

砂の混練法は、珪砂及び本剤と触媒を加えて均一に混練（30～60秒）し硬化剤を加えて再び均一に混練（30～60秒）する。

混練機は高速回転で混練効率の高いミキサーが良い。図VI-26に混練機概念図を示す。このタイプのミキサーはサンドホッパーが2槽有り、珪砂と特殊砂、新砂と再生砂というような組み合わせが可能である。写真VI-10に混練機を示す。

最近では本剤と触媒と砂及び硬化剤と砂をそれぞれ個別に連続予備混練し本混練をファイナルミキサー（Final Mixer）で行なう高速混練機も採用されている。

### (1) 配合例

表VI-9にペブセット砂の配合例を示す。

表VI-9 ペブセット砂の配合例

	珪砂	本剤	硬化剤	触媒
配合比	100	0.6～0.8% (対砂)	0.6～0.8% (対砂)	0.1～0.2% (对本剤)

(注) 本剤と硬化剤は原則として50：50の割合で使用する。

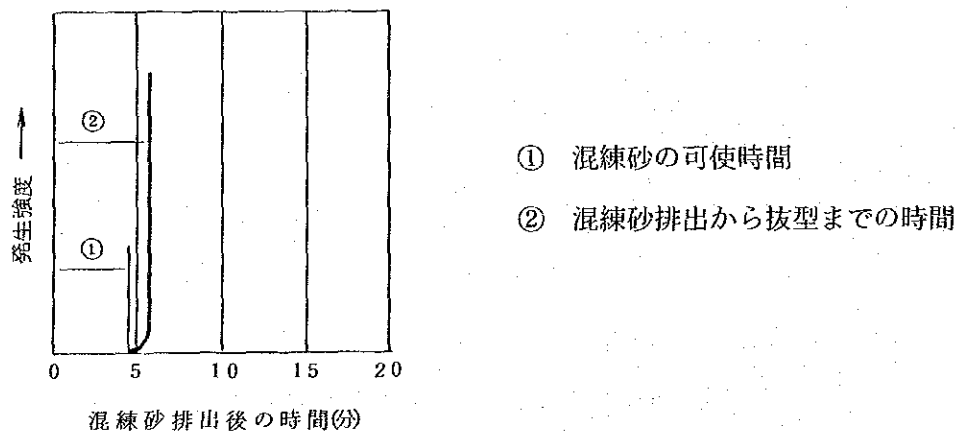
### (2) 造型及び硬化

造型用模型は金型、樹脂型、木型のいずれも使用でき混練砂の型への砂込めは手込め、ジョルト、バイブレーション、ブローイングの各方式が採用できる。

ペブセットの可使時間と抜型時間は触媒の量を増やすと短くなる。

沈陽鑄造廠で生産している油砂中子の大きさであれば混練砂の可使時間を4～5分程度とし、造型後7～10分ぐらいで抜型が可能となる。

図VI-27に可使時間と抜型時間の関係を示す。



図VI-27 可使時間と抜型時間の関係

図VI-27からわかるようにペプセット法は可使時間が過ぎると急激に硬化が進み短時間で抜型が可能となる。

但し、含有水分は硬化速度に影響を与えるので0.1%以下とする必要がある。

写真VI-11にペプセット法による中子を示す。

### (3) 特 徴

- 1) 砂中の不純物に鈍感であるから砂の選択が容易であるが、粘土分や微粉は含有量の少ないものを選ぶべきである。
- 2) 混練砂の流動性がよい。
- 3) 鑄型内部の硬化が速く抜型後3時間程度で注湯が可能となる。
- 4) 鑄型の保存性に優れる。
- 5) 生型砂への影響がない。
- 6) 寸法精度が高く模型は金型、樹脂型、木型のいずれも使用できる。

### (4) 欠 点

- 1) 混練及び造型時に有機溶剤の臭気がともなう。
- 2) 注湯時、型ばらし時には分解ガスによる臭気あるいは煙が発生する。
- 3) 混練砂の可使時間が短い。

## 2-5-3 コールドボックス法

コールドボックス法は、ポリウレタン樹脂を構成する主成分のフェノール・ホルムアルデヒド初期縮合物とポリイソシアネートをそれぞれ石油系溶剤に溶解した溶液を順次砂と均一に混練し、型込みした後これに触媒として作用する液状第三アミン類を細かな霧状に含む空気または炭酸ガスを通ずると硬化反応を起こして強固な粘結層を形成して鑄型が得られる。液状第三アミン類としてはトリエチルアミンが霧状にして使用されている。

砂の混練法は、珪砂に本剤であるフェノール・ホルムアルデヒド初期縮合物を加えて30秒～2分混練し、硬化剤であるポリイソシアネートを加えて30秒～2分混練する。

混練機は高速回転で混練効率の高いミキサーが良い。

混練後の可使時間は冬季、夏季の砂温度に影響され1～3時間程度である。

### (1) 配合例

表VI-10にコールドボックス砂の配合例を示す。

表VI-10 コールドボックス砂の混合例

	珪砂	本剤	硬化剤	触媒(トリエチルアミン)
配合比	100	0.8~1.0% (対砂)	0.8~1.0% (対砂)	0.1ml / 砂kg

(注) 本剤と硬化剤は原則として50:50の割合で使用する。

### (2) 造型及び硬化

造型用模型は金型、樹脂型、木型のいずれも使用でき一般的には混練砂を専用機でブローイングし常温の空気にトリエチルアミンを霧状に分散させたものを吹き込む。

専用機で混練砂をブローイングする場合はシェル型と同様にサンドブローイングノズル及び模型内の空気を逃がすベントホール(空気抜き孔)を模型に取り付ける必要がある。

手込みの場合はガスボックスを用意しその箱の中へ造型後の模型を納め箱を密閉した状態でトリエチルアミンを吹き込む。

専用機による造型工程を図VI-28に示す。また手込みによる造型工程を図VI-29に示す。

硬化時間は鑄型形状により異なるが砂重量を基準にして1.5 ~ 3.5kg/秒程度となる。

但し通ガス性(トリエチルアミン)や粘結材配合量の関係から粘土分や微粉の少ない珪砂を使用し水分含有量は0.1%以下とする必要がある。

### (3) 特徴

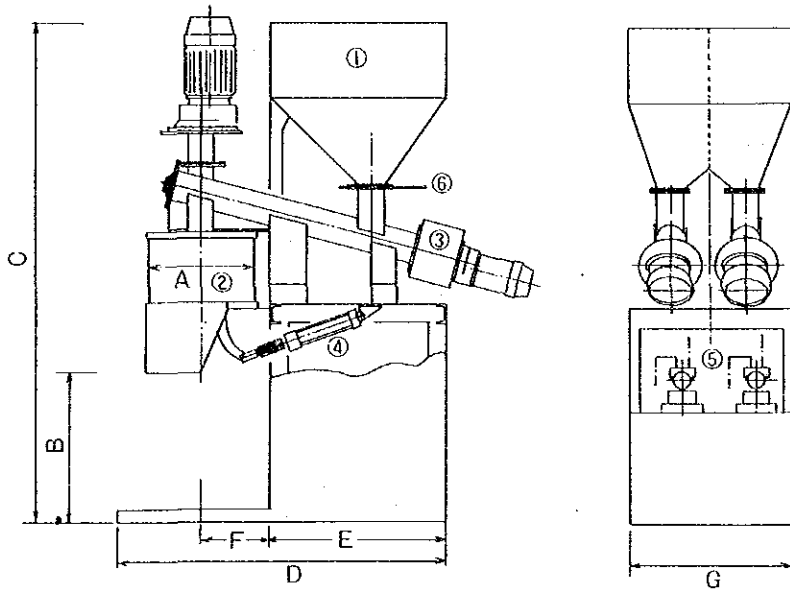
- 1) 通ガス後の硬化速度がきわめて速く、したがって造型サイクルが短くできる。
- 2) 混練砂の流動性がよい。
- 3) 抜型後直ちに注湯が可能である。
- 4) 過剰硬化を起すことがないので肉厚に差のある鑄型の作製が容易である。
- 5) 鑄型が大型のものでも変形が少なく寸法精度がきわめて高い。
- 6) 模型交換がきわめて容易である。

(4) 欠 点

- 1) 混練砂の可使時間を留意する必要がある。
- 2) 触媒として使用するアミン類は有毒であり、臭気の漏洩をなくすことおよび通ガス後の排アミンの処理が必要である。
- 3) 鑄型強度がやや低い。
- 4) 吸湿劣化するので水性塗型の使用に際しては表面乾燥工程を必要とする。

図VI-12にコールドボックス法による中子及び手込め造型のガスボックスを示す。

図VI-26 混練機概念図



● 名称

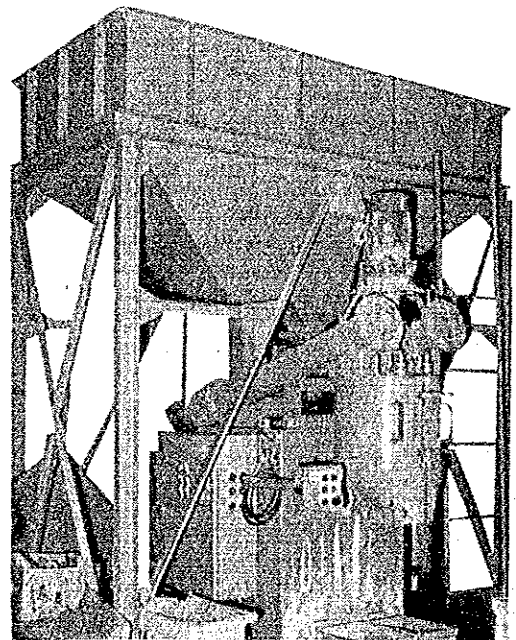
- ① サンドホッパー
- ② ミキサー
- ③ 砂切出用スクリュー
- ④ 砂排出用シリンダー
- ⑤ ポンプユニット
- ⑥ シャッター

寸法表

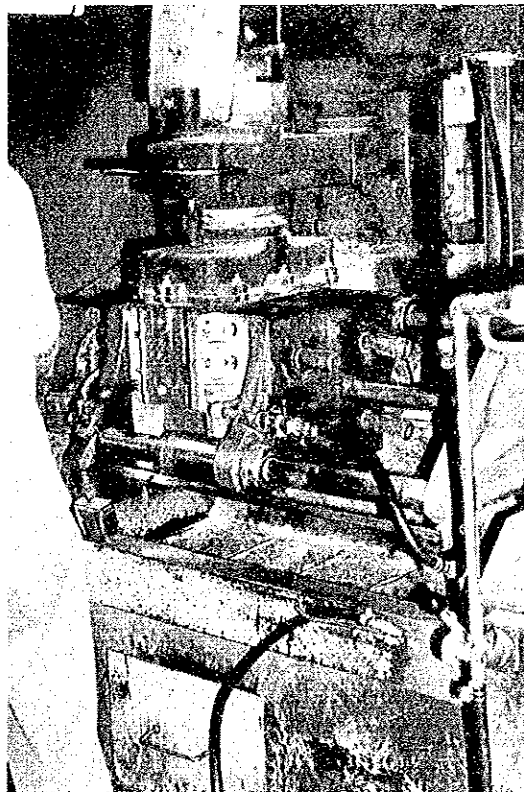
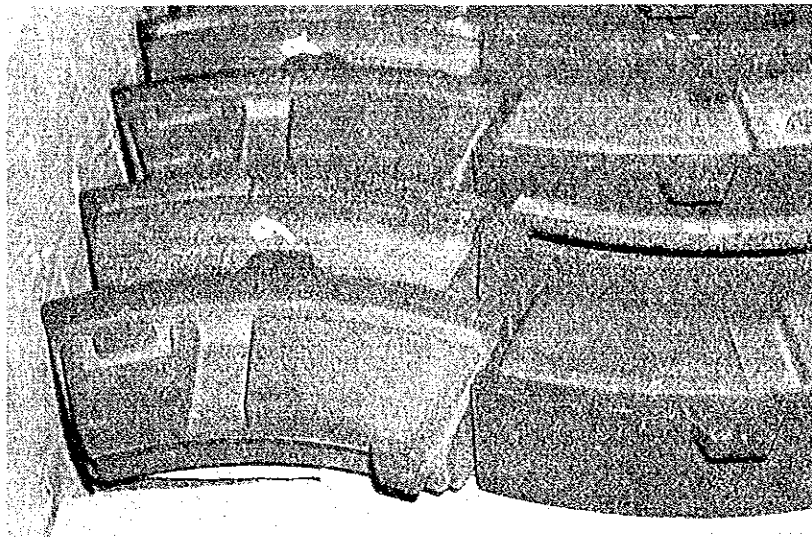
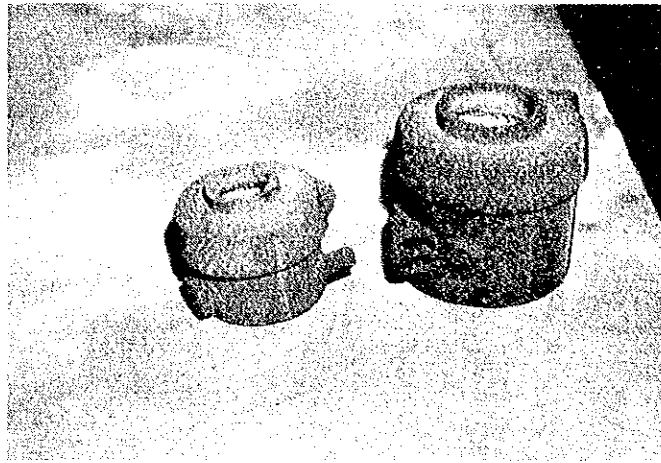
(単位: mm)

機種	寸法	A	B	C	D	E	F	G
1		405	600	2000	1300	700	270	650
2		508	865	2570	1800	900	320	900

項目	機種	1	2
砂混練量kg/バッチ		15~25(3段階)	25~50(3段階)
ミキサー径×高さ		φ405 × <sup>H</sup> 300	φ508 × <sup>H</sup> 420
回転数 rpm		60Hz 120	60Hz 120
混練サイクル		30~45秒	40~60秒
砂計量方式		スクリューフィーダー2列	
サンドホッパー容量		150kg×2槽	250kg×2槽
連続砂混練能力		2000kg/Hr	3000kg/Hr
バインダー容量		50ℓ×2個	100ℓ×2個
混練砂排出		エアーシリンダー	
ホッパー内砂表示		上下限レベルスイッチ	
使用エア圧力		5kg/cm <sup>2</sup>	
機械重量		350kg	500kg

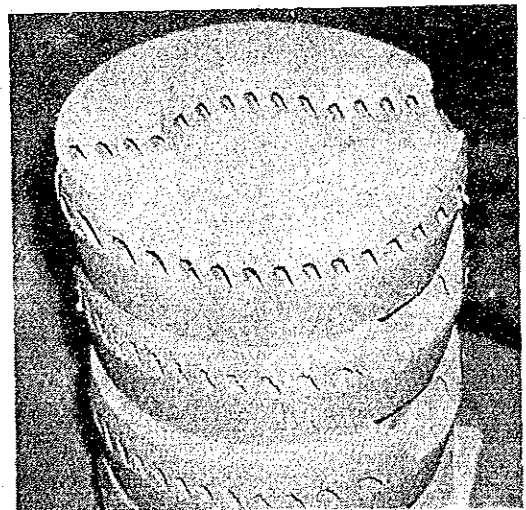
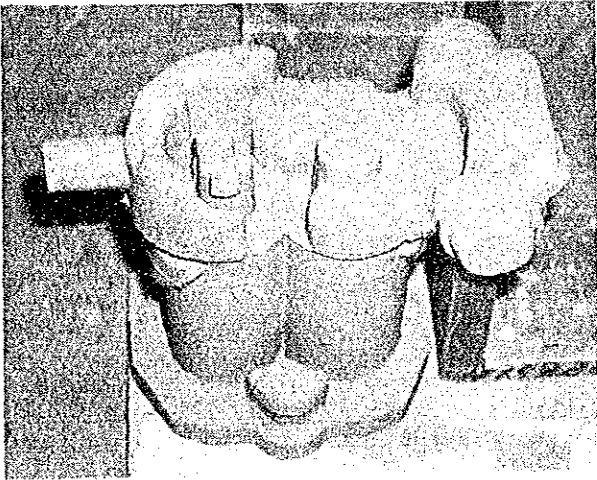
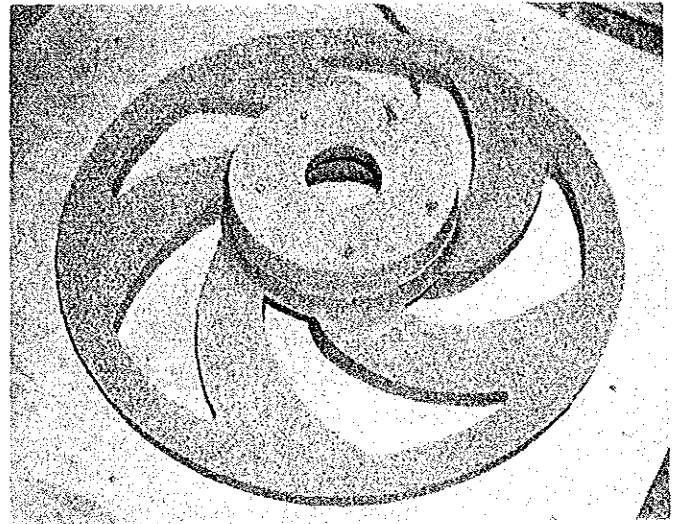
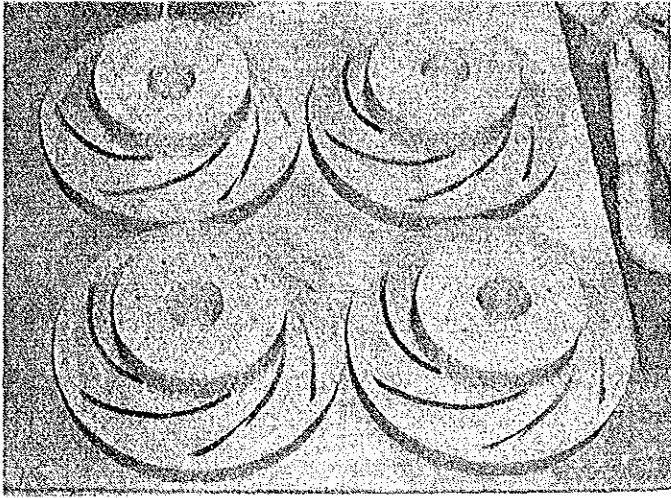


写真VI-10 混練機



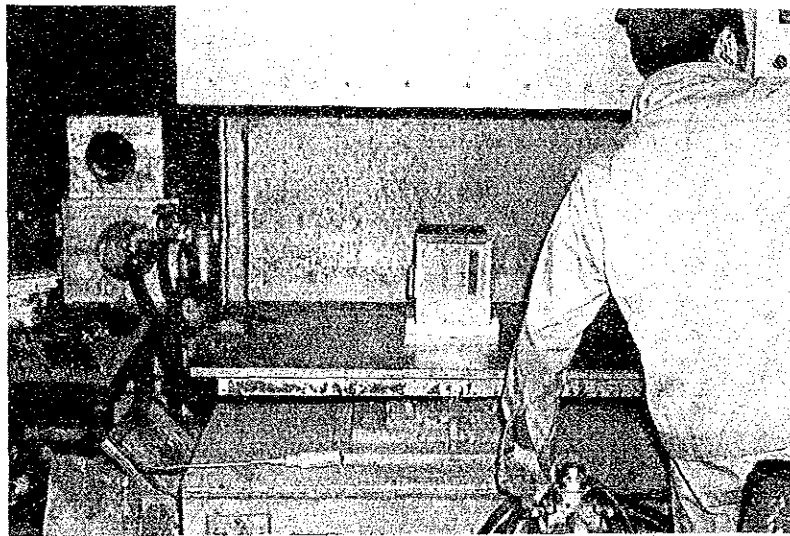
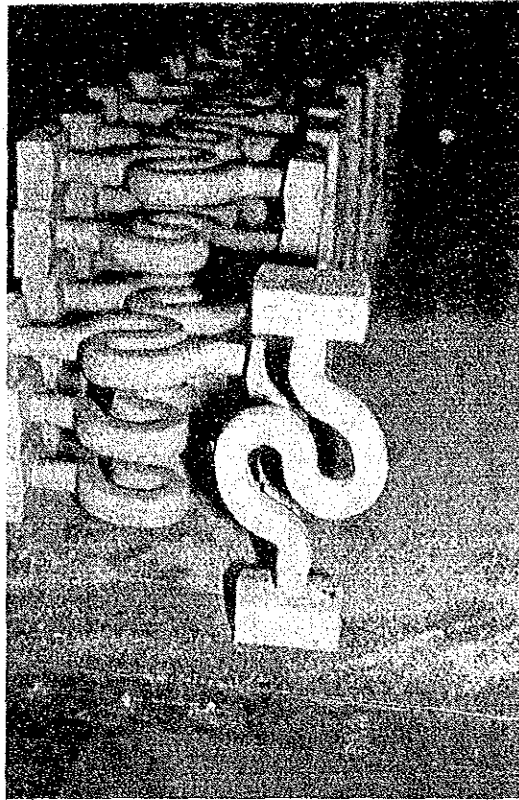
写真VI-9

シエル中子及び造型機



写真VI-11

ペブセット中子

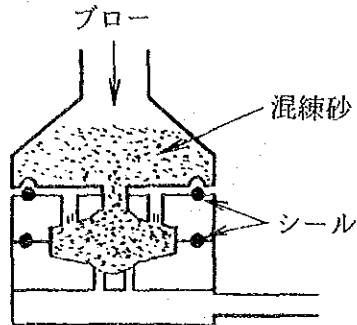


写真VI-12 コールドボックス中子及び手込め造型のガスボックス



コールドボックス法の概念図

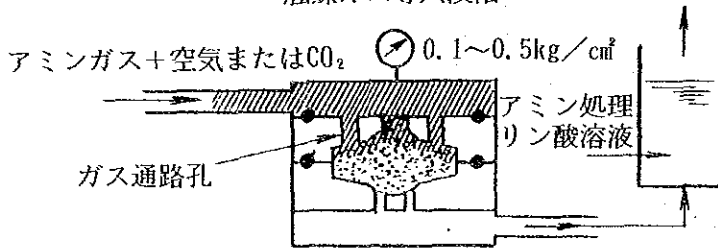
コールドボックス造型法は、サンドブロー（砂の吹き込み）、ガス吹込み（触媒の圧入）パージング（残留触媒の強制排出）、及び脱型の順に行なわれる。



触媒はコアボックス（中子型）通過後、酸性処理液で処理する必要がある。

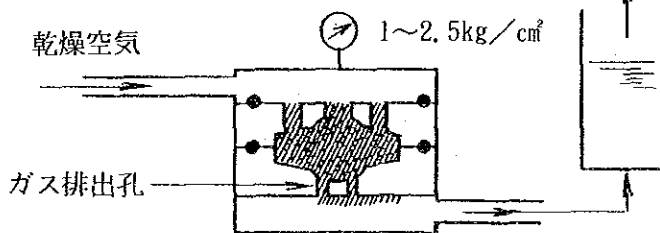
工程 1  
混練砂をコアボックスに吹き込む。

触媒ガス導入段階



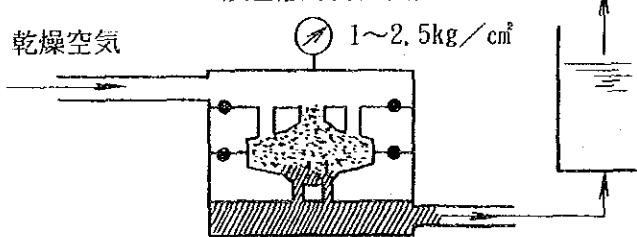
工程 2~3  
触媒ガスをサンドブローノズル（砂吹込口）やガス通路孔からコアボックス内に吹き込む。ガスは砂粒間を通過して、ガス排出孔から抜ける。

