発光ダイオードを用いた音場の可視化測定方法*

西 田 公 至**, 丸 山 朗***

A Photographical Sound Visualization Method
by Using Light Emitting Diodes

by Kohshi NISHIDA and Akira MARUYAMA

This paper describes the sound visualization method, some results visualized actually and the comparison of the graphic expression method of the sound pressure level distribution by X-Y plotter with the photographical one. This sound visualization method is based on an idea that the beams from three colored light emitting diodes are recorded photographically on a film, which go on and off in sequence every time the sound pressure level changes by 5 dB. The actual measurement of the distribution of sound pressure level can be performed with the sound visualizing device built as a trial according to the idea. The summary of the result is ; The directivity of a sound source and the properties of the sound field, such as the distribution of sound pressure level or sound diffraction can be grasped quantitatively and clearly by the sound visualization method. Furthermore, the photographic result of the sound pressure level distribution can be obtained in more detail and in a shorter time as compared with the graphic one.

Key Words : Sound, Measurement, Sound Field, Sound Visualization, Light Emitting Diode, Sound Pressure Level, Sound Level, Graphic Expression, Photographic Film

1. 緒 言

機械騒音に関係した騒音の測定方法のなかには、それぞれの目的に応じて、音源または音場の特性についての測定結果を視覚的に把握できる方法を用いて表示する測定方法がある。例えば、音源の強度分布をプロットで等高線表示することにより音源探査に用いることができる音響ホログラフィ測定法⁽¹⁾、一つの応用面として、音の流れ方向をベクトル図としてプロットで表示することができる音響インテンシティ測定法⁽²⁾⁽³⁾、さらに、音場の音圧レベル分布または騒音レベル分布を発光体の光の強弱または点滅の状態に交換し、光の点灯状態をフィルム上に記録する音場の可視化方法などがあげられる。音場の可視化測定に用いられる発光体としてはネオンランプおよび発光ダイオード(LED)がある。ネオンランプを用いる方法⁽⁴⁾では音圧レベルの大きさに従ってその明るさを変化させ、光の強弱として音圧レベル分布をフィルム上に記録する。したがって定性的に音場を把握するにとどまる。また、発光ダイオードを用いた例⁽⁵⁾では、音圧レベル値があ

る設定基準値より大きい小さいかあるいは小さいかに従って、発光ダイオードを点滅する方法を用いている。しかし、この方法では音圧レベル分布の状態を全体的にとらえるのには適していない。一般的には、測定平面内での多点測定により等音圧レベルのコンタを求める方法が多く用いられている。しかし、この方法を用いてある周波数帯域での音圧レベル分布をプロットで出力させる場合、各測定点での平均化処理および積分演算にかなりの時間を必要とする。また、音源の指向性が複雑である場合には、測定点の間隔のとり方にもよるが、一般的には精度のよい測定が困難となる。

本研究では、音場を詳細に可視化測定する一つの方法として、3色の発光ダイオードを用いた音場の音圧レベル分布および騒音レベル分布を定量的に可視化する方法を考案し、試作した音場の自動可視化装置によって実際にいくつかの騒音源に対して可視化測定を行っている。さらに、得られた結果の検討および本可視化方法の有効性についての評価を行っている。

2. 可 視 化 方 法

音場の音圧レベル分布を詳細にしかも短時間で可視化測定する方法として、本研究では3色(赤, 黄, 緑)の発光ダイオードを取付けた走査マイクロホンによ

* 昭和59年12月6日 第930回講演会において講演、原稿受付 昭和59年5月30日。

** 正員、室蘭工業大学(〒050 室蘭市水元町27-1)

*** 学生員、室蘭工業大学大学院。

り、音場の音圧レベルを自動的に連続して測定し、5 dB の音圧レベル間隔ごとに 3 色の発光ダイオードを順次反復点滅させ、音圧レベル分布を光の軌跡としてカラーフィルム上に記録する方法を用いている。このような方法に基づいて試作した LED 走査による音場の自動可視化装置は、主として、LED 式音圧レベル表示装置、マイクロホン自動走査装置および撮影装置によって構成されている。以下にそれぞれの装置について説明する。

