

# 自動車整備士養成教育における音のトレーニング

大阪産業大学短期大学部 横井 雅之

## Acoustical Education Programs for Automobile Mechanics Training

Masayuki Yokoi (Osaka Sangyo University Junior College)

Key Words 自動車整備, 音響教育, 五感, 故障診断, 擬音語

### 1. はじめに

自動車を整備する場合は、通常は自動車のメカニズムを中心に点検、故障診断、整備を行う。整備に関する実習および講義もこれらに重点をおいている。しかし、最近の故障診断や環境問題においては「音響（騒音）」の果たす役割が重要になってきているが、整備関係の実習には、「音響」関係分野はあまり取り入れられていない。

振動・音響はこれからの自動車整備に必要な技術である。これはハイブリッド、電気、燃料電池などに動力源が変化しても重要度は変わらないと思われる。とくに近年多用されているハイブリッド自動車では、モータ走行時にはその静謐性のために、走行音（擬音）を発生させないと危険であると指摘されている。従来の音響関係の問題についての対処は、人間の五感（擬音語）などを主にして行われてきた。しかし、近年はユーザへの責任説明において、客観データが要求されているために、計測器による分析も併せて行うことが必要になってきている。

このような背景において、整備技術者に対して、メカニズムの習熟とともに「音響」についての基礎知識の習得および計測技術の習得が要求されている。

なお、大学等で音響関係について、学生に系統的に教えているのは、岩宮が九州大学において、音響技術者を目指す学生に対して「音のトレーニング」と称して行っているが<sup>(1)</sup>、自動車整備関係ではまだ行われていないようである。

本学では、2005年より2年生の自動車整備士教育において「音響・振動による故障診断」というテーマで1回3コマ（270分）を5回、合計15コマの実習を行ってきた。本報告では、この内容から「音響」について抜粋し、再構成した基本的な実習教育の概要を述べる。

実習は1グループ約13～18名程度で行い、学生の興味を引き付けるために、教材はできるだけ実際の自動車を用いて行った。使用する自動車1台あたりの学生数は4名程度である。

人間の感性（五感）によるデータ（主観的）と計測器によるデータ（客観的）を併せて、判断・判定を行う。感性による判定は非常に重要であるが、客観的なデータとして、計測器による結果も併せて示すことで、第三者への説明についても理解が得られやすいと思われる。

実験の内容としては、以下の4つを掲げた。

- (1) 整備士養成の観点から興味を引くこと
  - (2) 十分に理解できること
  - (3) 時間に内実験が終わること
  - (4) 安全に実験できること
- また、以下の事柄にも心がけた。
- (1) 楽しく実験できること。
  - (2) できるだけ1人1人が装置に触れること。
  - (3) 実際の自動車を使用すること。
  - (4) 手持ちの装置や機器などをできるだけ活用し、安価で効率的な実験を行う。

### 2. 実験内容

実験全体の内容として、

- (1) 自動車の故障診断に使用される音響の基礎理論を理解するために基礎的な実験をおこなう。
- (2) 応用実験として、実車を使用することにより、視覚・聴覚・触覚・嗅覚など五感によって理解を深める。

これらを全2回の実験内容として計画した。なお、時間は1回3コマ（1コマ270分）で総計6コマ（540分）程度を考えた。また、実習教材も特別なものではなく、市販されているものなどを多く使用して、安価で有効な教育効果が得られるようにした。

高校の「物理I」の教科書では、「波」の分野で音の伝わり方、反射・共鳴・回折などについて学ぶ。しかし、現実には物理を未履修の学生が多い。したがって、音の基礎も実験内容に取り入れるように配慮した。実験内容は以下に示す。

### 3 音響の基礎実験

#### 3.1 音の3要素(高さ、大きさ、音色)の実験

図1は実験に使用した機器類を示す。PCと音の再生用のアンプおよびスピーカ類である。



図1 本実験で使用したPCと再生装置

従来、音の実験には図2に示すように関数発生器および高価なノイズ発生器が、さらに周波数分析には、高価なFFT分析器も必要であり、総計で100万円以上かかるために、実験を行うことは敬遠されてきた。



図2 従来の実験に使用していた機器類  
(左よりFFT分析器、関数発生器、ノイズ発生器)

