

AUG. 1969

RIIS-RR-18-4

UDC 65.01.001.1 : 614.80

# 産業安全研究所研究報告

RESEARCH REPORT OF  
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RR-18-4

人間オペレーター—厚板圧延装置システム  
に関する研究

—ハードウェアとソフトウェアの開発—

大川雅司・西本武彦・押田将貴・河原節雄

労働省産業安全研究所

MINISTRY OF LABOUR

THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

# 人間オペレーター—厚板圧延装置システム に関する研究\*

—ハードウェアとソフトウェアの開発—

大川雅司\*\* 西本武彦\*\*  
押田将貴\*\* 河原節雄\*\*\*

## Study of the Human Operator-Plate Mill System —Development of the Hardware and Software—

MASASHI ŌKAWA\*\* TAKEHIKO NISHIMOTO\*\*  
MASATAKA OSHIDA\*\* SETSUO KAWAHARA\*\*\*

The aim of this research is to develop a hardware and a software requiring the evaluation, from the point of view of the man-machine system engineering, about the human operator-plate mill system (as man-machine system) performance.

The concrete goals are indicated as follows.

- 1) constructing the mathematical model of the human operator-plate mill system (HOPMS) characteristics,
- 2) analyzing HOPMS operations,
- 3) proceduring for HOPMS training,
- 4) evaluating HOPMS effectiveness

The system analysis conducted in the preparation stage were as follows.

- 1) drawing up the system flow chart (including the standard operational sequence analysis)
- 2) analyzing the system criticality,
- 3) analyzing the man-machine interface,
- 4) analyzing the man-machine dynamics,
- 5) setting the system training requirements,

The hardware is consisted of the computing part (using MELCOM EA-7160, the simulation of the main motor dynamics, the elongation curve, the temperature of a steel plate and the total system control are performed.) and the mill control desk (functionally similar to the real desk) the relay box, the evaluation display panel (using A/D converter, evaluation data are displayed and/or printed out), the recording part (the physical volumes such as voltage, speed and etc., the operational volumes and evaluation functions are recorded) and the AVR. The software for the system evaluation was considered in terms of the operational efficiency and quality and misoperation.

The tentative evaluation functions were derived.

\* 本研究は昭和 40, 41, 42 年度科学技術庁特別研究促進調整費に基づいて実施したものである。

\*\* 人間工学研究室 Human Factors Engineering Lab.

\*\*\* 土木課 now with Civil Engineering Section.

## 緒 言

人間-ハードウェア・システム（不完全システム）はもちろん、ハードウェア・システム（完全システム）についても、高次の機能を有するシステムの解析や評価に際し、最近では計算機シミュレーション技術を適用することが多い。本研究は科学技術庁の総合研究「訓練科学」の一環として、厚板圧延に関しシミュレーションを通じてシミュレーターを開発したものである。

### 1. 研究の背景

元来、人間工学で用いるシミュレーターのうち、解析用と訓練用とは独立に発達した。歴史的には解析用の方が先駆的であり、かつ高次であって、たとえばわが国では基礎・応用研究用として航空機、自動車、電車、列車、クレーン、ブレーキなどのシミュレーターがすでに設置され、またアメリカの実情をみると人間-機械システム・デモンストラシオン・プログラミング用、人間オペレーターの時間変化特性解析用、信頼性解析用、自動チェック・アウト・システム用、人間-機械システム・論理判断用などが開発されている。また訓練用ではわが国に航空機、潜水艦、原子炉、火力発電、ボイラーなどがあり、海外では原子炉、ボイラー、石油精製、火力発電、レーダー装置、宇宙環境、航空交通管制などがみられる。<sup>1)~9)</sup>

一般に前述のようなアナログ・シミュレーターの場合、解析用では人間オペレーターの特性をたとえば伝達関数で表現<sup>10)~12)</sup>するなど、人間オペレーター・ハードウェアおよびシステム全体の動特性に着目して、必要な評価関数を設定し、時には高信頼かつ高精度のハイブリット・シミュレーターに発展することもある。しかし訓練用では実ハードウェアの既知の諸特性をシミュレートするけれども、人間オペレーションはシーケンスのみの訓練が可能で、一般にハードウェアの性能や動作条件とは独立の定性的評価だけができる。

しかし、(a) 人間-機械システムを構成要素とする機械サブシステムが今日のように複雑化すると、人間サブシステムもこれに伴って高度のデモンストラシオン・メーカーが必要になり、(b) かつ計算機技術、人間工学、システム工学など関連技術の発達に伴って、今

日ではシミュレーターを解析用と訓練用に分離して扱うよりも、むしろ両者を統合的に取り扱い、(a) システムの高次のシミュレーションとともに、(b) システム全体の立場から評価することが妥当であろうと思われる。本研究はこのような観点から人間-圧延装置システムに関するソフトウェアとハードウェアを開発しようとするものである。

### 2. 研究の目的

本研究には新構想に基づくシミュレーター開発過程の方式に関する一般的目的と具体的な対象システムの評価に関する特殊目的とがある。

まず、本研究は一般的にはつぎの基本的方針に基づく。(a) 人間-機械システムにおけるシステム訓練を対象とする。(b) 対象システムは技術革新に伴って高度な内容を持ち、かつ高度な産業訓練を要するものから選択する。(c) かかるシステムに対する訓練は従来の方法では解析が困難なので新しい方法を開発する。(d) 訓練技術に関する表現は、人間オペレータを含む人間-機械システム機能の科学的モデルに基づくべきである。(e) 人間オペレータを情報処理システム、制御システム、意志決定システム、サーボシステムとみなし、システムの動特性に着目する。

そこで人間オペレータを閉ループ系の擬機械システムとみなし、制御対象である機械サブシステムとの間で、有機的に統合された全システムに関する解析、評価、訓練プログラムを行なう「システム訓練」の概念を発生させ、このために必要なシミュレーションの具体的設備として新しい「訓練用シミュレーター」を開発する必要がある。

前述の「システム訓練」の概念による新しいシミュレーターの開発過程をまとめると Fig. 1 のように表わされ、過程上の主要件を簡記するとつぎのようになる。

(1) 機械サブシステムの解析：一般にこれは微分方程式（線形および非線形）あるいは偏微分方程式として表わされるが、できるだけ簡略化あるいは線形化して伝達関数として表わすのが better である

(2) 人間サブシステムの解析：人間の機能を情報処理系、制御系（線形 or サンプル値）、意志決定系（確率過程）、サーボ系とみなして解析をすすめる。具体的には応答時間、予測特性、非線形特性を調べる

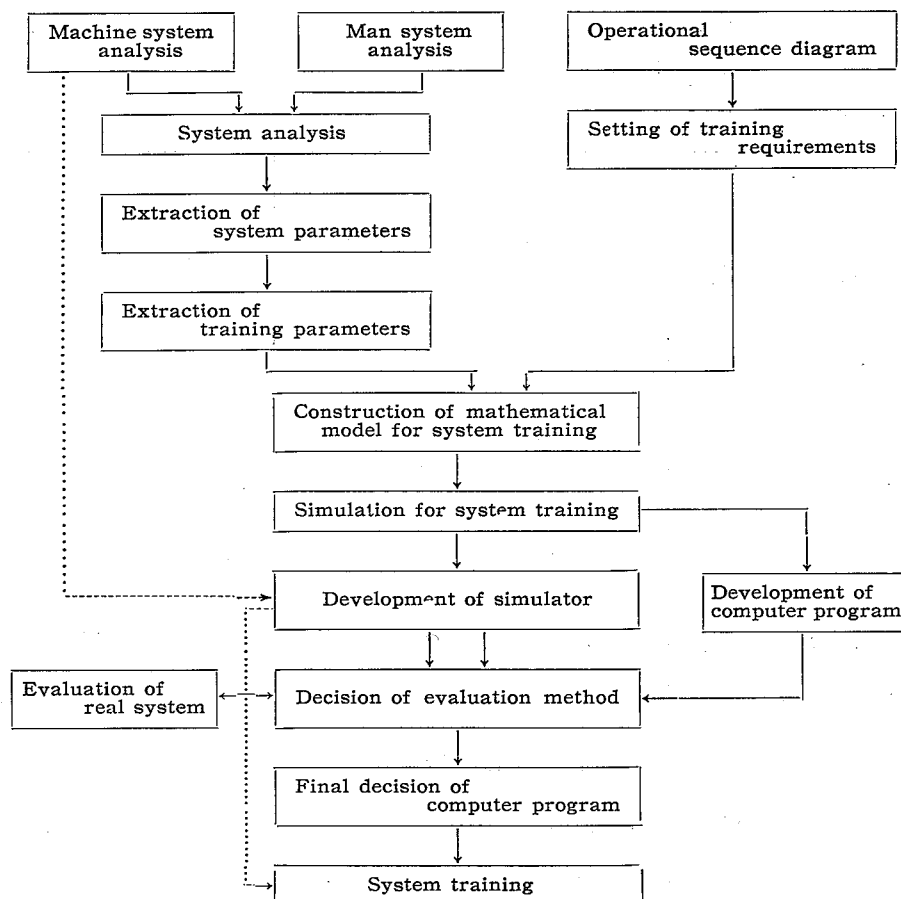


Fig. 1 Developing process of advanced simulator (.....=usual process)  
新しい訓練用シミュレーターの開発過程

(3) システム解析：機械サブシステム，人間サブシステムの結合による全システムの伝達関数を確立するほか，信頼性や動特性も考慮する

(4) システム・パラメータの抽出：情報伝達特性，制御特性のなかでシステムに大きな影響を与えるパラメータを抽出する

(5) 訓練用パラメータの抽出：システム・パラメータのなかより確率分布，操作限度，安全限度などより計算して抽出する

(6) システム訓練用数学的モデルの構成：システム特性モデル，訓練予測モデルなどの人間特性を考慮して数学的モデルを構成する。

(7) システム訓練用シミュレーション：システムの計算機シミュレーション

(8) 訓練用シミュレーターの開発，シミュレーターの設計および製作

(9) システム訓練評価方式の確立：シミュレーター・オペレーション過程に関する実験資料より定量的

な評価方式を確立する。これにはシーケンス的考慮，量的考慮，時間的考慮を勘案する

(10) システム訓練用計算機プログラムの完成：最適な学習方式を計算機プログラムによって確立する。

ここで(6)のシステム訓練用数学モデルの決定に際してはオペレーショナル・シーケンス・ダイアグラムを考慮する必要がある。また(8)の訓練用シミュレーターの開発にあたっては，システム訓練評価方式をあらかじめ予測する必要がある。 (9)の評価方式の確立によって訓練用シミュレーターの一部改良が加えられるよう考慮すべきである。このような構想に基づく新方式と従来のシミュレーターにつき，目的上の有効性を比較すれば Table 1 のようになる。

システム訓練の対象要件としては (a) 機械サブシステムが膨大なこと， (b) 制御システムが複雑なこと， (c) 時間的あるいは定量的にクリティカルなオペレーション要件を含むこと， (d) 複数個の人間オペレーションによる冗長度の維持などがあげられる。

**Table 1** Comparison between old-type and new-type training simulator  
訓練用シミュレータの新旧比較

ITEM	OLD-TYPE SIMULATOR	NEW-TYPE SIMULATOR
1. Preparation		
1) man machine system analysis	only machine system analysis	total system analysis
setting of system training requirement	qualitatively	quantitatively
2. Performance		
1) simulation level	level almost similar to real system or roughly simulated; a few of variable factors	level considering the object of training evaluation; relatively a large number of variable factors
2) training possibility level	limited	extremely higher
3) system training program	compiled only through experience	economically compiled as computer program on the ground of quantitative data
3. Operation		
1) system failure emergency	generated by instructor	generated arbitrary by either computer program or instructor
2) combination of operational conditions	possible to some extent	possible
3) coordination of multi-operator	possible occasionally	possible
4) human operator dynamics measurement	possible qualitatively	possible quantitatively
4. Evaluation	only simple evaluation	quantitative evaluation of system behavior
1) total system reliability	impossible	possible
2) system effectiveness	impossible	possible
3) system behavior	impossible	possible
4) trouble shooting	possible	possible
5) training level	limited	possible
6) control mode	qualitative	quantitative

このような要件を満す対象は、手動制御システム→計算機制御システム→完全オートメーション・システムというハードウェアの発展過程のうち、現時点では手動制御であって、極めて近い将来に計算機制御へ移行するシステムが、(a) 収集データやソフトウェアの発展的利用、(b) システム性能からみた両制御方式の比較検討の可能性などの理由で適している。そこで化学、電力、鉄鋼などの業種につき、工程別に予備調査を実施した結果、鉄鋼業に対する圧延工程を選定し、さらに熱間、冷間、分塊、厚板の各圧延装置につき、(a) システム・オペレーション上の人間工学的問題点、(b) システムの難易度、(c) 従来システム動特性 dynamics の不明度、(d) 訓練効果のレベル、(e)

システムの故障率、(f) 手動制御から近き将来において計算機制御へ移行する可能性の有無、(g) システムのシミュレーションやシミュレーターに関するハードウェアやソフトウェアの開発内容の圧延装置以外の他システムへの汎用的適用性の可否をそれぞれ検討した結果、とくに(a)、(c)、(d)、(f)、(g)の観点から「厚板圧延装置」を最適と認められた。したがって本研究は一般的目的とは別に、シミュレーターに関してつぎのような特殊目的をもつ。①(1) 人間-厚板圧延装置システム特性の数学モデル化(シミュレーター設計および計算機制御システム設計に必要な資料) ②(2) 人間-厚板圧延装置システム・オペレーショ

の解析と評価

(3) 人間-厚板圧延装置システム訓練の手順化(フレッシュ,リフレッシュ, エマージェンシイの各訓練を含む)

(4) 人間-厚板圧延装置システム有効度の評価

3. システム解析\*

厚板圧延に関する装置内容や操作内容について実態調査を実施した後で、(a) システムのフローチャート、(b) システム・クリティカリティ、(c) 人間-機械システムの接点、(d) 動特性、(e) 訓練要因設定の準備の各カテゴリーについて以下のような解析を試みた。

