

B6 Components

高効率でCO₂削減に貢献するオイルポンプの開発

「自動車自動変速機用ベーンポンプ」

"Vane Pump for Automatic Transmission in Automobile"

Development of Highly Efficient Oil Pump that Contributes to CO₂ Reduction

キーワード | 高効率・低温始動性・高回転・自動変速機・CVT・燃費改善
CO₂削減

技術開発本部

下口 保 Tamotsu Shimoguchi

要 旨

現在日本では自動車の変速機にCVTが広く採用されている。CVTは北米・中国でもその数が増えてきている。AT・CVT用のオイルポンプは、これまで内接ギヤポンプが主流であったが、CVTのように高い油圧を使う場合、内接ギヤポンプでは容積効率が劣ることからCVTにおいてはベーンポンプの採用が増えてきている。

これまでNACHIでは、自動車用の油圧機器としてAT・CVT用にソレノイドバルブを量産してきたが、今回自動車用(AT・CVT・EV・HV)の油圧源としてベーンポンプを開発し市場に投入した(図1)。

本稿では、NACHIのベーンポンプの歴史を振り返りながら、自動車用に開発したベーンポンプについて紹介する。



これらにより、燃費向上に寄与

図1 CVTに搭載されたNACHIポンプ(トヨタ自動車提供)

Abstract

Presently, use of CVT is widely adopted to the transmission of an automobile in Japan. The number of CVT has been increasing in North America and China as well. Regarding oil pumps for AT and CVT, an internal gear pump was the mainstream until recently. However, the volumetric efficiency is poor with the internal gear pump when it is used for high oil pressure that CVT uses. Thus, a vane pump is increasingly being used in CVT.

NACHI has been mass-producing solenoid valves of hydraulic equipment for automobile AT and CVT, but this time it developed and introduced into the market a vane pump as a hydraulic source for CVT. (Refer to Illustration 1)

The article introduces a vane pump developed for an automobile while reflecting on the history of NACHI's vane pumps.

1. NACHIベーンポンプ開発の歴史

NACHIの油圧の歴史は、1943年ブローチ盤向けの平衡形ベーンポンプの内製にはじまる。当時NACHIは、多くの加工設備を海外から調達していたが、基幹部品は内製化し、より良い商品製造に邁進していた時代である。そのような背景の中、工作機製造所ではポンプの内製化にとり組むことになったわけだが、すぐに内製化できたわけではなく、アメリカ製の平衡形ベーンポンプのスケッチ(模倣)から入ったとされている。当時はカムリングの摩耗、プレートの焼き付きで苦勞が多かったと聞かすが、それでも内製化に成功し、外販するまでに成長していく。

油圧は暁の産業という時代を経て、NACHIのベーンポンプの主力は可変形ベーンポンプ(非平衡形)となり、また高圧タイプのギヤポンプ、ピストンポンプと油圧ポンプの商品ラインナップは増えていった(図2)。

それから70年後、一般産機器向けにポンプを開発してきたNACHIが、自動車用として平衡形ベーンポンプの開発をはじめることになる。



可変ベーンポンプ



高圧ギヤポンプ



可変ピストンポンプ

図2 NACHIラインナップ一般産機用ポンプ

2. 一般産機と自動車用の相違点

一般産機向けベーンポンプと自動車用ベーンポンプの使われ方の大きな違いは、使用回転数域と使用温度範囲がある。回転数では、一般産機が約1,000～3,000rpmに対し自動車は500～7,000rpm。温度では、一般産機が30～60℃に対し自動車は-40～150℃と使用領域は大きく異なっている。圧力は、一般産機向けは7～14MPaに対しCVT用ポンプは6MPaと産機で実績のある範囲内である。耐圧強度に関しては従来の知見を活かしながら材料強度を決めることができたが、高速回転での吐出性能については事前に予測はしていたものやはり最初の試作はうまくいかず、高速回転での吐出性能を確保することが最初の課題となった。

3. ベーンポンプの構造

ベーンポンプは、カムリング・ローター・ベーンを両側のプレートで挟むことによって容積室を形成する(図3)。ベーンはローターに加工された溝の中に挿入されており、ローターの回転に伴って、遠心力で飛び出しカムリングの内面沿ってローターの溝内を出たり入ったりしている。一般産機用では、回転数も1,000～3,000rpmであり、作動油の温度も20～60℃程度と使用範囲が限定されているため、遠心力のみでも十分ベーンは飛び出すことができる。自動車用では、7,000rpmでの高回転時にベーンがカムリングに沿って飛び出すことができなくなり(ベーンの飛び出し不良)、カムリングとベーンの先端にすきまが発生する不具合を起こす懸念がある(ローターの溝内でベーンが高速で移動すると、すきまにある油膜の引きずり抵抗が大きくなり、ベーンの飛び出しの抵抗となる)。

