

### 3.2 圧延工場の特徴と問題点

#### (1) 中形圧延工場

##### 1) 加熱炉

加熱炉の公称能力は30t/hで、2帯ブッシャー式である。燃料は上部加熱帯はコークス炉ガス、下部加熱帯は微粉炭を使用しており、その発熱量はコークス炉ガスは4,052kcal/Nm<sup>3</sup>、微粉炭は5,000kcal/kgである。図3.2-1に加熱炉の平面、断面を示す。

加熱炉の操業状況は炉の密閉度合が悪いため炉内への侵入空気があり、このことは燃料原単位の悪化を来す要因となっている。

また、微粉炭が燃料として使用されているため燃焼後の灰の取出しのため毎月4日間をこの作業に費やしており、このことも燃料原単位の悪化の要因になっている。

微粉炭製造設備を写真3.2-1に示す。

##### 鋼塊加熱温度（基準値）

一般構造用炭素鋼	1,150～1,220℃
機械構造用炭素鋼	1,150～1,200℃
異形棒鋼	1,150～1,200℃

上記の温度は光高温計で測定されている。

##### 燃料原単位（1985年実績値）

コークス炉ガス	103×10 <sup>3</sup> Kcal/t
微粉炭	601×10 <sup>3</sup> Kcal/t
合計	704×10 <sup>3</sup> Kcal/t

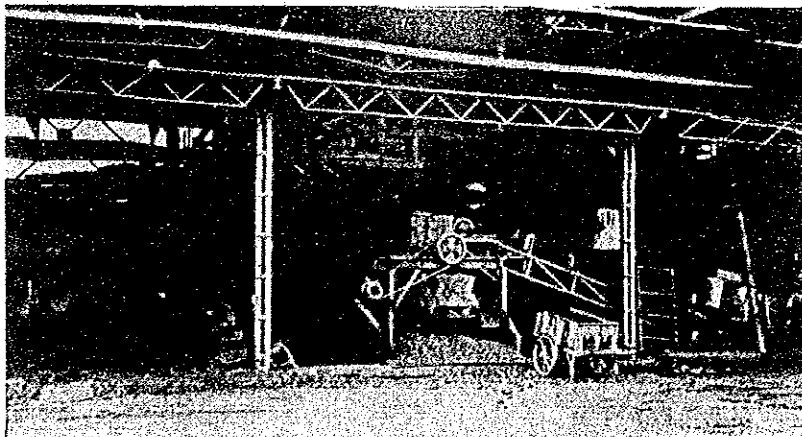


写真3.2-1 中形圧延工場微粉炭製造設備

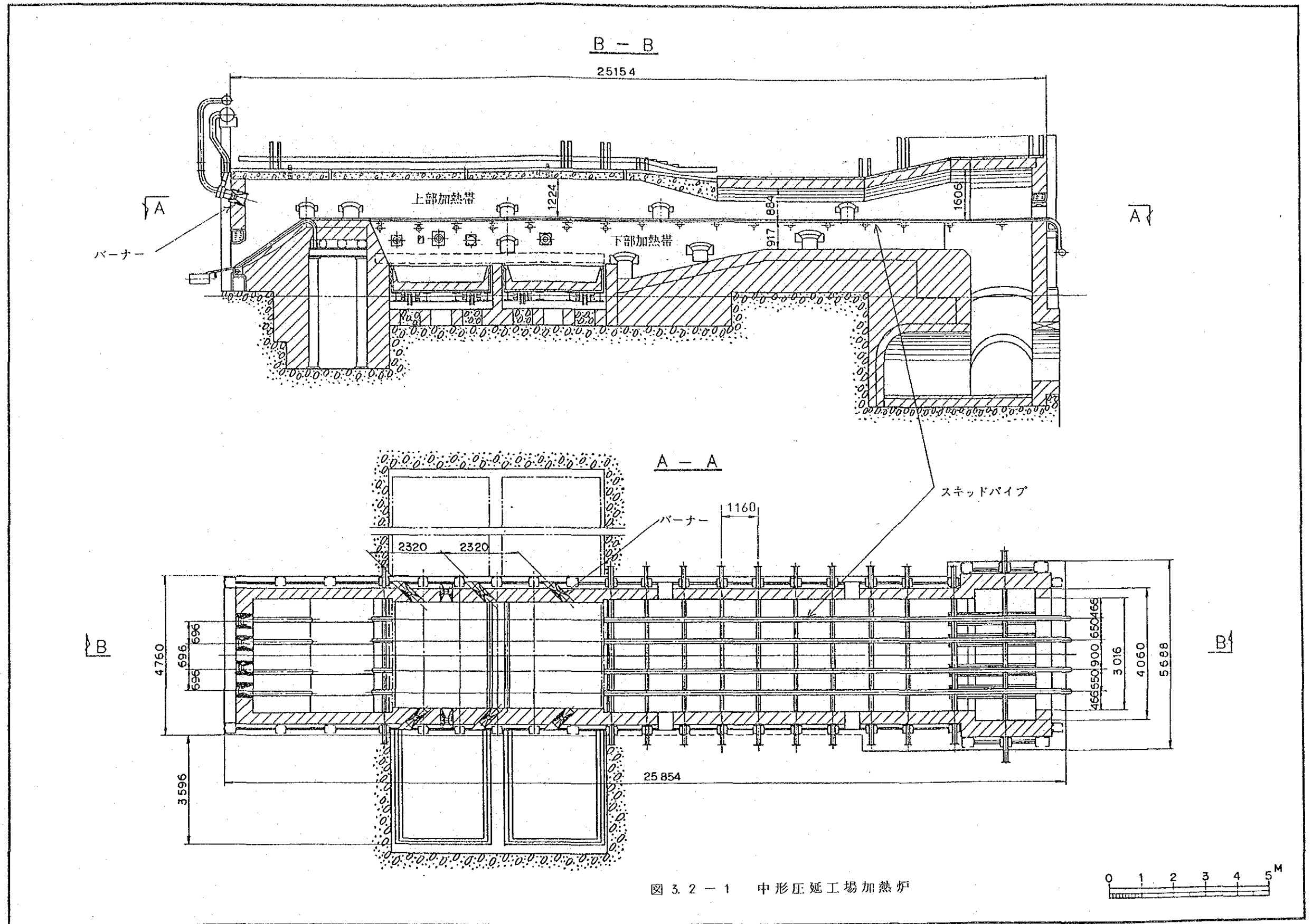


図 3.2 - 1 中形圧延工場加熱炉



レキュベレーターは1974年にフィンタイプのレキュベレーターを使用したが、3年後には廃止し、現在はパイプ式のものを使用している。二次空気温度は130℃程度で低い。

燃焼制御に関して自動制御機器はなく炉内温度の記録計を見て炉内温度コントロールを行なっているが加熱炉と計器室が離れているため計器室より直接鋼塊の加熱温度が確認できないため圧延状況に応じた炉内温度コントロールの微調整がやりにくいように見受ける。

一次スケール	2%
廃ガス中のO <sub>2</sub>	2.0%

加熱炉作業標準は完備されており、きつちりと管理されている。主な作業標準の項目としては次のものがある。

- ① 鋼塊装入作業
- ② 微粉炭供給作業
- ③ " 供給機操作作業
- ④ 微粉炭、コークス炉ガス燃焼作業
- ⑤ 加熱温度
- ⑥ 鋼塊抽出作業
- ⑦ 加熱炉保全作業

特に微粉炭、コークス炉ガス燃焼に関して安全作業方法が詳細に記述されている。

## 2) 圧 延

圧延機は三重開頭式圧延機3台で一軸式配列である。

11スタンドは第1パスと第9パス、第2パスと第10パス、第3パスと第11パスが同時圧延されており鋼塊のボトム側から先に圧延されている。

中形圧延工場孔型スケジュールを図3.2-2に示す。

スタンド別のロール寸法と材質を以下に示す。

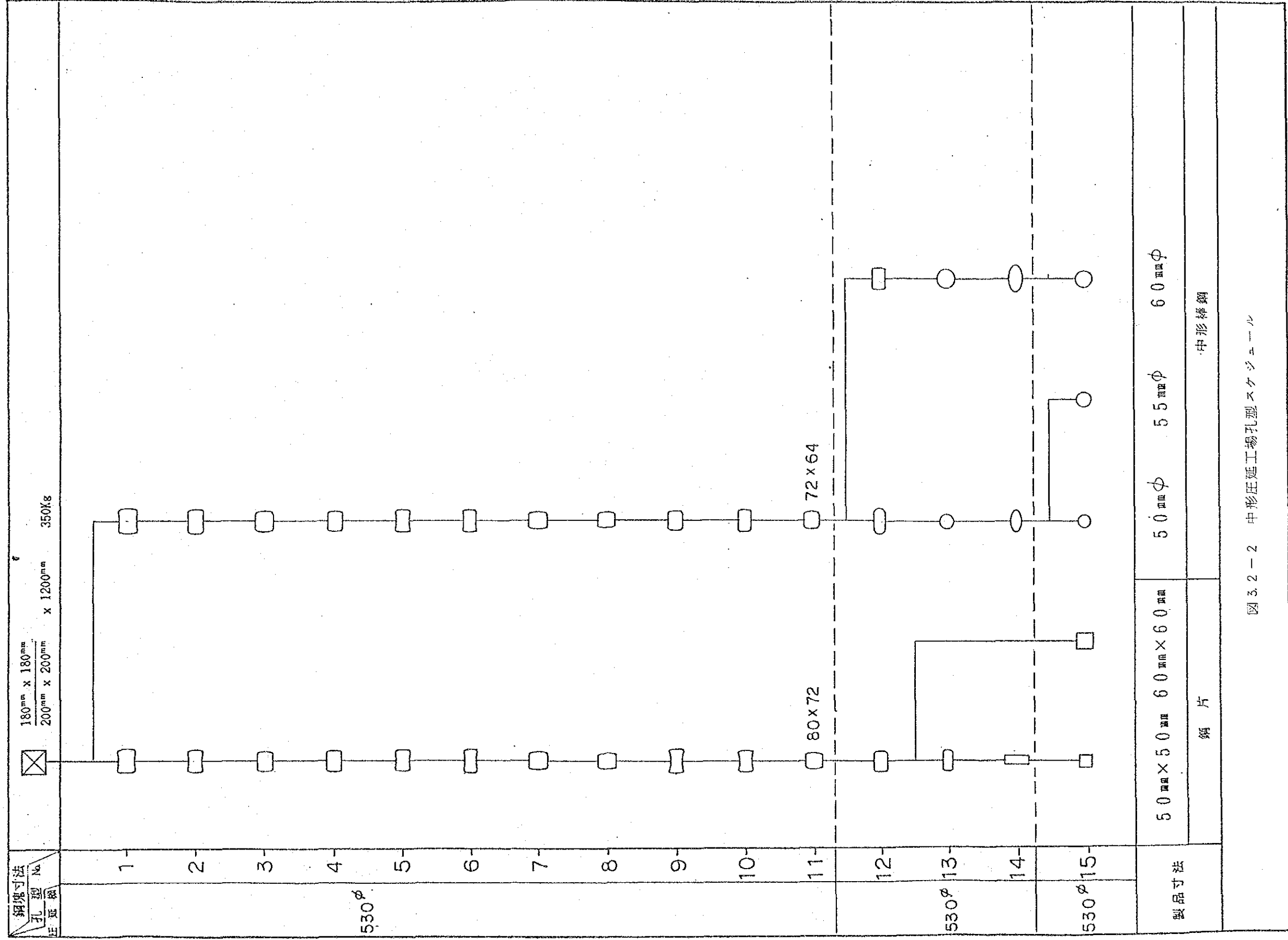


図 3.2-2 中形圧延工場孔型スケジュール



スタンドNo.	ロール径 最大/最小 (mm)	ロール胴長 (mm)	材質	ロール胴部 Shore-硬度
1	565/530	1,700	鋳鋼	≧ 36
2	565/530	1,500	球状黒鉛鋳鉄	≧ 38
3	565/530	1,500	球状黒鉛鋳鉄 片状黒鉛鋳鉄	≧ 38 ≧ 62

(注) No.3スタンドの通常片状黒鉛鋳鉄が使用されるが、硬度が高く加工に時間がかかり、加工が遅れた場合のみ球状黒鉛鋳鉄が使用される。片状黒鉛鋳鉄は球状黒鉛鋳鉄に比較して5倍の孔型寿命がある。

ロールは河北省邢台冶金機械修理工場で製造している。

ここ以外にも河北省宣化冶金機械修理工場でも製造されている。入荷するロールの外観は鋳放し（鋳造のまま）と機械加工されたものの2通りがある。通常は鋳放し状態で入荷し、廠内のロール加工工場で仕上げられる。

ロール原単位（1985年実績値）

1.995kg/t

ロール加工

ロール改削量 15mm/回・直径

ロール加工時間

新規切削 16時間/ロール

改削 8時間/ロール

ロール旋盤 振り直径 1,000mm × 2,800mm 2台

ガイド（棒鋼の場合）

No.1スタンド：第1パス～第11パスのサイドおよび下ガイド

（鋼板）

No.2スタンド：第12パス～第14パスのサイドガイド（鋼板）

下ガイド（鋳鋼、鋳鉄）

No.3スタンド：第15パスの出口/入口ガイド

（鋳鉄）

## ロール冷却

- 孔型の冷却は上：下孔型とも1本の水パイプによって行なわれている。
- ロールネックの軸受はベークライト製でロール運転中は水の停止ができないため、孔型冷却とは別系統となっている。
- ロール冷却水は40～50 t/h・1台×3台である。

電力原単位（1985年実績値）

4.6 圃/t （主機、起重機、照明を含む。）

圧延作業の作業標準は次のものがある。

- ① ロール組替作業
- ② 出入口ガイド取付作業
- ③ メインモータ、起動、停止作業
- ④ 圧延温度規程
- ⑤ 圧延機調整作業
- ⑥ 圧延運転作業

## 3) 精 整

冷却床は鋼片用と棒鋼用の2面あり、鋼片用は熱間剪断機で切断された後、冷却床（冷却用スキッド）にブッシャーで押し出される。鋼片はブッシャーにて密着させられて冷却する。冷却床出側は長さ方向に約 $\frac{1}{4}$ がチェーンコンベアになっており1本～数本づつクレードルに移送されるがその間に作業者の目視により表面検査され切捨不足等の欠陥はガス（アセチレン）切断される。検査は上面のみ行なわれる。

棒鋼用はチェーンコンベア式で等間隔に爪がついており、数本づつ移送される。冷却能力の不足から冷却床後半部では上方からのシャワー式冷却が行なわれている。

精整作業の主な作業標準には次のものがある。

- ① 熱間鋸断機前面ローラーテーブル操作作業
- ② 熱間剪断機操作作業
- ③ 熱間鋸断機操作作業
- ④ 切断長さ規程



⑤ 鋼片、製品押出機操作作業

⑥ 矯正機操作作業

4) 保管、出荷

鋼片は直径約5mmのワイヤーにて約500mmφのバンドルにされ、ロープ式台車にて隣接の屋外鋼片置場へ運ばれる。

バンドルのメタルタグには必要事項が刻印されており、鋼片の断面はペンキにてマークされ、他のロットと区分されている。

屋外の鋼片置場は巾18m×長さ126mで2,268m<sup>2</sup>の面積を有し、鋼片の最大保管量は4,320トンである。

中形棒鋼は屋内の棒鋼製品置場に保管されるが1,000トンの保管能力があり、ここからトラックに積まれ鉄道駅へ運ばれる。

## (2) 小形圧延工場

### 1) 加熱炉

中形圧延工場の鋼片置場から30トン積台車にて小形圧延工場へ運び込まれる。鋼片置場は20 $m^2$ で最大160トンの保管能力である。

鋼片は鋼片装入機(電動式)にて一列装入で炉内に押し込まれる。

加熱炉は公称能力20 $t/h$ の2帯ブッシャー式で燃料はコークス炉ガスを使用している。コークス炉ガスの発熱量は4,052 $Kcal/ Nm^3$ である。

小形圧延工場の加熱炉は中形圧延工場に比べ下部加熱帯の点検窓はモルタルにて密閉されているが、抽出口にはダンパーがなく侵入空気や炎の吹出し防止のためダンパーの設置が必要である。

写真3.2-2に加熱炉の鋼片抽出口付近を示す。

図3.2-3に加熱炉の平面、断面を示す。

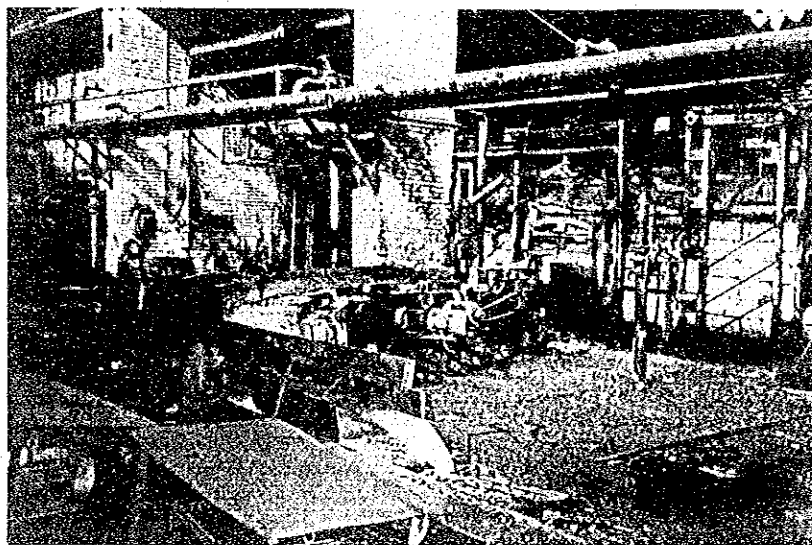


写真3.2-2 小形圧延工場加熱炉

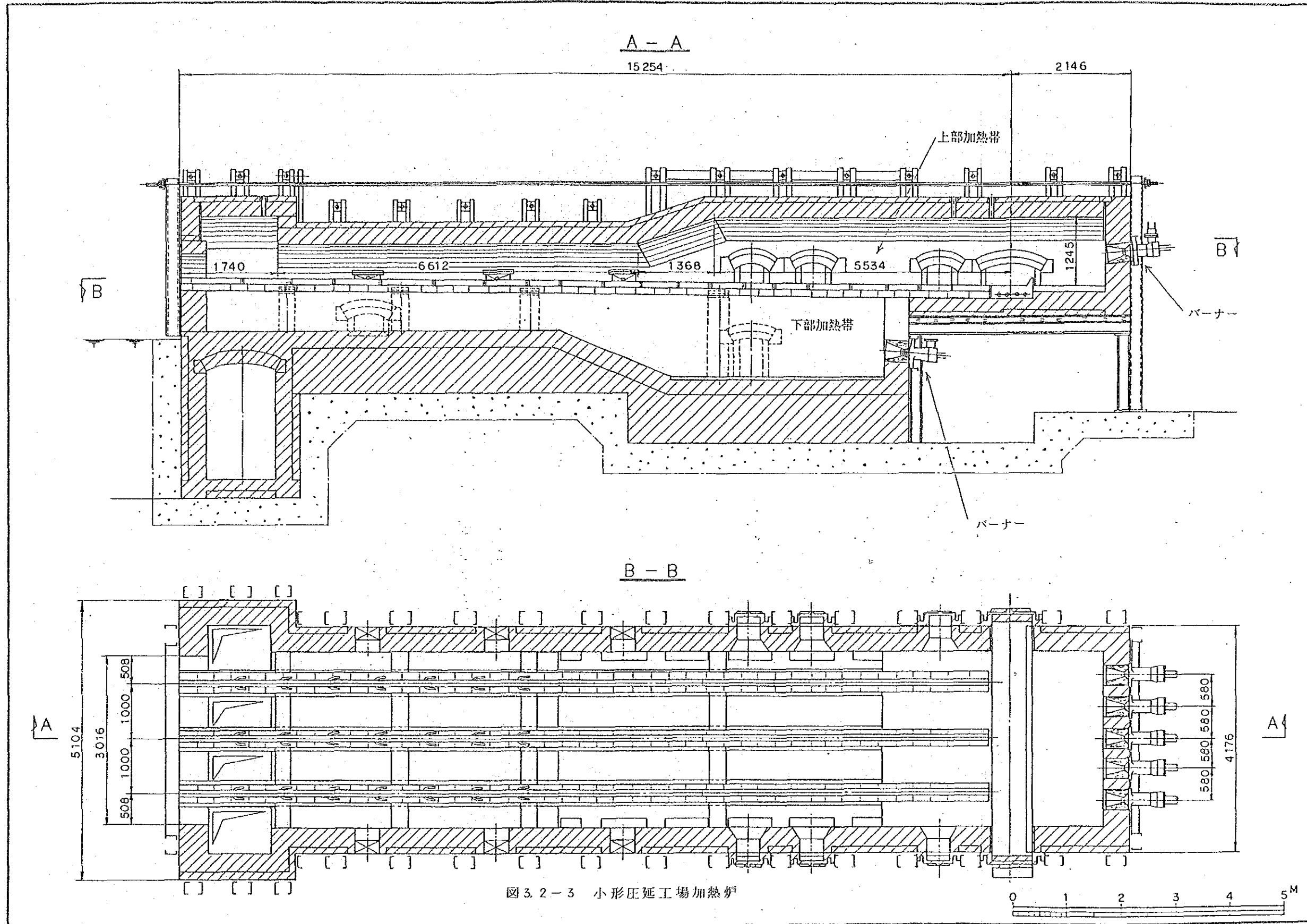


図 3.2-3 小形圧延工場加熱炉



工場停止時の各帯の設定温度が作業標準に規定されており見学時は工場停止中であつたが標準通りの作業がされていた。

燃焼制御は国産のコンピューターで、上部および下部加熱帯の温度設定が行なわれている。

上記以外の計器として炉内圧力計があり、通常  $0.6 \sim 1 \text{ mmH}_2\text{O}$  で操作しているが、炉内圧力測定位置は、抽出口より  $300 \text{ mm}$  炉尻寄りの天井（天井高  $1.245 \text{ m}$ ）に採孔があり、炉床より高さ  $1 \text{ m}$  の所を測定している。

炉内圧力と測定位置の関係について第3章 5.1.3(2)2) に示したので、これを参考にして現在の炉内設定値の見直しを行なうことが必要である。

レキュベレーターは設置されていない。

スキッドはドライスキッドであり、冷却水は使用していない。

燃料原単位（1985年実績値）

燃料原単位は  $301 \times 10^3 \text{ kcal/t}$  であり、中形圧延工場で述べたように国家標準の格付けで“特等”に格付けされており中国では優秀な操業成績である。

鋼片加熱温度

一般構造用炭素鋼	$1,150 \sim 1,200 \text{ }^\circ\text{C}$
機械構造用炭素鋼	$1,130 \sim 1,180 \text{ }^\circ\text{C}$
異形棒鋼	$1,160 \sim 1,190 \text{ }^\circ\text{C}$

一次スケール

1.5～3%

バラツキが大きい鋼片寸法が  $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 、 $60 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$  の2種類がありこれの影響である。

廃ガス分析値

$\text{O}_2$  : 3.5%

## 2) 圧 延

圧延機は粗圧延機（三重式）1台と中間圧延機（三重式）4台／仕上圧延機（二重式）1台から構成される交互二重スタンド並列式である。

鋼片は粗圧延機で3パス後中間圧延機へ送られるが途中に熟間剪断機があり、圧延機の先端が割れている場合のみ使用され、割れていなければ使用しない。

孔型スケジュールを図3.2-4に示す。

圧延機別のロール寸法と材質を以下に示す。

圧 延 機	ロール径 最大/最少 (mm)	ロール胴長 (mm)	材 質	ロール胴部 シャア一硬度
粗 圧 延 機	430/385	1100	球状黒鉛鑄鉄	≥50
中 間 圧 延 機	270/240	600	チ ル ド	≥65
仕 上 圧 延 機	270/240	600	チ ル ド	≥65

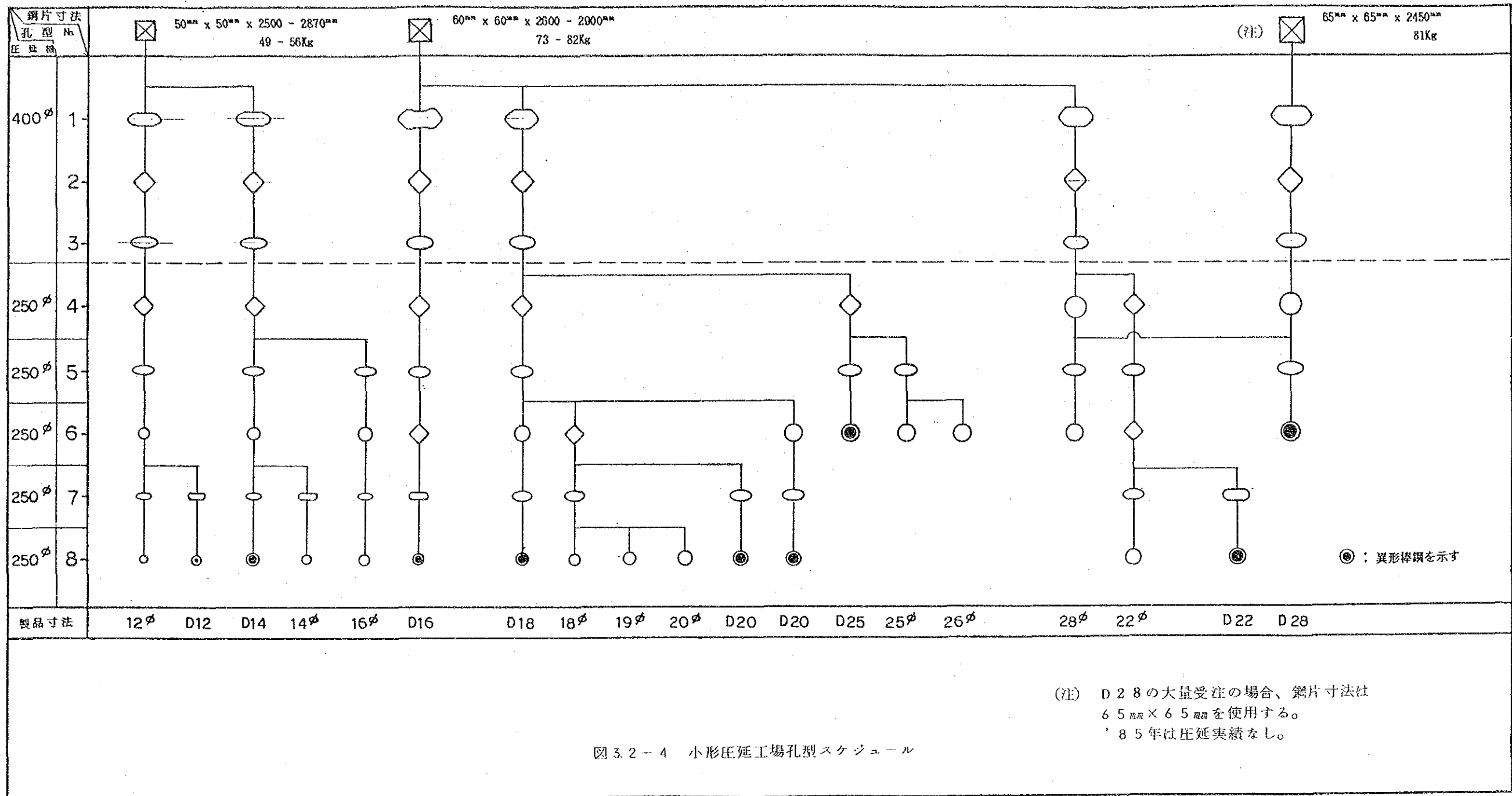


図 3.2-4 小形圧延工場孔型スケジュール





ロール原単位 ( 1985年実績値 )

0.542 kg/t

ロール加工

ロール改削量	粗圧延機	5 ~ 8 mm / 回・直径
	中間、仕上圧延機	3 ~ 5 mm / 回・直径

ロール加工時間

新規切削	粗圧延機	3.2 時間 / ロール
	中間、仕上圧延機	1.2 "
改削	粗圧延機	1.2 "
	中間、仕上圧延機	6 "

ロール旋盤	振り直径 1,000 mm × 2,500 mm	1 台
	振り直径 600 mm × 2,800 mm	1 台
	振り直径 600 mm × 1,500 mm	1 台

レピーター ( Repeater ) は鋼板製で自社製のものが使用されている。レピーター出側と次スタンドの入口ガイドのラインは必ずしも一致しておらず、誘導装置の検討、改善が望まれる。

ロールに切込まれている孔型はロールの両端側がガイドの取付けのため孔型として使用されていない部分が広い。ガイド、レピーターの改善によってロール両端部の有効利用が望まれる。このためにはガイドの形状、寸法の検討、レピーターの形状の検討が必要である。

出入口ガイドは一部の鋳鋼 ( Cr 18 Ni 4 Si ) を除き、鋳鉄が用いられている。これらのガイドは鋳鉄廠内にある鋳物工場で作られている。

ロール冷却

ロール冷却方法は中形圧延工場と同じ

ロール冷却水量

400φ圧延機	3.0 t/h · 1 台
250φ圧延機	1.4 t/h · 1 台 × 5 台

電力原単位 ( 1985年実績値 )

4.7 ㎾ / t

圧延作業の作業標準には次のものがある。

- ① ロール組立作業
- ② 孔型替標準
- ③ ガイド、レピューター取付標準
- ④ 圧延準備作業
- ⑤ 圧延作業
- ⑥ ロール加工作業

### 3) 精 整

圧延された製品はスキューローラー式の冷却床へ送られる。製品は冷間剪断機側から冷却床上の製品を目視検査しているが、全数検査は行なっていない。検査した結果の情報、精整班から圧延班へ次のような信号灯によって連絡される。

信号灯の色	赤	黄	白	青
情報の内容	咬出し	ロール違い	寸法外れ	異常なし

製品は冷間剪断機にて切断されるが、全製品寸法平バイトで切断されており、切断面は変形の程度がやや大きい。

切断長さは 6.4 ~ 8.9 m が平均的長さで最大 12 m である。

冷間剪断機の切断能力は 160 トンであり、同時切断本数を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 同時切断本数

鋼種 \ 製品寸法 (mmφ)	12	14	16	18	19	20	22	25	28
低炭素鋼 C: ≤ 0.20%	27	20	15	12	11	10	8	6	5
中炭素鋼 C: 0.25~0.55%	19	14	11	9	8	7	6	4	3
鉄筋コンクリート用 異形棒鋼	21	16	12	10	9	8	6	5	4

定尺切りされた製品は製品移送コンベアにて隣接の精整ヤードへ運ばれる。

精整ヤードには 2 面の製品検定テーブルがあり、ここで最終検査と結束が行

なわれる。異形棒鋼の検査は外観検査の他に機械的性質の試験が行なわれる。試験項目は抗張力、降伏点、伸び、絞り、曲げの5項目であり、各炉号毎に4本のサンプルで行なわれる。この試験は小形圧延工場より約1,200 m離れた試験室で行なわれる。

製品の機械的性質の代表例は次のようである。

		異形棒鋼	小形棒鋼
材 質		20MnSi	AJ3
成 分	C %	0.17/0.25	0.10/0.20
	Mn %	0.4 /0.8	0.30/0.60
	Si %	1.2 /1.6	0.10/0.30
製 品 寸 法		16mmφ	18mmφ
サ ン プ ル 数		100	18
降 伏 点 (kg/mm <sup>2</sup> )	規 格 $\sigma_s$	>34	>24
	降伏点 最大	51	35
	降伏点 最小	41	29
	降伏点 平均	45.23	31
抗 張 力 (kg/mm <sup>2</sup> )	規 格 $\sigma_b$	52	38~47
	抗張力 最大	68	45
	抗張力 最小	55	40
	抗張力 平均	59.23	41.72
伸 び (%)	規 格 $\delta_s$	>16	>26
	伸 び 最大	38.8	43
	伸 び 最小	30	41
	伸 び 平均	33.44	42.11

