產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

―ハードウエアとソフトウエアの開発―

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*

-ハードウエアとソフトウエアの開発

大川雅司** 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 develope 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,
- analyzing HOPMS operations, 2)
- proceduring for HOPMS training, 3)
- 4) evaluating HOPMS effectiveness

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

- drawing up the system flow chart (including the standard operational sequence analysis) 1)
- analyzing the system criticality, 2)
- 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 simular 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.

🙈 da la subgli substitu

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.

С.

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・デシジョン・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.^{1)~9)}

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^{10)~12)}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)人間一機械システムを構成要素とす る機械サプシステムが今日のように複雑化すると,人 間サプシステムもこれに伴って高度のデシジョン・メ ーキングが必要になり,(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 ステムの高次な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 高度な内容をもち,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

- 2 --

人間オペレーター厚板圧延装置システムに関する研究



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: 械械サブシステム,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) 訓練用パラメーターの抽出: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・ダイヤグラ 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り、(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.

- 3 ---

◎◎◎產業安全研究所研究報告。◎◎RII+RR+18-4◎◎

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. F	Preparation		i
1)	man machine system analysis	only machine system analysis	total system analysis
	setting of system trianing requirement	qualitatively	quantitatively
2. F	Performance		4
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. 0	Dperation	and the state of the	
1)	system failure emergency	generated by instructor	generated arbituary by either computer program or instructor
2)	combination of operational conditions	possible to some extent	possible
3)	coordination of multi- operator	possible occasionaly	possible
4)	human operator dynamics measurement	possible qualitatively	possible quantitatively
4. E	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

このよら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亚程を選定し、 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・オペレージョン上の大間工学的問題 「点別(b)=システムの難易度。音を) 神婆ステム動特性 dynamics の不明度; (d) 訓練効果のレベット, (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」を最適と認めた。 A. 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ない。 ◎・(④)。 入間-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ジステム 2設計に必要な資料) 「注意意味」ででで (2) 回量2)、 入間 原板圧延装置 ジネテム・オペレーショ

- 4 -

ンの解析と評価

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

ga da com

(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-sequencial なフローチャートとして表現した.

3.2 Criticality

Ċ

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

41, 42, 43年, 科学技術庁) を参照されたい.

(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

を検討した.

3.4 動特性解析

主としてシステム・アナライザーを用いてつぎの解 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 $T_L(kg\cdot m)$ 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.

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

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
-------	---	-----------	------	-----

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

a(m):入側厚み(正転の場合)

$b(\mathbf{m})$:	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) $T: トルク (N \cdot m)$ ω:)速度 (rad/sec)

T': トルク (kg·m)

n':回転数 (rpm)

とすると,

T =

an an an an an an an

 10^{-1}

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

また一方 V_G : 端子電圧-(V)Ja¦電機子電流 (A) $R_a:$ 電機子抵抗(Ω) Ko: 磁束 (V/n')

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、科学技術に) を参照されたい。
$$N' = \frac{V_G - I_a R_a}{K_{\phi}} = \frac{P}{K_{\phi} \cdot I_a} = -\frac{(T'/0.974)n'}{K_{\phi} \cdot I_a}$$

(3.4.2-3)

(3.4.2-1)

Ρ

- 6 -

とすると

 $T' = 0.974 K_{\phi} \cdot I_a$

ω:角速度 (rad/sec)

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

 E_c : 逆起電力(V)

N:回転数 (rpm)

α, *β*: 定数

 $\therefore \quad L\{n'\} = \frac{4 g}{GD^2} \cdot \frac{60}{2 \pi} \cdot \frac{T'}{S}$

 $=374 \times \frac{T'}{GD^2 \cdot S}$

 T_M :回転トルク(負荷トルク)(kg·m)

3.4.3 主電動機回転数の算出

J: 慣性モーメント (kg·m·s²)

g:重力の加速度,9.8 (m/s²)

 $GD^2: \mathcal{T} \ni \mathcal{T} \Rightarrow \mathcal{T} = \mathcal{T} + \mathcal{T} + \mathcal{T} + \mathcal{T}$

n': 回転数 (rpm), T'=トルク (kg·m)

 $T' = J \frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{dn'}{dt}$

(3.4.2-4)

(3.4.3-1)

