

NACHI
**TECHNICAL
REPORT**
Components

Vol. **34** B5
October/2018

機能部品事業

■ 新商品・適用事例紹介

「鍛圧機械用油圧ポンプのご紹介」

Introduction of Hydraulic Equipment
for Press Machine

〈キーワード〉 鍛圧機械・油圧プレス・油圧ポンプ・高速化
高出力・コンパクト・低騒音・省エネ

油圧事業部／技術部

山田 健治 Kenji Yamada

要 旨

NACHIの油圧事業は、1953年にブローチ盤用定吐出ベーンポンプを製造したことがはじまりである。以来、工作機械、建設機械、鍛圧機械など、多くの市場に油圧機器を投入してきた。

近年の鍛圧機械は、EV化やIoTの進展に伴う電気電子、自動車分野での部品需要の増加から、生産性の向上や省エネルギーなどが一層求められている。

これらの要求に応えるNACHIの油圧ポンプを、その特長とともに紹介する。

Abstract

NACHI's hydraulic equipment business started with the manufacturing of constant displacement vane pump for a broach machine in 1953. Since then, NACHI has been introducing hydraulic equipment into many fields such as machine tools, construction machine, press machines and others.

Improved productivity and energy-saving features have been increasingly required for the recent press machines due to the increased demand of electric/electronic components in automobiles reflected from advancement in EV and IoT.

This article introduces NACHI's hydraulic pumps and the features that respond to these requirements.

1. 鍛圧機械 機械プレスと油圧プレス

鍛圧機械とは、一般に切削機械以外の金属加工機械、金属成形機械を示し、専門化された多くの種類が存在する。基本的な鍛圧機械として、機械プレスと油圧プレスの特徴を説明する。(表1参照)

機械プレスの多くは、電動機の回転運動をクランク機構で直線運動に変換し、金型を上下に往復運動させて加工を行なう。主に板材のせん断による打ち抜き、穴あけに用いられ、高速運動できることから、プレス動作工程のサイクルタイムが短いというメリットがある。

他方の油圧プレスは、電動機の回転運動を油圧ポンプにより、一旦油圧エネルギーに変換し、シリンダにより直線運動に変換する。油圧制御による、コンパクトで大きな加圧力を発生できること、比較的長いストローク間でも、同じ加圧力を作用できること、加圧力、加工速度の調整が容易であるという特長があり、板材の曲げ、切断加工から、粉体などの成形まで、大きな加圧力が必要、もしくは、高い制御性が求められるプレス加工に使用される。

本稿では油圧プレスの基本動作や油圧プレス用の油圧ポンプについて説明する。

表1 機械プレスと油圧プレスの比較

プレス機の特性	機械プレス	油圧プレス
加工速度	速い	遅い
加圧力の大きさ	限度あり	大きくできる
加圧力の調整	困難	容易にできる
加圧力の保持	できない	できる
ストローク	長くできない	長くできる
ストローク調整	困難	容易にできる



2. 油圧プレス機の要求特性と油圧機器の対応

油圧プレスへの市場要求と油圧システムでの対応を表2にまとめる。

構造的に機械プレスに対して劣る加工速度を向上させるために、油圧プレス用の油圧回路、油圧ポンプは多くの改良がされてきた。本稿では油圧ポンプでの対応について説明する。

表2 油圧プレスへの要求と対応策

機械への要求	機械での対応策	油圧での対応策	NACHI対応製品	
生産性の向上	高速化 (油圧回路での対応)	差動回路 プレフィル弁, サイドシリンダ	— —	
	高速化 (ポンプでの対応)	HI-LO (2ポンプ) 回路	IPHポンプ(タンデムポンプ化)	
		2圧2流量制御	PVS,PZSポンプ(設定圧切り換え) パワーフィット(電気制御切り換え)	
		定馬力制御	PZHポンプ	
コンパクト	機器の小型化	高出力化	高圧化	PZHポンプ(定格35MPa)
		高圧化	高圧化	PZHポンプ(定格35MPa)
		エネルギー損失の低減	エネルギー損失の低減	PZHポンプ(高効率化) パワーフィット(必要な分のみ吐出)
低騒音	低騒音	低脈動化	PZH,IPH,PVS,PZSポンプ	

1) 高速化

油圧プレスは、限られた動力で加工速度を向上させるために、シリンダの加圧力が必要な動作工程では高速で動作させ、加圧力が必要な工程で減速させる。

この要求特性に対応するために、油圧ポンプに低圧時は大流量、高圧時は小流量を吐出できる機能が求められる。一般的な油圧回路図(図1)を例にとり、詳細を説明する。

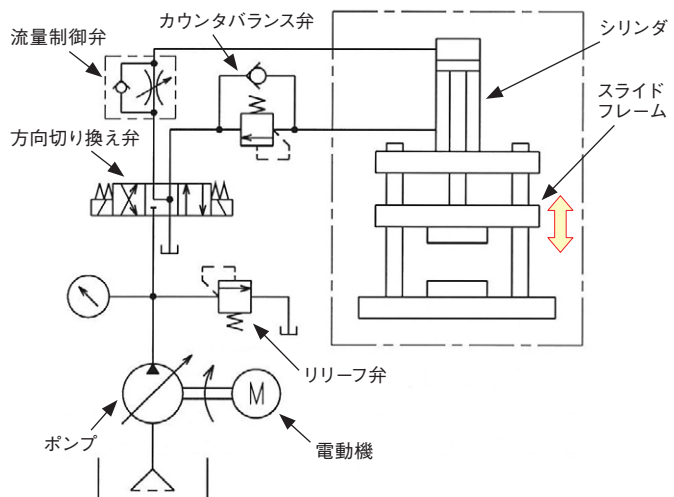
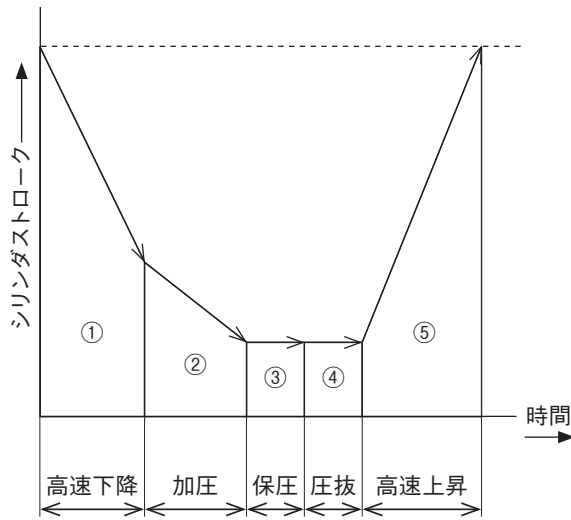