異形棒鋼の品質レベルは国家規格より優れていて需要家を満足させている。

精整作業の作業標準には次のものがある。

- ① 製品冷却規定
  - ② 製品切断作業
  - ③ 製品結束表示規定
- 4) 出 荷

検査に合格した製品は10トンロープ式台車で屋外の製品ヤードに運ばれるが、その間に台車式秤量機にて秤量される。

屋外の製品ヤードは  $625m^2$  の面積を有し、最大 1,620 トンの製品の保管能力がある。

製品はトラックにて鉄道駅まで運ばれる。

写真 3.2-3 に製品の積置状態を示す。



写真 3.2-3 製品置場

### (3) 中形圧延工場と小形圧延工場の稼働状況と問題点

石家荘鋼鉄廠から提出された、圧延工場の運転実績調査表に基づき解析した。稼働状況の概要を図 3.2-5 に中形圧延工場、図 3.2-6 に小形圧延工場を示す。

既設設備を有効に使用し、生産量を増大するためにはロール運転時間を増やすことが必要であり、調査表から判明した問題点を述べる。

#### 1) 運転休止時間の内容と問題点

##### A. 予定休止時間

予定休止時間のうち定期修理が中形圧延工場では 16.8% (年間平均で 5.1 日/月)、小形圧延工場では 7.6% (年間平均で 2.3 日/月) となっている。

中形圧延工場の場合加熱炉の微粉炭の灰処理のため 4 日/月を要することも一因となっているが、設備保全管理体制の再検討(例えば修理時間、予備品在庫量、修理方法)を望みたい。

また勤務交替時に約 30 分間圧延機やガイドのチェックが行なわれているが、作業方法の改善等により連続して作業が行なえるようにすることが望ましい。

##### B. 工程的休止時間

中形圧延工場では、鋼塊待ち、電力待ち、加熱待ちが 10%、小形圧延工場では鋼片待ち、電力待ち、コークス炉ガス待ちが 11.6% ある。

この工程的休止は石家荘鋼鉄廠以外の外部要因によるものが大きい比率を占めるものと判断されるが、エネルギーバランスの改善のための対策を講じることを望みたい。

現状の 10~11% を 5% に減少させることによって約 8,000 トン/年(製品)の増産が期待できる。

##### C. 設備故障

設備故障の内容原因については詳細に分析できないが、前述の定期修理の項と合せて再検討を望みたい。

また、両圧延工場ともロール折損がほぼ毎月発生している。ロール折損の原因は断定できないが、鋼塊、鋼片の加熱不足、圧延時のトラブルによ

る圧延材の低温化、ロール自身の強度不足が原因と考えられる。職場のQCサークルのテーマとして取り組むのも改善の一方法と考える。

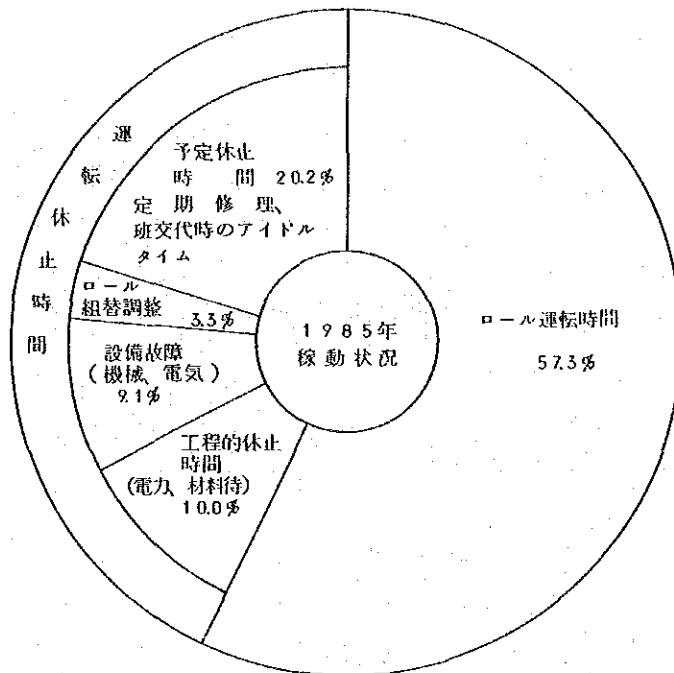


図 3.2-5 中形圧延工場稼動状況

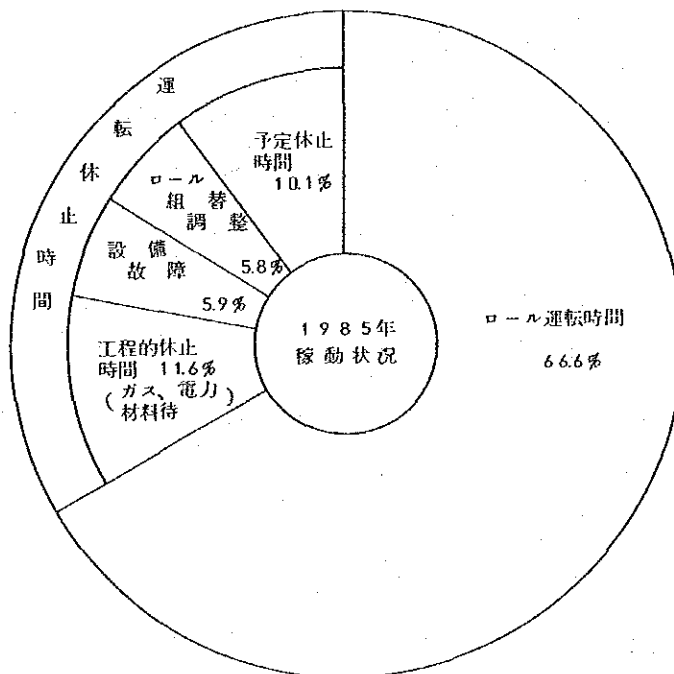


図 3.2-6 小形圧延工場稼動状況

## 2) 中形圧延工場と小形圧延工場の設備的問題点

鋼鉄廠より提出された資料から両工場の設備的問題点を抽出すると次のとおりである。

	問 題 点
中形 圧延 工場	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 加熱炉の加熱能力が低く、生産を阻害している。</li> <li>2. 加熱炉抽出側ローラーテーブルの補修がやりにくい。</li> <li>3. 鋼塊転回機の下部にスケールが溜りやすい。</li> <li>4. 主電動機の出力量不足。</li> <li>5. チルチングテーブルは破損しやすく、補修がやりにくい。</li> <li>6. 鋼片冷却床の冷却能力が低く、鋼片が曲りやすい。</li> </ol>
小形 圧延 工場	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 加熱炉の加熱能力が低く、生産を阻害している。</li> <li>2. 400φ圧延機が老朽化している。</li> <li>3. オイルセラの油交換と補修がやりにくい。</li> <li>4. スキューローラ式冷却床での製品の曲りが発生する。</li> <li>5. 圧延ヤードの起重機が老朽化している。</li> </ol>

## (4) 中形圧延工場と小形圧延工場の水処理設備

### 1) 工業用水

鋼鉄廠内の冷却水供給源は7カ所の井戸から地下水を汲み上げており、汲み上げ能力は990t/hである。鋼鉄廠内の冷却水循環使用率は現在約80%で将来90%を目標としている。

### 2) 圧延工場の水処理設備

圧延工場で使用される冷却水の種類には井戸水、循環水、未処理水の3つがある。その使用比率(中形、小形の合計)は井戸水：循環水：未処理水=1：1.6：1.2である。

循環水は廠内の東方にある水処理設備から中形、小形圧延工場へ送水されてくるが、中形圧延工場では加熱炉のスキッドパイプの冷却、ロールネック軸受の冷却/潤滑に使用し、小形圧延工場ではすべて循環水を使用している。

水処理設備としては、沈澱池は最大貯水能力7,000トン、常用3,500～4,000トンである。送水ポンプは6台あり常用3～4台稼働で送水量は110～200m<sup>3</sup>/h・台、送水圧力3～3.7kg/cm<sup>2</sup>である。水処理のための濾過器や

冷却塔はない。

井戸水は中形圧延工場では加熱炉、空気圧縮機オイルクーラー、熱間鋸断機の刃の冷却に使用されている。

上記2種類の水に加えて処理しない水も使用される。この水はスケールピットへ流れ込んだ水をポンプアップし再び圧延工場へ送られる水で、中形圧延工場のみ使用されている。用途はスケール流し、ロール冷却、鋼片や製品の冷却である。

### 3) 圧延工場で使用される水量

表 3.2-2 に中形圧延工場、小形圧延工場で使用される水の種類、水量および水質を示す。

表 3.2-2 圧延工場で使用される水の種類と水量

(単位: t/h)

水の種類			井戸水		循環水		未処理水	
			中形圧延工場	小形圧延工場	中形圧延工場	小形圧延工場	中形圧延工場	小形圧延工場
使用箇所								
加熱炉		15		250	(注) 10			
スケール流し						100		
ロール冷却						100	140	
鋼片冷却						60	100	
成品冷却							60	
ロールネック軸受				140				
空気圧縮機		5						
オイルクーラー		10						
熱間鋸断機 刃冷却	}	5						
鋼片冷却台 軸受冷却								
合計	中形圧延工場	35	—	390	—	400	—	
	小形圧延工場	—	0	—	170	—	0	
水質	pH 値		7.9		8.15		8.15	
	SS (浮遊物質) mg/l		<6.4		<100		<200	
	供水点圧力 kg/cm <sup>2</sup>		2~3		2.5~3.2		1.5	
	水温 ℃		12		28~32		28	

(注) 鋼片押出機の冷却



### 3.3 鋼塊、鋼片および製品の手入と検査

#### (1) 鋼塊、鋼片の手入と検査

鋼塊、鋼片の手入は次の標準で規定されている。

##### ① 普通炭素鋼と低合金鋼の分塊と鋼片に関する技術規格

規格番号 Y B 1 5 4 - 6 3

##### ② 機械構造用炭素鋼／合金鋼の分塊と鋼片に関する技術規格

規格番号 Y B 1 8 3 - 6 3

##### ③ 石家荘鋼鉄廠廠内標準

鋼塊の手入は製鋼工場にて吊下式グラインダーを使用し、鋼片は中形圧延工場にてハンドグラインダー、ガス切断器、やすりを使用して行なわれる。

鋼塊の検査は中形圧延工場で加熱炉係が鋼塊の表面状況、長さ、本数を加熱炉へ装入前に行ない帖票と鋼塊の現物が一致すれば装入する。

不合格の鋼塊は製鋼工場へ返送し、再手入後中形圧延工場へ送られる。

鋼片の検査は小形圧延工場で鋼片装入台上にて目視で鋼片の表面状況を検査し、ノギスや巻尺にて鋼片の寸法を検査し、帖票と鋼片の現物が一致すれば装入する。

#### (2) 製品の手入と検査

製品の手入は次の標準で規定されている。

##### ① 圧延丸鋼と角鋼品種 規格番号 G B 7 0 2 - 7 2

##### ② 鉄筋コンクリート用鋼材 規格番号 G B 1 4 9 9 - 8 4

##### ③ 炭素鋼と薄板用鋼片 規格番号 Y B 1 5 5 - 6 3

##### ④ 石家荘鋼鉄廠廠内標準

製品の手入はハンドグラインダー、やすり、ガス切断器を使用して行なわれている。

製品は出荷前に機械的性質の試験を行なり。試験項目は抗張力、降伏点、伸び、絞り、曲げである。試験設備は引張試験機、ブリネル硬度計、衝撃試験機等がある。第3章 6.3.1 (10) 参照



### 第 3 章 工場近代化計画



### 第 3 章 工場近代化計画

#### 1. 生産計画

鋼鉄廠と調査団との協議の結果、序章の表 3.3.2-1 および表 3.3.2-2 に示す、1991 年迄の生産計画が立案された。

この生産計画は近代化の検討を行なうための基礎数値である。

1991 年の生産量を 1985 年の実績と対比した場合の主な相違点は次の通りである。

##### (1) 総生産量(製品ベース)

1985 年の 108,503 トン/年に対し 1991 年は 300,000 トン/年を計画しており、2.8 倍の増加となっている。

##### (2) 製造品種

高級鋼と普通鋼の比率は 1985 年の 10 : 90 に対し、1991 年は 15 : 85 としており高級鋼が若干の増加となっている。

1991 年には機械構造用低合金鋼等の製造を計画しており、鋼種拡大の計画となっている。

また、1992 年以降の将来計画として軸受鋼等の高級鋼の製造を計画している。

##### (3) 製品サイズ構成

1991 年の製品サイズ別生産計画を表 1-1 に示す。

表 1 - 1 製品サイズ別生産計画 (1991年)

(単位: トン/年)

鋼種 製品 寸法	高		級		錠		棒		普通鋼		合 計	
	丸		鋼		鋼		鋼		鋼			
	機械構造用炭素鋼	機械構造用低合金鋼	快切鋼	切削鍛造用鋼	一般構造用炭素鋼	鉄筋コンクリート用鋼	異形棒鋼	鋼	鋼	鋼		
10 mm	—	—	—	—	—	—	5,000	1.7	10,000	3.3	15,000	5.0
12	—	—	—	—	—	—	15,000	5.0	15,000	5.0	30,000	10.0
14	—	—	—	—	—	—	36,000	12.0	20,000	6.7	56,000	18.7
16	3,000	1.0	—	—	—	—	37,000	12.3	24,000	8.0	64,000	21.3
18	3,000	1.0	—	—	—	—	37,000	12.3	20,000	6.7	60,000	20.0
20	3,000	1.0	1,000	0.33	500	0.2	3,500	1.2	5,000	1.7	13,000	4.3
22	3,000	1.0	1,000	0.33	500	0.2	2,500	0.8	5,000	1.7	12,000	4.0
25	3,000	1.0	1,000	0.33	1,000	0.33	2,000	0.7	4,000	1.3	11,000	3.7
28	5,000	1.0	1,000	0.33	1,000	0.33	1,000	0.3	3,000	1.0	9,000	3.0
32	3,000	1.0	1,500	0.5	1,500	0.5	—	—	3,000	1.0	9,000	3.0
36	2,000	0.7	1,500	0.5	2,000	0.7	—	—	3,500	1.2	9,000	3.0
40	1,500	0.5	—	—	2,000	0.7	—	—	2,500	0.8	6,000	2.0
45	1,500	0.5	—	—	1,500	0.5	—	—	—	—	3,000	1.0
50	1,500	0.5	—	—	1,500	0.5	—	—	—	—	3,000	1.0
合 計	27,500	9.2%	7,000	2.3%	11,500	3.9%	139,000	46.3%	115,000	38.5%	300,000	100.0%

## 2. 製造工程の検討

### 2.1 基本的考え方

- (1) 既存設備および現在建設中の設備はできるだけ活用して、粗鋼生産35万トン／年を達成できるように設備増強を行ない製造一貫体制を確立する。
- (2) 省エネルギーをはかるため、現状の転炉への冷銑装入（キュボラで溶解して装入）を溶銑装入へ変更する。
- (3) 歩留、品質、エネルギー消費等の改善をはかるため現状の小鋼塊を連鋳鋼片に置換える。
- (4) 連鋳鋼片の断面寸法によって、品質上製造可能な高級棒鋼の品種、用途と最大断面寸法がきまって来るが、できるだけ良い品質の製品をつくり、製造可能範囲を拡げるために、取鍋精錬設備を設置し、また連鋳機には最新の技術を導入する。
- (5) 現在、二工場がある圧延（分塊も含む）工程は、一つの新棒鋼圧延工場に生産を集約する。  
生産性、歩留、品質、省エネルギー等の面で改善をはかるため新しい技術を取り入れたすぐれた圧延設備を設置する。
- (6) 連鋳鋼片の新棒鋼圧延工場加熱炉への装入は、条件がそろえば（鋼片手入が不要で、圧延のタイミング上、支障のない品種の場合）ホットチャージングを行なって省エネルギーをはかる。
- (7) 高級棒鋼用の鋼片については、疵検出装置と疵取装置を設置して製品品質の向上、安定化をはかる。
- (8) 高級棒鋼に対しては、表面品質、内部品質をチェックするための非破壊検査装置を導入するなど品質保証体制を確立する。

### 2.2 高級鋼製造に対する配慮

機械構造用炭素鋼、機械構造用低合金鋼など高級鋼の製造工程を検討する上で、重要な課題は、次の3点である。

- ① 清浄な溶鋼を得るための溶鋼処理設備
- ② 内部品質、表面品質の優れた鋼片を得るための連続鋳造設備

③ 半製品および最終製品の品質を保証するための検査、手入れ設備

これらのうちでも、最も重要な検討課題は、連鋳片の断面寸法の決定であろう。

冷間鍛造などの厳しい加工工程を経て機械部品となる高級な棒鋼製品は、表面品質および内部品質に対する要求が厳しく、日本においては表 2.2 - 1 に示すような断面の大きな連鋳片から製造されるのが一般的である。また一部においては今でも鋼塊（重量 4 ~ 10 トン程度）から製造されており、分塊工程で一旦ピレットにしたのち、棒鋼に圧延されている。

これら品質要求の厳しい材料をピレット連鋳機で製造することができれば、分塊工程の省略が図れ、省エネルギー、歩留向上などコストダウンが可能となる。

このような観点から、日本においても研究が進められており、近い将来実現可能と考えるが、今後の技術開発と実機テストによる品質確認が残されている。

表 2.2 - 1 日本における高級鋼用連鋳機

工場	稼動年度	断面寸法 (mm)	ストランド数	生産能力 (t/月)	製 造 鋼 種
A	1982	370 × 480	2	60,000	機械構造用鋼、ステンレス鋼、合金鋼
B	1981	300 × 430	2	50,000	普通鋼、機械構造用鋼、合金鋼
C	1980	380 × 600	4	100,000	普通鋼、機械構造用鋼
D	1982	370 × 470	3	60,000	機械構造用鋼、ステンレス鋼、合金鋼
E	1981	350 × 560	4	65,000	普通鋼、機械構造用鋼、ステンレス鋼
F	1969	248 × 375	4	50,000	普通鋼、機械構造用鋼
G	1976	300 × 400	3	55,000	普通鋼、機械構造用鋼、合金鋼
H	1980	370 × 480	2	50,000	機械構造用鋼、ステンレス鋼、合金鋼

石家荘鋼鉄廠の近代化に当たっては、高級鋼を製造するための工程について充分検討する必要がある。建設コスト、一般鋼から一部の高級鋼に至る全体の製造コスト、ユーザーの要求品質（加工条件、用途など）に対応できる見通しなどを考慮して総合的に判断し決定しなければならない。

高級鋼を製造するための工程を検討するため、表 2.2 - 2 に示す 4 案を抽出し評価を行なった。

その結果、ピレット連鋳 — 新棒鋼圧延（A 案）による製造工程が総合的に有利と考えられた。



ピレット連鋳機の設計に当たっては、適当な圧延比（ピレット断面積／棒鋼断面積）が得られること、浸漬ノズル（Submerged nozzle）を取りつけることができること、分塊なしに1回の加熱で棒鋼まで圧延ができることを考慮して連鋳鋼片の断面寸法（最大150 mm×150 mm）を決定し、また品質の安定向上に寄与すると考えられる設備仕様（大きな鋳造曲げ半径、無酸化鋳造、電磁攪拌装置など）を計画した。

また溶鋼の清浄化を図るため、取鍋精錬設備の設置も必要と考える。

表 2.2 - 2 高級鋼製造工程の比較検討

		A 案	B 案	C 案	D 案
製 造 工 程		<p>ビレット連鋳機と新棒鋼圧延工場 で高級鋼と一般鋼を製造</p>	<p>ブルーム連鋳機と新分塊工場 で高級鋼および一般鋼用ビレットを 製造し、新棒鋼圧延工場 で圧延</p>	<p>現有の造塊設備と中形圧延設備を 活用し、高級鋼および一般鋼を製 造</p>	<p>高級鋼に対しては要求品質が確保できる程 度の大型鋼塊を製造し、新分塊工場および 新棒鋼圧延工場で圧延。一般鋼はビレット 連鋳機と新棒鋼圧延工場 で製造</p>
	特 徴 お よ び 問 題 点	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 一般鋼から高級鋼まで、簡略化された工程で製造できる。</li> <li>○ 高級鋼の品質限界を見極めながら製品拡大を図る必要がある。</li> <li>○ エネルギー、歩留の面から製造コスト低減が可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 品質の優れた製品を製造することができる。</li> <li>○ 新分塊工場が必要となり、建設コストが高くなる。</li> <li>○ 一般鋼もブルーム連鋳機で製造するため、コスト高となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 現有設備が活用でき、建設コストが安い。</li> <li>○ 鋼塊サイズは最大250mm x 250mm程度が限界で品質確保が難しい。</li> <li>○ 製造コストはB案より有利と考えられる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ある程度の品質は確保できるが品質の安定性に欠ける。</li> <li>○ 造塊設備の増強と新分塊工場建設が必要で建設コストが高くなる。</li> <li>○ エネルギー、歩留の面から製造コスト高となる。</li> </ul>
評 価	建設コスト	○	△	◎	×
	品 質	○	◎	×	○
	製造コスト	◎	△	○	×
総 合 評 価		1	2	3	4

(注) ◎ ○ △ ×  
良 不良



粗鋼35万トン/年のうち約5万トン/年の高級鋼を製造するに当たり、

- ① 転炉工場でも電気炉工場でも高級鋼を製造する
- ② 転炉工場のみで高級鋼を製造する
- ③ 電気炉工場のみで高級鋼を製造する

という案が考えられる。

①については、取鍋精錬設備、連鋳設備の重装備を両工場に具える必要性があることから建設コストが高くなる。

また、②については、転炉工場の生産能力低下により粗鋼35万トン/年の達成が困難となることから、当面は③の電気炉工場に取鍋精錬設備を設置し、高級鋼を製造することが妥当と考える。

現在、電気炉工場では5トンおよび30トンの電気炉が稼動しているが、スクラップバランス等から考えて将来は30トン電気炉に生産を集約し、効率の良い生産体制とすることが望ましい。

転炉工場については、将来高級鋼が増加した場合に対応できるよう、取鍋精錬設備が設置できるスペースの確保と連鋳設備に対する配慮（大きな鋳造曲げ半径、電磁攪拌装置の設置できるロール配置など）を行なうものとする。

高級鋼棒鋼用の鋼片については、疵検出装置と疵取装置を設置して製品品質の向上・安定化をはかる。また、高級棒鋼に対しては表面品質、内部品質をチェックするための非破壊検査装置を導入するなど品質保証体制を確立するものとする。

なお、連鋳ビレットから製造できる棒鋼製品の範囲（サイズ、品種）には限界があるので、高級鋼の製造に当たっては試作—試用を積重ね、徐々に製品サイズと品種の拡大を行ない、安定製造限界を見極めることが重要である。

そのためにはユーザーとの技術交流を密にし、品質情報の収集・把握により、要求品質に見合った品質設計を行なうことが大切である。

## 2.3 工程流れ図

調査団が推奨する近代化実現時（1991年の生産計画）の工程流れ図を図2.3-1に示す。

(単位：千トン/年)

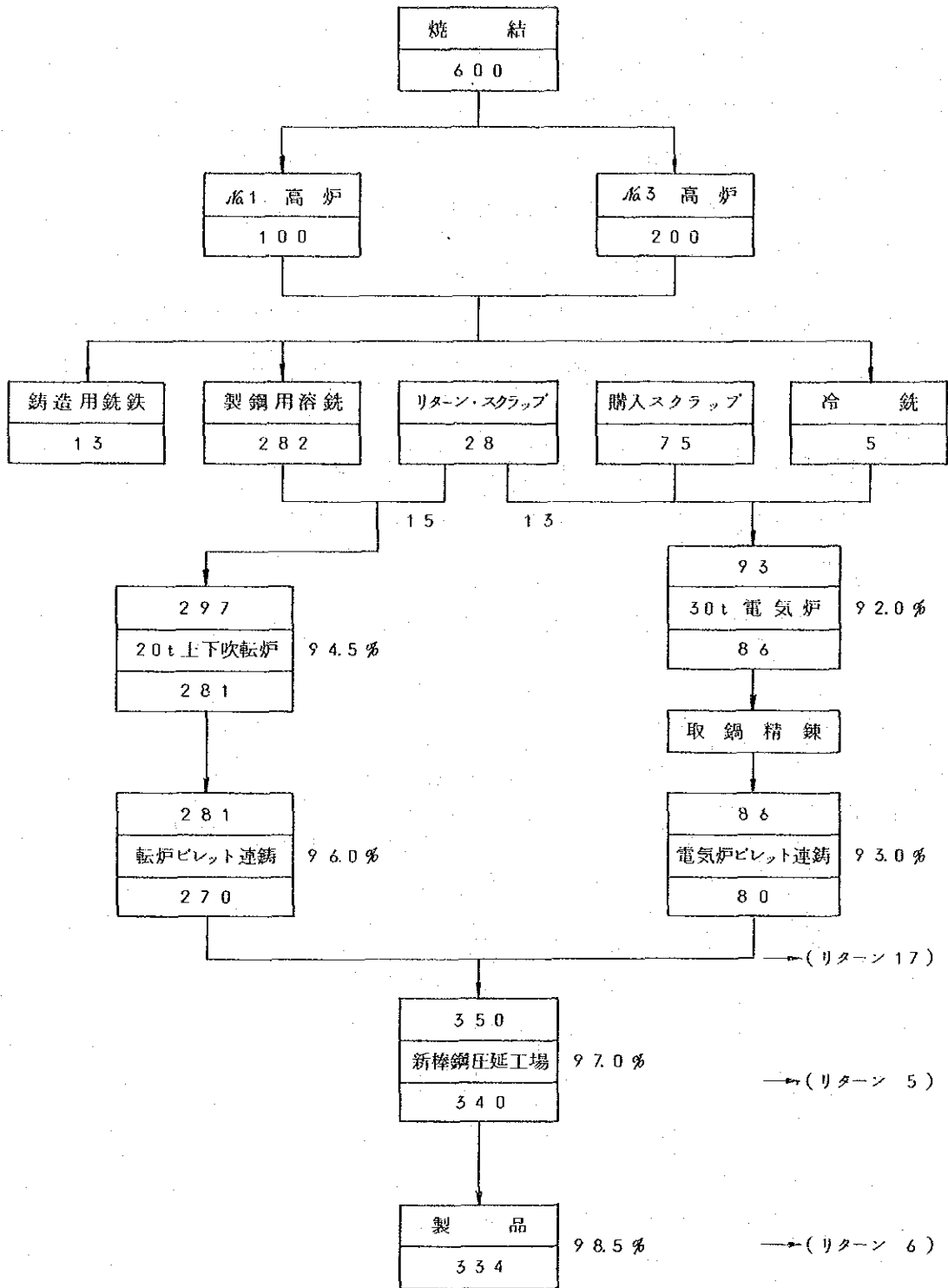


図 2.3 - 1 工程流れ図

### 3. 製鉄工場の近代化計画

#### 3.1 製鉄工場の近代化についての提案

製鉄工場では粗鋼35万トン/年体制を目標にした近代化のために下記の計画を有しており、一部は既に実行している。(1986年6月現在)

##### <焼結工場>

- i 焼結原料ブレンディングヤードを建設する。
- ii 新焼結工場(有効グレート面積:  $50m^2$ )を既設と隣接させて建設する。原料の受入、切出設備は既設を改造、増強し既設焼結工場と共用する。これらは既に基本設計(初歩設計)を完了している。
- iii 焼結工場 — 高炉間の成品輸送はトラックに変えてベルトコンベアを新設する。

##### <高炉工場>

- i 第三高炉(内容積:  $300m^3$ )を1986年7月火入れ予定で準備中である。  
これに合わせて
  - 高炉原料受入能力を増強する(ベルト幅  $800 \rightarrow 1,000mm$ )
  - 給水設備を増強する(水量、水圧とも)
  - 第一、第三高炉とも高炉ガス集塵設備として乾式バッグフィルターを採用し、排水処理設備を不要とする。
- ii 溶銑鍋は第三高炉の操業開始時点より現在の18トン鍋を止め、35トン鍋を採用する。更に1986年9月より65トン混銑車を併用する。
- iii 銑銑機を既設に隣接させて一基増強する。

以上のごとく製鉄工場では主要設備はほぼ実行段階にはいつている。ここでは設備、操業の両面から現状の問題点に対して改善方策を検討するとともに、残された設備課題である焼結原料ヤードの計画と新焼結工場、第三高炉設備に対する若干の改善点を提案する。

#### 3.1.1 焼結工場

##### (1) 焼結原料ヤードの機械化

前述のごとく、焼結原料ヤードにおける鉱石等のハンドリングは人力で行なわれており、原料の配合に変動が多い。そのため石家庄近代化案ではブレンディ

ング・ヤードの計画がある。また新焼結工場の稼働により、鉍石等の取り扱い量が増加するので、ヤードの拡張も計画されている。そこでこれらを考慮して焼結原料ヤードの機械化について検討した。

### 1) ピン・ブレンディングとヤード・ブレンディングの比較

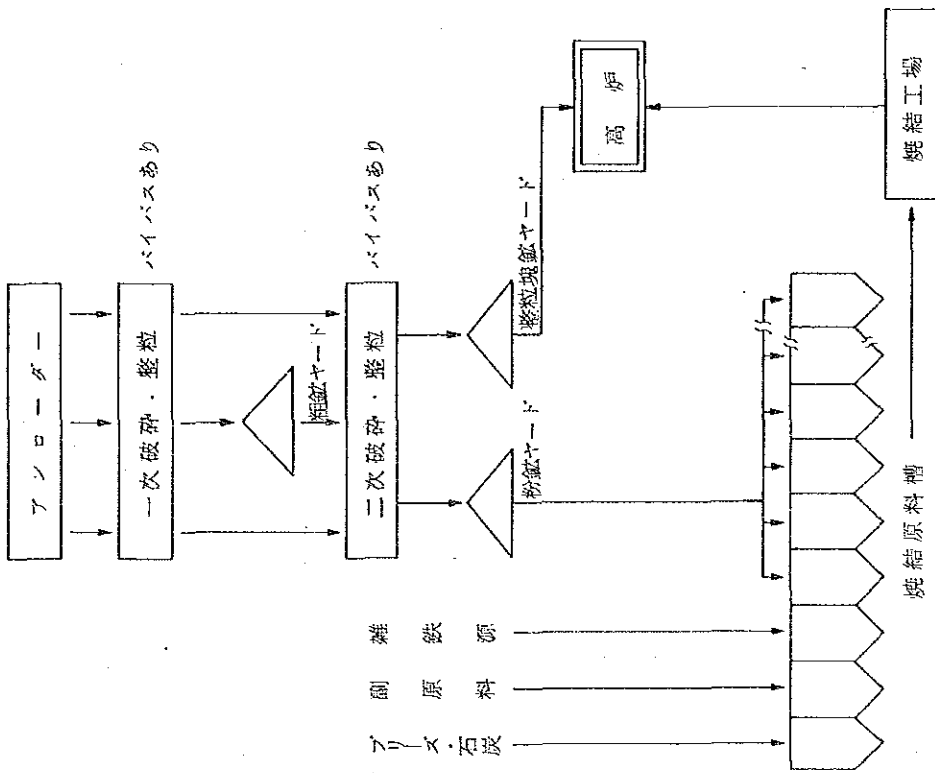
典型的な鉄鉍石処理系統図を図3.1.1-1に示す。ピン・ブレンディングとは粉鉍ヤードにて銘柄別に保管されている各粉鉍石をそれぞれ単独で焼結工場の原料槽に入れ、銘柄別に一定比率で切出す方式である。またヤード・ブレンディングは粉鉍石等を事前にブレンディング・ヤードで一定比率に混合し、これを焼結原料槽に入れて切出す方式である。前者は固体燃料、副原料、雑鉄源等も別々の槽に入れ一定比率で切出す。後者では主原料と大きく化学成分の異なる固体燃料、副原料はブレンディング・ヤードで混合せず、焼結原料槽にそれぞれ単独で入れ切出すのが普通である。雑鉄源はブレンディング・ヤードで他の鉍石類と混合する場合と、単独に焼結原料槽に入れて切出す場合とがある。主原料のブレンディングにおいても、全銘柄とも混合する場合と一部の調整銘柄をブレンディングせず、単独に焼結原料槽で切出す場合がある。日本においては固体燃料粉、石灰石粉等の副原料を除く全ての焼結原料をヤードブレンディングしている例が多い。K社Q製鉄所では全原料中60%をヤードブレンディングしている、以下にその理由を示す。

