

4) 主排風機インペラーの摩耗対策

主排風機インペラーの摩耗は排気中のダストによるものであり、根本的には主排気集塵機の集塵性能を上げる必要がある。日本において、主排気集塵機の主流は電気集塵機であるが、マルチサイクロン→主排風機→電気集塵機→煙突といったフローのものも多々ある。石家荘焼結機においてもまずマルチサイクロンを整備する必要がある。図 3.1.1-73 に日本 K 社のマルチサイクロンを、図 3.1.1-74 に耐摩耗ライニングの施工例を示した。

次に主排風機インペラーの摩耗対策について述べる。粉体の硬さを一定にし、材料の硬さを変化させた場合の摩耗量を図 3.1.1-75 に示す。

すなわち、(材料の硬さ/粉体の硬さ)と摩耗量の関係を要約すると次のようになる。

$$\begin{aligned} H_m < 0.8 H_p \text{ のとき} & \quad W_T \propto \frac{H_p}{H_m} \\ 0.8 H_p < H_m < 1.25 H_p \text{ のとき} & \quad W_T \propto \left(\frac{H_p}{H_m}\right)^{3.5} \\ 1.25 H_p < H_m \text{ のとき} & \quad W_T \propto \left(\frac{H_p}{H_m}\right)^{2.5} \end{aligned}$$

ただし摩耗量を W_T 、粉体の硬さを H_p および材料の硬さを H_m とする。

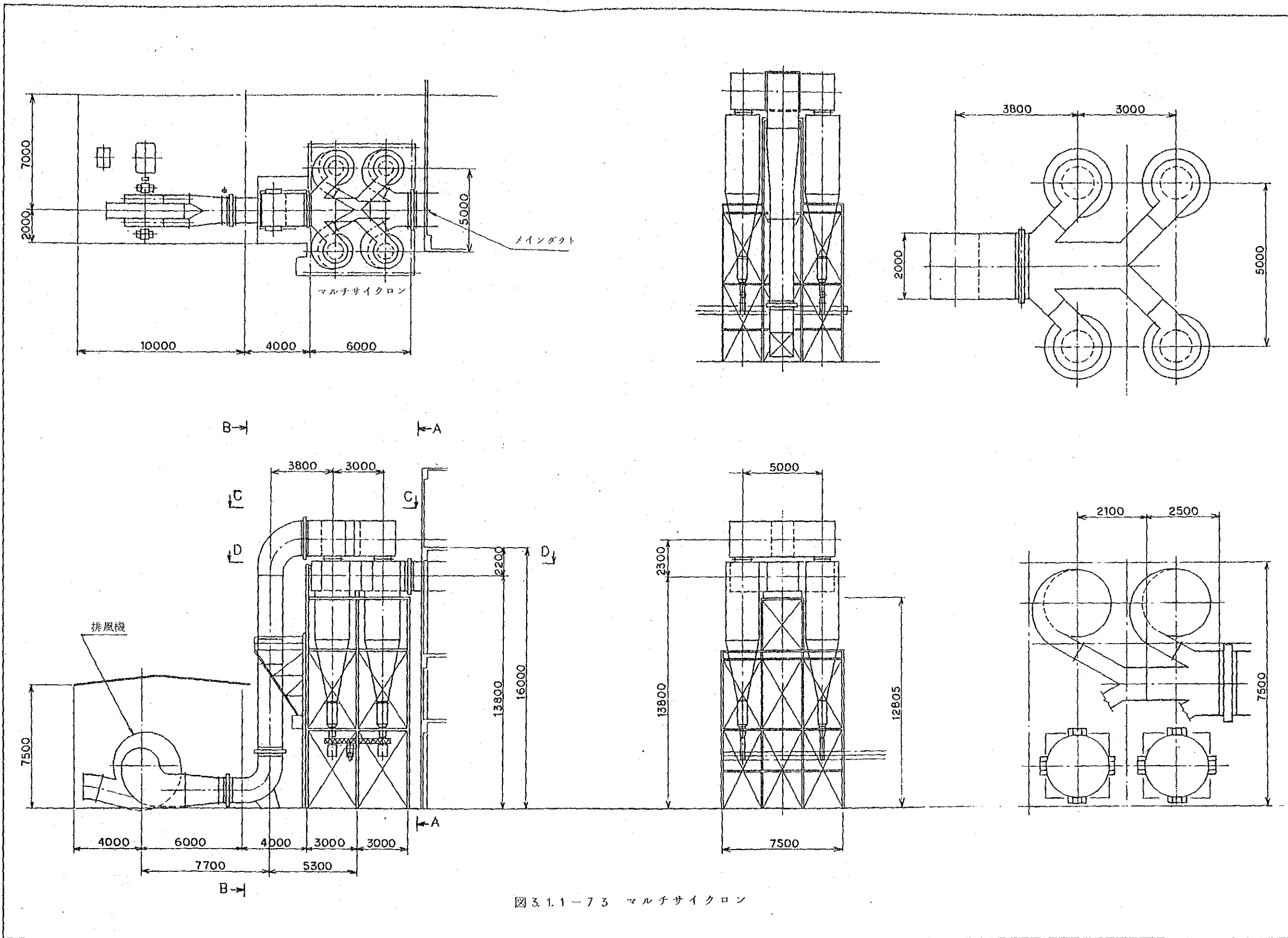
これによると、粉体の硬さが材料のそれより大きいときは摩耗量は材料の硬さに比例し、両者の硬さが等しい付近から急に摩耗量は減少していく。すなわち材料の硬さがかたくなるほど摩耗しがたくなる。

図 3.1.1-76 に西原式摩耗試験機による金属面間の接触摩耗試験結果を示す。溶接構造用高張力鋼板を使用した場合、摩耗減量は S S 4 1 (J I S 規格) に比較して約 $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{2}{3}$ 程度に減少する。

今、インペラーの材料を S S 4 1 から H T 6 0 にし、ペーンの板厚を 9 mm から 12 mm に上げた場合の摩耗寿命を計算してみる。

摩耗寿命の目安としては次のような計算式がある。

$$T = \frac{\alpha \cdot k \cdot l \cdot t}{G \cdot u^3} \times 10^9 \text{ (hr)}$$



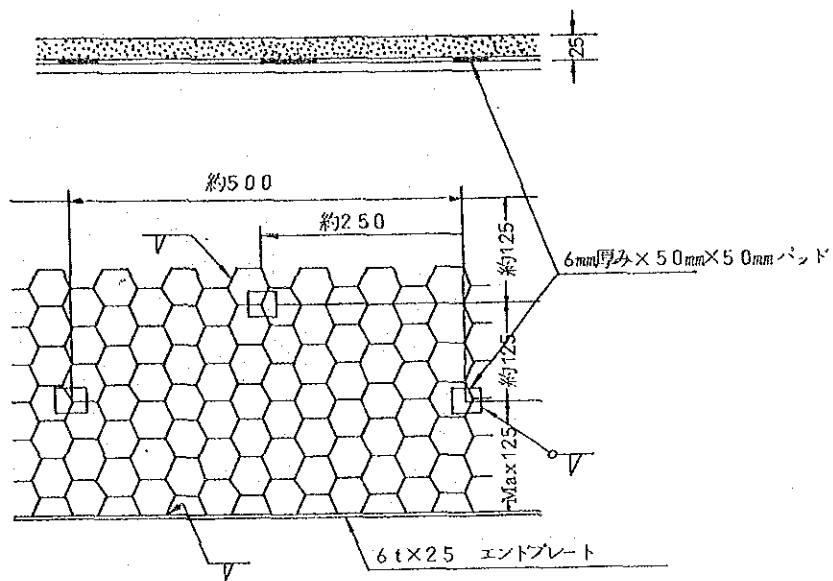


図 3.1.1-74 耐摩耗キャストブルの施工要領図

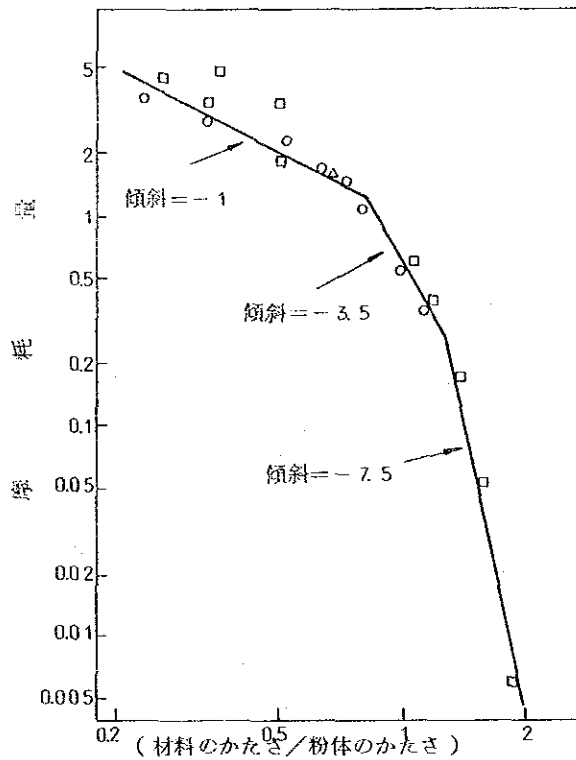


図3.1.1-75 かたさ比と摩耗量の関係
(Rabinowicz)

(注) 縦軸の摩耗量の単位は文献に明示
されていない

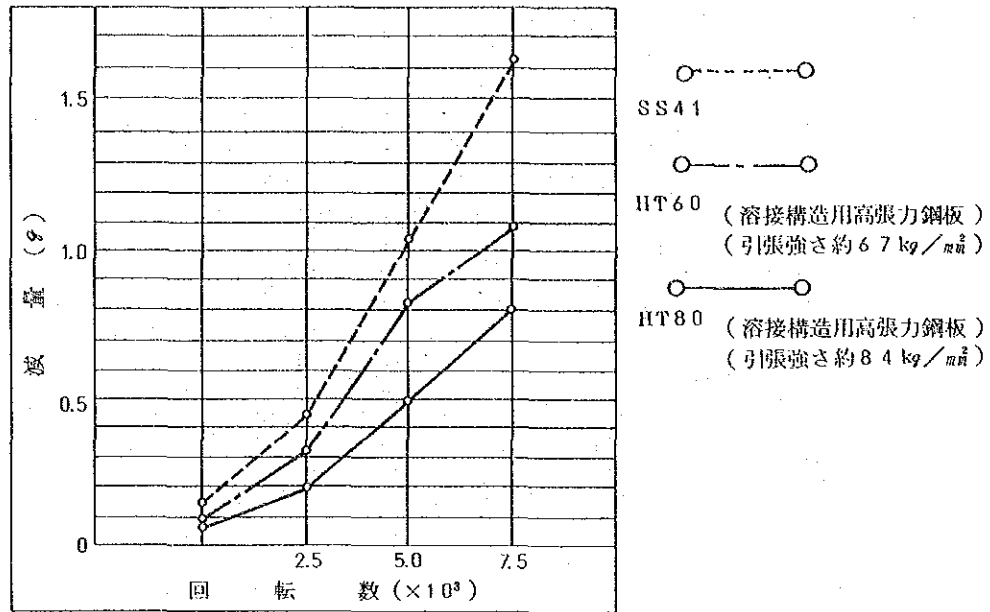


図 3. 1. 1 - 7 6 鋼板の耐摩耗性比較

ここで、

T : 計算寿命 (hr)

α : ハードフェイシング効果係数 (-) $\cong 1.5$

k : ダストの種類による係数 (-) $= 3.0 \sim 3.8$

l : インペラ形状による係数 (-) $= 0.776 \sim 0.996$

t : ペーンの板厚 (mm)

G : ダストの濃度 (g/m³)

u : 羽根車外径の周速度 (m/sec)

同一条件を考慮して式を簡略化すると

$$T_2 = \beta \frac{t_2}{t_1} T_1$$

ここで

T_2 : 新作インペラの第 1 回補修期間

T_1 : 既設

β : インペラの耐摩耗減量比 : $4/3$ (図 3.1.1-76 参照)

t_2 : 新作インペラの板厚 : 12 mm

t_1 : 既設インペラの板厚 : 9 mm

上式に各数値を代入すると $T_2 = 1.78 T_1$ となる。すなわち新作インペラーの第1回補修期間は既設インペラーの第1回補修期間の約1.78倍と予想される。

以上の計算はインペラーの材質、板厚を変更することにより、相当な摩耗寿命の改善が期待できることを示している。

次に耐摩耗を目的としてセラミックを接着施工した例を示す。

i. 材 料	材 質	Al_2O_3	90%
	硬 度	モース	9.2
	比 重		3.6
	寸 法		$20\text{mm} \times 20\text{mm} \times 4\text{mm}$ 厚

ii. 施工要領および手順

i) ライニング個所をサンド・ブラストにより表面処理を行なう

目 的：黒皮取り、錆落とし、目荒し

ii) 洗滌液によりゴミ、付着物の除去

iii) 接着剤を本体、セラミックへ塗布後接着

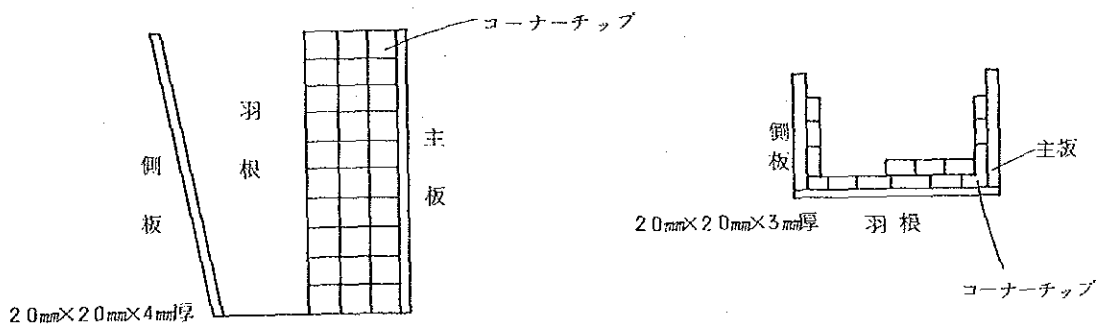
iv) 養生

iii. 施 工 方 案

(i) 羽根板のライニング

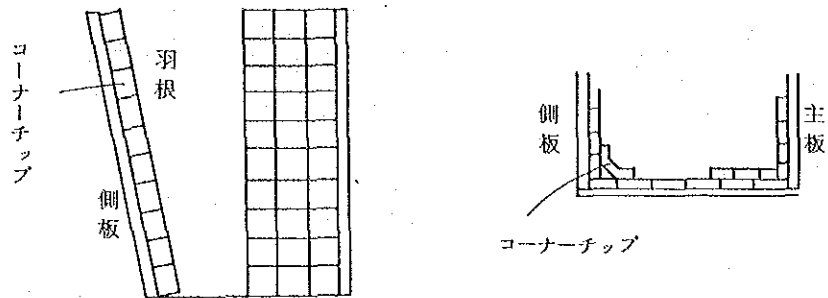
i) 格子状目地とする

ii) 主板側の目地4列～5列程度にセラミックを二枚重ねにし目地露出をなくす(羽根部の亀裂が主に主板より見られるため二枚重ねにし亀裂の進行を防ぐ)



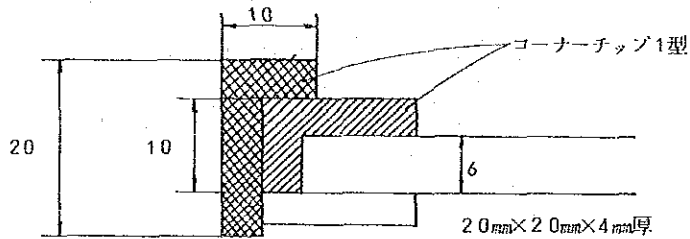
(ii) 羽根板の主板、側板側のビード部ライニング

側板側のビード部にコーナーチップを使用する。



(iii) 羽根板先端部（入側）のライニング

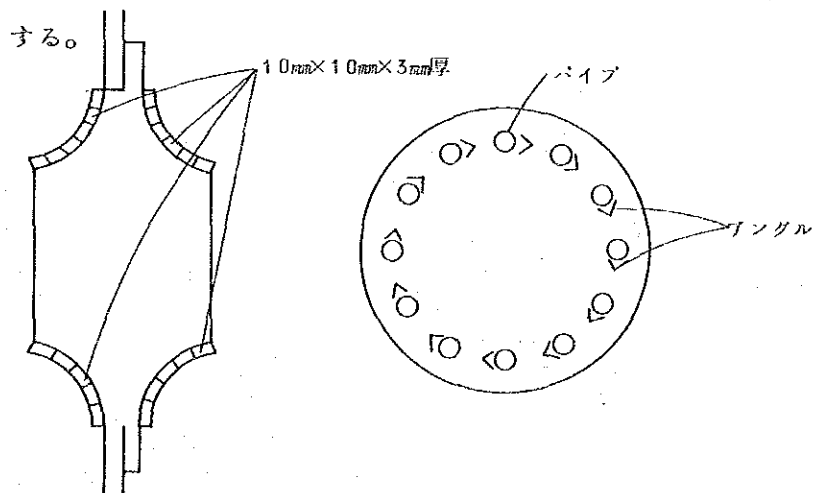
コーナーチップを2板重ねてライニングし先端部8mmの厚みにする。



(iv) ボスおよびリベットのライニング

i) ボス防護のためセラミック10mm×10mm×3mm厚をライニング

ii) リベット防護のため円筒状のパイプもしくはアングルをリベットに取り付け上部にセラミック10mm×10mm×3mm厚をライニングする。



(7) 新焼結工場設備に対するコメント

現地調査時(1986年1月)には1988年11月完成を目標に基本設計(初步設計)が完了していた。今回入手した資料は限られたものであり、判断は困難であるが、今まで述べた焼結操業面を中心にコメントを行なう。(図3.2.1-77参照)

1) 原 料 系

- A. 石家荘鋼鉄廠における焼結原料切出装置はヤードブレンディングした精鉄粉を、テーブルフィーダーで切出し合計量を秤量制御する方式である。この場合、精鉄粉が銘柄によって大きく化学成分を異にしており、ヤードでの均一なブレンディング、例えば(1)で述べたケース2と類似した設備が不可欠である。一方ビン・ブレンディング方式を採用する場合には各原料槽(ただし返鉄は除いても可)毎に精度良い原料切出設備を選ぶ必要がある。また微粉原料であるため棚吊りが懸念されるので、原料槽ホッパーの形状、表面ライニングには工夫を必要とする。
- B. ブリーズ破碎系統は既設々備にロールクラッシャーを一段追加する計画であるが、ブリーズ粒度調整を容易にするため、スクリーンを追加し、副原料と同様な閉回路破碎が望ましい。
- C. 焼結鉄の微粉対策として(2)で述べた擬似粒子化対策を検討し、実施する必要がある。粘結材として生石灰を使用しているが、活性度が低く、成品品質を向上させる必要がある。また単味での切出装置を追加する必要がある。また返鉄、ブリーズ、石炭を含めた原料の粒度構成を特に擬似粒子の核の量の面から検討し、場合によっては塊鉄石(低SiO₂化を狙って高品位鉄石がよい)の破碎設備を検討されたい。

2) 給 鉄 部

バレット上での原燃料賦存状態の改善、バレット幅方向の通気性のバラツキ低減を狙って(3)で述べた設備が望まれる。

例えば

— スローピングプレート角度調整機構

— “ “ 粉付着防止ライニング(例えば、ポリウレタン

または自動クリーナー)

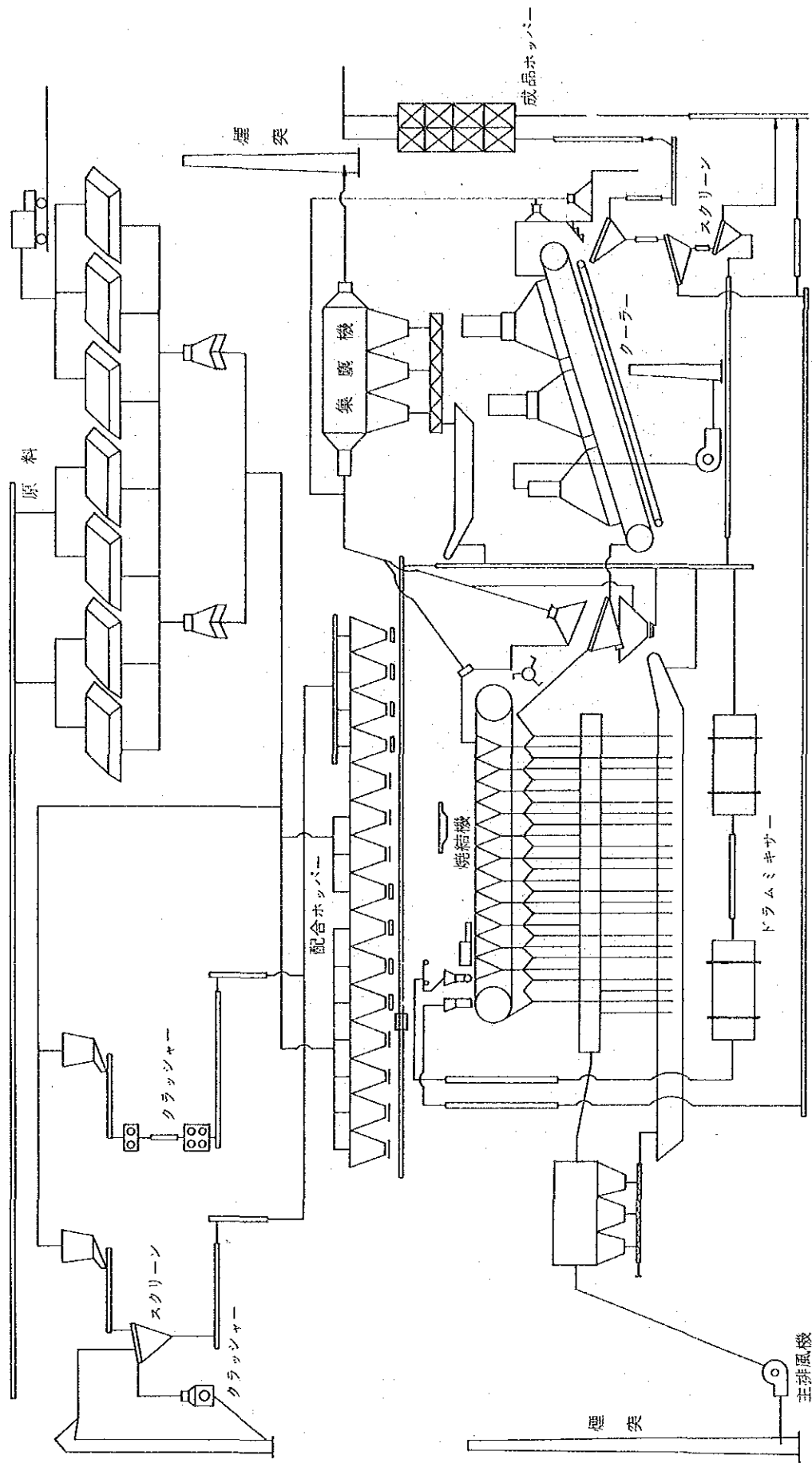


図 3.1.1-7 新焼結工場フロー (石家庄案)

- 押えローラー、押え板（パレット側壁部）
- 分割ゲート
- 通気棒取付装置（ベッドの通気性確保のため）

等

また参考までに、装入偏析の強化を目的に最近日本S社で開発されたスローピングプレートを図3.1.1-78に示す。

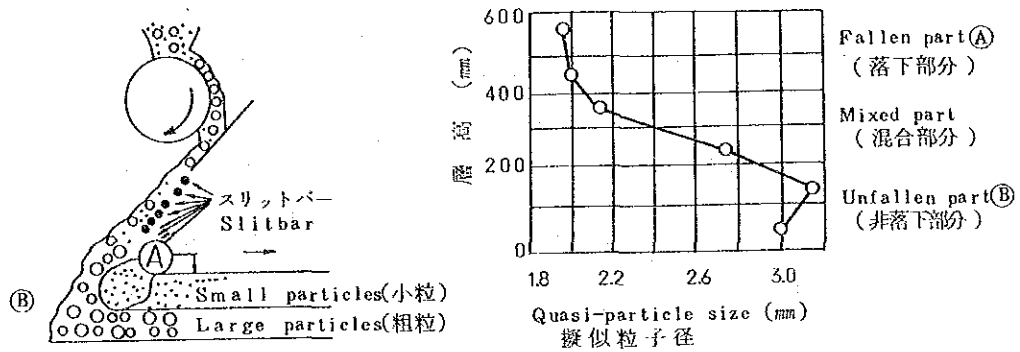


図3.1.1-78 スリットバー型スローピングプレート
(鉄と鋼1986年4月P.55)

3) 点 火 炉

A. 点火炉燃料原単位の低減を狙って(4)で述べた設備が望まれる。

例えば

- 小容量バーナー多配列（またはラインバーナー等）
- 炉内圧力管理、調整対策
- 炉高の低下 等

B. 点火炉燃料として6.2.2で述べるように高炉ガスの利用も考えられ、検討のこと。

C. 日本において、点火炉の前にクーラー排ガスを利用した予熱炉を設置する製鉄所が増えつつある（ただしクーラー排熱で蒸気回収しない場合）。

4) 焼 結 機

A. 最近では擬似粒子化技術が進み、高鉄層化が可能となり、品質、生産量、燃料原単位等総ての面にわたって大巾な改善が加えられている。石家荘鋼鉄廠においてもできるだけ高鉄層を狙うべきである。また将来の技術の進歩を考

慮し、高鉄層化が容易に行なえるような給鉄部、点火炉ならびにパレット等の構造を事前に配慮しておく必要がある。また各駆動部、摺動部のシール強化をはかっておくこと。

B. (6)で述べたように成品熱間篩が廃止できないか検討すること。

5) 成 品 系

3.1.2-2)で述べるように成品粒度の安定も高炉操業にとって重要であり、2次(成品)クラッシャーの設置が望まれる。図3.1.1-79に日本K社における実施例を示す。

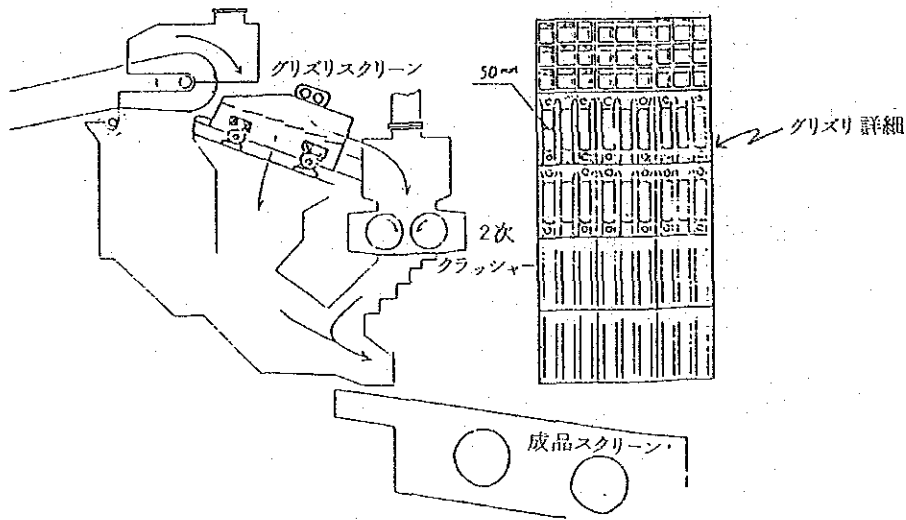


図 3.1.1-79 グリズリスクリーンとクラッシャーの組合せ

6) そ の 他

A. 主排気集塵機に乾式電気集塵機の設置を計画している。

固体燃料として無煙炭を多量に配合しており、タール分が集塵機内に蓄積し、場合によっては火災の恐れがある。他所での実績を調査するとともに、タール蓄積防止策、排ガス温度調整機能(例えばセトリングチャンバーの水噴霧の利用)を考慮すること。

3.1.2 高炉工場

(1) 合理的な焼成鉄の組合せ

石家荘鋼鉄廠にて使用されている鉄鉄石は精鉄粉（T.Fe：59～66%、粒度-200mesh：8～16%）が主である。これを使用して焼成鉄を製造する場合、自溶性焼結鉄とペレットのいずれが良いか、検討を行なった。なお、図3.1.2-1にペレットおよび焼結鉄原料の適正粒度分布の範囲を示すが、石家荘鋼鉄廠での原料粒度はペレットには粗すぎ、焼結には細かすぎる原料である。

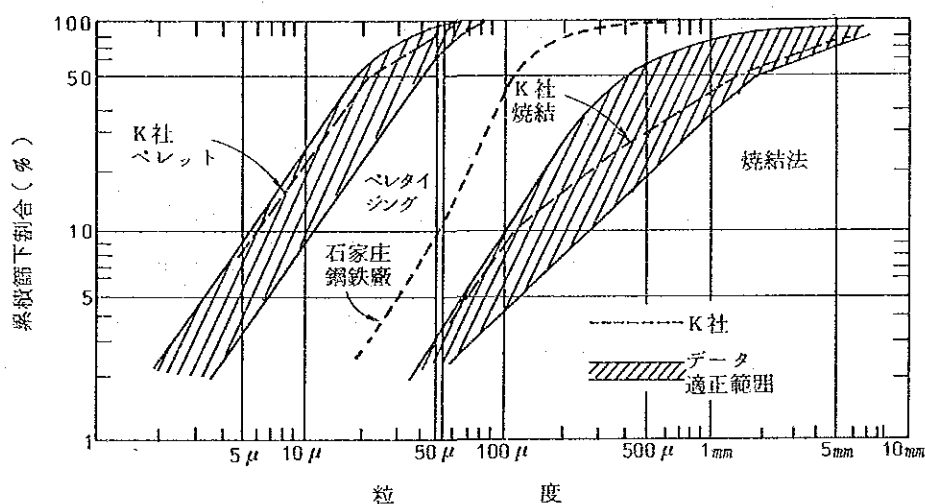


図3.1.2-1 ペレットおよび焼結原料の適正粒度分布の範囲

1) 焼成鉄品質に対する基本的考え方

焼成鉄を製造する第1の目的は、高炉で使用できない粉鉄石を塊成化して使用可能な状態にすることである。

近年では、焼成鉄の製造技術が向上して、塊鉄石より優れた性状の焼成鉄が製造されるようになり、鉄石を積極的に粉砕して焼成鉄原料にしている場合もある。

焼成鉄は以下の品質を具備すべきである。

- i 高炉装入時の分布が安定化する。
- ii 高炉装入時および炉内還元時に多量の粉を発生しない。
- iii 900℃以上の急速昇温下での被還元性が良好である。
- iv 軟化変形による通気抵抗の上昇が極力高温で起る。

V 脈石成分が少ない。

2) 焼成鉄の品質評価法

A. 装入物分布特性

高炉の装入装置、鉄石類の種類によって堆積状況が変化するため、実験を行なって装入物分布特性を把握する必要がある。

簡便に鉄石類の分布特性を評価するには、それらの安息角を測定することによって判断できる。

表3.1.2-1のごとく、コークスと類似した外観形状の焼結鉄が最も高い安息角を示し、分布特性に優れていると判断できる。

表3.1.2-1 各種焼成鉄の安息角

安息角	ドロマイト ペレット	多孔質 ペレット	破 碎 ペレット	自 溶 性 焼 結 鉄
(度)	23	25	30	31

B. 焼成鉄の粉の発生

焼成鉄製造工場から高炉炉口部までのハンドリング過程で発生する粉の量は焼結鉄ではタンブラー試験、ペレットでは圧潰強度で評価している。

この管理値は工場の立地条件によって異なる。

炉内での粉発生挙動は低温還元粉化試験によって評価する。一般にペレットの粉率は少ないが、図3.1.2-2のごとく、 CaO/SiO_2 比が1.6以上になると高い粉率を示す。

一方、日本で製造している自溶性焼結鉄は30～40%の粉率を示す。この限界値は高炉の上部圧損から決定されている。

C. 高温での被還元性

ウスタイトまで予備還元した試料を1250℃、 $CO/N_2 = 30/70$ の条件で還元し、その還元率で評価する。

図3.1.2-3のごとく、低塩基度ペレットは還元停滞し易い。しかし成分を調整することによって、焼結鉄より高い還元率のペレットも製造が可能である。

D. 荷重軟化・溶融性状

高炉内の昇温パターン、ガス組成に近似した条件で溶け落ちまで荷重下で還元を行ない、還元率、充填層の変形率、圧損変化および滴下温度を測定する。これらの情報から高炉内の装入物の性状変化を予想する。

測定の1例を次に示す。図3.1.2-4のごとく、各種の昇温パターンとこれに対応したCO、CO₂ガス組成にした時の、ドロマイト・ペレットと自溶性焼結鉄の測定結果を図3.1.2-5に示す。

一般に、圧損上昇開始温度が高いほど、また、この時の還元率が高いほど良好な性状の装入物と判断される。

これらの性状は、気孔率などの常温物性および化学組成によって大きく変化し、使用鉄石に適した製造法を探索する必要がある。

E. 脈石成分量

脈石成分量の多い鉄石の使用は、軟化融着帯の圧損を高くし、溶融滴下量が増加するため、高炉のガス流れを不安定にする。また、高炉スラグ量が増加するため、燃料比を高くする。

従って、鉄石中の脈石成分量はできるだけ少量にすべきである。

3) 焼成鉄の組合せ評価

A. 現状の鉄石を使用する場合

前提条件

- i SiO₂ ≒ 9.5%の鉄鉄石を使用。
- ii 現有の焼結工場(24m²)を利用する。

焼結鉄品質を改善するため、CaO/SiO₂比を現状1.01から1.5以上にする必要があろう。

以上の背景下で、石家荘鋼鉄廠より提案のあった表3.2.2-2の3ケースについて考える、下記の検討結果よりケース1の100%焼結鉄配合が最も良く、次にケース2の75%焼結鉄配合が良いと考えられる。

- (i) SiO₂ ≒ 9.5%の酸性ペレットは被還元性、軟化性が劣るため、高炉への多量使用は困難である。(図3.1.2-6、7)
- (ii) SiO₂ ≒ 9.5%の鉄石を使用して自溶性ペレットを製造しても、脈石量が非常に多くなり、高温の被還元性はむしろ悪化する。

(iii) 焼結鉍は多孔質塊成体であるため、高炉内の通気が確保され、脈石量が多いことによる還元性状の悪化が軽減される。

B. 鉍石の鉄品位を高くする場合

現状の 9.5% SiO_2 の鉍石を焼結鉍に使用する場合、塩基度を 1.5 に上げることにより高温還元性状はかなり改善されるが、 $(\text{CaO} + \text{SiO}_2)$ 量が 23% 近くにもなり、スラグ量が多いため、日本の一般的な焼結鉍と比較すれば必ずしも良好な性状とはいえない。この問題を解決するには本質的には鉍石の鉄品位を選鉍段階で高めることが必要であるが、鉍石の粒度が更に微粉化するため、いよいよ焼結原料としての使用が困難になる。従って、鉄品位を高めた鉍石はペレット用として使用するのが望ましいが、ペレットの場合は細気孔のため、焼結鉍の場合以上にスラグ量の増加が悪影響を及ぼす。そのため選鉍後の鉍石の SiO_2 を 3.5% 以下とし、 CaO/SiO_2 および、 MgO/SiO_2 を調整したドロマイトペレットまたは、オリビンペレットが望ましい。

以上をまとめると下記のごとくとなる。

- i 選鉍して鉄品位を高くし、全量ペレットにすることが最も良い原料処理方法である。
- ii 選鉍が困難であれば、全量焼結鉍にすべきである。しかし、 SiO_2 量が現状のままでは効率の良い高炉操業は難しい。
- iii 焼結鉍を製造するとしても、鉄品位の向上は必要である。これに伴って微粉鉍石が増加した場合には、焼結鉍原料の擬似粒子化強化が必要となる。

