

UDC 621.365.2-181

最近の大型アーク炉の諸問題について

Some Problems on Large Electric Arc Furnace

会 員 林 達 夫

1. は し が き

最近アメリカの電気炉メーカーの幹部と懇談の機を得て、斯界の問題について種々情報を交換した。面白いことには電気炉鋼生産が日本の約8倍におよぶ米国全体でのアーク炉受注量が日本のメーカーのそれを遙に下廻ることであった。わが国はまさにアーク炉設備ブームにあり、しかも数年前には予想さえしなかった大型炉の出現もあり、この機会にこれら大型アーク炉の諸問題について考察してみたい。

アーク炉大型化の傾向は第2大戦後において著しく、特に普通鋼の量降分野において100t級の大型炉採用がわが国においても計画され、遂次平炉の牙域にせまってきた。特殊鋼分野においては従来の用途に加えて特にステンレス鋼、珪素鋼、軸受鋼等の大型炉による溶製が著るしい。これら大型アーク炉の出現により、製鋼用熱エネルギーに電熱が非常に大きな割合を占めることとなった。同時に電気炉そのものの構造が炉蓋旋回によるトップチャージ方式の採用、大容量高二次電圧変圧器、高感度自動電流調整装置の使用等により質的にも非常な革新をとげてきた。

わが国の戦後におけるトップチャージ方式による電気炉の進歩をふりかえると

1952 (昭27)	5t 炉	3,000KVA
1953 (昭28)	10t 炉	5,000KVA
1957 (昭32)	15t 炉	6,250KVA
〃	20t 炉	7,500KVA
1958 (昭33)	30t 炉	12,500KVA
1959 (昭34)	50t 炉	18,750KVA
1960 (昭35)	70t 炉	20,000KVA

〃 100t 炉 30,000KVA(予想)

1961~2 (昭36~37)

150t 炉 35,000KVA(予想)

以上の通りで、昨今における大型化の傾向は実に目覚しく、黄金の60年代の初頭には150t炉の出現が期待される状況である。

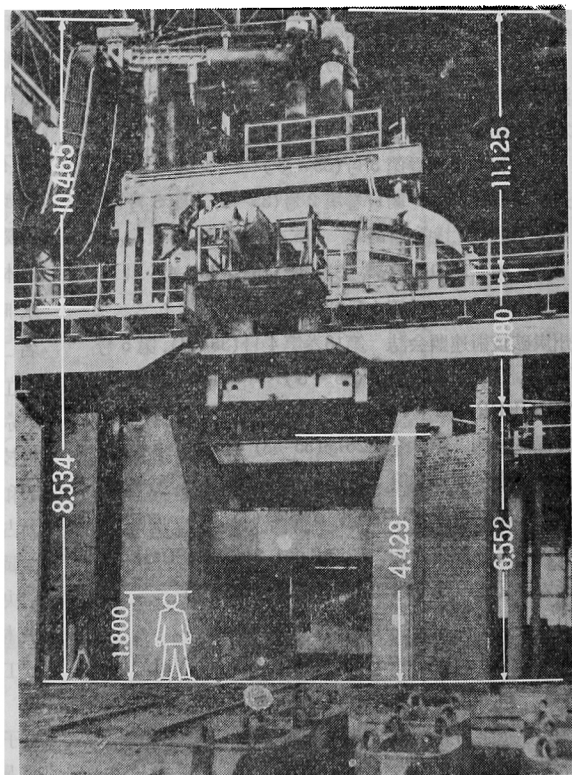
以下、われわれが現在および将来、大型電気炉の分野として考える方向ならびにその技術的諸問題をみてみることにしたい。

2. 製鋼炉としての大型アーク炉の傾向

1) 普通鋼溶製

大型電気炉による普通鋼溶製的具体例を紹介

写真1 200t電気炉 (Fabrique de Fer)



する。

a. Fabrique de Fer, Belgium

(第2表 No.4, 写真1 参照)

薄板のみのメーカーであり、77 t 平炉2基を持っていたが、1956年遂に世界最大の200 t 電気炉の設備に踏切った。仕様ならびに操業データは下記の通りである。

炉内径：24ft

炉蓋上昇、旋回によるトップチャージ方式は炉体傾動と共にビッカースの油圧機器による。

変圧器：35,000kVA

P V：10500V

S V：483~166V 16タップ

S A：50000A

ASEA製誘導攪拌装置付

(電力消費量 2.7kWh/t)

生産量：45t/hr.

