

(技術資料)

タイヤ・車両騒音試験機

Tire / Vehicle Noise Tester



猿丸正悟*

Shogo SARUMARU



掛林康典*

Yasunori KAKEBAYASHI



福田貴之*

Takayuki FUKUDA



堀口史郎**

Shiro HORIGUCHI



住谷敬志**

Takashi SUMITANI



木村康正***

Yasumasa KIMURA

In recent years, the need for reducing tire noise is steadily increasing, and tire noise must be measured under various conditions at the time of development of new tires. Kobe Steel has developed a sophisticated new tire/vehicle noise tester and installed the apparatus in its own semi acoustic chamber. The construction and features of the machine are shown in the paper. In addition, samples of the method of noise test and the test results are introduced.

まえがき = 近年、自動車の静音化が進み、車両が発生する騒音の中でタイヤ騒音が占める比率が相対的に高くなってきている¹⁾。また、夜間の高速道路の騒音において、トラックのタイヤ音が支配的であることに気づく人も多いと思われる。欧州では、UN/ECE/WP29 (国連 / 欧州経済委員会 / 車両構造作業部会) においてタイヤ単体騒音規制が採択、発効され、さらなる規制値強化も検討されている²⁾。自動車の環境適合性を高めるにあたっては、走行時に発生するタイヤ騒音の低減が喫緊の課題となっている。

一方で、車両の運動性能向上に伴うタイヤのハイパフォーマンス化、低転がり抵抗化、ランフラットタイヤの普及など、自動車用タイヤへの要求は多種多様化している。タイヤの騒音低減とこれらの諸要求の両立が求められている。

これらの諸性能の評価には、試験タイヤを実車に装着して屋外で走行試験を行うこれまでのような方法に代り、実験室内で実走行状態を可能な限り忠実に再現して模擬できる評価環境を整備することがタイヤメーカーの開発競争力強化の観点から求められている。

このような時代要請を背景に、国内タイヤメーカーからのタイヤ騒音試験機の導入計画を受け、このたび「タイヤ・車両騒音試験機」を開発したのでその概要を紹介する。

1. タイヤ・車両騒音試験機の概要

開発した「タイヤ・車両騒音試験機」はタイヤ単体の騒音試験のみならず、タイヤを車両に装着した状態での騒音試験も室内で実施できるようにした台上試験機である。本試験機の試験対象タイヤの主仕様を表1に示す。

試験対象とするタイヤは、一般乗用車用タイヤから近年ヨーロッパを中心に採用が増えているスーパーシング

表1 試験対象タイヤ

Table 1 Range of tire to be tested

Overall diameter	500 ~ 1,200	mm
Overall width	Max.500	mm
Rim diameter	12 ~ 25	Inch
Inflation pressure	Max.900	kPa

ルタイヤ(トラックの後輪軸として従来はダブルタイヤと称して同サイズのタイヤを2本併設することが多かったが、これを幅広の1本のタイヤで置換えるもの)と呼ばれるトラック用タイヤまで広範囲の種類のタイヤを対象としている。

これらのタイヤを対象に本試験機を用いて実施される標準的な試験には、自動車技術会で規格化された(JASO規格)台上試験(一定速度試験、惰行試験³⁾)と、タイヤ開発の目的に応じて試験条件を選定して実施される規格化されていない試験がある。後者の試験では荷重や走行速度、スリップ角、キャンバ角などをタイヤの使用条件に応じて選択して実施される。

試験機の設置状況の概略と外観をそれぞれ図1、図2に、またその主仕様を表2に示す。

試験機は外径3mの2個のドラム(メインドラムとサブドラム)と駆動装置を床下に並列に配し、試験対象のタイヤに鉛直方向から荷重を負荷するタイヤスタンドを床上に設置することによって試験タイヤへのアクセスを容易にしている。また、床面から上部の試験室エリアは吸音くさびを備えた内装を施し、半無響室としている。

2本並列したドラムの回転駆動は減速機を介して接続されたインバータモータによって行い、モータと減速機を半無響室と隔離した別室(電源室)に配置することにより、半無響室内で行われる音響計測への影響を最小化している。

