

Readout

HORIBA Technical Reports

特集 自動車をはかる

January 1993 ■ No.6

48インチシングルローラ・
シャシダイナモメータ

48" Single-Roller Chassis Dynamometer

毛野克彦・宮川久志

Katsuhiko KENO, Hisashi MIYAGAWA

(Pages 79-84)

株式会社 堀場製作所

48インチシングルローラ・シャシダイナモメータ

48" Single-Roller Chassis Dynamometer

毛野 克彦・宮川 久志

Katsuhiko Keno, Hisashi Miyagawa

要旨

自動車の研究開発、生産・品質管理の現場では、試験室内で一般道路と同じ走行状態を再現させるシャシダイナモメータが幅広く使われている。このたび、堀場製作所は直径1219.2mm(48インチ)のローラをもつ電気慣性式のシングルローラ・シャシダイナモメータ LDV-48を製品化した。本装置は、モータ駆動ベアリング方式の軸受や交流フラックスベクトル制御を採用することにより、安定した制御が実現でき、しかも暖機運転が殆ど不要となった。本稿では、本装置の主な特長と仕様を紹介する。

Abstract

Chassis dynamometers, which allow indoor simulations of drive on general roads, are widely used in various fields of research and development, production, and quality control. Horiba Ltd. has commercialized the Model LDV-48 Single-Roller Chassis Dynamometer, which is an electro-inertia type and has a roller of 1219.2mm (48 inches) in diameter. It uses moter-driven type bearings and AC flux vector control, which ensure stable control and almost completely eliminate the need of warm-up. This paper introduces the main features and specifications if this classis dynamometer.

1. はじめに

近年、自動車の高性能化・高品位化・省エネ化を目指した幅広い研究開発が進んでおり、これらを支援する各種の評価試験装置も高度なものが必要となっている。一般道路の走行状態を実験室内で正確に再現するための試験装置であるシャシダイナモメータの開発もまた重要な課題である。従来のシャシダイナモメータは二つのローラをもつツインローラ。シャシダイナモメータが一般的に使われてきたが、より路面走行に近い状態を再現することができるシングルローラ・シャシダイナモメータが普及し始めている。当社では、シングルローラ・シャシダイナモメータ LDV-48を開発・製品化した。本稿では、LDV-48の概要、性能、特長などについて述べる。

2. LDV-48の概要

シャシダイナモメータ(以後ダイナモという)は、車両に負荷を与え、あたか

も道路上を走行しているかのような状態を再現させるもので、LDV-48は直径1219.2mm(48インチ)のローラをもつ電気慣性式シングルローラ・ダイナモである。

*1 回生制御
モータのもつ運動エネルギーを電気エネルギーに変換し、これを電源に送り返してモータの制動を行う制御のこと

本装置は、図1に示すように、①モータ揺動式ダイナモ本体、②動力変換部(Power Exchange Unit: PEU)、③交流モータに制御電流を送り負荷吸収の回生制御*1を行う電力変換部、④設定条件の入力や計算を行うコンピュータ部(RTM-200)により構成されている。

LDV-48の運転制御は次のような方法で行っている。ローラ軸に直結させた速度センサで回転数を計測し、ローラの表面速度と加速度を算出する。一方、揺動アームに取り付けたロードセルによってダイナモが吸収したトルクを計測する。こうして得られた速度・加速度・トルクから、制御装置に内蔵したマイコンによってダイナモが吸収した力を計算し、電力変換機を通じてダイナモの主回路電流を制御する。表1にLDV-48の概略仕様を示す。

型 式	LDV-48-86-125HP-AC
適用車両	LDV-2WD車 (FF, FR車)
モータ定格(連続)	90kW(125Hp) @105km/H(65mile/H)
ローラ径	1219.2mm (48inch) 一軸マルチシリンダ
最高速度	160km/H (100mile/H)
最大加速度	±3.5m/s ² (8mph/s) 連続運転時間に制限有
等価慣性量設定範囲	454~2720kg (1000~6000lbs)
走行抵抗制御範囲	連続定格内±3200N (電気慣性力含む)