3.1 システム・フローチャート

オペレーションのシーケンスを圧下手、テーブルマン、ガイドマンについて記述した。

(1) 標準オペレーション順序の分析：観察法により実動作、動作対象、関連する人的要因について記述した。

(2) 前項のオペレーション順序を基礎資料として標準オペレーションを単純動作、判断動作、判断記憶動作、一連動作、調整動作に分解し、time-sequentialなフローチャートとして表現した。

3.2 Criticality

圧延オペレーション上の criticality を分析した。

(1) 圧延ダウンタイムの分析：加熱、圧延、剪断整備、潤滑、電気、検査、作業のカテゴリー別に6カ月間の資料を分析した。

(2) 圧延不合格条件の分析：厚さ不良、幅不足、長さ不足、彎曲、波、スケールの各要因別に分析した。

3.3 人間-機械システムの接点

(1) 計器リストの作成：計器別に形式、表示範囲(範囲、最少目盛)、表示内容、常用値を含むリストを作成した。

(2) 運転条件設定盤の検討：運転台上の60項目にわたる設備別に操作開閉器、ランプ、鎖錠要項からみた運転条件の一覧を作成し、運転条件設定盤の内容

\* 動特性と訓練要因設定を除き、他の項に関する資料は膨大なのでここでは省略する。詳細は「訓練科学技術に関する総合研究」(昭和41, 42, 43年, 科学技術庁)を参照されたい。

を検討した。

3.4 動特性解析

主としてシステム・アナライザを用いてつぎの解析を実施した。

3.4.1 圧延負荷トルクの計算

圧延負荷トルク  $T_L$ (kg·m) の計算法は諸種提案されているが本シミュレーターでは次の簡略式を採用し、必要な値は実測により求めた。

$$T_L = K(a-b+d)W \dots (3.4.1-1)$$

ただし、 $K$ (kg/m)、 $d$ (m)は板の出側厚み  $b$  によって決る定数 (Table 2)

Table 2 Practical data 実測値

$b$ (mm)	$K$ (kg/cm)	$d$ (mm)
$b \leq 8$	$K_1 = 100 \times 10^3$	$d_1 = 1.0$
$8 < b \leq 15$	$K_2 = 70 \times 10^3$	$d_2 = 1.5$
$15 < b \leq 30$	$K_3 = 45 \times 10^3$	$d_3 = 2.5$
$30 < b$	$K_4 = 30 \times 10^3$	$d_4 = 4.0$

$a$ (m)：入側厚み (正転の場合)

$b$ (m)：出側厚み (正転の場合)

$W$ (m)：板幅

ここでミルハウジング、ロールおよび板材の弾性変形を無視すると、 $a, b$  はそれぞれ前回および現在のロールギャップに近似的に等しいと考えられる。

3.4.2 主電動機回転トルクの算出

$P$ ：出力 (W)

$T$ ：トルク (N·m)

$\omega$ ：角速度 (rad/sec)

$T'$ ：トルク (kg·m)

$n'$ ：回転数 (rpm)

とすると、

$$T = \frac{P}{\omega} \dots (3.4.2-1)$$

$$T' = \frac{T}{9.8} = \frac{P}{9.8\omega} = \frac{P}{9.8 \times 2\pi \times n'/60} = 0.974 \frac{P}{n'} \dots (3.4.2-2)$$

また一方

$V_G$ ：端子電圧 (V)  $I_a$ ：電機子電流 (A)

$R_a$ ：電機子抵抗 ( $\Omega$ )  $K_\phi$ ：磁束 (V/n')

とすると、(3.4.2-2)式より

$$n' = \frac{V_G - I_a R_a}{K_\phi} = \frac{P}{K_\phi \cdot I_a} = \frac{(T'/0.974)n'}{K_\phi \cdot I_a} \dots (3.4.2-3)$$

$$T' = 0.974 K_\phi \cdot I_a \quad (3.4.2-4)$$

3.4.3 主電動機回転数の算出

- $J$  : 慣性モーメント (kg·m·s<sup>2</sup>)
- $GD^2$  : フライホイールモーメント (kg·m<sup>2</sup>)
- $g$  : 重力の加速度, 9.8 (m/s<sup>2</sup>)
- $\omega$  : 角速度 (rad/sec)
- $n'$  : 回転数 (rpm),  $T'$  = トルク (kg·m)

とすると

$$T' = J \frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{dn'}{dt} \quad (3.4.3-1)$$

$$\therefore \frac{dn'}{dt} = \frac{4g}{GD^2} \cdot \frac{60}{2\pi} \cdot T' \quad (3.4.3-2)$$

$$\begin{aligned} \therefore L\{n'\} &= \frac{4g}{GD^2} \cdot \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{T'}{s} \\ &= 374 \times \frac{T'}{GD^2 \cdot s} \end{aligned} \quad (3.4.3-3)$$

また一方

- $T_M$  : 回転トルク (負荷トルク) (kg·m)
- $E_c$  : 逆起電力 (V)
- $N$  : 回転数 (rpm)
- $\alpha, \beta$  : 定数

とすると

$$T_M = \alpha K_\phi \cdot I_a \quad (3.4.3-4)$$

$$E_c = \beta K_\phi \cdot N \quad (3.4.3-5)$$

$$V_G - E_c = R_a \cdot I_a \quad (3.4.3-6)$$

が成り立つ。

また Steady-State ( $N$  が一定値におちついている状態) では

$$T_M = T_L \quad (3.4.3-7) \quad (T_L \text{ は前出の圧延負荷トルク})$$

であるから (3.4.3-4) 式より

$$I_a = \frac{T_M}{\alpha K_\phi} = \frac{T_L}{\alpha K_\phi} \quad (3.4.3-8)$$

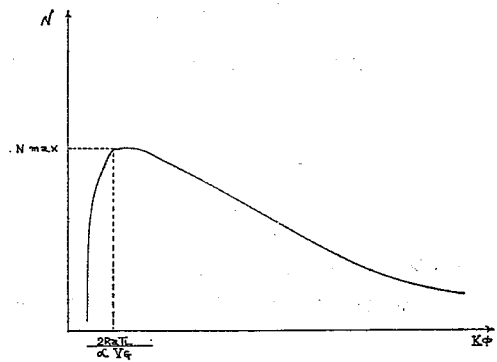


Fig. 2 Field Control characteristics.  
フィールド制御特性

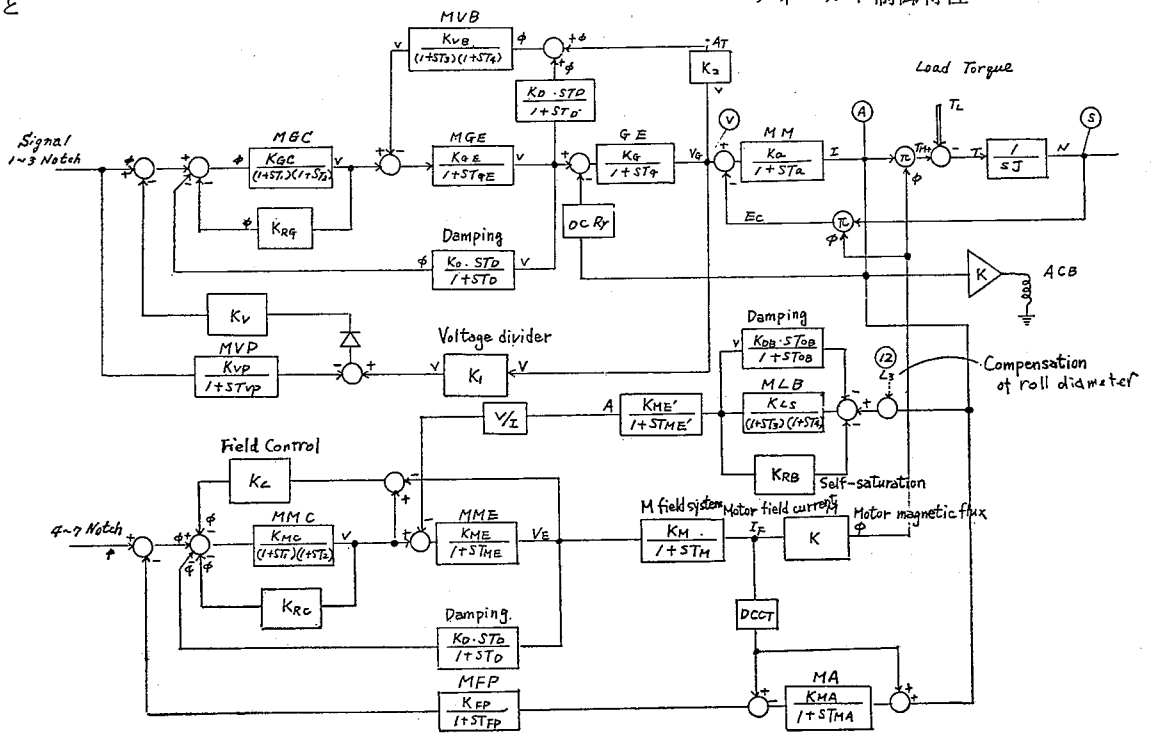


Fig. 3 Main motor control block diagram.  
主電動機制御ブロック線図

よって (3.4.3-5), (3.4.3-8) 式より (3.4.3-6) 式は

$$V_G - \beta K_\phi N = R_a \frac{T_L}{\alpha K_\phi}$$

$$N = \frac{V_G}{\beta K_\phi} - \frac{R_a T_L}{\alpha \beta (K_\phi)^2} \quad (3.4.3-9)$$

$$\frac{dN}{dK_\phi} = -\frac{V_G}{\beta (K_\phi)^2} + \frac{2R_a T_L}{\alpha \cdot \beta (K_\phi)^3}$$

$$= \frac{1}{\beta (K_\phi)^2} \left( \frac{2R_a T_L}{\alpha \cdot K_\phi} - V_G \right)$$

$K_\phi$	0	$\frac{R_a T_L}{\alpha V_G}$	$\frac{2R_a T_L}{\alpha V_G}$	+
$\frac{dN}{dK_\phi}$	+	+	0	-
$N$	$-\infty \rightarrow$	0	$\frac{4\alpha V_G^2}{\beta R_a T_L}$	$\rightarrow 0$

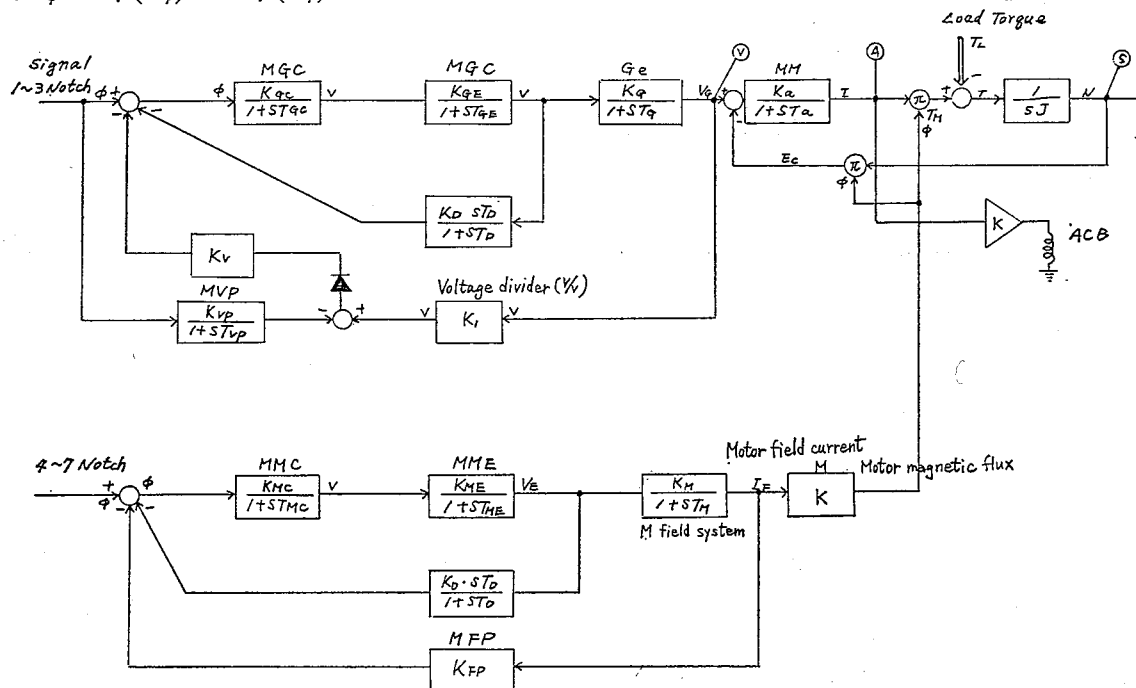


Fig. 4 Main motor control block diagram.

