

# 自動車用駆動ユニットの動向と展望

## Trends and Outlook of Drive Units for Automobiles

酒井俊文 T. SAKAI

In recent years, there has been a strong demand for improvements in automobiles, particularly in environmental friendliness and safety, due to changes in the environment surrounding automobiles. This report describes the technical trends in drive units associated with JTEKT products following these changes, including trends in ITCC, torsen differentials, drive shafts, propeller shafts for drivelines, mechanical pumps, electric pumps, and linear solenoid valves for transmissions, and introduces the actions taken by JTEKT in response.

**Key Words:** automobile, driveline, transmission, hydraulic, AWD

### 1. はじめに

近年、自動車技術における技術開発のスピードには目覚ましいものがある。自動車に課せられた大きな課題は、燃費向上、環境負荷物質の低減などの地球環境対応と安全性の向上であり、前者については、車両の軽量化、ハイブリッド自動車（HV）／電気自動車（EV）／燃料電池自動車（FCV）などの動力源の多様化、エンジンの燃焼効率向上技術や小型化、アイドルストップ機能追加などの技術開発が進み、また後者については、予防安全としての運転支援システムや自動運転へ向けた技術開発が進んでいる。

当社の主要事業の一つである駆動ユニットにおいても、これらの自動車技術の進化に対応するため、トライボロジー、材料、制御、解析・分析・可視化技術などの基盤技術を活用した技術開発に取り組んでいる。

本報では、ドライブライン用のITCC (Intelligent Torque Controlled Coupling)、トルセン、ドライブシャフト、プロペラシャフト、トランスミッション用のメカニカルポンプ、電動ポンプ、リニアソレノイドバルブなどの駆動ユニットにおける技術の動向と当社の取り組みを紹介する。

### 2. AWD (All Wheel Drive) システムの動向

#### 2.1 オンデマンドシステムの増加

AWDは、砂・泥濘・積雪・凍結路というような不整地での駆動力が高まり、走行が安定することから、軍用車両や土木関係などの専用車両として開発され発展してきた。その後、走破性の良さなどから一般乗用車にも採用されるようになり、アウトドアブームなどでSUV (Sport Utility Vehicle) のニーズが高まるとその数を増やしていき、スパイクタイヤの廃止と相まって、街乗り車両にも採用されるようになってきた。現在、市販されている主なAWDシステムは、駆動力配分の方式により、図1のように分類できる。

図2に全世界のAWDの販売台数の実績と予測を示す。ITCCに代表される電子制御オンデマンドAWDが現在の主流であり、今後も増加していくことがわかる。電子制御オンデマンド方式はカップリングによって副駆動輪に流れるトルクを、各種センサからの情報を基に最適にコントロールできるため、高いAWD性能と燃費向上を両立できる優れた方式であり、副駆動輪へ配分する最大トルクを制限することで、副駆動輪側のドライブライン部品の必要強度を下げることも可能であるため、ドライブラインの軽量化にも貢献できる。これにより、街乗りAWDや生活AWDといった新しい分野のAWDを創出している。

名称	略図	特徴
フルタイム AWD	センタデファレンシャル	<ul style="list-style-type: none"> <li>前後輪トルク配分はセンタデファレンシャル</li> <li>高い走破性と高い運動性</li> <li>高トルクを伝達のため駆動部品は大きく高価</li> </ul>
パートタイム AWD	2WD⇄AWD 切替機構	<ul style="list-style-type: none"> <li>2WD と AWD を手動切り替え</li> <li>前後輪直結時には高い走破性が期待できるがタイトコーナブレーキング現象が発生</li> </ul>
オンデマンド AWD	デファレンシャル オンデマンドカップリング	<ul style="list-style-type: none"> <li>前後輪トルク配分はカップリング</li> <li>前輪と後輪の回転数差に感応する差動感応型とトルク配分を電気的に変える電子制御型がある</li> </ul>
モータ AWD	デファレンシャル モータ	<ul style="list-style-type: none"> <li>副駆動輪（後輪）をモータで駆動</li> <li>EV やハイブリッド車など大きな電源がある車両に適する</li> </ul>

図1 AWD システム分類  
AWD systems

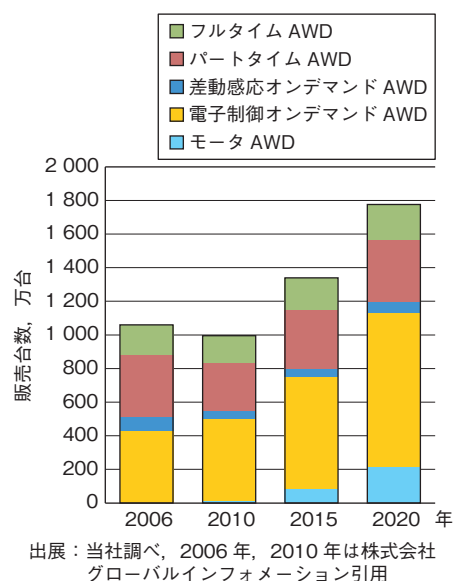


図2 AWD システム別動向  
Trends of AWD systems

発展途上地域も道路が徐々に整備され悪路は少なくなり、日常的には高い走破性のニーズは減る方向にある。しかし、整備された道路でも降雪時は AWD が必要な場合が多く、普段は 2WD 状態で走行し、降雪や凍結路を走行する場合の安全性を高める AWD として、電子制御オンデマンド AWD が今後も増加していくと思われる。

## 2.2 ディスコネクトシステムの増加

地球温暖化防止、および大気環境改善に対する関心が世界的に高まってきており、各国とも排出ガス規制を強化している。それに対応し、自動車メーカーも燃費向上の取り組みを加速しており、AWD 車両においても例外ではない。

2WD に対するオンデマンド AWD の燃費悪化の要因は図3に示すとおりであり、回転損失が約 80% を占めている。電子制御オンデマンド AWD では、舗装路の定常走行などで副駆動輪へのトルクを低くすることで燃費向上を図っているものの、回転を止めることはできないため、2WD に対して回転損失による燃費悪化は避けることができない。このため、近年では 2WD 走行時に副駆動輪側を回転停止させて、さらなる燃費向上を図るディスコネクトシステムが注目されている。

FF をベースとした、電子制御オンデマンド AWD でのディスコネクトシステムの例を図4に示す。このシステムでは PTU (Power Transfer Unit) ~ プロペラシャフト ~ リヤデファレンシャルの回転停止を実現するために、リヤへのトルク配分と回転のディスコネクトをするカップリングはプロペラシャフト軸上ではなく、リヤのドライブシャフト上へ搭載しており、PTU 側にもディスコネクトを追加している。

2WD 走行時には、PTU およびカップリングでディスコネクトすることで、PTU ~ プロペラシャフト ~ リヤデファレンシャル間の構成要素の回転を停止させ、引きずりトルクなどの損失低減により燃費向上を実現する。AWD 走行が必要だと判断すると、カップリングと PTU をコネクトして、通常のオンデマンド AWD 状態となる。これらを車両の走行状態に合わせて瞬時に切り替えることで、ディスコネクト走行での燃費向上と、AWD での走破性、操縦安定性の両立が可能となる。

