
千葉製鉄所第3連続鋳造設備の計装・計算機システム

Instrumentation and Process Computer System for No.3 Continuous Casting Machine at Chiba Works

佐藤 国浩(Kunihiro Sato) 福原 渉(Wataru Fukuhara) 片桐 秀明(Hideaki Katagiri)
田宮 稔士(Toshio Tamiya) 柿原 節雄(Setsuo Kakihara)

要旨：

当システムの特徴は、プロセス計算機を中核に生産管理計算機、マイクロ計算機および PLC (Programmable Logic Controller) の有機的結合により、信頼性の向上と危険分散を実現したことにある。本システムは、製鋼命令をもとに、取鍋精錬からスラブ搬出にいたるまでのプロセス制御を取扱い、スラブ品質管理、設備管理、帳票印字とデータ伝送をも包含する。プロセス制御の一例として、オートスタート、オートストップをはじめとする鋳込速度制御、2次冷却制御、最適切断長制御などの組合せによる、完全自動鋳込の実現があげられる。この結果、操業、品質の安定および生産性の向上に多大な成果をおさめることができた。

Synopsis：

This computer system is characterized by the improvement of reliability with the best combination of the process computer, microcomputers and programmable logic controllers, all connected to the large business computer. This system deals with the whole process control from ladle refining to slab delivery, including slab quality control, supervision of equipment, date logging and date transmission to the subsequent process. Full automatic continuous casting is accomplished by the application of casting speed control, auto-start, auto-stop, spray water control and optimum slab cutting control. As a result of employing this computer system, casting operation and slab quality have been stabilized and caster productivity much improved.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

千葉製鉄所第3連続铸造設備の計装・計算機システム

Instrumentation and Process Computer System for
No. 3 Continuous Casting Machine at Chiba Works

佐藤 国 浩*
Kunihiro Sato

福 原 渉**
Wataru Fukuhara

片 桐 秀 明***
Hideaki Katagiri

田 宮 稔 士****
Toshio Tamiya

柿 原 節 雄*****
Setsuo Kakiyara

Synopsis:

This computer system is characterized by the improvement of reliability with the best combination of the process computer, microcomputers and programmable logic controllers, all connected to the large business computer. This system deals with the whole process control from ladle refining to slab delivery, including slab quality control, supervision of equipment, data logging and data transmission to the subsequent process. Full automatic continuous casting is accomplished by the application of casting speed control, auto-start, auto-stop, spray water control and optimum slab cutting control. As a result of employing this computer system, casting operation and slab quality have been stabilized and caster productivity much improved.

1. 緒 言

連続铸造(連铸)設備は、省エネルギーと品質向上の両面で大きな利点を有する。連铸プロセスの制御と管理の対象範囲は拡大しつつあり、それらの質的向上に対する要求も、厳しくなる一方である。そのために、計装・計算機システムにおいても、いっそうの規模の拡大、レベルおよび信頼度の向上が必要とされている。

千葉製鉄所の第3連続铸造設備は、「高品質スラブの高能率铸造」を基本思想として建設され、昭和56年4月から順調に稼動している。

その計装・計算機システムは、上述の背景を踏

まえて、プロセス計算機を中心に、上位生産管理計算機システム、計装設備、電気設備および各種の自動設備と有機的に結合し、プロセス制御と管理のレベル向上と危険の分散を図ったトータルシステムとして構築した。本連铸設備の建設と操業ならびに自動設備についての概略は別に報告した^{1,2)}ので、今回はトータルシステムとしての計装・計算機システムの概要を紹介する。

