

## 製品紹介

# 静油圧無段変速機用 油圧ポンプ，減速機付油圧走行モータの開発

稲田 隆 則 ・ 三 浦 拓 也 ・ 松 阪 慶 太

## 1 はじめに

建設機械や農業機械など，油圧駆動により走行する機械は多岐に渡る．速度制御が容易，前後進でギア切替えが不要などのメリットから，一般的にそれらの走行システムは油圧ポンプ・モータによる走行用変速機として静油圧無段変速機（Hydro Static Transmission，以下HST）が使われている．KYBでも対応するポンプ・モータの生産を行ってきており，ポンプ・モータが1つのハウジング内に構成されるものを一体形HST，ポンプ・モータがそれぞれ独立し，油圧配管にて閉回路を構成するものを分離形HSTと称している．今回，キャリア（写真1）や，ローダ等，クローラで走行する母機の分離形HST市場要求に答えるべく，斜板制御方式を変更した油圧ポンプと高出力化・高速回転化（従来比）を達成した走行モータを開発し，新たな分離形HSTをラインアップに加えたので，本報ではその概要について紹介する．



写真1 クローラキャリア C30R-3  
(ヤンマー建機株式会社ホームページより)

## 2 油圧ポンプ

本製品の基本構成は斜板式アキシャルピストンポンプ2台を背面合わせにてドッキングしたタンデム専用のコンパクト設計である．従来製品（PSVH2-28シリーズ）は，草刈り機等の走行用としてマニュアルレバーでの制御方式をとってきた．市場では操作性・付加機能追加の容易さから，近年，ポンプ斜板制御の油圧パイロット化・電子制御化の要求があり，当社としても対応の必要があった．これらの要求に対応するため，従来製品をベースとして油圧パイロット制御化を図った本製品を開発した．従来製品との仕様比較を表1に，本製品の外観を写真2に示す．ポンプの内部構成は図1に示すように斜板式ピストンポンプ部，斜板制御部，馬力制御バルブ部，ギヤポンプからの構成となっている．

表1 従来製品と本製品の仕様比較

形式	従来製品	本製品
	PSVH2-28CGH	PSVH2-28C-R35-SP
押しのけ容積設定 [cm <sup>3</sup> /rev]	2×28.1	2×22.0~28.1
仕様圧力 [MPa]	最大有効圧：25.0 最大吐出圧：25.9	最大有効圧：34.3 最大吐出圧：37.3
定格入力回転数 [rpm]	2800	3000
理論最大吐出流量 [L/min]	78.7	84.3
付属機能	制御方式	マニュアルレバー
	馬力制御	装備無し
製品質量 [kg] (ギヤポンプ含む)	40.0	55.0



写真2 本製品の油圧ポンプの外観 (PSVH2-28C-R35-SP)

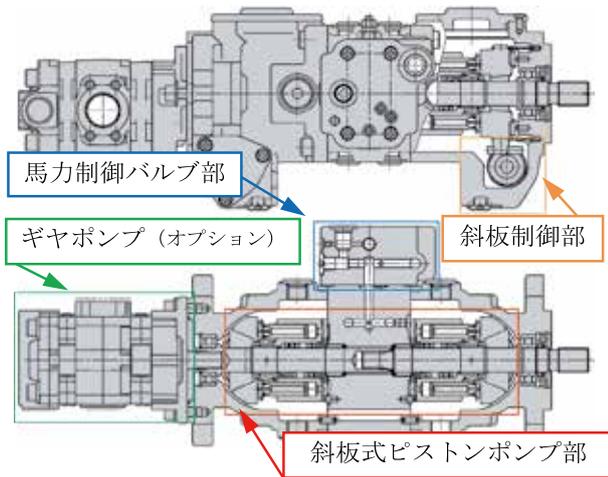


図1 ポンプ内部構造

## 2.1 機構の特長

### 2.1.1 油圧パイロット制御方式

従来品はマニュアルレバーによる斜板操作方式であったが，本開発品はパイロット圧力による油圧ダイレクト方式を採用した．油圧パイロット制御には，斜板傾角フィードバック方式，油圧ダイレクト方式の2種類がある．フィードバック方式では，パイロット圧力に対して目標の斜板傾角に制御されるよう，斜板制御ピストンに導かれる制御圧力が自動調整されるのに対し，油圧ダイレクト方式では，パイロット圧力がそのまま制御圧力となるため，斜板傾角は斜板の傾転モーメント力と斜板制御ピストンの推力のつり合いにより決定される．

