

技 術 資 料

最近に於ける製鋼用電気弧光炉の進歩

林 達 夫*

RECENT DEVELOPMENT OF ELECTRIC ARC FURNACES FOR STEEL MELTING

Tatsuo Hayashi, Dr. Eng.

Synopsis:

The author put together the researches on recent development of operation and construction of electric arc furnace for steel smelting.

The steel production by an electric furnace in 1953 in Japan was about 1,300,000 tons and was only about 60% of the maximum production during the war. In the United States about 8,160,000 tons was produced, which was about 5 times of the production in 1940, and the production is still increasing now.

The production increase in the United States was due to the adoption of rapid smelting process by bulky high-voltage electric power and also the reduction of production cost by using large capacity electric furnaces. Thus electric furnace process can compete with open hearth process and was used not only for alloy steel smelting but also for carbon steel smelting very widely. The production of rapid process smelting furnace was recently made possible here in Japan because of the technical cooperation with Pittsburgh LECTROMELT FURNACE CORPORATION. These furnaces were already installed at several plants and obtained very good result. The author explained the technical progress of production method of electrode for electric furnaces and transition of refractories. He also made an research on the progress of operation method, especially on oxygen smelting process, electric power and heavy oil combined process and induction stirring process. Lastly he made study on economical problems of electric furnaces based on expenses incurred for various production unit.

I. 緒 言

終戦によつて日本の工業界は一時潰滅状態に陥つたが其の後着々と復興の途を辿り既に戦前の生産を凌駕する分野も少くない。然るに電気炉業界は鉄工業特に兵器生産の減退による特殊鋼需要の沈滞の為、其の発展が非常に後れ、漸く最近に至つてアメリカの最新技術の導入が可能となり、迅速溶解炉の設置が行われ始めた。設置せる数社の実績は非常な好結果を示しているが、アメリカにおいては、既に 100t を越える迅速溶解炉の製造が次々に行われ、平炉と経済的に充分対抗し得る様になり、電気炉は特殊鋼のみならず普通鋼分野にまで広く使用され始めた。従つて我が国及び諸外国の進歩の状況を調査し併せて製鋼用電極と耐火材の状況について述べ、操業法特に酸素製鋼法、重油製鋼法、誘導攪拌等について検討し最後に電気炉の熱精算についての研究結果を紹介し各種電気炉の原単位の実状を調べ、電気炉の経済性に

いて検討を加え電気炉の今後進むべき方向を示した。

II. 電気炉鋼の生産

我が国電気炉鋼の生産は昭和 18 年度 220 万 t を最高とし、昭和 20 年度は終戦によつて 60 万 t に急激に減少した。その後逐次増加の傾向を辿つたが、未だ戦前最高生産量の約 60% に過ぎない。然るに鉄鋼全体の生産量は終戦によつて極度の低下を示したが現在既に戦前の生産を凌駕する状況より見て、電気炉鋼特に特殊鋼の需要が戦時程旺盛でないことを示すと同時に電気炉の普通鋼分野への進出が未だ充分行われていないことを物語つている。此等の関係は Fig. 1 の如く、電気炉鋼の生産は全鉄鋼生産量の 17% を示し、その内 60% が特殊鋼、40% が普通鋼となつている。

然るにアメリカにおける電気炉鋼の生産状況は Fig. 2

* 大同製鋼株式会社常務取締役 工学博士

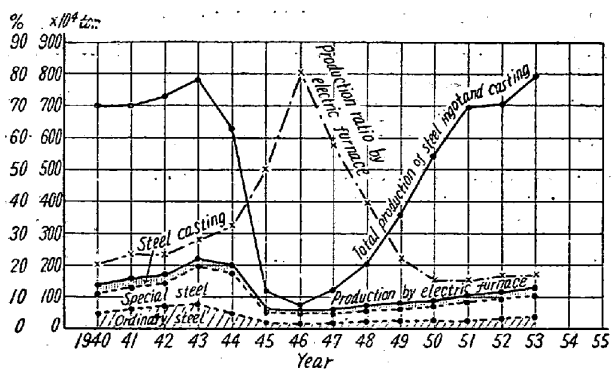


Fig. 1. Annual production of electric furnace steel in Japan

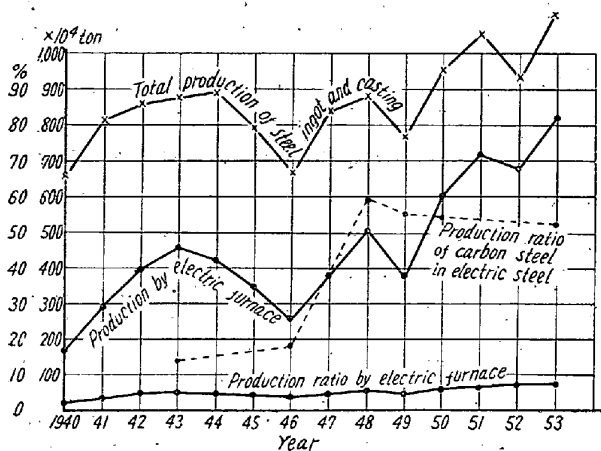


Fig. 2. Annual production of electric furnace steel in U.S.A.

の如く逐次増加の経過を辿り、1913年には3万tに過ぎなかつたが²⁾、1951年には700万tを³⁾、1953年には800万tを突破するの状況となり、電気炉鋼の全鉄鋼生産量に対する生産比率も1938年には1.8%に過ぎなかつたが1942年大戦の開始によつて約5%に上昇し、1948年以降炭素鋼が電気炉によつて経済的に生産されるに至つて6~7.5%の多きに達した。これは後述する如く、35,000KVA級の大型電気炉の稼動に起因するのであるが、いずれにしても、鉄鋼全生産量の増加の割合を見るに、1953年度の実績は1940年度の170%に過ぎないが、電気炉鋼の生産増加率は480%という驚くべき数値を示し、尙今後電気炉鋼の生産は上昇の傾向を示している。今主要鉄鋼生産国の全粗鋼生産量に対する電気炉鋼生産比率を示せばTable 1の様である⁴⁾。

Table 1. Production percentage of electric furnace steel (1952).

Japan	U.S.A	Germany	Italy	Sweden
16.5%	7.0%	11%	46%	41%

III. 電気炉設備

我が国に設置せられた製鋼用電気弧光炉の数は、大正末期迄に約20台、昭和12年支那事変開始当時は約200台にして、其の後の増設は極めて著しく、昭和13年には98台、14年には67台、15年には50台という様に逐年急激なる増加を示し、昭和21年には合計615台に達したが、終戦と同時に増設は完全に止り⁵⁾、大半が遊休の状態となり、その内将来稼動の見透し無きものは逐次廃止され現在においては516台310万tの生産能力を有し、内403台246万tの常時生産能力を有する状況である⁶⁾。此等の状況をFig. 3に示す。現在1基当りの平均容量は6t、2200KVAであり其の稼働率は僅か3%である。

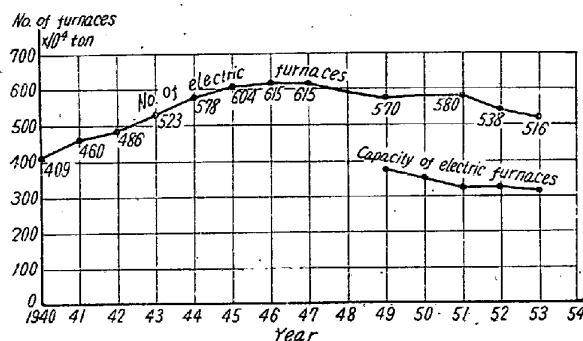


Fig. 3. Number and capacity of electric furnaces in Japan.

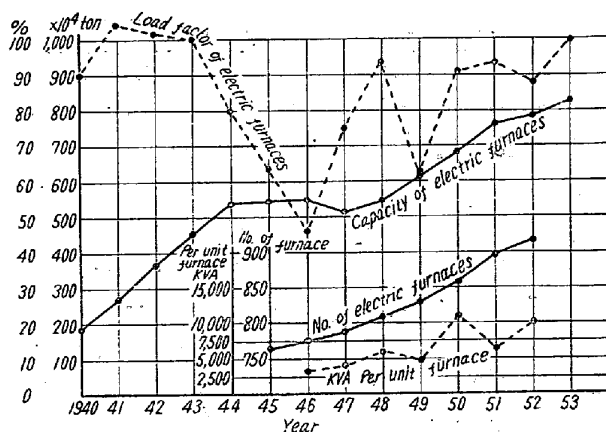


Fig. 4. Electric furnace capacity in U.S.A.

アメリカにおいては、Fig. 4の如く、設備台数及びその1基当りの電気設備容量は逐年増加の傾向を辿り、特に1949年以降の増加率は目醒しい発展を示している⁷⁾。特に注目すべき点は、1基当りの容量が逐次大きくなり、最近増設されるものは、平均35t級10,000KVA程度になつてゐることと、設備容量830万tに対しその実生産量は820万tを示し、全設備が十分に稼動していることである。アメリカにおける電気炉の稼

動率は景気によつてその変動が極めてはげしい。又景気の変動によつてその生産量を容易に調整し得ることが電気炉の大きな特長でもあるが⁴⁾日本の如く稼働率3~6%ということではなく、鉄鋼景気の最も悪かつた終戦直後の1946年においてすら46%という数値を示し大体において90%の線を維持しているのである。

IV. 電気炉の容量

日本における大型電気炉の建設状況は Table 2 の如く、呉の30t 炉を最大とし、昭和19年以降はこれ以上の大容量の炉は設置されていない。最大設備台数保有時の炉容量内訳は Table 3 の様である。

Table 2. Records of construction of the large capacity furnaces in Japan.

