

## 製品紹介

# 20t系ショベル走行用油圧ピストンモータの開発 MAG-170VP-4000H

杉本潤一郎 ・ 阪井祐紀

## 1 はじめに

近年環境意識の高まりにより省エネ化の要望は年々増えており、建設機械業界では排ガス規制・省エネ対応機の開発が進んでいる。

これまでは油圧システムを中心とした省エネ技術開発が主となり、各アクチュエータの省エネ製品開発は進んでこなかった。

今後更なる省エネ化が進む中でエンジン出力動力をいかにロスなく有効活用することが課題となる。

エンジンサイズは走行時の消費動力により決定される為、走行モータの効率向上によりポンプ出力動力を低減させ、燃費低減が可能となる高効率モータの開発が必要となってきている。加えて、近年作業環境の多様化により過酷な環境での使用頻度も多く、耐久性向上も求められている。

本報では、効率性能を向上した20t系ショベル走行用油圧モータを開発したので、その構造・仕様・効率について紹介する。

## 2 市場要求

### 2.1 省エネ化要求

20t用系ショベルの2速モード（高速走行）での定常走行時（低圧・最大流量時）の消費エネルギー内訳を図1に示す。

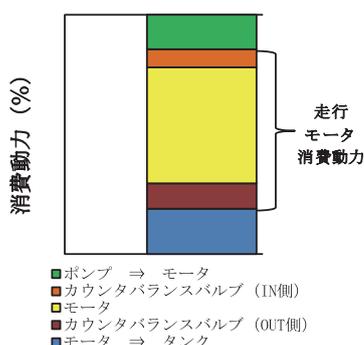


図1 消費動力エネルギー内訳

実機車両の配管等の損失を含めた消費動力を100%とした場合、走行モータの消費動力は約65%を占めており、ポンプ出力動力低減させるには走行モータの効率向上が必須となる。

## 3 製品仕様

### 3.1 本開発製品の要件

本製品はクローラ用ケース回転型減速機付き油圧モータで、制御バルブ部、斜板式ピストンモータ部、減速機部の3つのユニットから構成されている。図2に本製品の外観、図3に断面構成を示す。

本製品は、市場要求（省エネ対応・耐久性向上）に対応したフルモデルチェンジ製品であり、開発要件は以下の通りとした。

- ①従来製品に対して機械効率8.0%以上向上。  
（競合他社を上回る機械効率向上の達成）
- ②従来製品に対してヒートバランス性能向上。
- ③効率向上達成のため、新評価計算技術、摺動特性の確保技術、加工技術確立。
- ④従来製品との取付け互換可能であること。
- ⑤フローティングシールの耐シール性向上。



図2 本製品の外観 (MAG-170VP-4000H)

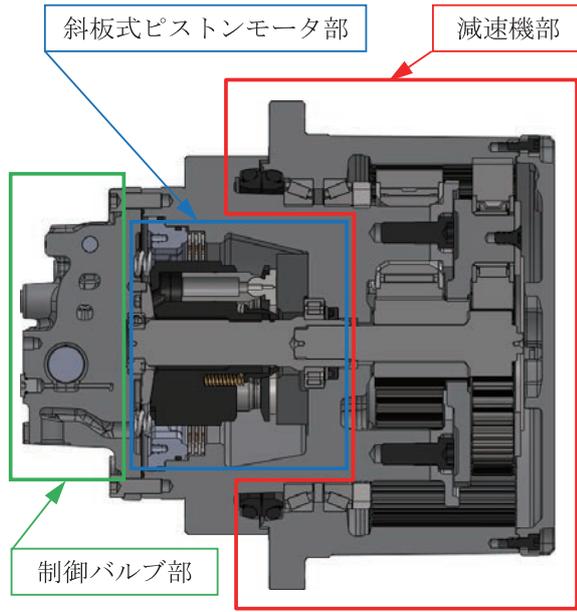


図3 走行用油圧モータ断面

### 3.2 本製品の仕様

本製品の仕様を表1に示す。最高圧力、最高回転数は従来製品仕様を維持。最大出力トルクは作業環境の多様化に対応可能な設定とし、従来製品(MAG-170VP-3800Gシリーズ)の約5%向上、最大モータ容積は最高圧力にて最大出力トルクが可能となるように、192.7cm<sup>3</sup>/revに設定とした。

表1 製品仕様

最大モータ容積	cm <sup>3</sup> /rev	192.7
減速比		43.240
減速機構成		単純遊星2段
モータ最高回転数	rpm	2700
最高仕様圧力	MPa	34.3
最大出力トルク	kN・m	39.2
製品重量	kg	265
駐車ブレーキ機能		標準装備
駐車ブレーキトルク	kN・m	25.1
リリースバルブ		ショックレス機能付き
変速機構		標準装備 <sup>注1)</sup>

