

# 46. ハイドロメカニカルトランスミッション (HMT) 搭載ブルドーザの開発

コマツ：大田 晋吾・浅田 久夫  
\*石野 力

## 1 はじめに

大型ブルドーザは、鉱山、砕石、道路、水路、土地造成等の現場において、掘削、押土、サイドカット、整地、リッピング作業を主たる作業内容として使われている。

そのなかでの、生産効率向上の要求に対し、大型化、ロックアップトルクコンバータ採用による車両機械効率の向上、等の改良を行ってきた。

車両の機械効率の高い変速機としては、従来よりハイドロメカニカルトランスミッション（以下HMTと記す）が知られているが、構成する静油圧ポンプモータに大容量の機器が得にくくまた高価、油圧で制御するには、システムが複雑で技術的に難しい、等の理由で現在実用化されているものは軍用車両のみである。

コマツでは、このHMTについて、特殊車両分野で研究を進めてきたが、安価に油圧機器が入手可能となり、制御も電子制御により容易に実施可能となったことより、大型ブルドーザに採用しその性能を一段と向上することが出来たので、ここに紹介する。

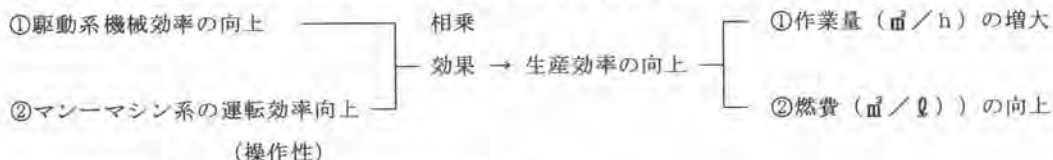
## 2 HMT搭載の狙い

ブルドーザの生産効率の向上は、機械効率の向上と運転効率の向上の2つにより達成される。

$$\text{生産効率} = f(\text{機械効率} \cdot \text{運転効率})$$

だが、どんなに機械効率の高い機械であっても、その運転効率（操作性）が悪ければ、生産効率は低い。例えば、トルクコンバータ付きの変速機を有する車両は、トルクコンバータ無しの物に対して、その機械効率は劣るが、運転効率（操作性）面で優れているため、総合的な生産効率で優れる。

HMT搭載の狙いは、この2つの効率向上の相乗効果で飛躍的な生産効率の向上を図るものである。



なお、HMT搭載車両の主要諸元は以下のとおりである。

項目	単位	D155AX-3 (HMT)	D155A-3 (従来構造)
定格出力	PS/rpm	306/1900	←
運転整備重量	kg	38500	38000
変速機形式	—	HMT (静油圧機械式変速)	トルクコンバータ+機械式変速機
操向機形式	—	HSS (静油圧操向)	クラッチブレーキ

### 3 HMT搭載結果

HMT搭載による効果は以下のとおりである。

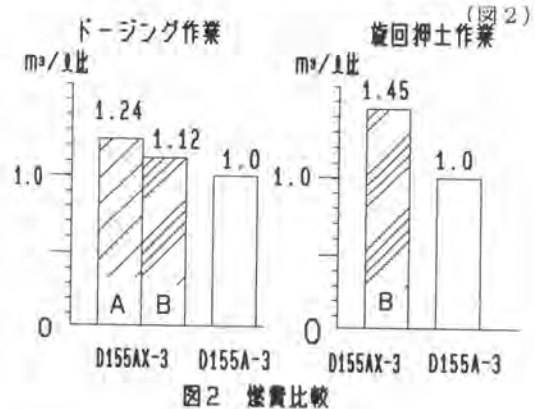
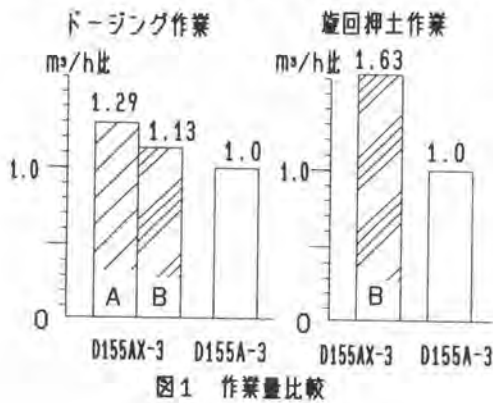
#### ①時間当たり作業量 (m<sup>3</sup>/h) の増大