*機械エンジニアリングカンパニー 開発センター **機械エンジニアリングカンパニー 産業機械事業部 産業機械技術部 ***技術開発本部 機械研究所

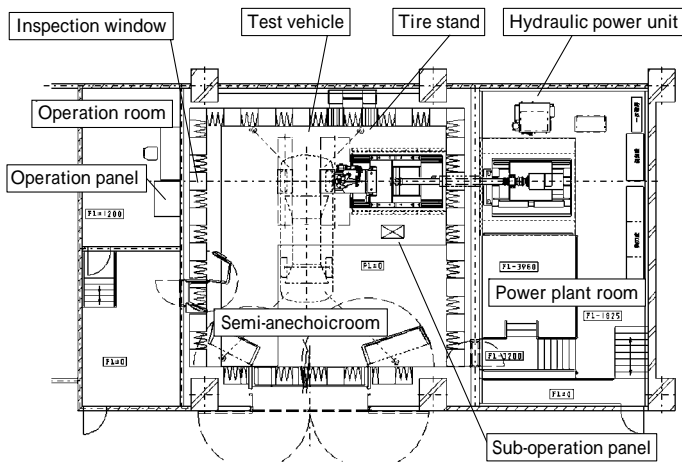


図1 試験機の全体構成
Fig. 1 Overview of noise tester

表2 試験機仕様
Table 2 Main specification

Test Speed	Speed range	$\pm (5 \sim 200)$ km/h
	Speed accuracy	± 0.1 km/h
Test Load	Load range	500-50,000N
	Loading accuracy	$\pm 1\%$ of full scale
	Load control	Electro-oil hydraulic servo control
Drum	Diameter	3,000mm
	Face width	1,000mm (main drum) 500mm (sub drum)
	Speed control	Vector inverter motor control
	Slip angle	Angle range $\pm 5^\circ$ Angle accuracy $\pm 0.1^\circ$ Angle velocity $2^\circ / \text{sec}$
Camber angle	Angle range	$\pm 5^\circ$
	Angle accuracy	$\pm 0.1^\circ$
	Angle velocity	fixed in test
Force measurement range	basis axis	ISO8855
	Fz (Normal Force)	50,000N
	Measurement accuracy	$\pm 1\%$ of full scale

Test Stations : 1 station, vertical
movable at optional position

タイヤスタンドには、タイヤが実使用条件で遭遇する力学条件や幾何条件を再現するために荷重を負荷するタイヤ軸昇降機構とタイヤのスリップ角・キャンバ角の付与装置を設けている。またタイヤが路面から受ける力を計測できるようロードセルを備えている。

騒音を測定するマイクロフォンは、タイヤの中心線上でタイヤの幅方向の中心線から 1.0m 離れた半無響室の床面から 0.25m の高さに固定されている。また、マイクロフォン移動装置を付属して多点計測にも対応している。

以下、主要構成要素の個々について説明する。

2. 各部の詳細

2.1 半無響室

騒音計測は、タイヤ以外から発生する騒音の影響を抑えるため半無響室内で実施される。半無響室は、外部騒音の影響を避けるために十分な厚さの遮へい壁を備え、かつ床面を除く反射面となる全壁面を吸音性の高い境界



図2 装置外観
Fig. 2 Appearance of noise tester

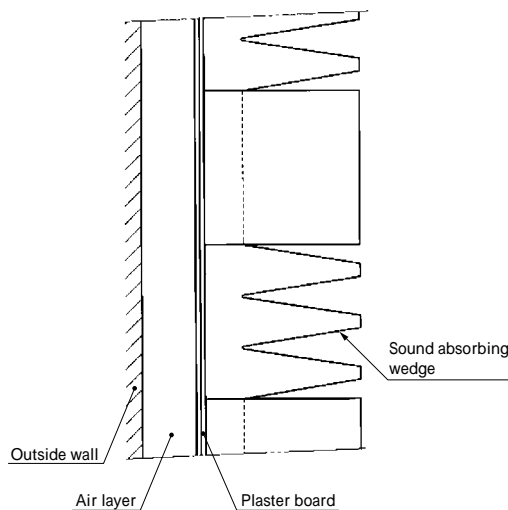


図3 半無響室壁面断面図
Fig. 3 Cross section of wall of semi-anechoic room

面で構成した試験空間である。半無響室の床面以外の壁面は、外壁から室内側に向かって、空気層 / 石膏ボード / 吸音くさびの順に構成された多層構造で(図3)、この構造は車両搬入扉などを含む全面に採用されている。

この半無響室での音圧反射率の計測結果を図4に示す。計測は JIS A1405 の計測方法に従った。図に示すように音圧反射率は 125Hz 以上の周波数帯域で 0.1 以下となっており、十分な吸音性を有している。

