

A2 Components

ミニショベル用油圧走行モータの高効率・高トルク化の開発

Development of High-efficiency, High-torque Hydraulic Drive Motor for Mini Excavator

キーワード ■ 油圧走行モータ・高効率化・高トルク化・ミニショベル

油圧事業部

小崎 学 Gaku Kosaki

要 旨

NACHIの油圧事業は、省エネ・コンパクト・ハイパワーという強みを活かし、一般産業機械用、建設機械用各分野で確固たるポジションを築いている。

建設機械用では、6トン車未満のミニショベル(図1)向け走行モータ、旋回モータ、ポンプにおいて、世界トップシェアを有し、国内外の多くの建機メーカーに納入し高い評価を得ている。

近年、建機メーカーからはさらなるコンパクト化、牽引力の向上といった性能向上のニーズがある。これらのニーズに対応するため、従来に比べコンパクトかつ高効率・高トルクを実現した油圧走行モータ(図2)の開発過程で得た技術について紹介する。



図1 油圧ショベル

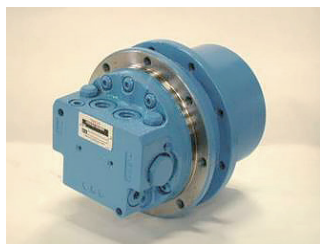


図2 油圧走行モータ

Abstract

NACHI's hydraulic equipment business has established the unwavering position in the fields of general industrial machinery and construction machinery with demonstration of its strength in energy saving, compactness and high power.

In the field of construction machinery, NACHI has the world top shares in drive motors, swing motors and pumps for mini excavators less than 6 tons (Figure 1), receiving high reputation from many construction machine makers domestically and internationally.

In recent years, the needs for further improvement in compactness and traction have been addressed by construction machine makers. To respond to these needs, NACHI has developed the hydraulic drive motor (Figure 2) with better compactness, higher efficiency and higher torque than before. The following introduces the technology that is obtained during the development stages.

1. 開発の背景と概要

ミニショベルは、あらゆる路面での走行性能を要求されるためクローラ駆動方式であり、油圧走行モータはクローラ駆動用の走行装置として使用される。

油圧走行モータは、障害物に衝突して破損することを防止するため、走行装置としての必要な機能を1つのケース内に一体化し、クローラ幅内に収納できるサイズであることが要求される。

ミニショベルはクローラ回りの小さなスペースに油圧走行モータを納めなければならないため、建機メーカーから油圧走行モータに対するコンパクト化や、牽引力向上のための高効率・高トルク化のニーズがある。

NACHIの油圧走行モータシリーズ(図3)では、6トン車未満のミニショベル用にPHV-1BからPHV-4Bのラインナップがあり、今回の開発は2トン車用PHV-2B(図4)をトルクアップし2.5トン車まで対応できるものとする事で、2.5トン車に対して従来2.5～4トン車に使用しているPHV-3B(図5)から1サイズ下の走行モータで対応することにある。

また、今回の開発品PHV-2B-25C(図6)は、従来品PHV-2Bに対し高効率・高トルク化を実現する中で、一般的に高トルクとする場合は製品重量がアップしてしまうが、それとは相反する軽量コンパクト化(従来品PHV-2B比:製品重量 Δ 3kg、全長 Δ 20mm)を実現した。

適用トン数(参考)	1.5		2.0	2.5	4.0		5.0		6.0 (ト)	
出力トルク(Nm)	1,000		2,000	3,000	4,000		5,000	6,000	7,000	8,000 (Nm)
形式PHV- 最大トルク	PHV-1B 1.7kNm			PHV-2B 2.45kNm	PHV-3B 4.1kNm	PHV-4B-70C 6.78kNm				PHV-4B-70D 8.3kNm
				開発品 2B-25C 2.8kNm						

