

砂鉄精錬に関する研究 (第3報)

— ガラス模型炉による木炭銑角炉の特性究明実験 —

中 村 信 夫*

The Study on the Smelting of Iron Sand (Report III)

By Nobuo Nakamura
Yasugi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

In the previous reports (I) and (II) the writer gave an account of the theoretical studies concerning the operation of special small blast furnaces for iron sand smelting.

In this article, the experimental research on the subject, conducted using some types of model furnaces made of glass, is described.

The results obtained are summarized as follows:

- (1) Burden travels with more velocity in the center of the blast furnace than in the circumference,
- (2) The greater is the supply of blast air and throbbing, the higher is the traveling velocity,
- (3) In normal condition, the apprehension of the so-called "slipping" which might be caused by small particles of iron sand is not noticeable contrary to expectation, and,
- (4) It was verified that the forming of the arch on the tuyere line is very easy even if heavier burden is charged.

〔I〕 緒 言

筆者は別報⁽¹⁾⁽²⁾に於て、木炭銑角炉による粉状砂鉄の精錬の実態と、それに基づく理論的考察を行つて、この特異な砂鉄精錬法改善への大体の指針は得られた。然し、そのみでは、未だ適確な結論には達し得ず、尙二、三の究明すべき基礎的な事項が残されていることを知つた。

即ち、第1の問題としては、角炉内に於ける装入物の降下状況、特に粉状砂鉄を使用することは、炉長短少にして、装入後速かな還元を絶対必要とするこの種小型炉に於ては、極めて有利な点であるが、それに伴う通風性の阻害、木炭と砂鉄の比重差及び粉度差から来る炉内スリップ現象が先づ危惧される。次に、朝顔部の2側面は垂直であるが、これが該部のアーチ構成に如何なる影響を与えるか知らねばならない。特に、実態調査⁽²⁾に於け

る結論の一つとして衝風温度上昇の必要性があつたが、低温還元を本旨として良質処女性銑鉄を得る要件より重装入 (Heavy Charge) の必要性を伴うので、その限度を知らねばならない。又最後に、4気筒鞆式送風機を使用しているため、衝風の脈動は避けられず、その影響を送風量の増大と関連して究明されねばならない。

以上の要請より、改善操業に先立つて机上ガラス模型炉による諸実験を行つたのである。熔鋳炉のガラス模型炉による一般丸型炉に関する実験は平川博士⁽³⁾の秀れた研究があり、本実験遂行に当り極めて有益な示唆が与えられたが、角型炉に関しては、内外にその例を見ず、特殊な小型木炭銑炉であるので、丸炉の現象が必ずしも吻合せず、茲に新たな観点から実験を行つたのである。

本報には、前述の諸懸案及び角型ガラス模型炉による実験結果に就き報告するが、通風性、炉型の影響等に就いては稿を更めて述べるつもりである。

* 日立製作所安来工場

〔II〕 ガラス模型炉による装入物 降下状況の観察

丸型炉に於ても同様であるが、炉頂に装入された荷は、下降に従つて凹形の降下状況を呈することは容易に想像されるところである。特にこれが角炉に於て、どのような様相を呈するか、次の実験を行つた。

(1) 実験方法

模型炉は、第1図の如く、実物と全くの相似形をなし、構造は図の如き寸法比になつている。この炉床に、2mmφの孔を多数開けて置き、これを別の銅板を下よりあてふさいで置く。装入材料は川砂と砂鉄であつて、その粒度及び毎回装入量は次の通りである。