表1 LDV-48の主な仕様
Main specifications of Model LDV-48

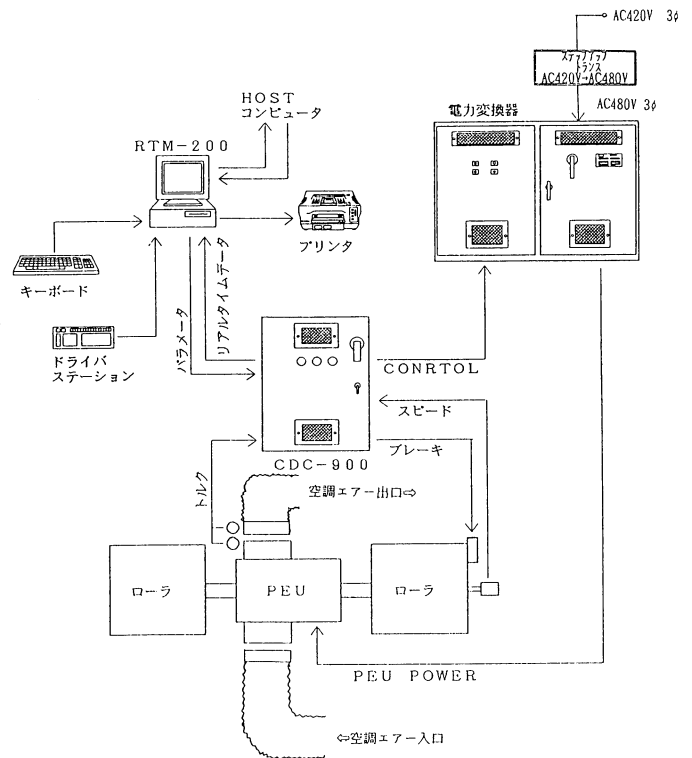


図1 LDV-48のシステム構成
System configuration of Model LDV-48

3. LDV-48の特長

LDV-48には、モータ駆動ベアリング方式の軸受と交流フラックスベクトル制御を採用して、メカロスの殆どない早い制御応答を実現した。

3.1 モータ駆動ベアリング方式

本装置は、鋳物製のベースフレームの中央にACモータ配置し、ACモータの軸端にローラを取付ける構造をとっている。ローラ端部間の寸法が、小型車*2

*2 小型車
運転手を含む12人乗り以下の車(乗用車の場合)

*3 中型車
燃料、オイル等を含む装備重量が2700kg以下の車(乗用車の場合)

用で2184.4mm(86インチ), 中型車*3用で2743.2mm(108インチ)となっており, 従来の二軸タイプの約4500mmに比べて非常にコンパクトな設計となっている。

中でも一番大きな特長は, ACモータの軸を支える主軸受けにある。従来のダイナモは, 軸受け部分にベアリングによるころがり抵抗が発生し, その潤滑油の粘性抵抗の温度変化も含めて, 機械損失が安定した一定値へ落ちつくまでには, 20分程度を要し, 所定の暖機運転が必要であった。今回採用した軸受け部の構造は, 図2のように二重構造ベアリングとなっており, インナーベアリングとアウトバベアリングの中間に, パンケキ形のモータ*4を配置し, ダイナモ主軸のころがり抵抗を飛躍的に軽減させる構造となっている。

この結果, 機械的損失は殆どなく, 暖機運転は不要となった。

3.2 交流フラックスベクトル制御

従来かご形誘導電動機は, 直接磁束を制御できないため, 直流機(DCモータ)のようなトルク制御や制御の高性能化が困難であるとされてきた。しかし, マイクロエレクトロニクス的发展により, 磁束を発生させる電流(励磁電流)とトルクを発生させる電流(トルク電流)を独立に制御できるフラックスベクトル制御が容易に実現できるようになり, ACモータの制御用として実用化されるようになった。フラックスベクトル制御には, 磁界オリエンテーション方式とすべり周波数制御方式(図3)の二種類あるが, 現在実用化されているシステムのほとんどはすべり周波数方式である。LDV-48もすべり周波数方式を採用している。

ベクトル制御とは, 誘導電動機に供給する一次電流(i_1)が設定値どりの励磁電流(i_m)とトルク電流(i_2)に分配されるように, 一次電流の大きさ, 周波数および位相(電流ベクトル)を制御することをいう。図4に誘導電動機の等価回路と電流ベクトル図を示す

等価回路より, i_1 , i_m , i_2 は式(1)および式(2)で表すことができる。

$$i_1 = \sqrt{(i_m^2 + i_2^2)} \quad \dots\dots(1)$$

$$2\pi f_1 M_{im} = i_2 \frac{r_2}{S} \quad \dots\dots(2)$$

(ただし f_1 は一次周波数)

ところで, すべり周波数 f_s は, $f_s = S f_1$ だから(1), (2)式より f_s は(3)式で表される。

$$f_s = \frac{1}{2\pi T_2} \cdot \frac{i_2}{i_m} \quad \dots\dots(3)$$

(ただし T_2 は二次回路定数)