ヤードブレンディング・パイル60.0%

鉄 鉍 石 粉 (A)	7.0	} $Al_2O_3$ 調整	高炉での RDI (低温還元粉化率) の制約がきついため単独調整している
鉄 鉍 石 粉 (B)	10.0		
石 灰 石 粉	13.0	} 塩基度調整	塩基度調整に速応性を持たせるために単独調整している
珪 石	1.5		
ス ケ ー ル	3.0	—————>	FeOの安定を狙いパイル積みより単独使用としている。原料槽での切出装置の方が精度良い為
ベレット返鉍	4.0	—————>	輸送費低減のためにパイル積みせずにベレット工場から直送している
生 石 灰	1.5	擬似粒子化促進	—————> 単独調整している

<ピン・ブレード方式>

(込鉱、整粒塊鉱、粉鉱)



<ヤード・ブレード方式>

(込鉱、整粒塊鉱、粉鉱)

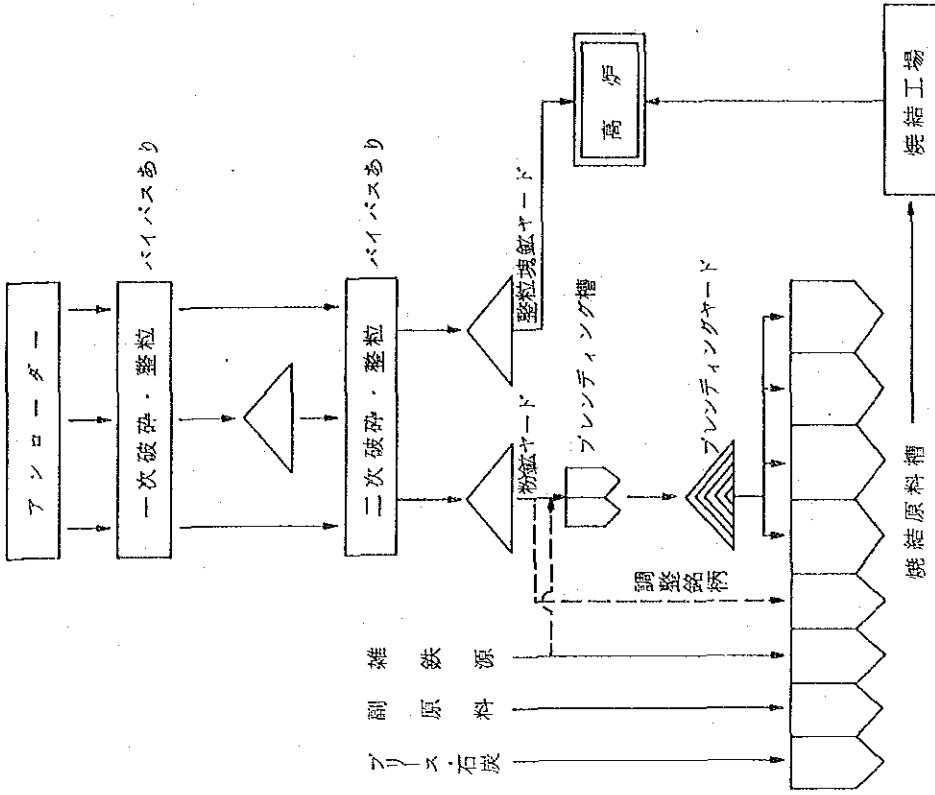


図 3. 1. 1 - 1 鉄石処理系統図



焼結工場においては、ヤード・ブレンディングにした場合でも以下の原料は単独使用した方が良いと考えられる。

石灰石	塩基度調整
雑原料(スケール、ダストのブレンド品)	} FeO調整
返  鋳	
生  石灰	吸湿防止
無煙炭、ブリーズ	熱量調整

図3.1.1-2にピン・ブレンディングとヤード・ブレンディングの比較を示す。

石家庄鋼鉄廠においては精鋳粉5銘柄、富鋳粉1銘柄とハンドリングする鋳石銘柄数が少ないのでピン・ブレンディング方式の採用が良いと思われる。

		ビン・ブレンディング	ヤード・ブレンディング
レイアウト			
効果比較	設備費	小	大 貯鉄槽数は少なくすむものの、ブレンディング・スタッカー、ブレンディング・リクレーマー及び受、払コンベア等の設備の方が高くなる。
	操業費	安い	高い ヤード・ブレンディングする量だけ2重ハンドリングとなり、輸送費が高くなる。ただし、ブレンディング・パイルへの積付、原料槽への払出し共に大ロット輸送が図れるので切替ロスは少なくなる。
	操業性	煩雑 銘柄数と同数の原料槽が必要であり、以下の問題点がある。 ① 切出装置の能力と原料槽数が配合比率変更の上で制約となる。 ② 原料槽の在庫管理と輸送タイミングの計画が煩雑で、在庫切れ発生のリスクがある。 ③ 原料槽単位の輸送であり、輸送ロットが小さい。このために、粉鉄ヤードの回転が悪く、入荷原料の置場計画作成が煩雑。 粉鉄ヤードにふれが多く、置場効率が悪い。	容易 ① 配合率の変更は自由、銘柄数の追加も可能。 ② 大ロット輸送が可能で、輸送計画が容易。 ただし、積付計画は煩雑となる。 ③ 粉鉄ヤードのふれは、まとめてブレンディング・パイルに積込みでき、置場効率が良い。
	成分変動	小 ただし、精度のよい秤量切出装置が必要	小 入荷ロット内変動がブレンディング・パイルによって安定する。 ビン・ブレンディングに優る。

図 3.1.1-2 ビン・ブレンディングとヤード・ブレンディングの比較



## 2) 焼結原料ヤード機械化の検討

### A. 前提条件

i 焼結鉄生産量 : 600,000トン/年

ii 焼結原料取り扱い量

精 鉄 粉 : 408,300トン/年

石 人 沟	162,200
下 合 子	160,200
平 山	17,600
贊 皇	30,400
西 右 門	37,900

富 鉄 粉 : 71,000トン/年

雑 鉄 源 : 30,000トン/年

高 炉 返 鉄 : 65,200トン/年

石 灰 石 : 105,700トン/年

無 煙 炭 : 38,500トン/年

ブ リ ー ズ : 19,600トン/年

iii 原料入荷形態および貯蔵方法 : 図3.1.1-3に示す。

iv 鉄鉄石受入設備 : 連続アンローダー方式とする

v 鉄鉄石受入能力 : 500t/h

鉄鉄石貨車積載量	: 約50t
受入作業時間	: 24h/日とする

vi 在庫能力 : 図3.1.1-4、図3.1.1-5に示す。

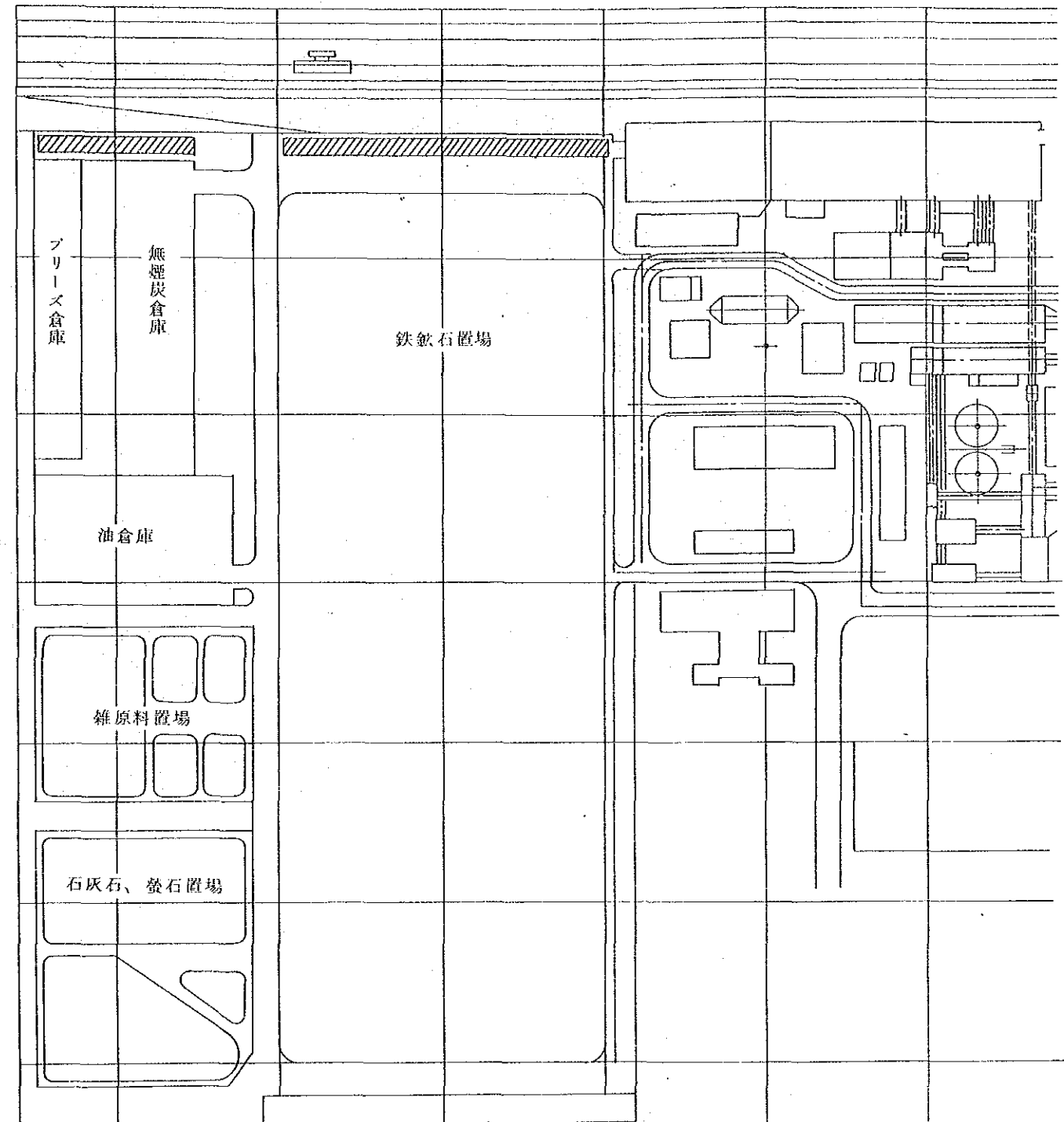
冬期の受入量を抑えるため、最大4ヶ月分を目標とする。

vii 固体燃料粉、副原料、雑鉄源のハンドリングもできるだけ機械化する。

viii 焼結原料槽 : 石家荘鋼鉄廠計画案とする。

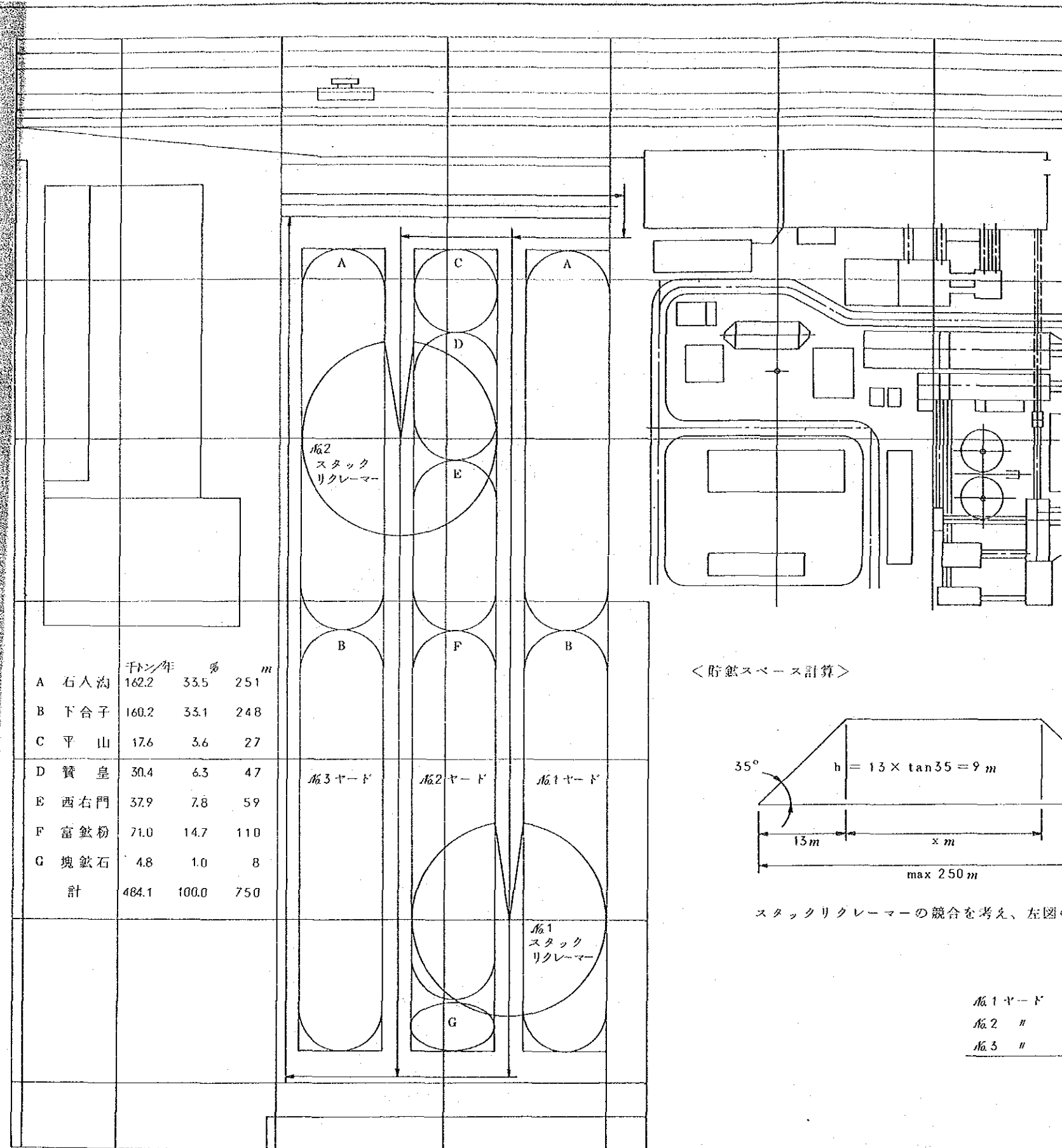
貯蔵場所

人荷形態	銘柄	銘柄数	在庫期間	在庫量
貨車	精 鈦 粉	5	最大 4ヶ月	136.1千トン
	富 鈦 粉	1		23.6
	塊 鈦 石	1		(注-2) 1.6
	無 煙 炭	1		12.8
(注-1) トラック	プ リ ー ズ	1	最大 1ヶ月と仮定	1.6
	石 灰 石	2		(注-3) 10.9
トラックと仮定	螢 石	1		(0.5)
トラック	ダスト・スケール	4	1ヶ月と仮定	2.5
	返 鈦	1		5.5
トラックと仮定	生 石 灰	1	(注-4)	—

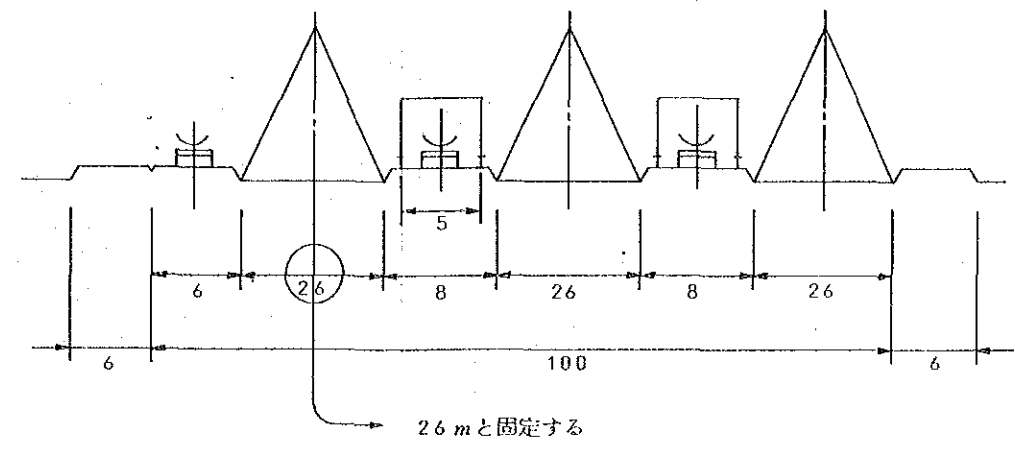


- (注-1) トラックはダンプトラックと仮定する。
- (注-2) 塊鈦石は貯蔵のみとし、高炉へはトラック輸送とする。
- (注-3) 石灰石は、高炉分も貯蔵する。
- (注-4) 焙焼炉からトラック輸送、地下ピット打込みとし、ヤード在庫は考えない。

図 3. 1. 1 - 3 原料入荷形態および貯蔵方法

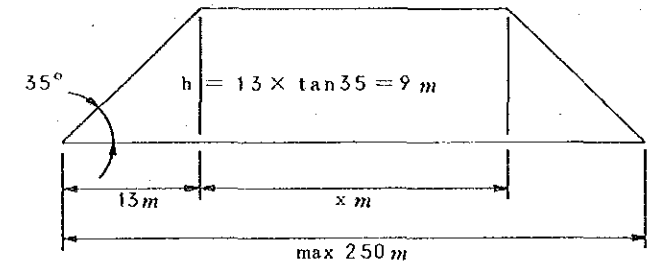


鉄鉱石在庫量： 161.3千トン、最大4ヶ月、7銘柄（左図参照）



鉄鉱石積山条件： 安息角 35°、 嵩比重 2.5 t/m<sup>3</sup>  
 （粗い計算につき精鉄粉、富鉄粉、塊鉄石とも一定とする）

<貯鉄スペース計算>



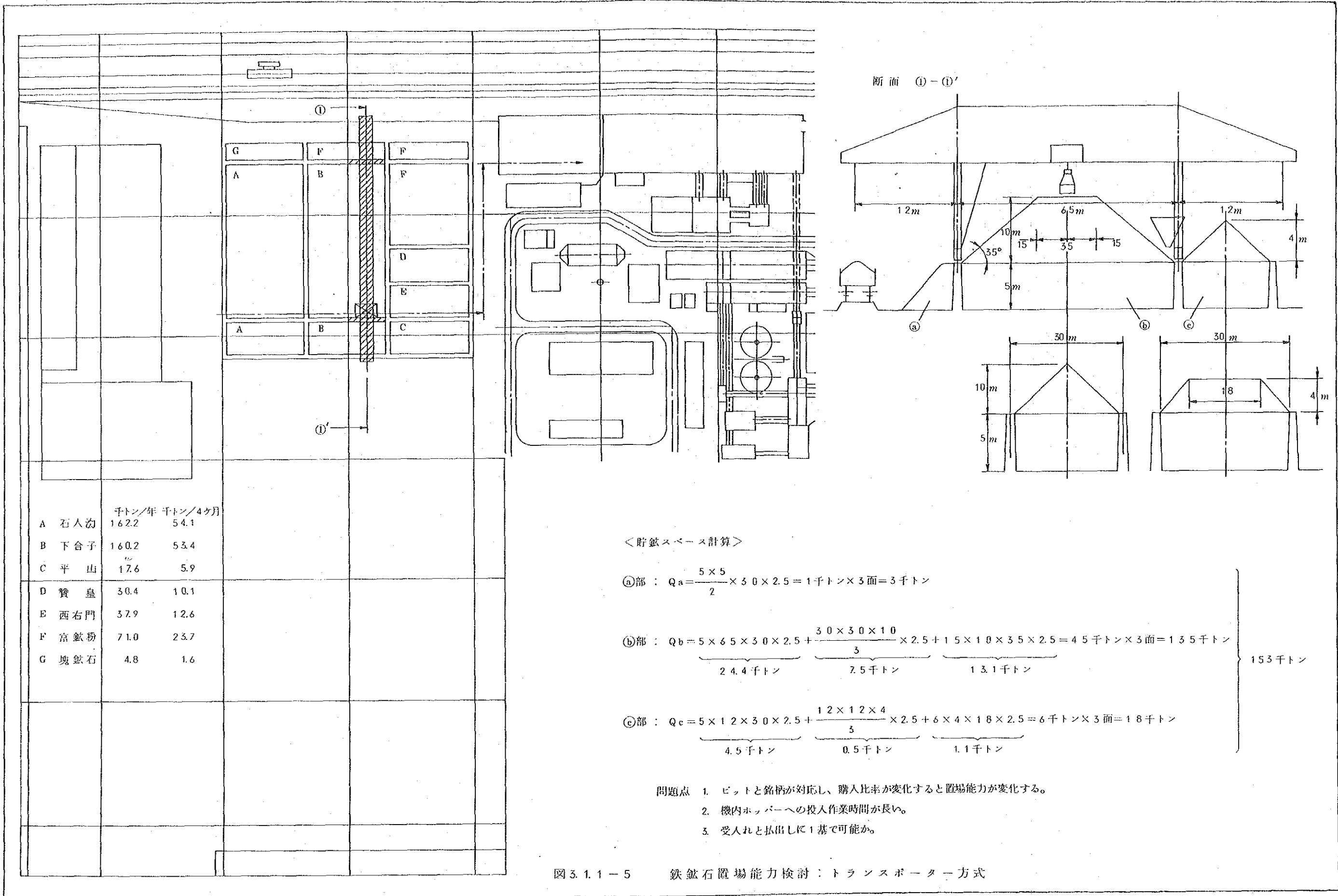
スタックリクレーマーの競合を考え、左図のような置き方とする。

$$\text{円錐} = \frac{\pi}{4} \frac{d^2 \times h}{3} \times r = 3,980 t$$

$$\text{三角柱} = \frac{d}{2} \times h \times x \times r = 290 x t$$

	山数	三角柱長さ(x)	三角柱部	円錐部	計
No.1ヤード	2	198m	57,240 t	7,960 t	65,200 t
No.2 "	5	120	34,800	19,000	53,800
No.3 "	2	198	57,240	7,960	65,200
					184,200 t > 161,300 t
					4.5ヶ月      4.0ヶ月

図 3.1.1-4 鉄鉱石置場能力検討：スタックリクレーマー方式



	千トン/年	千トン/4ヶ月
A 石人沟	162.2	54.1
B 下合子	160.2	53.4
C 平山	17.6	5.9
D 贊皇	30.4	10.1
E 西右門	37.9	12.6
F 富鉄粉	71.0	23.7
G 塊鉄石	4.8	1.6

<貯鉄スペース計算>

①部 :  $Q_a = \frac{5 \times 5}{2} \times 30 \times 2.5 = 1 \text{千トン} \times 3 \text{面} = 3 \text{千トン}$   
 ②部 :  $Q_b = 5 \times 6.5 \times 30 \times 2.5 + \frac{30 \times 30 \times 10}{3} \times 2.5 + 15 \times 10 \times 35 \times 2.5 = 45 \text{千トン} \times 3 \text{面} = 135 \text{千トン}$   
           24.4千トン           7.5千トン           13.1千トン           } 153千トン  
 ③部 :  $Q_c = 5 \times 12 \times 30 \times 2.5 + \frac{12 \times 12 \times 4}{3} \times 2.5 + 6 \times 4 \times 18 \times 2.5 = 6 \text{千トン} \times 3 \text{面} = 18 \text{千トン}$   
           4.5千トン           0.5千トン           1.1千トン

- 問題点
1. ビットと銘柄が対応し、購入比率が変化すると置場能力が変化する。
  2. 機内ホッパーへの投入作業時間が長い。
  3. 受入れと払出しに1基で可能か。

図 3. 1. 1 - 5 鉄鉄石置場能力検討：トランスポーター方式





## B. 検討結果

以下の4ケースについて検討を行なった

	ブレンディング方式	受払設備	計画図
ケース1	ビン・ブレンディング	スタックリクレーマー	図3.1.1-6
# 2	ヤード・ブレンディング	スタッカー／リクレーマー	図3.1.1-7
# 3	ビン・ブレンディング	トランスポーター (ピット方式)	図3.1.1-8
# 4	"	" (オープン・ヤード方式)	図3.1.1-9

表3.1.1-1に設備仕様、図3.1.1-10に各ケースの比較を示す。

石家荘においては焼結主原料の銘柄数が少なく、また設備コスト、成分変動、貯鉱能力等から判断してケース1が望ましいと考える。

## C. 焼結原料槽計画(図3.1.1-11)

## D. 単体機器の仕様と費用

参考までに単体機器仕様と概算費用(FOB、JAPAN)を示す。

### i スタックリクレーマー (参考図: 図3.1.1-12)

スタッカー能力 : 500 t/h

リクレーマー能力 : 500 t/h

ブーム長さ(旋回中心～ホイール先端) : 32 m

費用 421百万円(2次側電気品を含む)

### ii スタッカー、ブレンディングスタッカー (参考図: 図3.1.1-13A)

能力 : 500 t/h

片ウイング式、旋回無し、俯仰有

ブーム長さ : 15 m

費用 129百万円(2次側電気品を含む)

### iii リクレーマー (参考図: 図3.1.1-13B)

能力 : 500 t/h

ブーム長さ : 32 m

費用 276百万円(2次側電気品を含む)

