

8. 本 調 査 団

8. 本調査団

8.1. 調査団の構成と役割

調査団の構成とそれぞれの業務内容は以下のとおりである。

1) 第1次現地調査 ('94.12.18 ~27)

区分	氏名	担当業務	業務概要
団長	たむら けいじ 田村啓治	総括	調査団を統括代表した
団員	おだやま 尾田康巳	生産工程	生産工程に関する専門的調査と診断を行った
団員	みやがわ みよこ 宮川美代子	通訳	先方との協議及び工場調査での日中語の通訳と必要に応じ、資料を翻訳した

2) 第2次現地調査 ('95.3.5 ~25)

区分	氏名	担当業務	業務概要
団長	たむら けいじ 田村啓治	総括	調査団を統括代表した
団員	おだやま 尾田康巳	生産工程	生産工程に関する専門的調査と診断を行った (溶解・鑄造部門)
団員	ちちまのみ 知地正紘	生産管理	生産管理に関する専門的調査と診断を行った
団員	かわい けいじ 河辺行儀	設備積算	設備積算に関する専門的調査と診断を行った (機械加工部門)
団員	はなぞの ゆき 花園 遜	通訳	先方との協議及び工場調査での日中語の通訳と必要に応じ、資料を翻訳した

8.2. 現地調査の日程

第1次現地調査の日程は表8-1の通りであり、第2次調査日程および調査・技術移転内容は表8-2に示す通りである。

表8-1 第1次現地調査日程

月 日	内 容	備 考
12/18(日)	出発 NH905 成田1010→北京1330 CA1503 北京1733→南京1915 南京→揚州市	揚州泊
12/19(月)	工場関係者と打合せ（着手報告書説明含む） 予備調査団の質問事項の確認	〃
12/20(火)	先方の希望確認 工場概要・内容確認	〃
12/21(水)	鑄造関連現状確認（環境関連含む）	〃
12/22(木)	機械加工現状確認	〃
12/23(金)	製品内容、図面関係、標準、生産工程確認	〃
12/24(土)	工場関係者との打合せ等 揚州市→南京	南京泊
12/25(日)	帰国 CA1538南京1530→北京1645	北京泊
12/26(月)	J I C A 中国事務所・日本大使館報告 国家経済貿易委員会報告	〃
12/27(火)	NH906 北京1530→成田2015	

8.3. 国内調査および国内作業

これら現地調査を受けて全団員が国内作業にあたり、現地データの解析、日本国内のライナーの製造技術の現状、設備積算のためのカタログ・見積収集等を行い、最終報告書ドラフトを作成した。また、現地との連絡、団員のコーディネート、事務処理等には当働素形材センターの飯塚と大庭がその任務を遂行した。

表8-2 揚州シリンダーライナー工場近代化計画調査（第2次現地調査）日程表

月 日	午 前	午 後	備 考
3 / 5 (日)	成田発1010(NH905) ⇨⇨⇨北京着1330	北京発1740(CA1503)⇨⇨南京着1910→揚州着2130	揚州泊
6 (月)	団員・工場側紹介・機械加工工場調査 (全)	工場側との協議・鋳造工場調査 (全)	揚州側委員会招宴
7 (火)	第1回セミナー 生産管理とは (C) 機械加工技術 (K) (全)	質問事項聴取・調査の進め方個別協議 (T, K, C) 溶湯迅速分析器CEメーカーテスト打合せ (O)	
8 (水)	工場との日程協議 (T, C)・機械加工工場調査 (K) 鋳造不良品収集 (O)	計量器調査 (K)・生産管理調査 (T, C) 鋳造欠陥発生原因調査及びテスト打合せ (O)	
9 (木)	製品精度調査 (K)・在庫・仕掛り品調査 (C) CEメーカーによる分析テスト (O, T) 鋳造工場診断調査 (O, T)	機械工場 チェックリスト評価 (T, K, C) 販売計画調査 (T, C) 製品精度調査 (K) 鋳造欠陥発生原因調査 (O)	調査団打合
10 (金)	粗ホーニング前加工精度と加工調査 (K) 安全衛生・保健、教育調査 (C) CEメーカーテスト (O, T)・鋳造工場診断 (O, T)	中長期計画調査・資機材・外注調査 (T, C) 粗ホーニング前加工精度と加工調査 (K) 鋳造欠陥発生原因調査 (O)	
11 (土)	揚州発 → 無錫着 (全)	無錫ディーゼル調査 (全)	無錫泊
12 (日)		無錫発 → 揚州着 (全)	揚州泊
13 (月)	鋳造工場チェックリスト評価 (T, O, C) 機械加工工場診断調査 (K)・介在物除去調査 (O)	3 / 10の加工品精度調査 (K)・品質管理調査 (T, C) 鋳造介在物除去テスト (O)	
14 (火)	第2回セミナー 鋳造における不良対策 (O) 最新の鋳造技術 (T) シリンダーの全自動加工 (K) 鋳造工場・粗加工工場生産管理実情調査 (C)	財務関係調査 (T, C) 機械加工工場生産管理実情調査 (C) 機械加工刃先ホーニングテスト (K) 鋳造工場環境・安全関係調査 (O)	
15 (水)	表面処理・熱処理技術調査 (T, C) 鋳造工場・粗加工工場診断調査 (O, K)	設備計画・保全調査 (T, K, C) 鋳造介在物除去テスト (O)	
16 (木)	加工テスト結果報告 (K)・補足調査 (T, C) 鋳造工場補足調査・試験 (O)	揚州ディーゼル調査 (全)	調査団打合
17 (金)	工場側との打合せー機械加工・設備 (全)	工場側との打合せー鋳造・生産管理 (全)	日本側招宴
18 (土)	進捗報告書作成 (全)		
19 (日)	進捗報告書作成 (全)		
20 (月)	工場側との最終打合せ (全)	進捗報告書説明と提出・覚書き作成 (全)	工場側招宴
21 (火)	揚州 → 南京 (全)	南京自動車エンジン工場・鋳造工場調査 (全)	南京泊
22 (水)	1130南京発⇨⇨⇨⇨⇨⇨1300北京着 (全)		
23 (木)	JICA 中国事務所報告 (全)	国家経済貿易委員会訪問 (全)	経貿委招宴
24 (金)	資料まとめ、打合わせ等 (全)		
25 (土)		北京発1530(NH906) ⇨⇨⇨ 成田着2030 (全)	帰 国

注1) 全：全員、T：田村（総括）、O：尾田（生産工程・鋳造）、K：河辺（設備積算・機械加工）、C：知地（生産管理）
 注2) ⇨⇨⇨⇨⇨⇨：空路、→：陸路

≡ 参 考 资 料 ≡

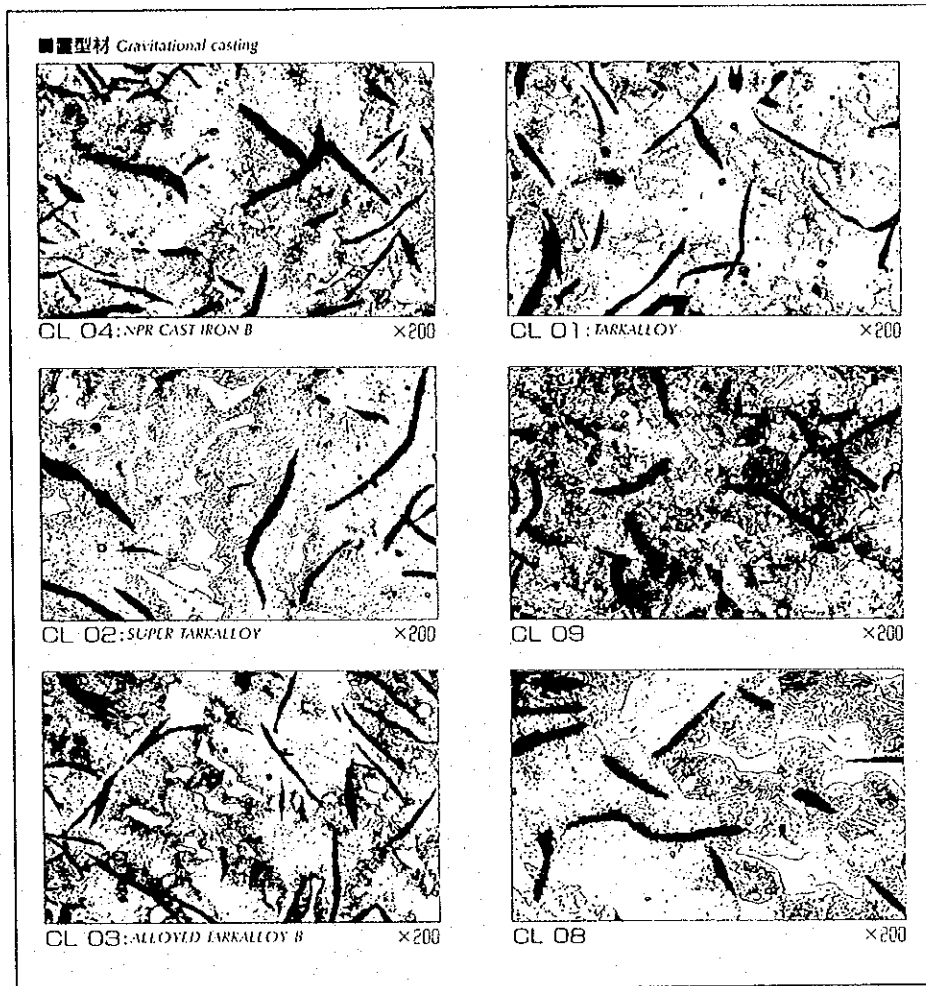
参 考 資 料 目 次

1. シリンダーライナーの組織写真と化学成分 (日本ピストンリング(株))	151
2. キュボラ溶解設備使用 (例)	155
3. 炉前試験 (文献資料)	163
4. 小型キュボラ溶解帯耐火物の耐用性向上に関する研究	183
5. シリンダーライナーの日本の現状 ((財) 素形材センター)	193
6. 生砂型プラント関連資料 (DISA、BMD)	203
7. 生砂型プラント設計図及び仕様 (DISA)	207
8. 生砂型プラント設計図及び仕様 (BMD)	213
9. 金型遠心力によるシリンダーライナーの製造 ((株) クボタ)	221
10. 遠心鑄造法による長尺素材の生産技術の向上 (テーピ工業 (株))	231
11. ガソリン車用シリンダースリーブの生産性向上 (生型平込鑄造例: 日本ピストンリング (株))	241
12. 揚州工場における機械加工精度・統計基礎資料	251
13. 機械加工の近代化計画・加工1案~4案の補足説明	259
14. 表面改質技術の概要とシリンダーライナーの薄肉化 ((財) 素形材センター)	269
15. 工業用クロムめっき (現場技術者のための実用めっき (I): 日本プレーティング協会)	299
16. めっき工場の設計と設備 (現場技術者のための実用めっき (II): 日本プレーティング協会)	325
17. いかに冷やすか -シリンダーの機能- (ヤマハ発動機)	351
18. CAD/CAMについての設備検討	359
参考文献一覧	362
現地写真	364

1. シリンダーライナーの 組織写真と化学成分

(日本ピストンリング (株))

《シリンダーライナー組織写真(置型材)》



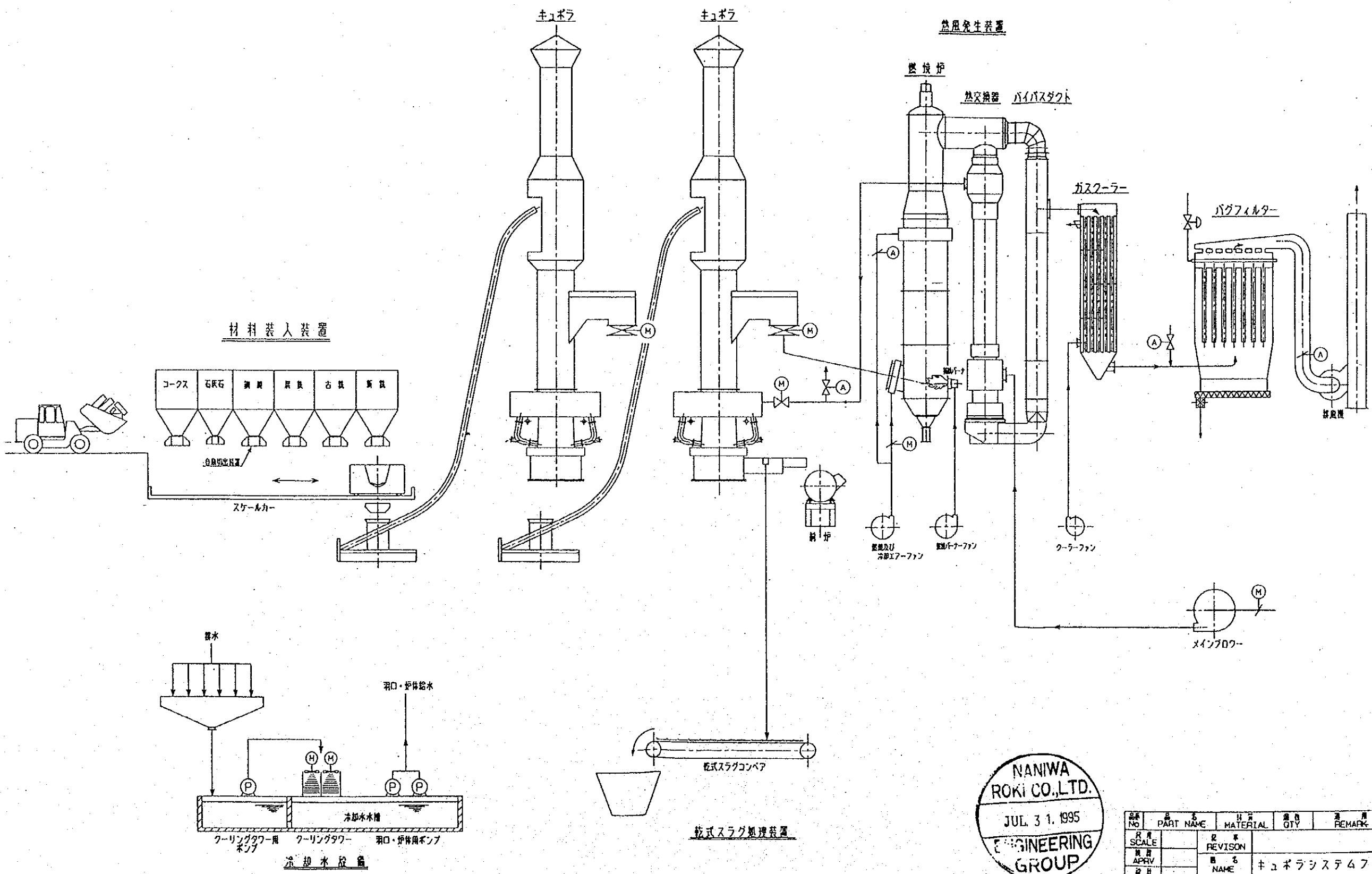
《化学成分表》

材質名称	化学成分(%)										硬さ (HRB)	引張強さ (MPa)	抗折荷重 (N)	重量比 (MPa)	組織	
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	B	黒鉛					基底	
CL 04 NPR CAST IRON B	3.60	1.60	0.50	0.10	<0.13	<0.30	<0.30	—	—	—	80~130	270<	4,900<	88,000	片状	パーライト
	3.60	2.30	1.00	0.30												
CL 09	2.80	1.50	0.50	0.10	<0.30	<0.13	<0.30	<0.30	0.40	—	90~103	350<	5,400<	113,000	片状	パーライト
	3.50	2.50	1.00	0.80												
CL 01 TARKALLOY	3.00	1.50	0.50	0.10	<0.12	—	—	—	0.02	—	93~103	280<	4,900<	88,000	片状	パーライト 特殊ステグイト
	3.70	2.50	1.00	0.50												
CL 03 ALLOYED TARKALLOY B	2.80	1.50	0.50	0.10	<0.30	<0.15	—	—	0.30	0.02	95~105	280<	5,100<	108,000	片状	パーライト 特殊ステグイト
	3.50	2.50	1.00	0.80												
CL 02 SUPER TARKALLOY	3.00	1.50	0.50	0.10	<0.12	—	—	—	0.05	—	95~105	260<	4,900<	93,000	片状	パーライト 特殊ステグイト
	3.70	2.50	1.00	0.50												
CL 08	2.80	1.50	0.50	0.20	<0.13	—	—	0.10	0.07	—	95~105	270<	4,900<	98,600	片状	パーライト 特殊ステグイト
	3.50	2.50	1.00	0.50												

2. キュポラ溶解設備使用（例）

名称 : 6.0t/h熱風水冷キュボラ溶解設備

主要鑄物製品	鑄鉄管
材 質	FDC
溶解速度	6.0t/h (最大8t/h)
操業時間	16時間/日 (夜間8時間コークスバンキング)
炉 修	2週間/回 (但し1週間/回でスタートする)
送 風	熱風 (450 °C)
溶 解 帶	ナニワバンキング型 (シャワー水冷2段方式)
冷 却 水	700 ℓ/min
風 箱	本体分離、角ドーナツ方式、内部保温 (2重構造ロックウール及 ライトキャスト)
羽 口	本数 6本 (水冷銅羽口、溶接構造)
	角度 10°
	羽口流速 60~100m/S
	冷却水量 100 ℓ/min × 6本
炉 内 径	羽口面 800mm
	溶解帯 (最大) 1,020 mm
	予熱帯 900mm
有効高さ	羽口上~オフティク 4,000mm (6,500投入口迄)
炉 床	両開き方式
出 湯	連続前方出湯方式
出 滓	連続前方出滓方式
ドレンアウト	ドレンアウト口 サイドホール
排ガス取出口	キュボラガス全量吸引方式 水冷ジャケット構造 冷却水量150 ℓ/min
投 入 口	底開きバケット方式
使用鋼板	炉床 SS-41 12mm
	溶解帯 SB-42 16mm
	予熱帯 SS-41 9mm
	投入口 SS-41 9mm
	煙突 SS-41 4.5mm
装入材レベル計	機械式で測定して電機信号を発信



