

連続鑄造設備における自動化

Automatization in Continuous Casting Process

飯田 義治*
Yoshiharu Iida

前田 瑞夫**
Mizuo Maeda

江本 寛治***
Kanji Emoto

山崎 順次郎****
Junjiro Yamazaki

下戸 研一*****
ken-ichi Orito

平田 賢二*****
Kenji Hirata

上田 正美*****
Masami Ueda

高橋 暁*****
Satoru Takahashi

Synopsis:

Automatization of some operations in the continuous casting process aims at a high labor productivity, establishment of a sound quality assurance system, a reduction in manufacturing cost, and a better use of increasing numbers of elderly operators.

The following techniques have been developed for automatizing continuous casting process in Kawasaki Steel Corporation and are in good operation now:

- (1) Flow control system of molten steel from a ladle to a tundish,
- (2) Detection of slag in-flow to immersed long nozzle,
- (3) Mold powder feeding,
- (4) Meniscus level control system,
- (5) Measurement of guide roll gap and pass line,
- (6) Control of secondary spray cooling water flow rate,
- (7) Automatic casting speed control,
- (8) Control system for changing taper and width of mold's narrow face,
- (9) Scarfing off the slab-edge torch slag,
- (10) Automatic hot spray marking, and
- (12) Prediction of break-out.

1. 緒 言

連続鑄造設備を自動化する目的は、労働生産性の向上、高品質保証体制の確立と製造費用の低減、さ

らに最近話題となっている高令化社会への対応にある。高生産さらに高品質志向のもとでは、作業は複雑になり、とくに異鋼種連続鑄造、タンディッシュ交換、浸漬ノズル交換および鑄造中幅変更時には、短時間に種々の操作および作業が要求され

* 水島製鉄所製鋼部部長
** 水島製鉄所製鋼部第2製鋼課課長
*** 水島製鉄所企画部設計室
**** 千葉製鉄所設備部設備技術室主任(掛長待遇)
[昭和55年4月23日原稿受付]

** 水島製鉄所製鋼部製鋼技術室主任(掛長待遇)
**** 水島製鉄所システム制御技術室主任(掛長待遇)
***** 水島製鉄所動力部動力技術室

る。一方、作業者の能力には、バラツキがあり、そのため操業および品質上のトラブルが発生することがあるが、設備を自動化することにより、これらのトラブル発生を最少限に抑えることができる。

また、作業者に要求し得る判断力および作業精度には限界があり、自動化を図れば精度が著しく向上する。例えば作業者ではロングノズル内のスラグ流出を検知することは不可能であるが、スラグ検知装置は溶鋼とスラグの電気的性質の差を利用して、スラグ流出を検知し、取鍋のスライディングノズルを閉じることができる。またロールギャップ測定装置およびアライメント測定装置は、作業者では測定不可能な精度でロール間隔およびロール不整を測定する。本報で紹介する自動化開発項目は、Fig. 1 に示すように、①取鍋からの注入量制御、②浸漬ロングノズルへのスラグ混入検知、③モールドパウダー散布、④鋳型内溶鋼面制御、⑤ロールギャップおよびアライメント測定、⑥2次冷却水量制御、⑦鋳造速度制御、⑧モールド短辺のテーパーおよび幅制御、⑨トーチカットスラグ除去、⑩熱間スプレーマーキング、⑪ブレイクアウト予知、などである。

2. 自動化設備

2-1 取鍋からの注入量制御

取鍋注入制御の目的は、タンディッシュの溶鋼レベルを一定に保つことにより、定常注入時の品質の安定、特に介在物浮上対策を強化し、また自動スタートを始めとする注入作業の省力、さらに鍋スライディングノズルの寿命延長にある。

これらの要求を満足させるため下記の項目を設計、導入した。

- (1) ノズル閉止の絶対位置検出のためにスライディングノズル位置制御（サーボ制御）の導入。
- (2) スライディングノズルの停止精度を向上させるためのモータ速度制御の導入。
- (3) 省力効果を狙って非定常操業の自動化、オートスタートの導入。
- (4) 種々のノズル仕様と操業に対応するために3種の制御モード（位置型、速度型、オンオフ型）の導入。

本制御システムの全体構成を Fig. 2 に示すが、この中で、取鍋スライディングノズル用モータ制

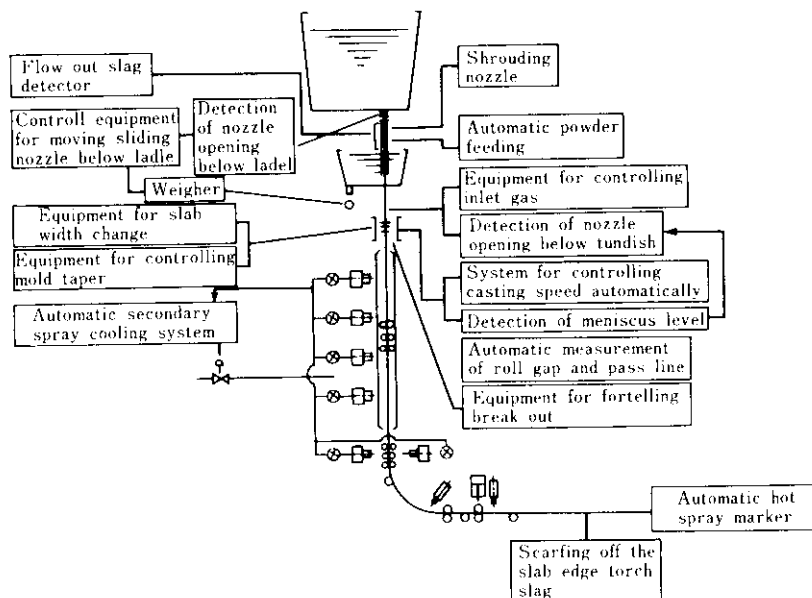


Fig.1 Schematic diagram of automatically controlling system in continuous casting machine

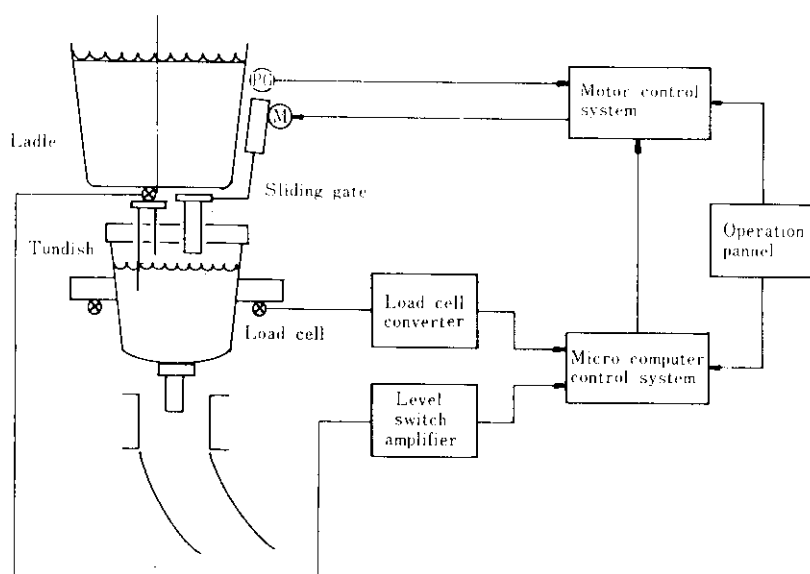


Fig. 2 Principal configuration of molten steel level control system in tundish

御系の仕様概要とマイクロコンピュータのハード仕様を各々 Table 1 および Table 2 に示す。本システムの制御機能は、開閉 2 位置によるオンオフ制御と絞り注入制御がある。特に絞り注入制御の場合には注入オートスタート機能を付加している。

通常の注入作業の場合は、絞り注入が選択され取鍋定位置セット完了後、押ボタン一回の操作で完全自動注入が実施される。Fig. 3 に定常注入中のタンディッシュ溶鋼レベルを示すが、溶鋼重量は $\pm 0.5t$ に制御されている。また閉止位置は、設定操作盤で閉限位置が設定され、ゲートの不必要な面荒れを防止しており、5 回使用を実現して耐火物原単位の削減効果をあげている。

