

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.10 (1978) No.2.3

千葉第3分塊工場のプロセス・コンピュータ・システムとその運転実績

Process Computer System of Chiba No.3 Slabbing Mill and Its Operation

片岡 健二(Kenji Kataoka) 峰松 隆嗣(Takashi Minematsu) 片山 宏平(Kohei Katayama) 柳沢 高義(Takayoshi Yanagisawa) 温井 照男(Teruo Nukui) 佐藤 孝(Takashi Sato)

要旨：

千葉製鉄所第3分塊工場に、均熱炉DDCと圧延機自動運転を目的とした複合計算機システムを導入した。均熱炉DDCは1炉9ループからなり、1台の計算機で現在18ホール(将来32ホール)を制御している。その特徴は、ヒート・パターンによる全炉プログラム加熱、フレーム長さ制御、均熱炉全体の集中制御などである。圧延機の制御としては、数式モデルを用いたパス・スケジュール計算にもとづいて、圧下やマニプレータ・ガイドの自動設定を行う。特に圧下配分法として、能率優先と歩留り優先の二つの方式を設け、選択使用可能とした。本システムは順調に稼働しており、圧延歩留りの向上、熱量原単位の低減および省力に大きく貢献し、キャップド鋼塊の圧延歩留りは94.5～95.0%、熱塊の均熱炉熱量原単位は80～85×10³kcal/tのレベルに達している。

Synopsis：

A computer control system was adopted to the new universal type slabbing mill. Its main functions are direct digital control (DDC) of the soaking pits with nine control loops in each pit and automatic set-up of the slabbing mill draft. The DDC-computer, controlling 18 soaking pits at present (32 in future), features program control of pit temperature with four types of heat pattern, flame length control of main burners and centralized control of all soaking pits. The mill set-up computer, calculating rolling pass schedules with mathematical models, sets up roll openings, manipulator side guide openings, maximum rolling speed available and so on. Furthermore, two patterns of draft schedule, one for high efficiency and the other for high yield, are prepared and either can be selected according to management policy established. The system is contributing to the improvements of rolling yield (now in the level of 94.5～95.0% for capped steel) and fuel consumption rate (80～85×10³kcal/t) as well as to man-power saving.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

UDC 681.323:621.771.22:658.2
62-5:[662.98+621.771]
669.012.5.001.7

千葉第3分塊工場の プロセス・コンピュータ・システムとその運転実績

Process Computer System of Chiba No.3 Slabbing Mill and Its Operation

片岡 健二*

Kenji Kataoka

峰松 隆嗣**

Takashi Minematsu

片山 宏平**

Kohei Katayama

柳沢 高義***

Takayoshi Yanagisawa

温井 照男****

Teruo Nukui

佐藤 孝*****

Takashi Sato

Synopsis:

A computer control system was adopted to the new universal type slabbing mill. Its main functions are direct digital control (DDC) of the soaking pits with nine control loops in each pit and automatic set-up of the slabbing mill draft.

The DDC-computer, controlling 18 soaking pits at present (32 in future), features program control of pit temperature with four types of heat pattern, flame length control of main burners and centralized control of all soaking pits.

The mill set-up computer, calculating rolling pass schedules with mathematical models, sets up roll openings, manipulator side guide openings, maximum rolling speed available and so on. Furthermore, two patterns of draft schedule, one for high efficiency and the other for high yield, are prepared and either can be selected according to management policy established.

The system is contributing to the improvements of rolling yield (now in the level of 94.5~95.0% for capped steel) and fuel consumption rate ($80\sim85\times 10^3\text{kcal/t}$) as well as to man-power saving.

1. はじめに

分塊工場のプロセス・コンピュータは、千葉製鉄所第2分塊工場にはじめて設置されて以来、多々報告¹⁾されており、最近の新設工場にはほとんど例外なく設置されている。その使われ方は多様であり、均熱炉 DDC (Direct Digital Control)^{2~3)} 圧延機の自動運転、均熱炉から圧延ライン全体の

制御と情報処理⁴⁾ あるいは分塊工場全体の作業情報処理などの例が報告されている。西工場第3分塊工場の建設⁵⁾にあたっては、均熱炉の DDC、圧延機の制御および制御に伴う情報処理を主として行うプロセス・コンピュータの複合システムを導入した。

本報では、このプロセス・コンピュータ・システムの概要と運転実績について述べる。

* 技術研究所加工研究室主任研究員

*** 千葉製鉄所企画部能率室主査(課長待遇)

***** 千葉製鉄所熱間圧延部分塊課

[昭和53年4月24日原稿受付]

•• 千葉製鉄所設備部設備技術室

***** 千葉製鉄所熱間圧延部分塊課掛長

2. 計算機システムの概要

本システムは、Fig. 1に示すようにミル制御計算機（A系）の下に均熱炉 DDC 計算機（B系）と圧延機 APC（Automatic Preset Control）計算機（C系）が接続されている。分塊工場全体の作業情報管理を行うライン・オペレーショナル・コンピュータにはA系が接続されている。

