

## 小型高効率リニアソレノイドの開発

### Development of Compact and High Efficient Linear Solenoid

高西孝一 K. TAKANISHI 村上敏夫 T. MURAKAMI  
藤田かおり K. FUJITA 小野 樹 I. ONO

We JTEKT have developed and started the production of a proportional controlled solenoid valve (linear solenoid valve) for compact, highly efficient, and highly accurate automatic transmissions. The developed product is the first in the world to have a double-throttle valve structure on the hydraulic pressure adjustment part. By having a highly efficient magnetic circuit for the electromagnetic portion and by adopting a double-throttle valve structure on the hydraulic pressure adjusting part (first in the world), we were able to halve its size and mass compared to the conventional product, and were also able to reduce the flow volume loss at hydraulic pressure adjustment by approximately 30%. This contributes to improved vehicle fuel consumption. JTEKT plans to use the newly structured solenoid valve on a wider scale, and will implement design optimization, aiming at low fuel consumption vehicles.

**Key Words:** Linear Solenoid Valve, high fuel efficiency, flow rate consumption, downsizing, weight reduction

### 1. はじめに

地球環境問題意識の高まりと、原油価格高騰への対応のため、自動車のCO<sub>2</sub>排出の削減、燃費向上への取り組みが必須となってきた。車両のドライブトレインの分野からは、その対策技術として無段変速機(CVT)、アイドルストップ、低消費流量ポンプおよび電動モータとのハイブリット化技術などが注目されている。

当社では1981年にオートマチックトランスミッション(AT)用の比例制御電磁弁(リニアソレノイド)の生産を開始して以来、パイロット制御用、ダイレクト制御用、およびCVTのシフト制御用と様々な用途の電磁弁を開発し量産している。今回、昨今の要求に対応するため、低燃費車両をターゲットにした小型・高効率リニアソレノイドを開発したので紹介する。

### 2. 開発のねらい

リニアソレノイドはAT内でオイルポンプにより発生した油圧を制御することにより車両状態に応じてショックのないスムーズな変速ができるようクラッチの切替動作を制御(変速制御)するものである。

車両メーカーからの要求に対応するため、リニアソレノ

イドに対して以下の目標を設定した。

- ①小型化：従来品に対し、大きさと質量を50%減  
⇒車両への搭載性向上、車両(AT)の軽量化
- ②高効率化：従来品に対し、油圧調整時の流量ロスを20%減  
⇒車両の燃費向上
- ③高精度化：従来品に対し、油圧ヒステリシスを20%減  
⇒油圧ばらつきの低減により制御性を向上

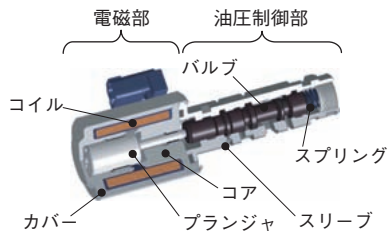
### 3. 開発品の概要

#### 3.1 開発品の構成と主開発アイテム

開発したリニアソレノイドを図1、構成を図2、および主開発アイテムを表1に示した。



図1 開発したリニアソレノイドの外観  
Exterior of the developed linear solenoid valve



- ・電磁石を用いてバルブを開閉し油圧を制御する。
- ・自動変速機 (AT) や無段変速機 (CVT) に代表されるトランスミッション内でライン圧を制御しクラッチ切替動作する (変速制御)
- ・当社リニアソレノイドは消費流量・制御性に優れた構造を採用し燃費向上・変速ショック低減に貢献。

図2 リニアソレノイドの構成と動作  
Structure and motion of linear solenoid valve

表1 リニアソレノイドの主開発アイテム  
Main development points of the linear solenoid valve

アイテム	開発内容	目的	
1	磁気回路の最適化	磁気吸引部の中央配置, エアギャップ低減等により, 磁気回路の高効率化開発	・電磁部の小型化 ・作動ストローク短縮 ⇒油圧制御部の小型化
2	バルブ絞り部の直列2箇所化	ストローク当りの実質シール長を倍増する新構造の開発	・油圧流量ロス低減による高効率化
3	軸受構造変更	プランジャ支持による軸受部面圧低減	・油圧制御性の向上

### 3.2 主開発アイテム

#### 3.2.1 磁気回路の最適化

リニアソレノイド電磁部を小型・軽量化するため, 磁気回路の最適化 (吸引力の高効率化) により電磁コイルの巻線数の低減を検討した。その結果, 最終的に以下の四項目を採用し, 漏れ磁束を 60% 低減させた。

具体的な方策としては, 吸引力に大きく影響するプランジャとコア間の磁気渡し部分に着目した三項目 (①~③) と, カバーからプランジャへの磁路に着目した一項目 (④) である。

①	吸引位置をコイルの中央部へ変更
②	プランジャのストローク短縮 (30% 減)
③	プランジャ×コア間の径方向クリアランス削減 (40% 減)
④	磁気渡し部の変更 (ヨーク部⇒ヨーク部+端面部)

