

4.1.4 耐火物技術

製鋼技術をささえる上での重要な技術として耐火物技術がある。ここでは製鋼用各種耐火物技術についてK社の現状を紹介するとともに、石家庄鋼鉄廠の技術改善に対し、意見を述べたい。

なお、1986年1月の現地調査で確認した鋼鉄廠の耐火物諸元を表4.1.4-1に示す。

(1) 転炉用耐火物

1) 石家庄鋼鉄廠の実情

鋼鉄廠では、ドロマイト工場を持つており、転炉で使用するレンガは当工場で製造している。図4.1.4-1に現在稼動している6トン空気横吹き転炉のレンガ張り後プロフィールを示す。

転炉寿命は1985年平均で157ヒートであり、レンガ原単位は55 kg/tと高い。転炉寿命は羽口周辺耐火物の溶損によって律速されている。

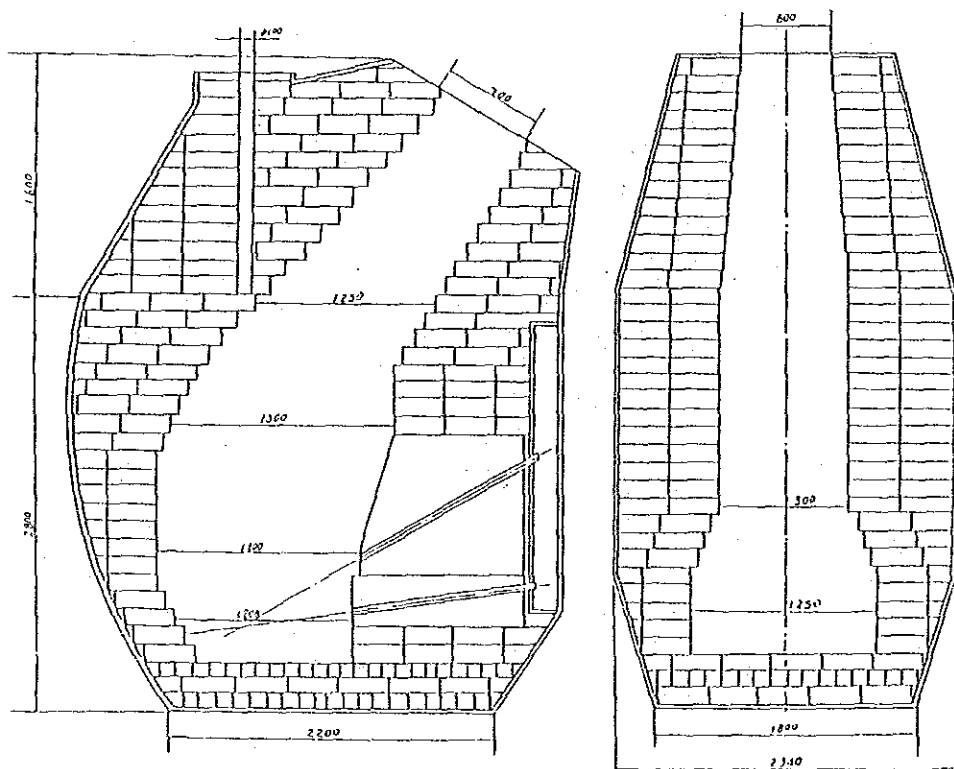


図 4.1.4-1 6トン空気横吹き転炉レンガ
積み後のプロフィール

表 4.1.4-1 石家荘鋼鉄廠における製鋼用耐火物諸元

使用設備	名称	材質	レンガ、不定形の種別	化学組成 (%)							耐火度	見掛気孔率 (%)	嵩比重	曲げ強度 (kg/cm ²)	圧縮強度 (kg/cm ²)	消費量 t/年			
				C	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	ZrO ₂	SiC	CaO						転炉工場	5 t 電気炉工場	30 t 電気炉工場	
転 炉	炉体レンガ	ドロマイト	レンガ			15~18										5991.4	-	-	
キ ュ ボ ラ	"	マグネシア	レンガ			40						≤24	2.4	250		1205	-	-	
	取鍋耐火物	ハイアルミナ	不定形		84.4	0.23	0.22												
転炉工場溶鋼鍋	"	"	"		89.1	0.12	4.72									} 630.6	-	-	
	"	MS・87G	"		2.2	87.68	6.54												
	"	粘土質	レンガ		40		~60				1710℃	≤20	2.5	≥300					
転炉工場溶銑鍋 電気炉工場溶鋼鍋	"	"	"		40		~60				"	≤20	2.5	≥300		} 50	330	127.5	
	取鍋敷レンガ	"	"		40		~60				"	≥26	2.2	≥150					
造 塊	注入管・ランナー	粘土質	"		≥36						1690℃	17~24	2.4			2967.4	352	115.2	
スライドバルブ	プレートレンガ	不焼成アルミナ	"	8	>58						1770℃	≥7.6		600		102.0	13.2	0.72	
電 気 炉	5 t 炉々体	ドロマイト	レンガ			≥20										-	239.8	-	
	30 t "	マグネシア	"			≥35						≤24	2.4	250	-	-	189.7		
	炉蓋レンガ	ハイアルミナ	"		≥80						1790℃	≤19		1800	-	183.5	154.5		
	補修材	マグネシア粒	不定形			89.3	3.9			3.6						-	66.0	405.7	
	"	マグネシア粉	"			89.3	3.9			3.6						-	6.6	33.8	
	永久張	マグネシア	レンガ			87							≤19		400	-	少量	少量	

(注) 30 t 電気炉は 1985 年 7~12 月実績

現在、横吹き転炉を純酸素上吹転炉へ改造する計画を進めており、さらに近代化計画では20トン上下吹転炉を設置することから、今後築炉構造、材質の見直が必要である。

2) K社上下吹転炉の築炉構造と耐火物材質

図4.1.4-2にK社240トン転炉レンガ積み後のプロフィールを示す。レンガ厚は炉底中央で850mm、湯溜りで990mm、直胴部で720~910mm、炉口部は630mmの一段巻きとしている。

LD-OTB方式の上下吹を採用し、底吹ガスは当初Ar、N₂を使用していたが現在はLDガスから分離したCOガスを主体に使用している。転炉の平均出鋼温度は1,680℃で寿命は1,000~1,200ヒートである。

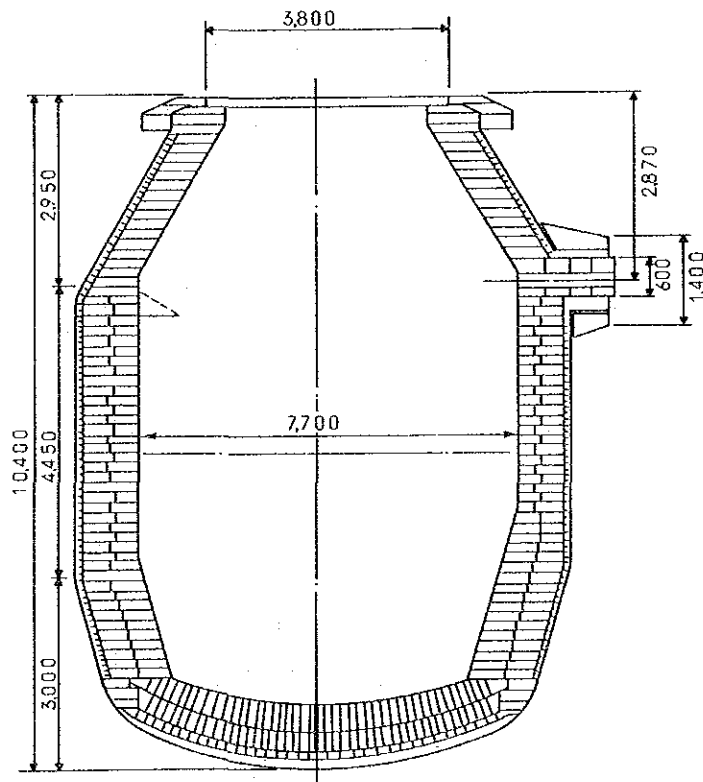


図 4.1.4-2 240トン転炉レンガ積み後の
プロフィール

転炉の耐火物はレンガの損傷状態に応じて部位毎に各種の材質で張分け、レンガの溶損が均一化されるよう配慮している。図4.1.4-3にレンガ張分けの例を、表4.1.4-2に各部位に使われている耐火物の諸元を示す。

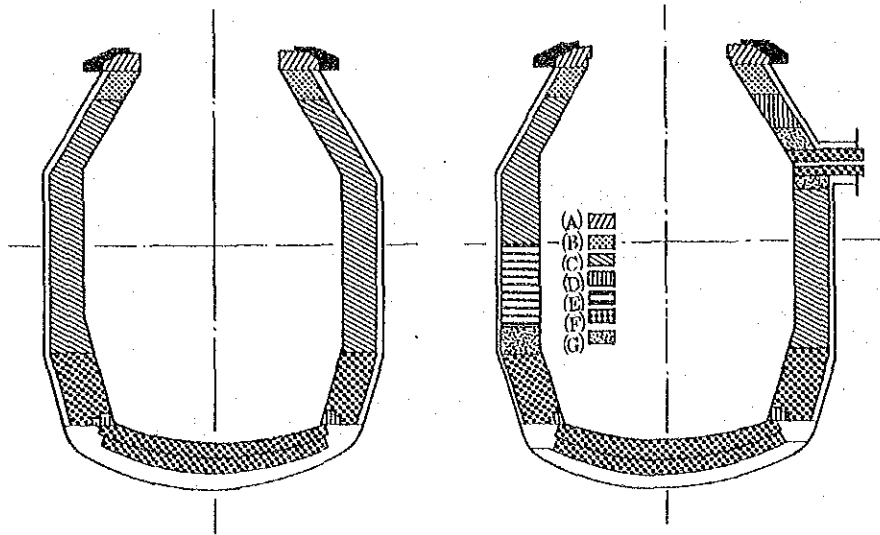


図 4.1.4-3 240トン上下吹転炉レンガ張分け例

表 4.1.4-2 部位別転炉耐火物諸元

	不焼成レンガ					焼成レンガ			
	(A)	(B)	(C)	(D)		(E)	(F)	(G)	
	ターブルドロマイト	ターブルマグドロ	ターブルマグドロ	MgO-C	MgO-C	マグネシア	マグネシア	マグドロ	
気孔率 (%)	5.5	5.5	4.5	4.4	3.2	1.3	1.5	1.0	
嵩比重	2.90	2.85	2.77	2.82	2.89	3.22	3.05	3.20	
圧縮強度 (kg/cm ²)	450	350	300	330	400	1,150	650	750	
熱間曲げ強度 (kg/cm ²) (at 1,400°C)	23	28	41	77			103	65	
組成 (%)	MgO	55	69	73	76	72	98	93	80
	CaO	33	17	10	0	0	0	1	13
	SiO ₂	1.3	1.3				0	0.2	0.5
	C	2	6	12	23	22	2	0	0
	灼熱減量	7	7	7				6	0
使用部位	炉口	トラニオン	トラニオン	トラニオン	羽口	装入側	出口 銅炮	装入側	
コスト指数	1.0	1.2	1.6	2.5	5.5	5.9	2.9	2.3	
備考	天然ドロマイト	天然ドロマイト焼結 MgO	天然ドロマイト高純度焼結 MgO	焼結 MgO	電融 MgO	電融 MgO	焼結 MgO 電融 MgO	焼結 MgO ドロマイト	

3) 補修技術

耐火物の寿命を向上させ、トータルコストを低減させるためには、築炉構造、材質の適正化を図るとともに補修作業を組合せる必要がある。以下に代表的な補修技術を紹介する。

A. 吹付補修技術

転炉のトラニオンサイドおよび絞り部の局部溶損に対し有効な補修技術である。

図 4.1.4-4 は転炉吹付補修の概念を示したものであるが、1~3 kg/l の吹付材使用により、転炉の局部溶損が軽減され、寿命が延長する。

使用する吹付補修材の組成を表 4.1.4-3 に示す。

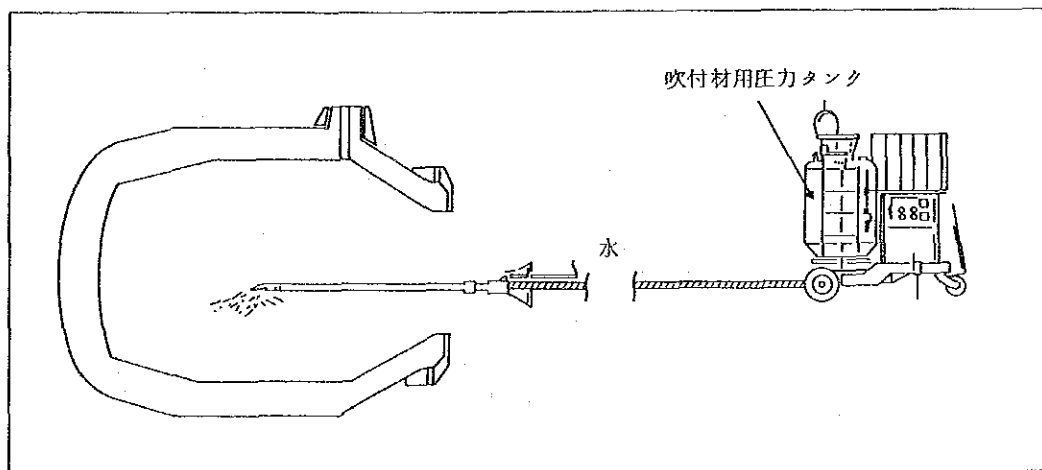


図 4.1.4-4 転炉吹付補修概念

表 4.1.4-3 吹付補修材の組成と粒度分布

化 学 組 成 (%)						粒 度 分 布 (%)		
MgO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	灼熱減量	>0.84mm	0.84mm	-0.044mm
80.1	11.5	1.4	0.5	3.5	1.9	≤3.5	3.9	3.1

B. スラグコーティング技術

転炉の炉底、装入側の敷の耐火物を保護する方法としてスラグコーティング技術がある。

スラグコーティング技術とは転炉排滓時にスラグを少量残し、生石灰またはドロマイトを添加して炉を傾動し、半溶融状態のスラグを耐火物面に付着させる技術である。(図 4.1.4-5)

転炉々代中期から末期にかけ、ほぼ毎回くり返すことにより、炉底および装入側の耐火物溶損が抑えられる。同技術適用に当たっては、転炉の湯面レベルを管理し、スラグコーティングが過剰になって炉底が隆起することのないよう注意する必要がある。

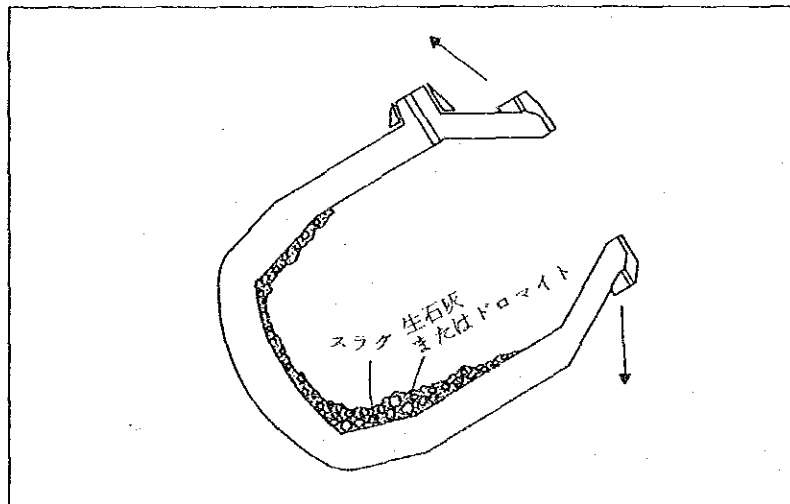


図 4.1.4-5 スラグコーティング技術

4) スラグコントロール技術

転炉耐火物の溶損を抑える方法としてスラグコントロール技術が広く用いられている。

同技術はドロマイトなど MgO 分を含む副原料を溶解し易い状態(たとえば軽焼ドロマイトなど)で吹錬中に添加し、スラグ中の % (MgO) を意識的に増加させて耐火物からスラグへの MgO の溶出を抑えるもので一般に高 MgO 操業と呼ばれている。

レンガ中には MgO が 60 ~ 90 % 含まれており、この MgO 分がスラグ中に溶出することによってレンガが溶損される。スラグ中の MgO を積極的に増加

させるとスラグ中の $\%(\text{MgO})$ が飽和状態となり、レンガからスラグ中への MgO の移行は停止する。図 4.1.4-6 は K 社 40 トン転炉の高 MgO 操業によって認められた結果である。

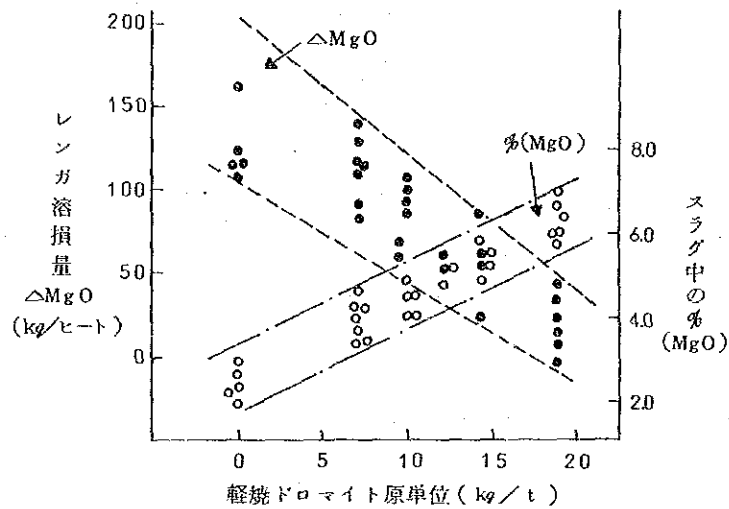


図 4.1.4-6 高 MgO 操業によるレンガ溶損量の抑制

スラグ中の MgO 飽和限は温度、スラグ成分によって異なるが7~10%であり、軽焼ドロマイトを使用する場合20~30 kg/t 程度で飽和する。

5) 新炉の昇熱方法

築炉後の転炉を稼動させるに当たり、レンガの熱スポーリングを避けるとともに、新炉時の溶鋼低熱トラブルを防止するために、昇熱作業を実施することが一般的である。石家庄鋼鉄廠の6トン空気横吹転炉では、昇熱作業を実施しておらず、新炉時の低熱トラブルが発生している。また、転炉寿命への影響についてはスラグ分析をしていないので不明なもの、寿命低下の一因になっているものと考えられる。

新炉の昇熱方法について、K社240トン転炉の実施例を以下に紹介する。

- ① 大塊コークス3,000 kg および適量の薪をスクラップシュートに装入する。
- ② スクラップシュート内で着火させ、酸素パイプで酸素を供給する。
- ③ コークスが燃焼し始めたら、スクラップシュート内の赤熱コークスを転炉内に装入する。

- ④ 装入後上吹ランスより酸素を供給し、約60分間炉内で燃焼させる。
 - ⑤ 燃焼後、コークス殻を炉外に排出し、溶銑を装入して作業を開始する。
- 昇熱時の送酸のパターンは経験的に図4.1.4-7のように行なっている。

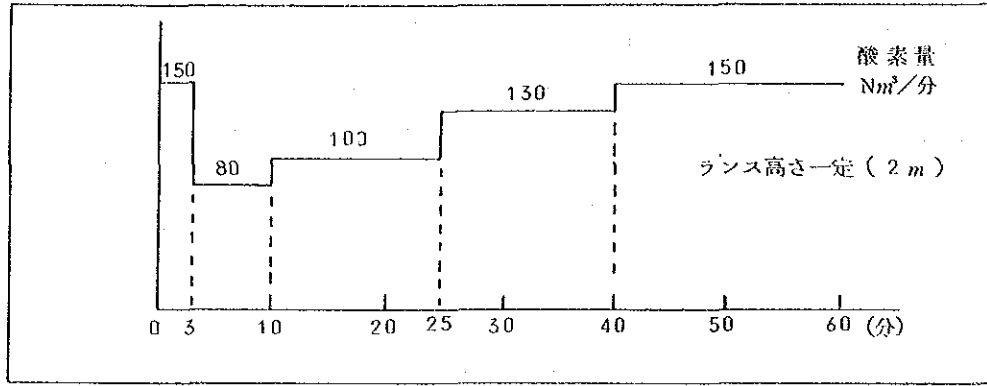


図 4.1.4-7 新炉の昇熱パターン

(2) 電気炉用耐火物

1) 石家荘鋼鉄廠の実情

5トン電気炉はドロマイトレンガ、30トン電気炉はマグネシアレンガを主体に使用しており、炉寿命は5トン炉78ヒート、30トン炉は稼動まもないため40ヒートとなっている。

図4.1.4-8は30トン電気炉の築炉構造を示したもので、炉壁の一部は水冷構造となっており、出鋼口は一体型の不定形耐火物を使用している。

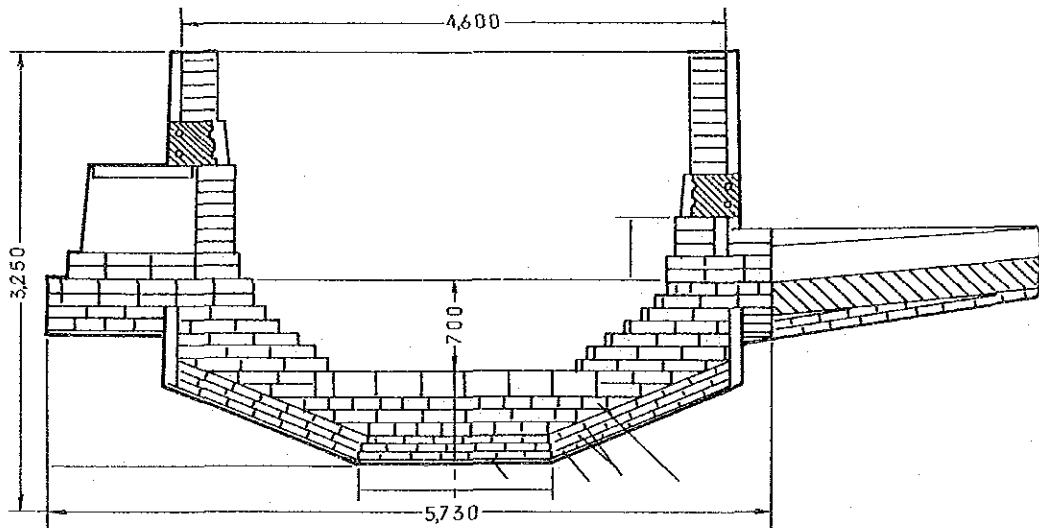


図 4.1.4-8 石家荘鋼鉄廠30トン電気炉築炉構造

炉底の補修はほぼ毎ヒート、マグネシアクリンカーをスコップで投入して実施している。

電気炉も転炉同様、炉体交換方式を採用しており、寿命になった時点で炉本体を交換している。

2) 電気炉用耐火物に対する提案

図 4.1.4-9 は石家荘鋼鉄廠の電気炉と類似した日本の 30 トン電気炉の耐火物構造を示したものである。

日本の電気炉は、ほとんどが炉床にスタンプ材を用いており、補修の併用により炉床寿命は約半年程度である。また、炉壁は水冷化が進み、85%以上の電気炉もある。炉壁用耐火物としては、マグクロレンガを主体に、ホットスポット (Hot Spot) 部にはマグネシアカーボンレンガを使用し、寿命はホットスポット部で 100 ヒート、その他で 200~300 ヒートを達成している。

炉蓋にはマグクロレンガを採用し、電極孔まわりは高アルミナ質のラミング (Lamming) 材を用いて、100 ヒートで部分補修、200 ヒートで全面張替えを行なっている。

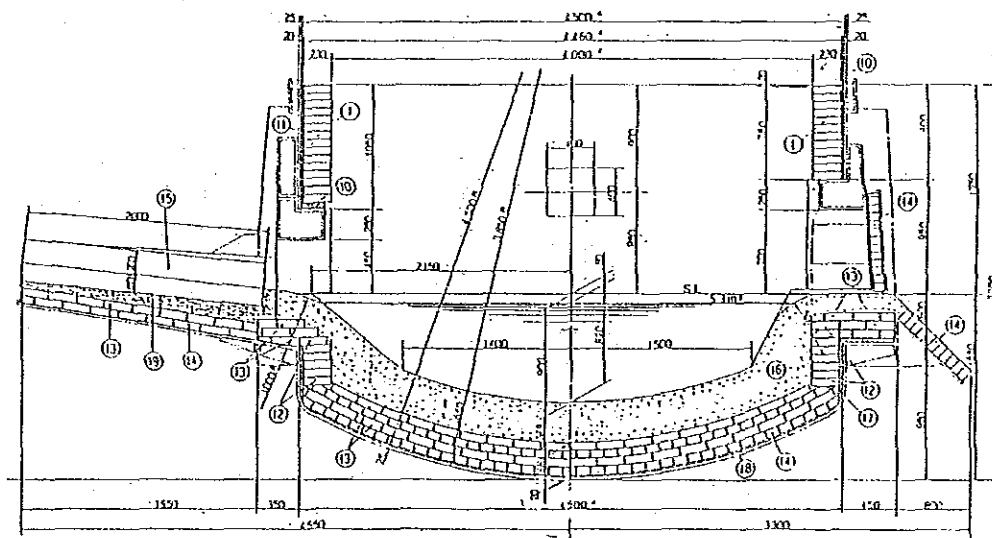


図 4.1.4-9 30 トン電気炉レンガ積構造

表 4.1.4-4 に電気炉用耐火物の物性を紹介する。

電気炉用耐火物については、

- ① 炉床のスタンプ化
- ② 水冷化の促進
- ③ ホットスポット部の材質改善

などにより、寿命延長が図られると考えられる。

表 4.1.4-4 電気炉用耐火物の物性紹介

部 位		炉 壁		炉 床			出鋼樋	炉 蓋	
図中の番号		①		②	③	④	⑤	-	
		一般壁	ホット スポット	スタンプ材	炉床レンガ	モルタル	一体樋	レンガ	電極孔
化 学 組 成 (%)	SiO ₂	< 5.0	-	< 3.5	< 3.5	< 5.0	< 35	< 6	< 15
	Al ₂ O ₃	< 11.0	-	< 0.5	< 0.5	< 1.0	< 10	< 17	> 78
	Fe ₂ O ₃	< 6.0	-	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 2	< 10	< 2.0
	Cr ₂ O ₃	> 8.0	-	-	-	-	-	> 16	-
	CaO	> 2.0	-	< 1.8	< 1.8	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 0.5
	MgO	< 68	> 78	> 94	> 94	> 92	Si ₃ N ₄ > 15	> 45	< 0.5
	C	-	> 17	-	-	-	ZrO ₂ > 35	-	-
一 般 物 性	気孔率(%)	< 16	< 5	-	< 20	-	< 22	< 16	-
	嵩比重	> 2.9	< 2.75	-	> 2.8	-	< 2.65	> 3.0	-
	圧縮強さ (kg/cm ²)	> 400	> 250	-	> 500	-	> 230	> 450	-
備 考	不焼成 マグクロ 質	マグネシ ア カーボン 質	マグネシ ア質	焼 成 マグネシ ア質	マグネシ ア質	セミ シルコン 質 窒化珪素	不焼成 マグクロ 質	高アルミ ナ質 ラミネー 材	