図3 NACHIミニショベル(6トン車未満)用油圧走行モータのシリーズ

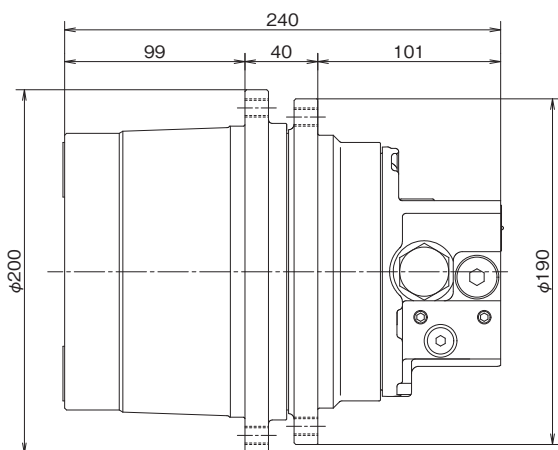


図4 2トン用PHV-2B(全長240mm、重量27kg)

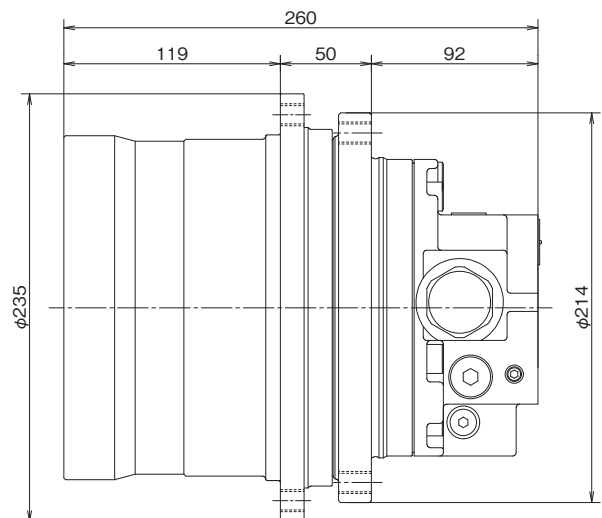


図5 2.5~4トン用PHV-3B(全長260mm、重量36kg)

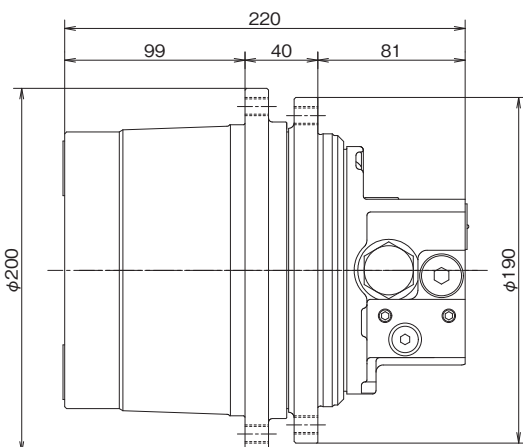


図6 2.5トン用PHV-2B-25C(全長220mm、重量24kg)

2. 油圧走行モータの構造とトルク発生メカニズム

開発品の技術的内容を説明する前に、まずは油圧走行モータの概略構造と、トルク発生のメカニズムについて、概略説明する。

油圧走行モータは、油圧バルブ、油圧モータ、減速機で構成される。(図7)

油圧ポンプからの送られてきた油圧エネルギー(圧力X流量)を油圧モータで回転エネルギー(トルクX回転数)へ変換し、油圧モータで発生させた回転エネルギーを減速機によって低速・高トルクとすることで、巨大なショベルを駆動することができる。

油圧モータは斜板式油圧モータ(図8)となっており、バルブプレート⑤の高圧側Aポートに圧油が供給されると、Aポートと対応するシリンダバレル④内に流入し、

ピストン⑥を押す。ピストン⑥を押す力は、角度の付いた斜板⑦に押し付けられ、斜板に沿ってすべるように動きシリンダバレル④を回転させ、シリンダバレル④とスプライン結合されているシャフト③に回転エネルギー(トルクX回転数)が出力され、戻り油はバルブプレート⑤のBポートを介して流出する。

