

第 57 圖は 500°C に焼いたもので、外側は Fe_2O_3 、内部は輝銅鑛で、その中には $CuSO_4$ を相當混合してゐる。

第 58 圖は同じく昭和 IV を 700°C に焙焼したもので、主として Fe_2O_3 より成るが、その中に黒の $CuFe_2O_4$ が散在して居る。この温度では未だ $CuFe_2O_4$ の生成が盛で無い爲に、或る箇所に凝集する様なことが見られない。

第 59 圖は 900°C に焙焼したもので、大部分 Fe_2O_3 、小白點は Fe_nS_{n+1} 、黒は $CuFe_2O_4$ である。

第 60 圖は斑銅鑛がある試料のため取り出したもので、550°C に焙焼した硫酸滓 IV で、左の方の黒いのがそれで、輝いた Cu_2S の中にある。他は Fe_2O_3 で FeS が少し混入して居るのが見える。圓い小白點は未分解の FeS_2 である。

第 61 圖は昭和 IV を 750°C に焙焼し、その磁性部分で黒の塊及び外壁に近い黒は $CuFe_2O_4$ 、輝く白點は磁硫鐵鑛、小白點は殘留 FeS_2 、薄黒は FeS (中程度の黒のもので餘り滓山は無い)。その他は Fe_2O_3 である。

第 62 圖は同じ試料の別の部分で、薄黒は Fe_2O_3 、黒は $CuFe_2O_4$ 、黒に周りを圍まれてるのは Fe_2O_3 で、人工の $CuFe_2O_4$ と同じ傾向を持つてゐる。

第 63 圖同じ試料の $CuFe_2O_4$ と Fe_2O_3 の部分を撮つたもので、黒の $CuFe_2O_4$ の中には小白點がある。それは Fe_2O_3 で CuO も多少混じて居る様に見える、人工的のものによく似てゐる。又周りを圍まれてゐる Fe_2O_3 も見える。

IX. 結 論

硫酸滓及びその成分を成す諸化合物及び鑛物の焙焼中に

起る變化を調べ次の結論を得た。

1) 16 種の硫酸滓成分を熱天秤で焙焼すれば、その各々が異つた曲線を示し、變化の經路を知り得る。

2) 各成分を焙焼し 100°C 毎に檢鏡すれば、焼滓の焙焼中に起る變化も推定し得る。

3) 黄鐵鑛、黄銅鑛、硫酸滓を焙焼する時、著しき磁性の變化がある。

4) 硫酸滓を焙焼すると水溶銅は 550°C 酸溶銅は 600°C が最大にして、良く基礎實驗と一致する。

5) 熱天秤に依る基礎焙焼曲線から硫酸滓の焙焼曲線を見ると、その性質及び成分の概要を知り得る。

以上本實驗を行ふに際し、種々御教示を頂いた當學佐藤教授に對し感謝の意を表し、實驗に助力せられたる當學助手レベデフオルグ君、本溪湖煤鐵公司苗德權君の勞を多とする。

引用文獻

- 1) 小川芳樹：日本鑛業會，46 (昭 5) 515.
- 2) 石原富松：岩波講座，地質鑛物學 閃亜鉛鑛及び類似礦物の焙焼的性質 25 頁.
- 3) 森棟隆弘：磁硫鐵鑛利用に關する研究 (I) 鐵と鋼，昭 17 (28) 14 頁.
- 4) 森棟隆弘：硫酸滓に關する研究 (II) 鐵と鋼，昭和 16, 732 頁.
- 5) 森棟隆弘：同上，741 頁.
- 6) 木村唯助：カーネルの焙焼に就て，鑛業會誌，48 (昭 7) 1275 頁.
- 7) 久島玄三雄：含銅硫化鐵鑛焙焼滓處理に關する化學反應に就て (III)，採冶月報，昭 12 (15)，60 頁.

製鉄用新型電氣高爐の設計及び操業に就て

林 達 夫*

I. 緒 言

鉄鐵は古くから鑛爐で製造せられ、長年の經驗により極めて安價に造られる。

電氣鉄鐵は鑛爐鉄鐵と競争するには、コークスに比し、餘りにも高價な電力と電極を必要として、經濟的に成立せず、一般に顧みられない状態であつた。

* 大同製鋼會社 The synopsis to this article is on p. 26

多年輸入屑鐵に依存してゐた我國製鋼業者が、最近の重大局面に直面し、鑛石法に基く鉄鋼一貫作業を採用せんとするも、今遽かに大規模な鑛爐を設置する事は容易でない。然るに電氣製鉄法による鉄鐵は、比較的小資本で手軽に得られ、然もその成分が低炭素、低珪素で低磷、低硫黄特に電氣製鋼用として好適である。従つて電氣製鉄法は、現下の我國の要求に適應し、その優秀性は漸く一般の注目する處となつた。即ち我國電氣製鉄法は、屑鐵に代るに低

炭素、低珪素、低燐、低硫黄の銑鐵を鑛石から小規模に製造出来る點と、我國の重大問題たるコークス消費量少き點に工業的價値を有してゐる。この爲に少なからざる電力費（電力料金と電極費）をも、敢て消費してゐるのである。特に電気製鋼に於て、炭素及び珪素の多い銑鐵は、築爐材を傷めるのみならず、電極の酸化消耗を著しくし、操業不能に立ち到らしめる事がある。電気銑鐵は、通常 C 2.5%, Si 0.1% 以下 P, S 共 0.02% 以下にして、全く電気製鋼用原料としては好適である。

電気高爐は電気製銑爐として最も多く使用され、又實用的であると一般に信ぜられてゐるが、吾國に於ては數基建設されたにもかゝらず、失敗に終つた歴史を持つてゐる。これは設計を外國に依存したによると考へられる。本文は電気高爐を、特に我國の資源に適する如く、飛躍的改良を施した日産 30t 爐の概要である。

II. 一般の特性

電気高爐の形狀は、名の示す如く高爐、即ち鑄鑄爐に似てゐるが、兩者の間には次の如き差異がある。

1. 鑄鑄爐では、装入されたコークスが還元劑として働くと同時に、熱源として作用するが、電気高爐では、電極間の電弧熱を熱源とし、木炭、コークスは單に還元劑としてのみ働く所に、本質的な差異がある。

2. 従つて電気高爐の木炭、コークスの量は鑄鑄爐の約 1/3 となり、これより入る不純物、特に燐、硫黄の含有量少く、電気高爐は高級銑の製造に適してゐる。

3. 電気高爐の發生ガスは、CO を約 60% 含み、且 H_2 多く、 N_2 少き爲、發熱量は鑄鑄爐ガスの約 3 倍に及ぶ。

4. 電気高爐は、比較的小規模に適し、溫度の調節及び作業は中止が容易に出来るが、鑄鑄爐では總てこの逆である。

次に電気高爐の設計に際し、普通の電気弧光爐と異つた考慮を拂ふべき點に就て述べる。

1. 電気高爐は、密閉式の精鍊室に高い圓筒部（シャフト）を取付け、鑛石の豫熱をなさしめるが、この時シャフト内の装入物の間隙が閉塞され易い。

2. 電極は傾斜して挿入せられ、然もこれにシャフト内の装入物の重壓が、絶えず加はる爲折損し易い。

3. 鑄鑄爐と同様に、發生ガスに依る間接還元を促進せしめる爲、高爐ガスを爐頂より取り除塵器、送風機を経て爐蓋下から吹込み、循環せしめ、還元性ガスの分壓を高め

るのであるが、この循環ガスの通路が塵埃に依り閉塞され易い。

4. 電極の數が普通の弧光爐の場合に比し多く、これ等の電氣的接觸に考慮を要する。

尚電気高爐の大きな缺點は、還元劑として木炭を使用すべき事で、木炭の代りに粉コークスを用ひると、シャフト内の装入物の間隙を閉塞し、懸滯を生じ、操業不能となり且危険である。従つて粉コークスは全還元劑の 20% 程度に制限する必要がある。

木炭が還元劑として良い理由は、次の如くである。

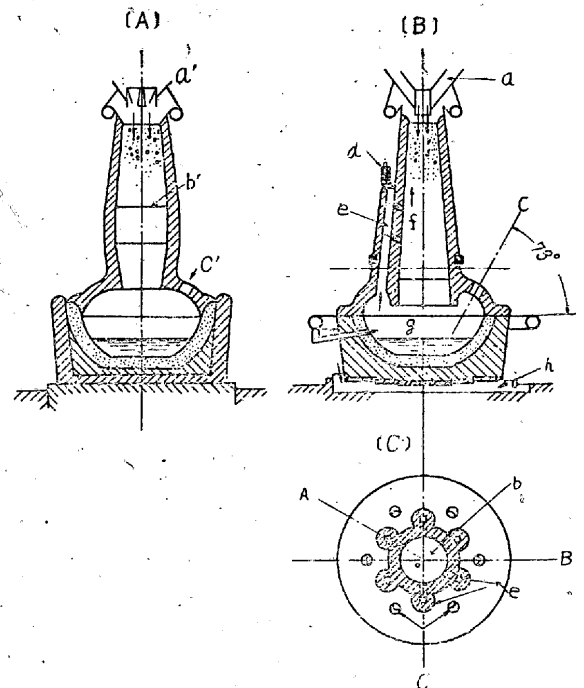
1. 装入配合物間に間隙を作り、ガスの流通を良くする
2. 電気抵抗が大きい。
3. 重量が軽い。
4. 灰分、硫黄及び燐少く、石灰の配合が少くて良い。