半無響室の床面は厚さ 20mm の鋼板構造とし、地階の全壁面には吸音材を設けて地階に設置されたドラムの風切音などの半無響室内への伝播を最小限に抑えている。

また、試験機の動作状況を目視するため、操作室と試験室の間に観察窓を設けた。観察窓はその設置位置を高くするとともにガラス面を上方に傾斜させることで、窓面における反射音の計測位置への影響を防止している。

これらの処置によって半無響室内の暗騒音レベルは 30dBA 以下となり、ドラム周速 40km/h で運転中の騒音レベルは 35.0dBA を実現している。さらに、半無響室内

の距離減衰が基準音源を使った音場分析によって逆二乗則

$$SPL = PWL + 10 \log \left(\frac{1}{12 r^2} \right) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、

PWL : 音響パワーレベル (dB)

r : 音源からの距離 (mm)

をほぼ満足していることから (図5)、この半無響室がタイヤ騒音を計測する上で十分な吸音性能を有しているこ

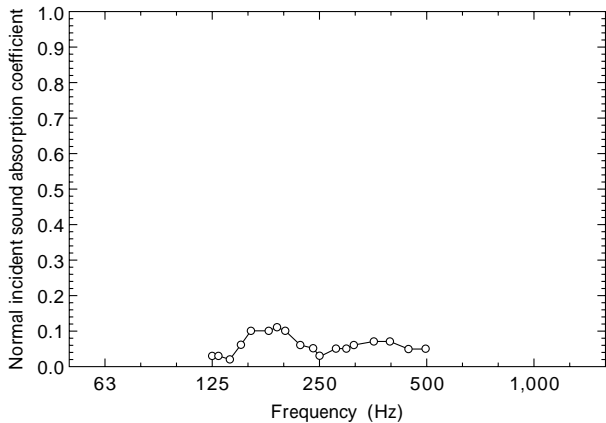


図4 音圧反射率の計測結果

Fig. 4 Measuring result of sound pressure reflection coefficient

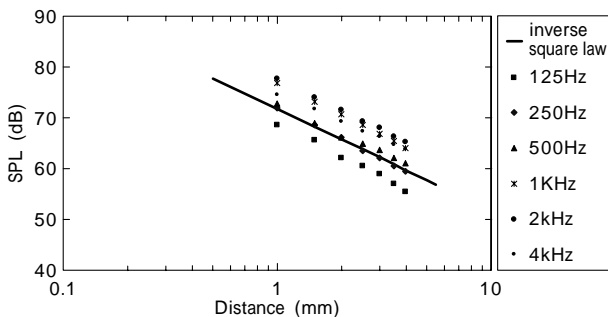


図5 半無響室内の距離減衰

Fig. 5 Attenuation due to distance in semi-anechoic room

とを確認している。

2.2 模擬路面ドラム

半無響室の地下室に設置され、半無響室床面からその上面がわずかに露出している模擬路面ドラムは、JASOの騒音計測規格に準拠した外径3mの炭素鋼溶接構造ドラムで、幅1mのメインドラムと幅0.5mのサブドラムを同軸上に配した2ドラム構成としている。

各ドラムは最高周速200km/hの高速運転に対応しており、風切音を防ぐためにその側面の凹凸を可能な限り抑え、振動による共鳴を防止する特別な処置も施している。

ドラムを駆動するインバータモータは、隔壁を貫通するドライブシャフトを介して隣室に設置され、モータ発生音の半無響室への影響を抑えている。また、メインドラムとドライブシャフトとの接続部、ならびに二つのドラムを連結するシャフト接続部にはそれぞれ電磁クラッチを設け、車両試験用の2ドラム運転、タイヤ単体試験用の1ドラム運転、さらには回転中のドラムをモータから切離して自由回転状態にすることによるJASO規格に準拠した惰行試験運転を可能にしている。

車両試験時には前述の電磁クラッチでインバータモータと2個のドラムを接続し、車両を床面に固定して車両のタイヤをドラムで回転させて車両に装着した状態でのタイヤ騒音を測定する。このとき、タイヤスタンドはドラム上から離れた位置に退避する。

なお、ドラムの外周表面は鋼研削仕上げされ、試験条件に応じて模擬路面などを貼付けることが可能な設計となっている。

2.3 タイヤスタンド

試験機の概略構造を図6に示す。タイヤスタンドは地下室の基礎に設置された剛性のあるフレームの上に直線ガイドを介して支持されており、高速で回転するタイヤを保持するスピンドル、タイヤが路面から受ける力を計測するロードセル、およびスピンドル昇降機構、スリッ

