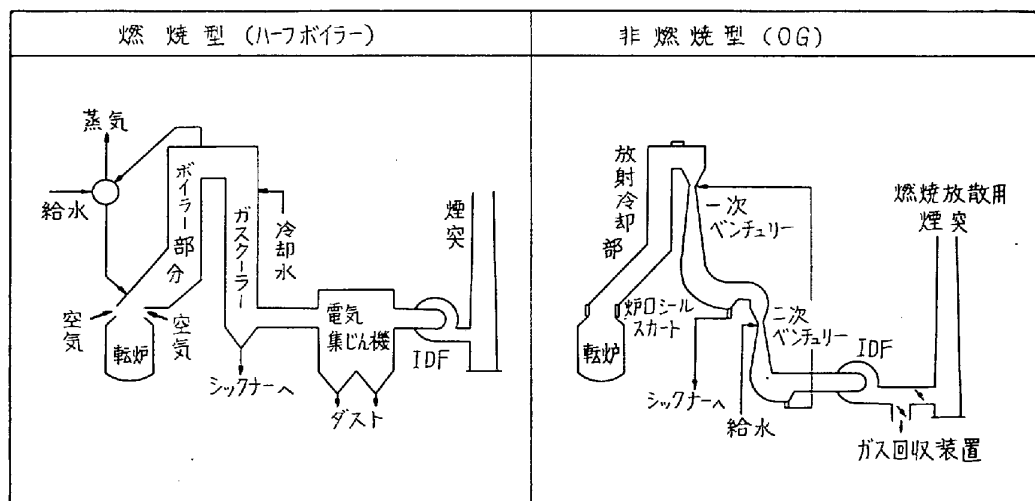


図 2・2・16 燃焼型および非燃焼型概要

鋼の大量生産技術の確立である。ステンレス溶製に真空脱ガス（真空脱炭）を応用する方法は西独を中心に発展し、日本では電気炉でのステンレス溶製にまず導入され、転炉でもこの考え方を応用して実用化されたものである。新しい高級鋼とは、成分的な複雑さでなく、極低炭、極低硫、高纯净度、低水素というような特質を持つものである。これらは、転炉技術よりも溶銑脱硫、真空脱ガス技術によるところが多いが、転炉でこれらの鋼を大量生産できるようになった意義は大きい。

(a) 高炭素鋼、低合金鋼の溶製

転炉と平炉が両方稼働している時期は、低炭素鋼は転炉、高炭素鋼、低合金鋼は平炉という使い分けが、それぞれの特質を生かした使用方法であつたが、平炉を転炉化する過程においては高炭素鋼、低合金鋼の転炉溶製技術の確立が必要となりダブルスラグ法、LD-AC 法、溶解吹法などが一部で実施された。

ダブルスラグ法と LD-AC 法は、日本ではともに高炭材での脱磷促進のための手段であつた。しかしながら、ダブルスラグ法は、能率低下と途中除滓の作業性に問題があり、大型炉では実施困難である。また LD-AC 法は、酸素中に粉石灰を入れるための特殊設備が必要で、日本ではあまり普及しなかつた。他方、いわゆる普通吹錬でどの程度の高炭素鋼まで溶製できるかは、脱磷技術のレベルだけでなく、成品での C および P の許容変動幅、使用する溶銑の P、吹錬後の加炭技術、必要な出鋼温度レベルなどによつて異なり、一概に決定することはできない。また技術改善の進行速度はその鋼種の需要規模によつて大きく影響される。最近、硬鋼線材の需要増などもあつて、普通吹錬による高炭素鋼溶製が一般に行なわれるようになった。

溶解吹法は主に合金鋼の溶製方法であるが、この方法も除滓の作業性、能率低下、炉体煉瓦寿命減などの問題があり、大型炉では実施困難でありあまり普及しなかつた。溶解吹法の最大のメリットは、Cr など鉄より酸化されやすい合金元素を通常吹錬後に添加する場合の熱補償であるが、これは発熱合金剤の使用によつて対処されることが多い。一方、原価的な見方をすると、例えば高クロム鋼の Cr を合金鉄で添加することは原価的に不利であり、溶銑と屑鉄の値差や電力価格によつても異なるが、クロム鋼屑中の Cr を有効に回収できる電気炉よりコスト高になることもある。これは Cr 以外でも同じことであり、転炉で合金鋼溶製を考える時、需要量の規模とともに常に問題となる点である。

(b) 溶銑脱硫、真空脱ガスの応用技術

転炉のみによるステンレスの溶製は、転炉法の限界をさぐる意味で先にふれた溶解吹法により試験的行なわれたことがあるが、実用化はされなかつた。外国では専用高炉で高クロム溶銑を作り、転炉でステンレスを製造する方法が一部で行なわれているようである。日本では普通溶銑と高炭素 Fe-Cr を用い、脱ガスと組合せて Cr 系ステンレスの転炉による溶製法が実用化された。この方法の特徴は Cr 源として比較的安価な高炭 Fe-Cr を使用すること、Cr の酸化ロスが少ないことで、品質的にも電気炉材に劣らないとされている。また真空脱炭により極低炭ステンレスの溶製も容易になつている。

極低炭素鋼は、転炉の高速、高歩留の脱炭特性と、真空脱ガス中の真空脱炭を組合せて得られるもので、転炉で 0.03% C 程度まで吹錬した溶鋼を真空脱ガス処理すると、0.005% C 程度の鋼が容易に得られる。これは電磁用 (Si 鋼)、ほうろう用、極軟鋼板用などに使用されている。

S が 0.005% 程度の極低硫鋼は、溶銑脱硫により 0.005% S 程度とした溶銑を用いて溶製される。転炉滓の (S)/S は 5~10 程度で、このような低硫レベルでは、溶銑以外の硫黄源を減らさないと復硫がおこる。このため低硫屑の使用または全溶銑配合操業、低硫副原料の選別使用などが行なわれ、最近ではかなりの量が溶製されるようになった。出鋼後、取鍋精錬などによる脱硫も考えられるが、日本では転炉との組合せ例は少ない。極低硫鋼は、低温靱性の向上が著しく、機械的性質の異方性も改善される。低温靱性については、最近寒冷地のパイプライン建設が増え、従来の Al キルド鋼と Ni 鋼の中間的な鋼が大量に必要となつて、極低硫鋼の大量生産が行なわれるようになったものである。また硫化物の形態コントロールによる靱性向上も行なわれるようになった。この代表例には REM 添加がある。

高纯净性も、通常は S 低下が第一である。通常の鋼の介在物は硫化物と酸化物が主体であり、Q が通常 30~50 ppm であるのに対し、S は 100 ppm 以上であることから容易に推察される。極低硫鋼では、Q と S は同様のレベルとなるので酸化物系介在物の減少も非常に重要となる。これにも真空脱ガスは有効である。

