

日立連続鑄造設備
HITACHI Continuous Casting Plant

平井 滋 郎* 町田 金 重* 遠藤 宗 宏*
Shigerô Hirai Kinzyû Machida Munehiro Endô

要 旨

日立製作所は連続鑄造設備の開発を全く独自に進め、試作プラントによる基礎研究と、新日本製鐵株式会社との共同研究による実用化試験を重ね純国産技術として生産設備製作に成功した。
本報では設備上の特色を納入設備により具体的に説明するとともに鑄片品質に関しても研究成果の一端を紹介することとする。

1. 緒 言

連続鑄造法は従来の造塊工程を一新する画期的技術として、近年鉄鋼界に急速に導入されている。本法は当初電炉メーカーおよび既設製鐵所の合理化を主体に設置され、その技術的發展と使用実績を基礎に 1971 年にはついに分塊工程の無い完全連続鑄造方式の新鋭大製鐵所が実現する予定であり、製鐵技術における基本的方式として今後ますます発達することが予想されている。

日立製作所においても本法の重要性にいち早く着目し、国産技術による独自の開発をめざして 1961 年に垂直形テストプラントを、1966 年には湾曲形テストプラントをあいついで完成し、各種断面・鋼種にわたる広範囲の試験を重ね設備設計・操業上の基礎技術確立につとめてきた。また 1965 年新日本製鐵株式会社に当時としては国内最大規模のスラブ・ブルーム連続鑄造設備を納入し、同時に同社との共同研究により LD 転炉と直結した近代的製鐵所における製鋼・連続鑄造・圧延の一貫した操業技術を開発した。

かくして、日立製作所はあらゆる形式の連続鑄造設備の設計製作技術を確立するとともに、総合電機メーカーの長所を生かして各種自動化・計算機制御などの高度の技術も開発した。操業技術に関しても新日本製鐵株式会社との密接な協力関係のもとに完全に実用化し、純国産技術の連続鑄造設備として外国技術に対してなんら遜色(そんしょく)ないものと確信している。

本論文では日立製連続鑄造設備の特色を述べるとともに、鑄片品質に関する研究成果の一端を紹介する。

2. 設 備 概 要

日立製作所は垂直形から湾曲形まで全形式の設備を開発してお

り、納入実績も表 1 に示すようにスラブからビレットと多岐に及んでいる。これらのうち代表的なものにつき、その設備概要を述べる。

2.1 垂直形ブルーム連続鑄造設備

主 仕 様	
形 式	垂直鑄型鑄造方式
製 鋼 炉	LD 転炉
炉 容 量	90 t
鑄 造 鋼 種	普通鋼, 高炭素鋼
鑄 造 断 面	300×480, 240×375, 235×310, 150×480
切 断 長 さ	3,500~6,300 mm
鑄 造 速 度	max 2,500 mm/min
ストランド数	4 ストランド (ツインストランド, 2 基)
生 産 能 力	25,000 t/月 (11 チャージ/日)
連 々 鑄 方 式	取鍋(なべ)交換…レールクレーン方式 タンディッシュ交換…自走式タンディッシュカー方式
設 備 規 模	操 業 床 高 さ 地上 5.5 m 床面積 50 m×20 m 地下ピット 深 さ 地下 25 m 床面積 15 m×20 m

設備全体配置は図 1 に示すように、既設建屋内に設置するため構成機器の大半を地下ピットに収め所要長さにガス切断された鑄片をコンベヤで地上に搬出する方式になっている。

本設備は垂直形として国内最大規模であり、

(1) ツインストランド方式によるコンパクト化

(2) 遠隔集中操作化による操業性向上と操作員削減

(3) 加熱炉・圧延機との直結化による工程短縮と品質安定

表 1 日 立 納 入 設 備 一 覧 表

納 入 先	形 式	稼 働 開 始	ストランド数	取鍋容量	生産能力	鑄 造 断 面	鋼 種
新日本製鐵(室蘭 1 号機)	垂 直 方 式	1965 年 7 月	ス ラ ブ 1 ブルーム 2 (ツイン 1 基)	50 t	t/月 13,000	スラブ max 200×1,250 ブルーム max 300×480	普 通 鋼 ステンレス鋼
新日本製鐵(釜石 1 号機)	垂 直 方 式	1969 年 7 月	4 (ツイン 2 基)	90	25,000	ブルーム max 300×480	普 通 鋼 高 炭 素 鋼
千代田亜鉛(東京)	垂 直 鑄 型 鑄片湾曲方式	1969 年 11 月 (1970 年 11 月増設)	2	40	15,000	ビレット 115φ~150φ	普 通 鋼
東北特殊鋼(仙台)	垂 直 鑄 型 鑄片湾曲方式	1970 年 12 月	1	5	1,000	ビレット 80φ~100φ	ステンレス鋼 特 殊 鋼
北越メタル(三条)	湾曲鑄型方式	1969 年 12 月	1	15	3,000	ビレット 90φ~130φ	普 通 鋼
新日本製鐵(室蘭 2 号機)	湾曲鑄型方式	1971 年 7 月	4	120	30,000	ブルーム max 250×310	普 通 鋼 高 炭 素 鋼