最終硬化段階

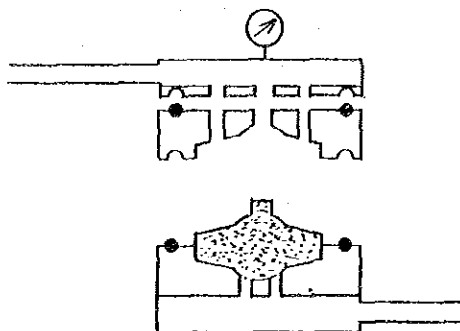


最終硬化段階で空気をコアボックス内に送る。

残留触媒排出段階



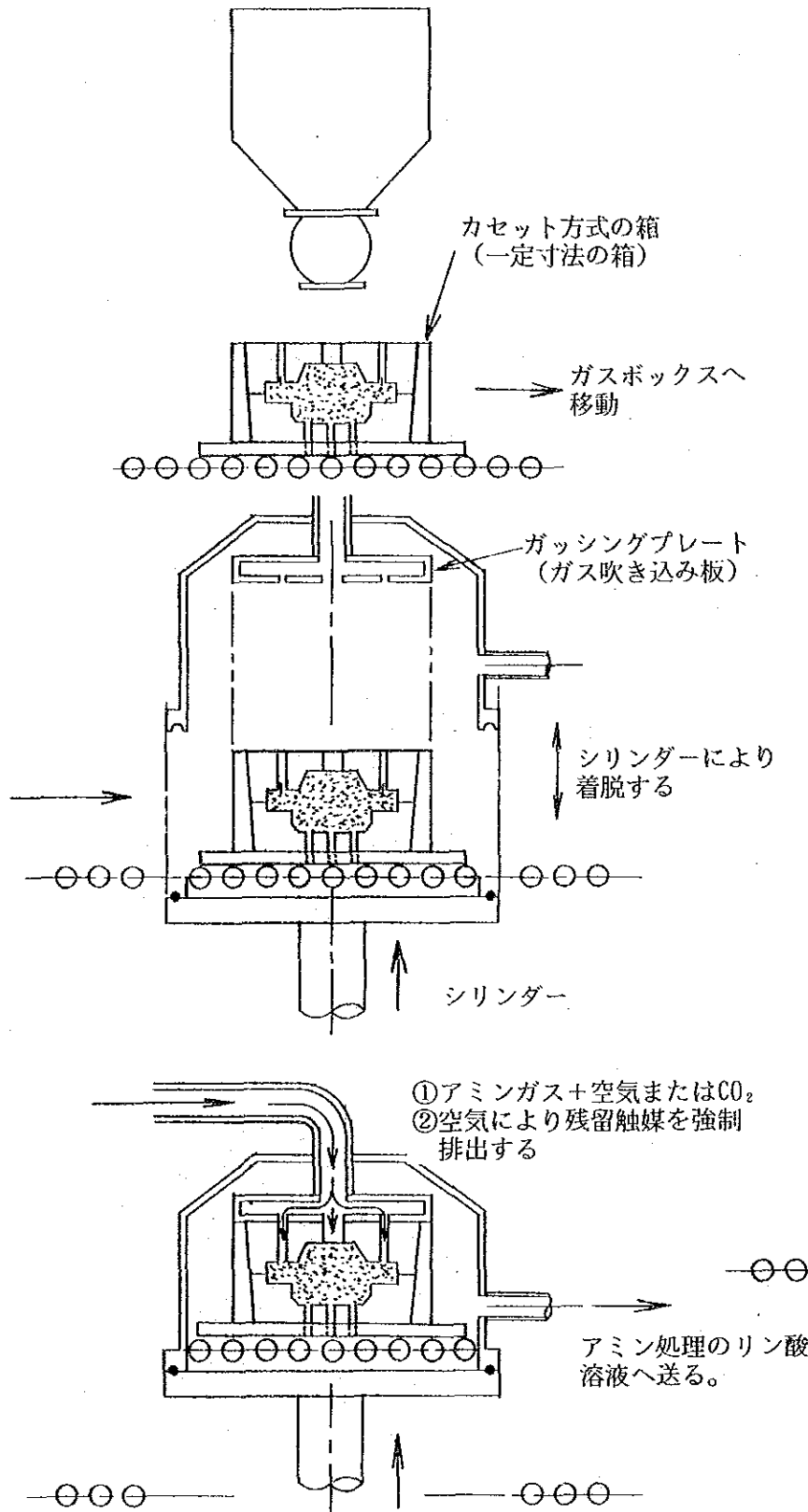
工程 4  
混練砂は瞬時に硬化する。新鮮な空気を送り続け、残留触媒を強制排出する。



工程 5  
残留触媒排出完了後、コアボックスから中子を取り出す。

図VI-28 専用機による造型工程

手込め造型によるコールドボックス法



砂をコールドボックス  
(中型用模型)に充填  
し、アミンガスを吹き  
込む工程等は専用機  
の場合同様である。

中子用模型を納める箱  
をカセット方式(一定  
寸法の箱)にすること  
により、混練砂の投入  
を手込めだけでなく、  
空気圧を利用したサン  
ドブロー(砂吹込装  
置)を設置することが  
可能である。

またカセット方式にす  
ることにより、略図に  
示す通りガスボックス  
及びシリンダーとの位  
置関係が正確に決まり、  
アミンガスの使用効果  
に損失がなくなる。

中子の寸法、及び形状  
によっては、中子を分  
割することによりシェ  
ル型のように鑄型の内  
部に空間を設けて砂の  
節約をはかることが  
できる。

図VI-29 手込めによる造型工程

2-6 造型の近代化 その4-造型用副資材

2-6-1 塗型材

塗型材はまず砂離れをよくしかつ美しい鑄肌の製品を造ることが第1条件である。この目的を満足させるため塗型材は多岐にわたる特性を有することが必要である。

(1) 塗型材に要求される特性

- 1) 塗型面に塗布しやすく十分に砂粒間の目つぶしが果たせること。
- 2) 鑄込みの際に熱及び溶湯の摩擦によりき裂や剝離を生じないこと。(鑄型に適当に浸透すること及び塗型材の溶剤が鑄型の粘結剤をあまり溶解しないこと)
- 3) 鑄込み温度より高い耐火度を有すること。
- 4) 高温で還元性を有すること。
- 5) 物理的、化学的に安定していること。
- 6) 局部的にガスを発生しないこと。

(2) 塗型材の浸透性

塗型材の浸透性は塗型層の厚さ、塗型層のき裂及び剝離に影響を及ぼす土状黒鉛を基材とし粘結材および添加剤を変化させて塗型材の浸透深さを調査したものを表VI-11に示す。

表VI-11. 黒鉛塗型材の配合と浸透深さ(添加水分量は一定)

粘結材	添加剤	塗型材の比粘度	浸透深さの平均値mm
なし	なし	1.72	1.5
ベントナイト 1%	"	1.40	2.5
" 2%	"	1.43	3.2
" 4%	"	1.36	4.4
" 6%	"	1.29	4.7
" 8%	"	1.29	3.3
" 10%	"	1.43	2.8
" 15%	"	1.43	2.5
" 20%	"	1.78	2.2
ベントナイト 2%	デキストリン 1%	1.43	4.2
"	" 2%	1.53	5.2
"	" 4%	1.57	4.3
"	" 6%	1.53	4.0
"	" 8%	1.53	3.8
"	" 10%	1.52	3.9
"	" 15%	1.58	4.1

(磯谷、野崎、黒須：鑄物、34)

浸透深さはベントナイト添加量6%まで次第に増加するがそれ以上の添加では減少

している。いっぽうデキストリンの添加は少量でその効果を示すが多量添加してもそれ以上の効果を期待することはできない。

ジルコンを基材とする塗型材の試験結果を表VI-12に示す。

表VI-12. ジルコン粉塗型材の配合と浸透深さ

粘 結 材	添 加 剤	水分cc	比粘度	浸透深さの平均値mm
ベントナイト 2 %	デキストリン 0%	225	1.14	11.4
"	" 1%	"	1.27	9.6
"	" 2%	"	1.23	6.7
"	" 4%	"	1.28	6.7
"	" 6%	"	1.27	7.0
"	" 8%	"	1.29	6.9
"	" 10%	"	1.31	6.2
"	" 15%	"	1.47	5.1
ベントナイト 5 %	添加なし	75	5.43	0.7
"	"	100	3.23	1.1
"	"	125	2.04	1.4
"	"	150	1.57	3.1
"	"	175	1.54	3.5
"	"	200	1.35	3.3

(磯谷、野崎、黒須：鋳物、34)

表VI-11と表VI-12を比較すると基材による影響が顕著にあらわれている。また浸透深さはある水分量で急激に変化する。

一般に塗型材は粘度の低いものの方が浸透深さが大である。この浸透深さの大きいものは薄い塗型層を形成し乾燥き裂や剝離の危険性は少なくなる傾向が認められる。

また塗型の浸透深さは鋳型の粒度構成も影響を及ぼすものである。一般に砂粒子間隙が大となるに従って浸透深さは急激に増加し乾燥き裂は生じにくくなる。

### (3) 溶解性

塗型材の溶剤が鋳型の粘結材を溶解するような場合は塗型層の裏側に脆化層を生じ鋳込みの際に塗型層が溶湯に洗われて鋳型から取り去られることがある。この問題は乾燥型の場合にはあまり発生しなかったがフラン樹脂等を粘結材とする自硬性鋳型にみられる現象である。

フラン樹脂系の鋳型にも黒鉛とかジルコンを基材としたアルコール性塗型が広く用いられているが未硬化フラン樹脂はアルコールに溶けるので、硬化が十分に進行した後塗型することが必要である。

#### (4) 塗型材の種類と用途

鋳型の粘結材により塗型材の溶剤が異なり鋳込む金属によっても塗型材が異なる。  
塗型材の種類と用途の例を表VI-13に示す。

表VI-13 塗型材の種類・用途及び材料

種 類	用 途	材 料
ガス発生によるもの	鋳鉄、鋳鋼、薄肉鋳物、銅合金	木炭、石炭、油、フェノール樹脂
珪 砂 粉 末	鋳鋼	珪砂+糖蜜+粘土
雲 母、滑 石 粉 末	鋳鉄の小物、銅合金、軽合金	単独または珪砂粉を含む
黒 鉛 粉 末	鋳鉄、銅合金、軽合金	単独または粘土添加
黒 味	同 上	炭粉+コークス粉+粘土
ジ ル コ ン 粉 末	鋳鉄、鋳鋼	ジルコン粉末+粘土+フェノール樹脂
マ グ ネ シ ア 粉 末	鋳鉄 (特に球状黒鉛鋳鉄)	マグネシア粉末+粘土+フェノール樹脂

##### 1) 鋳鉄用塗型材の配合例

この塗型材の基材は炭素系物質の場合とジルコン粉末及びマグネシア粉末等の場合があり炭素系物質の場合大物鋳造品には揮発分の少ない黒鉛、コークス粉が主体であり薄肉物の場合は揮発分の多い木炭粉、石炭粉などが配合される。

日本ではフラン砂プロセスが急速に使用拡大した十年ぐらい前からはジルコン粉末を基材とした白色系塗型が大幅に使用され特に鋳鉄の大物及び鋳鋼への塗型材として定着している。

またマグネシア粉末を基材とした白色系塗型は球状黒鉛鋳鉄の鋳肌表面部の球状化不良対策として数年前から使用されている例がある。

これらの塗型材の配合例を表VI-14に示す。

表VI-14 塗型材の配合例

種類	基 材				粘結材	溶 剤	備 考
	黒鉛	コークス粉	木炭粉	石炭粉			
1	45	45	—	—	粘土 10	水	大物铸造品
2	60	20	12	—	粘土 8	水	同 上
3	—	65	20	5	粘土 10	水	薄肉铸造品
4	黒 鉛：49				無機粘土 } 13 フェノール樹脂 }	メチルアルコール 35 イソプロピルアルコール 3	フラン砂铸型
5	ジルコン粉末：61.3				無機粘土 } 5.5 松脂系樹脂 }	メチルアルコール 1.6 エチルアルコール 29.8 水 1.8	フラン砂铸型
6	マグネシア粉末、硅酸マグネシア粉末、黒鉛粉末：48.8				無機粘土 } 8.7 松脂系樹脂 }	メチルアルコール 1.9 エチルアルコール 38.6 水 2.0	フラン砂铸型 (球状黒鉛 铸鉄)

## 2) その他

最近では铸鉄の大物铸造品及び铸鋼の湯口前とか押湯下の焼着防止を目的に厚塗りを可能としたジルコン基材の塗型が開発され顕著な効果を發揮している。刷毛塗りで1回に1.5～2mm程度の塗型厚さに厚塗りができる。

### 2-6-2 ガス抜き材

ガス抜き材は、铸型（主型及び中子）の通気性の向上をはかり注湯時に溶湯の熱によって発生する粘結材等の燃焼ガスを铸型の外部へ迅速に抜くために使用される。

乾燥型に於けるガス抜き材はろう（蠟）、藁縄、粗目の砂粒等が使用できるがフランプロセス砂は無乾燥型であり注湯時の初期に多量の燃焼ガスを発生するため高い通気度が铸型に要求される。

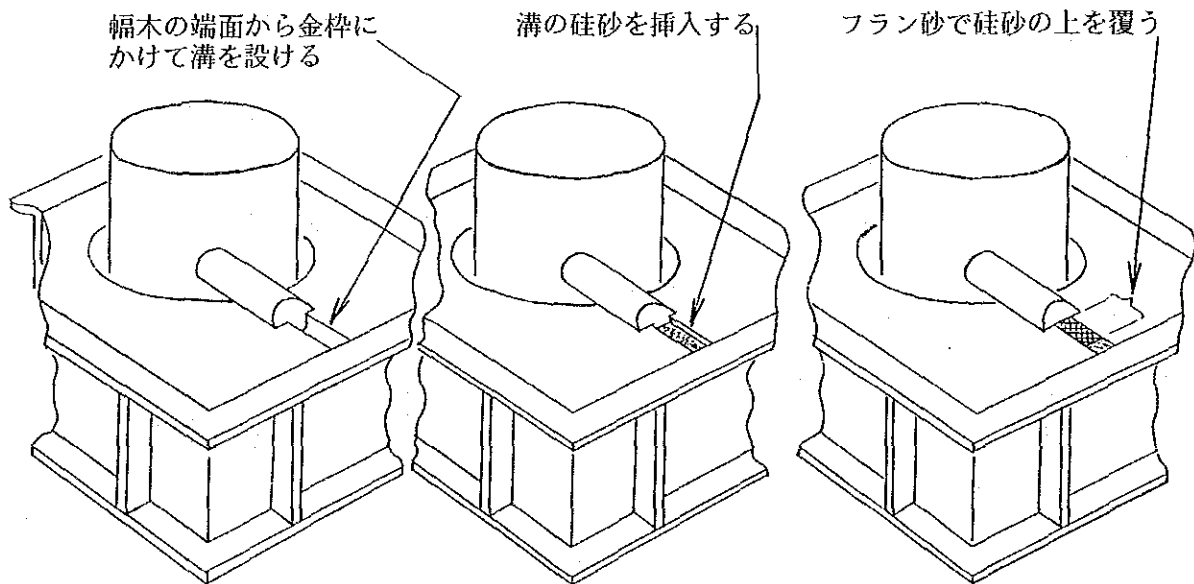
通気性の向上をはかるためにガス抜き材としてプラスチック系製のパイレンチューブ（サラン紐）が最も多く使用されている。写真VI-13にパイレンチューブの使用状況を示す。このパイレンチューブの構造は網目状になっているため通気性が非常に優れている。また注湯時に殆ど完全に燃えてしまうので回収砂中に残らない。

铸型の形状によってはパイレンチューブ（サラン紐）のかわりに螺旋管を使用することがある。写真VI-14に螺旋管を示す。

この螺旋管の特長は非常に薄い鉄板で造られているため極端に砂付きの少ない鑄型部分（中子）の形状に容易に沿わせることができる。

欠点としてパイレンチューブ（サラン紐）より高価であり注湯後も鑄型の中に残存することである。

その他のガス抜き材として乾燥状態の珪砂がある。主型と中子を連結させる幅木部分の端面から金棒に至る間に珪砂を挿入する。この実施状況を図VI-30に示す。



図VI-30. ガス抜き材としての珪砂の使用状況

### 2-6-3 押湯材

押湯は鑄型に注がれた溶湯の液体収縮及び鑄型の熱膨脹による容積変化を補ない鑄物に引け巢のない健全な品質を得ることを目的として設置する。

通常の場合押湯は鑄物の最も肉厚の厚い部分に設置される。押湯にはトップライザー（鑄物の頂部）とサイドライザー（鑄物の側部）があり鑄物の形状及び寸法（主に肉厚）によって使い分ける。

#### (1) 押湯の条件

- 1) 鑄物のどの部分よりも遅く凝固すること
- 2) 注湯時に鑄型内に巻き込まれた湯垢（のろ）、砂等を容易に吸収できること

#### (2) 押湯材の種類と材料及び効果

押湯材には造型に使用される混練砂そのものや断熱効果をもつ断熱材及び発熱する

ことにより押湯内の溶湯温度の低下を遅らせる発熱材があり近年では溶湯の歩留まりを向上させるために発熱材の使用が拡大している。断熱材及び発熱材は多種の寸法が用意されている（円筒形）。表VI-15に押湯材の種類と、材料及び効果を示す。

表VI-15 押湯材の種類と材料及び効果

押湯材	押湯材料	効果
砂型	造型に使用される混練砂	押湯重量の15~20%
断熱材	石綿、グラスウール	” 20~25%
発熱材	金属アルミ + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + SiO <sub>2</sub> + MgO + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + C	” 25~35%

押湯材の使い分けは当然のこととして材料強度の高い材質ほど溶湯の収縮量が多いので発熱材を使用して押湯重量の増大を防ぎ（溶湯の歩留まり向上）、材料強度の低い材質は砂型もしくは断熱材でよいが厚肉部において押湯が極端に大きくなる場合は発熱材や冷し金を応用して溶湯の歩留まり低下と二次引けを防止する。

#### 2-6-4 湯口材

フラン樹脂砂は、注湯時の溶湯に熱せられて600 ~ 700℃付近で粘結材である樹脂が燃焼し粘結力を失なう。このため溶湯が落下する湯口は溶湯の流速が速くまた溶湯との摩擦によって表面の砂が洗われやすい。

従って湯口は湯口スリーブ（土管、陶管）を使用して溶湯と砂が直接接触れることを防止しなければならない。

湯口スリーブの使用は大型、中型鋳物は勿論必要であり小型鋳物に於いても使用するほうがよい。

#### 湯口材の種類と原材料

##### (1) 土 管

粘土分を含む土（赤煉瓦用材料）を粉砕し耐火度に優れる粘土と水を混合し成型する。焼成温度は600℃程度である。焼成後に割れが発生する場合は粘土分を減らすか硅砂を混合する。

##### (2) 陶 管

アルミナサンドに耐火度に優れる粘土と水を混合し成型する。焼成温度は1100℃程度である。



#### 2-6-5 シール（密封）材

シール（密封）材は、注湯時に鑄型の合わせ面から溶湯が漏洩することを目的に使われる。また中子の幅木から抜けるガスが鑄型内に侵入することを防止するためにも重要な役割を持っている。

古くは粘土と水を練ったものが使用されたが自硬性鑄型の普及とともに柔軟性に富み密封効果の優れたものが使用されるようになった。その使用状況と鑄型合わせ面の薄い鑄バリを写真VI-15に示す。

このシール材は上質の重油と石綿及びベントナイトを混練し各太さに（ $\phi$  3 mm、 $\phi$  6 mm、 $\phi$  9 mm）成型したものの表面に雲母を被覆したものである。

特徴は鑄型の合わせ面の間隙に応じてシール材が変形する。取り扱いが簡単であるため作業性が良い。

#### 2-6-6 鑄型接着材

接着材は、鑄型の破損部の修正とか主型と中子を連結する幅木部分の固定に用いられる。特に鑄型の破損部の修正については接着強度が大きく溶湯との接触できらい（燃焼によるガス発生）を発生しないものが要求される。

生型や乾燥型のような粘土系の鑄型の場合は粘土質の接着材とか混練砂による鑄型の補修が可能であるが自硬性鑄型は硬化が完了した時点では砂自身の粘着力がまったくないため鑄型の補修および分割された中子の接合に対して自硬性鑄型に適した接着材が必要である。特に作業工程上抜型後の処置において比較的短時間で型仕上げ、型合わせ、注湯工程に送られるため速乾性のものが要求される。

接着材製造原料の組み合わせ

- (1) 酢酸ビニール+石綿+メタノール
- (2) 珪酸ナトリウム（水ガラス）+ベントナイト

#### 2-6-7 離型材

自硬性鑄型砂は、模型が木型の場合粘結材の樹脂や硬化剤が木型にしみつき易いため抜型時の型離れ（木型と砂の分離）が悪くなる。また木型に塗られた塗料によっては混練砂の粘結材と化学反応を起こし砂が木型表面に粘着して抜型時に鑄型もしくは木型の破損を招くことがあるので木型塗料の選択に注意を要する。

木型塗料は沢山の種類、成分のものが開発されているがフラン砂のような自硬性鑄型に対してエポキシ系塗料、ウレタン系塗料はまずまず良好な離型性を有するが決定的な

効果を有するものが少ないため最近では木型塗料を塗らずに白木の上に直接離型材を塗ることが多い。離型材の効果は混練砂に添加される樹脂量によって影響されるため一定ではないが一度塗ると数回～十回程度は容易に抜型ができる。