2.1 ミル制御計算機（A系）

A系は、鋼塊装入から圧延完了までの制御に伴う情報処理を一括して行うとともに、圧延ライン上の鋼塊のトラッキングとパス・スケジュール計算を行う。またプログラム作成のためのユーティ

リティ機能をそなえている。その主な機能項目をTable 1に示す。

2.2 均熱炉 DDC 計算機（B系）

B系の主機能は DDC (Table 2 参照) である。DDC に直接必要な情報処理（警報、集中操炉処理）はB系が行うが、CRT 表示などはA系に任せている。DDC は、鋼塊の装入から抽出までの炉況（加熱期、均熱期など）と基本制御タイミング（炉圧制御 1s、流量制御 2～6s、温度制御 16s）にもとづいて行われる。1台の計算機で現在18ホール、将来32ホールまで制御可能のように設計されている。Fig. 2に計装フローを示す。

1 炉につき閉ループ制御は 9 ループある。例とし

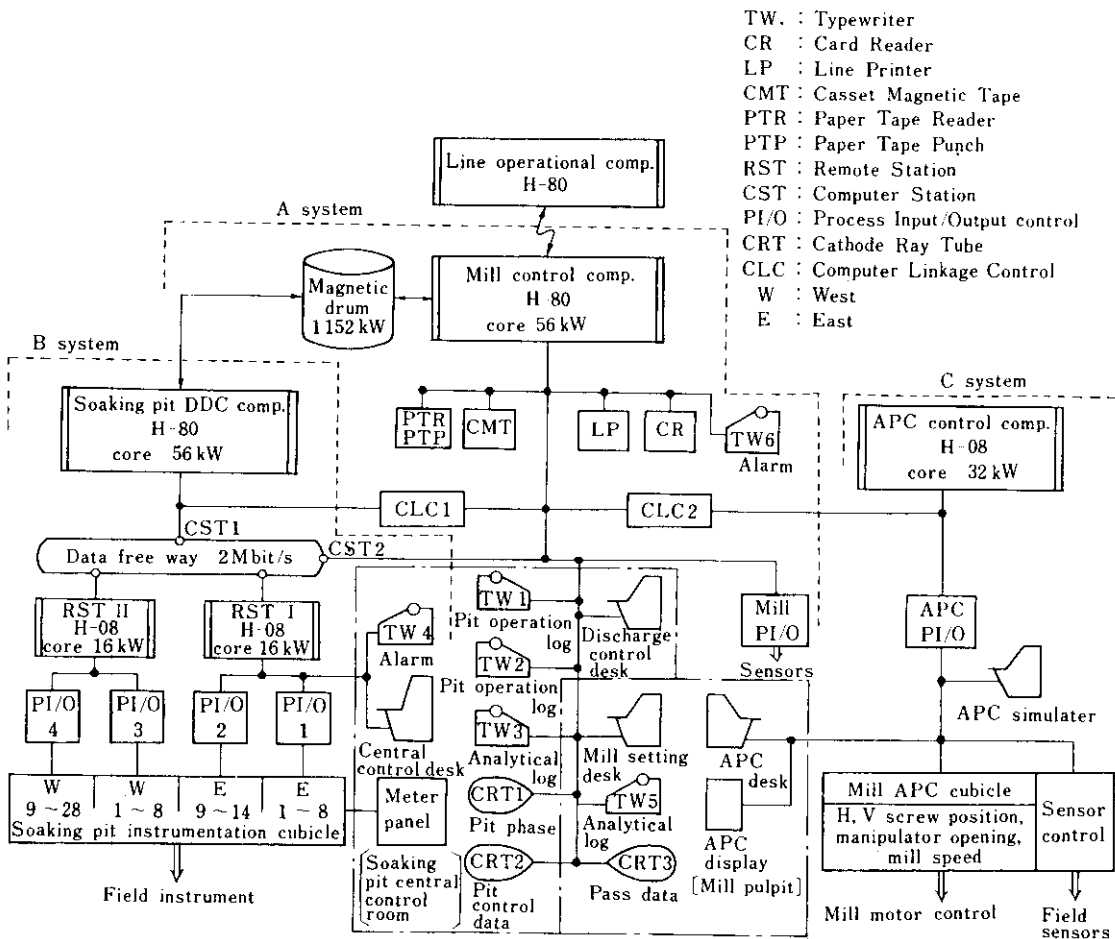


Fig. 1 Diagram of integral process control computer complex

て、炉内温度制御系 (TC 1系) について説明する。炉内温度は、PR 熱電対 T1 と T2 によりバーナ側炉壁と反バーナ側炉壁において測定される。この

うち温度の高い方が高温選択器で選ばれ、温度調節計 (TC 1) に与えられる。TC 1 は計算機の内部で行われる制御演算である。計算機は、与えられたヒート・パターンから時々刻々目標温度を計算し、これと現在の炉内温度との差にもとづいて PID

