

自動車騒音の実態について

On the Acoustic Noise of Automobiles

亘理 厚*・大野 進一*・立石 泰三*・西山 正一*・高橋 伸晃*・岩元 貞雄*

Atushi WATARI, Shinichi OHNO, Taizo TATEISHI, Shoichi NISHIYAMA,

Nobuaki TAKAHASHI and Sadao IWAMOTO

1. ま え が き

騒音公害源の一つとして自動車騒音が大きな問題となっている。著者らおよび著者の一部が参加する日本自動車研究所自動車騒音研究委員会は、自動車車外騒音の実態およびその発生源などを調査解明する目的で、現用大型ならびに中型車両の走行および位置騒音、とくに主要な騒音源とみなされるタイヤ騒音および機関騒音の現状調査、それらに関連する二三の因子の調査研究を行なった。ここではそれらの研究結果を要約して、自動車騒音の概要を紹介しようと思う。

2. タイヤ騒音

大型トラック・バスおよび中型トラック用タイヤについて、タイヤ単体の台上試験、試験車両走行による車外騒音およびタイヤ騒音の測定、さらにそれらにおよぼす走行速度、路面状態、積載荷重およびタイヤ空気圧の影響などを求める試験を行なったので、それらについて要約して述べよう。

1) タイヤ騒音試験法と試験タイヤ

実車走行によるタイヤ騒音の試験法には、現在確立されたものがないので、この研究では ISO の車外騒音試験法に若干の修正を加えたものを使用した。すなわち、車両走行中心線の左方 7.5 m、地上 1.2 m に騒音計を配置し、試験車両は一定速度で走行し惰行開始地点に達したときすみやかに機関を停止し変速機を中立位置にして惰行を行なう。この場合一定速度走行区間に設けたマイクロホンで定常走行騒音を、惰行区間に設けたマイクロホンで惰行時のタイヤ騒音を測定する。試験に用いた車両は総重量 13 t 以上の大型車 4 台と 6~7 t の中型トラック 2 台で、一例として大型トラック・バス用タイヤの種類とトレッドパターンの形状を図 1 に示す。

2) 車外騒音に及ぼすタイヤの影響

大型試験車の車外定常走行騒音について、タイヤ種類別平均騒音レベルを図 2 に示すが、機関などの騒音が合成されているため、図からはタイヤの種類による騒音レベルの差があまり認められない。ただラグタイヤの場合は、タイヤ自体のレベルが大きいため、他の二種類の

タイヤを装着したものよりも騒音レベルが大きい。

つぎに大型試験車の惰行によって求めたタイヤ騒音の平均レベルを図 3 に示すが、これを見るとラグ型パターンのタイヤ騒音レベルが最も大きく、他の二種類のタイヤに比べて 3~5 dB (A) 高い。このレベル差は高速度域の方で大きくなり、速度 80 km/h 以上ではタイヤ騒