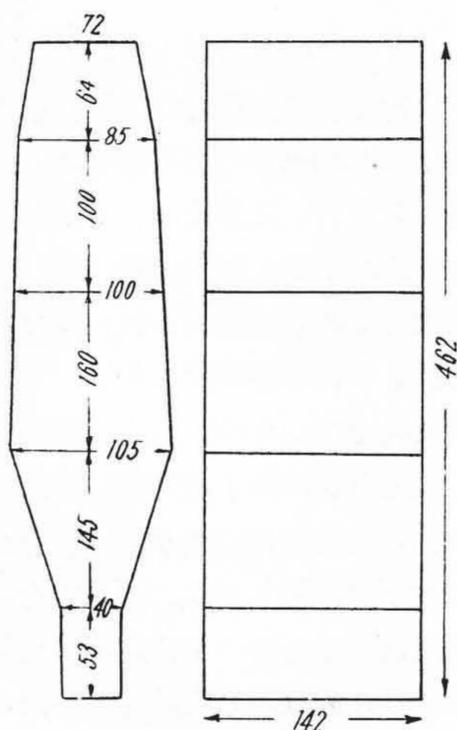
川 砂： 50~100 Mesh 400 g/回

砂 鉄： 50~100 Mesh 650 g/回

これを交互に装入し、各層の厚さは約 20mm である。一応充填を終れば下部銅板を垂直に下げ、上部の孔を一度に開き、装入物を各部平均して除々に降下せしめた。その速度は 100 g/min である。又上部よりも装入を連続しつゝ、毎回 1,700g の荷を降下せしめてから一回の実験を終りとして、その都度降下状況を観察した。

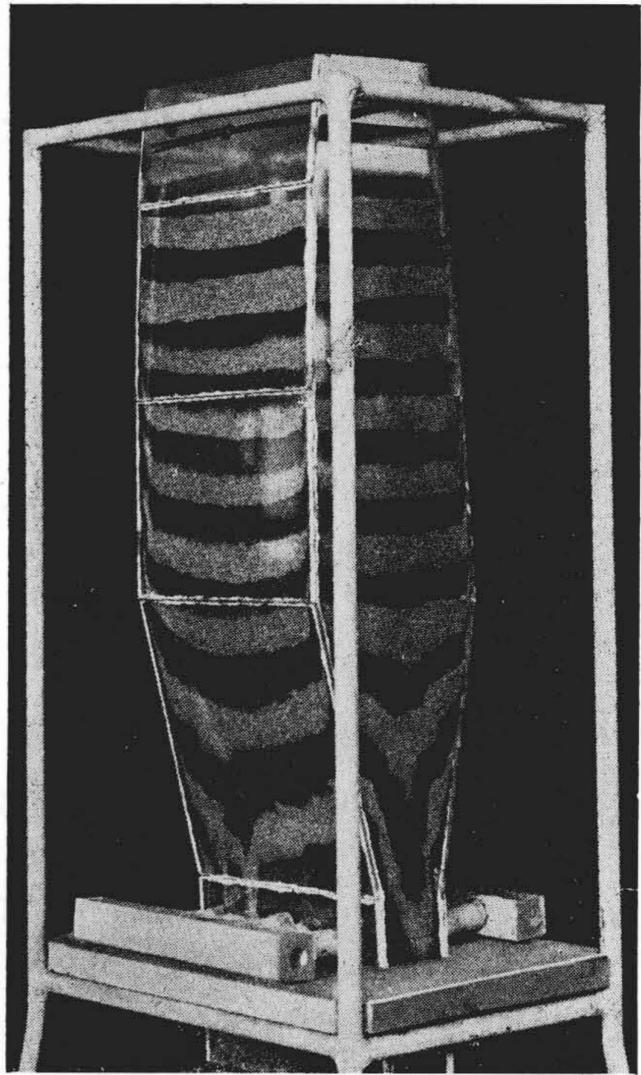
(2) 実験結果

予想通り、常に中心部の降下速度が大である。周辺部は摩擦抵抗のために遅れる。特に四隅は写真(第2図)の如く、最も下降速度が遅い。即ち、初期 Stock Line 附近は殆ど水平であるが、降下するに従つて中心部陥没速度を増し、これが朝顔部に到ると急激に速度を増し、第6図(第126頁参照)に示すように極めて不均一な降下状況になる。特に垂直壁部の降下の甚だしいのは注目すべ



第1図 ガラス製模型角炉(模型 No. 1)

Fig. 1. Diagram of the Model Blast Furnace (No. 1)



第2図 模型炉装入物の降下状況

Fig. 2. Travelling Form of Burden in the Model Furnace

き点である。然し、この附近ではそろそろ軟化を初める点であるので、実際操業にあつては又様相を異にするものとも考えられる。

兎に角、この朝顔部に到つて初めて降下の不均一性を来すことを防止するには、この点からのみ考えると朝顔部の高さを低くすること、垂直壁をなくすること及び全体の朝顔角度を拡大すること等一応考慮されるべき点であろう。

〔III〕 装入砂鉄及び木炭の粒度及び比重の 差による炉中配合変動状況 (所謂スリップ現象に就いて)

