

はじめに

最近の中小製造業の現場では、熟練技術の伝承・承継の体制が整っておらず、熟練技術者の高齢化とあいまって製造能力の維持と技術・技能の高度化が困難な状況となっています。

中小企業総合事業団では、そうした中小企業の熟練技能者が有する技術を伝承可能なものとし、一般的に利用可能な形にするために、技術・技能のマニュアル化、ビデオ化等を行っています。このたび、その一環として『平成12年度ものづくり人材支援基盤整備事業－技術・技能の客観化、マニュアル化等－「築炉技能マニュアル－応用編」』を作成いたしました。

中小企業の皆様に有効に活用頂き、技術・技能を継承すべき若年層等の人材の確保・育成の一助になれば幸いに存じます。

なお、本書の作成にあたり、ご協力頂きました社団法人日本工業炉協会をはじめ関係者各位に厚く御礼申し上げます。

平成13年2月

中小企業総合事業団
情報・技術部
部長 鈴木 達也

目 次

概 要

第1章 築炉施工計画	1
1 築炉施工前の準備と知識	1
1・1 施工順序	1
1・1・1 仮設物の準備	1
1・1・2 使用道具、機械、器具の調達と設置	1
1・1・3 墨出しとやりかたの設置	2
1・1・4 足場の組み立て	2
1・1・5 築炉作業	2
1・2 工程表の作成	2
1・3 炉の設計図の読図	4
1・3・1 設計図の画法	4
1・3・2 図面に用いられる線、尺度、記号などの規定	10
1・4 資材の手配、運搬および保管	13
1・4・1 資材の手配	13
1・4・2 運搬および保管	13
1・5 作業員の手配と配置	16
1・5・1 工事責任者	16
1・5・2 安全責任者	16
1・5・3 築炉技能者組長	16
1・5・4 築炉技能者	16
1・5・5 手許作業員	16
1・5・6 運搬作業員	16
1・5・7 その他の作業員	17
1・6 関連工事との関係	17
2 築炉施工設備（仮設）	17
2・1 混練設備	17
2・2 運搬設備	17
2・2・1 材料置場から現場までの横持ち運搬用機器	17
2・2・2 築炉現場迄の小運搬	18
2・3 給排水設備	18
2・4 電気設備	18
2・5 高圧空気設備	18
3 築炉施工用足場の種類および用途	19
3・1 枠組み足場	22
3・2 単管足場	23
4 築炉関連工事	24
4・1 炉の基礎工事	24

4・1・1	根切り	24
4・1・2	杭打ち	24
4・1・3	割り栗石敷き	24
4・1・4	地固め	24
4・1・5	配筋	25
4・1・6	仮り枠取り付け	25
4・1・7	コンクリート練り	25
4・1・8	コンクリートの打ち込み	26
4・1・9	養生	26
4・1・10	仮枠外し	26
4・1・11	埋め戻し	26
4・1・12	仕上げ塗り	26
4・1・13	炉の基礎工事に関する一般的諸注意	26
4・2	炉枠工事	26
4・3	炉付帯金物据え付け工事	27
4・4	煙道および煙突工事	27
4・5	配管工事	28
4・6	燃焼機器、電熱機器工事	29
4・6・1	燃焼装置の取り付け工事	29
4・6・2	電熱機器の取り付け工事	29
4・7	電気配線工事	29
4・8	断熱保温工事	30
4・9	溶接工事	30
4・10	計装工事	30
4・11	塗装工事	31
第2章	耐火物の性質と用途	33
1	耐火物の意義	33
2	耐火物の分類	33
2・1	化学的性質による分類	33
2・2	化学組成による分類	33
2・3	形態による分類	34
3	耐火物の具備すべき性質	35
3・1	耐火度	36
3・2	温度変化に対する抵抗性	36
3・2・1	熱膨張率	37
3・2・2	残存線膨張収縮率	37
3・2・3	熱伝導率	37
3・2・4	比熱容量	38
3・2・5	クリープ、荷重軟化点	38
3・3	組織	39

3・3・1	比重、気孔率	39
3・3・2	通気率・気孔径分布	40
3・4	機械的性質	40
3・4・1	圧縮強さ、曲げ強さ	40
3・5	耐食性	41
3・5・1	気体との反応	41
3・5・2	融体との反応	42
3・5・3	固体との反応	42
4	定形耐火物	43
4・1	けい石質れんが	43
4・1・1	けい石れんが	43
4・1・2	熔融石英れんが	44
4・2	粘土質れんが	44
4・2・1	粘土れんが	44
4・3	高アルミナ質れんが	45
4・3・1	高アルミナ質れんが	45
4・3・2	アルミナ質れんが	46
4・4	ジルコニア質れんが	46
4・5	クロム質れんが	47
4・6	マグネシアれんが	47
4・7	マグネシア・クロム質れんが	48
4・8	マグネシアーカーボンれんが	49
4・9	ドロマイト質れんが	50
4・10	スピネル質れんが	50
4・11	炭化けい素質れんが	50
4・12	炭素質れんが	51
4・13	耐火断熱れんが	52
5	耐火れんがの形状、寸法規格	53
6	耐火れんがの寸法許容差	57
6・1	標準形れんが	57
6・2	異形れんが	57
7	普通れんが(赤れんが)	58
8	不定形耐火物	59
8・1	キャストابل	59
8・1・1	アルミナセメントボンドキャストابل	60
8・1・2	けい酸塩ボンドキャストابل	61
8・1・3	低セメントキャストابل	61
8・1・4	クレーボンドキャストابل	61
8・1・5	セメントレスキャストابل	62
8・1・6	軽量断熱キャストابل	62

8・2	プラスチック耐火物	62
8・2・1	粘土質プラスチック耐火物	62
8・2・2	高アルミナ質プラスチック耐火物	63
8・2・3	クロム質プラスチック耐火物	63
8・3	吹付材	63
8・4	モルタル	64
8・4・1	耐火モルタル	64
8・4・2	断熱モルタル	64
8・4・3	石灰モルタル	65
9	繊維状高温材料（セラミックファイバ）	65
9・1	Al ₂ O ₃ 値40～60%クラスのセラミックファイバ	65
9・2	Al ₂ O ₃ 値72～97%クラスのアルミナファイバ	66
9・3	ジルコニアファイバ	67
9・4	セラミックファイバの製品形態と用途	67
第3章	工業炉に関する一般的知識	71
1	工業炉の種類と用途	71
1・1	熱源と加熱方式による分類	71
1・2	操業方法による分類	71
2	鉄鋼製造設備と耐火物	72
2・1	溶鋳炉（高炉）（ Blast Furnace ）	72
2・1・1	各部名称	72
2・1・2	使用耐火物	72
2・1・3	築炉工事	74
2・2	熱風炉（ Hot Stove ）	75
2・2・1	内燃式熱風炉	75
2・2・2	外燃式熱風炉	76
2・2・3	使用耐火物	77
2・2・4	築炉工事	77
2・3	コークス炉（ Coke Oven ）	79
2・3・1	各部の構造と使用耐火物	80
2・3・2	使用耐火物	81
2・3・3	築炉工事	81
2・4	混銑車	82
2・4・1	使用耐火物	83
2・4・2	築炉工事	83
2・5	転炉（ LD転炉 ）	83
2・5・1	転炉の種類	84
2・5・2	炉の構造と名称	84
2・5・3	使用耐火物	85
2・5・4	築炉工事	85

2・6	電気炉	86
2・6・1	使用耐火物	86
2・6・2	築炉工事	87
2・7	キュポラ	88
2・7・1	各部名称	89
2・7・2	使用耐火物	89
2・7・3	築炉工事	89
2・8	RH 真空脱ガス装置	90
2・8・1	各部名称	91
2・8・2	使用耐火物	91
2・8・3	築炉工事	92
2・9	加熱炉	92
2・9・1	加熱炉の種類	92
2・9・2	使用耐火物	95
3	アルミ溶解炉及び保持炉	98
3・1	概要	98
3・2	炉構造	100
3・3	耐火物構造	100
3・4	耐火物施工の注意点	101
4	ガラス	101
4・1	ガラス溶解炉の種類	101
4・2	ガラス溶解炉の構造	106
4・2・1	ガラス溶解炉の各部構造	106
4・2・2	ガラス溶解炉に使用されている耐火物	108
5	セメント	110
5・1	セメント製造設備	110
5・2	セメント製造工程	110
5・3	セメントキルン、プレヒータに使用される耐火物	111
6	都市ごみ、産業廃棄物焼却炉	112
6・1	ストーカ式焼却炉	112
6・1・1	各部の名称	112
6・1・2	使用耐火物	113
6・1・3	築炉工事	113
6・2	流動床式焼却炉	113
6・2・1	各部の名称	114
6・2・2	使用耐火物	114
6・2・3	築炉工事	114
6・3	灰溶融炉	115
6・3・1	各部の名称	115
6・3・2	使用耐火物	115

6・3・3	築炉工事	115
7	燃料及び燃焼	116
7・1	燃料	116
7・1・1	燃料の種類、性質及び用途	116
7・1・2	固体燃料	116
7・1・3	液体燃料	117
7・1・4	気体燃料	118
7・2	燃焼	118
7・2・1	燃焼概要	118
7・2・2	燃焼効率	118
7・2・3	煙突作用	119
7・2・4	固体燃料の燃焼	119
7・2・5	液体燃料の燃焼	120
7・2・6	気体燃料の燃焼	120
8	熱伝達（伝熱計算）	120
8・1	熱伝導	121
8・2	対流伝熱	122
8・3	輻射（放射）伝熱	123
8・4	伝熱計算	124
第4章	安全衛生	127
1	築炉工事に伴う安全衛生	127
1・1	機械、工具、原材料等の危険性と有害性、及び取扱方法	127
1・2	安全装置、有害物局排装置又は保護具の性能と取扱い方法	128
1・2・1	機械等の安全に関する一般基準	128
1・2・2	通路等の安全基準	129
1・2・3	足場の安全基準	129
1・2・4	墜落、飛来落下防止基準	130
1・2・5	電気災害防止基準	130
1・2・6	保護具	131
1・2・7	原材料等の有害性	133
1・3	作業基準	133
1・4	点検	133
1・4・1	安全点検制度	134
1・4・2	安全点検の結果に基づく是正	134
1・4・3	チェックリストの作成	134
1・5	築炉工事に関し発生する恐れのある疾病の原因及び予防	134
1・6	整理整頓及び清潔の保持	135
1・7	事故時等における応急措置及び退避	135
1・8	その他築炉工事に關する安全又は衛生のための必要事項	136
1・8・1	有害な作業環境	136

1・9	労働安全衛生法関係法令（築炉工事に関する部分）	137
1・10	フォークリフト走行操作上の注意事項	139

参考文献

築炉技能士受検テキスト（日本工業炉協会）

日本築炉協会編、「築炉技能ハンドブック」（1985）

耐火物技術協会編、「耐火物手帳'97」（1997）

社団法人 窯業協会 小型ガラス炉の冷修

建設業労働災害防止協会 能力向上教育用テキスト・

足場の組立て等作業の安全（第2版・平成3年4月20日）

社団法人 日本硝子製品工業会 1993ガラス製造の現場技術

旭硝子株式会社 電鋳耐火物カタログ

結合耐火物カタログ

不定形耐火物カタログ

株式会社 ヨータイ ガラス工業用耐火物

井原築炉工業(株) 築炉技能士テキスト

築炉技能マニュアル 応用編

概要

本築炉技能マニュアル応用編は、基礎編に続き築炉技能者が知っていなければならないものもろのことがらに就いて述べるものである。その概要は、1. 築炉施工計画、2. 耐火物の種類、性質と用途、3. 炉の種類、構造及び用途、4. 安全衛生、に関するものであり、いずれも築炉技能者として、熟知、習得していなければならない事項である。

第1章 築炉施工計画

本章では、築炉工事にはいる以前に、知らねばならぬ準備、手順、図面に関する知識、諸設備、材料の搬入と保管、従業者の手配、必要設備、関連する工事などについて述べる。いずれも工事を順調に進めるための事柄である。

1 築炉施工前の準備と知識

1・1 施工順序

1・1・1 仮設物の準備

普通、工業炉の築炉工事は、工場建屋が出来てから行われるので、築炉作業のための仮設の建屋は必要ないが、屋外で築炉作業を行うような場合は、相応な仮設建屋を作らなければならない。

また、築炉工事に必要な資材、機材の置場としての倉庫がない場合も風雨に耐える仮設建屋が必要である。

現場の仮事務所、作業用詰所なども、工場敷地内に設置することが多い。

いずれの場合も、恒久的なものではないので、経費面からして、必要最低限にとどめる。場合によっては適当な大きさのプレハブをリースするのもよい。

1・1・2 使用道具、機械、器具の調達と設置

築炉作業には次のものが必要である。

- a) 電源：照明電源としては100V、機器関係としては200～400Vの電源盤の設置と配線工事を行う。電源の供給が得られない場合は、最大の必要電力が得られる発電機を用意する。
- b) 空気源：圧縮空気を必要とする場合は、所定の圧力、容量が得られるコンプレッサ、エアブローア、ファン類を用意する。
- c) 計測：トランシット、レベル、メジャー
- d) 搬送：トラック、フォークリフト、ねこ車、ベルトコンベア、クレン、ホイスト、チェンブロック、他
- e) 材料加工：れんが切断機、研磨機

f) 混練：モルタル、不定形耐火物用ミキサ

g) 照明：現場用各種照明器具

1・1・3 墨出しとやりかたの設置

「築炉技能マニュアル—基礎編 2. 築炉の段取り (1) 墨出し (2) やりかた」の項参照

1・1・4 足場の組み立て

築炉工事の高所作業においては、足場を設置し、作業の進行にともなって作業床をせりあげてゆく。

1・1・5 築炉作業

れんがの加工、れんが積み、目地処理、不定形耐火物の施工と養生、線維質耐火物の施工、枠類の組み立て、枠外し、施工後の清掃と点検をもって築炉作業は終了する。

1・2 工程表の作成

工程表は工事を順調に進めるために、予め作成される図表である。工程表は、工事施工の順序、所要日数が主体であるが、現場における色々な条件を考慮に入れて作成しなければならない。各種の作業が円滑に進み無事に工事が修了するための指標となるものであるから入念に検討して作成する。作成に当っては、注文主、関連業者、当事者、直接に現場に携わる者達の意見や了解を得て作るとよい。次に工程表作成上留意しなければならない事項について述べる。

a) 施工順序を誤らないこと。

b) 完全な施工を行うために必要な時間や日数を確保すること。

c) 工事の中で行われる異種の作業が重複して混乱することがないように調整すること。

d) 工事量、工事現場の広さ、作業者の能力、員数などを考慮、把握の上作成すること。

e) 周辺で行われる他の関連する工事の担当者とも事前に十分打ち合わせを行っておくこと。

これは、広さが限られている工事現場で他の業種の作業員達との間で、作業場所をめぐってのトラブルや、上下重複作業による危険などを避けるために重要なことである。

f) 季節、気候、風土などを考慮すること。

一般に季節による日照時間の長短は、作業能率に関係する。気候、乾季雨季や気温の高低も仕事に影響を与える。特に寒冷地や屋外など悪条件の工事の工程表は、これらを十分に考慮に入れた余裕のあるものでなければならない。

現在、一般に使われている工事工程表には次の二種類がある。その一つはガントチャートと呼ばれるもので図1・1のように、作業別に各工期が棒線で示されている。昔から用いられているもので、上下に工事区分、左右に期日の座標をとったものである。

上記の工程表の難点は、各作業別の関連性が欠けていることで、異種の作業が多様化した工事現場や総合組み立て作業には適していない。これを補うために近年より採用されているのがネットワーク手法による工程表である。ネットワーク工程表は図1・2に示すように、

横軸に細分化した作業の日程表をとり、縦軸に各作業間の関連性を矢印線で継いだものである。

細分化した各作業の開始と終了点には○印を付け、各作業の相互関係を矢印で結んでいる。

図1・2は簡単な築炉工事のもので、これに基づいてネットワーク工程表を説明する。

工事番号	工事名称 加熱炉修理工程	機械関係			着工	予定	完了	予定
		れんが壊し	れんが積み	実績		実績		
日数	1	2	3	4	5			
工事区分	12	12	12	12	12			
炉体放冷	7					7	停止96h	
ダウンテーク、スケール出し		8 18	7 15					
加、予熱帯、スケール出し			7 15					
スキッドパイプ、キャストブル脱落部補修				キャストブル 7 スキッドレール及びスタッド取付け 3 15				
スキッド、サポート取替え			サポート埋込炉床 18 18 3					
れんが積み、プラスチック施工				プラスチック 3 8				
下部バーナ壁積替え		7 17	8 21					
均熱帯、炉床積替え		17 7	19 7					
シュートサイド、金物れんが積替え			7 15	10 15				
No. 1, 2 加熱炉スケール出しプラスチック補修		プラスチック抽出 7 13					停止40h	

図1・1 工事工程表の一例

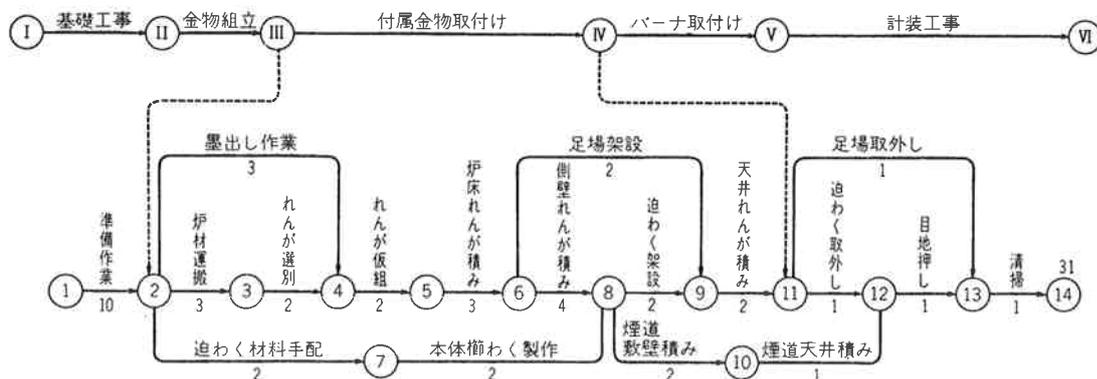


図1・2 築炉工事のネットワーク

- a) 準備作業とか炉材運搬などの矢印は作業や行為を表わし、矢印の上にその工程名称、準備作業、炉材運搬などを記す。
- b) ○印は、工程作業の開始と終了を示し、①の準備作業は、①で始まり②で終了することを表わす。
- c) 矢印の下に工期の日数を示す。
- d) また②は、準備作業と、炉材運搬の結合点でもあって、準備作業が终れば、炉材運搬に入れることを示す。
- e) ②から墨出し作業及びせり枠材料手配を始めることができ、それぞれ④及び⑦までに终ればよい。このように○印からは何本もの矢印が出入りすることがある。
- f) ③→②の点線矢印は、同時点のことを表わし、金物組立てが完了すると同時に炉材運搬を始めることを示す。

次に、このネットワーク工程表から工期短縮を検討する。築炉工事の全工期を求めるには、①—②—③—④—⑤—⑥—⑦—⑧—⑨—⑩—⑪—⑫—⑬—⑭の工期を加えればよい。すなわち、31日である。この数字を⑭の上に記してある。もしこの工期を短縮したい場合には、上記の①～⑭間の工期を早めねばならない。

②→⑦→⑧や、⑥→⑨は、それぞれの工期に余裕があるからといって、これを1日や2日早めても、全体の工期を短縮することができない。このように工期の短縮を図るには、各作業の内どの矢印が重要な経路を占めているかを見出して、これの短縮を検討することである。工期短縮を考える上で、ネットワーク手法は大変役立つのである。

また、ネットワーク工程表により作業の合理化を図ることができる。工事を進めるに当っては、作業員の配置を日々平均化させることが大切で、コストを安くするうえにも望ましいことである。このような場合は工数や経費を更に同図に記入することにより、総合的なネットワークを作ることも可能である。以上述べたように、ネットワーク工程表を用いれば、工期の短縮、コストの切り下げなど、工事の合理化を進めるうえで有益な資料を引き出すことができる。

1・3 炉の設計図の読図

一般に機械、器具、建物などを作る場合には、まずそれらの製作物の形状、構造、寸法、材料、その他の必要事項を示すための図面が設計者によって作られる。

図面は設計図とも呼ばれ製作者はこれに基いて製作物を作る。

築炉工事においても同様に炉の設計図面が提供され、それに従って作業が行われる。従って築炉技能者も十分図面が解読できるよう学習しなければならない。

1・3・1 設計図の画法

一般に物の形を表わす方法として、投視画法と投影画法があり、そのどちらがよりよく対象物を把握できるかにより選択採用される。

建築、土木、機械関係の図面には、それぞれ異った製図規格が定められているが、築炉用図面の場合はこれらの規格をふまえた上に更に独自の手法がとられている。以下これらについて記述する。

- a) 投影画法

前述の投視、投影の両画法のうち、投視画法は築炉関係にはほとんど使われないので省略し、主として投影画法について述べる。

投影画法とは、平らな壁の前に物体を置き、物体の後から壁に平行光線を当てると、その壁面に物体の画像が得られ、物体の形や大きさなどがわかる。投影画法は、この原理を応用した画法であり、物体を外側から見た画像を描く手法である。

投影画法には、図1・3の(1)から(4)までの画法があるが、このうち、築炉関係では主として(1)の正視画法を用いる。正視画法には、図1・4に示すように第一角法から第四角法までであるが、一般の図面には第一角法、第三角法だけが用いられている。図1・5は第一角法と第三角法を用いて図面を作る要領を示している。

この二つの投影図法は、炉の外面や、異形耐火れんがの形状などを描くのにもよく使われているので、築炉技能者もこれらの二つの手法については、十分に学習しておかなければならない。

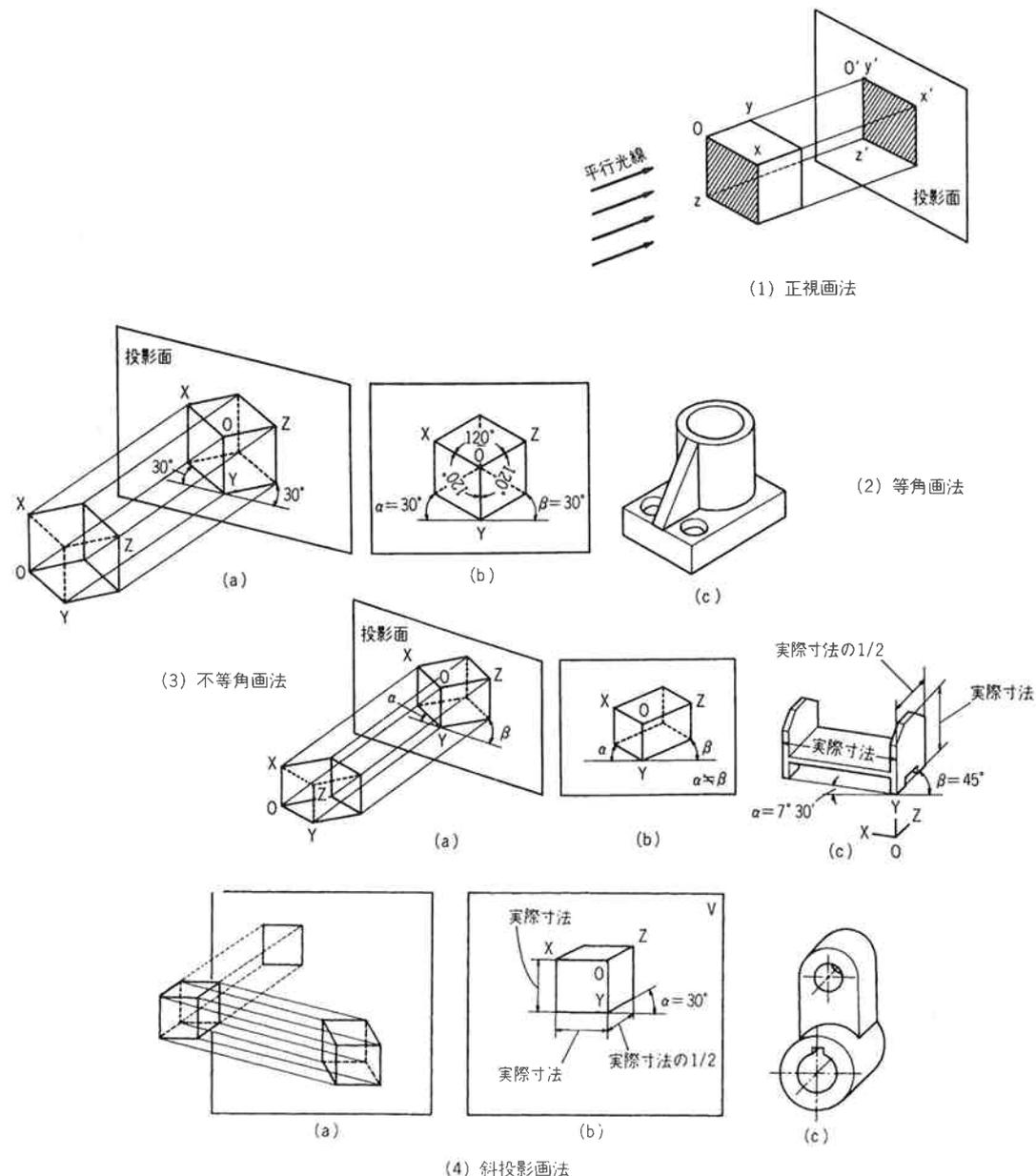


図1・3

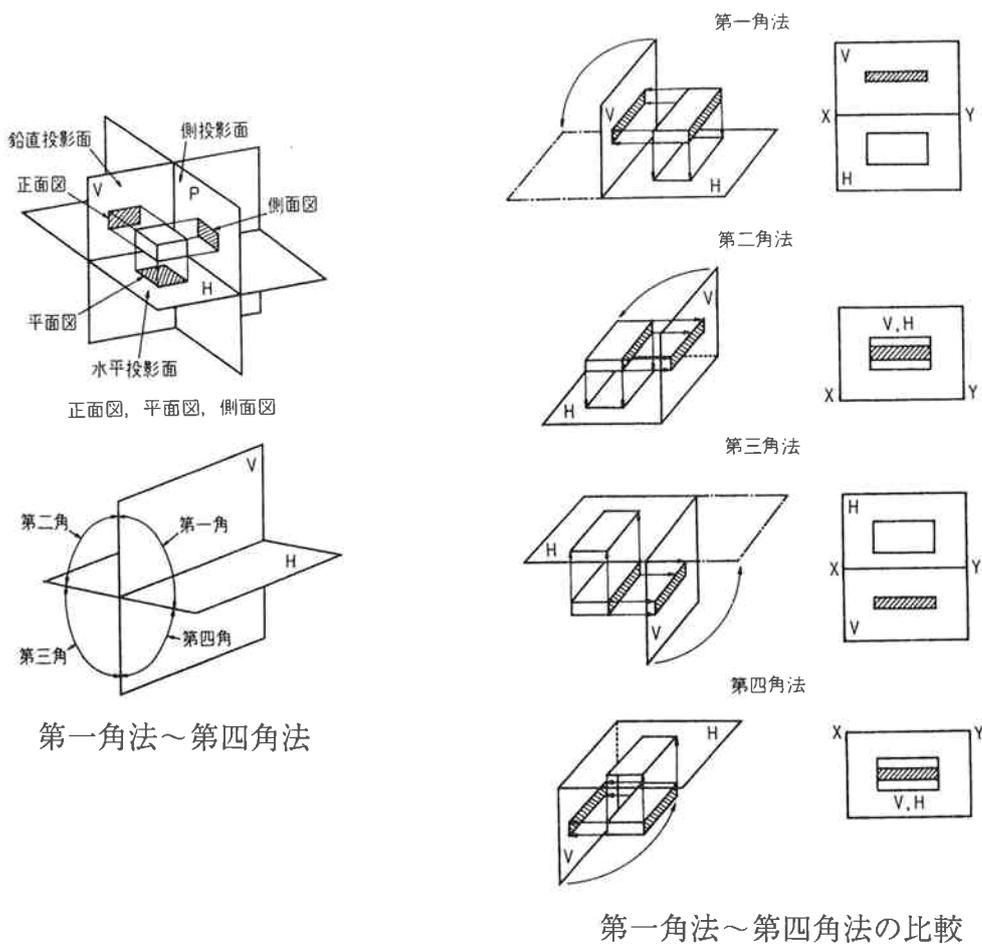


図 1 ・ 4

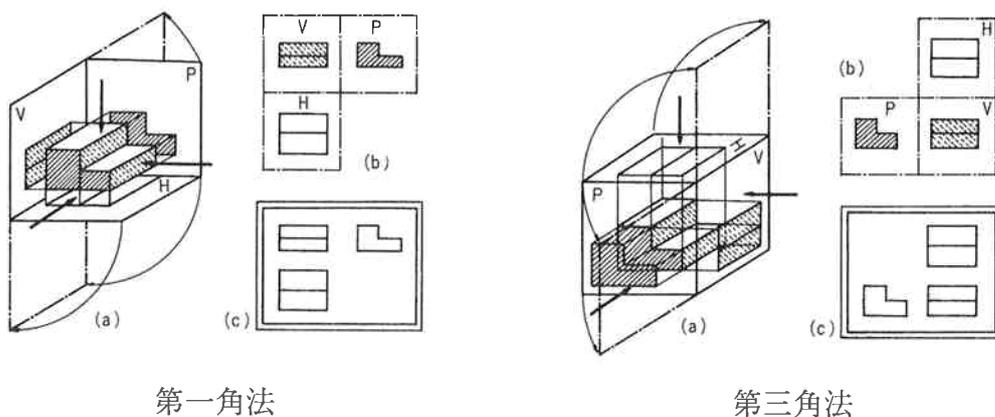


図 1 ・ 5

しかしながら、記載した図 1 ・ 4 と図 1 ・ 5 は、一般の製図教本に記載されているものであるが、第一角法、第三角法を理解するうえで難解な図である。そこで築炉技能者も容易に理解できるように第一角法、第三角法について述べ、その違いについても説明する。

図 1 ・ 6 は一角法と三角法の描き方を示すものである。まず、図中央上の枠に囲まれ

た自動車を一角法で描く方法を述べる。

最初に描こうとする物の外面（六面）の内、そのものを最も象徴する面（自動車の場合は側面）を図面の中央に基本図として描く。次にこの状態に自動車が据えられていると見なし、これを90°手前に倒し、現れた面をそのまま手前（下）に引いてA面に描く。図は自動車を上から見た絵となる。次に同様に向う側に倒して向う側（上）に引きB面に描く。この場合は自動車を下から見た絵となる。右に倒して右に引いたC面の図は自動車の正面図、左に倒し左に引いたD面の図は後面図を現わす。

実際に図面に描く場合には基本図とA面とC面または、B面とC面の三面のみを描く場合が多い。

次に三角法で描く場合を述べる。

この場合は前記の自動車を倒す方向が一角法とは逆になる。A面には向こうに倒して手前に引いた図を描き、絵は自動車の下部を現わす。B面は手前に倒して向う側に引き、C面は左に倒し右に引き同様D面は右に倒して左に引くとおぼえればよい。一角法と同様図面には基本図を含みB、C面またはA、C面の三面を描けばよいが、特に必要の場合は五面乃至六面全部を描くこともある。

角法は普通、図面右下の表題欄に一角法または三角法と記すことになっているが、もし表記されていなくても前記の要領を知っていれば、容易にこれを識別することができる。

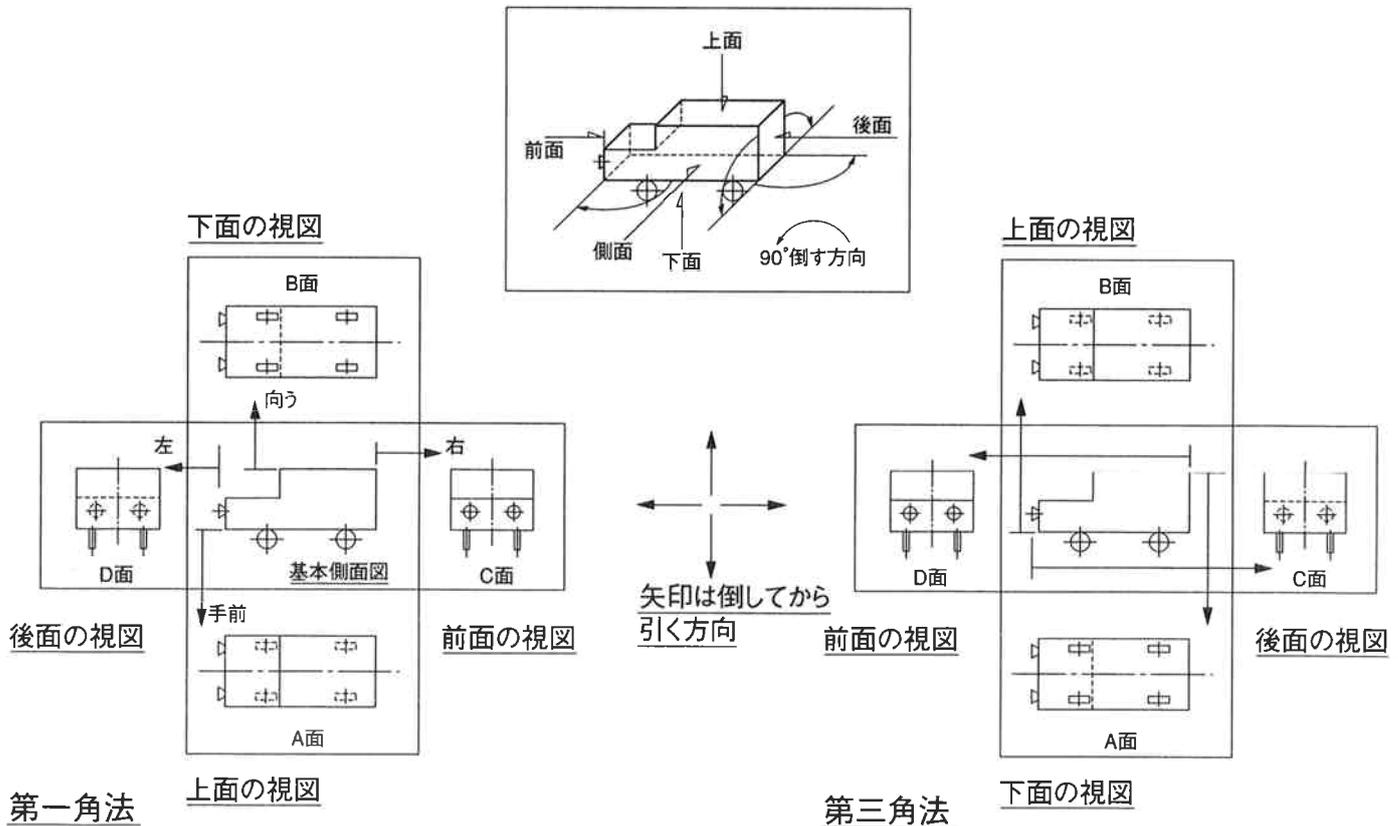


図1・6

一角法と三角法とでは、投影される上下左右のそれぞれの面が反対の側に描かれるだけであり、どちらの画法を用いるかは自由である。しかしながら比較的三角法が多用されている。この理由は図1・7に示すような長さが長いものを描く場合、三角法が一角法より図面上見やすいからである。

図1・7の第一角法で描いた図と第三角法で描いた図を比べて見る。第一角法の場合には棒状の長い物体のA面、B面がそれぞれ遠い反対側に図示されている。三角法で描かれた場合はA、B面がそれぞれ近い位置にあるので見やすい。このような場合、三角法は一角法より読図するうえですぐれている。

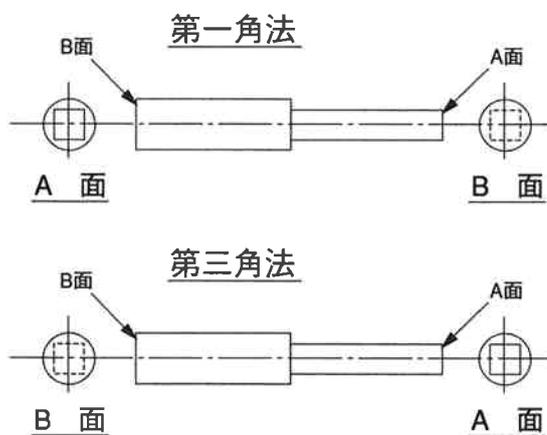


図1・7

b) 切断図方式

工業炉の場合、上述した投影法を用いて描いた図面だけでは築炉することはできない。それは次のような理由による。

- ① 内部に空間がある建造物であること。
- ② 構成する壁が種類の異った複数の炉材の層でできていること。
- ③ 用途に応じた複雑な形状で、外観だけでは内部の詳細が理解できないこと。

これらのことがらがよく理解できるように、工業炉の築炉図面は普通、切断面図、または単に断面図の方法で描かれている。

この図法は、図面を描く者、それを読みとって作業をする者にとっても大事な方式であるから、十分に習得しておく必要がある。次に断面図による画法について説明する。

図1・8は左上に描かれているような比較的簡単な炉を、切断面方式で図面にしたものである。

まず、本炉のように前後から見て左右対称であり、その対称の中心で切断した面が炉の特徴を良く表わしている場合は、この切断面を基本図として図面の中央に描く。次にこの炉の炉壁構成や内部空間の状態を知るために平面に切断して上から見た図を、基本図の下部あるいは上面に描く。この場合、基本図のどの部分をどのように切断し、どのように見たものかを、基本図に切断線と矢印で記す (P.11、表1・2 切断線、参照)。また描いた切断面の図にも関連づけるために同様な表示をする。

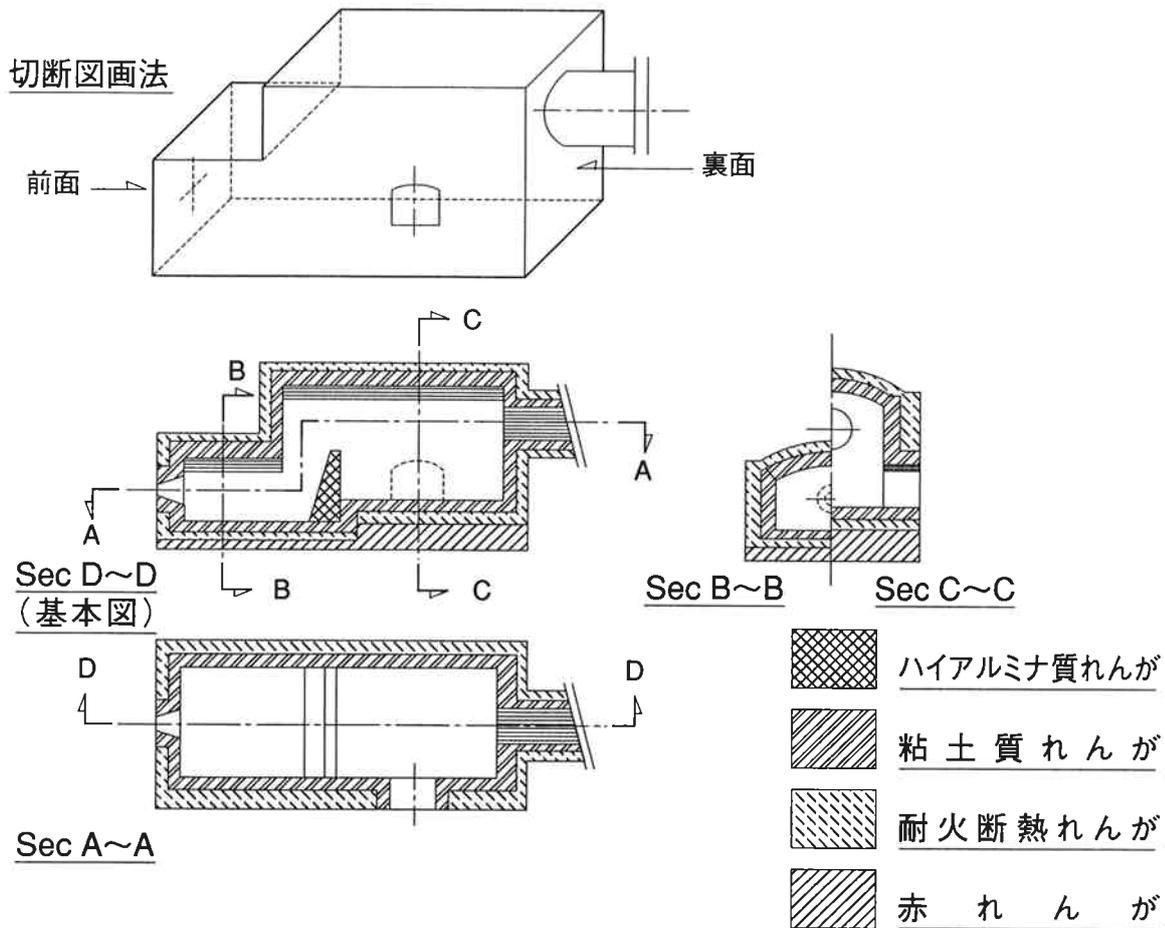


図1・8

また描かれた平面図にはA~A断面図または、SecA~Aと記入する（Secはセクションの略）。またB~B、C~Cのように基本図を縦に輪切りにした図を矢印の方向の右手に描く。

断面図は、複雑な形状の炉などの場合、縦、横、高さ（水平）方向に必要なに応じて何面も描かれる。

断面図法は前述の投影画法と異り、あえて一角法、三角法にこだわらない。但し切断面をどの方向から見るかの矢印を付けること。

次に断面図法で大事なことは、描かれた断面に必ずハッチングを施すことである。ハッチングとは図1・8に示すような各種の異った細い斜線や砂点模様を描いたり、各種の薄い色付けをすることである。これはそこに用いられている材料の種類や品質を表わすためである。従ってどのハッチングがどの種類や品質であるかを、図面の余白に必ず表記しなければならない。（図1・8右下参照）

c) 段割り図

れんがなどで積み上げていく建造物や炉の場合、積み上げる毎に平断面が変化するようなときには段割り図が作られる。一段毎、また変化する層毎の平面図が示されているので、作業者はこれに基づいて積み上げて行く。コークス炉などのれんが積みはこの方法がとられている。

また、並形れんがによる壁積みで、本マニュアル基礎編の第3—38~40図に示すよう

に組み積み方式を指定する場合の平面図も、段割り図である。

d) その他

築炉図面においては上記の外次のような手法も用いられる。全体図のみでは判読しにくい個所は、丸く囲って線で引出し、その部分を拡大して描き詳細図とする手法である。

図面上に施工する際の特別注意事項を記入する。

図面上で使用する材料の一覧表を記入する。もし図面上に余白がないときは、別紙に書いて添付する。材料一覧表には、材料名の種類と品質、所用数量と予備数量、単重と重量などが記載される。

1・3・2 図面に用いられる線、尺度、記号などの規定

a) 線の種類と用途

品物の構造および形状は、線によって図形で示すがJIS（日本工業規格）では、普通表1・1に示す4種類の線を用いて図形を描き表わすことに定めている。

製図に普通用いる線の太さは、図形の大小や、精、粗に応じて適当に選ばよいが、その範囲はだいたい次にあげるとおりである。

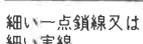
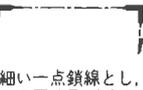
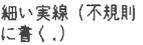
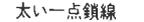
- ① 太い線：一番太い線で、太さはだいたい0.4~0.8mmとする。
- ② 中間の太さの線：同一図面に用いている太い線と細い線の間際の太さ。
- ③ 細い線：一番細い線で、0.3mm以下の線とする。

表1・1 線の種類（単位mm）

種 類	説 明
実 線	連続した線。
破 線	短い線をわずかな間隔で並べた線。
一点鎖線	線と一つの点とを交互に並べた線。
二点鎖線	線と二つの点とを交互に並べた線。

JISでは、これらの線の使い方について、表1・2のように定めている。

表1・2 線の分類と用途

用途による名称	線の種類	用途	用途による名称	線の種類	用途	
外形線	 太い実線	品物の見える部分の形状を表す線。	想像線	 細い二点鎖線 ⁽⁴⁾	図示された断面の手前にある部分を表す線。 隣接部分を参考に表す線。 加工前又は加工後の形状を表す線。 移動する部分を移動した箇所に表す線。 工具、ジグなどの位置を参考に示す線。 繰り返しを示す線。 図形内にその部分の断面形を90°回転して表す線。	
かくれ線	 中間の太さの破線 ⁽¹⁾	品物の見えない部分の形状を表す線。				
中心線	 細い一点鎖線又は細い実線	図形の中心を示す線。				
寸法線 寸法補助線	 細い実線	寸法を記入するために用いる線。				
引出し線	 細い実線	指示するために用いる線。				
切断線		断面を描く場合、その切断位置を示す線。	ピッチ線	 細い一点鎖線	歯車やスプロケットなどの歯部に記入するピッチ円やピッチ線。	
			ハッチング		細い実線	切断面などを明示するために用いる線。
			特殊な用途の線	 細い実線	外形線及びかくれ線の延長線。 平面であることを示す線。	
破断線	 細い実線（不規則に書く。）	品物の一部を破ったところを表す線又は切り去った箇所を示す線。	特殊な用途の線	 太い一点鎖線	特殊な加工を施す部分を示す線。	

b) 尺度

図面は便宜上、実物に対していろいろな大きさで描かれるが、この大きさの割合を尺度という。

尺度には、縮尺、現尺、倍尺がある。縮尺とは、実物よりも縮小して図形を描く場合の尺度であり、現尺とは、実物と同じ大きさで図形を描くときの尺度、また倍尺とは、実物よりも拡大して描く尺度である。

これらの尺度は、図面作成の手間や、図面取扱い上の能率化などのために、適宜に用いられる。

ただし、縮尺にせよ倍尺にせよ、図面に記載する寸法は、実物の寸法の数値である。図面の尺度の割合についてJISでは表1・3を使うよう定めている。

表 1・3 図面に用いる尺度

区分	JIS Z 8302 製図通則	JIS B 0001 機械製図
現尺	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$
縮尺	$\frac{1}{2}, \frac{1}{2.5}, \frac{1}{5}, \frac{1}{10}, \left(\frac{1}{15}\right), \frac{1}{20}, \frac{1}{25},$ $\left(\frac{1}{30}\right), \left(\frac{1}{40}\right), \frac{1}{50}, \frac{1}{100}, \frac{1}{200}, \left(\frac{1}{250}\right),$ $\left(\frac{1}{300}\right), \frac{1}{500}, \left(\frac{1}{600}\right), \frac{1}{1000}, \left(\frac{1}{1200}\right),$ $\left(\frac{1}{2500}\right), \left(\frac{1}{3000}\right), \left(\frac{1}{5000}\right)$	$\frac{1}{2}, \frac{1}{2.5}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \left(\frac{1}{8}\right),$ $\frac{1}{10}, \frac{1}{20}, \left(\frac{1}{25}\right), \frac{1}{50}, \frac{1}{100},$ $\frac{1}{200}, \left(\frac{1}{250}\right), \left(\frac{1}{500}\right)$
倍尺	$\frac{2}{1}, \frac{5}{1}, \frac{10}{1}$	$\frac{2}{1}, \frac{5}{1}, \frac{10}{1}, \frac{20}{1}, \frac{50}{1}, \left(\frac{1}{1}\right)$
【備考】 かっこをつけた尺度はなるべく使用しない。		

なお、図形の大きさはできるだけ大きく描く方が好ましいので、紙の大きさにより、なるべく余白の生じない尺度を選ぶとよい。これらの尺度は、必ず図面の表題欄に記入する。また、同一図面で異なる尺度を用いるときには、図形ごとにその尺度を記入しなければならない。

図形が寸法に比例しない場合は、その旨を適当な個所に記入すること。例えば“比例尺デナイ”とか“NTS”(Not to scaleの略)などと書く。築炉用図面に最も多く使われる尺度は、縮尺(1/20)、(1/30)などである。

c) 記号

一般の図面や、築炉用図面によく使われている記号と説明を表1・4に示す。これらは、読図上必要なものであるから、記憶しておかなければならない。

表 1・4

<p>イ、ϕ-丸い円を示す。 ロ、\square-正方形を示す。 ハ、CL(センターライン) 中心線。 ニ、FL-(フロアレベルまたはファーンライン) 床基準炉線。 ホ、GL-(グランドレベル) 地盤基準。 ヘ、HL-(ハースレベル又はハウスレベル) 炉床、建家基準。 ト、SL-(シールライン又はシールレベル) 湯溜り線。 チ、PL-(パスライン) 通過線。 リ、EXP-(エクスパンション) 膨張。</p>
--

図1・9は、1・3・1 b) 切断図方式で述べたハッチングによる炉材分類の一例である。必ずしもこの通りに定められているものではなく、ハッチングの表示は、図面作成者が適宜に任されている。ただしなるべく隣り合わせる炉材には、似たようなハッチングをしないようにする。これは使用炉材を誤用する原因になるからである。また、前にも述べたように、図面上に各種ハッチングとそれに対比する種類や品質を明記しておかなければならない。

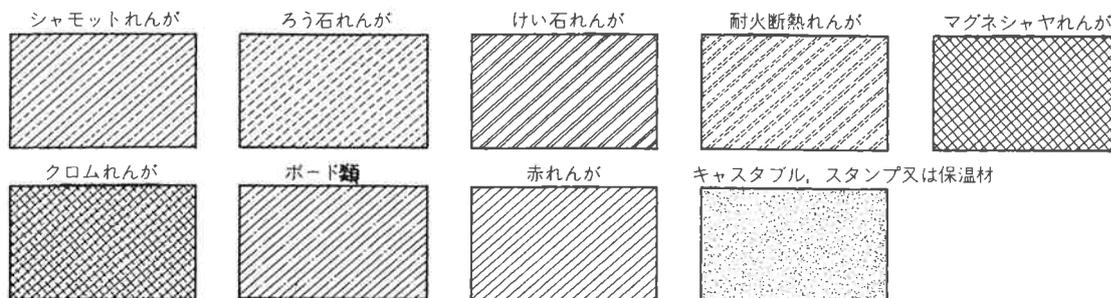


図 1・9 耐火物ハッチングの一例

1・4 資材の手配、運搬および保管

築炉現場で用いる仮設物や、使用道具、機械、器具については、本章 1・1 と 1・2 項で述べた。ここで使用する材料関係の手配、運搬および保管について述べる。

1・4・1 資材の手配

築炉の工期の長短にかかわらず、所要資材はあらかじめ判明しているものである。従ってこれらを現場に受け入れるについては、次のことがらに配慮しなければならない。

a) 材料を受け入れる場所の広さがどのくらいあるか。十分な広さがあれば全量を受け入れてから着工すればよい。しかしながら多くの場合、工事が決ってから完成する迄の期間は、最短を要求され、また資材置場の広さも必要最低限であることが望まれる。最も経済的な方式としては、現在とられている自動車組立て工場におけるジャスト、イン、タイム方式があげられる。貯蔵用の倉庫を持たず、納品即使用のこの手法は確かに理想的であり、一般工事および築炉工事においてもコスト削減上望むべきことは多い。

b) 資材の製造工場の場合と、購入市場における在庫などについて確認しておくこと。

築炉に要する材料を製造している工場の工程について常に連絡をとり情報を得ておくこと。

また、工場からの出荷日や搬送についても十分確認し、受け入れ場所、受け入れ用機器、人手などを確保しておくこと。

c) 定められた工程内に工事を納めるためには、工事工程表に、材料の製造日程、購入日程などを含めること。材料は工事の進行に伴って順次入荷するように資材納入計画表を予め作成しておくようにする。これには本章 2 項で述べたネットワーク工程表を用いると便利である。

d) 材料受け入れに立ち合う場合、受け入れ材料の品名、材質、数量、形状、荷姿、使用個所などを示す一覧表を作成しておく。入荷したものについて、形状、数量、材質を点検確認しておく。