主電動機制御ブロック線図 (単純化)

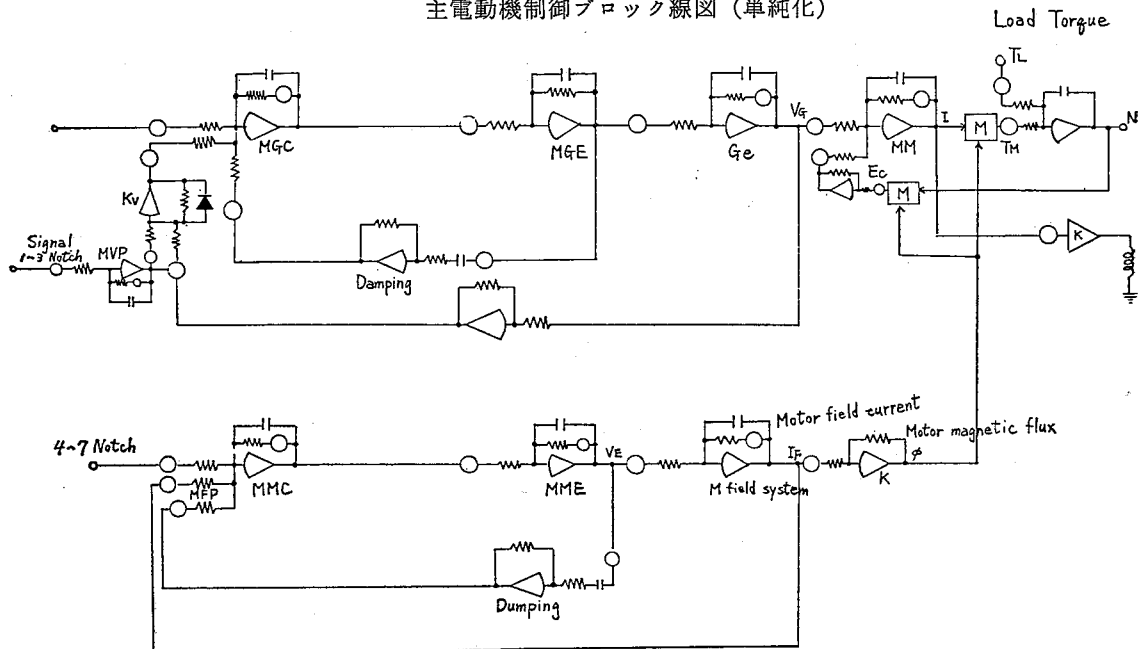


Fig. 5 Main motor control block diagram.

主電動機制御ブロック線図 (計算機用)



よって

$$K_\phi = \frac{2R_a T_L}{\alpha V_G} \text{ で } N_{\max} = \frac{\alpha V_G^2}{4\beta R_a T_L} \quad (3.4.3-10)$$

$K_\phi$  と  $N$  の関係をグラフに書くと Fig. 2 のようになる。

### 3.4.4 主電動機シミュレーション

主電動機関係の伝達関数の定数を決定するため、本システムアナライザーにてシミュレーションをおこなった。

Fig. 3 は主電動機の詳細ブロック図である。実際にシミュレーションに適用するには不必要な点もあり、それらを省略したものが Fig. 4 である。Fig. 4 をアナコンのブロック図で表わすと Fig. 5 のごとくなる。

まず負荷トルク  $T_L=0$  と仮定し、磁束  $\phi$  を印加した後、端子電圧  $V_G$  を与えると回転数  $N$  と逆起電力  $E_c$  は共に上昇し、(3.4.2-3) 式により  $I_a=0$  になったところで両者とも一定値に落ち着く、そこで負荷トルク  $T_L$  を加えると回転数は低下しますが、帰還量が少なくなり、その結果  $V_G-E_c$  が大になり  $I_a$  が増加して  $T_M$  が増し、ある時間経って  $T_M=T_L$  になると  $N$  は再び一定値に落ち着く。

### 3.5 訓練要件設定の準備

本項については「5 評価システム」において述べる。

## 4. 人間-圧延装置システムのハードウェアの開発

人間工学的な見地から定量的に評価が可能なシステム訓練用シミュレーターの開発の成果を、構成、ミルコントロールデスク、継電器板、負荷

トルク計算法、主電動機模擬、鋼板温度模擬、流量模擬、プレパッチボードの順に述べればつぎのようになる。

### 4.1 構成

本シミュレーターの構成は計算部、ミルコントロールデスク、継電器板、評価板、記録部、定電圧装置からなり、Fig. 6 にそのブロック図を示す。また photo. 1 にミルコントロールデスクと計算部を示す。

#### 4.1.1 計算部 (1 式)

MELCOM EA-7160 形アナログ計算機を主体とし、主電動機動特性模擬、圧延現象方程式模擬、鋼板温度模擬、システム全体の制御を行なう機能を有する。Table 3 に計算部の構成内容を Fig. 7 に前面図を示す。

#### 4.1.2 圧下手用ミルコントロールデスク(圧下手用模擬デスク) (1 式)

実圧下手が操作するものと外見上同一のスイッチ、押ボタン、メーター類を実装し、圧下手用操作板(左)、

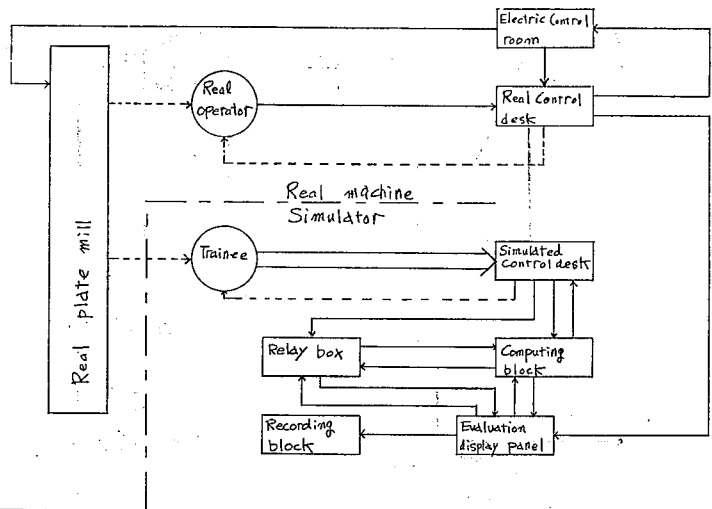


Fig. 6 Plate mill simulator block diagram. 圧延訓練用シミュレータブロック線図

Table 3 Constitution of the analog computer  
アナログコンピューターの構成

Component	Constitution in 1966	Constitution in 1967	Total
1) Operational amplifier	2panels 40units	3panels 50units	5panels 50units
2) Manual potentiometer (IC)	1panel 10units	—	1panel 10units
// A	1panel 10units	2panels 20units	3panels 30units
// B	1panel 10units	—	1panels 10units
3) Servo set potentiometer	1panel 30units	—	1panels 30units
4) Servo amplifier(for servopot.)	1 set	—	1 set
			Total 80 units

5) Control panel A	1 set	—	1 set
6) Control panel B (Alarm signal of overload)	1 set	Enlarged	1 set
7) Automatic programming panel	1 set	—	1 set
8) Logic panel	1 set	Enlarged	1 set
9) Digital voltmeter	1 set	—	1 set
10) Load torque computing panel	1 panel 1 unit	Enlarged	1 panel 1 unit
11) Connection panel A, B	1 set	—	1 set
12) Patch bay (included program board, limiters, impedances and etc.)	1 set	Enlarged	1 set
13) Power supply (for linear components rack)	1 set	—	1 set
14) Rack for linear components	1 set	—	1 set
15) Multiplier/divider panel B	1 panel 2 units	3 panels 6 units	4 panels 8 units
16) Function generator A	1 panel 1 unit	1 panel 1 unit	2 panels 2 units
17) Power supply (for non-linear components rack)	1 set	—	1 set
18) Rack for non-linear components	1 set	—	1 set

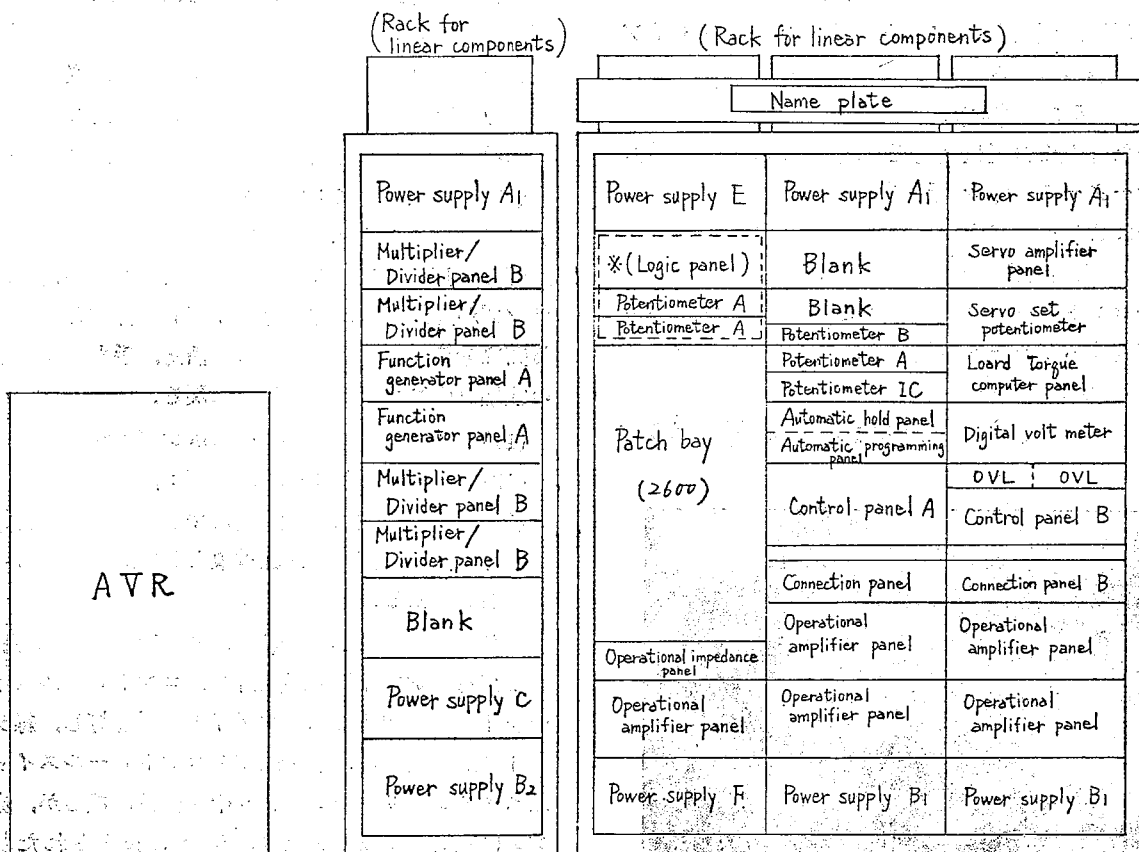


Fig. 7 Front-view of computing part of mill simulator.

厚板圧延訓練用シミュレーター計算部前面図

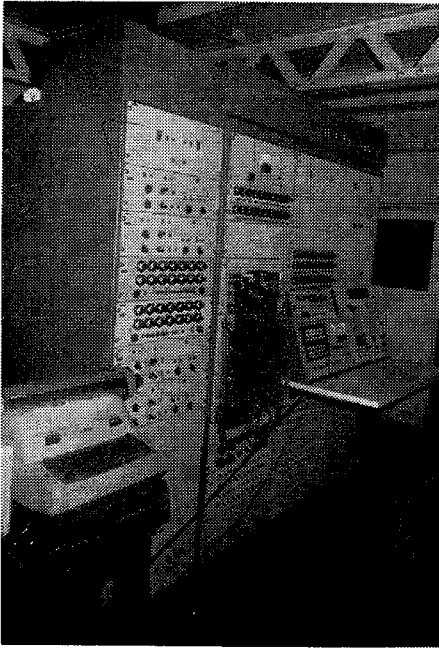


Photo. 1-1 Computing block of Simulator  
シミュレータ計算部

圧下手用操作板(右), フットスイッチ, 圧下ダイヤルの4機器からなる。

#### 4.1.3 記録部 (1式)

必要な各部の物理量(電圧, 電流, 速度, 板厚等), オペレーターの操作量, 評価関数などを電動タイプライターおよびペン書オシロで記録する。

#### 4.1.4 継電器板 (1式)

ミルコントロールデスク操作に必要なインターロックを表現するリレーを実装する。

#### 4.1.5 定電圧装置

AC 220 V の安定化電源を得るための装置であり,

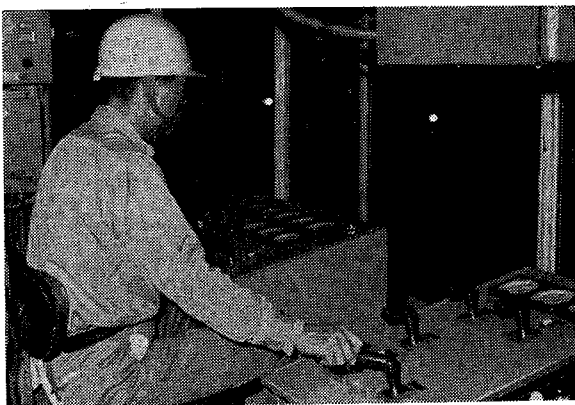


photo. 1-2 Simulated control desk  
模擬コントロールデスク

電源の切断は計算部から遠隔操作が可能である。

## 4.2 ミルコントロールデスク

実装の内容はつぎのとおりである。

(1) 温度計: 鋼板温度 (700°C~1200°C) を表示する。指針の表示方法は計算部内の関数発生器の設定関数による。

(2) 流量計: ミル冷却水流量 (0~500 T/Hr) を表示する。電源を投入すると標準値 300 T/Hr を指示する。

(3) 上ロール電圧: 上ロール電圧値 (0~±1KV) を計算部の出力により表示する。定格値は 7750V である。

(4) 上ロール電流: 上ロールの電流値 (0~±15 KA) を計算部の出力により表示する。無負荷電流は 200 A, 定格値は 5,380 A であり, 13,450 A で ACB がトリップする。

(5) 上ロール速度: 上ロールの回転速度 (0~±100rpm) を計算部の出力により表示する。定格値は 40rpm である。

(6) 下ロール電圧: 上ロール電圧と同様

(7) 下ロール電流: 上ロール電流と同様

(8) 下ロール速度: 上ロール速度と同様

(9) 水蒸気切換: 配線なし

(10) 圧下グリースポンプ: 電源投入で白ランプが点灯し, 押ボタン「入」を押すと白ランプが消え, 赤ランプが点灯する。押ボタン「切」を押すと押している間は赤ランプ白ランプともに消え, 手を離すと最初の状態(白ランプのみ点灯)に戻る。