装入砂鉄の平均粒度は 50~100 Mesh であり、木炭は長さ 80~200 mm, 径 50~80 mm 程度で、見掛比重の差は 3.5~4.0 にも達する。

この粒度と比重の相違は装入物の炉内移動降下に従つて、砂鉄は木炭間隙をスリップして降り、装入物配合率の変動とこれに伴う生銹降り、懸滞現象が危惧されるのである。

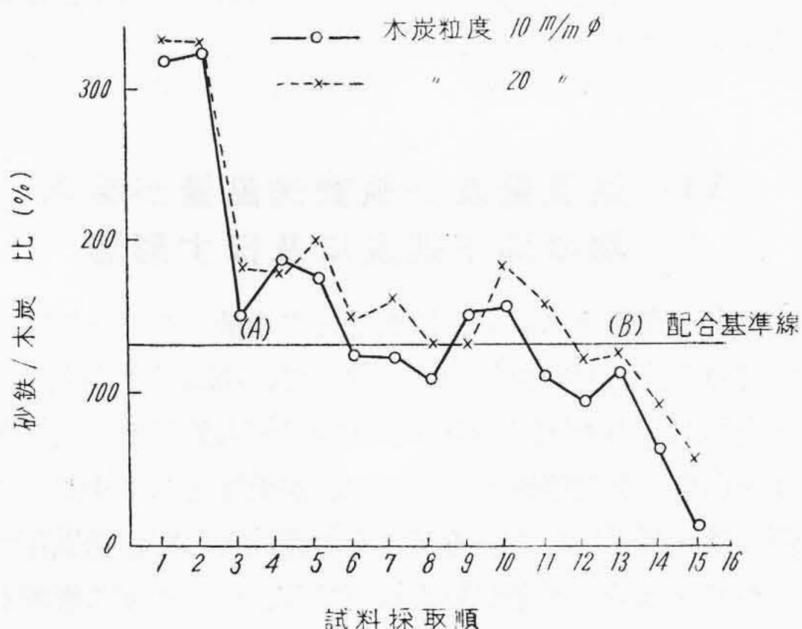
(1) 実験方法

前記第1図の No. 1 角炉模型を用い、後述の如き装置により乾冷風 127 l/min の送風を行いつゝ、見掛比重

0.49 の木炭 100 mmL×8mmφ と 20 mmL×15 mmφ の2種類、砂鉄は見掛比重 4.3, 約 50 Mesh のものを交互に木炭 150 g, 砂鉄 200 g 層状に装入した。所定の Stock Line に達してより一定間隔に炉底より降下物を一定容積づつ取り出し、それに比例して上部より追加装入した。1回の実験に於て、装入回数 12 回、取出回数 15回である。取出したものは上皿天秤で砂鉄の重量を別々に測定しその比率を求めた。配合基準の(砂鉄/木炭)比は 1.33 である。

第 1 表 模型炉内スリップ現象測定値
Table 1. Data of "Slipping" in the Model Blast Furnace

取出 No.	総重量 (g)	砂鉄重量 (g)	木炭重量 (g)	(砂鉄/木炭)比	摘 要
1	457	347	110	3.16	炉完全充填
2	442	338	104	3.25	第1回装入
3	372	225	147	1.53	第2回装入
4	372	243	130	1.87	第3回装入
5	445	284	161	1.76	第4回装入
6	279	153	121	1.26	第5回装入
7	299	166	133	1.25	第6回装入
8	253	131	122	1.08	第7回装入
9	312	188	124	1.52	第8回装入
10	375	219	156	1.59	第9回装入
11	309	164	145	1.13	第10回装入
12	267	132	135	98.00	第11回装入
13	290	157	133	1.18	第12回装入
14	244	96	148	65.00	装入なし
15	204	23	181	13.00	装入なし



第3図 炉装入物配合比の変動(定常 A-B)
Fig. 3. Variation of Combined Ratio of Burden (Normal A-B)

(2) 実験結果

今、木炭粒度 10 mmL×8 mmφ の場合の3回実験の平均値を示すと第1表の通りである。同様に、木炭粒度 20 mmL×15 mmφ の場合の実験結果と共にこれを図示すると第3図の如くなる。

