

# シャシ・ダイナモメータを活用した教育方法に関する研究\*

吉田 勝哉<sup>1)</sup>

市野瀬 和正<sup>2)</sup>

脇田 喜之<sup>3)</sup>

## A Study of an Education Method using Chassis Dynamometer

Katsuya Yoshida

Kazumasa Ichinose

Yoshiyuki Wakita

In an education for auto mechanic, it is difficult to teach the relation between vibration and wheel unbalance. Because it is not clear the value of a wheel imbalance which causes vibration on the steering. Therefore we study the effective education method using Chassis Dynamometer. First, a sensory evaluation of vibration are measured on chassis dynamometer. Second, vibration data are visualized with automobile FFT analyzer. These technique are effective that students understand vibration. Furthermore, students obtain the result that vibration are occurred in 15g of wheel imbalance. The result agrees our estimation of the measurement data.

**Key Words:** Vibration, Shimmy, Flutter, Chassis Dynamometer, Education Method (B3)

### 1. はじめに

国内有数の降雪地である新潟県では、年二回のタイヤ交換時期には、タイヤ組換え作業が非常に多忙となる。よって、たとえ新人メカニックでも、タイヤ組換え作業のスキルを求められることが多い。また、タイヤ組替え作業と同時に行われている、ホイールバランス調整作業の手間については、新人からベテランまでが関心を持つ内容と言える。ホイールバランスの調整作業は日常的に行われているが、実際にどの程度バランス精度を保てば良いのか、明確な根拠を持つメカニックは少ないのではないだろうか。一級自動車整備士養成課程の教科書の振動・騒音の章<sup>4)</sup>でも、バランス精度の数値までは記載されていない。

そこで本研究では、ステアリング振動のうちシミーとフラッタに注目し、ホイールバランスの精度と振動レベルとの関係を、実車の走行実験により計測する。この実験を学生自身に行わせ、体感とデータの両面からの考察により教育的効果を高めることを、本研究の第一の目的とする。また、養成課程の知識が学科試験対策にとどまらず、実験等で知識を深められれば卒業後の実務に役立つことも、学生に示したい。

なお、実車の走行実験において、公道では路面状況が多様であるため、再現性のある計測は困難である。そこで、シャシ・ダイナモメータ上で走行実験を行うことにより、計測の

再現性を高める。さらに、不具合発生の状況を可視化するために、振動レベルの計測には自動車用振動騒音分析器を使用する。そして、これらの機器を活用した教育方法について検討することを、本研究の第二の目的とする。

### 2. 実験車両の概要

本研究で実験に使用した車両は、本研究グループで継続的に使用している車両で、2010年12月に一般販売が開始された世界初の量産型電気自動車である。エンジン振動等がなく、本研究においても実験対象にふさわしいと判断した。実験車両のアライメント・データを表1に示す。

Table 1 実験車両およびアライメント<sup>2)</sup>

車名型式		ニッサン ZAA-ZE0	
車両総重量		1795 kg	
ホイールベース		2700 mm	
ホイール・サイズ		日産純正スチール・ホイール 6.5J×16 インチ	
タイヤ・サイズ 銘柄		205/55-16 プリヂェストン・レグノ	
アライメント		基準値	調整値
フロント	トーイン左	2.2 mm ± 1.2 mm	0.8 mm
	トーイン右		1.0 mm
	キャンバ左	-0° 25' ± 45'	-0° 26'
	キャンバ右		-0° 21'
リヤ	キャスト左	4° 50' ± 45'	5° 04'
	キャスト右		4° 55'
リヤ	トーイン左	3.1 mm ± 2.2 mm	2.0 mm
	トーイン右		3.8 mm
リヤ	キャンバ左	-1° 30' ± 30'	-1° 40'
	キャンバ右		-1° 12'
スラスト角		0° 00'	0° 04'

\*2018年8月2日受理。第50回全国自動車短期大学協会研究発表会において発表。

1)・2)・3) 新潟工業短期大学 自動車工業科

(950-2076 新潟県新潟市西区上新栄町 5-13-7)

