

油圧圧下制御用高速演算装置およびサーボ弁特性測定装置の紹介

High Response Control System and Diagnosis System for Servo Valve

箕浦 晃 治 IHI メタルテック株式会社電気制御技術部 部長
深水 隆 IHI メタルテック株式会社電気制御技術部 部長

1993年に圧延機の油圧圧下制御用として開発した従来式の制御装置から汎用性・拡張性の向上、プログラムの簡易化を図るため、新型の高速演算装置を開発した。2000年12月の1号機から2007年12月末までに累計25台を出荷し、順調に稼働中である。また、本高速演算装置のデータ収集技術を適用し、サーボ弁特性測定装置も実機化した。本高速演算装置は汎用装置であることから、適用対象はユーザの自由である。本稿では、本高速演算装置およびサーボ弁特性測定装置を紹介する。

New high response control systems developed for the hydraulic roll gap control systems of rolling mills in the end of 2000 were delivered 25 sets up to the end of 2007. This has features of easy programming, expansibility, and multipurpose use compared with the conventional response control systems developed in 1993. Subsequently, the servo valve diagnosis system was commercialized using its high-speed data processing capacity. The versatile adaptability of the new high response control system permits applying to other controlling units besides the roll gap control. Its technical description and applications are described.

1. 緒 言

1968年、当社は変位計と電気・油圧サーボ弁を使った油圧圧下式圧延機を世界に先駆けて実用化した⁽¹⁾。以降、油圧圧下制御装置の高速性と同時に装備したミル定数可変制御装置による板厚精度の飛躍的な向上によって、当社の油圧圧下制御装置は冷延ミル、熱延ミル、厚板ミル、パイプミルへと、その適用範囲を拡大してきた。その間、当社では油圧圧下制御装置に関して、多くの改良、開発を実施してきた。

例えば、①1972年のデジタル形変位計の適用⁽²⁾②1982年の直動型サーボ弁の開発と油圧シリンダへの直付け⁽³⁾③IC素子によるハードワイヤロジックから汎用のPLC(Programmable Logic Controller)を用いたソフトウェアシーケンスへの切替④1994年に高速性が要求される位置制御演算を加・減算などの単機能ICと、オペアンプ(演算増幅器)の組合せによる回路からCPU上で動作するプログラムへの置換え⁽⁴⁾(以下、CPU化と呼ぶ)、などがある。この位置制御演算のCPU化によって、従来と比較し調整・メンテナンス性の向上を図ることができた。

しかし、外部機器とのインターフェースが限定されたことによって、①ほかの機能用演算装置として使用できない

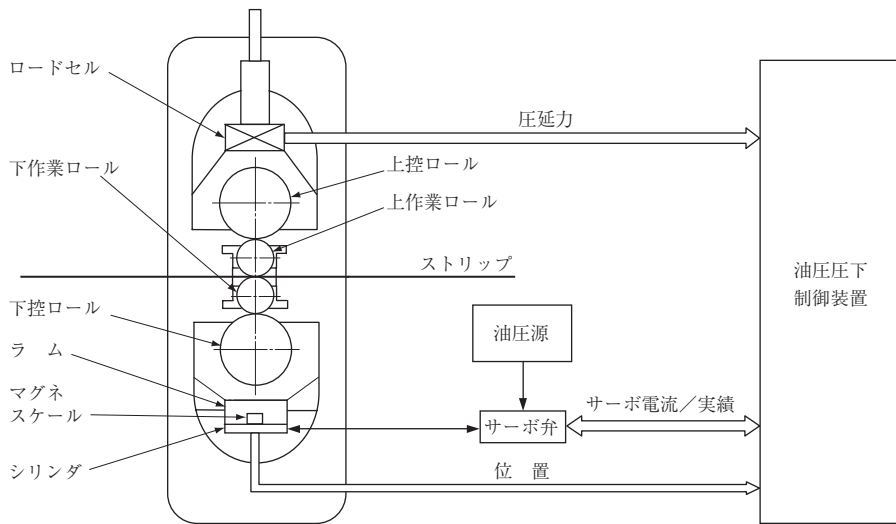
②位置制御演算部以外でも高速演算が必要とされる(例:ミル定数可変制御演算など)③プログラムがアセンブラで専門のソフトウェア技術者でないとソフト改造ができない④設備診断用データ収集装置を標準装備化することで付加価値を向上させる、など改善・改良の要求があった。

