

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.28 (1996) No.1

---

新連铸機のための最新システム技術と P/C, フィールド制御

State-of-the-art System Technology and P/C, Field Control for New Continuous Casters

山根 明(Akira Yamane) 茨木 道雄(Michio Ibaragi)

---

要旨 :

相次いで建設された最新連铸機の制御装置に関し、水島製鉄所では EIC 統合システムが、千葉製鉄所ではマルチベンダ EI 統合システムが採用された。前者は、大規模スラブ連铸機に採用された世界初の EIC 制御システムであり、後者は、世界初のマルチベンダ EI システムである。本報では、それぞれのシステム導入の背景、設計思想、特徴、代表機能を対比したのち、特徴的なフィールド制御として、制御理論によるモールドレベル制御とダブルトーチプラズマ加熱制御を、紹介した。

---

Synopsis :

At new continuous casters of Kawasaki Steel, an integrated EIC (Electrical, Instrumentation, process Computer) control system at Mizushima Works and a multi-vender EI control system at Chiba Works were adopted. It is the world's first large scale EIC unified control system in the world, introduced to slab casters with huge production capacity, and it is the first multi-vender EI unified control system. This paper provides background of the selection of the integrated EIC system, the general outline of the system and system performance, after introduction. In addition, mold meniscus level regulation with state-of-the-art control theory and plasma tundish heater with double torches are introduced as remarkable applications.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

# 新連鑄機のための最新システム技術とP/C, フィールド制御\*

川崎製鉄技報  
28 (1996) 1, 27-34

## State-of-the-art System Technology and P/C, Field Control for New Continuous Casters



山根 明  
Akira Yamane  
水島製鉄所 プロセス  
開発部制御自動化技  
術開発室 主査(課長)



茨木 通雄  
Michio Ibaragi  
千葉製鉄所 制御技術  
部鉄鋼熱延制御課長

### 要旨

相次いで建設された最新連鑄機の制御装置に関し、水島製鉄所ではEIC統合システムが、千葉製鉄所ではマルチベンダEI統合システムが採用された。前者は、大規模スラブ連鑄機に採用された世界初のEIC制御システムであり、後者は、世界初のマルチベンダEIシステムである。本報では、それぞれのシステム導入の背景、設計思想、特徴、代表機能を対比したのち、特徴的なフィールド制御として、制御理論によるモールドレベル制御とダブルトーチプラズマ加熱制御を、紹介した。

### Synopsis:

At new continuous casters of Kawasaki Steel, an integrated EIC (Electrical, Instrumentation, process Computer) control system at Mizushima Works and a multi-vender EI control system at Chiba Works were adopted. It is the first large scale EIC unified control system in the world, introduced to slab casters with huge production capacity, and it is the world's first multi-vender EI unified control system. This paper provides background of the selection of the integrated EIC system, the general outline of the system and system performance, after introduction. In addition, mold meniscus level regulation with state-of-the-art control theory and plasma tundish heater with double torches are introduced as remarkable applications.

### 1 緒 言

1993年から1994年にかけて、水島、千葉両製鉄所で同じ機番4を冠した連鑄機が相次いで稼働した。当社にとって、これらは千葉第3連鑄機以来約10年ぶりの製鋼新設備である。この間、システム技術、制御技術は飛躍的に発展し、操業技術の進歩ともあいまって、今回の新連鑄機建設は、当社の連鑄制御技術の集大成的な意味合いを持つものとなった。一方、経済環境の激変は周知のとおりで、生産コスト削減の要求は、ますます大なるものがあつた。制御技術の果たす役割は、製造プロセスの開発、改善を通じて、自動化、省力、歩止り、各種原単位、製品品質、納期、などの指標の改善を図り、これを、コスト競争力、非価格競争力の向上につなげて、収益をあげていくところにある。直近20年の限界を極めたかに見えるプロセス改善をさらに進めるためには、そのバックボーンたる制御システムの革新が必要不可欠であつた。水島は、薄板普通鋼の大量生産を、千葉はステンレス、特殊鋼を主体とする多品種高品質生産を、目的とした連鑄機であり、同じスラブ連鑄機ではあってもそれぞれの設計コンセプトが異なる。

本報では、両製鉄所の新連鑄設備の設計思想を対比させながら、

電気計装計算機のシステム統合を中心に、連鑄機に導入された最新制御技術の一部を紹介する。

### 2 制御システム

設計思想を如実に反映するのが、システム構成である。水島ではシングルベンダEIC統合システムを、千葉ではマルチベンダEI統合システムを採用した。

鉄鋼業において、電気(E)、計装(I)、プロセス計算機(C)システムは、自動化、システム化を支える中核技術としての役割を果たしてきた。特に近年は、操業、システムハードウェア、保全での効率化を目的としたEIC一体化が、設備、組織両面における一大潮流となっている。現在、シングルベンダEICと呼ばれる単一メーカーによる統合システムが全国各製鉄所で実用化されているが<sup>1)</sup>、システム、計算機アーキテクチャ、ネットワークを含む、オープン化マルチベンダ化の急速な進展をうけて、異メーカーの機種から構成される統合システムも出現しつつある<sup>2)</sup>。

従来より大規模一貫製鉄所では、セントラルコンピュータを頂点とする計算機一制御装置ハイアラキーシステムにより制御や工程生産管理が行なわれ、生産性・品質の向上、リードタイムの削減に寄与してきた。超円高を契機として日本鉄鋼業に突き付けられた新たな革新要求に対し、制御システム側の有力な解決策の一つは、操業面で

