
高温鋼片用ヤード・クレーンの無人運転

Uumanned Operation of Yard Crane for Hot Steel Slabs

伊藤 進 (Susumu Ito) 塚本 正 (Tadashi Tsukamoto) 川村 幹夫 (Mikio Kawamura) 佐藤 国広 (Kunihiro Sato) 松山 昭 (Akira Matsuyama) 石井 清生 (Sugao Ishii)

要旨：

冷延鋼板の板厚寸法精度は、制御技術の進歩とともに向上してきた。しかしながら、従来の圧延機のロール速度制御装置（アナログレオナード制御装置）では、アナログ演算アンプの非線形性、温度ドリフトなどの問題があり、特に低速域で速度制御精度、揃速性の確保が困難であった。このために、通板、尻抜け時や圧延速度の加速、減速時の板厚制御性に問題があった。そこで、水島製鉄所冷間5タンデムミルでは世界で初めて主機の直流サイリスタレオナード装置と、速度主幹制御装置の全デジタル化を実施した。その結果、通板低速域での向上、揃速性の向上などにより板厚制御性と生産性に著しい効果があった。

Synopsis：

The gage accuracy of strip coil in cold tandem mills has undergone much improvement with the evolution of control techniques. In the conventional analog speed control systems, however, rolling speed (specially at low-speed threading) at each stand was unable to be controlled accurately and cooperatively because of nonlinearity, thermal drift, etc., of transistor operated amplifiers. These phenomenon had harmful effects on gage control in coil threading and tailing-out, and/or accelerating or decelerating of rolling speed. Therefore, the all digital thyristor Leonard and the all digital speed master control system have been employed at Mizushima's 5-stand tandem cold mill. The new speed control system has produced remarkable results in gage control and improvement in productivity.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

伊藤 進* 塚本 正** 川村 幹夫*** 佐藤 国広**** 松山 昭***** 石井 清生*****

Uumanned Operation of Yard Crane for Hot Steel Slabs

Susumu Ito, Tadashi Tsukamoto, Mikio Kawamura, Kunihiro Sato, Akira Matsuyama, Sugao Ishii

要旨

千葉製鉄所第3連続鋳造工場スラブヤード内の、天井クレーン2基の完全無人運転化に成功した。本機は、複数の高温鋼片を同時に処理でき、地盤の不等沈下や鋼片の反り等、位置情報に対する不確定外乱要因に対しても、自動的に対処できる。一方、地上の鋼片自動搬送設備とも連動しており、ヤード内の複雑な物流の指示と情報管理との両機能を、同一計算機で処理できる。クレーンの無人運転を含めた本ヤード内作業の完全自動化により、省力、物流効率の向上、異材混入の防止、高温雰囲気下での作業廃止等、多大な効果が得られた。

Synopsis:

Fully computer-guided and unmanned slab yard cranes for handling hot steel slab have been developed at No. 3 continuous casting shop in Chiba Works of Kawasaki Steel Corporation. This labor-saving and automated practice came on stream in August, 1981, and these cranes are supervised by a single operator seated in the pulpit on the floor. All painful manual work such as wiring and identification of hot slabs have been entirely eliminated.

This computerized system, including ground equipments, contributes greatly to labor saving and streamlining of works at the slab yard.

Characteristics of these cranes are as follows:

- (1) Plural number of hot slabs can be simultaneously handled.
- (2) For reliable slab handling, a new control system has been developed to cope with unexpected land subsidence and thermal deformation of slab, etc.
- (3) Supervision regarding the much complicated slab-flow system and information distribution can be simultaneously performed by computer.

1. 緒言

スラブヤードは、製鉄所の中でも最も自動化、省力化の立ち遅れた工場の一つであり、スラブ玉掛け、現物確認、および情報処理等に多大な労力と時間を要していた。一方、近年、省エネルギー対策の一環として、製鋼工場で鋳造されたスラブを高温のまま次工程の加熱炉に迅速に装入する、いわゆる温片装入が強力に推進されており、このため、スラブヤードを合理化し、物流の効率化を図る必要性が急速に高まってきた。千葉製鉄所第3連続鋳造工場も温片装入を指向した工場であるが、ヤード内の物流指示、および情報管理をすべて計算機で処理するとともに、この種のクレーンとしては世界で初めて、完全無人運転に成功した。本設備の主な特徴としては、①複数高温鋼片の同時ハンドリング、②鋼片の位置情報に関する外乱誤差への自動対処、③地上搬送系との連動、などがあげられ、省力、物流の効率化、異材混入防止、および高温作業の廃止など、多大な効果があがっている。

