

# デジタル制御可変ピストンポンプ PZD シリーズ

Digital Controlled Hydraulic Variable Volume Piston Pump

## キーワード

デジタルアンプ、低圧・低流量制御、非線形フローセンサ、温度補償、負荷圧補償、圧縮性補償、フィードフォワード制御、PID 制御、通信機能、32 ビット CPU

部品事業部技術二部

吉田雅雄

竹本典夫

## 1. はじめに

1990 年に発売した電子制御可変ピストンポンプ PZE シリーズは、産業機械の低騒音、省エネルギー、高速・高精度化のニーズに対応し、主に射出成形機に御使用いただいていた。

近年、機械性能の高精度化と共に油圧ポンプに要求される制御性がますます厳しくなっている。特に従来の PZE ポンプでは限界があった低圧・低流量域の制御性が重要視されてきている。

この要求に対応するため、今回紹介する“デジタル制御可変ピストンポンプ PZD シリーズ”は、32 ビット CPU を採用したデジタルアンプ、低流量域の検出精度を向上した非線形流量センサ、電磁比例制御弁の改良等により、低圧・低流量の制御性を大幅に向上し、かつ PZE の持つ高速応答性と高安定性を確保した。

本 PZD ポンプを使用することにより、例えば汎用射出成形機において限界があった高精度の成形を行うことが可能となり、好評をいただいている。

## 2. 構造および作動原理

今回紹介する PZD ポンプの外観を図 1 に、図 2 に作動原理図、図 3 に制御ブロック図を示す。

本ポンプは可変ピストンポンプ本体と、電磁比例制御弁、安全弁、吐出流量・圧力を検知する流量センサ・圧力センサ、そしてデジタルアンプから構成されている。

ポンプ吐出量は半円筒スワッシュプレート

に応じて変化し、この半円筒スワッシュプレートはコントロールピストンによって制御される。この半円筒スワッシュプレートの傾転角度は、圧力の加わらない状態ではスプリングにより最大角度の位置に押されている。ポンプが駆動されるとポンプは圧油を吐出し、同時にパイロットラインに設けられた電磁比例制御弁へも圧油が供給され、電磁比例制御弁のスプールの位置によって、コントロールピストンを制御する。

この電磁比例制御弁への入力電流は、制御アンプによって決められ、制御回路に取り込まれる入力指令値と、ポンプ吐出側に設けられた流量、圧力センサのフィードバック値との偏差によって駆動される。なお安全弁は、電気系の故障の際に生じる過負荷圧