HMTは、従来の「トルクコンバータ+遊星歯車式トランスミッション」に対し、伝達効率が高くかつ、その範囲が広く、また自動トルクコンバート機能を有し、常時エンジンを最大出力点に保持することができるので広い車速範囲でエンジンのフルパワーを吸収でき、また自動変速機能により運転効率が向上したため、作業量の増大が達成できた。

図1に作業量テスト結果を示すが、ドーピング作業においては従来タイプ「トルクコンバータ+遊星歯車式トランスミッション」に対し、最大29%増の結果が得られた。また旋回押土作業においては、操向機構に、旋回時に内側履帯の動力が遮断され、かつブレーキロスの大きなクラッチブレーキ方式に代えて、旋回時にも内外履帯への動力遮断の無いHSS（ハイドロスタティックステアリング）機構を採用しているため、HMTの高効率との相乗効果で「トルクコンバータ+遊星歯車式トランスミッション」方式に対し、63%増の結果が得られた。

#### ②燃費 (m<sup>3</sup>/ℓ) の向上

燃費の面よりHMTの効果をみる。燃料1ℓ当たりの作業量で比較できるが、この面でもHMTの効率の良さからドーピング作業では最大24%増、旋回押土作業では45%増の結果が得られた。



掘削押土時の速度段選定

	D155AX-3	D155A-3
Aパターン	F1, F2自動変速	F2固定
Bパターン	F1, F2自動変速	F1掘削F2押土

図3 ドーピング作業量テスト内容

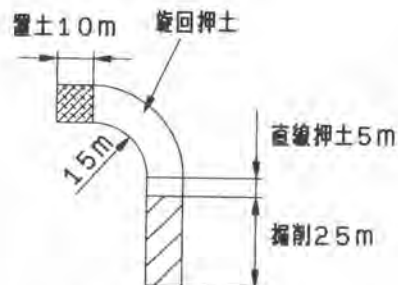


図4 旋回押土テストコース

### ③操作性の向上

従来の「トルクコンバータ+遊星歯車式トランスミッション」の場合、オペレータは、掘削押土作業においては、ブレードに掛かっている荷の大きさと 車両の速度とその変化、シュースリップによる車両揺動状態を、オペレータが感知し、速度段を選定し、変速操作をする必要があった。

今回HMT搭載車両では、自動トルクコンバート機能により、負荷に応じて自動変速するので、作業中のオペレータの変速判断 及び 変速操作が不要となり、オペレータは作業機の操作に専念可能となった。

またリッピングや、トレーラ積込み時の超低速作業で、従来の「トルクコンバータ+遊星歯車式トランスミッション」の場合、デクセルペダルにてエンジン回転を調整して車速調整していたものが、新設のMax.スピードセットレバーで、エンジン出力を下げることなく、作業に応じた車速が無段階に設定できるため（図5、図6参照）、デクセル操作無しでも、車速設定できるようになり、デクセルペダル操作頻度が低減された。



図5

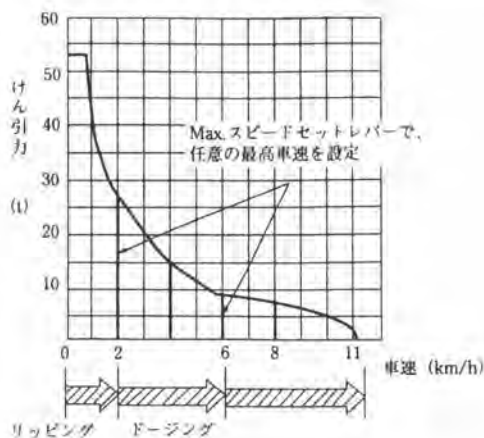


図6

## 4 HMT (Hydro-Mechanical Transmission) とは

### (1) HMTの基本概念

HMTは1組の静油圧変速機(HST)と機械式変速機の組み合わせで構成されるが、今回この2つを電子制御コントロールすることで、それぞれの長所である 無段変速性と高効率性を十分に兼ね備えた変速機を構成した。