\*平成8年3月14日原稿受付

の効率化, システム構成上での効率化, 保全面での効率化をめざし, E, I, C それぞれの壁を取り除いた究極の融合システムであろう。このような背景のもと, 水島, 千葉連鑄機では, それぞれ最適なシステムの追究がなされた。以下に両者の設計思想, 特徴を紹介する。

2.1 水島 EIC 統合システム<sup>3,4)</sup>

水島 4 連鑄の制御系設計にあたって, 製品の品質はもとより, 品質保証, DHCR (Direct Hot Charge Rolling: 直送温間圧延) 高能率操業の実現, 品質判定の徹底的な自動化, ヒューマンマシンインタフェース (HMI) を中心とした操作性の追及, また 3 K 作業排除を目的とした広範な自動化など, その制御システムに関して多く

の要求, 期待が寄せられた。そこでそれらの課題を満足すべく, 各種制御システムを比較検討した結果, Fig. 1 に示すような共通高速データウェイをバックボーン LAN にした EIC 統合制御システムを採用した。ここでは電気, 計装, 計算機の各装置を同一ネットワーク上に結合し, また, FEP を通して機電一体設備, Ethernet を介して FA 計算機群とも接続した。

水島製鉄所では, 工場間スケジュール調整機能が O/C と呼ばれるビジネスコンピュータ (B/C) の所掌となっており, プロセス計算機 (P/C) 以下の階層は担当工場の制御に重点が置かれている。したがって EIC 統合システムの採用に適した工場であったということが出来る。特徴は, 1) P/C が必要な情報を迅速正確に収集し処理しや

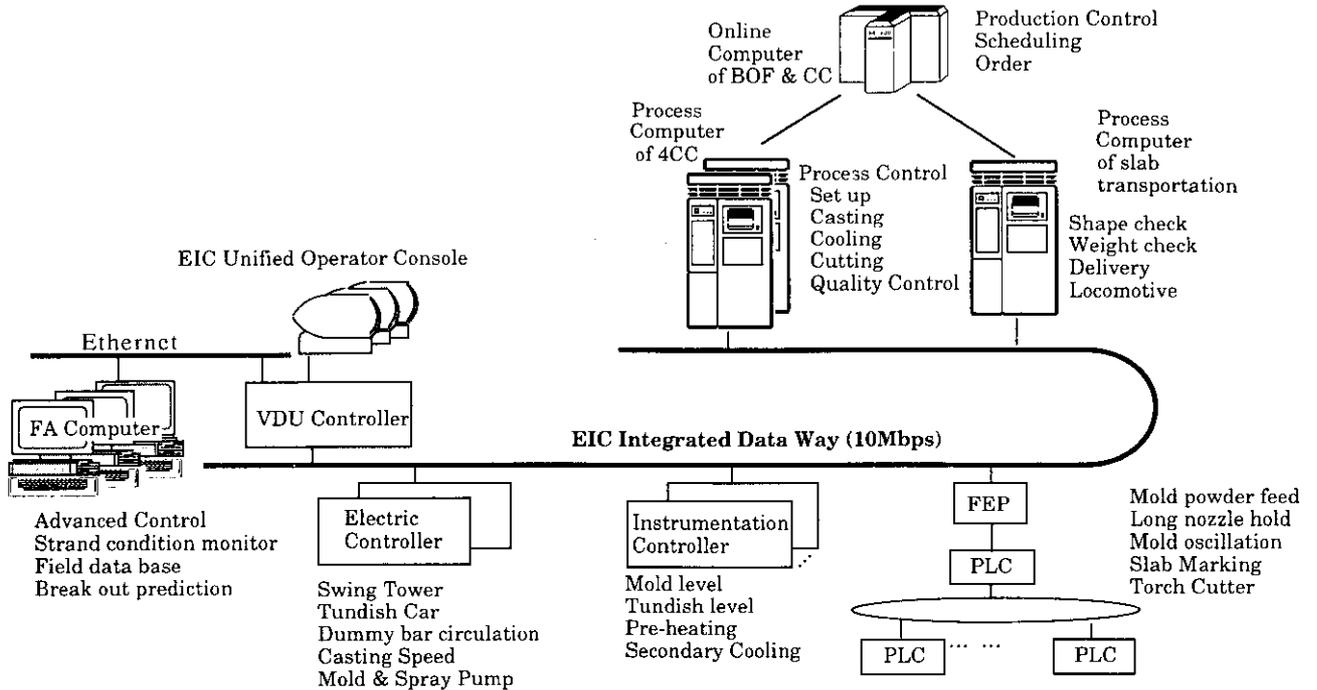


Fig. 1 System configuration of Mizushima 4CC

Table 1 Features of EIC unified system and control functions

| Features  | Means of Accomplishment   | Accomplished Control Functions  |
|---|---|---|
| Higher functionality and higher performance of process computer | Unified data way makes it easier consolidation and expansion of dense high-speed data with 10 Mbps  | Process control with advanced data interface<br>Full automatic casting, Double slab cutter,<br>Direct hot charge rolling, Production order modification,<br>Accurate quality control and judgment<br>Advanced engineering support<br>Real time process data analysis through PC network |
| Continuous caster data base                                     | Realtime plant data base accessible from every controller<br>All necessary data and information, such as field signals and production order, are provided | Accurate tracking such as casting length and slab transfer<br>Flexible production order control<br>Efficient and reliable back up system for emergency such as system down  |
| Optimum plant operation   | Operation through single window unified human machine interface<br>Sophisticated human-machine interface  | Reduction in VDT number<br>Five units for cast, cut and transportation<br>Virtual maintenance with network condition monitoring system  |
| Cost reduction  | Simple system configuration to the whole of a large plant   | Reduction in interface hardware and software<br>Reduction in process time<br>Improved engineering efficiency, organizational streamlining, unification of concepts, total system balance  |