Table 1 Functions of mill control computer (A system)

1	Data communication with line operational computer
2	Data communication with B and C systems
3	CRT display of soaking pit phase, control data and alarm
4	Data logging of soaking pit operation and DDC performance
5	Ingot tracking from the buggy to the mill exit
6	Ingot weighing control
7	Calculation of rolling pass schedules
8	CRT display of ingot location and pass schedules
9	Rolling data logging
10	Tracking simulation for test
11	Compiling, debugging and testing for computer programs

Table 2 Functions of soaking pit DDC computer (B system)

1	Pit temperature control
2	Main burner fuel flow control
3	Main burner air/fuel ratio control
4	Main burner flame length control
5	Auxiliary burner fuel flow control
6	Auxiliary burner air/fuel ratio control
7	Stack draft control
8	Dilution air flow control
9	Combustion sequence control (start, stop, emergent shut-off)
10	Alarm display and print
11	Adaptive control of air/fuel ratio analyzing O ₂ % of exhaust gas (only for certain four pits)
12	Data communication with A system

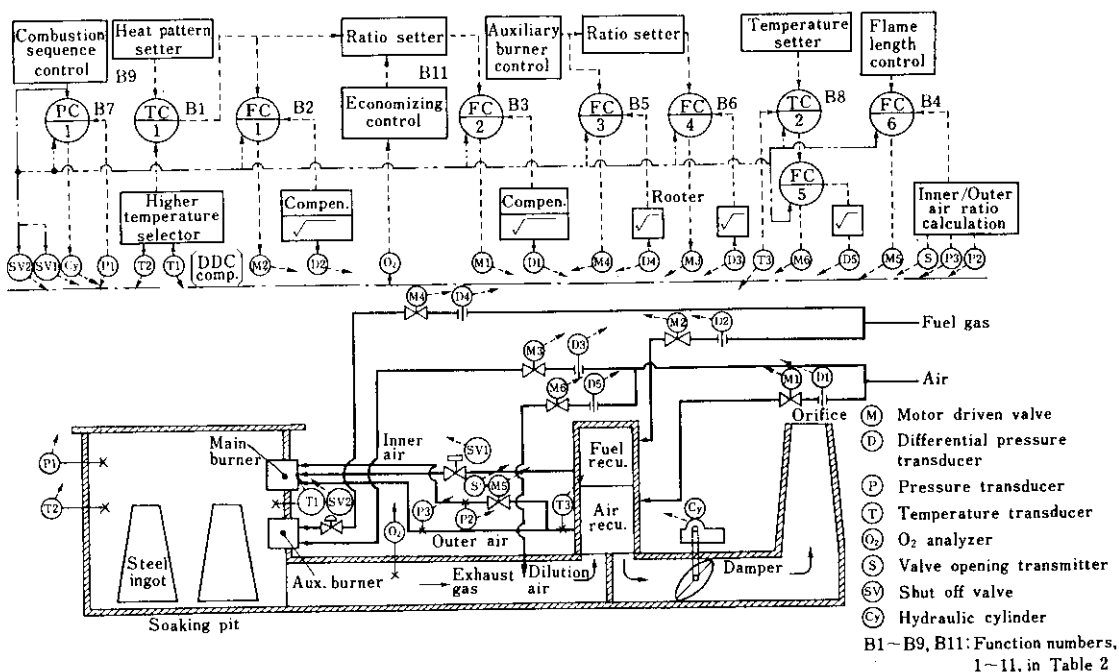


Fig. 2 Soaking pit instrumentation diagram

演算（速度型）を行い、温度偏差を解消するに必要な燃料流量を算出する。この値は主バーナ燃料流量制御系（FC 1）の目標値となり、また比率設定器を通して主バーナ燃焼空気流量制御系（FC 2）の目標値ともなる。FC 1は、オリフィスD2により測定した燃料流量とこの目標値の偏差にもとづいてPID演算を行い、この出力により流量制御弁M2の開度を調節する。FC 2についても同様である。

2・2・1 DDCの信頼性設計

DDCを行う場合、計算機の故障が即設備停止につながるため、信頼性設計が重要なポイントとなる。本計算機システムの信頼性を向上させるために以下に列記する対策を実施した。

- (1) A系によりB系をバックアップする。この場合A系本来の機能は縮小される。
- (2) データ・フリーウェイを2重化した。
- (3) PI/O (Process Input/Output control) を4分割し、炉全ホールの操業が一度にダウンする危険を分散させた。
- (4) コア・オンリ・システムとしてソフトウェアおよびハードウェアを構成し、DDC機能に限定した。CRT表示、作表などの機能はA系にもたせた。
- (5) A・B両系ダウンの場合にも均熱炉が支障なく操業できるように炉内温度、主バーナ空燃比、炉圧などの特定制御ループには時分割調節計を4ホールに1台の割合で設置し、その他のループは手動操作を可能とするよう構成した。

