

2) コークス化

コークス化は、写真5-7-3)に示すように三井鉱山株式会社の大型コークス炉に装入し実施した。

3) コークス品質評価

生成コークスは、図5-13に示した配合炭のBox Testによるコークス製造試験フローにしたがって処理した。すなわち実炉から排出したBox（写真5-8-2)を解体し、写真5-8-3)に示すように生成コークスを取り出した。Boxから取り出されたコークスは、実炉並の衝撃履歴とするため、シャッター試験機で2回落下処理し粒度調整を実施した。粒度調整されたコークスは、縮分し各性状調査を行った。

調査結果は、表5-37から表5-40に記載し、主要特性を図5-15に示した。これら各項目のうちコークス強度は、Box Testの結果と実炉とに強度差がある。この強度差を補正するため通常、実炉装入炭をBox Testと同一条件でコークス化し、実炉コークスとBoxコークスの強度差でもってBox Testコークス強度の実炉ベースへの強度補正を行っている。

表5-41は、三井鉱山株式会社の実炉コークスとBox Testコークスの強度およびその差を示したものである。ただし、灰分、全硫黄およびCSRは、実炉とBox Testに差がないため補正は行わなかった。

表 5-37 生成コークスの粒度分布

Box No.	Grain size distribution (mm, %)					
	125-100	100-75	75-50	50-25	25-15	-15
Box-1	34.1	23.6	23.5	12.3	2.6	3.9
Box-2	23.3	28.4	27.0	17.2	1.9	2.2
Box-3	36.8	27.9	23.9	9.3	0.8	1.3
Box-4	15.0	19.5	44.8	17.8	1.3	1.6
Box-5	7.4	18.9	40.7	28.8	1.7	2.5

表 5-38 PROXIMATE ANALYSIS, TOTAL SULFUR AND POROSITY OF COKE FROM BLENDING COAL

Box No.	Proximate analysis(% , d)			Total sulfur (% , d)	Apparent gravity (-)	True gravity (-)	Porosity (%)
	Ash	Volatile matter	Fixed carbon				
Box-1	8.01	0.81	91.18	0.57	1.04	1.97	47
Box-2	8.10	0.63	91.27	0.59	1.03	1.95	47
Box-3	8.55	0.83	90.62	0.66	1.06	1.97	46
Box-4	8.26	0.57	91.17	0.58	1.05	1.95	46
Box-5	8.87	0.64	90.49	0.65	1.03	1.98	48

表 5-39 ANISOTROPIC TEXTURE ANALYSIS OF COKE FROM BLENDING COAL

Box No.	isotropic	fine mosaic	coarse mosaic	fibrous	leaflet	inert
Box-1	8.4	65.0	4.5	4.1	0.0	18.0
Box-2	8.1	61.5	2.9	8.6	0.0	18.9
Box-3	6.2	36.1	17.1	14.7	0.2	25.7
Box-4	4.1	51.3	7.5	13.6	1.5	22.0
Box-5	2.3	41.6	13.1	23.5	1.4	18.1

表 5-40 REACTIVITY AND COKE STRENGTH OF COKE FROM BLENDING COAL

Box No.	Coke strength after reaction		Coke strength			
	CRI	CSR	Drum indx		Tumbler indx	
			DI ₃₀₋₁₅	DI ₁₆₀₋₁₅	TI ₂₅	TI ₆
Box-1	34.2	49.5	89.8	78.2	58.3	64.8
Box-2	33.7	51.7	90.1	79.9	59.2	65.2
Box-3	29.4	60.5	95.1	85.5	68.8	70.3
Box-4	27.8	58.1	96.8	86.9	70.9	73.4
Box-5	27.1	59.8	96.5	87.1	71.8	75.5

表 5-41 三井装入炭の実炉および Box コークス強度

Sample	DI ₁₆₀₋₁₅	TI ₂₅
Box コークス	84.2	70.3
実炉 コークス	82.0	61.1
差 (実炉 - Box)	2.2	9.2

4) Box Test のまとめ

Box Test コークスの分析性状は図 5-15 に示すように、灰分では製造目標値 10.3(%
d.) に対し全ての配合で 9.0(%
d.) 以下で目標値を達成している。また全硫黄においても目標値 0.76(%
d.) を越えるコークスはなく目標を達成している。

CSR は Box-3, 4 および 5 では 58.1 ~ 60.5 で製造目標値である 58 を十分満たしている。しかし Box-1 および 2 は 49.5 および 51.7 で目標値に達していない。この原因は、石炭化度不足に起因しているものと推察される。

コークス強度は図 5-15 に示すように、 TI_{25} 目標値 61 を満たす配合は、Box-4 および 5 であり、その値は 61.7 および 62.6 である。しかし Box-1 および 2 は、49.1 および 50.0 でコークス強度の低下が大きい。さらに Box-3 では 59.6 と僅かではあるが目標値に到達していない。

これら目標値に達しなかった Box-1, 2 および 3 の配合は、机上検討による強度推定では、Box-1 で 58、Box-2 で 59 および Box-3 で 61 とかなり高強度のコークスが生成するものと推定していた。

この推定値と実測値に差が生じた原因を調査した結果、図 5-16 に示すように、配合炭の揮発分が高い程その差が大きいことが明らかになった。すなわち配合炭の石炭化度不足が推定値と実測値に差を生じさせたものと判断される。

以上、Box Test の結果、つぎの点が明らかになった。

- a) ヴェネズエラの出炭量比率での配合では、高炉用コークスの製造は出来ない。
- b) ヴェネズエラおよびコロンビアの出炭量比率においても高炉用コークスの製造は出来ない。
- c) ヴェネズエラおよびコロンビアの出炭量比率を無視した配合では、 TI_{25} のみが 59.6 と目標値 61 には僅かではあるが達しない。
- d) 高炉用コークスを製造するには、ヴェネズエラおよびコロンビアの石炭に輸入炭を 40% から 65% 配合する必要がある。
- e) 高炉用コークスを安定して製造するための配合炭の揮発分は、30.0(%
d.a.f.) 未満に設定する必要がある。

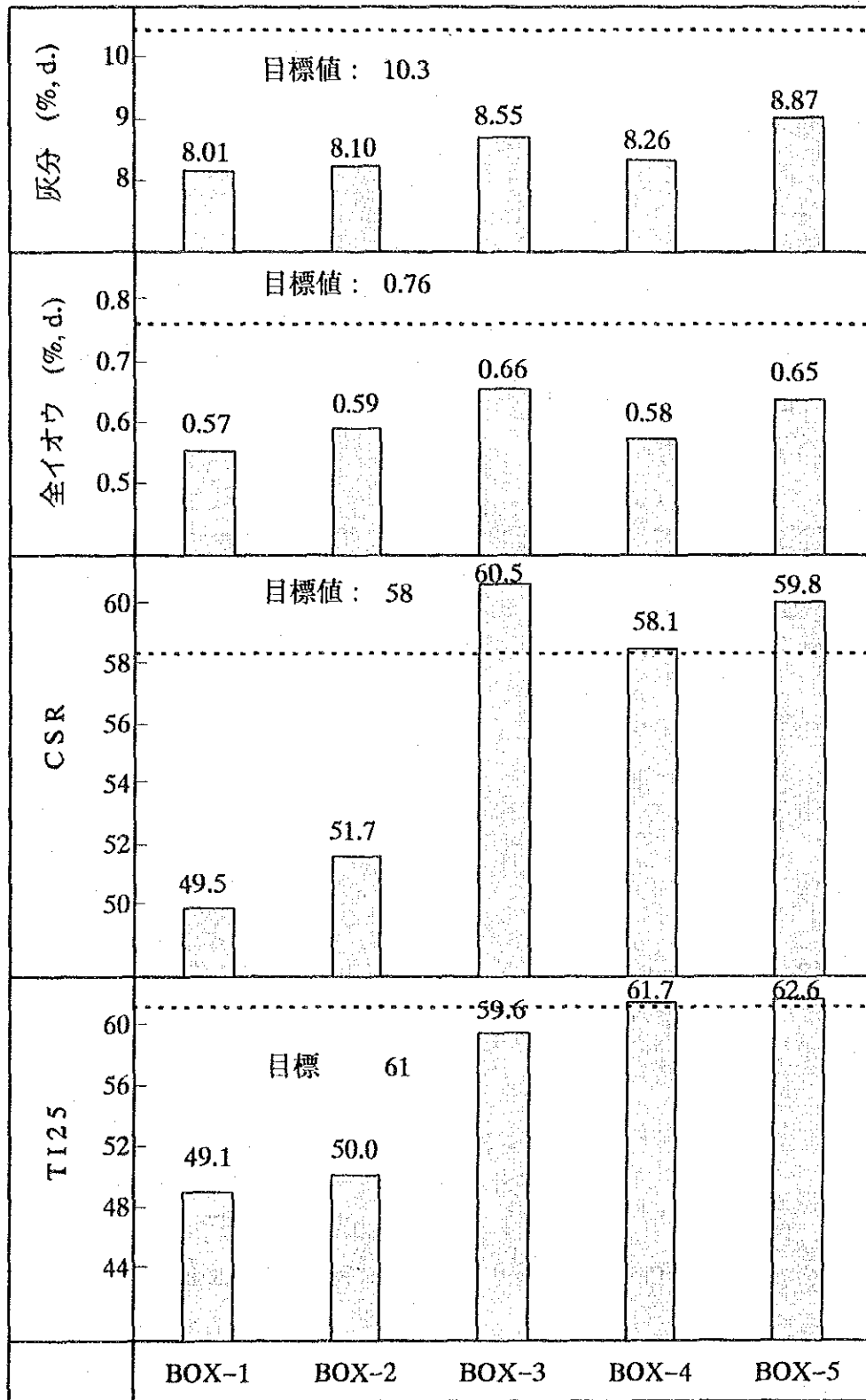


図 5-15 Box Test によるコークス品質比較 (実炉ベース換算)

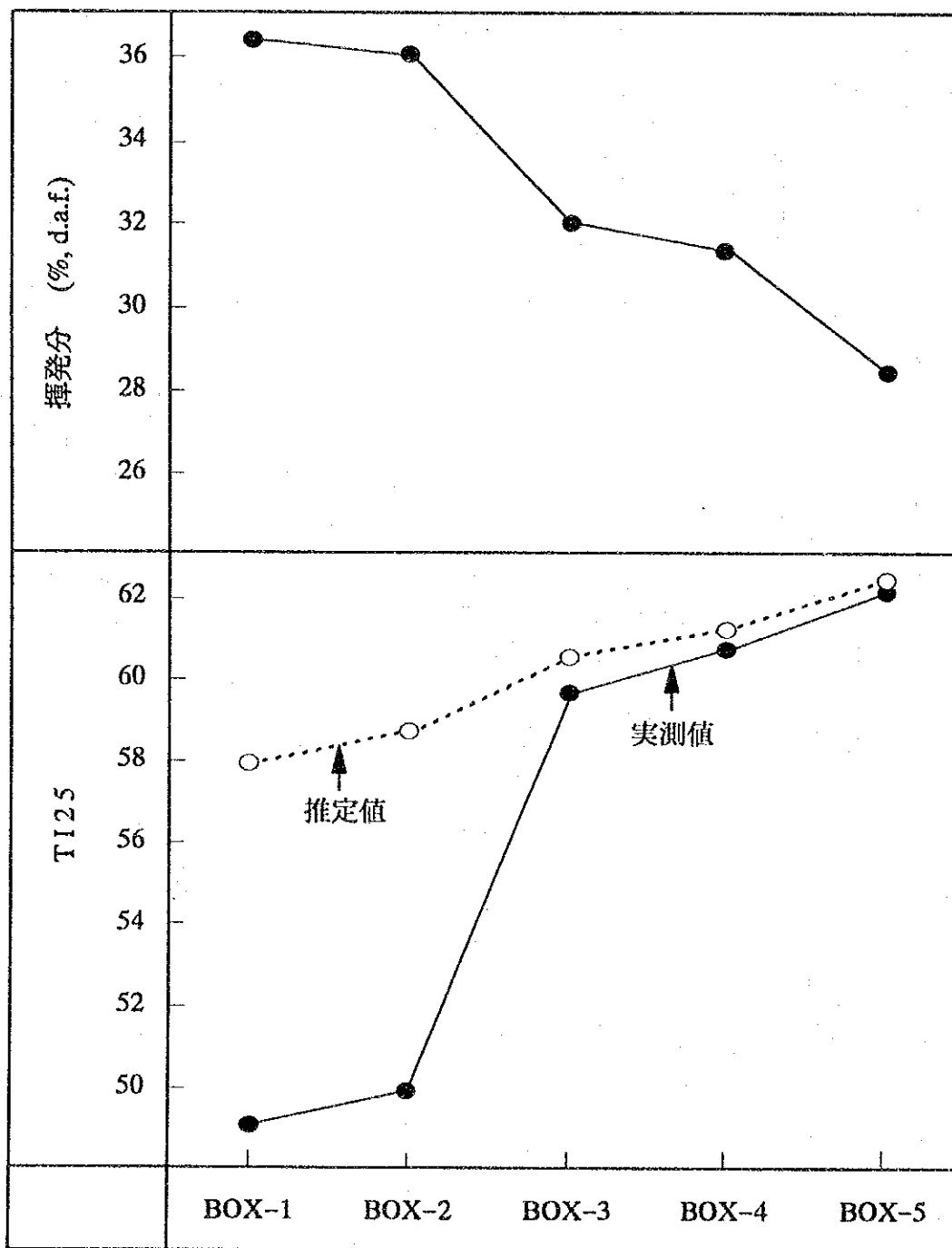


図 5-16 Box Test による実炉ベース T1₂₅ 実績値と机上推定値の比較

5.3.4 SCO Testによるコークス製造試験

Box Test は、安価でかつ容易に実施できるコークス製造試験方法ではあるが、時として信頼性に欠けるデータとなる場合がある。このため高価ではあるが信頼性の高いSCOを用いて、最も重要な Box-5 配合炭のコークス製造試験を実施した。なおSCOによるコークス製造試験は、図5-17に示すコークス製造フローにしたがって実施した。

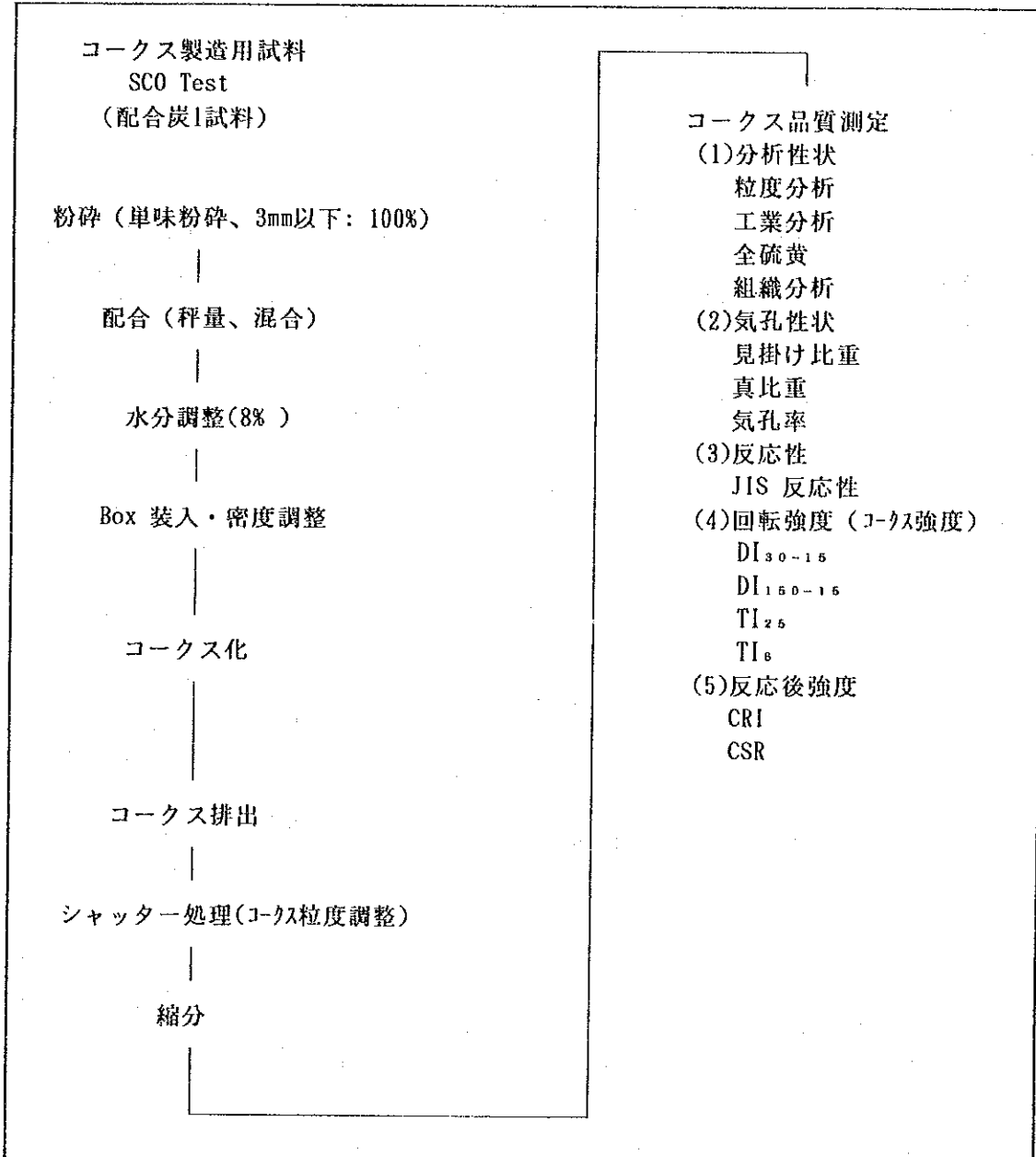


図5-17 配合炭のSCOによるコークス製造試験フロー

(1) 配合炭の調整および性状

配合炭の調整は、各石炭を100%、3mm以下に粉碎し、FNO - LC30炭5%、LAS - LC(25+30)炭27%、ボヤカ炭3%、Pinnacle炭25%およびBlue Creek炭40%を配合した後、水を添加し水分8%に調整した。

配合炭の性状は、表5-42に粒度分布、表5-43に工業分析および全硫黄、表5-44にF.S.I.およびギースラー・プラストメータ、表5-45にディラトメータの測定結果を記載した。

これらの結果から、配合炭は灰分6.68(%、d)、揮発分28.76(%、d.a.f.)および全硫黄0.73(%、d)で分析性状上は何等問題はない。他方粘結性は、表5-43および表5-45に示すようにF.S.I. 9、ギースラー・プラストメータの最高流動度2.63(logDDPM)およびディラトメータの全膨張率70%で十分な粘結性を有している。

表 5-42 GRAIN SIZE DISTRIBUTION OF BLENDING COAL

Test No.	Grain size distribution (mm, %)						
	25-10	10-6.0	6.0-3.0	3.0-1.2	1.2-0.5	0.5-0.3	-0.3
SCO test-1	0.0	0.6	3.4	25.1	27.9	14.4	28.6

表 5-43 PROXIMATE ANALYSIS AND TOTAL SULFUR OF BLENDING COAL

Test No.	Inherent Moisture (%)	Proximate analysis(%、d)			Volataile matter (%、d. a. f.)	Total sulfur (%、d)
		Ash	Volataile matter	Fixed carbon		
SCO test-1	1.34	6.68	26.84	66.48	28.76	0.73

表 5-44 F.S.I. AND GIESELER PLASTOMETER OF BLENDING COAL

Test No.	F. S. I.	Gieseler plastometer			
		Initial softening temp. (°C)	Maximum fluidity temp. (°C)	Solidification temperature (°C)	Maximum fluidity (Log DDPM)
SCO test-1	9	415	462	495	2.63

表 5-45 DILATOMETER OF BLENDING COAL

Test No.	Initial soften. temp. (°C)	Maximum Contrac. temp. (°C)	Maximum Dilatat. temp. (°C)	Percen. Contra. (%)	Percen. Dilata. (%)	Total Dilata. (%)
SCO test-1	385	429	490	22	48	70

表 5-46 ASH COMPOSITION ANALYSIS OF BLENDING COAL (%)

Test No.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
SCO test-1	50.38	27.44	10.74	2.32	1.12	0.07	1.53	0.73	0.78	1.55	0.67

(2) SCO(Simulated Coke Oven) によるコークス化

配合炭のコークス化は SCO を用いて行った。SCO は小型の電気加熱方式であり、炉の有効寸法は、炉幅 430mm、炉長 640mm、高さ 480mm である。

SCO への配合炭の装入は、配合炭を炉外で亜鉛鉄板製の装入缶（大きさ：425mm × 420mm × 620mm）に配合炭 80kg を装入密度 0.72kg/ℓ で充填し、この装入缶を昇降装置により乾留炉に装入する。

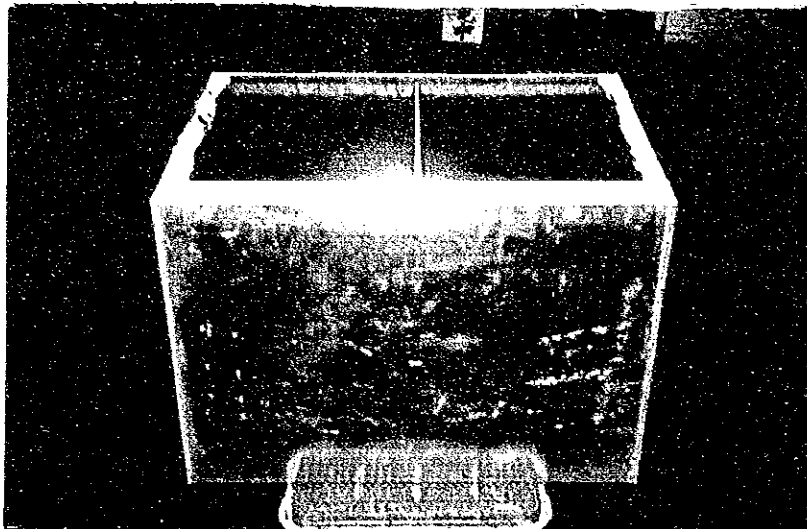
SCO の加熱条件は、下記に示すパターンである。

800 °C 装入 → 800 °C → 1050 °C → 1100 °C → 1100 °C → 排出
 1 時間 13 時間 5 時間 0.5 時間

排出された装入缶は、水冷されたあと、解缶する。

以上の主要処理工程を写真 5-9 および 5-10 に示した。

1) SCO缶に配合炭を装入した状態

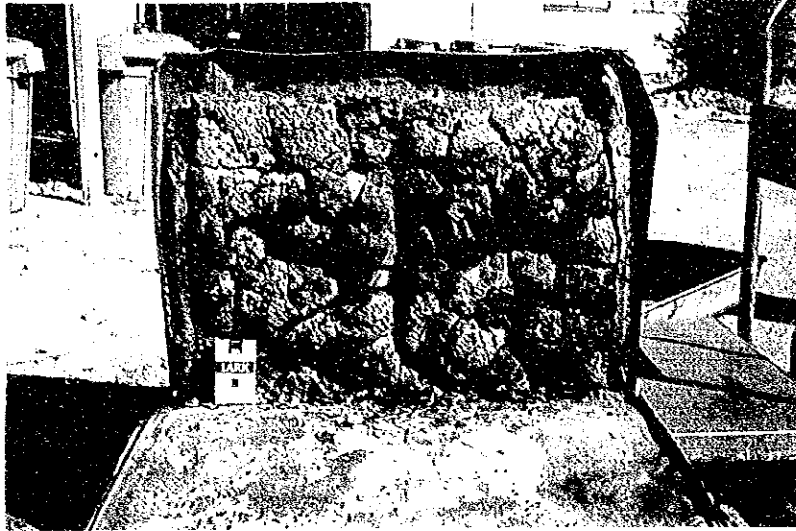


2) SCOおよびコークス化後の排出状況



写真 5-9 装入缶および SCO

1) SCO缶の加熱面の状態



2) 生成コークス

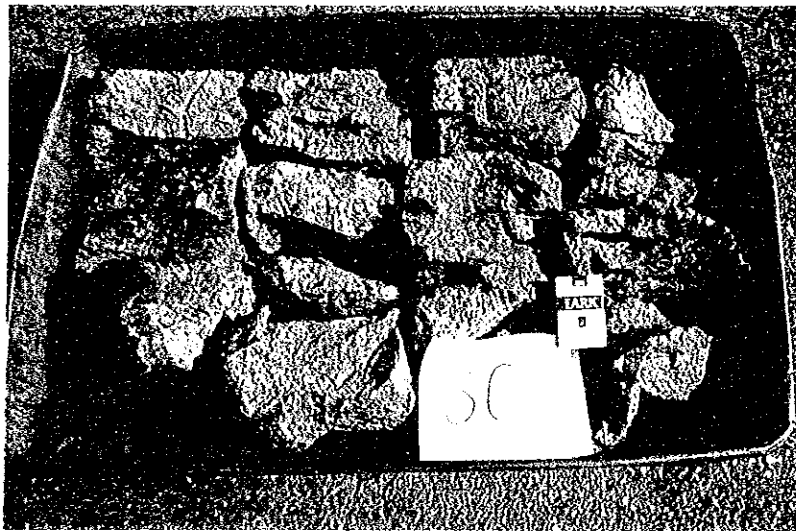
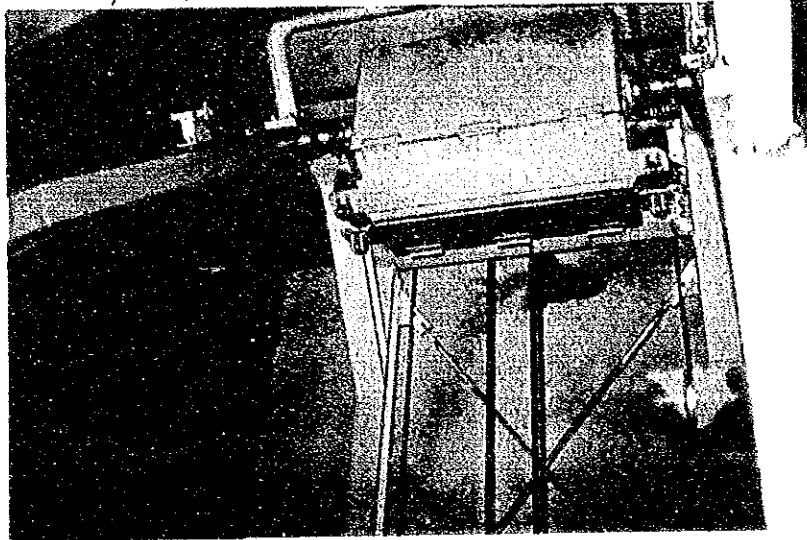


写真 5-10 SCO 焼成コークス

1) バケットを2mの高さに上げた状態



2) 2mの高さからコークスを落下させた状況



写真 5-11 シャッター試験機におけるコークス粒度調整

(3) コークス品質

SCO から排出されたコークスは、写真 5-10-2) に示したように大塊である。SCO でコークス化されたコークスは、実炉でコークス化されたコークスと異なりコークス化時の荷重あるいはコークス炉から排出されるとき衝撃等が極端に小さいため、大塊化する。このため SCO コークスは、実炉並のコークス粒度とするために写真 5-11 に示すシャッター試験機で 3 回落下処理する。

粒度調整されたコークスの性状調査は、図 5-17 の試験フローにしたがい実施した。

性状調査結果は、表 5-47 に粒度分布、表 5-48 に工業分析、全硫黄、見かけ比重、真比重および気孔率、表 5-49 にコークスの偏光組織分析および表 5-50 に反応性、反応後強度およびコークス強度を記載した。

コークスの分析性状は、灰分 8.90(%、d.) および全硫黄 0.64(%、d.) で低灰分、低硫黄の優れた高炉用コークスと位置づけられる。気孔率は 52% で若干高いが、この現象はコークス化時の荷重が小さいために起こったと判断され問題はない。

コークスの偏光組織成分は、Fine Mosaic, Coarsemosaic および Fibrous で 73.4(%、Vol.) を占めかなり CO₂ 反応に抵抗力を持ったコークスと判断される。

コークス強度および反応後強度は、表 5-50 に示すように DI₁₅₀₋₁₅ 81.2、TI₂₅ 59.7 および CSR 50.5 である。これらコークス強度は SCO ベースであるため、実炉換算が必要である。SCO コークス強度の実炉換算は、次式 (a)、(b) および (c) を用いて行った。結果は表 5-51 に示した。

$$DI_{150-15} \text{ (実炉)} = 0.884 \times DI_{150-15} \text{ (SCO)} + 11.9 \quad (a)$$

$$TI_{25} \text{ (実炉)} = 0.728 \times TI_{25} \text{ (SCO)} + 18.8 \quad (b)$$

$$CSR \text{ (実炉)} = 0.753 \times CSR \text{ (SCO)} + 21.4 \quad (c)$$

表 5-47 GRAIN SIZE DISTRIBUTION OF COKE FROM BLENDING COAL

Test NO.	Grain size distribution (mm, %)					
	125-100	100-75	75-50	50-25	25-15	-15
SCO test-1	2.7	29.6	39.9	24.2	1.6	2.0

表 5-48 PROXIMATE ANALYSIS, TOTAL SULFUR AND POROSITY OF COKE FROM BLENDING COAL

Test No.	Proximate analysis(% , d.)			Total sulfur (% , d)	Apparent specific gravity (-)	True specific gravity (-)	Porosity (%)
	Ash	Volatile matter	Fixed carbon				
SCO test-1	8.90	0.77	90.33	0.64	0.96	2.00	52

表 5-49 ANISOTROPIC TEXTURE ANALYSIS OF COKE FROM BLENDING COAL (vol,%)