2. 設備概要

2.1 スラブヤード

第3連続鋳造工場スラブヤードの平面配置図と大略のスラ

ブ・フローを Fig. 1 に、また、処理対象スラブの寸法等を Table 1 に示す。連続鋳造されたスラブは、鋳込み異常材、要切断処理材、試験スカーフ材等を除き、ストランド別、出鋼単位別に、パイラー・テーブル上で所定の枚数ずつ自動パイリングされ、パイラー・デリベリー・テーブルから自動クレーンで、発送台車またはスラブ仮置場へ直接搬出される。スラブ仮置場に置かれたスラブのうち、表面疵の除去、切断処理などが必要なものは、No.1 ローラー・テーブル・カーまたはクレーンタイプのパイラー・トラバーサー経由で精整ヤードへ送られ、手入れ完了後、No.1 または No.2 ローラー・テーブル・カー経由で、スラブヤードに自動返送される。スラブ仮置場は205箇所に地番分けしてあり、スラブヤード内に設定された原点位置からの X 座標、Y 座標の値により、各々絶対地番を与えてある。また、クレーンと連動する地上の各搬送設備にも、スラブ仮置場と同様に、絶対地番を与えた。Table 2 に、地番指定数を示す。

2.2 クレーン

本クレーンは、高温雰囲気下で連続鋳造機から一定周期で送られてくるスラブを確実に処理する必要があり、高い信頼性が要求される。クレーン技術の最近の進歩は目ざましく、設備面においては、現在の技術をほぼそのまま踏襲しても高い信頼性を確保できるが、その外乱要因となる高温雰囲気下での制御機器の誤動作を未然に防ぐため、防熱対策には万全を期した。また、

* 千葉製鉄所製鋼部製鋼技術室主任 (掛長)

*** 千葉製鉄所環境安全部安全管理室

***** 千葉製鉄所システム部主任 (掛長)

(昭和57年8月27日原稿受付)

** 千葉製鉄所製鋼部起重機掛

**** 本社技術本部設備技術部主任 (課長補)

***** 技術研究所企画部試験課課長

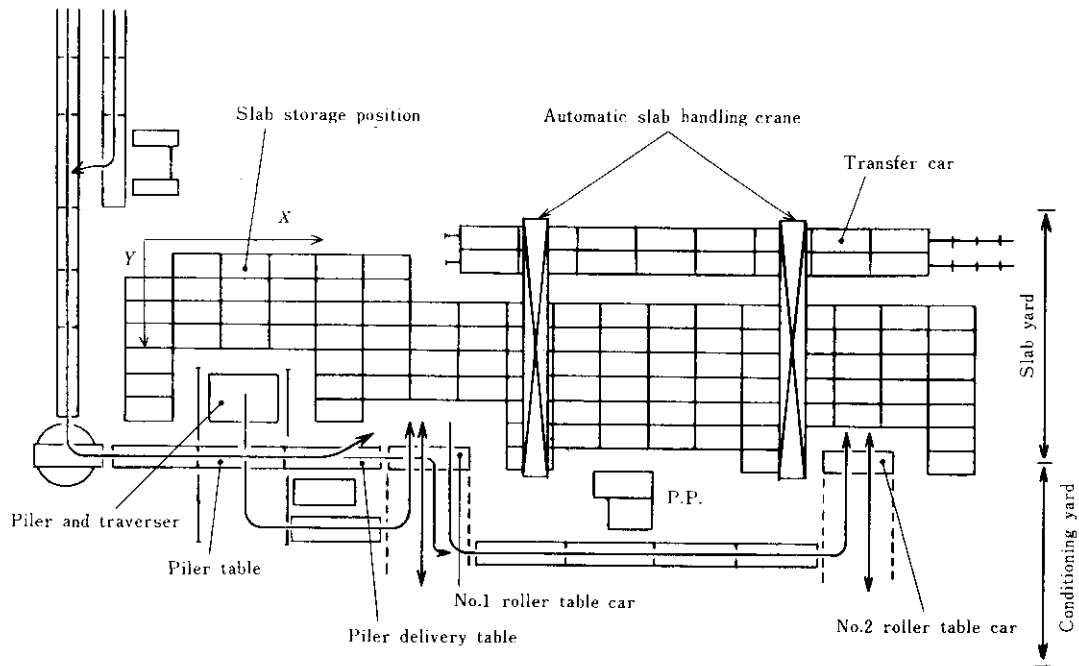


Fig. 1 General view of slab yard and main slab flow

Table 1 Specification of slabs to be handled

Thickness	180, 230, 260mm
Width	700~1 900mm
Length	5 000~12 000mm
Weight	7~47t
Temperature	Max.1 100℃