(3.4.3-2)

(3.4.3-3)

 $T_{M} = \alpha K_{\phi} \cdot I_{a}$ (3. 4. 3-4) $E_{c} = \beta K_{\phi} \cdot N$ (3. 4. 3-5)

$$V_G - E_c = R_a \cdot I_a \tag{3.4.3-6}$$

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

 $T_M = T_L$ (3.4.3-7) (T_L は前出の圧延負荷ト ルク)であるから (3.4.3-4) 式より

$$I_{a} = \frac{T_{M}}{\alpha K_{\phi}} = \frac{T_{L}}{\alpha K_{\phi}}$$
(3.4.3-8)







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

とすると

また一方



Fig. 5 Main motor control block diagram. 主電動機制御ブロック線図(計算機用)

- 7 ---

よって

$$K_{\phi} = \frac{2R_{a}T_{L}}{\alpha V_{G}} \subset N_{\max} = \frac{\alpha V_{G}^{2}}{4\beta R_{a}T_{L}}$$
 (3.4.3-10)

 K_{ϕ} と N と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 ϕ 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着く、そこで負荷トルク T_L を加えると回転数は低下しだすが、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, プレバ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り機能を有する. **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 `*

Fable	3	Constitution	of	the	analog	computer

7.	ナ	P	グ	Ξ	$\boldsymbol{\nu}$	۲°	л		タ	—	の	構	成
----	---	---	---	---	--------------------	----	---	--	---	---	---	---	---