(11) サイドガイドグリースポンプ: 同上

(12) テーブルグリースポンプ: 同上

(13) ミル冷却水: 電源投入で白ランプが点灯する。押ボタンは将来, 訓練対象として評価できるように考慮してある。

(14) ミル ACB: 電源投入で橙ランプ「準備完了」および緑ランプ「切」が点灯し, コントロールスイッチを「入」に回すと赤ランプ「入」が点灯し, 緑ランプ「切」が消える。手を離すとコントロールスイッチはスプリングリターンにより中央位置に戻るが, 赤ランプは点灯したままとなり, ACB は投入された状態となる。

コントロールスイッチを「切」に回すと赤ランプが消え, 手を離すとコントロールスイッチは中央位置に

戻り、緑ランプが点灯して電源投入時の状態に戻る。また ACB 投入の状態でもロール電流が 13,450 A を超えると、計算部の出力により ACB がトリップし、赤ランプが消え、緑ランプが点灯する。すなわち自動的に ACB が切断された状態になる。

(15) シャワ上下切換：訓練対象として評価できるように考慮してある。

(16) 板冷却水：電源投入で白ランプが点灯する（押ボタンは配線なし）。

(17) 冷却水ヘッド：配線なし

(18) スプレイ幅切換：訓練対象として評価できるように考慮してある。

(19) ロール径補償：配線なし

(20) スプレイ：電源投入で白ランプが点灯する。コントロールスイッチは訓練対象として評価できるように考慮してある。

(21) 圧下切換：訓練対象として評価できるように考慮してある。ただし圧下は粗のみ模擬してある。

(22) 信号：訓練対象として評価できるように考慮してある。

(23) エッジャー速度：配線なし

(24) エッジャー電流：配線なし

(25) エッジャー電圧：配線なし

(26) ミル運転切換：寸動、連動、単動、緩動の切換えであり、訓練対象として評価できるように考慮してある。またフットスイッチとのインターロックも模擬してある。

(27) レベリング：電源投入で白ランプが点灯する（コントロールスイッチは配線なし）。

(28) ミル速度制限選択：最高速度 60, 70, 80 rpm の切換えであり、訓練対象として評価できるように考慮してある。またフットスイッチとのインターロックも模擬してある。

(29) 圧下非常停止：コントロールスイッチを「入」に回すと圧下モーター制御回路が入り、「切」にすると切断され赤ランプ（圧下スイッチの左上のもの）が点灯する。

(30) 圧下：電源投入で白ランプが点灯する。昇降おのおの粗 1, 粗 2, 粗 3 ノッチを模擬してある。各ノッチに対応した速度で圧下ダイヤルが回転し、ロールギャップ値が計算部へ入力として与えられる。

(31) フットスイッチ：右が正転、左が逆転でおのおの 0~7 ノッチの範囲で設定できる。ただし現在は

実装置と同様に 1, 2 ノッチは電氣的にショートしてある。

(32) 圧下ダイヤル：圧下手用操作板（右側）上の圧下コントロールスイッチの操作にしたがって指針が回転し、指示値に対応するアナログ電圧が計算部に与えられる。前面板右下のつまみにより手動で目盛を調節できる。

### 4.3 継電器板

ミルコントロールデスクの操作に必要なリレー、その他を実装してある。継電器板とミルコントロールデスクとのインターロックシーケンス図は複雑になるので省略する。

### 4.4 負荷トルク計算板

#### 4.4.1 機能

負荷トルク計算板（略称 LTC 板）はスラブがミルロールにかみ込んだ時に、所要の厚さに圧延するのに必要な圧延負荷トルク（ミルロールを回している圧延電動機の負荷トルク）を電気回路にて模擬して計算するためのものである。その他圧延操作に必要なリレーシーケンスをも模擬してある。

負荷トルク計算板の機能は

#### (1) 負荷トルク計算

(a) 積分器 INTA, INTB の Track-Hold 制御用リレーシーケンス

(b) F(Forward), R(Reverse) によるスラブの入側厚み a, 出側厚み b の符号変換用リレーシーケンス

(c) G(Roll Gap) 値によりコンパレーターの出力に従って定数 d, k の値を切り換えるリレーシーケンス

(d) ロータリースイッチによる板幅 W の切換え

(e) OPCM および MLB スイッチよりのマニュアルかみ込み信号の受取り

(f) 継電器板からのかみ込み信号の受取り

(g) 継電器板からの F, R 信号の受取り

(h) 圧下ダイヤルからの読み出し電圧 G の受取り

#### (2) ノッチ信号切換え

(a) 継電器板からの F, R, 1~7 ノッチ信号の受取り

(b) Voltage Control 1, 2, 3 ノッチ信号切換え

(c) Field Control 1, 3, 4, 5, 6, 7 ノッチ

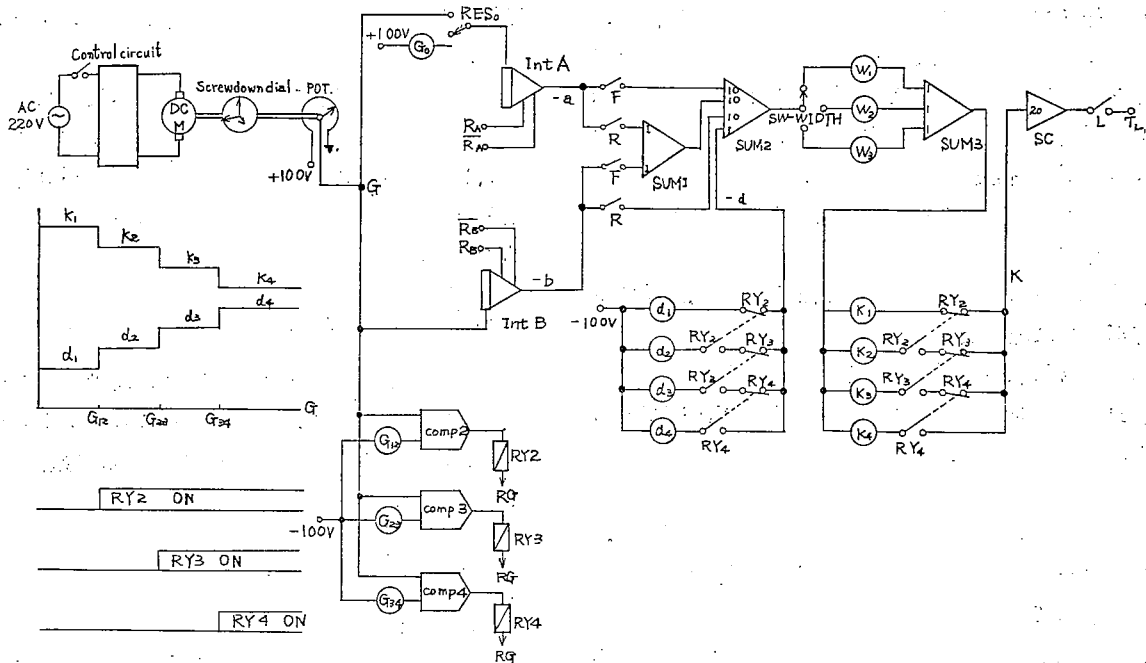


Fig. 8 Computing diagram for load torque of plate mill simulator  
 圧延負荷トルク計算回路

信号切換え

(3) ACB トリップ

パッチベイより  $V_{Ia}$  (主電動機電流に対応する電圧値) によるコンパレーターの出力を受取り, ACB をトリップさせるリレーシーケンス

(4) ランプ点灯

- (a) かみ込み信号 (LB) で赤色灯を点灯
- (b) F, R で白色灯を点灯

(5) フリーダイオード切換え

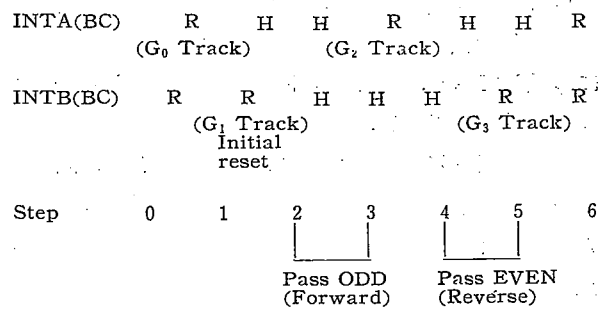
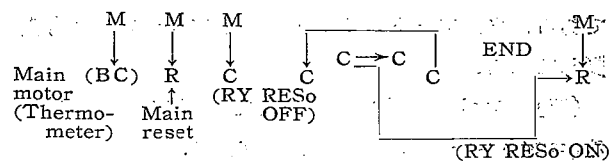
Voltage Control Divider—MVP 差電圧制限用フリーダイオードの F, R による極性切換え

4.4.2 圧延負荷トルク模擬計算方法

圧延負荷トルクの計算は (3.4.1-1) 式により, これをアナログ的に模擬した。

Fig. 8 はこの計算方式のブロック図である。圧下ノッチ信号により DC モーターが回転し, 圧下ダイヤルの指針をまわし, この指示値に比例したアナログ電圧  $G$  をモーターに連動したポテンショメーターより取り出す。ここで  $G$  はロール・ギャップを表わす。この  $G$  を積分器 INTA, INTB の初期条件端子に接続し, INTA, INTB にそれぞれ Track-Hold 制御信号  $R_A, \bar{R}_A$  および  $R_B, \bar{R}_B$  を与える。いま Forward 方向の圧延の場合を考えると INTA

には  $-a$  (ただし  $a$  は前回設定したロールギャップ, すなわち出側厚み), INTB には  $-b$  (ただし  $b$  は現在設定したロールギャップ, すなわち出側厚み) が Hold されている。Forward 方向圧延中であるので



- M.....Manual operation
- BC.....Balance check
- R.....Reset
- C.....Compute
- H.....Hold