しかしながら、最近はPC用に各種の機能を持ったソフトウェアが手軽にネットから入手できることから、手軽で安価な音源発生および周波数分析が可能になった。

本報告では、図2に示した機器類の性能をPCとそこに組み込まれたソフトウェアで代用した。音源はPCに組み込まれた関数発生器の機能を持ったフリーソフト<sup>(2)</sup>である。このソフトにより、種々の波形(正弦波、三角波、矩形波およびホワイトノイズ)を発生させる。なお、音量計に付属されたソフトウェアによって、音圧および音圧の時間推移をPC上に表示することもできる。また、音量計からの音圧データを周波数分析するには、高価なFFT分析器を使用していたが、本実験では安価なシェアウエアソフト<sup>(3)</sup>



図3 FFT分析結果をプロジェクタにより表示

によって、周波数分析などを行う。さらに、これらのデータはプロジェクタによって、学生にリアルタイムで表示されるので、多くの学生にとって、自分が実験に直接参加している雰囲気を醸し出している(図3)。

音の高さは周波数で、大きさは振幅で、音色は波形の違いなどによるものとして表されている。一般に発生している音の感じを表すのに「擬音語」という言葉がよく用いられている。自動車整備においても、月刊「自動車工学」<sup>(4)</sup>の「整備日誌アラカルト」欄では、異常を示す音の感じを表すのに「擬音語」による表現がよく用いられている。この擬音語はユーザとの会話においても、異常を表すときに、ユーザからの伝えられる言葉としてよく知られている。ここでは、「音の感じ」を表す言葉を「擬音語」で表現させる。共通語として、多くの人の理解を得るために、音を聞かせて、その感じを「言葉」で表す練習を行う。本実験では、数種類の音の出る道具(玩具)を利用して、発生する音の音色(感じ)を「言葉(擬音語)」で表わす練習を行った。図4はその道具の一例である。この道具を使って発生した音を擬音語で表すと、左より「ガシャガシャ」、「カタカタ」、「ヒューヒュー」と聞こえる。



図4 擬音語表現に用いた道具の例

「音の高さ」：125Hz から 8000Hz までの 7 種類の高さの異なる正弦波の音を聞かせる。この周波数はオクターブバンドの中心周波数であり、スピーカから約 1.5m に設置された音量計での測定レベルは約 50dB である。この時、音の感じを擬音語でデータシートに記入させる。次にこの周波数をランダムに選択し、その音を聞かせ、該当すると思われる周波数に○を記入させる。

「音の強さ」：音として、ホワイトノイズを聞かせる。音圧レベルは音量計で測定した、50, 60, および 70 dBA である。室内であまり大きい音を聞かせると聴力に悪影響を及ぼすことも考慮して、3 種類に限定した。それぞれの大きさの音を聞かせた後、任意のレベルの音を聞かせ、その時のレベルを推測させ、データシートに記入させる。

「音色」：音色の違いを比較するのに、簡単な方法として、正弦波、三角波および矩形波の 3 つを選んだ。周波数は 1000Hz として、上述の波形の順序で音の感じを擬音語として表示させた。

表 1 は記入例を示す。単純な音では違いを擬音語で表現するのが、非常に難しいようである。

表 1 音の高さ、大きさおよび音色の記入シート例

#### 音の高さ

高さ	擬音語による表記	1	2	3	4	5
125Hz	ブー	○				
250	ブー					
500	ボー		○			
1000	ボー					○
2000	ピー			○		
4000	キー					
8000	チー				○	

#### 音の大きさ

音圧 dBA	1	2	3	4	5
50		○			○
60	○			○	
70			○		

#### 音色

音の種類	音の感じ (擬音語)
正弦波	ペー
三角波	ピュー
矩形波	ピー

### 3.2 人間の声を聞き分ける (FFT による周波数分析)

音量計 (騒音計) は USB 出力もある機種を使用した。音量計のマイクに向かって、「ア一」という声を出す。この声を PC に取り込んで、FFT 分析を行う。図 5 には、PC 画面上に表された声の波形と周波数分析結果 (FFT) の一例を示す。実験では、これをプロジェクトで投影することによって、学生個人の声の特徴などを全員で検討できる (特に女子の声は周波数が高いなど)。また、この結果は同時にプリンタにも出力

され個人に手渡される。この実験を行うことにより、個人の声には特有 (固有) の振動数があることがわかり、これを用いれば機械などから異音が発生した場合、どの部分から音が発生しているかの推定に使用できる。