注1) 自動変速機能とマニュアル変速機能の選択可能。

## 4 効率性能向上の技術課題

### 4.1 効率性能について

一般的に油圧ピストンモータの効率には、容積効率と機械効率(トルク効率)があり、容積効率は各

摺動部の漏れまたは圧縮損失も含まれる実回転数に対して、理論回転数の比を表し、機械効率は摺動部の摩擦損失や回転体の油中攪拌抵抗や各油路の管路損失による実出力トルクと理論出力トルクの比を表している。

ポンプ出力動力の低減(=燃費低減)に寄与する効率は全効率であり、“容積効率×機械効率=全効率”の関係で表される。従来製品(MAG-170VP-3800G)の効率線図を図4に示す。

消費動力損失を効果的に低減するには、走行頻度の高い定常走行域(低圧・高速回転)(下図の赤枠)での効率向上が必須となる。

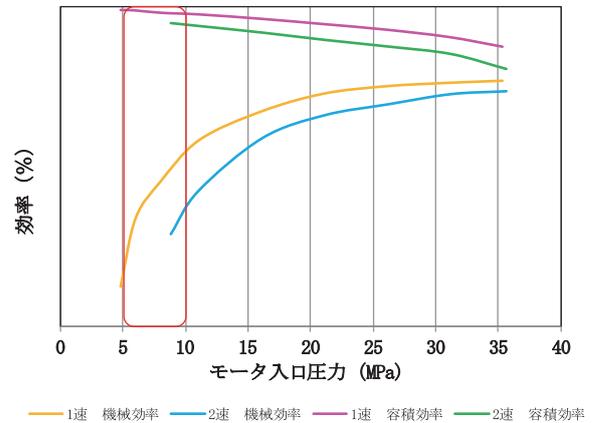


図4 従来製品の効率線図

### 4.2 効率向上について

従来製品(MAG-170VP-3800G)の各部位での消費動力を部位別に分けたグラフを図5に示す。

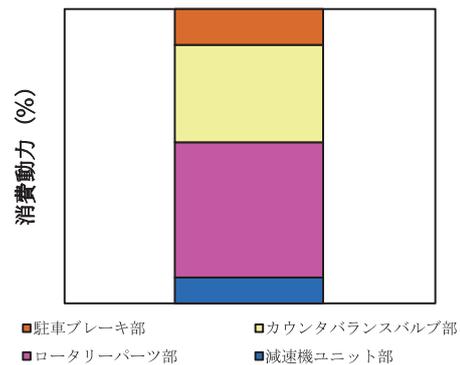


図5 走行モータの消費動力

ロータリーパーツ、カウンタバランスバルブ部の割合が全体の約80%占めており、図4より消費動力の大半が機械効率部分での損失であることから、これらの部位の機械効率向上に的を絞ることにした。

## 5 油圧ピストンモータの設計

### 5.1 球面ロータリーパーツの採用

ロータリーパーツは油圧ピストンモータの根幹であり、設計により効率性能・耐久性・ロバスト性を左右する重要部位となる。走行用油圧ピストンモータに求められる仕様として、傾斜地での急操作時に発生するサージ圧に対する耐圧性、高速回転による耐焼付き性、効率性能の安定性であり、これらに対応可能な設計が必要となる。従来製品では、平面ロータリーパーツを採用に対して、本製品は効率性能向上を目的に球面ロータリーパーツを採用した。