また, f_1 , f_s と誘導電動機の回転周波数 f_n は式(4)の関係にある。

$$f_1 = f_s + f_n \quad \dots\dots(4)$$

従って, 誘導電動機の回転速度 f_n が分かれば, 一次周波数 f_1 を操作することで設定したすべり周波数 f_s を与えることができる。

以上がすべり周波数制御方式の定常状態での動作である。この動作に加え, 式(5)に従って一次電流の位相 ψ を操作すると, 発生トルクに過渡振動が生じないベクトル制御が実現できることになる。

$$\psi = \tan^{-1}(i_2 / i_m) \quad \dots\dots(5)$$

一方, ベクトル制御を行うためには, このような複雑な演算を高速で処理するベクトル制御演算部と電流制御部が必要となるが, 高性能プロセッサと, ソフトウェアにより, 回転数の上下限, 電流の上下限をはじめとする必要最小限の定数設定をするだけで, 非常に速い応答の制御系を実現した。

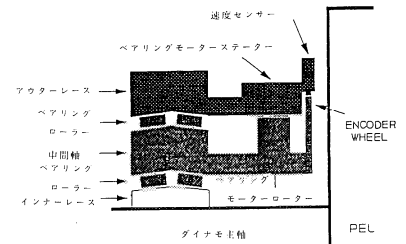


図2 軸受部の構造
Structure of bearing

*4 パンケキ形モータ
軸が中空で, ドーナツ形の交流モータ

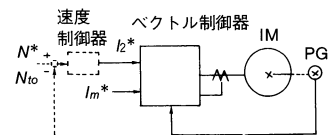


図3 すべり周波数方式によるベクトル制御
Vector control by slip frequency method

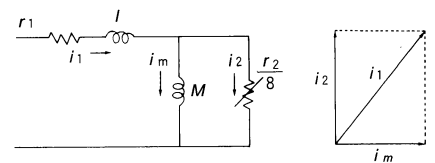


図4 誘導電動機の等価回路と電流ベクトル図
Equivalent circuit for induction motor and electric current vector diagram

LDV-48では、ACフラックスベクトル制御ループに対し、コントローラ(CDC-900)により演算した吸収指令値を電力変換器に送り、ACモータの主回路電流を制御している。CDC-900内のマイクロコンピュータは、車両により発生したモータ吸収力とローラ速度を間隔でサンプリングし、PI制御とフィードフォワード制御の2種類の制御演算を併用して電力変換器に指令値を出力している。この結果、ステップ応答の指令が発せられた場合、フィードフォワード制御によって急激に制御量を高め、PI制御で制御誤差分を減少させる効果が得られる。図5にステップ応答特性を、図6に制御系のブロック図をそれぞれ示す。

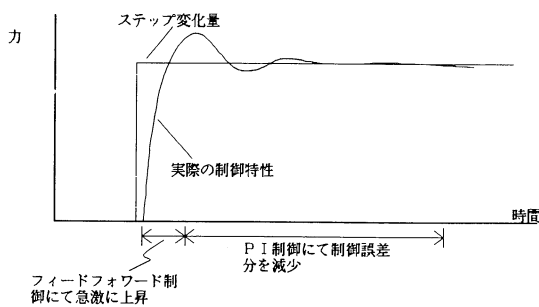


図5 ステップ応答性
Step response

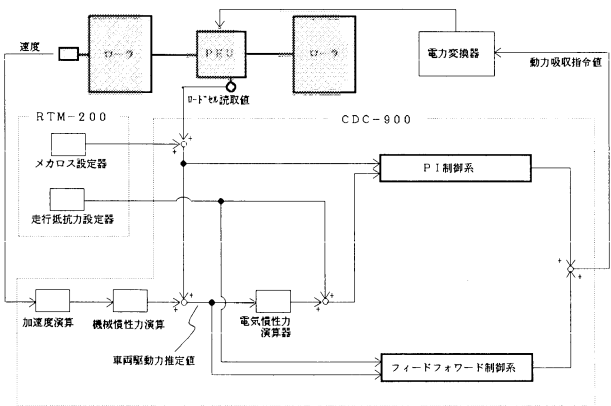


図6 LDV-48の制御ブロック図
Block diagram for control of Model LDV-48

4. 性能

4.1 暖機特性

3.1で述べたように、本装置ではベアリング駆動モータを採用することにより、軸受部の摩擦抵抗を低減し、安定化をはかっている。

図7に、36時間の停止後、ローラを100km/hの一定速度で運転した時の摩擦抵抗損失の変化する様子を示す。ここで、“LOSSES”のゼロ軸はローラ速度100km/hの値を示す。図から摩擦抵抗が運転時間に関係なく安定していることがわかる。

