

(技術資料)

タイヤユニフォミティマシン Librota

Tire Uniformity Machine, LIBROTA®



猪飼進一郎*¹
Shinichiro IKAI



松下康広*¹
Yasuhiro MATSUSHITA

Tire uniformity machines are used to inspect the quality of automotive tires. Two capabilities are emphasized; i.e., the measurement repeatability expressed by the variation of measurement values when a tire is measured for several times, and the cycle time for inspecting each tire. There are various restrictions in reconciling these two, and we have reconsidered the structure of mechanical parts, including spindle and drum, and the control component of the machine. As a result, it has become possible to shorten the cycle time to 18 seconds, 10% faster than before, while improving the measurement repeatability to $RFV\sigma \leq 1.69$ N. This paper reports the outline of the technology introduced for improving the measurement repeatability and cycle time performance.

まえがき¹⁾ = 当社では、乗用車用およびトラック・バス用タイヤの品質を検査するタイヤユニフォミティマシン(以下、TUMという)を1967年に製作販売を開始して以来、これまで800台以上の販売実績がある。これまで、日系および東南アジア市場を中心にTUMを納入してきたなか、今後は競合他社が優位に立つ中国や欧米市場にも進出して世界トップシェアを獲得するため、全世界に適用可能な新型TUMを商品化する必要があった。

TUMでは、同じタイヤを複数回測定したときの測定値のばらつきで計測の信頼性を評価する繰り返し測定精度(σ)と、タイヤ1本の検査に要する時間(以下、サイクルタイムという)の二つの指標が重視される。世界トップシェアを獲得するため、この二つの指標で競合他社を上回ることを目標に開発に着手し、2013年に新型TUM「LIBROTA^{®注1)}」を商品化した。図1および表1にそれぞれLibrotaの外観および基本仕様を示す。

本稿では、Librotaの繰り返し測定精度向上とサイク

表1 Librotaの基本仕様
Table 1 Specification of LIBROTA®

Tire size (Bead diameter)	12~28 inch
Tire outside diameter	ϕ 500~ ϕ 1,020 mm
Tire test load	MAX. 18,000 N
Drum size	ϕ 854×406 mm
Repeatability (standard deviation)	1.69 N (215/60R16)
Cycle time	18 s (16 inch)

ルタイム短縮を両立させるに至った道程について説明する。

1. Librotaの特徴

タイヤのユニフォミティを示す指標として、荷重を受けているタイヤが一定の半径で1回転する間に発生するタイヤ半径方向の力の変動の大きさ(Radial Force variation, 以下RFVという)、および横方向の力の変動の大きさ(Lateral Force Variation, 以下LFVという)がある。TUMはRFVおよびLFVを測定する機械である(図2)。

従来機では、13"~18"のPassenger Car用タイヤ、および15"~24"のLight Truck用タイヤの両方を1台の機械で計測できなかった。しかし、Librotaでは基本構造を大幅に見直すことにより、タイヤサイズとして12"~28"の範囲の計測が可能なワイドレンジ化を実現した。また、操作画面に機械の模式図を導入するなどによって

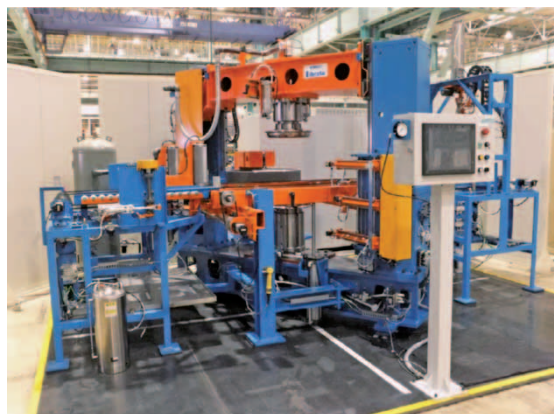


図1 新型タイヤユニフォミティ (TUM) 「Librota」
Fig. 1 New type of tire uniformity machine (TUM): LIBROTA®

脚注1) LIBROTAは当社の登録商標(米国)である。また、Librotaは日本国での登録商標(第5257882号)である。以下本文ではLibrotaと表記する。

