

多目的連続焼鈍ラインの計装・計算機システム Instrumentation & Computer System of Kawasaki Steel Multipurpose Continuous Annealing Line

増 野 豊 彦*
Yasuhiko Mashino

田 宮 稔 士**
Toshio Tamiya

下 西 幾 二***
Ikuji Shimonishi

柳 島 章 也****
Fumiya Yanagishima

下 山 雄 二*****
Yuji Shimoyama

田 原 紘 一*****
Koichi Tahara

佐 藤 邦 昭*****
Kuniaki Sato

Synopsis:

The multipurpose continuous annealing line at Chiba Works, Kawasaki Steel Corporation (KSC) started its operation in July 1980. The computer and instrumentation system of the line has the following main features:

- (1) Hierarchy system structure is adopted to meet multipurpose operation which needs various types of processing. It can accomplish proper functional assignments.
- (2) The process computer is used for the whole process control, including strip temperature control and weld point tracking. Supervisory business computer is charged of production control, and DDC system for electrical control and DDD system for instrumentation are in charge of individual loop control. Data are transmitted between these computers, etc., by the data transfer method.
- (3) Intrafurnace steering roll CPC devices by the ITV method and radiation pyrometers for measuring strip temperature are provided as special devices. They are aimed at stabilizing operation, improving control accuracy and controlling product quality.

1. 緒 言

当社で開発した多目的連続焼鈍ライン¹⁾（以下KM-CAL）は、1980年7月より本格稼動を開始した。

本ラインの最大の特徴は、用途の異なる5品種の製造、つまり多目的操業が可能な点にある。世界でも例をみないこのKM-CALは、高能力ガス

ジェットクーリングシステム、炉内張力制御システム、鋼板温度制御システムをはじめとする多くの新技術によりはじめて完成した。

本ラインの計装、計算機および特殊計測設備に関しては、多目的操業を念頭において検討を進めた。各種制御を効果的に実行するため、計算機と計装 DDC（Direct Digital Control）システム、電気 DDC システムとの機能分担を最重要検討課題とした。また、制御精度向上のために特殊計測

* 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(課長補)
***** 千葉製鉄所冷間圧延部第1冷間圧延課掛長
***** 千葉製鉄所エネルギー部エネルギー技術室主査(掛長)

** 千葉製鉄所設備部設備技術室主査(課長)
**** 千葉製鉄所冷間圧延部冷延技術室主査(課長)
***** 千葉製鉄所企画部企画開発室主査(課長)

設備の選定と設置位置に関する十分な検討を行った。

本報は、KM-CALの計装・計算機システムと特殊計測設備に関して、概要をまとめたものである。

2. 計装・計算機システムの概要

KM-CALは多目的操業を可能とするため、炉部の構成に特徴を有する。炉部の構成と各帯機能をFig. 1に示す。第1冷却帯と第2冷却帯はそれぞれ対象品種に応じて使い分けが可能である。

計装・計算機システムは、操業の安定性、高効率、品質確保、省エネルギーを目的に設計した。

クリーニングセクションは、水、薬液の温度、レベル、濃度に関する制御、監視が主体であり、炉設備は炉圧制御、加熱帯と均熱帯の板温および炉温制御、冷却帯の風量制御が、主な制御項目である。そのため、クリーニングセクションの計装と炉設備計装とは分離して扱い、前者にはアナログシステムを、後者にはデジタルシステムを採用した。また、操業管理が主目的の炉内ガス分析、排ガス中の酸素濃度測定は、単独システムとした。計装ループは、指示・記録を含め総数約150ループにおよび、千葉製鉄所既設のNo. 1連続焼鈍ライン（以下No. 1 CAL）と比較すると大幅な増加である。Fig. 2にKM-CALの計装・計算機システムの機能を示す。