### iv ブレンディングリクレーマー (参考図: 図3.1.1-14)

能力 : 500 t/h

レールスパン : 25 m

山越え無し、バケット方向変換方式

費用 355百万円（2次側電気品を含む）

V トランスポーター（参考図：図3.1.1-15）

能力 : 500 t/h

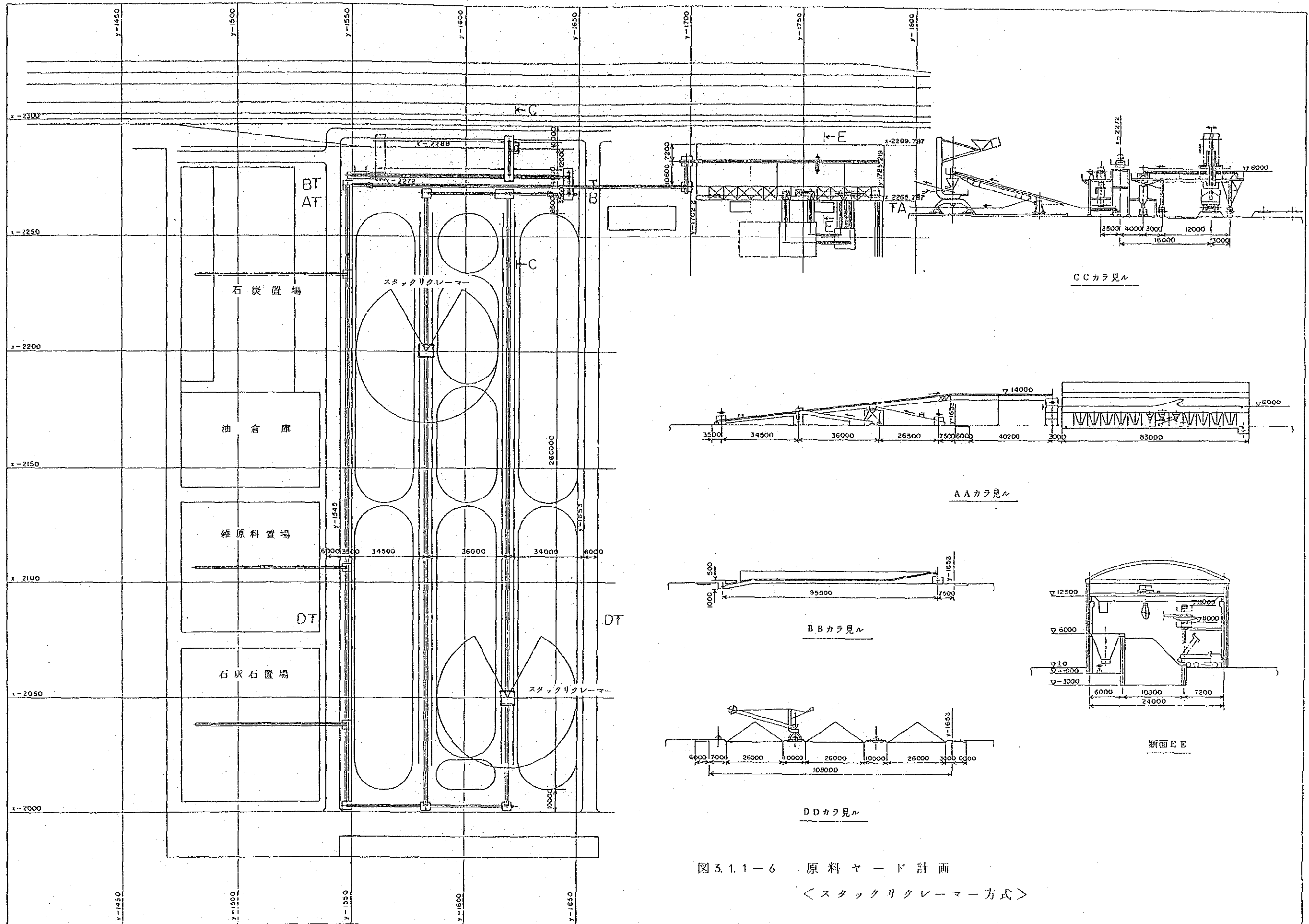
軌間 : 66 m

費用 903百万円（2次側電気品を含む）

能力 : 500 t/h

軌間 : 45 m

費用 722百万円（2次側電気品を含む）



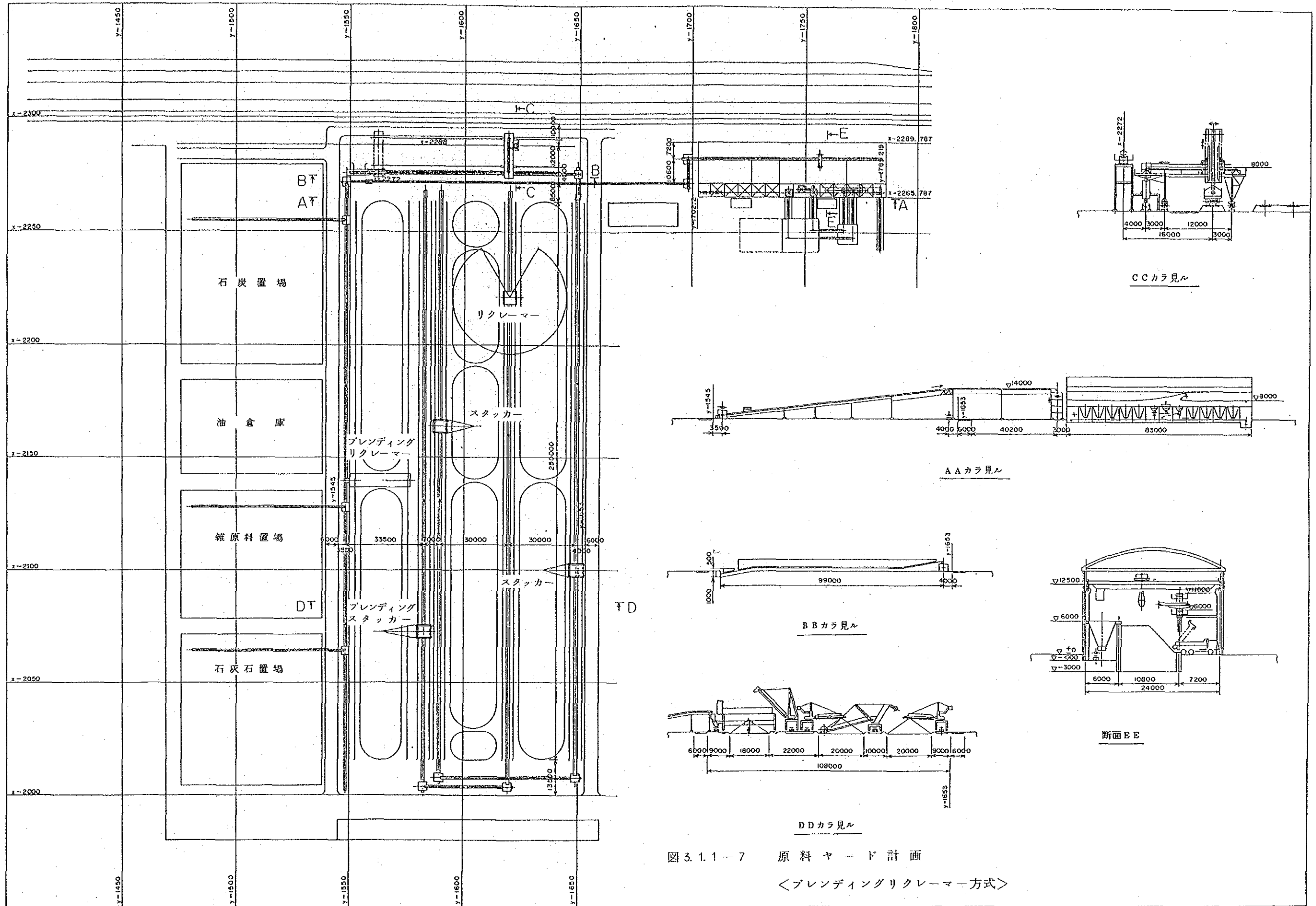


図 3.1.1-7 原料ヤード計画  
 <ブレンドリクレーマ方式>

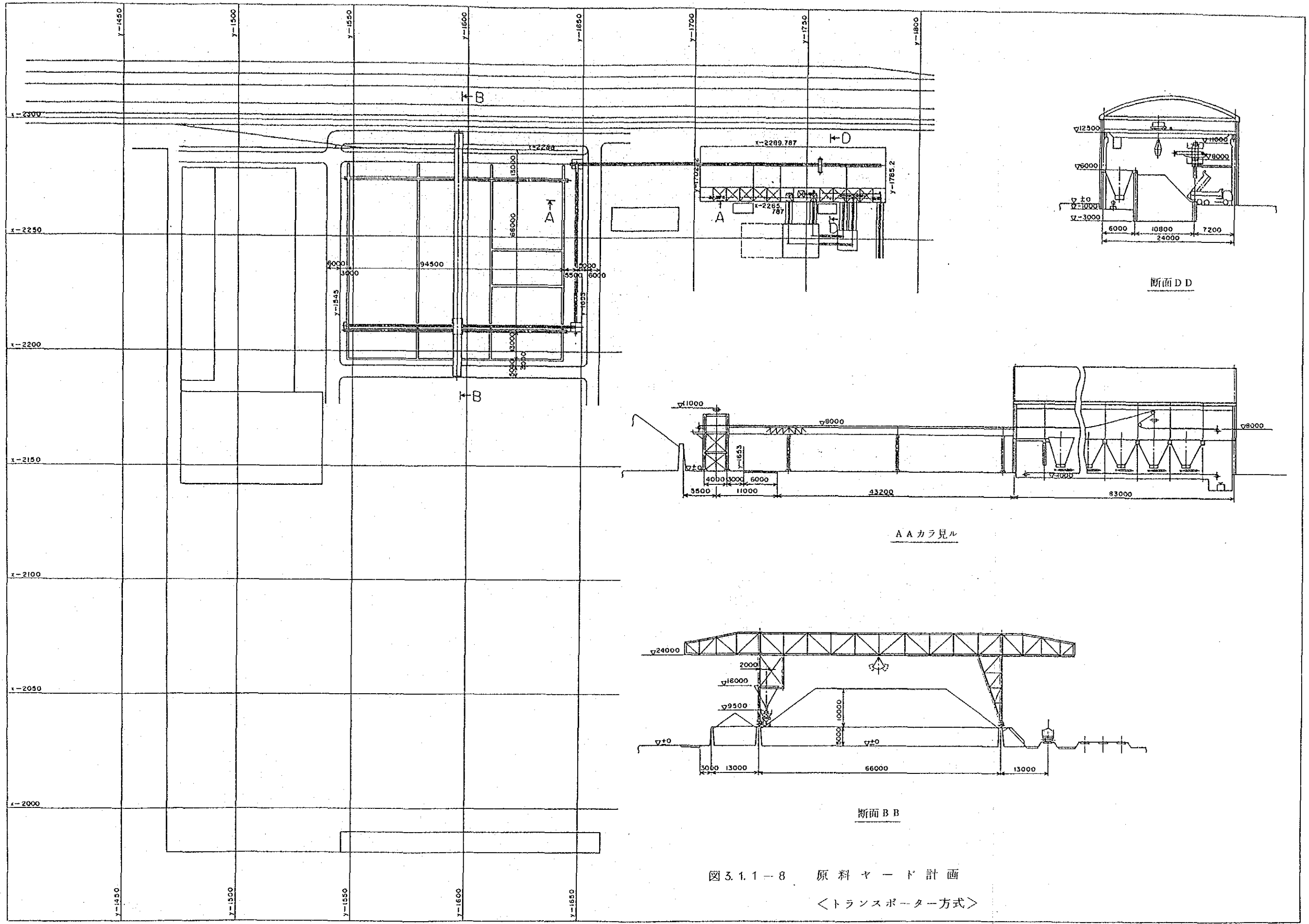


図 3.1.1-8 原料ヤード計画  
 <トランスポーター方式>

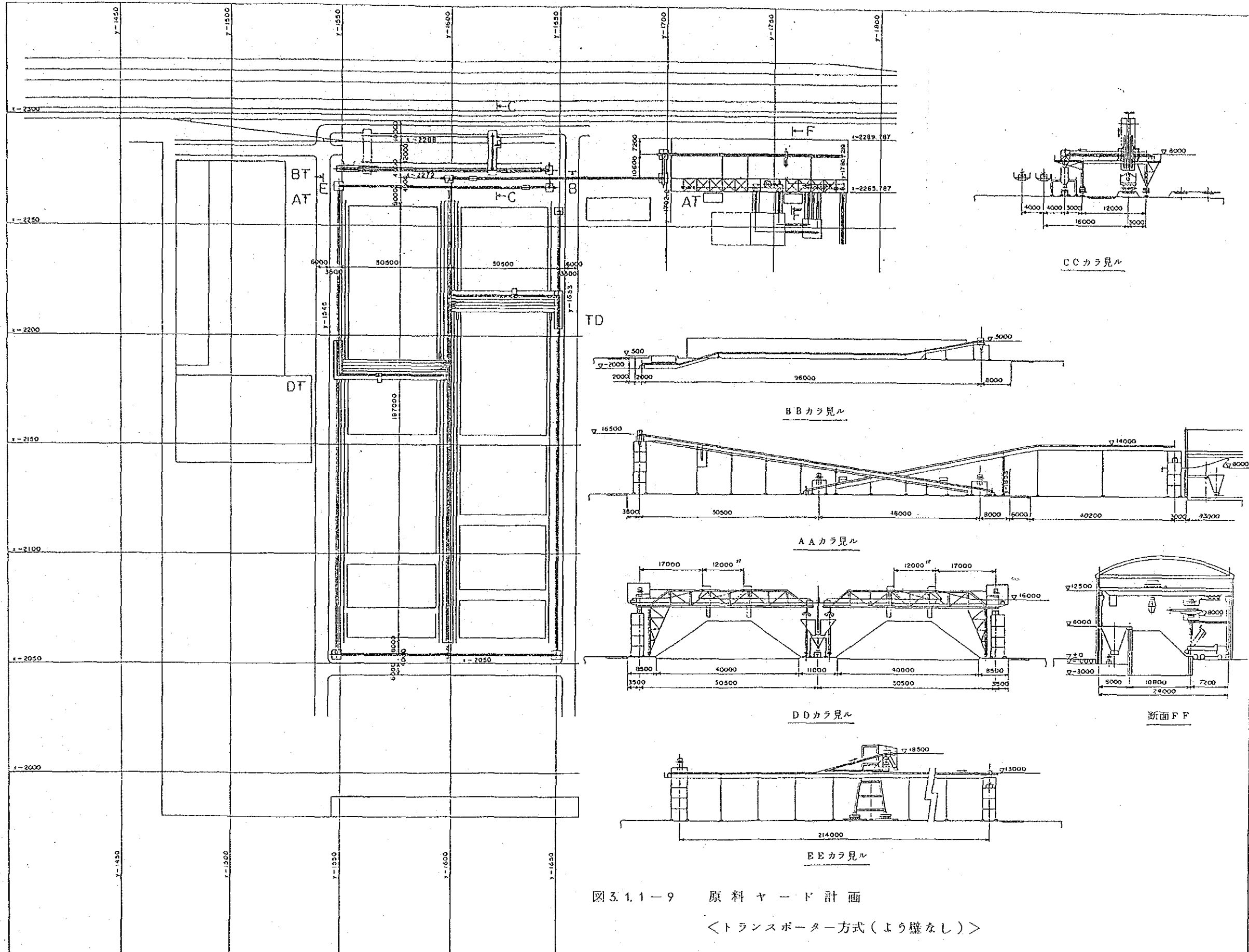


図 3.1.1-9 原料ヤード計画  
 <トランスポーター方式(よう壁なし)>

表 3.1.1-1 原料ヤード計画設備仕様比較

	ケース1 スタックリクレーマー ピン・ブレンディング	ケース2 スタッカーリクレーマー ヤード・ブレンディング	ケース3 トランスポーター(ピット方式) ピン・ブレンディング	ケース4 トランスポーター(オープン・ヤード方式)ピン・ブレンディング
1. 荷卸設備	1) 連続式アンローダー: 1基 能力: 500t/h 軌間: 12m 軌長: 100m	1) 連続式アンローダー: 1基 同左	1) トランスポーター利用	1) 連続式アンローダー: 1基 ケース1に同じ
2. 主原料受入コンベア	1) 受入コンベア: 6基 能力: 500t/h ベルト巾: 750mm 全長: 735m モーター総容量: 200kw 2) コンベアスケール	1) 受入コンベア: 4基 能力: 500t/h ベルト巾: 750mm 全長: 740m モーター総容量: 170kw 2) コンベアスケール	1) トランスポーター利用	1) 受入コンベア: 6基 能力: 500t/h ベルト巾: 750mm 全長: 710m モーター総容量: 210kw 2) コンベアスケール
3. 主原料受払機器	1) スタックリクレーマー: 2基 能力: 500/500t/h ブーム長: 32m 2) 軌道: 280m×2式	1) スタッカー: 2基 能力: 500t/h(非旋回) ブーム長: 15m 2) リクレーマー: 1基 能力: 500t/h ブーム長: 32m 3) ブレンディングスタッカー: 1基 能力: 500t/h(非旋回) ブーム長: 15m 4) ブレンディングリクレーマー: 1基 ダブルホイール、両側攝取式 能力: 500t/h 軌間: 25m 5) 軌道: 280m×5式	1) スタッカー: 2基 能力: 500t/h(非旋回) 軌間: 66m 2) 軌道: 100m×1式 3) 擁壁 高さ: 5m 全長: 650m	1) トランスポーター: 2基 能力: 500t/h 軌間: 45m 2) 軌道: 200m×2式
4. 主原料払出コンベア	1) 払出コンベア: 5基 能力: 500t/h ベルト巾: 750mm 全長: 555m モーター総容量: 150kw 2) コンベアスケール: 1基	1) 払出コンベア: 5基 能力: 500t/h ベルト巾: 750mm 全長: 1,035m モーター総容量: 210kw 2) コンベアスケール: 2基	1) 払出コンベア: 5基 能力: 500t/h ベルト巾: 750mm 全長: 285m モーター総容量: 120kw 2) コンベアスケール: 1基	1) 払出コンベア: 4基 能力: 500t/h ベルト巾: 750mm 全長: 345m モーター総容量: 110kw 2) コンベアスケール: 1基
5. 副原料払出コンベア	1) 払出コンベア: 3基 能力: 500t/h ベルト巾: 750mm 全長: 150m モーター総容量: 100kw	1) 払出コンベア: 3基 同左	1) 払出コンベア: 6基 能力: 500t/h ベルト巾: 750mm 全長: 450m モーター総容量: 180kw	1) 払出コンベア: 6基 能力: 500t/h ベルト巾: 750mm 全長: 250m モーター総容量: 150kw
6. 切出設備	1) 定量切出装置 12台	1) 定量切出装置 9台	ケース1と同じ	ケース1と同じ

	ケース1 スタックリクレーマー ビン・ブレンディング	ケース2 スタッカーリクレーマー ヤード・ブレンディング	ケース3 トランスポーター(ビット方式) ビン・ブレンディング	ケース4 トランスポーター(オープン・ヤード方式)ビン・ブレンディング
レイアウト	<p>SR: スタックリクレーマー</p>	<p>S: スタッカー R: リクレーマー BS: ブレンディングスタッカー BR: ブレンディングリクレーマー</p>	<p>TP: トランスポーター</p>	<p>TP: トランスポーター</p>
設備コスト (注) (日本での建設コスト)	83.4%	100%	92.6%	90.6%
成分変動	小	やや小 (パイル積付能力=リクレーマー能力であり、ビンブレンディング方式のような少量切出ができないためやや成分変動がある。)	やや小 (ビット内でロット管理ができないのでロット間成分変動がある)	小
貯蔵能力	最大 184千トン(4.5ヶ月)	最大 150千トン(3.6ヶ月)	最大 153千トン(3.9ヶ月)	最大 161千トン(4.0ヶ月)
総合判定	◎	○	×	△

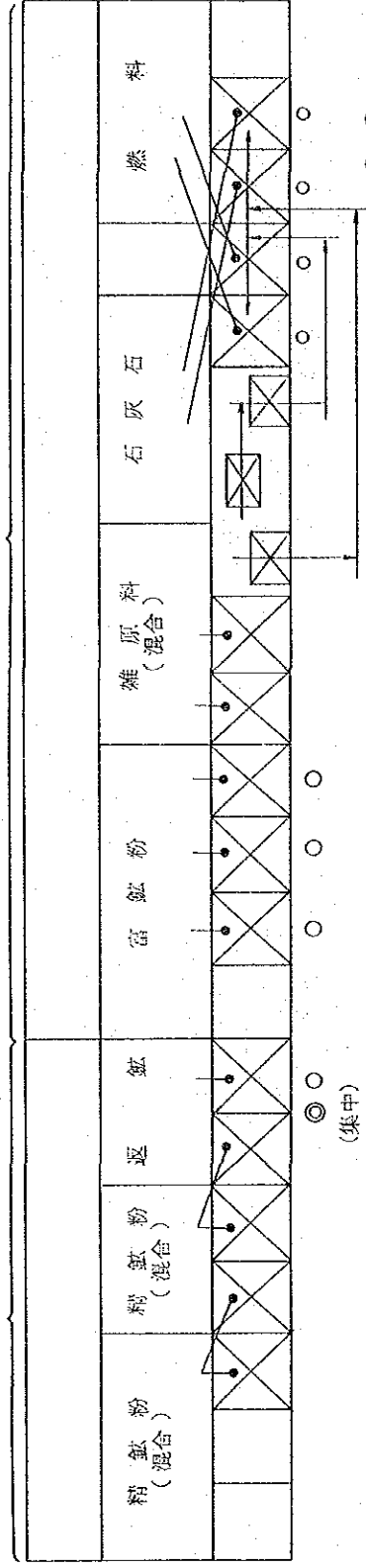
(注) 貯蔵槽並びに切出コンベアは含まず。但し定量切出装置は考慮した。

◎ ○ △ ×  
良 不良

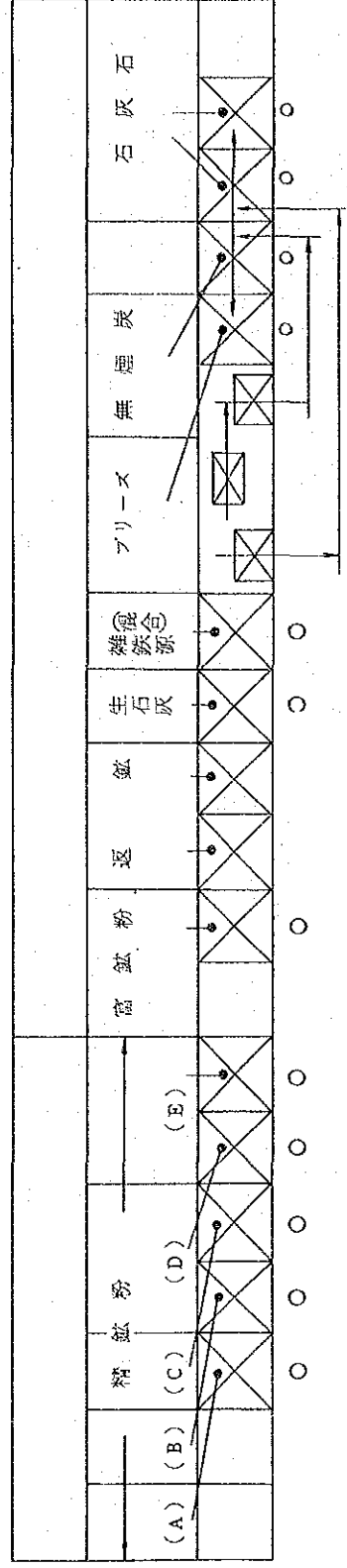
図 3.1.1-10 原料ヤード設備比較



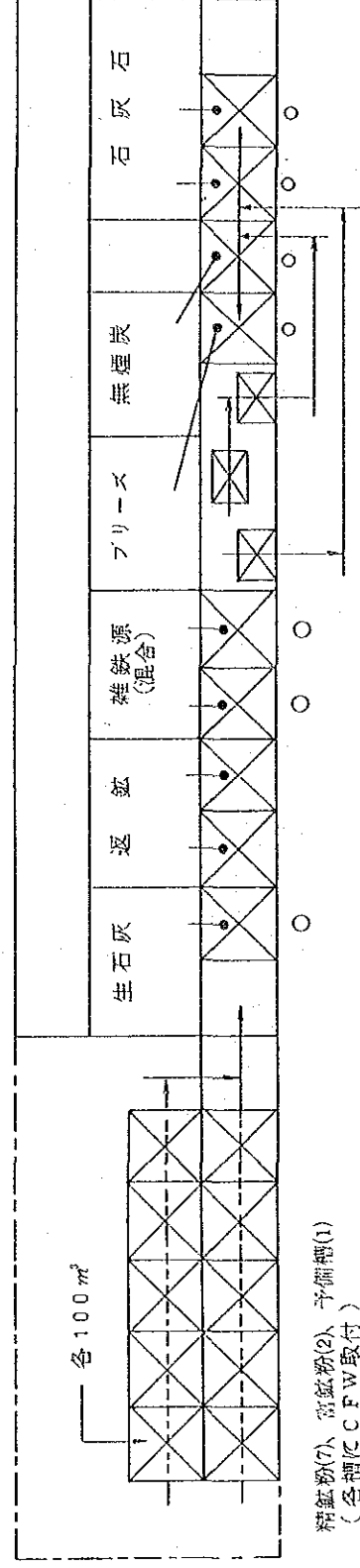
新 設 既 設



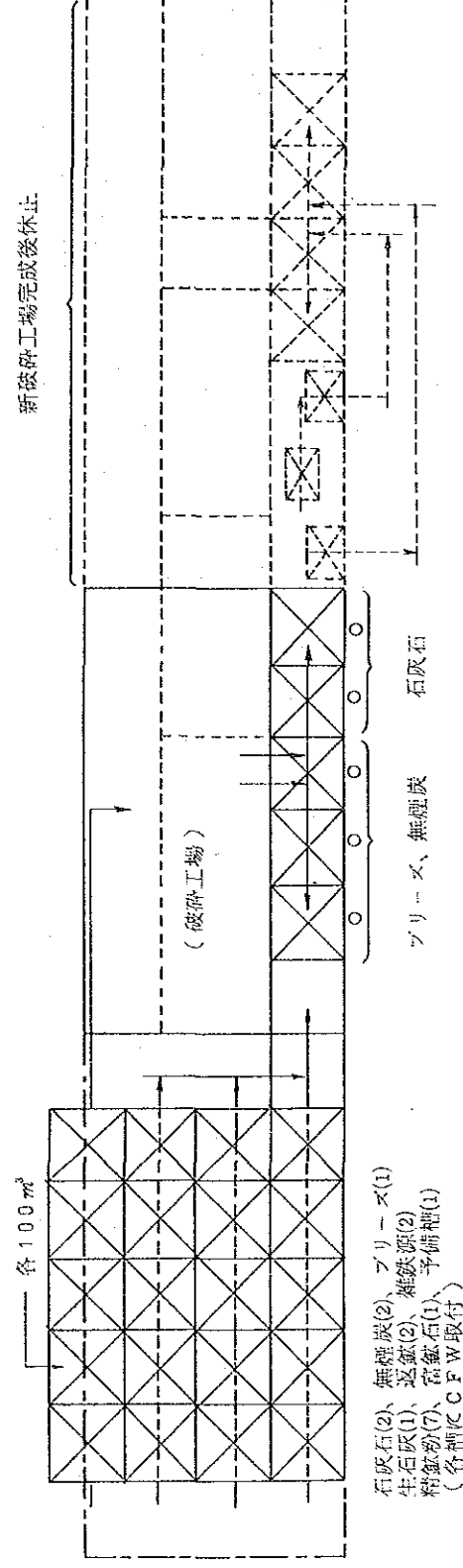
石家旺鋼鐵廠案 (ヤード・ブレンディングの場合)



石家旺鋼鐵廠案をビン・ブレンディングに修正した場合



高架原料槽を新設・追加した場合



破砕工場を新設した場合(一例)……新設工場用地拡大に有利

図 3.1.1-1 1 焼 結 原 料 槽 計 画

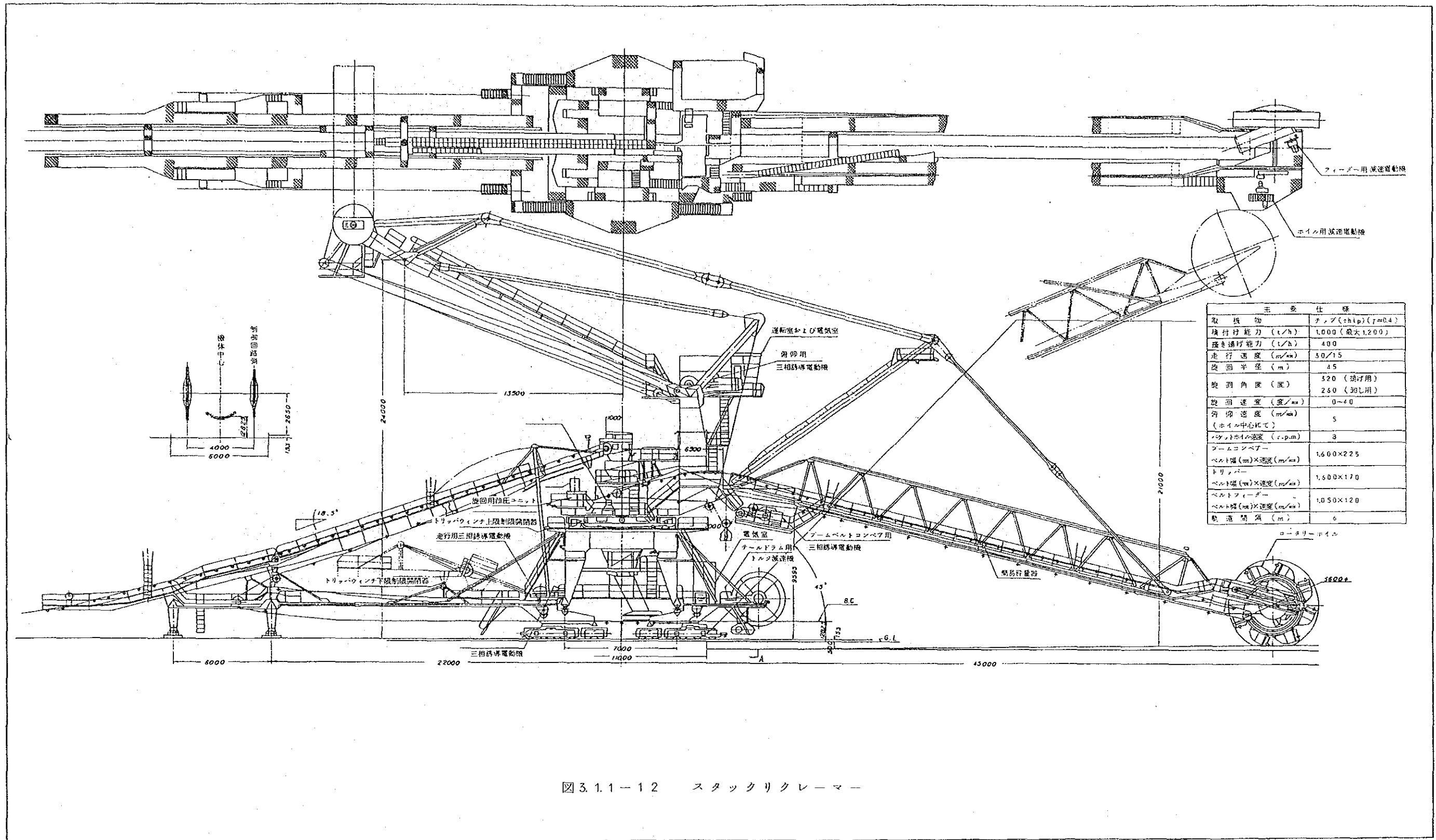


図 3.1.1-12 スタックリクレーマー

主要仕様	
取扱物	焼結 ( $\gamma=1.8$ )
積付け能力 (t/h)	480 (最大630)
ブームコンベアー	
ベルト幅 (mm) × 速度 (m/min)	914 × 100
トリッパー	
ベルト幅 (mm) × 速度 (m/min)	914 × 100
走行速度 (m/min)	20
俯仰速度 (m/min)	6

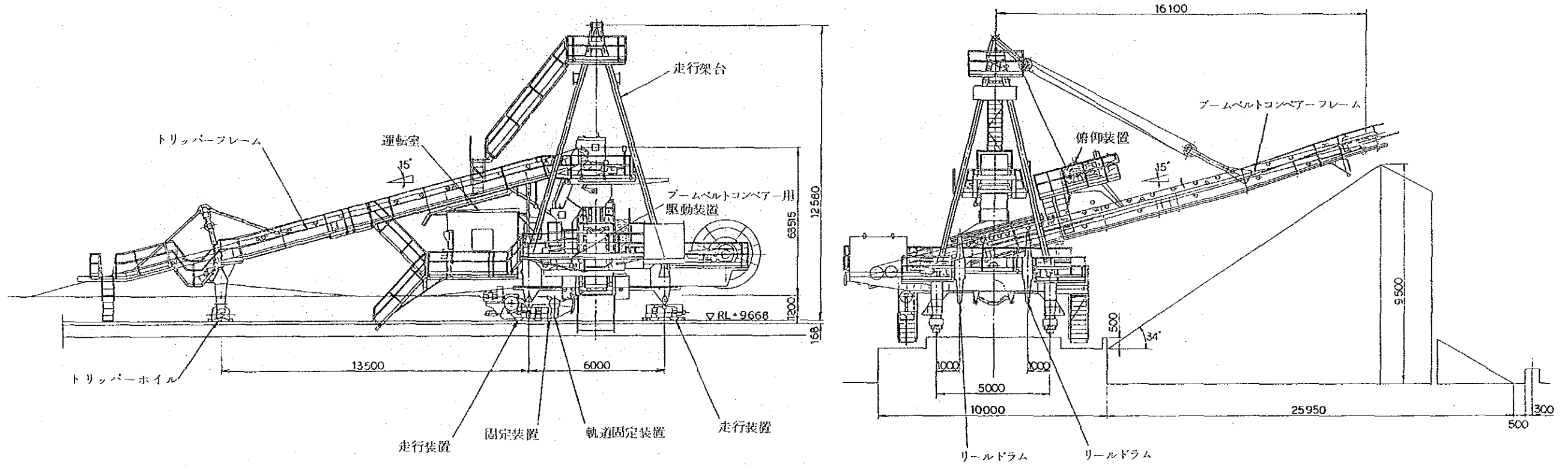
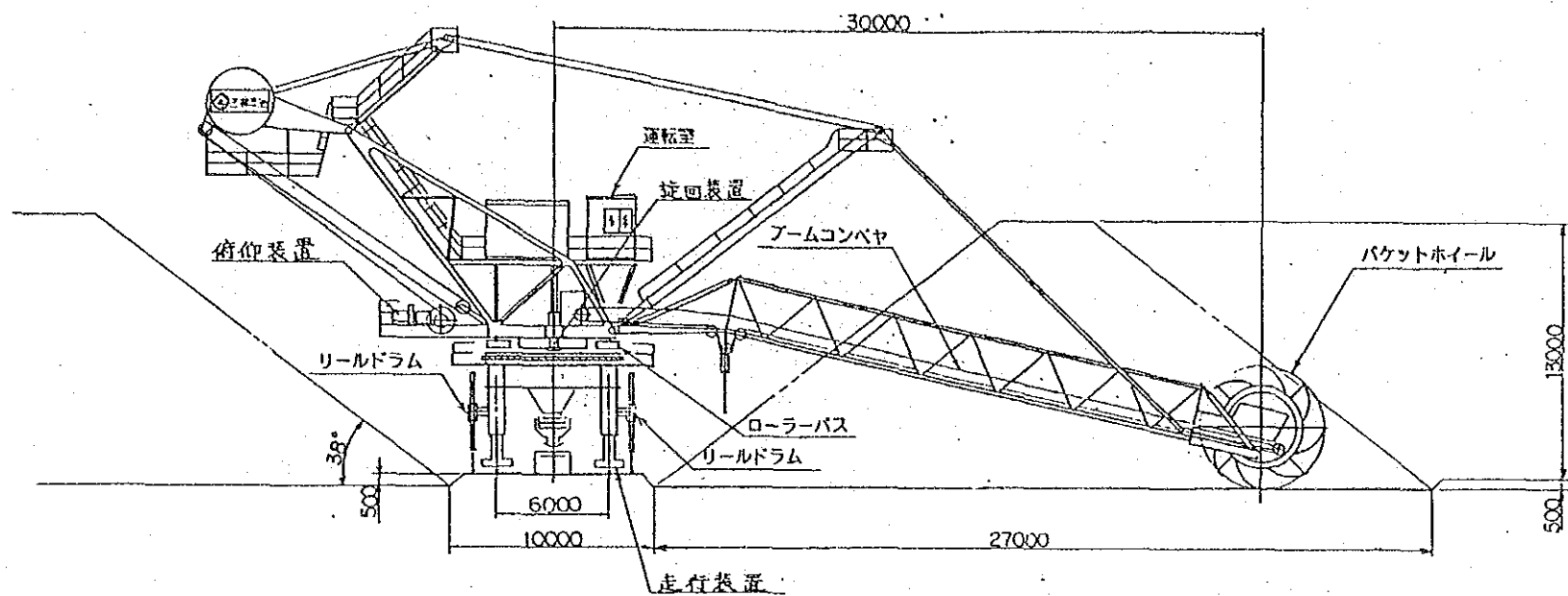
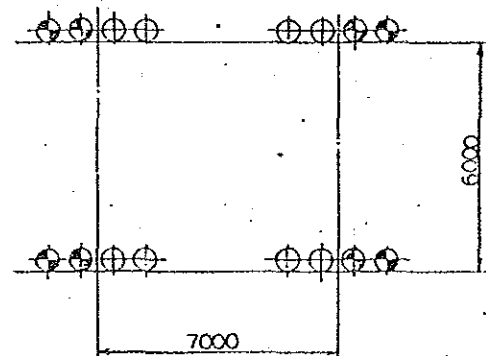


図 3.1.1 - 13 A スタッカー



主要仕様	
取扱物	鉱石
能力 (t/h)	平均 500 (最大 600)
走行速度 (m/min)	30/75 (2速)
旋回半径 (m)	30
旋回角度 (度)	360 (折り返し)
旋回速度 (度/min)	0~36 (可変速)
俯仰速度 (度/min)	5
(ホイール中心にて)	
バケットホイール速度 (r.p.m)	0~5 (可変速)
アームコンベヤ	
ベルト幅 (mm) × 速度 (m/min)	1050 × 135
レールゲージ (mm)	6