Table 2 Locations of slab yard

Location	Number of locations
Roller table car	2
Storage position	205
Roller table	1
Transfer car	16

本機は吊荷の振動を最小限に抑制するため、昇降、横行、および旋回装置とクラブフレームを、全て剛体結合としたガイドフレーム一体構造とし、その四隅に設けたレール内を、リフター直結のガイドローラー付き昇降フレームが昇格する構造とした。本機の全体図を Fig. 2 に、また、主仕様を Table 3 に示す。

3. クレーンの制御方式

3.1 速度制御

本機は速度制御方式を Table 4 に示す。昇降、横行および走行には巻線型モーターを、また、クラブ旋回およびスラブ・リフター開閉用には籠型モーターを使用した。

3.2 位置検出と位置決め制御

3.2.1 昇 降

スラブつかみ位置は、スラブ厚み、つかみ枚数および該当す

る地番のスラブ・パイリング枚数等、与えられた情報により一義的に決まる要件のほか、熱変形によるスラブの反りや、埋立地であるための地盤不等沈下など、微妙に変動する要因をも加味して制御しないと、スラブを確実にハンドリングできない。本機に採用した位置検出器とその機能を Table 5 に示すが、特に注意を要する、スラブつかみ時やスラブ降し時の制御方法を主体に、以下に説明する。

- (1) スラブヤード床面位置からリフター爪までの垂直距離、つまり、リフター爪の絶対高さの検出は、昇降装置駆動系に直結したシンクロ・レゾルバーで行い、リフター下降時の減速位置制御、および上限まで上昇時の減速・停止位置制御用を使用している。
- (2) 最上段にパイリングされたスラブの上面からリフター爪までの垂直距離、つまりリフター爪の相対高さの検出は、Fig. 3 に示すように、スラブ・リフター内の検出棒を介して、絶対高さ

Table 3 Specification of slab handling crane

Item		
Load (tf)	Rated load	80
	Hoisting load	145
Dimension (m)	Span	35
	Lift	4
Speed (m/min)	Hoisting	8
	Traversing	40
	Traveling	100
	Slewing (rpm)	1
	Open-close (Slab lifter)	2.5

Table 4 Types of speed control

Motion	Control type	Range (%)
Lowering	DC/dynamic	15~100
Traversing	SCR/primary voltage	±3~±100
Traveling		