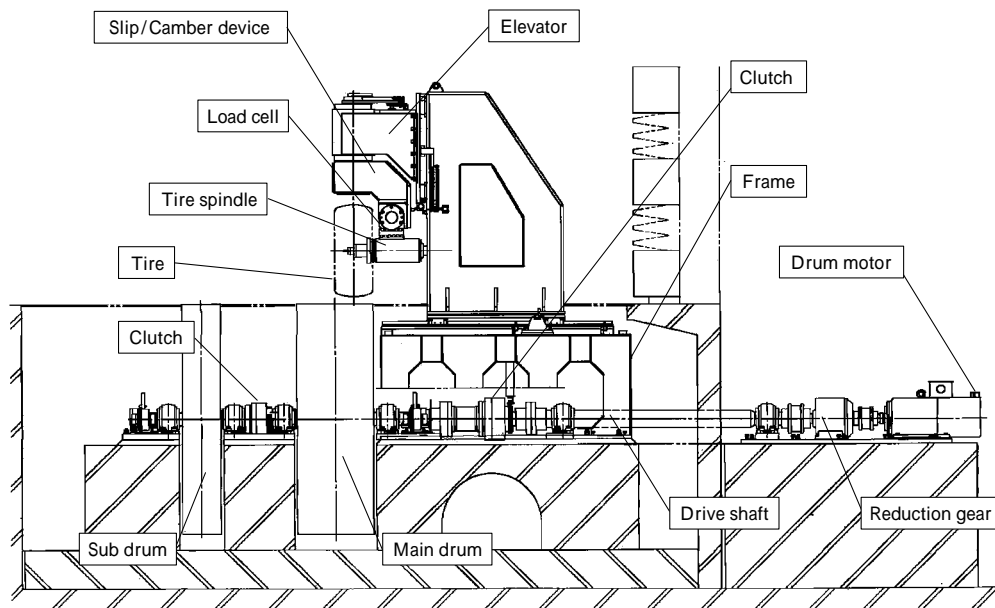


図6 タイヤスタンド

Fig. 6 Tire stand

ブ角/キャンバ角付与機構から構成される。スリップ角、キャンバ角とは、図7に示すように、路面上のタイヤ接触中心点を原点とする座標（路面座標系）を想定したとき、路面上の進行方向とタイヤ平面を路面に投影したベクトルとのなす角がスリップ角、路面に鉛直な平面とタイヤ平面のなす角がキャンバ角として定義されている。実車に装着されたタイヤのスリップ角・キャンバ角はハンドル操作などの運転条件やサスペンションの設定などによって変化するため、本試験機のタイヤスタンドにこれらの調整機能を持たせることにより、より実使用条件に近い騒音試験を半無響室内で可能としている。スピンドルは表1に示す試験対象タイヤの全てに対応でき、高負荷・高速回転により軸受部に発生する熱がロードセルの計測値へ影響しないよう、温度制御された油をその軸受部に強制潤滑させている。

タイヤスタンド全体は直線ガイド上に支持され、タイヤのメインドラム上での位置を調整するため、および車両試験時に退避させるためにドラムの幅方向に移動可能な構造となっている。タイヤスタンドの可動装置は全て油圧駆動で、油圧源となるポンプ類を別室（電源室）に

設置し、各油圧ラインを制御するバルブ類は地下室に配置することにより騒音計測への影響を最小化している。地下室での発生音が半無響室内へ影響しないよう、各可動部による床面の隙間は遮音、吸音処理を施している。

2.4 計測制御系

試験機の制御は、図8に示すように試験条件の設定、管理を行うメインパーソナルコンピュータ（以下、メインPCという）を中心に、装置制御用シーケンサ、騒音計測専用ホストコンピュータ、ロードセル信号計測用リアルタイム計測器などから構成され、

- ・試験条件の設定
- ・試験機各部の制御
- ・試験タイヤの発生力計測
- ・騒音計測、試験データの管理

の自動処理を実現している。さらに、メインPCは顧客の既存計算機ネットワークと接続され、試験条件の設定や測定結果データの授受をオンラインで行うことができる。

(1) 騒音計測

騒音計測には、JASO規格³⁾の台上試験方法に基づい

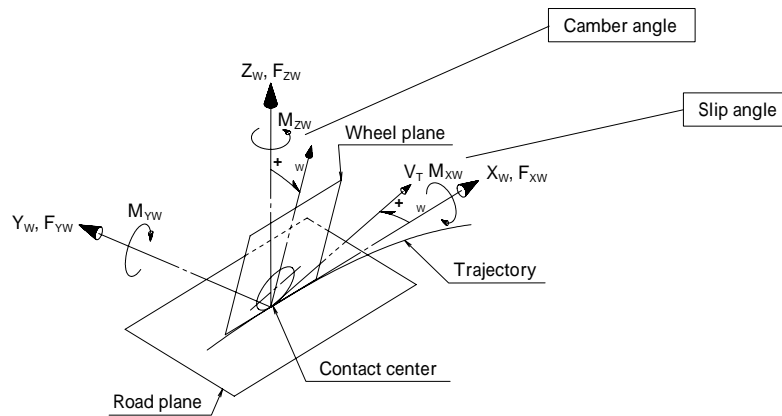


図7 タイヤ路面座標系（ISO8855 に準する）
Fig. 7 Axis system (Applied to ISO8855)