-	Component	Constitution in 1966	Constitution in 1967	Total.
1)	Operational amplifier	2panels 40 units	3panels 50 units	5 panels 50 units
2)	Manual potentiometer (IC)	1 panel 10 units		1 panel 10 units
	// A	1 panel 10 units	2panels 20units	3panels 30 units Total
	// B	1 panel 10 units		1 panels 10 units units
3)	Servo set potentiometer	1 panel 30 units	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	1 panels 30 units)
4)	Servo amplifier(for servopot.)	1 set	the sec <u>ion</u> de second	1 set
~~~~		he was a set of the se		

- 8 --

人間オペレーター厚板圧延装置システムに関する研究

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



**Fig.** 7 Flont-view of computing part of mill simulator.

- 9 ---

- 10 ---



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,圧下ダイア 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℃~1200℃)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
 200A, 定格値は 5,380A であり、13,450A 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 投入の状態でロール電流が 13,450A 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) 冷却水ヘッダ: 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アルが回転し,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 ノッチは電気的にショートして ある.

(32) 圧下ダイアル: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サレー 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) 圧下ダイア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

産業安全研究所研究報告 RII-RR-18-4



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

1.1.

信号切换之

(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

- [ アルの指針をまわし、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.

へいま Forward 方向の圧延の場合を考えると INTA

には ー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 れさている. Forward 方向圧延中であるのでリ 建物合成 化合金合金合金 M M M  $M_{i}$ END C Main (BC) Ŕ (RY RES motor (Thermo-Main OFF) meter) reset (RY RESO ON) R INTA(BC) R R н H H н (G₀ Track) (G₂ Track) H R R R Ή INTB(BC) R Н (G₁ Track) Initial (G₃ Track) . reset 6 Step 0 1 Pass EVEN Pass ODD (Reverse) (Forward) M.....Manual operation BC----Balance check R.....Reset

C.....Hold H....Hold Fig. 9 Mode control

こうない キャード・コントロマル からい

-12 -



タイムチャート



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

ζ

 $u = \operatorname{RyF}$ がメークされ、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.

**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 O): 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  $G_0$  を記憶してあ り,  $G_0$  が a,  $G_1$  がりに対応する. 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.



(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  $G_8$  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 O の状 態に戻す. なお板幅 W は転回が行われるたびに  $W_2$ ,  $W_3$  に切換える. 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気的にインターロ ックされている.

F・LはForward 信号 F とかみ込み信号 L との AND であり、R・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・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.

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

Table	4	Setting	values	of	potentiometers
		ポテンシ	ョメータ	Ø	設定値

<i>K'</i> , <i>d'</i>	K'	d'
<i>b</i> ′ <u>≤</u> 0.008	$K'_{1} = 1$	$d'_1 = 0.01$
0.008 <i><b< i="">′≦0.015</b<></i>	$K'_{2} = 0.7$	$d'_2 = 0.015$
0.015 <i><b< i="">′≦0.030</b<></i>	$K'_{8} = 0.45$	$d'_{3} = 0.025$
0.030 <i><b< i="">′</b<></i>	$K'_{4} = 0.3$	<i>d</i> ′ ₄ =0.04

よび  $\overline{L} \cdot RL'$  はそれぞれ  $\overline{L} \geq FL'$ ,  $RL' \geq 0$  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 G₀ 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 -30 V, RESEB には  $R_B$ , HOLDB には -30 V 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

 $K=100\times10^{5}$ kg/m

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

 $W = 10 \,\mathrm{m}$ 

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 5×10⁵kg·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

 $T_L'=20 K'(a'-b'+d') W'$  (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 100 V) 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 は実際にポテンショメーターに設定する値 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

- 14 --

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.





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 1200 V とか電流 3µA とか 回転数 4000 rpm 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ーリングといい,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.スケール変換法の具体例を主 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



**アナログ計算機図(細部)** 

100 V 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.

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

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

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

また Fig. 12 より

 $I=K_a(V_G-E_c)$  (4.5.2-4) が成立ち,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

ここで 
$$\frac{\alpha_1}{\alpha_3} K_a = K_{a'}$$
 (4.5.2-6) とすると  
 $V_I = K_{a'} (V_{VG} - V_{EC})$  (4.5.2-7) 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)

- 15 --

- 16 -

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 ムスケーリング)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

С

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ョメーターなどを用いて実 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ョメーター, 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ョメーターによって変化 させることができる. **Fig.** 13 の  $K_a'$ ,  $T_a$  の値から 実際のポテンショメーターの係数, 積分器の利得を計 算すると



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

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



**Fig. 17** Simulation diagram for temperatur (遊時) 上 300 年 17 名語 18 日本 19 日本 19

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℃ で対数関数的に約 250 秒後に 700℃ 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 33K 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 Fig. 18 Simulation circuit なる.計算部の電源投 入と同時に標準値 300 T/Hr(60V)を指示する.