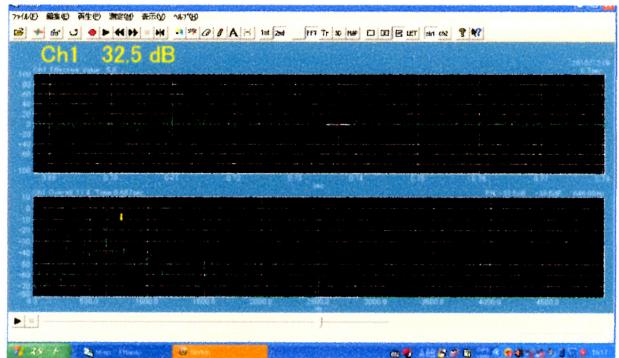


図 5 PC 画面に表された人の声の波形と周波数分析結果の一例

## 4 音響の応用実験

### 4.1 テストハンマによるボルトゆるみ判定実験

音響診断の例題としてボルトのゆるみ具合をテストハンマによる打音を聴いて発見する。この実験は 1 人ずつ個別に行う。

(1) 自作した「ボルトゆるみ実験装置」を用いて、テストハンマによりボルトのゆるみ具合を判定する。

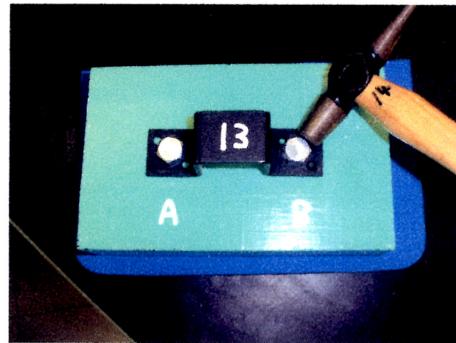


図 6 ボルトゆるみ実験装置

図 6 に自作した [ボルトゆるみ実験装置] を示す。逆 U 型金具 (長さ 170mm, 幅 27mm, 厚さ 2mm) は A, B で示す 2 つのボルト (M8) で溝形鋼 (幅 100mm, 高さ 50mm, 厚さ 5mm, 長さ 150mm) に取り付けられている。このボルトは当初 10Nm のトルクで逆 U 型の金具を溝型鋼に締め付けてある。このボルトを 1Nm ずつ緩めながら、テストハンマでボルトの頭をたたいて、音の変化を聴感によって見つけ出す。実験では、ボルトを何 Nm まで緩めた時に音が変化したかを見分け出す。ボルトを緩めると、高周波成分が少なくなり、「カンカン」という高い音から「コンコン」という低い音に変化するという感覚とほぼ一致する。

図7に実験結果から得られたボルト締め付けトルクとゆるみ判別率の関係を示す。ボルトの締め付けトルク10Nmを100%として、70%程度（本実験では7Nm）まで緩めると約半数の学生は音が変化して、ボルトが緩んでいると認識していることがわかる。

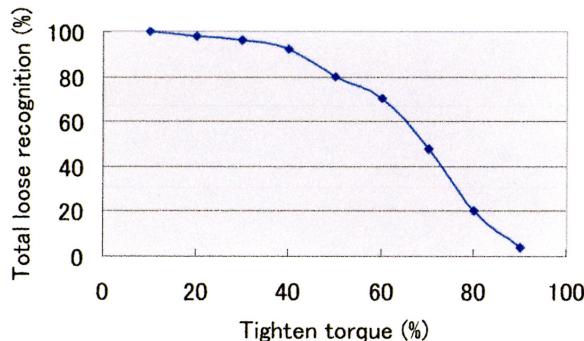


図7 締め付けトルクとゆるみ判別率

#### (2) シャシフレーム固定ボルトのゆるみ判定実験

ボルトのゆるみ具合はハンマによる打音によって、ある程度判別できることがわかった。ここでは、実車に適用する例として、サブフレーム固定用ボルトのゆるみ具合をテストハンマによる打音検査によって見つけ出す。図8にリフトアップされた実験車を示す。



図8 リフトアップされた実験車



図9 リフトアップされた実験車の打音検査

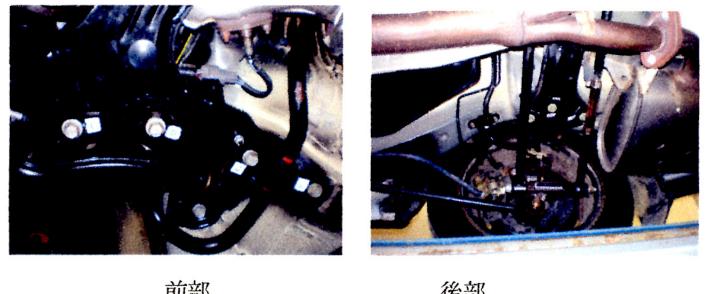


図10 打音試験用ボルト類（白色のマーキング）

された実験車を示す。実験では、対象とするボルトは図10に示すように、実験車の前部に8箇所、後部に6箇所ほぼ左右対称な位置にそれぞれ記号を付けてセットしてある。このボルトを下からテストハンマでたたいて音の変化で緩みを判定する。ボルトは前後とも3本ずつ緩ませてある。実験終了後に指名された学生がスパナで緩みを確認する。この実験は正解率が比較的高い。