2.2 ロングノズルへのスラグ混入検知

鍋、タンディッシュ間の無酸化注入を行うために、鍋スライディングノズルとタンディッシュ間を開き、砂で密封して、ガス置換するサンドシール法が用いられてきたが、安定して優れたシール性を確保するためにロングノズルを積極的に用いるようにした。しかし本法は、シール性は優れている反面、注入末期のスラグ混入判定が作業者の視覚に頼る問題点があり、ロングノズルの本来性能を生かすためには、スラグ混入の自動判定が必須なものとなる。

Table 1 Specification of motor control system for ladle sliding nozzle

Item	Technical data	
	Thrust force	8 000kg/15 000kg max.
Motor drive cylinder	Power output	5.5kW 4p
	Rated voltage	220V/60Hz
	Synchronous revolution	1 800rpm/60Hz
	Periodic rating	25%
Position detector	Pulse generator	36 pulses/rev.
Control unit	Transistor inverter	

Table 2 Specification of micro-computer for molten steel level control in tundish

Item		Specification
CPU		Intel 8 086 (16 bits parallel micro processor)
Memory	ROM	8 kW
	RAM	2 kW
Process input and output	AI	5 points
	AO	1 point
	DI	9 points
	DO	7 points
Control period		0.5 s

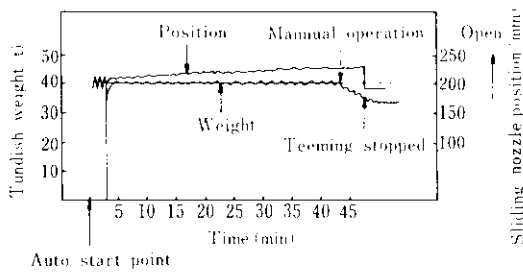


Fig. 3 An example of molten steel level control in tundish

ロングノズル内のスラグ検知の試みとしては、スラグと溶鋼の電気的性質の差を利用して磁気変化（コイル自身の Q 値やインダクタンス変化）を検出する方式が報告されている⁹⁾。

2・2・1 装置の構成

Fig. 4 に検出原理を示すが、装置は検出コイル部、探傷部、一次信号処理部およびスラグ混入判定部の四つの部分から構成されている。

(1) 検出コイル

コイルの外観を Photo. 1 に示すが、ハンドリングが容易になるように極力軽量化した。冷却は窒素ガス冷却であるが、コイルの温度ドリフトを防止するために断熱構造としている。検出コイルの着脱は、プロセスコンピュータからの注入終了予定 5 分前の信号により行っている。コイルの励磁周波数は、スラグ混入状態を Fig. 5 に示すようにモデル化し、Fig. 6 に示すコイルブリッジ balan

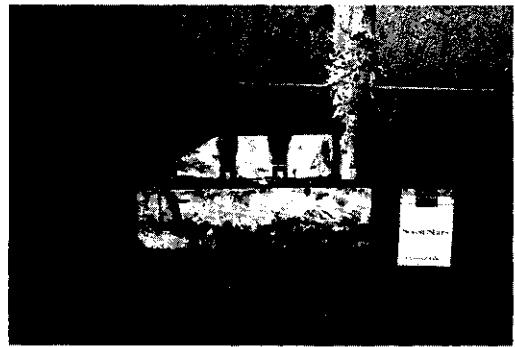


Photo. 1 Sensor of slag detector

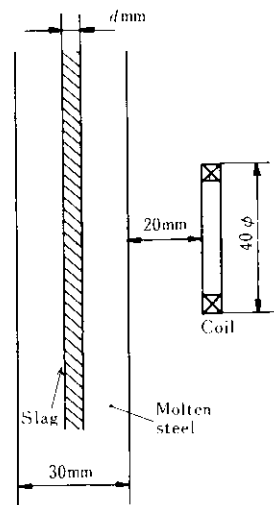
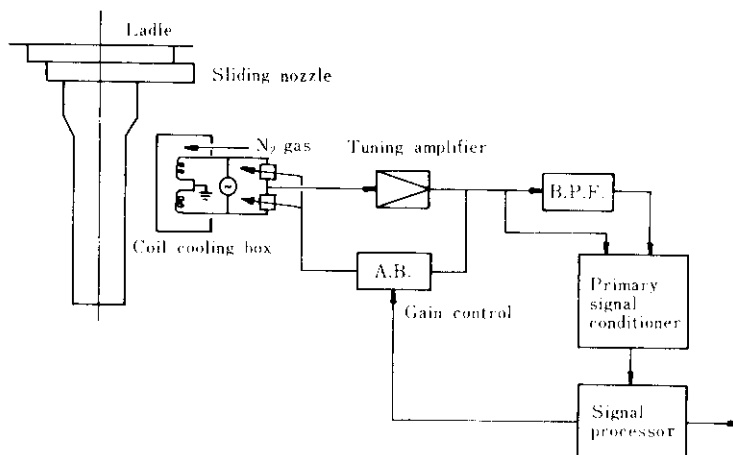


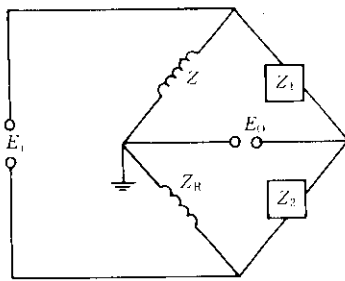
Fig. 5 Schema of detecting slag in long nozzle



A.B. : Automatic balancer

B.P.F. : Band pass filter

Fig. 4 Principle of flow out slag detector



$$E_0 = \frac{1}{4} \frac{\Delta Z}{Z} E_1$$

Z : Impedance of coil only filled with steel
 ΔZ : Impedance of coil mixed with steel and slag
 E_1 : Input signal into bridge
 E_0 : Output signal from bridge

Fig. 6 Coil bridge of detecting slag

スを考えた時のコイル側のインピーダンス変化を Fig. 7 に示す。500Hz 近傍に最適周波数が存在する。このことから渦電流の浸透深さを改善するために低周波励磁を採用している。

(2) 探傷部

探傷部は隣接比較型コイルからの電磁誘導信号

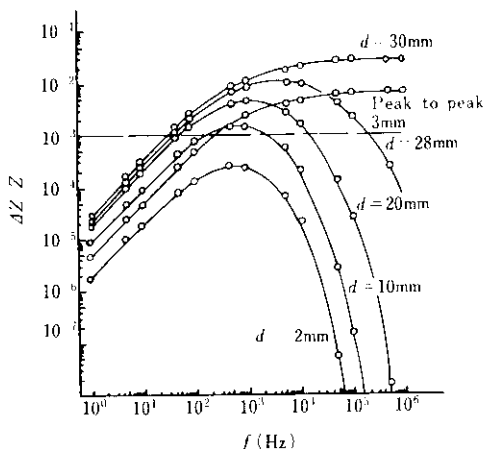
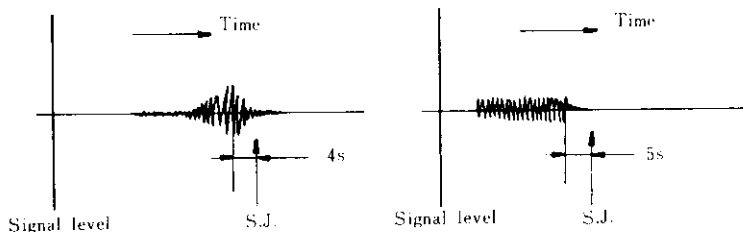


Fig. 7 Impedance deviation for input signal frequency



S.J.: Direct sighting judge of slag outflow

Fig. 8 Representative detecting signal patterns of slag outflow

を、ロングノズル内で溶鋼からスラグに変った場合に発生するブリッジ不平衡として検出し、さらに位相弁別や振幅弁別により必要信号を取り出す。重要なことは、コイルの温度ドリフトや鍋スライディングノズルの動作によって発生するブリッジ不平衡である。それを排除するためにオートバランス機能と自動チューニング機能を付加している。

