

オートマチックトランスミッション用ベスペル®SP シールリングの性能向上

Performance Improvement of Vespel®SP Seal Ring for Automatic Transmission

機器部品事業部
技術開発部

// 青柴 浩史

■ H. Aoshiba

機器部品事業部
技術開発部

// 加納 康司

■ Y. Kanou

デュボン株式会社
エンジニアリング
ポリマー事業部

// 関口 悟

■ S. Sekiguchi

デュボン株式会社
エンジニアリング
ポリマー事業部

// 鈴木 裕之

■ H. Suzuki

デュボン株式会社
エンジニアリング
ポリマー事業部

// 丸山 祐一

■ Y. Maruyama

近年、自動車の高機能化および環境への配慮などから、各部品に対する仕様は年々厳しくなる傾向にある。オートマチックトランスミッション用シールリングに対しても、例外なく厳しい仕様を要求されており、特に漏れ量安定の必要性が高まっている。当社は、これらに対応するため、高機能ベスペル®SP製品の開発と新規デザインの適用により、漏れ量の安定と摩耗特性(耐久性)が良好なシールリングを開発した。このシールリングは苛酷になる使用環境や漏れ量の低減などの要求に適合し、高機能シールとして大いに期待できる。本報では、今回新たに開発された高機能ベスペル®SP製品およびそれを用いたマイクロカットシールリングについて説明する。

【キーワード】 オートマチックトランスミッション、シールリング、ベスペル®SP、マイクロカット、低線膨張係数

In recent years, as requirements for low emission control and higher performance is demanded in the automotive industry, specifications for automotive parts tends to be strict and has become difficult to satisfy. Automatic transmission seal rings are no exception and strict requirements for stable oil leakage control have been imposed. We have developed a new seal ring which has suitable oil leakage stability under wider applicable temperature ranges and excellent durability against soft metal alloy by applying high performance Vespel®SP parts and a new design. The combination of these technologies has higher potential to satisfy severe using conditions and reduction of oil leakage on automatic transmission. This paper describes the newly developed Vespel SP compounds, micro-cut seal ring using such compounds and their functional properties.

【Key words】 Automatic transmission, Seal ring, Vespel®SP Micro-cut, Low coefficient of thermal expansion

1 まえがき

オートマチックトランスミッション(以下AT)用シールリングには、エンジンの高温・高速化に対応した耐久性と信頼性の向上、省エネを目的としたオイルポンプのコンパクト化や軽量化、より精細な電子制御実現のための漏れ量の安定など厳しい仕様が要求されている。

シールリングの性能は、材料および合い口形状(デザイン)に大きく依存し、それらの組合せが重要である。特殊な使用条件ではポリエーテルエーテルケトン(以下PEEK)樹脂製ダブルステップシールリングが使われる傾向にあるが、さまざまな理由で最適なシールリングとは言い難い。

本報では、年々高まるシールリングへの要求性能に対して、新たに開発された高機能ベスペル®SP材料とそれを用いたマイクロカットシールリングの優れた機能特性を、既存のシールリングと比較して述べる。

2 AT用シールリング

2.1 用途および構造

ATではクラッチの切換やブレーキバンドの作動、トル

クコンバータの作動圧、回転部分の潤滑などにオイルポンプによって加圧されたATオイルが供給されており、精密な油圧制御がなされている。

シールリングはオイルポンプなどの回転要素に使用され、ATオイルの圧力を保持する目的で使用されるが、外部漏れを抑制するものではない。Fig. 1にオイルポンプ部に装着されているシールリングの状態を示す。概略使用条件は、油圧0.3~2 MPa、最高回転数8500 rpm、最高油温150℃で、シールリングのサイズは外径15~80 mmが一般的である。

