



高効率オイルポンプロータ (ジオクロイド™ロータ)の開発

吉田 健太郎*・魚住 真人・島田 良幸
小菅 敏行

Development of High Efficiency Internal Gear Pump Rotor “Geocloid Rotor” — by Kentaro Yoshida, Masato Uozumi, Yoshiyuki Shimada and Toshiyuki Kosuge — Internal gear pump rotors are powder metallurgy parts widely used in oil pumps of automobile engines, automatic transmissions (ATs), and continuously variable transmissions (CVTs). In the recent development of energy-efficient environmental-friendly automobiles, oil pump rotors are required to reduce their size while maintaining sufficient discharge volume. To meet the requirements, we have developed a highly efficient oil pump rotor with a new tooth profile “Geocloid.” The Geocloid tooth is designed to be higher than those of conventional rotor to provide higher mechanical efficiency, while allows the reduction in size of rotor without sacrificing the discharge volume. In 2011, Geocloid rotors started to be used in the automobile transmission oil pumps of hybrid vehicles.

Keywords: automobile, oil pump, internal gear pump rotor

1. 緒 言

焼結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、変速機（AT・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、HV車変速機潤滑用などの新用途への展開も進んでいる。

オイルポンプのエネルギー損失は例えばエンジン潤滑用であればエンジン全体のエネルギー損失の約10%、AT用であれば20～30%、HV車用であれば5～10%を占めると言われている。2012年の排ガス規制や2015年の燃費規制を背景に自動車の燃費競争が激化する中、オイルポンプに対する損失低減の要求がますます高まっている。

当社は、これまでオイルポンプの高効率化を実現する独自歯形としてパラコイド®ロータ、メガフロイド®ロータを開発、実用化してきた。オイルポンプの更なる効率化、とりわけ厳しい損失低減の要求に対し、ロータの小径化に優れた新歯形（ジオクロイド™ロータ）を開発し、HV車の変速機潤滑用途への実用化に成功した。

2. 高効率ポンプロータ開発へのアプローチ

2-1 内接歯車ポンプの仕組み 内接歯車ポンプの構造及び仕組みを図1に示す。インナーロータとアウターロータはケース内に偏心して配置される。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、アウターロータとインナーロータの歯面によって密閉された空間（チャンバー）が作られる。インナーロータを駆動回転させると、アウターロータはインナーロータとかみ合うこと

により駆動力を受け、インナーロータに従動して同じ方向に回転する。1つのチャンバーに注目すると回転に伴い体積が徐々に大きくなり、最大になった後また小さくなるという動きを繰り返している。この時のチャンバー体積が大きくなる領域で吸入ポートよりオイルを吸い上げ、体積が最大となる位置で一度吸入・吐出ポートから切り離し、その後の体積が小さくなる領域で吐出ポートにオイルを吐き出すことでポンプとして機能する。

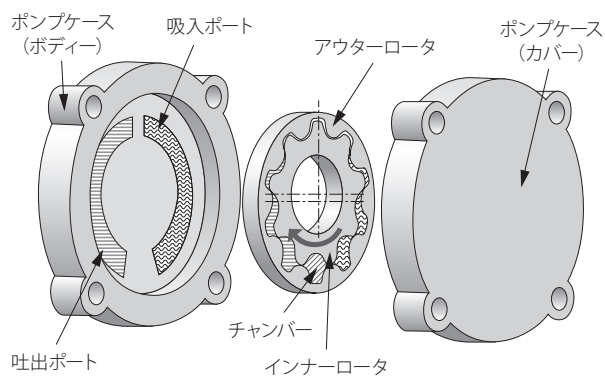


図1 内接歯車を用いたオイルポンプの構造図

2-2 ポンプの高効率化 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。

$$\text{ポンプ効率 (\%)} = \text{容積効率} \times \text{機械効率} \times 100$$

$$\text{容積効率 (\%)} = \frac{\text{実吐出量}}{\text{理論吐出量}} \times 100$$

$$\text{機械効率 (\%)} = \frac{\text{(理論吐出量} \times \text{吐出圧)}}{(2 \pi \times \text{駆動トルク})} \times 100$$