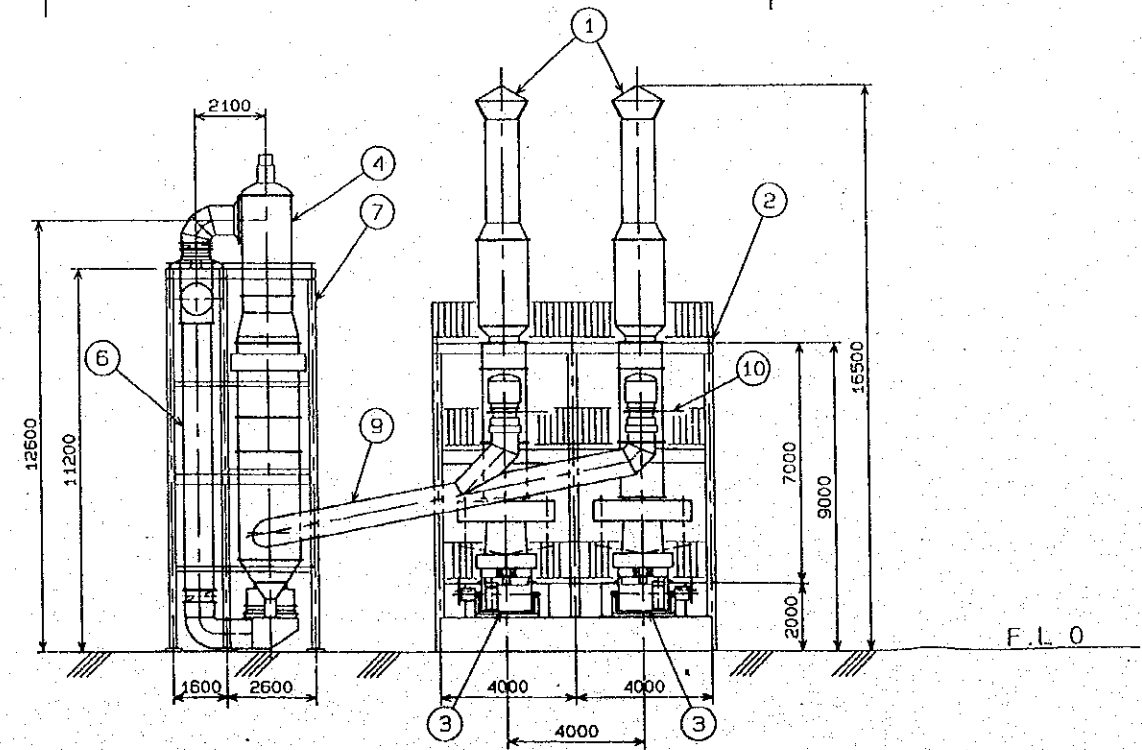
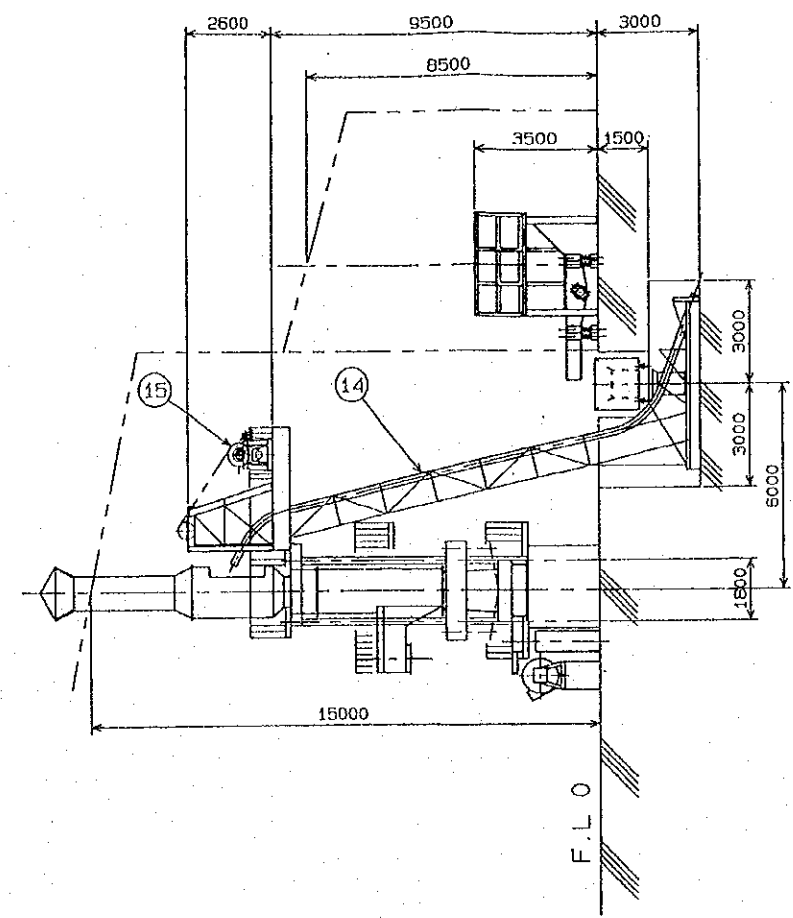
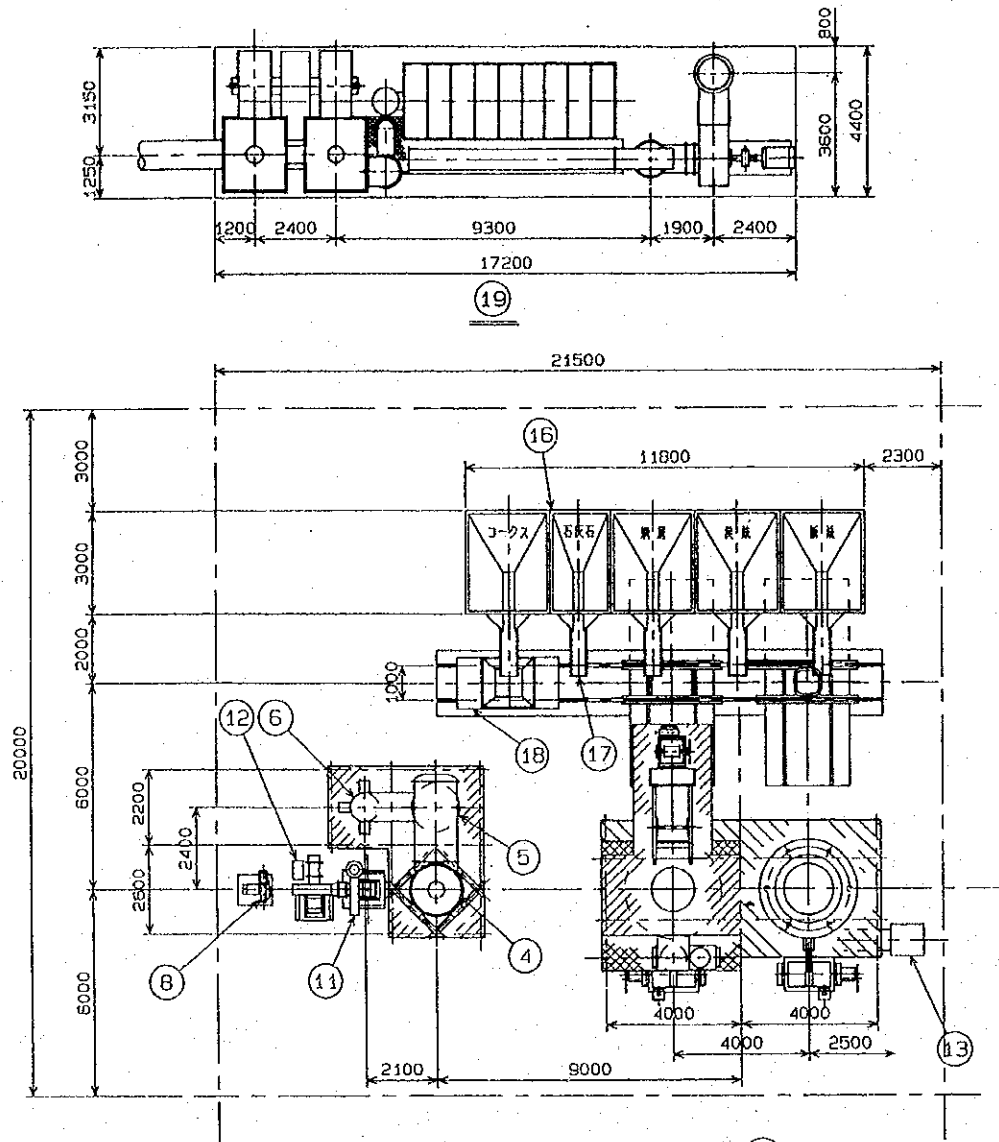
NANIWA
ROKI CO., LTD.
JUL 3 1. 1995
ENGINEERING
GROUP

図番	部名	材質	数量	備注
REV	SCALE	REVISION		
APPRV	NAME	名	キュボラシステム700	
ENG	MACHINE	機名	1/4キュボラ溶解設備	
DRAFT	DATE	図番	DMG. NO.	

COUNT
3RD ANGLE
PROJECTION

NANIWA ROKI CO., LTD

CUPO-AM-10



19	集塵装置	1	
18	電動台車付ホッパー	1	
17	自動吐出装置	7	
16	パンカー	7	
15	ホッパー	1	
14	材料投入装置	1	
13	形式スラグ処理装置	1	
12	温度調整装置	1	
11	送風機	1	
10	キュボラガス切替弁	2	
9	キュボラガスタクト	1	
8	燃焼・冷却ファン	1	
7	片道燃焼台	1	
6	パイパス	1	
5	熱交換器	1	
4	燃焼室	1	
3	可燃物秤	2	2000kg
2	キュボラ装置	1	
1	6t/hキュボラ	2	燃焼室付

NANIWA
ROKI CO., LTD.
JUL. 31, 1995
ENGINEERING
GROUP

SCALE	1/100	REVISION	
APPRV	村田	NAME	計画精製図
ENG	石井	MACHINE	6t熱風キュボラ溶解設備
DATE	1995.7.31	DWG. NO.	AM105094

COUNT
3rd ANGLE
PROJECTION

20-AM-9

3. 炉前試験（文献資料）

第6章 品質保証と管理

1. 炉前試験

炉前試験は鑄込み前の溶湯が所定の成分や性状となっているかどうかを迅速に判定し、その結果を操業に反映させ、溶湯の最適化を図るために行われる現場的な管理法である。

特に、材質の多様化に伴い、溶湯の炉前管理は重要になってきている。

そこで、鑄鉄の炉前試験法としてチル試験、湯流れ試験、湯面模様判定、温度測定、および熱分析試験について説明する。

1.1 チル試験

鑄鉄溶湯は化学組成、冷却速度などの違いによって、凝固する際にチルが現れる。一般的に冷却速度が速い場合、Cはセメントイト Fe_3C として晶出し、チル化組織を示す。この性質を利用した炉前試験がチル試験である。チル試験は冷却速度の違いを故意につけた単純形状の鑄型に溶湯を鑄込み、凝固後破面のチルの状態を測定することにより、溶湯の炭素当量（CE値）を迅速に判定し、同時に強度も推定しようとするものである。溶湯の炭素当量が低ければチルは深く、強度は高くなるが、逆に高ければチルは浅く、強度は低くなる。

この試験法は操作が簡単で、信頼度も比較的良好いため、従来から鑄物工場において広く普及している。特に、くさび型試験法、板チル試験法がよく使われているが、円筒金型試験法はあまり使用されていないようである。

くさび型試験は炭素当量4.2%以上の比較的強度の低い材質については判定しにくく、板チル試験は炭素当量3.5%以下の強度が比較的高い材質のものは判定しにくい。円筒金型試験は炭素当量の多いものから少ないものまで広範囲の溶湯に適用できるが、結果の判定には個人誤差が入りやすく、かなり熟練を

要する。従って、チル試験を行う場合はそれぞれの現場に合った方法を選択することが望ましい。

1.1.1 くさび型試験法

(1) 試験片の形状、寸法

試験片の形状、寸法は図6.1、表6.1に示すように5種類あり、溶湯を鋳込んでみて、チル幅 (W) が B の幅の半分を超えないような番号の試験片を選ばなければならない。

(2) 試験片鋳型の作製

模型は金属製がよいが、やむをえず木製を用いる場合は長期にわたって使用すると寸法精度が悪くなるので注意しなければならない。

鋳型はシェル型、CO₂型などが用いられ、常に同一種類のものを選んで使用する。最近ではシェル型で作られたものが市販されている。

一つの鋳型に試験片を数個同時に込めてもよいが、この場合には少なくとも試験片の間隔を $2.5 \times B$ mm 以上にする必要がある。

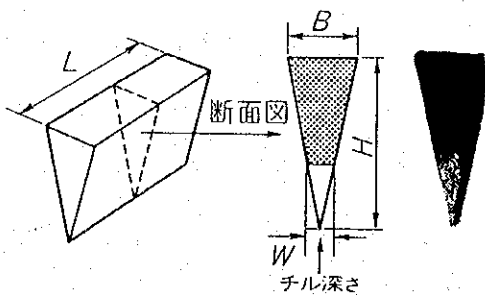


図6.1 くさび型試験片の形状

表6.1 くさび型試験片の寸法
NIK 規格¹⁾ (単位: mm)

番号	B	H	L
W1	5.0	25.0	100.0
W2	10.0	30.0	100.0
W3	20.0	37.5	100.0
W4	25.0	45.0	125.0
W5	30.0	50.0	150.0

ASTM 規格²⁾ (単位: mm)

番号	B	H	L
W1	5.1	25.4	101.6
W2	10.2	31.8	101.6
W3	19.1	38.1	101.6
W3½	25.4	44.4	127.0
W4	31.8	50.8	152.4

鑄型に使用する砂は JIS 6 号けい砂程度のものが好ましい。

(3) 鑄込み

注湯温度はできるだけ一定にする。

注湯用湯くみのライニングにはチルを変化させない材料を用いる。特に黒鉛質の材料、ライニング、あるいは塗型は溶湯に加炭する恐れがあるので好ましくない。また、湯くみに取る溶湯量は注湯温度が一定に保たれ、かつ作業がしやすい量とする。

試験片の鑄型は長さ方向を縦にして鑄込む場合が多いのでドロス、カスの混入に注意する必要がある。

(4) 測定

測定は鑄型内で試験片が冷却してから、図6.1に示すように長さ方向の中央部を破断してチル幅を測定する。急ぐ場合は試験片の凝固を確かめ、暗赤色になった時点で水に冷やしても差し支えない。この場合、急冷によってくさびの先端に亀裂が入らないように、くさびの底部から水冷し、水が乾く程度の熱が残っている間に水中から引き上げるのがよい。

チルの測定位置は破面の完全白銹化部とまだら銹部との境界線のくさびの幅を0.5 mm 単位で測定する。そして、番号が W3 の試験片による測定値が6.5 mm であった場合、測定結果の記録は W3-6.5 と表示する。

1.1.2 板チル試験法

(1) 試験片の形状、寸法

試験片の形状、寸法は図6.2、表6.2に示すように5種類あり、このうちいずれの番号の試験片を採用するかは溶湯の材質を考慮して決める。そして、チル深さが表6.3の範囲内に入るような番号の試験片を使用することが好ましい。

(2) 試験片鑄型の作製

模型、鑄型および砂の条件としてはくさび型と同様である。

鑄型は試験片1個取り、または数個取りのいずれであってもさしつかえないが、数個取りの場合には試験片相互の間隔を25 mm 以上にすることが必要である。

(3) 冷し板

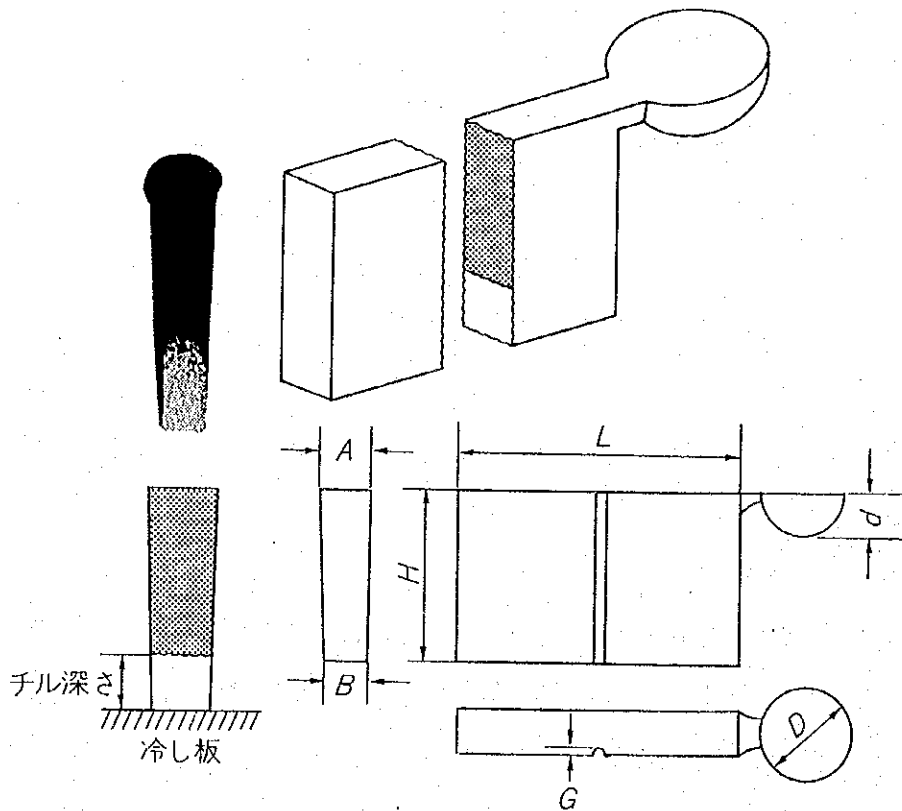


図6.2 板チル試験片の形状

表6.2 板チル試験片の寸法

NIK 規格¹⁾ (単位: mm)