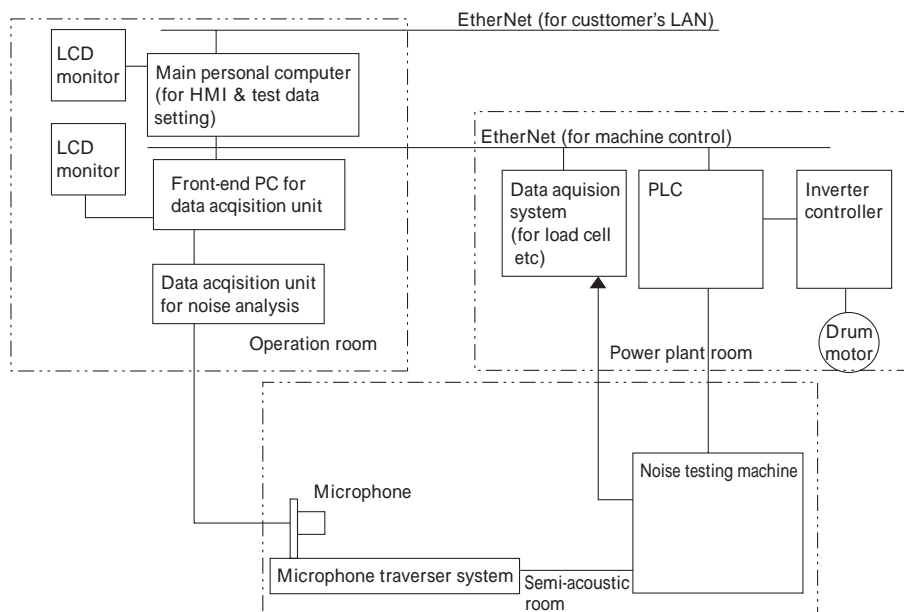


図8 システム構成
Fig. 8 Schematic block diagram of noise tester system

た試験として、マイクロフォンを固定してタイヤを試験最高速度より情行させて速度対応の騒音を測定する「情行試験」と、所定の速度での定速走行時の騒音を測定する「周波数分析試験」がある。

また、上記以外に所定のキャンバ角でタイヤを固定し、スリップ角を揺動させて騒音測定を行うなど多種多様な試験に対応可能となっている。これらの試験では、設定したタイヤ内圧、タイヤ荷重、路面速度を制御し、試験種類により決められている騒音計測のタイミングを騒音計測用ホストコントローラに逐次送信することでデータを取得している。なお、全ての騒音測定は1/3オクターブ分析、1/12オクターブ分析の同時計測を実施している。

表3に騒音計測器の主仕様を示す。

(2) タイヤ荷重計測

タイヤ荷重はタイヤスピンドルの上部に配置されたロードセルによって計測され、これを路面座標系上に座標変換して計測データとしている。座標変換にあたっては、各分力間のクロストークを除去するため干渉補正をしており、また、キャンバ角を付けた試験ではタイヤの自重分をキャンセルするため自重補正処理を行い、計測精度の向上を図っている。

上記の計測は騒音計測と同様にリアルタイムで行われており、装置計測データとして騒音計測データとともに保存される。なお、座標変換後のZ方向力は、タイヤの鉛直荷重制御にも使用されている。

2.5 ユーザインタフェース

メインPCは、各種の試験条件の設定、あるいは編集、測定結果の表示や印字、さらには顧客既存ネットワークとのデータ授受などの情報管理を行うため、オペレータの操作性を考慮したユーザインタフェースが準備されている。

試験条件は、1日分の試験スケジュールを表示した「実施ファイル」、および個々の試験条件が記載された「条件ファイル」の2種のファイルとして既存のネットワークからメインPCに送られてくる。