タップからタップまで：6 hrs.

電極消費量：5 kg/t

電力消費量：477~482 kWh/t

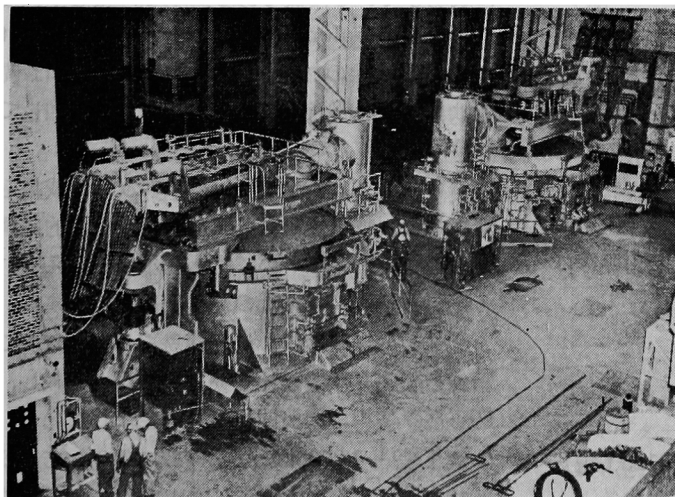
酸素消費量：約 64 ft³/t

(上記はすべて良鋼塊 t 数による)

b. Bethlehem Steel

Seattle, Wash., U.S.A.

写真2 100 t 電気炉 (Bethlehem Steel)



(第2表 No.12, 写真2 参照)

同社は1956年まで100% スクラップ装入による50 t 平炉5基をもっていたが、100 t 電気炉2基をもって置換えて非常な好成績をあげている。以下同社 Bolton 氏が AISI で昨秋発表した要点を紹介する。

炉内径：20 ft

トップチャージおよび傾動は油圧による

変圧器：25,000 kVA

P V：34500V, S V：450~173V

空気遮断器付

生産量：30 t/hr

タップからタップまで 3hrs 45min

電力消費量：475 kWh/t

電極消費量：4.6 kg/t

大型電気炉には集塵の問題が今後必ずつきまとうが、本炉の場合一つの代表的なあり方を示していると思う。炉蓋に34inの開口部をつくり、煙をそこからダクトを通じて引出し、水の飛沫によって冷却し、その後シリコングラスの袋に集めて濾過する。袋についた塵埃は30分ごとに振落し、貨車で運び去る方式となっている。

以上2例は戦後特に伸びた大型電気炉の普通鋼分野への進出の好例であり、今後わが国においても飛躍的に増大することが期待される。ちなみにこの20ft内径炉はアメリカにおいて最も

ポピュラーなサイズとしてすでにレクトロメルトのみで12基製作している。

2) 平炉の置換え

イギリスの某社が、その所有する約20基の平炉を200 t アーク炉数基に置換えることが報ぜられている。アメリカにおける Bethlehem Steel, Atlantic Steel, ベルギーのFabrique de Fer 等も著名な例であり、わが国においても漸次その傾向にあることは周知のとおりである。

電気炉対平炉の経済比較については、アメリカの Battelle

研究所の報告(1953)は余りにも有名であり、ヨーロッパ諸国においても議論がたたかわされた。両者比較のもとになるコストは各国それぞれの立地条件によって大いに異なるが、原材料、熱源のコスト差が支配的になることは自明である。100%冷鋼くず装入の場合における電気炉の優位性はすでに認められてきたが、溶銑使用の場合においても電気炉の経済性が実証されつつある。また大型電気炉の熱効率率は82%程度であり、火力発電所の効率上昇も電気炉の経済性に大いに寄与している。たしかに平炉技術も進歩し、600 t 平炉も製作されている。しかしながら、基本的には電気炉の大容量化、高電力投入がその経済性のきめ手であると共に設備費、操業費いずれにおいても電気炉の方が平炉よりも低廉である。両者の経済比較はわが国において公表されたものがないので外国の例を紹介する。