* 日立製作所日立工場

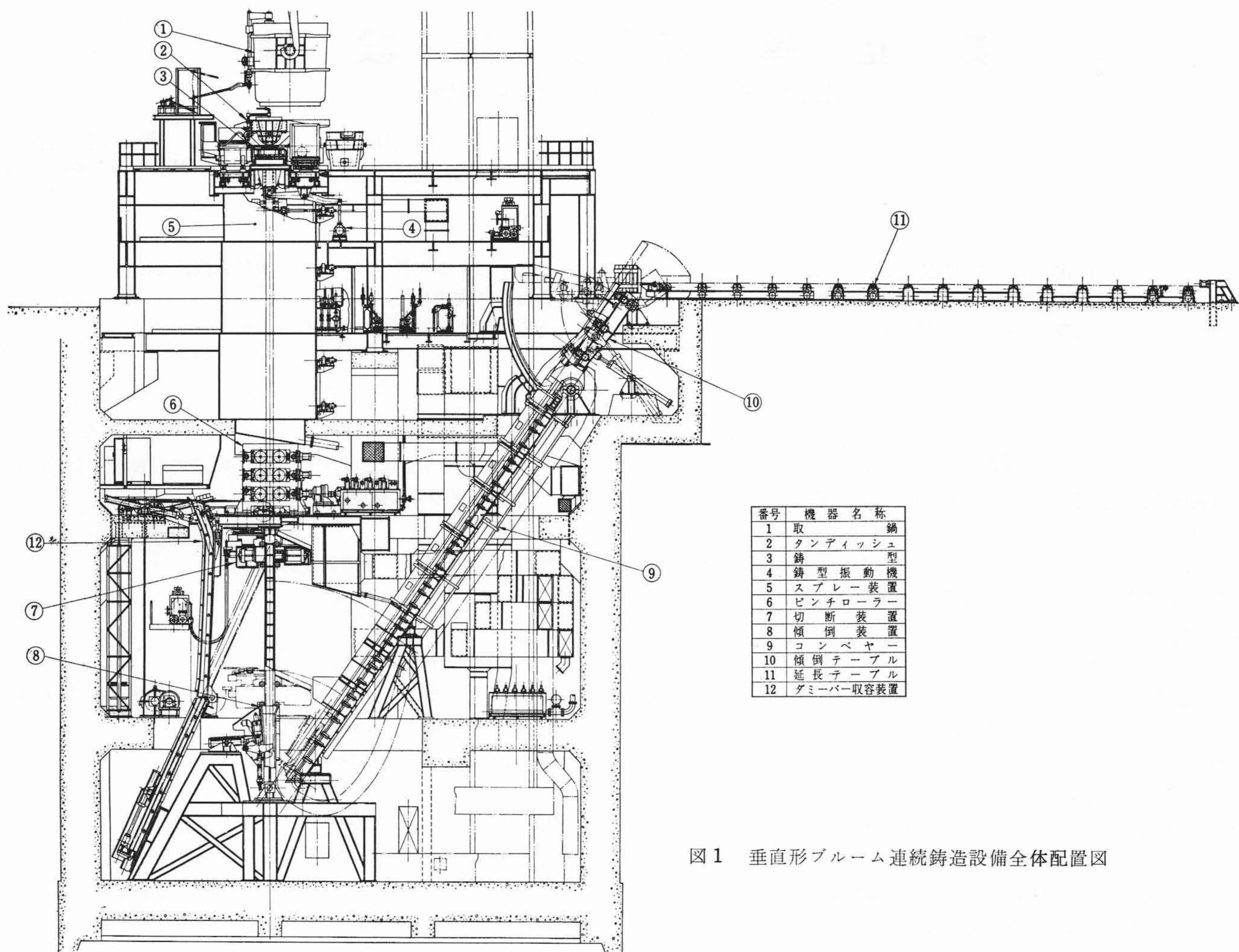


図1 垂直形ブルーム連続鑄造設備全体配置図

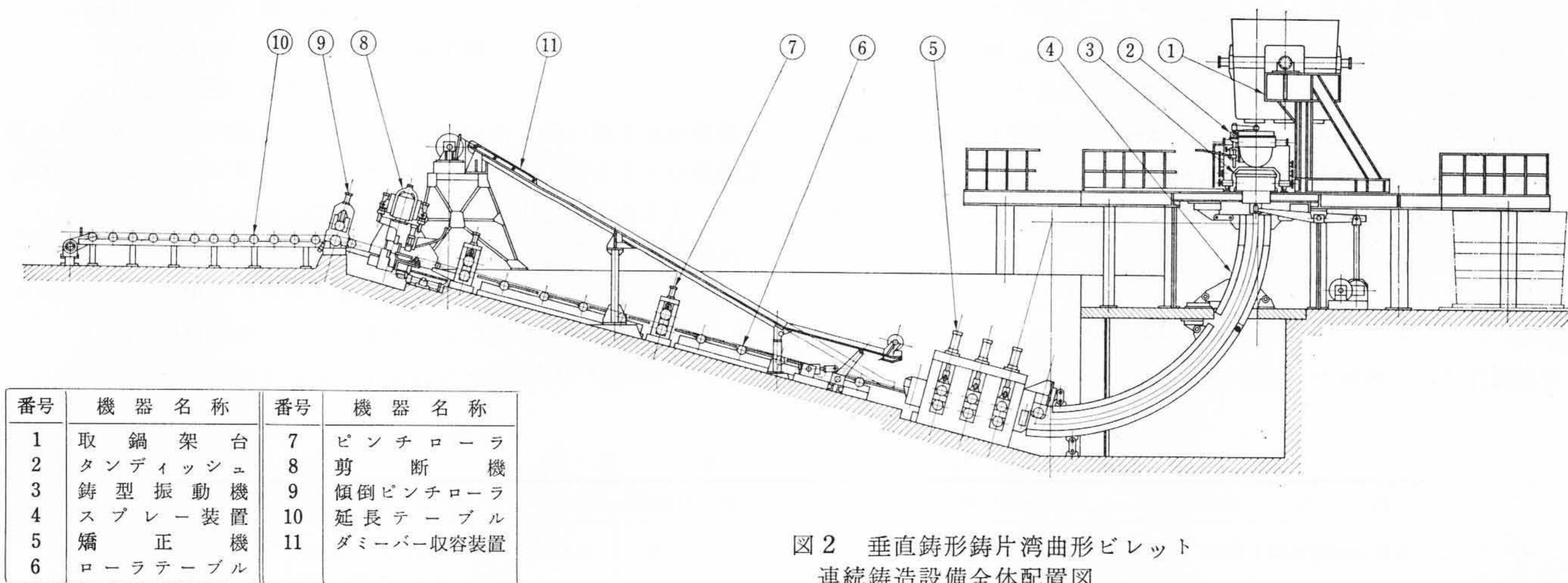


図2 垂直鑄形鑄片湾曲形ビレット連続鑄造設備全体配置図

などの特長を有している。

2.2 垂直鑄形鑄片湾曲形ビレット連続鑄造設備

おもな仕様

形 式	垂直鑄型鑄片湾曲方式
湾曲半径	5,000 mm R
製 鋼 炉	電気炉
炉 容 量	40 t (増設後)
鑄 造 鋼 種	普通鋼
鑄 造 断 面	118×118 (max 150×150)
切 断 長 さ	1,500~1,700 mm

鑄 造 速 度	max 4,000 mm/min
ストランド数	2 ストランド (増設後)
生 産 能 力	15,000t/月 (14 チャージ/日)
連 々 鑄 方 式	取鍋交換…レードル架台およびクレーン方式 タンディッシュ交換…自走式タンディッシュカー方式
設 備 規 模	操 業 床 高 さ 地上2.1 m 床面積 15 m×13 m 地下ピット 深 さ 地下4.5 m

