

自動車工学教育におけるブレーキ・シミュレータの試作

徳島工業短期大学 花野 裕二

Keywords: 工学教育, 機械工学, 教育改善, 視覚教材, 体験型学習

I まえがき

本研究は平成 25 年度に報告した“ブレーキ力検査用演習教材の試作”の第二報として報告するものである。前報においては、ブレーキ整備入門者を対象とした演習用教材として試作した MB・テスタ(以後、MBT1 と称す)および試験車両(以後、ベース車両 1 と称す)の活用について報告を行った。ブレーキ分解整備完了後に行なう制動力検査方法および制動力判定方法について擬似的ではあるが、実車両検査時と同様に保安基準に照らし合わせた制動力検査方法や各車輪のブレーキ・バランスについて、わかり良い教材に仕上がった。しかし、演習授業を通して新たな問題点も見出すことができた。

本研究では装置の取り扱い時における問題点を整理し、MBT1 機構面に改良を施した装置(以後、MBT2 と称す)で再度試験を行ったので、改良箇所を含め学習における活用方法について報告を行なう。

II 実車両の制動力と検査判定基準

実車両における制動力は、次式で表わされる。

$$F = \mu Mg \quad (1)$$

ここで、 F : 制動力(N) μ : ころがり抵抗係数

M : 車両質量(kg) g : 重力加速度 $9.8m/(s^2)$

(1)式より、制動力はころがり抵抗係数とホイールにかかる負荷に大きく関係することとなる。制動力は速度の増加に伴い増加するが、高速域でない限り一定値として取り扱うことが多い。実車両による制動力の検査では、ブレーキ・テスタ(図 1)のローラ上に車輪(前輪から後輪へ)を乗せ、ローラを回転させドライバーがブレーキ操作することでローラとタイヤ間の転がり抵抗が増すこととなり、それに対応する制動力を読む。これにより検査時の車両質量に対する制動力の総和および左右輪の割合について検査基準(図 2)に適合しているか否かを判定しなければならない。

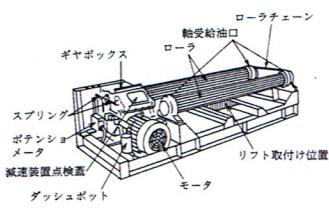


図 1 ブレーキ・テスターの構成

| 項目 | 制動力の検査判定基準 |
|--------|---------------------------|
| 制動力総和 | 制動力の総和が自動車の重量の 50%以上であること |
| 前輪制動力和 | 前輪の制動力和が前軸重の 50%以上であること |
| 後輪制動力和 | 後輪の制動力和が後軸重の 10%以上であること |
| 左右輪差 | 左右車輪の制動力差が各軸重の 8%以下であること |
| 駐車ブレーキ | 制動力の総和が自動車の重量の 20 以上であること |

図 2 実車両における制動力の検査判定基準

III MBT1 による制動力の検出方法

MBT1 は、対象学生に対し制動力検査の実習前に検査方法の予備学習として、測定精度よりも検査方法の流れと判定方法を学習させることに重点を置くこと目的とした演習教材である。

以上のことから制動力の検出方法では、電動モーターの持つ実負荷トルク特性を参考とし活用することとした。電動モーターの実負荷トルク特性では、回転作動時における出力軸に加わる負荷トルクの増減により負荷率表示が変化し数値的に確認できる。

MBT1 では、電動モーターの負荷トルク増減による負荷率表示(以後、擬似制動力と称す)を活用することとした。

IV 試験装置構成と検証

負荷増減による擬似制動力の検証を行うため、必要機器類の装着が可能な専用フレームの構成を行ない、簡易的な試験装置(車輪単体試験)による試験を再度行った。図 3 にモーター負荷試験装置(単体試験)を示す。