	構造	磁場解析結果
従来品		
開発品		<p>漏れ磁束 60% 減</p>

図3 磁気回路の最適化  
Optimization of the magnetic circuit

これらの項目による磁気回路の最適化 (図3) により, 小型化目標を達成することができた。

#### 3.2.2 バルブ絞り部の直列2箇所化

本開発に当たり, 油圧制御部のバルブのポート部に構成される絞り部 (シール部分) を従来の1箇所から直列の2箇所 (図4) とすることで, ストロークあたりのシール長さを2倍にする構造を考案した。これにより

シール長=ストローク (従来構造)

の関係を

シール長=ストローク×2 (開発構造)

と変えることができる。つまり, この構造の特長は寸法を大きくすることなくシール長さを倍増し, その結果, ストローク長さあたりの油圧流量ロスを半減できることである。

開発品では, 前述した「プランジャストローク短縮 (30%)」により油圧制御部のバルブストロークも短縮している。従来構造であればシール長が 30% 低減するところ, 本構造の採用により実シール長を増加させることができ, 小型化と流量ロス低減を両立させることが可能になった (図5)。

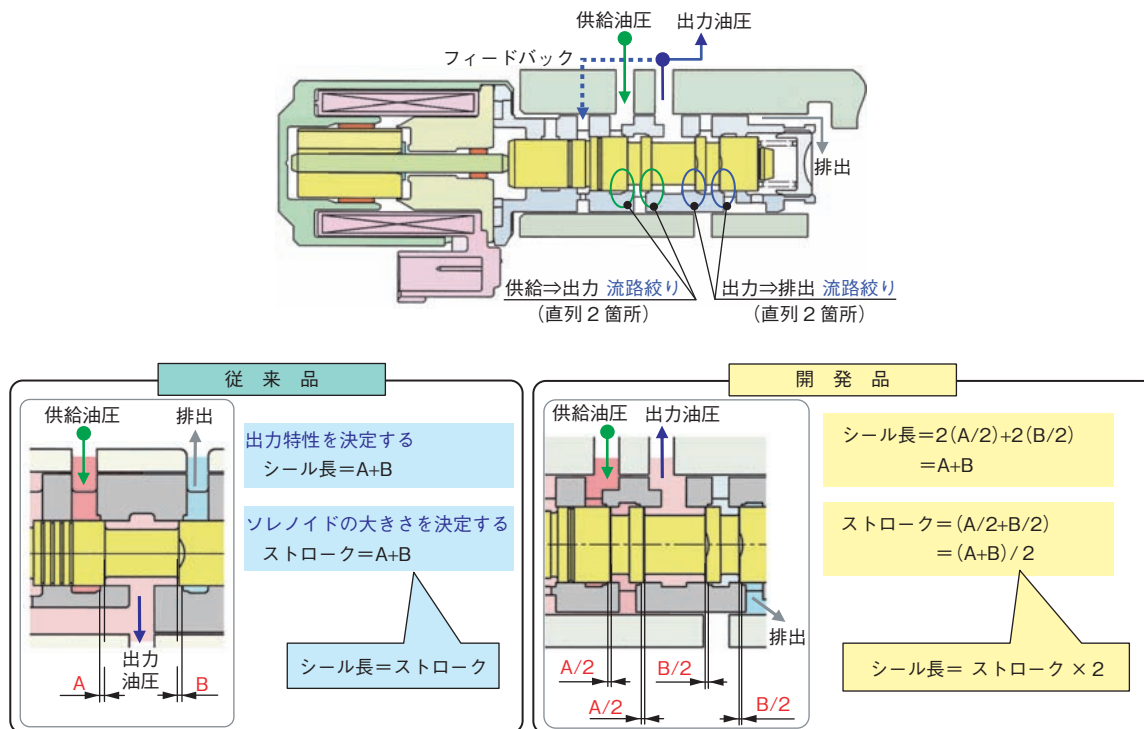


図4 バルブ絞り部の直列2箇所化  
Creating a valve with a series of two throttles

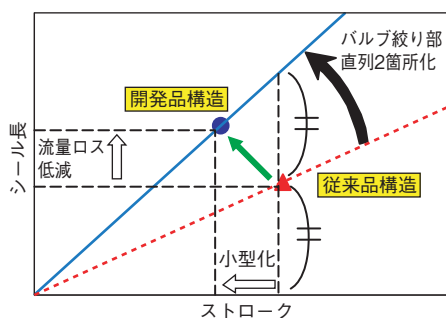


図5 バルブ絞り部の直列2箇所化の効果  
Results of the double-throttle valve

	構造	電流-油圧特性
従来品	シャフト支持 $\phi D$	ヒステリシス: $\Delta$ 圧力, kPa 電流, A
開発品	軸受大径化による面圧低減 プランジャ支持 $\phi(D \times 3)$	低ヒステリシス化 ヒステリシス: $\Delta \times 0.8$ 圧力, kPa 電流, A