Atlantic Steel (第2表 No.29参照)では80 t 平炉3基をもって操業していたが、その同じ技術者によって75 t 電気炉2基に切換えてしまった。最近1カ年間の稼動可能時間数の96.5%という驚異的な稼動率をあげたが、同社のWilbanks氏は電気炉の優位性として下記を挙げている。

- a. 設備費が平炉の60%ですむ。
- b. 据付面積は生産t数で比較して平炉の半分以上以下でもむ。
- c. 現地での建設が早く、またほかの主要設備と無関係に建設を進めうる。
- d. 品質管理がよくできる。
温度コントロールが精密にでき、しかも燃料からの不純物の混合がない。
- e. 操業に弾力性がある。
始業、終業とも早くできて、使用中のみ保守の注意が要るだけである。
- f. 迅速溶解
時間当り溶解t数が遙に大きい。
- g. 熱効率、利用率共に高い。

Phoenix Steel の Coutant 氏の125 t 電気炉対平炉の比較についての文献を引用すると、

	電気炉	平 炉
鋼塊生産量 (日)	455 t	222.5 t
〃 (時)	22.3 t	9.3 t
鋼塊歩留(コードルショップ)	91%	89%
〃 (ホットショップ)	92%	91%
年間稼動率	96%	92%
チャージング・バケット	65 t	5 t
材料装入時間	¼~½ hrs.	3~4 hrs
誘導攪拌装置使用による節約時間	20%	な し
トップチャージ	可 能	不可能
圧延工場との連続一貫作業	可 能	不可能
連続鑄造との連続一貫作業	可 能	不可能
鋼浴の温度コントロール	可 能	不可能
燃料からのSの混入	な し	あ り

3) 溶銑使用

電気炉による平炉の置換えの問題は主として100%冷鋼くず装入の立場を根拠としてきたが、さらに進んでスクラップの事情を考えると、特にわが国においてはその需給が必しも安定せず、製品原価への影響も少なくなかった。このため電気炉への銑鉄配給率を増加し、40~50%までの装入が検討されてきた。さらに平炉において行われている溶銑装入のことが研究されている。

アメリカにおいては工業的スケールで行われ、4%Cの50%hot metalを使用することに成功している模様である。すでに報ぜられている通り、violent boil が問題であるが、hot metal その他の材料を添加する時を選べば問題はなく、時間当り生産量も10%以上増加している。

スイスのDurrer氏が最近その研究成果を発表した。電気炉を使って溶銑から経済的に鋼を製造する問題について大きな示唆を与えている。以下AISIの同氏の論文要旨を紹介する。

スイスの高磷溶銑、低磷溶銑を40 t 電気炉で精錬して100%冷鋼くず使用の場合と比較し、50%溶銑使用の経済的可能性を見出している。

第1表は18,000kVA変圧器を使用しているが100%スクラップの場合に比し、電力原単位

第1表 スクラップ、溶銑装入時のデータ

混 合 率	装入量 t	銑 鉄	銑 鉄 成 分 %					鋼 成 分 % (第1回サンプル)				スイッチ か ら 時間(分)	第1回サンプルまで	
			C	Si	Mn	P	S	C	Mn	P	S		t/hr	kWh/t チャージ
100% スクラップ	40.9	0	—	—	—	—	—	0.31	0.33	0.049	0.061	97	25.2	456
50%低磷溶銑	36.9	49.4	3.63	0.72	0.63	0.125	0.047	0.22	0.18	0.021	0.041	54	41.0	344
50%高磷溶銑	40.3	46.8	3.33	0.79	0.38	1.370	0.055	0.32	0.16	0.037	0.040	74	33.1	348

は高磷の場合23%、低磷の場合29%それぞれ低くなっている。また時間当り溶解量は高磷の場合32%、低磷の場合37%多くなっている。この時間当り溶解量は200 t 平炉より高く、100%スクラップ装入の場合の70 t 電気炉の好成績の場合のデータにはほぼ等しい。この研究をさらに押し進めて、銑鉄精錬に必要な量以上の鉍石とコークス粉とを装入して鉍石中の鉄分を直ちに粗鋼として取り出すことに工業的に成功した。

4) 純酸素上吹転炉と電気炉との合併法
鉄鋼連盟の炉別粗鋼生産見通しによると
(単位 1,000 t)