番号	A	B	H	L	D	d	G
C1	6.0	3.0	30.0	65.0	18.0	12.5	0.8
C2	8.5	5.0	37.5	75.0	22.0	12.5	0.8
C3	11.0	8.0	45.0	85.0	22.0	12.5	1.3
C4	15.5	12.0	50.0	100.0	25.0	15.0	1.3
C5	20.0	16.5	65.0	125.0	25.0	15.0	1.5

ASTM 規格²⁾ (単位: mm)

番号	A	B	H	L	D	d	G
1C	6.4	3.2	31.8	63.5	19.1	12.7	0.8
2C	7.9	4.8	38.1	76.2	22.2	12.7	0.8
3C	11.1	7.9	44.4	88.9	22.2	12.7	1.6
4C	14.3	11.1	50.8	101.6	25.4	15.9	1.6
5C	20.6	17.5	63.5	127.0	25.4	15.9	2.4

冷し板は鋼、鋳鉄および黒鉛製のいずれかを用い、その表面はさび、水分を除去して平滑に保たれていなければならない。

同じ冷し板を繰り返し何回も使用する場合には冷却速度を一定に保つため、冷し板に冷却機構を設け、温度を調節する必要がある。

(4) 測定

試験片の冷却はくさび型試験片の場合に準じ、試験片は冷却後図6.2に示すように長さ方向の中央部で破断し、チル深さを0.5 mm単位で測定する。そして、番号C3の試験片を用いてチル深さを測定した結果5.0 mmであった場合、測定結果の記録はC3-5.0と表示する。

1.1.3 円筒金型試験法

この試験は図6.3に示す円筒金型を用いる。そして、寸法は冷却を迅速に行わせるため、図中カッコ内の数値を用いてもよい。

金型の材質は鋼あるいは鋳鉄で、円筒の内面は機械加工仕上げをする。

溶湯を注湯するときは円筒金型の内面に離型剤をつけ、耐火レンガの上に置く。注湯温度はできるだけ一定にし、注湯量は金型上面から約20 mm下までとする。

この試験法の測定は溶湯が凝固したときに現れる試験片の頭部の形状を目視で観察し、図6.3の分類番号で分類する。

ここで参考として、くさび、板チル試験で測定したチル深さの測定値とその鋳鉄の化学組成、機械的性質との関

表6.3 各試験片の好ましいチル深さ¹⁾

板チル番号	チル深さ(mm)
C1	2~9.5
C2	3~13
C3	4.5~20
C4	6.5~25
C5	8.5~30

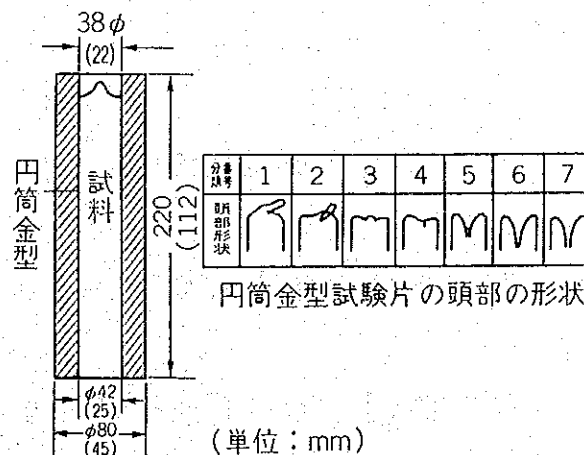


図6.3 円筒金型試験片と頭部形状の分類¹⁾

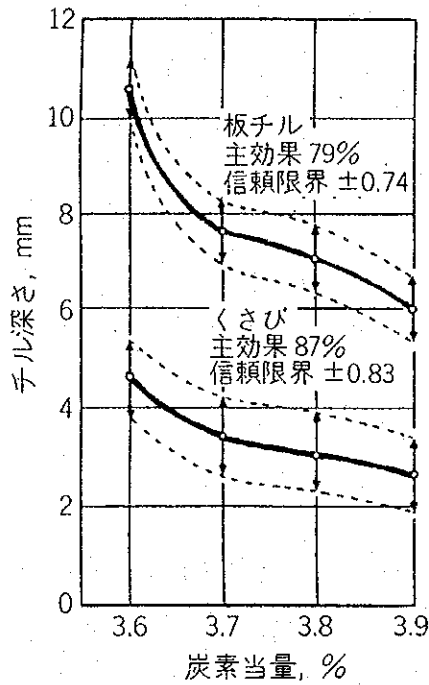


図6.4 チル深さと炭素当量との関係¹⁾

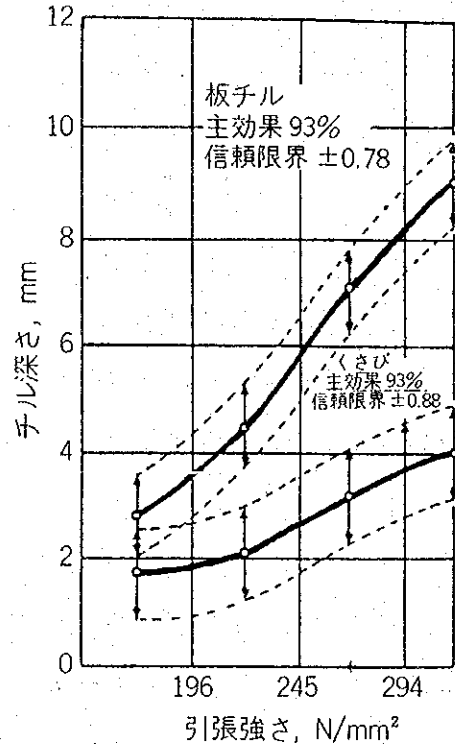


図6.5 チル深さと引張強さとの関係¹⁾

係を図6.4, 図6.5, 図6.6に示す。

1.2 湯流れ試験法

この試験を行う目的は鋳型に注湯された溶湯の湯流れ性を調べるためである。そして、この試験を行うことにより鋳物の薄肉部にしばしば発生する湯まわり不良欠陥を事前に予測することができる。

そこで、簡易渦巻き形湯流れ試験法の概略を示す。

1.2.1 模型と付属耐火物の形状、寸法

この試験に用いられる模型と付属耐火物の形状、寸法を図6.7に示す。

模型の材質は原則として金属製のもの

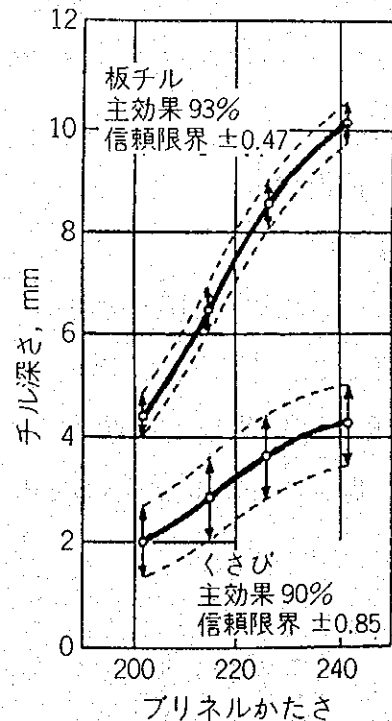


図6.6 チル深さとブリネルかたさとの関係¹⁾

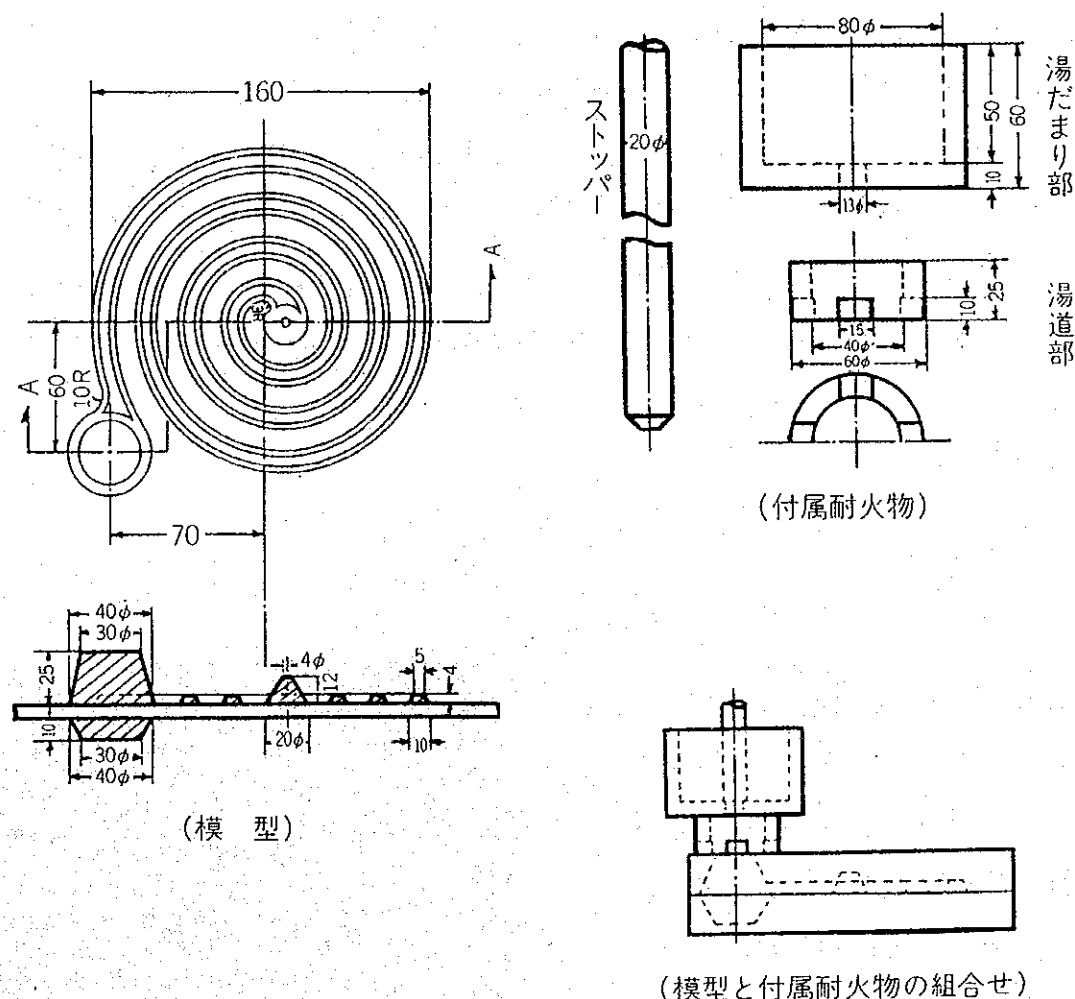


図6.7 簡易渦巻き形湯流れ試験に用いる模型，付属耐火物¹⁾ (単位 mm)

とする。木製の模型を使用してもよいが，その場合は木型の寸法，表面状態などの変化について十分注意しなければならない。

付属耐火物は鑄型への注湯条件を一定に保つための湯だまり部と湯道部とから構成されている。この耐火物は熱衝撃に強く，溶湯の温度，化学組成に影響を及ぼすような材質のものは避けた方がよい。しかし，湯だまり部に溶湯を保持する時間は1～2秒であるから，耐火物として黒鉛製のものを使用してもさしつかえない。

1.2.2 試験片鑄型の作製

鑄型はシェル型，CO₂型などが主に用いられている。

1.2.3 鑄込み

注湯温度を正確に測定し，注湯条件を一定にするため，湯くみに採取する溶

湯量は常に一定量（5～15 kg の範囲）としなければならない。

鑄型の水平状態は水準器などで確認する必要がある。

鑄込みはストッパーで栓をした湯だまり部に温度測定をした溶湯を静かに、速く入れ、湯だまり部が満たされた直後にストッパーを抜き、湯道部を通して溶湯が鑄型へ流入するようにする。この作業に要する時間は2秒以内とする。そして、鑄型を満たさない余分な溶湯は湯道部の耐火物の横穴から外へ流出させる。

1.2.4 測 定

湯流れ長さは凝固完了後、鑄型内を充填した溶湯の長さを測定する。この測定値の単位は cm として、小数点以下を四捨五入する。

1.3 湯面模様判定法

とりべあるいは鑄型に鑄込まれた直後の湯口、揚がり表面の鑄鉄溶湯を観察すると、はじめ鏡のように澄んだ湯面が現れる。そして、温度の降下につれて湯面に薄い酸化皮膜が現れ、これが溶湯中から発散するガスによって皮膜が破られ、図6.8に示すようなきれいな模様を描く。これを湯面模様

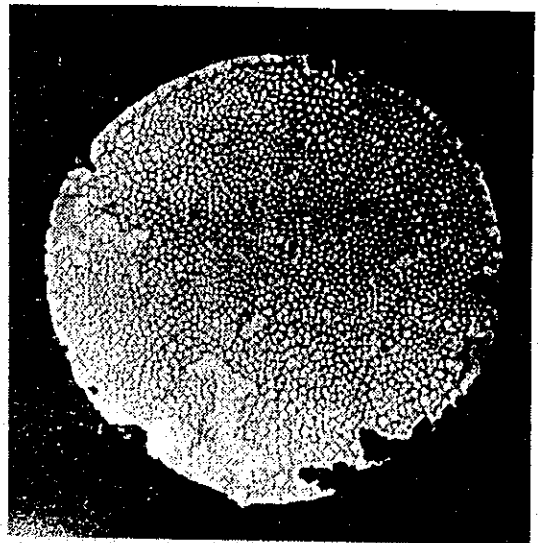


図6.8 キュボラ溶湯の湯面模様

と呼び、この模様の出現状態から溶湯の性質を判定することを湯面模様判定法と言う。

湯面模様には亀甲型大、亀甲型小、笹の葉型大、笹の葉型小、それに麻の葉型の5種類があると言われている。溶解作業が常時同じ条件で行われていれば、この模様の形状や描き始める温度などを測定することにより、溶湯の成分変動、性状を推測することは可能であるが、多くの経験が必要である。

また、湯面模様が現れてから消失するまでの時間と溶湯中のC量、Si量、O量との関係を調べたものもある³⁾。

次にこの試験法の概略を示す。

1.3.1 試験用鑄型

鑄鉄溶湯の湯面を観察する容器は直径50 mm、深さ50 mmのもので、シェル型、CO₂型および生型で作製する。

簡便法としては鑄型の湯口、揚りなどで判定してもよい。

1.3.2 判定方法

模様で形状で判定する場合は常に一定温度 (1573 K (1300°C)~1623 K (1350°C) 程度がよい) で観察し、前述の5種類に分類、記録する。記録は写真撮影が好ましいが、肉眼による観察でもよい。

他の判定法としては鑄込んでから模様が出現するまでの時間、あるいは模様が出現してから消失するまでの時間を記録する場合もある。

この判定はねずみ鑄鉄以外の球状黒鉛鑄鉄、合金鑄鉄 (例えば Al, Cr, W など) には適用されない。

1.4 温度測定

鑄鉄溶湯の温度測定は溶解作業時の溶湯温度の管理および注湯時の鑄込み温度を適正に維持するために必要である。しかし、溶湯温度はかなり高温のため、適用できる測定方法は限られる。

測定精度の点では熱電対温度計が推奨されるが、センサー (熱電対) を直接溶湯に浸漬するため、センサーの使用回数が限られる。そのため、現場的には非接触型の光高温計が多く用いられていたが、測定値に個人誤差が生じやすいため、最近では溶湯からの放射エネルギーを検出素子により、自動的に指示、記録できる放射温度計が使用されている。

1.4.1 浸漬型熱電対温度計

2種類の金属または合金線を環状に連結した熱電対の接続部の一方を加熱すると、熱電対に熱起電力が生ずる。この熱起電力の大きさは熱電対の種類と両接続部の温度差によって定まる。従って、接続部の片側の温度が分かれば、もう一方の接続部の温度を知ることができる。この性質を利用した温度計が熱電対温度計である。

