

## 車載用ベーンポンプ評価設備の開発

釣 琢 弥 ・ 藤 井 稔 彦 ・ 小 寺 康 大

### 1 はじめに

自動車メーカ各社が環境へ配慮した自動車づくりへ取り組む中、環境負荷低減のため部品メーカにも車載部品の性能向上が求められている。

KYBが取り扱う製品も日々性能向上へ取り組む中で、製品としての成立性を評価する実験部においても、製品を評価するために必要な技術（試験機）開発、試験精度向上、試験の高効率化等、様々な課題に取り組んできた。

### 2 製品紹介

2004年に量産化したCVT<sup>注1)</sup>用ベーンポンプは右肩上がりに生産数を伸ばし、現在では当社の主力製品である。

世界初のCVT用ベーンポンプ6Kから始まり、アルミダイカストカバーを採用した中・小型車向けベーンポンプ7K、更なる性能向上を達成した6K2、フローコントロールバルブを廃止し、トルク低減を達成した7K3（写真1）と様々なモデルの開発を行ってきた。

現在では、中国、タイ、メキシコまで生産拠点を増やし、数十万台/月を生産しており、お客様からは、性能、品質において高い評価を頂いている。

注1) Continuously Variable Transmission（無段階変速機）のこと。



写真1 CVT用ベーンポンプ (7K3)

### 3 実験部の取り組み

ベーンポンプは、CVTの油圧源に使用されており、トランスミッションの性能に大きく寄与する。そのため、性能向上に対するお客様からの要求は厳しく、流量、駆動トルクの値は多用途用に使われているポンプと比較し、1/100の小さな値を議論することも多い。

製品を評価する上で、試験機や測定のばらつきが製品仕様のばらつきより大きいと正確に評価ができない。従って測定値に影響するさまざまな外乱の排除やデータの処理方法を工夫して計測精度を向上させていくこと、並びに試験機の開発は、実験部の重要な役割である。本報では、その取り組みの一部について紹介する。

### 4 性能試験機の開発

ポンプの重要な基本特性にP-Q特性と駆動トルク特性がある。P-Q特性は圧力（P）負荷時のポンプ流量（Q）を測定する試験であり、駆動トルク特性はポンプを駆動した際に発生するフリクションを測定する試験である。

試験機の開発を行う前は、段取りから測定まで全ての作業を人が行っていた。しかし、測定に人が介在すると操作方法（温度、圧力、ポンプ回転数の調整）に微妙な違いが生じるため、ばらつきの要因になる。そのため、製品の特性を正確に評価するためには、試験機の操作方法によるばらつき（人の影響）をなくす必要がある。

対策として以下の項目を盛り込んだ新規性能試験機を開発した。

- (1) 圧力調整の自動化
- (2) トルク測定方法変更
- (3) 測定ジグの共通化

以下、これらについて詳細に紹介する。

#### 4.1 圧力調整の自動化

ポンプは油圧源であるため油の吐出が最大の役割である。また、その流量は圧力によって変動するため、圧力調整は試験を行う上で重要な管理項目の1つである。圧力変動が大きいと流量が安定しないだけでなく、トルク変動にも大きな影響を及ぼす。よって、圧力をより安定させるため、圧力調整にはバランスピストン型のリリーフバルブを使用している。

以前の試験機では、圧力調整バルブの調整速度が試験を実施する作業員で異なるため、流量にばらつきが生じていた。そのため詳細な差を判断しようとした時に、差が供試品に起因するのか、測定にばらつきなのか判断できなかった。そこで、圧力調整の自動化に取り組んだ。

まず検討したのは市販の比例ソレノイドバルブの使用である。しかし、スプールが内蔵されている比例ソレノイドバルブでは、油にエアが介在した時や配管の固有振動数とスプールの共振周波数が重なった時に、スプールが発振することが懸念された。よって、これまで使用しているリリーフバルブを使用し、サーボモータでリリーフバルブの開弁圧調整を行う自動バルブを考案した。更にサーボモータの回転速度は、圧力をフィードバックし、制御する機構とした。この自動バルブによって圧力上昇速度の定速化が図れ、従来までばらつきの要因として挙げられていた圧力調整速度に対する議論はなくなった。