(3) 一次信号処理部

探傷部から出力された位相信号およびレベル信号は、鋼種やコイルの着装状態により信号水準が異なる。そこで一次信号処理部で信号レベルをノルマライズする。

(4) スラグ流出判定部

Fig. 8 にスラグ流出信号の代表的な二つのパターンを示すが、スラグの流出形態によって異なる考えられる信号形態をソフト的に処理し自動判定している。

2・2・2 操業結果

48 例の作業者と本装置との平行測定で比較すると、検出精度としては後者が前者より 4.3 秒早く検知している。

2・3 モールドパウダー散布装置

モールドパウダーは溶鋼の酸化を防止しバルクより浮上して来る非金属介在物を吸収し、さらに、铸件と铸型間の良好な潤滑を保つうえで不可欠なものである。また、当社では良好な表面性状を得るために顆粒パウダーを採用している。そこで、コンパクトで顆粒パウダーの破碎が少ない気体搬送によるパウダー散布装置を開発した。

Fig. 9 に設備の系統図を示す。溜ホッパー内に、フレコンバッグにて投入された顆粒状パウダーは、

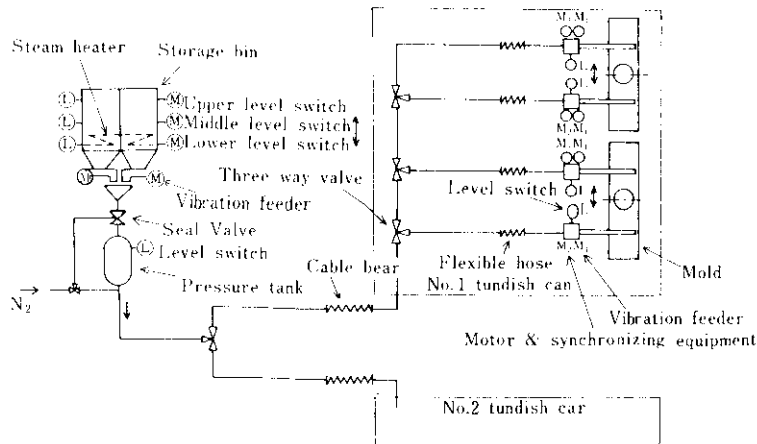


Fig. 9 Schematic diagram of automatic mold powder supply system

スチームヒータにて乾燥され、下部の圧送タンクに所定量切出される。散布装置に設置された中間ホッパーが空になると自動的に、パウダー搬送経路が三方弁にて切替えられ、パウダーは 60m 以上の長距離を、圧送タンクより中間ホッパーへ気体搬送される。

散布装置は、1 モールドあたり 2 台づつタンディッシュカーに設置され、浸漬ノズルをはさんで左右独立に作動する。パウダーの切出しは電磁フィーダーにて行い、モールド短辺幅と同一長さに開口したトラフ先端より、均一にモールド内に切出され²⁾、散布装置がモールド幅方向のパウダー消費量に応じて、必要量を散布するような構造とした。

モールド幅方向の位置は、シンクロにて検出し、モールド幅の変更にに応じて計算機で制御する。

2・4 鋳型内溶鋼面制御

水島第 5, 6 連鋳においては従来の FLOCON 式スライディングノズルから、絞リ注入可能で、かつ、鋳造中浸漬ノズル交換の可能なスライディングノズル³⁾にリプレイスしたがその際、湯面制御方式についてもピンチロール引抜速度補正型の湯面制御から溶鋼量絞リ制御方式に変更した。その目的は

- (1) 耐火物原単位の低減
 - (2) 一定速度鋳造による品質の安定
 - (3) 鋳造速度の急激な上昇を抑える
 - (4) 高速多連鋳造の安定
- である。

耐火物原単位については、スライディングノズルが 2 枚ゲートの絞リ方式であるのに対し FLOCON のゲート部は、3 枚ゲートの中央ゲート交換方式であること、およびゲートの再使用に限界があることなどにより、Fig. 10 に示すようにスライディングノズルが有利となっている。

品質については、同一チャージ内で、Table 3 に

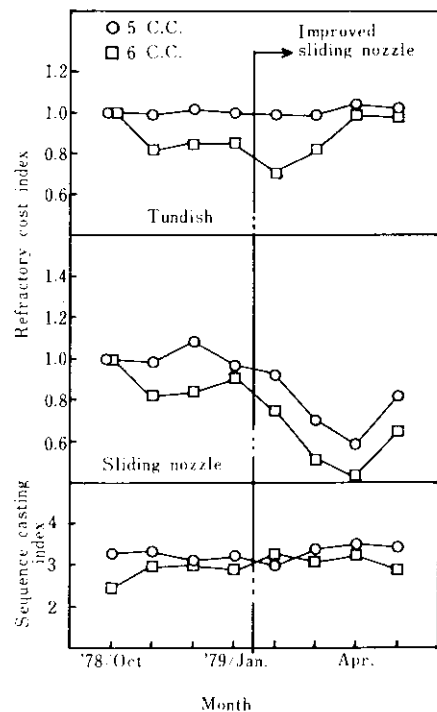


Fig. 10 Trend of sequence casting index and refractory cost

Table 3 Results of meniscus level control

Continuous casting		No.6 machine			
Steel grade		APIX 70			
Charge number		35-37459 60		36 32161-62	
Control method		PRC	SNC	PRC	SNC
Control results	Level (mm) $\bar{x} \mid \sigma$	40.6 25.0	4.7 2.2	13.3 6.2	4.3 1.6
	Speed (m/min) $\bar{x} \mid \sigma$	0.21 0.15	0.02 0.014	0.11 0.05	0.012 0.013
Slab defects	Longitudinal crack (mm/m)	20.4	0.5	16.8	4.2
	Star crack (numbers/m)	0.19	0.18	0.18	0.3
	Center crack (number)	19	2	0	0
Inspected slab length (m)		67.3	79.5	45.0	59.7

PRC : Meniscus level control by pinch roll

SNC : Meniscus level control by sliding nozzle

示す操業条件のもとで比較したところ、縦割れで4~40倍、鑄片断面欠陥で約10倍、溶鋼量絞り制御方式の方が良好な結果が得られた。

2・4・1 絞り制御の構成

絞り制御の構成については Fig. 11 に示すように油圧サーボ方式である。サーボ弁については連鑄特有のバウダーによる油汚染を考慮し NAS 11 級クラスで運転可能なように Table 4 に示す仕様のものを選んだ。またシリンダーとサーボ弁間の配管距離を短くするためにサーボ弁本体はタン

Table 4 Specifications of servo valve

Type	Nirecos power guide
Power supply	210 kg/cm ²
Inner leak	3l/min (at 140kg/cm ²)
Hysteresis	± 1 %
Frequency response	24 Hz (-3dB)
Operating oil	NAS 11 class
Neutral point deviation for pressure	1% (±15%)

