

自動車用オイルポンプロータの最新動向

The Latest Trends in Oil Pump Rotors for Automobiles

有永 真也*
Shinya Arinaga

吉田 健太郎
Kentarou Yoshida

高田 翔一
Shoichi Takada

野田 宗巨
Munehiro Noda

井上 清隆
Kiyotaka Inoue

焼結製の内接歯車オイルポンプロータは、自動車用オイルポンプの基幹部品としてエンジン潤滑用や自動変速機の油圧発生用、ハイブリッド車の変速機潤滑用途など幅広く利用されている。1980年代当時、自動車の燃費向上対策としてオイルポンプの小型・軽量化のニーズの高まりから、当社独自設計歯形を有するパラコイド®ロータを開発・実用化して以降、燃費規制や排気ガス規制を背景に、高まるオイルポンプの損失低減要求に対応すべく、メガフロイド®ロータ、ジオクロイド®ロータといった新歯形を有するオイルポンプロータを開発・実用化してきた。今回、高効率と静粛性を兼ね備えた最新の開発歯形であるパラコイド®EXロータに至るまでの開発事例・動向を紹介する。

Internal gear rotors are powder metallurgy parts widely used in automobile engine oil pumps, automatic transmissions (ATs), continuously variable transmissions (CVTs), and hybrid vehicle transmissions. In the 1980s, Parachoid® rotors were developed and started to be used in automobile oil pumps to meet the growing needs for smaller and lighter oil pumps that achieve improved fuel efficiency. Recently, Megafloid®, Geocloid®, and Parachoid® EX rotors have been developed to meet the need for even smaller oil pump rotors to reduce friction loss. This paper introduces the development and the evolution of oil pump rotors up to Parachoid® EX.

キーワード：自動車、オイルポンプ、内接歯車、オイルポンプロータ、粉末冶金

1. 緒 言

焼結製の内接歯車ポンプロータは、自動車用オイルポンプの基幹部品として幅広く利用されている。主な用途としては、エンジン潤滑用、自動変速機 (AT)、無段変速機 (CVT) の油圧発生用、ディーゼルエンジンの燃料供給用などがある。また、近年の自動車産業のパラダイムシフトに伴い、ハイブリッド車変速機潤滑用やモータを駆動源とした電動オイルポンプ等の新用途への展開も進んでいる。

当社は、これまでオイルポンプの高効率化を実現する当社独自開発歯形として、パラコイド®ロータ、メガフロイド®ロータ、ジオクロイド®ロータ、そして最新の歯形では、高効率と低騒音の両立をコンセプトとしたパラコイド®EXロータを開発、実用化した。また、ポンプ単体での性能・耐久評価体制を構築し、新設計歯形の検証評価のみならず、従来顧客で実施されていたオイルポンプ単体での各種評価を自社内に取り込むことによる開発期間の短縮を行ってきた。

本稿では、当社独自設計歯形を有するオイルポンプロータについて、パラコイド®ロータから最新の開発歯形であるパラコイド®EXロータに至るまでの開発動向・事例と共に、オイルポンプ単体評価体制を中心に報告する。

2. 高効率ポンプロータの開発・実用化

2-1 内接歯車式オイルポンプの仕組み

内接歯車ポンプロータを用いたオイルポンプの構造を図1

に示す。インナーロータとアウターロータは偏芯してケースに配置される。アウターロータの歯数はインナーロータの歯数より1枚多く、インナーロータとアウターロータの歯先によって密閉された空間が作られる。インナー内径に挿入した軸を使用してインナーロータを回転駆動させると、外径がケース内に拘束されたアウターロータは、インナーロータと噛み合うことで回転力を受け、インナーロータに従動して同じ方向に回転する。一つの密閉空間に注目すると、ロータの回転に伴い密閉空間の体積は徐々に増加し、最大体積になった後に徐々に減少するという動作を繰り返す。この動作において、体積が拡大する領域で吸入ポートからオイルを吸い上げ、最大体積部で一旦吸入・吐出ポートから切り離し、体積