図1 一般的な油圧プレスの油圧回路図



【油圧プレスの基本動作工程】

- ①高速下降:スライドを高速で下降させる
- ②加圧:工作物を金型で加圧し加工する
- ③保圧:工作物を加圧状態で保持する
- ④圧抜き:加圧時のエネルギーを開放する
- ⑤高速上昇:スライドを高速で上昇させる

図2 油圧プレスの動作工程

油圧プレスの動作工程のうち、①高速下降と⑤高速上昇時は工作物を加工する工程ではないため加圧力は求められず、ポンプの負荷圧は低い。

②加圧、③保圧は工作物を加工する工程であるため、加圧力が必要となり、ポンプの負荷圧は高くなるが、スライドの動きを遅くしている。

油圧プレスのスライドは油圧シリンダで直接駆動しており、

シリンダに作用する圧力でプレス荷重
(=シリンダ荷重:W)

シリンダへ供給する流量でスライド速度
(=シリンダ速度:V)が定まる。

これらを式で表わすと以下ようになる。

$$V=Q/A(Q:流量、A:シリンダ面積)・・・(1)$$

$$W=P\times A(P:圧力、A:シリンダ面積)・・・(2)$$

(1)式より、①高速下降と⑤高速上昇では大きな流量が必要である。

(2)式より、②加圧と③保圧では高い圧力が必要となる。

油圧ポンプの動力:Lは次式で示される。

$$L=(P\times Q)/(60\times \eta)(\eta:ポンプ効率)・・・(3)$$

(3)式から、油圧エネルギーは圧力と流量の積で表わされることから、高圧と大流量が両方同時に必要な場合はポンプ動力が大きくなり、大きな電動機が必要になる。

低圧時に大流量で、高圧時に小流量であればポンプ動力を低く抑えられ、電動機を大きくすることなく、油圧プレスの加工速度を速くできる。このことが図2の工程が採用され、油圧ポンプに低圧時に大流量、高圧時に小流量が求められる理由である。

1) 高速化－1

HI-LO (2ポンプ) 回路〔対応製品：IPHポンプ〕

油圧プレスは、油圧機器の黎明期より採用された機械であり、油圧機器の発展と共に新たな改良がされてきた。図3に示すダブルポンプによるHI-LO (2ポンプ) 回路は、最初に採用された回路であり、2つの定容量ポンプが採用されている。シリンダの負荷が小さい時は、低圧大容量ポンプと高圧小容量ポンプの両方でシリンダが作動し、負荷が大きくなるとアンロードバルブが働き、高圧小容量ポンプだけが圧油を吐出する。負荷の大きいときは、低圧大容量ポンプから吐出された油は、シリンダへ供給されずに、アンロードバルブを介してタンクへ戻り、電動機の負荷を低減している。

可変容量ポンプより低価格の定吐出ポンプで構成できるメリットがあるが、負荷の大きいときに、低圧大容量ポンプから吐出された分が、単純に損失となる。

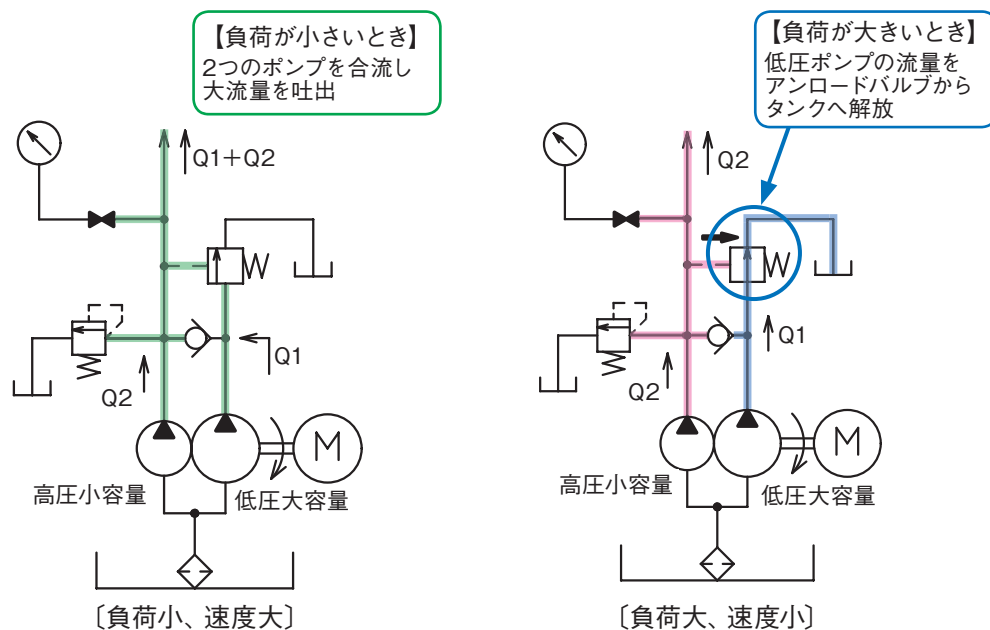


図3 HI-LO (2ポンプ) 回路

1) 高速化-2

可変容量型ポンプによる2圧2流量制御

〔対応製品：PVS/PZSポンプ、パワーフィット〕

定容量ポンプを使用したHI-LO(2ポンプ)回路のデメリットである損失を低減するため、可変容量型ポンプの斜板角制御による2圧2流量制御が採用されている。(図4)