(3) 溶鋼鍋用耐火物

1) 石家庄鋼鉄廠の実情

溶鋼鍋は転炉工場と電気炉工場で使用している耐火物材質が異なっている。転炉工場ではアルミナキャストブルを、電気炉工場ではシャモットレンガを使用している。とくに電気炉工場で使用している溶鋼鍋は間欠操業のため、寿命は10ヒート程度と低く、材質改善、補修技術の確立が望まれる。

電気炉用溶鋼鍋のレンガ積構造を図4.1.4-10に示すが、レンガ積の方法としては非常に良く、とくに敷レンガの目地に工夫がこらされている。

壁レンガについては内張りレンガと準永久張りレンガの目地が一部合わさった状態となっている所があり、地金の浸入を防止するためには、目地が合わないようにする必要がある。

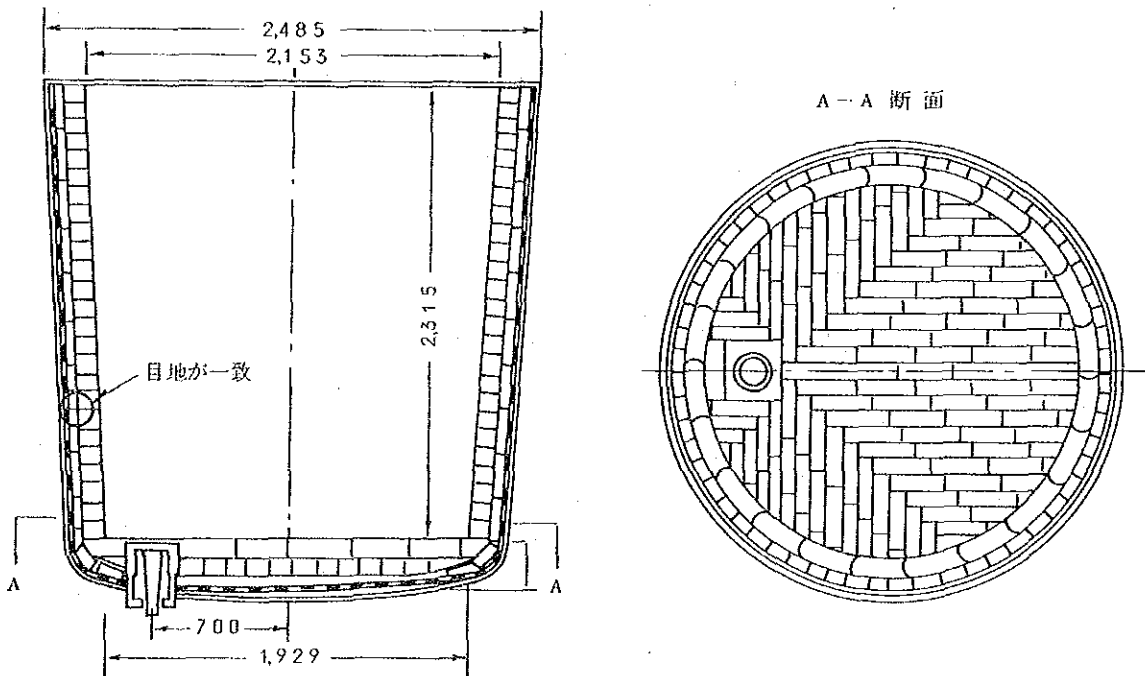


図 4.1.4-10 電気炉工場45トン溶鋼鍋のレンガ積構造

2) K社240トン溶鋼鍋のレンガ積構造

K社で使用しているロー石鍋のレンガ積構造を図4.1.4-11に、部位別の耐火物物性を表4.1.4-5に示す。

レンガ材質はロー石が主体であり、溶損の激しいスラグラインにはジルコニアレンガを使用している。敷レンガについては、改善の余地があるが、内張りレンガと準永久張りの目地は一致しないよう配慮されている。

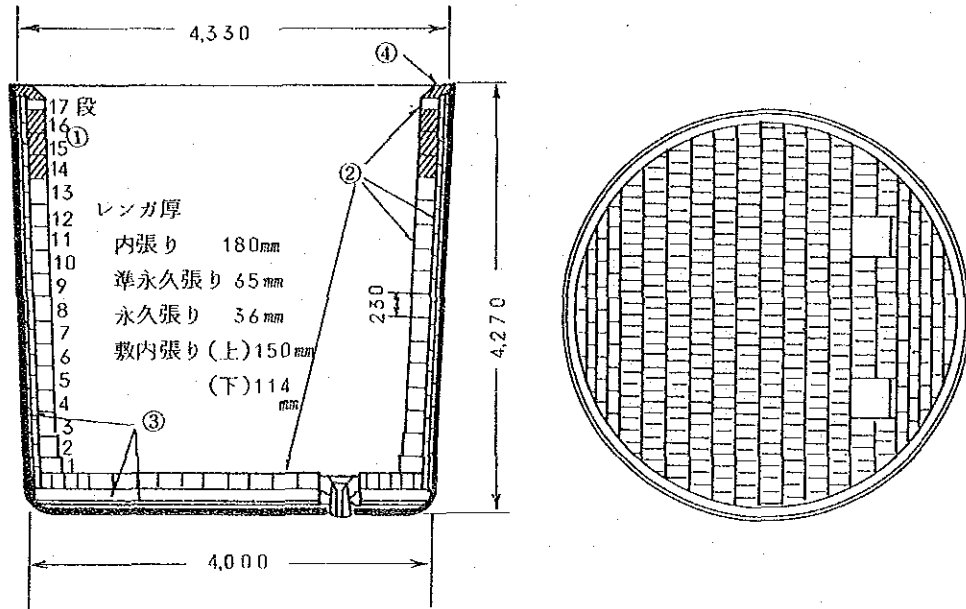


図 4.1.4 - 1 1 240トン溶鋼鍋のレンガ積構造

表 4.1.4 - 5 240トン溶鋼鍋で使用している耐火物の物性

図 4.1.4 - 1 1 の番号		①	②	③	④
化学組成	SiO ₂ (%)	36.5	84.88	78.5	43
	Al ₂ O ₃ (%)	2.7	13.85	16.5	47
	Fe ₂ O ₃ (%)	0.2	0.23	0.7	-
	ZrO ₂ (%)	59.9	-	-	-
一般物性	気孔率 (%)	15.9	15.0	15.5	-
	嵩比重	3.56	2.20	2.20	-
	圧縮強さ (kg/cm ²)	1,320	350	380	-

3) 取鍋補修方法

ロー石鍋の場合、K社溶鋼鍋の寿命は80チャージ程度でこの間15～20ヒートに1回、計4回の中間補修を行なっている。中間補修の方法は図4.1.4-12に示すように、レンガ表面のスラグ、地金を除去したのち、薄いレンガを張る。各中間修理の内容は表4.1.4-6に示した通りである。

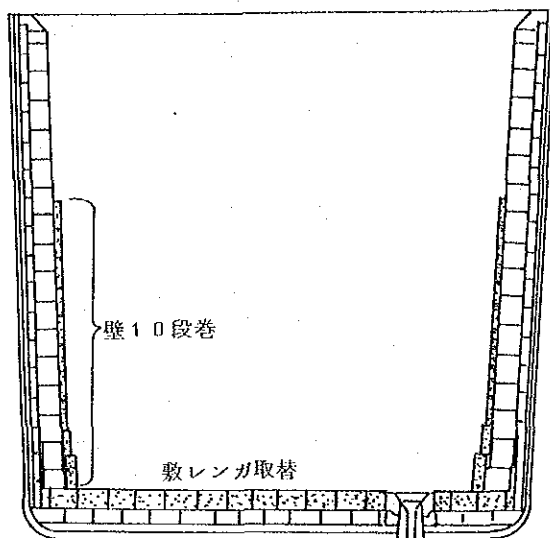


図 4.1.4-12 中間修理方法（第1回目中間修理）

表 4.1.4-6 中間修理の時期と修理内容

中間修理回数	取鍋回数	修理間隔	修理内容
第1回目	20ヒート	20ヒート	○ 敷レンガ取替 ○ 壁10段巻
第2回目	35ヒート	15ヒート	○ 敷レンガ取替 ○ 壁16段巻
第3回目	50ヒート	15ヒート	○ 敷レンガ取替 ○ 壁17段巻
第4回目	65ヒート	15ヒート	○ 敷レンガ取替 ○ 壁17段巻

4) 取鍋精錬に対する溶鋼鍋材質への配慮

取鍋精錬で溶鋼を加熱・精錬する場合、アーク加熱によるスラグラインの溶損および取鍋内への溶鋼滞留時間延長によるレンガの全面溶損が激しくなる。

そのため、取鍋精錬を行なう場合には、高アルミナ質レンガまたはジルコン質レンガを使用するのが一般的である。また、スラグラインの溶損を防止するため、この部位にはマグネシア・カーボン質レンガを使用している。

表 4.1.4-7 に各部位に使用しているレンガの物性を示す。

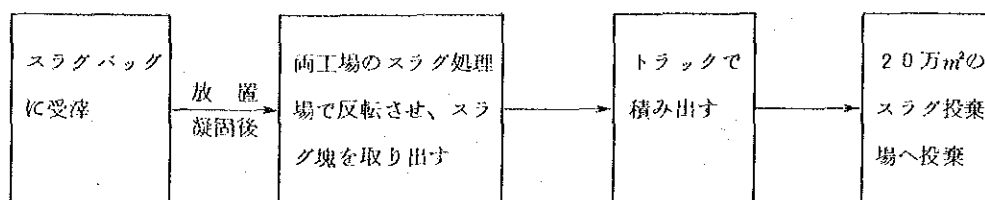
表 4.1.4-7 取鍋精錬用耐火物の物性

		高アルミナ質取鍋			ジルコン質取鍋		
		スラグライン 14~16段	側壁レンガ	敷レンガ	スラグライン 14~16段	側壁レンガ	敷レンガ
化学組成	SiO ₂ (%)	—	5.66	18.82	26.6	3.65	52.1
	Al ₂ O ₃ (%)	—	85.70	76.75	2.2	2.7	11.4
	Fe ₂ O ₃ (%)	—	1.30	1.45	0.2	0.2	—
	ZrO ₂ (%)	—	—	—	67.5	52.9	27.2
	C (%)	15	4.69	—	—	—	—
	MgO (%)	82	—	—	—	—	—
一般物性	気孔率 (%)	4.9	7.4	20.1	15.5	15.9	16.8
	嵩比重	2.94	3.02	2.81	4.00	3.56	2.65
	圧縮強さ (kg/cm ²)	500	870	180	750	1,320	330
備考		マグネシア カーボン質	不焼成 高アルミナ質	焼成 高アルミナ質	ジルコン質	ジルコン質	セミジルコン質

4.1.5 スラグ処理設備

現在、鋼鉄廠で発生する製鋼スラグは転炉、電気炉、キュボラを合わせて2万トン/年以上と想定される。製鋼スラグはすべて下記のフローで未処理のまま、鋼鉄廠外の20万m²の面積を有する敷地にトラックで搬出されている。野積されたスラグに含まれている大塊地金は、農民によって一部回収されているものの、地金を含んだスラグの山の高さは10m以上にも達する。

今後、近代化計画を進め、粗鋼35万トン/年体制となった場合、製鋼スラグの発生量はさらに増加し、4万トン/年にまで達すると考えられる。



このような状況にあって鋼鉄廠では、近代化後のスラグ増への対応と地金回収、スラグの有効活用を図るため、電気炉工場周辺にスラグ処理設備の設置を計画している。

以下に、K社における転炉スラグおよび電気炉スラグの処理方法、日本におけるスラグの活用例を紹介するとともに、鋼鉄廠のスラグ処理に対する提案について述べる。

(1) 転炉スラグおよび電気炉スラグの処理・活用方法

図4.1.5-1および図4.1.5-2は粗鋼生産規模200万トン/年のK社転炉スラグ処理フローと設備の平面を示したものである。地金を含むスラグはスラグ鍋で受けたのち、流滓畑で固化し、破碎工程で大きな地金を回収する。その後破碎・磁選工程を経てスラグと地金に分離される。表4.1.5-1に設備仕様を示す。

図4.1.5-3は粗鋼生産規模20万トン/年のK社電気炉スラグ処理フローを示したものである。

電気炉より排出されたスラグは溶滓運搬車でスラグ畑へ運び、以下転炉スラグと同様破碎工程で大きな地金を回収したのち、二次破碎、磁選工程を経てスラグと地金に分離される。表4.1.5-3に設備仕様を示す。

このようにして処理されたスラグは、埋立・土地造成に利用するほか、道路用路盤材、土地改良材、肥料として役立てている。また一部は焼結・高炉・転炉への再利用も図られているが、量的には非常に少ない。また、回収地金は、電気炉・転炉をはじめ、焼結・高炉用原料として使用している。

表4.1.5-2に日本における製鉄スラグ・地金の使用例を紹介する。

(2) スラグ処理に対する提案

スラグ処理についてK社の処理例を紹介してきたが、石家庄鋼鉄廠のスラグ処理設備設置に当たっては以下の事項を考慮する必要がある。

- ① 粗鋼能力35万トン/年時に発生が予想される4万トン/年のスラグを処理できる能力と敷地を持つこと。

表 4.1.5-1 転炉スラグ処理設備仕様

設備名称		設備能力
ス ラ グ 処 理 設 備	転 炉	10,000 T/面×2面=20,000 T/面
	流さいスラグ処理場	面積 16 m×30 m=480 m ² 20 m×30 m=600 m ² (高炉3/3基稼動)
	転 炉	8 m×38 m=304 m ² 6700 T/面
	鍋付スラグ処理場	8 m×32 m=256 m ² 5700 T/面 8 m×43 m=344 m ² 7600 T/面 (高炉3/3基稼動)
	造塊スラグ処理場	8 m×65 m=520 m ²
	スロッピング・スラグ 処理場	8 m×17 m=136 m ² (トラックで投入)
地 金 回 収 設 備	転炉スラグ 磁選工場	対象スラグ(大塊地金を除いた全ての製鋼スラグ) 50,000トン/月(高炉3/3基稼動) メタル処理 常用 30 t/h スラグ処理 常用 125 t/h
	大塊地金選別 および破碎	選別および破碎能力 10,000 トン/月 クローラクレーン 2台 クローラクレーン 1台
溶 鉄 処 理 設 備	混鉄炉・脱硫 スラグ処理場	流さい用 10 m×10 m=100 m ² 鍋付用 8 m×32 m=256 m ²

設備名称		仕 様	能力	数 量	備 考
破 砕 機	ジョー・クラッシャー	モーター 供給最大寸法 出力セット範囲 45 Kw 360×500×700 mm 25~50 mm	セット 77 t/h 50 mm	1	
	ハイドロ・コーン	75 Kw 75×105×150 mm 19~32 mm	セット 92 t/h 22 mm	1	
磁 選 機	№1 磁選機(吊下式)	モーター 架設高さ 輸送厚み 輸送速度 2.2 Kw 300~350 50 mm 60 m/min		1	
	№2 〃 (吊下式)	2.2 Kw 250~300 150 mm 60 m/min		1	
	№3 〃 (吊下式)	2.2 Kw 150~200 45 mm 60 m/min		1	
	№4・5 〃 (ドラム式)	0.75Kw		2	
振 動 機	№1スクリーン	篩分寸法 篩寸法 回転数 モーター 50 1500×4200 850 rpm 11Kw	125 t/h	1	バラス用
	№2スクリーン	25 1500×4200 850 rpm 11Kw	200 t/h	1	バラス用
	№3スクリーン	80,12 900×2400 850 rpm 7.5Kw	50 t/h	1	粒鉄用
フ ィ ダ ー	№1フィダー	振 動 振巾 モーター 1100回/min 6 mm 3.7Kw	500 t/h	1	バラス用
	№2フィダー	1.5Kw	25 t/h	1	粒鉄用
	№3フィダー	1.5Kw	75 t/h	2	粒鉄用
ホ ッ パ ー	原石ホッパー 0~150	30 m ² グリズリー 150 mm	45 T	1	
	バラスホッパー 0.25	60 m ²	300 T	3	
	粗鉄ホッパー 0~10	10 m ²	40 T	1	
	10~80	10 m ²	40 T	1	
ベ ル ト コ ン ベ ア	バラス用ベルトコンベアー	ベルト巾 延機長 速 度 750 mm 138 m 60 m/min		6	
		600 mm 93 m 60~100 m/min		5	
	粒鉄用ベルトコンベアー	500 mm 77 m 60 m/min		3	

表 4.1.5 - 2 日本における製鉄スラグ・地金の使用例

発生源	製品の種類	用途
高 炉	水 滓 (高炉砂)	セメント製造原料 道 路 用 材 コンクリートブロック骨材
	空冷スラグ (高炉パラス)	道路下層路盤材 鉄道用パラス セメントコンクリート骨材 アスファルトコンクリート骨材 肥 料
転 炉	回 収 地 金	電気炉、転炉用原料 高 炉 用 原 料 焼 結 用 原 料
	転 炉 ス ラ グ	道路下層路盤材 地 盤 改 良 材 土工、土地造成材
電 気 炉	回 収 地 金	転 炉 と 同 様
	電 気 炉 ス ラ グ	道路用路盤材 土 壤 改 良 材 肥 料

- ② スラグの有効活用を図る上で、転炉スラグと電気炉スラグを別管理できること。
- ③ 地金の回収と再利用が図れること。

また、これらに加え、現在 20 万 m^2 の敷地に野積みされている地金を含有したスラグの処理と、将来にわたるこの敷地の活用方法も考慮する必要がある。

これらの見地から、スラグ処理設備は、20 万 m^2 の敷地に設置し、今後発生するスラグの処理と保管を行なうとともに、これまで投棄してきたスラグの処理を行なうことが有効と考える。

また、処理方法としては図 4.1.5 - 3 に示す方式でよいと考える。

表 4.1.5 - 4 にスラグ処理設備の概要についての提案を示す。

表 4.1.5-3 電気炉スラグ処理設備仕様

符号	名称	数量	摘要
1	原料ホッパー	1	3 m × 4 m 鋼製
2	水平ブレード	1	自開き 300 m 形鋼
3	レシプロフィーダー	1	PF-650 変速モーター
4	一次破砕機	1	ファインジョー
5	磁 1 磁選機	1	
6	二次破砕機	1	ハイドロコーン 736
7	磁 2 磁選機	1	
8	三次破砕機	1	インパクトブレーカー
9	磁 3 磁選機	1	
10	振 動	1	
11	振動フィーダー	1	
12	振動・磁選機架台	1 式	
13	破砕機建家	1 式	5 m × 11 m × 8 m H
14	磁選機建家	1 式	5 m × 11.5 m × 8 m H
15	製品ホッパー	1	4 m
16	製品ホッパー	1	2 m
17	エヤーシリンダー	3	500 × 100
B-1	原料コンベヤ	1	600 × 200 - 27 m × 17°
B-2	一次破砕コンベヤ	1	600 × 200 - 20 m × 12°
B-3	二次破砕コンベヤ	1	600 × 200 - 18.5 m × 18°
B-4	二次破砕コンベヤ	1	600 × 200 - 21 m × 16°
B-5	三次破砕コンベヤ	1	600 × 200 - 19 m × 13°
B-6	三次破砕コンベヤ	1	600 × 200 - 21 m × 10°
B-7	非磁性物切換コンベヤ	1	500 × 200 - 3 m × 0°
B-8	磁性物切換コンベヤ	1	500 × 200 - 3 m × 0°
B-9	磁性物切換コンベヤ	1	500 × 200 - 8 m × 0° 可逆
B-10	非磁性物コンベヤ	1	300 × 100 - 7 m × 0°
B-11	0~25 0~40 コンベヤ	1	600 × 200 - 29 m × 17°
B-12	磁性物 0~5 コンベヤ	1	300 × 100 - 28 m × 13°
B-13	磁性物 +5 コンベヤ	1	300 × 100 - 28.5 m × 13°

表 4. 1. 5 - 4 スラグ処理設備の概要

項 目	概 要
(1) 設 置 場 所	現在の20万 m^2 のスラグ投棄場内
(2) 処理スラグおよび処理能力	転炉スラグおよび電気炉スラグ 50トン/h
(3) 処 理 方 法	1) 処理済のスラグを投棄処分する場合は 転炉スラグと電気炉スラグを混合処理する 2) 処理済のスラグを再利用する場合は 転炉スラグ、電気炉の酸化性スラグ、塩基性スラグを、別個に処理する。
(4) 処理設備のフロー	粗鋼量が類似していて、かつ設備が比較的コンパクトであり、稼働実績のある図4.1.5-3のK社の処理設備とする。
(5) 主 な 設 備	1) 車 輛 ○スラグ鍋運搬車 2台 ○クローラクレーン 1台 ○ショベルローダー 1~2台 ホイルローダー ○ダンプカー 他部署のものと兼用 2) 破 砕 機 3台 3) 磁 選 機 3台 4) ス ク リ ー ン 1台 5) フ ィ ー ダ ー 3台 6) ホ ッ パ ー 3槽 7) ベルトコンベアー 13ライン 詳細は図4.1.5-3参照
(6) 処理後の地金、スラグの使用先	1) 粒鉄、地金 大きいものは電気炉、転炉へ。 小さいもの、質の悪いものは、焼結または高炉へ。 2) 処理済のスラグは、エージング後路盤材等へ。 一部は焼結、高炉へ。

4.1.6 分析設備

鋼材の機械的性質を安定化させるとともに、成分脱線の減少などを図るため、分析設備を導入し、転炉吹止成分を管理することが必要と考える。

ここでは、溶銑・溶鋼中の多元素（最大32元素）を同時に、迅速かつ精度よく分析できるS社製発光分光分析装置について紹介する。

(1) 原理および分析手順

真空形発光分光分析装置による分析は、つぎのような手順で自動的に行なわれる。所要時間は図4.1.6-1に示すとおり。

- ① 試料の分析面を研磨し、装置にセットする。
- ② 発光部からの電力により、試料と対電極の間に火花を発生させる。
- ③ 試料から出た光は分光器により各元素のスペクトル線に分けられる。
- ④ 必要な元素のスペクトル線だけとり出し、検出器である光電子増倍管に導く。
- ⑤ スペクトル線の強さに比例した光電子増倍管の出力電流は測光部の積分器に充電される。
- ⑥ あらかじめ決められた時間に達すると発光が停止する。
- ⑦ 各々の積分器に充電された電気量を測定する。
- ⑧ 事前に標準試料によってつくられた検量線から、未知試料の測定値は含有量に換算され％で表示・記録される。

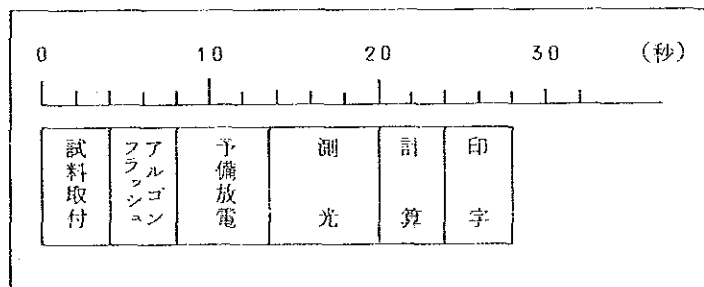


図 4.1.6-1 分析所要時間

(2) 外形寸法

標準的な外形寸法を図 4.1.6-2 に示す。

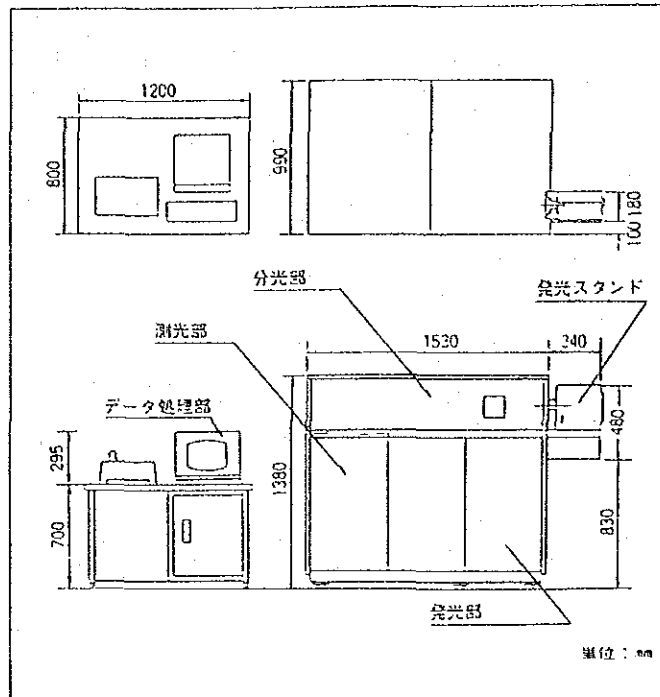


図 4.1.6-2 S 社製分析装置の外形仕様

(3) 分析精度

同装置を用いて K 社で使用した結果を石家荘鋼鉄廠の化学分析誤差と比較して表 4.1.6-1 に示す。

表 4.1.6-1 分析精度の比較

成分	含有範囲(%)	K社誤差実績(%)		石家荘鋼鉄廠 化学分析誤差 (%)
		σ	3σ	
[C]	<0.10	0.003	0.009	± 0.01
	0.10 ~0.20	0.004	0.012	± 0.02
	0.21 ~0.50	0.005	0.015	± 0.025
	0.51 ~1.00	0.008	0.024	± 0.030
[Si]	<0.10	0.003	0.009	± 0.01
	0.10 ~0.25	0.005	0.015	± 0.02
	0.26 ~0.50	0.007	0.021	± 0.03
	0.51 ~1.00	0.012	0.036	± 0.04
[Mn]	<0.20	0.002	0.006	± 0.015
	0.20 ~0.50	0.005	0.015	± 0.020
	0.51 ~1.00	0.011	0.033	± 0.025
	1.01 ~2.50	0.028	0.084	± 0.040
[P]	<0.030	0.0006	0.0018	± 0.003
	0.030~0.100	0.0012	0.0036	± 0.004
[S]	<0.020	0.0004	0.0012	± 0.002
	0.020~0.050	0.0013	0.0039	± 0.004
	0.051~0.100	—	—	± 0.006