オペレータは、受信した試験条件に応じて供試タイヤの取付けを確認した後、試験開始のボタンを押すことにより送られてきた条件の試験を自動で開始させることができる。個々の実験の開始に先立って試験条件の変更が必要な場合、オペレータは本機の表示画面上で変更することが可能である。

試験開始後、試験機は停止状態から所定の試験条件

(ドラム速度、鉛直荷重、スリップ角、キャンバ角など)に向けて各パラメータの制御を開始する。表示画面上には試験条件の内容や試験機の各パラメータの現在値がリアルタイム表示され、装置計測データとして記録される。試験機の各パラメータが所定の状態に達すると騒音計測専用の音響分析器を起動し、マイクロホンで捕集した音響データの分析を行うとともに騒音計測データとして記録される。

試験が終了すると、主要な計測データが「測定値表示画面」に表示され、それと同時に、全ての騒音計測データと装置計測データが「測定値データファイル」として既存ネットワークを通じて所定のサーバに保存される。

試験結果の表示および印刷機能には、過去に実施した試験タイヤの測定値データファイルを読み込み、タイヤ間で比較を行う「タイヤ間比較作図画面」や、同じタイヤの異なる試験条件でのデータを比較した「条件比較作図画面」などの作成機能があり、試験結果の分析機能を充実したものにしている。

そのほか、測定値の時間経過を表す「トレンド画面」の機能や、メンテナンス性を向上させるために過去の画面操作、試験実施状況などのイベント、アラーム履歴などを「イベントログファイル」として保存する機能を有している。

3. 騒音測定例

タイヤ騒音の基本的な測定手順は次のようになる。試験対象のタイヤを試験機に取付け、試験開始ボタンを押下げると、既存計算機ネットワークを経由して試験機のメインPCに送られてきた試験条件に従って自動運転が開始される。スリップ角、キャンバ角、鉛直荷重、ドラム速度などの試験条件が所定の値に達すると騒音計測が開始され、騒音測定データは装置計測データとともにネットワークを通じてサーバに保存される。

以下に実際のタイヤ騒音の測定例を示す。

3.1 一定速度試験での測定事例

タイヤ速度を一定に保持した状態において、タイヤの側方1m、高さ0.25mの位置に固定したマイクロフォンで騒音レベルを測定する試験である。測定では1/3オクターブ分析と1/12オクターブ分析が同時に実施される。図9は、速度を変化させた場合の各周波数帯での騒音レベルの測定結果の一例を示している。

3.2 情行運転試験での測定事例

タイヤの速度変化による騒音レベルの変化を詳細に測

表3 騒音計測器 主仕様

Table 3 Main specification of acoustic measurement apparatus

Microphone channel number	In automatic operation : 1 channel In manual operation : Maximum 4 channels
Measurement frequency range	1/3 octave analysis : 25 ~ 20kHz 1/12 octave analysis : 23.04 ~ 21.75kHz
Measurement parameter	Acoustic weighting : A-weighting Averaging types (linear /exponential) Averaging time=>Automatic selection by test modes
Other function	Auto range function Microphone calibration function and calibration logging function

定する場合、惰行運転試験を行う。タイヤの速度を150km/hに保持した状態でメインドラムとドライブシャフトを連結していた電磁クラッチをはずし、メインドラムを低速まで惰行させる。この動作中に一定速度間隔（または一定時間間隔）で騒音測定を行う。図10はその測定結果の一例を示している。

3.3 スリップ角揺動試験での測定事例

本試験装置の特徴の一つであるキャンバ角を付与してスリップ角を揺動させた時のタイヤ騒音測定試験の事例を示す。図11は、キャンバ角度条件を種々変更した際のスリップ角揺動による騒音レベルの測定結果の一例を示している。