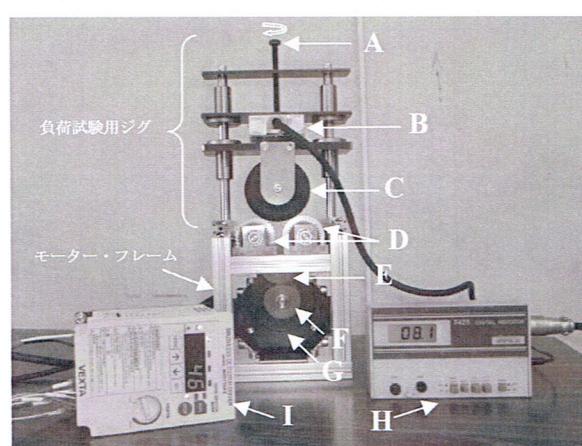


図 3 モーター負荷試験装置(単体試験)

表 1 構成装置諸元

| | |
|----|---------------------------|
| A) | タイヤ負荷調整ボルト |
| B) | ロードセル（共和電業 LP-B型） |
| C) | 試験タイヤ（70φ） |
| D) | テスタ・ローラ |
| E) | 連結ギヤ |
| F) | 電動モーター・ギヤ |
| G) | 電動モーター（オリエンタル BLF512） |
| H) | ロードセル表示計（ユニパルス F420） |
| I) | 擬似制動力表示計（VEXTA BLFD120A2） |

1. モーター・フレーム内の構成

モーター・フレーム内には、電動モーター取り付け位置を中心に、電動モーター・ギヤ（図 3 F）より連結ギヤ（図 3 E）を介してテスタ・ローラ（図 3 D）を回転させるものとした。タイヤ負荷による試験時には、テスタ・ローラを一定の速度で回転させる必要がある。テスタ・ローラの回転速度は、コントロール・ドライバにより、可能な限り低速回転となるよう設定を行った。

2. 調整部

専用フレームの上部には負荷試験用ジグを組み合わせ、中央にあるタイヤ負荷調整ボルト（図 3 A）の締め込みにより、試験タイヤ（図 3 C）に負荷を与える。同時に試験タイヤに接触するテスタ・ローラ（図 3 D）にも同様の負荷がかかることとなる。試験タイヤの負荷力はタイヤ負荷調整ボルトの下部に取り付けたロードセル（図 3 B）により測定し、ロードセル表示計により確認することとした。試験タイヤ負荷の増大による擬似制動力は擬似制動力表示計（図 3 I）により確認することとした。

IV 負荷試験装置の検証結果

タイヤ負荷試験装置により擬似制動力の測定可能範囲について確認を行うため、モーター負荷試験装置（単体試験）によるタイヤ負荷試験を行った。

図 4 にモーター負荷試験装置によるタイヤ負荷試験結果を示す。

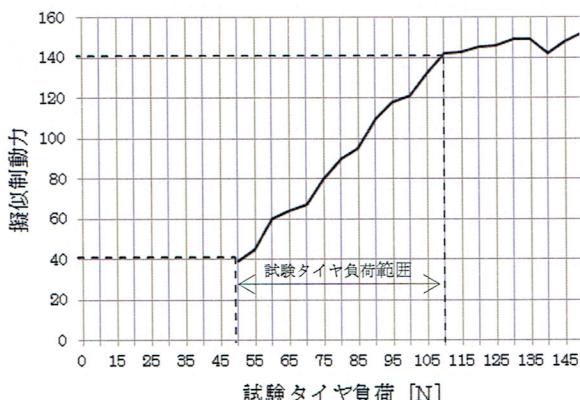


図 4 モーター負荷試験装置によるタイヤ負荷試験結果

図 4 に示す試験結果より、試験タイヤ負荷 110N 以上になると試験タイヤ負荷に対して擬似制動力の上昇に変動が見られた。以上のことより本研究における試験タイヤ負荷は 110N までとし、車輪単体による擬似制動力の測定は 40N から 140N までの範囲とした。