しかし、自動バルブを導入して数ヵ月後に新たな問題が発生した。それは圧力調整軸の摩耗である。使用しているリリーフバルブは安全弁として設計されているため、圧力調整用として頻繁にバルブを開閉することは想定されていない。圧力調整を自動にしたことで、送り速度の変化、原点復帰による送りの距離が増加したため、圧力調整ねじ部が摩耗したと推察された。その対策として潤滑を良好にするためのグリスニップルを設けて摩耗発生の問題を解決した(写真2)。

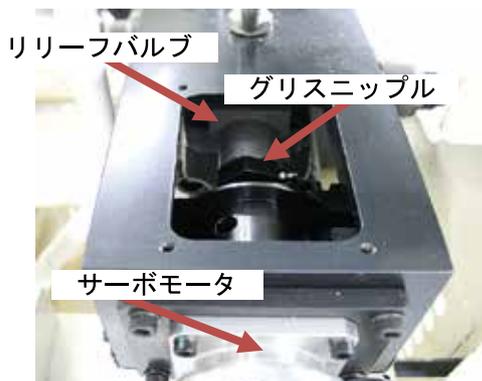


写真2 開発した自動バルブ

#### 4.2 トルク測定方法変更

圧力調整の自動化に伴いトルク測定方法の見直しを同時に実施した。今までは回転数、圧力を指定値に固定し、ポンプが発生させるトルクの平均値を算出していた。しかしこの方法では、調圧を行う作業員間で微小に圧力がずれ、試験結果に差が生じていた。

平均値による算出方法に対し、指定値をまたいで圧力を上昇させ、圧力に対するトルク値を線形補間し、指定圧力を代入する方法に変更した。

トルクに影響を及ぼすジグや計測器、ポンプの軸受、内部部品の局部温度を安定させるために一定時間の暖機運転も設定した。

図1に測定したグラフを示す。ばらつきが低減する結果となった。

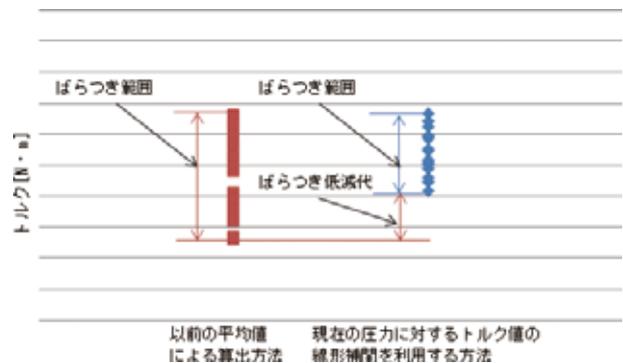


図1 トルク測定方法変更によるばらつき低減効果

#### 4.3 測定ジグの共通化

2基存在していたジグの共通化を行った。

開発前は、P-Q測定ジグと駆動トルク測定ジグの2基を試験機にのせ、入力軸のプーリーに掛けるベルトを付け替え測定していた(写真3)。理由は、常にトルク計を装着しておく、過大なトルクが発生した時に、高価なトルク計を破損させてしまうからである。