低水素鋼は従来は、極厚板用であつたが、最近の高張力鋼、低温用鋼等水素割れ感受性の強い鋼が大量に生産されるようになり、さらに重要となつた。転炉は、平、電炉に比し脱炭速度が大きいので、溶鋼の H も低いが、さらに高速吹錬、合金鉄乾燥などの対策と、真空脱ガスにより低水素の鋼が得られている。

2.2.3 アーク炉法

(1) 緒 言

第 2 次世界大戦までは兵器材料など特殊用途鋼の溶解炉とされていたアーク炉が、終戦を転機として民需材料の生産の分野に進出しはじめた。戦後のわが国の全粗鋼生産高の変遷をみると、その増大に最も貢献したのは昭和 32 年末に出現した DL 転炉であるが、アーク炉も着実に生産高を増し全生産高の中で占める比率をほぼ一定に維持してきた。昭和 48 年度のわが国全粗鋼生産高 119,325,000 t の中、電炉のシェアは 21,422,000 t、18% である。アーク炉鋼が LD 転炉鋼と多くの鋼種について競合しながらもその生産量を増加し続けたのは、つぎに述べるアーク炉製鋼の有利性によるものと考えられる。

(i) 産業廃棄物の 1 つである屑鉄を回収再生するのに最も好都合なプロセスである。一方、還元鉄や溶鉄を配合使用することもできる。

(ii) 高炉-LD 転炉法にくらべて設備投資額が割安である。アーク炉プラントを屑鉄や電力の入手の容易な地域に新設したり、あるいは、既設の製鋼プラントにおいてアーク炉を増設したりすることにより、小規模投資をもつて容易に鉄鋼の需要の伸びに応ずることができ

る。

(iii) 炉容量の大型化と超大電力操業の採用により、生産性が著しく改善され電力原単位も小さくなった。

(iv) 操業時に亜硫酸ガスの発生が少なく、粉塵発生などに対しても適正な設備により比較的容易に対処できる。

(v) 鋼浴温度、鋼浴成分のコントロールが容易である。したがって、高品質あるいは高生産性のいずれに重点をおいた操業でも容易に行なうことができ、また断続操業を行なつてもトラブルが少ない。

アーク炉製鋼の戦後約30年間の発展の歴史を回顧すると、それを3つの時代に大別できる。第1期は終戦(昭和20年)から朝鮮動乱終了(昭和28年)までの復興期であつて、その期間における顕著な技術革新は鉱石法から酸素法への転換である。第2期はそれから昭和39年までの成長期で、朝鮮動乱に端を発した鉄鋼需要の増大、電力および屑鉄事情の改善など経済環境の好転に基づくアーク炉の大型化、付帯設備の合理化の時代である。第3期は W. E. SCHWABE らが超大電力 (Ultra High Powered, UHP) 操業を提起した昭和39年以降であつて、投入エネルギー密度の増大を意図する UHP 操業を基盤とし、助燃技術、炉外精錬技術、炉操業の自動化や省力化などのアーク炉周辺新技術をそれに付加し、あるいはさらに連続鑄造技術を連結することによつて、あくまでも生産性が追求され、一方、地域社会との調和を念願して公害防止対策が強力に実施された。

ここでは、戦後のアーク炉製鋼の技術的進歩を、アーク炉中心に、設備面および操業面から回顧通覧した後、わが国のアーク炉製鋼の現在の立場を掘下げ将来を展望する。

(2) 設 備

(a) 概 要

第2次大戦後今日に至る間において、アーク炉設備の発展に画期的な役割を果たしたものとしてみづきの2つが挙げられる。その第1は昭和28年米国レクトロメルト社の技術に基づく国産炉蓋旋回炉頂装入式5トン炉の出現であり、第2は昭和39年における米国 W. E. SCHWABE らの超大電力操業の提唱を起源とした UHP 炉の普及である。

昭和28年稼働の炉蓋旋回炉頂装入式5トン炉の基本的特徴は、炉径が小で鋼浴が深く、かつ高電圧、ロングアークによる大電力投入を行なうことであり、構造面における新技術のおもなものは、炉蓋旋回による屑鉄の炉頂装入方式、自動電極調整装置としてバランスリレー式に代わるアンブリダイン式、および電源スイッチや断器として高周波操作に耐える空気吹付開閉器の採用である。以後これらの特徴、技術を基盤としてアーク炉は大型大容量化へと急速に発展し、昭和37年には250t-40MVAの当時としては世界最大のアーク炉が出現するに至つた。

しかるに昭和39年発表の UHP 操業は、これまでの電力投入パターンであつた高電圧、ロングアークを一変し、大電流-ショートアークにより同一容量に対して従来の電力の倍に近い大電力を投入するものであつて、その効果としての溶解時間短縮すなわち生産性向上が立証されるにおよび、わが国はもちろん世界各国でも急速に発展

表 2・2・8 炉蓋旋回炉頂装入式アーク炉の大型化、大電力化の経過

年 度 (昭和)	炉容量 (t)	変圧器容量 (k v A)
28	5	3,000
29	10	5,000
32	20	7,500
33	50	12,500
34	70	18,750
35	80	20,000
36	80	25,000
37	250	40,000
44	70	42,000
45	70	45,000
46	120	56,000
48	60	60,000

表 2・2・9 アーク炉設備能力の推移

年 度 (昭和)	基準年間能力 (t)	基数	1 基平均の年間能力 (t/基)
26年3月末	3,379,110	505	6,691
28 " " "	3,253,630	464	7,012
30 " 12 "	3,058,400	428	7,146
32 " " "	5,653,290	502	11,262
35 " " "	7,795,610	538	14,490
39 " " "	11,073,070	588	18,832
43 " " "	11,735,603	539	21,773
47 " " "	21,411,000	484	44,238

した。わが国における本格的 UHP 炉の第1号は昭和44年稼働の70t-42MVAで、引続き多くの UHP 炉が設置された。現在の最大電気容量炉は60t-60MVA炉である。

これら大型化、大電力化の発展経過を表2・2・8に、また昭和26年以降の炉の設備能力の推移を表2・2・9に、昭和47年末における炉容量(t)および変圧器容量(MVA)別の累計基数を図2・2・17にそれぞれ示す。一方、昭和28年度までにおける設備状況を顧みると、戦時中の最盛期における総基数はおおむね600を数えたのであるが、最大炉は30t-12MVA炉側装入式でその数1基ついで20t-6MVAが約10基あつたのみでほとんどの炉は10t、4MVA以下であり、また炉頂装入炉も僅かながら存在したが、それも炉体または炉蓋移動式のものであつて、大半の炉は人力により炉側から装入する方式のものであつた。以上から判るように昭和30年代に大型化が急速に進行し、昭和40年代には炉容量の増大よりも大電力化に力が注がれた。ちなみに、現在世界最大炉は米国の400t-162MVA炉(昭和46年稼働)である。