2. 計装・計算機システムの構成

Fig. 1に全体システム構成を、Table 1に主要機器の仕様概略を示す。

プロセス計算機は、信頼性、応答性の向上とデ

* 東京本社技術本部設備技術部主査(課長補)
*** 千葉製鉄所設備部設備技術室
***** 千葉製鉄所製鋼部第3製鋼課
〔昭和57年4月2日原稿受付〕

** 千葉製鉄所設備部設備技術室主査(掛長)
**** 千葉製鉄所設備部設備技術室主査(課長)

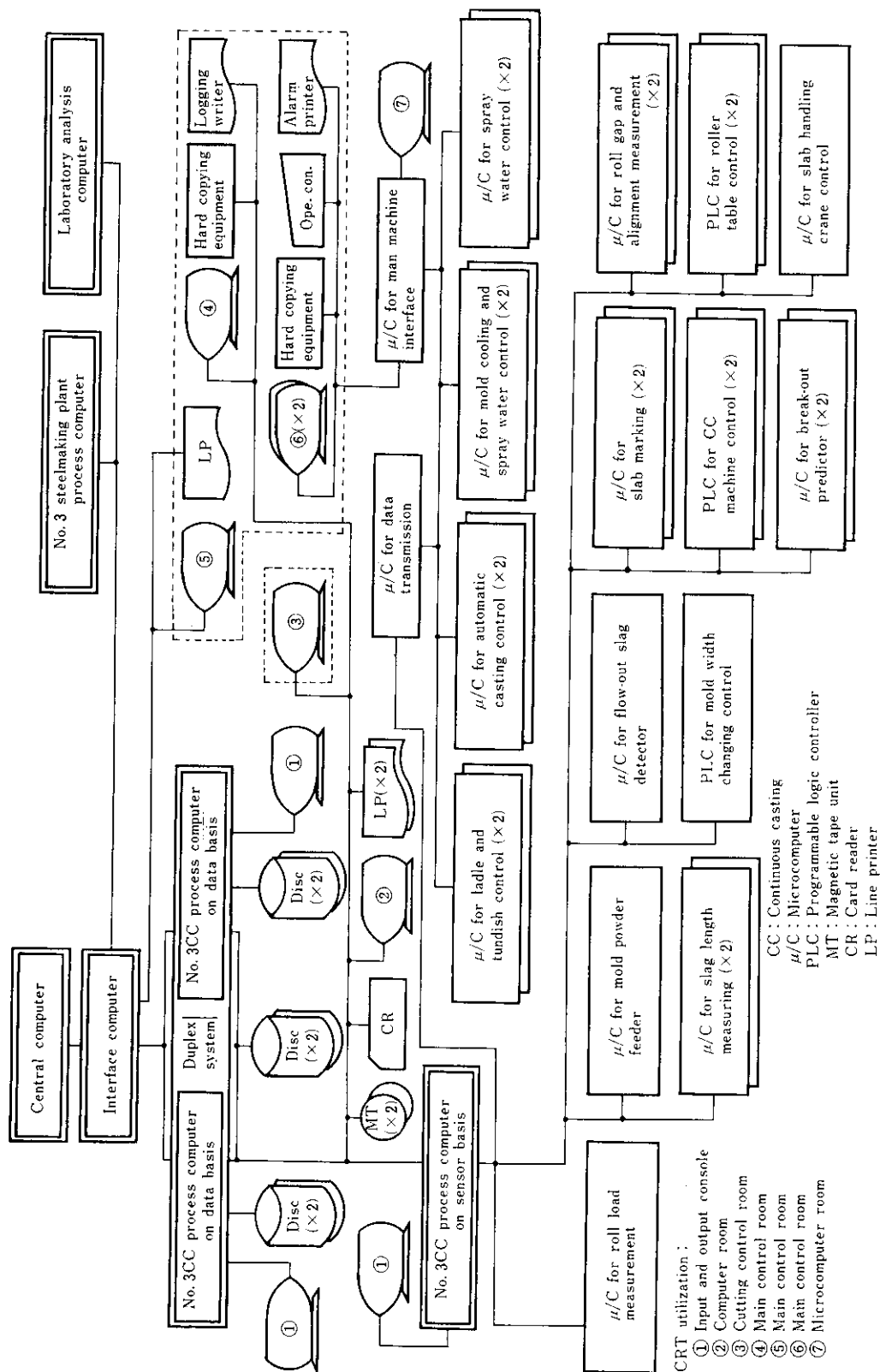


Fig.1 Configuration of instrumentation and process computer control system for Chiba No.3 continuous casting process

Table 1 Main specifications of process computers and microcomputers

Item	Microcomputer	Process computer
Model	CENTUM	PFU-1500
Memory capacity	32KW×8(core) 48KW×1(core) 96KW×1(core)	256KW×3(IC) 1.2MW×4(disk) 20MW×2(disk)
Memory cycle time	1.4μs	0.2μs
Date communication		
Modem	1	3
Data bus	2	2
Process interface		
Analog input	182 points	112 points
Analog output	67 points	28 points
Process interrupt	400 points	272 points
Digital input	656 points	608 points
Digital output	689 points	816 points
Pulse input	4 points	16 points
CRT color display	3	3
Hard copying equipment	1	1
Printer	2	1
Line printer		2
Card reader		1
Card puncher		1
I/O console CRT		2
Magnetic tape unit		2

れ、さらに上位の生産管理計算機、下位の計装設備、電気設備および各種自動設備のマイクロ計算機群やPLC (Programmable Logic Controller) 群と連結されている。機能的には、製鋼命令データを上位生産管理計算機から受信して、取鍋精錬からスラブの搬出までの操業の管理と計測制御の統括を行っている。

計装設備は、危険分散と制御レベルの向上のために、設備別に多数のマイクロ計算機を中心に構成されている。機能的には、プロセス計算機のもとで、取鍋精錬、铸造および切断に関する計測制御を行っている。