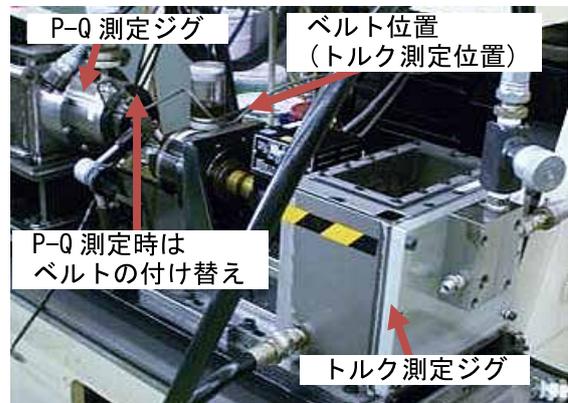


写真3 開発前の性能試験機

ジグを共通化するため、P-Q特性を測定していたジグをベースに中間軸を設けて、リニアガイドに

沿ってトルク計と中間軸を交換できるように設計した。この改善によって段取り工数を大幅に減らすことができた（写真4）。

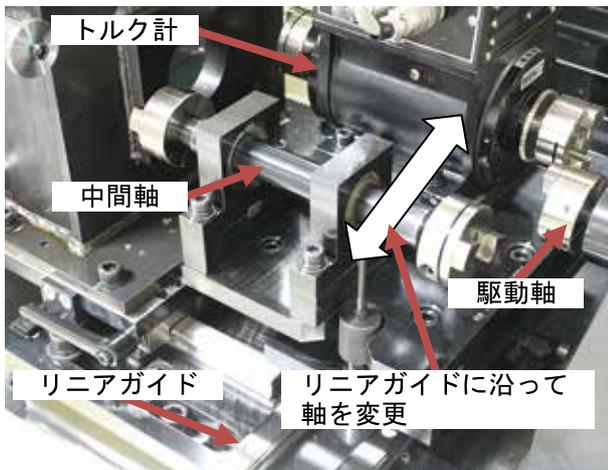


写真4 開発品のジグ

#### 4.4 全自動化による効果

性能試験機の開発によって、作業者は段取り実施後、評価開始ボタンを押すだけで油温の上昇から計測器のゼロ点補正、評価までを自動で実施できるようになった。また、全自動化により測定精度の向上に加え、評価効率も向上させることができた。

開発した性能試験機は、各海外拠点からの強い要望により、水平展開を行っている。日本の試験機のコピーがKST（タイ工場）、KMEX（メキシコ工場）そしてKIMZ（中国工場）に導入されている。

試験機の設置にも日本から現地へ支援に行き、計測データの相関取りから使用方法、日常・定期メンテナンス、スタッフの教育まで幅広く実施した。これにより、日本国内と同品質で評価することが可能となった。

今日も性能試験機はKYBグループの全拠点で日々の評価に使用している（写真5）。



写真5 全自動化した性能試験機

## 5 微小トルク試験機の開発

次に紹介するのは前述の1/100オーダーのトルク測定を可能にした微小トルク試験機である（写真6）。

燃費に重要な規格は低回転、低圧域のトルク値であり、実測値が効率100%時の理論値に近く、非常に小さい値である。

以前の試験機では測定ばらつきが大きく、ポンプ仕様の変化による差を確認するのに何度もやり直しが必要であった。そこで微小なトルクを高精度で測定するための試験機の開発に取り組んだ。

新たな試験機の開発にあたり、まずトルクに影響する要因の洗い出しを行い、以下の項目を見直すこととした。

- (1)計測器の精度（トルク計、圧力計）
- (2)駆動方法
- (3)軸芯振れ
- (4)油温管理

### 5.1 計測器の精度（トルク計、圧力計）

前述したトルク試験機は、作動範囲全てを測定する目的で製作された試験機であり、ポンプ仕様の最大値に合わせた容量のトルク計を使用していた。

まず測定精度を向上させるために、トルク計の検討を行い精度、納期、費用から最適なトルク計を選定した。また、圧力計の選定においても同様に測定条件にとって最適な圧力計を選定した。

### 5.2 駆動方法

前述した開発前の試験機はモータの回転出力をベルトを介してポンプへ伝達している。しかし、ベルトを介すと、ベルトでのすべりや回転変動が発生し、回転変動がトルク変動に悪影響を及ぼす。

そのため回転変動が発生しないように、ポンプの駆動をモータ直結とした。また、使用するモータはサーボモータを使用し、速度変動率を0.01%以下とした。

### 5.3 軸芯振れ

ジグとポンプの軸芯がずれると芯振れが発生し、トルク変動となり、ばらつきの要因となる。そのためジグの精度も厳しく設計した。芯振れを最小限に抑えるため、ジグの加工から組み付けまでを一環して実施し、3次元測定器を用いて軸芯の高さ方向の寸法を管理した。