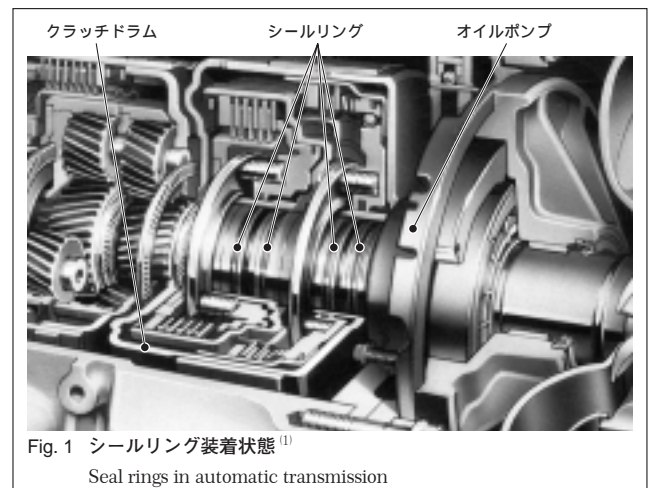


Fig. 1 シールリング装着状態⁽¹⁾

Seal rings in automatic transmission

2.2 変遷

1980 年代の国産車では鋳鉄、PTFE 樹脂製シールリングが主流であったが、AT の電子制御化、燃費性能の向上などの要求により、これらの材質では要求性能を満足させることが厳しくなった。現在は PEEK 樹脂製ダブルステップシールリングが主流になりつつある。

欧米では 1970 年代後半から従来の鋳鉄製シールリングに替わってベスペル SP シールリングが採用され、1997 年にベスペル SP マイクロカットシールリングが商品化された。

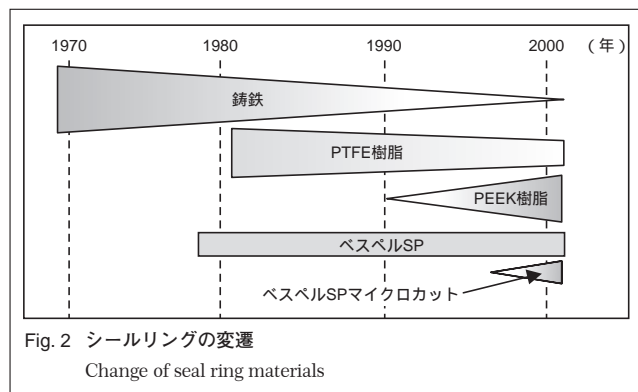


Fig. 2 シールリングの変遷
Change of seal ring materials

2.3 マイクロカットシールリング

マイクロカットシールリングとは、シールリングを回転部分(溝)に装着できるように、瞬間的な外力により一箇所破断を生じさせ、合い口部を形成したシールリングの製法であり、米国デュポン社によって開発され、同社が製法特許(米国特許 No.5988649)を有している。具体的には、Fig. 3 に示すように内周面を 2 点で支え、外径側からの外力で合い口を形成する。

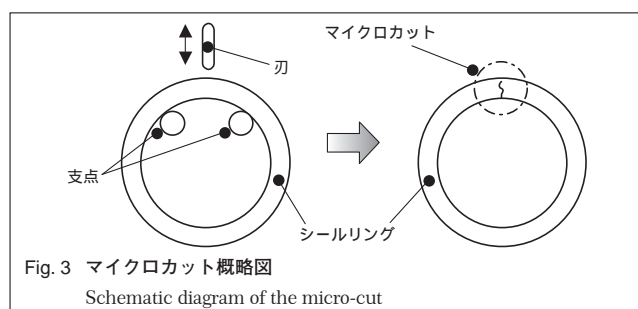


Fig. 3 マイクロカット概略図
Schematic diagram of the micro-cut

マイクロカットシールリングの特徴を以下に示す。

- ① 合い口部の損失(加工代)がないため、リングが真円に保たれる。そのため、油圧応答性に優れ、リング外周面からの漏れも少ない(メリット)。
- ② 合い口形状が非常にシンプルであり、漏れの制御が外径寸法のみで行なえるため、性能が安定する(メリット)。
- ③ 合い口加工が容易であるため、低コストのシールリングが提供できる(メリット)。
- ④ 線膨張係数の大きい材料の場合、油温による漏れ変動