本システムは以下の特徴を有する。

(1) ハイアラキー構造と機能分担

プロセス計算機を中心に、上位にビジネス計算機、下位に電気DDC、計装DDCを配したハイアラキー構造である。ビジネス計算機は、生産管理を主目的とし、プロセス計算機はKM-CALのライン全体にわたる制御、監視を実行する。電気DDCは主に、ライン入・出側に関する自動運転、下位電気制御系へのプリセットを実施する。計装DDCは、プロセス計算機からのプリセットデータを基に、温度、風量などを各ループ単位に制御する。上記システム間のデータ授受は、大部分がデータ伝送で実行される。プロセス計算機のハードウェア構成をFig. 3に示す。なお、他のハードウェアとの接続は破線で示してある。

(2) CRTによる操業管理

プロセス計算機、計装DDCのCRTによる情報の集中監視、集中管理をはかり、パネルレス化を行った。従来のアナログシステムの計装では、ライン構成をパネル上にグラフィック表示する傾向が強く、スペースの制約やループの改造、追加時の困難さなどに問題があった。今回はデジタルシステムの特徴を生かし、グラフィックパネルに代わりCRTを全面的に活用した。計装DDCで用いた2台のCRTの使い方をTable 1に示す。

(3) 安全性の確保

連続焼鈍ラインで注意すべきことは、第一に爆発に結びつくトラブルの防止であり、第二に操業停止につながる板破断防止である。CRT中心の操業管理は、正常操業時には利点が多いが、異常

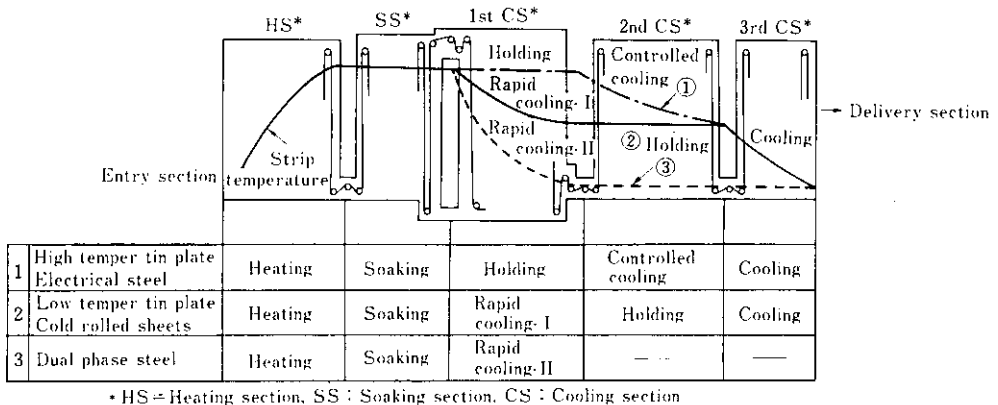
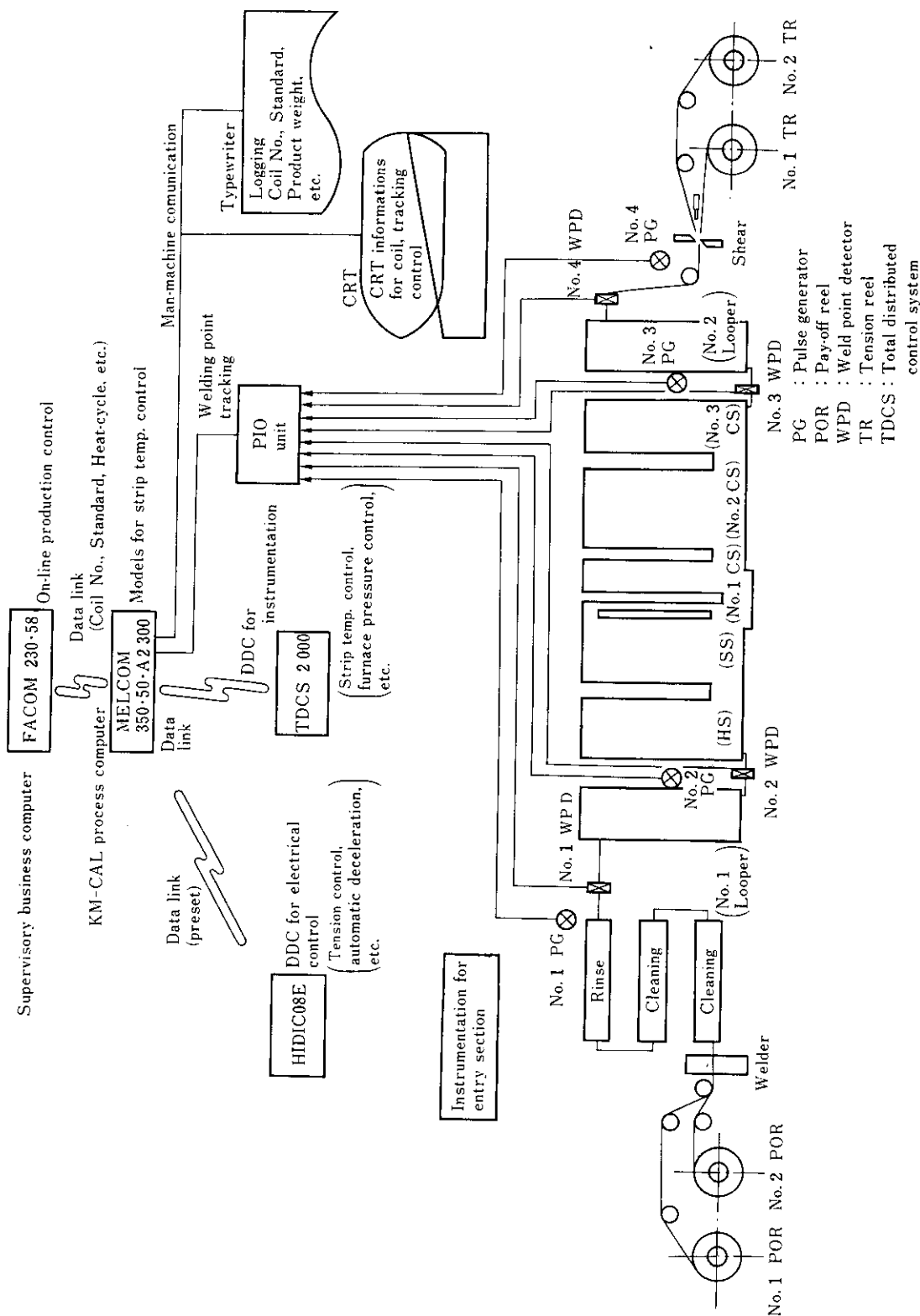