(b) 電 気 特 性

製鋼用アーク炉では電流の変動は避けられず、とくに溶解期には変動が激しく、また屑鉄の性状によつても変

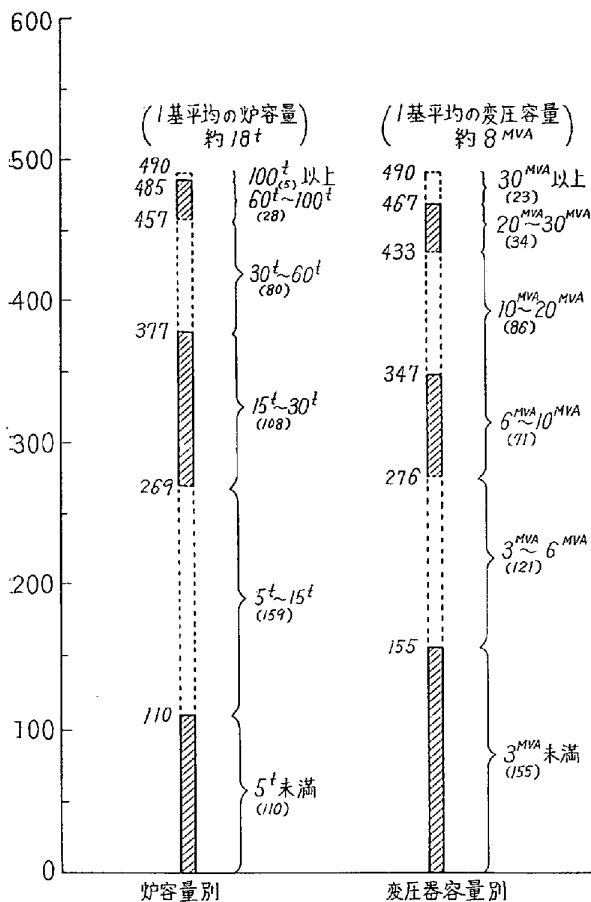


図 2-2-17 容量別累計基数
(昭和47年末現在)

動状況が変わるので、操業中の動的特性を一般化することは困難である。しかし電気回路を3相平衡回路として取扱うことは容易でありかつ実操業上の指針としても結構役立つので、この静的特性が一般に利用されている。この特性を70トン炉を例にとつて従来電気容量(Regular Power: RP)とUHPとの比較対照の形で表わしたのが図2-2-18である。図中耐火物溶損指数(Refractory Wear Index: RF)は、W. E. SCHWABE 提唱の計算式によつたものである。図に示すUHP炉では、投入電力が最大となる力率70.7%に相当する電流を使用することにより、RP炉に比し大電力を投入する一方炉壁溶損の度合を表わすRFはほぼ同等となつている。また力率はアーク長と比例関係にあるので、力率の低いことはすなわちショートアークを意味する。したがつて、UHPでは大電流、ショートアークにより電力の増大を図りつつ、しかも炉壁の溶損を低減することが基本となつている。この基本を実現する上で重要なことは炉のリアクタンスを小さくすることである。これが大きいとアーク電圧が高くなり、大電流ショートアークの効果を減殺することになる。静的特性算出の基礎となるリアクタンス値は通常溶鋼中に電極を突つこんでの短絡試験で測定することができる。しかし、溶解期中のリアクタンス値はアークの変動に起因し溶解初期は高く、溶解の進行とともに漸減し溶落後はほぼ測定値に近似となる傾向がある。

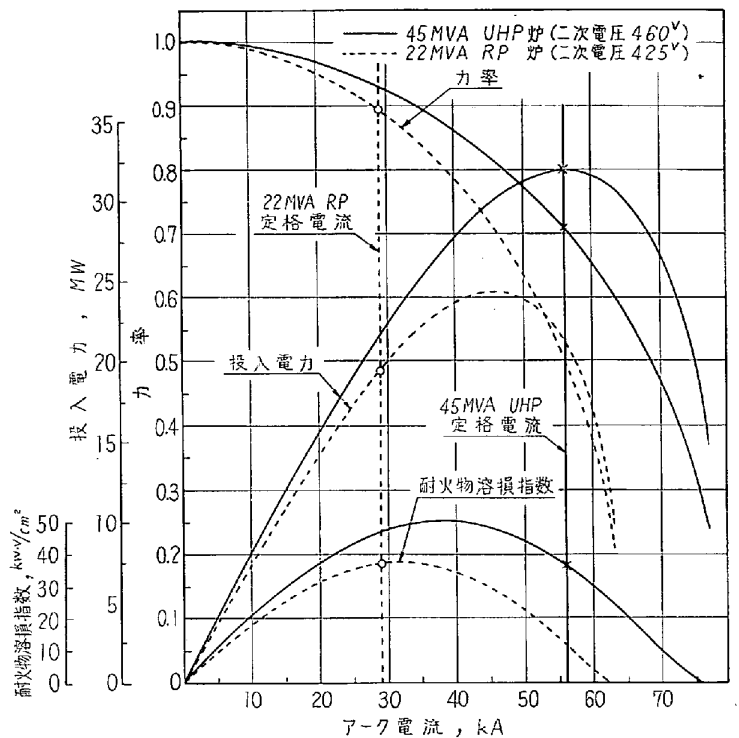


図 2-2-18 70トン炉 RP および UHP の電気特性 (一例)

3相回路に不平衡がある場合は、この不平衡と相回転の関係でとくに炉壁溶損が目立つ相が生ずる。これを激動相と称し、他の相を静止相という。この激動相、静止相を解消する手段として二次導体の三角形配列が行なわれている。

炉壁の溶損は電気回路の平衡のいかんにかかわらずに近接した部分ほど顕著となる。この部分をホットスポットという。この炉壁溶損は大型大電力炉になる程著しくなる傾向にある。これを防ぐ方法として大電流、ショートアーク操業をすることの他に、炉壁レンガに代えて水冷ボックスを使用することも行なわれている。

今一つの電気の問題はアーク炉に起因するフリッカ問題である。この問題が発生したのは昭和35年頃からで、大型炉の設置に伴ないクローズアップしてきた。フリッカとは炉の電流変動により供給送電線の電圧が変動し電灯などにちらつきとなつて現われる現象をいい、電源容量が大きいほどその影響は小さくなる傾向にある。しかし、UHP炉は従来炉に比し大電流、ショートアークのためアークが安定で常時の電流変動が少なくまた短絡時の変動量も従来炉に比し少ないため、同一炉殻径の炉ではUHPになつてもフリッカはほとんど変わらないという結果も報告されている。このフリッカ問題については、昭和35年から電気加熱技術協会フリッカ委員会において炉ユーザー、電力供給部門設備、メーカーを網羅した委員により、現象解明、計測対策などについての調査研究が国際協調を含めて続けられている。

