

オートマチック・トランスミッション用 小形ソレノイドバルブ

The Compact Solenoid Operated Valve for Automatic-Transmission of Automobile

キーワード

AT (オートマチック・トランスミッション), SOL (ソレノイドバルブ), ON/OFF 弁, DUTY 弁, 耐久性, 作動耐久性, 熱的耐久性, 振動耐久性

油圧製造所技術部
中田修一

■ 摘要

自動車 AT 用ソレノイドバルブは、近年の AT 化により需要が増大するとともに、機能の高度化、耐久性の向上が要求されている。

ここでは、自動車 AT 内でのソレノイドバルブの性能とその過酷条件下での耐久性について述べる。

■ Abstract

Recently, solenoid valves for AT (Automatic-Transmission) of automobiles are required high-ability, improvement of durability with enlargement of AT using automobiles.

This paper introduces ability, durability of solenoid valves for AT using automobiles.

1. はじめに

国内の自動車の約 8 割は AT (自動変速機, Automatic-Transmission) 搭載車で、そのほとんどが今や電子制御化されている。電子制御 AT は、速度センサー等の各種センサーからの情報およびアクセル開度等の運転者からの情報をコンピューターで総

合的に判断し、走行条件に応じた最適な制御信号を各種アクチュエータに与えて走行状態を制御する。本稿で述べる小形ソレノイドバルブ (図 1. 以下 AT 用 SOL と略す。) は、このアクチュエータの 1 つとして、変速時のクラッチ締結の油圧力等を制御する。ここでは、自動車の AT 内の条件下で使われるソレノイドの具備すべき性能、耐久性について述べる。

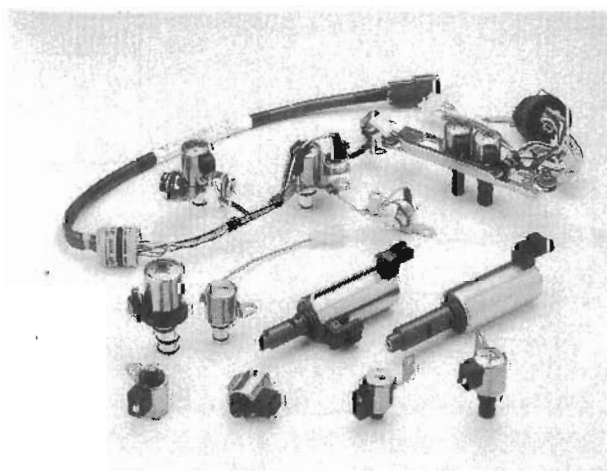


図 1 不二越の各種自動車用ソレノイドバルブ

2. 不二越の AT 用 SOL

不二越で商品化している AT 用 SOL として、以下の製品がある。

- ① 2 方 ON/OFF 弁
(ノーマル・オープン, ノーマル・クローズ)
- ② 2 方 DUTY 弁
(ノーマル・オープン, ノーマル・クローズ)
- ③ 3 方 ON/OFF 弁
(ノーマル・オープン, ノーマル・クローズ)
- ④ 3 方 DUTY 弁
(ノーマル・オープン, ノーマル・クローズ)
- ⑤ 比例減圧弁 (ノーマル・クローズ)
- ⑥ 4 方 ON/OFF 弁 (P ポートブロック)

表1 2方弁についての比較表 (数値は代表値)

| バルブの種類 | 2方 ON/OFF 弁 | | 2方 DUTY 弁 | |
|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | ノーマルクローズ (ノーマルロー) | ノーマルオープン (ノーマルハイ) | ノーマルクローズ (ノーマルハイ) | ノーマルオープン (ノーマルロー) |
| 非通電状態 | P-T間閉止 | P-T間開放 | P-T間閉止 | P-T間開放 |
| 各部の寸法 | A | φ 9.5 | φ 9.5 | φ 12 |
| | B | φ 24 | φ 24 | φ 24 |
| | C | 8 | 9 | 8 |
| | D | 28 | 29 | 33 |
| バルブ重量 | 70g | 75g | 90g | 90g |
| 最大供給圧力 | 1.7MPa | 1.7MPa | 0.5MPa | 0.5MPa |
| 常用圧力 | 0.5MPa | 0.5MPa | 0.4MPa | 0.4MPa |
| 流量 | 2L/min | 2L/min | 2L/min | 2L/min |
| 作動略図 | | | | |
| JIS 記号 | | | | |
| 特性 | | | | |
| 用途 | ・ATのシフトバルブ切替等 | | ATの各種圧力制御 | |
| 備考 | 樹脂品が主流となっている | | 3方弁へ移行中 | |