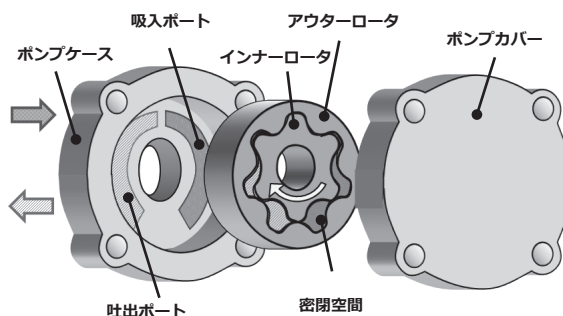


図1 内接歯車を用いたオイルポンプの構造

の縮小領域で吐出ポートからオイルを吐き出すことでオイルポンプとして機能する。

2-2 当社独自設計歯形を有するパラコイド®ロータの開発

当時、オイルポンプに使用されていた歯形は、インボリュート曲線^{*1}が大半であった。これは各種理論解析が進んでいたため、ポンプ設計において扱いやすく、且つ歯切り加工により容易に製作することが可能であったことが一因である。一方、トロコイド曲線^{*2}を使用したオイルポンプロータは、多くの長所を有しながらも理論解析が不十分であった。

そこで、トロコイド曲線を採用した歯形について理論解析を行うと共に、歯形設計システム構築を行い、実用化に至ったのがパラコイド®ロータである。パラコイド®ロータは、インナーロータの歯形にトロコイド曲線を採用し(図2)、アウターロータはインナーロータの包絡線を用いて作成する当社独自設計(【登録実用新案実公平06-039109】)の歯形を有している(図3)。アウターロータをインナーロータの包絡線で作成することにより、従来のトロコイド曲線を利用したオイルポンプと比べ、ロータ回転中の歯間隙間の変動が少なく、歯間隙間を小さくすることが可能となった(図4)。歯間隙間を小さくし、歯間でのシール性を向上させることにより、パラコイド®ロータはAT用オイルポンプなどに求められる高圧力においても高効率化(容積効率=実吐出量/理論吐出量)を実現した。

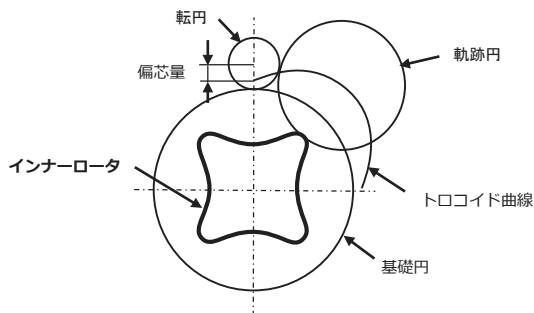
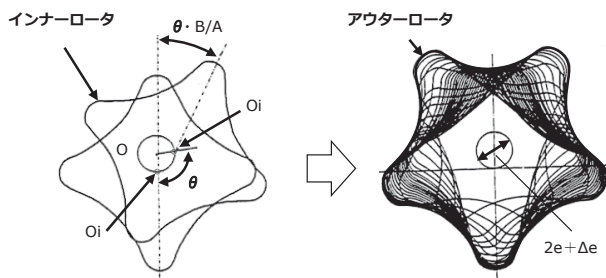
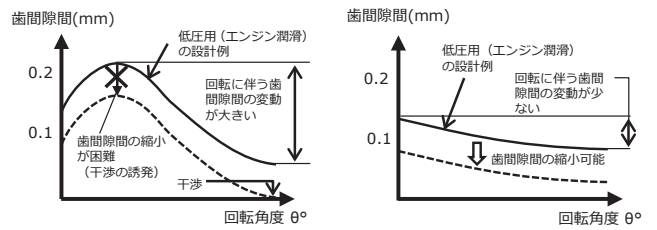


図2 パラコイド®ロータのインナーロータ歯形



A: 基礎円, B: 転円, e: 偏芯量, Δe: $\theta=180^\circ$ での歯間隙間
O: アウターロータの中心, O_i: インナーロータの中心