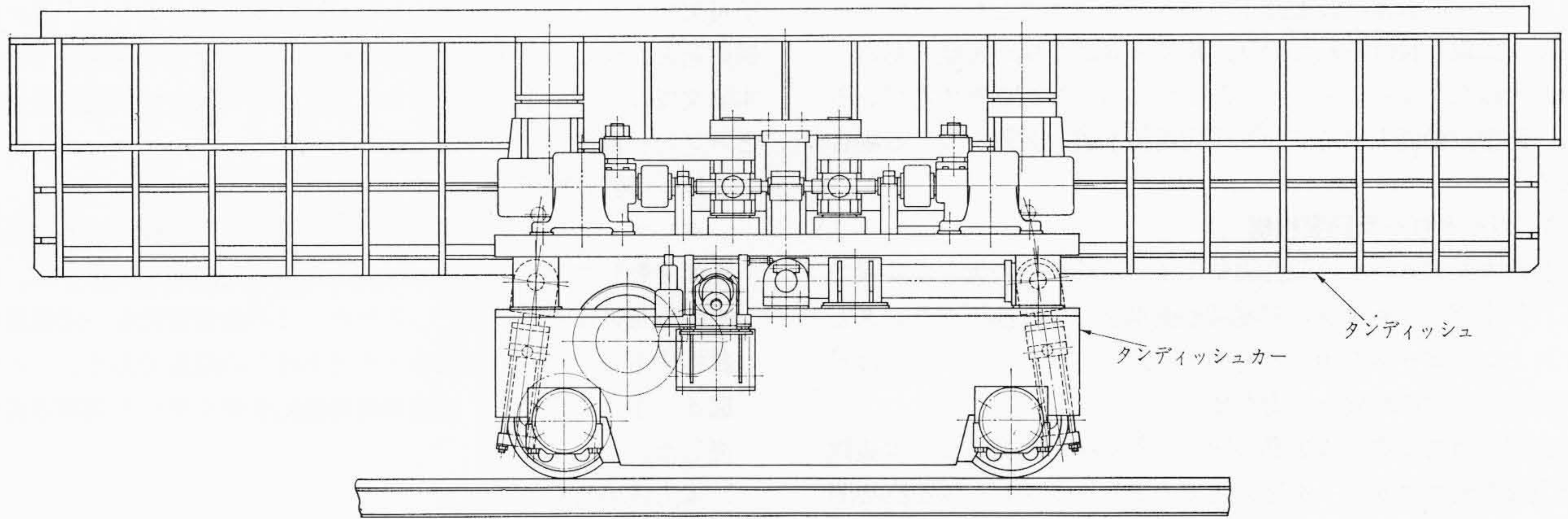


図3 油圧式タンディッシュカー

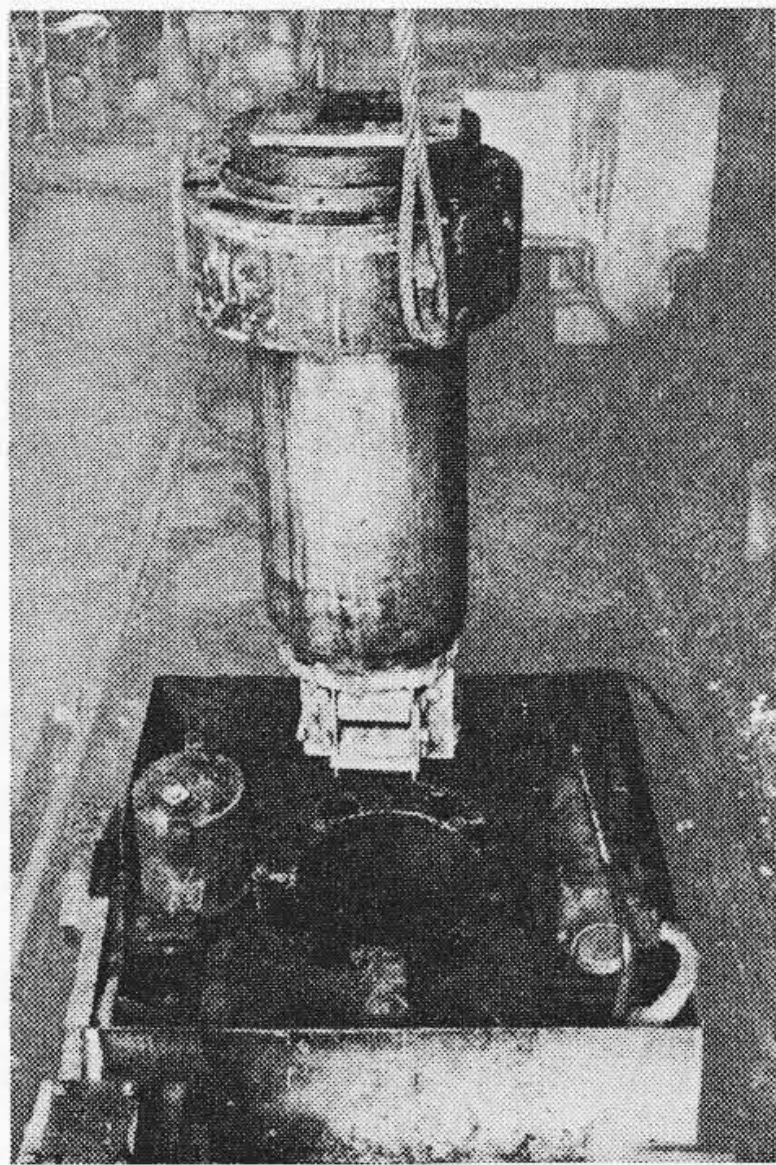


図4 ビレット用鑄型・振動機

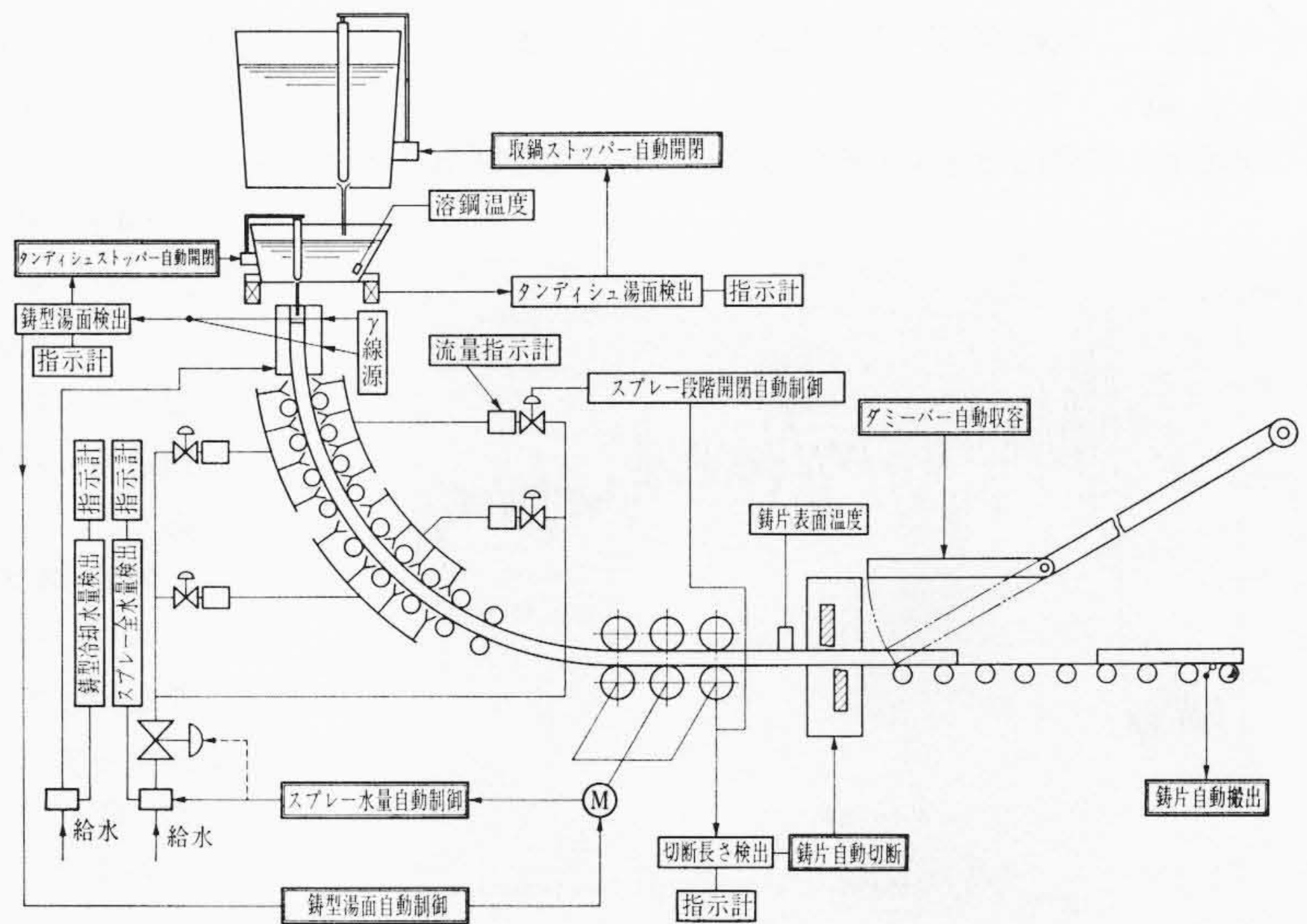


図5 連続鑄造設備制御系統図

設備全体配置は図2に示すように、既設造塊工場内に電気炉と隣接して設置されるため操業床レベルが極端に制限されて半地下構造となり、鑄造された鑄片は傾斜テーブル上をピンチローラで搬送され、地上部分で油圧剪(せん)断機により所要長さに切断し搬出される方式になっている。

本設備は電気炉と直結したビレット設備としては最も一般的な生産規模のものであり、省力化と高稼働率化を目標に

- (1) 垂直鑄型鑄片湾曲方式と純銅チューブ鑄型構造による鑄型コスト低減と保守整備の簡易化
- (2) 油圧せん断機によるコンパクト化と歩どまり向上
- (3) 完全自動化による安定せる高速鑄造化