Test No.	Isotropic	Fine mosaic	Coarse mosaic	Fibrous	Leaflet	Inert
SCO test-1	3.7	23.6	22.7	27.1	1.5	21.4

表 5-50 REACTIVITY AND COKE STRENGTH OF COKE FROM BLENDING COAL

Test No.	Reactivity (%)	Coke strength after reaction		Coke strength			
				Drum indx		Tumbler indx	
		CRI	CSR	DI ₃₀₋₁₅	DI ₁₅₀₋₁₅	TI ₂₅	TI ₆
SCO test-1	17	31.3	50.5	94.3	81.2	59.7	65.7

表 5-51 実炉換算コークス強度

Test No.	CSR	DI ₁₅₀₋₁₅	TI ₂₅
SCO test-1	59.4	83.7	62.3

SCO 配合炭の実炉ベース（換算）のCSR およびコークス強度は、CSR 59.4、DI₁₅₀₋₁₅ 83.7 および TI₂₅ 62.3 であり、高炉用コークスとして優れた性状を有している。

コークス中の微量成分であるPおよびアルカリ成分($K_2O + Na_2O$)は、表5-47の灰分組成および表5-49のコークス中の灰分量から計算され、その含有量はP 0.021% (コークスペース) およびアルカリ成分 0.15% (コークスペース) である。このPおよびアルカリ成分の含有量は、高炉用コークスとして全く問題はない。

(4) まとめ

コークス生産量 100 万トン/年に対応する原料炭配合条件 (Box-5) での SCO コークスは、表5-52に示すように高炉用コークスとしての品質を満足している。

表 5-52 コークス製造目標品質と SCO コークスの比較

標準品質	目標品質	製造目標値	SCOコークス
灰分 (% , d.)	10.5(MAX)	10.3	8.90
揮発分 (% , d.)	1.0(MAX)		0.77
固定炭素(% , d.)	88.5(MIN)		90.33
全硫黄 (% , d.)	0.8(MAX)	0.76	0.64
T I _{2.5}	59 (MIN)	61	62.30
そのほか、留意すべき特性値			
CSR	53~60	58	59.40
P (%、コークスペース)	0.04		0.02
K ₂ O+Na ₂ O(%、コークスペース)	0.25(MAX)		0.15

5.4 原料炭配合設計

Box Test および SCO コークス製造試験結果を基に原料炭の配合設計を試みた。

5.4.1 タチラ炭、コロンビア炭および輸入炭での配合設計

現在明らかにされている出炭量を前提条件として、タチラ炭、コロンビア炭および輸入炭での適正配合条件は、机上でのコークス強度推定の表5-30、Box Test結果の図5-14 および SCO によるコークス製造試験結果の表5-52 から表5-53 に示すようになる。

表 5-53 タチラ炭、コロンビア炭および輸入炭での適正配合条件

石炭の種類	配合量	備考
FNO炭	5% 以上	FNO 炭の出炭量が大量に確保されれば中揮発分輸入炭を減ずることが出来る。
LAS炭	46% 以下	低揮発分炭（ボヤカ炭）の出炭量が増加すれば、本石炭の使用量を増すことが出来る。硫黄分が解決されればHAT、LOB炭の使用可能。
ボヤカ炭	3% 以上	ボヤカ炭並の石炭の開発が望まれる。本炭並の石炭が大量に確保されれば低揮発分輸入炭を削減することが出来る。
低揮発分輸入炭	16% 以上	コークス強度維持。
中揮発分輸入炭	24% 以上	コークス強度および CSR維持。

コークス生産量 100 万トン／年を確保し、国際市場に提供出来るコークスを生産するための原料炭配合条件は、下記の通りである。

FNO 炭	:	5%
LAS 炭	:	27%
ボヤカ炭	:	3%
低揮発分輸入炭	:	25%
中揮発分輸入炭	:	40%

5.4.2 タチラ炭およびコロンビア炭での配合検討

タチラ炭およびコロンビア炭の出炭量比率では、Box Test 結果から国際市場に提供出来るコークスは製造出来ないことが明らかになった。この原因は粘結性過多と共に石炭化度不足である。

現在の出炭量で良質の高炉用コークスを生産するとすれば表 5-30 のコークス品質推定結果および Box Test の図 5-14 から次のような石炭配合構成となる。ただしコークス生産量は約 10 万トン/年である。

FNO 炭	:	50%
LAS 炭	:	30%
ボヤカ炭	:	20%

以上のようにタチラ炭およびコロンビア炭のみでは、コークス生産量は 10 万トン/年と非常に少ない。これを解決し、国際市場に提供できるコークスの生産量を増加させるには低揮発分強粘結炭であるボヤカ炭および中揮発分である FNO 炭なみの石炭の開発が不可欠である。

5.4.3 グアサレ炭使用での配合検討

グアサレ炭を使用したコークス製造試験は、実施していない。しかし表 5-28 に示したようにグアサレ炭の配合量増加は、CSR およびコークス強度 (TI₂₅) の低下を起こす。このため多量のグアサレ炭の使用は困難であり下記に示すように 5%¹⁾ 程度である。

FNO 炭	:	5%
LAS 炭	:	27%
ボヤカ炭	:	3%
低揮発分輸入炭	:	25%
中揮発分輸入炭	:	35%
グアサレ炭	:	5%

¹⁾ 第 2 次現地調査時 (1994 年 1 月)、調査団は再度グアサレ炭のサンプルを採集し、現地シカシ研究所で分析した。このデータを基に配合設計し、その詳細を Annex-1 に記した。

5.5 原料炭配合計画

国際市場に提供出来る 100 万トン／年のコークスを製造するための原料炭は、ヴェネズエラおよびコロンビアに低揮発分強粘結炭および中揮発分強粘結炭が大量に産出しないため、輸入炭に頼らざるを得ない。

輸入炭は、ヴェネズエラ国に最も近く世界有数の原料炭産出国である米国から購入することが最も経済的であるであろう。

5.6 原料炭価格の考察

今回コークス製造に使用する石炭はヴェネズエラ国タチラ炭、コロンビア炭及び輸入炭（米国）である。財務・経済分析で試算する原料炭の価格は以下の通りである。

タチラ炭：下記原料炭価格試算に基づき、コークス工場での輸入価格は 24US\$ / トンを想定した。

コロンビア炭： Mining cost : 14.0US\$ 輸送コスト : 26.5US\$ 原価計 40.5US\$
したがって、コークス工場での購入価格を 40US\$ と想定した。

輸入炭（米国炭）： 1993 年米国東部原料炭の平均 FOB 価格は約 52US\$ / トンである。
輸送費を約 7US\$ と試算し、したがって、コークス工場での購入価格を 60US\$ と想定した。

〔参考資料〕

原料炭価格試算

LAS : [1992 - F/S]	今回使用 Rate : 1US\$ → 95Bs
Mining cost : 1,265.55 Bs / トン	Mining cost : 13.32 US\$ / トン
	輸送コスト : 14.5 US\$ / トン
	原 価 計 : 27.82 US\$ / トン

FNO :	Mining cost : 12.0 US\$ / トン
	輸送コスト : 11.7 US\$ / トン
	原 価 計 : 23.7 US\$ / トン

ボヤカ（コロンビア） :	
Mining cost : 14.0US\$ / トン（現地試算）	Mining cost : 14.0US\$ / トン
	輸送コスト : 12.0 + 14.5 = 26.5US\$ / トン
	原 価 計 : 40.5 US\$

米国炭（1993 年ベース）

Pinnacle	: FOB 51.0、 Freight 7.0 計 58.0US\$ / トン
Blue Creek	: FOB 52.9、 Freight 7.0 計 59.9US\$ / トン

第6章 プロジェクト基本計画

第6章 プロジェクト基本計画

6.1 基本的な考え方

6.1.1 設備生産能力

本プロジェクトの生産能力としては、ヴェネズエラ国内炭の最大限の有効活用を図ることを基本的な考え方とした。

5章にて総括したように原料炭を調査した結果、以下のことが判明した。

- (1) 国内炭(FNO炭, LAS炭)のみの配合では、高炉用コークスの品質のうちFNO炭50%以下では、強度(TI₂₅, CSR)を維持することができない。
- (2) 国内炭(FNO炭, LAS炭)とコロンビア炭(ボヤカ炭)のみの配合では、コークス強度を維持することは可能であるが、その場合生産量は、出炭量に限界があるため、生産能力は10万トン程度となる。

高炉用コークスの強度確保のためには、低揮発分炭と中揮発分炭の輸入が必要であり、最低限度の輸入炭量は46%(ボヤカ炭6%、米国炭40%)となった。この時のコークス生産量は57万トン/年である。コークスの生産能力としては、品質確保の観点のみから考えると57万トン/年となるが、コークス工場の装置産業的な性格を考えると、装入炭量を増やし、コークス生産量を上げたほうが製造コストは下がる。一方、装入炭量を増やすと高い輸入炭の使用量が増える。

57トンと100万トンと比較した場合、100万トンでのコークスのコストの方が有利であるため、上限の100万トン/年をプラントキャパシティとした。この時の輸入炭量は全体の68%(米国炭65%、コロンビア炭3%)必要である。将来的には国内炭の出炭量が増加した場合、輸入炭との振り替えは可能である。

6.1.2 環境汚染に対する一般事項

近年、環境対策への関心が地球規模で急速に高まっている。とりわけ最近の傾向は、大気、水質の排出基準の規制枠に留まらず、地球温暖化問題など従来の既成概念を越えた全地球的視野から展望されている。

ヴェネズエラにおいても、環境組織法や環境罰則法によって、大気汚染や水質汚濁への規制等により、環境保全に対する認識が高まっている。本プロジェクトは、ほかの燃料多消費型産業プラントと同様に、排ガスおよび排水をそのまま放出すれば、大気汚染

や水質汚濁の発生源となる。したがって、これらの施設に対して、特別な処理設備を設置する必要がある。

本プロジェクトの環境汚染対策には、ヴェネズエラまたは日本のどちらか厳しい規制値を採用し、対策の完璧を期した。その結果、水質は主に今回の建設予定地であるマラカイボ湖の排水規制値、大気、ばい塵、粉塵関係は主として日本の厳しい規制値に対応することにした。水質面では、コークス炉からの排水（アンモニアを含んでいるので以下安水と呼ぶ）は、まずバクテリアに有害なアンモニアをストリップングして除いた安水を、活性汚泥処理設備で大部分の有害物を無害化した後、さらに有害物のレベルを下げるために活性炭を用いた高次処理方式で処理する方法を採用した。また、降雨等によるヤードの排水は、SSとpHを調整して放流する方式を採用した。大気関係は、燃料であるCOGを十分に精製し、燃焼方式に適正な設備を選定し、SO_x、NO_xなどについての日本の規制値をクリアできるようにした。一方、粉塵対策としては、コークス炉本体、石炭処理、コークス処理に関して、日本の厳しい設備規制があり、これをベースに設備を設ける方式を採用した。

作業環境は、1993年から施行されるアメリカのクリーン・エア・アクトをクリアできるレベルの設備を導入し、作業者がタール、粉塵等により曝露しないよう配慮した。

6.1.3 コークス炉設備の考え方

コークス炉は炭化室が均一に加熱され、かつ消費熱量が低く、堅牢で安定した構造を有することが必要である。このため、燃焼室および蓄熱室の配置、フリューの構造、ガスの供給方法等に種々の工夫がなされてきており、いくつかの炉型式が誕生している。室炉式コークス炉の代表的なものは、コッパース式、新日鉄式、カールスチール式、オットー式などがある。

なお、室炉式炉には過去スタンピング法による石炭装入法が開発され、ヨーロッパの一部で実用化されている。これは石炭を圧密する装置を設け、押出サイドより装入する方法である。圧密効果によりコークス強度が上昇するため、その分強粘結炭を非微粘結炭に一部置換できる。しかしながら、スタンピング法は炉高4m程度の小型炉に設置されており、大型炉での圧密装置が開発できるかは疑問である。また、不活性物質（PC、ブリーズ等）を添加すると、CSR（熱間反応後強度）が低下するため、その補填として高価なピッチを配合しなければならないため、原料費は高くなる。

室炉式以外のコークス製造新プロセスとして、現在実用化あるいは開発中のものを2、3例紹介する。

(1) 副産物非回収式コークス炉 (Non-Recovery Coke Oven)

本設備は、アメリカとオーストラリアに実用プラントがある。本プロセスは乾留時に発生するガス、タール等を炉内で完全燃焼させるため、ガス精製設備を持つ必要がない。しかし、短所として、炉幅が広い(2～4m)ため、乾留時間が長く(24～96時間)なり生産性が低い。また、コークス強度確保のため、強粘結炭が必要である。さらに、副産物中の硫黄分やアンモニアも直接燃焼するため、大気汚染の発生源となる。したがって、環境対策として、排煙脱硫脱硝設備の設置が不可欠である。

(2) 成形コークス・プロセス (FCP)

FCPは、日本において1984年から2年間、パイロットプラント(200トン/日)によって操業、品質の確認試験が行われた。本プロセスは、ブリケット化した原料炭を装入し、密閉した炉内で直接加熱による乾留-冷却が行われる、連続式コークス炉である。約60～100%の非粘結炭使用が可能である。しかしながら製品コークスは丸味を帯びた形状となり、高炉内で細密充填を起こすため、室炉式コークスと20～30%程度しか置換できないという報告もある。

(3) 超大型室炉式コークス炉 (JCR)

1993年4月からドイツのProsperプラントで、実証プラントによる操業試験が実施されている。大型炭化室(容積は250m³で現行炉の約7倍)による窯出回数の削減と、密閉コンテナへの押出し方式により、環境汚染対策が図られた。しかし、広幅炉(現行炉の2倍以上)であるため、乾留時間が長くなり、これを短縮するため、予熱炭を装入しなければならず、設備費は割高となる。

したがって、本プロジェクトのコークス炉の型式選定にあたっては、新しいコークスの製造方法もあるが、使用する石炭に合致するプロセスか否か、コークス品質、燃焼排ガスの処理方法等公害面への配慮、経済性などを考慮して、現在、製鉄用コークス製造の主流となっている副産物回収型室炉式コークス炉を採用する。その特長としては、

- ・均一で良質なコークスが得られる。
- ・設備が堅牢で、設備寿命が長い。
- ・操業が容易である。
- ・蓄熱室があるので熱効率が高い。
- ・副産物の歩留、品質が良い。

などである。また、コークス炉の操業の場合、1チームで操業できる炉室数は100～120である。1チームで操業するには、炉高6.5m以上、炉室数100～120（門／炉団）程度の設備規模となる。

6.1.4 石炭、コークス処理設備の考え方

石炭、コークス処理設備は、品質改善、省エネルギーを狙って、数々の新プロセス（分級粉砕法、成型炭配合法、予熱炭装入法、石炭調湿法）が開発されている。これらのコークス品質改善効果（強度アップ）により、強粘結炭を安価な非微粘結炭に置換できるメリットがある（置換率5～10%）。しかしながら、昨今、高炉のPCI（微粉炭吹込）吹込量が増大してきていることにより、強粘結炭と非微粘結炭の価格差が縮まっていることと、新プロセスの設備投資額が大きいことにより、経済性から考えると、新プロセスの導入効果は少ないと推察される。また、ヴェネズエラ国内炭のうち、強粘結炭（FNOクラス）の出炭量が現状7万トン／年と少なく、非微粘結炭との置換メリットはない。したがって、石炭処理系では、コークス製造の基本である粉砕配合方式を採用する。

コークス処理系は、乾式消火法（CDQ）も検討したが、設備投資額が大きいことと、ヴェネズエラではエネルギー価格の評価が低いことにより経済的効果がないため湿式消火法を採用する。

6.1.5 ガス精製設備の考え方

ガス精製設備は、コークス炉から発生する粗ガスを公害面、輸送面で影響を及ぼさないレベルまで、硫化水素、アンモニア、ナフタリン、BTX、タールを除去する。アンモニアは国内で需要のある硫安とし出荷する。硫化水素は硫酸とした後、硫安原料として脱アンモニア設備で有効活用する。BTX、ナフタリンは粗軽油、タールは粗タールとして回収し、全量輸出を前提とする。ヴェネズエラ国内では、それらの誘導品の需要はさして期待できず、処理量も経済的な量ではなく独自の精製蒸留設備を持つメリットはないと判断した。

6.1.6 その他

設備計画にあたっては、生産性を上げるために日本レベルの自動化、機械化を進めるとともに、操業の安定化を図る。よって、重要機器については予備機、予備ルートを設けることとした。

6.2 各工程における留意事項

上記の 6.1 章の基本的考え方をもとに、各工程で必要と考えられる留意点を以下に連記した。また、コークス工場における石炭受入れから加工、搬出までのブロック・ダイアグラムは図 6-1 のとおりである。

6.2.1 石炭受入れ処理設備

- (1) 石炭受入設備は海送炭受入系統（輸入炭）と陸送炭受入系統（国内およびコロンビア炭）を設置する。
- (2) 石炭ヤードは、60 日程度の在庫量に見合う面積とする。
- (3) 石炭ヤードには、石炭の飛散および降雨による流出防止対策設備を設け、大気汚染、排水汚濁の防止を図る。
- (4) ベルトコンベア乗継部および建屋内等の環境汚染防止対策として、集塵装置、散水装置および風防カバー等、最も適した対策を施す。

6.2.2 コークス炉設備

- (1) 生産量 100 万トン／年に対応した設備能力とする。
- (2) コークス炉の型式は生産性、作業性、公害面を考慮し、室炉式 6.5m の大型炉とする。
- (3) 設置門数は 1A 炉 50 門、1B 炉 50 門、合計 100 門とする。
- (4) コークス消火設備は湿式消火法で計画する。
- (5) コークス炉の燃焼装置、稼働機械類は、日本レベルの自動化、省力化を導入する。
- (6) コークス炉への装入、押出、消火作業時には、集塵、防塵装置を取付け、大気汚染の防止を図る。
- (7) コークス炉からのガス洩れ防止対策として、装入蓋モルタルシール、上昇管蓋およびベンド部の水封化を施す。
- (8) コークス炉乾留中の炉蓋からのガス洩れ防止対策として、空冷式炉蓋を採用し、炉蓋を操作する稼働機械には、ドアクリーナー、シートクリーナー設備を設ける。

6.2.3 コークス処理出荷設備

- (1) 生産されたコークスはユーザーの要求により、整粒、篩分けを行ない、コークスヤードに搬送する。
- (2) コークスヤード能力は、パナマックス 2 船分程度（1 船：約 4 万トン）とする。
- (3) コークスは全量輸出用とし、船積設備を設ける。
- (4) コークスの品質管理上必要な、サンプラー、秤量機を設置する。

6.2.4 ガス精製設備

- (1) コークス炉ガス中の硫黄、アンモニア、軽油分は捕集設備によって除去し、クリーンガスとして、コークス炉を主体として自家消費する他、余剰分は近郊の火力発電所に排送する。
- (2) ガス中より除去した硫黄分から硫酸を生産する。この硫酸は硫安の原料として活用する。
- (3) アンモニアは硫安製造設備で除去する。硫安は国内販売とする。
- (4) 粗軽油、粗タールは専用の出荷設備より出荷し、全量輸出とする。
- (5) 余剰となった安水は水蒸気蒸留でアンモニアを除き、活性汚泥処理設備および活性炭吸着設備で処理したあと、放流する。

6.2.5 その他

- (1) 操業に直接関係する事務所、整備センター、試験分析所を設ける。
- (2) コークス工場に必要な用役（電力、水）は一括して受入れ、各設備に分配する。
- (3) 蒸気、窒素、圧縮エアは専用の製造設備で発生させ、各設備に供給する。
- (4) 工場の外周に緑地帯を設け、外部と区画する。

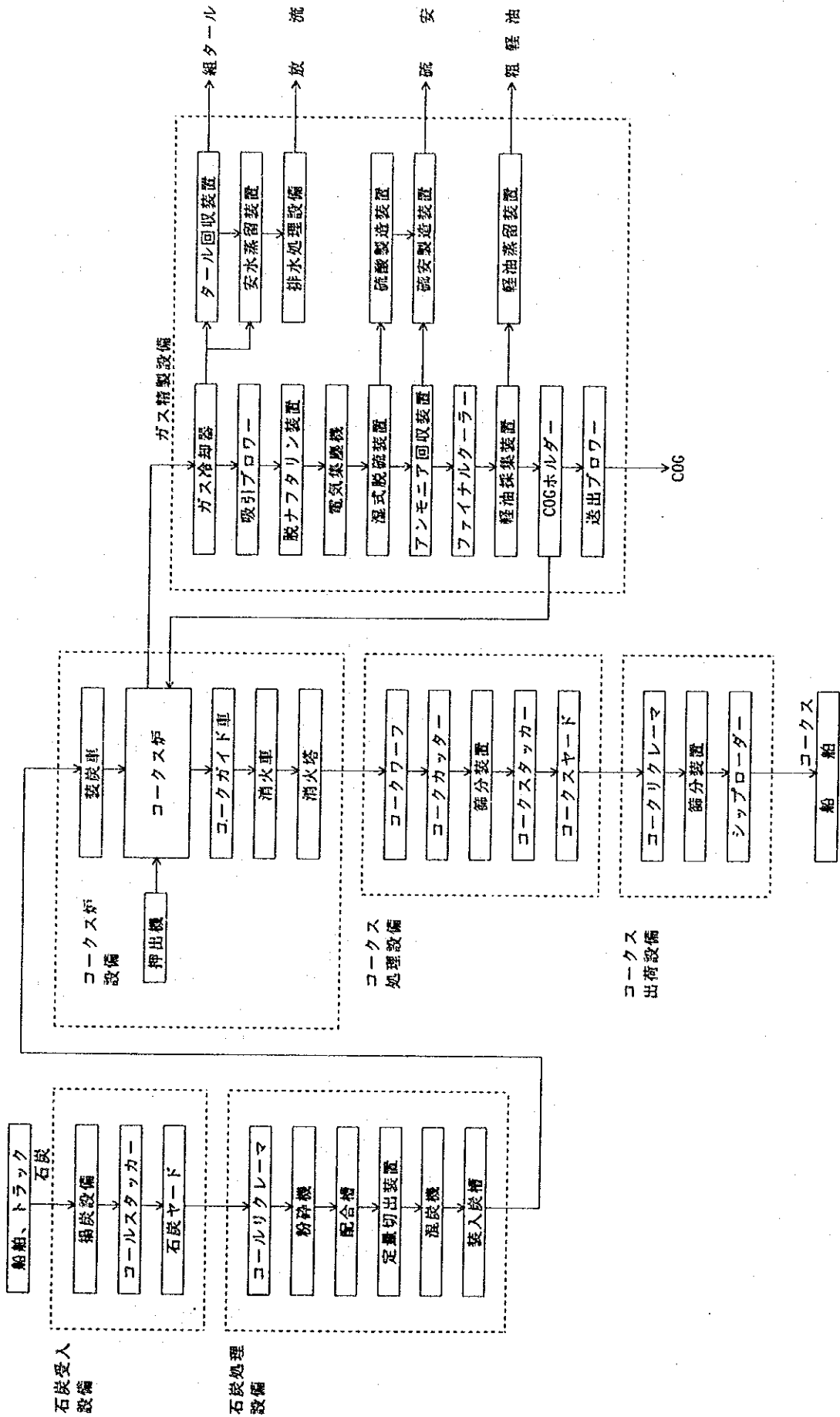


図 6-1 コークス工場ブロック・ダイアグラム

6.3 コークスおよび化成品生産計画

6.3.1 生産量（設計ベース）

設計上使用した生産量および製品バランスを表6-1に示す。また、装入炭性状および製品歩留を表6-2に示す。なお、これらを算出するために5章の検討結果より原料炭性状および表6-6を、配合割合は表6-5を想定した。また、コークス品質目標は表6-3を想定する。

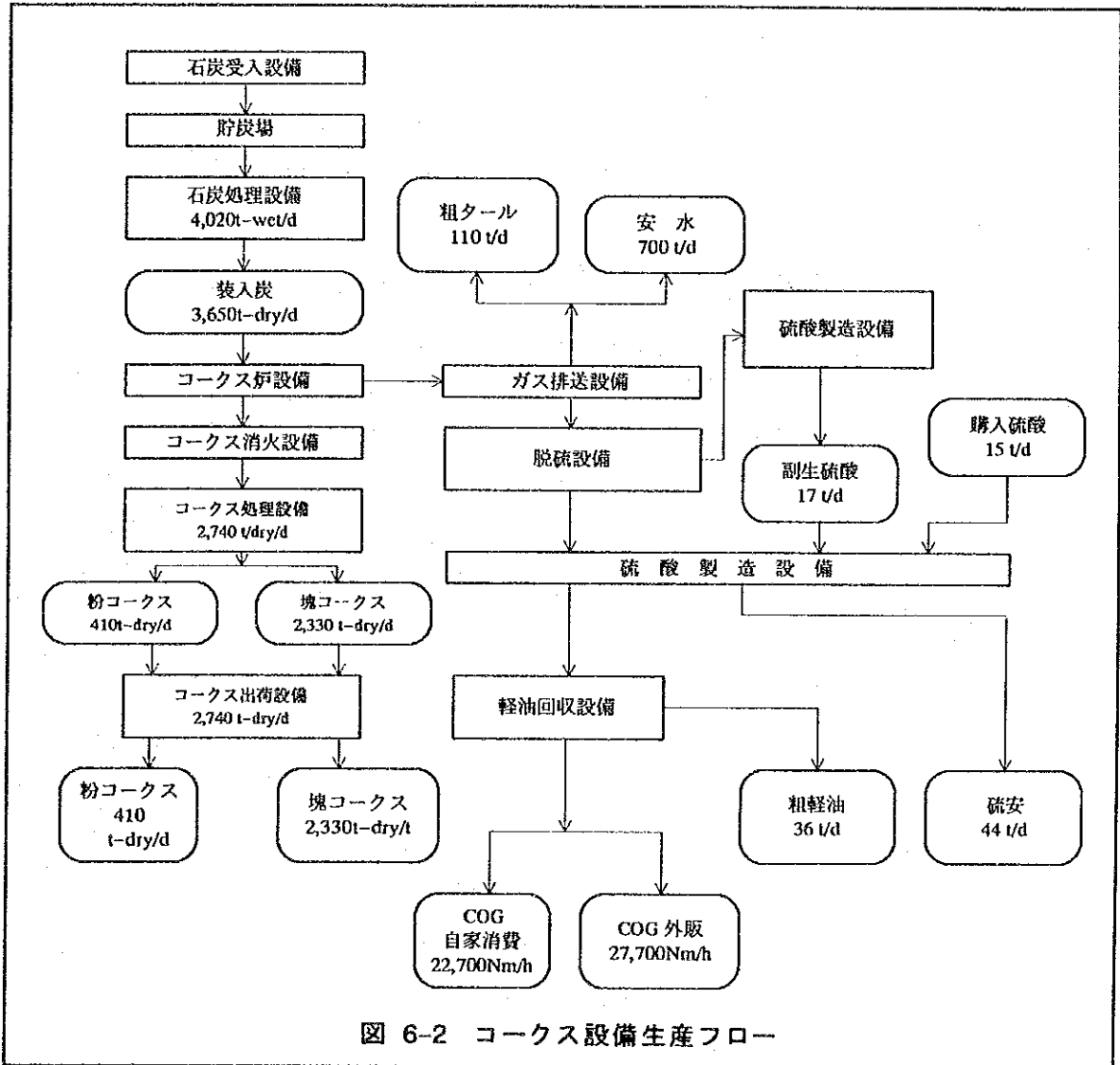
表 6-1 生産、取扱いバランス

項 目	生産量または取扱量		備 考
	日 産	年 産	
粗 炭(wet)	4,020 トン	$1,465 \times 10^3$ トン	-25mm以下 4,500kcal/Nm ³ 硫安製造原料
装入炭(dry)	3,650 トン	$1,333 \times 10^3$ トン	
総コークス	2,740 トン	$1,000 \times 10^3$ トン	
塊コークス	2,330 トン	850×10^3 トン	
粉コークス	410 トン	150×10^3 トン	
COG	$1,210 \times 10^3$ Nm ³	441×10^6 Nm ³	
ター ー ル	110 トン	40×10^3 トン	
軽 油	36 トン	13×10^3 トン	
硫 安	44 トン	16×10^3 トン	
硫酸（副生）	17トン	6.2×10^3 トン	

表 6-2 生産量計画値の前提条件

項 目	歩 留	備 考
装入炭水分	9 %	
装入炭揮発分	26.5 %	
コークス歩留	75 %	対石炭ベース
塊コークス歩留	85 %	対コークスベース
COG 歩留	$330\text{Nm}^3 / \text{t-coal}$	$4,500\text{kcal} / \text{Nm}^3$
COG 外販割合	55 %	
ター ー ル歩留	3.0 %	対石炭ベース
軽油歩留	1.0 %	対石炭ベース
硫安歩留	1.2 %	対石炭ベース
副生硫酸歩留	0.5 %	対石炭ベース、自家消費

6.3.2 コークス設備生産フロー（設計生産能力平均ベース）



6.4 品質目標

6.4.1 コークス

コークス品質は表6-3に示すように米国向を主体とする。

表 6-3 コークス品質目標

項 目	目 標 値	備 考
水 分	4~5 %	標準品位
灰 分	10.5 % (MAX.)	"
揮 発 分	1.0 % (")	"
固定炭素	88.5 % (MIN.)	"
全 硫 黄	0.8 % (MAX.)	"
Tl ₂₅ (Stability Index)	59.0 % (MIN.)	"
粉率-25mm以下	5.0 % (MAX.)	"
C S R	53~60	留意すべき特性値
P (% , d.)	0.04	
K ₂ O+Na ₂ O (% , d.)	0.20~0.25	
平均粒度(Inch)	2	

6.4.2 化成品

化成品の標準的な品質目標を表6-4に示す。

表6-4 化成品品質目標

	発熱量	密度	H ₂ S	T-S	H ₂ CN	NH ₃	BTX	ナフタリン
COG	4,500 kcal/Nm ³	0.47 kg/Nm ³	0.2 g/Nm ³	0.25 g/Nm ³	0.15 g/Nm ³	0.1 g/Nm ³	5 g/Nm ³	0.3 g/Nm ³
タール	水分	T-S						
	3.5%	0.7%						
粗軽油	180°C留分							
	90%							
硫安	アンモニア性N	遊離硫酸	脂肪酸塩	ヒ素				
	20.5%	0.5%	1.0%	0.5%				

6.5 原料使用計画

6.5.1 使用量

ヴェネズエラ国内炭、コロンビア炭、輸入炭の性状と配合試験結果から、標準的な使用量を表6-5に示す。

表 6-5 配合割合と年間使用量

		配合割合	使用量 [t-wet/y]	石炭の産地
国内	L A S	27%	396,000	タチラ州
	F N O	5%	73,000	タチラ州
輸入	Boyaca	3%	44,000	コロンビア
	低揮発分米国炭	25%	366,000	U. S. A.
	中揮発分米国炭	40%	586,000	U. S. A.