図3 包絡線によるアウターロータの創成
(登録実用新案実公平 06-039109)



(a)従来曲線

(b)パラコイド®ロータ

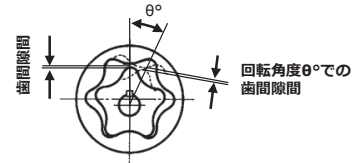


図4 パラコイド®ロータの歯間隙間

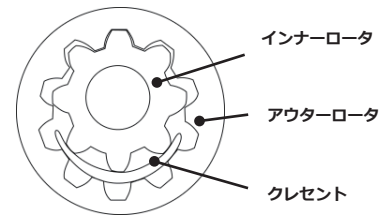


図5 インボリュート曲線を使用したロータ

特に高圧用途では、歯間でのシール性確保の観点から、ポンプケースに三日月形の部品(クレセント)を付与する必要があったインボリュート歯形(図5)を採用した内接歯車ポンプに対しても、パラコイド®ロータは同等の吐出性能を実現し、オイルポンプの小型・軽量化が図れることを示したことにより、エンジン潤滑用のみならず、より高圧力が求められるAT用オイルポンプなどにも採用が拡大した。

2-3 ポンプの高効率化

自動車の燃費向上の観点からオイルポンプのエネルギー損失低減の要求は、年々高まっている。オイルポンプのエネルギー損失は各ユニット中でも大きく、例えばエンジン潤滑用オイルポンプのエネルギー損失はエンジン全体の10%、またAT用ではATユニットの20%~30%を占めると言われている。オイルポンプのエネルギーの損失低減には、オイルポンプロータを小型化することによってフリクションを低減することが有効である。しかし、オイルポンプを小型化することは、吐出量の低減につながってしまうため、性能を維持したままフリクションを低減するには、小さなサイズでも従来と同等の吐出量をもつオイルポンプロータを開発する必要がある。

オイルポンプの効率(ポンプ効率)は、容積効率と機械効率の積で表される。

$$\begin{aligned} \text{ポンプ効率 (\%)} &= \text{容積効率 (\%)} \times \text{機械効率 (\%)} \div 100 \\ \text{容積効率 (\%)} &= \text{実吐出量} \div \text{理論吐出量} \times 100 \\ \text{機械効率 (\%)} &= (\text{理論吐出量} \times \text{吐出圧}) \\ &\quad \div (2\pi \times \text{駆動トルク}) \times 100 \end{aligned}$$

ここで、理論吐出量はアウターとインナーとで囲まれた密閉空間の最大体積とインナーロータの歯数の積で決まる一定量であり、ポンプの効率化には、実吐出量の向上と駆動トルクの低減が重要となる。駆動トルクはオイルを吐出する圧送仕事とロータ回転時の各部の摺動で発生する摩擦抵抗による損失との和であり、この摺動損失を小さくすることで駆動トルクは低減可能である。

理論吐出量が同一であれば、アウターロータ外径が小さい程、摩擦抵抗による損失が減少するため、駆動トルクは小さくなる(図6)。つまり、ロータの径方向の大きさを小さくすることが駆動トルク低減には最も有効である。