#### 離型材の種類

- (1) 金属アルミ+フェノール樹脂+クロロセン(溶剤)+沈降防止材
- (2) 黒鉛+フェノール樹脂+メタノール+沈降防止材

#### 2-6-8 押湯発熱保温材

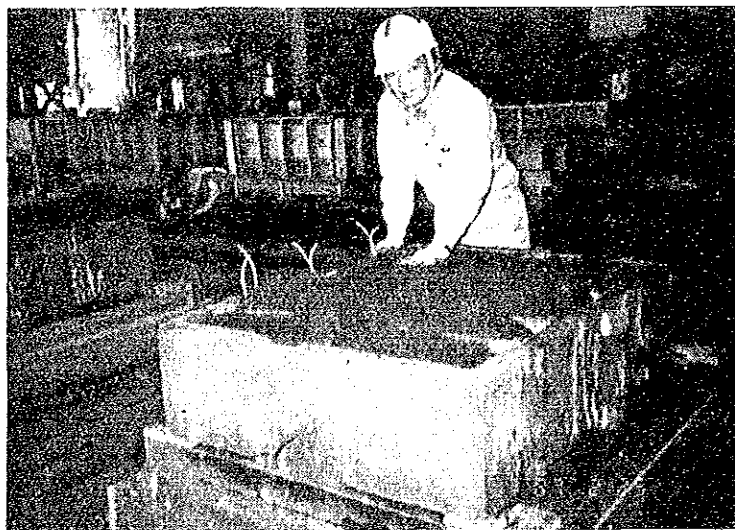
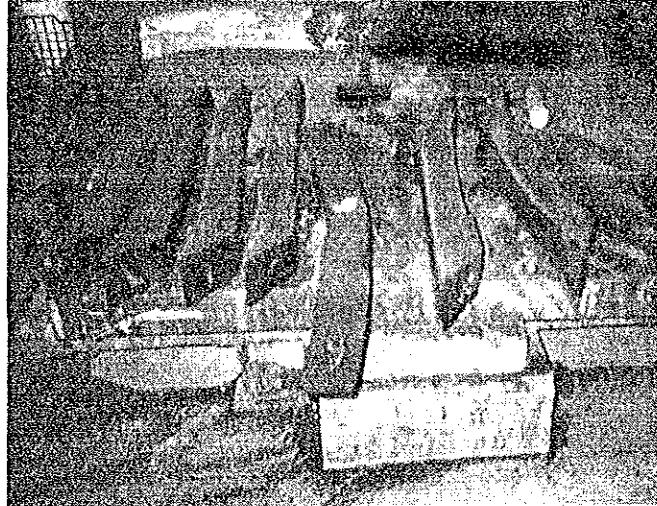
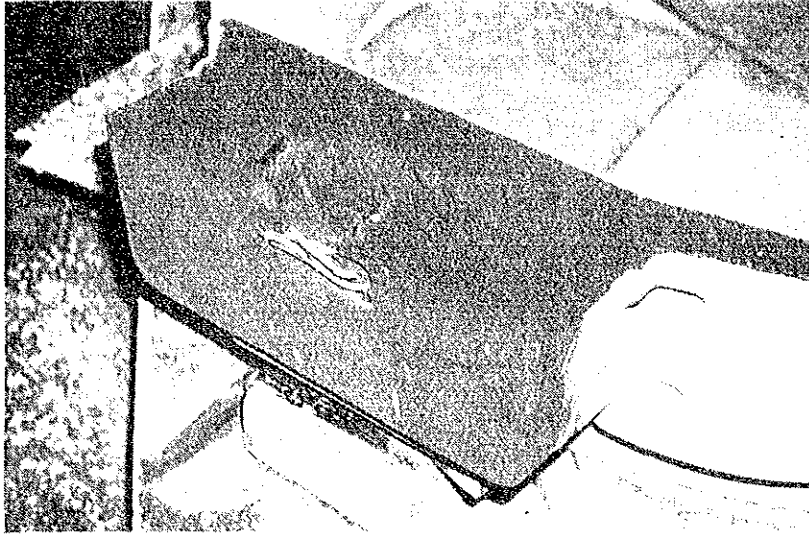
押湯材としては造型に使用される混練砂そのものや断熱材、発熱材について前述したが更に押湯効果を高めるために押湯の頂上にふりかける粉状の保温材が使用される。この発熱保温材は押湯の熱により燃焼するため添加の初期は押湯の温度低下を招くがやがて赤熱して熱を発することにより押湯の保温効果を高めるものである。尚、発熱保温材が燃焼しても殆ど煙は出ない。

#### 発熱保温材の材料

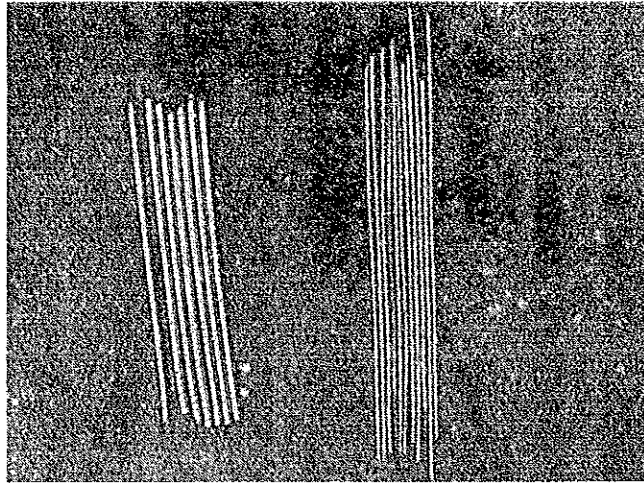
発熱保温材はその用途により化学成分の配合比が異なる。ここでは鑄鉄及び球状黒鉛鑄鉄に使用されるものについて、表VI-16に示す。

表VI-16 発熱保温材の材料配合例

分類	全Al分	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	その他	強熱減量	最高温度	発熱量 (Cal/g)	嵩比重
1	21.5~22.5	11~12	45~47	9~10	1.5~2.5	5~7	2.8	1560°C	1660	1.45
2	19~21	30~32	21~22	16~17	3~4	3~5	3.0	1510°C	1730	1.15



写真VI-13 パイレンチューブの使用例



写真VI-14 螺旋管



写真VI-15 シール材の使用状況と薄い鋳バリ

## 2-7 溶解の近代化

### 2-7-1 鑄鉄溶解方法の現状と将来

鑄鉄の溶解は、従来から堅型炉（キュボラ）が用いられて来た。近年のキュボラは、鑄鉄技術の進歩に合わせて多くの改良が加えられながら次第に大型化、溶湯材質の多様化、操業の安定化などが進められ、現在でも鑄鉄溶解炉の主流をなしている。

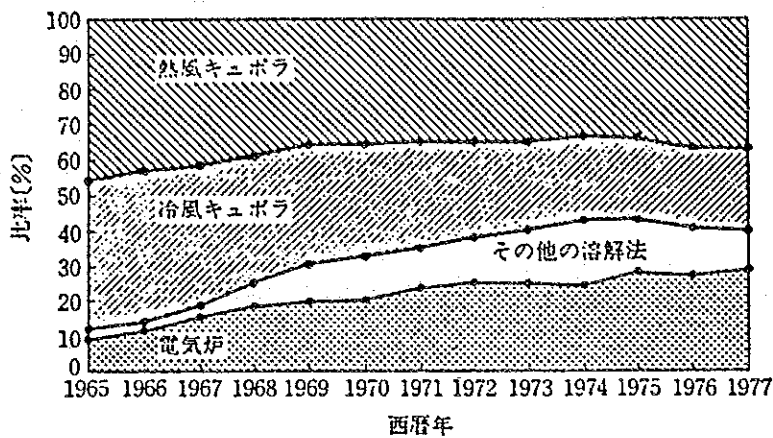
一方、20世紀の初頭から、電気を熱源とした電気炉も鑄鉄溶解に用いられるようになり<sup>1)</sup>とくに1950年代に出現したコアレス型（るつぼ型）誘導電気炉は、操業が管理しやすいこと、鋼屑やグライ粉（鑄鉄切削屑）の溶解に適していることなどから、その後は急速に使用基数が増加して来た。

また、気体燃料や、重油などを用いる回転炉や、反射炉とキュボラを組合わせたようなフラバン炉（Flaven Furnace）なども、ヨーロッパではわずかながら普及した時期もあった。しかし日本においては、これら流体燃料（気体および液体燃料）が相対的に高価であること、加えて熱エネルギー効率の低さから、一部では使用されたが、あまり普及するには至らなかった。<sup>2)</sup>

このような状況下において、1960年代後半になると、大規模鑄造工場では、キュボラと低周波誘導電気炉を併設し、鑄造品の材質に応じて、溶解を分担させる傾向が現われ、その後次第にこの方式が増加しつつある。すなわち合金鑄鉄や少量の球状黒鉛鑄鉄、CV鑄鉄（Compacted Vermicular）などには、誘導電気炉を、また普通鑄鉄（ねずみ鑄鉄）や大量の球状黒鉛鑄鉄の溶製には、主としてキュボラを用いる方法が普及し始めた。

このほか、キュボラ溶湯を誘導電気炉に入れて成分調整や昇温を行なう所謂二重溶解方式（Duplex Melting System）も、欧米では1960年代、日本でも1970年代から次第に増加して来た。<sup>3)</sup>この方式でキュボラは地金の溶解を行なった後、連続的に出湯された溶湯を付設された低周波誘導電気炉に貯蔵させるため、溶湯の成分変動やその組成を容易に調整することが可能であり、かつ溶湯温度も調整できること、余剰の溶湯が発生した場合などにはキュボラを一時休風できるため、後工程との整合に好都合なことなど、多くの利点がある。

これら各種溶解炉の使用比率の変化を図VI-31<sup>4)</sup>西ドイツにおける鑄鉄溶解量に占める溶解法の比率の推移、および表21<sup>5)</sup>日本の鑄鉄溶解炉の変遷に見ることができる。このように鑄鉄の溶解炉は、鑄造生産の規模や、要求される溶湯品質、原材料の状況などに応じて、多様化が進みつつあるのが現状である。



(注) 電気炉の分類の中にはキュボラとの二重溶解も含まれているので、電気炉単独の比率は図示よりも、かなり低くなる。

図VI-31 西ドイツの鑄鉄鑄物の生産量に占める各種溶解法の比率の推移<sup>1)</sup>

表VI-21 日本の鑄鉄溶解炉の変遷 (比率 %)

年代	溶解炉と溶解形式	キュボラ 単独使用	低周波炉 単独使用	キュボラと 低周波炉の 併用	キュボラ 低周波炉 (二重溶解)	その他
1960		88.0	1.0	—	—	11.0
1970		82.1	3.3	5.1	1.2	8.3
1975		63.8	15.5	11.1	3.0	6.6

しかし、キュボラは現在でも鑄鉄溶解炉の60%以上を占め、溶解炉の主流であることは変りない。図VI-31からも判るように、従来から普及して来た冷風キュボラは次第に減少しつつあるのに対し、キュボラ排出ガスの保有を用いて送風を予熱する、いわゆる廃熱回収型の熱風キュボラは、キュボラの大形化と共に近年急速に普及しつつあり、今後の新設または更新されるキュボラは熱風方式が大部分となるものと推測される。

以上の経過から、大規模鑄造工場における今後の溶解炉の方向を思考すれば、次のようになる。

- 溶解炉の主流は、排熱回収型熱風キュボラを用いて大量の鑄鉄溶湯を溶製する方法であり、この方式は今後とも続くと考えられる。
- 合金鑄鉄その他の特殊鑄鉄は、比較的少量であることもあって、溶解には誘導電気炉の単独使用、またはキュボラとの併用が普及するものと考えられる。

#### 2-7-2 キュボラの構造と操業法の進歩

近年、鑄造品は大形化が進み、また大量生産が行なわれるようになった結果、キュボラも大形化する傾向にある。そして今日では炉内径約4,000mm、溶解速度 100 t/h 程度の<sup>6) 7)</sup>のものまで出現するに至った。

また、鑄造品の高品質化と形状の複雑化に伴ない、キュボラ溶湯は、高温で含有成分の適正化と高度の安定化が強く要求されるようになった。このため溶解を担当する部門では、使用する原材料（地金、コークス、耐火物、添加剤など）の入荷管理に始まって、適切な配合技術とキュボラ操業管理技術の開発が進められた。

一方、キュボラ設備は、これら原材料の性状に適した構造に改良や変更が進み、これがさらにキュボラ運転技術の開発に反映されて、健全な溶湯が安定して得られるよう努力されている。

ここでは、溶解能力10 t/h程度の大型キュボラを用いて、健全な普通鑄鉄の溶湯を安定して得ようとするとき、使用する原材料（主としてコークス、耐火物地金類）の性状が、キュボラの構造やその操業法にどのような影響を与えているかを検討してみる。

#### (1) コークス品質の影響

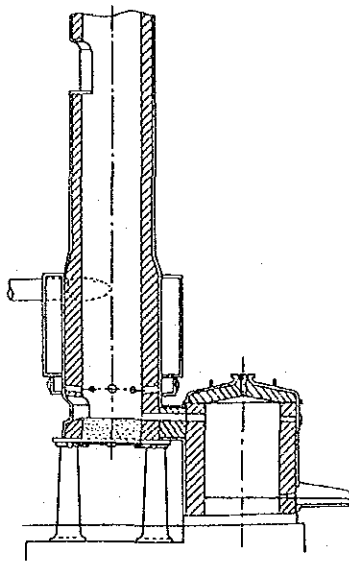
コークスの性状がキュボラの構造を大きく変化させた実例は、日本のキュボラの歴史に見ることができる。

おそらく諸外国においても、このような傾向が発見されるかも知れないが、日本においては、コークスの原料である石炭の品質が、過去50年の間に大巾に変化したため、必然的に鑄物用コークスの品質が変化した。

表VI-22<sup>8)</sup>は、1947年頃の日本の鑄物用コークスの性状例であり、灰分18.4%、揮発分4.0%、粒度は90mm以上が20%しか無いなど、今日では考えることさえ出来ない粗悪品であった。このため、コークスを多量に使用しても、出湯温度は上らず、キュボラ操業は困難を極め、高級鑄鉄の製造などは不可能に近い状況であった。<sup>9)</sup>このようなコークスに対応するため、キュボラは燃焼帯を広げるため多段羽口にしたり、排ガスの顕熱を利用した簡易な熱風キュボラを考察する<sup>9)</sup>などで、ある程度の成果を収めた。しかしこれだけでは不十分で、羽口比を10~35と高くして小粒度のコークスでも炉中心部まで送風が到達可能としたり、炉内でのコークスの圧壊を減少させるため、炉高を低くしたキュボラが、次々と出現した。

表VI-22 昭和22年頃の鑄物用コークスの性状例

成 分 %					粒 度 %		
固定炭素	揮発分	灰分	硫黄分	水分	90mm以上	35mm以上	15mm以下
76.4	4	18.4	0.98	2.3	20	48	40



図VI-32 1957年日本鑄物協会が提案したキュポラの構造

しかし、1955年頃になると、石炭事情が好転したため、コークスの灰分は減少し、粒度もキュポラの炉径に適した大塊コークスに揃えられたものが入手可能となった。このため1957年には日本鑄物協会から、「キュポラの構造と、作業基準」なるものが提案され、羽口は一段として炉修を簡易化し、羽口比は4~12と羽口を大きくすることによって冷風キュポラにおける羽口突き作業を減少させ、有効高さ比も小型キュポラでは5程度に高くすることによって地金の予熱を促進し、熱効率の向上がはかられた。また風箱断面積を大きくして各羽口に送風が均等に挿入可能とするなど、出湯温度の上昇、コークス比の低減、鋼材配合率の増加による高級鑄鉄の溶製が容易にできる構造に改良された。<sup>10)</sup> 図VI-32は、この当時のキュポラの基本構造である。

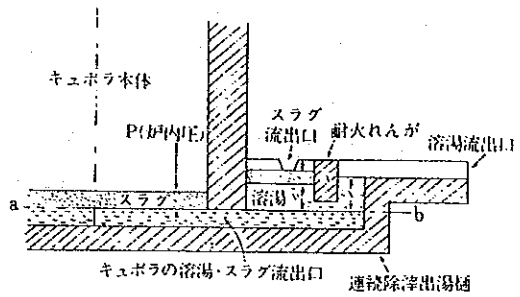
また、出湯温度の上昇は、溶湯とスラグの分離を容易にしたため、図VI-33-1~3に示す連続出湯自動除滓桶<sup>11)</sup> (Front Slagging Spout) および回転前炉が使われるようになった。

さらに1960年頃になると、これまでコークスの落下強度<sup>12)</sup> (Shatter Index: S I) が50mm 4回指数で80程度であったものが、90程度まで向上し、炉高の高いキュポラや、大型キュポラの出現を容易にした。これによってキュポラ炉内はさらに高温化することが可能となったことから、大型キュポラではコークス比の低減と溶解速度の増大を主目的とした熱風キュポラの出現に向かうことになった。

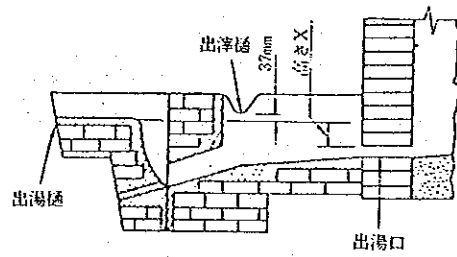


1965年頃には、鑄鉄品種の多様化が進んだことに対応してどのような構造のキュボラでも、必要とする鑄鉄溶湯が得られるためのコークスが要求されるようになった。このためコークスメーカーでは、ますます多種類の銘柄を開発することになり、コークスと共にその使用方法までコークスメーカーが開発して、鑄造工場に提供するようになった。例えば、出湯温度をさらに上昇させたいとか、溶湯の吸炭を増加または減少させたいとか、吸硫を減少させたいとか、溶解速度を増大させたいとかの要求に対し、それぞれに適した鑄物用コークスをコークスメーカーが開発し、使用例のキュボラの構造に応じた、コークスの使用法（キュボラ操業法）まで開発して鑄造工場に提供するようになった。

表VI-23<sup>3)</sup> は1963年当時の、表VI-24<sup>4)</sup> は1967年当時のコークス銘柄と品位の一例を示した。このようにコークスの品質は順次向上し、鑄鉄品質の向上とキュボラ操業の近代化に大きく寄与していることが判る。

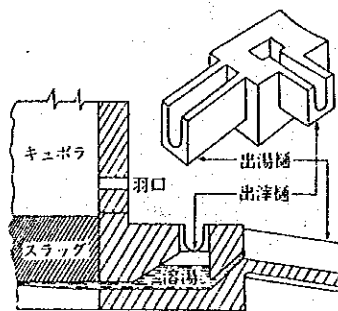


図VI-33-1 前方除滓連続出湯樋の構造



風箱風圧 oz/in <sup>2</sup>	4	8	12	16	20	24	28	32
風箱風圧 mmH <sub>2</sub> O	175	354	529	704	880	1060	1235	1410
高さX,mm	38.1	63.5	89.0	114	140	165	191	216

図VI-33-2 連続出湯出湯出滓樋



図VI-33-3 連続出湯出滓樋説明図

表VI-23 鑄物用コークス銘柄と品位の一例 (1963年当時)

銘柄	灰分 (%以下)	揮発分 (%以下)	全硫黄分 (%以下)	強度(50mmS1) %以上)	粒 度	用 途
特 秀 号	4	1.5	0.75	91	80mm以上 85%以上	特殊高級鑄物用
特 甲 号	7.5	1.5	0.65	90	" "	高級鑄物用
特 1 号	10	1.5	0.65	88	90mm以上	"
特撰特1号	10	1.5	0.65	88	70~90mm	高級鑄物用 (小型キュボラ用)
別撰特1号	10	1.5	0.65	88	65~70mm	" ( " )
別 特1号	11	1.5	0.65	85	50mm以上 85%以上	高級鑄物用
別 1 号	12	1.5	0.65	85	" "	一般鑄物用
上 3 号	12	2.0	0.65	85	" "	"
甲号中塊	10	2.0	0.65		40~60mm	合金用 (ルツボ用)
2号中塊	12	2.0	0.65		"	" ( " )

表VI-24 鑄物用コークス銘柄と品位の一例 (1967年当時)

銘柄	灰分 (%以下)	揮発分 (%以下)	全硫黄分 (%以下)	強度(50mmS1) (%) 以上	粒 度	用 途
特 秀 号	5.0±0.5	2.0	0.7	91	80mm以上	特殊高級鑄物用
特甲号大塊	6.5±0.5	2.0	0.7	93	120mm以上	高級鑄物用
特甲号 塊					120mm~100mm	高級鑄物用
特甲号特選					100mm~ 80mm	高級鑄物用 (小型キュボラ用)
特一号大塊	8.0±0.6	2.0	0.7	93	120mm以上	高級鑄物用
特一号 塊					120mm~100mm	高級鑄物用
特一号特選					100mm~ 80mm	高級鑄物用 (小型キュボラ用)
特一号別選					80mm~ 60mm	高級鑄物用 (小型キュボラ用)
別 一 号	9.5±0.7	2.0	0.7	93	80mm以上	一般鑄物用
甲号中塊	8.0±0.6	2.0	0.7		60mm~ 30mm	合金用(るつぼ用)
熱 風 用	12.0以下	2.0	0.3			熱風炉、再生銑用
甲 二 号	15.0以下	2.0	1.0		50mm以上 80%以上	精錬用、乾燥用
新 二 号	15.0以下	2.0	1.0		25mm以上 85%以上	乾燥用、石焼用 一般工業用
新 三 号	15.0以下	2.0	1.0		25mm以上 85%以上	乾燥用、一般工業用
小 塊	15.0以下	2.0	1.0		35mm~ 20mm	火造用、鍛造用
小 粉	15.0以下	3.0	1.0		20mm~ 13mm	火造用、鍛造用
粉	16.0以下	3.0	1.0		10mm以下	還元加炭用、焼結用

1969年には、キュポラ送風温度を上昇させると（熱風キュポラにすると）鋳物用コークスの品質が、溶湯性状に与える影響の小さくなることが発表された<sup>16)</sup>。このことは、鋳造工場が、いたずらに高品質（低灰分）コークスを求める方向から、熱風キュポラを採用し、その送風温度を高めれば高める程、コークス品質の影響を受けにくくして、さらに高温、高品質の溶解が可能なることを実現させる端緒となった。

図VI-34～図VI-37は、炉内径 500mmφキュポラの例であるが、表VI-25の2種類の異なったコークスを用い、表VI-26に示す操業条件で行なった結果である。このように灰分が高く、見掛比重の低い（軽い）Bコークスを用いても、同一コークス比でキュポラ熱風温度を高めると、出湯温度の上昇率はBコークスの方が大きく、また溶解速度は両コークスとも同じになること、溶湯炭素増加率や珪素減耗率もほぼ同じで、成熟度や相対硬度の改善も見られるなど、高灰分、低比重コークスには、熱風操業の効果がとくに顕著であることが判明した。

1973年の世界的な石油価格の高騰は、石油以外にも、電力、石炭、コークスなど全てのエネルギー価格を上昇させ、省エネルギー技術の開発は、全産業界で進められるきっかけとなった。キュポラもその例外ではなく、これを契機にますます省エネルギー化の方向へ発展し、コークス比の低減を目的として廃熱回収型熱風キュポラの普及が促進されると共に、熱風温度も次第に上昇することになった。また、操業技術面では、大型キュポラへの操業の集約、長時間操業、連続操業、キュポラ排熱の鋳物工場での再利用（廃熱ボイラを設置して水蒸気としての活用や、温水ボイラによる温水の風呂への活用など）、送風の除湿、酸素富化操業、羽口からのコークス粉末の吹込みなど、多くの改善が実施されるようになった。しかしこれらの改善は、いずれも鋳物工場の規模や、要求される鋳鉄溶湯の材質、キュポラ操業時間、必要資材入手の難易性など、多くの条件が適した場合にのみ有効に作用する方法であり、いたずらに新規性だけを追求することは、かえってキュポラ操業を複雑化させ、操業管理を困難にすることになるので注意する必要がある。