ここで、理論吐出量は前述の最大チャンバー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、ポンプの高効率化には、実吐出量の向上と駆動トルクの低減がポイントとなる。駆動トルクに着目すると、駆動トルクはオイルを吐出する実仕事とロータ回転時の各摺動部の摩擦抵抗による損失の和で決まり、この摺動損失を小さくすることが駆動トルクの低減に繋がる。また、実仕事は吐出圧に比例するため、吐出圧設定が低いオイルポンプ程、駆動トルクに占める摺動損失の割合が高くなる。

図2にロータ体格（アウターロータ外径）に対する駆動トルクをあるポンプ条件下で理論計算した一例を示す。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、駆動トルクは小さくなる。各部位の摺動損失の割合を図3に示す。これからも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最も有効であることが分かる。

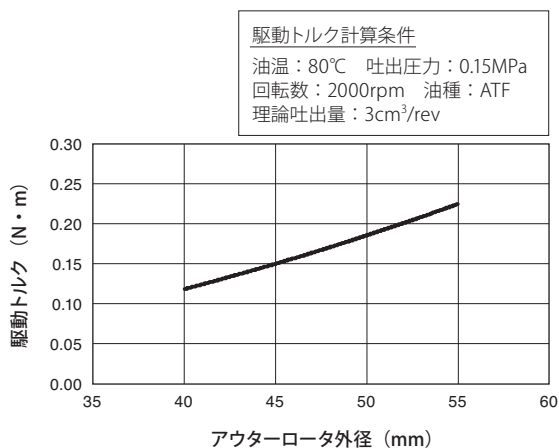
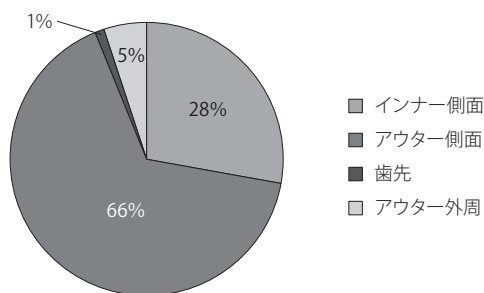


図2 ロータの体格と駆動トルクの関係



※ロータ径55mm ロータ厚み4.5mmの場合

図3 ロータ各部位の摺動損失の割合

2-3 ロータ小径化に対する課題 ロータの径方向の大きさは、ポンプの要求仕様に依り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、図4で示すように、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、肉厚は部品強度とチャンバー内のオイルが駆動軸側に漏れるの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、最大チャンバー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チャンバーの体積が増え、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）を必要以上に厚くせざるえない場合があった。言い換えると、ロータ径が必要以上に大きくなる課題があった。図5に従来歯形の一例として、サイクロイド曲線によるインナーロータの歯形の創成方法を示す。サイクロイド歯形は、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、ほぼ一意に基礎円径が、それに依りてロータの大きさが決まる。

その課題に対して、当社はこれまでに、サイクロイド曲線とインボリュート曲線を組み合わせ、歯形設計の自由度を向上したメガフロイド®ロータを開発、実用化してきたが、今回、ロータ駆動トルク低減の厳しい要求に応えるべく、