最も簡単なHMTの構成を図7に示す。エンジンからの入力、PTOで分割され、遊星ギア部のキャリアに直接入力する機械動力と、HSTを経由してサンギアに入る油圧動力が、合成されてリングギアより出力される。今、モータ回転0の場合、油圧動力側への動力伝達は0で、エンジンの動力は全て機械側へ伝達される。この時、伝達効率は最大となる。この状態より、モータ回転を正逆方向に回転させると出力回転を増減することが可能となり、無段変速機が構成される。(図8)この場合、モータ回転(油圧動力伝達)が低いほど、機械動力伝達割合が高いため、伝達効率は高くなる。

理論上は、この基本構成でHMTが構成されるが、

①モータ回転数が増大すると、油圧動力の割合が増加し伝達効率が低下する。

②車両速度の高低速域で、モータが高速回転となり許容回転をオーバーする。

等の理由で、機械伝達部にトランスミッションを設けてHMTを構成する

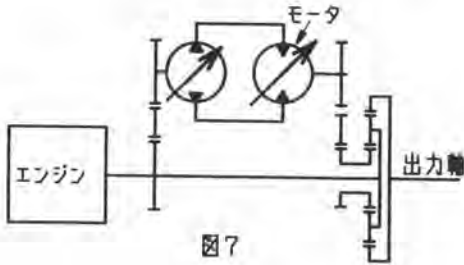


図7



図8

## (2) HMTの構成例

パワーラインギアスケルトンを図9に示す。機械式トランスミッション部は前後進及び3段の速度段を有し、HST部は、可変ポンプ、可変モータを有する。機械、油圧動力の合成部は2組の遊星ギアの組み合わせで構成される。

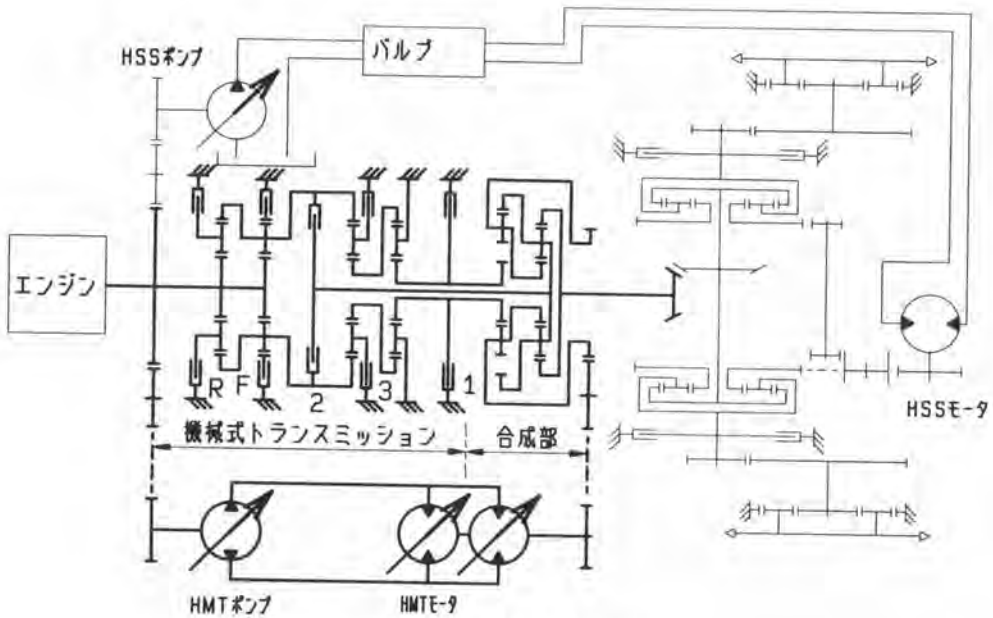


図9 パワーラインギアスケルトン

### (3) 制御システム構成

次に、制御機器の構成を示す。(図10) 機械式トランスミッション部には、クラッチピストンを切り換えるon-offソレノイドバルブが各クラッチ毎に5組、HMTポンプ、モータには、斜板角を変化させるアクチュエータの電気油圧サーボバルブがあり、コントローラからの出力信号により作動される。