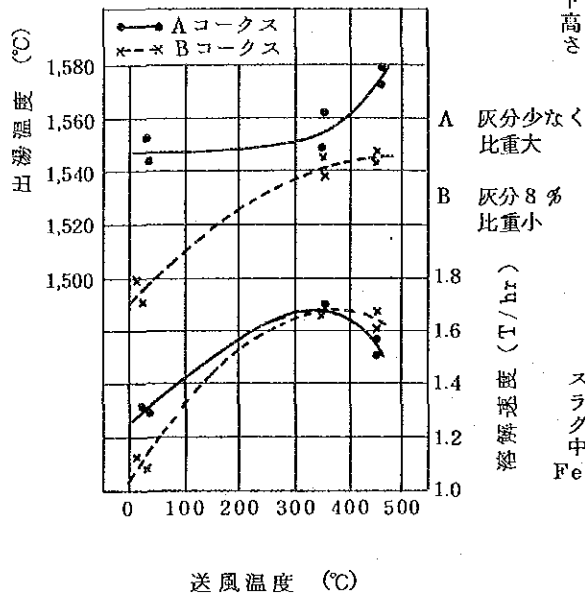
なお、1973年以降の鋳物用コークスは、これら最近キュポラの実態にあわせてその後も改良が加えられながら今日に至っている。表VI-27<sup>16)</sup>は現在の鋳物用コークスの種類とその品質保証値の一例を示したものであり、この中でも灰分 8.0%程度の特一号コークスが標準品として最も多く用いられている。

表VI-25 使用コークスの性状

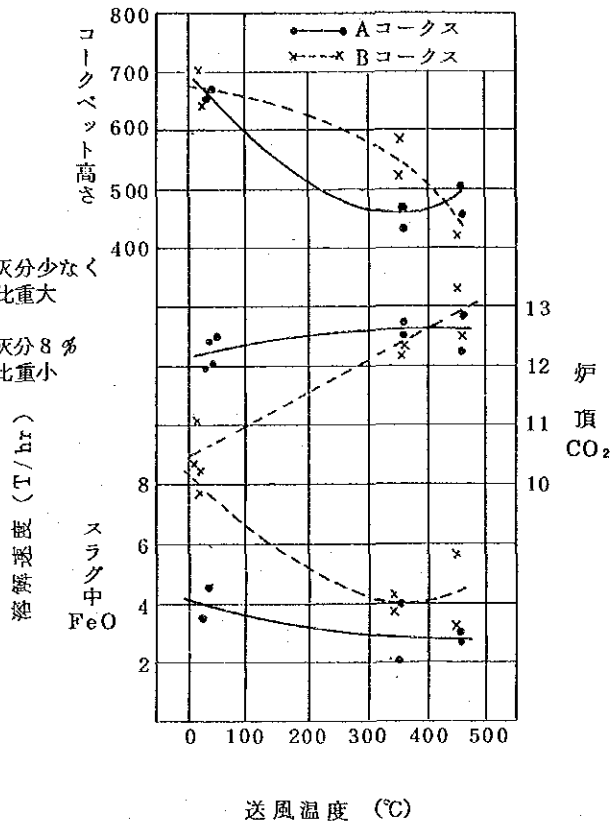
種 類	A	B
全 水 分 %	3.6~5.8	1.8~2.0
揮 発 分 %	0.9~1.2	0.8~1.4
固 定 炭 素 %	92.3~92.5	90.5~90.9
灰 分 %	6.5~6.7	8.1~8.3
全 硫 黄 分 %	0.55~0.60	0.54~0.56
み かけ 比 重	1.21~1.24	1.03~1.05
真 比 重	1.84	1.84
気 孔 率 %	32.6~34.2	42.9~44.0
落下強度、% (>50mm)	95.6~97.1	94.5~96.1
粒 度 mm	80~60	80~60

表VI-26 キュボラ操業条件一覧表

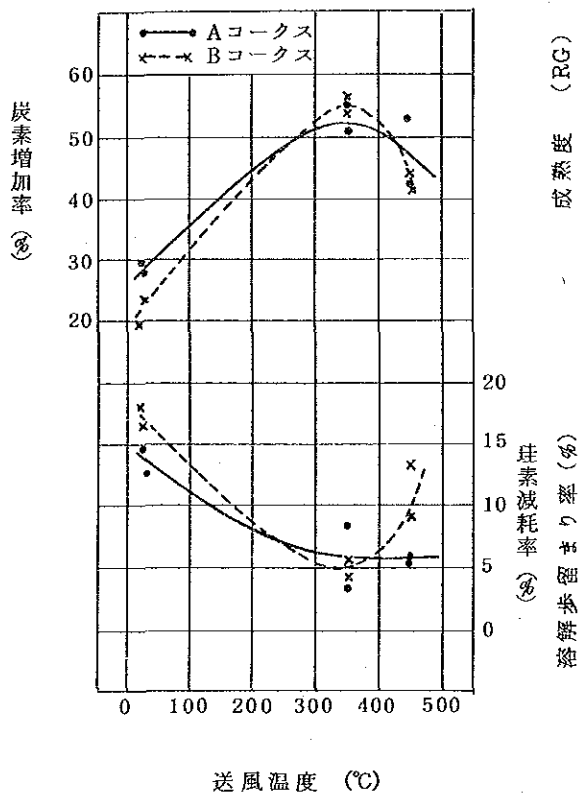
操業条件	送風温度、℃			
	常 温	350	450	
風 量 Nm <sup>3</sup> /min	20.0	20.0	17.0	
コ ー ク ス 比 %	14.0	11.0	9.0	
コーク・ベッド高さ mm	1,000	同左	同左	
コ ー ク ス 粒 度 mm	80~60	同左	同左	
1 掛 地 金 重 量 kg	75	100	120	
全 溶 解 量 kg	2,250	3,000	3,000	
配 合 銑 鉄 率 %	60	50	50	
配 合 鋼 く ず 率 %	40	50	50	



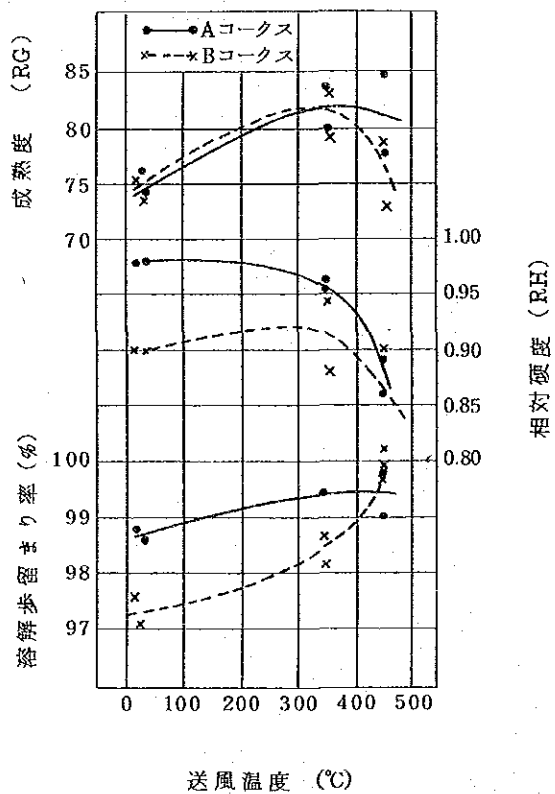
図VI-34 送風温度と出湯温度、溶解速度との関係



図VI-35 送風温度と操作中のコークベッド高さ、炉頂CO<sub>2</sub>、スラグ中のFeO との関係



図VI-36 送風温度と溶湯炭素、けい素加減率との関係



図VI-37 送風温度と成熟度、相対硬度、溶解歩留まり率との関係

表VI-27 鑄物用コークス銘柄と品位の一例

銘柄	灰分 (%)	全硫黄 (%)	強度 50mmS. I (%)	粒度 (mm)	用途
特甲号大塊	6.5±0.5	0.7以下	93以上	120以上	高級鑄物用
特甲号塊				120~80	
特一号大塊	8.0±0.6	0.7以下	93以上	120以上	高級鑄物用
特一号塊				120~80	
特一号別選				80~60	
別一号	9.5±0.7	0.7以下	93以上	80以上	一般鑄物用
甲号中塊	8.0±0.6	0.7以下	—	60~30	一般鑄物用 合金用
小塊	12.0以下	0.7以下	—	40~20	火造用、鍛造用
小粉	12.0以下	0.7以下	—	20~13	還元加炭用 焼結用
粉	13.0以下	0.7以下	—	13以下	

(注) 1 揮発分は 1.5%以下とする。

(注) 2 熱風キュボラは、灰分をあまり気にしないため、灰分規格は上がって来た。

## (2) 耐火物の影響

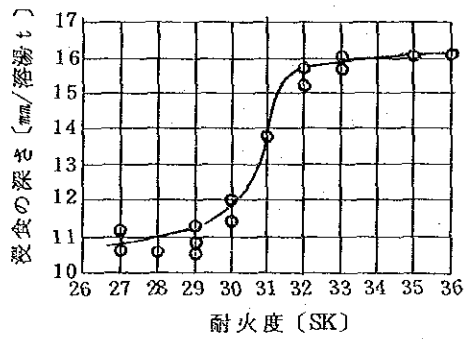
キュボラは堅型円筒の鉄皮に耐火物を内張りし、炉内はコークスの燃焼によって、最高温度帯の温度は、小型キュボラでも 1,650℃以上、大型熱風キュボラになると 2,000℃以上に達することもあり得る。また出湯する溶鉄やスラグの温度は 1,500℃以上にも達するため、操業中に耐火物は浸食を受けることになり、耐火物の良否は直接キュボラの構造に大きな影響を及ぼすことになる。

キュボラ用耐火物は、一般に酸性耐火物、とくにろう石質耐火煉瓦（粘土質耐火煉瓦）が従来から汎用されて来た。表VI-28<sup>17)</sup> は、代表的な耐火物の化学組成例であり、図VI-38<sup>18)</sup> は耐火度と浸食量との関係を示したものである。このように耐火度と浸食量との関係は、従来耐火度の高いもの程浸食量は少ないと一般に考えられて来たが、現実にはむしろ逆であることに注意しなければならない。<sup>19)</sup> また同一の化学組成であっても、耐火物原料の種類（産地）や、成形圧力、焼成方法などによって、使用時の寿命は大巾に異なることが考えられる。図VI-39<sup>20)</sup> および図VI-40<sup>21)</sup> はこれらの関係を推測するための参考資料を示した。

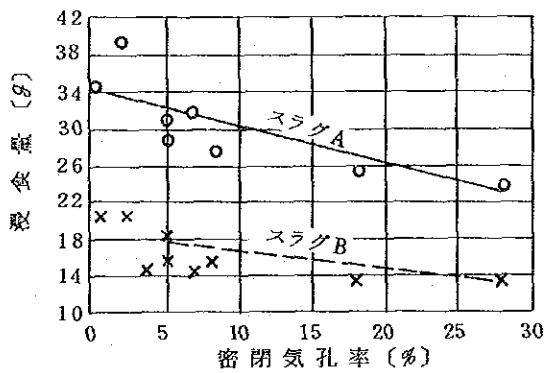


表VI-28 耐火物の化学組成の例<sup>3)</sup>

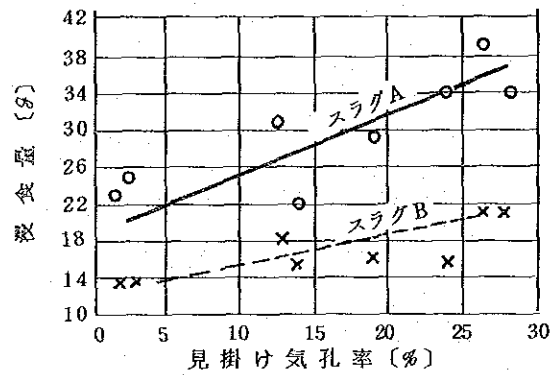
No.	名称	成分 [%]	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	R <sub>2</sub> O	ZrO	耐火度 (°C)
1	けい石質		97	0.7	0.8		1.7		0.2		1710
2	ろう石質		73	23	1.0				1.5		1650
3	シャモット質		51	40	3.4	1.2		0.7	0.6		1750
4	高アルミナ質		27	71	0.9	0.9					>1820
5	電融アルミナ質		0.1	98	0.1				0.5		>1900
6	マグネシア質		2.0	1.5	2.2		2.0	91			>1900
7	スピネル質		0.4	70	0.1			28			>1900
8	ジルコニウム質		34							65	>2000



図VI-38 耐火度と浸食量の関係



図VI-39 密閉気孔率と浸食量の関係



図VI-40 見掛け気孔率と浸食量の関係

このようにキュボラ用耐火物の種類と浸食量の関係は複雑であり、耐火物の種類（産地）が変われば、実際に使用して、その実績をもとに耐火物の良否を判定する以外に有効な方法は見付からないのが現状である。

しかし、経験的な判断ではあるが、耐火物から見たキュボラの構造は、一般に次のように考えられる。

- 出湯温度が 1,500°C程度以下で、かつ1回の操業時間が5～6時間以下の場合は、非水冷キュボラが一般的である。（高灰分コークスを用いる場合は1回の操業時間が上記の時間よりも若干長くなる場合もあり得る）
- 出湯温度が1550°C前後となったり、長時間操業が必要な場合の中大型キュボラでは、キュボラ溶解帯および加熱帯だけを水冷したライニングキュボラの構造とする。そして長時間操業する場合のライニング材として近年ろう石質耐火物に代って例えば炭化珪素質などの高級耐火物を用いる場合が増加して来た。
- 大型キュボラで、かつ長期にわたって連続操業する場合は、水冷ノーライニングキュボラとし、羽口は水冷式突出羽口を用いる。

ただし、これらの炉体水冷方式は、キュボラの操業に耐え得る耐火物が皆無であることから発生したやむを得ない方法であって、水冷は炉壁部の炉内温度を低下させ、出湯温度の低下や、炉内雰囲気悪化に伴ない溶湯性状を不安定にする方向にあること、加えて熱損失を若干多くすることになり、可能なればさけることが望ましい。とくに高灰分、小粒コークスを使用する場合は、この影響が大きくなることが予想され、十分注意する必要がある。

### (3) 地金の種類と、その成分・大きさの影響

地金の組成については、鑄鉄、廢鋼、戻り屑、外部故銑など、それぞれの溶湯材質に応じて適切な品質のものを使用しなければならない。とくに溶湯の流動性や、靱性、硬さなどに悪影響を与える成分が含まれる場合は、その含有量に応じて必要ならば使用しないか、減量する必要がある。このため、地金類全般の成分分析を高精度で迅速に行なう分析装置と、分析技術の向上、および分析結果のキュポラ操業へ適格に反映させる管理技術と操業技術の開発が、近代化されたキュポラには最も必要不可欠な要素である。

一方、地金類の大きさは、キュポラ最狭部の炉径の1/3以下にしない限り、大きな棚吊りなどを誘発する原因となる。とくに湯道や堰などの異形の戻り屑は、破碎して、さらに小さくする必要がある。しかしその反面、一片の寸法が10mm以下の小片や、肉厚が1mm以下の薄鋼板などを用いると、予熱帯での地金表面の、酸化量が多く、溶湯の性状を悪化させる。加えて溶解速度が低下するため、これら薄片や小片の使用はさけなければならない。

次に腐蝕の甚だしい地金や、焼けた地金（高温で長時間空気酸化を起こした地金）等も、溶湯を酸化させるため可能な限り使用しないことが望ましい。ただし、キュポラ送風を400℃以上とした大型熱風キュポラでは、冷風キュポラと比較すれば炉内が高温となり、炉内は還元性雰囲気が強められるため、溶湯の精練作用が増加し、溶湯品質が向上することは確かであるが、上記のような粗悪原料はさけた方が得策である。

以上、原材料面からみたキュポラの構造とその操業法をまとめてみると、

- キュポラの構造は、使用するコークスの性状と、耐火物により、また1回の操業時間や、溶解能力などによって適正な構造がきまって来ること。
- 高温の溶湯で化学組成の安定した溶湯を得ようとすれば、送風温度を高めた熱風キュポラが望ましいこと。
- 溶湯成分を鑄鉄材質（鑄造品の材質）に応じて安定して得ようとすれば、地金などの受入検査に始まって、迅速で高精度の分析装置と分析技術、分析結果をもとにした正確な地金配合技術と総合的なキュポラ操業管理技術が不可欠の要素となる。

### 2-7-3 高温溶解の必要性和熱風操業の利点

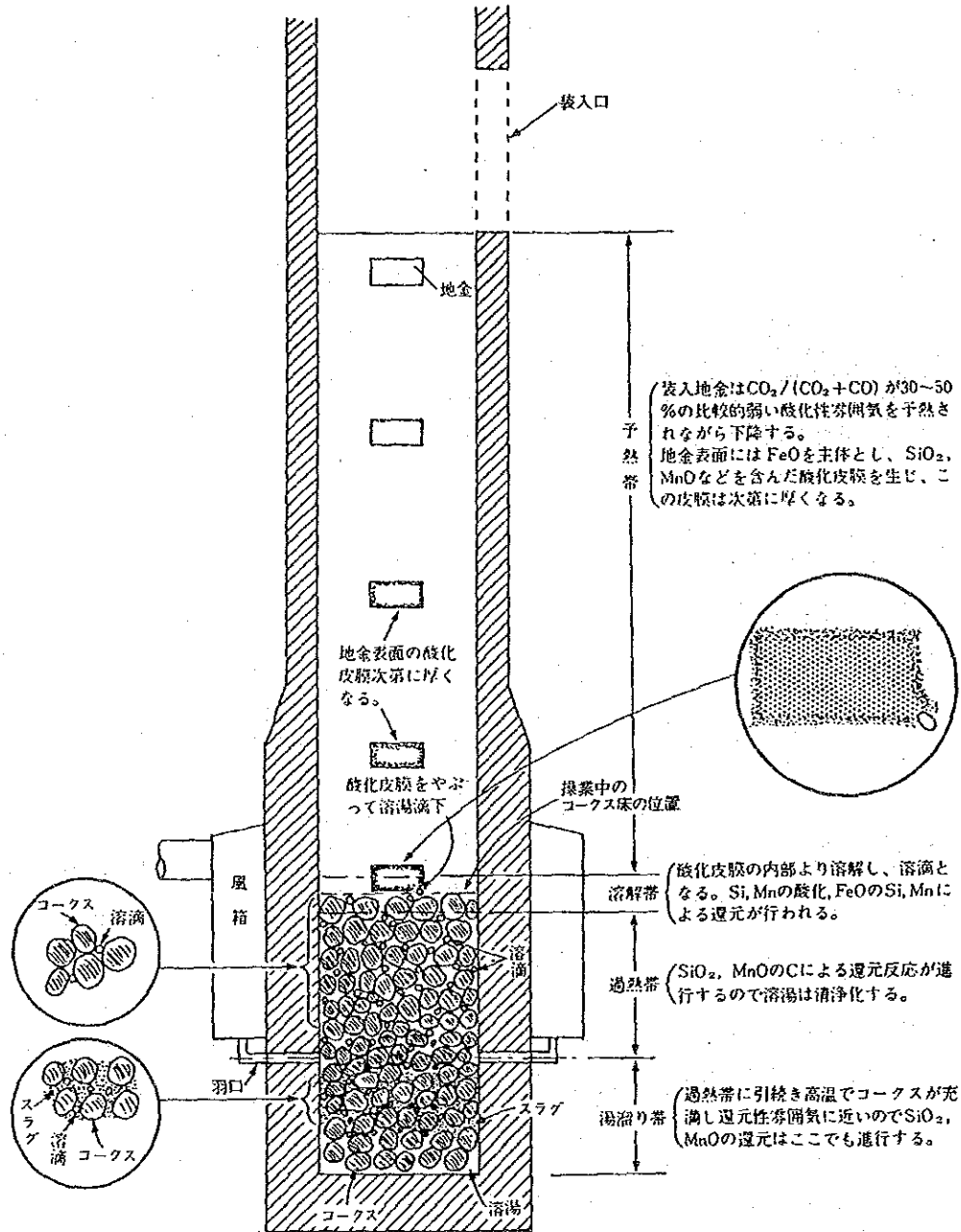
#### (1) 高温溶解の必要性

健全な鑄鉄品を生産するためには、鑄込み時の溶湯温度が十分確保されている必要がある。鑄込温度は、鑄造品の材質や、鑄型の形状、肉厚などによって若干異なるが普通鑄鉄の場合 1,400°C程度を見込めば良いであろう。この温度に注湯取鍋とキューボラ前炉などの貯湯時の温度降下（大型取鍋および大型前炉を使用する場合、合計約 100 °C）を見込むと、キューボラ出湯温度は 1,500°C以上とする必要がある。

一方、キューボラ操業において、炉内を高温に保ち出湯温度を 1,500°C以上とした高温溶解を行なえば、図VI-41<sup>2)</sup> から思考して次の利点がある。

- キューボラ炉内の雰囲気は、還元性の方向に働くため、上部の予熱帯では地金表面の酸化皮膜の生成が少なくなる。
- 溶解帯では、地金は表面の酸化皮膜の内部より溶解し、溶滴となる。このとき、地金中のSi、Mnの酸化が減少すると共に、地金表面のFeOのSi、Mnによる還元が促進されて溶滴中のFeOが減少する。
- 高温の過熱帯（コーク・ベッド部）では、溶滴の加熱が充分行なわれると共に、溶滴の吸炭、SiO<sub>2</sub>、MnOのCによる還元が進行しやすくなり、溶湯は清浄化されやすくなる。
- 湯溜り帯（羽口から炉底までの部分）も高温になるので、高温のコークスが充満し、還元性雰囲気が強いため、SiO<sub>2</sub>、MnOの還元がさらに進行する。また溶湯の吸炭および溶湯中に含まれる微量の酸化物の還元および、スラグへの分離も促進されて、溶湯の清浄化はさらに進むようになる。

以上のように炉内が高温になるようキューボラを操業すれば、出湯温度の上昇とあわせて鑄鉄溶湯は短時間のうちに清浄化が進行し、加えてSiやMnの酸化損失の減少、黒鉛組織の改善（成熟度の向上）、チル化防止、溶解歩留まりの向上など多くの利点が得られる。



図VI-41 キュボラ炉内を降下する地金の酸化と還元位置

## (2) 熱風操業の利点

キュボラ操業において、高温の溶湯を得るためには一般に次の方法が用いられる。

- 熱風操業（可能な限り送風温度を高める程有利となる）
- 分割送風（高灰分コークスでは溶湯が酸化されやすい欠点がある）
- 羽口からの補助燃料吹込み（操業管理が複雑となる）
- 酸素富化操業（酸素発生装置が必要、操業管理が複雑となる）
- 除湿送風（高湿度の地域だけ有効）

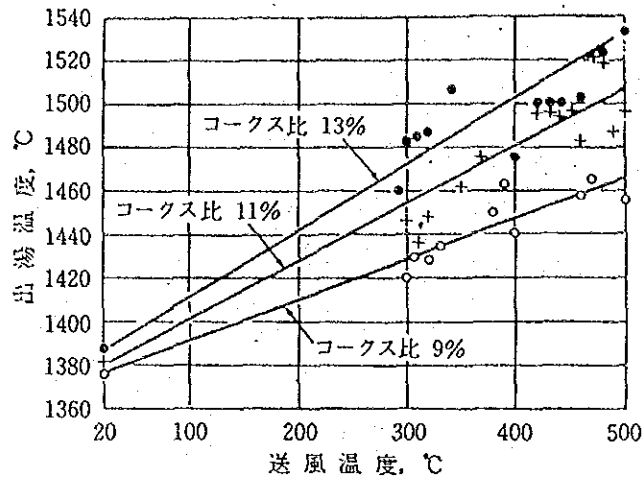
この中で、低灰分、小粒度（炉内径の1/12以下をいう）低強度のコークスを用い、追込コークス比10%程度で実施することを考えると、最も有効な方法として送風温度を400℃以上に高めた熱風操業があげられる。