6.5.2 原料炭性状

本プロジェクトで使用する原料炭の性状を表6-6に示す。

表 6-6 原料炭性状

Sample	LAS	FNO	Boyaca	低揮発分米炭	中揮発分米炭
ASH (% d.)	3.94	7.55	7.45	5.61	8.91
V. M. (% d.)	37.91	23.21	21.37	16.74	25.44
F. C. (% d.)	58.15	69.24	71.18	77.65	65.65
T. S. (% d.)	0.59	0.85	0.95	0.76	0.85
SI	2.86	5.06	6.91	7.28	4.60
CBI	0.85	2.39	4.91	5.66	0.63
FSI	7	9	8	9	9
M. F. (LogDDPM)	4.10	2.96	1.04	0.60	3.60
T. D. (%)	203	124	41	42	239
CRI	33.6	23.0	21.4	33.0	32.6
CSR	41.4	70.0	69.9	47.0	59.7

6.5.3 装入炭性状

6.5.1 の石炭使用量から配合後のコークス炉に装入される石炭の平均性状を表 6-7 に示す。

表 6-7 装入炭性状

項目	性状値	影響する項目
V M	26.5 %	コークス、COG、タール、軽油の歩留と性状
T - S	0.76%	副生硫酸の歩留
N	1.6 %	硫安の歩留

6.6 用役原単位使用計画

6.6.1 COG

COG バランスを表 6-8 に示す。発生する COG のうち 45% はコークス炉、ボイラー、軽油加熱炉等の自家消費用に、残りの 55% はサイト近くの火力発電所へ外販用として送気する。

表 6-8 COG バランス

設備名	使用量[Nm ³ /時]	備考
コークス炉 ボイラー・加熱炉他	20,000 2,700	消費熱量 590kcal/kg-coal
自家使用計	22,700	
外販	27,700	
発生計	50,400	

6.6.2 電力使用量

コークス工場全体の電力使用量を表 6-9 に示す。平均使用量は 7,000KWH / 時であるが、輸入炭荷揚時のアンローダー運転と石炭粉砕機運転が重なったときのピーク電力量（瞬間値）は 1 万 500KWH / 時を見込んだ。

表 6-9 電力使用量

	原単位	使用量	備考
電力使用量	61 KWH/トン-coke	7,000 KWH/時	10,500 KWH/時 (瞬間値)

6.6.3 用役使用量

蒸気、窒素、圧縮エア、工業用水、上水使用量を表 6-10 に示す。

表 6-10 用役使用量

	設備能力(平均)	使用量	備 考
蒸 気	13トン/時	310トン/日	自家製造
窒 素	100 Nm ³ /時	2,400 Nm ³ /日	”
圧縮エア	14 Nm ³ /分	20,000 Nm ³ /日	”
工業用水	375 m ³ /時	9,000 m ³ /日	購 入
上 水		400 m ³ /日	”

6.6.4 薬品使用量

主要薬品の使用量を表 6-11 に示す。

表 6-11 薬品使用量

	使用量	備 考
吸 収 油	5.4トン/日	購入品
硫 酸	15トン/日	”
苛性ソーダ	0.6トン/日	”

6.7 工場レイアウトおよび製造工程フロー

6.7.1 設置場所

工場設置場所は、図 6-3、図 6-4 に示すように、ラ・カニャーダ工業団地の新しい港の建設予定地とし、港湾荷役に最適な場所とする。ここは、石炭コークスの荷役のほか、電力、工業用水の受入、発電所への COG 送気にも適切である。

6.7.2 工場配置計画

石炭使用量のうち輸入炭を 68% 使用することと、生産コークスを全量輸出することを前提とすれば、輸出入の諸掛削減がレイアウト上のポイントとなる。ラ・カニャーダ港は幸いにパナマックス・サイズの船が接岸できる港の設置計画があり、これを有効活用することによって、効率的な船舶および岸壁の運用が可能となる。したがって、設備上はパナマックス・サイズの船舶受入を前提に港湾設備を考え、能力も国際貿易港の一般滞船契約をベースに設計した。石炭ヤード能力は、品質変動と入船変動を考え 60 日程度の在庫能力とし、コークスヤード能力は、生産および出荷の変動を加味しパナマックス 2 船分とした。

図 6-5 に工場のレイアウトを示す。石炭の受入から石炭処理、コークス炉、コークス処理と一連の流れがスムーズに流れるように配置した。また、ガス精製設備もガスの流れを考慮して配置した。なお、工場内は緑地、道路を広くとり、設備もブロック毎に道路で分けし、公害面ばかりでなく環境面にも配慮した。

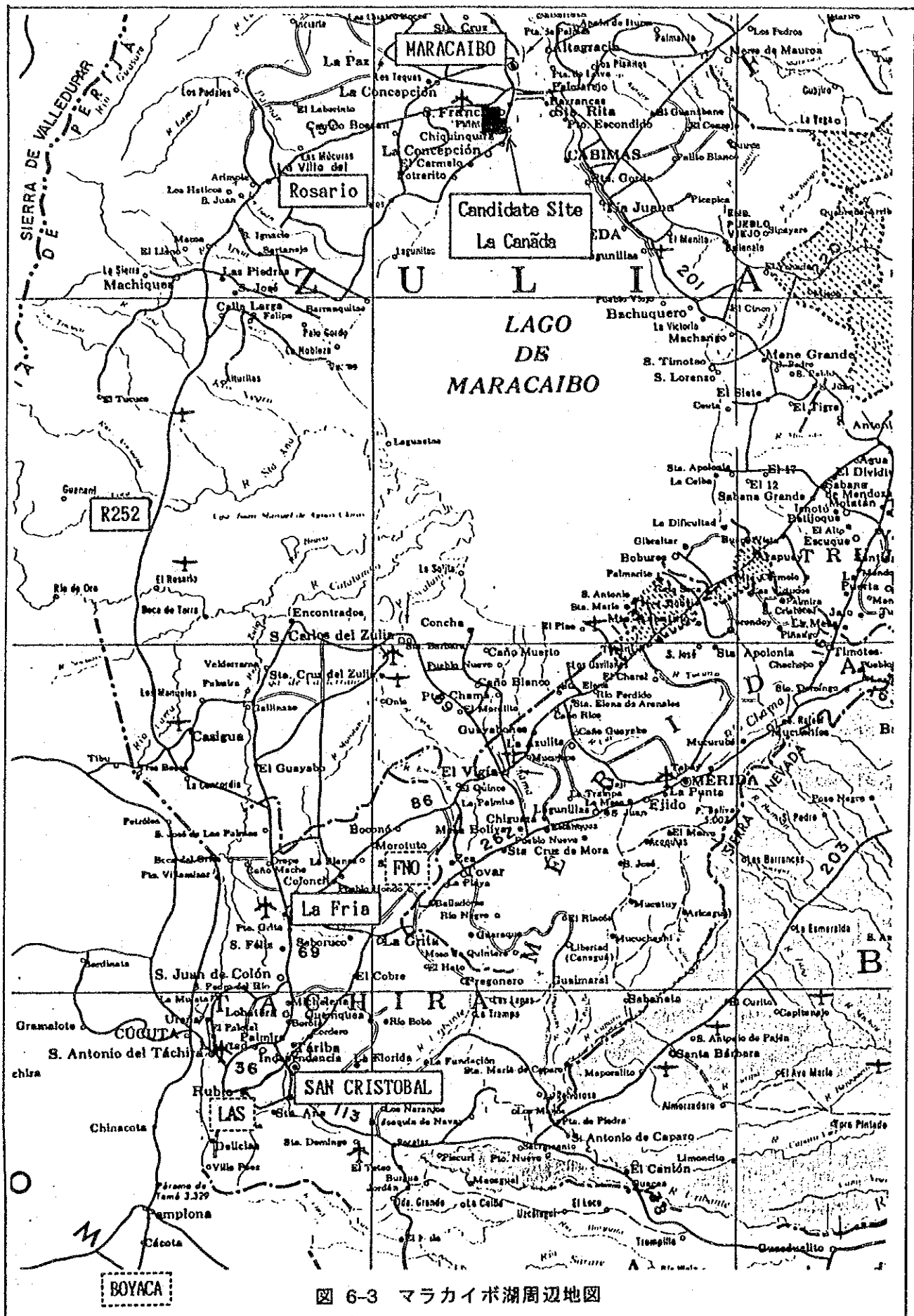


図 6-3 マラカイボ湖周辺地図

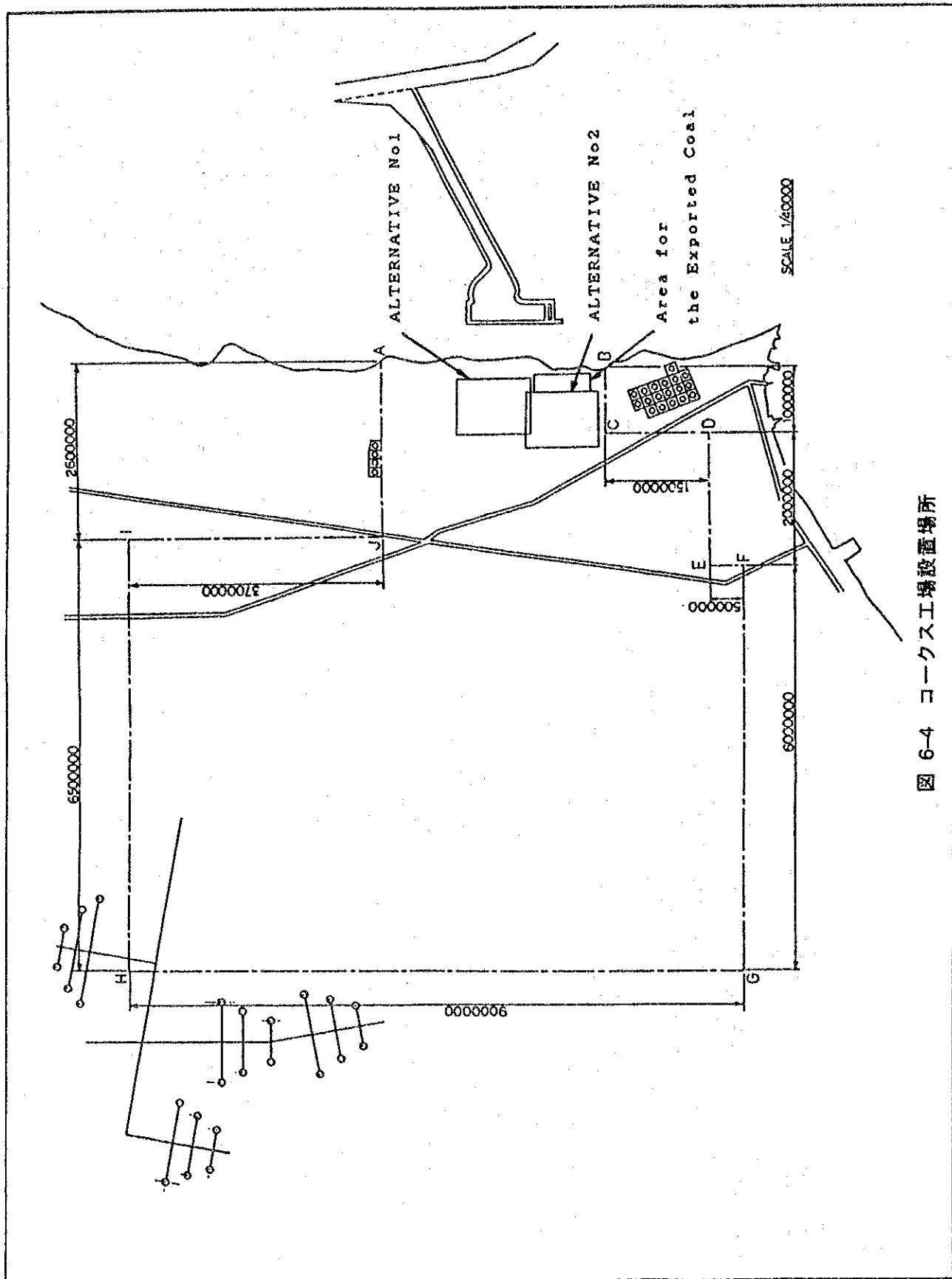
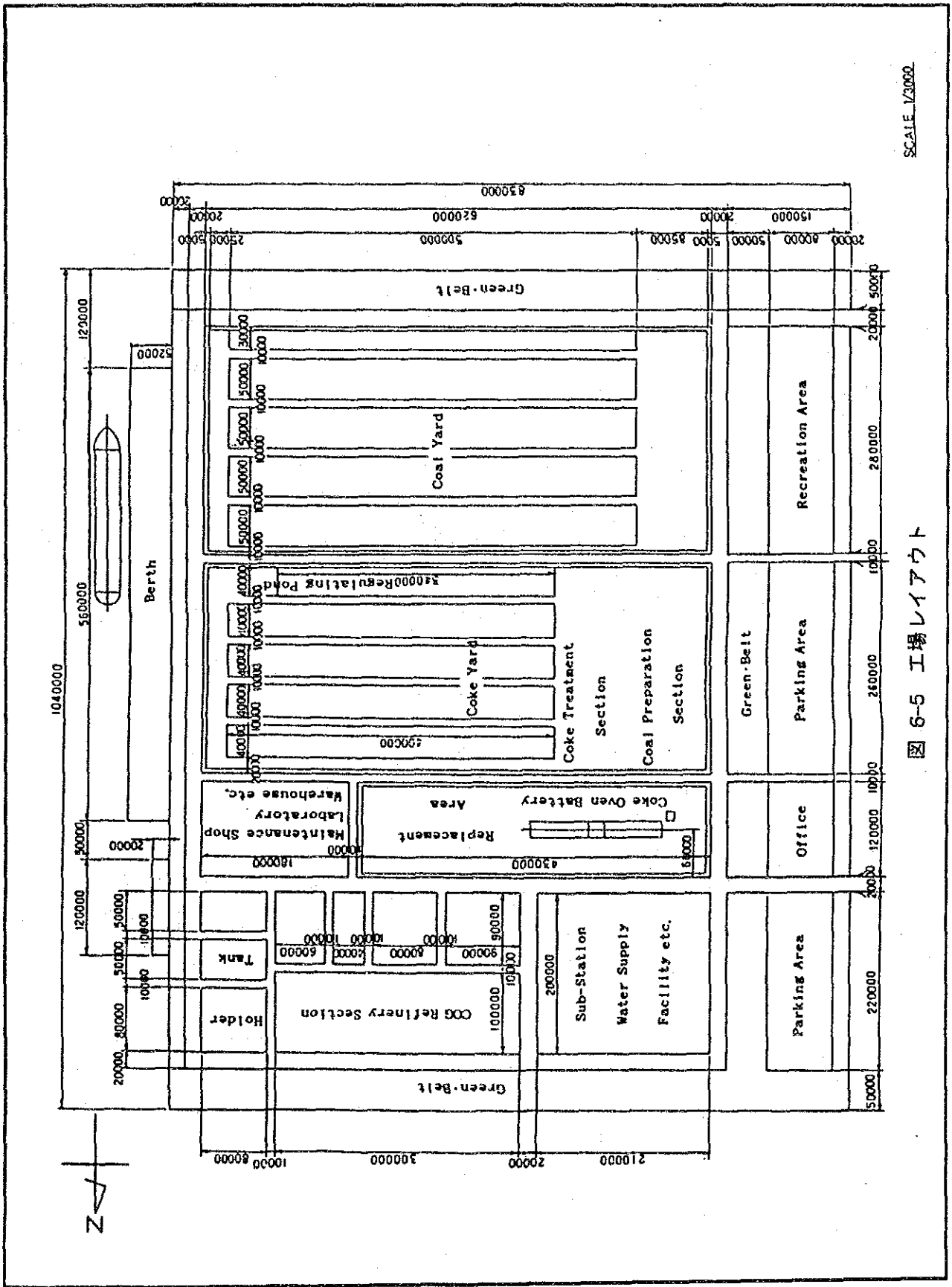


図 6-4 コークス工場設置場所



SCALE 1/3000

図 6-5 工場レイアウト

6.8 外部インフラ施設

6.8.1 道路

国内炭およびコロンビア炭のトラックによる受け入れ輸送ルートは、マラカイボ湖西側の国道 252 号線（約 460km）を利用する。採炭地からラ・フリアまでは、一般道（山岳道路含む）と部分的に完成している高速道路を利用し、20 トントラックで輸送する。ラ・フリアからラ・カニャーダまでは、50 トントラックで輸送する。図 6-6 にその輸送ルートを示す。ラ・フリア～ロザリオ間は片側 1 車線、ロザリオ～ラ・カニャーダ間は片側 2 車線の道路である。昼間の交通量はかなり混雑するが、道路は平坦で大型トラックの通行に支障はない。マラカイボ市の大学が研究したラ・フリア～マラカイボ間の交通量の予測を表 6-12 に示す。

表 6-12 ラ・フリア～マラカイボ間交通予測推移

西 暦	1991	1995	2000	2005	2010	2015	2020
交通量 [台/時/レーン]	360	450	550	620	710	790	850
混雑度[%]	38	47	58	65	75	83	89

（最大交通容量：950 台/時/レーン）

現在の国内炭およびコロンビア炭の出炭可能量 52 万トン/年を 50 トントラックで輸送する場合、通行台数は約 33 台/日増加する。将来、輸入炭をすべて国内炭に置換（147 万トン）したとしても、通行台数は約 94 台/日増加するが、2020 年までの通行は可能である。なお、ヴェネズエラでは大型トラックの日祭日の運行はしていない。

一方、ラ・カニャーダ工業指定団地（6,800 ヘクタール）内には、マライカイボ湖岸から 1.5km 西側にメイン道路（片側 1 車線舗装済み）が南北に走っており、ここからサイト候補地までのアクセス道路を敷設舗装する必要がある。（図 6-5 参照）

カリブ海

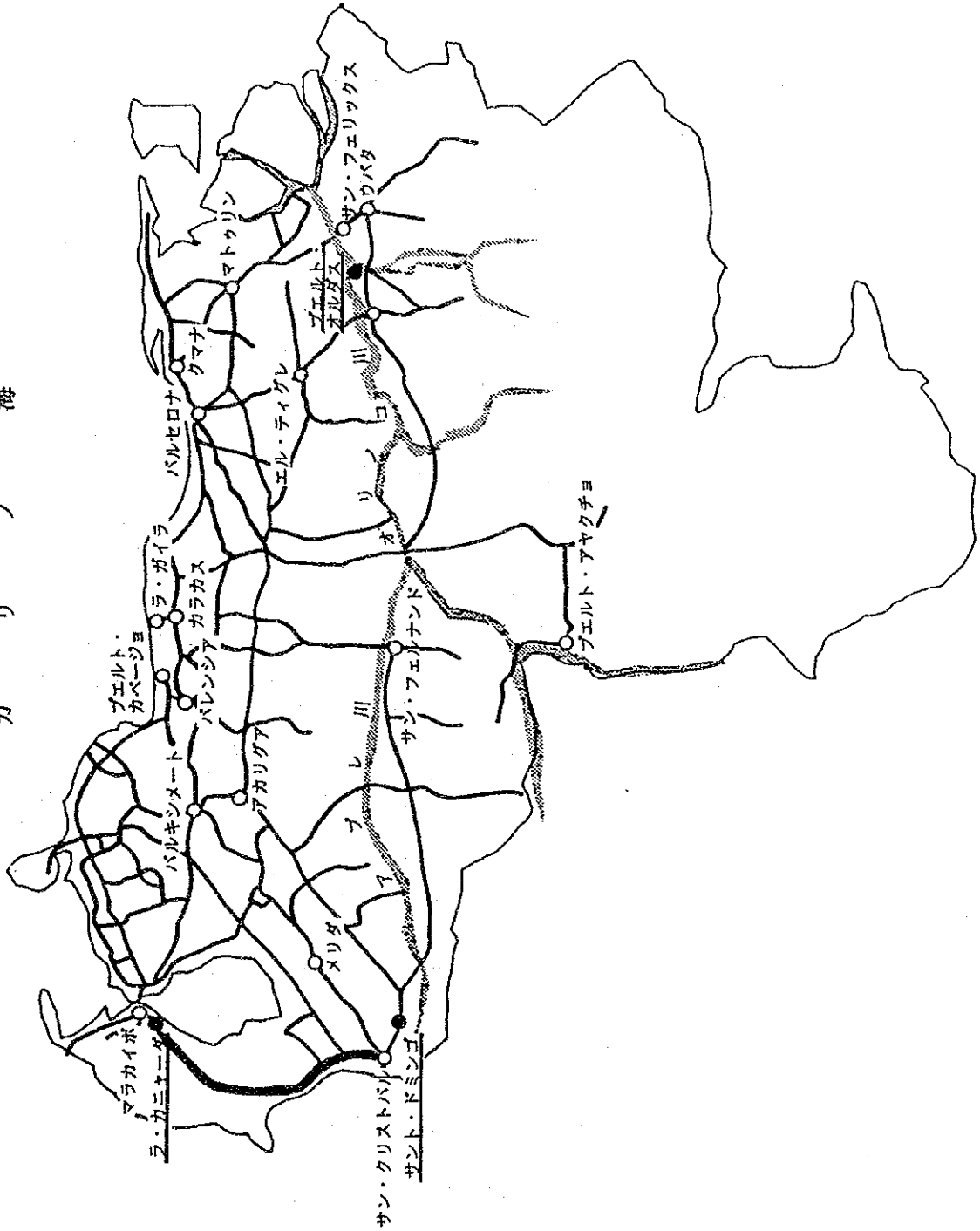


図6-6 ラ・フリア〜マラカイボ間道路

6.8.2 港灣設備

現在、ラ・カニャーダ工業団地のマラカイボ湖岸にプエルト・シデルルヒコ港（岸壁長：243m）がある。岸壁の水深は3mで、沖合は5～12mに浚渫してある。ここより、タチラ炭、コロンビア炭等を2,000トンクラスのバージに積み込み、沖合停泊のパナマックス船（約6万トン）に積み替えている。現在、この北側にパナマックス船が直接接岸できる港灣設備の新設計画が進行中であり、1993年に政府のコンセッションを取得でき、Transporte Coal Sea社により、来年から新港建設に着手する予定である。本計画は、湖岸から沖合300～500mの所に棧橋を設け、沖合4,500m地点の既設航路（水深：13m）までを水深13mに浚渫する予定である。輸入炭の荷揚および製品コークスの船積は、この新港を利用する。

6.8.3 電力

サイト候補地の北側2kmの地点にENELVENの火力発電所（発電能力：380MW）があり、近郊にサブ・ステーションもあるため、電力はここより受電可能である。サイトまでの送電・配電工事はENELVENが実施し、工事費はユーザー負担である。

6.8.4 水道

サイト候補地の西方約10kmの地点に井戸がある。以前はこの井戸の地下水を汲み上げ、マラカイボ市の一般飲料水、工場群の工業用水として利用していたが、現在は使用していない。揚水能力は1.8トン/秒（16万トン/日）あるため、コークス工場の使用水量からみても充分供給可能である。水道配管の敷設料金はユーザーが負担し、工事は水道公団（INOS）が実施する。

6.8.5 ガス

コークスプラントの工事期間中や立ち上げ（ヒーティング・アップ）時に必要な天然ガスは、ENELVENの火力発電所から配管を敷設し使用する。コークス工場稼働後、発生する余剰COGは、この配管を利用して火力発電所に送気する。

6.8.6 その他用役

蒸気、窒素、圧縮エアについては、サイト候補地近郊に供給設備がないため、コークス工場内に専用の製造設備を設ける。

6.9 設計条件

6.9.1 稼働日数

コークス工場の操業は昼夜連続操業（365日連続運転）が絶対条件である。その理由として、コークス炉を形成する煉瓦の主体が珪石煉瓦であるからである。珪石煉瓦の膨張は、常温から350℃までは非常に大きく、350～900℃では滑らかに変化する。900℃以上になると、ほとんど変化なく安定する。したがって、コークス炉の操業にあたっては、事前によく乾燥し、膨張収縮の小さい温度域で操業を保持しなければならない。よって、必然的にコークス処理およびガス精製工程も昼夜連続操業となる。

6.9.2 法規・規格

原則として、ヴェネズエラで認定されている法規や規格を採用するが、そのほかにも下記の国際規定を採用する

(1) 法規

Ley Orgánica del Ambiente

Ley Penal del Ambiente

Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio

Ley Orgánica de Ordenación Urbanista

Ley Orgánica de Decentralización, Delimitación y Transferencia de Competencias del Poder Público

(2) 規格

1) 一般

National Fire Protection Association (NFPA)

American occupational health safety (AOHS)

Occupational Safety and Health Administration

2) 加熱炉

American society of mechanical engineers (ASME)

American petroleum institute (API)

Japanese industrial standards (JIS)

American national standard institute (ANSI)

3) 圧力容器

American society of mechanical engineers (ASME)

American national standard institute (ANSI)

American society for testing and materials (ASTM)

Japanese industrial standards (JIS)

American petroleum institute (API)

Japan petroleum institute (JPI)

4) タンク

American petroleum institute (API)

Japan petroleum institute (JPI)

Japanese industrial standards (JIS)

5) 熱交換器

American society of mechanical engineers (ASME)

Tubular exchanger manufactures association (TEMA)

American national standard institute (ANSI)

American society for testing and materials (ASTM)

Japanese industrial standards (JIS)

American petroleum institute (API)

Japan petroleum institute (JPI)

6) ポンプとコンプレッサー

American petroleum institute (API)

Japanese industrial standards (JIS)

American national standard institute (ANSI)

Manufacture's standards

7) そのほかの機器

Japan petroleum institute (JPI)

Japanese industrial standards (JIS)

Manufacture's standards

Contractor's standards

8) 配管

American petroleum institute (API)

Japan petroleum institute (JPI)

Japanese industrial standards (JIS)

9) 電気

National electrical manufacture's association (NEMA)

International electro technical commission (IEC)

National electrical code (NEC)

Japan electrical manufacture's association (JEM)

Institute of electrical & electronic engineers (IEEE)

American petroleum institute (API)

Japanese industrial standards (JIS)

10) 計装

International electro technical commission (IEC)

Japan electro technical committee (JEC)

Institute of electrical & electronic engineers (IEEE)

American petroleum institute (API)

Japanese industrial standards (JIS)

11) 土木と建築

American institute of steel construction, manual of steel structure (AISC)

American society of heating, refrigerating and air conditioning engineer (ASHRAE)

American occupational health and safety (AOHS)

Japanese industrial standards (JIS)

6.9.3 気象条件

設備設計上利用した、気象上の前提条件は以下のとおりである。

(1) 温度、湿度

最高温度 34 °C (9月の日間最高値の平均値, 1961 ~ 1974年)

最高相対湿度 74% (10月の日間最高値の平均値, 1961 ~ 1974年)

(2) 降雨量

月内最大雨量 119 mm (10月, 1961 ~ 1974年)

日内最大雨量 43 mm (10月, 1961 ~ 1974年)

年間最大雨量 742 mm (1969 ~ 1973年)

(3) 風向、風速

風 向 北東

最高風速 30m /sec (1951 ~ 1970年の最高値)

6.10 環境対策

6.10.1 概要

ヴェネズエラ、または日本のどちらかの厳しい環境規制に適合するものとする。

(1) 大気、ばい塵

表 6-13 に該当する主要設備の、ヴェネズエラと日本の国レベルの排出基準を示した。

表 6-13 国別の排出基準

設備名	国別	SOx	NOx	ばい塵
コークス炉	ヴェネズエラ	175ppm	300ppm	0.15g/Nm ³
	日本	K 値に基づく濃度	170ppm(O ² 7%)	0.15g/Nm ³
ボイラー	ヴェネズエラ	—	300ppm	—
	日本	K 値に基づく濃度	130ppm(O ² 5%)	0.10g/Nm ³
加熱炉	ヴェネズエラ	—	300ppm	—
	日本	K 値に基づく濃度	150ppm(O ² 7%)	0.10g/Nm ³

これらのことから、規制値は、主として日本の値を採用することにした。ただし、日本の SOx は、煙突からの拡散をベースにした K 値による濃度規制である。K 値は低いほど規制が厳しい。なお、K 値とは以下の式にて表される。K 値は、地域によって 17.5 ~ 1.17 と広い値をとる。日本のコークス炉は一般的に SOx 濃度は排出口で 50ppm 程度なので、規制値としてこの値を採用する。煙空の高さを 120m で設計すれば、K 値は 1.0 以下となる。

$$q = K \times 10^{-3} \cdot He^2$$

q : 硫黄酸化物の量 [Nm³/時]

K : 地域毎の規制基準値

He : 排出口の高さ (補正值)

(2) 粉塵

日本においては、コークス炉を含むコークス関連設備の設置基準があり、本プロジェクトにおいて関係ある項目を表6-14に示した。必要な場所にはこれらの設備を設置し、万全の対策を実施する。