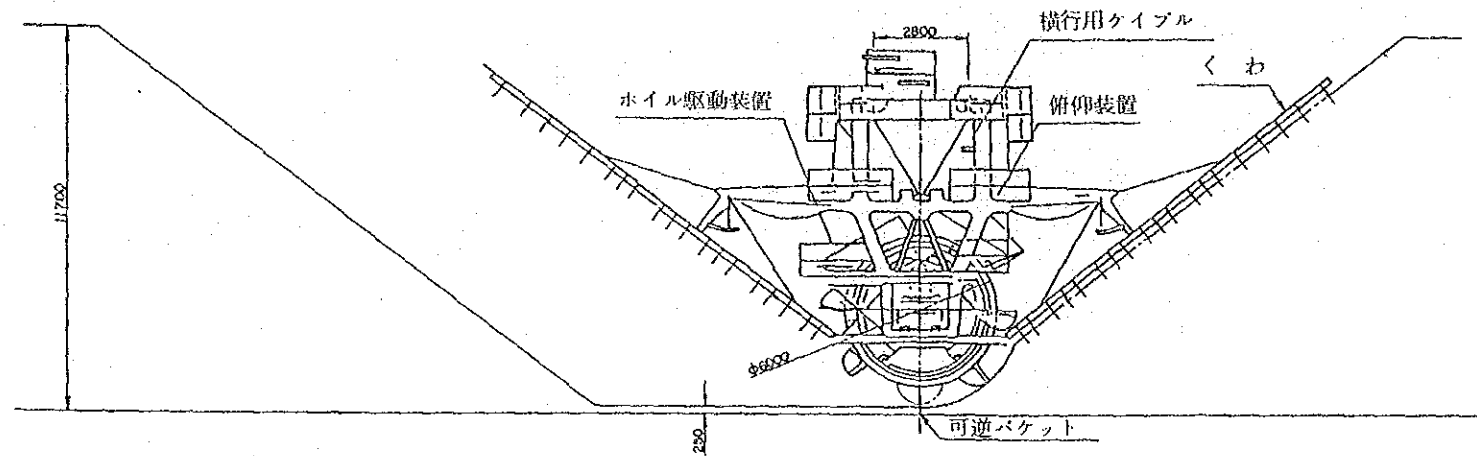


走行車輪配置図

- ⊙ --- 駆動車輪
- ⊙ --- 従動車輪

走行車輪圧	
最大輪圧/輪	条件
20 ton	作業時
24 ton	暴風時

図 3.1.1 - 13 B リクレーマ



主要仕様	
取扱物	粉 鈰 ( $\gamma=2.4$ )
搬送能力 (t/h)	650
走行速度 (m/min)	30/2
横行速度 (m/min)	7
バケットホイール速度 (r.p.m)	5
中継コンベアー	
コンベアー幅(mm)×速度(m/min)	900×100
軌道間隔 (m)	32

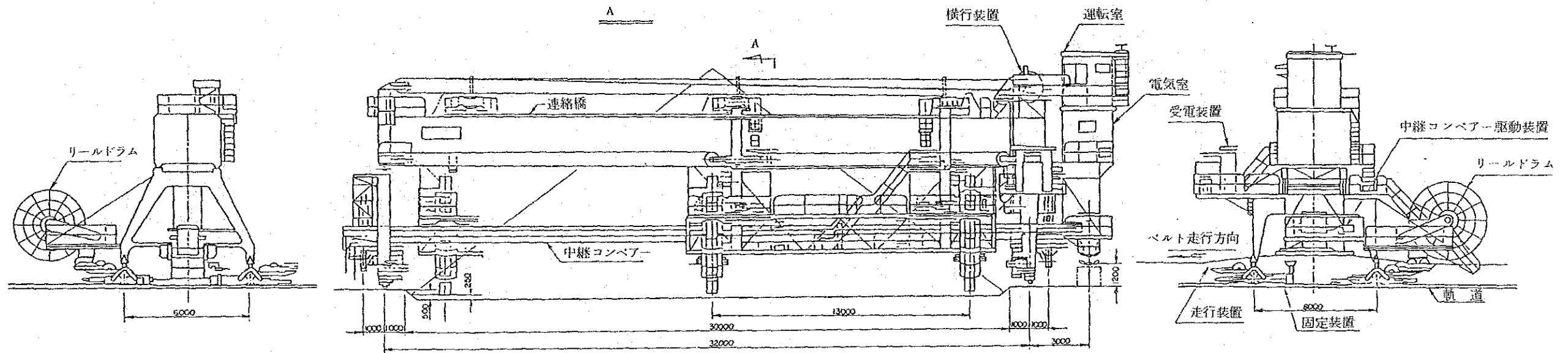


図 3. 1. 1 - 1 4 ブレンディングリクレーマー

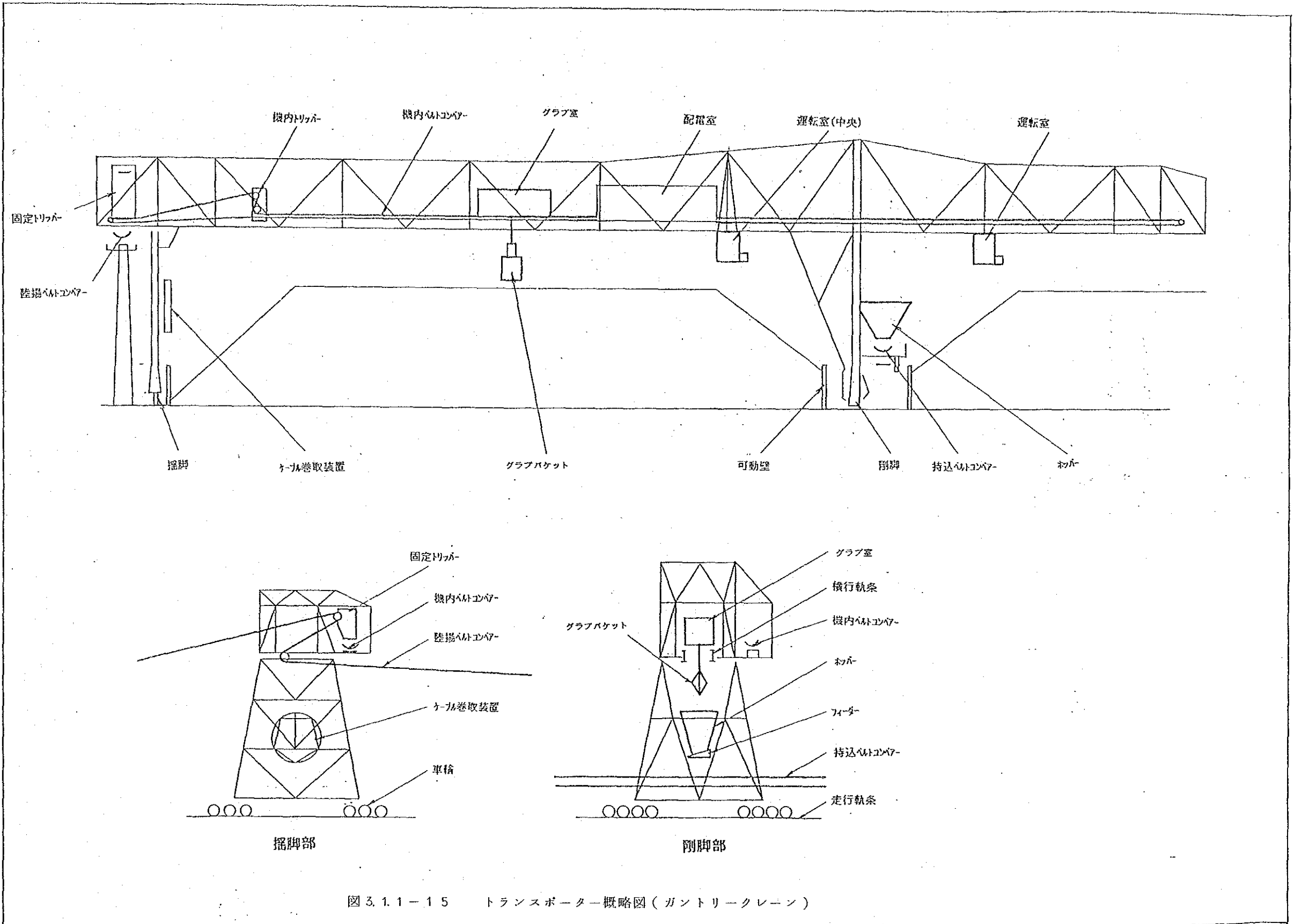


図 3.1.1-15 トランスポーター概略図(ガントリークレーン)



## (2) 焼結原料の擬似粒子化技術

焼結鉍製造プロセスにおいて焼結原料の擬似粒子化技術は焼成速度向上のための通気性と燃焼効率の改善を図る上で重要な技術である。すなわち、擬似粒子の粒度分布と強度、擬似粒子内の粉コークスと副原料の賦存状態などが焼結原料層の通気性、粉コークスの燃焼効率、熔融結合力に影響をおよぼし、その結果として焼結鉍の生産性を左右する。ここでは図3.1.1-16に示す焼結原料の擬似粒子化技術の内容とその開発例について紹介する。

石家庄焼結工場では精鉍粉を多配合し、微粉原料という難しい条件下で、生石灰の添加、2次ドラムミキサーでの水蒸気添加等、焼結原料の擬似粒子化を行なっているが、以下を参考に更に擬似粒子化を推進し、生産性の向上と各種原単位の低減をはかられることを望む。

### 1) 擬似粒子の構造と役割

焼結原料をドラムミキサーで造粒した後の擬似粒子は図3.1.1-17に示すように水あるいはバインダーの凝集力によって粗粒の核粒子の回りに微粉が付着したものである。核粒子には1mm以上の鉍石、返鉍、粉コークスなどが、付着粉には0.50mm以下の鉍石、粉コークス、副原料などが属する。

原料の擬似粒子化性は擬似粒子化指数(GI)<sup>1)</sup>や通気度指数(JPU)<sup>2)</sup>などで評価される。つまり、造粒した原料を湿潤状態でふるって擬似粒子の粒度分布を測定し、更に各粒度毎の擬似粒子を水洗して真粒子の粒度分布を測定する。各粒度毎の擬似粒子内の粒度構成は図3.1.1-18のようになり、この図より以下のことがわかる。

- i. 0.50mm以下の微粉が1mm以上の核粒子に付着して擬似粒子を形成する。
- ii. 0.50~1.0mmの中間粒子は擬似粒子化にほとんど寄与せず、遊離粉として存在する。

図3.1.1-19に示す造粒前後の粒度分布の変化から(1)式の擬似粒子化指数(GI)を計算する。

$$GI = \left( \frac{A_1 - B_1}{A_1} + \frac{A_2 - B_2}{A_2} \right) \times 100 \quad (1)$$

GIは0.50mm以下の粉が付着した割合を表わすことになる。

GIが増加すると、擬似粒子の粗粒化が進むため、焼結原料層の充填密度が減



少して、図 3.1.1-20 に示すように通気性が向上する。通気性を表わす指数 ( J P U : Japanese Permeability Unit ) は (2) 式で表わされる。

$$J P U = V \left( \frac{h}{\Delta p} \right)^{0.6} \quad (2)$$

ここで、 $V$  は空塔流速 ( $m/min$ )、 $h$  は原料層厚 ( $mm$ )、 $\Delta p$  は圧力損失 ( $mm H_2O$ ) を意味する。図 3.1.1-20 の関係より焼結原料の擬似粒子化性は  $G I$  でも  $J P U$  でも評価できることがわかる。

$J P U$  の増加、すなわち通気性の向上に伴って焼結時間が短縮し、その結果として生産率が向上する。この場合、擬似粒子には粒度分布だけでなく図 3.1.1-21<sup>3)</sup> に示す湿潤帯でも乾燥帯でも崩壊しないような強度も要求される。

以上述べた擬似粒子化性は造粒機の種類やその運転条件、鉍石の銘柄や粒度、水分量、バインダーの銘柄などの影響を受ける。

一方、擬似粒子の粒度分布や強度を改善するだけでなく、焼成速度を支配する粉コークスの粒度とその賦存状態を適切にする必要がある。つまり、粉コークスの粒度を調整するのはもちろん、粉コークスと燃焼用空気との接触を促進できるように粉コークスを擬似粒子の外周部に賦存させることが必要となる。

## 2) 擬似粒子化に影響する要因

### A. 造粒機の種類とその運転条件

#### (A) ドラムミキサー

ドラムミキサーで造粒する場合、原料の転動状況は図 3.1.1-22 に示すように占積率とフルード数の影響を強く受けるため、擬似粒子化速度が同図右図のように異なってくる。<sup>4)</sup> ここで占積率はドラムミキサー内で原料の占める体積割合(%)で、フルード数： $N_{Fr}$  は (3) 式で表わせる。

$$N_{Fr} = D \cdot N^2 / g \quad (3)$$

$D$  はドラムミキサーの内径 ( $m$ )、 $N$  はドラムミキサーの回転数 ( $1/sec$ )、 $g$  は重力加速度 ( $m/sec^2$ ) である。

したがって擬似粒子化を促進するにはドラムミキサーの運転条件を適切な範囲にしなければならない。

## (B) パンペレタイザー

超微粉の原料、たとえばペレットフィード鉱石や所内発生ダスト（焼結工場、高炉、転炉などで発生するダスト）を焼結原料に用いる場合には、パンペレタイザーでミニペレット化し、それをドラムミキサーの前後に追加して混合・造粒を行なっている例がある。<sup>1),5)</sup>

## B. 鉱石の銘柄

鉱石の擬似粒子化性はその銘柄と粒度分布によって異なる。粒度分布を同一とした三銘柄の鉱石をドラムミキサーで造粒し、その通気性を測定した。<sup>6)</sup> その結果、図3.1.1-23に示すようにJ P Uは添加水分量の影響を強く受け、その最大値は鉱石a、b、cの順に小さくなる。いかえれば擬似粒子化性は鉱石a、b、cの順に悪化することになる。これは鉱石表面の凹凸、開気孔率、脈石中の粘土成分の含有量などと対応している。

鉱石を混合した場合には、図3.1.1-24に示すように擬似粒子化性は核鉱石と付着粉鉱石の銘柄の影響を受けるが、特に擬似粒子化性の悪い鉱石cの影響が強く表われる。<sup>6)</sup> また、その粒度が細かくなると、擬似粒子化は更に悪化する。

したがって擬似粒子化を促進するには核鉱石と付着粉鉱石の銘柄やそれぞれの粒度分布を適切にしなければならない。

## C. 添加水分量

図3.1.1-23に示した結果より、J P Uが水分の影響を強く受け、しかもJ P Uが最大となるときの水分量は鉱石b、a、cの順に減少することがわかる。これは同図に示すように添加水分量の増加に伴って擬似粒子の構造が吸収域、造粒域、過剰水分域へと変化していくからである。吸収域では添加水分のほとんどが鉱石内部に吸収され、造粒にあまり寄与しない。造粒域では添加水分が鉱石表面に付着して造粒が促進される。過剰水分域では添加水分が粒子間の空隙を埋めるだけである。<sup>8)</sup>

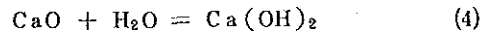
それぞれの領域における限界水分量は鉱石の特性に依存しており、特に吸収域の限界水分量は鉱石の銘柄によって異なる。すなわち、鉱石bが最も多孔質であるため、吸収水分量が多くなり、その結果として添加水分量が最も多くなっている。

したがって擬似粒子化を促進するには鉍石の銘柄に応じて適正な水分量を添加しなければならない。

#### D. バインダー

擬似粒子の粒度分布の改善だけでなく、その強度も向上させるには、水の表面張力をバインダーの添加によって増大させるか、あるいはバインダーの凝集力を活用する必要がある。バインダーとしては生石灰、消石灰、ベントナイト、セメント、セメントクリンカーなどが検討され、図3.1.1-25に示すようにバインダーの添加によって擬似粒子への付着粉の割合が多くなり、生産率が向上している。<sup>1)</sup>

実操業では効果と価格の面から生石灰が使用されているが、生石灰を添加すると原料中の水分と反応して(4)式のように $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を生成しバインダーの役割を果たす。



$\text{CaO}$ の水和反応量は図3.1.1-26、27に示すように生石灰の粒度や水温の影響を強く受けるため、擬似粒子化を促進するには1mm以下の生石灰の割合を80%以上、<sup>9)</sup>水温を80℃程度<sup>10)</sup>にすることが重要である。

生石灰を添加した擬似粒子の強度は焼結機のパレット上に装入されて湿潤帯になるまで $\text{Ca}(\text{OH})_2$ によって保持されている。乾燥帯では焼結反応後の燃焼排ガス中の $\text{CO}_2$ と反応して(5)式のように $\text{CaCO}_3$ を生成して乾燥時の擬似粒子の強度を保持する。<sup>11)</sup>



以上のように擬似粒子化を促進するには生石灰の添加量、粒度、水温を適切な範囲にしなければならない。また石家荘鋼鉄廠の生石灰は活性度が低く、現状ではあまりバインダー効果は少ないと思われる。活性度も上げる必要がある。

#### E. 粉コークスの粒度と賦存状態

粉コークスの粒度は図3.1.1-28、29に示すように燃焼性のみならず、通気性や混合性、グレートの焼付きなどにも影響するため、実操業では通常平

均粒径を1~2 mm<sup>12)</sup>、5 mm以上を6~10 %<sup>9)</sup>としている。

擬似粒子中の粉コークスの賦存状態とその燃焼速度の関係を明確にするため、肥田らは図3.1.1-30に示すようなモデル粒子を用いて粉コークスの燃焼速度を測定した。<sup>11)</sup> その結果では、粉コークスの賦存状態によって燃焼速度が非常に異なる。S社K製鉄所では図3.1.1-31に示すように粉コークスが擬似粒子内に取り込まれている状態を粉コークスの分割添加によって改善し、燃焼効率を高めることができた。<sup>1)</sup>

### 3) 擬似粒子化技術の開発例

焼結原料、中でも特に微粉原料の擬似粒子化を促進するために、(1)バインダーの添加 (2)擬似粒子化性の良い核原料や微粉原料の添加 (3)粉コークスの分割添加 (4)パンベレタイザーの使用などが実施あるいは検討されている。以下にその内容を記す。

#### A. ドラムミキサーによる擬似粒子化

##### (A) バインダーの添加

微粉原料を多配合する場合に限らず、通常の原料を用いる場合でも生産性の維持・向上のために現在各社とも0.5~2.0%の生石灰を添加している。

K社M製鉄所では図3.1.1-32に示すようにペレットフィード鉍石を40%配合しても消石灰を1.5%添加することにより、生産率を無添加時の1.5倍にすることができたと報告している。<sup>13)</sup>

##### (B) 核原料の添加

微粉原料の配合率が高くなると、ドラムミキサーの内壁に付着しやすくなるため、S社M製鉄所では擬似粒子化性の良い1~7mmの褐鉄鉍や返鉍を核原料として添加することによって微粉原料の擬似粒子化を促進している。<sup>14)</sup> その結果では図3.1.1-33に示すように平均粒径50μの微粉原料を10%配合しても褐鉄鉍を約20%配合することにより、バインダーを添加することなく生産率を向上することができた。

##### (C) 微粉原料の添加

S社Y製鉄所では転炉ダストの特長(微粒子で金属鉄を含み、放置すると発熱・団塊化する)を生かして、ペレットフィード鉍石、ダスト、

砂鉄などの微粉原料の擬似粒子化を促進している。<sup>15)</sup> その結果、図3.1.1-3.4に示すように微粉原料を7.8%まで配合しても通気性を悪化させることなく使用することができた。

K社では擬似粒子化性の良い鉱石aの微粉(平均粒径:  $32\mu$ )を擬似粒子化性の悪い鉱石cと配合して焼結原料層の通気性を向上させることができたと報告している。<sup>16)</sup> すなわち、図3.1.1-3.5に示すように鉱石aの微粉を23%添加することにより、無添加時の約1.5倍の通気性を得ることができた。

#### (D) 粉コークスの分割添加

S社K製鉄所では粉コークスを1次ドラムミキサーに20%、2次ドラムミキサーに80%ずつ分割して添加することにより粉コークスの燃焼速度を高めることができ、図3.1.1-3.6のように生産率を22%向上させることができた。<sup>1)</sup>

#### B. パンペレタイザーによる擬似粒子化

S社H製鉄所では1次ドラムミキサーと2次ドラムミキサーの間にパンペレタイザーを設置して焼結原料の全量を造粒することにより、図3.1.1-3.7に示すように通気性を向上させることができた。<sup>17)</sup> この通気性の改善によって焼結原料層厚を550mmから750mmに変更することができ、その結果として粉コークスとコークス炉ガスの原単位を低減することができた。

N社F製鉄所では図3.1.1-3.8に示すように平均粒径0.42mmの所内発生ダストに生石灰を3%添加してパンペレタイザーでミニペレット化している。<sup>5)</sup> このミニペレットを焼結原料に3%配合しても生産率を約10%向上させることができた。

以上、焼結原料の擬似粒子化技術が焼結鉄の生産性を維持・向上する上で基盤となる技術であるということを述べた。中でも特に擬似粒子化性の悪い微粉鉄石を配合する場合には極めて重要な技術となる。今後とも、使用鉄石の銘柄変動に対応して生産性と品質の維持・向上ならびに省エネルギー化を図る上で擬似粒子化技術の果たす役割は更に大きくなると考えられる。

[ 参 考 文 献 ]

- 1) 古井、香川、川頭、沢村、菅原、宇野、藤原： 製鉄研究 (1976) (288)  
P.11797
- 2) 下村： 富士製鉄技報、9 (1960) (4) P.389
- 3) 相馬、和島、細谷、田代： 鉄と鋼、68 (1982) (15) P.2200
- 4) 川頭、阿部、鈴木： 鉄と鋼、63 (1977) (4) S.22
- 5) 山本、塩原、服部、清水、小松、高木： 日本鋼管技報、(1985) (108)  
P.1
- 6) 出口、木村、小泉、水上、村田、土屋： 鉄と鋼 71 (1985) (10)  
A.177
- 7) 肥田、伊藤、岡崎、佐々木、梅津： 鉄と鋼 68 (1982) (15) P.2166
- 8) 佐藤、吉永、一伊達、川口： 鉄と鋼 68 (1982) (15) P.2174
- 9) 上仲、徳嵩、花生、伊藤、渋谷、前花： 神戸製鋼技報 34 (1984) (4)  
P.17
- 10) 渋谷、丹羽、中尾、谷中、黒沢、竹元： 鉄と鋼 67 (1981) (12)  
S.656
- 11) 肥田、佐々木、榎戸、梅津、飯田、宇野： 鉄と鋼 68 (1982) (3)  
P.400
- 12) 重見、小林、池田： 製鉄研究 (1968) (264) P.8377
- 13) 奥山、近藤、田中、福留、山崎、兎玉： 鉄と鋼 66 (1980) (11)  
S.673
- 14) 松岡、相馬、和島、三国、中川： 鉄と鋼 68 (1982) (11) S.717
- 15) 青野、磯崎、池田、大山、新井田、岩田： 鉄と鋼 71 (1985) (12)  
S.799
- 16) 出口、木村、福岡： 鉄と鋼 71 (1985) (12) S.800
- 17) 福田、姫田、前渋谷、吉田、佐々木、佐藤、奈須野、阿蘇、芳賀： 鉄と鋼  
70 (1984) (4) S.30

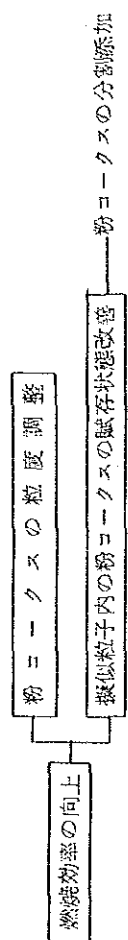
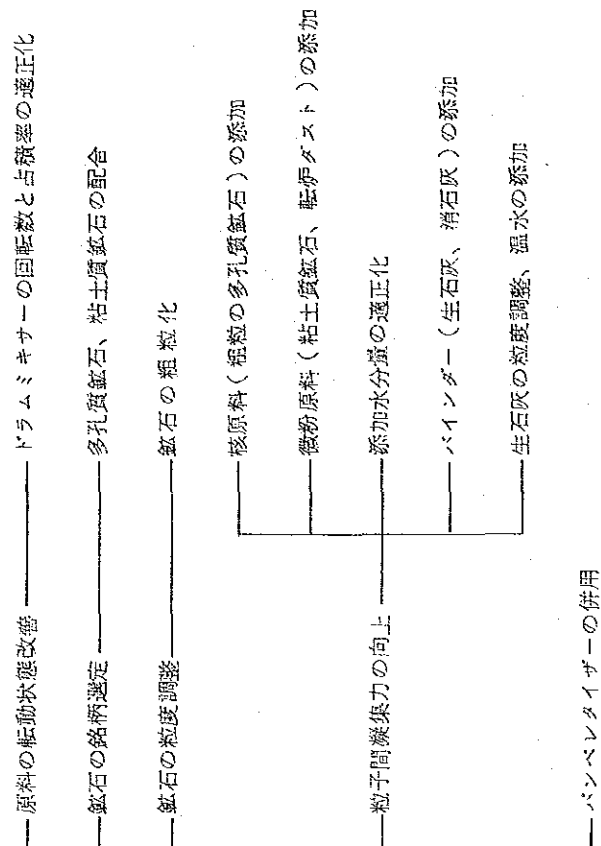
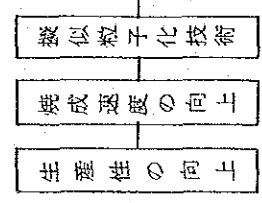


図 3.1.1-16 擬似粒子化技術の構成要因



図 3.1.1-17 擬似粒子の模式図



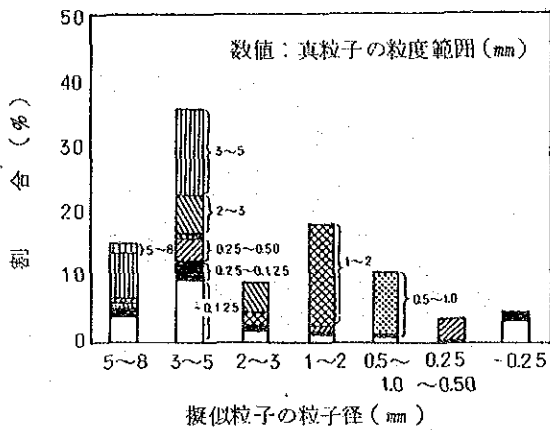


図3.1.1-18 擬似粒子内の粒度構成

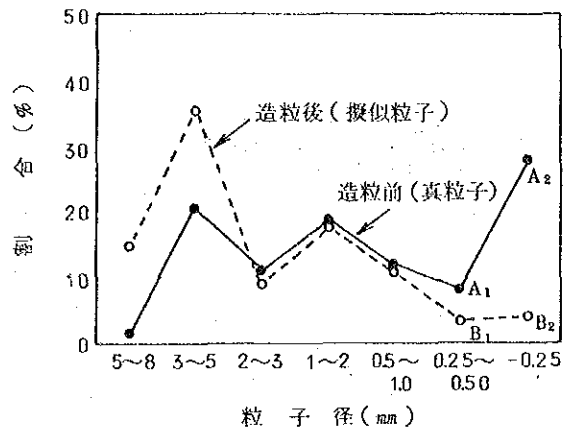


図3.1.1-19 造粒前後における粒度分布の変化

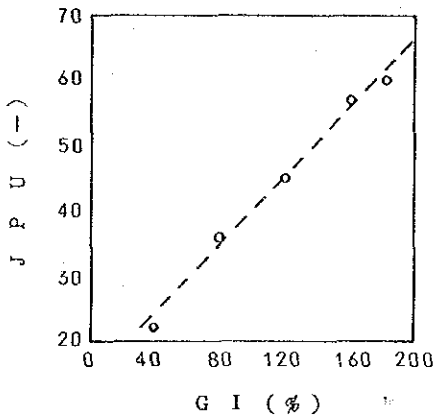


図3.1.1-20 擬似粒子化指数 (GI) と通気度指数 (JPU) の関係

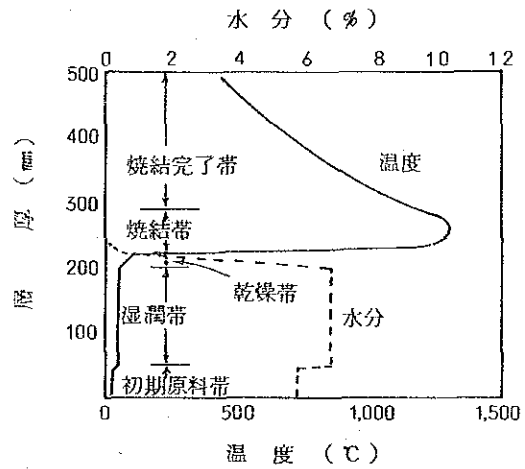


図3.1.1-21 焼結原料層内の温度分布と水分分布

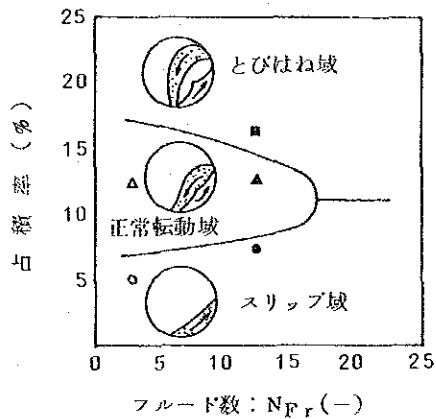
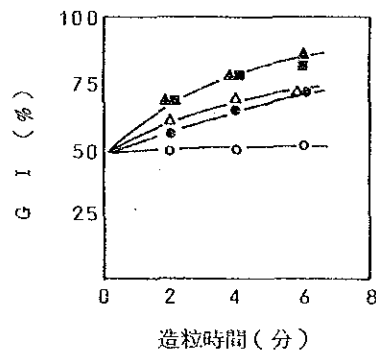


図3.1.1-22 ドラムミキサー内における原料の転動状態とその擬似粒子化速度





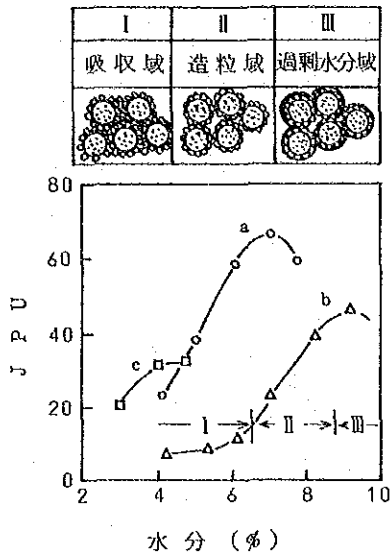


図 3.1.1-23 通気性におよぼす  
鉍石の銘柄と水分の  
影響

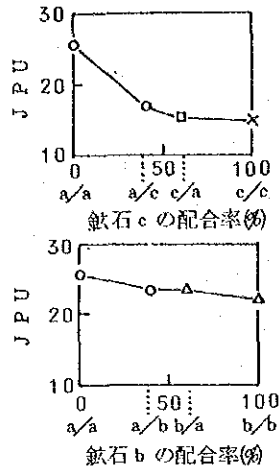


図 3.1.1-24 通気性におよぼす鉍石  
配合率の影響  
( $\circ/\circ$  : 1-5mm鉍石  $\Delta/\Delta$  : 0.5mm鉍石)

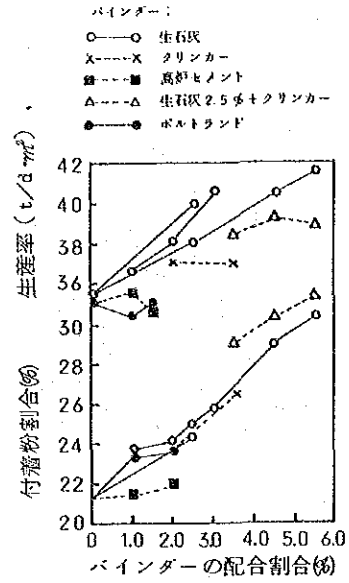


図 3.1.1-25 付着粉割合と生産率  
におよぼすバインダー  
添加の影響

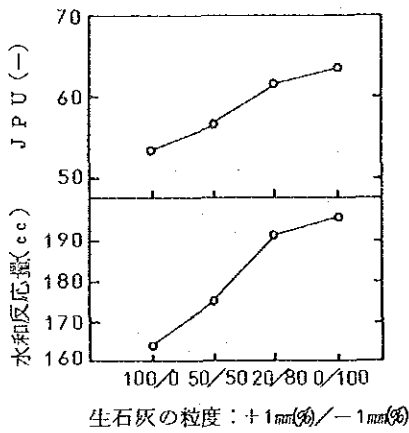


図 3.1.1-26 生石灰の水和反応量と  
通気性におよぼす生石灰  
粒度の影響

試 料 : 25g  
水和反応 : 40℃の水1ℓで10分間  
試 薬 : 4N-HCl

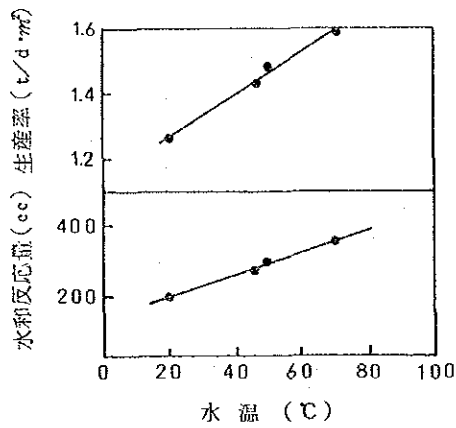


図 3.1.1-27 生石灰の水和反応量と生産率  
におよぼす水温の影響

50g  
2ℓの水で3分間  
4N-HCl

項目	粒径 (mm)					
	5	3	1	0.5	0.25	0.25
燃焼性			←→			
通気性	←		→			
混合性						→
グレート焼付き						→
最適粒度			←→			