種 別	昭 45 生 産 見 通 し	通産省昭34 生産計画	伸 長 率
平 炉 鋼	16,000	12,810	125%
転 炉 鋼	16,000	1,400	1,140%
電 炉 鋼	6,000	3,320	180%
合 計	38,000	17,530	

これは将来におけるこの3種の製鋼法の在り方を暗示して興味が深い。

上吹転炉でも程当程度の合金鋼は今日までもやってきたし、また今後も一応はやれると考えられる。上吹転炉の生命とするところは酸素による普通鋼の低廉な量産にある。溶銑を得る手段を持っている製鋼メーカーが、低合金鋼を製造する場合に、電気炉をおいて上吹転炉との合併法をやるか、稼動率をぎせいにしても上吹転炉のみで行くかは、今後に残された大きな研究課題である。

5) 特殊鋼溶製

アメリカにおけるステンレス製造用大型電気炉の状況を簡単に紹介する。下記が主なメーカーである。

▼U. S. Steel (第2表 No.24参照)

South Chicago

▼Bethlehem Steel (第2表 No.30参照)

Bethlehem

▼J & L Steel, Detroit (第2表 No.31参照)

▼Allegheny Ludlum Steel

(第2表 No.37参照)

Brackenridge

▼Republic Steel (ドアーチャージによる)

Canton

このサイズの電気炉での成績は

タップからタップまで 6~10時間

酸素消費量 500cft/ton

電力消費量 450kWh/ton

一番問題となる点は自動電流調整装置であり、アンプリダイン方式を採用しているところが圧倒的に多い。

3. 電気炉大型化の問題点

1) 電気設備中特に電流調整装置、遮断器の問題

現在の電動式電極昇降装置使用の場合は電極モーターの能力一杯まで Push することが望ましいわけである。この目的には現状では直流回転増巾機、例えば Amplidyne が最適である。いまアーク電流コントロールのシステムを考えると、重要な条件として

イ) Dead time がないこと

ロ) Acceleration, Deceleration が大きいこと

の二つがある。イ) 即ちアーク電流変化から電極モーターのスピード変化までの時間のおくれは現在のアンプリダインで約2サイクル(60サイクル系)である。また、ロ) の場合500

Volt Amplidyne で0から基本速度の2倍までに約0.2秒を要する。

なおこの Amplidyne 発電機の励磁電源として、主回路からの Signal を Amplistat により増巾してきたが、time constant 低減の考え方から二次 CT の VA 容量を増加して Amplistat を除くという方向に進んでいる。

最近 silicon controlled rectifier を回転増巾機に置換える考え方が出ているが、いまだ開発途上にある。現在大型炉では Double Voltage amplidyne が使われているが、手動コントロールの場合にも毎分約5mのスピードが出て、電極トラベルの時間ロスが非常に減少している。

ヨーロッパでは液圧駆動のものが採用されているが、イナーシャがないという意味において開発されるべきものとする。

電気炉用変圧器では超高圧から炉電圧までの

じか落しが必要となってきた。大容量になるため、負荷時電圧切換えにすることが望ましいし、わが国の事情からは是非そうすべきと考えるが、負荷時または無負荷時切換えいずれとするも特別高圧回路における高頻度使用遮断器の完成が今後の問題として要請される。

2) 電極の問題

現状では直径500mm, 600mm級については未だ安心して使えない。この点において電極メーカーの奮起をお願いしないと大型電気炉の発展は期待できない。

3) 電力需給の問題

電力会社と需要家との協力態勢を推進しなければならないと考える。すなわち電力の量においても、また最近話題になっているフリッカーなどの質的な面においても、欧米に比し日本では態勢がとれていないことを痛感する。