### 2.1.2 斜板の傾転モーメント

ポンプ斜板は，複数本で構成されるピストンの油圧反力を受ける．1つのピストンが吸込み工程・吐出工程を経て1回転する際には，大きな圧力変動を経るため，ピストンの本数やバルブプレートの設定による内圧変動パターンの特性により，斜板を加振・

傾転させるモーメントが斜板に作用する．

その傾転方向や加振力はバルブプレートの設定によりチューニングが可能である．

### 2.1.3 自己馬力制御特性

本開発品は，高負荷時には斜板傾転モーメントが増加するよう設計した．その結果，登坂時などモータ駆動負荷が高くなった際には，傾転モーメントが斜板制御ピストンの推力に打ち勝ち，自動的にポンプの斜板傾角が減少する．本特性を図2に示す．

ここで，油圧ポンプの理論消費トルクは(1)式で示される．

$$T = \frac{V \cdot P}{2\pi} \quad \dots(1)$$

$T$ ：油圧ポンプ理論消費トルク， $V$ ：油圧ポンプ押しのけ容積， $P$ ：油圧ポンプ吐出有効圧力

(1)式より，高負荷時には斜板傾角が減少し，押しおのけ容積が減少することで，ポンプの消費トルクが自動的に低減されることがわかる．本特性によって不意な負荷増加によるエンジnstールを抑制することができる．