III. 改良型電気高爐の工業的特徴

前述の特性諸條件に對し従來の型と、改良型と比較して次に考察して見る。

1. 發生ガスの閉塞に對して

形態小なる原料、即ち粉鑄、粉炭等を使用する時は CO 及び H_2 を多量に含む高爐ガスが高溫の爐内で閉塞され、装



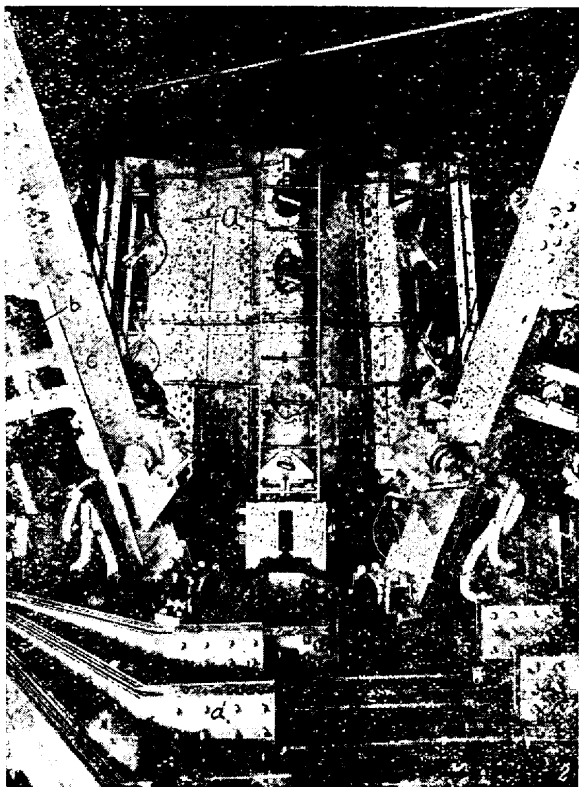
第 1 圖 電気高爐構造概要圖

[A] 従來型縦斷面圖

[B] 改良型縦斷面圖 AOB 縦斷面圖

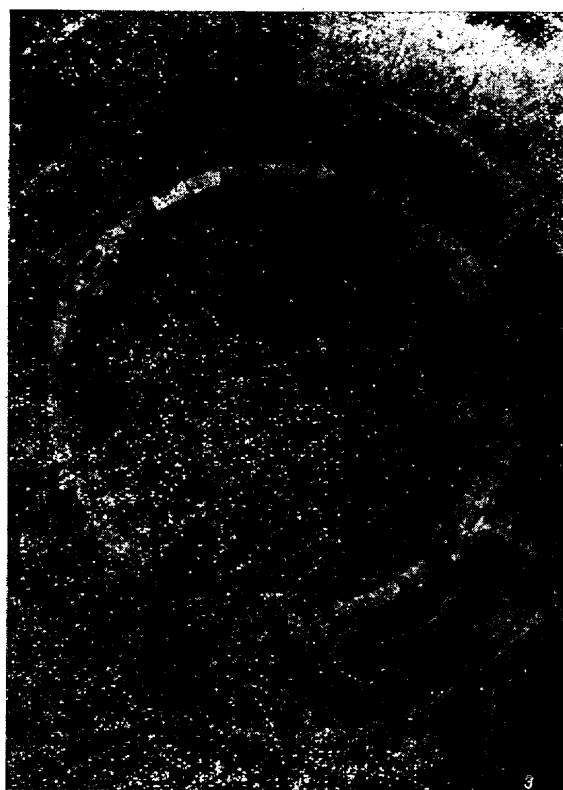
[C] 改良型横斷面圖（シャフト部）

a, a' 装入口 b, b' シャフト c, c' 電極 d 安全弁
e バイパス f ガス孔 g 精鍊室 h 冷却溝



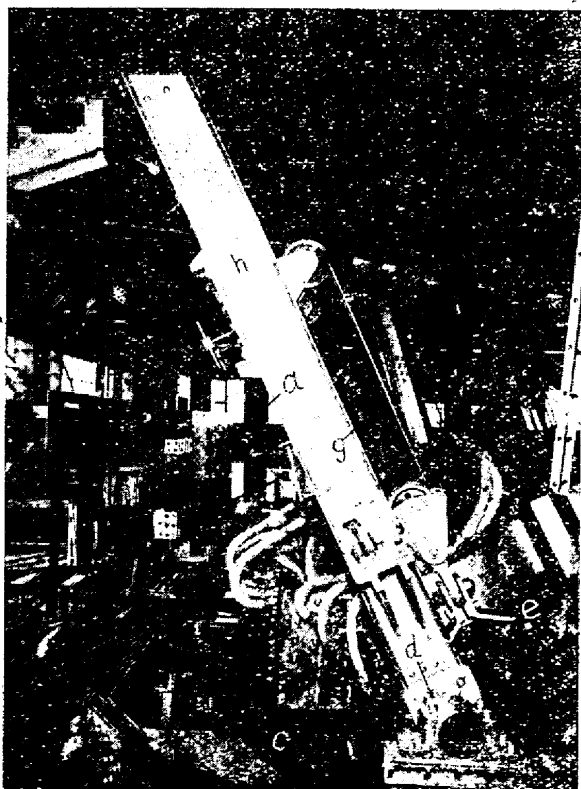
第2圖 下部シャフト(二階)部外觀

a ガスバイパス b 電極 c 電極支柱 d 二次母線



第3圖 シャフト内部圖

a ガス孔 b 爐蓋煉瓦面下



第4圖 電極支持装置(側面)

a 二次切換開閉器(接續方法決定前) b 二次母線 c 可撓導體 d 支柱軸承 e 電極支持器 f 電極把持器 g 電極 h 電極支柱



第5圖 燒結爐テーブル及廻轉機構

入原料の懸滞を起させ危険である。従つてこの發生ガス及び壓力には細心の注意を要する。

これに對し従來の型に無い新しい考案を試みた。即ちガスの逃げ道として、バイパス、ガスの壓力に對して安全瓣を設けた點である。その概要を示せば、第1圖(B)及び(C)の如く、6本の電極の中間に6個のバイパスを設け、その上方に安全瓣を取付けた。かくする時は、爐内發生ガスは高温の精鍊室内に閉塞される事無く、バイパスを昇り、ガス孔よりシャフト内に入り、循環する爲、原料の懸滞も起らず安全である。この考案は他に類例を見ない本爐の大きな特徴である。第2圖及び第3圖は、かかる特徴を有するシャフトの外観及び内部を示す。

2. 電極の傾度及び折損に就て

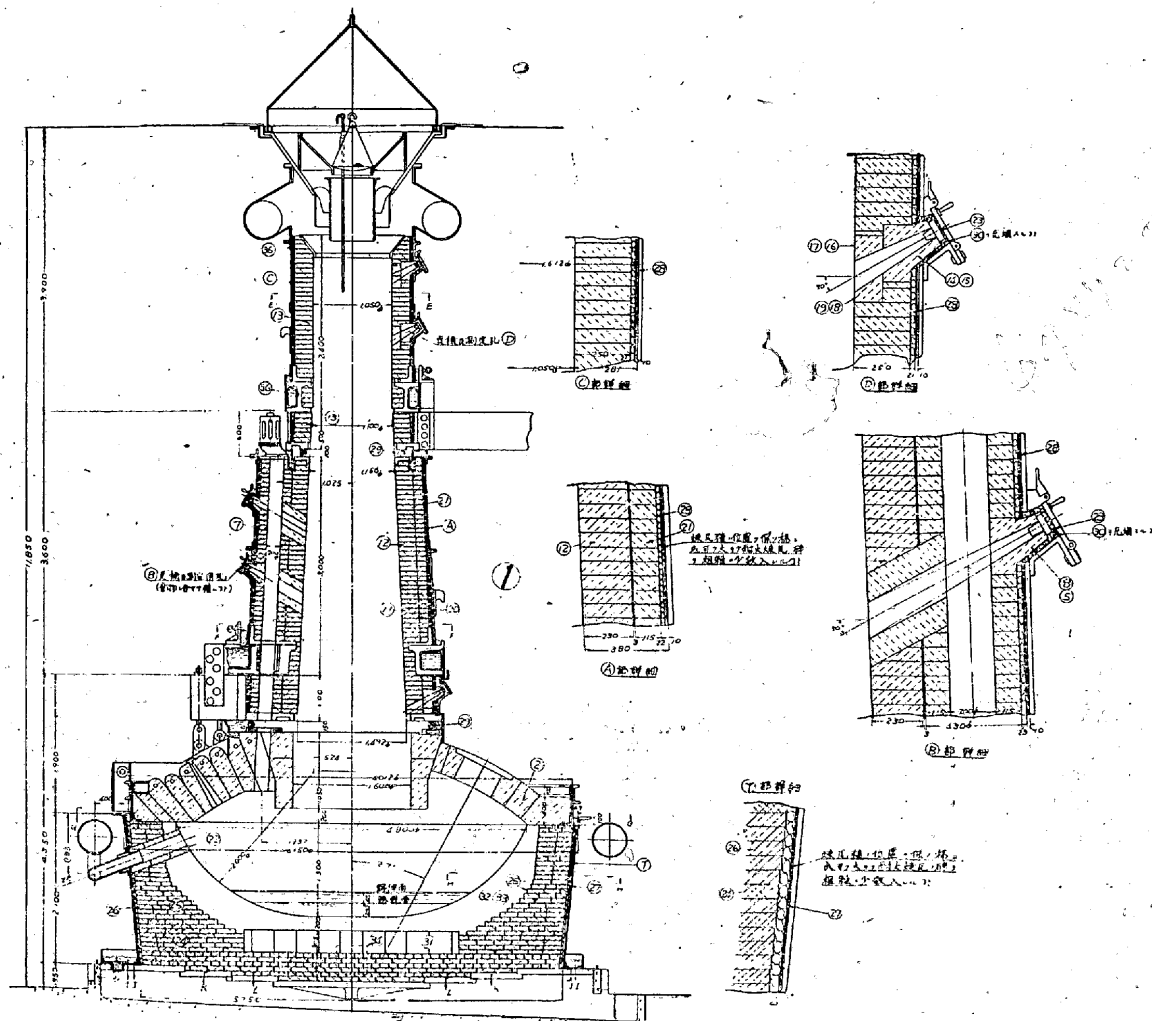
通常電極は、水平に對して約70度傾斜して挿入せられ電極及び電力の消費量は電極の傾度に關係する。一般に電極は傾度が垂直に對して大となれば、シャフト内の原料の重壓を受ける事多く、折損し易く、電極消費量は増すが、他