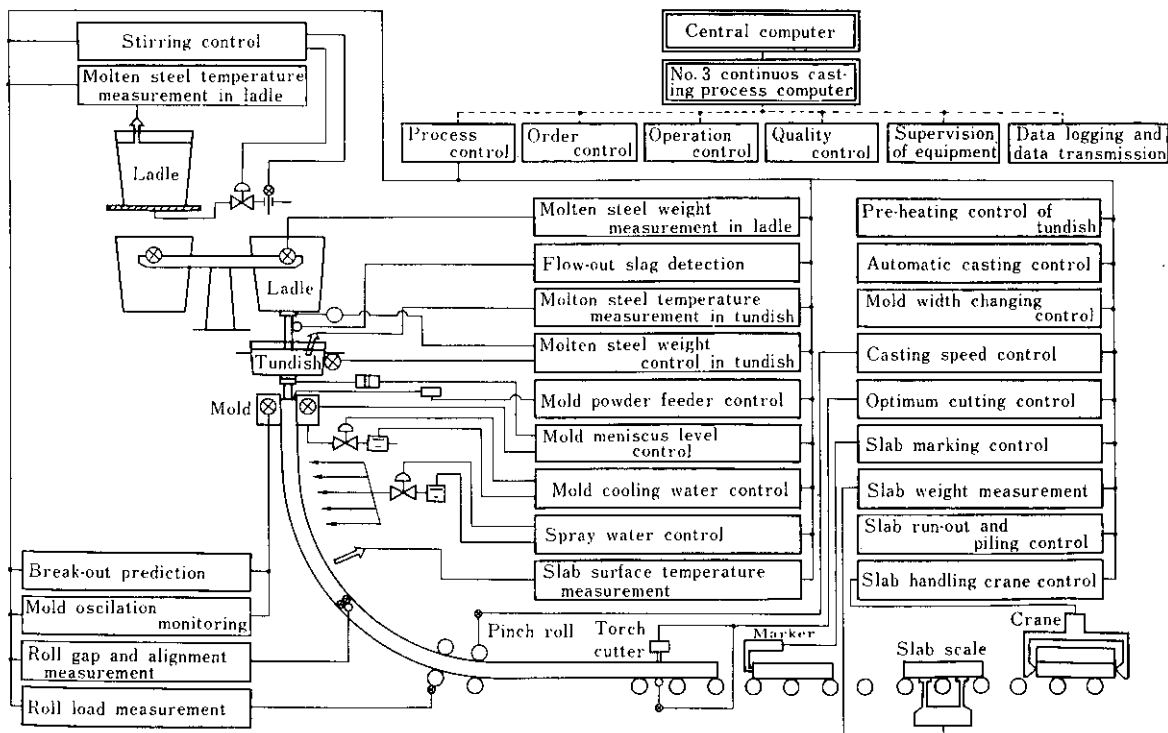
3. 計装・計算機システムの機能

Fig. 2に本システムの機能³⁾と主要な計測制御項目を示す。以下に主要な機能概要を示す。

3.1 生産命令管理

ータ処理量の増大に対応するために二重化したデータベース計算機とセンサベース計算機で構成さ

上位生産管理計算機から一括して操業スケジュール付きの製鋼命令データを受信する。製鋼命令

**Fig. 2** Function layout of computer control system for No. 3 continuous casting process

と操業スケジュールは、上位生産管理計算機および本プロセス計算機に接続しているCRTに常時表示され、変更入力も可能である。底吹転炉、取鍋精錬および連続鑄造の各操業の展開によっては製鋼命令と製鋼工程の変更処理を行い、各操業に支障をきたさないよう配慮している。

3.2 操業管理

3.2.1 トラッキング制御

トラッキング制御は本システムの根幹をなすものである。製鋼命令と操業スケジュールをもとに底吹転炉、取鍋精錬および連続鑄造の操業シーケンスをモニタすることにより各操業状態を把握し、次に示す内容を実施する。

- (1) 生産物流管理のための取鍋チャージ単位、鑄造ストランド単位および切断スラブ単位のトラッキング。
- (2) プロセス制御のためのトラッキングとして取鍋とタンディッシュの状態、鑄片先・後端位置、鑄片継目位置、総鑄造長および切断スラブ搬出状態の把握。

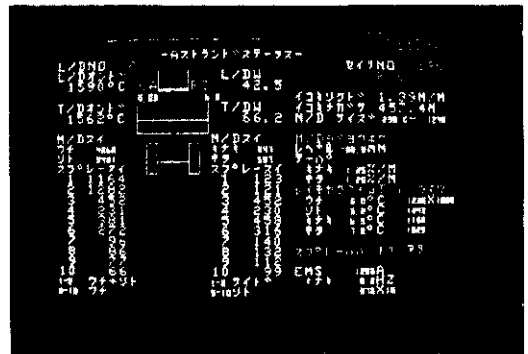
3.2.2 マンマシンインタフェース

本システムでは時々刻々変化する操業情報をオペレータに適切に提供するために、CRT画面によるガイド表示を重視している。計装設備のCRTは詳細かつ即時的な計測制御情報中心の表示を行う。プロセス計算機のCRTは計測制御情報も含めた生産物流管理中心の表示を行う。Photo 1 にCRT表示の例を示す。

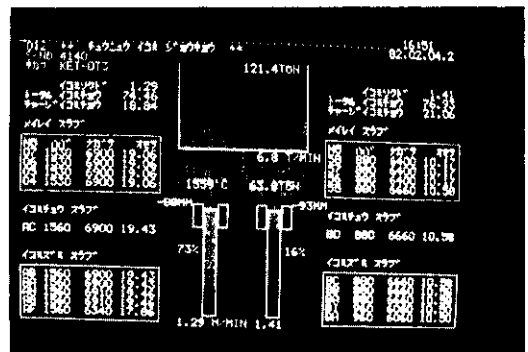
なお、鑄造床の現場オペレータに必要な情報(総鑄造長、鑄造速度、溶鋼温度など)は、現場の大型デジタル表示盤に表示する。