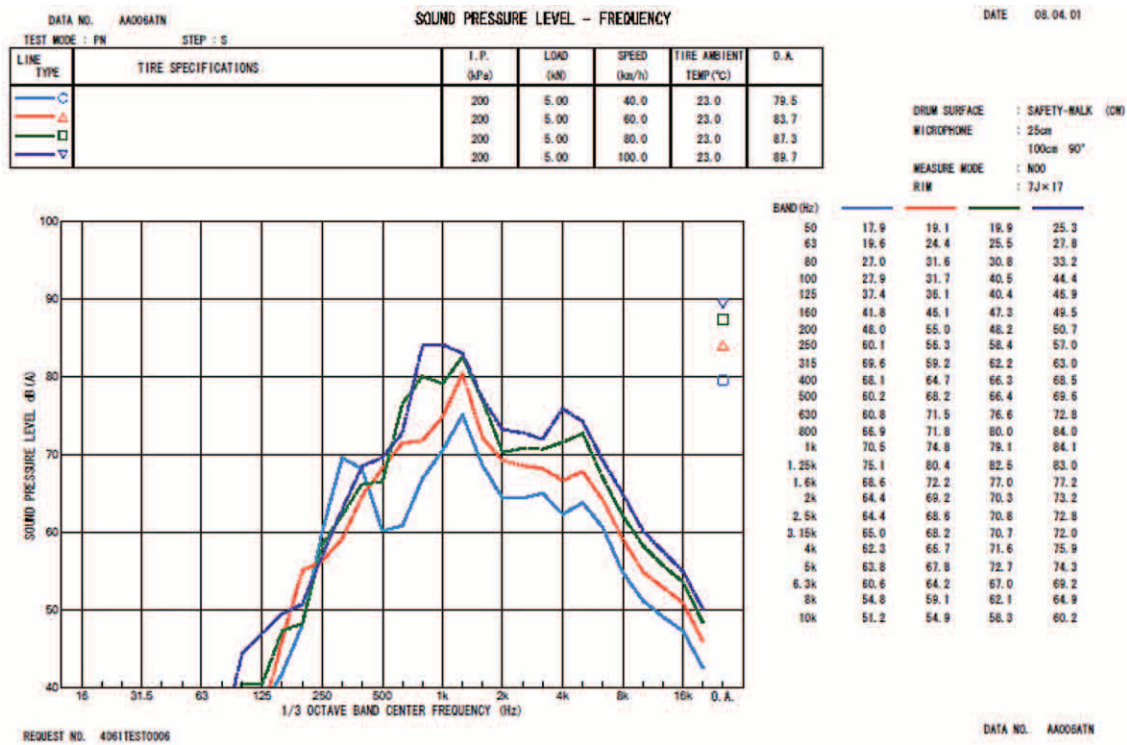


図9 周波数分析試験作図例
Fig. 9 Example of pattern noise test results (1/3 octave analysis data)