### 3. 実験方法

本節では、実験前に学生のステアリング振動に関する理解度調査のアンケートを行い、学生ごとに開きのある項目に実験内容を絞り込み、実験手順を立案した。

#### 3.1. 学生の実験前・理解度アンケート

ここでは実験前に行った学生の理解度アンケートを図1に示す。その結果を元に検討した実験内容について述べる。

学籍番号 \_\_\_\_\_  
名前 \_\_\_\_\_

1. はじめに  
新潟県は降雪地 新人メカニックでもタイヤ組み換え作業のスキルが求められる  
ホイールバランス作業は日常的、でもどれぐらいの精度が必要なのか解らない  
ステアリング振動の内、シミーとフラッタに注目、不具合発生状況を可視化することで理解を深め、  
学科試験対策、卒業後の実務に役立てることを目的として行う

2. 実験車両の概要  
リーフ 夏タイヤ新品 (4本・ブリヂストンレグノ 205/55-16)  
純正スチールホイール (4本)

3. 実習前アンケート  
Q1 ホイールバランスが狂っていたことが原因でステアリング振動が発生するのは何gから影響が出る  
と考えられるか? それはなぜか?  
Q2 ホイールバランスが狂っていたことが原因でステアリング振動が発生するのは何 km/h 位から影  
響が出ると考えられるか? それはなぜか?  
Q3 アライメントが狂っていた場合、ステアリング振動に影響があると考えられるか?  
Q4 アライメントの中でトーイン、キャンバ、キャスト角の中でステアリング振動の影響が特に大き  
い要素はどれだと思うか? その理由は?  
Q5 ステアリングラックの摺動抵抗 (シャフトのプリロード) が振動の発生に影響があると考えら  
れるか?

4. 具体的な実験方法  
・シャシダイナモにリーフをセットして、周波数解析機VA-11Mでデータを取る  
・負荷設定は実走行時と同等 車速は、80~120km/h間を想定  
・VBはステアリングサイドロッドソケットに鉄のプレートを挟み、ピックアップを磁石で取り付け (左  
右2個)  
・ステアリングシャフト側 (又はステアリングホイール) にもピックアップを取り付け (1個)  
・ホイールバランスを10g単位で狂わせて (10~50g) 車速の変化による、しきい値を探る  
・発生しやすい条件の中で、トーインの狂いがさらに影響があるかを探る  
・発生しやすい条件の中で、ステアリングラックのプリロードを変化させて発生速度や、バランスの重  
さに変化があるかを探る

Fig. 1 学生理解度アンケート

アンケートの結果について、以下のような回答が得られた。

設問1: ホイールバランスが狂っていた事が原因でステアリング振動が発生するのは何gから影響が出ると考えられるか? それはなぜか?

学生A: 50g アンバランスになることでタイヤが真円でなくなってしまうから

学生B: 約30g 4本のタイヤのユニフォミティ (均一性) が崩れてしまうから

学生C: 約20g 10g程度だとホイールバランスでも切り捨てられるため

学生D: 15g 10g以下はホイールバランスで切り捨てられるため

設問2: ホイールバランスが狂っていた事が原因でステアリング振動が発生するのは何 km/h 位から影響が出ると考えられるか? それはなぜか?

学生A: 60 ~ 80 km/h 地面や車輪のアンバランスで起こるシミーが関わってくるため

学生B: 120 km/h 高速シミーが発生し首振り振動が起きるため

学生C: 60 ~ 80 km/h 以上 教科書に書いてあるため

学生D: 70 km/h 以上

そのほかの質問に関しても回答にばらつきはあったが、上記の結果より、今回は設問1と設問2のホイールバランスのアンバランス量とステアリング振動が発生する速度との関係性について行うこととした。

#### 3.2. 使用機器

本実験では、路上走行のように複雑に変化する走行条件では、ホイールバランスのアンバランス量とステアリング振動が発生する速度との関係を見出すことが極めて困難と考えられる。そこで、可能な限りシンプルな走行条件を得るため、シャシ・ダイナモメータ上で速度を変化させて、自動車用振動騒音分析器でデータ計測を行うこととした。シャシ・ダイナモメータの仕様を表2に、振動騒音分析器の仕様を表3に示す。