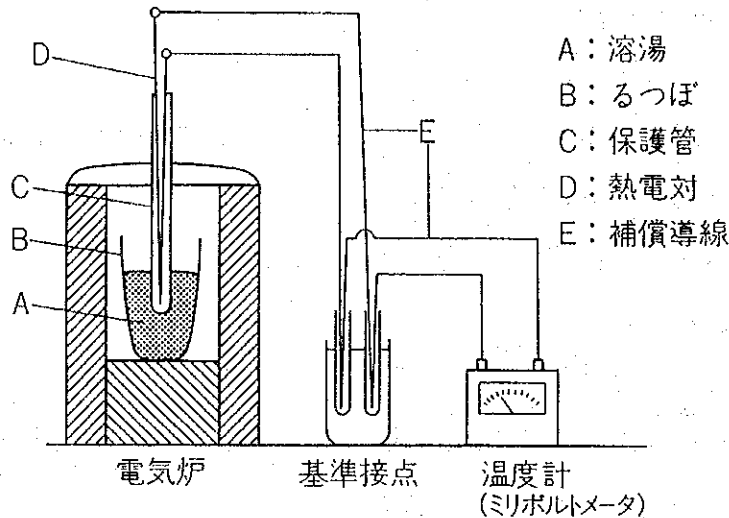


図6.9 熱電対による温度測定法

図6.9に熱電対による温度測定法を示す。

(1) 熱電対および補償導線

現在よく使用されている熱電対を表6.4に示す。鑄鉄溶湯の温度測定には記号Rの白金—白金ロジウム熱電対が広く用いられている。溶湯を連続して測定する場合は線径0.5 mmのものが多く使用され、断続的に測定する場合は応答速度の速い線径0.1 mm位のものが多く使用されている。

熱電対の接続部以外の部分は絶縁管を用いて線が接触しないようにする。

熱電対は高価なため、補償導線を用いることが多い。この補償導線は表6.5に示すように、使用する熱電対の種類に応じて材質が異なるので注意しなければならない。また、熱電対と結線するときは極性を間違えないようにする。

基準接点には氷点式、サーモスタット式、補償式および室温式がある。氷点式は熱電対の校正や精度の高い温度測定を行う場合に用いられ、一般の温度測定にはサーモスタット式、補償式が使用されている。

(2) 保護管

鑄鉄の溶湯温度を長時間連続測定する場合はアルミナ質の保護管を用いるとよいが、熱衝撃に弱いので注意が必要である。また、測定時間が短ければ、石英管が使用できる。

これら、保護管の肉厚が厚いと真の温度を指示するのに時間がかかるので、

表6.4 熱電対の種類⁴⁾

構成材料記号 (旧記号)	主成分		素線径 (mm)	常用限度 K(°C)	加熱使用限度 K(°C)
	+ 脚	- 脚			
B	Pt-30%Rh	Pt-6%Rh	0.50	1,773(1,500)	1,973(1,700)
R	Pt-13%Rh	Pt	0.50	1,673(1,400)	1,873(1,600)
S	Pt-10%Rh	Pt	0.50	1,673(1,400)	1,873(1,600)
K(CA)	Ni-Cr 合金	Ni 合金	0.65	923(650)	1,123(850)
			1.00	1,023(750)	1,223(950)
			1.60	1,123(850)	1,323(1,050)
			2.30	1,173(900)	1,373(1,100)
			3.20	1,273(1,000)	1,473(1,200)
E(CRC)	Ni-Cr 合金	Cu-Ni 合金	0.65	723(450)	773(500)
			1.00	773(500)	823(550)
			1.60	823(550)	823(650)
			2.30	873(600)	1,023(750)
			3.20	973(700)	1,073(800)
J(IC)	Fe	Cu-Ni 合金	0.65	673(400)	773(500)
			1.00	723(450)	823(550)
			1.60	773(500)	723(650)
			2.30	823(550)	1,023(750)
			3.20	873(600)	1,023(750)
T(CC)	Cu	Cu-Ni 合金	0.32	473(200)	523(250)
			0.65	473(200)	523(250)
			1.00	523(250)	573(300)
			1.60	573(300)	623(350)

* 常用限度とは空気中において連続使用できる温度の限度

* 過熱使用限度とは必要上やむを得ない場合に短時間使用できる温度の限度

なるべく薄肉のものを使用することが好ましい。

そこで、現場でよく用いられているハンディータイプの熱電対温度計を図6.10に示す。温度計先端のカートリッジは溶湯中に浸漬するため、数回使用すると劣化してくるので交換しなければならない。カートリッジは線径0.1 mm位のR型熱電対が透明石英管で保護されている。そのため、応答性がよく、測定精度も良いことから溶湯の温度測定に広く使われている。

表6.5 補償導線の種類⁹⁾

組み合わせて使用する熱電対の種類		補償導線の種類		使用区分および許容差による区分	構成材料	
記号	旧記号(参考)	記号	旧記号(参考)		+ 脚	- 脚
B	—	BX-G	—	一般用普通級	Cu	Cu
R	—	RX-G	—	一般用普通級	Cu	Ca および Ni を主とした合金
S		RX-H		耐熱用普通級		
K	CA	KX-G	WCA-G	一般用普通級	Ni および Cr を主とした合金	Ni を主とした合金
		KX-GS	WCA-GS	一般用精密級		
		KX-H	WCA-H	耐熱用普通級		
		KX-HS	WCA-HS	耐熱用精密級	Fe	Cu および Ni を主とした合金
		WX-G	WCA-G	一般用普通級		
		WX-H	WCA-H	耐熱用普通級		
		VX-G	WCA-G	一般用普通級		

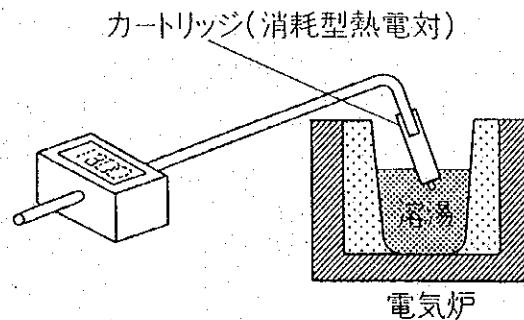


図6.10 ハンディータイプ熱電温度計の使用一例

1.4.2 光高温計

光高温計は図6.11に示すように、望遠鏡、タングステン標準電球、それに赤色フィルターなどで構成されている。

測定方法は電流によって加熱された標準電球のフィラメントの輝度が被測温度の輝度と等しくなったときの輝度温度(光高温計の読みの温度)を測定する。

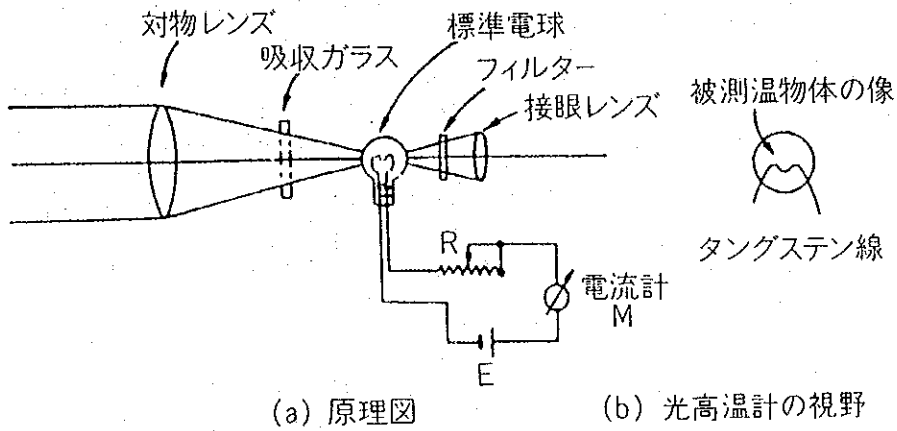


図6.11 光高温計の構造⁶⁾

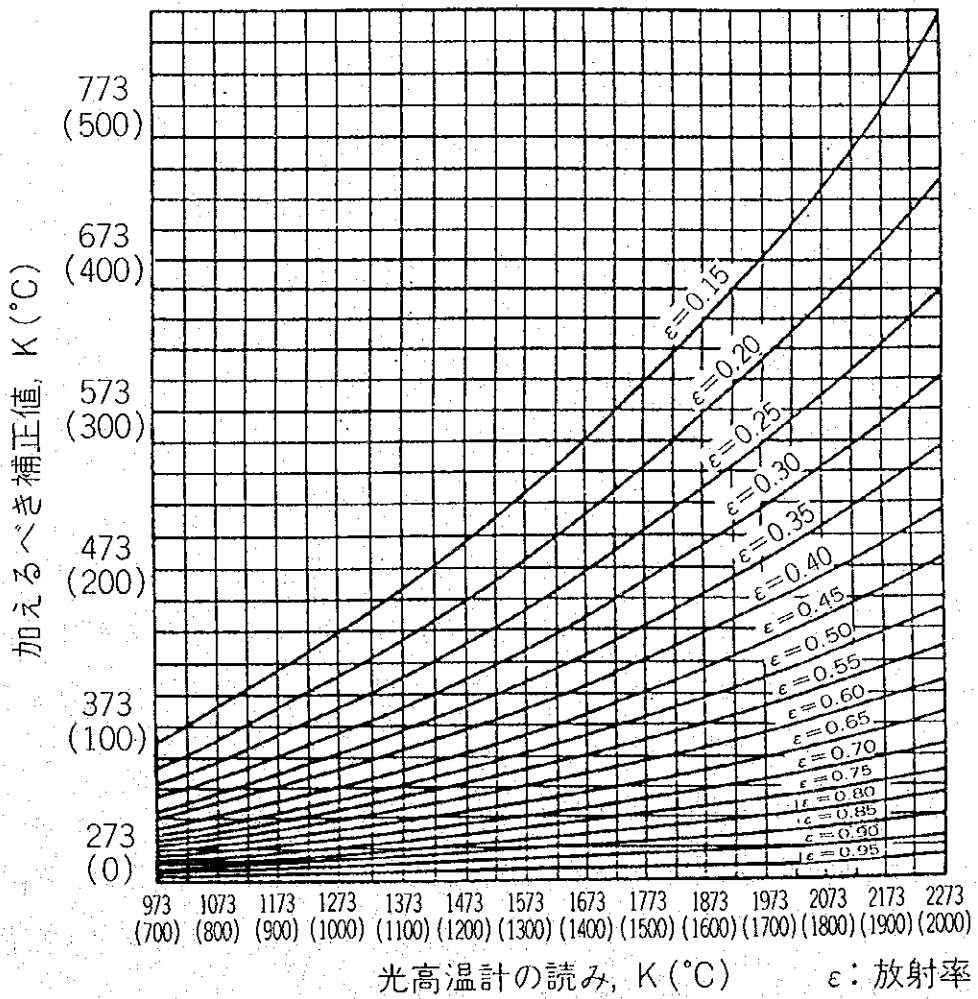


図6.12 光高温計の読みの補正值 (波長0.65 μm)⁷⁾

この時、輝度比較には通常赤色フィルター（波長 $0.65\mu\text{m}$ ）が用いられる。次に、真の温度を求めるため、図6.12に示すような、特定波長（ $0.65\mu\text{m}$ ）における被測温体の放射率（ ϵ ）による補正曲線から補正值を求め、この補正值を輝度温度に加えることにより、真の温度が求められる。波長 $0.65\mu\text{m}$ における鑄鉄溶湯の放射率は湯面にスラグ、酸化皮膜がなければ $0.4\sim 0.5$ とされている¹⁾。

光高温計の使用上の主な注意点は以下の通りである。

- ① 測定者は正常な視覚をもち、光高温計に習熟していること。
- ② 外部からの溶湯に投影した光の反射、火煙、ほこりなどは避ける。
- ③ 溶湯表面にスラグ、酸化皮膜などがある場合にはこれを取り除くか、これらのない場所で測定する。

1.4.3 放射温度計

放射を利用する温度計には前述の光高温計も含まれるが、ここでは、被測温体から発する放射エネルギーの強度を検出素子（Si, PbS など）により自動的に測定、記録する放射温度計について説明する。

この放射温度計は熱電対を溶湯に浸漬する熱電対温度計に比べ、消耗するものがなく、相当の高温まで測定できるなどの利点を持っている。しかし、欠点としては間接測定のため周囲の環境（煙、ほこりなど）の影響を受けやすい、また被測温体の放射率を調べなければならないなどが考えられる。

この欠点の一つである放射率を測定することは非常に難しい。そのため、放射温度計を現場の温度管理に使用する場合には被測温体の温度を熱電対温度計で測定し、その測定値が放射温度計の指示温度と等しくなるように放射率を決めるのも、一つの方法である。

放射温度計の一例を図6.13に示す。

溶湯（被測温体）から放射された赤外光をミラーA, Bで集光し、検出素子に導き、そのエネルギーを電気信号に変換する。これをプリアンプで増幅し、放射率補正などを行って溶湯温度をデジタル表示する。

図6.14はキューポラ、誘導炉において、放射温度計による溶湯温度の連続測定を行う方法を示している。

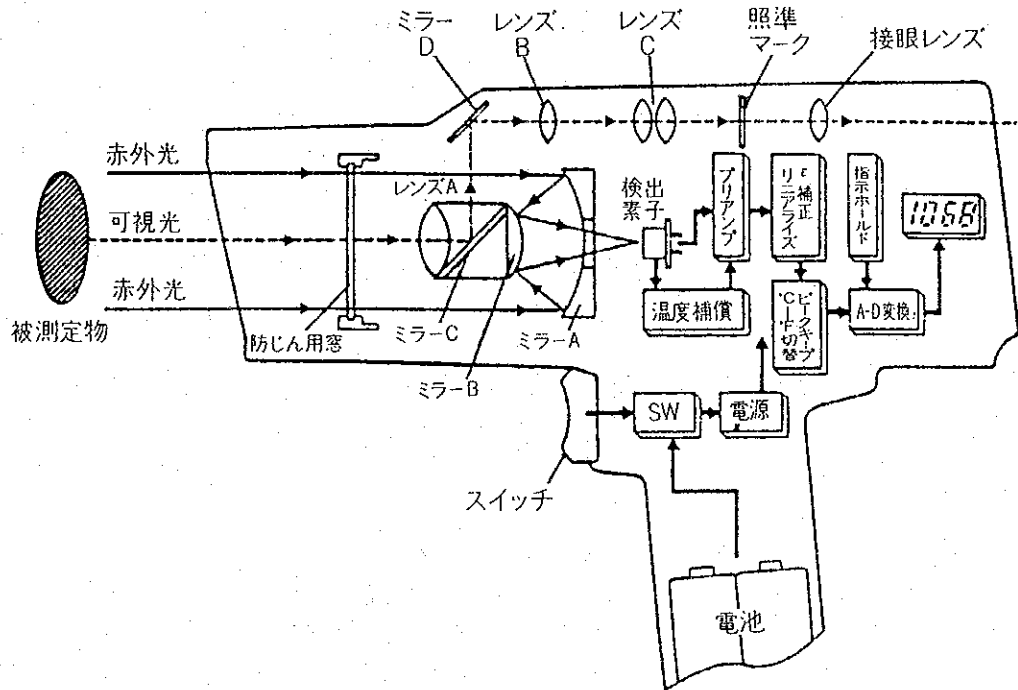


図6.13 携帯形放射温度計^{a)}

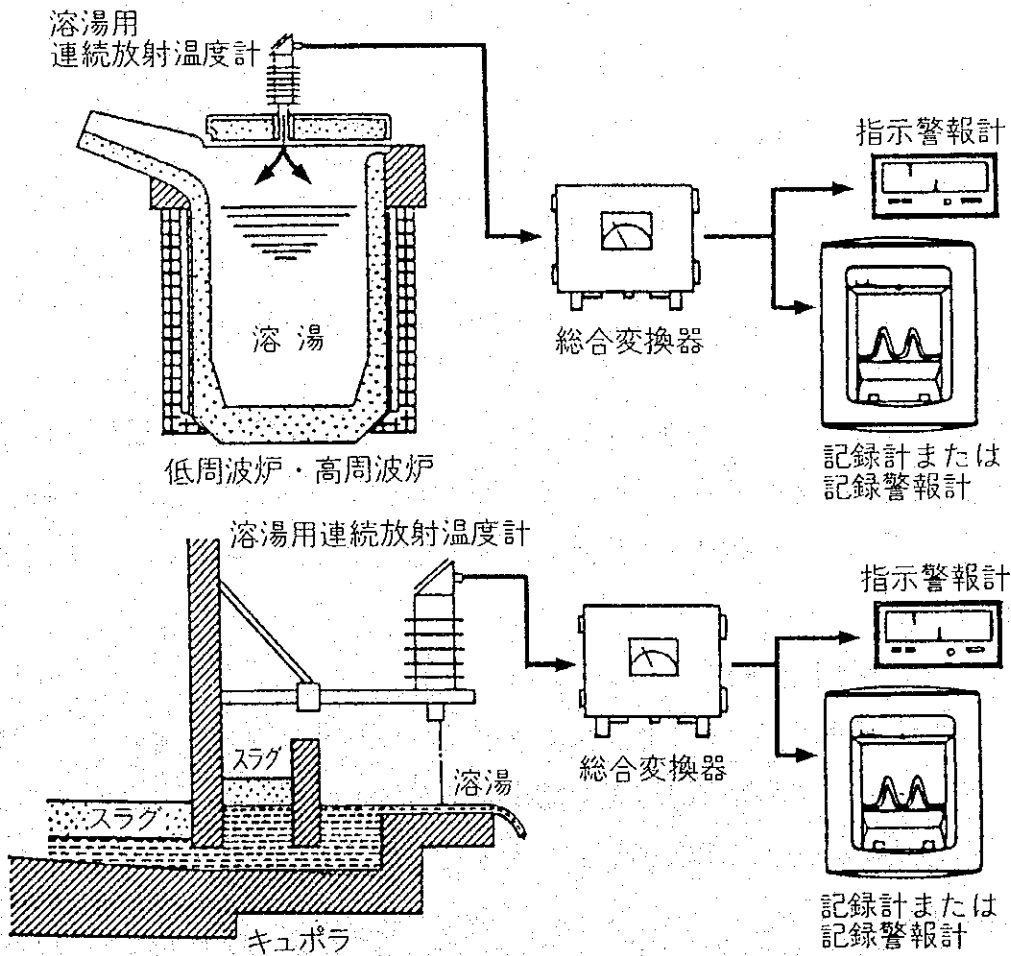


図6.14 誘導炉，キュボラ溶解作業中の放射温度計による計測^{b)}

放射温度計は溶湯との接触がないため、長時間の連続測定が可能であり、誘導炉の溶解作業で溶湯を保持する場合、必要以上の過熱が防止できる。

1.5 熱分析法

熱分析法は冷却曲線から溶湯の化学組成を迅速に判定する方法である。

鑄鉄溶湯の場合は図6.15に示すように Fe-C-Si 系の状態図において、組成 C_x の溶湯の冷却曲線を描かせると、曲線の傾きが初晶温度 (T_L) のところでなだらかになり、次に共晶温度 (T_E) 付近でなだらかになる。