2・2・2 集中操炉

DDCの大きな特徴は、1台の計算機で多数の炉を一括制御することにより炉の燃焼管理を集中し、炉況把握、装入・抽出炉の決定などの操炉および加熱作業を行えることである。これを実現するために、本システムでは集中制御デスク、各種表示のためのCRT、操炉実績の作表タイプライタなどのオペレーティングファースを充実させた。また、指示・操作用計器類を小型（75×150mm）にして計器盤に、変換器とリレーは別の制御盤に収納した。これにより、計器盤の幅1mに4ホール分の計器の収納が可能となり、18ホール分（将来

32ホール分）を1列に配置し得たので、監視が容易になった。

2・3 APC計算機（C系）

C系はミル制御に必要な演算を高速処理する計算機で、ミルまわりの鋼塊トラッキングとこれにもとづくミルの自動設定を行う。鋼塊の自動転回のシーケンス制御とマニプレータの位置決めも行う。なお圧延機の色度設定と圧延方向の切替制御は、オペレータの手動運転に任せている。Table 3にC系の機能項目を示す。また、圧下などの位置決めは、各ループ専用のデジタル制御装置により行う。

Table 3 Functions of APC control computer (C system)

1	Tracking of ingot around slabbing mill
2	Automatic centering of ingot position by manipulator guides
3	Setting-up of roll gaps and guide openings
4	Cant control
5	Draft compensation of the speed of vertical mill and table rollers
6	Selection of roller table section to be synchronized with main drive motors
7	Setting of the maximum rolling speed available
8	Automatic initiation of positioning control
9	Correction of pass number; manual pass advance
10	Display of pass schedule and alarm
11	Data communication with A system

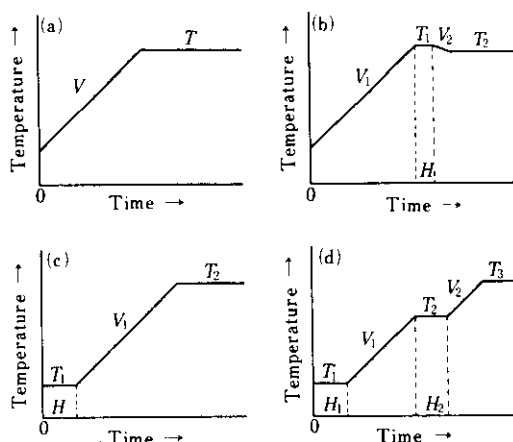
3. 計算機システムによる特徴的制御方法

3・1 ヒート・パターンによる炉内温度制御

ヒート・パターンはFig. 3に示す4つの基本型のいずれかにより表現され、一つのパターンは最大5ステップから成る。各ステップには、保持温度または温度勾配（正負とも可）を割り付ける。

DDCは、これらのヒート・パターンから鋼種によってあらかじめ指定されたパターンを取り出し、各ホールごとに炉内温度制御を行う。なお、

ヒート・パターンの作成・登録・変更および指定変更は、CRTインプットにより可能である。このようにDDCでは、従来の定値制御とは異なり各ホールごとにヒート・パターンによるプログラム制御が可能であり、またヒート・パターンも自由に変更できる。



T : Holding temperature ($^{\circ}\text{C}$)

H : Holding time (h)

V : Heating rate ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$)

Fig. 3 Standard heating patterns

3.2 フレーム長さ制御

主バーナは、燃焼ガス・ノズルの内外双方から燃焼用空気を噴出する構造⁶⁾で、内外流空気に旋回運動（スピン）を与え、バリエーション特性を持たせている。フレーム長さは内外流の空気流量比により制御する。長いフレームでは反バーナ側の炉壁温度が高くなり、短いフレームではバーナ側が高くなる。したがって長炎と短炎を組合せて使用すれば、炉内温度分布を均一化することができる。本システムでは、ヒート・パターン、燃料流量などを考慮に入れて長炎と短炎の切替えパターンを種々用意し、バーナ側と反バーナ側の炉温差の少ない自動加熱を行っている。

3.3 補助バーナ制御

補助バーナは、加熱期の熱不足を補うとともに均熱期の煙道入口近くの鋼塊の温度低下を防ぐために設けてある。トラック・タイム、装入重量、

ヒート・パターンの関数で燃料流量を設定し、燃焼時間は炉況によって定める。

3.4 パス・スケジュール計算

パス・スケジュールは、計算方式とテーブル方式とを使いわけている。前者は一般鋼塊に、後者はステンレス鋼塊に使用している。テーブル方式は各パスの圧下量を記憶するもので、100種類まで記憶可能である。以下に計算方式について詳細に述べる。圧延方法は、シングル、タンデム（鋼塊・スラブ寸法が同一の2～3本を一度に圧延する）およびセミ・タンデム（鋼塊またはスラブ寸法が異なる2本の圧延を途中で分け、タンデム—シングルの切替えを行う）である。Fig. 4にパス・スケジュール計算の構成を示す。計算方式の構成上の要点は、厚みと幅の圧下量配分（圧下パターン）、数式モデルおよびモデルの適応制御である。