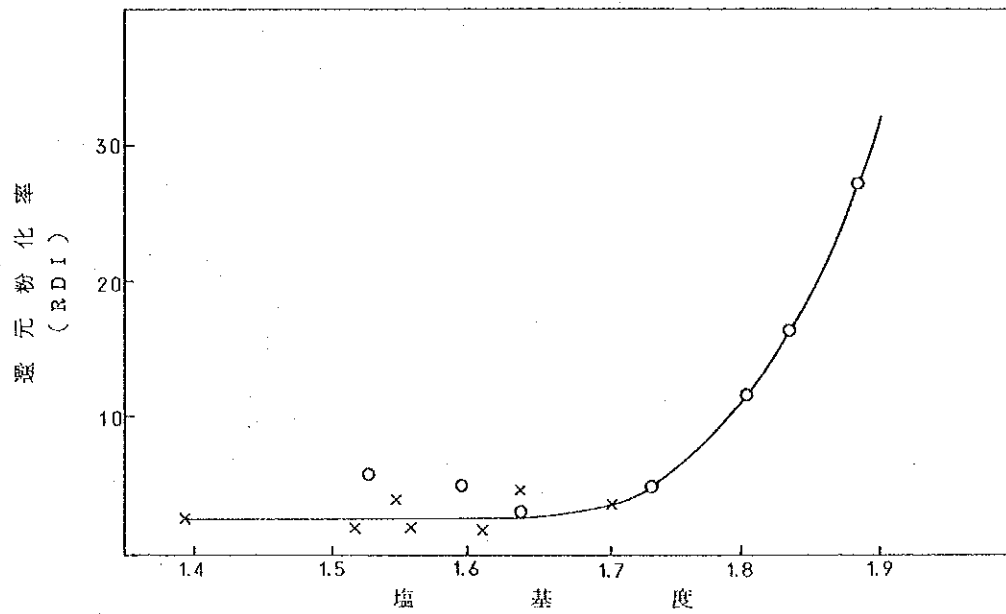


図 3.1.2-2 ペレットの塩基度と還元粉化率 (RDI) との関係

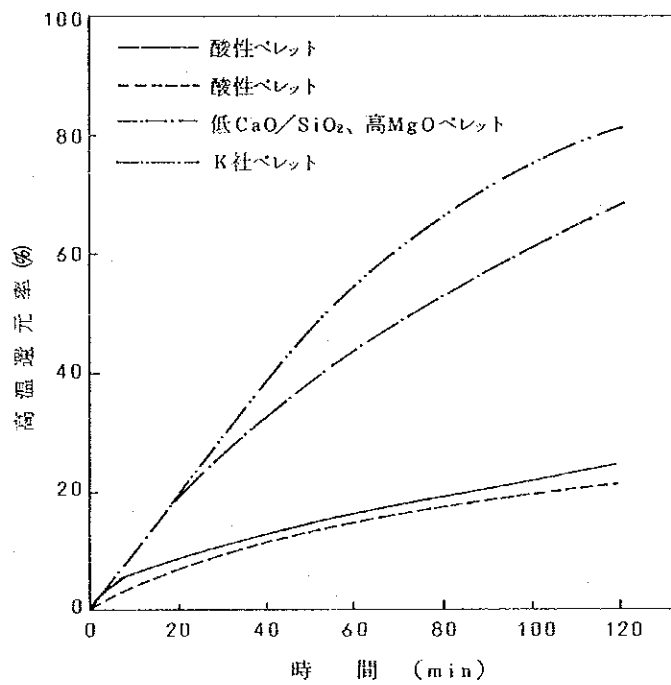


図 3.1.2-3 各種ペレットの1250℃における還元性の比較

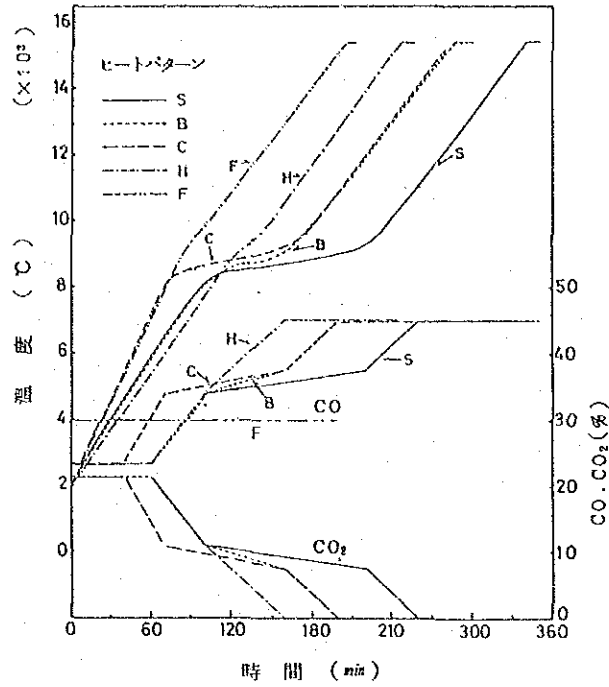


図 3. 1. 2 - 4 荷重還元試験の温度とガス組成の条件

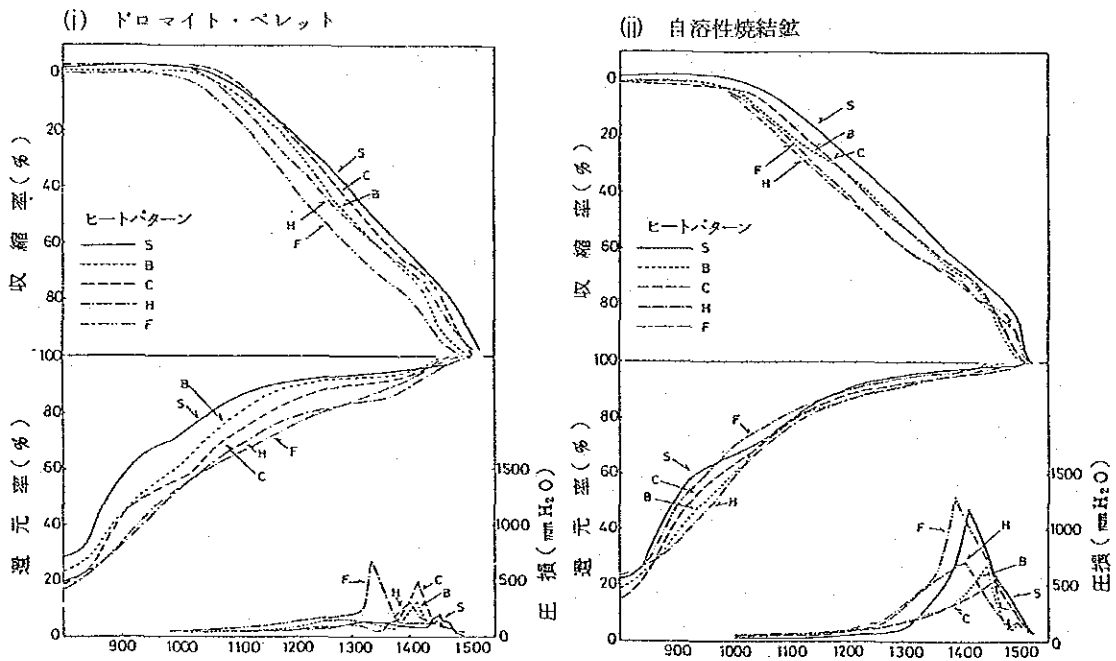


図 3. 1. 2 - 5 ドロマイト・ペレットと自溶性焼結鉄の荷重還元特性におよぼす試験条件の影響

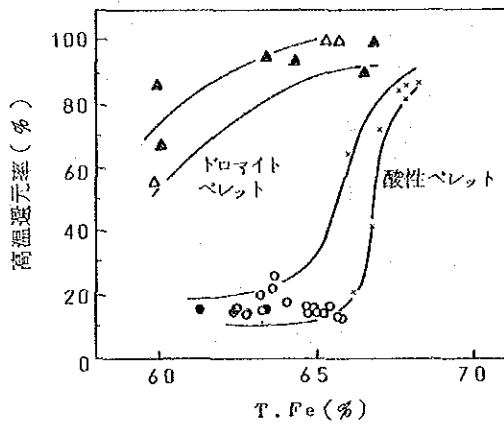


図 3. 1. 2 - 6 T.Fe と高温還元率との関係

<実験条件>

- 予備還元：900℃、CO/CO₂ = 60/40
でウスタイトまで還元
- 本還元：1250℃、CO/N₂ = 30/70
で3時間還元

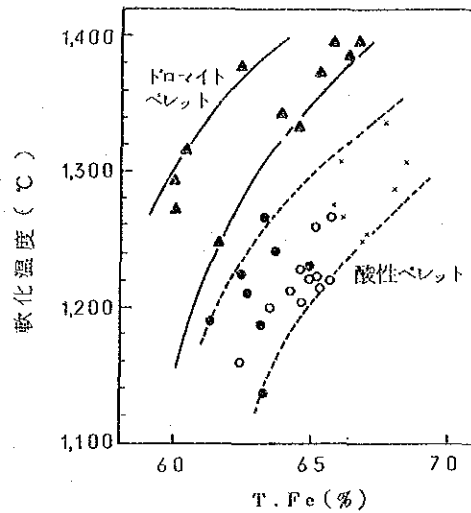


図 3. 1. 7 - 7 T.Fe と60%軟化温度との関係

<実験条件>

- 昇温速度：10℃/min
- 荷重：0.8 kg/cm²
- ガス組成：CO/N₂ = 30/70
- 試料：単一球

表 3.1.2-2 焼成鉍組合せの評価

ケース	原料配合条件	必要な製造設備	評価	良い点	悪い点
(注) I	自溶性焼結鉍 100% $\left[\begin{array}{l} \text{CaO/SiO}_2 \approx 1.5 \\ \text{SiO}_2 \approx 8.8\% \end{array} \right]$	50 m ² 焼結工場の新設	1	<ul style="list-style-type: none"> 酸性ペレットより通気が良好。 	<ul style="list-style-type: none"> 原料鉍石の粒度が細かいため、生産性が悪い。 (CaO+SiO₂)塵が約22%になり、日本の一般的焼結鉍と比較して高温還元性が劣る。
II	自溶性焼結鉍 75% 酸性ペレット 25% (SiO ₂ ≈ 9.5%)	27 m ² 焼結工場とペレット工場(11万t/年)の新設	2	<ul style="list-style-type: none"> ペレット性状の悪影響が少ないペレット配合率である。 	<ul style="list-style-type: none"> 2種類のプラント新設が必要。
III	自溶性焼結鉍 25% 酸性ペレット 75%	ペレット工場(35万t/年)の新設	3		<ul style="list-style-type: none"> 軟化溶解性と高温還元性に劣るペレットの影響が大きく現われ、コークス比の高い操業になる。
改善案	自溶性焼結鉍 25%以下 自溶性ペレット 75%以上 $\left[\begin{array}{l} \text{CaO/SiO}_2 \approx 1.5 \\ \text{SiO}_2 \approx 3.5\% \\ \text{MgO} \approx 2.0\% \end{array} \right]$	ペレット工場(35~40万t/年)の新設	◎	<ul style="list-style-type: none"> 鉍石輸送費が低減。 高炉スラグ電の低下によるコークス比の低減 良品質ペレットの使用により、高炉生産性が向上する。 	<ul style="list-style-type: none"> 送鉍設備の増強が必要 鉍石の収率が低下する。

(注) ケースI~IIIは石家庄鉍鉄廠案

(2) 高炉燃料比低減技術

高炉燃料比低減の考え方を図3.1.2-8に示す。低燃料比は炉況の安定が維持されている操業下において、装入原料の改質による還元効率の向上と、炉体熱損失の低減等による有効熱の増加によって達成される。操業の安定は燃料比低減に限らず、生産量の増加、浴鉄品質の向上をも含めた高炉成績を上げるための基礎となる。操業の安定を達成するには原料、設備、操業の三位一体となって互いに調和して発展する必要がある。例えば原料性状の向上、出鉄滓管理の強化等が完成されて初めて高温送風も可能となる。

第一高炉の現状から判断すると第一ステップとしてまず操業の安定化をはかる必要がある。

1) 安定操業達成のための手段

A. 原料条件の整備

(A) 装入原料中の粉の除去

炉内の通気性を確保し、炉内ガス流分布を安定させるためには装入物から粉を除去する必要がある。第一高炉においては高架貯鉄槽の前後にそれぞれスクリーンが設置されている。粉の除去には注意が払われているが、念のため第一高炉における実態を調査し、篩分効率が十分であるかどうかどうかチェックすることを勧める。

(B) 装入物の整粒強化

鉄石類の粒度は通気性を阻害しない範囲で、被還元性の面からはできるだけ小さいものがよく、また副原料も反応面から小さいのが良い。一方コークスの粒度は炉内の通気性を高めるスペーサーの役割もあり、鉄石、副原料に対して大きめに整粒されている。日本における装入物のトップサイズは、鉄石・副原料で25～35mm、焼結鉄で50～75mm、コークスで75～100mm程度である。

第一高炉では1985年に一時、塊鉄石を配合しているが、将来ともその使用があるのであれば塊鉄石の整粒設備を改善する必要がある。またトップサイズの変動は炉内ガス流分布の変動の原因ともなるので焼結鉄、コークスに対して整粒強化を行うため破砕機の導入が望まれる。

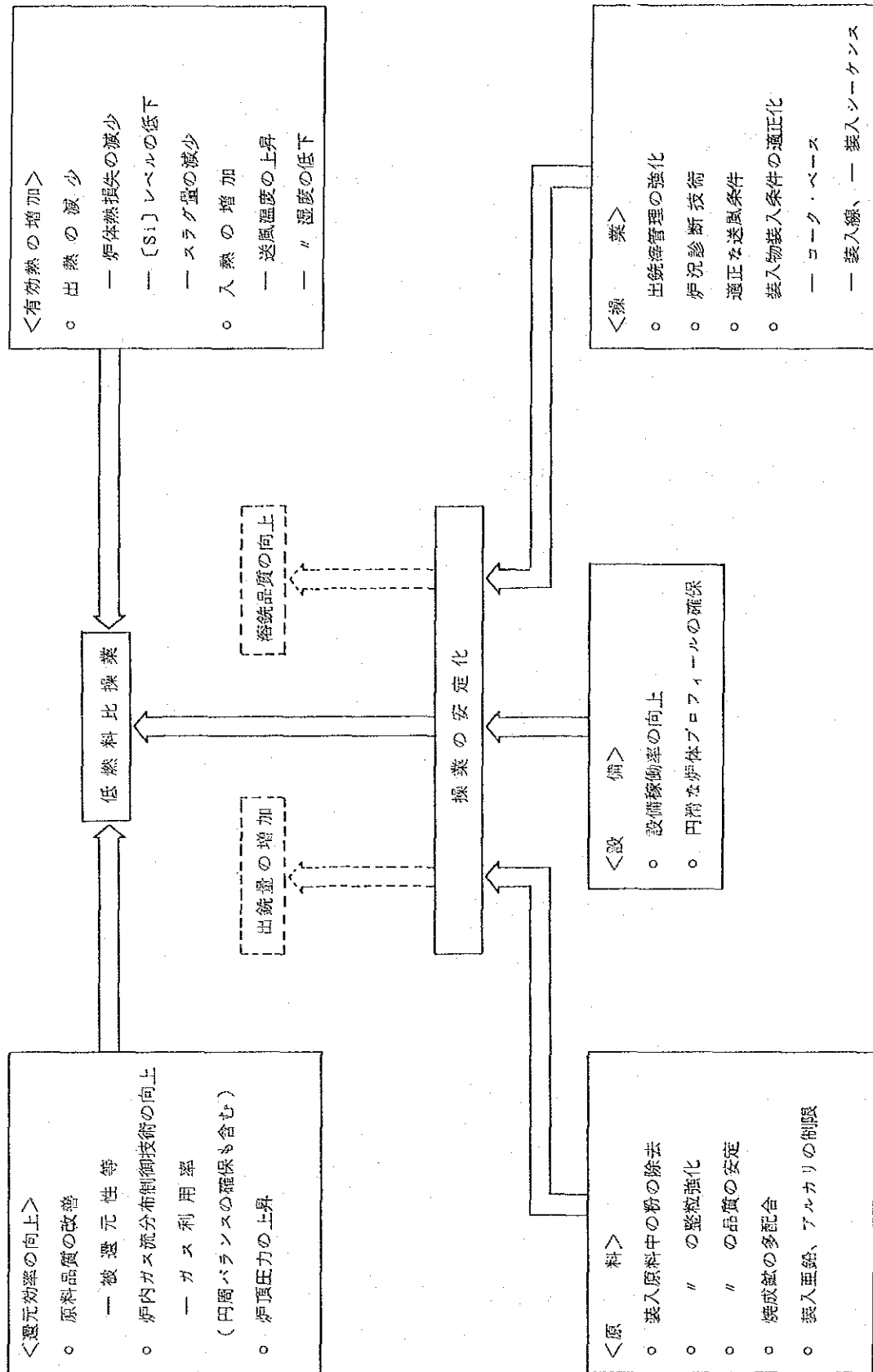


図 3.1.2-8 高炉燃料比低減の考え方

(C) 装入原料の品質の安定

炉頂から装入された原料は降下の過程で向流する高温還元ガスにより熱交換と還元反応をうけ、溶滓、溶銑に溶解する。装入原料の性状にバラツキが大きいと、炉内での反応過程に変動を生じ炉況は不安定となる。一方では装入物の性状を一定に制御する技術が確立されて、初めて原料性状の改善が可能となる。

焼結鉱は前述のごとく化学成分にバラツキが多く、その性状も当然のことながらバラツキが大きいと予想される。3.1.1で述べた諸改善を早急に実施される必要があり、また第三高炉が稼働すると土焼結鉱の使用が予定されているが早急に新焼結工場を建設することが望まれる。

コークス品質については入手した情報が少なく、状況判断ができないが、同様な考え方で検討する必要がある。

(D) 焼結鉱の多配合

焼結鉱、ペレットといった焼成鉱は高炉装入物として高温特性が優れており、できるだけ多配合が望まれる。また一般的に異種銘柄を多配合、混合使用する際には両者の熱間性状の差異が軟化融着層長さの増加等、軟化融着帯の拡大を招き炉内圧損の増加や炉内ガス利用率の低下へとつながり、スリップ、羽口破損等の炉況の悪化を生ずるとともに、燃料比の上昇を招くため、混合使用銘柄間の熱間性状差を極力小さくすることが必要となる。

焼成鉱配合率のコークス比に及ぼす効果を表3.1.2-3に示す。

表3.1.2-3 焼成鉱配合率のコークス比に及ぼす効果

自溶性焼結鉱、MgO 添加ペレット	配合率1%当りコークス比0.8~1.0 kg/t減
自溶性ペレット	" 0.5~1.0
酸性ペレット	" 0.2~0.7

(鉄鋼便覧、1979年、P.255、日本鉄鋼協会)

第一高炉においてはほぼ100%の焼結鉱で操業しており、この面からは望ましい条件下にある。安定操業を加味した焼成鉱の最低配合率としては、約70%程度であろう。日本においてはエネルギー事情から高炉ガス発生量増加を狙って比較的高燃料比で操業しており、その背景を踏まえ

コスト面より焼成鉄配合率は若干低下している。表3.1.2-4に、日本における焼成鉄配合率の実績を示す。

表3.1.2-4 日本における焼成鉄配合率

(1985年10月実績)

	A社	B社	C社	D社	E社
焼結鉄(%)	71.1	58.1	75.9	78.2	77.2
ペレット(%)	8.2	22.5(注)	7.8	9.3	4.9
合計(%)	79.2	80.6	83.7	87.5	82.1

(注) MgO添加ペレットを含む

(E) 装入亜鉛、アルカリの制限

炉内に装入された亜鉛、アルカリ(Na_2O 、 K_2O)は一部炉内で循環し、付着物の生成、耐火物の損傷の原因となり、できるだけ少ないのが望ましい。日本における実績は下記の通りである。

装入亜鉛 $< 0.25 \text{ kg/t-鉄鉄}$

$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ $< 2\sim3 \text{ kg/t-鉄鉄}$

第一高炉では実態は不詳であるが、一度チェックし、多量に装入されているのであれば管理されることを望む。

B. 設備条件の整備

(A) 設備稼働率の向上

設備事故等による休風、減風は当然のことながら操業の安定化のためには少なくする必要がある。前述のごとく、第一高炉は比較的良好な稼働率を維持しているが、更に向上させる必要がある。現状設備の主な改善策は3.1.2-(3)で述べる。

(B) 円滑な炉体プロフィールの確保

付着物等の炉内プロフィールの異常は炉内通気性、装入物の降下性に大きく影響するので安定操業には炉体プロフィールが円滑であることが重要である。炉内プロフィールの異常は次の二つに分類できる。

A) 付着物の生成

付着物を生成させないためには装入物から粉を除去し、亜鉛、アルカリの装入量を低下させる必要がある。また操業面では炉内ガス流

分布を制御し、適正な周辺流で炉壁部を常に活性化し、また中心部では、ガス流を強め、高温に維持して、炉内蓄積亜鉛を炉外に排出することが肝要である。

B) 耐火物の脱落、浸蝕

局部的に耐火物の脱落、浸蝕が発生するとその近傍より鉱石とコーキスの混合層が形成され炉況異常の原因となる。図3.1.2-9に混合層の形成状況を、図3.1.2-10に高炉操業に及ぼす影響を示す。この現象の管理には炉体温度計の監視、ボーリングによる耐火物厚さ調査、減尺休止（炉内装入物レベルを下げて休風すること）で確認することが有効である。

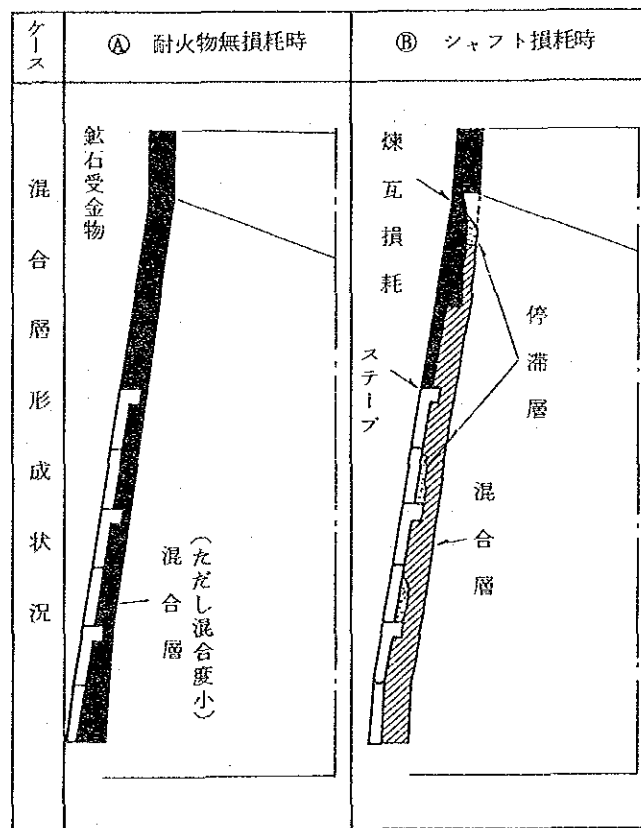


図3.1.2-9 混合層形成状況

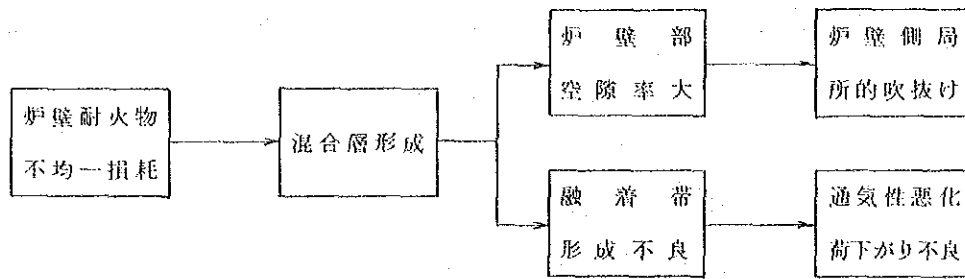


図3.1.2-10 炉壁耐火物損耗の高炉操業に及ぼす影響

C. 操業条件の整備

(A) 出銑滓管理の強化

炉内に溶銑滓が溜りすぎると炉芯コークスの浮上とその通気性が悪化するため、風圧上昇と装入物の降下異常が発生する。従って炉床部はできるだけドライ・ハースにすることが重要となる。複数の出銑口を持つ高炉ではラップ出銑（二つの出銑口開孔期間を一部重ねて連続的に出銑すること）をも実施している。

炉内での溶銑滓の貯留量をバランス計算で把握し、常にあるレベル以下に管理する必要がある。出銑口からの溶銑の排出は容易であるが溶滓は残留しやすいので特に注意して管理する必要がある。

(B) 炉況診断技術

高炉炉況を安定維持するためには炉況の異常を早期に発見し、早期に回復をはかる必要がある。そのためには炉内センサー情報より炉況の変化を早期に操業者が把握することが重要となる。図3.1.2-11に高炉計測端の設置状況とその活用状況の一例を示した。これは炉内現象解明をも目的としたものであり、操業の安定化のために基本的に必要なものは次の通りである。

- i. 送風圧力計 …… 変動〔例えば1時間内の範囲(R)〕より通気性を判定
- ii. 装入物深度計 …… 装入物の降下状況を判定
(スリップ、棚吊の検出)
- iii. 炉口ガス温度計 …… 炉口ガス流分布の判定、連続的に測定す

るので間歇的に測定するガスサンプラ
ーより簡単で、代表性も良い。

(図 3.1.2-12 参照)

- IV. 炉頂ガス分析 …… 炉内還元状況の判定。連続的または半連
続的に測定し、代表性を持たせること。
- V. 炉体温度計 …… 炉内プロフィール、熱負荷測定
- VI. スキンフロー温度計 …… 炉内の円周方向のバランスの判定(炉
口部に4~8点温度計を設置する)
- VII. 羽口目視観察 …… レースウェイの状況判定

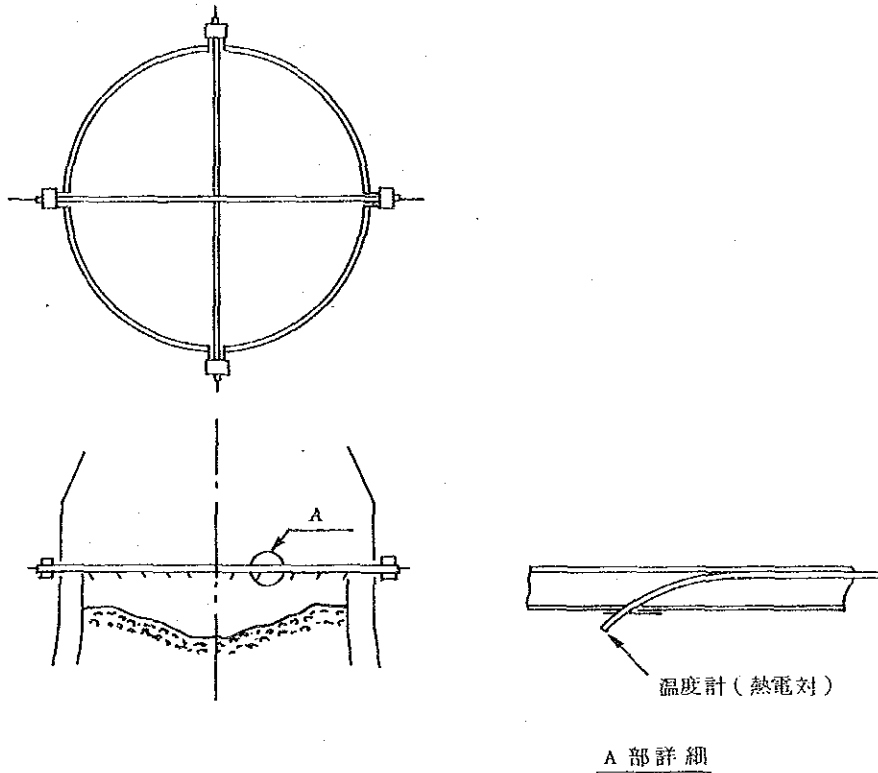
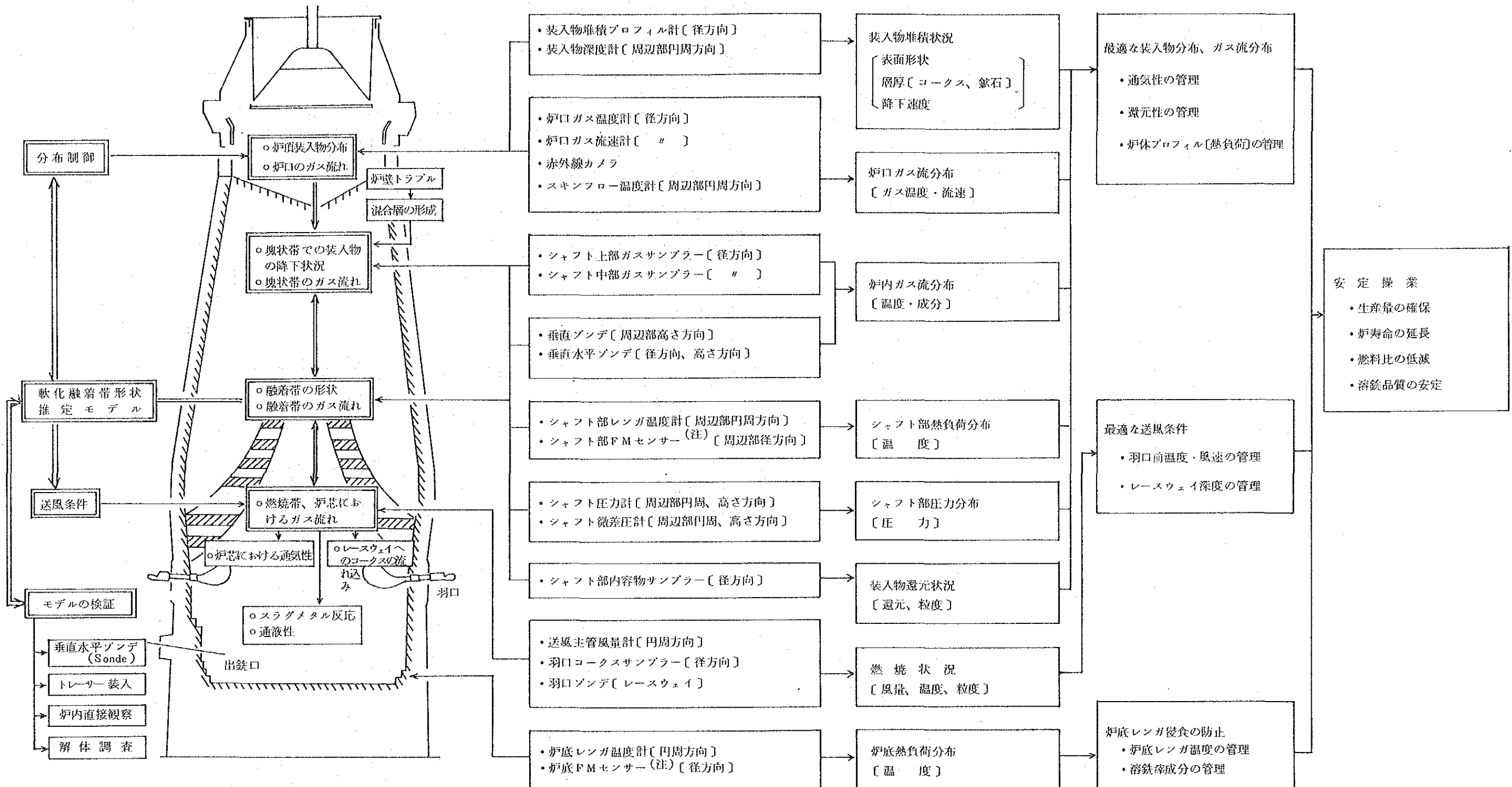


図 3.1.2-12 炉口ガス温度計

高炉々内反応は連続的なものであり、上記の情報を整理し、傾向管理することにより炉内状況の変化を知ることが重要である。また過去の炉況異常時におけるこれらデータの比較も炉況判定に有効である。更にこれらの解析例を集積し体系的に整理すると炉況判定も容易となり、システム化も可能となる。



(注) Fine-Multi Thermocouple Sensor

図 3.1.2 - 1 1 高炉計測端の設置状況と活用状況

(C) 適正な送風条件

送風条件としては羽口前理論燃焼温度と羽口前風速が重要となる。これらは炉容ならびに使用原料条件から制約が出てくるので石家荘鉄鋼廠独自の規準を定める必要がある。

(D) 適正な装入物分布

積極的な装入物分布制御を実施する前に、炉容ならびに使用原料条件に応じた適正なコーク・ベース（またはオア・ベース）、装入線、装入シーケンスを定める必要がある。

2) 低燃料比操業のための手段

安定操業が維持できるようになると、いよいよ低燃料比操業が可能となる。その方法は図 3.1.2-8 に示すごとく、還元効率の向上と有効熱の増加の二つに大別できる。またその主な手段は原料品質の改善と炉内ガス流分布制御技術となる。すなわち装入物の被還元性の向上や、スラグ量の減少、 $[Si]$ レベルの低下は前者に、ガス利用率の向上、炉体熱損失の減少は後者に属するものである。

A. 原料品質の改善

(A) 高炉装入物の具備すべき性状

近年日本の各社で実施された高炉解体調査の結果、高炉炉内は一般的に図 3.1.2-13 に示す 5 つの部分に区分される。

以下、炉内区分にしたがって、各帯で要求される装入物について述べる。

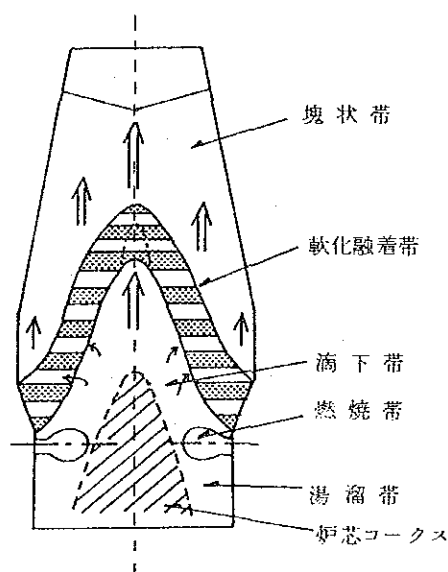


図 3.1.2-13 高炉炉内区分

A) 塊 状 帯

機能的には通気機能と間接還元機能が要求される。

したがって、コークス、鉍石とも高炉装入時の粉率が低く、かつ高炉装入等の際に粉化しないだけの十分なる冷間強度を有していることが要求される。

粉の増加は炉内通気性を損なうとともに偏析（粉は炉中間部に偏在しやすい）により炉内ガス流れの偏りを助成し、吹抜け、スリップ等の炉況不調の原因となる。

一方、炉半径方向での均一な通気性と安定した装入分布を確保するためにはコークス、鉍石各々の粒度分布巾を極力小さくし、粒度差による安息角の相違からくる装入分布への影響を抑制することが望ましい。

還元性能の面からは鉍石の良好な被還元性が要求される。塊状帯における鉍石の還元進捗率は炉内ガス利用率に直接的に影響するとともに、軟化融着帯形状に対する影響を介して、間接的に炉内ガス利用率および炉内通気性に大きく影響する。

B) 軟 化 融 着 帯

高炉解体調査の結果、軟化融着帯の存在が確認され、その生成に至る過程としては以下のように考えられる。

装入物は明確な層状（鉍石、コークス）を保ちつつ塊状帯を降下し、その間の昇温と荷重の増加により炉下部に至って軟化融着を生ずる。軟化融着開始温度は鉍石の種類、成分、性状によって異なるが、低いもので1,100℃前後と推定される。軟化融着した鉍石は、炉内降下に従いさらに加熱、昇温され熔融し、湯溜帯へと滴下していく。

従って、軟化融着開始～熔融滴下開始までの状態にあるものが軟化融着帯と言える。当然ながら、軟化融着層は高炉炉内にあっては極めて通気抵抗の強い層であり、軟化融着帯においては、ガスは主としてコークススリットを通過して炉上部へと流れる。

つまり、軟化融着帯の形状は炉内ガス分布や通気抵抗に支配的な影響を及ぼし、その位置は塊状帯の大きさやガス分布を介して炉内ガス

利用率ひいては高炉燃料比に大きく影響する。これらの帯域における鉄石性状を熱間性状と称しているが、安定した融着帯形状を維持し、通気抵抗を小さくし、かつ塊状帯を広くするための、鉄石の熱間性状としては軟化融着開始温度が高く、軟化融着開始～滴下開始の温度帯が狭く、かつ安定していることが要求される。

また、当然鉄石種による差（例えば、ペレットと焼結）も小さい程望ましい。

c) 滴下帯、湯溜帯

この帯域においては、溶鉄滓流動性とコークス熱間性状が問題となるが、溶鉄滓の流動性については CaO/SiO_2 、 Al_2O_3 等を事前に成分調整を行なうとともに、羽口前温度を一定レベル以上に保持すれば、特に基本的な問題とはならない。

一方、図3.1.2-14にコークス熱間性状低下時の炉況悪化の模式図を示すが、この帯域におけるコークス性状は高炉炉況に大きく影響する。

CO_2 ガスとの高温での反応性および反応後の強度をコークス熱間性状と称しているが、熱間性状の悪化は炉下部におけるコークス粉化、細化量の増加につながる。

この結果、滴下帯、燃料帯前面、湯溜帯等にコークス粉が増加し通気性、溶鉄滓の滴下性や流動性を悪化させることになり、炉内通気抵抗の増大ならびに炉内貯鉄滓量の増加に伴ないスリップ、羽口破損等の炉況悪化を生ずる。

また、燃焼帯前面におけるコークス粉の堆積は、燃焼帯の縮小および炉芯の肥大を招き、炉内ガス流分布の変化ならびに装入物降下異常の原因となる。

したがって、良好なコークス熱間性状の維持が必要である。

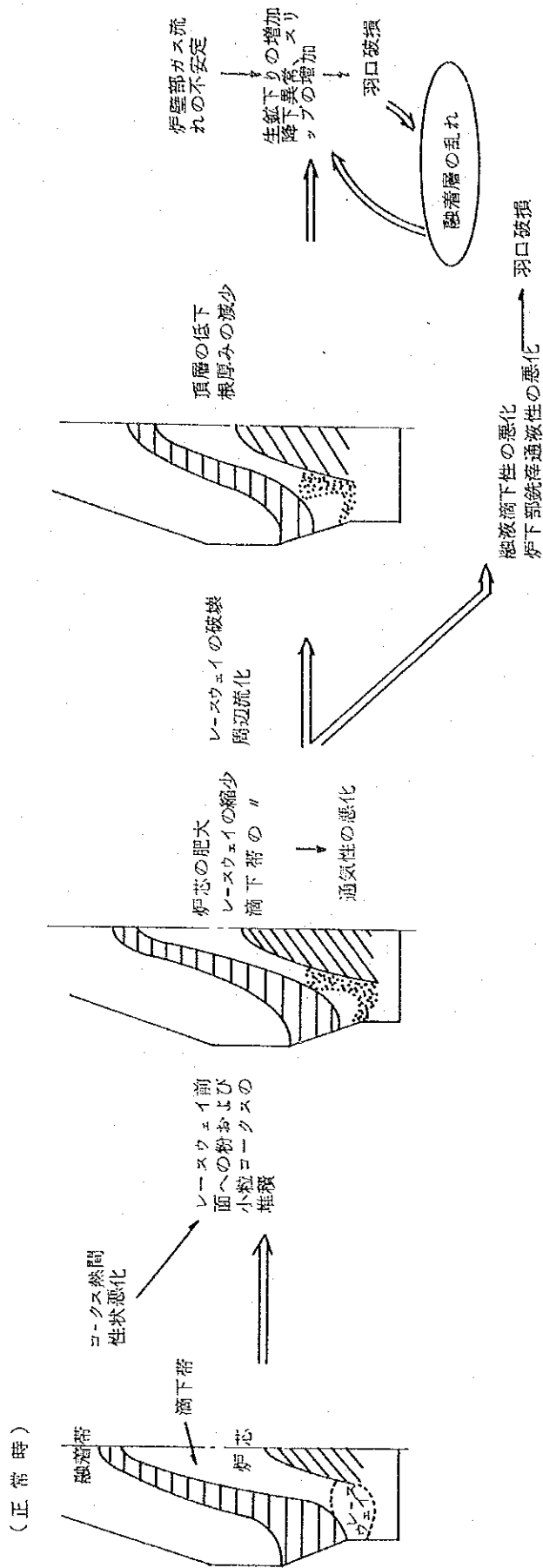


図 3.1.2-1 コークス熱問性状低下時の炉況悪化模式図

以上の内容を要約すると、高炉に要求される装入物性状は以下のごとくである。

- i. 粉率が低く、かつ装入および輸送のハンドリング過程で粉化しないだけの十分な冷間強度を有していること …… コークス、
鉄石（ペレット、焼結）
- ii. 粒度巾が狭いこと …… コークス、鉄石
- iii. 成分的なバラツキが小さいこと …… 鉄石
- iv. 良好な被還元性を有し、軟化融着～滴下開始の温度巾が小さい等、熱間性状に優れていること …… 鉄石
- v. 高温における粉化が少ない等、熱間性状に優れていること …… コークス

(B) 焼結品質に対する考え方と管理

A) 焼結鉄品質に対する考え方

焼結鉄は高炉で使用する鉄鉄石の大半を占める主原料であり、その品質が高炉状況および操業成績に与える影響の大きいことは言うまでもない。現実の焼結鉄を念頭に置き、高炉装入物としての焼結鉄のあべき品質を定性的に列挙すると、以下のごとくである。

- i. 物理的かつ化学的均一性
(粒径、気孔、化学成分など)
- ii. 高炉内での堆積、流動、降下挙動の安定性
- iii. 必要かつ十分な強度
- iv. 高温での優れた還元、軟化、溶融特性
- v. 高い Fe 含有量
(必要かつ十分なスラグ量と成分)

上記の品質は高炉の炉容、操業度、炉況、燃料比、経済性を加味して、各高炉の状況に適合したものにすることが必要である。

図 3.1.2-15 は焼結鉄炉前粒度の高炉炉内通気性への影響を示したものである。

焼結鉄の平均粒径が小さくなる、あるいは粉率（ $-5\text{mm}\%$ ）が増加すると炉内通気性は悪化する。焼結鉄の平均粒径を大きくし、粉率を

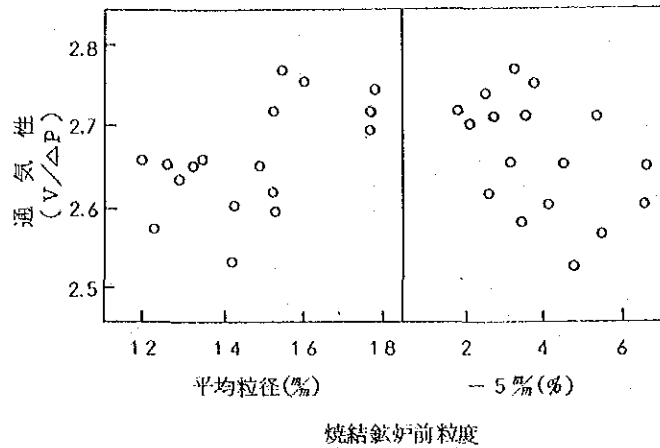


図3.1.2-15 焼結鉄炉前粒度によるV/ΔPへの影響

低くするには十分な焼結反応を行なわせることにより適切な強度を与えて粒径の確保、粉発生の防止をはかるとともに、成品焼結鉄の整粒を強化して粉の除去を行なう必要がある。