4.1.7 酸素製造設備

新転炉工場の20トン上下吹転炉稼動および電気炉の酸素富化操業により、酸素使用量が増加する。

新転炉工場および電気炉工場での酸素使用量は表4.1.7-1のように推定される。(ただし、ここでは5トン電気炉も稼動しているものとして計算した。)

表 4.1.7-1 酸素使用量の推定

設備	原単位(Nm ³ /t)	最大(Nm ³ /h)	平均(Nm ³ /h)
上下吹転炉	55	2,200	1,920
5トン電気炉	25	300	260
30トン電気炉	25	750	
合計	105	3,250	2,180

鋼鉄廠では、6トン上吹転炉の設置計画に基づき、現在 $1,500\text{Nm}^3/\text{h}$ の酸素設備を建設中であり、この設備を含め、今後の酸素設備の運用について検討した。

将来必要な酸素は表4.1.7-1で示した通り $3,000\text{Nm}^3/\text{h}$ 程度であるが、酸素設備は定期点検や、故障が発生した場合、長期間（例えば20～30日間）休止しなければならない。このような事態を考慮し、以下の2ケースについて検討した。

ケース・1 20トン上下吹転炉の設置に合わせて $1,500\text{Nm}^3/\text{h}$ の酸素設備を設置し、通常時は現在建設中の $1,500\text{Nm}^3/\text{h}$ の設備と同時稼働させ、どちらかが点検・休止時には1基稼働とする。

ケース・2 20トン上下吹転炉の設置に合わせて $1,500\text{Nm}^3/\text{h}$ の酸素設備を2基設置し、現在建設中の $1,500\text{Nm}^3/\text{h}$ と併せて常時2/3基稼働とする。

ケース・1の場合、 $1,500\text{Nm}^3/\text{h}$ の酸素設備が休止した場合、その間の粗鋼量は30%減となるが、ケース・2の場合には減産を回避することができる。

図4.1.7-1にケース・1およびケース・2の設備概要を比較して示す。

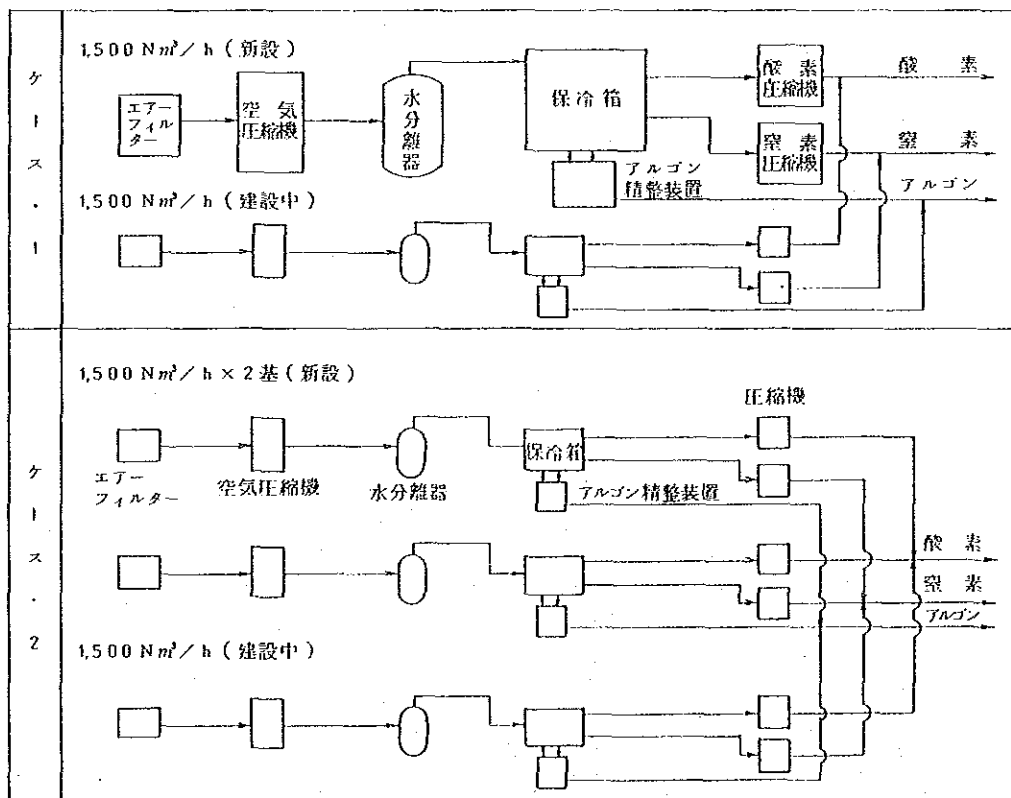


図4.1.7-1 ケース別設備概要比較

投資額としては、ケース．1で約5億円、ケース．2で約10億円であり、ケース．2の場合、減産回避が図れるものの投資額が高くなる。

選択に当たっては、投資額を低く抑えるのか、粗鋼生産量を確保するのかを考慮する必要がある。

酸素工場で発生する窒素およびアルゴン量を表4.1.7-2に示す。

表 4.1.7-2 窒素およびアルゴン発生量 (Nm³/h)

	窒 素	アルゴン
1,500 Nm ³ /h × 2	3,000	80

窒素、アルゴンは転炉底吹ガス、取鍋バブリング用ガス、電気炉工場の取鍋精錬設備および連鋳シール用として使用する。

転炉の底吹ガスはK社LD-OTBプロセスの場合、20トン転炉で60 Nm³/h程度が必要となり、そのうちArが20 Nm³/h、N₂が40 Nm³/hの配分となる。

製鋼工場で使用するAr、N₂量を推定すると表4.1.7-3のようになる。

表 4.1.7-3 アルゴン、窒素使用量の推定

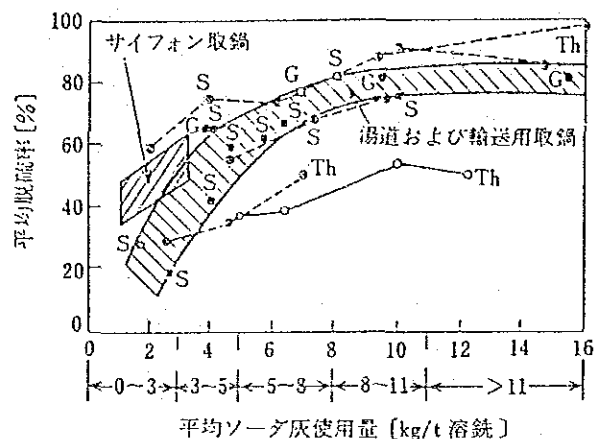
工 場	設 備	Ar (Nm ³ /h)	N ₂ (Nm ³ /h)
転 炉	上下吹転炉	20	40
	溶鋳バブリング	2	—
	転炉シール他	—	400
電 気 炉	取 鍋 精 錬	10	—
	連 鋳 シ ー ル	40	—

4.1.8 溶銑脱硫技術

溶銑の炉外脱硫は日本の鉄鋼メーカーではほとんど必須の技術となっている。
以下に代表的な溶銑脱硫技術について紹介する。

(1) 取鍋置注ぎ法

最も簡単な方法で取鍋内にあらかじめソーダ灰を入れておき、溶銑を取鍋に移す時の攪拌力により脱硫する。5～8 kg/溶銑トンのソーダ灰により、80%の脱硫率が得られる。(図4.1.8-1)



(注) ○湯道, ◻輸送用取鍋, ⊗混銑炉-取鍋, ⊙混銑炉-取鍋-取鍋, ⊕トーチ車-取鍋, サイフォン取鍋
 銑鉄の種類
 S: 製鋼用銑, Th: トーマス銑, G: 鑄物用銑

図4.1.8-1 取鍋置注ぎ法による脱硫実績

(2) K R 法

耐火物製の回転翼を高速で回転させ、上部よりカルシウムカーバイドを添加して脱硫する方法。(図4.1.8-2)

カルシウムカーバイド3 kg/溶銑トンで低硫銑が得られる。(図4.1.8-3)

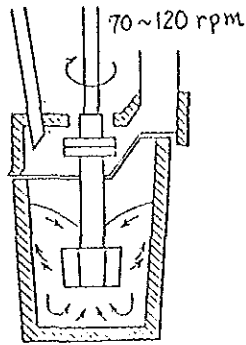


図 4. 1. 8 - 2 KR法概念図

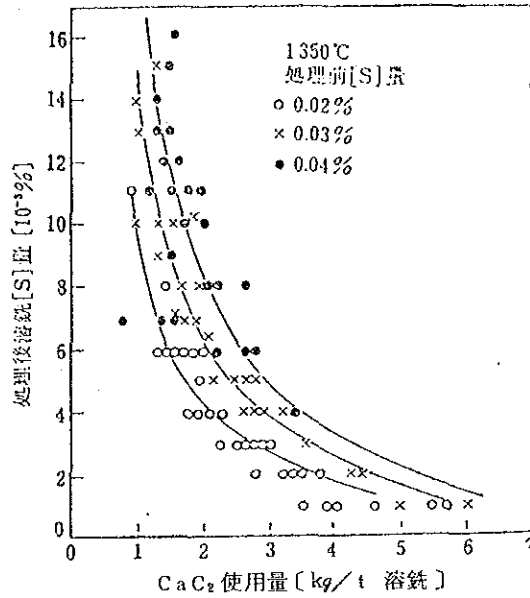
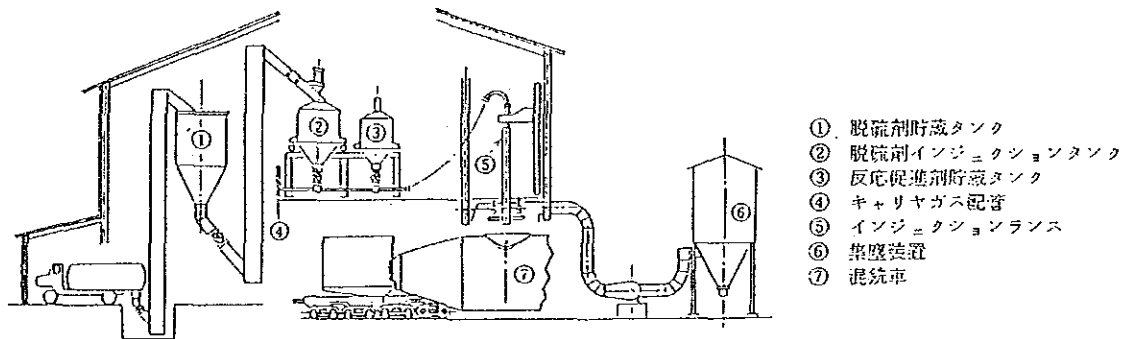


図 4. 1. 8 - 3 KR法による脱硫実績

(3) 脱硫剤吹込み法

取鍋または混鉄車内の溶鉄に窒素をキャリアガスとしてカルシウムカーバイドまたは石灰系フラックスを吹込む。(図4.1.8-4) 脱硫効率が優れ、低硫鉄が得られるとともに大量処理に向いている。(図4.1.8-5)



脱硫剤: CaC_2 + 反応促進剤, 脱硫剤添加速度: 60~100 kg/min, キャリヤガス: N_2 400 Nm^3/h ,
 ランスノズル: 内径 25 mm \times 2, ノズル浸漬深さ: 1000~1500 mm, 吹送時間: 3~10 min,
 混鉄車容量: 150~300 t

図 4. 1. 8 - 4 混鉄車内溶鉄脱硫概念図

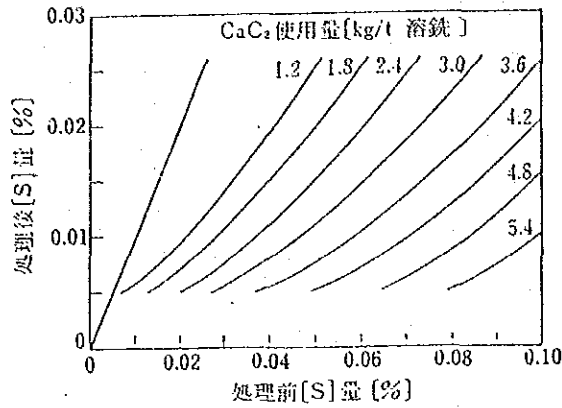


図 4.1.8 - 5 脱硫剤吹込み法による脱硫実績

石家庄鋼鉄廠では、出鋼時の[S]が高く、[S]高による転炉再吹錬率が17%もあることから、1987年に石灰系脱硫剤吹込み方式の溶銑脱硫設備を設置する計画である。

製造鋼種を考慮すれば[S] ≤ 0.020%が溶銑段階で達成できれば良く、この程度の脱硫は、取鍋置注ぎ法を実施すれば可能と思われる。同法はソーダ灰が確保できれば容易に実施することができるので、今後、実験により確認し、方式を決定することが望ましい。

ソーダ灰の添加場所としては高炉鑄床下、転炉工場での溶銑装入鍋が考えられる。なお脱硫後は除滓が必須である。

4.2 近代化のための実施計画と設備投資

4.2.1 近代化実施計画

表 4.2.1-1 に製鋼工場の近代化スケジュールを示す。

表 4.2.1-1 製鋼工場の近代化スケジュール(稼働計画)

新規設備・改造設備名称		申請区分	1986年	1987年	1988年	1989年	1990年
転 炉 関 係	65t混鉄車	B	○9月				
	6t上吹転炉設備	A	○9月				
	溶鉄脱硫設備	C		○6月			
	新転炉工場 ・600t混鉄炉 ・OG式20t上下吹転炉 ・ビレット連鑄機	D				○11月	
電 気 炉 関 係	スクラップ予熱装置	A	○10月				
	スクラップ処理設備	C			○6月		
	ビレット連鑄機	D				○6月	
	電気炉用溶鋼処理設備	D					○6月
共 通	スラグ処理設備	C		○6月			
	酸素製造設備	1,500Nm ³ /h A 1,500Nm ³ /h×2 C	○8月			○12月	

(注) 申請区分 A 建設中
B 発注済
C 決裁済で未着工
D 未決裁

ここで電気炉工場の溶鋼処理設備の稼働は、工場内配置の関係上、連鑄設備が順調に立上がり、造塊設備が不要になった時点とした。

これらの近代化は、計画立案の促進と建設工事期間の短縮により、さらに速やかに行なわれることが望ましい。

4.2.2 製鋼工場近代化のための設備投資

ここでは、製鋼工場の近代化により粗鋼35万トン/年体制を確立する上で必要となる設備・装置をFOB、JAPANで算出した。なお、新転炉工場の転炉設備は20トン/ヒートと比較的小容量であり、日本での実績がないことから、投資額にはかなりの誤差が発生する可能性のあることを御承知願いたい。

また、石家庄鋼鉄廠が、すでに建設中、発注済みの設備(表4.2.1-1の申請

区分A、Bランク)および現在すでに進行中の溶銑脱硫設備については本設備投資額より除外してある。

表4.2.2-1に設備投資内容を示す。

表4.2.2-1 設備投資の内容と投資額

設 備	投資額(百万円)	備 考	
新 転 炉 工 場	(1) 600t 混銑炉	335	① 受鋼、取鋼設備には上吹パ ブリング設備が含まれる。
	(2) 20t 上下吹転炉および付帯設備	1829	
	(3) O G 設 備	1925	② クレーン設備の内容 レールクレーン 4台 サービスクレーン 4台 ホイストクレーン 2台
	(4) 乾式集塵設備	294	
	(5) 受鋼、取鋼設備	401	
	(6) ビレット連銑機本体	419	
	(7) 連銑付帯設備	292	
	(8) クレーン設備	765	
小 計	6260		
電 気 炉 工 場	(1) 溶鋼加熱設備	383	① クレーン設備改造はビレッ トハンドリング用として2台 のサービスクレーンにマグネ ット設備を付加。
	(2) 真空脱ガス設備	604	
	(3) ビレット連銑機本体	327	② 溶鋼加熱設備に用いる変圧 器は5T電気炉の変圧器を流 用。
	(4) 連銑付帯設備	228	
	(5) 連銑電磁攪拌装置	349	
	(6) クレーン設備改造	14	
	(7) スクラップ処理設備(1000トン 500トン プレス)	326	
小 計	2231		
共 通	(1) スラグ処理設備	295	
	(2) 酸素製造設備	998	
合 計	9784		

4.3 近代化による効果

以上述べてきた設備改善、操業技術の導入などにより得られるであろう効果を列挙すると以下の通りである。

- ① 新転炉工場の稼動により、溶銑を有効に活用して粗鋼35万トン/年の製造が可能となる。
- ② 溶鋼処理設備、連銑設備の導入により、高品質の製品を得るためのビレット

製造が可能となる。

- ③ 上下吹転炉、ピレット連鋳機の導入により、出鋼歩留、良塊歩留、圧延歩留が大幅に向上する。
- ④ 新転炉工場の稼働、電気炉の操業改善などにより、副原料・耐火物をはじめとする資材原単位の低減が図れる。
- ⑤ 溶銑の活用、ピレットのホットチャージングなどによりエネルギー原単位の低減が図れる。

5. 圧延工場の近代化計画

5.1 圧延工場の近代化についての提案

5.1.1 圧延工場の近代化計画

鋼鉄廠が計画している近代化案は次のとおりである。

— 中形圧延工場

加熱炉の増強 (45 t/h、プッシャー式)

— 小形圧延工場

加熱炉の増強 (30 t/h、プッシャー式)

— 新棒鋼圧延工場の建設

年産30万トンの新棒鋼圧延工場の建設計画があり、製品サイズは10—50 mmφで電気炉、転炉の連鋳材を使用する。

現在と将来の製品寸法割合は次のようになる。

現在	12—14 mmφ 30%	16—20 mmφ 55%	22—28 mmφ 15%	
将来	10—12 mmφ 15%	14—18 mmφ 60%	20—28 mmφ 15%	32—50 mmφ 10%

製造品種は、機械構造用低合金鋼/炭素鋼、快削鋼、冷間鍛造用鋼、一般構造用炭素鋼、鉄筋コンクリート用異形棒鋼である。

中形圧延工場、小形圧延工場の加熱炉新設は既に発注または上部機関の決裁済となっており、小形圧延工場は1986年12月完成、中形圧延工場は1987年6月完成予定となっている。

5.1.2 中形圧延工場、小形圧延工場に関する提案

両工場の操業状況から次の事項について改善または検討することを望む。

(1) コブル(Cobble)の発生原因の解析

コブルの発生率は中形圧延工場で0.34%、小形圧延工場は2.72%である。コブルの減少を計るため、各工場毎にコブルの発生毎に「製品寸法」「鋼種」「発生場所」「発生原因」を記録し、QCサークル活動によってプレート図等を活用しながら設備改善、作業改善を行なうことを勧めたい。

生産量の増大、歩留の向上を計るためにはコブルの減少は実施すべき重要な項目である。

(2) ロール冷却方法の改善

圧延によって生ずるロールの表面の温度上昇は冷却水を用いて冷却するが、冷却水の供給方法は、孔型に対して効果的にかかるよう配慮する必要がある。すなわちロール使用上重要なことは、被圧延材に接触するロール表面部の温度上昇をできるだけおさえるとともに温度上昇する範囲をできるだけ表面部だけに留め、内部まで温度上昇させないことである。ロールの冷却効果に影響をおよぼす主な要素は次のものがある。

① 水量と水温

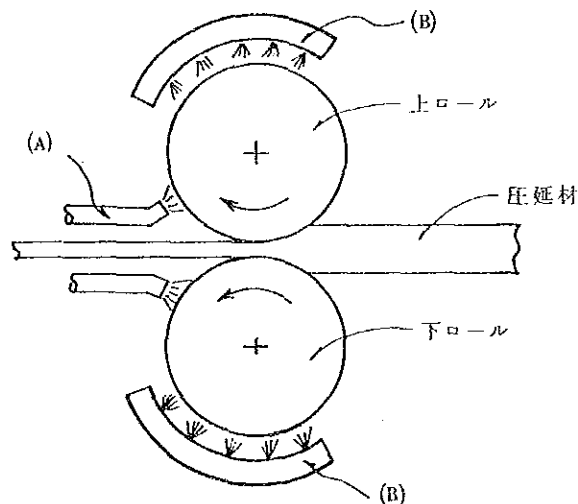
水量が多いほどまた水温が低いほど冷却効果は良いが、経済性を考慮すれば無制限に使用するわけにはいかない。圧延材がロールから離れた直後がロール表面温度は高く、この時に冷却水をかけると効果的であり、また水が持去る熱量は冷却水温が低いほど大きい。

② 冷却水の有効圧力

ロールの冷却を効果的に行なうにはロール表面の蒸気膜を破って水がロールに直接衝突する必要がある、その圧力は $2 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ である。これ以上高圧であると水が散乱し、冷却効果は減少する。

③ 冷却水の注水方法

ロール冷却水の注水方法には種々方法があるが、被圧延材のロール出側から高圧水で冷却する方法(A)とロール表面温度が低下している上部と(下部)からロール全体を冷やす方法(B)の組合せが効果的な方法であると考えられる。



現在、両工場のロール冷却方法は上図(A)の方法が採用されている。前述のごとく(B)の方法についても試行されることを提言する。そして(A)の方法と(A)+(B)の方法の効果を把握することが改善につながると思う。

(3) ロール原単位の低減対策

ロール原単位は中形圧延工場 1.995 kg/t 、小形圧延工場 0.542 kg/t であり、とくに中形圧延工場のロール原単位低減対策が必要である。

ロール原単位の解析のためロールの損耗内容を把握すること。すなわちロール原単位の悪化要因には、①ロールの折損、②ロール改削量の過大、が考えられロールの折損に関してはスタンド板、製品寸法、ロール材質、推定されるロール折損原因を記録し、解析するのが有効な方法である。

ロール折損についての原因と対策を表 5.1.2-1 に示す。

表 5.1.2-1. ロールの事故の原因と対策

	事故の現象	原因		根本原因		対策
				ロールに関するもの	圧延作業に関するもの	
ロ ー ル の 事 故	胴部の折損	過大な曲げ 応力が作用 した場合	疲労破損	熱処理不良、内部欠陥、 鋳造不良によるロール強 度の不足	ロール冷却が不十分で孔 型の底に熱亀裂が深く入 る場合	① ロール製造方法で対策が必要 ② ロール冷却方法の検討
			一時的に過 大な荷重が 発生した場 合	ロール強度が不足	① 加熱不足や作業ミス で許容以上の強圧下が 加わった場合 ② 異物の咬み込み ③ 衝撃荷重による場合	① 上記①、②と同じ ② 圧延作業に注意する。
		使用中に発生した深い亀 裂に曲げ応力が集中した 場合	熱的條件の苛酷をスタン ドに耐熱性の低い材質を 選んだとき。	① 咬み止めまたは冷却 不足により熱亀裂を発 生した場合。 ② 冷却時ロール表面に 発生する引張熱応力で 深い亀裂が発生した場 合	① 水冷条件の再検討	
	ロール軸受部の折損	過大な曲げ 応力が作用 した場合	疲労破損	胴部の折損と同じ	胴部の折損と同じ	胴部の折損と同じ
		一時的に過 大な荷重が 発生した場合	胴部の折損と同じ	胴部の折損と同じ	胴部の折損と同じ	
		過大な熱応力が作用した 場合	—	軸受部の水冷不足で熱亀 裂が発生した場合	樹脂メタルでは水量、水温(約 50℃以下)と潤滑方法の改善が 必要。	
	接手部の欠損	戻り応力による場合	接手部の材質的欠陥によ る強度不足	① 咬み込み時等必要以 上に過大な衝撃荷重を 加えた場合。 ② カップリングとの間 隙が大きく、過大な衝 撃がかかった場合	① ロール製造条件の再検討 ② 過大な衝撃荷重をかけないよ う圧延作業に注意する。 ③ 必要以上にカップリングとの 間隙を大きくしないこと。	
		曲げ応力による場合	—	① ロール軸芯と駆動軸 芯との角度が大きいとき	① 上記①、②と同じ ② 継手部先端に丸味をつける。	

ロール改削量に関しても改削量を各ロール毎に記録し、製品圧延トン数と改削量の関係を把握し、スタンド毎、製品寸法、ロール材質との相関関係を解析し、対策を講ずる必要がある。また同時にロール冷却方法に問題ないかの検討を行なうことが必要である。

ロール材質の選定も重要な要素であり、一般的にロール硬度が高いほど耐摩耗性は向上するが、その反面伸びや衝撃値が低下し靱性が問題となり、ロール折損の危険性があるため、ロール材質の選定には充分な検討が必要である。

日本で使用されている条鋼圧延用ロールの材質の一覧表を表 5.1.2-2 に示すので参考にされたい。

表 5.1.2-2 条鋼圧延用ロールの材質一覧表

大分類	中分類	小分類	C〔%〕	ロール胴部の硬度〔シユア-〕	引張強さ〔kgf/mm ² 〕	用途
鋳鋼系	普通鋳鋼	Ni-Cr-Mo系	0.5~0.7	27~37	65~100	大・中・小型粗ロール
	特殊鋳鋼	Cr-Mo系	0.5~1.7	30~50	40~100	大・中・小型粗・中間ロール
	黒鉛鋳鋼	Cr-Mo系	1.1~2.1	35~50	40~100	大・中・小型中間・仕上ロール
	アダマイト	Ni-Cr-Mo系	1.3~2.3	40~55	20~90	大・中・小型粗・中間・仕上ロール
鋳鉄系	チルド	Ni-Cr-Mo系 (低合金)	3.0~3.4	65~75	15~25	小型中間・仕上ロール
		Ni-Cr-Mo系 (高合金)	3.0~3.4	70~80	20~30	小型中間・仕上ロール
		Ni-Cr-Mo系 (普通)	2.8~3.2	35~45	15~25	大型中間・仕上ロール
	グレン	Ni-Cr-Mo系 (低合金)	3.0~3.4	55~65	20~30	中・小型中間・仕上ロール
		Ni-Cr-Mo系 (中合金)	3.0~3.4	65~85	20~35	小型中間・仕上ロール
ダクティル	Ni-Cr-Mo系	3.0~3.4	40~80	30~60	大・中・小型粗・中間・仕上ロール	
鍛造系	特殊鍛鋼	Ni-Cr-Mo系	0.4~1.6	30~48	75~100	大型粗ロール
	鍛造アダマイト	Cr-Mo系	1.6~2.4	33~58	60~95	大・中・小型粗・中間・仕上ロール
	鍛造鋳鉄	Ni-Cr-Mo系	2.4~3.5	38~70	55~80	中・小型中間・仕上ロール