Table 2 シャシ・ダイナモメータの仕様<sup>(3)</sup>

メーカー	MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG. (Germany)
国内代理店	株式会社ダイノテック
機種	MSR500/2 4WD
使用可能最大速度	300 km/h

Table 3 自動車用振動騒音分析器の仕様<sup>(1),(4)</sup>

メーカー	リオン株式会社
本体型番	VA-11M
ピックアップ型番	PV-85
測定モード	振動周波数分析 (分析器モード)
測定条件	加速度モード

シャシダイナモでは走行条件等の設定を行うだけで、走行データの計測は行わない。走行データの計測は、メーカー純正の外部診断器を実験車両に接続し、リアルタイム・モニタ機能を用いて記録している。



### 3.3. 実験手順

実験手順は、振動源となるホイールバランスの調整および計測用ピックアップの取り付け等の準備作業と、シャシ・ダイナモメータ上での走行状態における振動計測の二段階から構成される。以下に順を追って説明する。

実験手順の第一段階は、実験車両のタイヤ・ホイールのリセットである。新車装着タイヤは既に約7年使用し残り溝も半分以下となっていた。ホイールバランスを調整してもタイヤの表面硬化等がデータに影響する可能性があるため、表1に示した新品タイヤと純正スチール・ホイールを組み合わせ、ホイールバランスを調整し、タイヤ4本ともに2g以下のアンバランスで車両に装着するところを、実験の初期段階とした。ステアリング・ラックの振動を計測する為、準備としてステアリング・サイドロッド・ソケットとナットとの間に鉄製のプレートを含み込み、ピックアップの磁石で左右1個ずつ取り付けを行った。さらに、コラムシャフトの振動を計測する為、エアバックを取り外しステアリングホイールの取り付けナットにピックアップを取り付け測定準備とした。取付状態の様子を図2に示す。

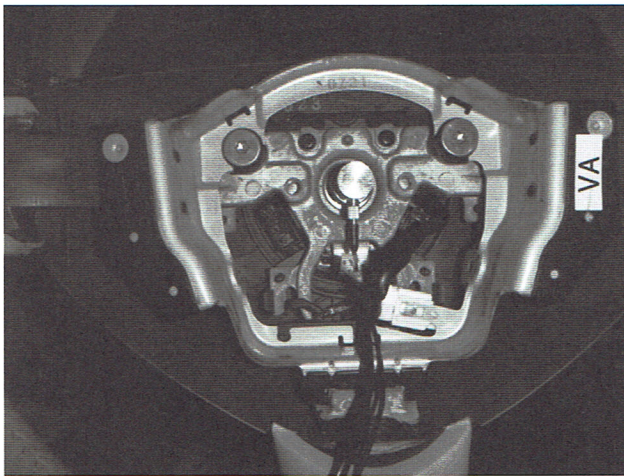
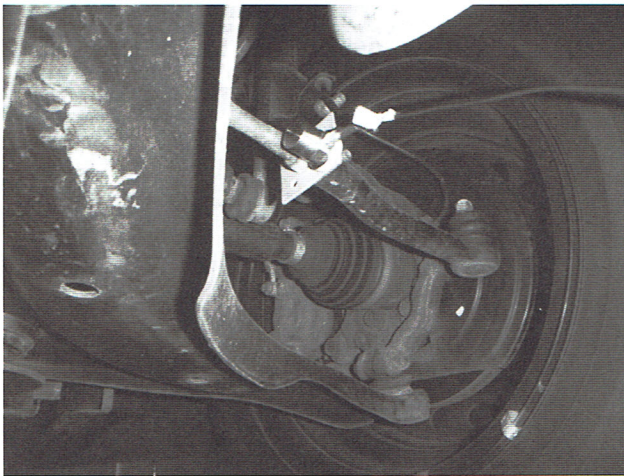