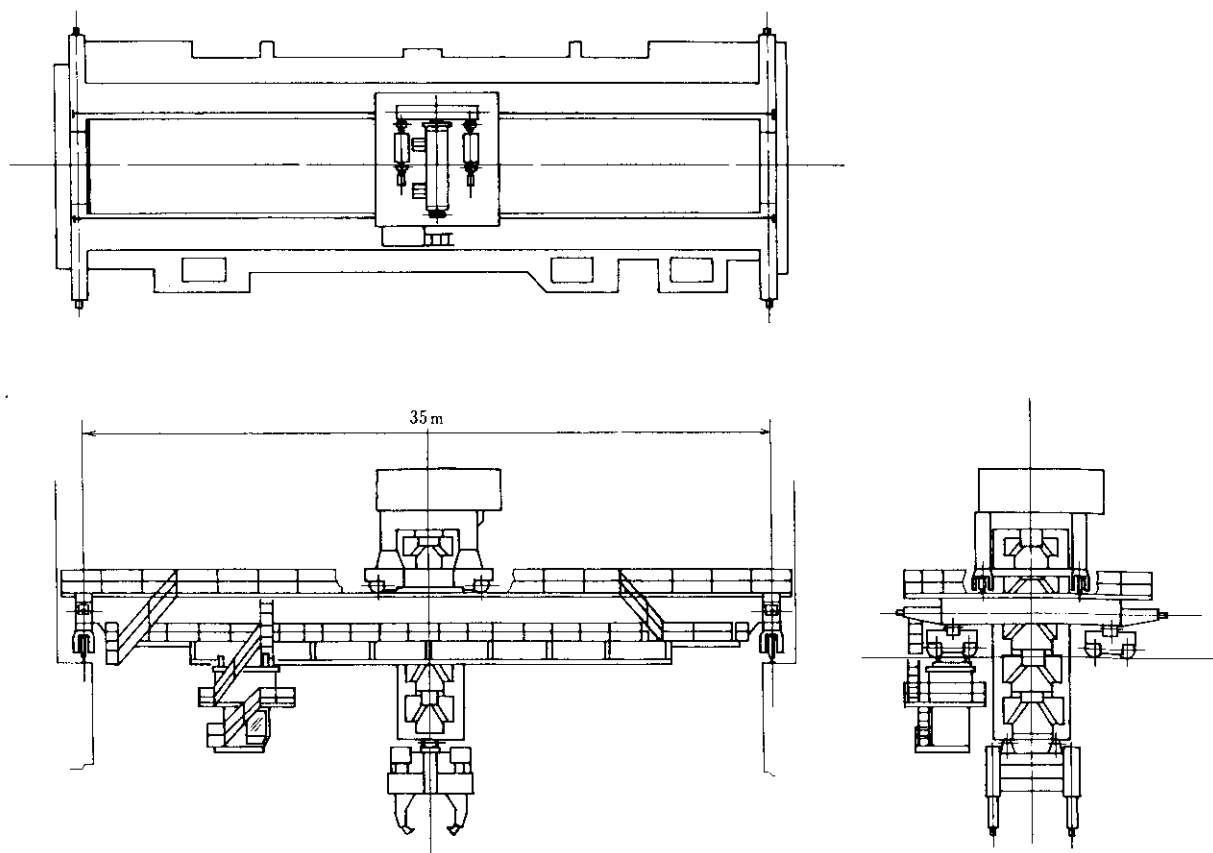


Fig. 2 Outline of automatic crane

Table 5 Function of position sensor

Load condition		No load		Loaded	
		Lowering	Raising	Lowering	Raising
Hoisting motion		Storage position			
Sensor	Location	Roller table			
	Synchro (Hoisting)	Deceleration		Stop	Deceleration
	Synchro (Slab lifter)	Stop	Deceler. & stop		Stop
		Load cell		Stop	

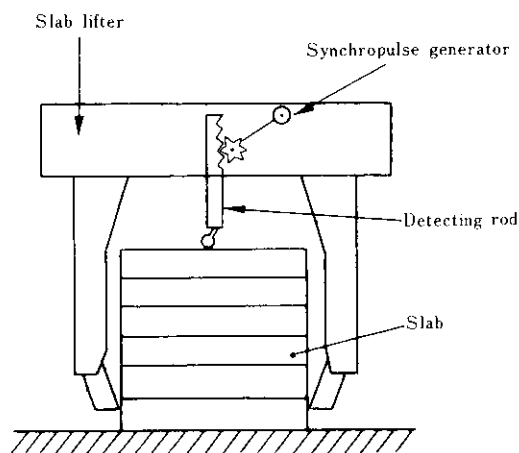


Fig. 3 Detection mechanism of upmost surface of piled slabs

の検出方法と同様、シンクロ・レゾルバーで行い、スラブつかみ時のリフター下降停止位置制御用に使用している。これは、絶対高さ制御のみでは対処できない、スラブの反りおよび地盤沈下に対処して、スラブつかみ位置を現物に合わせて修正するためのものである。

(3) クラブのシーブ・ブロック内には、吊荷荷重検出用のロードセルを組み込んである。これは、スラブの着地検出および吊荷の過荷重検出に使用し、スラブ・ハンドリングをさらに確実にしている。

(a) 着地検出

地盤沈下した地番にスラブを着地させる場合は、絶対高さ制御のみでリフターを正規の床面位置まで下降させても、実際にはスラブが着地していないため、その位置でリフターを開動作するわけにはいかない。本機ではこれに対処するため、スラブ着地時に必ずロードセルの「無負荷信号」を確認し、スラブを完全着地させる。ただし、地盤が同一地番内で不等沈下し、傾斜している場合には、スラブの一端のみが先に着地した時点でも瞬間的に「無負荷信号」が発生することがあるため、本機では、「無負荷信号」が一度発生しても再度寸動下降を行い、「無負荷信号」を繰り返し確認するようになっている。

(b) 過荷重検出

スラブ地切り後、クレーンの定格荷重 (80t) 以上の荷重がロードセルで検出された場合には、直ちにスラブを元の位置に戻し、リフターが上限まで上昇し、自動運転が停止する。

また、この吊荷荷重検出用ロードセルにより、スラブつかみ枚数もチェックできる。

3・2・2 走行

クレーン走行方向、つまり、スラブ長手方向の許容停止精度は、吊荷の偏荷重にクレーン吊具がどこまで耐えられるかによって、一義的に決まる。一般的には、シングル・フック形式の吊具では、その値は±100mm 前後であり、本クレーンのように剛体構造の吊具であれば、±300mm 程度までは許容できる。しかし、今回は地上搬送設備のスラブ停止位置見込み誤差±250mm 等も加味して、走行方向の実績停止精度を±30mm 以内に納めるように考慮した。