方電極の先端は、中央に集る結果、熱の集約利用に便となり、電力消費量は減少する。従つてこの兩者を考慮して適當の傾度を定める。本爐は電極を通常73度傾斜して支持するが、裝入物、その他の條件に應じ、多少傾度を加減變更して使用し得る構造とした。(第4圖参照)

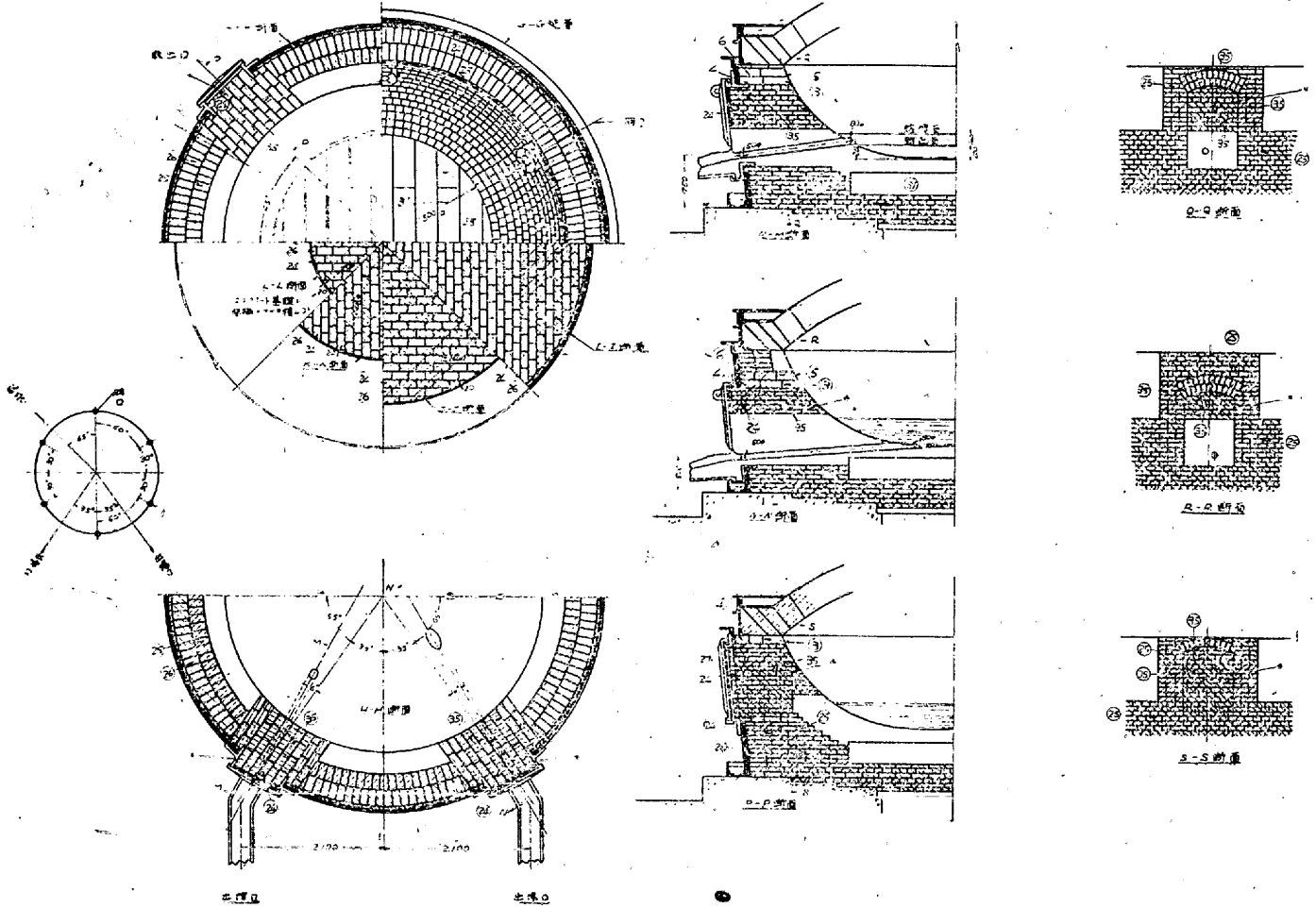
尙電極の折損に對しては、操業に注意を拂ひ、爐内に突出する電極の長さを制限する如き方法を施す必要がある。然し餘り淺く挿入すると、電弧の爲、爐蓋を鎔損させる故この調整には相當技術を要する。

3. 裝入原料に就て

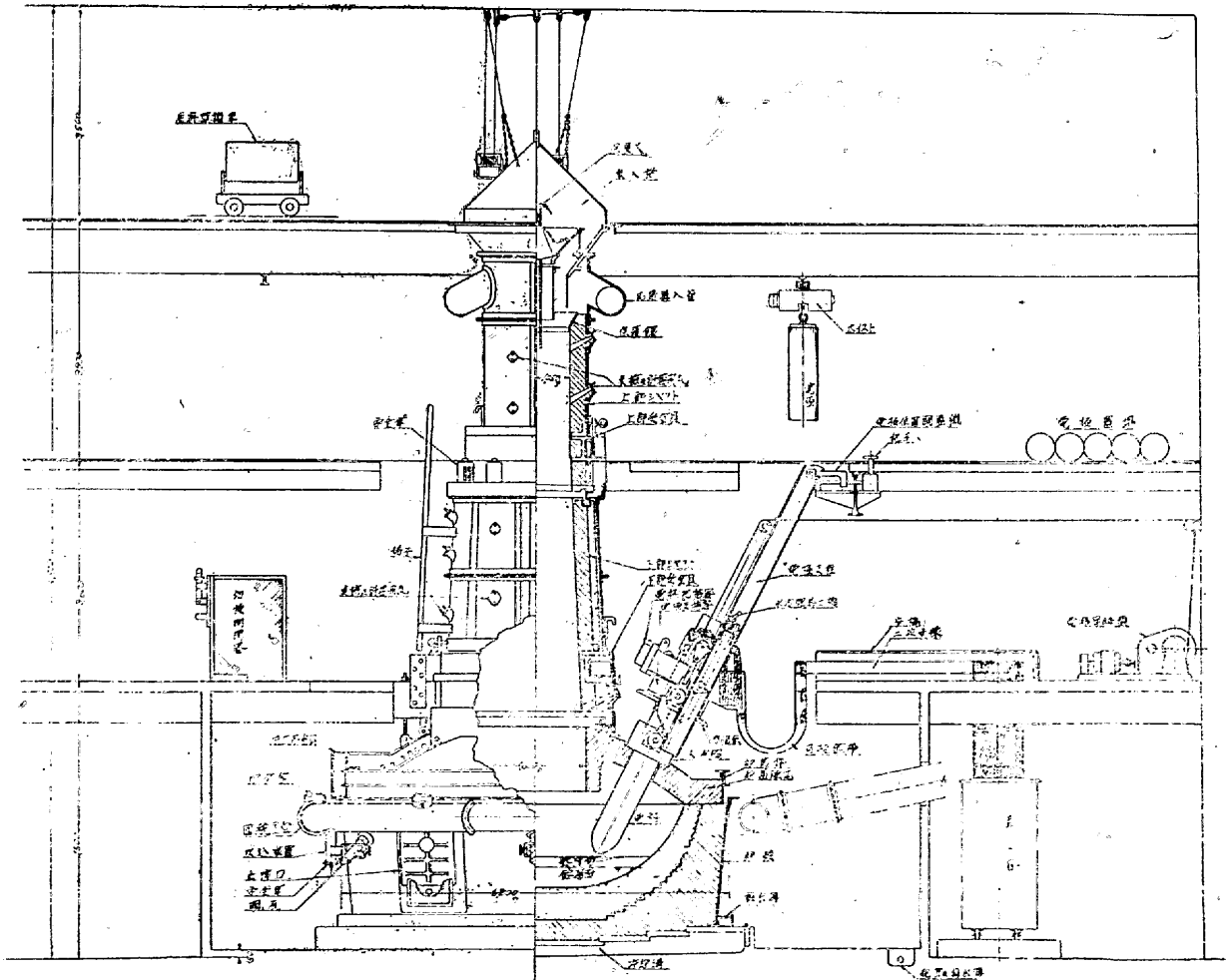
昭和10年本邦某工場は自家工場内で生ずる硫酸滓を利用せんとして、約3000kWの電気高爐で精鍊を試みた。又併せてCO及H₂多き高爐ガスを空中窒素固定工業に利用せんとした。然るに原料として粉狀硫酸滓及粉コークスを裝入した爲、故障を生じ失敗した。本爐では高爐ガスを利用して、第5圖の如きドワイトロイド形皿形燒結爐を作り、硫酸滓を適當の大きさの塊に燒結し、これを裝入する