また、低温時(0～-40℃)には油の粘性抵抗が大きくなり、これもローター溝内での油膜の引きずり抵抗が大きくなりベーンの飛び出し性を悪化させる。このため、自動車用ベーンポンプではベーンの背圧室側(カムリングと接触する反対側の面)に吐出圧を導き、油圧力によって強制的にベーンを飛び出させるように工夫している。この手法は、ベーンの飛び出しには有効であるが、吸入工程でベーンは油圧力でカムリングに押し付けられるため、カムリングの摩耗対策が重要となる。カムリングの材質・摺動部の加工精度の管理が重要となってくるが、高圧のベーンポンプの知見があったおかげで、材料強度・加工精度に関しては大きな問題なく開発はすすんでいった。

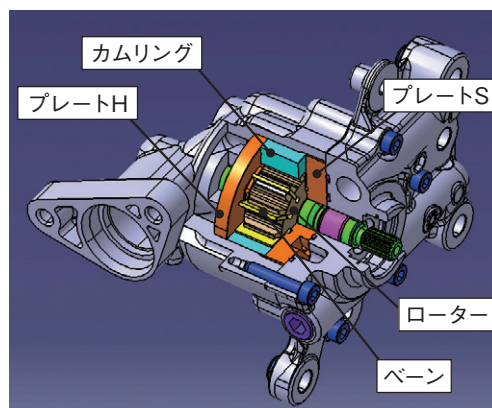


図3 ベーンポンプ断面構造

4. 課題1：回転数－流量特性

自動車用のポンプでは500～7,000rpmまで回転数の上昇とともに吐出流量も増加するが、限られた空間内で大流量が通過することとなり、作動油を十分吸いきれず、回転数が増加しても流量が増加しなくなる点が発生する(自動車メーカーではキャビテーション限界と呼ぶ)。回転数に対し流量が増加しなくなると負圧が大きくなりキャビテーションが発生しやすくなる。これは、プレート表面を侵食し異物の発生、ポンプ機能の低下につながる。このため、7,000rpmでも回転数に比例した流量を吐出できるかどうか、ポンプ性能を比較する上で重要な特性となる(図4)。

(この問題を解決するため、吐出流量の一部を分流し、吸入ポートに戻すバルブを内蔵したポンプも市場に出ている。)

NACHIはこの問題を解決するため、次2点のアプローチで対策した。

- ①吸入油路の拡大。ストレーナ取り付け口から容積室までの油路を搭載空間の中で可能な限り広げる。
- ②容積室への開口部を広げる。これは、カムリングに切りかけを付与することと(図5)、ローターの外周に凹部を設け(図6)、容積室側面から容積室への開口面積を広げる。

この対策により、当初5,000rpmほどで発生していた流量の折れ点(回転数に追従して流量が増加しなくなる点)が7,000rpm以上と大きく改善できた(図7)。

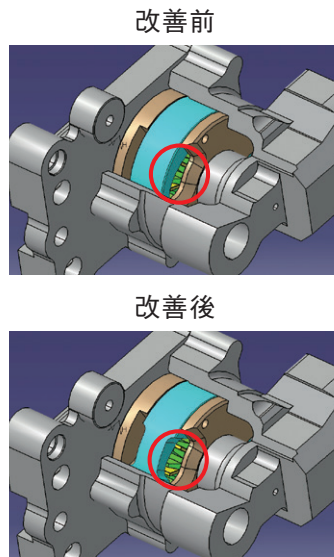


図5 カムリングの切り欠け対策

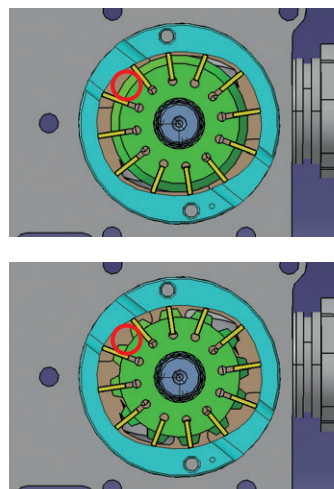


図6 ローター外周凹部対策

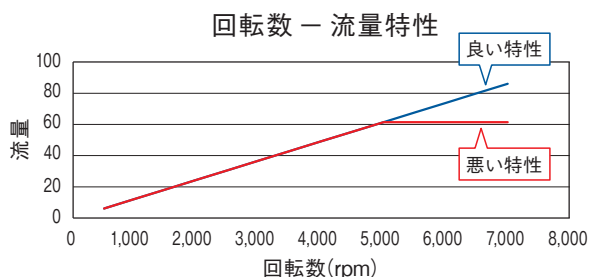


図4 回転数－流量特性(説明図)