走行位置検出、つまり、X 軸方向の絶対位置検出は、Fig. 4 に示すように、シンクロ・レゾルバーで行うが、タッチ・ローラーとレール間のスリップや、タッチ・ローラー等の摩耗により、過大な累積誤差が生じないように、クレーンガーダー側に20mm 間隔で近接スイッチを配し、絶対位置の修正を行っている。

3・2・3 横行、旋回

横行方向、つまり、スラブ幅方向の停止精度は、パイリングされた上下のスラブ間にずれを生じさせないためにも、厳しい精度が要求される。Fig. 5 のように、±a mm ずつずれてパイリングされている状態を仮定すると、許容できる a の範囲は、リフター爪がスラブに食い込む値を片側 5 mm とすれば、下式で求められる。

$$b - 5 > 2a \quad \dots\dots\dots (1)$$

b: リフター爪先端から、リフターアーム内側までの距離
(本機の場合70mm)

(1)式から、本機では、実績停止精度を±32mm 以内に納める必要がある。ただし、これはスラブが長手方向に真直に置かれている場合に限る。例えば、Fig. 6 に示すようにスラブが斜めに置かれている場合、あるいはスラブの幅にテーパが付いている場合などには、さらに厳しい停止精度が要求される。従って本機では、横行方向の実績停止精度±15mm 以内確保を目標に、検出体としてラック・ピニオン、検出器にはシンクロ・レゾルバーを使用し、Y 軸方向の絶対位置検出を行うようにした。一方、地上搬送設備上を搬送されてきたスラブは、厳密には Fig. 6 のように、また、搬送設備のセンター・ラインからスラブ幅方向に偏心して停止していることが多い。このような状態でリフターを閉動作しても、Fig. 6 の場合では爪 B、C だけが、また、