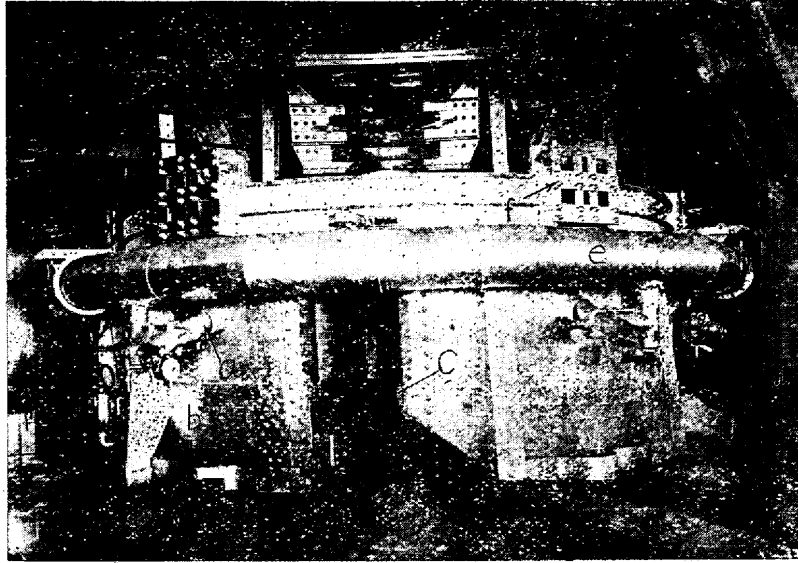
第6圖(1) 爐體煉瓦積の圖



第6圖(2) ※印の部分は外廓と關係なく、別個に取壊し又積上げ出来る様に積む

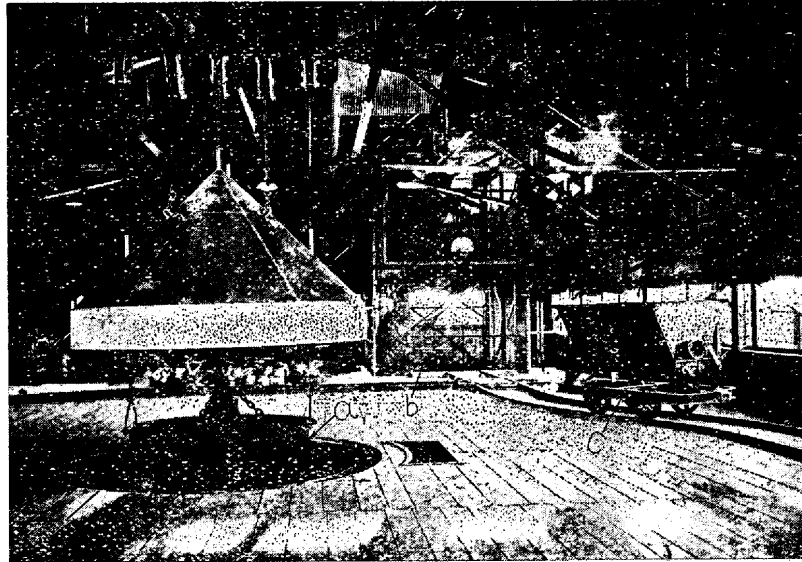


第7圖 改良型電氣高爐組立圖



第8圖 爐體下部注出口外觀

a ガス吹入口 b 爐殼 c 出洋口 d 注出口 e ガス導管(圍繞主管) f 爐蓋吊金具



第9圖 原料装入装置(四階)

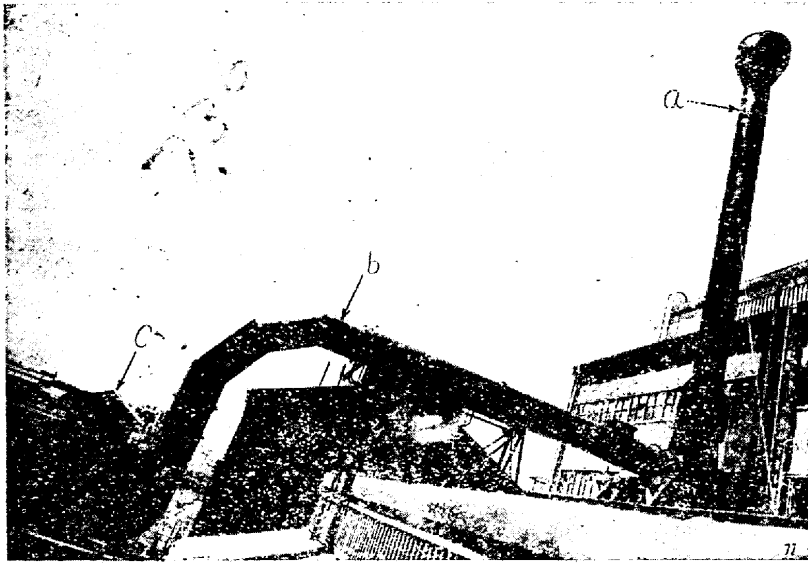
a 装入機 b 原料運搬用昇降機 c 原料運搬車



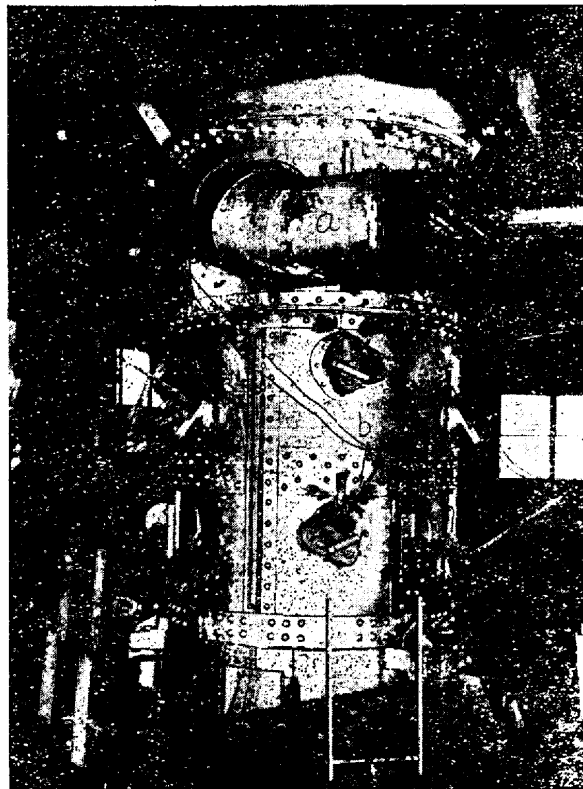
第10圖 三階 a 電極運搬用トロリー b 上部受金具 c ガス計

7.3.b

23.2.23.1947



第11圖 二次除塵器 a 煙突 b ガス導管 c 二次除塵器

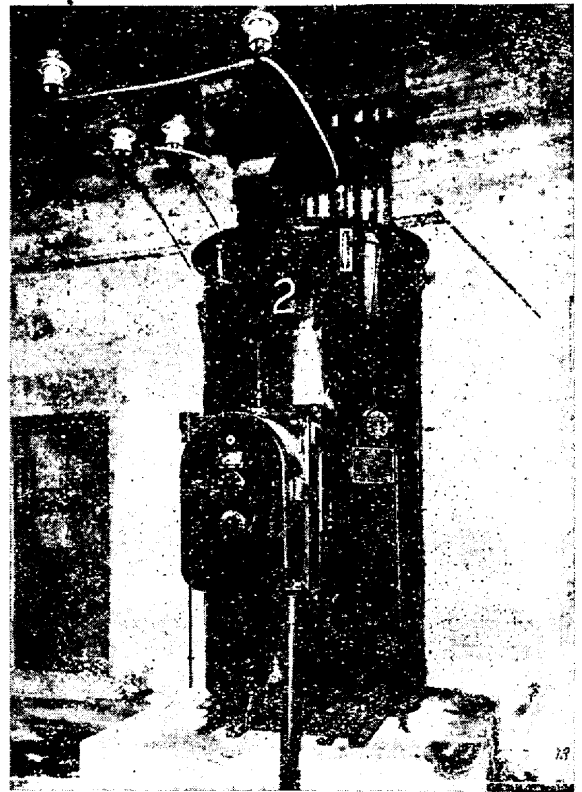


第12圖 上部シャフト(三階) a ガス導管 b 温度測定用熱電對

事とした。かくする時は、装入物間の間隙を閉塞せず、ガスの流通良く、操業成績も良好である。而して、この硫酸滓の原鑛は、總て我國に産する黄鐵鑛である爲、我國資源に適する所以である。

4. 耐火物に就て

耐火物の性質は、爐の壽命に大なる影響を及ぼす。殊に爐蓋及び爐壁煉瓦には、細心の考慮を拂ひ、連續運轉に適する如く頑丈に設計した。第6圖は本爐の煉瓦積を示す。シャフトの形状も從來と異り下開きとし、装入物の懸滯を



第13圖 爐用變壓器(3臺中1臺)

單相水冷式 1500 kVA 一次電壓 1 1000 V
二次電壓 200/180/160/140/120/100 V
100/ 90/ 80/ 70/ 60/ 50 V

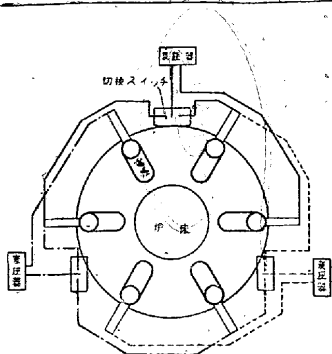
防いだ。尙耐火物の冷却には特に考慮を拂ひ、爐底には放射狀の冷却溝を設けた。

かくして完成したる爐全般の構造は、第7圖に示す如くである。第8圖は爐體下部の外観を示す。適當の大きさに焼結された原料は、四階に上げられ、第9圖に示す如く装入機に依り自動的に爐内に装入される。

高爐ガスは爐頂より導管により除塵器、ガスタンク等を経て焼結爐に導く。(第10圖、第11圖参照)又各バイパスには、數個所に點檢及計器用孔を設けた。(第12圖参照)電極は昇降機構を二階に設け。補給及び傾度調制は三階で行ふ。爐用變壓器は第13圖の如き 1500kVA 水冷式單相變壓器 3臺を 3 個所に設置した。尙除塵方法は、重大な問題故、3 段の除塵器を設け、塵埃に依るガス通路閉塞の絶無を期した。その一部は前掲、第10圖、第11圖に示した如くである。