圧下パターンは、圧延能率が高かつ圧延歩留りも高くなるように定める。すなわち厚みと幅の圧下量を許容最大値を用いてパス回数が最小になるようにするとともに、スラブ先・後端の切捨て量が少なくなる形に圧延する。切捨て量を少なくする

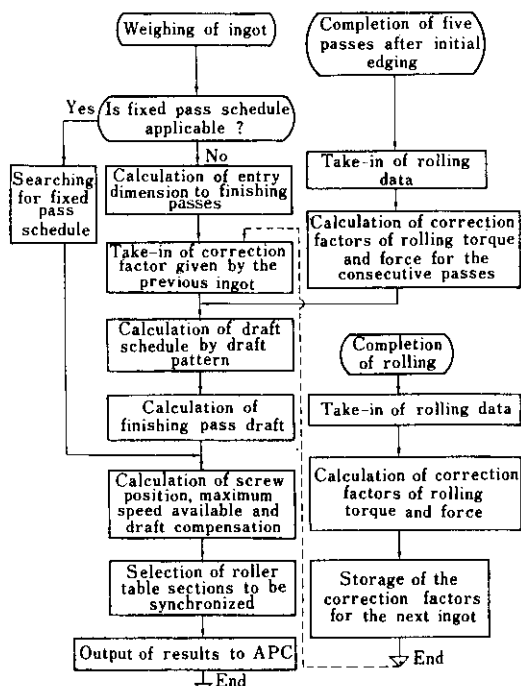


Fig. 4 Flow chart of pass schedule calculation

には、各パスごとに厚み方向に強圧下してメカニカル・パイプ長さを短くするとともに、厚みが薄くなってから幅方向に強圧下してフィッシュ・テールを短くする必要がある。ただし、幅圧下を後半パスで行うと垂直ミルの能力限界とスラブの幅方向座屈限界から圧下量が制限され、パス数の増加を招き能率が低下する。このように、主として幅圧下量の各パスへの配分（幅圧下パターン）が圧延能率と歩留りを決定するため、両者をともに最適に選ぶことはできない。従来例では、自動圧下により圧延能率を最大にすることが最大の関心事であったため、能率優先の圧下配分法が採用されていた。

能率優先の圧下パターンと歩留り優先の圧下パターンを選択使用する考えは以前からあるが⁷⁾、ほとんど実施されていない。本システムでは、中間エッジングを採用することによりこれを実用化した。Fig. 5に各パターンの概念図を示す。パターンAは、厚み、幅ともに許容最大圧下量により最小パス数で圧延する能率優先のパターンである。パターンBは、スケジュールの後半は必ず幅が許容最大圧下量で圧延されるパターンで、厚み圧下量はやや軽くなり、Aよりパス数は増加するが歩留りは高くなる。パターンCは、所定の厚みで鋼塊を立て、水平ミルで幅を強圧下し（中間エッジング）、以後厚み、幅ともに許容最大圧下量で圧延するパターンで、中間エッジングにおける鋼塊の

転倒時間だけ能率が低下する。パターンB、Cは歩留り優先のパターンである。操業方針により能率が歩留りかの指定をし、計算機は能率の場合パターンA、歩留りの場合はパターンBかCを選択する。圧下量の決定手順をFig. 6に示す。

数式モデルの適応制御としては、圧延トルクと圧延荷重のモデルについて修正係数を用いる方式を使用している。それには、初期エッジングパス後の5パス目までの水平圧延データにもとづいて次パス以後の圧下量計算をし直す方法と、前鋼塊の各パス水平圧延データにもとづいて次鋼塊の同一パス番号の圧下量を修正する方法とを併用している。

4. 操業実績

4.1 稼働率と使用状況

昭和51年12月、試圧延開始に合わせて計算機システムの調整を始めた。52年1月末までに粗調整を完了し、2月よりの営業運転開始とともに正式に稼働させた。以後順調に稼働しており、8月以後A・B系ともその稼働率は100%を記録している。