### 5.4 油温管理

作動油の粘度によってポンプ内のしゅう動摩擦が変化し、トルクの値が変化するため、温度（粘度）管理を厳しく行った。

測定した結果を図2に示す。トルク測定結果を3 $\sigma$ でばらつき計算すると、目標としていたばらつきに対して未達であったため、新たに処理方法の改

善を行った。

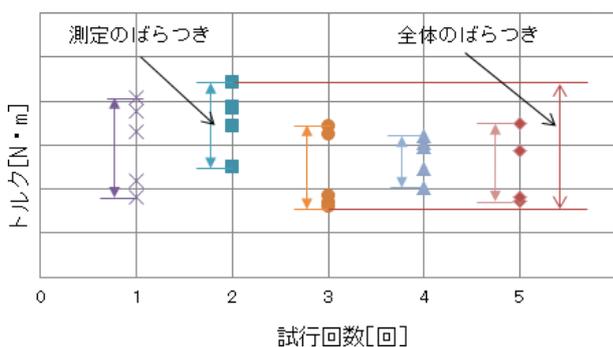


図2 測定ばらつき

測定のばらつきを更に小さくするため、以前まで実施していた1回の測定から、5回測定し平均値を記録することにした。その結果、 $3\sigma$ で1ケタ精度を向上させることができた。

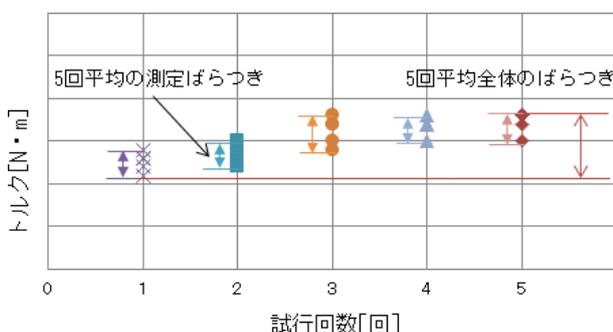


図3 平均値による測定ばらつき

今後更に燃費低減要求が強くなっていく中で、微小な値に対して、ポンプ特性なのか、試験機のばらつきなのかを判別していくことがますます難しくなっていく。微小な値が評価できるよう更なる精度にこだわった測定に果敢に挑戦していきたい。

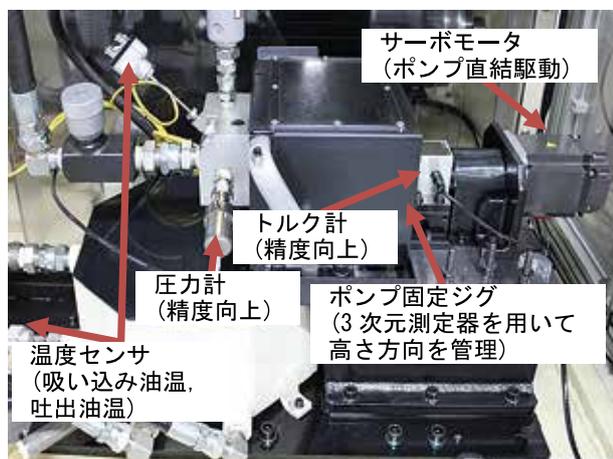


写真6 開発した微小トルク試験機

## 6 環境性能試験機の開発

ベーンポンプはロータのスリットに收容されたベーンをカムリング内径に張り出させ、ロータ、ベーン、カムリングで形成された部屋の容積を回転によって増減させ油を吸い込み、吐出する構造である。そのため、ベーンが張り出すためには遠心力の作用に加えベーンの背後に圧力を導く必要があり、ベーンが張り出すまでの時間は油を吐出することができない。

この時間が最も長くなるのが寒冷地である。油の粘度が高くなるとベーンのしゅう動抵抗が増えるため、油を吐出するまでの時間が長くなる。

また、低温時はポンプ吸い込み配管の圧力損失も増大するため、吐出できる流量も低下し、CVTへ必要な流量を供給できない可能性がある。このようにベーンポンプは構造上、低温時の評価が開発において必須であり、低温評価試験機の稼働率も高くなっている。

次に紹介するのは低温時の評価工数を低減した環境性能試験機である。以前の低温評価試験機は大きな恒温槽にジグを設置し、恒温槽の室温で油温を調整していた。そのため、油温の冷却にとっても時間が掛かっていた。また、ポンプを始動させると、ポンプの発熱によって油温が上昇し、1日に測定できる回数も限られていた。

そこで油温の冷却時間短縮と低温時の連続運転を目指した試験機の開発を行った。

### 6.1 油温の冷却時間短縮

まず取り組んだのが作動油の冷却効率を上げるため、雰囲気温度による冷却から熱交換による冷却へ変更することである。メインの油圧回路とは別にサブの油圧回路を設け、サブの油圧回路を冷却し、熱交換によってメインの油圧回路内の温度を冷却させる。この方法であれば直接作動油を冷却することができるため、冷却時間の大幅な短縮が図れる。