フリッカ防止対策として現在行なわれているおもな方法は、電源容量の大きい60kV以上の送電線からの受電、同期調相機あるいはコンデンサとリアクトルとを組合せた抑制装置を炉と、並列に入れること炉と直列にリ

アクトルを入れることなどであり、このほか将来が期待されるものにコンデンサをサイリスタ制御する方法がある。

(c) 主要諸元

かつて炉の大きさは公称容量 (t) だけで表わされていたが、公称容量が実際の出鋼量とかなり差がある場合もあり、また変圧器容量によつて生産量も変わってくるので、現在は炉の大きさを表わすのに溶解容量 (t) 以外に炉殻内径 (m) と変圧器容量 (kVA) が使われる。変圧器容量については UHP と RP との中間のものを High Power (HP) とする。これらの区分による炉の標準を表 2・2・10 に示す。

(d) 構造

写真 2・2・1 は UHP 炉の一例である。以下炉体構造および電気設備の進歩のおもな点について記述する。

鋼浴の深さおよびシルレベルから炉壁上端までの高さは逐次大きくなってきた。一例として 70 トン炉について述べると、昭和 35 年の第 1 号炉では深さ 889 mm、高さ 2,172 mm であったのが現在はそれぞれ 1,041 mm、2,372 mm となつている。前者の効果は出鋼量の増大であり、後者の利点はスクラップ装入回数の減少と炉蓋寿命の延長である。

炉殻底部は平底あるいは截頭円錐形から碗形に改良された。碗形の特徴は表面からの熱放散が少ないこと、炉

底ライニングの厚さが均一になりライニング中の熱分布が均一で局部消耗がなくなること、屑鉄の炉頂装入時の衝撃に対して強いことなどである。また大形炉の炉殻は熱ひずみによる影響を軽減するためパネル構造が採用されるようになった。

電極支腕はリアクタンスを最小かつ平衡化すること、大電流による加熱を避けることなど強度以外の考慮が必要であり、最も進歩したものの一つである。電極クランプは水冷式銅鋳物製あるいは非磁性鋼製に水冷式銅板ライナを嵌め込んだ構造で、支腕に取付けたスプリングの圧縮力によつて常時電極を保持し、電極をゆるめるときは同じく支腕に取付けたエヤシリンダを遠隔操作して行なう。支腕母線は複数の水冷銅管からなり、従来は平面配列であつたが UHP 出現以来リアクタンスの減少とバランス化のため極力近接かつ中央相を上にあげた三角配列となつた。また大電流の電磁誘導により近接部材の加熱が大となるので、これを防ぐためにその非磁性化および水冷強化が行なわれている。なお最近電極を中心に向つて傾斜させ電極先端と炉壁の間の距離を大にしホットスポットの軽減に資するものも実用化されてきた。

電極も炉と期を一にして発展した。すなわち昭和 28 年以降における高電圧操業に耐えるもの、UHP 出現に伴い大電流を流しうるものがそれぞれである。戦後から今日にかけての許容電流の推移を 300~500 mm 電極について表 2・2・11 に示す。

変圧器二次母線と支腕母線とを連結するケーブルは RP 炉においては裸然り線が使われていたが、UHP ないし HP 炉においては大電流を通す必要上から水冷ケーブルとなつた。水冷ケーブルは断面積 1,000~4,500

表 2・2・10 製鋼用アーク炉標準

炉公称容量 (m)	炉殻内径 (m)	変圧器容量 (kVA)			電 極 (呼び径) (mm)	
		RP	HP	UHP		
1	1.70	1,000	—	—	150	
2	2.15	1,500	—	—	175	
3	2.45	2,000	—	—	200	
5	2.75	3,000	5,000	—	200	250
8	3.05	4,000	6,000	—	250	300
10	3.35	5,000	7,500	10,000	300	350
15	3.65	6,000	10,000	12,500	350	
20	3.95	8,000	12,500	15,000	350	
25	4.30	10,000	15,000	17,500	400	
30	4.60	12,500	17,500	22,000	400	450
40	4.90	15,000	22,000	27,500	450	
50	5.20	17,500	25,000	30,000	450	500
60	5.50	20,000	27,500	35,000	500	
70	5.80	22,500	30,000	40,000	500	
80	6.10	25,000	35,000	45,000	500	
100	6.40	27,500	40,000	50,000	500	550
125	6.70	30,000	45,000	60,000	550	600
150	7.00	30,000	50,000	75,000	600	
175	7.30	35,000	60,000	85,000	600	
200	7.60	40,000	70,000	100,000	600	
250	7.90	—	—	125,000	600	
300	8.20	—	—	150,000	600	700

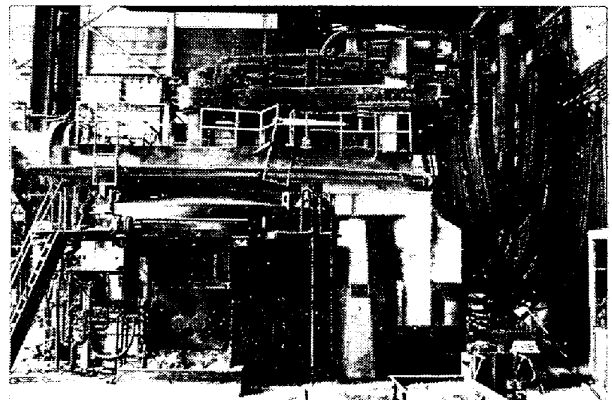


写真 2・2・1 70 トン 45 MVA アーク炉外観

表 2・2・11 電極許容電流の推移

電 極 (呼び径) (mm)	最 大 許 容 電 流 (A)		
	昭和 20 年代	UHP 出現前 (RP 用)	UHP 出現後 (UHP 用)
300	9,000	17,000	22,000
350	11,200	22,000	30,000
400	17,300	27,500	40,000
450	21,200	33,600	50,000
500	28,900	40,500	60,000

mm² のものを1相あたり3~4本使うのが普通である。炉の全リアクタンス中水冷ケーブルのそれが占める割合は30~50%であるので、このリアクタンスを減らすため炉用変圧器を出鋼口側にオフセット配置しケーブル長を短縮することが行なわれている。

炉用変圧器の進歩のおもなものは負荷時タップ切換と60~150 kVの超高圧からの直接受電である。負荷時タップ切換の特長はタップ切損を通電中に行なえるため時間が短縮されるとともに電源への影響が少ない点であり、10,000 kVA以上の変圧器において一般化している。超高圧からの直接受電は昭和43年に始まった。これまでは受電変圧器で30 kV以下に落としこれを炉用変圧器に供給していたが、直接受電は受電変圧器が不要で設備費が軽減される点から採用される例が多くなった。二次電圧は変圧器容量、変圧器を含む炉のリアクタンス（周波数により変わる）送電線の電圧変動、電力使用条件などにより決まるもので、一義的な比較はできないが、傾向として高い電圧になつていく。現在の最高電圧は120 t-56 MVA 炉の741 Vである。アークの安定のためのリアクトルは20 tくらいまでの炉には必要であるが、30 t以上の炉では、それに見合うリアクタンスを炉用変圧器を含めた炉の回路で有しているの、リアクトルは設けないのが普通である。