Fig. 2 ピックアップの取付状態

実験手順の第二段階は、実験車両の走行である。実験車両をシャシ・ダイナモメータ上に設置し、実走行に近い負荷値にし、外部診断器による車両状態の計測と、シャシ・ダイナモメータ上の速度からデータを取得することとした。走行実験の様子を図3に示す。

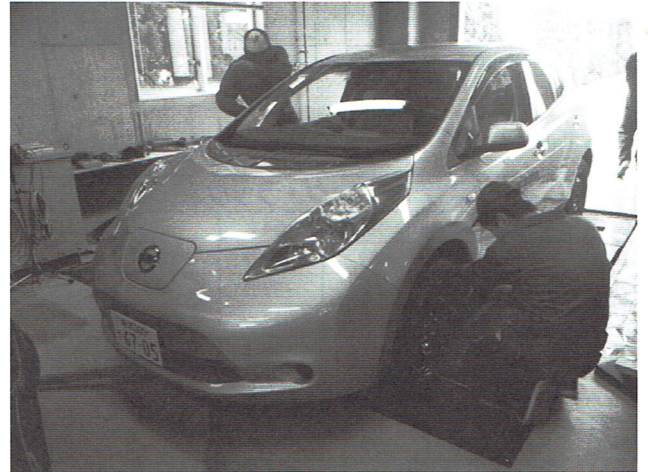


Fig. 3 走行実験の様子

実験手順の第三段階は、具体的な実験方法である。ホイールバランスを四輪共に10g単位でバランスウエイトを増し車速40km/hから10km/h毎の振動騒音分析器のピックアップでタイヤ一次振動の周波数と、その時の振動レベルを同時計測し、計測値の変化と、ボディに直接触れたり、シートに着座したときの体感、ステアリングホイールに伝わる手の感触なども同時に比較対象とした。

### 4. 実験結果

本節では、数多くの走行実験のなかから本稿の研究目的に沿ったデータを示し、そのデータから得られる検討結果について説明する。



#### 4.1. 振動レベルの計測結果

本実験では、車速を 40 km/h から 10 km/h 毎で計測したが、70 km/h 以下では振動レベルの明確な差が得られなかっただけでなく、シャシ・ダイナモメータのローラの固有振動も計測された。よって、80 km/h 以上の車速に対してデータ処理を行った。タイヤのバランス調整値を条件として、各測定箇所における、車速に対する振動レベルの計測値を表 4 ~ 6 に、そのグラフを図 4 ~ 6 に示す。

Table 4 ステアリング・ラック左における計測値

ステアリング・ラック左					
0g	-48.8	-48.8	-54.2	-52	-39.7
10g	-71.1	-52	-39.5	-38.2	-28.8
15g	-44.3	-37.1	-37.5	-31.3	-28.2
20g	-47.6	-40.7	-32.9	-28.6	-19
30g	-47.6	-40.2	-36.3	-24.6	-15
40g	-38	-31.9	-28	-31.4	-26.1
50g	-36	-35.7	-38.4	-20.5	-17.9
車速	80	90	100	110	120

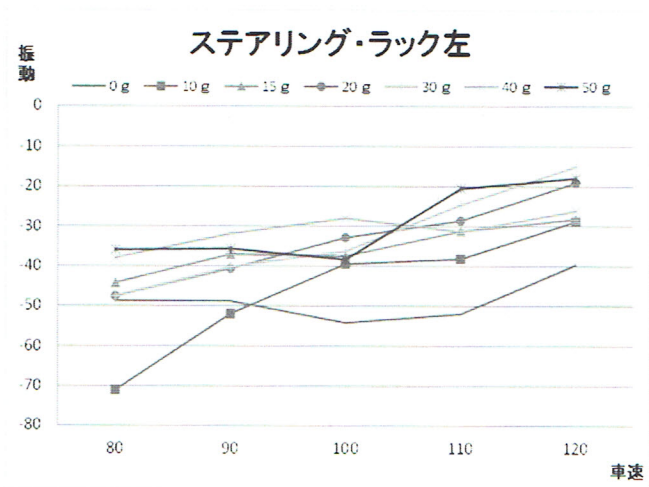


Fig. 4 ステアリング・ラック左におけるグラフ

Table 5 ステアリング・ラック右における計測値

ステアリング・ラック右					
0g	-48.8	-48.8	-54.2	-52	-39.7
10g	-59.1	-57.1	-44.7	-36.6	-30.1
15g	-48.6	-41.3	-14.3	-34	-35.4
20g	-46.5	-41.6	-35.3	-31.4	-22
30g	-50.3	-40.2	-32.7	-33.1	-27.9
40g	-42.8	-35.8	-32.3	-47.6	-31.3
50g	-38	-41.6	-36.5	-20.1	-15.9
車速	80	90	100	110	120