送風を予熱すると、羽口面は輝きを増し、炉内が高温になっていることが判るようになる。また羽口の汚れは減少する。<sup>23)</sup> また出湯温度は上昇し、溶湯は吸炭しやすくなり、溶解速度は増大する。加えて溶解歩留まりは向上し、溶解に伴うSi、Mn損失は減少し溶湯の精練作用も向上するため、成熟度の向上、相対硬度の低下など多くの利点がある。

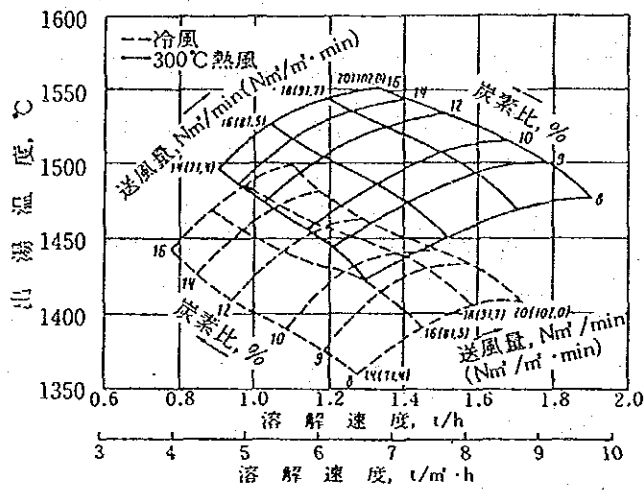
図VI-42<sup>24)</sup> は、炉内径 600mmφの酸性キュボラの測定例であり、送風を予熱することによって出湯温度の上昇に対する効果が如何に大きいか判る。また図VI-43<sup>25)</sup> は炉内径 500mmの酸性キュボラで80～100mmのコークスを用い、送風を300℃に予熱した場合の効果を冷風操業と比較して示したもので、送風の予熱は、出湯温度の上昇と共に溶解速度を増大させることが判る。

次に溶湯に対する影響については、炉内径 480mmのキュボラで、コークス比、地金配合その他の操業を一定にした実験の結果を図VI-44<sup>26)</sup> に示したが、Si歩留まりの向上など多くの効果があることも判る。

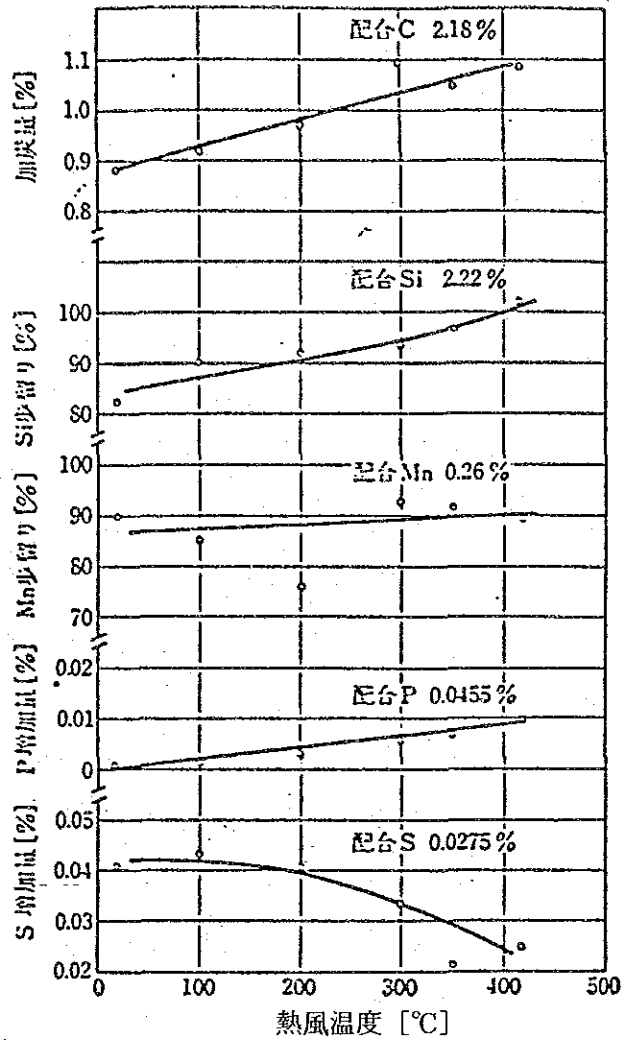
以上のような実績から、鑄造工場の近代化には、送風を予熱する熱風キュボラを設置することが最も得策と判断される。



図VI-42 出湯温度に及ぼす送風温度とコークス比



図VI-43 冷風と熱風(300°C) 操業キュボラの操業条件と出湯温度との関係  
(キュボラ羽口面内径 500mm、コークス粒度80~100mm)



図VI-44 溶湯化学成分の変動



## 2-7-4 誘導炉の併用とその操業法

### (1) 誘導炉の得失

キュポラは大量の鑄鉄溶湯を、連続して溶製する手段としては、最適の方法であり、とくにねずみ鑄鉄（普通鑄鉄）の生産では、地金が炉内で溶け落ち後注湯するまで、溶湯を保持する時間が短いため、溶湯組成と出湯温度などの管理を十分に行なえば、健全な鑄物が容易に得られる利点がある。

これに対し、低周波誘導電気炉を用いて冷材から溶解すると、地金が溶けた後、昇温し注湯するまでの時間は、通常の場合でも約1時間を要する。<sup>27)</sup> この緩徐昇温とそれに続く溶湯の長時間保持は、溶湯の攪拌作用とあわせて溶湯を清浄化する作用が働らく利点がある反面、ねずみ鑄鉄（普通鑄鉄）の場合では、チル（白鉄）化し易いとか、引けなどの欠陥が発生し易いなど、溶湯の性状を異状化する要因として最近注目されるようになった。<sup>28)</sup>

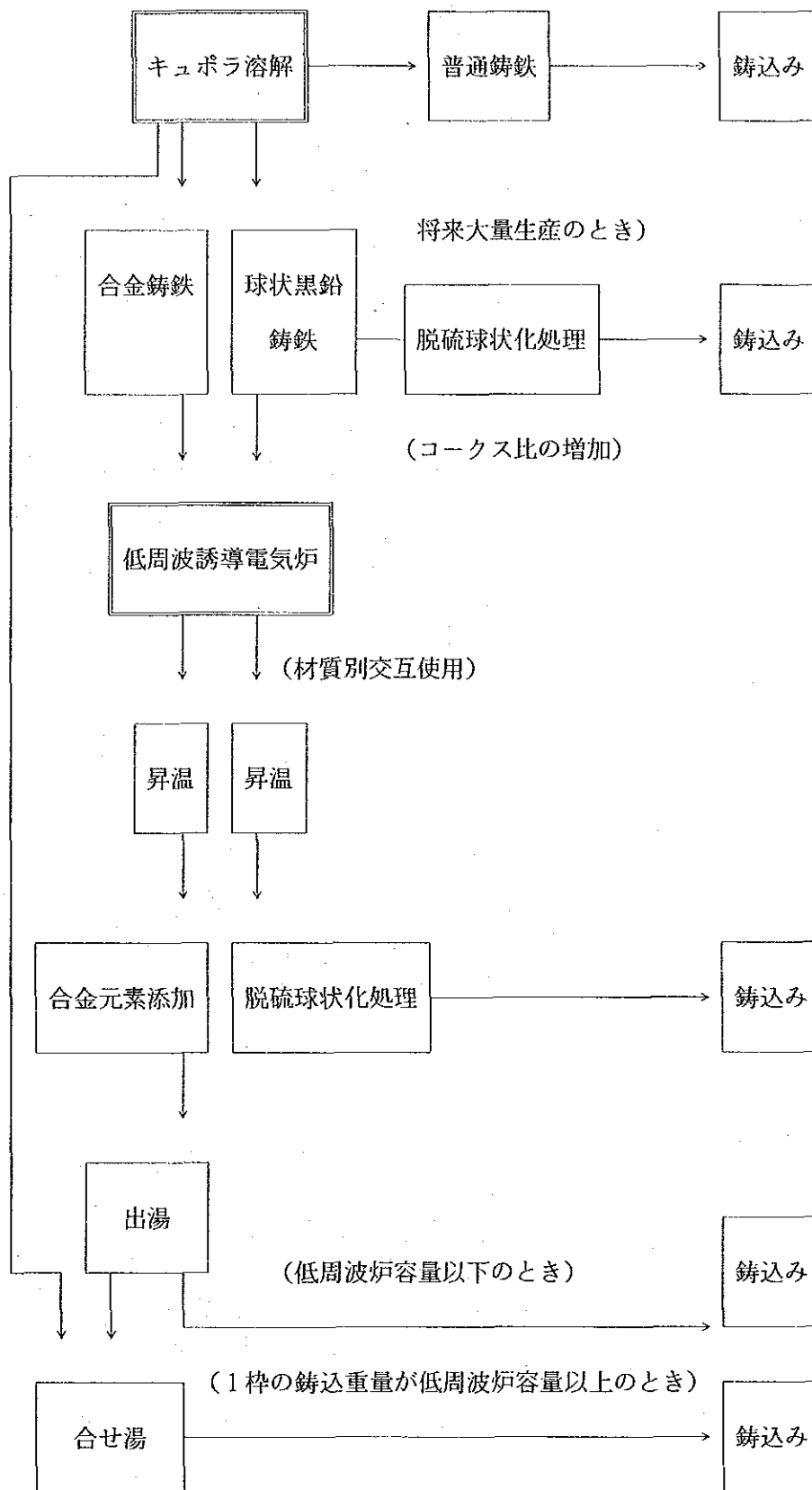
このようなことから低周波誘導電気炉による鑄鉄の溶製は、溶湯の清浄化が有利に作用する球状黒鉛鑄鉄や、溶湯の成分調整を必要とする合金鑄鉄の場合に大きな効果を発揮するものと考えられる。また誘導電気炉の単独使用（冷材からの溶解）は、電力事情が豊富で、かつ良質な電力（停電や、電圧・周波数の変動が少ないこと）が前提条件となって始めてその効果が得られることは云うまでも無い。なお誘導電気炉の操業はバッチ式であるため、毎回異なった品種の溶製に有利であり、このためにも多品種で比較的小量の溶湯を間欠的に溶製する溶解炉であると云えよう。

### (2) キュポラと低周波誘導電気炉との併用方法

低周波誘導電気炉は、冷材からの溶解よりもキュポラから溶湯を受湯して若干の昇温を行なう保持炉として活用し、図VI-45のように、普通鑄鉄以外の特殊鑄鉄用を使用すれば、消費電力も少なく（これは電源設備等の縮小にも効果がある）効率的である。

このようにキュポラ溶湯の一部を組込んで二重溶解の方法を採用すれば、キュポラの稼働率も向上し、加えてキュポラ異状時の対策にもなり得る。

なお、将来大量の球状黒鉛鑄鉄を生産するようになれば、球状黒鉛鑄鉄は、キュポラで高温溶解を行い、直接脱硫処理を行なった後、球状化処理を実施するようになれば、低周波誘導電気炉は合金鑄鉄の溶製および小量ロットの特殊鑄鉄の増産にも対応が可能となる。ただしこの場合は、キュポラ出湯温度をさらに高める必要が生じるた



図VI-45 キュボラ、低周波電気炉併用の溶湯処理

め、若干のコークス比の増大が必要となる。

#### 2-7-5 原材料の性状とその使用法

キュボラの構造や操業法は、使用する原材料によって決定されることはすでに述べた。(2-7-2項参照) すなわち、原材料の性状とその使用比率、および得ようとする鑄鉄溶湯の品質を調和させるために、キュボラ溶解設備の構造と、その操業方法が生まれることになる。そこで与えられた原材料を検討する。

##### (1) コークス

表VI-29に与えられたコークスの性状を、表1-30<sup>29)</sup> は、サンプル品から分析した結果である。これらを表27に示した日本の鑄物用コークスと比較してみると、灰分が異状に高く、また低比重であり、強度も低いことが予想され、粒度も小さいことから、冷風キュボラでは、追込コークス比を増大させても、出湯温度は1400℃以下しか得にくいこと、また溶解速度も遅くなり、炉内は酸化性雰囲気にならず、通常構造のキュボラでは、高品質の溶湯を得ることは困難である。

表VI-29 中国のコークス成分および性質の規格

灰分 (%)	揮発分 (%)	全硫黄 (%)	強度 (M <sup>40</sup> )	粒度 (1300φキュボラ)	
				床込 (mm)	追込 (mm)
16	1.5	1.2	70	>120	>70

表VI-30 中国コークスのサンプル分析結果

沈陽鑄造廠のキュボラ用コークス

1982.2分析

揮発分 (%)	灰分 (%)	固定炭素 (%)	全硫黄 (%)	見掛比重	外観
0.8	14.9	84.3	0.49	1.14	ポーラス

↑ 小量法

## (2) 地金類、合金鉄および石灰石

### 1) 銑鉄

銑鉄の性状は、VI. 1-1-2で述べたとおり、これを日本の銑鉄規格<sup>30</sup>と比較すれば、平均組成に大差はなく、大きさが異なるだけと判断された。ただこのように多種類の銑鉄を使用することや、個々の銑鉄銘柄ごとの成分変動については注意が必要と考えられる。

このためにも、銑鉄は入荷ロットごとに十分な成分分析を多試料について行ない、その変動幅を把握すると共に、十分な置場を確保して、別々に保管し、使用に際しては、確実な配合計算とこれに基づいた間違いのない使用が、高品質溶湯を安定して得られる基本条件となる。

### 2) 鋼屑

鋼屑（廢鋼）は必ず入荷ごとに十分な成分分析を行い、この結果をキュボラ装入地金の配合計算に活用する必要がある。また肉厚が2.0 mm以下の鋼屑を使用すると、溶湯の酸化や溶解速度の低下をもたらすので注意が必要である。また1片の最長値（対角線の長さ）が最小狭部内径の1/3を越えると、棚吊りなどを起こすめ、このような鋼屑は必ず切断して使用する。なお、錆や油の付着した鋼屑および合金鋼屑は可能な限り使用しないよう心掛けることが必要である。

以上のことから鋼屑は入荷時の検査と成分分析が高品質溶湯を得る絶対条件であることに注意する必要がある。

### 3) 返り材

返り材は、材質ごとに区別して保管し、必ず同一材質の溶解時に使用するようしなければならない。たとえばQT45-5の材質溶解時にHT-25-47またはHT-30-54の返り材を混入すると、Mn、Sなどが多くなり球状化不良につながる。逆にHT-30-54の溶解にQT45-5の戻り材が混入するとMnの不足を来し、強さや靱性が低下する。このように返り材の管理は特に重要である。また、湯道や堰などの曲った返り材や不良品等は、その大きさは大型キュボラでも最長400mm以下（可能なれば200mm以下）に破碎して装入することが、棚吊りを防止し、正常なキュボラ操業を行なう基本となる。

### 4) 合金鉄および石灰石

Fe-Si、Fe-Mnなどキュボラ炉頂添加用合金鉄、および石灰石は、確実な配合計

算のもとに、それぞれ正確に計量して装入する。またその大きさは、いずれも鶏卵より少し大きい程度が良い。注意することは、10mm以下のものは使用しないことである。これら小粒は炉内では酸化されやすく、時には炉外へ排ガスと共に飛散して確実な溶湯成分が得られなくなる。

表VI-32 中国産耐火練瓦の性質

成分	SiO <sub>2</sub> > 90%
耐火度	1610 ~ 1730°C
高温圧縮荷重 較化温度	2 kg/cm <sup>2</sup> 1250 ~ 1400°C
常温耐圧強度	125 ~ 550kg/cm <sup>2</sup>

### (3) 耐火物

中国のキュボラ用耐火物は、表VI-32に示すように、SiO<sub>2</sub>が90%以上と硅石質となっている。また異形品は天然物からの削出し成型品となっており、これらは耐火度は高くとも、スラグの浸食に対しては弱いことが予想される。またキュボラ炉内での耐火物の浸食は目地からおこりやすいことから、高温溶解に際しては築炉や炉修作業の入念な仕上が必要である。とくに目地間隔は可能な限り2mm程度に施工することが炉壁の溶損を最小にする要素と考えられる。

また溶損が甚だしい場合は、これら既存の耐火物に代って、溶湯に浸漬される部分は黒鉛質耐火物を、炉内で高温の燃焼ガスに接する部分は炭化硅素質耐火物の使用も考慮することが必要である。しかしこれらはいずれも高価であり、当初は安全を重視して多用しても、使用経験を重ねながら減少させる努力が必要である。

### (4) 原材料管理

近代的なキュボラとは、キュボラの設備や構造も重要であるが、原材料の管理とその適切な使用が、さらに重要であり、このためにも迅速で正確な原材料の試験・分析および、これらの結果をキュボラ操業管理に活用する体制を、何よりも先に整えるこ

とが必要である。

#### 2-7-6 中国原材料に適合する近代化キュボラ

瀋陽鑄造廠の鑄造第一分廠の近代化の中で、キュボラ近代化に必要な仕様をまとめると表VI-33のようになった。これに鑄造品の材質、使用原材料等の性状、目標溶湯成分、配湯計画などを考慮して総合的に検討を行った結果、キュボラ設備は次のような計画案が得られた。

- キュボラ本体部諸元……………表VI-34, 図VI-46, 図VI-47
- キュボラ付属設備諸元……………表VI-35
- キュボラ操業管理設備諸元…表VI-36, 図VI-48

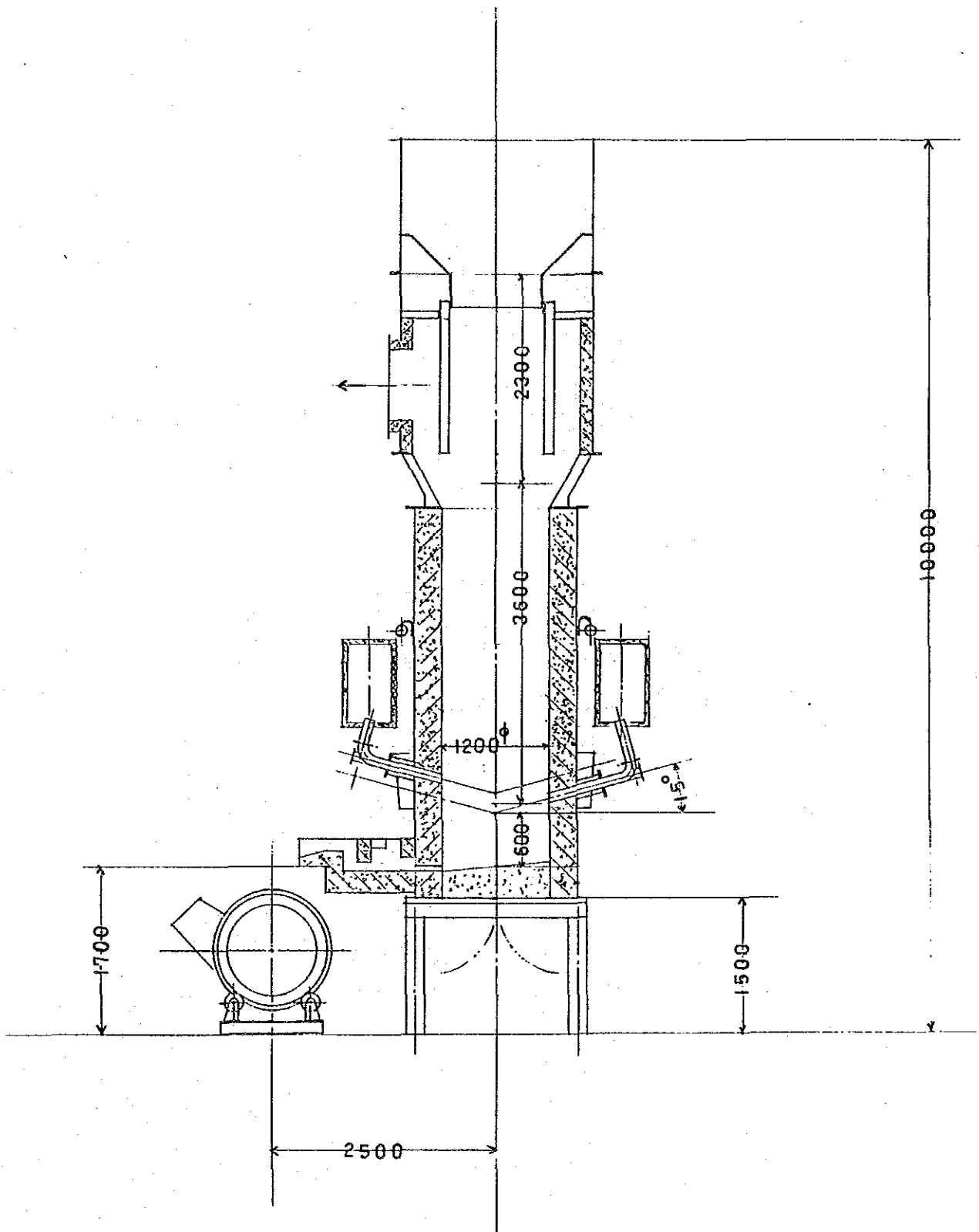
なお計画に当たっては、溶湯品質の向上と、公害防止を主目的とし、極力省エネルギー化を計るよう務めた。これらの構成と基本寸法が算出された背景については次項2-7-7で説明するが、高品質溶湯を得るためには、キュボラ設備の構造も大切ではあるが、それ以上に重要なのは、管理技術の高度化が必要ということである。

表VI-33 鑄造第一分廠の近代化キュボラの計画仕様

最大溶解能力	13t/h
基数	2基
使用方法	交互使用
1回の操業時間	約6hr
追込コークス比	通常10%~12% (吸炭源, ベッド調整等は例外条件)
出湯温度	1500℃
原材料および耐火物	中国産を使用 (耐火物の一部に例外条件はあり得る)
公害対策	
排ガス粉塵	乾式集塵方式
(硫黄酸化物)	(別項目で計画)