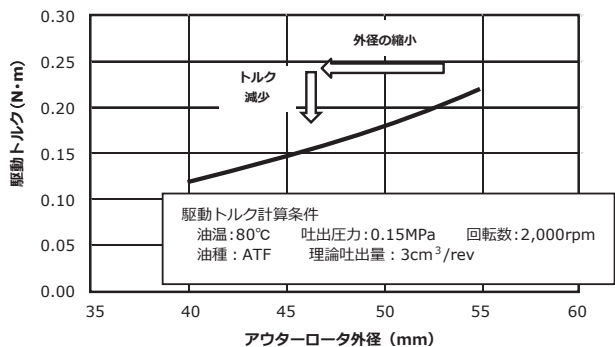


図6 アウターロータ外径と駆動トルクの関係

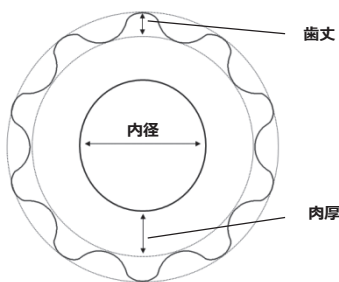


図7 インナーロータの構成要素

ロータの径方向の大きさは、ポンプの要求仕様に応じて設計するインナーロータの歯形により決まる。要求仕様としては、吐出量、駆動軸の径、歯数などが挙げられる。インナーロータの径は、内径(=駆動軸の径)と肉厚(=歯底径-内径)/2、歯丈(=歯先径-歯底径)/2で決まり、肉厚は部

品強度と密閉空間内のオイルが駆動軸側に漏れることを抑制するシール性を確保できるように、また、歯丈は要求吐出量を満足できるように設定する。ここで、理論吐出量は、密閉空間の最大体積とインナーロータの歯数の積であり、歯丈を高く設計できれば最大体積が増え、理論吐出量が増える。従来のトロコイド曲線やサイクロイド曲線を基調としたインナーロータの歯形の設計では、設計パラメータの設定制限により、ポンプ要求仕様を満足するために肉厚(=シール幅)を必要以上に厚く、言い換えるとロータの体格を必要以上に大きくせざるを得ない場合があることが課題であった。

2-4 メガフロイド®ロータの開発

従来のトロコイド曲線やサイクロイド曲線^{※3}(図8)を基調としたインナーロータ歯形の設計において、ロータ体格が大きくなる要因は、その歯形の設計方法にある。インナーロータの歯形は、基礎円上を滑らず転がる転円上の一点の軌跡で創成され、理論吐出量と歯数の設定により、大凡基礎円の大きさとそれに応じたロータの体格が決まってしまう。従って、より体格を小さくするためには、歯形設計の自由度を向上させる必要がある。

この課題に対し、メガフロイド®ロータでは二つの基礎円を用いたサイクロイド曲線の中にインボリュート曲線を組み合わせることで、歯形設計の自由度を向上させた(図9)。この設計方法を用いることで、従来歯形と比較して歯丈を高く設定し、従来歯形で必要以上に設定されていたシール幅を減らすことができ、ロータ体格を小さくすることを可能とした。

高容積効率(容積効率=実吐出量/理論吐出量)については、パラコイド®ロータと同等の歯間隙間に抑えるため、アウターロータをパラコイドロータ同様にインナーロータの包絡線群で描く当社独自設計手法を採用することで実現した。

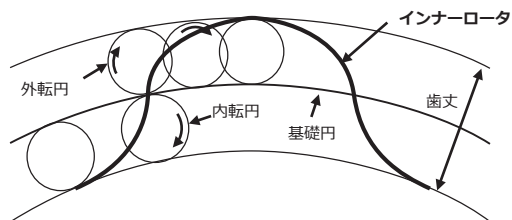


図8 サイクロイド曲線によるインナーロータ歯形

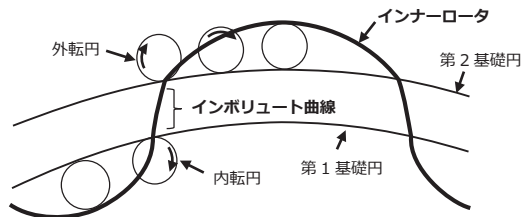


図9 メガフロイド®のインナーロータ歯形

2-5 ジョクROID®ロータの開発・実用化

燃費改善や環境対策を背景にハイブリッド車や電気自動車などの開発も進められていく中で、オイルポンプへの損失低減要求は更に厳しくなり、メガフロイド®ロータよりも更に設計自由度を高め、ロータの小径化が図れる歯形開発に取り組んだ。