1・4・2 運搬および保管

資材の運搬には本章 1・2・4 項で述べた搬送諸機器を用いる。その使用方法について述べる。

a) 大運搬（製造工場～使用現場倉庫）

① 船舶輸送

多量の搬送に適し、運送費が格安である。ただし、製造工場と建設現場との距離、船積みと荷揚げができる港の有無などの条件による。

② 鉄道貨物輸送

輸送コストは船舶に次いで安価であり従来は多く用いられていた。生産場所または製造工場と、受け入れ側の工場に引き込み線がある場合は現在も使われているが、集荷、配達を貨物自動車で行わねばならぬような場合は、コストが高く付くことと、日時が長くかかることなどで、鉄道による貨物輸送は、最近大幅に減少している。

③ 一般貨物自動車輸送

高速道路網が充実した現代においては、最も多く用いられている手段である。製造工場の出荷場から使用現場迄、定量の製品を直接届けることができ積み卸しも一度ですむ。輸送時間も早く便利である。現場の進捗にあわせて必要な材料と数量を入荷することができるので、必要最小限の広さの資材用倉庫や保管場所を用意すればよい。

b) 中小運搬（保管場所～作業場所）

保管場所から実際に使用する場所まで、所要材料を運ぶための機器とその用法について述べる。

① フォークリフト

荷姿がパレットの場合に用いられるもので、パレットごと多量の材料を能率よく移動させることができる。また、マストの高さに応じパレットごと材料を上下移動することができるので、築炉現場には欠かせないものである。

② 小形トラック

パレットが利用できないようなものの小運搬に用いられる。

③ ベルトコンベア

エンドレスの帯状のゴムベルトを水平またはわずかな勾配で回転させて品物を運ぶもので、砂や塊状のもの、また並形れんが程度のものの連続運搬に適している。高さの低い場所でも使えるので便利である。可搬式のものを用いられている。

④ 手押し車

主として、人力により少量の材料を運ぶ車である。

一輪車（ねこ）は、せまい場所でも使えるので多用されている。リヤカーなども使われる。

⑤ 起重機（天井走行クレーン）

工場建屋内に天井走行クレーンが設置してある場合は、これを使用する。バケットなどにより一時に大量の資材を、高い位置に巻き揚げて前後左右に移動できる。但し吊り上げ荷重5 T以上のクレーンを運転するには免許が必要である。

⑥ ホイスト

建屋の天井にレールを設け、これにワイヤロープ巻き揚げドラムと走行用車輪のついたホイストを吊り下げたものである。許容荷重に見合った材料の上げ下げと、レールに沿った移動ができる。

⑦ チェンブロック

主として、材料などの吊り下げ吊り上げに用いる。手動で行う。

⑧ ウインチ

ワイヤロープを巻きとるドラムを電動で回転させ、ワイヤの先端部で材料を昇降させるものである。昇降させる上部や所要箇所には、滑車を使用する。重量物の水平移動にも用いられる。

⑨ エレベータ

大規模の築炉現場において、材料を多量に揚げるために特別に設ける。

⑩ 手送り

主にれんがを手渡しして運ぶ方法で、前記の諸機器を使用することができない場合に行う。

b) 保管

工事現場での資材の保管は工事の進捗に影響することが多い。従って、資材の保管場所は保管する資材の種類や数量などを考慮に入れて選定しなければならない。野積みにするか倉庫格納にするかは、資材の材質、季節、気象などの条件によって決める。

また、荷受けした材料は、使用順序に従って現場に運び出せるよう留意して積み置きする。

入荷にまかせて積み置きすると、後日工事に入ってから必要材料の取り出しに、思わぬ労力と時間を浪費することになる。従って、大きな工事で多種大量の材料を扱う場合は、工事の内容を十分把握した責任者が、初期荷受けの段階から現場に常駐して指図しなければならない。

なお、荷積みするとき、運び出しを考慮に入れて、フォークリフトなどの可動スペースを確保しておくこと。

以下、資材ごとの保管方法、保管上の注意事項について述べる。

① 木材

工所用木材の内、造作材、迫材などの精密加工を要する材料は、野積みせず倉庫内に格納する。その他一般木材は野積みしてもよいが、直接地面に置かず枕木などで浮かせ、その上に防水シートで覆うようにする。材木を野積みする場合、敷地1m²当り0.4~0.8m³を標準とする。

② セメント

防水用袋に詰められているが、雨水、湿気を嫌うので原則として倉庫内に収納する。床より水分を吸わないように、30cm程度床上げして保管すること。床面1m²当り20kg入りセメント袋を40~45積載することができる。

③ 砂利、砂

多量の場合は貯蔵庫などを設けて、散乱や雨水などによる流失を防ぐようにする。

④ 耐火れんがおよび不定形耐火物類

現在はいずれも厚手のプラスチックのシートで覆われてパレットで入荷する。しかしこれらは輸送中の雨水による害を対象にしたものであるから貯蔵する場合は原則として倉庫、または風雨にさらされない仮設置場に収納しなければならない。この場合も床からの吸湿をさけるために直置き（じかおき）しないこと。

塩基性耐火れんがやキャストブル耐火物は、吸湿すると変質するので特に注意すること。

1・5 作業員の手配と配置

築炉工事の現場での構成人員および必要な職種は、その工事内容や規模の大小によって決められるものである。その概要を次に述べる。

1・5・1 工事責任者

工事現場の全体を取り仕切ることのできる総責任者である。工事責任者は次のことがらを満たすことができなければならない。

- a) 各種の築炉工事の経験があること。
- b) 工事に携わる従業員を把握、指導ができること。
- c) 工事の全内容を理解し、適切な指揮監督を行い、工事を遅滞なく進捗させることができること。

1・5・2 安全責任者

工事を遂行するうえでの安全衛生に関する一切を司る責任者で、労基法に沿って仕事上の事故災害を未然に防ぐことに専念できる者である。

1・5・3 築炉技能者組長

技能者7～10人当たり1名の割合いで、技能、経験、人格などの点で、配下の技能者達を指導することができる者を任命し、実作業の監督に当らせる。

1・5・4 築炉技能者

築炉作業現場の状況、工程などに基いて員数を決めて配置する。この際、各自の技能程度を十分に考慮に入れて配備すること。技能者にはそれぞれ技能力、体力、経験、などの違いがあるので適材適所に就けることは、仕事の能率向上を計る上で重要である。

築炉技能者1人当たりの施工能力は、個人差と仕事の内容によって大幅に異なるが、強いて平均的な数値をあげれば1～2.5 t／日（耐火れんが積み）程度がめやすである。なお、仕事場によって1人当たりの可動範囲が限られるので、狭い場所に過剰な人数を配置してはならない。

1・5・5 手許作業者

手許作業者は、単なる雑役労務者ではなく、築炉技能者を補佐する準技能者とみなす。手許作業者は、築炉技能者が必要とする材料を常に仕事に先行して手許に調達するばかりでなく、れんがの加工、モルタルや不定形耐火物の混練、足場の架け外しも行わなければならない。

工事によって違うが、一般に手許作業者は築炉技能者1人当たり1～2人程度配置する。

1・5・6 運搬作業者

普通、材料の小運搬は手許作業者が行うが、運搬の距離が長い場合や、工事の規模が大きく大量の小運搬がある時は、運搬専門に携わる者を適宜配置する。

1・5・7 その他の作業者

工事の規模が大きな場合、築炉技能者や手許作業者でも消化できる仕事を、各専門業者に依頼した方が能率がよいことが多い。以下にその職種を述べる。

- a) 足場架けとび職
- b) せり枠、形枠製作、取り付け用大工
- c) クレン、ホイストなどの動力運転者
- d) 金属スタッド（アンカ金物）用溶接工
- e) 補修工事における解体業

上記の専門職は築炉工事の内容に応じて、常時または臨時に雇傭する。

1・6 関連工事との関係

築炉工事と直接関係する関連工事との施工順序は、次の通りである。

- (1) 炉本体の基礎工事
- (2) 炉枠金物組み立て工事
- (3) 築炉工事
- (4) 燃焼装置、または電熱装置の取り付け工事
- (5) 計測、計装機器取り付け工事
- (6) 保温、配管、電気配線、塗装、その他の工事

工期その他の関係で、前記諸工事の順序が前後したり重複したりすることがある。従ってこれら関連工事間においては、十分な連絡をとりあって円滑安全に工事を進めなければならない。なお、前記1・2項で述べたネットワーク工程表の関連業種も含めたものを、事前に打ち合わせの上作成しておくといよい。

2 築炉施工設備（仮設）

築炉工事においては規模の大小を問わず、次の仮設設備が必要である。

2・1 混練設備

耐火モルタル、キャストブル耐火物、セメントモルタルなどを混練する設備である。混練用諸機器とその使い方については「基礎編」に記載したので省略する。

混練設備はなるべく施工場所の近くに設置し、混練物の投入、取り出しが容易にできるように作業台を設ける。混練用水の洩れや、機器の洗滌用水などを考慮し、混練設備は排水溝の近くに設ける。また、屋内に設ける場合は、床が汚染されるので、設備周辺を防水シートなどで養生する。屋外に設置するときは、雨水対策としての上屋を設ける。

2・2 運搬設備

運搬設備としては、次の機器を調達する。

2・2・1 材料置場から現場までの横持ち運搬用機器

- a) 大、中、小形トラック
- b) フォークリフト

2・2・2 築炉現場迄の小運搬

- a) ベルトコンベア、ローラコンベア
- b) 走行クレーン
- c) ホイスト
- d) ウインチ
- e) チェンブロック
- f) ウインチ
- g) エレベータ
- h) 手押し車

上記は、築炉工事現場で用いられる機器であり、その特徴と用法は、前記1・4・2 運搬および保管の項で述べたので省略する。

2・3 給排水設備

築炉工事では、モルタルやキャストブル耐火物などを練るため、耐火レンガの湿式切断機用、その他の用途に水が使われる。従って現場よりなるべく近い水道栓から使用場所まで、ホースを敷設する。このとき、ホースの先端に止め栓を付けておけば、そのつど元栓をあけしめするために往復しなくてすむ。また、使用量に応じ、必要個所にドラム缶などを配置し、貯水しておけば便利である。

築炉工事用に用いる水は清水とし、工業用水や海水は使用してはならない。

排水は近くの排水溝に流せばよいが、レンガ切断機などからの排水は、レンガの切り粉などで汚濁しているので、フィルタを通すか、沈殿槽を設けるなどして浄化して流すこと。排水に油、汚染物や液が混入しないよう注意すること。工業用排水には、水質汚濁防止法の厳しい規制がかせられている。

2・4 電気設備

築炉工事用としての電力は、工事現場の照明用と、使用機器の動力用とに大別される。

一般に照明用には110V、動力用には220Vまたは440Vの電圧が使用される。普通、工事発注者の分電盤より支給されるが、施工者側で配電盤を設けて受電する場合もある。この場合、各機器への配線は通常キャブタイヤコードを使用する。

新設工事現場などで、発注者側より受電することができない時は、必要な電力容量の発電機を調達する。

電動機器の内、漏電遮断機、アースなどを必要とするものには必ず付けること。また、ガスや粉じんが爆発するおそれのある場所では、スイッチ、モータ、電灯など防爆形のものを使用する。

なお、電気設備に関しては、発注各社によって社内規制が異なることがあるので、これに従うこと。

2・5 高圧空気設備

築炉工事に必要な高圧空気は、工場内に備えられた圧縮空気設備、または移動式エアークンプレッサからの空気を使用する。

高圧空気を必要とする築炉工事の作業は、プラスチック耐火物などをエアランマで突き固める場合、キャストブル耐火物を吹きつける場合、解体作業をエアピックで行う場合などである。これらの機器に使用される空気の圧力は5～7 kgf/cm²の範囲であり、使用量は機器の大小、数量により決定するので、これに見合ったコンプレッサを用意する。コンプレッサと各機器との接続は高圧空気用ホースを使用する。なお、ラミング工事などで、複数のランマを使う場合には、図1・10に示すような空気分配器を用意すると便利である。また各機器とホースとの継ぎやホース間のつなぎに自在継手を用いると、取り付け取り外しが早く容易にでき、ホースの保管にも便利である。

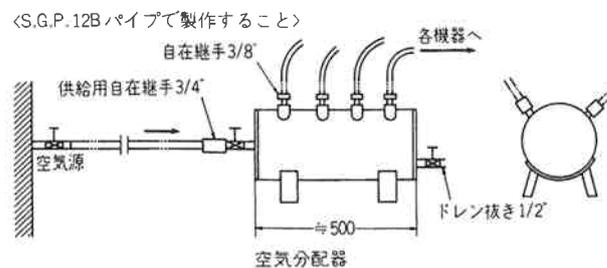


図1・10

3 築炉施工用足場の種類および用途

高い炉の築炉工事には足場が必要である。従来、建造物や築炉工事においては、図1・11に示すように丸太、足場板、なまし鉄線などを用いて仮足場、本足場を組み立て使用していたが、現在は、損耗性、取扱いやすさ、保管性などですぐれている鋼製パイプ足場が多く用いられている。従って本項では鋼製パイプ足場について述べる。なお足場についてはその危険性から、労災防止上使用機材に関する厳しい規則があり、また、5米以上の足場の組み立てと解体を行う時には「足場の組み立て等作業主任者」の資格所持者が立合わなければならない。(第4章 安全衛生：足場の安全基準参照)

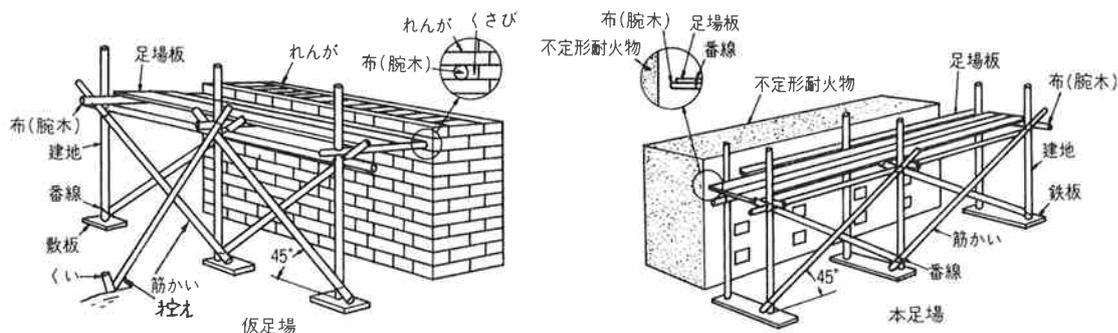


図1・11

建設作業に用いられている鋼製パイプ足場（鋼管製足場）は用途別に次のように分類される。

- ① 標準枠組み足場

- ② 簡易枠組み足場
- ③ 単管足場
- ④ ブラケット一側足場
- ⑤ 布板一側足場
- ⑥ つり枠足場
- ⑦ つり棚足場
- ⑧ 小規模工事用簡易足場

上記の内、主として築炉工事で用いられているのは、①②の枠組み足場、および③の単管足場である。これは他の足場に比べ作業スペースが広く、安定性がよいことと、積載荷重が大きいので比較的重い耐火材料を扱うことができるからである。なお枠組み足場には、図1・12および図1・13に示すような建枠が門形のもの、図1・14にあるようなH形状のものがある。

また、③の単管足場は所定の長さの足場用鋼管を用いて図1・15のように組み立てたものである。

なお、築炉工事の場合、枠組み足場は主として炉の外側の作業を行うときに用い、単管足場は複雑なスペースや形に適應できるので、炉内部の足場にも使用されている。次に枠組み足場と単管足場に付いて、概要を述べる。

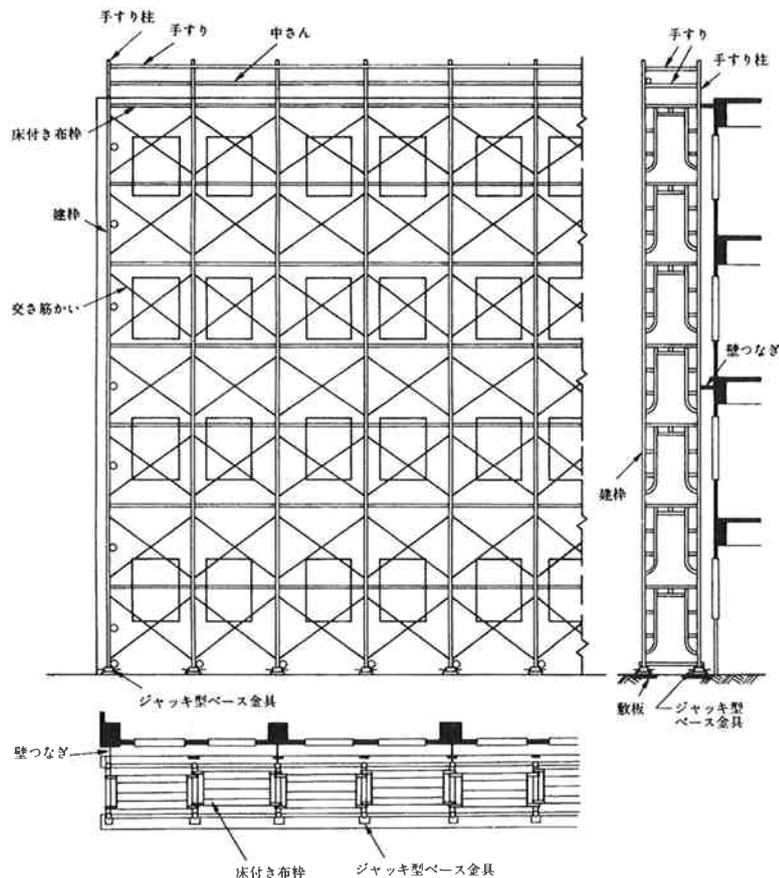


図1・12 枠組足場の例

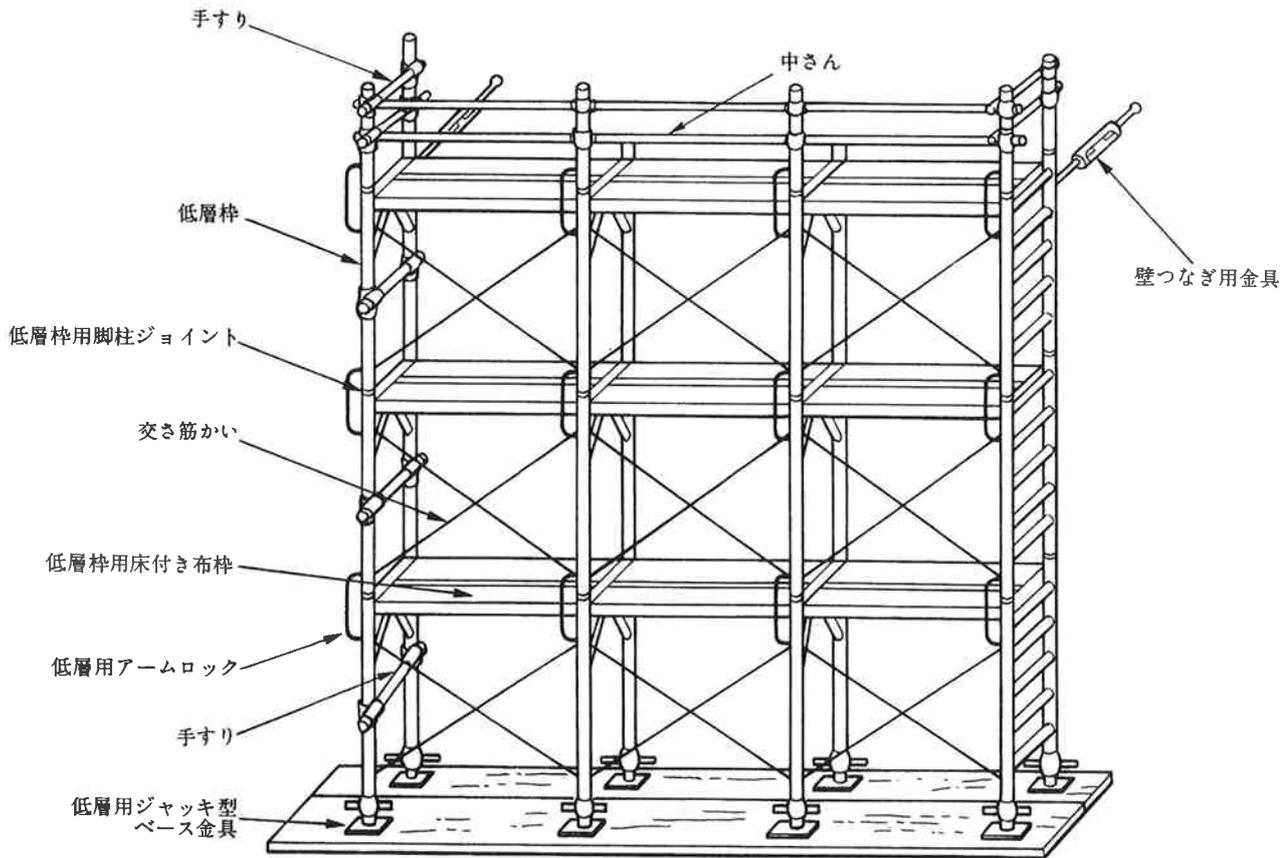


図1・13 低層工事用簡易枠組足場の例

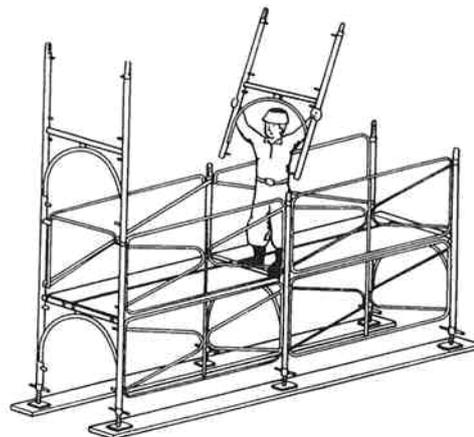


図1・14 H形状の枠組足場の組立て、解体作業

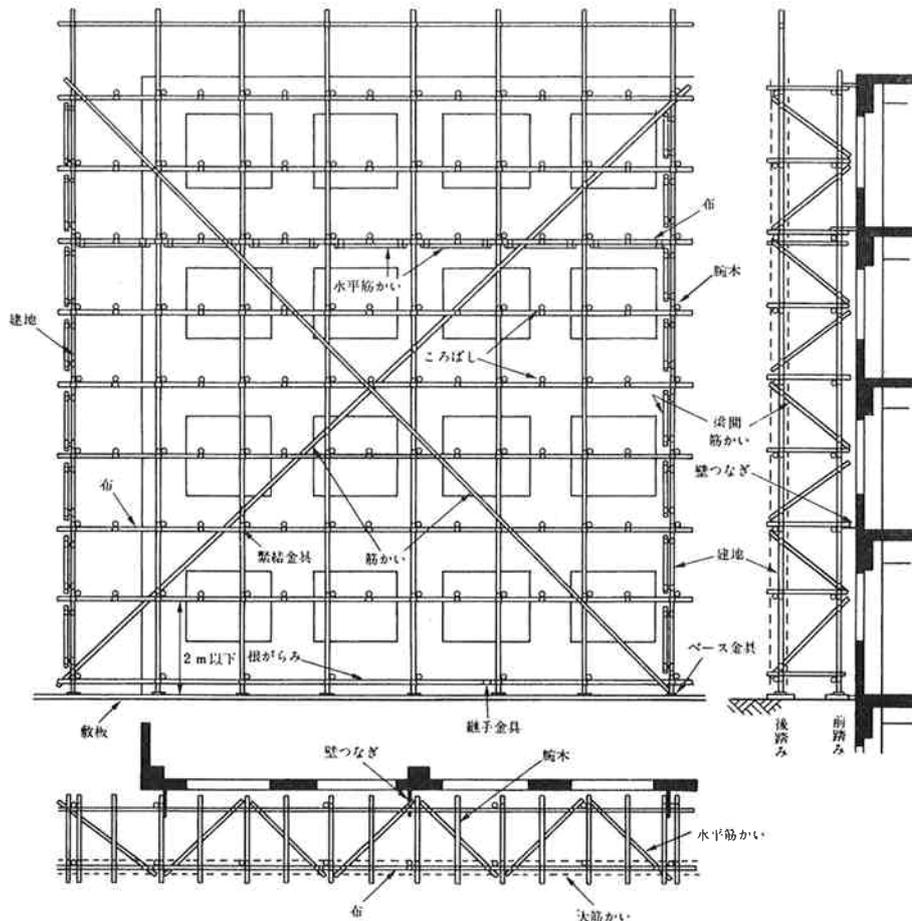


図1・15 単管足場の例

3・1 枠組み足場

枠組み足場は、門形、またはH形の建枠を交さ筋かいで連結し、作業床として床付き布枠を敷き補強を兼ねるもので、単管足場に比べて、組立てと解体が簡単にできる。建枠を上につなぎ増すことで2層、3層と足場の段数をあげることができる。この場合、脚柱のつなぎには図1・16に示す脚柱ジョイントとアームロックを用いる。床付き布枠は図1・17に示すように、外止め付きつかみ金具と、滑り止めを施した床鋼板かエキスパンドメタルでできている。また足場と駆体（炉体）のつなぎ用金具として図1・18に示すものを図1・19のように所定（足場製作者仕用による）の位置に取付ける。これは足場の転倒防止に役立つ。また、図1・20は階段を示す。階段を架設するときは2～3層毎に踊り場を配置する。

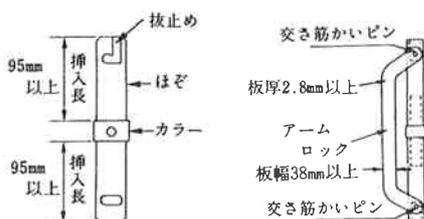


図1・16 脚柱ジョイント、アームロックの例

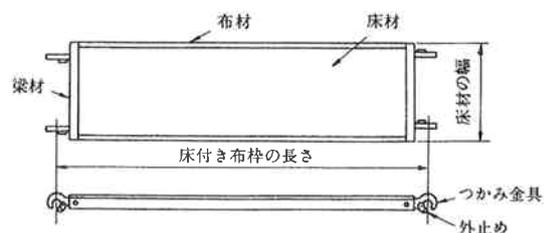


図1・17 床付き布枠の例

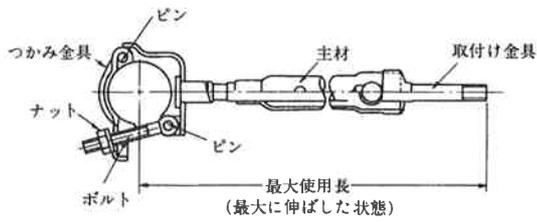


図1・18 壁つなぎ用金具の例

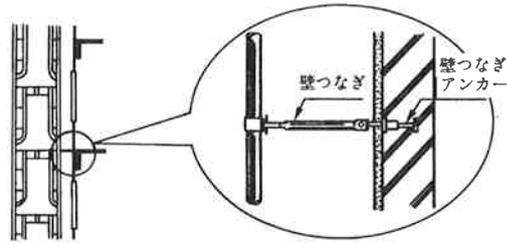


図1・19 壁つなぎの取付け例

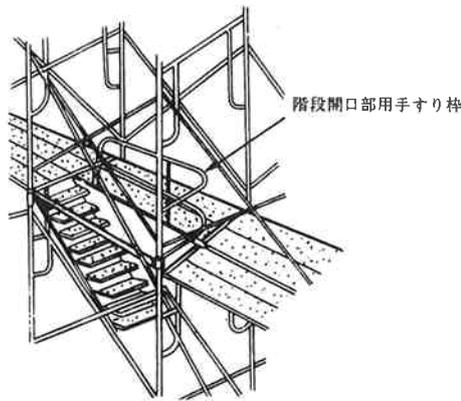


図1・20 階段開口部用手すり枠の例

3・2 単管足場

単管足場は、任意の長さの足場用鋼管STK51（外径48.6mm、肉厚2.5mm）を建地、布、腕木などに用いて組立てる足場である。単管の緊結は、図1・21に示すクランプを用い、つなぐ場合は図1・22の単管ジョイントを使う。組み立ては枠組み足場に比べて面倒であるが、足場の層の高さが自由にとれ、布や腕木の長さを切り詰めることにより円形の足場も組めるので築炉工事の場合、炉内外の足場によく使われている。

足場板は、鋼製、アルミニウム合金製のものと、合板、木材のひき板などが用いられているが、いずれも幅、厚さ、長さなど労働安全衛生規則で定められている。足場板の緊結は、通常なまし鉄線（線径3.2～4mm）を使用する。なお規模の大きな足場の場合には転倒防止のための壁つなぎや控えをとり、全体補強のため単管による大筋かいを設ける。登りさん橋の取り方を図1・23に示す。



自在型クランプ



直交型クランプ

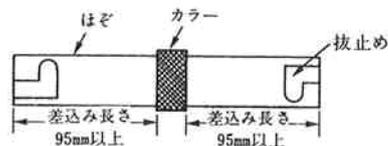


図1・22 継手金具（単管ジョイント）の例

図1・21 緊結金具（クランプ）の例

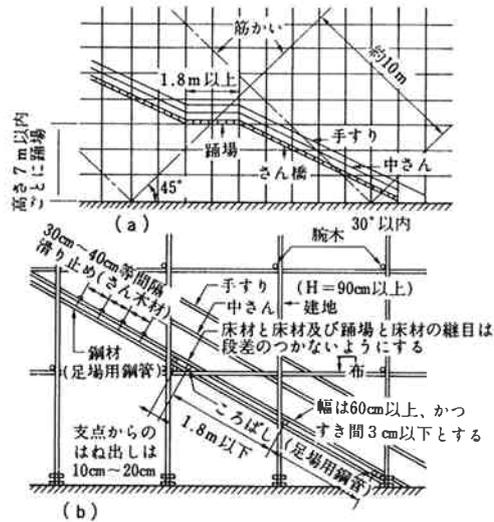


図1・23 登りさん橋取付け例

足場の構成部材のすべては労働省の規格の対象になっており、検査に合格した標章が付けられ、また、製造された年度も刻まれている。なお、現場受け入れ、整備、修理や管理指針、点検方法、組み立てと解体などについての詳細については、建設業労働災害防止協会の「足場の組立て等作業の安全」の作業責任者向け教育用テキストに記載されている。

4 築炉関連工事

築炉工事に関連する工事の種類と工程について述べる。

4・1 炉の基礎工事

炉の基礎工事に当っては、まず炉の配置図面、および基礎図面に基いて、責任者立ち会いの下に、水平、縦、横の基準線を決めやりかたを立てる。工事は次の順序で施工する。

4・1・1 根切り

根切りとは、やりかたに従い、土地を所定の幅、奥行、深さに掘り下げる。周囲から土砂が崩れる恐れがある場合には土止めをするか、勾配を残すかする。

湧き水が多い場合は、ポンプを据え付けて水を排出しながら作業を進める。

4・1・2 杭打ち

地盤が悪く、炉体の設置に耐えられない場合は、杭打ちを行う。杭打ちの数、配置、杭の太さなどは、設計書に基く。杭はコンクリートパイルを使用する。

4・1・3 割り栗石敷き

割り栗石は硬質の石片で、小石などは避け、大きな石は割って用いる。割り栗石間には、目つぶしに砂利を詰める。

4・1・4 地固め

昔は大蛸で固めていたが、現在は機械化している。

4・1・5 配筋

配筋図に基いて、所定の鉄筋曲げを行い、配筋、緊結を行う。

4・1・6 仮り枠取り付け

仮り枠は、コンクリート流し込みの際の内圧で、開いたり狂ったりしないように、十分補強して組み立てる。

また、炉締めのスターの埋め込みの穴がある場合は、あらかじめ箱枠を作り、動かないように所定の位置に配置しておく。また、埋め込み穴用の枠は、図1・24に示すようにスターの埋め込み寸法よりやや深く大きめに作り、炉外郭線よりわずかに内部に食い込ませておけば、後日スター立てのとき便利である。

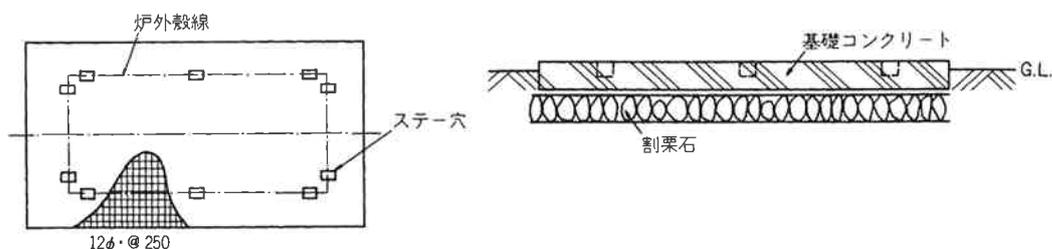


図1・24

4・1・7 コンクリート練り

コンクリートのセメント、砂、砂利の配合比、および、1 m³に要する材料の量を表1・5に示す。

コンクリートを手練りするときは、角スコップを使って鉄板などの上で、セメントと砂を3度以上から練りし、次に砂利を加え、更に3度から練りする。次に徐々に水を加えながら3～4度最後の切り返し練りを行う。表面に水分が現われてくればよい。

ドラム回転式の機械練りの場合は、セメント、砂、砂利を入れた後、回転外周が毎秒1 mのもので、1分間以上を要する。また、大量のコンクリート打ちの場合は、セメントミキサ車による生コンを使用すれば便利である。

表1・5 コンクリート1 m³に要する材料 (セメント1袋; 40kg)

配合容積比	セメント (袋)	砂 (m ³)	砂利 (m ³)
1:2:4	9.0	0.5	1.0
1:3:6	6.0	0.5	1.0
1:4:8	4.5	0.5	1.0

コンクリートは、練りあげてから1時間以内に使用する。また、炎天下では30分以内に使用し、それ以上経過したものは用いない。気温4℃以下の場合は保温を必要とする。

4・1・8 コンクリートの打ち込み

打ち込みに際しては、仮枠内を十分掃除し、水でよくしめらせておく。流し込みはなるべく高さが平均になるように行う。このとき、鉄棒や棒状バイブレータを平均に何度も突きさすか、枠にバイブレータで振動を与えるかして、内部の空隙、気泡などを除去するとともに、隔々にコンクリートをいきわたらせる。

4・1・9 養生

コンクリートが打ち終わったならば、普通約1週間、上部をぬれむしろ状のもので覆い、表面からの急激な水分の蒸発を防ぐ。この期間は基礎の規模の大小、気温、気候などにより多少異なる。

短期間の基礎仕上げを要する場合は、早強セメント、または、急結剤を用いる。

4・1・10 仮枠外し

養生期間が経過したならば、コンクリートに衝撃や振動を与えないように、静かに仮枠を取り外す。

なお、この際コンクリートに不良個所があったら、その部分を削除し補修する。

4・1・11 埋め戻し

基礎コンクリートが硬化したら、必要露出面を残し、外周の残土で埋め戻す。

4・1・12 仕上げ塗り

基礎コンクリートの露出粗面を、富調合セメントモルタルで仕上げ塗りを行う。このとき、予め定められた水平基準線に基づいて、所定の高さに仕上げる。

4・1・13 炉の基礎工事に関する一般的諸注意

炉の基礎の場合、一般の構造物の基礎と異なり、炉床を通して熱が地盤に伝導する。これを防ぐため炉床にチャンネル（空隙を造るための溝形）を設けたり、断熱炉材を用いたりするが完全に止めることは不可能である。

このため、長期間炉を操業していると、粘土質の地盤が乾燥収縮を起こし、基礎コンクリートとその下部に空洞が生じる。このような場合、基礎が正規に造られていないと、炉の重量で割れ下がり、炉が亀裂を起こしたり、傾いたりする。基礎の配筋はこの割れ下がりを防ぐ。また、基礎の面積や厚さなどにも十分な余裕を持たせねばならない。また大形の炉の基礎、軟弱な地盤上の基礎工事には所要個所に杭打ちを行う。

炉体や煙道が地下ピット内に設けられる場合には、豊水期や豪雨による地下水の上昇を考慮に入れた防水対策が必要である。この場合、熱による基礎やピット側壁の割れで浸水することもあり得るから、普通の防水コンクリート施工では不安である。従って、地下水位が高い場合は、炉や煙道はなるべく地上に設置する。なお、やむなく地下に設置するときには、全溶接した鋼板の槽を、コンクリートにはさみ込んで沈めるなどの対策が必要である。

4・2 炉枠工事

炉枠工事は、炉の外側を形鋼材や鋼板で覆い、炉が熱により膨張し使用されている耐火材が動くのを防ぐために、外から締め付けておく工事である。また、れんが積みなどに亀裂が生じ、炉内の熱ガスが外に噴き出したり、炉外の冷気を吸い込んだりするのを防ぐためにも役立つものである。炉を鋼板で覆うことを、ケーシングといい、ロータリキルンなどの場合はシェルなどと呼ぶ。炉枠工事は、築炉工事に前に施工する。

普通、角形の炉の炉枠は、図1・25のように、溝形鋼、I形鋼、山形鋼などを、単独または組み合わせて用い、丸鋼などの両端にねじ切りしたものをタイボルトとして使う。炉の両側、前後に縦地として用いられるステーは、下部が基礎コンクリートに埋められ上部だけタイボルトで締められる場合と、上下部ともタイボルトで締められる場合の二種類の方法がとられている。

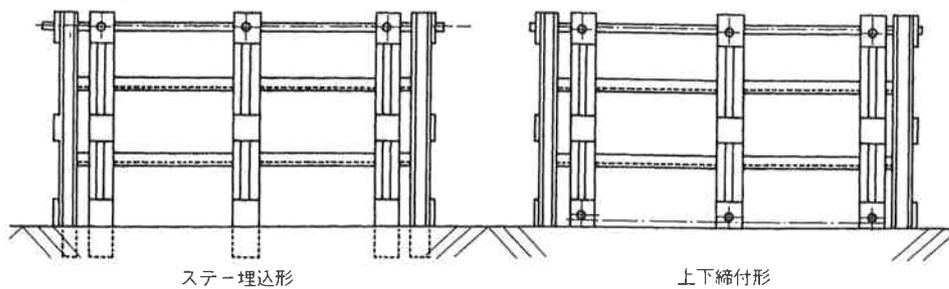


図1・25

横梁鋼材は高さ方向の要所に適宜入れ、特に天井アーチの迫り肩には必ず十分な強度のせり受け金物を入れて、抱きれんがの開きを防止しなければならない。

なお、天井アーチの温度の昇降による膨張収縮を吸収するために、せり受け金物とステーの間に相応な強度のスプリングを入れることがある。

鋼板でケーシングした内部に築炉をする場合、内壁れんがとケーシング鋼板の間に熱ガスが回らないよう十分配慮しなければならない。特に炉の開口部周辺のケーシングと炉材の取りあわせについては施工上特に工夫を要する。

円筒形の炉の炉枠は、必要な厚さの鋼板がパイプ状に巻かれて用いられる場合が多い。この鋼板は通常「シェル」と呼ばれ、必要に応じて形鋼で補強される。

4・3 炉付帯金物据え付け工事

炉付帯金物とは、原料や加熱物の挿入および取り出し孔、扉、マンホール、バーナ取付用プレート、その他の金物をいい、耐熱鋳物や鋼材などで作られる。その取り付け方法として、炉枠金物などを利用して支持する場合と、炉材にアンカを埋め込みこれに支持する場合があります。据え付け工事は築炉作業の前か作業と平行して行われる。

金物の据え付けに当っては、炉内の熱が直接金物に伝わらないように工夫する。

4・4 煙道および煙突工事

一般に煙道や煙突工事は築炉工事に続いて施工されるが、工期の関係で平行して作業が行

われることもある。しかし最近炉の煙突が目立たなくなっている。

従来、工業炉、ボイラ、其の他一般の炉は、それぞれに煙突とそれを継なく煙道を有していた。これは、煙突内に燃焼排ガスを導き、排気ガスの上昇により炉内圧を負にし、燃料を燃焼させるための空気を取り入れる方法、いわゆる自然通風方式を採用していたからである。この煙突には図1・26に示すようにいろいろあり、内部は、排気温度を高く保つためと、側壁を熱から保護するために、耐火材や耐火断熱材が内張りされていた。

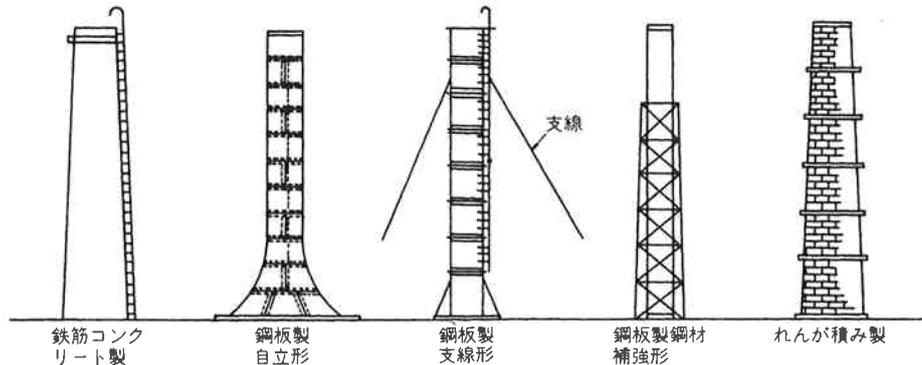


図1・26

しかしながら、最近、環境保護の観点から、大気汚染防止の規制、窒素酸化物防止関連問題などにより、各種燃料、廃棄物などの燃焼廃ガスに規制の網がかけられている。

燃焼廃ガスは燃焼物の種類にもよるが、一般的に次の過程を経て排出しなければならない。

すなわち、①脱塵 ②脱煙 ③脱硫 ④洗滌 ⑤脱臭、などが行われる。これらの過程を経るため通風は、煙突によるドラフトに依らず、耐熱耐腐蝕製の排送風機による強制通風方式がとられている。したがって、従来の煙突は最近では単なる排気筒となり、その内部には、耐熱、保温処理はせず、単に耐酸性のある鋼板などが用いられている。

煙道は炉より上記諸装置間を結ぶものであり、従来は耐火材、断熱材などを用いて築かれていたが、現在は、水や空気を暖めるための熱交換器、廃熱ボイラなどに置き換えられている場合が多い。

4・5 配管工事

炉の周辺には、その炉が必要とする気体、液体などの配管が行われる。普通、築炉工事が終了し、付帯金物などの据え付け後に施工される。その主なものは、燃焼装置用、燃料、および空気配管、水冷壁用水配管、廃気用ダクト配管などである。これらの配管工事においての注意点は、炉の熱膨張と配管の昇温による膨張についての対策である。周辺の配管類は炉枠に直接溶接せず、炉枠とスライドできるような支持方法をとること。また、配管途中に膨張、収縮を吸収できる自由継ぎ手などを挿入すること。また、ガスや油などの燃料の配管については、地震などを考慮に入れて必要個所にフレキシブルチューブを使用しなければならない。

燃料の配管において、必要な諸機器を組み込むとき、機器の故障を考慮に入れ、バイパス

配管にしておくこと。これによって燃焼を停止することなく、機器の修理や交換をすることができる。

4・6 燃焼機器、電熱機器工事

燃焼装置、電熱装置の詳細については後述の炉の章で詳しく述べるので本章では省略し、炉への取り付け方法について述べる。

4・6・1 燃焼装置の取り付け工事

燃焼装置は、固体、液体、気体の各燃料を効率よく燃焼させるものである。この内、固体燃料とは主として石炭があげられるが、現在我が国の工業炉においては燃料としてあまり使用されていない。従って本項では液体（オイル）、および気体（ガス）燃料を燃焼させるためのバーナを炉に取り付ける工事について述べる。

a) バーナタイルの取り付け

バーナには炉の章で述べるように、大小、種類、形式など多様であるが、大概のバーナの火焰は、バーナタイルを通して炉内に吹き込まれる。バーナタイルは通常、前もって耐火物で造られたものと、築炉のとき、不定形耐火物で成形されるものがある。いずれにしても築炉していく過程で、図面上に指定された個所に正確に設置または、設けなければならない。

b) バーナの取り付け

バーナを取り付けるとき、バーナタイルの中心線とバーナノズルの中心線とが一致するように留意する。また、バーナ先端とバーナタイルの間に隙間がある場合は、バーナが停止したとき、炉内の輻射熱でバーナチップが焼き付かないように遮蔽鉄板を設ける。バーナに首振り装置を取り付けても良い。

二次空気自然吸引形のバーナの場合は、バーナの周辺に必ず空気を導入するスペースを設け、調整ができるようにしておく。

また、バーナと燃料配管とのつなぎには、必ずフレキシブルチューブや接続銅管などを用いて遊びを設けること。

4・6・2 電熱機器の取り付け工事

炉の電力による加熱方法については、後で述べるように、抵抗加熱、誘導加熱、アーク加熱その他2～3の方式が採用されている。一般的にこれらの加熱装置は築炉作業が終ってから取り付けるケースが多い。

ただし、電熱線コイルなどを炉内部に張り廻す抵抗炉のような場合は、あらかじめこれらをサポートするための耐火物を組み込んでおく。また、棒状もしくはUの字形の発熱体で炉内を加熱する場合には、これらの差込みや交換のための挿入口を築炉の過程で設けなければならない。電極を用いた熔融関係の炉の場合も同様である。

4・7 電気配線工事

炉周りの電動諸機器、および諸計装機器、電熱源などへの電気配線工事は、普通、築炉が終了し諸機器の据え付けがすんだ後で行われる。炉周りの電気配線工事での注意事項は、炉

からの熱で電線が影響を受けないように配慮することである。熱遮蔽板や空気冷却などを採用するのもよい。炉周りの配線にはコンジットチューブを使用する。

4・8 断熱保温工事

断熱と保温の名称の違いについていえば、断熱とは内部の熱が外に逃げるのを断ち切るの意でアクティブ（積極的）なニュアンスがあり、また、保温とは蓄えてある熱の放散を防ぐの意でパッシブ（消極的）な意味あいを表わしている。

一般に築炉の場合、断熱工事といえば主として断熱材や耐火断熱材を耐火材の外側に施工することをいい、材料はケーシングの内部に用いられる。

他方保温工事といえば、炉の内部温度を保持するために、材料はケーシングの外側を覆うように使われる。

築炉においては主として断熱材や耐火断熱材を用いて築炉するので、後から炉殻の外を更に保温することは特別な場合以外に行われない。強いていえば、鋼板などによるケーシングのない炉壁や天井の温度が、予期せぬ高温になったとき、保温材などでカバーすることを保温工事と呼ぶ。

温度が比較的低い流体のダクトなどの周囲を、熱が逃げて温度が下がらないように、保温材で保護する作業を、ダクトの保温工事と呼ぶ。築炉に関連する保温工事には、主として無機質繊維を用いる。スラッグウール、ロックウール、アスベスト、ガラスウール、セラミックウールなどでできた、綿状、フェルト状、板状、円筒状などの材料が使用されている。また、保温した上からトタン板などでカバーすることをラギング（被覆する）という。

4・9 溶接工事

築炉工事に最も関連する溶接工事は、アンカレンが用のアンカ金物、不定形耐火物用アンカメタル、繊維質耐火物の施工に使うスタッド（アンカ）金物などをケーシングに溶接する作業である。この溶接作業は、築炉作業が始まる前に行われる場合と、築炉作業の進行にもなってなされる場合とがある。棒状のスタッドなどの溶接には、スタッドウェルダを使用すれば簡単で能率がよい。「築炉技能マニュアル—基礎編 1—（35）参照」

4・10 計装工事

現在の工業炉にはさまざまな計装が施されている。計装とは、炉の各種状態を感知するセンサと、これらに基いて、理想的な条件に保つためのコントロールシステム、および各種のデータを記録に残す装置などの総称である。炉の種類によって計装もそれぞれ違うものである。

炉に必要な計測装置として共通なものは温度計である。温度計にも各種あるが、一般的に使われているセンサは熱電対（サーモカップル）であり棒状の保護管に収められている。長さや太さも材質もそれぞれ違っているが、この熱電対を挿入する孔を、炉の必要個所に設けなければならない。この棒状の保護管は、炉壁を貫通して取り付ける関係上、築炉作業のときこれらの孔を所定個所にあけておく。

このとき、最も注意しなければならないことは、この孔を通して炉内の熱気が裏壁の断熱材や、ケーシング部にまわらないような工夫をすることである。「築炉技能マニュアル—基

礎編 P65～66 炉の開口部のれんが積み」参照。

計測の孔としては、炉圧測定孔、炉内監視用カメラ孔、その他もろもろの測定孔が設けられるが、築炉作業では上記の点に留意すること。

4・11 塗装工事

炉体周りの工事が終了し、周辺の清掃がすんだ時点で、炉の外周りの塗装が行われる。炉本体の炉枠金物の塗装には、普通、耐熱性の通称「銀ペン」などが使われている。銀ペンは正確にはシルバー系塗料という。

耐熱塗料には、アルミニウム系、シリコン系、などがあり、これらの下塗り用としてアルキド系のものが用いられている。なお耐熱塗料は、塗布する対象物の温度に適応したグレードのものを選ぶこと。

ケーシングがステンレス鋼板でできている場合には、普通、耐熱塗装は行わない。外観を重視する場合は、パフをかけた磨き鋼板を用いる。

なお、炉の周囲の機器や配管などの塗装については、発注者からの指定色に色分けする。

以上、築炉工事に関連する諸工事について述べたが、その種類と工程の取り合わせについて、表1・6に示す。築炉工事の種類、規模、工期などの諸条件により、多少の変更は当然であり、この表は絶対的なものではない。

表1・6

種 別	日 程
建 屋 工 事	—
炉 体 基 礎 工 事	—
炉 殻 金 物 組 立 工 事	—
築 炉 れんが 積 み 工 事	—
炉 付 属 金 物 据 付 工 事	—
煙 道 及 び 煙 突 工 事	—
炉 付 帯 諸 機 器 据 付 工 事	—
燃 焼 機 器 据 付 及 び 付 属 配 管 工 事	—
計 測 機 器 据 付 工 事	—
保 温 工 事	—
給 水 工 事	—
電 気 配 線 工 事	—
仕 上 げ 塗 装 工 事	—