などの最新の技術を駆使している。

3. 設備上の特色

日立製作所の開発した連続鑄造設備は多種多様にわたるため設備的特色を網羅することは割愛し、特に高操業性と自動化を採り上げて述べる。

3.1 高操業性

連続鑄造設備の操業性を高めるために

- (1) 連続-連続操業化
- (2) 型替時間の短縮化
- (3) 準備時間の短縮化
- (4) 高速鑄造化

を主体に設備計画をしている。今回はそのうち(1)(2)項につき設備的特色を述べる。

3.1.1 タンディッシュカー

連続-連続操業を行なうにあたってはタンディッシュのクイックチェンジが重要な課題であり、一般的に自走式カーが用いられている。しかも最近は鑄片品質向上のため侵漬(しんせき)ノズルを使用する傾向が強く、カーにタンディッシュ昇降処置を内蔵させる必要が生じ、その構造はいちだんと複雑化している。これに対応するため図3のようなタンディッシュカーを開発した。本機は最大65tの積載能力を有し、自走および走行速度の高低切換、タンディッシュ昇降・傾斜・芯(しん)出しの諸機構を有する高性能機で、マルチストランド用長尺タンディッシュを中央にて保持することにより上記機構を集約化し、またこれをコンパクト化するため主として油圧駆動方式を採用している。また油圧ユニットおよび制御装置はカーに内蔵されており、外部よりは動力電源のみ取り込んで保守整備が容易で鑄込床の作業性が大幅に改善されている。

3.1.2 カートリッジ式鑄型交換方式

型替時鑄型交換の迅速化を図ることが重要であり、この目的のため、鑄型をカートリッジに収めて事前芯出しを行なうとともに、振動機上では冷却水の給排水管と簡便に装着する方式を採用している。一例として図4に小断面ビレット用鑄型につき図示する。本カートリッジは取付芯出しが容易なように円筒形構造をしており、振動機に固定した状態で直ちに給排水通路が形成され、フレホースなどを全く使用しない機構となっている。また鑄型上部の

オイルプレートおよび鋳型直下のフットローラなどもすべてカートリッジに取り付けられており、鋳型と同時交換が可能である。

また大断面ブルーム・スラブなどでは複雑な組立鋳型を用いるため、鋳型振動機上に特殊な油圧式給排水着脱装置を設ける場合もある。

3.1.3 ガイドローラ調整機構

型替時ガイドローラの開度調整作業は時間短縮の大きな要素である。従来ガイドローラの開度調整機構としては油圧シリンダとディスタンスピースを用いるのが一般的であったが、これではピース交換に多大の時間と労力を要していた。

日立製作所では電動機駆動の開度調整機構を開発した。本装置は強力な電動スクリュウを用いてガイドローラフレームを直接開閉操作するもので、スプレー室内での高温スプレー水の飛散とスケールに耐えるよう防水・防じん構造には特に留意し、同時に開度をセルシン装置にて遠隔指示することにより高精度で遠隔開閉操作を可能とし、飛躍的に作業性を改善したものである。

3.2 自動化

操業の安定化と省力化を達成するため設備の自動化を図ることは

不可欠であり、日立製作所においては図5に示すように一連の自動制御系を作成し、現在これの計算機制御システムを開発中である。本論文では、操業と品質の安定に最も影響を及ぼす鋳型内湯面制御とスプレー制御系統について述べる。

3.2.1 鋳型内湯面制御

タンディッシュより鋳型への溶鋼注入速度が種々の要因にて絶えず変動しており、これに影響され鋳型内湯面も変化する。しかも鋳型長さは限定されているため、この湯面変化を一定範囲内に維持することが安定操業のうえで不可欠の問題である。このため図5に示すように、 γ 線透過湯面検出装置を用いた制御方式を開発した。

本方式の特長は

- (1) 鋳型内湯面変動に対応して鋳造速度を変化させ、湯面を一定範囲に保持する方式である。
- (2) 湯面検出装置は操業床に固定して鋳型振動とは無関係に絶対位置を検出できる方式であり、信頼性も高い。
- (3) 検出範囲は数十ミリメートルと広範囲の連続検出であり、安定した制御が可能である。
- (4) 湯面が上限(下限)を越えた場合のみタンディッシュストップ閉止(引き抜停止)を行ない、さらに湯面回復後は自動的に操業が継続される。

などで、特に小断面ビレットには本方式を全面的に採用し、高速鋳造時に威力を発揮している。図6は操業状態のオシログラムである。

3.2.2 スプレー制御系統

スプレー水量および分配パターンは鋳片内部品質を決定する大きな要因であり、安定した品質を確保するため制御系統の設計にあたっては細心の注意を払っている。特にブルーム・スラブの鋳造に際しては図7に示すように配管系を多数に分岐するためバルブをすべて遠隔操作とし図8のように中央操作室で集中管理している。本制御系にはスプレー全流量制御と段階的開閉制御が併用されている。

(1) スプレー全流量制御

溶鋼温度、鋳造速度などの操作条件の変化に対応し、スプレー水量を制御して内部品質の均一化を図るもので、図7の主制御バルブ(A)を用い事前に設定されたパターンに基づき全流量