(d) 圧延機の入口側にローラーガイド (Roller Guide) の使用

圧延材をロール孔型に正しく導びくためのガイドには、フリクション (Friction) 式とローラー (Roller) 式がある。

一般に、角・丸断面の圧延材の誘導にはフリクション式が、菱、オーバル (oval) 断面の圧延材の誘導にはローラー式が用いられることが多い。フリクション式は

圧延材を面接触によって誘導するもので、ロールに近づけられる、ガイド寸法が小さく孔型の配列に対する制約が少ない、保守が容易で安価であるなどの長所を有するが、反面、磨耗損傷が多い、焼付などによる製品きずを生じやすい、ゆるみやすいなどの短所がある。

ローラー式は圧延材を転がり接触によって誘導するもので、焼付きなどの心配は少ないが、熱、水、スケールの影響により保守が難しく価格も高いので、高級な品質を要求されている圧延機で多く採用されている。

ローラーガイドの外観と圧延機に取付けた状態を図 5. 1. 2-1 に示す。

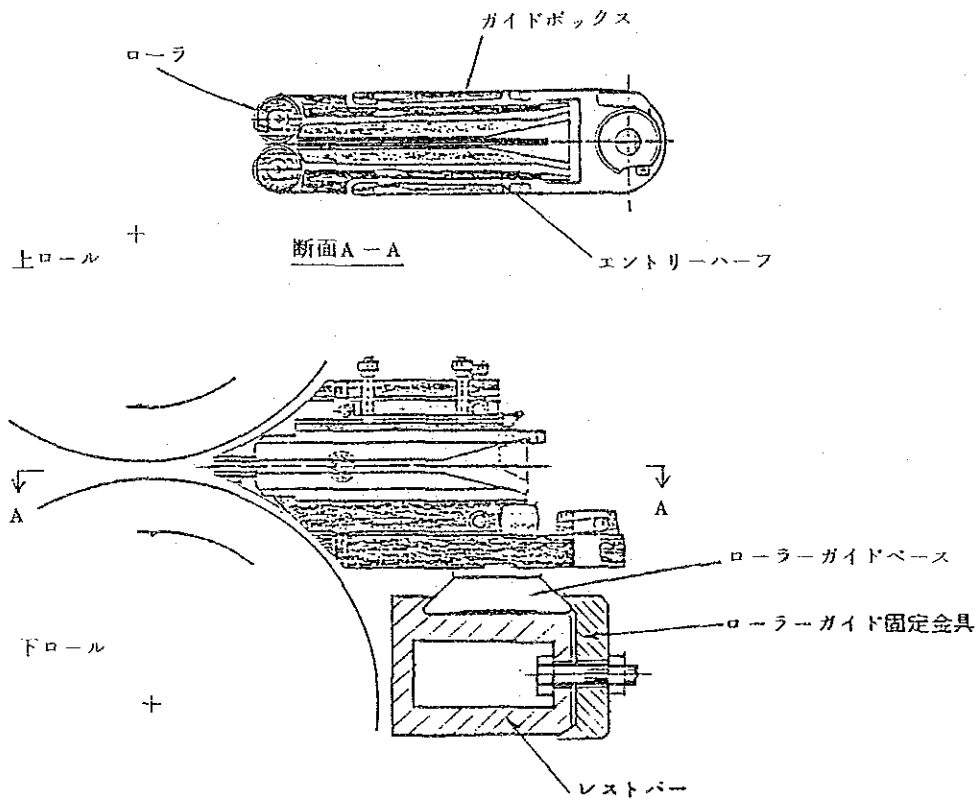


図 5. 1. 2-1 ローラーガイドの外観と圧延機に取付けた状態

中形圧延工場、小形圧延工場でローラーガイドを使用することを勧める。新棒鋼圧延工場が稼動後に両工場が休止した時には、ローラーガイドは新棒鋼工場に転用することができる。

(5) 加熱炉の省エネルギー対策

省エネルギー対策に関して 5. 1. 3 に詳細を述べたので参照されたい。

5.1.3 中形圧延工場、小形圧延工場における加熱炉の省エネルギー対策

(1) 現 状

1) 加熱炉の設備仕様と操業諸元

圧延工場の加熱炉の設備仕様と操業諸元は次のようである。

		中 形 圧 延 工 場	小 形 圧 延 工 場
設 備 仕 様	加熱能力(公称)	35 t/h	20 t/h
	炉 形 式	2帯ブッシャ式	2帯ブッシャ式
	装入/抽出方式	後方装入/前方突落し	後方装入/側方突出
	燃 料	上部加熱帯: コークス炉ガス 下部加熱帯: 微粉炭	上・下部加熱帯: コークス炉ガス
操 業 諸 元	燃 料 原 単 位	コークス炉ガス 103×10 ³ Kcal/t 微 粉 炭 601×10 ³ Kcal/t 計 704×10 ³ Kcal/t	コークス炉ガス 301×10 ³ Kcal/t
	炉 圧	計測機器なし	0.6～1.0 mm H ₂ O
	廃ガス中のO ₂ %	2 %	3.5 %
	廃 ガ ス 温 度	平 均 822℃	600～800℃
	2次空気温度	130℃	常温(レキュベレータなし)

2) 操業状況と問題点

中形圧延工場の加熱炉は前方突出しの抽出方式であるが抽出扉がなく、小形圧延工場の場合でも抽出口にダンパーがないため、侵入空気が多い。

また炉体側壁の点検窓の密閉度が悪いため、侵入空気がある。

中形圧延工場の加熱炉には多管式のレキュベレータが設置されているが廃ガス温度に比較して2次空気温度は130℃で低い。中形圧延工場では過去にフィンタイプのレキュベレータを設置していたが、微粉炭灰がフィンに付着し廃ガスの流れが悪くなったため、自社製の前述のレキュベレータと交換した。排熱回収効率は良くないが、省エネルギーに対する努力がうかがえる。

廃ガス中のO₂濃度は中形圧延工場で2%、小形圧延工場では3.5%であるが、小形圧延工場の場合、やや高く2%程度まで下げる努力を期待したい。このためには前述の外部からの侵入空気の影響も充分考慮する必要があり、

また炉内圧力の設定値についても後述の(2)、2)A項を参照されたい。

燃焼制御は加熱炉から離れた所にあるため、圧延の状況、加熱炉の状況、的的確に把握できない。また自動燃焼制御装置は中形圧延工場にないが、この装置は加熱炉の安定操業のためには必要である。

(2) 対 策

省エネルギーのための改善方法は多くあるが、1991年には中形・小形圧延工場は閉鎖される計画があり、大規模な設備投資は投資効果を考慮したものとしたい。またQCサークル活動による設備改善や操業技術、標準の見直しにより実行できるものは積極的に取り組むことを提案したい。以下にこれらに該当すると考えられる内容について提案する。

1) 炉体について

A. 抽出口の改善

抽出口はダンパーを設け、生産休止時や鋼塊、鋼片の抽出待ちの場合、抽出口を閉じるようにする。

B. 炉側壁の点検口の密閉

側壁にある点検口はレンガを積み、レンガ1～2枚分は抜取り可能としておき他はモルタルにて密閉する。炉内点検が必要な場合、そのレンガを抜取り点検できるようにしておけば作業に支障はない。

C. 微粉炭の燃焼灰回収台車と炉壁、炉底との密閉

月1回の灰回収時には、この台車が使用されるが再びセットされたとき台車と炉壁、炉底との間を密閉することが重要である。

炉床面より下方になるほど炉内圧力は負圧も大となり、隙間があると侵入空気量も多くなる。

D. 水冷スキッドの二重断熱

加熱炉においては入熱の10～15%が冷却水損失となっている。熱損失を防止する方法として、断熱層を厚くすることも一つの対策であるが、スキッドの場合は、断熱層を厚くすると放射伝熱の影が大きくなり、材料への熱伝達が悪化して断熱の効果は無くなってしまふ。このため厚さを薄くして、極力断熱性のよい材質を使うことが必要である。このため、最近ではセラミックファイバーを利用した二重断熱方式が採用されるようになって

た。一重断熱方式と二重断熱方式の構造と、水冷スキッドの冷却水損失熱の差を図 5.1.3-1 に示す。

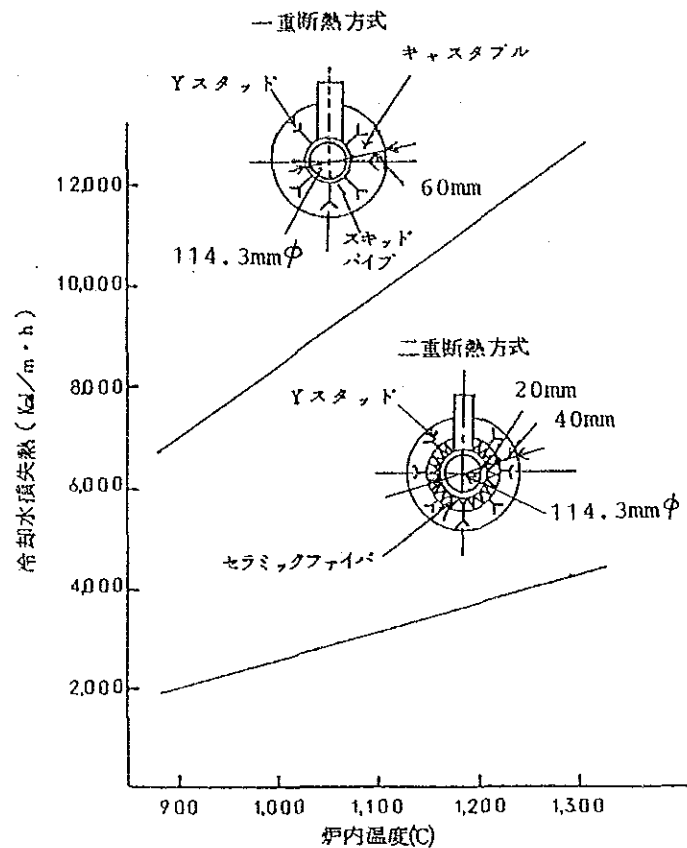


図 5.1.3-1 スキッド断熱の違いによる冷却水損失熱の比較

2) 操炉作業について

A. 炉内圧力制御

炉内圧力の制御は燃料原単位に大きく影響する。すなわち高過ぎる場合は炎が吹き出し、低過ぎる場合は外部より大気を吸い込み、いずれも燃料の損失を招く。

炉内圧力の設定はハースレベルで $0.1 \text{ mm H}_2\text{O}$ になるように設定するのが一般的であり、炉内圧力測定孔の高さによって炉内設定値を決めるが、炉内と炉内圧力検出位置の関係を次式に示す。

$$P = 355H \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_g} \right)$$

P : 炉内圧 [mmH₂O]

H : 炉内圧力検出位置高さ [m]

T_a : 大気の温度 [°K]

T_g : 炉内ガス温度 [°K]

通常の加熱炉操業温度域では、炉内の高さ 1 m ごとに炉圧は 1 mmH₂O 上昇する。

よって中形、小形圧延工場での炉内測定位置を再検討することを提案する。

B. 鋼塊、鋼片加熱温度

鋼塊、鋼片の加熱温度と品質とは密接な関係があり、加熱温度を下げることは圧延材の温度も下り電力原単位の上昇となり、また圧延機、ロール、スピンドル、カップリング、減速機等の負荷が増加するが、現在の加熱温度（第2章3.2(1)1）、同3.2(2)1参照）を低下させられないかの検討を提案する。

品質的、設備的に問題ないことを加熱温度を少しづつ下げながら確認し、燃料原単位と電力原単位のトータルコスト（元/トン）が現状より下がれば、加熱温度低減を実施することは省エネルギーに対して有効である。

C. 生産休止時の炉保熱管理

定期修理、ロール組替、設備故障等で長時間の生産休止を行なう場合、操炉者による炉内温度の管理が必要であり、作業標準に規定された作業（例えば生産休止時には炉内温度の低下。再起動前の昇熱開始時間）を励行することが重要である。

3) 日本における圧延工場の省エネルギー

1980年以降の日本における小形形鋼、普通鋼棒鋼圧延工場での省エネルギー事例の内容を図5.1.3-2に紹介する。

(3) 自動燃焼制御システムの紹介

加熱炉の燃焼制御を安定して行なうためには自動燃焼制御システムの導入が必須となっている。

将来の設備改善のための参考として自動燃焼制御システムを紹介する。

加熱炉の自動制御は、炉内の鋼片を圧延に必要な温度まで加熱するための、炉内温度と燃焼制御および鋼片の搬送に必要な機器の制御から構成される。

炉内の温度および燃焼関係の制御としては、一般に、炉内温度制御、燃料流量制御、空燃比制御、炉内圧制御、レキュベレータ保護制御などからなり、そのほか各種管理計器、安全および監視装置がつく。各機器の構成は従来と大差ない。

炉内圧制御については、炉の大形化、ウォーキングビーム炉の使用などにより、侵入空気の防止、温度分布および燃料原単位の向上などで、とくに重要な制御になってきた。

鋼片の搬送についても、装入テーブルからプッシャ、ウォーキングビーム、エキストラクタ、抽出テーブルにいたるまで自動化されている。鋼片サイズの変動に対しても、常に炉内に適正な間隔で鋼片が装入され、最高の加熱能力で炉が操業される方法もとられている。なお炉内外の鋼片搬送の監視用として、工業用テレビの使用が一般化してきた。

従来、炉内の燃焼制御方式では、炉温の設定はすべて経験の深い操炉者によって行なわれていたが、理想的な制御は、圧延スケジュールにしたがって変動する鋼片サイズ、抽出速度に対して、常に圧延に必要、かつ十分な適正加熱を行なうよう炉温を設定することにある。これには、圧延スケジュールに基く装入鋼片のサイズ、搬送ピッチ、加熱時間、加熱温度などを情報源とするコンピューターによる加熱温度の最適化制御システムが近年になって導入され始めている。

加熱炉計測制御の総合計装図を図 5.1.3-3 に示す。

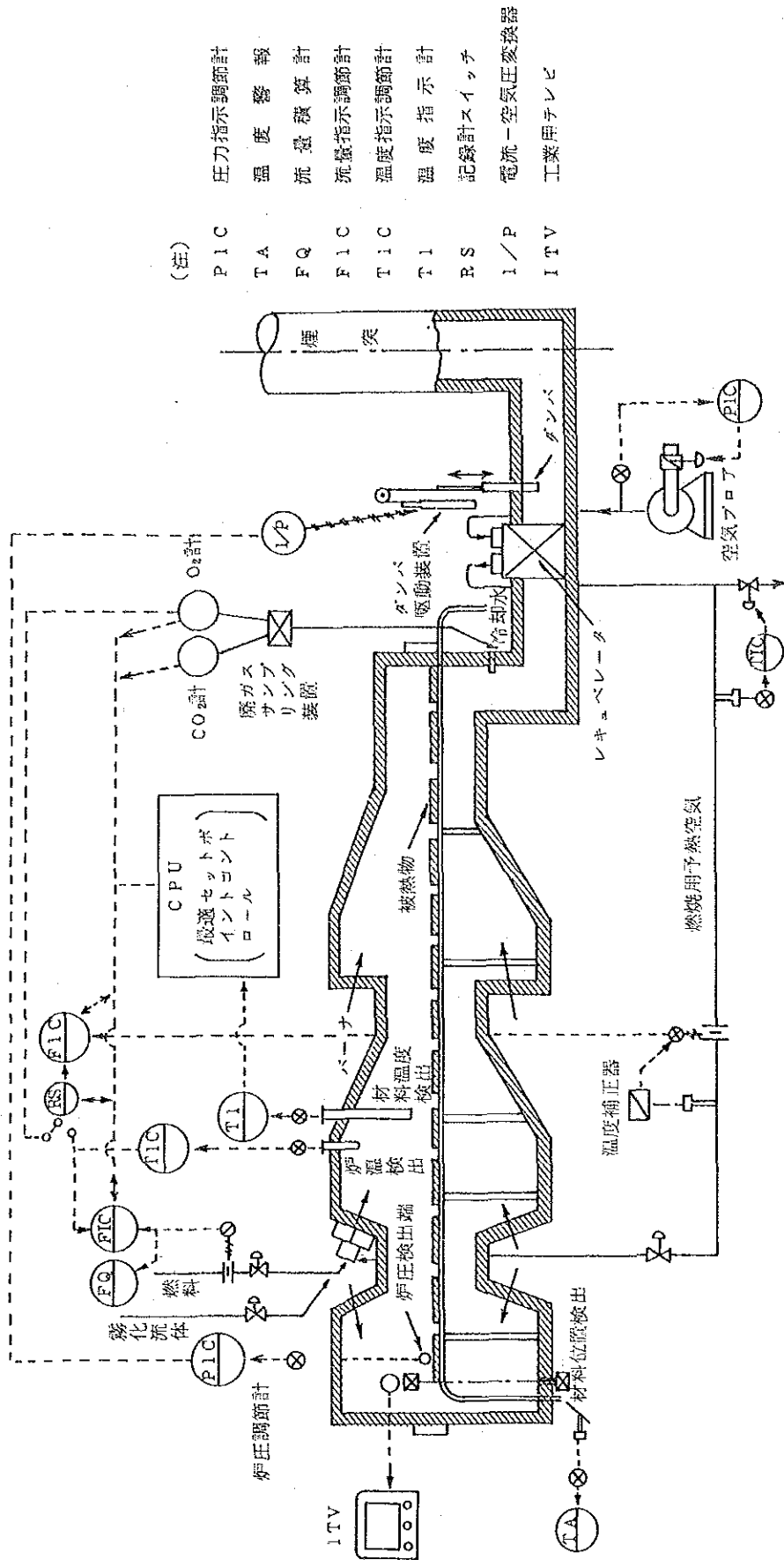


図 5.1.3-3 連続加熱炉の総合計装図

5. 1. 4 新棒鋼圧延工場の建設

(1) 新棒鋼圧延工場の基本計画と概要

1) 基本計画

- 年間生産量（製品ベース）
30万トン
- 製品寸法
 - 丸棒鋼 10～50 mm φ
 - 異形棒鋼 10～40 mm φ
 - 長さ 3～12 m
- 製造品種
機械構造用炭素鋼／低合金鋼、快削鋼、冷間鍛造用鋼、鉄筋コンクリート用異形棒鋼
- 使用鋼片

連鑄鋼片	150 mm × 150 mm × 6 m	1,032kg	14～50 φ用
	120 mm × 120 mm × 6 m	655kg	10～12 φ用
- 新棒鋼圧延工場のプロセス設備は鋼片受入、鋼片加熱、圧延、冷却、切断、精整設備、鋼片の検査疵取設備、製品の検査疵取設備、ロールショップ、起重機および補助機器からなる。

2) 連鑄鋼片寸法と製品寸法について

連鑄鋼片寸法（120 mm × 120 mm、150 mm × 150 mm）と製品寸法（10～50 mm φ）に対応する圧延比（連鑄鋼片断面積 ÷ 製品断面積）を表 5. 1. 4-1 に示す。

高級鋼圧延のために必要と思われる圧延比から推定した製品寸法および日本における普通鋼で連鑄鋼片より棒鋼を作っている圧延比の実績から推定した製品寸法を表 5. 1. 4-2 に示す。150 mm × 150 mm 連鑄鋼片から 10～12 mm φ の棒鋼を圧延する場合、4. 1. 1 (2)、2) 項連鑄機の基本諸元にも述べたように圧延速度の制約、圧延材の圧延途中における温度低下の点で連鑄鋼片長さの制限（すなわち連鑄鋼片重量の制限）が必要である。10～12 mm φ の高級鋼は圧延しない前提で連鑄鋼片長さを 6 m に統一し連鑄鋼片断面寸法を 120 mm × 120 mm とした。

表 5. 1. 4 - 1 圧 延 比

製品寸法		連鑄鋼片寸法	120 mm × 120 mm 14,400 mm ²	150 mm × 150 mm 22,500 mm ²
mm φ		78.54 ²	183.3	286.5
10				
12		113.1	127.3	198.9
14		153.9	93.6	146.2
16		201.1	71.6	111.9
18		254.5	56.6	88.4
20		314.2	45.8	71.6
22		380.1	37.9	59.2
25		490.9	29.3	45.8
28		615.8	23.4	36.5
30		706.9	20.4	31.8
32		804.2	17.9	28.0
36		1,018	14.1	22.1
40		1,257	11.5	17.9
42		1,385	10.4	16.2
46		1,662	8.7	13.5
50		1,963	7.3	11.5

(注-1) 実線内は日本における連鑄鋼片より棒鋼を圧延している実績から推定した普通鋼の製品寸法

(注-2) 点線内は圧延比、圧延速度の制約から圧延途中の温度低下および連鑄の無酸化鑄造を考慮して製造可能と推定した高級鋼の製品寸法

日本における普通鋼棒鋼の連鑄鋼片断面寸法と圧延比を表 5. 1. 4 - 2 に参考として示した。

表 5. 1. 4 - 2 日本における普通鋼棒鋼の連鋼片断面寸法と圧延比

品	工場	連鋼片		連鋼片 断面積(㎠)	製品寸法(㎠)	圧			延			比
		断面寸法(㎠)×長さ(m)	重量(kg)			最		大		小		
						製品寸法(㎠)	断面積(㎠)	断面積(㎠)	圧延比	製品寸法(㎠)	断面積(㎠)	
1	A	130×130×1.5~1.85	200~245	16,900	D22-41、25-43φ	D22	380.1	44.5	43φ	1,452.2	11.6	
2	B	130×130×1.5~1.68	200~224	16,900	D12-22、12-24φ	D12	113.1	149.4	24φ	452.4	37.4	
3	C	120×120×3.3	380	14,400	D16-35	D16	201.1	71.6	D35	962.1	15.0	
4	D	165×165×2.6~3.2	550~670	27,225	D16-41	D16	201.1	135.4	D41	1,320	20.6	
5	E	125×125×7~12.5	1,000~1,500	15,625	D13-29、12.3-38φ	D13	132.7	117.7	38φ	1,134	13.8	
6	F	100×100×1.47~4.2	107~293	10,000	D12-35	D12	113.1	88.4	D35	962.1	10.4	
7	G	125×125×1.65	198	15,625	D10-16、12-16φ	D10	78.5	199	16φ	201.1	77.7	
8	H	154×154×2.5~5.5	466~1,026	23,716	D16-41、16-42φ	D16	201.1	117.9	42φ	1,385	17.1	
9	I	150×150×4.3~6.7 155×155×4.8~6.7	750~1,170 690~950	22,500 18,225	D10-41	— D10	— 78.5	— 23.2	D41 —	1,320 —	17.0 —	
10	J	130×130×2.2	280	16,900	D10-35	D10	78.5	215.2	D35	962.1	17.6	

注. 製品寸法欄の“D”は鉄筋コンクリート用異形棒鋼を示す。

3) 新棒鋼圧延工場の概要

- 新棒鋼圧延工場は高級鋼圧延も行なりものとする。すなわち、異形棒鋼（約38%）以外に機械構造用炭素鋼/低合金鋼、冷間鍛造用鋼、快削鋼の圧延も行なり。
- 新棒鋼圧延工場は最新の圧延設備を採用するものとし、圧延機はタンデム配列で粗列より仕上列まですべて水平-垂直圧延機の交互配置とし、無捻転圧延が可能で操業は捻転圧延よりやりやすく、コブル（Cobble）も少なくなる。
- 高級鋼生産のための鋼片、製品の検査および疵取設備を備えた工場とする。
- 異形棒鋼圧延のためホットチャージングを実施できるレイアウトである。

4) 圧延設備主要諸元

- 圧延設備形式 連続式H-V（水平-垂直）配列
No.4スタンドとNo.5スタンド間は圧延材はフリー
- ストランド数 シングルストランド、バスライン固定
- 最大圧延速度 1.6 m/sec（1.6φ圧延時）
1.2 m/sec（1.0φ圧延時）
- 加熱炉
形式：ウォーキングビーム式
能力：70 t/h（ピーク時80 t/h）
装入、抽出：サイド装入/サイド抽出
装入列数：1列装入
燃料：コークス炉ガスまたは石炭ガス
- 圧延機
スタンド台数 合計22台
粗列（No.1～No.8スタンド）：8台（H-V配列）
中間列（No.9～No.14スタンド）：6台（H-V配列）
仕上列（No.15～No.22スタンド）：8台（V-H配列）
- 直棒冷却、精整設備
冷却床：ウォーキングビーム・レイク（Walking beam rake）式

冷間剪断機 : ダウンカット (Down cut) 式

精整ライン

自動結束ライン

• フライイングシャ (Flying shear)

№1 フライイングシャ : クロップ (Crop)、コブル (Cobble) 用
(№8 スタンド後面)

№2 フライイングシャ : クロップ、コブル & 分割用 (№14 スタンド後面)

№3 フライイングシャ : 分割、クロップ、コブル & サンプリング用
チョップ付 (№22 スタンド後面)

5) 孔型スケジュール (Schedule)

孔型スケジュールを図 5.1.4-1 に示す。

孔型スケジュールは製品寸法 $10\text{mm}\phi$ 、 $12\text{mm}\phi$ 用としての $120\text{mm}\times 120\text{mm}$ 系列と $14\text{mm}\phi$ 以上用としての $150\text{mm}\times 150\text{mm}$ 系列の 2 系列とすることを推奨する。