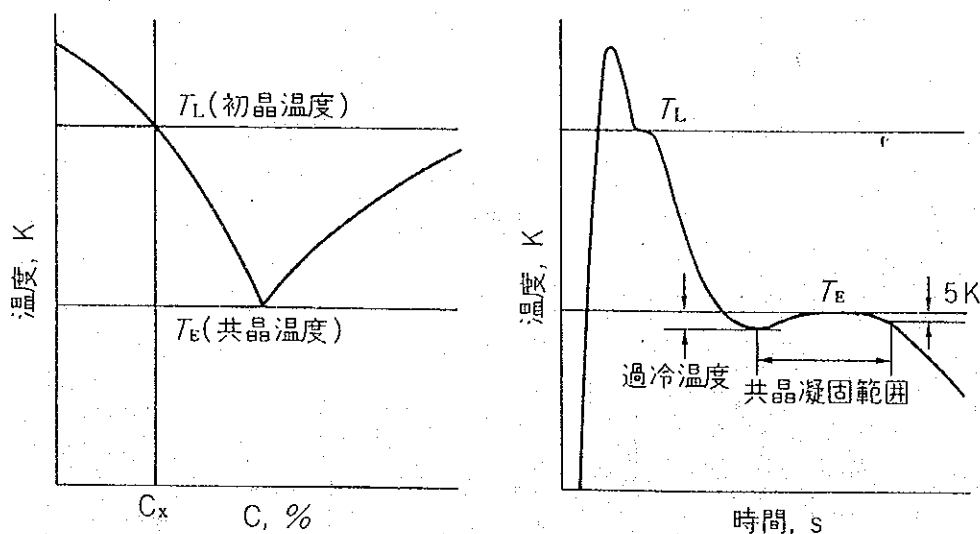


図6.15 鑄鉄の共晶付近の状態図と熱分析曲線

鑄鉄の熱分析法はこの冷却曲線で測定される初晶温度から溶湯の炭素当量 (CE 値) を判定するもので、現在も広く利用されている。そして、最近では初晶温度だけでなく共晶温度も測定し、CE 値と同時に C 量、Si 量も判定する測定器がある。

測定器の構成は図6.16に示すように、

- ① K 型熱電対がセットされ、シェル型で作られたカートリッジ
- ② カートリッジと補償導線をつなぐプラグおよび支持台。
- ③ 測定結果を表示、記録するディスプレイおよび記録計。

からなっている。

溶湯は冷却条件を一定にするため、シェル型のカートリッジに注入する。

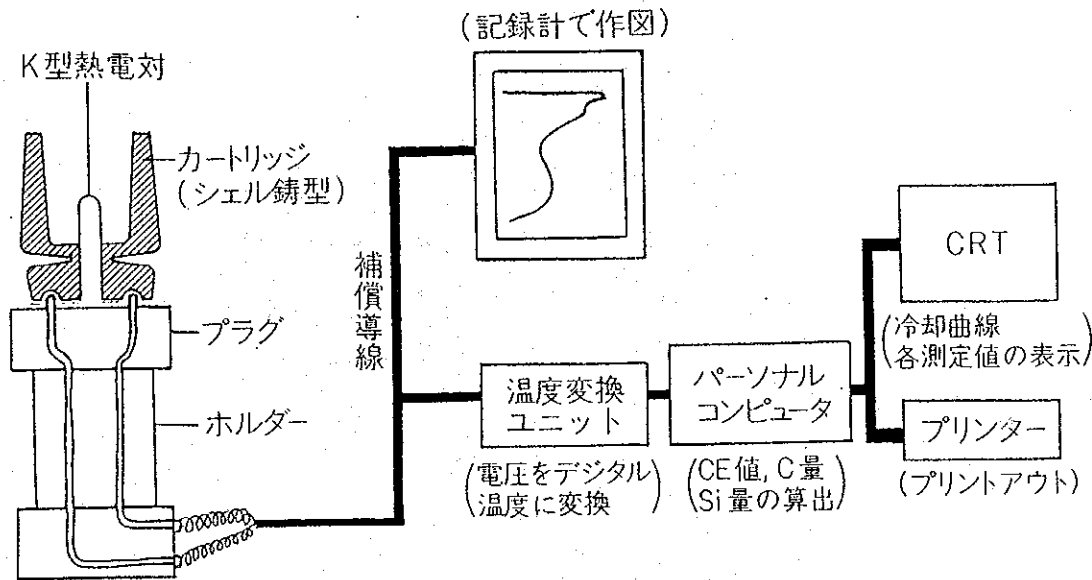


図6.16 熱分析測定器の構成

そして、記録計に初晶温度が測定された時点で、あらかじめ作成してある初晶温度とCE値との検量線よりCE値を求める。または温度変換ユニット、コンピュータを使用してディスプレイ上に自動的にCE値が表示される。

初晶温度に続き共晶温度が測定されることにより、C量、Si量が求まる。そこで、この算出法の一例を紹介する¹⁰⁾。

まず初晶温度 (T_L) がC量、Si量の関数として次の回帰式で表される。

$$T_L = A + B_C + C_{Si} \quad (A, B, C: \text{定数})$$

一方共晶温度 (T_E) もC量、Si量の関数として次の回帰式で表される。

$$T_E = A' + B'_C + C'_{Si} \quad (A', B', C': \text{定数})$$

この連立方程式よりC量について解けば、

$$C\% = \frac{CA' - C'A + C'T_L - CT_E}{(C'B - CB')}$$

このことより、上式の各定数を予め求めておけば初晶、共晶温度より、C量、Si量は計算で求められる。この場合、共晶温度は白銑凝固させた方がC量Si量の算出精度が向上する。

以上のように、熱分析測定器は初晶温度よりCE値だけを求める単機能なものから、C量、Si量の判定もできる多機能なものまで広く用いられている。また、温度の検出方法が熱電対でなく、図6.17に示す放射温度計を利用した放射CEメーターがある。この測定器はシェル型に注入した溶湯の放射エネルギー

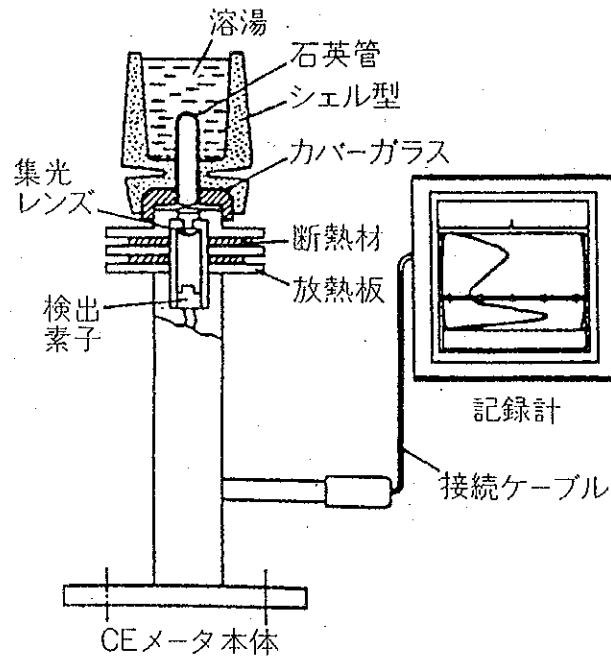


図6.17 放射 CE メータの構造¹⁰⁾

一が石英管を通して検出素子に導かれ、電気信号に変えて熱分析試験を行うものである。

以上、主に亜共晶組成の鋳鉄の熱分析試験について説明したが、過共晶組成の熱分析測定器もある。従来、過共晶組成の場合には初晶が検出できなかったが、カートリッジの改良で初晶の検出が可能となり、球状黒鉛鋳鉄の分野で広く使用されている。

4. 小型キュポラ溶解帯耐火物の 耐用性向上に関する研究

研究論文

小型キュポラ溶解帯耐火物の耐用性向上に関する研究

斎藤和夫* 川口健美** 鵜飼利昌***

Investigation to Improve Refractory Brick Performance in Melting Zone of Small Size Cupola

Kazuo Saito, Takemi Kawaguchi and Toshiaki Ukai

This study is intended to improve and extend the life of refractory brick used in the melting zone which is the most critical zone for long campaign operation of a small size cupola. To determine the wear mechanism of the refractory brick used in the melting zone, several laboratory tests and actual cupola lining tests were performed to compare various different refractory brick designs.

It was found, as a result of those tests, that the refractory brick used in the melting zone needs thermal resistance under extremely high temperatures as well as balanced erosion and corrosion resistance against slag and molten pig iron. A SiC bonded SiC-Al₂O₃ brick which was designed and produced to provide such properties was actually tested in the melting zone of a small size cupola. The brick showed the same durability as high purity SiC brick.

1. 緒言

炉径の大きい大型キュポラでは、溶解帯をノーライニングとする構造で、長期間安定した連続操業が定着してきている¹⁾。一方、溶解能力が6 t/h前後以下の小型キュポラでは、水冷による冷却効果が大いため、炉況及び溶湯性状への悪影響が懸念されることから、溶解帯の耐火物の内張りは欠かすことができない。したがって、耐火物の限界によって操業時間が律せられている。しかし最近では小型炉でも、夜間バンキングを重ね長期間連続操業を図る試みがなされており、実績が出つつある²⁾³⁾。

著者らも6 t/h冷風水冷キュポラにて、従来のろう石煉瓦張り日吹き操業に代わり、高級耐火物を適材適所に内張りして操業実験を繰返し、長期間連続操業が可能であることを実証した⁴⁾⁵⁾。この操業実験において、(1) 炉壁沿いの通風を避け、炉芯部まで送風が行届くよう適正な羽口比(羽口先風速)を確保すると、炉況の安定と耐火物の損傷を低減できること、(2) 溶解帯、羽口周辺、湯溜部上部は、耐溶滓性と機械的摩耗に対する抵抗性に優れた高SiC質耐火物が適し、湯溜部下部、炉床、出湯口は耐溶滓性と耐溶鉄性をそなえたAl₂O₃-SiC-C質耐火物が適していること、(3) 羽口周辺及び溶解帯の耐火物(以下溶解帯耐火物と総称する)の損傷がもっとも著しいことなどの諸点が明らかとなった⁵⁾。これまでの経緯から、普通の小型キュポラにおいて、長期間連

続操業を経済的に実現させるためには、溶解帯耐火物の耐用性向上が大きな課題として残っている。

炉内の耐火物の損傷機構は複雑で、経験的に知られているにすぎず、溶解帯耐火物の改善にはこの部位の損傷機構を把握することが必要である。そこで本研究では対象を溶解帯に絞り、各種の耐火物の設計概念を確立するために、操業実験と実験室における各種試験を併行して損傷機構を解析し、溶解帯耐火物として具備すべき特性を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

溶解帯耐火物は、(1) 弱酸化性雰囲気、(2) 著しい高温、(3) 溶滓、溶鉄との接触、(4) 送風、休風に伴う激しい温度変動、(5) コークスによる機械的摩耗、などに晒されている。あらかじめこの状態を念頭において数種の耐火物を選定し、これらをキュポラに内張りしてその損傷状況を詳細に検討した(以下実炉テストと称する)。次いで想定される必要特性について、実験室において比較試験を実施した(以下実験室テストと称する)。

2.1 供試耐火物

表1に実験に供した耐火物(煉瓦)の一般的性状を示

平成元年6月6日 原稿受理

* 近畿大学理工学部 工博

** 日本堆積(株) 理博

*** 同

表 1 供試耐火物の一般的特性

供試耐火物		A	B	C	D	E	F	S ₁	S ₂
特 徴		SiC 煉瓦	"	" 標準試料	Al ₂ O ₃ -SiC 煉瓦	Al ₂ O ₃ 煉瓦	ろう石煉瓦	SiC-Al ₂ O ₃ 煉瓦	"
		SiC 結合	Si ₃ N ₄ 結合	セミ SiC 結合	セミカーボン 結合	セラミック 結合	セラミック 結合	SiC 結合	SiC 結合
		← 反応結合方式			← 液相結合方式 →			← 反応結合方式 →	
主要 化学 成分	Al ₂ O ₃			2.3	84.0	94.0	20.0	36.0	36.0
	SiO ₂	2.5	2.9	10.7	4.0	5.0	77.0	2.3	2.2
	SiC	92.6	73.3	75.6	10.1			55.6	55.8
	C	1.0		5.0	1.0			1.7	1.8
	Si, N ₄		22.3						
見掛け孔率, %	15.7	15.3	14.7	13.5	14.0	25.0	16.3	17.3	
容 比 重	2.68	2.65	2.49	3.17	3.26	1.90	2.78	2.75	
圧縮強度, kg/cm ²	1500	1650	1070	1050	1400	220	980	960	
熱伝導率, Kcal/m ² ・C・h	16.0	14.0	9.1	4.3	2.7	0.8	10.0	9.3	

す。一般に耐火物の性能は、骨材と微粉部分(マトリックス)における結合方式でおおむね判断できるとされている。

まず耐溶解性に優れている高 SiC 質煉瓦 A, B, C を用意した。このうち C は現在長時間操業用に多用されているものの一つで、本研究の標準試料である。この C よりさらに低融不純物の少ないものとして A (SiC 結合品), B (Si₃N₄ 結合品) を選定した。次に耐溶銹性の高い高 Al₂O₃ 質煉瓦として D, E を用意した。金属酸化物同志の焼結である、いわゆる液相結合方式のものである。E はほぼ全 Al₂O₃ 質とし、D は SiC と C を若干量含んで、部分的にカーボン結合としたもので、耐溶解性も期待した。F は従来から常用されているろう石煉瓦で、代表的な液相結合品の一つである。

一方 S₁, S₂ 煉瓦は、A の高純度 SiC 煉瓦をベースとし、耐溶銹性を賦与すべく高純度 Al₂O₃ 粒子を併用したもので、著者らがこれまでの研究結果に基づいて本研究用に試作したものである⁵⁾。Al₂O₃-SiC 配合割合の狙いは、供試煉瓦 C と D のほぼ中間とし、このうち S₁ は骨材、微粉域共に Al₂O₃ を導入し、S₂ は骨材のみに Al₂O₃ を導入したものである。いずれも A と同様主として SiC 結合をもくろんでいる。

2.2 キュボラによる耐用性試験(実炉テスト)

供試煉瓦をキュボラ溶解帯に内張りし、損傷状況を検討した。キュボラは羽口面内径 980 mm、溶解能力約 6 t/h の冷風水冷キュボラである。溶解帯以下の耐火物の内張り状況を図 1 に示す。著者らはこのキュボラを用い、約 50 時間の連続操業を達成した。湯溜下部、炉床、出湯口はこの配材で十分な耐用性を示した。しかし、羽口部(煉瓦段数下部より 4 段目)及び 5, 6 段目は、標準品 C 煉瓦では耐用性はまだ十分ではなかった。

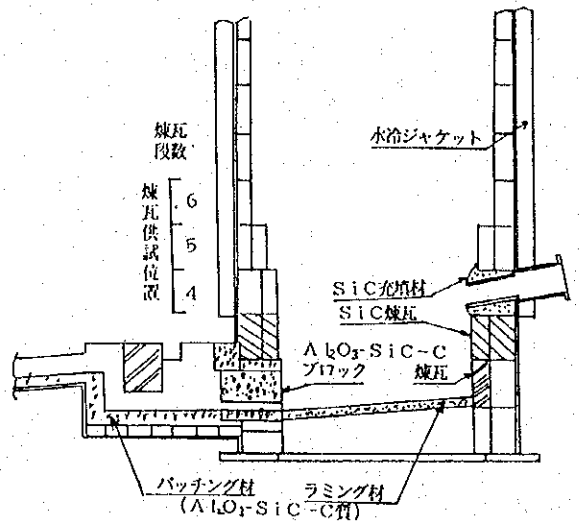


図 1 キュボラ主要部の耐火物内張り構造

この実炉テストの第 1 段階では、供試煉瓦 A~F を 5 段目、6 段目に 4 種ずつ部分張りし、その周囲はろう石煉瓦で間隔をあげ、各煉瓦の耐用性を調査した。1 日 9 時間操業後煉瓦を取外し、煉瓦中央部の残存厚さから溶損寸法を測定した。キュボラでは、内部での耐火物の損傷は均一性に欠けるので、内張箇所を替え 4 回テストを繰り返した。

実炉テストの第 2 段階は、標準試料 C と試作品 S₁, S₂ を 4, 5, 6 段目に部分張りした。無補修のまま日吹き操業を継続することとし、そのため供試煉瓦周辺や湯溜部煉瓦も、著者らがこれまで使用してきた標準の高耐用品を内張りした。床落し後炉内径を計測して溶損量を測定し、残厚が確認できる程度の日数まで操業を繰り返した。

2.3 供試耐火物の特性比較試験(実験室テスト)