が大きくなる(問題点)。

3 既存性能

3.1 材料

シールリングの材料は、使用条件(圧力、回転数、温度、相手材質など)および要求特性(低摩擦、優れた油圧応答性など)によって選定される。一般的に PTFE 樹脂、PEEK 樹脂、ベスペル SP などが使用されており、それらの特徴を Table 1 に示す。

Table 1 シールリング材料と特徴

Characteristics of typical seal ring materials	
材 料	特 徴
PTFE 樹脂 しゅう動グレード	摩擦係数が小さい。高 PV では使用不可。 相手軟質金属の摩耗が少ない。
PEEK 樹脂 しゅう動グレード	複雑な合い口形状が加工できる(射出成形)。 相手軟質金属の摩耗が多い。 油圧応答性に難あり。
ベスペル SP-21	高温での摩耗性、耐圧に優れている。 相手軟質金属の摩耗が少ない。 線膨張係数が大きい(41 μm/m/K)。

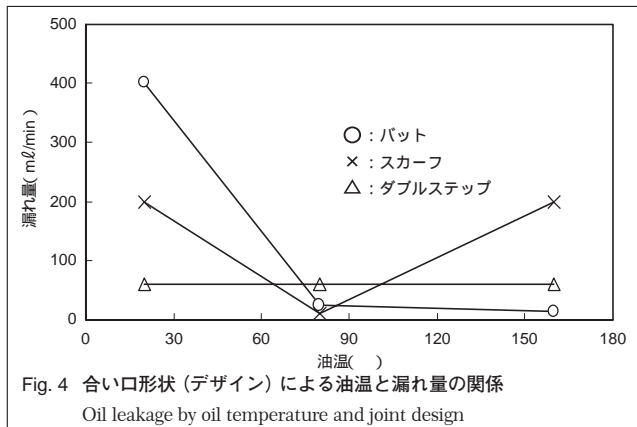
3.2 合い口形状(デザイン)

シールリングは溝への装着のために、一箇所合い口部が設けられており、その合い口形状(デザイン)によって密封性能が大きく左右される。代表的な合い口形状(デザイン)としては、バット、スカーフ、ダブルステップなどがあり、それらの特徴を Table 2 に示す。なお、マイクロカットはバット形状の一種である。

Table 2 合い口形状(デザイン)と特徴

Characteristics of seal ring joint design	
合い口形状	特 徴
バット	最もオーソドックスな形状。線膨張係数が大きい材料を用いた場合、油温による漏れ変動が大きい。高温で合い口が閉じるとクリープ変形が生じ、再度低温になると漏れが増加する。
スカーフ	バット形状で起こるクリープ変形を補った形状。油温の上昇とともに合い口隙間が減少し、漏れも減少する。合い口が閉じさらに油温が上昇すると乗り上げが生じ漏れが増加し始める。
ダブルステップ	三次元形状であり現実的に射出成形でのみ製造可。理論的には全温度領域で低漏れを確保できる。しかし合い口合わせ面の微小隙間からの漏れが発生する。そのため管理するパラメータが多く、漏れ量がばらつく。

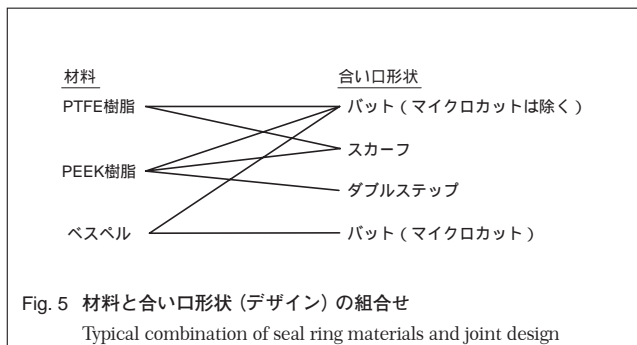
上記の合い口形状(デザイン)の特徴を油温と漏れ量の図で示すと、Fig. 4 のようになる。ただし線膨張係数の大きい材料を用いた場合である。