ジョクROID®ロータは、「基礎円」と「転円」を基に創成する従来の歯形設計手法から脱却し、自転する創成円の中心位置を自在変化させ、創成円上の一点の軌跡を歯形曲線とすることで、更なる設計自由度向上を図ったロータである(図10)。従来よりも設計自由度を更に向上させたジョクROID®ロータは、メガフロイド®ロータよりもシール幅を縮小した小径のロータ設計が可能となり、また従来と同一のロータ体格であれば、ロータの歯数を変える(=増やす)ことも可能となった。またアウターロータは、パラコイド®ロータ、メガフロイド®ロータと同様のインナーロータの包絡線群で描く当社独自設計手法を採用することにより、インナーロータとアウターロータの歯間隙間を最適化し、高容積効率化を実現した。

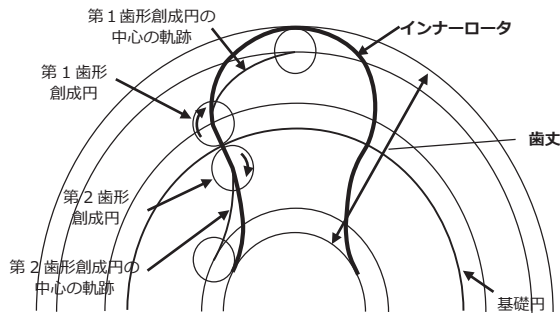


図10 ジョクROID®のインナーロータ歯形

2-6 パラコイド®EXロータの開発

オイルポンプに対する損失低減の要求が更に高まる一方、近年増加する自動車各部の電動化に伴い、オイルポンプへの静粛性ニーズが高まっている。損失低減、即ちロータの小径化と静粛性の両立への要求に対応することをコンセプトに開発したのがパラコイド®EXロータである。

ロータ体格の小径化を目的に開発してきたメガフロイド®ロータやジョクROID®ロータについては、使用用途に依存するところはあるものの、静粛性ではトロコイド曲線を用いたパラコイド®ロータに対しては劣っていた。その要因としては、アウターロータとインナーロータの間のバックラッシュ(歯間隙間(図4)の最大値)量の増加によるものであった(図11)。メガフロイド®ロータとジョクROID®ロータは歯形の設計自由度を高めるためにインボリュート曲線などの転円曲線以外を用いていることから、歯丈を高くするに從

い、バックラッシュ量は大幅に増加する傾向となっていた。この歯丈増に伴うバックラッシュ量の増大を抑え、小径化と静粛性の両立を図るためにトロコイド曲線をベースに設計されるパラコイド®ロータの設計方法の発展による歯形設計自由度の向上に取り組んだ。

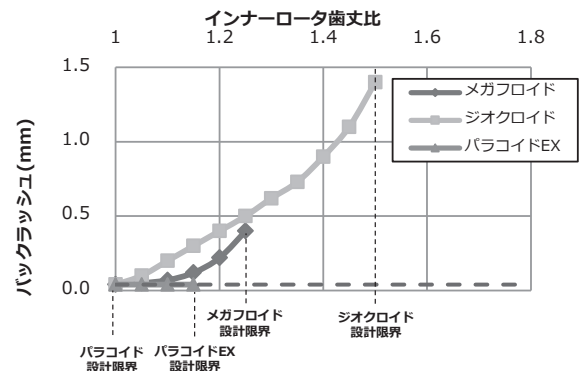


図11 パラコイド®EXロータで設計できる歯丈を1とした場合の各歯形のインナーロータ歯丈比

パラコイド®EXロータのインナーロータの設計自由度が低い要因としては、ポンプ仕様が決定された際にほぼ一意に基礎円、転円、軌跡円が決まってしまう点にある。そこで、パラコイド®EXロータでは、従来のパラコイドと同様に基礎円を転円が滑らずに転がり、この転円の中心から偏芯量だけ離れた点が描くトロコイド曲線上に中心を有する軌跡円の包絡線によって形成されるものの、この軌跡円の直径をインナーロータの歯先部よりも歯底側で大きくすることで歯形の設計自由度を向上させた(図12)。また、転円曲線をベースとした設計自由度の向上であることから、歯丈増に伴うバックラッシュの増加についてもメガフロイド®ロータとジョクROID®ロータと比較して小さい傾向となり、静粛性を維持しながらロータ体格の小径化を図ることが可能である。