ディスコネクトシステムは、PTU 側にもディスコネクト機構が追加されることから、通常のオンデマンド AWD に対してコストが高くなるが、今後、各国の排出ガス規制強化に伴い増加していくと考えられる。

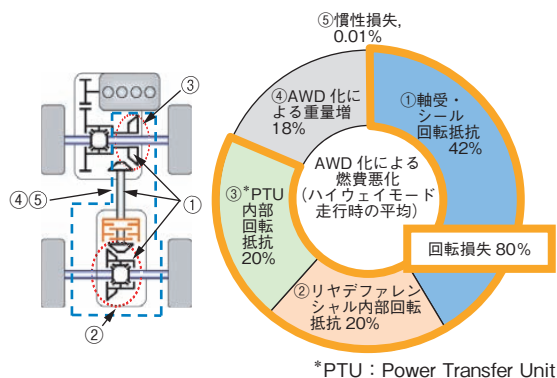


図3 AWD化による燃費への影響  
Effect of AWD on mileage

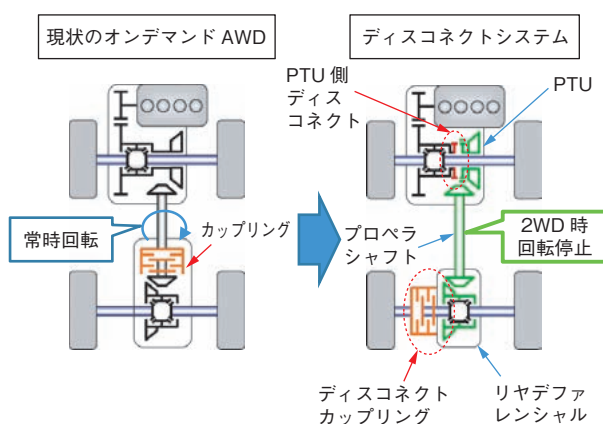


図4 ディスコネクトシステムの例  
Example of disconnect system

### 2.3 モータ AWD の増加

図2に示した全世界のAWDの販売台数予測を見ると、2006年には無かったモータ AWDが増えていることがわかる。モータ AWDは図1のように、プロペラシャフトを持たず副駆動輪（後輪）をモータで駆動するシステムである。モータ AWDは高出力モータが必要となり、大きな電源を必要とするが、近年ではハイブリッド車などの大電源を持つ車両が増えており、これらの車両を AWD 化する場合に用いられることが多い。

モータ出力や電源容量の課題から高い走破性を期待することはできないが、電子制御によりスムーズな発進や降雪・凍結路での走行安定性を提供することができるため、ハイブリッド車やEV車の普及とともに増えていくと考えられる。

### 2.4 トルクベクトリングの増加

従来のAWDシステムは、フルタイム AWD やオンデマンド AWD に代表されるように、前後輪のトルク配分をコントロールすることで旋回性能を向上させてきた。近年のトレンドとして、より高い旋回性能の実現を目指し、前後輪配分だけでなく、左右輪のトルクを独立してコントロールできるトルクベクトリングシステムが開発され、市場に投入されてきている（図5）。

このシステムはFF系のAWDをベースとして、リヤデファレンシャルの左右輪それぞれにトルクコントロールデバイスが設定されている。通常走行時には、トルクコントロールデバイスはフリー状態となっておりFF走行となるが、前輪が滑りそうな状態を感知すると、後輪左右のトルクコントロールデバイスがトルク伝達を行い、AWDに移行する。

旋回中においては、FF走行時に前輪がスリップするとアンダステア傾向となるが、通常のオンデマンド AWD では、後輪にトルクを伝達することで前輪のグリップを回復しアンダステアを抑制する。トルクベクトリングシステムでは、後輪外側のトルクを後輪内側トルクよりも大きくすることで、車両にアンダステアを打ち消す方向のヨーモーメントを発生させることが可能となる（図6）。これにより、通常のオンデマンド AWD よりもコントロール可能な車両ヨーモーメント領域は大きくなり、より安全な旋回性能が得られるだけでなく、トルクを積極的にコントロールすることで車両を自在に操ることも可能となり、走る楽しさを得ることができる。

今後もより高い運動性能を目指し、トルクベクトリングシステム搭載車は増加していくものと考えられる。

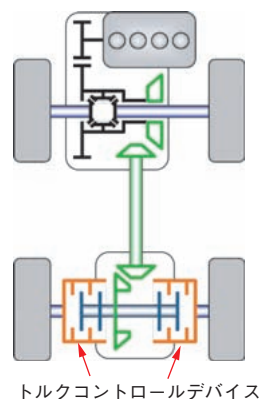


図5 トルクベクトリングシステムの例  
Example of torque vectoring system structure

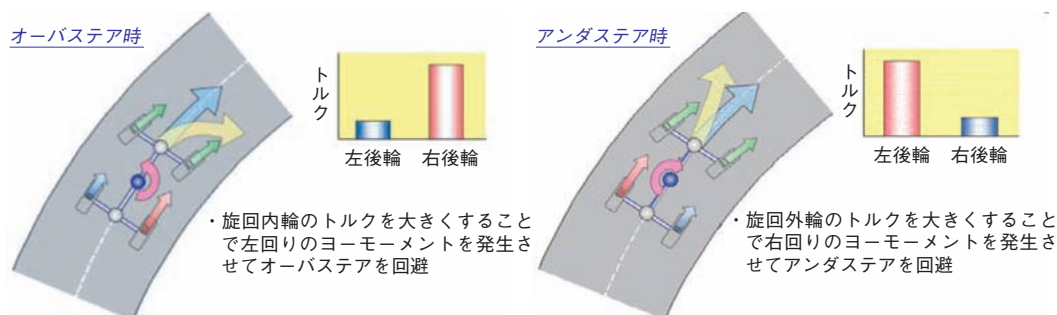


図6 トルクベクトリングシステム  
Torque vectoring system

## 2.5 当社のAWD関連開発技術

### 2.5.1 ITCCの進化

これまで触れてきたように、地球環境保護の観点からドライブライン部品についても、走行安定性や安全性を向上させながら低燃費につながる製品が求められている。AWDシステムも例外ではなく、構成部品の軽量化や効率向上による低燃費への貢献が期待されている。

当社のITCCは、電子制御により必要に応じて最適なトルク配分ができるため、優れたAWD性能を実現できるだけでなく、ブレーキ制御や横滑り防止制御など他の制御システムとの高い次元でのマッチングが可能な電子制御オンデマンドAWD用ユニットである。また、トルクを制限することができるため、ドライブライン部品の軽量化にも貢献している。