Year	Fce capacity (t)	Location
1927	10	Daido Steel Co.
1932	30	Kure Navy yard.
1933~34	20	Nagasaki Steel Co.
1941	"	Yawata Iron & Steel Co.
1944	"	Nippon Steel Tube Co.

Table 3. Number of arc furnaces arranged for different capacity.

Capacity (t)	<1.0	1~3	3.5~5	5~8	10~12	15	20	30	Total
Number	22	344	104	72	53	12	7	1	615

(日本鉄鋼会調査部 1948年5月1日発行資料)

Table 4 Records of construction of the large capacity furnace in U.S.A.

Year	Furnace capacity	Location
1916 (大正5年)	25(t)	Illinois Steel Co.
1918 (" 7)	40 t (18'径)	Charleston Navy Yard
1925 (" 14)	40 t (16'6"径)	Timken Roller Bearing Co.
1927 (昭和2年)	100 t (楕円形)	"
1932 (" 7)	80 t (20'径)	"
1936 (" 11)	100 t (20'径)	"
1952 (" 27)	125 t (22'径)	—
1954 (" 29)	150 t (24'径)	Fabriquede Fer de Charleroi
1955 (" 30)	200 t (24'6"径)	Mclouth Steel Co., Detroit

欧米各国における大型炉建設の記録は Table 4 の如く⁸⁾、既に1936年に100t 炉の建設を行つている。し

かし、それまでの炉は総て側部装入方式であつて、電気炉の特有な高能率性を充分發揮することは出来なかつた。大型電気炉はトップ、チャージ方式特に天井のスイッチング方式による炉体構造が確立されて以来、高能率な熔解炉として他炉の追隨を許さない絶対的なものになってきた。即ち、1941年頃迄はトップ、チャージし得る電気炉の径は14ft 位迄しか出来なかつたが、その後16ft となり、1950年には18ft、1952年には20ft 及び22ft の電気炉の製造も可能となり、Timken 社に20ft 炉3台の建設を見た。1951年 C. F. Ramsyer⁹⁾氏は23ft 径132t 炉は時代の要求に依り当然近き将来には建設されるべきであり又構造上可能であるとして幾多の設計資料及び操業予想を提供したが、翌1952年には22ft 径の炉が作られている⁴⁾。Frank W. Brooke¹⁰⁾氏は現在の様な3本電極のトップ、チャージ式の炉は、その構造上の点から見て20~22ft 径までであると述べているが、最近24ft 径と24ft 6in径の炉が出来る予定になっている⁸⁾。この辺が最大限度であろう。しかし製鋼工場の製鋼単位かういうと、過去の平炉容量増加の足跡から推測して240t 位の容量のものが最も好都合であるので電気炉も此の容量までは大きくなるであろう。斯様に大きくなつた場合は、現在の様な3本電極楕円形炉とし炉体と電気設備は同一台の上にあつて一緒に傾動し、炉体移動式のトップ・チャージ方式とすべきであるとして独創的な設計構造を発表している。又 J. J. Bray 氏¹¹⁾は電氣的な各種諸元の性質を解明し、電弧一つ当りの入力力は4,000~5,000 KW が最高であり、それ以上流しても損失が極めて多くなり非能率となるので、この意味から炉の最大容量は150t 位が限度であろうと述べている。

イギリスにおいて現在稼働している最も大きい電気炉は35t 7,500KVA であるが、1954年中には、60t 15,000 KVA の炉が稼働する予定である¹²⁾。

V. 炉体の構造

(a) 炉殻の高さ

エルー炉は初め側壁の高さが非常に低かつたが、1935年頃から製鋼量が急激に増加した為、優良なる鉄屑が少なくなり漸次嵩張つた軽量屑が使われる様になつてきた。トップ・チャージ方式の炉において追加装入を行うことは熱損失が大きいので必然的に炉の内容積を大きくする様になつてきた。この為炉壁煉瓦は多くいるが天井の寿命は長くなり全熔解時間は却つて短くなつた⁸⁾。最近における炉の高さを従来の炉に比較すれば Fig. 5 の如

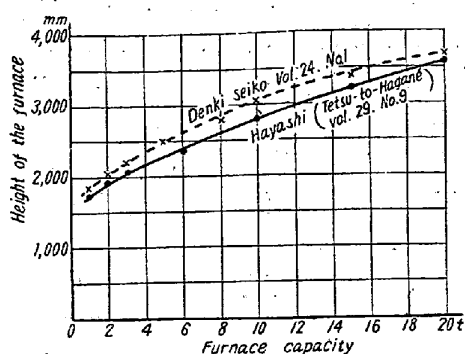


Fig. 5 Relationship between electric furnace capacity and its height.

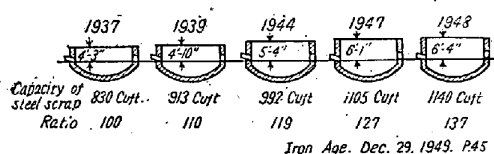


Fig. 6. Change of electric furnace height with 16ft. diameter.

く、大型炉例えば 16ft 径電気炉の高さの変化の状況を示せば Fig. 6 の様である¹³⁾¹⁴⁾。又最近は炉の内容積を増し且つ炉耐火材の寿命を延す為に円錐形の炉殻が作られる様になつた。一般に炉殻を高くする傾向はアメリカよりヨーロッパで使われるものの方が顕著である⁹⁾。その1例を示せば、10年前の 4t 炉の側壁の高さは 38in であつたが今日では 49in となつて 29% 内容積が増し、数年前の 10t 炉は 60in であつたが今日では 76in となり内容積は 32% 増加した。又 1945 年の 20t 炉は 70in であつたが今日のものは 93in となつて 33% 高くなつている¹²⁾。

(b) 炉体の加工法

炉殻は従来リベット付であつたが段々熔接構造となり最近では炉脚その他の鋳物迄熔接で作られる様になつてきた。しかし極めて大型の炉では炉殻の膨脹収縮を緩衡する為に2つ又は3つのグループに分けてボルト締めにする様に作られている。

(c) 装入方式

炉の容量が大きくなるに従つて手装入から樋装入、機械装入、炉頂装入と順次進歩してきた。天井に孔をあけて樋で装入する方式は 1916 年から、炉体を傾けて樋で装入する方法及び装入機によつて機械的に装入する方法は 1918 年から行われている。Tea-Pot 型のトップ・チャージ方式は 1911 に、炉体移動式は世界大戦直後から、スウィング式のトップ・チャージ方式は 1921 年特許となり 1927 年から実用化された。天井がガントリー上を移動する型式のトップ・チャージ炉は 1914 年既にヨー

ロッパで試作されていたが実用化されたのはアメリカにおいて 1937 年からである。又変つた方式として 1923 年 Swindell 社は天井及び送電設備一式につき ターンテーブル上に 2 台の炉殻を置いてこれを交互に使用することによつて送電時間の空きを無くし好成績を納めた例がある。

此等各種のトップ・チャージ方式が各所で作られる様になつたが、その内最も迅速にして能率的であり、且つ震動が無くで炉耐火材を傷めない方式はスウィング式であり、最近設置されるものは殆んど本方式のものである⁹⁾¹⁵⁾。トップ・チャージ方式の炉は手装入炉に比し約 30% の生産増加となり⁹⁾、その上大きなスクラップの使用が出来、湯溜りが早く出来る為に炉床の掘れ方が少く天井開放の時間は非常に短くて操業中弧光に直射されることが少いので天井、炉壁の寿命が比較的長い。

我が国においては従来、トップ・チャージ方式は総てガントリー式か炉体移動式に限られていたが、昭和17年大同製鋼株式会社アメリカ、レクトロ電気炉会社と技術提携するに及んでスウィング方式を採用し電気炉の能率を非常に向上せしむるに至つた¹⁶⁾。

トップ・チャージ方式の大型炉への応用が従来非常に困難視されていた為に炉容量の増大には或る程度の制限があつたが、このスウィング方式の機構的な問題が解決されるに至つて、逐次本方式による大型炉の出現を見、現在においては 24ft 6in, 200t 炉まで作られる様になつた。

(d) 炉体の回転

炉体を水平面で或る角度(左右約 30°)回転させて電弧の発生位置を変え、熔解時間を短縮すると共に精錬期においては各部の温度を均一ならしめ化学反応を促進せしめようとする構想の炉はアメリカにはないが、イギリスには 2~3 台現在稼動しており、我が国においても大同製鋼にて戦時中製作され稼動していたが、本方式の炉が操業上及び経済上極めて優れているという事は未だに実証されていない¹²⁾。

(e) 電極把持方式

電極把持の方式は従来、鎖締付方式か又は楔による締付方式が採用されていたが、いずれも高温の炉蓋上において電極の締付操作を手動にて行わねばならないので充分なる締付圧力が得られず、従つて接触圧力の不足による操業上の欠陥が頻発し、労働強化ともなつていたが、1937年空気操作による制動型締付方式が採用されるに至つてこれが標準型となり、現在においては、欧米各国の炉は殆んどが本方式を採用しており、我が国においても