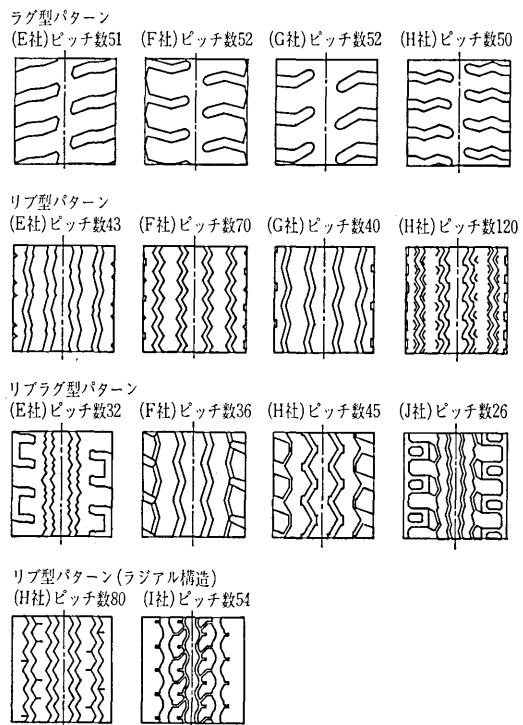


図 1 供試タイヤのトレッドパターン

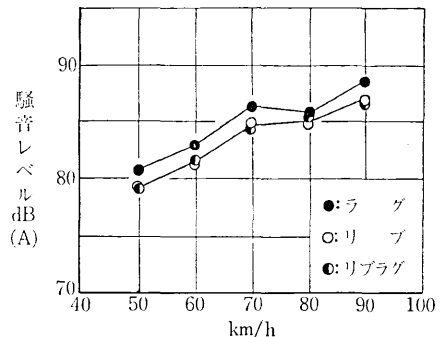


図 2 大型車の車外騒音特性

* 東京大学生産技術研究所 第 2 部

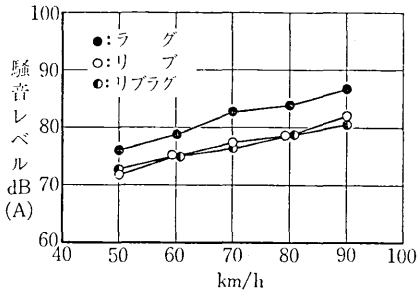


図3 大型タイヤの騒音特性

表1 タイヤ騒音の要因分析

要因	S	φ	V	F ₀	寄与率 %
車速 (A)	629.62	4	157.41	102.21	52.53
車種 (B)	136.38	3	45.46	29.52	11.10
タイヤパターン(C)	292.69	2	146.34	95.03	24.40
B × C	60.50	6	10.08	6.55	4.32
A × B	30.81	12	2.57	プールの て検定	
C × A	16.50	8	2.06		
e	20.31	24	0.85		
(プールの値)	(67.62)	(44)	1.54		
Total	1186.81	59			92.35

S: 平方和, φ: 自由度 (m-1), V: 平均平方 (S/φ)

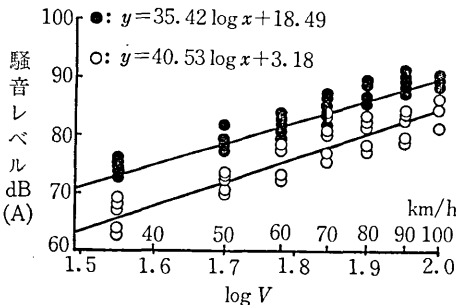


図4 走行速度と騒音レベル dB (A) の相関

音のレベルが車外騒音のそれとあまり変わらない。

3) タイヤ騒音と走行速度との関係

タイヤ騒音の測定値から、車種、走行速度、タイヤパターンなどの要因と騒音レベルとの関係について要因分析した結果を表1に示すが、これによると走行速度とタイヤ騒音との相関が最も大きく現われている。測定したタイヤについて、平均騒音レベル y [dB (A)] と走行速度 x (km/h) との関係の求めると

$$y = A \log x + C \quad (A, C \text{ は定数})$$

が導かれ、大型試験車の場合の単回帰分析の結果は

$$A = 31.1, \quad C = 20.7$$

また中型試験車の惰行試験から求めたタイヤ騒音レベルと走行速度との間には、図4に示すように

$$A = 40.5, \quad C = 3.18$$

の関係が求められた。

4) タイヤ騒音のスペクトル

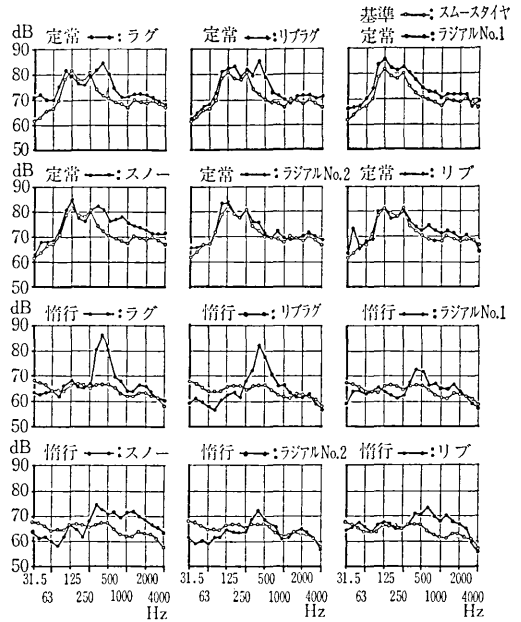


図5 各種タイヤの周波数特性 (70 km/h において)