設定した圧力よりも負荷が上がった時に流量を小さくする機能を持っており、低圧大流量と高圧

小流量を1台で実現し、高圧時の損失を低減することができる。

また、最大流量、小流量をポンプの調整ねじにより変更することが可能であり、油圧プレスにあわせた流量特性を得ることが可能であることから、現在、多くのプレス機に採用されている。

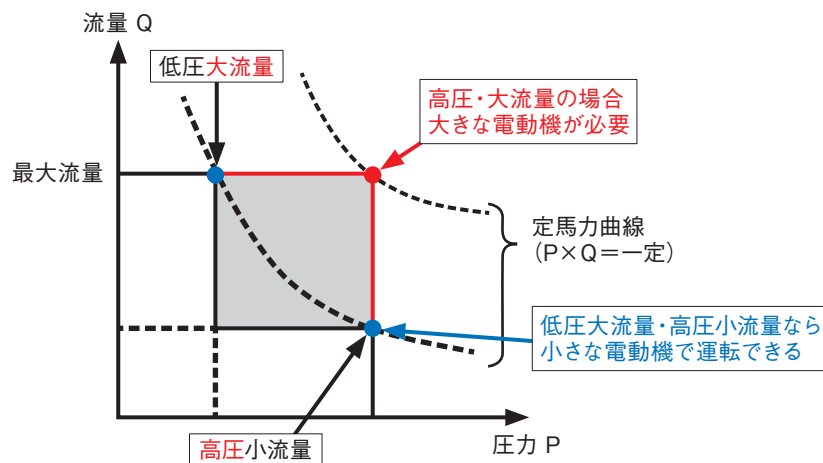


図4 可変容量型ポンプによる2圧2流量制御

1) 高速化-3

可変容量型ポンプによる定馬力制御〔対応製品：PZHポンプ〕

2圧2流量制御より、さらに電動機の馬力を有効に利用するための制御である。

(3) 式より、油圧ポンプの動力は圧力×流量で表わされるため、圧力の上昇に見合った分だけ流量を連続的に減らしてくれるポンプがあれば常に電動機出力を最大限使うことができる。これを実現するのが可変容量型ポンプの定馬力制御で、圧力×流量が常に一定となるよう吐出流量を制御する。(図5)

馬力設定をポンプの調整ねじにより変更することが可能であり、電動機出力にあわせた流量特性を得ることが可能であることから、これも多くのプレス機に採用されている。

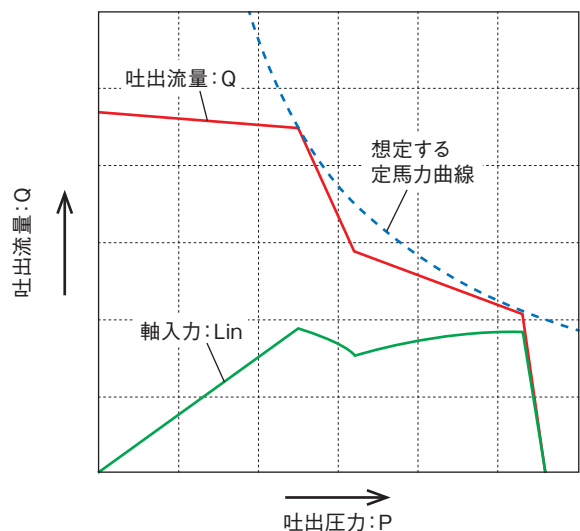


図5 可変ポンプによる定馬力制御

2) 高出力、コンパクト 〔対応製品：PZHポンプ〕

油圧プレスはスライドを駆動するシリンダの受圧面積と圧力の積(=シリンダ荷重)で決定される。高圧化することで同じシリンダサイズでも加圧能力を大きくすることができる。また同じ加圧能力でも、高圧化することでシリンダサイズを小さくでき、油圧プレスをコンパクトにできることから、35MPaまで使用できるポンプの需要がある。

3) 低騒音 〔対応製品：IPH, PZHポンプ〕

油圧プレスは工場内で使用されること、また近隣への騒音影響を小さくするため、低騒音化が求められる。エネルギー変換機であるポンプの吐出圧力の変動が騒音の発振源となることから、低騒音化に対しては圧力脈動の低減が求められている。

4) 省エネ 〔対応製品：PZHポンプ、パワーフィット〕

省エネは全ての産業機械において重要な課題であり、駆動源である油圧ポンプに対しては高効率であることが求められる。

油圧ポンプの効率は動力損失による機械効率と、漏れ損失による容積効率の積で表わされ、それぞれの損失低減を図ることがポンプの高効率化につながる。

ここまで述べてきた要求に応えたNACHIの油圧鍛圧機械用油圧ポンプを、その特長とともに紹介する。

3. 内接ギヤポンプIPHシリーズ

1) IPHポンプの特長

内接ギヤポンプIPHシリーズは3.6cm³/revから最大125.9cm³/revの容量シリーズを揃え、最高30MPa、定格25MPaの高圧に対応している。ダブルポンプ化により、HI-LO回路に用いられてきた。