Fig. 9 Mode control  
 モード・コントロール

Main op. Mode ← BC → \* RESET → COMPUTE → \* RESET →

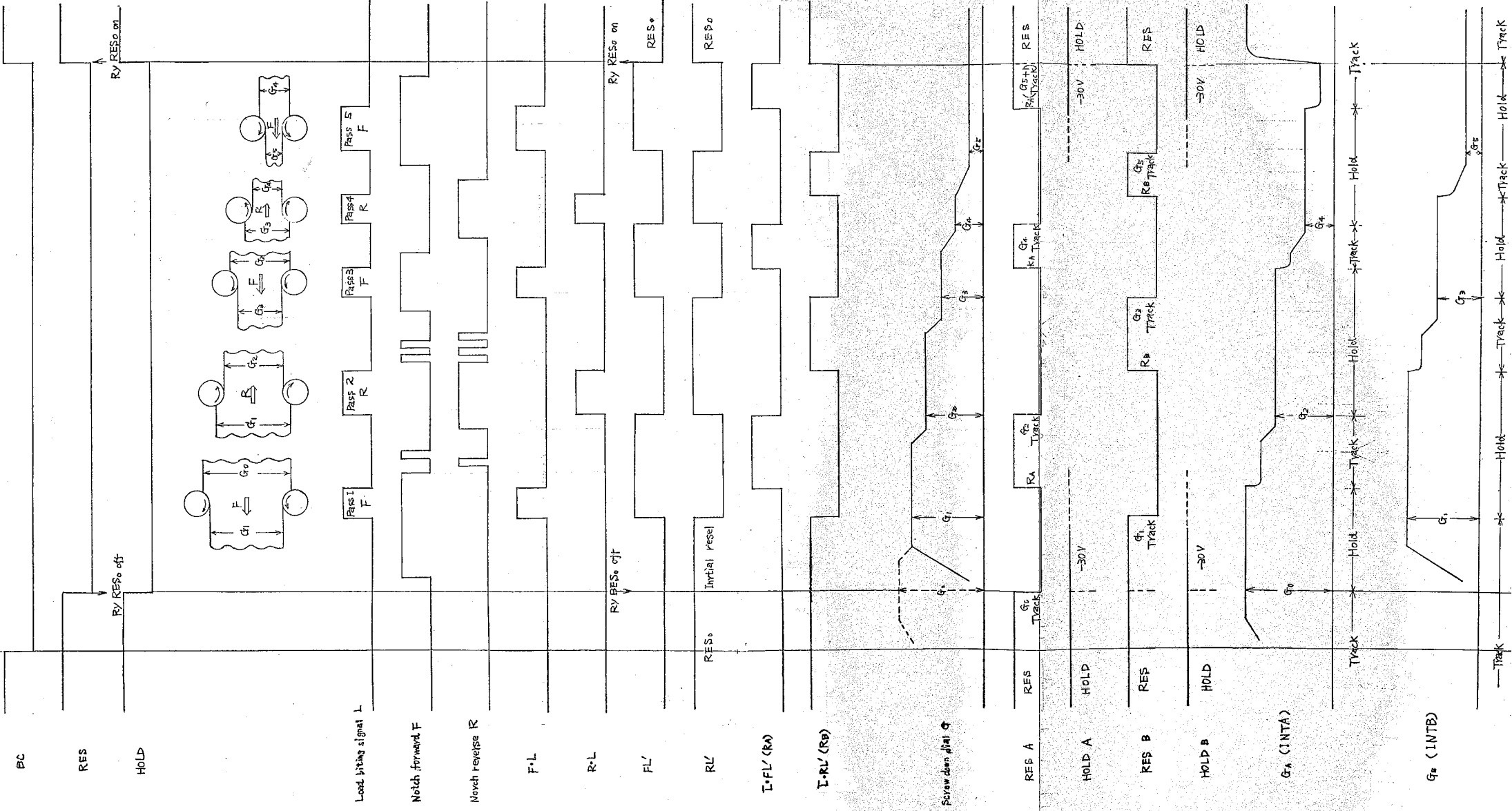


Fig. 10 Time chart  
タイムチャート

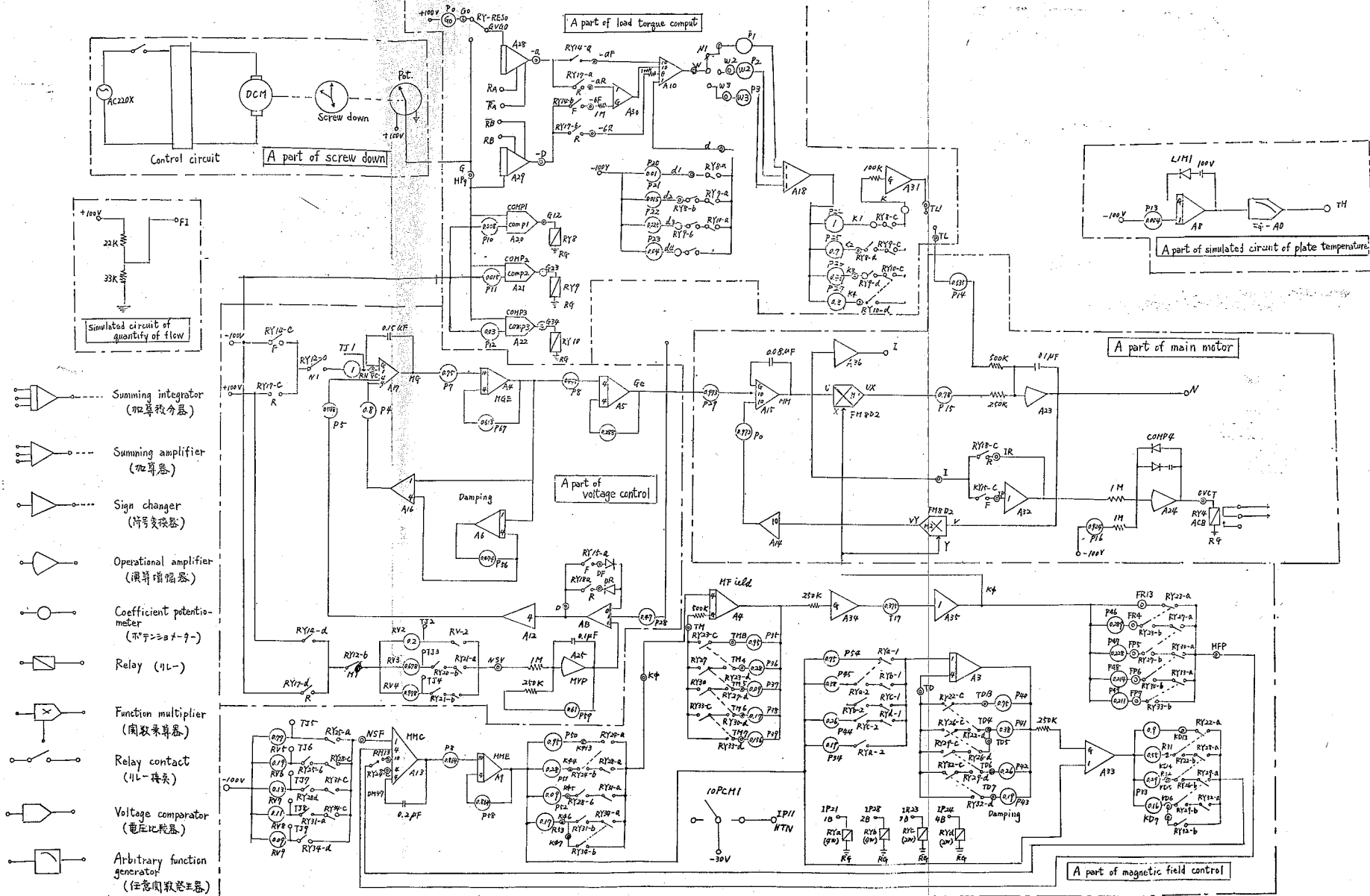


Fig. 16 Calculation circuit diagram of plate mill.  
 压延訓練用シミュレータ演算回路図

レ— RyF がメータされ、SUM 2 の出力は  $a-b+d$  となる。これに Pot W および Pot. K により定数を掛けると所要の圧延負荷トルクが得られる。

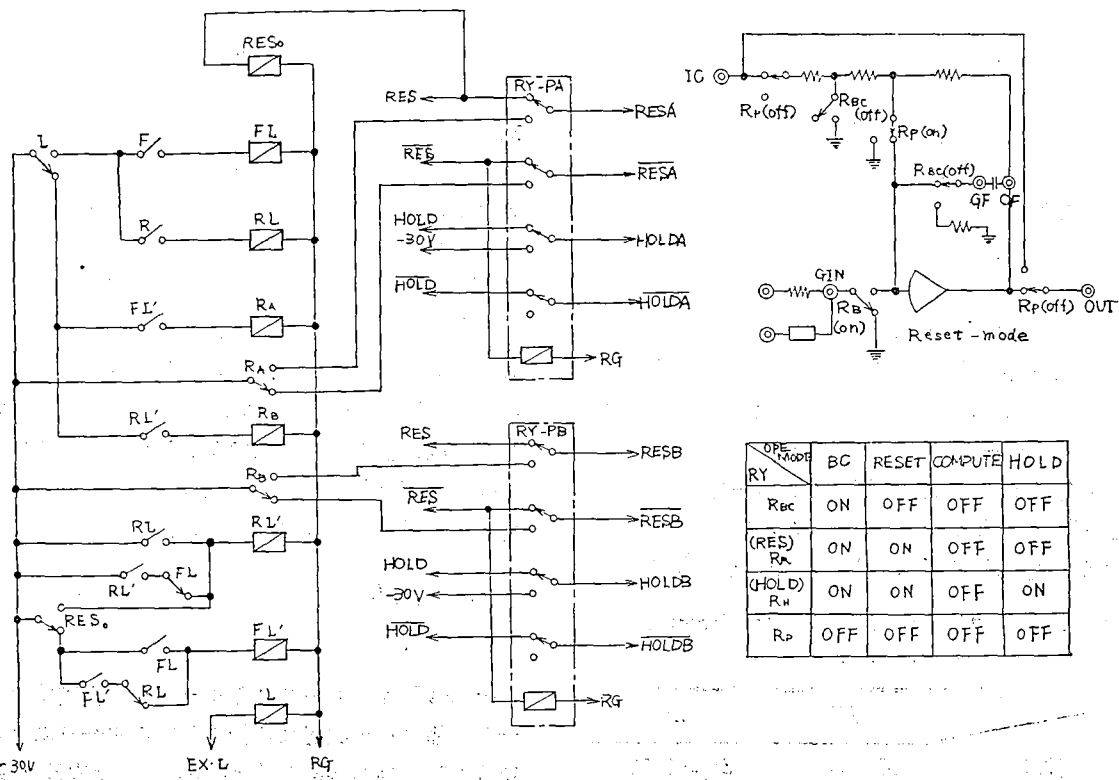
なお、K および d の値は現在のロールギャップ設定値によりコンパレータ (Comp 2, 3, 4) を働かせ Ry 2, 3, 4 により  $K_1, K_2, K_3, K_4$  および  $d_1, d_2, d_3, d_4$  に切換えられる。一方、板幅 W は転回するたびにロータリースイッチにより  $W_1 \rightarrow W_2 \rightarrow W_3$  と切換えられる。また  $G_0$  は挿入スラブ厚みであり、これはロールギャップに関係ないので、べつに Pot  $G_0$  により与えられる。L は板のかみ込み信号である。すなわち板をかみ込んでいる間は圧下できないし、また圧延負荷トルク  $T_L$  はかみ込んでいる間だけしか印加されない。

Fig. 9 は Mode Control を示す。main 演算モードが BC (Balance Check) および Reset の時は、INTA および INTB の 2 コの積分器は他の演算増幅器と同期して制御されるが、Main が Compute Mode になると同時に、この 2 コの積分器の Mode Control は Main と切り離され、外部の制御信号により Control される。すなわち

(Step 0) : Main Reset の状態で Pot  $G_0$  (挿入スラブ板厚) Pot  $W_1, W_2, W_3$  (挿入スラブ板幅, 第 1 転回後の板幅, 第 2 転回後の板幅, ただし  $W_2, W_3$  は予測計算値) をセットし、ロータリースイッチ WIDTH を  $W_1$  にする。この時は INTA, INTB も Reset 状態だが、RYRESO (Main Reset Relay) が ON なので、INTA は  $G_0$  の値を読み込む。

(Step 1) : つぎに Main Compute になると主電動機および鋼板温度模擬回路は演算を開始する。RYRESO は OFF となり、それと同時に INTA は Hold 状態になるので  $G_0$  の値を Hold したままとなる。INTB は Initial Reset 信号により Reset 状態を保ち、来たるべき Pass 1 のためのロールギャップ設定値  $G_1$  を track する。

(Step 2) : つぎに板をかみ込むと (Pass 1) かみ込み信号 L により INTB も Hold 状態となる。すなわち INTA には  $G_1$  を、INTB には  $G_0$  を記憶しており、 $G_0$  が a,  $G_1$  が b に対応する。これにより圧延負荷トルク  $T_L$  が計算され、主電動機発生トルク  $T_M$  との差により主電動機が回転される。



OPER. MODE	BC	RESET	COMPUTE	HOLD
RY Rec	ON	OFF	OFF	OFF
(RES) RA	ON	ON	OFF	OFF
(HOLD) RH	ON	ON	OFF	ON
Rp	OFF	OFF	OFF	OFF

Fig. 11 Track-hold control circuit.

トラックホールド制御回路



(Step 3) : 板が抜けると INTA が Reset 状態になり, つぎの Pass 2 のための設定値  $G_2$  を track する。

(Step 4) : 板をかみ込むと (Pass 2), INTA は Hold 状態となる。すなわち INTB には  $G_1$  を, INTA には  $G_2$  を記憶しており,  $G_1$  が  $b$ ,  $G_2$  が  $a$  に対応する。

(Step 5) : 板が抜けると INTB が Reset 状態になり, つぎの Pass 3 のための設定値  $G_3$  を track する。このようにして Pass ODD (Forward), Pass EVEN (Reverse) を繰り返して, 所定の厚みになるまで圧延を行う。通常, Pass 回数は 5~15 回程度であるが, 最終 Pass はたとえからパスでも必ず Forward で送るので奇数回目となる。

圧延が終了すると Main Reset にし, Step 0 の状態に戻す。なお板幅  $W$  は転回が行われるたびに  $W_2$ ,  $W_3$  に切替える。Fig. 10 はこの演算制御の Time Chart である。ここで Main Ope Mode は計算機全体の Main 演算モードを示す。BC, RES, HOLD は Main Ope Mode による演算制御リレー信号を示す。 $L$  はかみ込み信号, すなわちロールが板をかみ込んでいる信号である。 $F$  は, Forward のノッチ信号,  $R$  は Reverse のノッチ信号である。板をかみ込んでいない時,  $F$  と  $R$  を交互に入れているのは, 転回のために板の位置を調整したことを示す。なお,  $F$  と  $R$  は同時には入らないよう機械的および電氣的にインターロックされている。

$F \cdot L$  は Forward 信号  $F$  とかみ込み信号  $L$  との AND であり,  $R \cdot L$  は Reverse 信号  $R$  とかみ込み信号  $L$  との AND である。 $FL'$ ,  $RL'$  はそれぞれ  $F \cdot L$  および  $R \cdot L$  を Self-Hold し, 互いの信号で Self-Hold を解くように, シーケンスを組んである。なお Main Reset 信号 RESo により  $RL'$  の方が一番最初に ON になる (Initial Reset) ようにしてある。

$\bar{L}$  はかみ込み信号  $L$  の NOT であり,  $\bar{L} \cdot FL'$  お

よび  $\bar{L} \cdot RL'$  はそれぞれ  $\bar{L}$  と  $FL'$ ,  $RL'$  との AND である。 $G$  は圧下ダイアルの指示値を示す。挿入スラブ板厚  $G_0$  はもちろん圧下ダイアルには指示されないが, 参考のために点線で書き加えてある。RESA, HOLDA および RESB, HOLDB はそれぞれ INTA および INTB の演算制御リレー信号を示す。

Main Ope Mode が BC および RESET の時は INTA, INTB も Main Ope Mode により制御される。Main Ope Mode が COMPUTE になるとパッチベイ内の RYPA, RYPB が ON となって Main Ope Mode から切り離され RESA には  $R_A$ , HOLDA には  $-30V$ , RESEB には  $R_B$ , HOLDB には  $-30V$  が加わる。すなわち INTA, INTB は COMPUTE にはならず, それぞれ独立して RESET, HOLD を繰り返す。Fig. 11 は Track-Hold 制御回路の具体例である。

#### 4.4.3 スケール変換

Table 2 は実測データによる  $K, d$  の値を示す。いま各定数の取り得る値の最大値を

$$K = 100 \times 10^5 \text{ kg/m}$$

$$(a - b + d) = 0.1 \text{ m}$$

$$W = 10 \text{ m}$$

とすれば得られる負荷トルクの最大値は (3.4.1-1) 式より

$$T_L = 100 \times 15^5 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

となる。この最大負荷トルクを主電動機の最大発生トルク  $5 \times 10^5 \text{ kg} \cdot \text{m}$  に対応させるには, 換算係数  $\alpha$  は  $\alpha = 20$  となる。よって計算機で模擬する場合の式は

$$T_L' = 20 K' (a' - b' + d') W' \quad (4.4.3-1)$$

となる。ただし, ダッシュはアナコンの演算電圧 (MELCOM EA-7160 形では  $100V$ ) に対応して設定された最大値に対する比で表現したことを意味する。