表1にパラコイド®ロータ、メガフロイド®ロータ、ジョクROID®ロータ、及びパラコイド®EXロータの設計事例を示す。

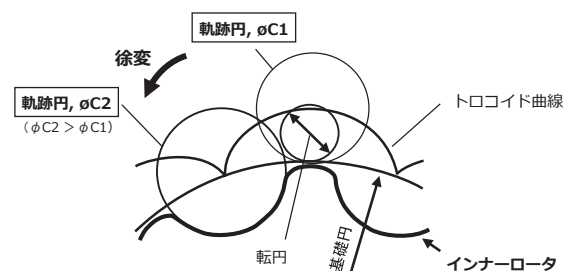


図12 パラコイド®EXのインナーロータ歯形

表1 歯形設計事例

歯形	パラコイド®	メガフロイド®	ジオクロイド®	パラコイド®EX
ロータ形状				
外径サイズ (比)	φ54.6mm (100)	φ52mm (95)	φ48.6mm (89)	φ52mm (95)
インナー歯丈 (比)	4.6mm (100)	4.8mm (105)	5.5mm (120)	4.8mm (105)
理論吐出量	3cm ³ /rev			
ロータ厚み	5.5mm			

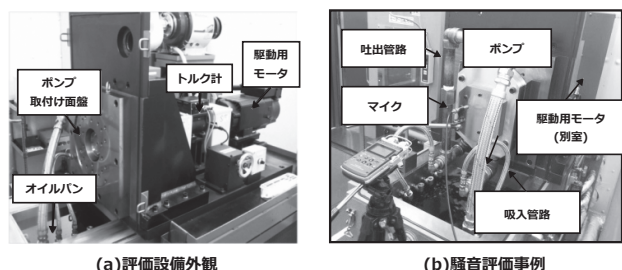
表2 評価仕様及び条件

歯形	メガフロイド®	パラコイド®EX	
ロータ仕様	歯数 (インナー/アウトター)	10/11	10/11
	厚み	12mm	12mm
	外径	φ85mm	φ85mm
	理論吐出量	13.6cm ³ /rev	13.6cm ³ /rev
クリアランス仕様	サイドクリアランス	中央	中央
	ボディクリアランス	中央	中央
	チップクリアランス	中央	中央
評価条件	油種	ATF	
	油温	80℃：駆動トルク 120℃：吐出量、容積効率	
	吐出圧力	1.0MPa	
	回転数	500~5,000rpm	

3. オイルポンプ単体評価とポンプ性能

3-1 オイルポンプ評価設備

機能部品の開発提案を積極的に推し進めていくべく、独自開発を行ったポンプ試験機を用いて、オイルポンプの基本性能・耐久性等の評価を行っている。また、近年のオイルポンプの電動化・小型化に伴い、より少ない流量の測定やトルクを高精度に測定する試験機やNV (音・振動) 特性を評価できる試験機を導入している (写真1)。ポンプ単体としての単純な性能判断の評価以外でも顧客とも連携して、キャビテーションの可視化評価やポンプの部位毎での圧力測定などオイルポンプの要素技術開発にも対応可能である。