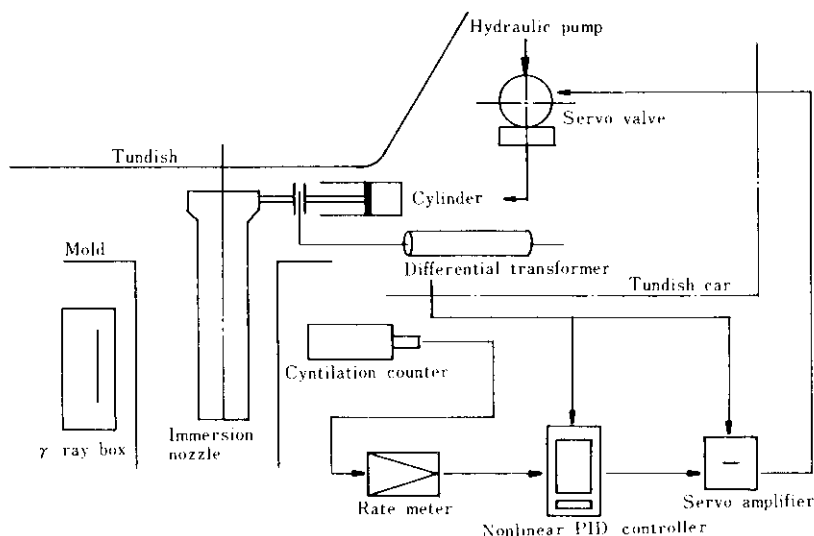


Fig.11 Principle of meniscus level control by system sliding gate

ディッシュカーに搭載した。調節計はマニュアルからオート状態に切り替えた時の急激な湯面変動を押えるために外部帰還と測定値トラッキングの機能を持たせた。

2.4.2 調節計の設計

レベル制御に使用される調節計は従来 PI または PID 型のものが一般的であるが、非線形補償付の調節計を採用している。湯面制御系のシミュレーションモデルを Fig. 12 に示す。鋳造速度またはそれに相当する流量変化が 0.1m/min 発生した場合のオーバーシュート量が Fig. 12 の流量係数 k が $0.75 \sim 1.33$ の範囲で変動した時の平均とバラツキを Table 5 に示す。非線形補償の PID 制御が

PI および PID 制御に比較して平均値で $1.5 \sim 2$ 倍、またバラツキにおいて約 2 倍の改善が見られる。Fig. 13 において本制御方式による制御結果を示す。急激な湯面設定変更を行っても湯面は安定しており、全体において $\pm 1.5 \sim 2.0\text{mm}$ の範囲に制御されている。

2.5 鋳造速度制御

連鋳機における鋳造速度は、品質、生産性および生産設備としての安全性など、最も本質的な操業要因である。従来の鋳造速度の決定は、ブルーム・ピレットマシンのような鋳造速度補正型の鋳型内溶鋼面制御を実施する場合を除き大型スラブ連鋳機においては、作業者の経験と勘に頼ると

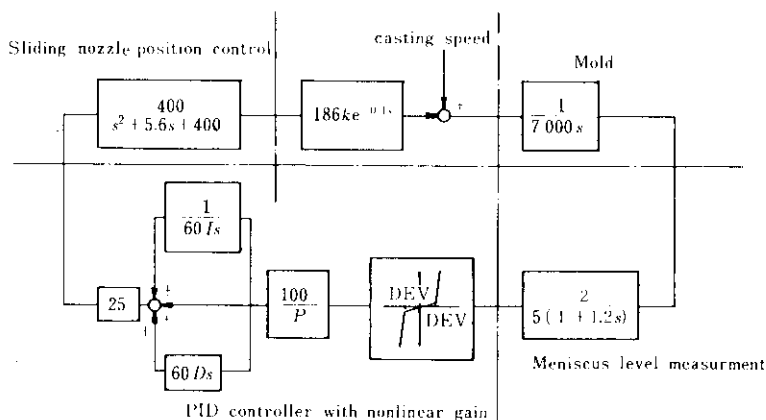


Fig. 12 Simulation model of meniscus level control by sliding nozzle

Table 5 Simulation results

Case	P	I	D	DEV	$k=0.75 \sim 1.33$		Control mode
					$\bar{x}$	σ	
1	100	1.0	0.0	0.0	6.06	1.00	PI controller
2	100	1.0	0.02	0.0	5.75	1.05	PID controller
3	50	1.0	0.02	1.0	3.92	0.55	PID controller with nonlinear gain
4	50	1.0	0.02	2.0	4.75	0.54	

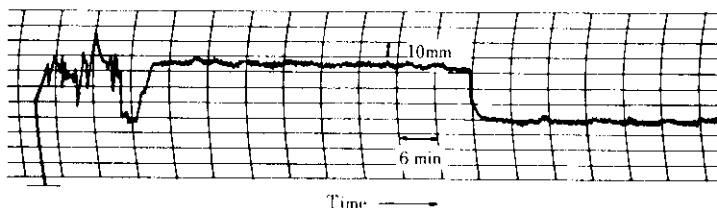


Fig. 13 An example of automatic meniscus level control by sliding nozzle

ころが大きかった。しかし水島第5連鑄においては、これまでの多くの品質調査と操業分析から、ダミーバー装入後の鑄造初期のオートスタートを含め鑄造速度制御の全自動化を実現した。その全体の基本構成を Fig. 14 に示す。

本制御システムはサーボモータ式の自動鑄造速度設定装置と鑄造操業全体を統括管理制御するミニコンピュータとの組合せにより実現されている。

自動鑄造速度設定装置は、加減速度率、到達目標速度を外部から設定することにより、従来のピンチロールモータ制御を全て自動的に行う。制御例を Fig. 15 に示す。本制御システムの中では各鑄造段階での最適鑄造速度が、ミニコンピュータによって操業状態監視、転炉出鋼サルファ、タンディッシュ過熱度などの要因により決定され、自動鑄造速度設定装置に出力される。操業状態監視から決定される速度制御は、

- (1) 取鍋交換時：介在物浮上を妨げないモールドスルーブット量制御
- (2) 次鍋とのマッチング：次取鍋の注入開始予定時間と推定残溶鋼から決定され

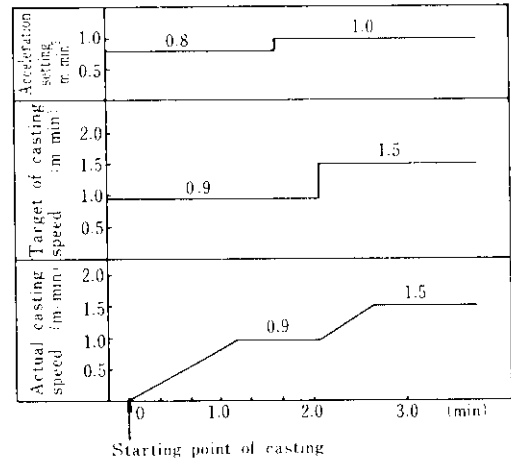


Fig. 15 An example of casting speed control result after dummy bar set

る鑄造時間決定

- (3) モールド幅変更：幅拡大、幅縮小時の速度制御
 - (4) 鑄造開始：シール漏れ、ブレイクアウトを防止する立上りパターン制御
- などが上げられる。

これらの制御機能を実用化することにより、高

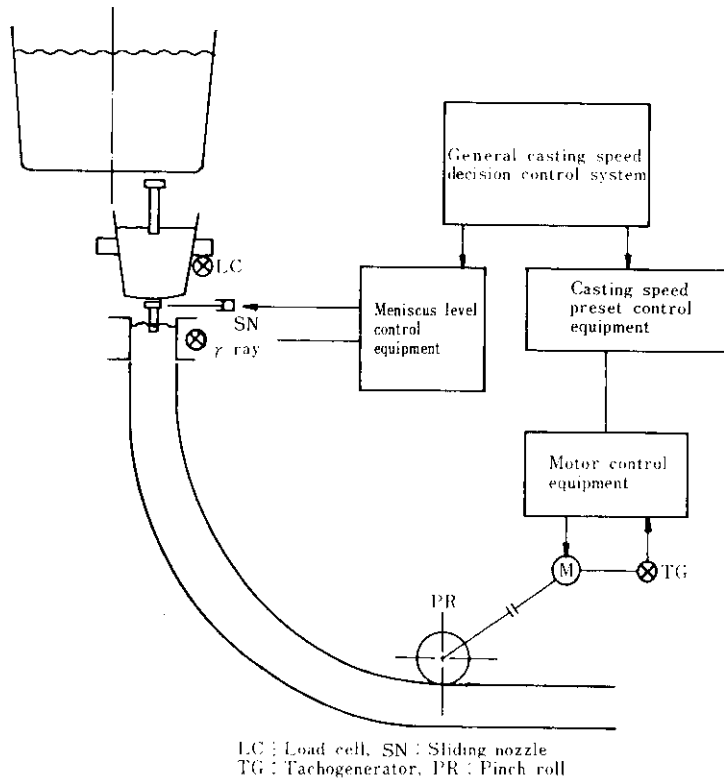


Fig. 14 Principal configuration of casting speed decision control system

度な熟練度を必要とする連鋳の鋳造作業が未熟練な作業者でも可能となり、さらに鋳造速度の徹底した標準化により品質効果も上げることができた。

2・6 ロールギャップおよびアライメント測定装置

従来、ロールギャップおよびアライメント測定装置は連鋳機の定期修理時に作業者が測定していた。しかし近年、ロールギャップおよびアライメント測定装置をダミーバー内に設置し、ダミーバー挿入と引出しの都度、ロールギャップおよびアライメントを点検し管理するようになった。