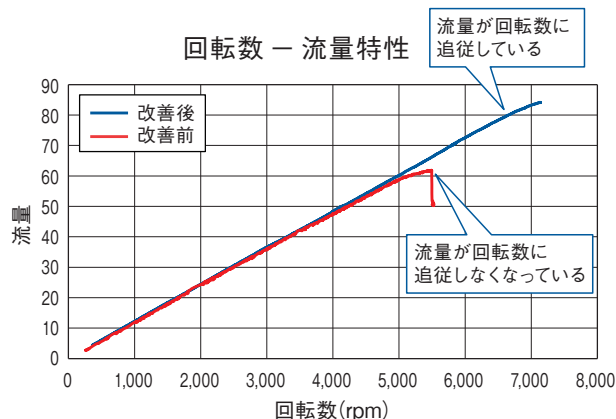


図7 回転数－流量特性(実測波形)

5. 課題2：低温始動性

次に直面した課題が、低温始動性である。自動車は世界中で使用されることを前提に設計される。当然寒冷地での使用が想定されるが、 -40°C でもエンジン始動と共に油圧を発生させる必要がある(日本では、 -40°C でエンジン始動後すぐ発進する人はいないと思うが、海外ではエンジン始動後すぐ車を発進させる人がいるという話だ)。開発当初はとくに問題とならなかったが、開発がすすみCVTユニット側のバルブボディの油圧回路の変更をした際に、低温始動性が悪化するという問題が発生した。ベーンポンプは停止すると遠心力が無くなるため、回転中心より上側のベーンは自重でローター溝内に落ちてくる。そのため吸入側と吐出側の部屋がつながってしまい、吐出ポート側の油が吸入ポート側に落ちてしまう(ポンプの吐出ポートの先のバルブボディ油圧回路の形状の影響を受ける)。溝に

落ち込んだベーンは低温時は遠心力だけでは粘性抵抗に打勝って飛び出すことができないためポンプ作用が起きない(回転中心より下側のベーンは自重で下がり、カムリングにあたるまで飛び出しているため、ポンプ作用はする)。ところで、ベーンはローター内を出入りするため、吸入工程と吐出工程でベーン背圧室にある油が行き来する構造となっている。背圧室に行き来する油の流れを利用し、停止時に飛び出しているベーンの背圧室の油を吸入部と吐出部を仕切る位置にあるベーンに優先的に背圧が発生するように背圧溝形状を工夫することで低温始動性を確保することができた(図8)。なお、低温始動性の対策内容の効果確認においては、ユーザーより開発中のユニットをお借りして、実際の油圧回路で効果確認を行なった。

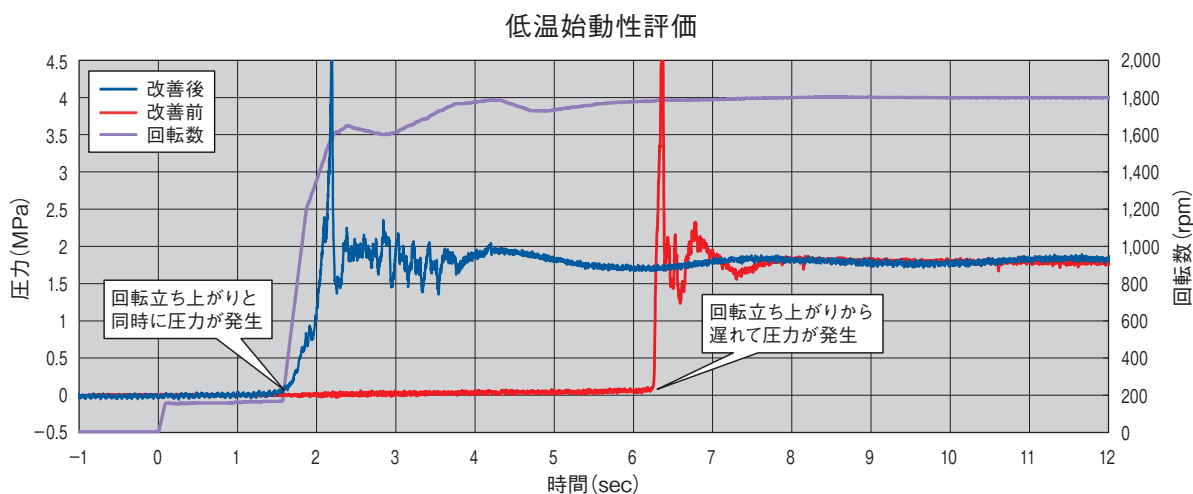


図8 低温始動性(実測波形)

6. まとめ

今回のCVT用のベーンポンプの開発においては、上記以外にもいくつか問題が発生したが、ユーザーと共に対策案を協議し問題を解決していくことができた。

また、効率の良いポンプを提供することで燃費改善・CO₂削減にも寄与することができ、ユーザーからも高い評価をいただくことができた。

今回の開発を通し得られた知見も多くあり、今後もより良い商品開発に活かしていきたい。