Fig. 1 Structure of KM-CAL's furnace and function of its each section



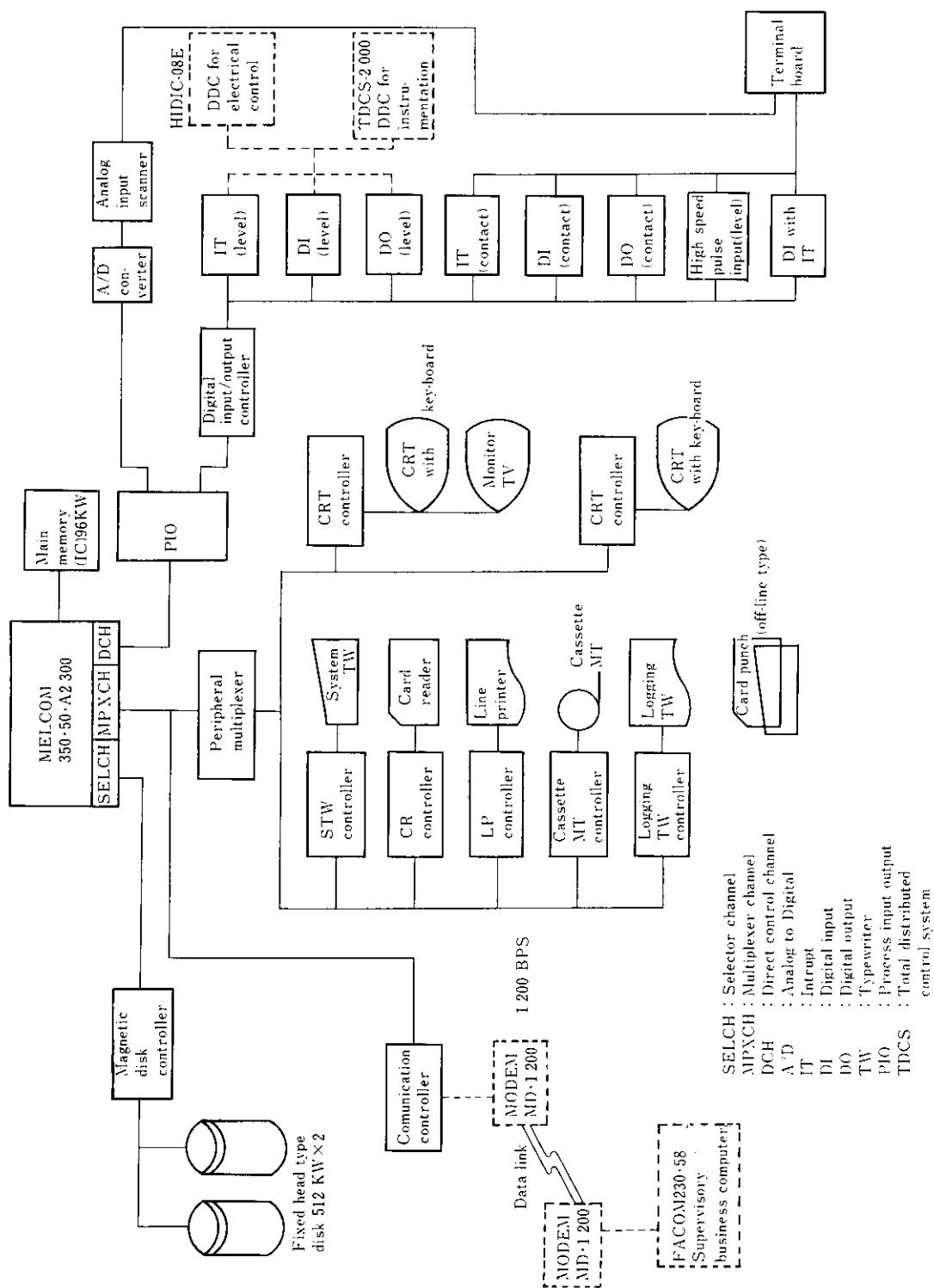


Fig. 3 Schematic representation of KM-CAL process computer system structure at Chiba Works

Table 1 CRT functions of instrumentation DDC

CRT No.	Main functions	Note
No.1 CRT (Standard type)	①Setting setpoints for controlled items ②Indication of setpoints or process values for controlled items ③Setting of the upper and lower limitations, and the constants for calculation ④Selection of control mode ⑤Alarm indication	・ With printer for hard-copy
No.2 CRT (Special graphic display)	①Heat pattern indication (furnace temperature, etc.) ②Trend indication ③Strip temperature distribution in cross rolling direction	・ With video-copy ・ Impossible for setting

時のキーボード操作は煩しさを伴うため、トラブル防止を目的とした緊急操作には不適である。このため、本システムでは、安全シーケンスと焼焼系統の緊急遮断用として、ワンタッチ操作が行なえる別回路を設けた。

(4) バックアップ機能

システムダウンによる操業停止を極力避けるため本システムでは、機能分散をはかると共に、いくつかのバックアップ機能をもたせた。ビジネス計算機停止時には、プロセス計算機の CRT を用いて各種データ投入が可能である。また、計装の制御ループは、いくつかの制御モードを持ち、プロセス計算機停止時も制御が可能である。さらに、計装システム自体のシステムダウン防止用に無瞬断切替のバックアップシステムを備えている。

3. 計装・計算機システムの機能

KM-CALの計装・計算機システムの処理機能を以下に示す。

3-1 生産管理

KM-CALの製造コイルの装入命令は、上位ビジネス計算機に登録された後、タイプライターや

CRTなどの端末機器に作業指示データとして出力され、同時に、プロセス計算機へもデータ伝送される。一方、KM-CALで製造完了したコイルの情報は、プロセス計算機からビジネス計算機へとデータ伝送される。主なデータ伝送項目をTable 2に示す。ヒートサイクルは、成分、熱延条件、目標材質に基づいて決定され、板温制御を実施するための基礎となる。

Table 2 Data communicated between supervisory business computer and process computer

From business computer	To business computer
Entry coil No.	Exit coil condition (devised, finished, etc.)
Production standard	Exit coil weight by calculation
Size (thickness, width)	Weight of returned parts of coil
Coil weight	
Heat pattern (A-E)	
Heat cycle (strip temperature of each section exit, cooling rate, soaking time, etc.)	

