

デュアルポンプ式4WDシステムの開発

Development of Dual Pump 4WD System

小林 和典* 黒田 耕治*
Kazunori KOBAYASHI Kouji KURODA

疋田 政行* 矢古宇 孝行*
Masayuki HIKITA Takayuki YAKOU

要 旨

4WDシステムは雪道等、タイヤと路面間の摩擦係数が低く駆動力が十分に伝達されない状況において大変有効である。しかしその反面、重量増加や走行抵抗の増大、騒音や振動の増幅といった問題点がある。本稿で述べるデュアルポンプシステムは、4WDとしての必要十分な性能を有しながら、軽量、コンパクト、走行抵抗の低減、騒音や振動の低減、低コスト化を達成した。本システムは、94年式のインテグラ、シビック、ドマーニに採用された後、さらに性能と生産性の向上を図り、オデッセイ、CR-V等、軽量で高い運動性能をもち、低床、フラットフロアといった合理的な車体レイアウトの新しいタイプの4WD車の具現化に役立っている。本稿では、デュアルポンプシステムの開発経緯について述べる。

ABSTRACT

4WD is very effective on snow where the friction coefficient between tire and road surface is low. However 4WD has some disadvantageous factors in weight, friction, noise and vibration. Dual Pump System presented in this paper has enough 4WD performance and also accomplished light weight, compact, low friction, noise and vibration reduction, and low cost. This system was attached to 94 model INTEGRA, CIVIC and DOMANI. After improvement this system contribute to produce new type 4WD vehicles such as ODYSSEY and CR-V with light weight, high performance, low and flat floor. This paper describes the development of Dual Pump system.

1. まえがき

ホンダにおける4WDシステムの開発経緯は、最初にパートタイム4WD方式を採用し、その後、2WD-4WDの切り替え操作を自動化するために、ビスカスカップリングをプロペラシャフト上へ直列に配置した「リアルタイム4WD」を開発した。また、ドグクラッチにより制動時に前後の結合を解除することによりABSとの組み合わせを可能とし、後輪車軸上に左右2個のビスカスカップリングを配置することにより左右輪差動制限機能も追加した「INTRAC」が追加された。通常路面ではFF（前輪駆動）方式で十分な駆動効率が確保されているため常時4輪を駆動する必要は少なく、必要に応じて駆動力を後

輪に伝達するという考え方にに基づき4WDシステムは開発されてきた。デュアルポンプシステム（DPS）はこの考え方を踏襲し、さらに従来の4WDシステムの商品性の向上を試みたものである。

2. デュアルポンプシステムの狙い

本システムを開発するにあたり、4WDシステムとして以下の目標を設定し開発を行った。

- ① システム全体の軽量化
- ② 4WD車の商品性向上
 - ・ タイトコーナープレーキング現象の軽減
 - ・ 走行抵抗の低減

* 栃木研究所

- ・FF用ABSとの両立
- ・騒音・振動の低減

③車体への搭載性向上

- ・車体との間に電気配線や油圧配管を行わず、リアファイナルドライブユニット内に機能を集約することにより、搭載する車体側の制約を少なくして、複数機種への適用を容易にする。

④低コスト化

3. 構造と作動

システム概念図をFig. 1に、リアファイナルドライブユニットの断面図をFig. 2に、油圧回路をFig. 3に示す。エンジン出力はトランスミッションから一方は前輪に、一方はトランスファー、デュアルポンプシステム内の湿式多板クラッチ、ハイポイドギア、およびディファレンシャルギアを介して後輪に伝達される。デュアルポンプシステムは、前後輪の回転数差に応じて油圧を発生しクラッチのピストン推力に変換するポンプボディ部、ピストン推力をトルクに変換するクラッチ部、トルクを左右輪に配分するリアディファレンシャル部より構成されている。ポンプボディ部は、前輪側で駆動されるフロントポンプと後輪側で駆動されるリアポンプの合計2個のトロコイド型オイルポンプと、前後進切替バルブ、ワ

ンウエイバルブ、オリフィス、リリーフバルブ、サーモスイッチより構成された油圧回路を有している。フロントポンプの吐出をリアポンプが吸入し、その間で余剰となったオイルをオリフィスにて調圧することにより、前後輪の回転差に応じた油圧を発生させる。この油圧によって湿式多板クラッチの締結力を調節し、後輪へのトルク伝達を行う。2個のオイルポンプの吐出油量と油圧回路内の前後進切替バルブ、ワンウェイバルブにより、走行状態を判断し適切な駆動力伝達を行う。路面とタイヤ間の摩擦係数(μ)が高い状態ではFF方式で十分な駆動力が伝達されているが、 μ が低い状態での登坂路等では、FF方式では駆動力を十分伝達できない。この時に、駆動力を後輪に配分することにより走破性を向上することが出来る。走行モードと後輪への駆動力伝達のことをTable 1に示す。