球面ロータリーパーツとは、図6に示すようにバルブプレート（以下V/P）を球面形状にし、シリンダブロック（以下C/B）と球面接触するように設計したものである。

本製品は、耐圧性・耐焼付き性は従来製品と同等レベルの維持を目標とし、効率性能向上に着目した最適設計を目指した。

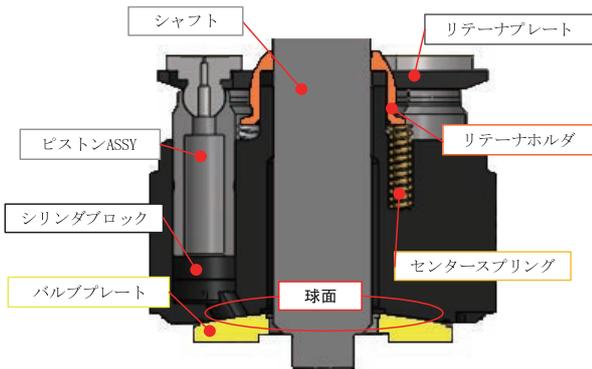


図6 球面ロータリーパーツの断面図

圧力負荷状態によりシャフトのたわみ量が変化し（C/Bの姿勢も変化する）、C/BとV/Pの接触当り（接触径）も変化することに着目した。

C/BとV/Pの球径に差（C/B球径>V/P球径）を設けることで高圧力負荷時のシャフトたわみ量が大きくV/P外側へ強い接触当りを緩和でき、低圧力負荷時のシャフトのたわみ量が小さくV/P内側の接触当りにより摺動摩擦トルク損失を低減し、機械効率を向上させることが可能となる。但し球径の差によりC/BとV/P間には隙間が生じるため、隙間からの漏れが増加し容積効率を低下させてしまう。容積効率の低下を抑えつつ機械効率を向上させるためにはシャフト剛性にあった球径・球径差の最適化が必須となる。

通常では最適化検証には膨大な時間と費用を要するため、図7に示すようなモデル化し、任意の回転

角度での各部位の作用力を算出する解析プログラムを構築して、設計の効率化を図った。

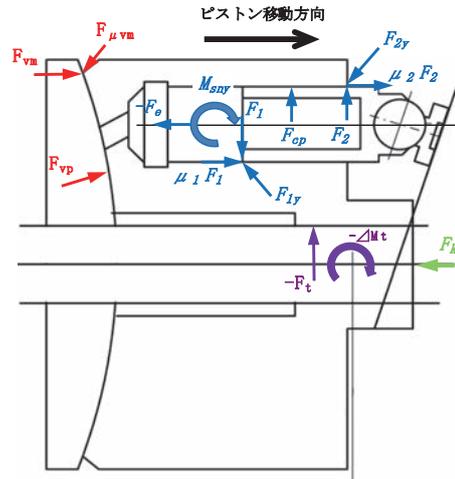


図7 油圧バランス計算モデル図

各部位の寸法と圧力条件を入力して、C/BとV/Pのみの効率を算出し、上記のモデルにて実施した解析結果を図8に示す。

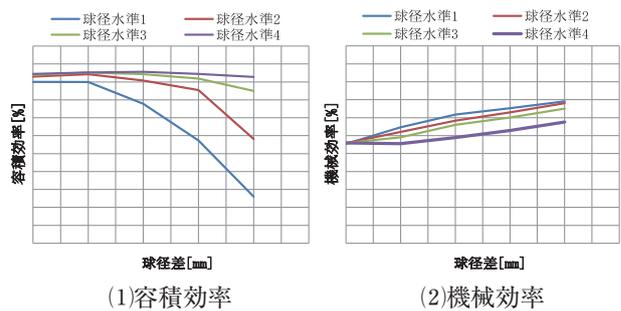


図8 球径差と効率の関係

球径が小さく、球径差が大きくなるにつれて容積効率は低下し、逆に機械効率は向上する。本モデルを用いて最適化を図り、容積効率の低下をさせずに、機械効率向上を実現させた。

### 5.2 カウンタバランスバルブの変更

図1に示したようにカウンタバランスバルブ（以下カンバラ）の消費動力は、全体の約18%占めており、カンバラによる機械効率向上案にも取り組んだ。

カンバラスプールでの機械効率向上には、作動油の通過圧損を低減させるため、カンバラスプールのフルストローク時の最大開口面積を拡大することである。ストローク量を変えずに最大開口面積だけを拡大すると急激な開口特性となり実機の操作性悪化の要因になりやすい。急激な開口特性を避け、微操作域で従来製品と同等の開口特性を確保するため、カンバラスプールの最大ストローク量を約20%拡大し、最大開口面積を約45%拡大させている。