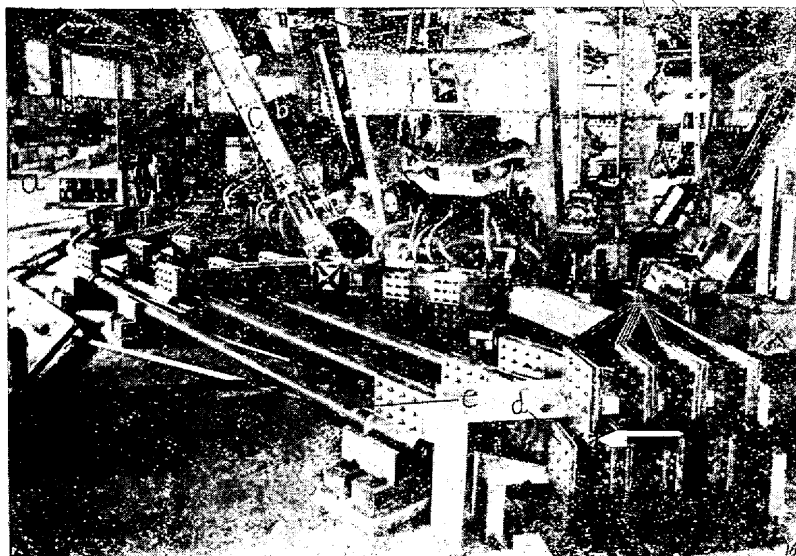
IV. 改良型の電氣的特徴

本爐は 6 本の電極に單相變壓器 3 臺より三相電力を供給するものであるが、この場合電極を、對稱的に接続するには、第14圖の如く、2 種の接続が考へられる。今便宜上第14圖(A)(B)の如く、一相分の電極を電極圓の中心に



第 15 圖 試験用接続圖

對し對稱的に對向せた場合を對向接続，(C) の如く隣合せにした場合を隣接接続と呼ぶ事にする。對向接続の場合 (A) の如くすれば，平行部分の導體は自己誘導大きく，従つて電力損失も大となる。今 (B) の如く一相の變壓器の極性を逆にすれば，誘導損失は遙かに減少する故，對向接続として (B) を採用し，これを (C) の隣接接続と比較するに，前者では電流は爐内を對角線狀に流れ，装入物の加熱溶解は均一に行はれ，冶金的，熱的には良好と考へられ，後者では變壓器より電極迄の距離短き爲，電力損失少く，電氣的には高能率と思考される故に，兩接続の優劣は速かに定め難いので，實際に兩方に就て短絡試験を行ひ，これを基礎とし操業に關係ある諸量を求めて比較して見た。短絡試験の結線は，第 15 圖の如く，對向接続にも隣接々續にも，容易に切換へ得る如くした。一般に簡単な二次母線のみの場合には，豫め近似計算に依り數値を求めても，大差は無いが，本爐の如く相當大電流で，鐵鋼材と複雑なる關係配置にあるものは，實際に短絡試験を行ふのが最も正確な結果を與へるものである。



第 16 圖 二階全景

a 二次切換開閉器 (接続方法決定前) b 電極 c 電極支柱 d 變壓器端子 e 二次母線



第 14 圖 電極接続方式

A, B 對角接続
C 隣接接続

向二次電壓 (爐電壓) の決定は，操業に大なる影響を及ぼし，同一電力に對しても電壓の相違により出鉄量が著しく變化する故，50V より 100V タップの内 50V, 80V, 100V のタップに就て特性を求めた。特性の計算は，爐の負荷を R_a なる抵抗の可變抵抗負荷とし，電極迄を含めた回路の抵抗を R_b ，リアクタンスを X として電源電壓を E として次の關係式より諸量を求めた。

完全短絡力率角	$\theta_s = \tan^{-1}(X/R_b)$
短絡電流	$I_s = (E/X) \sin \theta_s$
電弧電流	$I = (E/X) \sin \theta$
力率	$\cos \theta = \sqrt{1 - (IX/E)^2}$
電弧電壓	$E_a = IR_a = E \sin(\theta_s - \theta) / \sin \theta_s$
所要電力	$P = 3(E^2/X) \sin \theta \cdot \cos \theta$
最大所要電力	$P_m = (3/2) \cdot (E^2/X)$
P_m を與へる電流	$I_{Pm} = (1/\sqrt{2}) \cdot (E/X)$
電弧電力	$Q = 3(E^2/X) \{ \sin \theta \cdot \sin(\theta_s - \theta) / \sin \theta_s \}$
最大電弧電力	$Q_m = (3/2) \cdot (E^2/X) \cdot \tan \theta_s / 2$
Q_m を與へる電流	$I_{Qm} = (E/X) \sin \theta_s / 2$

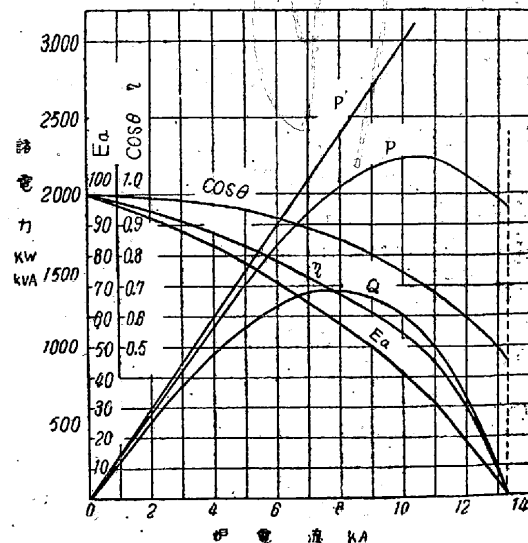
短絡試験により R_b, X を求むれば，與へられたる電源電壓に對し諸量を計算する事が出来る。第 16 圖，第 17 圖は短絡試験の様態で對向，隣接々續切換開閉器が見えてゐる。短絡試験の結果次の如き特性を得た。

1. 對向接続の場合

短絡試験により變壓器を含まざる回路抵抗及びリアクタンスの値として

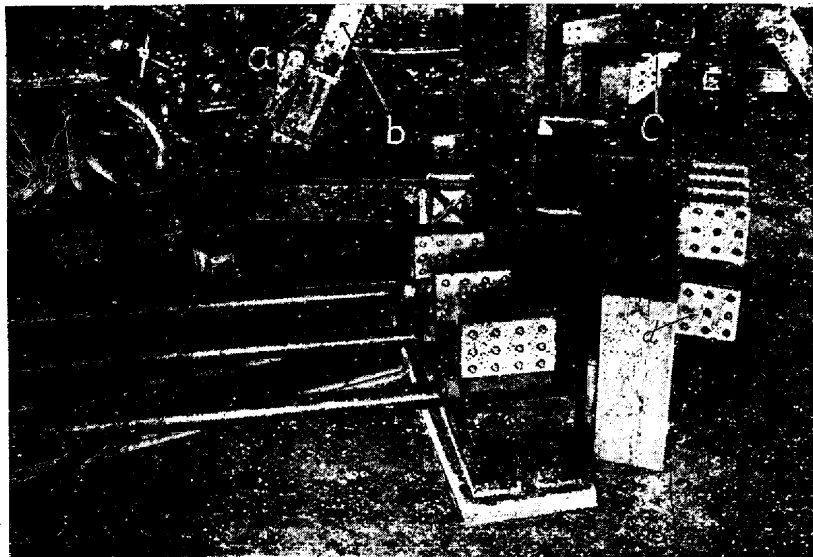
回路抵抗	$R_b' = 3369.5 \mu\Omega$
回路リアクタンス	$X = 6325.2 \mu\Omega$

を得た。變壓器の抵抗及びリアクタンスの實測結果は第1表



第 18 圖 對向接続に於ける電氣的特性 (100V タップの場合)

E_a 電弧電壓 V η 能率 P 所要電力 $\cos \theta$ 力率 Q 電弧電力 P' 見掛電力



第17圖 二次母線

a 電極 b 電極支柱 c 二次切換開閉器 (接続方法決定前)
d 變壓器端子 e 二次母線

第1表 爐用變壓器の固有抵抗及固有リアクタンス

タップ V	50	60	70	80	90	100
固有抵抗 $\mu\Omega$	31.1	35.8	40.9	47.8	50.4	56.9
固有リアクタンス $\mu\Omega$	297	334	380	426	471	521

第2表 對向接続に於ける回路固有抵抗リアクタンス及完全短絡力率角

タップ V	50	60	70	80	90	100
$R_b \mu\Omega$	3401	3405	3410	3417	3420	3426
$X \mu\Omega$	6510	6547	6593	6639	6684	6734
θ_s	62°24'	62°28'	62°35'	62°42'	62°50'	63°05'

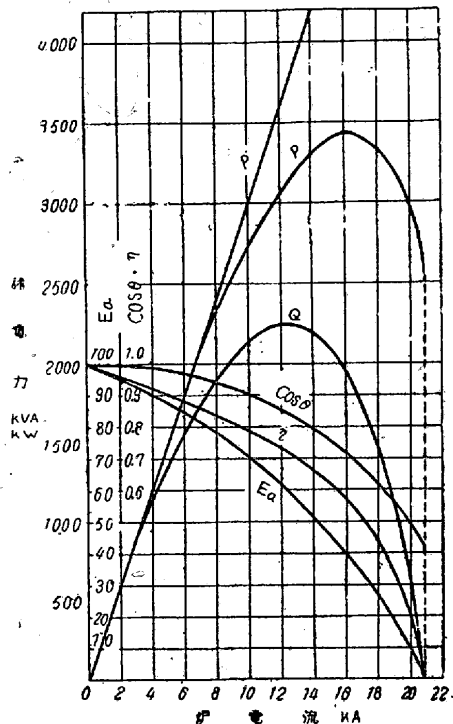
第3表 對向接続に於ける電氣的特性主要數値

タップ V	50	80	100
回路固有抵抗 $R_b \mu\Omega$	3401	3417	3426
回路固有リアクタンス $X \mu\Omega$	6510	6639	6734
完全短絡力率角 θ_s	62°24'	62°42'	63°05'
完全短絡電流 I_s	6819	1 0705	1 3230
最大所要電力 P_m kW	576.5	1443	2230
P_m を與へる電流 I_{Pm} A	5437	8525	1 0500
最大電弧電力 Q_m kW	349.5	877.5	1365
Q_m を與へる電流 I_{Qm} A	3982	6278	7765

