

# Feature Article

## 特集論文

### ブレーキテストシステム

Dieter Weiss

車両の安全システムとして重要なブレーキの品質保証と技術改良のため、さまざまなブレーキテストシステムが利用されている。ブレーキ部品の試験においては、摩擦材の試験片の磨耗と摩擦係数を調べる摩擦テストが使用される。摩擦テストは摩擦材の生産管理にも使用できる重要なツールである。自動車・ブレーキ関連のメーカーにおける摩擦材やブレーキアセンブリの研究開発では、慣性式ブレーキダイナモメータを用いた耐久試験などが実施される。さらにブレーキに起因するNVH(ノイズ・振動・ハーシュネス)の研究には、ブレーキNVHダイナモメータが利用される。このうち慣性式ブレーキNVHダイナモメータでは、ブレーキアセンブリだけでなくサスペンションやアクスルアセンブリも含めてNVH試験を実施する。また、シャシ式のNVHダイナモメータではオリジナルの車両全体が試験サンプルとなる。

#### はじめに

信頼性のあるブレーキは車両安全システムの最も根幹的な部分である。2000年前、ローマ軍の二輪戦車でさえ、既にブロックブレーキが装備されていたと伝えられる。現在、車両ブレーキの品質保証と技術改良という難しい課題に対応するため、さまざまな専用ブレーキテストシステムが世界中のブレーキ研究開発部門で利用されている。

表1に最も一般的なブレーキテストシステムを示す。これらは、ブレーキの性能やパワー、摩耗、耐久性、NVH(ノイズ・振動・ハーシュネス)特性などを調べるために使用される。本稿では表1にあげた中で、HORIBAで取り扱っている方式の概要を紹介する。

表1 ブレーキおよびブレーキ部品テストシステムの代表例

No	方式	試験目的	試験対象	結果の判断
1	ローラ式 ブレーキダイナモメータ	(修理工場、車検場における) 車両ブレーキ機能テスト	車両に取り付けた状態の ブレーキ(テストは低速で実施)	ブレーキ機能の良否
2	ローラ式ブレーキ ・ABS機能テスト	(組立ライン末端における) 車両ブレーキおよび ABS機能テスト	車両に取り付けた状態の ブレーキ(テストは高速で実施)	ブレーキ機能の良否, ABS制御の良否
3	摩擦テスト	摩擦材のロット品質管理	摩擦材(ブレーキパッド ・ブレーキライニング)の試験片	摩擦係数、摩擦材の 摩耗の状態
4	慣性式 ブレーキダイナモメータ	ディスクブレーキ <sup>*1</sup> 、 ドラムブレーキ <sup>*2</sup> の研究開発 ・機能テスト	ブレーキパッド・ロータディスク ・キャリパ(またはライニング ・シュー・シリンダ)の組み合わせ	摩擦係数、 パーツの機能の良否、 パーツの摩耗・耐久性
5	慣性式ブレーキ NVHダイナモメータ	ブレーキのNVH研究開発テスト (鳴き、ジャダー、クリーブ、 うなり音など)	ブレーキパッド・ロータディスク ・キャリパ(またはライニング ・シュー・シリンダ)の付いた アクスル一式	ブレーキ機能の良否、 ブレーキからの共鳴振動 の有無
6	シャシ式ブレーキ NVHダイナモメータ	ブレーキのNVH研究開発テスト (鳴き、ジャダー、クリーブ、 うなり音など)	純正ブレーキシステム (ディスクブレーキまたは ドラムブレーキ)を含む 車両一式	ブレーキ機能の良否、 ブレーキからの共鳴振動 の有無

\*1: ディスクブレーキ: 車輪と一緒に回転する円盤(ロータディスク)をキャリパに組み込まれた摩擦材(ブレーキパッド)で両側から押さえつける構造のブレーキ。

\*2: ドラムブレーキ: 摩擦材(ブレーキライニング)の付いたブレーキシューを車輪と一緒に回転する円筒形ドラムの内側にシリンダを使って押し付ける構造のブレーキ。

## 摩擦テスト

ブレーキパッドやブレーキライニングは、車両構成部品の中でも最も摩耗の激しい部品である。生産ラインにおけるブレーキ性能検査に確実に合格させるためには、研究開発を通じて個々の部品を改良し、信頼できる安定した品質で生産することが重要である。