図3.1.1-28 粉コークスの最適粒度

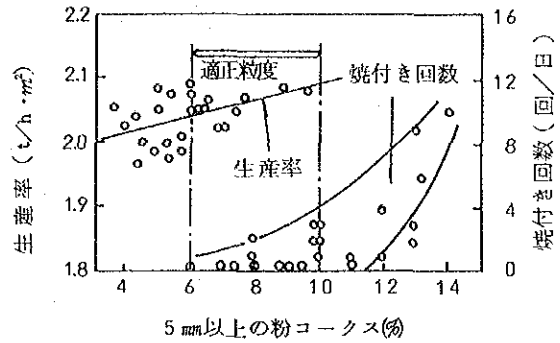


図3.1.1-29 生産率とグレートの焼付きにおよぼす粉コークスの粒度の影響

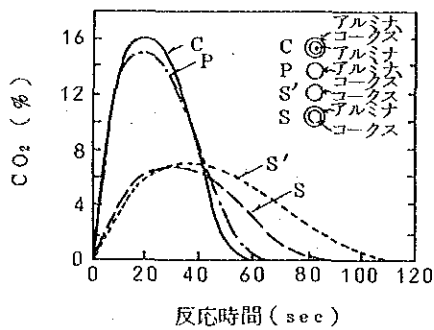


図3.1.1-30 燃焼速度におよぼす粉コークスの賦存状態の影響

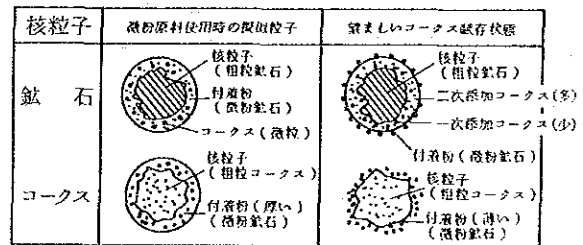


図3.1.1-31 擬似粒子中の粉コークスの賦存状態

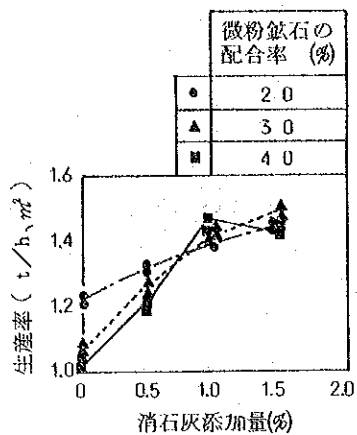


図3.1.1-32 微粉鉍石多配合時の生産率におよぼす消石灰添加の影響

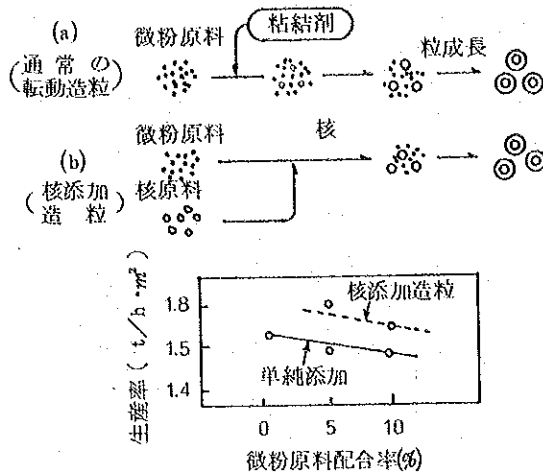


図3.1.1-33 核添加造粒法の考え方とその実績

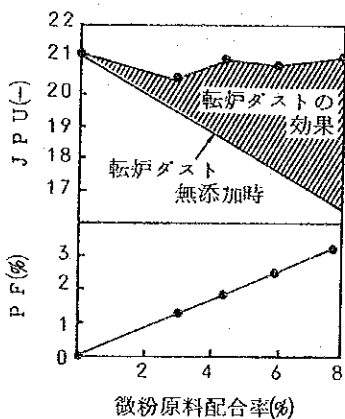


図3.1.1-34 転炉ダストによる擬似粒子化性の改善

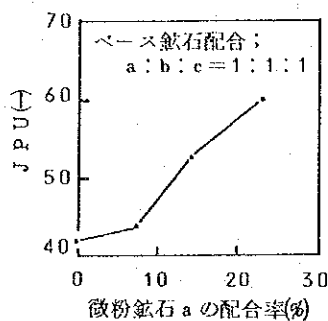


図3.1.1-35 擬似粒子化性の良い微粉鉍石の添加による通気性の改善

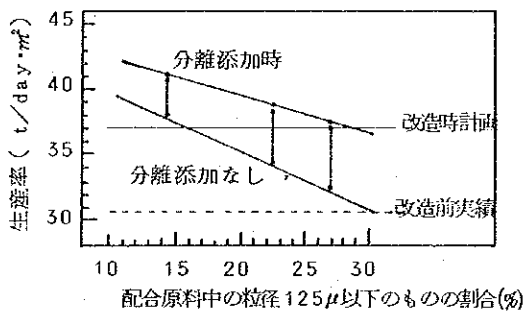


図3.1.1-36 生産率におよぼす微粉原料の割合とコークス分割添加の影響

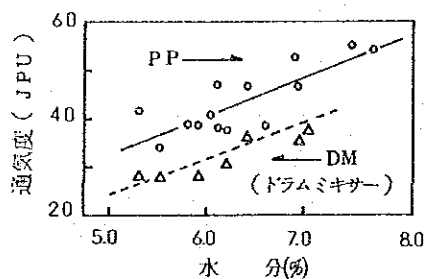


図3.1.1-37 パンペレタイザー (PP) による擬似粒子化

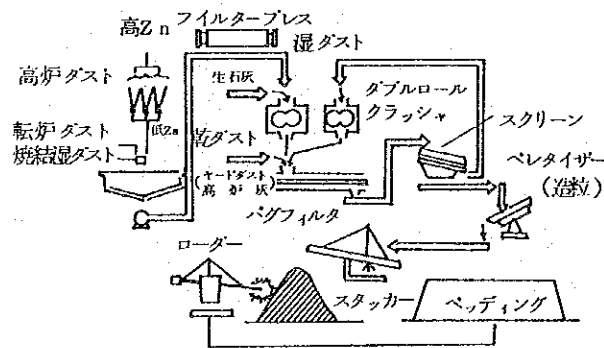


図3.1.1-38 ダスト造粒プラントの設備フロー

### (3) 燃料原単位（ブリーズ・無煙炭）の低減

燃料原単位の構造式は次のように示される。

$$k = \frac{C}{1-C} \times \frac{1}{\pi}$$

ただし k : 燃料原単位  
C : 燃料配合率  
π : 鍋歩留

従って燃料原単位を低減するための手段は、燃料配合率を低下させる方法と鍋歩留を向上させる方法に大別できる。前者は鉄鉱石の熱的な特性・石灰・ドロマイト等の配合率、水分率などの原料の構成によって決まる部分と燃料を均一に効率よく燃焼させて熱効率を上げる部分および点火炉・保熱炉から、代替的に供給される熱量を増す部分とから成り立っている。また後者は均一焼成を促進する部分と全体の強度を上げて返鉱発生を抑える部分および設備改善によって成品系での返鉱発生を物理的に抑える部分とから成り立っている。また焼成技術でこれを改善する場合にはこれらを媒介するものとして焼結ベッド内の通気性と原燃料の賦存状態が重要な役割をはたしている。図 3.1.1-39 にそれぞれの具体的手段を示した。焼結プロセスが燃料の燃焼で成り立っている以上、これらの手段のほとんどが生産性の向上、高温性状（低温還元粉化、被還元性、軟化溶融性）にも大きな影響を与える。またそれぞれは相互に関連してある場合には排反的に作用する場合もあり、燃料原単位のみではなく、生産性、高温性状も考慮して適正値を見い出す必要がある。以下ではいくつかの例について紹介する。

#### 1) 原燃料賦存状態の改善

パレット上への原燃料の供給は通常ドラム・フィーダー、スローピング・プレートを経て行なわれる。この場合、原料粒度はパレットの下方ほど粗く、ブリーズの量は上方に多く偏析する傾向がある。従ってこれらの特性をうまく利用して焼成を制御する必要がある。

燃料原単位の低減（点火炉燃料を除く）

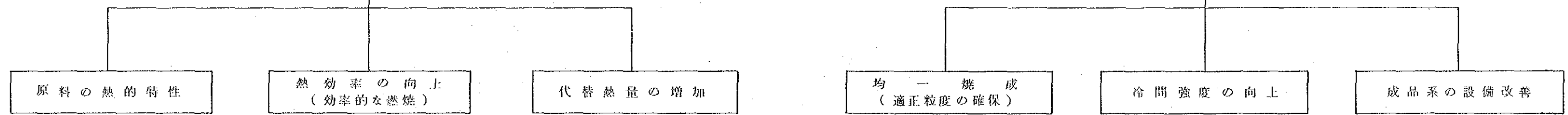
$$k = \frac{c}{1-c} \times \frac{1}{\pi}$$

k: 燃料原単位  
c: 燃料配合率  
π: 鍋歩留

燃料配合率の低下

鍋歩留  $\left( \frac{\text{成 品}}{\text{新 原 料} + \text{返 鉄}} \right)$  の向上

(返鉄の減少)



原料の熱的特性

- 鉄鉱石熱的特性
  - FeO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CO<sub>2</sub>結晶水
- 石灰石ドロマイト等の配合率
- 水分率

熱効率の向上  
(効率的な燃焼)

- 装入層厚の増加
- 燃料粒度の適正化
- 原燃料賦存状態の改善
  - スローピングプレート角度、材質
  - ドラムフィーダー高さ
  - 原料2段装入
  - 燃料分割添加

代替熱量の増加

- FeO源増
  - マグネタイト、スケール等
- (○点火強度の増)
- 高炉乾ダスト増
- 脱亜鉛湿ダスト増

均一焼成  
(適正粒度の確保)

- 上部脆弱層の減少
  - 点火強度の増加
  - 装入層厚の増加
  - 保熱炉の利用
  - 押スローラー
- パレット幅方向のパラッキ低減
  - 分割ゲート(ドラムフィーダー上部カットオフプレート)
  - 密着グレート・バー
  - 押スローラー、スキー
  - 給鉄ホッパー原料堆積形状
- むら焼け焼成の回避
  - 擬似粒子化の促進

冷間強度の向上

- 鉄鉱石溶融特性
- 平均成分調整
  - SiO<sub>2</sub>↑、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>↓
  - 生成スラグの量・質
- 微粉部(-125μ)成分調整
  - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>↓、CaO/SiO<sub>2</sub>↑
  - 副原料粒度調整
  - 鉄石持込微粉調整
- 熱レベル、ヒートパターンの制御
  - ヒート・パターン制御
  - BTP(Burn Through Point)制御
- 漏風防止
  - デッド・プレート
  - サイド・プレート
  - ウェアリングプレート、シールバー

成品系の設備改善

- 成品過粉碎の防止
  - クラッシャー
  - シュート落差
- 高炉庫下限サイズの拡大

通気性、原料賦存状態

- 擬似粒子の強度と粒度分布

図 3.1.1 - 39 燃料原単位の低減手段



日本K社では、実機縮小モデルを製作し、実機原料を用いた偏析装入試験を行なった。実験フローを図3.1.1-40に示す。

偏析装入試験は、理論検討より得られた偏析諸因子をパラメーターとして行なった。

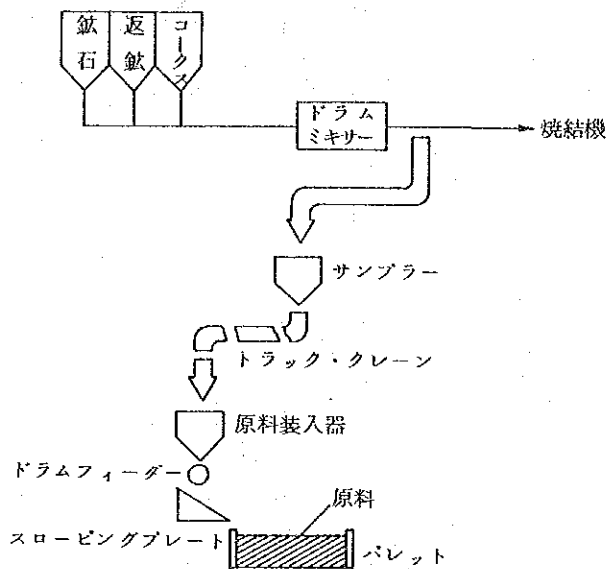


図3.1.1-40 偏析試験モデル・フロー

なお、ベッド上原料の粒度偏析を定量化するために、次のように偏析度を定義した。

粒度偏析が生じると、ベッドの上層部は細粒、下層部は粗粒傾向となる。

そこで、ベッド上下方向位置

を5つに別け、その位置と、

その位置における原料の平均

粒径との直線回帰式を求め、

この傾きを偏析度とした。こ

れを図3.1.1-41に示す。

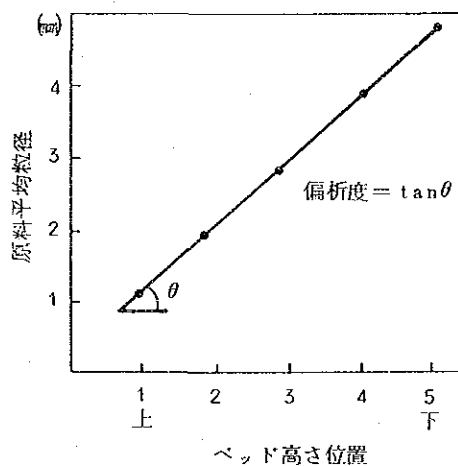


図3.1.1-41 偏析度の定義

試験結果を図3.1.1-42に示す。給鉱量は減少するほど、また、ドラムフィーダー高さについては、増加するほど偏析度が増す結果が得られた。また、スローピングプレート傾斜角については、ドラムフィーダー高さが高い場合は傾斜角の影響は小さいが、低い場合は傾斜角と偏析度は正の関係を示した。

ドラムフィーダー高さのアップ、および傾斜角のアップは、スローピングプレート下端での原料流動速度、特に水平速度成分 ( $U_H$ ) を向上させるものと考えられ、この  $U_H$  で整理すると、図3.1.1-43のような関係が得られた。

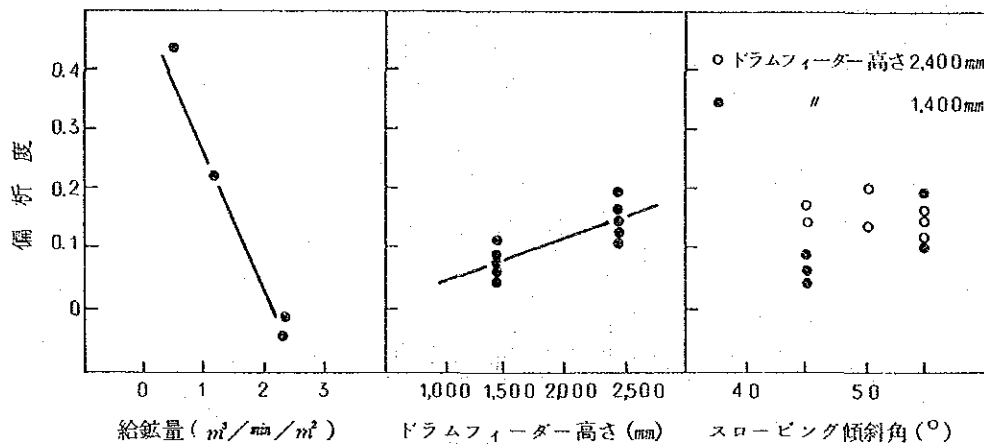


図3.1.1-42 各偏析因子と偏析度の関係

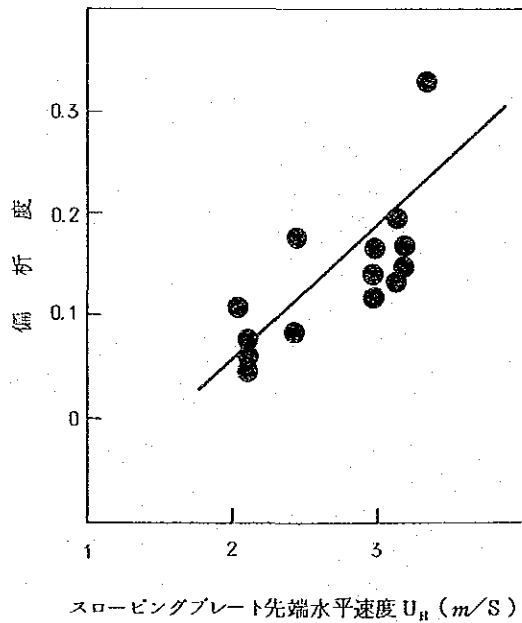


図3.1.1-43 スローピングプレート先端水平速度と偏析度



更に、前記の実機縮小モデルを用いて実機原料を装入し、下部の角鍋に偏析状態の原料を受け、この焼成試験を行なった。

原料の偏析度と焼成時間、歩留、生産率との関係を図3.1.1-44に示す。偏析度が大きくなるに従い、焼成時間が短くなり、また、鍋歩留も上昇し、その結果生産率が向上した。

一方、品質面では図3.1.1-45に示すように、偏析度が大きくなるに従いJIS還元率が上昇し、TIはやや低下傾向となるが、RDI（低温還元粉化率）はほとんど変化しなかった。

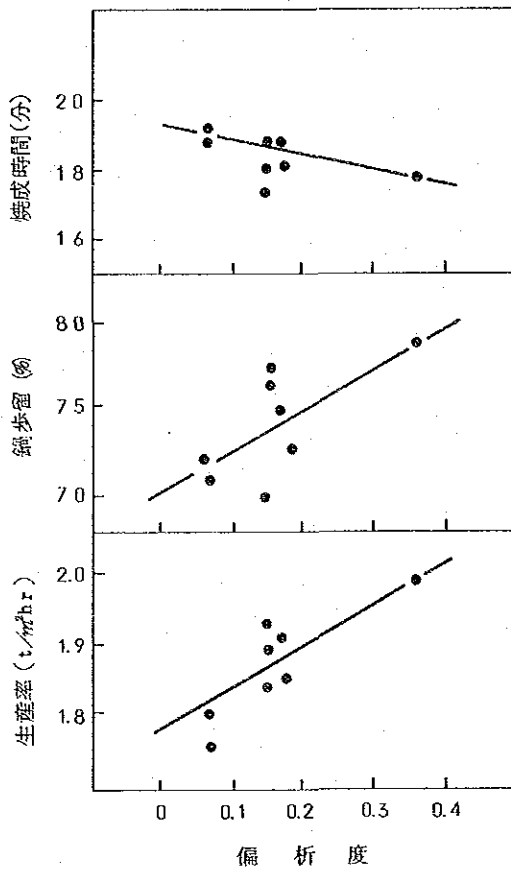


図3.1.1-44 偏析度と焼成時間、鍋歩留、生産率の関係

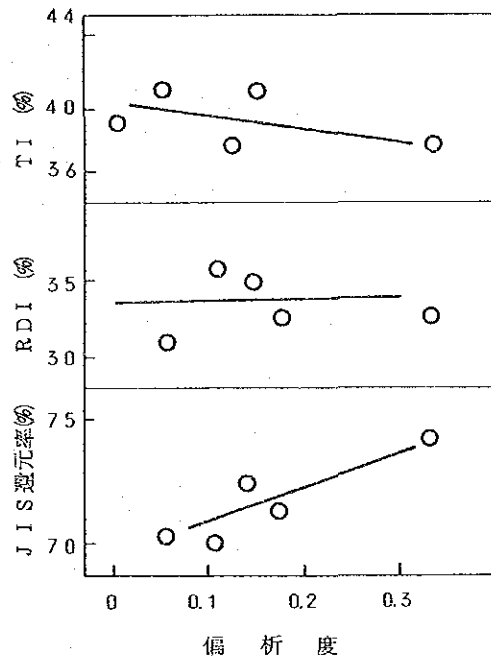


図3.1.1-45 偏析度と品質の関係

このように偏析装入を促進することにより、品質面への悪影響もなく、生産性の向上を図れることが確認されている。

一方、積極的に、パレット上の原燃料を上下方向で分割し、その構成比率を制御する方法、例えば固体燃料の配合を変えて装入する方法がある。燃料

原単位の低減に有効な手段としてパレット上の原料を高鉍層化する方法があるが(2)参照)、これを進めると上層が熱不足となり、また上層の熱が下層に供給されるため、下層部の溶融過多現象を伴ないやすい。上層の熱不足をコークスの増配または点火・保熱の強化で補うと更にこの溶融過多現象を助長する。従って下層部でのこの現象を抑えるために、上、下層部で固体燃料の配合割合を変え、下層部での固体燃料配合を減少させ、全体的に熱バランスを取りながら焼成する方法がある。この場合、原料供給系統を2系列以上(通常は2系列)を必要とする。

## 2) 上部脆弱層の減少

図3.1.1-46に焼結ベッド上・中・下層の強度分布を示す。

図から明らかにように上層はとくに強度が低い。これは点火炉内では粉コークスが燃焼するに十分な $O_2$ がないため温度だけ上昇し、また点火直後では赤熱帯が非常に薄いため通気抵抗が小さく点火炉を出ると一時に多量の空気が吸引され燃焼と表面急冷を行なうためである。

またコークスの燃焼による熱はガスの流れにより、より深い層へと移行されるので焼結ベッド表層部の温度上昇には寄与しないわけである。従って焼結ベッド表層部の温度を改善するためには点火炉出口付近のウ

インドボックスのダンパーを調整し焼結進行速度を変化させ、また点火炉の点火強度(燃料 $Nm^3/m^2$ 焼結面積)を調整したり、保熱炉を設置したりする。

擬似粒子化等でベッド内の通気性を向上させた後(2)参照)、鉍層厚を増加させることは相対的に表面の脆弱層が減少し、鍋歩留の向上となる。

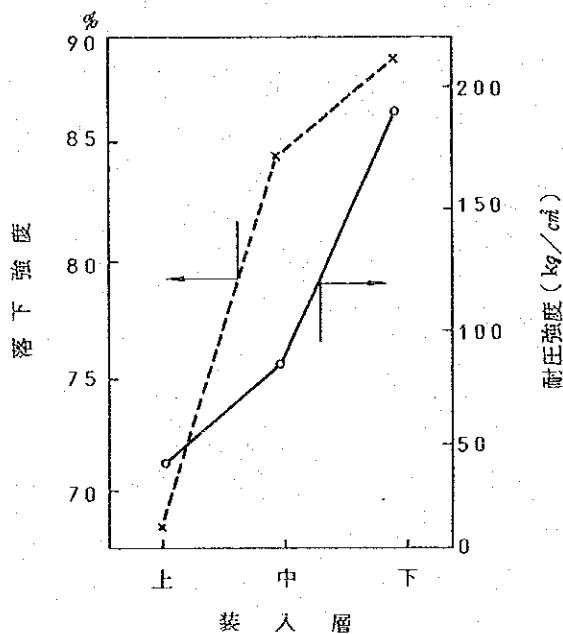


図3.1.1-46 装入各層の落下強度の変化

### 3) パレット幅方向のバラツキ低減

通常、パレット上のシンターミックスは側壁部において壁効果のため、通気性が良好である。(図3.1.1-47)そのため、中間部のヒートパターン(パレット流れ方向)と差が生じる。従って壁効果を抑制しパレット幅方向のヒートパターンを一定に制御し、全体の歩留を向上させることが重要となる。

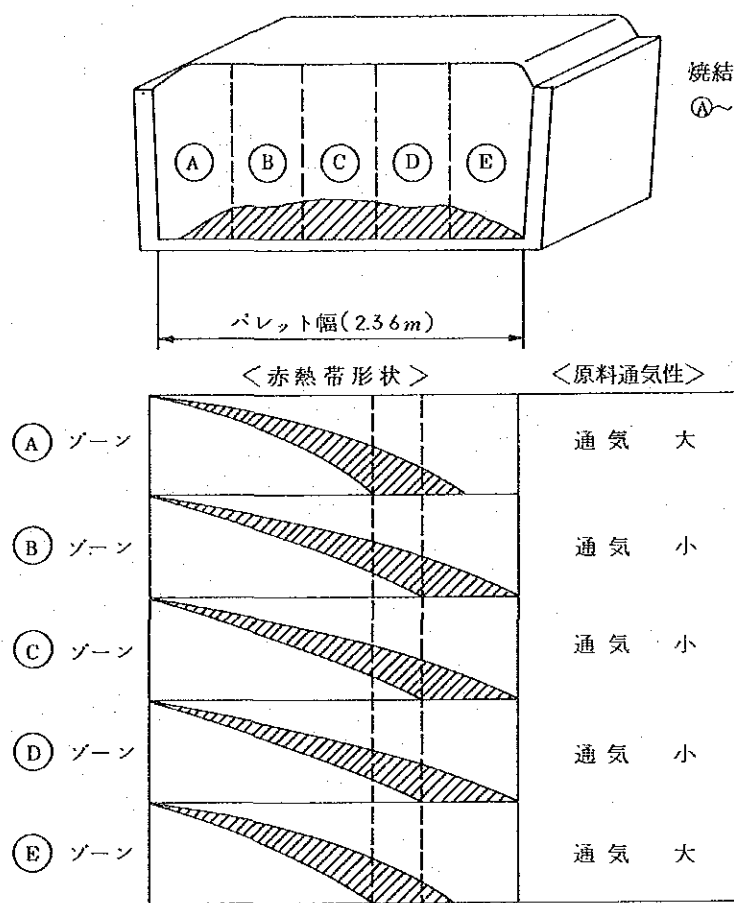


図3.1.1-47 パレット流れ方向ヒートパターン

その手段として図3.1.1-48のごとく

- i 側壁部グレート・バーを密着させる方法
- ii 側壁部をローラー等で抑えつけ装入密度を高める方法
- iii 側壁部の鉄層厚を高める方法
- iv 給鉄ホッパーへの原料供給を工夫して意図的に偏析を起す方法

等がある。また、パレット幅方向のバラツキの検出用としてパレット直下で

パレット幅方向の温度分布を測定する方法が有効である。

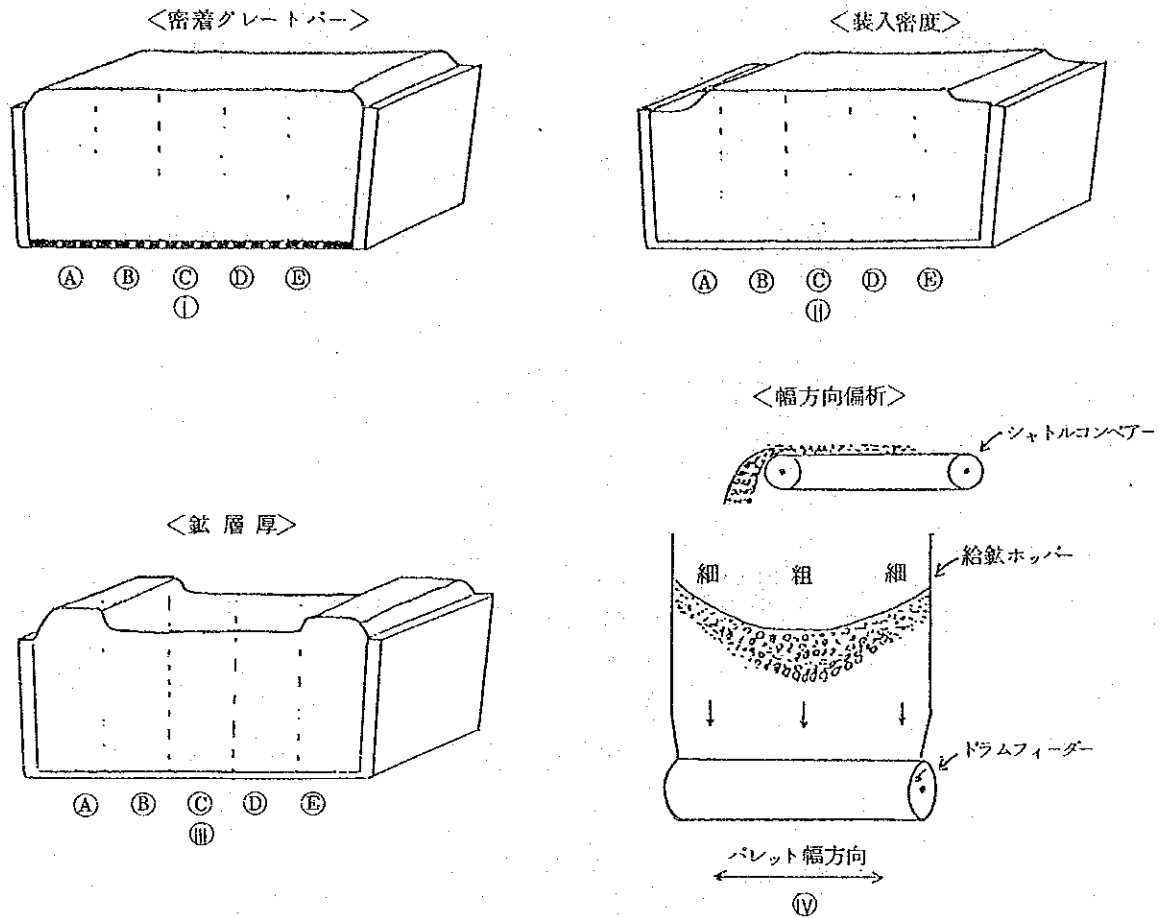


図3.1.1-48 パレット幅方向通気性制御方法

#### 4) 鉄鉍石溶融特性

焼結鉍品質は使用される鉍石の特性に強く依存している。

表3.1.1-2に日本K社で使用している鉍石の特性を示す。

鉍石を化学成分、物理性状、溶融性、鉍床の相異などからハードヘマタイト鉍石（以下ハード系鉍石）、ソフトヘマタイト鉍石（以下ソフト系鉍石）、リモナイト鉍石、マグ系鉍石に分類している。各グループの特徴は表3.1.1-3に示す通りである。

表 3.1.1-2 鈦石特性による分類

グループ	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	FeO (%)	物理性状 気孔体積 (cm <sup>3</sup> /g)	溶融性 の難易度
ハードヘマタイト鈦石	< 1.5	< 5.0	中~小	難
ソフトヘマタイト鈦石	> 1.5	< 5.0	大	やや易
リモナイト鈦石	> 1.5	< 5.0	小	易
マグ系鈦石	-	> 5.0	極小	やや難

ハード系鈦石は緻密で平滑あるいは緻密で角ばっている。またソフト系鈦石は、円盤状あるいは層状となっている。リモナイト鈦石は多孔質であり、マグ系鈦石は緻密で波紋状である。

図 3.1.1-49、図 3.1.1-50 に鈦石の脈石成分について示す。平均成分では、ハード系鈦石およびマグ系鈦石の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub> は少なく、ソフト系鈦石は多い。粒度別成分をみると、ハード系鈦石は概ね微粉部分においても変化していないが、ソフト系鈦石は脈石成分が増加している。