本製品と従来製品のカンバラ開口特性線図を図9に示す。

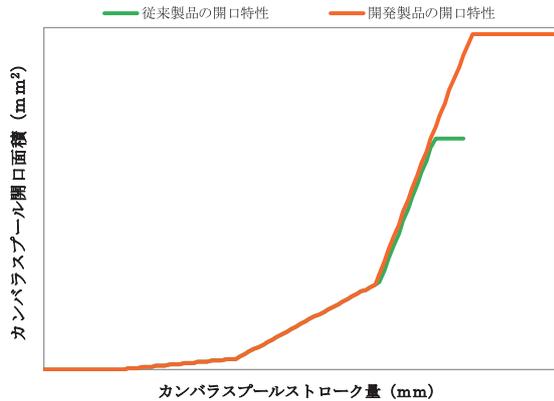


図9 カンバラ開口特性線図

### 5.3 本製品の効率性能

これまでの機械効率向上案を採用した本製品(MAG-170VP-4000Hシリーズ)の効率線図を図10に示し、従来製品との比較した効率線図を図11に示す。

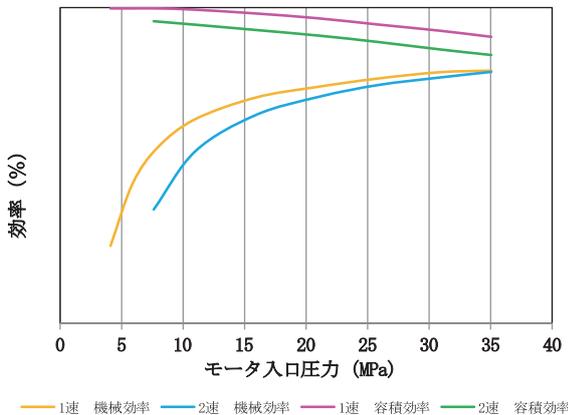


図10 本製品の効率線図

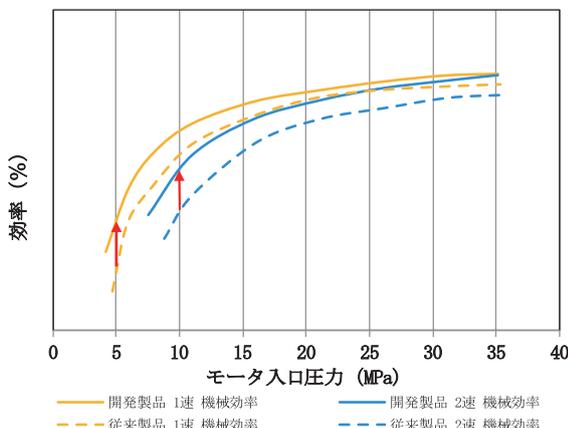


図11 効率比較線図

本製品では、従来製品比で使用頻度の高い定常走行(矢印部)において、機械効率は約9.0%の向上、ポンプ出力動力換算で約11.4%低減する結果を得た。

定常走行時のモータ出力動力を同条件でのポンプ出力動力比較したグラフを図12に示す。

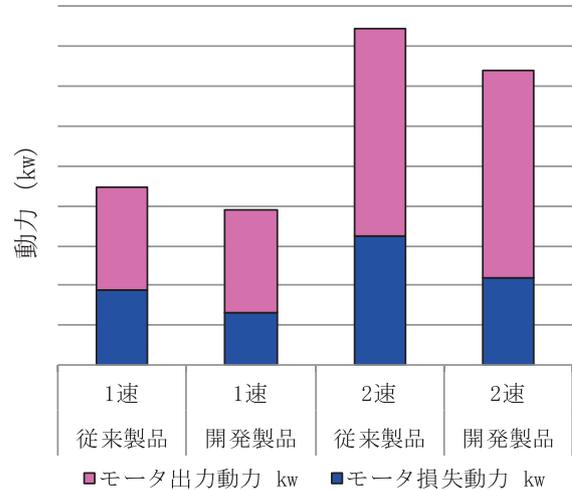


図12 ポンプ出力動力の比較

## 6 減速機ユニットの設計

### 6.1 高出力化技術

本製品で高出力化の仕様を満たすために、採用した内容の一部を以下に説明する。

#### (1) 歯車強度

部品点数削減(従来コスト維持)として遊星減速機の2段目の歯車数を4個から3個に変更している。

歯車数を減らすと1個当たり入力荷重は33.3%増加する。加えて5%の高出力化させるには、歯車1個当たりの入力荷重は39.7%増加する。歯車強度を確保するには、歯車モジュールアップが必要となる。

従来製品と同じ外径寸法と減速比を可能にするためには、歯形状・圧力角・転位・歯幅などの歯車緒元の見直しが必要となる。歯車緒元の最適化を図ることで従来製品と同寸法を維持し高出力化を可能にした。従来製品仕様(出力トルク、出力回転数)の場合、減速機歯車寿命が従来比で約1.4倍向上を実現した。

#### (2) 歯車軸剛性

歯幅を大きくして、机上の歯面強度が向上しても適正な噛み合い状態にならないと歯面損傷(ピッチング損傷等)は発生する。適正な噛み合いを確保するには歯車の歯筋方向クラウニングだけではなく軸剛性が重要な要素となる。