タイヤ騒音では機械振動系の共振現象と同様に、毎秒当たり接地点を通過するトレッドパターンのピッチ数 (タイヤ円周上に刻まれた模様の数) がある値になると共振現象を呈し、騒音レベルも大きくなる。このピッチ周波数 f は

$$f = nV / (3.6 \times 2\pi r) \quad [\text{Hz}]$$

ここに n : タイヤ円周上の溝の数

r : タイヤ動的有効半径 [m]

V : 走行速度 [km/h]

で与えられる。一例として中型試験車を用いて求めた各種タイヤのタイヤ騒音について、周波数分析結果を、スムーズタイヤを基準にして図5に示すが、図において顕著なピークを示している周波数は上述のピッチ周波数に対応するものである。

タイヤ騒音の周波数特性をまとめると、(1) ラグタイヤおよびリブラグタイヤにはピッチ周波数をもつ共振現象が明らかに現われて、その周波数は計算値とよく一致する。(2) リブタイヤ、ラジアルタイヤおよびスノータイヤではピッチ周波数に対するピークの現われかたが不明確になる。(3) スムースタイヤでは当然であるがピッチ周波数に対応するものは存在しない。一方回転ドラム上の試験結果から求めたタイヤ単体の周波数特性および騒音のピーク位置は走行試験結果から求めた特性と必ずしも一致しないので、この説明は今後の研究問題であろう。

5) タイヤ騒音と路面状態との関係

乾いた路面のときのタイヤ騒音と路面の種類との関係を図6に、濡れた路面のときのタイヤ騒音と路面の種類との関係を図7に示す。図6を見ると、乾いた路面の場

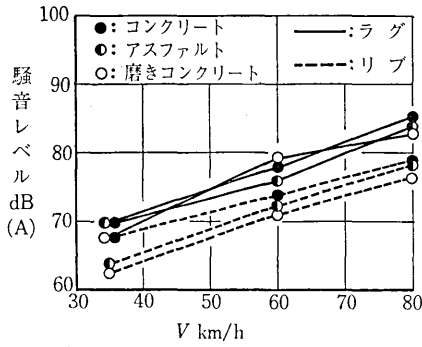


図 6 路面 (ドライ) の違いによるタイヤ騒音の差

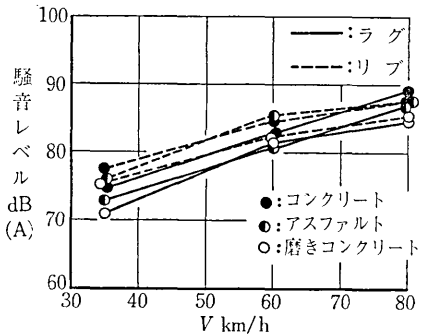


図 7 路面 (ウェット) の違いによるタイヤ騒音の差

合、ラグタイヤの騒音レベルがリブタイヤのそれに比べて全般的に4~6 dB (A) 大きいこと、ラグタイヤの騒音レベルが路面の種類によってあまり変わらないこと、これに対しリブタイヤの騒音レベルは路面の種類によって3~5 dB (A) 変化し、コンクリート路面→アスファルト路面→磨きコンクリートの順に騒音レベルが低下することなどが認められる。したがって乾いた状態では表面が平滑で摩擦係数の小さい路面が騒音の点で有利なようである。これに対して濡れた路面状態では図7に示すように、乾いた状態の騒音レベルに比べてラグタイヤでは約3 dB (A) リブタイヤでは約8~11 dB (A) 大きいこと、ラグタイヤリブタイヤ共800~1000 Hz 以上の周波数帯で騒音レベルが大きくなっていること、濡れた状態では路面の種類やトレッドパターンの違いとは別に、水の影響によって騒音が大きくなることなどが観測される。

6) タイヤ騒音と積載荷重およびタイヤ空気圧との関係

タイヤ騒音と積載荷重との関係を求めるために、中型車の空車と定積載状態について、コンクリート路面上での定常走行騒音と惰行騒音を求めた。その結果を、ラグタイヤについて図8に、リブタイヤの場合を図9に示すが、これらを見ると、(1) ラグタイヤの騒音レベルでは空車と積載状態との差が約6~7 dB (A) もあって積載時の方が大きく、これはタイヤの接地面積が増え、そのためパターンノイズが大きく現われるのが原因と考えられる。(2) リブタイヤの騒音レベルでは空車と積載