ITCCは図7のような湿式多板クラッチ構造をしている。電磁クラッチで発生させた摩擦トルクを、カム機構でメインクラッチを押し付ける推力に変換・増幅し、伝達トルクを発生させる機構となっている。最初に開発した第1世代 (Gen1) から基本構造に変更は無いが、さまざまな技術を投入して図8のように性能を向上させている。

第2世代 (Gen2) では、電磁クラッチの表面処理にDLC (Diamond Like Carbon) コーティングを採用し、合わせて、専用潤滑油を開発して、耐久性の大幅な向上と、低温時のクラッチ引きずりトルクの低減を図った。

また、2013年に量産開始した第3世代 (Gen3) では、電磁クラッチを新たに開発して、さらなる低温引きずりトルクの低減とトルクの温度依存性を改善し、ブレーキとの制御性を向上させ、さらなるドライブラインの軽量化も可能としている。

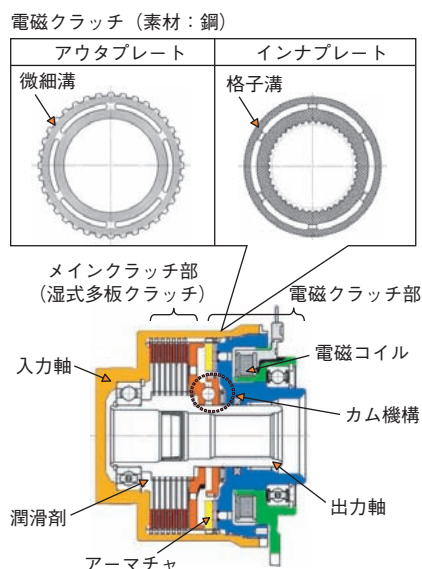


図7 ITCCの構造  
Structure of ITCC

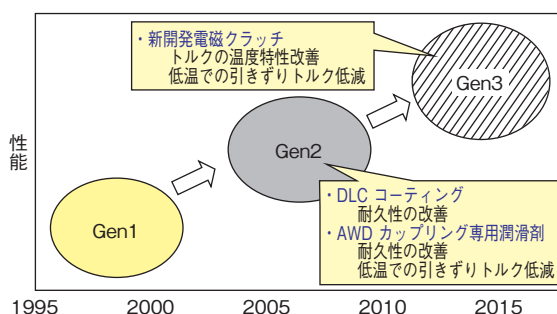


図8 ITCCの歴史  
History of ITCC

Gen3は、図9に示すようにインナプレート表面のランド部に数十 $\mu\text{m}$ 単位のクラウニングを付与し、低温で潤滑剤の粘度が増加する領域において、積極的にクラッチ間動圧を利用することで、クラッチ隙間を広げ(図10)、過大なトルク増大を抑制している。

図11はGen2とGen3の各温度領域における、引きずりトルクの比較である。特に0℃以下において、最大約50%の低減を実現している。

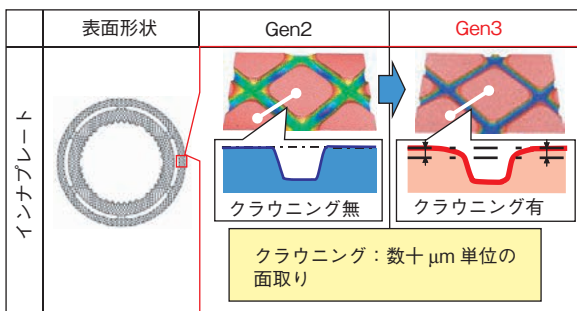


図9 Gen2 および Gen3 電磁クラッチの表面形状比較  
Comparison of surface profiles of second and third generation electromagnetic clutches

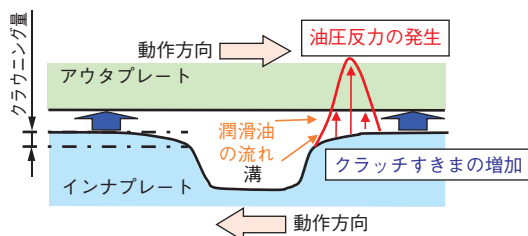


図10 クラウニングによる低温引きずりトルク低減のメカニズム  
Mechanism of drag torque reduction at low temperature due to crowning

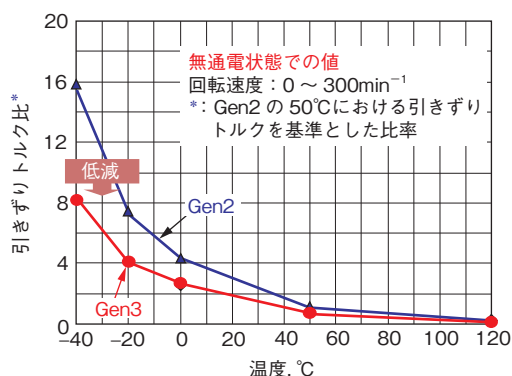


図11 実機における引きずりトルク比の温度依存性  
Temperature dependence of ratio of drag torque in actual ITCC units

### 2.5.2 ツインITCC

先に述べた左右輪のトルクを独立してコントロールできるトルクベクトリングシステムのニーズに応え、当社はリヤデファレンシャルの左右に配置できる小型軽量なツインITCCを開発し、2010年11月に市場投入した。ツインITCCは左右の差動回転をITCCが許容しな

がら、トルク伝達するデファレンシャルとしての機能も持つことになり、リヤ側の差動歯車は不要となる。

図12のようなモータ駆動クラッチと差動ギヤを使った左右トルク移動機構システムに比べると、構造が単純でシステム全体の小型軽量化を可能としている。

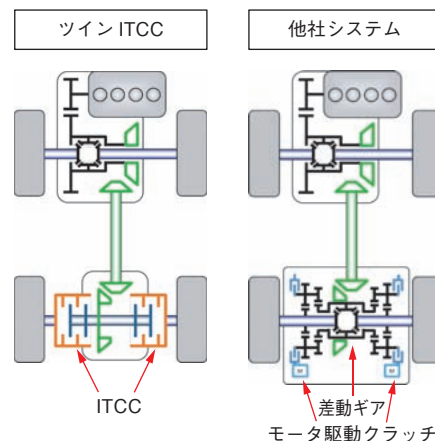


図12 ツインITCCと他社システム  
Twin ITCC and system of other company

今後は、優れた性能・耐久性を持つITCCをコア技術として、高い運動性能と燃費向上の両立が可能で、かつデファレンシャルなどの周辺ユニット含めて小型軽量化を図った次世代ユニットの開発を進める。

### 2.5.3 トルセンデファレンシャルのトライボロジ

SUV系やハイパワーエンジン車に根強いニーズのあるフルタイムAWD用の当社トルセンデファレンシャルの主力商品は、AWDのセンタデファレンシャル用に特化した遊星歯車タイプのタイプCである(図13)。

トルセンデファレンシャルは、内部でしゅう動しながら差動回転を許容しつつトルク伝達をしており、しゅう動部のスティックスリップを抑制しつつ、スムーズに摩擦させることが求められる。