炉用しゃ断器は昭和28年以前はもつばら油入ししゃ断器であつたが、開閉頻度が多いため油の汚損と接点の消耗が甚だしく保守に手数がかかつていた。これを改良するため空気吹付開閉器が開発された。この開閉器は高頻度開閉に耐えることを主目的とししゃ断容量は電極端短絡による過電流を対象としたため、事故時用に別のしゃ断器を必要としたしかし昭和43年に至り事故時のしゃ断容量を持つ空気しゃ断器が実用化され、さらに保守のいっそう容易な真空しゃ断器が昭和48年から実用段階にはいつた。

自動電極調整装置の進歩も著しいものである。昭和28年以前は主としてオンオフ制御のバランスリレー式が用いられていたが、これには応答性、昇降速度(約1 m/min)および接点消耗などに関する欠点があつた。

これに代わるものとして登場したアンブリダイン式に代表される増幅発電機式では、応答性、昇降速度(最高5 m/min)および保守の容易さが格段に改良され、以後ほとんどの炉がこの方式となつた。昭和40年代にはいつてサイリスタの急速な進歩により増幅発電機-直流電動機式に代わつてサイリスタ-交流電動機式が採用されるようになった。増幅発電機式と比較すると、この方式はさらに応答性がよくまた整流子の保守の必要がないことなどがすぐれている。さらにサイリスタで制御する電磁カップリングを誘導電動機に直結し、上昇は電動機で下降は自電を利用する方式も広く使用されている。なお、これら自動制御装置に急速上昇機能を付加し、過電流トリップと装入屑鉄崩落時の電極折損を軽減することも行なわれている。

(e) レイアウトおよび付帯設備

レイアウトを決定する上で問題となる1つに1階設置か2階設置かがある。2階設置の利点は作業性が良いことおよびビットの湧水などを考慮する必要がないことで

あり、連続鑄造機の設置とも関連して臨海工場の30 t以上の大型炉に普及している。

炉の付帯設備として、とくに高合金鋼溶製を対象に誘導かくはん装置が発達した。これは炉底下に多相巻線かくはん器を取付け1 Hz以下の低周波電流の励磁による移動磁界で溶湯をかくはんするもので、温度および成分の均一化、添加合金の節減、除滓作業の容易化、通電中のかくはんによる溶解時間の短縮などの利点がある。

溶解時間を短縮し生産性の向上を図る手段に助燃装置がある。この装置は200~800 l/hrのバーナを炉側に1~3本取付け灯油1 lに対し酸素約2 Nm³の割合で燃焼させ、その高温燃焼熱によりスクラップを溶落し溶解の促進を図るもので、昭和42年頃から始まり急速に普及した。

炉の付帯設備のおもなものは公害防止、省力、自動化設備である。公害防止の主体は集じん装置である。炉から発生する粉じんが問題となつてきたのは昭和35年頃からであり、この社会環境からの要請に応じて集じん装置が設置されるに至つた。粉じん吸引方式には炉開口部にフードを設けるローカルフード式と炉蓋または炉側に吸引孔を設けて炉から直接吸引する方式とがある。前者は小形炉、後者は大型炉向きである。直接吸引式は処理風量が少なくすむので経済的であるが、小型炉では必要な大きさの吸引孔を設けることが困難でありまた炉内雰囲気も影響を受け易いためローカルフード式が多い。集じん機としてはテトロンあるいはグラスファイバのバッグフィルタを用いるものが一般的である。しかしながら昭和45年頃から都市部の電炉工場でスクラップ装入時あるいは出鋼時の粉じんの建屋外放出も問題となつてきたため炉からの直接集じん以外に建屋集じん装置が設置されるようになってきた。

省力、自動化の装置として使用されているおもなものは最適電力制御装置、副原料投入装置、電極自動接続装置などである。最適電力制御装置は溶解期を対象とし、溶解の進行に合わせてあらかじめ設定したプログラムに従い自動的に電圧電流を変え適正な電力を投入し時間を短縮することを目的としたもので、昭和41年頃から設置され始めた。この装置にはデマンド制御、フリッカ制御などの機能を付加したものもある。最近ではコンピュータを使用し上記以外に操炉データの記録からプロセス制御にまでおよぶものも出現している。

最近大型炉の副原料投入用として、炉側または炉頂部に可動式シュートを設け炉近傍に設けたホッパーから遠隔操作で投入する装置が設置されるようになった。ホッパーへの副原料運搬もベルトコンベヤなどを使う方式が採用されている。自動電極接続装置は省力と適正接続を目的として最近開発されたもので、主として450 mm以上の電極を使用する大型炉を対象に普及することが期待される。その他の炉前作業の省力自動化の装置も次第に開発されつつある。

(3) 操 業

(a) 概 要

(2) で述べたアーク炉設備の進歩の経過を見ても、わが国の戦後のアーク炉製鋼が生産性の向上すなわち、炉容量の増大、超大電力操業の導入などをおもな目標と

し、労働力不足、公害問題などから生ずる各種の障害を克服しながら進歩してきたことがわかる。操業面から見ても基本的には同様である。

操業面においてとくに重視された生産性向上策は、最大入力を負荷する時間の割合をできるだけ大きくすること、すなわち炉用変圧器の時間利用率を増大するために止電時間および低入力負荷時間を減少することであつたといふことができる。それを達成するために、補修方法、鉄原料の装入あるいは予備処理法、精錬技術、さらには耐火物や電極の製造および使用法の進歩改良などが必要であつた。もちろん、これらも設備の進歩改良といまつて行なわれた。

ここでは、アーク炉操業の立場から、総括的にアーク炉製鋼の進歩とその成果を回顧する。

(b) 炉補修、主原料装入および主原料事情

従来まったく人力によつてきた出鋼後の炉補修作業は、炉の大型化に伴い作業者にとつてますます過酷な作業となつた。そのため確実な作業がむずかしくなり、早くから機械化が試みられたが、最近ようやく使用に耐える吹き付け補修機が出現してきた。炉補修時間も昭和30～35年頃は10～15 t 炉で30～20 min であつたのが、現在では70トン炉で電極接続時間も含めて10 min 以内となつている。

また主原料装入所要時間にしても、10トン炉の場合人力で60 min 以上、炉体引き出し炉頂装入方式で10 min 程度であつたが、最近の炉蓋旋回炉頂装入方式では70トン炉でも1回の装入が5 min 以内で実施可能となつた。