3.2.3 操業スケジュール計算

底吹転炉、取鍋精錬および連続鑄造の各工程間の操業マッチングのための計算である。すなわち、操業条件とトラックタイム条件を考慮して、操業実績による変更修正も加味した各工程の操業スケジュールを計算・作成する。



(a) Display by microcomputer



(b) Display by process computer

Photo.1 Examples of CRT displays

3.3 プロセス制御⁴⁾

3.3.1 取鍋バブリング制御

底吹転炉の出鋼情報とバブリングスタンドでの测温、サンプリング結果を用いて、処理時間、処理ガス流量およびAl線投入量の計算制御を行う。

3.3.2 取鍋とタンディッシュの計測制御

スینگタワー上で、従来計測されていなかった取鍋内溶鋼重量とタンディッシュ内溶鋼重量の計測制御を、操業中常時行い、出鋼量、注入量の把握と、取鍋交換、タンディッシュ交換タイミングの精度向上および注入鑄込作業の安定化を達成している。Fig. 3に、取鍋内溶鋼重量測定系統図を示す。取鍋内溶鋼重量の測定信号は、スینگタワー上からFM無線伝送で行い、取鍋交換に伴う測定系の切換えは、シーケンス制御により、自動的に行っている。

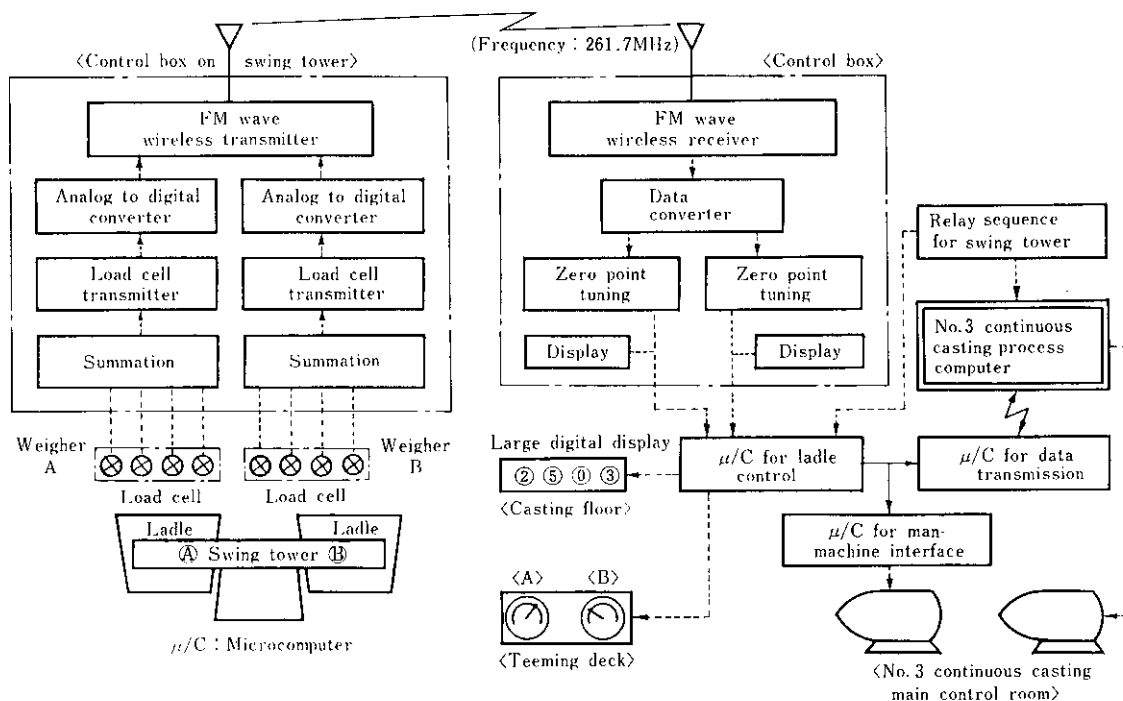


Fig. 3 Configuration of automatic ladle weighing system for molten steel

また、タンディッシュの予熱は、予熱パターンに基づいた全自動予熱制御を実施している。さらに、予熱制御は、タンディッシュカー走行制御シーケンスと連携しており、タンディッシュ交換作業の自動化を実現している。

3・3・3 完全自動鋳込制御

従来、作業者の経験と勘にたよっていた鋳造開始、終了時などの非定常時の鋳造作業を標準化し、取鍋スライディングノズル開操作後の完全自動鋳込制御を実施して、鋳片品質と操業の安定化を実現している⁵⁾。

本制御システムの基本構成と仕様概略を、Fig. 4、Table 2にそれぞれ示す。また、本制御システムの制御機能項目と操業対応のタイムチャート例を、Table 3、Fig. 5にそれぞれ示す、以下に、主要な制御機能について説明する。

(1) タンディッシュ内溶鋼重量制御

本制御の特徴として、タンディッシュスラグによるロングノズルの局部溶損を防止するために、制御目標値を時間的に変更する機能をもった絞り注入

制御を行う。

(2) モールド内溶鋼レベル制御

鋳造開始時の溶鋼レベル上昇速度制御と定常操業時の溶鋼レベル定値制御とからなり、モールド内の溶鋼マスバランス式(1)による、タンディッシュ・スライディングノズルの開度制御を行う。

$$A = K_1 \cdot f_1 (S_M, H, L_\theta, V) + \Delta A_{FB} \cdots (1)$$

A : タンディッシュ・スライディングノズル開口面積 (m^2)