Table 1 Drive Condition and Drive Mode

	NF>NR	NF=NR	NF<NR
FORWARD	4WD	FF	FF
BACK	4WD	FF	4WD

NF : Front Wheel Speed

NR : Rear Wheel Speed

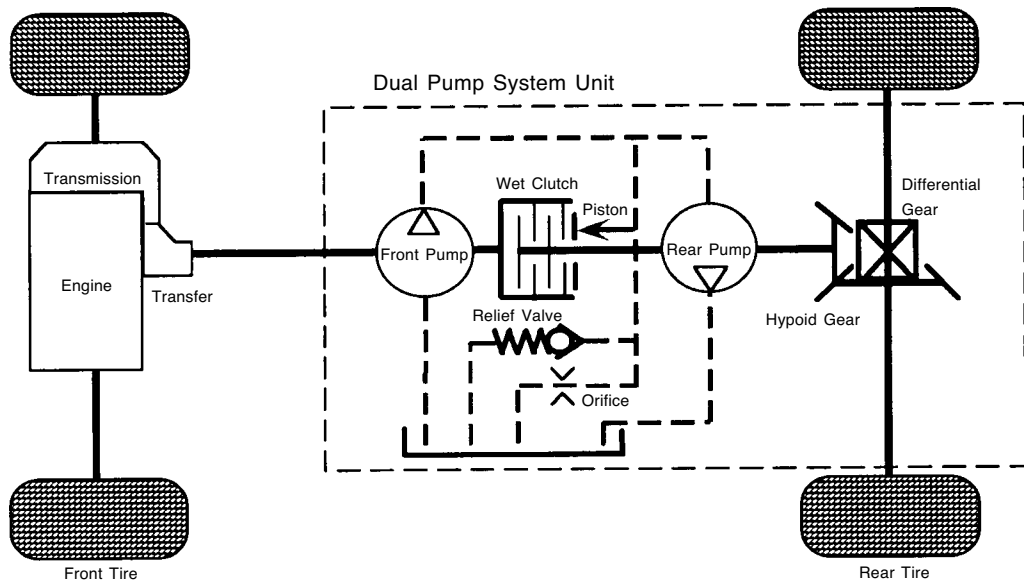


Fig. 1 Outline of Dual Pump System

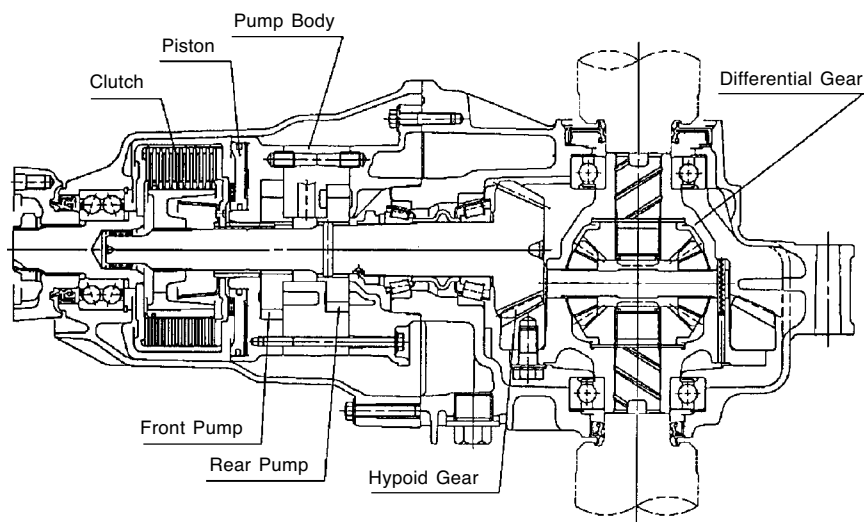


Fig. 2 Cross Section of Dual Pump System Unit

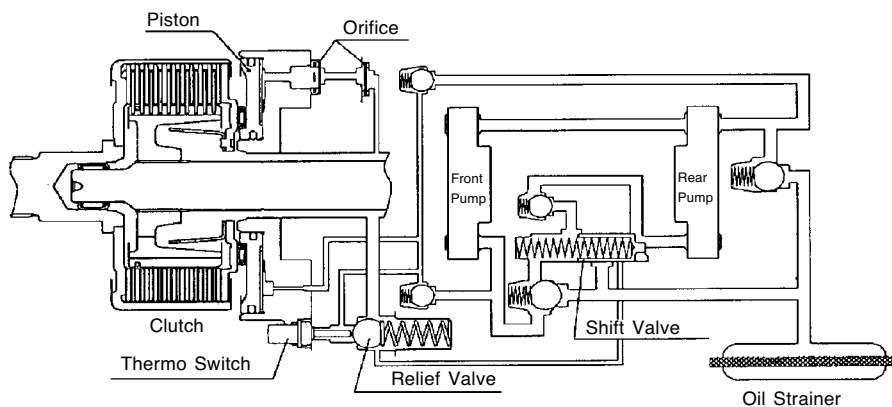


Fig. 3 Hydraulic Circuit

4. システム全体の軽量化

走破性を向上させるための後輪駆動力は、タイヤと路面間の摩擦限界を超えて伝達することはできないため、それを上回る値にする必要はない。坂道発進時の勾配と後輪への必要トルク配分の関係は、次式によって求められ、その積雪勾配路での計算例を Fig. 4 に示す。

$$TF = (WF - \Delta W) \cdot \cos \theta \cdot \mu_f \cdot RW$$

$$TR = (WR + \Delta W) \cdot \cos \theta \cdot \mu_r \cdot RW$$

$$REQT = \frac{W \cdot (\sin \theta + \cos \theta \cdot \mu_c)}{RW}$$

TF : Front Wheel Torque Capacity

TR : Rear Wheel Torque Capacity

REQT : Required Torque for Hill Climb

W : Vehicle Weight