近年、車両の静粛性が向上しており、トルセンデファレンシャルに求められる静粛性もハイレベルなものとなってきている。スティックスリップは、摩擦係数( $\mu$ )の速度( $v$ )に対する依存性( $\mu-v$ 特性)が負勾配を持つときに発生することが知られている。したがって、スティックスリップの防止には $\mu-v$ 特性の負勾配を低減し、より正勾配( $d\mu/dv \geq 0$ )に近づけることが有効である。 $\mu-v$ 特性には、しゅう動面形状と材質の最適化や潤滑油に配合される各種添加剤が大きく影響を及ぼす(図14、15)。

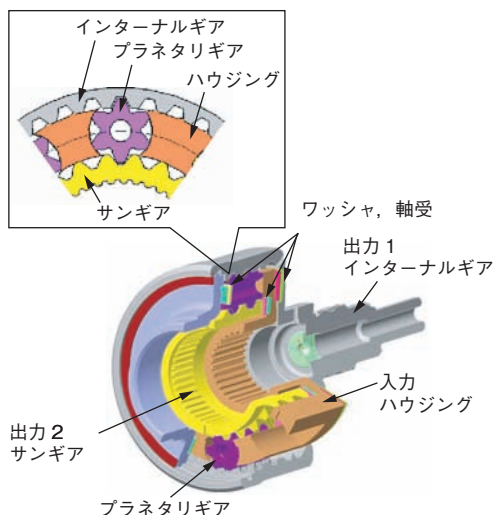


図13 トルセン タイプ C の構造  
Structure of Type C Torsen

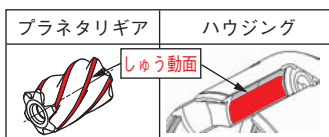


図14 トルセン タイプ C のしゅう動面  
Friction surfaces of Type C Torsen

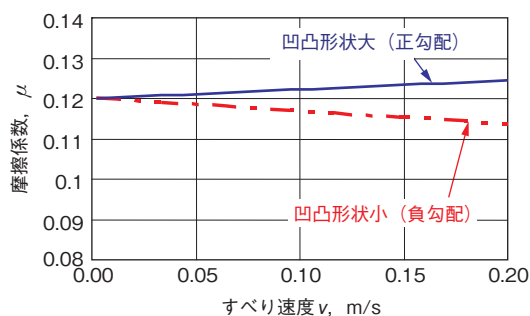


図15 摩擦係数とすべり速度の関係  
Relationship between friction coefficient and sliding velocity

タイプ C のプラネタリギヤのトップランドは、耐振性確保のために、表面に適度な凹凸形状を形成する必要があるが、凹凸を形成させると、しゅう動部の局所面圧が上昇することで摩耗が促進され、耐久性が低下する。つまり、耐振性（凹凸）と耐久性（摩耗、焼付）はトレードオフの関係にある。

この背反する課題を、PVD (Physical Vapor Deposition: 物理蒸着) 法的一种であるマグネトロンスパッタ (Magnetron Sputtering) 法を用いた炭素系硬質コーティングにより解決している。お互いにしゅう動するプラネタリギヤ外周部の凹凸形状をミクロンスケ-

ルで最適化設計し、その維持に炭素系硬質コーティングを施すことで実現している。しゅう動環境が過酷なギヤ部においても、当社のトルセンデファレンシャルは、先進のトライボロジー技術によってその耐久性を確保している。

今後は、差動制限力の広範囲化や小型軽量化を進めることで、ギヤ式 LSD の新たな市場を開拓していく。

### 3. ドライブシャフトの動向

#### 3.1 小型軽量化

ドライブシャフトは主に独立懸架サスペンション車両に用いられ、デファレンシャルからホイールへの駆動力の伝達を行うユニットである。図16に、車両でのドライブシャフト取付け位置を示す。ドライブシャフトの役割としては、ホイールへの駆動力伝達とステアリングの操舵やサスペンションの上下変位に対応し、あらゆる角度で回転を等速に伝達することである。図17にドライブシャフトの構成を示す。ドライブシャフトは、二つの等速ジョイント (CVJ) とそれらを結ぶ中間軸から構成されている。デファレンシャル側の CVJ には主にスライド式の CVJ が用いられ、軸方向の伸縮を可能にし、かつ、滑らかな駆動力伝達を行うことが求められている。また、タイヤ側の CVJ には主に固定式 CVJ が用いられ、広交差角時でも滑らかな駆動力伝達を行うことが求められている。

ドライブシャフトに対する各自動車メーカーからのニーズは、他の駆動ユニットと同様に、燃費向上のための小型軽量化と静粛性である。このニーズを受けて、サプライヤ各社は、内部諸元最適化設計による小型軽量化やデファレンシャル側にダブルローラの低振動タイプ CVJ を開発し、市場投入してきた。また近年では、タイヤ側にボール溝形状を変更してトルク伝達時に発生する内部荷重を打ち消し合い、ケージとアウトレースなどの間で発生する摩擦損失を低減し、高効率化を図った CVJ も一部車種に採用されている。

今後も、環境負荷低減の要請に対して車両の燃費向上に貢献するため、ドライブシャフトはさらなる小型軽量化が進み、同時に、ジョイントの低損失化や静粛性の向上に対応するための低振動化も進むと考えられる。

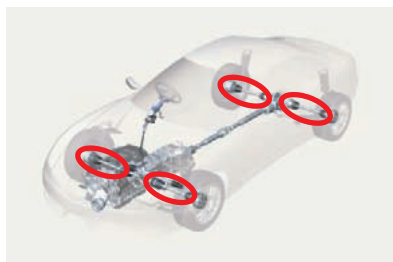


図16 ドライブシャフト取付け位置  
Mounting position of driveshaft

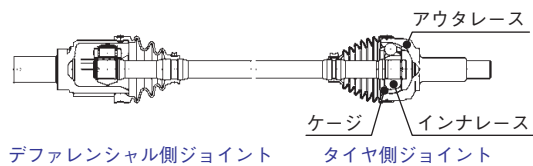
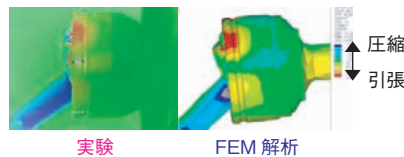