アーク炉の生産性は、設備の改善もさることながら、屑鉄など主原料事情の変化に大きく支配された。昭和35年くらいまでは悪質な軽量屑鉄が多く、トップ・チャージ方式で普通3回装入が行なわれた。さらには爆発危険物の混入もあり、著しく生産性が阻害された。その後民生の安定、自動車産業の繁栄とともに良質の新断プレス屑が大量に供給されるようになって2回以内の短時間装入が可能となり、熱損失の低減による電力原単位と生産性の改善に寄与した。昭和34年当時の構造用鋼の主原料配合は工場により若干の差があるが一般に戻り屑20～40% ダライ屑5～10%、銑鉄10～30% 購入屑鉄40～60% であつた。現在では、連続鑄造など造塊技術あるいは圧延加

工技術の進歩とともに戻り屑配合率が低下し、購入屑鉄やプレス成形しコンパクト化されたダライ屑の増大傾向が認められる。屑鉄のコンパクト化の1つとして昭和40年頃から1溶解分の主原料を炉内形状にプレスし一塊とする電炉プレス法が出現した。現在はプレスに適した形状の屑鉄の入手に限度があるため、小型炉主体に一部で実施されている。

また、炉内に連続装入する操業法の検討が昭和42年から盛んになり、昭和46年には輸入還元鉄を用いた70トン炉での連続装入溶解試験も行なわれた。海外の一部ではすでに実施されているが、わが国でも今後急速に実現する方向にある。

(c) 溶解期

溶解期のアーク炉全製鋼時間に占める割合は、溶製鋼種と溶製法とくに還元期の操業法によつて大きく変化するが一般に40～60%となる。したがつて戦後一貫して生産性向上の観点から溶解期の短縮に力を注いできた。昭和35年頃の溶解期短縮についての各工場の統一した考え方はつぎのようである。(i) 鋼浴表面積が小さく鋼浴深さが大きい炉型にし湯溜からの熱放散を押える。(ii) トランス容量を大きくして装入t当たりの投入電力を増し、炉頂装入方式とアンプリダイン電極昇降装置を採用する。(iii) 二次電圧を上げ、大電力をロングアークで投入する。しかしこの方法では、とくに溶解後期にロングアークによる炉壁、炉蓋耐火物の溶損という問題を生じ、大電力の投入が充分でなかつた。昭和39年W. E. SCHWABE と C. G. ROBINSON が実験提唱した超大電力(UHP) 操業は、アーク炉製鋼に一大転機をもたらした。UHP についてはすでに設備の項で述べたので省略するが、昭和35年頃14トン装入炉で102 min 程度を要した溶解期が、現在では90トン装入炉でも約60 min に短縮された。

溶解期短縮手段として、さらに、バスケット内の屑鉄をバーナ加熱で予熱する方法、炉壁や炉蓋に取り付けた酸素-重油バーナなどで炉のコールド部分を助燃加熱する方法、あるいは溶解期に炉内に酸素を吹込みCやFeの酸化熱を利用して溶解を促進する方法などが採用されている。50 t-22 MVA 炉において酸素-灯油バーナ3基をそれぞれコールドスポットに設置して助燃を行な

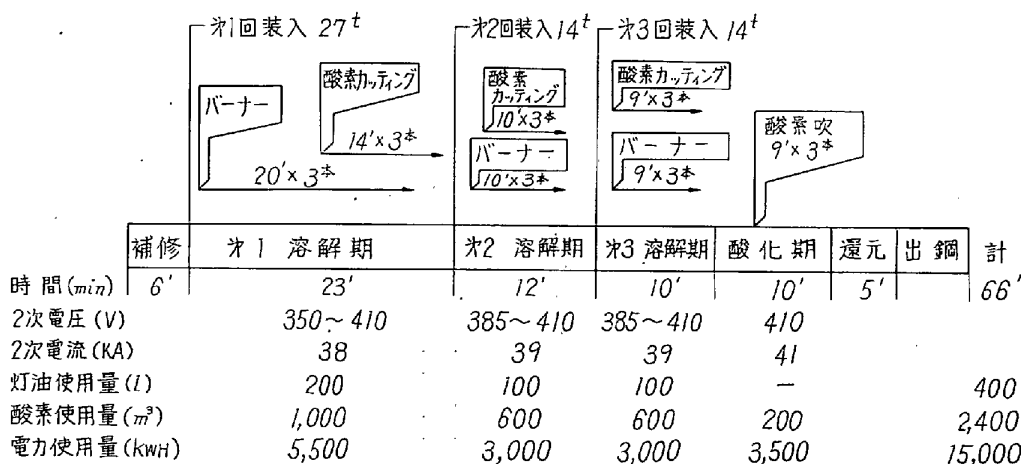


図 2-2-19 ジェットバーナー、酸素カッティング併用の助燃操業例 (50トン炉, 22 MVA)

い、更に過剰の酸素を吹込んで屑鉄の溶解およびカッティング(溶断)を促進した操業の例を図2・2・19に示す。操業時間、電力原単位とも驚異的な実績が得られており、とくに装入を含めた溶解期時間 45 min という値は UHP 炉に匹敵するものである。今後助燃技術のアーキ炉製鋼への導入は、エネルギー問題と関連してますます盛んになると思われる。

(d) 酸化期

酸化期作業の戦後の最大の変革は、昭和25年から昭和30年にかけて行なわれた鉬石脱炭法から酸素脱炭法への変換である。米国では第二次大戦前からステンレス鋼のアーキ炉溶解に酸素を利用していたが、わが国には、戦後昭和 23～25 年にかけて I.H. BERRYMAN, D. C. HILTY らの論文で紹介された。いち早く昭和23～24年に平炉への酸素導入が試みられ、その有利性が認められついでアーキ炉への採用が試みられた。

昭和 31 年の鉄共研特殊鋼部会での共同検討の結果では、鉬石法の欠点である使用鉬石の成分変動や乾燥粉化による脱炭効率の不確実、脱炭速度の変動、溶鋼の過酸化、吸熱反応による温度降下、脱水素効果の不十分が消失した。さらに酸素法では、脱炭速度が0.05% C/min 程度と鉬石法より20～30倍早く、しかも Cr の酸化損失も20～10%程度少なく、脱炭量も確実に酸末キャッチカーボンも容易で、後続作業も円滑にできるとされた。当時の鉬石法と酸素法による出鋼 t 当たりの製鋼時間と消費電力の対比を表 2・2・12 に示す。