前記の実炉テストと併行して、溶解帯耐火物の損傷機構を解明するため実験室テストを行った。溶解帯耐火物

の損傷に対し、雰囲気、高温、温度変動、溶滴接触、機械的摩耗などの環境因子のうちいずれが支配的であるかはまだ不明確である。そこでそれぞれの環境因子に対する抵抗性を、次に示すような各種試験法により比較調査し、実炉テストの結果を解析する手がかりとした。

環境因子	評価試験方法	必要特性の呼称
酸化雰囲気	酸化重量変化試験	→耐酸化性
温度変動	熱衝撃試験	→耐スポーリング性
高温負荷	熱間曲げ強度試験	} →耐熱性
	荷重軟化試験	
機械的摩耗	熱間曲げ強度試験	→耐摩耗性
溶滴接触	侵食試験	→耐食性(耐溶銹性, 耐溶滓性)

酸化重量変化試験；各供試煉瓦から円柱試片(φ40×h40 mm)を採取し、乾燥後電気炉(1200℃, 大気雰囲気)内にて4時間加熱保持し、前後の重量変化を測定した。

熱衝撃試験；上記円柱試片を乾燥後、1200℃に保持した電気炉内に挿入し、1時間加熱後常温水槽内に直ちに投入し、亀裂発生の有無を目視観察する。続いてこれを十分乾燥した後、この熱サイクルを繰返し、亀裂の発生した熱処理回数を測定した。

熱間曲げ強度試験；試験方法はASTM, C-583-76に準拠した。各供試煉瓦より、各面が平行かつ平滑な短冊状試片(w20×t15×l130 mm)を採取し、十分乾燥後1450℃における抗折強度(kgf/mm)を測定した。

荷重軟化試験；試験方法は学振法6(学振124委)に準拠した。よく乾燥した角柱試片(□20×h4)を、黒鉛製管状電極を熱源とする電気炉内に挿入し、荷重用押し棒の下にセットした。荷重は押し棒上端に設けた重錘にて2 kgf/cm²とした。炉内をアルゴンガスにて置換後、1800℃まで徐々に加熱した。昇温及び降温過程の線膨脹率変化を押し棒上端に設けてあるセンサにて測定した。

侵食試験；溶解帯耐火物は非常な高温の下で、溶滓、溶銹による化学反応侵食とコークスなどによる機械的損傷が複雑にからみあって損傷しているものと考えられる。しかし前者については、溶滴中の溶滓、溶銹のいずれが支配的であるか不明である。そこで侵食試験は、回転侵食と高周波加熱侵食試験の2方式で実施することとした。試験方法の概略を図2, 3に示す。

供試体は図2の中に示したようにいずれも台形断面の短冊状とし、試片8枚を円周状に組み実験炉にセットし、底部及び外周部はAl₂O₃-SiC系ランニング材を充填した。回転侵食試験(図2)では、溶解材料にFC25

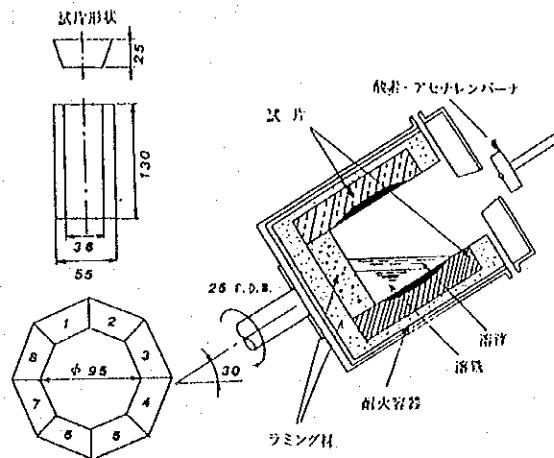


図2 回転侵食試験法の概要

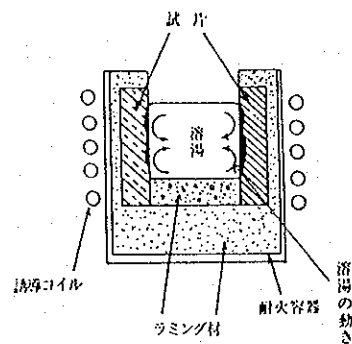


図3 高周波加熱侵食試験法の概要

(約1.2 kg)とキューボラスラグ(約230 g, CaO 30.7%, SiO₂ 47.8%, Al₂O₃ 9.3%, FeO 1.9%, MgO 1.1%, MnO 4.5%, 塩基度0.67)を投入し、酸素-アセチレンバーナにて溶解した。溶解し始めてから炉体を30°傾斜し、25 rpmで回転させた。約1600℃に保持し、供試体に侵食性の劣るろう石煉瓦を加えた時は1時間、ろう石煉瓦を含まない時は、1時間ごとに溶解材料を入れ換え、合計5時間実施した。この操作後試験片を取出し、稼働面からの最大溶損寸法を測定した。

高周波加熱侵食試験(図3)では、溶解材料はFC25のみとし、特に溶銹による侵食性を試験した。高周波誘導加熱にて鑄鉄を溶解し、約1700℃にて約1時間保持した。試験終了後、前記と同様に稼働面からの最大溶損寸法を測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 実炉テストの結果と評価

実炉テスト第1段階の結果を表2に示した。ここで溶損速度(mm/day)とは、1日9時間の日吹き操業における溶損量のことである。操業ごとに測定値がばらつく

表 2 実炉テスト(第1段階)における耐火物の溶損速度

供試体		A	B	C	D	E	F
溶損速度 mm/day	6段目	10 ~ 13	10 ~ 16	15 ~ 20	33 ~ 38	47 ~ 49	20 ~ 60
	5段目	22 ~ 23	19 ~ 30	25 ~ 35	30 ~ 31	95 ~ 101	70 ~ 125

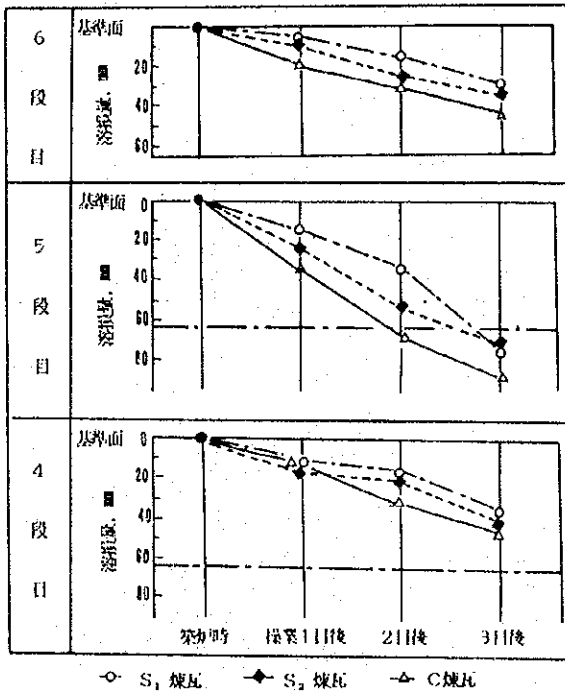


図 4 実炉テスト(第2段階)における耐火物の溶損状況

ので範囲をもって示した。この結果耐用性の序列はA≒B>C>D>E>Fとなり、特に羽口部直上の5段目においては、SiCベースの反応結合型煉瓦A, B, Cと、液相結合型主体の煉瓦D, E, Fとの間に一線を画す大きな差が現れた。

一方、標準試料Cと試作品S₁, S₂を比較した実炉テスト第2段階は、無補修で日吹き操業を3日間連続することができた。その結果を図4に示す。S₁, S₂はほぼ同等の成績で、Cより約20%耐用性が優れている。ここで試みに、著者らがS₁, S₂を用いて長時間操業を行った実績と、Aについては、別途継続してテストした結果を併示してみると図5のごとくなる。SiC 90%級のAが非常に耐用性が優れているが、この煉瓦は高価なため、常用することは経済的にひきあわない。ここで著者らが、経済的な面も考慮して試作したS₁, S₂(SiC-Al₂O₃質)が、図中で明らかなように、Aと比肩し得る結果を得ていることは、溶解帯耐火物の耐用性向上に一つの指針が得られたと考えている。

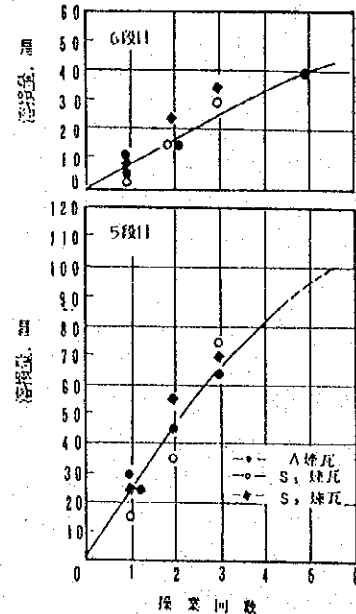


図 5 A及びS₁ S₂煉瓦の溶損状況の比較

3.2 実炉テスト後の残存耐火物性状調査結果

損傷状況の痕跡を探るため、回収煉瓦の性状を調査した。まず煉瓦の切断面を注意深く目視観察した。その結果、ごく表面部(厚さ1mm未満)に黒褐色の銹、滓が固着、侵入している薄層を除けば、その内部には顕著な変色、変質、亀裂などはほとんど認められなかった。次に損傷面から約10mm間隔に小片を切り出し、気孔率、比重を測定し、未使用煉瓦とその数値を比較した。その結果、液相結合方式であるD, E, Fは損傷面から10mmの範囲で、見掛気孔率が使用前の数値より非常に低下し、高比重が幾分増加していた。これは開放気孔が密閉化していることと、若干微密化しているものと判断される。しかし、主にSiC結合からなるA, B, C, S₁, S₂にはほとんど変化が認められなかった。

さらに上記試片をX線回折分析したところ、D, Eの損傷面側でムライト(3Al₂O₃・2SiO₂)を、Fはクリストバライト(SiO₂)を生成していることが認められた。このことから、少なくとも損傷面から10mm程度は、1500℃以上の熱履歴を受けていると判断した。これに対しA, B, C, S₁, S₂については、ごくわずか痕跡程度にSiO₂(クリストバライト)やSi₂ON₂の生成が認

表3 供試耐火物の実験室テスト結果

試験項目	測定項目	A	B	C	D	E	F	S ₁	S ₂
a 酸化重量変化試験 (at 1200 °C)	重量変化率 (%)	0.98	0.86	0.67	0.06	0.0	0.0	0.66	0.54
b 熱衝撃試験 (1200°C 水冷)	亀裂発生時の熱処理回数	>10	>10	8	4	3	2	9	9
c 熱間曲げ強度試験 (at 1450 °C)	熱間曲げ強度 (kg/cm ²)	300	340	50	18	12	<1	230	180
d 荷重軟化試験 (2kg/cm ² 荷重)	荷重軟化点 (T, °C)	1750	1700	1600	1250	1150	550	1700	1700
e 侵食試験 1) 回転侵食 (1600 °C×1時間) 2) 回転侵食 (1800 °C×5時間) 3) 高周波加熱侵食 (1700 °C×1時間) (但し溶鉄のみ)	溶損深さ(mm)	3.3	3.7	3.0	2.8	4.7	15.2	-	-
	"	10.9	-	15.3	17.5	21.7	-	17.0	16.6
	溶湯表面部	15.8	-	7.6	8.5	10.1	-	2.8	2.9
	溶湯下部	8.4	-	7.4	3.9	3.0	-	1.8	1.8

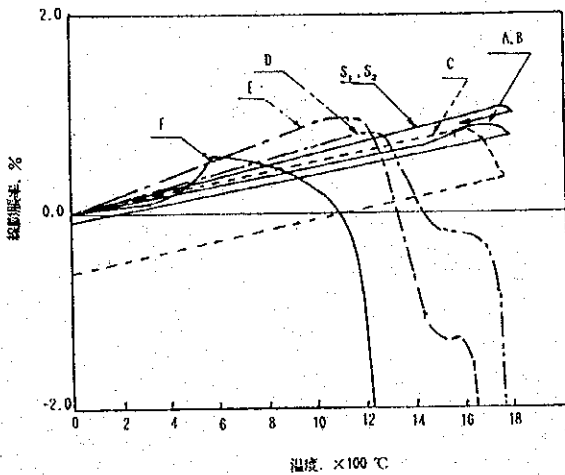


図6 荷重軟化試験の測定結果

められ、表層にわずかに酸化を蒙っているのみであった⁶⁾。以上の回収煉瓦の性状調査を総合すると、損傷に係わる外来成分の侵入、それによる組成変化、特性変化などの前駆体がほとんど認められなかった。そこで溶解帯耐火物は、専ら損傷面のごく表層のみが高温負荷と溶滴接触によって溶解損耗、侵食損耗を生じているものと考えた。

3.3 実験室テストの結果と評価

実験室テスト結果を各特性値ごとにまとめ表3に示す。以下それぞれの実験結果について逐次検討する。

耐酸化性-酸化重量変化試験；測定結果を表3, a項に示したが、A, B, C, D, S₁, S₂にごくわずかな重量変化が認められただけであった。SiCまたはSi₃N₄を含んだ耐火物は、表層部でこれらが酸化されてSiO₂となり(増量)、またこれが被膜を形成して内部への酸化進行を阻止していた。

耐スポーリング性-熱衝撃試験；測定結果を表3, b項に示した。液相結合によるE, Fはより低い回数で亀

裂が発生した。これに対しSiCあるいはSi₃N₄結合によるSiC質煉瓦A, B, C及びS₁, S₂は非常に耐性が大きい。これらは主要組成であるSiC, Si₃N₄自身が高熱伝導性、かつ低熱膨脹性であり、また高温に至るまで結合強度が大きいこともあいまって、熱的スポーリングに強い抵抗性を持つものと推定した。

耐熱性-熱間曲げ強度試験, 荷重軟化試験；熱間曲げ強度は高温下(本研究では1450 °C)での結合強度を示し、荷重軟化は高温下(本研究では1800 °Cまで)での軟化収縮挙動を見るものである。この両特性で耐熱性を評価した。熱間曲げ強度試験結果を表3, c項に示した。荷重軟化試験の結果は図6に示し、この熱膨脹曲線において、線収縮に転ずる最高温度を荷重軟化点T₁として表3, d項に示した。

液相結合が主体であるD, E, Fは熱間強度が低く、かつかなり低温域で軟化変形していることがわかる。一方、SiC結合やSi₃N₄結合が主体であるA, B, S₁, S₂は熱間強度が高く、熱膨脹率も小さいことがわかる。またこれらは1700 °C台の高い荷重軟化点を有している。Cはほぼ両者の中間に位置している。これは酸化防止剤として低融成分が微量配合されていることと、不純物が介在していることにより、結果として結合方式が両者の中間となっていることによるものと判断した。耐熱性の序列は次のごとく評価される。

$$A \approx B \approx S_1 \approx S_2 > C > D > E > F$$

なお炉内での機械的摩耗に対する抵抗性は、熱間曲げ強度、すなわち高温下での耐火物の結合強度で評価できるから、上記の耐熱性の序列と同様であるとみなせる⁷⁾。これらの傾向は表2及び図4, 5の実炉テストの結果と極めて良く一致していることがわかる。

耐食性-回転侵食試験, 高周波加熱侵食試験；侵食試験結果を各試片の溶損プロフィールとして図7に示し、またそれぞれの最大溶損寸法を整理して表3, e項に示した。

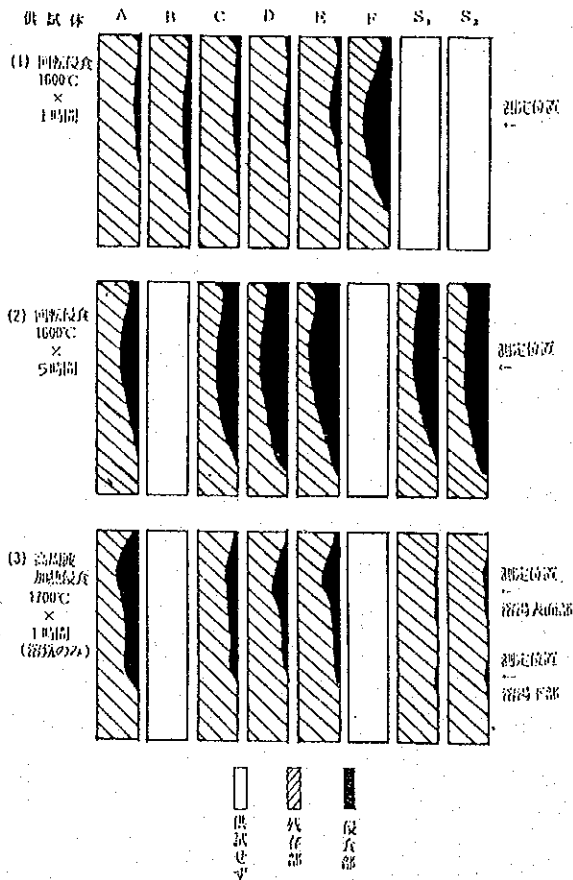


図7 侵食試験後の溶損プロフィール

1回目の回転侵食試験(1時間)はA, B, C, D, E, Fの組合せで実施した。ろう石煉瓦Fが他より際立って溶損し、次いで全 Al_2O_3 質Eの溶損が大きい。2回目の試験(5時間)ではA, C, D, E, S_1 , S_2 の組合せで実施したところ、定性的にSiCの組成割合に相関した耐食性を示し、序列は次のごとくになった。

$$A > C > S_1 \approx S_2 > D > E$$

この回転侵食試験の傾向は、必ずしも実炉の結果とは一致しない。

一方、高周波加熱侵食試験を行った結果を回転侵食試験と比較すると、耐食性の序列が逆転し、 S_1 , S_2 (高純度 Al_2O_3 -SiC質)が非常に耐食性が良く、A, Cはむしろ悪い結果となり、序列は次のごとくなり、実炉テストの結果とは全く一致しない。

$$S_1 \approx S_2 > D > E > C > A$$

このことは、SiCは溶銑による溶解度が大きいことによると考えている。

3.4 溶解帯耐火物の損傷機構と具備特性

前節までは述べてきた実炉テスト結果と実験室テスト結果の関連性を考察してみる。まず実炉テストにおける

供試耐火物の耐用性は次の序列であった。

$$\text{[第1段階テスト]} ; A \approx B > C > D > E > F$$

$$\text{[第2段階テスト]} ; S_1 \approx S_2 > C$$

この序列は実験室テストでの次のような耐熱性の序列とすぶる良い一致を示している。

$$\text{[耐熱性テスト]} ; A \approx B \geq S_1 \approx S_2 > C > D > E > F$$

回収耐火物の調査からも、煉瓦の内面ではあまり性状の変化を認めず、耐熱性の乏しかったD, E, Fはほとんど変質層を残存せしめずに、表面から速やかに溶損しているものと考えられる。したがって、溶解帯では超高温状態になっているので、耐火物はまず耐熱性を具備することがもっとも重要であることを意味している。