3-2 トラッキング

KM-CALはライン全長が約150mあり、ストリップ長さは最大約1800mにも達する。この長いライン上に張力計、板温計などの種々の機器を配置している。材料コイルの溶接点、段付点の移動に応じて、プロセス計算機はこれらの機器に対し、起動、停止、設定値変更の指令を行う。さらに、計装 DDC、電気 DDC への設定値のプリセットを実施する。プロセス計算機が溶接点、段付点の現在位置を正確に認識する機能をトラッキングという。本システムでは溶接完了信号、ペイオフリール切替信号、ライン内4箇所に設置した溶接点検出器の検出信号、出側のシャー信号、ラインロールにつけたパルス発信器信号、ビジネス計算機からの段付点情報を用いてトラッキングを実行する。刻々のトラッキング情報は、オペレータガイダンス用に運転室 CRT に表示される。

3-3 板温制御

所定の材質特性を得るためにはストリップに対して適正な熱履歴を与える必要がある。KM-CALでは、加熱帯から第3冷却帯までの各帯の出口目

標板温、均熱時間、第1冷却帯の冷却速度、過時効処理時間などを満足するように、ライン速度、炉温、冷却ファン使用台数、冷却風量を制御する。

制御フローを Fig. 4¹⁾ に示す。加熱帯、加熱帯の制御演算には伝熱理論を基礎とした数式モデルを適用し、次の放射伝熱式とヒートバランス式を用いた。

放射伝熱式：

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{2\sigma}{C \cdot \rho \cdot D} \cdot \phi_{CG} \cdot \left\{ \left(\frac{T_g}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 \right\} \dots (1)$$

T_s ：ストリップ温度 (K)

T_g ：炉温 (K)

σ ：ステファンボルツマン定数
4.88 (kcal/h·m²·K⁴)

C ：比熱 (kcal/kg·K)

ρ ：密度 (t/m³)

ϕ_{CG} ：総括熱伝達係数

D ：板厚 (m)

t ：時間 (h)

ヒートバランス式：

$$L_s \cdot D = \frac{\{Q_c - (1 - \mu) Q_g\} F - Q_L}{\rho \cdot Q_s \cdot W} \dots (2)$$

L_s ：ライン速度 (m/h)

D ：板厚 (m)

Q_c ：Cガス発熱量 (kcal/Nm³)

μ ：レキュベレータ効率

Q_g ：排ガス顕熱 ($Q_g \propto T_g$) (kcal/Nm³)

F ：Cガス流量 (Nm³/h)

Q_L ：固定熱損失 (kcal/h)

ρ ：密度 (t/m³)

Q_s ：ストリップ吸熱量 (kcal/t)

W ：板幅 (m)

制御モデルの検証および精度向上のために、主要箇所に設置した板温計の測定データを利用する。

3.4 プリセット

プロセス計算機は、下位に配した電気系制御システム、計装システムに対して、プリセットを行なう。プリセットの方式は、データ伝送を介するものと、直接に電圧信号や接点信号で実行するものがある。主なプリセット項目を以下に示す。

(1) 中央ライン速度

板温制御、張力制御を実施する上で重要であり、

炉の加熱・冷却能力およびストリップのヒートサイクルに基づいて決定する。

(2) ストリップ張力

ストリップ張力は、炉内でのストリップの蛇行によるヒートバックル、破断を防止する上で重要な制御要素である。設定値は板厚とライン速度に応じて決定し、溶接点の移動にタイミングを合わせてプリセットする。