第2章 耐火物の性質と用途

1 耐火物の意義

炉材とは、広い意味では炉を構成する材料全般を含み、これには鋼材やセメントなども含むと考えられる。しかし、工業炉においては、その主要部分は耐火物によって保持されている。したがって、一般に炉材とは耐火物を指していると考えてよい（表2・1参照）。

耐火物という言葉は、一般的な意味では高温で溶融しにくい性質を持ち、高熱工業用の各種工業炉の構築に適した性質を有する材料の総称である。建築用として使用される不燃性材料は、火炎温度（1000～1200℃）では燃焼せず使用に耐えるけれども、これは耐火物ではなく耐火材料と称されている。

1000℃程度では赤れんが、耐熱鋼、あるいは断熱材料でも耐える場合があるから、この温度以上の温度にさらして長時間使用しても軟化変形を起こさず熱の急変にも耐え、また侵食摩滅などに強く、使用に耐える工業炉の構築材料を耐火物ということができる。

表2・1

炉構成物	種類	備考
耐火物	耐火れんが	炉体の主要部分を構成する。
	不定形耐火物	〃
	耐火断熱れんが	熱損失を少なくするために使用する。
保護材	断熱れんが	〃
	保護材	〃
外部構成材	赤れんが	炉殻を作り炉を補強する。
	セメント	〃
	鋼材	〃

2 耐火物の分類

耐火物は品質や形態が極めて多岐にわたっているので、画一的に分類することは難しい。しかし、いくつかの見方から分類しておくことで耐火物を理解するうえで有益と考えられる。

2・1 化学的性質による分類

化学的な性質の酸とアルカリという見方から、耐火物は酸性（Acidic）、中性（Neutral）、塩基性（Basic）に区分できる。

この分類は高温において異種耐火物（酸性耐火物と塩基性耐火物）どうしの相互反応や耐火物とスラグなどとの反応を理解する上で便利である。例えばけい石れんが（酸性）とマグネシアれんが（塩基性）と接触させて使用すると、各々の融点より遥かに低い温度で相互反応を起こして融けてしまう。

2・2 化学組成による分類

定形耐火物（れんが）について、主に行われる分類で、材質の中味が分かり易く、非酸化

物系や黒鉛複合系耐火物の出現で実用上、便利な分け方である。(図2・1参照)

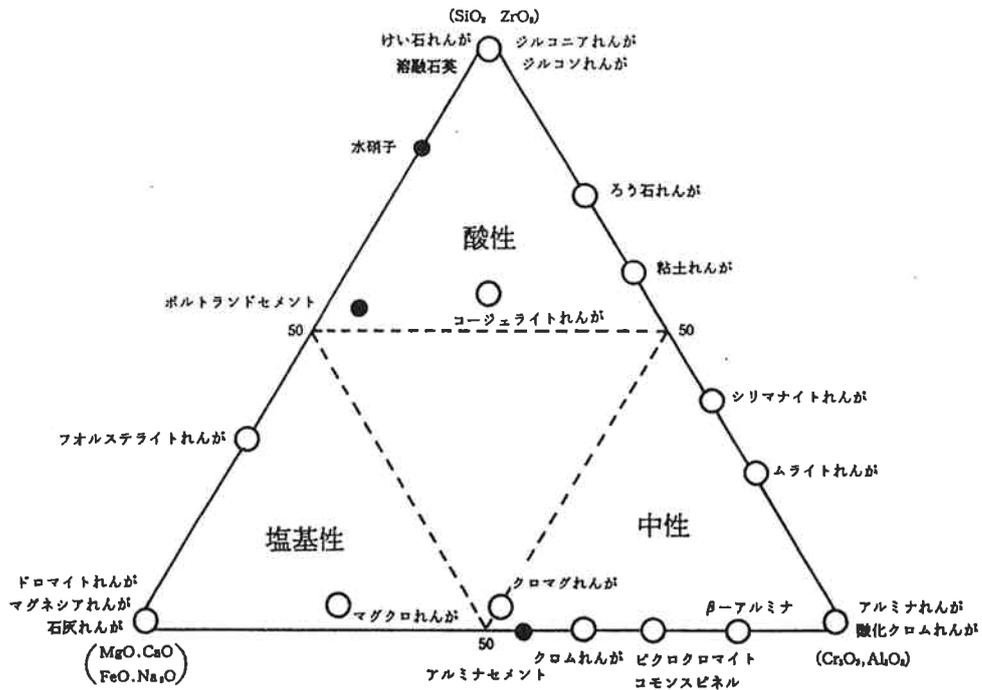


図2・1 耐火物の化学的性質による分類

2・3 形態による分類

耐火物には定形耐火物（れんが）と不定形耐火物に大別される。さらに、製造法とか使用方法によって、細かく分類される。(表2・2参照)

表 2・2 耐火物の形態による分類

分類	種類		定義・特徴
定形耐火物	耐火れんが	焼成	窯炉などの構造物の構築に用いられるあらかじめ形を備えた耐火物
		不焼成	
電 鋳			
	耐火断熱れんが		熱伝導率の低い耐火れんが
不定形耐火物	耐火モルタル	熱硬性	耐火れんがを積むときの目地材料、その硬化の機構から、熱硬性、気硬性および水硬性の耐火モルタルに分類される。
		気硬性	
		水硬性	
		キャストابل耐火物	耐火性骨材と水硬性セメントまたは化学結合剤を混合した耐火物。水を混ぜて流し込みによって成形できそのまま耐火性構造物として使用できる。
		プラスチック耐火物	耐火性骨材に可塑性のある材料を加え、さらに適当の水を混ぜて練り土状にした耐火物。比較的低温で硬化させるように化学薬品を添付したものもある。
		吹付け材	ガンを用いた冷間または熱間で構造物表面に吹き付けて施工する耐火材料
		ラミ ング材	熱の影響によってセラミックボンドができ強さを出す粒状耐火物。比較的可塑性がなくエアランマなどで強打されて施工される耐火材料
		スリ ング材	スリング機で投射され施工される耐火材料
		パッチング材	耐火モルタルと同様の性質をもつが塗布しやすいような適切な粒度に調整をされている耐火物
		コーティング材	
	軽量キャストابل耐火物	多孔質の軽量骨材と水硬性セメントなどを混合した耐火物。水を混ぜて流し込みによって成形でき、そのまま耐火断熱性構造物として使用できる。	
繊維状高温材料	セラミックファイバ	繊維状の人工耐火材料で、加工してブランケット、フェルト、モジュール、真空成形品、ロープなどの形で使用される。	

3 耐火物の具備すべき性質

耐火物は高温に耐え、または高温で溶解しにくいもの、という性質が要求される。しかし、この他さらに使用される炉の条件によっていろいろな要求がでてくる。これらの要求をまとめてみると、耐火物の具備すべき性質としては、

- ① 高温で溶融しにくいこと
- ② 高温で容積変化が少ないこと
- ③ 高温で相当の耐圧力のあること
- ④ 熱の急変によって破壊されないこと
- ⑤ 高温で接触するガスまたは被熱物による侵食や磨耗に対して抵抗性のあること
- ⑥ 熱膨張が少ないこと

が必要である。これらの要求の全てを同一耐火物に備えることは到底不可能であるから、使用条件に合わせて必要な性質を重点的に判断することが大切である。

これらの性質の判定の基準として、表 2・3 に示すが耐火物は次のような性能を測定し記録される。

表 2・3 耐火物の性質

組 織	比重、気孔率 通気率、気孔径分布
機械的性質	圧縮強さ、曲げ強さ 弾性率 摩耗 電氣的性質
熱的性質	耐火度 熱膨張 熱伝導率 比熱容量 熱衝撃 荷重軟化、クリープ 残存線変化
化学的性質	化学組成 侵食（気体、液体、固体との反応）
作業性	可塑性、粘性 硬化、経時変化

3・1 耐火度

耐火物の耐熱性の目安として測温三角錐が古くから使われてきた（「耐火度何番」または「SK何番」）。しかし、耐火度は高温温度計の示す瞬間的な表示温度ではなくて温度×時間の熱効果を含めた意味を持っており、また、耐火物は一般に沢山の成分が入っており、粗粒・微粒の組織を持っているので、高温の性質をそのまま耐火度で判定するわけにはいかない。

標準三角錐はH.Segerにより初めて考案されたものでゼーゲルコーンとして知られている。いずれも所定の成分に調合したコーンで、溶倒温度が600℃（SK22）から2000℃（SK42）の間を10～15℃間隔で区分されている。

測温の方法は水平面に対して80°の角度で耐火台にコーンを埋め込み、昇温してゆき、コーンの突端が受台に接触するときの標準錐の番号で表したものである。

3・2 温度変化に対する抵抗性

耐火物は使用中に剥落して損傷することがある。通常、この現象はスポーリングと呼ばれている。耐火物がスポーリングする原因には次の3種類がある。

（1）熱的スポーリング

温度の急激な変化によって耐火物内部にひずみが生じて亀裂剥落する現象。

（2）機械的スポーリング

熱膨張によるせり合いや、耐火物内部に水蒸気、ガスなどが急激に発生することによって耐火物にストレスが与えられて剥落する現象。築炉の構造が原因で、築造上、耐火物に不均衡な引張り応力や剪断応力がかかり亀裂や剥離が発生するのも機械的スポーリングと呼ぶ。

（3）構造的スポーリング

耐火物が使われる条件によって加熱面からスラグとかダストとかガスなどが浸透して、加熱面付近に変質層ができて剥離する現象。浸透成分と耐火物とが化学反応して収縮し組織が緻密化し、変質層と未変質層の膨張係数などの物性値が異なってこの組織の

不連続部分に亀裂や剥離が発生するようになる。

通常、これらの全部または2種類が合成されている場合が多いが、耐火物のスポーリング抵抗性の測定は温度変化によるテストを実施して、その抵抗性を表している。また、一般的に熱衝撃抵抗性は引張り強度と熱伝導率が高く、弾性率と熱膨張率の低いものが強い。

3・2・1 熱膨張率

物質の温度が高くなると原子（またはイオン）は、熱によって次第に大きく振動するようになる。そうすると、2つの原子（イオン）の間の平均距離が大きくなり、物は膨張する。熱膨張係数はその物質の結晶の構造や結晶強度によっても変わる。一般的に結晶強度が大きい結晶は、膨張率が小さく、逆の場合は大きくなる。

例えば、 Al_2O_3 や MgO のように比較的密に詰まった結晶のものは、熱振動の逃げ場が少ないので、熱振動がもろに熱膨張として現れ、熱膨張率が大きくなる。

これに反して、コーゼライトのようなものは、結晶中に隙間があって熱振動を逃がすことができるので小さな膨張率を示す。

さらに、結晶の転移や相転移があると、急激な膨張の変化が現れる。例えば、いずれも化学組成は SiO_2 である石英やクリストバライトは低温型（ α 型）の結晶から高温型（ β 型）の結晶に、ある温度で急に変わり（転移）、急激な熱膨張の変化が起こる。また、ジルコニア（単斜晶→正方晶）の場合のように急激な収縮が見られる場合もある。いずれにしても、このような耐火物は、加熱や冷却する時に亀裂が発生する恐れがあるので、昇降温には十分な注意が必要である。

3・2・2 残存線膨張収縮率

再加熱による耐火レンガの残存膨張収縮は、耐火レンガの焼成変化の進行を意味するもので、永久的変化であるから、永久膨張あるいは永久収縮とも呼ばれる。このような残存膨張、収縮を起こすレンガを高温で使用すると、残存収縮により亀裂を発生したり、レンガの脱落や崩壊を招くのでこの評価が重要となる。

耐火レンガの残存線膨張収縮率に相当するものが、耐火モルタルやキャストブルでは加熱線変化率、耐火断熱レンガでは再加熱収縮率と呼ばれている。

3・2・3 熱伝導率

耐火物にとって、熱伝導は極めて重要な性質である。その使われる目的によって高い熱伝導率が望まれる場合（耐熱衝撃性など）とできるだけ熱伝導率を下げたい場合（断熱性）があり、その特性を使い分ける必要がある。

物質中を熱が伝わっていく機構は主に3つある。

a) 電子伝導

結晶格子中を自由に動き回る電子があると、熱は電子を運び手として移動できる。例えば、自由電子を持つ金属の一部を高温に熱めると、その部分に存在している自由電子は高エネルギー状態になり、この自由電子の一部が低温部に移動して、そのエネルギーを結晶格子に与える。そうすると、この格子の振動が激しくなり、その部分の温度が上

昇する。このように、次々と熱が伝わっていくので、金属の熱伝導率が大きいのはこのためである。

b) フォノン伝導

原子（イオン）の熱振動（格子振動）によって隣の原子（イオン）に熱エネルギーが次々と伝達されていく方式で、耐火物（共有結合、イオン結合）ではこの格子振動による熱伝導が支配的である。

一般的に、温度が上がると、全ての方向の熱振動が激しくなって、衝突を起こして振動の伝わる効率が悪くなり、熱伝導率は減少する。

c) フォトン伝導

高温になってくると、放射のエネルギーは急激に増加する。イオン結晶のような光の透過性のよい結晶は、高温（1300℃以上）になるとこの機構によって熱伝導率が増加する。

耐火物は不均一な組織からなっている多結晶体であるので、気孔、粒子の大きさや粒界が大いに熱伝導率に影響する。

気孔率が増加すると熱伝導率が低下する。また、気孔率が一定の断熱材で、気孔径の大きいものは高温になると気孔内のガスの対流伝熱が大きくなり熱伝導率があがる。従って、断熱材としては気孔径の小さいものが優れている。

3・2・4 比熱容量

耐火物の比熱容量は窯炉の昇温、冷却速度に直接影響し、蓄熱炉では炉の性能を左右するので重要な特性値である。

比熱容量とは、単位の質量の物質を単位の温度だけ上昇させるのに必要な熱量をいう。一般的に温度によって変化する。また、温度を高めるときに一定圧力の下で行うか、または一定体積に保つかによって、定圧比熱（ C_p ）と定積比熱（ C_v ）とに区別する。

3・2・5 クリープ、荷重軟化点

高温にある材料に一定の荷重を長い時間かけ続けると、時間とともに材料は変形してゆく。この変形過程をクリープと呼び、構造体としての耐火物の性能の評価、品種の選定、窯炉の設計などを行う上で大切である。

耐火物は複雑な組織からなっており、1) 耐火物中の結晶相とガラス相の量とかガラス相の粘性、2) ガラス相と結晶相の反応、3) 結晶相の間の反応、4) 粒子径の分布、5) 気孔の大きさと分布、6) 微量成分などによってクリープ変形の仕方が変わってくる。

一般にクリープ曲線は図2・2のようになる。試験体を一定温度に保持した後に所定の荷重を加えて保持すると、最初の弾性変形①に続いて一次クリープ②、歪の速度が一定な二次クリープ③、歪速度が加速される加速クリープ④と進行して破断に至る。

一方、クリープ変形の一つであるが耐火物の評価方法として、荷重軟化点が用いられる。

試料に一定の荷重（普通は 2 kg/cm^2 ）をかけながら、指定された昇温速度で加熱して、変形—温度曲線（軟化曲線）を求める。図2・3のように、曲線の最大点（収縮開始温度）を T_1 とし、2%圧縮された温度 T_2 、20%圧縮された T_3 として現す。

一般的に、気孔率が低いものは、荷重を支える支持面積が大きくなるので、クリープ（ま

たは荷重軟化) 変形がしにくい。

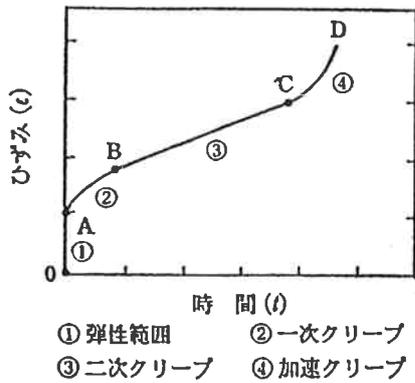


図2・2 クリープ曲線

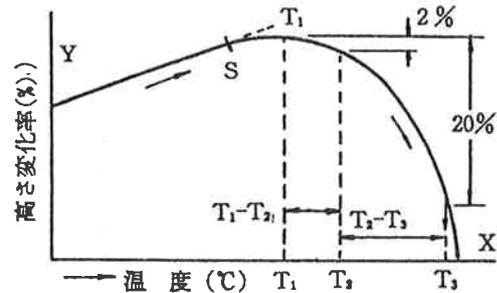


図2・3 荷重軟化曲線

3・3 組織

3・3・1 比重、気孔率

耐火物の基本物性として、比重と気孔率は耐火物のできあがった組織がどのようになっているかを知る上で重要である。耐火物の組織構造は、粗粒と微粒の固体部分と気孔から成っている。気孔について眺めると図2・4のように貫通気孔と開放袋小路気孔と密封(孤立)気孔とがあるのがわかる。

それで気孔率は真の気孔率(全気孔率)と見掛けの気孔率(開放気孔率)で数値化されている。

気孔の形と量は耐火物の性能に大きく影響を与える。例えば、形について開放気孔はマグネシアカーボンレンガの酸化のされ方を左右するし、量について、断熱耐火物では熱伝導率の低い空気(気孔)を多く含ませることが必要である。真比重は固体部分の比重で、固体部分の結晶の状態を推察することができる。例えば、けい石レンガの素地を焼成してレンガを作る際に、主原料の石英(比重2.26)はほとんどクリストバライト(比重2.33)とトリジマイト(比重2.26)に変わる。従って、けい石レンガの焼け具合を見るのに残存石英がどれだけあるか比重によって判定できる。

見掛け比重は固体部分と密封気孔を含めた比重で、開放気孔がほとんどを占めるけい石レンガでは見掛け比重と真比重との差が少ない。かさ比重は耐火物の目方を外形の容積で割ったもので、同系等の耐火物や原料の充填のされ方を判定するのに便利である。

吸水率は開放気孔に入った水の量が耐火物の乾燥重量に対してどれ位かの割合で、スラグの浸透する量の目安となる。

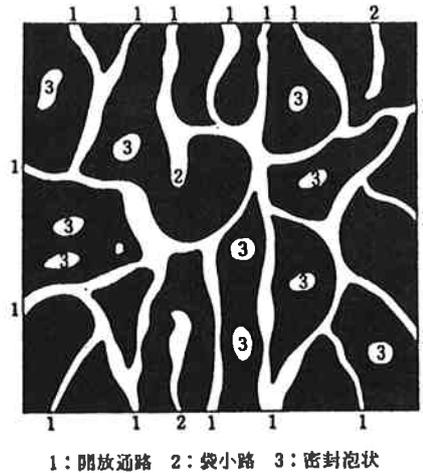


図 2・4 耐火物の気孔形状 (概念図)

(注) Harders/Kienow, "Feuerfestkunde" p.60 Springer (1960) による

3・3・2 通気率・気孔径分布

耐火物の相対する面の間に圧力の差があるとき、気体または液体は貫通孔を通して圧力の高い側から低い側へ通過する。この流体の通過のし易さを表したものが通気率である。従って、通気率は同じ条件（圧力差、通過体厚さ、面積）で測ると、貫通孔の数、径、長さによって違ってくる。また、流体の種類と温度により変わり、一般に気体は温度が上がると粘性が増して通り難くなる。

3・4 機械的性質

3・4・1 圧縮強さ、曲げ強さ

構造材料として使用される耐火物は、窯炉の築造の設計上、機械的強度が重要となる。

耐火物は脆い材料（脆性材料）であり、組織内に気孔や亀裂が沢山入っていて（故意にされることもある）この欠陥から破壊する。

耐火物の引張り強さは普通、圧縮強さの $1/8 \sim 1/40$ 位である。

圧縮応力に関して耐火物は、骨材の間で連がりがなくとも、骨材自身の強度が高ければ骨材間の摩擦力である程度まで耐えることができる。例えば、お城の石垣のように、石を適当に組み合わせて積み上げていくと、石と石の間に接着剤がなくとも、上からの荷重で簡単には壊れない。しかし、引っ張り上げると、容易にバラバラに抜けてしまう。

このように、耐火物は引張り応力に弱いので、築造の際には極力引張り応力が働かないように圧縮応力がかかるように設計すべきである。強度試験方法は図 2・5 に示す。曲げ強さの測定は引張り試験に比べて試験方法と試験片の作製が易しいので、耐火物の場合もつぱら曲げ試験を行う。

曲げ試験法から分かるように、試料厚みの中心より上方では圧縮応力、下方部分で引張り応力、中心で剪断応力が働いており、破壊は下方中心から始まる。

圧縮破壊では亀裂はずれ（剪断）破壊で上下縁部から45度にはいる。

熱間曲げ強さは一般に高いものほど結合力が大きいので耐食性が高く、耐火物の耐食性評

価の指標にもなる。

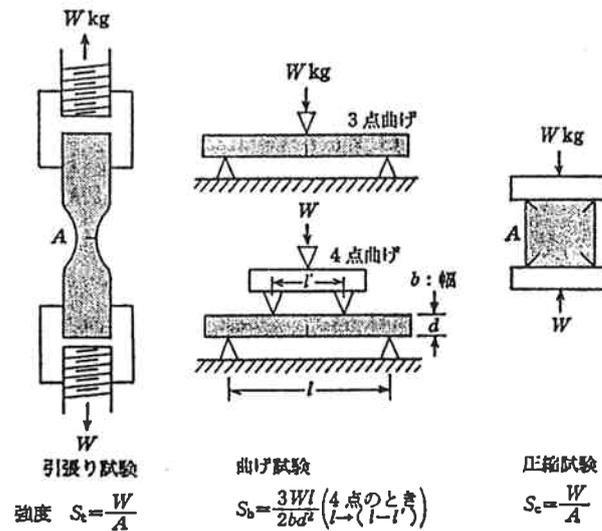


図2・5 材料強度試験

注、一印はき裂の始まり

3・5 耐食性

耐火物は使われる条件により、単に高熱に曝されるだけというものではなくて、耐火物の囲りにある接触物質と化学反応を起こして、接触面から内部にかけて新しい期待しない物質が生成してしまう。この結果、耐火物が持っている元の優れた性能を劣化させ損耗していくことになる。

耐火物の周囲にある物質としては、気体、液体（水溶液や融液）、固体があり、また、これらが混在したものもある。

3・5・1 気体との反応

H_2 、 O_2 、 CO 、 SO_2 、 H_2O 、ハロゲン (F_2 、 Cl_2)、ハロゲン化水素 (HF 、 HCl 、など) などのガスは常温から高温まで耐火物と反応する場合があります、また、 $1000^\circ C$ 以上の高温になると、そこに存在する液体や固体から発生した蒸気と反応することがある。

H_2 は遷移元素酸化物 (Ti 、 Cr 、 Fe 、 Y 、 Zr など) を低級酸化物から、さらに金属にまで還元する。例えば、 $MgO \rightarrow Mg$ に、 $SiO_2 \rightarrow SiO \rightarrow Si$ の蒸気になることはよく知られている。緻密な焼結アルミナ製炉芯管の場合、 H_2 によつて結晶粒界が侵されて多孔質化して、通気性を持つようになる。

CO_2 は常温でアルカリ (Na 、 K など) やアルカリ土類金属 (Ca 、 Mg など) の酸化物と反応して炭酸塩を作る。不定形耐火物のバインダに用いるけい酸ソーダやアルミナセメントなどで、炭酸化による性能劣化が考えられる。

H_2O は石灰系耐火物、ドロマイト質耐火物やマグネシア耐火物と反応して、水酸化物を作り、このとき容積が増大 (比重 $CaO=2.62 \Rightarrow Ca(OH)_2=2.24$ 、 $MgO=3.65 \Rightarrow Mg(OH)_2=2.40$) するため膨張して崩壊する。この現象を消化 (Slaking) と言って、遊離石灰 (化合物を作らずにフリーの CaO となっている) を含んでいる耐火物では防湿について十分な対

策を施す必要がある。

COは高温で遷移元素酸化物を還元したり、SiCと1300℃以上で反応し、SiOとCに分解させる。

高炉の粘土質れんがの組織内で起こるカーボンの沈着現象は、粘土質れんがの中に酸化鉄が遊離の状態で存在していると炉内のCOガスと反応して、酸化鉄は炭化鉄(Fe₂C)となり、分解して(3Fe₂C→2Fe₂C+C)カーボンが生成することによる。この反応は450℃～600℃で最も活発となるので、れんが内の温度勾配でこの温度域にある所にカーボンが沈着していき、ついには組織を破壊させることがある。

3・5・2 融体との反応

耐火物を溶融物の精錬容器や保持容器に使う場合には、直接溶融物(金属、スラグ、ガラスなど)と接するので、このような時、耐火物の侵食はその表面が溶融物に直接溶解することで進むものと、溶融物が組織の中に浸透した後いろいろな機構で進行するものがある。スラグは主にCaO—Al₂O₃—SiO₂系の組成で、これにFeOやFe₂O₃が混じっている。表2・4に高炉と転炉スラグの化学組成を示したが、高炉スラグはSiO₂が多く、塩基度(CaO/SiO₂モル比)が低い酸性スラグ(高粘性)であるのに対し、転炉スラグは塩基度が高い塩基性スラグになっている。

一般的な耐火物の使い分け方として、酸性スラグには酸性耐火物(けい石、粘土質)、塩基性スラグには塩基性耐火物(マグネシア、ドロマイトなど)、中性のスラグには中性耐火物(塩基度の順にマグクロ、アルミナ、高アルミナ)が用いられる。このことは、水溶液の反応で見られる酸同士、アルカリ(塩基性)同士反応しにくいことから理解できる。

一般に、耐火物と溶融物が反応して、耐火物の表面に反応層が形成され、この層が緻密、高粘性、高耐熱性であれば侵食の進行が遅くなる。逆に、低融点で低粘性の反応層ができると早くなる。

表2・4 代表的スラグの組成

スラグ	Ig-Loss	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	R ₂ O	P ₂ O ₅	FeO	CaO/SiO ₂
高炉	0.45	33.32	1.36	14.38	0.29	41.92	6.70	0.77	t.	0.35	1.35
転炉	1.57	12.91	1.49	2.15	7.06	44.80	9.82	0.08	2.90	T, Fe 14.42	3.72

3・5・3 固体との反応

異種の酸化物が接触している場合、高温では共融点それぞれの融点より低いので注意する必要がある。表2・5は2種類の酸化物が一緒に存在した場合に液相ができる最低温度を示したものである。例えば、SiO₂(融点1710℃)とMgO(融点2850℃)の場合には、1543℃で液相が生じる。また、2成分以上の多成分系になると、さらに温度が下がってくる。一般に塩基性耐火物と酸性耐火物は反応し易いので、間に中性耐火物を挟むことが必要である。

表 2・5 酸化物 2 成分系における液相生成最低温度 (°C)

	融点 (°C)	Al ₂ O ₃ 2,050	BeO 2,570	CaO 2,610	MgO 2,850	SiO ₂ 1,710	ThO ₂ 3,300	TiO ₂ 1,840	ZrO ₂ 2,770
Al ₂ O ₃	2,050		1,835	1,360	1,995	1,546	1,750	1,720	1,710
BaO	1,920	1,425	1,141			1,370			
BeO	2,570	1,835		1,384	1,855	1,670	2,150	1,700	2,145
CaO	2,610	1,360	1,384		2,300	1,436	2,300	1,420	2,140
CoO	1,800					1,377			
Cr ₂ O ₃	2,300	2,030			2,340	1,710			
Cu ₂ O	1,230					1,060			
FeO	1,370	1,310							
MgO	2,850	1,995	1,855	2,300		1,543	2,100	1,600	2,113
MnO	1,780	1,520							
NiO	1,980	1,880							
PbO	890	865				720			
SiO ₂	1,710	1,546	1,670	1,436	1,543		1,700	1,540	1,675
SrO	2,450	1,505	1,302			1,358			2,200
ThO ₂	3,300	1,750	2,150	2,300	2,100	1,700		1,630	2,680
TiO ₂	1,840	1,720	1,700	1,420	1,600	1,540	1,630		1,750
ZnO	1,970	1,710				1,432			
ZrO ₂	2,770	1,710	2,145	2,140	2,113	1,675	2,680	1,750	

4 定形耐火物

定形耐火物は窯炉などの構造物の築造に用いられるあらかじめ形を備えた耐火物で、耐火れんがと耐火断熱れんがに分けられる。また、耐火れんがには、焼成品、不焼成品、電鋳品がある。

4・1 けい石質れんが

けい石れんがはシリカ (SiO₂) を主成分とするけい石原料を用いたけい石れんがと石英ガラスを使用する溶融石英れんががある。けい石れんがは熱風炉、コークス炉やガラス溶融炉などに用いられており、溶融石英れんがは、コークス炉炭化室のドアれんがや流動塩化炉などに用いられている。

4・1・1 けい石れんが

けい石れんがは酸性耐火物の代表的なれんがで、その鉱物組成は原料けい石 (石英) から焼成効果によって変化 (転移) したトリジマイトとクリストバライトからなっている。

高温熱風炉とかガラス溶解窯の上部構造のような耐クリープ性が重視される所には Fe₂O₃、Al₂O₃、TiO₂ の少ない原料が適している。その他、コークス炉のようなれんが形状が複雑で炉構造の安定性を主眼にした所には、転移のよい軟けい石や予め熱転移を受けているけい石れんが屑が用いられる。

けい石れんがの特徴としては、

- ① 熱間強度が大きい。
- ② 残存膨張性を有する。(高温でも収縮しない)
- ③ 比重が小さい。
- ④ 低温で異常膨張性があり、高温での膨張係数が非常に小さい。

重要なことは、SiO₂ の多形 (結晶系が異なる) の変態によって起こる熱膨張特性で特に 100~200°C の温度域において α トリジマイト ⇔ β トリジマイト、また、200~300°C 域におい

て α クリストバライト $\Leftrightarrow\beta$ クリストバライトの転移によって容積が大きく変化するので、このような温度範囲の温度変化でスポーリングを起こし易いので注意を要する。

4・1・2 熔融石英れんが

石英ガラスの低膨張性を利用したれんがで、成形は機械成形や鋳込み形成によって行われる。

焼成は石英ガラスが結晶化（失透）しない1100℃以下の温度で行う。

特徴は、

- ① 熱膨張係数が極めて小さく、耐スポーリング性に優れる。
- ② 通気性が小さい。
- ③ 熱伝導率が低い。

表2・6にけい石質れんがの品質例を示す。

表2・6 けい石質れんがの品質例

性質 \ 種類	熱風炉用	コークス炉用	ガラス炉用	熔融石英
耐火度(SK)	≥32	32	33	34
見掛比重	2.32	2.30	2.32	2.20
見掛気孔率(%)	20.0	19.8	18.4	13.4
圧縮強さ(kg/cm ²)	500	790	400	650
荷重軟化点T ₁ (℃) (2kg/cm ² 荷重下)	1630	1630	1665	1625
熱間線膨張率(%) (at 1000℃)	1.20	1.19	1.35	0.09
SiO ₂ (%)	96.0	96.1	96.7	99.2

4・2 粘土質れんが

粘土質れんがは耐火粘土を主原料とした粘土れんがと、ろう石原料を用いたろう石れんがを含め、Al₂O₃成分が45%以下のSiO₂-Al₂O₃系れんがを言う。

粘土れんがは用途に応じた品位別種類が多くあって、各種工業窯炉に広く用いられている。

ろう石れんがは主に取鍋用れんがとして用いられており、ここでは省略する。

4・2・1 粘土れんが

粘土れんがの原料は石英などを含むカオリナイト(Al₂O₃・2SiO₂・2H₂O)族鉱物を主成分とする粘土で、カオリナイトは結晶水を相当含んでおり、強熱減量(Ignition-loss)が約10%以上もあるので、そのまま使用すると、焼成時の収縮が大きく亀裂を生じる。それで、使用粘土原料の大半はあらかじめ焼成し、シャモット(焼粉)にして使用する。

一方、生粘土は微細な板状の結晶を含み、可塑性(粘土細工のときの作業性)があり、特に有機物を含む木節粘土は優れた可塑性を有し、結合粘土として広く用いられている。

粘土質れんがの特徴は、

- ① 比較的安価で、加工が容易である。

- ② 熱膨張率、熱伝導率、比重、比熱が小さい。
- ③ 荷重軟化点はあまり高くないが、溶融時の粘性が高く、 T_1 点と T_2 点の温度幅が広い。
- ④ 酸性耐火物であるので、塩基性スラグには侵され易い。

表2・7に粘土れんがの品質例を示す。

表2・7 粘土れんがの品質例

		熱風 炉用	高炉 用	一般品 (1)	一般品 (2)
化学組成 [%]	SiO ₂	—	—	—	—
	Al ₂ O ₃	38.8	43.1	33.8	32.5
	Fe ₂ O ₃	2.0	1.0	2.3	2.5
耐火度 [SK]	34	35	33	32	
見掛け気孔率 [%]	21.5	12.5	23.0	23.0	
かさ比重	2.15	2.35	2.00	2.00	
圧縮強さ [kg/cm ²]	450	800	400	350	
熱間膨張率(1000℃) [%]	0.6	0.6	0.5	0.5	
荷重軟化点 T_2 [℃] (Load : 2kg/cm ²)	1440	1520	1365	1345	

4・3 高アルミナ質れんが

Al₂O₃—SiO₂質の耐火れんがで、Al₂O₃量が45%以上、耐火度がSK35番以上のものを高アルミナ質れんがと呼んでいる。高アルミナ質れんがは原料に粘土等の結合剤を添加し焼成する焼成れんがとリン酸アルミ等の結合剤を使用した不焼成れんががある。また、高アルミナ質れんがはAl₂O₃量が約80%以下のものを高アルミナ質、90%以上のものをアルミナ質れんがとも言う。

4・3・1 高アルミナ質れんが

高アルミナ質れんがの使用原料は天然産のボーキサイト、ばん土頁岩、シリマナイト、アンドリュサイトおよびカイアナイトなどであるが、一部人工のムライトやコランダムの電融品、焼結品など幅広い原料からなっている。

高アルミナ質れんがは粘土れんがと比べて、次の特徴がある。

- ① 高耐火性である。
- ② 熱間強度と耐クリープ性が高い。
- ③ 耐磨耗性と耐食性に優れている。
- ④ 熱間での容積安定性に優れている。

表2・8に高アルミナ質れんがの品質例を示す。

表2・8 高アルミナ質れんが一般的品質例

		熱風 炉用	ロータリ キルン用	加熱 炉用
化学組成 [%]	SiO ₂			
	Al ₂ O ₃	82.0	70.5	50.5
	Fe ₂ O ₃	0.8	1.9	1.9
耐火度 [SK]		39	37	35
見掛け気孔率 [%]		18.0	22.5	21.5
かさ比重		2.85	2.50	2.25
圧縮強さ [kg/cm ²]		800	600	500
熱間膨張率 (1000℃)		0.5	0.6	0.6
荷重軟化点 T _{0.2} [℃] (Load: 2kg/cm ²)		1,700	1,480	1,470

4・3・2 アルミナ質れんが

アルミナ質れんがの原料には、天然産と人工のアルミナ原料があるが、近年、れんが品質に対する要求が厳しくなってきた、人工のアルミナ原料が主体に使用されるようになってきた。

表2・9にアルミナ質れんがの品質例を示す。また、れんがの特徴としては、

- ① アルミナ含有量が高く、超高耐熱性である。
- ② 耐磨耗性、耐食性に優れている。
- ③ 熱間特性（容積安定性、高荷重軟化、耐雰囲気安定性）に優れる。
- ④ 熱膨張率は大きい方で、耐スポール性は強くない。

表2・9 アルミナ質れんがの一般的品質例

		各種高温 炉 (1)	各種高温 炉 (2)
化学組成 [%]	SiO ₂		
	Al ₂ O ₃	99.1	95.4
	Fe ₂ O ₃	0.1	1.2
耐火度 [SK]		40以上	40以上
見掛け気孔率 [%]		18.0	16.0
かさ比重		3.25	3.20
圧縮強さ [kg/cm ²]		900	1000
熱間膨張率 (1000℃)		0.8	0.8
荷重軟化点 T _{0.2} [℃] (Load: 2kg/cm ²)		1,700以上	1,750以上

4・4 ジルコニア質れんが

ジルコニア質れんがにはジルコン (Zr₃O₂・SiO₃) れんがとジルコニア (ZrO₂) れんがなどがあるが、一般的なジルコンれんがについて述べる。

ジルコンれんがはガラスやスラグに対して耐食性に優れており、耐スポーリング性が良好であり、用途としてはガラス溶解炉や造塊用（取鍋、ノズルなど）の耐火物などがある。

表2・10に品質例を示す。また、特徴としては、

- ① 熔融金属やガラスに濡れにくい。
- ② 熱膨張率が小さい。
- ③ 耐スポーリング性に優れる。

表2・10 ジルコン質各種れんがの品質例

材 質	ジルコン 単味	ジルコン ムライト	特殊 ジルコン	ジルコン Al ₂ O ₃ , Cr ₂ O ₃ 系	ジルコン ムライト Cr ₂ O ₃	ジルコン 単味	ジルコン アルミナ	デンス ジルコン	
用 途	連铸ノズル	SN上 ノズル	SN下 ノズル	取鋼, 羽口	取鋼, 羽口	構 造 用	フィーダー パーツ構造 用	長繊維ガ ラス炉用	
耐 火 度 (SK)	>37	—	—	—	—	>37	35	>37	
か さ 比 重	3.50~3.70	3.30~3.50	3.00~3.10	3.30~3.50	3.45~3.65	3.76	3.50~3.15	4.20~4.32	
見掛気孔率(%)	20~24	19~22	19~22	16~20	17~21	18.0	16~19	0~1.5	
圧縮強さ(kg/cm ²)	>500	>600	>300	>600	>400	1420	1000~1500	3500~4500	
荷重軟化点T ₂ (°C)	>1650	—	—	>1650	>1550	—	—	—	
化学成分 (%)	ZrO ₂	60~65	52~55	45~48	48~53	55~60	66.9	17~19	65~66
	SiO ₂	30~35	32~34	35~37	20~25	28~33	30.7	8~10	33~34
	Al ₂ O ₃	—	11~13	15~17	15~20	5~8	—	70~73	—
	Cr ₂ O ₃	—	—	—	3~5	2~3	—	—	—

4・5 クロム質れんが

クロム質れんがは化学的に中性であるクロム酸を主原料とした焼成れんがで、耐火度は高いが荷重軟化点が低く、熱スポーリングし易い欠点がある。さらに高温でガスや溶解物に接触して変質する。ことに製鋼炉では酸化鉄の浸透によって、いわゆるバースチング現象を起こし、亀裂崩壊する危険がある。現在、クロム質れんがは均熱炉、あるいは加熱炉の炉床部等で使用され、その適用範囲は限定されている。その他特殊品として、酸化クロムを主成分とする緻密質クロムれんがが開発され、特殊ガラス溶解窯で使用されている。

4・6 マグネシアれんが

マグネシアれんがは代表的な塩基性れんがで、構成鉱物のマグネシア (MgO) は融点が2800°Cと高く、塩基性の溶融物に対して抵抗性が大きい。マグネシア原料は天然産のマグネサイト (MgCO₃) と海水中から抽出した海水マグネシアが主体で、他にマグネサイトや海水マグを電融した電融マグネシアも用いられている。

マグネシアれんがには、結合剤として苦汁 (にがり) を加えて化学的な結合を形成させた不焼成品と、焼成品がある。表2・11に代表的な焼成マグネシアれんがの品質例を示す。主な用途は各種製鋼炉の永久張り、アルカリ蒸気に強いことからガラス炉蓄熱室のチェッカ、不焼成れんがは電気炉側壁にメタルケース品が使用されている。

表2・11 各種マグネシアれんがの品質

		普通品	C _s Sボンド品	高純度品
化学成分 〔%〕	SiO ₂	2.8	0.9	0.2
	Al ₂ O ₃	0.2	0.1	0.1
	Fe ₂ O ₃	0.1	0.1	0.1
	CaO	1.0	3.1	0.5
	MgO	95.7	95.5	99.0
見掛け比重		3.49	3.51	3.54
かさ比重		2.91	3.01	3.00
気孔率〔%〕		16.5	14.2	15.2
圧縮強さ〔kg/cm ² 〕		619	697	740
曲げ強さ 常温		182	220	180
〔kg/cm ² 〕 1 200		24	52	99
1 500		5	18	57
熱膨張(at1500℃)		2.15		
荷重軟化点	T ₁	1 635	1 750以上	1 750以上
	T ₂	1 750以上	—	—
透気率 (cm/s)		1.62×10 ⁻³	—	1.4×10 ⁻³

4・7 マグネシア・クロム質れんが

マグネシア・クロム質れんがは原料にマグネシアとクロム鉄鉱石を用いたもので、一般にマグネシアが50%以上のものをマグクロれんが、50%未満のものをクロマグれんがと呼んでいる。また、焼成れんがと化学結合を用いた不焼成れんがとがあり、焼成れんがの中でも結合形態によってシリケートボンド（低温焼成）とダイレクトボンド（高温焼成）れんがに区別される。さらに、原料に一部電融品を使用したセミリボンドれんがと電融品を主体として用いたりボンドれんがとに分類されることもある。

シリケートボンドれんがは組織の結合が主として、フォルステライト（2MgO・SiO₂）やモンチセライト（CaO・MgO・SiO₂）のようなシリケートによっているので、熱間強度、耐食性が不十分で、これに対し、ダイレクトボンドれんがはSiO₂分を極力クロム鉱とマグネシアを高温焼成することによって両者を直接結合させたれんがで、熱間強度が高く、スラグ抵抗性が強い。

電融マグ・クロクリンカを用いたりボンドれんがは組織が緻密でスピネル結晶粒が大きく発達しており、外来成分による粒界損傷が少ないので、さらに優れた耐食性を示す。ただし、耐スポール性はダイレクトボンドれんがに比べて劣っている。

表2・12にマグクロ質れんがの品質例を示す。

表2・12 マグクロ質れんがの品質例

		不焼成品	焼成品	高温焼成品	超高温焼成品	リボンデッド	セミリボンデッド
		A	B	C	D	E	F
原料	クロム鉄鉱 普通品	○	○				
	低シリカ品			○	○		○
	マグネシア MgO95%	○	○				
	MgO98%			○	○		○
電融マグクロ						○	○
化学成分	SiO ₂	4.1	5.4	1.8	1.2	1.8	1.9
	Al ₂ O ₃	8.1	15.9	8.7	7.8	4.1	6.5
	Fe ₂ O ₃	0.7	7.7	4.4	4.3	6.8	5.9
	CaO	0.8	0.7	0.5	0.6	0.5	0.7
	MgO	73.2	49.3	74.7	73.1	56.9	65.5
	CR ₂ O ₃	7.5	19.3	9.9	12.9	29.2	19.5
見掛比重		3.32	3.73	3.65	3.66	3.83	3.72
かさ比重		2.92	2.88	3.08	3.13	3.27	3.14
気孔率%		12.0	22.8	16.0	14.5	14.4	16.2
圧縮強さ kg/cm ²		445	223	544	706	820	730
曲げ強さ kg/cm ²	常温	—	56	75	117	220	90
	1200℃	5	—	125	230	200	160
	1500℃	—	10(1400℃)	39	119	70	50
スポーリング	きれつ発生	—	1	1~2	1	1	1
	1400℃×15分空冷	—	3	>10	8~10	4	9
荷重軟化点℃ T ₂		1510	1620	—	—	—	—
熱膨張%at1500℃		1.79	1.52	1.83	1.78	1.65	1.76
平均気孔半径μ		—	2.9	10.5	13.5	7.7	9.1
スラグ吸収軟化率 1700℃ AODスラグ		—	—	1650℃崩壊	1700℃× 40分崩壊	4.2%(2h)	

4・8 マグネシア—カーボンれんが

マグネシア—カーボンれんがは、マグネシアれんがのスラグ浸透性とスポーリング抵抗性を改良するために開発されたれんがで、マグネシア原料とカーボン（主として黒鉛）にフェノール樹脂（レジン）などの耐硬化性樹脂を加えて混練し、成形した後に約200~300℃で熱処理した不焼成れんがである。黒鉛の配合量は10~25%が一般的である。

マグネシア—カーボン（マグ・カーボン）れんがの特徴は、

- ① 溶融スラグに濡れにくく、高耐食性で、スラグ浸透による構造的スポーリングを起こさない。
- ② 高熱伝導性、低膨張率、低弾性率のために熱的スポーリングに優れる。

など製鋼炉用耐火物として極めて優れたれんがである。

一方、欠点として、

- ① カーボンの酸化。
- ② 高温、減圧下でのMgOの揮発。

がある。特に、酸化防止技術は重要で、リン状黒鉛やフェノール樹脂源のカーボンは約500℃以上から酸化が始まり、れんが結合組織が崩壊していく。このため、Al、Mg、Siなどの易酸化性金属粉末を加えて、カーボンの酸化を防ぐ。金属の添加は高強度化の効果も大きく、例えば、Al粉の添加は使用中に高温で炭化物(Al₄C₃)や酸化物(MgO・Al₂O₃)を生成して新しい結合組織ができるので強度が向上する。

表2・13に品質例を示す。

表2・13 マグ・カーボン系れんがの品質特性

材 質		MgO-Cれんが	MgO-Cれんが	Mg-Cれんが	MgO-CaO-Cれんが
品 名		—	—	—	—
見掛比重		2.99	2.99	3.04	3.07
かさ比重		2.90	2.90	2.95	2.95
見掛気孔率(%)		3.0	2.9	3.1	3.8
圧縮強さ(kg/cm ²)		420	480	550	400
熱間曲げ強さ(kg/cm ²) at1400℃		45	110	128	60
化学成分(%)	MgO	75	74	78	73
	CaO	金属なし	金属あり	金属あり	金属あり
	F.C	19	19	16	16
耐酸化性 1400℃×3hr 酸化層厚さ(mm)		6.0	4.8	4.3	4.0
耐スポール性 1600℃溶鉄浸漬テスト		◎	○	△	○

4・9 ドロマイト質れんが

ドロマイト質れんがは原料に天然ドロマイトクリンカ、合成ドロマイトクリンカ、安定化ドロマイトクリンカ（まれに電融クリンカ）とマグネシアを用いたマグ・ドロれんがが一般的である。天然ドロマイトクリンカや合成ドロマイトクリンカ（またはマグ・ドロクリンカ）は含有しているCaOの一部が安定化されているのみであるので、水と反応して消化（Ca(OH)₂化）を起こす。

ドロマイト質れんがには不焼成れんが（タール結合）と焼成れんががあるが、転炉のマグ・カーボンれんがへの移行によって使用量は大幅に減少した。現在では主に焼成れんがが二次精錬炉（AOD、LFなど）やセメント焼成炉等に使用されている。

4・10 スピネル質れんが

スピネル（MgO・Al₂O₃）はマグネシアとアルミナからなり、融点はアルミナよりも高く、線膨張率はマグネシアよりも低い。また、熱伝導率、弾性率はいずれのものより小さい。このような性質から、スピネルは耐スポール性に優れた部類の原料である。

原料には焼結スピネルと電融スピネルとがあり、一方、成分上、MgOを富化したものも使用されている。

主な用途はセメント用ロータリーキルンの内張りで、マグネシアースピネル（約20%）れんがとしてセメントコーティングの脱着が激しい部分に使用されている。理由は、耐スポール性が強いことと、温度や雰囲気変動に対しマグクロれんがのように容積変化がないためである。

4・11 炭化けい素質れんが

炭化けい素質れんがはSiC80～90%を含むれんがを高炭化けい素質れんがと呼び、90%以上含むものを特殊炭化けい素質れんがと呼ぶ。また、結合剤によっても分類される。これは、

炭化けい素自体が難焼結性でれんがにするためには焼結助剤を添加する必要があり、また結合剤の種類によってれんがの性質が大きく変化するためである。

表2・14に分類例を示す。炭化けい素質れんがの一般的な特徴として、

- ① 高熱伝導性である。
 - ② 耐スポーリング性に優れる。
 - ③ 耐磨耗性に優れる。
 - ④ 非酸化性スラグに対する耐食性に優れる。
- などである。しかし、溶鋼や酸化鉄を多く含むスラグには侵される。これらの性質を利用して、ボイラー、非鉄金属溶解炉の天井、壁、炉床、陶磁器等のトンネル窯用棚板、支柱、さや等として使用される。

表2・14 各種結合炭化ケイ素耐火物

特性	結合方式	炭化物結合	窒化物結合	酸化物結合
見掛け気孔率 [%]		14	11	11.0
かさ比重		2.6	2.75	2.85
圧縮強さ [kg/cm^2]		1,300	2,100	1,350
曲げ強さ (常温)		370	550	310
[kg/cm^2]	(1,400°C)	500	570	580
熱膨張率 [%] (at 1,000°C)		0.4	0.4	0.4
熱伝導率 [$kcal/m \cdot h \cdot ^\circ C$]		11.5	14.3	11.5
	(at 1,000°C)			
化学組成 [%]	SiC	96.3	74.9	88.0
	Al ₂ O ₃			6.2
	SiO ₂	3.0	1.0	4.0
	Si ₃ N ₄		22.5	

4・12 炭素質れんが

炭素質れんがは原料に、骨材として石油コークス、ピッチコークス、冶金コークス、焙焼無煙炭、天然黒鉛（鱗状、土状）、人造黒鉛などが、また粘結材としてピッチ、タール、フェノール樹脂などが使われる。特性改善のため、必要に応じて金属粉や酸化物、炭化物、窒化物、硼化物などの添加剤が使われる。れんがの特性は、原料の選定と粒度配合の如何によって、ほぼ確定される。特徴として、

- ① 導電性を有する。
- ② 熱伝導性が大きく、耐熱衝撃性に優れる。
- ③ 焼成温度以上の黒鉛化が進行する温度まで高温強度が増大する。
- ④ 熔融金属や熔融スラグに強く、機械加工が容易で長さ数mの大型ブロックの製造が可能。

など数々の特色を持つ。このため、高炉、電気炉、キュポラなどの炉底湯溜り部、金属溶解用つばや出湯樋、アルミニウム電解炉の内張り材（陰極）などに広く使用される。炭素の欠点は、高温で酸素、炭酸ガス、水蒸気等に酸化され易いことである。表2・15に代表特性を示す。