図17 ドライブシャフト  
Driveshaft

### 3.2 当社のドライブシャフト関連開発技術

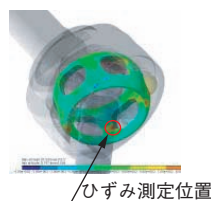
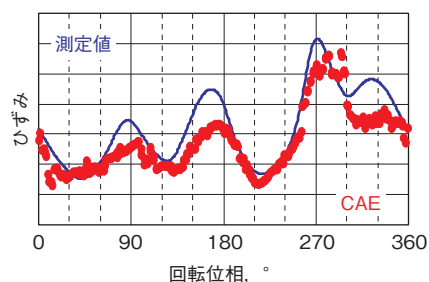
当社も小型軽量化を推進し、2012年に新型 CVJ を市場投入した。小型軽量化を達成するには、安全率に余裕のある部分を最適化し、その余裕部分を小型軽量化に振り向けることである。そのためには、ドライブシャフトの作動時の応力測定精度の向上と、その測定結果を CAE 解析にフィードバックし机上解析精度を向上することが必要である。図18には、赤外線による実機での応力測定結果と FEM 解析の照合結果を示す。物質が圧縮荷重を受けると発熱し、引っ張り荷重を受けると吸熱する原理を応用した測定技術で、従来のひずみゲージでは測定できなかった最大応力とその発生位置を正確に測定することが可能となり、それにより、FEM 解析による高精度の机上計算が可能となった。図19には、ケージによる応力解析の実施例を示す。タイヤ側に取り付けられる CVJ はステアリング操舵に応じて大きな角度を取る。その時のジョイント内の応力分布は複雑であり、正確に把握することが困難であったが、機構と応力の練成解析により、実機応力変動を正確に再現することを可能とした。これらの技術を活用して、安全率を最適化し、当社従来品と比べ外径で 4% の小型化、8% の軽量化が可能となり、図20 に示すように、現在市販されている中で最も小型軽量な CVJ を実現した。



アウト表面応力を正確に把握し、小型設計に活用

図18 赤外線応力測定と FEM 解析結果の照合  
《赤外線による応力測定手法》

Cross-check of FEM analysis results with infrared stress measurement



機構+応力の連成解析によりケージ応力変動を定量化し、小型設計に活用

図19 ケージ動的応力解析  
Dynamic cage stress analysis

また、先の AWD システムの動向で述べたように、FF をベースとした電子制御オンデマンド AWD が増加しており、このシステムは、後輪に流れるトルクを各種センサからの情報を基に最適にコントロールし、高い AWD 性能と燃費向上を狙ったものであり、後輪へ配分する最大トルクをコントロールすることで、後輪側の駆動ユニットの必要強度を下げることが可能である。したがって、電子制御オンデマンドの後輪用ドライブシャフトに求められる機能としては、比較的低いトルク伝達と、車輪の上下動の動きに対応する作動角を付与すればよく、この点に着目し、機能を限定した後輪専用の小型軽量ドライブシャフトを開発した。主な特長は、最大作動角を FF 車用の 50 度に対して、23 度に限定して、アウトレースを小型化したことである。これにより、通常の前輪用ドライブシャフトに対して 10% の軽量化を達成した(図21)。

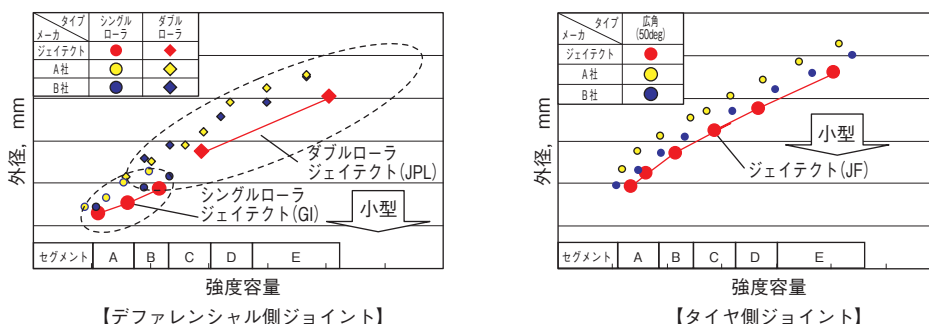


図20 強度容量とアウトレース外径

Static torsional strength and outer race outer diameter

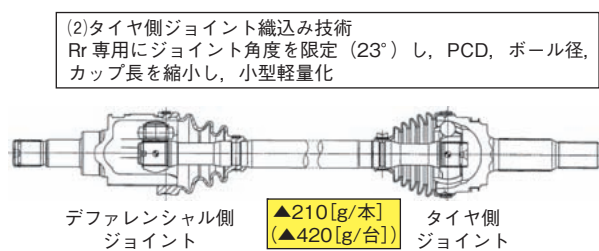


図21 後輪専用小型軽量ドライブシャフト  
Compact/lightweight driveshaft for rear axle

今後は、小型軽量化をさらに進めるとともに、高効率化、低振動化を実現できる新たなドライブシャフトの市場投入を目指し商品開発を進める。

#### 4. プロペラシャフトの動向

##### 4.1 衝突安全性向上・軽量化

プロペラシャフト(図22)は、車両衝突時のリスク(燃料漏れによる出火や乗員の怪我)最小化を目的として、さまざまな方策が施されている。チューブやプロペラシャフト用 CVJ はクラッシュャブル構造化により衝撃を吸収し、センタベアリングブラケットは衝突時に車両アンダーボディから脱落させる構造にすることで、プロペラシャフトの車室内への貫通を防ぐ。

また燃費向上の観点から、さまざまな軽量化アイテムが採用されている。CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) やアルミへの材質の変更は 1990 年代から一部高級スポーツカーなどに採用されてきたが、採用車両は限定されている。これは軽量化効果はあるが、鉄製よりも直径が大きくなり、車両搭載性が悪化することと、コスト面で課題があるためである。より高強度化を達成することで上記課題が解決されれば、採用は拡大すると思われる。

また、FF をベースにした AWD では、これまで述べ

てきたように、電子制御オンデマンド AWD が主流となってきており、この場合、後輪側へのトルク配分がコントロールできるため、プロペラシャフトもより軽量化できるというメリットがあり、各メーカーは軽量化を進めてきている。具体的には、フックスジョイントの小型化と、プロペラシャフト用 CVJ の小型化が大きく貢献している。



図22 プロペラシャフト  
Propeller shaft

##### 4.2 当社のプロペラシャフト関連開発技術

###### 4.2.1 プロペラシャフト用 CVJ

プロペラシャフトにはフックスジョイントが一般的に採用されているが、乗り心地向上の観点から、角度をつけても回転変動が起きない CVJ が一部採用されている。

また、FF ベースの電子制御オンデマンド AWD には、エンジンおよびデファレンシャルの軸方向への動きが振動の原因となることから、スライドタイプの CVJ が必要である。

当社は、スライドする DOJ (ダブルオフセットジョイント) タイプ (図23) の軽量化に取り組み、2013 年に市場投入した。ドライブシャフト用 DOJ の構造をベースに、ドライブシャフトよりも入力トルクが小さく、より高速で回転するという特長に合わせ、強度や軸受耐久性重視の観点から各部品のサイズ・クリアランスをプロペラシャフト用に最適化した。