即ち、初期充填時(A)と装入打切り後の(B)以後は別として、通常操業時に該当する(A)-(B)に於ては、配合基準線の上下をバラツキしているが、その変動は可成り大きい。特に装入時のスリップ現象は大きく可及的少量宛の装入が要望される。然し、初期考えたよりも基準配合線附近を上下していることは、実際操業時⁽¹⁾の鉄滓塩基度変動の少ない事等よりも類推して、首肯出来るところであるが、懸滞その他の一時的炉況変動により局部的にスリップ現象が起るであろうことは容易に考えられるところであつて、これが又所謂生鉄降り等の炉況悪化を来すことは十分警戒すべきことである。

又、木炭、砂鉄の粒度比の増大と共に配合比の変動大きく、特に還元帯、熔解帯の主要部分が重装入気味となる傾向にある。即ち、スリップ現象は過大視する必要はないが、或る程度炉況変動の因となり果となつて相当大きな影響を持つものと考えられ、実際操業に於ては木炭の大きさの拳大均斉化、砂鉄の成型予備処理等を考えねばならないことを示している。

[IV] 朝顔部アーチ構成状況と装入物粒度及び荷重との関係

朝顔部に於ける装入物及びこれが軟化体のアーチの構成は操業上必要なものである。然しこれが余り堅固に過ぎ、又羽口線より遠く離れていることはいけない事である。

何となれば、前者の場合は棚吊りの原因となり、後者の場合は温度の炉底に籠るを妨げ、アーチよりの軟化体の滴下は緩慢となり、出鉄能力は低下するからである。

以上の考え方から角炉に於ては如何なるアーチの構成状態を示すか川砂を使用し、水分浸湿によりアーチ形成状態により類推することにした。

(1) 実験方法

装置は第1図のガラス模型炉を用い、装入物は打込法に依り川砂を用いて装入し、荷重は木製の箱に水銀を必要量入れて炉頂装入物上に置いた。次で水槽より10本の羽口を通して水を送り、一定量送り終つて底を抜けば、羽口中心線より上部朝顔下部に、水の浸湿によりアーチを形成する。依つて或る一定粒度に於けるアーチ羽口中心線よりの水の最少浸湿度を捉えた。即ち、この浸湿度以下ではアーチは構成出来ず全装入物は落下する。

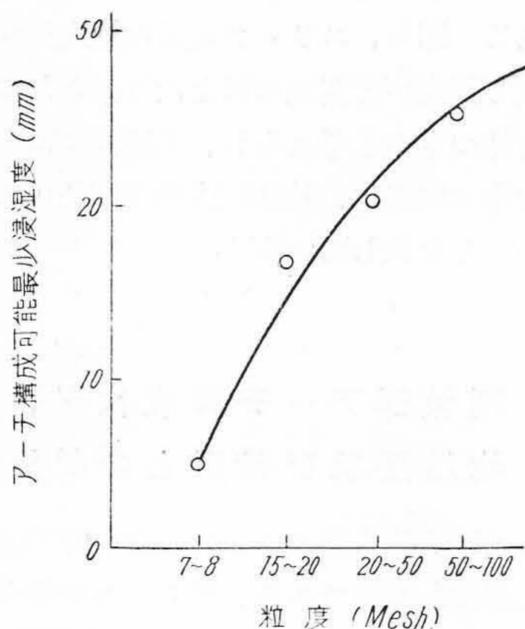
(2) 実験結果

測定の結果は第4図に示す如く、粒度は7~100 Mesh間を変化せしめたが、粒度の大になるに従つて最少浸湿度即ち羽口中心線よりの浸湿の距離も大となることは明瞭に認められる。この場合荷重は0である。

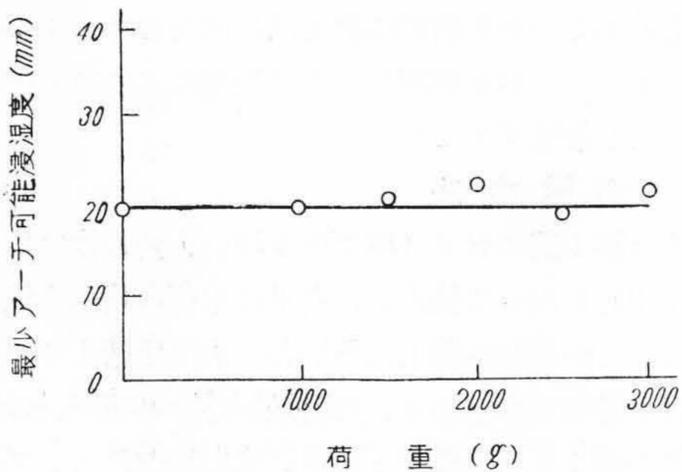
この結果より類推して実際角炉操業に当り、木炭の粒度を余りに大にすることは、アーチの構成を不均斉にすると共にその形成が困難になる。然し小に失する時は堅固なアーチを形成し、装入物の懸滯を惹起する恐れあり大塊と粉炭の除外は励行すべきである。