以上の要求を解消するため、次世代型の汎用的な高速演算装置を開発し、油圧圧下制御装置への実機適用を行った。1号機を2000年12月に実機適用した以降、改善・改良を進めながら、2007年12月末までに累計25台を出荷し、順調に稼働中である。

本稿では、上記背景に基づいて開発・実機適用した高速演算装置(VMPC:V type Multi Purpose Controller)、および高速演算装置によるデータ収集技術を適用し、ブラジルの某社へ納入したサーボ弁特性測定装置の概要を紹介する。

2. 高速演算装置(VMPC)を用いた油圧圧下制御装置のシステム構成と特長

圧延機の油圧圧下制御装置の構成を第1図に示す。サーボ弁で油圧シリンダへの作動油の流出/流入量を制御してラムを昇降させ、上下作業ロール間隔を制御する。上下作業ロール間隔は、シリンダ内に設けられた位置センサ(マグネスケール)で、ラム位置を検出することによ



第1図 油圧圧下制御装置の構成
Fig. 1 Configuration of hydraulic roll gap control system

て間接的に制御する。

VMPCを用いた油圧圧下制御装置のシステム構成を第2図に、油圧圧下制御盤を第3図に示す。本制御装置はVMPCで2軸分の位置制御演算、ミル定数可変制御演算、設備診断用データ収集を行い、PLCによるシーケンス制御部、タッチ式液晶表示器によるHMI (Human Machine Interface) 部、設備診断機能操作・データ編集・保存用パソコンで構成されている。以下にVMPCの特長を述べる。

2.1 VMPCのシステム構成

VMPCは20スロットの専用ラックに5スロットを1制御部として、最大4制御部が構成できる。各制御部はCPU基板1枚およびI/O基板(最大4枚)から成る。I/O基板は各種インタフェース仕様のものが用意されており、外部機器とのさまざまなインタフェースを可能としている。また、必要な機能に合わせてI/O基板を選択でき汎用性の高いシステムとしている。

第4図にVMPCのシステム構成を示す。ユーザは各制御部で実現したい機能から、I/O基板を選定したうえでプログラミングを行う。標準的な機能をもつ油圧圧下制御装置への適用時において、第4図に示す各制御部と第2図に示す機能との対応を第1表に示す。各制御部の外部機器とのインタフェースはI/O基板を通じて行われ、各制御部間のインタフェースはDual Port RAM, イーサネット, I/O基板を通じて行われる。