K_1 : 定数

S_M : モールド断面積 (m^2)

H : タンディッシュ内溶鋼ヘッド (m)

L_θ : モールド内溶鋼レベル上昇速度 (m/min)

V : 引抜速度 (m/min)

ΔA_{FB} : 溶鋼レベル偏差によるタンディッシュ・スライディングノズル開口面積の修正量 (m^2)

鋳造開始時には、十分な凝固殻を形成しつつ鋳片引抜を行うために、溶鋼レベル上昇速度制御と引抜速度制御を行う。モールド内溶鋼レベルが定

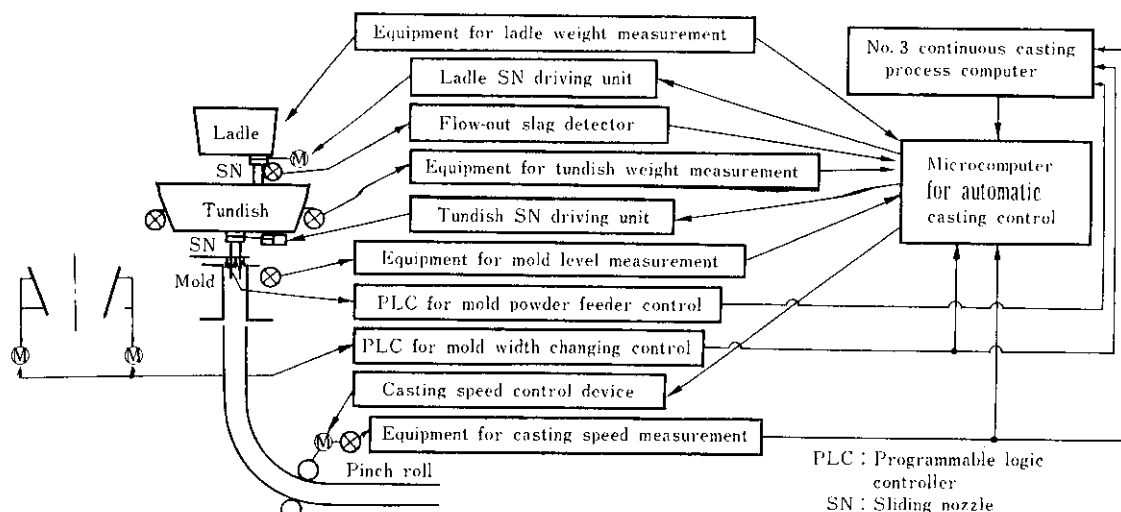


Fig. 4 Configuration of full automatic casting control system

Table 2 Specifications of automatic casting control system

Instruments	Specification or type
Molten steel weight measurement in ladle	Sensor : Load cell Range : 0 ~ 300t (net) Accuracy : $\pm 0.1t$
Flow-out slag detector	Vibration monitoring
Molten steel weight control in tundish	Sensor : Load cell Range : 0 ~ 100t (net) Measurement accuracy : $\pm 0.2t$ Ladle sliding nozzle drive : Electric Control accuracy : $\pm 0.3t$
Mold meniscus level control Meniscus level rising speed control Constant level control	Sensor : γ -ray type level meter Range : 150 ~ 50mm Measurement accuracy : $\pm 4 \text{ mm}$ Tundish sliding nozzle drive : Hydraulic Nozzle position detector : Differential transformer Control accuracy : $\pm 5 \text{ mm}$
Withdrawal speed control Accelerating and decelerating control Constant speed control	Sensor : Pulse generator Range : 0 ~ 2.5m/min Master rheostat : Driven by servo-motor Control accuracy : $\pm 0.05 \text{ m/min}$
Microcomputer	Memory : 32KW
Process computer	Memory : 256KW

常レベルに到達したあとは、自動的に、定常時のモールド内溶鋼レベル定値制御に切替わる。

本制御方法により、極めて安定した鋳造操作が実現している。

(3) 引抜速度制御

操業の状況に応じて、次に示す制御を行う。

- (a) 鋳造鋼種、タンディッシュ溶鋼過熱度などに対応した、定常作業時の速度制御、
- (b) 鋳造開始・終了、タンディッシュ交換、浸漬ノズル交換などの非定常作業時の自動加減速制御、
- (c) モールド幅変更時の速度制御、
- (d) 取鍋交換時鋳造マッチングのための速度制御、
- (e) タンディッシュ内溶鋼ヘッド低下時の速度制御。

(4) モールドパウダー投入制御

モールドパウダーは溶鋼の酸化防止、非金属介在物の吸収および鋳片・鋳型間の潤滑性維持のため、極めて重要なものである。このために、操業条件に応じたパウダー銘柄の自動供給と、モールド幅方向のパウダー消費量分布に応じて投入速度を変える、パターン投入制御を行う。

