

電動パワーステアリング評価設備の開発

安藤 浩二 ・ 室橋 淳夫 ・ 藤掛 光彦 ・ 堀 剛士

1 はじめに

近年、世界中で“環境への配慮”という声と共に、自動車の世界では電気自動車（以下EV）への期待が高まっている。

英・仏では2040年をめどに内燃機関の販売を禁止するという発表があったり、2017年のフランクフルトショーではEV時代の到来を意識しないではいられない状況となった。

更に、自動運転の開発も世界中で急速に進んでおり、国内でも公道を使用した実験走行実施のニュースが聞かれるようになってきた。

EV、そして自動運転技術の開発が進むと、電動パワーステアリング（以下EPS）の更なる性能アップと信頼性向上が急務である。

信頼性評価を行う実験部としては、製品開発同様に実験の信頼性向上と高効率化を目指し、評価技術と試験設備の開発に取り組んでいる。

KYB技報第55号で紹介したポンプ実験設備と同様に、本報ではEPS評価設備の開発に焦点をあてた実験部の取り組みを紹介させていただく。

2 製品紹介

2.1 EPSとは

EPSは、ステアリング操作におけるドライバーの負担を、電動モータによる補助で軽減する装置である。

ひとくちにEPSと言っても、大きく分けて以下のような分類がある。

- ①コラムアシストタイプ
- ②ピニオンアシストタイプ
- ③ラックアシストタイプ^{注1)}

注1) ラックアシストタイプには、ダイレクトドライブタイプ、ベルトドライブタイプ、2ピニオンタイプがある。本報では以下2ピニオンタイプEPSと記述する。

KYBの主力である2ピニオンタイプEPS（写真1）は、エンジンルームの最も低い位置に搭載されることが多い。そのため、エンジンや排気管の熱にさらされる一方、極寒の地域にも車が販売される。また、急激な温度変化にも耐えるものでなければならず、120℃の高温から-40℃の低温までの保証が必要になる。

更には、泥水や冬期の凍結防止剤が溶けた水がかかるなど、使用環境は極めて厳しく、高い防水性能や防錆性能も要求される。

そして、ひとたび事故が起これば、事故の原因として疑われて訴訟の争点になることもあるため、要求される信頼性試験はおのずと厳しいものになり、現象の可視化も求められる。

また、EPSはドライバーが“手”でその性能を直接感じるのど、“操舵フィーリング”のような感覚的な性能も問われる部品でもある。

そうした背景から厳しい試験条件を正確に再現できるテストベンチ、感覚的な性能の定量化、現象の可視化を目的にKYBオリジナルの試験装置の開発を進めてきた。

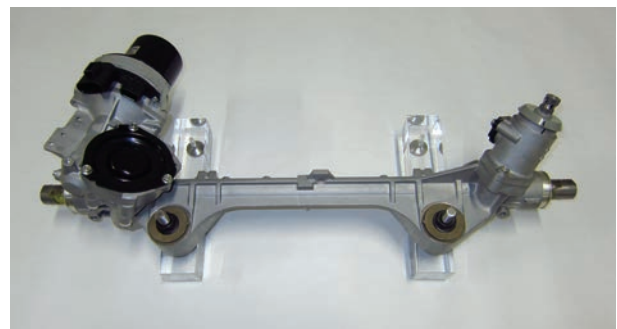


写真1 2ピニオンタイプEPS

2.2 EPSの構造と作動について

本題に入る前に2ピニオンタイプEPSの仕組みについてももう少し説明する。

部品構成はおおよそ図1のようになっており、作動は以下の流れになる。

- ①ドライバがハンドル操作をする。
- ②ハンドル操作力（以下、操舵トルク）をスタブシャフトが受ける。
- ③トルクセンサが操舵トルクを検知する。
- ④トルク信号をECU^{注2)}に送る。
- ⑤トルク信号に合わせてアシストモータへ電力を供給。
- ⑥アシストモータの回転力（トルク）を減速ギヤで増幅し操舵をアシストする。
- ⑦減速ギヤとピニオンギヤは一体になっており、ラック&ピニオンによってピニオンギヤの回転運動は、直線運動に変換される。
- ⑧ラックに推力が発生し、タイロッドを介して、ナックルアームを押しタイヤの切れ角が発生する。