表 6-14 粉塵発生施設の構造、使用に関する基準

粉塵発生施設	規 模	構造、使用、管理基準	
コークス炉	原料処理能力が1日当たり50トン以上。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 装炭作業は、無煙装炭装置を設置するほか、装炭車にフードおよび集塵機を設置、またはこれと同等以上の効果を有する装置を設置して行うこと。 2. 窯出し作業は、ガイド車にフードを設置し、およびフードからの粉塵の集塵機を設置、またはこれと同等以上の効果を有する装置を設置して行うこと。ただしガイド車またはこれの走行する炉床が小さいか、または軌条の幅が小さい等の理由により、フードの設置が困難なときは防塵カバー等を設置して行うこと。 3. 消火作業は、消火塔にハードルフィルターまたはこれと同等以上の効果を有する装置を設置して行うこと。 	
鉱物または土石の堆積	面積が1000m ² 以上であること。	粉塵が飛散するおそれのある鉱物、土石を堆積する場合は、右の各号のほか薬液の散布または表層の締固めが行われていること。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 粉塵が飛散しにくい構造の建築物内に設置されていること。 2. 散水設備によって散水が行われていること 3. 防塵カバーで覆われていること。
ベルトコンベアおよびバケットコンベア	ベルトの幅が75cm以上であるかまたはバケットの内容積が0.03m ³ 以上であること	粉塵が飛散するおそれのある鉱物、土石またはセメントを運搬する場合は、右の各号のほかコンベア積込部にフードおよび集塵機が設置され並びにコンベアの積込部以外の粉塵が飛散するおそれのある部分は、散水および防塵の設備が講じられていること。	<ol style="list-style-type: none"> 4. 前各号と同等以上の効果を有する措置が講じられていること。
破碎機および摩砕機（鉱物、岩石セメント）	原動機の定格出力が75kW以上であること	右の各号のほかフードおよび集塵機が設置されていること。	
ふるい（鉱物、土石、セメント）	原動機の定格出力が15kW以上であること	同 上	同 上

(3) 排水対策

ヴェネズエラの国の一般地域とマラカイボ湖の排水規制値を比較すると、後者の方が厳しい。また、表6-15にマラカイボ湖と日本のコークス工場関連の排水規制値を示した。このように、マラカイボ湖の規制値は日本より厳しい為、マラカイボ湖の規制値を採用する。

表 6-15 マラカイボ湖および日本の排水規制値

単位：mg / ℓ

	COD	BOD	SS	Phenol	T-N	T-P	Solubles	CN	pH
マラカイボ	150	40	50	0.05	10	1.0	3000	0.1	6~9
日本	160	160	200	5	120	16	—	1	5.8~8.6

(4) 作業環境

日本においては、コークス炉に関して、コークス炉の作業従事者が、コントロール等のコークス炉発散物により汚染されることを防止するための処置が定められている。表6-16にその概要を示す。

表 6-16 コークス炉作業における汚染防止対策

装炭作業	(1)運転室の陽圧化、または密閉化 (2)遠隔操作（蓋取り、モルタルツール） (3)集塵装置の設置 (4)無煙装入 (5)上昇管の水封化
コークス押出作業	(1)運転室の陽圧化、または密閉化 (2)遠隔操作 (3)集塵装置の設置
消火作業	(1)運転室の陽圧化、または密閉化 (2)遠隔操作 (3)消火塔内除塵装置

6.10.2 公害対策

(1) 大気、ばい塵

工場内の燃焼設備は、工場内で発生したCOGを燃料とするので、COG中の微量成分を表6-4のレベルにし、さらに、適切なタイプの燃焼設備を選定することによって、表6-17に示す排出レベルのクリアーは可能である。

表 6-17 大気およびばい塵の排出レベル

	SOx	NOx	ばい塵
コークス炉	50 ppm (O ₂ 7%)	170 ppm (O ₂ 7%)	0.15 g/Nm ³
ボイラー	50 " (O ₂ 5%)	130 " (O ₂ 5%)	0.10 "
加熱炉	50 " (O ₂ 7%)	150 " (O ₂ 7%)	0.10 "

(2) 粉塵

石炭・コークスヤードには散水装置、石炭・コークス処理系統の要所には局所排気装置と集塵機を設けることによって対策とする。コークス炉押出時、装入時の発塵防止の為、ガイド車、装炭車集塵装置を設ける。

(3) 排水対策

ガス精製中に副生する水は、そのままでの放流は出来ない。特にマラカイボ湖の排水規制に対し、コークス工場として対応すべき項目を表6-18に示す。対策として、活性汚泥設備と高次処理（活性炭吸着）設備の併用によって、クリアー可能である。また、ヤード排水は処理装置にて、pHとSSを調整して放流する。

表 6-18 マラカイボ湖の排水規制値（コークス工場関連）

単位：mg / ℓ

	COD	BOD	SS	Phenol	T-N	T-P	Solubles	CN	pH
含有量	150	40	50	0.05	10	1.0	3000	0.1	6~9

(4) 作業環境

コークス炉の稼動機械の室内は、クーラーの他、陽圧化、または密閉化することによって作業環境に配慮する。また、各制御室、休憩所はクーラーを設置する。

第7章 建設計画

第7章 建設計画

7.1 プラント設置計画

7.1.1 概要

コークスの製造工程は、石炭受入・処理、コークス炉工程、コークス処理・出荷、ガス精製の各工程より成り立っている。

石炭受入工程は、船舶等で入荷した石炭をアンローダで揚陸し、スタッカーで貯炭場に石炭を積上げる工程である。貯炭場では、石炭を銘柄別に区分して積付けを行う。貯炭場能力は、需給状況、船舶の大きさなどを考慮して、60日分とする。石炭処理工程は、各種銘柄の石炭を良質コークスが得られるように、粉碎し適量ずつ配合する工程である。

コークス炉工程は、コークス炉を中心とした工程であり、この中には石炭の装入、コークスの押出および消火などを行う付属機械の設備が含まれている。コークス製造工程のうち最も重要な工程である。

コークス処理出荷工程は、消火されたコークスをコークカッターや篩分装置で整粒するとともに貯炭場に積上げ、必要に応じ船舶に積込む役割を果たす工程である。

ガス精製工程は、コークス炉から発生するガスやタールを冷却し、ガス中よりタールや安水を分離するとともに、ガス中に含まれるアンモニア、硫化水素、軽油などを除去し、精製されたガスを各部門へ圧送する工程である。

7.1.2 設備フロー

コークス製造設備の全体工程フローを図7-1に、石炭受入・処理およびコークス処理・出荷工程フローを図7-2に示す。また、ガス精製工程フローを図7-3に示す。

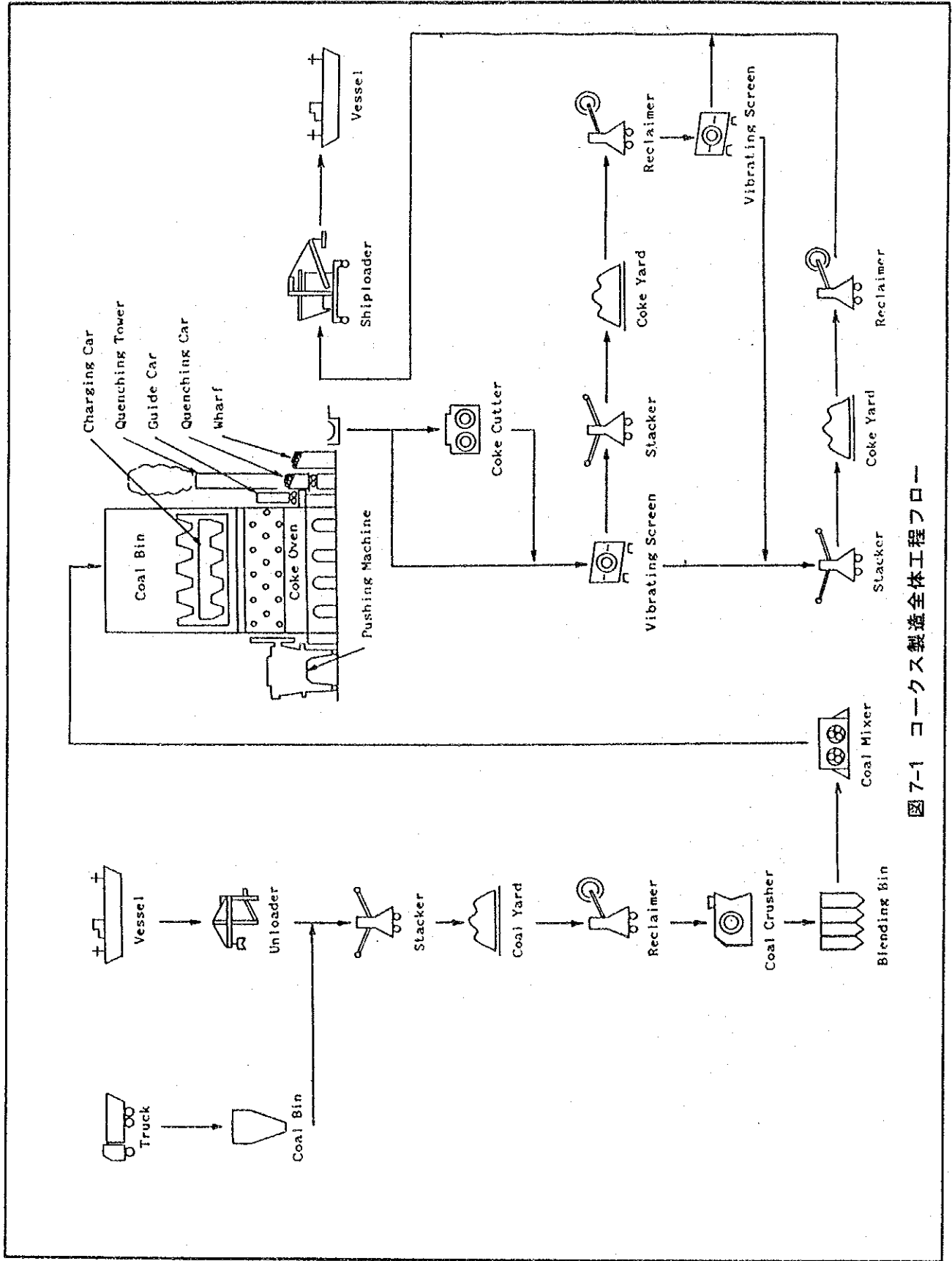


図 7-1 コークス製造全体工程フロー

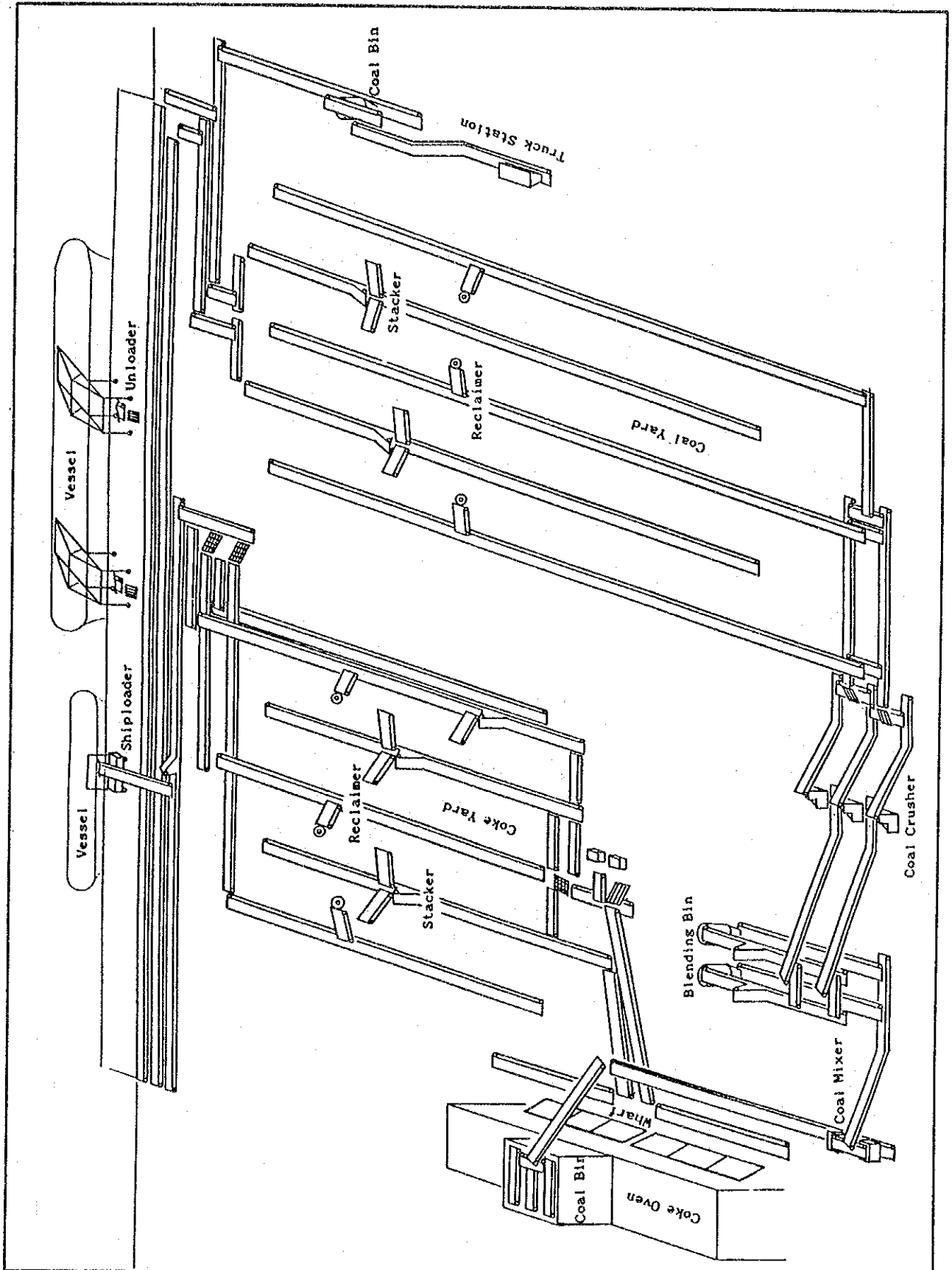


図 7-2 石炭受入・処理およびコークス処理・出荷工程フロー

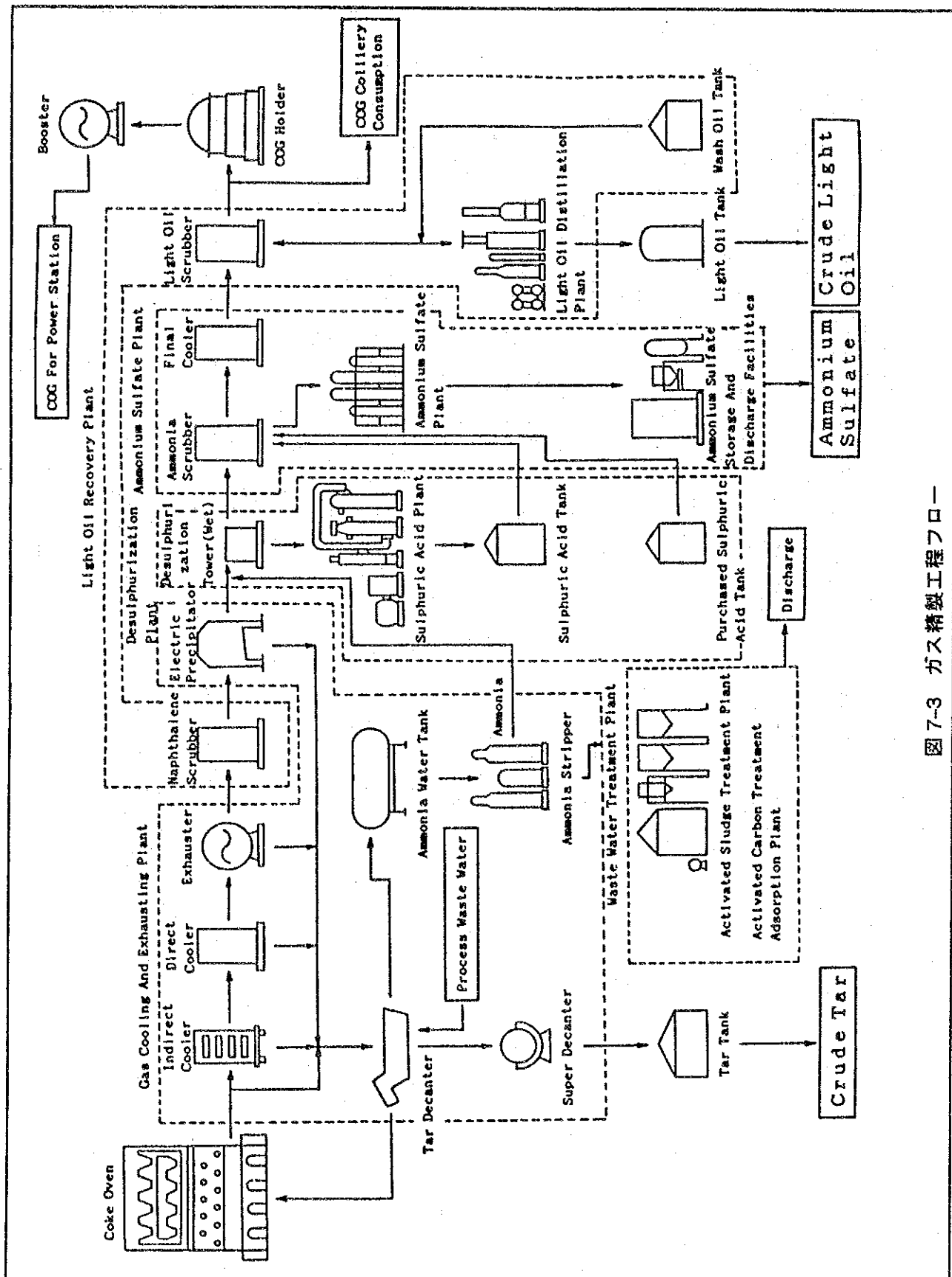


図 7-3 ガス精製工程フロー

7.2 石炭受入・処理設備

7.2.1 概要

製鉄業の大型化、高能率化にともなって、コークス製造設備はもとより、その付帯設備も飛躍的に改善され、洗練化されてきた。コークス炉の大型化を初めとする設備全体の量産化体制の充実とともに、原料炭、エネルギー、環境等の問題に対処するため、新技術設備の導入や、各種の公害環境対策設備が付帯設置されるようになった。さらに、最近では、省力化のために設備の自動化が図られてきている。

石炭受入・貯蔵設備は船舶で入荷する輸入炭を揚陸するアンローダー、トラックで入荷する国内炭の受入設備、および貯炭場に石炭を積付けるスタッカー等で構成される。最近、船舶の大型化にともなって、1,500～3,000トン/時の能力を有するものが使用されている。貯炭場では石炭を銘柄別に区分して積付けを行う。貯炭場能力は需給状況、船舶の大きさ等によって変わるが、通常日本では50～60日分を持っている工場が多い。

石炭処理設備は、各種銘柄の石炭を良質なコークスが得られるように粉碎する粉碎機、適量ずつ配合する配合槽および定量切出装置、混合する混炭機等で構成される。

石炭は種々の成分からなる不均一な混合物であり、このような石炭を粗粒のまま使用したのでは、均質で堅いコークスを作ることはできない。特に多種類の石炭を配合して作る装入炭では、コークス炉内の乾留過程でそれぞれの石炭粒子間の反応がうまく進行しない。全体として均質で堅いコークスを作るには、石炭の粉碎は絶対に必要である。そのため、装入炭で3mm以下の粒度が85%程度になるように粉碎してから使用する。

石炭の配合の意義は、石炭が天然産物であるためコークス化性の面から眺めれば、単味銘柄ごとでは粘結性と石炭化度とはバランスがとれていないものが多い。したがって、通常では何種類かの石炭を混合し、全体としてバランスがとれるようにすることにより、コークスの強度を維持できることになる。

配合槽から定量切出装置で配合された装入炭は、ベルトコンベア上で層状に重なっているため、混炭機で混合したのち装入炭槽に送る。

本設備の設計や操業計画上採用した前提条件は以下のとおりである。

- 1) 各石炭水分は、平均9%とする。
- 2) 石炭受入処理量は、平均4,020トン-wet/dとする。
- 3) 輸入炭は船舶で、国内炭およびコロンビア炭はトラック受入とする。
- 4) 各設備の運転時間は以下のようにする。

	石炭受入	ヤード～配合槽	配合槽～装入炭槽
運 転 時 間	15時／日	15 時／日	18 時／日
系統切替時間	3時／日	3 時／日	—
食 事 時 間	3時／日	3 時／日	3 時／日
点 検 時 間	3時／日	3 時／日	3 時／日

- 5) 装入炭粒度は3mm以下を85%とする。
- 6) 石炭受入ライン、石炭処理ラインには、品質・量管理のため、サンプラーおよび秤量器を設置する。

7.2.2 石炭受入設備

(1) 国内炭受入設備

国内炭およびコロンビア炭はトラックで搬入し、受入ホッパーを通じて受入槽に一時ストックし、その後コンベアで運び、スタッカーで貯炭場に各石炭ごとに貯炭する。

石炭銘柄		割合	使用量[t-wet/d]	50トントラック台数
国内炭	L A S	27	1,085	$1,085 \times (7/6) \div 50 = 25.3 \rightarrow 26$
	F N O	5	201	$201 \times (7/6) \div 50 = 4.7 \rightarrow 5$
	Boyaca	3	121	$121 \times (7/6) \div 50 = 2.8 \rightarrow 3$
輸入炭	LV米国炭	25	2,613	
	NV米国炭	40		
合 計		100%	4,020	34台

- ・ 1日あたり50トントラック受入台数 = $34 \times 1.2 = 41$ 台/日
- ・ 1台あたり平均所要時間 = $24 \times 60 \div 41 = 35$ 分
- ・ 1台あたりベルト搬送時間(余裕率 = 50% up) = 15分
- ・ 受入ベルトコンベア能力 = $50 \text{ トン} \times 60 \div 15 = 200 \text{ トン/時}$
- ・ 受入槽能力 = $300 \text{ トン} \times 5 \text{ 槽}$
- ・ 払出ベルトコンベア能力 = $1,500 \text{ トン/時}$

(2) 輸入炭受入設備

輸入炭は船舶で受入れ、アンローダーで荷揚げし、コンベアで運んだのち、スタッカーで貯炭場に各石炭ごとに貯炭する。

国際貿易港の一般的な滞船契約を加味して、アンローダー揚陸能力、スタッカー積付能力を決定した。

- ・アンローダー能力 = 1,500 トン/時 × 2 基
- ・コールスタッカー能力 = 1,500 トン/時 × 2 基

(3) 原料炭ヤード

入船変動（炭鉱ストライキ、天候等）、石炭の風化、品質管理面を加味して、最大貯炭日数を 60 日とした。

- ・ヤード貯炭能力 = 4,020 トン/日 × 60 日 = 240,000 トン

品質管理面（単味炭ごとの銘柄管理）や、ヤード作業効率面から原料炭ヤードは、6 万トン（2 万 5,000m²）× 4 面とした。

7.2.3 石炭処理設備

(1) 石炭払出設備

貯炭場に貯蔵された石炭は、石炭払出機（リクレーマ）により、各部分から均一に、かつ連続的に取り出され、コンベアにより粉碎機に送られる。石炭は粉碎機で砕かれ、配合槽に送られる。石炭の配合は配合槽下部に定量切出装置を設置し、各銘柄ごとに所定の使用割合に応じ、切出される。通常、配合槽は使用される石炭の種類により、やや余裕をもって設けられる。それは多量配合される場合には 1 銘柄で 2～3 槽を使用することがあるからである。配合された石炭は、混炭機で混合されたのち、コンベアで装入炭槽へ送られる。

原料炭ヤードの配置より、同時払出は 2 系統となる。1 系統のリクレーマ払出能力は、払出量および水分変動等を考慮して、負荷率を 80% とする。

- ・ 1 系統能力 = 4,020 トン/日 ÷ (15 時間 × 2 × 0.8) = 200 トン/時

よって、リクレーマおよびコンベアの払出能力（1系統）は、200トン/時とする。

(2) 粉砕機

石炭粉砕機としては、次のような特性を有するものが望ましい。

- 1) 大量安定粉砕処理が可能なもの
- 2) 極力均一分布となるような破砕性能であるもの
- 3) 微粉の発生が少ないもの
- 4) 設備が堅牢で整備しやすいもの
- 5) 騒音や付着炭の少ないもの

以上のような理由から、主として衝撃力によって破砕する反撥式やハンマー式粉砕機が使用されている。

これはヤードから払出された原料炭を系列ごとに所定粒度になるように粉砕するものであり、粉砕機の故障補修対策のため、予備機1台を設置する。

なお、粉砕機の型式は、粒度調整上有利なハンマークラッシャー型とする。図7-4にその概念図を示す。また、ハンマークラッシャーの場合、発塵を最小限に抑えることが可能で、集塵機の負荷を軽減出来るメリットもある。

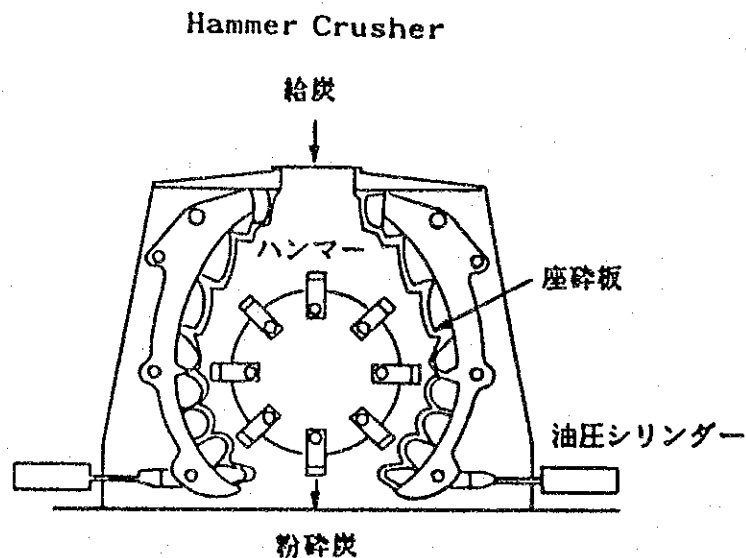


図 7-4 石炭粉砕機概念図

(3) 配合槽

配合槽は原料炭を銘柄別に貯蔵し、配合槽前工程の故障異常時のバッファービンとしての役割をもつ。また、槽数は使用銘柄および使用割合によって決定される。最大5銘柄使用で最大使用割合20%とし、平均在庫量70%とする。さらに受入システムの故障等によるストップ防止策として、ベルトコンベアの取替修理最大時間を12時間とする。

$$\cdot \text{配合槽貯槽能力} = 4,020 \text{ トン/日} \times (12 \text{ 時間} / 24) \div 0.7 = 3,000 \text{ トン/日}$$

配合計画より、1槽あたりの切出能力を最大20%とすると、約8槽必要となる。予備槽を2槽もつとすると、配合槽能力は300トン/槽×5槽×2列となる。

(4) 定量切出装置

定量切出装置は、計量機と切出フィーダーとを一体化したものである。計量機によって切出量を秤量し、この信号を輸送量、設定値と比較することによって、ベルトフィーダーに取り付けられた回転速度可変の変速 (Variable Speed) モーターを制御する。これによって、常に設定値に等しい切出量を確保することができる。

定量切出装置は、所定のコークス品質を確保するための配合装置で、使用される原料炭性状の変動、配合割合の変更に対し、適確にコントロールされるように計画する。1槽当たりの定量切出装置の能力は、

$$\cdot \text{最大} : 4,020 \times 0.20 \div 18 \text{ 時間} = 50 \text{ トン/時}$$

$$\cdot \text{最小} : 4,020 \times 0.03 \div 18 \text{ 時間} = 6 \text{ トン/時}$$

となる。集合ベルトコンベアの能力は300トン/時間とする。

(5) 混炭機

石炭を配合したあとの混合装置としては、ロータリー式ドラムミキサーやパックミルなど動力装置による混炭機のほか、動力源を使用しない混合シュートによる方法もある。今回は一般的に採用されている2軸のかき上げ翼のついたダブルロール式ミキサーを採用する。能力は300トン/時(1基)とする。

(6) 装入炭槽

配合槽以降の輸送ラインは1系統とする。ベルトコンベア故障によるストップ防止策として、ベルトコンベアの取替修理最大時間を12時間と考え、さらに装入炭槽の平均在庫率70%とする。

$$\cdot \text{装入炭槽貯槽能力} = 4,020 \text{ トン/日} \times (12 \text{ 時間} / 24) \div 0.7 = 3,000 \text{ トン / 日}$$

よって、装入炭槽能力は、1,000トン/槽×3列とする。

7.2.4 環境対策設備

(1) ヤード粉塵飛散防止設備

原料貯炭場およびコークスヤードでは、気象状況により発塵の恐れがある場合、スプリンクラーによって、石炭およびコークスに表面散水する。計器室からの操作により、遠隔自動散水ができるようにする。

(2) ヤード雨水対策設備

月の最大降雨量を119mm、日の最大降雨量を43mm、石炭からの流出係数を0.4、コークスからの流出係数を0.1とすると、ヤード面積より、貯水池の能力、処理能力は以下のように計算される。

$$\begin{aligned} \cdot \text{月間：石炭ヤード} & 100,000\text{m}^2 \times 0.119 \times 0.4 = 4,800\text{m}^3 / \text{月} \rightarrow 160\text{m}^3 / \text{日} \\ & \text{コークスヤード} & 64,000\text{m}^2 \times 0.119 \times 0.1 = 800\text{m}^3 / \text{月} \rightarrow 30\text{m}^3 / \text{日} \\ & \text{計} & 200\text{m}^3 / \text{日} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot \text{日間：石炭ヤード} & 100,000\text{m}^2 \times 0.043 \times 0.4 = 1,720\text{m}^3 / \text{日} \\ & \text{コークスヤード} & 64,000\text{m}^2 \times 0.043 \times 0.1 = 280\text{m}^3 / \text{日} \\ & \text{計} & 2,000\text{m}^3 / \text{日} \end{aligned}$$