#### 4.2 複数の音源がある場合の音圧レベル計算方法

この手法は一級自動車整備士教科書「シャシ電子制御装置」編に掲載されている。ここでは、3台のブザーを用いた実験装置による音圧レベルの和を求めた基礎的なものと3台の実車のホーンを鳴らしたときの音圧レベルの和についての応用例を示す。

##### (1) 3台のブザーを使用した実験

図11に3台のブザーを円弧状に設置した実験装置を示す。音量計は円弧の中心に設置した。距離は約70cmである。



図11 ブザーを用いた音圧レベル加算の実験



図12 ブザー部分拡大

ブザー(直径40mmの器具用音調ブザー)は幅90mm、高さ150mmのL型の支持台に固定されている。音量はブザー本体についているボリュームで調節できる(図12)。音圧は距離70cmにおいて、55~83dBまで変化できる。本実験ではブザーからの音量を3種類変えて、それぞれ単独に鳴らした時、2個同時に鳴らした時および3個同時に鳴らしたときの計測された音圧レベルおよび計算による音圧レベルを求めた。

音圧レベルの和の計算にはシャシ電子制御の教科書にも掲載されている図による解析手法を用いた。図13は使用した計算図である<sup>(4)</sup>。表2には実験結果と図による計算結果との比較の一例を示す。良く一致していることがわかる。

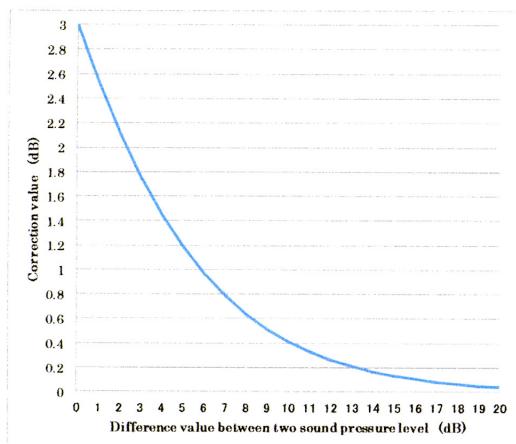


図13 音圧レベルの和の計算図

表2 ブザーによる音圧レベルの実験および計算例 (dBA)

	1	2	3	1+2	2+3	1+3	1+2+3
音圧 レベル	実験 78	81	82.1	82.1	85.1	84.9	85.7
	計算 —	—	—	82.8	84.9	83.5	85.6

## (2) 3台の自動車のホーンを鳴らした実験

ここでは3台の実車のホーンを鳴らして、音圧レベルの和を求めた。図14に示すように3台の自動車を放射状に並べて、自動車バンパーより約5m離れた中心に音量計を設置して、音圧を測定した(図15)。音量計は1人1台使用した。ホーンの音量はそのままでは非常に大音量となり、近所迷惑となるので、ホーンの前面を布で覆って音量を下げた。表3には、測定値および計算値の一例を示す。ホーンを押すのは測定しないグループの学生が順番に担当するが、いつも同じ音量を出せるとは限らないので、計算結果は(1)のブザーを鳴らした実験の場合よりもばらつく。しかし、学生にとってホーンを鳴らすことは、日常あまり行わない動作なので、非常に楽しみにして参加している。



図14 3台の自動車のホーンの和を求める実験



図15 音量計による測定

表3 ホーンの音圧レベルの実験および計算例(dBA)

	1	2	3	1+2	2+3	1+3	1+2+3
音圧 レベル	実験 96.9	96.3	94.8	99.0	98.3	97.8	99.9
	計算 —	—	—	99.7	98.7	99.2	100.4

## 4.3 サウンドスコープによる自動車に発生する音・振動の特徴の抽出

人間の内部から発生する音・振動を探り当てるのに、よく聴診器が用いられているが、自動車などの金属、高温、狭い箇所から発生している振動・騒音を聞き取って、発生箇所を決めるためには、工業用聴診器のサウンドスコープが多く用いられている。本実験では、学生に図16に示すサウンドスコープを持たせ、自動車の吸気系、エンジン系、排気系の主な