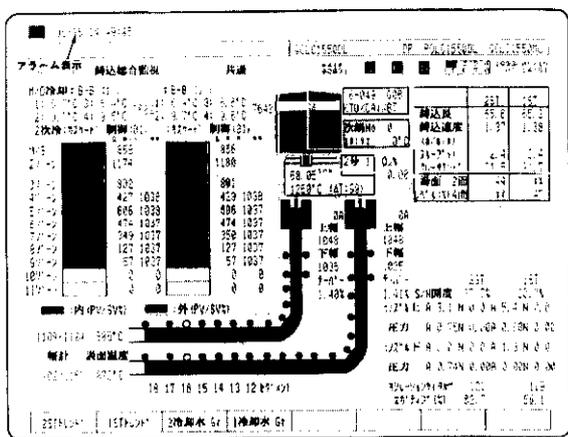


Fig. 2 Example of integrated EIC display

すいシステムであること、2) 統合操業データベースを構築したこと、3) HMIの統合、4) 制御装置間インタフェース点数の激減の4点であり、その詳細をTable 1にまとめる。

特にHMIに関しては、CRTタッチオペレーションを基軸とし、E、I、C機種間差異の束縛から開放され、真にオペレータの側に立ったプラント最適オペレーションを実現した。

操業画面の一例をFig. 2に示す。この画面は連鑄操業の基本画面でありEICそれぞれの情報が融合表示されている。計装関係は、品質にもっとも密接に関係する冷却水の制御状況を左半面にバググラフの形で表示し、中央は電気ピンチロール制御、トラッキング情報が、中央左上にはP/Cからの製造命令情報である。この画面を基本とし、操業の各局面で必要な画面は、その都度、展開される仕組みになっている。オペレーターはE、I、Cを全く意識すること無く、一つの画面で操作、監視が可能である。レスポンスは1~2sと速い。

### 2.2 千葉マルチベンダEIシステム

千葉4連鑄の主要設計課題は、①高効率操業と小ロット鑄造への

対応 ②高品質と非正常レス鑄造 ③製造コストの削減 ④自動化、省力化、であった。また、千葉製鋼工場は、水島に比べ上下工程がシンプルであり、工場間工程調整を行う、いわゆるO/Cに対応する計算機を配していない<sup>5,6)</sup>。

そこで上記課題から設計方針を次のように定め、マルチベンダEIシステムの構築にいたった。

- (1) 製鋼、連鑄工場は、工場間スケジュールを実行調整しながらP/C操業を行うので、命令管理と品質管理に特にB/Cとの親和性が求められる。操作性の面でも、端末を統合し台数を削減することが大切である。
- (2) バッチ処理的機能が多いB/C、P/Cに対して、電気、計装制御系は連続高速制御性が必要で、規模も均衡している。EIを統合して、情報処理の高速、簡略化、端末操作の一元化、を行えば効果が大きい。

端末に関しては、P/C端末を基幹LANを介しB/Cとも接続した。従来の専用端末を廃し、P/C上からB/C画面表示、操作を可能として端末の融合をはかった。

また、千葉製鉄所は、今回、転炉、VOD新鋭設備一式からなる第4製鋼工場をあわせて建設した<sup>7)</sup>。両工場のP/Cに同型機種を採用して、B/CおよびP/C階層で、システム設計を統一し、開発効率、信頼性、保全性の面で大きな効果をあげた。

全体制御システム構成をFig. 3に示す。特徴は、①製鉄製鋼地区のほぼ全P/Cを接続する大規模なFDDI基幹LAN ②ブロードキャスト通信により、優れた開発性と高い信頼性を両立した二重系構成のP/Cハードウェア ③PLC及びDCS間でのバス情報共有化、端末共有化 ④基幹LANへのEthernet接続でオープン化した専用制御用FA計算機群 ⑤末端制御シーケンサのネットワーク統合化 ⑥EI階層での制御パラメータ保持と、EI、C間G/W機能を持つ専用計算機APS (Application Station) ⑦操業情報を収集保存しているプロセスデータサーバシステムなどである。これらの詳細をTable 2にまとめる。

制御系と情報系が明確に分離され、HMIの点からも、PLC、DCS、下位シーケンサを含む「制御系」統合と、B/C、P/Cの「情報系」統合、が達成された。基幹LAN上の任意の計算機から、EI