冷却媒体は凝固点が高いオイルを使用し氷点下 $40^{\circ}\text{C}$ 以下でも流動性が保てるものを選定することにした。

### 6.2 最適な試験機的设计

放冷、霜付着が冷却能力に大きな影響を及ぼすため、恒温槽内にジグ、配管を設置することとした。放冷の影響を抑制し、最適な熱交換器を選定することで試験機の冷却能力を最大限に引き出せるようになった。その結果、冷却効率も高くなり、ほぼ計算値と同等の冷却能力が得られた。完成した試験機を写真7に示す。

試験機の導入により、今まで冷却に掛かっていた時間を図4に示す様に大幅に短縮させることができ、試験効率が向上した。また、作動油を直接冷却させ

ることで低温時の連続運転が可能となった。

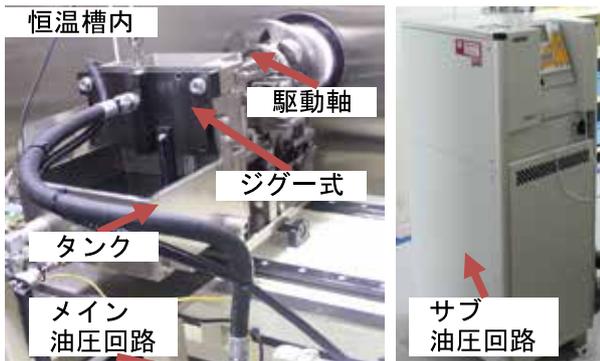


写真7 完成した環境性能試験機

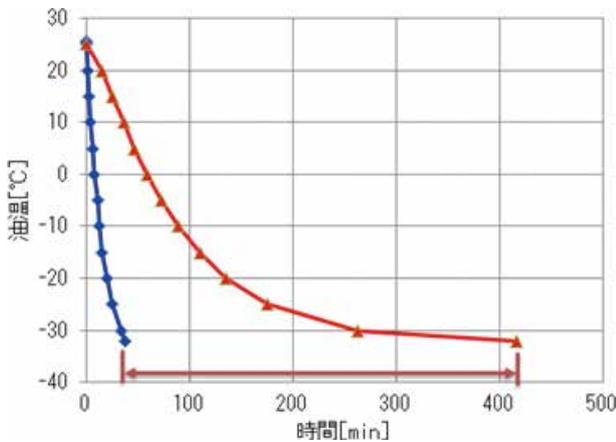


図4 試験機導入による効果時間

今回の新規設備を製作したことで、評価効率を高めてペーンポンプの低温特性改善のスピードアップに大きく寄与することができた。

## 7 今後の取り組みについて

CVT用ペーンポンプを評価して十数年、実験は新たなフェーズに入ろうとしている。

これまでは、ポンプ単体で評価を実施してきたが、単体試験機での評価ジグや評価条件ではトランスミッション内の動作環境と差が生じてしまう。お客様の製品構造、使用環境を理解した上で製品を開発していくことがお客様の求める製品に繋がり、喜びへ繋がると考える中で、私達もその方向へ舵を切っていく必要がある。

実際にお客様の製品を目で見て、触れて、使用環境を整えて、ポンプ単体からの目線ではなく、ユニットに目線を合わせ眺めることで、今まで考えることのできなかった新たな思想や発想のひらめきへ繋げていきたいと思う。

## 8 おわりに

本報では評価設備の開発に焦点をあて、実験部の取り組みを紹介してきた。新製品開発を行うためには同時に評価方法の開発や精度向上が求められることが増えている状況の中で、更に自分たちの技術、知識を活かして、実験部としての役割を全うしていきたいと思う。

最後に試験機の開発に携わってくださった関係会社様、関係者各位、ならびにご指導、ご支援くださった方々にこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。

## 著者



### 釣 琢弥

2004年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部ステアリング事業部実験部に所属。ペーンポンプの開発に従事。



### 藤井 稔彦

1986年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部ステアリング事業部実験部に所属。ペーンポンプの開発に従事。



### 小寺 康大

2009年入社。オートモーティブコンポーネンツ事業本部ステアリング事業部実験部に所属。ペーンポンプの開発に従事。