4.2 制御精度

(1) トルク制御精度

トルク制御の対象となるものは走行抵抗と電気慣性力である。図8に走行抵抗力($A + BV + CV^2$: $A=100, B=5.0, C=0.5008$)と電気慣性量(1000kg)を与えた時のコーストダウンテスト*5の結果を示す。制御目標力に対して各速度の制御誤差平均は1.0%以内であることがわかる。

(2) 速度制御精度

本装置を一定速度で運転している時、車両で1500N以上の階段状の力を与えた時のローラの速度変化を図9に示す。速度の変化量は±1km/h以内であることがわかる。

*5 コーストダウンテスト
ダイナモを高速まで加速し、自然惰行させて、減速過程における特性を把握するための試験

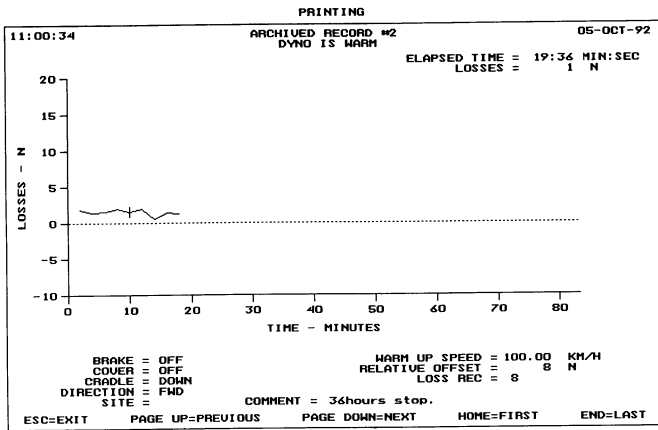


図7 LDV-48の暖機特性
Warm-up characteristics of Model LDV-48

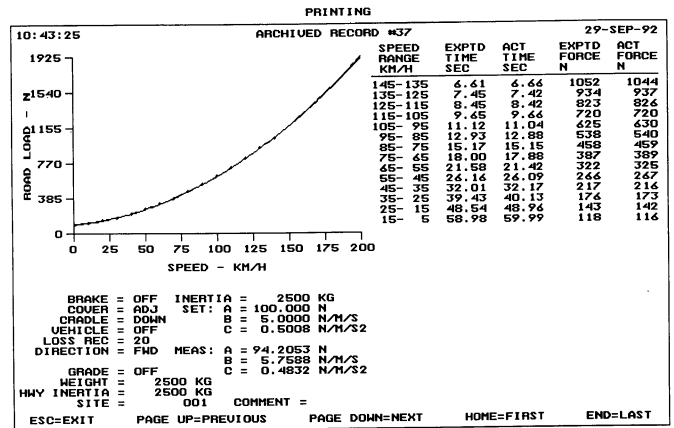


図8 LDV-48の走行試験結果
Result of simulation test of Model LDV-48

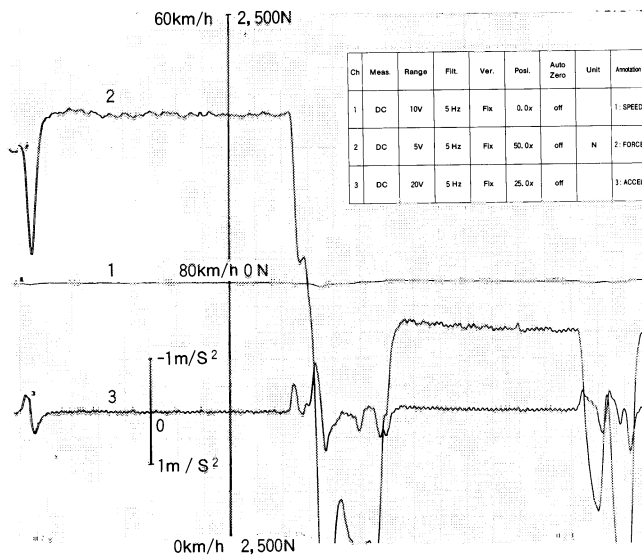


図9 LDV-48の速度制御精度
Accuracy of speed control on Model LDV-48

4.3 応答性

(1) 電気慣性制御の応答性

本装置は電気慣性方式を採用しており、等価慣性量*6の設定と機械慣性量*7が異なれば、不足あるいは過剰分を電氣的にモータで補償する機能を備えている。図10に電気慣性の応答速度を計測する装置の構成を示す。電気慣性制御の応答性は、ローラの制御系に三角波状の模擬信号を与え、ローラが実際に追従する時間遅れをもって表す。