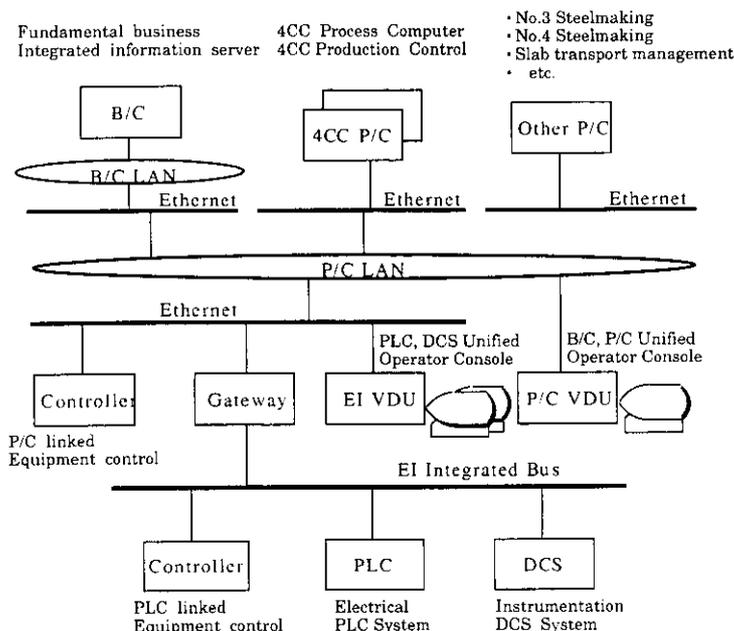


Fig. 3 System configuration of Chiba 4CC

Table 2 Main function of Chiba 4CC P/C automatic control system

| Heading                                | Function   |
|--|--|
| Preset control                         | Setting block of pattern and parameter data to PLC, DCS at previous charge casting start timing<br>・ Cooling pattern selection<br>・ Mold oscillation pattern selection<br>・ EMS pattern selection<br>・ Bubbling gas selection<br>・ Mold width change parameter selection |
| Event scheduling                       | Setting individual slab control data to PLC, DCS at particular production timing<br>・ Mold width change control<br>・ Casting speed control<br>・ Slab cut length setting<br>・ Slab delivery control   |
| Manufacture standard table maintenance | Pattern table of manufacture standard maintenance<br>Control parameter maintenance   |

情報とサーバシステムの時系列操業データにも随時アクセスが可能となり、情報のオープン化もあわせて実現した。

### 3 P/C 機能を駆使した制御

以上述べたように制御システム上の違いはあるが、両製鉄所ともP/C機能を最大限発揮しやすい構成となっている。これにより実現可能となったP/C制御機能の一部を紹介する。

#### 3.1 DHCR 安定操業を可能にした水島P/Cシステム

連鑄機で鑄造されたスラブを高温のまま高速台車で加熱がまだ移送し直接加熱炉へ装入するDHCRでは、熱延の圧延スケジュールと連鑄の操業が密接に結び付く。操業変動が互いに大きな影響を及ぼすため、P/Cには高度な制御機能、スケジュール管理機能が要求される。ひとたび鑄片の供給ピッチが乱れれば、熱延工場材欠という最悪の事態も引き起こしかねない。したがってP/Cは、鑄片の品質

に係わる制御、品質保証はいうにおよばず、操業異常発生時の手入れ付加処理、特急材の割り込み処理等によるスケジュール変更、加熱炉抽出ピッチの変動に対する追従制御など、両工場の操業を滑らかに繋ぐ鑄込切替スケジュールを立案し実行していかなければならない。

250tの溶鋼から向先、幅、長さの違うスラブを広幅から狭幅へと順序良く鑄造しなければならない4連鑄工場の制御システムは、P/Cが下位制御システムのデータを自由に収集できるEICシステムを採用し、P/Cシステムは4台のCPUで連鑄系、搬出系、開発系およびCRT画面の制御を行う仕組みとした。Fig. 4は連鑄熱延間の線路を中心に据えたDHCR物流図である。以下に主なソフトウェアの機能をDHCRとの関連を軸として示す。

- (1) 鑄造命令管理：O/Cから命令を受信し、その進捗管理を行う。特急材（お客様からの納期が短いもの）の格落ち救済のための命令振替対象を、溶鋼部に対する予定スラブに加え、切断前の鑄片部に拡張したのが特徴の一つである。
- (2) 鑄込調整制御：未注入溶鋼の鋼片割付結果を元に、鑄込スケジュールを立案しオートストップ、オートスタート、幅変更、鑄込速度等の設定制御を行う。幅変更中のテーパスラブもDHCRの対象とするため幅変更開始点終了点テーパ量の制御精度を向上させた。
- (3) 鑄片トラッキング/品質判定：鑄込スタートあるいは鍋交換（チャージの継目）などの非定常部、幅変更開始終了位置等をトラッキングしながら、各種プロセスデータを元に鑄片の品質を判定し、異常の場合は発生点を含む範囲を決定、手入れの要否程度等の処置決定を行う。品質判定精度が悪いと大量不具合が発生する恐れがあるため、トラッキングの精度を連鑄機末端、モールドメニスカスから45mのところまで50mm以下と極限まで高め、品質判定項目の大部分を自動化した。その結果従来困難であった幅変更中の強テーパスラブの直送化も可能になった。
- (4) 切断制御：鋼片命令を未切断の鑄片及び次チャージの溶鋼部まで割付け、切断予定鋼片の長さをトーチに設定する。鋼片製造命令を最適な形で実行するため、おのおののスラブの重量と長さの許容範囲内で最も余剰の少ない切断パターンを計算する。非定常部及び品質異常部では程度に応じて充当振替等を実施し、その前後では鋼片を格落ちさせないよう採取順の変更、長