自動車を想定した左右二輪の場合では、擬似制動力は表示値の 2 倍となる。この場合左右二輪の擬似制動力が試験タイヤ負荷を上回る場合も考えられ、制動力の検査判定基準（図 2）が成立しない。本教材試作においては、擬似制動力の検査判定時の基となる車両重量の設定条件は、演習時における学生への設問課題とし様々な重量設定に対する擬似制動力の判定を学習させることとした。

以上に示す試験結果および条件を踏まえ、下記に示す改良点について構成機器の設定を行った。

V 改良に向けての取組み

1. テスタ・ローラの回転速度

電動モーターの回転トルクは、三種類のギヤを介して、テスタ・ローラ部へと伝達される機構であるが、測定期にはテスタ・ローラ回転数が電動モーター回転数に対し、やや增速される形であった。試験に際してトラブルは無かったが、回転状態を視覚的に確認しやすくするため、テスタ・ローラ部の回転速度を減速させるための改良を施した。MBT2 では、テスタ・ローラ部の回転速度を減速させる目的から、骨格フレーム枠の修正可能範囲内による構成装置位置の調整を行い、伝達ギヤ機構におけるギヤ歯数の変更を行いギヤ比により減速回転させることとした。図 5 に MBT1・MBT2 の伝達ギヤ配置、表 2 に各ギヤ歯数及びギヤ比を示す。

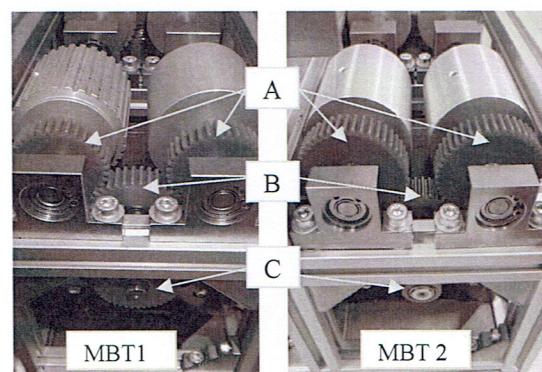


図 5 伝達ギヤ配置、ギヤ歯数

表 2 各ギヤ歯数、及びギヤ比

| | A | B | C | ギヤ比 |
|------|----|----|----|-------|
| MBT1 | 35 | 48 | 40 | 0.875 |
| MBT2 | 45 | 48 | 28 | 1.607 |

2. テスタ・ローラ面の形状変更

試験時において制動力を増加度合いに応じ試験車両タイヤがテスタ・ローラ前・後間に噛み込むといった症状があった。考えられる原因としては、ベース車両 1 のタ

イヤは空気入りであること、トレッド面形状による摩擦力増大、ゴムの厚みが比較的薄いことなども原因として考えられた。また、MBT1では制動時の模型車輪グリップ力を大きくさせる方法として、実モデル同様にテスタ・ローラ部にスプラインを設けたが、制動時(車輪ロック時)にはMB・テスタ・ローラのスプライン部でグリップ力が大きく作用していることも考えられた。MBT2ではグリップ力を減少させる目的よりテスタ・ローラ部のスプライン形状を取りやめることとした。図6にMBT1・MBT2のテスタ・ローラ部形状を示す。図7に改良を施したMBT2の外観図を示す。