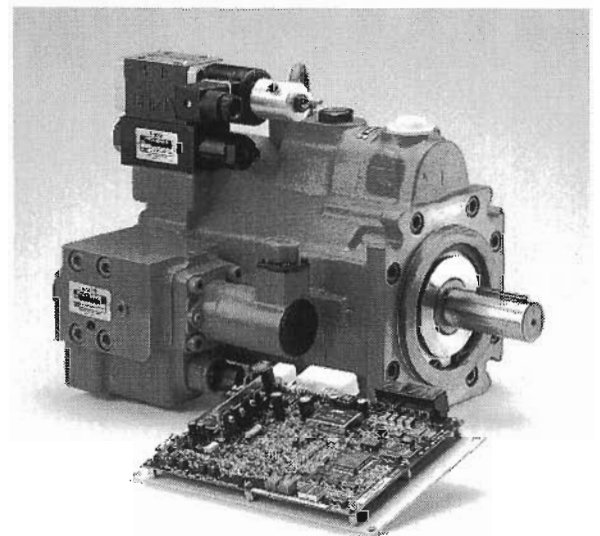


図 1 外観

力を防止する働きをする。

### 3. 特徴

前述したように、PZD ポンプは機械的なハードウェアの改良とデジタルアンプによる最適制御により、機械性能の高精度化に対応している。以下にその特

徴を述べる。いずれも従来のアナログ制御では困難であったものをデジタル制御化し、ソフトウェアを駆使することによって可能となったものである。

#### 3.1 高精度な流量制御

PZD ポンプでは、当社独自の機構を採用した PZE ポンプの流量センサを更に改良し、低流量の検出精

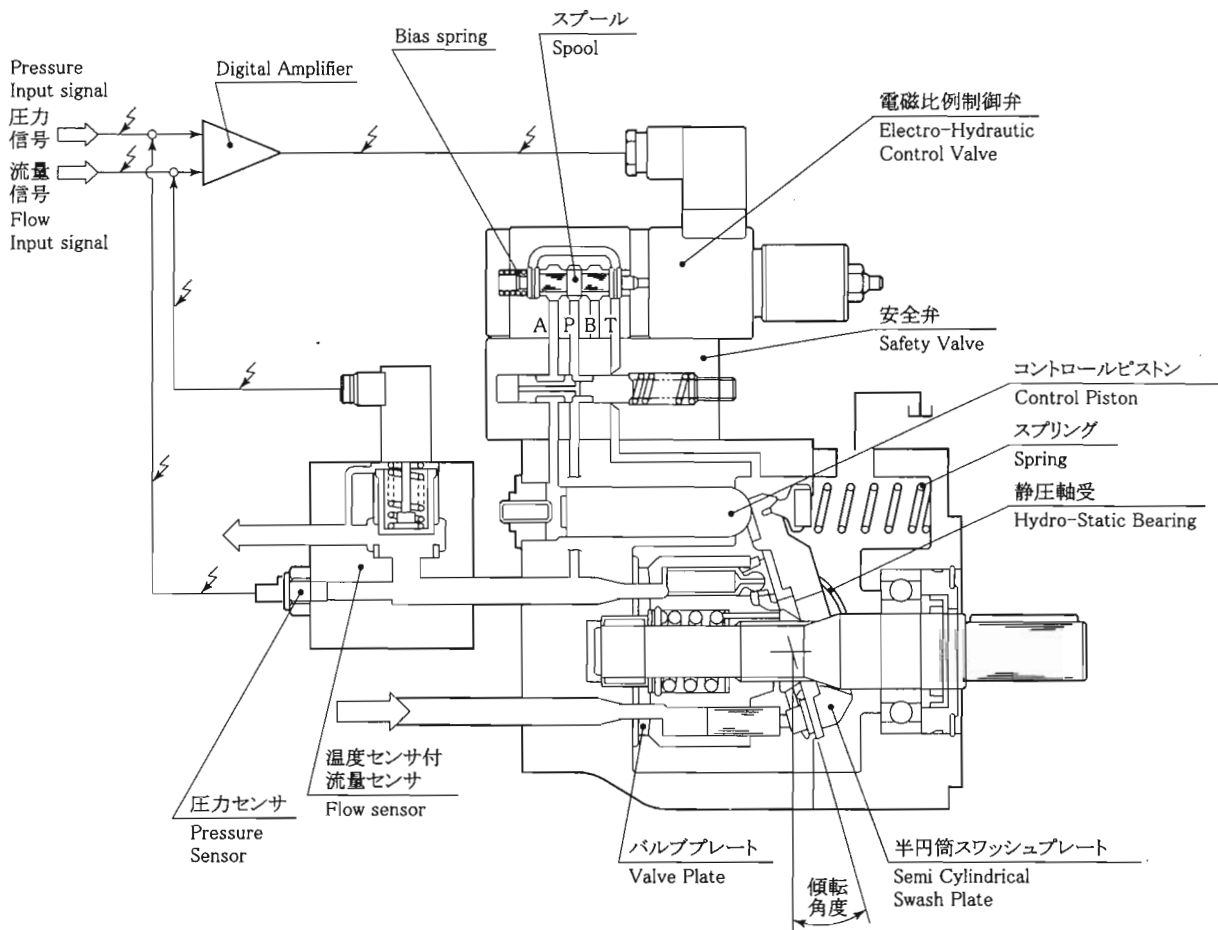