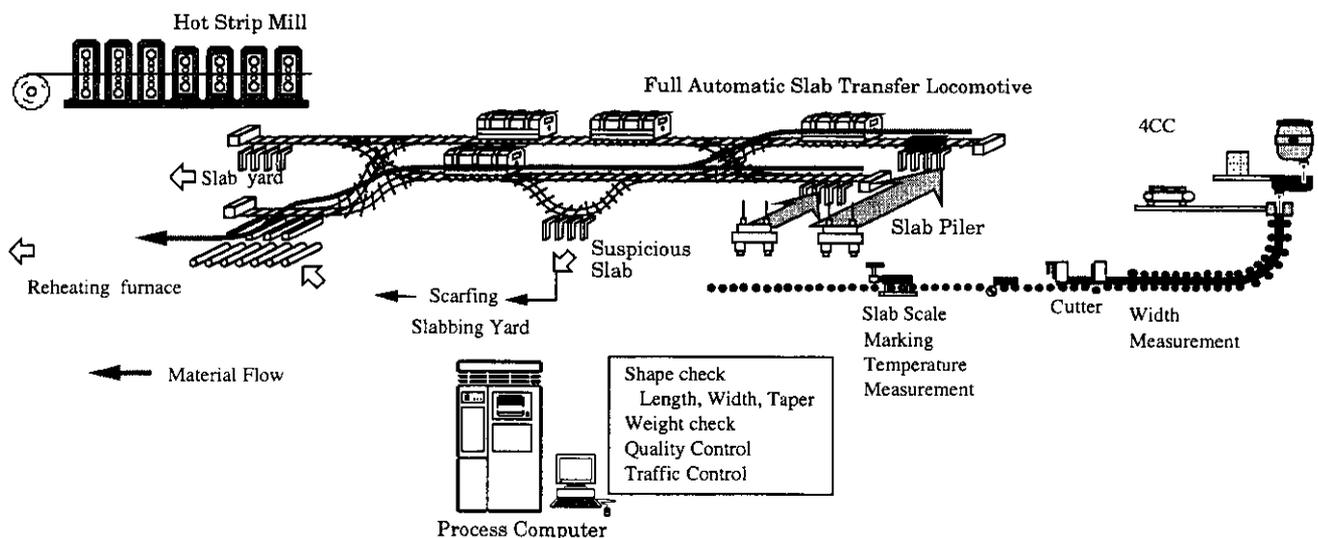


Fig. 4 Process flow and control for direct hot charge rolling

さの変更等を行う。ストランド間の鑄造速度が異なりスラブの切断順序が圧延順序と齟齬を来たした場合は命令を振り替える機能を有している。幅変更テーパを有する鋼片はDHCRを堅持するため重量保証優先ロジックとしている。

- (5) 搬出制御：切断後のスラブを自動でテーブル搬送、ダレ取り、秤量、マーキングを行い、加熱炉直送、ヤードで手入れなど向先を決定し、パイラーで払出、熱延直結台車で次工程へ搬送する。通常は一枚ずつ搬送するが、鑄造と圧延のピッチが合わなくなった時には二枚搬送で調整する。

### 3.2 千葉4連鑄P/C自動操業

#### 3.2.1 設定モードと操作モードの明確な分離

「情報系」の統合と「制御系」の統合を実現するために、P/Cからの設定をプリセット型として、制御の開始終了タイミングをPLC、DCS側で管理することで、EIでの自動制御の独立性を高めた。P/Cの自動設定に関する機能は、①チャージを単位として、プリセット的なパターン設定主体のもの、②スラブ単位あるいはイベント単位に随時設定されるもの、③設定制御で参照するパターンテーブル、操業パラメータの管理保守機能、の3種類に大別される。P/CからPLC、DCSに設定されるデータ数は、1チャージスラブ10枚として2000を超える。

#### 3.2.2 幅変更、切断、鑄込速度、2次冷却制御、搬出の連携

切断制御を中心にして、幅変更制御と鑄込速度の設定制御が連動されており、切断実績にしたがい、幅変更開始点の見直し、搬出命令の組み替えが自動で行われる。鑄造が開始されれば、オペレータノータッチのP/C全自動操業が実行される。

鑄込の先頭と末尾の鑄片には、クロップ、廃片と称する、製品にできない切り捨て部分がある。先頭と末尾以外の連々操業中間位置の鑄片であっても、チャージの境界点や、操業時に何らかの異常が発生した部位に相当する鑄片は、品質上その他定常鑄込部位とは区別して管理する必要がある。これは、ある長さを切り捨てたり、あるいは定常鑄込部鑄片とは別グレードのスラブとして、管理され、加工される。品質以外でも、例えばモールド幅変更部に相当する、形状が矩形でない鑄片も、搬送、圧延の観点から別管理を要するものがある。これら定常鑄込部以外の部位を、非定常部と称し、この部位を含むスラブを一括して、非定常スラブと言う。

これら非定常部は、レードル、タンディッシュ内の溶鋼状態から、モールド注入、機内での冷却、切断に至るまで、鑄造DCSで高精度にトラッキングされている。非定常部の機内移動に同期した2次冷却制御設定の順次切換、鑄込速度急変部の適正冷却補正等も連携して行われる。これにより、中央操作室に統合された少人数のオペレータで、効率的かつ安定した生産と、品質の安定を実現している。

#### 3.2.3 品質管理の強化

品質管理については、スラブ単位で判定用管理値設定と、その検証が行われている。このため、操業データをサーバシステムへ記録し、操業データ収集の時刻タイミングの違いを、鑄込み全長への長さへ補正して展開している。スラブ切断時に該当スラブの全長に対して対応する操業データを決定して、スラブ単位での品質判定用閾値と各種実績プロセスデータ値の対照を行い、高精度の品質保証を実現している。これは先に述べた非定常部のトラッキングと連動して行われ、たとえばチャージの溶鋼量変動して、連々操業継続中に命令チャージと実際の溶鋼が乖離しても、このスラブ単位の品質判定は緻密に実施され、スラブ品質に対する判定精度は保証される。

#### 3.2.4 操業データ管理及び操業実験への対応機能

普通鋼でも同様だが、ステンレス鋼、特殊鋼では特に、たゆまぬ操業改善努力が継続され、新規規格鋼種の開発等が進められている。これら操業改善を助けるために、P/C上の基準テーブル、パラメータの管理機能に操業条件の変更テストなどの操業実験支援機能を組み込んでいる。実験ナンバー等で実験チャージの特定を行い、事前に該当実験ナンバーに対応する基準テーブル、パラメータをP/C上に登録しておけば、通常の操業パラメータの中の該当部分のみが、実験パラメータに自動的に差し替えられる。この差し替えはB/Cからの製鋼命令受信タイミングで行われるため、正しく実験用パラメータが格納されたことを、鑄造開始数時間以前に、時間的余裕をもって確認することができる。