WF : Front Axle Weight

WR : Rear Axle Weight

ΔW : Axle Weight Variation

RW : Radius of Wheel

μ_f : Coefficient of Front Tire Friction

μ_r : Coefficient of Rear Tire Friction

μ_c : Coefficient of Rolling Resistance

θ : Angle of Slope

この考え方に基づき、必要以上の駆動力が伝達されないように駆動力制限を設けた上で、駆動系部品の強度の適正化をはかり軽量化を達成した。トルクリミッタ機構として、油圧回路にリリーフバルブを設けて湿式多板クラッチの締結力を制限している。ビスカスカップリング式4WDシステム（VC4WD）との重量比較をFig. 5に示す。

5. 4WD車の商品性の向上

5. 1. タイトコーナブレーキングの軽減

従来のビスカスカップリングの特性では前輪と後輪の回転数差の少ない状態でも伝達駆動力が大きくなり、タイトコーナブレーキング現象が発生してしまう場合が

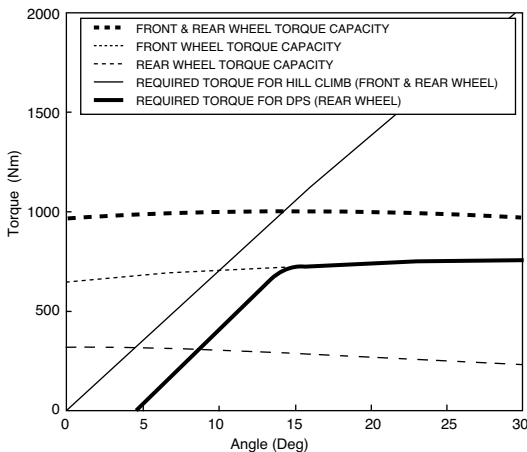


Fig. 4 Required Torque and Wheel Torque Capacity at Snow Slope

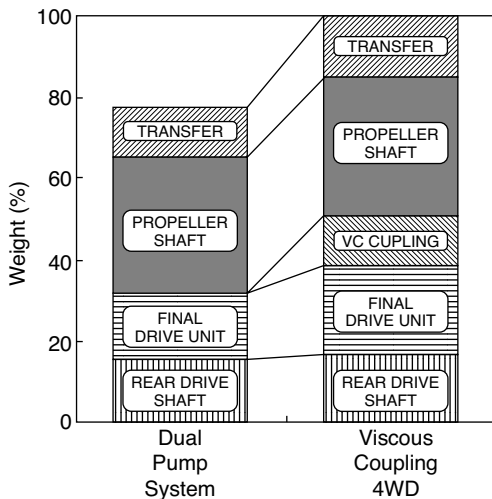


Fig. 5 Weight of 4WD System

ある。本システムではオリフィスにより発生する油圧によりクラッチの締結を行っている。オリフィスによる油圧発生特性を次式に示す。

$$\Delta P = \frac{4 \rho (QF \cdot NF \cdot RF - QR \cdot NR \cdot RR)^2}{C^2 \pi^2 d^4}$$