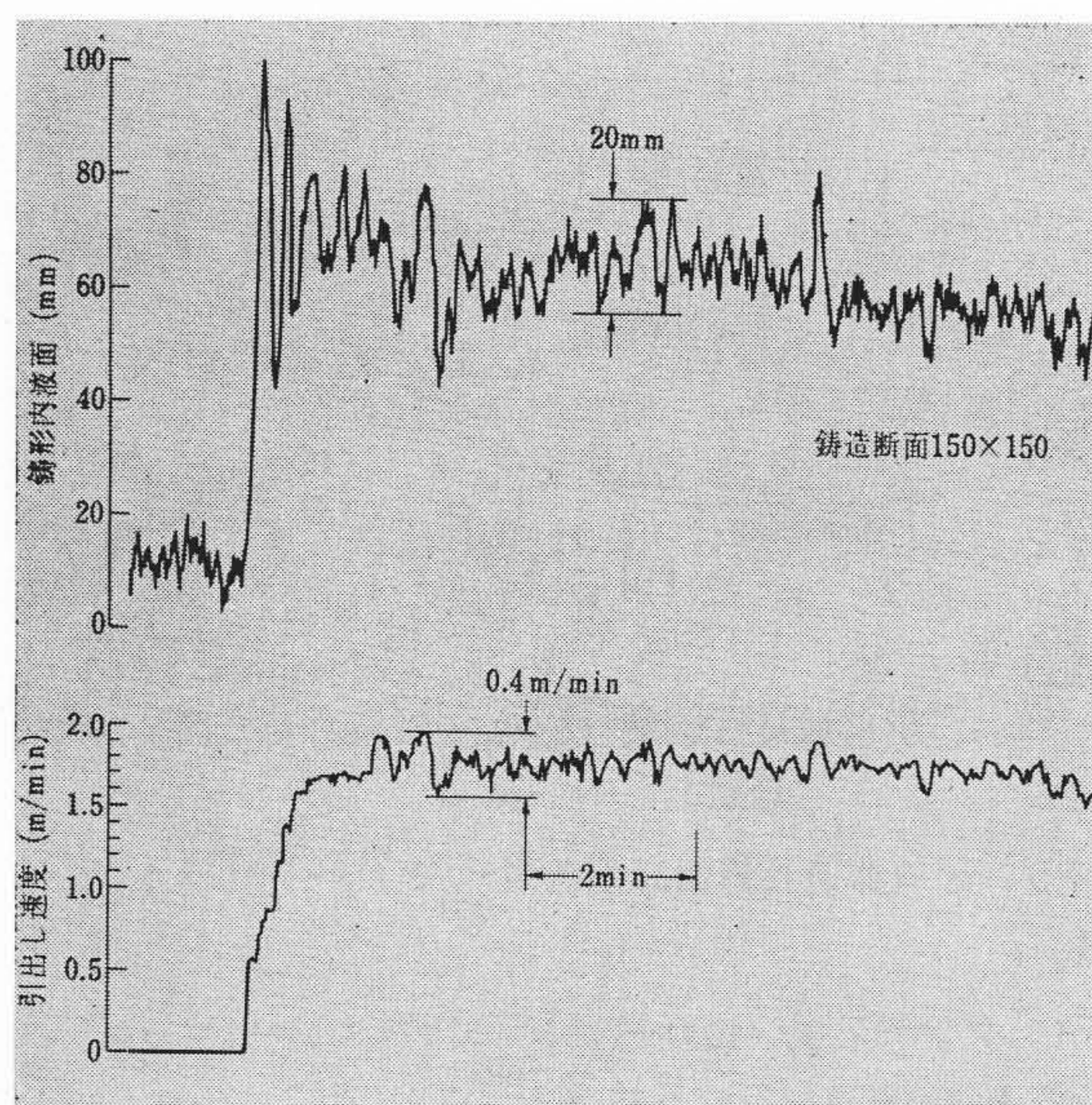


図6 鋳型内湯面自動制御特性

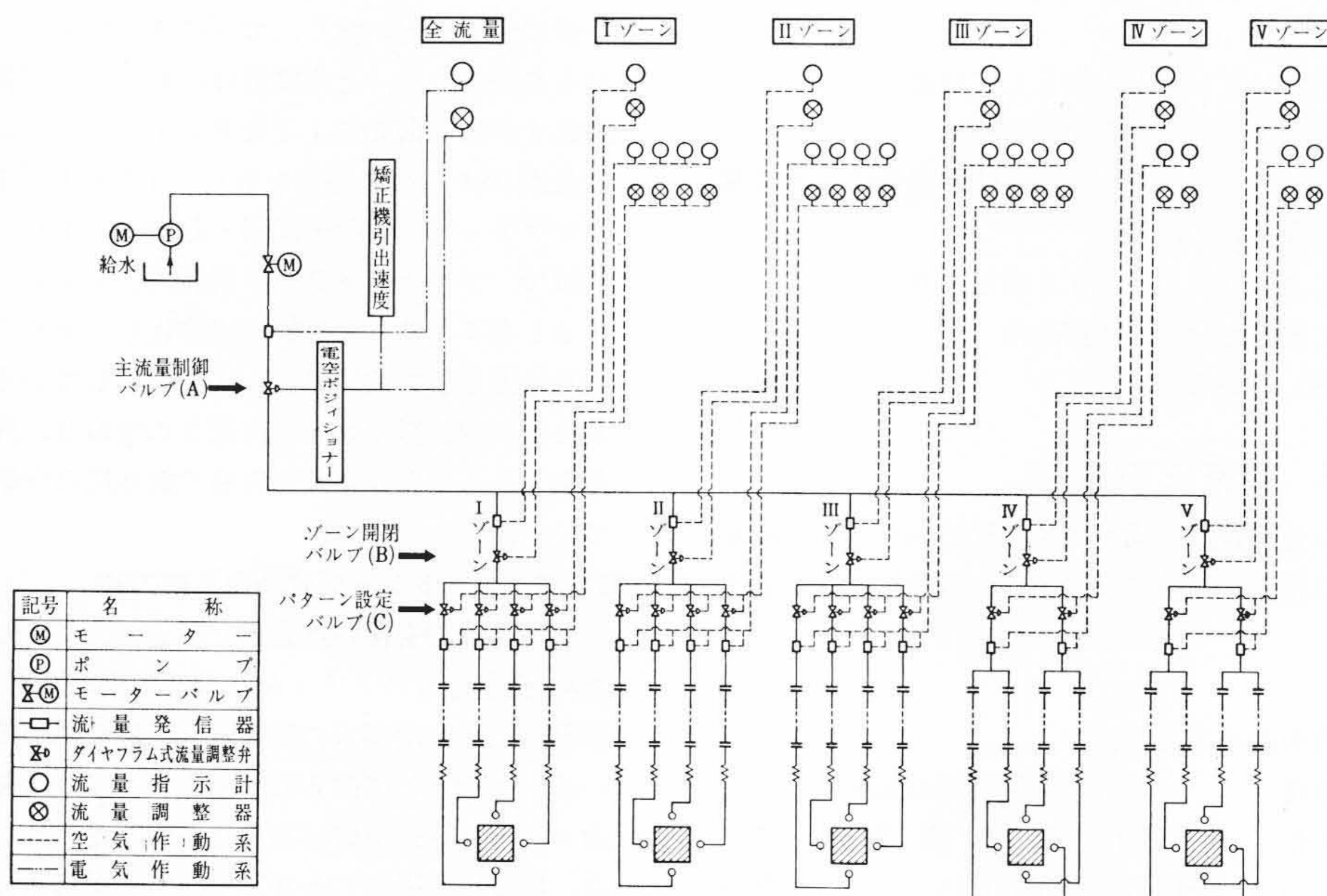


図7 スプレー流量制御系統

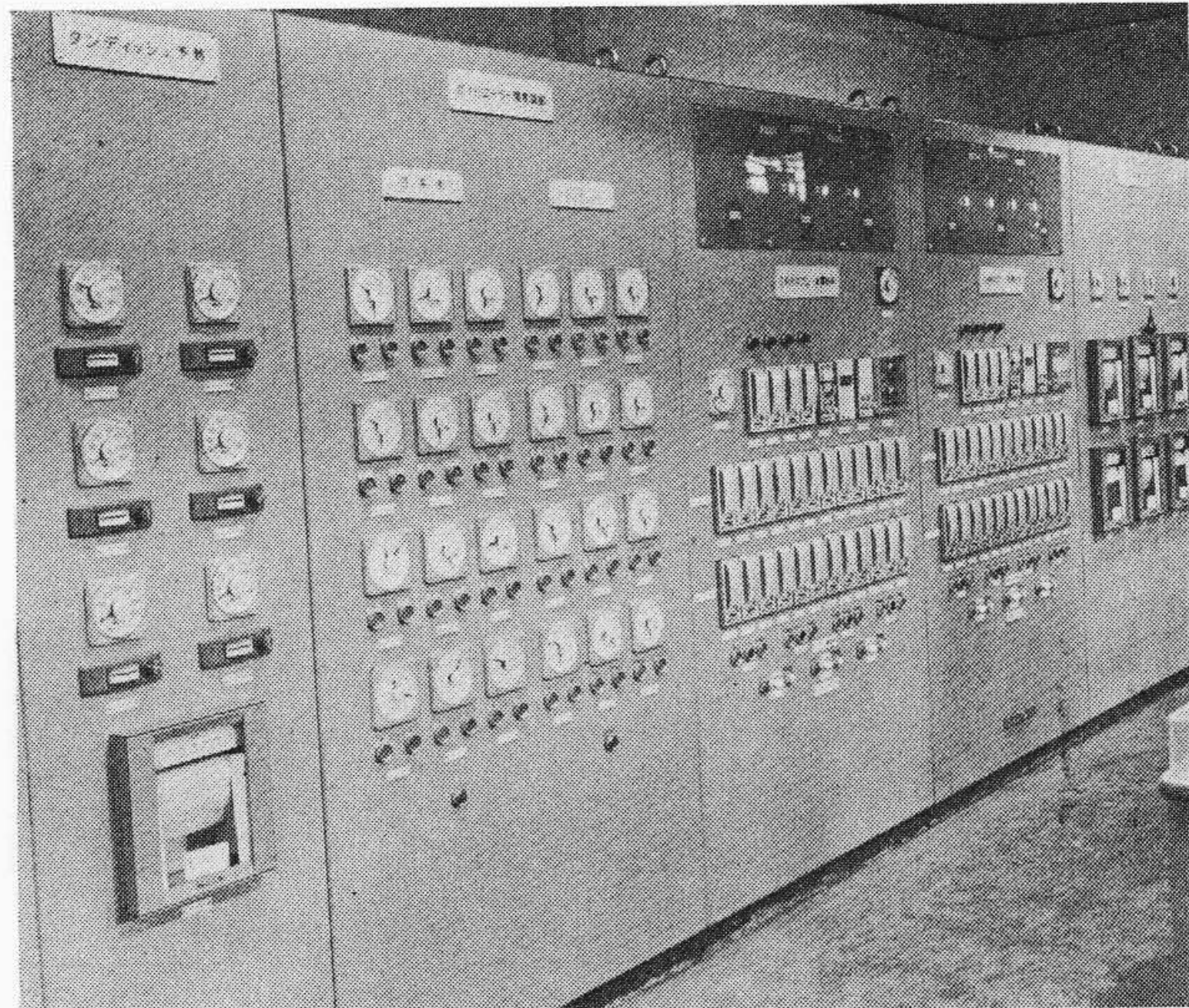


図8 中央計装操作盤