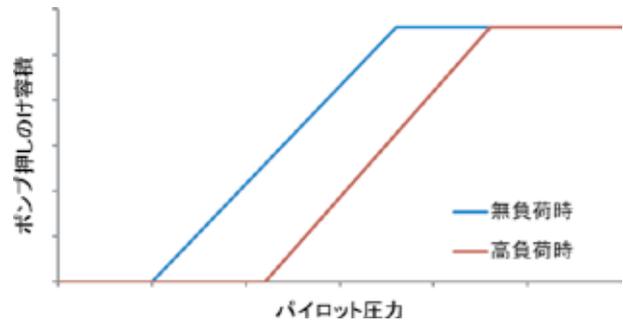


図2 油圧パイロット制御特性

### 2.1.4 走行曲進補正

開発品 (HST) の油圧回路図を図3に示す．本

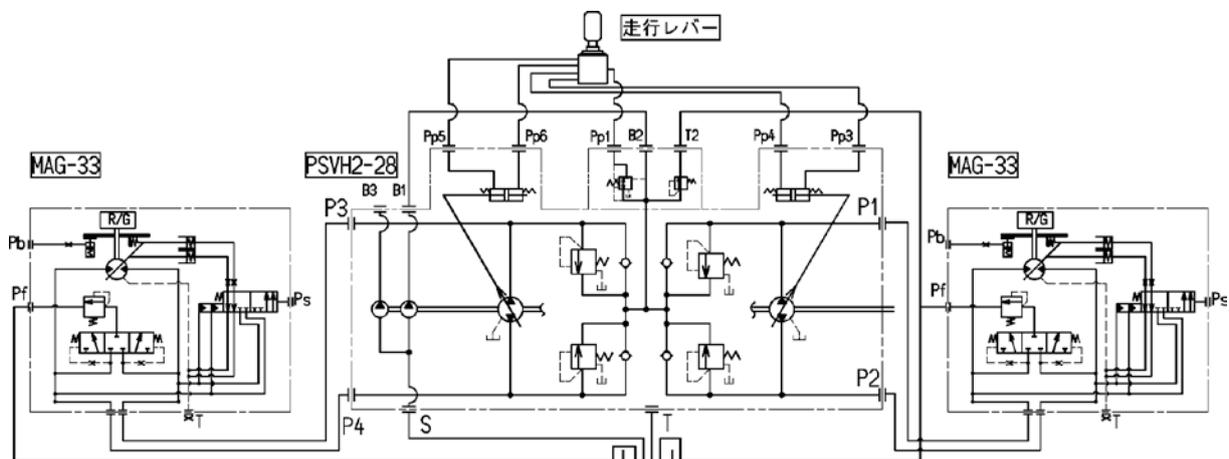


図3 HST回路図

品は、2ポンプ2モータのクローラ走行システムであり、2つのモータは車両の左右それぞれのクローラを駆動する。本システムにおいて、車両が直進しようとする際には、タンデムポンプそれぞれの吐出流量差が、そのまま車両の曲進を引き起こす要因となる。最大吐出流量は、製品組立ラインでの出荷検査時に2つのポンプの吐出流量差が無いよう調整されるが、中間域での吐出流量は、前述のようにパイロット圧力やエンジン回転数、モータ負荷圧によって制御されるため、左右のポンプ流量を合わせる事は容易ではない。この時2.1.3節で述べた、「高負荷時に斜板傾角が減少するセッティング」が曲進を補正するよう働き、直進性を高めている。

例えば、直進操作時に、車両が左へ緩曲進をしてしまうとき、左輪は回転速度が遅く、右輪は回転速度が速い。そのことで、回転速度の遅いモータは、逆側のモータ駆動による車両の前進に引きずられる形で、負荷が減少し、回転速度の速いモータは、負荷が増加する。このとき、負荷が減少した側のポンプは吐出流量が増加し、逆側のポンプは吐出流量が減少することで、最終的に左右モータの回転速度差が減少し、直進性が高まるよう働く。

## 2.2 馬力制御 (スピードセンシング)

本開発品では馬力制御用オプションとしてスピードセンシングバルブを追加した。本バルブは、オペレータが操作する走行レバーへ供給する圧力(図3中Pp1)を制御するバルブである。制御特性を図4、5に示す。母機エンジン回転数の増減に応じて制御圧力の上限を制御することで、エンジン負荷を超える作業をした場合に、エンジン回転のドロップに従って自動的にポンプへのパイロット圧力を低下させ、斜板傾角を減少・ひいては消費馬力を低減し、完全なエンジンストールを防止する。最大のエンジンストール量は、前述の自己馬力制御特性とスピードセンシング特性、エンジン馬力によって決定され、あらかじめ設定した回転数以下までエンジン回転ドロップすることはなくなる。これによりオペレータはエンジン馬力を意識せずに運転が可能となり、作業負荷の低減に貢献することができた。

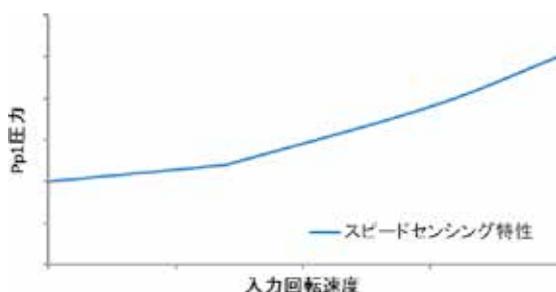


図4 スピードセンシングバルブ特性

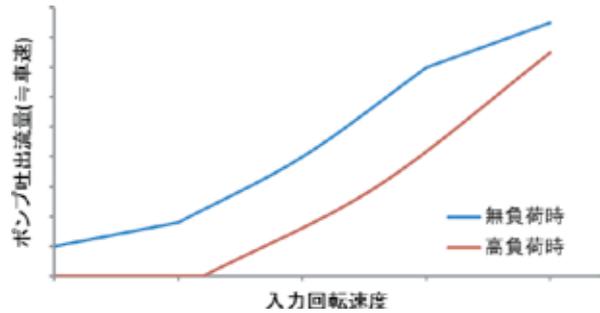


図5 馬力制御特性

## 2.3 低騒音化と坂道停止性能の両立への課題

圧力仕様の高圧化に伴い、斜板に作用する振動振幅が増加し、特に高負荷時の騒音が大きくなるのが従来よりわかっており、本開発品も騒音低減が課題の一つであった。騒音低減の手段としては様々な方法があるが、本開発ではバルブプレートの諸元見直しによる、ピストン内圧変動パターンの最適化を実施した。