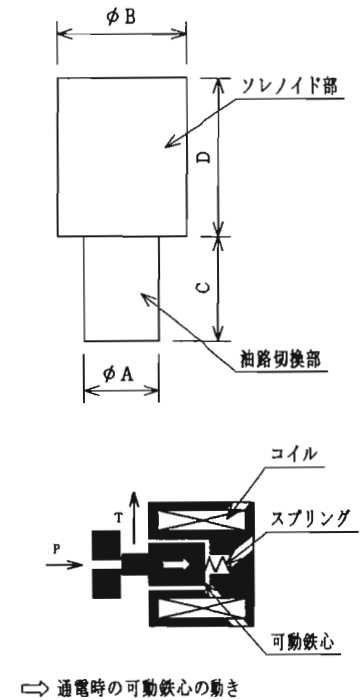
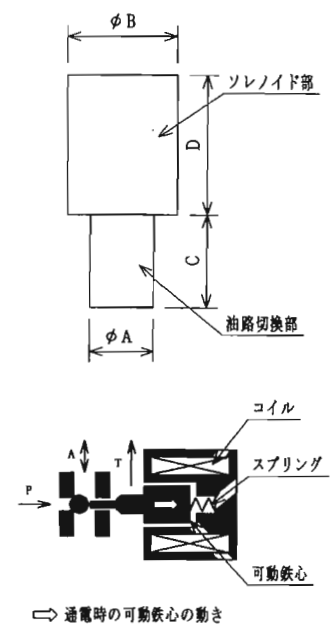


表2 3方弁についての比較表 (数値は代表値)

| バルブの種類 | 3方 ON/OFF 弁 | | 3方 DUTY 弁 | | |
|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | ノーマルクローズ (ノーマルロー) | ノーマルオープン (ノーマルハイ) | ノーマルクローズ (ノーマルロー) | ノーマルオープン (ノーマルハイ) | ノーマルオープン (ノーマルハイ) |
| 非通電状態 | P閉止, A-T間開放 | P-A間開放, T閉止 | P閉止, A-T間開放 | P-A間開放, T閉止 | P-A間開放, T閉止 |
| 各部の寸法 | A | φ 15.5 | φ 16 | φ 12 | φ 18 |
| | B | φ 24 | φ 24 | φ 24 | φ 24 |
| | C | 21 | 22 | 32.5 | 31 |
| | D | 30 | 31 | 37 | 35 |
| バルブ重量 | 85g | 85g | 85g | 85g | 130g |
| 最大供給圧力 | 1.5MPa | 2.5MPa | 0.6MPa | 0.6MPa | 1.5MPa |
| 常用圧力 | 0.4MPa | 0.4MPa | 0.5MPa | 0.5MPa | 1.0MPa |
| 流量 | 2L/min | 2L/min | 2L/min | 2L/min | 2L/min |
| 作動略図 | | | | | |
| JIS 記号 | | | | | |
| 特性 | | | | | |
| 用途 | ・ATのシフトバルブ切替等 | | | ATの各種圧力制御 | |
| 備考 | 樹脂品がへの移行 | | | 増量傾向あり | |



不二越では、'89年より自動車用油圧機器として量産化を開始し、当初2方弁から始まったSOLは、'93年には3方弁を加え、'95年からはDUTY制御を3

方弁で行うようになった。'96年からは比例減圧弁、4方弁の量産を開始し、特に比例減圧弁は今後増えていくものと思われる。

表3 比例減圧弁と4方弁についての比較表 (数値は代表値)

| バルブの種類 | 比例減圧弁 | 4方ON/OFF弁 |
|--------|--|---------------------------------------|
| 非通電状態 | ノーマルクローズ (ノーマルロー) P-T間閉止, A-T間開放 | ノーマルオープン (ノーマルロー) P閉止, L-R-T間開放 |
| 各部の寸法 | A | φ 18 |
| | B | φ 35 |
| | C | 60 |
| | D | 92 |
| バルブ重量 | 385g | 385g |
| 最大供給圧力 | 1.7MPa | 1.0MPa |
| 常用圧力 | 1.0MPa | 1.0MPa |
| 流量 | 6L/min | 6L/min |
| 作動略図 | | |
| JIS 記号 | | |
| 特性 | | |
| 用途 | ・油圧回路の圧力制御 | ・油圧回路の油路切換 |
| 備考 | 増加傾向あり | |