表2・15 炭素耐火物の代表特性

記号	A	B	C	D	E	F
材質	無煙炭質	無煙炭質	黒鉛-矽系	黒鉛質	黒鉛質	人造黒鉛
成形法	押出し	押出し	型込め	型込め	押出し	押出し
かさ比重	1.56	1.62	1.71	1.78	1.61	1.62
真比重	1.93	1.99	2.11	2.24	2.13	2.18
固定炭素 %	96	83	77	76	99	99.6
全気孔率 %	19	18.5	19	20.5	24	26
平均気孔径 μm	5	0.3	0.05	0.05	5	3
通気率 mDarcy	150	4	<0.5	<0.5	210	250
圧縮強さ MPa	38.3	44.1	65.7	60	29.4	21.6
曲げ強さ MPa	11.8	12.8	14.7	16	9.8	9.8
熱膨張係数 $10^{-6}/\text{K}$	3.3	3.4	3.5	3.4	3.5	4.5
熱伝導率 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$						
20℃					37	128
200℃	14.8	12.8	20.8	37	36	116
400℃	15.7	13.5	21.1	35	34	93
600℃	16.5	14.2	21.6	33	33	78
800℃	17.4	14.9	21.9	31	33	67
耐アルカリ性 ASTM	LC	U/LC	U	U	U/LC	U
溶銹侵食指数	100	30	15	12	200	
適用箇所	炉底 側壁	炉底 側壁	炉底 側壁	炉底 側壁	炉敷	炉敷

(注) 耐アルカリ性：LC（微小亀裂）、U（無亀裂）

4・13 耐火断熱れんが

耐火断熱れんがとは、『熱伝導率が小さい耐火れんが』と定義される。従って、断熱材としての低熱伝導材料でありながら、耐火物としての熱的性質と構造材料としての機械的性質を合わせ持つ特殊な耐火物であるといえる。

耐火断熱れんがは空気の熱伝導率が小さいことを利用して、耐火材料の中に気孔を多数作ることによって熱伝導率を小さくしている。つまり、耐火れんがの気孔率を大きくした軽量耐火物であり、50～85%の気孔率で、かさ比重が1.6～0.4の製品が製造されている。一般に炉壁の耐火れんがと普通れんが、あるいは鉄皮との中間、または直接内張りに使用され、放散損失熱や蓄熱損失熱を低減するエネルギー節約効果、昇降温時間の短縮、炉内温度の均一化、作業環境の改善など、工業窯炉の生産性向上に大きく寄与している。

耐火断熱れんがは原料から見て、

- (1) けい藻土を主原料とするもの（けい藻土質）。
- (2) 耐火粘土を主原料とするもの（粘土質）。
- (3) その他の原料を主原料とするもの（高アルミナ質、アルミナ中空球質、コーディエライト質、けい酸質）。

などが製造されている。

また、れんが内部に気孔を含有させる方法としては、

- ① けい藻土のように天然に空気層を含む原料を使用する方法。
- ② 原料中に燃焼する物質、例えば、鋸くず、発砲ポリスチレンビーズ、コークスなどを加え、これを焼失させて多孔質とする方法。
- ③ 仮焼して得られる膨張蛭石、パーライト、あるいは溶融バブルアルミナなど、人工的

に得られる軽量粒子を利用する方法。
などがある。

我が国の耐火断熱れんがは、JIS R2611によって表2・16のように規格化されている。

A類は軽量であることが特徴で、合理的な使用方法を採用すれば圧縮強さは小さくても十分に使用することができる。

B類はA類れんがに比べ圧縮強さが大で、れんが積みも容易で、しかも安価のため現在最も一般的に広く使用されている。

C類は圧縮強さに重点をおいたれんがで、荷重のかかる部分、振動を受ける箇所、ある程度磨耗の恐れのある箇所などに使用されている。

耐火断熱れんがは、JIS以外、特殊用途目的に沿った他の品種のものがあり、その目的に合致した選択が望ましい。圧縮強さは一般の耐火れんがに比べて劣るため、築炉に際しては荷重分布を考慮した施工が必要であるとともに、現場での取り扱いに注意を要する。使用温度は再加熱収縮率を一応の目安としているが、直接内張りとして用いる場合は、200℃前後の安全をみる。裏張り使用の場合は短絡またはリーク、さらに内壁の侵食などによる温度上昇分をそれぞれ考慮する必要がある。

表2・16 耐火断熱れんがの品質 (JIS R2611—1976)

種類		再加熱収縮率2% をこえない温度 °C	かさ比重	圧縮強さ kgf/cm ² (MPa)	熱伝導率(平均 温度350±10°C) kcal/mh°C (W/(m.K))
A 類	1 種	900	0.50以下	5 以上(0.49)	0.13以下(0.15)
	2 種	1000	0.50以下	5 以上(0.49)	0.14以下(0.16)
	3 種	1100	0.50以下	5 以上(0.49)	0.15以下(0.17)
	4 種	1200	0.55以下	8 以上(0.78)	0.16以下(0.19)
	5 種	1300	0.60以下	8 以上(0.78)	0.17以下(0.20)
	6 種	1400	0.70以下	10以上(0.98)	0.20以下(0.23)
	7 種	1500	0.75以下	10以上(0.98)	0.22以下(0.26)
B 類	1 種	900	0.70以下	25以上(2.45)	0.17以下(0.20)
	2 種	1000	0.70以下	25以上(2.45)	0.18以下(0.21)
	3 種	1100	0.75以下	25以上(2.45)	0.20以下(0.23)
	4 種	1200	0.80以下	25以上(2.45)	0.22以下(0.26)
	5 種	1300	0.80以下	25以上(2.45)	0.23以下(0.27)
	6 種	1400	0.90以下	30以上(2.94)	0.27以下(0.31)
	7 種	1500	1.00以下	30以上(2.94)	0.31以下(0.36)
C 類	1 種	1300	1.10以下	50以上(4.90)	0.30以下(0.35)
	2 種	1400	1.20以下	70以上(6.86)	0.38以下(0.44)
	3 種	1500	1.25以下	100以上(9.81)	0.45以下(0.52)

(注) 1 MPa= 1 N/mm²

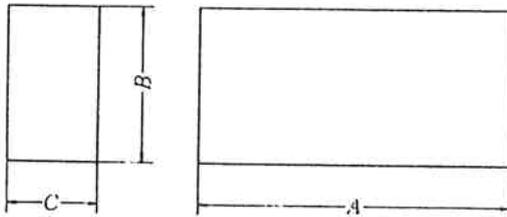
5 耐火れんがの形状、寸法規格

耐火れんがは使用される炉によって多種の異形れんがを必要とする。コークス炉などは実に500種類におよぶ形状のれんがを組み合わせて使用しなければならない。標準形れんがには、並形、標準横ぜり形、標準縦ぜり形および標準ばち形れんががあり、各々についてその落ち寸法が3種ずつ設けられている。異形れんがについては、別に定める規格 (JIS2102～2104、平炉用、キュポラ用、ロータリキルン用) の他は、当事者間の協定による。

表2・17 JIS標準形耐火れんがの形状と寸法の(1)並形、(2)縦ぜり形、(3)横ぜり形、(4)ばち形を示す。これらの標準れんがを組み合わせて使用すれば、各種の内径を有する円形れんが積みが可能で、それぞれの内径に対しての所要れんが組み合わせ数は、表2・18、表2・19、表2・20のようになる。

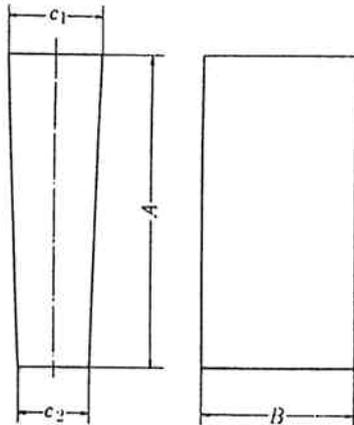
表2・17 標準形耐火れんがの形状、寸法 (JIS R2101—1983)

(1)並形



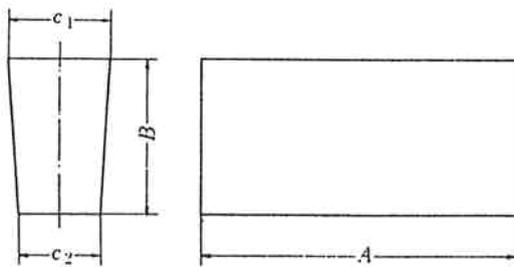
単位mm			
記号	A 長さ	B 幅	C 厚さ
D	230	114	65

(2)標準縦ぜり形



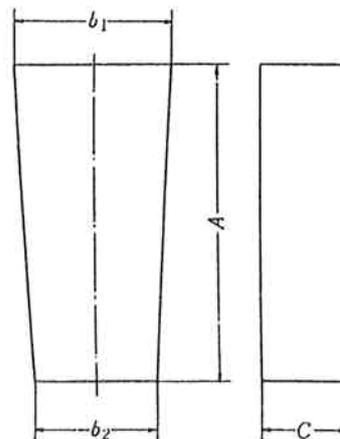
単位mm				
記号	A 長さ	B 幅	c ₁ 厚さ	c ₂ 厚さ
T1	230	114	65	55
T2	230	114	65	45
T3	230	114	65	35

(3)標準横ぜり形



単位mm				
記号	A 長さ	B 幅	c ₁ 厚さ	c ₂ 厚さ
Y1	230	114	65	59
Y2	230	114	65	50
Y3	230	114	65	32

(4)標準ばち形



単位mm				
記号	A 長さ	b ₁ 幅	b ₂ 幅	C 厚さ
B1	230	114	105	65
B2	230	114	85	65
B3	230	114	65	65

表 2・18 円形れんが積みの内径と横ぜり形及び並形れんがの組合わせ表

単位 mm					
内径	Y 3	Y 2	Y 1	並形	計
250	22				22
270	20	3			23
300	19	5			24
325	19	7			26
350	18	9			27
375	17	11			28
400	16	13			29
425	15	15			30
450	14	17			31
475	13	20			33
500	12	22			34
525	11	25			36
550	10	26			36
575	9	28			37
600	8	30			38
625	7	32			39
650	6	35			41
675	5	37			42
700	4	39			43
725	3	41			44
750	2	43			45
775	1	45			46
800		48			48
825		48	1		49
850		47	3		50
875		46	5		51
900		45	7		52
925		44	9		53
950		43	11		54
975		43	13		56
1000		42	15		57
1050		40	19		59
1100		39	22		61
1150		37	27		64
1200		35	31		66
1250		33	35		68
1300		33	38		71
1350		31	42		73
1400		29	46		75
1450		28	50		78
1500		26	54		80
1550		25	57		82
1600		23	61		84
1650		22	65		87
1700		21	68		89
1750		18	73		91
1800		16	77		93
1850		15	81		96
1900		13	85		98
1950		12	89		101
2000		10	93		103
2100		7	100		107
2200		5	107		112
2300		2	115		117
2400			121		121
2500			121	5	126
2600			121	10	131
2700			121	14	135
2800			121	19	140
2900			121	24	145
3000			121	28	149
3200			121	37	158
3400			121	47	168
3600			121	57	178
3800			121	67	188
4000			121	76	197
4200			121	85	206
4400			121	95	216
4600			121	103	224
4800			121	113	234
5000			121	122	243
5200			121	132	252
5400			121	141	262
5600			121	150	271
5800			121	157	280
6000			121	168	289

表 2・19 円形れんが積みの内径と縦ぜり形及び並形れんがの組合わせ表

単位 mm

内径	T 3	T 2	T 1	並形	計
600	49				49
625	44	6			50
650	42	9			51
675	40	12			52
700	37	17			54
725	35	20			55
750	33	23			56
775	31	26			57
800	28	30			58
825	25	34			59
850	23	37			60
875	21	41			62
900	19	44			63
925	16	48			64
950	14	51			65
975	12	54			66
1000	9	58			67
1050	3	67			70
1100		72			72
1150		70	4		74
1200		69	8		77
1250		65	14		79
1300		63	18		81
1350		61	23		84
1400		59	27		86
1450		56	32		88
1500		55	36		91
1550		52	41		93
1600		50	45		95
1650		48	50		98
1700		45	55		100
1750		42	60		102
1800		39	65		104
1850		38	69		107
1900		35	74		109
1950		32	79		111
2000		30	84		114
2100		24	94		118
2200		21	102		123
2300		17	111		128
2400		13	119		132
2500		10	127		137
2600		4	137		141
2700			146		146
2800			146	5	151
2900			146	9	155
3000			146	14	160
3200			146	23	169
3400			146	32	178
3600			146	42	188
3800			146	51	197
4000			146	60	206
4200			146	69	215
4400			146	79	225
4600			146	88	234
4800			146	97	243
5000			146	106	252
5200			146	116	262
5400			146	125	271
5600			146	134	280
5800			146	143	289
6000			146	153	299

表2・20 円形れんが積みの内径とばち形及び並形の組合わせ表

						単位 mm					
内径	B 3	B 2	B 1	並形	計	内径	B 3	B 2	B 1	並形	計
650	30				30	2400		38	39		77
675	27	3			30	2500		37	43		80
700	27	4			31	2600		36	46		82
725	26	6			32	2700		35	50		85
750	26	7			33	2800		34	54		88
775	24	9			33	2900		32	58		90
800	23	11			34	3000		31	62		93
825	23	12			35	3200		28	70		98
850	21	14			35	3400		26	78		104
875	20	16			36	3600		24	85		109
900	20	17			37	3800		22	92		114
925	19	18			37	4000		20	100		120
950	18	20			38	4200		17	108		125
975	17	22			39	4400		13	117		130
1000	15	24			39	4600		10	126		136
1050	14	27			41	4800		7	133		140
1100	12	30			42	5000		6	141		147
1150	10	33			43	5200		3	149		152
1200	8	37			45	5400			157		157
1250	6	40			46	5600			157	6	163
1300	3	44			47	5800			157	11	168
1350	2	47			49	6000			157	16	173
1400		50			50	6200			157	22	179
1450		49	2		51	6400			157	27	184
1500		49	4		53	6600			157	32	189
1550		48	6		54	6800			157	38	195
1600		47	8		55	7000			157	43	200
1650		47	10		57	7200			157	49	206
1700		46	12		58	7400			157	54	211
1750		45	14		59	7600			157	59	216
1800		45	16		61	7800			157	65	222
1850		44	18		62	8000			157	70	227
1900		43	20		63	8200			157	76	233
1950		43	22		65	8400			157	81	238
2000		43	23		66	8600			157	86	243
2100		43	26		69	8800			157	92	249
2200		40	31		71	9000			157	97	254
2300		39	35		74						

6 耐火れんがの寸法許容差

耐火れんがの寸法誤差はれんが積みの際、所定の目地寸法を確保して必要な寸法に炉を積み上げるうえに重要な問題である。JIS規格では標準形れんがおよび異形れんがについて、それぞれ寸法の測定方法および許容寸法誤差範囲を定めている。

6・1 標準形れんが

標準形れんがの寸法許容差については次の規格が採用されている。

長さ寸法	規定寸法	±3.5mm
幅および厚さ	規定寸法	±2.0mm

6・2 異形れんが

異形れんがの寸法許容差については設計、製作、使用のそれぞれの当事者間で、異形れんがを組み合わせて施工するための必要最低の公差を協議して定めることになっているが、特に協定のない場合には次の公差を採用することになっている。

(1) けい石およびマグネシアれんが（不焼成品の場合）

100mm未満	規定寸法	±2.0mm
100以上250mm未満	規定寸法	±3.0mm
250以上400mm未満	規定寸法	±4.0mm
400以上500mm未満	規定寸法	±5.0mm

(2) クロムれんが、マグネシアれんが（焼成品）、粘土質れんがおよび高アルミナれんがの場合

50mm未満	規定寸法	±2.0mm
50mm以上100mm未満	規定寸法	±2.5mm
100mm以上150mm未満	規定寸法	±3.0mm
150mm以上200mm未満	規定寸法	±4.0mm
200mm以上300mm未満	規定寸法	±5.0mm
300mm以上400mm未満	規定寸法	±6.0mm
400mm以上500mm未満	規定寸法	±7.0mm

7 普通れんが（赤れんが）

赤れんがはJISで普通れんがと呼ばれている。昔は建築物や塀、トンネル内巻きなどに大量使用され、工業炉の敷や外殻壁などにも多用されていたが、最近は建築物の一部に装飾用に使われる程度で、需要が大幅に減少している。原料は普通の粘土で焼け縮みが小さいものを使うが耐火度は低い。成形方法はプレス方式と水ぬき方式（水でこねた原料を連続的にれんがの形に押し出しながらピアノ線などで一定の幅に切断して作る）があるが、現在は後者の方式が多い。乾燥後1000℃から1100℃程度で焼成される。粘土中に含有する酸化鉄で色が赤くなる。寸法は耐火れんがよりひとまわり小さい210×100×60mmにJISで定められている。小口の両面と長手の一面のみ平滑に仕上げられているので、積む時にこの面が表になるよう注意する。積み用のモルタルは普通セメントモルタル、炉用としてはセメント石灰モルタル、または耐火モルタルを使うこともある。表2・21に普通れんがのJIS規格を示す。

表2・21 普通れんがの品質（JIS R1250—1981）

品質	種類	1種	2種	3種
吸水率 %	3時間煮沸	23以下	20以下	17以下
	24時間吸水	18以下	15以下	13以下
圧縮強さ	kgf/cm ² {N/cm ² }	100{980.7}以上	150{1471}以上	200{1961}以上

b) 寸法及び寸法許容差

単位 mm			
寸法項目	長さ	幅	厚さ
寸法	210	100	60
許容差	±6.0	±3.0	±2.5

8 不定形耐火物

不定形耐火物はレンガと比較して次のような特徴を持っている。

- (1) 目地のない一体構造物が得られる。
- (2) 複雑な形状でも、容易に施工できる。
- (3) 築炉時の施工能率が高い（自動化が容易）。
- (4) 部分的な補修が容易である。
- (5) 生産性が高く、製造から納入までまでの期間が短い。
- (6) トータルの省エネルギーになる。

反面、不定形耐火物は施工形態から短所もあります。

- (1) 成形圧力が低く、添加液量が多目になるので充填密度が低い。
- (2) 十分な焼成効果を与えられない。
- (3) 一般に多量のバインダが必要で熱間特性に劣る。
- (4) 乾燥昇温に木目細かい配慮が必要である。

8・1 キャスタブル

キャストブルとはCastableということで「鑄込みできる」耐火物で、不定形耐火物のなかで、キャストブル耐火物は施工性が広いこと、例えば、流し込み、振動鑄込み、ポンプ圧送、吹き付け、ラミング、「こて」塗りなどあらゆる施工が容易にできることから最も多く使用されている。

キャストブルは使用される原料と結合剤によって大別される。原料面から、その化学成分、安全使用温度、熱伝導率などの関係で、高アルミナ質、粘土質、塩基性質、断熱質などに分類される。また、結合剤からは、アルミナセメント、ケミカルボンド（りん酸塩、けい酸塩など）キャストブルから、最近ではクレーボンドや ρ -アルミナを用いたキャストブルも出ている。表2・22に代表的な材質別キャストブルの一般品質と用途を示すが、この他、特殊な用途にSiCやカーボン原料、乾燥促進剤、繊維などが含まれているものもある。

表2・22 キャスタブル耐火物の種類、品質、用途

	粘土質 中熱用	粘土質 高熱用	高アル ミナ質	超高ア ルミナ	ク ロ マ グ 質	耐 火 断 熱 質	断 熱 質
骨 材 の 種 類	シャモ ット	シャモ ット	高アル ミナ質 シャモ ット	アルミ ナ	クロム鉄 鉱、マグ ネシアク リンカー	多孔質 シャモ ット	ひる石、 石棉、ラ ンバート など
性 化学成分%	SiO ₂ Al ₂ O ₃ Cr ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ MgO	45~55 35~45	40~45 45~55	30~40 55~65	10> 85~95	10~15 20~25 9~11 25~30	40~50 40~50
質 最高使用温度℃	1000 ~1400	1400 ~1500	1500 ~1600	1600 ~1700	1500 ~1600	1200 ~1400	600 ~1000
焼成後乾燥かさ比重	1.6 ~2.0	1.8 ~2.1	1.9 ~2.3	2.6 ~2.8	2.5 ~2.7	1.0 ~1.5	0.4 ~1.0
熱伝導率 (400℃) Kcal/mh℃	0.4 ~0.9	0.5 ~0.9	0.7 ~1.0	1.6 ~1.7	2~3	0.2 ~0.3	0.1 ~0.2
主 な 用 途	一般窯炉の各部		高温炉 天井、 壁、パ ーナー タイル	高温窯 炉、高 温部	平炉ド ア内張 り、出 鋼とい など	耐火壁 裏張り、 煙突、 煙道そ の他低 温部断 熱	耐火壁 の裏張 り

8・1・1 アルミナセメントボンドキャストブル

アルミナセメントボンドキャストブルは、耐火骨材に結合剤としてアルミナセメントを用いたもので、汎用キャストブルとして広く使用されている。結合剤のアルミナセメントは、フランスで硫酸塩を含む地下水の侵食に耐えるセメントを目的に開発された水硬性のセメントで、その後、早強ポルトランドセメントよりさらに早く硬化する性質やその耐熱性に優れていることから、耐火物用の結合剤に応用されるようになった。

図2・6はアルミナセメントキャストブルを混練するために加える水量と強度との関係で、ポルトランドセメント系コンクリートと同じように、水・セメント比(W/C)が非常に大切である。W/Cが低いほど強度が高くなり、過度の水量は強度低下を招く、しかし、過度の低水分化は十分な作業性が得られなくなり、施工体の充填密度が低下し強度低下に繋がる。それで、施工条件(流し込み、圧送、振動鑄込み)に適した水量を用いないと材料が持っている性能を十分に発揮させることができない。図2・7は養生温度と強度との関係で、養生温度が高いと強度が低下する。しかし、最近では、水セメント比を小さくすることで、強度低下の問題は軽減されるようになった。

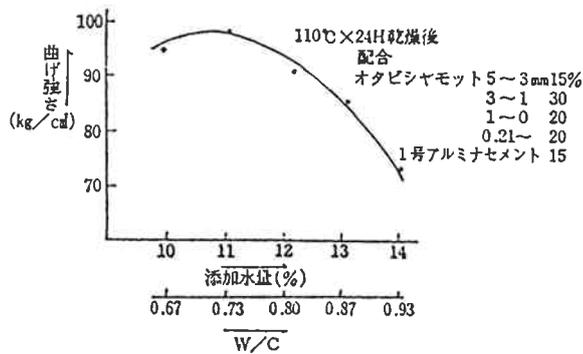


図2・6 キャスタブルのW/C変化と強度

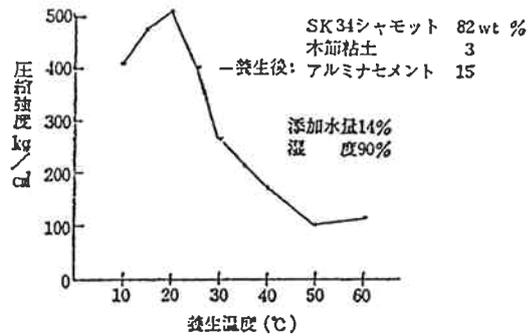


図2・7 養生温度と強度

8・1・2 けい酸塩ボンドキャストブル

このキャストブルのけい酸塩ボンドは、主としてけい酸ソーダが用いられている。けい酸ソーダは液状のものとして水ガラスは古くから知られ、粉末状のけい酸ソーダもある。その他、アルカリ金属種を変えたカリ塩 (K塩)、リチウム塩 (Li塩)、それに無水のけい酸アルカリなどがある。けい酸ソーダは硬化剤と反応してけい酸ゲルを生成することで固まる。

けい酸塩ボンドキャストブルは、各種窯炉、焼却炉等の煙道、煙突、排煙脱硫装置等の耐酸ライニングに使用されており、施工法も流し込み、吹付け、こて塗り等が施工場所に応じて用いられている。

8・1・3 低セメントキャストブル

アルミナセメントは $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ が主成分で、キャストブル配合の骨材中の SiO_2 と反応するとアノーサイト ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ 、融点 1550°C) や、ゲーレンナイト ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ 、融点 1590°C) などの低融点化合物が生成し、骨材そのものが持っている耐熱性を下げる。また、アルミナセメント水和物は昇温中に起こる転化 (水和物の転移) と、脱水 (水和水の放出) によって、 1000°C 以下の中間温度域で強度が劣化する。このようにアルミナセメントは冷間の強度を高めてやる手段として有効なバインダーであるが、熱間特性を著しく低下させる。

低セメントキャストブルは、このような欠点を補うために適当な分散剤と比表面積の大きな耐火微粉末を用いて、アルミナセメントの均一分散と水/セメント比の低減を図ることによって、アルミナセメントの量を1/2以下に減量し、しかも強度を飛躍的に向上させ、熱間特性に優れたキャストブルである。

低セメントキャストブルは低気孔率、高強度、容積安定性および耐食性に優れているため容器用耐火物として耐火れんがの使用分野にも進出している。

8・1・4 クレーボンドキャストブル

低セメントキャストブルはアルミナセメントの大幅な減量を図ったものであるが、更に進めたものとして、クレーボンドキャストブルがある。

クレーボンドキャストブルは粘土の解膠 (かいこう) 一凝膠の考え方を採用したもので、粉体-水系に解膠剤を適用して粉体粒子を均一に分散させ、流動性にあずかる自由水を極大化し、この状態で流し込み施工が可能な流動性になる水量のキャストブルを施工する。その

後、別に添加した遅効性の凝集剤を働かせて粒子を凝集させ、自由水を包含水として凝集粒子内に取り込ませることにより硬化させる。

クレーボンドキャストブルは耐火骨材と微粉末として粘土粉末を用いたもので、これに解膠剤と凝集剤を少量加えた配合から成る。

8・1・5 セメントレスキャストブル

前述のクレーボンドキャストブルの粘土粉末の代わりにシリカフラワやアルミナの超微粉を用いたもので、セメントレスキャストブルと呼ばれている。

セメントレスキャストブルは組織の緻密化、熱間強度と耐食性の向上から、高炉樋、溶融金属容器、ランス用にキャストブルの作業性の良さを活かして応用面が増えている。

8・1・6 軽量断熱キャストブル

多孔質に粘土を焼き締めた骨材や中空のアルミナ球、バーミキュライト、パーライトなど断熱性に優れた骨材を使用したもので、耐熱性も500～1700℃と幅広い種類があり、比重も耐火れんがの1/2～1/10と小さい。熱伝導率が小さく、断熱性に優れているので、石油化学プラントの加熱炉、反応炉、一般工業炉の裏張り、煙道、煙突などに使われる。

8・2 プラスチック耐火物

プラスチック耐火物は材料の可塑性を利用して、エアーランマや木槌を用いて施工する耐火物で、粒度調整された耐火骨材に可塑性粘土やバインダを加え、水で混練した練り土状の材料である。形態は主に板状のスラブあるいはスライスと呼ばれる形に成形されており、数枚ずつ25～30kgの重量で箱詰めされている。

プラスチック耐火物の乾燥、加熱によって起こる永久線収縮は、粘土質、高アルミナ質のものでは1000℃で1.0～1.5%、クロム質のもので1.5～1.8%くらいであり、可逆線膨張は対応する耐火れんがとほぼ同様である。従って、粘土質、高アルミナ質では永久線収縮と可逆線膨張とが互いに相殺するか、やや永久線収縮が大きいから、一般に膨張代は必要ないが、この永久線収縮を一箇所に集中するために施工面に900～1500mmごとに深さ20～50mmの切り込みを切って集中させる。

加熱焼成されたプラスチック耐火物の圧縮強さ、耐侵食性、耐磨耗性は成形焼成れんがに優るとも劣らない。特に、スポーリングに対する抵抗は非常に優れている。また、プラスチック耐火物は焼成されるまでは強度も弱く、乾燥時の収縮などによって不安定なため、サポート、アンカなどを必要とする。乾燥、焼成後は、これらのため振動に対して強く、壁面全体の構造的強度は成形焼成されたれんがに比べて非常に強いものとなる。

8・2・1 粘土質プラスチック耐火物

一般的なプラスチック耐火物で、1000℃以上の高温部または火炎の直接当たる部分に使用される。最高使用温度は1700℃以下いろいろある。

各種ボイラや燃焼室内、一般工業炉、加熱炉の天井、壁、床、バーナタイルなどに使用される。

8・2・2 高アルミナ質プラスチック耐火物

耐火度、最高使用温度ともに高く、1900℃以上に使用できるものもある。粘土質に比べて永久収縮率が小さく、密度も高い。また、スラグ、溶灰に対する抵抗性も強い。

高熱炉の燃焼室、壁、床、天井、バーナタイル、アルミニウム、銅などの溶解炉、均熱炉および均熱炉炉蓋、熱処理炉、加熱炉、スキッドパイプの断熱、ソルトバス炉などに使用される。

8・2・3 クロム質プラスチック耐火物

化学的に中性の材料で、耐熱性もかなりあり（約1600℃）、スラグ、溶灰には特に抵抗が強く、熱伝導率が高く、比熱も大きい。

ボイラなどの炎になめられるチューブの保護などに特に適し、ソーダ回収ボイラの水冷壁スタッドチューブの保護および床、ソルトバス炉、熱処理炉、加熱炉の炉床の断熱などに使用される。

8・3 吹付材

吹付材は各種工業炉の炉構造の内張り材および補修材として、圧縮空気により吹付け施工される。吹付材には耐火性のもの、断熱性の性質を持った材料がある。

吹付け施工の効用としては、

- (1) 施工が簡単で効率が良い。
- (2) 施工時間が短く、省力化と工期短縮が計れる。
- (3) 材料および人件費の低減によるコストの節約。
- (4) ライニング寿命の延長による設備稼働率と生産性の向上。
- (5) 溶損バランスの是正、緊急突発損傷に対する応急補修。

などが挙げられ、吹付材は広範囲の分野で利用されている。

吹付材の具備しなければならない特性は、

- (1) 材料と水のなじみが良く、吹付けランス内をスムーズに流れること。
- (2) 吹付け対象壁に良く付着し、リバウンドロス（跳ね返り損失）、剥離、流落による損失が少ない。
- (3) 付着体は炉壁と強固に接着し、組織が良好なこと。
- (4) 熱間強度、耐スラグ性に優れていること。

などがある。

吹付材の分類として、原料面から、マグネシア質、マグドロ質、スピネル質、アルミナ質、粘土質、ジルコン質などがあり、バインダ面からはけい酸塩系とりん酸塩系に大別される。吹付材はこのような耐火骨材にバインダを加え、必要に応じて、硬化剤、分散剤、粘結材、焼結材、繊維（無機、有機、金属）などが添加されている。

一般に、ボンド形態としてはけい酸塩ボンドよりもりん酸塩ボンドの方が接着強さが高い傾向にある。

吹付け施工用の装置には、乾式の吹付け材を管内に空気で送り、管の途中から水を加えて噴射させる乾式法と、予め混練されたスラリを管内に送り噴射させる湿式法がある。

8・4 モルタル

モルタルはれんが積みの際の目地材で、外殻（鉄皮）にれんがを密着させて炉壁としての強度と気密性を与える役目がある。また、れんが面の歪みを調整して炉壁にかかる荷重を均等化し、れんがの熱膨張を吸収し、膨張代の役割も持たせている。

モルタルとして重要な性質は使用される場所と条件によって変わるが、大略次のようになる。

(1) れんが材質と化学的組成が同質であること。

例えば、れんがとモルタルとが相互反応を起こすような異種材質のものを使うと非常に危険である。

(2) 使用温度に充分耐える耐熱性があること。

一般に使用れんがよりやや低い耐火度のものを用いる。

(3) 乾燥、焼成収縮が少なく、特に異常な膨張収縮がないこと。

収縮が大きいと、目地切れを起こす。

(4) 使用温度で充分な接着強度があること。

(5) 作業性が良いこと。

モルタルは適当な粘り、延び、接着時間で、希望の目地厚がえられることが必要で、作業性が悪いといくら良い材質のモルタルでもその機能を発揮することができない。

8・4・1 耐火モルタル

耐火モルタルは主として耐火れんがの目地用に使用され、一部は炉内面塗布用に使用される。

表2・23にしめしたが、モルタルは硬化の仕方によって、熱硬性モルタル（ヒート・セット）と気硬性モルタル（エアーセット）、水硬性モルタル（ハイドロリック）にわけられている。

表2・23 耐火モルタルの分類

熱硬性耐火モルタル (Heat-setting Refractory Mortar)	普通に耐火モルタルと称するもので、乾燥しただけでは強度は弱い。加熱により一部が溶固して強度がでる。
気硬性耐火モルタル (Air-setting Refractory Mortar)	耐火接合剤、耐火セメントなどといわれるもので、化学結合剤 (Chemical bond) によって常温で硬化接着し、加熱によりセラミックボンド (Ceramic bond) の生成するまで、その硬度を保持する。気密な壁面を形成する。
水硬性耐火モルタル (Hydraulic Refractory Mortar)	水硬性セメントを結合材としたモルタルで結合材の水和作用で固る。キャストブル耐火物の一種である。

8・4・2 断熱モルタル

耐火断熱れんが用モルタルには気硬性と熱硬性の2種類がある。一般には施工後、常温または110℃乾燥によって充分な強度が発揮される気硬性モルタルが使用されるのがほとんどで、熱硬性モルタルはけい藻土質耐火断熱れんが用に一部使用される程度である。モルタルはれんがと同材質のものを使用すべきで、特に耐火断熱れんがは材質、かさ比重、気孔の状態等によってれんがの吸水性が異なっているので、れんがの接着に適するよう、充分な保水

性のある、接着力の強い、れんがに適合するモルタルを使用する。

8・4・3 石灰モルタル

石灰モルタルは、炉外壁などのように比較的高温（常温に比べて）部に使用される赤れんがの目地材として用いられる。その配合は状況に応じて適時選ばれるが、主にセメント、石灰、川砂を1：1：5、あるいは石灰、川砂を2：6にしたものが用いられる。その硬化は極めて遅い。石灰モルタルの硬化は、石灰が消石灰の形で空気中の炭酸ガスを吸収し炭酸石灰となり硬化する。従って、水中では硬化しない。このため硬化は全面的に起こらず表面から内部に進み、また強度も弱く、普通ボルトランドセメントに比べ約1/3、抗張力で1/10くらいである。この石灰モルタルを使うことによって、高温部での赤れんがの熱膨張などの熱的特性によるれんが自体の破損や目地の亀裂を防ぐことができる。

9 繊維状高温材料（セラミックファイバ）

無機質繊維には天然繊維として石綿があり、人造繊維としてガラス繊維、ロックウール、アルミノシリケート繊維、ムライト繊維、アルミナ繊維、ジルコニア繊維等があってそれぞれ用途に応じて使い分けられている。

一般にはセラミックファイバはアルミノシリケート繊維を意味するが、ここではムライト繊維、アルミナ繊維、ジルコニア繊維を含めて述べる。

セラミックファイバは一般にアルミナ仮焼粉末とシリカサンドを混合して電気炉で2000℃以上の高温で熔融し、熔融体の粘度を調整して細流として取り出し、高圧空気あるいは高圧水蒸気で吹き飛ばして繊維化するブローイング法や高速回転しているディスク、ローターで遠心力により吹き飛ばして繊維化するスピニング法により繊維化がなされている。

9・1 Al_2O_3 値40～60%クラスのセラミックファイバ

セラミックファイバは熔融繊維化されるが、この繊維化の際に繊維となりきれない球状粒子が生成しショットと呼ばれている。セラミックファイバの品質を論議するのにこのショットの含有率は極めて重要である。

セラミックファイバは高温の熔融体が繊維化の際に過冷却されることにより結晶学的に言えば、非晶質である。この非晶質のセラミックファイバは加熱されると徐々に以下の手順で結晶化が進む。最初に1000℃近辺でムライト ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) が析出し、1300℃付近からはクリストバライト (SiO_2) が析出を始める。セラミックファイバの耐熱性はその加熱履歴による収縮率に左右されるところが大きいのであるが、この収縮は結晶化による体積変化によって収縮が開始し、これに続いてさらに高温で加熱されると繊維間の焼結が起り収縮が進行することとなる。

セラミックファイバの品質の上で熱伝導率は重要な項目であり、熱伝導率は主にその繊維径とショット含有率およびかさ密度に依存し、繊維径が小さい程、ショット含有率が少ない程、またかさ密度は高い程セラミックファイバ製品の熱伝導率は低くなる。これはセラミックファイバー製品のその使用温度域での熱伝導率は放射による熱移動が支配するため、繊維の表面積が熱伝導率を支配することになるからである。

表2・24に代表的なセラミックファイバの物性値を示す。また、図2・8にセラミックフ

ファイバブランケットの圧縮復元特性、図2・9にセラミックファイバブランケットの熱伝導率、図2・10にセラミックファイバの再結晶化傾向を示す。

表2・24 市販セラミックファイバの物性

メーカー	A		B			C		D		E		
最高使用温度(℃)	1260	1400	1300	1400	1500	1260	1450	1260	1400	1260	1400	1500
融点(℃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1760	1700	1760
真比重	2.65	2.65	2.63	2.71	2.75	2.73	2.77	-	-	2.6	2.8	2.65
繊維径(μm)	2.8	2.8	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	-	-	2.8	2.8	2.5
化学組成(%)												
Al ₂ O ₃	46.2	42.5	49	57	61	48	30	48	56	47.1	35.0	40.1
SiO ₂	53.2	55.0	51	43	39	52	53	52	44	52.3	49.7	58.1
ZrO ₂	-	-	-	-	-	-	16	-	-	-	15.0	-
Cr ₂ O ₃	-	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8

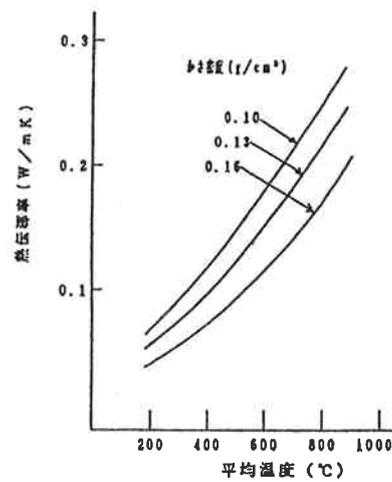
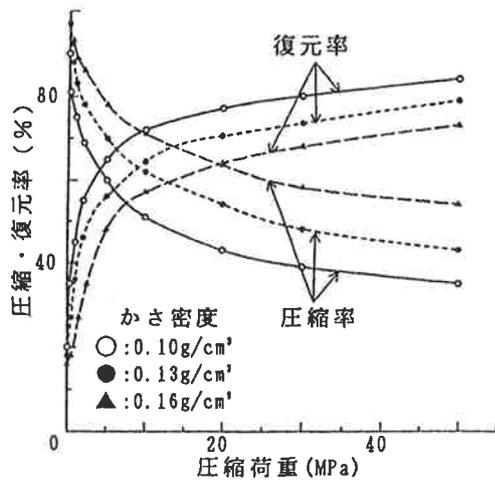


図2・8 セラミックファイバの圧縮特性

図2・9 セラミックファイバの熱伝導率

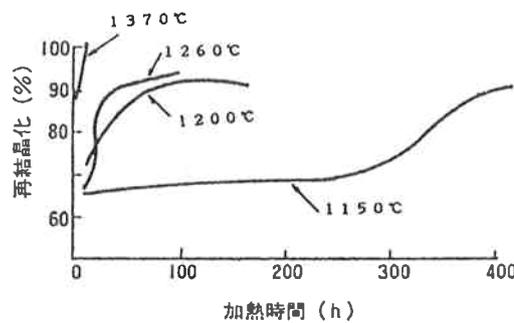


図2・10 セラミックファイバの再結晶化傾向

9・2 Al₂O₃値72~97%クラスのア루미ナファイバ

一般に、ア루미ナファイバといわれているものにはAl₂O₃値94~97%のア루미ナファイバとAl₂O₃値72~80%のムライトファイバがある。

ア루미ナファイバは高温下ではα型となるが、θ型、γ型等の中間ア루미ナが存在し結晶成長の際に繊維が劣化する。そこで結晶変態がないムライトファイバが開発された。ア루미ナファイバ、ムライトファイバ何れも前駆体をブローイングまたはスピニングによって繊維

化がなされており、繊維になりきれないショットの生成は少なくショット含有率は極めて低い。

アルミナファイバ、ムライトファイバは製品形態としてバルク、ブランケットがあり、バルクは炉の充填材、2次製品用原料、ブランケットはそのまま炉のライニングに、また、ブロック（モジュール）状に加工されて炉の内張りに使用されている。表2・25に代表的な市販のアルミナファイバ、ムライトファイバの物性値を示す。図2・11にアルミナファイバブランケットの熱伝導率を示す。

表2・25 市販アルミナファイバ、ムライトファイバの特性

メーカー	A		B	C	D
使用温度(°C)	1600	1600	-	1500~1700	1600
融点(°C)	-	-	-	-	-
径比値	3.2	3.6	3.1	3.6	2.90
繊維径(μm)	-	-	4	3	2~4
繊維長さ(mm)	-	-	50~100	-	<50
化学組成(%)					
Al ₂ O ₃	80	95	72	95	72
SiO ₂	20	5	28	5	28
*結晶相	C, M	C, M	M	C, M	M

* C:コランダム M:ムライト

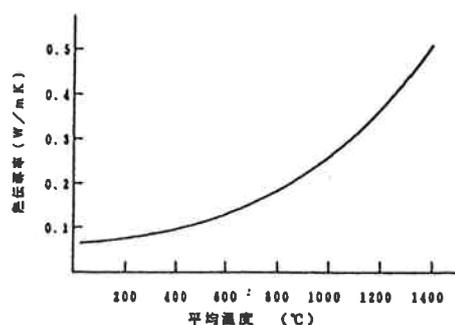


図2・11 高アルミナ質結晶化ファイバの熱伝導率

9・3 ジルコニアファイバ

アルミナファイバ、ムライトファイバと同様に前駆体溶液を作り、細孔ノズルから流出させて繊維化し、乾燥、焼成して製造がなされている。表2・26にジルコニアファイバの品質を示す。

表2・26 ジルコニアファイバの特性

製品	A	B	C
化学組成(%)			
ZrO ₂ +HfO ₂	>99	>92	>91
Y ₂ O ₃	0	7	8
結晶相	単晶相	正方晶	立方晶
繊維径(μm)	3~6	3~6	3~6
繊維長さ(mm)	2~5	20~30	2.5
融点(°C)	約2600	約2600	約2600
径比値	5.8	5.8	-

9・4 セラミックファイバの製品形態と用途

セラミックファイバはバルクをもとにしてブランケット、ブロック（モジュール）、ボード、フェルト、成形品、ペーパー、ウエットフェルト、紡織品など各種の二次製品が販売され

ている。表2・27にセラミックファイバ製品の特性と用途を示す。

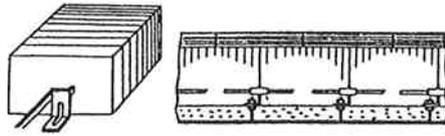
セラミックファイバによる炉の内張り使用の利点は次のとおりである。

- (1) 断熱性に優れるため炉壁厚さを薄くできる。
- (2) 熱容量が小さく、また耐スポーリング性に優れているため急熱急冷による炉壁の損傷がない。
- (3) 上記の理由により炉のエネルギー効率が従来の耐火物に比べて格段に優れている。
- (4) 施工が容易であり熟練を要しない。

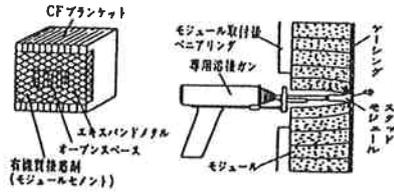
セラミックファイバの具体的なライニング方法としてペーパライニング、ブロックライニング、ベニヤライニング、ボードライニング等があり、図2・12～図2・16に施工例を示す。

表2・27 セラミックファイバ製品の特性と用途

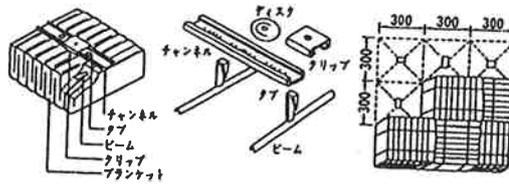
製品名	特 性	用 途
バルクファイバ	径2～3μm、長さ250mm以下の単繊維を集め、線状にしたもの。	・断熱用充てん材 ・膨張しろ充てん材
ブランケット	バルクファイバを空気を媒体として層状に積み重ねるとともに、繊維相互を組み合わせたもの。ブランケットの厚み方向にニードルパンチングを行い、繊維を複雑に入り組ませることにより、引張り強さを向上させているものが多い。 有機質バインダはまったく含まない。	・炉壁のライニング材 ・膨張しろ充てん材 ・高温部の吸音材 ・ブロック品の素材
フェルト	バルクファイバを若干の有機及び無機のバインダで処理し、板状に成形したもの。 適当な柔軟性を有し、また自立性がある。	・炉壁のライニング材 ・膨張しろ充てん材 ・ベニアリング材
ボ ー ド	バルクファイバを若干の有機及び無機のバインダで処理し、板状に成形したもの。 硬度が比較的高く、耐風速性にすぐれている。	・炉壁のライニング材
ウェットフェルト	ブランケットにコロイド状の無機バインダを含浸させ、ポリエチレン袋のなかに入れて湿润状態を保たせたもの。	・耐風速性、耐摩耗性を必要とする炉壁のライニング材 ・キャスタブルと併用するライニング材 ・セラミックファイバの支持金具の保護
ペ ー パ	バルクファイバに有機質バインダを加えて紙状にしたもの。	・高温用パッキング、ガスケット ・膨張しろ充てん材
テキスタイル製品	バルクファイバに補強用有機繊維を混ぜて糸に紡ぎ、この糸をもとにして、ロープ、ヤーン、クロスなどに紡織したもの。	・パッキング ・シール材 ・膨張しろ充てん材



A社方式



B社方式



C社方式

図2・12 各種ブロックの形態と取付け

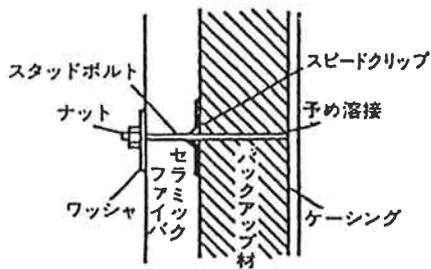


図2・13 スタッドボルトによる取付

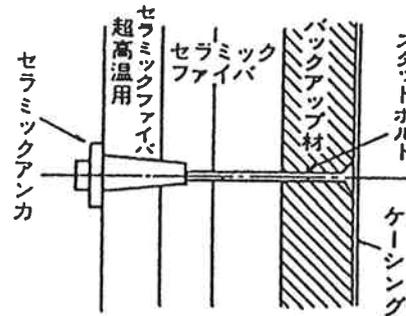


図2・14 セラミックアンカによる取付

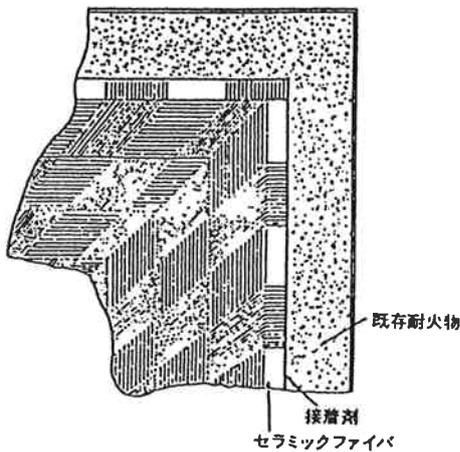


図2・15 ベニヤライニングの例

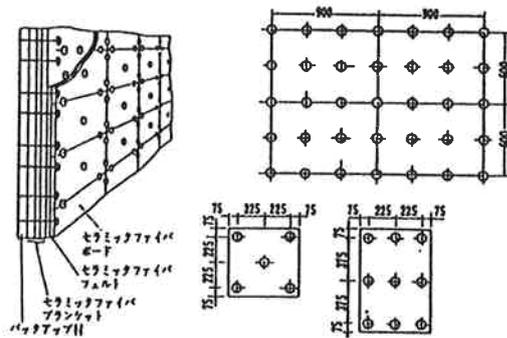


図2・16 ボードライニングの例

第3章 工業炉に関する一般的知識

1 工業炉の種類と用途

工業炉とは、製品を製造する過程で、素材を加熱加工、熱処理加工するために、素材を加熱するための炉で、その使用目的によって色々な形式と呼び名がある。

産業別に工業炉を分類すると、表3・1のようになる。

表3・1 産業別に用いられている工業炉

業 界	代 表 的 な 炉 の 種 類
鉄鋼業	高炉、熱風炉、焼結炉、コークス炉、転炉、アーク炉（電気炉） トピードカー（混銑車）、均熱炉、加熱炉、熱処理炉 （タンデッシュ、溶銑鍋、溶鋼鍋、CDQ）
鑄鉄（鋼）業	キュボラ、誘導溶解炉、アーク炉（電気炉）、熱処理炉
非鉄金属業	溶解炉、精錬炉、均熱炉、加熱炉、焙焼炉、熱処理炉
電気・電子	拡散炉、焼成炉
窯業	溶解炉（ガラス、耐火物、釉薬） 焼成炉（ガラス、耐火物、セメント、石灰、カーボン、陶磁器、タイル、砥石、ホーロー） 仮焼炉（窯業原料） 熱処理炉（板ガラス、テレビブラウン管、瓶等） 黒鉛化炉（カーボン）
石炭化学工業	コークス炉、ガス発生炉
石油化学工業	加熱炉、分解炉、改質炉
都市ごみ	ごみ焼却炉、灰溶融炉、ガス化溶融炉、下水汚泥焼却炉
産業廃棄物	産業廃棄物焼却炉

1・1 熱源と加熱方式による分類

炉の熱源として化石燃料の燃焼によるものと、電熱によるものとに分類される。燃焼による加熱方式には、火炎や燃焼ガスで直接被加熱物を加熱する直接加熱方式と、ラジエントチューブやマッフル、レトルトを介して加熱する間接加熱方式がある。電気加熱には、電流を被加熱物に直接流し、アークによる発熱によりスクラップなどを加熱溶解する方式、発熱体に電気を流して加熱し、被加熱物をこの発熱体によって加熱する方式、また被加熱物の入った容器の周囲にコイルを巻きうず電流を起し、被加熱物を加熱または溶解させる誘導式の三方式がある。

1・2 操業方法による分類

被加熱材料が炉の装入口から入れられ、炉内で規定の速度で搬送される間に所定の加熱冷却が行われ、材料が抽出口から搬出される方式を連続式と称し、一定時間毎に装入、抽出を行って加熱冷却を行う炉を間欠連続式と言う。また、被加熱材料が装入されてから加熱冷却を終わって抽出されるまで炉内に置いたままである方式を間欠式（バッチ式）と称し、装入

口と抽出口が同じ場合が多い。

2 鉄鋼製造設備と耐火物

2・1 溶鉱炉（高炉）（Blast Furnace）

溶鉱炉は、鉄鉱石を溶かし銑鉄を作る装置で、高さが高いために一般的には高炉とも呼ばれ、炉頂から焼結処理された鉄鉱石（焼結鉱）とコークスを交互に装入され、これを羽口から熱風を吹き込み、コークスによってこの鉄鉱石を還元して銑鉄を作るための炉である。構造は3・1図の様な形をしていて、炉の内側は耐火れんがが張られている。高炉の大きさは炉内容積で表し、日本では2,500m³以上の大きさの物が殆どである。