焼結鉄の炉内での堆積、流動、降下挙動の安定性のためには焼結鉄の粒度、強度などの安定が重要なのは言うまでもないが、還元性状も影響をおよぼす。

図3.1.2-16はRDI(低温還元粉化指数)の高炉炉況への影響の一例を示すものであるが、RDIが上昇すると、炉内での焼結鉄の粉化の進行のため、炉内通気性が悪化するとともに不安定となり、はなはだしい場合にはスリップあるいは棚吊に至ることもある。

従って、焼結鉄のRDIは上限値を設定して管理する必要があるが、過度にRDIを抑制すると、被還元性を損なうことになるので、両性状の均衡を十分に考慮せねばならない。

焼結鉄の被還元性の評価法としてはJIS(Japanese Industrial Standard)法による900℃での還元試験が一般的であるが、最近では高炉下部での軟化熔融帯での装入物の挙動が炉況に重要な役割を果たすことが高炉解体調査により解明されたことより、高炉下部までの降下途中、還元現象を模した試験での評価が重要視されてきている。図3.1.2-17は塩基度の異なる2種類の焼結鉄($CaO/SiO_2 = 1.88$ お

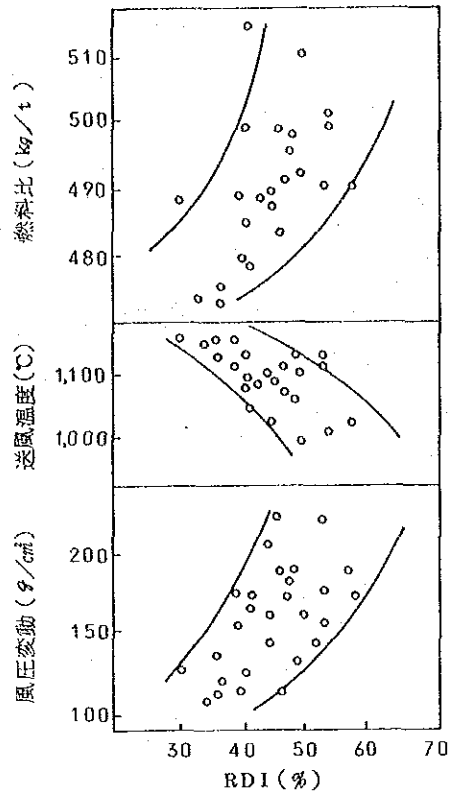


図3.1.2-16 RDIによる高炉
炉況への影響

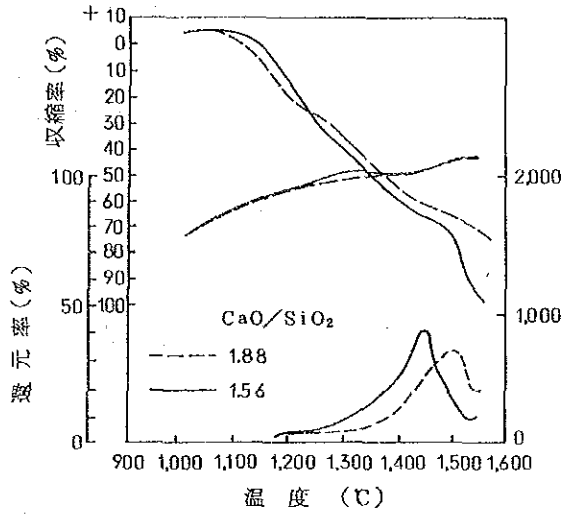


図3.1.2-17 塩基度の異なる
焼結鉱の高温荷
重還元試験結果

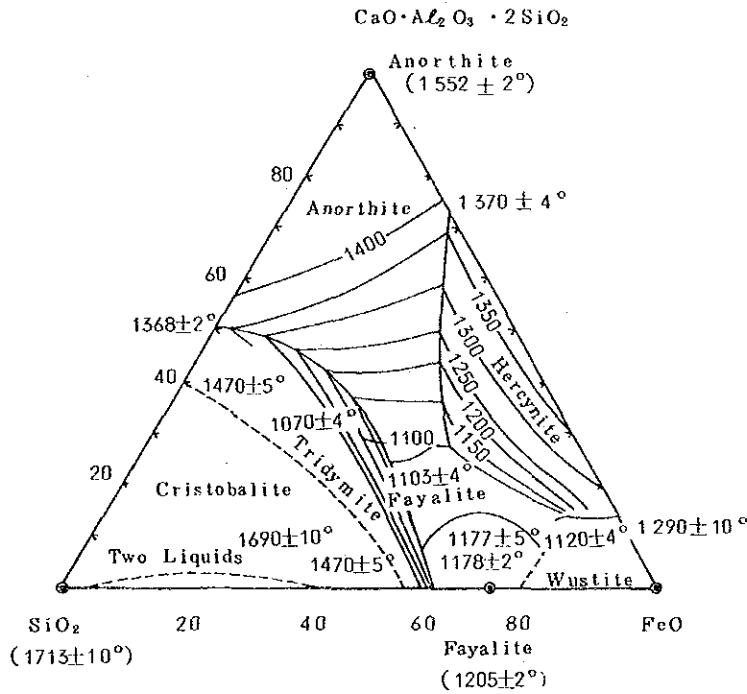


図3.1.2-18 $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 - \text{FeO}$
- SiO_2 系状態図

よび 1.56) を日本 K 社の高温荷重還元試験法にて調査した結果である。塩基度の高い焼結鉄の場合には特に軟化溶融帯以降での還元挙動が優れていることがこの図から理解できる。

焼結鉄の成分に関しては、焼結操作および焼結鉄品質に悪影響を及ぼさない範囲で SiO_2 および FeO を低下させ、高炉スラグに必要なスラグ成分を与えるのが基本である。高炉内での還元過程において、 $1,000^\circ\text{C}$ 以上の領域では多量の FeO が生成するが、焼結鉄の SiO_2 が高い場合には図 3.1.2-18 に示す低融点ファイアライトが多く生成するため、比較的早期に融液を生成し、以降のガス還元を阻害するとともに、高炉の通気性を減ずることになる。

B) 焼結鉄の成分

石家荘鋼鉄廠の焼結鉄の主要成分は下記のとおりである。

T. Fe	FeO	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃
53.0%	17.5	9.0	10.8	3.4

この焼結鉄の塩基度 (CaO/SiO_2) は 1.2 であり、これは日本の高炉スラグの平均塩基度より低い値である。

日本の焼結鉄の塩基度は各社平均値で 1.8 以上、最低で 1.6 程度である。

石家荘鋼鉄廠の焼結鉄のスラグ成分を $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系としてスラグの融点を状態図から検討すると、図 3.1.2-19 に×印で示すように $1,400^\circ\text{C}$ 以下である。更に FeO を加えた四元系状態図 (図 3.1.2-20) で見れば融点は×印で示すように $1,200^\circ\text{C}$ 程度になる。焼結反応は非平衡反応ではあるが、最高到達温度は $1,350\sim 1,400^\circ\text{C}$ の高温であるため、このような低融点スラグを有する焼結鉄の場合、かなりの量の融液が生成し、結果的に非常に緻密な被還元性の悪い焼結鉄になると推論される。この問題を解決するため、以下の 2 つの対策をとられるよう推奨する。

i. FeO の低下

仮に他成分は現状のまま焼結鉄中 FeO を 8% に下げたとすれば図 3.1.2-20 に○印で示されるように、スラグの融点は $1,300^\circ\text{C}$ 程

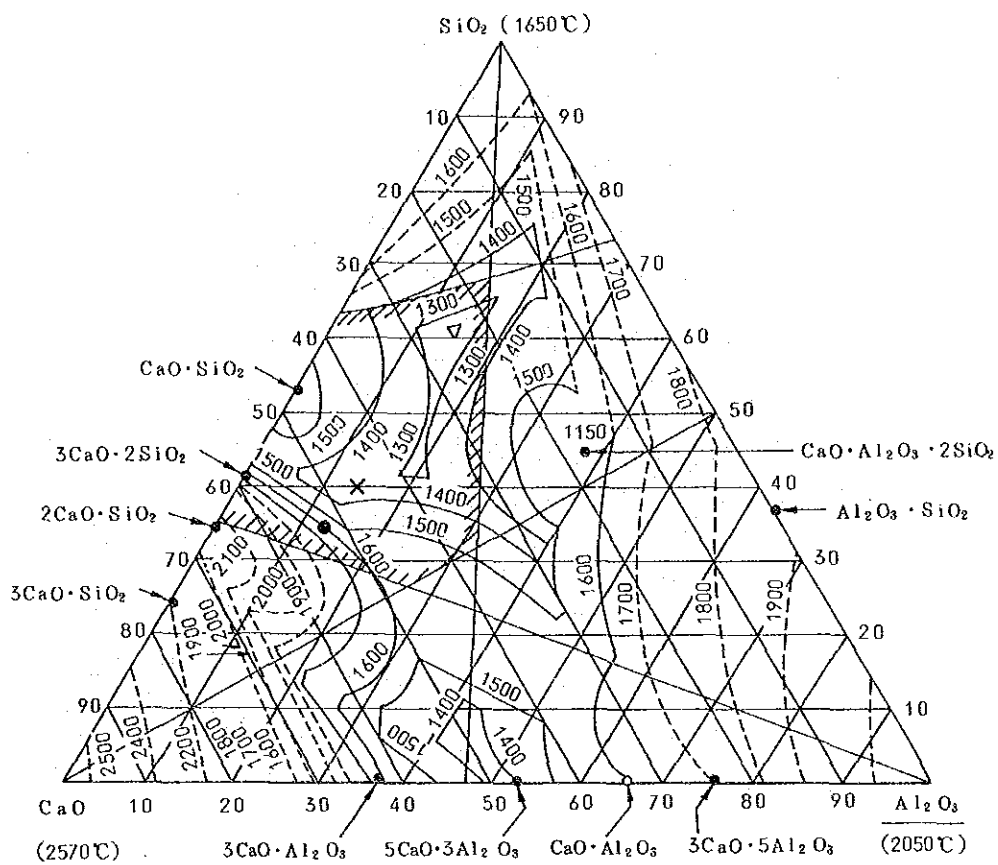


图 3.1.2-19 CaO-Al₂O₃-SiO₂系状态图

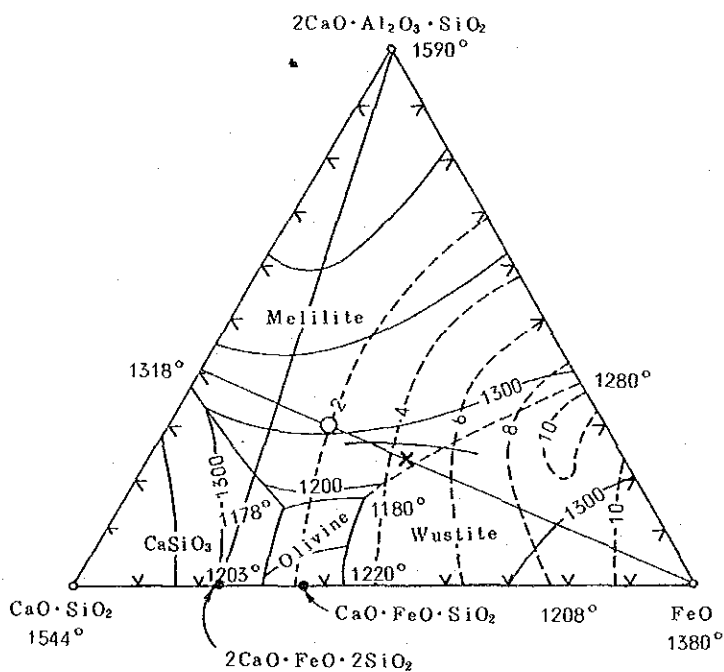


图 3.1.2-20 CaO·SiO₂-2CaO·Al₂O₃·SiO₂-FeO系状态图

度まで上昇させることができる。

日本においても従来、焼結鉱中のFeOは10%程度であったが、近年は焼結鉱の被還元性を改善するためにFeOを低下させてきており、最近では各社平均で焼結鉱中FeOは5.6%程度となっている。

ii. 塩基度の上昇

近代化後の石家荘鋼鉄廠の高炉では鉄中[Si]の低下に伴い、高炉で装入する石灰石原単位は105 kg/t - 銑鉄が必要となる。この全量を焼結鉱に添加すれば焼結鉱の塩基度は1.55程度に上昇させ得る。

塩基度を1.55に上昇させた時の焼結鉱スラグの融点をCaO-Al₂O₃-SiO₂系状態図で検討すると、図3.1.2-19中に●印で示すように1,650℃程度となり、現状の塩基度1.2の焼結鉱の場合より250℃程度上昇させることができる。

この成分系にFeOを加えた場合の参考として塩基度1.87の場合を図3.1.2-21に示す。

図中●印は焼結鉱中のFeOを現状のままとした場合、○印はFeOを8%に低下させた場合を示す。

この図からは塩基度を1.55に上昇させた時の焼結鉱のスラグの融点を推定することはできないが、塩基度上昇およびFeO低下により、大巾にスラグ融点を上昇させ得ることは明らかである。

iii. 被還元性

塩基度が低く、FeOが高い焼結鉱は過度の熔融のため、気孔率の低い緻密なものとなる。このため、高炉内では低温域から既に被還元性が低い。加えて、このような焼結鉱は高炉内での融液生成が比較的低温で起きるため、ガス還元が阻害されるとともに、炉内通気性が低下する結果、燃料比が上昇し、炉の操業状態が不安定になり勝ちである。

このような現象を避けるためには、塩基度の高い(望ましくは1.6以上)、FeOの低い焼結鉱にすべきである。

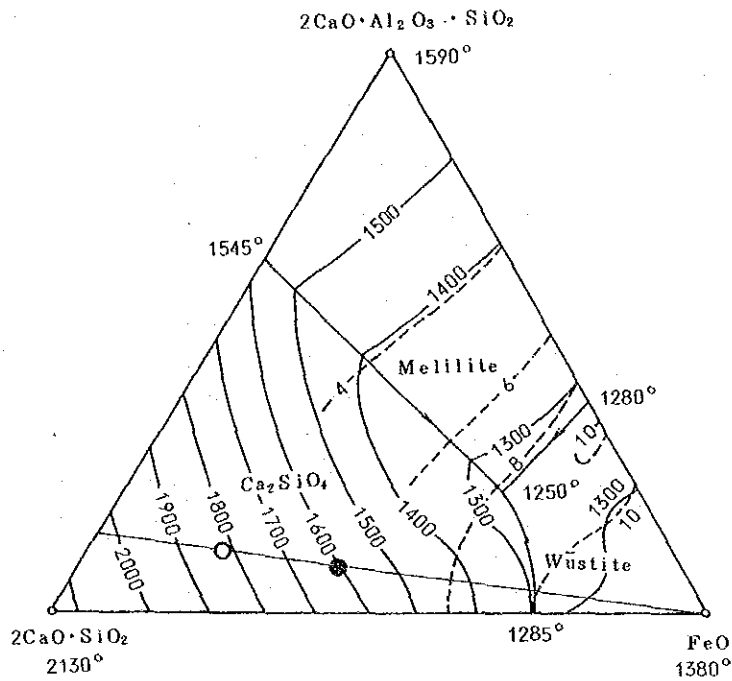


図 3.1.2-21 $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2-2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2-\text{FeO}$ 系状態図

C) 焼結鉄品質の管理

日本においては成分系 (SiO_2 , CaO/SiO_2 , FeO , ……) などの重要な焼結鉄品質の変更を計画する場合にはいきなり焼結工場で実施するのではなく、まず小規模の鍋焼結試験を行なうのが通例である。鍋焼結試験の目的は焼結工場の操業条件の設定と焼結鉄の各種性状の把握である。

焼結工場での実操業に先立ってこのような試験を行なうことにより、実操業での不測の事態を回避することができ、目標品質の焼結鉄を確実に得ることができる。

石家荘鋼鉄廠においても、前に推奨した焼結鉄品質の変更を実施される場合は鍋焼結試験を行なって、段階的に着実に実施されるよう推奨する。

なお、参考のために日本 K 社で実施している各種性状試験の中で還元性状に関わる項目を表 3.1.2-5 に示す。

表 3.1.2-5 各種還元試験法

	J I S 還元試験	低温還元 粉化試験	高温荷重 還元試験
供試試料粒径	20±1	20±1	(注) 9.5~12.6 20±1
試料量	500g	500g	90g
還元ガス	CO30:N ₂ 70	CO30:N ₂ 70	CO30:N ₂ 70
還元ガス流量	15Nℓ/min	15Nℓ/min	7.2Nℓ/min
荷重条件	—	—	1kg/cm ²
昇温速度等	室温~900℃ 90分で昇温 900℃ 30分保持 180分還元 900℃~室温 90分で冷却	室温~550℃ 60分で昇温 550℃ 30分保持 30分還元 550℃~室温 60分で冷却	室温~1,000℃ 10℃/分で 昇温還元 1,000℃~ 5℃/分で 昇温還元
備考	—	還元試験後サンプルの回転試験での -3%より RDI算出	—

(注) 試験目的に応じて変更する。

(c) コークス品質に対する考え方と管理

コークスは高炉炉内にあっては塊状帯、軟化融着帯、滴下帯のいずれの帯域にあっても、炉内通気性を確保する機能を有する必要がある、軟化融着帯以下の帯域において特にその割合は高い。したがって、コークス品質の良否は他の如何なる要因にも増して、高炉の炉況に強く影響すると考えられ、コークス品質はいわば高炉炉況のベースを規定するものと言える。

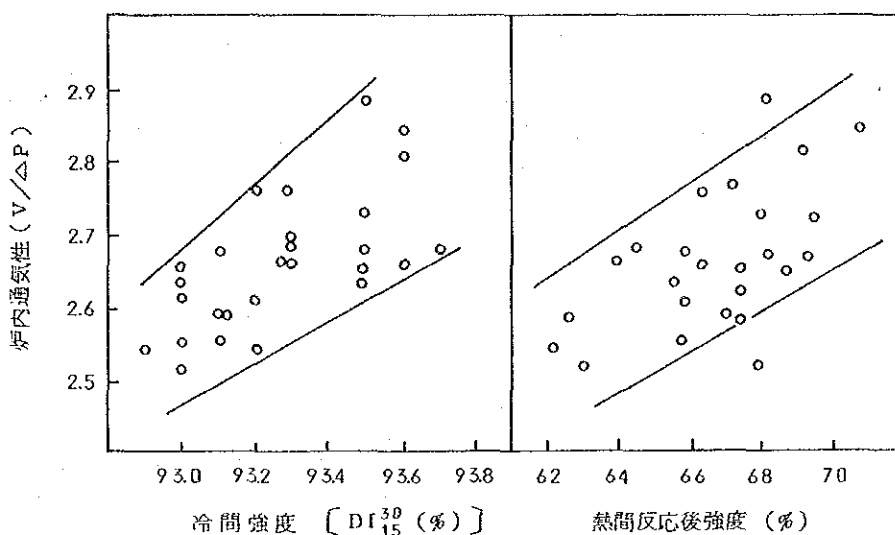


図 3.1.2-22 コークス性状と炉内通気性 (V/Δp) の関係

コークス性状としては、冷間での強度(耐衝撃性、耐摩耗性)と高温域でのCO₂ガスとの反応性およびそれに伴う強度劣化の2性状が高炉炉内にあってはもつとも問題となるが、前者を冷間強度、後者を熱間性状と称している。

コークス品質悪化時の炉況への影響については熱間性状を例にとって図3.1.2-14に模式的に示したが、冷間強度低下時にほぼ同様の現象が想定される。

図3.1.2-22にコークス性状と高炉炉内通気性の関係を示す。冷間強度(DI₁₅³⁰)、熱間性状とも炉内通気性との間に明確な相関が認められる。

一方、コークス冷間強度と熱間性状の間には相関関係が認められるものの、その関係は常に同一のものとはならない。(図3.1.2-23参照)

これは、コークスの冷間強度と熱間性状を規定する製造要因が共通のもの、共通でないものより成立っていると考えられ、大巾な石炭の配合変

更等の実施により両者の関係は変化するものと考えられる。

図 3.1.2-2 4 に石炭単銘柄缶焼サンプルの冷間強度と熱間性状の関係を
示すが、原料炭特性からみても冷間強度に有効な石炭が必ずしも熱間性
状にも有効とは言えず、ある程度前述の傾向を裏付けている。

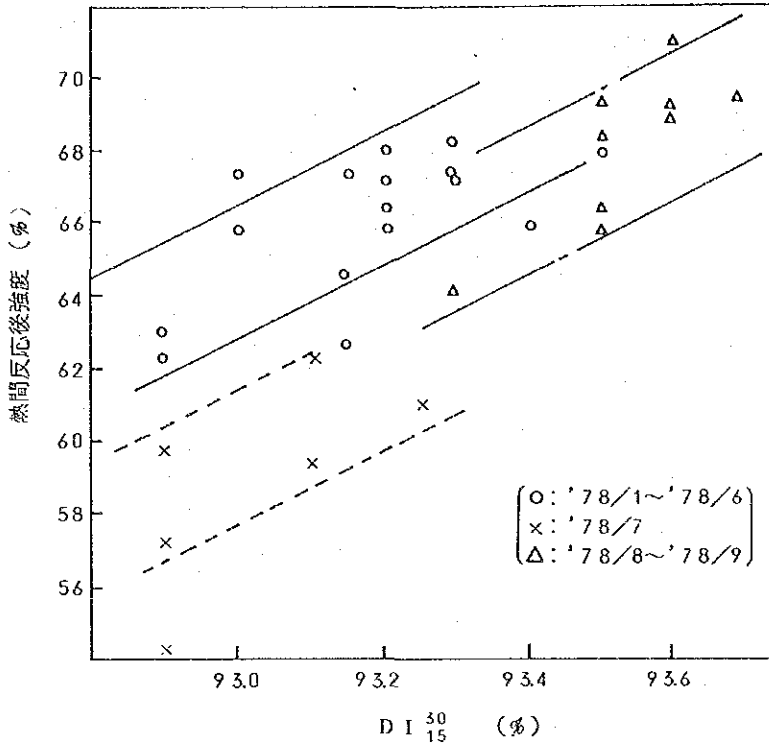


図 3.1.2-2 3 コークス冷間強度と熱間性状の関係

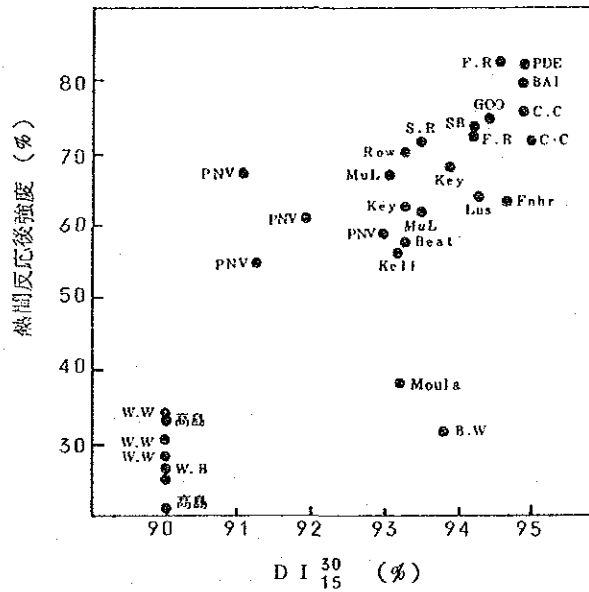


図 3.1.2-2 4 単銘柄缶焼サンプルの冷間強度
と熱間性状の関係

したがって、日本K社では冷間強度と熱間性状は別個に目標を設定し、管理することとしているが、各々の管理目標、測定頻度を表3.1.2-6に示す。

表3.1.2-6 コークスの品質管理目標

	対象高炉	管理目標	管理値種別	測定頻度
冷間強度 $D I_{15}^{30}$ (%)	№ 1	≥ 93.0	\bar{x}	3回/日
	№ 3	≥ 93.4	"	"
熱間反応後強度 (%)	№ 1	≥ 63.0	x	3回/日
	№ 3	≥ 65.0	"	"

また、コークス熱間性状の測定方法を参考までに示すと以下のごとくである。

- i. 試料 $20 \pm 1 \text{ mm} \quad 200 \text{ g}$
- ii. 反応性試験条件
 - 反応ガス CO_2
 - ガス流量 5 l/min
 - 試験温度 1100°C
 - 試験時間 120 min
- iii. 反応率表示 $\frac{\text{反応減少量 (g)}}{200 \text{ (g)}} \times 100 (\%)$
- iv. 反応後強度試験
 - 回転試験筒 $130 \text{ mm} \phi \times 700 \text{ mm L}$
 - 回転数 30 rpm
 - 回転時間 20 min
- v. 反応後強度表示 $\frac{\text{試験後試料+10mm重量 (g)}}{\text{回転強度試験供試試料重量 (g)}} \times 100 (\%)$

B. 炉内ガス流分布制御

図 3.1.2-25 に炉内ガス流分布の考え方を示す。炉内ガス流分布は装入装置、炉体プロフィールなどの設備面、原料粒度、焼結鉄配合率などの原料面、装入方式、送風条件等の作業面の諸要因により決定されるが、設備および原料は日常の作業においては自由度が少なく、装入線、コークス・ベース、鉄石／コークス、ムーバブル・アーマーの使用、その他による装入物分布制御を通して行われる。

炉内ガス流分布はガス流速から直接に把握することは困難であり、炉口部またはシャフト上部のガスの温度または成分分布からガス流分布を判断することが一般的に行われている。炉口部はすり鉢状になっているので、ガス流はシャフト最上部の装入物層内で炉中心部へ向かう傾向にあり、そのため炉口部のガス温度分布はシャフト部のそれに比べて中心部のピークがシャープになる。

適正なガス流分布とはある程度の周辺ガス流を確保し、装入物の正常な降下を保証し、付着物の生成を防止し、炉体熱負荷を押えるものでなければならない。また中心部は亜鉛の排出と原料粒度の変動を吸収するためにガス流を強める必要がある。従って鋭い中心ガス流を確保し、できるだけ広い範囲の中間部でガス利用率を向上させることが肝要である。炉口温度計の温度パターンで図 3.1.2-26 に示すものを理想とする。

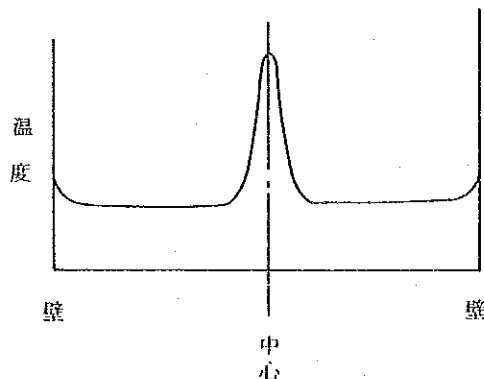


図 3.1.2-26 理想的な炉口ガス温度分布

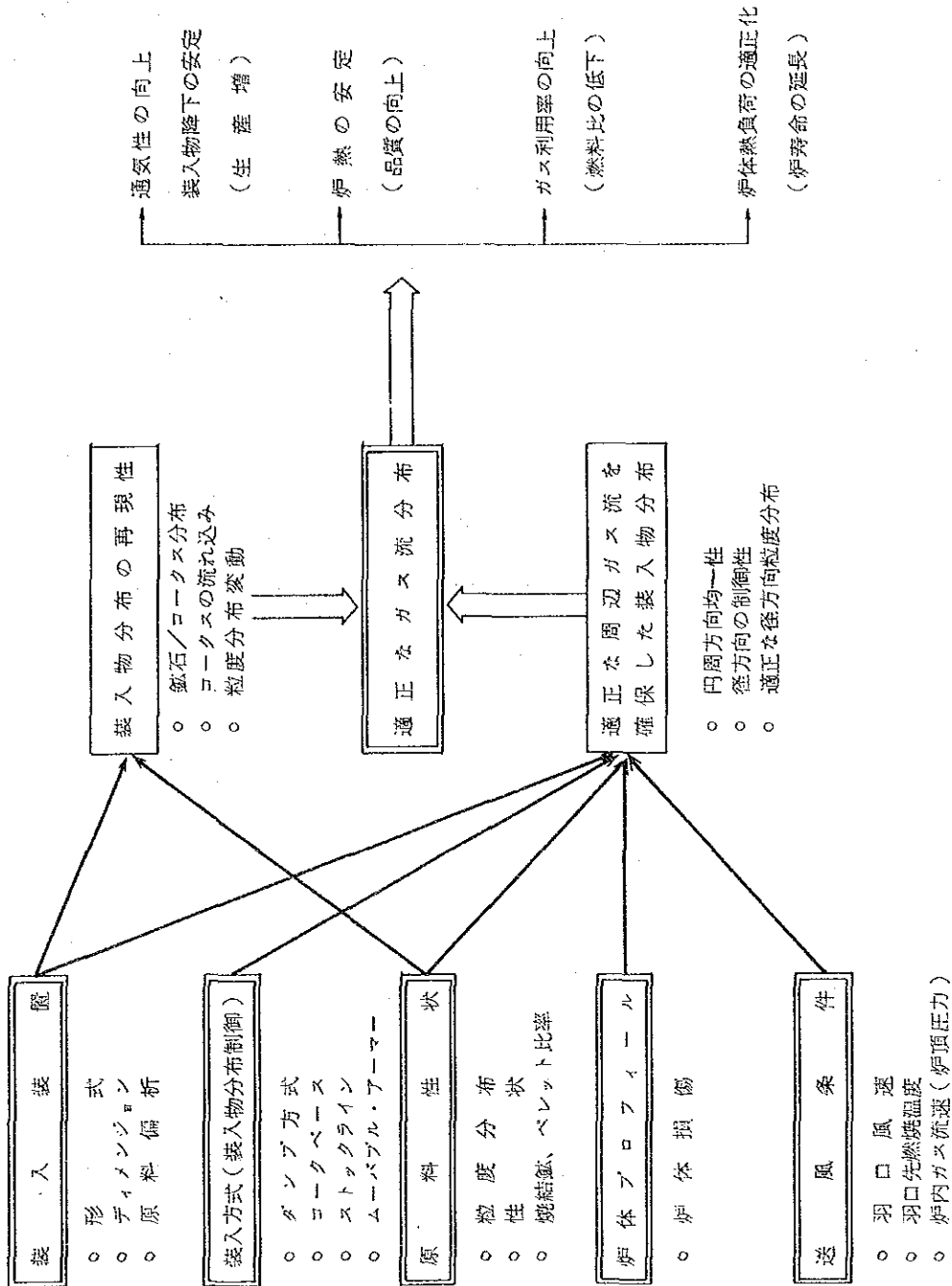


図 5.1.2-25 炉内ガス流分布の考え方

(3) 既設設備の改善課題

第一高炉稼働率は96.6%(1985年実績)と旧式の設備にもかかわらず比較的高いレベルにある。ここでは高炉事故休風、減風の主要因に対する対策を中心に、設備上の改善課題について述べる。

1) 熱風弁冷却水の軟水化(または純水化)

第一高炉熱風炉の熱風弁は破損取替が多く発生している。これは以下に述べるごとく熱風弁冷却水の水質に問題があると予想される。

熱風弁の冷却に地下水を循環使用しているが、これは表3.1.2-7に示すごとく硬水であり、i) Ca濃度、ii) Cl^- SO_4^{--} 濃度に問題がある。従って表3.1.2-8に示すごとく、i)スケール障害、ii)腐蝕、iii)溶存酸素による障害が考えられる。水質のうち溶存酸素は図3.1.2-27に示すごとく腐蝕速度に大きく影響する。また腐蝕の発生機構は図3.1.2-28に示すごとく不純物の付着が酸素濃淡電池として発展し、Feの溶出となる。

これを防止するためには不純物の付着となるイオンを予め除去して、硬水

表3.1.2-7 冷却水水質

	石家庄鋼鐵廠	日本K社Q-2高炉
CaCO ₃ (ppm)	267	29
電導度(μs/cm)	628	160
Cl ⁻ (ppm)	64.6	14
SO ₄ ⁻⁻ (ppm)	130.3	16
全 硬 度	367	30

日本K社Q-2高炉では(防蝕剤+スケール分散剤)処理をした軟水を使用しているが、Q-3高炉では密閉冷却純水を使用している。

表3.1.2-8 水質と障害

	障 害
CaCO ₃	スケール障害
Cl ⁻	
SO ₄ ⁻⁻	腐 蝕
溶 存 酸 素	
細 菌 類	スライム(slime)障害

を軟水（または純水）にすると同時に冷却水中の溶存酸素濃度を低下させるか、防蝕剤を添加し酸素濃淡電池化を軽減する必要がある。

高炉の熱風弁冷却水として、ボイラー用の処理水の一部を充当するか、または簡単な軟水化装置を導入して防蝕剤を使用し、循環使用することが望まれる。図 3.1.2-29、30 にそれぞれの熱風弁冷却水フローを示す。

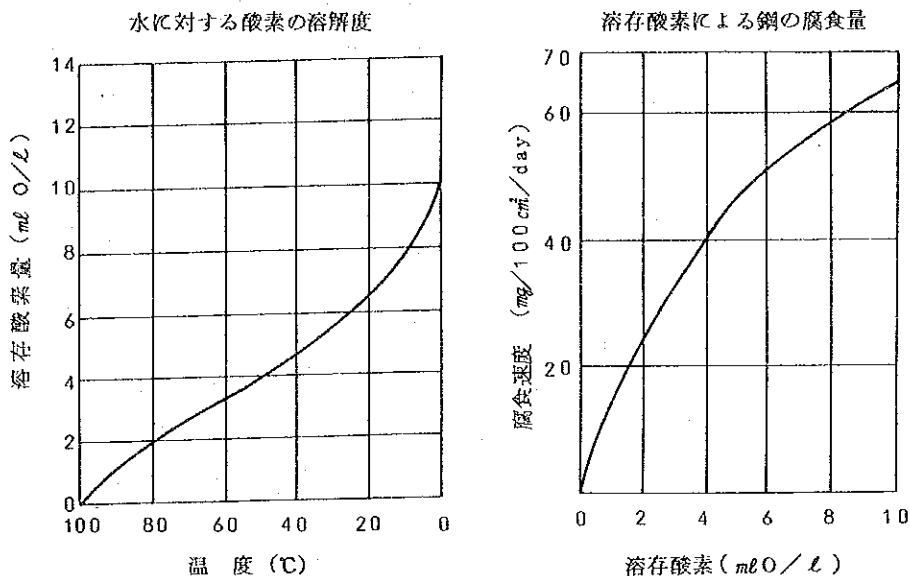


図 3.1.2-27 溶存酸素量と腐蝕速度

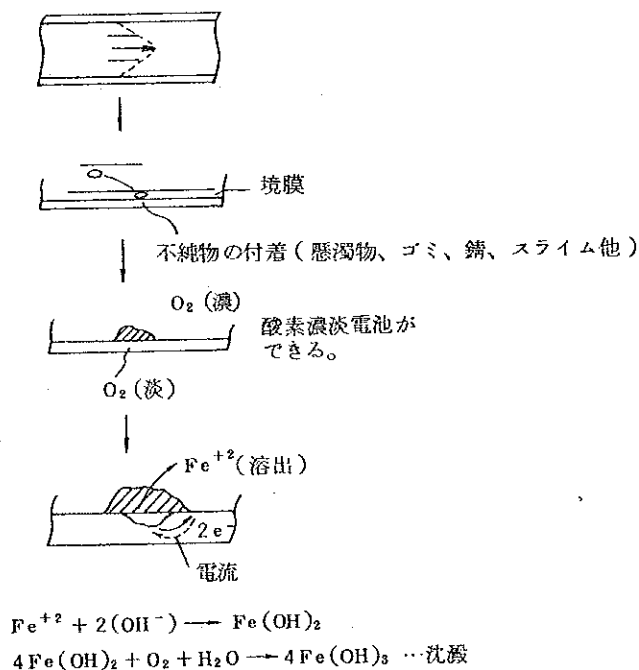


図 3.1.2-28 腐蝕の発生機構

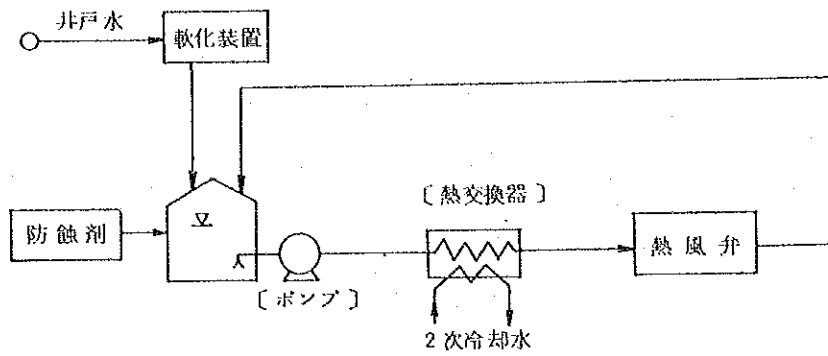


図 3.1.2-29 熱風弁冷却水フロー（軟水）

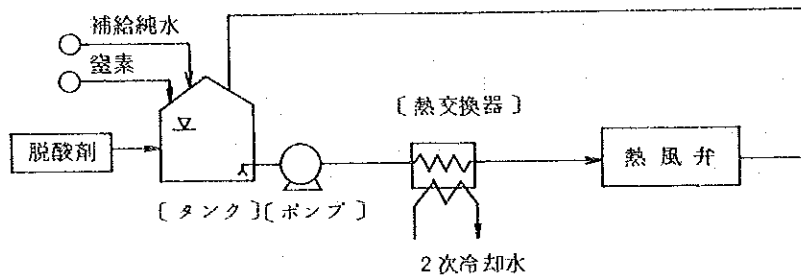


図 3.1.2-30 熱風弁冷却水フロー（純水）

2) 熱風炉の燃焼制御および送風温度制御

熱風炉の燃焼制御は通常燃料ガス流量制御およびカロリー制御（混合ガスの場合）、空燃比制御によりドーム温度および排ガス温度制御を行なっている。また熱効率の観点からは、燃焼時においてできるだけ高いドーム温度と、排ガス中のCO、O₂の低減が肝要である。ここでは高炉ガス専焼での制御方法の事例を紹介する。

A. 初期高炉ガス量設定と空燃比制御

熱風炉における蓄熱はチェッカー～燃焼ガス間の温度差が大きいほど効率がよい。従って燃焼初期のチェッカー温度が低い期間にできるだけ高い温度の燃焼ガスを多量に通過させるのが、熱効率の観点より効果がある。しかし、チェッカー受金物耐熱温度で決まる排ガス温度制約と使用レンガ材質から決まる最高ドーム温度制約からおのずと最適値が存在する。従って熱効率を考慮して日常操業で燃焼サイクルと初期高炉ガスを決定する。燃焼期の前半はこの初期高炉ガス量で、空燃比を一定に保ちながら燃焼する（空燃比制御）。