Fig. 16 に第5連鋳機に設置した本装置のダミーバーへの取付配置図、Fig. 17 に連鋳機の側面図を示す。ロールギャップ測定装置およびアライメント測定装置は、ダミーバーの中に組み込まれ、ダミーバー厚までピンチロールで圧下されても破損しないように、伸縮できる構造とした。測定機の内部には、差動トランスが組み込まれ、この伸縮量を測定することによって、ロールギャップを $\pm 0.2\text{mm}$ 以下の誤差で測定することができる。

差動トランスの電圧信号は、中継ボックスで、 $20\sim 120\text{mA}$ の電流信号に変換され、スリップリング式ケーブルリールを経由して、 200m 以上離れ

た記録計に送られる。本装置では、このように、信号を電流で送っているため、装置の温度が 80°C まで上昇しても、温度による誤差を 0.1mm 以下におさえることができ、ノイズに強い、安定した高精度のデータを得ている。

また、機器全体は、完全防水構造であるが、さらに常時 N_2 ガスを供給することによって、水、ダストの浸入を完全に防止している。検出器の校正は近くの中継ボックスで行うことができ、ロールに接触するシューの交換も容易であるなど、保守の面にも十分な配慮をしている。

2・7 2次冷却制御

水島第5連鋳機はホット向スラブが主要鋳造鋼種で、異鋼種連々鋳造、鋳造中幅変更、タンディッシュおよび浸漬ノズル交換技術による多連鋳などを多用する量産連鋳機である。一方、第6連鋳機はラインパイプや調質鋼などの高級鋼を含む厚板向スラブが主要な鋳造鋼種となっている。そこで、第6連鋳では、縦割れとNb、V鋼の横割れの発生を防止するために、鋳片表面温度を直接取り込むフィードフォワード補償付の表面温度制御を実現している⁴⁾。

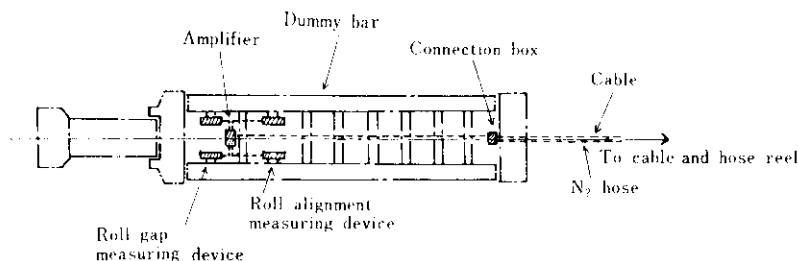


Fig. 16 Automatic measuring device of roll gap and pass line

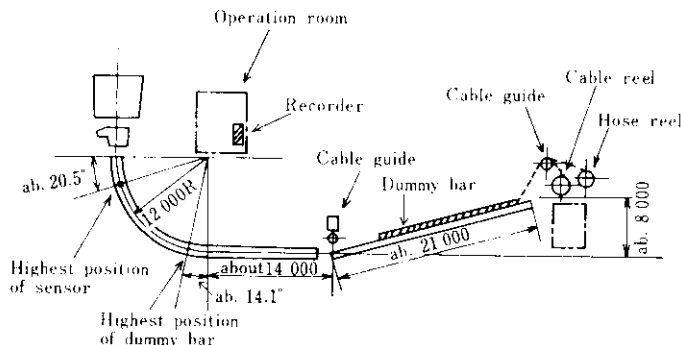


Fig. 17 Layout of measurement of roll gap and pass line

一方、第5連鑄は上記の各種操業技術の導入に対して、鑄片品質と設備保護を目的に Fig. 18 に示すような冷却水制御システムを導入した。その主要な機能は、

- (1) 仮想区分化された鑄片の冷却および操業履歴のトラッキング
 - (2) 上記による冷却および操業履歴による冷却制御
 - (3) 非線形カスケード制御
- である。

2・7・1 継ぎ目部冷却制御

第5連鑄機の異鋼種連々鑄造の頻度は、月間約100回で非常に多い。この異鋼種連々鑄造の継ぎ目部は冷却材の冷却効果により凝固を促進させること、凝固による潜熱の放散のないことおよび数分間滞留することにより過冷却される。この継ぎ目部の冷却制御の目的は良好な鑄片表面の確保と継ぎ目部の過冷によるロールに対する負荷の増大を防止することである。従来型の冷却材で Table 6 に示す工程冷却水量の場合と、改良型冷却材で同表の冷却水制御を考慮した水量の場合の第1矯正点（メニスカスから17.8m）近傍通過時の継ぎ目位置の前後計500mmの鑄片の中心温度を Fig. 19 に示す。等温分布が大幅に改善されているのがわかる。

2・7・2 非定常条件下での鑄片の冷却制御

幅変更、鑄造中浸漬ノズル交換およびタンティッシュ交換などの非定常操業に対して、通常のカ

Table 6 Spray cooling water flow rate (l/min)

		Conventional method	Improved method
	Secondary cooling zones		
	M.S.	400	268
	I	350	235
	II	420	420
	III	1 520	1 020
	IV	1 810	1 210
	V	1 430	961
	VI	1 170	787
	VII	863	578
	VIII	513	344
	IX	268	180

Note Each cooling zone length (m) is as follows
 M.S. : 0.045, I : 0.3, II : 0.585, III : 2.0, IV : 3.84
 V : 4.46, VI : 4.46, VII : 4.81, VIII : 4.76, IX : 6.43

スケード制御では温度プロファイルの維持は困難である。そこで本制御システムでは、次式

$$Q \text{ (l/min)} = f(\text{鑄込速度, チャンバー滞留時間, 標準速度})$$

による補正演算モデルを採用し、Fig. 20 に示すような良好な結果を得ている。

2・8 モールド短辺のテーパーおよび幅制御

鑄造中のスラブ幅変更は短辺テーパの管理、幅変更タイミングの決定、必要変更幅の管理、熱寸補正管理など多くの作業者の作業負荷を伴う。本制御システムはこれらを自動化することを主眼とし同時に鑄造速度に対するダイナミックなテー

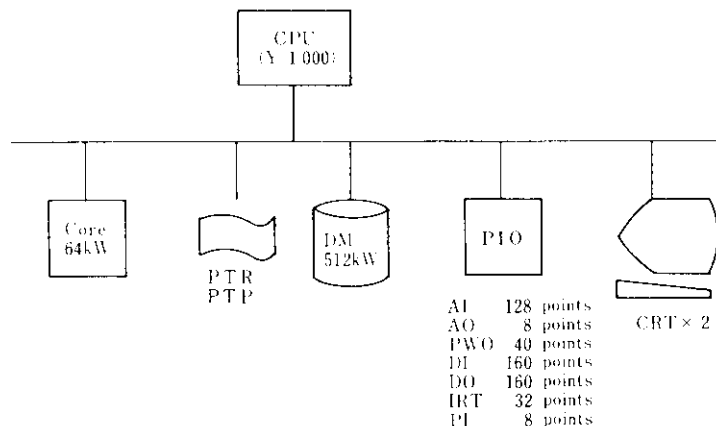


Fig. 18 System structure for cooling water flow rate control

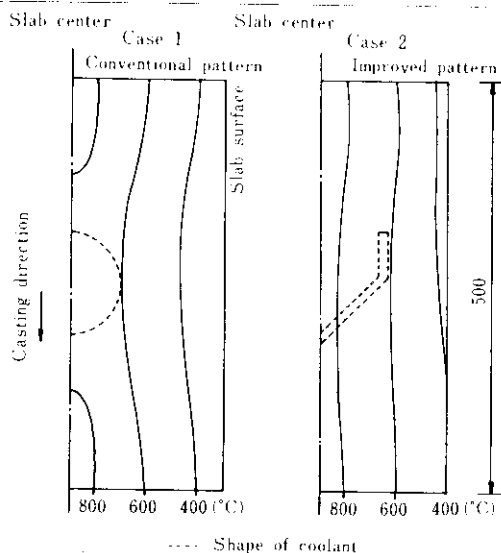


Fig. 19 Temperature pattern of slab around coolant

パ制御も目ざしている。

本制御システムの基本構成を Fig. 21 に示す。連鋳への命令は連鋳の統括制御を行う連鋳プロセスコンピュータが管理し、命令テーパおよび絶対幅を APC (Automatic Position Control) 制御するマイクロコンピュータに指示する。このマイクロコンピュータは