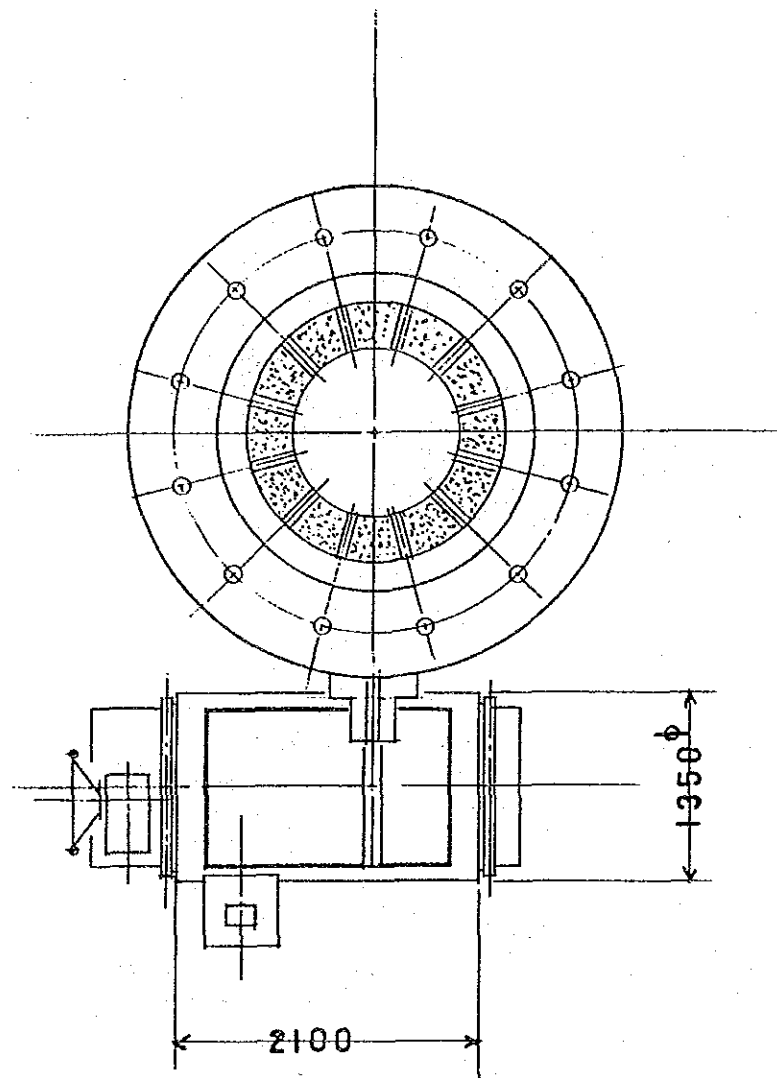
表VI-34 近代化キュボラ本体部諸元

型式	熱風非水冷式酸性キュボラ (非水冷式であるが、炉体外壁に散水可能な構造とする。)
送風予熱温度	400度°C以上 (排熱回収型熱交換器使用)
排ガス取出方法	炉体材料装入口下部から取出し
羽口面内径	1200mm φ
羽口(下段)から炉底まで	600mm φ
有効高さ比	5.0
(羽口から排気ガス出口まで)	(3.0)
(排ガス出口から装入レベルまで)	(2.0)
羽口比	18.7
羽口(大きさ×個数)	80mm φ × 6コ × 2段
(間隔)	(上下段の羽口間隔 230mm)
(角度)	(15° 下向)
炉体内張練瓦	中国産
出湯方式	前方連続出湯自動除滓式 (一段堰方式)



図VI-46 キュボラ基本形状図(1)





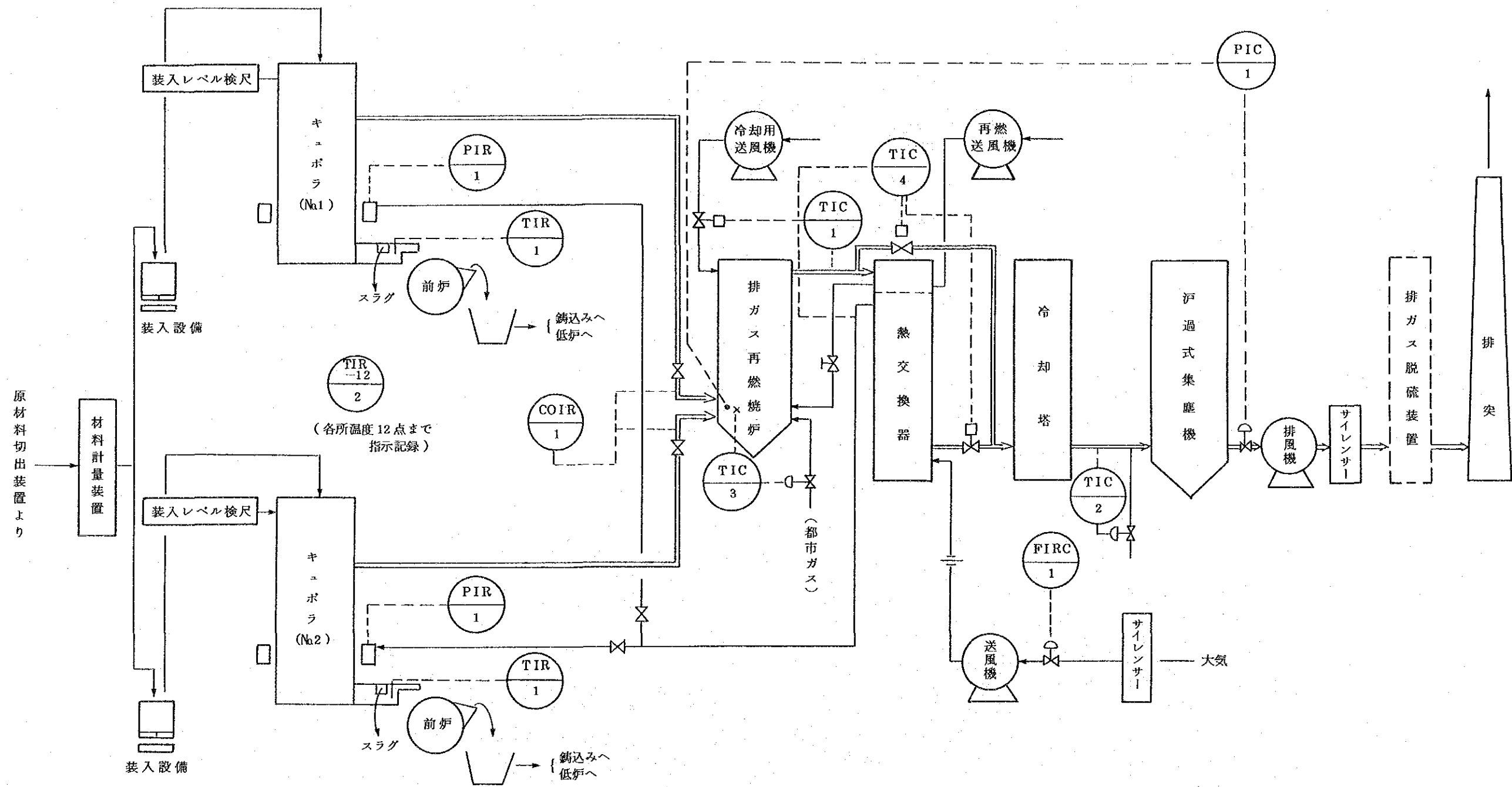
図VI-47 キュポラ基本形状図(2)

表VI-35 近代化キュボラ付属設備諸元

原材料装入装置	底開き式バケットエレベータ（両開き式）
前炉	横円筒型回転前炉（容量5 t）
排ガス再燃焼炉	貧ガス燃焼方式（燃焼用空気：熱風使用） （点火および助熱—都市ガス使用—装置付） （過熱時の冷却空気供給装置付）
送風予熱装置	排熱回収型熱交換器
冷却塔	大気冷却方式（冷却不足時は大気吸込による自動冷却装置付）
排ガス集塵機	乾式（濾渦式集塵機、捕集粉塵は自動払落し式）
排風機	高温用排風機（サイレンサー付）
排突	鋼板製排突
排ガス脱硫設備	アルカリ洗滌方式（オプション）
電気設備	管制器、二次配線
計装設備	計器盤、二次配線（主要計量・計測器は表VI-36参照）
キュボラ送風機	遠心送風機（吸込側サイレンサー付）
配管およびタラップ	
付帯工事	据付、基礎、一時電源、スラグ処理、給排水、 材料切出し装置等

表VI-36 近代化キュボラ操業管理保安設備

原材料装入計量器	手動現場指示式
送風量自動制御装置	電気式
再燃焼炉圧力制御装置	電気式（排風量自動制御兼用）
送風流量計	計器盤にて記録 } 2点記録計1台で記録 同上
風箱圧力計	
送風予熱装置入口 温度指示調節計	計器盤にて指示
出湯温度記録計	放射型測温指示記録計
再燃焼炉入口にCO分析計	赤外線式 (標準ガスによる機器調整が必要)
各部温度記録計	0~1000℃、12点記録計
原材料装入レベル測定器	現場にて、手動式
保安機構 インターロック機構	排風機稼動でない限り、送風機再燃焼炉用 都市ガスは動かない。
防爆対策	排ガス計に盲ダンパー組込み



図VI-48 キュボラ操業管理設備系統図



## 2-7-7 近代化キュボラの基本寸法と構成要素

### (1) 炉内径

溶解能力13t/h、400℃熱風非水冷キュボラの炉内径は次のようにして算出した。まず表VI-37<sup>31)</sup>に示す冷風キュボラで正常なコークスを用いたコークス比10%の炉断面積は1.431 m<sup>2</sup>である。次に図VI-43<sup>32)</sup>から炭素比8.5%のとき、送風温度に比例して溶解速度が増大するものとして溶解速度の上昇比を求めると、

$$\frac{8.35\text{t/m}^2\text{h}}{7.8\text{t/m}^2\text{h}} \times \frac{400\text{ }^\circ\text{C}-20\text{ }^\circ\text{C}}{300\text{ }^\circ\text{C}-20\text{ }^\circ\text{C}} \approx 1.45$$

次に炉断面積は1.431 m<sup>2</sup> ÷ 1.45 ≈ 0.987 m<sup>2</sup> (約1120mmφ)

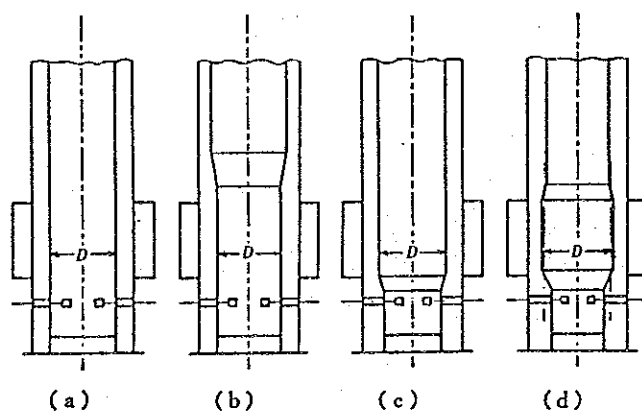
これに、コークス粒度、コークス強度の影響を考慮すると、炉内径は、1,200 mmが算定された。

### (2) 羽口面から炉底までの深さ

炉底を深くすると、出湯温度は低下するが、溶湯の吸炭が増加する。また浅くし過ぎると、操業がやりにくくなる。ここではコークスの強度や粒度などを考慮し加えて熱風操業による出湯温度の上昇、吸炭増加による鋼屑増量配合の必要性とその入手の可能性、将来強靱铸铁と普通铸铁の生産比率の変化など、多くの諸問題を検討した結果、表VI-38<sup>33)</sup>をそのまま用いて炉内径1,200mmの標準値600mmを採用した。

表VI-37 炉径, コークス比, 溶解速度の関係

番号 No.	内径 D (mm)	断面積 A (m <sup>2</sup> )	溶解速度W (t/h)					
			実質コークス比					
			8%	10%	12%	14%	16%	18%
1	300	0.071	0.74	0.64	0.57	0.52	0.47	0.42
2	350	0.096	1.0	0.9	0.8	0.7	0.64	0.58
3	400	0.126	1.3	1.1	1.0	0.9	0.83	0.76
4	450	0.159	1.7	1.4	1.3	1.2	1.05	0.95
5	500	0.196	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2
6	550	0.238	2.5	2.2	1.9	1.7	1.6	1.4
7	600	0.283	3.0	2.6	2.3	2.1	1.9	1.7
8	650	0.332	3.5	3.0	2.7	2.4	2.2	2.0
9	700	0.385	4.1	3.5	3.1	2.8	2.6	2.3
10	750	0.442	4.7	4.0	3.6	3.3	2.9	2.7
11	800	0.503	5.3	4.6	4.1	3.7	3.3	3.0
12	850	0.567	6.0	5.2	4.6	4.2	3.8	3.4
13	900	0.636	6.7	5.8	5.2	4.7	4.2	3.8
14	950	0.709	7.5	6.4	5.8	5.2	4.7	4.3
15	1000	0.785	8.3	7.1	6.4	5.8	5.2	4.7
16	1050	0.866	9.2	7.9	7.0	6.3	5.7	5.2
17	1100	0.950	10.0	8.6	7.7	7.0	6.3	5.7
18	1150	1.039	11.0	9.5	8.4	7.6	6.9	6.3
19	1200	1.131	12.0	10.3	9.2	8.3	7.5	6.8
20	1250	1.227	13.0	11.2	10.0	9.0	8.1	7.4
21	1300	1.327	14.0	12.1	10.8	9.7	8.8	8.0
22	1350	1.431	15.1	13.0	11.6	10.5	9.5	8.6
23	1400	1.539	16.3	14.0	12.5	11.3	10.2	9.3
24	1450	1.651	17.5	15.0	13.4	12.1	11.0	10.0
25	1500	1.767	18.7	16.1	14.3	13.0	11.7	10.6



### (3) 有効高さ比

最近のキューボラの炉高は次第に高くなり、有効高さは長くなる傾向にあるが、これはあくまで低灰分、高強度コークスを用いた場合である。ここではコークス灰分、強度と排ガス組成、コークス比、および排ガスの再燃焼に必要な温度などを考慮して慎重に検討を重ねた。この結果は実績なども加えて、羽口より排ガス引出し位置までの有効高さ比を 3.0 とすることが得策と考えられた。要はこの排ガス取出し位置を間違えるとキューボラ操業安定期においても排ガスの再燃焼が持続できなくなり、補助燃料（都市ガス）の補給が常時必要となる。これは省エネルギーに反することになり、このような現象は可能な限りさけるよう考慮した。

次に、排ガス取出口から、炉頂部（炉内装入物の上端位置）までは、有効高さ比を 2.0 とした。これは設計上の理由と装入口からの大気の吸込みを極力少なくして再燃焼炉での排ガス燃焼を容易にする処置からである。

以下から全有効高さ比は 5.0 となった。

### (4) 羽口比

表38から羽口比を求めると 9～12 となるが、コークス粒度 120mm 以上の場合であって、追込めコークスの粒度が 70mm 以上では、たとえ送風予熱による羽口流速の増加を考慮しても、この場合は羽口流速を 70m/s 以上にする必要が考えられた。このことから、炉内でコークスの燃焼を最適の状況に保つための羽口比は、18.7 以上とすることが適当と判断された。

### (5) 羽口の構造および個数

粒度の小さなコークスを用い、加えて熱風操業を行なうと、羽口付近のコークスの燃焼は活発となり、炉内最高温度帯の巾が狭くなる。この対策として羽口は 2 段として最高温度帯の高さ方向の巾を広げる必要性を考慮した。

また上下段羽口の間隔は 230mm（煉瓦一枚分の高さ）がこの場合は適当と判断された。

次に羽口本数は、炉内へ均等に送風するためには一段に付 6 本は必要である。<sup>34)</sup> このため合計 2 段で 12 本とした。

これから、1 コの羽口の内径を求めると 80mm φ となる。

なお羽口の取付角度は、羽口部の保護（スラグの羽口先端への付着を少なくする）と炉内でのコークス燃焼巾を広げることを考慮して 15° 下向きとした。これ以上角度



表VI-38 キュボラ主要部の標準寸法

炉の内径 D [mm]	炉の断面積 A [m <sup>2</sup> ]	羽口比 A/a	有効高さ比 H/D	有効高さ H [mm]	羽口面より炉底 までの深さ [mm]		風箱縦断面の寸法		過熱帯の裏 張り厚さ [mm]	炉底の裏張 り厚さ [mm]	溶解速度 [t/h]
					前方除滓	固定前炉	横 [mm]	縦 [mm]			
400	0.126	4~7	6.0	2400	400	350	140	560	120	100	0.8
450	0.159	4~7	6.0	2700	400	350	150	600	120	130	1.1
500	0.196	4~7	6.0	3000	425	350	160	640	120	160	1.4
550	0.238	5~8	5.8	3190	425	350	180	720	190	180	1.7
600	0.283	5~8	5.6	3360	450	375	200	800	190	200	2.1
650	0.332	5~8	5.4	3520	450	375	215	860	190	200	2.5
700	0.385	6~9	5.2	3640	475	375	230	920	240	220	2.9
750	0.442	6~9	5.0	3750	475	400	250	1000	240	220	3.4
800	0.503	6~9	4.9	3920	500	400	270	1080	240	220	3.9
850	0.567	7~10	4.8	4080	500	400	285	1140	310	240	4.4
900	0.636	7~10	4.7	4230	525	425	300	1200	240	240	5.0
950	0.709	7~10	4.6	4370	525	425	320	1280	310	240	5.6
1000	0.785	8~11	4.5	4500	550	425	340	1360	360	260	6.2
1050	0.866	8~11	4.4	4620	550	450	355	1420	360	260	6.9
1100	0.950	8~11	4.3	4730	575	450	370	1480	360	260	7.6
1150	1.039	9~12	4.2	4830	575	450	390	1560	360	260	8.3
1200	1.131	9~12	4.1	4920	600	475	410	1640	430	300	9.1
1250	1.227	10~13	4.0	5000	600	475	430	1720	430	300	9.9
1300	1.327	10~13	3.9	5070	625	475	450	1800	430	300	10.8
1350	1.431	11~14	3.8	5130	625	500	470	1880	430	300	11.7
1400	1.539	11~14	3.7	5180	650	500	490	1960	430	300	12.6
1450	1.651	12~15	3.6	5220	650	500	510	2040	430	300	13.6
1500	1.767	12~15	3.5	5250	675	500	530	2120	430	300	14.7

(注) 炉の内径および断面積は予熱帯の部分を基準とする。

を付けるとコークス燃焼を混乱させることになる。

#### (6) 出湯方式

熱風操業による高温溶解のため、出湯は連続出湯、自動除滓式（樋部の堰は一段堰方式）を採用した。この方式は炉内圧力と炉内に滞留するスラグ層の厚さを平衡させ、炉内でスラグによる溶滴の清浄化を安定させる効果があり、加えて連続的に溶湯とスラグが排出される。そして樋部では自動的にスラグを分離させる（Continuous Slagging Spout）方式である。なおこの方式では、出湯温度を樋部で連続的に測定するための放射温度計を取付けることが可能である。

また、自動除滓されたスラグは樋部の横から溢流して連続的に排出されるので、別途に水流式水滓設備を取付ければ、連続して水滓として取出すことも可能である。

なお、樋部のスラグ分離用の堰およびその周辺煉瓦は、溶湯およびスラグによる苛酷な浸食を受けやすい。

このため、この部分だけは、黒鉛質レンガの使用が必要である。

#### (7) 回転前炉

キューボラ稼動中は、流出する溶湯は樋部でスラグを分離した後、回転前炉へ連続して流入する。

この前炉は、横円筒型（容量5 t）であり、溶湯が必要なときは傾動させることによって、貯湯された溶湯を必要量だけ取出すことができる。また前炉での溶湯の温度降下は、この程度の大きさになると通常50℃前後である。しかし前炉の予熱が不十分であったり炉蓋や内張煉瓦の構築が不完全であれば、これ以上の温度降下を生ずる。前炉は溶湯を入れ始める直前までおよそ900℃程度<sup>3)5)</sup>に予熱しておくことが望ましい。なお1枠の鑄込み重量が5 t以上の場合は、前炉に可能限度まで貯湯した後、予熱された取鍋に全量に移湯し、その表面を保温剤で覆い、次に前炉に貯湯されるまで時間待ちした後、合わせ湯を行なう。このようにすれば前炉容量の2倍程度の鑄込みが可能となる。さらに誘導電気炉まで活用すれば、10 t以上の鑄込みも可能と考えられる。

#### (8) 炉体煉瓦と炉体外壁の冷却

熱風キューボラでは、炉内は高温となり、とくに過熱帯は、煉瓦の損耗が激しくなる。このため長時間操業を行なう中大型キューボラでは通常炉壁を水冷する方式が用いられるが、高灰分コークスを用いると炉内温度の低下（出湯温度の低下）および炉内雰囲気

気の悪化による溶湯の清浄化に問題が予想されるので、1日の操業時間も考慮して炉体は非水冷式とした。しかも、炉体煉瓦の厚さを適切に設計することにより、わずかな炉壁からの放散熱を許容しながら、炉壁の浸食を緩めると共に、炉体レンガの蓄熱容量も考慮した。しかし操業末期になると炉体外壁（鉄皮）の温度が上昇して来ることが予想されたため、過熱帯部の温度を後半の操業時に至ると測定（手動で現場測定）し、炉体外壁表面温度が約 400℃に達した場合には、徐々に鉄皮の水冷を開始できる構造とした。

#### (9) 材料装入装置、装入物計量器および装入レベル測定器

高温の溶湯を安定して得ようとすれば、正しい材料装入が基本となる。1回の装入物は炉内では下から銑鉄、戻り屑、廃鋼、コークス、石灰石その他の順に層状に積重ねること、材料それぞれが毎回正しく計量されていること、装入レベルが一定範囲に保たれていることが必要である。

このため材料装入バケットは、底開きバケット（二枚扉式）を採用し、また装入物の計量器は現場で見やすいものを用意することとし、あわせて装入レベルも地上から測定可能な装置を準備することとした。

キューボラは炉内が空洞であり、正しく材料を装入することは、送風量と送風温度の調節と共に最も重要な管理である。これを行って始めて高温の溶湯と、成分の安定が得られることになるからである。

#### (10) キューボラ送風機とその風量制御装置

キューボラ送風機は、騒音防止のための消音器、送風量自動調節弁が設けられるほか、計量用絞り機構（オリフィス）とその直管が必要である。また送風機は仕事効率の関係から遠心送風機が一般に用いられる。

送風機によって加圧された大気は、熱風発生装置（熱交換器）に送入され、予熱された後キューボラ風箱を経て羽口から炉内へ送入される。このため送風機の吐出圧は、これら全ての圧力損失以上の送風圧力を持つものが必要であり、加えて送風機に見合った電動機およびその管制器が必要である。

また、送風量を計量し、キューボラ炉内圧力が変動しても一定の送風量が得られるよう、送風量の自動制御装置および炉内圧を計測する風箱圧力計が必要である。

## (11) 排ガス再燃焼炉とその燃焼制御装置

キューボラ排ガスの保有する顕熱により燃焼熱を回収して、送風の予熱を行なう場合、排ガスの再燃焼を安定して持続させることが最も重要である。とくに高灰分、低コークス比操業では排ガス中の可燃性成分（主としてCOガス）の濃度が低く、また変動が激しくなる。

このため再燃焼炉は排ガスの燃焼に十分な容量を持つとともに、その構造については多年の実績をもとに慎重な検討を行なった。またキューボラの送風開始後は可能な限り短時間でキューボラ排ガスの再燃焼が開始されると共に、助燃用都市ガスは最小になるよう配慮すること、できれば操業初期以外は都市ガスは点火パイロットバーナ以外は使用しないように自動的に制御することが省エネルギーの根本となる。

このためキューボラ排ガスは炉上部の側面から取出し、直ちに再燃焼炉に送り込む方式とし、装入口からの大気の吸込みを極小にするため、再燃焼炉入口に炉内圧自動制御装置を設けた。加えて排ガスの再燃焼に必要な燃焼用空気も排ガスで予熱することとした。

しかしこのような複雑な機構をもうけても、溶湯の材質や、その切替時などではキューボラ排ガス中の可燃性成分の変動はさけられないため、排ガス中CO連続分析計を取付けて監視可能とし、加えて再燃焼炉出口における温度が、異状に上昇することも考えられた。