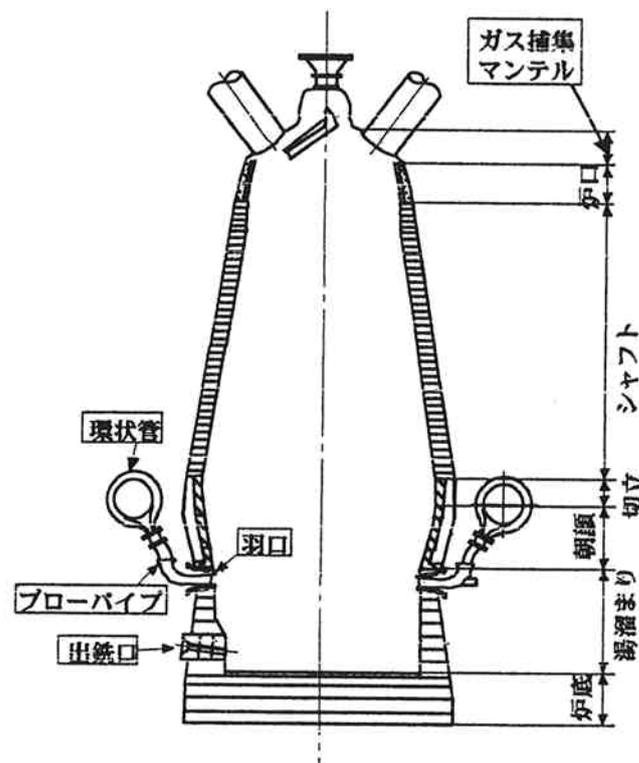


図3・1 高炉の各部の名称

2・1・1 各部名称

各部の呼び方は、使用各社によってそれぞれ少しずつ違っているが、一般的に図3・1に示したような呼び方をして各部を区分している。

2・1・2 使用耐火物

3・1図は、シャフト部に耐火れんがを張った構造の例を示しているが、最近新設又は、改修される高炉は、図3・3のようにシャフト部にクーリングステーブを取り付けた高炉が主流になっている。

a) 炉口

炉口は、耐摩耗性を考慮して、ウェアリングプレートと称して鋳鋼製の金物を取り付

けている場合が多い。

b) シャフト部 (れんが積構造)

① れんが構造の高炉のシャフト部の耐火れんがは、図3・2に示されているような冷却箱が耐火れんが3～7段毎に取り付けられていて、この部の耐火れんがは水によって冷却され補強されている。

② シャフト中部から下のシャフト部の高炉鉄皮は耐火物をガンニングして、耐火れんがと鉄皮の間にまわった炉内ガスによって熱せられ、鉄皮に亀裂等が起こらないよう保護している。

③ シャフト上部

炉口からシャフト上部の耐火物は、一般的に粘土質れんが (SK32～34) のれんがが配されている。

④ シャフト中部

近年は高炉の大型化と長寿命の面から、従来は粘土質れんが (SK34～35) を使用していたが、高アルミナ質れんが ($Al_2O_3=50\sim60\%$) の使用が多くなっている。

⑤ シャフト下部

シャフト中部と同様、従来、高アルミナ質れんが ($Al_2O_3=50\sim60\%$) を使用していたが、更に、アルミナ含有量を増やした高アルミナ質れんが ($Al_2O_3=80\sim99\%$) や、炭化珪素質れんがが使用されている。

c) 切立 (きったて)、朝顔 (あさがお)

この部位は、高アルミナ質れんが ($Al_2O_3=50\sim60\%$) の使用が一般的である。

d) 湯溜、炉底

この部位は、殆どの高炉がカーボンブロックが配列されていて、炉底最上部1又は、2段目に高アルミナ質れんが ($Al_2O_3=50\sim60\%$) が使用されている。

高炉新設時、改修時にはこのカーボンブロックが乾燥昇熱時に酸化、スポーリング保護からこのカーボンブロックの表面にSK33クラスの粘土質れんがを保護れんがとして積んでいる。

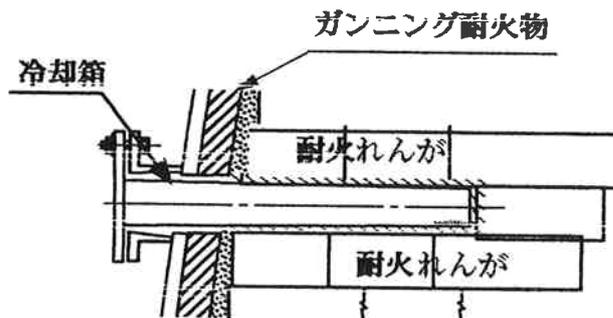


図3・2 冷却箱設置例

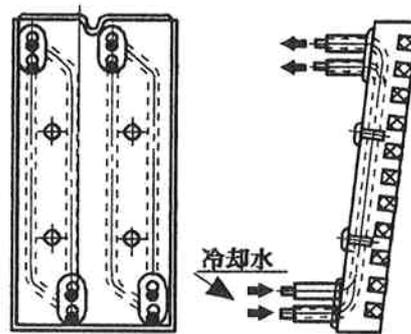
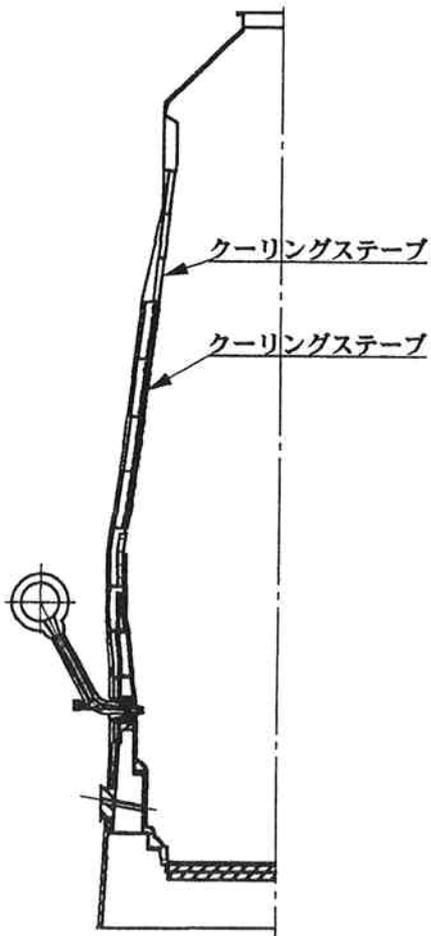


図3・3 クーリングステーブタイプの高炉例

図3・4 クーリングステーブ構造例

2・1・3 築炉工事

従来のシャフト部れんが積構造の高炉の築炉作業は、切立付近に図3・5の様に中段安全デッキを設けて、デッキ上部ではシャフト部のれんが積、デッキ下では炉底カーボンれんが積を行っていた。近年、多く採用されているクーリングステーブタイプの高炉では、一般的に、シャフト部のクーリングステーブを取り付けてから中段安全デッキを取り付け、炉底カーボンれんが積を行っている。

a) 炉内仮設

炉底カーボンれんがは殆どが1トン以上の単重を持っているので、一般的に言うれんが積とは違うため、図3・5の様な仮設が必要になる。更に、カーボンブロックを積むために一個ずつ運ぶための吊り方法は、表3・2に示すような2方法が一般的に行われている。

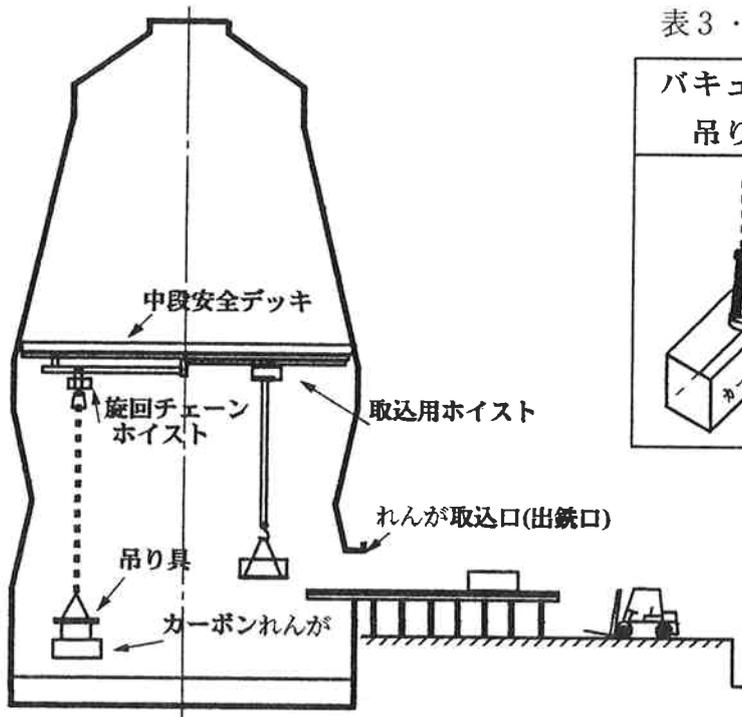


図3・5 炉底れんが積仮設

表3・2 カーボンブロックの吊り方法

バキュームによる吊り方法	吊りボルトによる吊り方法

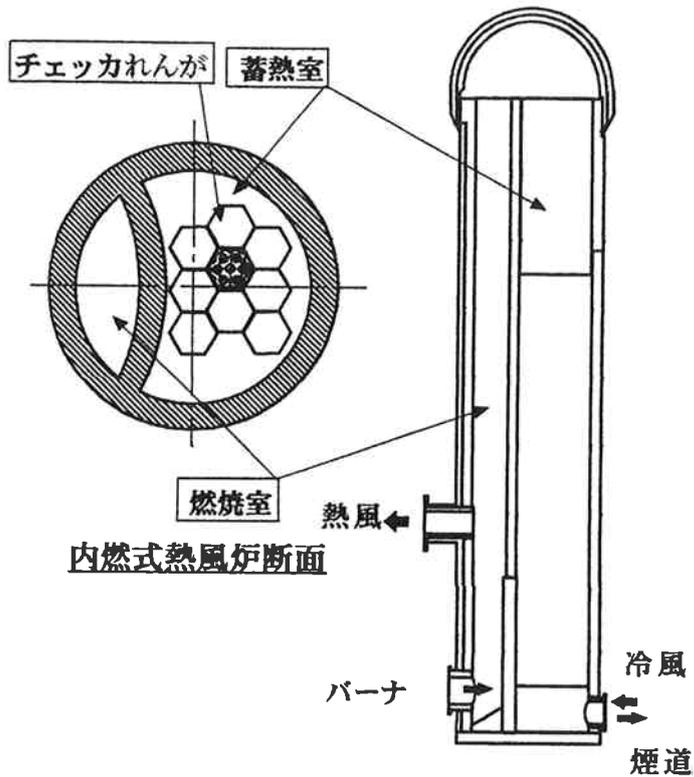
2・2 熱風炉 (Hot Stove)

熱風炉は、高炉操業に欠かせない設備で、高炉と一体の設備である。熱風炉は高炉羽口から送風している熱風を作る装置で、一般的には、高炉1基に対して4基程度設置されている。熱風炉は、大きく分けて内燃式熱風炉、外燃式熱風炉の2つに大別される。

2・2・1 内燃式熱風炉

日本で使用されている内燃式熱風炉は、その半数以上が内燃式カウパー形熱風炉である。カウパー形熱風炉は、図3・6に示すように直立円筒内に燃焼室と蓄熱室とがあり、耐火れんがによって仕切られている。燃焼室下部にあるバーナで燃焼した高温ガスは、蓄熱室上部から、チェッカれんがを加熱、蓄熱させながら蓄熱室下部に下降し、煙道にでる。

ある一定の時間で、この燃焼期から送風期に替わり、今度は、高圧冷風が蓄熱下部に吹き込まれ、この冷風が下部から上部に移動する間にチェッカれんがに蓄熱された熱によって空気が暖められ、燃焼室を通り、高炉に送風される。



3・6 内燃式熱風炉

2・2・2 外燃式熱風炉

高炉大型化に伴い、高炉に吹き込む熱風量が増えてきたことと、高圧操業が普及するに伴い、近年に建設された熱風炉は、殆ど外燃式熱風炉が建設されてきた。日本における外燃式熱風炉は、コッパース (Koppers) 形が多く、その他として、マルチン形 (Martin & Pegenstecher) が設置されている。

図3・7は、コッパース (Koppers) 型熱風炉の例を示す。

コッパース (Koppers) 形は、燃烧室と蓄熱室の半球ドームを連絡管でつなぎ連絡管に伸縮部を設け、両室の膨張差を吸収する構造になっている。

蓄熱室には、図3・7に示した様な六角形のれんがに通気孔を開けた構造のチェッカレンガが充填されている。

又、燃烧ガスの燃烧効率を上げるため燃烧室下部にセラミックバーナを設置している。そして、高温送風が熱風弁の熱負荷を軽減するために、熱風炉毎に混合室 (ブラストミキサ) を設けている。

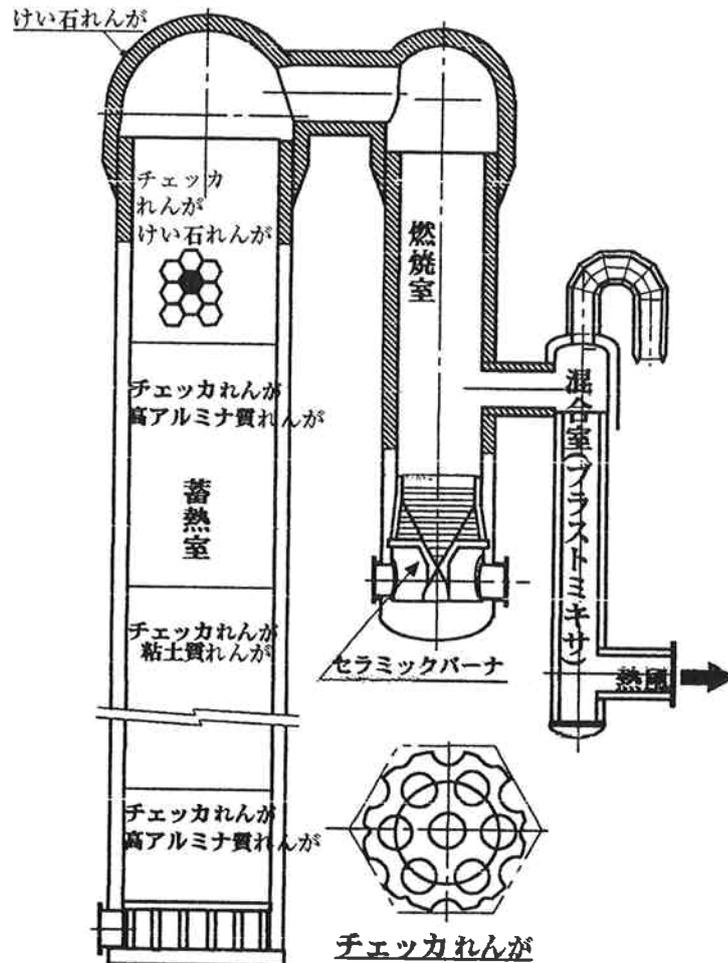


図3・7 外燃式熱風炉

2・2・3 使用耐火物

熱風炉で最も高温になる部分、燃焼室、燃焼室ドーム、蓄熱室ドーム及び、上部チェツカれんがはけい石質れんがが使用されている。(図3・7の斜線部で示されている部位) その他の部位は、その曝される温度条件によって高温部から高アルミナ質れんが、粘土質れんがが使用されている。図3・7はその一例である。

2・2・4 築炉工事

a) チェツカれんが積

チェツカれんがは、蓄熱室下部から送風される常温空気をチェツカれんがが蓄熱している熱量をこの空気に与え、高温加熱するための物である。そして、その高さが30~40mと高く積層されていることと、チェツカれんがにあいている穴が下から上まで通っていないから、図3・8のようにA、B、C3種の各段交互のラップ積みをし、操業中もれんがが動いて穴がずれないように工夫されている。

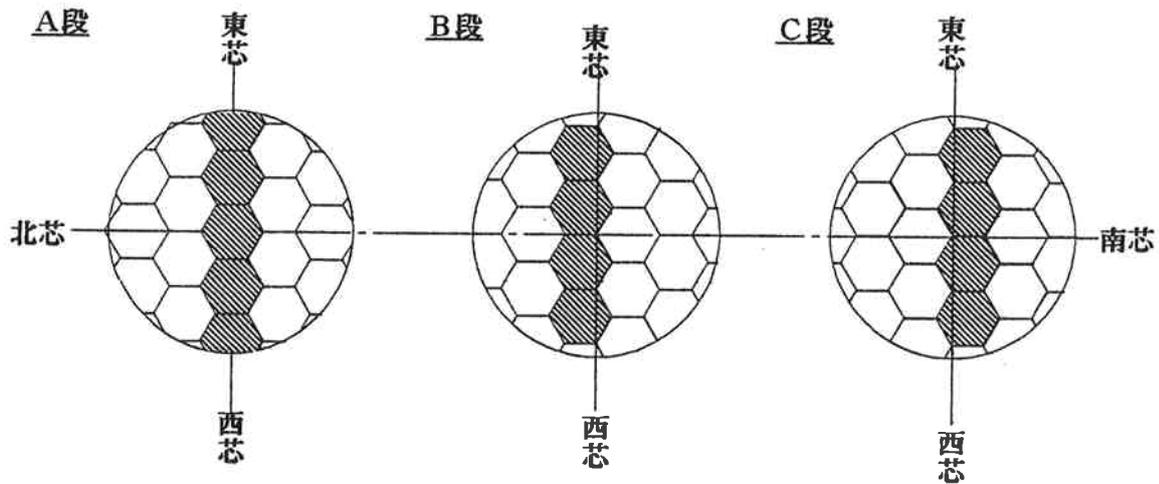


図3・8 チェツカれんが積み要領

b) ドームれんが積

熱風炉れんが積工事で最も難しい所は、ドームとドーム連絡管のれんが積である。ここでは、施工例として、ドームれんが積を行うための仮設を紹介する。その方法は、図3・9の様な分回し定規を仮設し、定規にマークされているれんが段割り墨に合わせてれんが積を行う。当然、上のれんがを積むときはれんががずれるので、その下のれんがに引っ掛け金物を掛け、上の積んでいるれんががずれ落ちないように工夫も行っている。

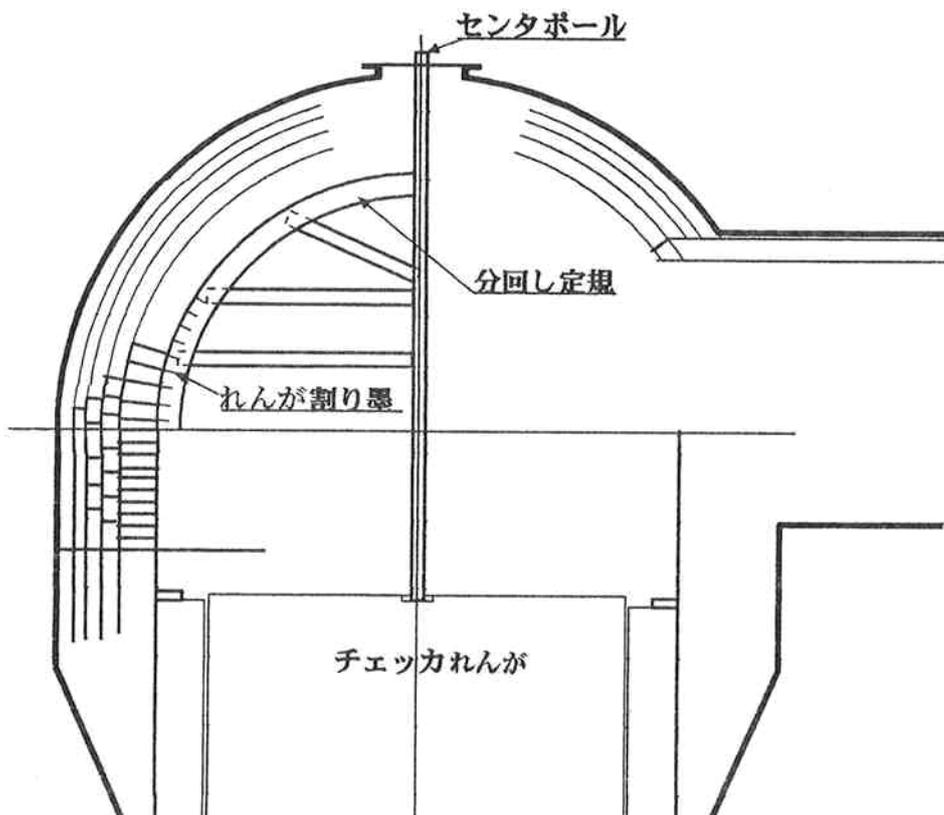


図3・9 ドームれんが積用仮設例

2・3 コークス炉 (Coke Oven)

コークス炉は、高炉操業のとき使用されるコークスを製造するための装置である。日本におけるコークス炉は高炉の大形化と共に、コークス炉の大形化が進み、日本にあるコークス炉は炉高5 m以上の窯がほとんどで、炉高7.5mのものもある。

日本の鉄鋼メーカ及び石炭化学メーカの持つコークス炉は、それぞれその設計メーカによって型式が異なり、一般的に、コッパース式、カールスチール式、ウイルプット式、ウイルプットオット式、オット式、新日鉄式などがある。これらのタイプの違いは、その燃焼方式や煙道の設置場所等の違い等が少しずつ違っているが、コークス炉は基本的な構成である炭化室、燃焼室、蓄熱室の3つで構成されていて殆ど違いはない。更に、燃料の違いによって、単式コークス炉と複式コークス炉がある。単式コークス炉は、一般に化学会社にあるコークス炉の場合が多く、コークス炉が自分自信によって発生するコークス炉ガスのみを燃料として設計されているコークス炉である。複式コークス炉は、鉄鋼業が所有するコークス炉の殆どの場合がそうで、高炉操業によって発生する高炉ガスとコークスガスを混合して作ったミックスマスを燃料として操業することと、コークス炉ガスのみを燃料として操業することの両方の操業が出来るように設計されているコークス炉を言う。

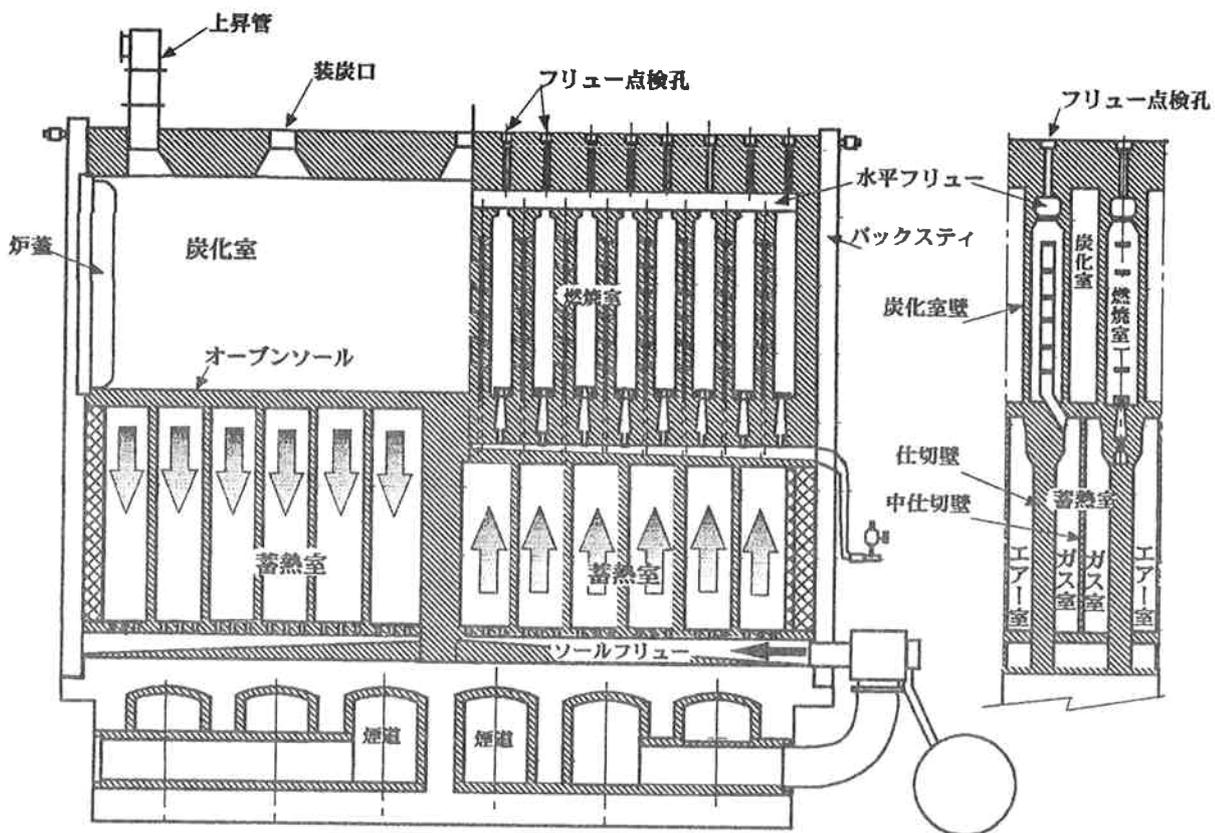


図3・10 複式カールスチールタイプコークス炉

コークス炉は蓄熱室の真上に炭化室があり、その両サイドに燃料室が挟んでいる構造になっている。そして、燃焼室は、蓄熱室の仕切壁の上にある構造になっている。

コークス炉は、この燃焼室と炭化室が交互に配置されていて、この炭化室を50個持っているコークス炉の数を50門のコークス炉と言い、これを炉団と言う。一般的に25門から60門を

持つ炉団が普通で、これ以下の物又は以上の物がある。

2・3・1 各部の構造と使用耐火物

a) 炭化室、燃烧室

前述のように、コークス炉は燃烧室と炭化室が交互に配置されていて炭化室の壁は、燃烧室の壁でもあり、一般的には炭化室に面している壁を炭化室壁と称している。この壁はコークス炉の性能及び寿命を左右する重要な位置を占めていて、使用されているレンガはけい石れんがである。

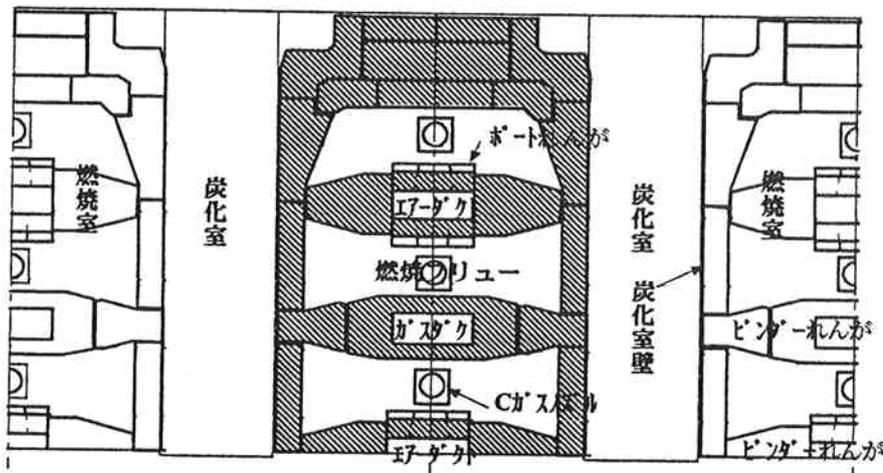


図3・11 複式カールスチール炉の炭化室構成例

b) 蓄熱室

蓄熱室は、燃烧用ガス又は、燃烧用空気を予熱するところで、単式コークス炉の場合は、燃烧用空気のみを予熱する。複式コークス炉の場合でミックスガスを燃烧する場合は、燃烧用ガスを予熱する室と燃烧用空気を予熱する室が交互に配置されていて、燃烧用ガスと燃烧用空気の両方を予熱する。又、コークスガスを燃烧して操業する場合は、燃烧用ガスを予熱する室も燃烧用空気を予熱し、蓄熱室全室が燃烧用空気のみを予熱するようになっている。蓄熱室の中は、チェッカレンガが積まれており、チェッカレンガには拍子木れんがを規定の幅で積むソーブタイプ (soap type) と穴あきれんがを積むスロットタイプ (slot type) の2方法の構造の物とこの二つのタイプを併用した物とがある。

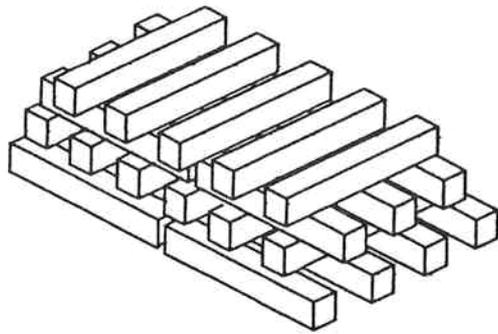
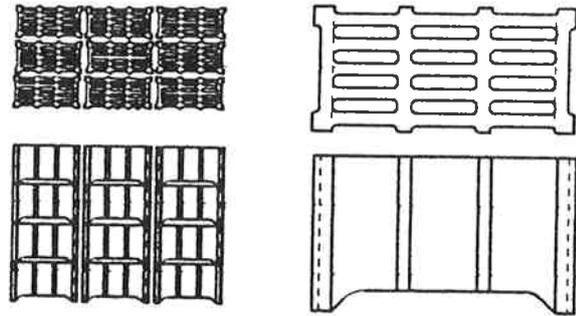


図3・12 ソーブタイプれんが積例



れんが積図
れんが単体図
図3・13 スロットタイプれんが積例

2・3・2 使用耐火物

a) けい石れんが

コークス炉に使用されている代表的な耐火物はけい石れんがである。けい石れんがの使用範囲は蓄熱室仕切壁上部、チェッカれんが上部、炉底、炭化室壁（燃烧室れんが）及び炉頂下部に使用されている。近年、建設された大型コークス炉の場合は、炭化室壁れんがに気孔率を下げたデンス（dense）品と言われるけい石れんがが使用されている。これは、コークス炉大型化に伴って、炭化室壁にかかる荷重の増加に耐えることと、けい石れんがの熱伝導率を上げて省エネルギー効果を上げるため開発された物である。

b) 粘土質れんが

ソールフリー部、蓄熱室仕切壁下部、チェッカれんが下部、炉頂上部及び、燃烧室両端部の各部分は、粘土質れんがが使用されている。（タイプによってはけい石れんがを使用している炉もある）

2・3・3 築炉工事

a) 寸法精度

① 炉間ピッチ

炉幅ピッチを確保するためには、図3・14に示すように俗称「シナイ」を作成し、各窯の燃烧室センタ線を確認しながら、そのシナイを強く引っ張ったり、緩めたりしてそのセンタ線が気温の変化によって変動しないように、2日置きぐらいにチェックし、センタ線を上げていくことが、コークス炉れんが積で最も重要な仕事である。

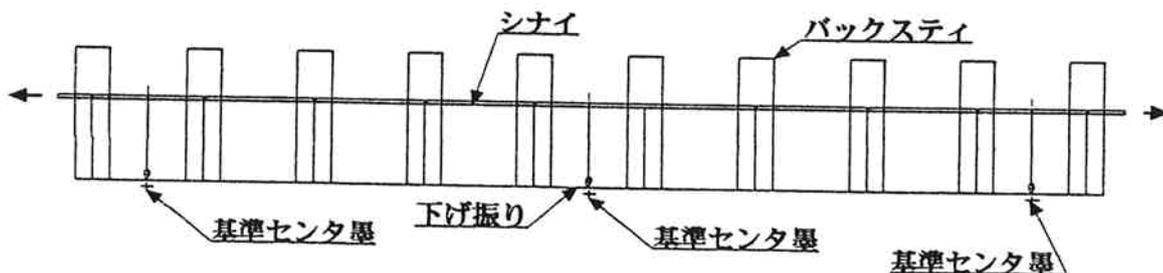


図3・14 「シナイ」による炉芯の出し方

② 炭化室炉幅の確保

炭化室炉幅はプッシュサイド (P.S) が狭く、コークサイド (C.S) が広がっている。この為に、図3・15に示すようにプッシュサイドとコークサイドのバックステイに炉幅定規を設置し、その定規の水糸に従って、れんが積を行い、炭化室面は極力凸凹の無いような平滑面に仕上げることがポイントである。

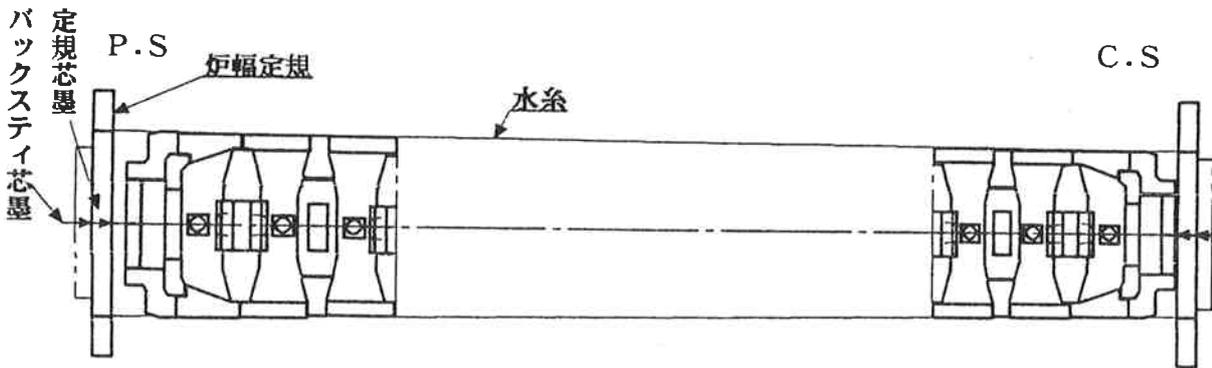


図3・15 炉巾定規の設置

③ れんが積レベル

2～3段毎に各壁の3点を測定し、 $\pm 3\text{mm}$ の範囲に入るよう定規を使ってれんが積を行う必要がある。これは、使用しているれんががけい石質であるため、熱膨張率が大きいことから、平らに積むことが長期使用におけるガス漏れ防止に寄与すると考えられている。特に、粘土質れんがからけい石質れんがに変わるところはスリップジョイントが設けられており、この部位は特に平滑さが要求される。

2・4 混銑車

古くは、高炉から出銑された溶銑は溶銑鍋に移され、混銑炉に貯蔵され、更に、装入鍋に移されて、転炉に装入され鋼に精錬される。つまり、高炉から転炉までの中継基地として混銑炉が使用されていた。近年は、炉の合理化、製鋼法が変化して、より効率的な製鋼法として変化し、この混銑炉は使用されることが少なくなり、その代わりとして、混銑車 (トープードカー) が使用されるようになってきている。高炉から出銑された溶銑は、直接、混銑車で受銑し、次工程の製鋼工場に運び、装入鍋に移されて、転炉に装入され鋼に精錬される様になった。更に、最近では、只、運ぶだけでなく製鋼工場に行く前に溶銑予備処理と言って、銑鉄に含まれている珪素、リン、硫黄を混銑車に積んだまま除去しようとする工程を経由するようになった。混銑車は1961年に導入され、当初は150 t程度の物であったが、最近では400 t～600 tの物が稼働している。又、別の方法として、混銑車を使用しないで、高炉から出銑された溶銑を溶銑鍋に取り、混銑車と同様な工程を取っている製鉄会社もある。

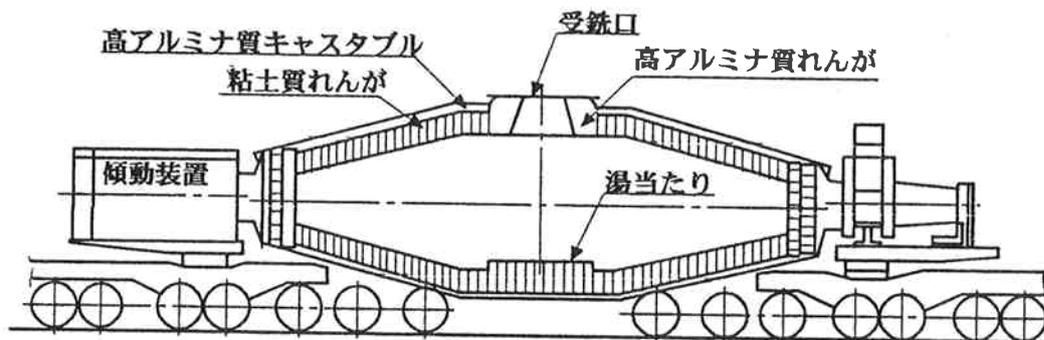


図 3・16 混銑車の概略図

2・4・1 使用耐火物

a) 内張れんが

混銑車内張れんがは高品質の粘土質れんがが使用されており、その品質特性としては十分緻密化され、容積安定性の優れた物がよいとされている。

b) 湯当たり、スラグライン、受銑口

損傷の激しい表題部のれんがは高アルミナ質れんがが使用されている。

c) モルタル

混銑車において内張れんがと同様に目地モルタルの役割は大きく、モルタルの品質が炉寿命を左右することもあり、特に耐食性と焼結特性を重視した高アルミナ質モルタルが使用されている。

2・4・2 築炉工事

a) 湯当たり、スラグライン、受銑口は、局部的に溶損されることが避けられないので、この部分は高アルミナ質キャストブルの吹付け、こて塗り等の中間修理が広く実施されている。

2・5 転炉 (LD転炉)

転炉は高炉で作られた溶銑を鋼にする装置で、転炉製鋼法は、1885年にH.Bessmerによる酸性底吹き転炉法の発明によって始まり、純酸素上吹き転炉法が、1953年、Linz、Donawitz両工場で実用化に成功し、両社の頭文字を取り、LD法と呼ばれるようになった。その転炉による製鋼法の工程を簡単に説明すると、図3・17のようになり、先ず、鉄スクラップを転炉の中に装入し、続いて、高炉から運ばれてきた溶銑が、装入鍋から転炉に装入され、次に、転炉は垂直に立てられ、石灰を入れた後、酸素をランスから吹き込み精錬される。精錬された鋼は出鋼口から取鍋に移され次工程に進む。

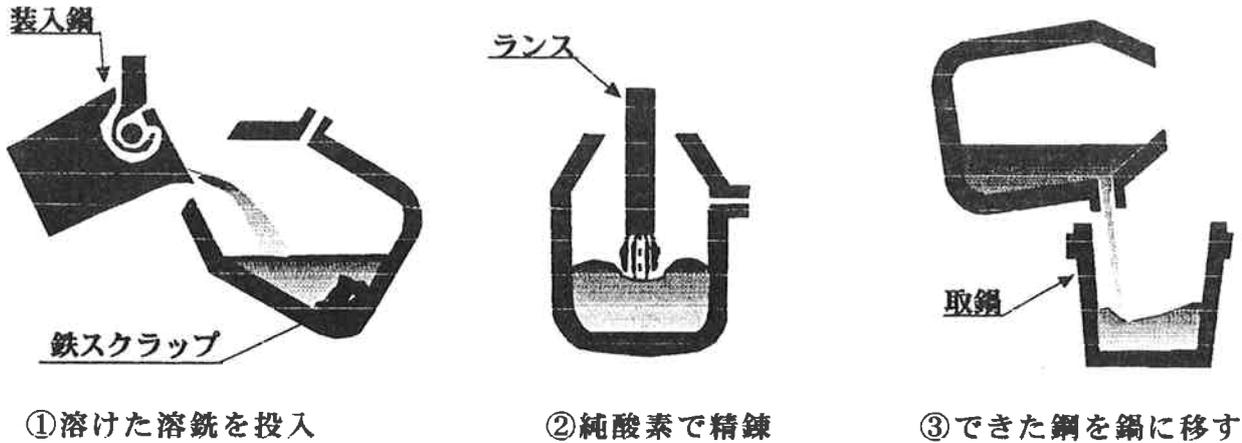


図3・17 転炉操業工程図

2・5・1 転炉の種類

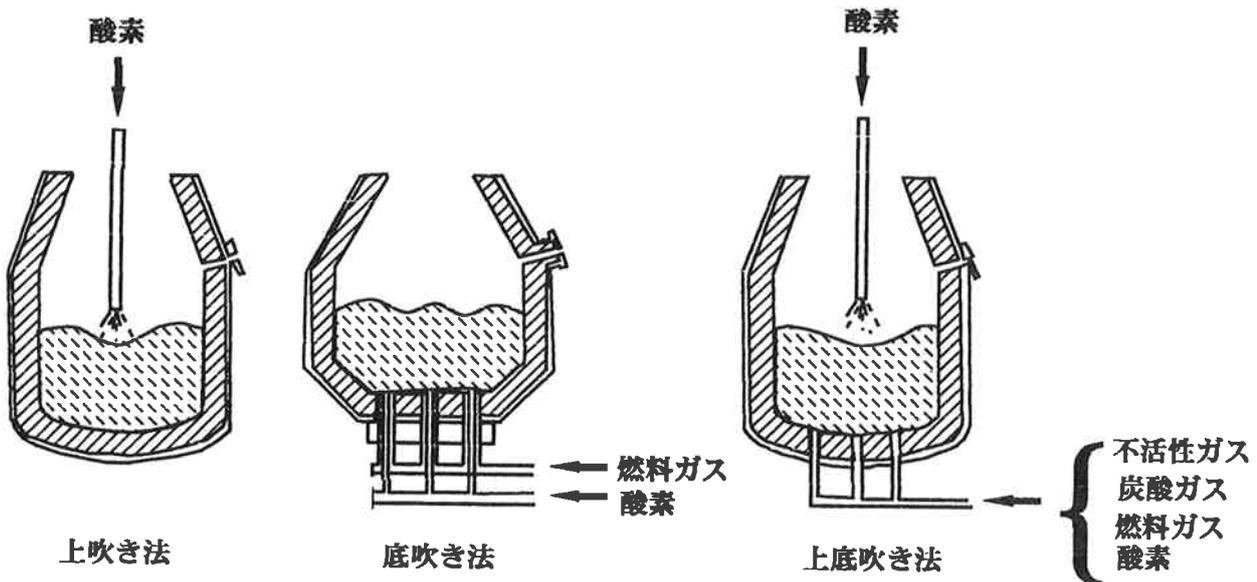


図3・18 転炉の種類

精錬は、銑鉄に石灰を投入してから、純酸素を吹き込むことによって行われる。この高純度の酸素は、銑鉄の中の炭素、けい素、マンガン等と急速に反応し、高熱（酸化熱）を発生して燃焼させる。この酸化燃焼で生じた酸化物や、リン、硫黄などの不純物は石灰と化合して転炉滓（スラグ）として固定する。1885年にH.Bessemerによって発明されて約90年間は銑鉄に空気を吹き込んでいたが、オーストリアで純酸素を吹き込む技術が発明された。純酸素を吹き込む転炉（純酸素転炉、LD転炉）は、図3・18に示すように最初、上から酸素を吹き込んでいた。これに対して、炉底から酸素を噴出させて、鉄を攪拌しながら炭素の反応を強力に進める下吹き（底吹き）転炉が日本で初めて実用化された。更に、炉の上からと下の両方向から純酸素や攪拌用の不活性ガスを吹き込む上下吹き（上底吹き）転炉も開発されている。

2・5・2 炉の構造と名称

a) 炉の構造

LD転炉は、炉本体とこれを傾動するための傾動装置、酸素吹き込み用ランス及びその昇降装置、溶銑、屑鉄、副原料等の運搬供給設備及び排ガス処理設備等から構成される。一般的に、炉底が分離される炉底分離方式の炉と分離されない非分離方式の炉があるが、我が国では後者が一般的である。

b) 各部の名称

炉体各部の名称は、図3・19に示すように上部より炉口部、絞り部（傾斜部）、直胴部（炉腹部）、湯溜部（鋼浴部）、炉底部（炉床部）と称している。方向の呼び名としては、装入側（排滓側）、出鋼側その直角方向をトラニオン側と称している。

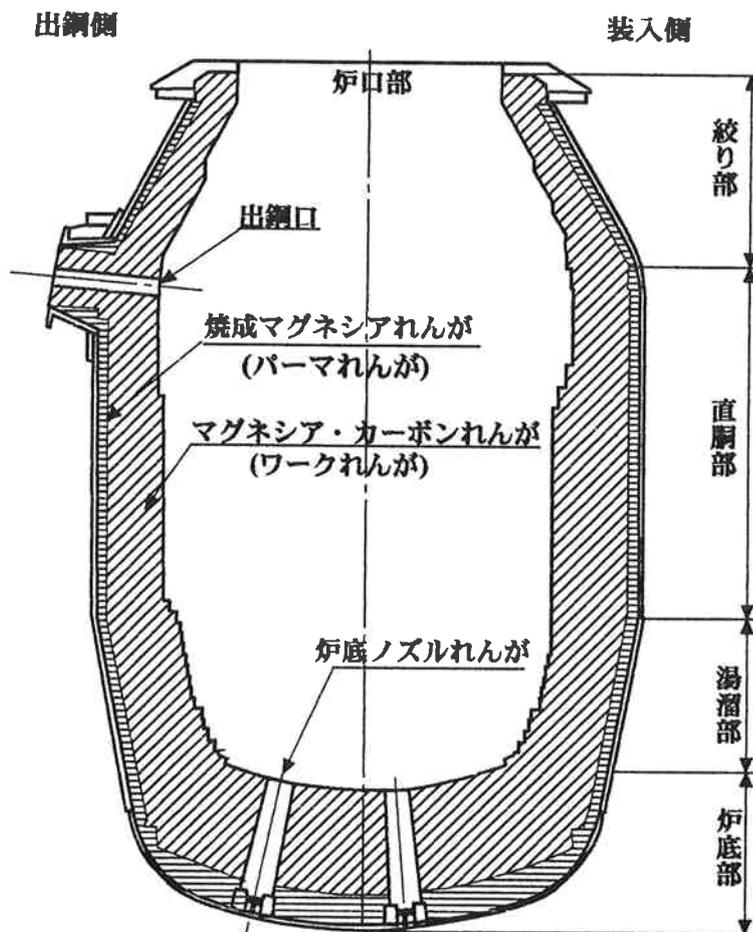


図3・19 転炉の構造

2・5・3 使用耐火物

転炉に使用されるれんがは、鋼浴に接する面のれんがをワークれんがと称し、裏壁のれんがをパーマれんがと称している。我が国における初期のLD転炉のワークれんがとしては、安定化焼成ドロマイトれんがが使用されていたが、その後、耐食性、熱間強度を図った準安定化焼成ドロマイトれんがが使用されるようになった。近年では、マグネシア・カーボンれんがが一般的に使用されるようになり、転炉の寿命が飛躍的に延びるようになった。

2・5・4 築炉工事

a) 炉内れんが積

炉内れんが積み方法は、各製鉄会社によって色々な装置を使用して、れんがを炉内に取り込み殆どは人力によって手積みされている。炉底れんがは大形れんがが多いため、バランスを使ったバキュームリフトの利用によって作業の軽減を行っているところもある。ワークれんがはモルタルなしの空目地施工であり、裏壁のパーマれんがは、基本的には空目地施工であるが、場合によってはモルタル付けで積まれることもある。

b) 熱間補修

転炉の稼働寿命を延ばす方法の重要な築炉作業として、熱間吹付作業、熱間溶射作業、ニーダ補修等があり、いずれも高温作業で大変きつい作業でもある。

2・6 電気炉

電気炉は電気の熱を利用して鋼をつくる炉である。転炉と違うところは、その鋼の原料が溶銑でなく、鉄スクラップである点が大きく違っている。電気炉には、アーク式と高周波誘導式とがある。アーク式は電極と鉄スクラップとの間にアークを飛ばし、その熱で精錬する方法で、直流式と交流式とがある。高周波誘導式は、るつぼの周りにコイルを巻いて高周波の電流を流し、鉄スクラップに誘導電流を発生させて、その電気抵抗熱（ジュール熱）で加熱し精錬する方式である。小規模で特殊用途に使用される。

アーク式電気炉は図3・20に示すように黒鉛でできた太い電極が垂直に差し込まれていて、電流を流すと炉の中の鉄スクラップとの間にアークが発生し、この電弧熱で鉄スクラップは溶けていく。その時、より高温を目的に酸素を吹き込み反応熱を得る。この工程を酸化精錬と言ひ、それに続いて酸素や硫黄を除去するために還元精錬が行われる。酸化精錬と還元精錬の2段精錬が電気炉の特徴である。鋼は1～2時間で造られ、一つの炉で造られる量は、50～120トンで、超大形炉では200トンクラスの炉もある。

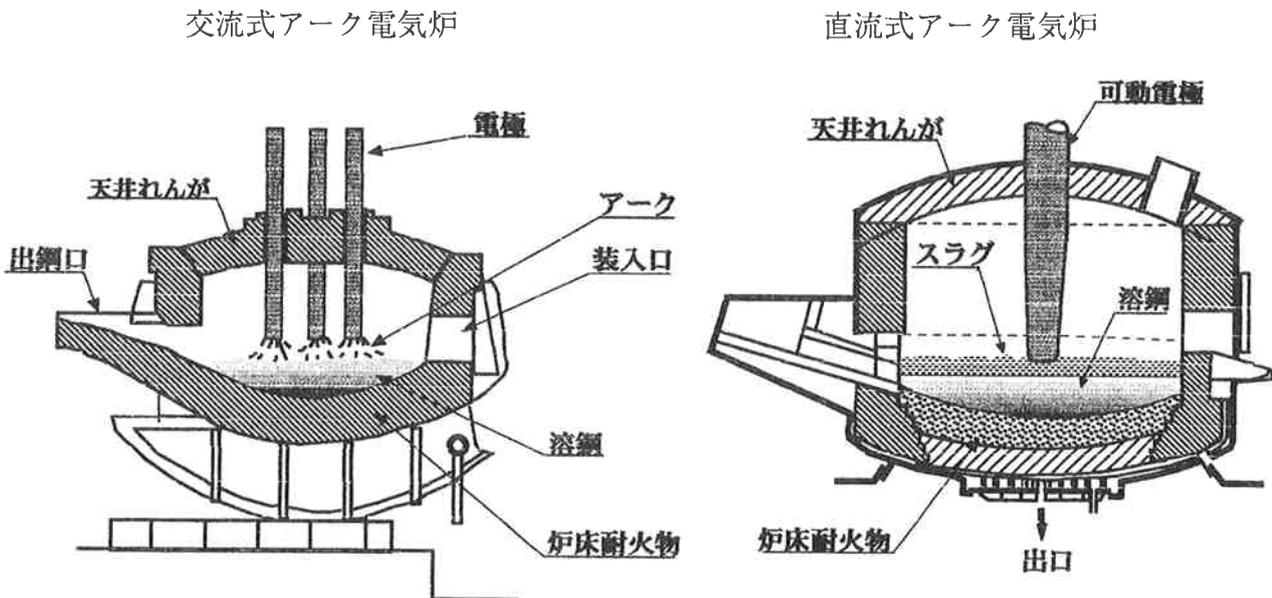


図3・20 アーク電気炉の構造

2・6・1 使用耐火物

a) 天井

従来は、けい石質れんがが使用されていたが、現在では、メタルケース付不焼成マグクロれんがと高アルミナ質ラミング材が広く使われている。天井は鉄スクラップ装入毎に旋回され、冷却されるため熱的スポーリングの強い材質のれんがが望まれる。

b) 炉壁

炉壁はホットスポット部、コールドエリア、スラグライン・出鋼口の3つの部分に分けて配する材料の選定をしている。

① ホットスポット部

最も過酷な場所で、従来は電鑄マグクロれんが、不焼成マグネシア質れんがが一般的に使われていた。現在は、水冷ジャケットの設置により、アークに強く、耐スラグ性で、耐スポーリング性に優れたマグネシア・カーボン質れんがが使用されている。