この時に出力されるトルクは式(a)で表わされる。

$$\text{式(a)} \quad T = \frac{P \times q}{2 \times \pi} \times \eta_m$$

T:出力トルク P:有効圧力
q:モータ容量 η_m :機械効率

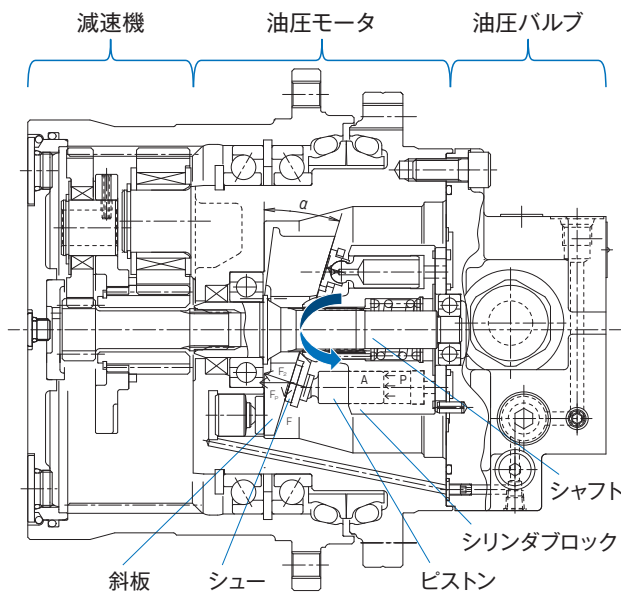


図7 油圧走行モータの構造

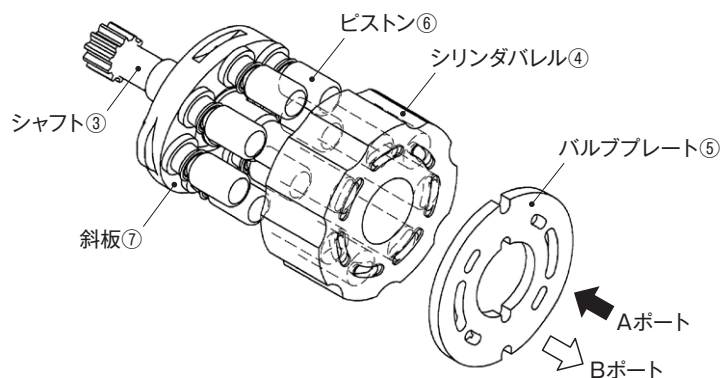


図8 斜板式油圧モータの概略図

3. 2.5トン車用走行モータ「PHV-2B-25C」の開発コンセプト

PHV-2B-25Cの開発にあたり重視したのは、「高効率、高トルク化」を行ないつつ、高トルクとは相反する「コンパクト化」の両立です。相反する高トルクとコンパクトの両立という技術的課題を解決することに本開発の特徴がある。

具体的に、開発品PHV-2B-25C(図9)は従来品PHV-2Bに対し次について改良を実施した。

- ・ピストン本数増(7→9本)による機械効率改善:
従来比+3ポイント改善(開発品min.75% / 従来品min.72%)
- ・油圧モータ部のコンパクト化による全長短縮:
従来比Δ20mm(開発品220mm / 従来品240mm)
重量低減:従来比Δ3kg(開発品24kg / 従来品27kg)
- ・減速機部の高トルク化:従来比14%向上
(開発品2.8kN・m / 従来品2.45kN・m)