以上の流れの繰り返しで、EPSはドライバのステアリング操作をアシストするのである。

注2) Electric Control Unitの略。

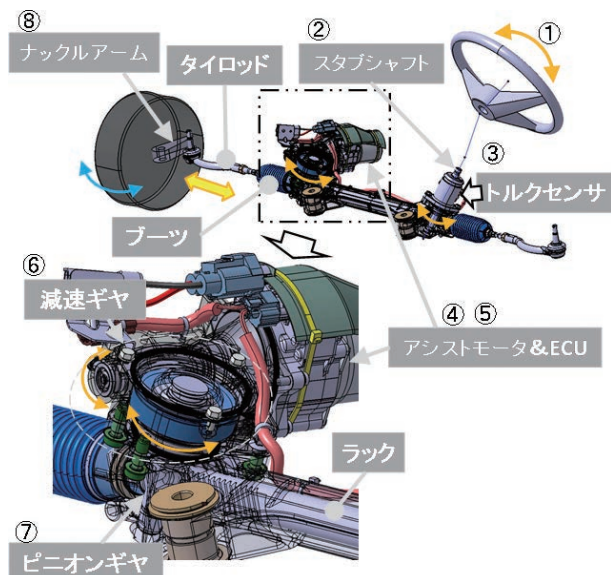


図1 2ピニオンタイプEPS部品構成

3 試験設備紹介

3.1 泥塩水耐久試験機

3.1.1 開発の背景・概要

製品紹介の項で述べたようにEPSの防錆・シール性の評価として、塩分を含んだ泥水をかけながら作動耐久試験を実施するための試験機である。

EPSの安全な動作保証をするためにはモータやECUなどの電装部品が水に濡れないように、シール性保証は特に重要である。

例えば、操舵することによって伸縮する構造になっているブーツは内側の圧力が負になり外部の水を吸い込んでしまうという懸念もある。

この例のように単純な水没・浸水試験だけではなく、操舵動作を与えながら泥塩水を散布することが、車両での使われ方に最も近いEPSの防錆・シール性評価方法となる。

以前は泥水によるシール性評価試験と、塩水による防錆性能確認試験は別々に実施していたのだが、冬期に路面に散布する凍結防止剤や融雪剤に対しても確認する必要が生じた。また、以前行っていた泥水によるシール性評価試験では、その都度試験サンプルに合わせた簡易的な水槽を準備していたが、この方法では塩水がこぼれたり、塩水を含んだミストにより試験エリア周辺に塩害を及ぼしてしまうという不具合があった。

それを考慮して本装置は開発されたもので、EPSの各シール部に規定濃度の泥塩水を散布しながら、ハンドルからの回転・操舵と左右タイロッドへのタイヤ反力を与える耐久動作ができる。

3.1.2 試験機の特徴

(1) 泥塩水濃度の自動管理

耐久試験には約1～2ヶ月を要するため、試験中に水分が蒸発して散布する泥塩水濃度が変化しないように、散水タンクの水量を監視し、自動給水することで自動的に濃度調整する機能を有している。

また、タンク内では噴流による攪拌を常時行い、泥の沈殿を防いでいる。

(2) 装置自体の錆び対策

散水に塩分が含まれることから、装置自身に錆びが発生しないように、試験槽をステンレス材で製作して試験サンプルのEPSを囲い込んだ。それでも試験槽から漏れ出す少量の水蒸気に塩分が含まれるため、試験槽を更にステンレス材の箱で囲む二重構造とし、外部への換気ファンも搭載した。