2.2 VMPC化による高速性

1994年の位置制御演算部のCPU化時は、アセンブラの

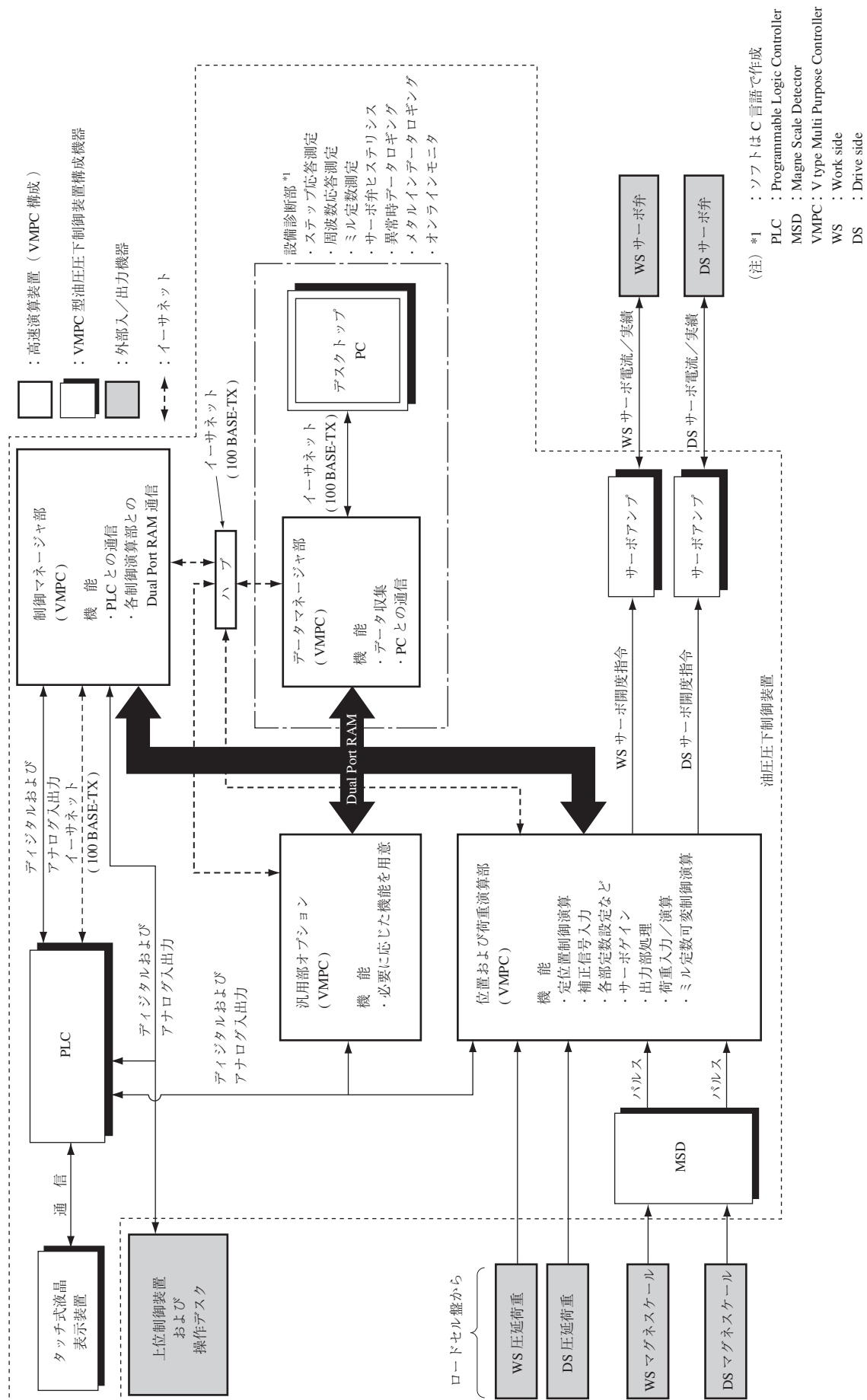
プログラムによる演算装置(演算周期1ms)を3台(2台を位置制御演算用, 1台をミル定数可変制御演算用)使用していた。それを, VMPC化によってCPU1台の1制御部で, かつ演算周期を0.8msで実現可能になった。

VMPCの各制御部の制御周期は0.5~1000msを0.1ms単位で設定可能である。ただし, プログラムの演算量によって, 設定可能な制御周期には制約が生じ, 制御周期はプログラムの処理時間よりも大きく設定する必要がある。参考までに第2図の位置および荷重演算部の場合は0.8msの制御周期設定において, 負荷率(実際のプログラム処理時間と制御周期設定の比率)が約80%程度となっていることから, 実際のプログラム処理は約0.64ms程度となる。