図 2 PZD シリーズ可変ピストンポンプの作動原理図

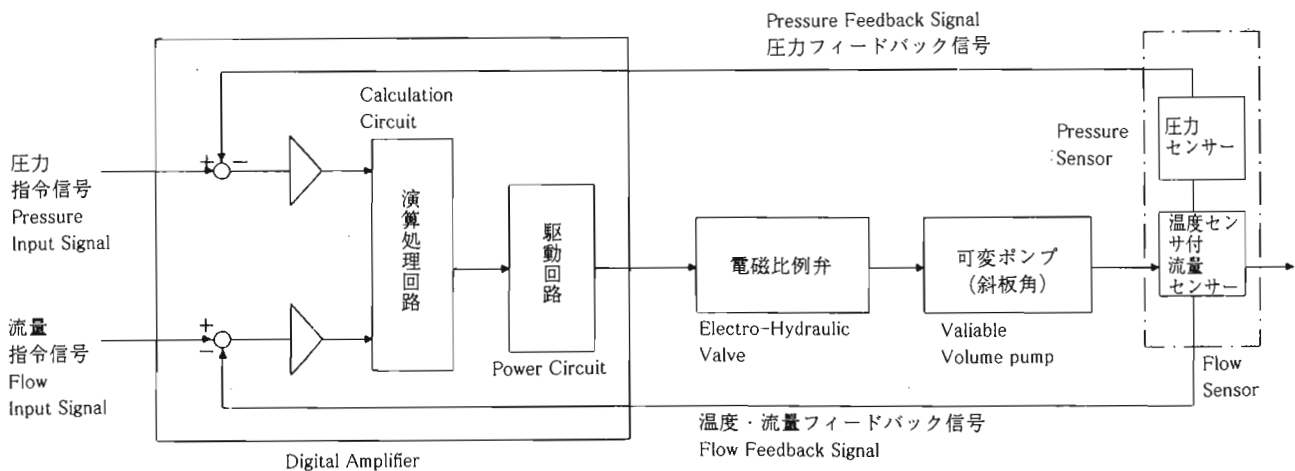


図 3 制御回路ブロック図

度を大幅に向上した非線形流量センサを開発した。図4にその出力特性を示す。

一方、デジタルアンプでは、流量指令信号に対するポンプ吐出量が比例するよう、ソフトウェアにてリニアライズ処理をしており、低流量域の制御性を向上しつつ、入力に対する直線性も確保している。図5は入力電圧-流量特性、図6、図7は負荷圧力-流量特性を示す(図中の $Q_{in}$ は流量指令の大きさを表し、5V入力時を最大流量100%として%で示す)。直線性、ヒステリシスは、ともに0.5%以下と良好であり、低圧から高圧まで安定した流量制御を実現