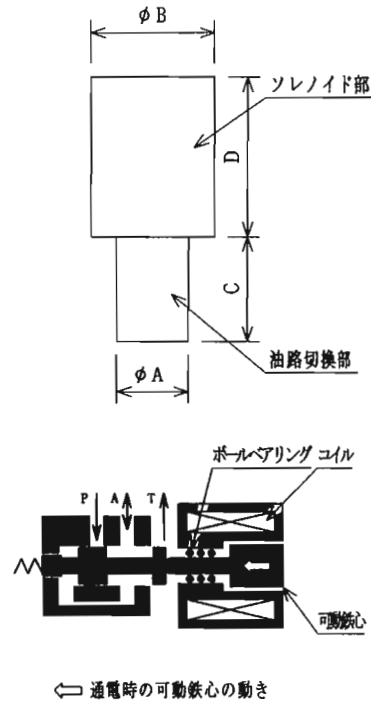


表4 2方弁と3方弁の比較

| 評価項目 | 取付について | DUTY制御における アキュムレーター容量 の影響 | 耐コンタミ性能 | 残圧と消費油量 | 外觀形状とコスト |
|--------|--|---|--|---|--|
| バルブの種類 | 2方弁 | 3方弁 | | | |
| 2方弁 | <ul style="list-style-type: none"> 供給ポート(P)と排出ポート(T)が必要 供給ポート上流に固定オリフィス(φ 0.8)必要 | <ul style="list-style-type: none"> 容量が大きくなるに従って中間のDUTY比において圧力の低下する特性を示す。 <ul style="list-style-type: none"> 低下量を小さくするためには1.P→Tの流量2.応答性を調整する。 DUTY比に対する圧力勾配が大きいと調圧が難しくなる(上図参照)。 | <ul style="list-style-type: none"> パイロットポートの作動油をドレンする場合、供給ポートから継続して作動油が供給されるため、可動鉄心の吸着部分にコンタミナントが付着、堆積しやすい。 | <ul style="list-style-type: none"> パイロットポートの作動油をドレンする場合、継続的に供給ポートから作動油を供給されるため、残圧は継続して発生し低温になるに従い作動油の粘度増加が起これ、残圧は高くなる。 消費油量は多い。 | <ul style="list-style-type: none"> 外觀形状は小さい。 |
| 3方弁 | <ul style="list-style-type: none"> 供給ポート(P), 制御ポート(A), 排出ポート(T)が必要。 供給ポート上流の固定オリフィスは不要 | <ul style="list-style-type: none"> 容量が大きくなるとS字カーブの特性を示す。容量が小さい場合に対する変化代は2方弁に比べ小さい。 <ul style="list-style-type: none"> 変化代を更に小さくするためには 1.P→Aの流量 2.A→Tの流量 3.応答性を調整する。 | <ul style="list-style-type: none"> 切換え時、制御ポートからの戻り流量しか作動油は流れないため、可動鉄心の吸着部分にコンタミナントの堆積は少ない。 | <ul style="list-style-type: none"> 制御ポートからの戻り流量が流れ終わった段階で残圧0。 消費油量は少ない。 | <ul style="list-style-type: none"> 外觀形状は大きい。(3方弁は2方弁に比べ油圧切換部の構造が複雑で外觀形状は大きくなる) コストは2方弁に比べやや高い。 |

3. 不二越の各 AT 用 SOL の 特性比較

表1に2方弁について、表2に3方弁について、表3に比例減圧弁と4方弁についての比較を示す。2方弁と3方弁の比較は、以前にも報告⁽¹⁾しているが、表4に簡単にまとめる。

表4より、2方弁と3方弁を比較すると、低温残圧や消費油量の改善のため2方弁から3方弁に移行しつつあるが、コストと小形の点では2方弁が有利であることから、2方弁もさらに改善され、これからも使用されていくものと思われる。

一方、DUTY弁と比例弁を比較すると、適用されるシステム構成により長所、短所の影響度合は異なるが、単体で考えると、応答性、耐コンタミ性、大きさおよびコスト面ではDUTY弁が有利で、温度特性、電圧依存性、元圧依存性、静粛性、圧力脈動では比例弁が有利と考えられ、いずれも短所を補うシステムの中で今後使用されるものと考えられる。