(3) クリーニング電解電流

クリーニングセクションの電解電流をライン速度を基準にプリセットする。

(4) 板温計放射率補正

ライン上に配置した板温計に対し、対象ストリップの品種と目標温度に応じた放射率補正を行なう。

3.5 モニタリングとロギング

運転室に設置した CRT には、通常、コイル情報 (コイル No., 規格, 寸法など) とトラッキング情報、操業状況を表示する。オペレータは操業中、必要に応じて CRT の 7 種の画面を選択し、キーボード操作で各種設定を実施する。

また、運転室のタイプライタには、KM-CAL で処理したコイルの長さ、計算重量、分割状況などの実績と、炉温などの操業実績を印字する。

板温制御、炉解析に必要なデータは、必要に応じて計算機室のラインプリンタに印字する。

4. 特殊計測設備

KM-CAL に設置した特殊計測設備は、以下のよう分類できる。

(1) 操業上必要不可欠なもの

- a 炉外、炉内のステアリングロール CPC (Center Position Control) 装置
- b 巻取りリール EPC (Edge Position Control) 装置

(2) 制御性向上、自動化を目的とするもの

- a γ線厚さ計 (入側オフゲージカット用)
- b 溶接点検出器 (溶接点トラッキング用)
- c 張力計 (張力制御用)