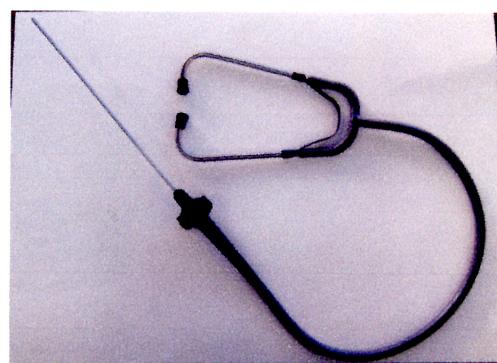


図16 サウンドスコープ

装置にサウンドスコープの先端を押し付けて聞こえる音の調子を擬音語で第三者に伝えることを目的としている。

擬音語については、3章で述べたように、簡単には教えているが、実際の音を聞くと、あまり細かい区別までは学生にとって難しいと思われる。ここでは、サウンドスコープを用いて、自動車から発生する振動・音響を音で聴き、その音色を擬音語で表す。自動車の音・振動伝達経路を以下の3つに分け、それぞれの装置において、聞こえる音を擬音語で表現する。

(1) 吸気系

エアホース、インテークマニホールド

(2) エンジン系

エンジン本体、インジェクタ、エンジンマウント

(3) 排気系

エキゾーストマニホールド、エキゾーストパイプ、  
触媒容器、マフラー、排気管の出口

図17および図18はサウンドスコープでインジェクタや排気系の音を聞いている状況を示す。エンジン回転数は「アイドリング時」および「アクセルを吹かした時」について、音の感じの変化を擬音語で表す。

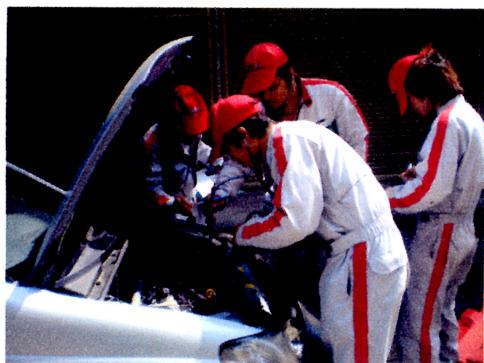


図17 インジェクタの音を聞く



図18 排気系の音を聞く

## 5. 結論

本学で行われている「振動・音響による自動車の故障診断」実験・実習を参考に音響について比較的利用頻度が高いと思われる実験について説明してきた。

音響関係の実験では、関数発生器、音量計、FFT分析器などの専用機器に多額の費用がかかるために、実験を躊躇することが多い。学生実験用として、関数発生器は約3万円、音量計は2万円弱で購入できるが、FFT分析器は約100万円以上する。本報告では、手持ちのPCにフリーソフトウェアやシェアウェアソフトウェアを利用して、関数発生器やFFT分析器として活用した。シェアウェアのソフトウェア代金も5000円と安価<sup>(3)</sup>なので、これらのソフトウェアを積極的に使用した。一方、実験装置もできるだけ自作して、簡単で安価な実験が行えるように工夫してきた。また、本実験では再生機器として、アンプおよびスピーカユニットを使用したが、入力端子があるポータブルCDプレイヤー等の手持ちの機器で十分活用できる。

学生は、音圧レベルの加算について、 $70+70=140(\text{dB})$ と信じて疑わなかったが、実験結果で73(dB)しかならないことを見せられて半信半疑であった。しかし、対数を用いた音響計算によって、このような計算方法もあることを知る良い機会と考えている。

学生にとって実際に自分で実験を行い、考えることは、必要であり、自動車に関連づけて行う方法は、学生の興味をさらに引くことになり、モチベーションの向上が期待される。

本報告が整備士養成教育の一助になれば幸いです。

## 参考文献

- (1) 岩宮眞一郎, 聴能形成(音に対する感性を育てるトレーニング), 日本音響学会誌, vol. 69, No. 4, p. 197-203 (2013)
- (2) WaveGene の入手方法  
<http://www.ne.jp/asahi/fa/efu/soft/wg/wg.html>
- (3) FFTAnalyzer Ver4.0 の入手方法  
<http://www2.tky.3web.ne.jp/~nozu/index.html>
- (4) 自動車工学, 鉄道日本社発行
- (5) 国土交通省自動車交通局監修, 一級自動車整備士 シャシ電子制御装置, 日本自動車整備振興会連合会, 2007, p. 294