4. 使用環境

AT用SOLは、AT内で使用されるためその使用環境は、例えば一般産業機械用と比較するとかなり異なる。表5に、一般産業機械用と比較した使用条件を示す。特徴としては、使用温度が広範囲で、使用圧力が低く、使用電圧は自動車用バッテリーを使用するため広い範囲の電圧変動に対応した特性を有している。

表5 AT用SOLの使用条件比較

| 項目 | AT用SOL | 一般産業用SOL |
|--------|------------|------------|
| 使用温度範囲 | -40~165°C | -20~80°C |
| 使用電圧範囲 | 8~16V | 10.8~13.2V |
| 使用圧力範囲 | 0.4~3.0MPa | 3.5~21MPa |

表6 AT用SOLの耐久試験

| 耐久試験項目 | 代表的な試験内容 | |
|--------|--|--|
| 作動耐久性 | 作動耐久試験 | 一定回数の作動を行った後、特性を評価する。(ON/OFF弁;数百万回、DUTY弁;数億回) |
| | 高温作動試験 | 高油温、高温雰囲気中での作動耐久試験 |
| | 低温作動試験 | 低油温、低温雰囲気中での作動耐久試験 |
| | その他 | 圧油に強制的に細かなゴミを投入した状態での作動耐久試験や供給圧力を強制的に変化させて行う作動耐久試験等 |
| 熱的耐久性 | 熱衝撃試験 | 高低温の急激な温度変化を与えた後、特性を評価する。 |
| | 高温放置試験 | 高温雰囲気中で長時間放置後、特性を評価する。 |
| | 低温放置試験 | 低温雰囲気中で長時間放置後、特性を評価する。 |
| | 過電圧試験 | 過電圧を一定時間加えた後、特性を評価する。 |
| その他 | 電圧を連続的に長時間加えたり、繰り返し変化する雰囲気温度中で一定時間作動させたりした後、特性を評価する。 | |
| 振動耐久性 | 振動試験 | 上下、左右、前後に一定時間振動を加えた後、特性を評価する。ある振動で共振がある場合は、共振点での特性を評価する。 |

5. 耐久性

自動車は、一般大衆に最も広く普及し、地球のあらゆる場所で使用されるため、AT用SOLにとって耐久性評価は最も重要な項目となる。表6に、満足すべき耐久試験項目と内容を示す。

a) 作動耐久性

最も基本的な耐久試験項目で、作動回数で示すとON/OFF弁は数百万回、DUTY弁は数億回完了後機能を満足していなければならない。DUTY弁は、基本的な作動状態から見ればON/OFF弁の延長と考えられるが、満足すべき作動回数はON/OFF弁の数百倍が必要で、この耐久強度を満足させるために、衝突部、摺動部材には注意が必要である。例えば、図2に示す3方DUTY弁は、プランジャとピンが一体となって動く構造となっている。

衝突部は、①プランジャとストッパー、②ピンとシート、③ボールとシート、④ピンとボールの4か所となるが、②③④は耐摩耗性を考慮した高硬度の熱処理品を使用するのが一般的である。①部は、プランジャ、ストッパーが磁路を形成しているため、熱処理品の使用は極力避ける必要があり、一般的には柔らかい軟磁性体を使用される。従って、摩耗、変形を防ぐためには、a) 接触面圧を下げる、b) 衝撃力を緩和する、c) 表面処理を行う等の配慮が必要である。また、従来プランジャとストッパーの間に