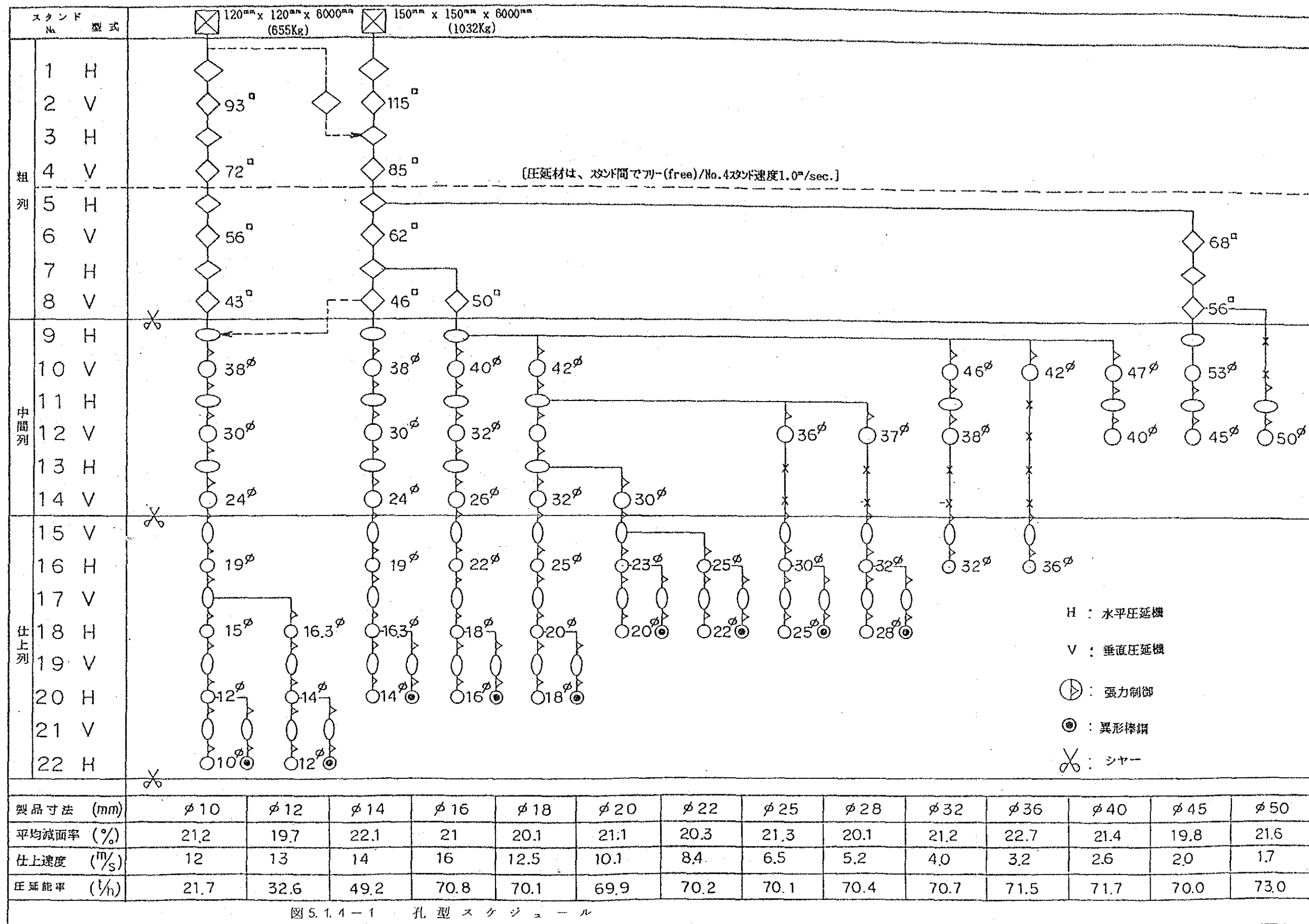
鋼片寸法を $120\text{mm}\times 120\text{mm}$ より $150\text{mm}\times 150\text{mm}$ に変更する場合 ($150\text{mm}\times 150\text{mm}$ より $120\text{mm}\times 120\text{mm}$ に変更する場合も同じ) には粗列 №1 スタンドから №8 スタンドは孔型替え (同一ロールに $120\text{mm}\times 120\text{mm}$ と $150\text{mm}\times 150\text{mm}$ 系列の両方の孔型を切込んでいる場合)、またはロール替え ($120\text{mm}\times 120\text{mm}$ と $150\text{mm}\times 150\text{mm}$ 系列の孔型は別々のロールに切込まれている場合) を行なう。両者の方法を選択するについてはそれぞれの系列の 1 回当りの圧延量の多少により決められる。

$120\text{mm}\times 120\text{mm}$ 系列と $150\text{mm}\times 150\text{mm}$ 系列の変更 (孔型替、ロール替え) は圧延工場の小修理日 (8~12 時間/回・日) を利用して行なう。

一方 $120\text{mm}\times 120\text{mm}\times 6,000\text{mm}$ の連鑄鋼片を $150\text{mm}\times 150\text{mm}$ 系列の孔型スケジュールに咬込ませること (図 5.1.4-1 の点線で示した部分) も検討したが、連鑄鋼片を加熱炉から №2 スタンドへの送給方法に関し №1 スタンド前のピンチロール (連鑄鋼片の転回と送給の機能をもつ) から №2 スタンド迄の距離がデスクレーラ (連鑄鋼片表面のスケールの除去) を設置するために長いので、圧延可能な連鑄鋼片の最小長さに制約が生じる。この制約を少なくするため №1 スタンドから圧延を始めるのが好ましいと判断した。

6) 新棒鋼圧延工場設備配置図

新棒鋼圧延工場設備配置図を図 5. 1. 4 - 2 に示す。



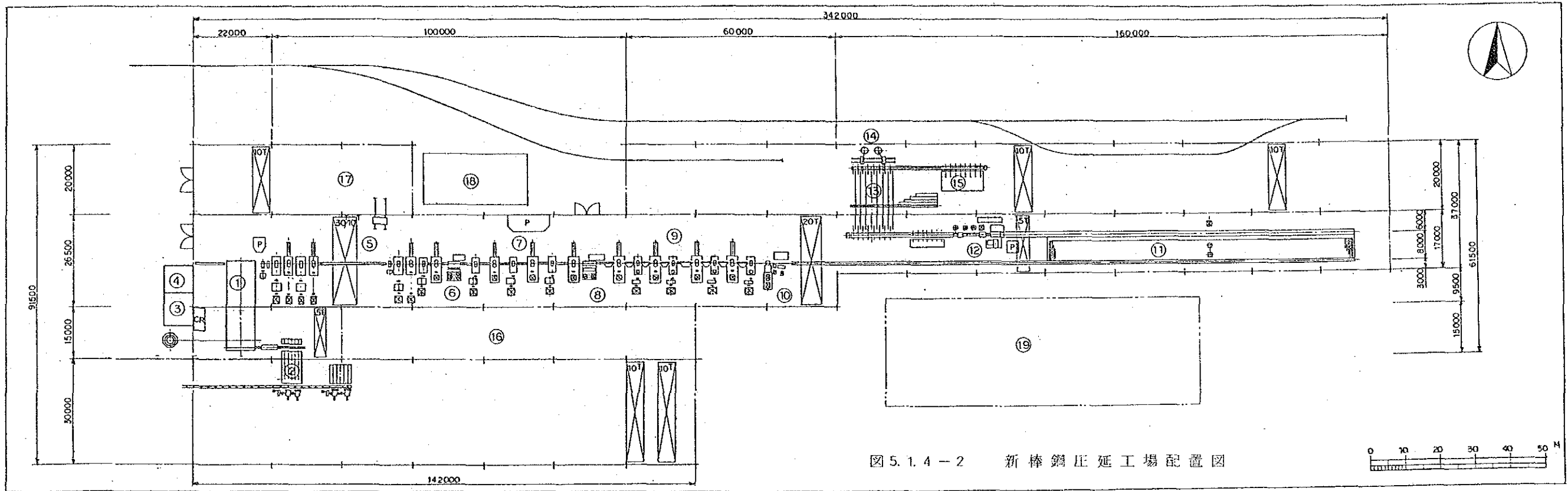


図 5. 1. 4 - 2 新棒鋼圧延工場配置図

符号	名 称	符号	名 称	符号	名 称
1	鋼片加熱炉	8	クランプコブルシャー	15	出荷コンベア
2	鋼片装入テーブル	9	仕上圧延機	16	電 気 室
3	ブロー室	10	分割シャー	17	コールドショップ
4	ウォーキングビーム油圧装置	11	クーリングベッド	18	スケールピット
5	粗圧延機	12	コールドシャー	19	水処理設備
6	クランプコブルシャー	13	検定、仕分けコンベア	P	運 転 室
7	中間圧延機	14	結 束 機	CR	燃 焼 制 御 室

(2) 新棒鋼圧延工場のために留意すべき事項

1) 加熱炉用燃料の選択

使用燃料は取扱いの便利な重油またはガスが好ましいが、鋼鉄廠には諸般の事情により現在、微粉炭とコークス炉ガスが使用されている。

新棒鋼圧延工場に使用される加熱炉用燃料としては、コークス炉ガスまたは設置を検討している石炭ガス発生炉による石炭ガスのいずれかとし、かつガスの発熱量は熱効率の向上のためにも高カロリーのものが好ましい。

微粉炭の使用は燃焼後の灰処理のため加熱炉を降熱／昇熱を繰返さねばならず、燃料の損失や耐火物の寿命低下を招くことになる。

またレキュベレーターに灰が付着することによつて排熱回収効率が低下し、エネルギー原単位にも影響をおよぼす。

2) 水処理設備の新設

新棒鋼圧延工場に必要とされる循環水は、直接冷却水（ロール孔型の冷却、デスクレー等）は約1,000 t/h、間接冷却水（加熱炉ウォーキングビームの冷却、メインモーターの冷却クーラー等）は約850 t/hと考えられ、かつ水質も良好で水温も安定したものが要求される。このことから水処理設備の新設が必要である。

以下に冷却水循環システムの概要について紹介する。

= 冷却水循環システム =

新棒鋼圧延工場の建設に伴い新しい冷却水循環システムを設置する必要がある。日本で採用されている冷却水循環システムを以下に紹介する。

圧延工場からの戻り水には圧延機や製品を直接冷却し、ミルスケール等が混入して汚濁する直接冷却水と、加熱炉のスキッドや油圧、潤滑装置に使用されるオイルクーラーのように汚濁することなく水温が上昇するだけの間接冷却水の2種類がある。

直接冷却水は除濁装置で処理された後、冷却塔にて冷却され再び圧延工場へ送られる。

一方、間接冷却水は冷却塔にて冷却された後、再び圧延工場へ送られる。

① 直接冷却水循環システム

直接冷却水循環システムには、ミルスケール等の除去のための沈澱池

のみで、冷却水を自然冷却する方式と除濁のためのフィルターと冷却水を強制冷却させる冷却塔を具備した方式がある。

直接冷却水は被冷却側より温度上昇をうける他、浮遊物質、油分等を持ち込むため圧力式急速濾過器によって濾過され冷却塔によって冷却し循環使用される。この方法に代って沈澱池によって沈澱凝集処理を行なって浮遊物質や油分を除去し、冷却の後循環使用する方法もある。また油分除去方法としてスケールピットにて、オイルスキマーによる方法もある。

圧力式急速濾過方式による直接冷却水循環システムと間接冷却水循環システムの例を図 5. 1. 4 - 3 に、冷却水循環システムの機器配置の例を図 5. 1. 4 - 4 に示す。

② 間接冷却水循環システム

間接冷却水は被冷却側から温度上昇を受けるのみであるから、冷却塔での冷却処理で循環使用されるのが一般的である。図 5. 1. 4 - 3、図 5. 1. 4 - 4 参照。

③ 圧延工場に使用される冷却水の水質

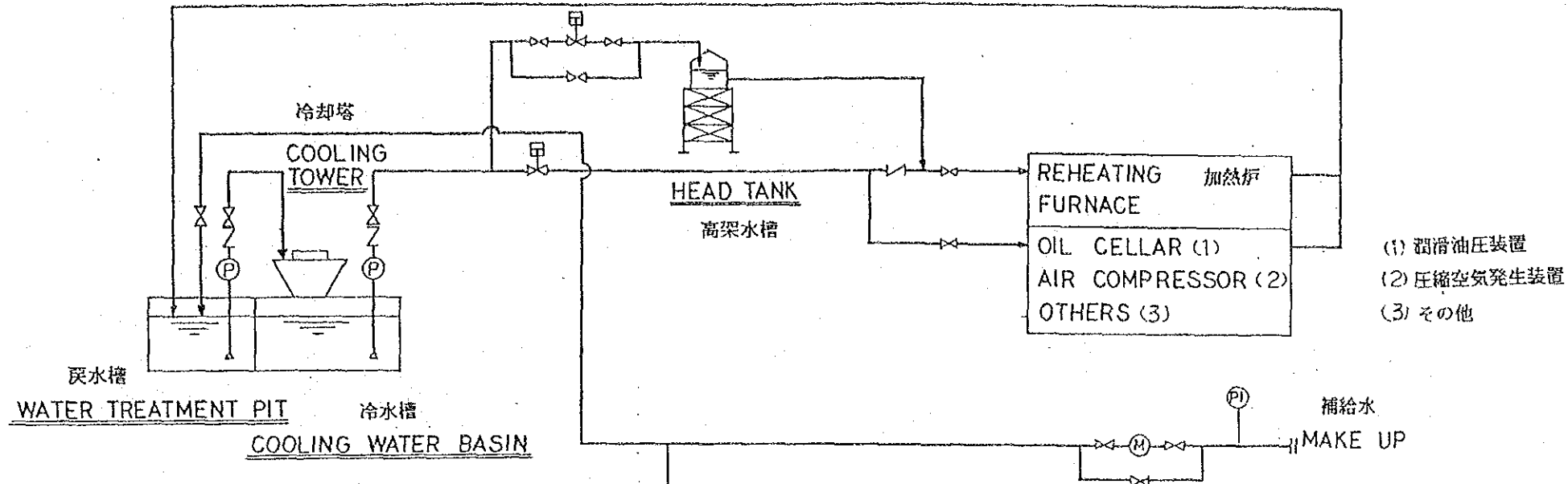
圧延工場に使用される冷却水の水質は次のようである。

	単 位	水質基準(送水側)		(参考) 1985年7月測定	
		直 接 水	間 接 水	中形圧延工場 直 接 水	小形圧延工場 直 接 水
pH	-	6~8.5	7.5~8.5	6.5	7
S.S	mg/l	< 40	< 10	132.5	45
C.O.D	mg/l	< 10	< 5	15.39	未検出
油 分	mg/l	< 5	< 1	4.875	2.33

(注) S.S : 浮遊物質

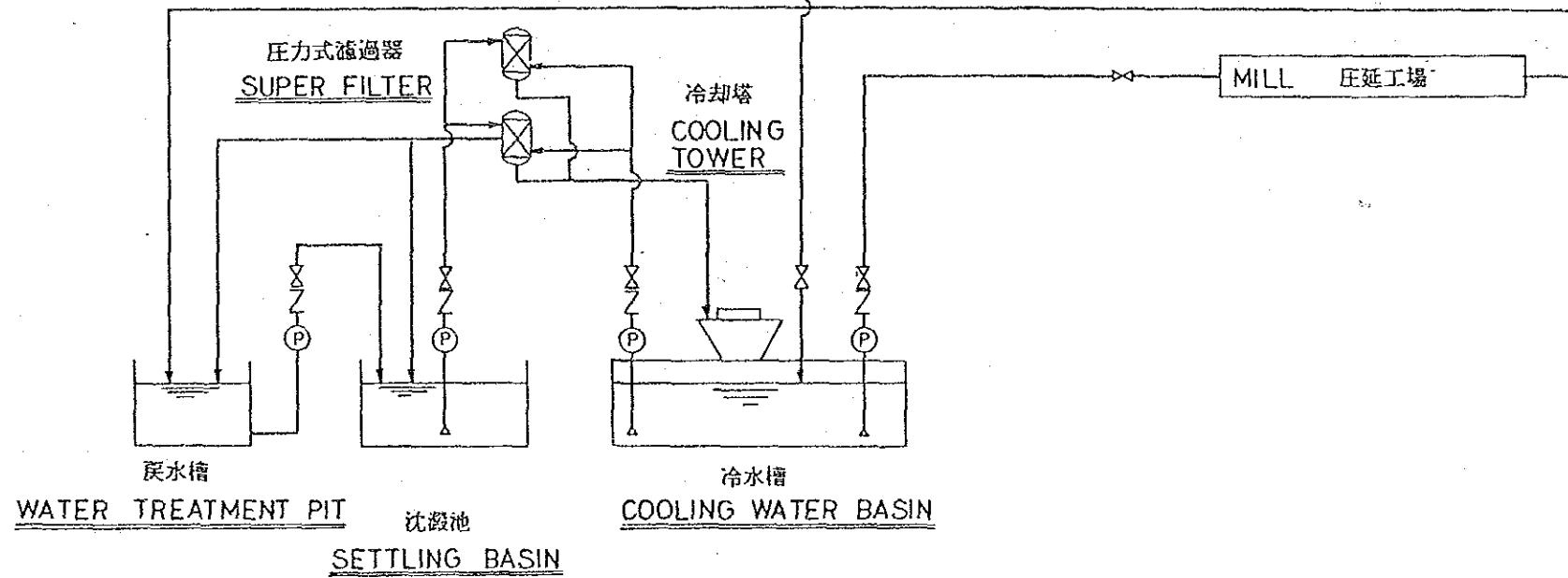
C.O.D : 化学的酸素要求量

間接冷却水循環システム



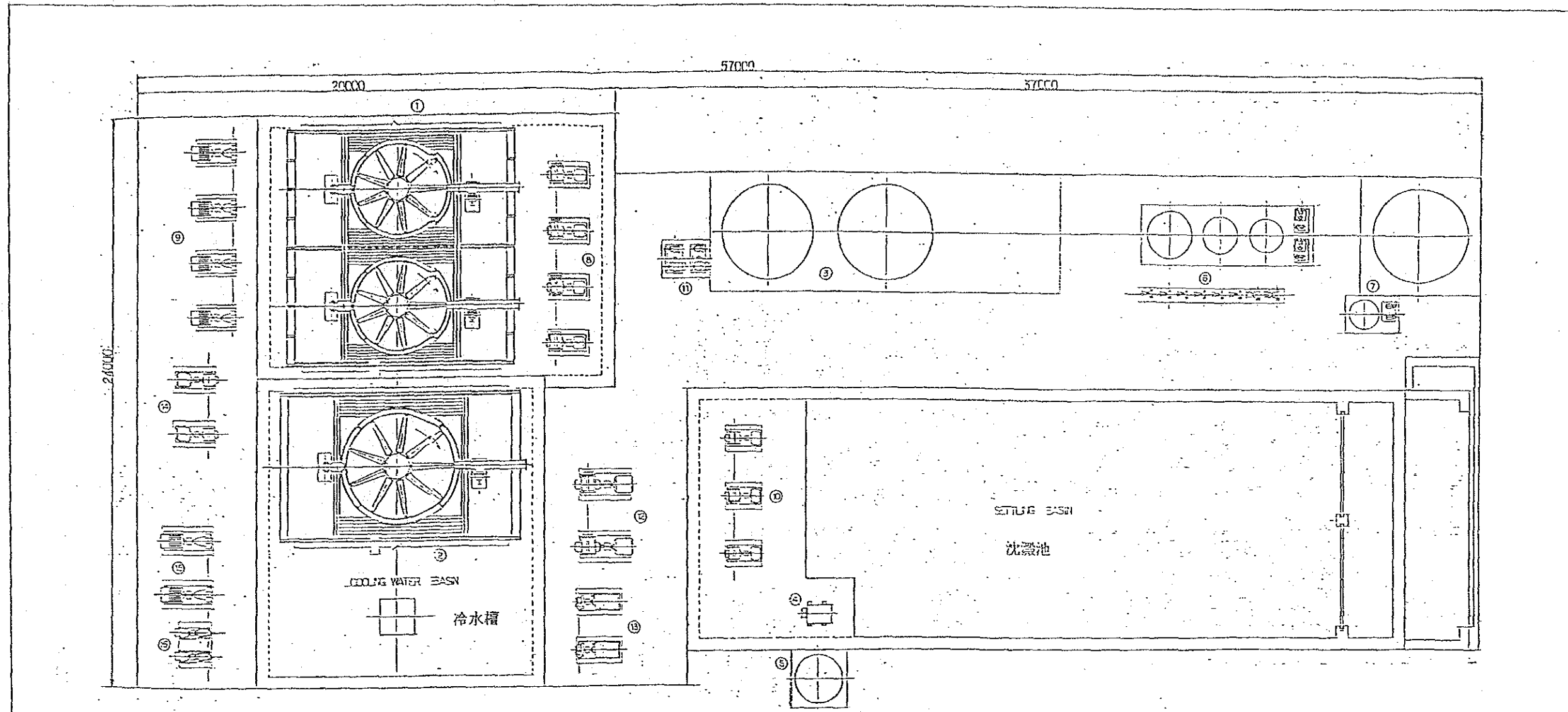
- (1) 潤滑油圧装置
- (2) 圧縮空気発生装置
- (3) その他

直接冷却水循環システム



- (P) PUMP ポンプ
- (PI) PRESSURE GAUGE 圧力計
- (M) FLOW METER 流量計
- 甲 EMERGENCY VALVE WITH ACTUATOR 作動装置付非常弁
- ⊗ STOP VALVE 止水弁
- ∨ CHECK VALVE 逆止弁

図 5. 1. 4 - 3 冷却水循環システムの例



- | | |
|-------------|--------------|
| ① 間接冷却水系冷却塔 | ⑨ 間接冷却水送水ポンプ |
| ② 直接冷却水系冷却塔 | ⑩ 濾過水送水ポンプ |
| ③ 圧力式濾過器 | ⑪ 逆洗送風機 |
| ④ 油回収器 | ⑫ 逆洗ポンプ |
| ⑤ 分離油槽 | ⑬ 加圧ポンプ |
| ⑥ 薬注設備 | ⑭ 送水ポンプ |
| ⑦ 飲料水設備 | ⑮ 送水ポンプ |
| ⑧ ポンプ | ⑯ 送水ポンプ |

図 5. 1. 4 - 4 冷却水循環システム機器配置の例

3) 高級鋼製造のための鋼片の手入、検査設備および製品の手入、検査設備の導入。

高級鋼の品質を保証するため、鋼片および製品の表面品質、内部品質の検査設備、手入設備が必要である。

検査設備、手入設備の導入検討にあたっては加工方法や用途によって異なる要求品質の度合を把握することが重要である。

日本における鋼片と製品の手入設備と検査設備についての概要を 5. 1. 4 (3) 項に紹介する。

4) 高級鋼製造のための物流を考慮した設備配置

高級鋼は圧延後即時に出荷されることはほとんどなく手入、検査工程を経て出荷される。このため製品の保管や上記工程のための物流を考えた置場面積や設備の配置を考慮せねばならない。

また鋼片の場合でも同様の考慮が必要である。

5) 作業員の技能向上

新棒鋼圧延工場は最新の技術を導入する圧延工場であり、現在の中形、小形圧延工場では経験できない技能が要求される。これに対応するため、新棒鋼圧延工場に従事する作業者は類似の圧延工場で職種別（機械、電気の保全含）に訓練し技能の向上を計ることが重要である。

(3) 高級鋼圧延のための鋼片、製品の手入設備と検査設備

1) 高級鋼に要求される品質特性

高級鋼の製造にあたっては表面欠陥、内部欠陥、寸法公差、結晶粒度や焼入れ性、脱炭、切削性等の品質要求が使用者側より厳しく出されることにより製造工程で特別な配慮を払わねばならない。

製造工程に特殊な技術あるいは設備が要求され、結果として歩留、合格率も低くなり製造コスト（Cost）も高くなる。

2) 新棒鋼圧延工場の製品と要求品質

A. 要 求 品 質

計画されている製品の中では、機械構造用炭素鋼/低合金鋼、冷間鍛造用鋼、快削鋼が要求品質として高度な部類に属するが、その用途、および二次加工方法等により要求品質は異なってくる。

B. 表面欠陥における要求品質の一例

計画されている製品での要求品質として表面欠陥すなわち表面きずの程度が主要な管理項目となる。

表面きずは、ばね鋼や中空鋼のように圧延鋼材のはだがそのまま製品はだとして使用されるような場合には、はだあれや表面きずの著しいものは重大な欠陥となる。また据込み鍛造や冷間引抜などの強い加工を受ける鋼材では、表面きずが後続加工における割れの原因となることがある。

表面きずは連鑄鋼片の欠陥がその後の熱間加工で表面きずに成長したり、熱間圧延時の過熱や圧延作業の不手際などによって生ずる。これらの表面きずは目視や磁気探傷によって検出されるが、特に表面きずの影響が著しい用途に用いられる鋼材では、酸洗後磁気探傷を行なってきずの検出精度を高めている。検出されたきずはその程度によって廃却、きず取りなどの処置がとられる。

一般に日本の使用者のきずに対する考え方は直接切削材を除き検出されるきずは除去することを求めており、残留きずは表 5. 1. 4 - 3 に示す程度のものを要求している。

表 5. 1. 4 - 3 用途別残留きず要求程度

冷 圧 材	0.3 mm以下	検出されるきずは除去
熱間鍛造材	0.4 mm以下	"
みがき棒鋼用	"	"

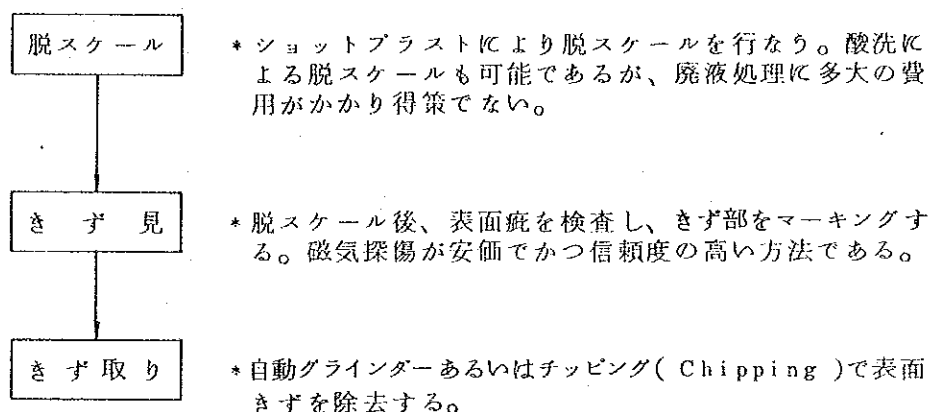
表 5. 1. 4 - 3 の要求を満たすためのきず検出方法が製造者側で採用されているが、黒皮材を肉眼で検出しうる最小きずの深さは 0.4 mmといわれており、それ以下の残留きずを要求される場合は酸洗、あるいは磁気探傷の採用が必要である。

3) 検査と手入

高級鋼については、前述のように要求される品質は厳しいのが一般的であり、その製造に当っては圧延材料および製品の検査と手入は必要な工程となるろう。

A. 連鋳鋼片検査と手入工程

連鋳鋼片の検査と手入工程は次に示すが、内部品質（非金属介在物、内部割れ）の超音波検査は連鋳鋼片の特性上、適用できないので、必要なら製品で確認することになる。



B. 製品検査と手入工程

棒鋼製品が需要家の要求する仕様および規格を満足するかどうかを確認するために検査が行なわれる。

需要家の要求品質には各国の規格によるもののほかに需要家ごとの特別規格によるものがあり、これによって必要な検査項目と品質水準が決定される。

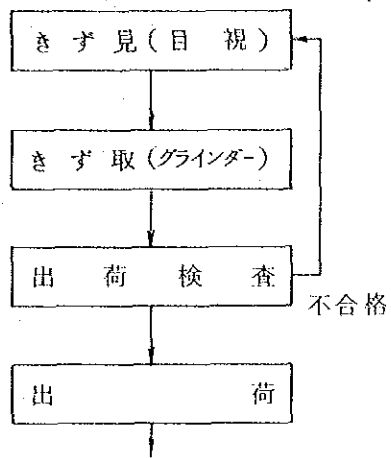
表 5. 1. 4 - 4 に、一般に行なわれている検査項目を示すが、特に表面欠陥と内部品質に関する検査は入念に行なわれる。