操業実験の結果、改善効果が確認されれば、操業部門が即時に正式な基準として自分達で、登録運用を開始できる。

## 4 高度フィールド制御機能

高度なフィールド制御の事例として、制御理論を駆使したモールドレベル制御とプラズマトーチ制御を紹介する。

### 4.1 制御理論によるモールドレベル制御

連鑄機のみさまざまな制御系のなかで、モールド湯面レベル制御系は鑄片の品質を安定させるうえで最も重要である。高温の溶鋼注入量をスライディングノズルで調整するためさまざまな外乱要素があり、古典的なPID制御系のみでは必要とされる制御性能を達成できなかった。そこで当社の千葉、水島両製鉄所はいままでもなく鉄鋼各社においても、Table 3に示すような種々のアドバンスト制御方式が試行されてきた。注目すべきは、同じスラブ連鑄機でさえも、各社各製鉄所各様の対応を行なっていることで、外乱の種類が多岐にわたり連鑄機の機械的あるいは操業的特性に支配されていることがうかがえる。

Table 3 Disturbance around mold level control

| Disturbance  | Cause of the Disturbance   | Countermeasure in Control Technic  |
|--|--|--|
| Change of Process Gain<br>(Perturbation of flow coefficient) | Immersion Nozzle Erosion<br>Immersion Nozzle Clog<br>Injecting Argon Gas         | (1) Adaptive Control <sup>9,10</sup><br>Least mean square, Most likelihood method, Neural network<br>(2) Expert System <sup>11</sup><br>(3) Optimum Control, Gain Scheduling |
| Unexpected (sudden) Disturbance                              | Solidification and solution of steel attached to the inner surface of the nozzle | (4) Observer <sup>12</sup>   |
| Disturbance with specific Frequency Band                     | Bulging (sinusoidal disturbance 10~20 s)<br>Surface Wave (2~3 s)                 | (5) H-Infinity Control <sup>13</sup>   |

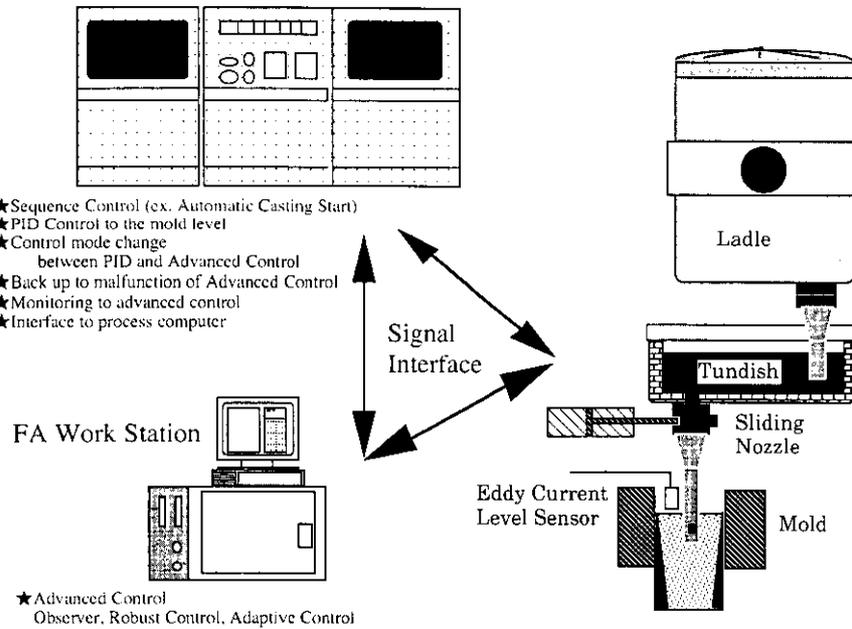


Fig. 5 Control function sharing between DCS and FA Work Station

水島4連鑄には、最大2.5 m/minの高速鑄造、DHCR操業用の高温鑄片の製造など既存連鑄機とは異なった機能が具備されており、レベル制御系に未経験の障害をもたらす可能性があった。そこで、設計に当たっては、さまざまな方式の制御理論の適用がしやすい構成とした。Fig. 5にレベル制御系のシステム機能分担を示す。基本となるPID制御系をEIC統合システムの中に作り込み、インタロック、安全処置は、すべてこのなかで完結する形を取った。ロバスト制御、オブザーバ制御、適応制御等、アドバンスド制御機能は、別置きFA計算機で実行するが、演算結果はEICコントローラを介して出力する。各ロジックの切り替え、FA計算機異常時のバックアップ処理は、すべてEIC制御装置側が主導権を取るようにした。さらに開発の便宜を考え、EICコントローラでPID制御しながら、同時にFA計算機で新ロジックを走らせ、モニターで両方の出力を比較できるようにした。ロジック変更、パラメータ調整など制御理論応用のあらゆる調整局面で、実操業での出力の妥当性を目で確認できるようになった。

新設備スタートアップの一般事例にたがわずレベル制御に関しても立ち上げの過程でいろいろな問題が発生したが、このシステムを駆使することにより迅速に解決できた。最も困難な問題は鍋交換部の湯面変動であった。連々操業のチャージの継目ではどうしてもタンディッシュのヘッドが下がる。従来の連鑄機ではこのタンディッシュのヘッドの変化をフィードフォワード補償してやれば事足りていた。ところが4連鑄では立ち上げ当初Fig. 6に示すような湯面異常が発生した。種々解析を行なった結果、ノズル閉塞防止と介在物浮上の目的で溶鋼中に吹き込んでいる上ノズルガスの挙動が主原因であることが分かった。すなわちスライディングノズル直後の急激な減圧で膨張するガスがノズルの流量係数を大きく変化させていた。