当分塊工場は、計算機の使用を前提に設計されているので、計算機システムの順調な稼働は操業上重要な役割を果たしている。

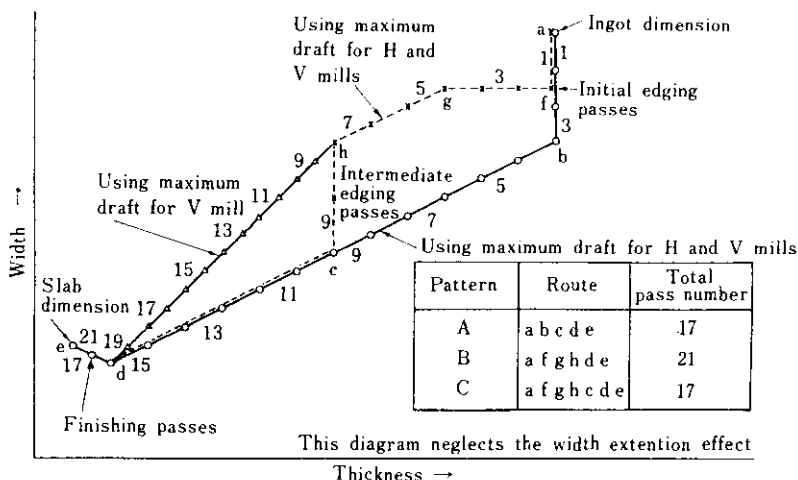
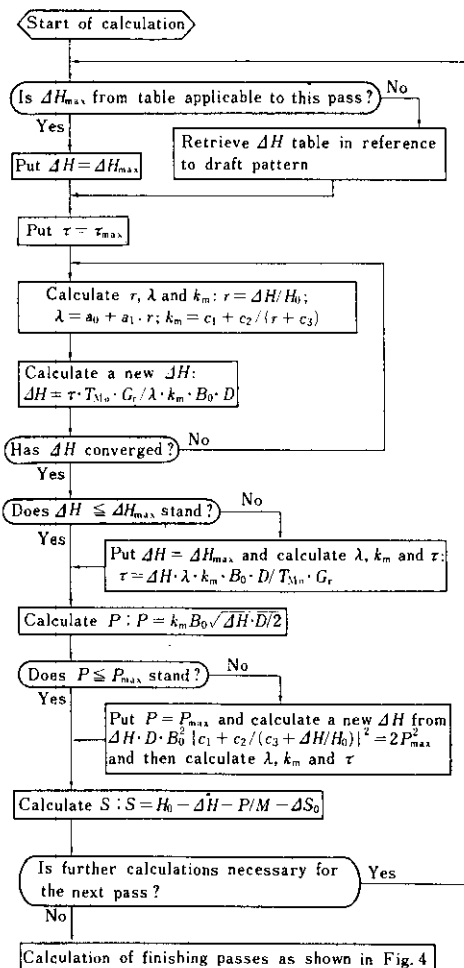


Fig. 5 Three patterns of draft schedule



ΔH_{max} : Maximum allowable draft
 ΔH : Draft in this pass
 τ : Rolling torque ratio in this pass to the motor torque
 τ_{max} : Maximum allowable rolling torque
 r : Reduction ratio
 H_0 : Entry thickness of slab at this pass
 λ : Torque arm coefficient
 k_m : Resistance to deformation
 a_0, a_1, c_1, c_2, c_3 : Constants
 T_M : Motor rating torque
 G_r : Gear ratio
 B_0 : Entry width of slab at this pass
 D : Roll diameter
 P : Rolling force in this pass
 P_{max} : Maximum allowable rolling force
 S : Screw position
 M : Mill modulus
 ΔS_0 : Zero point of screw position sensor

Fig. 6 More detailed flow chart of horizontal mill draft calculation, shown in Fig. 4, from draft pattern except for finishing passes

4.2 均熱炉 DDC

DDC の調整は均熱炉の乾燥終期に各ホールごとに行い、順次稼動させた。現在18ホールすべてが DDCにより順調に稼動している。当初、DDC系の短時間ダウンがありバックアップ計器を使用した。A系に切替えるような長時間ダウンは発生していない。これまでの操業実績から次のような DDCの特徴が確認された。

- (1) 集中制御により段取りや加熱作業が容易になり、全ホールの制御を1人のオペレータで行える。
- (2) 主な制御ループの制御精度はアナログ計装と同等もしくはそれ以上で、次のとおりである。

なお Fig. 7 に炉内温度と燃料流量の記録を示す。

- (a) 炉内温度制御：設定値 $\pm 5^\circ\text{C}$ 以内
- (b) 炉内圧力制御：
 ダンパ開度 5% 以上の場合 $\pm 0.2\text{mmH}_2\text{O}$
 ダンパ開度 5% 以下の場合 $\pm 0.5\text{mmH}_2\text{O}$
- (c) 空燃比制御：設定値 $\pm 2\%$
 $\text{O}_2\%$ 1.5 ± 0.5

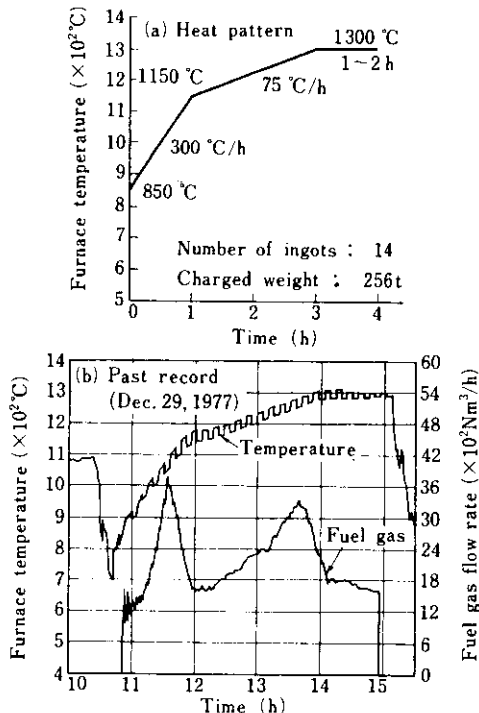


Fig. 7 An example of a scheduled heating pattern and the DDC-controlled heating performance