このため、次に続く送風予熱装置の保護のため、再燃焼出口付近に冷却用空気送込機構とその自動作動機構を設けた。なおこれらの機構は、再燃焼ガスに含まれる粉塵の熱交換器への融着を可能な限り防止する働きを持たせると共に、キューボラ送風温度を安定化させる機能をも持つものとした。

## (12) 送風予熱用熱交換器

キューボラ送風空気の予熱温度は、高温になる程有利である。しかしより高温の空気を得ようとする、熱交換器の伝熱面積は飛躍的に巨大化するばかりでなく、操業初期の熱風温度の安定までに長時間を要することになる。また保守管理に要する時間も増加することになる。このようなことから1回の操業時間を考慮すると共に可能な限り操業初期の立上りを早くするキューボラ操業方法を併用することも条件に入れて、操業安定期の熱風温度は400℃を目標とした。

またこの熱交換器は、再燃焼炉のキューボラ排ガスの燃焼用空気の加熱も個別に行な

えるよう大小2組に分割してあり、加えて急速な立上りおよび休止に耐える構造とし、とくに高灰分コークス使用に伴なう多量の微細粉塵の付着を極力少なくする構造とした。しかし含塵ガスからの熱交換である以上伝熱面への粉塵の付着は或る程度は避けられないが、長期の運転で熱風温度が低下する状態になれば、休日に掃除すれば回復することになる。

なお、熱交換部は、高温の再燃焼ガスやその腐食に耐える材料で製作し、長寿命化に務めるよう心掛けた。

### (13) 排ガス冷却塔

送風予熱装置を出た排ガスは、保有熱が減少し温度は降下しているが、次に続く公害防止設備（乾式集塵機）の濾布の耐熱温度よりも高温であるため、冷却塔が必要である。

冷却塔は保守管理が容易な大気冷却方式とし、これによって集塵機入口の排ガス温度は濾布の耐熱温度まで冷却される。しかし夏期の高気温の季節や、冷却塔内部に多量の粉塵が付着（この時は休業日に掃除する）したり、冷却塔入口ガス温度が異常に高くなったときなどでは冷却不足となることが予想される。このような事態に対応させるため、自動的に若干の大気を吸引する緊急冷却機構を付設した。

なお、この近代化計画には含まれないが、エネルギー有効利用の方法として冷却塔入口排ガスの一部を抽気してボイラに通し、水蒸気または温水として工場内各施設に利用する方法も考えられる。（ただし、水蒸気または温水の発生時間帯と利用時間帯がほぼ一致していることが条件となる。）

### (14) 乾式集塵機

この集塵機はキュボラ排ガス全量を吸引濾過することによって、排ガス中の粉塵の約全量を除去し、排突からの排ガスを無色とすることが出来る。ただし1日の操業終了直後など、キュボラ炉底を開き炉内残留物を注水消火したときなど、多量の水蒸気を吸込ませれば、水蒸気を中心とする白色排煙が目視されることがある。

また、捕集された粉塵は、キュボラ操業中に自動的に濾布から払い落され、集塵機下部のダストホッパーに堆積される構造になっている。

### (15) 排風機とその風量制御装置

キュボラ排ガスは、集塵機によって粉塵を除去された後、排風機で吸引される。

この排風機は、耐熱性が考慮してあり、またキュボラ送風機よりもはるかに大容量

のものが必要である。このため作業環境保護の騒音防止対策の必要があり、サイレンサー（消音装置）はその一部である。

また排風機入口側には、排風量を自動的に制御するダンパーを設け、その作動は、キューボラ再燃焼炉入口側の圧力を検知して行なわれる。

この方式を採用することによって、再燃焼炉およびキューボラ排ガス取出口部分の圧力を大気圧付近で自動的に一定に保ち、キューボラ装入口からのキューボラ燃焼ガスの吹出しや、大気の吸込みを最小として再燃焼炉での排ガス燃焼を持続させる。もしこの方法がなければ、高灰分コークスを低コークス比で行なうキューボラの熱風操業は、安定しなく実質的にキューボラの熱風操業が不可能となる。その理由は、再燃焼炉でのキューボラ排ガスの再燃焼が持続されず、安定した送風の予熱ができなくなるからである。

#### (16) 排ガス脱硫装置

キューボラ炉内では、コークス中の硫黄分は、溶鉄およびスラグにも吸収される。また排ガス中の粉塵にも含まれており、排ガスの集塵を行なった後の排ガス中に含まれる硫酸化合物は、通常のボイラその他と異なり希薄である。従って排煙脱硫設備まで設置することが必要かどうかについては慎重に判断しなければならない。ここでは別途計上とした。

日本においては、上記の事実から、大都市等の特定地域に存在するキューボラしか排煙脱硫装置は設置されていない。（ただし大型ボイラ等一般の燃焼炉には設置されている。）

キューボラ用排煙脱硫装置は、アルカリ水による洗滌方式が用いられ、洗滌水は装置内で循環使用されながら一部を排出し、不足するアルカリ水は補給する。その補給量は洗滌水のPHを測定しながら行なう。なお排煙脱硫を行なうと排突からは水蒸気による白煙が見えるようになるが、排出ガス中の硫酸化合物は確実に減少する。

#### (17) 熱風キューボラの保安と安全装置

公害対策設備を備えた大型熱風キューボラでは、多くの機器が連動して稼動するため、各機器ごとの保安・安全対策だけでは不十分である。このため次の2種類の対策を当初から組込んだものとした。

- a) 排風機が稼動していない限り、キューボラ送風機および再燃焼炉用都市ガスは供給不能となる。

すなわち、キューボラ操業に当っては、まず排風機を稼動するのが基本であり、

その後順次機器を稼働させる。また操業中何らかの異状を生じて排風機が停止すれば、瞬時にキュポラ送風機と都市ガスは停止される。なおキュポラ操業停止後は、しばらく排風機を運転してキュポラ排ガス系の冷却と系内のコークス消火による水蒸気の滞留を防ぐようにする。これは防爆対策としても必要なことでもある。

- b) キュポラ排ガス系には、防爆用盲板を設置する。その理由は、キュポラ排ガスには爆発危険性のあるCOなどの可燃性ガスを含むため設置するものである。この可燃性ガスは希薄であり、自然爆発を起す可能性は極めて少ないが、万一に備えて設置する必要がある。

—参考文献—

- 1) 日本鋳物協会編：鋳鉄溶解ハンドブック（丸善1983）P. 2.
- 2) 日本鋳物協会編：鋳鉄溶解ハンドブック（丸善1983）P. 4.
- 3) 石野亨：キュボラ（新日本鋳鍛造協会、1985）P. 9.
- 4) K. Muckhoff: "Jahresübersicht Elektroschmelzofen" (14Folge), Giesserei, 66(1979), 6, 276/281.
- 5) 石野亨：キュボラ（新日本鋳鍛造協会、1985）P. 9.
- 6) A. Dahlmann: Giesserei 60(1973)13, P. 404/412
- 7) 石野亨：総合鋳物18(1977)11, P. 7/19
- 8) 久富：鋳物, 19(1947), 3-4-5, P. 9.
- 9) 研究委員会：鋳物, 20(1948)7-8, P. 23.
- 10) 日本鋳物協会編：キュボラハンドブック（丸善、1957）、P. 16
- 11) T S 44委員会報告：Foundry Trade J. 101(1956)2085
- 12) 日本工業規格：J I S K 2151
- 13) 大阪ガス(株), 近畿コークス販売(株), 鋳物用コークス銘柄と品位(1963)
- 14) 大阪ガス(株), 近畿コークス販売(株), 鋳物用コークス銘柄と品位(1967)
- 15) 峰村茂樹ほか：鋳物41(1969)12, P. 959/967
- 16) 大阪ガス(株), 近畿コークス販売(株), 鋳物用コークス銘柄と品位(1987)
- 17) 耐火物協会編：耐化物手帳（1981年版）P. 32～P. 33.
- 18) 牧口, 林：鋳物32(1960), 5, P5.
- 19) 日本鋳物協会編：鋳鉄溶解ハンドブック（丸善, 1983）P. 301.
- 20) 牧口, 林：鋳物32(1960), 5, P5.
- 21) 牧口, 林：鋳物32(1960), 5, P5.
- 22) 石野亨：キュボラ（新日本鋳鍛造協会、1985）P. 22.
- 23) 日本鋳物協会編：鋳鉄溶解ハンドブック（丸善, 1983）P. 87.
- 24) H. Jungbluth ほか：Foundry Trade J. 99(1955) P. 377/387, P. 405/411
- 25) W. Patterson ほか：Giesserei 48(1961)3, P. 49/56
- 26) 阿部、斉藤、笹原、松村：鋳物, 32(1960), 9, 16,
- 27) 日本鋳物協会編：鋳鉄溶解ハンドブック（丸善, 1983）P. 13.
- 28) 日本鋳物協会編：鋳鉄溶解ハンドブック（丸善, 1983）P. 13.



- 29) 大阪ガス(株), 西島製造所分析
- 30) 日本工業規格: J I S G 2202
- 31) 日本鋳物協会編: 新版キュボラハンドブック (丸善, 1968), P.10.
- 32) W. Patterson, F. Neumann: Giesserei 48(1961)3, P49/56
- 33) 日本鋳物協会編: 鋳鉄溶解ハンドブック (丸善, 1983) P. 21.
- 34) 加山延太郎: 鋳鉄鋳物教本 (共立出版, 1966) P.100.
- 35) 日本鋳物協会編: 鋳鉄溶解ハンドブック (丸善, 1983) P. 42.

## 2-7-8 キュボラ操業の近代化と近代化キュボラ操業方式

溶解の方法やその設備は、使用する溶解用原材料（地金類、合金鉄その他の添加物、耐火物、コークス、電力等）の性状から最も適したものを採用しなければならない。その時代の溶解用原材料に対応して、望ましい溶湯を得るための方法や設備の構造が開発されてきたのである。このことは、すでに2-7-2で、日本における溶解技術の歴史として述べた。

中国の原材料からみた溶解法は、熱風キュボラを用いて全量を溶解し、高温の溶湯を安定して得ること、一部の特殊鑄鉄はさらに溶湯を低周波誘導電気炉を用いて高温保持した後、合金元素の添加処理等を行なうことが最も望ましい方法である。

また、中国産原材料を使用した熱風キュボラはどのような型式構造とすべきか、その根拠については、2-7-5において説明したとおりである。

しかし、これよりもさらに重要なことは、これらの近代化設備を用いて、正しく操業を行なうための管理技術である。

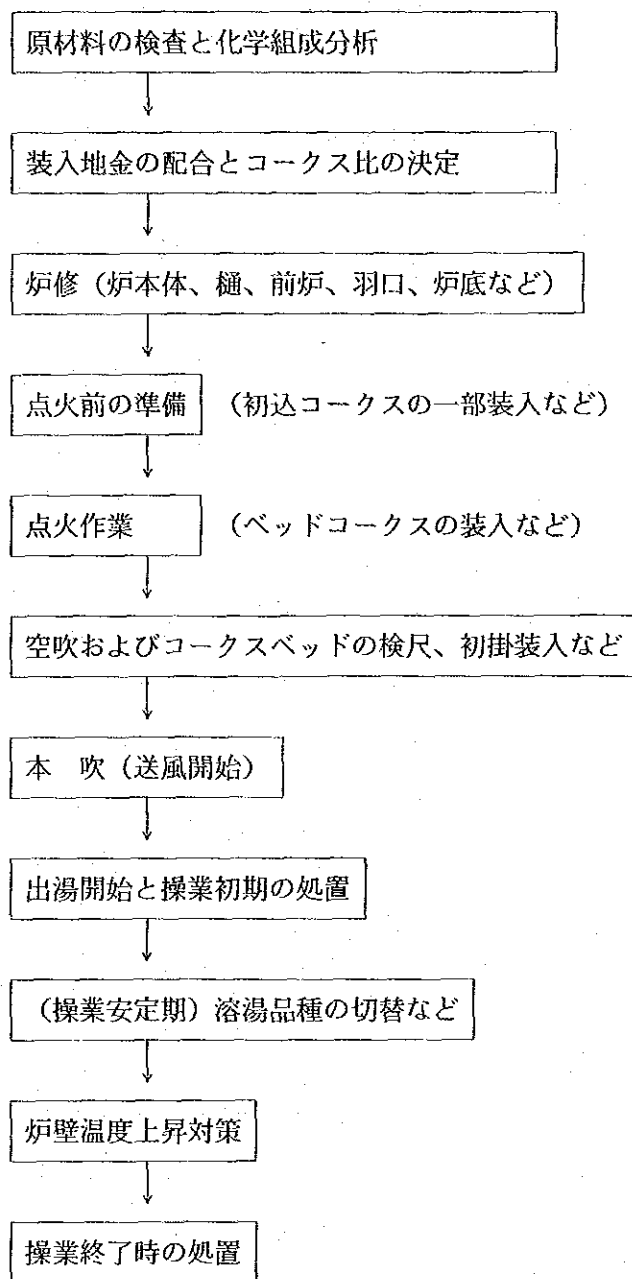
このためには総合的な管理体制と全従事者が一体となった、日常の改善こそ、安定して高温溶湯を得るキュボラ操業および高品質鑄物生産を確立する基本と考える。

管理技術の近代化は、生産管理に関する項目で述べた。ここでは、近代化キュボラの操業について述べる。

### (1) キュボラ操業の概要

キュボラは構造が簡単でありながら、比較的熱効率も高く、連続して製品（溶湯）が得られる特徴をもっている。しかし構造が簡単なことは、逆にわずかな操業上の相異によって、溶湯の品質が変化しやすいことにもなり、高温の溶湯を安定した品質のもとに得ようとすれば、使用する原材料の管理に始まって、操業中は炉内変動を極力抑えながら、最終目的である溶湯の性状を確認するまで、多項目の管理が必要である。

これらの概要をキュボラ操業の時間経過に従って列挙すれば、図VI-51のようになる。キュボラ操業順序ごとに近代化キュボラの操作手順と注意事項について述べる。



図VI-51 近代化キュボラ操業順序の概要

## (2) 原材料の検査と化学組成の分析

キュボラは燃料であるコースクの燃焼熱を利用して、炉内で直接地金を溶解する炉であることから、原材料の成分変動や、形状の影響は、溶湯の性質を大きく左右することになる。

このため、原材料（銑鉄、返り材、廢鋼など）は入荷時に十分な検査を行ない、例えば、形状が大きなものは切断したり、選別するなどの事前処理が必要である。

また入荷原材料は、それぞれの品種ごとに、また入荷ロットごとに含有化学組成の分析を行ない、その変動巾を把握すると共に、組成ごとに別々に保管し、使用に当たっては、ロットごとに装入地金の配合計算を行なった後、正確に使用することが高品質溶湯を得る基本となる。

このためにも、迅速で多成分の分析が同時に高精度で得られる発光分光分析装置（カントバック）の設置と、分析技術の確立が、キュボラ溶湯の高品質化のきめ手となる。

## (3) 装入地金の配合とコークス比

キュボラ装入地金の配合計算は、まず得ようとする目標溶湯の化学組成を決定することから始める。ここでは普通鑄鉄（ねずみ鑄鉄 J I S 記号 F C，中国記号 H T）の場合を例にとって説明すると、表 VI-41<sup>1)</sup> は日本の標準的な材質規格と目標成分の 1 例である。鑄鉄鑄物の強さは、その組織により著しく左右され、組成は成分のみでなく、鑄物凝固時の冷却速度ならびに溶解過程の影響を受けるものであることにも注意を払わなければならない。このため鑄造品の形状や造型方式などを考慮して目標成分を決定することになる。

またキュボラ炉内では、炉気の酸化作用、コークスおよびスラグの併用によって、地金は溶解過程で成分が変化する。したがって、目標成分の溶湯を得るには、この変化率を見込んで地金配合を行なう必要があり、表 VI-42<sup>2)</sup> は標準のコークス（灰分約 8%、粒度は粒内径の約 1/8）を用い、酸性冷風キュボラで行なう場合の標準的な成分変化率を示した。

表VI-41 鑄鉄の材種別目標化学組成

材種別	成分 (%)				
	C	Si	Mn	P	S
FC15	3.5~3.8	2.8~2.3	0.5~0.8	<0.25	<0.1
FC20	3.3~3.6	2.3~1.8	0.6~0.9	<0.20	<0.1
FC25	3.2~3.5	2.2~1.7	0.6~0.9	<0.15	<0.1
FC30	3.1~3.3	2.1~1.6	0.6~0.9	<0.12	<0.1
FC35	2.9~3.2	2.0~1.5	0.7~1.0	<0.10	<0.1

(注) FC15=HT15

表VI-42 成分変化率の標準

材種	FC15	FC20	FC25	FC30	FC35	
C の 変 化	鋼材配合率 [%]	0	10~25	25~40	40~60	50~75
	配合C [%]	3.7~4.0	2.8~3.3	2.2~2.8	1.4~2.2	1.2~2.0
	溶湯C [%]	3.5~3.8	3.3~3.6	3.2~3.5	3.0~3.3	2.9~3.2
	Si減耗率 [%]	20~25	15~20	10~15	5~10	5~10
	Mn減耗率 [%]	25~30	20~25	20~25	20~25	20~25
	S増加率 [%]	0.01~0.03	0.02~0.03	0.03~0.05	0.04~0.06	0.04~0.06
	出湯温度 [°C]	1440~1470	1460~1490	1480~1520	1510~1540	1520~1550
コークス比 [%]	9~11	10~13	12~15	14~17	15~18	

1) 目標材種とコークス比

表42でわかるように、高強度の鑄鉄を得ようとすれば鋼材（廢鋼）配合率を増加させる以外に、コークス比をいちじるしく増加させる必要が生ずることである。この原因は、高強度の鑄鉄など成分中のCおよびSiが少なくなり、この結果溶湯の流動性が悪くなるので、高温の溶湯が必要になること、およびコークスから鋼材（廢鋼）が吸炭するため、実質燃料としてのコークス量の吸炭減少分を補償するためである。この傾向は熱風キュポラでは若干減少するが、傾向は同じであり、鋼材配合比率の増加にあわせて、追込コークス比を10%程度から順次増加させない限り、高品質の溶湯は得られないことが判る。

2) 地金の配合

地金の配合計算とは、各種地金中の含有成分と配合比率との加重平均を求め、これにキュポラの特성에依じて予測した加炭量、およびSi、Mnの減耗量を加味して、目標溶湯成分と合致させる計算方法である。

表VI-43<sup>9)</sup>は酸性冷風キュボラにおける地金配合の計算例を示したが、熱風キュボラでは、炉内が高熱となるためこの表よりも溶湯の吸炭は増加する反面、SiおよびMnの減耗は減少することが予測される。このため、同一成分の溶湯を得るためには、銑鉄の配合を減じ、鋼材（廃鋼）の配合を増加することになる。

このようなことから熱風キュボラを用いて高温溶解を行なうためには、鋼材（廃鋼）の増量入手が必要となる。

### 3) 配合管理

得られた配合比重によってキュボラへ地金を装入するが、各地金のロットが変更されたときは直ちに再計算を行ない、その配合比率に従って配合比率を変更する。また溶解された溶湯は一定間隔で分析試料を採取し、直ちに分析して目標成分との差をたえずチェックする。このようにしてキュボラ操業時の吸炭着、SiおよびMnの増減量を把握し記録すると共に、次回の配合計算にその増減量を活用することが重要である。

このようにすれば、どのような種類の溶湯に対しても、ほぼ正確な溶湯成分を予測することが可能となり、安定した目標成分の溶湯を得ることができるようになる。

## (4) 炉 修

### 1) 炉壁の修理

炉壁の修理はキュボラ操業後、浸食された炉壁を正常な形状に復元し、つぎの操業を適正にするために行なう重要な作業である。浸食は操業時間、耐火材料の質、炉修技術等によって異なるが、最も激しい浸食は、炉内最高温度帯である羽口付近から300mm内外の炉腹部、および湯だまり帯上部、出湯口等である。炉修は煉瓦積みを中心として行なうが、浸食された煉瓦を入念に取除いて新しいレンガをはめ込むようにして修復する。炉修面はこれに先立ちよく熟成されたモルタルを炉壁に打ちつけてレンガ張りの基地を作っておくことが大切である。この際モルタルに水分が多いと作業は容易であるが、操業中に亀裂が生じやすくなるので、やゝ堅めに混練したものをを用い、強く力をこめて炉壁に練り込むようにして打ちつけることが大切である。また仕上り面のレンガは炉内径の寸法ゲージを用いて表面を調整することが必要で、炉内径が毎回異なると溶解速度が変化したり、炉壁の浸食量が異なってくるので入念に行なうことが必要である。

表VI-43 地金配合の計算例

使用地金	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
鉄・鉄	3.65	2.50	0.65	0.30	0.06
返り材	3.10	2.00	0.60	0.15	0.08
鋼屑	0.20	0.20	0.45	0.03	0.03
Fe-Si	-	75	-	-	-
Fe-Mn	-	-	75	-	-

地金	配合 (%)	[kg/山]	C		Si		Mn		P		S	
			(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)
鉄・鉄	30	30	3.65	1.10	2.50	0.75	0.65	0.195	0.30	0.090	0.06	0.018
返り材	30	30	3.10	0.93	2.00	0.60	0.60	0.180	0.15	0.045	0.08	0.024
鋼屑	40	40	0.20	1.04	0.20	0.08	0.45	0.180	0.03	0.012	0.03	0.012
Fe-Si	1.2	1.2	(2.60)*	-	75	0.90	-	-	-	-	-	-
Fe-Mn	0.25	0.25	-	-	-	-	75	0.185	-	-	-	-
計	100	100	-	3.07	-	2.33	-	0.74	-	0.147	-	0.044
増減 差引合計 目標				3.07 3.10	-15%	1.98 2.00	-20%	0.59 0.60	±0	0.147 <0.2	+	0.04 0.084 <0.1

\* Cは鋼屑が2.6%まで加炭されるものと仮定した。

目標成分(表2・13) : C 3.10%、Si 2.0%、Mn 0.6%、P < 0.2%、S < 0.1%  
 溶湯のC%は、実際にはコークス比やスラグ組成など、操業条件によってかなり変動するものと考えなければならない。