可変容量ポンプにより、HI-LO回路を採用した

油圧プレスの需要は減少したが、修正インボリュート低歯歯車の内接噛みあい構造による低騒音により、サイクルタイムの短縮が求められない用途(例 試験機)や、メインのプレス回路以外の補助回路に使用されている。(表3)

表3 IPHポンプ[シングル]仕様表

ポンプサイズ	ポンプ容量 cm ³ /rev	圧力		回転速度	
		定格 MPa	最高 MPa	最低 min ⁻¹	最高 min ⁻¹
IPH-2B	3.60 ~ 8.18	25	30	600	2,000
IPH-3B	10.2 ~ 15.8			600	
IPH-4B	20.7 ~ 32.3			500	
IPH-5B	40.8 ~ 63.9			400	
IPH-6B	81.3 ~ 125.9			300	

2) 作動原理

IPHポンプの構造を図6に示す。ピニオンシャフト①が駆動されると、インターナルギヤ②が従動され、吸入室Aに負圧が生じ、作動油はIN側管路を経て吸い込まれる。吸入室Aに入った作動油は、ギヤの回転に伴ってフィラーピース③の脇を通って高圧室Bへ導かれる。高圧室Bに入った作動油は、

インターナルギヤ②の歯底から外周へ抜ける穴を通り、OUT側管路へ吐出される。

IPHポンプは、内部漏れを低減するための機構(ラジアルプレッシャーローディング、アキシシャルプレッシャーローディング)により、3.6cm³/revの小容量でも高圧化を実現させたことが特徴である。

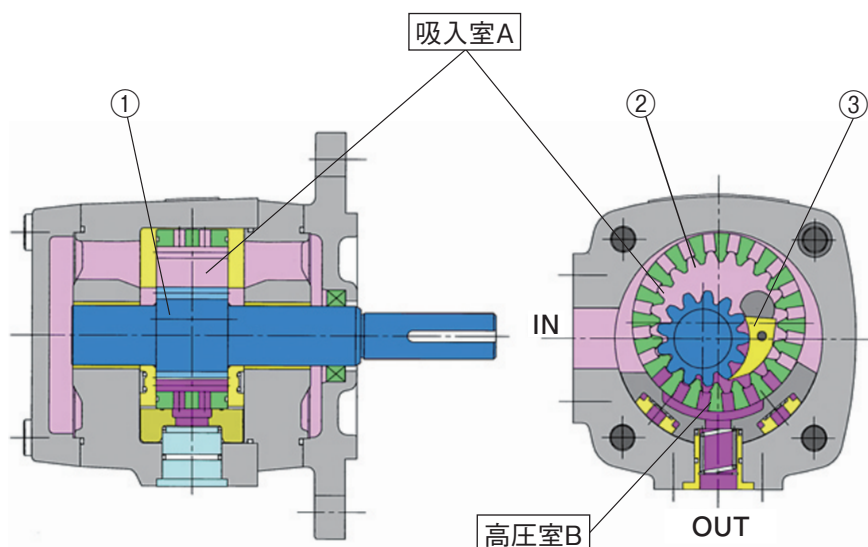


図6 IPHポンプ断面構造図

4. 可変容量型ピストンポンプ PVS/PZSシリーズ

1) PVS/PZSポンプの特長

PVS/PZSシリーズは中圧の可変容量型のピストンポンプで、8～220cm³/revの容量バリエーションを揃える(表4)。圧力補償制御、2圧2流量制御を含めた豊富な制御オプションに対応し、半円筒形スワッシュプレート方式による高い支持剛性や、11本ピストンの採用(2Bサイズ以上)で低騒音、低脈動を実現している。また球面バルブプレートを採用(3Bサイズ以上)し、高圧時の漏れを低減することで高効率化を図っている。

低騒音と豊富な制御オプションにより、鍛圧機械のみでなく、工作機械、一般産業機械に幅広く採用されている。(図7)

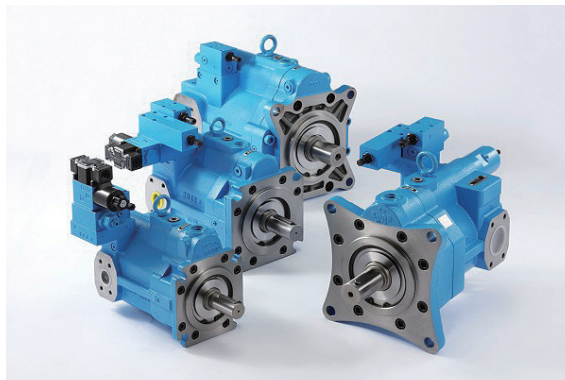


図7 PZSシリーズ外観

表4 PVS/PZSシリーズ仕様表

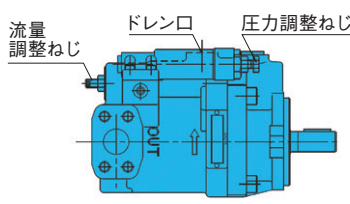
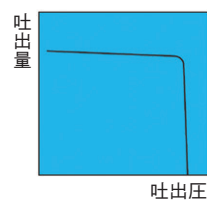
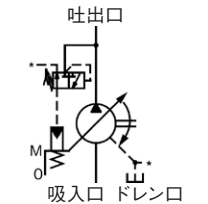
ポンプサイズ	ポンプ容量 cm ³ /rev	圧力		回転速度	
		定格 MPa	最高 MPa	最低 min ⁻¹	最高 min ⁻¹
PVS-0B-8	8	21	25	500	2,000
PVS-1B-16	16.5				
PVS-1B-22	22				
PVS-2B-35	35				
PVS-2B-45	45				
PZS-3B-70	70		28	1,800	
PZS-4B-100	100				
PZS-5B-130	130				
PZS-6B-180	180		25	1,500	
PZS-6B-220	220				