2.1 LED 式音圧レベル表示装置 この装置は走査マイクロホンに取付けた 3 色の発光ダイオードを 5 dB ごとの音圧レベルの大きさに従って順次反復点滅させるためのもので、図 1 に示すような構成となっている。すなわち、マイクロホンに入射した音は騒音計で音圧に比例する交流電圧に変換され、さらにレベルコンバータによりこの交流電圧の実効値レベルに比例する直流電圧に変換される。この直流電圧はレベルコンパレータにより 5 dB ごとの対応した基準電圧と比較され、その入力電圧に応じてコンパレータからデジタル信号が LED スwitching 回路に送られる。そして、このデジタル信号に応じて 3 色の走査用 LED が順次反復点滅することとなる。これらの走査用 LED の点灯範囲を表 1 に示す。表 1 中の値 S は騒音計の減衰器の設定レベル値を示す。騒音計の A 特性回路を用いれば、騒音レベル分布を可視化することができる。

2.2 マイクロホン自動走査装置 2.1 節で述べた音場の可視化方法ではマイクロホンの走査方法として、いずれも支点まわりの回転アームによるトラバース法が用いられている。この方法では、測定対象によっては適用上問題が残る。そこで、本研究では図 2 に示すような直交する 3 軸方向にマイクロホンを移動することができるマイクロホン自動走査装置を試作し

た。 x 軸方向へのマイクロホンの走査移動は、走行時の騒音発生をさけるために、インダクションモータによるピアノ線巻きとり方式によった。また、 y 軸および z 軸方向への走査ピッチの移動にはパルスモータを用いた。それぞれのモータはすべて制御装置によって駆動される。この装置での走査平面の大きさは、 x - y 平面が $1200\text{ mm} \times 900\text{ mm}$ 、 x - z 平面が、 $1200\text{ mm} \times 1000\text{ mm}$ となっている。 y - z 平面ではサンプリング測定が可能となっている。使用したマイクロホンは直径 $1/2$ インチの無指向性マイクロホンであり、対象音源により向きを変えることができる。なお、約 1 kHz 以上の純音を除けば装置による反射の影響はない。

2.3 撮影方法 可視化測定では 3 色の走査用発光ダイオードの光の軌跡を連続的にカラーフィルム上に記録していくために、測定は暗やみにした簡易無響室内で行い、カメラを開放状態にして撮影する。撮影条件のチェックあるいは測定結果をすぐに検討する必

表 1 LED の点灯範囲

SPL	Lighting color
$S + 15$	Red
$S + 10 - S + 15$	Yellow
$S + 5 - S + 10$	Green
$S - S + 5$	Red
$S - 5 - S$	Yellow
$S - 10 - S - 5$	Green
$S - 15 - S - 10$	Red
$S - 20 - S - 15$	Yellow
$S - 20$	Green

S : Attenuator setting level

図 1 LED による音圧レベルの変換システム

図 2 マイクロホン自動走査装置

要のある場合には特にポラロイドカメラを使用すると便利である。カメラの位置を走査平面に対して適当に設置すると1枚のフィルム上に数枚の走査平面内の音圧レベル分布を可視化することができ、立体的な音圧レベル分布の状態を把握することができる。

3. 適用結果

2章に述べた音場の可視化方法を実際に音源周囲の放射音場に適用し、音圧レベル分布を可視化測定した結果の例を以下に示す。

3・1 円孔からの放射音場 内部にスピーカ音源をもつ直方体構造のエンクロージャの側面にある直径22 mmの円孔から放射される騒音の音圧レベル分布を可視化した例を図3および図4に示す。これらの結果は円孔中心を通る平面内で可視化したものである。いずれのエンクロージャも内面には防振のための鉛板を裏張りしてある。図3の場合、1個の円孔をもつ放射面の大きさは400 mm×300 mmで、スピーカには315 Hzの純音を1 Wで入力している。この結果から明らかなように、エンクロージャ周囲の音圧レベル分布の状態を鮮明にしかも定量的に把握することができる。また、側面および背面への回折の状態をも知ることができる。この可視化結果はエンクロージャの各面に対する4枚の可視化結果を合成したもので、実際には3色のカラー写真として得られている。なお、1枚当たりの可視化所要時間は約15 minである。図4の場合、それぞれの放射面の大きさはともに470 mm×350 mmで、2個のスピーカには中心周波数6300 Hzの1/3オクターブバンドノイズを1 W 同位相で入力している。この結果から、二つの円孔から等距離にあ