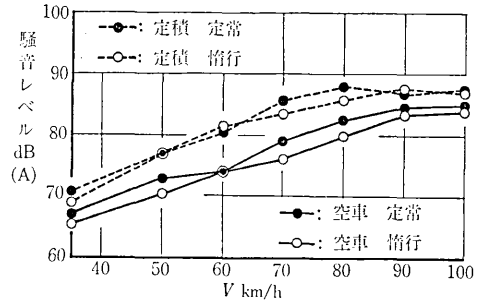


図 8 積載重量の違いによる騒音レベル (ラグタイヤ)

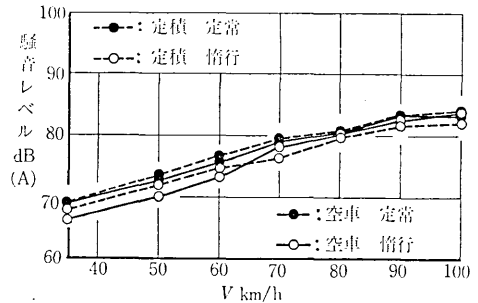


図 9 積載重量の違いによる騒音レベル (リブタイヤ)

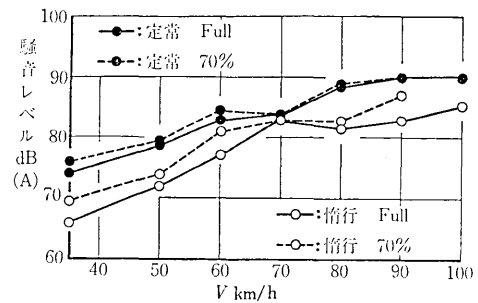


図 10 空気圧の違いによる騒音レベルの差 (ラグタイヤ)

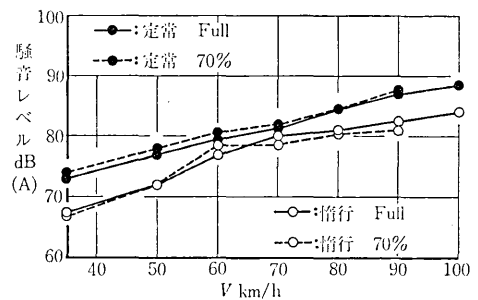


図 11 空気圧の違いによる騒音レベルの差 (リブタイヤ)

状態との差があまり認められない。つぎにタイヤ騒音に及ぼすタイヤ空気圧の影響を調べるために、中型車について、タイヤ空気圧を正規にした場合とその70%にした場合について騒音レベルを求めた。これらの結果をラグタイヤについて図10、リブタイヤについて図11に示すが、これによると空気圧の低下はタイヤ騒音を高める傾向にあり、また定常走行騒音よりもタイヤ騒音に影響が現われ、とくにラグタイヤの場合この影響が明瞭に

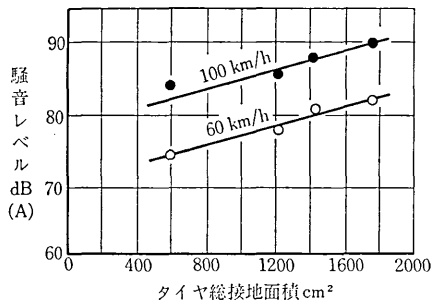


図 12 タイヤ接地面積の影響

認められる。

積載荷重の影響とタイヤの空気圧の影響とをまとめると、これらはタイヤ接地面積の影響として整理できそうである。中型車の試験結果について、タイヤ接地面積 S をタイヤ荷重 W [Kg] とタイヤ空気圧 p [kg/cm²] との比 $S = W/p$ から求めて、それとタイヤ騒音レベルとの関係を、走行速度 60 km/h と 100 km/h の場合について求めたものを図 12 に示すが、これを見ると両者にはほぼ直線関係のあることが認められる。