また、走行用にHSTを使用する場合の特徴として坂道での停止性能がある。1本のレバーで前進・停止・後進を実現し、停止時には油圧のダイナミックブレーキを利用できる点がHSTの利点であるが、坂道に停止した場合など、ポンプが中立・モータへ持続的な負荷がかかる状況では閉回路内の内部リーク量だけモータが回転し、坂道を微速でずり落ちてしまう。ポンプのバルブプレートは、内部リークの最も大きい部分の一つであり、この点についても考慮して最適化を実施する必要があった。

以上より、バルブプレートの最適化を実施した結果、騒音の低減および坂道停止性と、2.1.3節にて紹介した斜板制御特性の全てを満足するバルブプレートを設計することができ、お客様実機評価においても、改善効果が認められるとの評価を頂いた。最適化の結果を表2に示す。

表2 バルブプレートの最適化結果

内部リーク量	50.7%低減
斜板加振力	11.6%低減
斜板傾転モーメント振幅	15.2%低減
吐出圧力脈動振幅	17.6%低減
高負荷時騒音	3.1dB低減

## 3 閉回路用走行モータ

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ある。従来製品はリリース時から仕様変更

することなく生産してきた。クローラキャリアに代表される閉回路用走行モータはショベル走行用モータに比べ走行頻度が高く要求寿命は長い。加えて出力トルクアップ，高回転化の市場要求があり，それらの要求に対応するため，従来製品をベースとした長寿命化，高トルク化，高回転化に対応した本製品を開発した。

表3 従来製品と市場要求仕様比較

形式	従来製品	市場要求仕様
	MAG-33VP-550	—
最大出力トルク〔N・m〕	3649	4000以上 (10%UP以上)
最大出力回転速度〔rpm〕	130	140以上 (8%UP以上)
外形寸法 (高さ×最大外径)	313×φ286	←
取付寸法 (車両側)	はめあい径： φ200 締結穴数： 10×M14×2.0	←
取付寸法 (出力側)	はめあい径： φ230締結穴数： 9×M14×2.0	←
寿命比	100%	170%以上 (70%UP以上)
付属機能	変速機構	マニュアル変速 または自動変速
	駐車ブレーキ機能	標準装備
	フラッシングバルブ	装備可能



写真3 本製品の外観 (MAG-33VP-650)

本製品の外観を写真3に示す。走行用油圧モータの内部構成は図6に示すように制御バルブ部，斜板式ピストンモータ部，減速機部からの構成となっている。

当社の走行用油圧モータの主な特長を下記にまとめる。

- ①クローラ駆動用に最も適したケース回転型の専用設計であり，クローラ幅に収まる小型設計である。
- ②ケース回転型遊星減速機と油圧ピストンモータ

の採用により，高い走破性 (=高出力トルク) を実現している。

- ③移動モードと牽引モードの変速機構を搭載しており，移動モード時は負荷を検知して高負荷になると牽引モードに変速する自動変速機構を選択することが可能である。移動モードと牽引モードは同流量で最大2倍の速度比を可能としている。
- ④作業環境によっては傾斜地での作業性・停留性が求められる。駐車ブレーキ機能装備により傾斜地での作業・停車を可能にしている。また，欧州などでは駐車ブレーキ機能の装備を法規化している地域もある。