(3) 製品品質管理を目的とするもの

- a 板温計
- b 磁気式硬度計

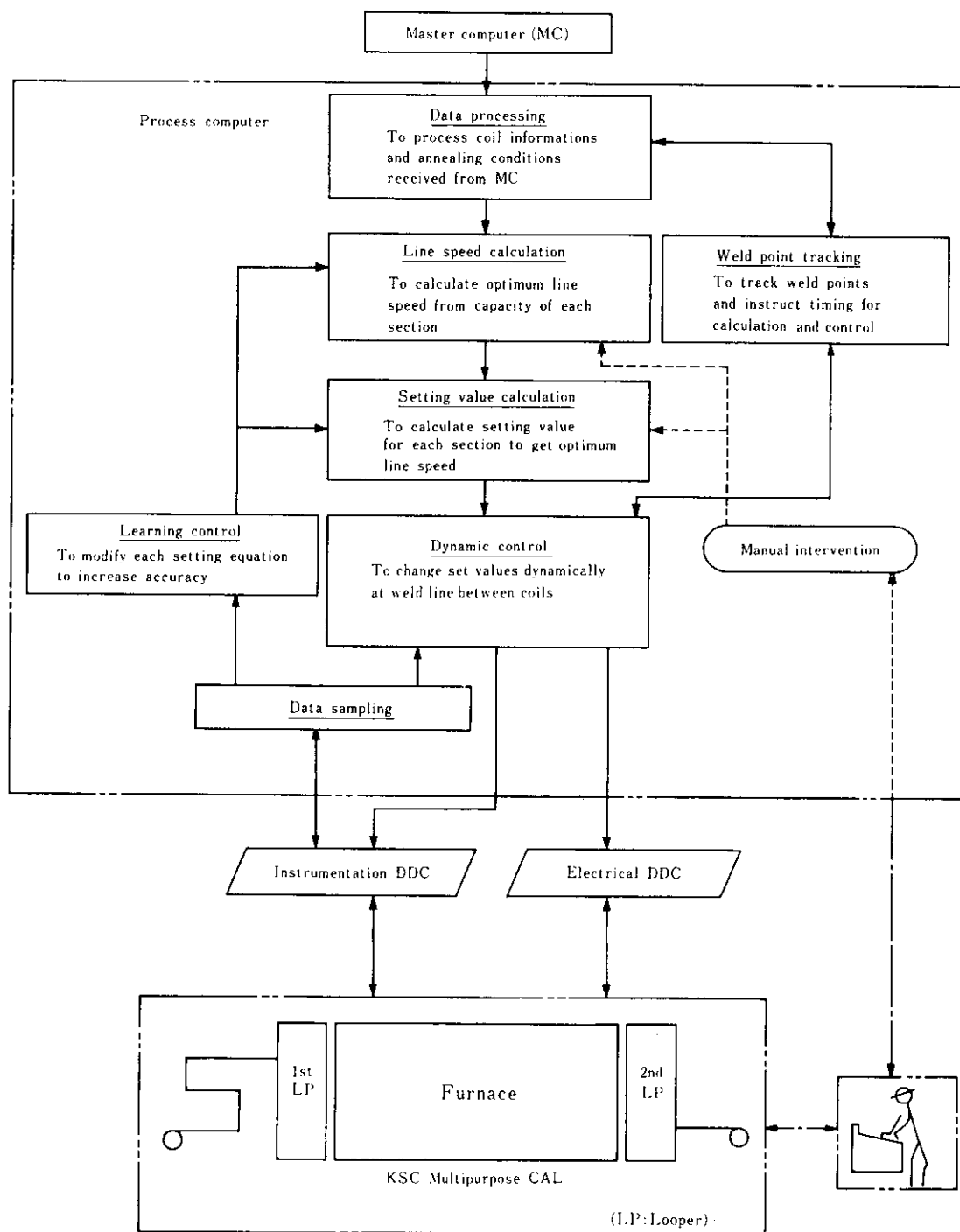


Fig. 4 Schematic flow diagram for dynamic control of strip temperature

本章では上記特殊計測設備のうち、建設時に最も検討を要した炉内ステアリング CPC 装置と、板温計とをとり上げ詳述する。

4.1 炉内ステアリング CPC 装置²⁾

炉内ステアリング CPC 装置は、炉内に設置し

たステアリングロールを制御してストリップの蛇行量に応じた蛇行修正を行なうものである。

ストリップの蛇行量を検知する方式はいくつかあり、千葉製鉄所の既設No. 1 CALは、ガスの吐出・受圧の組み合わせによりストリップエッジ位置を検出する方式である。しかし、この検出方式は、装置が大規模、校正が困難、高価、という欠点があり、KM-CALでは各種方式を比較検討した結果、ITV方式を採用した。

(1) 検出方式

ITVカメラでストリップエッジを検出するためには、エッジと背景とで十分なコントラストがとれることが必要である。KM-CALでは、コントラストを得るために二つの方法を使い分けている。すなわち、加熱帯、均熱帯ではストリップの温度が高く輝いて見えるため、ストリップの背後に冷却されたパイプを配置して、ストリップより200℃以上低い温度に保ち、コントラストをとっている。(Fig. 5 参照)。また、冷却帯ではストリップの温度が低く、かつ炉内も暗いため、補助照明をストリップに当てて背景とのコントラストをとっている(Fig. 6 参照)。

(2) ITV カメラ

ITVカメラは水冷ケースに納めたものを Fig. 7 のように直接炉体に取りつける。炉内とカメラとは、熱線反射ガラスで遮断する。Table. 3 に ITV 方式ステアリング CPC 装置の仕様を示す。