大同レクトロ炉は本方法を採用し好評を博している。これには2つの方式があつて、制動片が常時は強いスプリングで締付けられており、圧縮空気を送つて緩める方式と、常時は圧縮空気で締付けられており、緩める時には空気の圧力を減らしスプリングの力を利用する方式とがある。現在一般に使用されているものは前の方式である²²⁾。

(f) 電極調整装置

電極の自動調整方式としては、バランス・リレー方式電磁弁方式、回転機方式、油圧方式の4種類がある。従来は電弧電流及び電弧電圧によつて作動するバランス、リレーによつて電極昇降用電動機を駆動し電弧電流を調節する方式が最も広く一般に使用されておつた。がリレー接点の保守が面倒でしかも高価につくことと、電極昇降機構の慣性即ち応動性の点において充分ではなかつた。大同メタル式電気炉はリレーの代りに電磁弁を使用して電極昇降用水圧シリンダーを動かす方法を採用してリレー方式の欠点を除去したが圧力水の処理と各種操作弁の保守に問題が残された。1940年 Allis-Chalmar 社は相電流と電弧電圧によつて作動する回転式可変電圧調整装置を完成して Regulex 方式と命名し、同年 G.E 社はこれを Amplidyne 方式として商品化した。1942年 Westinghouse 社はこれを電極の自動調整装置に應用して Rototoral 式調整方式を完成した。此等は何れも可動接点を有せず極めて応動が早い為に操業能率は向上、保守は極めて容易となつた。例えば従来方式の応動時間は約 10 秒 (約 0.17 秒) を要したが本方式によれば約 2 秒 (0.034 秒) にて足り電弧電流の変動率を3%程度に止めることが出来る様になつた。これは勿論電極調整機構とその使用器具設計技術の向上によるものであつて、特にその一連の機構に貯えられるエネルギーが最少になる様に、昇降用電動機の手数は出来るだけ遅く、そのローターの直径は小さく小容量とする様に考案された為である¹⁷⁾。アンプリダイン方式は磁気増巾装置 (アンプリスタット)¹⁸⁾¹⁹⁾と併用することにより一層その効果を發揮し電気炉の操業成績に極めて好い結果を示している²⁰⁾。

最近スウェーデンにおいて、電弧電力によつて作動する Servo Motor によつて油圧弁を働かし、電極昇降用油圧ピストンに圧力を加える電極調整方式が考案せられた。尙これに補助の Servo Motor を取付けてその調整を円滑ならしむる方式が完成された²¹⁾。がその作動が断続方式である為にアンプリダイン方式には及ばない。しかしアンプリダイン方式と Servo Motor 方式とを結合

させることによつて、連続作動とし、ロープその他を無くして応動時間を極度に少なくする方式が最近確立されて好結果を示している²²⁾。又 Westinghouse 社は最近、常に最大電力を自動的に供給し得る装置として Optimelt Control 方式を考案し²³⁾ 70t, 20ft 径, 12,000KVA 炉に應用して電力原単位を低下し生産量を増加し得た実例を示している²⁴⁾。

(g) 電纜及び二次導体

変圧器二次母線から電気炉への可撓電纜及びそこから電極迄の二次導体は、電気炉及び変圧器容量が大きくなるに従つて、リアクタンスと二次銅損も益々大きくなるので特殊な考慮が払われ始めた。これ等の長さを出来るだけ短くすることは勿論であるが大電流を流す為に、電纜は繩状に撻つて取付れたり、中空電纜を使用して導電性を向上せしめたり或いはこれをゴムホース中に入れて水冷又は空冷する方式が採用され始めた。従つて従来 800A/口" に過ぎなかつたものが水冷することによつて 2400A/口" に上昇することが出来²⁵⁾、24"電極50,000A の電纜も容易に出来る様になつたが水洩れの点等尙技術的に解決しなければならない問題が残つている¹²⁾。

二次導体は特に小型のものを除いては殆んど総てが円形中空水冷銅管を使用し、導電能力を増加し、銅の使用量を節約して設備費を少くし、電極支腕を軽量にしてその動作を軽快ならしむる様考慮せられる様になつた。

(h) 電気炉の除塵及びヒュームコントロール

最近酸素製鋼法が採用されるに至つて製鋼工場における塵埃の問題は特にやかましくなつてきた。小型の電気炉でも t 当り 100~160m³ のガスを発生し、殆んどが 3μ 以下の微粒であつて、t 当り 5~8lbs の塵埃を飛散させているのが現状である²⁶⁾²⁷⁾。此等のガス及び塵埃は電極及びその保持機構を傷めるのみならず熱の損失ともなり且つ又従業員の衛生管理の上からも看過出来ない重大な問題となつてきている。欧米各国においては各発生ガス中の塵埃の量は凡 1g/m³ を越えない様にとの制限をしている所が多く、この制限は今後益々厳しくなつてくるので、逐次収塵用フードが取付けられる様になつてきた。収塵の方法としては炉上に電極孔をあけた大きなフードを取付け、出鋼口や出滓口の真上には別のフードを取付けこれ等を一緒にして排気扇で室外に吸引し除塵する方法と小さいフードをいくつか取付けてこれを中央の主管に連結し室外に吸引し除塵する方法とがある。しかしガス吸引の方法、ガス中の塵が 1μ 以下の極めて微細な粒子であること²⁸⁾、その上吸引ガスが高温であること等の為に尙問題が残されているので、未だ一定の基

準とはなっていないが、標準型電気炉の 25t 級程度迄は一応 American Air Filter Co. の標準型フードが作られている²¹⁾。屋外に排出されたガスは水洗除去する (Roto-Clone 式) か噴霧水を逆流させて冷却除塵するか或いは静電的除塵法等によつてその大部分を除き清浄なガスとして大気中に放出されるのである。斯様なフードが製鋼工場一般に普及実施されることによつて製鋼工場は機械工場なみの楽しい清浄にして快適な職場と化する日も程遠くないことと思う。

VI. 電気炉用変圧器

(a) 容量

時間当りの溶解能力を増加する為に変圧器容量は益々大となり、大電力高電圧迅速溶解法が採用される様になつてきた。此等の関係は Fig. 7 の如く、最近アメリカ

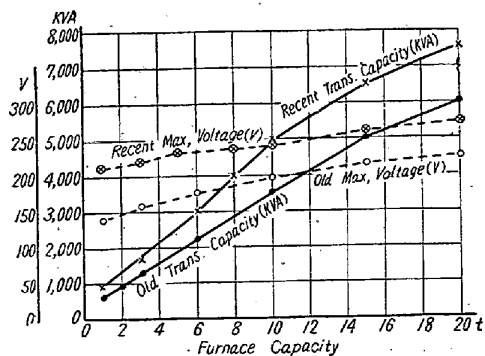


Fig. 7. Relationship between furnace capacity, transformer capacity and maximum secondary voltage.

の技術導入が行われるに至つて此の傾向は特に顕著となつてきた。アメリカにおいて使用されている変圧器容量の増加の状況を拾つて見れば Table 5 の如く次々と大容量変圧器に取替えられつつある。従つて大容量変圧器の製造記録も次々と樹立され最近においては 36,000 KVA 迄作られている。これ等の状況を年代別に示せば Fig. 8 の如く³⁰⁾、最近における炉の容量と変圧器容量との関係を示せば Fig. 9 の様である。変圧器容量を大きくすることによつて時間当りの生産量が増し原単位が

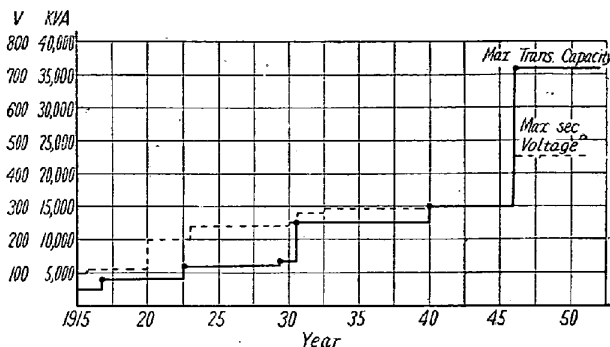


Fig. 8. Change of furnace transformer capacity and secondary voltage.

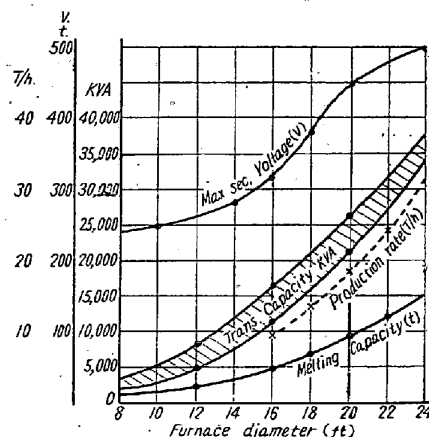


Fig. 9. Relationship between furnace diameter, its capacity and transformer capacity etc.