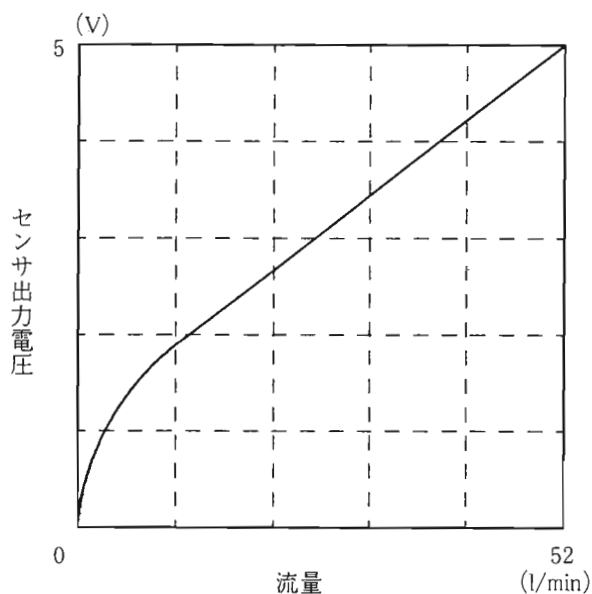


図4 流量センサの出力特性

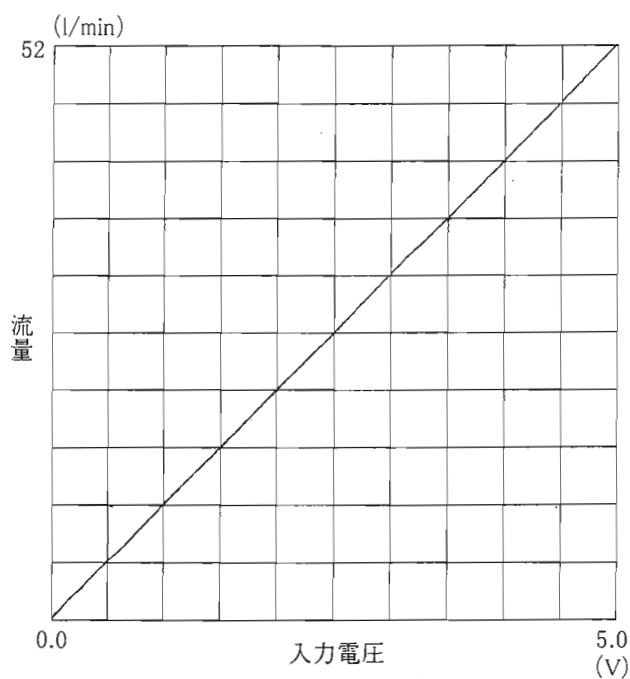


図5 入力電圧-流量特性  
(PZD-2B-35, 回転数 1500min<sup>-1</sup>)

している。

また、油圧の弱点である油温変化に伴う制御流量のドリフトに対しては、温度センサを搭載し、ソフトウェアにて温度補償を行うことにより、制御流量のドリフト量は従来の半分以下となった。図8に温度補償を行った時の特性を示す。

この他にも、負荷圧力により変動する油圧回路の内部漏れを補償する負荷圧補償、負荷圧力が急激に変動した場合に作動油の圧縮性に起因するアクチュ

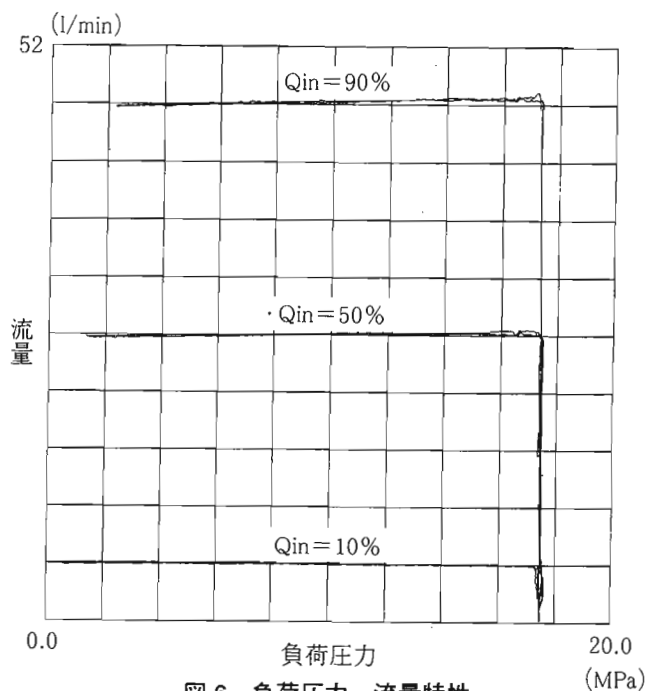


図6 負荷圧力-流量特性  
(PZD-2B-35, 回転数 1500min<sup>-1</sup>)

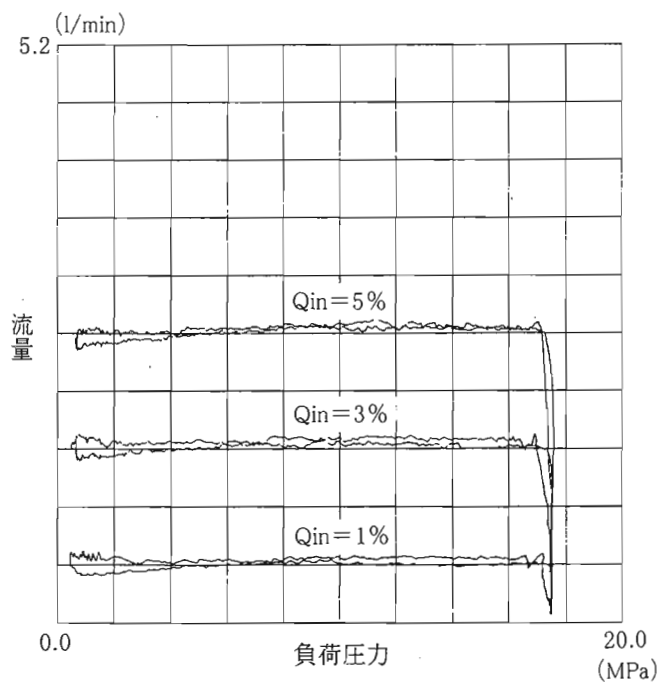


図7 負荷圧力-流量特性  
(PZD-2B-35, 回転数 1500min<sup>-1</sup>)