次に、粒度は15~20 Meshに一定に保ち、水銀に依る荷重を1,000~3,000 g 変化して最少アーチ可能浸湿度を測定したが、第5図に示す如く、荷重によりアーチの形成状況は殆ど影響しないことが明らかとなつた。

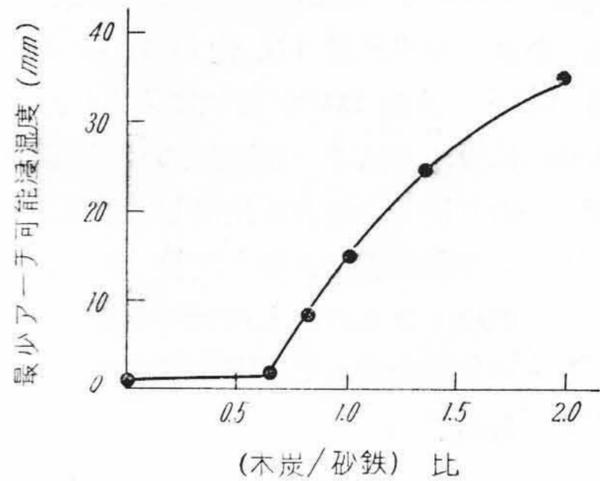
注目すべきは、これらの場合、角炉に於て危惧される両垂直壁面のスリップ現象は全く見られないことである。



第4図 アーチ構成に及ぼす粒度の影響
Fig. 4. Relation between Size of Raw Material and Minimum Degree to Form Arch



第5図 アーチ構成に及ぼす荷重の影響
Fig. 5. Relation between Weight of Burden and Minimum Degree to Form Arch



第6図 アーチ構成に及ぼす(木炭/砂鉄)比の影響
Fig. 6. Relation between $\left(\frac{\text{Weight of Charcoal}}{\text{Weight of Iron Sand}}\right)$ Ratio and Minimum Degree to Form Arch

[V] アーチ構成最少浸湿度と(砂鉄/木炭)比の関係

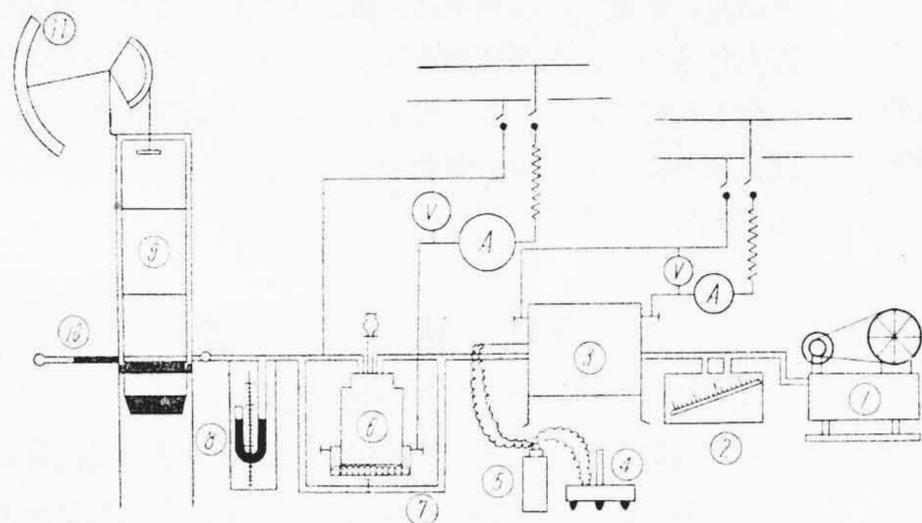
次に実際に近似させる為、砂鉄と木炭を採りこれ等の比重及び粒度の相違した混合物がアーチの構成に如何なる影響を及ぼすか検討することにした。実験方法は[IV]の場合と同一の装置により(砂鉄/木炭)比を0.5~1.5に変化せしめて最少のアーチ可能浸湿度を測定した。尚砂鉄は-150 Meshで、木炭は大体5 mmφの大きさのものをを用いた。