3.3 材料と合い口形状 (デザイン) の組合せ

シールリングの材料と合い口形状 (デザイン) の組合せは、加工方法により量産性に適、不適があり、現実的に考えられるそれらの組合せを Fig. 5 に示す。

最近では低漏れの要求が高まり、PEEK樹脂製のダブルステップが多用されている。しかし PEEK樹脂は相手材が軟質金属の場合、相手材を攻撃する恐れがあり、油圧応答性についても不安定で最適なシールリングとは言い難い。



ドがベース材であるため、ガラス転移点 (Tg) や融点を持たず、大気中では 288℃ までの連続使用が可能である。これは、他の熱可塑性耐熱樹脂では射出成形が容易な反面、融点あるいはガラス転移点を持ち、それ以上の温度域ではしゅう動に耐えることができないのに比べて、大きな優位点となっている。

また、広汎な薬品に対して耐性があり、車両に使用されている各種グリースや ATF、エンジンオイルなどの潤滑油に対しては、高温でもまったく影響を受けない。

本報の AT 用途では、グラファイトやテフロンを添加したベスペル SP 製品のしゅう動グレードが、前述のように回転軸シールリングとして 1970 年代、農耕用トラクタで樹脂製品として初めて鋳鉄製リングに替わって採用された。現在では、回転軸に限らず、往復動が求められるアキュムレータピストンのシールにも使用されている。さらに、より小型化、高効率化が進んだことで、搭載車種が増えている CVT (連続無段変速機) のシールリングとしても採用事例が増えている。



4 性能向上

最適なシールリングを考えた場合、優れた耐熱性・しゅう動特性を有するベスペル SP の線膨張係数を低減することで、マイクロカット製法による合い口形状 (デザイン) においても漏れ性能が向上され、厳しい使用条件においてベストなシールリングになると考えられる。そこで今回、低線膨張係数のベスペル SP-2515 をデュポン (株) 殿 (以下、デュポン社) と共同で開発した。

4.1 ベスペル SP 製品について

デュポン社のベスペル SP 製品は、1960 年代初めに商品化されて以来、その優れた耐熱性、機械特性、しゅう動特性、電気絶縁性、耐薬品性により航空宇宙・自動車・半導体などの分野で幅広く利用されている。

このベスペル SP 製品は、直鎖型非熱可塑性ポリイミ

4.2 ベスペル SP-2515 の開発

現行のベスペル SP 製品に加えて、幅広い環境温度域においてより精密な AT の制御を可能とするため、デュポン社ではシールリング用のグレードとしてベスペル SP-2515 を開発した。材料設計のコンセプトとして、従来のベスペル SP の優れた耐熱・機械的特性・耐薬品性・しゅう動特性を維持しつつ、雰囲気温度の変化に伴うシールリングの合い口すきま量の変動を安定化させるよう、材料の線膨張係数を低減させることを狙った。また、相手材として使用される軽合金などの軟質材料に対しても、摩擦摩耗特性が良好で、固形異物を含む油中のしゅう動においても相手材を傷つけにくくするよう配慮した。以上の点を考慮して、ベース材料および、添加材の内容を吟味し、その配合量を最適化した。

Table 3 にベスペル SP-2515 の代表物性値を示す。従来のベスペル SP-21 に対して、機械的特性を大きく損な

うことなく、線膨張係数をおよそ半分近くまで低減させていることがわかる。

Table 3 ベスベル SP-2515 の代表物性値
Physical properties of Vespel SP-2515

機械特性	測定方法	単位	ベスベル SP-2515	ベスベル SP-21
引張強度	ASTM D-1708	MPa	55	62
引張破断伸び	ASTM D-1708	%	2	5.5
曲げ強さ	JIS K7171	MPa	65	90
曲げ弾性率	JIS K7171	MPa	4000	2400
比重	ASTM D-792	-	1.7	1.4
線膨張係数	TMA法	μm/m/K	22	41