- (1) 幅・テーパ装置の移動量の決定と制御
- (2) テーパ量の算出と制御
- (3) アナログテーパ計と計算テーパのつき合せによる幅変更中のテーパ監視
- (4) アナログテーパ計による幅変更中以外のモードテーパ挙動の監視

などの機能を分担する。

マイクロコンピュータの仕様を Table 7 に、ア

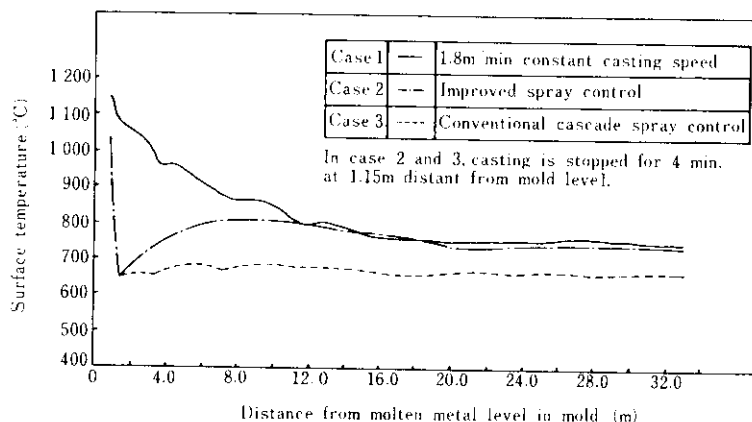


Fig. 20 Slab surface temperature change by spray cooling control under unsteady casting conditions

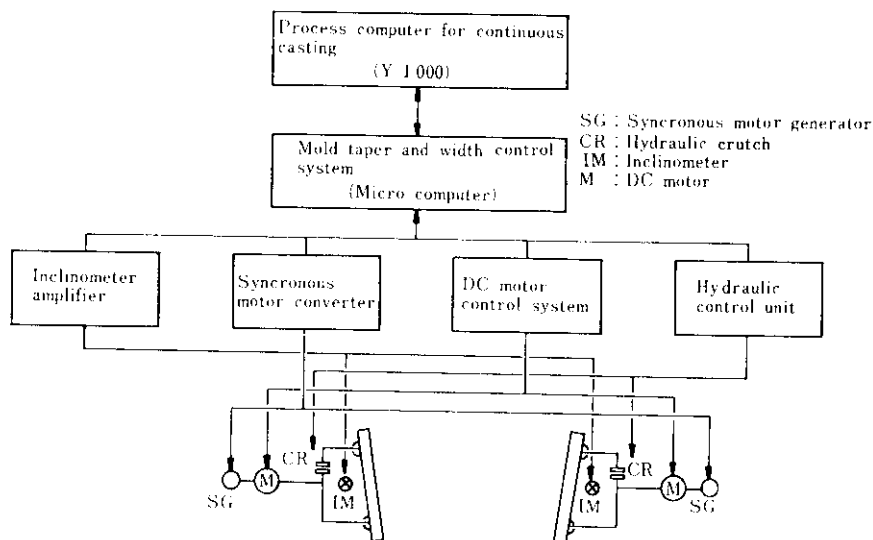


Fig. 21 Principle of mold taper and width control system

Table 7 Specification of micro-computer

Hardware		Specification
CPU		Tosmic 12
Memory	EROM	9 kW
	ERAM	1 kW
Process input and output	IRT	20 points
	DIO	DI 216 points DO 239 points
	AT	8 points
Peripheral unit		Operator console

ナログテーパ計の仕様を Table 8 に示す。

また上位プロセス計算機は

- (1) 鋼種、モールドサイズごとのテーパ移動量および幅変更速度の決定。
 - (2) 幅変更タイミングの決定。
 - (3) 幅変更時の铸造速度のコントロール
- などの機能を分担し、幅変更操業の信頼性の向上と省力に寄与している。

Table 8 Specification of mold inclinometer

Item	Technical data
Range	0~10.0mm/700mm
Output signal	Digital display and current signal (4~20mA)
Sensitivity	0.01mm
Total accuracy	±0.1mm/700mm
Frequency response	DC~0.5Hz
Power supply	100V AC/60Hz
Admissible Temperature	0~70°C
Shock-proof	1 000g/11ms
Sensor size	150W×60H×45D

2・9 トーチカットスラグ除去装置

鑄片切断時に切断面の下面に付着する溶断スラグ（以下スラグと記す）は圧延時のロールマークや製品キズの原因となり製品手入率と歩留りの点で問題になる。従来、スラグはスラブの表面手入れ時に同時に人力で除去されていた。しかし、近年の連鑄技術の進歩にともない無手入れ圧延、およ

びホットチャージ率が増えるにつれスラグ除去装置の機械化が要求された。

そこで当社は、昭和 50 年、吹管の改良、切断スラブ下面に異種屑を被覆する方法、高圧水、酸素などの流体を溶断スラグ部に噴流する方法、回転刃物、ナイフエッジなどで削除する方法、および切断部下面を酸素でスカーフイングする方法（以下スカーフ方法と記す）などについてスラグ除去の実験を行った。

Fig. 22 にアイデア例を示すが、確実性、ランニングコスト、および除去後のスケール処理が容易な点を考慮しスカーフ方式を採用した。

2・9・1 方法と特徴

スラグ除去装置は火口、スラブ位置検出器を搭載した台車と流体供給ユニットより構成され、スラブの進行方向前面および後端面のいずれも除去できる機能を持っている。本装置の組立図を Fig. 23 に示すが、所定範囲に停止したスラブに対し、スラブの側面および端面と火口との位置決めは、台車に搭載した位置検出器により行われる。火口は 8~10 秒の予熱をした後、8~15m/min の速度でスラブ搬送方向と直角方向にスラブ下面を 1~2mm 程度スカーフイングして、スラグを除去する。除去が完了すると火口は自動的に原点に復帰する。

本装置の特徴は次のとおりである。

- (1) スラブを反転することなく、下面のスラグが除去できる。
- (2) スラブの反り、斜行および ± 100mm 程度の停止精度に対して容易に火口が追従する。