燃焼開始時の制御は図3.1.2-31に示す通りである。燃焼開始指令より空気シャ断弁全開 → 空気調整弁開始となり下限空気量（バーナー最低ガス量に対応する空気量）まで開く。この段階でガスシャ断弁全開 → ガス調整弁開始となる。下限空気量以上で、あらかじめ設定されたガスノ

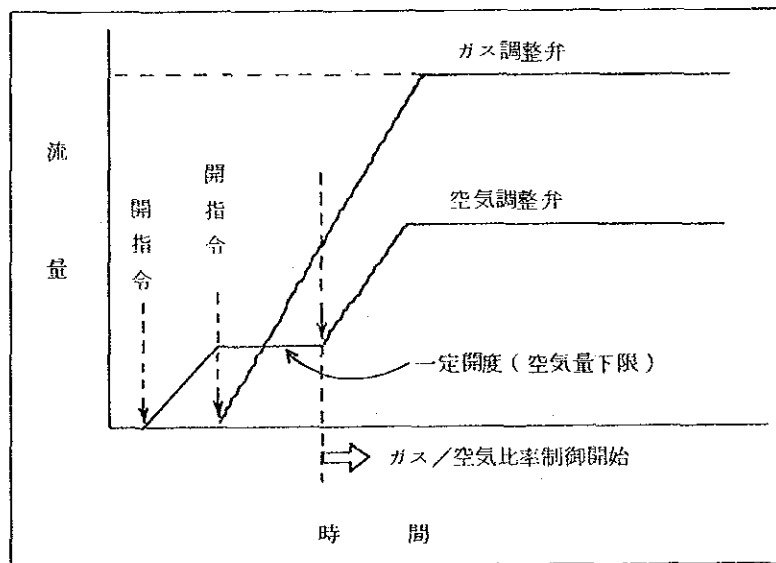


図 3.1.2-31 燃焼開始時の燃焼制御

空気比率になれば空燃比制御にはいり、初期高炉ガス設定量までガス調節弁が開となる。

B. 排ガス温度制御

この制御は燃焼期完了までに排ガス温度が上限温度を超えないようにするものである。上限温度の手前にチェック温度を設けておき、この温度を超えると、排ガス温度上昇を鈍化するため、排ガス流量（従って高炉ガス流量）を予め設定された減少率に従って低下させるものである。

(図 3.1.2-32)

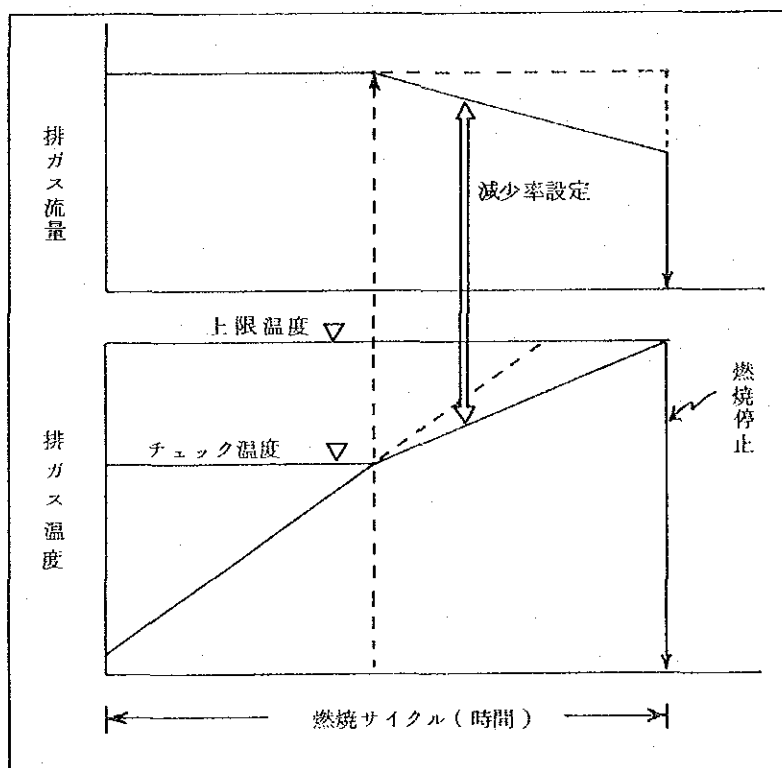


図 3.1.2-32 排ガス温度制御

C. ドーム温度制御

この制御はドーム温度が上限を超えないように設定ドーム温度に達すると過剰空気を投入し、ドーム温度の上昇を抑えるものである。(図 3.1.2-33)

以上3つの制御は燃焼期間中、それぞれ独立して作動する。送風温度制御は熱風本管終端部に設けられた送風温度計が指示値になるように混合冷風量を調節して行なう。熱風炉4基の場合は切替に時間差をつけ蓄熱量の異なる2基の通風炉への通風量分配を制御するスタガードバラレル (staggered

parallel) 制御も使用されている。(図 3.1.2-34、-35) 石家荘鋼鉄廠の第一高炉では混合冷風調節弁が正常に作動してなく、改善が望まれる。

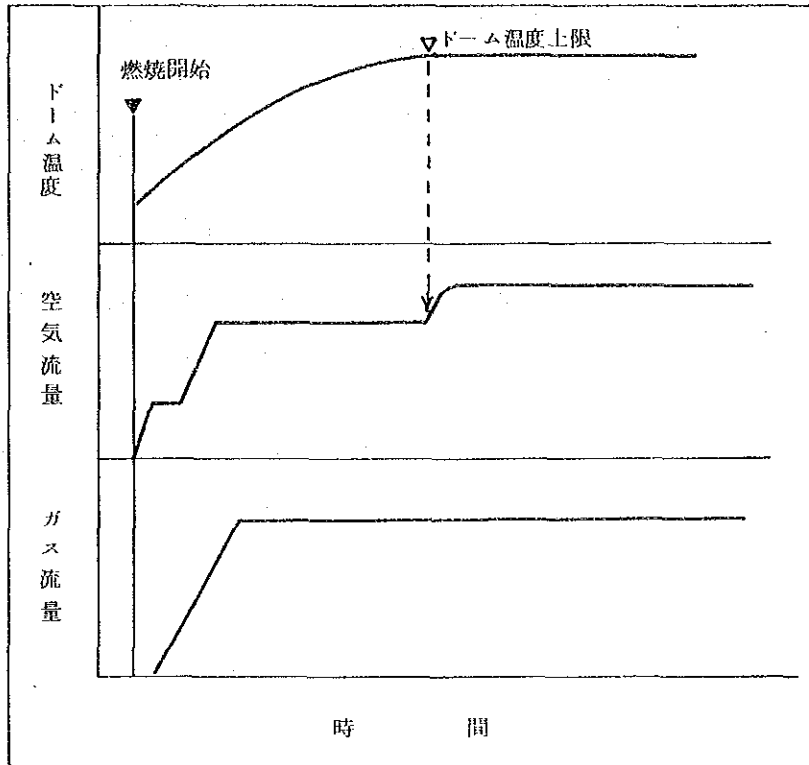


図 3.1.2-33 ドーム温度制御

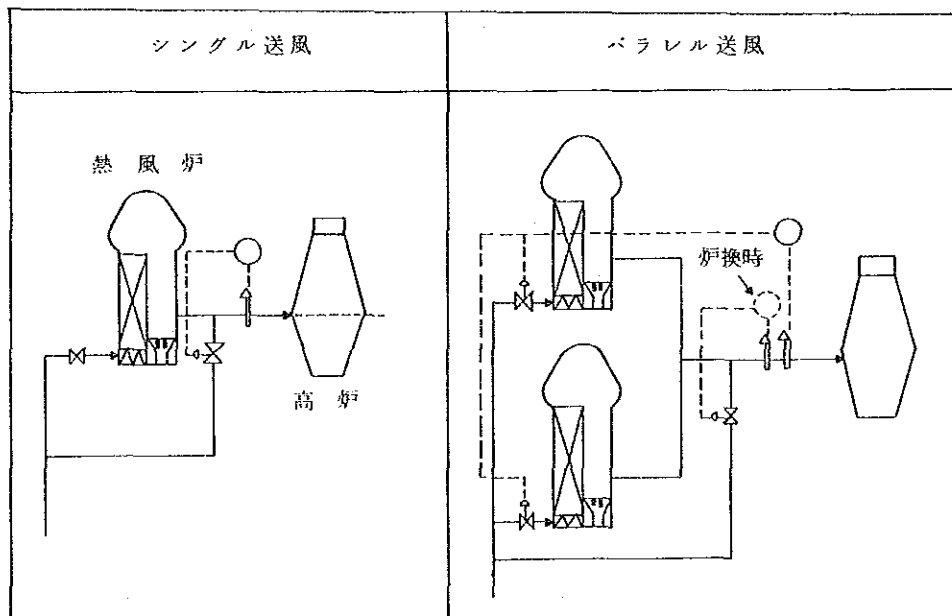


図 3.1.2-34 熱風炉送風方式

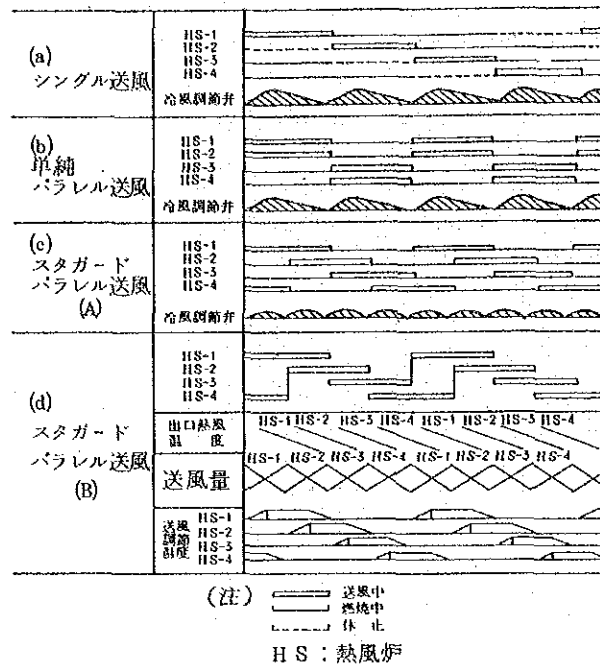


図3.1.2-35 送風方式と送風温度制御

3) 熱風炉の省エネルギー

熱風炉における熱効率の向上手段を図3.1.2-36に示すが、その手段は
 i) 排ガス損失の低減と ii) 放散熱の低減に大別される。前者は投入熱量、空燃比、燃焼 — 送風方式等の操業管理の強化で対処できるものと、ドーム温度の上昇、排熱回収等の設備改善を伴うものがある。後者は炉体放散熱、送風本管、熱風本管等の放散熱量を減少させる設備改善を行なうものである。

日本において従来は燃焼管理による省エネルギーが主であったが、エネルギー危機(1973年)以降、熱風炉の排熱回収が積極的に実施されている。代表的な排熱回収方式とその比較を表3.1.2-9に、また日本K社における実施例を図3.1.2-37に示す。

4) ブローパイプ、羽口の断熱

第一高炉で1,050℃、第三高炉で1,150℃まで送風温度を上昇させる計画がある。このような送風温度に対して、ブローパイプの断熱材が現状のまま(耐火物と水ガラスの混合物)では、損耗が激しく、ブローパイプの耐用性に問題を生じる。また折角、熱風炉で発生させた高温送風が、ブローパイプ部の熱放散、羽口部での冷却によって低下することになる。

図3.1.2-38に日本K社でのブローパイプ、羽口部での断熱強化の実施

例を示す。これらは総合的に30～50℃の送風温度の上昇効果がある。

5) 羽口取替方法

現状では、ブローパイプ、羽口の取替は人力で実施されている。参考までにウインチ、チェーン・ブロック等を使って取替える例と、フォークリフトを利用する例について図3.1.2-39に示した。

< 手 段 >

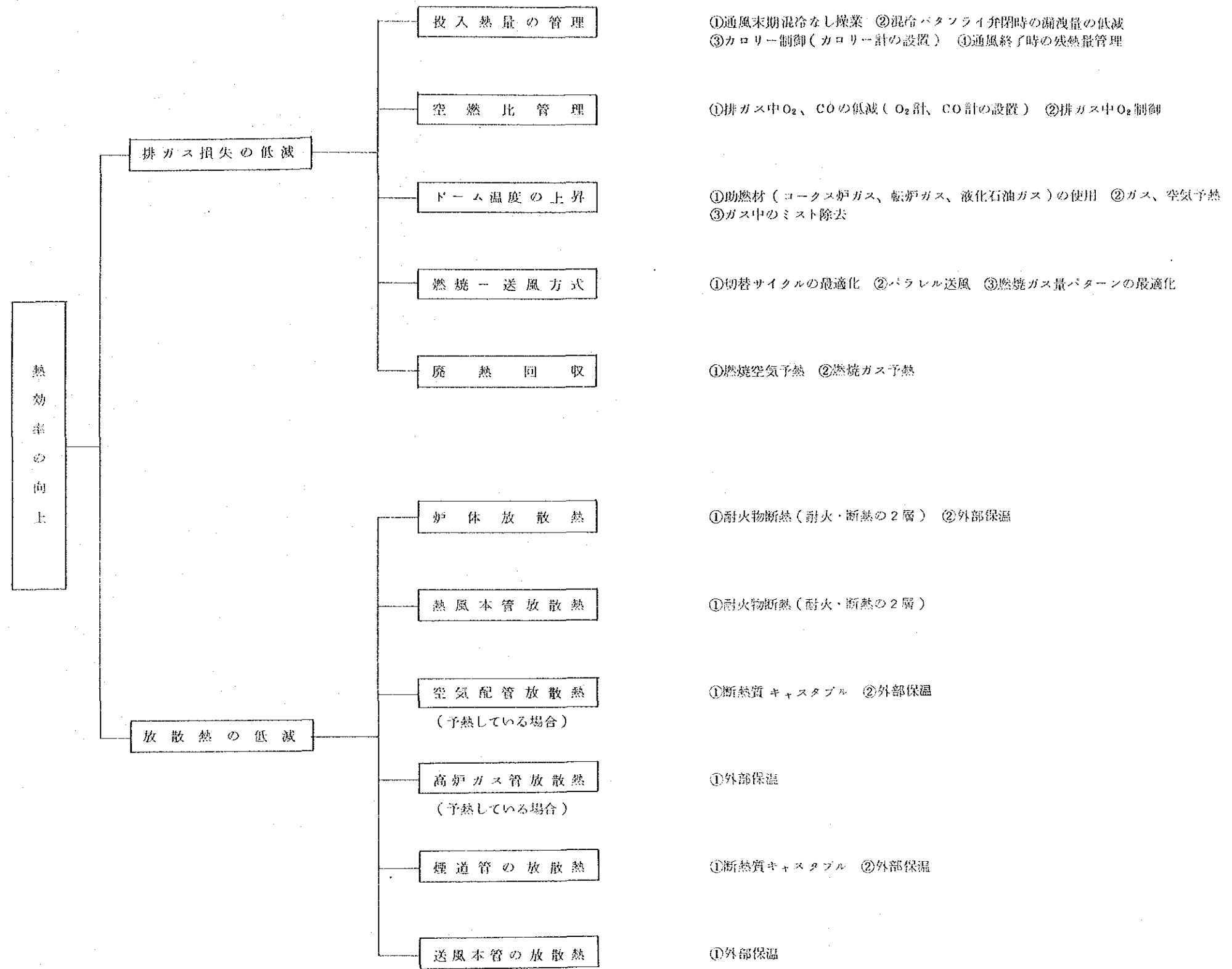
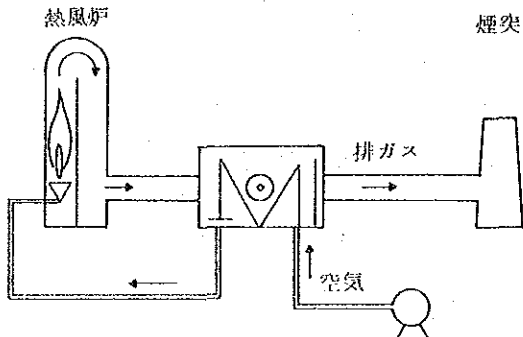
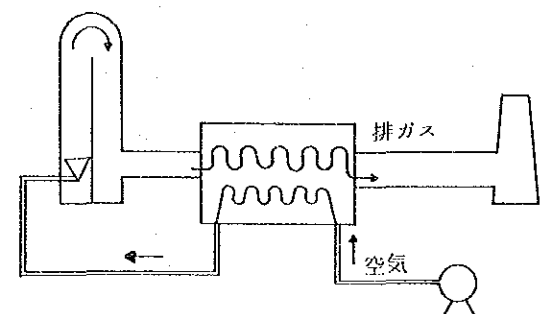
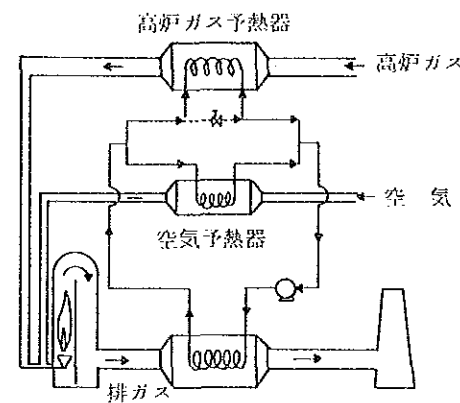
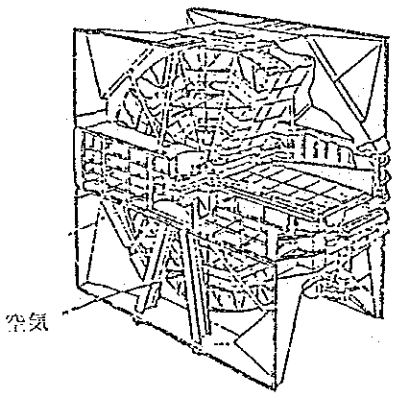
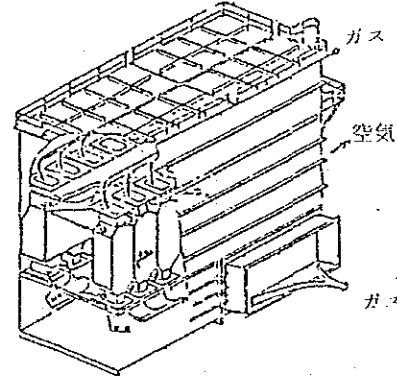
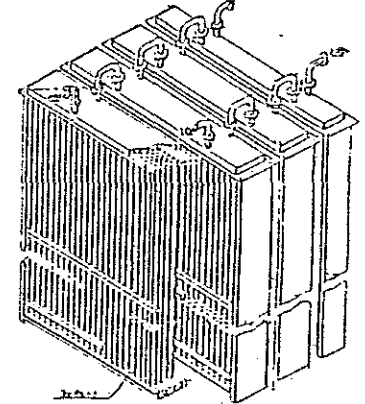
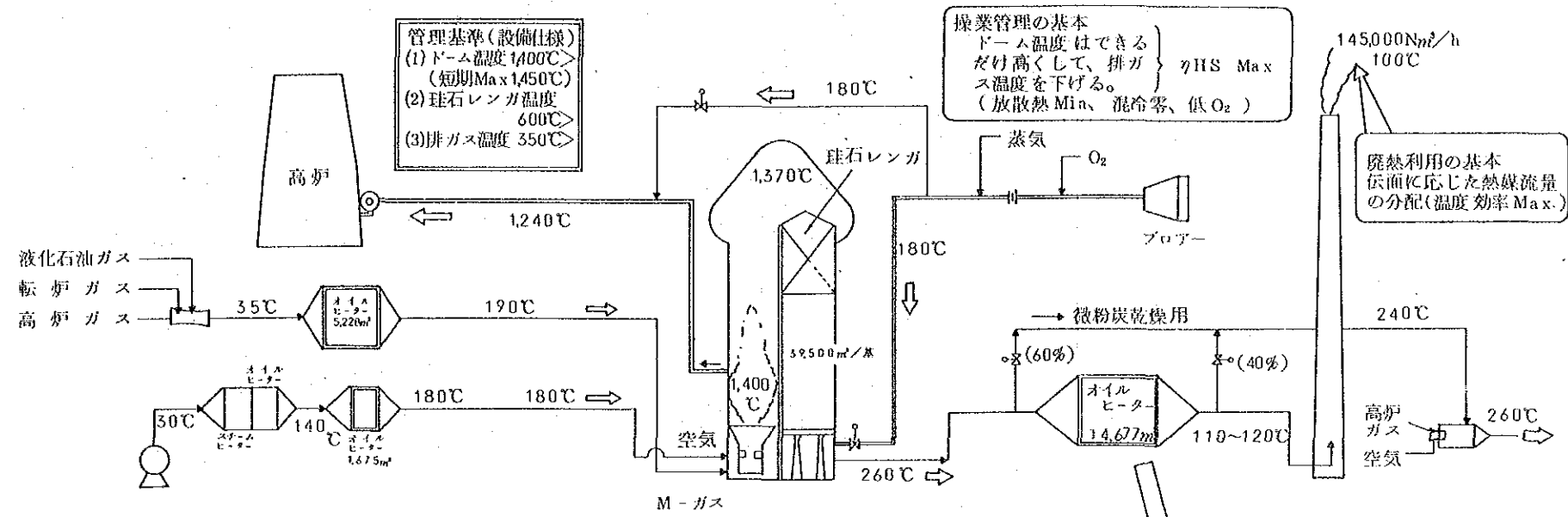


図3.1.2-36 熱風炉熱効率の向上手段

表 3.1.2-9 廃熱回収方式

方式	回転方式(ユングストローム型)	プレート方式	熱媒方式
<p>フーロ図</p>	<p>原理；高温ガス(廃ガス)と低温ガス(空気)の間に蓄熱体をおき(エレメント内蔵)、この蓄熱体により高温廃ガスから熱を奪い、蓄えた熱を回転により空気側に運搬し、熱を交換する。</p> 	<p>原理；プレス加工によって波型をつけた銅板(厚み：0.8~1.3mm)を重ね合わせ高温ガス(廃ガス)と低温ガス(空気)を対向流に流し、熱を交換する。</p> 	<p>原理；放熱側(廃ガス)と受熱側(空気または高炉ガス)にそれぞれフィンチューブ型の熱交換器を設け、その間に熱媒体を強制循環させて受熱側から放熱側に熱を運搬させて熱を交換する。</p> 
<p>熱交換器の構造</p>			
<p>特徴</p>	<ol style="list-style-type: none"> (1) 外部への漏洩量 約10% (2) 漏洩があるため、空気予熱しかできない。 (3) コンパクトである。 (4) 回転式のため偏流が少なく、排ガス出口温度を下げられる。 	<ol style="list-style-type: none"> (1) プレート間の漏洩量 約5% (2) リークがあるため、空気予熱が一般的である。 (3) 設置面積は大となる。 (4) 偏流を考慮する必要があり、排ガス出口温度は高くなる。 	<ol style="list-style-type: none"> (1) 漏洩無し (2) 空気、ガス予熱も可能である。 (3) 熱交換器は放熱側と受熱側に分離 → レイアウトの自由度大 (4) 熱媒(消防法適用)のため排ガスを酸露点温度(約100℃)以下に下げにくい。 (5) 建設費が高い。

(1) K社K製鉄所第三高炉熱風炉マテリアル・フロー



(2) K社K製鉄所第三高炉

入 熱			出 熱			備 考
項 目	熱 量 ($\times 10^3 \text{ kcal/h}$)	比 率 (%)	項 目	熱 量 ($\times 10^3 \text{ kcal/h}$)	比 率 (%)	
燃料潜熱	79,337	96.1	送風顕熱	66,395	80.4	送風本管保温
			排ガス顕熱	6,685	8.1	HE出側128°C
" 顕熱	1,096	1.3	未燃CO潜熱	593	0.7	CO=0.13%, O ₂ =0.79%
			HS本体放熱	2,860	3.5	ドross その他 t _w =72°C, 70~85°C
熱空顕熱	687	0.8	熱風弁 "	1,238	1.5	水温 Δt=2~3°C
			熱風本管 "	535	0.6	t _w =80°C (注-2)
蒸気凝縮熱	1,494	1.8	煙道管 "	471	0.6	t _w =86°C
			燃空管 "	254	0.3	t _w =45~58°C
			(注-1) HE外被 "	35	-	t _w =47°C
			不明損失	3,588	4.3	
計	Σ 82,654		η _{HS} =82.1% (蒸気不含 83.6%)			

(注-1) HE: オイルヒーター
(注-2) t_w: 鉄皮外壁温度

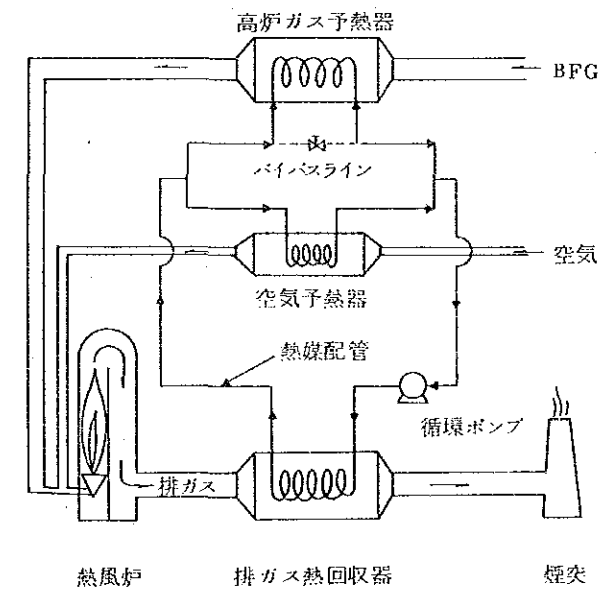
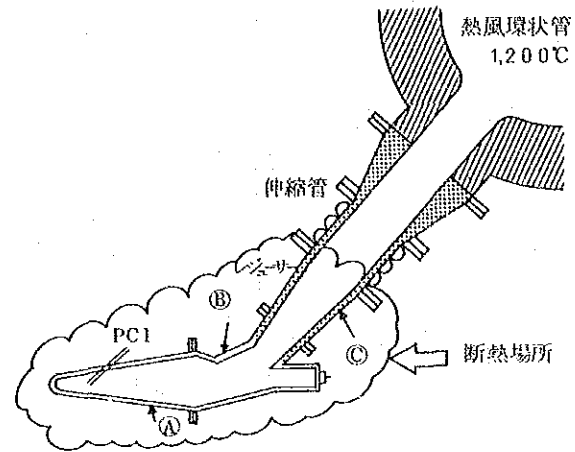


図 3.1.2-37 熱風炉の操業実績

<ブローパイプ送風支管耐火物の断熱例>

適用部位



断熱効果

(鉄皮温度)

	改善前	改善後
①	363°C	262°C
②	322°C	232°C
③	306°C	225°C

回収熱量(ΔQ) ≒ 13,000 kcal/h・本(送風温度+5°C相当)

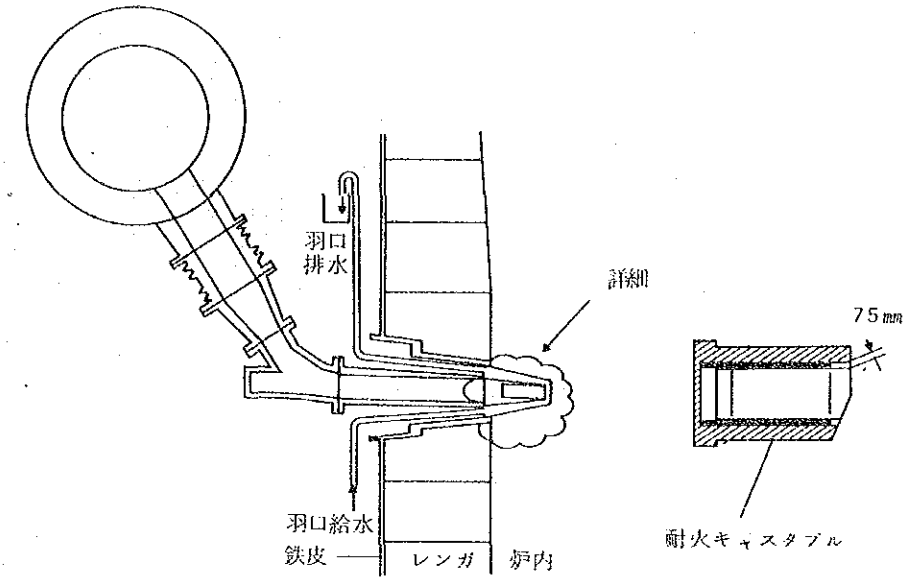
耐火物材質

		改善前	改善後
最高使用温度°C		1,650	1,500
成分	Al ₂ O ₃ %	55	55
	SiO ₂ %	36	42
嵩比重		2.15	1.50
熱伝導率	400°C kcal/m・hr・°C	0.66	0.42
	800°C	0.76	0.44

(キャストブル厚み: 80mm)

<送風羽口内面の断熱例>

適用部位



断熱効果

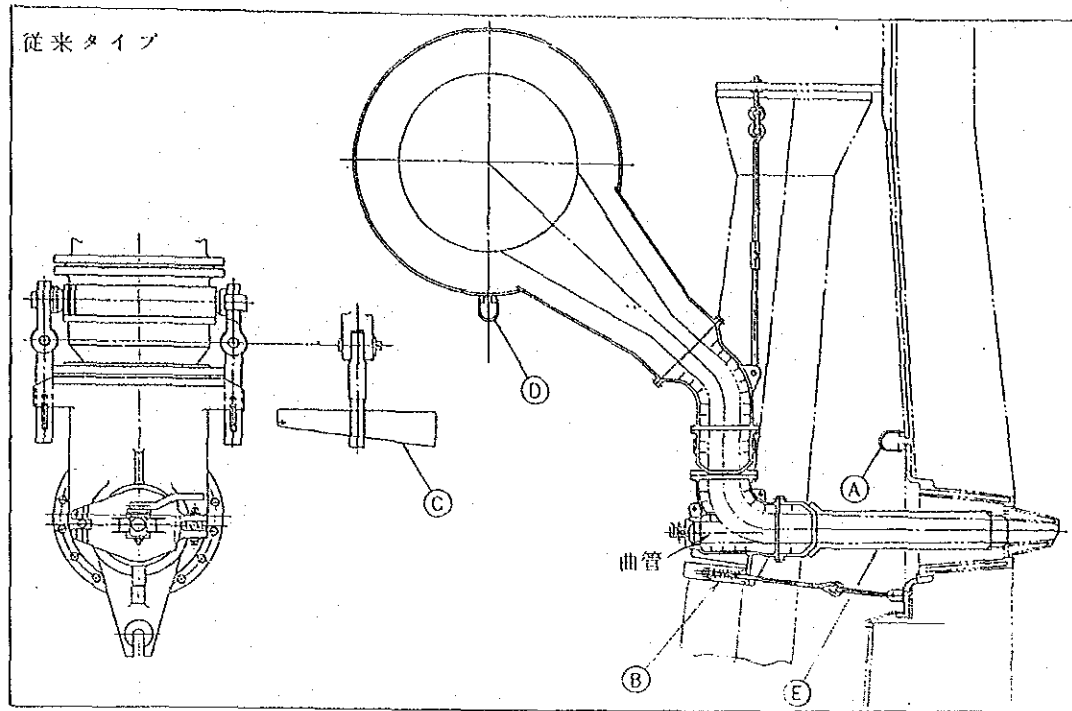
	第二高炉	第三高炉	
羽口リング未装着時の排水温度(°C)	24.0	32.7	
羽口リング装着時の排水温度(°C)	19.9	29.3	
Δt (°C)	4.1	3.4	
断熱量(kcal/min・本)	1,250	1,020	
条	羽口水量(L/min)	306	300
件	送風温度(°C)	1,087	1,028

→送風温度+約2.5°C相当

断熱リングの材質

化学成分(%)		最高使用温度	熱伝導率	圧縮強さ
SiO ₂	Al ₂ O ₃	°C	kcal/m・hr・°C	kg/cm ²
70	23	1,350	0.8	800

図 3.1.2-38 ブローパイプ・羽口の断熱方法



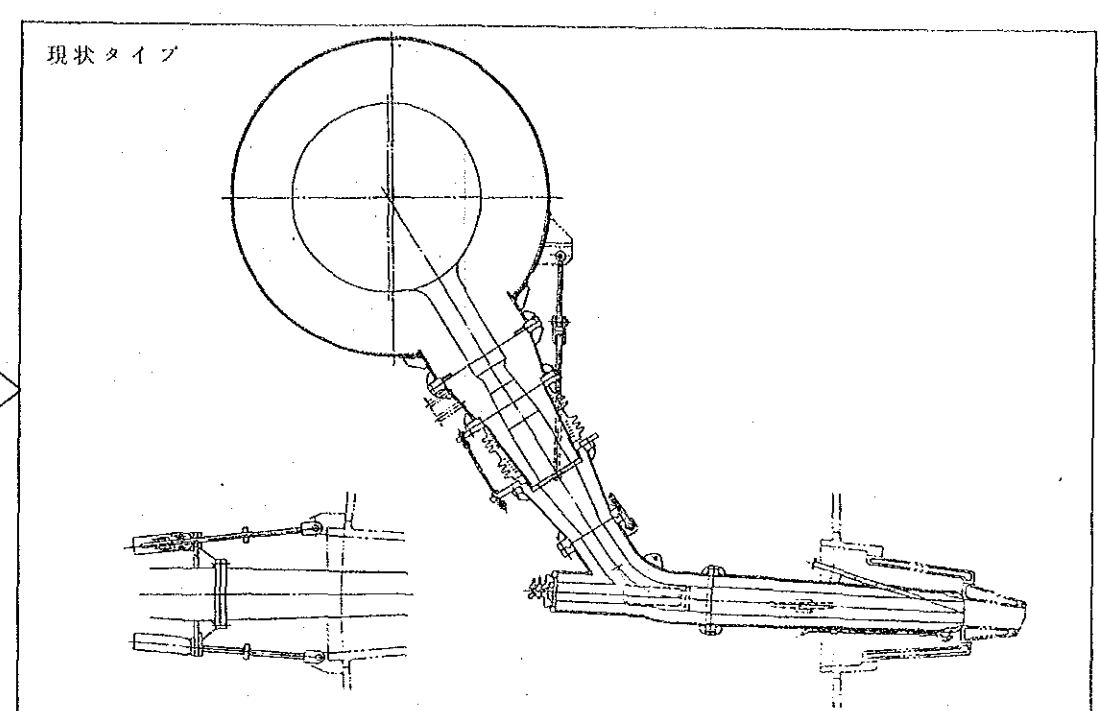
送風支管の取替方法

取りはずし要領

- (1) 吊環(A)にウインチ(作業床に設置)の滑車とチェンブロックを取付け、ブローパイプを保持する。
- (2) 万力(B)を弛める。
- (3) 曲管のコッター(C)を弛める。
- (4) 熱風環状管に取付けられた吊環(D)にチェンブロックをかけ、曲管を手前に引き上げる。
- (5) ウインチを徐々に弛め、ブローパイプ(E)を作業床に降す。
- (6) 炉体側のチェンブロックで曲管を定位置まで吊り上げる。

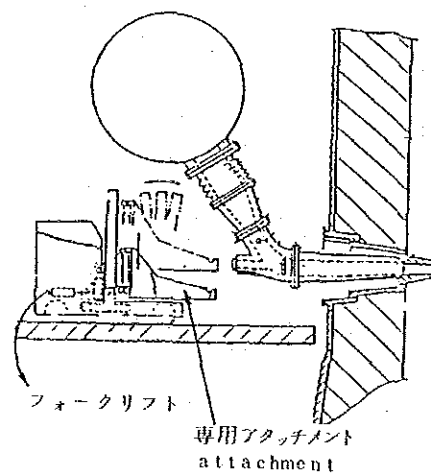
取り付け要領

- (1) ウインチでブローパイプを吊り上げ、羽口中心に挿入する。
- (2) 曲管を手前に引き上げる。
- (3) 炉体側のチェンブロックで吊り上げブローパイプと合わせる。
- (4) 万力を締付けたと同時に曲管両側のコッターを打込む。

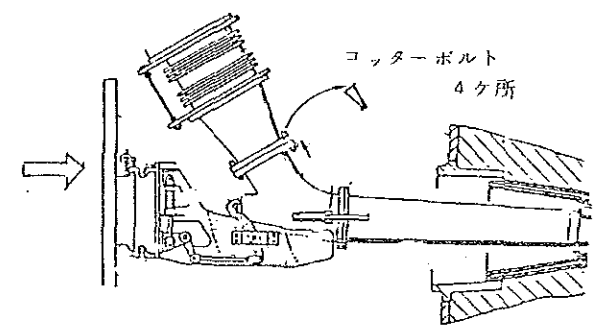


送風支管の取替方法

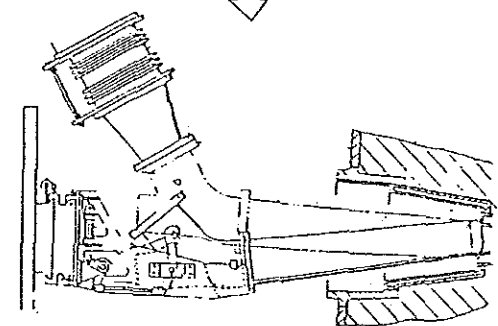
(1)



(2)



(3)



取りはずし

(1) → (2) → (3)

取り付け

(3) → (2) → (1)

図 3.1.2-39 送風支管の型式と取替方法

(4) 第三高炉設備に対するコメント

中間報告時(1986年6月)には1986年7月火入れを目標に建設が進められていた。今回入手した資料は限られたものであり、判断は困難であるが、いくつかのコメントを行なう。

1) 乾式集塵機における高炉ガス温度低下対策

ガス清浄設備は水処理の問題を解決するため乾式集塵機を採用している。これに関連して高炉ガス温度が低下した場合の対策について質問があり、以下に日本の事例について紹介する。

日本の高炉の大半は高圧高炉であり、高圧高炉ガスのエネルギーを回収するために炉頂圧回収タービン(TRT:Top pressure Recovery Turbine)を設置し、電力として回収している。

ダストキャッチャー以降のガス清浄設備は従来、湿式集塵機(ベンチュリースクラバー、リングスリットワッシャー)が多く、TRTとしては潜熱の回収が主であり、顕熱は湿式集塵機で捨てられていた。この点に着目し高圧の乾式集塵機が開発され、顕熱も回収するために各所に設置されているのが現状である。高圧の乾式集塵機としては現在、バグフィルター式(BDC)および電気集塵機(乾式EP)の2種類が存在する。

いずれの場合も機械の耐熱温度の問題から入口ガス温度に制限があるため、入口ガス温度の上限を制限するための設備が必要であり、またガスが露点以下になると蒸気が結露し、集塵機能を損うため、露点以上に保つ必要がある。

さらに、集塵機では冷却機能がないため、以降の設備の耐熱温度を考慮した冷却装置が必要である。

A. 日本における乾式集塵機の実績について

i. SU社K製鉄所第二高炉 …… BDC

ガス量: 233,300 Nm³/h 圧力: Max 1.8 kg/cm²G

(' 8 4 年 4 月稼働)

ii. N社F製鉄所第二高炉 …… 乾式EP

ガス量: 430,000 Nm³/h 圧力: Max 2.0 kg/cm²G

(' 8 5 年 5 月稼働)