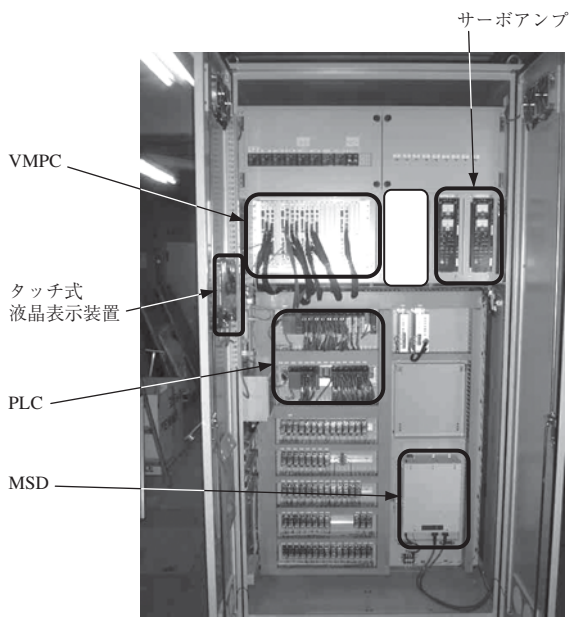
本処理速度は従来, 位置制御演算部以外のボードコンピュータで実施されていた高速性が必要な機能(ミル定数可変制御演算, ロールギャップ演算, 沈み込み補正タイミング検出など)もVMPCで実施するのに十分な処理速度である。すでに複数の実機において適用し, 実証済みである。

2.3 VMPCのプログラミング

1994年のCPU化時はプログラミング言語をアセンブラとしていたため, 専門のソフトウェア技術者でないとソフト構築を行うことができなかった。それに対し, VMPCのプログラミングは専用言語であるVMD (Visual Module Designer)を使用する。VMDはビジュアル化されたモジュール(命令)の組合せによる構成であることから, 記述式プログラミング言語時のように専門の知識をもっている技術者でなくとも演算回路の構築を可能としている。



第2図 VMPC 型油圧下制御装置のシステム構成
Fig. 2 Configuration of hydraulic roll gap control system with VMPC



