

製品紹介

# トラクタ走行用マニュアルサーボ付きHST HVFD42Fの開発

稲田 隆 則 ・ 三 浦 拓 也

## 1 はじめに

農作業に利用されている農業機械のうち、乗用トラクタ、コンバイン、田植え機などでは、走行用変速機として静油圧無段変速機（Hydro Static Transmission, 以下HST(用語解説「HST」p.59参照)）が使われている。HSTの特徴は、出力回転数（すなわち走行速度）を無段階で調整でき、出力軸の回転方向を連続的に正逆転可能で、また、閉回路構成によってダイナミックブレーキが得られることである。変速操作はHSTに搭載された操作用シャフトを左右に回転させることで行う。通常はリンクを介して運転席近傍にレバーを取り付け、前に動かせば前進、中立へ戻せばブレーキがかかり停止、後ろに動かせば後進する。このようにブレーキを含めた車速の制御がレバー1本で行えるため、走行操作が非常に簡単になる点がHSTを搭載する大きなメリットである。

KYBではこれまで様々な農業機械にむけて、HSTの生産拡販を行ってきた。今回、ラインアップの拡充のため、更なる高出力化と効率の向上を図ったHVFD42（図1）を開発したので、その内容について紹介する。

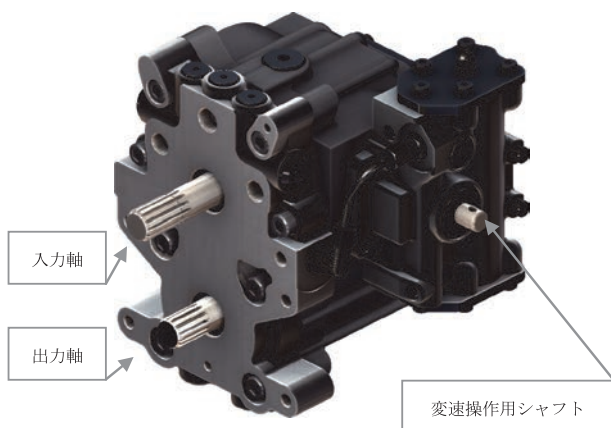


図1 HVFD42F（開発品）

## 2 開発背景

近年、農業機械（トラクタ、コンバイン）は大型化の傾向にあり、これまで機械式ミッションが主流であったエンジン出力60PSクラスのトラクタにもHSTを搭載する機種が登場し始めている。

当社のHSTラインアップを図2に示す。当社の既存のHSTは、押しのけ容積37cm<sup>3</sup>/rev（HVFD37F）が最大で、50PSクラスまでしか対応できていなかったため、より高出力なHSTの開発が急務であった。一方で低コスト化の市場要求も根強いいため、既存のHVFD37Fをベースにコストアップを抑制しつつ、高出力化を目指すこととした。



図2 HSTラインアップ

## 3 開発品の設計仕様

### 3.1 仕様

表1に本開発品の基本仕様を示す。ポンプは押しのけ容積-41.5～0～41.5cm<sup>3</sup>/rev（マイナスは吐出ポートが入れ替わり、モータが逆回転することを意味する）の連続可変容量型ピストンポンプであり、モータは押しのけ容積41.5cm<sup>3</sup>/revの固定容量型ピストンモータである。

### 3.2 高出力化

HSTの伝達動力の高出力化について説明する。油圧モータの出力回転数は変化させず、出力動力を増やすためには、トルクアップが必要である。油圧モータ理論出力トルクは(1)式で示される。

表1 開発品の基本仕様

|                                  |     |            |
|----------------------------------|-----|------------|
| 押しのけ容積<br>[cm <sup>3</sup> /rev] | ポンプ | -41.5~41.5 |
|                                  | モータ | 41.5       |
| 最大傾角 [deg]                       |     | 20         |
| 最大圧力 [MPa]                       |     | 37.3       |
| 入力回転数 [rpm]                      |     | 1000~2600  |

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

ここで、 $T$ ：油圧モータ理論トルク、 $V$ ：油圧モータ押しのけ容積、 $P$ ：油圧モータ有効圧力

(1)式より、高出力化の方策は以下の2つであることがわかる。

- ① HSTの容積を増やす
- ② 駆動圧力を高める

開発品では出力トルク目標値として1ランク下位機種(HVFD37F)比20%UPに設定し、HVFD37Fに対し圧力アップ(34.3MPa→37.3MPa)および、押しのけ容積アップにより高出力化した。開発品と既存品(HVFD28F, HVFD37F)の仕様を表2に示す。