1% C, 18% Cr 程度の溶け落ち溶鋼から炭素含有量の低いステンレス鋼が溶製できるようになったのは実に酸素法の出現によるものである。

脱磷の問題も鉬石の併用で解決し、昭和35年頃には酸素法の作業標準は完成され現在に至っている。

作業の合理化などにより現在の90トン装入炉の酸化期所要時間は 25 min 程度と短縮されている。

(e) 還元期

生産性向上策は、還元期でも積極的に進められた。すなわち、従来特殊鋼溶製上不可欠とされていた還元期の拡散脱酸からの脱却である。スラグを介して溶鋼を脱酸する拡散脱酸法は、脱酸速度が遅く生産性が低く、炉床の損傷、ガス成分の吸収という問題を有する。その対策として、昭和30年頃から酸化期滓の除去後直ちにフェロシリコン塊やアルミ塊を鋼浴中に投入して鋼浴を完全にキルし、しかる後に還元造滓を行なう強制脱酸法が多く、鋼種に適用され始めた。強制脱酸法では一時期溶鋼中に多量の脱酸生成物が発生してもその脱酸生成物の浮上分離が比較的迅速で短時間内に拡散脱酸法以下の酸素含

有量になり、一方脱硫も速迅に行なわれ成分調整も容易で、より確実に清浄鋼が得られることが判明したので、キルド鋼溶製時のおもな脱酸法となつた。

さらに進んで、酸化期滓の除滓後あたりに添加した造滓材の滓化と還元精錬の進行をまたずに、合金投入溶解後直ちに出鋼して、還元期の大きな目的である脱硫反応を取鍋内における出鋼時の溶鋼とスラグのかくはん作用で達成する迅速 two slag 法が採用された。出鋼時に発熱性の脱硫剤を添加することも検討された。一方、酸化期滓を更新せずに強制脱酸してそのまま出鋼造塊する単滓法を採用しうる場合もある。

この間、真空脱ガス装置の導入が広く行なわれ、また最近取鍋内でポーラスプラグを用いて Ar 吹込を行なう方法、VOD 法、ASEA-SKF 法、AOD 法などの炉外精錬技術の開発があり、アーキ炉の還元期、さらには酸化期をも省略し、それを炉外精錬装置へ移行する方向へ進んできた。

このような精錬法の変化によって、UHP 炉の大容量変圧器の時間利用率が増大したので、生産性が向上するとともに設備利用率も高まつた。

(f) 生産性の向上

これまで述べてきた設備面、操業面の進歩により、アーキ炉の生産性は目覚しく向上した。昭和31年に稼働していた炉およびそれ以後昭和34年までに設置もしくは改造された炉の平均の製鋼時間、生産性はそれぞれ32.0 min 26.2 min; 2.0 t/hr, 3.2 t/hr であり、電力原単位は 728 kWh/t, 681 kWh/t であつたが、現在では最新鋭大型炉(装入量約 90 t)の構造用鋼の製鋼時間 110 min 内外、生産性45～50 t/hr, 電力原単位 480 kWh/t 程度と著しく進歩した。

(g) 耐火物、電極

アーキ炉用耐火物と電極も、設備や操業法の進歩とともに進歩してきた。

炉蓋耐火物として古くから使用されているケイ石レンガは、現在でも重要なレンガとして使用されているが、炉蓋寿命延長のため耐火度の高い高アルミナ質や塩基性の耐火物が昭和38年頃から組み合わせて使用されるようになった。現在は大天井塩基性レンガ-小天井高アルミナレンガ+高アルミナ・ラミング材が炉蓋構成耐火物となりつつある。

炉壁耐火物としては早くから耐火度の高い不焼成もしくは焼成した塩基性のマグクロレンガ、マグネシアレンガが用いられてきたが、とくにホットスポット対策として、現在シルレベル近傍にはダイレクトボンドタイプのマグクロや、マグネシアレンガあるいはマグネシア・カ

表 2・2・12 鉬石法と酸素法の製鋼時間と消費電力の比較 (10トン炉)

	構造用炭素鋼		高炭素鋼		構造用合金鋼	
	酸素法	鉬石法	酸素法	鉬石法	酸素法	鉬石法
出鋼当たりの製鋼時間 min/t	22	23.5	23	25	23	24.5
出鋼 t 当りの消費電力 kWh/t	585	650	615	705	605	695

炉頂装入、連続溶解の値(昭和31年4～5月)

ーボンやカーボンレンガが採用されている。さらにその上部には水冷ボックスを使用し、その表面を耐火物でカバーする場合としない場合とがある。

炉床耐火物には、マグネシアクリンカー、ドロマイトクリンカーあるいは両者の混合物を用いているが、スタンピング法は従来の湿式法から乾式法に移行しつつある。

電極は、終戦直後は品質の劣化のため原単位が15~20 kg/出鋼tと悪化した。その後昭和24年頃から輸入石油コークスが利用できるようになり、昭和26年には10~14 kg/出鋼tという戦前の原単位に戻った。昭和28年頃には電極の継手としてテーバード・ニップルが採用され、脱落折損が少なくなり昭和30年頃には原単位は6~8 kg/出鋼tと激減した。その後原単位は横ばい状態になったが、UHP 操業の提唱などがあり、大電流密度に耐える電極(表2・2・11 参照)の国産が切望され米国からの技術導入などもあり、昭和45年頃になつてようやく良質の国産 UHP 電極が出現し始めた。現在4.0 kg/出鋼tに近い原単位が UHP 炉でえられているが、さらに品質の向上が耐火物の分野と同様に切望される。

(4) 直面する課題と将来

アーク炉製鋼の戦後の変遷を、主として生産性向上の

観点で設備面、操業面について述べたが、これらを取りまとめれば、表2・2・13のようになろう。アーク炉製鋼を含めわが国の製鋼は着実な努力の累積によつて進歩向上を続け現在に至つているといえる。アーク炉製鋼においても、いたずらに超大容量を追求するのではなく、わが国にマッチした使い易い容量のものを十分に消化し、改良を加え、きわめて簡素な形で、きわめて高い安定した経済的な競争力を身につけている。しかしながら、原材料エネルギー、環境などアーク炉製鋼をとりまく問題は深刻を加え、将来については楽観が許されない状況である。

アーク炉製鋼の将来に大きく関連するのは、基本的には世界鉄鋼業の一環としてのわが国粗鋼生産の推移である。また、それぞれの製鋼プロセスでの原料、エネルギーの入手可能性、コスト、技術革新、環境対応度などが、相互に密接に関連する。アーク炉製鋼だけの立場でみることは困難であるが、一応の予測を試みる。

1985年の世界粗鋼は10~11億tと予測されていて、このうちでアーク炉によるものは28%という予測例がある。現在の14%が倍になるといふものである。還元鉄を主原料とするミニミルが、鉄鋼発展途上国でとくに増加