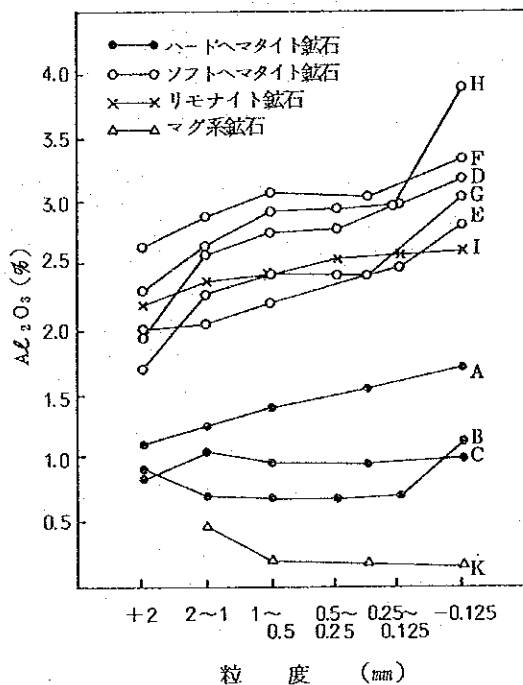


図3.1.1-49 鈦石粒度別の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量

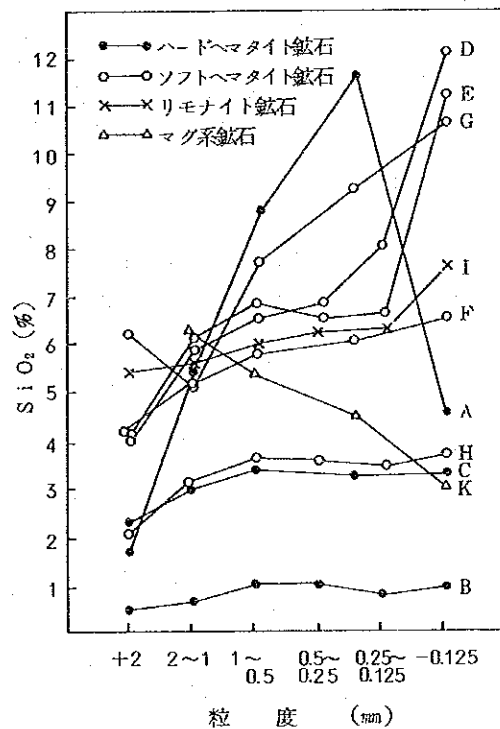


図3.1.1-50 鈦石粒度別の SiO<sub>2</sub> 含有量

表 3. 1. 1 - 3 鉍石特性一覽表

分類(銘柄)	鉍床	化学成分(%)			粒度(mm)		物理性状		溶解性(-0.5mm鉍石、雰囲気O <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> =20/80)				
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	FeO	平均粒径	調和平均	(注-1) 水分上昇長 (cm/g)	(注-2) 気孔体積 (cm <sup>3</sup> /g)	鉍石/石灰石=60/40		鉍石/石灰石=70/30		
									溶解開始 温度(°C)	溶解完了 温度(°C)	溶解開始 温度(°C)	溶解完了 温度(°C)	
(A)ハードヘマタイト	被變成	1.17	5.01	0.03	4.14	1.48	2.05	6.38	0.0305	1.260	1.280	1.330	1.538
(B) "	被變成	0.90	0.87	0.05	15.6	4.19	5.10			1.225	1.230	1.230	1,242
(C) "	被變成	0.67	2.64	0.14	7.28	1.27	1.47	9.13	0.0267	1.217	1.223	1.235	1,251
(D)ソフトヘマタイト	堆積	2.58	6.64	0.28	29.2	2.10	2.80						
(E) "	堆積	2.46	6.08	0.28	31.9	2.04	2.62	8.75	0.0418	1.226	1.234	1.304	1,315
(F) "	堆積	2.90	4.78	0.16	21.2	2.72	3.76	5.17	0.0535	1.207	1.212	1.288	1,305
(G) "	被變成	2.04	8.53	0.07	11.7	4.43	5.53	4.83	0.0487	1.215	1.218	1.260	1,280
(H) "	被變成	2.71	3.10	0.29	12.0	4.14	5.35						
(I)リモナイト	沈殿	2.44	5.79	0.12	8.3	5.94	5.94	17.75	0.0182	1.214	1.223	1,287	1,307
(J)マグ系鉍石	漂砂	3.85	4.22	25.46	99.3	1.44	1.44	1.288		1.265	1.310	1,295	1,375
(K) "	被變成	0.15	4.85	9.20	68.6	1.64	1.68	18.80	0.0086	1.220	1.228	1,251	1,260

(注-1) -0.5mm粉を円柱状に固め下端面より水分を上昇させる試験で〔(水分上昇高さ)<sup>2</sup>/時間〕で表示

(注-2) 1~2mm粉で測定

図3.1.1-51に試験ドラムミキサーにおける鉍石の造粒時間とJ P U ( Japanese Permeability Unit : 通気度 ) との関係を示す。ソフト系鉍石は造粒開始前(造粒0分)のJ P Uは高く、造粒時間が長くなるにつれて向上するが、ハード系鉍石、マグ系鉍石は造粒開始前においてJ P Uは低く、造粒時間を長くしても向上しない。これらの理由として、ソフト系鉍石は前述表3.1.1-3で示すように調和平均径が大きいこと、粘土質が多く、気孔体積 ( $cm^3/g$ ) の高いことなどが考えられる。

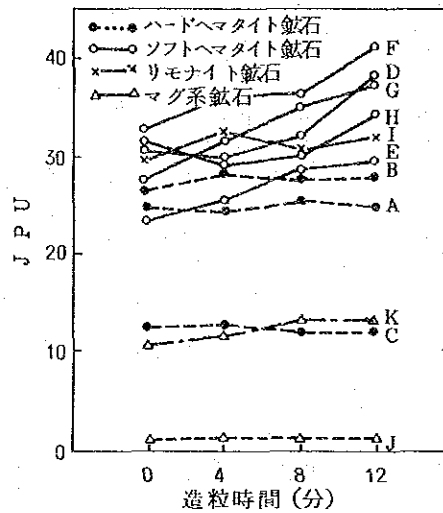


図3.1.1-51 造粒時間とJ P U との関係

図3.2.1-52に単鉍柄鉍石のヒートパターンを示す。これは、12分間造粒のもののヒートパターン結果である。ソフト系鉍石は、J P Uが高いため、

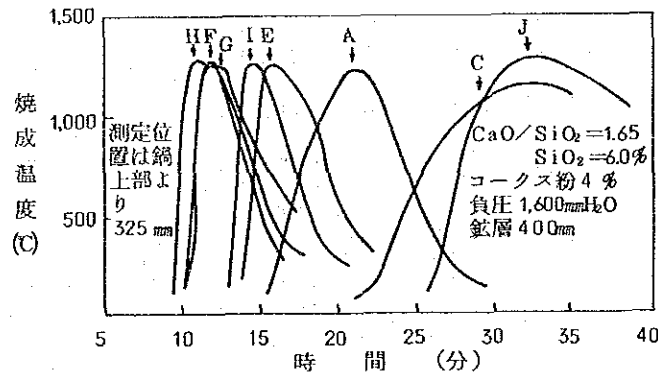


図3.1.1-52 焼成温度パターン

焼成速度が速くなり、次にリモナイト鉱石、ハード鉱石、マグ系鉱石の順となる。

表 3.1.1-4 に単銘柄鍋試験結果を示す。コークス粉 4% 一定、 $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  はすべて一定のもとで、 $\text{SiO}_2$  は鉱石持込み  $\text{SiO}_2$  のみと、珪石の配合で  $\text{SiO}_2 = 6.0\%$  にしたもの 2 種類について実施した。

- 生産率は、高い方からソフト系鉱石、ハード系鉱石、リモナイト鉱石、マグ系鉱石の順である。ソフト系鉱石の生産率が高い理由は、図 3.1.1-53 に示すように JPU が高いためである。
- SI (Shatter Index: シャッター強度) は、高い方から概ねハード系鉱石、マグ系鉱石、リモナイト鉱石の順である。図 3.1.1-54 にスラグ量と SI との関係を示す。SI はスラグ量の増加に伴ない高くなる。ハード系鉱石、マグ系鉱石のスラグ量が多い理由は焼成時において、これらの鉱石は、高温保持時間が長くなるためである。さらに、ハード系鉱石においては珪石添加の場合、オリビン系融液が生成し易くスラグ量が増加するためである。
- RDI は、高い方から順にリモナイト鉱石、ソフト系鉱石、マグ系鉱石、ハード系鉱石の順である。図 3.1.1-55 にカルシウムフェライト量と RDI との関係を示す。カルシウムフェライト量の増加に伴ない RDI は高くなる。ハード系鉱石と比較してリモナイト鉱石およびソフト系鉱石はカルシウムフェライト量が多く RDI は高い。図 3.1.1-56 に  $\text{Al}_2\text{O}_3$  量とカルシウムフェライト量との関係を示すが、リモナイト鉱石およびソフト系鉱石は  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含有量が高いためカルシウムフェライト量が増加する結果 RDI は高くなるものと考えられる。
- JIS-R I (JIS 還元率) は、高い方からリモナイト鉱石、マグ系鉱石、ソフト系鉱石、ハード系鉱石の順である。図 3.1.1-57 に鉱石核粒子の RI (還元率) を示す。また、図 3.1.1-58 に核粒子の RI 加重平均値と焼結鉱 JIS-R I との関係を示す。これらより焼結鉱の JIS-R I は鉱石核粒子の RI が大きく影響している。

以上のごとく、鉄鉱石の特性をよく調査し、その結果を踏まえてきめ細か



な操業管理を行うことが重要となる。

表 3. 1. 1 - 4 単鉬柄鍋試験結果

鉬石グループ	鉬石	珪石添加	生産率 (t/m <sup>2</sup> ・h)	生産性指数 (生産率×SI)	SI (+10%)	RDI (-3%)	JIS-RI (%)
ハードタイト鉬石	A	有	△	○	◎	◎	×
		無	△	○	○	◎	×
	B	有	○	◎	○	○	△
		無	△	×	×	×	○
	C	有	×	×	×	○	△
		無	×	×	△	×	○
ソフトヘマタイト鉬石	D	有	—	—	—	—	—
		無	○	○	△	○	○
	E	有	○	○	△	△	○
		無	○	○	○	×	△
	F	有	○	○	△	×	△
		無	△	△	△	×	○
	G	有	—	—	—	—	—
		無	◎	◎	△	○	○
	H	有	◎	◎	△	△	△
		無	◎	◎	△	×	×
リモノナイト石	I	有	△	○	○	×	◎
		無	△	△	○	×	◎
マグ系鉬石	J	有	×	×	○	○	◎
		無	×	×	○	×	◎
	K	有	×	×	◎	○	○
		無	×	×	○	○	○

(注) 本表で用いた印は次の基準に従い使用した。

生産率 (t/m <sup>2</sup> ・h)	生産性指数	SI	RDI	JIS-RI
◎ 1.9 以上	1.3 以上	80 以上	25% 以下	76% 以上
○ 1.9 未満~1.5	1.3 未満~1.1	80 未満~75%	25~30 未満	76 未満~72%
△ 1.5 未満~1.0	1.1 未満~0.9	75 未満~68%	30~35 未満	72 未満~68%
× 1.0 以下	0.9 以下	68% 以下	35% 以上	68% 以下

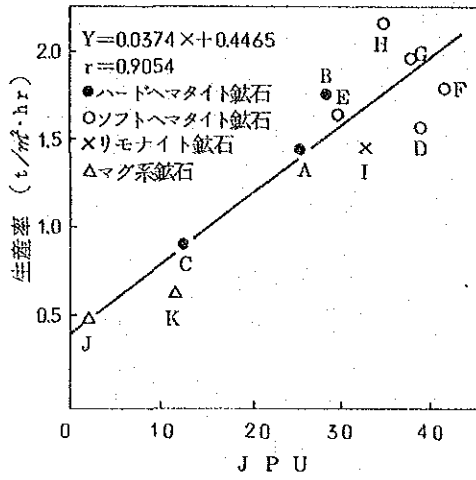


図3.1.1-53 J P U と生産率との関係

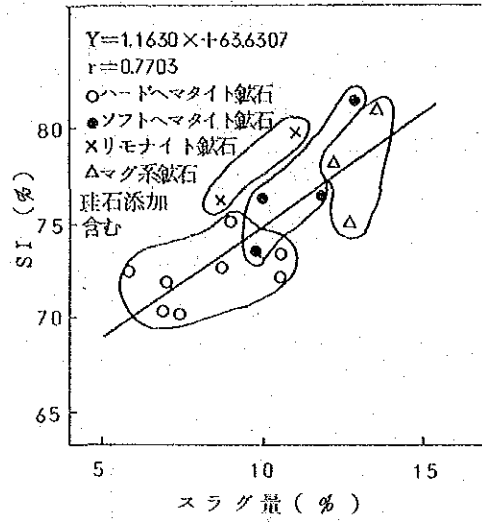


図3.1.1-54 焼結鉱のスラグ量とSIの関係

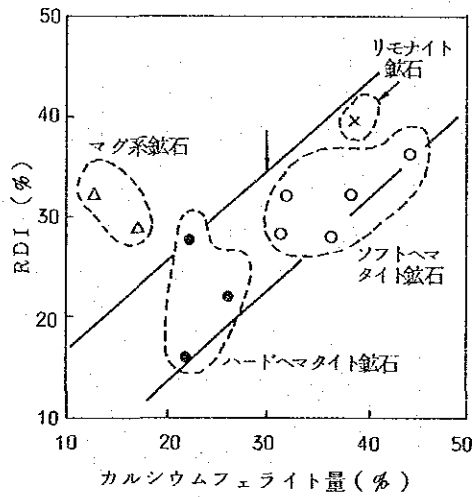


図3.1.1-55 カルシウムフェライト量とRDIとの関係

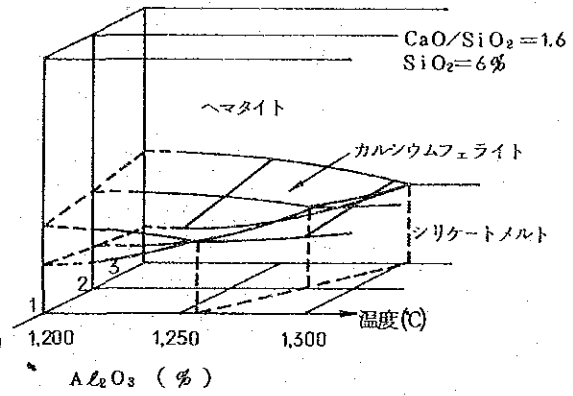


図3.1.1-56 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>量と鉱物生成量との関係

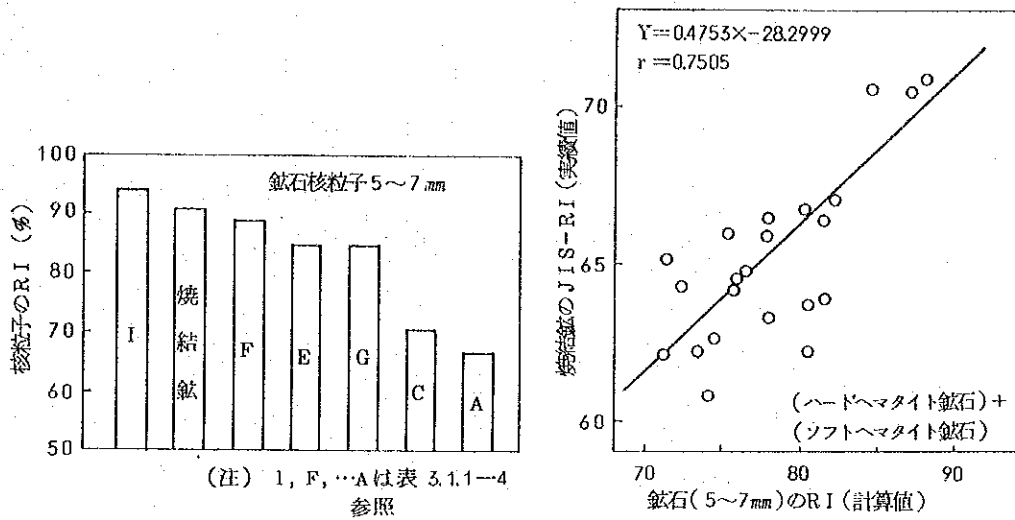


図3.1.1-57 磁石核粒子のRI

図3.1.1-58 磁石(5~7mm)のRI  
と焼結磁のJIS-RI  
との関係

5) 微粉部(-125 $\mu$ )成分調整

焼結反応においては焼成に係るシンターミックス中の微粉部分の管理が重要となる。

図3.1.1-59 は石灰石粒度の影響を鍋試験で調査したものである<sup>1)</sup>。石灰石粒度を細粒化すると生産性、品質(RDI)共に悪化し、1~3mmの粒度の

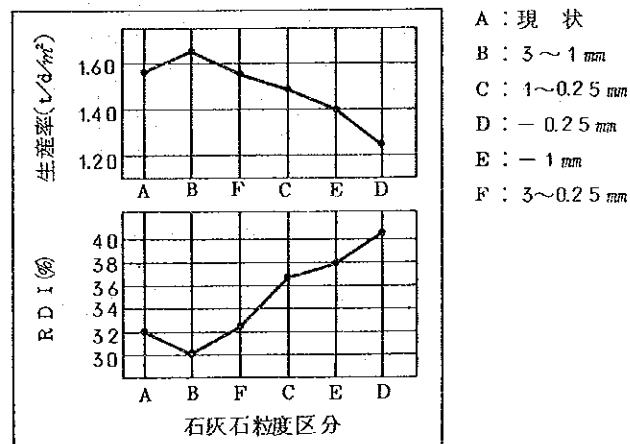


図3.1.1-59 石灰石粒度変更鍋試験結果

(<sup>1)</sup>鉄と鋼、1981年S-662)

ものが良好であった。石灰石を細粒化すると配合原料の擬似粒子化が低下し、焼結過程での通気性が低下する。その結果焼結層内において高温での酸化性雰囲気維持時間が長くなる。これらの現象が生産性、品質を悪化させると考えられる。石家荘鋼鉄廠焼結工場においては副原料粒度は調整可能であり、鉍石粉粒度との兼ね合いで、最適化する必要がある。

一方、鉄鉍石中の微粉も熔融特性と関係して重要となる。図3.1.1-60に粉鉍石中のSiO<sub>2</sub>%を粒度別に調査した結果を示す。微粉部分は平均成分と大きく異なっていることがわかる。図3.1.1-61に成品中SiO<sub>2</sub>を6%に調整して、種々の鉍石を単味で鍋試験した結果を示す。品質(RDI)と微粉部のSiO<sub>2</sub>量との良好な相関が認められる。

以上のごとく、シンターミックス中の微粉は焼結反応において重要な役割をはたしており、使用原料の各銘柄毎の特性を鍋試験等で把握することが望まれる。

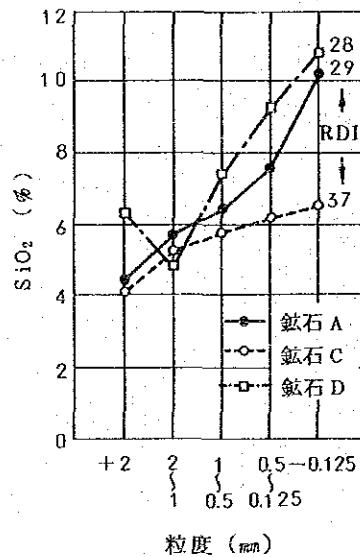


図3.1.1-60 粒度別SiO<sub>2</sub>(%)

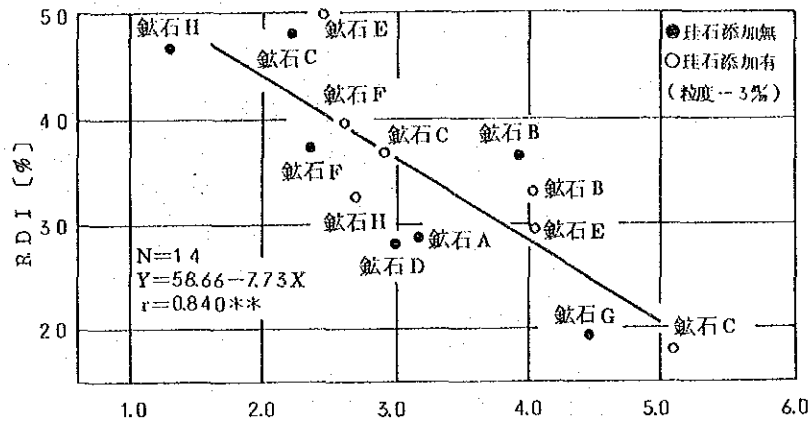


図3.1.1-61 - 2mm 鉱石および1mm珪石により  
持込まれる SiO<sub>2</sub>量(%)

6) 熱レベル、ヒートパターンへの制御

焼結性状はコークスの燃焼状態、熱履歴に大きく左右される。このため熱レベル、ヒートパターンを原料に応じて最適化することが操業管理上重要となり、そのためBTP ( Burn Through Point ) 制御やヒート・パターン制御が行なわれる。

A. B.T.P. 制御

与えられた原料条件で焼結鉱を製造する場合、焼成方法により焼結生産性、歩留、品質に大きな影響を及ぼす。

焼成状態を表わすものとして焼結の完了点 ( Burn Through Point ) があるが、これは通常温度によって検出する。

終端部の3本のウインドボックス温度を T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> ( T<sub>2</sub> > T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub> ) とすれば、B.T.Pは次式で表わされる。

$$B.T.P. = X_{n-1} - \frac{T_1 - T_3}{2(2T_2 - T_1 - T_3)}$$

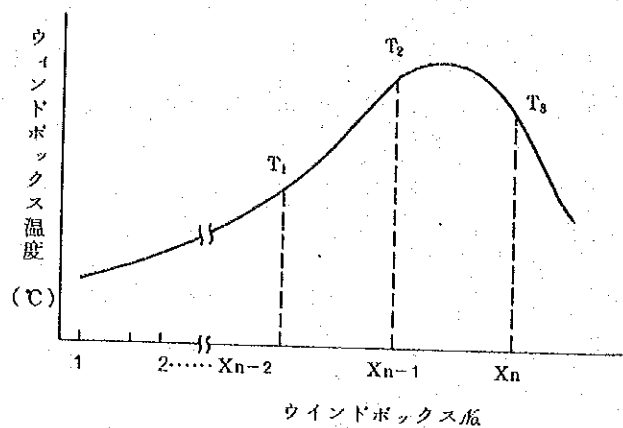


図3.1.1-62 B.T.Pの計算法の一例

この値を常時検出し、原料に応じて最適点をさがし、一定になるよう制御することが操業管理上、重要となる。

#### B. ヒート・パターン制御

焼結層内の焼成状態を把握し、適正なヒート・パターンに制御することにより、焼結鉱の歩留の向上および品質の安定化を図る方法がある。例えば図3.1.1-63に示すようにS値（1,100℃以上の赤熱部の面積）と鍋歩留との相関を求め、S値を制御する方法である。図3.1.1-63に日本K社で開発されたヒートパターン制御の考え方を示す。数学モデルにより推定された現在のヒート・パターンを操業指向（目標ヒート・パターン）に制御するためには操業条件をどの程度変更すればよいか、オペレーションガイドを提供するものである。

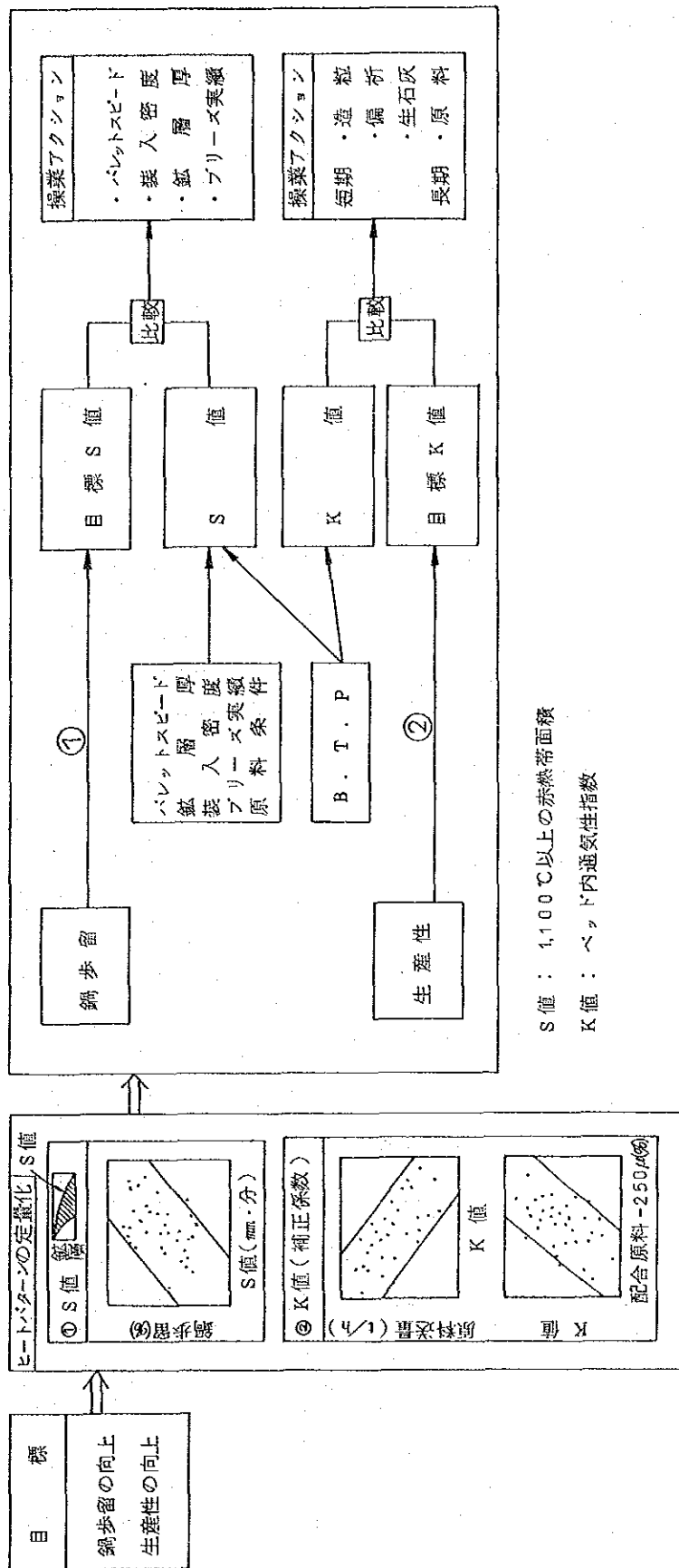


図 3.1.1-63 日本K社におけるヒート・パターン制御の考え方

#### (4) 点火炉燃料原単位の低減

##### 1) 点火炉燃料原単位の低減の考え方

点火炉による焼結原料中の固体燃料への着火は点火バーナーからの火炎と炉内の輻射熱の両方によって行なわれるが、両者からの対流伝熱と輻射伝熱による固体燃料への移動熱量（着火熱量）が重要となる。すなわち着火に必要なエネルギー低減には熱伝達率、火炎温度を高め、原料表面での温度分布の均一化が効果的である。

このような観点から点火炉燃料原単位の低減方策をまとめると、下記のごとくとなる。

##### A. バ ー ナ ー

- i 熱伝達率の増加 → 空気/ガス流速の増加（ただし原料が吹飛ばない範囲）
- ii 火炎温度の上昇 → 空気/ガス混合促進  
（ただし原料の局所溶融、焼ムラを生じない範囲）  
→ 空気予熱（クーラー排熱活用）
- iii 原料表面温度均一化 → バーナー小容量化、高密度配置  
（炉高を低くする）

##### B. 点 火 炉

- i 放散熱量低減 → 炉容積（炉高を低く）縮小

##### C. 操 業 管 理 強 化

- i 炉内圧力管理 → 炉周辺侵入空気防止  
（特にサイドウォールシール強化）  
→ 炉下侵入空気防止  
（炉下シール、2重ダンパー化）
- ii 空燃比管理 → 低空燃比
- iii 原料水分管理 → 低水分（バラツキ小）  
（原料予熱……クーラー排熱活用）
- iv 原料積付管理 → かさ密度均一化

##### 2) 実 施 例

図3.1.1-64にK社K製鉄所での点火炉燃料原単位低減の実施例を示す。

その主な内容は下記の通りである。



i. 点火炉炉内圧力調整

- i) 炉内圧力計取付
- ii) # 3、4、5 ウィンドレグダンパー全閉
- iii) デッドプレート設置
- iv) 圧力コントロール弁設置

ii. 点火バーナーの小型、多配列化と輻射温度計による熱量制御

iii. 点火炉天井高さの縮小

iv. 高 鉾 層 化

燃料原単位低下対策上、最も効果の大きかったのは、炉内圧力を大気に近づけるためのウィンドレグダンパーの全閉およびデッドプレートの設置であった。図 3.1.1-65 に効果の推移を示す。

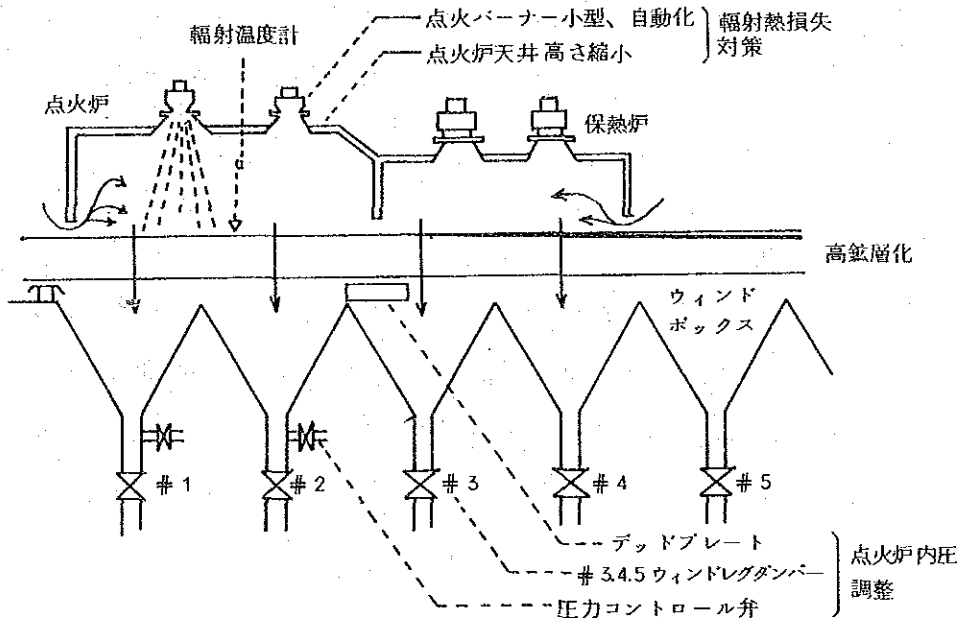
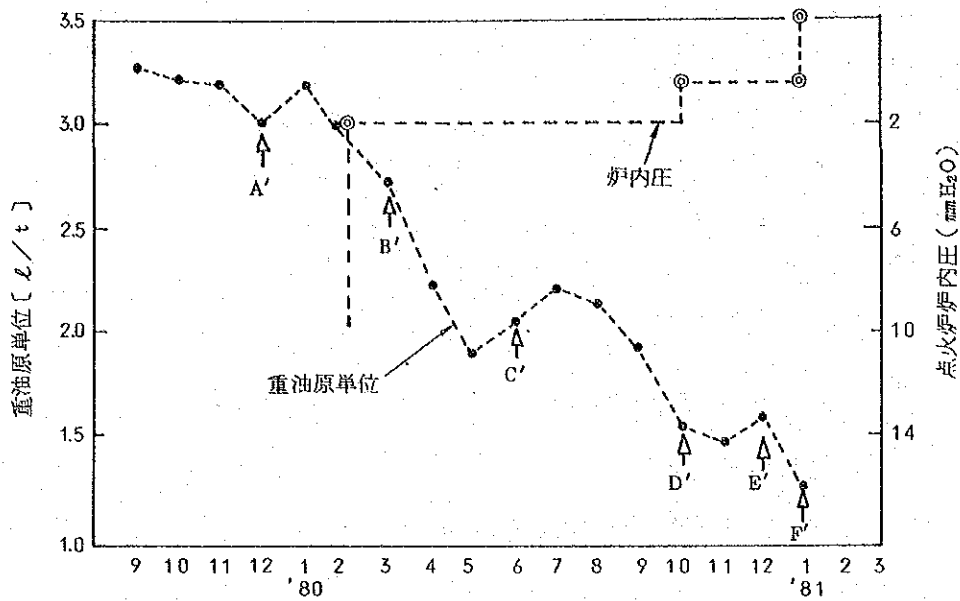