B. 日本におけるガス温度を低下させるための対策

- i. BDC …… ダストキャッチャーに高圧2流体(窒素+水)ノズルを設置し、微細な噴霧水にてガス温度を濾布の耐熱温度まで下げる方法。
- ii. 乾式EP …… EP入側に蓄熱バッファを設置し、高温ガスの熱を平準化しEPの耐熱温度以下のガスを流す方法。

C. 日本におけるガス温度を上昇させるための対策

積極的な昇温対策はいずれの場合も取っていない。ダストキャッチャーと集塵機間のダクトおよび集塵機本体の保温で対処している。

D. バグフィルターを使用する場合の留意点

乾式集塵機としてバグフィルターを使用する場合、次の点を考慮すべきである。

- i. バグフィルターを通過するまでガスは蒸気の露点以上の温度を有すること。
- ii. バグフィルターの耐熱温度以下にすること [対策は(B)項の2種類がある。]

iの対策としては、①系を保温する方法、②積極的にガスを昇温する方法が考えられる。

②の方法は蒸気ヒーターを使用すれば原理的には可能であるが、ガス中にダストが多く含まれるため、熱交換部の摩耗が激しく、短期間で補修を余儀なくされる可能性が大であるため、この方法は推奨できない。

したがって①の保温する方法が簡単で効率的であるが、炉頂ガスそのものが露点以下になることが考えられるならば、その際は、バグフィルターを通さず、バイパスさせるべきであろう。バイパスの集塵機としては、ベンチュリースクラパータイプの集塵機または湿式EPが考えられる。

保温の範囲としては、ダストキャッチャー以降のダクト、乾式集塵機本体のみが一般的であるがダストキャッチャーでは温度降下が大で露点以下になることがあるならばダストキャッチャーも保温すべきである。操業条件、外気温度、外気風速、ガス流速、下降管条件等種々の条件を総合的に考え合わせた上で保温範囲を決めるべきであろう。また高炉ガスを空気に置換する際、直接空気を使用すれば爆発する恐れがある。したがって高炉

ガスをいったん蒸気または窒素で置換し、それを空気で置換するのが一般的である。バグフィルターの場合蒸気はフィルターにダストを固着させるため窒素を使用すべきである。更に、炉頂温度を上昇させるために装入物の水分低下、焼結鉱の装入温度の若干の上昇も有効である。

2) 炉頂装入装置の問題点

炉内ガス流分布の重要性について3.1.2-(2)で既に述べたが、装入装置によって装入物分布に固有の特性が決まり、その設計には装入物分布特性への配慮が必要である。第三高炉では図3.1.2-40に示すように大ベルの吊下げにヨーク(yoke)を使用してきた。この形状には次の2点に注意を払う必要がある。

A. 大ベル片開きの防止

大ベルは2個のシリンダーで駆動される。そのため各々のシリンダーの作動タイミングがずれると、大ベルが片開きとなり、径方向の装入物分布に差を生じ炉況不調の原因となりやすい。従って両者が同時に作動するよう駆動装置を制御することが必要である。

B. 円周バランス調整

大ベルホッパー内のヨークはかなり大型であり、小ベルからの原料を2分する。一方スキップカーからの原料供給は一方向(片側)に固定されている。従って旋回ホッパーがあるといえども、その使い方によってはスキップ側と反スキップ側(若干ずれる場合もある)で装入物分布、すなわち鉱石/コークス、粒度の分布が異なることがある。なお円周バランスの検出には図3.1.2-40に示すスキップロー温度計が有効である。操業中にスキップロー温度計の傾向を管理し、旋回ホッパーの旋回様式をチェックするとよい。

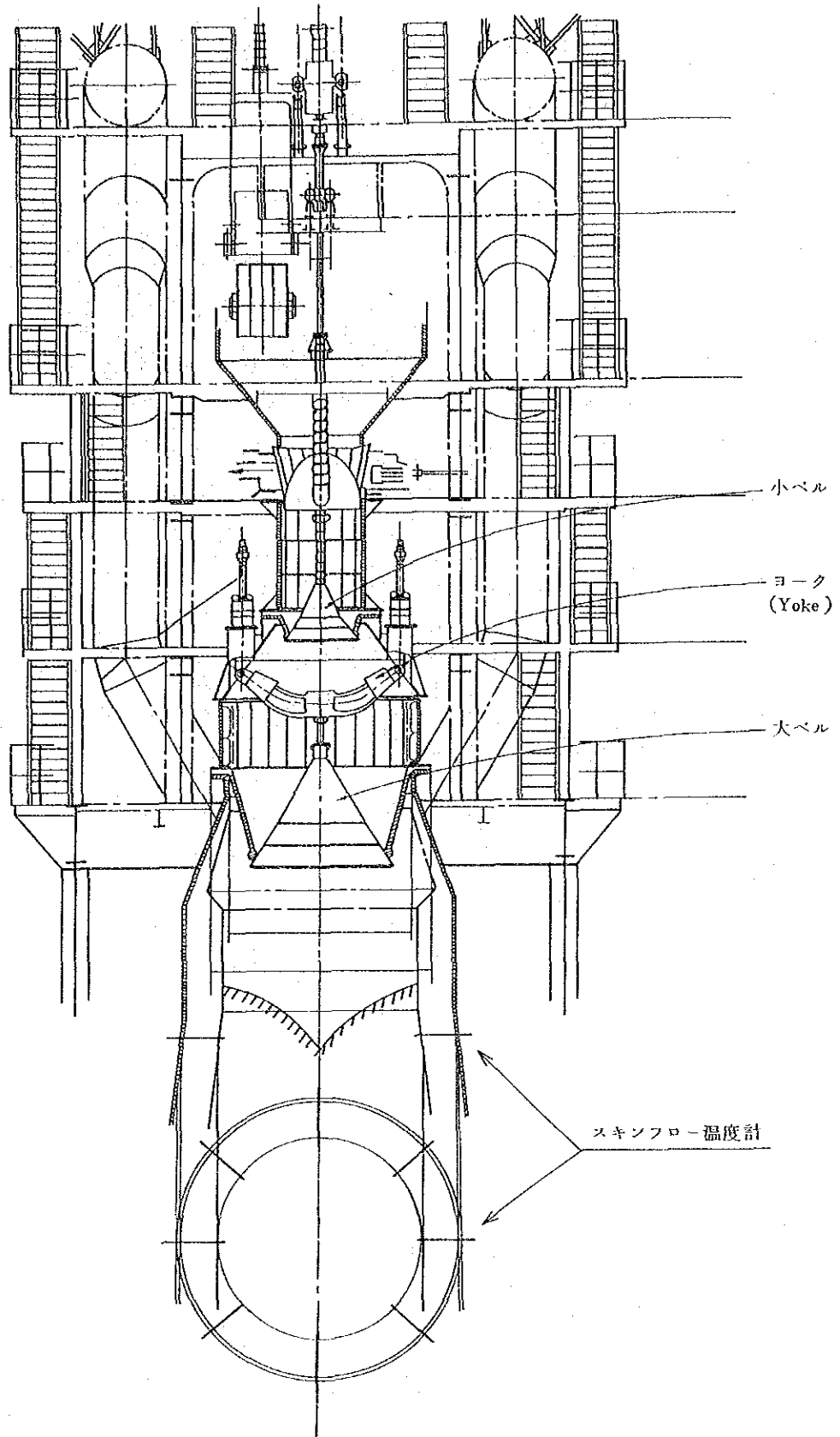


図 3.1.2-40 第三高炉炉頂装入装置とスキフロー温度計

3.2 近代化のための実施計画と設備投資

3.2.1 近代化実施計画

表3.2.1-1に製鉄工場の近代化スケジュールを示す。

表3.2.1-1 製鉄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
焼結関係	焼結原料ヤードの機械化	D				○11月	
	新焼結工場(50m ²)	C				○11月	
	焼結-高炉間成品直送ベルト	C		○12月			
高炉関係	第三高炉	A	○7月				
	高炉原料受入能力増強 (ベルト幅800→1,000mm)	C		○12月			
	給水設備増強(水量、水圧)	C		○12月			
	第一高炉ガス清浄設備の乾式化	C		○12月			
その他	溶鉄鍋(35トン)	A	○7月				
	鋳鉄機増強	C			○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

第三高炉稼働後は既存焼結機(24m²)での焼結鉄生産だけでは高炉原料不足するため、土焼結鉄を生産し、使用する予定となっている。現状以上に焼結鉄品質の低下が予想されるので、できるだけ早期に新焼結工場の建設が望まれる。

3.2.2 製鉄工場近代化のための設備投資

ここでは石家荘鋼鉄廠がすでに建設中、発注済み、および国家または河北省から決裁された設備については除外し、焼結原料ヤードの機械化についてのみ取り上げた。また同設備については3.1.1-(1)での検討結果よりピン・ブレンディング方式とした。表3.2.2-1に設備投資内容とFOB、JAPANで算出した投資額を示す。

表 3.2.2-1 設備投資の内容と投資額

設 備	投資額(百万円)	備 考
連続式アンローダー (500t/h)	108	○ 軌間:12m ○ 軌道を除く
受入ベルトコンベア (500t/h)	181	○ 全機長 735m ベルト巾 750mm ○ コンベアスケールを含む
スタックリクレーマー (2基) (500t/h)	529	○ 軌道を除く
払出ベルトコンベア (500t/h)	126	○ 全機長 555m ベルト巾 750mm ○ コンベアスケールを含む
副原料払出ベルトコンベア (500t/h)	36	○ 全機長 50m ベルト巾 750mm ○ 打込ホッパーを含む

ただし、配合槽(コンクリート製)、基礎、建屋、舗装、1次側電源(機側まで)を除く。

3.3 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。

- i. 焼結原料ヤードの機械化により焼結鉱品質が安定し、焼結工場では歩留向上、諸原単位の改善が可能となり、高炉工場では燃料比の低減、生産性の向上、溶銑品質の安定が図れる。また省力も可能となる。
- ii 3.1.1で提案した焼結原料の擬似粒子化の促進等の焼結操業管理の強化、設備改善により歩留向上、諸原単位の改善が可能となる。
- iii 3.1.2で提案した高炉操業管理の強化、設備改善により燃料比の低減、生産性の向上、溶銑品質の安定が図られる。

4. 製鋼工場の近代化計画

4.1 製鋼工場の近代化についての提案

石家荘鋼鉄廠では近代化による第7次5ヶ年計画の生産量達成とコスト低減のために、製鋼設備に関し、次のような技術改造を計画している。

- ① 現有の6トン空気横吹転炉を、集塵装置を備えた6トン純酸素上吹転炉に改造する（改造1986年9月）
- ② 銑鉄生産能力30万トン／年に対応するため20トン上下吹転炉2基、600トン混銑炉1基、ピレット連銑機1基を有する新転炉工場を建設する。
- ③ 20トン上下吹転炉に必要な3,200Nm³/h程度の酸素製造設備を設置する。
- ④ 電気炉工場にピレット連銑機を設置し、コスト低減と品質向上を図る。
- ⑤ 5,400m²のスクラップヤードにスクラップ処理設備を建設し、600トン油圧プレスおよび1,000トン油圧シャーを設置する。
- ⑥ 電気炉工場にスラグ処理設備を設置する。

今回の現地調査では、これらの技術改造を具体化するに当たっての調査および上記以外の技術改造検討項目の抽出に主眼を置き、さらに現状の操業面での問題点を把握し、改善の方策を探ることとした。

以下に製鋼工場近代化のための技術改造と現状の問題点解決に対する提案と操業技術の紹介をする。

4.1.1 新転炉工場

製鋼工場の近代化を図り、粗鋼35万トン／年を達成する上で最も重要なポイントは、新転炉工場の建設にある。以下に新転炉工場の設備概要と操業技術について提案する。

(1) 新転炉工場の主要設備

新転炉工場は高炉から出銑された溶銑を最大限に活用し、粗鋼27万トン／年の生産を可能にするとともに、現状プロセスと比較して高品質・低コストの半製品を製造することが前提となる。

上記観点から新転炉工場の主要設備として次の設備が必要となる。

- ① 溶銑受入れ、払出し設備
- ② スクラップ設備

- ③ 転 炉 設 備
- ④ 転 炉 付 帯 設 備
- ⑤ 溶 鋼 処 理 設 備
- ⑥ 取 鍋 設 備
- ⑦ 連 鑄 設 備
- ⑧ 連 鑄 付 帯 設 備

(2) 転炉および連鑄設備の基本仕様

1) 転炉良塊トン/ヒートの設定

転炉の良塊トン/ヒート設定に当たっては

- ① 歴時間から転炉の計画休止時間および不良休止時間を差引いた有効稼動時間内に、達成可能ピッチで出鋼し、その合計粗鋼量が27万トン/年以上となること。
- ② 800トン/日の出鉄ピッチとバランスすること。
を同時に満足することが条件となる。

転炉能力の決定に当たり、前提条件を以下のように設定した。

- ・ 転 炉 稼 動 体 制 ½基稼動
- ・ 高 炉 稼 動 日 数 335日/年
- ・ 製 鋼 用 溶 鉄 供 給 ピ ッ チ 稼動日当り800トン/日
- ・ 年 間 粗 鋼 生 産 量 27万トン/年
- ・ 転 炉 休 止 時 間

定期修理	1回/月×12時間/回×12ヶ月/年=	144時間/年
不良休止		1,170時間/年
合 計		1,314時間/年(転炉稼動率85%)
- ・ 製 鋼 時 間 30～35分/ヒート
- ・ 溶 鉄 配 合 率 95%
- ・ 良 塊 歩 留 91%

これらの前提条件より、製鋼時間と粗鋼生産能力の関係を計算し、図4.1.1-1に示す。同図は転炉稼動率85%とし、転炉良塊トン/ヒートをパラメータとして表わしている。この図より、良塊トン/ヒートが20トンの場合、27万トン/年を達成するためには、転炉製鋼時間33分/ヒート以下が必

要なことがわかる。

図4.1.1-2は高炉出銑量と製鋼能力のバランスを示したものである。良塊量20トン/ヒートの場合、転炉製鋼時間32.9分/ヒートで製鋼用溶銑283,500トン/年(800トン/日)とバランスする。

これらの結果から、前提条件を満足するかぎり、転炉20トン/ヒートで粗鋼27万トン/年は達成可能と考える。

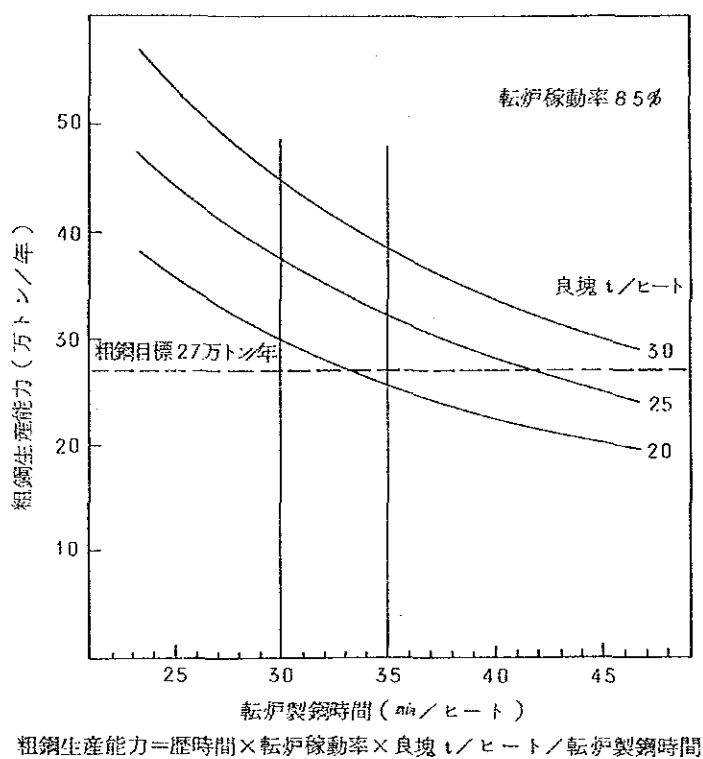


図 4. 1. 1 - 1 製鋼時間と粗鋼能力の関係

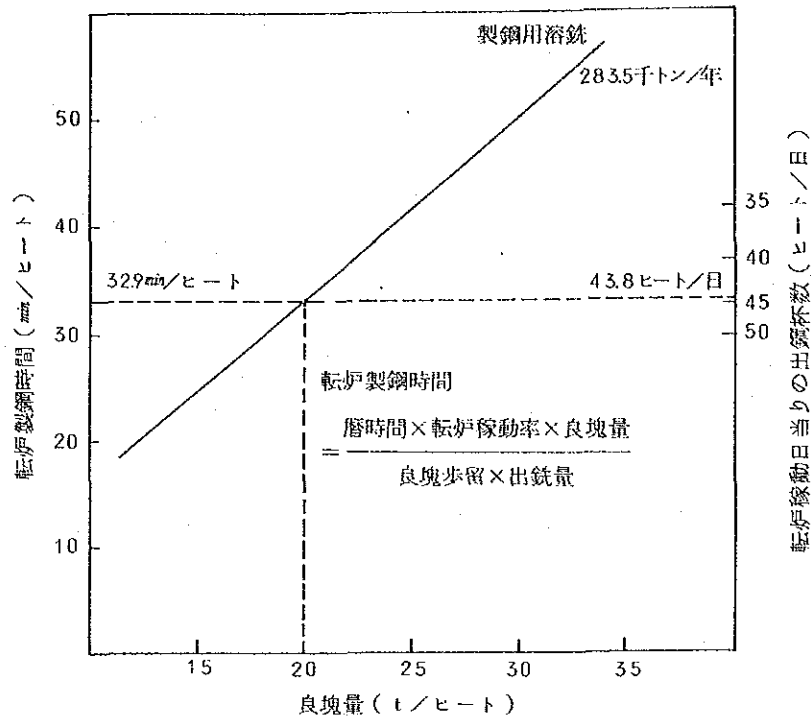


図 4. 1. 1 - 2 高炉出鉄量と製鋼能力のバランス

2) 連鑄機の基本諸元

A. 鑄片の断面寸法、鑄片長さの設定

石家庄鋼鐵廠において、転炉での溶製鋼種は、序章 3. 3. 2 - 2 のごとく、一般構造用炭素鋼、鉄筋コンクリート用鋼などの普通鋼が計画されている。しかしながら将来方向としては、転炉でも機械構造用鋼、低合金鋼等の高級鋼が徐々に増加してゆくものと考えられる。したがって連鑄機を新設する場合にはこの高級鋼の溶製も見込んだ設備にすることが必要である。この件について第 3 章 2. 2 で考察し、連鑄機の鑄片寸法は 150 mm × 150 mm を採用すべきであると提案した。その理由をまとめると、次の通りである。

- (i) 全体の建設費、操業費が最少となる鑄片寸法を採用することが必要である。そのためには、分塊圧延なしに 1 回の加熱で圧延できる断面寸法とする。
- (ii) 鑄片品質が良好であり、より高級な鋼の製造が可能であること。すなわち、

- i) より大きな鋳片断面として、圧延比を大きくし、表面品質、内部品質ともに良好のものとする。
- ii) $150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ 以上の鋳片寸法の場合は、鋳造時に、タンディッシュー鋳型間にサブマージドノズルを使用でき、また鋳型表面を造滓剤で覆い、溶鋼の空気酸化を防止し、品質の向上をはかる鋳造作業が可能となる。
- (iii) 鋳片断面寸法が大きいと、同じ圧延比とした場合、製品寸法の大きなものまで製造できる。

鋳片長さは、転炉の容量(20トン/ヒートと小さい)などより、6 m程度($150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ の6 m長さでは鋳片重量は1,032 kgとなる)が適当であると考える。

石家荘鋼鉄廠では、普通鋼で、製品寸法 $10\text{ mm} \phi$ 、 $12\text{ mm} \phi$ の小径の棒鋼の製造が計画されている。

圧延上の制約条件、すなわち、 $10\text{ mm} \phi$ の仕上圧延速度は最大 12 m/sec であること、粗圧延機では最小 0.1 m/sec であること、圧延途中の材料の温度低下を極力小さくすることなどを考慮すると、 $10\text{ mm} \phi$ 、 $12\text{ mm} \phi$ の圧延を行うためには粗列で材料を圧延機間に放出し連続圧延を避け、次の圧延機での圧延速度を前の圧延機との速度より小さくし、かつ圧延途中の温度低下の割合を少なくするため鋳片重量を小さくして圧延時間を短くすることにより圧延が可能となる。

鋳片重量を小さくする方法として鋳片寸法を $150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ から $120\text{ mm} \times 120\text{ mm}$ とし、長さは6 mとする。この場合、鋳片重量は655 kgとなる。

$1.4\text{ mm} \phi$ から $50\text{ mm} \phi$ までの棒鋼は $150\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 6\text{ m}$ の鋳片を使用するものとする。

したがって

- i) 鋳片長さ $150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ 、 $120\text{ mm} \times 120\text{ mm}$ ともに6 mであり、加熱炉の熱効率の向上が期待できる。
- ii) 鋳片が小断面になればなる程、鋳造作業は難しくなるが、 $120\text{ mm} \times 120\text{ mm}$ 以上の鋳造は、作業が比較的安定している。

iii) 品質上は普通鋼であり、特に厳しいものではない。

ことにより、10 mm φ ~ 12 mm φ 用の鋳片寸法は、120 mm × 120 mm × 6 m がよいと考える。

以上により、当連鋳機は

150 mm × 150 mm × 6 m

および 120 mm × 120 mm × 6 m

の両寸法のものをつくる連鋳機とする。

以上の考えを図示すると図 4.1.1-3 の通りである。

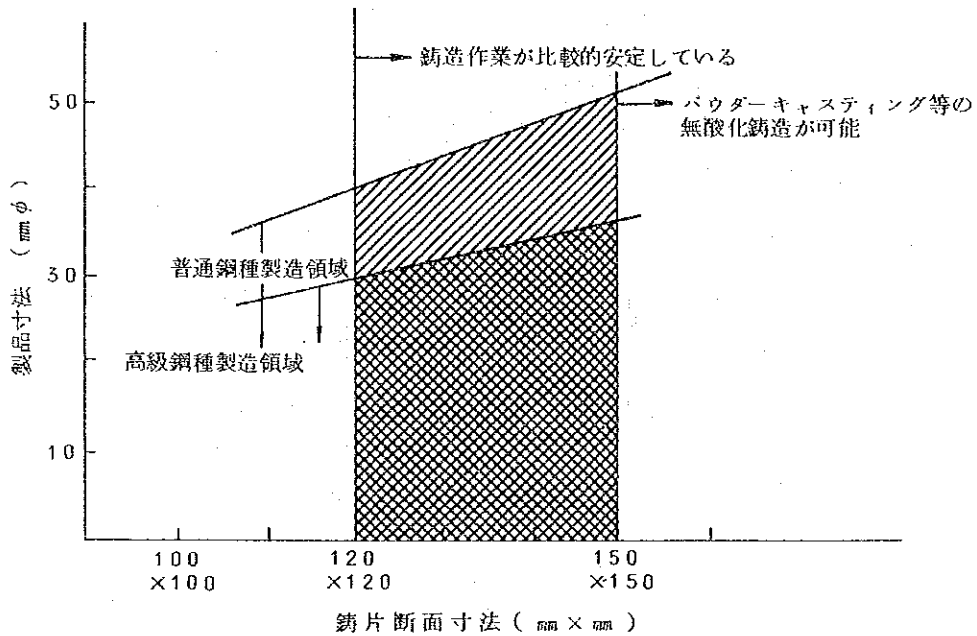


図 4.1.1-3 鋳片断面寸法と製品寸法、作業性、鋼種などの関係図

B. 連鋳機のスランド数の設定

連鋳機の基本仕様を決定するための前提条件は下記の通りとする。

- 転炉、連鋳工場の生産量 : 270,000 トン/年
- 転炉稼働率 : 85%
- 連鋳機は平均して5ヒートの連続鋳造が可能であること
- 鋳造の準備作業のための時間 : 15分/回

(A) 1 ヒート当りの鑄込時間

鑄込時間を t 分とすると

$$\frac{365 \text{ 日/年} \times 0.85 \text{ (転炉の稼働率)} \times 1,440 \text{ 分/日}}{t \text{ 分} \times 5 \text{ ヒート/回 (連続鑄造ヒート数)} + 15 \text{ 分/回 (準備時間)}} \times 5 \text{ ヒート/回} \times 20 \text{ トン/ヒート}$$

$$= 270,000 \text{ トン/年}$$

$$t = 30.1 \text{ 分/ヒート}$$

転炉もこの 30.1 分/ヒートのペースで出鋼から出鋼までの時間 (Tap to tap 時間) を維持することが必要である。この値は転炉としては達成可能な時間である。

(B) 鑄込時間率 (歴時間に対する純鑄込時間の割合)

$$\frac{(270,000 \text{ t/年} \div 20 \text{ t/ヒート}) \times 30.1 \text{ 分/ヒート}}{365 \text{ 日/年} \times 1,440 \text{ 分/日}} = 0.77$$

すなわち鑄込時間率は 77% であり、かなり厳しい稼働率である。したがって設備予防保全の徹底、5 ヒート連続鑄造の達成などの努力が必要である。

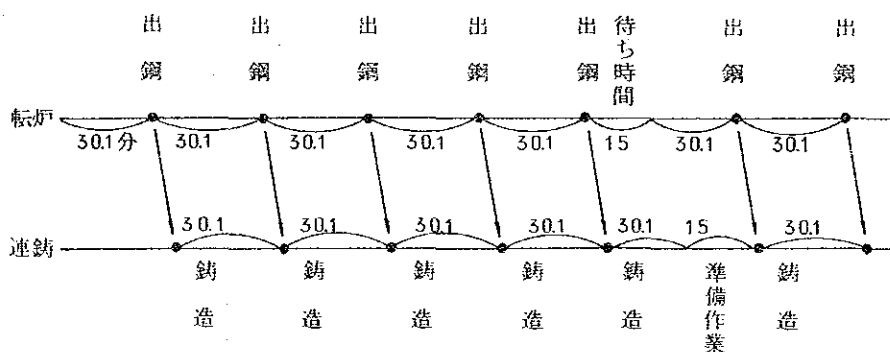
なおこの場合の転炉の出鋼から出鋼までの時間の平均値は

$$\frac{30.1 \text{ 分/ヒート} \times 5 \text{ ヒート/回} + 15 \text{ 分/回}}{5 \text{ ヒート/回}} = 33.1 \text{ 分/ヒート}$$

である。

(C) 転炉と連鑄機間のマッチングの予想

転炉と連鑄機が共に正常に稼働している場合のマッチングの予想図は下記の通りである。



(D) 必要ストランド数

日本の連鋳機の鋳造速度は下記の通りである。

鋳片 断面寸法(mm)	鋳造速度 (m / min)	
	実績範囲	平均値
120 × 120	2.2 ~ 2.8	2.5
150 × 150	1.5 ~ 2.1	1.8

ストランド数を n とすると

150 mm × 150 mm 鋳片の場合

$$n_1 = \frac{20 \text{ トン / ヒート}}{30.1 \text{ 分 / ヒート} \times 0.15 \text{ m} \times 0.15 \text{ m (鋳片寸法)} \times 7.8 \text{ (比重)} \times 1.8 \text{ m / min (鋳造速度)}} \\ = 2.1 \text{ ストランド}$$

120 mm × 120 mm 鋳片の場合

$$n_2 = \frac{20 \text{ トン / ヒート}}{30.1 \text{ 分 / ヒート} \times 0.12 \text{ m} \times 0.12 \text{ m} \times 7.8 \times 2.5 \text{ m / min}} = 2.4 \text{ ストランド}$$

当連鋳機は 150 mm × 150 mm と 120 mm × 120 mm 鋳片の連鋳機であるため
3 ストランドが必要である。

(E) 3 ストランド連鋳機の場合の実際の鋳造速度

150 mm × 150 mm 鋳片の場合

$$\frac{20 \text{ トン / ヒート}}{30.1 \text{ 分 / ヒート} \times 0.15 \text{ m} \times 0.15 \text{ m} \times 7.8 \times 3 \text{ (ストランド)}} \doteq 1.3 \text{ m / min}$$

120 mm × 120 mm 鋳片の場合

$$\frac{20 \text{ トン / ヒート}}{30.1 \text{ 分 / ヒート} \times 0.12 \text{ m} \times 0.12 \text{ m} \times 7.8 \times 3 \text{ (ストランド)}} \doteq 2.0 \text{ m / min}$$

このように鋳造速度は 1.3 m / min、2.0 m / min とかなり低速の鋳込み
となるので、操業は安全側であると考えられる。

(F) 連鋳機の曲率半径

連鋳機の型式としては、垂直型、垂直曲げ型、曲げ型がある。連鋳機
の設計に当たり、このいずれの型式を採用するかは、製造鋼種、鋳片

サイズ、需要家の要求品質、建設費などを十分考慮の上決定することが必要である。一般的にいて垂直型は、鋳片が大型で、高度な品質を要求される一部の高級鋼に採用されているものであり、多くは建設費が比較的安い曲げ型である。

近年は曲げ型においても、設備技術、操業技術が進歩し、良好な品質のものが製造可能となってきた。

石家荘鋼鉄廠の連鑄機としては製造される鋼種、用途などより考慮して曲げ型を採用する方が良いと考える。また曲げ率としては、 $120\text{ mm} \times 120\text{ mm} - 150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ 鋳片の場合、日本の実績は、 $4.0\text{ m} \sim 10\text{ m}$ (ただし 10 m はステンレス鋼)であるが、将来の高級鋼の溶製を考慮して、品質上有利な半径 8 m の設備を推奨する。また凝固末期に、鋼種によつては内部割れの発生が懸念されるので引抜き矯正ロールの前部に、漸次曲げロール (Progressive bending roll) を増設して、内部歪の発生を軽減させる設備とし、将来の高級鋼の溶製にそなえた設備にしておくことが望ましい。

(3) 溶銑受入れ設備

鋼鉄廠では1986年9月の6トン転炉改造に合わせて溶銑の活用を図るべく35トン溶銑鍋および65トン混銑車の稼働を計画している。さらに新転炉工場には600トン混銑炉の設置を計画しており、これらの使い方について検討しておく必要がある。

新転炉工場には第1高炉から300トン/日、第3高炉から600トン/日程度の溶銑が運ばれてくるが、混銑車と混銑炉の併用は、設備費の上昇、設備稼働率の低下から、好ましくないと考えられる。

溶銑設備については、以下の2案で検討する必要がある。

案-1：混銑炉設置案

新転炉工場に混銑炉を1基設置し、取鍋で溶銑を搬入、混銑炉で溶銑備蓄。

混銑炉修理時の数ヶ月間のみ、混銑車を使用する。

案-2：混銑炉不要案

高炉で出銑した溶銑を混銑車または取鍋で新製鋼工場へ搬送し、順

次転炉で使用する。この場合、混銑炉設備が不要となる利点がある。

案-2については1986年9月以降の溶銑直送である程度が目安がたてられると思われるので、以後の経験を踏まえた上で案-1、案-2の選択ができよう。

溶銑受入れ設備としては、さらに溶銑秤量機、除滓設備、溶銑装入用レールクレーンなどが必要となる。

また、除滓場の集塵に加え、混銑炉設置の場合には受銑口、出銑口に、混銑車の場合には受銑ビットに集塵フードを設置するのが一般的である。

(4) スクラップ設備

新転炉工場では主原料のフレキシビリティを拡大するために転炉へのスクラップ、冷銑使用が可能な設備とする。スクラップ設備としては、数銑柄の使用が可能なスクラップビット、秤量設備、マグネットクレーン、スクラップ装入クレーン、スクラップシュートなどである。

(5) 転炉設備と操業技術

転炉は公称20トン/ヒートとし、吹錬中の溶湯攪拌を強化するため、上下吹方式を採用する。

また中国では15トン/ヒート以上の転炉設備に対し、転炉ガスを未燃焼で回収することを奨励していることからOG方式とする。転炉付帯設備としてはOG設備、上下吹設備のほか、傾動設備、ランス昇降設備、副原料・合金鉄設備、受滓設備、水処理設備、電気設備などが必要となる。

20トン転炉設備の概略仕様を表4.1.1-1に示す。

表4.1.1-1 転炉設備概略仕様

設 備	概 略 仕 様
1. 転 炉 本 体	
容 量	20t/ヒート×2基
吹 錬 形 式	純酸素上下吹
傾 動 方 式	トラニオンリング式
2. 付 帯 設 備	
排 ガ ス 処 理	OG方式
ラ ンス 設 備	3重管水冷式
副 原 料 設 備	炉上ホッパー方式(4銘柄)
合 金 鉄 設 備	作業床投入方式

転炉は現在炉体交換方式を採用しているが、炉寿命の延長を図り約600ヒートを維持することにより、固定式にすることも可能となる。

固定式を採用した場合には、転炉レンガ解体機および築炉設備が必要となる。日本では、これらの設備により、10-15日間でレンガ解体、築炉作業を実施している。

図4.1.1-4に転炉レンガ解体機の例を図4.1.1-5に築炉設備の例を示す。

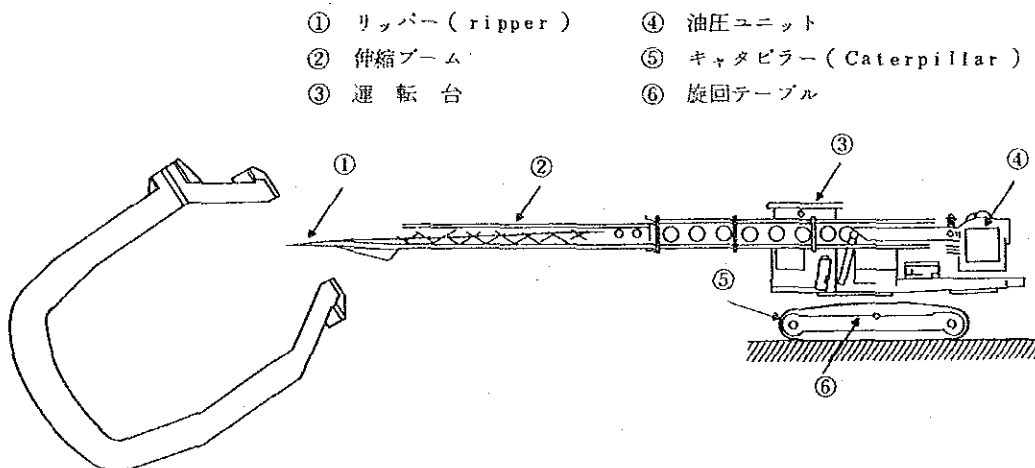


図4.1.1-4 転炉レンガ解体機の例

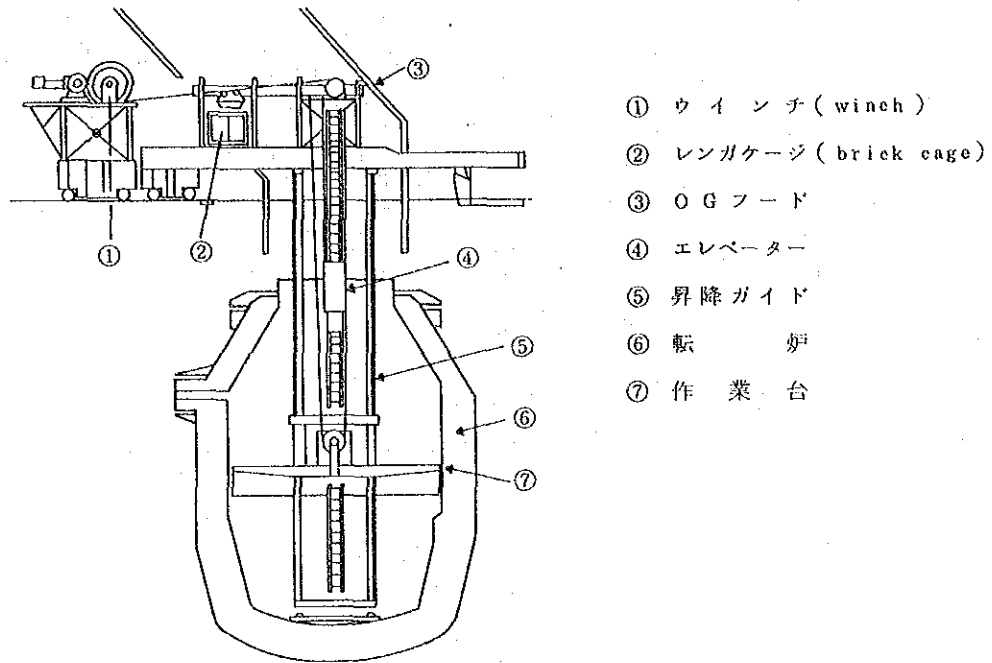


図 4.1.1 - 5 築炉設備の例

転炉上下吹方式には多くの種類があるが、以下に日本における上下吹技術の実情とK社LD-OTBプロセスについて紹介する。

1) 日本における転炉上下吹実施状況

図 4.1.1 - 6 に日本における上下吹実施状況を示す。

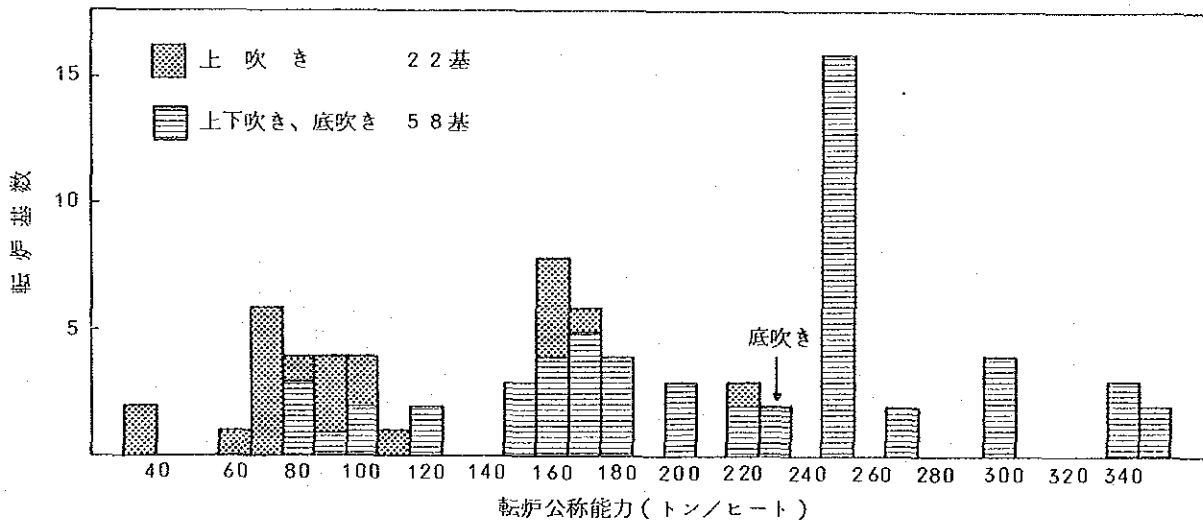


図 4.1.1 - 6 日本における転炉上下吹実施状況

2) 転炉上下吹の方式、羽口、ガス種類、ガス流量

表 4. 1. 1 - 2 に日本で採用している上下吹の方式を示す。

表 4. 1. 1 - 2 上下吹の方式一覧

上下吹 名称	実施鉄鋼 メーカー	底吹きガス		底吹きガス流量 (Nm ³ /min·t)	羽口種類	備 考
		主ガス	冷却ガス			
L B E	S 社	N ₂ 、Ar	—	0.07~0.15	通気性レンガ	Permeable element
L D - A B	S 社	N ₂ 、Ar	—	0.02~0.30	単管羽口	
L D - C B	S 社	CO ₂	—	0.02~0.30	単管羽口	
L D - O T B	K 社	N ₂ 、Ar CO	—	0.01~0.10	S A 羽口	Single Annular 羽口
N K - C B	N 社	N ₂ 、Ar CO ₂	—	0.01~0.10	M H P	Multi Hole Plug
L D - K G	A 社	N ₂ 、Ar	—	0.01~0.10	単管羽口	
S T B	B 社	CO ₂ 、O ₂	CO ₂	0.03~0.15	二重管羽口	
L D - O B	S 社	O ₂	LPG	0.15~0.80	二重管羽口	
K - B O P	A 社	O ₂	C ₃ H ₈	1.00~1.50	二重管羽口	