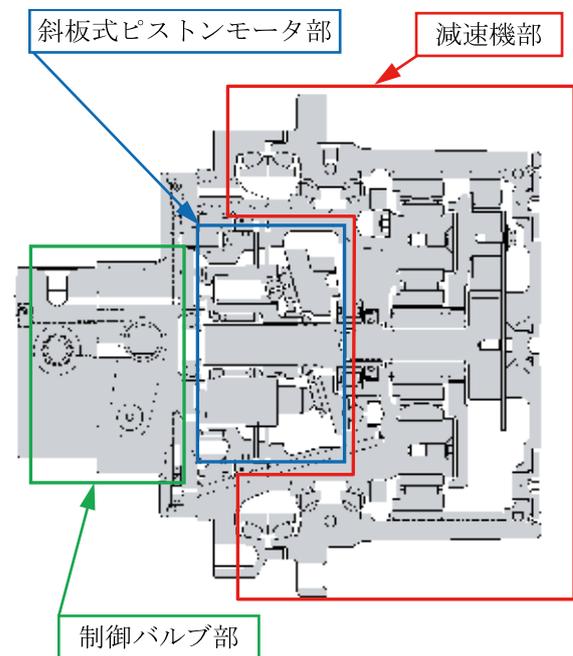


図6 走行用油圧モータ断面

### 3.1 長寿命化，高出力化への課題

走行用油圧モータを長寿命化するにはロータリーパーツ摺動部の強化による耐久性向上，歯車のモジュール拡大や歯幅拡大による減速機強度・耐久性向上などの手法があり，高出力トルク化するにはモータ容積拡大，モータ高圧化，減速比拡大などの手法がある。この様な従来手法で弱点を強化すると走行用油圧モータは大型化してしまう。

建設機械メーカーからの要求として，従来製品との取付け互換性維持 (従来機へ搭載可能な事) があり，図7に示す車両側・出力側はめあい径を変更することなく，“長寿命化・高出力化” させることが要件となる。

以上より本製品の開発において，外形寸法を変えることなく建設機械の車速を維持しながら長寿命化，

高出力化するには、ロータリーパーツについては高圧化による高出力化を図り、かつ摺動性強化による長寿命化が必要であり、同時に減速機部は歯車サイズを大きく変えることなく、歯車の強度・耐久性を向上させることが不可欠となる。

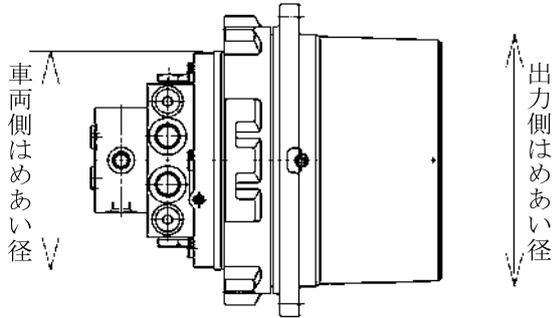


図7 車両取付けの取合い径

### 3.2 長寿命化, 高出力化, 高速回転化の開発技術

#### 3.2.1 ピストンモータ部

ピストンモータは、各ロータリーパーツが摺動することによって、油圧のエネルギーを回転とトルクに出力する。

ロータリーパーツは図8に示すとおり、シリンダブロックやスワッシュプレート表面处理を最適化。ピストンシューは従来のシングルパッドから多重パッドに変更して高圧作用時のシュー変形を抑え耐摺動特性の強化を図ることで長寿命化、高圧化による高出力化、高速回転化に対応することができた。