したがって、貯水池の容量は2,000m³とし、処理能力は10m³/時とする。図7-5にヤード雨水対策設備の概要を示す。放流に際しては、pH調整、並びにスラッジ除去対策をする。

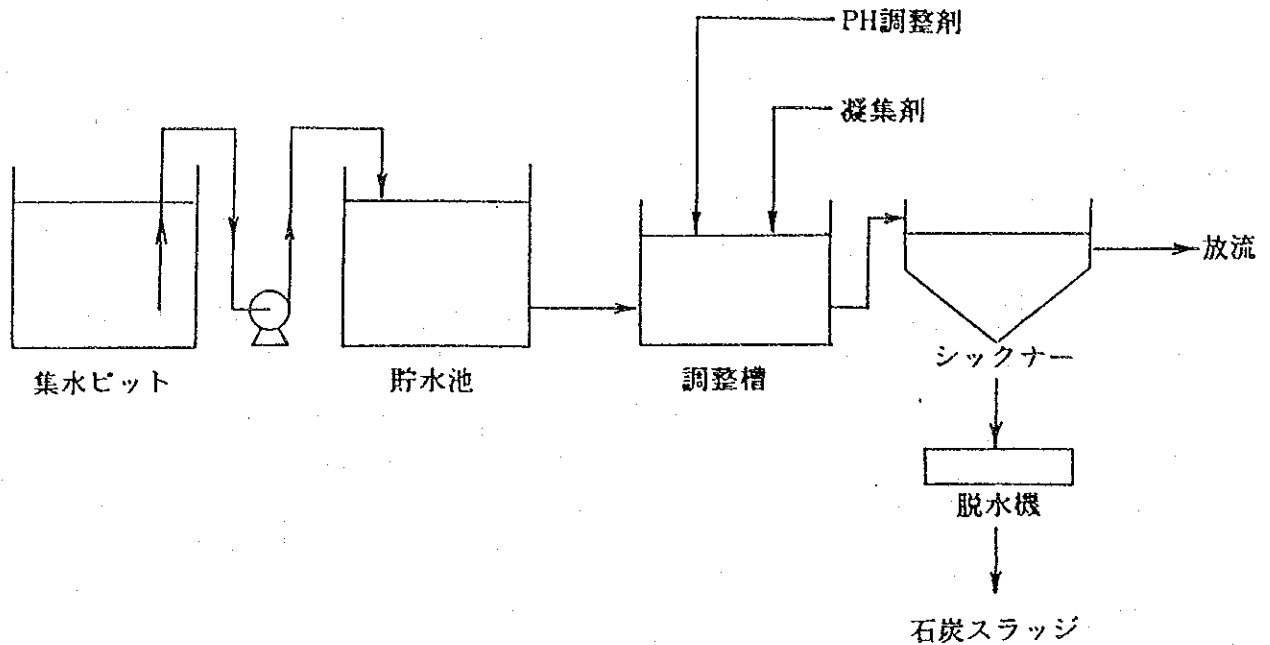


図 7-5 ヤード雨水対策設備

(3) 集塵装置

粉砕機室、配合槽、装入炭槽の建屋内の作業環境対策として、建屋内の発塵箇所より含塵空気を吸引し、バグフィルターにて除塵後、大気放散する。

(4) その他発塵防止対策

荷揚中および、石炭輸送中の発塵防止対策として、アンローダに散水装置、粉砕機後のベルトコンベアに風防カバーを取り付ける。

7.3 コークス炉設備

7.3.1 概要

コークス炉設備は図 7-6 に示すように、石炭の乾留に供されるコークス炉体を主体に、炭化室に石炭を装入するための装炭車、炭化室で乾留が終了したコークスを排出する押出機、炭化室から赤熱コークスを消火車に導くコークガイド車、赤熱コークスを消火するために使用される消火車および電車がある。これらを総称して移動機械と呼んでいる。

また、付属設備としてコークス炉に装入された石炭を乾留するために、ガス供給する加熱装置およびガス切替装置がある。ガス切替装置は、燃料ガスおよび空気の流路を一定時間ごとに切り替え、これによって蓄熱室での排熱回収、予熱効果をあげる。一方、石炭を乾留する時に発生する COG やタール等を吸引しドライメーンに導くために、上昇管が炭化室の頂部に設けられている。ドライメーンは各炭化室から発生する COG やタール等を一つに集めし回収するための管である。また、ドライメーンには停電時等の非常対策として、燃焼放散管（フレアパイプ）を設置している。

コークス炉型式としては、温度調節がやり易く、効率も良好で、併せて NOx 発生も少ない副産物回収型室炉式コークス炉を設置する。

設計や操業計画上の前提条件は以下のとおりである。

- 1) 装入炭水分は、9%（平均）とする。
- 2) 装入炭嵩密度は、0.70 トン-dry/m³ とする。
- 3) コークス歩留は、75% とする。
- 4) コークス炉稼働率は、最大 125% とする。
- 5) コークス炉運転時間は、18 時間/日とする。
 - ・休憩、食事時間：1（時間/シフト）×3（シフト/日）
 - ・点検、始業終業ミーティングその他：1（時間/シフト）×3（シフト/日）

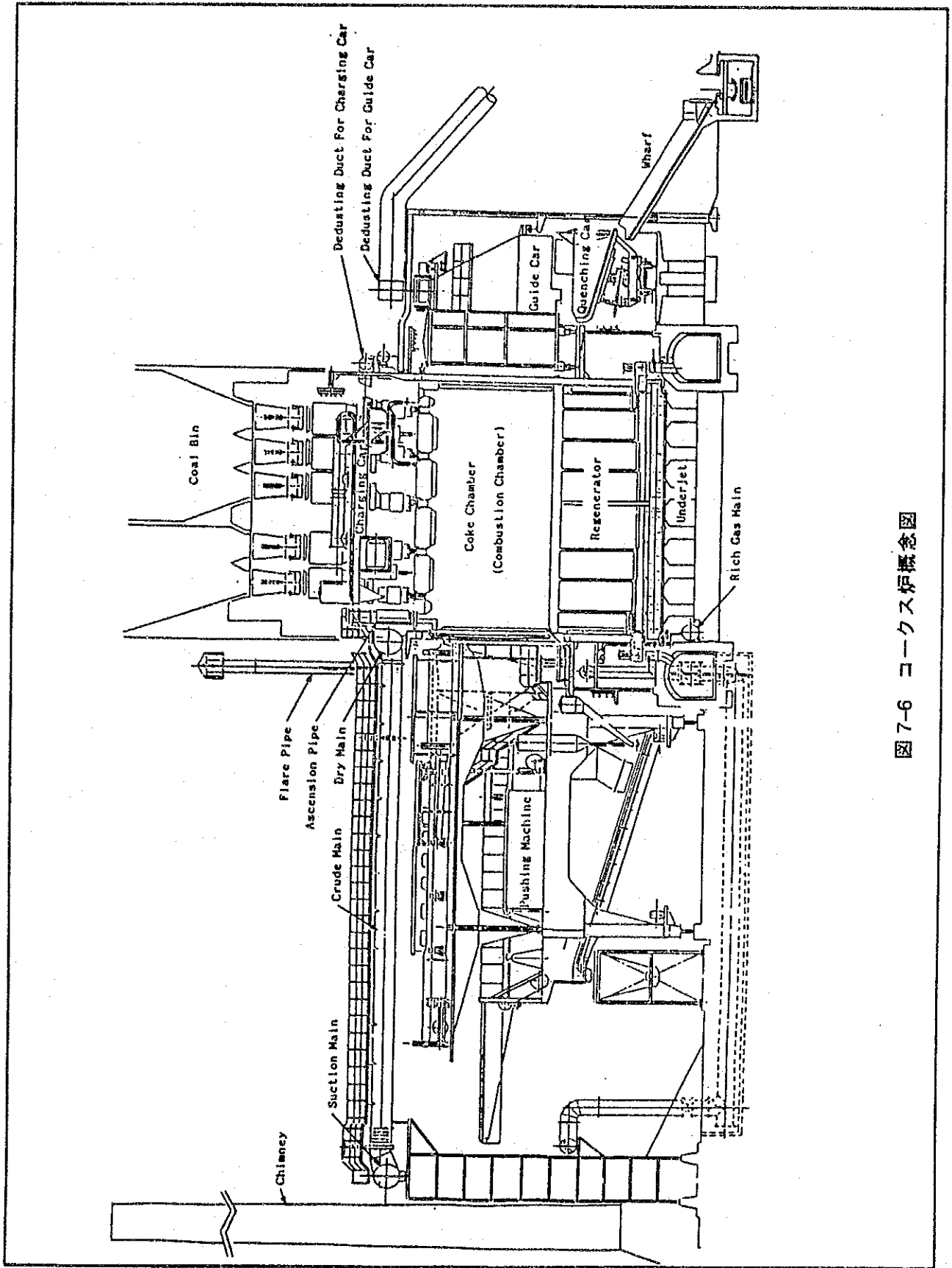


図 7-6 コークス炉概念図

7.3.2 石炭の乾留機構

(1) 石炭の乾留機構

図7-7に石炭の乾留機構を示す。装入炭をコークス炉に装入すると、100°Cまでに湿分と少量の吸着ガスが発生する。さらに300°Cまでは同様の現象が続くが、石炭の本質にはほとんど変化が認められない。300°Cを越えると石炭は軟化溶解を始め、ガスやタール、安水が急激に発生するとともに、膨張現象を示すようになる。さらに温度が上昇すると、石炭の粒子が相互に溶けて反応し、多孔質のコークスを形成していく。このような軟化溶解現象はほぼ500°Cまでに完了し、多孔質で塊状の半成コークスが得られる。さらに温度が上昇すると、高温タールや水素の多いガスを発生しながら、コークスは収縮を始め亀裂を生じる。ほぼ700°Cで水素の発生はピークとなり、それ以降はガス発生量が少なくなり、900°C以上で高温乾留コークスが得られる。

(2) 実炉での乾留状況

室炉式コークス炉に装入された石炭は、図7-8に示すようにその両隣にある燃焼室からの熱を受け、炉芯に向かって次第に乾留が進行する。このような条件下では装入後一定時間を経過すると、図7-9に示すとおり炉壁面に近い部分の石炭は急速に乾留されコークスとなるが、その内側は軟化溶解層、さらにその内側は未反応の装入炭という具合に、位置によって乾留速度の差がある。したがって、一般的に壁に近い部分はち密な組織となり、中心部ほど粗く、強度も弱くなる。このような状態のコークスが、炭化室から排出される時や消火時、さらに整粒・篩分・ヤード積付時に、機械的、熱的衝撃履歴を受け、通常、平均粒度50mm程度の製品コークスとなる。

タール	—		低温タール	高温タール (芳香族系) (少量) (低温タールの2次熱分解生成物)
ガス液	蒸発 水分	結晶水 化合水 (少量)	化合水 (多量)	—
ガス	吸蔵ガス放出 ←—————→ (CH ₄ その同族体)		低温分解 ガス	高温分解ガス ←—————→ (H ₂ , COが主体) (H ₂ が主体)
石炭 コークス	(石炭本質は ほとんど 変化なし)		軟化溶融 膨張 1次熱分解	固化収縮 Semi Coke化 2次熱分解 Coke化
	0	200	400	600
	乾留温度 [°C]			

図 7-7 石炭の乾留機構

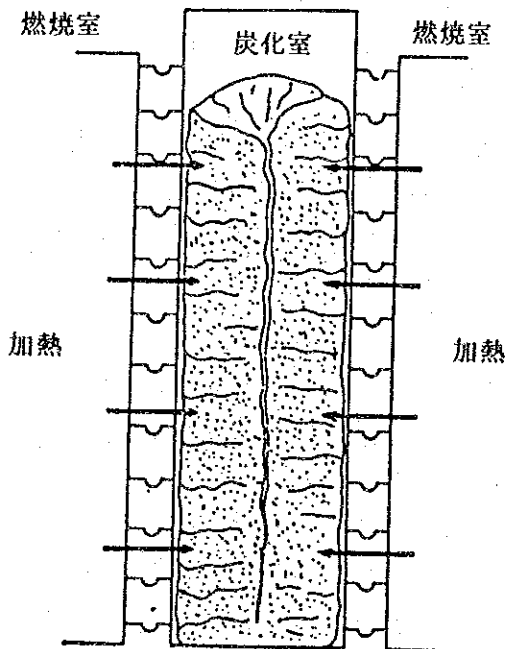


図 7-8 乾留後の炭化室内の
コークスの状態

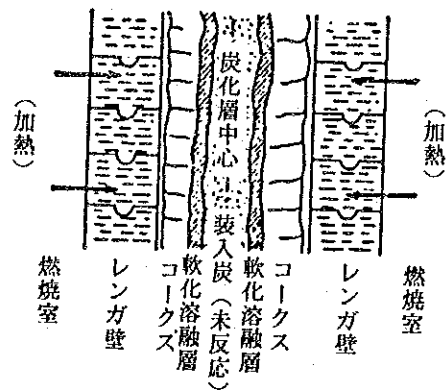


図 7-9 乾留過程における炭化室内の
状態

7.3.3 コークス炉の構造

(1) コークス炉体構造

現在、製鉄用コークスを製造するための炉は、ほとんど全て副産物回収型室炉式コークス炉である。コークス炉は主に珪石煉瓦と粘土質煉瓦で構築されており、ほかに少量の断熱煉瓦、赤煉瓦が使用されている。

コークス炉には、高カロリーのコークス炉ガス(COG)のみを燃料として使用する単式炉と、低カロリーの高炉ガス(BFG)との両方を燃料として使用できる複式炉がある。本プロジェクトは、コークス専門工場であるため、COG単式炉を採用する。

ここでは副産物回収型室炉式コークス炉の代表例として、コッパース式コークス炉を中心として炉体の構造を紹介する。

図7-10はコッパース式コークス炉の炉体断面図である。コークス炉の上半分には石炭を乾留するための炭化室と、熱源を与えるための燃焼室が交互に配列されており、炉の下半分には蓄熱室が並べられている。

炭化室は炉高が6.5m、炉長が16.5m、炉幅が450mmの細長い部屋で、押出負荷を少なくするため、コークスが押出される方向に向かって70mmのテーパ(傾斜)が付けてある。炭化室の上部には石炭を装入するための孔が5個取り付けてあり、また押出機側の炉頂部には、発生するガスやタール等を取り出すための上昇管が設けられている。また炭化室の押出機側(PS)とコークガイド側(CS)には炉蓋が取り付けられており、コークスの押出時に取外しや取付けができるようになっている。

燃焼室は燃料ガスを燃焼させて、炭化室に熱を伝える部分である。COGを使用する場合は、地下室(アンダージェット)よりパイプによって直接燃焼室に送り、空気は切替変更弁から吸引し、蓄熱室によって予熱したのち、バーナーから燃焼室内へ供給される。

蓄熱室の内部には煉瓦が積んであり、この煉瓦の間を気体が通過することによって、熱交換を行うようになっている。すなわち、蓄熱室はコークス炉で燃焼する空気を予熱することによって、火焰温度を上げ燃焼効率を高める役目と、排熱を回収する役目とを持っている。

コークス炉は珪石煉瓦や粘土質煉瓦を主体としてできているので、熱によって膨張収縮し、煉瓦に目地切れや緩みができる。そこで、コークス炉は炭化室の炉長方向ではバックステイ(Buckstay)やタイボルト(Tie-Bolt)でスプリングを介して押さえつけており、また炉団方向では50門をまとめて擁壁やタイベルト(Tie-Belt)によって押さええている。

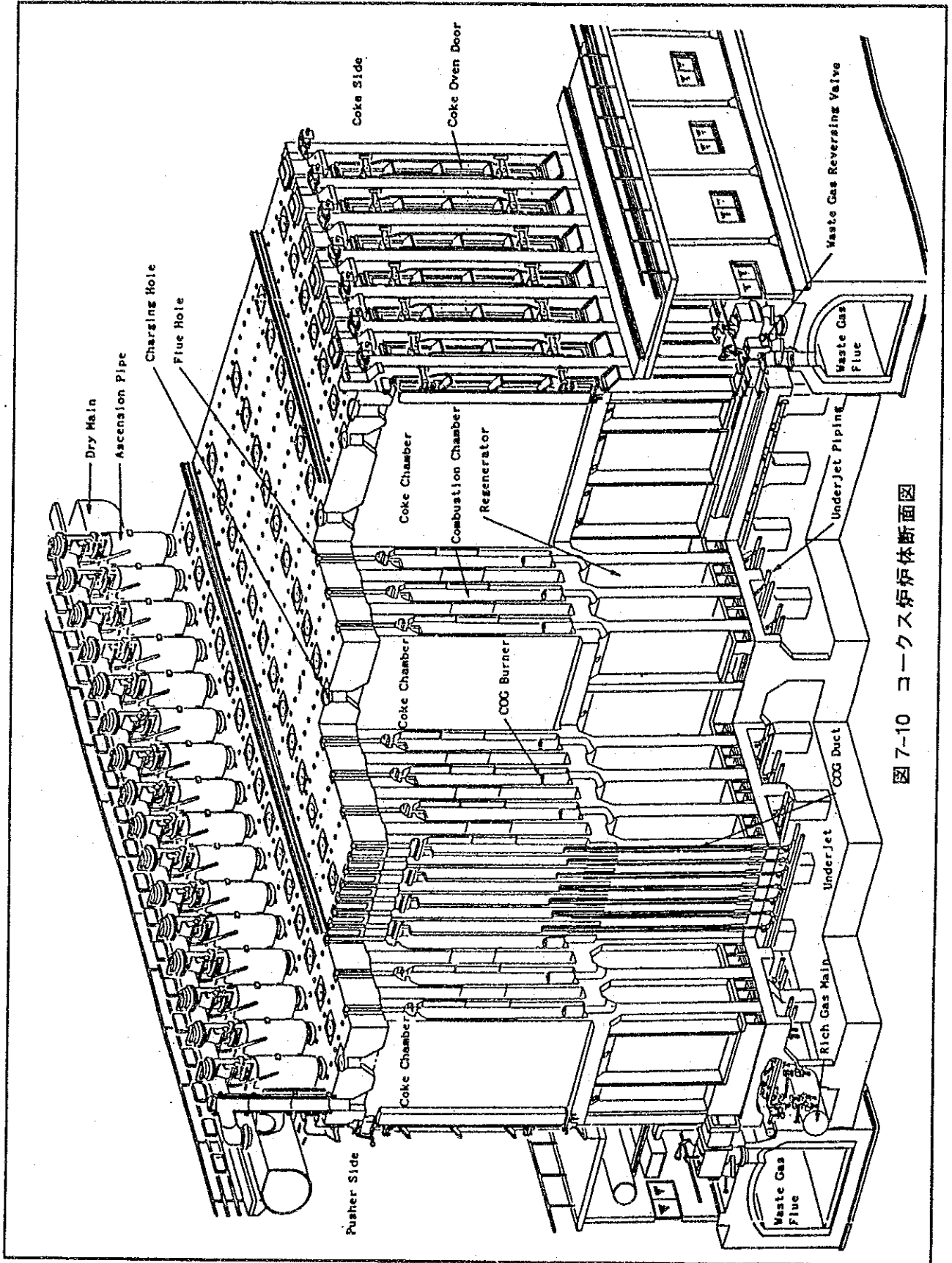


図 7-10 コークス炉炉体断面図

(2) コークス炉設備規模決定根拠

コークス炉の設置窯数は下記のとおり定義づけられる。

$$n = A \div \{V \cdot D \cdot P \cdot (24/H)\}$$

ここで上記諸要因の各値を表 7-1 に示す。

表 7-1 設備能力決定諸要因

符号	項 目	数 値
V	有効内容積(冷間)	42.5[m ³ /窯]
D	装入炭嵩密度	0.70[ト/ m ³]
P	全コークス歩留	75[%]
H	炭化時間	19.2[時間]
A	コークス生産量	2,740[ト/日]
n	設置窯数	

この値をベースにコークス炉の設置窯数は、次のように求まる。

$$n = 2,740 \div \{42.5 \times 0.70 \times 0.75 \times (24 / 19.2)\} = 100 \text{ 門}$$

なお、ここでコークス炉の能力を決定する主要な要素である炭化時間の考え方は次のとおりである。コークス炉稼働率と炭化時間およびフリー平均温度の関係を図 7-11 に示す。本プロジェクトの標準操業ベースは稼働率 = 125% とした。

稼働率とは、次式により定義づけられる。

$$\text{稼働率}[\%] = \frac{\text{押出本数/日 (125)}}{\text{設置窯数 (100)}} \times 100 = \frac{24 \text{ 時間}}{\text{炭化時間 (19.2 時間)}} \times 100 = 125\%$$

ここで示す、炭化、火落、置時間の関係を次式に示す。

$$GCT = NCT + ST$$

GCT: 炭化時間 (石炭装入からコークスが押出されるまでの時間)

NCT: 火落時間 (石炭装入から炭化室中心部までほぼ乾留が終了した時間)

ST: 置時間 (火落から押出されるまでのコークスの熟成養生時間)

置時間を 2 時間以上に保つことは、品質、特にコークス強度向上に寄与する。

コークス炉フリュー平均温度は、炉体レンガ保護上の見地から、全フリューとも最高 1,470 °C、最低 1,000 °C を超過、または下回らないものである必要があり、これが操業可能な最高～最低温度範囲である。

しかしながら、コークス炉にはフリュー列内温度、温度勾配、切替および炭化経過時間による温度変動幅、平均温度の日間変動およびフリュー列間温度の変動があり、これらを加味して平均炉温の上限下限が決まる。設計生産能力に対応するフリュー温度は、コークス炉操業が長期的に最も安定したレベルを考え、1,130 °C で設備計画を行った。

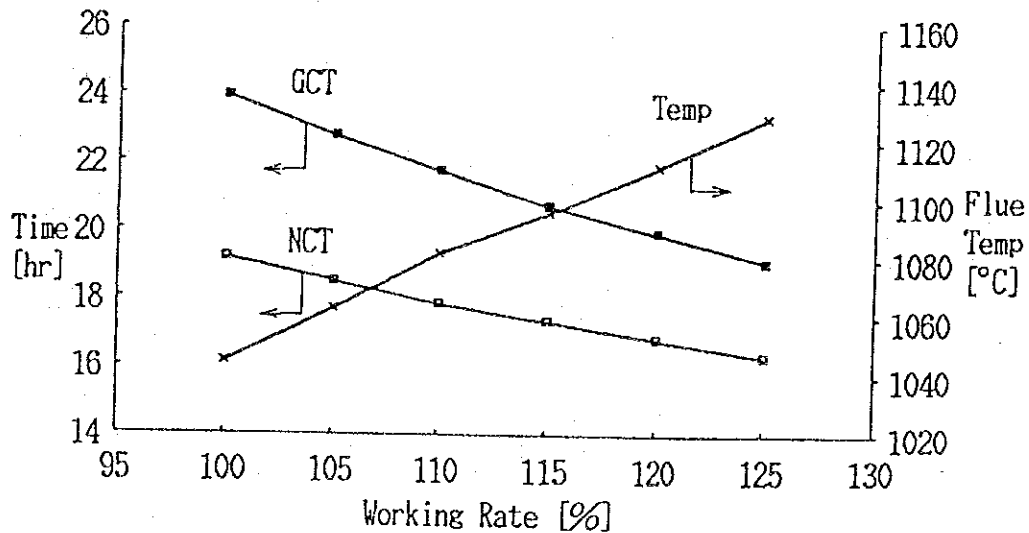


図 7-11 稼働率と炭化時間、フリュー平均温度

(3) 築炉用煉瓦およびモルタル仕様

1) 煉瓦仕様

コークス炉の寿命は、石炭の性状、コークス炉の操業、築炉および使用煉瓦によって影響される。コークス炉操業にあたっては、コークス炉を構成する煉瓦の性状を熟知する必要があり、コークス築炉用煉瓦として要求される性質は

- ・耐摩耗性に優れていること
- ・熱伝導率が良いこと
- ・高温において荷重強度が高いこと
- ・Thermal Spalling が少ないこと
- ・熱膨脹性が少ないこと
- ・化学的侵蝕性が少ないこと
- ・寸法が正確であること

などである。従来からコークス炉で主として珪石煉瓦が使用されてきたのは、珪石煉瓦が特に耐摩耗性、熱伝導率、荷重軟化にすぐれた性質を具備しているからである。表 7-2 に炉体使用箇所別の煉瓦種類、表 7-3 に主要煉瓦の品質を示す。

表 7-2 炉体使用箇所別煉瓦種類

使用場所	珪石質煉瓦	粘土質煉瓦	断熱煉瓦	赤煉瓦
加 熱 壁 両 壁 端	○			
加 熱 室 天 井 部	○	○	○	
炭 化 室 底 部	○			
炭 化 室 底 部 両 端		○		
蓄 熱 室 壁 部	○	○		
蓄 熱 煉 瓦 部		○		○
炉 頂 部	○	○	○	○
攤 壁 前 部		○	○	
蓄 熱 室 前 部			○	
炉 床 部		○		○
上 昇 管 内 張 蓋 道		○		
炉 煙		○	○	○

表 7-3 主要煉瓦の品質

品 種	使用箇所	耐火度 S _K	見掛比重	見掛気孔率 [%]	熱間伸張率 [%]	荷重軟化点 2kg/cm ² 11°C	圧縮強さ [kg/cm ²]	化学成分[%]			規格	備考
								SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃		
珪石煉瓦	炭化室壁	32以上 (1,710°C以上)	2.35 以下	22以下 23.5(手打)	1,000°C 1.25以下	1,580 以上	350 以上	93以上	2.0以下	1.5以下	JIS-R2401 (1976年) SC-1	通常 dense
	燃焼室隔壁	32以上 (1,710°C以上)	2.35 以下	24以下	1,000°C 1.25以下	1,580 以上	300 以上	93以上	2.0以下	1.5以下	JIS-R2401 (1976年) SC-2	通常 Semidense
	蓄熱室、その他	32以上 (1,710°C以上)	2.35 以下	26以下	1,000°C 1.25以下	1,550 以上	200 以上	93以上	3.0以下		JIS-R2401 (1976年) SC-3	通常 普通品
粘土煉瓦	使用箇所	耐火度 S _K	薄比重	見掛気孔率 [%]	見掛気孔率 [%]	圧縮強さ [kg/cm ²]	残存膨張率 [%]	荷重軟化点 2kg/cm ² 11°C	規格	備考		
	Coke炉一般	31以上 (1,690°C以上)	[1.90以上]	[15kg以下 [15~30kg [30kg以上	: 24 以下 : 26 以下 : 28 以下]	200 以上	1,400°C [0~-0.6]	[1,350 以上]	JIS-R2304 (1976年) N3 相当品	[]内数値は JISに規定なし		
	蓄熱室 Regenerator	31以上 (1,690°C以上)	[1.90以上]	28 以下		150 以上	1,400°C [0~-0.6]	[1,350 以上]	JIS-R2304 (1976年) N6 相当品	[]内数値は JISに規定なし		
	Coke炉窯口 炉上最上面	33 以上 (1,730°C以上) 28 以下 (1,630°C以下)	[2.15以上]	23 以下 30 以下		200 以上 120 以上	[-0.5以下]	[1,450 以上]	JIS-R2304 (1976年) N2~1 相当品 JIS-R2304 (1976年) N9 相当品			
断熱煉瓦	使用箇所	再加熱収縮率2%を 越えない温度 [°C]	薄比重	再熱膨張率 [%]	熱伝導率 [kcal/m ² h°C] (平均温度 350±10°C)	圧縮強さ [kg/cm ²]	規格	備考				
	炭化室天井部中埋、端窯蓄熱室外壁、 その他	900	0.70 以下	0.70 以下	0.17 以下	25以上	JIS-R2611 (1976年) B1 相当品					
炭化室天井部中埋、端窯蓄熱室外壁、 その他	1,200	0.80 以下	0.80 以下	0.22 以下		25以上	JIS-R2611 (1976年) B4 相当品					

2) 築炉用モルタル仕様

コークス炉は一度築造されると、長期間使用されるので築炉用モルタルについても特に吟味する必要がある。

コークス築炉用モルタルとして具備すべき条件は

(a) 高温部用（炭化室）

- ・熱膨脹収縮性が煉瓦に近似すること。
- ・熱間接着強さが適当なること。
- ・高温で軟化しないこと。
- ・耐摩耗性を有すること。
- ・乾燥亀裂の発生しないこと。
- ・作業性の良好なること。

(b) 低温部用

- ・低温における熱間接着強さの比較的強いこと。
- ・熱膨脹収縮性が煉瓦に近似すること。
- ・乾燥亀裂の発生しないこと。
- ・作業性の良好なること。

などである。表7-4に築炉用モルタルの品質を示す。

表 7-4 コークス炉築炉用モルタル品質表

種 別	珪石質	珪石質	シャモット	シャモット	シャモット	シャモット	断熱質	
状 態	ドライ	ドライ	ドライ	ドライ	ドライ	ドライ	ドライ	
耐火度(SK)	32	27	30	31	26	26	最高 1200°C	
添加水量 (%)	30	32	33	32	29	34	38	
粒 度	最大粒径(mm)	1	0.6	0.6	0.3	1	0.3	0.3
	0.074mm> (%)	46	65	62	63	46	60	63
化 学 成 分	(%)							
	Al ₂ O ₃	2.1	3.7	36.2	38.8	19.8	34.2	31.6
	SiO ₂	93.3	90.5	56.7	54.5	75.9	58.5	62.4
	Fe ₂ O ₃	0.8	1.3	1.7	1.8	1.4	2.1	1.9
接 着 曲 げ 強 度	(Kg/cm ²)							
	105°C	10.8	16.2	18.5	20.7	10.2	22.6	14.6
	400°C	7.7	8.5	—	—	—	—	11.5
	800°C	9.6	14.7	28.1	27.5	12.5	29.4	12.0
	1,000°C	14.2	26.0	42.0	34.6	15.7	44.0	18.7
	1,200°C	30.0	28.5	64.3	66.8	30.4	70.8	20.3
	1,400°C	47.4	—	—	95.6	—	—	—
シタリング温度(°C)	950	700	—	—	850	—	—	
荷重軟化点(T1) (°C)	1,500	1,450	—	—	—	—	—	