3. 機 関 騒 音

機関騒音について、その実態と問題点を明らかにするため、自動車騒音中にしめる機関騒音の実態、タイヤ騒音を伴わない定置車両の騒音、および騒音低下対策の方向などを求める予備的実験研究を行なったが、それらについて概要を以下に述べよう。

1) 機関騒音試験法と試験車両

(1) 連続加速騒音試験

連続走行中心線の左方 7.5 m, 地上 1.2 m に一定間隔で騒音計を設置し、変速機が 4 段以下の車両は 2 速, 5 段以上の車両は 3 速を用い、機関最高回転速度の 50% に相当する走行速度で測定区域に進入し、加速開始地点から最高回転速度に達するまで全力加速を行なう。

(2) 定常走行試験

加速騒音と同一変速比 (2 速または 3 速) を用い、機関回転速度の 50, 60, 70, 80, 90, 100% に相当する一定速度で走行する。

(3) 惰行騒音試験

加速騒音試験と同様な騒音計の配置と変速比で機関最高回転速度の 110% に相当する速度で測定区域に進入し、惰行開始地点から機関を停止し、クラッチを切って惰行する。

(4) 定地車両騒音試験

車両を定置し後輪をジャッキアップして定常走行試験と同じ一定回転速度で空転させる。測定点として車体の前後方向 7 m, 5 m, 2 m の地点計 6 点および車体の左右方向 7 m の点計 2 点を定め、それぞれの点において騒音測定および周波数分析を行なう。また、音源を推定す