上下吹の方式決定に当たっては、各社・各工場の製造品種に依存するところが大きく、一般的には次のような傾向にある。

- ① 低炭素鋼を主に製造している工場ではガス流量を大きくし、攪拌効果を最大限に生かすことのできる方式を採用している。底吹きガスとして酸素を使用している場合が多い。
- ② 高炭素鋼([C] ≧ 0.40%)を主に製造している工場ではガス流量を少くして不活性ガスを用いているか、上下吹を採用せず上吹きのみとしている。
- ③ 低・中・高炭素鋼のすべてを製造している工場ではガス流量比(最大/最小)を大きくとることが可能な方式で不活性ガスを用いる方式を採用している。

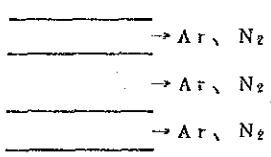
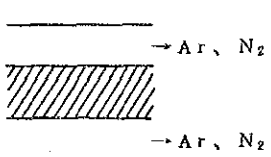
3) L D - O T B プロセスについて

K社が開発したL D - O T B (L D - Original Top and Bottom Blowing) プロセスは、1980年より240トン転炉に適用し、大きな成果を得ている。現在240トン転炉3基がL D - O T B プロセスを採用し、

- 80トン転炉2基も改造を終え、稼動を開始した。LD-OTBの特徴は
- ① 安定したガス吹込みが可能なSA羽口(Single Annular)を採用している。
 - ② 吹錬中のガス種類変更および流量制御が可能である。
 - ③ 広範囲の流量制御が可能であり、低炭素鋼から高炭素鋼まで適正な吹錬条件が設定できる。
 - ④ FMセンサー(Fine Multiple Sheathed Sensor)を使用し、羽口耐火物の溶損状況を監視できる。
 - ⑤ 高炭素鋼の安定吹錬が可能である。
- などである。

SA羽口は、ステンレス鋼製の2重管構造で、内管を耐火物で詰めたものである。表4.1.1-3に一般の2重管羽口とSA羽口の構造を比較して示す。

表 4.1.1-3 羽口構造の比較

種類	羽口構造	耐火物溶損	Q_{max}/Q_{min} (注)
二重管羽口		0.7~1.2 mm/ヒート	≤ 2.0
SA羽口		≤ 0.5 mm/ヒート	$\cong 1.0$

(注) Q_{max}/Q_{min} : 下吹ガス流量比(最大流量/最小流量)

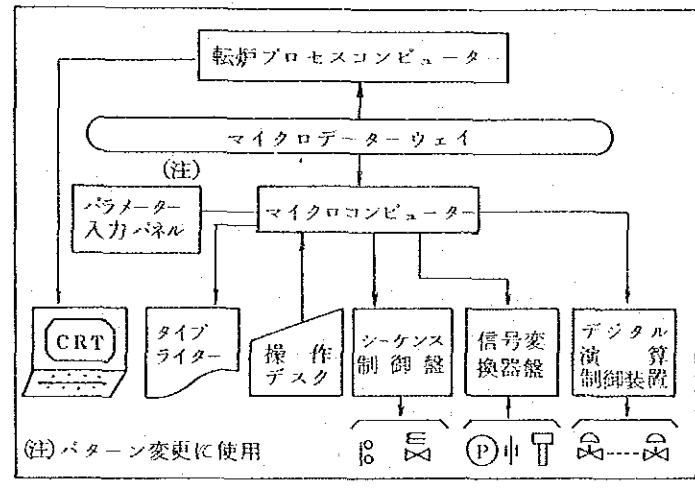
図4.1.1-7にLD-OTBの構成技術と特徴を、図4.1.1-8にLD-OTBの代表的な精錬特性を示す。

1. 吹込ガス設備

- (1) 広範囲流量制御に適した設備である。
- (2) N₂、純Ar、COおよびCO₂等任意のガス吹込み、並びに異種ガスの混合吹込みも可能である。
- (3) 異常時対策としてバイパス回路を有する。
- (4) 下吹ガスの制御には専用のCPUを使用した。

(下図参照)

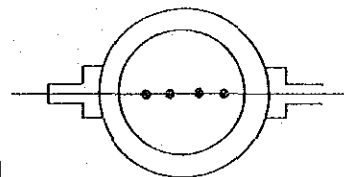
○ただし、上位計算機によりパターン設定を実施。



2. 吹込羽口(ノズル)

- (1) 吹込みガスジェットの底タタキ回数を大幅に低減し得る特殊羽口(SA羽口)を採用した。
(特徴-①)
○地金閉塞等のトラブルは完全に解消。

- (2) トライオン軸上4孔吹込み方式を採用。(右図参照)

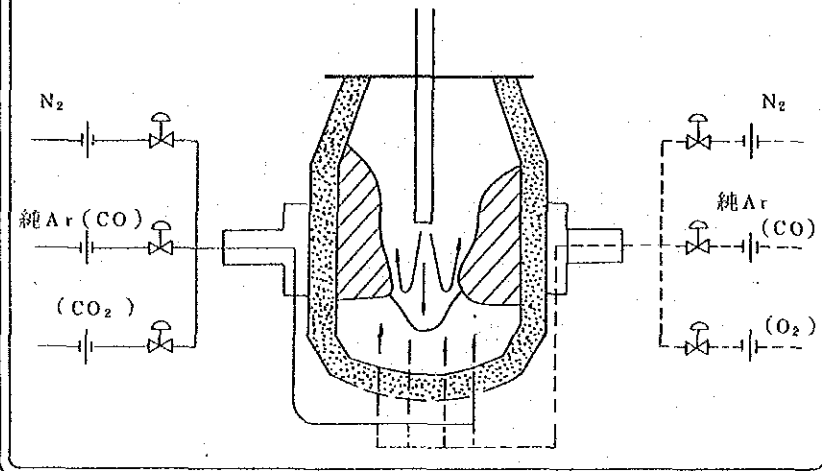


内側2孔; 火点下攪拌用
外側2孔; 火点周囲攪拌用

5. 操業一般

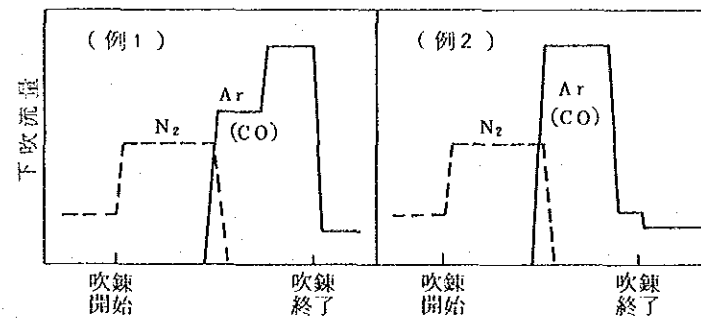
- (1) 高炭素鋼([C]≥0.60%)の安定吹錬が可能である。
(特徴-⑤)
○LD並みの吹錬脱P率が達成可能。
- (2) 鋼浴成分の均一化により吹錬的中率が向上する。
- (3) 上吹ランス送酸条件と同様に、下吹ガスの流量制御が可能のため汎用性に富んだ吹錬が可能である。

上下吹転炉(LD-OTB)



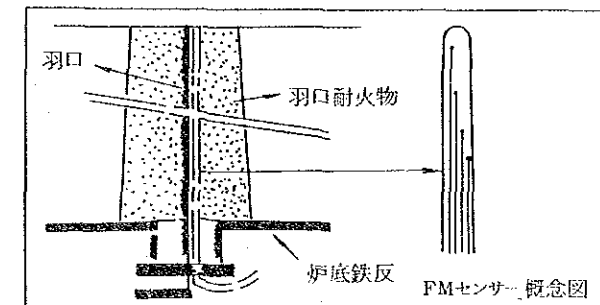
3. 吹込ガスの流量制御

- (1) 吹錬中の流量制御が可能である。(特徴-②)
○鋼種および吹錬特性に適した基本パターンを設定。
(基本パターン; 10~15種類、下図参照)
○基本パターンは上位計算機より指令。



4. 炉底羽口耐火物

- (1) 1炉代連続操業が可能である。
○炉底羽口耐火物の平均侵食速度 ≤ 0.6 mm/ヒート
(特定の高級耐火物を使用した場合; 約0.3 mm/ヒート)
○平均炉寿命; 1,000~1,100ヒート
(ただし、内張り耐火物は不焼成ドロマイト煉瓦を使用)
- (2) スラグコーティングによる保護対策以外の補修ならびに羽口耐火物の交換は全く必要としない。
- (3) 羽口耐火物侵食量を経時的に監視できるため、洩鋼等事故の完全防止が可能である。(特徴-④)
○FMセンサー(多点同時測定型熱電対)の適用。



- (2) 広範囲の流量制御が可能である。(特徴-③)
○0.02~0.10 Nm³/分・t(最大流量/最小流量≒5.0)の範囲で確実に制御可能。(下図参照)
○最小流量は必要であれば0.01 Nm³/分・tまで実施可能。

流量	(Nm ³ /分・t)					
	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
使用区分	低~中炭素鋼吹錬中					
	高炭素鋼吹錬中					
	高炭素鋼調質中					
	待機中、低~中炭素鋼調質中					

図 4.1.1-7 上下吹転炉(LD-OTB)の構成技術とその特徴

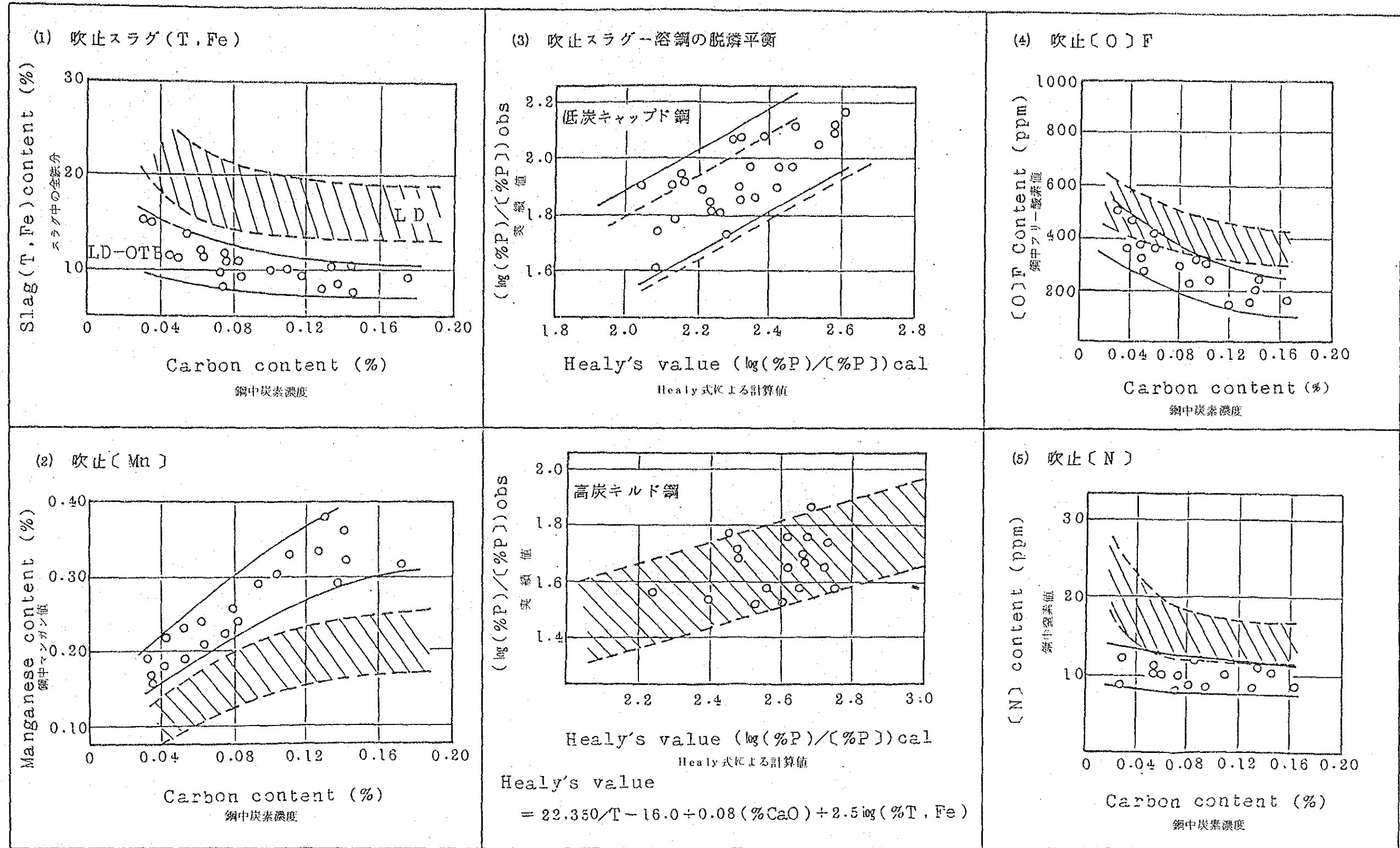


図4.1.1-8 LD-OTBの精錬特性

4) 転炉上下吹化による効果

上下吹化による効果は製鉄所の規模、製造品種、溶銑成分、上下吹の形式により異なり、一概に評価することはできないがK社のLD-OTBで経験した効果、操業諸元の変化を表4.1.1-4に示す。

表 4.1.1-4 LD-OTBプロセス適用の効果

諸 元	低炭素鋼の場合	高炭素鋼の場合
出 鋼 歩 留 (%)	+0.6	+0.3
生 石 灰 (kg/t)	-4	-4
鉄 鉍 石 (kg/t)	-6	-6
Fe - Mn (kg/t)	-0.6	-0.3
Fe - Si (kg/t)	-0.1	-
Al (kg/t)	-0.04	-0.02
吹 錬 酸 素 (Nm ³ /t)	-1.2	-0.6
底 吹 き Ar (Nm ³ /t)	+0.76	+0.46
底 吹 き 窒 素 (Nm ³ /t)	+0.75	+0.75
吹 止 鋼 中 酸 素 (ppm)	-150	-

また、その他の効果として

- ① スロッピング発生率の低減
- ② 吹止[C]、温度的中率の向上
- ③ 転炉寿命の向上
- ④ スラグ発生量減少に伴うスラグ処理費の低減

などが得られている。

(6) 受鋼・溶鋼処理設備

受鋼方法としては受鋼台車上に溶鋼鍋を乗せ、受鋼後台車を炉下より移動させる方式が一般的である。

また、連鋳機の導入に伴い、成分・温度の均一化が重要となる。溶鋼処理方法には種々あるが、製造品種の主体が建築用構造用鋼であることから、当面は不活性バブリングを採用することが望ましい。ガスバブリングの方式には、図4.1.1-9に示すように浸漬ランスによる上吹法とポーラスプラグによる底吹法があるが、安全性および作業性を考慮すると上吹法の採用が適切であろう。

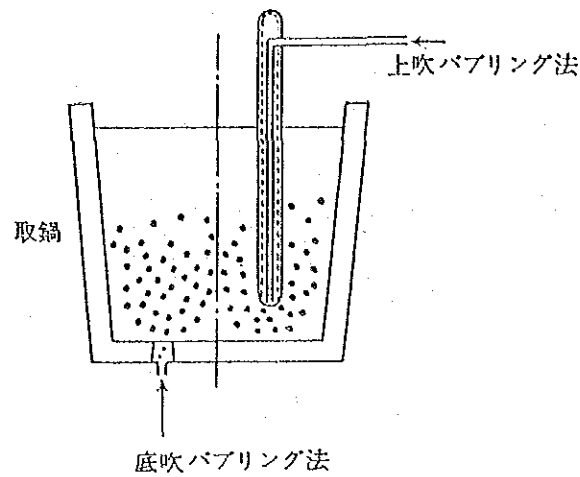


図 4.1.1-9 バブリング処理方式概念

バブリング処理についてK社40トン溶鋼の処理実績を以下に紹介する。

図4.1.1-10はバブリング処理中の温度変化を示したものである。バブリング処理開始後1分間に温度は急激に下がり、その後は時間に比例して徐々に低下している。

これは、1分間のバブリング処理により、上熱現象が解消され取鍋内の溶鋼温度が均一になったことを示している。また、強バブリングと弱バブリングで処理中の温度降下に差が認められている。

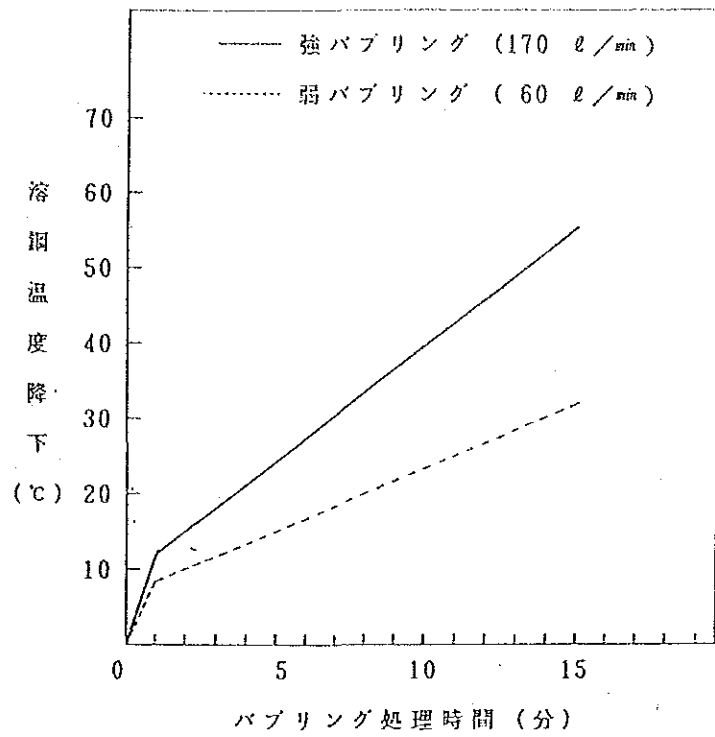


図4.1.1-10 バブリング処理中の温度降下

図4.1.1-11は同じ40トン溶鋼で窒素バブリングを行なった時の鋼中窒素の変化を示したものであるが、窒素バブリングを行なっても、鋼中窒素の上昇はほとんど認められない。

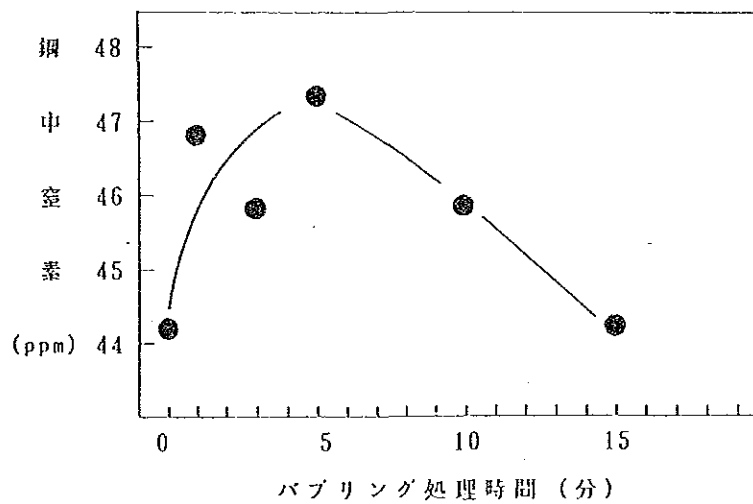


図4.1.1-11 窒素バブリング時の鋼中窒素の挙動

図4.1.1-12 はガスバブリングを応用して低酸素高品質鋼を製造した時の結果である。バブリング処理条件の適正化を図ることにより、機械構造用鋼の低酸素化が可能となっている。

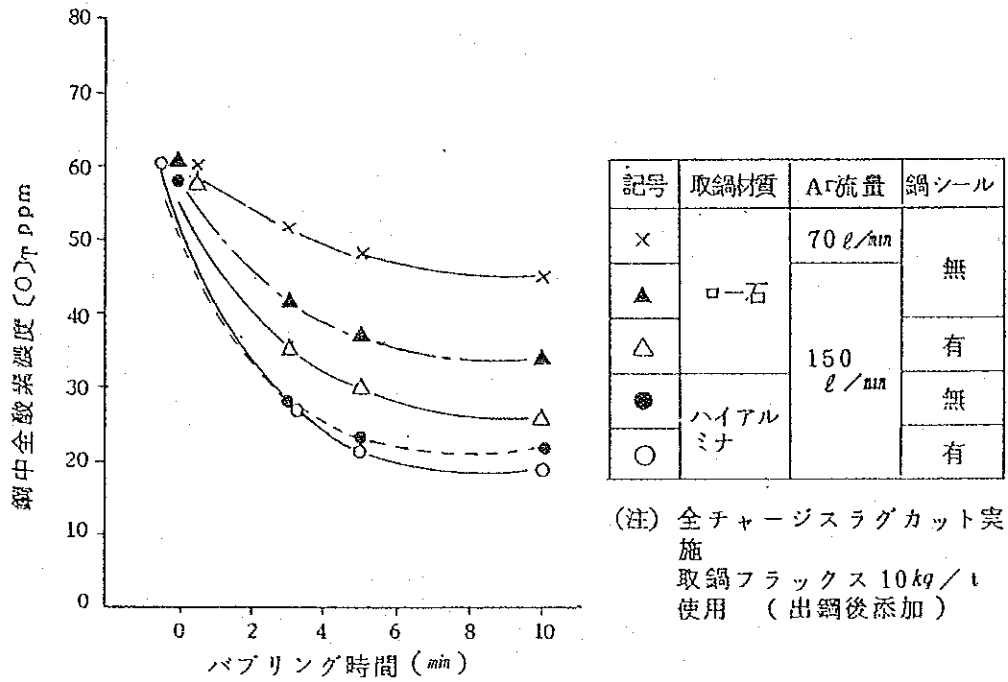


図4.1.1-12 バブリング処理の応用による高品質鋼の製造結果

受鋼設備としては受鋼台車、取鍋、バブリング設備のほか、取鍋整備、取鍋乾燥、取鍋修理設備およびレードルクレーン、サービスクレーンが必要である。

(7) 連 鋳 設 備

転炉工場の連鋳機は設備費、操業費の低減と安定操業を確保し、あわせて将来の高級鋼溶製についても配慮した連鋳機とする。基本仕様については 4.1.1 (2) 2) で述べた通りである。

1) 溶製炉の基本諸元

生 産 量 : 270,000トン/年
溶 製 炉 : 20t 転炉 (1/2 基稼動)
稼 動 率 : 85%
1 ヒート当りの溶鋼量 : 20トン/ヒート
出鋼から出鋼までの時間 (Tap to tap 時間) :
30.1分/ヒート (平均33.1分/ヒート)

2) 連鋳機の基本諸元

鋳片断面寸法 : 150mm×150mm および 120mm×120mm
鋳片長さ : 6m
連続鋳造ヒート数 : 5ヒート/回
鋳造準備時間 : 15分/回

3) 連鋳機の主な設備仕様

基 数 : 1
ストランド数 : 3
型 式 : 曲げ型
曲率半径 : 8m
鋳片寸法 : 150mm×150mm×6m
および 120mm×120mm×6m
鋳造速度 : 1.3m/min (150mm×150mm 鋳造時)
: 2.0m/min (120mm×120mm 鋳造時)
鋳片切断方式 : 機械的シャワー
取鍋支持方式 : 2鍋積載型取鍋台車
その他付属設備 : 鋳片熱送設備
水処理設備
タンディッシュ整備場

4) 連鋳設備の概要

A. レイアウト

次工程の圧延工場への鋳片熱送をはかるために連鋳機は、工場の建屋の長手方向に設置する。また鋳片の熱送をはかるため、直送コンベアを設置し、圧延工場と直結させることとした。その他圧延工場の修理時などのため、鋳片を冷却し一時仮置きができるレイアウトとした。

B. マシンプロフィール

当連鋳機は、曲げ型連鋳設備であり、簡単な構造で、鋳型、二次冷却装置の芯出し、交換なども容易に行なえる設備とする。

5) 装置の特徴

A. 取鍋台車

取鍋の交換を短時間にスムーズに行なって連・連続の鋳造を行ない、連鋳機の生産性の向上、操業費の低減をはかるため、2鍋積載型の取鍋台車を設置することとした。

B. タンディッシュ

当連鋳機は、3ストランドであるため、中央のストランドの注入流の温度が高くなりやすい。したがって中央のストランドの設置位置は、取鍋からの溶鋼の落下位置より極力遠ざけるよう、タンディッシュの設計をすることが重要である。

C. 鋳型

鋳型は長寿命で、かつ短時間に交換できること、また取付け精度が正確であることなどが必要である。なお鋳型の中心位置に、タンディッシュよりの注入流を落とすことは、非常に重要である。したがって鋳型のセンタリング装置の設置など、設計時、十分に考慮すべきである。

D. 鋳型内湯面レベル計、鋳型振動装置

鋳型内湯面レベル計を取付けて、湯面レベルの自動制御をはかり、またマシン円弧に沿った鋳型振動装置を設置して、鋳込作業時の事故などを極力少なくする設備とする。

E. 二次冷却帯ガイドローラー

ガイドローラーは鋳片が均一に急冷却されること、また簡易着脱式とし、

取替えおよび芯出しが容易に行なえることとする。

F. 引抜き矯正ロール装置、漸次曲げ矯正ロール

引抜き矯正ロール装置は、構造が簡単で、かつ熱負荷に十分耐える構造が必要である。また漸次曲げロールを併設して、内部歪の軽減をはかり内部割れの発生を低減することが適切である。

G. 鋳片切断装置

切断による歩留の低下を少なくするために、機械的切断機を設置する。

H. ダミーパー

本体は、片折れチェーンタイプであり、容易に格納できる装置とする。

I. 鋳片直送コンベア

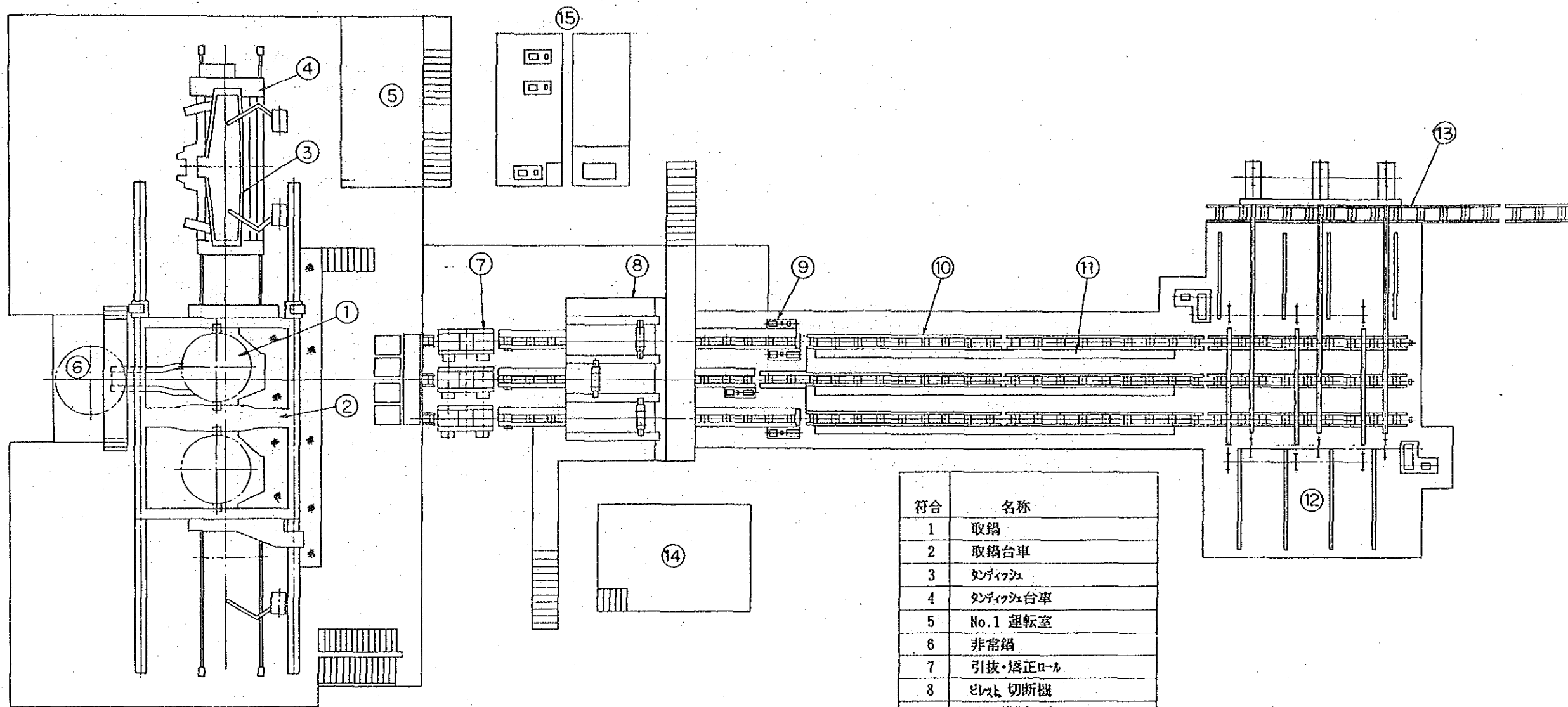
鋳片の圧延への熱送をはかるため、搬送装置を設置する。搬送中の温度降下を極力小さくするため覆いその他の保温装置を設ける。

J. その他

将来高級鋼を鋳造するには、品質向上策として電磁攪拌装置および無酸化鋳造設備などの設置が非常に有効である。したがって連鋳機は将来これらが設置できる構造としておくことが必要である。

6) 連鋳機の概要図

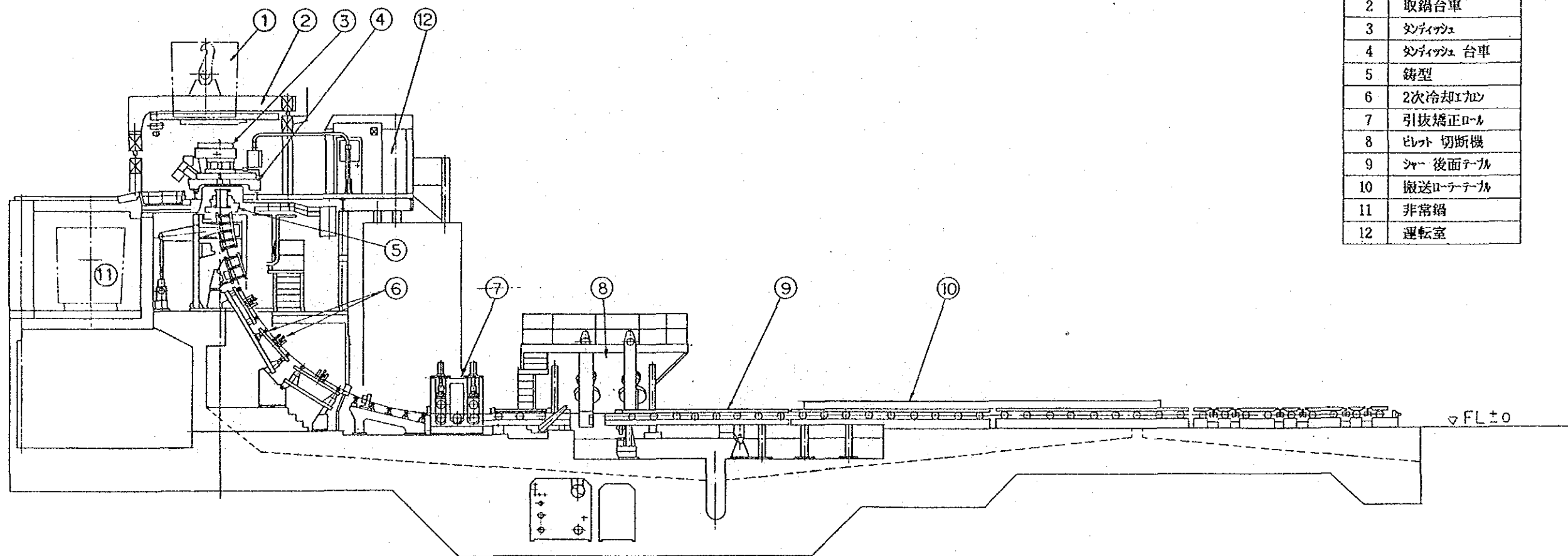
上記の設備などを考慮した連鋳機の概要図を図 4.1.1-13、図 4.1.1-14 に示す。



符合	名称
1	取鍋
2	取鍋台車
3	タンディッシュ
4	タンディッシュ台車
5	No.1 運転室
6	非常鍋
7	引抜・矯正ロール
8	ピレット切断機
9	シャ-後面テーブル
10	搬送ローラーテーブル
11	タミカ格納装置
12	ピレット冷却床
13	熱送ローラーテーブル
14	No.2 運転室
15	ス-ピレット/ス-ピレット・水塔

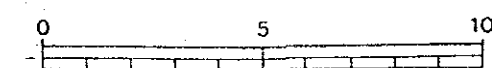
図 4. 1. 1 - 1 3 転炉工場用連続鋳造設備 (平面図)





符号	名称
1	取鍋
2	取鍋台車
3	クレーン
4	クレーン台車
5	鋳型
6	2次冷却エリア
7	引抜矯正ロール
8	ビレット切断機
9	シャ-後面テール
10	搬送ローテータル
11	非常鍋
12	運転室

図 4.1.1 - 1.4 転炉工場用連続鋳造設備 (側面図)

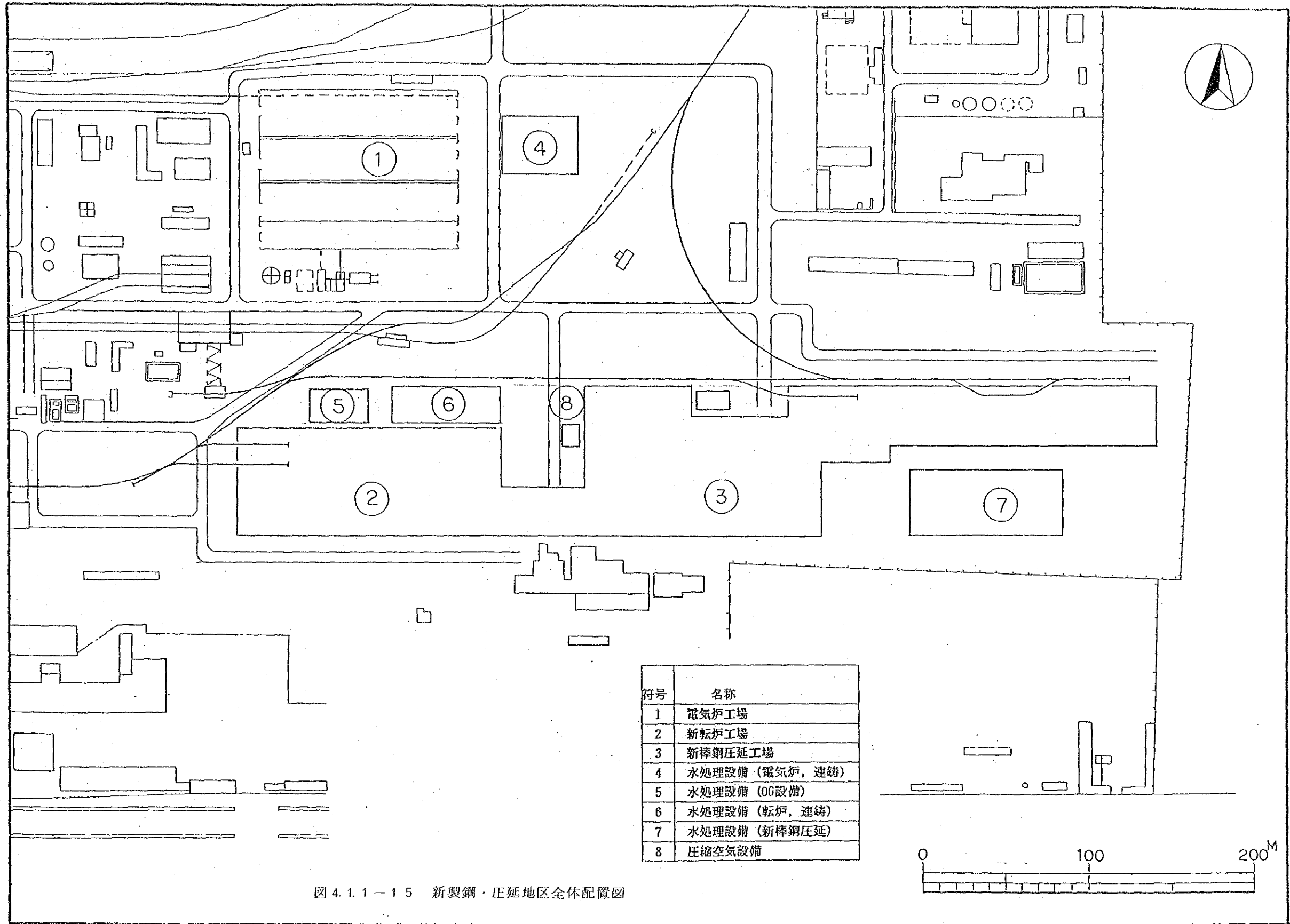


(8) 新転炉工場全体レイアウト

全体レイアウト検討に当たっては、次の制約および前提条件をベースとした。

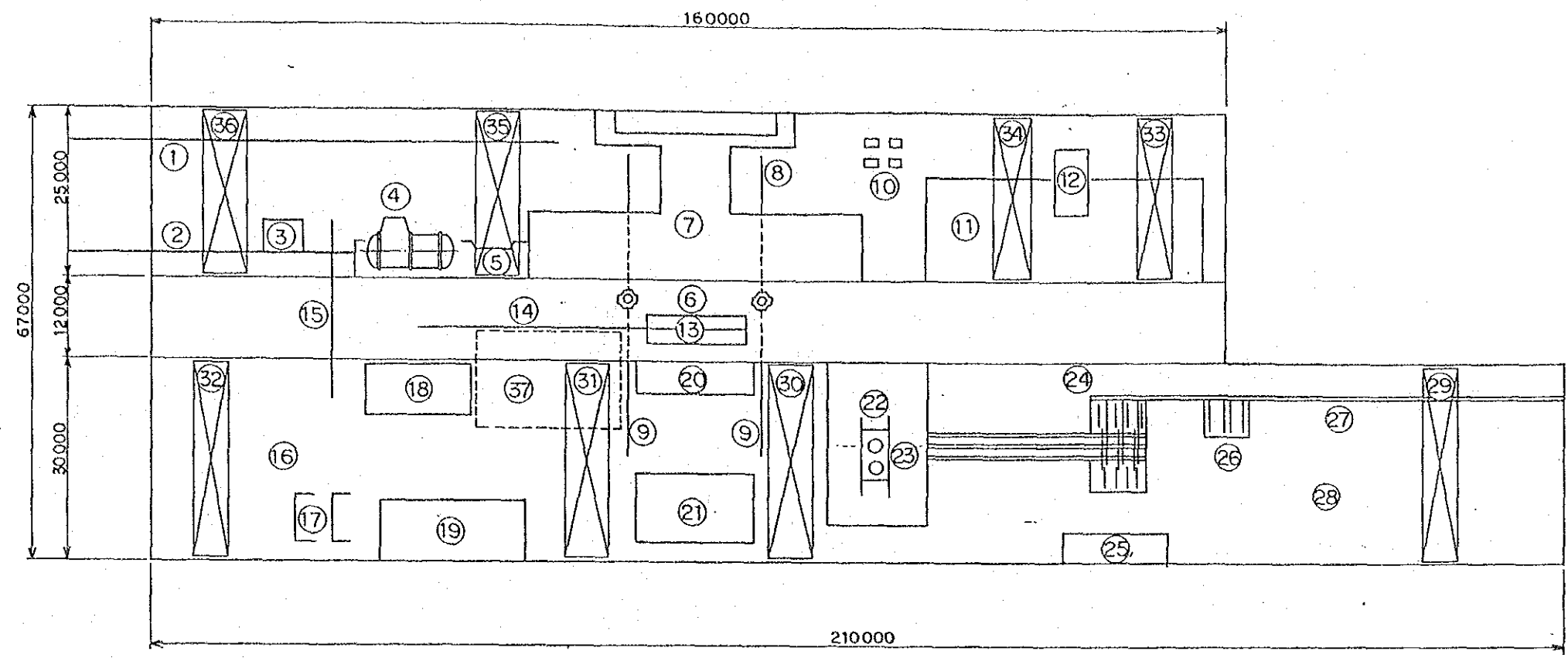
- ① 新転炉工場は現転炉工場の東側とし、敷地は東西200 m南北90 m程度の規模とする。
- ② 連铸片は新転炉工場の東側に建設する新棒鋼圧延工場の加熱炉へホットチャージングできるようにする。
- ③ 新転炉工場建設中も旧転炉工場へ溶銑直送が可能なようにする。
- ④ 将来の溶鋼精錬設備設置を可能にするレイアウトとする。