摩擦テストは、ブレーキ部品テストの最も重要で、かつ一般的な例といえる。摩擦部品のペア(ディスク対ブレーキパッド、ドラム対ライニング)は、ブレーキアセンブリにおいて最も重要な摩耗・消耗パーツであり、負荷サイクルとドライバーの運転特性にもよるが、一般的にその寿命はブレーキパッドで5万km程度、ロータディスクで10万km程度である。

磨耗特性は各部品の性能として大切であるが、さらに重要な特性は、速度およびブレーキ温度に関係なく摩擦係数“ $\mu$ ”が安定していることである。通常、有機素材の摩擦材では摩擦係数  $\mu$  は0.2~0.4である。摩擦テストは、摩擦材の  $\mu$  値を簡単に再現性よく測定できるため、大量生産されるブレーキパッドおよびライニングのロット管理に最適である。

図1に摩擦テストの例を示す。摩擦材サンプルは50 × 50 × 15 (mm)以内の立方体で、テスト用ブレーキ(標準的なロータディスクとキャリパの組み合わせまたはドラムブレーキアセンブリ)に取り付けられる。さらに、このテスト用ブレーキはダイナモメータの回転軸に取り付けられている。試験条件を次に示す。

- ・ダイナモメータ回転速度：15~1500 rpm(可変, 50 kW ACモータにて駆動)
- ・ブレーキ制御：サーボ油圧アクチュエータ
- ・摩擦力測定：遥動型トルク計( $T_{\text{Brake}}$ )
- ・テストサイクル：コンピュータによる自動制御, デジタルデータ取得
- ・記録対象：試験速度[rpm], ブレーキ圧[bar], 温度[°C]
- ・摩擦係数計算式：  

$$\mu(-) = T_{\text{Brake}} / 2 \times R_{\text{Friction}} \times \text{Radius} \times A_{\text{Piston}} \times P_{\text{Hydraulic}}$$
- ・データ記録・結果評価：自動(Excelマクロなどによる)

摩擦テストによる評価結果は、摩耗速度、およびブレーキパッド温度、 $\text{cm}^2$ あたりの公称適用圧力の関数として、

摩擦係数  $\mu$  で表わされる。

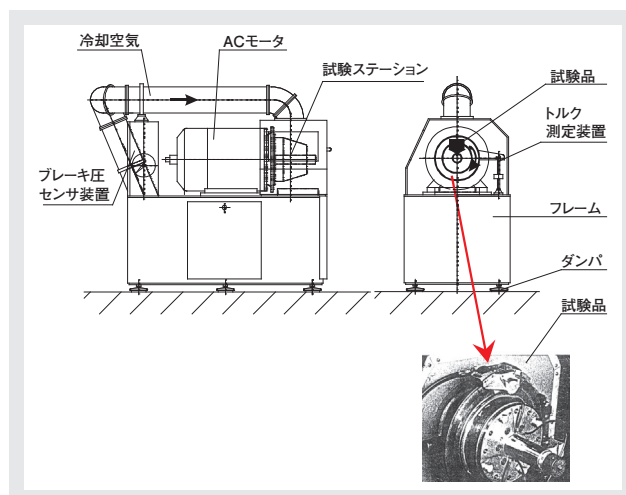


図1 摩擦テスト

## 慣性式ブレーキダイナモメータ

慣性式ブレーキダイナモメータは、摩擦材やブレーキシステムのメーカーおよび自動車メーカーにおいて、摩擦材およびブレーキアセンブリの基礎研究開発に使用される。図2に慣性式ブレーキダイナモメータの例を示す。試験品としては、実際に使用するロータディスク・ブレーキパッド・キャリパまたはブレーキドラム・シュー・ライニングからなるブレーキモジュールを取り付ける。通常の慣性式ダイナモメータテストでは、回転しないブレーキステータは揺動式計測台に取り付け、回転部品(ロータディスクまたはドラム)はダイナモメータのメインシャフトに取り付けられる。

この装置では、ブレーキモジュールの耐久負荷サイクル試験を必要回数繰り返すことができる。一般的な試験スケジュールでは、専用の自動制御システムによってブレーキの停止試験または引きずり試験を500~5000回行なう。この試験では、約200 kWのメインモータにて初期速度(3000 rpm以下)までダイナモメータを加速した後、テストブレーキに制御負荷をかける。車両慣性質量はフライホイールセットに運動エネルギーを与えることでシミュレーションする。さらに、正確にシミュレーションされた電氣的慣性もフライホイールの慣性に加えられる。この方法により、車両総質量に対して±1%以内のシミュレーション精度が得られる。一般的な試験条件を次に示す。