② コールドエリア

ホットスポット部以外の一般壁で、メタルケース付不焼成マグクロれんがが広く使われている。

③ スラグライン・出鋼口

スラグ及び溶鋼に強く、目地から湯漏れの起きにくい材質を選定する必要がある。従来は、電鑄マグクロれんが、焼成マグネシア質れんが、焼成ドロマイト質れんが等が使用されていたが、現在では、マグネシア・カーボン質れんがが使用されている。

c) 炉床

炉床は、図3・21に示すようにシャモット質れんがを張り、その上に焼成マグネシア質れんがを張り、更にその上にマグネシアスタンプ材を施工している。

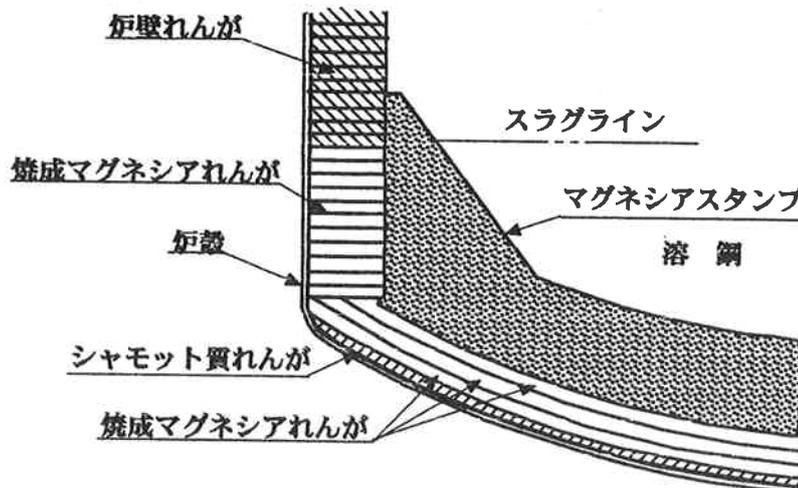


図3・21 炉床築炉の例

2・6・2 築炉工事

a) 天井炉蓋

図3・22は、交流アーク式電気炉の天井炉蓋のれんが積施工後の図である。れんがは4面迫りれんがでこれを積むためにはドーム形の形枠が必要となり、その形枠に、図のような3カ所の電極口の地墨、集じん口の地墨が必要となる。更に、スタンプ施工は、

これらの迫りれんがを支えなければならぬのでしっかり施工する必要がある。

b) 炉床

炉床の積替作業は半年又は1年に一回程度行われ、炉壁の修理時にマグネシアスタンプ部分のみの補修を行う。

c) 熱間補修

粉粒状のマグネシア質やドロマイト質のガンニング材を出鋼後ホットスポット、スラグラインに吹付機で吹付補修を行う。

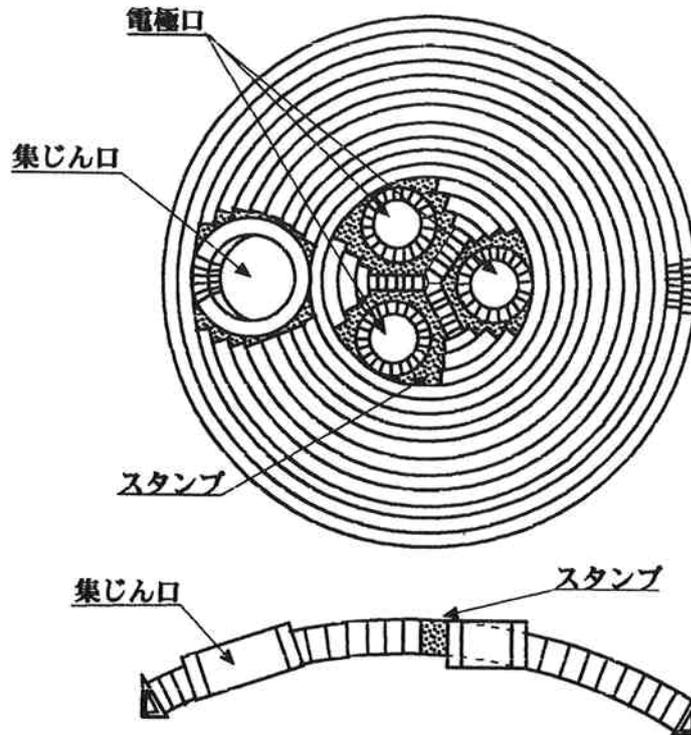


図3・22 天井れんがの築炉例

2・7 キュボラ

キュボラは図3・23のような構造をしていて、装入口より原料である銑鉄とコークスを装入し、羽口より空気を送り、コークスによって原料を還元し鑄鉄を作る炉である。

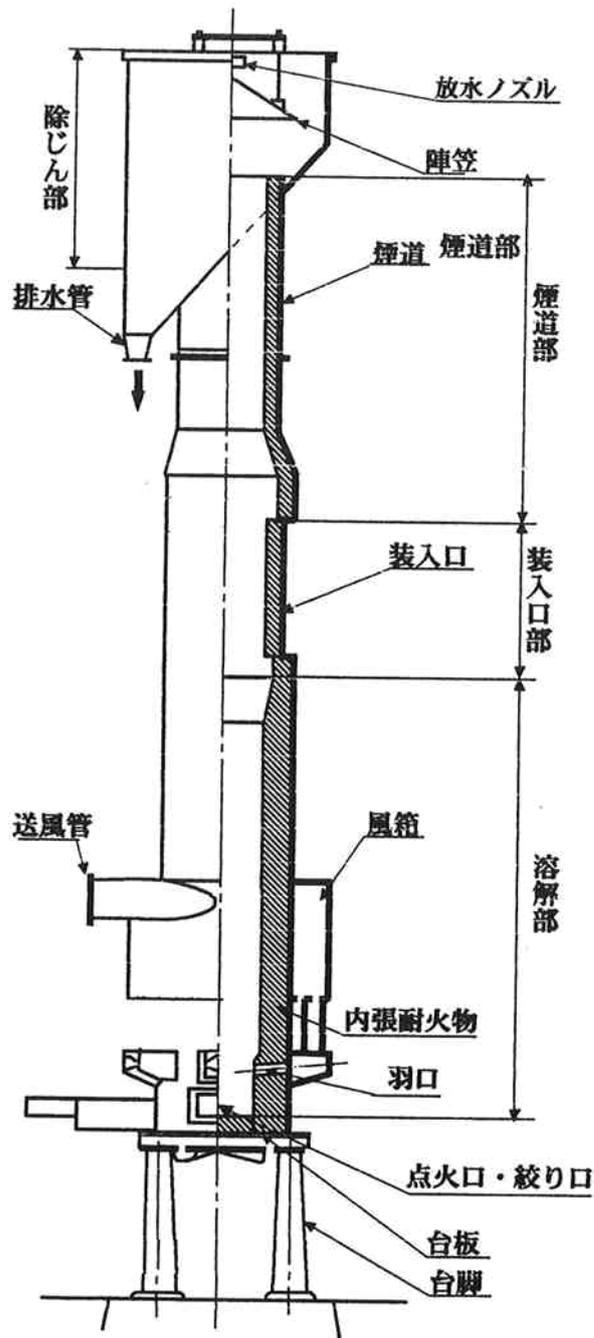


図 3・23 キュポラ概要図

2・7・1 各部名称

各部の呼称は一般的に図 3・23 のような名前では呼ばれている。

2・7・2 使用耐火物

一般に、ろう石質れんが、シャモット質れんがが多く使用され、ドロマイト質、マグネシア質れんがも使用されている。

2・7・3 築炉工事

a) 炉壁

最も浸食の激しい箇所は羽口付近の炉腹部、湯溜まり部上部、出湯口である。これらは状況に応じれんがやパッチング材で補修される。

b) 出湯口

耐火れんがと耐火モルタルに黒鉛を若干混ぜて水分をできるだけ少なくした物で積む。れんが材質は黒鉛質が良い。

c) 炉底

炉底は、図3・24の様に、しき砂の上にモルタルを固めた物とで構成される。しき砂の配合例を表3・3に示す。

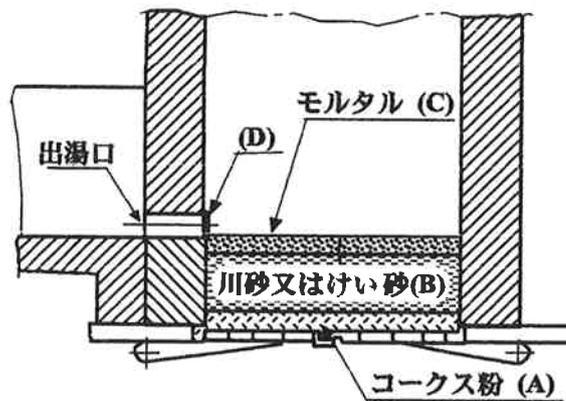


図3・24 炉底部築炉詳細

表3・3 炉底部敷き砂の配合例

部位	配合割合				
A	川砂 40%	けい砂 27%	木節粘土 3%	コークス粉 30%	水分 8%
B	けい砂 40%	黒鉛 20%	ろう石モルタル 40%	水ガラス 0.5%	水分 8%
C	けい砂 50%	れんが粉 10%	木節粘土 40%		水分 10%
D	ろう石モルタル 30～40%		川砂 or けい砂 60～70%		水分 0%

2・8 RH真空脱ガス装置

鉄の品質を向上するための装置で、転炉では吹き込まれた酸素が炭素と結びついて炭素を大幅に減らした溶鋼を作っているが、それでも鋼の中にはまだ、ppmオーダの不純物が残っている。そこでこれらの成分を取り除くために、転炉で精錬したばかりの溶鋼を取り鍋に移し、これをRHの浸漬管まで浸し、上昇管になる浸漬管の片方にアルゴンガスを吹き込み、攪拌しながら、真空（減圧雰囲気）を利用して溶鋼の中にある炭素、酸素、水素を脱気する装置である。

RH炉は普通2炉が1セットとなっていて、1炉が稼働炉となり、もう1炉が待機炉とな

って、常に1炉は使える状態に整備されている。

2・8・1 各部名称

各部の名称は、一般的に図3・25に示される様な呼び方をして、各部を区分している。そして、耐火物構成は、おおよそ、3層構造となっていて、一番炉内側のれんがをワークレンが、その次のれんがを準パーマ、一番鉄皮側のれんがをパーマレンがと称している。

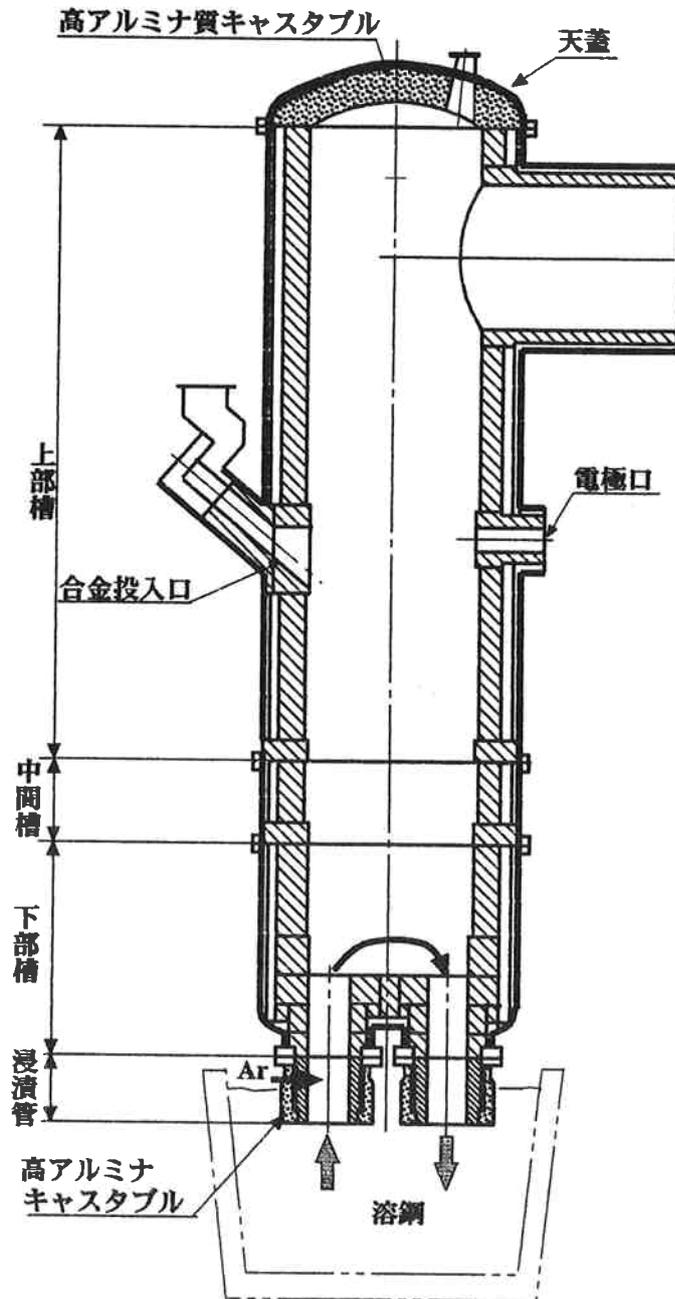


図3・25 RH脱ガス装置

2・8・2 使用耐火物

a) 上部槽、中間槽

図3・25には、中間槽が設けられているが、現在では、余り中間槽の存在意義が無く、

特に区別する場合が少ない。上部槽に使用されているれんがはマグ・クロダイレクトボンドのれんがが多く用いられるようになっている。上部槽は溶鋼と接することが無いので、問題は少なく、1000回～2000回の寿命である。上部槽の問題点は、上部槽上部に付着する地金であり、これを除去することによって、機械的に壁れんがが損傷を受けることである。又、合金投入口から合金原料を投入するとき、反対壁にそれらが当たり、れんがが損傷することが多い。

b) 下部槽

下部槽の底部、下部は溶鋼に接するため、寿命は短く、処理する鋼種にも大きく影響されるが一般的に200回～600回程度である。ワークれんがに使用されているれんが材質は高温焼成されたマグ・クロダイレクトボンドのれんがが用いられている。

c) 浸漬管

構造上、環流ガスの吹き込みパイプや耐火物を支持する金物と耐火物の複合構成となり、支持金物を挟んで、内側は高温焼成されたマグ・クロダイレクトボンドのれんがが用いられている。そして、外側は高アルミナ質キャストブルが使用されている。一般的に寿命は60回程度で、浸漬管取替工事が発生する。

2・8・3 築炉工事

a) 上部槽修理

一般的に上部槽修理時は、槽内に付着した地金を取る作業が生じる場合がある。

修理は、地金を撤去後、下部槽を取り外し、そこにリフタを設置してその上に乗ってれんが解体、れんが積みを行う。一般的には、抜きほり補修が多い。

b) 下部槽修理

下部槽は上部槽より切り離し、別な場所で修理される。下部槽を上部槽から切り離すとき、上部槽と下部槽間は地金が付着して、スムーズに離れない場合が多い。この時は、ジェットランスを用い、この地金を切断する上部槽からの切り離し作業が伴う。

c) 浸漬管交換

浸漬管は60回程度で交換になるが、その間、浸漬管に何回かは熱間でモルタル圧入が行われ、寿命の延長を図っている。浸漬管の交換作業で重要なのは、アルゴン管や、冷却水管等の接続ミスやバルブの開閉のミスがないよう気を付けることである。

2・9 加熱炉

加熱炉は、タンデッシュ等で作られた、スラブや丸ビレットを再び加熱して圧延ロールに掛け鋼板やパイプを作るために用いられる。

2・9・1 加熱炉の種類

加熱炉は用途によって種々な名称の炉があるが、連続炉の代表的な炉として、プッシュャ式加熱炉、ウォーキングビーム式加熱炉及び回転炉床式加熱炉などがある。この他、バッチタイプ炉として、均熱炉がある。

a) プッシュャ式加熱炉

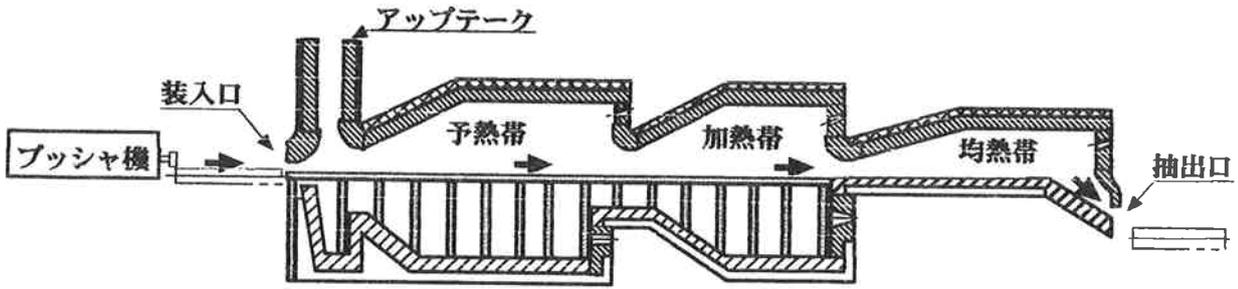


図3・26 プッシャ式加熱炉概要図

プッシャ式加熱炉はおおよそ図3・26のような構造になっていて、予熱帯(1ゾーン)、加熱帯(2ゾーン)、均熱帯(3ゾーン)区分され、各帯で温度管理されている。

予熱帯、加熱帯はスキッドパイプ構造になっていて、下部からもバーナを焚き鋼材を加熱している構造になっている。均熱帯は耐火構造の炉床となっており、上部バーナのみで加熱している。加熱される鋼材は左側に設置されているプッシャ機で順次押し込まれ、スキッドパイプの上を滑って抽出口から排出されローラコンベアで圧延機に搬送される。

b) ウォーキングビーム式加熱炉

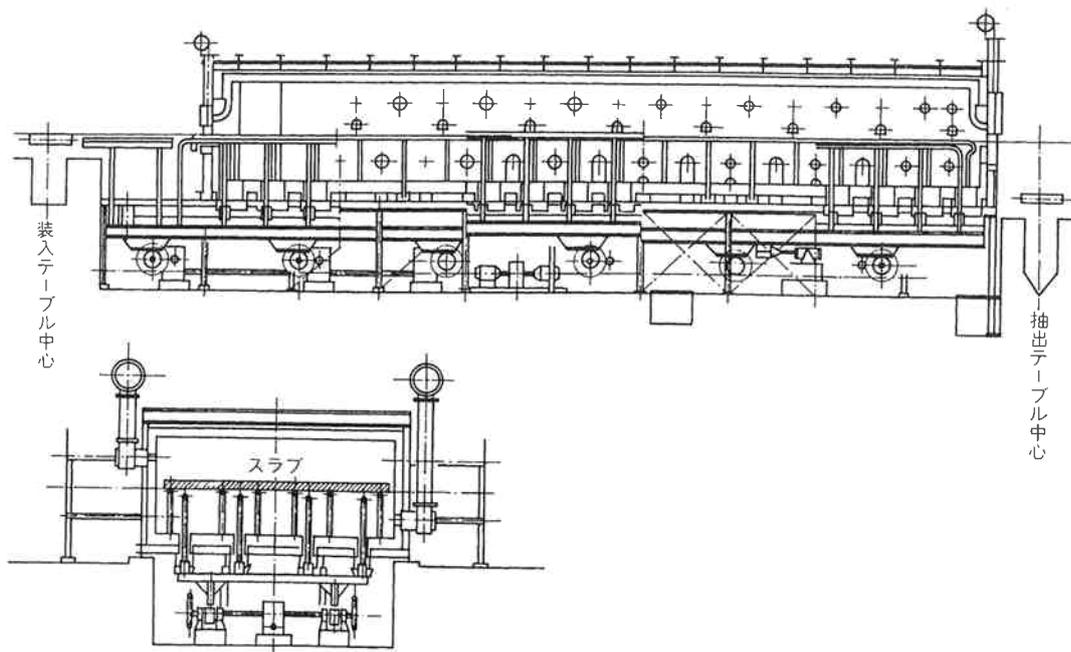


図3・27 ウォーキングビーム式加熱炉概要図

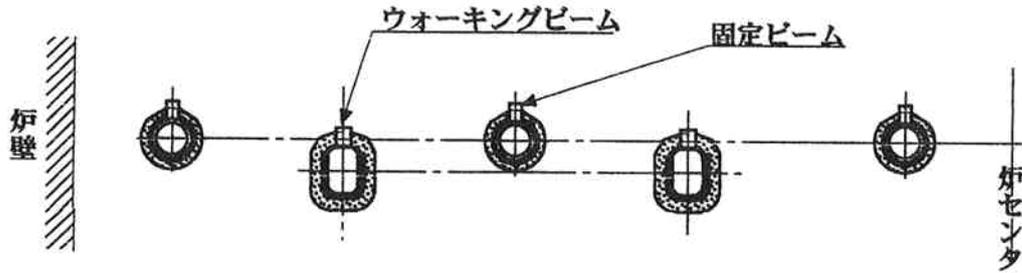


図3・28 スキッドパイプの配列

ウォーキングビーム式加熱炉概要は図3・27のようになり、プッシャ式加熱炉と同じような構造をしているが、プッシャ式加熱炉が加熱する鋼材をプッシャ機で押し込んで、順次、スキッドパイプの上を滑って、炉内を移動して加熱されるのに対し、装入機で炉内に押し込まれた鋼材は、ウォーキングビームによって、順次、スキッドパイプの上に乗って移動する構造になっている。この為、スキッドパイプの配列は図3・28のようになり、固定ビームと移動ビームの2つが配置されている。移動ビームは、上昇→前進移動→下降→後進移動のサイクル運動をすることによって鋼材を前進移動させている。そのため、鋼材はスキッドの上を滑ることが無く、固定ビームの上に乗って移動することになる。

c) 回転炉床式加熱炉（ロータリハース式加熱炉）

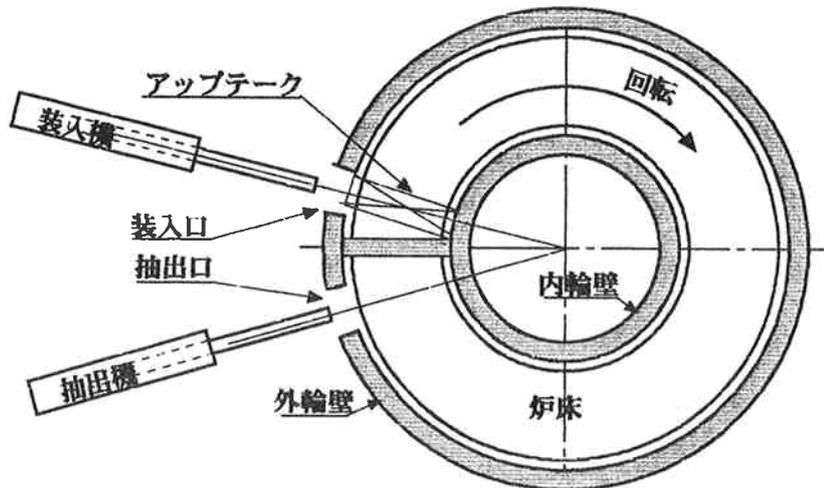


図3・29 回転炉床式加熱炉概要図

回転炉床式加熱炉は、図3・29に示すように鋼材を乗せる炉床が回転し、鋼材を加熱する炉である。この炉は一般に、シームレス鋼管を製造する工場で使用されている。この炉は挿入機で丸ビレットを加熱炉の炉床に乗せ、抽出口まで回転するまでに、この丸ビレットを圧延する温度まで加熱し、抽出機でローラコンベアに取り出す。このタイプの炉も当然、上記のようなタイプの加熱炉と同様に、予熱帯、加熱帯、均熱帯に区分され、温度管理がされている。燃烧ガスは均熱帯の方から装入口の方に流れ、装入口の上に設けられたアップテークを通して煙道に抜けるようになっている。

d) バッチ式加熱炉

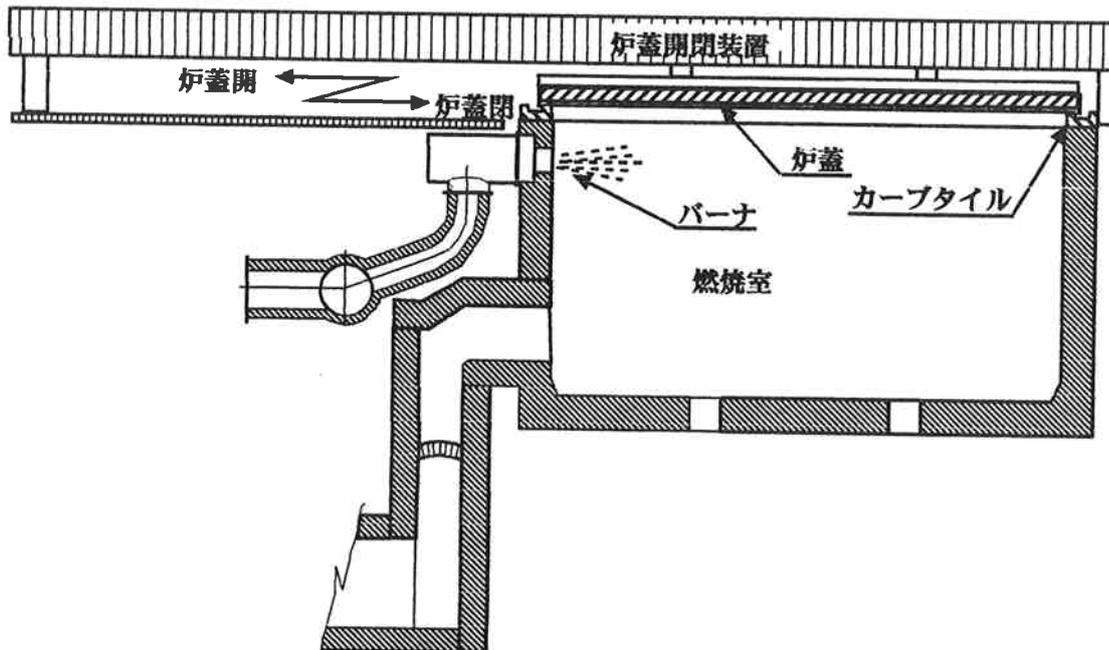


図3・30 均熱炉概要図

バッチ式炉の代表的なものに均熱炉がある。均熱炉は製鋼工場で製造された鋼塊を内部及び、外部の温度を均一に加熱し、圧延分塊できるようにするための炉で、鋼塊は炉の上部から鋼塊クレーンで装入され、又、抽出される。炉蓋は開閉装置によって水平移動されて開閉できるようになっている。図3・30にその概要を示す。

2・9・2 使用耐火物

a) プッシュ式加熱炉及び、ウォーキングビーム式加熱炉

① 天井

天井に使用されているのは、加熱、均熱帯については、アルミナ含有量が50%前後のプラスチック耐火物が炉内側に使用され、その上は、断熱キャストブル等で断熱されている。その施工例を図3・31に示す。予熱帯は低温域なのでもう少し低クラスのプラスチック耐火物が炉内側に使用している炉もある。又、セラミックファイバで施工した炉もある。更に、近年、高温に耐られるアルミナファイバが開発され、高温域の天井、側壁にもセラミックファイバを使用された炉も作られている。

② 側壁

側壁も、天井と同様で、側壁の場合は、壁の厚みが一般的に天井に比べ厚く、断熱材として裏壁に図3・32に例示してあるように断熱ボードを使用することが多い。

③ 炉床

炉床は、特殊な例を除いて、シャモット質のれんがを炉内側に張り、断熱材として断熱ボードを鉄皮側に張り、そして、耐火れんがと断熱ボードの間は断熱れんがを張ることが多い。

プッシュ式加熱炉の均熱帯は炉床を加熱された鋼材が滑って移動するので、鋼片に

接する所は、耐熱鋳鋼品のレールを設置することが多い。

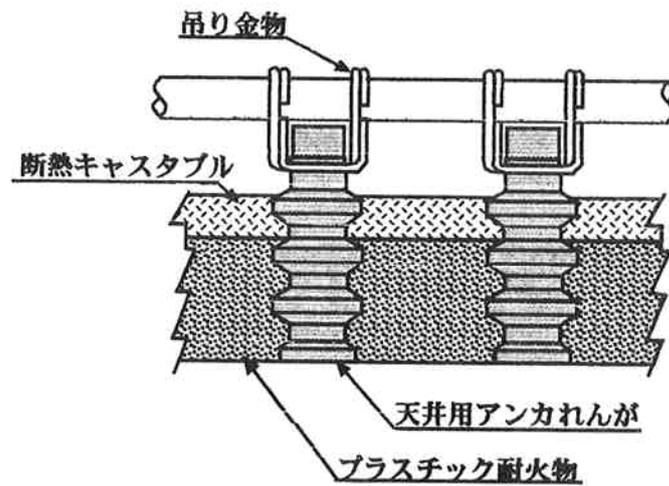


図3・31 天井の施工例

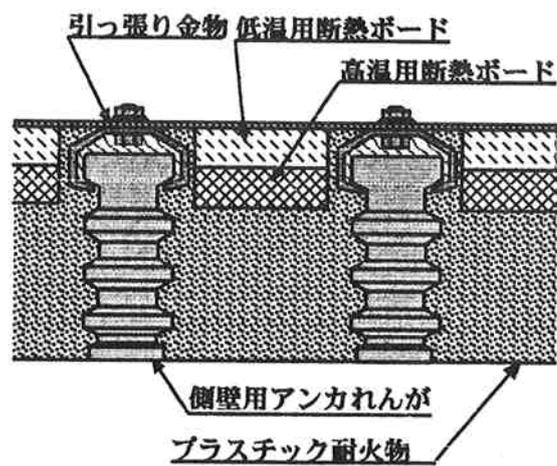


図3・32 側壁の施工例

④ スキッドパイプ

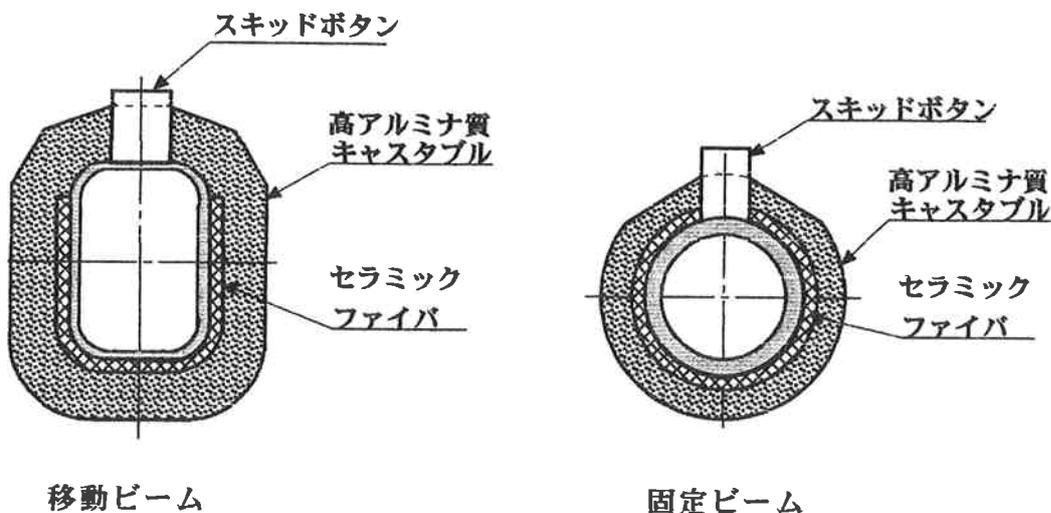


図3・33 ウォーキングビーム式加熱炉用スキッドパイプの耐火物施工例

図3・33に例示したものは、ウォーキングビーム式加熱炉の移動ビームと固定ビームの施工例であるが、この他、サポートパイプの耐火断熱工法は同じような構造を持っている。図のように、スキッドパイプの外周をセラミックファイバを巻き、その上に高アルミナ質のキャストブル耐火物を施工している。プッシュ式加熱炉の場合、固定ビームのみであるから上図の固定ビームと同じ配材となるが、一般的には、鋼材がスキッドの上を滑って移動するため、スキッドパイプの振動で耐火物が壊れやすいので、セラミックファイバを使用しないで、高アルミナ質のキャストブル耐火物のみで施工している場合が多い。

b) 回転炉床式加熱炉

① 天井及び側壁

使用耐火物及びその構成は、上記の加熱炉と殆ど同じと考えて良い。

② 炉床

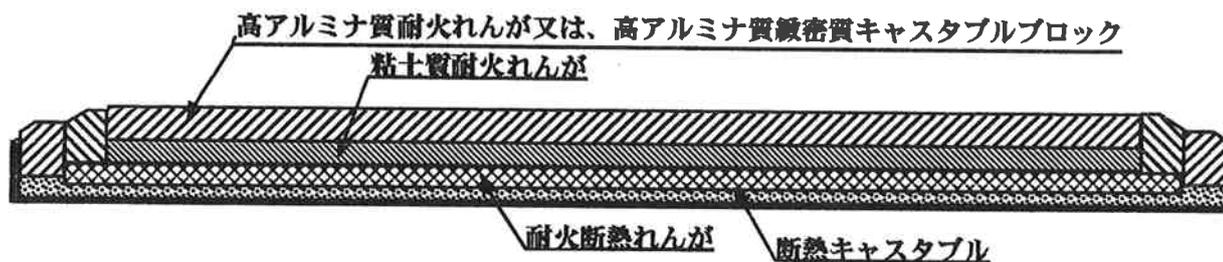


図3・34 回転炉床式加熱炉の炉床施工例

図3・34に回転炉床式加熱炉の炉床施工例をのせた。炉床は直接丸ビレットが耐火物の上に乗るので、最上部の耐火物は、高アルミナ質れんが、電焼れんが又は、高アルミナ質緻密質キャストブル製のブロック等が使用されている。

c) 均熱炉

① 側壁及び炉床

均熱炉耐火物は、従来は、側壁はけい石れんが、炉床は粘土質れんが、スケール浸

食部は、塩基性れんがを使用していたが、現在では、側壁はプラスチック耐火物を使った炉が殆どである。

② 炉蓋

炉蓋は可動式で、鋼塊の装入、抽出の時は、炉体を開けるため、炉蓋は低温な床の上に移動され急冷されるため熱的スポーリングの強い耐火物が必要である。一般的にはこの部位の耐火物は、高アルミナ質のキャストブル耐火物を使用している。

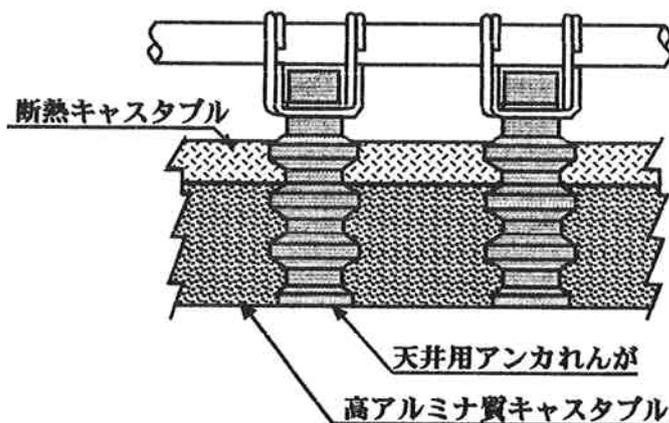


図3・35 均熱炉炉蓋の耐火物施工例

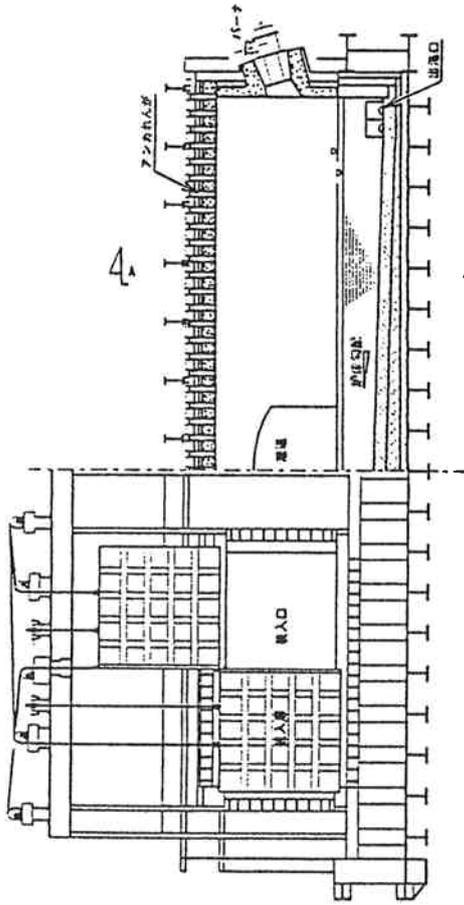
3 アルミ溶解炉及び保持炉

3・1 概要

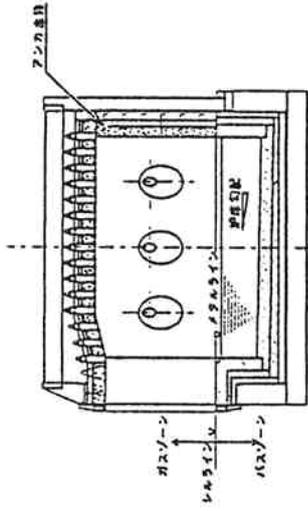
アルミ溶解炉、保持炉はアルミインゴットやアルミスクラップを溶解し、圧延材用のスラブや押出材用のビレットを铸造するための炉である。溶解炉はその形状、チャージの方法により大別して図3・36に示すように円形トップチャージ形と角形サイドチャージ形に分けられる。また、それぞれ定置式と傾動式とがある。通常溶解炉と保持炉の組み合わせは、溶解炉1炉に対して保持炉1炉または2炉という構成が一般的であるが、溶解炉が保持炉を兼用するものもある。これは操業工程（溶解—保持—铸造）や铸造材質等の諸条件により選択される。これらの炉はバッチ操業され1バッチ当たりの溶解量は5～100Ton程度である。

その他にダイキャスト用の溶解炉としてインゴットを直接排ガスで予熱し連続的に溶解を行う所謂急速溶解炉がある。溶解能力は概ね数百キロから5Ton/h程度である。

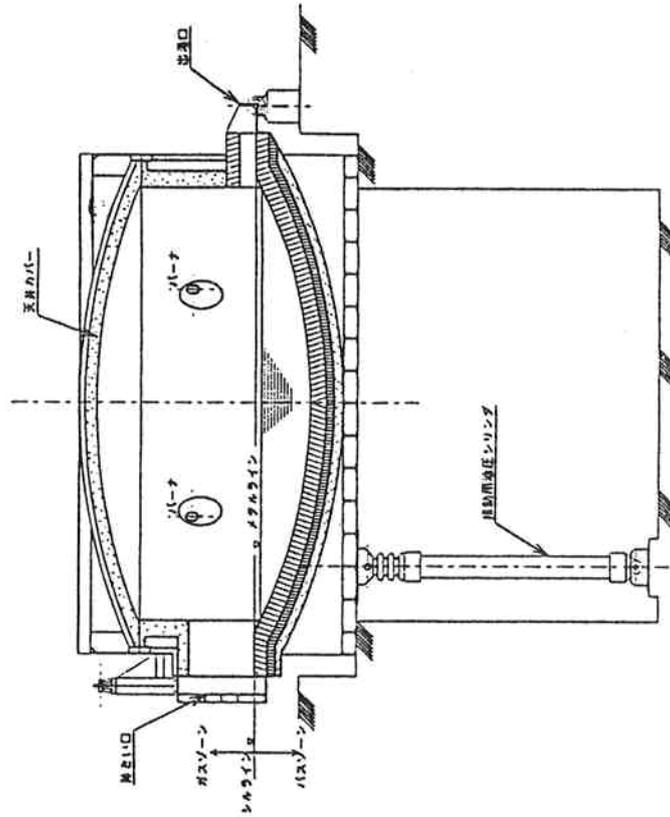
これら溶解炉のエネルギー源は主に重油、LNGである。



定置式サイドチャージャ形溶解炉



A-A断面図



車動式円形トップチャージャ形溶解炉

3・2 炉構造

前述の様に、アルミ溶解設備は溶解炉と保持炉により構成されるものが一般的でありその構造が近似しているので本論では主に溶解炉に関して述べることにする。溶解炉は通常冷材（アルミインゴットやスクラップ）は溶けたアルミよりもその容積が大きく湯だまりの容量のみの炉内容積では1バッチ当たりの冷材を1度にチャージするのは困難である。従ってこの冷材を収めるための空間が必要でありこの空間をガスゾーンと言う。またこのガスゾーンにおいてバーナの高温燃焼ガスの熱エネルギーがアルミへと伝えられる。さらに冷材が完全に溶解落ちると平らな湯面（フラットバス）が形成される。この湯溜りの部分をバスゾーンと呼ぶ。正確には装入口（除滓口）下面—シル（敷居の意）ライン—から上の部分をガスゾーン、このシルラインから下の部分をバスゾーンと言う。

ガスゾーンには溶解用のバーナをはじめとして、装入口、除滓口等が取り付けられている。バスゾーンには定置式ならば出湯口、傾動式ならば注湯口、湯温測定口等が取り付けられている。

3・3 耐火物構造

a) ガスゾーン側壁部

ガスゾーン側壁部は鉄扉側から断熱ボード、耐火断熱れんが、プラスチック耐火物の3層構成が一般的である。プラスチック耐火物はステンレス又は耐熱鋳鋼製のアンカ金物により保持されている。施工厚さはそれぞれ50～100mm、65～114mm、180～230mm程度である。トップチャージの溶解炉ではプラスチック耐火物に代ってキャストブル耐火物が施工され厚さもさらに厚くなっている場合が多い。鉄皮表面温度、最高使用温度、経済性等を考慮して材質と厚さが決定されている。

b) ガスゾーン天井部

ガスゾーン天井部は吊り天井構造が通常の構造であり、大気側から断熱ボード、耐火断熱キャストブル、プラスチック耐火物の3層構成が一般的である。プラスチック耐火物はアンカれんがによって保持されている。施工厚さはそれぞれ30～100mm、50～100mm、200～230mmが一般的である。

c) バスゾーン炉床部

バスゾーン炉床部は溶湯が漏れないことが最重要点であり冷材のチャージによる機械的衝撃、急冷による熱的衝撃に耐え得る構造を必要とし、さらには溶湯を汚染しないことと、スラグからの侵食に抵抗性のある材質が選定されている。構成は鉄皮側から断熱キャストブル又は断熱れんが、粘土質キャストブル、ハイアルミナ質キャストブルの3層構成が一般的である。施工厚さはそれぞれ100～200mm、100～400mm、200～300mm程度が一般的である。以前は第1層目はハイアルミナ質耐火れんがが用いられていたが、最近ではハイアルミナ質キャストブルが主流である。また炉床は溶湯を出湯口又は注湯口まで溶湯を導くための勾配がとってある。この勾配は通常第2層目又は第3層目で調整する。

d) バスゾーン側壁

バスゾーン側壁は鉄皮側から断熱ボード、耐火断熱れんが、ハイアルミナ質キャストブルの3層構成が一般的であるが耐火物の膨張の吸収代を炉壁に取る場合はこの層が加

わり4層構成となる。施工厚はそれぞれ50～150mm、65～114mm、200～300mm程度が一般的である。尚バスゾーン側壁部には通常アンカ金物（スタッド）は用いない。

3・4 耐火物施工の注意点

アルミ溶解炉特有の施工方法というものは取り立ててなく一般的なプラスチック耐火物やキャストブル耐火物の施工と同様な注意が必要であるが、湯溜まりがあるということについての注意を下記に述べる。

a) 炉内清掃

使用される断熱ボード、耐火断熱レンガ類は炉内にてのこぎりによる現場加工の機会が多く切り屑が多分に発生する。これらの切り屑は耐火層を施工する前によく清掃し取り除いておく必要がある。それは断熱材が耐火層へ混入すると耐火材の耐火度や強度を低下させてしまう可能性があるばかりでなく、アルミ溶湯を汚染することも考えられるからである。キャストブル耐火物が多く使用される機会が多いので此の点については留意したい。

b) ハイアルミナ質キャストブルの施工

バスゾーン第1層目はハイアルミナ質キャストブルの流し込み施工が行われるが、混練水量は規定の量で混練しなければならない。僅かの水量増でも強度が著しく低下する場合があるからである。また混練水は清水を用いなければならない。水のなかの塩分や鉄分等は炉内清掃の項でも述べたように耐火材の耐火度や強度を低下させてしまうからである。又、流し込みの時に製品によっては、バイブレータを必要とするもの、バイブレータをかけてもよいがかけすぎではいけないもの、又はこれとは逆にバイブレータをかけてはいけないものがあり事前に確認しておかなければならない。さらに側壁部には温度測定口等の貫通孔などがあり形枠を忘れずに掛ける必要がある。後から貫通孔を開けることはハイアルミナ質耐火物の場合非常に困難である。

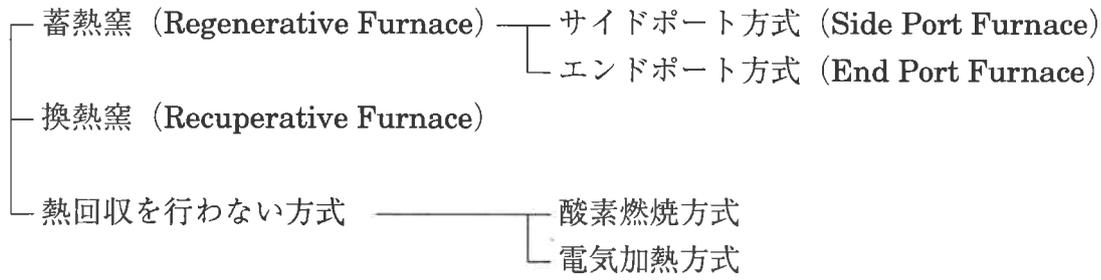
c) 各工程毎の寸法、レベルチェック

アルミ溶解炉、保持炉はその所定の溶湯量を確保するためのバス容量及び定置式・傾動式にかかわらず炉床勾配と落差により溶湯を移送するために炉内寸法と各ポイントでのレベルは非常に重要でありこれらの寸法を間違えると溶解量が少なくなってしまうり、全部出湯できずに炉内に湯が残ってしまうこともある。この様なミスをさけるためにバスゾーンでの耐火物施工は各工程毎に炉内寸法とレベルをチェックし形枠掛け完了後もさらにチェックを行い、その結果を記録する。

4 ガラス

4・1 ガラス溶解炉の種類

ガラス炉はその製品の目的にあわせ一日に数キログラムの製品から板ガラス炉のように何百トンものガラス製品を製造出来るような炉まで多種多様な形式が存在するが、製造工程として大まかに原料の調合、熔融、清澄、成形温度調整、成形の工程に分けることが出来る。そしてガラス炉は主にガラスの熔融方法と製品の成形方法により分類することができる。



などに分けられる。また、この他にも坩堝炉や特殊な形式のものが多数存在するがここでは割愛する。

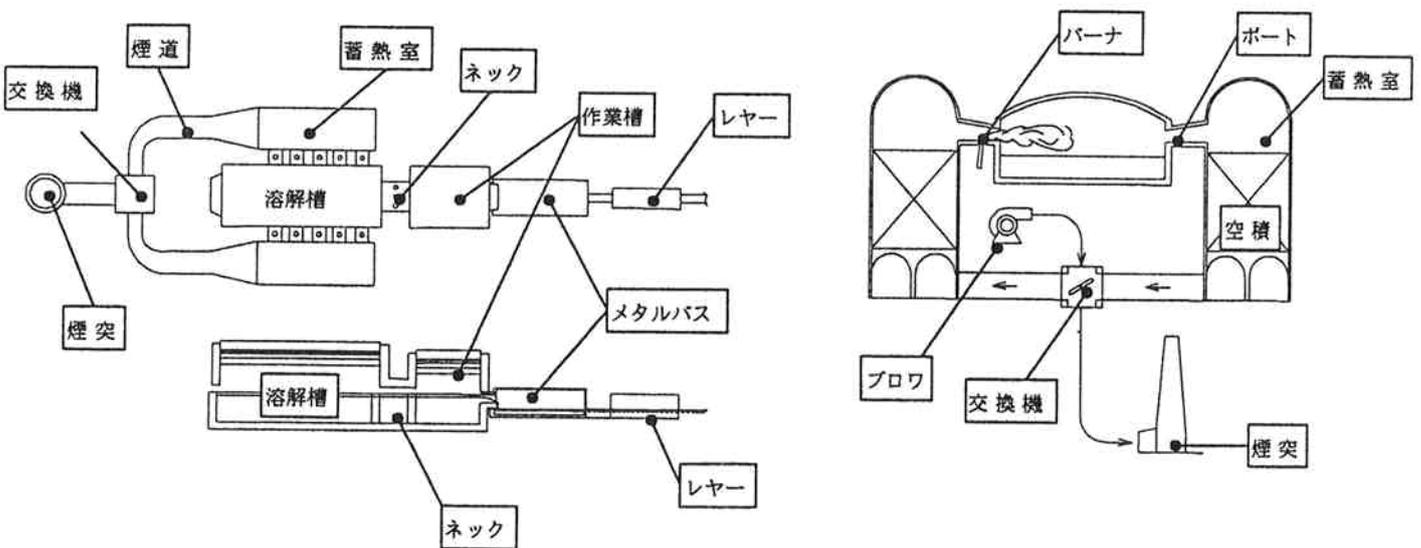


図3・37 サイドポート窯の一例 (板ガラス炉)

サイドポート方式は図3・37に示すようにバーナの吹出口が溶解槽上部の横壁に数対設けられ、蓄熱室が向い合って設置されている方式のことで、燃焼を終えた空気がそのまま対面の吹出口より蓄熱室に流入し空積れんがの隙間をとおり排出されその際、空積れんがが予熱される方式のことである。