また、プロペラシャフト特有の高速回転時の発熱を抑制するために、ボール×ボール溝の曲率比を見直し、ボール接触面がボール溝エッジ部にかからない設計とした。

結果として、当社従来品（ドライブシャフト用）に対して、同等の強度と耐久性を確保したまま 12% の小型化と 28% の質量低減（図24）を実現した。

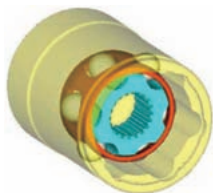


図23 DOJ  
DOJ

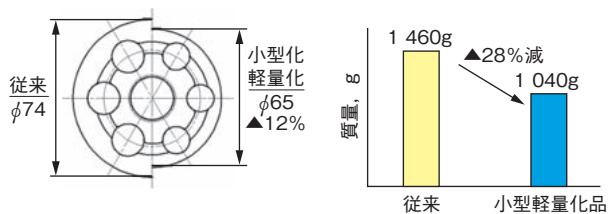


図24 最大外径と軽量化効果

Maximum outer diameter and results of weight saving

#### 4.2.2 フックスジョイントの小型化

従来、プロペラシャフトのフックスジョイント部は、フランジヨークとコンパニオンフランジをボルトで固定する構造（図25）が一般的であった。これに対し、ボルト締結を廃止したセンタヨーク構造（図26）にすることで、部品点数を削減し約 48% の軽量化を達成し、2015 年 4 月に市場投入した。

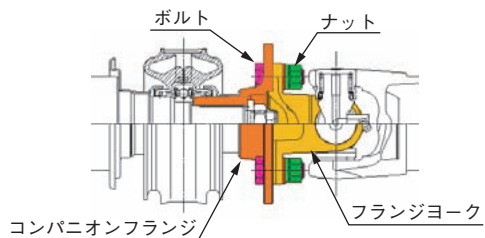


図25 ボルト締結構造  
Bolt tightening structure

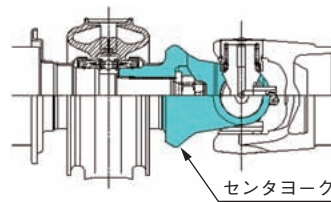


図26 センタヨーク構造  
Center yoke structure

当社は、プロペラシャフトを構成するフックスジョイント、センタベアリング、CVJなどの要素技術を有しており、今後これら要素技術をさらに進化させ、より軽量化を図ったプロペラシャフトに繋げていく。

### 5. トランスミッションの動向

トランスミッションは走り方や道路状況から期待される性能が市場ごとに異なり、スムーズな走り、出足の良さ、追越し加速の良さ、素早い変速性能、ダイレクト感などの要求の中で何を重視するかによってMT、AT、CVT、AMT、DCTなどさまざまな形式が採用されている。近年は低燃費化のニーズに対応するため、よりエンジンを最適運転するためにATの多段化（8速AT、9速AT）や副変速機付きCVTなど変速比幅が拡大してきている。また、燃料消費を抑制するため減速時の燃料消費の削減や停止時のエンジン停止に対応する技術が要求されている。

#### 5.1 オイルポンプの動向

ATのクラッチ切替えやCVTのプーリ位置制御は油圧で作動しており、トランスミッションにはそのためのオイルポンプが搭載されている。オイルポンプは従来から内接ギヤポンプが採用されており（図27）、主にはエンジン出力軸上に配置されてエンジンの駆動力で必要な流量を供給している。近年は省スペース化、高効率化のニーズから、オイルポンプをエンジン出力軸上から移動して別軸に取り付けて、チェーン駆動することによるオイルポンプの小型化や、高圧化、低騒音化などの狙いからベーンポンプの採用が増加している（図28）。また、必要な流量だけ供給できるように可変容量化や、ハイブリッドに対応できるように電動化のニーズも高まっている。



図27 CVT 用内接ギヤポンプ外観  
Appearance of CVT internal gear pump

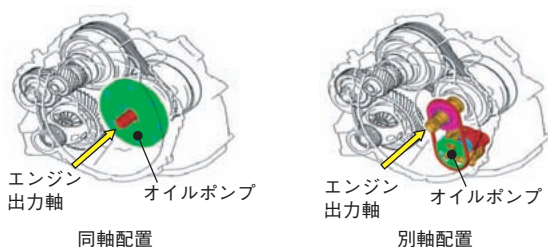


図28 CVT 用内接ギヤポンプ搭載例  
Mounting example of CVT internal gear pump

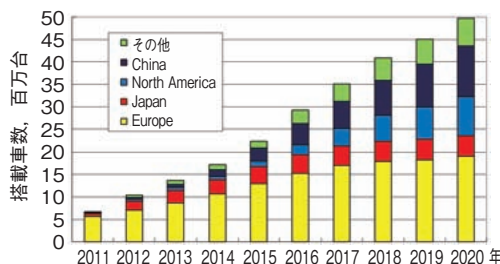


図29 アイドルストップ需要予測 出典：IHS  
Predicted demands for idle stop Source: IHS

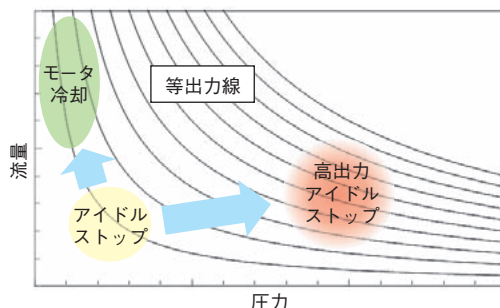


図30 用途別の出力イメージ  
Representation of output according to application

## 5.2 電動オイルポンプの動向

低燃費化技術として、停車中にエンジンを止めるアイドルストップ機能搭載車が増加しており、今後も拡大していくと予想される(図29)。

アイドルストップシステムは、エンジンの再始動時に駆動トルクを短時間にタイヤに伝えるためにトランスミッションのクラッチ係合を瞬時に行う必要があり、エンジン停止中もこのクラッチ用油圧を保持するため、エンジン停止中のみ作動させる電動オイルポンプ(EOP)が必要となる。しかしながら、近年は、軽自動車や小型車を中心に低コストを狙いとしてEOPを使用せず、アクムレータまたは電磁ポンプで成立させている事例が増加している。

一方、さらなる燃費向上のため停止直前の減速時にエンジンを停止させるシステムも増加傾向にある。将来的には、コースティングと呼ばれる高速走行中のアクセルオフ時にエンジンを停止させる可能性も高まっており、アイドルストップ領域が拡大していくと考えられる。

こういった走行中からのエンジン再始動にも適合するためにはEOP高圧化の必要があり、高出力タイプEOPの開発が必要である。またハイブリッド車、EVも車両サイズが拡大傾向にあり、高出力化したそれらのモータを冷却する技術の一つとしてEOPによる油冷が想定される。これらのニーズに対応するEOPの開発も必要である(図30)。

## 5.3 リニアソレノイドバルブの動向

トランスミッションでは、オイルポンプにより発生した油圧を制御し、車両状態に応じ滑らかでショックのないスムーズな変速をするためATではクラッチ切替え、CVTではプーリとベルトの接触半径を変更するための油圧制御用部品としてリニアソレノイドバルブが使用されている(図31)。