*¹ 機械事業部門 産業機械事業部 産業機械技術部

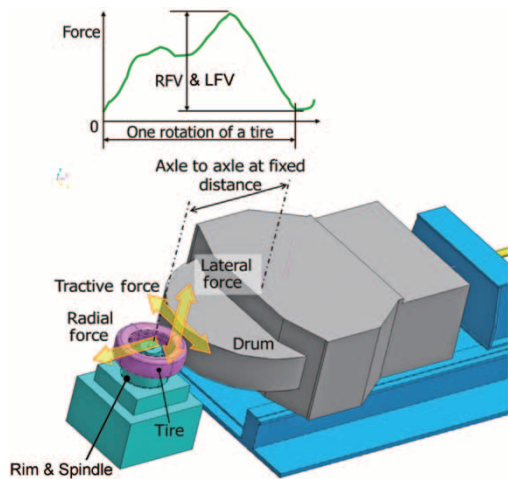


図2 タイヤユニフォミティの測定機構
Fig. 2 Measurement mechanism of tire uniformity

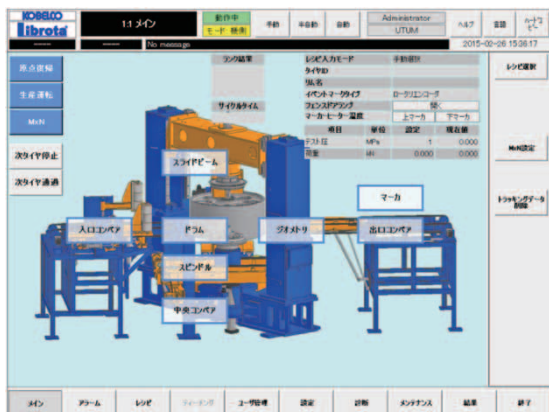


図3 Librotaメイン操作画面
Fig. 3 Main operation screen of LIBROTA®

操作インタフェースを分かりやすくし、直観的で確実な操作を可能とした。図3にLibrotaの操作メイン画面を示す。

ユニフォミティ計測では、タイヤ品種ごとに動作条件を設定したレシピを作成する。このレシピを選択することでさまざまなタイヤの計測が可能となる。レシピは正しい計測を行うために重要な作業であり、その作成には高い専門性が必要となる。

Librotaは、レシピを確実にかつ容易に作成するためのセミ・オートマッチックモードを装備している。セミ・オートマッチックモードでは、実際にタイヤを流し、動作ブロックごとに自動運転と同じ動作を行いながらレシピに設定値を記録することができる。自動運転と同じ動作を確認しながらレシピを作成することにより、運転の最適条件を容易に設定できる。メンテナンスやトラブルシューティングもこの画面から操作でき、ユーザフレンドリーな操作画面を実現している。

性能面では、従来機の繰り返し測定精度：RFV $\sigma \leq 2.4$ N、サイクルタイム：20秒に対し、競合他社を上回るべく、それぞれ $\sigma \leq 1.69$ N、18秒以下を目標に設定した。繰り返し測定精度の向上とサイクルタイムの短縮という相反する仕様を両立させるためには、できる限り短時間でタイヤ内圧を安定させる必要があり、それを実現することが課題であった。

2. 繰り返し測定精度

TUMの繰り返し測定精度を向上させるには、図2に示した測定の主要部において、以下の3点がポイントであることが分かっている。

- ①タイヤ回転振れのばらつきに影響を与える「リム振れ」を低減する
- ②タイヤからの反力のばらつきに影響を与える「ドラム振れ」を低減する
- ③タイヤのバネ定数のばらつきに影響を与える「内圧変動」を低減する

本章では、目標の繰り返し測定精度を達成するため、これらの因子の影響を低減すべく採り入れた技術を述べる。

2.1 リム振れ²⁾

リム振れは、当社の従来機と比較して大幅な精度向上が必要である。従来技術の改良では目標達成が困難と判断されたことから新たなアプローチを検討した。

TUMのスピンドルには従来、低速回転時のラジアル方向保持、および上下スピンドル締結後のタイヤ内圧によるアキシアル方向の高負荷保持のため、テーパローラベアリングを用いている。Librotaの開発にあたっては、工作機械用スピンドルに注目し、高精度なアンギュラベアリングの採用を検討した。従来機の構造では、テスト開始時においてタイヤ内部に空気を導入する際、上下スピンドルを隔離させようとする力（分離力）が発生する。この力がタイヤ側テーパローラベアリングに作用するため、反タイヤ側ベアリングの予圧が低減し、ラジアル方向の回転振れに対する拘束力が弱くなる。