低下するのみならず、KVA 当りの電気設備費も Fig. 10 の如く大巾に割安となつくる。我が国においても従来 2400KVA にて操業されていた 8t 炉を 4000KVA の変圧器に取替えることによつて非常な好成績を納めた例がある²⁰⁾。

(b) 二次最高電圧

電気炉の負荷能力を増す為単位炉容量当りの変圧器容量は逐次増加してきたが、電流量を増すことは二次導線及び電極の太さ並びに電流密度の関係から一定の制限があり、且つ二次側抵抗損失及びリアクタンス・ドロップを増加する為必然的に二次電圧を上昇する様になつてきた。二次最高電圧の従来と現在との比較を示せば、

Table 5. Change of transformer capacity

Dia of furnace shell (ft)	13	16.5	17	18	20	22	24	24 ¹ / ₂
Furnace capacity (t)	20	50	55	70	90	125	150	200
Old transformer capacity (KVA)	6,000	10,000	10,000 ~12,000	10,000	16,000	—	—	—
Modern transformer capacity	20,000	16,000	25,000	16,000 ~18,750	20,000 ~25,000	36,000	25,000	25,000 ~33,333

2)4)8)9)10)29)35)

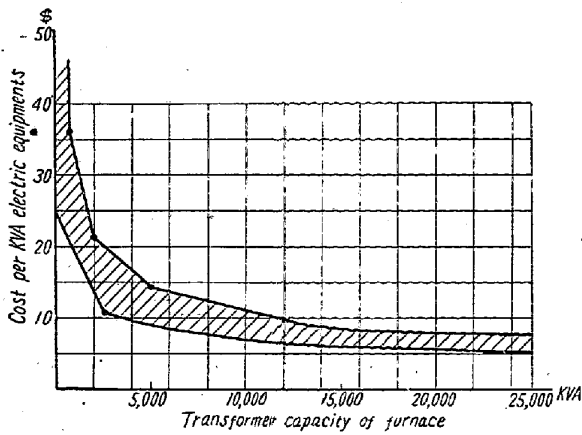


Fig. 10. Cost per KVA electric equipments.

Fig. 7 の如く、アメリカにおける使用最高電圧の経過、炉容量と使用最高電圧との関係を示せば Fig. 8, 9 の様である。即ち 20,000KVA では 400V, 25,000KVA では 450V, 36,000KVA では最高 560V が使用されている。

(c) 冷却方式

現在日本においては一般にラジエーターを取付けた自然空冷式が多く採用されているが最近における変圧器容量の増加に伴い強制通風冷却方式或は変圧器内の油を送油ポンプによつて外部に環流させ、これを水冷する送油冷却方式が逐次採用され始めた。欧米各国では一般に水冷式が採用されているが最近は送油冷却方式に変わりつつある¹⁷⁾。この方式は水洩れの心配なく、小型で操業費が安く、変圧器内の温度分布が極めて均一であるということが特長である。

(d) タップ・チェンジャー

タップ・チェンジャー機構は一般に変圧器内及びその側部に取付けられており、遠隔操作で油入遮断器とインターロックされているのが普通である。しかし最近では負荷時電圧調整装置の機構設計の進歩により本方式が大型電気炉用変圧器に採用され始めた。特にスプリングを利用したキャンセン式負荷時切替スイッチは¹⁸⁾短絡電流制限用に抵抗を用い、スプリングに蓄積されたエネルギーを利用し一挙に切替を完了する極めて信頼度の高いもので、切替に要する時間は約 0.04 秒以内の短時間に行われるものである。アメリカでは本方式の変圧器は未だ作られていないが欧州諸国では既に此の方式の変圧器が多く作られており、最近作られた 10,000KVA 及び 15,000KVA の変圧器も本方式が採用されている¹²⁾。

(e) リアクター

一般に 7,500KVA 以下の変圧器は、電纜、二次導体電極等の固有リアクタンスのみでは規定電流の 2~2.5

倍に及ぶ熔解初期の脈動電流を押しることが出来ないので普通変圧器容量の約 20% 容量のリアクタンスを変圧器一次回路に直列に入れ、これにタップを設けて、熔解電流が安定するに従つて逐次回路からこれを取外す方式が採用されている。リアクターは別置にすることもありますが価格及びスペースの関係から変圧器に内蔵するのが普通である。このリアクターの操作を上手に行わないと脈動電流によつて送電系統の電圧変動を来して一般家庭に迷惑を及ぼし、又過度にリアクタンスを入れておると炉の力率を悪くし操業時間の遅延を来し非能率な操業となる。

(f) その他

温度指示計、吸湿型呼吸器の外サイフォン型の水分及び炭化物を除き常に一定耐圧度を保持する様に働く油処理機等が最近の変圧器には取付けられており、又油面には窒素ガスを封入して絶縁油の劣化を防止する方法が採用されている。

VII. 其の他の電気設備

(a) 油入遮断器

電気弧光炉における電弧電流は脈動がはげしく、特に熔解期は電極と鉄屑との接触による電弧の短絡が極めて頻繁に起るので回路保安の為充分頑丈にして安全な遮断器を設置しなければならない。例えば或る鑄物工場では週に 400~500 回、或る鋼塊用電気炉では週 100~150 回の如く¹²⁾又月間 3000 回の遮断をしている例もある。従来一般に使用されているものは油入電動又はソレノイド式遮断器である。斯様に炉用遮断器は使用頻度が極めて甚しい為に月に少くとも 1 回は接点の手入れと油の澆過を行い、接点は 6 ヶ月毎に、油は 18 ヶ月毎に取替えなければならない煩雑さがあるので逐次、次記気中遮断器に移行する傾向にある。

(b) 空気吹付気中遮断器

油入遮断器は保守が面倒であり、維持費が高み且つ操業の安全性が低いので最近の大容量の炉に対しては空気吹付気中遮断器が使われる様になつてきた。これは最近 400 MVA 以上のものも設置されており、その保守は極めて容易であり維持費が安く安全度も高いので今後電気炉回路用遮断器としては益々多く使用されることと思う。價格的にいつても 250MVA の高電圧遮断器は油入式より気中式の方が安価である。

又最近では電気炉回路の定格電流の 2~2.5 倍に達する電弧の脈動的な短絡電流を遮断するには保守の容易な気中式遮断器を使用し、送電線回路につながる変圧器その

他の事故による過大電流防止用には大容量の油入遮断器又は気中遮断器を使用するという選択遮断方式が採用され始めた⁷⁾。

(c) キャパシター

電気炉内に発生する電弧電力が最大になる様な回路常数の場合の力率は 70.7% であるので³²⁾、変圧器入力側にキャパシターを挿入し力率を 85~90% に上げ好成績を示している例もある。

VIII. 電 極

朝鮮に良質な天然黒鉛を多量に生産するのでこれを原料としての天然黒鉛電極工業が生れ、日本の製鋼業の初期は主としてこれが使われていたが、その後レトルト・カーボンや石油コークスを原料とする人造黒鉛電極の製造が始まった。しかしこれ等の原料は入手が困難な為に家庭燃料として一般に使われているピッチコークスを原料とする研究が行われ昭和 3 年頃から実用化され、我が国独自の進歩の過程を辿ってきた。

終戦直後、昭和 21~23 年頃は国内におけるピッチコークスの生産が戦時中の 15% 程度に減少し、その上品質が非常に悪くなったので、それによつて作つた電極はその消耗量がはげしく、使用原単位は戦前の 140% 又はそれ以上の増加を示し電気炉業界の大問題となつた。即ち当時作られた電極は電気伝導度が高く(比抵抗 0.001~0.0015Ω-cm)且つ耐スポーリング性が乏しかつた。機械的の強度はポール材は一応の値を示していたがニップル材は弱く、製鋼炉における消耗は電極先端からの剝脱とニップル折損及び表面酸化によつて起りこれらが極めて甚しかつた。

昭和 23 年 3 月、此等の状況を打破する為に電極対策委員会が設立され、種々調査検討された結果、日本製電極の品質が米国品に比較して著しく劣つている原因は使用原料コークスの相違にあることが判明したので、昭和 24 年より米国の Great Lakes Carbon Corp. の石油コークスを輸入することとなり、その後国内産ピッチコークスはこの輸入 G. L. コークスに全面的に切り替えられた。この結果電気伝導度において最も効果が顕著に現われ、製品の比抵抗は 0.0008~0.001Ω-cm となり約 30% の向上を示した。又耐スポーリング性の増大に努力すると共に黒鉛化度の向上と相俟つて電極の消耗率は逐次向上の一途を辿り昭和 26 年には戦前の 10~14kg/出鋼 t に減少した。

電極の継手螺子をテーバードニップルにする研究は昭和 25 年頃から始められ、昭和 26~27 年の 2 ヶ年有余

に亘る試作及び試験研究の結果その成績良好にして多量生産の見透しも出来たので各メーカー共、昭和 28 年より本格的生産に入り現在では全需要の 50% がこのテーバードニップルに切り替えられた。この為電極の継ぎ足し作業は容易となり、脱落と折損は無くなり接続部の抵抗は非常に少なくなつた。又最近は従来の円筒形ニップルとテーバードニップルを合せて両者の利点長所を生かそうとした考案³³⁾も出る等電極加工面の技術が進歩した。

此等電極加工面の進歩、品質の改善加うるに電極製造技術と使用技術の進歩によつて現在においては電極の原単位は 6~8kg/出鋼 t に激減し 5kg 台の成績を示している所も現われた。