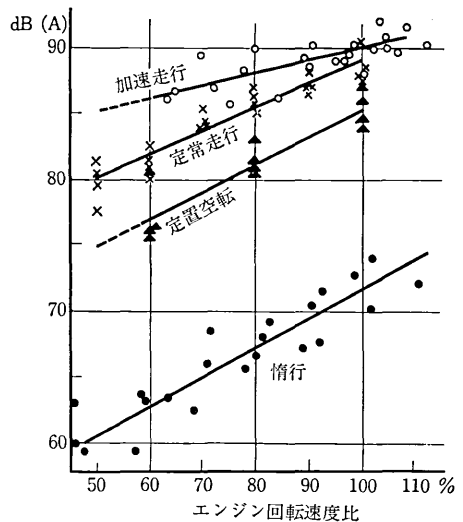


図 13 大型トラックの騒音レベル

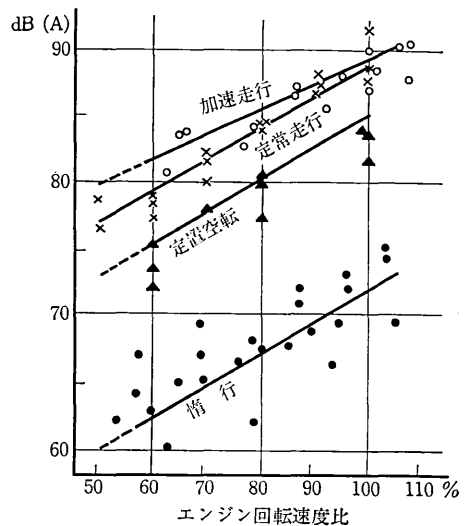


図 14 中小型トラック騒音レベル

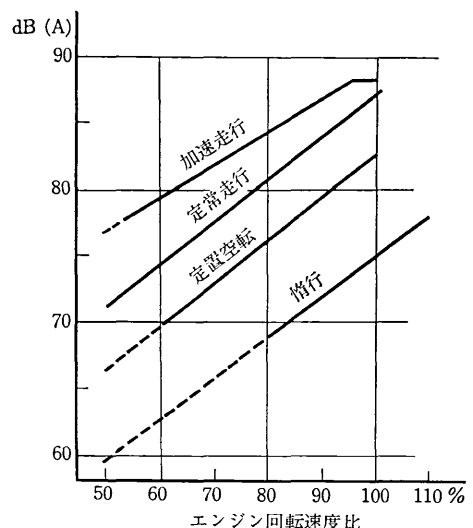


図 15 小型乗用車の騒音レベル

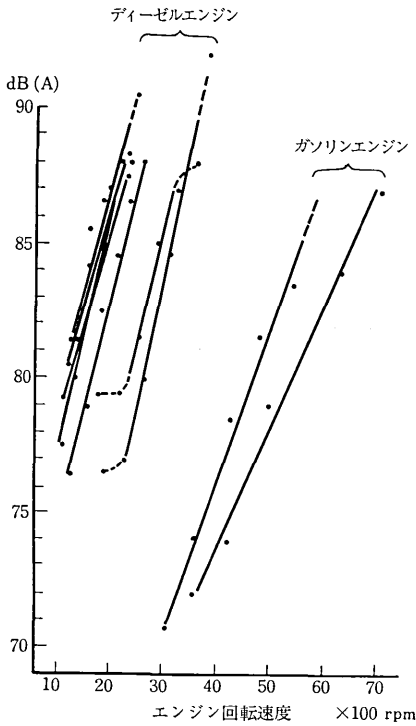


図 16 騒定常走行の騒音レベル

るため冷却ファンをとめた状態、排気系統にサイレンサを追加した場合、大型車のキャビンを前傾させた場合についても測定した。

試験車両には大型トラック 4 台、中型トラック 3 台、(以上ディーゼルエンジン) および乗用車 2 台 (水冷および空冷ガソリンエンジン) を使用した。

2) 騒音レベルと機関回転速度および負荷状態との関係

試験車を用いて機関の負荷状態および回転速度と騒音レベルとの関係を求めた結果について、大型トラックの場合を図 13 に、中型トラックの場合を図 14 に、乗用車の場合を図 15 に示す。これらにおいて横軸にはエンジン回転速度比 (最高回転速度に対する%) を用い、また図中の直線は平均を最小自乗法で求めたものである。つぎに機関別に回転速度と定常走行騒音レベルを求めたものを図 16 に示す。これらの結果を要約すると、(1) 試験速度の範囲では、惰行騒音は他の走行騒音などに比べて 10 dB (A) 以上も低いので問題にならない。(2) 機関回転速度の影響は、回転速度比 50% から 100% までの範囲において、騒音とはほぼ直線関係で表わすことができるが、車種によっては 90% 以上の回転速度比において加速騒音が頭打ちの傾向を示している。つぎに図 16 に示すように、ディーゼルエンジンの定常走行騒音レベルは回転速度に対してほぼ同じ勾配を示している。(3) 最高回転速度の付近で、加速走行と定常走行の騒音レベルがほぼ等しくなる。しかも車種とエンジンとの違いによる差がなくなり、ほぼ一様に 88~90 dB (A) の値を

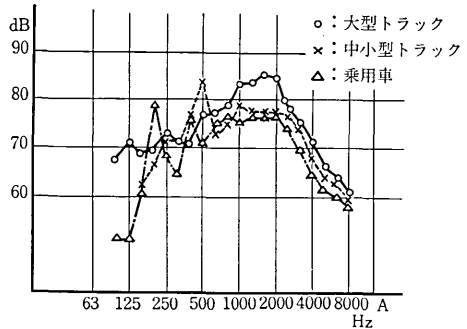


図 17 全力加速時最高回転速度の騒音

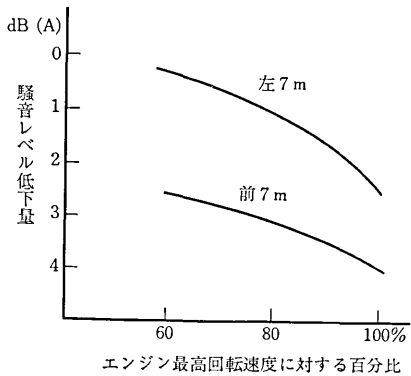


図 18 ファンをとめた時の騒音レベル低下量 (定置空転 8 台平均)

示す。(4) 大型トラック (ディーゼルエンジン) では低速側で負荷の影響が大きい。(5) 定常走行と定置空転の騒音レベル差がほぼ 4 dB あることについて、正確な説明はまだなされていない。

3) 機関騒音の周波数特性

加速走行時の最高回転速度における騒音の周波数特性の一例を図 17 に示す。大型車では 0.8~2.5 kHz の燃焼音、または機械音の成分が最大であり、乗用車 (ガソリンエンジン) ではその帯域のほかにエンジン回転速度の 1 次、2 次、4 次、(特に 2 次と 4 次) の成分が同程度に影響している。また、中小トラックは、その中間の性格をもっている。