(3) 排水の濾過

使用後の泥水は塩分を含んでいるため、環境に配慮して排水側には塩分を除去する濾過機構を設けた。

(4) 槽内洗浄機構

試験後は、飛散した泥塩水が槽内に付着しているが、二つの洗浄機能を備え、装置の維持管理を容易にしている。

①槽天井部に自動洗浄用散水ノズルを設置（写真2）。

②析出した塩分の除去を容易にするための高圧洗浄ガンを設置。

(5) 試験の観察

試験室内の他の試験設備を保護するためにも、密閉できる試験槽が必要であったが、密閉した試験槽にすると、試験状況が目視できないという問題があった。

観察窓を設けるとする方法もあるがミストの付着などで窓が汚れて試験の様子が目視できなくなることが容易に予想されたため、試験槽内にCCDカメラを設置し、試験中の槽内の様子を観察できるようにした(写真3)。



写真2 泥塩水耐久試験機内部



写真3 CCDカメラによる試験機内部画像

3.2 ラック曲げ試験機

3.2.1 開発の背景・概要

縁石衝突などを想定し、ステアリング機構が故障に至るまでの負荷の大きさを検証する試験機である。

ステアリング機構は、自動車の走る、曲がる、止まる、の三要素のうち“曲がる”を受け持つ重要部品であり、機能しなくなることは最後まで避けたい部品である。

そのため、ステアリング機構を保護するために縁石衝突のような事故発生時には、サスペンション部品が先に破損することで、ステアリング部品を破損から守る機構が設けられている。

それらのサスペンション部品よりステアリング機構の剛性、強度が上回っていることを確認することが目的である。

これまでは車両搭載状態のレイアウトを再現して試験を実施したいため、対象車両ごとに試験専用の特殊なジグ(架台)を準備する必要があったが、本試験機の開発でそれが不要となった。

3.2.2 装置の特徴

自動車メーカーからのリクエストに応えるべく様々な取付状態、作動状態でEPSの強度確認ができるよう以下の特徴を有す。

(1)水平方向の引張圧縮機構

一般的な引張圧縮試験機は荷重を負荷する向きが縦向きであるため、試料であるEPSをセットする場合作業性が悪い。そこで、荷重負荷方向を水平方向にし、EPSを水平定盤に固定することで作業性の向上を図った。

(2)負荷荷重入力角度の調整自由度向上

試験は様々な車種、様々なシチュエーションで実施され、荷重の入力角度も多岐に及ぶ。EPSへの荷重点は、ラック端インナーボールジョイント部だが、その方向は要求スペックにより異なる。また、揺動する部品であることから、ラックの断面係数やタイロッド折れ角などの条件により特性が変わる。

指示される入力方向を簡単にセットできる様に、EPS固定部を回転テーブル化することでそれらに柔軟に対応できるようにし、同時にクロスヘッドの位置を左右にスライドさせてセットできる機構を与えた(写真4)。

(3)ディスプレイの二画面化

試験機の制御とデータロガーに各々表示用ディスプレイを与え、動作の確認と瞬時データを見やすく表示した。

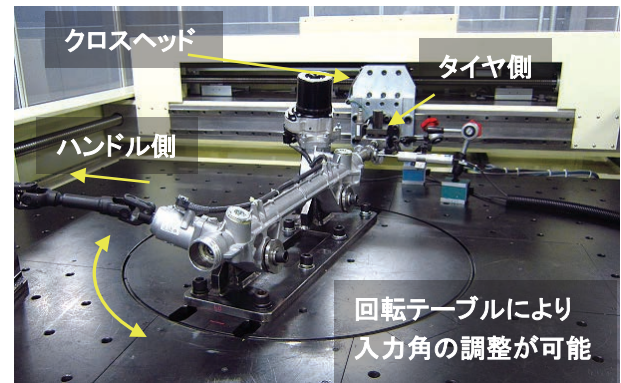


写真4 ラック曲げ試験機

3.3 減速機耐久試験機

3.3.1 開発の背景・概要

減速ギヤはEPSの心臓部とも言える重要な部品である。異音、強度、弾性など様々な理由から樹脂製のギヤが主流であるが、樹脂ギヤは大気湿度で精度が変化するなど非常にデリケートな部品である。