4. 世界における大型電気炉の使用状況

第2表 世界の大型電気炉一覽表

No.	会社名	所在地	炉容量(t) (炉内径)	基数	炉メーカー	備考
1	McLouth Steel Corp.	Trenton, Mich., U.S.A.	200(24')	2	A.B.(アンプリダイン)	ASEA スターラー付
2	Republic Steel Corp.	Warren, Ohio, U.S.A.	200(〃)	2	レクトロメルト (アンプリダイン)	
3	Republic Steel Corp.	Gadsden, Ala., U.S.A.	200(〃)	2	レクトロメルト (アンプリダイン)	
4	Fabrique de Fer.	Charleroi, Belgium	200(〃)	1	レクトロメルト (ロトロール)	
5	Republic Steel Corp.	South Chicago, Ill. U.S.A.	150(22')	3	レクトロメルト (アンプリダイン)	
6	Northwestern Steel & Wire Co.	Stirling, Ill., U.S.A.	150(〃)	2	レクトロメルト(アンプリダイン)鉄鋼一貫地区における電炉鋼メーカー	ASEA スターラー付
7	Jones & Laughlin Steel Corp.	Cleveland, Ohio, U.S.A.	150(〃)	2	A.B.(アンプリダイン)	
8	Ruhrstahl A. G.	Hattingen, West Germany	120(21')	1	クルップ	
9	Armco Steel Corp. (Sheffield Div.)	Houston, Texas, U.S.A.	100(20')	2	レクトロメルト (アンプリダイン)	
10	Armco Steel Corp. (Sheffield Div.)	Kansas City, Mo., U.S.A.	100(〃)	2	レクトロメルト (アンプリダイン)	
11	Bethlehem Steel Corp.	Los Angeles, Calif., U.S.A.	100(〃)	2	レクトロメルト (アンプリダイン)	ASEA スターラー付
12	Bethlehem Steel Corp.	Seattle, Wash., U.S.A.	100(〃)	2	レクトロメルト (アンプリダイン)	
13	Samuel Fox & Co., Ltd.	Sheffield, England	100(〃)	2	レクトロメルト (アンプリダイン)	
14	Soc. Des Forges & Ateliers du Creusot (Usines Schneider)	Le Creusot, France	100(〃)	2	レクトロメルト (ロトロール)	
15	Timken Roller Bearing Co.	Canton, Ohio, U.S.A.	100(〃)	2	A.B.(アンプリダイン)	

No.	会 社 名	所 在 地	炉容量(t) (炉内径)	基数	炉 メ ー カ	備 考
16	Republic Steel Corp.	South Chicago, Ill., U.S.A.	100(〃)	3	A.B.(アンブリダイン)	内(1) ASEA スターラー付 ASEA スターラー付予定
17	Republic Steel Corp.	Canton, Ohio, U.S.A.	100(〃)	2	A.B.	
18	Klöckner-Werke AG (Georgsmarienwerke)	Osnabrück, West. Germany	100(〃)	1	デマーグ	
19	Sharon Steel Corp.	Farrell, Pa. U. S. A.	100(〃)	1	A.B.(アンブリダイン)	
20	Lukens Steel Co.	Coatesville, Pa. U.S.A.	100(〃)	1	A.B.(アンブリダイン)	
21	U.S. Steel Corp. (Duquesne)	Duquesne, Pa. U. S. A.	100(〃)	1	A.B.(アンブリダイン)	一部ステンレス鋼用
22	Babcock & Wilcox Co.	Koppel, pa., U.S.A.	100(〃)	1		
23	Midvale-Heppenstall Co.	Philadelphia, Pa., U.S.A.	100(〃)	1		
24	U.S. Steel Corp. (S. Chicago)	South Chicago, Ill., U.S.A.	100(〃)	5	A.B.(アンブリダイン)	
25	Metallurgica Cobianchi	Italy.	90(19')	2	レクトロメルト (アンブリダイン)	
26	Newport Steel Co.	Newport, Ky., U.S.A.	90(〃)	2	レクトロメルト (アンブリダイン)	ステンレス鋼用
27	(株) 神戸製鋼所	脇浜	70(19')	1	ダイドーレクトロメルト	
28	U. S. Steel Corp. (Duquesne)	Duquesne, Pa., U.S.A.	85	1	A.B.	
29	Atlantic Steel Co.	Atlanta, Ga., U. S. A.	75(18')	2	レクトロメルト (アンブリダイン)	
30	Bethlehem Steel Corp.	Bethlehem, Pa., U.S.A.	75(〃)	2	レクトロメルト (アンブリダイン)	
31	Jones & Laughlin Steel Corp.	Detroit, Mich., U.S.A.	75(〃)	2	レクトロメルト (アンブリダイン)	ステンレス鋼用
32	Fabbrica Italiana Automobili	Torino (FIAT) Turlin, Italy	75(〃)	4	レクトロメルト (アンブリダイン)	
33	Armco Steel Corp. (Sheffield Div)	Sand Springs. Okla., U.S.A.	75(〃)	1	レクトロメルト (アンブリダイン)	
34	Erie Forge & Steel Corp	Erie, Pa., U.S.A.	75(〃)	1	レクトロメルト (アンブリダイン)	
35	Timken Roller Bearing Co.	Canton, Ohio., U.S.A.	75(〃)	1	A.B.	
36	U. S. Steel Corp. (Duquesne)	Duquesne, Pa., U.S.A.	75(〃)	2	A.B.	ステンレス鋼用
37	Allegheny Ludlum Steel Corp.	Brackenridge, Pa., U.S.A.	75(〃)	2	スインデル・ドレセラ	
38	General Electric Co.	Schenectady, N.Y., U.S.A.	75(〃)	1		
39	Deutsch Edelstahl	Krefeld, West. Germany	75	1	デマーグ	
40	Bochumer Verein	Bochum, West. Germany	75	1	デマーグ	
41	Elektrim	Warsaw, Poland	(17'-6")	2		ASEA スターラー付
42	Lombarde Falck	Milano, Italy	50(17')	2	レクトロメルト	
43	Nationale Cogne.	Aosta, Italy	50(〃)	1	レクトロメルト	
44	Hojalata y Lamina S. A.	Monterrey, Mexico	50(〃)	2	レクトロメルト	
45	三菱製鋼(株)	日本, 長崎	50(〃)	1	ダイドーレクトロメルト(アンブリダイン)	
46	Avesta Jernverks AB	Avesta, Sweden	50(〃)	2	ASEA	ASEA スターラー付, ステンレス鋼用 ASEA スターラー付
47	Soc. Nationale Cogne	Aosta, Italy	50(〃)	1	シュタイン・エ・ルーベレクトロメルト	