これらをもとにした全体配置案を図4.1.1-15に、新転炉工場内の配置案を図4.1.1-16に示す。



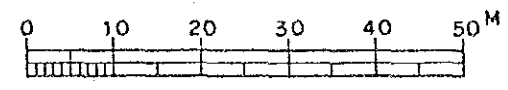
符号	名称
1	電気炉工場
2	新転炉工場
3	新棒鋼圧延工場
4	水処理設備 (電気炉, 連铸)
5	水処理設備 (OG設備)
6	水処理設備 (転炉, 連铸)
7	水処理設備 (新棒鋼圧延)
8	圧縮空気設備

图 4.1.1-15 新製鋼・圧延地区全体配置図



符号	名称	符号	名称	符号	名称	符号	名称	符号	名称	符号	名称
1	溶鉄鍋用線路	8	滓鍋用線路	15	溶鉄鍋台車用線路	22	連 鋳 機	29	10T/5T サービスクレーン (リフマ付, 戻り装置付)	36	50T/15T 溶鉄クレーン
2	トーチカー用線路	9	受鋼鍋台車用線路	16	タンディッシュ整備場	23	取鍋交換台車	30	50T/15T 取鍋クレーン	37	溶鋼処理設備
3	受鉄ピット	10	滓鍋板置場	17	タンディッシュ転倒装置	24	冷 却 床	31	50T/15T 取鍋クレーン		
4	混 鉄 炉	11	スクラップ板置場	18	取鍋・溶鉄鍋・修理場	25	鋳型整備場	32	10T/5T サービスクレーン		
5	除 滓 場	12	スクラップ秤量機	19	取鍋整備場	26	レシービングテーブル	33	10T/5T サービスクレーン (リフマ付)		
6	転 炉	13	副原料合金鉄ホッパー	20	バブリング場	27	ビレット直送コンベヤ	34	20T/10T サービスクレーン		
7	転炉作業場	14	副原料合金鉄送ライン	21	非常注入場	28	ビレット板置場	35	50T/15T 溶鉄クレーン		

図 4.1.1-16 新転炉工場全体配置図



4.1.2 電気炉工場の近代化

電気炉工場近代化のポイントは電気炉の操業技術の改善と溶鋼処理設備、連鎖設備の導入である。

以下この3点について述べる。

(1) 電気炉の操業技術

第2章2.2(2)で述べたように、電気炉の操業に対しては種々の改善を要する点が認められる。

ここでは日本の普通鋼電気炉メーカーが生産性向上、製造コストの低減などの目的のために、試みて来た改善点の主なものについて述べることとする。

1) 酸素吹精の効率的な方法について

酸素吹精用ランスを使用して、酸素の炉内吹込み量を増し、生産性の向上、電力、電極などの原単位の低減をはかることが広く行なわれている。その作業方法の主なものは下記の通りである。

A. スクラップのカッティング作業の実施

(i) 溶解初期に電極下部、周辺のスクラップを酸素ランスでカッティングし、溶鋼溜りを、早く、より多く作って、アークの安定化をはかり、溶解を促進させる。

(ii) 溶解期中、末期には、炉壁部などに残存する未溶解材料の切り落しを行なう。

B. 溶鋼溜りへの酸素の吹き込み作業の実施

溶解の進行に伴なって増加していく溶鋼溜りに酸素ランスを直接突込んで酸素吹精を行ない、それによる酸化反応熱の発生ならびに溶鋼の攪拌によって、スクラップの溶解を促進させる。

C. 酸化製錬期の短縮

溶落ち時の溶鋼中のC%を把握し、その含有量に応じた適量の酸素を鋼浴中に吹精し、短時間に目標のC%まで脱炭させることにより、製鋼時間の短縮をはかる。

以上、酸素吹精方法について述べたが、その酸素使用量と効果について日本のD社の報告を図4.1.2-1に示す。

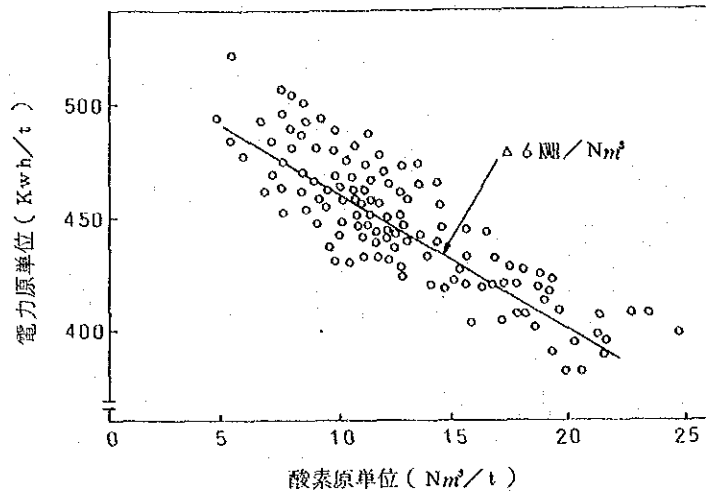


図 4. 1. 2 - 1 酸素原単位と電力原単位

2) 炭素吹き込み装置 (Carbon Injection 装置) の使用による溶解促進

鋼浴中に、粉末状の炭素を吹き込む技術が近年著しく普及して来た。その目的は

(i) 溶解期の鋼浴中に、炭素吹き込み装置を使用して炭素を吹き込み、同時に酸素吹錬作業を行なう。それにより

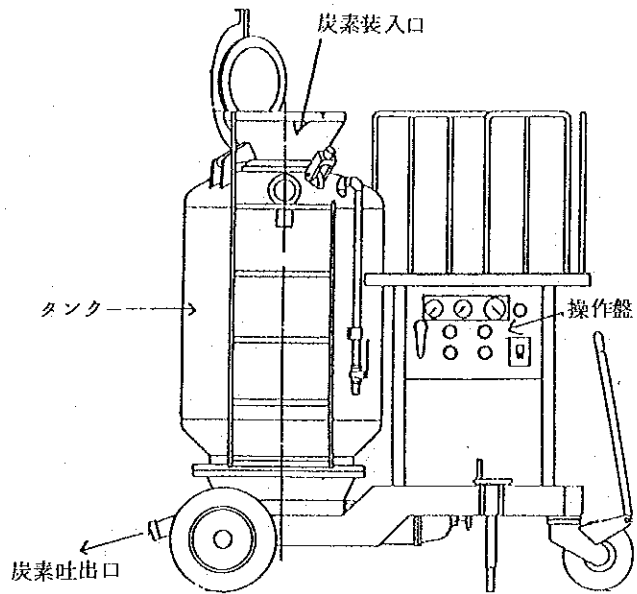
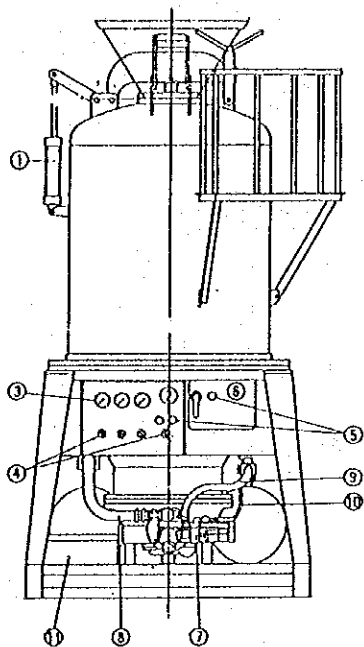
- i) 炭素の酸化反応熱による溶鋼の温度上昇
- ii) CO ガス浮上時のボイリングによる鋼浴の攪拌
- iii) スラッグのフォーミングによるアークの安定

などがはかられて、溶解時間の短縮と合せて、鋼質の改善に大いに寄与している。

(ii) 溶落ちのC%が低すぎた場合、炭素吹き込み装置で鋼中の炭素を短時間に目標値まで含有させることにより酸化時間の短縮をはかる。

このように、鋼浴温度の上昇、製鋼時間の短縮などにより生産性を向上させるとともに、電力、電極の原単位の低減に対しても非常に有効である。

図 4. 1. 2 - 2 に炭素吹き込み装置の概要を示す。



- | |
|--------------------|
| 1. エアシリンダー |
| 2. 操作盤 |
| 3. 圧力計 |
| 4. スイッチ |
| 5. 表示燈 |
| 6. 気密ボックス |
| 7. エアシリンダー |
| 8. メインエア |
| 9. バイパスエア |
| 10. シャッターボックス掃除用エア |
| 11. 工具箱 |

主仕様

- 吹込み容量：20～100 kg/min
- タンク容量：1.3 m³
- 圧縮空気：最大10 kg/cm²
- 吹込み圧：最大3.5 kg/cm²
- 炭素粒度：最大6 mm

図 4.1.2 - 2 炭素吹き込み装置

3) 複滓法 (Two slag Process) から単滓法 (One slag Process) への
溶製方法の変更

日本では、生産性の向上策の一つとして溶製方法の変更すなわち、従来の酸化、還元製錬法によって溶製されていたものから還元製錬を短縮または省略した溶製方法への変更をはかって来た。現在では鉄筋用棒鋼などはほとんど単滓法で溶製されている。

一般的に還元製錬を必要とする理由は、(i)鋼中の酸素含有量の低減、(ii)介在物の浮上分離、(iii)P、S含有量の低減、(iv)成分合格率の向上などである。

これらに対して下記の対応策を取り、溶製方法の変更に努めて来た。

- ① 銑鉄またはコークスの適量を使用して、溶落ち時のC％を確保し、酸素吹精にて十分な酸化沸騰製錬を実施する。
- ② 炭素の吹き込みと酸素の同時吹き込みによる高温沸騰製錬を実施する。
- ③ スクラップの厳選などによる原料中のP、S％を低減する。
- ④ 出鋼時に脱硫剤を使用してS％を低減する。
- ⑤ 取鍋でのArガス吹き込みにより、溶鋼温度、成分を均一化する。
- ⑥ 製錬方法の相違による製品品質への影響度を把握する。
- ⑦ 電気炉製錬機能の炉外製錬炉への置き替えをはかる。
(脱酸、脱P、脱S、成分調整、温度調整など)

などである。

4) 助燃バーナーの設置

電気炉の熱源としてアーク熱、酸素吹精による反応熱の他に油の燃焼熱を利用した助燃バーナーが、近年普及して来ている。

設置目的は、

- (i) 油の燃焼熱によって、スクラップの加熱、溶解を促進させ、製鋼時間の短縮をはかる。
- (ii) アークのみでは溶解が遅れる部分が発生するので、助燃バーナーを設置して均一溶解をはかる。

などである。助燃バーナーの燃料としては、重油または灯油と、それを燃焼させるために酸素が用いられる。したがって燃焼時には、大量の火炎が発生するため、集塵機による廃ガスの吸引が必要である。助燃バーナーの数、設置位置などは、炉容、炉の特性により変わるが、その1例を図4.1.2-3に示す。

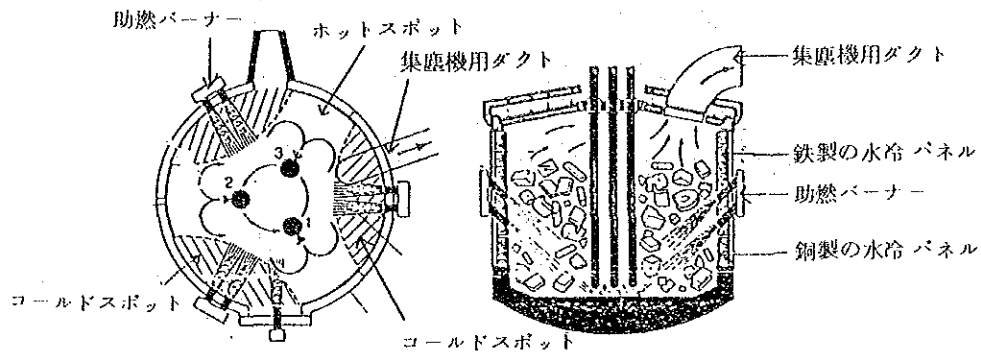


図 4. 1. 2 - 3 助燃バーナーの設置位置

また、日本 N 社の助燃バーナーの標準仕様を表 4. 1. 2 - 1 に示す。

表 4. 1. 2 - 1 助燃バーナーの標準仕様 (日本 N 社製)

炉容量	型式	流体	圧力 (kg/cm^2)	燃焼容量	発熱量
50 t 以下	JB-300	Oil	2-3	150 ℓ	} 約 126×10^4 kcal
		Gas	1.5-7.0	150 Nm ³	
		O ₂	6-10	300 Nm ³	-
		Air	3-6	30 Nm ³	-
20-80 t	JB-800	Oil	2-3	400 ℓ	} 約 328×10^4 kcal
		Gas	1.5-7.0	400 Nm ³	
		O ₂	6-10	800 Nm ³	-
		Air	3-6	80 Nm ³	-
80 t 以上	JB-1000	Oil	2-3	500 ℓ	} 約 416×10^4 kcal
		Gas	1.5-7.0	500 Nm ³	
		O ₂	6-10	1,000 Nm ³	-
		Air	3-6	100 Nm ³	-

(注) 上記圧力、燃焼容量、発熱量の諸数値は 1 バーナー 1 時間当りの最高値を示す。

助燃バーナーの効果例を図 4. 1. 2 - 4 に示す。

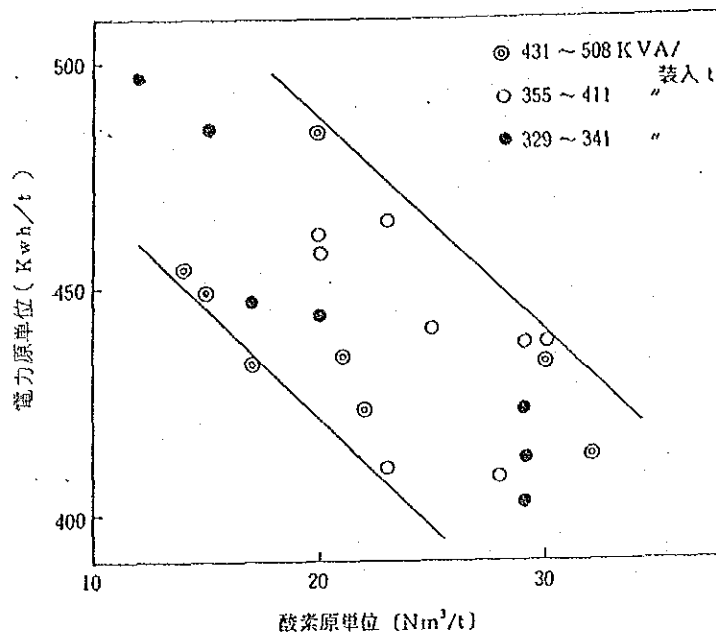


図 4. 1. 2 - 4 炉用トランス容量と助燃バーナーの効果

上図で見られるように、助燃バーナーの効果には著しいものがあり、燃料の入手が可能であれば、設置すべき設備である。

5) 炉壁への水冷パネル (Panel) の設置

炉壁レンガの局部溶損対策、レンガ原単位の低減などのため、日本の 30 トン以上の電気炉には、ほとんどのものに水冷パネルが設置されている。その設置範囲も拡大され現在では、水冷化率 (スラグライン以上の炉壁部にしめる水冷パネルの割合) が 85% 以上のものまであり、その寿命も 7,000 ~ 10,000 ヒートと長寿命の実績が報告されている。その設置利点としては

- (i) 炉壁レンガの張り替え面積の減少、レンガ寿命の延長などにより、レンガ原単位が著しく低減される。
- (ii) レンガの溶損部が少ないため、ヒートごとの補修時間が短縮され、また炉修間隔が長くなりかつ修理時間が短縮されることにより、電気炉の稼働率が上り、生産性が向上する。
- (iii) レンガの溶損部が少ないため、補修材の使用量が低減される。
- (iv) 炉壁レンガの使用回数が古くなっても、溶損による炉内内容積の拡大が

ほとんどないため、熱効率がよく、溶解時間が安定する。
 などである。

図 4. 1. 2 - 5 および表 4. 1. 2 - 2、表 4. 1. 2 - 3 に水冷パネルの概要を示す。

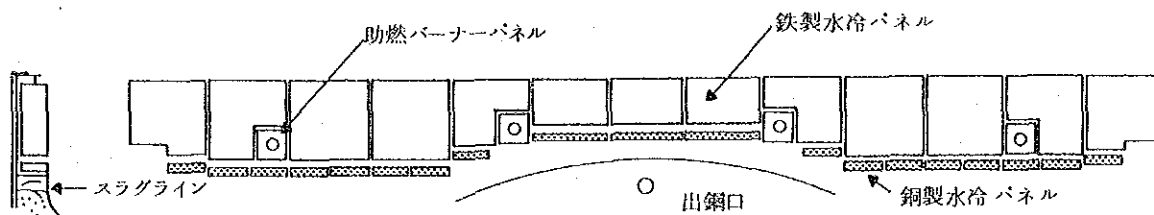


図 4. 1. 2 - 5 炉壁の水冷パネルの展開図例

表 4. 1. 2 - 2 炉体への水冷パネル取付け位置

取 付 け 位 置	スラグラインから水冷パネル下端までの距離
トランス側およびサイドドア側	180～300mm
作業口側	120～300mm
出鋼孔側	450～600mm

表 4. 1. 2 - 3 炉壁の水冷パネル用冷却水量、圧力

電気炉の容量	冷却水量 (Nm ³ /h)	圧 力 (kg/cm ²)
20t 電気炉	150	2.5～3
30t "	200	"
40t "	270	"

(水冷化率82%、鉄製、銅製パネル使用時)

水冷パネルの設置は、必要水量の増加などのマイナス要因はあるが、総合的には著しい効果があり、増設または新設すべき設備である。また天井への水冷パネルも同様な理由で、設置すべきであると考えられる。

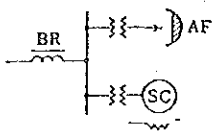
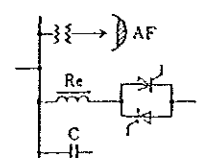
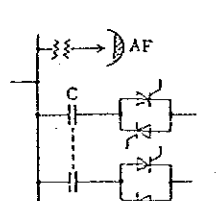
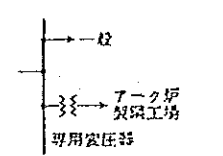
6) フリッカーの発生とその抑制対策

電気炉でのスクラップの溶解作業中、特に溶解初期にアーク電流、電圧は激しくかつ不規則に変動する。その電圧変動の大きさと、バックパワーの大きさとにより、電灯やテレビに、明るさのチラツキが発生し、公害上の問題

となることがある。その抑制対策としては表 4.1.2-4 のものがある。

万一、フリッカー現象が認められたら、早期に、抑制対策を取り、通電制限などの操業への悪影響が出ないように対策を取ることが必要である。

表 4.1.2-4 主なフリッカーの抑制対策

方式名	主回路構成	動作原理	特徴
同期調相機 (SC)と緩衝リアクトル(BR)		同期調相機の過渡リアクタンスと緩衝リアクトルのリアクタンスとの接分比により、アーク炉(AF)の無効電力変動分を即応的に吸収する。	完全な連続制御 回転機のため保守がめんどう
サイリスタ利用リアクトル (Re)制御		逆並列サイリスタにより、リアクトル電流を制御することによって、アーク炉で発生する無効電力の変動を補償する。コンデンサは力率改善と合わせて高周波対策に利用される。	連続制御。ただし数msの時間遅れはある。静止機器のため保守容易。
サイリスタ利用コンデンサ(C)開閉		サイリスタスイッチを用いて、いくつかの群に分けたコンデンサの各ユニットを無効電力の大きさに応じて選択開閉することにより、アーク炉で発生する無効電力の変動を補償する。	段階制御 電流ゼロ点でコンデンサの開閉を必要とするため、その分の遅れがある。静止機器のため保守容易。
専用送電線 (専用変圧器使用)		電源短絡容量の増大によりフリッカーを抑制する。	アーク炉の増設が容易。 設備費は一般的に最も高価。 送電線敷設上の制約がある。

7) その他の設備、操業上の改善

電気炉で一般的に試みられてきたその他の設備、操業上の改善内容を表

4.1.2-5 に示す。

表 4.1.2-5 その他の設備・操業上の改善

	項 目	目 的	主 な 内 容	留 意 点								
操 業 上	1) 銑鉄配合率の最適値の把握	・溶落ちC%の確保による製鋼作業、品質の安定化	・最適な銑鉄配合率を決めて、酸素の有効利用、製鋼時間の短縮などをはかる。	・スクラップの使用可能量、炭素吹き込みの実施などにより配合率を変更することが必要。								
	2) 溶銑の電気炉への直接装入	・溶解時間の短縮 ・省エネルギー	・冷銑の代わりに、電気炉の除滓口、または天井より溶銑を直接、装入し溶解時間を短縮する。									
	3) オーバーチャージの実施	・生産性の向上	・装入量を公称能力の20~40%増やして操業し生産性の向上をはかる。									
	4) 歩留の向上	・生産性の向上 ・コストの低減	・スラグ中の(FeO)を低減させる。 ・スラグ流出時に、スラグに混じって流出する地金を低減させる。	・歩留のバラツキを少なくし、必要溶銑量に応じたスクラップ量を装入する。(特にインゴットに鋳込む場合)								
	5) 合金鉄投入時期の変更	・合金鉄歩留の向上によるコストダウン	・炉中投入時に発生する止電時間を省略して、生産性を向上させると同時に、合金鉄使用量の低減をはかる。									
	6) 製鋼作業時の電気炉の密閉化	・熱ロスの減少	・操業口の数を削減する。 ・操業中の排滓口、出鋼口、その他極力炉の密閉に注意して操業する。									
	7) 止電時間の削減	・電気炉稼働時間の増大	・補修、装入などの作業時間の短縮。 ・予防保全の促進による不良休止件数、時間の減少をはかる。	・電力不足による通電待ちが発生する時期でも、Tap to Tap時間は常に最少になるよう努めること。(コストミニマム、生産意欲の保持のため)								
設 備 上	8) スクラップシャーおよびプレス機の設置	・スクラップのカサ比重増大による装入回数の減少。	・スクラップの事前処理として、シャー、プレス機を使用し、そのカサ比重の増大をはかる。	・装入回数の減少、天井旋回回数の減少は、重要であり、他の対策も含めて回数の減少をはかること。								
	9) 電気炉補修用として補修機の採用	・補修時間の短縮	・補修材の投射機を使用して機械的な補修作業を行ない、補修時間の短縮をはかる。									
	10) 最適電力制御装置の採用	・溶解時間の短縮 ・作業の安定化 ・省 力	・スクラップの溶解状況または電力量に応じた2次電圧、電流制御を行なう。	・スクラップの質、量などがヒート間で極力変動しないこと。								
	11) スクラップ予熱装置の設置	・溶解時間の短縮 ・電力原単位の低減	・電気炉よりの排ガスの顕熱を装入スクラップの予熱に活用する。	・悪臭の発生に 対策が必要								
	12) トランス容量の増大	・溶解時間の短縮	・トランスの容量をレギ、ローパワー(RP)からハイパワー(HP)、ウルトラハイパワー(UHP)水準にまで増加させる。 <table border="1" data-bbox="1454 1659 1899 1732"> <tr> <td>例</td> <td>RP</td> <td>HP</td> <td>UHP</td> </tr> <tr> <td>30T炉</td> <td>12,000KVA</td> <td>18,000</td> <td>22,000</td> </tr> </table>	例	RP	HP	UHP	30T炉	12,000KVA	18,000	22,000	・トランス容量に応じた品質水準の電極を安定して確保できること。
	例	RP	HP	UHP								
30T炉	12,000KVA	18,000	22,000									
13) 電気炉の大型化	・生産能率の向上 ・製造コストの低減	・日本では250T炉、アメリカでは400T炉までのものが建設されており、炉容の拡大による利点を追求する。										

(2) 溶鋼処理設備

鋼の品質改善のため各種の溶鋼処理設備、技術が開発され普及してきている。その代表的なものを表 4.1.2-6 に、また、各種設備の概要図を図 4.1.2-6 に示す。

表 4.1.2-6 代表的な溶鋼処理設備の特徴別分類

		真空脱ガス法	取鍋精錬法	A O D 法		
真 空 設 備	有		ASEA-SKF法 VAD法 LF法(注)		有	溶 鋼 加 熱 設 備
		流滴脱ガス法 出鋼 # RH # DH # 取鍋 #	VOD法 RH-OB法		無	
	無			AOD法 CLU法		

(注) 真空設備なし。ただし必要に応じて設置可。

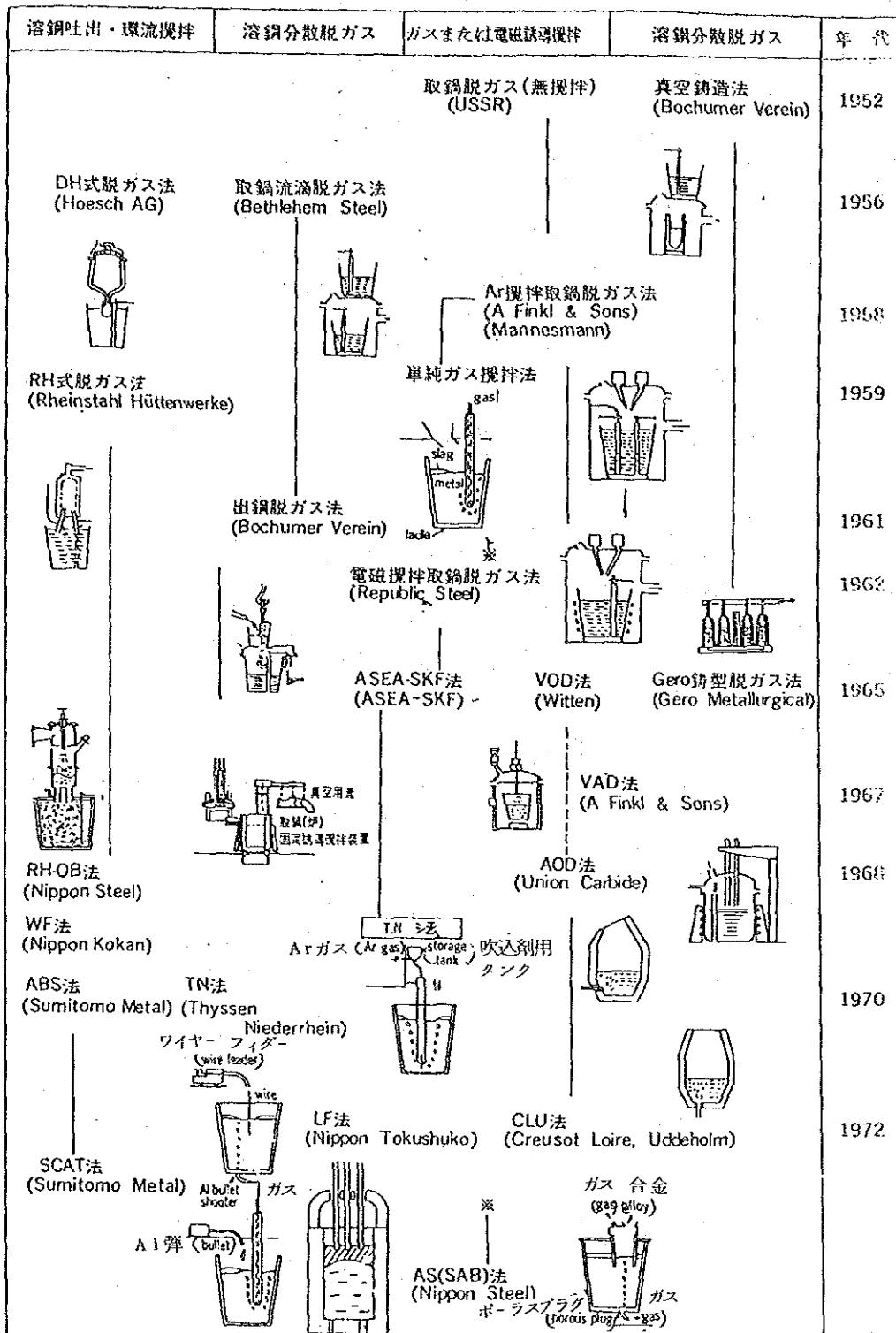


図 4. 1. 2 - 6 各種溶鋼処理設備の概要図

近年、電気炉の製錬機能の一部を他の溶鋼処理設備に分担させ、電気炉には単にスクラップの溶解機能のみをもたせる操業を行なうことにより、全体の生産性の大巾な向上をはかることが実施されつつある。すなわち、従来の電気炉の製錬機能のうち、脱炭、脱酸、脱ガス、脱硫、成分調整、温度調整などを他の溶鋼処理設備に分担させようとするものである。その主なものの1つにLF-V炉(Ladle Furnace-Vacuum炉)がある。設備機構の概要を図4.1.2-7、図4.1.2-8に示す。

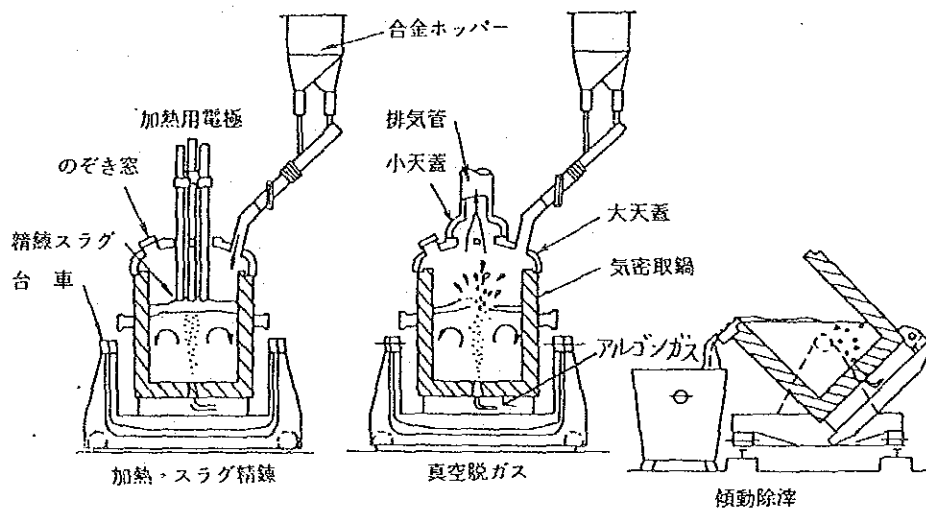


図 4.1.2-7 LF-V炉の設備概要図

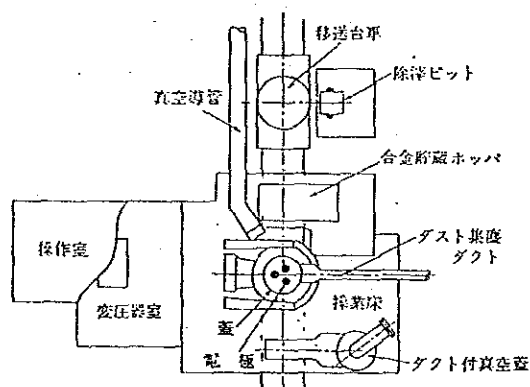


図 4.1.2-8 LF-V炉の設備(平面図)

LF-V炉は使用目的により電極加熱機能、脱ガス機能、スラグ精錬機能を任意に選ぶことができる。その機能と使用目的は表4.1.2-7の通りである。

表4.1.2-7 LF-V炉の機能と使用目的

機 能	方 法	相互の関連	目 的
新スラグによる 溶 鋼 精 錬	取鍋傾動装置および 除滓装置を使用し て除滓し、その後 高塩基性のスラグ を投入する。		介在物の浮上分離 による鋼質の改善
溶 鋼 攪 拌	取鍋底部のポーラ スレンガより Ar ガスを吹き込む。		脱酸、脱水素など による鋼質の改善
電 極 加 熱	3本の電極による アーク加熱を行な う。		溶鋼温度の確保、 均一化による製造 工程の安定
脱 ガ ス	真空排気装置によ って溶鋼表面を真 空に保つ。		脱Sの促進 復Pの防止
			合金鉄投入による 成分含有量の安定

LF-V炉の設置効果としては、

- (i) 電気炉の製鋼時間の短縮による生産性の向上
- (ii) P、Sの低下、ガス含有量の低下、介在物の減少により鋼の品質が向上する。また、より高級な鋼種の溶製が可能となる。
- (iii) 溶鋼温度、成分含有量のバラツキの減少により、造塊、連鑄などの次工程の操業が容易となり、生産の安定、不良品の発生が減少する。

などである。したがって近年日本の鉄鋼業界では、特殊鋼メーカーのみでなく、普通鋼メーカーでも採用されつつある設備、技術である。

石家荘鋼鉄廠の電気炉工場においても、将来の製造鋼種としては、序章表3.3.2-2のごとく、機械構造用炭素鋼、機械構造用低合金鋼の溶製も計画されている。これらの高級鋼は、需要家より要求される品質水準によっては、溶鋼処理を行ない、品質の向上をはかることが必要である。したがって石家荘鋼

鉄廠でも溶鋼処理設備を設置することが望ましい。

当溶鋼処理設備の概要を以下に述べる。

1) 溶鋼処理設備の目的とする機能

- (i) 取鍋内溶鋼の電極加熱機能
- (ii) " 真空脱ガス機能
- (iii) " スラグ精錬機能

ただし、この機能は要求により分割できる設備となっている。したがって設備設置時には、どの機能を持った設備にするか、十分考慮すべきである。

2) 溶鋼処理設備の基本仕様

基 数	:	1
型 式	:	L F - V
容 量	:	30トン
変 圧 機 容 量	:	公称 5,000kVA
最大二次側電流	:	20,000 A (設計基準電流)
電 極	:	12インチ人造黒鉛電極
処理時間(標準)	:	加 熱 時 間 30分
		真 空 処 理 15分
		搬 入 、 搬 送 15分
		計 60分

真空排気装置 : スチームエジェクター(Steam ejector)方式

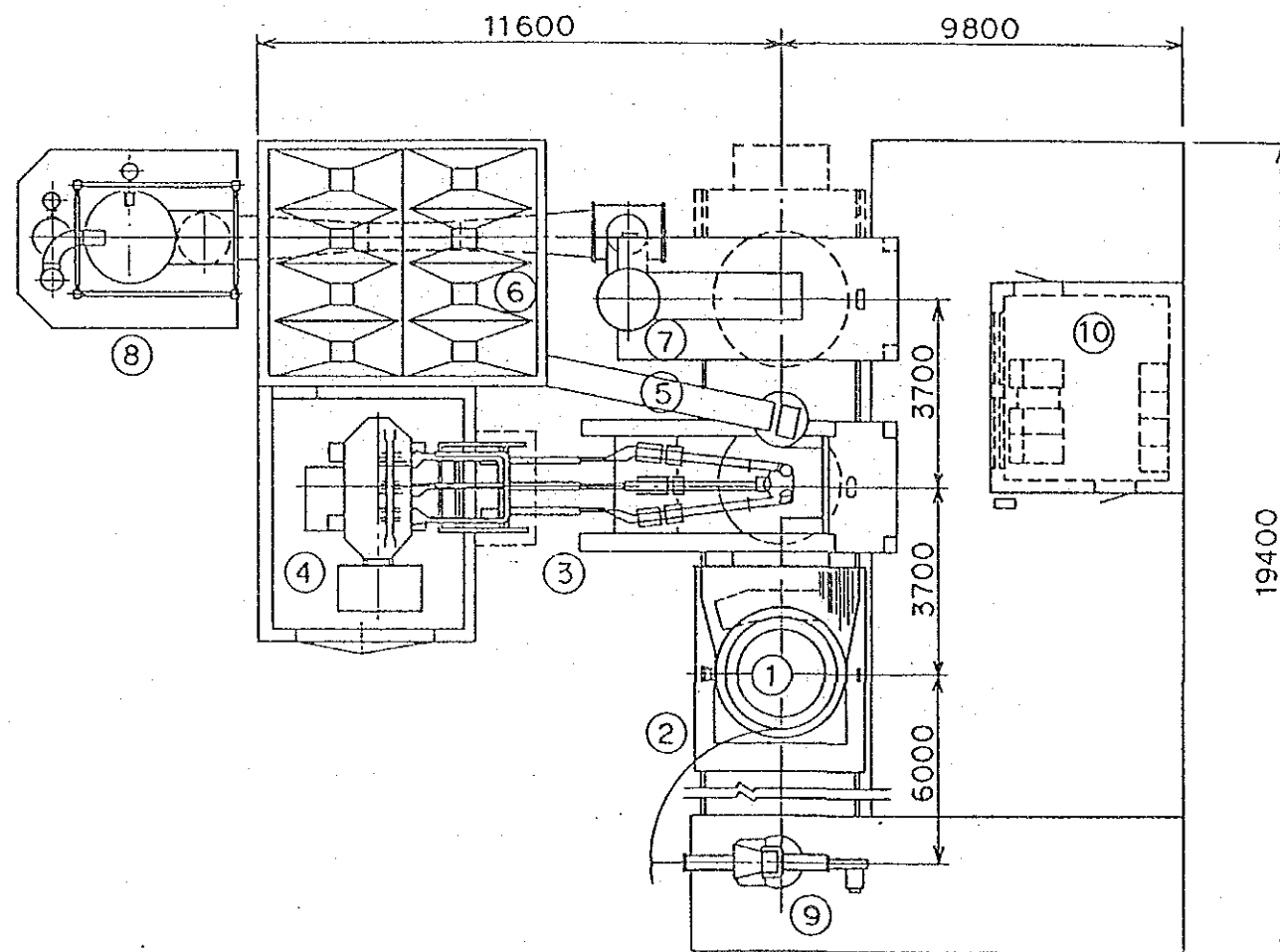
除 浮 方 式 : 取鍋傾動+スラグドラッガー(Slag dragger)方式

3) 設置時期および設置場所

設備の設置時期および設置場所としては、電気炉工場に、連鋳機が新設され、その操業が十分に軌道にのった後に、30トン電気炉の造塊場跡地に、設置するのが最適と考える。

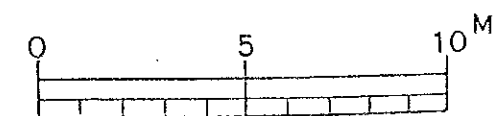
4) 溶鋼処理設備の概要図および配置図

溶鋼処理設備の概要を図4.1.2-9に、工場内の配置図を図4.1.2-16に示す。



符号	名称
1	取 鍋
2	取 鍋 台 車
3	加 熱 装 置
4	变 压 器
5	合 金 铁 投 入 装 置
6	合 金 铁 貯 藏 槽
7	真 空 处 理 场
8	真 空 排 气 装 置
9	除 滓 装 置
10	操 作 室