表 5. 1. 4 - 4 検査項目一覧表

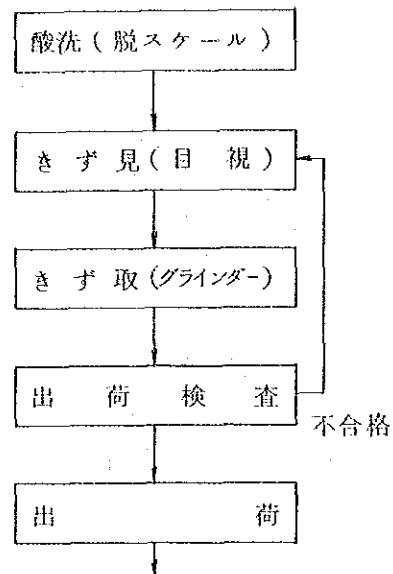
区 分	検 査 項 目
化学成分	取鋼分析、製品分析、火花試験
外 観	外観、表面欠陥
内部性状	非金属介在物、マクロ組織、サルファプリント、地きず、ミクロ組織、超音波探傷
冶金的性質	脱炭、結晶粒度、焼入れ性
機械的性質	引張試験、曲げ試験、硬度試験、衝撃試験、疲労試験

次に表面欠陥の検査と手入工程の代表例を示すが、需要家の要求品質に応じて、製造者側にて種々、検討が加えられ、最適な工程が決められている。

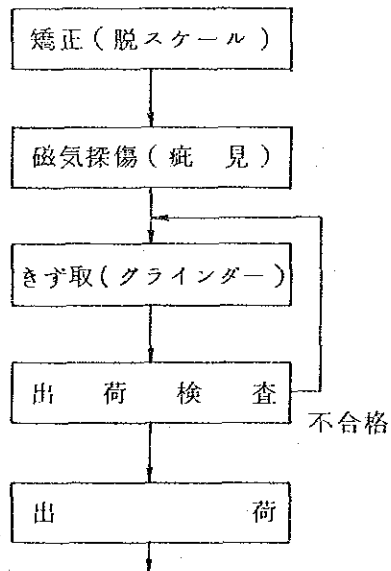
例 1：黒皮目視、手入



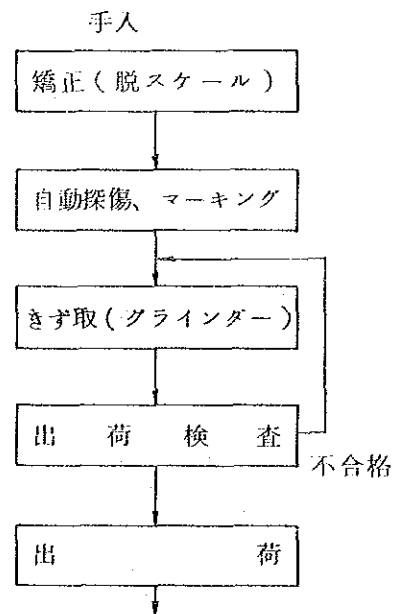
例 2：酸洗目視、手入



例 3：矯正、磁気探傷、手入



例 4：矯正、探傷、マーキング(Marking)



C. 検査前処理、検査機器、およびきず手入について、前述の工程で使われる機器、および方法について以下に説明する。

(A) 検査前処理

検査時にきずを発見しやすくするために、前処理を施すことが多い。前処理として一般に行なわれている方法には、次のようなものがある。

(i) 酸 洗

塩酸または硫酸などでスケールを除去し、中和水洗後乾燥するもので微細なきずまで検出し得る。酸洗工程そのものが作業環境の整備や廃酸処理設備に費用を要するため、特に高度の品質水準が要求される場合以外あまり用いられない。

(ii) ショットブラスト

直径0.1～1.0 mm ϕ 程度の鋼球を6～10 kgf/cm²の圧力をかけて、鋼材に衝突させスケールを除去するもので微細なきずまで検出し得るショットの衝撃で発生する小さな表面のくぼみと、残存する微細なスケールのため、検出力は酸洗工程を経たものに比較して劣るが、作業性、作業能率に優れているため、広く用いられている。

(iii) 矯 正

矯正作用を受けてスケールが剥離脱落することを利用するものであるが、完全剥離しないため、検出力は酸洗工程やショットブラスト工程を経たものに比較して劣る。また、強い矯正を行なうと、スケールの押込を生じ、表面肌不良となりやすいが、作業性、作業能率に優れているため品質上問題とならない製品については、広く用いられている。

(B) 検査機器と検査方式

圧延された棒鋼は、表面欠陥を有することがある。圧延のオンライン(ON Line)できずを発見し、圧延に起因するきずの防止と寸法、形状を確認するため、サンプリングによる工程検査が行なわれている。最近では工程検査にも渦流深傷器や寸法測定器が導入され、定量的な管理システムが採用される例も多い。渦流探傷器や寸法測定器は、それぞれの特徴を有する種々の型式のものが市販されている。

表面欠陥は、その種類、深さ、長さ、分散程度、発生場所とそれぞれ差があり、次の工程でどのような加工を受けるかによってはまったく無害の場合と極めて有害な場合とがある。したがって、後述するきず許容限度を需要家と協議したうえで、どの程度のきずを検出するかを決定しなければならない。その結果として、直送品と仮在庫品とが決定される。直送品は、寸法、長さ、曲がり、切口形状などの外観検査に加えて火花試験、目視による表面きず検査、機械試験などを経て払い出される。仮在庫品は、オフライン(OFF Line)検査となるもので種々の検査ラインを経て出荷されるが、きず自体の発見の手段としては、次のような方式が通常行なわれている。

(i) 目 視

もっとも簡単で特別な設備は不要であり広く用いられているが、この方法は作業者の熟練の程度、疲れの程度、作業環境などにより、きず検出力の差が大きいのが欠点である。特にスケールの厚い製品の場合、深いきずでも見逃す危険があり、きず検出力は0.4 mm程度が限度である。

(ii) 磁 気 探 傷

製品の径に応じて1,000～5,000 Aの電流で磁化し、その際きず部に生ずる漏れ磁束により蛍光物質を含んだ磁粉を付着させ、これを紫外線下で目視検出し、きず部にマーキングするものである。この方法は肉眼では発見できない微細なきずを検出することができるうえ、表面直下のきずも検出し得る方法である。

きず検出力の限界は黒皮0.1 mm程度である。しかし、目視検出するという点では目視検査方法と同じく官能検査であり、作業者の熟練の程度、疲れの程度、作業環境などによるきず検出力の差が出ることもある。

最近、漏れ磁束を感磁性半導体や誘導コイルなどで検知、記録し、自動的にきず部にマーキングを施すという定量的な探傷システムが開発実用化されている。この方法は、きずの深さに応じて信号をとり出すことができる。このためきず許容限度に応じた検査が可能となり、

きず深さのわからない蛍光磁気探傷に比べて合理的である。また作業速度も高く省力設備としても画期的なものであり、今後大いに普及することが期待される。きず検出力としては現在のところ0.2 mm程度が限度である。

製造者側では、その製品に許されるきず許容限度からきず保証のための検査等級を定め、これに見合うきず検出能を有する検査機器の使用を決定するが、最近の趨勢として、官能検査から定量検査へと置き換わりつつある。

検査作業は雇延工場の重要な工程であり、検査作業に従事する人の技能レベルの向上と検査機器の精度維持については、特別の注意を払う必要がある。

(C) きず手入

表面欠陥は既述のような方法で検出したのち、これらを除去するために、局部的にグラインダを用いて研削するのがふつうである。一般には、手入用グラインダには次のようなものがあるが、最近では自動きず検出器と組み合わせで行なうきず取装置も開発されている。

(i) ハンドグラインダ

円盤状のディスクグラインダを用い、きずを研削除去するもので、手軽に使用できるため、広く用いられている。きず手入跡の砥石目が粗い場合、つぎの加工工程に支障ができるため、砥粒番号#40前後の細目砥石が一般に使われている。

(ii) スインググラインダ

グラインダを上方より吊るして懸架移動式としたもので、太径寸法の製品のきず手入に用いることが多い。

(iii) ベルトグラインダ

エンドレスの台紙に砥粒を吹き付けたベルト状砥石を電動回転させて、きずを研削除去するもので、作業性、作業能率とも高く、広く用いられている。

研削作業は、あらかじめつぎの点を明確にしておく必要がある。

① きず許容限度

② きず取り基準

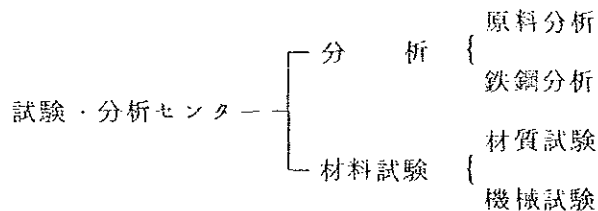
きず許容限度は残存きずともよばれ、一般に深さで表わされることが多い。製品の全長にわたり許容された深さ以上のきずが残存しないことを要求されるもので、需要家と協議のうえ決められる。最近の趨勢としてきず許容限度は小さくなりつつあり、特に冷間での据込鍛造用については、0.05mm以下を要求される場合もある。一般的なきず許容限度は、0.1～0.3mm程度である。

きず取り基準は、きずを除去しても支障のない深さの限界を示すもの、すなわちきず取り跡の深さの許容限度を示すものである。きず取り基準を表示するには、通常表面からの深さ、寸法公差下限からの深さ、きず取り後の保証寸法などで表わす。

(4) 高級鋼棒鋼の製造に必要な試験設備

試験・分析センター

製鉄所の生産規模、全体配置を考えると、分析業務と材料試験業務は1ヶ所の試験・分析センターに集約して行なうのが効率的である。



① 分析

一般に日本の銑鋼一貫製鉄所では、

- 原材料受入検査
- 日常の生産工程における品質管理
- 製品の品質保証

のために、広範囲にわたって分析作業が実施されている。

主な分析対象物は、

原料分析 ～ 鉄鉱石、合金鉄、スクラップ、石灰石、焼石灰、焼結鉄、珪石、コークス、ダスト

鉄鋼分析 ～ 鋳物溶銑、製鋼溶銑、溶鋼、圧延棒鋼
スラグ(高炉、転炉)、連鋳用パウダー

である。なお、ここでは環境分析等は対象外とし、直接生産に関与する分析に限定した。

分析方法としては化学分析と機器分析に分けられるが、化学分析では長年にわたって蓄積された高度な技能が要求されるため、極力機器分析を導入し、化学分析は機器の精度チェック程度に適用するのが得策である。

主要な分析設備を表5.1.4～5に示すが、このなかで機器分析装置として最も重要なのは、蛍光X線分析装置と発光分光分析装置である。いずれも日常の操業に不可欠なもので、いったん故障が生じると、最悪の場合は全面的生産停止に至ることがあり、このため予備機を保有する考えも有力であるが、ここでは日常の保守、点検で対処することとし、予備機器は設けない。また両機器は製鉄所全体の工程管理、品質管理システムと結びついた分析システムのなかに組入れるものであり、その内容は全体のシステム設計時に検討されるものである。

一般構造用炭素鋼等の普通鋼のみの生産では、蛍光X線と発光分光分析装置で充分であるが、高級棒鋼の生産では非金属介在物や溶解ガス量の少ない清浄鋼が要求され、このため溶鋼中の酸素、窒素、水素を分析する装置が必要となる。

分析値の信頼性は商取引、品質保証上非常に重要であるが、分析値の変動に大きな影響を与える因子として機器の管理と試料およびサンプリングの問題がある。

分析機器は使用条件、環境により微妙に影響を受け同一サンプルでも異なった値を示すことがあり、このため機器本体の日常管理はもちろん標準試料を使用して検量線の誤差管理を毎日行なう必要がある。

また分析値は試料の履歴と基地組織により変動するので試料の採取方法および加工方法は極力同一となるように作業しなければならない。

サンプリングの問題としては、代表性のある個所よりサンプリングすることである。このため高炉のような連続工程であれ転炉のようなバッチ工程であれ、その母集団のバラツキを予め調査しておくことが基本となり、品質管理の考えにのっとり必要な採取個数、採取時期を決定することが肝要である。

表 5.1.4 - 5 主要分析設備

区分	装置の名称	数量	摘要
試粉調整 試片加工 設備	◦ ジョークラッシャー	1	} 粉状試料調査
	◦ 振動ミル	2	
	◦ プリケットプレス	1	} 塊状試料加工
	◦ 高速カッター	2	
	◦ ベルトグラインダー	2	
	◦ マッフル炉	1	
	◦ ボール盤	1	
	分析設備	◦ 蛍光X線分析装置 (多分光器型、23元素同時分析)	
◦ 発光分光分析装置 (真空式、21元素同時分析)		1 式	浴鉄、浴鋼、圧延棒鋼
◦ 炭素、硫黄分析装置		1	鋳鉄中のC、低硫鋼のS
◦ 酸素、窒素分析装置		1	} 高級棒鋼
◦ 水素分析装置		1	
◦ 化学分析装置		1 式	主にチェック分析のため

② 材料試験

材料試験は、連鋳鋼片および製品を対象に、

- 日常生産物の品質保証
- 工場内と客先で生じた品質異常の原因調査
- 品質改善向上を目的とした工場実験

のために実施される。

材料試験は、材質試験と機械試験に区分され、その試験項目は多岐にわたるが、普通鋼から要求品質の厳しい高級棒鋼の製造に対しては下記の試験が必要となろう。

材 質 試 験……………マクロ組織試験、サルファープリント試験、ミクロ組織試験、結晶粒度試験、焼入性試験、表面脱炭試験、中心偏析試験、非金属介在物試験、地疵試験、切削性試験

機 械 試 験……………引張試験、曲げ試験、衝撃試験、硬さ試験

材料試験で重要なことは、要求品質に応じた試験方法を採用し、試験成績の変動をおさえるために、試験条件および、試験の手順を標準化しておくことである。

また、顕微鏡観察のように、最終的に人間が判定を行なう試験では、習熟と高度な技能が要求され、このための教育、訓練は不可欠で、限度見本の充実も必要である。

普通鋼主体の生産でかつ高級棒鋼製造に対して必要な材料試験設備のうち主要なものを表 5.1.4-6 に示す。

将来的に、より高度な品質要求に対応して行く場合には、材料試験グループの技能、習熟度を加味しながら、高温引張試験機、疲労試験機、X線マイクロアナライザー（微小領域の組成分析用）、走査電子顕微鏡（高倍率組織観察、破面調査用）等を漸進的に導入して行くのが得策と考えられる。

各試験機の性能確保は品質保証上重要であり、このため試験機の日常点検整備はもちろん、公的機関による定期的検定を受けることが必要と思われる。

5.2 近代化のための実施計画と設備投資

5.2.1 近代化実施計画

表 5.2.1-1 に圧延工場の近代化実施計画を示す。

表 5.2.1-1 圧延工場の近代化実施計画（稼働計画）

新規設備、改造設備名称	申請区分	1986年	1987年	1988年	1989年	1990年
小形圧延工場加熱炉増強	B	○ 12月				
中形圧延工場加熱炉増強	C		○ 6月			
新棒鋼圧延工場建設	D				○ 11月	

(注) 申請区分 A 建設中
 B 発注済
 C 決裁済で未着工
 D 未決裁

中形圧延工場および小形圧延工場は新棒鋼圧延工場の稼働が安定した後に両工場とも休止するものとする。

5.2.2 圧延工場近代化のための設備投資

圧延工場近代化のための新棒鋼圧延工場建設に必要と推定される設備投資内容と金額を FOB, JAPAN で試算した。また、石家荘鋼鉄廠がすでに発注済あるいは決裁済で未着工の設備については本設備投資額より除外してある。すなわち表

5.2.1-1 の申請区分 D のみの投資額である。

表 5.2.2-1 に設備投資の内容と投資額を示す。

表 5.2.2-1 設備投資の内容と投資額

設 備		投資額(百万円)	備 考
新 棒 鋼 圧 延 工 場	(1) 70トン/時ウオーキングビーム式 加熱炉	1,106	
	(2) 圧延設備	5,470	
	(3) 電気、計装設備	2,359	
	(4) 起重機	366	9基
	(5) ショットブラスト機(鋼片手入用)	59	
	(6) ビレットグラインダー	4	スイング式×1基
	(7) 磁気探傷機(鋼片用)	105	
	(8) 磁気探傷機(棒鋼用)	72	
	(9) 棒鋼矯正機	45	

(注) ビレットグラインダーは手入対象材の量と手入能率(トン/時・台)との見合いで設置台数を検討する必要がある。

5.3 近代化による効果

以上述べてきた設備改善、操業技術の向上および新棒鋼圧延工場の建設により得られるであろう効果を列挙すると以下の通りである。

- ① 新棒鋼工場の稼動により製品30万トン/年の製造が可能となる。
- ② 高級鋼の棒鋼の製造が可能となる。
- ③ ビレットの大型化により圧延歩留が向上する。
- ④ 新棒鋼圧延工場はホットチャージングが可能のように転炉連鋳工場と隣接して配置しており、省エネルギーが期待できる。

6. 工場管理の現状と提案

6.1 生産管理

6.1.1 生産管理の現状

(1) 受注システム (SYSTEM)

河北省の6つの鉄鋼廠での生産計画は河北省計画経済委員会とによって生産高が決定される。

生産計画は上半期(1~6月)と下半期(7~12月)に分けられている。

河北省計画経済委員会とによって決められた各半期単位の生産計画は河北省冶金總公司に連絡される。

一方それぞれの需要家は鋼種、製品寸法、数量、納期を河北省冶金總公司に注文を出し、同公司は河北省内の各鋼鉄廠の供給能力と需要家の要望を調整し、各鋼鉄廠に対し鋼種、製品寸法、数量、納期等を割り振りする。この調整の会議を注文会議という。

廠外で作られた小鋼塊およびブルーム/スラブ(鋼塊より $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ のブルームあるいはスラブに分塊されたもの)を受入れて中形圧延工場の余力を利用して委託圧延($60\text{mm} \times 60\text{mm}$ 、 $110\text{mm} \times 19\text{mm}$ 、 $135\text{mm} \times 19\text{mm}$ にする)を行なっている。

1985年には小鋼塊を5,850トン、ブルーム/スラブを1,484トン受入れて圧延している。

(2) 生産計画の作成

鋼鉄廠では河北省の生産計画示達により6カ月計画が作成され、さらに4半期計画、月間計画、週間計画が作成される。

月間計画には製品寸法は4~5種類が圧延され、同一製品寸法は各期で2回程度である。

日本の場合(毎月全製品寸法を圧延する)と比較すると、納期の緊急性、生産計画の作成の複雑さ、圧延工場の稼働率、圧延能率等の面で有利な条件を有している。

(3) 生産管理システム

週間計画は毎日午後4時頃に生産に関する打合せが行なわれ、生産進捗状況

(5) 運 輸 管 理

石家庄鋼鉄廠における原材料の受入れは、そのほとんどが鉄道貨車によって行なわれている。

また石灰石等の副原料はトラックによる受入れが主となっている。

焼結工場での、鉱石類のハンドリングを第2章図1.2-1に示す。ヤード内では、ほとんどが人力にたよっている。

一方高炉工場での原料ハンドリングは図6.1.1-1に示すごとく、ベルトコンベア等を使用し、機械化がある程度進んでいる。焼結工場からの焼結鉄の輸送はダンプカーで行なわれている。

高炉から出鉄された溶鉄は一部転炉工場へ直送されているが、ほとんどが鋳鉄機で冷鉄にされたのち、転炉工場のキューボラで溶解し、転炉に装入されている。

電気炉工場および転炉工場で製造された鋼塊は電気炉工場からはトラックで、転炉工場からは鋼塊運搬台車にて中形圧延工場の鋼片置場へ運ばれ、圧延計画に従って加熱炉へ装入される。

石灰石

焼結

コークス
コークス工場

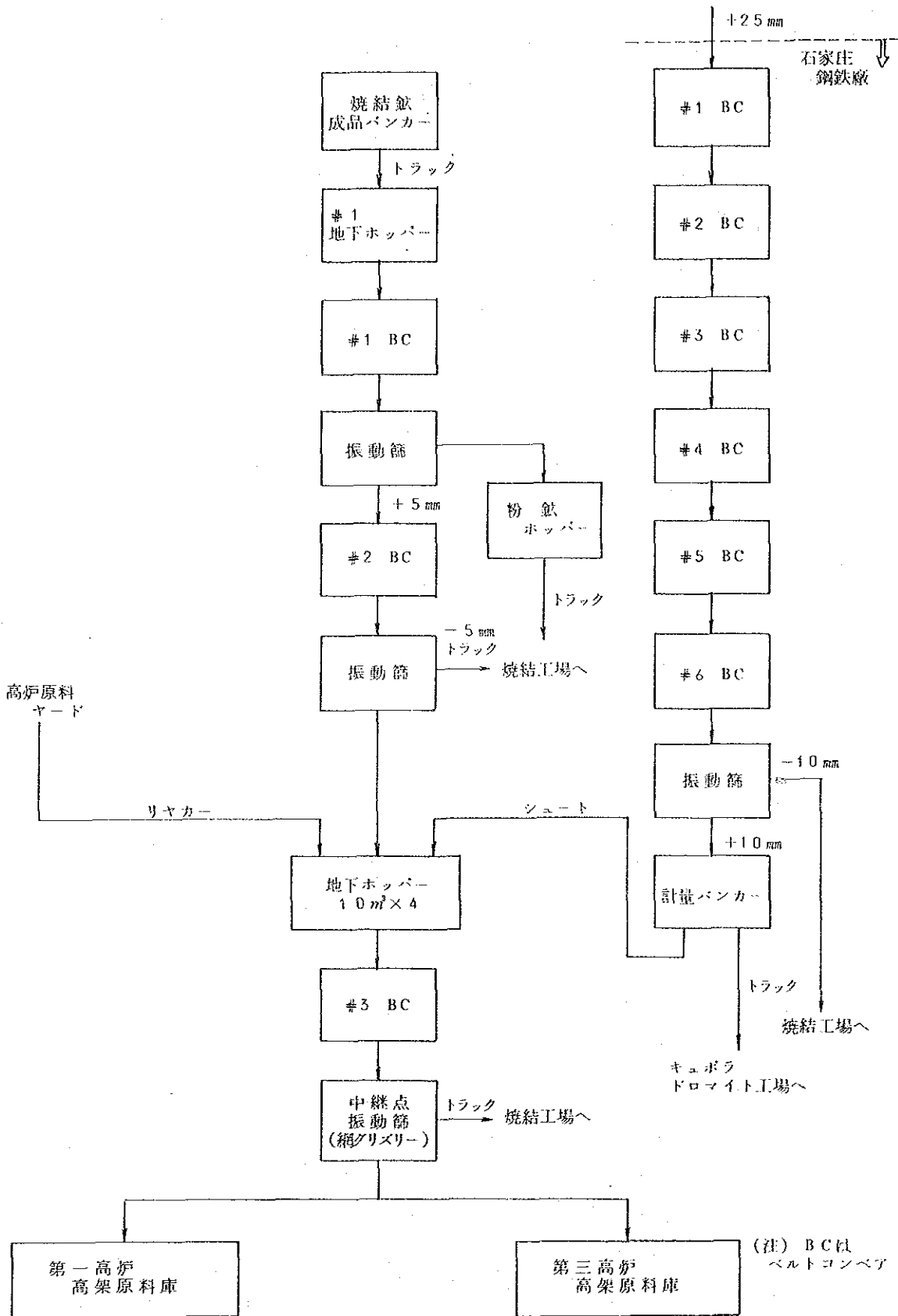


図 6. 1. 1 - 1 高炉工場原料フロー図

6.1.2 生産管理についての提言

(1) 生産管理システム

石家荘鋼鉄廠では近代化により生産量の増大、製品品種の拡大がなされ、これに伴ない生産管理方法は複雑化してくる。

生産管理を円滑に進めるには製鉄→製鋼→圧延→出荷の工程間の情報連絡を密にすることは言うまでもないが、生産計画の立案が重要な要素となって来る。

石家荘鋼鉄廠における生産管理方法については中国の国家方針もあり、現状の生産管理方法についての診断はできないが、日本のK社における“生産管理システムフロー（SYSTEM FLOW）”について紹介する。（図6.1.2-1参照）