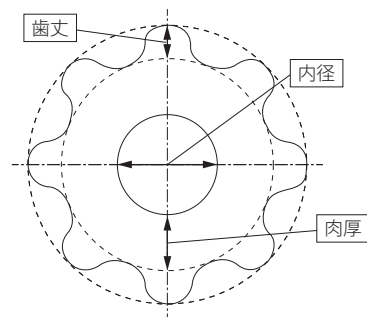


図4 インナーロータの構成要素

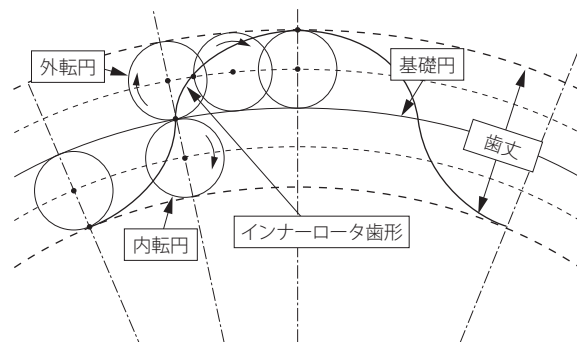


図5 サイクロイド曲線によるインナー歯形の概要

更なるロータ小径化を狙った設計自由度の高い歯形曲線（ジオクロイド™ロータ）の開発を行った。

2-4 新開発ジオクロイドロータの設計概念と利点 ジオクロイド™ロータのインナーロータの歯形の概要を図6に示す。

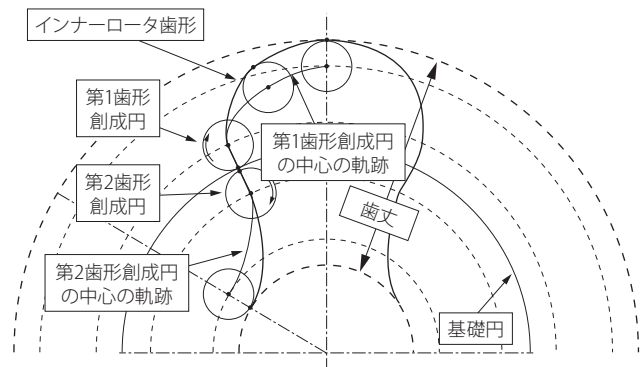


図6 ジオクロイド™ロータのインナー歯形の概要

ジオクロイド™ロータは、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設計の自由度を向上している。図7にジオクロイド™ロータの利点を示す。

- ①過剰な肉厚（＝シール幅）を抑制した小径設計が可能。
- ②同一ロータ体格で歯数を変えることが可能。

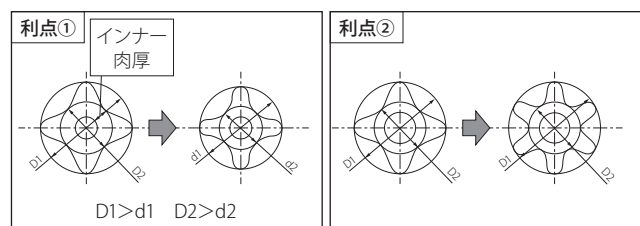


図7 ジオクロイド™ロータの利点

利点①の事例を図8に示す。本事例では、当社従来歯形に対し11%の小径化を実現している。

アウターロータの設計概念図を図9に示す。アウターロータは、インナーロータの包絡線群で描く当社独自設計手法【登録実用新案 実公平06-039109】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、①高容積効率化と②回転保証を実現している。

設計条件	歯数：8/9枚（インナー／アウター）		ロータ厚み：5.5mm
	理論吐出量：3cm ³ /rev		
歯形	パラコイド®	メガフロイド®	ジオクロイド™
ロータ形状			
サイズ(比)	ø54.6mm (100)	ø52mm (95)	ø48.6mm (89)
歯丈(比)	4.6mm (100)	4.8mm (105)	5.5mm (120)