2) 豊富な可変制御オプション

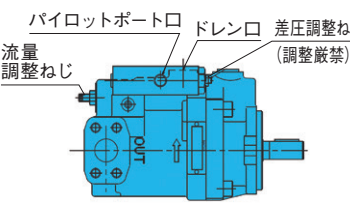
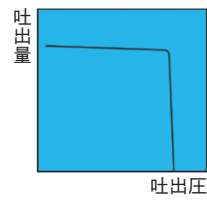
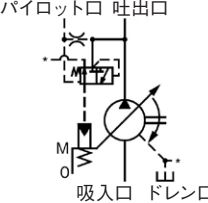
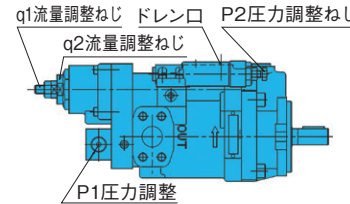
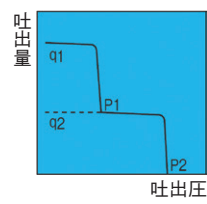
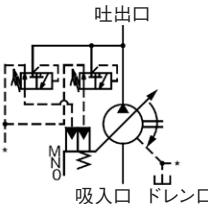
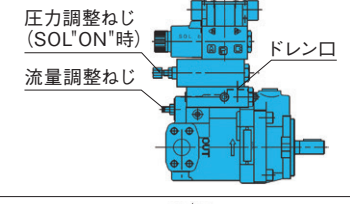
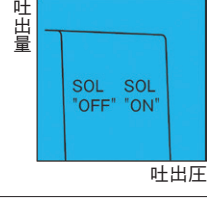
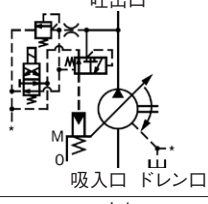
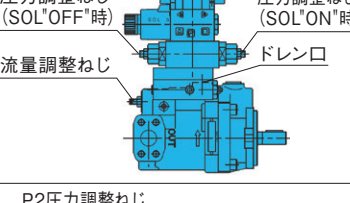
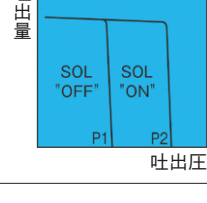
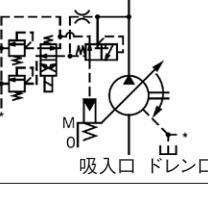
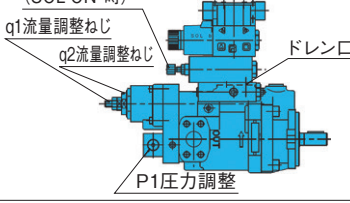
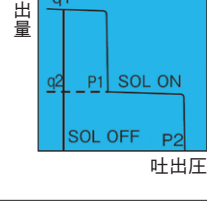
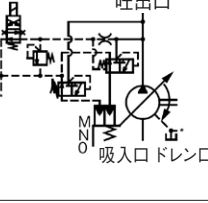
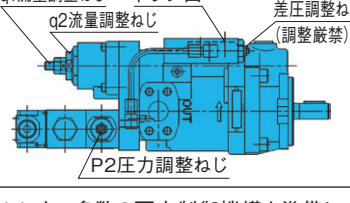
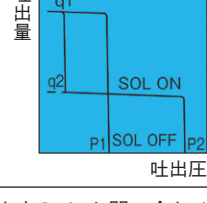
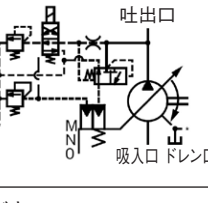
PVS/PZSシリーズは、油圧プレスに最適な2圧2流量制御に対応しており、低圧大流量と高圧小流量を1台のポンプで実現し、ポンプ駆動に必要な動力を抑えることができる。その他にも表5に示す豊富な可変制御オプションに対応しており、油圧プレスに限らず、用途にあわせた最適な選択が可能である。

表5 PVS/PZSシリーズ可変制御オプション一覧

標準タイプ

記号	外観図	特性	油圧記号	説明
N				<p>圧力補償形 (マニュアル方式)</p> <p>吐出圧がコンペンセータでセットされた圧力になると、自動的に吐出量が減少し、セット圧(フルカットオフ圧力)を保持します。</p>

オプションタイプ

P				<p>圧力補償形 (リモートコントロール方式)</p> <p>マニュアル方式と同様な特性を示します。フルカットオフ圧力は、外部パイロット圧により調整できます。吐出量はマニュアル操作により調整できます。</p>
NQ				<p>2圧2流量制御形</p> <p>ポンプに組み付けたシーケンスバルブにより吐出量が2段に変化し、従来の高低圧制御が1台で行なえ、回路の省エネ化が可能です。</p>
RS (RA)				<p>ソレノイドカットオフ制御形</p> <p>ポンプ出力不要時に、損失エネルギーを極小にするため、圧力補償形にアンロード用ソレノイドバルブを組み付けたものです。熱発生は、わずかです。</p>
WS (WA)				<p>2圧制御形</p> <p>ソレノイドバルブの“ON”“OFF”により2種類の圧力補償形が得られます。アクチュエーターの速度を一定にしたまま2種類の圧力制御が行なえます。</p>
RQS (RQA)				<p>ソレノイドカットオフ付2圧2流量制御形</p> <p>ポンプに取り付けたシーケンスバルブとアンロード用ソレノイドバルブにより吐出量を2段に変化でき、また、圧油不要時にアンロードできます。</p>
CS (CA)				<p>2カットオフ制御形</p> <p>ポンプに取り付けたソレノイドバルブとシリンダにより2種類の圧力-流量特性が得られます。</p>