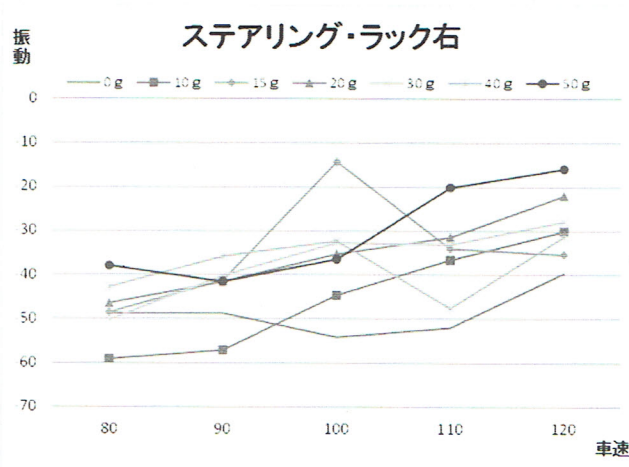


Fig. 5 ステアリング・ラック右におけるグラフ

Table 6 ステアリング・シャフトにおける計測値

ステアリング・シャフト					
0g	-59.1	-55.6	-54.9	-61.6	-47.9
10g	-45.3	-77.1	-40.2	-52.5	-30.9
15g	-44.3	-41.3	-40.9	-33.9	-31.7
20g	-46	-36.1	-41.4	-38.3	-29.3
30g	-58.1	-47.9	-33.9	-39.5	-17.6
40g	-71.1	-47.6	-34.5	-54.2	-71.1
50g	-45.3	-43.5	-27	-21.7	-21.3
車速	80	90	100	110	120

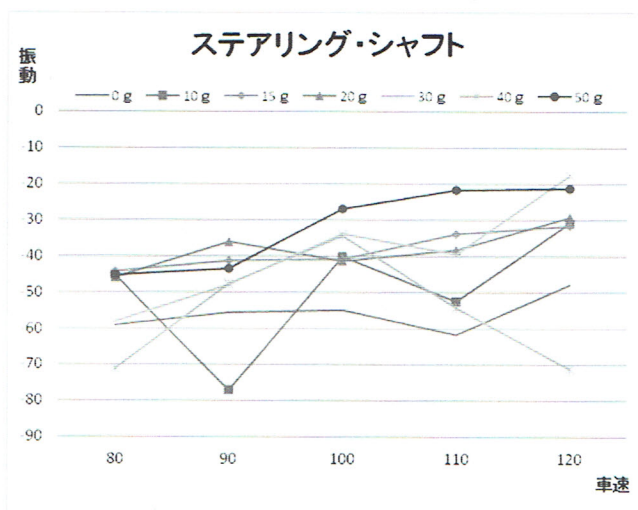


Fig. 6 ステアリング・シャフトにおけるグラフ

まず、これらの計測データに対して、ステアリング回転方向の振動であるシミーおよびフラッタの振動の有無について検討を行う。

バランス調整値が 0 g の時は体感による振動が感じられなかったことから、左右ステアリング・ラックの計測において、振動騒音分析器のスペクトル表示におけるノイズフロア（騒音計測において暗騒音に相当する値）は、振動レベル -50 dB 前後であると判断できる。このことから、-50 dB を下回る

振動レベルの計測値は、様々な振動の合成により振動が打ち消しあった結果と見られ、検討からは除外してよいものと考えられる。同様に、ステアリング・シャフトにおけるノイズフロアは、 $-55 \sim -60$  dBあたりであると判断できる。