図8 ジオクロイド™ロータの小径化事例

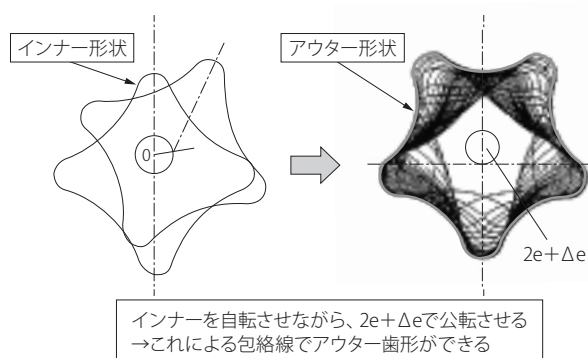


図9 包絡線を用いたアウターの創成方法

3. ジオクロイド™ロータのポンプ性能

3-1 性能評価 その1 同一歯数のジオクロイド™ロータとパラコイド®ロータを設計し、ポンプ性能を比較評

表1 性能評価（その1）仕様・条件

歯形	パラコイド®		ジオクロイド™	
	MIN	MAX	MIN	MAX
クリアランス仕様				
歯数（インナー／アウター）	8/9		8/9	
厚み	5.5mm		5.5mm	
外径	ø54.6mm		ø48.6mm	
理論吐出量	3cm ³ /rev		3cm ³ /rev	
歯形形状				
各部隙間	サイドクリアランス	ボディックリアランス	チップクリアランス	
	MIN	MAX	MIN	MAX
試験条件	油種			
	ATF			
	油温			
	50、120℃			
吐出圧力				
0.05MPa				
回転数				
1000～6000rpm				