近年の多段ATでは、リニアソレノイドバルブはトランスミッション1台当たり6~8本使用される。多段化を進めるとバルブ数が増えることになるが、リニアソレノイドバルブの高圧・大流量対応によるクラッチ油圧の直接制御化により、減圧弁や調圧弁を不要として油圧回路の簡素化も進んでいる<sup>8), 9)</sup>(図32)。

この直接制御の効果としては、従来の6速ATとほぼ同等サイズの8速ATをクラッチ数低減の効果と合わせることで実現して燃費向上した事例、変速応答性と滑らかさの両立により「走る喜び」を追求し、ダイレクト感をアピールしている事例などがある<sup>10)</sup>。

また、リニアソレノイドバルブでリークする油量を減らすことで、油圧源であるオイルポンプの必要流量を削減できることからオイルポンプの小型化が可能となり、ひいては燃費向上に繋がるためリーク量低減の取り組みが進んでいる。

今後、トランスミッションについては、ATの多段化やCVTのレシオカバレッジ拡大でさらなる燃費向上の取り組みは進み、リニアソレノイドバルブに対しては従来以上の高圧・大流量化、低リーク化、省スペース化が求められると考えられる。

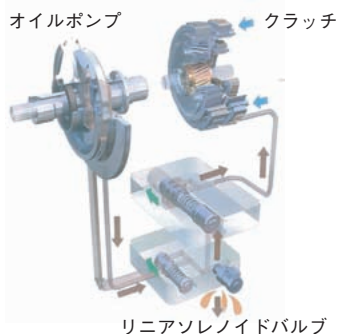


図31 AT中のリニアソレノイドバルブ<sup>7)</sup>

Linear solenoid valve<sup>7)</sup> during automatic transmission

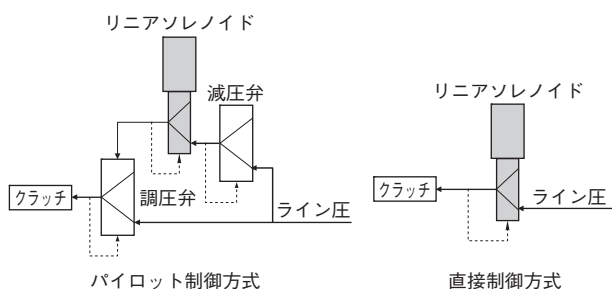


図32 クラッチ油圧の直接制御化

Direct hydraulic control of clutch

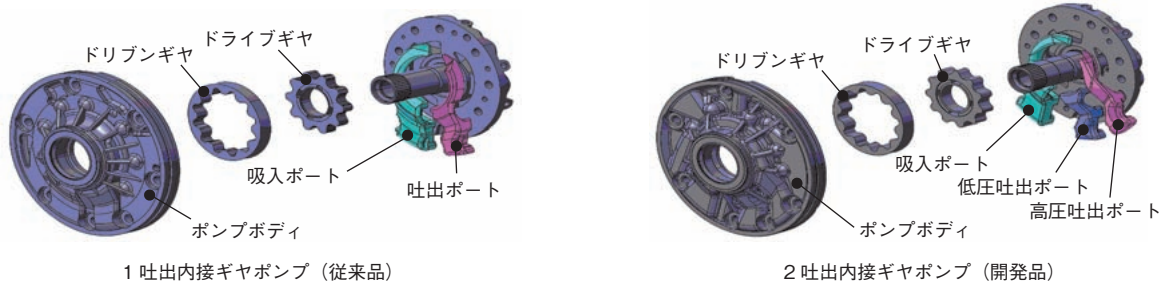


図33 2吐出内接ギヤポンプ

Internal gear pump with two discharge ports

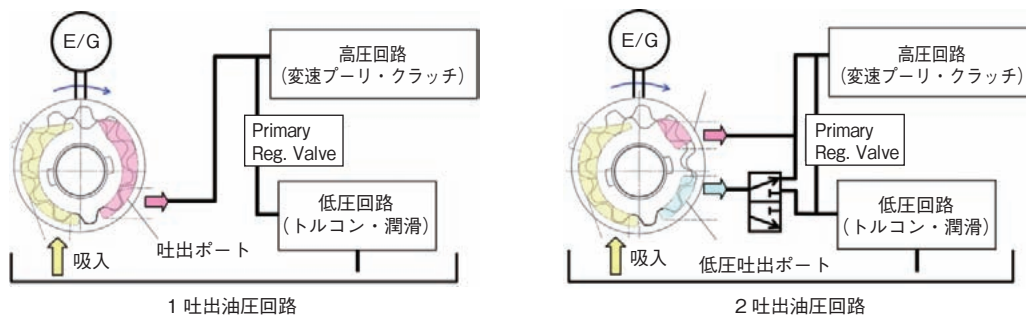


図34 1吐出と2吐出の油圧回路の違い

Difference between hydraulic circuit with one discharge port and hydraulic circuit with two discharge ports

## 5.4 当社のトランスミッション関連開発技術

### 5.4.1 2吐出オイルポンプ

当社では、従来品は一つだった内接ギヤポンプの吐出ポートを二つに増やし、高圧吐出ポートと低圧吐出ポートに分割した省エネルギータイプのオイルポンプを2013年に市場投入した(図33)。高圧ポートは変速プーリ、クラッチ制御などの高圧回路、低圧ポートはトルクコンバータ、潤滑などの低圧回路に使用する。

CVTの場合、加速時にはプーリの移動量が大きいため高圧の流量を多く必要とするが、定速走行時にはチェーンが滑らない程度にプーリを挟む力を保持するだけでよいため必要な流量は少ない。従来品は、オイルポンプの吐出流量の全てをシステムで必要な一番高い圧力にして、それぞれの回路に必要な圧力に調整して分流しているため、低圧回路で使用する流量を高圧から低圧に調整する無駄な仕事をしている(図34)。これを削減することができれば、効率を向上することができる。

2ポートの場合は低圧回路で使用する流量は低圧ポートから供給するため、無駄な仕事が発生せず、その分の仕事を低減することができる。エンジン回転が低く高圧ポートの流量が不足する場合には、低圧ポートから高圧ポートに合流させることで必要流量を確保している。

これらを運転状況に応じて使い分けることで、ポンプ駆動トルクを従来品から約 25% 低減、車両燃費で 0.5% (JC08 モード) の効率の向上を実現した。

### 5.4.2 小型軽量 EOP

当社は、2000 年にブラシ付きモータに内接ギヤ式ポンプを組み込んだ EOP を開発、量産化し、2004 年にはポンプ、モータ、コントローラのインテグレート化、ブラシレスセンサレスモータの搭載によって小型軽量化と効率向上を実現した。EOP には小型化と効率向上が求められており、体格と効率の変遷を図35 に示す。