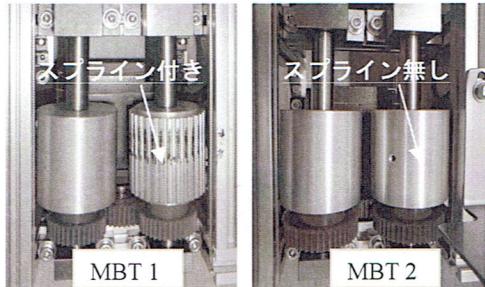


図6 テスタ・ローラ部形状

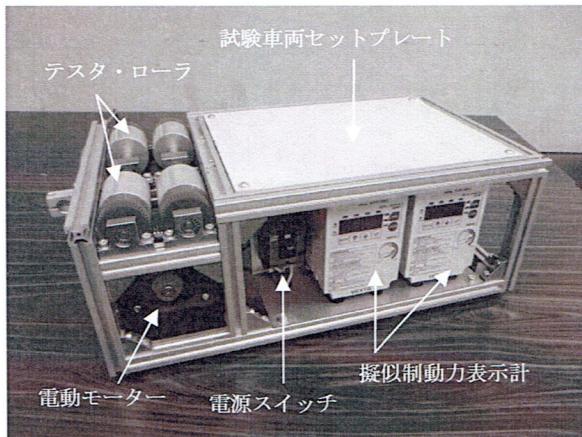


図7 MBT2外観図

3. ベース車両の見直し

3.1 制動力コントロール機構

MBT1では、前輪・後輪部において機器の異なる制動力コントロール方法であった。前輪部では六角レンチ締め込み操作によるドライブ・シャフト軸を専用ジグにより締め付ける方法であり、後輪部においては、ベース車両1の構造的な問題(市販模型の活用)から、試験タイヤを専用のカラーにより直接押し付け負荷を与える方法であった。制動力検査演習を目的とし前輪・後輪部の制動力値をコントロールすることについて、特に問題は発生しなかつたが、やはり、前輪・後輪部においては同タイプの制動力コントロール機構を備える方法が好ましい。以上より、新たな試験車両の制作(以後、ベース車両2と称す)を行い、制動力操作の同一化を図ることとした。ベース車両2では回転する車輪にタイヤ負荷を与える方

法として、車輪内側のアクスル・シャフトに簡易的なカップリング式の制動力コントロール機構を取り付けた。カップリングの締め付けは、六角レンチに連結させたトルク・レンチにより行いタイヤ負荷の増大(以後、ブレーキ・トルクと称す)させた。ブレーキ・トルクの計測範囲はカップリングの締め付けにより、車輪がロック状態となる0.1Nmから1.0Nmまでとした。図8に制動力コントロール機構部を示す。

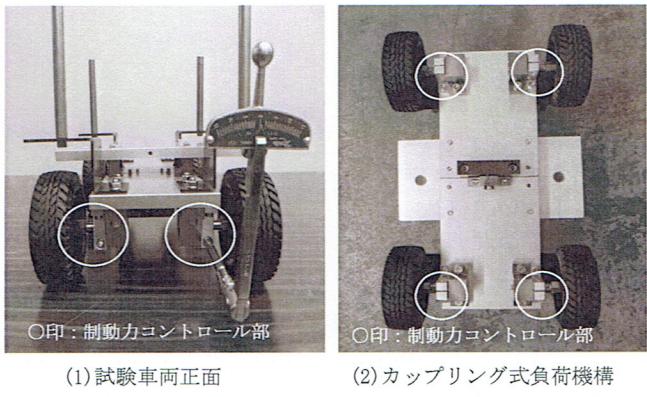


図8 制動力コントロール部

3.2 ベース車両の質量

ベース車両2の重量は、測定時に必要な機器の取り付けを行った状態において、20N(前輪10N、後輪10N)となる。負荷試験結果より、擬似制動力表示は試験タイヤ負荷が50N以上となる。また、形状においても前部と後部が同じであり、ブレーキ・トルク増大による前・後輪の擬似制動力の変化を見分けることが不可能となる。

以上より、試験車両の上部にウェイト・ロッドを設け、試験時には、試験時には、前軸重60N(10N+50N[ウェイト5枚])、後軸重50N(10N+40N[ウェイト4枚])とし、重量をあらかじめ加算した試験車両(以後、ベース車両と称す)とし、擬似制動力表示を容易にすることとした。図8(1)にウェイト・ロッド、(2)にウェイト加算状態を示す。