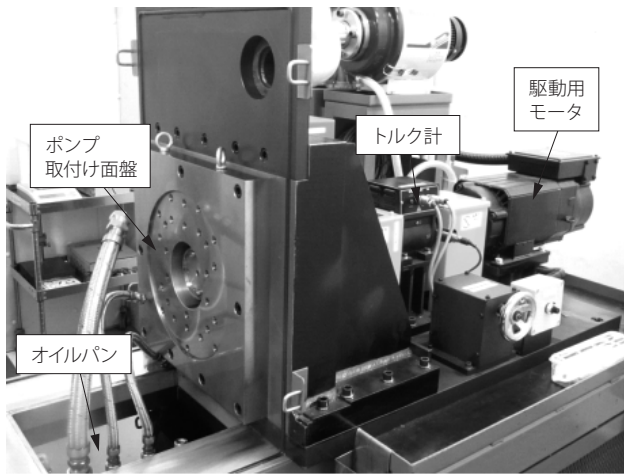


写真1 評価設備

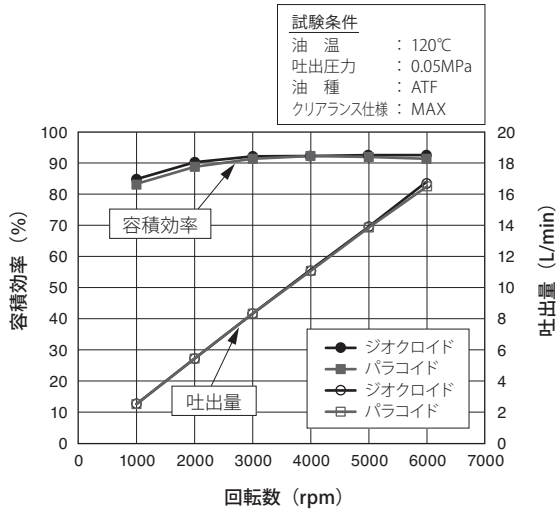


図10 吐出量・容積効率

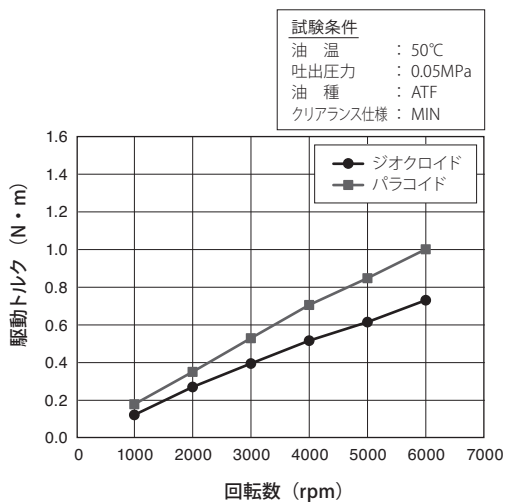


図11 駆動トルク

価した。設計仕様と評価条件を表1に、評価設備を写真1に示す。吐出量・容積効率の評価結果を図10に、駆動トルクの評価結果を図11に示す。

本評価より、ジオクロイド™ロータは、パラコイド®ロータと同様に高容積効率を維持しつつ、小径化の効果により駆動トルクを低減できることが分かる。

3-2 性能評価 その2 同一体格のジオクロイド™ロータとメガフロイド®ロータを設計し、高吐出圧下でのポ

表2 性能評価 (その2) 仕様・条件

ロータ仕様	歯形	メガフロイド®	ジオクロイド™
	歯数 (インナー/アウト)		6/7
厚み		15mm	15mm
外径		ø60mm	ø60mm
理論吐出量		12cm³/rev	12cm³/rev
歯形状			
各部隙間	サイドクリアランス	NOM	NOM
	ボディクリアランス		
	チップクリアランス		
試験条件	油種	ATF	
	油温	80°C	
	吐出圧力	1.0MPa	
	回転数	500~6000rpm	

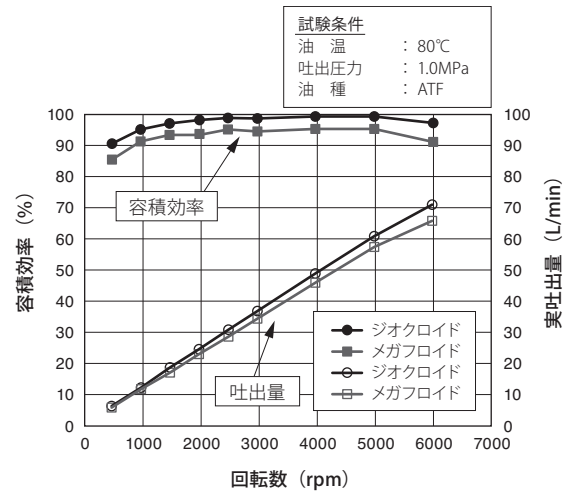


図12 吐出量・容積効率

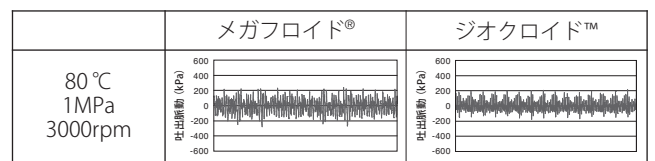


図13 吐出圧脈動値 (p-p値)

ンプ性能を比較評価した。設計仕様と評価条件を表2に、吐出量・容積効率の評価結果を図12に、吐出圧脈動値の比較を図13に示す。

本評価より、高吐出圧（1.0MPa）の条件においてもジオクロイド™ロータはメガフロイド®ロータと同様の吐出性能を発揮し、歯数増の効果により吐出圧脈動を低減できることが分かる。

4. 結 言

オイルポンプの損失低減を実現できる新しい歯形（ジオクロイド™ロータ）を開発した。2011年よりHV車の変速機潤滑用ポンプで実用化しており、今後は他の用途への展開を図る。また、ジオクロイド™ロータの性能を更に向上させた次世代歯形の開発にも着手、自動車の更なる燃費向上や性能向上へ繋げていく。

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ーの開発」、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）

執 筆 者

吉田健太郎*：住友電工焼結合金(株) 伊丹製造部
オイルポンプロータの設計・開発に従事



魚住 真人：住友電工焼結合金(株) 伊丹製造部 主席技師
島田 良幸：住友電工焼結合金(株) 伊丹製造部 主席技師
小菅 敏行：住友電工焼結合金(株) 伊丹製造部 グループ長

*主執筆者