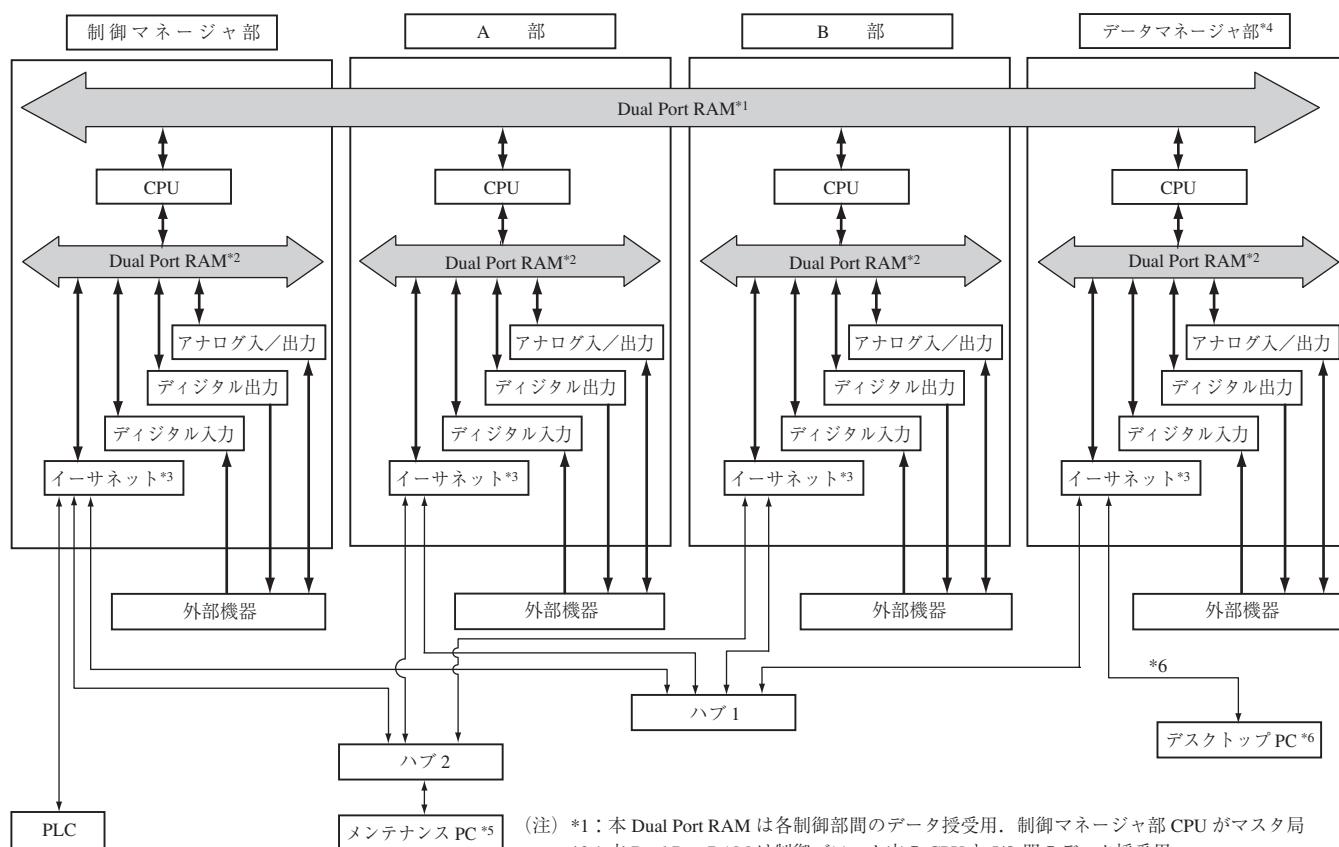
第3図 油圧圧下制御盤

Fig. 3 Internal arrangement of hydraulic roll gap control system

第1表 油圧圧下制御装置における VMPC 各制御部の機能
Table 1 Functions of VMPC control section for hydraulic roll gap control system

第4図に示す VMPC システム構成の各制御部	第2図に示す油圧圧下制御装置の機能
制御マネージャ部	制御マネージャ部 ・ PLC との通信 ・ 各制御演算部との Dual Port RAM 通信
A 部	位置および荷重演算部 ・ 定位置制御演算 ・ 補正信号入力 ・ 各部定数設定など ・ サーボゲイン ・ 出力部処理 ・ 荷重入力/演算 ・ ミル定数可変制御演算
B 部	汎用部オプション ^{*1}
データマネージャ部	データマネージャ部 ^{*2} ・ データ収集 ・ PC との通信

(注) *1: 標準的な機能の油圧圧下制御装置では使用しない。
*2: 標準的な機能の油圧圧下制御装置では、設備診断機能用 CPU を実装する。



(注) *1: 本 Dual Port RAM は各制御部間のデータ授受用。制御マネージャ部 CPU がマスタ局
*2: 本 Dual Port RAM は制御ブロック内の CPU と I/O 間のデータ授受用
*3: イーサネットポートは CPU 基板に 2CH, 専用イーサネット基板に 1CH。
専用イーサネット基板は制御マネージャ部にのみ実装可で PLC との通信専用。CPU 基板の 2ポートはプログラムメンテナンス用と各制御部間ブロードキャスト通信用
*4: データマネージャ部は設備診断用 CPU 基板を実装可。設備診断用 CPU 基板のイーサネットポートは 2CH で、各制御部間ブロードキャスト通信用と設備診断機能操作 PC 用。
また、設備診断用 CPU のプログラムはユーザカスタマイズ不可
*5: 各制御部のプログラムメンテナンス用 PC
*6: 設備診断機能を使用した CPU 基板を実装した場合にのみ設備診断機能用 PC と接続

第4図 VMPC のシステム構成
Fig. 4 Configuration of VMPC system

用した後、一律にオーバーホールを行っているケースが大半である。場合によっては、サーボ弁が起因と想定される異常が発生して始めてオーバーホールを行うこともある。

このため、劣化が進んでいないにもかかわらずオーバーホールを行ってしまい無駄が生じる場合や、劣化が早く進み異常発生に至ってしまう場合がある。さらに海外ユーザーの場合、サーボ弁の予備数量およびオーバーホール依頼時の輸送費を考慮すると、最適なタイミングで最低限の時間でオーバーホールが行われることが望まれる。