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 イジタル計算機を接続してハイブリット方式とし、シ ステムの信頼性、保全性、操作性、稼動性、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値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 グ信号をディジタル信号に変換してディジタル評価値 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 AP (能率の指標), AT_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
  - A:訓オペレーター
  - *i*:パス回数
  - a: 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アル指示値
  - $N_{s}(k)_{i}$ : 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)

 $L_{s}(k)_{i}$ : E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
- $T_{s}(k)_{i}: 0.05 N_{s}(k)_{0i} + T_{s}(k)_{Ri}$
- tsi:正オペレーターの板がかみ込んでいる時間
- $G_{s}(k)_{n}$ : 最終ダイアル値
- $P_{s}(k)_{n-1}$ :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 W3: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(→圧下ダイアル指示値)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 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.

$$\Delta P = \frac{\sum_{i=1}^{n} (L_{si} - L_{si})}{\sum_{i=1}^{n} L_{si}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (L_{si} \cdot \frac{G_{si} - G_{ki}}{G_{ki}})}{\sum_{i=1}^{n} L_{si}}$$



板が抜けている時間に関する指標であり、テーブル 連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.

$$\Delta T_{u} = \frac{\sum_{i=1}^{X-1} \{(0.05 N_{k0i} + T_{kRi}) - (0.05 N_{s0i} + T_{sRi})\}}{\sum_{i=1}^{X-1} \{0.05 N_{s0i} + T_{sRi})} + \frac{\sum_{i=X}^{Y-1} (0.05 N_{s0i} + T_{sRi})}{\sum_{i=X}^{Y-1} (0.05 N_{s0i})} + \frac{\sum_{i=X}^{N-1} (0.05 N_{s0i})}{\sum_{i=X}^{N-1} (0.05 N_{s0i} + T_{sRi}) - (0.05 N_{s0i} + T_{sRi})\}}{\sum_{i=Y}^{N-1} (0.05 N_{s0i} + T_{sRi})}$$
(5.1.2-2)

 $(3) \Delta T_L$ 

- 18 -

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.



最終仕上げ厚みに関する指標であり,正オペレーダ 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  $f(G_{ki})$  の形を Fig. 19 に示す.  $\Delta Q = G_{sn} - G_{kn} + W_3 \{0, 2f(G_{kn} - 1)(P_{sn-1} - P_{kn-1})\}$  $+f(G_{kn})\cdot(P_{sn}-P_{kn})\}$ (5.1.2-4)◆ 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. 鹿みをりける べをかろうの (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 レイをかけ始めた場合、あるいはスラブの 後端がぬけ終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

## 人間オペレーター厚板圧延装置システムに関する研究

e stadio Statisticada	1st pass -> 2nd pass anth pass
n i den de la constante de la c La constante de la constante de	Load biting signal NG NG OK OK OK NG
•	Spray signal NG OK OK NG
	(Rise differential B)
	(Fall differential B) C+D
2000	A (C+D)
	Misoperation signal Time chart for misoperation frequency detection (Load biting
	Screw down signal OK OK NG OK
e Algoria de	Load biting signal OK OK OK NG OK
	(Rise differential A)
	Misoperation signal Time chart for misoperation frequency detection (Load biting-screw down
	Load biting signal OK OK NG NG OK NG OK
	Notch ON signal ok OK NG OK OK
an an an An t-an an	(Rise differential)
	A·(c"+d') [] [] []
	Micouanatilas cignal

Misoperation signal Time chart for misoperation frequency detection (Load biting  $\leftrightarrow$  Notch op.)

Fig. 20 Time chart for misoperation evaluation.

誤操作評価タイムチャート



- 19 -



産業安全研究所研究報告



## 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

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

RII-RR-18-4

スラブの後端がまだぬけ終らないうちに逆 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 号をディ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 援受を司どる所で、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、訓両オペレーターの圧下 ダイア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,

> 100 V のアナログ信号を 1/10 の 10 V 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 でディ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(ディジタル回路)を用い てある.

人間オペレーター厚板圧延装置システムに関する研究



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

	,			••••					
Ð	(1) Gsi	(2) Gki	(3) Lsi	(4) Lki	(5) R	(6) TL	(7) Tsi	(8) Tki	(9) TU
1	123	123	123	123	(-) 123	(-) 123	123	123	123
2	"	//	"	11 .	"	"	"	"	"
3	"	"	"	"	.11	"	. 11	"	//
4	"	"	"	"	"	11	"	"	"
5	"	"	"	"	"	"	//	//	//
6	"	"	"	"	"	"	"	"	"
7	"	"	"	"	"	"	"	"	• //
8	"	//	"	//	"	"	"	"	"
9	"	"	"	"	11	"	"	"	"
10	(1) Gsi	(2) Gki	(3) Lsi	(4) Lki	(5) P	(6) TL	(7) Q		
	123	123	123	123	(-) 123	(-) 123	(-) 123		
	E	Fig. 2	24 P	rint-	out :	form	at		
			3	マイプ	ライ	ター	打出 い	レ形式	

(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.このほかにディ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	123 mm
(2)	$L_{si}$ , $L_{ki}$	123	12.3m
(3)	$T_{si}$ , $T_{ki}$	123	123 秒
(4)	$\varDelta P$	123	12.3 (単位なし)
(5)	$\Delta T_L$	123	12.3 ( // )

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

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, 0~80 rpm),  $n_k$  (訓オペレー



- 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, 0~80 rpm)」の各アナログ信号と,  $\lceil F \cdot L$  (正オペレーターの前方向かみこみ),  $R \cdot L$  (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」の各ディジタル信号のうち 12 チャ ン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

RII-RR-18-4

 $\Delta P \ge \Delta T_L, \Delta T_u, \Delta Q$ をアナコンの演算要素を用い て表わしたプ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,大宮忝男,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.

- 1) Bennett, F.J.: A Multiman-Machine System Simulation Facility and Ralated 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 Disign of Decision Systems: A Review of Six Years of Research on a Command-Control System Simulation, AMRL-TR-67-136, '67.
- 5) Kelley, 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)

たとえば

產業安全研究所研究報告 RIIS-RR-18-4			
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—4512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

ーハードウエアとソフトウエアの開発ー

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エアとソフトウエアの開発を目的とする.ハードウエアは計算部、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エアについては操作能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,  $1\sim 22$  (1969)

The aim of this research is to develope 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.