上記の耐用性の序列は、侵食試験(2)の結果が耐熱性に次いでほぼ一致している。しかし S_1 , S_2 は実炉テストで優位にあったが、当試験ではD相当であった。一方、侵食試験(3)によると、溶湯表面部、下部共に高い耐食性を示した。そこでD, E, Fが耐熱性に劣り、流体摩擦を同時に蒙っていることを考慮すると、侵食試験(2)の結果は耐溶解性に優れたSiCの含有量に相関しており、侵食試験(3)の結果はSiCより耐溶銑性に優れた Al_2O_3 の含有量に相関していることがわかる。実炉における溶滴侵食は、溶銑と共に、溶銑アタックをかなり蒙っていることを示唆している⁸⁾。

非水冷羽口は、耐火物の損傷に従い次第に鉄皮側に後退するので、送風は炉壁沿いに上昇する傾向がある。このためまず熱的スポーリングや酸化による耐火物損傷に対する影響が大きいと考えていた。しかし残存煉瓦の調査から、スポーリングについてはD煉瓦の耐性があれば影響がなく、また酸化については、カーボンの酸化消耗が考えられるが、供試煉瓦程度のフリーカーボンの存在は、SiCの共存下ではさして心配ないものと判断できた。

結局、実炉及び実験室テストを総合すると、溶解帯耐火物として具備すべき重要な特性は、主として耐熱性であり、次いで耐食性である。すなわち溶解帯においては、耐火物は稼働面のごく表層部が超高温に晒されて軟化、融出し、溶銑、溶滓にて構成鉱物がそれぞれ侵食溶解され、併せて固体、流体摩擦を蒙って損傷するものと判断した。このような損傷機構に対応するには、まず耐熱性を向上させるため、低融点成分を除き、高純度原料を活用し、液相結合を避けることが必要である。また更に特性を向上させるには、耐溶解性、耐溶銑性のバランスを図った鉱物組成の選択が重要である。溶解帯耐火物の耐用性向上のみに視点を当てれば、結果として過剰品質となって高価品となることは避けられない。しかし著者らがこれまでの小型キューボラの長時間操業における実績を

基に、新たに試作したSiC-Al₂O₃質のS煉瓦は、実炉及び実験室テストの両者において、高純度SiC煉瓦に匹敵できる使用成果を上げ得たことは、今後溶解帯耐火物の耐用性向上に一つの大きな指針を得ることができたと考える。

4. 結 論

小型キュボラの長時間操業を可能とするために、現状では耐火物の高級化を企て試行している。目下の最重要課題は溶解帯耐火物の耐用性向上である。この部位の損傷機構を把握するために、数種の異なった設計に基づく耐火物について、実炉テスト及び実験室テストを実施し、その結果次の知見を得た。

- (1) 実炉テストによる耐用性の序列は、耐火物の熱間曲げ強度及び荷重軟化点のそれとよく一致し、これら二つの特性で説明される耐熱性がもっとも重要な具備特性である。
- (2) 溶滓、溶銑共存下ならびに溶銑のみでの侵食試験結果から、溶解帯における侵食は溶滓と共に溶銑による影響が大きい。
- (3) 溶解帯での耐火物の損傷機構は、耐火物稼働面のごく表層部が超高温に晒されて軟化、融出し、銑、滓混

合した溶滴による侵食溶解と、固体、流体摩擦を同時に蒙っている。

- (4) 高耐用の溶解帯耐火物としては、低融点成分を避け、さらに液相結合を避けて耐熱性を確保し、耐溶銑性、耐溶滓性をバランスさせた鉱物組成とすることが必要である。
- (5) 上記の要点を盛り込んで設計試作したSiC結合のSiC-Al₂O₃質煉瓦は、実炉テストにおいて高純度SiC煉瓦とはほぼ匹敵する高耐用性を示した。

文 献

- 1) P. W. Bardenheuer: Trans. Am. Foundryman (1984), 92
- 2) 佐々木: JACT NEWS (1984), 12, 27
- 3) 関戸, 大滝, 西川, 中井: 日本鋳物協会第109回全国講演大会概要集 (1986), 30
- 4) 松原, 田中, 斎藤, 太田: ibid (1986), 29
- 5) 斎藤: 日本鋳物協会関西支部昭和62年度春季講演大会概要集 (1987), 13
- 6) 大庭: 耐火物, 25 (1973), 202
- 7) 素木: 築炉用セラミック材料 (焼結セラミック詳論. 3) 技報堂 (1973), 541
- 8) K. Sugita, Y. Shinohara: XXVth International Colloquium on Refractories, Aachen (1982)

5. シリンダーライナーの日本の現状

((財) 素形材センター)

1. ライナー製造の状況

表1に日本の主要なライナー製造企業の現状を示した。

T社とN社がシリンダーライナーの専門メーカーとして、需要の半分以上をこなしている。船用大型ではTK社がほとんど独占的に製造している。 $\phi 80\text{mm}$ 以下は、アルミの鑄包みによる薄壁ライナーで、自動車ガソリンエンジン用または二輪車用ライナーである。 $\phi 90\text{mm} \sim \phi 140\text{mm}$ は、主としてディーゼルエンジン用のライナーで、当工場が主体として生産している範囲である。 $\phi 250\text{mm}$ 以上が船用・発電用に用いられるライナーである。乾式のライナーは $\phi 140\text{mm}$ 以下であり、シリンダースリーブと呼ばれ、湿式のライナーは $\phi 80\text{mm}$ 以上の大きさのものである。乾式のシリンダースリーブは鑄が小さく、 $\phi 80\text{mm}$ 以下で、アルミ製シリンダーブロックに鑄包むものは外周が平滑でなく、凹凸や刻みを付けて黒皮で用いるものもある。

湿式のシリンダースリーブは鑄が乾式より大きくなり、外周には加工による溝が付けられるので、外周面は平滑でなくなり、黒皮部分も残っている。

また、2サイクルのシリンダーライナーは吸気用の窓が付くが、機械加工により開けられる。 $\phi 250\text{mm}$ 以上の船用のものは鑄放しである。

この種のシリンダーライナーの形状は色々の種類があるが、日本の各社はそれぞれの事情に応じて遠心鑄造法と砂型鑄造法とを使い分けている。

材質についても種々あるが、ボロン入りが一般化している。

表面処理ではパーカライジングや軟窒化処理が主に行われ、クロムメッキは船用の一部に適用されている。鋼管のクロムメッキライナーは、一部の企業でのみ採用されている製造方法である。

2. ライナーの各鑄造法の特徴

日本における実例として、金型遠心鑄造法を参考資料9に、砂型鑄造法を参考資料11に示す。

各鑄造法の特徴は以下の通りである。

①一本取り金型遠心鑄造法

現状の鑄造法であるが、作業性、生産性が悪く、その上作業の標準化が難しく、人手任せになっている為、作業サイクルによるバラツキ、人為によるバラツキが出やすい。

②一本取り多台運転方式

ターンテーブル上に遠心鑄造機を載せ、作業をサイクル化させる。生産が管理された状態で行える。機械化はし易いのでT社などで用いられており、当工場でも検討の価値がある。

表1 日本の主要なシリンダーライナー製造企業

企業名	会社概要	鑄造品	鑄造設備					
			遠心			生砂型		
			短尺	長尺	砂型	縦め煉 (DISA)	平込	置注
帝国 ピストリング (株)	ピストリング、シリンダーライナー製造の専門企業 日本のトップ企業 客先：全エンジンメーカー (800万本)	φ180mm以下	○	○		○		
		φ180mm以上			○			
		φ200mm以上			○			○
日本 ピストリング (株)	ピストリング、シリンダーライナー製造の専門企業 日本有数の生産量 客先：全エンジンメーカー (850万本)	φ80mm以下	○	○			○ (横) 中子ナツ	
		φ180mm以下					○	
		φ180mm以上	○	○				○ (横) 中子ナツ
(株) クボタ	鑄鉄管メーカー (100万本)	φ140mm以下		○				
森川産業(株)	鑄造メーカー 客先：ボク用ライナー (300万本)	φ80mm以下 (2輪、4輪) *ダイカスト 鑄包用				○		
愛知機械(株)	自動車系メーカー 客先：ニッサン用ライナー (100万本)	φ80mm以下 *ダイカスト鑄包用					○ (横) 中子ナツ	
いずみ工業(株)	ピストン、ライナー製造 専門企業 (100万本)	φ140 mm以下 鋼管ライナー いすゞの一部	鋼管、クロムメッキ					
東亜工機(株)	船用・発電用エンジンメーカー向け	φ300 mm以上	○		○			○
その他 エンジンメーカー		φ300 mm以上 船用・発電用 (フランジ型)						○

注：() 内数値は、ライナー年間生産量の概略予測

③長尺遠心鑄造機単体運転

フランジ径の小さいものは1～2 mの長尺物とすれば作業性が良くなり、材料利用率も上がり生産管理もし易い。図1に長尺遠心鑄造ライナーの材料利用率の例を示す。

写真1は中国における長尺遠心鑄造機のカatalogである。

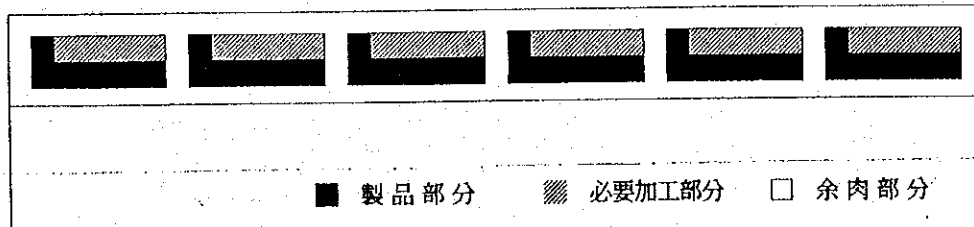


図1 長尺遠心鑄造ライナーの材料利用状況

④長尺遠心鑄造プラント

薄肉、打ち込みライナーの大量生産に用いるプラントである。図2のプロセスで、図3のような個々の長尺金型がロールで遠心力を与えられ、自動注湯され金型へ次の冷却過程、取り出し、清掃・塗型、元へもどるといように完全自動化されたものである。

日本ではK社やT社はプラント化して効果をあげている。

フランジなしは勿論、あってもフランジ径の小さいものでは最高の材料利用率と最小の不良率で、最も効率良く用いられる。

参考資料10に、この実例を示す。

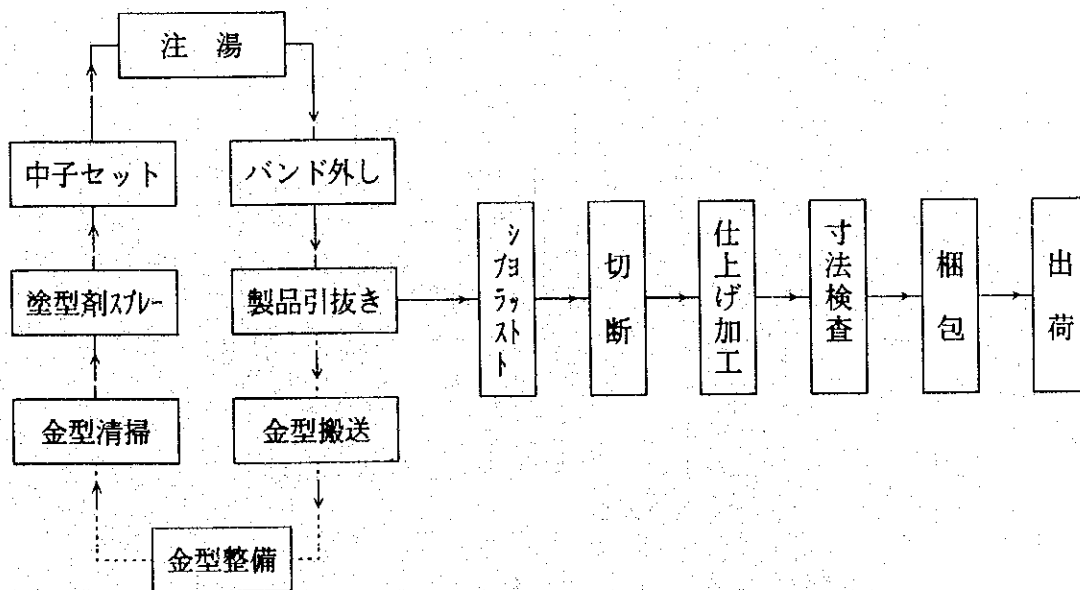


図2 長尺遠心鑄造プロセスのフロー

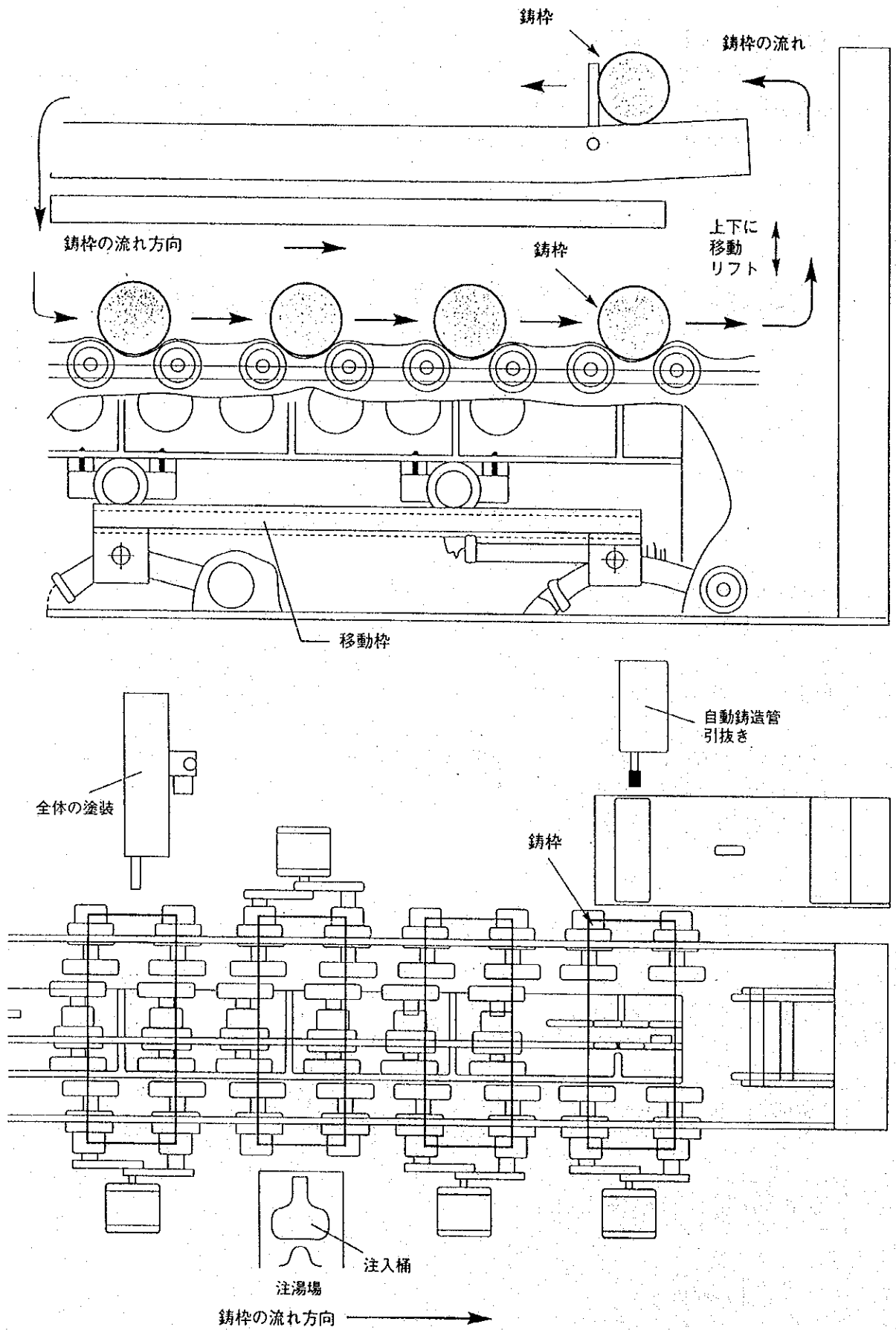


図 3 長尺遠心鋳造プラント

⑤砂型・横型遠心铸造法

金型の内面に砂を詰めて注湯する遠心铸造法である。砂型にはCO₂ 铸型あるいはフラン樹脂铸型が用いられる。φ200 以上の大径のものに適用される。①の方法を一步進めて、2本取りも行え、船用ライナー等、大径用として採用されている。(図4)