以上のほかにも、多数の可変制御機構を準備していますので、お問い合わせください。

5. 高圧ピストンポンプ PZHシリーズ

1) PZHポンプの特長

PZH-3Bは鍛圧機械に求められる高速、省エネ、低騒音などに対応した可変容量形ピストンポンプである(図8)。コンパクトでありながらクラス最高水準となる定格35MPaの高圧化と高効率化を実現した。表6にPZH-3Bの製品仕様を示す。

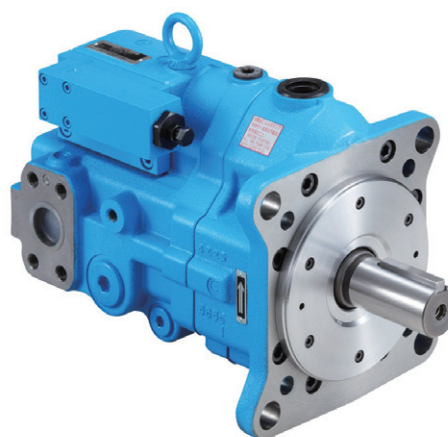


図8 PZH-3B外観

2) 高圧化

アキシャルピストンポンプであるPZH-3Bでは高圧化に伴い軸受に作用する負荷も大きくなる(図9)。PZH-3Bではポンプシャフトの剛性を上げ、かつ高負荷に対応した円錐ころ軸受を採用し、高圧化に対応している。

また高圧が作用する部品の耐圧強度が課題となるが、PZH-3Bでは本体、バルブプレートにCAE解析を用いた最適設計を行ない、軽量化、低圧力損失と許容ピーク圧力40MPaを実現した。

表6 PZH-3B仕様

形式	PZH-3B-72
定格圧力	35MPa
許容ピーク圧力	40MPa
最大容量	72cm ³ /rev
最高回転数	1,800min ⁻¹
回転方向	右
質量	42kg

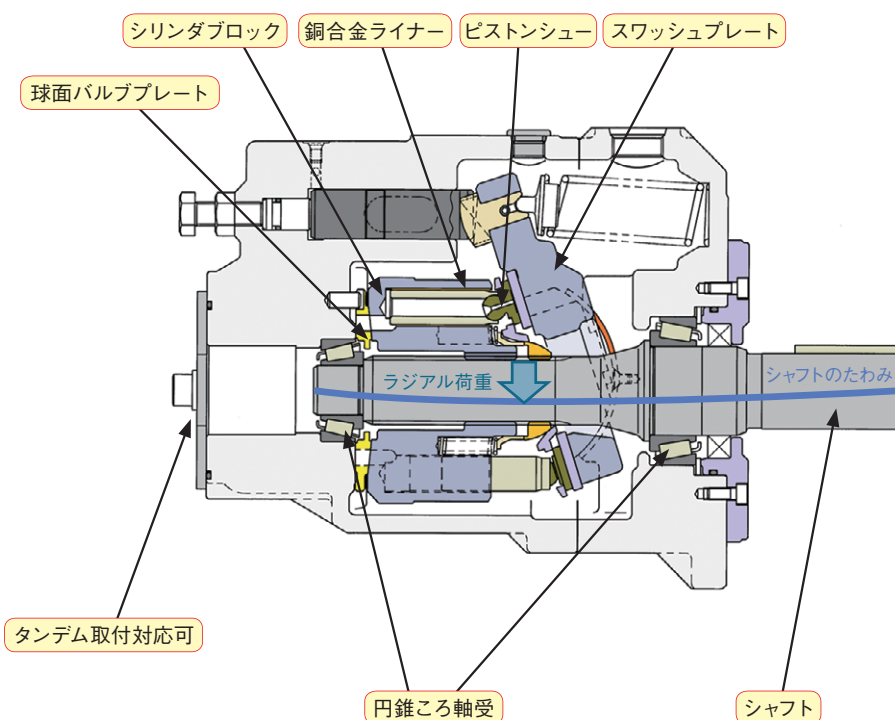


図9 PZH-3B断面構造図

3) 定馬力制御

PZH-3Bは定馬力制御に対応、負荷に応じて流量を制御し、電動機の出力を最大限に使うことができる。図10にPZH-3Bの定馬力制御特性を示す。圧力×流量を一定に制御することでポンプへの軸入力が一となり、小さな電動機で大流量に対応できる。

4) 高効率

往復運動するピストンには吐出圧力に比例してラジアル方向の荷重が作用するため、高圧化に伴いピストンの摺動抵抗が大きくなる。PZH-3Bでは、図11に示すピストン摺動面に銅合金ライナーを有するシリンダブロックを採用、ピストンの摺動抵抗を低減し、機械効率を向上した。

高圧時のポンプの漏れ損失を低減するため、球面バルブプレートを採用した。一般的な平面バルブプレートの場合、ピストンからのラジアル荷重によりシリンダブロックが傾き、バルブプレートとの間にすきまが生じ、漏れが増加するが、球面バルブプレートの場合、シリンダブロックが球面に沿って動く調心性により、すきまが大きくなることはなく、漏れ損失を最小に抑えることができる。図12にPZH-3Bのポンプ一般性能(効率)を示す。