石家荘鋼鉄廠での参考とされたい。

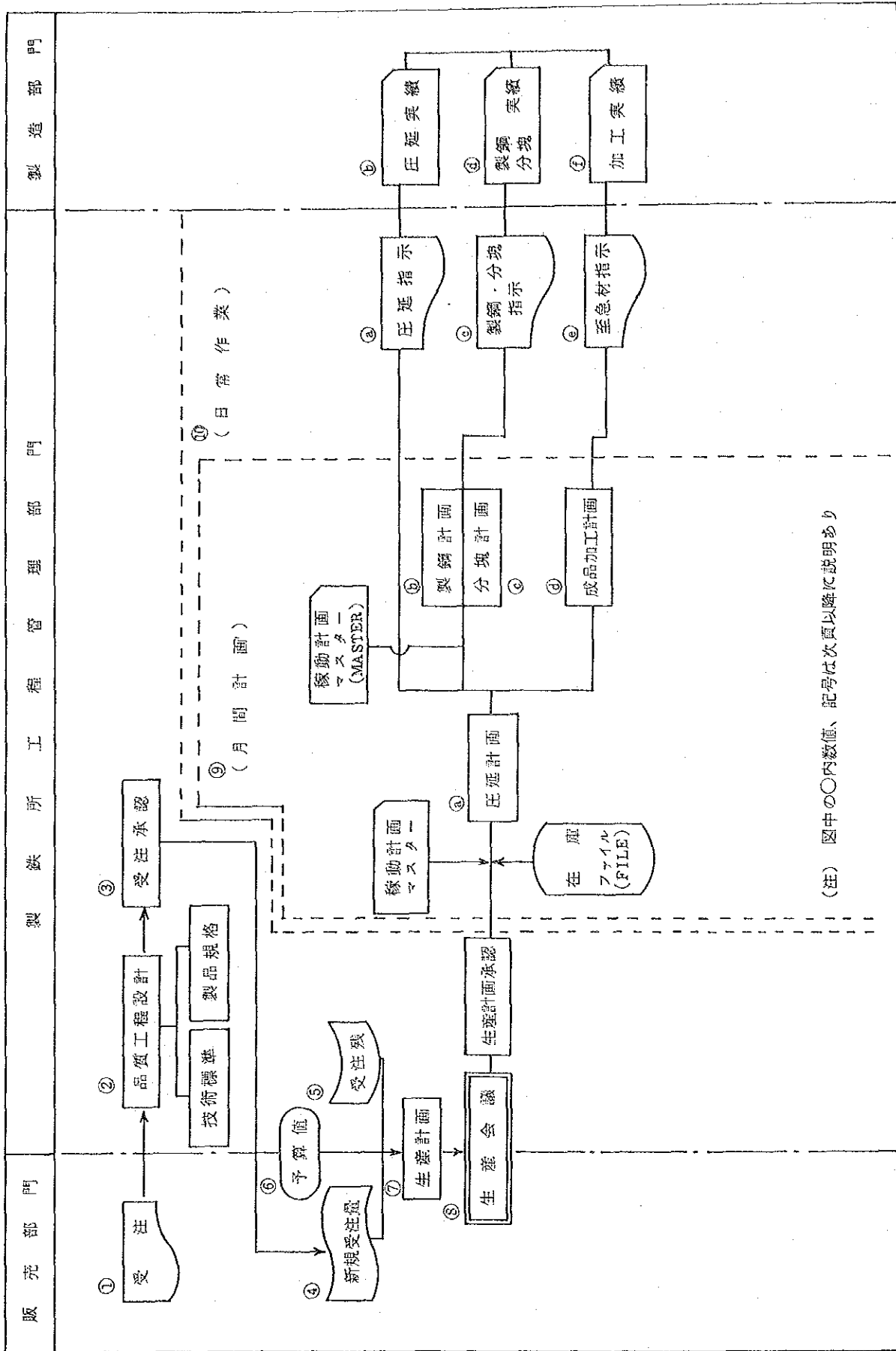


図 6.1.2-1 日本K社における生産管理システムフロー

K社における生産管理システム〔フローの補足説明〕

① 受 注

毎月20日に翌月分の受注を締切り、翌月の受注量を確定する。

締切り後の注文内容の変更については発生都度、インプット(INPUT)を行ない、正規の注文と同じ処理を行なう。

② 品質工程設計

注文を受けた内容が技術的、品質的に製造が可能かどうかのチェックを行なう。

③ 受注承認

上記の品質工程設計のチェックにより製造不可となった注文については不可となった理由をアウトプットし、修正あるいは標準の追加等を行ない、受注承認に変える。

④ 新規受注量

上記受注承認された分が翌月分の新規受注量としてアウトプット(OUTPUT)される。

⑤ 受注残

生産能力以上の受注あるいは工場の突発故障等による生産減のため、翌月生産へ持越される受注分

⑥ 予算値

1年を上期(4月～9月)と下期(10月～3月)に分け、月ごとの生産量を決め予算値とする。

6ヶ月単位ではその後の情勢変化に対応がとれないため、4半期(3ヶ月単位)の実行予算を設定する。

⑦ 生産計画

上記の新規受注量、受注残と予算値を加味して翌月の生産計画を立案する。

⑧ 生産会議

工場幹部と販売部門の幹部が一堂に会し生産状況や販売状況の意見交換を行ない生産計画の決定を行なう。

⑨ 月間計画

⑩ 圧延計画

稼働計画マスターとして圧延工場別の圧延順序、寸法ごとの生産性(t/h)がインプットされており、それに休止日、修理日を追加インプットし圧延計画を作成する。

⑪ 製鋼計画

上記の圧延計画により各圧延工場別、日別の圧延量が決定され、歩留計算により製鋼の必要量が算出される。

算出された必要量から、在庫分を差引いた量を新規に溶製必要量として製鋼計画を作成する。

③ 分塊計画

製鋼計画に基づき分塊必要量を算出し分塊計画を作成する。

④ 成品加工計画

圧延計画に基づき、圧延後の成品で加工（例えば熱処理、疵取り等）を必要とする量を算出し、成品の在庫を加味して成品加工計画を作成する。

⑩ 日常作業

① 圧延指示

圧延計画に基づき、圧延寸法単位で指示を行なう。

指示の内容としては、受注内容（鋼種、受注量、切断長さ、納期等）、品質内容（疵の許容限度、寸法公差、熱処理の有無等）および使用材料を行なう。

② 圧延実績

指示された内容に基づき実際に使用した材料、圧延された成品内容を圧延完了ごとにインプットする。

③ 製鋼分塊指示

製鋼計画に基づき3日単位で指示を行なう。

指示の内容は日別に鋼種、分塊寸法、単重、鋼片手入等を行なう。

④ 製鋼、分塊、実績

指示された内容に基づき、実際に溶製された鋼種、分塊された内容を完了ごとにインプットする。

⑤ 至急材の指示

受注時の納期に対して遅れが予測される注文に対しては至急材と云う指示を行ない、特別管理を行ない納期遅れを防止する。

⑥ 加工実績

圧延後の成品で加工が必要な注文で加工が完了ごとにインプットを行なう。

(2) 運輸管理

1) 製鉄工場

焼結原料ヤードでの原材料受払設備計画図を第3章図 3.1.1-2 に示す。

貨車からの鉄鉱石の受入は連続アンローダーで行ない、直接ベルト・コンベアに受けスタックリクレーマー（2基のうち1基使用）を経て銘柄別にヤードに積付ける。焼結工場への払出しもスタックリクレーマーで行ない、直接、原料槽に投入する。雑鉄源の受入れはトラックでヤードに積付け、払出しはホッパーを経て鉄鉱石同様にベルトコンベアで直接、原料槽に投入する。

焼結工場から高炉までの焼結鉱の輸送においては、焼結成品庫より第1、第3高炉用高架原料槽まで専用のベルトコンベアで輸送し、トリッパーを経由して、焼結鉱を高架原料槽に直接補給する設備が望まれる。

2) 製鋼工場

高炉～転炉工場間の溶銑輸送は、機関車で行なうが、混銑炉稼動時は溶銑鍋で、混銑炉修理時には混銑車と溶銑鍋を用いることとする。

転炉工場で製造した連銑鋼片は直送コンベアで新棒鋼圧延工場へ送るが冷片はマグネットクレーンまたはトラック輸送が可能な設備とする。

一方電気炉工場で製造した連銑鋼片は、電気炉工場の精整場で冷却後トラックで新棒鋼圧延工場へ運ぶ。

3) 新棒鋼圧延工場

圧延後の棒鋼製品は鉄筋用棒鋼の場合は、短時間のうちに出荷され、高級鋼の場合は製品の手入および検査を行なった後出荷される。出荷には鉄道貨車とトラックとで行なわれる。鉄道貨車とトラックの使用比率は輸送距離、需要家での荷役設備などによって決められるべきである。

なお、製鋼・圧延地区の輸送線を含むレイアウトは第3章の図 4.1.1-15 に示した。

近代化後の鋼鉄廠内の原材料受入れから製品出荷までのハンドリングフローを図 6.1.2-2 に示す。

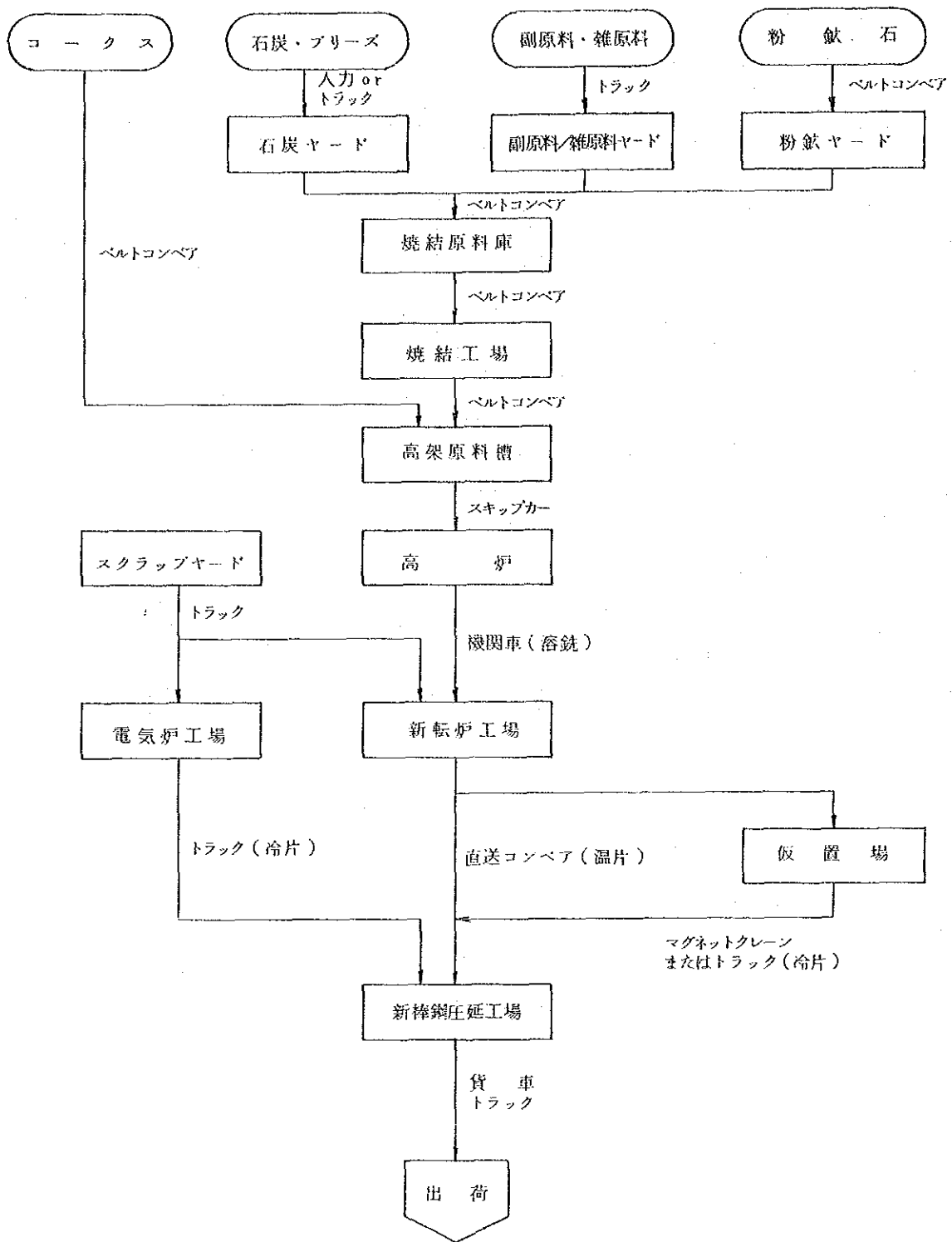


図 6.1.2-2 原材料受入れから製品出荷までのハンドリングフロー

6.2 エネルギー管理

6.2.1 現状のエネルギー使用状況

1985年におけるエネルギー使用状況を表6.2.1-1に、エネルギーフローを図6.2.1-1に、ガスバランスを表6.2.1-2、3に示す。石家荘鋼鉄廠の特徴は隣接のコークス工場より購入しているコークス炉ガスの量に制約(1,700Nm³/h)があること、また不足した燃料に対して石油系燃料は使用せず石炭系燃料で補なっているところにある。高炉ガスは熱風炉とボイラーに単独で(コークス炉ガスとは混合せずに)使用されており、放散率は13%と高い。また前述のごとく、各工程でのエネルギー原単位も高く改善が望まれる(第2章1、2、3参照)。

一方、石家荘鋼鉄廠への電力供給能力は、現在十分ではなく、電力使用のピークを避けるために、電気炉の稼働を制限している(夏季は8~11時と19~22時に休止、冬季は8~11時と17~20時に休止)。

また、電気炉以外の工場を休止することもあるが、その場合は、生産の緊急度、在庫量などから判断して、休止する順位を決めている。

表6.2.1-1 エネルギー使用状況

エネルギー 工場	石炭	コークス	ブリーズ	コークス炉 ガス (COG)	高炉ガス (注-2) (BFG)	電気
焼結	○ 41% (注-1)		○ 86%	○ 22%		○
高炉		○ 76%			○ 50%	○
転炉		(キューボラ) ○ 20		○ 3		○
電気炉				○ 3		○
中形圧延	○ 41			○ 22		○
小形圧延				○ 50		○
合金鉄			○ 14			○
耐火物乾燥		○ 3				○
鑄造工場		○ 1				○
石灰焙焼炉	○ 8					○
ボイラー	○ 10			○	○ 37	○

(注-1) 表中の数値は使用割合(%)

(注-2) 高炉ガスの放散率は13%

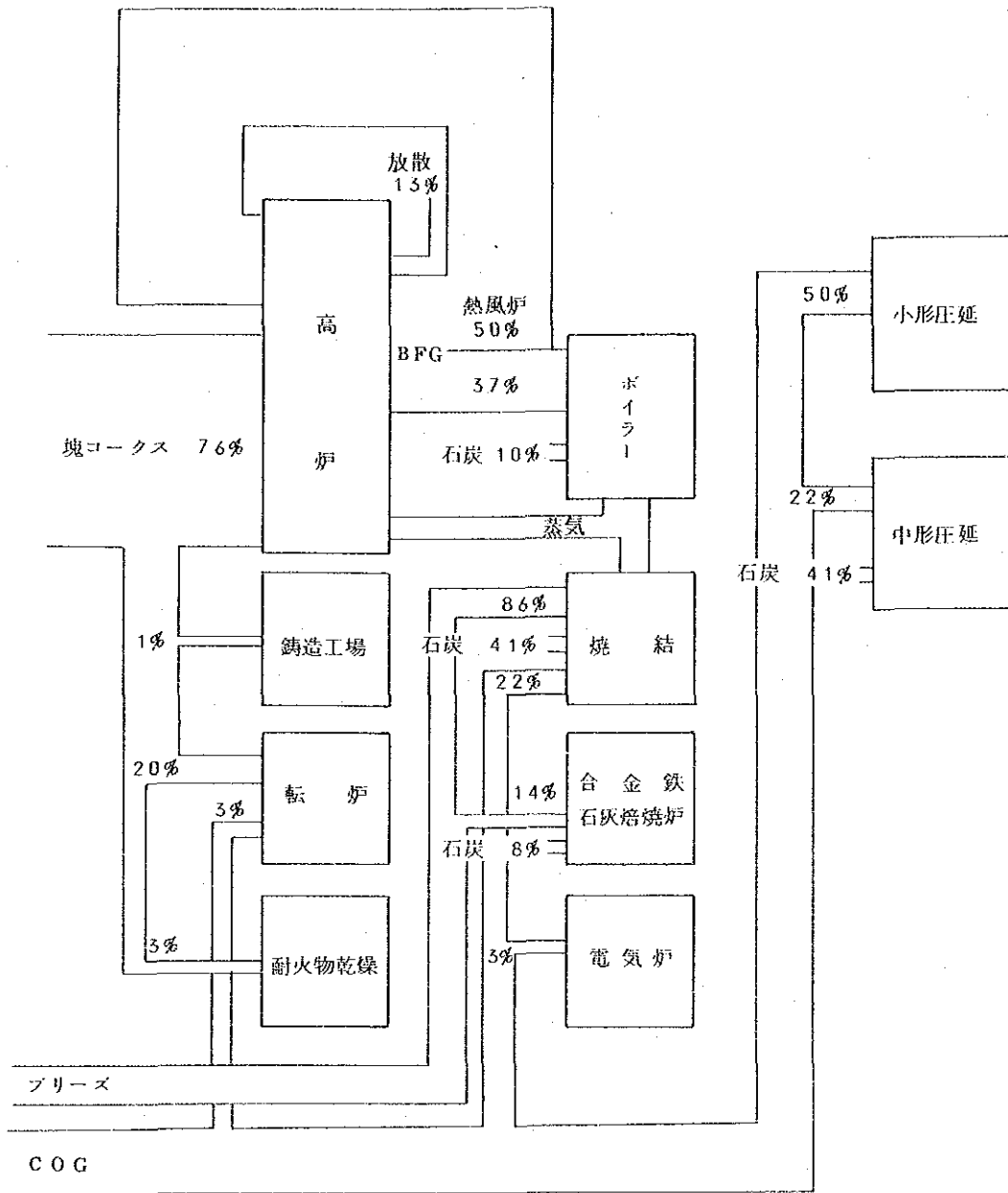


図 6. 2. 1 - 1 エネルギーフロー

表 6.2.1 - 2 高炉ガスバランス (1985年実績)

	年間生産量 (トン/年)	原単位 (Nm ³ /t)	年間使用量		(注-1) 使用割合 (%)	備 考
			(×10 ⁶ Nm ³ /年)	(×10 ⁶ kcal/年)		
高炉ガス発生量	10,645.5 (注-2)	2,090	2,225 (注-3) (26,280)	1,980 (注-3) (23,390)	-	発熱量: 890 kcal/Nm ³
熱風炉使用量	-	950	101.2 (11,950)	90.1 (10,640)	45.5	
ボイラー "	-	-	89.0 (10,520)	79.2 (9,360)	40.0	4トンボイラー(石炭) 10トンボイラー(ガス)
放 散 量	-	-	32.3 (3,810)	28.7 (3,390)	14.5	

(注-1) 入手したデータ間に差があり表6.2.1-1と若干異なる。

(注-2) 入手した生産バランスシートより。

(注-3) 高炉稼働率(96.61%)、1985年実績)より、稼働時間当りの使用量を算出(Nm³/h、×10³ kcal/h)

表 6.2.1-3 コークス炉ガスバランス (1985年実績)

	年間生産量 (トン/年)	原単位 (Nm ³ /t)	年間使用量		使用割合 (%)	備 考
			(×10 ³ Nm ³ /年)	(×10 ⁶ kcal/年)		
コークス炉ガス受入量	-	-	14,890	61,500		1,700 Nm ³ /h × 24 h × 365 日 = 14,890 × 10 ³ Nm ³ /年 発熱量: 4,130 kcal/Nm ³
焼結(点火炉)	215,046	15.56	3,350	13,840	22.5	
転炉(耐火物乾燥)	102,064	2.55	260	1,070	1.8	
電気炉(同上)	29,911	15.20	460	1,900	3.1	
中形坩堝(加熱炉)	121,797	24.94	3,040	12,560	20.4	他に 0.12 t・石炭/t 使用
小形坩堝(同上)	102,629	7.288	7,480	30,890	50.2	
ボイラー (注)			300	1,240	2.0	

(注) コークス炉ガス受入量 1,700 Nm³/h を基準としボイラーでバランスさせた。

6.2.2 近代化後のエネルギー上の問題点

(1) 電力供給

石家庄市の電力供給ネットワークは、北京、天津、唐山のネットワークおよび山西省のネットワークにも接続している。

山西省は石炭産出量が多く、火力発電比率が高く、河北省で使われる一部の電力は山西省より供給されている。

邢台発電所では、80万kw（20万kw×4台）の発電設備が建設中であり、'85年から'88年にかけて、毎年20万kw×1台ずつ完成する予定である。

石家庄の西30kmにある上安発電所にも60万kw（30万kw×2台）の発電設備が建設中であり、'88年と'90年に30万kw×1台ずつ完成する予定である。

石家庄発電所においても40万kwにする拡張計画がある。

石家庄鋼鉄廠の粗鋼生産規模を35万トン／年に増強した時点での、電力必要量は上記の発電所の稼動により電力供給の保証があるものとする。

(2) 燃料ガスバランス

粗鋼35万トン／年体制へ移行後も、コークス炉ガスの購入量は現状(1,700 Nm³/h)のままで増加はできない状態である。従って、石家庄鋼鉄廠では不足燃料を補充するためと新棒鋼圧延工場のための石炭ガス発生炉の建設を中心とした下記計画を有している。

- i 高炉ガス用ガスタンク（2万m³）を建設し、高炉ガスとコークス炉ガスを混合使用する。
- ii 20トン上下吹転炉にガス回収設備を導入し、合せてガスタンク（1万m³）を建設する。
- iii 新棒鋼圧延工場用に20万Nm³/日の石炭ガス発生炉（2,000 Kcal/Nm³）を建設する。

その他、石灰焙焼炉のガス炉への変更、ならびに焼結点火炉用ガスのコークス炉ガスから低発熱量ガスへの変更についても検討中である。

以下に近代化後の燃料ガスバランスについて検討する。

A 前提条件

(A) 燃料ガス供給量

表 6.2.2-1 に示す。不足分は石炭ガス発生炉で、又はコークス炉ガスを追加購入して補うものとする。

(B) 燃料ガス使用量

表 6.2.2-2 に示す。加熱炉燃料ガス発熱量は熱効率を考慮して 2500 Kcal/Nm^3 とする。

B 燃料ガスバランス

後述するように焼結工場点火炉、転炉・電気炉での耐火物乾燥用ガスとしては、理論上高炉ガス専焼でも可能であり、また石灰焙焼炉では最低発熱量 1200 Kcal/Nm^3 で可能である。従って、表 6.2.2-3 に示すケースについて検討した。

(A) 石炭ガス発生炉を建設する場合

検討結果を表 6.2.2-4 (1/2) に示す。低発熱量燃料ガスでの実績がないので粗鋼 35 万トン/年体制への移行に当っては、当初ケース 1 で開始し、徐々に実績を踏えながら加熱炉以外の燃料ガスを低発熱量化 (ケース 2、3 へ移行) し、購入コークス炉ガスを減らす方向で設備計画を進めるよう提案する。

従って、配管ルート、バーナー仕様等はこれらを考慮した設計が望まれる。また加熱炉を含めて低発熱量ガスを利用する場合、熱効率が低下するので排熱回収による燃焼用空気 (できれば燃料ガスも) の予熱が肝要となる。

表 6.2.2-5 には石炭ガス発生炉の最大供給能力の検討結果を示す。各工場でのガス燃料使用状況はほぼ連続的であり、稼働率から最大使用量を推定し、不足分を石炭ガスで補充した。石炭ガス発生炉能力としては、最大 $18.6 \text{ 万 Nm}^3/\text{日}$ (ガスカロリー : 2500 Kcal/Nm^3) が必要であろう。

以下に石炭ガス発生炉の設備概要と費用を示す。

i. 能力

ガス発生量 : $200,000 \text{ Nm}^3/\text{日}$
ガスカロリー : $2,500 \text{ Kcal/Nm}^3$
圧力 : 500 mmHg

ii. プロセスフロー

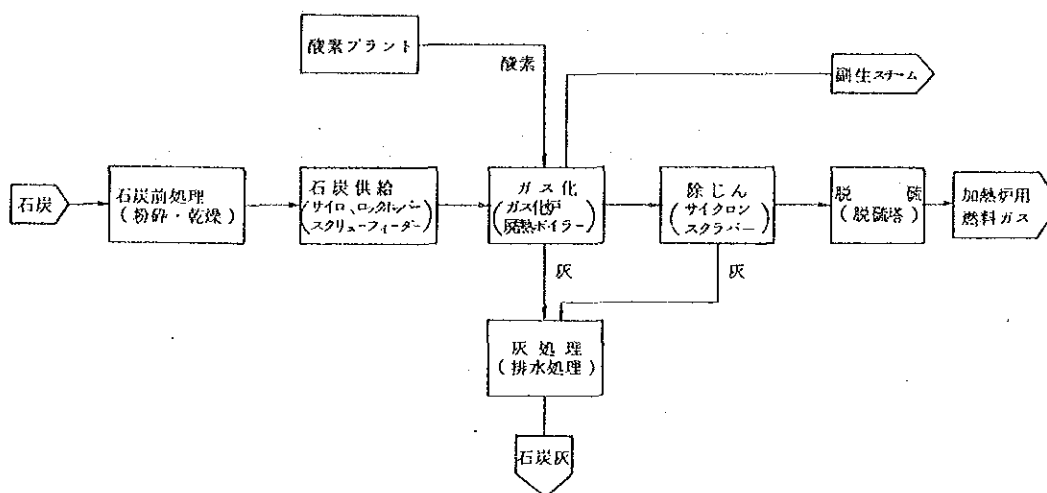


図 6.2.1-2 石炭ガス発生炉ブロックフローダイアグラム (Winkler 型)

iii. 設備費用

30億円 (但し、FOB、JAPAN)

(B) 石炭ガス発生炉を設置せず、不足分はコークス炉ガスを追加購入して補う場合

現有ならびに新設予定のコークス炉でのガス使用量と種類を下表に示す。

	現 有			将 来
	1 号	2 号	3 号	大型コークス炉 (設計中)
炉 高 (m)	2.8	2.8	3.0	6.0
生産量 (万トン/年)	15	14	24	76
ガス自消率 (%)	65~70	65~70	55	45~50
ガスカロリー (kcal/Nm ³)	4,100~4,200	同 左	同 左	同 左
燃料構成	COG専焼	同 左	同 左	COGと石炭ガスの混焼 3,800 kcal/Nm ³
(注) ガス自消原単位 (Nm ³ /t-コークス)	272.2	272.2	221.8	191.5 外に石炭ガスを使用する。

(注) (石炭歩留: 1.260kg石炭/t-コークス) より計算した。
(ガス発生原単位: 320Nm³-COG/t-石炭)

将来建設予定の大型コークス炉では石炭ガス（コークス工場では石炭ガス発生炉を5基建設予定であり、既に2基完成している。ガスカロリー：1,200～1,250Kcal/Nm³）をコークス炉ガスと混合して3,500Kcal/Nm³以上の混合ガスにして乾溜に利用する計画である。

ここでは石家荘鋼鉄廠で余剰な高炉ガスをコークス炉で石炭ガスの代わりに混合して利用する場合のガスバランスを検討した。この場合にガスカロリーを3,800Kcal/Nm³と仮定すると高炉ガス必要量はほぼ下記の通りとなる。

一燃料ガス構成 (3,800Kcal/Nm ³)	石炭ガスとの混合	高炉ガスとの混合
コークス炉ガス(4,130Kcal/Nm ³)	88.6%	89.9%
石炭ガス(1,225 #)	11.4%	0
高炉ガス(852 #)	0	10.1%

一石炭ガスと代替する高炉ガス量（高炉ガス使用可能量）

$$(191.5/0.886) \times 0.101 \times 76 \times 10^4 = 16,590 \times 10^3 \text{ Nm}^3/\text{年}$$

検討結果を表6.2.2-4(2/2)に示す。ケース1ではコークス炉工場へ供給可能な高炉ガス量が前述のコークス炉での高炉ガス使用可能量を上まわり、高炉ガス放散率は3.5%になる。また既契約のコークス炉ガス量(1,700Nm³/h)に対して追加コークス炉ガス量として1,170Nm³/hが必要となる。その内コークス炉に供給された高炉ガス量と等価なコークスガス量は390Nm³/hである。