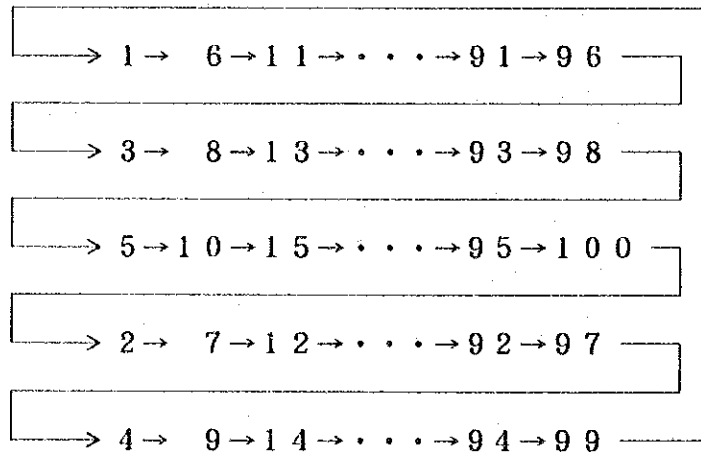
(4) コークス炉移動機械

コークス炉操業を行うために供される移動機械で、これらは装炭車、押出機、コークガイド車および消火車と電車から構成されている。これら移動機械は、自動化ならびに環境対策について十分な配慮を行うと共に安全運転対策も考慮した。

1) 移動機械の基本設計条件

- (a) コークス炉 100 窯を 1 炉団 (No.1A 団 : 50 窯、No.1B : 50 窯) として、1 チームで作業する。
- (b) 1 チームの移動機械の構成は次のとおりとする。
 - ・ 押出機 1 台
 - ・ 装炭車 1 台
 - ・ コークガイド車 1 台
 - ・ 消火車および電車 1 台
- (c) 移動機械のサイクルタイムは、8.5 分/窯以内とする。
- (d) 作業時間は、18 時間/日とする。
- (e) コークス炉の窯出順序は、5 窯ピッチとする。

(例) 設置門数 100 門の場合



- (f) 各移動機械とも、各作業単位ごと (1 窯ごと) の自動運転とする。
- (g) 各移動機械とも、設備保全および突発故障対策として、予備機を設置する。
- (h) 運転操作は移動機械の運転室内で行うものとする。ただし、操作頻度の少ない補機類は現場運転とする場合もある。
- (i) 誤動作によるトラブルを防止するため、インターロックを設ける。

2) 移動機械配置図

コークス炉に対応した移動機械の配置および移動機械の主要機械配置を図7-12に示す。

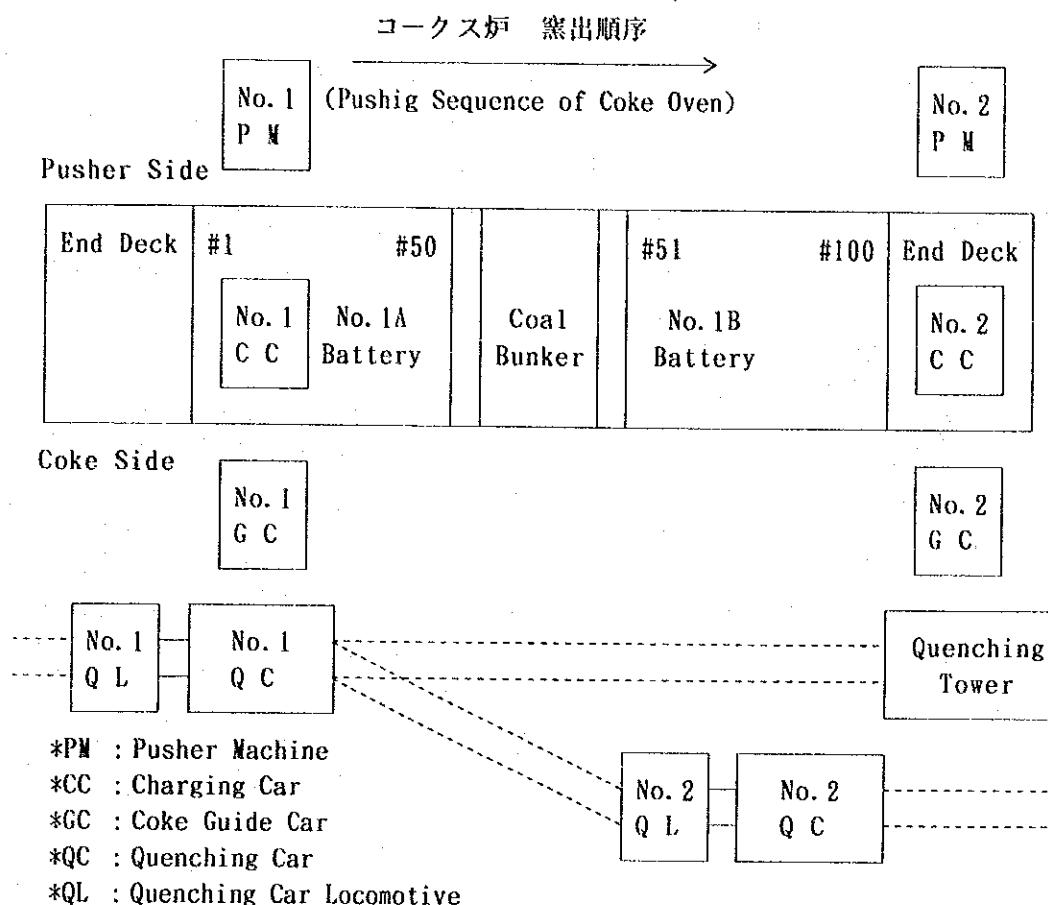


図7-12 移動機械の配置

3) 装炭車

装炭車は、鋼板溶接構造の門型フレームの上に5槽のホッパーを所有し、8車輪で炉上に敷設されたレール上を走行する。装入炭槽より装入炭を積込み秤量して、所定の窯に装入する作業に供される。一連の装入作業はフレーム上の運転室にて操作できるようにになっている。

構造を大別すると、走行装置、ホッパーおよび給炭装置、装入蓋脱着装置、集塵装置、油圧ユニット、冷房装置、炉上掃除機、空気清浄装置等、およびこれらを取付ける枠組構造として、門型フレームより構成されている。

これらの運転操作は、作業単位ごとにプログラム自動運転および手動運転ができる。図7-13に装炭車全体図を示す。

4) 押出機

押出機は、コークス炉押出側に敷設されたレール上を所定の窯に走行し、炉蓋の装脱着、窯内の赤熱コークスの押出、炉蓋フレームおよび小蓋を掃除するとともに、装入炭の均し作業、戻り炭の処理および戻りコークスの処理を行う作業に供されるものである。

構造を大別すると走行装置、炉蓋脱着装置、炉蓋掃除機、フレーム掃除機、小蓋掃除機、押出装置、戻りコークス処理装置、エアースカーフィング装置、小蓋開閉装置、装入炭均し装置、戻り炭処理装置、油圧ユニット、圧縮空気装置および冷房装置等、およびこれらを取付ける枠組構造として、門型フレームより構成されている。

これらの運転操作は、作業単位ごとにプログラム自動運転および手動運転ができる。図7-14に押出機全体図を示す。

5) コークガイド車

コークガイド車は、プラットホーム上に敷設された軌条上を所定の窯に走行し、炉蓋脱着、炉蓋およびフレームの掃除をするとともに、炉内赤熱コークスを消火車に誘導する作業に供される。

構造を大別すると、走行装置、炉蓋脱着装置、コークガイド装置、炉蓋掃除機、フレーム掃除機、集塵フードおよびコネクター、冷房装置、油圧ユニット、プラットホーム掃除機等、およびこれらを取付ける枠組構造より構成されている。

これらの運転操作は、作業単位ごとにプログラム自動運転および手動運転ができる。図7-15にコークガイド車全体図を示す。

6) 消火車および電車

コークス消火車および電車は、コークス炉のコークスサイドに敷設されたレール上を走行し、コークス炉から押出された赤熱コークスを消火車に積込み、消火塔で消火後、コークワーフに切出す作業に供される設備で消火車および電車一体でこの作業にあたる。

構造を大別すると、消火車は走行装置、コークス受槽、扉開閉装置およびこれを取付ける台枠構造から構成され、電車は駆動装置、走行制御装置を持ち、機械室と運転室からなっている。

図7-16に電車および消火車の全体図を示す。

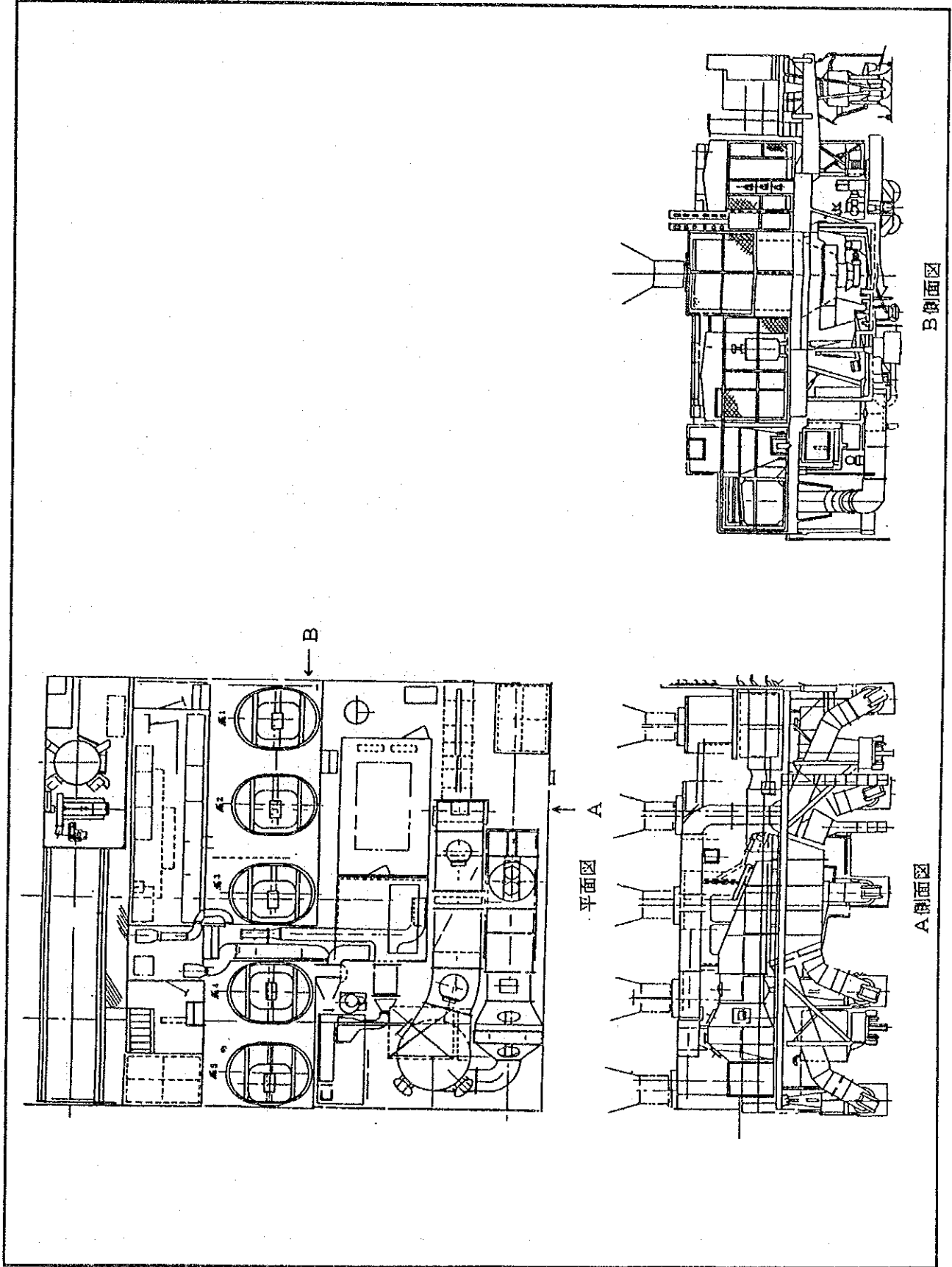
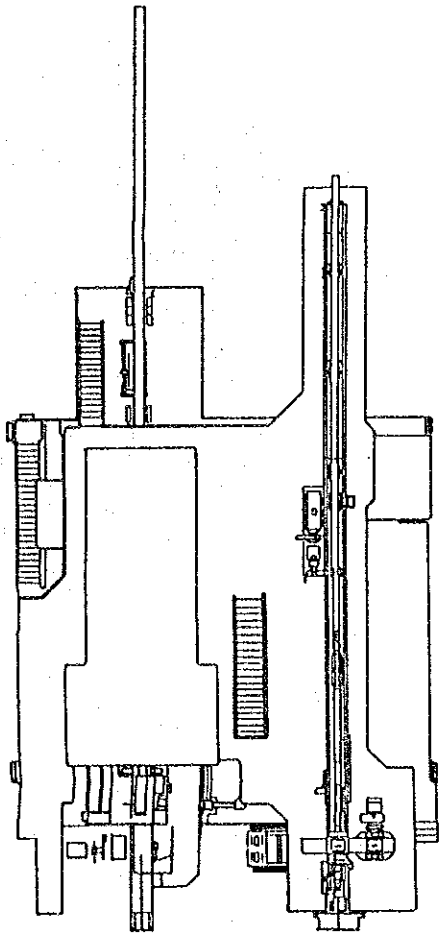
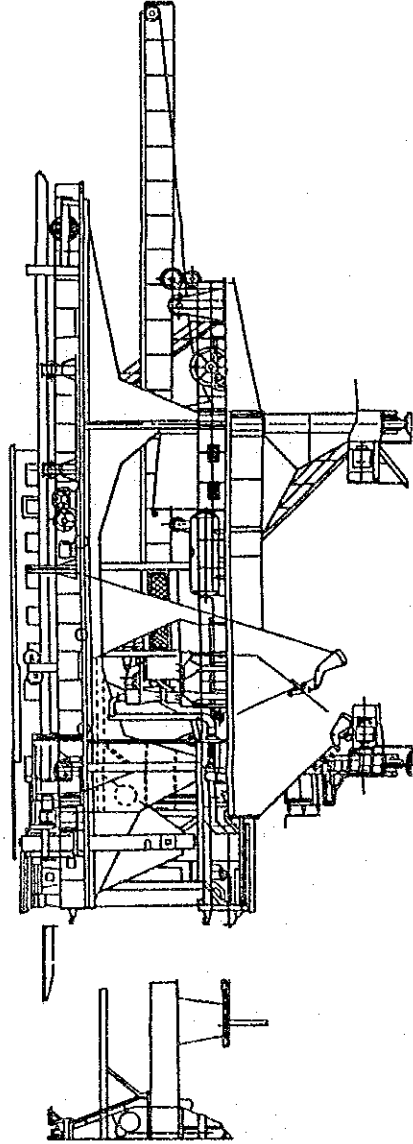


图 7-13 装炭车全体图

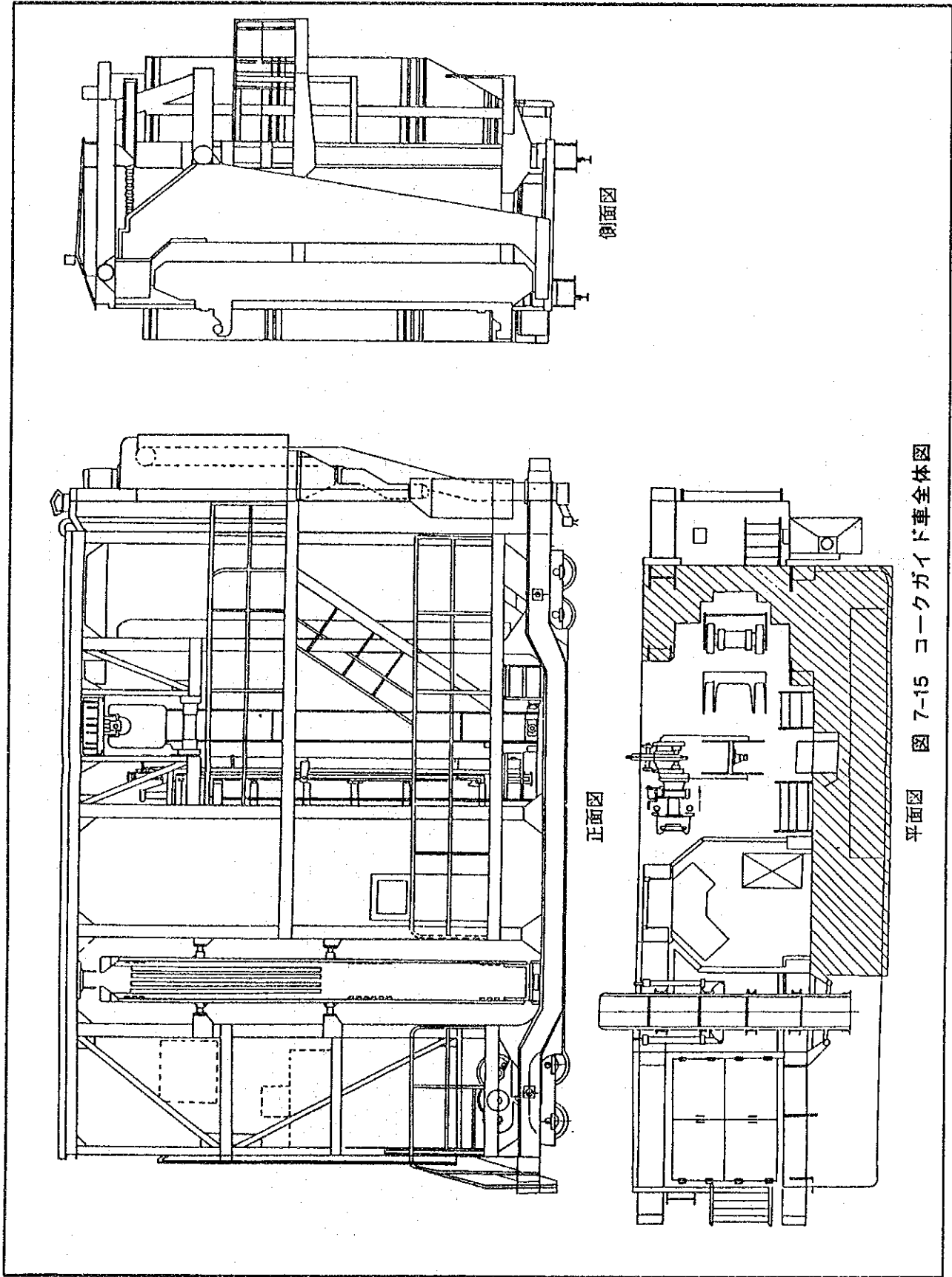


平面图

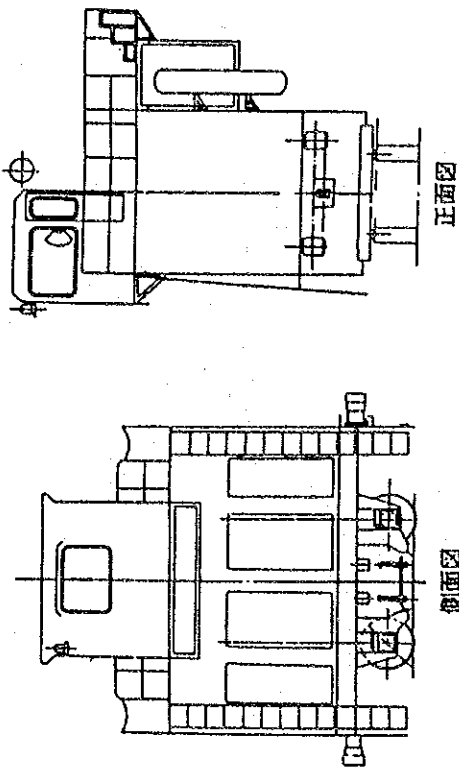


侧面图

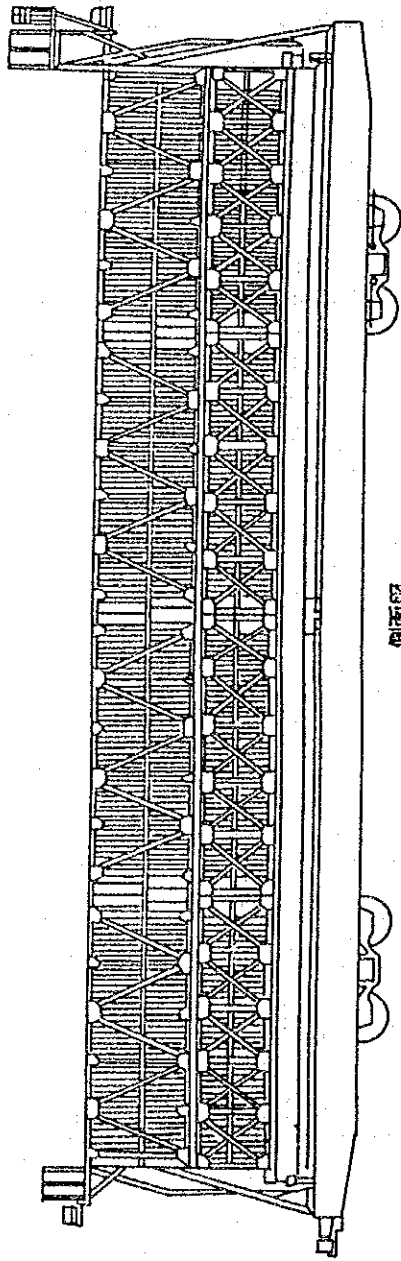
图 7-14 押出機全体图



平面図 図 7-15 コークガイド車全体図



Quenching Car Locomotive



Quenching Car

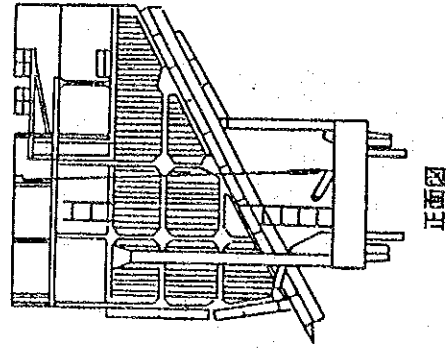


図 7-16 消火電車および消火車全体図

(5) その他付帯設備

1) コークス炉加熱装置

(a) ガス配管供給計画

コークス炉加熱配管計画図を図7-17に示す。

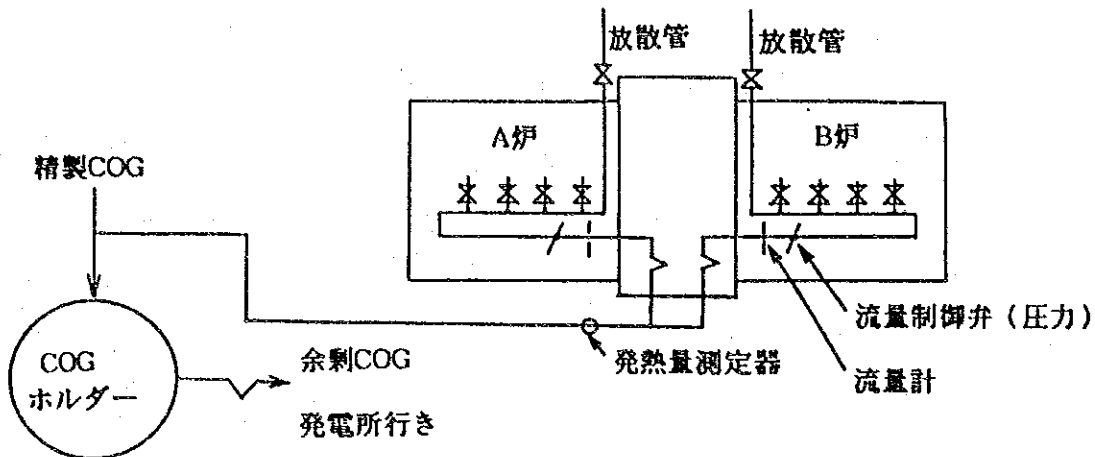


図7-17 コークス炉加熱配管計画図

加熱ガスは、半炉団（A炉、B炉）単位で流量測定を行い、稼働率、装入炭水分、装入炭量に応じた炉温を設定することにより、COG発熱量を考慮して流量を制御する。

(b) 加熱機構

コークス炉の大型化における最も重要な問題の一つは均一加熱である。炉長方向の加熱に対しては、ガス供給をアンダージェットとして、オリフィス径の調整によって管理する。なお、燃焼用空気は自然通風（ガンタイプ）とする。

2) ガス切替装置

ガス切替装置は、コークス炉の心臓部ともいわれる装置で、コークス炉に供給されるガスを20～30分間隔で一定のシーケンスで作動させ、自動的にガス、空気と廃ガスの切替を行う。

切替装置の主要機器は電磁制御弁、バルブスタンド、パワーユニット、サージタンク、各種切替シリンダーから成っており、これらの作動によってガスの切替コックおよび腐気変更弁を切替える。

なお、停電等によりパワーユニットからの油圧操作が不能になった場合の非常処置として、アキュムレーターを設置し最少1回の切替に要する容量を持たせる。

ガス切替のシーケンスを図7-18に示す。

3) 上昇管、ドライメーン

上昇管とは炭化室で発生したガスやタール等を取り出して、ドライメーンに導くための管である。また、ドライメーンとは各炭化室から発生するガスやタール等を一つに集めて回収するための管である。発生ガスの温度は600～800℃位あるので、上昇管曲管部で安水を散水して冷却する。また、炭化室の窯出装入作業を行っている間に、ドライメーンと炭化室の間を遮断するための操作弁が取り付けられている。ドライメーンは操業中炉内圧力を正圧に保つように、吸引本管に取付けた圧力調整弁によって、5～8mmAqになるよう圧力制御されている。また、ガス吸引ブロワーの停止などによるガス吸引不良に対処するため、自動燃焼放散管を備えている。

4) 炉蓋

コークス炉蓋は、炭化室の押出機側とコークガイド車側にそれぞれ設けてあり、窯よりコークスを押し出す際に脱着したり、乾留中は窯内への空気の侵入や窯からのガス洩れを防止するよう、バネとナイフエッジによって金属面圧着によりシールしている。炉蓋の内面は、粘土質煉瓦を積み断熱している。

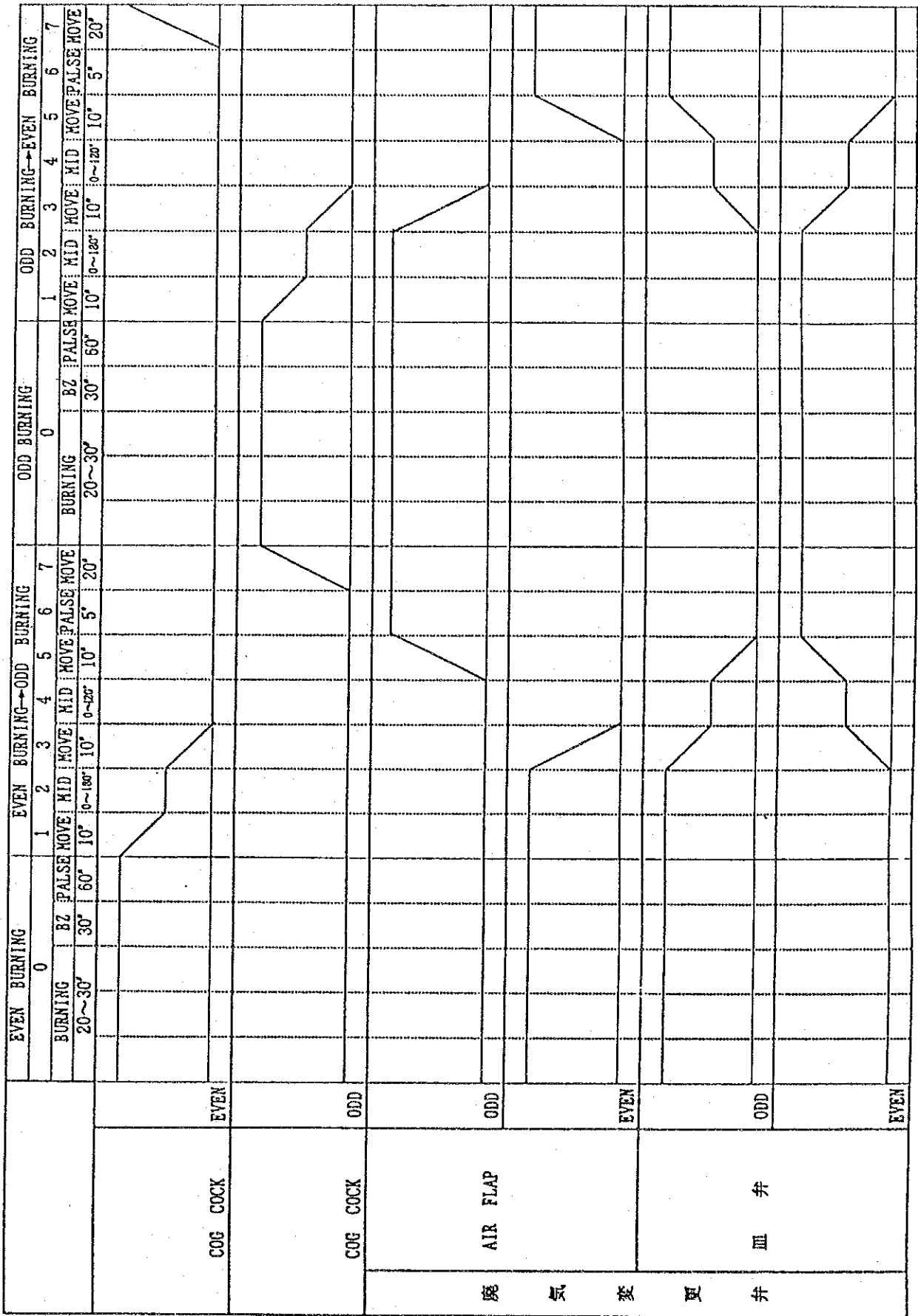


図 7-18 COG 燃燒時の切替ダイヤグラムの 1 例

7.3.4 コークス炉環境対策設備

(1) コークガイド集塵設備

本装置は、コークガイド車に搭載したフードにより、炉蓋開時および窯出時に発生する含塵空気を捕集し、コネクターにて固定ダクトに接合し、地上に設置したバグフィルターにて除塵する一連の装置である。図7-19に概念図を示す。