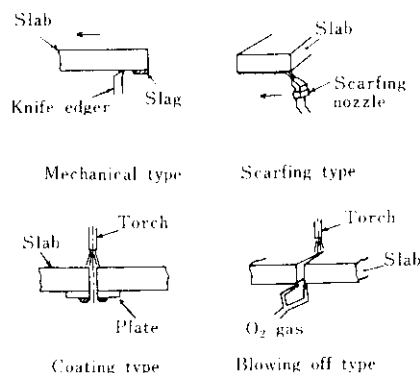
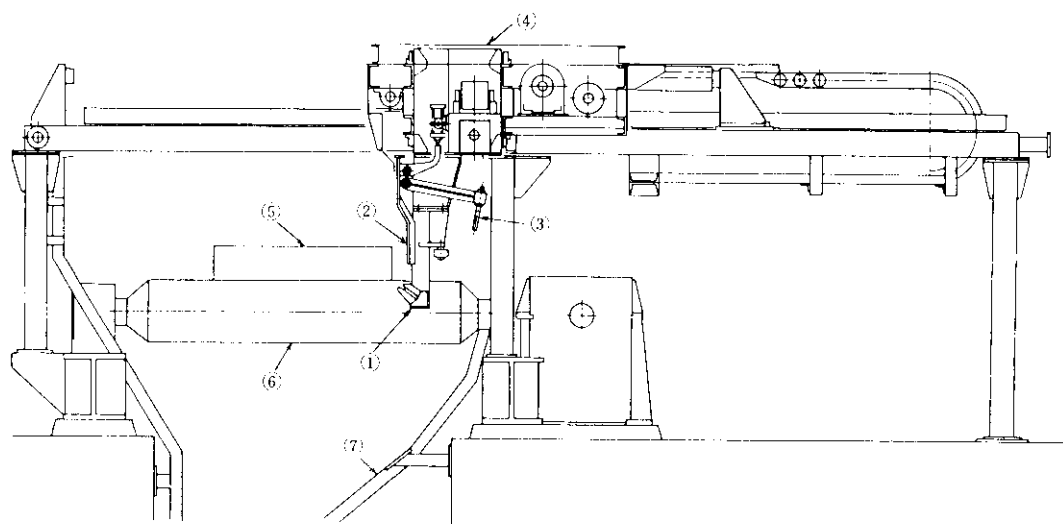


Fig. 22 Examples of idea for slag removal



① Scarfing nozzle ② Positioner for top and bottom face of slab
③ Positioner for side face of slab ④ Carrier ⑤ Slab
⑥ Roller table ⑦ Scale shoot

Fig. 23 Schema of automatic slag removal equipment

(3) スラブの3面の頂点部からのスタートを可能とした。

(4) サイクルタイムが約40秒である。

2・9・2 稼動状況

本装置の1号機は水島製鉄所第5連鋳機の1次切断機後面に設置し、火口の改良を経て昭和54年から工程設備として稼動している。工程化完了後は設備上の問題はなく火口の定期点検作業程度である。スラグ除去後のスラブをPhoto. 2に示すが、良好にスカフティングされている。

2・10 熱間スラブスプレーマーカー

スラブへの識別記号のマーキングは、工程管理の要めとして重要なものである。そこで独自のマーキング装置を開発し、600°C~1000°Cのスラブに確実に鮮明なマークを自動的に印字している。

本装置の特徴は次のとおりである。

- (1) マークは、10m離れた場所から十分に鮮明であり、確実に判別できる。
- (2) マークはマーキング後に強力な散水冷却を行ってもスケールにより剥れたり、落ちたりしない。
- (3) マークは永年放置しても消えることはない。
- (4) マークはガス切断面などの粗い表面に対してはステンシル紙を用いるため鮮明なマーキングが

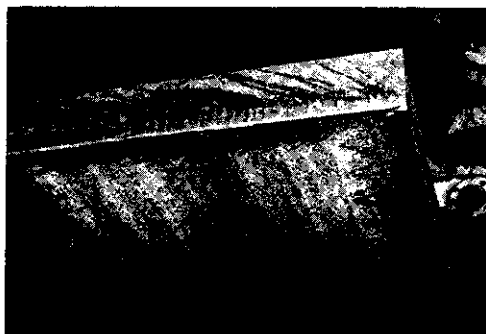


Photo. 2 Slab edge after removing torch slag

できる。

(5) マーキングは無人運転で行うことができる。

2・10・1 装置の概要

(1) マーキング文字

実例をFig. 24に示す。ドット文字に比較して読みやすく、仮に部分的に消えても判別しやすい。

(2) 装置の機構

装置の全体図をPhoto. 3およびFig. 25に示す。リールスタンドから送り出されるステンシル紙は、ステンシルパンチャーで文字を打ち抜かれ、カッターで所定長に切断される。ステンシルハンドリング装置の吸着保持器で吸着された後、走行しスラブ端面に接触させノズルで塗料を吹付けマーキングする。

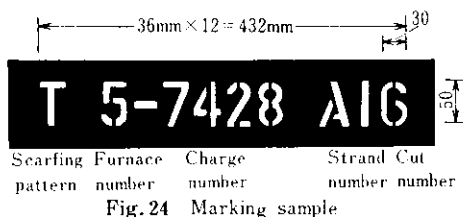


Fig. 24 Marking sample

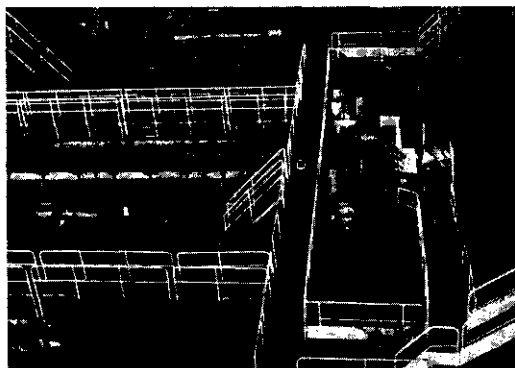


Photo. 3 Hot slab spray marker in No.5 C.C.M. at Mizushima Works

2・10・2 稼動状況

本装置による効果は、省力および高温時でも判読が可能のためホットチャージの増大に伴って有用なものになっている。本装置は、水島第5, 6連铸機、千葉第2連铸機で稼動し、水島第2連铸機、千葉第1, 3連铸機でも計画之中である。海外を含めた数社にも納入され順調に稼動している。

2・11 ブレークアウト予知装置

連铸のブレークアウトは多くの要因で発生するが、モールドに凝固シェルが拘束されることによるものが大きな比率を占めている。この種のブレークアウトは、モールドと凝固シェル間のモールドパウダーの潤滑不良による異常な摩擦抵抗によって発生するものと考えられ、モールドオシレーション波形やオシレーション伝達機構の弾性ひずみなど、摩擦抵抗に影響を受ける物理量を測定することにより予知がある程度可能である。

2・11・1 装置の原理

Fig. 26 に千葉製鉄所第1連铸機におけるブレークアウト予知装置の実例を示す。

Fig. 26 において、モールドオシレーション変位の波形 $f(t)$ と、基準波形 $\varphi(t) = A \sin \omega t$ はそれぞれ、差動トランスにより測定される。両者の偏差の絶対値のオシレーション1サイクル(時間 T) ごとの時間平均 $\eta = 1/T \int_0^T |f(t) - \varphi(t)| dt$ が演算装置によって演算される。この値が警報装置に入力されてブレークアウト警報を得る。また、同時にメインシャフトのモールドオシレーションによる弾性ひずみ $\varepsilon(t)$ がストレインゲージにより測定されており振幅が監視されている。