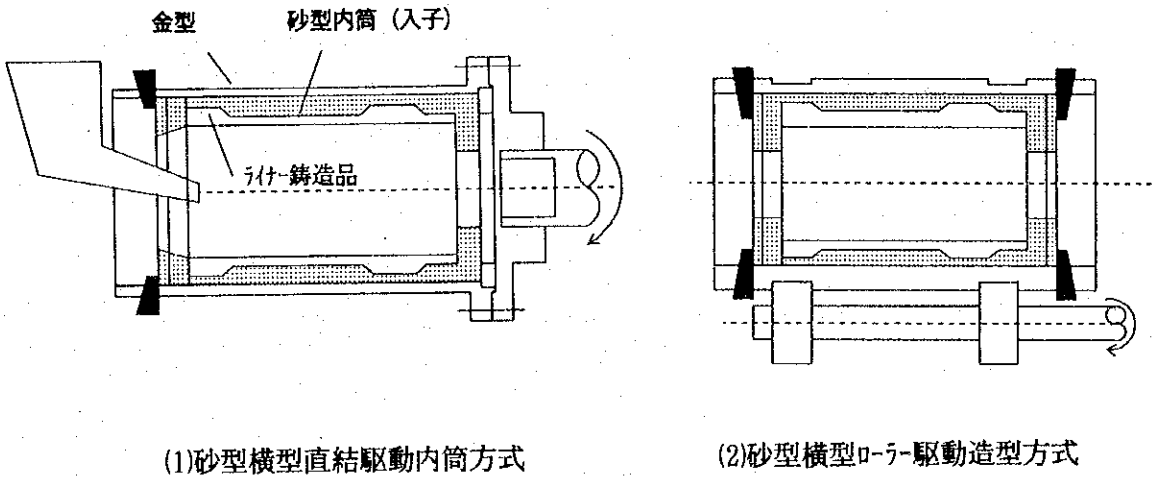


図4 砂型・横型遠心铸造法

⑥砂型・縦型遠心铸造法

大型になると横型より縦型が用いられることが多い。これも金型の内面に砂型を入れて実施している。

⑦生型砂・縦込縦铸込方式

いわゆるDISAMATIC方式で、無枠であり、生産性も高く、生砂型としては設備面積も少なく、推薦できる铸造方法である。将来、他の機械部品の铸造にも利用できるメリットもある。ライナー外面に凹凸の多いものなどに最適で材料利用率も高い。内側にはシェル中子を挿入する。(図5と図6)

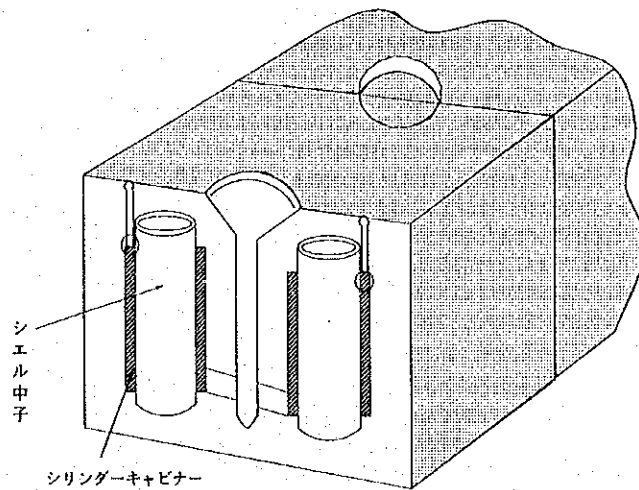


図5 生型垂直方法 (DISAMATIC)

⑧生型砂平込（縦）

生型砂の枠込のプラントで600 × 700mm 以上の枠が用いられる。

ライナーは縦方向に位置し、数本の相込めである。上下枠で見切るがφ80mm以下のものでは、中子を用いずに生型で内面を作るので生産性は良い。

しかし、前記のDISAMATIC に比較すると、生産性は落ち、管理が難しい。

この鑄造法はガソリン用の小型ライナーに用いられる。参考資料-11に例を示す。

⑨生型砂平込め（横）

前記のプラントで、製品を横にして鑄造する。シェル中子を用いて内面を形成するが注湯の特性上内面に欠陥が出やすく、スリーブにはのような肉薄物には不向きである。またφ150mm 位までが限界と言われている。（図7（1）・（2）と図8）

⑩超大型用置注ぎ法

大型ライナーは、ほとんど2サイクルライナーとなるので、吸気のポートがある。大径になると遠心鑄造は難しくなり、フラン樹脂鑄型による置き注ぎが行われる。

（図9）

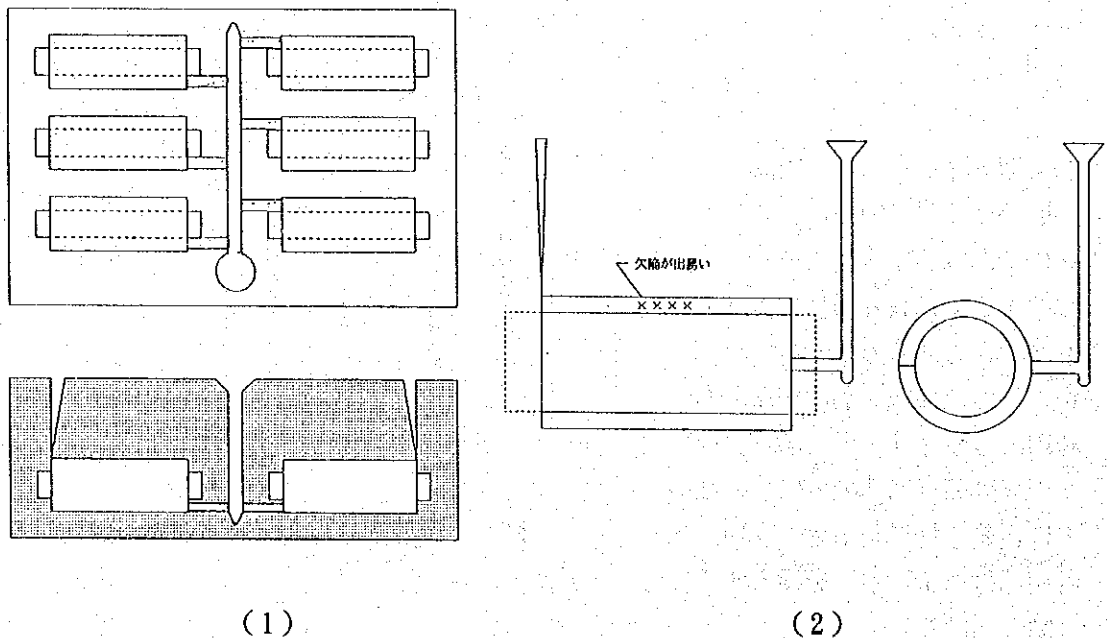


図7 生型砂平込め（横）

図6 無枠縦鋳込み (DISAMATIC)図

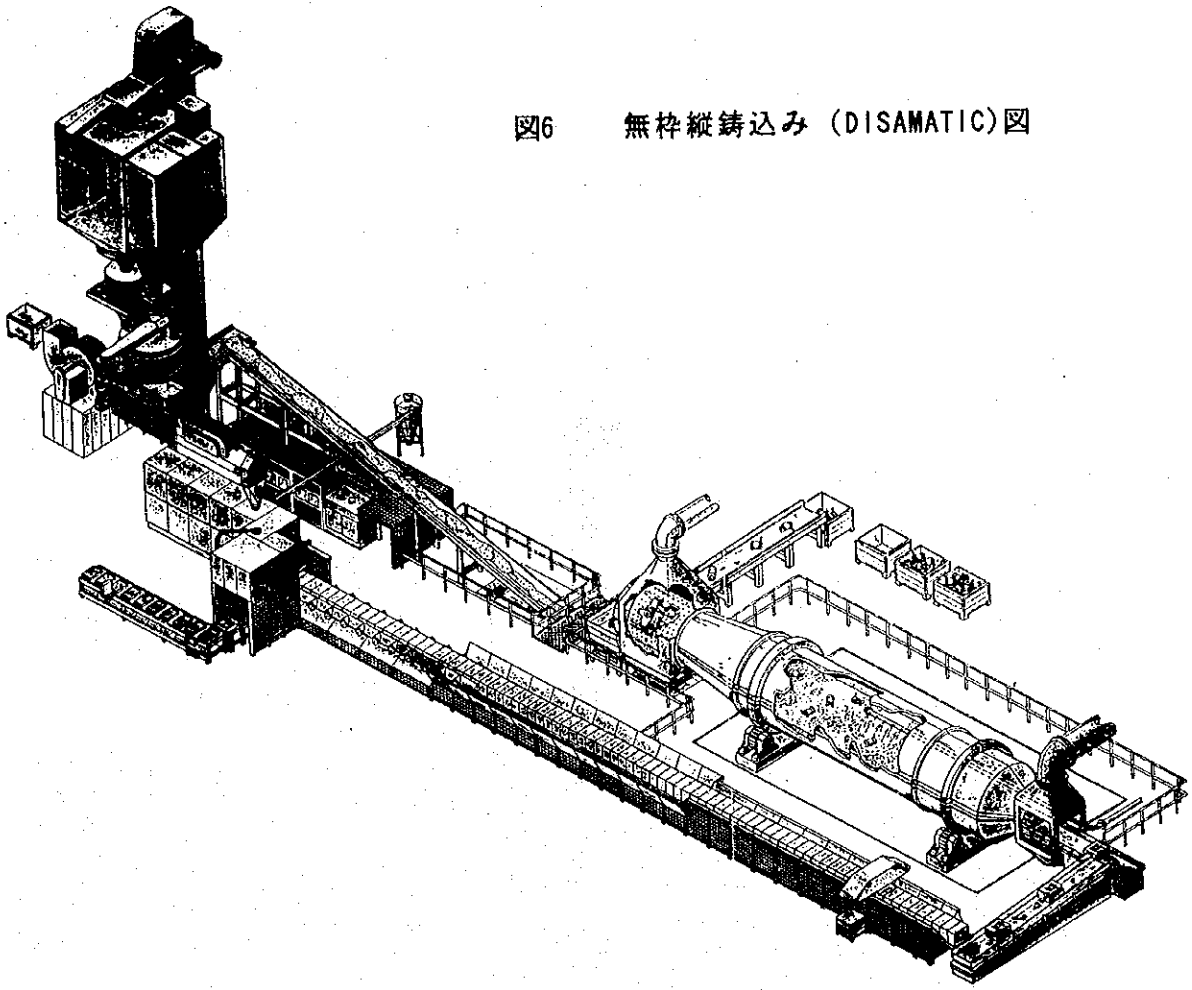
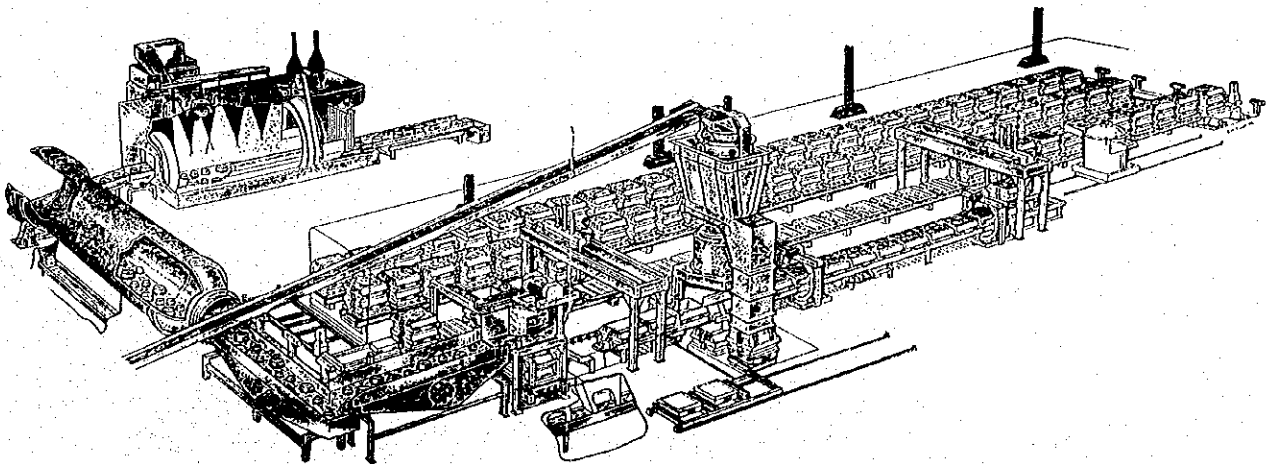


図8 枠込平込横鋳込み (BMD)図



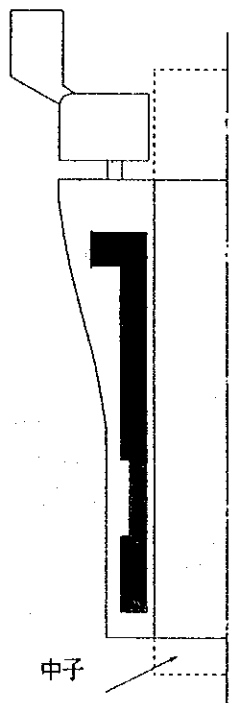
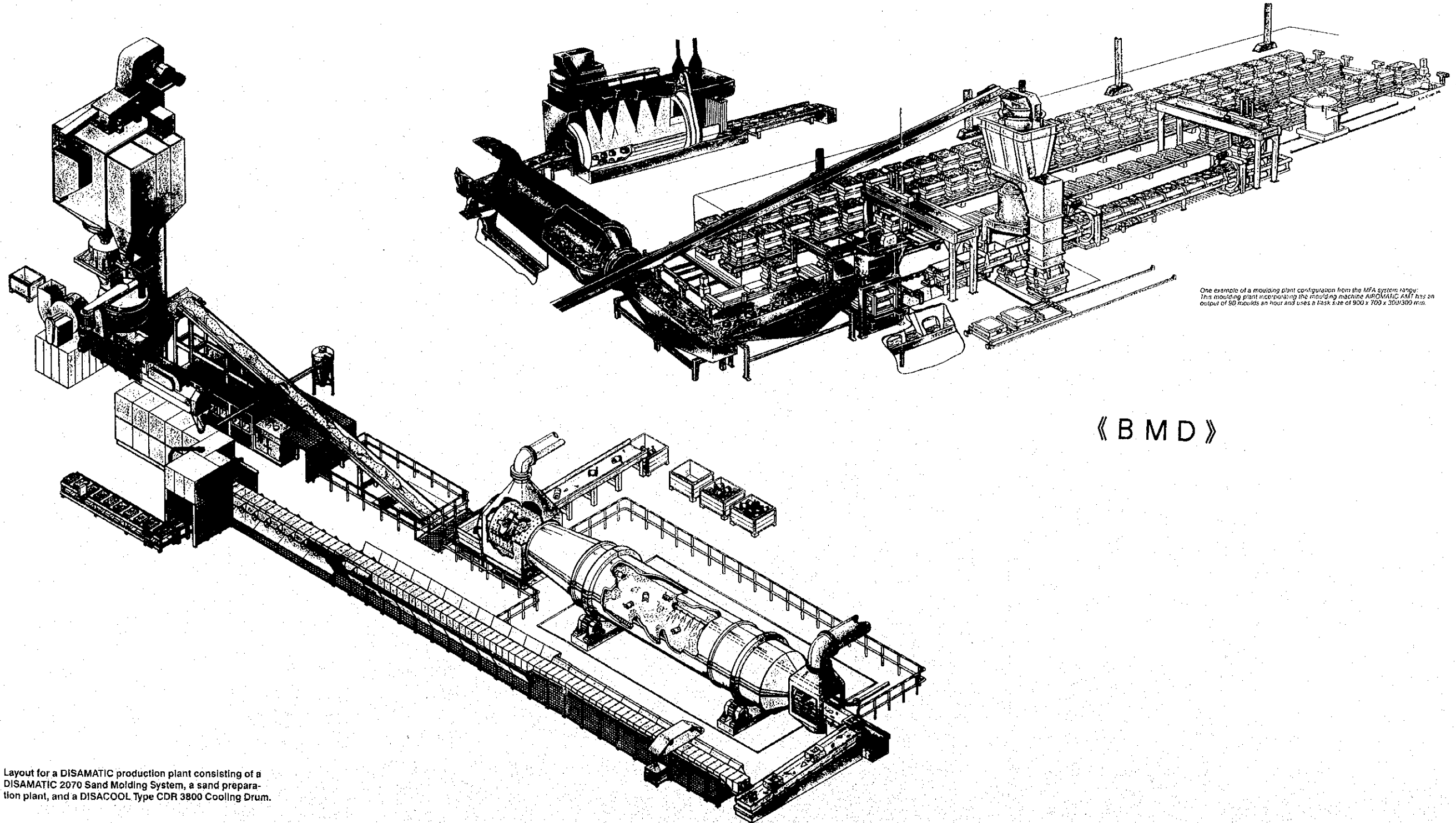


図9 置き注ぎ法

6. 生砂型プラント関連資料

(DISA、BMD)

《DISA》



*One example of a moulding plant configuration from the MFA system range:
This moulding plant incorporating the moulding machine AIRONATIC ASH has an
output of 50 moulds an hour and uses a flask size of 900 x 700 x 300/300 mm.*

《BMD》

Layout for a DISAMATIC production plant consisting of a DISAMATIC 2070 Sand Molding System, a sand preparation plant, and a DISACOOOL Type CDR 3800 Cooling Drum.