我が国における電極生産の状況は Fig. 11 の如く、昭

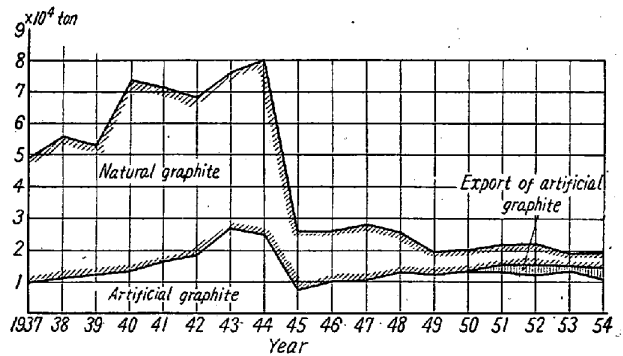


Fig. 11. Yearly production of electrode

Table 6. Present production capacity of electrode³⁴⁾

Artificial graphite electrode		Natural graphite electrode	
Capacity of equipments	Actual production capacity	Capacity of equipments	Actual production capacity
35,000t	26,000t	49,900t	34,900t

和 26 年現在における電極製造設備能力は Table 6 の様である。尙人造黒鉛電極の太さは昭和 5 年には 8in が最大であつたが逐次大きいものが出来る様になり昭和 9 年には 18in の製造に成功し現在においては 28in 迄製造が可能である。

アメリカにおいても、70t, 90t, 125t と逐次電気炉の容量が増加するに従つて、炭素電極は下火となり太い人造黒鉛電極の需要が増大しその製造技術が進歩した。即ち 1937 年(昭和 12 年)には 20in の電極が出来、1947 年(昭和 22 年)には 30in 迄製造され、電流容量は増加しテーバード・ニップル等加工技術面においても長足の進歩を示した。内外各社にて製造されている電極の特性を比較すれば、Table 7 の様であり電気炉の大きさと

Table 7. Characteristics of artificial graphite electrode.

Maker	Dia (in)	Porosity %	Apparent density	True density	Specific heat Kcal/kg/C	Heat conductivity Kcal/m h °C
Acheson	16	37.14	1.395	2.22	—	91.1
G. L. Carbon Corp.	3~30	26.4~31.7	1.53~1.65	2.24	0.45	96.7~126.5
Int. Graphite & Electrode Corp.	3~30	21~32	1.50~1.75	2.21~2.25	0.166~0.390	54~129
Showa Denko Co.	3~20	25~31	1.55~1.65	2.0~2.23	0.30~0.45	90~130
Nippon Carbon Co.	"	25~29	"	2.2	—	110
Tokai Electrode Co.	"	23~31	1.50~1.70	2.15~2.25	—	90~130

Maker	Coeff. of thermal expansion $\times 10^{-7}$ cm/cm°C	Specific resistance $\times 10^{-4}$ Ω cm	Bending strength kg/cm ²	Tensile strength kg/cm ²	Compress strength kg/cm ²	Young's modulus kg/mm ²
Acheson	—	12.9	88.1	26.0	117.3	466.9
G. L. Carbon Corp.	16.0~20.8	8.38~9.65	73.8~200	36.9~70.3	—	492~844
Int. Graphite & Electrode Corp.	35.2~73.6	6.3~11.3	70.3~281.2	—	210.9~351.5	422~2100
Show Denko Co.	20~35	9.0~10.5	110~180	35~80	—	450~850
Nippon Carbon Co.	22	9~10	120~200	50~90	250~350	600~900
Tokai Electrode Co.	18~27	8~12	100~200	30~70	—	400~800

Table 8. Relationship between furnace diameter and electrode diameter.

Dia of furnace (ft)	8	9	10	11~12	13~14	15~16	18~20	22~24/1/2
Dia of electrode (in)	8	10	12	14	16	18	20	24
Transformer capacity KVA	1,000 ~2,000	2,000 ~3,000	3,000 ~4,000	5,000 ~6,000	6,000 ~7,500	10,000 ~16,000	16,000 ~25,000	25,000 ~36,000

使用電極との関係は Table 8 の様である。

IX. 耐火材

(a) 天井煉瓦

天井煉瓦は高温における耐圧強度と価格の点から現在においても主として珪石質煉瓦が使用されている。しかし天井の寿命は、特に温度変化のはげしいトップチャージ式の炉においては、耐火度より耐スポーリング性の方が遙かに重要であるので³⁶⁾この方面の研究が行われ低気孔率或いは粗粒子配合によつて耐スポーリング性を向上し得ることが明らかとなつた³⁷⁾。現在においては粗粒子煉瓦或いはノン・スポーリング煉瓦として商品化され好成績を収めている。

一方電気炉の操業は主として塩基性であり又最近における酸素製鋼の採用、迅速溶解、高温精錬等の製鋼作業上の進歩に伴いより強力にして寿命の長い天井の出現が要望されており、色々の実用試験が行われている。例えばマグネシヤ煉瓦は珪石煉瓦の2~3倍の耐用命数を示したが温度変化による耐スポーリング性が劣る為にトップチャージ式の炉には使用困難であり³⁸⁾ Al₂O₃ 62~66%、SiO₂ 30~34%のムライト質煉瓦を使えば膨脹は少く軟化点は高く、しかも高温において酸化物に対する抵

抗力が大きいのでその寿命は長く、十数回に亘る実用試験の結果によれば平均 332.5 回、最大 495 回という好結果を得ている³⁹⁾。

天井煉瓦の割り方については、戦時中一応基準案が出来たがその後実施の域に至らず現在に至つているが、トップチャージを行わない比較的溫度変化の少い中型又は小型炉の場合は球状天井とすべきであり、最も合理的な組み方は 1/4 円毎に組み方を変える方法でこれが最もよい結果を示している³⁸⁾。ドイツにおいては既に 1943 年天井煉瓦の標準型が定められており、Dider Werk 社は異型の極めて少い天井煉瓦の割り方を行つて好成績を収めている。又天井煉瓦のスタンプ方式についても色々研究され実用試験が行われている。

(b) 側壁煉瓦

天井煉瓦と同じく側壁煉瓦も現在主として珪石煉瓦が使用されているが、その耐火度を最大限にまで発揮する為に不純物特に Al₂O₃、Fe₂O₃、CaO 等の混入を極力少くし、SiO₂ の量を最大限にまで上げ且つ気孔率を少くしたスーパーデュエティ珪石煉瓦の研究が行われ段々これに移行されつつある。

最近における電気炉操業上の進歩によつて、特に強力にして寿命の長い煉瓦即ち塩基性操業においては塩基性

の炉壁煉瓦が要望され始めた。マグネシヤを古パイプに充填してこれを築造する方法は既に戦時中一部に行われていたが、マグネシヤの入手不円滑となつた為自然に中絶の状況であつた。然るに最近マグネシヤの輸入が緩和されるに至つて再びマグネシヤパイプの使用が始められた。

又一方マグネシヤを主成分とし、これに Cr_2O_3 , Al_2O_3 を適量混合して気孔率の低い、耐圧強度の極めて高い、しかも酸化鉄による崩解現象或いは熱の急変に耐える耐スポーリング性の高い特殊な煉瓦の研究、又これ等の煉瓦を鉄板にて包み Steel clad にする方法の研究が行われ Ritex 煉瓦, DCM 煉瓦, MAC 煉瓦等の商品名を以つて製造が開始され、これ等が逐次電気炉の側壁煉瓦として使用されることであろう。Vancouver Steel Co. では側壁煉瓦をムライト質にすることによつて従来の珪石煉瓦の平均寿命278回を388・8回に延すことが出来た³⁹⁾と報告しており、Friedrich Harms 氏は³⁸⁾マグネシヤクリンカー又はドロマイトクリンカーを10%無水タールにて混合し側壁に搗き固むれば丈夫なライニングが出来、10t 炉の場合ドロマイトにて60~100回、マグネシヤにて80~120回、マグネシヤ煉瓦だと100~150回の使用に耐えると述べており、Leigh¹²⁾氏は10t 炉で1回6~7時間を要する特殊鋼の場合珪石質煉瓦の平均寿命は150回であると述べている。

(c) 炉床材

電気炉用炉床材としては従来殆んどマグネシヤ・クリンカーを無水タール又は苦汁で練りスタンプしていたのであるが、使用後の炉床表面層はドロマイト化しているという事実から、ドロマイトを炉床材として使用し、マグネシヤ・クリンカーに代替する研究が行われた。そして遂には、炉床材の浮揚による鋼滓の汚染がマグネシヤの場合より少いので却つてドロマイドの方が製鋼用炉床材としては勝れていることが明らかとなつた。

我が国においては、ドロマイト炉床に関する技術をドイツより学び、逐次ドロマイトの使用を敷衍してきたが、昭和19年、戦の為マグネシヤの輸入が杜絶するに及んで急激に一般に使用され始めた。幸い日本には栃木県葛生地区に大連にも勝る品質優良な大鉄床があり、磐城セメント株式会社の手によつて開発研究が行われた。特にドロマイト・クリンカーの不消化性についての研究は古川氏⁴⁰⁾によつて行われ、ドロマイト70~80%、クロマイト9~13%、マグネシヤ8~10%、珪石2~5%、酸化鉄1~2%を配合し水酸化マグネシウム3~5%を加えることによつて実用化され、又焼成直後のクリンカ