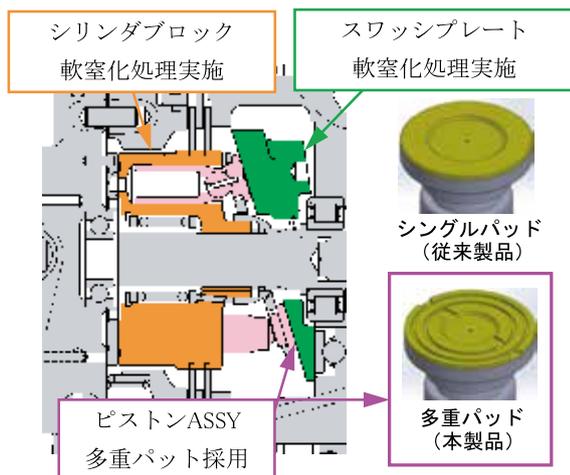


図8 ピストンモータ部断面

#### 3.2.2 減速機部

本製品は従来外形寸法を変更することなく減速機部の長寿命化、高出力化、高速回転化を実現できた。その内容の一部を以下に説明する。

#### (1) 歯車強度と歯車軸剛性

歯車はモジュールが大きいほど曲げ強度が向上し、歯幅が長いほど接触面圧が低下して耐久性は向上する。しかし、モジュールや歯幅を変更すると、減速機が直径方向や出力軸方向に大型化するため従来製品と同じはめあい径、同じ全長での構成が困難である。

また、歯車自体の強度が向上しても、適正な噛みあい状態にならなければ歯面にピッチング等の損傷が発生するため耐久性は向上できない。適正な噛み合いを確保するためには軸剛性が重要な要素となる。

そこで、減速機構成部品を組み合わせた全体の剛性バランスを検討し、軸たわみ量を抑えて軸剛性を確保、加えて歯車形状の見直しにより歯車同士のかみ合いの適正化を図り、適正な歯車のかみあい状態にすることで長寿命、高出力化を確保できた。

#### (2) フローティングシール

高速回転化にはフローティングシールの摺動発熱対策が不可欠となる。フローティングシールの材質変更、リング形状変更によりシール荷重を低減し、耐土砂侵入性を低下させることなく高速回転に対応可能としたシールを開発、本製品にて採用した。

### 3.3 本製品の特長

表4に本製品の主な製品仕様を示す。従来製品と全く同じ外形寸法で従来比77%の長寿命化、従来比約11%の高出力トルク化を達成し、出力回転速度は従来比約15%の高速化ができた。

変速機構については従来のマニュアル変速に加え、自動変速機構をラインアップに追加することができた。

表4 本製品と従来製品の仕様一覧

形式	従来製品	本製品	
	MAG-33VP-550	MAG-33VP-650	
最大等価容積 [cm <sup>3</sup> /rev]	863	←	
最大圧力 (入口) [MPa]	30.9	37.3 (20%UP)	
チャージ圧力 [MPa]	3.0	←	
最大モータ回転速度 [rpm]	3600	4000 (11%UP)	
減速比	25.526	←	
最大出力トルク [N・m]	3649	4050 (11%UP)	
最大出力回転速度 [rpm]	130	150 (15%UP)	
寿命比	100%	177% (77%UP)	
外形寸法 (高さ×最大外径)	313×φ286	←	
取付寸法 (車両側)	はめあい径: φ200 締結穴数: 10×M14×2.0	←	
取付寸法 (出力側)	はめあい径: φ230 締結穴数: 9×M14×2.0	←	
付属機能	変速機構	マニュアル変速	マニュアル変速 自動変速 (オプション)
	駐車ブレーキ機能	標準装備	←
	フラッシングバルブ	装備可能	装備
	製品質量 [kg]	55.0	←

#### 4 おわりに

市場から求められる油圧パイロット制御化，長寿命化，高出力化，高速回転出力化を実現し，分離形HSTのラインアップを拡充することができた。本報で紹介した開発品はお客様において量産採用が決定し，2017年春より量産納入を開始している。

本開発に際して，シミュレーションの活用等によ

り，種々の課題に対し効率的に製品開発を進めることができた。より高度化していく建設機械・農業機械の市場要求においては，更に電子化・高効率化・低コスト化など多岐に渡り，今後もこれらの要求に遅れることなく，製品開発に尽力していきたい。最後に，本製品の開発・量産化に当たり，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



稲田 隆則

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。油圧ポンプ・モータ製品の開発に従事。



松阪 慶太

2008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。



三浦 拓也

2014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。油圧ポンプ・モータ製品の開発に従事。