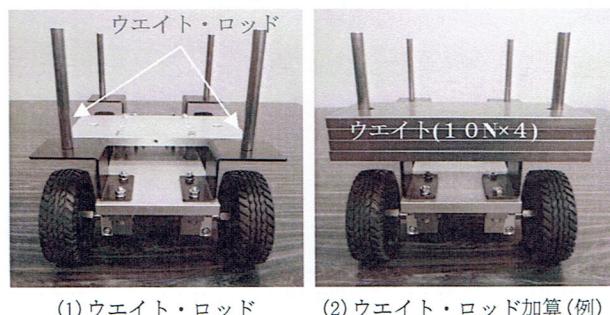


図9 ウエイト・ロッドの配置

VI 評価試験方法

1. MB・テスタへの試験車両セット方法

実車両による制動力検査手順と同様であり、測定時には試験車両の車輪をMB・テスタ・ローラ面にセットする

作業から始める。測定時には MBT2 のテスタ・ローラ回転力とタイヤ負荷の増加による左右制動力のアンバランスが発生し、試験車両本体が不安定となることが想定できる。そこで、試験車両安定性確保のための手段として、MB・テスタ上両端部には、ベース車両の振れを防止する目的として、横方向には安定ガイドおよび前後方向にはタイロッド式の安定ガイドを設けた。図 10 に横方向ガイド、図 11 に前後方向ガイドを示す。

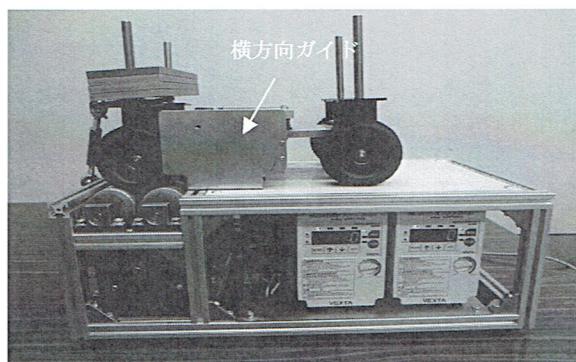


図 10 横方向ガイド

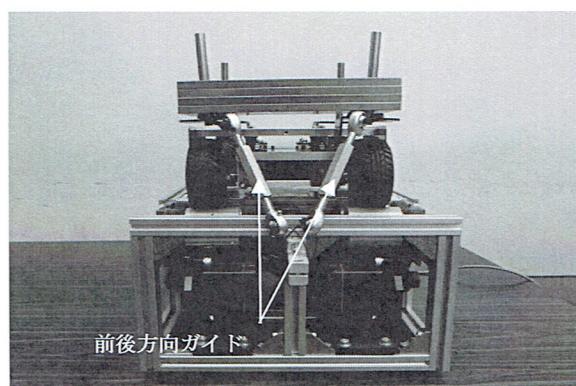


図 11 前後方向ガイド

VII 評価試験

前輪・後輪のブレーキ・トルク增加による擬似制動力についての評価試験では、図 12 に示すようにブレーキ・トルクを前輪・後輪とも均等に増加させ、擬似制動力変化確認を行った。

1. 前輪・後輪の擬似制動力変化.

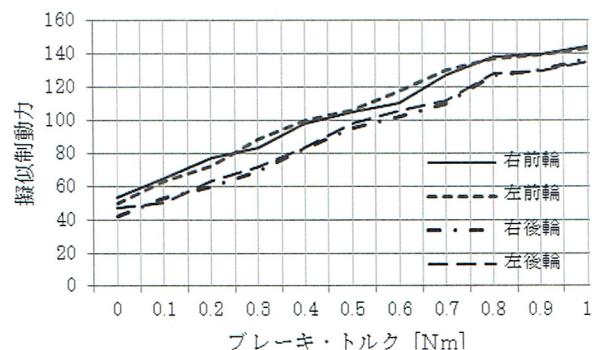


図 12 前輪・後輪の擬似制動力変化

2. 前輪左右差による擬似制動力変化.