ーにライト・タールをコーティングすることによつて益々その不消化性を完全ならしめ、昭和28年には月産60,000tの不二ドロマイト羽鶴工場が製鋼用ドロマイト専門工場として設立せられ、我が国における炉床材供給の基盤を作つた。商品名をマグナーといいその代表的成分を示せば Table 9 の様である。我が国におけるドロマイトの生産状況を図示すれば Fig. 12 の様である。

Table 9. Chemical composition of "Magnar"

Ig. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂
0.55	1.65	1.50	3.85	60.76	31.65	0.05

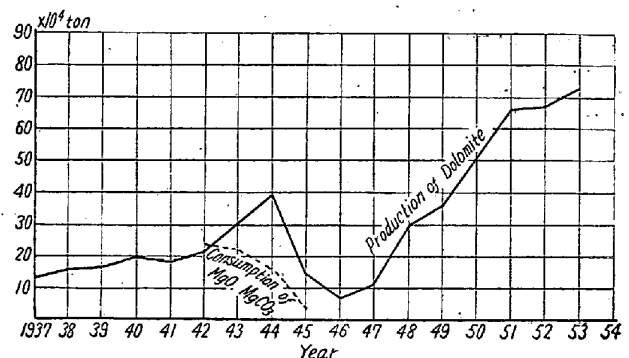


Fig 12. Production of dolomite clinker

ドロマイトを炉床材として使用する場合の築炉の方法に関しては学振その他において研究が進められ作業基準が示されており⁴¹⁾⁴²⁾、その作業実績についても報告されている⁴³⁾。又ドロマイトの代りに石灰石で炉床を築造する研究は日本製鋼株式会社広島製鋼所において研究が進められ、鑄鋼の溶解にこれを使用して好結果を示し⁴⁴⁾、現在においては各所で使用され始めた。

X. 操業法の進歩

(a) 酸素製鋼

酸素による製鋼法は既に1923年頃から討論されたが本格的な実験に入つたのは1942年からである。数年間に亘る実験研究の結果、電力の節約、操業時間の短縮、操業の容易、品質の向上等幾多の利点を実証されたので1946年以降平炉に、又電気炉に広く使用され始めた。現在においては酸素を使用しない製鋼法はむしろ珍しくなつてしまつた程急速に且つ全般的に普及し、近年における製鋼界の最大の変革であり、最大の進歩であるといわなければならない。日本においては1948年尼崎製鋼株式会社で行つたのが最初で翌年平炉8社の共同研究が行われ、本法の極めて有利なることが実証された⁴⁵⁾のでその後急速に普及し現在では電気炉鋼の95%が酸素製

Table 10. Standard practice, for steel making with oxygen.

Blowing pressure (kg/cm ²)	Rate of flow (m/sec)	Blowing rate m ³ /mn t	Blowing time (mn)	Volume of oxygen (m ³ /t)	Consumption of lance (mm/m ³ O ₂)	Rate of decarburization (%C/mn)	Oxygen quantity used for 1kg of carbon (m ³)
5~10	200~600	0.5~1.0	2~5	2~5	100~400	0.05~0.10	1.2~2.2

鋼法を採用している。

酸素の使用法とその効果については学振にて研究討論が行われ⁴⁶⁾、作業標準が決定せられた。その要点を示せば Table 10 の様である。酸素製鋼法を行うことにより電力及び電極の原単位は約 10% の切り下げとなり製鋼時間の短縮は 5~10% と定められた。酸素製鋼に関する幾多の実験、研究が行われ^{47)~56)}、又品質面においても一段の向上を示し、Cr, Mn, の回収率も鉍石法より格段と良くなり、作業管理も非常に楽になった。しかしこれを行うには適当な酸素供給設備を必要とするので酸素を使用しない空気製鋼法についても研究実験が進められ或る程度の効果を収めている⁵³⁾。

(b) ガス、重油製鋼法

冬期電力不足対策の一策として考案された方法であつて、通電前又は溶解期中ガス又は重油でもつて鉄屑を予熱し、溶解所要電力量を軽減せんとする方法であつて、昭和 27 年石原氏⁵⁷⁾によつて提唱せられ、重油予熱 1 時間半で装入鉄屑を 1400°C に加熱し、その後は電弧と併用し、熔落 15 分前に重油燃焼を中止することによつて t 当り溶解所要電力量を 216kwh 即ち 40% を節約することが出来、重油の使用量は 46 l/t であつたと報告し、又内山氏⁵⁸⁾は 20t 炉にコークスガスを t 当り 42m³ 吹込み燃焼することによつて溶解所要電力量 514 kwh/t を 330kwh/t に減らし 36% の電力節約を行つた。此等ガス又は重油の使用法及び使用の条件について色々調査が進められ、その熱経済性についても論ぜられた⁵²⁾。

即ち重油 1 l の燃焼によつて約 6Kwh の電力が節約出来るのでその時の電力及び重油の価格によつて本法を採用すべきか否かが決定されるのである。

(c) 誘導攪拌

1936 年 Dr Ludwig Dreyfus 氏によつて考案せられた電弧炉鋼浴の誘導攪拌方式は 1947 年 Udeholms 社 Hogfors 製鋼工場の 15t 炉と翌 1948 年 Surahammar Bruks 社の 10t 炉に設置せられて幾多の研究が行われ^{59)~64)}、鋼浴の均質化、精錬作業の促進、除滓作業の容易、生産量の増加、製品々質の向上等幾多の利点を実証し既に欧米においては Table 11 の如く 11 工場にその設置を見、特に Timken Roller Bearing 社 90t 20ft 炉 3 台の成績は極めて良好にして、鋼質は明らかに改善せられ、硫黄量は従来の 25% 低下し、製品炭素量も非常に正確に調節することが出来、その他の成分も極めて狭い範囲に納めることが出来る様になつたと報告している⁶⁵⁾。

我が国においては、昭和 26 年斎藤氏が本問題について実験室の研究に着手して基礎的諸問題を解決し⁶⁶⁾昭和 27 年大同製鋼株式会社は本装置を 2t 電気弧光炉に取付けて工業化試験を行い⁶⁷⁾、電気的、磁氣的調査を行うと共に製鋼冶金的の各種調査研究を行つて従来の研究成果を確認し大型電気炉への応用の基礎を築いた。

手動攪拌の困難な大型炉に対しては、操業上からも経済上からも且つ製品々質面からも今後は絶対に必要な設備となるものと考えられる。

Table 11. Plant equipped with induction stirring furnace.

Plant equipped	Nation	Dia of furnace shell(ft)	Year equipped
Udeholms A B Hogfors Jernlaerk	Sweden	13	1947
Surahammar Bruks A B	"	12	1948
Avesta Jernverks A B	"	17	1952
Udeholms A B Degerfors Jernverk	"	17	"
Fagersta Bruks A B	"	17	"
Hallefors Bruks A B	"	15	"
Timken Roller Bearing Co. Canton, Ohio	U.S.A	20	"
Patris Echeverria S.A. Legazpia	Spain	11	1953
Société des Aciers Fins de L'Est S.A.F.E.	France	15	"
Fabrique de Fer de Charleroi	Belgium	24	1954
Republic Steel Corp. Chicago	U.S.A	20	"

Data by ASEA 1954

Table 12. Heat balance sheet of electric arc furnace.

Investigator		Kiso	Iwaki	Araki	Yoshida	D.D. Moore		
Heat input	Supplied electric power	—	76.5 76.3	90.3	Electric power 58.7	100	76	
	Sensible heat of charge	—	1.8 1.4	—	Heavy oil 18.0	—	29	
	Oxidation of electrode	—	9.2 8.3	—	9.0	—	—	
	Heat of chemical reaction	—	10.2 12.1	8.8	6.5	—	—	
	Heat of formation of slag	—	2.3 1.9	0.9	13.9	—	—	
						2.0	—	—
Total heat input		—	100 100	100	100	100	100	
Heat output	Available heat	Heat quantity of steel	—	45.6 35.2	45.5	27.3	70.5	59.6
		Heat quantity of slag	—	9.6 11.1	7.1	11.6	4.2	4.7
		Endothermic reaction	—	2.0 3.0	0.6	0.9	1.2	10.6
		Total available heat	20~65	57.2 49.3	53.2	39.8	75.9	24.9
	Loss by cooling water		4~8	2.2 3.7	8.1	9.1	3.8	3.2
	Radiation & conduction losses	From ice surface	7~15	4.2 4.7	25.0	—	—	—
		From electrode surface	10~30	7.2 6.8	2.5	—	—	—
		From furnace door	2~6	4.8 4.5	2.9	—	—	—
		Sum	15~40	16.2~16.0	30.4	8.3	10.4	8.8
	Loss of electric power	Transformer	10~25	1.8 1.8	—	1.5	—	—
		Secondary leads	5~6	2.8 2.7	—	2.1	—	—
		Electrode	1~5	6.7 6.5	—	5.0	—	—
Sum		18~35	11.3~11.0	—	8.6	7.6	5.8	
Regenerated heat in the furnace		—	11.6 12.0	—	14.5	—	—	
Heat loss due to outgoing gasses etc.		2~4	1.5 8.0	8.3	19.3	2.3	7.3	
Grand total		100	100 100	100	100	100	100	
Furnace investigated		1~6t	10t	15t	10t (Heavy oil)	60~90t (Coldcharge)	60~90t (hot charge)	