(5) モールド幅変更制御

熱間圧延スケジュールにマッチした幅変更命令をもとに、鋳造長のトラッキングを行って、幅変更タイミング、幅変更量、幅変更速度などを決定し、全自動幅変更制御を行う。さらに、幅変更中のモールド短引抜熱量を維持するためのモールド

Table 3 Control list in automatic casting control system

Function of control	Charge	Condition	1 st charge		Nth charge		Last charge	
			Dynamic condition (Casting start)	Static condition	Dynamic condition (T/D-car exchange)	Static condition	Dynamic condition (Casting end)	
Automatic closing of ladle sliding nozzle (detect. of flow-out slag)								○
Molten steel weight control in tundish			○	○	○	○		
Automatic closing of tundish sliding nozzle					◎			◎
Mold meniscus level rising speed control			◎		◎			
Mold meniscus level control				○		○		
Automatic start of withdrawal			◎		◎			
Automatic accelerating of casting speed			○		○			
Automatic decelerating of casting speed					◎			◎
Automatic stop of casting					◎			
Casting speed control				○		○		

○ : Applied (techniques developed in the past)

◎ : Applied (techniques developed this time)

T/D : Tundish

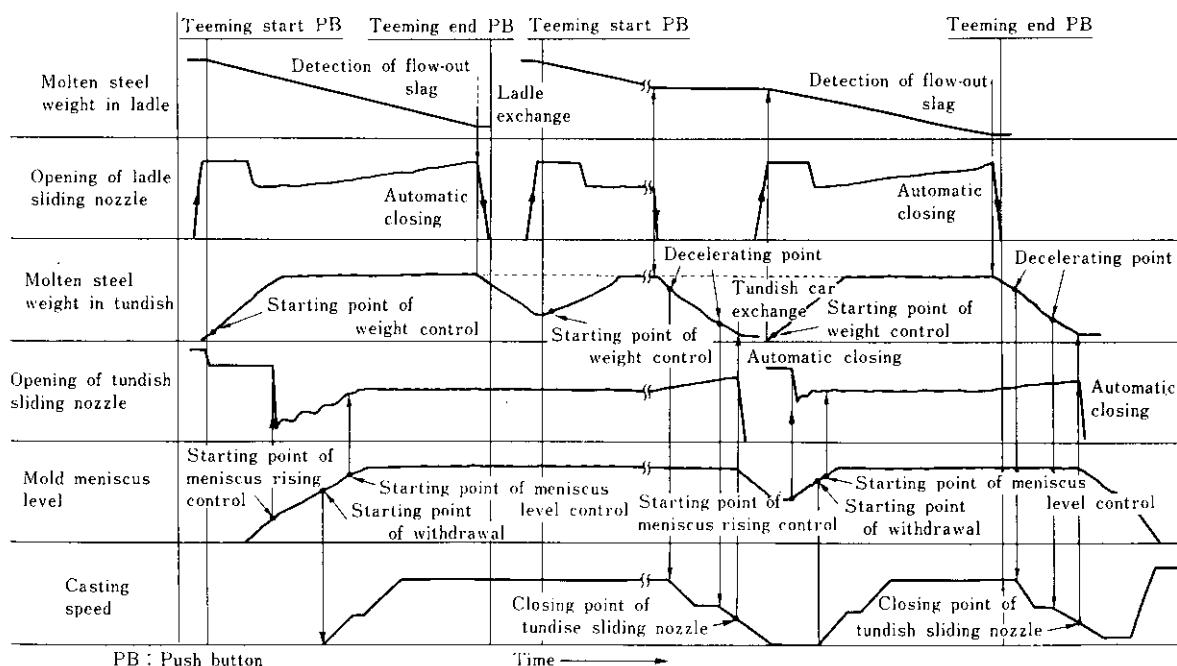


Fig. 5 Timing chart of automatic casting control

短辺姿勢制御を行う。

3・3・4 冷却水制御

冷却水制御は操業上極めて重要な因子で、鋳片

の品質を大きく左右する。特に2次冷却水制御は重要であり、本システムでもその機能の充実を図っている。

(1) モールド冷却水流量制御

流量一定制御を行い、モールド入口・出口の冷却水温度差を監視して、設定流量の適否を確認している。

(2) 2次冷却水流量制御

铸片表面温度プロフィールを維持するための適正な冷却水流量制御を行う。2次冷却水流量パターンは、鋼種、铸片サイズごとの表面温度プロフィールに沿った铸片の冷却、凝固履歴計算で求める。計算には(2)式に示す1次元非定常熱伝達モデルを用いる。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) \dots \dots \dots (2)$$

ρ : 密度 (kg/m³)

c : 铸片の比熱 (kcal/kg・°C)

T : 铸片各部の温度 (°C)

t : 経過時間 (h)

k : 铸片の熱伝導率 (kcal/m・h・°C)

x : 铸片厚み方向の座標 (m)

Fig. 6 に2次冷却水流量制御の概要を示す。各冷却ゾーンごとに铸込まれてから現在までの铸片の冷却、凝固過程を考慮して、铸片の凝固厚、表面温度の推定計算を時々刻々オンラインで行う。こうして得られた計算値と実測表面温度ならびに式