表 2・2・13 わが国アーク炉製鋼の設備と操業法の変遷

項 目	'45	'50				'55				'60				'65				'70				'75			
	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68
生 産 性 の 向 上	炉容量の大型化																								
	投入エネルギー密度の増大																								
	炉設備形式の変化																								
	電極制御方式の変化																								
	操業法の変化																								
	省力化																								
	コンピュータ・コントロール 入力電力制御																								
	コンピュータ・コントロール プロセス制御																								
	原料の変化																								
	公害防止																								
公 害 防 止	粉じん対策の変化																								
	フリッカ対策																								
	騒音対策																								
	スラグ・集じんダスト 廃熱処理																								

すること、わが国以外の鉄鋼先進国での平炉鋼リプレースが進行することなどが挙げられている。周知のようにわが国での比率は現在の世界平均を上回る18%で、同じ傾向で増加を続けるかどうかは問題であろう。仮に1985年で25%とみても、わが国の粗鋼生産の減速増産を前提にして、なお現在の約2倍のアーキ炉製鋼量となる。このことは、電源立地が難航している現状からすれば問題であり、原子力製鉄の登場は別として、原子力発電の急速な進展が決定的影響をもつことは必至である。

アーキ炉製鋼における新技術としては、現在の UHP をリプレースするような、たとえば酸素転炉に匹敵する、いわば変身の新技術の工業的登場は予想困難である。アーキよりエネルギー密度の高いレーザー、電子ビーム、プラズマなどのうち、工業的プラズマが AC 10 MW 程度まで開発されているが、大勢は現在のアーキを基調として、UHP の改良、生産性の向上、熱効率向上、操業自動化、付属設備、周辺機器の改良などが進展するであろう。また、電極、耐火物の進歩も過去にそうであつたように将来も密接に関連すると思われる。

電力とスクラップとは、アーキ炉製鋼に致命的影響を持つている。燃料を直接加熱に使用する方が、電力にしてから使用するよりも熱効率が高いはずという意見も見受けられる。製鋼温度以上の高温作業では、熱効率は熱源の温度で支配され、アーキ温度が燃焼温度より高く、熱力学的にアーキ炉製鋼の方が総合熱効率が高い。試みにアーキ炉と平炉とを比較すれば、それぞれに適した条件でやつているものを単純比較することは正確とはいえないが、溶鋼 t 当たり、たとえば 500 kWh の電力消費量は燃料換算約 1.1 Gcal (80% 火力率では約 1 Gcal 弱で、冷材装入平炉のそれよりも少ない。実はこれ以外の大きな差異によつて、平炉は転炉とアーキ炉にリプレースされるのであるが、燃焼所要量だけで比較してもアーキ炉の方が有利である。アーキ炉製鋼自身ではさらに熱効率向上の努力が続けられている。UHP のショートアーキでみられるように、アーキ熱をできるだけ装入原料にむけ、炉壁を不必要に過熱しない方向である。現在アーキ炉製鋼の熱効率は相当に向上していて、これ以上革新的向上の余地は少ないともいえるが、数%の向上をもおろそかにすべきでなく、真剣な努力の積み重ねは大いに期待されるところである。ショートアーキの利点はフリッカにもあり、同じ電力を受電する場合の可能度が增加することは見のがせない。さらに、フリッカレスアーキ炉へのアプローチも開始されるので、フリッカに基因する電力問題の改善が期待される。

還元鉄の工業的生産がようやく軌道に乗つてきた。1980年、1985年の世界生産量予想はそれぞれ64百万t、124百万tとされている。世界全粗鋼のうち還元鉄によるものは約6%に過ぎないが、地域的には大いに事情が異なる。わが国では省エネルギー、固形廃棄物の有効再利用の見地から、アーキ炉製鋼の主原料は屑鉄であり、還元鉄使用量は、屑鉄不足量、屑鉄価格安定効果の限度内であろう。現在還元鉄安定入手について具体化が進められている。一方還元鉄によるアーキ炉製鋼技術の普及向上も期待される。還元鉄連続装入は生産性、操業自動化、電力負荷率フリッカなどに利点があり、さらに、還元鉄

連続併用 UHP 炉の普及も期待される。

粗鋼 1 t に要するトータルエネルギーの見地から、アーキ炉製鋼は将来とも重要な製鋼プロセスである。

最後にアーキ炉製鋼の期待される将来像として、ミニミルと原子力製鉄とを挙げたい。ミニミルの一般の定義として、アーキ炉、連続鑄造、棒鋼圧延機よりなる年間生産40万t以下とされているが、最近では狭幅板圧延機を加えたり、発展途上国では還元鉄プラントを単独または共同で含めることもある。連続製鋼化も考慮されている模様である。資源のある発展途上国とそうでない途上国では事情が異なるが、今後ミニミルは急速に発展するとみられ、わが国が将来国内だけでなく、海外のミニミルにソフトを含めた協力を促進することが予測される。

原子力製鉄は既にナショナルプロジェクトとして推進されつつあり、製鋼のトップランナーは還元鉄連続装入 UHP アーキ炉であり、この場合のアーキ炉は超大容量が望ましい。400 t 級の UHP については、既に製作可能であり、操業技術も基本的には確立しているのので、アーキ炉製鋼の立場から、高温ガス冷却炉の核熱による還元鉄生産の早期実現を待望してやまない。

2.3 連続鑄造法

2.3.1 連続鑄造法の位置

(1) 最近における鋼の連続鑄造の発展

すでに広く知られているように鋼の連続鑄造の着想は H. BESSEMER の提案が最初とされており、これはすでに100年以上も前のことになる。その後数多くの着想の具体化が試みられたが、鋼の連続鑄造が本格的に工業化されたのは近々10数年来のことであり、さらにこれが近代的な鉄鋼製造技術の一翼を担つて量産設備として普及し始めたのは僅かに数年来のことである。最近における本法の発展過程を特にわが国を中心に見ると次のとおりである。

(a) 生産量

まず連続鑄造によつて生産された鋼量の増大経過は図 2.3.1 に示すとおりである。すなわち世界における連続鑄造鋼の生産比率は1960年代後半から逐年増加し、1970年には全粗鋼のほぼ10%に達した。その後も逐次増加し、1973年にはほぼ15%に及んだものと推定されてい

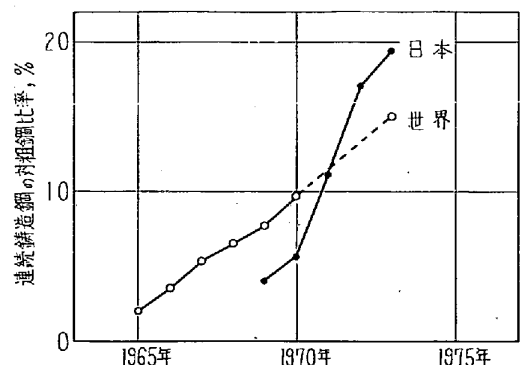


図 2.3.1 連続鑄造鋼の普及経過