この対策としてFig. 7に示すようなSN開度実績値とレベル信号から流量外乱を推定する外乱オブザーバ制御を適用した。結果をFig. 8に示す。図で、鍋交換ばかりでなく定常時の挙動でもオブザーバ制御では目標レベルに偏差なく制御できていることがわかる。したがって、レベル変動抑制という観点からは、定常部でも外乱オブザー

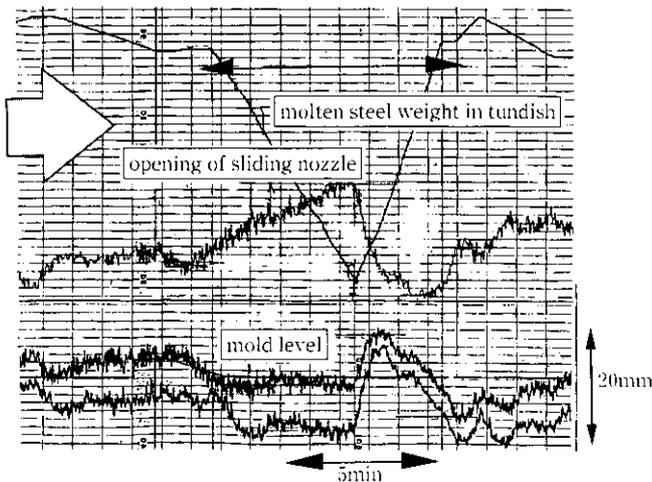


Fig. 6 Level control problem at change ladles

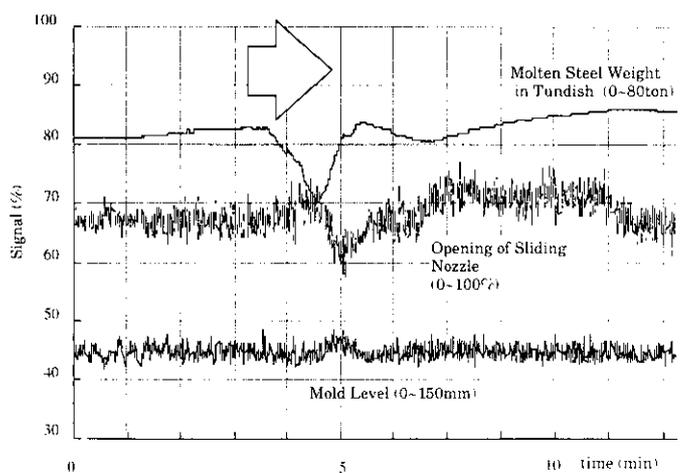


Fig. 8 Result by advanced controller/observer

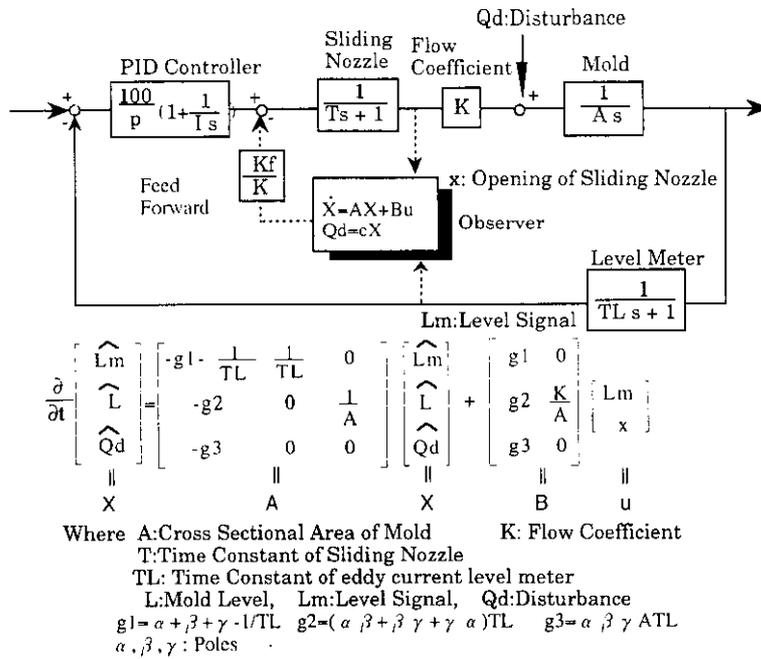


Fig. 7 Block diagram of advanced controller in case of observer

バを使用することが望ましい。しかし、オブザーバ制御ではPID制御の時に比べてスライディングノズルが激しく動くため耐火物の磨耗の問題や、高速鑄造時湯面の波立ちが発生した際にレベルが不安定になる可能性がある。そこで定常部に対してはロバスト制御の適用を試みた。

Fig. 9 にロバスト制御結果とオブザーバ制御, PID制御との比較を示す。このグラフで振れ幅は100sごとの最大レベル偏差であり, SN移動量は1秒ごとのスライディングノズルの移動量の平均値である。ロバスト制御はスライディングノズルの平均速度がPID制御とはほぼ同程度でかつレベル制御性能がよいことが分かる。

以上のように, 簡便に新しい制御理論の試行を行うことができるため, レベル制御精度の向上に寄与している。また, 千葉4連鑄でも同等の制御システムが導入されている。