(2)から求めた各ゾーンごとの冷却水流量パターン値を用いて、最終的に2次冷却水流量を決定する。冷却水流量の計算は次式で行う。

$$F_i = K_2 \cdot f_2(k, S, T_s, T_g, T_w, V_M) + \Delta F_{iFB} \dots (3)$$

F_i : i 冷却ゾーン冷却水流量 (ℓ/min)

K_2 : 定数

S : 凝固厚 (m)

T_s : 铸片表面温度 (°C)

T_g : 凝固温度 (°C)

T_w : 冷却水温度 (°C)

V_M : i 冷却ゾーン铸片が铸込まれてから現在までの平均引拔速度 (m/min)

ΔF_{iFB} : i 冷却ゾーン铸片表面温度偏差分の修正冷却水流量 (ℓ/min)

本制御モデルは、モールド幅変更とか、異鋼種連々铸やその他の原因によるタンディッシュ交換などの、非定常操業時に特に有効である。**Fig. 7**に従来の現引拔速度カスケード制御と本制御との比較を示す。

また、非定常操業時に過冷却となる継目铸片のトラッキングを行い、その冷却を補償緩和して継目铸片の品質確保とロール負荷の軽減を図っている。

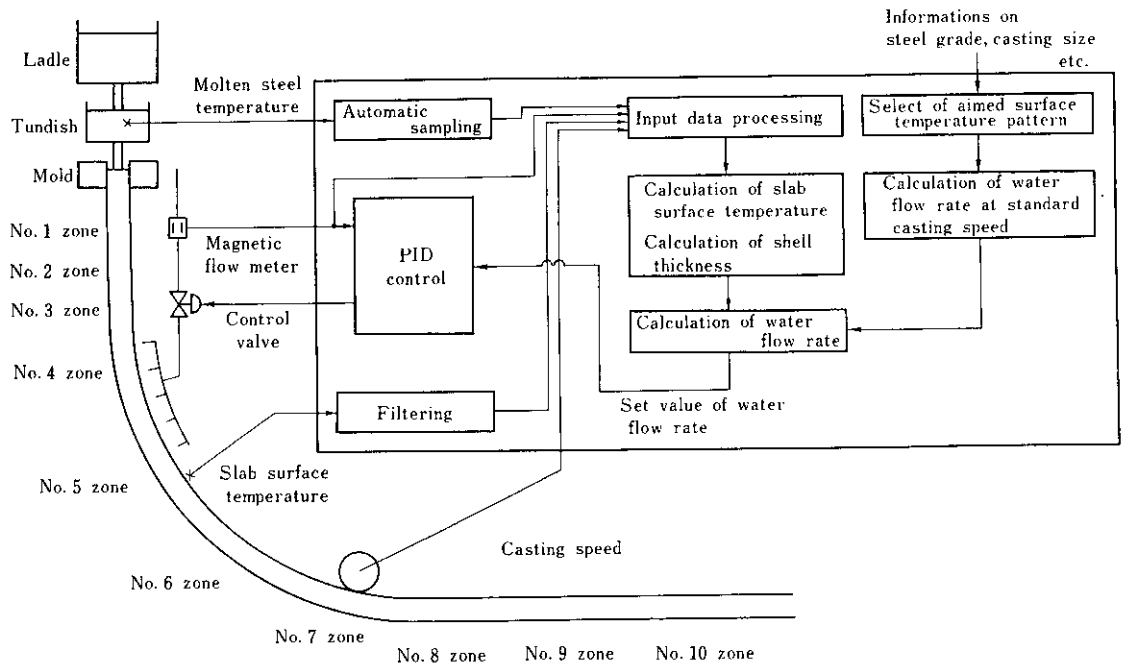


Fig. 6 Computer control system for spray cooling water

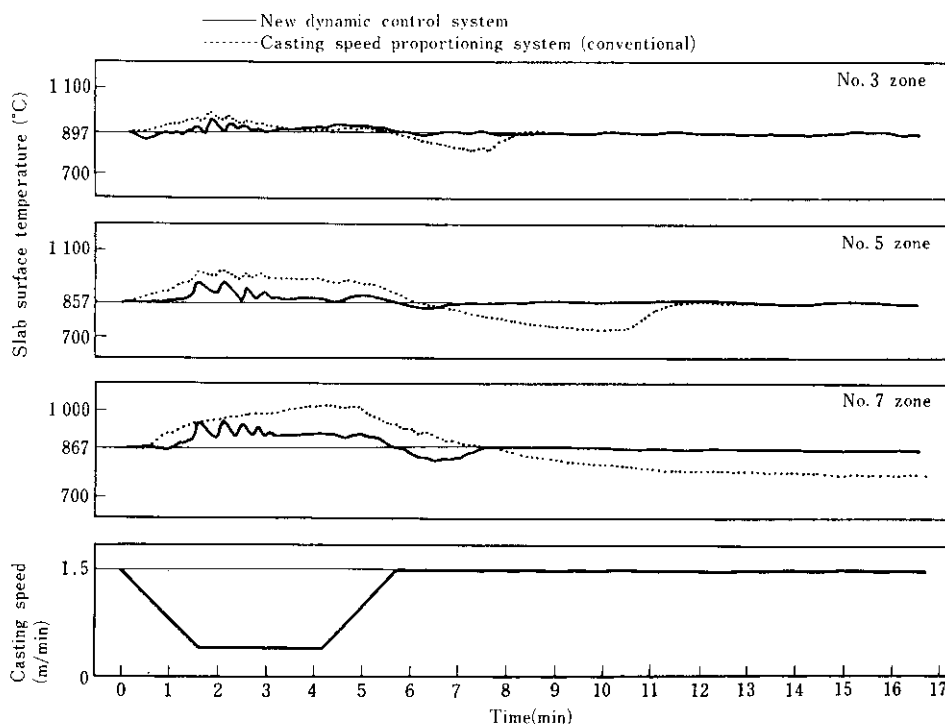


Fig. 7 Calculated change in slab temperature under simplified variation of casting speed in comparison of two spray water control models

(3) 2次冷却水の本管圧力制御と幅切り制御

本管圧力制御では、2次冷却水の必要流量すなわち必要圧力に応じて、2次冷却水給水ポンプの電動機回転数制御が行われる。従来の定格一定回転数制御に対して、電動機の所要電力が大幅に削減される。さらに、鋳片の幅に応じて、鋳片幅方向両端部の2次冷却水を遮断する、いわゆる幅切り制御の実現により、いっそうの省エネルギーを達成している。

3.3.5 鋳片の切断と搬出の制御

鋳片の切断、マーキングおよび搬出の全自動化を達成し、生産物流管理技術と品質管理技術の向上を図っている。

(1) 切断制御

スラブ命令仕様をもとに、操業状況と次工程の設備条件を考慮して、歩留りを最大にするための最適切断長制御を行う。

(2) マーキングと搬出制御

切断スラブの操業実績データをもとに、マーキ

ングデータおよびスラブヤードへの搬出命令を作成し、自動マーキングと自動搬出を行う。

また、上位生産管理計算機や下位のスラブハンドリングクレーン用マイクロ計算機と連携して、スラブヤードのクレーン運転の全自動化を実現している。全自動化によりクレーンの無人運転、スラブヤード内の物流管理技術と在庫管理技術の向上を達成している。