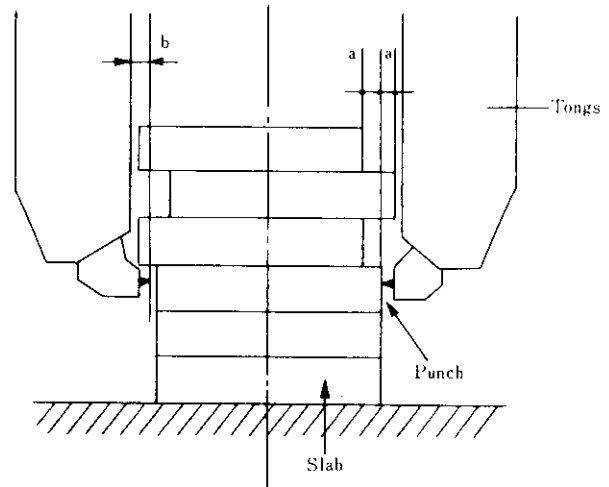


Fig. 5 Relative position of tongs to slabs

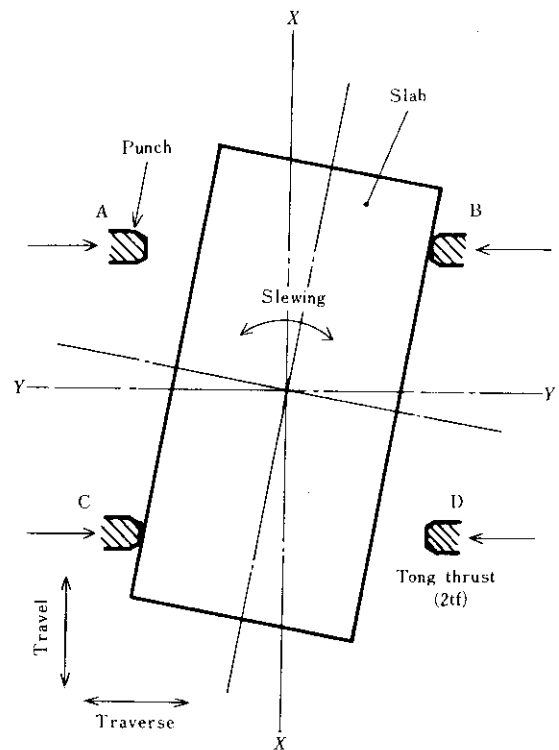


Fig. 6 Relative position of punch to slab

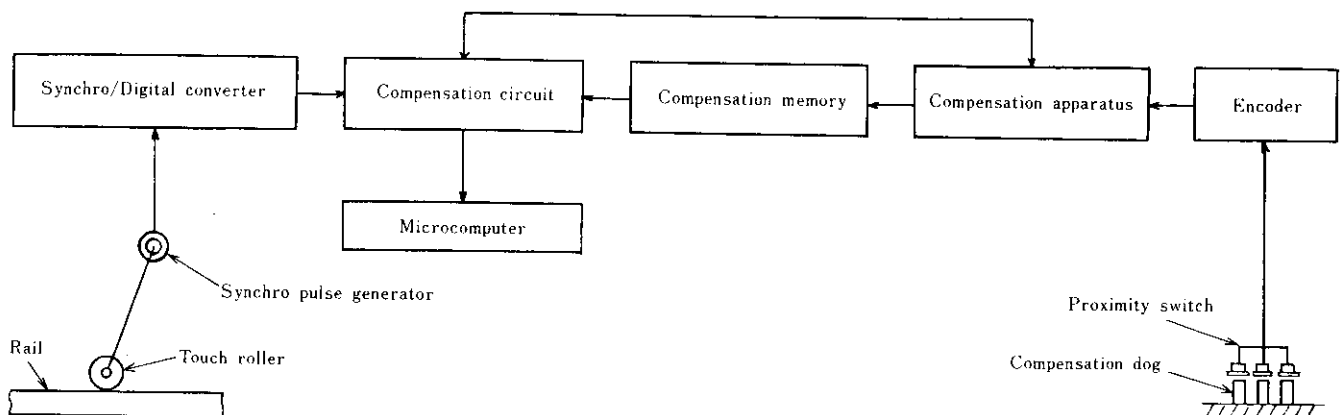


Fig. 4 Position sensor for traveling

センターラインから偏心している場合には爪A, C, または爪B, D, の一方しかスラブに接触せず, スラブが爪に押されて移動しない限り, スラブをつかめない。しかし, 通常はリフター開閉用モーターが低容量に設定してあるため, スラブが爪に押されて移動する前に, 爪がスラブから受ける反力により, リフター開閉用モーターに直結されたパウダー・クラッチが空転し始め, つかみ完了の信号が発生するため, 4個の爪がスラブに接触する前にリフターの閉動作が停止する。この対策として, 本機では, スラブつかみ時に, クラフ横行用モーターとリフター旋回用モーターの両ブレーキを同時開放する。

他の同等機による実験結果では, 両ブレーキ開放時には0.5tf以上の力が爪部に作用すれば, リフターが施回, 横行することが確認されている。本機では, この結果に基づき, 爪のスラブ押し付け力, 換言すれば, 爪がスラブから受ける最大許容反力を2.0tfに設定し, リフター開閉用モーターの容量を決定した。従って, スラブつかみ時には, リフター爪がスラブから受ける反力のみにより, リフターの旋回, 横行が可能となり, スラブの置かれている状態に合わせたリフターの自己位置修正が可能である。また, この方式の利点としては, スラブ吊り上げ後, リフターの回転角度のみを正規の位置へ修正復帰しておけば, 横行方向の絶対地番は常に制御されているので, 目的地番まで走行してスラブをバイリングしても, 上下スラブ間の幅方向のずれを最小限の値に抑制できる。

4. 計算機システム

本システムでは, スラブヤードへのスラブの受け入れから, スラブ発送までの一連の情報処理を, すべて計算機で処理できる。また, スラブヤード内仮置きスラブの配置替え入力, 手入れ完了スラブの精整ヤードからスラブヤードへの移動入力以外は, すべて計算機で自動処理できる。その結果, クレーンに対するリアルタイムな指令が可能となり, 一方, 入力ミスの激減により, 情報の精度も従来に比較して飛躍的に向上した。

今回の計算機システムは, スラブ在庫管理システムと, クレーン運転管理システムに大別される。以下にその内容について説明する。

4.1 システム構成と機能分担

今回のシステムのハード・ウェア構成は, 本システムの総合管理を行う中央計算機, クレーン群管理等を行うクレーン地上制御局, クレーンのシーケンス制御等を行うクレーン機上制御局, および地上搬送設備の制御を行うプロセス計算機, により構成されている。Fig. 7にその構成図を, また, Table 6に各機器の機能分担を示す。