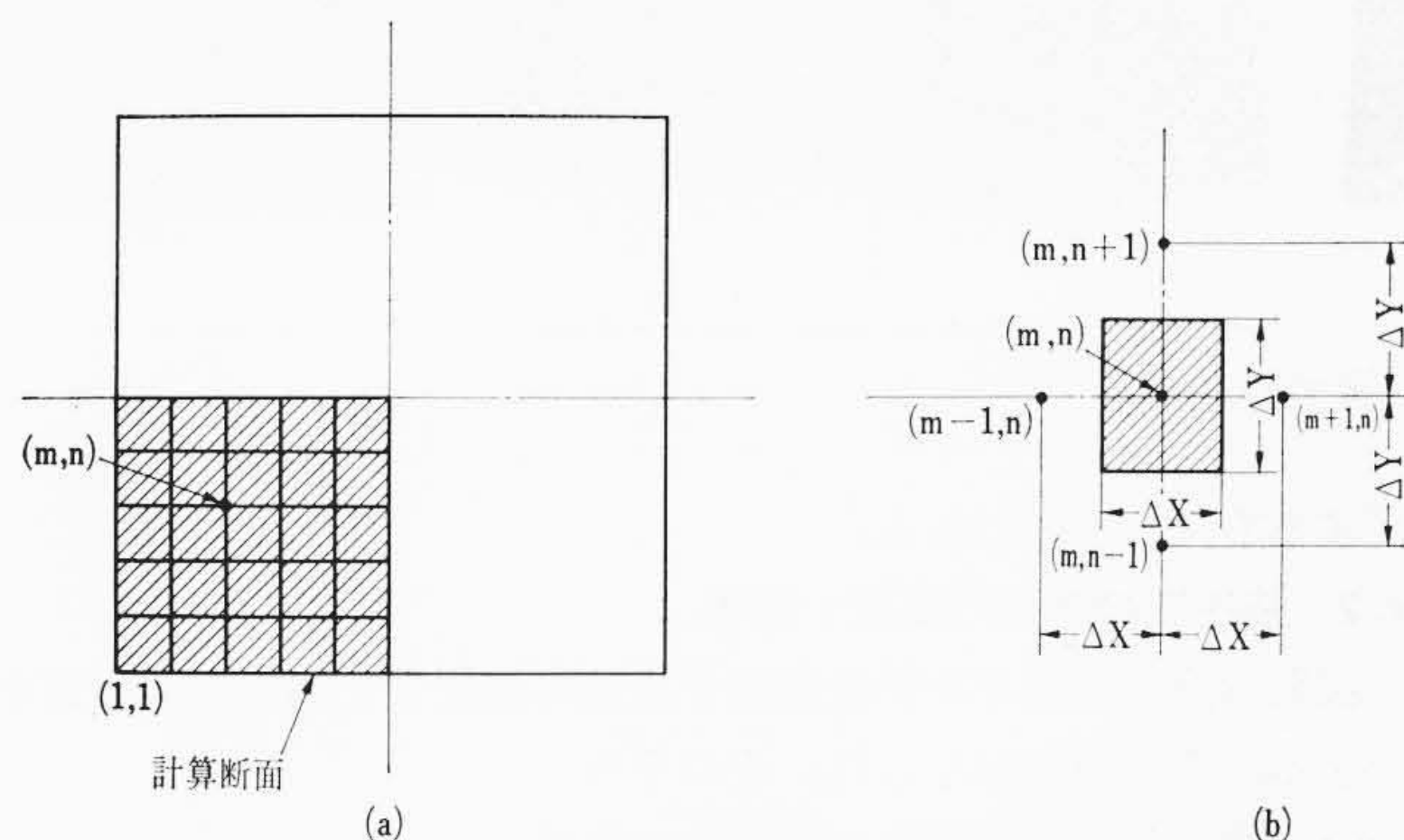


図9 計算断面微小分割図

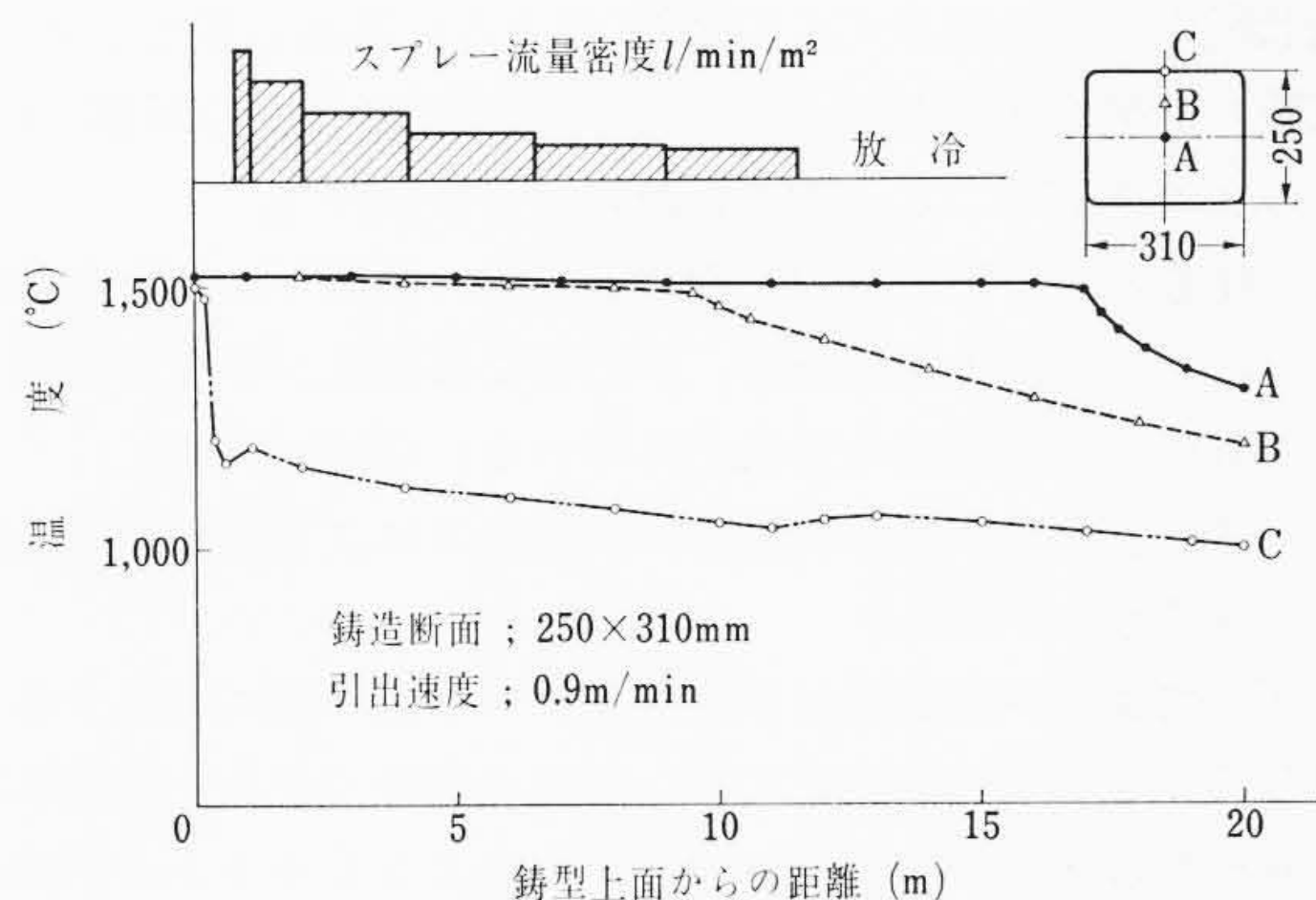


図10 鋳片凝固過程計算結果

の増減を行なう方式である。各末端ノズルの流量はパターン設定バルブ(C)・ノズル・配管系の圧損特性をバランスさせることにより全流量に比例して増減させることが可能である。