3.4 品質管理

ホットチャージ量の拡大に伴い、鋳造スラブ単位の品質管理がより重要となる。スラブの表面と内部性状に重大な悪影響をおよぼすと考えられる各種の操業上の異常現象の種別と該当鋳片（異常鋳片）を認識して品質管理を行っている。

3.5 設備管理

製品品質の安定、操業・設備の安定、生産性・保全性の向上などの観点から、設備診断機能を充実して、前述の諸項目に対し多大な効果を上げて

いる⁶⁾。

主要な機能項目を以下に示す。

- (1) 鋳型の機歴管理,
- (2) ロールの機歴管理,
- (3) ロールの間隔とアラインメントの管理,
- (4) 作動油の油圧タンク油面管理,
- (5) 2次冷却水スプレーノズル詰りの検知,
- (6) 2次冷却水電磁流量計の検定管理。

タンディッシュ交換などの非定常操業時の過冷却鋳片によるロールへの非定常荷重や、操業条件差によるロール荷重差などの調査による、鋳造条件、設備条件の改善を目的として、ロール荷重の操業中連続測定を行っている。

3・6 実績収集とデータ伝送

操業で得られた生産管理、品質管理、操業管理および技術解析用などの実績データは、チャージ単位、ストランド単位、スラブ単位にデータをファイルするとともに、上位生産管理計算機へ伝送する。特に、製鋼命令の変更情報、重要な操業状

態情報、スラブ切断実績情報およびヤードクレーン運転情報などをリアルタイムに上位生産管理計算機へ伝送することにより、前後工程との生産物流管理技術の向上と迅速化を達成している。

4. 結 言

計算機制御技術を駆使することによって、信頼性が高くかつ高度なプロセス情報の管理、制御および自動化を行い、操業と品質の安定に大きく寄与している。

製鉄所における連続鋳造設備の使命は大きく、今後とも、計装・計算機システムに対する要求は厳しくなると思うが、本システムはそれに十分耐え得るものと考ええる。

最後に、本システムの建設に献身的な努力を惜しまれなかった横河電機(株)、富士電機製造(株)さらには川鉄計量器(株)等のメーカ各位に深謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 三枝, 数士, 福永, 守脇, 斉藤, 安川: 川崎製鉄技報, 14 (1982) 2, 10
- 2) 森脇, 柿原, 佐藤, 伊藤, 工藤, 中村: 川崎製鉄技報, 14 (1982) 2, 20
- 3) 田宮: 第76, 77回西山記念技術講座, (1981), 40~44
- 4) 飯田, 前田, 江本, 山崎, 下戸, 平田, 上田, 高橋: 川崎製鉄技報, 12 (1980) 3, 110~126
- 5) 川崎製鉄(株)千葉製鉄所: 日本鉄鋼協会共同研究会, 第79回計測部会資料, 計79-(2)-5, (1981)
- 6) 中村, 大西, 佐藤, 福原, 工藤, 柿原: 川崎製鉄技報, 14 (1982) 3, 47