## 2) 出湯口および桶の修理

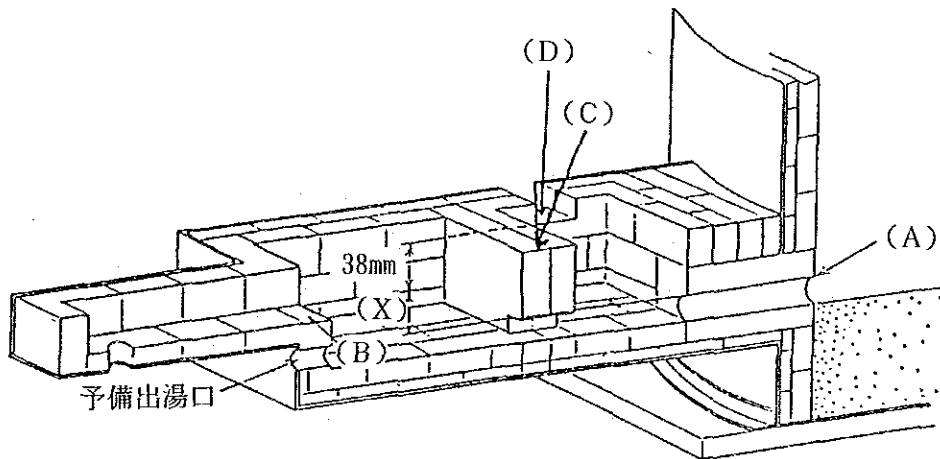
次に出湯口の築造は、毎回よく付着物を清浄し、耐火煉瓦粉末と耐火モルタルに、黒鉛を若干混ぜた水分をできるだけ少なくした耐火材料で、治具を用いて穴を締め付けながら規定寸法に補修する。この部分は、1500°C以上の溶湯とスラグが長時間にわたり常時噴出するため、とくに入念な施工が必要となる。図VI-52<sup>5)</sup>は、築造の概要図を示したが、出湯口(A)、スラグダムの部分(CおよびD)は、溶湯とスラグの両者が通過するので浸食が甚だしい。このため、出湯口は黒鉛質異形レンガを、またスラグダムの内側(上流面)は黒鉛質定形レンガを組合せて築造するのが良い。なお打湯口の穴径は13t/hキュボラでは約60mmφが適当である。

次に大切なことは、出湯口の最高位置(A)を基準として湯流れダムの高さ(B)、すなわち液頭(X)と、スラグダム(C)の関係である。この場合湯流れダム(B)におけ

る溶湯の液頭(X)は、風箱風圧に平衡していなければならない。これをあやまると、炉内ガスが噴出したり((X)が低すぎたとき)、送風を一時停止した時に羽口よりスラグが流出する((X)が高すぎたとき)おそれがある。スラグダムの高さ(C)は、湯流れダムの高さ(B)を基準にして定める。

このようなことから、連続出湯自動除滓樋は、用いるキューボラの送風量の範囲とこれに応じた風箱風圧の変動範囲を熟知して、発生する最高風圧に対する出湯口(A)と湯流れダムの高さ(B)との差(すなわち液頭(X))を適正にする必要があり、樋修理に当っては毎回水準器と定規を用いて正確、入念に行なう必要がある。

風箱風圧 (mm Aq)	175	355	580	770	880	1060	1235	1410
X (mm)	38	65	96	115	140	165	190	215

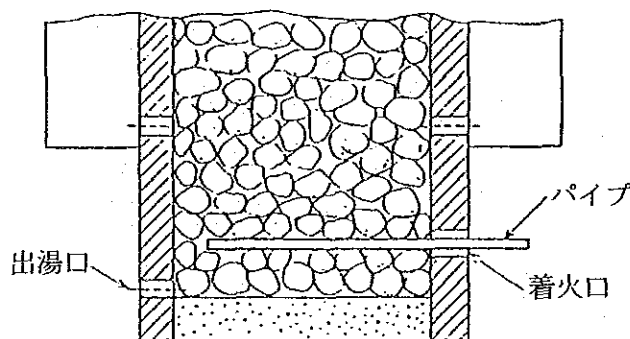


図VI-52 連続出湯自動除滓樋の築造の1例



#### (5) 点火前後の準備作業

キューボラ炉体、出湯樋、炉底、前炉等の修復が終れば、コークスの炉内装入には入るが、最初にマンホール（人孔）から炉底に空袋、荒筵、かます等を全面に敷いて炉底へコークスの落下による炉底部の損傷を防ぐ処置を行なう<sup>6)</sup>。次に可能な限り大塊のコークスを出湯孔付近にマンホールから積み上げる。これは操業中に溶湯やスラグと共に小粒のコークスが飛び出すことを防ぐためである。そして下面全面に大塊のコークスを積込んだ後、薪による点火であれば薪を均一に入れる。（油またはガスバーナであれば図VI-53<sup>7)</sup>のようにパイプを着込んだ後コークスを装入して管を廻しながら引抜き点火用空間を作る。）次にマンホールを閉塞した後、点火し順次火炎の状況を見ながら塊状の大きなコークスをベッドコークスとして上部から何回かに分けて装入する。なお、点火直前に排風機を運転する（排風機入口ダンパーは全閉にして作動させ、その後、炉頂部から煙が出ない程度に少しづつあける。）と共に各羽口は全開にしておくことが保安上必要である。



図VI-53 オイルまたはガスバーナーによる点火法

初込コークスが所定の高さまで装入され、装入口からみてコークスが所定の高さまで火炎が上昇しているかを確認した後、空吹きに移る。

空吹きに際しては排風機入口にダンパーを調整した後、再燃焼炉の都市ガスを点火し、送風開始と同時に各羽口を全閉にする。なお、各羽口蓋は、如何なる時も送風時のみ全閉とし、キューボラ送風を一時休風した場合を含めて、送風時以外は全開が保安上の原則である。

空吹きは5分程度を原則として時間を定める。10分以上行なうとコークスの灰分が

溶融して出湯孔の閉塞がおこる恐れがあるから注意を要する。

空吹終了後は炉内コークベッド高さを装入口から検尺し、少量のコークスを装入することによって厳密に規定量（後述）に調整した後、燃頂部まで材料装入を行なう。

#### (6) 初込コークスと追込コークス比

##### 1) 初込コークスとコークベッド高さ

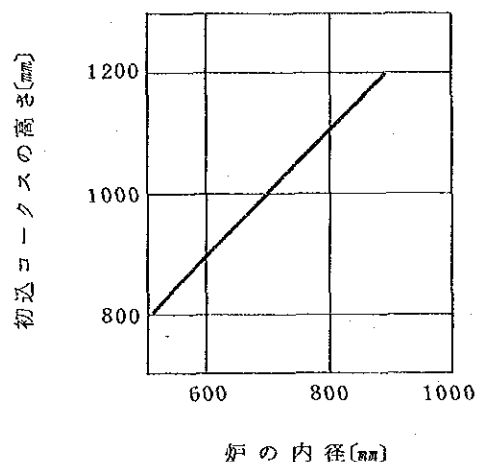
ベッドコークスは可能な限り大塊コークスを選別して用いることが、初湯の出湯温度を高くし、低温のために捨湯などを行なう量を少なくする。また操業中に出湯口から小粒コークスの吹出しなどトラブルを防止するのにも有効な手段となる。

次に熱風キューポラにおける初込め時のコークベッド高さは、冷風キューポラと比較して、やや高めに用いること、および空吹時間を5～10分程度と冷風操業よりもやや長時間にする。このようにすることによって操業開始時の排ガス再燃焼炉や熱風発生装置の昇温を短時間で行ない、安定した熱風が速く得られるようになると共に、あわせて補助燃料である都市ガスの消費を減少させるなど省エネルギー効果を発揮できるようになる。加えて初湯の温度も高くなるなどの利点もある。

ただ注意しなければならないのは、初込コークスベッドを高くし過ぎると初湯の温度が高くなった後、送風開始30分前後に出湯温度が低下する現象が起り、その後20～30分後には回復するが、不安定な温度となる場合があるので注意が必要である。

とくに高灰分コークスでかつ追込コークス粒度がベッド用コークスよりも小さいときはこの現象が顕著になることが考えられるので、慎重に検討すると共に、キューポラの特性に応じて実績を積重ねながら修正し、最適位を見出さなければならない。

図VI-54<sup>8)</sup>は冷風キューポラで、それぞれの炉内径に応じた標準灰分のコークスを用いた場合の、炉内径と初込コークスの高さを示した。熱風キューポラでは、この値よりも通常高くすることが必要で、とくに高灰分コークスではコークスの消耗が激しいのでさらに高くする必要がある。しかしその限度は、炉内径1200mmφ熱風キューポラで1800mm程度が限界と考えられる。（これ以上高く積むことは操業が不安定になりやすい。）



図VI-54 初込コークスの高さ

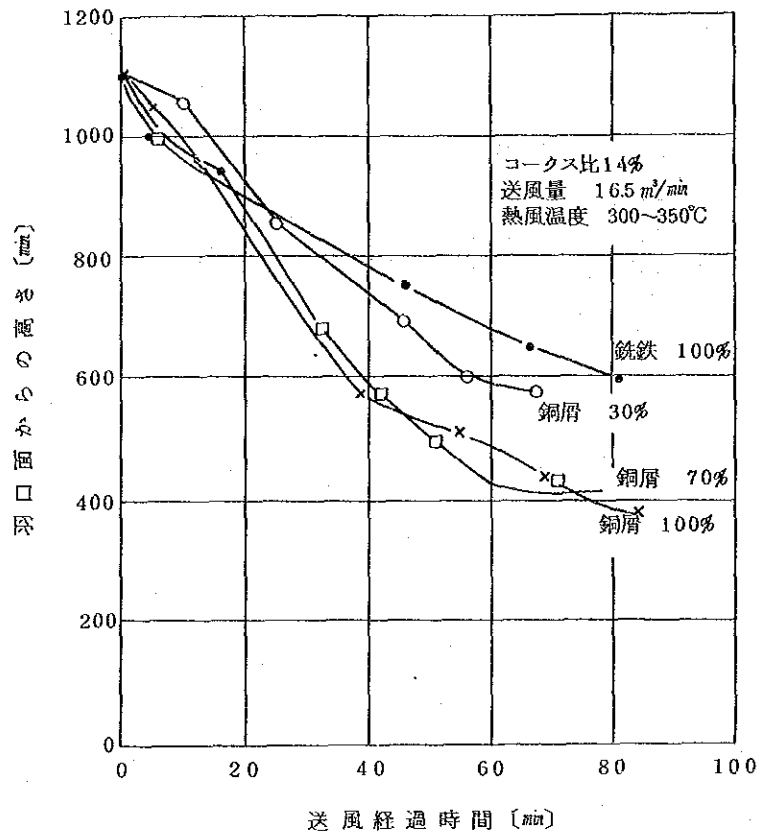
## 2) 追込コークスと追込コークス比

追込コークスはコークベッドで燃焼し、消耗したコークスを補給して、溶解帯の高さを維持するために用いられるほか、廃鋼の加炭源（吸炭源）としても消耗を補うためにも用いられる。キュボラで送風を開始するとコークスの燃焼熱はベッドコークスや地金の加熱などに使われてコークベッドは次第に低下する。その後地金の溶解が始まると追込コークスがコークベッドに追加されるためコークベッドの低下はゆるやかとなり、通常送風開始1時間前後で炉内のコークベッド高さは安定するに至る。この安定した操業中のコークベッド高さは、追込コークス比、コークス品質、廃鋼の配合率、炉壁の浸食量などによって大巾に異なって来る。図VI-56<sup>9)</sup>は小型熱風キュボラに側面から $\gamma$ 線を照射しながら操業初期のコークベッドの経時変化と追込コークス比との関係を測定したものである。このように追込コークス比が高ければコークヘッドは高い位置で安定し、コークス比が極端に低ければコークベッド高さが低下は止らず、遂には溶湯の酸化など正常な溶湯は得られなくなる。また図VI-55<sup>10)</sup>は、廃鋼配合率とコークベッド高さが経時変化を示したもので、廃鋼が増加すると溶湯への吸炭によってコークスが消費され、コークベッドが低下して行く状況が判る。

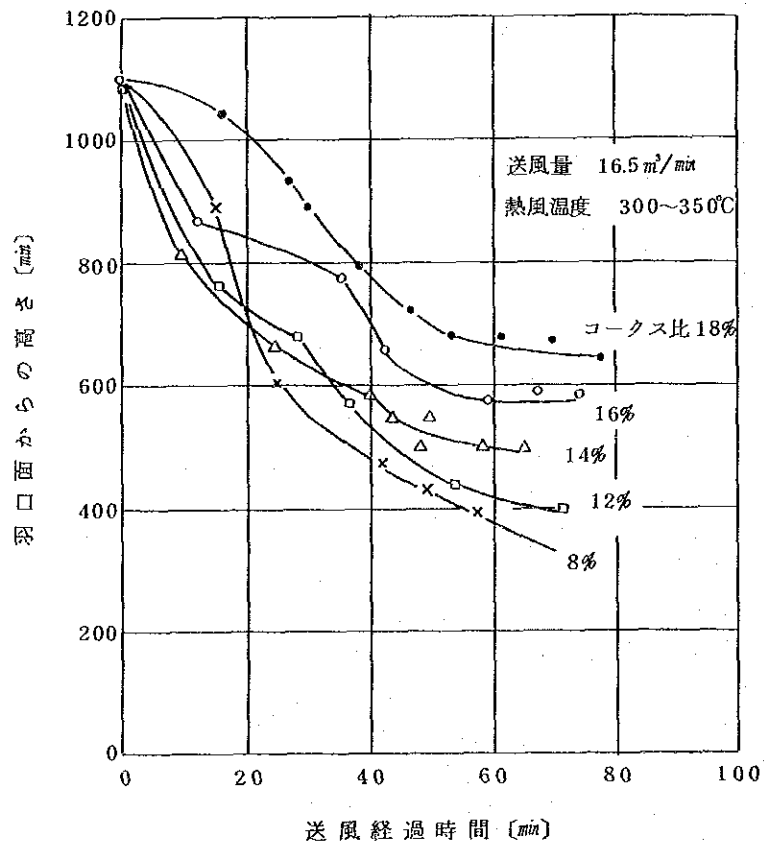
このように、コークス品質と追込コークス比の選定はキュボラ操業において、正常に溶湯を安定して得るための重要な意味をもっている。

このほか多くの実績から総合的に判断すると、高灰分コークスを用いた13 t/h、400℃の熱風、非水冷キュボラにおいて、高温で正常な溶湯を安定して得るために

は操業時の追込コークス比10%が廃鋼を配合しない場合の最低限界値である。また廃鋼を配合した材質（HT-20以上）の溶解では、廃鋼の吸炭相当分と、炉壁が浸食されることによって炉が拡大することによるベットコークス分の補給（追込コークス比で1～3%）をしない限り、操業開始約2時間後位から、出湯温度の低下、溶湯の酸化や溶湯成分の変動が大きくなることが予測される。



図VI-55 鋼材配合率によるベッドコークスの高さ (阿部、笹原)



図VI-56 コークス比とベッドコークスの高さ (阿部、笹原)

## (7) 送風量

キュボラ操業における適正送風量の決定法は、多くの提案が発表されているが、実績から、小型キュボラでは図VI-57<sup>1)</sup> に示すように90~110 N m<sup>3</sup>/min m<sup>2</sup>付近にある。(これよりも過少でも過大でもコークベッドは低下する)

また図VI-58<sup>2)</sup> のようにコークス比によっても若干適正值が異なり、加えてコークス灰分および粒度などや、キュボラの炉内径によっても異なる。

そこで、近代化キュボラの場合を総合的に検討すると、適正送風量は若干低くなり、コークス比10%で88 N m<sup>3</sup>/min m<sup>2</sup> (約100 N m<sup>3</sup>/min)程度と予想されたが、実施に当たっては原材料の実情確認、溶湯の品質要求水準などを考慮を再検討を行ない、かつ実績を積重ねながら補正する必要がある。

また送風は炉内圧が変動しても必ず一定量で送風することが高温の溶湯を安定して得られる基本であり、このためにも、風量自動制御装置を用いる必要がある。

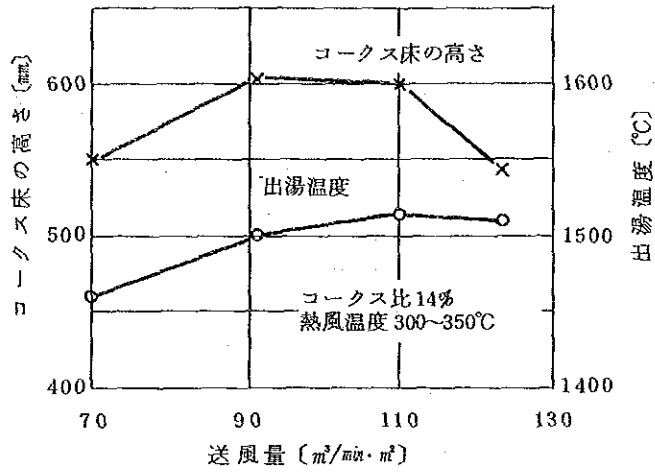
## (8) 地金・コークスなどの装入

### 1) 装入物の大きさ

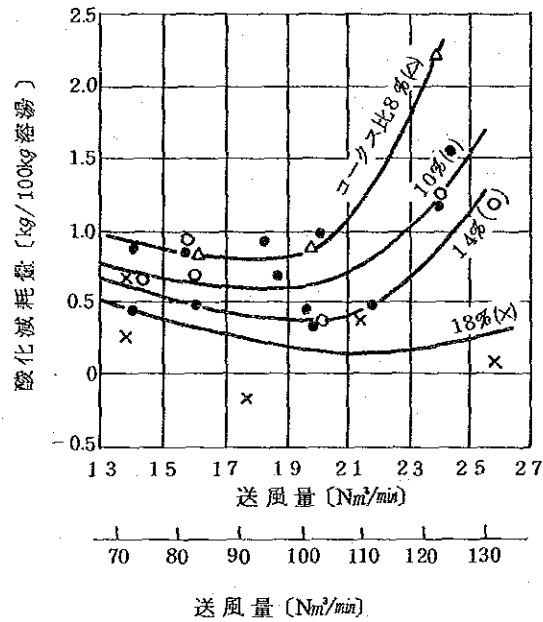
装入物の大きさを揃えることは、炉況安定化のために大切な要素である。とくにコークスの粒度が異なると炉内で燃焼する位置や速さが異なり炉内雰囲気を正常に保つことができなくなるので、可能な限り揃えることが必要である。(とくに小粒コークスは悪影響が大きい。)次に石灰石などの造滓剤の大きさは50mm程度が適当で、10mm以下の小粒は吹上げられ、大塊は必要な位置で反応しないことになる。合金鉄(Fe-Si, Fe-Mn)は20~50mmが適当<sup>3)</sup>で、大きさの不同は成分変動を助長させる。返り材は曲っていたり、細長いものは して可能な限り 200mm程度に揃えなければならない。これにより棚吊りなどを防止することができるからである。廃鋼も同様であるが、その最長の長さ(対角線の長さ)は 400mm以下にする。また厚みが2mm以下のものを多量に使用すると溶解速度の減少と溶湯の酸化を起しやすいので注意する必要がある。

### 2) 1回の装入量と装入順序

1回に装入する装入物の重量は、溶解帯における1山のコークスの厚さが大型キュボラでは160~180mm程度にするときが最も高温の溶湯が得られるので、これより逆算して地金1山の重量を決定する<sup>4)</sup>。しかし、最低限度は溶解速度の1/10以下にするのが原則で、一般に1時間当たり10回以上20回以内の装入量となる。



図VI-57 送風量とコークス床、出湯温度



図VI-58 コークス比、送風量と溶湯の酸化減耗率の関係

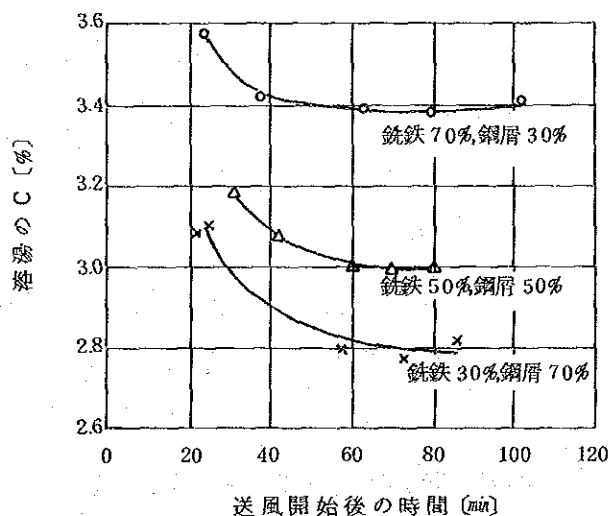
(炉の内径 500mm, 酸性操業、コークス粒度80~100mm)

また炉内では、下から銑鉄、戻り屑、廢鋼、コークス、石灰石その他の順に積重なるように装入ポケット入れると高温の出湯が得られやすい<sup>15)</sup>。また石灰石や合金鉄は炉内では中心部に集結するように装入を工夫すると、炉壁の浸食を少なくする。と共に、合金鉄の酸化消耗を少なくする。なお、石灰石量は、コークス量の1/3~1/4程度を定めて、計量して装入する。

### 3) 装入方法

装入材料は全て秤量を正確に行なうことが、溶湯成分を安定化させる基本である。加えて炉頂装入レベルを常時チェックし、装入物レベルが下降したら直ちに装入を行ない、装入レベルの変化を最小に保つことが操業の基本である。

次に操業初期の溶湯は、温度が低いばかりでなく、溶融点の低い材料から先に溶ける傾向があり、銑鉄、返り材、Fe-Si, Fe-Mnなどは廢鋼くくらべて、速く溶解して滴下する。図VI-59<sup>16)</sup>は操業初期の廢鋼配合率と溶湯炭素量の経時変化を示したもので、廢鋼配合率が増加すると溶湯炭素量の安定に時間がかかることがわかる。これは炉況による吸炭の変化もあるが、溶け易い銑鉄が先に溶解し、高融点である廢鋼は20分程度あとにずれる傾向があるからである。したがって最初の1山目は廢鋼を多くし、2山目はやゝ多い程度、3~4約目から標準配合にするとか、最初は廢鋼の配合を必要としない低強度銑鉄の溶解から始めるのが得策である。



図VI-59 送風開始後の時間と溶湯の炭素



#### (9) 操業終了時の処置

環境改善対策設備を施した熱風キューポラは、従来のキューポラと異なり次の方法で行なう必要がある。

##### 1) キューポラ送風停止

キューポラ炉内には、排ガスを横側へ取り出すための金属製コーンが組込まれていること、熱交換器の耐熱性や、冷却塔の冷却能力などの関係から、操業終了時に炉内装入地金の全てを吹き降すことは、排ガスが高温となり過ぎ、装置を損傷するから行ってはならない。このため装入が終了すれば再燃焼炉入口排ガス温度を監視しながら、約 700℃程度になった時点で送風を停止する必要がある。(この間装入終了から約15分程度と推測される) なお最後の装入は地金のみとし、コークスは装入しなくとも良い。

##### 2) 送風停止後の処置

キューポラの送風を停止すれば直ちに全羽口を開き、前炉および樋部の残湯処理を行なう。この間送風機は停止してはならない。再燃焼炉は都市ガスを止める。なお樋には側面に穴がけ部があるため、開孔後溶湯を取出す。また引続いて炉内に滞留したスラグおよび樋部のスラグが多量に流出して来るため、これも処理する。

##### 3) 炉内残留物の処理

次に炉底を開き、炉内残留物を落下させ消火する。

これにはベッドコークスのほか2～3山分の装入物全量に加わっているため、全量を消火する。これらの残留物は翌日再利用するが、コークスはベッド用には使わないようにする。

##### 4) 再燃焼炉の送風停止

次に再燃焼炉関係の全送風機を止めるが、集塵機用空気圧縮機および排風機はしばらく止めないでキューポラおよび再燃焼炉の炉体を冷却させる。

##### 5) 排風機・集塵機の停止

次にキューポラ床下部の残留物の消火水が完全に蒸発し、かつ集塵機入口排ガス温度が 100℃以下になるまで、排風機および集塵機を運転し続ける。(この間、送風停止から約1時間程度と思われる。)

集塵機用空気圧縮機を停止した後、排風機を止める。