ρ : Oil Density

QF : Displacement of Front Oil Pump

QR : Displacement of Rear Oil Pump

NF : Front Wheel Speed

NR : Rear Wheel Speed

RF : Transfer Gear Ratio

RR : Rear Final Drive Gear Ratio

C : Flow Coefficient

d : Orifice Diameter

この特性により、前輪と後輪の回転数差の少ない状態での伝達駆動力を低くおさえ、タイトコーナブレーキング現象の軽減化を達成している。前後輪回転数差と伝達トルクの関係を図6に示す。

5. 2. 走行抵抗の低減

前後輪に常時駆動力を伝達しているシステムでは、前後輪のタイヤ半径に少しでも差があると、走行抵抗が発生する。また、車速が増加するとその損失エネルギーは増大する。本システムでは、フロントオイルポンプの吐出量をリアオイルポンプの吐出量に対し2.5パーセント低く設定することにより、前後タイヤ半径差が多少ある場合でも、内部循環トルクの発生を防ぎ、走行抵抗の低減を達成した。

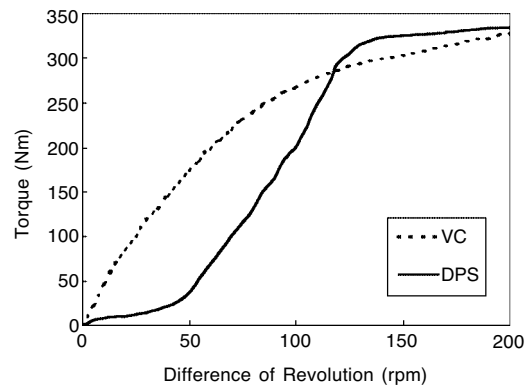


Fig. 6 Characteristic Curve of Torque

5. 3. ABS との両立

前後輪間が強く締結されている4WDシステムでは、ABS制御と、駆動系の結合が干渉し、ABSの性能が損なわれる場合がある。本システムでは制動時は油圧回路内の前後進切替バルブにより、ピストン室の油圧は発生せず、前後駆動系が結合されない状態となる。これによりABS性能を確保している。

5. 4. 騒音・振動の低減

4WD車は2WD車に対して、騒音・振動の面で不利となることが懸念されるが、本システムでは通常走行時、すなわち主駆動輪である前輪の駆動力がタイヤと路面間のトラクション限界を超えていないときには後輪へのトルク伝達を行わないことにより、こもり音や振動の低減を達成している。しかし後輪へのトルク伝達を全く行わないと後輪駆動系部品が無負荷状態となり、歯面打音が発生し易くなる。このため、ピストンにプリセットスプリングを設け、常時微小なトルク伝達を行うことにより、歯面打音の発生を防止している。

6. 車体への搭載性向上

本システムは、小型、軽量、かつ電源や各種センサー信号などの入力を一切必要としない独立したシステムであるため、搭載する車体に対する制約が少なく、多くの車種に搭載が可能となっている。ホンダにおいては、はじめに1600ccクラスの3機種に搭載された。つぎに、2200ccクラスの車に搭載するため、車体重量に応じた伝達トルク向上が必要となり、クラッチ枚数を8枚から10枚に変更し、油圧特性を向上させるためオリフィス径を0.68mmから0.5mmへと変更した。これに伴い1600cc車仕様は、2200cc車仕様と同一の油圧回路を用いて、クラッチ枚数を7枚とする設定とした。さらに、2000ccRV車への搭載にあたり、油圧回路の改良による油圧応答性の向上とクラッチへの潤滑油量の増量を行い、性能の向上をはかった。

7. 低コスト化

本システムは前項にて述べた通り、リアファイナルドライブユニット内に機能を集約し、クラッチ枚数のみの仕様差にて多機種への適用をはかることにより、低コスト化を実現した。さらにオデッセイ、CR-Vへ仕様変更の際、VE手法を用い部品点数を179点から149点へ削減し、加工方法の合理化も行い、さらなる低コスト化を達成した。

8. 走行性能

8. 1. 雪上発進加速性能

DPS車の圧雪路発進時前後輪駆動トルクをFig. 7に示す。前後の結合度の強い4WDシステムでは、雪道等 μ が低い路面での発進加速時、四輪スピン状態になり、安定した発進が行えない場合がある。DPS車は、前後輪の回転差に応じて滑らかに駆動力を伝達する事により、FF車に比べて雪道での発進性能にすぐれ、他の4WDシステムよりも安定した加速性能を示す。圧雪路での発進加速タイムをFig. 8に示す。