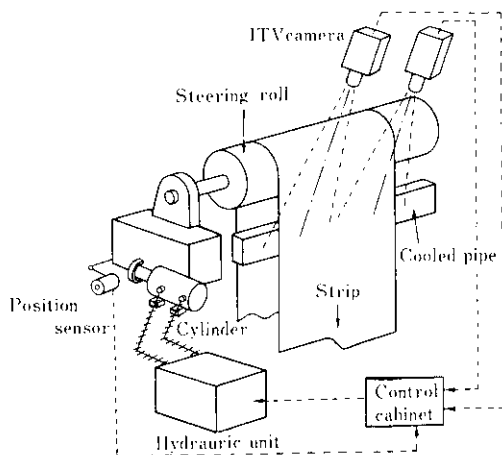


Fig. 5 Schema of intrafurnace steering roll CPC device

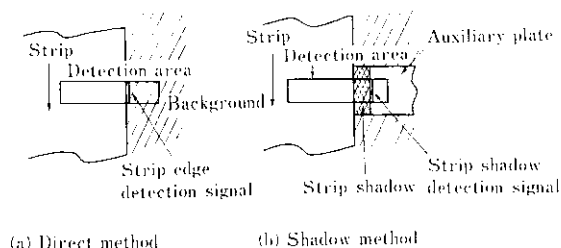


Fig. 6 Lighting methods for strip edge detection

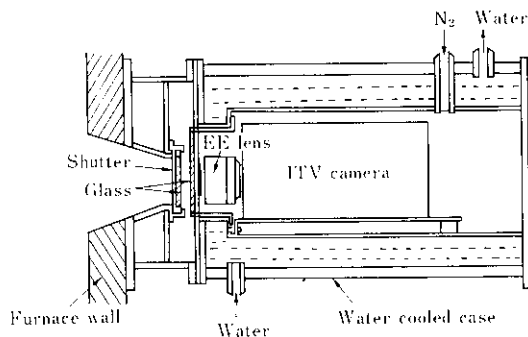


Fig. 7 ITV camera attached to the furnace

4.2 板温計³⁾

板温計は製品の品質管理上重要な役割を果たし、また、板温制御モデルの検証用装置として欠くことができない。KM-CALでは放射温度計を採用した。しかし、放射温度計は、対象物体の放射率変動による测温誤差を避けられないため事前に小形実験炉を用いて品種ごとに放射率の測定を行った。放射率は温度に応じて変化するため、放射温度計の機種は测温域によって選定し、最終的に、Table. 4 に示すAからDの4機種とした。高張力鋼板の製造にとって重要な第1冷却帯に設置した放射温度計の精度は、熱流補償型接触温度計との比較で誤差10℃以内であった。

放射温度計のオンライン校正は、現在のところ接触温度計によるが、ストリップ走行中はストリップに傷がはいる危険もあり改善を要する。ストリップ走行中にも安心して測定ができる校正装置の開発が今後の課題である。

5. 結 言

多目的連続焼鈍ラインとして当社で開発した

Table 3 Specification of intrafurnace CPC device

Item	Specification
EE lens	Focal distance : 25mm Maximum aperture : F1.4 Input level (calibrated) : 0.5-1.0V (p-p) Angle of view horizontal : 28.5° vertical : 21.5° diagonal : 34.8°
ITV camera	Horizontal sweep frequency : 15 750Hz Horizontal resolution : more than 500 lines at the center of a camera Camera tube : Si-vidicon
Illumination lamp	Tungsten lamp : 200W×1
Control cabinet	Video DC converter : 1 Video monitor : 10"×2 Selection for shift setter : control cabinet/operation desk Mode selection : auto/manual/center Manual operation switch : OP-DR selection Shift setter : 2 Indicator of cylinder position : 2
Hydraulic unit	: 1

Table 4 Radiation pyrometers of KM-CAL

Item	Type			
	A	B	C	D
Measuring temperature range °C	600-1 000	400-800	200-600	300-600
Detecting element	Si	PbS	PbS	PbS
Measuring wave-length μm	0.9	2.0	2.0	2.05/2.35 (2-color)

KM-CALは、計装、計算機、特殊計測設備に関し以下の特徴を有する。

(1) プロセス計算機を中心に、上位にビジネス計算機、下位に電気 DDC システム、計装 DDC システムを有するシステム構成であり、合理的な機能分担がなされている。

(2) CRT を中心に操業するシステムで、情報の集中監視、集中管理を達成している。

(3) 板温制御は、プロセス計算機内でのモデル演算を基本に実行し、式の精度を検証するために板温計を用いる。

(4) 板温計は放射温度計を使用し、放射温度計の放射率補正は、小形実験炉で行った放射率測定結果に基づき、プロセス計算機で処理する。

(5) 制御精度向上、品質管理を目的に、張力計、磁気式硬度計など数多い特殊計測設備を有する。

(6) 操業に不可欠な炉内ステアリング CPC 装置は、小型かつ校正の容易なITV方式を採用し、炉体への設置方法、検出方法に独自の方法を採用した。

今後は、本システムの板温制御を中心とするレベルアップをはかっていきたい。

参 考 文 献

- 1) 柳島ほか：多目的連続焼鈍炉の建設と操業，川崎製鉄技報，13 (1981) 2, 1
- 2) 川崎製鉄(株)千葉製鉄所：連続焼鈍炉内ステアリング CPC 装置，日本鉄鋼協会共同研究会第77回計測部会，計測 77-3-9 (1981.3)
- 3) 田宮ほか：炉内での鋼材・鋼帯の温度測定，川崎製鉄技報，14 (1982) 1, 106