4.2 在庫管理システム

スラブを移動させる前には, スラブ符号, スラブ寸法, パイ

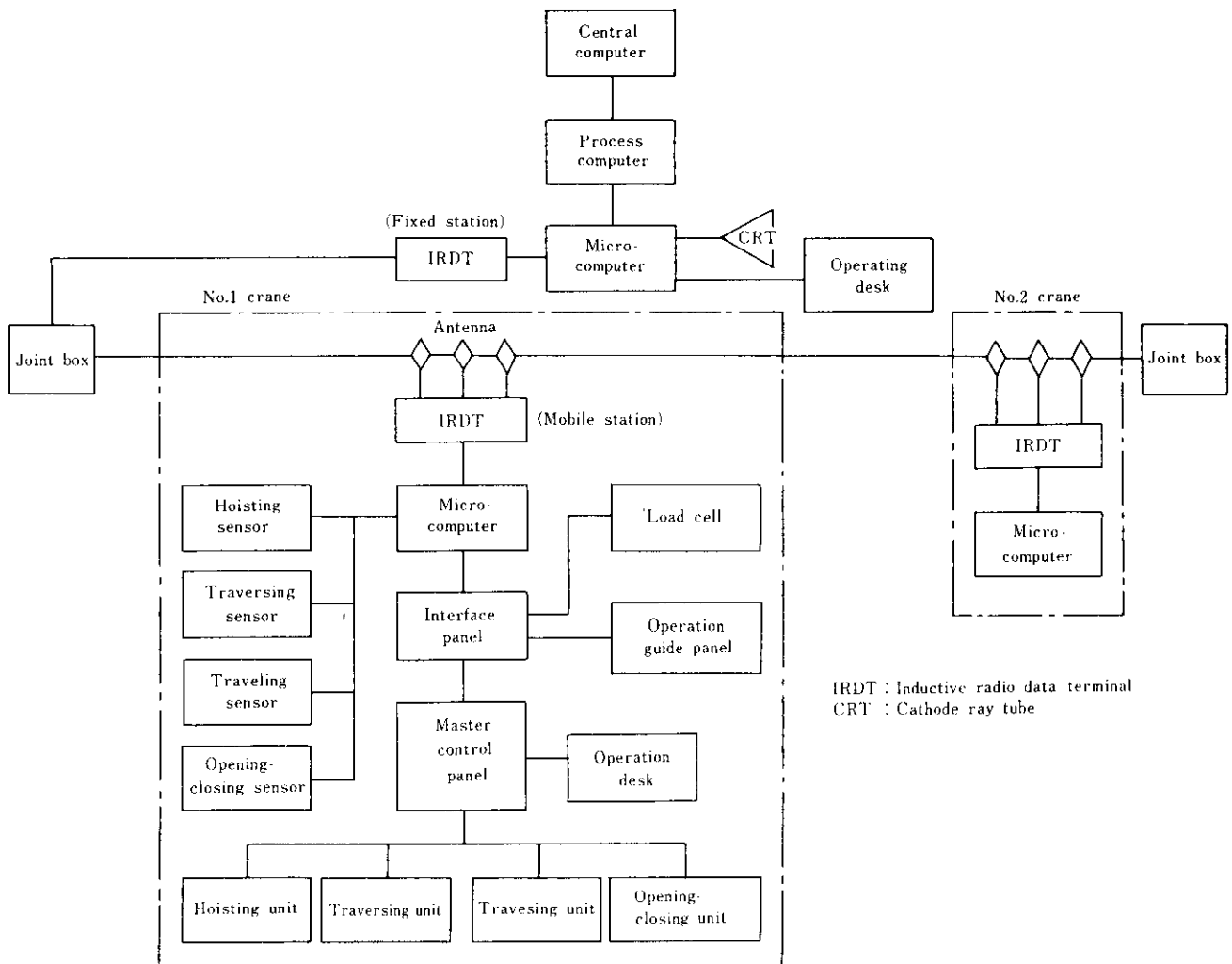


Fig. 7 System diagram of automatic crane

Table 6 Specific functions of computers

Computer	Function
Central computer	1. Formation and transmission of crane operation order 2. Slab storage control 3. Priority check of crane operation order
Process computer	1. Relay-transmission between central computer and microcomputer of crane 2. Decision of slab piling order 3. Communications of interlock signal between on-ground-equipment and crane
Microcomputer (on the ground)	1. Logical check of crane operation order 2. Operation control of two cranes 3. Transmission of crane operation performance to process computer 4. Renewal of storage information 5. Interface of interlock signal with process computer
Microcomputer (on the crane)	1. Implementation and supervision of operation sequence 2. Positioning control of crane and slab lifter 3. Malfunction check and transmission of crane operation performance to central computer
CRT of central computer	1. Display of crane operation order and other information 2. Input and modification of crane operation order
CRT of microcomputer	1. Display of crane operation order 2. Input of crane operation order (at semi-automatic operation mode) 3. Display of error message