の如くであつた。従つて爐回路全體の抵抗 R_b 、リアクタンス X 並に完全短絡力率角 θ_s は第2表の如くなる。次に各タップの場合の二三の諸量を摘記すれば第3表の如くなる。100V タップの場合の特性曲線は第18圖の如くである。

2. 隣接接続の場合

前記同様短絡試験の結果より



第19圖 隣接接続に於ける電氣的特性 (100V タップの場合)

E_a 電弧電壓 V (電極端間の電壓) P 所要電力
 $\cos\theta$ 力率 Q 電弧電力 P' 見掛電力 η 能率

回路抵抗 $R_b' = 1885.6 \mu\Omega$

回路リアクタンス $X' = 3850.2 \mu\Omega$

を得、これに變壓器の値を加へた爐全體の抵抗、リアクタンス、完全短絡力率角は第4表の如く、又各タップに於ける主要數値は第5表の如くなる。第19圖は100V タップの場合の特性回線である。

第4表 隣接接続に於ける回路固有抵抗リアクタンス及完全短絡力率角

タップ V	50	60	70	80	90	100
$R_b \mu\Omega$	1916.7	1921.5	1926.5	1934.4	1936.0	1942.5
$X \mu\Omega$	4147.2	4184.2	4230.2	4276.2	4321.2	4371.2
θ_s	65°12'	65°20'	65°31'	65°40'	65°52'	66°03'

第5表 隣接接続に於ける電氣的特性主要數値

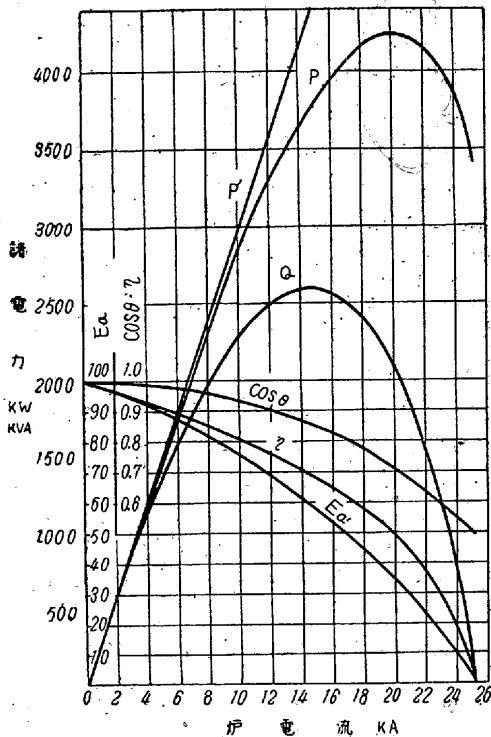
タップ V	50	80	100
回路固有抵抗 $R_b \mu\Omega$	1916.7	1934.4	1942.5
回路固有リアクタンス $X \mu\Omega$	4147.2	4276.2	4371.2
完全短絡力率角 θ_s	65°12'	65°40'	66°03'
完全短絡電流 I_s A	1 0946	1 8705	2 0905
最大所要電力 P_m kW	904.2	2244.6	3431.4
P_m を與へる電流 I_{Pm} A	8525.2	1 3226	1 6176
最大電弧電力 Q_m kW	578.3	1448.4	2232.6
Q_m を與へる電流 I_{Qm} A	6495.6	1 0142	1 2465

3. 1. 2. の結果から明かなる如く、隣接接続は、對向接続に比し、遙かに優秀なる電氣的特性を有し、例へば100V に就て比較するに爐電流 7000A の場合對向接続では電弧電力 1350kW、力率 88% なるに對し、隣接々續

では、電弧電力 1720kW 力率 95.5% 又電流 1 0000 A の場合対向では 1200kW, 73.5%, 隣接では 2130kW, 90% である。更に爐電流 1 3230 A で、對向接続の電弧電力は零となるに、隣接々續では、2230kW である。これは實際操業により計器による所要電力(實効電力)の指示と、特性曲線に於ける所要電力と合致したので、上記特性は實際操業の指針となし得る。又實際操業上對向接続とした場合も電流は對角線状には殆ど流れず。大部分は 6 本の電極を結ぶ正六角形の邊に沿つて流れ、孰れの結線を用ひても、冶金的熱的には殆ど差異がない。故に電氣的に遙かに優秀な隣接々續を採用する事とし、對角接続に使用した銅帶、銅管等を除去し、更に比較のため設置した切換開閉器も除去し、試験前の隣接々續よりも更に抵抗、リアクタンスを減少せる隣接々續を使用するやうにした。この改造後の主要特性は、第 6 表の如くである。

第 6 表 本接続(改造隣接々續)に於ける電氣的特性主要數値

タップ V	50	80	100
回路固有抵抗 $R_b \mu\Omega$	1870	1888	1896
回路固有リアクタンス $X \mu\Omega$	3332	3452	3546
完全短絡力率角 θ_s	60°37'	61°20'	63°06'
完全短絡電流 I_s A	1 3095	2 0280	2 5135
最大所要電力 P_m kW	1129	2781	4230
P_m を與へる電流 I_{pm} A	1 0607	1 6368	1 9931
最大電弧電力 Q_m kW	658.9	1682	2595
Q_m を與へる電流 I_{qm} A	7581	1 1821	1 4745



第 20 圖 本接続(改造隣接々續)に於ける電氣的特性

E_a 電弧電壓 P 所要電力 Q 電弧電力
 η 能率 $\cos\theta$ 力率 P' 見掛電力

第 7 表 高電壓タップに於ける電氣的特性主要數値

タップ V	120	140	160
回路固有抵抗 $R_b \mu\Omega$	1982	2003	2030
回路固有リアクタンス $X \mu\Omega$	4361	4545	4729
完全短絡力率角 θ_s	65°34'	66°13'	66°48'
完全短絡電流 I_s A	2 5060	2 8190	3 1090
最大所要電力 P_m kW	4950	6468	8121
最大電弧電力 Q_m kW	3188	4218	5355

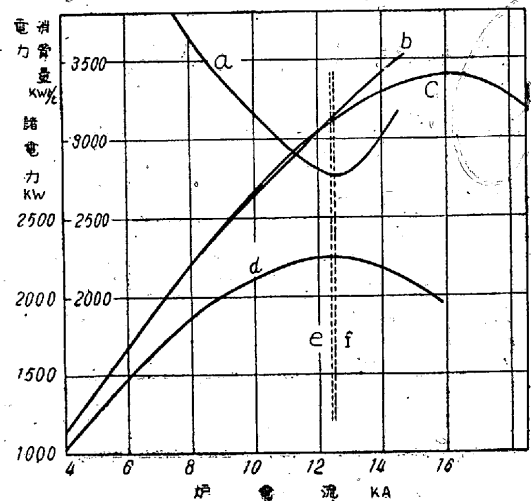
尙變壓器二次端子接続變更による高電壓に於ける特性を第 7 表に示す。この内 100V タップの特性曲線を第 20 圖に示す。上記の諸特性中電弧電壓は一相の負荷電壓の意味であり、實際の電極一本の電弧電壓の約二倍の電壓を表はす。

4. 以上は各相完全に平衡した場合の電氣的特性であるが、實際操業の場合は、母線の抵抗も爐室の温度上昇に従ひ増加し、又操業の都合により相間の不平衡を避け得ぬ場合等もあり、實際は上記特性曲線を多少上下した幅のある

第 8 表 操業実績と電氣的特性との對照

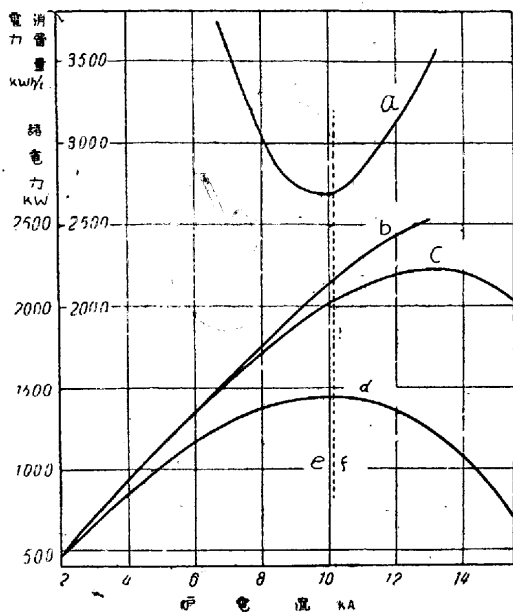
使用電壓 V	操業記録より		電流に對する電力(特性曲線より)		操業実績	
	1日平均1相使用電流 A	1日平均負荷電力 kW	負荷電力(所要電力) kW	電弧電力 kW	1日出銹量 t	t 當電力消費量 kWh/t
100	8042	2220	2250	1890	14.800	3600
	9064	2600	2500	2030	18.180	3300
	1 0027	2677	2710	2130	19.710	3260
	1 1120	2871	2910	2200	23.600	2920
	1 2054	3074	3060	2240	25.530	2780
	1 3018	3320	3200	2240	29.400	2790*
80	1 3920	3466	3310	2200	27.720	3000
	7016	1566	1560	1300	10.440	3600
	8060	1760	1730	1380	13.980	3020
	9001	1987	1890	1420	17.660	2710
	1 0105	2158	2040	1440	19.250	2690**
	1 1027	2249	2140	1420	19.070	2830
1 1961	2440	2200	1380	18.530	3160	
1 3022	2531	2240	1260	17.810	3410	