またコントローラには、車両進行方向を指令するレバー指令信号、車両の走行速度を設定指令するMaxスピードレバー指令信号、エンジンスロットル開度に応じたマッチング回転数を設定するためのスロットル開度信号が指令信号として、更にエンジン回転信号、HMTモータ回転信号がパワーラインの状態をフィードバックする検知信号として取りこまれる。

制御は速度比(=HMT出力回転数/HMT入力回転数(エンジン回転数))の目標値を設定し、実際の速度比が目標に一致するようポンプモータの斜板角を動かすこと及びトランスミッションのクラッチを切り換えることによりおこなわれる。目標速度比は、エンジンスロットル開度より決まるエンジンの最大出力回転数を保持するようコントローラで演算される。(1)式に目標速度比の設定式、図11、図12に実際のエンジン回転変化にともなう目標速度比の動きをしめす。このようにしてエンジンは、常時最大出力回転に保持され、車両は最大の作業を行う事が可能となる。

$$E = e + k(n_e - N_e) \quad \text{--- (1)} \quad \begin{array}{l} E: \text{目標速度比} \quad e: \text{実際の速度比} \quad k: \text{常数} \\ N_e: \text{目標エンジン回転数} \quad n_e: \text{実際のエンジン回転数} \end{array}$$

エンジン回転の状態	目標速度比Eの動き	エンジンへの負荷
$n_e > N_e$	現在の実速度比eより大きな値とする	負荷増となりエンジン回転低下
$n_e = N_e$	現在の実速度比eと同一値	変化無し エンジン回転 変化無し
$n_e < N_e$	現在の実速度比eより小さな値とする	負荷減となりエンジン回転上昇

図11

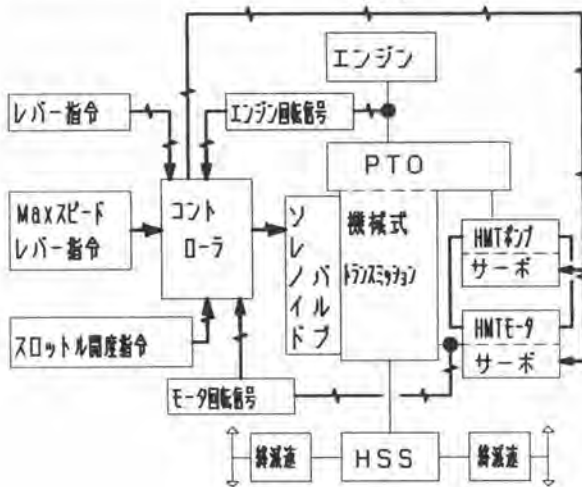


図10 HMTシステム構成

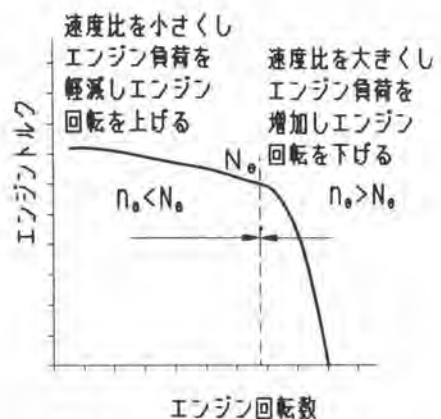


図12 エンジン回転変化にともなう速度比の動き

#### (4) 牽引性能比較

以上の構成で得られる車両の牽引性能を図13に示す。ブルドーザは、掘削押土作業では履帯のスリップ率とスプロケット駆動力とのバランスにより車体重量比0.35W~0.7Wの範囲の使用頻度が高い。本機はその使用頻度の高い領域で、前進2速の油圧動力伝達が0及び低割合となるようトランスミッションの減速比を設定した。従って、この領域ではエンジン出力の大部分はロスのない機械式トランスミッションを経て伝達されるため、従来タイプ「トルクコンバータ+遊星歯車式トランスミッション」に対しより高い牽引出力を得ることが可能で、第3項で述べた作業性能が得られた。