- ・ダイナモメータ初期速度：0~3000 rpm
- ・記録対象：試験速度[rpm], 圧力( $P_{\text{Hydraulic}}$ ), ブレーキ

## Feature Article 特集論文 ブレーキテストシステム

トルク( $T_{\text{Brake}}$ ), 温度( $^{\circ}\text{C}$ )など各種パラメータ

- ・摩擦係数計算式:  $\mu = T_{\text{Brake}} / 2 \times R_{\text{Friction}} \times P_{\text{Hydraulic}} \times A_{\text{Piston}}$
- ・データ記録・結果評価: 自動(Excelマクロなどによる)

フルサイズの慣性式ブレーキダイナモメータでは, 耐久負荷サイクルをシミュレーションして, その間のブレーキの物理的パラメータを正確に測定できる。

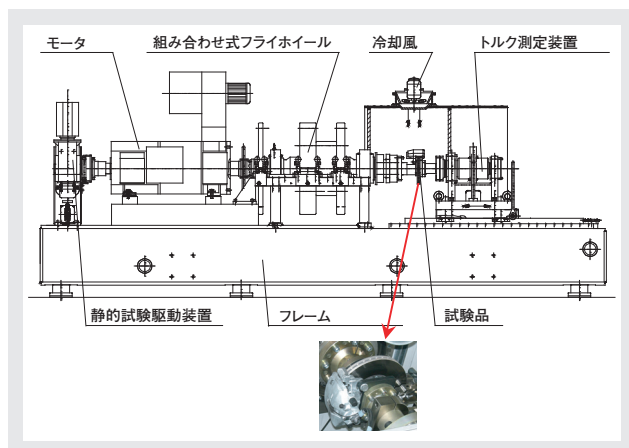


図2 慣性式ブレーキダイナモメータ

### ブレーキNVHダイナモメータ

現代の車両は極めて高出力で, 高速での走行が可能となっている。そのため, ブレーキシステムも高エネルギー対応が必要であり, しかも, どちらかといえば小さいホイールヤリムに取り付けることが要求される。同時にサスペンションの性能を高めるため, ばね下重量を減らすか, あるいは少なくとも現状を維持する必要がある。このため, 基本制動力に対する技術的な要求が厳しくなり, 軽量かつ強力なブレーキの開発が課題となっている。このような傾向は, ブレーキが騒音・振動, 例えばブレーキ鳴き(1~15 kHz), ブレーキジャダー(1~100 Hz)などの影響を受けやすくなる一因となっている。

厳しい市場競争と顧客要求の結果, 新車保証期間が24ヶ月以上に延長される流れの中で, NVHの問題によるブレーキの修理費用が大幅に増加してきている。例えば, 早朝のブレーキ鳴きの対策のためだけに, ブレーキディスクとパッドがアセンブリ交換されるということも多い。摩擦材とブレーキのメーカーは, このようなブレーキNVHの有効な解決策を見つけるために努力を重ねている。ブ

レーキNVHダイナモメータは, このような研究開発課題に有効なツールである。

### 慣性式ブレーキNVHダイナモメータシステム

慣性式ブレーキNVHダイナモメータの基本的な考え方は, 前述の従来の慣性式ブレーキダイナモメータと同様である。乾燥状態の摩擦ブレーキで生じる複合的な振動を詳しく調べるには, 最低でもブレーキアセンブリと関連するサスペンションシステムを, 理想的にはアクスルアセンブリも含めて試験ステーションに取り付けてNVH測定を実施しなければならない。このように大型の試験サンプルに対応するためには, 大型の防音試験室と軸上に取り付けたブレーキトルク測定装置が必要である。また空調装置を追加使用することで, さまざまな温度, 湿度におけるブレーキNVH特性を測定することができる。

NVH試験では, PCを用いたマルチチャンネルの高速データ収集システムとFFTアナライザにより, すべての可聴ブレーキノイズや, 乾燥状態の摩擦部品ペアから車両アクスルおよびボディ構造に伝わる低周波数ボディノイズを採取し, 特性を明らかにする。専用のNVHテストサイクルは, NVH問題を発生させる典型的な速度・ブレーキ圧・温度範囲を対象としている。