(2) 装炭車集塵設備

本装置は、装炭車においてコークス炉に石炭を装入する際、発生する含塵ガスを固定ダクトおよびコネクターを通して吸引し、地上に設置したバグフィルターにて除塵した後、大気中に放出する一連の装置である。なお、上昇管無煙装入装置と併用で吸引する。図7-20に概念図を示す。

(3) 上昇管無煙装入装置

本装置は、コークス炉に石炭を装入する際、上昇管より噴出する含塵ガスを高圧安水の吸引力で吸引して集合本管に押込む装置である。図7-20に概念図を示す。

(4) 消火塔除塵装置

本装置は、消火塔において赤熱コークスを散水消火する際、発生する粉塵および水滴を除去する装置である。図7-21に概念図を示す。

(5) 燃焼放散装置

本装置は、コークス炉より発生するガスが停電等で吸引不能になった場合、放出口に設置した点火装置により、自動的に着火させ完全燃焼を行い、大気汚染の防止を図るものである。図7-22に概念図を示す。

(6) 空冷式炉蓋

コークス炉蓋は炭化室の両端に設置されており、コークスを窯より押出す際に脱着させるほかは、炉枠に密着して炭化室をシールし、炭化室内への空気の侵入や炭化室からのガス洩れを防止している。

本体は耐熱鑄鉄製で、これに炉蓋を保持するための懸垂ローラー、炉蓋の密着力を与える門およびスプリング装置、ガスをシールするナイフエッジが取り付けられている。また、炉蓋の内面には断熱を図るため、煉瓦が取り付けられている。押出機側の炉蓋には、均し棒を炉内に入れるための小蓋が設けられている。

従来方式の炉蓋は、炉蓋本体の熱変形でナイフエッジ部も変形し、ガス洩れが生じやすい欠点があった。そこで炉蓋本体と煉瓦との間に空間を設け、ナイフエッジは可撓性のあるシールプレートを介して炉蓋に取り付けてある。空冷式炉蓋を採用して、コークス炉での乾留中の発生ガス洩れを防止する。図 7-23 に空冷式炉蓋の概念図を示す。

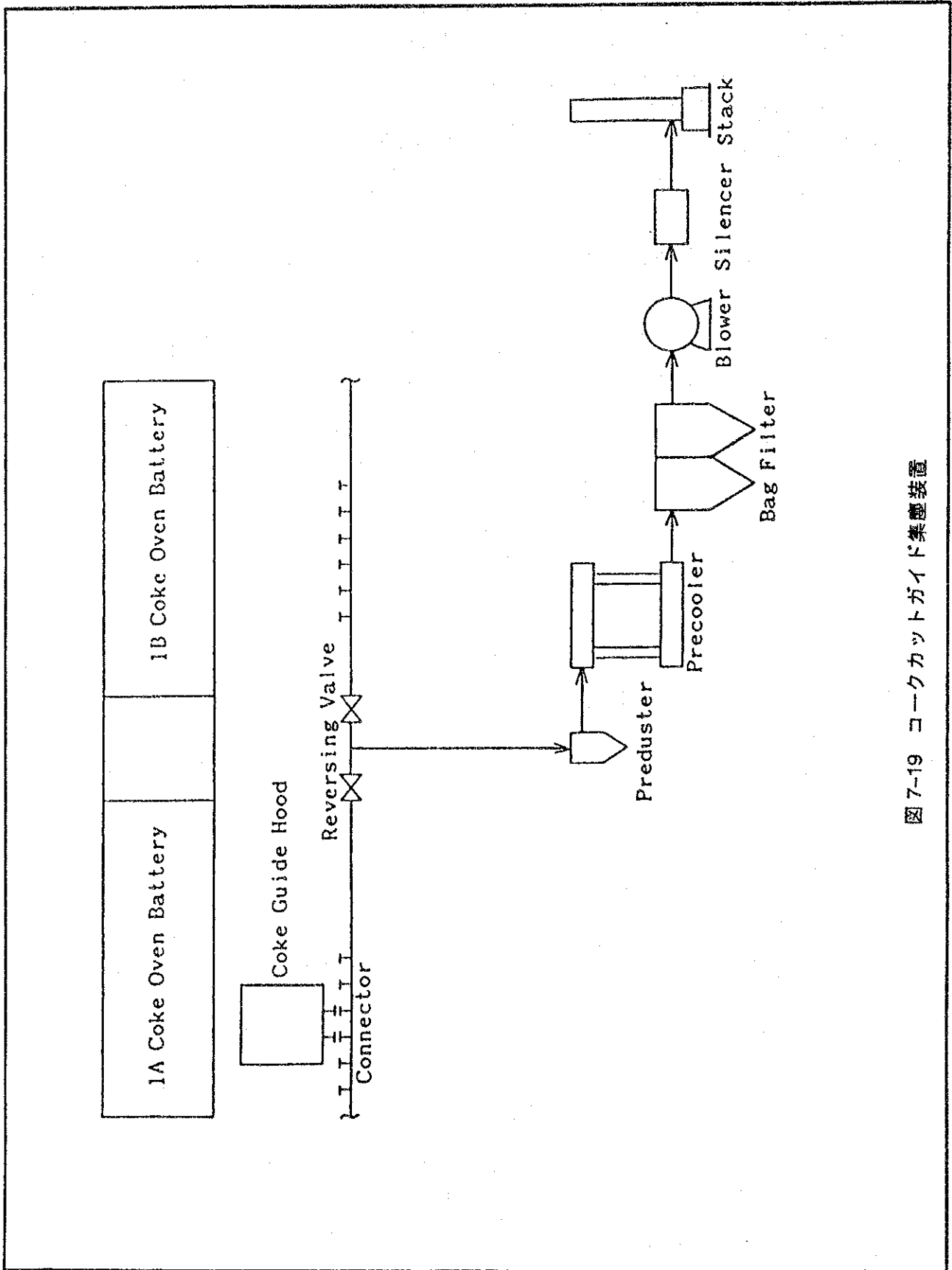
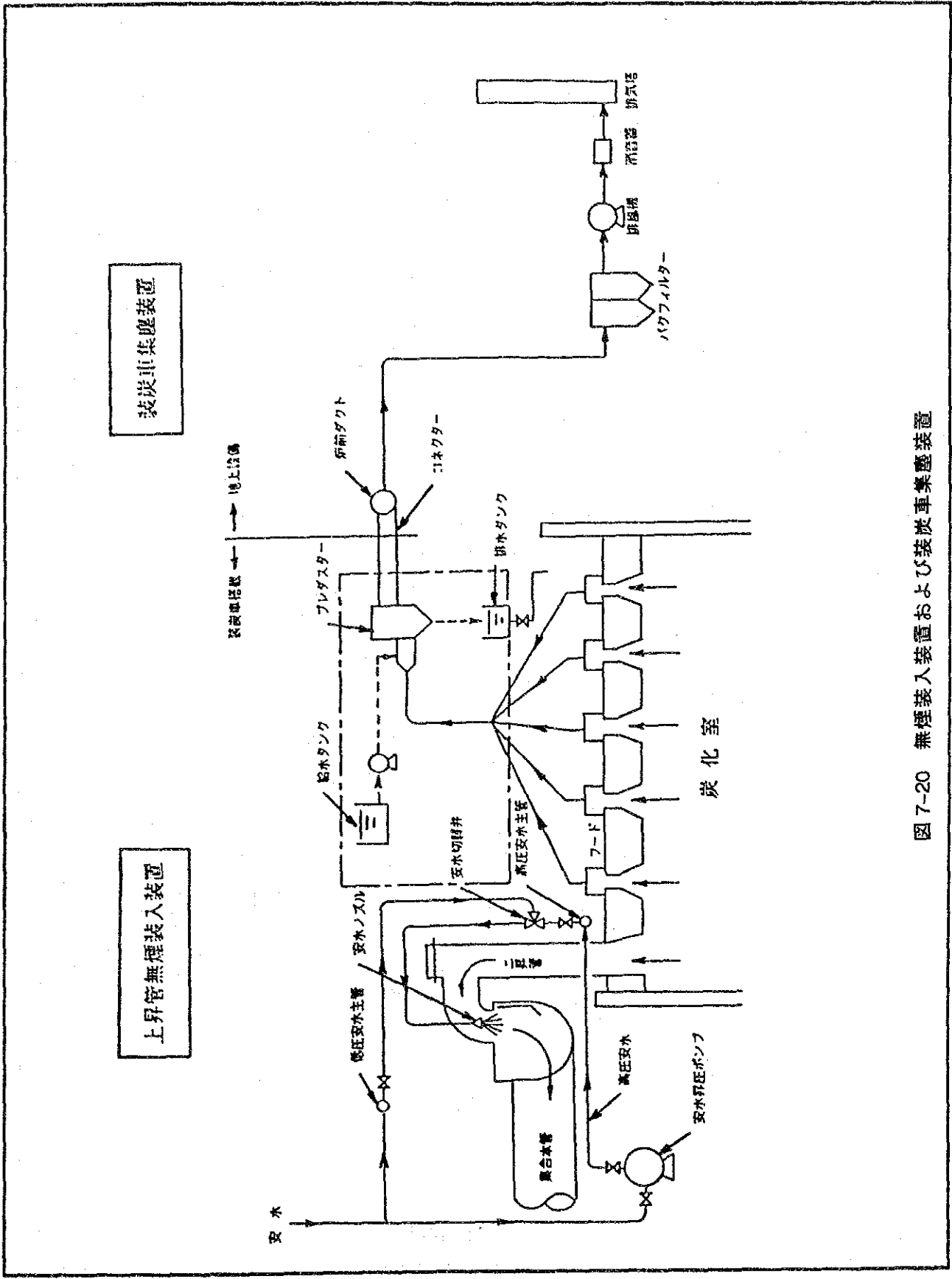


図 7-19 コークカットガイド集塵装置



炭炭車集塵装置

上昇管無煙装入装置

図 7-20 無煙装入装置および炭炭車集塵装置

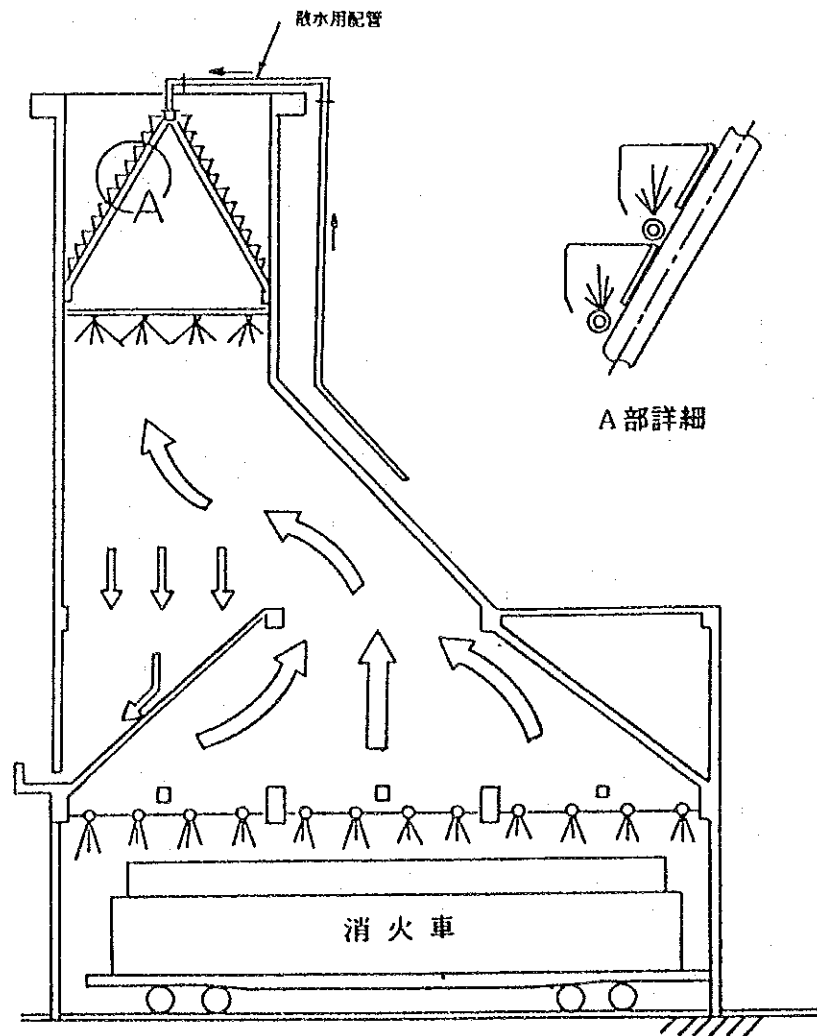


图 7-21 消火塔除塵裝置

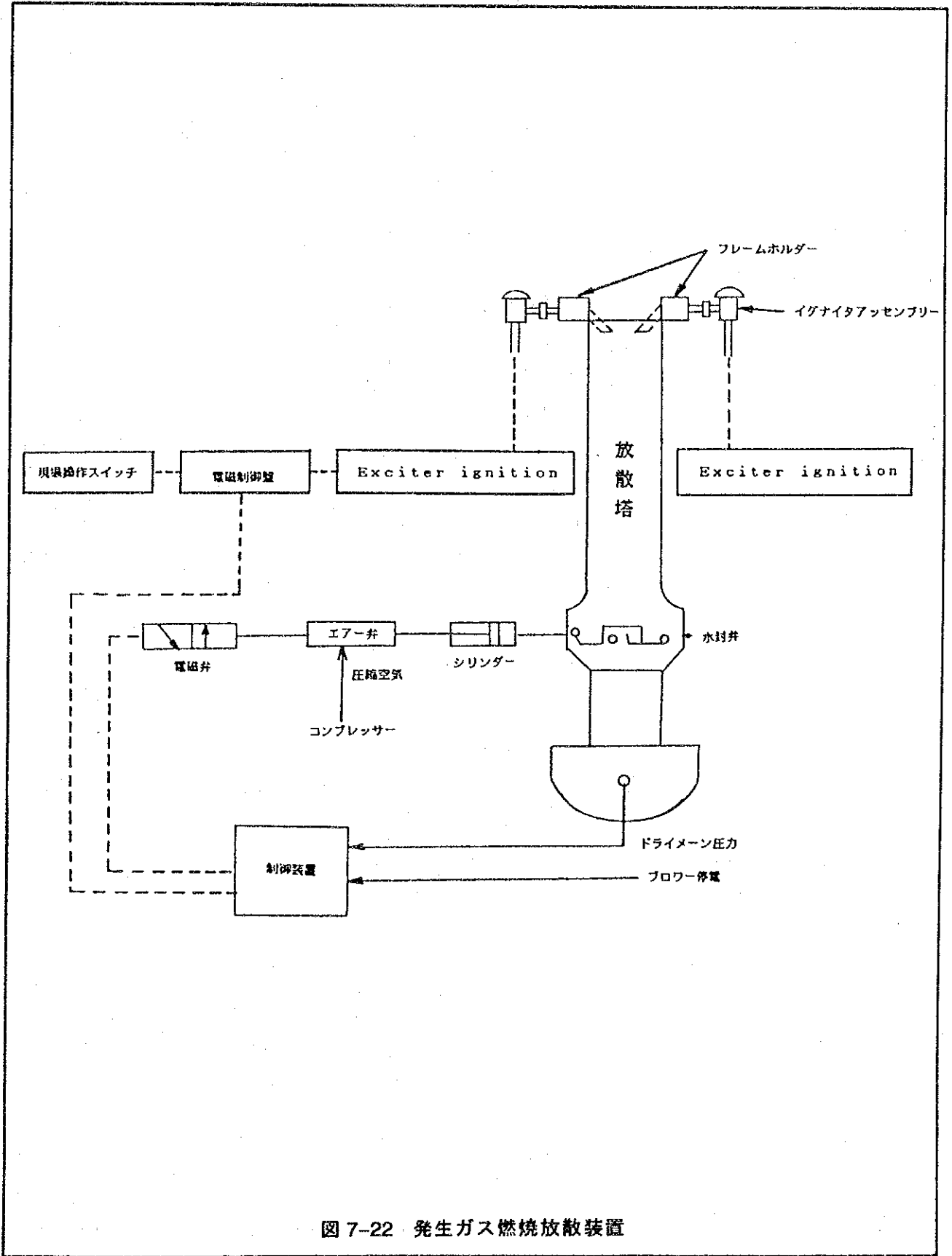


図 7-22 発生ガス燃焼放散装置

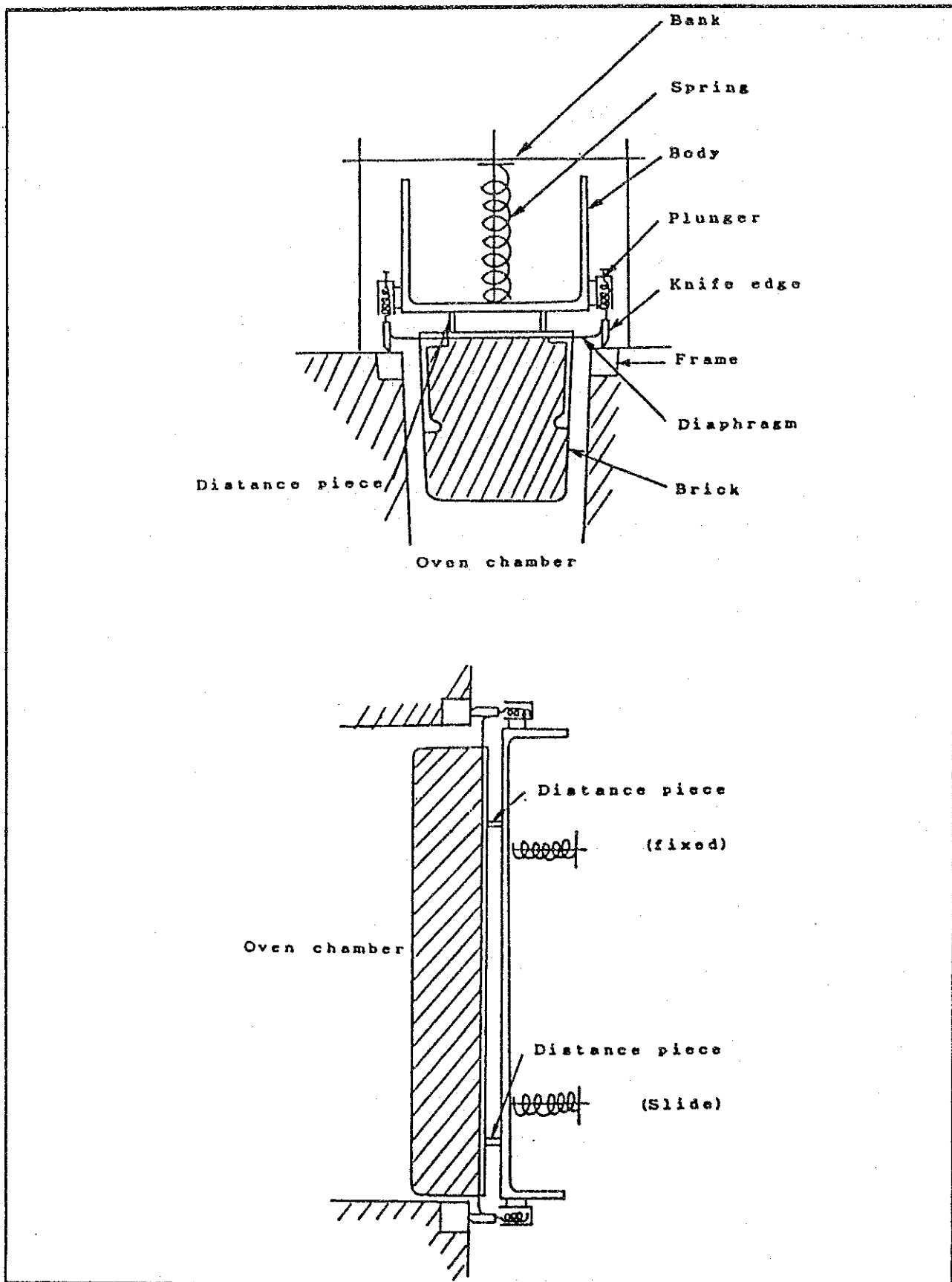


图 7-23 空冷式炉盖

7.3.5 コークス炉乾燥計画

コークス炉は、珪石煉瓦を主体にシャモット煉瓦、断熱煉瓦および赤煉瓦等から成っており、煉瓦形状も数百種におよぶ複雑な築造物である。珪石煉瓦は、900°C以下で膨脹率が著しく変化する性質を有しているため、コークス炉の操業に当っては、事前によく乾燥し、膨脹収縮の小さい温度域で安定した操業を保持しなければならない。図7-24に珪石煉瓦およびシャモット煉瓦の膨脹曲線を示す。

(1) 乾燥工程とガス使用量

一般的にコークス炉の乾燥は、フリー温度1,110°C～1,150°Cまで80～90日間をかけて徐々に昇温し、炉体の膨脹を均一に行わせ安定させる作業である。最終膨脹率は1.1～1.2%である。図7-25、図7-26に昇温計画と使用ガス量を示す。

(2) 乾燥設備

コークス炉の乾燥は通常COGを使用する。正規の燃焼系統とは別個にコークス炉前に乾燥ガス管を設けて、コークス炉炉蓋下部に仮設バーナーを入れて、炭化室内でガスを燃焼させる。燃焼廃ガスは炭化室上部に開けた乾燥孔を通じて燃焼室に入り、蓄熱室、ソールフリーを経て煙道に引落される。

炉温が800～850°Cに達した時点で炭化室より乾燥を中止し、正規の燃焼系統に切替える。これを「フリー点火」と称する。この後、約15～20日間の空窯保温期間をとり、乾燥配管の撤去、乾燥煉瓦の掻出、炉体目地補修、金物取付部調整、移動機械や環境対策設備の試運転を行いスタートに備える。これを総称して「コークス炉乾燥」というが、通常80～90日間を要する。

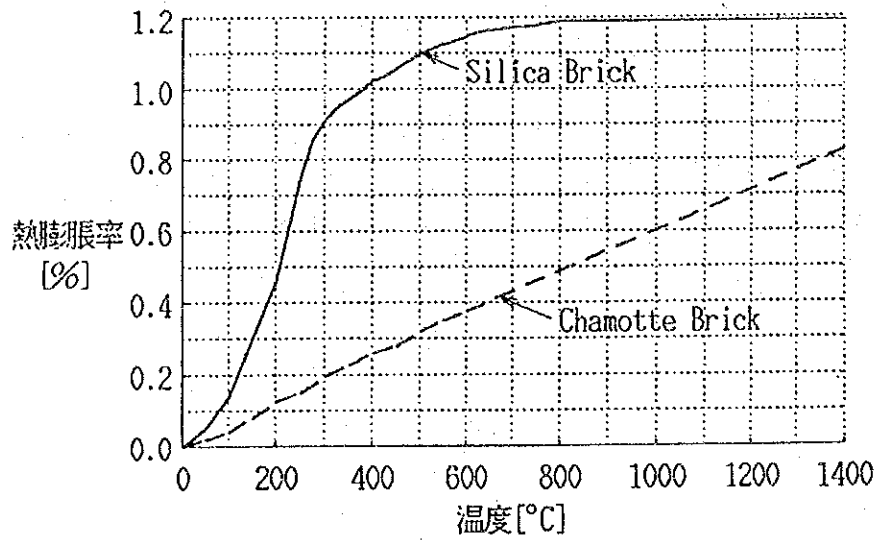


図 7-24 耐火煉瓦熱膨張曲線

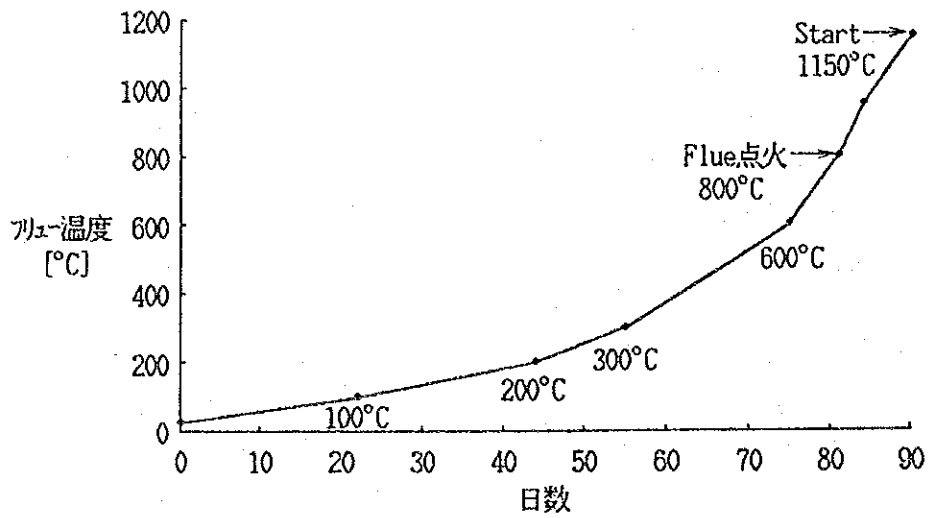


図 7-25 コークス炉概略昇温曲線

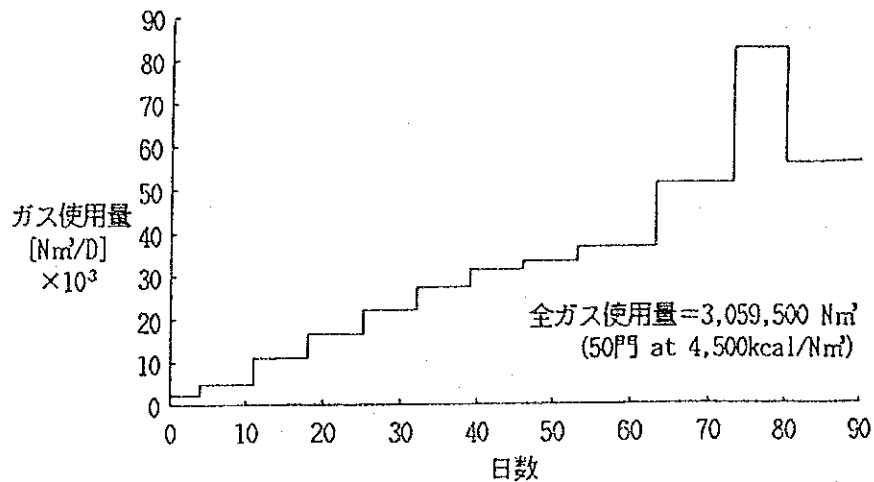


図 7-26 乾燥ガス概略使用量

7.4 コークス処理出荷設備

7.4.1 概要

コークス処理出荷設備は、コークス炉で製造、消火されたコークスを整粒するコークス Cutter、篩分けする振動篩、貯骸場に積付けるスタッカー（積付機）、貯骸場よりコークスを払出するリクレーマ、および船舶に積込むシップローダ等で構成される。

コークスを整粒するため、篩とコークス Cutter が使用される。当設備は 80mm の間隙のバースクリーンに通し、篩上の大塊部分をコークス Cutter で破碎する。次いで 25mm 間隙の振動篩により篩分けられ、25mm 以上は高炉用コークスとし、25mm 以下は粉コークスとして、貯骸場にコンベアで送られ、スタッカーで貯骸場に積上げる。貯骸場能力は需給状況や船舶の大きさによって変わるが、全量輸出を考えるとパナマックス 2 船分以上の能力は必要である。

本工程の設計や操業計画上採用した前提条件は以下のとおりである。

- (1) 全コークス歩留 75% とする。
- (2) 総コークス取扱い量は平均 2,740 トン/日とする。
- (3) 塊コークス取扱い量は平均 2,330 トン/日とする。
- (4) 粉コークス取扱い量は平均 410 トン/日とする。
- (5) 各設備の運転時間は以下の様にする。

	ワーフ～ヤード
運転時間	18時間/日
食事時間	3時間/日
点検時間	3時間/日

- (6) 塊コークス嵩密度 = 0.45 トン/ m^3
- (7) 粉コークス嵩密度 = 0.60 トン/ m^3
- (8) コークス処理および出荷ラインには、品質・量管理のため、サンプラーおよび秤量器を設置する。