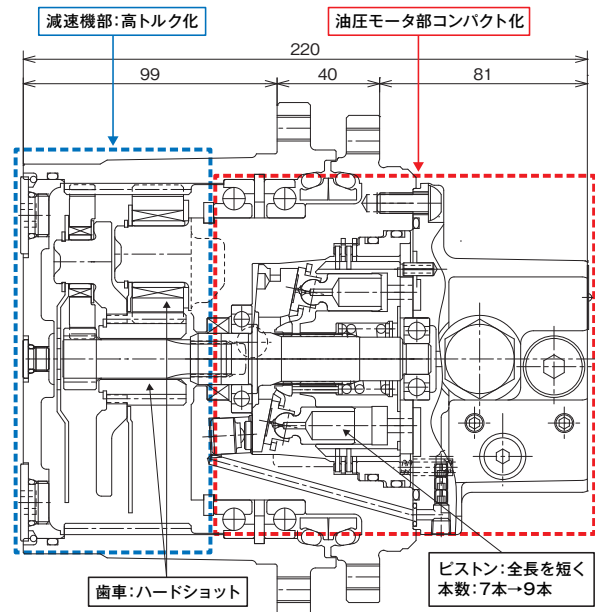


図9 開発品PHV-2B-25Cの開発コンセプト

4. ピストン本数増(7→9本)による効率改善

1) ピストンによる発生トルク

油圧モータの発生トルクは、圧力が作用した各ピストンに発生する回転方向成分の力と回転中心からの距離の積を総和したものとなり、図10および、式(b)で表わされる。

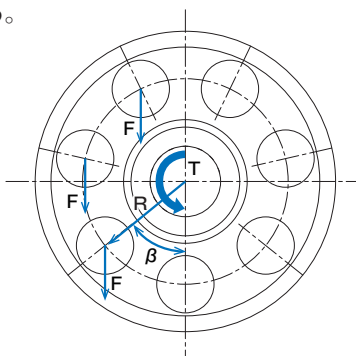


図10 ピストンによる発生トルク

$$\text{式 (b)} \quad T(\theta) = A \times P \times R \times \alpha \times \sum_{i=1}^z \sin\left\{\theta + (i + 1) \frac{2\pi}{z}\right\}$$

T: 出力トルク A: ピストンの断面積 P: 圧力 R: 回転半径
 α : 斜板角度(図7参照) z: ピストン本数 θ : 回転角度(図示無し)

ピストン1本が発生するトルクは回転角度により変化し、回転角度に対してサイン曲線状となり、各ピストンはシリンダブロックに等配に配置されているため、隣りあうピストンの位相差 β だけシリンダバレルが回転するごとに次のピストンが同一位相となり、各ピストンは回転位相が β 分だけズレ、順次トルクを発生し、各ピストンが発生する瞬時トルクの総和が油圧モータの発生トルクとなる。

2) ピストン本数とトルク変動

ここで、具体的にピストン本数7本と9本の場合をそれぞれ想定し、油圧モータの発生トルクがどのように変化するかを考える。

次の①②に示すように、ピストン本数の違いにより油圧モータのトルク変動幅が異なり、7本に対し9本のトルク変動幅が小さくなる。このことから、ピストン本数を増加させることにより、油圧モータのトルク変動を低減でき、油圧モータの効率を向上することが可能となる。

①7本の場合

- ・配置されたピストン位相のズレ($51.4^\circ = 360^\circ / 7$ 本)により、油圧モータの回転位相によって加圧されるピストンは3本と4本を繰り返すこととなる。(図11)
- ・この加圧されるピストン本数の変動により、油圧モータの発生トルクは変動する。(図13)
- ・ピストン本数7本の場合の発生トルクの最大値を100%とした場合、最小値は97.5%となり、理論上 $\Delta 2.5$ ポイント分のトルク変動が発生する。