图 4.1.2 - 9 溶 鋼 处 理 設 備 (LF-V 炉) 平 面 图



(3) 連 鋳 設 備

1) 電気炉工場の稼働体制

稼働体制検討のための前提条件は下記の通りとした。

生 産 量 : 80,000トン/年

溶 製 炉 : 30t電気炉1基、5t電気炉1基

稼 働 率 : 85%

1ヒート当りの装入量 : 35トン/ヒート、15トン/ヒート

出 鋼 歩 留 : 93%

1ヒート当りの出鋼量 : 32.5トン/ヒート、14トン/ヒート

A. 30t電気炉をフル稼働とした場合の電気炉工場の稼働体制

30t電気炉の1日当りの平均出鋼ヒート数は以下の通りである。

$$(80,000\text{トン/年} \div 32.5\text{トン/ヒート}) \div 365\text{日/年} \times 0.85 = 7.9\text{ヒート/日}$$

石家荘鋼鉄廠の30t電気炉のトランス容量は12,500kVAのレギュラーパワーであるが、予定されているスクラップ予熱装置、1,500Nm³/hの酸素工場が稼働すれば、30t電気炉の生産性は向上し7.9ヒート/日の出鋼ペースは比較的容易に達成できると考えられる。

したがって、電気炉工場は30t電気炉の1基稼働とし、5t電気炉は休止した方が製造費などの面で有利であると推定される。

B. 30t電気炉の出鋼から出鋼までの時間

$$\frac{365\text{日/年} \times 0.85 \times 1,440\text{分/日}}{80,000\text{トン/年} \div 32.5\text{トン/ヒート}} = 181\text{分/ヒート}$$

したがって新設の連鋳機は1ヒート単位の鋳造作業となる。

2) 電気炉工場での高級鋼溶製についての対応策

電気炉工場での溶製鋼種は序章表3.3.2-2のごとく、異形鉄筋用鋼、機械構造用炭素鋼、その他少量の機械構造用低合金鋼が計画されている。したがって電気炉工場としては、機械構造用低合金鋼の溶製、鋳造が可能な工場設備とすることが必要である。その対応策として連鋳機は高級鋼の鋳造に有利な設備とするのと同時に、取鍋精錬設備の導入、連鋳機への電磁攪拌装置の設置、活用ならびに無酸化鋳造（サブマージドノズルの使用、パウダーキャストイン

グ、Arシールの実施)の実施を提言する。

3) 連鋳機の基本仕様

A. 鋳片の断面寸法、鋳片長さ、型式、曲率半径

上記の項目については4.1.1(2)2)項の転炉の連鋳機基本諸元で検討し、言及した。

電気炉の連鋳機においても、同一寸法のものでよいと考える。

すなわち、 $150\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 6\text{ m}$

および $120\text{ mm} \times 120\text{ mm} \times 6\text{ m}$

曲率半径 8 m

の連鋳機とする。

B. 連鋳機のストランド数の設定

表4.1.2-8にストランド別の鋳造時間を示す。

鋳造速度は下の計算式により算出した。

$$\frac{A}{a^2 \times B \times b \times c} = x$$

ただし、A : 1ヒート当りの溶鋼量 (= 32.5トン/ヒート)

a : 連鋳片の断面寸法 (mm)

B : 比重 (7.8)

b : 鋳造速度 (m/min)

c : ストランド数

x : 鋳造時間 (分/ヒート)

なお鋳造速度は、日本の連鋳機での、同一寸法の平均鋳造速度を採用した。

表 4.1.2 - 8 ストランド別の鑄造時間

ストランド数	鑄片断面寸法 (mm)	鑄造速度 (m/min)	鑄造時間 (分/ヒート)
1	150×150	1.8	102.9
	120×120	2.5	115.7
2	150×150	1.8	51.4
	120×120	2.5	57.9
3	150×150	1.8	34.3
	120×120	2.5	38.6

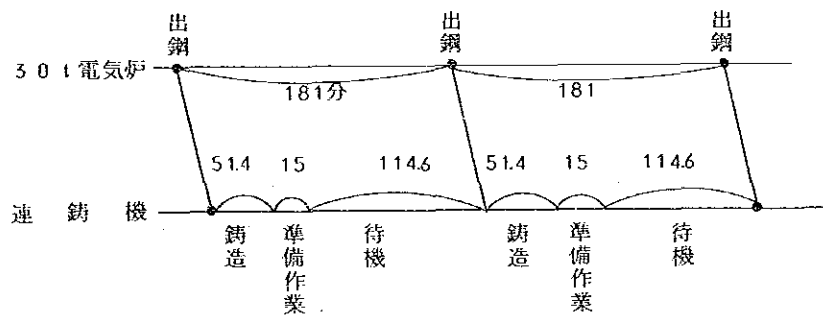
上表より、1ストランドでは、鑄造時間が長すぎて、溶鋼温度の低下が大きい。3ストランドは、鑄造時間は最適であるが、設備費が高くつくなどの理由で、ストランド数は2ストランドがよいと考える。

ただし鑄造時間が約55分/ヒートとやや長いので、取鍋の保温などを行ない、溶鋼温度の低下を防がなければならない。

C. 30t電気炉と連鑄機間のマッチングの予想

30t電気炉と連鑄機が共に正常に稼働している場合の、マッチングの予想図は下の通りである。

150mm×150mm鑄片の場合



D. 電 磁 攪 拌

連続鑄造設備による高級鋼の製造技術は近年著しく発達してきている。それらの技術の中でも、凝固途中の溶鋼を電磁力により攪拌する技術いわゆる「電磁攪拌」は不可欠の技術となっており、連鑄片の品質に及ぼす効果は極めて大きいものである。この電磁攪拌には、鑄型内攪拌 (M-攪拌)、

2次冷却帯攪拌（S-攪拌）、凝固末期攪拌（F-攪拌）の三種類がある。したがって鋼種、鑄造条件、用途、要求される品質水準などを考慮して、この内のいくつかを組合せて設置し、最適な効果を発揮させることが重要である。

電磁攪拌装置の設置位置、効果などについて図4.1.2-10、表4.1.2-9、図4.1.2-11、図4.1.2-12、図4.1.2-13に示す。

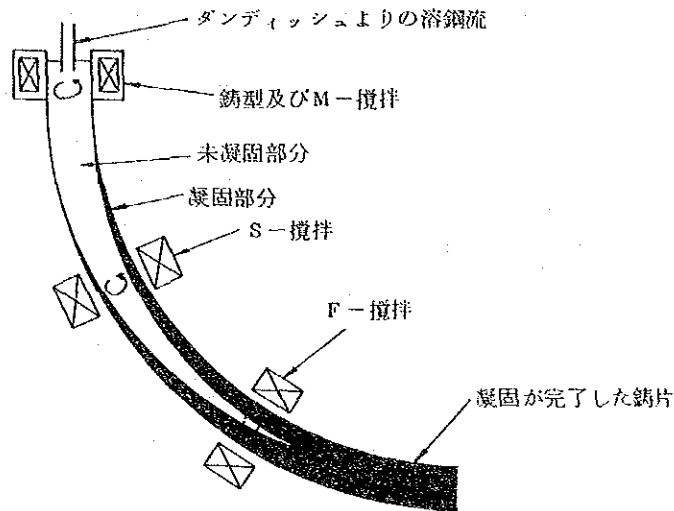


図 4.1.2 - 10 鋳片凝固状況と電磁攪拌装置の設置位置

表 4.1.2 - 9 電磁攪拌の組合せと効果

組合せ攪拌	電磁攪拌のおもなねらい	適用鋼種例
M 単 独	<ul style="list-style-type: none"> 介在物の低減 気泡の除去 	<ul style="list-style-type: none"> Si&Al(微量)鋼 低炭素キルド鋼(低合金鋼を含む)
M + S あるいは M + F	<ul style="list-style-type: none"> 中心キャビティの効果的改善 介在物の低減および中心偏析の改善 	<ul style="list-style-type: none"> 中炭素鋼(低合金鋼、ベネ鋼を含む)
M + S + F	<ul style="list-style-type: none"> 攪拌強度コントロールによるホワイトバンドの抑制 中心偏析の効果的改善 	<ul style="list-style-type: none"> 特殊高炭素鋼

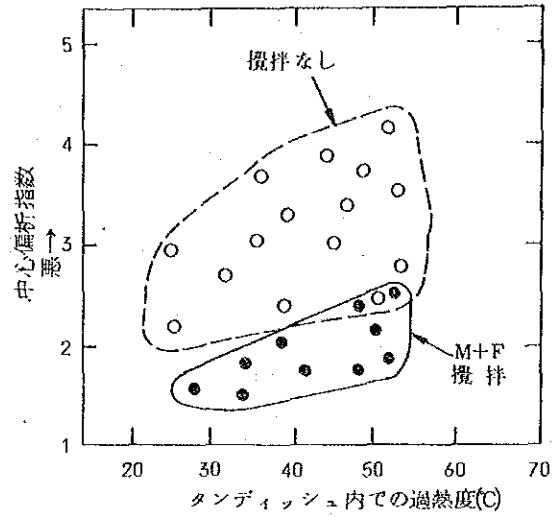
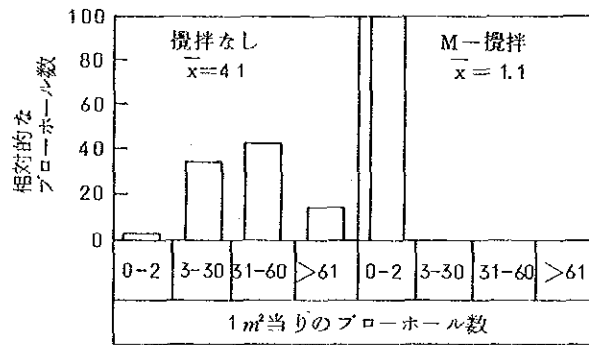


図 4.1.2-11 高炭素鋼の中心偏析の改善効果



検査方法：ショットブラスト面での目視検査

図 4.1.2-12 鋳型内攪拌による鋳片表面のブローホールの低減効果

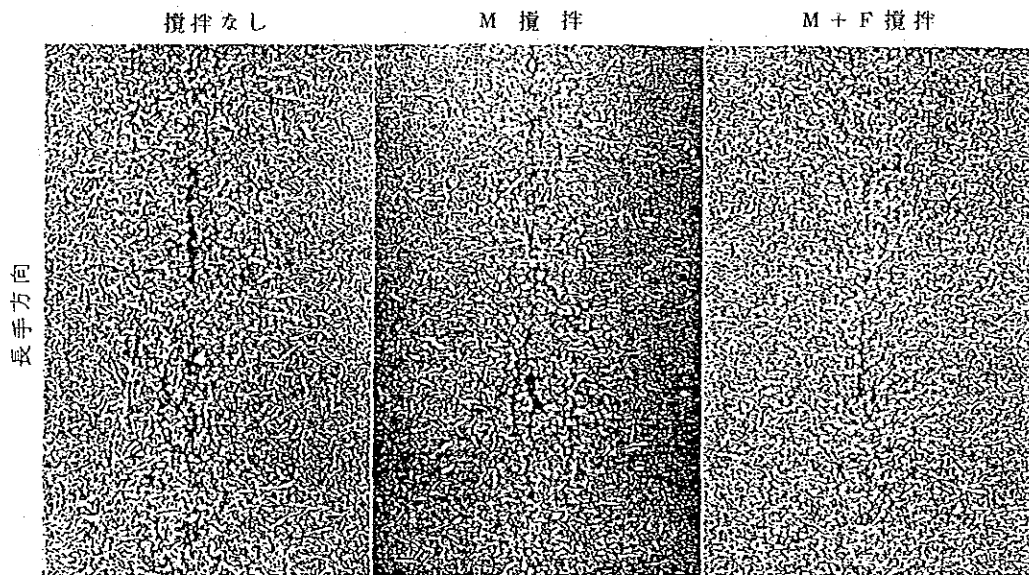


図 4.1.2-13 高炭素鋼のマクロ組織の改善効果

石家荘鋼鉄廠では、これらのうち、鋳型内攪拌と凝固末期攪拌の二種を設置し、表面品質の改善、介在物の減少、中心偏析の改善などに努め、高級鋼の製造をはかるべきと考える。

4) 連鋳機の主な設備仕様

A. 溶製炉の基本諸元

生産量 : 80,000トン/年

溶製炉 : 30t電気炉1基稼動、5t電気炉休止

稼動率 : 85%

1ヒート当りの溶鋼量 : 32.5トン/ヒート

出鋼から出鋼までの時間 (Tap to tap時間) : 181分/ヒート

溶製鋼種 : 異形鉄筋用鋼

機械構造用炭素鋼

機械構造用低合金鋼

B. 連鋳機の基本諸元

鋳片断面寸法 : 150mm × 150mm

および 120mm × 120mm

鋳片長さ : 6m

連続鋳造ヒート数 : 1ヒート/回

鋳造準備時間 : 15分/回

C. 連鋳機の主な設備仕様

基数 : 1

ストランド数 : 2

型式 : 曲げ型

曲率半径 : 8m

鋳片寸法 : 150mm × 150mm × 6m

および 120mm × 120mm × 6m

鋳造速度 : 1.8 m/min (150mm × 150mm鋳造時)

2.5 m/min (120mm × 120mm鋳造時)

鋳片切断方式 : 機械的シャ-

取鍋支持方式 : 取鍋用固定スタンド

その他付属設備 : 電磁攪拌装置(鋳型内攪拌、凝固末期攪拌)

水処理設備

タンディッシュ整備場

D. 装置の特徴

(A) 取鍋用固定スタンド

電気炉工場の連鋳機は、電気炉の出鋼サイクルより、1ヒートのみのもので鋳造となる。したがって取鍋支持方式は、設備費の最も安い、固定スタンドを設置することとする。

(B) 鋳 型

鋳型内湯面レベル計

鋳型振動装置

二次冷却帯ガイドローラー

引抜き矯正ロール装置、漸次曲げ矯正ロール

鋳片切断装置

ダミバー

などについては転炉用連鋳機と同様である。

図4.1.2-14および図4.1.2-15に電気炉工場用連鋳機の概略図を示す。

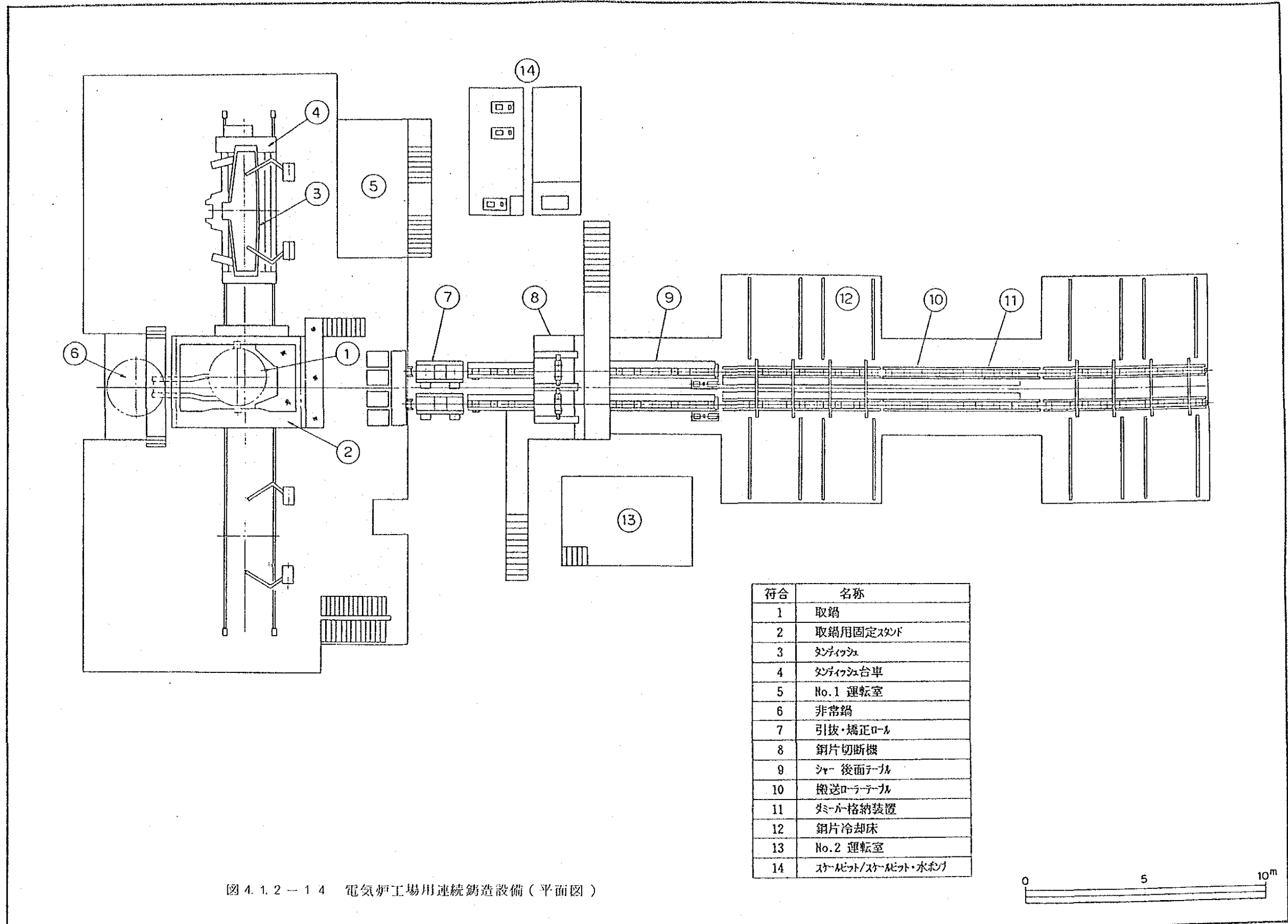
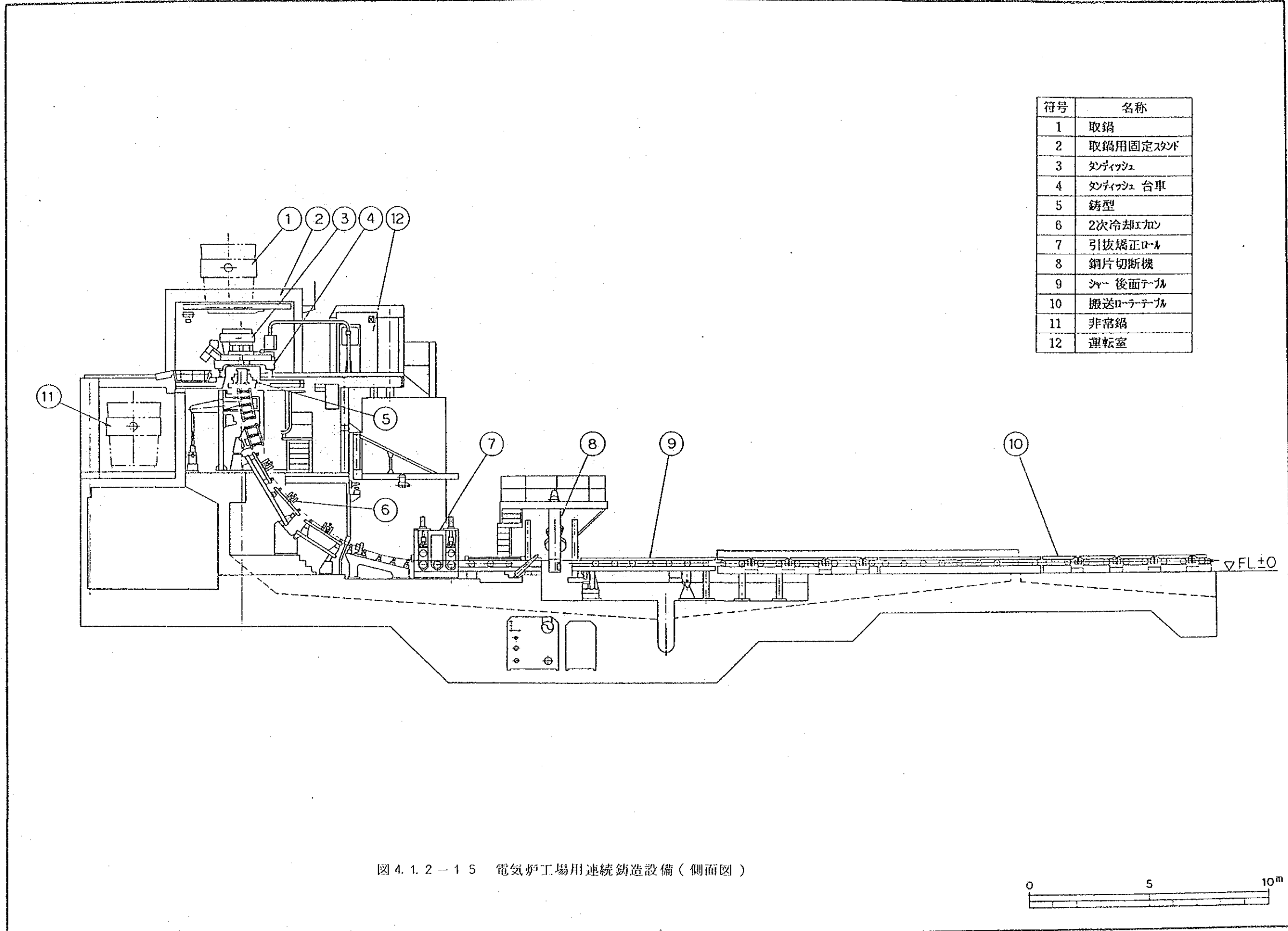
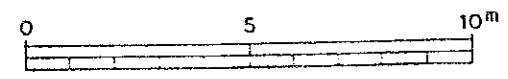


図 4. 1. 2 - 1 4 電気炉工場用連続鋳造設備 (平面図)



符号	名称
1	取鍋
2	取鍋用固定スタンド
3	タンディッシュ
4	タンディッシュ 台車
5	铸型
6	2次冷却缶
7	引抜矯正ロール
8	鋼片切断機
9	シャ- 後面テール
10	搬送ローラー
11	非常鍋
12	運転室

図 4. 1. 2 - 1 5 電気炉工場用連続鋳造設備 (側面図)

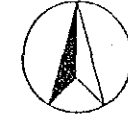
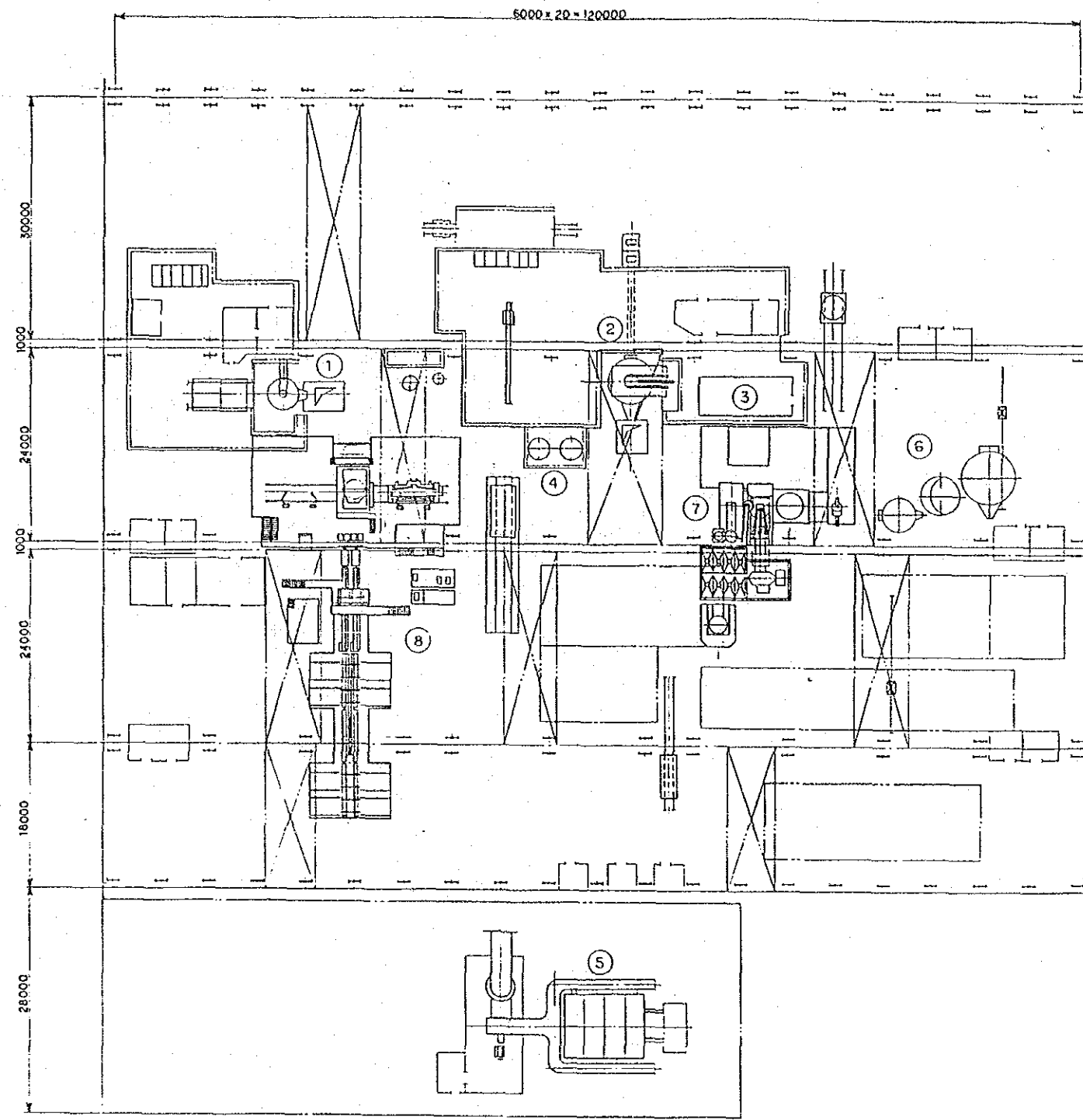


(4) 電気炉工場全体レイアウト

電気炉工場の連鋳機は、建設費を最少にするために、既設の工場建屋内に設置すべきであると考えられる。したがって建設は、生産を継続しながらの工事となるので、工事中の生産阻害が極力少なく、かつ工場の全体レイアウト上からも最適な場所に建設しなければならない。このことから、連鋳機の設置位置は、5 t 電気炉用造塊場が最適と考える。したがって、建設開始時期までには、5 t 電気炉での生産は、30 t 電気炉に置き替えておくことが必要である。

また生産された連鋳片の精整作業は、現在の鍋塊、定盤整備場と、鋼塊疵取場の両棟で行なえるように、鋳片搬送テーブルを延長して搬出できることとした。

図 4.1.2-16 および図 4.1.2-17 に電気炉工場の全体レイアウトを示す。



符号	名称
1	5t 電気炉
2	30t 電気炉
3	変圧機室
4	スクワ予熱装置
5	除塵設備
6	電気炉炉体修理場
7	溶鋼処理設備
8	連続铸造設備

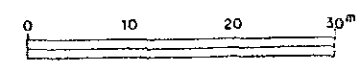


图 4.1.2 - 1 6 電気炉工場全体配置図(改造後)

符号	名称
1	取鍋
2	取鍋台車
3	クレーン
4	クレーン 台車
5	铸型
6	2次冷却工カ
7	引抜矯正工カ
8	ピット 切断機
9	シヤ 後面テール
10	搬送ローラー
11	非常箱
12	運転室

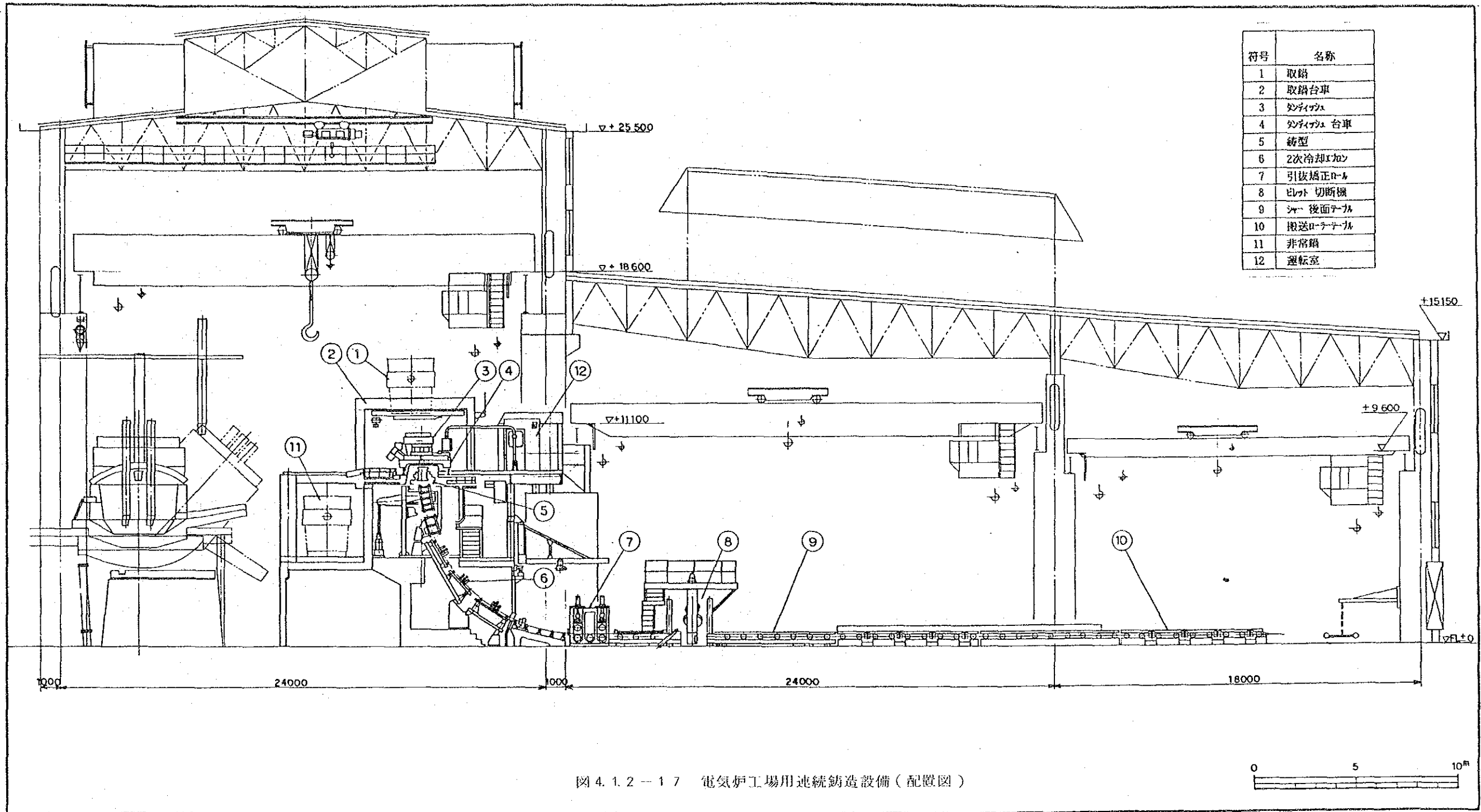


図 4.1.2 - 17 電気炉工場用連続鋳造設備 (配置図)

4.1.3 スクラップ処理設備

石家庄鋼鉄廠では、製鋼用原料として、1991年には約10万トン／年の購入スクラップ、リターンスクラップを使用することが予定されている。外部および工場内から回収されたスクラップは現在特別な事前処理を行なうことなく、電気炉で使用されている。したがって当鋼鉄廠では、1988年には5,400 m^2 のスクラップヤードを確保し、600トンの油圧プレス、1,000トンの油圧シャーを設置することが計画されている。

このようにスクラップの選別、切断、プレスなどを行なって、スクラップの嵩比重を増大させ、電気炉の装入回数の減少による出鋼から出鋼までの時間（Tap to tap 時間）の短縮などをはかることは、非常に重要である。

一方、スクラップ切断機、プレス機の機種、能力等は、スクラップの種類別処理量、プレス後の寸法および作業時間などを考慮して選定しなければならない。特にプレス後の寸法は、転炉の装入シュート、電気炉の装入バスケットの大きさ、形状などを加味して決定する必要がある。

表4.1.3-1は日本T社のスクラップ切断機標準仕様を示したものである。このうち1000A型はこれまで中国に3台納入した実績があり、石家庄鋼鉄廠の1,000トン油圧シャー導入についても当機種が適当と考える。

また表4.1.3-2に日本T社のスクラッププレス機の標準型仕様を示すが、鋼鉄廠が計画している600トンプレスは標準仕様にないため、500トンプレス（41PA'）図を参考までに示す。

なお、切断機、プレス機はほとんどの場合が、特殊仕様によるものであり、購入時にメーカーと十分な打合せを行なって工場の条件に合った最適な機械を選定すべきと考える。

表 4.1.3-1 日本 T 社 スクラップ 切断機

標準仕様

型 式	ボックス(BOX)サイズ (W)×(H)×(L)mm	能 力 (TON)					動力 (kW)	スピード 約回/分	刃幅 (mm)	切断寸法 (任意)
		切断	押え	送込み	横押	半蓋				
400型	2,000×1,100×5,000	400	170	60	120	(50)	74	2.5	800	任意 (カウンター設置)
500型	2,000×1,100×5,000	500	200	75	200	(50)	111	3	900	任意 (カウンター設置)
800型	2,200×1,100×5,000	800	300	100	200	50	148	3	1,000	任意 (カウンター設置)
800型	2,500×1,500×6,000	800	300	100	405	150	148	3	1,000	任意 (カウンター設置)
1000型	2,500×1,500×6,000	1,000	400	100	405	150	222	3	1,000	任意 (カウンター設置)
1000A型	3,000×1,500×7,000	1,000	400	150	405	225	222	3	1,000	任意 (カウンター設置)
1250型	3,000×1,500×6,000	1,250	400	100	405	150	296	3	1,000	任意 (カウンター設置)
1250型	3,000×2,000×7,000	1,250	400	150	480	225	296	3	1,250	任意 (カウンター設置)
1600型	3,000×2,000×7,000	1,600	480	150	480	225	333	3	1,250	任意 (カウンター設置)

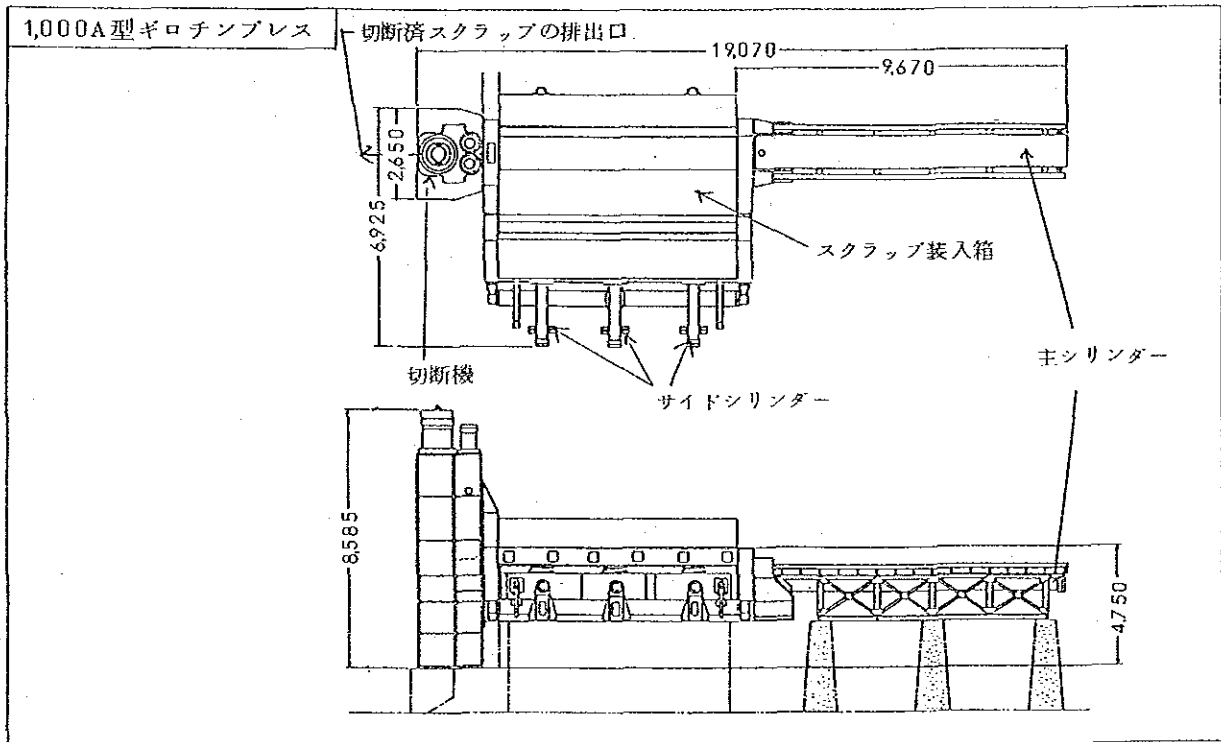


表 4.1.3-2 日本 T 社スクラッププレス

型式	材料投入容積	成型品寸法	成型重量	成型スピード	シリンダー能力 (トン数)				主動力(kW)
	(H)×(W)×(L)mm	(H)×(W)×(L)mm	(理論値)kg	≒秒/1ヶ	主	横	上蓋	扉	
10PA	600×800×1,000	250×250×L	≒25	≒47	68	50	27	27	22
15PA	600×1,000×1,500	300×300×L	≒55	≒54	100	68	40	40	37
20PA	800×1,200×2,000	400×400×L	≒120	≒76	150	100	50	50	45
25PA	900×1,400×2,500	500×500×L	≒220	≒86	200	150	68	60	67
30PA	950×1,800×3,000	600×500×L	≒400	≒90	200	200	120	60	74
35PA	950×1,800×3,500	600×500×L	≒460	≒96	200	200	120	60	74
41PA	1,000×1,800×4,100	600×600×L	≒540	≒87	250	250	136	68	111
41PA'	1,000×2,000×4,100	700×600×L	600 ~700	≒115	500	400 (200ト×2台)	120 (60ト×2台)	100	185
60PA	1,500×2,000×6,000	800×800×L	1,200 ~2,100	≒170	1,000	800 (400ト×2台)	300 (100ト×3台)	300	375