No.	会 社 名	所 在 地	炉容量(t) (炉内径)	基数	炉 メ ー カ	備 考
48	Uddeholms AB (Degerfors)	Degerfors, Sweden	50(7)	1	ASEA	ASEA スター ラー付
49	Fagersta Bruks AB	Fagersta, Sweden	50(7)	1	ASEA	ASEA スター ラー付
50	Soc. Des Forges & Ateliers du Creusot (Usines Schneider)	Le Creusot, France	50(7)	1	シュタイン・エ・ルー ベークトロメルト	ASEA スター ラー付
51	Bofors AB	Bofors, Sweden	50(7)	1	ASEA	ASEA スター ラー付

注 1) 手許の資料によって取急ぎまとめたので、記載洩れもあると思われるが、一部の姿は伝え得たつもりである。

2) 現在建設中のもの

No.	会 社 名	所 在 地	炉容量(t) (炉内径)	基数	炉 メ ー カ	備 考
1	The United & Steel Co., Ltd.	England	200(24')	2	GWB	
2	Armco Steel Corp. (Sheffield Div)	Kansas City, Mo. U. S. A.	150(22')	1	レクトロメルト	
3	(株)神戸製鋼所	高砂	70 —	1	デマーグ	
4	Pittsburgh Met. Co.	Pittsburgh, Pa, U.S.A.	60(18')	1	トレクトロメルト	
5	住友金属工業(株)	尼崎	50 —	1	A.B.	
6	八幡製鉄(株)	光	—(17')	1	ダイドーレクトロメル ト	

(単位mm)

第 3 表

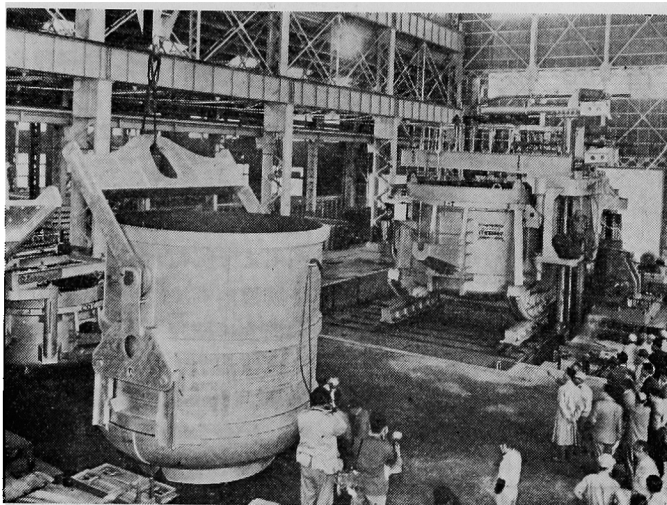
(第3図参照)