図 3.1.1-64 点火炉燃料原単位低減対策



- |                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| A' : 輻射温度計        | D' : デッドプレート設置  |
| B' : ウインドレグダンパー全閉 | E' : #2焼結機点火炉改造 |
| C' : 2次ドラムミキサー設置  | F' : #1焼結機 "    |

図 3.1.1-65 点火炉燃料(重油)原単位の推移

### 3) 点火炉用バーナーについて<sup>1)</sup>

前述のごとく点火炉を用いた焼結原料の着火において、従来からフレーム着火と雰囲気着火の2つの考え方があった。前者は、燃焼ガスの直火によって着火させる考え方で、後者は、点火炉を一種の燃焼室と考え、燃焼ガス雰囲気で着火させる考え方である。これまで、これらについて種々検討されてきたが、いずれも着火熱量の低減が表層の歩留の悪化につながるため、大幅な低減が図れなかった。

しかし、エネルギー価格の高騰により点火エネルギーコストが上昇したこと、原料給鉱部での焼結ベッド上下方向の粒度偏析技術や点火炉下風箱内圧力制御技術等により、着火熱量を低減しても歩留の悪化が防止できることから、着火熱量の低減を指向するようになった。

しかし、従来の点火炉では、以下に述べる理由で点火熱量の低減には限界があった。

- 1 従来バーナーは、ロングフレーム(1.0 m以上)であったため、点火炉高

さが高く炉体放散熱が大きい。

ii 各バーナーピッチが長いと、幅方向の着火強度にバラツキが大きく過剰着火となる。

iii 焼結原料層厚や原料水分の変化に追従できる機能がない。

以上の問題点を解決するため、新しい点火装置が開発された。

焼結原料への着火条件を明確にするため、原料充填装置に原料を入れ、下方吸引を続けながら、点火炉に見たてた電気炉で吸引温度や時間を変化させて焼結鉱焼成の可否で着火の判定を行なった実験結果を図 3.1.1-66 に示す。

ある一定の着火熱量  $Q$  を得るには、フレイム温度を高めていった方が保持時間が小さくてすみ、点火装置も小型化できるので可能な限りフレイム温度を高めるようにすべきことがわかる。

一方、焼結操業では、生産量の変更等によりパレット速度を変化させた場合、従来型の固定式バーナーでは保持時間を一定に保つことはできない。

特に生産量の増加を図る場合、パレット速度をあげるために保持時間が短くなり、これを補償するには点火エネルギーを増す必要がある。この場合、保持時間の確保はバーナー角度を調節することで可能である。

また、効率的な着火を行なうには、フレイム温度の最高点を焼結原料面に到達させる必要があるが、これに対しては、バーナー高さで調整することで可能となる。

従って、バーナーノズルから原料表面までの距離を最適化し、さらに保持時間を一定以上に保つようにバーナー角度を調節する機能が必要となる。

以上のような観点から開発された焼結点火炉用バーナーの代表例を図 3.1.1-67、68 に示す。なお点火エネルギーを下げすぎると、成品歩留が悪化するので、本バーナーの採用に当っては最適点火エネルギーを明確にする必要がある。

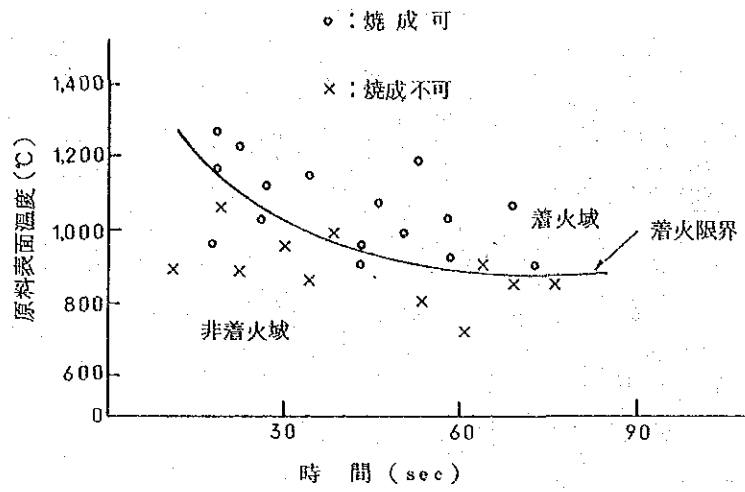


図3.1.1-66 フレーム温度と保持時間の関係<sup>1)</sup>

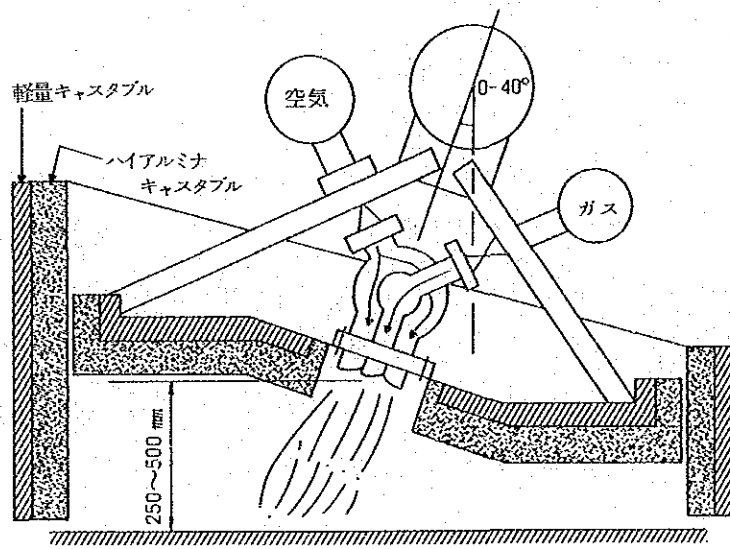


図3.1.1-67 ラインバーナー<sup>2)</sup>

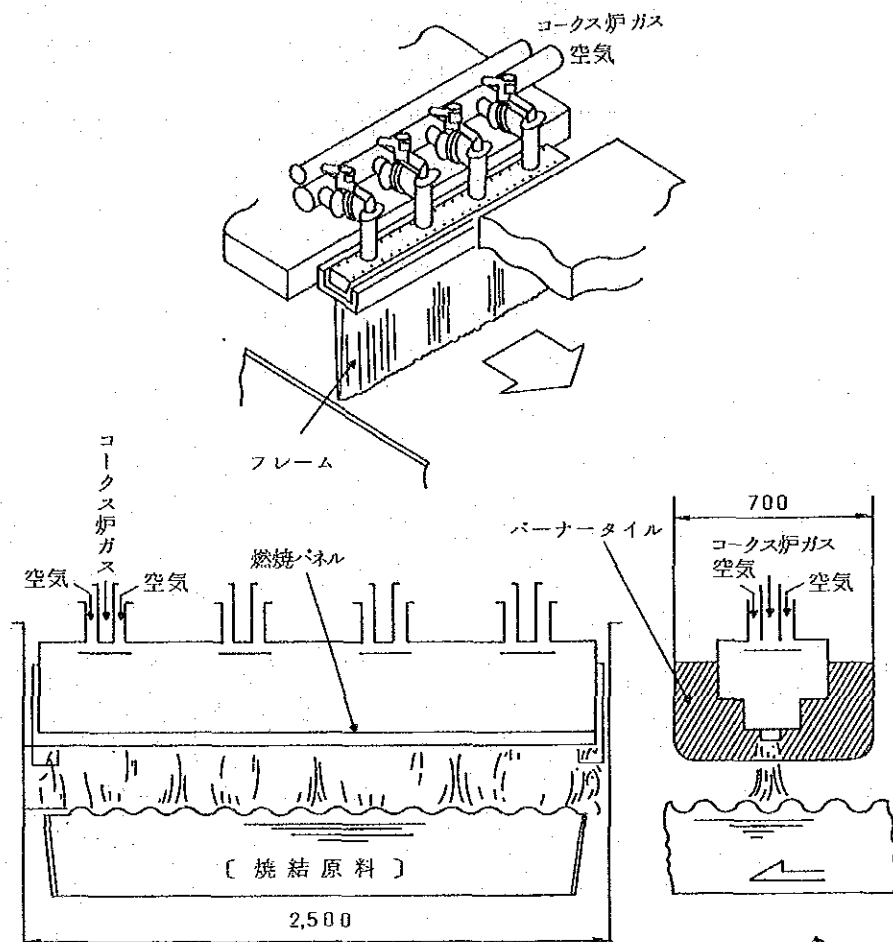


図3.1.1-68 面バーナー(スリットタイプ)<sup>3)</sup>

〔参考文献〕

- 1) 川崎製鉄技報 Vol.18 Ⅱ1 1986
- 2) 鉄と鋼 第71年 (1985) 第16号 P.1895
- 3) 鉄と鋼 第72年 (1986) 第4号 S63

(5) 工程管理、品質管理の強化

焼結工場での日常の工程管理、品質管理は成品の化学分析が主で、その他はほとんど実施されておらず、その強化が望まれる。この管理項目は原料、設備、高炉操業などの各製鉄所のローカリティー (locality) によって決めるべきであるが、参考までに日本K社K製鉄所の例を示す。

1) 原材料管理

<鉄鉱石、副原料>

種類	検査項目	頻度	備考
受入原料	(注-1) ○化学成分	○ロット毎に荷揚時 1回/500トンのサンプリング	○主要銘柄は粒度別にも測定 ○+6mm、-100mesh
	○水分		
切出原料	(注-2) ○粒度	○10日毎3回サンプリング、まとめて1回測定	○長期傾向の把握
	○水分	○3回/日のサンプルをまとめて1回測定	○乾量補正のため
配合原料 (ドラムミキサー後)	(注-2) ○粒度	○同上	○操業管理用
	○水分	○連続	○造粒管理用

<ブリーズ>

切出原料	(注-2) ○粒度	○3回/日のサンプルをまとめて1回測定	$\bar{x} = 1.7 \sim 2.0 \text{ mm}$ 2~5mm : 25~30% を目標
	○水分	○9回/日	乾量補正のため

(注-1) T, Fe, FeO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, S, P, TiO<sub>2</sub>, K, Na

(注-2) 測定粒度 +10, +7, +5, +2, +1, +0.5, +0.25, +0.125, -0.125mm

## 2) 成 品 管 理

検査項目	頻 度	備 考
化 学 成 分	9 回 / 日(注)	T.Fe、FeO、CaO、MgO、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、TiO <sub>2</sub> 、Mn、P、Pb、Zn、Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、K <sub>2</sub> O、CrただしFeOはマグネタ(Mag-Meter)
落下強度(S.I.)	"	
回転強度(T.I.)	1 回 / 日	
成 品 粒 度	9 回 / 日	+50、+10、+5mm
還元率(JIS法)	1 回 / 日	
低温還元粉化率	9 回 / 日	-3mm、-1mm

(注) 自動サンプラーを利用

## 3) センサーによる工程管理

項 目	型 式	個 数	測定頻度	測定項目	測定場所	備 考
1. 原 料 系						
1) 粉コークス水分						なし
2) 配合原料水分	2 色 赤 外 線	1	連 続	水 分	原料系ベルト上	
2. 給 鉱 部						
1) 原料通気度						なし
2) 装 入 密 度	超音波レベル計	2 台 / 基	連 続		スローピング シュート下	
3. 点 火 炉						
1) 点 火 温 度	放射温度計	1 台 / 基	連 続	ベッド表面 温 度		
2) 点 火 炉 内 圧	圧 力 計	1 台 / 基	連 続	圧 力		
4. 焼 結 機						
1) ベッド通過風量	タービン型 超 音 波 型	4	連 続	通過風速	ベッド表面	
2) ベッド内温度分布	熱電対装入方式	1 巾:5 機長:2	1 回 / 週	温 度		
3) グレート直下温度	熱 電 対		連 続	温 度	排鉱部風箱	
4) ベッド全体通気度						なし
5. 成 品 系						
1) 成 品 中 FeO	帯 磁 率 計	1	9 回 / 日	FeO %	系 外	
2) 鉱 物 組 織	画 像 処 理	1	適 宜	鉱物相、気孔	系 外	
6. そ の 他						
1) 排ガス成分	SOX: 赤 外 線 NOX: 化学発光式 O <sub>2</sub> : 磁 気 式	1 台 / 基	連 続	SOX NOX O <sub>2</sub>	主ダクト	
2) 排ガス風量						
3) 媒塵濃度	光 透 過 型	1	連 続	媒塵濃度	主ダクト	

(6) 既設設備の改善課題

第2章1.2で述べたごとく、毎週1回の割で計画停止を行ない修理・整備を行なっているにもかかわらず内因による事故停止率が12.2%と高い。ここではこれらの主要因を中心に設備上の改善課題について述べる。

1) 焼結原料切出精度

焼結工場の原料切出フィーダーはテーブル・フィーダーであるが、これは従来から焼結工場の配合工程で広く使用されてきた。しかし定容積式の切り出しであるために、供給される原料の水分、粒度などの変動によって、嵩比重が変化すればたとえ定容積供給を行なっても、当然真原料供給重量は一定でなくなる。極端な場合にはホッパー内棚吊り等で荷切れを生ずることもある。配合管理の主体が各原料の真原料重量管理であり、粉コークス、石灰石、高炉ダスト等のように供給量の変動が少しでも焼結操業に大きな影響を与える原料は供給量の絶対的変動を小さくしなければならないので、1～2%程度の誤差範囲内で定量供給を確保しようとするれば重量で供給速度を測定し、制御できる装置が必要になってくる。

このために使用されるのがコンスタントフィードウエア(C.F.W.)であり、最近の焼結工場で多く採用されているポイドメータはこの種の供給装置である。

焼結工場の近代化ではC.F.W.の採用が計画されており、焼結品位の向上が大きく期待される。

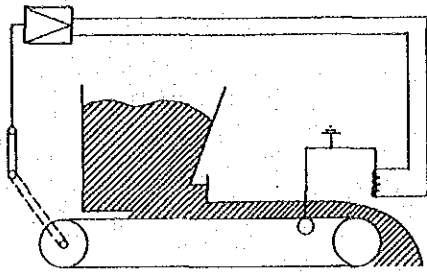
ポイドメータには図3.1.1-69に示すごとく、1段ベルト型と2段ベルト型がある。日本K社の実績によると表3.1.1-5に示すごとくその精度に大きく差があり、固体燃料、石灰石等の成品性状に大きく切出量が影響するものについては特にその精度に留意する必要がある、2段ベルト型等の精度の良いC.F.W.が望まれる。

表3.1.1-5 ポイドメータ精度(日本K社実績)

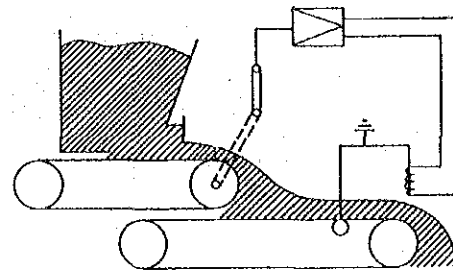
	1段ベルト型	2段ベルト型
能力検定調整時 誤差が1%以内 であった割合(注)	25～30%	75%以上

(注) 精度保証1%以下目標





1段ベルト型



2段ベルト型

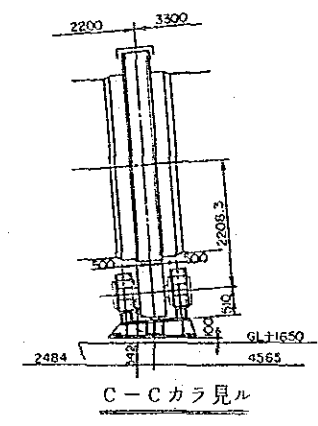
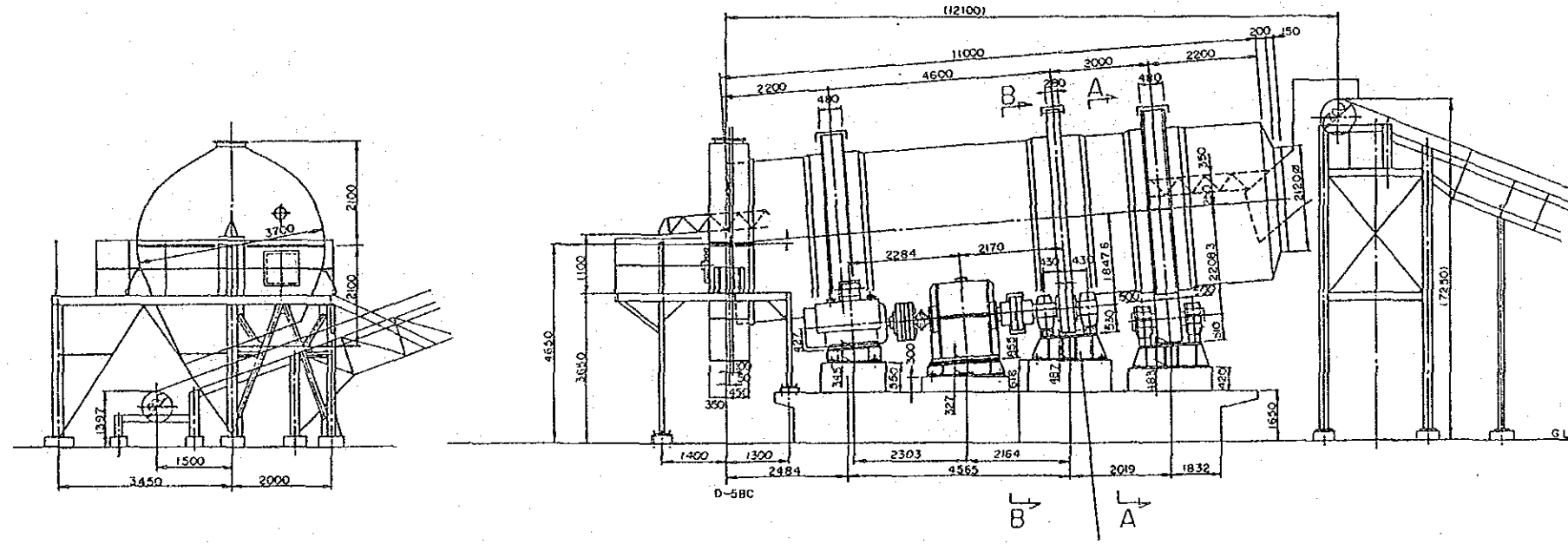
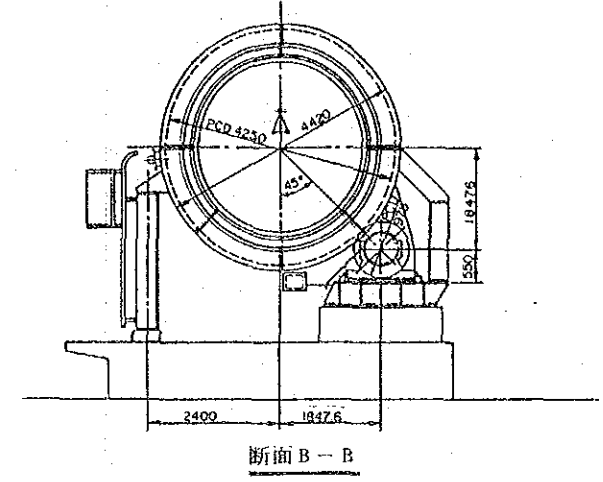
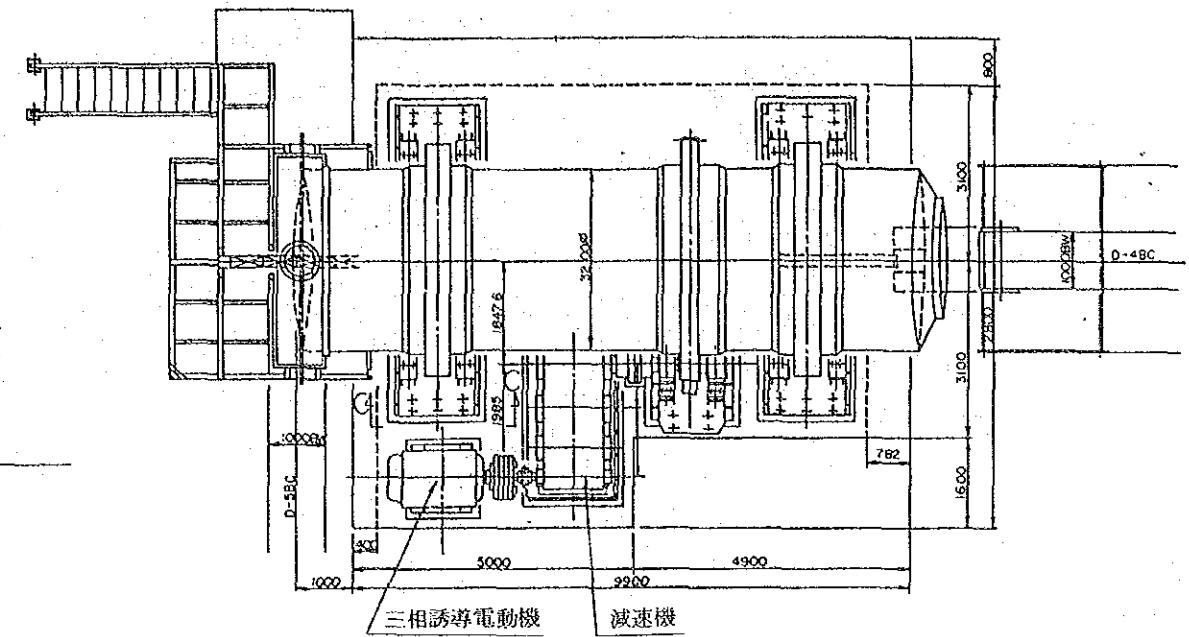
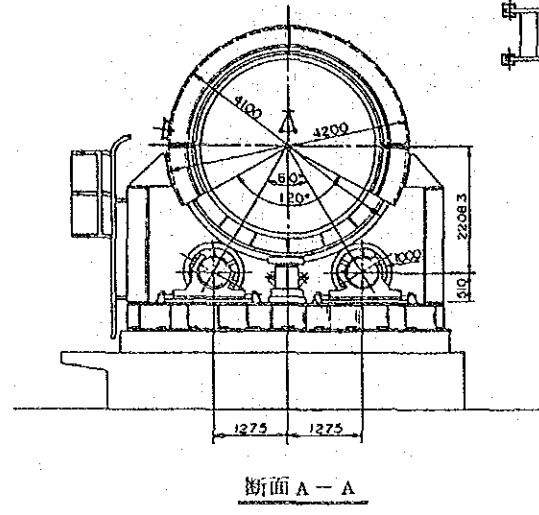
図 3. 1. 1 - 6 9 ポイドメーター

## 2) 2次ドラムミキサーの振動

焼結工場には1次、2次と2基のドラムミキサーがある。2次ドラムミキサーに振動が発生し故障の原因となっているが、両者とも構造的にはほぼ同じであり、この面からの問題は無いと考えられる。従って下記項目について調査し、原因を探す必要がある。

- i. 駆動部の芯合せは正常か
- ii. ギヤ部歯当りは正常か、偏摩耗はないか
- iii. 胴体、タイヤ、受ローラー等の強度（剛性）は十分か  
（特に胴体の荷重には付着原料、滞留原料を考慮する必要がある）
- iv. ベース・プレートの剛性と据付状態は良いか
- v. 基礎は十分か  
（2階に設置されており、特に荷重条件を満足しているか検討する必要がある。強度不足の場合、耐力壁構造を追加してはどうか）

参考までに日本K社のドラムミキサーの一例を図 3. 1. 1 - 7 0 に示す。



ドラムミキサー仕様  
 1. 処理量 常時 450 t/h  
           最大 500 t/h  
 2. ドラム回転数  
 $N=710 \times 1/35.506 \times 39/170$   
 $=461 \text{ rpm}$

図 3.1.1-70 日本 K 社におけるドラムミキサーの例



### 3) 成品熱間篩の廃止

日本ではほとんどの製鉄所で成品熱間篩を撤去、廃止している。これはホットリターンがなくなることによる原料温度低下の影響より、むしろ保全面での効果が大きく、その結果、稼働率の向上により生産性が向上している。成品熱間篩を廃止する場合、ホットリターンを多く使用しており、十分に事前調査が必要である。事前に熱間篩面をふさいで

- i. クーラー能力(充分にあると予想される)
- ii. 2次篩の能力および返鉞輸送能力
- iii. 原料温度低下による生産性への影響

等の調査を行ないその効果を判定することが肝要である。

図 3.1.1-71 に日本 K 社における熱間篩を廃止した排鉞部を図 3.1.1-72 にグリズリー (grizzly) 部詳細を示す。

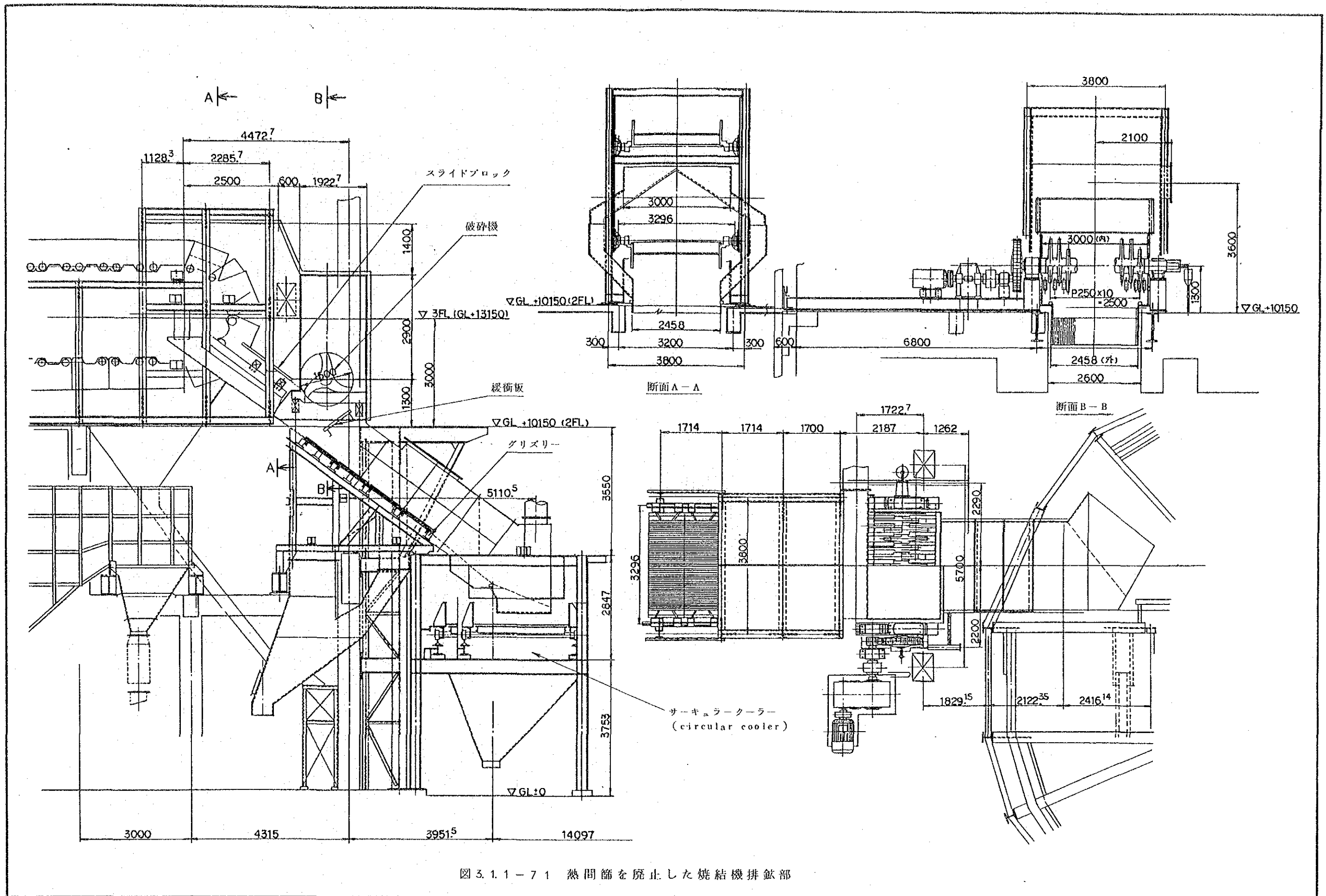
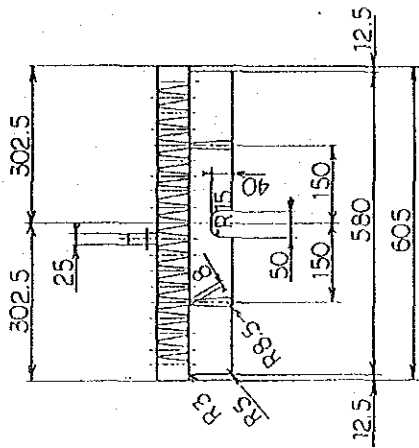
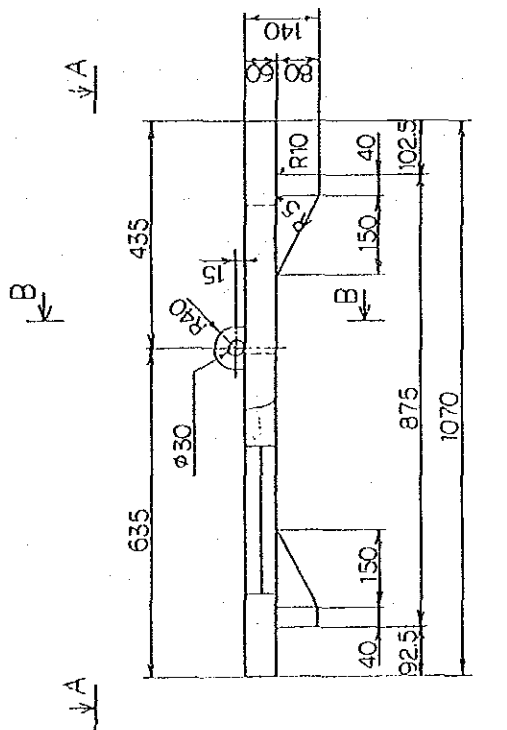
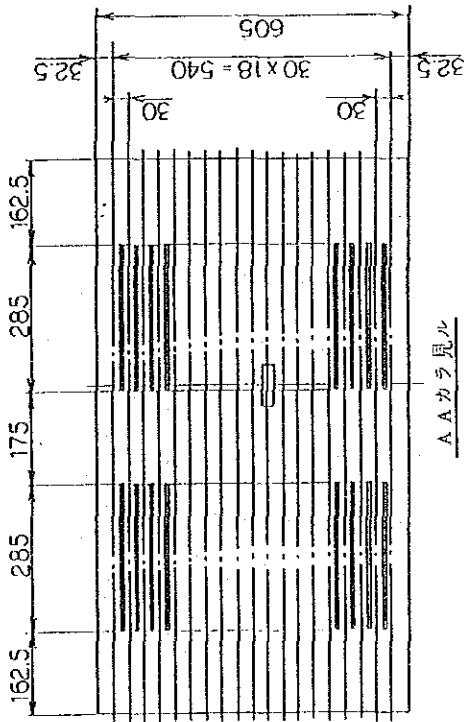


図 3.1.1-71 熱間節を廃止した焼結機排鉱部

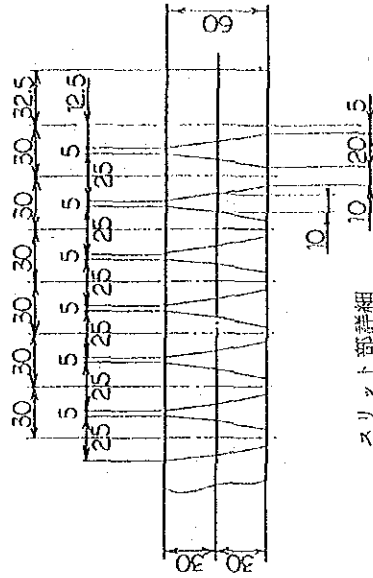




断面 B B



A Aカラ見ル



スリット部詳細

グリズリー材質

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
2.60~3.00	0.35~0.95	0.50~1.50	<0.045	<0.045	<0.40	<1.50	24.50~29.00

図 3.1.1-7 2 固定グリズリー詳細