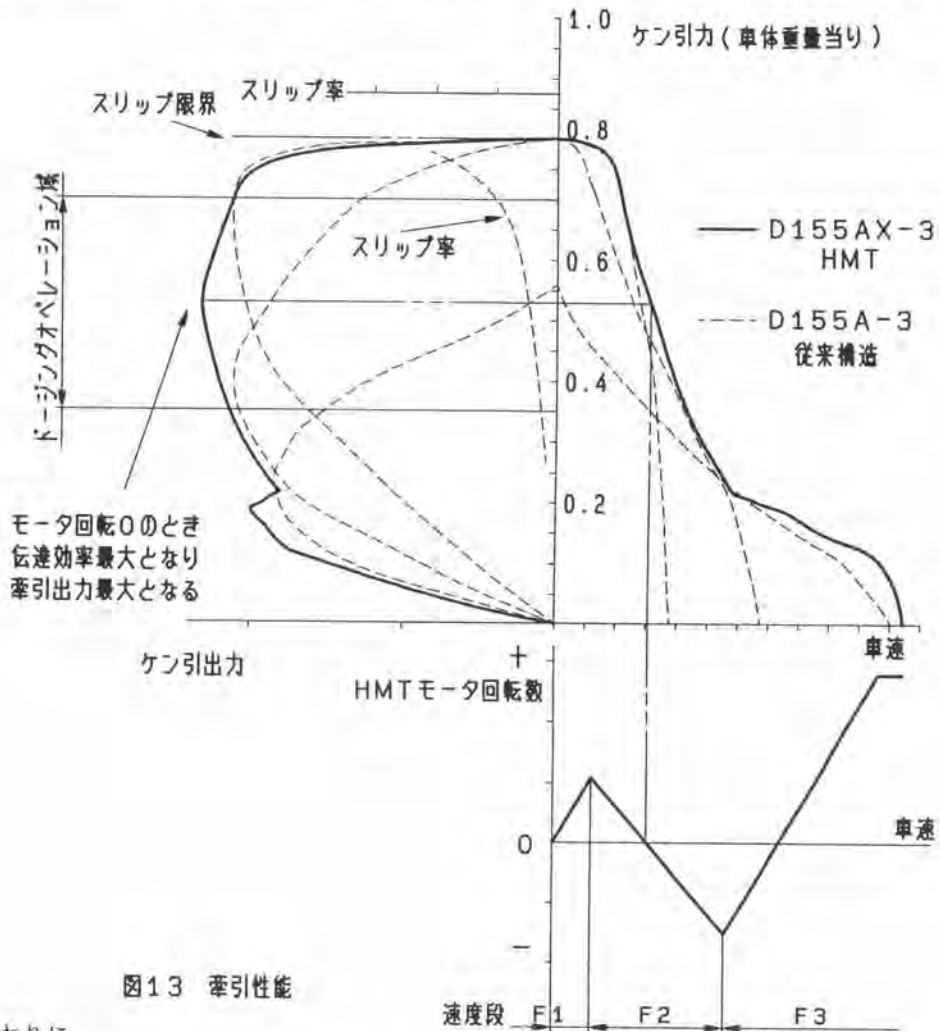


図13 牽引性能

#### 5 おわりに

今回、ブルドーザ用に、HMTを開発車載し、車両性能向上を達成することができた。今後は、HMT単独でなくエンジンとの複合制御、作業機との複合制御を課題として取り組んでいきたい。

最後に、今回の開発にあたり、ご指導、ご協力いただいた関係各位の皆様には深く感謝いたします。