(3) ヒート・パターンの試験的変更が自由に行え、熱量原単位低減に非常に有効である。Fig. 8に示すように、熱量原単位が稼動後月を追うごとに低下している。

(4) フレーム長さの制御、補助バーナの燃焼制御による炉内温度の均一化に有効な手段と言える⁶⁾

(5) 排ガスO₂分析による低酸素燃焼は、熱量原単位低減、NO_x抑制に寄与している⁶⁾

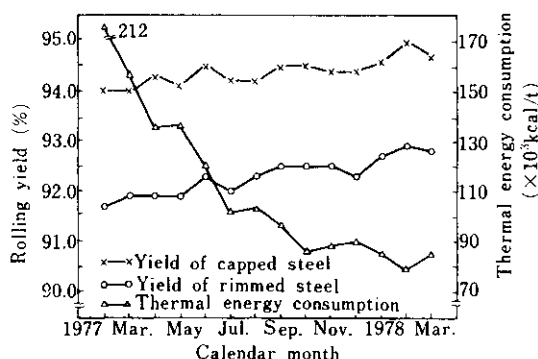


Fig. 8 Improvement of rolling yield and thermal energy consumption except killed steel

4.3 ミル制御

試圧延までにオフライン調整を済ませ、試圧延中にミル制御の調整に重点をおいた計算機システムのオンライン調整を行った。約2箇月間200本の鋼塊を圧延し、パス・スケジュール計算とミル自動運転シーケンスを完成させた。52年2月以後は、全鋼塊の圧延作業をこのシステムのもとで制御している。これまでの操業実績から以下の結果が得られた。

(1) 圧延荷重の予測精度は±20%程度であるが、適応制御によりスケジュール後半では±10%程度に収まっている。Fig. 9に水平ミル圧延荷重の予測精度を示す。

(2) スラブの寸法精度をFig. 10に示す。厚み、幅ともに良好である。

(3) パス・スケジュール計算による自動圧下は、スラブの寸法精度の向上と切捨て量の減少に貢献し、歩留り向上に大きく寄与している。キャップド鋼の圧延歩留りは、52年6月に平均94.4%を記録しさらに更新しつつある(Fig. 8参照)。パターンA

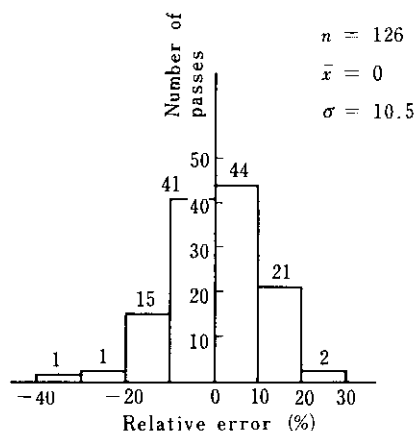


Fig. 9 Accuracy of rolling force prediction of the last ten passes at the horizontal mill (remainder of predicted minus measured values)

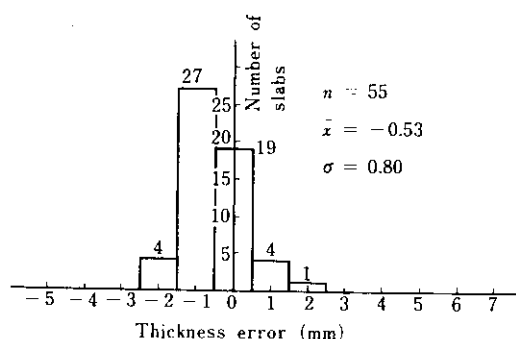
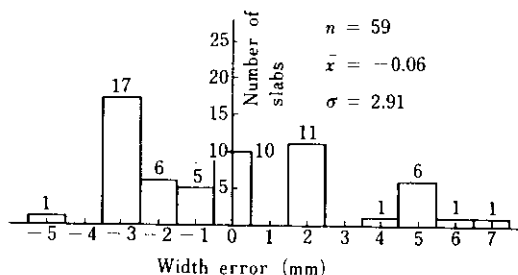


Fig. 10 Accuracy in slab size (remainder of measured minus set values)

とパターンCの能率と歩留りの比較実験結果をTable 4に示す。パターンCは能率は685t/hでAより約20%低いが、歩留りが95.7%とAより0.9%高い(Table 4参照)のでパターンCを採用している。