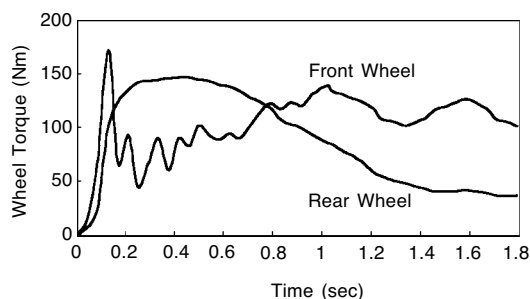


Fig. 7 Wheel Torque at Start on Snow

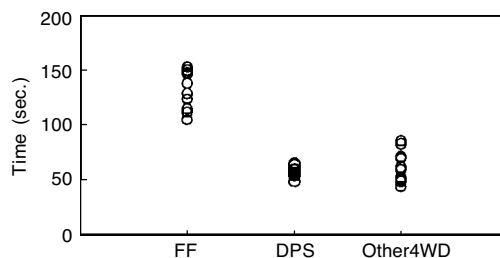


Fig. 8 0 → 50m Acceleration Time on Snow

8. 2. 登坂性能

μ の低い登坂路では2WDに対し、4WD車は高い走破性能を示す。雪道における登坂限界勾配を Fig. 9 に示す。

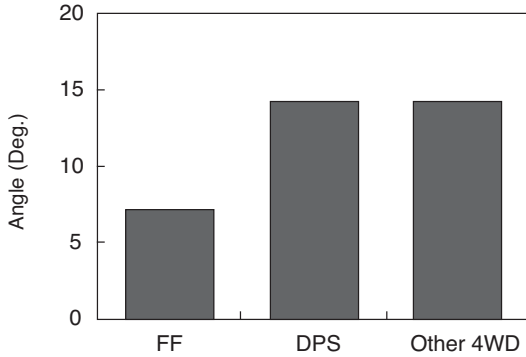


Fig. 9 Climbable Max Snow Slope

8. 3. 旋回性能

ドライ路面での旋回加速時のステアリング特性を Fig. 10 に示す。FF車は一般に弱アンダーステア特性を示す様にセッティングされているが、DPS車はベースとなるFF車と同等の弱アンダーステア特性となっており、ドライバーに違和感を与えない。さらに、前輪のスリップ率が増大する高速旋回時には後輪に駆動力を配分することにより前輪のコナリングフォースが増加するため、旋回限界がより高くなっている。

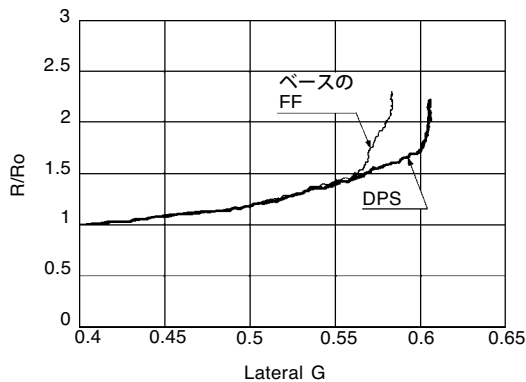


Fig. 10 Steering Characteristics at Accelerating under Constant Steering Angle (Radius: $R_0=15\text{m}$)

9. まとめ

FF車両をベースとした4WDシステムにおける駆動力伝達特性の適正化と駆動力制限機構を設けることにより、

1. システム全体の軽量化
2. タイトコーナーブレーキングの軽減
3. 走行抵抗の低減
4. ABS との両立
5. 騒音、振動の低減

を達成し、リヤファイナルドライブユニット内に全ての機能を集約することにより、

1. 複数の機種への搭載
2. 低コスト化

を可能とした。

4WDとしての走行性能は、雪上発進加速性能において従来のシステム以上であり、登坂性能は従来のシステム同等である。さらに、ベースとなるFF車両の運動特性を活かし、向上することができる、優れたデュアルポンプシステム4WDを開発した。

参考文献

- 1) 浜田ほか：4WD車両の軽量化について、自動車技術 1992 Vol.46
- 2) 浜田ほか：リアルタイム4WDデュアルポンプシステム、自動車工学 Vol.43 No.7
- 3) 新井ほか：デュアルポンプシステム(4WD駆動力配分機構)について、油空圧技術 1994 Vol.33 No.7

■著者■



小林 和 典



黒田 耕 治



足 田 政 行



矢古宇孝行