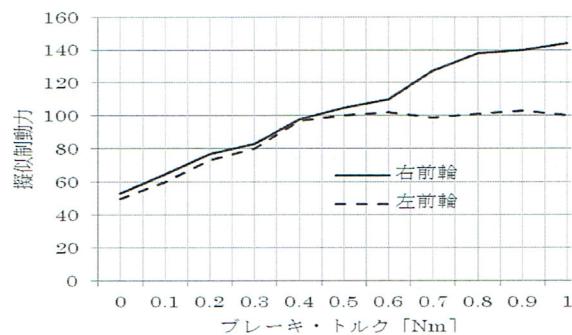


図 13 前輪左右差による擬似制動力変化

3. 後輪左右差による擬似制動力変化.

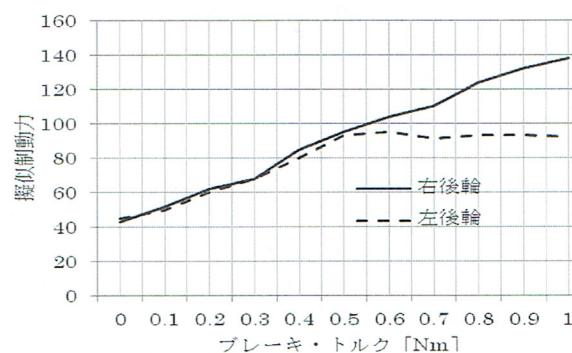


図 14 後輪左右差による擬似制動力変化

実車両では、ブレーキ装置の故障により制動作用が減少する場合や、ブレーキの片側が必要以上に効き過ぎる片効きと呼ばれる症状などの不具合が発生することがある。このような場合、検査判定時には制動力の左右差となって検査判定基準の対象となる。そこで、ブレーキ・トルクを右車輪については 0Nm から 1.0Nm まで順次増加させ、左車輪については最大 0.5Nm までとさせ、擬似制動力の左右差について再現させた。図 13 に前輪左右差による擬似制動力変化を示す。(図 14 の後輪左右差設定も同様とする)

3. ウエイト加算による擬似制動力変化

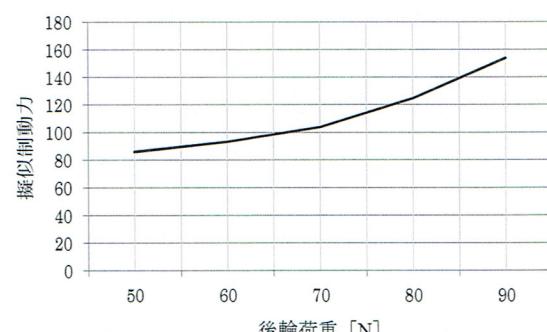


図 15 ウエイト加算による擬似制動力変化(後輪)

軸質量と擬似制動力の関連性では、ウエイト・ロッドにウエイト（一枚10N）を積み重ね軸質量の増加により擬似制動力変化を再現させた。図15に後軸荷重のウエイト加算による後輪の擬似制動力変化を示す。

VIII 制動力の検査基準と判定方法

評価試験結果より、制動力判定学習を行うための再現が可能となった。図12において、前輪・後輪の擬似制動力を判定する場合、最初にブレーキ・トルクの選択を行う。選択例としてブレーキ・トルクを0.7Nmとした場合、擬似制動力は前輪左右輪合計で257、後輪左右輪合計で222となり合計値は497となる。演習時には設問として車両質量を出題し車両質量に対する比率を判定させる、

図13において、前輪の擬似制動力の左右差を判定する場合、最初にブレーキ・トルクの選択を行う。選択例としてブレーキ・トルクが0.7Nmとする、この場合の擬似制動力は前輪右で127、前輪左で100となり左右差が27となる。演習時には設問として前輪軸質量を出題し前輪軸質量に対する比率を判定させる、上記による判定方法により、制動力検査ができることが分かった。