板ガラスやびん・食器などの比較的大形の炉に使用される形式である。

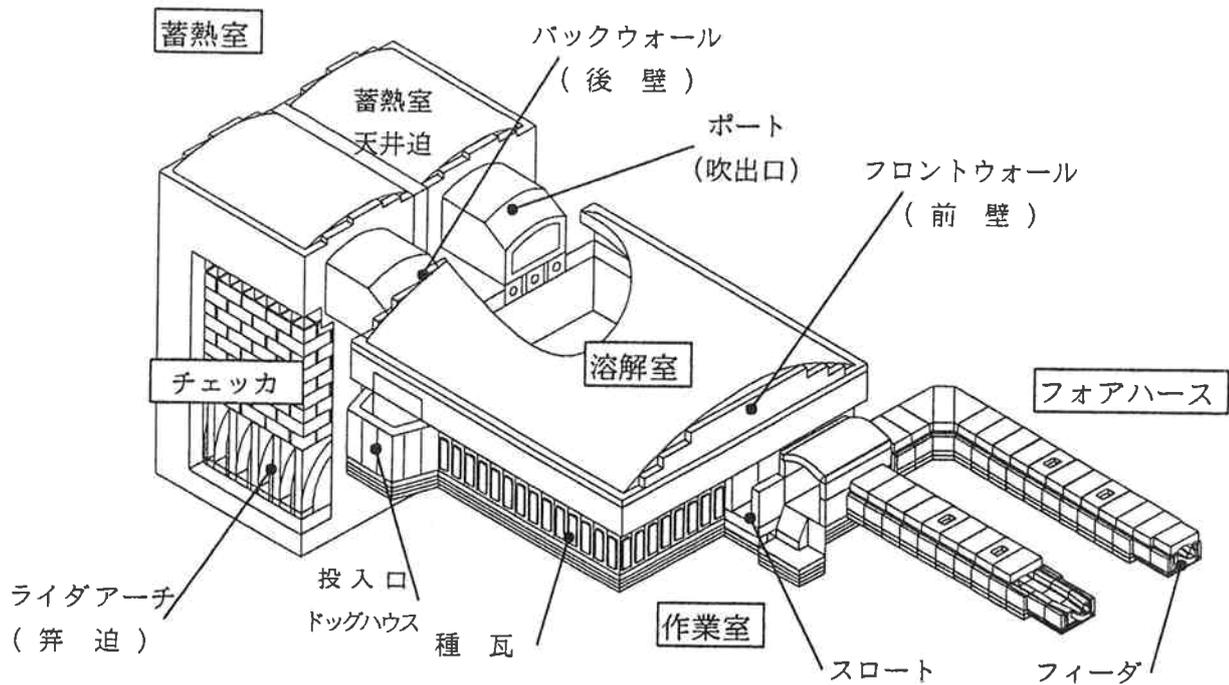


図3・38 エンドポート窯の一例（びん・食器）

エンドポート方式は図3・38に示すように蓄熱室が溶解槽後壁に一对の燃焼吹出口が設けられ片方が燃焼中はもう片方が空積れんがを予熱する形式である。熱効率を重視する設計ではダブル蓄熱方式という片側の蓄熱室を縦に2基設置し窯側の蓄熱に熱効率を重視したチェッカを採用し煙道側に従来形の角物れんがによるチェッカ積が採用される。

びん・食器などの炉で比較的小形のものに使用されてきたが最近では150Ton/Dayくらいの炉などにも使用されてきている。

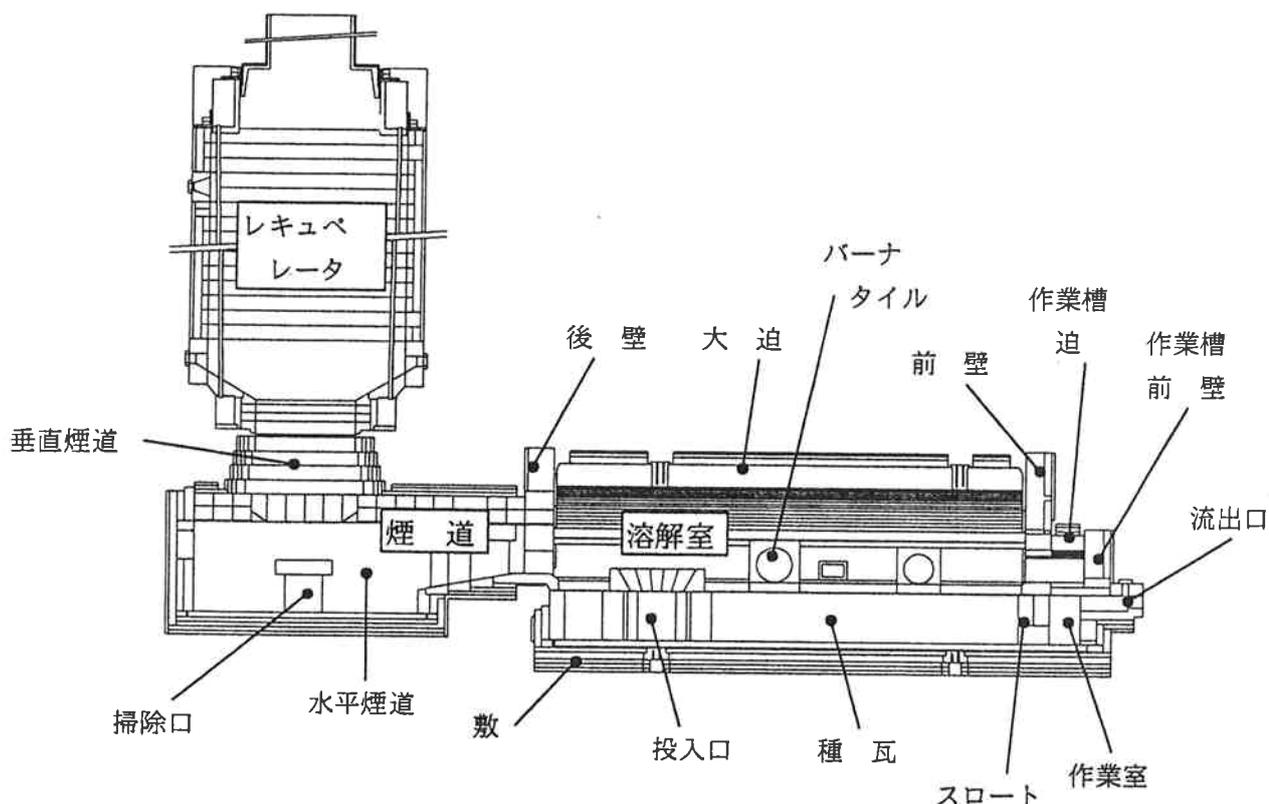


図3・39 換熱式窯の一例（水ガラス炉）

換熱式とは図3・39に示す通り蓄熱室の替りに金属又はセラミックス製の換熱機（レキュペレータ：Recuperator）を装備する窯のことで、換熱機は蓄熱室とは違い熱交換を常時行っているため吸込み排気の二次空気交換がないことである。

主に長・短繊維ガラスや水ガラスの炉に利用されている。

この方式はガラスの生産量が数十トンの小形のものから200トンを超える大形のものまでいろいろな大きさの炉に使用されている。

酸素燃焼方式とは通常ガラスの溶解に燃料と空気を使用するが、この場合は、空気の替りに酸素を使用する方式である。このため従来の炉に比較し蓄熱室や換熱装置をもたず、空気を燃焼にほとんど使用しないため、Noxの発生量が従来に比べ非常に少ない、排気ガスの量が少なくエネルギー使用量が少ない、などの特徴がある。

現在国内の酸素燃焼炉は従来炉より蓄熱室を取り去り換熱式の炉のように後壁または横壁に煙道をあげ排気する方式が多く行なわれている。

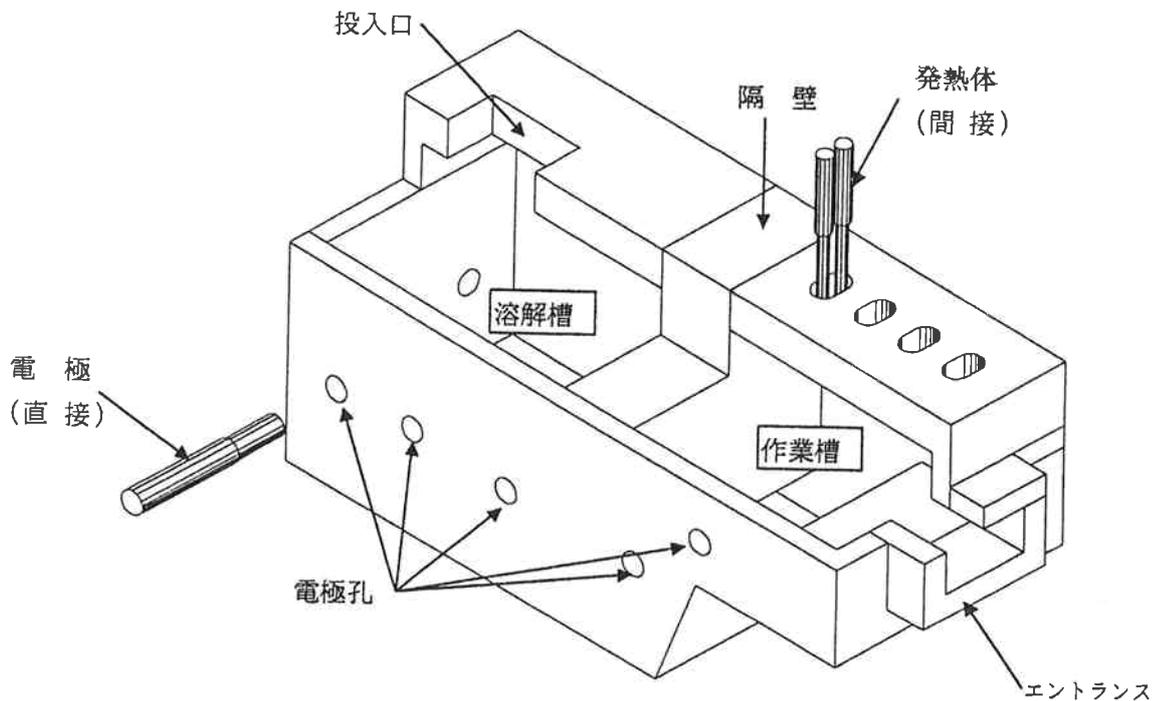


図3・40 電気溶融炉の一例（直接通電方式）

電気加熱方式は上記のものがガラスを溶融するのに重油又はガスなどを燃焼することにより加熱するのに対して、電気加熱方式は家庭用電熱器と同様に金属に電気を通すことによる発熱を利用する間接加熱方式と溶けたガラス自身が電気を通す現象を利用して電極を溶融ガラスに直接挿入する直接通電方式の2種類があり、主に国内では小規模の光学系ガラス炉に使用されることが多い。

図3・40では側面より電極の挿入を行っているが上部構造や底から挿入する方法もある。直接通電方式の場合電極の挿入方法は規模やガラスの種類によりきめられる。

また、作業槽に関して、一般的に間接加熱方式により加熱される。

また直接通電方式の場合電極の材料として錫やモリブデンを素材としたものを用いる。

製品（成形方法）による分類。

板ガラス炉	フロート方式、形板方式
壘ガラス炉	プレスアンドブロー、ブローアンドブロー
食器ガラス炉	プレス、プレスアンドブローなど
TVブラウン管炉	プレス成形法
管ガラス炉	ダンナー成形法など
長・短繊維ガラス炉	マーブルメルト法、DM（ダイレクトメルト）法、（以上長繊維） ガスジェット法、ロッド法、円盤法、遠心法（以上短繊維）
水ガラス炉	パンコンベヤ方式

などがある。

図3・41、図3・42に代表的なガラスの製造工程として板ガラスとびんガラスの製造工程を書き記す。

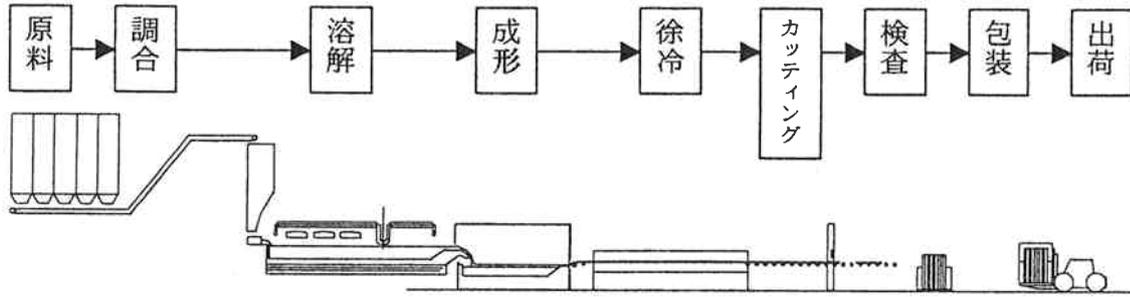


図3・41 板ガラス製造工程（フロート法）

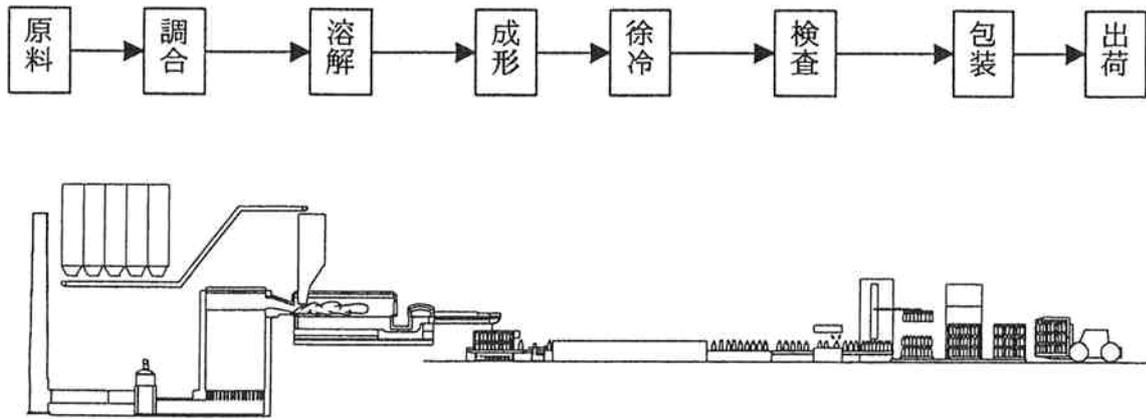


図3・42 びんガラス製造工程

4・2 ガラス溶解炉の構造

4・2・1 ガラス溶解炉の各部構造

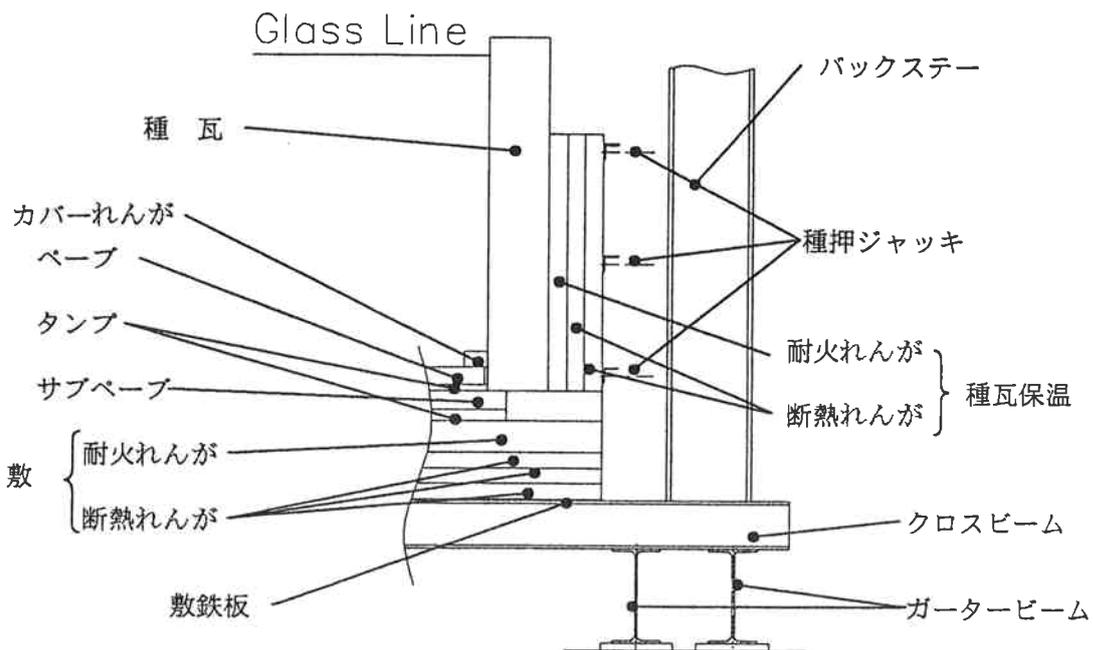


図3・43 敷～種瓦および鋼材

ガラス炉は図3・43に示すように、基礎の上にガータビーム、クロスビームと呼ばれる鋼材を配置しその上に鉄の帯または敷鉄板と呼ばれる薄い鉄板をしき、その上かられんがを積み始める。

敷は熱効率を高めるためラミネート構造と呼ばれる断熱れんがと耐火れんがを何種類か層にしてつむ積み方が主流になってきている。敷の上にタンプをはさんでサブペープと呼ばれる部分があり耐食性のある材質が使用され、その上にさらにタンプを打設しペープと呼ばれる直接ガラスに触れる部分になる。この部分は通常AZS系電鍍れんがを使用する。

サブペープまたはペープの上には種瓦が載るため、種瓦の載る部分の精度は特に注意してつまなければならない。

種瓦も通常AZS系電鍍れんがを使用し、外側には保温のため耐火および断熱れんがを施工することが多い。保温の施工は各ガラスメーカーの考え方によって色々な方法があり日常のメンテナンスや点検に影響するため、施工前の打ち合わせを十分に行う必要がある。また、種瓦の素地面に関して一番痛みやすいため通常保温を行わないで風管による冷却を行い、炉の運転期間によっては保温れんがをはずし当瓦と呼ばれる種瓦と同じ材質のれんがを重ね合わせる補修を行うので、種押ジャッキとあわせて補修を考えた築炉を行うようにする。

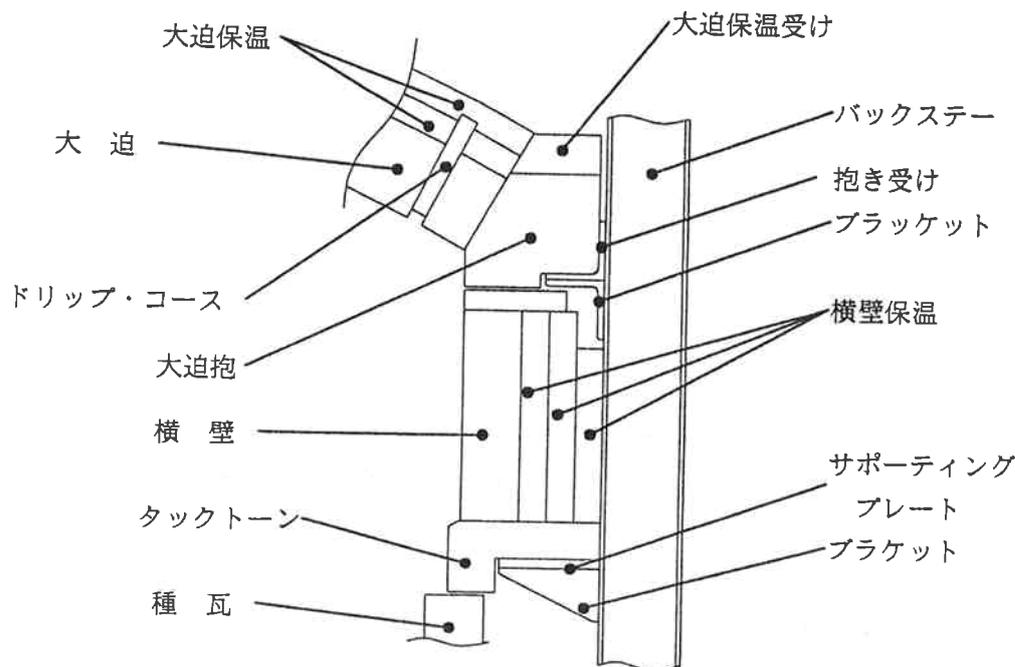


図3・44 横壁～大迫および鋼材

種瓦を並べ終えたあとサポーティングプレートのレベルを確認し、ブラケットを確実に固定した後、図3・44に示すようにタックストーンを並べ横壁の積み方を始める。

横壁が積み終われば大迫の抱れんがを並べ、並べ終わってから迫枠をかけるようにする。大迫には図のようにドリップ・コースと呼ばれるせりれんがを一段あげて積む場合があり迫巻時に注意するようにする。

大迫の上に保温されているがこれは通常ガラス炉全体を昇温し終えた後、図のように何層かの断熱材を施工する。

溶解槽は投入した原料を前述した方法で加熱溶融する部分であり、ガラス製造設備の中心部分といえる。そのためこの部分で溶融したガラスを均質化や、品質の向上を図るためバブラと呼ばれる炉内へ空気を送り込む装置やダムと呼ばれる堰を設ける場合もある。また、溶解を助けるための設備として電気ブースタを設置している炉もある。

溶解槽で加熱・溶融されたガラスは作業室へスロートまたはネックと呼ばれる部分を通って導かれる。スロートとは溶解槽と作業槽を完全に分離し、この間を素地面より下がった部分に狭いガラスの通路を設けたもので、熱の流れの制御と不均質なガラスの流入を防止する目的で設けられ、主に壘・食器などの窯に多く用いられる。ネックは溶解槽と作業槽の間を狭くし熱の流れを抑制する。主に板ガラスなど大量のガラスを生産する窯に主に使用されている。壘・食器などにおいて従来この部分は脱泡・均質化のため半円形をしていたドーム形の迫を持っていたものが多く存在したが現在では図3・38に示すようにディストリビュータ形と呼ばれる横にストレートなフォアハース形のものが増加してきている。

作業槽において清澄されたガラスはフォアハース内を通過するとき成形に必要な温度に調整される。以前はこの部分に灯油などの燃料が使われているものもあったが、現在ではガス燃焼に変わってきている。

蓄熱窯は燃焼に使われた排気ガスを蓄熱室内部に積み上げられた空積れんがの空間を通し、排気ガスの熱をれんがに渡し、一定時間を経てれんがに渡した熱を今度は逆に燃焼用空気に渡すことを繰り返し、燃焼用空気を排気ガスの熱により予熱を行い、熱回収を図る方式の窯のことである。

4・2・2 ガラス溶解炉に使用されている耐火物

電鑄れんが

アルミナージルコニア—シリカ（AZS）電鑄れんがは主に溶解槽のガラスに接触する部分に使用されるが、最近では横壁や迫に使用されることがふえている。また高品質のガラスや長・短繊維のガラス炉にはアルミナージルコニア—シリカ—酸化クロム系（AZSC）や高ジルコニア系の電鑄れんがが採用されている。

高アルミナ電鑄れんがはガラスに対する汚染が少ないことから、主に作業槽・フィーダのガラスに接触する部分に使用される。また、最近の酸素燃焼炉用として各社から大迫用の製品が提供されている。

焼成れんが

ジルコン系耐火物

耐火度が高く温度の急変に対する抵抗度が高いため、溶解槽の上部構造によく用いられ、ガラスの侵食にも比較的耐えることから、サブペープに使用されることも多いがジルコン由来によるガラスの欠点を嫌うため作業槽やフォアハース上部構造への使用に関して、ガラス組成や雰囲気などの検討を慎重に行う必要がある。

ムライト系およびシリマナイト系耐火物

フォアハース上部構造やフィーダパーツ製品に使用される。

けい石れんが

従来、高温強度（耐圧耐磨耗）が大きく高温での膨張係数が小さいこと、比重が小さいことから、溶解槽大迫および抱きや溶解槽の横壁に使用されることが多かったが、近年、窯の長寿命化から、横壁にはジルコン、アルミナジルコン、ムライト系やAZS系電鑄耐火物が使用されることが増えてきている。なお酸素燃焼炉の大迫ではこれに替ってAZS系電鑄れんがなどを使用することが増えている。

なお、けい石れんがは高温での膨張係数が小さいものの低温域では膨張率が高く、昇温中での異常膨張には注意を払う必要がある。また、AZS系電鑄れんがに接触させるような築炉を行うとガラスから発生するアルカリ蒸気により侵食されることが判っているため壁や迫および抱きの築炉に関しても注意が必要になる。

塩基性れんが

温度変化に対する耐性や耐火度、荷重軟化点の関係から蓄熱室の壁や迫および抱きに使用されることが多く、従来はクロムを含むマグネシアークロム系耐火物がよく使われていたが、近年、廃棄物処理などの観点からクロムを含まないマグネシア系耐火物が使われるようになってきている。また、高温部のチェッカれんがにも塩基性れんががよく使われている。このれんがは従来、角物れんがが多く使われていたが、現在では十字型チェッカやボックス形チェッカがよく使われている。

5 セメント

5・1 セメント製造設備

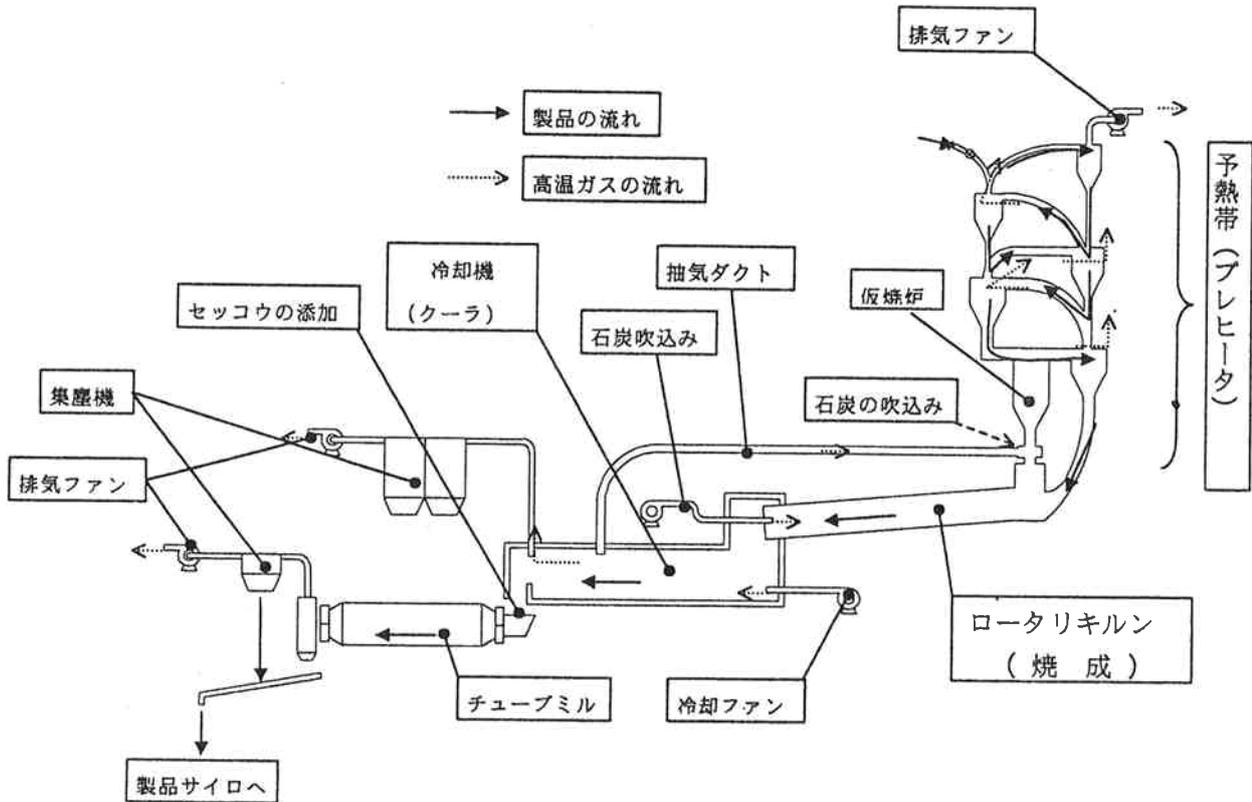


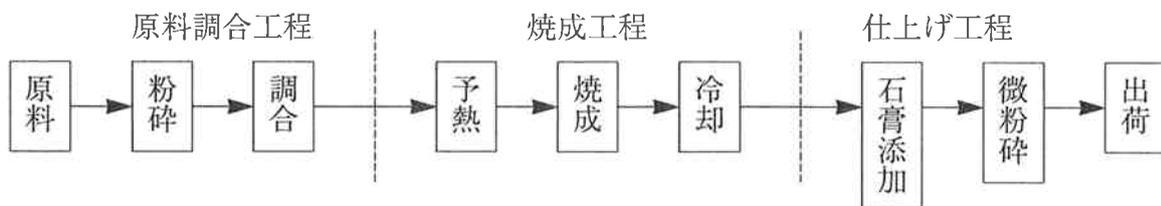
図3・45 セメント製造設備 (NSPキルン)

セメントの製造とは、簡単にいうと原料（石灰石、粘土、酸化鉄原料など）を半熔融状態へ焼成し、出来上がったもの（クリンカ）にセッコウを添加し粉砕したものである。このためセメント製造設備はいかに燃料消費を抑えるか、ということと生産量の増大を両立させることを目的として発展してきた。

現在、セメント製造設備は図3・45に示すような予熱装置（サスペンションプレヒータ：以後SP）をもつSPキルン形式が開発され、さらに生産量の増大を狙った仮焼炉を組み込んだ（ニューサスペンションプレヒータ：以後NSP）NSPキルンが開発され、現在ではNSPキルンとSPキルンがほぼ全体の80%をしめているといわれる。

5・2 セメント製造工程

セメントの製造工程は次の順序で行われる。



原料調合工程においては人件費の削減や調合の正確さを求めて自動化が進んできた。これに対して焼成工程は当初、焼成のみを確実に行うことが求められてきたが現在では燃料の低減、生産の増大、品質の向上がもめられ、単に自動化を行うだけでなく、工程そのものを色々と試行錯誤することにより進化してきた。そのひとつにSPがありこれは単にキルンの排気ガスを利用して原料を予熱することだけでなく脱炭酸というキルン内部で行われていた工程を事前に進めておく効果がある。これをさらに進めた、仮焼炉を組込み別途加熱することで脱炭酸工程の約85%終わらせ、生産量の増大と同一クリンカの重さあたりの燃料消費量を減らしたNSPキルンが開発された。仮焼炉は各社のノウハウでありさまざまな形式があり、この開発により具体的成果としてSPに対して同一キルンで約2倍以上の焼き出し量、キルン内部の燃焼負荷の低減によるキルン内耐火物の寿命延長、および仮焼炉内の温度が低いためNoxの発生量の低減などのメリットが得られている。

クリンカクーラは1,300℃から1,400℃のクリンカを急冷するとともに最近ではキルンに加え仮焼炉の二次空気の加熱により燃料消費を抑える役目がある。従来クーラの冷却エアは全量がキルンの燃焼用二次空気に使用されたため冷却用空気の量に限界がありクリンカの冷却速度排出温度のコントロールに限界があったが、現在ではグレート式クーラが開発されグレート式エアクエンチングクーラが出現したことにより現在主流の方式となっている。

NSPキルンの開発により現状ではほぼ限界にきた生産効率を高めるため現在ではプレヒータやキルンそのものの改良もさることながら付帯設備の改良が進められている。たとえば焼成の補助燃料として廃タイヤを粉碎したものをキルンへ原料と一しょに投入し燃料の量を減らすなどの方法がとられ、燃焼後の灰などもセメントの原料となるため、この廃棄物利用も廃木材・廃油など処理の困難な廃棄物の有効利用として実施され今後進んでいくものと思われる。ミルに関しても大形のものや、従来品質に問題のあった縦形ミルの改良などさまざまな方法が考えられ実践されている。また従来形と違う考えをもった流動床式のセメント焼成炉がテストされている。このため設備・用途にあわせた炉材の選定・開発が行われているため築炉を行う際は、材質と施工方法に常に関心を持たなければならない。

5・3 セメントキルン、プレヒータに使用される耐火物

セメントの原料がキルン内部で耐火物表面に付着しセルフコーティングされた状態で焼成され、またキルンであり炉体が回転するので、セメントの原料及びクリンカと反応しないこと（耐食性）、機械的強度が求められている。

キルンで一番過酷な条件なのが焼成帯と呼ばれる部分でここは、耐火物表面のセメントの原料が焼結熔融する部分で温度も約1,450℃あり、セメントの成分が塩基性成分であることからマグクロ質れんが、スピネル質れんが、ドロマイト質れんがが使われる。

プレヒータは通常、使用温度が1,300℃程度の高強度シャモット質の不定形耐火物で施工される。この部分は仮焼炉で900℃程度のため耐火度より耐磨耗性などが考慮された材料が使用される。

6 都市ごみ、産業廃棄物焼却炉

6・1 ストーカ式焼却炉

焼却工程が全て機械化し、連続的に可能な焼却炉で、各都市のごみ焼却場で数多く使用されている。運転時間は1日当たり24時間操業で1週間から数ヶ月連続運転されている。処理能力は200 t/日クラスのものが多く、最近では、500 t/日、600 t/日のものが登場している。ストーカ炉を製造しているプラントメーカーは数社あり、それぞれ特徴のある燃焼方式をとっている。

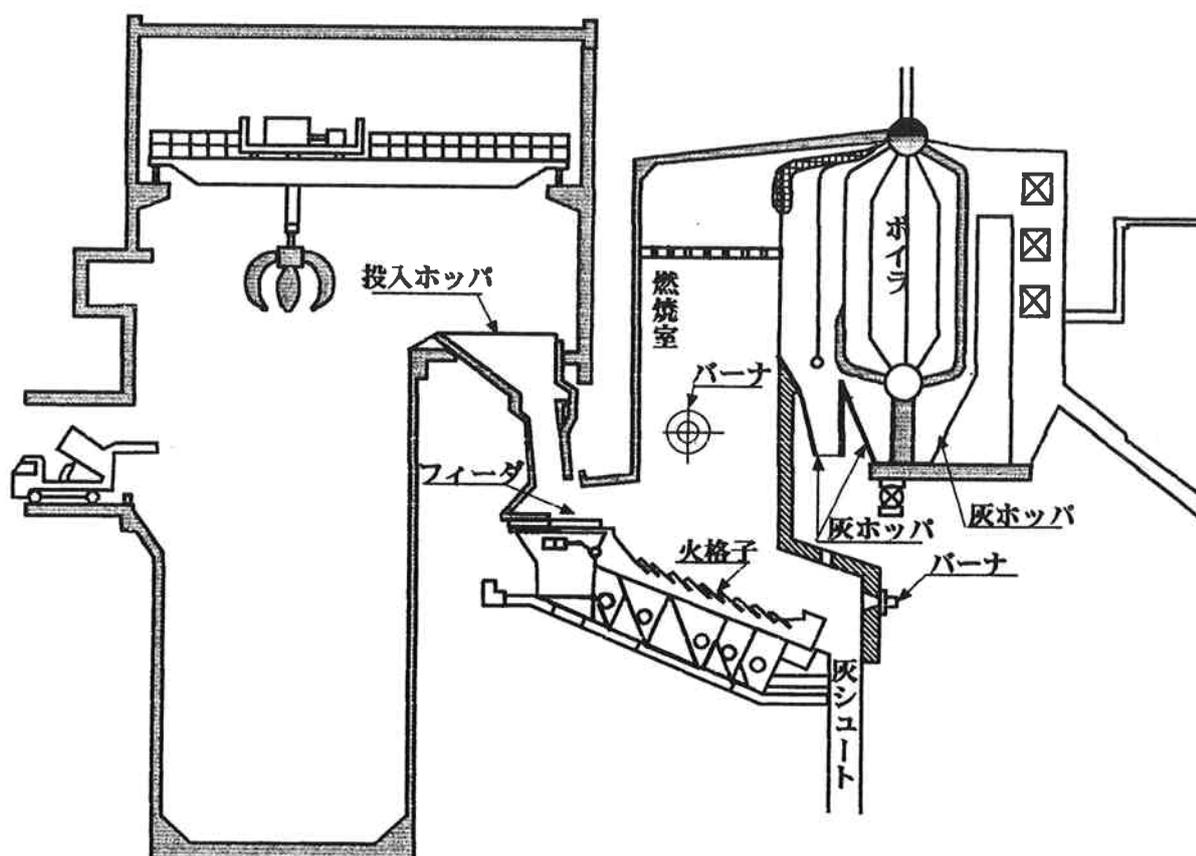


図3・46 ストーカ式焼却炉の概要図

6・1・1 各部の名称

各部の名称は、プラントメーカーによって少しずつ違っているが、一般的には、築炉工事で必要な名称は、図3・46、図3・47に表示したような呼び方をしている。

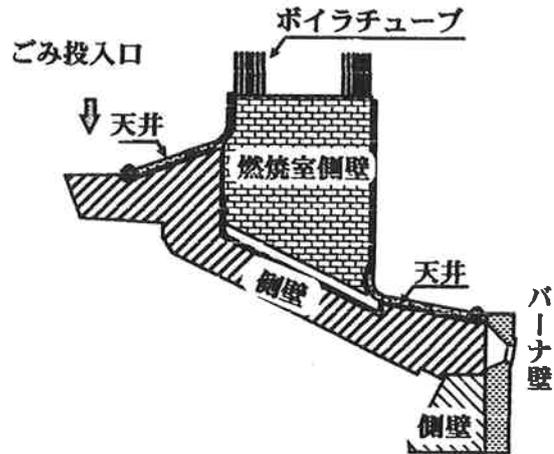


図3・47 燃焼室概要図

6・1・2 使用耐火物

炉形式と燃焼物の種類により、炉材の損傷形態も熱的スポーリング、溶損、摩耗あるいは種々なガスによる変質、クリンカの付着などの使用条件により炉材の必要特性かられんが材質を選定する必要がある。一般的には、燃焼室側壁に使用されているのは、炭化けい素(SiC)質れんがが使用されている。

天井は、ごみ投入側は粘土質キャストブルが使用されていて、高温になるバーナ壁側の天井は、高アルミナ質キャストブル、又は、高アルミナ質プラスチック耐火物が使用されている。更に、水管ボイラ壁に使用されている炭化けい素(SiC)質キャストブルは、クリンカが付着しにくいことから、多く使用されている。

6・1・3 築炉工事

このタイプの焼却炉の築炉作業は、れんが積みあり、キャストブル流し込み作業あり、ガンニング作業ありで、多彩な築炉技能が必要になる。

a) れんが積

れんが積みは、一般的に鉄皮基準になりそうであるが、仕上がり後、寸法検査で基準寸法内に入っていない恐れがある。この時重要なのは、築炉のため受け取る金物の仕上がり寸法を十分検査し、基準寸法から離れた所は、直してもらってから受け取った後、れんが積みを開始するのが肝要である。それでなければ、炉芯から寸法を出し、炉心基準で水系を張りれんが積みを行うことが大切である。

b) 膨張代寸法の確保

- ① ボイラ管とれんが積みの隙間の確保は大変重要である。そのためには、れんが積み開始前、れんがを仮積み、その寸法の確保と目地の厚み、又は、加工寸法を事前に確保しれんが積みを開始する必要がある。
- ② れんが間熱膨張代の確保とれんが面がまっすぐにでていることがポイントである。

6・2 流動床式焼却炉

流動床式焼却炉の一般的な構造を図3・48に示す。炉内はオリフィスプレートとその上に充填された砂とで構成され、バーナで砂を加熱保持し、それにごみ投入口からごみを供給す

る。投入されたごみは、高温に加熱された砂が下から送風されて攪拌されている流動砂によって攪拌され、乾燥、着火、燃焼が行われる。一部は炉内でガス化し、フリーボードで燃焼し天井に設けてある燃焼ガス出口から排出され、ガス冷却室、排ガス処理設備を経て燃焼排ガスとして煙突より放出される。炉の形状は丸形と角形があり、メーカーによって排ガス処理設備等、それぞれ異なっている。

流動層式焼却炉はストーカ式炉に比べ多種多様な幅広いごみ質に対応できる。

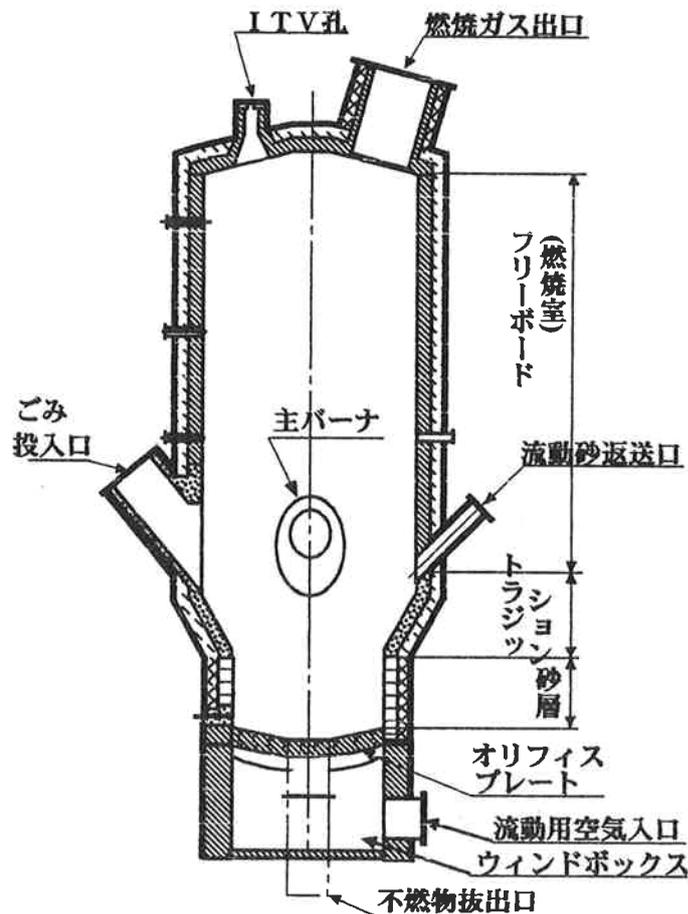


図3・48 流動床式焼却炉の概要図

6・2・1 各部の名称

各部の名称は、プラントメーカーによって少しずつ違っているが、一般的には、築炉工事で必要な名称は、図3・48に表示したような呼び方をしている。

6・2・2 使用耐火物

一般的には、キャストブル耐火物の使用範囲が多く、一部砂層及び、ウィンドボックスにれんがが使用されている程度である。使用キャストブル耐火物は、フリーボードは粘土質キャストブル、トラジッションに緻密質高アルミナ質キャストブル、砂層に低膨張性の粘土質れんがが使用されている。

6・2・3 築炉工事

このタイプの炉は、キャストブル耐火物を広い範囲で施工しており、更に、断熱質キャストブルとの2層構造になっていることから、流し込み用形枠の製作、取付が作業の重要なポイントである。

6・3 灰溶融炉

膨大に発生する廃棄物の発生は、埋め立て処分の問題があり、又、焼却してもその灰処理と投棄場所によっては二次的公害の汚染源になりかねない。こうしたことで、灰を溶融し、減容化と安定物質への転換（スラグ化）、またそれらの再利用のために開発されたものである。

6・3・1 各部の名称

各部の名称は、プラントメーカーによって形状、方式が違っているが、電気溶融炉の場合、築炉工事で必要な名称は、図3・49に表示したような呼び方をしている。

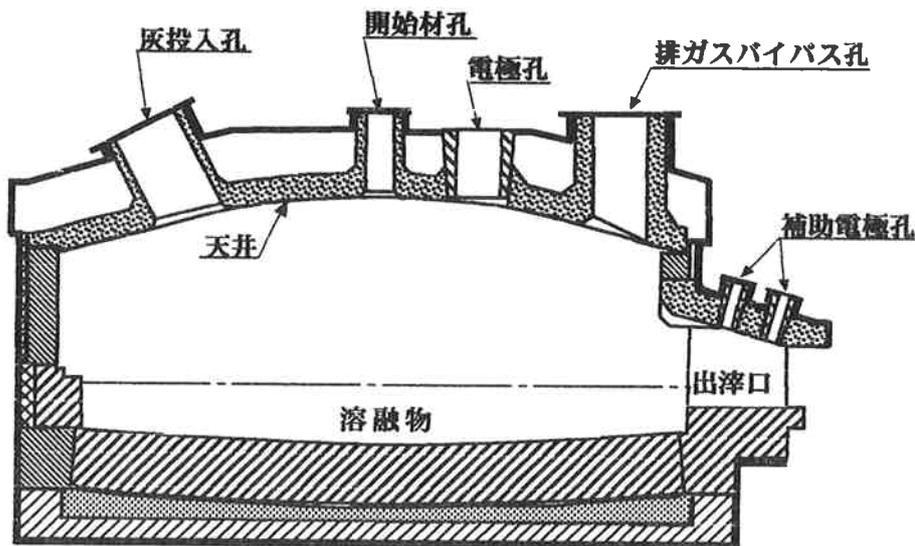


図3・49 灰溶融炉の概要図

6・3・2 使用耐火物

溶融物が接する部位に使用される耐火物は、アルミナ・炭化けい素質れんが、又は、マグ・クロれんがが使用されている。これらは溶融する灰の性質によって選定される。天井は緻密質の高アルミナ質キャストブルが流し込み施工されている。

6・3・3 築炉工事

a) 炉床れんが積み

炉底スタンプ及び、炉底れんがは図3・50に示すように、Rのついた構造となっているので、そのRに合わせた施工を行わなければならない。

そのために、炉芯にセンタポールを立て、スタンプと炉底れんがのRに合った回転定規をセンタポールに取り付けてそのRに合っているかどうかをチェックしながられんが積みを行う。このれんが積みにおいて大切なのは、如何に目地厚みを均等に、周り具合

が全体にまわっているかどうかであり、熟練が必要な作業である。

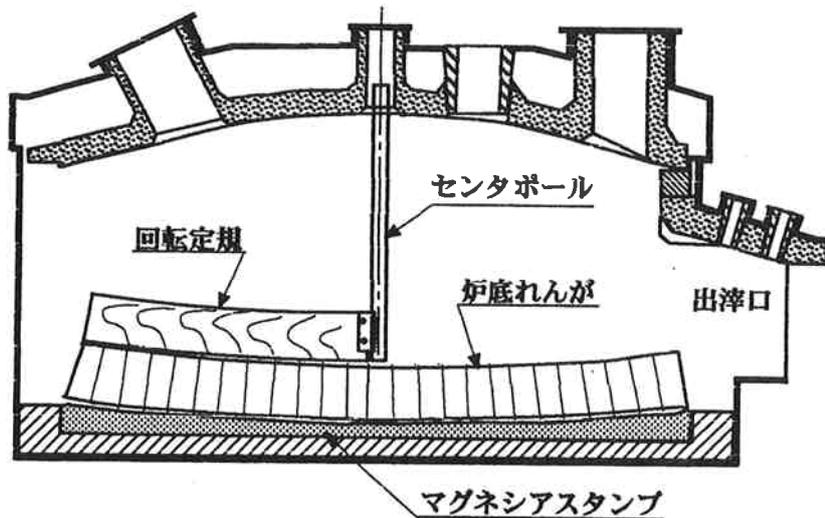


図3・50 溶融炉炉床れんが積み遣り方例

7 燃料及び燃焼

7・1 燃料

7・1・1 燃料の種類、性質及び用途

燃料はその状態によって固体燃料、液体燃料、気体燃料に大別される。燃料の取り扱いの際、重要な要素として発熱量がある。

発熱量は燃料の単位量（固体及び液体燃料では1Kg、気体燃料では1Nm³）が完全に燃焼した際に発生する熱量を言う。これを表す単位として、固体及び液体燃料では、Kcal/Kg、気体燃料はKcal/Nm³で表す。発熱量には高（総）発熱量と低（真）発熱量とがあり、熱効率の計算などに使用する場合は、一般的に低（真）発熱量を使用する。

7・1・2 固体燃料

一般的に言えば、固体の状態で使用される燃料が固体燃料である。固体燃料は可燃分としては炭素が主成分であり、他に酸素、水素、窒素、硫黄など含有し、かつ相当量の灰分及び水分を保有している。

a) 固体燃料の使用上の特質は、

- ① 燃焼後に多量の灰を残す。
- ② 乾燥、粉碎など前処理が必要な場合が多い。
- ③ 液体燃料、気体燃料のようにパイプ輸送など容易に輸送できない。但し、短期間なら野積みで保管が可能な場合がある。

又、貨車等にバラ積みをする事ができる利点がある。

表3・4に各種固体燃料とその発熱量を示す。

b) 石炭

固体のまま用いられる燃料で、工業炉で多く使用されているものは、れき青炭を主体とする石炭である。石炭は大気中に長く放置すると酸化によって風化現象を起こし、発熱量、粘結性の低下を起こす。又、貯蔵中自然発火燃焼することがあるので注意が必要である。

c) コークス

普通にコークスと言われるものは、粘結炭を主成分とする原料石炭を1,000℃内外の温度でコークス炉で乾溜したもので、冶金用、製鉄用に使用される。

表 3・4 固体燃料と発熱量

燃 料 名	高 (総) 発 熱 量 [Kcal/Kg]
石 炭	4,700 ~ 7,500
亜 炭	3,000 ~ 4,500
草 炭	2,000 ~ 4,000
	水分 20 ~ 30% 迄乾燥した物
コークス	6,000 ~ 7,000
半成コークス	5,000 ~ 7,000
亜炭コークス	3,500 ~ 5,000
薪	3,000 ~ 4,000
木 炭	6,700 ~ 7,500
有煙練炭	5,000 ~ 7,500
練炭 (孔明練炭)	3,500 ~ 5,000

7・1・3 液体燃料

炉用として普通に使用されるの液体燃料は灯油、軽油及び重油である。

a) 灯油

灯油は1号と2号に分けられ、このうち1号がコンロ、ストーブ等一般燃料として用いられる。重油や軽油に比べて比重が軽く引火点が低いので取り扱いに注意が必要である。

b) 軽油

軽油は特1号から特3号（この間に1号から3号までである）迄、5種類に分類されている。軽油は引火点も比較的高く、燃焼性も良いことから広く燃料油として用いられている。

c) 重油

重油は一般にはA重油、B重油、C重油と3種類に分けられているが、JISでは1種から3種まで分類され、更に1種は1, 2号に分類され、3種は1号から3号まで分類されている。重油は最も一般的に使用されている燃料油である。重油の着火温度は530~580℃である。日本で使用される原油は硫黄分の多い物で、従って、重油の硫黄分も比較的多い。重油中の硫黄は燃焼過程で酸素と化合し、硫酸酸化物となり、大気に放出されて公害の原因なるばかりでなく煙道や空気予熱器等で硫酸になり、鉄皮の低温障害