具体的な試験は次のように行う。まず、関数発生器で発生させたパルス状の制御信号を2つに分割し、一つは周波数/電圧変換器(F/Vコンバータ)を介してその波形をレコーダに記録する。もう一つは速度制御部に入力し電気慣性制御に用いる。さらに、この電気慣性制御されたローラの実速度を、F/Vコンバータを介してその波形を記録する。そして、これら二つの波形の差から電気慣性制御の応答性を評価する。LDV-48の応答性は図11に示すように、100ms以内と早いことがわかる。

*6 等価慣性量

車両の質量に相当するの慣性量のこと

*7 機械慣性量

フライホイールやローラなど回転部の慣性質量をローラ表面上の値に置き換えたもの

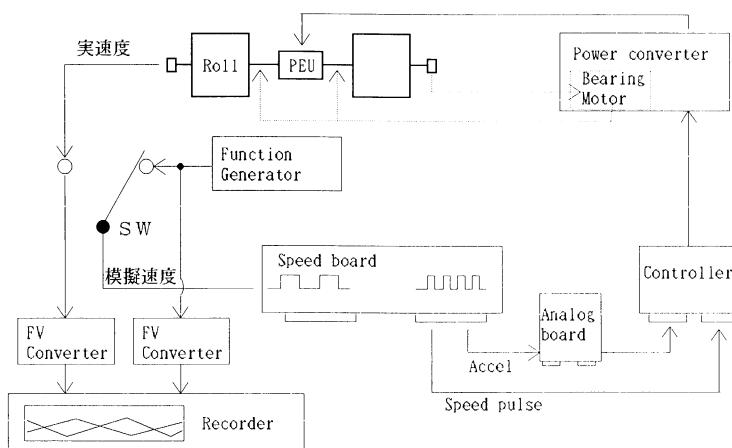


図10 電気慣性制御の遅れ時間測定のプロック図
Block diagram for measurement of delay time in electro-inertia control

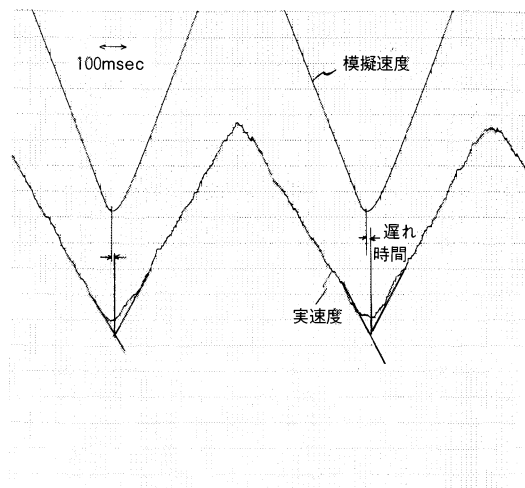


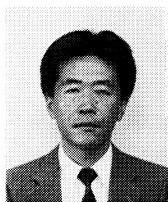
図11 LDV-48の電気慣性制御の遅れ時間測定結果
Measured values of delay time in electro-inertia control on Model LDV-48

(2)速度制御の応答性

ローラを一定速度で運転している時、車両で1500N以上の階段状の力を与えた時、もとの定常速度の±0.5km/hに戻るまでの時間を応答速度とするが、本装置では、図9に示すように2秒以内と早くなっている。

5. おわりに

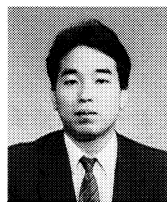
以上のようにLDV-48は、モータ駆動ベアリングやフラックスベクトル制御を用いることにより、高精度で安定した、しかも暖機運転が殆ど不要なシャシダイナモメータを実現した。また、48インチのシングルローラを採用したことにより、全速度領域において路上走行と同様の負荷状態をより忠実に再現することができるようになった。今後は、タイヤとローラ間の摩擦損失の影響の排除など、より一層、高精度で使い勝手の良い製品開発を目指し、ユーザ各位のご指導・ご鞭撻を心より願っている。



毛野克彦

Katsuhiko Keno

生産本部自動車計測開発部 係長
1954年1月3日生
立命館大学 理工学部
機械工学科卒業



宮川久志

Hisashi Miyagawa

生産本部自動車計測開発部
1964年2月8日生
京都産業大学 理学部
数学科卒業