図6 軸受構造変更  
Changes to the bearing structure

### 3.2.3 軸受構造変更

リニアソレノイドに求められる油圧特性の高精度化に対しては、電磁部で吸引力を受けて可動部となるプランジャの軸受支持構造を変更することで対応した(図6)。

従来品ではプランジャにシャフトを貫通させてアセンブリ化し、このシャフト部の上下2箇所には軸受部品となるブッシュを用いて2点支持としていた。開発品では、一方のブッシュ支持部を外径の大きいプランジャ(シャフトの約3倍)とすることで軸受部の面圧を低減した。これにより、軸受支持部にかかるしゅう動抵抗(最大値)を35%低減し、油圧特性のヒステリシスを20%低減することができた。

### 3.3 開発結果

これらの開発項目を織り込んだリニアソレノイドは、開発目標値を達成した(図7)。特に小型・軽量化に関しては車両への搭載性だけではなく、車両燃費向上、変速フィーリングを改善する制御性向上にも貢献しており、今後の展開においても重要なアイテムであることが確認できた。また、この開発構造は大幅なコスト低減にも貢献している。

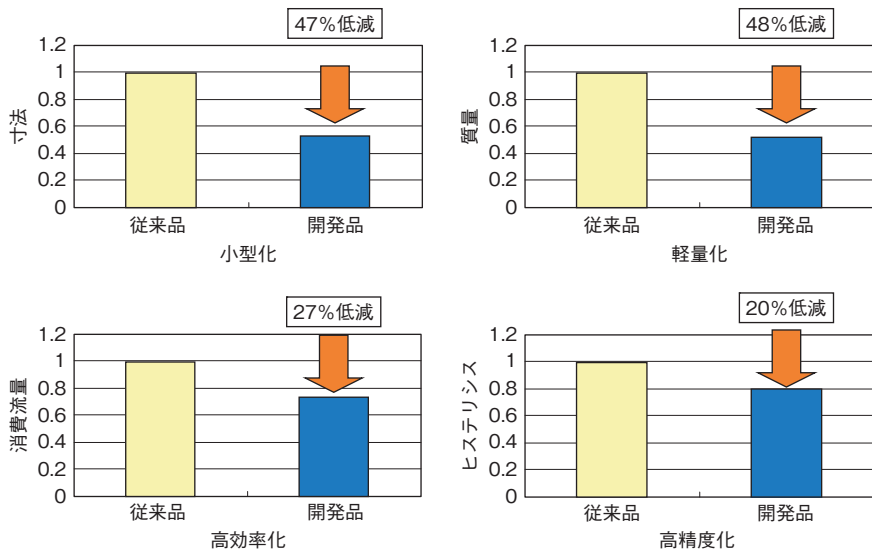


図7 開発結果  
Development results

#### 4. 製品のシリーズ化

ここでは、中型と大型 CVT のシブコントロール向けのリニアソレノイドについての開発事例を紹介した。これらは、すでにミディアムクラス、ミニバン車両に採用されており、現在量産中である（図8）。使用環境が高圧領域であり高応答が要求されるダイレクトタイプのリニアソレノイド、ならびに低圧領域でありさらなる小型化・軽量化が求められる小型車両用のパイロットタイプのリニアソレノイドについても、本技術を基にしてすでに開発が完了している（図9）。

#### 5. おわりに

車両の燃費向上を目的として、AT 用の小型・高効率リニアソレノイドを開発した。今後は、この新構造を持つリニアソレノイドの採用拡大に取り組み、低燃費車に照準を合わせた展開と最適化設計を推進していく。

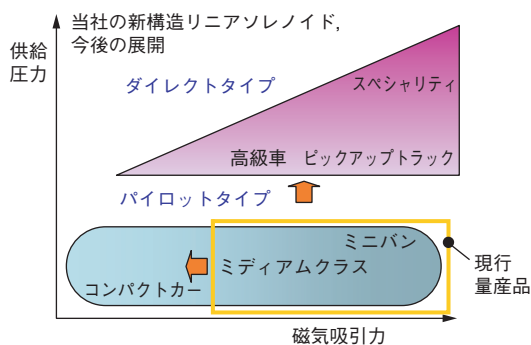


図8 製品のシリーズ化  
Creating a product series

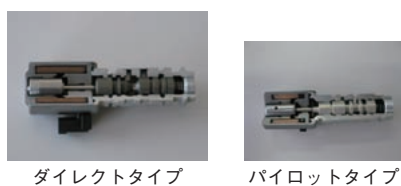


図9 ダイレクトタイプと小型パイロットタイプの外観  
Exterior of the direct type and compact pilot type

#### 筆者



高西孝一\*  
K. TAKANISHI



村上敏夫\*  
T. MURAKAMI



藤田かおり\*  
K. FUJITA



小野 樹\*  
I. ONO

\* 自動車部品事業本部 油圧システム技術部