定測の結果は、第6図の如く、砂鉄の量の増大と共にアーチの構成は容易になる。逆にいえば第5図に於て明らかのように、木炭比の増大と共にアーチは構成し難くなる。実際操業の場合、一般に砂鉄の装入量を増大すること、即ち、或る程度の「強吹き」の場合は銑鉄屯当りの木炭比は減少するものであつて、この強吹きに依つてアーチは羽口線直上まで降下し熱は下部に集中し、軟化帯の変形度を増大し、懸滯はなくなるものであり、本実験と完全に吻合するものである。

[VI] 送風量及び脈動送風量が装入物の降下速度に及ぼす影響

筆者は別報⁽²⁾に於て、送風量と木炭量の相関々係に就いての理論的考察を行つた。而して、送風量を増大すれば当然木炭の燃焼率が上り、従つて装入鉄石の還元熔解度を増す。又実際炉⁽¹⁾に於ては、送風機として4気筒の鞆式送風機を用いているが、その特性として、送風圧力従つて送風量の脈動が装入物の熔解、降下速度に影響を及ぼしていると考えられる。

これらの特性を、模型実験により近似的に究明する為次の実験を行つた。



- ① 送風機
- ② オリフスゲージ
- ③ 電気炉
- ④ 温度計
- ⑤ マホー瓶
- ⑥ 蒸気飽和器
- ⑦ ヒータ
- ⑧ 圧力計
- ⑨ 角炉ガラス模型
- ⑩ 温度計
- ⑪ 懸垂装置

第7図 ガラス模型実験装置
Fig. 7. Apparatus for Glass Model Furnace's Experiment

(1) 実験方法

第7図の如き装置を用いた。即ち、約2mmの大きさの塩化カルシウム粒を充填したガラス模型炉⑨に、先づ送風機(1/2HP)①より送られる風は②のフローメータを経由して③の電気炉によつて加熱され、電熱ヒータ⑦によつて沸騰している蒸気飽和器⑥により蒸気を伴い、⑧の圧力計を経て、2mmφ10本の羽口から炉⑨に衝風されるのである。降下速度の測定は、中空の鉄製リングを炉頂より懸垂装置⑪により吊り下げて装入物の降下につれてゲージ上にその距離が現われる如くして測定した。

混合する木炭粒は約3mmφであつて塩化カルシウムに対して重量比75%を混合法により装入した。送風量は127, 110, 90 l/minの3段階とし、特に荷重は行わなかつた。

脈動送風を与える場合は、重加脈動送風と減衰脈動送風の2種類とした。その意味と方法は次の如くである。

Ⓐ 重加脈動送風：送風機のエアタンクの送風バルブを簡単な自動装置を取付けて、送風バルブを30min/1回の割合で開閉する。従つて、閉止の際は通常送風圧力よりもタンク内圧力は上昇する。その程度を風圧計により測定すると、次の通りで±150mmの差圧を有する。

- 通常バルブ開放時： 76 mmHg
- バルブ閉止後開放の瞬間： +160 mmHg
- バルブ閉止の瞬間： -10 mmHg

Ⓑ 減衰脈動送風：送風管途中に自動開閉バルブを取付け、30sec/1回の割合で脱風せしめるもので、その送風圧力の変化は+148 mmHg, -46 mmHgで差圧102 mmHgである。

第2表 送風量と降下速度の関係実験記録

Table 2. Data of the Relation between Amount of Blast Air and Travelling Velocity of Burden

送風量 (l/min)	時間 (min)	降下距離 (mm)	フローメータ読み (mmHg)	羽口前温度 (°C)	送風圧力 (mmHg)	送風量 (l/min)	時間 (min)	降下距離 (mm)	フローメータ読み (mmHg)	羽口前温度 (°C)	送風圧力 (mmHg)	
127	0	0	19.0	43.5	10	110	29	32	16.4	48.5	8	
	3	8	19.1	44.0	11		34	36	16.4	48.5	8	
	8	21	19.0	44.5	10		39	42	16.4	48.5	8	
	21	34	19.1	45.5	11		92	0	0	14.0	52.5	6
	24	49	19.1	45.5	11			5	6	14.0	50.0	6
	29	57	19.1	45.5	11			10	10	14.0	49.0	6
	34	63	19.1	45.5	11			15	14	14.0	49.5	6
	40	67	19.1	45.5	11			20	18	14.0	49.5	6
110	0	0	16.4	48.0	8	25	20	14.0	49.5	6		
	4	3	16.4	48.0	8	30	24	14.0	49.5	6		
	10	10	16.4	48.0	8	35	28	14.0	49.5	6		
	14	17	16.4	49.0	8	40	32	14.0	49.5	6		
	19	18	16.4	49.0	8	45	36	14.0	49.5	6		
	24	23	16.4	48.5	8	50	38	14.0	49.5	6		