の原因になる。

7・1・4 気体燃料

気体燃料として一般に使用されるのは、天然ガス、石炭ガス、高炉ガス、水性ガス、オイルガス及び液化石油ガスである。

a) 天然ガス

一般に地下から噴出するガスであって、その主成分はメタン系炭化水素である。

b) 石炭ガス

石炭を乾溜してコークスを製造するとき発生するガスであり、水素分を多く含む優れた性質を持つ燃料ガスである。

c) 高炉ガス

銑鉄製造の溶鉱炉から排出されるガスで、その成分はCOのみで、ガス燃料の中で一番発熱量が低く、COガスによる中毒の心配もある。一般にはこのガスを単独で使用する事は少なく、他のガスと混ぜて燃料ガスとして使用する。

d) 気体燃料の特質

ガス燃料は液体燃料よりも一般的には燃焼させやすく、燃焼制御等も容易である。また、低公害燃料としても広く使用される燃料である。しかしながら、ガス燃料は爆発性があり、特に、空気との混合割合が可燃限界にはいると、その取り扱いを慎重に行わないと不測の事故を起こすことが多い。従って、配管からの洩れや、燃焼中の吹切れは絶対に起こさぬよう注意が必要である。

7・2 燃焼

7・2・1 燃焼概要

燃料中に含まれる可燃性元素は主として、炭素、水素であって、これに少量の硫黄である。炭素、水素、硫黄が酸素と化合してCO₂、H₂O、SO₂になった場合を完全燃焼と言ひ、燃焼生成物の中になお可燃物がある場合は不完全燃焼と言ひ。燃焼して発生する熱量を発熱量と言ひ、単位はKcal、KJで表される。燃焼化学式は以下のようになる。



7・2・2 燃焼効率

燃焼効率を上げるには、できるだけ空気量を少なくし理論空気量に近づけることであるが、實際上、どうしても余分な空気を供給してやらなければならない。これは空気の全部が燃料の可燃元素と完全に混合することが非常に困難なためである。

a) 理論空気量

この理論上算出される最小限の空気量を理論空気量と称している。

b) 空気比

これにより余分に供給される空気を過剰空気と言い、実際に供給した空気量を理論空気量で割ったものを空気比言う。

$$\text{空気比} = \frac{\text{実際に供給した空気量}}{\text{理論空気量}}$$

7・2・3 煙突作用

煙突のように高さ方向に内外の温度差があるときは浮力が生じ、そのために圧力が違ってくる。これを通気力と言う。

その通気力は簡易式で以下の式で求められる。(図3・51参照)

$$\text{通気力 } P_c \approx 355 H \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_g} \right) \quad (\text{mmAq})$$

H：煙突の高さ [m]

T_a=t_a+273：煙突の外の空気の絶対温度

T_g=t_g+273：煙突の内の排ガスの絶対温度

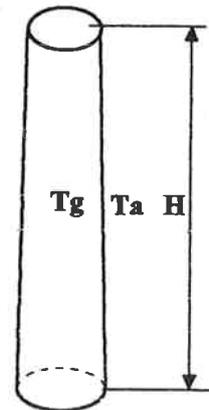


図3・51

7・2・4 固体燃料の燃焼

固体燃料は、種類によりあるいは燃えるときの条件により違った燃え方をする。その燃え方は表面燃焼、蒸発燃焼、分解燃焼に分けることができる。

a) 表面燃焼

固体のまま燃えるのは表面燃焼である。たとえば、木炭、コークスの場合がそうである。このような燃料を燃やすとき、酸素が固体の炭素まで到達し、そこで炭素と化合して燃える。

b) 蒸発燃焼

石炭が燃焼する場合は、石炭が燃焼を始める温度700~800℃に達する前に、揮発成分が気化し固体から離れて単独で燃焼する。これを蒸発燃焼と言う。

c) 分解燃焼

同様に、石炭は蒸発燃焼によって加熱され、分解して煤煙が生じる。この煤は周囲の熱を吸収して光輝を発生し、酸素供給が十分な場合は急速に燃焼する。

d) 火格子燃焼装置

固体燃料を燃焼する装置として、火格子燃焼装置がある。それを分類すると燃料をスコップで散布する手だし装置、散布式ストーカ、下込めストーカ、移動火格子ストーカ、階段式ストーカがある。

e) 微粉炭燃焼

石炭の燃焼は火格子燃焼では熱発生を行う大部分は火格子の上と言う狭い範囲にあるので、装置が大形化になりその部分からの熱放散の割合が少なくなると、温度が高くなりやすく、その結果、石炭の灰が溶けてクリンカを生じて燃焼の安定化を害する。微粉炭燃焼ではこれに対して熱発生部分が広いので余り高温に成らずクリンカの発生は問題にならない。

7・2・5 液体燃料の燃焼

液体燃料の中で最も多く使用される重油は、①重油を霧状の細かい粒子にする。②細かい粒に分割された油滴が加熱され、分解生成された気体に着火し、周囲から酸素が油滴表面に拡散し、油滴表面から可燃ガスの燃焼が継続される。③最後に油滴は網目状の炭素微粒子となり、燃焼を終える。液体燃焼の場合、①燃焼の雰囲気温度、②空気の油滴への拡散、③粒子の大きさなどが燃焼を作用させる大きな要素となる。従って、性能の良いバーナを使用しただけでなく、均一な噴霧粒子を得ることと、燃焼用空気をいかに上手にこの重油群に混合拡散してやるかがきわめて重要である。

液体燃焼方法は最近著しく進歩し、理論燃焼空気量に対する過剰空気率が10%以下はもちろん、ものによっては2～3%の僅少な過剰率で完全燃焼しうる様になった。

重油燃焼バーナは、

①油圧噴霧式 ②高圧気流噴霧式 ③低圧気流噴霧式 ④回転式

の4種類に分類される。

7・2・6 気体燃料の燃焼

ガス燃焼を大別すると、燃料と空気を予め混合する場合と混合しない場合の2つに分類される。空気を予め混合する場合にも、必要量を全部混合するものと、その一部を混合するものなどに分けられる。ガス燃焼の場合はガス吹きだし速度より火炎の伝播速度が早くなると逆火現象を起こし、ガス流速が著しく早くなると吹き切れの現象を起こす。

8 熱伝達 (伝熱計算)

伝熱計算の重要性は、耐火物の配材を考えると、一般にワーク部に当たる耐火物は、その炉の目的としたものに合った耐火物を選ぶのが第一であるが、その裏張りの断熱層は、この伝熱計算によってその耐熱度及び断熱性を考慮して選定される。

概論

- (1) 熱は高温から低温の方に流れる。
- (2) 熱伝達には図3・52に示すように伝導、対流と輻射(放射)の3つの形態がある。
- (3) 熱伝導は物体の中を熱が流れることで、気体、液体の場合は、これらが静止した状態での熱移動を言う。
- (4) 対流は物体が流れて熱を持っていくことにより熱を伝えることを言う。
- (5) 輻射(放射)とは、熱が一度電磁波の形になって熱を伝えることを言う。
- (6) 時間がたっても温度分布が変わらない状態を定常状態と言い、変化する状態を非定常状態と言う。

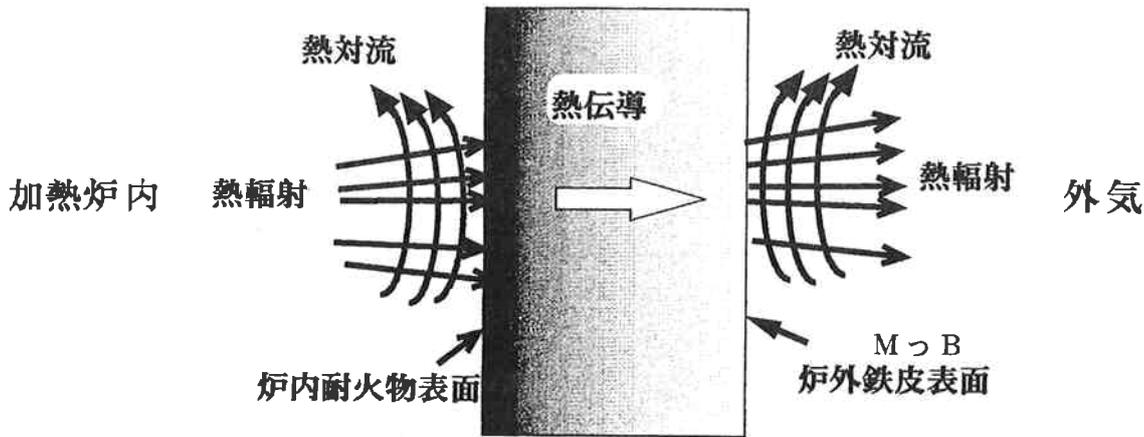


図3・52 加熱炉側壁の熱移動模式図

8・1 熱伝導

熱伝導は温度差が大きいほど熱移動が大きく、物質それぞれが持っている熱性質として熱伝導率： λ がある。この値の大きい材料ほど熱が流れやすく、小さいものほど断熱性に優れるという性質を持っている。その基本となる計算式は、以下ようになる。(図3・53参照)

a) 1種類の壁の伝熱計算式

$$Q = \lambda \frac{t_i - t_o}{L} \quad [\text{W/m}^2]$$

Q : 伝熱量 [W/m^2]

t_i : 高温側の温度 [$^{\circ}\text{C}$]

t_o : 低温側の温度 [$^{\circ}\text{C}$]

λ : 熱伝導率 [$\text{W/m}^{\circ}\text{C}$]

L : 壁の厚み [m]

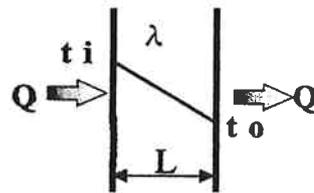


図3・53 単平板の熱伝導

b) 複数種類の壁の伝熱計算式 (図3・54参照)

$$Q = \frac{t_i - t_o}{\frac{\lambda_1}{L_1} + \frac{\lambda_2}{L_2} + \frac{\lambda_3}{L_3}} \quad [\text{W/m}^2]$$

$$= \frac{t_i - t_1}{\frac{\lambda_1}{L_1}} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\lambda_2}{L_2}} = \frac{t_2 - t_o}{\frac{\lambda_3}{L_3}} \quad [\text{W/m}^2]$$

$$R = \frac{\lambda}{L} :$$

$$Q = \frac{t_i - t_o}{R_1 + R_2 + R_3} \quad [\text{W/m}^2]$$

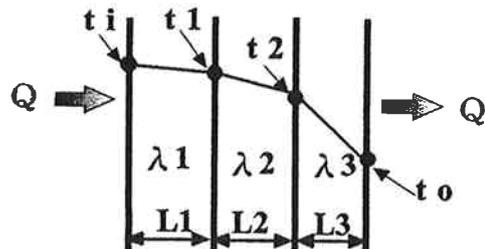
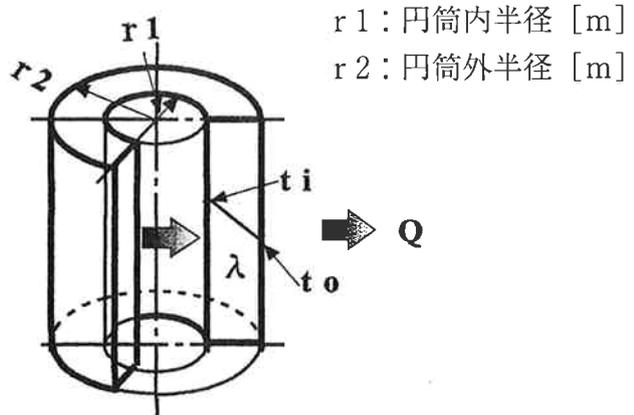


図3・54 複数の平板熱伝導

c) 1種類の円筒壁の伝熱計算式 (図3・55参照)

$$Q = \frac{2\pi\lambda(t_i - t_o)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (\text{W/m})$$

$$Q = \frac{\lambda(t_i - t_o)}{r_2 \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (\text{W/m}^2)$$



r_1 : 円筒内半径 [m]

r_2 : 円筒外半径 [m]

図3・55 層の円筒の熱伝導

d) N個の種類円筒壁の伝熱計算式 (図3・56参照)

$$Q = \frac{2\pi(\theta_i - \theta_o)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \dots + \frac{1}{\lambda_n} \ln \frac{r_{(n+1)}}{r_n}} \quad [\text{W/m}^2]$$

$$Q = \frac{(\theta_i - \theta_o)}{\frac{r_{(n+1)}}{\lambda_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_{(n+1)}}{\lambda_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \dots + \frac{r_{(n+1)}}{\lambda_n} \ln \frac{r_{(n+1)}}{r_n}} \quad [\text{W/m}^2]$$

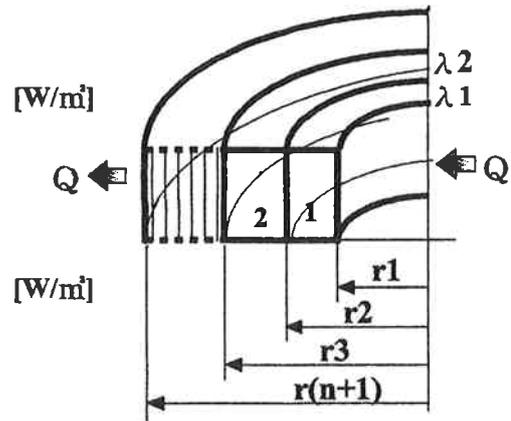


図3・56 N層の円筒の熱伝導

8・2 対流伝熱

一般に固体表面は流体、と接していて、両者の間では熱の移動が生じる。これを対流と言う。いま図3・57のような温度分布定常状態であるとき、この時の単位面積当たりの伝熱量は次式で表される。

$$Q = h(t_o - t_a) \quad [\text{W/m}^2]$$

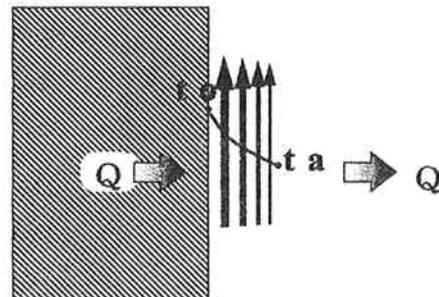


図3・57 対流伝熱

a) 上式で定義される h [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$] を熱伝達率と称する。これは、熱伝導率 (λ)

のように、流体の物質だけでは決まらず、流体（液体又は、気体）の流速や温度等によって決まる。

b) 対流には自然対流と強制対流がある。

- ① 自然対流…温度の上昇に伴う比重の相違によって流体（液体又は、気体）が動き、そのために行われる熱移動（対流）である。
- ② 強制対流…流体（液体又は、気体）をブロワ、ポンプ、風などによって強制的に動かされたため、生じる熱移動（対流）である。
- ③ 強制対流の熱伝達率を求めるのは大変複雑で、専門書より求めることを進める。
- ④ 空気中の自然対流に対する熱伝達率の簡易式が以下のように発表されている。これを使って計算するのは非常に容易で、我々の耐火物壁中の温度分布を算出するには大変使いやすい式である。

c) 空気中の自然対流に対する熱伝達率の簡易式（図3・58参照）

$$h = \alpha \times (t_o - t_a)^{0.25} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$$

- ① 垂直平板の場合 $\alpha = 2.2$
- ② 水平上面の場合 $\alpha = 2.8$
- ③ 水平背面側（下面） $\alpha = 2.1$

これを伝熱計算式で表すと、

$$Q = \alpha \sqrt{(t_o - t_a)} \cdot (t_o - t_a) \text{ [W/m}^2]$$

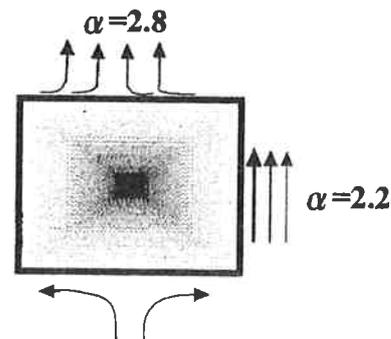


図3・58

8・3 輻射（放射）伝熱

輻射（放射）は物体が電磁波の形で熱エネルギーを放出したり、吸収したりする現象で、物体構成系の内部荷電の運動が、原子や分子の熱運動に付随するために生じるものである。これは絶対温度が零でない物体に生ずる。

a) 絶対温度 0°K の中に置かれた $T^\circ \text{K}$ の凸形の黒体物質から放出される熱量は、

$$Q = 5.68 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \text{ [W/m}^2] \quad \text{絶対温度 } T [^\circ \text{K}] = (t + 273) [^\circ \text{C}]$$

b) 輻射率： ϵ （図3・59参照）

- ① 輻射率は物体の材質、表面状態によって変化し、黒体は $\epsilon = 1$ 、反射体は $\epsilon = 0$ となり、その中間体は灰色体と言う。自然界のものは殆どこの灰色体に属する。
- ② その代表的な輻射率は以下ようになる。
赤れんが： $\epsilon = 0.93$ 、シャモット質れんが： $\epsilon = 0.75$ 、良く研磨した鉄： $\epsilon = 0.21$
錆びた鉄板： $\epsilon = 0.69$ 、圧延鋼板： $\epsilon = 0.66$ 、アルミ塗布： $\epsilon = 0.27 \sim 0.67$
- ③ 輻射率が大きいほど、熱エネルギーを放出したり、吸収したりする量が多い。

c) 絶対温度 0°K の中に置かれた $T^{\circ}\text{K}$ の凸形の灰色体物質から放出される熱量は、

$$Q = 5.68 \times \varepsilon \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad [\text{W/m}^2]$$

d) 加熱炉等の外壁から、大気に放出される熱量

$$Q = 5.68 \times \varepsilon \left\{ \left(\frac{T_o}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{100} \right)^4 \right\}$$

$$Q = 5.68 \times \varepsilon \left\{ \left(\frac{t_o + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_a + 273}{100} \right)^4 \right\} \quad [\text{W/m}^2]$$

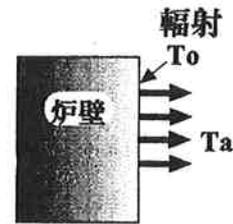


図 3・59

8・4 伝熱計算 (図 3・60 参照)

a) 炉壁内面の温度を t_1 とすると炉壁内を流れる伝熱量は下式のようにになる。

$$Q_a = \frac{t_1 - t_{(n+1)}}{\frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{L_n}{\lambda_n}}$$

b) 炉壁の外表面より流出する熱量は自然対流として以下の式になる。

$$Q_c = \alpha (t_{(n+1)} - t_a)^{\frac{5}{4}}$$

c) 更に、輻射として炉壁外表面より流出する熱量は以下の式になる。

$$Q_r = 5.68 \times \varepsilon \left\{ \left(\frac{t_{(n+1)} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_a + 273}{100} \right)^4 \right\}$$

$$Q_a = Q_c + Q_r$$

エネルギー保存の法則より上式が成り立つので、上記の 3 式を解けば下式により各部の温度分布が算出できる。

$$t_2 = t_1 - \frac{Q_a \cdot L_1}{\lambda_1} \quad t_3 = t_2 - \frac{Q_a \cdot L_2}{\lambda_2} \quad t_{(n+1)} = t_n - \frac{Q_a \cdot L_n}{\lambda_n}$$

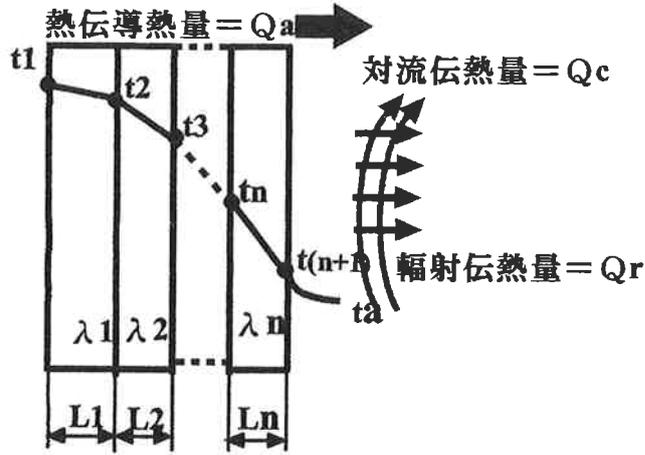


図 3・60

只、対流伝熱と輻射伝熱の方程式を解くのは非常に難解なので、計算機又は、図表のよ
って解析する。

表 3・5 に熱量に関する国際単位と従来単位の比較を示す。

表 3・5 熱量関係Si単位と従来単位の比較表

項 目	S i 単 位	従 来 単 位
熱量 (単位面積当り)	W / m^2	1/1.163 $Kcal / m^2 \cdot h$
熱伝導率	$W / m \cdot K$	1/1.163 $Kcal / m \cdot h \cdot ^\circ C$
熱伝達係数	$W / m^2 \cdot K$	1/1.163 $Kcal / m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$

第4章 安全衛生

我が国の労働災害は、昭和47年の労働安全衛生法施行以来、確実な減少傾向を示しているものの、最近この傾向にかげりが見られる。働く人々の、生命と健康を守る事は、安全の基本であり、個人、家庭、企業、会社のあらゆる面から最も重要なことである。

労働災害は、機械設備等、いわゆる物と人との中で発生しており、これまでは災害の多くを占める高所からの墜落、機械への巻き込まれ等の災害への対策として、物の側を中心とした対策が進められてきた。今後は、これらの対策を確実に講ずるとともに、各段階における安全教育の実施等、人の側からの対策を強化して行かなければならない。

築炉工事においては、しばしば短期工事を必要とし、狭い場所に大勢の作業員が入る。また、他の関連工事や一般作業と輻輳することが多く、かつ高温、粉塵、ガス等厳しい環境での作業も多く、安全衛生には、工事計画段階で十分計画し、その対策を講ずる必要がある。

一方、最近の築炉工事の傾向として、新技術、新工法の採用、工事の大型化等に伴う安全面からの検討、機械設備の大型化、高速化等、潜在的エネルギーの増大に対応した基本的な安全対策が必要不可欠となっている。

従来の安全活動にあわせて、作業内容の質の変化を確実に先取りし、危険予知活動、自主管理活動等で安全意識の向上を図り、安全作業確保に全力で取り組む姿勢が強く求められる。

1 築炉工事に伴う安全衛生

1・1 機械、工具、原材料等の危険性と有害性、及び取扱方法

各種築炉用器工具、使用機械等の取扱い上の諸注意は、築炉作業法の項で詳しく述べたので、ここでは省略する。

築炉作業では、材料の運搬等に各種の機械を使用する機会が多いので、これらに関する資格、法規等の知識について述べる。

表4・1には、築炉工事に関係する各種機械の運転、業務等で免許を要するものを示す。表4・2には技能講習修了者の資格を要する主な業務を示し、表4・3には特別教育を要する主な業務を示す。

表4・1 免許を要する主な業務

業務の種類	業務の内容（適用範囲）	免許
クレーン運転者の業務	吊上げ荷重5 t以上のクレーン	クレーン運転士
移動式クレーン運転者の業務	吊上げ荷重5 t以上の移動式クレーン	移動式クレーン運転士
危険物取扱主任者の業務	危険物（軽油、灯油等）を一定数量以上取扱う業務	危険物取扱い主任者

表4・2 技能講習修了者の資格を要する主な業務

業務の種類	業務の内容（適用範囲）
足場の組立て等作業主任者	吊り足場、張出し場、高さ5 m以上の足場の組立て解体又は変更の作業
型枠支保工の組立て等作業主任者	型枠支保工の組立て又は解体の作業
ガス溶接作業	可燃性ガス及び酸素を用いて行う金属の溶接、溶断又は加熱の業務
玉掛作業	吊上げ荷重1 t以上のクレーン、移動式クレーン又はデリックの玉掛業務
酸素欠乏危険作業主任者	酸素欠乏危険場所における業務
木材加工用機械作業主任者	丸のこ盤、帯のこ盤等を5台以上有する事業場
フォークリフト運転（1 t以上）	1 t以上のフォークリフトの運転業務

表4・3 特別教育を要する主な業務

業務の種類	業務の内容（適用範囲）
アーク溶接作業	アーク溶接の業務
巻上機運転者	動力駆動巻上機の運転（電気ホイスト及びゴンドラ巻上機を除く）
研磨砥石の取替試運転作業	研磨砥石の取替又は取替時の試運転の業務
車両系建設機械運転者	機体重量3 t未満のもの及び締固め用機械
クレーン運転者	吊上げ荷重1 t未満のクレーンの運転
移動式クレーン運転者	吊上げ荷重1 t未満のクレーン移動式クレーン運転
玉掛作業（1 t未満）	吊上げ荷重1 t未満のクレーン、移動式クレーン又はデリックの玉掛業務
酸素欠乏危険作業員	酸素欠乏危険作業にかかわる業務
電気取扱者	電気工事士の業務以外で軽易なもの
フォークリフト運転（1 t未満）	1 t未満のフォークリフトの運転業務

1・2 安全装置、有害物局排装置又は保護具の性能と取扱い方法

1・2・1 機械等の安全に関する一般基準

- a) 安全装置……………機械等の安全装置は、設置時に確認を行うと共に、常に点検整備を行う。
- b) 責任者の明示……………機械等は、管理又は責任者を定め、これを明示する。
- c) 回転体の危険防止（則101条）
軸、歯車、プーリー等の回転体には、囲いを設ける。
- d) 運転開始時の合図（則104条）
機械等の運転を開始する事によって危険の恐れがあるときは、合図を定め、合図者を指名する。
- e) 刃物回転作業時の手袋使用禁止（則111条）

1・2・2 通路等の安全基準

a) 通路（則540～542、544条）

すべての作業に安全な通路を設け、有効に保持すること。その通路は次の基準による。

- ① 主要なものには、通路であることを、表示する。
- ② 採光、照明を確保する。
- ③ つまずき、すべり、踏抜き、落下物等の危険のないこと。
- ④ 高さ1.8m以内に障害物が無いこと。
- ⑤ 墜落の危険のある箇所には手摺を設けること。

b) 架設通路（則552条）

- ① 勾配は30°以下とし、15°をこえるものは、踏さん等の滑り止めを設ける。
- ② 墜落の危険のある箇所には手摺を設ける。
- ③ 高さ8m以上の場合は7m以内ごとに、踊り場を設ける。

c) はしご（則556条）

- ① はしごは丸太以外のものによる。
- ② 踏さんは、25cm以上、35cm以下の等間隔とする。
- ③ はしごの上端を60cm以上突き出し、転位防止の措置をとる。

1・2・3 足場の安全基準

a) 一般足場作業床（則562、563条）

- ① 作業床の最大積載荷重を定め、表示等により一般に周知する。
- ② 床材の曲げ応力は規定値以内とする。
- ③ 作業床は幅40cm以上とし、すきま3cm以下とする。
- ④ 墜落の危険のある箇所には手摺を設ける。
- ⑤ 床材は2箇所以上緊結し、歩行の際につまずきのないようにする。

b) 移動足場（則563条）

- ① 足場板は幅20cm以上、厚さ3.5cm以上、長さ3.6m以上とする。
- ② 足場板3以上の支持物にかけ渡す。
- ③ 支点からの突出しは10cm以上、足場板の長さの18分の1以下とする。
- ④ 足場板を重ねる時は、支点上で重ね、20cm以上の重ね部分をとる。

c) 吊り足場（則562、568、574、575条）

- ① 吊り足場の吊具は原則としてチェーンを使用し安全係数は5以上とする。
- ② 作業床は幅40cm以上とし、すきまがない事。
- ③ 転位、動揺を防止するための措置をとる。
- ④ 吊り足場では、はしご、脚立等の使用を禁止する。
- ⑤ 吊り足場は、その日の作業を開始する前に点検を行う。

d) 鋼管足場（則570、571条）

- ① 足場に使用する鋼管及び付属金具は、規格に適合したものを使用する。
- ② 足場の脚部には、滑動又は沈下防止の措置をとる。
- ③ 移動式足場には、ブレーキ、歯止めのほか、足場の一部を建設物に固定させる等の

措置をとる。

- ④ 筋かいで補強する。
- ⑤ 壁つなぎ又は控えを垂直方向5m、水平方向5.5m以内に設け、転位を防止する。
- ⑥ 架空電線との接触防止の措置をとる。

1・2・4 墜落、飛来落下防止基準

a) 高所作業の措置（則518、519、521～523、529、530条）

高さが2m以上で墜落の恐れのある作業は、次の措置をとる。

- ① 足場作業床を設ける。困難な場合は、防網又は命綱を使用させる。
- ② 手摺等を設ける。手摺は2段とし、繊維ロープは原則として禁止する。
- ③ 命綱を取り付けるための設備を設け、命綱を使用させる。
- ④ 悪天候のため危険が予想される時は、作業を中止する。
- ⑤ 必要な照明を設ける。
- ⑥ 作業指揮者を指名する。（作業主任者を必要とする作業を除く）
- ⑦ 高さ5m以上の作業は、技能を選考し指名した者に限る。
- ⑧ 足場責任者（作業主任者のうち指名した者）に点検保守に当たらせる。
- ⑨ 関係者以外の立入り禁止を表示等によりする。

b) 昇降設備（則526条）

高さ1.5m以上をこえる場所における作業は、安全な昇降設備を設ける。（則532条）

c) 高所からの物体投下（則532条）

3m以上の高所から物体を投下するときは、投下設備又は立入禁止区域を設け、監視人を置く。

d) 落下物の危険防止（則537条）

- ① 落下物による危険の恐れあるときは、防網の設備又は立入禁止の措置をとる。
- ② 手工具その他小物の転落を防止するため、爪先板、袋等の準備をする。

1・2・5 電気災害防止基準

電気による災害には、直接電気に触れて起きる感電（高圧の場合は接近しただけで感電する）のほか、アークやスパーク及び電熱による電気火傷又は電気火災、電気炉、電気溶接等のアークによる電気性眼炎の4種類がある。このうち最も多いのが感電である。

手足がぬれていたり、足元が湿っているような場合には、低圧電流の電灯線でも感電して死亡することがあるから、十分注意しなければならない。

a) 電気機械器具の感電防止措置（則329～333、335条）

- ① 作業者が作業中又は通行中接触し、感電の恐れがある電気機械器具には、感電を防止するための設備（接地、漏電遮断器、電撃防止器等）を設ける。
- ② ハンドランプ等の移動又は仮設配線に接続した電灯にはガードを取り付ける。
- ③ 溶接棒ホルダは、日本工業規格に適合したものを使用させる。
- ④ 交流アーク溶接作業は、自動電撃防止装置を使用させる。
- ⑤ 移動式又は可搬式の電気機械器具は、感電防止用漏電遮断装置を接続する。漏電遮断装置を接続した場合であっても、更に確実に接地を行う。

- ⑥ 電気機械器具の操作部分には、照明設備を設ける。
- b) 配線等の措置（則336～338条）
- ① 作業者が作業中又は通行中接触の恐れのある配線及び移動電線については、感電防止の措置をとる。
 - ② 導電性の高い場所及び湿潤している場所を使用する移動電線又は接続器具は、被覆等が絶縁効力を有するものを使用する。
 - ③ 仮設の配線又は移動電線を通路上で使用してはならない。やむを得ず使用する時は、十分な保護措置をとる。
- c) 工事用電気設備の管理
- ① 工事用電気設備については、保守管理責任者を指名し、日常の保守点検に当たらせる。
 - ② スイッチボックスの管理は下記による。
 - 正常なヒューズを取り付ける。
 - たこ配線をしない
 - 責任者、送電先を明示する。
 - アースを設ける。
 - 誤って通電することにより危険の恐れのある開閉器には、施錠又は通電禁止の表示をする。
- d) 活線作業及び活線近接作業（則341～350条）
- 活線作業及び活線に近接する作業は、感電防止の対策を定め、作業指揮者を指名のうえ行わせる。
- e) 電気設備工事の施工
- 電気設備工事の施工は有資格者に行わせる。又工事者の氏名を明らかにしておく。

1・2・6 保護具

服装は、本来、気温の変化、外力から身体を保護したりする目的で用いられているが、作業服装には、作業の種類や用途に応じていろいろのものがある。築炉作業には、身体に合った軽快なものであること。なるべく長ズボン、長袖のものがよく、ズボンのすそや、上着の袖口は、締まったものが適している。

a) 保護帽

建設作業、造船作業など、物の落下、飛来、落石等の恐れのある作業には、頭部を保護する目的で保護帽を着用しなければならない。

保護帽には、

- ① 落下、飛来物に対するもの
 - ② 墜落、転倒等に対するもの
 - ③ 特定の危険に対するもの（電気等）
- 等がある。

保護帽には、労働大臣の定めた規格があり、メーカー段階で、労働大臣又は型式検定代行機関が行う形式検定に合格したものでなければ譲渡、貸与又は使用してはならない事になっている。

この保護帽はJISでは、安全帽と呼ばれている。

保護帽の効果を的確にするためには、保護帽のハンモックの正しい調整や、あごひもの締付けを確実に行う事が大切である。

b) 保護眼鏡

保護眼鏡には、防塵用と、遮光用の2種類がある。

保護眼鏡は、使用目的に適した使いやすいものを選ぶ。

防塵眼鏡は、粉塵や、薬液の飛来条件によって前面のみでなく、側面も保護する形のものとする事が必要である。

c) 安全靴

安全靴は、足のつま先の保護、耐踏抜き性、耐熱性、耐油性等があるので、職場にあったものでJISに適合した規格品を選ぶとよい。

d) 安全帯

墜落による災害は、建設業をはじめ、全産業で数多く発生している。これを防止するためには、足場、さく、手摺等や安全帯を臨機応変に使用する必要がある。

安全帯には、柱上作業の胴網のように、身体を高所に固定するタイプと、高所で足を踏み外したり、斜面で滑ったときなどに身体をつなぎ止める役目をする物とがある。特につなぎ止めのタイプの安全帯は落下2 m以下とする事が必要である。

e) 防塵マスク

粉塵作業に用いられる呼吸用保護具のうち、防塵マスクについては、労働省で構造規格を定めており、労働大臣が行う型式検定に合格したものでなければ譲渡、貸与、使用してはならないことになっている。粉塵作業を行う場合に使用する防塵マスクは、検定に合格したものでなければならず、合格したものには、型式検定合格標章が付けられている。

① 防塵マスクの規格と性能

防塵マスクは構造規格により、その性能が分けられている。防塵マスクを選定するには、作業の種類に応じて適当なものを選ぶことが大切である。

防塵マスクの性能のうち、最も重要な事は粉塵捕集効率であり、最近では99.9%以上のものも可能となってきている。

f) ダイオキシン対策保護具について

廃棄物焼却炉施設に於ける補修作業でダイオキシン類のばく露により、労働者の健康が著しく損なわれる事が、最近明らかになった。労働者のダイオキシンばく露低減を目的として、平成11年3月に労働省の対策指針が策定された。

保護具に関しては

① 労働者にエアラインマスク、ホースマスク又は同等以上の性能を有する呼吸用保護具

② 不浸透性の作業衣

③ 不浸透性の手袋

④ 不浸透性の保護眼鏡

を使用させる事。

又、二次汚染防止として

汚染された保護具はそれ以外の衣類等から隔離して保管し、速やかに汚染を除去させるための措置を講じる事としている。

1・2・7 原材料等の有害性

労働省では、1992年12月労働安全衛生法等の改正により、化学物質等を対象として、譲渡提供者（製造元）からこれを使用する事業者、労働者へ、有害情報を提供する事が義務化され、2000年4月より法制化施行となった。

この情報シートをMSDS（Material Safety Data Sheet）と言う。

MSDSには物質名、供給者、有害性、安全上の予防措置等の情報が記入されている。

築炉工事において、耐火物との関連性は言うまでもないが、使用部署は、提供を受けたMSDSに基づき、従業員の健康障害防止のための処置を実施しなければならない。また使用部署毎に閲覧可能な状態を維持しなければならない。

作業においては、

特に、救急措置、保護具類等を熟知しこれを守らなければならない。

1・3 作業基準

a) 作業基準の意義

不安全な作業行動は、作業行動のあるべき姿を作業基準に示し、これに基づいて作業教育をすることによって、排除することができる。

b) 作業基準を作成するにあたってなすべき事項。

① 設備の適正化と整理整頓

作業基準を作るには、設備の安全化、環境の改善、整理整頓を行う事が必要である。

② 作業方式の検討

作業の単純化と、専門化することが大切である。

c) 作業基準の要件

① 作業に即応したものであること。

② 安全に、正しく、速く、かつ疲労を少なくする事。

d) 作業基準の作り方

① 手順の数をできるだけ解り易く、少なくする。

② 手順の順序が正しい事。

③ 手順の速度を適正にすること。

④ 作業者が全員参加して作成する事。

⑤ 作成にあたって、災害事例等を考慮すること。

1・4 点検

機械設備や安全装置などは、長い間使用しているうちに機能が低下する。このような欠陥により多くの災害が発生している。

物的欠陥を除くためには、点検制度を定めて機械設備や、安全装置等についての点検を励行し、異常の早期発見に努めなければならない。

1・4・1 安全点検制度

a) 点検の実施者

管理、監督者、作業者等職場事情に精通しているもの。

b) 点検の時期

点検の項目によって、

○一定機関（周期）に行われるもの

○不定期に行われるもの

・点検対象

・作業内容

・緊急度

に分類される。

フォークリフト、車両系建設機械、圧力容器、クレーン等は、労働安全衛生法によって年次、月例の定期自主検査が義務づけられている。

特に問題のあるフォークリフト、車両系建設機械については、特定自主検査の対象として一定の資格をもっているものが点検すること、とされている。

1・4・2 安全点検の結果に基づく是正

点検の結果、欠陥が発見された場合、これを是正しなければならない。

又、重要なことは、是正の確認をする事である。

1・4・3 チェックリストの作成

a) 具体的であり、かつ災害防止に実効があるもの。

b) チェックリストは一定の様式とし、

① 点検項目

② 点検内容

③ 判定

などの項目を盛り込む事。

1・5 築炉工事に関し発生する恐れのある疾病の原因及び予防

築炉工事は新設、補修を問わず悪い環境で行われる場合が多く、作業も完全に機械化されるまでには至っておらず、人力によって施工する割合が大きい。したがって、築炉作業者及び管理者はこの点を留意し、職業的疾患を未然に防止するための予防を採る必要がある。

表4・4

病名	原因	予防対策
じん肺症	じん肺起因物質の粉じんを長期間吸入した場合	①集・脱じん装置を設置し作業環境を改善する ②防じんマスク着用の励行 エアラインマスク着用 ③定期健康診断
腰痛	20kg程度以上の重量物又は軽重量不同の物を繰り返し中腰で取り扱う業務に従事	①無理な重量物の扱いは1人で行わない。 荷役機器を使用する ②休憩時間に腰の屈伸運動を行う ③同じ姿勢で長時間作業をしない ④腰を冷やさない
末しょう循環傷害 (白ろう現象)	振動機器の長時間の使用 ブレーカ・ランマ バイブレータ等	①長時間連続して作業せず、時々交替制をとる ②寒冷時には時々手を暖めながら行う
熱中症 (熱けいれん) (神経障害)	高温下での作業	①水分、塩分を適宜補給。 交替制をとり、涼しい場所で時々休憩をとりながら、作業する

1・6 整理整頓及び清潔の保持

『安全は整理整頓に始まり整理整頓に終わる』といわれるほど、職場の整頓は大切である。整理整頓は作業能率を向上させるだけでなく、災害防止の基本といえる。

整理とは、必要なものと不要なものに分け、不要なものを捨てることである。

整頓とは必要なものを使いやすく、取出ししやすいようにそれぞれの物のあるべき場所に正しく置くことである。

築炉作業の現場は、常時錯綜しがちであるから、屑れんがや包装袋などのごみはかたづけ足元を掃除しておかねばならない。廃棄物は指定の場所に投棄する。この場合可燃物と不燃物は分別する事。作業者の通路、材料の運搬通路は清掃のみでなく、区域の保持、管理を行い、通行の安全を確保しておく。また材料などの積み重ね方が悪いと倒壊して怪我の原因となるから、確実に積んでおく。不要になった材料や機材は、速やかに現場から取り片付け、作業場の整理整頓を常に心掛けること。

1・7 事故時等における応急措置及び退避

1・7・1 万一、作業者に事故が起きた場合、次の事項を急いでなさねばならない。

- a) 事故が起きたら怪我人を救出し、作業指揮者に知らせ、作業場内の診療所に通報傷害状況に応じ救急車を呼ぶ。
- b) 事故の現任者（1名）は現場に残り状況の説明を行う。

c) 事故の現場は責任者の指示があるまで、そのままにしておく。…現場保存

怪我人でたら次のような応急措置をとる。

d) 出血……消毒ガーゼを当て、包帯をする。(出血がひどい時は止血帯で止血する)

e) 頭部の傷……絶対安静にして医師の指示を待つ。

f) 呼吸停止……電撃、おぼれ等で呼吸が停止した時は、人口呼吸を行う。

g) やけど……患部は水で冷やし、薬品による傷の場合は患部を水で良く洗う。

1・7・2 退避は、不時の災害が生じた時に作業者の安全を保つために行う避難であり、次のような場合に行われる。

a) 火災の発生(防火作業員以外)

b) 大きな地震(建屋の倒壊、落下物からの保全)

c) 有毒ガス又は可燃性ガスの漏洩(生命への危険が予知される場合)

d) 出水

e) 危険物の接近

上記のような事態が発生した時は、作業指揮者、安全責任者、作業者自身の判断で作業を中止し、安全な場所に避難しなければならない。

1・8 その他築炉工事に関する安全又は衛生のための必要事項

作業場は、常に整理整頓、清掃に努め、清潔を保つようにしなければならない。

常時使用する労働者数が50人以上、200人以下にあっては衛生管理者を選任しなければならない。衛生管理者は、少なくとも毎週1回作業場等を巡視し、設備作業方法、衛生状態に有害の恐れがあるときは、直ちに労働者の健康傷害を防止するため必要な措置を講じなければならない。

1・8・1 有害な作業環境

a) ガス等の発散

ガス、蒸気又は粉塵を発散する屋内作業においては、発散源を密閉する設備、局所排気装置又は全体換気装置を設ける等、必要な措置を講じなければならない。

b) 粉塵の飛散防止

粉塵を著しく飛散する屋外又は坑内作業場においては、粉塵の飛散を防止するため注水その他の必要な措置を講じなければならない。

c) 騒音の伝ばの防止

強烈な騒音を発する屋内作業場においては、その伝ばを防ぐため、隔壁を設ける等必要な措置を講じなければならない。

d) 騒音にたいする保護具

強烈な騒音を発する場所における業務においては、当該業務に従事する労働者に使用させるために、耳せんその他の保護具を備えなければならない。

e) 保護具の具備と管理

各保護具については、同時に就業する労働者の人数の同数以上を備え、常時有効かつ

清潔に保持しなければならない。

f) 気積

屋内作業場の気積を、設備の占める容積及び床面から4 mをこえる高さにある空間を除き、労働者1人について、10m³以上としなければならない。

g) 換気

屋内作業場においては、窓その他開口部の直接外気に向かって開放する事のできる部分の面積を、床面積の20分の1以上にしなければならない。

h) 照度

作業面の照度を、下記の基準に適合させなければならない。

精密な作業……300ルクス以上

普通の作業……150ルクス以上

粗な作業…… 70ルクス以上

i) 立入禁止措置

関係者以外の者が立入ることを禁止し、かつその旨を見易い箇所に表示しなければならない。

(イ) 多量の高熱物体を取り扱う場所又は著しく暑熱な場所

(ロ) 多量の低温物体を取り扱う場所又は著しく寒冷な場所

(ハ) ガス、蒸気又は粉塵を発散する有害な場所

j) 清掃等の実施

日常行う清掃のほか、ねずみ、昆虫等の防除を、それぞれ6ヶ月以内ごとに1回、定期的に、統一的に行わなければならない。

k) 労働者の清潔保持義務

労働者は、作業場の清潔に注意し、廃棄物を定められた場所以外に捨てないようにしなければならない。

l) 救急用具

作業場には負傷者の手当てに必要な救急用具、材料を備えつけ、場所、使用方法を労働者に周知させなければならない。材料としては、ほう帯。ピンセット及び消毒薬、止血帯、副木、担架等である。

1・9 労働安全衛生法関係法令（築炉工事に関する部分）

監督署届出主要書類

名 称	摘 要	条 文	届出 報告
特定元方事業者報告 (総括安全衛生責任者選任報告)	直ちに (下請けを含み50人以上の場合)	安則664	○
建設工事計画届 1. 高さ30mをこえる建築物、工作物の建設、改造、解体の作業 2. 最大径間50m以上の橋梁の建設、改造、解体の作業 3. ずい道等の建設、改造の作業 4. 掘削の高さ又は深さが10m以上の治山の掘削の作業 5. 圧気工法による作業 建設物、機械等設置届 1. 型枠支保工 (支柱の高さ3.5m以上のもの) 2. 仮設通路(高さ及び長さがそれぞれ10m以上のもの) 3. 足場(吊り、張出し足場及び高さ10m以上のもの)	様式21号 14日前 酸欠則24条の圧気工法 摘要書添付 様式20号 30日前 設置機関に関係なく 60日以上設置するもの 60日以上設置するもの	安則88—3 安則90、91 安則88 安則89	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
適用事業報告	様式22号の2 直ちに	基則57	○
就業規則届	直ちに	基則49	○
寄宿舍規則作成届 (寄宿舍設置届)	直ちに (10人以上の場合14日前)	基法95、96 建宿2	○
時間外、休日労働協定届	様式9号 直ちに	基法36 基則17	○
労働保険(労災保険) 保険関係成立届	様式21号 10日以内		
総括安全衛生管理者選任報告 (下請けを含まず100人以上の場合)	様式3号 14日以内	安則2	○
安全管理者選任報告 (下請けを含まず50人以上の場合)	様式3号 14日以内	安則4	○
衛生管理者選任報告 (下請けを含まず50人以上の場合)	様式4号 14日以内	安則7	○
産業医選任報告 (下請けを含まず50人以上の場合)	様式4号 14日以内	安則13	○

設置機械の名称		条 文	設置届 30日前	落成 検査	設置報告 あらかじめ	確認
クレーン	3 t	ク安則5	○	○		
	500kg以上 3 t 未満	ク安則11			○	
移動式 クレーン	500kg以上 (最初に使用しようとするもの が報告する)	ク安則61				○
デリック	2 t 以上	ク安則96	○	○		
	500kg以上 2 t 未満	ク安則101			○	
建設用 リフト	18m以上250kg以上	ク安則174	○	○		
	10m以上18m未満	ク安則179			○	
エレベーター	1 t 以上	ク安則140	○	○		
	250kg以上 1 t 未満	ク安則145			○	
ゴンドラ	定置式	ゴ安則10	○			
	可搬式 (最初に使用しようとするもの が報告する)	ク				○
第二種 圧力容器	定置式	ボ安則85			○	
	可搬式 (最初に使用しようとするもの が報告する)	ク				○

1・10 フォークリフト走行操作上の注意事項

築炉工事においては、耐火物、機材等の運搬で特にフォークリフトを使用する頻度が高い。運搬物の形状多様化、運転場所範囲の制限、運転者側の不注意などに、起因する災害も後を絶たない。

従って特にフォークリフト作業頻度を考慮し走行上の注意点を以下に示す。

走行操作上の注意事項（図4・1・図4・2参照）

- ① 走行速度が一般の速度より遅いため、運転者も周囲の物もわりあい危険を感じない。しかし駆動力は普通の自動車より大きいので、わずかに衝突しただけで、重大な災害になる恐れがある。
- ② 工場内、屋内で使用する時は、制限速度を守り、速度オーバーや追い越しは、絶対しては、ならない。
- ③ フォークリフトは後輪で、かじをとるようになっているため、旋回する場合は急角度に方向が転換し、後端が大きく回るから方向転換する時は後方もよく確かめてから静かに旋回しなければならない。
- ④ 交差点または曲がり角で方向を変える場合、曲がる方向へ、方向指示器で合図を行い安全を確認してからハンドルを切る。

曲がり角を曲がる場合は、普通の自動車と異なり、前進の時は内側いっぱい旋回す

る必要がある。これはフォークリフトがかじとりを後輪で行う事に起因する。

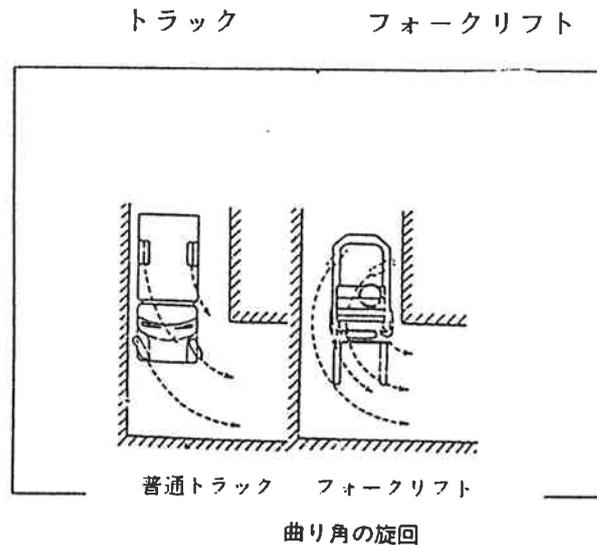


図4・1

- ⑤ フォークリフトは後進する頻度が極めて高い。
前進6割、後進4割程度である。
大きな荷物を運搬する時は、前方視界が悪いので後進を利用した方が安全である。後進時は、マストを最大に後傾させ、荷物の安定を確認した上で、後ろを振り向き、慎重に運転する。(図4・2参照)
- ⑥ 運転台の前方にマストやリフトシリンダ等があるので、前方視界が悪い。
特に大きな荷物を乗せた時は前方が見えなくなる。
運転者は常にマストやシリンダのかげに、人や障害物がないかどうか確認しながら運転する。
荷物をのせて前方が見えない場合には、
(a) 誘導される。
(b) 降りて前方を確かめる。
(c) 後ろ向きに進行する。
(d) 警笛をならす等の処置が必要。
- ⑦ 建屋や倉庫等で使用する時は、柱や障害物に気を付けて作業する。
- ⑧ 空荷の場合に比べて積み荷の場合は、後車輪にかかる荷重が減少し前車輪に、荷物の重量と、フォークリフト自身の重量の大部分がかかり、その荷重は非常に大きな物となるので
(a) 床や路面が軟弱なときは、タイヤがめり込まないように、板などを敷いて使用する。
(b) 積荷中パンクすると転倒するおそれがあるため、パンクしないように路面の突出物に気を付ける。

(注) 積み過ぎると後車輪が浮いて、かじがとれなくなることがある。

前車輪のタイヤの空気圧が不揃いであると偏荷重になり転倒する危険性がある。後車輪の空気圧が低すぎるとハンドルが切りにくいこと等に注意する。

バックの走行は、
左後方が死角になるので
注意しよう



工場建屋内の操作は
柱や天井の障害物に注意

積荷で前方が
見にくいときは



後進で 走行しましょう

図 4 ・ 2

平成12年度ものづくり人材支援基盤整備事業
－技術、技能の客観化、マニュアル化等－
「築炉技能マニュアル－応用編」

発行 中小企業総合事業団 情報・技術部 技術振興第二課
〒105-8453

東京都港区虎ノ門3-5-1 虎ノ門37森ビル

TEL 03-5470-1523 FAX 03-5470-1526

無断転載を禁ずる

Copyright©2001 中小企業総合事業団 All right reserved.

※このマニュアルは、社団法人日本工業炉協会の協力を得て中
小企業総合事業団が作成いたしました。