歯車数削減と5%の高出力化により軸への入力荷重は39.7%増加する。軸剛性を上げ、歯面の耐久性

を確保するために、フランジ（モータケース）とホルダ（歯車軸）を一体化したフランジホルダ構造の採用とプレートの追加と締結方法を変更することで従来製品より軸径を小径化しても適正な噛み合い（歯面強度確保）が可能な軸剛性を確保した。本構造を採用した遊星2段目構成図を図13に示す。

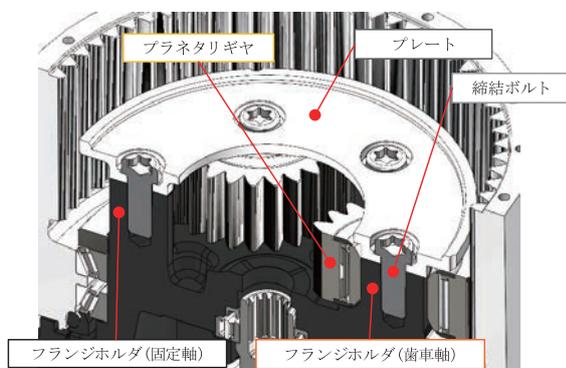


図13 遊星2段目の構造断面図

### (3)歯車軸受け

軸への入力荷重が39.7%増加するのに伴い高負荷容量型の軸受けの採用は不可欠となる。但し、高負荷容量軸受けは、軸受サイズが大きくなり製品寸法内に収まらなくなる。そのため特殊なニードルクラウニングの採用や樹脂保持器を採用することで、高出力仕様でも従来の耐久性を有している。

## 6.2 スプロケット軸受けの設計

高出力化による歯車強度・軸剛性の確保に伴い、フランジホルダ構造を採用した結果、スプロケット軸受けの断面を小型化する必要がある。そこで薄型断面のテーパローラ軸受けを採用した。図14に薄型テーパローラ軸受けを示す。



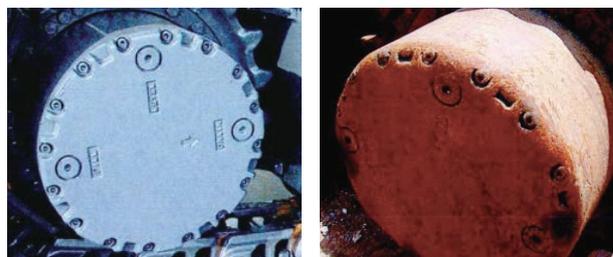
図14 薄型テーパローラ軸受け

従来製品のアンギュラー玉軸受に対して、ラジアル方向変位で2.8倍、アキシヤル方向変位で1.3倍の軸受け剛性を確保している。それにより外部入力荷重変動に対して適正な歯車の噛み合いを確保し、フ

ローティングシール部の変位を抑え、シール性能を向上させている。

## 6.3 減速機ユニットの強化

冒頭で述べた作業環境の多様化により過酷な環境下での使用頻度も多くなっており、走行モータの外観部や締結ボルトが損傷を受ける頻度も多くなっている。図15に減速機カバーの写真を示す。



(1)新品減速機カバー (2)稼動品減速機カバー

図15 市場稼動品の減速機カバー

このような使用環境下でも油漏れが発生しにくくするため、減速機カバー外周部の厚みを増やし、締結ボルトを保護する形状への変更に加えて締結数を16本→20本に増すことで強化を図った。

本製品の減速機カバー外観を図16に示す。



図16 減速機カバー外観

## 7 今後の展望

本製品では使用頻度の高い定常走行領域にて従来製品比約9%の機械効率向上と11.4%のポンプ出力動力を低減することができた。

今後、省エネ化に対するニーズはますます高まると考える。これまでに多種多様な油圧ポンプ・モータを開発、生産してきたノウハウを生かし、更に高い要求にいち早く対応可能な製品開発を行い、常に市場要求に応えられる高性能、高品質な製品を世に

送り続けていきたいと考える。

本製品は、既に量産が開始されお客様への納入を開始している。

最後に、本製品には設計・生産技術のノウハウが

多数盛り込まれており、その技術開発に当たり、関係各位の多大なるご支援、ご協力に心より感謝申し上げます。

---

— 著 者 —

---



杉本 潤一郎

2000年入社。ハイドロリックコンポーネンツ事業本部技術統轄部相模油機技術部ポンプ・モータ設計室専任課長。油圧モータ製品の開発に従事。



阪井 祐紀

2009年入社。ハイドロリックコンポーネンツ事業本部技術統轄部相模油機技術部ポンプ・モータ設計室。油圧モータ製品の開発に従事。