リング枚数等のほか、個々のスラブの付帯情報、すなわち、スラブ手入れの要否、発送先、スラブ切断の要否、等も認識しておく必要がある。一方、スラブの物流を効率的に行うためには、付帯情報の異なるスラブ、つまり、以後の物流ルートに異なるスラブを、同一地番にパイリングしないことと、またさらに、2台のクレーンの同時稼動時に、その作業ルートが交差しないよう、付帯情報別にスラブヤードを数個のブロックに分け、スラブをグループ管理しておくことが必要である。以上の諸点を考慮し、パイラー・デリベリー・テーブルからスラブを移動する場合には、中央計算機にあらかじめ登録された地番検索基準に従ってスラブ移動先の地番を決定し、原則として同一ヒート、同一ストランドのスラブを同一地番に山積みする。各地番ごとの山積み状況は、個々のスラブの付帯情報とともに、中央計算機のCRT画面で確認でき、また、同一画面からスラブの配置替え指令を作成したり、個々のスラブのさらに詳細な画面情報を要求することもできる。

スラブ在庫情報は、クレーンの1作業単位ごとに变化するが、今回のシステムでは、その都度リアルタイムに、クレーン地上制御局、中央計算機の双方の在庫情報が自動更新される。また、中央計算機は、千葉製鉄所全体の生産管理システムもつかさどっており、鋼中成分の分析結果、連続鋳造機の操業状況、スラブ発送命令月日等、他工場からのサービスデータも、スラブ移動時の判断基準の一助として利用されている。

次工程へ発送するスラブは発送台車へ積み込むが、この場合、発送台車上のスラブ積み込み実績表が自動的に作成され、次工程に設置してある中央計算機の端末機に「スラブ発注明細書」として打ち出される。また、次工程へ発送完了したスラブのデータは、2日後には連鑄工場の在庫ファイルから消滅する。

4.3 クレーンの自動運転システム

4.3.1 クレーン作業指令の作成

パイラー・デリベリー・テーブルから搬出されるスラブについては、種々のスラブ情報が、地上搬送ラインのトラッキング情報とともに、連続鋳造機を制御しているプロセス計算機から中央計算機へ自動伝送される。中央計算機では、この情報に、スラブ移動先、使用するクレーン番号等の情報を付加し、クレーン作業指令を全自動で作成する。一方、スラブヤード内に仮置きされているスラブについては、クレーン作業指令は全自動では作成されないが、地番単位のスラブ在庫情報画面に、スラブ・ハンドリング枚数、移動先地番、使用するクレーン番号等の諸要件を一括入力しておけば、スラブの移動指令が地番単位に作成される。また、No.1, No.2 ローラー・テーブル・カー経由で精整ヤードから搬出されてくるスラブのクレーン作業指令は、精整ヤード内で手入れ完了実績を入力すると、直ちに、パイラー・デリベリー・テーブルからのスラブ移動指令と同様に、自動作成される。以上のように、クレーン作業指令は、自動、手動で作成されるが、複数の指令が同時に作成された場合には、クレーン作業優先順位基準に従い、各指令が順次実行される。また、使用するクレーンは、原則として2台のクレーンの作業ルートが干渉しないよう、スラブの移動元、移動先の位置関係によって選択される。

4.3.2 指令の実行

クレーン作業指令が、中央計算機からクレーン地上制御局側に伝送されると、地上制御局側では、スラブ・ハンドリング枚数、地番選択の適否等、指令内容の合理性チェックを行う。指令内容に不合理な点がなく、かつ、地上自動搬送設備との間のインター・ロック条件が満たされていれば、指令が実行される。

ただし、指令実行中であっても、例えばスラブの幅等に、実作業の結果誤りが発見されれば、その時点で直ちに作業を中止し、エラー・メッセージを中央計算機側に伝送する。

4.3.3 クレーンの運転モード

クレーンの運転は、全自動、半自動、手動の3モードあり、任意に選択できる。

(1) 全自動運転モード

指令の作成から作業実績の収集までを、すべて自動で行う。オペレーターは、中央計算機に接続されているCRTの、監視業務のみを担当する。

(2) 半自動運転モード

クレーン地上制御局に接続されたCRTに、スラブ寸法、つかみ枚数、スラブの移動元および移動先地番等を手動入力し、クレーンを遠隔自動運転する。中央計算機とクレーン地上制御局間、中央計算機とプロセス計算機間の、回線故障時の運転モー

ドである。

(3) 手動運転モード

クレーン機上の運転室で、オペレーターがすべて手動で運転する運転モードで、主にクレーン保守点検時に使用する。

5. 結 言

2台の自動クレーンは、昭和56年8月以来順調に稼動し、省力はもとより、物流の効率化、誤入力の激減による異材混入防止、クレーン・オペレーターの作業環境改善等、直接、間接に多大な効果をあげている。一方稼動前に危惧されたスラブの落下事故は、一度も発生していない。

なお、本自動運転システムの開発に当り、日本ユニバック㈱、三菱電機㈱、川鉄鉄構㈱各社から多大な協力をいただいたことを記して、謝意を表する。