4) 騒音低減の要素について

一例としてファンノイズを挙げると、ファンノイズは車種によって程度の差はあるが、一般に機関騒音に対して大きな影響をもっている。ファンの有無による騒音レベルの変化を求めると、前方のほか距離の遠い後方でファンの影響が大きく現われており、音に強い方向性のあることがわかる。試験車 8 台について、定置空転時にファンをとめた場合の騒音レベル (平均値) が低下する様子を図 18 に示す。

5) まとめ

この試験は初めに述べたように、現状における機関騒音の実態と問題点を大まかに調査確認するためのもの

であり、その計測結果についてあまり厳密な論議はできないが、主要な結果をまとめると次のとおりである。

(1) 走行、定置騒音は、エンジン回転速度の一次関数で近似することができる。これらのうち最もレベルの高いのは加速騒音であるが、エンジン最高回転速度の付近では、加速、定常走行騒音ともほぼ同一レベルになり、車種の違いによる差も少なくほとんど 88~90 dB (A) になる。(2) いずれの車種、試験条件においても、共通して騒音レベルの値に最も影響するのは 0.8~2.5 kHz の周波数であり、この帯域のスペクトルの形は回転速度、負荷によってもあまり変わらず、レベルが上下するだけである。(3) 定置試験によって求めた機関騒音は、

定常走行騒音とよく対応する。(4) ファン騒音は高回転速度において影響が大きい。

4. む す び

自動車騒音はきわめて複雑な現象で、その解明ととくに騒音源の除去および発生騒音の遮音防音にはかなりの困難をとまう。ここに述べたことはそれらのごく一端を紹介したに過ぎないが、今後の研究に何等かの寄与ができて、騒音の低下が達成されることを期待したい。

終りに著者らの研究および本報告をまとめるに当って協力をいただいた自動車騒音研究委員会の委員諸氏に厚く感謝します。
(1973年11月28日受理)

(p. 41よりつづく)

用されるカドミウムや鉛の石けんは、プラスチックの寿命を大幅に伸ばすという優れた性質を与えるものであるが、環境保護の見地からすると無制限の使用は許されない。広島のカキに含まれる大量の鉛が、カキの養殖に使用された PVC のパイプの鉛に由来するのではないかとの疑いが持たれたり、あるいはゴミの焼却場の廃水中のカドミウムのレベルが健康を脅やかす程に高いということでは困るのである。すでに業界では、カドミウムや鉛に代わるものとしてオクテル酸すずを主体とする安定剤や、カルシウム・バリウムの金属石けんを主体とする安定剤を採用しつつあり、無毒化の方向に進んでいる。

農業用ポリ塩化ビニルシートのように、比較的厳しい条件で使用されるものには代用品の使用は望ましくないといわれているが、最近ではこの回収システムの具体化が進行しつつあるという。「化学物質審査・製造などの規制に関する法律案」¹⁹⁾ がうたっているように代替が困難であるような有害物質に対しては、閉鎖系内での使用を認め環境を汚染することがないことを保障しなければならない。

プラスチック中に含まれる微量の有害な重金属に限らず、河川、廃水、土壌中の有害重金属の分析に対しても、微分パルスポーラログラフィーは十分に使用できる。

本報告の実験面を担当した鈴木壁枝官、塩原貞子さん、加美比呂行君、ならびに原子吸光分析のデータを提供された高井信治助手、吉田章一郎技官に深謝の意を表す。
(1973年12月10日受理)

参 考 文 献

- 1) 東京都清掃局、東京のゴミ、その現状と問題 (昭和46年9月)
- 2) 通産省化学工業局化学第二課、合成高分子の廃棄物処理問題について (昭和44年9月)
- 3) JISK 0102-1971
- 4) 公害と分析化学に関するパネル討論会
＜第一回＞カドミウム, 19, 877 (1970)
- 5) 篠塚, 野崎, 分析化学, 21, 161 (1972)
- 6) 早野, 篠塚, 塩原, 日本化学会第28春季年会講演予稿集 II, P 840 (1973)
- 7) 高分子分析ハンドブック, P725 (1965), 朝倉書店
- 8) 化学工業日報, 昭和48年3月19日