Table 4 は実際にポテンシオメータに設定する値を示す (詳しくは 4.5.2 参照)。

### 4.5 主電動機

#### 4.5.1 ブロック図

圧延装置等に使用されるモーターや発電機の特性は一般に簡単な一次遅れの伝達関数の組合せによって実装置と同じ動作特性をもつ模擬装置で実現できる。

Fig. 3 に示すブロック図は本圧延機の電機部分 (イルグナー方式) のシステムブロック図である。なお, 模擬対象の電機部分で特性的に対称なものは片方だけ

Table 4 Setting values of potentiometers  
ポテンシオメータの設定値

$b'$	$K', d'$	$K'$	$d'$
$b' \leq 0.008$		$K'_1 = 1$	$d'_1 = 0.01$
$0.008 < b' \leq 0.015$		$K'_2 = 0.7$	$d'_2 = 0.015$
$0.015 < b' \leq 0.030$		$K'_3 = 0.45$	$d'_3 = 0.025$
$0.030 < b'$		$K'_4 = 0.3$	$d'_4 = 0.04$

の模擬を行なっている。

Notch  $S_C$  はノッチが入ると一定の基準入力を与える。Notch  $S_V$  は Voltage Control 入力であり、1, 2, 3 とノッチを入れるにしたがってそれに対応するノッチ入力を印加し、発電機電圧  $V_G$  を増しモーターの回転速度  $N$  をさらに上昇させる。

電動機は発生トルク  $T_M$  と負荷トルク  $T_L$  との差  $T_M - T_L$  によって加速され、回転速度  $N$  が上昇して逆起電力  $E_c$  が増加すると電流  $I$  が減少し、したがって  $T_M$  が減少し、その結果  $T_M = T_L$  となった時点で定常状態になる。

発生トルク  $T_M$  は Fig. 3 のブロック図を計算機で模擬することにより計算できる。圧延負荷トルクは積分器をアナログメモリーとして用いることにより計算する。

4.5.2 スケール変換法

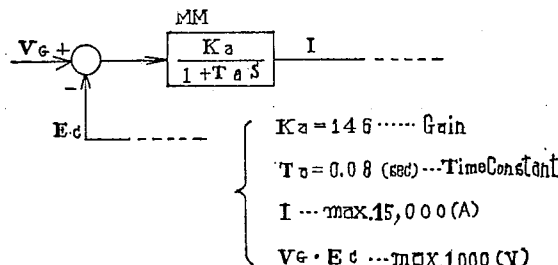


Fig. 12 A part of main motor block diagram.

メインモータブロック図

一般に模擬しようとする装置もしくは機器の各種伝達関数をアナコンで具現する場合、その装置で取扱う物理量が、たとえば電圧 1200V とか電流 3μA とか回転数 4000rpm のように、非常に小さい物理量から膨大な物理量の範囲にわたっている時など、同時に桁違いの数値を演算することができない。これを解決す

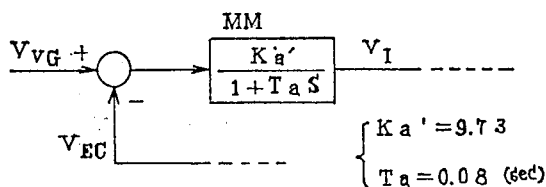


Fig. 13 A part of main motor block diagram.

メインモータブロック図

るための操作をスケリングといい、取扱う物理量がアナコンで計算しやすいように、アナコンの演算電圧に変換する方法である。スケール変換法の詳細例を主電動機部分について記すとつぎのようになる。

いま  $I, V_G, E_c$  の各最大値をアナコンの演算電圧

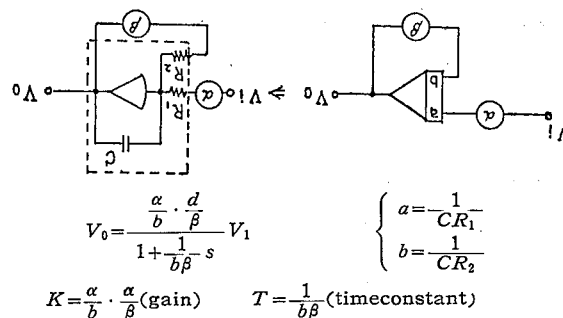


Fig. 14 Analog computer diagram.

アナログ計算機図 (細部)

100V に対応させると、 $I, V_G, E_c$  のアナコンに置き換える電圧は次式で表わされる。ただし  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  はそれぞれの換算係数とする。

$$V_I = \alpha_1 I \quad \left( \alpha_1 = \frac{1}{150} \text{ [V/A]} \right) \quad (4.5.2-1)$$

$$V_{VG} = \alpha_2 V_G \quad \left( \alpha_2 = \frac{1}{10} \text{ [V/V]} \right) \quad (4.5.2-2)$$

$$V_{EC} = \alpha_3 E_c \quad \left( \alpha_3 = \frac{1}{10} \text{ [V/V]} \right) \quad (4.5.2-3)$$

また Fig. 12 より

$$I = K_a (V_G - E_c) \quad (4.5.2-4) \text{ が成立し、これに}$$

(4.5.2-1), (4.5.2-2), (4.5.2-3) 式からの  $I, V_G, E_c$  を代入すると

$$V_I = \frac{\alpha_1 K_a}{\alpha_3} (V_{VG} - V_{EC}) \quad (4.5.2-5) \text{ となる}$$

( $\alpha_2 = \alpha_3$  だから)。

ここで  $\frac{\alpha_1 K_a}{\alpha_3} = K_a'$  (4.5.2-6) とすると

$$V_I = K_a' (V_{VG} - V_{EC}) \quad (4.5.2-7) \text{ となる。}$$

(4.5.2-7) 式で  $K_a'$  は物理量  $K_a$  の利得をアナコンで置き換える場合、その利得は  $K_a' = (\alpha_1/\alpha_3) K_a$  となることを示す。以上の方法で Fig. 12 における物理量はすべてアナコンで演算しやすい演算電圧に変換

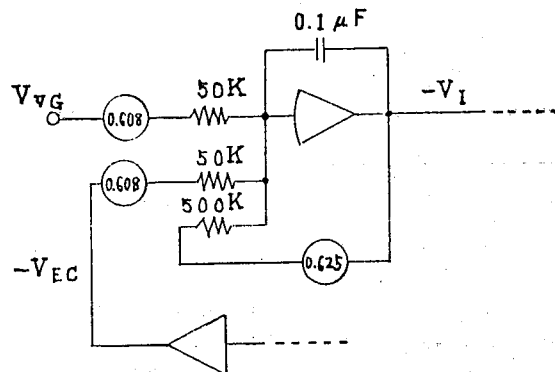


Fig. 15 Detail analog computer diagram.

アナログ計算機図 (細部)

することができる (Fig. 13 参照). なお時定数  $T_a$  は実時間シミュレーションなので, スケーリング (タイムスケール) はできない. また  $K_a'$  は (4.5.2-6) 式より  $K_a'=9.73$  となる.

4.5.3 アナコンブロック図

Fig. 13 の形に変形されてきたものを具体的にアナコンの演算増幅器ポテンシオメータなどを用いて実現する方法をつぎに述べる. 一般に  $K/1+T_s$  という一次遅れの伝達関数は積分器とポテンシオメータ, または加算器とコンデンサという組合せで実現できる. とくに前者の構成では利得, 時定数が連続的に変化できることが特徴である (Fig. 14 参照).

Fig. 14 の構成から入出力電圧の関係は (4.5.3-1) 式で表わせる. (4.5.3-2) 式からもわかるように利得, 時定数はともにポテンシオメータによって変化させることができる. Fig. 13 の  $K_a', T_a$  の値から実際のポテンシオメータの係数, 積分器の利得を計算すると

$$V_0 = \frac{a \cdot \alpha}{b \cdot \beta} V_i \quad (4.5.3-1)$$

$$1 + \frac{1}{b\beta} S$$

$$\left. \begin{aligned} K &= \frac{a \cdot \alpha}{b \cdot \beta} \text{ (利得)} \\ T &= \frac{1}{b\beta} \text{ (時定数)} \end{aligned} \right\} \quad (4.5.3-2)$$

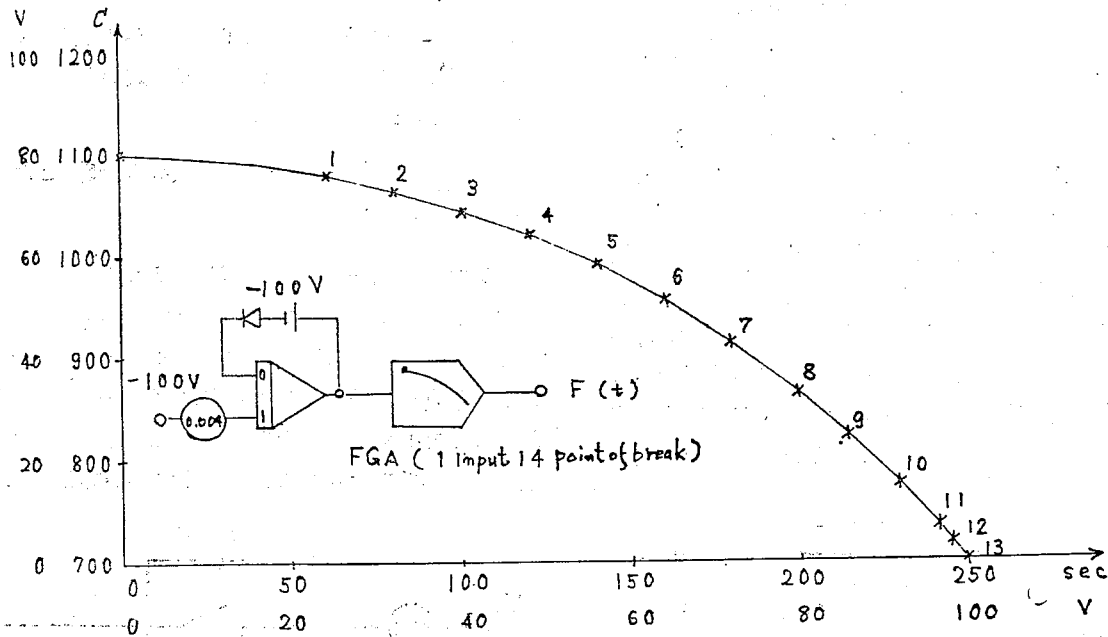
$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{b\beta} &= 0.08 \\ 0.08 \cdot a\alpha &= 9.73 \\ 0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1 \end{aligned} \right\} \text{より}$$

$a=200, b=20, \alpha=0.608, \beta=0.625$  となり, Fig. 13 は, Fig. 15 のようになる.

以上の方法を用いて各部分ごとにそれぞれ実現して相互結線を行う. 本圧延装置におけるブロック図は Fig. 16 に示す.

4.6 鋼板温度模擬

圧延中における鋼板の温度模擬は多数の実測データにより鋼板の実温度特性を求め, その典型的なものを



Point of break	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
time (sec)	0	60	80	100	120	140	160	180	200	215	230	240	245	250
Voltage (Vx)	0	24	32	40	48	56	64	72	80	86	92	96	98	100
X axis scale	0	24	32	40	48	56	64	72	80	86	92	96	98	100
temp. (C)	1100	1080	1060	1045	1020	990	960	915	870	825	775	730	720	700
Voltage (Vy)	80	76	72	69	64	58	52	43	34	25	15	6	4	0
Y axis scale	807.4	768.2	728.5	698.8	648.7	588.4	527.7	436.3	344.5	252.7	151.1	60.2	40.1	0

Fig. 17 Simulation diagram for temperatur. (温度) 温度模擬曲線

実鋼板の標準的な温度特性と仮定した。すなわち初期の鋼板温度が 1100°C で対数関数的に約 250 秒後に 700°C に降下するような温度特性を積分器および折線近似関数発生器 A の組合せで模擬した。Fig. 17 は温度特性の設定の一例である。

#### 4.7 流量模擬

この流量模擬はミル冷却水の流量 (0~500 T/Hr) を圧下手用操作板の流量計に表示するためのもので、構成は Fig. 18 に示す回路になる。計算部の電源投入と同時に標準値 300 T/Hr(60 V)を指示する。

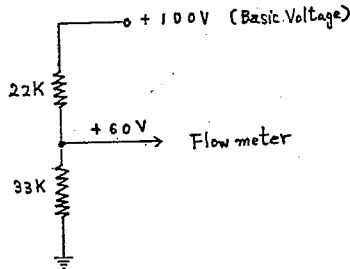


Fig. 18 Simulation circuit for cooling water flow. 冷却水模擬回路

### 5. 評価システム

当初予定したシミュレーターはアナログ計算機とデジタル計算機を接続してハイブリッド方式とし、システムの信頼性、保全性、操作性、稼働性、動作即応性、コストなどを下位指標とするほか、災害確率樹の手法を導入して、統合的評価尺度としての「システム安全有効度」を誘導する目的であった。しかし予算額の都合で構想の転換と縮小化を図らざるをえず、その結果、圧延装置と圧延状況に関する計算機駆動の視覚表示装置をシミュレーター構成要素としかつハイブリッド方式による完全自動化評価システムとする方針から、視覚表示装置の代りに実装置を用いかつアナログ信号をデジタル信号に変換してデジタル評価値を得ることに変更した。

#### 5.1 ソフトウェア

きわめて重要な課題として①評価基準のとり方、②タスク評価項目の設定、③総合評価方式の設定があげられる。

##### 5.1.1 評価基準値のとり方

基準値は人間-圧延装置システムの最適性能から誘導する。このためには第1段階として最適オペレーターと目される数名の被験者(便宜上、正オペレーターという)につき仮性能基準を設定し、次段階で正オペレーターが実装置について実操作を行ない、他方訓練

被験者(訓オペレーターという)が模擬コントロール・デスクに位置して実装置の諸条件について模擬操作を行なう場合の両者間の、すなわち正オペレーターを基準とする偏差から評価を行ない、さらに第3段階として、第2段階におけるデータの蓄積後、仮性能基準や評価基準を補正することとした。なお、いわゆる誤操作はオペレーションに必要なアクションのズレとみなし別途に扱う。