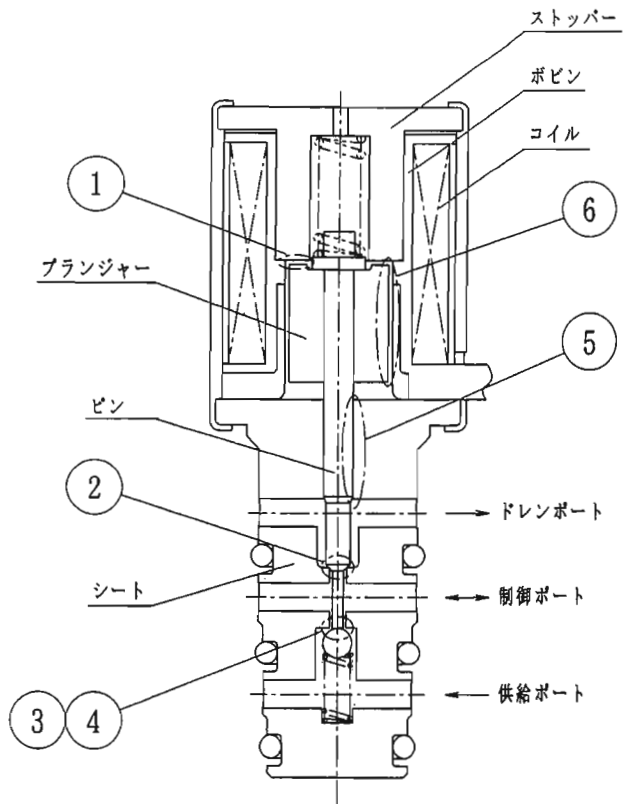


図2 3方DUTY弁構造図例

は、コイルの通電を OFF した時にプランジャがストッパーから早く離れるように、スペーサーを介することが一般的であった。しかし、スペーサーは 0.1~0.2 mm と薄いために、固定方法や組立工程内での取り扱いに注意を要し、また熱処理部材等から発生する硬い摩耗粉が侵入した場合に、変形、摩耗が促進し易いなどの欠点を有しており、作動耐久強度上問題がある。この点を克服するために、不二越ではスペーサーを廃止した DUTY 弁の商品化も行っている。

摺動部は、⑤シートとピンおよび⑥プランジャとボビンの 2 か所あり、いずれも摺動がスムーズとなるためクリアランスを規制する必要がある。また、⑤部はゴミ等の異物のプランジャ側への侵入を防止する役目もあるため、侵入する異物の大きさ、種類も考慮したピン及びシートの最適な材質、クリアランスを設定している。

一方、ON/OFF 弁の場合は、DUTY 弁のような作動耐久強度を必要としないため、低コスト部材の使用が可能となる。図 3 に示す 2 方 ON/OFF 弁の構造では、衝突部は、⑦スペーサーを介したプランジャとストッパーおよび⑧ボールとボビンの 2 か所で、ボピンはガラス繊維入りの樹脂を使用している。プランジャとボールは一体で動き、ボールは樹脂とガラス繊維によって受けられている（図 4 参照）。ただし、ボール衝突時の応力低減と樹脂脱落によってシール性を損なわないために、シール面積は金属シートの場合よりやや広くとる必要がある。

b) 熱的耐久性

熱的耐久試験としては、熱衝撃試験、高温放置試験、低温放置試験等がある。これら熱的耐久試験に対し注意すべき部品は、樹脂部品、コイル線、ゴム部品である。ゴム部品は、高温に耐えられる点で一般的にはアクリルゴムが用いられている。

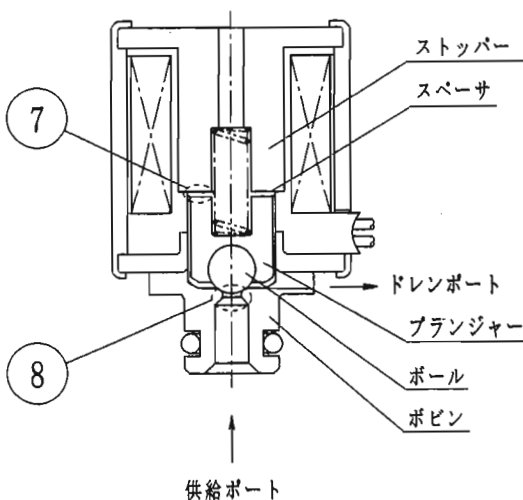
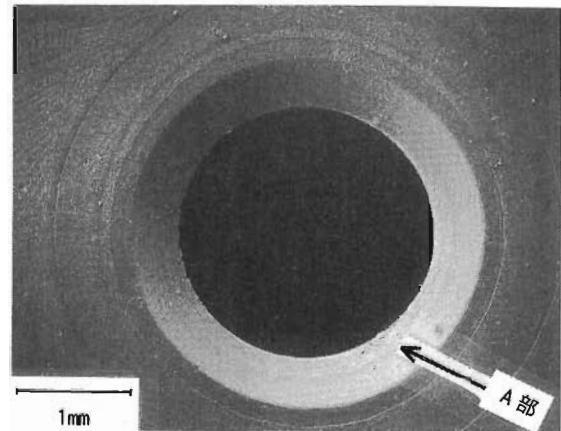
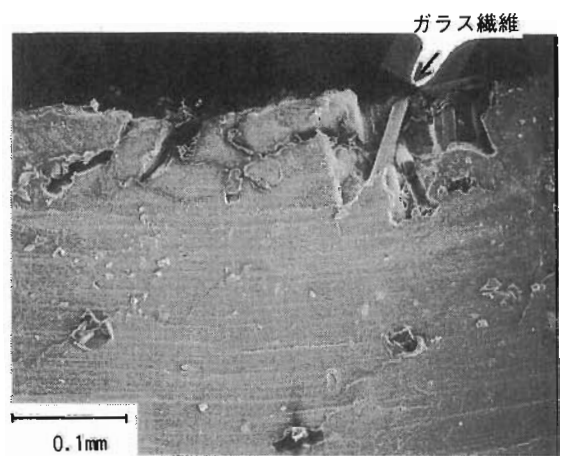