次に、いくつかの計測データには、偶発的な異常値がみられる。例えば、ステアリング・ラック左においては、バランス調整値 50 g の車速 90 ~ 100 km/h における振動値や、バランス調整値 40 g の車速 110 ~ 120 m/h における振動値などである。これらの偶発的な異常値を除けば、バランス調整値 15 g ~ 50 g の計測値は 10 dB 以内の幅を持って、おおむね同様の傾向を示している。

そして、これらの傾向において、バランス調整値 15 g 以上の計測データは、10 g の計測データと比較して、車速 90 ~ 100 km/h あたりで、おおむね 10 dB 以上大きい値を示している。このことから、10 g と 15 g の間で、大幅な振動メカニズムの差異が生じて、バランス調整値 15 g 以上では、フラッタ発生の仕組み<sup>(4)</sup> でよく論じられるところの、アンバランスによる振動強制力がステアリング系と共振を起こしていると考えられる。

なお、ステアリング・シャフトにおける計測データを見ると、他の箇所における計測データよりもノイズフロアが低く、かつ異常値が多くみられることから、ピックアップが出力する電気信号が低いために、信号がノイズに埋没してしまっていることが考えられる。これは、図 2 で示されるとおり、ピックアップをコラムシャフトの軸方向に取り付けたことにより、回転方向の振動は計測が困難となっているためと考えられる。今後の検討事項として、コラムシャフトへのピックアップの取り付け方法の改良があげられる。

#### 4.2. 学生レポートによる理解度の調査結果

実験を行った学生に対し、実験時の体感と計測データをもとにして、整備の上で求められるホイールバランスの精度について考察を求めた。

以下に、学生レポートの考察からの抜粋を示す。

学生A：

バランスを正しく調整した時の測定データと、アンバランスを 10 g にして測定した時のデータを見比べてみた。すると同じステアリングラック左の測定データで、アンバランス 10 g の時の方が振動も大きく、データ値も大きくなっている。時々、バランス調整後の正しいバランスの時に値が大きい状態にあるが、データを止めた時間が関係しているのだと思う。最初は、大きく見積もって 50 g から振動が発生し始めると予想していたが、10 g でも振動は発生していることが分かった。但し、それが体感できるかどうかは別問題で、実際に走行してみると、10 g 程度では振動はわかりづらかった。つまり、

バランス調整は 10 g 程度狂っていたとしても、人間は普通に乗っていれば気づかないということになる。

次に、バランスが狂っていた事が原因で、何 km/h から影響がでるのかを見た。10 g のアンバランスの測定データを正常値と比較してみると、90 km/h 以降からデータでは変化が見られ、それ以降、速度が上がるにつれて振動の大きさは大きくなっている。これはウエイトを変えても同じ結果となった。

やはり、振動は速度よりもアンバランスの大きさが影響しやすいと考えられる。10 g と 50 g でのデータを比較してみると、同じ速度でも 50 g のアンバランス時の振動が大きいためであり、逆に言えば、10 g 程度のアンバランスなら通常の道路で法定速度を守って運転すれば異変は感じないということになる。そして、影響の出る速度は、アンバランス量によるが、80 km/h もしくは 90 km/h あたりから振動が始めて、体感するには 100 km/h 以上は必要だと感じた。

学生B：

アンバランスのしきい値は、アンバランス 10 g だと 120 km/h でも振動しているか微妙な感じであり、アンバランス量が多い 50 g から、徐々に減らしてみてもわかったことは、40 g から 5 g ずつ減らしていくごとに、伝わりはじめての速度が 10 km/h 上がっていくことが、データと体感から理解できた。このことから、アンバランスのしきい値は 100 km/h ~ 110 km/h から僅かに振動を感じる 15 g だと考える。