##### 5.1.2 タスク評価項目の設定 I : 偏差による評価

評価関数  $\Delta P$  (能率の指標),  $\Delta T_u$  (能率の指標),  $\Delta T_L$  (能率の指標),  $\Delta Q$  (品質の指標) をそれぞれ計算する。計算に必要な記号はつぎのとおりとする。

$s$  : 正オペレーター

$k$  : 訓オペレーター

$i$  : パス回数

$\alpha$  : 逆転開始パス

$y$  : 連動再開パス

$G_s(k)_i$  : 正(訓)オペレーターの圧下ダイヤル指示値

$N_s(k)_i$  : かみ込み中のロール速度(絶対値)

$N_s(k)_{oi}$  :  $i$  パス目の板が抜ける瞬間のロール速度(絶対値)

$L_s(k)_i$  : 圧延板長

$T_s(k)_{Ri}$  :  $i$  パス目の板が抜けてノッチを逆に入れるまでの時間

$T_s(k)_i$  :  $0.05 N_s(k)_{oi} + T_s(k)_{Ri}$

$t_{st}$  : 正オペレーターの板がかみ込んでいる時間

$G_s(k)_n$  : 最終ダイヤル値

$P_s(k)_{n-1}$  : 正(訓)オペレーターの最終前1パス目の圧下量

$P_s(k)_n$  : 正(訓)オペレーターの最終パス圧下量

$W_s$  : 演算装置初期条件設定による第2転回後の板幅

$f(Gki)$  : 板厚 ( $\Rightarrow$  圧下ダイヤル指示値) の関数 ( $0 \sim 5 \times 10^{-4}$ )

##### ① $\Delta P$

圧延板長に関する指標でありスラブの圧延過程においてミルロールを通過する板の長さの和の比較を求めするために、訓オペレーターと正オペレーターに関する板の長さの差を各パスにつき加算し、それを正オペレーターを基準として無次元化したもので、次式で得る。

$$\Delta P = \frac{\sum_{i=1}^n (L_{kt} - L_{st})}{\sum_{i=1}^n L_{st}} = \frac{\sum_{i=1}^n \left( L_{st} \cdot \frac{G_{st} - G_{kt}}{G_{kt}} \right)}{\sum_{i=1}^n L_{st}}$$

$$\Delta T_u = \frac{\sum_{i=1}^n \left\{ \left( \int_0^{t_{st}} N_{st} dt \right) \left( \frac{G_{st} - G_{kt}}{G_{kt}} \right) \right\}}{\sum_{i=1}^n \int_0^{t_{st}} N_{st} dt} \quad (5.1.2-1)$$

(2)  $\Delta T_u$

板が抜けている時間に関する指標であり、テーブル運動時には板が抜ける瞬間のロール速度  $N_s(k)_{0t}$  および板が抜けてノッチを逆に入れるまでの時間  $T_s(k)_{Rt}$  からなる関数により板が抜けている時間を推定し、テーブル逆転時には、 $N_s(k)_{0t}$  をもとにした関数によって推定する。したがって  $\Delta T_u$  は訓オペレーターと正オペレーターに関するこれらの時間の差を各モードごとに各パスにつき加算し、それを正オペレーターを基準として無次元化したもので、次式で得る。

$$\Delta T_u = \frac{\sum_{i=1}^{X-1} \{ (0.05 N_{k0t} + T_{kRt}) - (0.05 N_{s0t} + T_{sRt}) \}}{\sum_{i=1}^{X-1} \{ 0.05 N_{s0t} + T_{sRt} \}} + \frac{\sum_{i=X}^{Y-1} 0.05 (N_{k0t} - N_{s0t})}{\sum_{i=X}^{Y-1} 0.05 N_{s0t}} + \frac{\sum_{i=Y}^{n-1} \{ (0.05 N_{k0t} + T_{kRt}) - (0.05 N_{s0t} + T_{sRt}) \}}{\sum_{i=Y}^{n-1} (0.05 N_{s0t} + T_{sRt})} \quad (5.1.2-2)$$

(3)  $\Delta T_L$

かみ込み時間中の圧延長に関する指標であり、正オペレーターの圧延長と訓オペレーターの圧延長の差を各パスにつき加算し、それを正オペレーターを基準として無次元化したもので、次式で得る。

$$\Delta T_L = \frac{\sum_{i=1}^n (L_{st} - L_{kt})}{\sum_{i=1}^n L_{st}} = \frac{\sum_{i=1}^n \left\{ \left( \int_0^{t_{st}} N_{st} dt \right) - \left( \int_0^{t_{st}} N_{kt} dt \right) \right\}}{\sum_{i=1}^n \int_0^{t_{st}} N_{st} dt} \quad (5.1.2-3)$$

(4)  $\Delta Q$

最終仕上げ厚みに関する指標であり、正オペレーターの最終ダイアル値と訓オペレーターの最終ダイアル値の差をとり、それに最終前1パス以後の圧下量により補正を行なったもので、次式で得る。なお補正項に

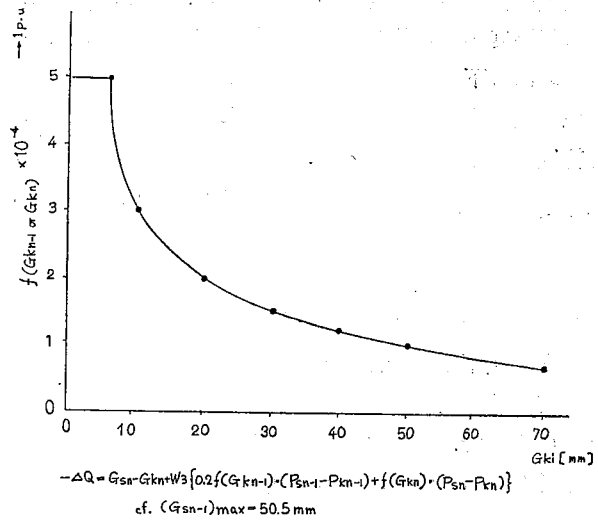


Fig. 19 Function for slab thickness compensated 板厚補正関数

含まれている関数  $f(G_{kt})$  の形を Fig. 19 に示す。

$$\Delta Q = G_{sn} - G_{kn} + W_3 \{ 0.2 f(G_{kn} - 1) \cdot (P_{sn-1} - P_{kn-1}) + f(G_{kn}) \cdot (P_{sn} - P_{kn}) \} \quad (5.1.2-4)$$

5.1.3 タスク評価項目の設定 II: 誤操作評価項目  
かみ込み-スプレイ, かみ込み-圧下, かみ込み-ノッチ間の3項目のシーケンスにつき, おのおの誤操作回数をカウントする。Fig. 20 は誤操作評価タイムチャートである。

- (1) かみ込みスプレイ操作間の誤操作 (SP)
  - (a) 反対側のスプレイ操作  
スラブがミルフロント側からかみ込んだにもかかわらず, ミルバック側のスプレイを操作した場合, あるいはこの逆の場合。
  - (b) かみ込み中のスプレイ操作  
スラブの先端がすでにかみ込んでからスプレイをかけた場合, あるいはスラブの後端がぬけ終わらないうちにスプレイを止めた場合
- (2) かみ込み-圧下操作間の誤操作 (SDN)  
圧下操作終了前のかみ込み  
所定の圧下量を設定し終る前 (圧下モーターが回転中) にかみ込ませた場合
- (3) かみ込み-ノッチ操作間の誤操作 (NCH)
  - (a) かみ込み中のノッチオフ  
スラブがかみ込んでいる最中にノッチを0にし主電動機の回転を止めた場合
  - (b) かみ込み中の逆ノッチ操作

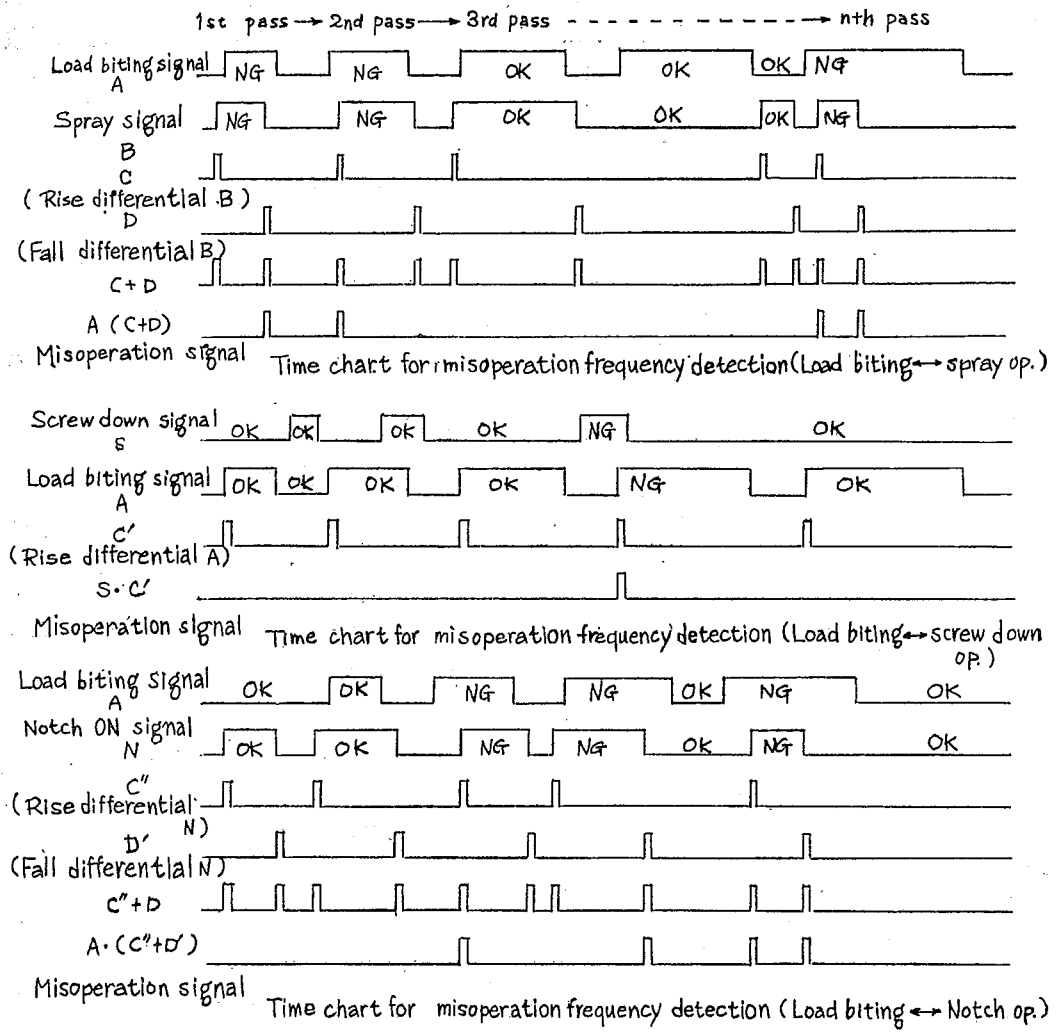


Fig. 20 Time chart for misoperation evaluation.

誤操作評価タイムチャート

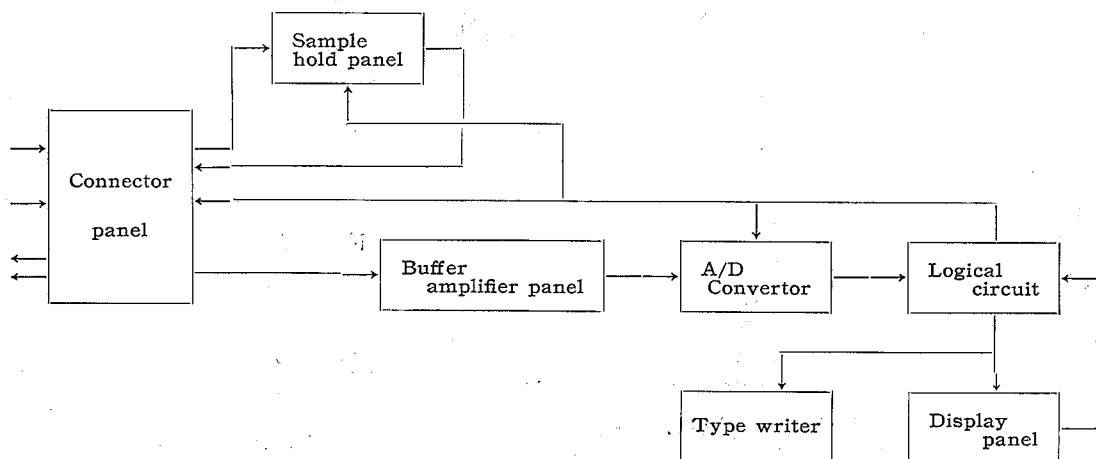
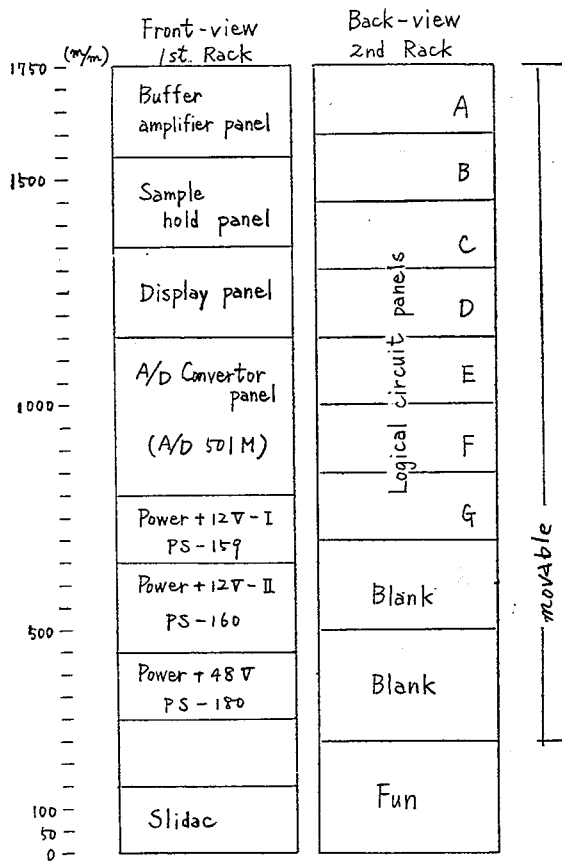