表2 出力仕様

| 形式                          | HVFD28 | HVFD37 | 本開発品 |
|-----------------------------|--------|--------|------|
| 最大容量 [cm <sup>3</sup> /rev] | 28.1   | 37.0   | 41.5 |
| 最大圧力 [MPa]                  | 37.3   | 34.3   | 37.3 |
| 最大出力トルク [N・m]               | 169    | 202    | 246  |
|                             | (100%) | (122%) |      |

### 3.2.1 押しのけ容積の大容量化

開発品の押しのけ容積大容量化方策について説明する。

ピストンポンプ、モータの理論押しのけ容積 $V$ を(2)式に示す。

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d_p^2 \cdot z \cdot d_c \cdot \tan\theta \dots\dots(2)$$

ここで、 $d_p$ ：ピストン径、 $z$ ：ピストン本数、 $d_c$ ：ピストンピッチ円直径、 $\theta$ ：斜板傾転角

(2)式より、容積は以下の4つの方策によって増加させることができる。

- ① 斜板傾転角を増やす
- ② ピストンのピッチ円直径を大きくする
- ③ ピストン径を大きくする

### ④ ピストン本数を増やす

②~④については、ロータリパーツ(図3)の形状変更を伴い、新規開発が必要で大幅なコストアップが懸念されたため、本開発では①の方策を採用した。



図3 ロータリパーツ

図4に示すように既存品(HVFD37F)は、斜板角度18degの設定である。今回の開発において、斜板傾角の限界調査試験を実施し、微小な設計変更だけで斜板角度は20degまで問題なく作動することを確認でき、既存品から大きな部品変更およびサイズ変更なく、大容量化を達成することができた。

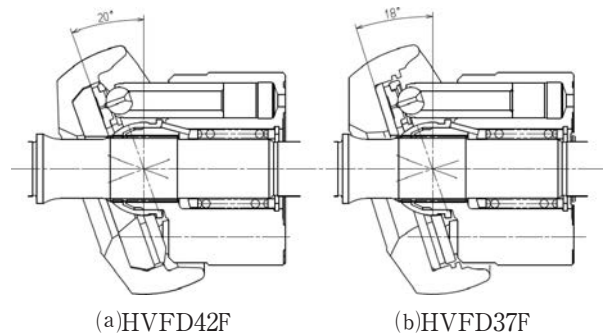


図4 ロータリパーツ断面

### 3.2.2 高圧化への対応

開発品では、圧力仕様の高圧化(34.3→37.3MPa)に伴い、ロータリパーツの見直しを実施した。

一つ目は、ピストンシューの多重パッド化である。開発品は高圧に対応する為、図5(a)に示すように、シューを多重パッドにすることで剛性を向上し変形を抑え、更に内側にパッドを追加することで面圧分布を均一化し、接触面圧を抑える設計とした。

### 3.3 開発品の特徴

#### 3.3.1 低騒音

圧力仕様の高圧化に伴い、斜板に作用する力が増大し、斜板の振動振幅が増加し、特に高負荷圧力時の騒音が大きくなるのが従来よりわかっており、

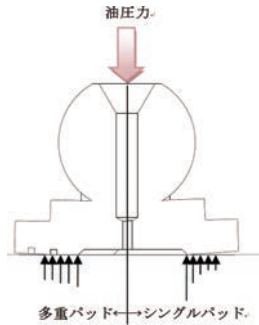
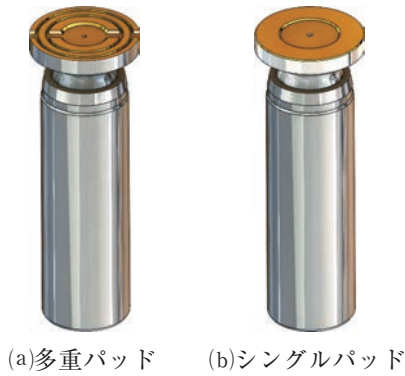


図5 シュー形状の違いと面圧分布

本開発品も騒音低減が課題であった。

バルブプレートの開口特性見直しによる斜板加振力低減を実施した結果、騒音レベルを約5dB低減することができた。対策前後のベンチ試験における騒音測定結果を図6に示す。

実機においても、対策による騒音低減効果が認められた。

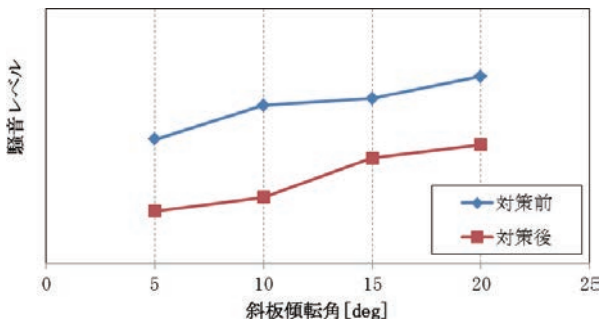


図6 騒音測定結果

### 3.3.2 高傾転化による効率向上

斜板傾角を増加させると機械効率が向上することは、従来より知られている。図7に斜板傾転角ごとに機械効率を測定した結果を示す。斜板傾転角が増加すると機械効率が向上しており、特に低圧域では傾角の影響が大きいことが分かる。実際にトラクタの走行時のHST駆動圧力は5～10MPa前後であることから、移動の頻度が多い使われ方では燃費低減効果があると考えられる。