この問題を解決するため、アキシアル荷重付与時もラジアル方向の保持力の維持が可能なアンギュラベアリングを反タイヤ側へ配置し、ラジアル方向の回転振れを抑制することを狙った。また一般的に、分離力を受けるベアリングをタイヤの近くに配置した方が分離力を効果的に受けることができる。このため、テーパローラの回転半径の小径側が向かい合うよう、一對のテーパローラベ

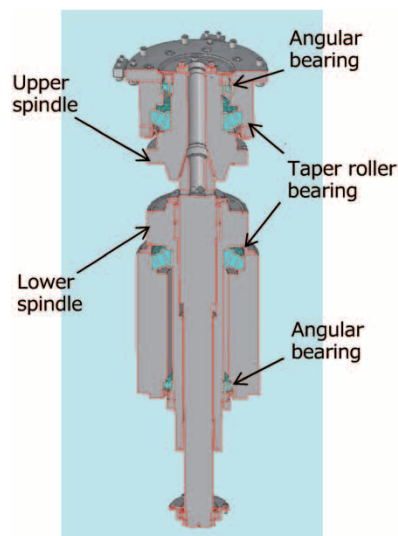


図4 スピンドル構造
Fig. 4 Spindle structure

アリングを上下スピンドルに配置した。具体的には、アンギュラベアリングとテーパローラベアリングとを組み合わせた高負荷・高精度スピンドル（図4）を考案した。

この構造を採用したスピンドルを試作し、従来機と比較してリム振れを5分の1に低減できることを確認した。

2.2 ドラム振れ

ドラム振れについても同様に、目標とする繰り返し測定精度を達成するためには従来のTUM用ドラムから振れを大幅に改善する必要がある。このため、構造面とものづくり面の両面からアプローチした。

2.2.1 ドラム構造

従来機では軸受としてテーパローラベアリングを採用しており、ドラムが受けるアキシャル荷重は小さかった。そこでLibrotaでは、ドラム振れの低減を図るため、スピンドルで採用したアンギュラ軸受に変更した。

また、タイヤに荷重を付加した状態におけるドラム変形量を最小化するため、リブ構造を全面的に見直した。

2.2.2 ものづくり

ドラムには回転軸となるドラムシャフトが必要である。ドラムシャフトにはタイヤからの反力を検出するロードセルが取り付けられている。Librotaでは、この部分を高精度に加工できる治具を考案し、ドラムシャフト自体の回転振れを低減した。また、ドラムに対しては、最終形状に仕上げるための外周研磨工程を見直した。

これらのドラム振れ低減策を取り入れた構造のドラム（図5）を試作・検証した結果、ドラム振れが従来機の2分の1以下となることを確認した。

2.3 タイヤ内圧変動

タイヤ計測中は、タイヤ内圧をできる限り安定させる必要がある。繰り返し測定精度の向上のため、検査時のタイヤ設定内圧200kPaに対して0.05%以内の変動に抑えることを目指した。

2.3.1 高速制御

図6に示すエア回路に使用する電磁弁は、入力信号に対する応答性が従来機より高いものを選定した。また、タイヤ内圧制御に用いるEP（Electric Pneumatic）レギュレータと圧力センサは、繰り返し再現性の良いものを選定した。これに加えて、コントローラの制御周期の高速化によって圧力の繰り返し性が向上し、テスト中の圧力変動を低減させることができた。また、タイヤ内圧の