ケース2ではコークス炉工場への供給可能な高炉ガス量がコークス炉での高炉ガス使用可能量を下まわり、従って高炉ガス放散率は0となる。

また、追加コークス炉ガス量は630Nm³/hと減少する。

ケース3ではコークス炉工場へ供給可能な高炉ガスは0となり、むしろ高炉ガスが不足するためその分コークス炉ガスを余分に必要とする。追加コークス炉ガス量は340Nm³/hとなる。

(C) 両案の比較

石炭ガス発生炉を新設する(A)案は、圧送設備（ガスタンク、ブロー、パイプライン）のみでよい(B)案に比較して建設コストが著しく大きい。また石炭ガス発生炉は使用する石炭の性状に制限があり、また排水処理（タ

ール、安水) 廃棄物処理(灰分)に多大なコストを必要とする。従って鋼鉄廠近代化においては、(B)案が好ましい。この場合においても、できるだけ高炉ガスを鋼鉄廠内で消費する方向で計画を進める必要がある。

表 6.2.2 - 1 燃料ガス供給量（粗鋼 35 万トン／年の時）

	年間生産量 (トン／年)	原単位 (Nm ³ /t)	年間供給量		発熱量 (Kcal/Nm ³)	稼働時間当り 供給量 (Nm ³ /h)	備考
			(×10 ⁸ Nm ³ /年)	(×10 ⁸ Kcal/年)			
高炉ガス (注-4)	第一高炉	1815-987 (注-1) = 828	82,800	70,960	857	9,740	コークス比: 550 kg/t
	第三高炉	1760-916 (注-1) = 844	168,800	143,480	850	19,870	コークス比: 533 kg/t
合計	500,000	839	251,600	214,440	852	(注-2) 29,610	
転炉ガス	270,000	70	18,900	37,800	2,000	(注-3) 2,540	
コークス炉ガス	-	-	14,890	61,500	4,130	1,700	

(注-1) ガス発生量 - 熱風炉使用量、第一高炉熱風炉使用量は調査データより推定、その他は石冢庄練鉄廠より入手。

(注-2) 高炉稼働率 97% とする。

(注-3) 転炉稼働率 85% とする。

(注-4) 高炉ガス発生量は $535,500 \times 10^8$ Nm³/年、稼働日当り $62,090$ Nm³/h (発熱量 852 Kcal/Nm³)

表 6.2.2 - 2 燃料ガス使用量(粗鋼35万トン/年の時)

	年間生産量 (トン/年)	エネルギー 原単位 (Kcal/t)	年間使用量 ($\times 10^6$ Kcal/年)
焼結(点火炉)	593,000	(注-1) 32,100	19,000
転炉(耐火物乾燥)	270,000	25,000	6,800
電気炉()	80,000	63,000	5,000
石灰焙焼炉	20,000	1,200,000	24,000
新棒鋼圧延工場(加熱炉)	334,000	330,000	110,200
ボイラー	-	-	160,900(注-2) ($188,850 \times 10^3$ Nm ³ /年)

(注-1) 現状の1/2とした。

(注-2) 10トンボイラー追加の計画があり、現状使用量の2倍とした:

$$(79,200 + 1,240) \times 10^6 \times 2 \text{ Kcal/年}$$

表 6.2.2 - 3 ケース別使用燃料発熱量

(単位: Kcal/Nm³)

	焼結点火炉	耐火物乾燥用	石灰焙焼炉	新棒鋼圧延工場 加熱炉	ボイラー
ケース1	2,000	2,000	2,000	2,500	高炉ガス専焼
ケース2	1,200	1,200	1,200	2,500	同上
ケース3	高炉ガス専焼	高炉ガス専焼	1,200	2,500	同上

表 6.2.2-4 ケース別燃料ガスバランス (1/2)

— 石炭ガス発生炉を建設する場合 —

	年間使用量 ($\times 10^6$ Kal/年)	ケース 1					ケース 2					ケース 3						
		発熱量 (Kal/Nm ³)	年間使用量 ($\times 10^3$ Nm ³ /年)	内訳 ($\times 10^3$ Nm ³ /年)			発熱量 (Kal/Nm ³)	年間使用量 ($\times 10^3$ Nm ³ /年)	内訳 ($\times 10^3$ Nm ³ /年)			発熱量 (Kal/Nm ³)	年間使用量 ($\times 10^3$ Nm ³ /年)	内訳 ($\times 10^3$ Nm ³ /年)				
				コークス炉ガス	高炉ガス	転炉ガス/ 石炭ガス			コークス炉ガス	高炉ガス	転炉ガス/ 石炭ガス			コークス炉ガス	高炉ガス	転炉ガス/ 石炭ガス		
焼結(点火炉)	19,000	2,000	9,500	2,980	5,520	18,900	1,200	15,830	-	31,830	13,840	852	22,300		22,300			
転炉(耐火物乾燥)	6,800	2,000	3,400				1,200	5,670				1,200	5,670	852	7,980		7,980	
電気炉(同上)	5,000	2,000	2,500				1,200	4,170				1,200	4,170	852	5,870		5,870	
石灰焙焼炉	24,000	2,000	12,000				1,200	20,000				1,200	20,000	1,200	20,000		13,940	転炉ガス 6,060
新棒鋼圧延工場(加熱炉)	110,200	2,500	44,100	11,910	11,770	20,420	2,500	44,100	14,890	13,180	転炉ガス 5,060 石炭ガス 10,970	2,500	44,100	14,890	10,820	転炉ガス 12,840 石炭ガス 5,550		
ボイラー	160,900	852	188,850		188,850		852			188,850		852			188,850			
合計				14,890	206,140	18,900 石炭ガス(注) 20,420			14,890	233,860	18,900 石炭ガス 10,970			14,890	249,760	18,900 石炭ガス 5,550		
備考		高炉ガス放散率 $= \{ (251,600 - 206,140) / 533,500 \} \times 100 = 8.5\%$ 高炉ガス発生量: $533,500 \times 10^3$ Nm ³ /年 " 熱風炉使用量: $281,900 \times 10^3$ " " " 供給余力: $251,600 \times 10^3$ " "					高炉ガス放散率: 3.3%					高炉ガス放散率: 0.3%						

(注) 石炭ガスの発熱量は2,500 Kal/Nm³とする。

表 6.2.2-4 ケース別燃料ガスバランス (2/2)

— コークス炉ガスを追加購入する場合 —

	年間使用量 ($\times 10^6$ kcal/年)	ケース 1					ケース 2					ケース 3				
		発熱量 (kcal/Nm ³)	年間使用量 ($\times 10^3$ Nm ³ /年)	内訳 ($\times 10^3$ Nm ³ /年)			発熱量 (kcal/Nm ³)	年間使用量 ($\times 10^3$ Nm ³ /年)	内訳 ($\times 10^3$ Nm ³ /年)			発熱量 (kcal/Nm ³)	年間使用量 ($\times 10^3$ Nm ³ /年)	内訳 ($\times 10^3$ Nm ³ /年)		
				コークス炉ガス	高炉ガス	転炉ガス			コークス炉ガス	高炉ガス	転炉ガス			コークス炉ガス	高炉ガス	転炉ガス
焼結(点火炉)	19,000	2,000	9,500	2,980	5,520	18,900	1,200	15,830	3,1830	13,840	852	22,300	22,300			
転炉(耐火物乾燥)	6,800	2,000	3,400				1,200	5,670			852	7,980				7,980
電気炉(同上)	5,000	2,000	2,500				1,200	4,170			852	5,870				5,870
石灰焙焼炉	24,000	2,000	12,000				1,200	20,000			1,200	20,000				13,940
新棒鋼圧延工場(加熱炉)	110,200	2,500	44,100	22,180	21,920	2,500	44,100	1,550		5,060	2,500	44,100	3,940		12,840	
								18,860	18,630	13,740			13,580			
ボイラー	160,900	852	188,850				852		188,850		852		188,850			
合計				25,160 (2,870Nm ³ /h)	216,290	18,900		20,410 (2,330Nm ³ /h)	239,310	18,900		17,680 (2,020Nm ³ /h)	252,520	18,900		
備考		余剰高炉ガス量 $= (25,160 - 216,290) \times 10^3 = 35,310 \times 10^3 \text{ Nm}^3/\text{年}$ コークス炉への供給高炉ガス量: $16,590 \times 10^3 \text{ Nm}^3/\text{年}$ 高炉ガス放散率 $= \{ (35,310 - 16,590) / 533,500 \} \times 100 = 3.5\%$ 追加コークス炉ガス量: $(25,160 - 14,890) \times 10^3 = 10,270 \times 10^3 \text{ Nm}^3/\text{年}$ $\approx 1,170 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (その内等価コークス炉ガス量 $= (16,590 \times 852 / 4,130) \times 10^3 = 3,420 \times 10^3 \text{ Nm}^3/\text{年}$ $\approx 390 \text{ Nm}^3/\text{h}$)					余剰高炉ガス量: $12,290 \times 10^3 \text{ Nm}^3/\text{年}$ コークス炉への供給高炉ガス量: 同上 高炉ガス放散率: 0 追加コークス炉ガス量: $5,520 \text{ Nm}^3 \times 10^3/\text{年} \approx 630 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (その内等価コークス炉ガス: $2,540 \text{ Nm}^3 \times 10^3/\text{年} \approx 290 \text{ Nm}^3/\text{h}$)					余剰高炉ガス量: $\Delta 920 \times 10^3 \text{ Nm}^3/\text{年}$ (不足) コークス炉への供給高炉ガス量: 0 高炉ガス放散率: 0 追加コークス炉ガス量: $2,980 \times 10^3 \text{ Nm}^3/\text{年} \approx 340 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (その内等価コークス炉ガス量: $\Delta 190 \times 10^3 \text{ Nm}^3/\text{年} \approx 20 \text{ Nm}^3/\text{h}$) (不足)				

(注) $1,700 \text{ Nm}^3/\text{h} \times 24 \times 365 = 14,890 \times 10^3 \text{ Nm}^3/\text{年}$

表 6.2.2-5 石炭ガス発生炉の最大供給能力の検討

	年間生産量 (トン/年)	エネルギー 原単位 (Kcal/t)	稼働率/能力	最大使用量		使用ガス内訳 (Nm ³ /h)			ガス発熱量 (Kcal/Nm ³)
				×10 ³ Kcal/h	Nm ³ /h	コークス炉ガス	高炉ガス	転炉ガス/石炭ガス	
焼 (点火炉)	593,000	(注-1) 32,100	95%	2,290	1,140				2,000
転 (耐火物乾燥)	270,000	25,000	85%	900	450			(転炉ガス) 2,540	2,000
電 気 炉 (同上)	80,000	63,000	85%	680	340	290	540		2,000
石灰焙焼炉	20,000	1,200,000	95%	2,880	1,440				2,000
新幹線圧延工場 (加熱炉)	334,000	330,000	加熱炉能力 最大 80t/h	26,400	10,560	1,410	1,390	(石炭ガス) 7,760 (18.6万Nm ³ /日)	2,500
ボイラー	-	(年間使用量) 160,900(注-2) ×10 ³ Kcal/年	97%	18,940	22,220		2,2220		852
					合 計	1,700	24,150	(注-3) 転炉ガス:2,540 石炭ガス:7,760	

(注-1) 現状の半分とした。

(注-2) 現状の2倍とした。

(注-3) 高炉ガス放散率 ((29,610-24,150) / 62,790) × 100 = 9%

(3) 高炉ガスの有効利用

前述のように近代化後に石家荘鋼鉄廠では、低発熱量ガスである高炉ガスが余剰になる。そこで高炉ガスの有効利用について検討する。

① コークス炉への高炉ガスの利用

コークス炉の燃料ガスにはコークス炉ガス(COG)、高炉ガス(BFG)、Mガス(COGとBFGの混合ガス)などが用いられる。COGは発熱量が高いので富ガス〔COGに少量のBFG等で発熱量を制御したものを含む：通常4,000~4,800 Kcal/Nm³(net)〕と呼び、BFG、Mガスは発熱量が低いので貧ガス〔BFG単独か増熱の目的でCOG等の高発熱量ガスを加えたもの：通常700~1,500 Kcal/Nm³(net)〕と呼ぶ。富ガスまたは貧ガスのどちらか一方だけ使えるようにつくられた炉を単式コークス炉、どちらでも使えるようにつくられた炉を複式コークス炉という。富ガス専焼の単式コークス炉にBFGを混合して使用する場合、燃焼焦点が変わり、燃焼室の温度分布が変わること、ならびに富ガス専焼方式ではCOG中のメタンや重炭化水素が熱分解をするのを防止するため、蓄熱室を流さないで直接各燃焼室に供給されること等の問題から、COGへのBFGの混合には制約がある。また、コークス炉の型式にも左右される。

日本において、発熱量を調整するためにBFGを混合した例、ならびに積極的にBFGを富化した例を表6.2.2-6に示す。

炉型式は不詳であるが、現状の発熱量を4,130 Kcal/Nm³から3,500~4,000 Kcal/Nm³に低下させることについて検討を進められたい。またコークス炉工場では第7次5ヶ年計画で42門増設の計画があり、この場合、貧ガスが使えるような設備にすると高炉ガスも有効利用される。

表 6.2.2-6 富ガス専焼炉での低発熱量ガス使用実績

会 社	発 熱 量 Kcal/Nm ³	燃 料 ガ ス	炉 型 式
Q社A炉	4,000	COG + BFG	コッパース式 5 m炉
Q社B炉	4,000	COG + BFG	オットー式 4 m炉
O社S炉	3,300~4,000	(注) COG + 空気 + LPG	オットー式 4.5 m炉

(注) LPG：液化石油ガス

上式を使って、0.395 (ただし天井高さ 0.6 m) となる。

よって輻射伝熱量は

$$4.88 \times 0.395 \times \left\{ \left(\frac{1,000+273}{100} \right)^4 - \left(\frac{250+273}{100} \right)^4 \right\}$$

$$= 49.2 \times 10^3 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h}$$

(c) ブリーズ着火に必要な炉長

$$\text{ブリーズ着火に必要な炉長} = \frac{92.9 \times 10^3 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h}}{(44.4 + 49.2) \times 10^3 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h}}$$

$$= 0.99 \text{ m} \approx 1.0 \text{ m}$$

(d) ブリーズ着火に必要な B F G 流量

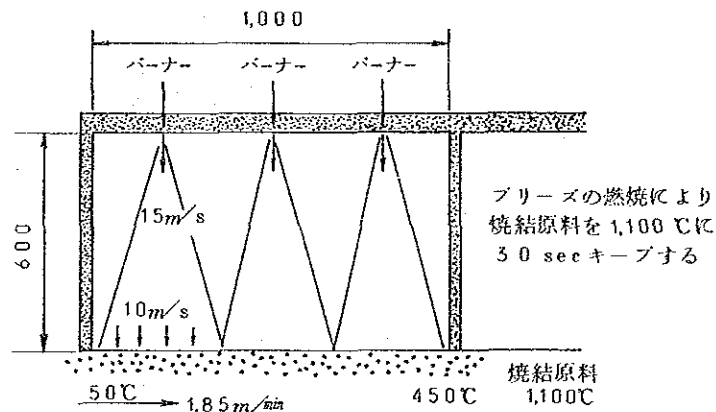
焼結原料表面で 10 m/s の流速を維持するためには、バーナー部で 15 m/s の流速が必要である。

↓

バーナー部での B F G 流速

$$15 \times \frac{273}{1,000+273} \times \frac{1}{1.6} = 2.0 \text{ Nm}^3/\text{s}$$

$$(\text{m/s}) \left(\frac{^{\circ}\text{k}}{^{\circ}\text{k}} \right) \left(\frac{\text{BFG } 1 \text{ Nm}^3}{\text{燃焼ガス Nm}^3} \right)$$

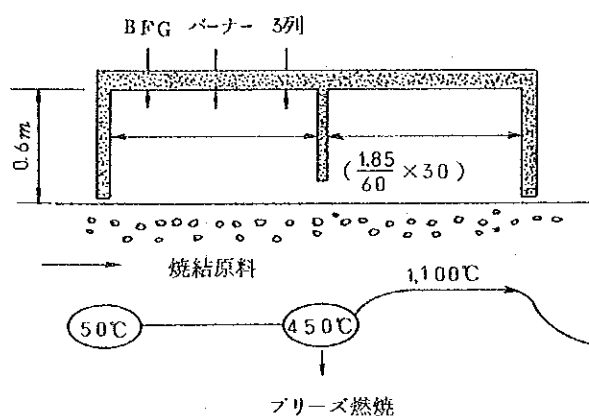


バーナーについては、3.1.1(4)参照

e. 点火炉の概略仕様

点 火 炉	—	ブリーズ着火炉	炉幅 1.2 (2.0) m × 炉長 1.0 m × 炉高 0.6 m ()内は新焼結機用
		1,100℃保持用	1.2 (2.0) × 1.0 × 0.6 (焼結点火のためには 1,100℃を 30秒間保持)

BFG用パイロットバーナーとしてCOGを利用する。



③ 石灰焙焼炉への高炉ガス利用

石家荘鋼鉄廠では、堅型石灰焙焼炉を2基保有し、1/2基稼動で製鋼で使用
する生石灰を製造している。

現有の設備仕様を表6.2.2-7に示す。

表 6.2.2-7 石灰焙焼炉の設備仕様

型 式	堅 型 炉
炉 容	50 m ³ × 2 基 (2.4 m φ × 12 m)
能 力	40 t / 日 (1/2 基稼動時)
原 料	石 灰 石 40 mm - 70 mm
燃 料	無 煙 炭 (5,500 Kcal / kg)
熱量原単位	1,380 × 10 ³ Kcal / t · CaO

現在、燃料として無煙炭を使用しているが、近代化を進める過程において、
カロリーの高いコークス炉ガスの需要が増加する一方、カロリーの低い高炉
ガスが余剰気味となることから、鋼鉄廠では石灰焙焼炉へ高炉ガスを使用す
ることを検討している。

日本K社においても過去、石灰焙焼炉へ高炉ガスを使用することを試みた経緯があり、その時の経験をもとに石家庄鋼鉄廠での燃料転換について検討した。

表 6.2.2-8 に日本K社石灰焙焼炉の主仕様を、図 6.2.2-1 に設備概要を示す。

表 6.2.2-8 日本K社石灰焙焼炉の主仕様

型 式	一段バーナーシャフト式
公称能力	80 t/日(実際100 t/日)
寸 法	円筒122 m ² 、2,700mm φ×20,000 mm
燃 料	高炉ガス・ブタンガス混合(1,000~1,200kcal/Nm ³)
原料サイズ	石灰石 20~40 mm
装入方法	スキップ方式 2ベル
排 風 機	300 kw × 350 Nm ³ /min × -2,100mm Aq
送 風 機	15 kw × 165 Nm ³ /min × +300 mm Aq
集 塵 機	ベンチュリースクラバー 280 Nm ³ /min
燃 焼 装 置	周辺バーナー 10本 中心バーナー 1本
付 帯 設 備	ブタン発生装置 高炉ガス・ブタンガス混合機

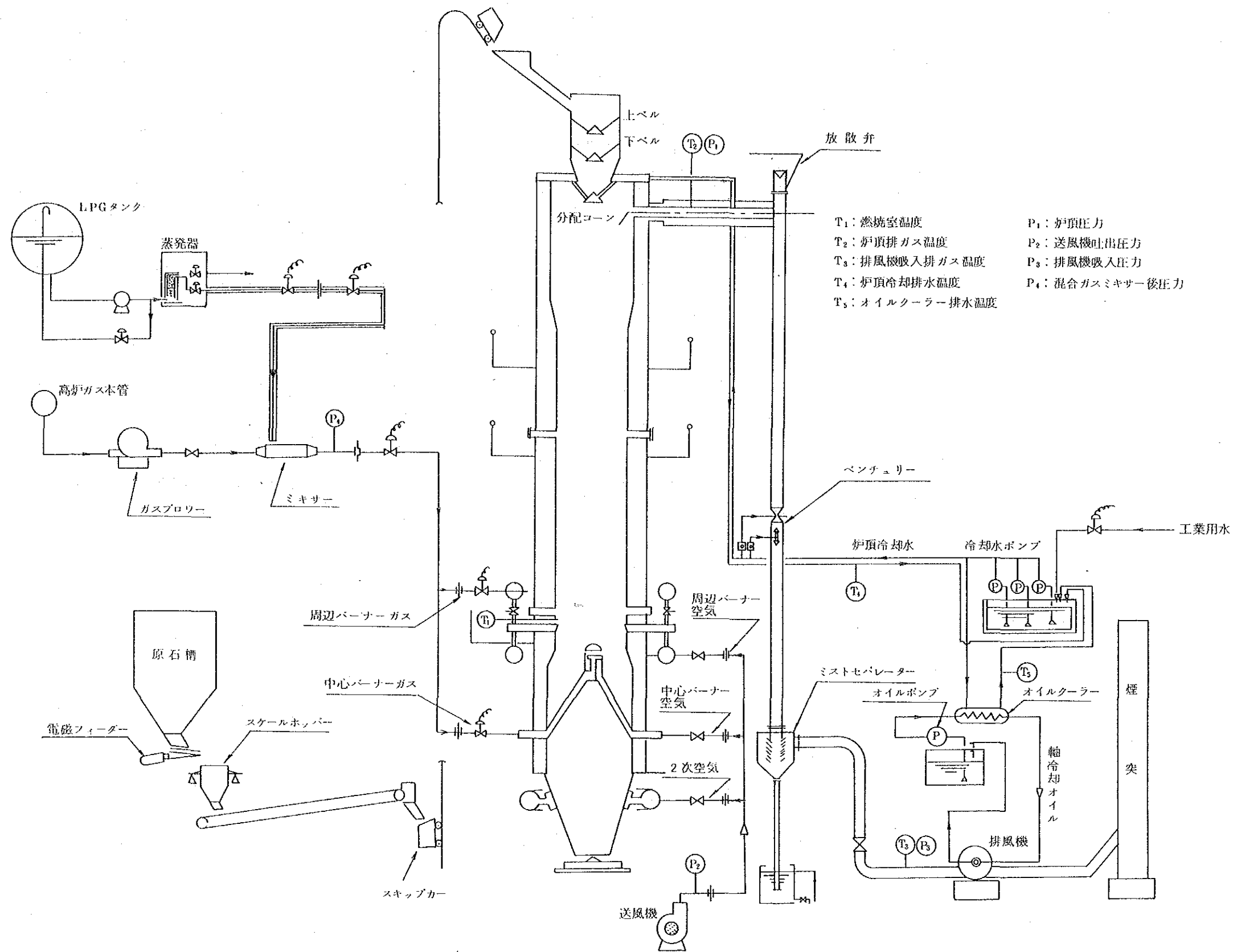


図 6. 2. 2 - 1 日本 K 社石灰焙焼炉設備概要

日本K社では高炉ガスにブタンを付加した混合ガスを使用し、混合ガス中の高炉ガス比を変えてテストを行なった。

表 6.2.2-9 はその時の結果を示したものであるが、高炉ガス比を高くして燃料ガスの発熱量を下げるにしたがい、生産能率が減少している。発熱量が $1,130 \text{Kcal/Nm}^3$ の時に比べ、 950Kcal/Nm^3 時には生産能率は 75% にまで低下し、さらに、熱量原単位、電力原単位も増加した。

表 6.2.2-9 高炉ガス富化テスト結果

操 業 諸 元		I	II	III	
燃 料	高炉ガス発熱量 (Kcal/Nm^3)	655	655	655	
	ブタンガス発熱量 (Kcal/Nm^3)	28,000	28,000	28,000	
	混 合 比 (%)	高 炉 ガ ス	98.26	98.37	98.92
		ブタンガス	1.74	1.63	1.08
	発 熱 量 (Kcal/Nm^3)	1,130	1,100	950	
熱量原単位 ($\times 10^3 \text{Kcal/t-CaO}$)		1,080	1,105	1,125	
電力原単位 (KWh/t-CaO)		67.3	70.5	83.5	
生石灰生産量 (トン/日)		100	90	75	

また、図 6.2.2-2 は、石灰石の粒度と分解速度の関係を示したものであるが、石灰石の粒度が大きければ分解速度は遅くなる。

これらの結果より、高炉ガス ($900 \sim 930 \text{Kcal/Nm}^3$) による石灰焙焼に切替えた場合、燃焼温度は $1,150^\circ\text{C}$ 程度と推定され、

- ① 燃焼温度が低いため石灰石の表面から内部への熱伝導が律速となり、炉内滞留時間の大幅延長を要し、生産能力が低下する。
- ② 高炉ガスの発熱量変動が大きく、燃焼管理が難しい。この結果、生石灰の品質が不安定となる。

などが考えられる。

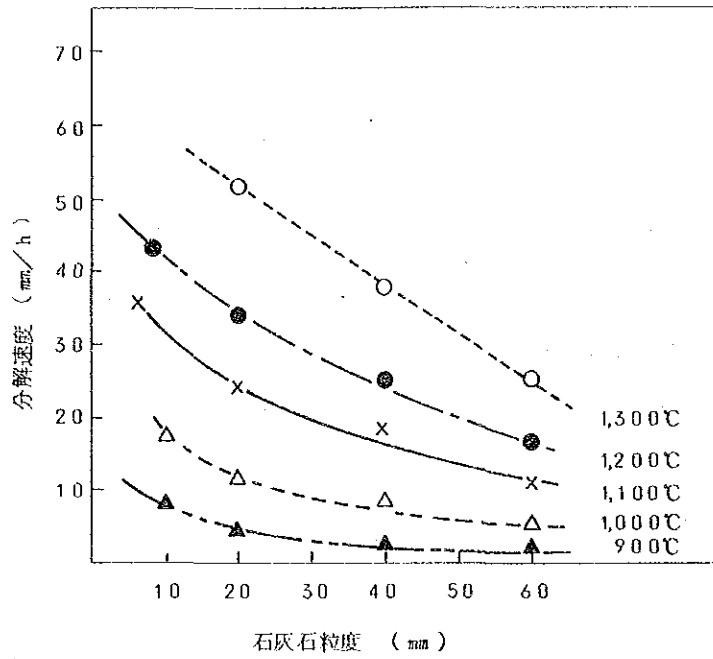


図 6.2.2-2 石灰石の粒度と分解速度

現在の無煙炭による石灰焙焼をガス焙焼方式に切替え、安定した操業と生産量を確保するためには、

- ① 高炉ガスとコークス炉ガスの混焼 (1,200Kcal/Nm³以上の熱量確保)
- ② 石灰石粒度の小径化と粒度範囲の狭化 (40mm~70mm→30mm~50mm)

を実施することが適当と思われる。