(2) 実験結果

先づ送風量と降下速度の関係を示すと**第2表**(前頁参照)の通りであつて、明かに通風量の増大と共に装入物の降下速度を増している。各々の場合の降下速度を計算すると次の如くである。

90 l/min の場合: 0.74 mm/min

110 l/min の場合: 1.08 mm/min

127 l/min の場合: 1.67 mm/min

即ち、送風量の増大が塩化カルシウムの溶解速度を増し、従つて装入物の降下速度を増大することは当然であつて、これが実際操業の際もある限度までは炉内温度を上昇せしめ、軟化体の溶解速度を増加し、還元能も増大し、降下速度は大となるであろう。本実験に於て、小型炉操業時の送風量の最大点を捉えんとしたが、困難であつたので、これは実際炉によつて実験することにした。

尚送風圧力は送風量に比例し**第2表**に示す如く、6, 8, 10 或いは 11 mmHg と変化した。溶解状態は、送風量増大と共に羽口線上部の軟化帯の活動は活潑となり、その層も厚くなることが明瞭に認められる。送風量 127 l/min の最大の場合には朝顔部中腹以下が軟化帯となり、アーチは上昇し過ぎることを知つた。これは、実際操業に於ても、送風量の過大な軟化帯を上昇せしめ所謂「上熱(うわねつ)」現象を呈することを示唆している。

次に、脈動送風実験の場合につき各3回の平均値を示すと次の如くであつた。

通常送風の場合の降下速度: 0.72 mm/min

重加脈動送風の場合の速度: 1.70 mm/min

減衰脈動送風の場合の速度: 1.27 mm/min

即ち、結論として、重加脈動に於ても、減衰脈動に於ても、明らかに通常の一定送風の場合よりも降下速度大である。又重加脈動の場合には脈動範囲が大である為当然降下速度も大となつている。又脈動の場合には、模型内の溶解状態は装入物が送風脈動に応じて上下に動き、棚吊の現象は見られなかつた。これを実際操業に就いて考察

する時、軽度の脈動送風は、鞆式送風機によつて容易に得られるので、懸滞現象を防止し、装入物の均一な降下を得られ好都合である。然し、必要以上の脈動の場合には、余りにも装入物を激動せしめて、不測の事態をもたらすものである。

〔VII〕 結 言

以上これを要約すると次の如くである。

1. 角炉に於ける装入物陥没状況は朝顔部までは僅かであり、それより以下に於て急激に中心部及び垂直壁部分の陥没現象のあることを知つた。設計に當つて朝顔角度及び高さの再検討の必要あることを示唆した。
2. 炉内スリップ現象は通常安定操業間に於ては、予想された程甚だしくなく、大体基準配合線附近を上下していることを知つた。
3. 朝顔部下部に於ける軟化帯のアーチ構成状態に及ぼす物理条件としての装入物粒度の影響としては、粒度が小さい程形成容易になる。荷重の影響は認められない。
4. 又(砂鉄/木炭)比の増大、即ち重装入と共にアーチ形成はかえつて容易になるものであつて、勿論限度はあるがそれ程危惧すべきでないことを知つた。
5. 脈動送風は降下速度を増大する。従つて小型炉に於ては不利な点が多いが、別の効果として懸滞現象を防止する。

本一連の研究は、当時の工場長菊田博士及び冶金研究所長小柴博士の御指導によつて為されているものであり、茲に深甚なる感謝の誠を捧げるものである。又実験に協力された佐藤、木村の両君に御礼申し上げたい。

参 考 文 献

- (1) 中村: 日立評論 33, 2, p. 40 (1951)
- (2) 中村: 日立評論 34, 10, p. 81 (1952)
- (3) 平川: 銑鉄製造法の研究 (1947)