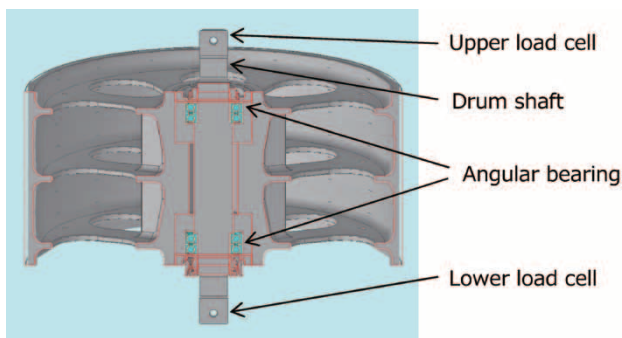


図5 ドラム構造
Fig.5 Drum structure

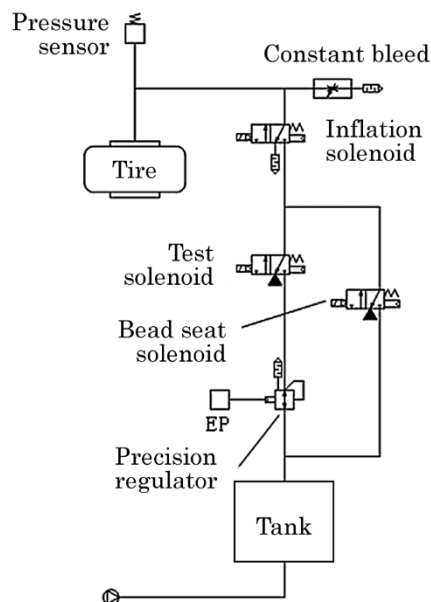


図6 タイヤインフレーション用エア回路
Fig.6 Air circuit for tire inflation

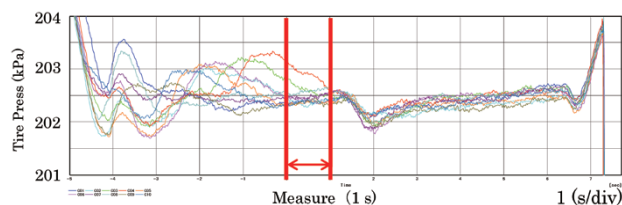


図7 ノイズ対策前のタイヤ内圧波形
Fig.7 Tire Pressure before noise countermeasure

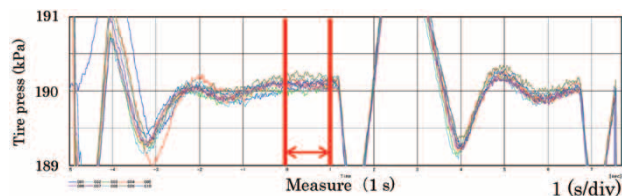


図8 ノイズ対策後のタイヤ内圧波形
Fig.8 Tire pressure after noise countermeasure

安定に必要な制御周期を把握した。

2.3.2 電気ノイズ対策

TUMでは機械動作のために多くのサーボモータを使用している。そのサーボモータから発生する電気ノイズがタイヤ内圧制御に悪影響を及ぼすことが分かった。ノイズが混入すると設定内圧の0.05%以内の変動に抑えることができないことが図7から分かる。そこで、サーボモータからの発生ノイズの低減、および制御機器へのノイズ侵入防止方法を検討した。

所要の各種対策を実施したことにより、図8に示すように検査時のタイヤ内圧変動を低減し、設定値の0.05%以内で制御できることを確認した。

3. サイクルタイム

タイヤ工場生産される乗用車用タイヤは全数検査が行われるため、サイクルタイムの短縮は生産性向上に直結する。したがってTUMには、できる限り短いサイクルタイムが要求される。

3.1 機械サイズのコンパクト化³⁾

Librotaの開発においては、装置の動作ストロークや重量などを全面的に見直し、徹底的なコンパクト化を追求した。見直し例の一つにスピンドル昇降機構がある。TUMの計測ゾーンでは、タイヤをリムとチャッキングさせるためにスピンドルを昇降させる機能が必要となる。当社の従来機や競合他社のTUMは、スピンドルの昇降には油圧を使用している。Librotaでは、左右ガイドフレーム内に配置したボールねじをそれぞれサーボモーターで同期制御することによって上スピンドルを昇降させる構造とした。タイヤ内圧による分離力は、ブレーキ機構で保持する。図9にLibrotaのスピンドル昇降機構を示す。この構造の採用により、スピンドル昇降速度を高めることができ、サイクルタイムの短縮を可能とした。また、サーボモーターを使用することによって油圧レス化でき、油圧ユニットが不要となってメンテナンス性が向上した。さらに、油漏れのリスクがなくなったことから、スピンドル昇降部を機械上部に設置することが可能となった。これにより、フロアにピットを不要とすることに成功した。

こうした機械構造の見直しにより、従来機と比較して占有体積を約30%までコンパクト化した。

3.2 高速コントローラの採用

機械の動作は、コントローラ内のプログラムによって状態確認（太横棒部）とアクション（網掛け長方形部）とが順番に実行される（図10）。このとき、

- ・実状態検知～コントローラが状態検知認識するまでの時間
- ・コントローラの動作指令～実動作開始するまでの時間

がフィールドバスの通信周期による遅れ時間となる。サイクルタイムに関わるTUMの動作には、状態確認と動作数が数百程度あり、フィールドバス通信周期分だけサイクルタイム遅延につながる。また、プログラム実行速度に影響するコントローラCPUの処理能力もサイクルタイムに影響する。