耐久中に発生する微小なクラック、過熱によって生じる性能変化など、変化点を確実に捉えるためにこの試験装置を開発した(写真5)。

また、当社の特徴でもある斜交減速ギヤの開発を行うために、軸交角を柔軟に調整できる試験機が必要であった。斜交減速ギヤは車両搭載レイアウトの設計自由度を上げられる利点がある。

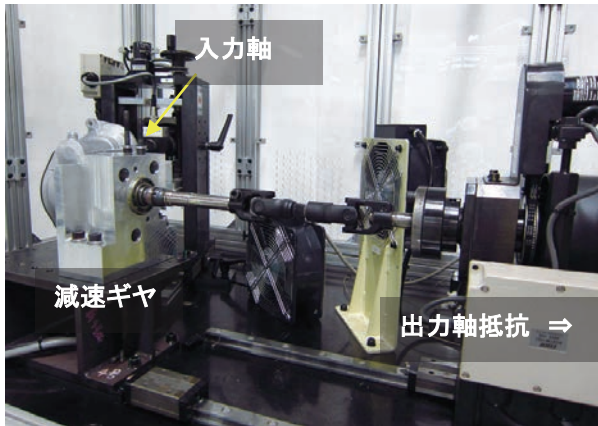


写真5 減速機耐久試験機

3.3.2 装置の特徴

(1)微小トルク変動検知自動停止機能

入力側の微小なトルク変化（変動）をキャッチして試験を止められるようになっている。これにより、歯車の壊れ始めを捉えることができ、壊れ始める原因を正しく捉えることができる。

(2)試験条件の調整自由度向上

本試験機では、無段階で軸交角が調整でき、また微小な調整幅をもって負荷トルクの調整が可能になっている。

(3)入力回転角制御の高精度化

EPSでは減速ギヤ（ウォームホイール）はハンドルと同軸上にあるため最大で3～4回転すると反転する。耐久試験ではこれを忠実に再現できるようになっているが、反転ポイントをいつも同じにしておくと、そのポイントだけ負荷が高くなり、反転ポイントで歯車の破損が始まる場合が多くなる。

実際の車両では反転ポイントがいつも同じになることは起こりえないことで、実際の使用条件に合わせて、反転ポイントを二カ所以上に分ける等の行為が必要になる。

開発した耐久試験機では入力軸の回転角が細かく制御できるので反転ポイントの分散が可能になり、より実機に近い耐久試験の実施が可能になっている。

3.4 異音評価試験機（逆入力異音の評価）

3.4.1 開発の背景・概要

EVはエンジン音が少なく静かなため、EPSの発する“音”（作動音、制御音、ラトル音^{注3)}など）に対しても要求が厳しくなっている。

また、仕向地によっては、高温、低温環境下での

走行などにより劣化が促進されやすい。そこで、異音発生部位、発生レベル、発生原因を迅速且つ正確に掴む必要があるためこの試験装置を開発した。

注3) ギヤ部で発生する“歯打ち音”を言う。但し、原因が明確にならない場合は“打音”全般を言う場合もある。

3.4.2 装置の特徴

(1)車両走行状況のベンチでの再現

悪路走行時のタイヤ入力荷重実測値で加振することで、実走同等の異音評価がベンチで再現できる異音評価装置を開発した（写真6）。

[加振方法]