本制御系は連々鋳の待合せ、事故対策などにより極端に速度が低下または停止した場合、機械過熱を招かぬ程度にすみやかにスプレー水量を減少し、鋳片過冷による品質悪化防止と矯正搬出可能な鋳片温度保持のためにも非常に有効である。

(2) スプレー段階開閉制御

鋳造開始、終了時に鋳片先端・後端位置によりゾーンを段階的に開閉するもので、パルスカウンタを用いた鋳片位置検出装置と図7のゾーン開閉バルブ(B)を用いている。本制御は冷却水の節約と鋳片末端部の過冷防止のため用いられるもので、ゾーン開閉時における流量分が全流量時のパターンと一致するよ

表2 鋳片強圧下試験条件一覧表

条 件	I	II	III
類 別	凝固完了後強圧下	凝固完了後強圧下	未凝固圧下
鋳 造 鋼 種	SK 4	S15C	S15C
鋳 造 断 面	100×100	100×100	100×100
鋳 造 速 度	2.0 m/min	2.0 m/min	2.0 m/min
鋳片表面温度	1,000℃	1,050℃	1,100℃
ローラ寸法	250φ (フラットロール)	250φ (フラットロール)	250φ (フラットロール)
ローラ段数	3 段	3 段	3 段
軽圧下	加 圧 力 圧 下 量	2.5 t/ロール 0.5 mm	2.5 t/ロール 5 mm
中圧下	加 圧 力 圧 下 量	6 t/ロール 4 mm	8 t/ロール 17 mm
強圧下	加 圧 力 圧 下 量	14 t/ロール 14 mm	14 t/ロール 28 mm

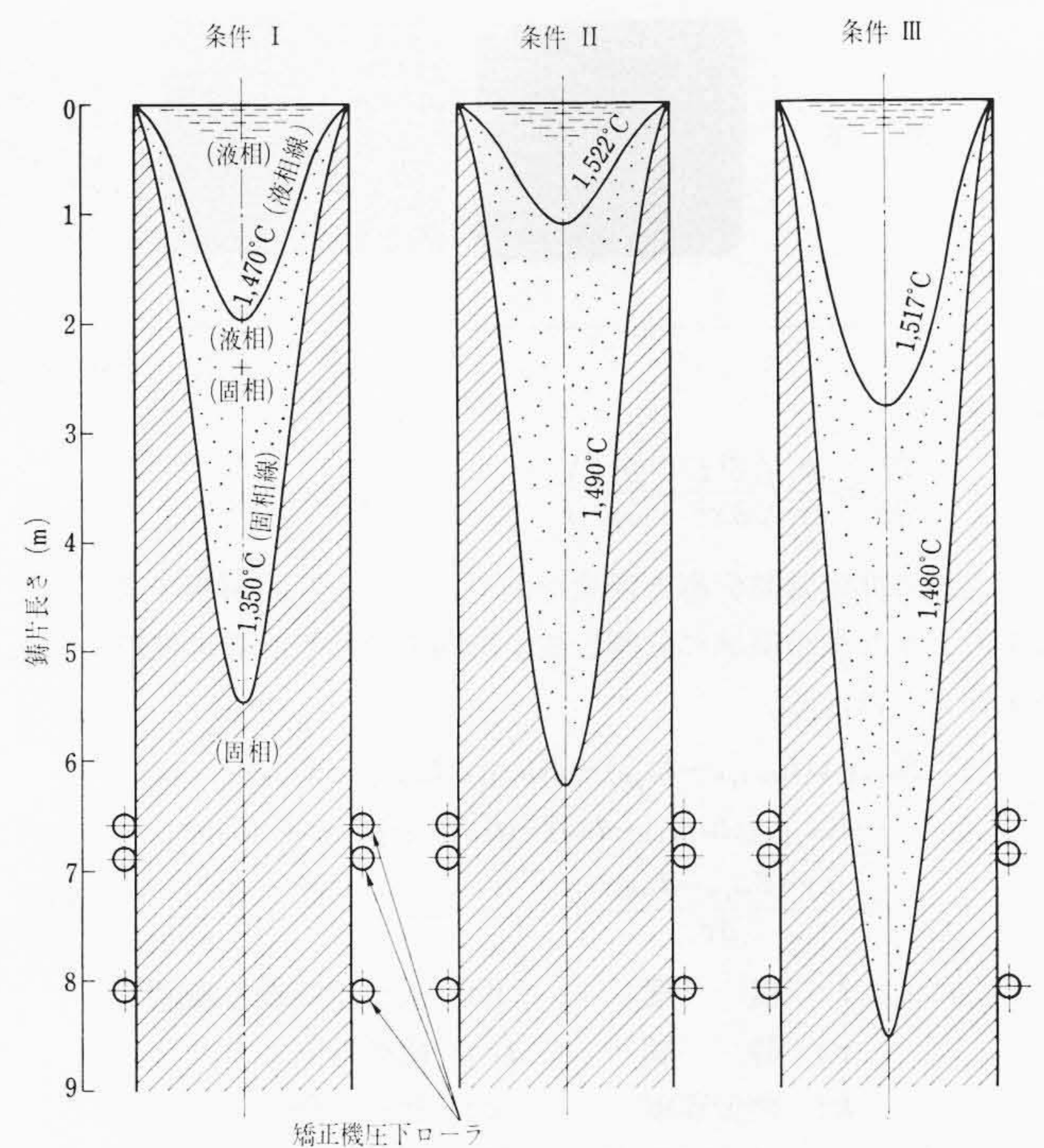


図11 強圧下試験条件凝固計算結果

う特別の考慮が払われている。

4. 鋳片品質の検討

連続鋳造法で鋳造される鋳片は直接仕上げ圧延設備に供給されるため、従来の造塊法によるインゴットに比較してより良好な品質が要求される。しかも鋳造過程でスプレー冷却水による強制冷却および矯正機・ピンチローラによる加圧など鋳造組織に対する過酷な条件も要求されるため、それら諸条件を厳密に解析し安定操作条件を明確に把握(はあく)することが設備計画上ぜひ必要である。日立製作所では2基にわたる試作設備による基礎試験および各製鉄会社のご協力による実機試験にて幾多の資料を集積している。そのうち、凝固過程の解析法およびローラ強圧下が鋳片内部に及ぼす影響について述べる。