型	公 称 容 量 (t)	炉 殻 内 径 (mm) ()内は ft	変 圧 器 容 量 (K V A)	A	B	C
K T	50	5,182 (17'0")	15,000~18,750	7,500	5,000	10,500
J T	75	5,486 (18'0")	18,750~20,000	7,650	5,400	11,300
I T	90	5,791 (19'0")	20,000~25,000	8,000	5,800	11,300
H T	100	6,096 (20'0")	25,000~30,000	8,550	6,300	11,600
F T	150	6,706 (22'0")	30,000~35,000	10,060	6,700	12,000
D T	200	7,315 (24'0")	37,500~40,000	10,060	6,900	12,600

型	D	E	F	G	H	P	Q	R
K T	7,000	7,200	8,000	9,610	9,010	10,500	12,000	9,000
J T	7,800	7,400	8,000	9,970	9,580	11,000	12,500	9,000
I T	8,500	7,680	8,000	10,065	10,280	11,000	12,500	9,000
H T	9,100	8,180	8,500	10,070	10,860	12,000	13,000	9,000
F T	9,300	8,800	8,500	10,100	11,160	12,000	13,000	10,000
D T	9,500	9,400	8,500	11,070	11,460	12,500	13,500	10,000

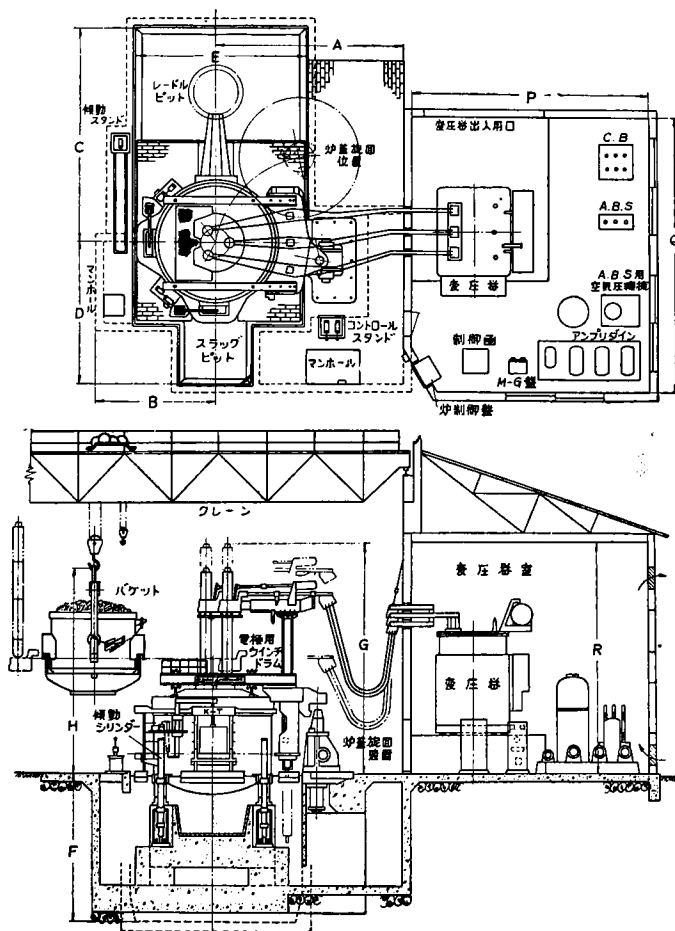
5 ダイドーレクトロメルト大型電気炉

写真3 ダイドレクトロメル70t炉 (第2表No. 27参照)



第 3 図

工場仮組立 神戸製鋼・脇浜向



6. あとがき

以上最近の大型アーク炉の諸問題について概観を試みた。問題点についてはまた稿を改めて詳述したい。(完)