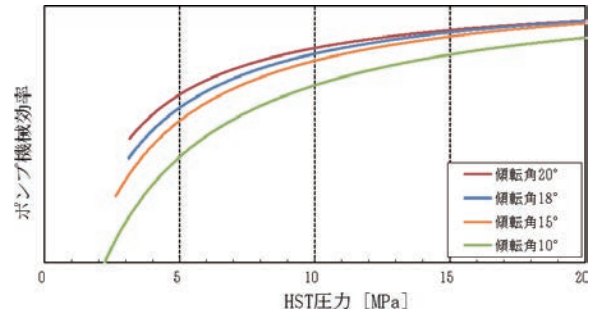


図7 機械効率の傾転角依存性

### 3.3.3 全効率測定結果

上述の高圧化、高傾転化方策により高出力化を達成し、さらに、バルブプレート形状の見直しによる容積効率向上も併せて実施した結果、図8に示すように、開発品の効率は既存品に対して全効率で約5%向上し、高効率化の市場要求にも対応できる製品となっている。

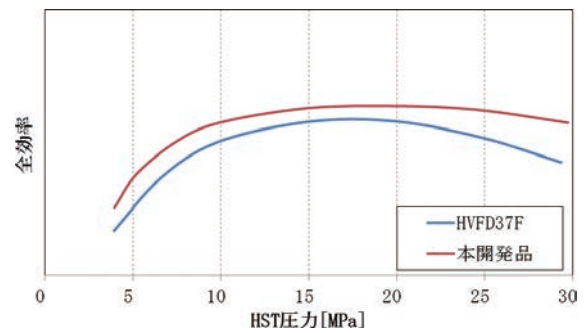


図8 HST全効率（開発品、HVFD37）

### 3.4 操作性の向上

開発品では、HVFD37Fに対し高出力化を実施したため、斜板の傾転モーメントが大きく、従来以上の高い操作力（ペダル踏力）が必要となる。そのため、油圧を介して斜板を操作することで、操作力が変化しないようにすることが可能な「サーボレギュレータ」を搭載することとした。

#### 3.4.1 サーボレギュレータとは

当社のHST変速操作機構は以下の3種類のオプションがある。

- ① ダイレクトマニュアル（手動入力，手動傾転）
- ② マニュアルサーボ（手動入力，油圧傾転）
- ③ 電子サーボ（電流入力，油圧傾転）

①のダイレクトマニュアルタイプは最も安価であるが、ポンプ斜板と母機の操作レバー・ペダルが直結となるため、HSTの負荷圧力によって操作力（ペダル踏力）が変化してしまう問題がある。

②のマニュアルサーボレギュレータは、HSTレバーへの角度指令と斜板傾角との差を検知し制御ス

プールを開口させ、斜板傾転用ピストンへの油圧を制御することで、斜板を操作しているため、操作力は一定かつ低くなる。

③の電子サーボレギュレータは、電磁比列弁によって斜板傾転用ピストンへの油圧を制御する構造である。母機操作レバー・ペダルとHST間のリンク接続が不要となり、電子制御化することで変速制御の自由度が向上する。

### 3.4.2 レギュレータ応答性

走行用HSTは、変速レバーを中立に戻した時に車両を確実に停止させるため、中立不感帯（以下、中立幅）が必要である。中立機構には大きく分けて以下の2種類の方法があり、①の構成が一般的である。

- ① サーボレギュレータに中立幅を持たせる
- ② HST本体に中立幅を持たせる

当社のマニュアルサーボレギュレータ付きHSTは、②の構成を採用しており、制御スプールは応答

性を重視したセッティングにすることができる。その結果、サーボレギュレータ側に中立帯を有する製品と比較してレギュレータの応答性が良く、お客様からご好評を頂いている。

## 4 おわりに

市場から求められる高出力化に加え、高効率なHSTを開発し、HST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、現在量産中である。

農業機械用HSTに求められる市場要求は電子化、高効率化、高変速比化など多岐に渡り、今後もこれらの要求に対応可能な製品の開発に尽力していきたい。

最後に、本製品の開発にあたり、ご支援頂きました関係部署の方々に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

## 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製品企画開発部第一開発室。油圧ポンプ・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製品企画開発部第一開発室。油圧ポンプ・モータ製品の開発に従事。