Fig. 27 にブレークアウト発生時の波形偏差平均値、およびメインシャフトひずみの時間推移を示

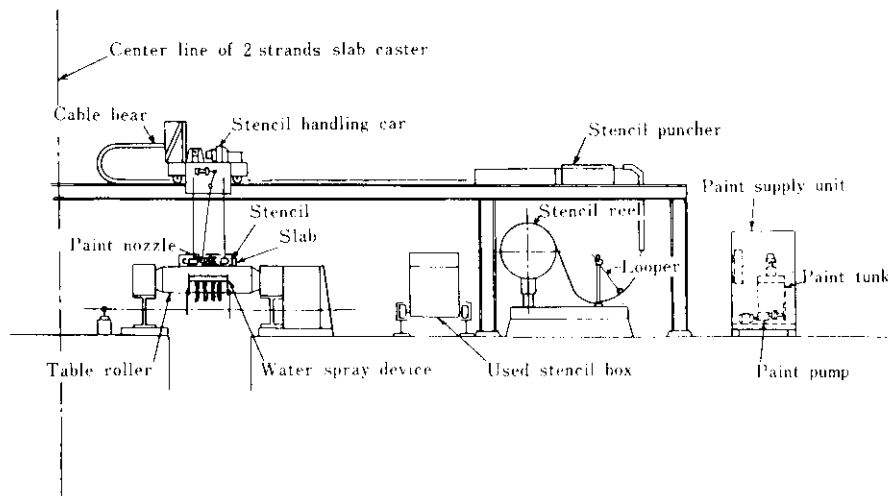


Fig. 25 Layout of the marking system

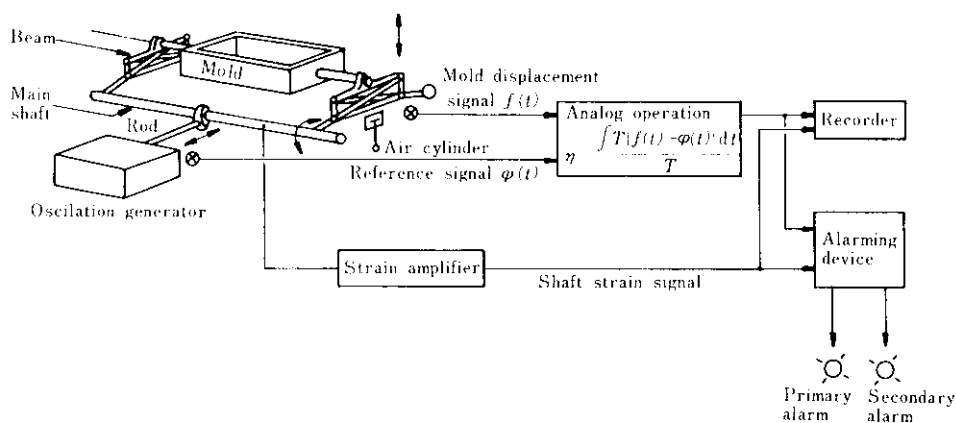


Fig.26 Diagram of break out prediction system at No.1 C.C.M. of Chiba Works

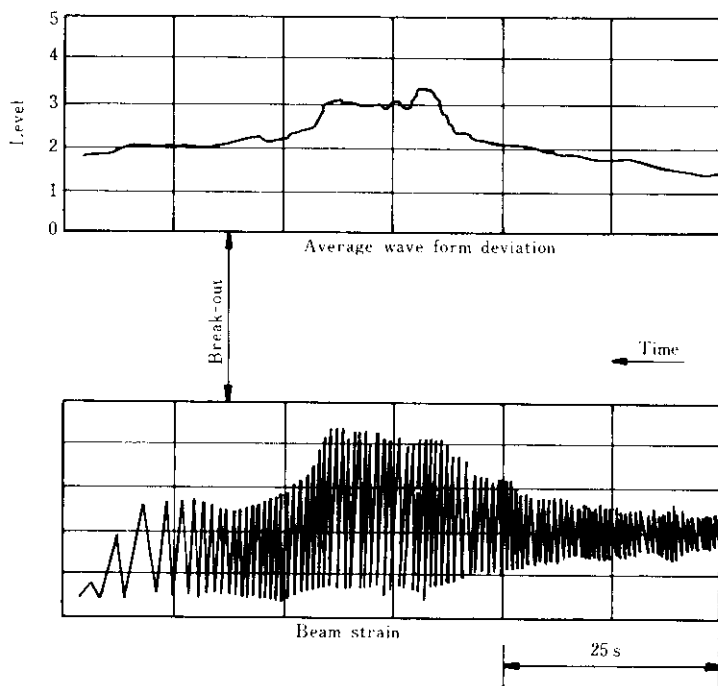
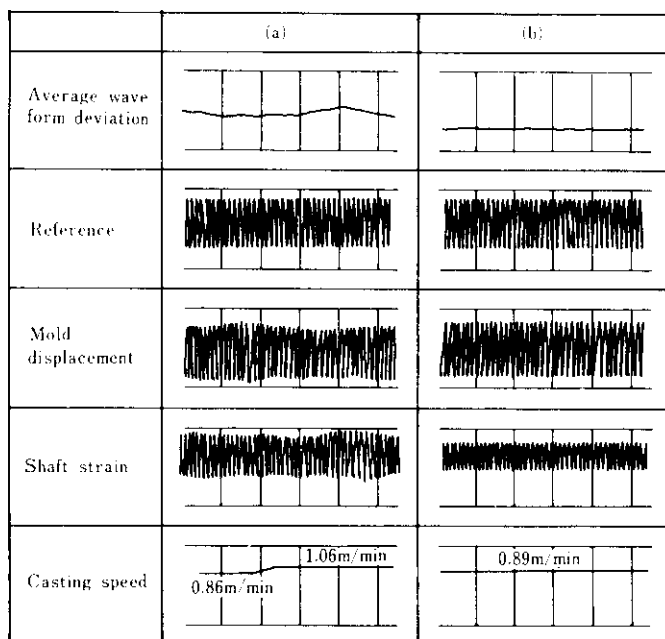


Fig.27 An example of strain signal before and after break out

す。拘束状態が発生すると波形偏差平均値や、シャフトひずみの振幅が増大する。さらにブレイクアウトの約 20 秒前から急激にこれらの値が減少してブレイクアウトに達する。このような現象は拘束性ブレイクアウトに共通なものであり、警報装置により予告可能である。すなわち摩擦抵抗異常による波形偏差平均値の上昇により第 1 アラームを、メインシャフトひずみの振幅の急激な減少により第 2 アラームを出す。

2・11・2 稼動状況

千葉第 1 連鋳においては、第 1 アラームによって鋳込み速度の低減、モールドパウダーの変更などのアクションを取り、ブレイクアウトを回避している。さらに第 2 アラームにより、鋳込みを一時中断して凝固シェル厚の生成を図ったのち鋳込みを再開することでブレイクアウトの発生を防止する。Fig. 28 に本装置によるブレイクアウト回避



(a) After the primary alarm warning break-out, casting speed was reduced from 1.06mpm to 0.86mpm to prevent it. In this case, viscosity of powder is 3.6 poise.

(b) In this case, viscosity of powder is 1.8 poise

Fig. 28 An example of break-out prevention

の事例を示す。同図は鋼種 SM 50A の casting であり、第 1 アラームにより casting 速度を 1.06m/min から 0.86m/min に低下させている。さらにパウダーを粘度が 3.6 poise から 1.8 poise のものに銘柄変更してブレイクアウトを回避している。

本方式により、高温強度の弱い一部の鋼種をのぞいて、拘束性のブレイクアウトをほぼ 100% 予知することが可能となった。さらに前述の Fig. 28 の事例に示すように、パウダーの潤滑状態を評価することも可能であり、本装置は連続操業上有用な設備となっている。

3. 結 言

連続機自動化の開発を行って、下記の装置を設

備化した。これらの装置は順調に稼動しており、生産量の拡大、操業安定、品質向上、および労働生産性の向上など種々の成果をあげている。

①取鍋からの注入量制御、②浸漬ロングノズルへのスラグ混入検知、③パウダー散布装置、④鋳型内溶鋼面制御、⑤ロールギャップおよびアライメント測定、⑥2 次冷却水量制御、⑦ casting 速度制御、⑧モールド短辺のテーパーおよび幅制御、⑨トーチカットスラグ除去装置、⑩熱間スラブスプレーマーカー、⑪ブレイクアウト予知装置

今後、大型の計算機を導入して、工程管理を行うと同時に各自動化項目を統括管理させて有機的な結合を図り、さらに非定常時の作業を機械化し連続機の全自動無人運転を可能にしたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 住友金属工業㈱和歌山製鉄所：日本鉄鋼協会共同研究会，第 58 回計測部会資料 計 58 2 1，(1974)
- 2) 藤村，下戸：日本鉄鋼協会 54 年度春期中四国講演大会，資料 No.4
- 3) 川崎製鉄㈱水島製鉄所：日本鉄鋼協会共同研究会，第 73 回製鋼部会資料 鋼 73 8，(1979)
- 4) 飯田，児玉，鈴木：川崎製鉄技報，11 (1979) 3，121~133