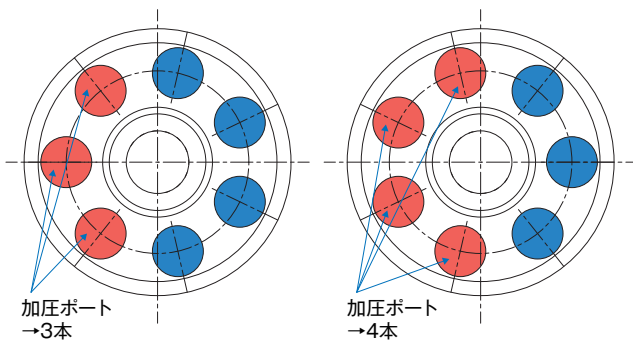


図11 7本ピストンの加圧ピストン

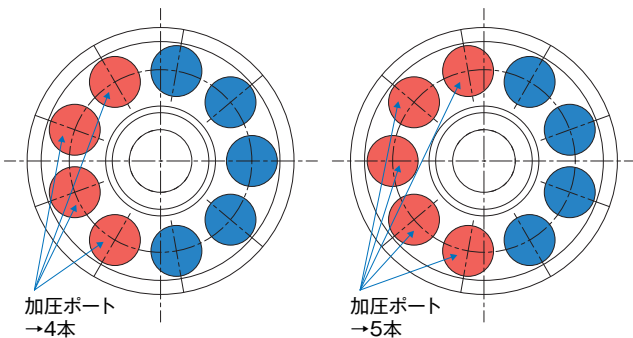


図12 9本ピストンの加圧ピストン

②9本の場合

- ・配置されたピストン位相のズレ($40^\circ = 360^\circ / 9$ 本)により、油圧モータの回転位相によって加圧されるピストンは4本と5本を繰り返すこととなる。(図12)
- ・この加圧されるピストン本数の変動により、油圧モータの発生トルクは変動する。(図14)
- ・ピストン本数9本の場合の発生トルクの最大値を100%とした場合、最小値は98.5%となり、理論上 $\Delta 1.5$ ポイント分のトルク変動が発生する。

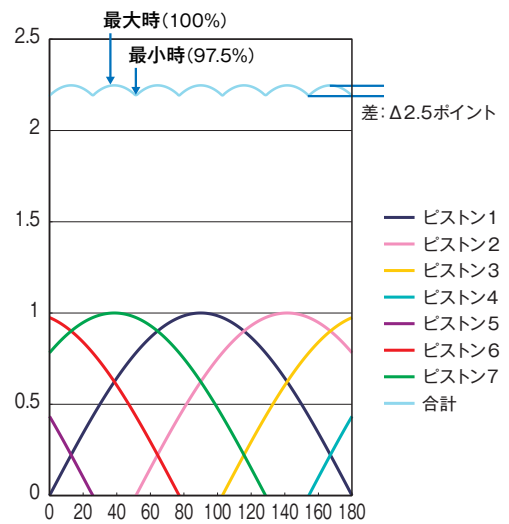


図13 7本ピストンのトルク変動

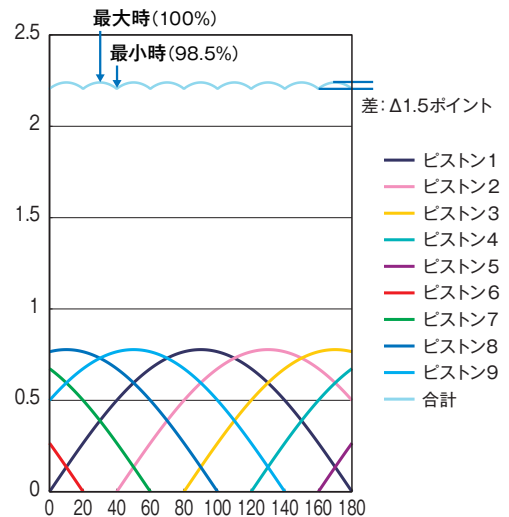


図14 9本ピストンのトルク変動

3) 開発品PHV-2B-25Cの効率実測値

上述したピストン本数とトルク変動は、部品同士の摺動抵抗などの損失が全く無いことを想定した理論値であったが、損失を含む実際の油圧走行モータで効率を測定した結果を表1に示す。

従来品PHV-2Bのピストン本数が7本に対し、開発品PHV-2B-25Cのピストン本数を9本へ増加したことで、

最もピストン位相が発生トルクに影響する起動時（無回転）の機械効率の最小値は72%から75%へ3ポイント向上し、最大と最小の差（バラツキ）は5から3ポイントと2ポイント低減し、ピストン本数増（7→9本）による起動効率を改善し高効率化を実現した。

表1 起動時の機械効率

	形式	ピストン本数	起動効率(実測値)		
			最大	最小	差(バラツキ)
従来品	PHV-2B	7本	77%	72%	5ポイント
開発品	PHV-2B-25C	9本	78%	75%	3ポイント
効率改善効果			1ポイント	3ポイント	2ポイント