備考 * 最高出銹量 ** 最高出銹量



第 21 圖 操業実績と電氣的特性との關係 (100V タップの場合)

a t 當り電力消費量 b 平均負荷電力 c 所要電力
 電弧電力 e 最高電弧電力 f 最高出銹量



第22圖 操業実績と電氣的特性との關係 (80Vタップの場合)

a 當り電力消費量 b 平均負荷電力 c 所要電力
d 電弧電力 e 最高電弧電力 f 最高出鉄量

範囲内にあると考へられる。

而してこれが實際運轉に對する應用如何を調べた結果、第8表に示す如く、最大出鉄量を得るには、如何なる電流を選ぶべきかの指針になる事が明かとなつた。即ちこれを第21圖及び第22圖で見ると、最低の當電力消費量、即ち最高能率を與へる電流値は、上記計算に依り求めた最大電弧電力を與へる電流値と略一致してゐる。但し實際使用に當つては、各種條件が常に變動する故、最高能率を出す電流値も相當増減する事を、考慮に入れて置かねばならぬ。

V. 操業実績

改良型電氣高爐の操業実績の概要を示せば次の通りである。

1. 原料

硫酸滓の原鐵は、主として岡山縣柵原産黄鐵鑛を用ひてゐるが、硫酸滓の分析結果を示せば第9表の如くである。これより明かなる如く、鐵分は可成り高く珪酸分、磷分は

第9表 硫酸滓分析結果一例%

昭和15年	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P	S	Cu
某月上旬	60.5	5.12	1.58	0.51	0.13	0.35	0.02	3.370	0.36
某月中旬	62.2	5.76	1.34	0.40	0.14	0.52	0.012	2.491	0.15
某月下旬	58.2	8.32	2.13	0.23	0.70	0.09	0.018	1.496	0.33
平均	60.3	6.40	1.68	0.38	0.32	0.32	0.017	2.452	0.28

比較的少い。一般に硫酸滓は銅の含有量多く0.5%に及ぶ

第10表 燒結鐵分析結果一例%

昭和15年	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P	S	Cu
某月上旬	61.6	8.58	2.50	0.34	0.08	0.26	0.030	0.074	0.41
某月中旬	62.2	8.40	2.57	0.29	0.12	0.26	0.025	0.054	0.39
某月下旬	64.6	7.06	2.27	0.23	0.30	0.09	0.027	0.132	0.35
平均	62.8	8.01	2.45	0.28	0.16	0.16	0.027	0.086	0.38

ものあるも、これは割合に少い。これを燒結爐で燒結した後の分析結果は第10表の如くである。表で判る様に、燒結による鐵分増加は2%内外である。

第11表 木炭分析結果一例%

水分	揮發分	固定炭素	灰分	灰分百分中磷
4.22	10.15	82.86	2.77	1.520
4.32	8.29	86.22	1.17	1.195
3.02	5.11	90.37	1.50	1.070

還元劑の木炭は、市販の松炭を使用し、その代表的な分析結果は第11表の如くである。脱硫は完全に行はれてゐる。

尚爐内ガスの組成の數例を第12表に示した。發熱量は

第12表 爐内ガス組成例%

CO ₂	O ₂	CO	CH ₄	H ₂	N ₂
9.4	.2	68.4	3.6	6.4	12.0
5.8	.4	65.8	5.3	5.8	16.9
10.0	—	68.0	6.8	4.0	11.2
7.4	—	62.6	6.0	10.0	14.0
9.4	—	62.6	9.4	3.6	14.9

2500kcal/m³ 見當で、有力な熱源となり、現に硫酸滓の燒結に使用してゐるが、化學成品の原料ともなり得るものである。

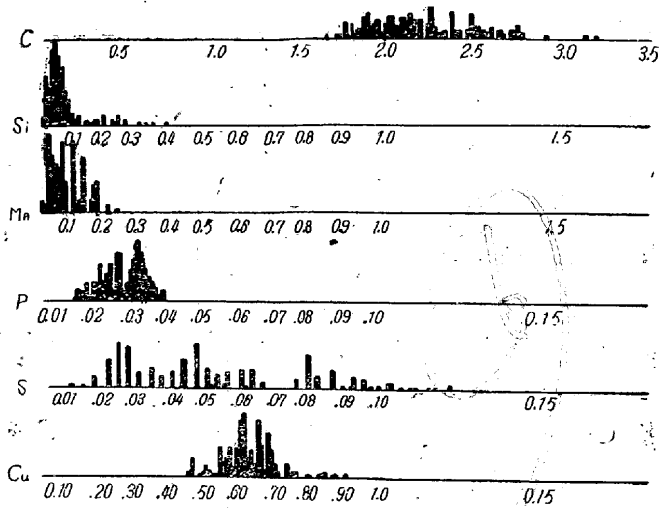
第13表 製品電氣鉄分析例%

番號	C	Si	Mn	P	S	Cu
1138	2.51	0.06	0.21	0.015	0.072	0.57
1139	2.07	0.08	0.17	0.014	0.089	0.60
1140	2.79	0.08	0.11	0.010	0.063	0.60
1141	2.25	0.11	0.30	0.020	0.063	0.59
1142	2.27	0.13	0.27	0.016	0.054	0.60

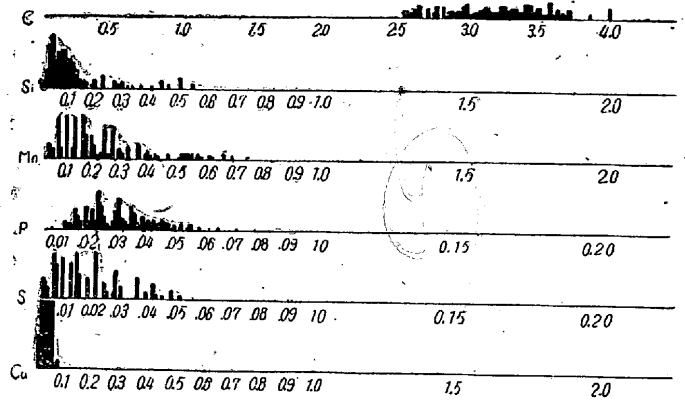
2. 製品

製品電氣鉄の分析結果の例を第13表に示す。C及びSiは極めて低く、従つて鑄鉄の流れは悪く、出鉄作業は相當困難であるが、電氣製鋼用としては好適である。磷は0.02%以下で低磷鉄の規格の中に入る。銅の含有量は相當少いが屑鐵に較ぶれば尚多い。銅は製鋼後壓延に於て龜裂を生ずる原因となると考へられてゐるが、ニツケルを含む特殊鋼に於て、ニツケルの含有量が銅より多ければ、この障害は除かれ、却て品質は良くなると言はれる。

参考として製品電氣鉄の化學成分の圖表を第23圖、第24圖に示す。



第 23 圖 製品電気鉄化学成分例焼結鐵を原料とする低磷鉄鐵成分
出鉄番號 第 2179~2317
熔解期間 16-11-21~17-1-20 出鉄量 1391.140t



第 24 圖 製品電気鉄化学成分例
利根磁鐵鐵を原料とする低磷鉄鐵の成分

出鉄番號 第 2560~2633, 第 1058~2058
熔解期間 17-4-11~17-5-5, 16-9-17~16-10-16
出鉄量 1129.140t

第 14 表 操業成績一例

年 旬 別 昭和 年月	原 料 使 用 高						出鉄量 t	年 旬 別 昭和 年月	年 旬 別 適 當 原 料 使 用 高					
	燒結鐵 t	マンガン 鐵 t	木 炭 t	石灰石 t	電 力 kWh	電 流 t			燒結鐵 t	マンガン 鐵 t	木 炭 t	石灰石 t	電 力 kWh	電 極 t
16-1 中旬	383.430	9.195	96.105	69.745	59 3500	2.803	241.320	16-1 中旬	1.588	0.038	0.398	0.299	2455	11.6
16-1 下旬	364.170	9.075	88.800	67.770	56 9900	2.303	216.350	16-1 下旬	1.685	0.042	0.410	0.313	2630	10.7
16-2 上旬	383.120	9.525	88.765	76.210	60 9300	1.866	231.530	16-2 上旬	1.654	0.041	0.383	0.329	2630	8.1
計	1130.720	27.795	273.670	213.725	177 2700	6.972	689.200	平 均	1.641	0.040	0.397	0.310	2572	10.1

第 15 表 操業成績一例 (操業開始當初の例)

年 別 月 別 昭和 年月	原 料 使 用 高							出鉄量 t	年 別 月 別 昭和 年月	適 當 原 料 使 用 高					
	燒結鐵 t	マンガン 鐵 t	木 炭 t	石灰石 t	電 力 kWh	電 極 t	燒結鐵 t			マンガン 鐵 t	木 炭 t	石灰石 t	電 力 kWh	電 極 t	
14-6 計1)	279.000	28.760	78.825	53.756	65 4800	6.631	166.249	14-6 平均	1.687	0.172	0.474	0.324	3940	39	
14-7 計	547.000	36.910	124.665	103.790	108 1000	8.251	306.870	14-7 平均	1.787	0.120	0.407	0.340	3525	29	
14-10 計	361.000	9.970	98.130	52.440	84 6700	5.998	220.595	14-11 平均	1.640	0.045	0.445	0.237	3840	27	
14-11 計	277.000	5.390	74.685	41.370	64 9700	4.351	163.310	14-11 平均	1.697	0.033	0.488	0.253	3980	26	
14-12 計2)	206.606	2.945	49.195	50.405	63 8100	3.984	123.680	14-12 平均	1.667	0.023	0.397	0.407	5170	32	
15-4 計	886.580	15.590	206.696	125.123	179 8300	6.669	536.687	15-4 平均	1.657	0.029	0.385	0.233	3350	12	
15-5 計	908.000	13.874	213.541	139.530	183 3200	9.343	533.683	15-5 平均	1.703	0.025	0.401	0.262	3440	17.6	
15-6 計	1138.000	21.930	273.3655	169.090	214 1300	7.119	700.250	15-6 平均	1.626	0.031	0.390	0.242	3060	10.1	
15-7 計	819.000	20.470	195.247	127.690	168 0085	9.152	533.280	15-7 平均	1.536	0.036	0.366	0.238	3155	17.1	
15-8 計	793.850	19.825	188.405	123.220	173 8800	13.661	459.280	15-8 平均	1.727	0.043	0.410	0.268	3790	29.7	
15-9 計	731.340	18.120	177.219	110.125	154 1400	11.971	435.200	15-9 平均	1.680	0.041	0.407	0.252	3540	27.5	