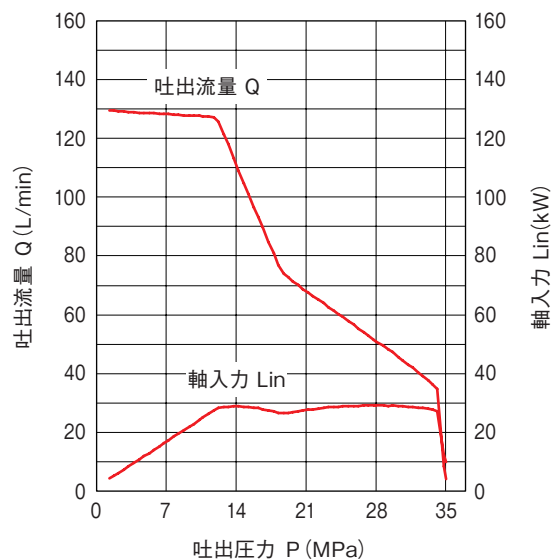


図10 定馬力制御特性

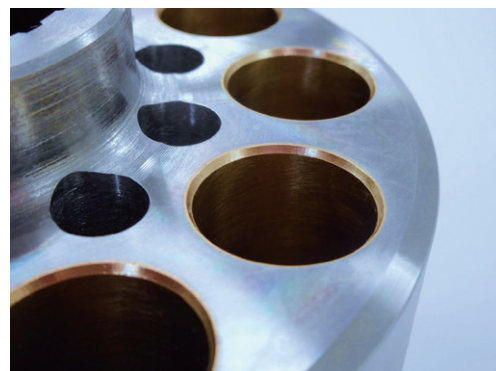


図11 シリンダブロック ピストン穴(銅合金ライナー)

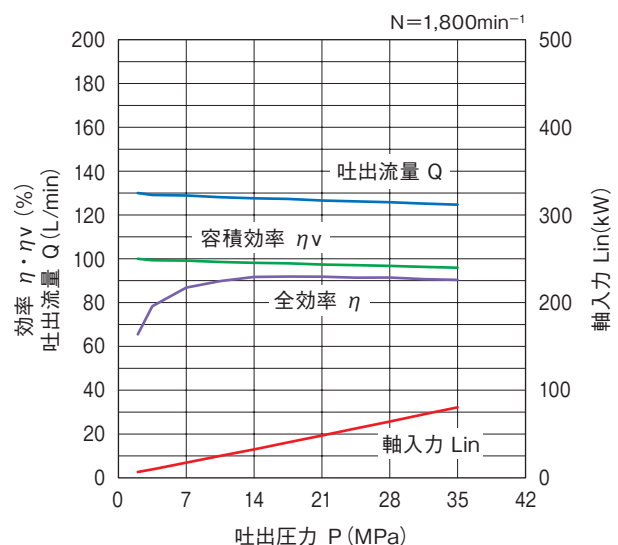


図12 ポンプ一般性能(効率)

5) 低騒音化

PZH-3Bはピストン本数を11本とし脈動の低減を行なった。また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は静圧軸受を採用し、球面バルブプレートによる高圧時のシリンダブロックの安定化など、随所に低騒音化技術を取り入れ、高圧ピストンポンプとして最高レベルの低騒音を実現している。(図13)

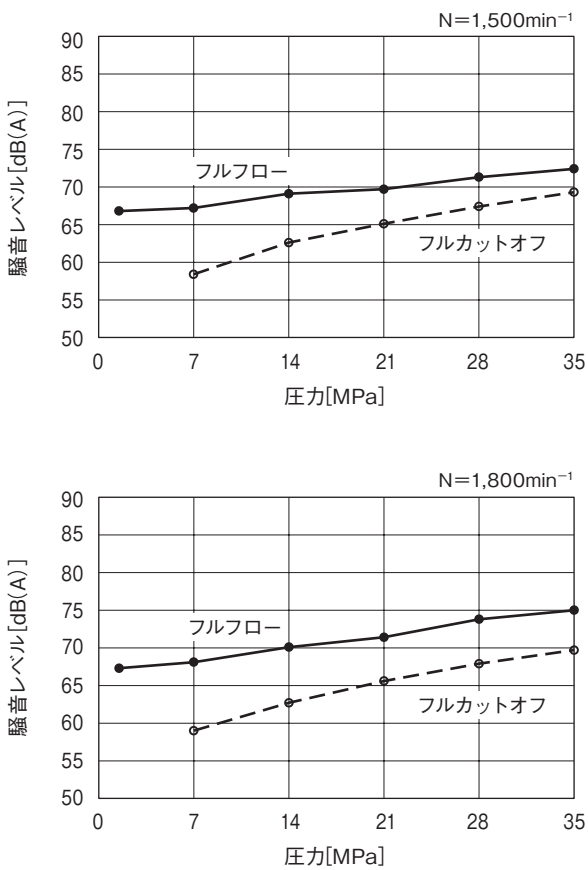


図13 騒音特性(ポンプ後方1m)

6. 油圧ユニット：パワーフィット

1) パワーフィットの特長

パワーフィットは、ACサーボモーターで2容量形の可変ピストンポンプを駆動する。

可変容量ポンプに回転数制御を採用し、さらなる省エネと高速化を実現した。

省エネ（エネルギー損失が小さい）の恩恵は、単に電動機の消費電力が低減するのみではない。

エネルギー損失は熱に変換されるため、作動油の冷却用水クーラを必要としない、油圧タンクの容量を大幅に削減できるというメリットを提供できる。

2) 高速・省エネの実現

表7にパワーフィットの仕様、図14にパワーフィットの構成を示す。パワーフィットは2容量可変ピストンポンプをACサーボモーターで駆動する。タンク横の制御ボックスには、ACサーボモーターを駆動するサーボアンプと、圧力・流量・回転数を制御するコントローラが含まれており、ボックス内部の操作パネルで圧力指令と流量指令を数値で設定することができる。