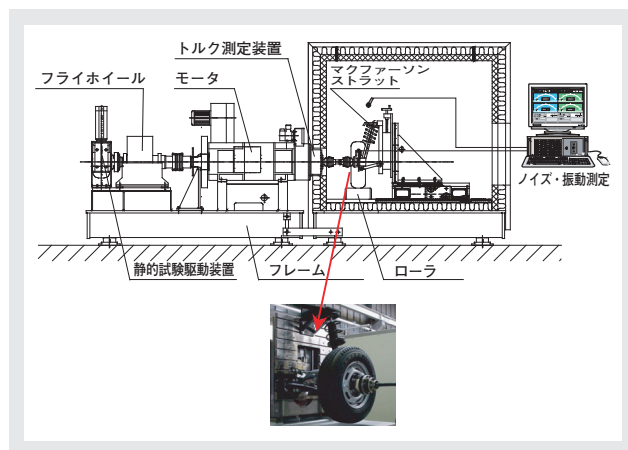


図3 慣性式ブレーキNVHダイナモメータ

### シャシ式ブレーキNVHダイナモメータ

一般に, ダイナモメータシステムを使用した研究開発によって目指していることは, すべての関連する技術パラメータをシミュレーションし, 実際の動作状態に可能な

限り近づけることである。コストがかかる上、交通状況の変化によって再現性が制限されるという路上試験のデメリットも同時に克服できる。シャシ式ブレーキNVHダイナモメータ試験は、この目標を達成するために最も効率的な方法である。

シャシ式ブレーキNVHダイナモメータについても、慣性式ブレーキダイナモメータの基本的な考え方が踏襲されている。ただしシャシ式ブレーキダイナモメータでは、オリジナルの車両全体が試験サンプルとして使用される。このダイナモメータは、強力な断熱・防音機構と必要な空調装置を備えた大型の試験室内に設置される。典型的なダイナモメータは約300 kWのメインモータを備えた48インチ型シングルローラで、さまざまな速度・トルク・車両慣性を正確に制御できるものとなっている(図4)。

試験では通常、車両のエンジンは動作させない。ブレーキはロボットドライバによって、あるいはサーボ油圧制御によって直接操作する。専用の自動NVH試験マトリックスと専用NVH測定システムにより、ブレーキ関連の騒音・振動問題が発生する条件を含め、すべての動作状態のスクリーニング試験に対応することができる。この装置を使用して週末の3日間に自動テストサイクルを走らせれば、ストレスの多い路上テストを1週間実施した場合よりもさらに有用なNVH試験結果が得られる。すべての測定データは自動的に処理され、数値およびグラフで表示される。

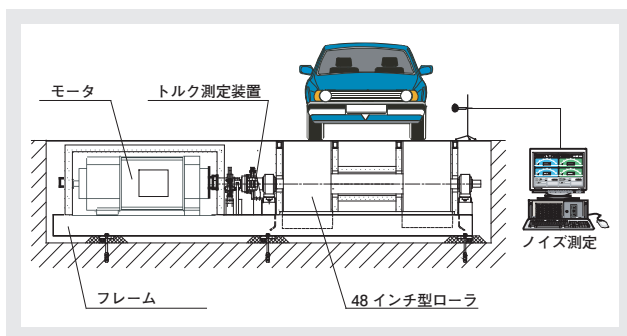


図4 シャシ式ブレーキNVHダイナモメータ

## おわりに

現在の摩擦式のブレーキでは部品の磨耗は避けられない。またブレーキングの際に、運動エネルギーを熱エネルギーとして捨ててしまうことになる。これに対し、最近増加しつつあるハイブリッド車などでは、運動エネルギーを電気エネルギーとして回収する回生ブレーキが使用されている。回生ブレーキは、回収したエネルギーを有効利用できるため燃費が向上するのが利点である。エネルギーやCO<sub>2</sub>排出の問題が重要視される中、ブレーキのトレンドは今後も変化していくと予想される。ブレーキテストシステムについても、そのような新しい技術に対応したハードウェア、シミュレーション技術が開発され普及していくものと考えられる。



Dieter Weiss

HORIBA Europe GmbH  
Business Unit Brake & Windtunnel  
General Manager