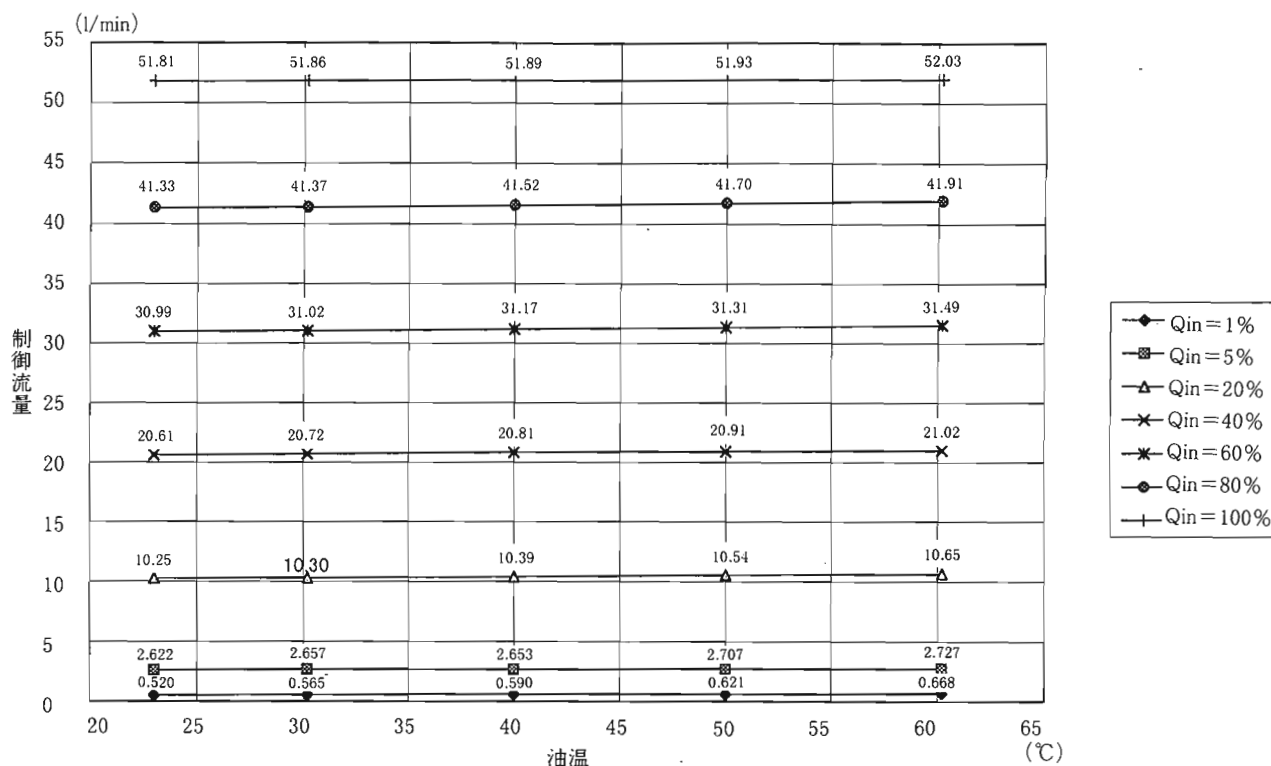


図8 油温変化に伴う制御流量ドリフト

エータの速度変化を補償する圧縮性補償などを行い、機械における速度制御の高精度化に対応している。

### 3.2 低圧からの圧力制御

図2に示すように、半円筒スワッシュプレートを押すスプリング力があるため、コントロールピストンを制御する圧力としては、最低0.3~0.5 MPa程度の圧力が必要である。そのため、従来のPZEポンプでは、最低制御圧力をこれより低くすることはできなかった。

PZDポンプは、半円筒スワッシュプレートを押すスプリング力に対して、流量センサ内部のスプリング力を大きくすることにより、流量センサ入口側にコントロールピストンを制御する圧力を確保する等、ポンプ、流量センサ及び電磁比例制御弁を改良した。