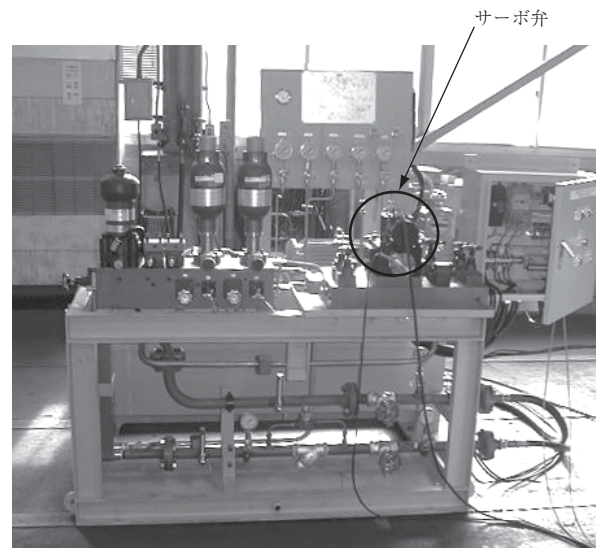
上記背景のもと、高速演算装置の設備診断装置の技術を適用し、サーボ弁特性測定装置を開発した。

3.2 サーボ弁特性測定装置のシステム構成と特長

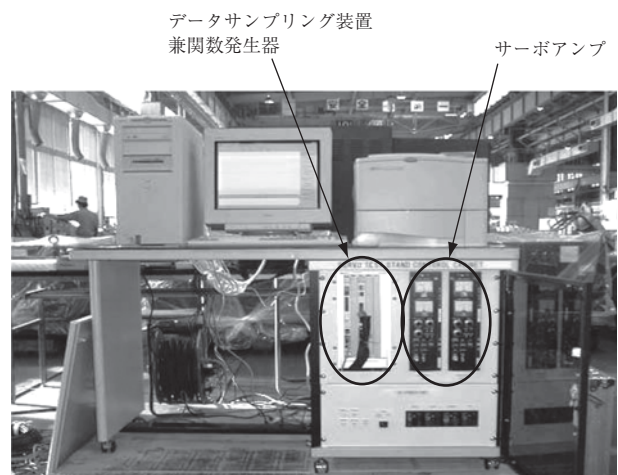
第6図にサーボ弁特性測定装置構成を示す。本特性測定装置は油圧機器による油圧装置と電気制御機器による制御装置から成る。油圧装置を第7図に、制御装置を第8図に示す。制御装置のデータサンプリング装置兼関数発生器が2章で述べた高速演算装置 (VMPC) の設備診断用データ収集部に相当する。

本特性測定装置は VMPC の設備診断用データ収集機能のオフライン機能をサーボ弁特性測定に特化させたものである。そのため、特性測定内容に応じた計測器の準備を不要とし、専門の油圧技術者でなくても測定条件設定ガイド画面 (第9図) に従うことによって測定条件の設定、特性の測定および記録を可能にした。

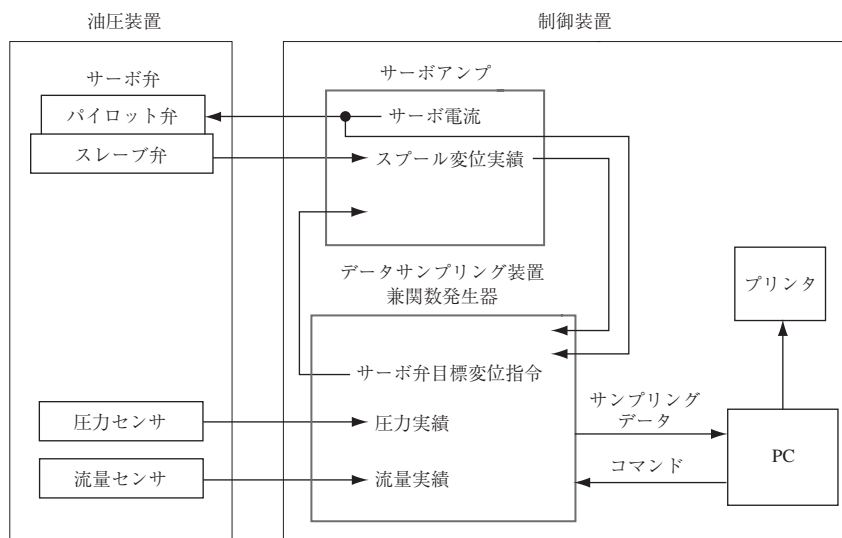
本測定結果である測定波形および測定波形から読取れる特性を評価する数値 (自動的に計算し、測定波形とともに表示される) を出荷時の基準波形や基準値と比較する。