4.1 溶鋼凝固状態の解析

連続鋳造法の凝固状態解析は、軸方向の熱流束が小さく、かつ軸対称の冷却を受けるため図9のように単位厚さの1/4断面につき二次元問題として解くことができる。

基礎方程式は

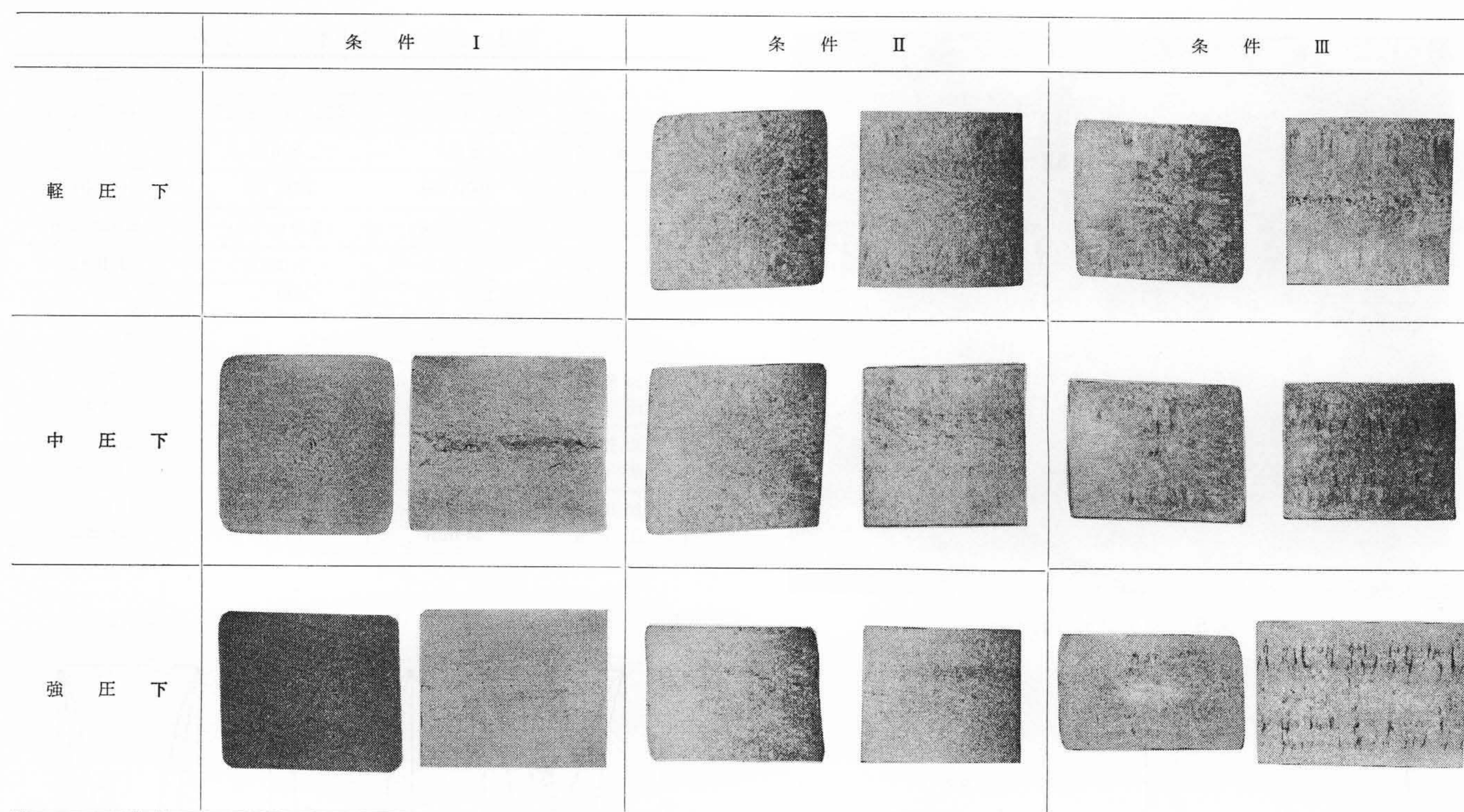


図 12 強圧下試験鋳片断面マクロ写真

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{k}{c\gamma} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right) \dots\dots\dots (1)$$

で示される非定常熱伝導方程式である。これを数値解析できるよう図9のような微小領域に分割し微小時間での熱平衡式に変換すると下記のようになる。

$$\begin{aligned} & K_{m+1,n}(t_{m+1,n}-t_{m,n}) + K_{m-1,n}(t_{m-1,n}-t_{m,n}) \\ & + K_{m,n+1}(t_{m,n+1}-t_{m,n}) + K_{m,n-1}(t_{m,n-1}-t_{m,n}) \\ & = \frac{c\gamma(t'_m - t_{mn})}{\Delta\tau} \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

ここに、 t : 温 度 t' : 微小時間後の温度
 τ : 時 間 $\Delta\tau$: 微小時間
 k : 熱伝導率 c : 比 熱
 γ : 比 重量 K : 熱コンダクタンス

熱コンダクタンス K は

$$\left. \begin{aligned} K_{m+1,n} &= K_{m-1,n} = \frac{2\Delta Y}{\Delta X} \cdot k \\ K_{m,n+1} &= K_{m,n-1} = \frac{2\Delta X}{\Delta Y} \cdot k \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

で定義され、境界条件では

$$\left. \begin{aligned} K_{1,n} &= \alpha \Delta Y \\ K_{m,1} &= \alpha \Delta X \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

$$t_{0,n} = t_{m,0} = t_0 \dots\dots\dots (5)$$

で表示される。

ここに、 α : 熱伝達率 t_0 : 外 温 度

で、上記各式に物性値・境界値・初期条件を代入すれば数値計算ができる。

大形電子計算機を用いて行なった計算例を図10に示す。

本例はスプレーパターン設定および凝固完了位置推定に用いたもので、スプレー冷却が適正で鋳片表面温度のむらが少なく、均一な冷却により熱応力を最小限に押えていることがわかる。本法は設備基本計画におけるスプレー冷却帯長さ、冷却能力、切断機配置、設備能力決定などに用いられて適切な設備計画を可能にするのみならず、操業条件決定にも応用され、良好な鋳片品質で短期間の操業習熟を

実現する有効な手段である。

4.2 強圧下の鋳片に及ぼす影響

連続鋳造設備で鋳片を切断搬出する前に強圧下を加え内部品質を向上する試みを種々行なった。そのうち

- (1) 中心部凝固完了時の収縮孔の圧着
- (2) 中心部未凝固時の内部組織の改善

につき報告する。本試験のため表2のように試験条件を設定し、内部凝固状態を前記計算方式にて図11のように算出し推定した。

本試験の結果を鋳片断面マクロ写真として示したのが図12である。これより下記のことが判明した。

- (1) 中心部まで完全凝固した状態では、強圧下により内部割れなどの欠陥は発生せず、中心部に収縮孔が存在する場合これらの圧着に顕著な効果がみられる。(条件I・II)
- (2) 中心部が未凝固の状態では、強圧下により内部割れを発生する危険がある。

したがって鋳片内部凝固は引き出しローラ圧下前に完了することが望ましく、また高速鋳造に伴い上記が満足できない状態になっても、ローラ加圧力は内部割れを発生せぬようじゅうぶん慎重に設定する必要がある。なお、カリバーロールを用いた直接圧延についても現在開発中である。

5. 結 言

以上、述べたように日立製作所においては垂直形より湾曲形まで全機種の開発を行ない、性能面でも生産設備に高操業性を確保するための独自の型替方式や連々鋳方式、安定性を高め省力化を実現するための自動化など高度の技術を採用している。また鋳造過程における凝固特性や外力特性を厳密に解析して設備計画をするとともに、これらを操業条件の決定にも用いている。今後よりいっそうの高性能化を図るため、計算機制御を含む高度の自動化や高速鋳造、準備型替時間短縮などの技術開発を進める所存である。

終わりに臨み、共同研究の場を設けていただき終始ご指導・ごべんたついただいた新日本製鐵株式会社をはじめ各製鐵会社の関係者各位に深く感謝の意を表する次第である。