(a) 評価設備外観

(b) 騒音評価事例

写真1 評価設備

3-2 パラコイド®EXロータの開発事例

同一格のメガフロイド®とパラコイド®EXのポンプ性能を比較評価した。評価仕様及び条件を表2に、結果を図13、14及び表3に示す。

本評価により、パラコイド®EXロータは、メガフロイド®ロータと同様に高容積効率、低駆動トルクを維持しつつ、静粛性が低減できることがわかる。

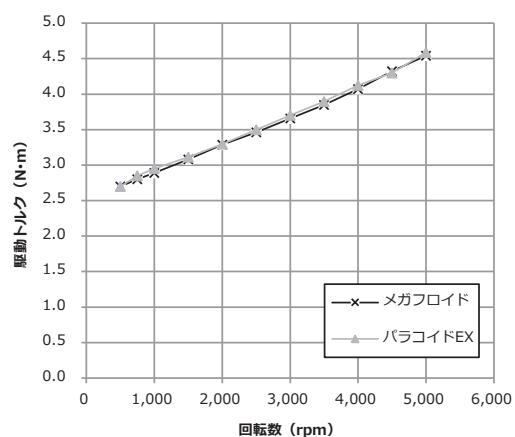


図13 駆動トルク評価結果

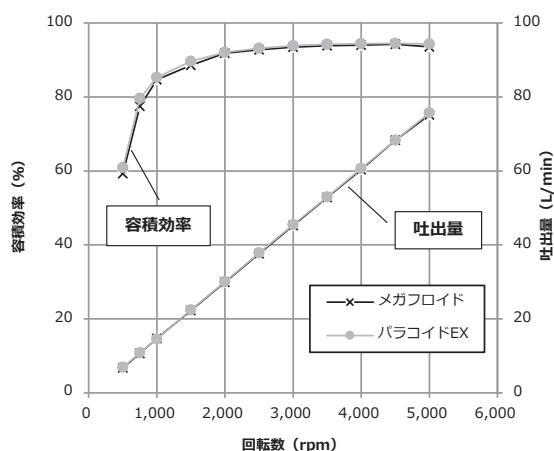


図14 吐出量・容積効率評価結果

表3 騒音評価結果(単位:dB)

回転数 (rpm)	80℃×0.5MPa		80℃×1.0MPa	
	メガフロイド	パラコイドEX	メガフロイド	パラコイドEX
1,000	76	76	80	78
2,000	80	79	85	81

4. 結 言

自動車用オイルポンプの、とりわけ損失低減要求に対応するべく、パラコイド®ロータ以降、最新のパラコイド®EXまで種々の歯形を開発してきた。これにより、エンジン潤滑用や変速機(AT・CVT)の油圧発生用、現在ではハイブリッド車の変速機潤滑用やモータを駆動源とした電動オイルポンプなど用途は多様化しており、今後も新たな機構への展開が期待される。

更に厳しくなることが予想される燃費規制や環境対策に向け、次世代歯形開発にも着手し、自動車の更なる燃費・静粛性向上を進めると共に、他用途への展開を図る。

用語集

※1 インボリュート曲線

筒に巻き付けた糸を張りながらほどく時、糸の一端が描く曲線。

※2 トロコイド曲線

円をある曲線にそって滑らない様に転がした時、その円の定点が描く軌跡として得られる曲線。

※3 サイクロイド曲線

円をある曲線にそって滑らない様に転がした時、その円周上の点が描く軌跡として得られる曲線。

参 考 文 献

- (1) 市川常雄、「歯車ポンプ」、日刊工業新聞(S37.08.20 初版)
- (2) 「オイルポンプ用ロータの開発」、SEIテクニカルレビュー第122号(1983年3月)
- (3) 「トロコイド曲線を用いた高効率オイルポンプロータの用途開発」、SEIテクニカルレビュー第146号(1995年3月)
- (4) 「高効率焼結ギヤポンプロータ(メガフロイド®ロータ)の開発」、SEIテクニカルレビュー第172号(2008年1月)
- (5) 「高効率オイルポンプロータ(ジオクロイド™ロータ)の開発」、SEIテクニカルレビュー第180号(2012年1月)

執 筆 者

有永 真也* : 住友電工焼結合金(株) 製品開発部
主席技師



吉田 健太郎 : 住友電工焼結合金(株) 製品開発部
技師



高田 翔一 : 住友電工焼結合金(株) 製品開発部



野田 宗巨 : 住友電工焼結合金(株) 製品開発部



井上 清隆 : 住友電工焼結合金(株) 製品開発部
グループ長



*主執筆者