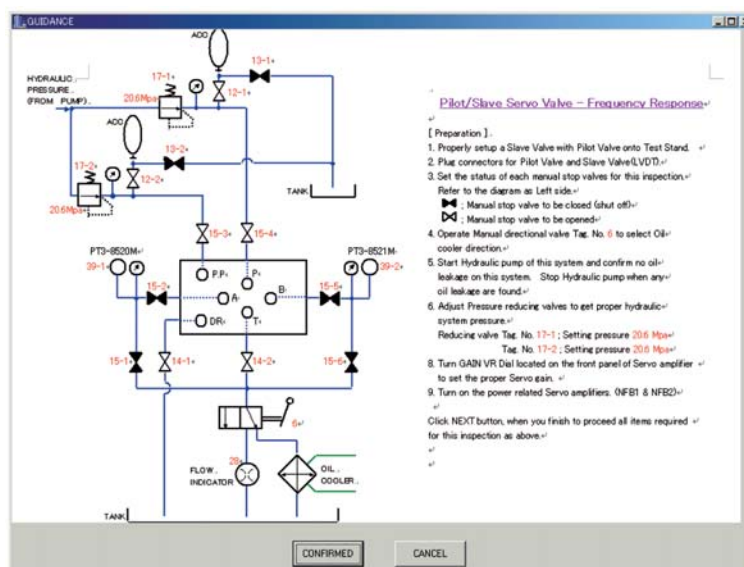
第7図 油圧装置
Fig. 7 Hydraulic system equipment



第8図 制御装置
Fig. 8 Control system equipment



第6図 サーボ弁特性測定装置の構成
Fig. 6 Configuration of characteristic measurement system for servo valve



第9図 ガイダンス画面
Fig. 9 Operation guidance screen

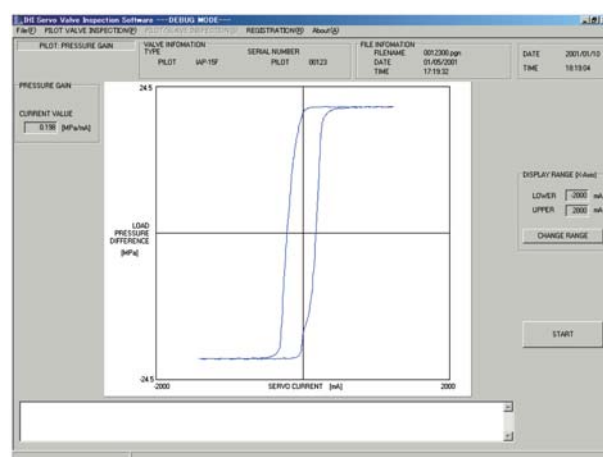
この結果から、サーボ弁自身の健全性、劣化の進行具合を判断することができ、最適なタイミングでオーバーホールを行えるようになる。また、本測定波形・記録からサーボ弁を受領する前に、オーバーホール準備（検査の段取り、交換部品の手配など）を整えられることから、最低限の時間でのオーバーホールを行えるようになる。