5. 油圧モータ部のコンパクト化

油圧モータの容量(1回転する容積)は、油圧モータが1回転する時のピストンの断面積、ストローク量、本数の積であり、式(c)で表わされる。

$$\text{式(c)} \quad q = A \times D \times \tan(\alpha) \times z$$

q:モータ容量

A:ピストンの断面積 D:ピストンPCD

α :斜板角度(図7参照) z:ピストン本数

開発品PHV-2B-25Cは、ピストン本数を7本→9本へ増加したことにより、同じ容量を得るために必要な斜板角度 α を小さくすることが可能となった。

そのため斜板角度を小さくすることで斜板を薄く設計し、且つピストンのストローク量が短くなるためピストン全長を短く設計することで、油圧モータ部分の全長を従来品240mm(図4)に対し、開発品220mm(図6)と、 $\Delta 20$ mm全長を短縮し、 $\Delta 3$ kg重量低減を可能とした。

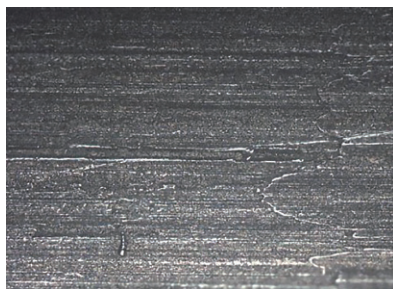
6. 減速機部の高トルク化

減速機部の機構は、遊星歯車機構となっており、従来品の減速機に使用する歯車は浸炭焼入れ焼きもどしの熱処理を実施したもとしている。

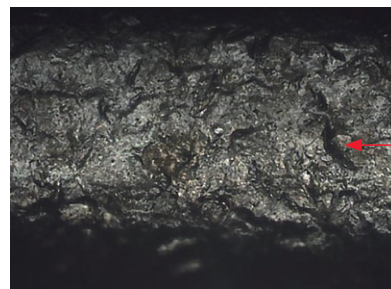
開発品は従来品よりも14%高トルク化するため、従来の歯車では強度不足となるため、歯車の強度向上の

方法としてハードショットピーニングを採用した。

ハードショットピーニングとは、部品に硬度の高いショット球を高速に当てることで歯車表面(図15) 近傍に圧縮残留応力を与え疲労強度向上を図る技術として知られている。



ハードショットピーニング前



ハードショットピーニング後

ショット球による
ディンプル状の
圧痕が分布している

図15 ハードショットピーニングによる歯車表面の変化

ハードショットピーニングによる圧縮残留応力は、ショット球の性状や投射時間により変化するため、その条件決めが重要となり、投射時間と残留応力値(図16)を複数パターン実施し実測することで、適切な条件を設定し、歯車の疲労強度アップを行ない、従来品よりも14%高トルク化を実現した。

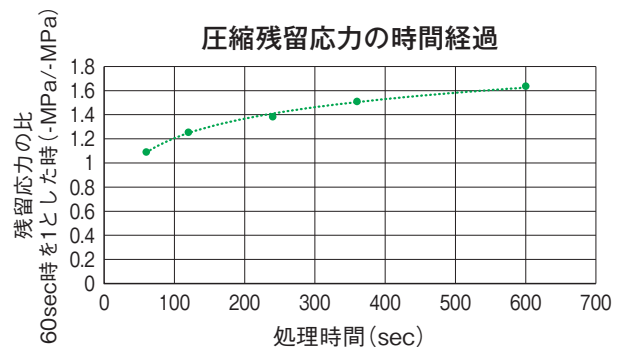


図16 ハードショットピーニングによる圧縮残留応力

7. 今後の展開と期待される効果

上述した技術により高効率、高トルク化を実現した開発品PHV-2B-25Cを油圧走行モータのラインナップに加えたことにより、従来はPHV-3Bで対応していた2.5トン車に対し、1サイズ小さい開発品PHV-2B-25Cで2.5トン車への対応が可能となった。

本開発品によって、油圧走行モータに対するコンパクト化や、牽引力向上のための高効率化のニーズに対応し、従来PHV-3Bを採用いただいていた2.5トン車への置換え提案や、新たなユーザーへの拡販に繋げていく。