このような改良の結果、図9に示すよう、ほぼ0MPaからの制御が可能となった。前述の低流量域の制御性向上とあいまって、シリンダ等のアクチュエータの停止位置精度向上とワークへのソフトタッチが可能となった。

### 3.3 優れた応答性と、安定性の両立

応答性については、指令信号の変化量に比例した補償量を加算するというフィードフォワード制御、安定性については、電磁比例制御弁の供給圧力ー流

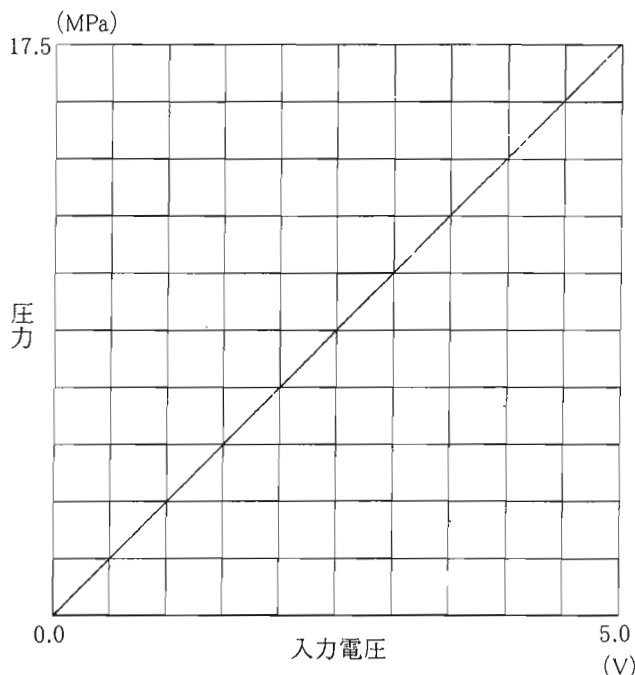


図9 入力電圧ー圧力特性  
(PZD-2B-35, 回転数 1500min<sup>-1</sup>)

量特性の非線形性を考慮した最適なゲイン選択と積分補償を加えたPID制御、この2自由度制御を同時に行うことにより、機械の高サイクル化と高繰り返し安定性を両立している。

### 3.4 アクチュエータごとの最適圧力制御

機械に大小複数のアクチュエータがあった場合、

表 1 仕様

項目	形式	PZD-2B-35	PZD-2B-45	PZD-3B-70	PZD-4B-100	PZD-5B-130	PZD-6B-180	PZD-6B-220	
ポンプ容量 (cm <sup>3</sup> /rev)		35	45	70	100	130	180	220	
最高使用圧力(MPa)		21	14			21			
最高入力回転数 (min <sup>-1</sup> )		1800						1500	
流量制御	最大流量 (L/min) (最高入力回転数時)	63	81	126	180	234	324	330	
	ヒステリシス	0.5%以下							
	直線性	0.5%以下							
	繰り返し性	0.5%以下							
	入力信号	最大流量/DC5V							
圧力制御	最低制御圧力	0.05MPa							
	ヒステリシス	0.5%以下							
	直線性	0.5%以下							
	繰り返し性	0.5%以下							
	入力信号	FR2A; 14MPa/DC5V FR3A; 21MPa/DC5V							
コイル抵抗		5 Ω (20°C)							
電源	電源電圧	DC24V (21~28V), 2.0A スイッチングレギュレータ使用のこと							
	最大消費電力	34W以下							
	入力インピーダンス	圧力指令; 25k Ω 流量指令; 25k Ω							
	モニタ出力信号	流量	DC5V/最大流量						
		圧力	FR2A; DC5V/14MPa FR3A; DC5V/21MPa						
	工程変更入力 (4点)	(フォトカプラ入力) 電圧 DC24V 電流 10mA							
	異常検知出力 (2点)	(トランジスタオープンコレクタ) 電圧 DC30V 電流 20mA							
	CPU	32ビット CPU (高速タイプ), プログラムメモリはフラッシュROMによりオンボード書き込み可能							
通信機能	RS232C 1点	パソコンとの通信用							
	RS422A 1点	上位コントローラとの通信用							
許容周囲温度	0~60°C								
許容周囲湿度	35~85%R.H. (結露無きこと)								