XI. 電気炉の熱精算

電気弧光炉の熱精算については既に多くの研究報告が出されているが⁶⁸⁾、木曾、真田両氏は稼動中の数多くの電気弧光炉につき主として電気的、熱的損失の実態を測定把握して⁶⁹⁾、電気炉の構造及びそれに使用する変圧器容量が妥当ではない為に電気的の損失は18~35%の多きに及び輻射伝導損失は15~40%にも達している実情を訴え、設備の改善と操業法の注意によつて20~30%の電力量の節約は容易であることを強調した。磐城氏は従来熱精算に際して顧みられなかつた炉体の蓄熱量についての理論的検討を行つて⁶⁹⁾、現在稼動中の新設トップチャージ式10t炉につき熱精算を行い⁷⁰⁾電気的損失は約11%、熱的損失は約16%となり高級特殊鋼熔製時の熱能率は約50%であると結び、荒木氏は⁷¹⁾15tBBC電気炉につき熱精算を行い、熱能率は52.6%にして熱損失中最も大きい%を占めるものは輻射対流損失で、これは炉壁の使用回数に関係し、最も経済的な炉修時期の判定

方式を作つて操業上の指針を与え、吉田、深尾両氏⁵²⁾は重油製鋼及び酸素製鋼を行うことによつて熱能率が如何に変わるかを実測によつて計算し、酸素吹精中の逸出ガスが持去る熱量が19~20%の多きに達するので此の熱量を有効利用すべきであると結んでいる。最近D.D. Moor氏³⁰⁾は60~90t級の大型電気炉について熱精算を推定し、電気的損失は7.6%、輻射及び伝導損失は、10.4%にして熱能率は76%に達すると報告している。此等各研究者による実測又は計算データを集約すれば、Table 12の様である。

XII. 原単位

(a) 電力原単位

電気炉鋼の製造原価を左右する最も大きい要素は電力費、電極費及び耐火材料費である。電力原単位は電力供給量の不足な現在一定割当量内で最大生産量を確保する為にも、極力低下に努むべきであつて、大電力、迅速溶解、トップチャージ方式、電気炉の大容量化、電極保持

の遠隔制御方式、電極調整の即応化、負荷時タップ切替方式、空気吹付中遮断器の採用等総て電気炉設備の最近の進歩は操業上のアイドル、タイムを極力少くしてその設備の最大能力を發揮し、熱能率の向上と操業時間の短縮を計つて時間当りの生産量を増し電力、電極の原単位を低下せんとする努力に外ならない。

昭和 17 年学振にて審議された特殊鋼の熔製原単位⁷²⁾は溶解及び酸化期 700kwh, 還元期 450kwh 合計 1150KWH (3 t級にて) を以つて標準とせられ、一般鋼は装入 t 当り 700~900kwh であつたが、戦時中は電力の優先配給が此の方面に認められていた為余り原単位低減への努力は払われなかつた。

終戦後、鉄鋼界の不振と自由競争の激烈化に伴い電力の原単位については真剣な研究と努力が払われ始めた。中村氏⁷³⁾はエルー式電気炉の電力所要量はかくあるべきだと理論的、実験的に計算式を誘導して最も経済的な操業法について指示し、荒木氏⁷⁴⁾も電力原単位を最も少くする為の炉修時期判定法を計算式で誘導している。木曾氏⁶⁹⁾は中国地方において平均 850kwh の原単位を有する各炉の熱精算を行つてこれを 700kwh 迄は低減し得るものとして努力し、野田氏¹⁶⁾は大同レクトロメルト式電気炉を置くことによつて従来 850kwh であつたものが 500kwh 迄は低減し得るものと提案し最近その実績を着々と作りつつある。欧米各国における 3~10t 級酸性操業の最近の実績は 470~520kwh, 塩基性操業による特殊鋼の操業実績は 650~700kwh (いずれも良塊 meter t 当り) であり、18~20ft 径の大型炉塩基性単滓法の実績は良塊 short t 当り 495~525kwh を示している。

(b) 電極原単位

戦時中呉海軍工廠における平均値は人造黒鉛電極 9" 径で 15.0~17.3kg/出鋼 t, 12" 電極で 10.7~12.1kg/出鋼 t⁷⁴⁾ であつた。戦時中及び戦前の一般基準は 10~14kg とせられていたが終戦後通産省はこれを平均 14kg として配給基準と定めた。しかし終戦後の原料粗悪の為一時は 16~20kg にも達した。その後着々と品質の改善が行われ、一方電気炉の構造及び操業法の進歩にもよつて電極の原単位は非常に少くなり平均 7~8kg を示す様になり、5kg 代の実績を出している所もある。電極原単位推移の状況を示せば Fig. 13 の様である。尙アメリカにおける実績は 7.5~9.5lb/出鋼 short t であり、イギリスにおける実績は鑄鋼用 3~10t 炉で 10~15lb, 特殊鋼用 20t 級で 18~20lb/出鋼 meter t 位である。

(c) 耐火物原単位

耐火材のうち天井及び側壁は現在主として珪石質の煉瓦が使用されている。此等の耐火材の原単位は Fig. 14 に示す如く、炉の大きさによつては余り変らないが使用回数の多少によつて非常に異なる。一般に同図に見る如く、使用回数 50~60 回以下の場合には原単位が急速に多くなり製造原価が割高となる。終戦後一時品質不良と保管不良の為使用回数が数十回に下つた事もあるが現在においては高級特殊鋼で平均 100 回、一般鋼及び鑄鋼は 150~200 回の成績を示している。アメリカにおける 5~10t 級の実績は 200~250 回、イギリスにおける実績は鑄鋼及び炭素鋼約 150 回、高級特殊鋼約 100 回である。炉床材としてのマグネシヤ・クリンカーは約 40 kg/t, ドロマイト・クリンカーは約 30kg/t が普通である。

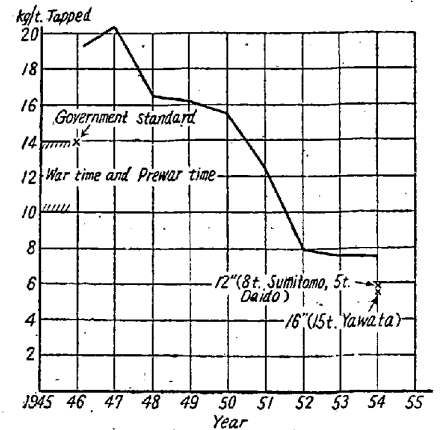


Fig. 13 Electrode consumption (kg per ton steel tapped)

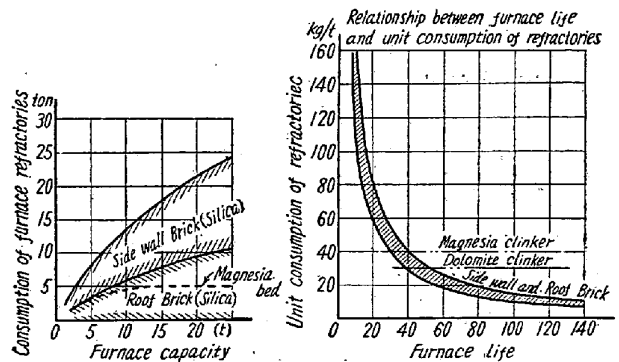


Fig. 14. Consumption of refractories for electric arc furnace.

XIII. 電気炉の経済性

電気炉製造技術の進歩によつて炉の容量は益々大きくなり、能率的となつてきた。従つて最近建設される大型電気炉は優に最新式大型平炉に対抗して経済的生産が出来る様になつてきた。そして最近普通鋼生産の分野に電気炉が多く使われる様になつた。特に普通鋼を電気炉で熔製すれば、平炉よりも、歩留りが良く、融通性が大きく、炉の稼用率が高く、脱硫が容易である等幾多の利点を持つている外、従来電気炉鋼の欠点であつた窒素の

問題は大型炉にすることによつて解消され、又装入時間の問題はトップチャージ方式によつて解決されているので今後電気炉特に大型炉の利用は益々多く且つ重要となり将来においては電気炉が平炉に代り重要な鋼の生産設備となるであろう。

電気炉と平炉の経済性については幾多の調査研究が報告されている。C.F. Ramseyer 氏⁹⁾は最新式の225~275t 熔銑装入式平炉に対抗し得る電気炉設備として23ft 径 132t 炉 4 基の建設費及びその操業費を比較計算した。それによれば、建設費は平炉の約半分で足り、電力原単位 475kwh, 電極原単位 9.5lb と理論的に推定すれば操業費は冷材法では僅かに高くなるが熔材装入にすれば、電力量は半減し電極は尙 2lb 少くなるので電気炉の方が安くなると述べており、L. F. Reinartz⁷⁹⁾氏は冷材装入の年産 25万 t 工場と 50万 t 工場の場合、電気炉とすべきか平炉とすべきかについて比較検討している。即ち電気炉は建設費が平炉の約 60% で足るので資本負担が少く、原料費が安いので電力、電極代が高くても結局は電気炉の方が鋼塊価格が安くなると述べている。Daris D. Moor 氏³⁰⁾は年産 25万 t, 50万 t, 100万 t の工場を建設する場合、電気炉にすべきか平炉にすべきかを建設費、能率、操業費、その他あらゆる経済的条件を推定して比較検討している。それによれば電気炉の建設費は平炉の約 60% 前後であるが電力代、電極代が高い為に鋼塊生産費は電気炉の方がいずれの場合も僅かに高くなっている。しかし原料の歩留りは電気炉の方が平炉より 1~2% 良い為に原料費が安くなり、鋼塊価格は却つて電気炉の方が僅かに安くなっている。尙将来平炉用燃料は値上りの傾向にあり、電力代は値下りの傾向にあるので鋼の品質の点、融通性の点、経済性等の点から電気炉は今後益々多く使用されるであろうと結んでいる。斯くの如く電気炉の将来は極めて洋々たるものである。