IX 授業を通しての評価

MBT2とベース車両2を用いた学習効果の検証を行うため、本学一年生の学生32名（Aグループ16名、Bグループ16名）を対象にアンケート調査を実施した。図16に理解度調査アンケート結果を示す。

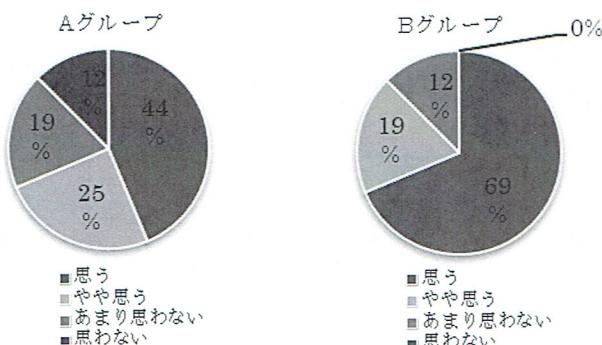


図16 理解度調査アンケート

調査内容では、Aグループは講義から実習へ移行する従来通りの学習方法とした。Bグループは講義後にMB・テスターとベース車両による学習を実施し、その後実習へ移行する方法とした。「制動力測定方法と判定の仕方について理解ができたか」の設問で「思う」、「やや思う」と回答した学生はAグループの69%に対し、Bグループで88%の学生が回答しており、その効果を実感していることが推察できる。アンケートの中でもBグループでは「思わない」と回答した学生が0%であった。アンケート以外では、「制度力検査方法において全体の流れが理解できた」、「楽しく学習が出来わかりやすかった」などの意見があった。その他の感想として「MB・テスター¹⁾

およびベース車両の全体サイズを大きくした方が良い」、「負荷率表示計の操作が少し解りにくかった」、「ベース車両にボディーがあると面白い」などの意見を聞くことができた。今後の課題として検証したい。

X 問題点整理と課題

本装置の試作にあたり、MB・テスター及びベース車両について今後の課題については以下の通りである。

1. 試験タイヤはグリップ力を高めるため、ゴム質が比較的柔らかいものを使用した。測定時の傾向として撓みが大きくテスター・ローラ面に対して、大きくグリップする傾向にあった。試験時による問題は発生していないが、硬さの異なるタイヤについても試験を実施し精度向上を目指す。
2. 試験時に発生するベース車両の振れを防止するためガイドを設け安定性を持たせある程度の振れを抑えることはできたが、ベース車両上部に新たなガイドを追加し、安定性を持たせる必要がある。
3. ベース車両はフレームのみの形状となったが、ベース車両専用ボディーについて検討しより実際の測定感覚を見据えた表現を目指す。

XI おわりに

本研究は自動車工学教育における学習内容の中でもブレーキ装置実習における問題点をとりあげ、その改善策について検討し新たな教材を試作したものである。制動力検査方法については、今まで実車両を使用することが必須とされた内容であった。今回MB・テスターとベース車両の開発により、制動力判定方法の基礎的な学習が安全に行える演習教材となった。また、検査全体の行程が視覚的にも理解できるものとなり、その学習効果は学生の興味を引き出す大きいものとなった。

今後の課題としては、実際の測定感覚を見据えた装置全体の大型化を目指し、多くの学生が同時に参加でき効率よく学習できる装置を制作する、また、擬似制動力表示も大きく映し出す方法など改良を行う必要がある。今後も引き続き改良を重ね装置全体の精度を高めていきたい。

参考文献

- 1) 景山克三, 景山一郎, 自動車力学(2010), pp.27-62, 理工図書.
- 2) 沖嶋正之, 初心者のための自動車工学, pp.2.1-2.5, 理工学社
- 3) 社団法人 自動車技術会, 自動車技術ハンドブック 試験・評価編 pp. 56-58.
- 4) 日本自動車整備振興会, 法令教材 pp. 101-105.
- 5) 日本自動車整備振興会, 2級ガソリン自動車シャシ偏, pp. 234-235.