①ハンドル相当慣性板を入力軸に取付ける。

②加振機にてタイロッドを介して加振。

実走計測波形を高サンプリング周波数で取り込み可能にしたことにより、加振動作がより実車に近い動きで再現できるようになった。

また、製品の異音振動を忠実に再現するため、低フリクションシールシリンダを採用した。

これによりシリンダシールによる試験機側振動及びシリンダ摺動荷重をキャンセルした。

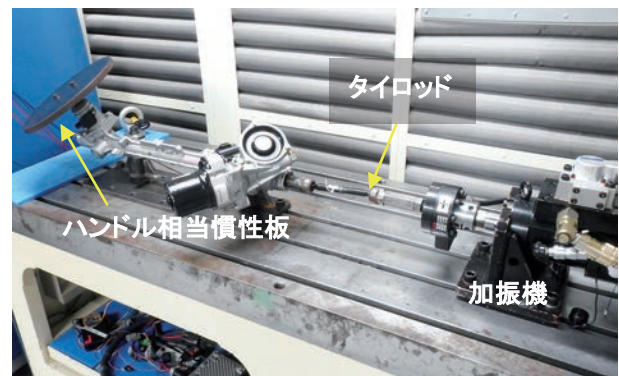


写真6 異音評価試験機

(2)計測の自動化

安定した計測結果を得るために、入力荷重が規定値へ自動的に調整されるフィードバック制御を制御プログラムに入れた。

更に、試験サンプルをベンチにセットしてから振動データ計測までを自動化した（写真7）。

(3)計測ばらつき低減と計測精度向上

入力荷重が規定値範囲内でなければ計測できない仕様になっているため、計測ばらつきも低減されており、繰り返し精度も向上している。

また、実車に於けるあらゆる環境下での異音評価をベンチにて再現できる様にするため、高温、低温環境下での評価試験も考慮されている。



写真7 自動計測の画面表示

3.5 システム性能評価装置

3.5.1 開発の背景・概要

次期モデルへの当社製品の採用に向け、自動車メーカーに操舵フィーリング向上の提案をしている。現状では操舵フィーリングの評価はテストドライバーの官能評価に頼るしかないが、この感覚的な性能を定量化することを目的に、システム性能評価装置開発に取り組んでいる。

3.5.2 操舵フィーリングの定量化

ハンドル操作に対して操舵トルクまたは操舵角度の変化が滑らかに変化するか（不連続に変化していないか）など、ドライバーの感覚を定量化して評価することを目指している。

EPSのチューニングは、車両諸元やコンセプト、あるいは車両の仕向地などで要求が異なる。

昨今では運転のし易さに繋がる非常に微小な舵角での操舵フィーリングが課題になってきているがその一例として微操舵領域における切り出し時の“抜け感”^{注4)}を計測した結果を示す(図2)。

注4) ハンドルの切りはじめに於いて、車両が動き出す瞬間に操舵力が一旦軽くなる現象

3.5.3 装置の特徴

(1)微操舵領域の動作に対応

微操舵領域の特性評価では、入力装置の入力軸角度精度が非常に重要である。従来の入力装置（減速機を介して駆動する方式）では動作が不安定であったため、入力軸角度が安定せず“抜け感”の定量評価が困難であった。また、入力装置のモータ慣性やリップル等の影響もあり、繰り返し計測による“抜け感”波形にも差異が発生していた(図3)。