XIV. 結 論

製鋼用電気弧光炉の最近の進歩の状況について、生産面構造面及び使用面から検討し、電気炉の今後の進み方について考察してみた。即ち電気炉は大型となり、能率的となり経済的となつて今や最も優秀なる製鋼設備となつてきた。そして現有平炉設備は次々と電気炉に切り替えられつつあり、近き将来において完全に平炉に代る重要な製鋼炉となるであろう。

文 献

1) 錦織清治: 電気製鋼第 25 卷, 第 1 号, p. 2

- 昭和 29 年 1 月
- 2) Robert Sergeson: Iron and Steel Eng., Jan. 1950
 - 3) James A. Clark: Blast Furnace and Steel Plant, Oct. 1950, Jan. 1951
 - 4) W. B. Wallis: Iron and Steel, Nov. 1953
 - 5) 日本學術振興会: 最近日本鉄鋼技術概観 1950
 - 6) 日本鉄鋼連盟: 鉄鋼生産設備能力調, 昭和29年版
 - 7) E. H. Browning: Iron and Steel Eng., March 1954
 - 8) Donald L. Cark, James A. Clark: Iron and Steel Eng. Dec. 1950
 - 9) C. F. Ramseyer: Iron and Steel Eng. Vol. 28 No. 6, June 1951 p. 57
 - 10) Frank W. Brooke: Iron and Steel Eng. Vol. 30 No. 11 Nov. 1953
 - 11) J. J. Bray: Iron Age Dec. 1951
 - 12) F. S. Leigh: Iron and Steel Vol 27, No. 4 April 1954
 - 13) Iron Age, Dec 29, 1949 p. 43
 - 14) Myford: A.I.M.E. Elect. Furn. Steel Proc., Vol 7, 1949 p. 158
 - 15) Iron and Coal Trades Rev., 1953 Vol. CL XVI Feb. 13 p. 355
 - 16) 野田浩: 電気製鋼, 第 24 卷, 第 2 号, 昭和28年 3 月
 - 17) A. R. Oltrage: Blast Furnace and Steel Plant, Jan. 1950
 - 18) 和田重暢: 東芝レビュー, 第 6 卷, 第 6 号, 昭和 26 年 6 月
 - 19) 泉千吉郎, 吉岡孝幸: 日立評論, 第 34 卷, 第 10 号, 昭和 27 年 10 月
 - 20) 宮崎節夫, 笹見茂史: 鉄と鋼, 第 38 年, 第 11 号 昭和 27 年 11 月
 - 21) F. S. Leigh: Iron and Steel Vol. 27 No. 5 May 1954
 - 22) Vokac: A.I.M.E. Elect. Furn. Steel Proc., 1952 Vol 10. p. 62
 - 23) D. D. Howat: Iron and Steel Vol. 27 No. 9 Sept. 1954
 - 24) Wynd: J. of Metal Vol. 2 No. 1 Jan. 1950 p. 17
 - 25) Frank W. Brooke: A.I.M.E. Elect. Furn. Steel Proc., 1948 Vol. 6, p. 12
 - 26) S. W. Poole: Metal Progress Vol. 63 No. 2 Feb. 1953
 - 27) J. M. Kane and R. V Sloan: American Foundryman Nov. 1950
 - 28) Kurt Guthmann: Stahl und Eisen 73 (1953) 1512
 - 29) Iron and Steel Eng. Vol 29, No. 12 Dec. 1952
 - 30) Davis D. Moore: Iron and Steel Eng. Vol. 31 No. 3 March 1954
 - 31) 太田登, 雨宮勇男: 富士時報, 第 27 卷, 第 6 号

- 昭和 29 年 6 月
- 32) D. R. Cochran: Blast Furnace and Steel Plant Vol. 41 No. 9 Sept. 1953
- 33) フリードリッヒ リウヒス: 昭和 29~8631 特許公告 昭和 29~12~27
- 34) 窯業大観: 窯業協会, 昭和26年10月発行 p. 259
- 35) Dr. Allen G. Gray: Steel Vol. 133 No. 8 Aug. 24. 1953 p. 84
- 36) 吉田恵, 大西正義, 岸田寿夫: 電気製鋼, 第22巻第1号, 昭和26年1月
- 37) 稲村泰: 耐火物工業, 昭和 25 年, 電気製鋼, 第22巻, 第2号, 昭和26年3月, 鉄と鋼, 第37巻, 第5号
- 38) Friedrich Harms: Radex Rundschau Heft 4 Augst 1950
- 39) Hefferman: J. of Metals Vol.7 No.7 July 1953
- 40) 古川実: 耐火物工業, 昭和 25 年
- 41) 学振第 19 小委員会決定, 昭和 20 年 4 月 20 日
- 42) 学振第 24 小員委会決定, 昭和 25 年 1 月 31 日 西武雄, 生産技術, Vol. 5 No. 1
- 43) 多賀谷正雄, 中村信夫, 信高慎吾: 鉄と鋼, 第36年, 第1号, 昭和 25 年 1 月
- 44) 鈴木登能彌: 金属, 第 20 巻, 第 2 号
- 45) 鉄鋼連盟: 酸素製鋼法の研究, 昭和 25 年
- 46) 学振第 24 小委員会報告 29, 昭和 27 年 10 月: 電気製鋼, 昭和 27 年 11 月号
- 47) 吉田恵: 電気製鋼, 第 21 巻, 第 2, 3, 4 号, 昭和 25 年 3, 5, 7 月
- 48) 錦織清治, 吉田恵: 生産と電気, 昭和 27 年 9 月
- 49) 菅野五郎: 鉄と鋼, 第 38 年, 第 4 号, 昭和27年 4 月
- 50) 高橋俊雄, 滝波勝文: 電気製鋼, 第 22 巻, 第 5 号, 第 23 巻, 第 3 号, 第 4 号,
- 51) 高橋俊雄: 鉄と鋼, 第 39 年, 第 2 号, 昭和28年 2 月: 電気製鋼, 第 24 巻, 第 1 号 (28-1)
- 52) 吉田恵, 深尾保: 電気製鋼, 第 24 巻, 第 5 号, 昭和 28 年 11 月
- 53) 加藤孝三, 月本達秀: 鋳物, 第 25 巻, 第 5 号, 昭和 28 年 5 月
- 54) 杉沢英男: 神戸製鋼, 第 1 巻, 第 3 号
- 55) 下郷良男: 製鉄研究, 第 201 号, 1952 年 1 月
- 56) 小出隆: 製鉄研究, 第 194 号
- 57) 石原正美: 鉄鋼界, 第 2 巻, 第 4 号, 昭和 27 年 4 月
- 58) 内山辰丙: 鉄と鋼, 第 39 巻, 第 3 号, 昭和28年 3 月
- 59) L. Dreyfus: ASEA Journal Vol. 23 1950 p. 46
- 60) E. S. Kopechi: Iron Age Sept. 22, 1949 Vol. 164 No.12
- 61) F. Nilsson: Stahl und Eisen 71 Jahrgang Heft 3. 1. Feb. 1951
- 62) S. Fornander: J. of Metal, Vol. 188. No. 1 Jan. 1950, No. 2, Feb. 1950
- 63) S. Fornander, F. Nilsson: Proceeding of Electric Furnace Conference 1949 p. 46
- 64) R. K. Hammarlund: Iron and Steel, May 1953 p. 188
- 65) Iron Age, Dec. 25, 1952, Iron and Steel Eng. Vol. 29. No.12 Dec. 1952
- 66) 斎藤恒三, 島貫良一: 選鉱製錬研究所報告, 第 7 巻, 第 12 号, 昭和 26 年 10 月, 第 8 巻, 第 1 号, 昭和 27 年 6 月
- 67) 野田浩, 吉田恵: 電気製鋼, 第 25 巻, 第 4 号, 5 号, 6 号, 昭和29年 7 月, 9 月, 11 月
- 68) 磐城恒隆: 電気製鋼, 第 23 巻, 第 1 号, 昭和27年 1 月
- 69) 中国鉄鋼業協会編: 技術研究叢書, No. 7, 8, 9, 10, 11 昭和 26~28 年
- 70) 磐城恒隆: 電気製鋼, 第 23 巻, 第 4 号, 昭和27年 7 月
- 71) 荒木彬: 鋳鍛造, 第 6 巻, 第 8 号, 昭和28年 8 月
- 72) 谷山巖: 特殊鋼熔製法, 昭和 17 年 4 月 p. 287
- 73) 中村元和: 鉄と鋼, 34 (昭和 23) 9. 38 (昭和 27) 4
- 74) 寺沢吉郎: 金属, 第 20 巻, 第 3 号
- 75) L. F. Reinartz: H. C. Barnes: Iron and Steel Eng. Vol 31, No. 1 Jan. 1954