7.4.2 コークス処理設備

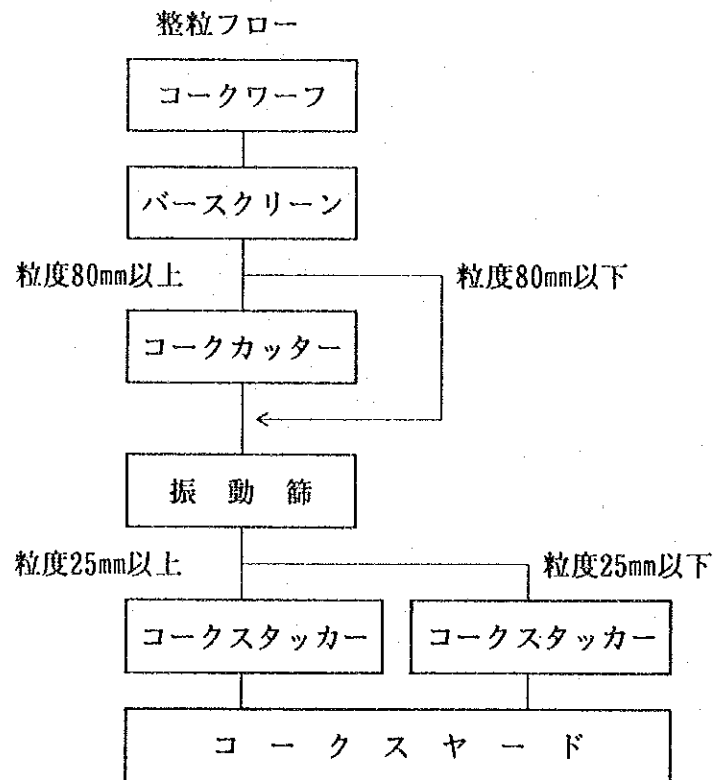
(1) コークワーフ

消火塔で散水消火された直後のコークスの水分は高い。水分の低減と安定均一化、ならびにコークス炉作業を円滑に行わせるため、コークワーフを6面設置する。コークワーフの切出は、ロールフィーダーで自動的に切出す装置を設ける。

$$\cdot \text{切出能力} = 2,740 \text{ トン/日} \div 18 \text{ 時間} \times 1.2 = 200 \text{ トン/時間}$$

(2) コークス整粒および篩分

コークワーフより切出されたコークスを目標粒度に調整するため、大塊のみをコークカッターで整粒する。次に、篩分機で高炉用塊コークスと粉コークスに篩分けし、コークスタッカーにてコークスヤードに積付ける。



(3) コークスヤード

コークスの生産量、単位出荷量および出荷変動を加味して、ヤード貯骸能力はパナマックス（1船：約4万トン）2船分とした。

すわなち、コークスヤードは、2万4,000トン（1万6,000m³）×4面とする。

7.4.3 コークス出荷設備

(1) コークス船積設備

国際貿易港の一般的な滞船契約を加味して、シップローダーの積込能力は、600トン/時間×1基とする。

(2) コークス払出設備

シップローダーの能力およびヤードの配置より、コークリクレーマの払出系統は2系列となり、1基当りの能力は、300トン/時間とする。

出荷篩分設備は300トン/時間×2基とする。

7.4.4 環境対策設備

(1) 集塵装置

整粒篩分室、出荷篩分室の建屋内の作業環境対策として、建屋内の発塵箇所より含塵空気を吸引し、バグフィルターにて除塵後、大気放散する。

(2) その他発塵防止対策

コークス輸送コンベアおよび乗継部での発塵防止対策として、散水装置および風防カバーを必要な箇所に取り付ける。

7.5 ガス精製設備

7.5.1 概要

石炭を乾留し、コークスを製造する過程で、石炭中の水分や揮発分はガス化する。この状態のガスを生ガス（または粗ガス）と称し、多くの有用成分、不純物を含有している。主な有用成分としては、タール、アンモニア、ベンゼンがあり、不純物としてナフタリン、硫化水素、シアン化合物がある。したがって、生ガスの状態で気体燃料として使用すると、不完全燃焼、配管やノズルの閉塞や腐食などの不都合が生じるほか、排ガス中にSO_xやNO_xが多量に含まれるので環境衛生上好ましくない。また、生ガスに随伴して生成する安水は、フェノールやアンモニアなどの有害成分を含むので、一部循環使用するほかは、全て無害化処理して廃棄する必要がある。ガス精製部門は、有用成分の回収と不純物の除去を行い、生ガスを気体燃料として使用可能な精製ガスにする工程である。

ガス精製設備は工程ごとに大別すると、ガス排送設備、脱硫および硫酸製造設備、硫安製造設備、軽油回収設備および排水処理設備により構成されている。

コークス炉から発生するガス生成物は、上昇管で安水を散布し、90～95℃に冷却し、さらにガスクーラーで35～40℃まで冷却し、ガス中よりタールや安水を除く。タールや安水は比重差で分離し、タールは回収し、安水はアンモニア蒸留、活性汚泥など無害化処理して廃棄する。クーラー後のガスは排送機で吸引昇圧後、次工程へ送る。

ガス中のナフタリンは、後工程の配管閉塞や塔内圧損上昇を抑制するため、吸引ブロワー後、捕集塔頂部から吸収油を散布して除去する。

ガス中のタール分はクーラー出口で大部分が除去されるが、まだガス中にはタールがミスト状になって浮遊している。タールミストはアンモニア回収装置の母液を汚染し、硫安結晶を着色させ品質を低下させる。したがって、電気集塵機にてガス中のタールミストを除去する。

脱硫塔ではアルカリ水溶液をガスと接触させ、硫化水素やシアンを吸収除去する。吸収液中の硫黄分は、硫酸の形で回収する。

ガス中のアンモニアは希硫酸溶液と接触させ、生成する硫安は肥料にするため回収される。そのほかにも液体アンモニアを作る方法や、燃焼分解する方法などがある。

ガス中の軽油分は、吸収効率を高めるためファイナルクーラーで散水冷却した後、吸収塔で石炭系または石油系の吸収油を塔頂部から散布して除去する。軽油吸収後のいわゆる含ベン油は、蒸留設備で軽油分を回収したのち、吸収油として循環使用される。

本プロセスでは、ガス中の不純物を公害面、輸送面で障害とならないレベルまで除去し、クリーンな精製ガスとして、自家消費、外販に供する。

ガスを精製する過程で、ガスより抽出したタール、軽油、アンモニア、硫黄化合物は、

有用な製品として回収する。なお、同時に副生した安水は、マラカイボの排出規制値をクリアー出来る水準までの対策を実施する。以下、設計上配慮した項目を示す。

- ・ COG 処理能力は変動を考え、最大 6 万 Nm³/時間とする。
- ・ 設備単位ごとに操業およびメンテナンスに適した配置とする。
- ・ 製品の貯蔵量はデリバリーを考えた量とする。
- ・ 重要機器には予備器を設ける。
- ・ 非常時は各プロセスごとに単独処置が可能とし、他工程への影響を最小とする。
したがって、COG の精製ラインにはバイパスを設ける。
- ・ 防災関係はレイアウトを含め防油堤、消火栓を適切に配置する。
- ・ ガス精製の操業は計器室（一ヶ所）で把握可能とする。

7.5.2 ガス排送設備

コークス炉から発生した COG はダウンカマー (Down Comer) でタール、安水を分離したのち、間接式ガスクーラーおよび直接式ガスクーラーで 35 ~ 40 ° C に冷却される。直接式ガスクーラーを出た COG は、圧力調節弁で間接式ガスクーラー出口の圧力が一定になるように調節され、ガス排送機で吸引排送される。ガス排送機を出た COG は、ナフタリン捕集塔でナフタリンが除去され、電気集塵機でタールミストが除去され、COG 脱硫設備に送られる。

一方、ダウンカマーで分離されたタール、安水は、ガスクーラーから排出された凝縮水、および他の装置から排出されるスロップ安水と共に、安水デカンターへ送られ、安水とタールとに静置分離される。タールと分離された安水は、安水循環ポンプによりコークス炉設備に送られ、COG 冷却水として利用される。余剰の安水は、安水貯蔵タンクを経て安水蒸留装置に送られ、蒸気によりアンモニア分を除去したのち、排水処理設備に送られる。除去したアンモニアは COG 中に戻される。

安水デカンターで分離されたタールはタールデカンターに送られ、タール中の水分およびスラッジが除去される。さらにスーパーデカンター（遠心分離機）に装入され、タール中に残存する水分とスラッジが除去される。スラッジが除去されたタールはタールタンクに送られ、粗タールとして貯蔵される。なお、除去されたタールスラッジは、石炭処理工程にて装入炭に添加し、工場内でリサイクル処理される。

7.5.3 脱硫・硫酸製造設備

COGは従来から燃料源として利用されてきたが、より環境規制が厳しくなった時点から本格的に大型設備が設置されるようになった。COG中には硫化水素が $4 \sim 7\text{g/Nm}^3$ 、それに微量の有機硫黄が含まれている。

脱硫法は大きく分けて、乾式と湿式がある。乾式は酸化鉄でガス中の硫化水素を除去する方法である。湿式はアルカリ溶液を用いてガス中の硫化水素を除去する方法である。いずれの方法も硫化水素と同時にシアンも除去する。

これらの脱硫設備からは、単体硫黄、硫化水素、シアン化水素や廃液が発生する。これらの排出による二次汚染を防ぐために、種々の有害物処理法がある。有害物処理後の副生品としては、単体硫黄、硫酸、石膏等がある。脱硫と副生物処理法が一体となって完全な脱硫システムとなる。

本プロジェクトにおいて、次のような項目を考慮した。

- ・水質汚濁等の二次汚染防止対策
- ・硫黄分の処理法
- ・脱硫率
- ・低コスト
- ・脱シアンが同時に行われるかどうか

したがって、脱硫性能が十分で運転操作が容易な湿式脱硫方式を採用し、アルカリ吸収液を用いて、COG中の H_2S を 0.2g/Nm^3 、HCNを 0.15g/Nm^3 とする。図7-27に湿式脱硫工程フローを示す。

除去した H_2S は硫酸製造設備に送り、硫酸原料となる。この硫酸は後工程の脱アンモニア設備の硫酸源（以下副生硫酸と呼ぶ）として有効活用される。

7.5.4 硫安製造設備

COG中には通常 $7 \sim 10\text{g/Nm}^3$ のアンモニアが含まれている。脱アンモニア法としては、従来からの硫安回収法に加えて、硫安非回収式の各種プロセスを採用するところも多くなった。いずれの方法も、水または希硫酸、リン酸でガス中のアンモニアを吸収させ、除去するものである。

主な方式ごとに述べると、硫安回収法は希硫酸でアンモニアを吸収し、硫安として回収する。この方法はアンモニア除去率が高く、硫安の需要がある場合に適している。

水でアンモニアを吸収させる方法は、蒸留後のアンモニアを直接燃焼させる場合と、触媒で水素を窒素に分解後燃焼させる場合がある。前者は、燃焼時に窒素酸化物を生成しやすく、後者は分解用の触媒と燃料が必要となる。

リン酸でアンモニアを吸収させる方法は、蒸留、精製して高純度のアンモニアを得る場合と、蒸留後のアンモニアを燃焼させる場合がある。前者は高純度のアンモニアの需要がある場合に適している。後者は燃焼時に窒素酸化物を生成しやすい。

各プロセスの主だった特徴は、回収したアンモニアをどういう方法で処理するかであり、以下の点に注目して選定する。

- ・コスト
- ・副製品の需要
- ・環境への配慮
- ・操業のやりやすさ

本プロジェクトでは、副生硫酸と一部購入した硫酸を合わせて脱アンし、COG中のアンモニアを $0.1\text{g}/\text{Nm}^3$ とする。図7-28に脱アンモニア、硫酸製造工程フローを示す。

生成した硫酸を精製し、製品硫酸とする。

硫酸製造を経たCOGの温度は上昇するので、ファイナルクーラーを設け、ガス温度を下げる。

7.5.5 軽油回収設備

COG中のナフタリンは低温度で析出するので、気温の低い所では除去率を高くしなければならない。ナフタリンの除去方法としては、軽油の除去方法と同様に吸収法による洗浄が主である。従来は水洗により除去していたが、除去率が低いこと、排水中にナフタリンだけでなく硫化水素、シアン化水素も含まれてくるなどの理由から、吸収油による洗浄法に転換されてきた。

COG中の軽油分(BTX類)を除去する方法も、ナフタリンと同様に吸収油を用いる方法が一般的である。

これら軽油分とナフタリン分を含んだ吸収油を蒸留装置にかけて、水蒸気を吹込みながら軽油分、ナフタリン分を分離する。

本プロジェクトでは、脱ナフタリン装置で主にナフタリンを、軽油捕集装置で主に軽油分を回収する。COG中のナフタリンを $0.3\text{g}/\text{Nm}^3$ 、軽油分(BTX類)を $5\text{g}/\text{Nm}^3$ とする。図7-29に軽油回収工程フローを示す。

吸収油として石炭系のクレオソート油を用いる。

軽油分を吸収した含ベン油を軽油回収装置で水蒸気蒸留を行い、粗軽油として回収する。蒸留後の脱ベン油は、軽油捕集装置に送り循環使用する。

7.5.6 副産物出荷設備

粗軽油、粗タールの輸送方法は別して、海上輸送と陸上輸送がある。海上輸送はタンカー、汽船、陸上輸送はタンクローリー、パイプライン、貨車、コンテナ、トラックなどがある。これらのうちから最も適した方法を選ぶ必要がある。選定のポイントは、以下の点である。

- ・ユーザーへの距離
- ・取扱い単位量
- ・生産量
- ・輸送上の制約条件（環境、危険度）
- ・道路、航路の状況
- ・荷姿

これらを考慮し、本プロジェクトでは、粗タール、粗軽油は各タンクよりポンプアップし、専用のローディング設備で船に積込み全量輸出する。

硫安は製品倉庫よりショバルカーでトラックに積込み、国内出荷を主体とする。

7.5.7 排水処理設備

コークス工場で発生する排水は、装入炭の付着水分(9%)、乾留時に発生する結晶水、および石炭中の酸素と水素の反応による化合水が発生ガスと共にガス精製設備に導かれ、ガスクーラーで凝縮した水が主である。このほかにガス精製過程で余剰となったプロセス排水がある。この水はガス中の水溶性物資、とりわけアンモニウム塩を多く含んでいることから、安水、またはガス液と呼ばれる。この水は汚染度が高いので留意して処理する必要がある。

安水は昔は貴重なアンモニア源、またはフェノール源であったが、今日ではこれを回収することの経済的意味はなく、排水の汚染防止の目的でこれらの物質の除去が行われている。安水処理には種々の技術が適用されているが、そのうち重要なものを以下に示す。

(1) 安水蒸留

安水中の揮発性成分である遊離アンモニウム塩、シアン化水素、硫化水素などを加熱蒸留することによって追い出す方法であり、蒸留塔が採用される。アンモニウム塩のうち加熱だけで容易に、分解しないものを固定アンモニウム塩といい、これを分解するためには石灰乳、苛性ソーダ等の強アルカリを添加する必要がある。



この方法でアンモニア、シアンなどの除去率は容易に 90% 以上に達するが、フェノール、COD (Chemical Oxygen Demand : 化学的酸素要求量) は減少しない。

(2) 生物学的処理法、活性汚泥法

汚水の自然界における浄化作用は、主として微生物およびバクテリアによる酸化または消化作用によるもので、この原理を人工的に高能率化したものが生物学的処理法の中の活性汚泥法である。近年水質規制が高度化し、フェノールだけでなくシアン、油分、COD, BOD (Biochemical Oxygen Demand : 生物化学的酸素要求量)、など多くの項目について高度の除去率が要求され、この生物学的処理法の多角さが注目されるようになった。

原理的にはバクテリアや原生動物で形成されたフロック (活性汚泥という) を汚水と混合してそれに空気を吹きこむと、汚水中の有機物質はバクテリアや原生動物に吸着摂取され、一部は同化されて細胞膜形成物質として固定され、ほかはそれらの活動エネルギーを提供して分解、無機化される。その後汚泥と水を分解すれば水中には有機物はほとんどなくなり、水の浄化が行われたことになる。

安水は脱アンモニア、脱油などの前処理を経て均質化したのち、ある濃度まで希釈され曝気槽に導入される。曝気槽では空気を底部から吹きこむか、表面のかく拌によって混合するかの方法で汚泥、空気、水の接触を良好にする。曝気槽は温度 25 ~ 35 °C、溶存酸素 1 ~ 5ppm、汚泥濃度 4,000 ~ 6,000ppm で操業され、標準フェノール負荷は $1 \pm 0.2 \text{kg フェノール} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ 、または $0.2 \pm 0.04 \text{kg フェノール} / \text{kg MLSS} \cdot \text{日}$ で計画される。

曝気槽を出た水は沈澱槽に入り汚泥を静置分離する。分離された汚泥は大部分曝気槽に返送するが、一部は余剰となり抜取られる。汚泥の生育促進のため栄養剤を、また沈澱、脱水性をよくするため凝集剤を添加することもある。

(3) 高次処理法

活性汚泥法による処理を行っても処理水の残存 COD は 50 ～ 200ppm を示し、また茶色の着色を生じ透視度が悪いなどの問題がある。水質をさらによくするためには、さらにほかの方法を採用する必要がある、種々の方式を総称して高次処理と呼ぶ。この中のいくつかを以下に説明する。

- 1) 凝集沈澱法 : 排水中の浮遊物質を凝集剤を加えて沈降分離するもので、高分子凝集剤、塩化第二鉄塩などが利用される。水中の浮遊有機物による COD の減少、シアンの鉄塩としての除去、色相改善等の効果がある。
- 2) 砂炉過 : 微細な浮遊物質の除去を砂、またはアンスラサイトの充填槽で行う。
- 3) 活性炭吸着 : 水処理の最終的な仕上げとして活性炭による吸着を行うことにより、残存有機物質、着色成分の除去を行うものであるが、無機塩類の除去は期待できない。

このほかにイオン交換樹脂；逆浸透法なども考えられる。

本プロジェクトでは、水蒸気蒸留でアンモニアを除去した安水は、偏流式の曝気槽で処理し、COD 成分等、有害物質を除去する。図 7-30 に排水処理フローの概要を示す。

マラカイボ湖の排水規制に合致するように、さらに活性炭を用いて高次処理を行い放流する。

7.5.8 用役設備

蒸気、窒素、圧縮エアについては、工場内に専用製造設備を設け工場内に一括供給する。また、冷却水設備も別途設置する。

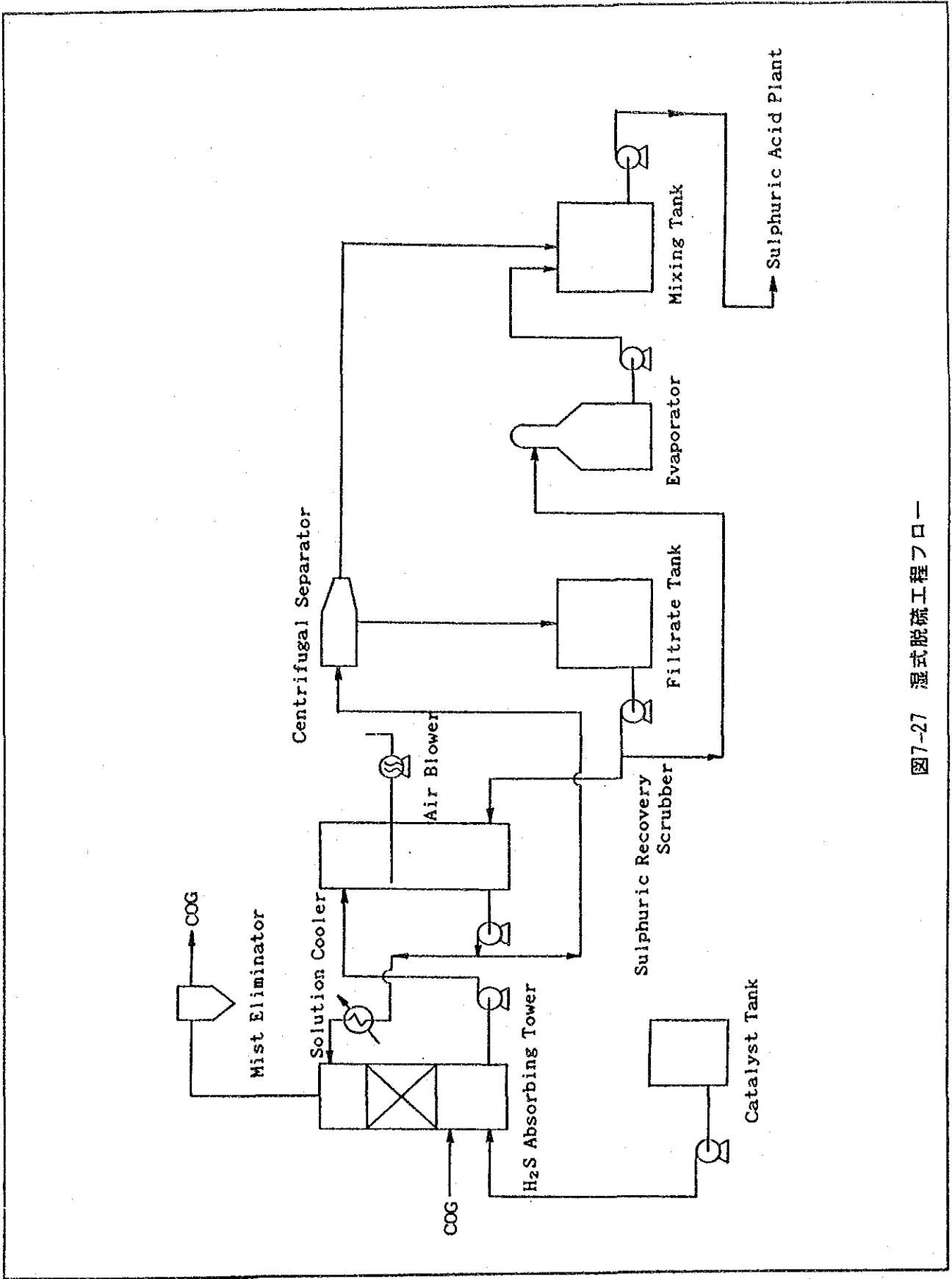


图7-27 湿式脱硫工程フロー

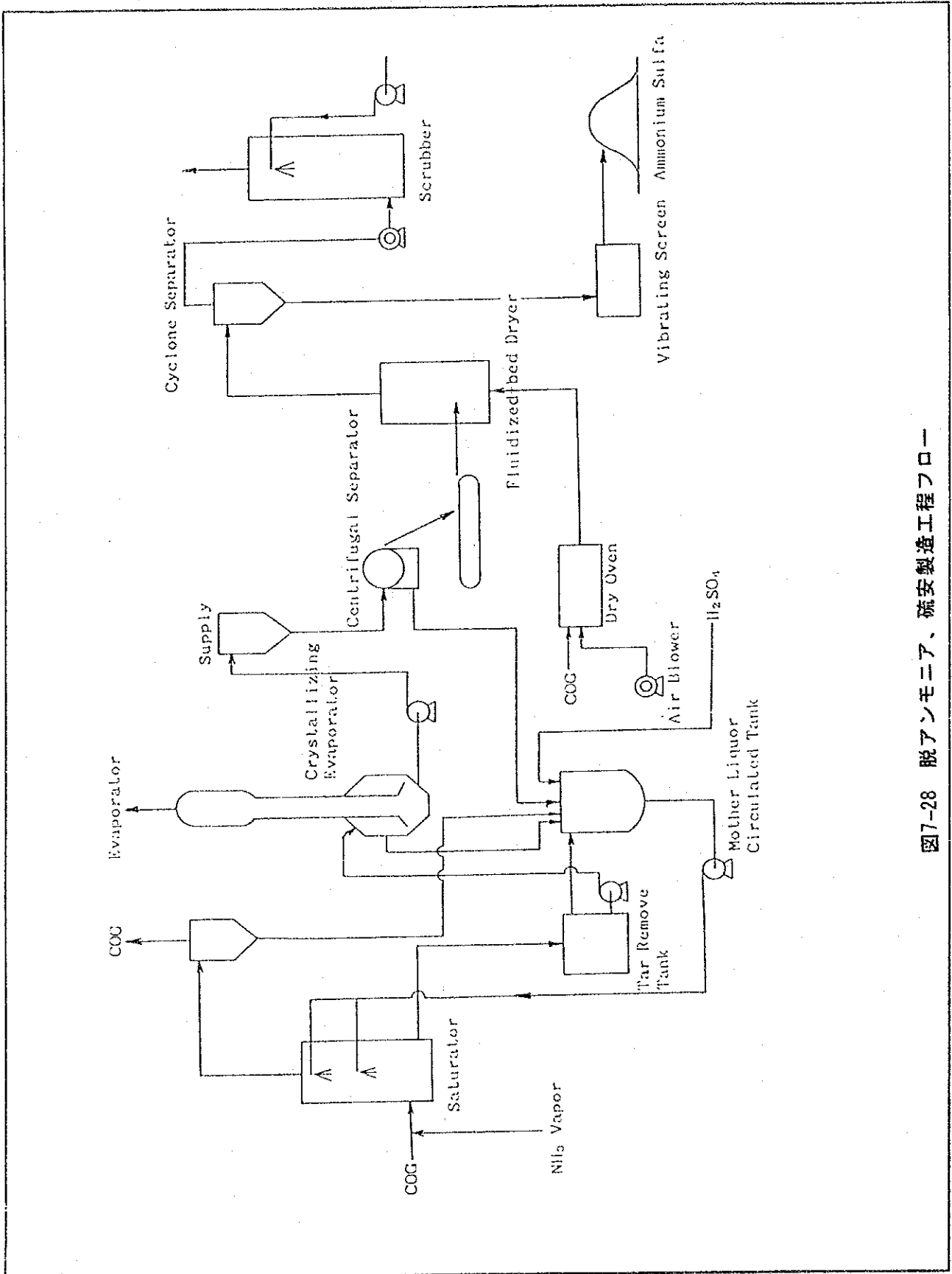


図7-28 脱アンモニア、硫酸製造工程フロー

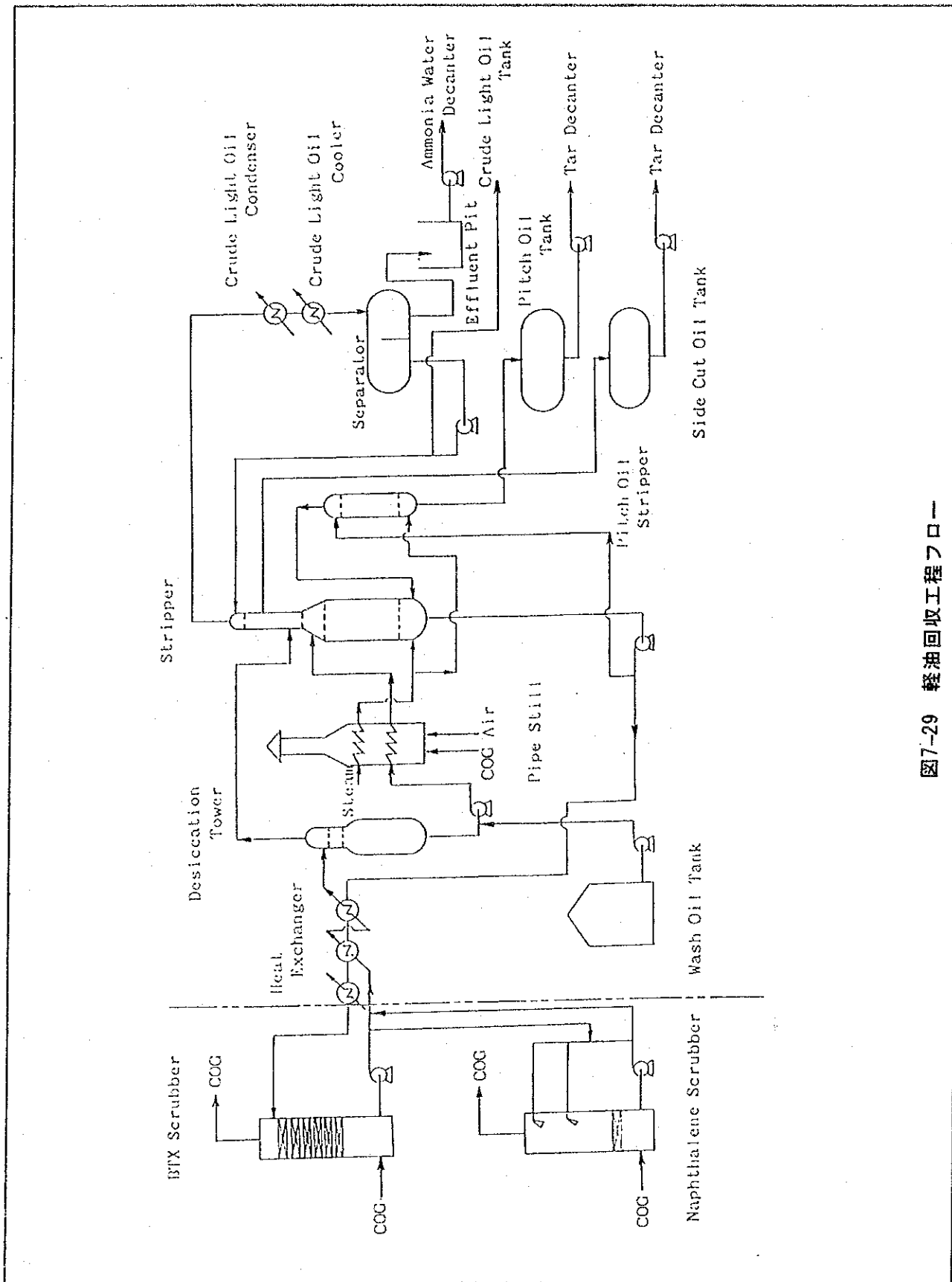


図7-29 軽油回収工程フロー