3.3 サーボ弁特性測定項目

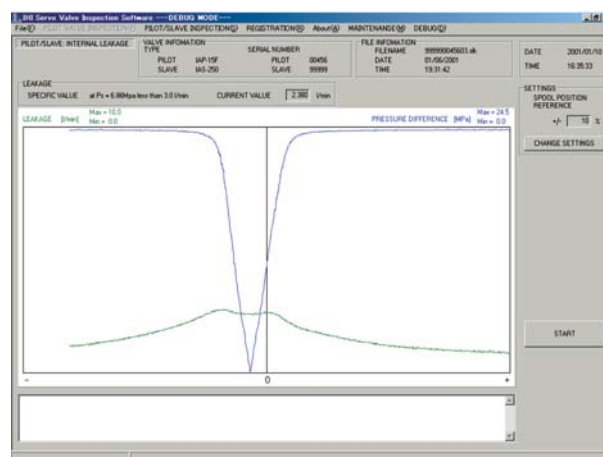
サーボ弁の特性の変化を出荷時と比較できるようにするため、サーボ弁出荷時に実施する特性測定項目を本特性測定装置でも行えるようにした。第3表にサーボ弁特性測定項目を示す。参考例として本特性測定装置で採取したパイロット弁の圧力ゲイン特性測定結果を第10図に、パイロット弁/スレーブ弁組合せ時の内部リーク特性測定結果を第11図に示す。本参考例のサーボ弁はパイロット弁とスレーブ弁から構成される2段式サーボ弁である。

第3表 サーボ弁特性測定項目
Table 3 Measurement items of servo valve characteristics

測定条件	測定項目
パイロット弁 単独時	<ul style="list-style-type: none"> 圧力ゲイン測定 スレッシュホールド/中立点バイアス測定 内部リーク測定
パイロット弁/ スレーブ弁 組合せ時	<ul style="list-style-type: none"> 圧力ゲイン測定 スレッシュホールド/中立点バイアス測定 内部リーク測定 ステップ応答測定 周波数応答測定 ヒステリシス測定



第10図 パイロット弁の圧力ゲイン特性
Fig. 10 Characteristics of pressure gain of pilot valve



第11図 パイロット弁/スレーブ弁組合せ時の内部リーク特性
Fig. 11 Characteristics of internal leakage of combined valve

4. 結 言

— 謝 辞 —

高速演算装置 (VMPC) およびサーボ弁特性測定装置の概要を述べた。高速演算装置 (VMPC) は高速性、プログラミング言語 VMD によるプログラム設計の簡易化、任意の I/O 基板の組合せによって汎用性のある高速演算装置として、適用は油圧圧下制御用に限定されるものではない。汎用性のある演算装置として開発したものであるため、本装置の適用は限定されず、装置の能力範囲内において、ユーザの自由である。高応答が要求される装置の制御演算や、ボードコンピュータで実現していた機能の置き換えなどに適用し得る。油圧圧下制御用として使用する場合には標準ソフトの設備診断機能を備えることができる。

また、サーボ弁特性測定装置によってサーボ弁の劣化の具合を具体的な特性結果で認識できるようになるとともに、特性測定の簡易化を図ることができた。

本高速演算装置およびサーボ弁特性測定装置の開発・改良・実機適用に当たっては、製鉄・非鉄ミルの関係各位から貴重なご意見・ご指導を頂きました。ここに記し、深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 野村 進：新形式剛性可変油圧圧下式圧延機
石川島播磨技報 別冊第 2 号 1969 年 8 月
pp. 29 - 36
- (2) 早乙女滋男, 山沢克己：ポジションセンサ方式
油圧圧下圧延機の概要 石川島播磨技報 第 14
巻第 1 号 1974 年 1 月 pp. 86 - 93
- (3) 桑野博明：直動形サーボ弁の開発と製鉄機械への
適用 石川島播磨技報 第 24 巻第 4 号 1984 年
7 月 pp. 281 - 287
- (4) 桑野博明, 宮野健吉, 箕浦晃治：全デジタル
形油圧圧下制御装置 - DSP 形位置制御装置の開
発 - 石川島播磨技報 第 35 巻第 1 号 1995 年
1 月 pp. 54 - 58