1) 中下旬の 20 間の計 2) 上中旬の 20 間の計



第 25 圖 出湯 状 況

3. 製造成績

最近の操業の原料使用高, t 當原料使用高及び出鉄量を示せば第 14 表の如くで, t 當りの電力消費量 2572kWh, 電極消費量 10.1kg, 一ヶ月出鉄量 689.2t といふ好成绩を示してゐる。

然し昭和 14 年の操業開始の頃は, 全く新しい試みで不慣れの爲, 色々の失敗, 故障を重ね, 相當悲惨な成績であつた。昭和 14 年 6, 7, 10, 11, 12 月及び 15 年 4~9 月迄の操業成績を示せば, 第 15 表の如くである。即ち t 當りの電力消費量は, 3900kWh 以上から

製 鉄 保

電 氣 高 爐 登 解 日 報

技 師 長 係 長 係 員 記 錄 夜 勤

第 16 表

昭和 17 年 1 月 14 日 水曜日

時	刻	電 氣 高 爐 登 解 日 報												回 數	總 計	接 續	電 極 記 事			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					1	2	3
電	R	116 8200	116 9000	116 8500	117 8500	115 9000	116 8200	115 8200	115 6000	117 6000	115 9000	115 9000	116 7000	113 1000	110 1000	111 1000	112 10500	115 10500	111 0500	115 7500
	S	98 8200	—	115 9000	114 11000	111 11500	112 11200	111 12000	110 1000	全	114 6000	114 11000	114 11000	113 10500	93 10500	93 10000	93 10500	93 10500	93 10500	93 7500
	T	116 8000	110 10500	114 8200	111 10600	134 9500	134 8200	134 8000	134 8000	135 7000	131 11000	132 10500	116 9000	111 8500	113 7000	111 9000	131 10000	131 10500	130 0500	111 9500
力	W	2500	2700	2800	2950	2950	2950	2950	2950	2950	2950	2950	2950	2950	2950	2950	2950	2950	2950	2950
	F	65766	65794	65819	65846	65874	65887	65916	65943	65982	66011	66040	66069	66127	66185	66214	66243	66271	66300	66329
	h	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
負	k	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	P	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	k	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
荷	電	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	換	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	算	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
出	電	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	量	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	量	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
銑	電	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	負	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	少	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
總	計	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	自	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	日	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
括	本	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	日	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	日	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
記	事	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	事	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	事	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
概	況	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	況	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	況	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

昭和17年1月下旬 電気高爐製鉄工場操業成績旬報 表 17 第

出銑月日	出銑番号	原料装入量 t			銑成成分					出銑量 t	出銑量計 t	洋成								電極消費量 kg/t	停電時間		使用電力 kWh	電力 t 當 kWh/t
		マンガン	木炭	石灰石	C	Si	Mn	P	S			Cu	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	MnO	P		S	h		
11	2320	285	1045	9990	1.93	0.09	0.13	0.028	0.059	0.64	10.900	17.450	34.76	12.25	32.40	3.68	9.60	1.52	0.020	0.120	18	30	6 3800	3660
12	2331	280	1430	4520	1.89	0.05	0.03	0.024	0.036	0.74	6.420	16.580	35.60	13.55	32.40	7.91	8.52	1.69	0.033	0.110	5	55	6 1900	3735
13	2332	295	1265	4010	2.10	0.08	0.05	0.024	0.078	0.72	3.960	24.820	37.58	12.25	31.40	6.18	10.45	1.94	0.045	0.179	44	15	6 5100	2020
14	2333	265	1265	10030	2.05	0.06	0.03	0.024	0.078	0.72	6.200	32.400	41.72	12.20	31.50	5.14	8.00	0.93	0.057	0.080	22	13	6 5000	2015
15	2334	260	1085	9010	2.50	0.05	0.03	0.030	0.033	0.64	8.230	18.840	38.46	11.60	29.00	9.21	9.44	2.03	0.034	0.110	23	10	6 0100	3190
16	2344	250	1025	9000	2.36	0.04	0.03	0.030	0.107	0.64	13.240	29.950	36.38	11.75	34.30	5.43	7.62	1.79	0.068	0.135	4	01	5 7900	1934
17	2345	290	11615	4850	2.11	0.04	0.03	0.023	0.063	0.67	12.370	21.600	39.74	11.05	36.42	4.98	5.74	1.52	0.043	0.151	2	43	6 9600	3222
18	2346	270	10560	9065	2.25	0.07	0.05	0.011	0.114	0.64	5.430	32.400	37.58	11.20	37.20	5.87	6.32	1.61	0.027	0.104	17	44	6 9600	2150
19	2347	245	4285	1150	2.30	0.03	0.03	0.030	0.094	0.67	7.270	17.640	35.96	11.65	42.40	4.15	4.16	1.53	0.043	0.085	19	15	6 3600	2800
20	2348	280	4285	8510	2.13	0.01	0.03	0.021	0.101	0.67	8.900	234.400	35.14	11.50	41.80	5.05	4.88	1.27	0.034	0.170	7	38	6 1300	3479
計	37	2675	11 15109	41251	2.25	0.03	0.07	0.030	0.088	0.67	9.400	234.400									15	42	63 7900	2716

本 月 月 總 括

品名	旬別	鐵鑛石		マンガン t	木炭 t	小粉 t	元 劑	造 洋		電極 kg	電力 kWh	出銑量 t
		燒結 t	計 t					石灰石 t	粘 土 t			
上旬	計	388.500	2.775	108.125	1.120	109.245	94.530	13.875	5706	63 3600	226.050	
中旬	計	450.100	3.215	129.665	0.480	130.146	109.180	16.075	4398	70 4500	275.840	
下旬	計	374.500	2.675	111.510	0	111.510	94.125	13.375	2555	63 7900	234.400	
月	總	1213.100	8.665	349.300	1.600	350.900	297.835	43.325	1 2653	197 6000	736.290	
上旬	t 當	1.718	0.012	0.478	4.9kg	0.483	0.418	0.061	25.2	2800		
中旬	t 當	1.641	0.011	0.471	1.7	0.472	0.396	0.058	15.8	2552		
下旬	t 當	1.597	0.011	0.475	0	0.475	0.401	0.057	10.9	2716		
月	平均	1.649	0.011	0.475	2.1	0.476	0.401	0.059	17.2	2685		

2,500 kWh 迄低減し得たので、この間の進歩の跡は實に目覺しいものがある。

参考として第 16 表及び第 17 表に操業日報並に旬報、月報の一例を示した。第 25 圖は出湯の實況である。

本爐による電氣爐銑を使用して製鋼試験を行つた。その結果は別の機會に報告する。

終りに臨み本論文發表の自由を許されたる大同製鋼株式會社社長下出義雄氏に謝意を表し、尙研究に際し終始御鞭撻、御助言或は御助力を賜はりたる副社長川崎舍恒三博士、技師錦織清治博士、清水定吉博士、野田浩氏、他従業員並に矢作製鐵株式會社岡本孝氏、他従業員に對し厚く御禮申し上ぐる次第なり。

ON THE DESIGN AND OPERATION OF A NOVEL
TYPE ELECTRIC HIGH FURNACE FOR IRON MANUFACTURE

Tatuo Hayasi

SYNOPSIS:—In Japan where the caking coal is lacking, the method of electric iron manufacture consuming cokes less than 400 kg per ton pig plays an important role in enhancing the production of iron. However, the construction and operation of electric high furnace (Elektrohochofen) for iron manufacture has all turned out in failure in the past years here. The cause of the failure seems to be the fact that the design of the furnace has depended on the foreign invention. In answer to such state of matters, the author designed and constructed an electric furnace the most suitable for the present Japan. The present paper dealt with the process of its development. Several points of improvement in the electrical, metallurgical and mechanical designs were described, the actual result of its operation demonstrated, and an optimum method suggested to attain to the maximum pig production with an electric high furnace.

先頃より品切れでありました日本鐵鋼標準試料下記二種出來ました。八月中旬頃より御分譲可能と存じますが荷造材料拂底であり又手不足でありまして御送達はいたしませんから幸便又は當地の支社支店出張所等を通じて御買取りを願ひますどうぞ御諒承下さい。

第九號 (a) 高速度鋼

分析成分	炭素 C %	珪素 Si %	マンガン Mn %	磷 P %	硫黄 S %	銅 Cu %	ニッケル Ni %	クロム Cr %	タンゲステン W %	コバルト Co %	バナジウム V %	モリブデン Mo %
標準値	0.63	0.098	0.078	0.014	0.025	0.14	0.11	3.87	19.40	0.66	0.63	0.38

第十號 (a) ニッケルクロム鋼

分析成分	炭素 C %	珪素 Si %	マンガン Mn %	磷 P %	硫黄 S %	銅 Cu %	ニッケル Ni %	クロム Cr %
標準値	0.30	0.21	0.45	0.012	0.010	0.16	2.86	0.78