Fig. 21 Functional diagram of evaluation display panel

評価板機能図



スラブの後端がまだぬけ終わらないうちに逆側のノッチに切り換えて主電動機を逆転させた場合

## 5.2 ハードウェア

### 5.2.1 評価板の構成

本板は実圧延装置および演算装置よりのアナログ信号をデジタル信号に変換してこれを処理して所要のデータの表示およびプリントアウトを行なうもので、機能および構成図は Fig. 21, 22 に示すとおりである (photo. 2 参照)。

#### (1) 接栓板

実装置および計算部と評価板との間の各種の信号の授受を司る所で、評価板への出入信号はすべてこの接栓板を通過する。

#### (2) サンプリングホールド板

評価関数計算に必要な正、副両オペレーターの圧下ダイヤル指示値およびロールの回転速度信号などを論理回路板からの制御信号によって、計算部および実装置からサンプルし記憶する回路である。なお、これらの信号は接栓板を通してふたたび計算部に伝送する。

#### (3) パッファ板

計算部からのアナログ出力信号を A/D 変換器が取扱える入力電圧範囲に変換するための緩衝増幅器で、

100V のアナログ信号を 1/10 の 10V に減衰させる。

#### (4) 変換器板

計算部で計算された各種の評価関数および訓練中のデータなどのアナログ信号を、論理回路板からの変換開始信号でデジタル信号に変換する。

#### (5) 論理回路板

評価関数を計算する計算部内の各演算増幅器のモードを制御する制御回路、サンプリングホールド板のサンプルホールドのタイミングを制御する制御回路、A/D 板へ A/D 変換信号を送る制御回路、表示板へ表示信号 (誤操作信号) を送る制御回路およびタイプライターを駆動する制御回路などで構成し、おのおのはシリコントランジスタ NOR 要素を使った論理回路 (デジタル回路) を用いている。

Fig. 22 Constitution of evaluation display panel. 評価板構成図

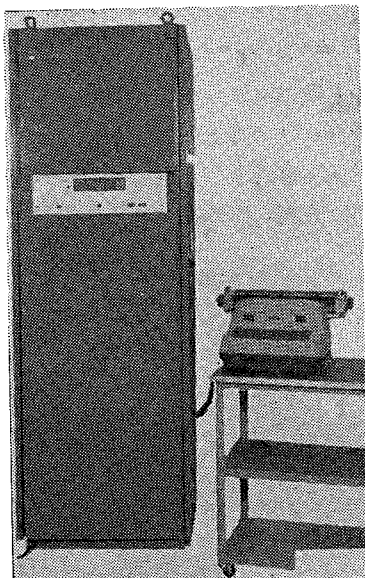


photo. 2-1 Evaluation display panel and typewriter for data print-out 評価板およびデータ打出し用タイプ

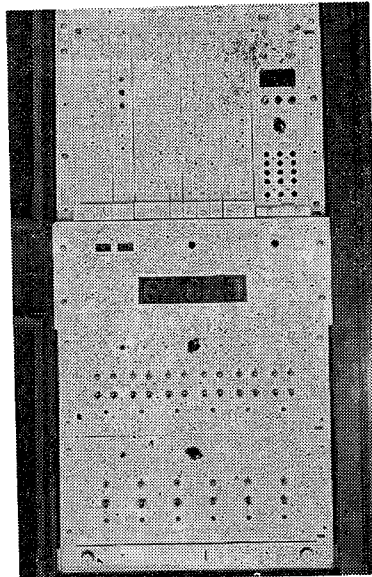


photo. 2-2 Front-view of evaluation display panel 評価板前面

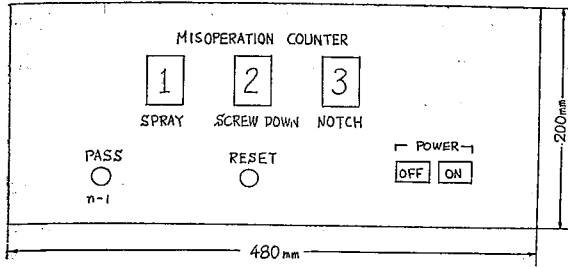


Fig. 23 Front-view of evaluation display panel.  
評価板前面図

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
G <sub>si</sub>	G <sub>ki</sub>	L <sub>si</sub>	L <sub>ki</sub>	R	TL	T <sub>si</sub>	T <sub>ki</sub>	TU
123	123	123	123	(-)	(-)	123	123	123
"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)		
G <sub>si</sub>	G <sub>ki</sub>	L <sub>si</sub>	L <sub>ki</sub>	P	TL	Q		
123	123	123	123	123	(-)	(-)		
					(-)	(-)		

Fig. 24 Print-out format  
タイプライター打出し形式

(6) 表示板

訓オペレーターによる「かみ込み—スプレイ操作間の誤操作 (SP)」、  
「かみ込み—圧下操作間の誤操作 (SDN)」および「かみ込み—ノッチ操作間の誤操作 (NCH)」の各操作信号を論理回路板より受けて、その回数を光点式表示器 (表示ランプ) に表示する機能をもっている。このほかにデジタル回路および表示ランプをリセットする「RESET」押ボタンスイッチならびに最終1パス目の指示を与える「n-1」押ボタンスイッチが付属している。

Fig. 23 は前面パネルの表示類を示す。

(7) タイプライター

タイプライターは訓練生の訓練結果 (評価関数) および訓練中の各種データを Fig. 24 に示すフォーマットに基づいてプリントする。ここで Fig. 24 における単位はつぎのとおりである。

	プリント	単位
(1)	$G_{si}, G_{ki}$	123 mm
(2)	$L_{si}, L_{ki}$	12.3m
(3)	$T_{si}, T_{ki}$	123 秒
(4)	$\Delta P$	12.3 (単位なし)
(5)	$\Delta T_L$	12.3 ( // )

- (6)  $\Delta T_u$  123 123 (単位なし)
- (7)  $\Delta Q$  123 123mm

なお電源スイッチの ON-OFF などの操作は評価板からの遠隔制御で行なう。

(8) ペン書きオシロ

6チャンネル用2台で構成し「 $G_s, G_k, I_s$  (正オペレーターのロール電流),  $I_k$  (訓オペレーターのロール電流),  $\Delta I_{sk}$  (正・訓のロール電流の差),  $n_s$  (正オペレーターのロール速度, 0~80rpm),  $n_k$  (訓オペレ

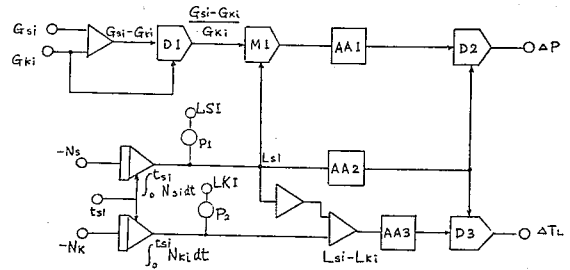


Fig. 25 Block diagram for  $\Delta P$  and  $\Delta T_L$  computation.

$\Delta P, \Delta T_L$  に関するブロック図

$\Delta P$ : Index for the length of rolled plate.

$\Delta T_L$ : Index for the length of rolled plate during Gifting.

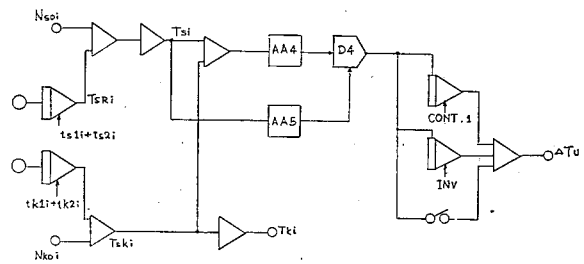


Fig. 26 Block diagram for  $\Delta T_u$  Computation.

$\Delta T_u$  に関するブロック図

$\Delta T_u$ : Index for the unrolling time between each pass.

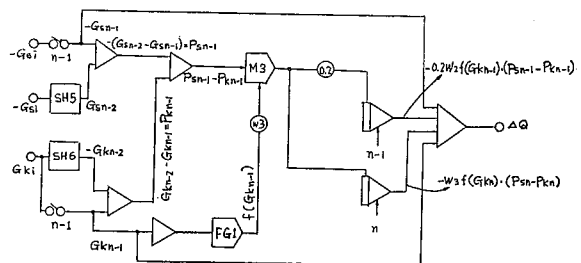


Fig. 27 Block diagram for  $\Delta Q$  Computation

$\Delta Q$  に関するブロック図

$\Delta Q$ : Index for the thickness final plate



ターのロール速度, 0~80rpm)の各アナログ信号と, 「 $F \cdot L$  (正オペレーターの前方かみこみ),  $R \cdot L$  (正オペレーターの逆方向かみこみ),  $SP_{SF}$  (正オペレーターの前方スプレー),  $SP_{SB}$  (正オペレーターの後方スプレー),  $SP_{KF}$  (訓オペレーターの前方スプレー),  $SP_{KB}$  (訓オペレーターの後方スプレー),  $C_S$  (正オペレーターの, テーブル連動時の板が抜けている時間),  $SP$ ,  $SDN$ ,  $NCH$ 」の各デジタル信号のうち 12 チャネル以内の記録が可能である。

### 5.2.2 評価関数の計算

## 参 考 文 献

た と え ば

- 1) Bennett, F. J. : A Multiman-Machine System Simulation Facility and Related Research on Information-Processing and Decision-Making Task, AMRL-TDR 63-48, '63.
- 2) Denton, G. G. : Moving Road Simulator a Machine Suitable for the Study of Speed Phenomena Including Motion After-Effect, Ergonomics, 9(6) 517-520, '66.
- 3) Harshbarger, J. H. : Development of Techniques for Evaluation of Visual Simulation Equipment, System Research Lab., '64.
- 4) Howell, W. C. : Some Principles for the Design of Decision Systems : A Review of Six Years of Research on a Command-Control System Simulation, AMRL-TR-67-136, '67.
- 5) Keljey, C. R. : Design Application of Self-Adjusting Simulators, Dunlap & Associates, 67.
- 6) McCandlish, S. G. : A Computer Simulation Experiment of Supervisory Control of Remote Manipulation, ESD-TR 67-290, '67.
- 7) Seidenstein, S. et al : Manual Control of Remote Manipulators ; Experiments Using Analog Simulation, AMRL-TR-66-21, '66.
- 8) Smode, A. F. et al : Human Factors Technology in the Design of Simulators for Operator Training, Dunlap & Associates, '63.
- 9) 鉄道労働科学研究所人間工学研究室 : 動力車運転シミュレーターの概要 鉄道労働科学研究資料 No. 68-25, '68.
- 10) Elkind, J. I. & Sprague, L. T. : Transmission of Information in Simple Manual Control Systems, IRE Trans. Human Factors in Electronics, Vol. HFE-2, pp. 56-60, March '61.
- 11) Levison, W. H. & Elkind, J. I. : Studies of Multi-Variable Manual Control Systems : Two Axis Compensatory Systems with Compatible Integrated Display and Control, NASA CR-554, '66.
- 12) McRuer, D., Krendel, E., Graham, D. & Reisener, W. : Human Pilot Dynamics in Compensatory Systems, USAF Rept. AFFDL TR 65-15, July '65.

(昭和 44 年 8 月 20 日受付)

$\Delta P$  と  $\Delta T_L, \Delta T_w, \Delta Q$  をアナコンの演算要素を用いて表わしたブロック図をそれぞれ Fig. 25, Fig. 26, Fig. 27 に示す。

(謝 辞)

本研究は川崎製鉄㈱千葉製鉄所における実設備の提供を受け, 同所との共同研究として, 特に圧延部の有村康男, 黒津亮二, 松野収, 得能則男, 温井照男, 技術管理部の浜岡嵩, 島田雅照, 田原紘一, 労働部の金谷貫一郎, 荘司栄徳, 大宮忞男, 計算課の伊藤実各氏の協力を得たものである。ここに深甚の謝意を表します。

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-18-4

---

昭和 44 年 8 月 25 日 発 行

発行所／労働省産業安全研究所

東京都北多摩郡清瀬町梅園 1 丁目 4 番 6 号

電 話 (0424) 91-4 5 1 2 番 (代)

印刷所 新日本印刷株式会社

---

郵便番号 40810-

UDC 65.01.001.1 : 614.80

人間オペレーター厚板圧延装置システムに関する研究

—ハードウェアとソフトウェアの開発—

大川雅司・西本武彦・押田将貴・河原節雄

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-18-4, 1~22 (1969)

人間-機械システム工学の観点から、人間オペレーター厚板圧延装置システム性能の評価に必要なハードウェアとソフトウェアの開発を目的とする。ハードウェアは計算部、ミル制御板、継電器板、評価表示板、記録装置で構成し、システム評価用のソフトウェアについては操作性と品質および誤操作に基づく関数式を試案した。

(表 4, 図 28, 写真 2, 参 12)



UDC 65.01.001.1 : 614.80

Study of the Human Operator-Plate Mill System

—Development of Hardware and Software—

M. OKAWA, T. NISHIMOTO, M. OSHIDA, S. KAWAHARA

The Research Report of the Research Institute of Industrial Safety, RIIS-RR-18-4, 1~22 (1969)

The aim of this research is to develop a hardware and a software requiring the evaluation, from the point of view of the man-machine system engineering, about the human operator-plate mill system (as man-machine system) performance.

The hardware is consisted of the computing part, the mill control desk, the relay box, the evaluation display panel, the recording part and the AVR.

The software for the system evaluation was considered in terms of the operational efficiency and quality, and misoperation.