Fig. 7 は、固形異物を含む油中でのアルミダイカストと、ベスベル SP-21、SP-2515 や PEEK 樹脂のしゅう動グレードとの摩擦摩耗試験の結果である。PEEK 樹脂しゅう動グレードは、油中に固形異物がある場合、相手材を攻撃しやすいのに比べて、ベスベル SP は相手材を傷つけにくいことを示している。これは、PEEK 樹脂の表面硬度がベスベル SP と比較して硬いことにより、固形異物が樹脂に埋没し難いため、その固形異物が相手材を傷つけると考えられる。

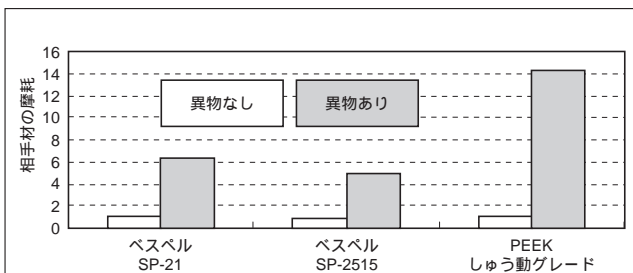


Fig. 7 固形異物を含む油中の摩耗試験結果の例
An example of wear test results; effects of solid foreign particles in the lubricant

- * 1 ベスベル SP-21 による相手材の摩耗量を 1 とした場合の比較
- * 2 デュポン社スラスト型摩擦摩耗試験機を使用
- * 3 固形異物はアルミナ (Al₂O₃) 14 μm を油中に 0.1 wt% 添加
- * 4 面圧: 1 MPa, すべり速度: 1.1 m/s
- * 5 相手材はアルミダイカスト (ADC12)

4.3 ベスベル対 PEEK

ベスベル SP-2515 マイクロカットシールリングと PEEK 樹脂製ダブルステップシールリングの性能比較を Table 4 に示す。

材料本来の特性に依存する摩耗に関しては、ベスベル SP-2515 は、非常に優れており、Fig. 7 と同様の結果である。漏れ変動は、ベスベル SP-2515 は、油温の増加に伴い、若干漏れ量が減少する傾向にあるが、ベスベル SP-21 に比べると大幅に改良され、PEEK 樹脂とも大差はないと言える。ベスベル SP-2515 はマイクロカットであるためリングが真円に近いことと剛性が PEEK 樹脂より低いことから、油圧応答性も優れている。

Table 4 ベスベル SP-2515 と PEEK のシールリング比較
Seal ring test data comparison; Vespel SP-2515 and PEEK

項目	ベスベル SP-2515 マイクロカット	PEEK 樹脂製 ダブルステップ
シールリング摩耗 (耐久性) * 1	20 μm	75 μm
相手材摩耗 * 1	12 μm	38 μm
漏れ変動 * 2		
油圧応答性	良好	不安定
加工性 (リングサイズ)	あらゆるサイズが可能	外径が φ20 mm 以上のみ

* 1 300 時間耐久試験条件
リング外径: φ59 mm 圧力: 1.03 MPa 速度: 8500 rpm 油温: 145°C
相手材: アルミダイカスト (ADC12)

* 2 漏れ試験条件
リング外径: φ59 mm 圧力: 1.03 MPa 速度: 1000 rpm

5 むすび

既存の各種シールリングの材料および合い口形状 (デザイン) を比較した結果、厳しい使用条件で使用されるベストなシールリングとしては、材料は低線膨張係数であるベスベル SP、合い口形状 (デザイン) はマイクロカットされたバット形状が最適と判断し、ベスベル SP-2515 を開発した。その材料は、従来のベスベル SP の優れた耐熱・機械的特性・耐薬品性・しゅう動特性を維持し、線膨張係数を低減させたものである。

ベスベル SP-2515 のマイクロカットされたシールリングは、従来のベスベル SP-21 で問題であった油温による漏れ変動が大きく改善され、さらに自己摩耗、相手材摩耗においても優れている。最近の苛酷になる使用環境や漏れ量の低減などの要求に対して、最適なシールリングとして大いに期待できる。

注) 「ベスベル」はデュポン社の登録商標です。

参考文献

- (1) 石神輝男. AT のすべて. 鉄道日本社. 1997.