(4) スラブ・トラッキングの際、落下スケールに

Table 4 Comparison of rolling performance between two draft patterns

		Pattern A	Pattern C
Size and number of ingots			
Size (mm)	Ingot	809 thick, 1 511 wide	Same as in A
	Slab	203 thick, 1 230 wide	"
Number of ingots		6	4
Rolling pass number			
Total		17	17
Edging	Initial	3	1
	Intermediate	0	2
Rolling performance			
Yield (%)		94.8 (no scarfing)	95.7 (no scarfing)
Time required (s/2-ingots)		159	206
Productivity (gap time 20s) (t/h)		865	685

より HMD が誤動作することがあるが、トラッキング修正機能で手動修正すれば直ちに復帰する。ミルまわりのトラッキングと自動起動についても、シングル圧延はもとよりタンデムやセミ・タンデ

ム圧延でも安定している。パス数の誤りが発生した場合はパス数を修正し、手動パス・アドバンス機能により自動圧下を継続できる。

(5) ミルの操業はオペレータ 1 名で十分可能である。

5. おわりに

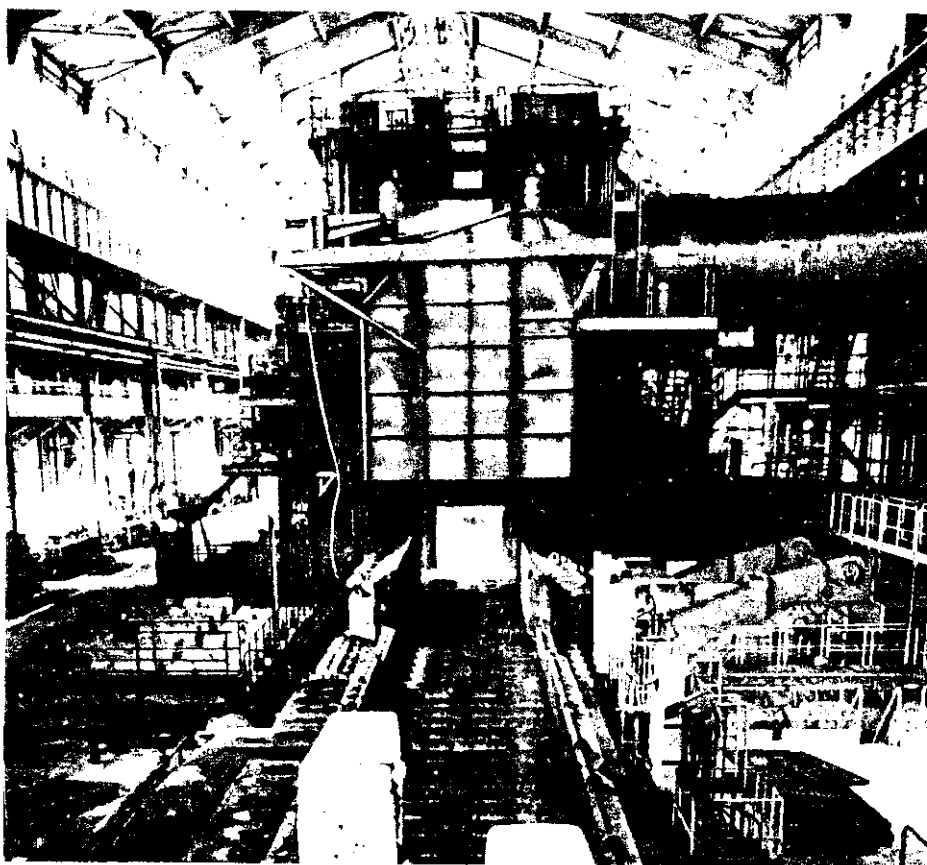
第3分塊工場のプロセス・コンピュータ・システムは、主に均熱炉 DDC と圧延機制御を行っている。均熱炉では、DDC にヒート・パターン方式の炉内温度制御を採用して熱量原単位の低減に大きく寄与している。圧延機制御においては、幅圧下パターンに能率優先と歩留り優先のパターンを設け、選択使用可能とした。

本プロセス・コンピュータ・システムは試圧延以後順調に立上り、第3分塊工場の早期安定操業の確立と、高品質のスラブの低原単位、高歩留り生産に大きく貢献している。

本システムの建設にあたり、御協力いただいた(株)日立製作所に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 大島, 伊藤: 鉄鋼オートメーション国際会議 (1965) 発表論文集 II (日本鉄鋼連盟編), (1966), 33
- 2) Control, (1967) 7, 325
- 3) 住友金属工業(株): 日本鉄鋼協会共同研究会第52回計測部会資料 計52-4-1, (1972)
- 4) 宮崎ほか: 日立評論, 51 (1969) 2, 80
- 5) 歌橋, 柳沢, 小川, 温井, 武者, 中原: 川崎製鉄技報, 10 (1978) 2・3, 67
- 6) 池野, 佐藤, 柳沢, 温井: 川崎製鉄技報, 10 (1978) 2・3, 83
- 7) 野坂: 鉄鋼業のコンピュータ・コントロール, (1970), 144, [産業図書]



千葉製鉄所第3分塊工場