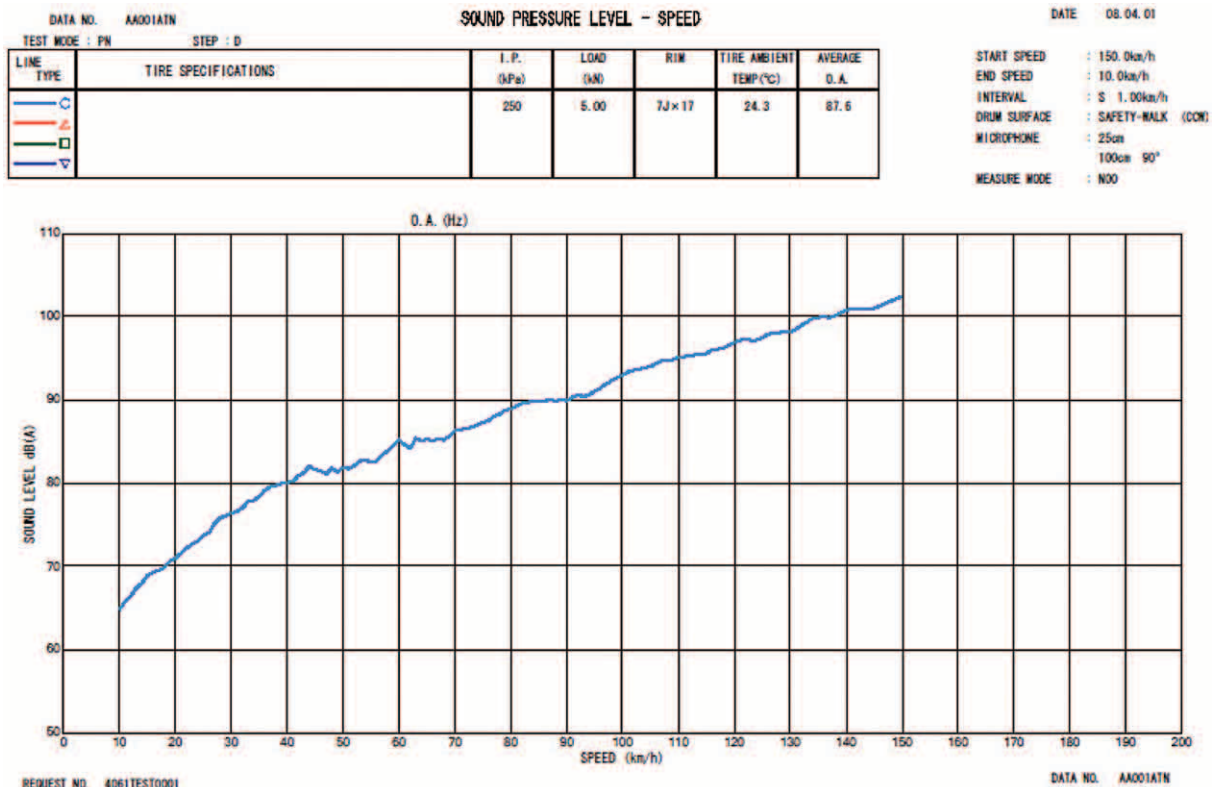


図10 惰行試験作図例
Fig. 10 Example of coast-down test result

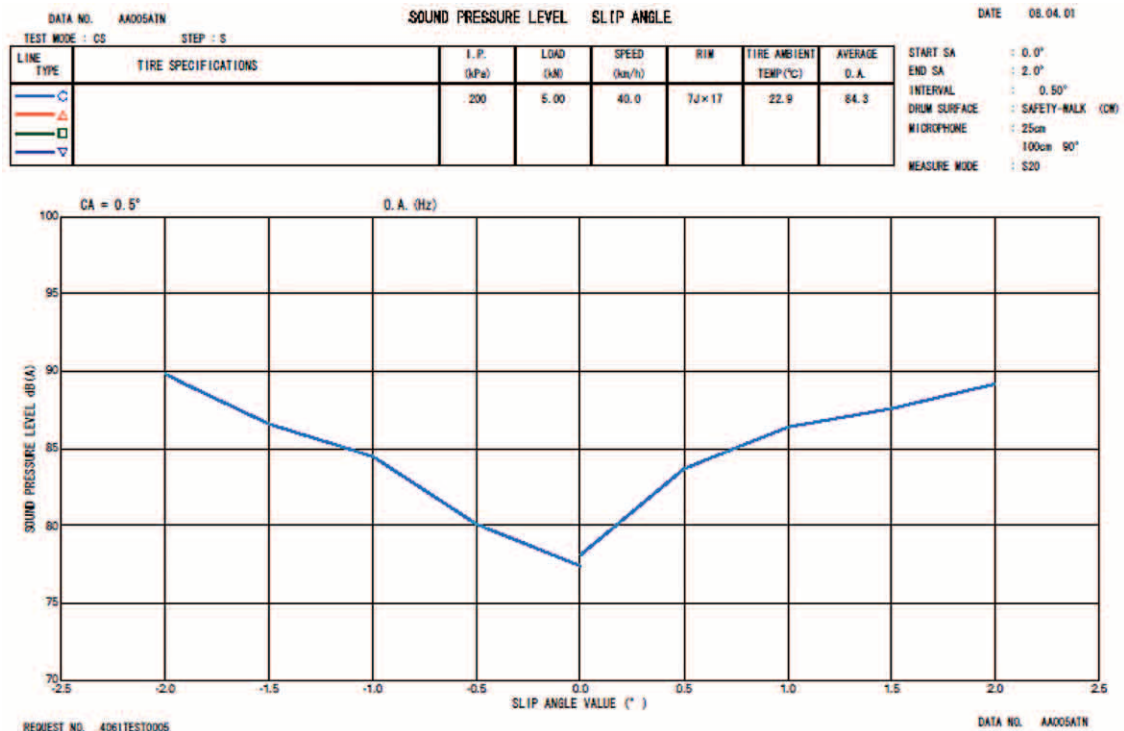


図11 スリップ角揺動試験作図例
Fig. 11 Example of slip angle sweeping test result

むすび=本稿で紹介したタイヤ騒音試験機の開発にあたっては、新しい機能を有する試験機本体のみならず、本試験機を設置する半無響室を設計製作し、実走行状態でのタイヤ騒音を再現性高く模擬できることを実証した。

近年の自動車に対する多様な社会ニーズの高まりを背景に、より高性能なタイヤの開発が求められており、その実現のためにはさらに高度化された新しい機能を有する試験機が要求されつつある。

当社はこれまでの経験と今回の開発で得た知見を基に、これらのニーズにあった試験機の開発を継続し、タイヤの開発に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 稲葉憲二ほか：自動車技術，Vol.59, No.7 (2005) pp.108-114.
- 2) Study SI2.408210 Tyre/Road Noise Report and Annexes : FEHRL (2006).
- 3) 社団法人自動車技術会：JASO規格C ジャシ・ブレーキ(タイヤ騒音試験方法)，(1981).