ポンプにはポンプ容量を大小変えることができるソレノイドバルブが搭載されている。この切り換えはコントローラが負荷に応じて自動的に行なっている。

ACサーボモーターの回転数制御も同様にコントローラが行なっており、ポンプ容量と回転数の組み合わせで、流量指令にあわせた流量を吐出している。サーボモーターは0[min^{-1}] からポンプ最高回転数である2,000[min^{-1}] まで任意に回転数の制御ができるので、広い範囲で流量制御が可能となり、かつ、一般の電動機に対し高い回転数まで使用することで、高速化を実現している。

圧力制御はポンプに搭載している圧力センサの信号をフィードバックし、圧力指令に一致するようにコントローラが回転数を制御することで行なっている。圧力を維持するのに必要な流量を送り出すだけであり、低い回転数で制御できる。

以上のように、パワーフィットは、流量制御と圧力制御を、指令に対して必要な分だけポンプを回転させることで、エネルギーロスが極めて少ない油圧ユニットを実現している。

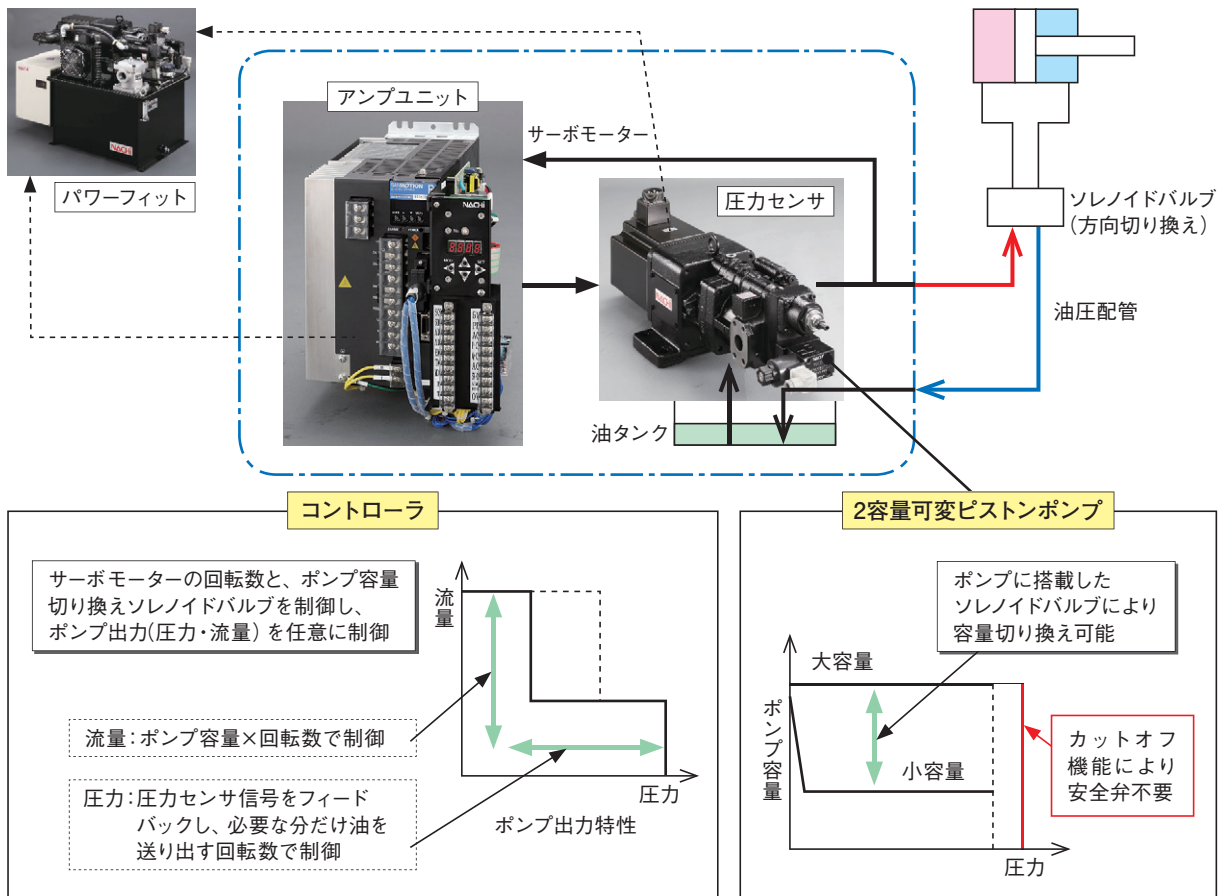


図14 パワーフィット構成

表7 パワーフィット仕様表

形式	最高圧力	最大流量	ポンプ 大容量/小容量 (出荷時設定)	サーボモーター 容量	タンク容量
NPQ-60*-55PV45N3A2-6161A	25MPa	90L/min	45/12cm ³ /rev	5.5kW	60L
NPQ-80*-75PZ70N4A2-6161A	28MPa	140L/min	70/17cm ³ /rev	7.5kW	80L
NPQ-100-11KPZ70N4A2-6161A				11.0kW	100L
NPQ-120-15KPZ70N4A2-6161A				15.0kW	120L

7. まとめ

本稿では鍛圧機械に適したNACHIの鍛圧機械用油圧ポンプを、その特長とともに紹介した。

今後もNACHIは、鍛圧機械や工作機械、建設機械など様々な需要に応える最適な油圧機器を開発、提案していく。