学生C：

アンバランス量大小で比較する。50 g を作り調整前と比べると、80 km/h の 11 Hz の地点でステアリングラック左からの一次振動が立ち上がっていることが確認できる。実際に乗った感触としては、90 km/h からハンドルが左右に振れた。110 km/h からは、シートからの振動も確認できた。これは、速度の上昇と共に遠心力によりタイヤの振動が大きくなり、ステアリングシャフトにも伝わり、ハンドルに影響があると考えられる。アンバランス 10 g を作り測定を行った。アンバランス 40 g と比較すると、80 km/h での一次振動が半分以下となっている。実際に乗った感触としても、80 km/h ~ 110 km/h までは、バランス調整後と変わらず、振動は感じられなかった。120 km/h の辺りでは、ハンドルに振動を感じた。波形で観察すると、バランス調整後とほぼ同じ波形の出方をしているので、しきい値はアンバランス 10 g と判断した。

学生D：

測定結果として、シャシダイナモ上ではアンバランス 15 g の 100 km/h ~ 110 km/h 位から振動を感じ取れた。その時の周波数解析機の波形を観察すると、ステアリングラック左で振動レベルが  $-37.5 \rightarrow -31.3$  に変化している。他の部位、



グラム数での測定結果と体で感じた感覚とを比べると振動レベル-35 から-30 位が、振動を感じるか感じないかの境目だと考える。各速度域で、ほとんど振動を感じ取れなかったアンバランス 10 g の波形を観察すると、体感とデータが一致していることが分かる。これらの結果を見ると、街乗りがほとんどの車では 15 g 以下のアンバランスがあっても問題はないと考える。又高速走行する車であっても 10 g 以下のアンバランスが残っていても切り捨てて問題ないと考える。

以上の学生の考察を総合すると、表現に違いはあるものの、おおむね「バランス調整値 10 g では振動はわかりづらく、15 g では僅かだが振動を感じられる。」との意見に集約することができる。これは、前節で述べた振動レベルの計測結果に対する考察と一致する。

このことから学生は、実験前の教科書のみによる学習に対して、走行実験による体感と計測データを通して、より詳細な理解を得ることができたと言える。また、学生レポートの考察より、シャシ・ダイナモメータは学生が振動を体感することに有効であり、振動騒音解析器は計測データの理解に有効であることがうかがわれ、これらの機器の活用は教育効果に有効であったと考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、学生自身により、ホイールバランスの精度と振動レベルとの関係について計測し、体感と計測データの両面から考察することで教育効果を高める試みを行った。さらに、実験方法としてシャシ・ダイナモメータで再現性を高め、計測方法として自動車用振動騒音分析器でデータ可視化を行い、これらの機器を活用した教育方法について検討を行った。

本報告における実験結果の検討では、バランス調整値が 15 g よりフラッタが発生したと結論づけたが、学生レポートの考察を集約した結果においても、一致する結論が得られた。また、シャシ・ダイナモメータは学生が振動を体感することに有効であり、振動騒音分析器は計測データの理解に有効であることが明らかとなった。

今後は、シャシ・ダイナモメータの教育効果への有効性をさらに確認するために、公道での走行実験による計測データとの比較を行うことが考えられる。また、振動騒音解析器の教育効果を向上するために、ピックアップをコラムシャフトへ取り付ける有効な方法について検討することが考えられる。

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり「財団法人 東京自動車技術普及協会」の助成金を頂きましたことに感謝の意を表します。併せて、本研究の実験やデータ収集にあたり、ご協力を頂きました本学教職員および専攻科の学生の皆様にも、この場をお借りしてお礼を申し上げます。

## 参 考 文 献

- (1) 日本自動車整備振興会連合会 教科書編集委員会：V 振動・騒音、自動車整備士養成課程 教科書 一級自動車整備士 シャシ電子制御装置、東京、日本自動車整備振興会連合会、2015 年 10 月、p.283-342
- (2) 日産自動車株式会社 編：新型車解説、LEAF ZE0 型 サービスマニュアル、東京、日産自動車株式会社、2010
- (3) MAHA：MSR Single Roller Dynamometer Original Operating Instructions, Document No. BA053101-jp, Germany, MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG., 2011 年 5 月 18 日、p.18
- (4) リオン株式会社 編：フィールドバランサーVA-11B 自動車用振動騒音分析器 VA-11M 取扱説明書、東京、リオン株式会社