今回開発した評価装置では、入力軸にダイレクトドライブモータ直結タイプを使用したことで微操舵領域での動作安定性及び高精度な入力軸角度制御を可能とした。

(2)複雑な操舵パターンに対応

任意動作波形プログラムを導入し、実車計測した複雑な操舵パターンを高い動作精度で再現できるよ

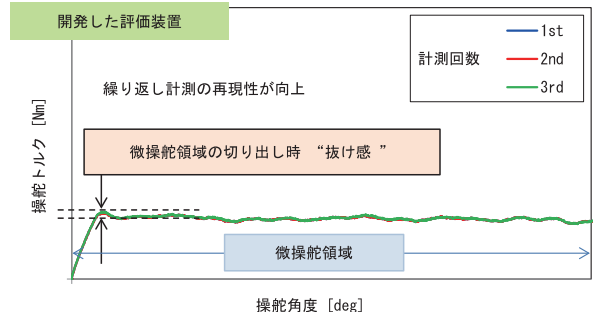


図2 “抜け感”波形及び繰り返し計測波形

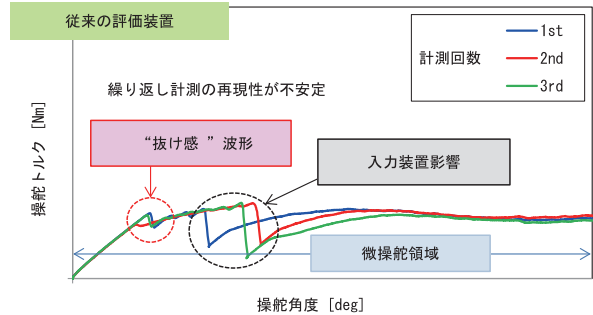


図3 従来評価装置による“抜け感”波形

うにした。

また、角度制御及びトルク制御に対応していることから、お客様からの様々な要求にも柔軟に対応することができるようになった。

(3)ステアリングシステム評価にも対応

ステアリングシステムでのベンチ評価を行えるように、定盤上に実車相当のレイアウト、入力装置、コラム取り付け架台、ステアリングギア取り付け架台、タイヤ相当負荷装置を自由に配置することが可能である(写真8)。

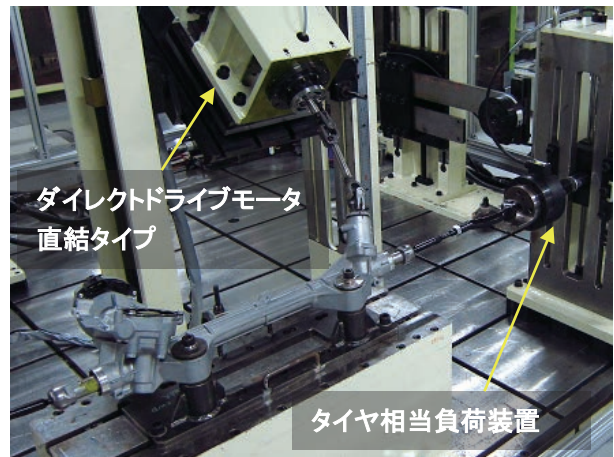


写真8 システム性能評価装置

これらのことより、従来では困難であった微操舵領域での切り出し時、抜け感などを高精度な試験動

作により繰り返しベンチで再現することが可能となり、製品性能向上に向けて迅速且つ正確な評価結果を設計部門へフィードバックできるようになった。

4 まとめ

本報で紹介したそれぞれの試験装置は、高い精度と再現性、高い効率を実現するために開発してきた。これによって、量産前の一連の評価試験を従来よりも短い期間で終わることができるようになり、且つ正確な試験結果を取得できるようになった。

これらは、より安全で、より安心な製品をお客様にお届けできることにもつながると考えている。

まだまだ課題は多いが、今後も製品開発と共に、

評価技術の更なる向上と開発に邁進して行きたい。

5 おわりに

本報ではEPS評価設備の開発に焦点を当てて実験部の取り組みを紹介させていただいた。

高い信頼性、高い性能の製品開発を行うためには、評価方法の開発や計測精度の向上が求められる。

私達は、自分たちの技術や知識のレベルを上げて実験部としての役割を全うしていきたいと考えている。

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



安藤 浩二

2011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。電動パワーステアリングの開発に従事。



室橋 淳夫

2011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。電動パワーステアリングの開発に従事。



藤掛 光彦

2011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。電動パワーステアリングの開発に従事。



堀 剛士

2017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。電動パワーステアリングの開発に従事。