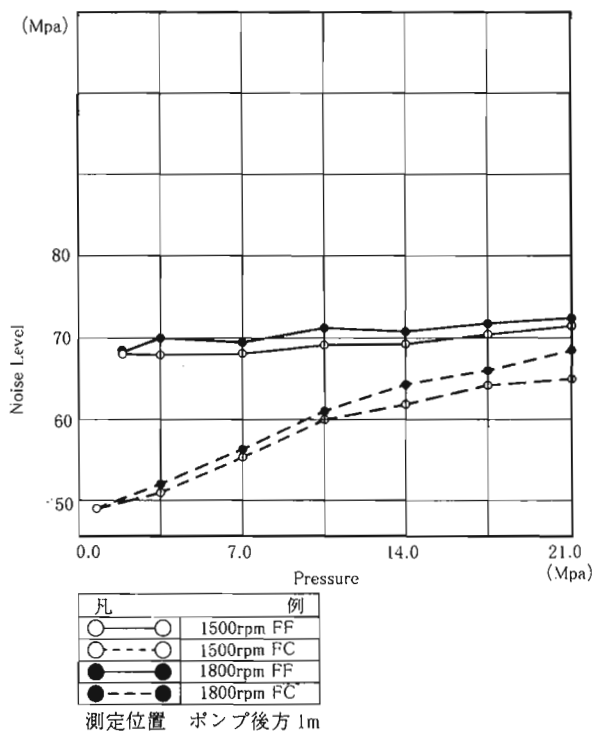


図 10 騒音特性 (PZD-4B-100)

ポンプがどのアクチュエータを制御するかにより、ポンプから見た油圧回路の負荷容積は異なる。

機械の圧力制御波形を指令信号にマッチした最適な制御波形とするためには、作動油の圧縮性を考慮し、負荷容積に合わせて制御パラメータのゲインを変化させる必要がある。つまり、大きい負荷容積の

場合はゲインを大きく、小さい負荷容積の場合はゲインを小さくする必要がある。

本ポンプのデジタルアンプには4本のデジタル入力があり、機械からどのアクチュエータを制御するかの信号を受け取ることで、最大16通りの制御ゲインを選択することができる。このため、負荷容積の異なる個々のアクチュエータに対して、最適な圧力制御波形を得ることができる。

### 3.5 通信機能

通信機能としては、上位コントローラとの通信として、RS422A、またパソコンとの通信としてRS232Cを装備している。

どちらも制御パラメータのモニタリングおよび書き換え機能を有しているが、RS422A通信では、3.4項で記述したアクチュエータごとの制御パラメータゲインを上位コントローラのモニタ画面から操作することができるので、ユーザサイドで最適な制御波形となるよう細かいチューニングが可能である。

### 3.6 低騒音化

ピストンポンプの騒音は、吸入側から吐出側、および吐出側から吸入側への切換時にシリンダバレル内で生じる急激な圧力変動による加振力と、それによる振動伝播および圧力脈動に起因している。

PZDポンプは脈動の基本周波数を支配するピスト

ン本数を 11 本とし、基本的な脈動低減化を図り、振動に対しては、支持剛性の高い半円筒スワッシュプレートとその背面に静圧軸受を採用し、球面バルブプレートによる高圧・高速時のシリンダバレルの安定化など、随所に低騒音化技術を取り入れている。また品質工学の手法、およびコンピュータによるシミュレーション解析により、重要部品の形状・寸法を最適化している。

図 10 は騒音特性の一例を示すが、低圧から高圧まで低騒音で変化の少ない特性となっている。

---

## 4. 仕様

---

PZD シリーズは、ポンプ容量 35 から 220cm<sup>3</sup>/rev までの幅広いシリーズとなっている。表 1 にその主な仕様を示す。またデジタルアンプのプログラムメモリはフラッシュ ROM となっており、パソコンから RS232C 通信にてオンボードでの書き込みが可能である。このため、フィールドにおいてもプログラムメモリの書き換えにより、ソフトウェアのバージョンアップが可能となっている。

---

## 5. おわりに

---

今回紹介したデジタル制御可変ピストンポンプ PZD シリーズは機械が要求する高精度な制御性を実現した。

また、昨今は省エネルギー、環境問題などが取り沙汰されており、今後は従来以上にこれらの問題に対応した油圧製品の開発を進めていく。