#### 4.2 ダブルトーチプラズマ加熱制御

千葉4連鑄は特殊鋼生産機であり, 溶鋼温度を安定させ長時間鑄造を行う必要があり, 鑄造中の溶鋼温度低下によるノズル詰まりやスラブ品質上の悪影響を防止するため, タンディッシュ溶鋼加熱装置として直流ツイン型のプラズマヒーターを設置した<sup>14)</sup>。

プラズマ着火運転のメカニズムは以下のとおりである。

- ①陰極, 陽極のノズル-電極間に高周波電圧を印加し, それぞれの電極にパイロットアークを発生させる。
- ②パイロットアークと溶鋼面との接触を検出し, メイン回路に切替, 高出力のプラズマアークを陰極-陽極間で発生させる。
- ③溶鋼は, アークによる輻射熱と溶鋼内を流れる電流のジュール熱より加熱される。

プラズマヒーターの制御システムを構築する上で, 特に考慮すべき点は, ①自動運転, 遠隔操作化(中央操作室での遠隔運転が基本)による省力化, と②非常時対策の徹底(停電時のトーチ緊急回避, トーチ先端と溶鋼接触の回避など)である。

制御機能の中で最も重要な項目は着火制御である。プラズマヒーターの着火性に影響する主因子は, タンディッシュ内の酸素濃度お

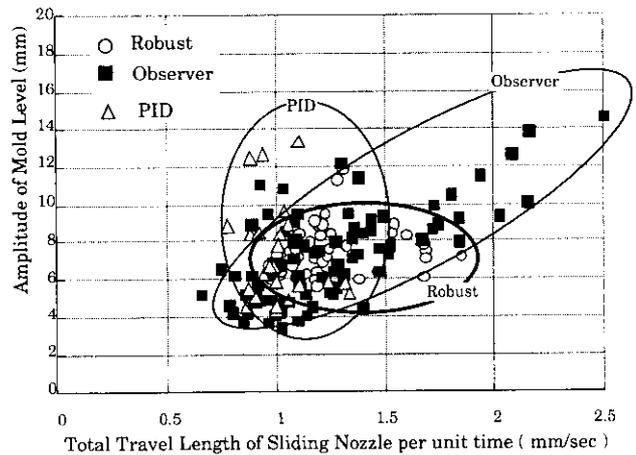


Fig. 9 Result by robust controller

よび溶鋼湯面とトーチ先端間のギャップである。制御系では特に後者に注目し, T/D重量より算出される溶鋼湯面とプラズマトーチ台座との距離を, タンディッシュごとに補正することで, 高さ制御の安定化を実現した。その結果, 着火成功率は100%, 電極寿命も安定して100hを達成している。

#### 5 結 言

水島千葉両製鉄所の連鑄機に導入された最新制御技術のなかから, システム技術としてEIC統合とマルチベンダEIを, 特徴的なP/C制御としてDHCRとノータッチ全自動を, フィールド制御として制御理論によるモールドレベル制御とダブルトーチプラズマ加熱制御を, 紹介した。いずれもコンピュータネットワーク技術に代表されるマイクロエレクトロニクス技術とフィールド制御技術の結実であり, 連鑄機の高品質安定操業に寄与している。

## 参 考 文 献

- 1) 久富木行治, 大坪徳典, 村井芳夫, 渡辺邦夫, 佐藤勝美: 材料とプロセス, 3(1990), 1373
- 2) 下澤栄一, 磯崎成一, 天川一彦, 平 正道, 浜野隆男, 白川芳幸: 材料とプロセス, 8(1995), 315
- 3) 山根 明, 浦上雅彦: 日立評論, 75(1993), 61-66
- 4) M. Urakami and A. Yamane: "Computer Integrated Control System of a new Slab Caster in the Mizushima Works", ETFA '93
- 5) 船谷幹夫, 竹本茂男, 神尾善夫: 川崎製鉄技報, 27(1995)2, 90-95
- 6) 船谷幹夫, 菅谷照英, 蛸島武誠: 川崎製鉄技報, 27(1995)2, 67-73
- 7) 鍋島祐樹, 田岡啓造, 山田純夫, 浜田俊二, 櫻井美弦, 増田康男: 材料とプロセス, 8(1995)1, 1139
- 8) 廣田哲仁, 鍋島祐樹, 鷺尾 勝, 山田純夫, 藤原義治, 増田康男: 材料とプロセス, 8(1995)1, 1140
- 9) 黒川哲明, 加藤祐一, 近藤琢巳: "連続鑄造機モールドレベル制御への適応制御導入結果", SICE, 実システムにおける制御理論応用シンポジウム, 1991, 39-42
- 10) A. Yamane, K. Akimoto, M. Maruya, and T. Iwamura: "A method of system identification and adaptive control on regulation with stochastic disturbance and observation noise", The 29th IEEE Conf. on Decision and Control(1990)
- 11) 笹部幸博, 久保多貞夫, 小山朝良, 三木裕貴: 材料とプロセス, 2(1989), 388-391
- 12) 青木秀未, 加地孝行, 浅野一哉, 若槻裕司, 山根 明: "外乱オブザーバを用いた連鑄モールド内溶鋼レベル制御", 平成5年電気学会産業応用部門全国大会(1993)
- 13) 黒川哲明, 加藤祐一, 近藤琢巳: "連続鑄造機モールドレベル制御へのH $\infty$ 制御理論適用", 第2回ロバスト制御研究会資料, 109-114, 1991
- 14) 杉澤元達, 小倉 滋, 荒谷 誠: 川崎製鉄技報, 28(1996)1, 14