そこで、タスク周期を短くした高速処理可能なモーションコントローラと、通信周期を短くした高速通信フィールドバスでコントローラを構成することにした

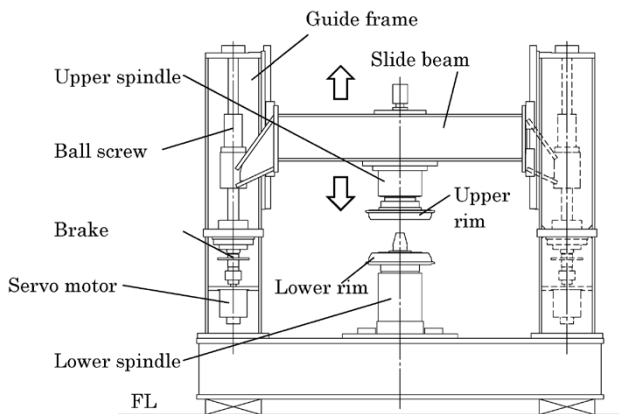


図9 スピンドル昇降機構

Fig.9 Mechanism of elevating operation for spindle

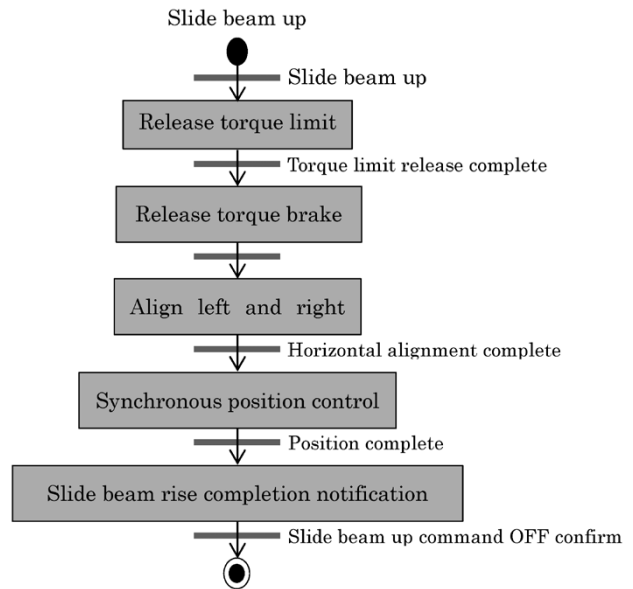


図10 スピンドル昇降動作フロー

Fig.10 Flow of elevating operation for spindle

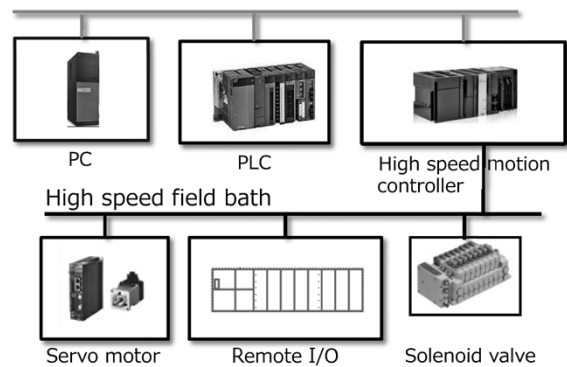


図11 コントローラ構成

Fig.11 Controller diagram

(図11)。ブレッドボードテストで性能評価を行った結果、サイクルタイム18秒を実現した。

むすび = Librotaは、繰り返し測定精度の向上とサイクルタイムの短縮という相反する課題を解決し、2013年の商品化以来、中国や東南アジア市場を中心に70台以上の販売実績を達成した。さらに、タイヤの真円性や凹凸を平面状で検査できるシートレーザジオメトリのほか、振動や騒音特性を低減するためにタイヤの端部を研削するショルダグライндаをはじめとするタイヤの品質検査に必要なオプション装置も装着でき、多様なニーズに応えることが可能となった。

今後当社は、より幅広い顧客ニーズに応えるTUMをラインアップすることによって欧米市場へ展開するとともに、世界トップシェアを獲得すべく全世界に向けた受注活動を展開していく。

参考文献

- 1) 後藤幸司. 神鋼テクノ技報. 2015, Vol.43.
- 2) 神戸製鋼所. スピンドル構造およびこれを備えたタイヤ試験機. 特開2012-145503. 2012-08-02.
- 3) 神戸製鋼所. タイヤ試験機. 特開平6-317504. 1994-11-15.