2012 年には扁平モータ、軸受配置の工夫により全長短縮、省エネルギー制御を特長とした、さらなる小型軽量化と効率向上を達成したモデルを市場に投入した(図36)。

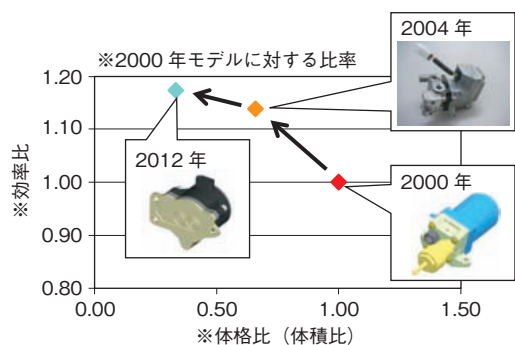


図35 EOP の変遷と外観  
Change and appearance of EOP

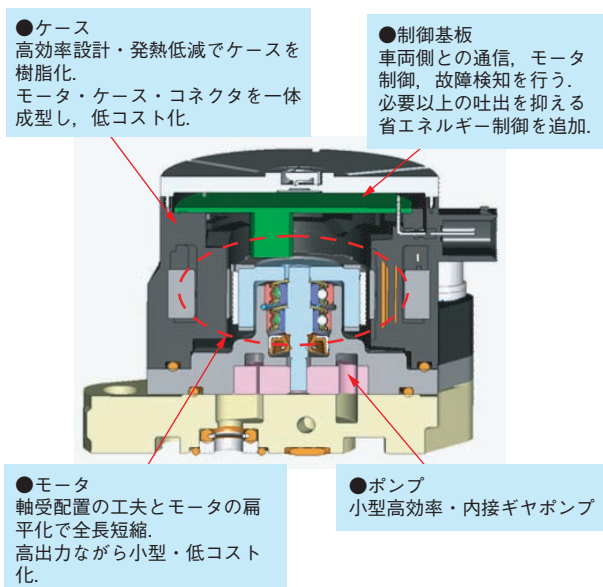


図36 最新モデルの特徴  
Characteristics of latest model

今後は、優れた小型軽量化、高効率技術を活かし、種々の用途に対応した商品開発を進める。

### 5.4.3 小型軽量リニアソレノイドバルブ

先に述べたように、リニアソレノイドバルブからのリーク油量を減らすことは油圧源であるオイルポンプの小容量化を可能とする。オイルポンプが小容量化するとエンジンへの負荷トルクが減り、燃費が改善される。当社では、低リーク化の独自技術としてバルブ絞り部を従来の1箇所から直列2箇所化した小型軽量のリニアソレノイドバルブを開発し(図37)、2012年に市場投入した<sup>11)</sup>。

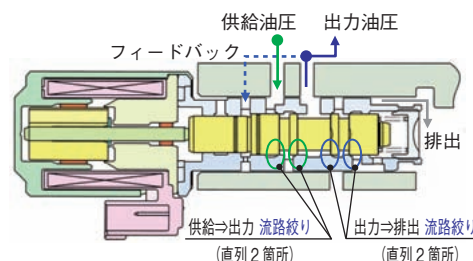


図37 バルブ絞り部の直列2箇所化  
Valve throttle modified to two serial locations

これにより  
シール長さ=ストローク (従来構造)  
の関係を  
シール長さ=ストローク×2 (開発構造)  
と変えることができる。つまり、この構造ではストロークに対してシール長さが2倍となり、その結果、リーク量を半減できる。また、同じシール長さであればストロークは半減となり、磁気回路のエアギャップが狭くできることから電磁部を小型化できる。図38 に示すように従来はリーク量から一義的に決まっていたストロークに設計の自由度が得られ、リーク量削減と小型化が両立できるようになった。

開発したリニアソレノイドバルブでは、当社従来品に対しリーク量 27% 減、電磁部体格 (体積) 47% 減を達成した。

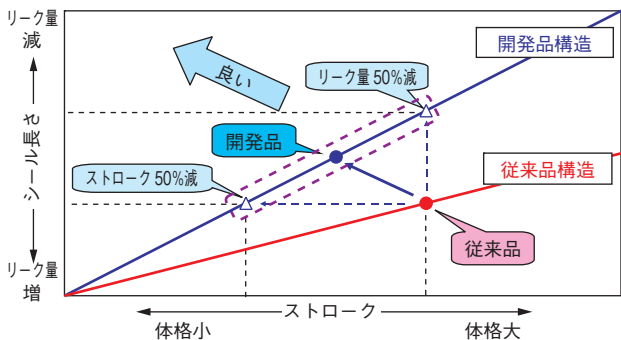


図38 リーク量低減と小型化の両立

Leak amount reduction along with compactness

今後は、さらなる高圧化，低リーク化，省スペース化へ向けた開発を進める。

## 6. おわりに

本報では、当社の主要製品事業の一つである自動車用駆動ユニットに関連した技術の動向と取り組みを紹介した。駆動ユニットの領域でも、今後ますます地球環境対応と安全性の向上へ向けた技術開発が進むものと考えられる。当社は、本報で紹介してきたように、ドライブラインにおいても、トランスミッションにおいてもそれらを構成する多くのユニット技術を有している。これらの技術をコアとして、No.1 & Only One と言える次世代のユニット開発へ繋げていくとともに、従来にはない新たなシステム提案へと繋げて行き、地球環境対応と安全性の向上に貢献していきたい。

\* 1 ITCC, トルセンは、株式会社ジェイテクトの登録商標です。

## 参考文献

- 1) 安藤淳二, 安藤寛之, 津田拓也, 鈴木邦彦, 新川善弘: 高性能新電磁クラッチを用いた第3世代電子制御AWDカップリングの開発, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1011(2013)19
- 2) 安藤浩之: DLC-Si 被覆電磁クラッチを用いた次世代電子制御AWDカップリングの開発, フルードパワーシステム, 第45巻第2号(2014)9
- 3) 牧野茂雄: 可能性を秘めた4WDの姿, Motor Fan illustrated, vol. 69(2012年)p49
- 4) 松田勇治: 4WD実例8, Motor Fan illustrated, vol. 6(2007)42

- 5) 浅井康夫, 阪田隆敏, 行竹康博, 奥村繁一, 伊藤大吾: JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1003(2007)46
- 6) 井上昌弘: フルードパワーシステム, vol. 43, No. E1(2012)E39
- 7) Motor Fan 別冊, TRANSMISSION Bible, 三栄書房(2012)113
- 8) クラッチ圧直接制御AT用リニアソレノイド, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1003(2007)69
- 9) 丹羽研二: 8速自動変速機の開発, 自動車技術, vol. 62, No. 3(2008)53
- 10) 土井淳一, 鎌田真也, 丸末敏久, 岩下典生, 三谷明弘, 宮濱芳文: SKYACTIVE-DRIVEの開発, マツダ技報, No. 30(2012)19
- 11) 高西孝一, 村上敏夫, 藤田かおり, 小野 樹: 小型高効率リニアソレノイドの開発, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1011(2013)35

## 筆者



酒井俊文\*  
T. SAKAI

\* 執行役員