図 3 2 方 ON/OFF 弁構造図例



a) 樹脂シール面



b) A 部拡大

図 4 2 方 ON/OFF 弁の樹脂シール面 (100 万回作動耐久試験後)

樹脂部品は、ガラス繊維入り樹脂が一般的であるが、最近では寸法安定性、耐熱性、強度の点でガラス繊維入り PPS (ポリフェニレンサルファイド樹脂) が金属部品との一体成型化とともに多用され始めている。これらガラス繊維入り樹脂の場合、ガラス繊維の配向性により熱膨張係数が 2 倍以上異なるため、寸法精度が必要な部分には、熱膨脹・収縮が均一で形状に歪がでないように、樹脂成型の際のゲートの位置・形状を工夫している。

コイル線は耐熱性が要求されるため、通常 C 種の線が用いられ、最も一般的なものはエナメル材質にポリアミドイミドを用いた線 (AIW) である。また、コイル線はボビンに巻かれた後全体樹脂モールドされる場合が多いが、モールド樹脂の成型時の流れや圧力によるコイル線の変形および成型後の熱膨脹係数の違いによるコイル線の変形が懸念され、特に細い線を使用する場合には注意を要する。これら弊害を克服するために、不二越では図 5 に示すように、

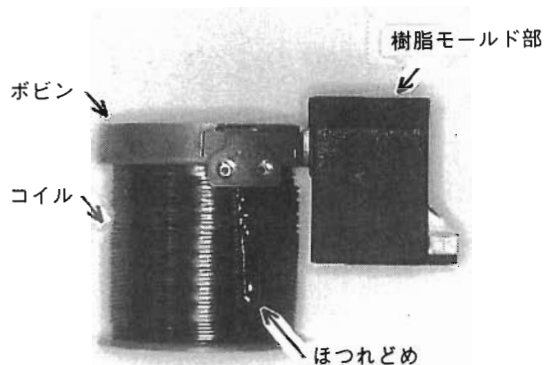


図5 部分的樹脂モールドを施した
コイルアセンブリ品

コイル線はモールド樹脂で固めずほつれ止めのみを施し、コネクタを形成する部分だけモールドするような構造を多用している。

c) 振動耐久性

AT用SOLに加わる振動は、エンジン振動、路面から伝わる振動、油圧脈動による振動など多岐に渡っており、またAT用SOL内の油の充満度、油の粘

度等によっても振動の加わり方が異なる。実際に実車でAT用SOLに加わる周波数は、数十Hzから数百Hz程度までで、評価試験としては、数十Hzから数百Hz程度まで掃引させて、強度的な異常あるいは特性的な異常がないか調査する。最も注意を要するのは、AT用SOL本体を固定するブラケット強度、DUTY弁の内部部品の共振による特性変化等で、これらについてはAT用SOL単体の評価もさることながら、実車取付状態での評価も重要となる。

6. おわりに

長年にわたり蓄積した油圧技術と軸受における量産技術との融合により新開発したAT用SOLは、ユーザー各社のノウハウも盛り込まれながら改善されてきた。

今後、より高度な油圧制御システムを構築する上で、AT用SOLに望まれる機能は高度化する一方、低コスト化、小形化も望まれており、耐久性の向上も合わせてスピーディーに対応していきたい。

文 献

(1) 松崎幸三；不二越技報，50(1)，p.54-60(1994)



中田修一

1983年入社、工作機製造所に配属。
1985年～1989年まで技術本部にて振動加工機の開発に従事。
1990年より、自動車用ソレノイドバルブの開発に従事、現在に至る。