るエンクロージャの対角面に対し、ほぼ対称となっている複雑な指向性をはじめ、音圧レベル分布および回折の状態を詳細に知ることができる。次に、図3および図4の場合には撮影を走査平面に垂直な方向から行っているが、撮影方向を適当に設定し、1枚のフィルム上に3枚の走査平面による可視化結果を記録した場合の例を図5に示す。この例は図3の場合に用いた円孔のかわりに40 mm×126 mmのスリットを用いたときの放射音場を、スリットの中心を通り長辺に平行な走査面とエンクロージャの上面および底面を含む走査面で可視化したものである。この場合のスピーカ入力力は中心周波数400 Hzの1/3オクターブバンドノイズである。このような撮影方法により空間的な音圧レベル分布の状態をある程度把握できることがわかる。

3・2 振動板近傍の放射音場 長方形振動板が共振モードで振動している場合の放射音場の音圧レベル分布を、板面からの距離 L を10 mmにとり板面に平行な走査平面内で可視化した結果の例を図6に示す。

図3 純音による円孔からの放射音場の可視化

図4 1/3オクターブバンドノイズによる円孔からの放射音場の可視化

図5 3枚の走査平面を用いたエンクロージャ側面のスリットによる放射音場の可視化

この場合、長方形板は共振振動数 2 520 Hz で振動しており、長辺に平行な 2 本の節線および短辺に平行な 4 本の節線が現れる共振モード (5, 3) の状態にある。この結果から明らかなように、振動板の表面近傍の音圧レベル分布を可視化測定することにより、かなり高次の振動モードをも容易に求めうることがわかる。用いた長方形板は外形寸法 400 mm×300 mm、厚さ 3 mm の鋼板で、加振用エンクロージャの一つの面に周辺をボルト接合され、内部のスピーカにより空気加振されている。

3.3 クリーナの騒音 機器などによる騒音を可視化測定する場合に、オーバーオールのほか各周波数バンドごとに音圧レベル分布を可視化することにより、騒音源の性状を把握することができる。一例として、クリーナ騒音の中心周波数 1 600 Hz、1/3 オクターブバンドの音圧レベル分布を可視化した結果を図 7 に示す。測定はクリーナ側面の中心線を含む水平面内で行った。この結果から、クリーナ後部の両側にある排気口からの騒音の影響が大きいことがわかる。

Mode(5,3) , 2520 Hz , L= 10 mm

図 6 長方形板の共振モードによる板面近傍の音場

No-load running, 1600 Hz 1/3 octave-band

図 7 クリーナの騒音

4. グラフィック出力との比較

以上、発光ダイオードを用いた音場の可視化方法について述べてきたが、他の方法として、プロッタによる出力方法があげられる。しかし、プロッタによる方法は、複雑な音場を測定する場合、測定点を多くとらなければ、詳細な測定結果を得ることができない。また、測定に要する時間も、発光ダイオードを用いた方法よりかなり長くなる。そこで、発光ダイオードによる方法と比較するために、プロッタによる出力結果の一例を図 8 に示す。この場合の音源は 3・1 節のものと同一のモデルで、スピーカには中心周波数 6 300 Hz の 1/3 オクターブバンドノイズを 1 W で入力した。測定は測定面を 50 mm×50 mm の格子に分割して行い、各格子点 (539 点) において、5 回の平均をとり、対象としている周波数帯域で積分を行っている。これらの平均化処理、積分演算、そしてマイクロホンの移動などをすべて含めると、1 箇所での測定に要する時間は 37 s となり、図 8 の場合は、5 h 30 min もの測定時間を要している。それに対し、発光ダイオードによる方法では、図 4 に示したような複雑な指向性をもつ音源による音場でも、1 h 程度の測定で、詳細な可視化結果が得られる。また、この測定面をプロッタによる方法で測定するとすれば、約 12 h を必要とする。以上のことから、発光ダイオードによる音場の可視化測定方法は、測定時間が比較的短く、詳細な測定結果が得られることがわかる。

5. 結 言

本研究では、音場を詳細に可視化測定するための一つの方法として、3 色の発光ダイオードを用いて音場の音圧レベル分布を定量的に可視化する方法を考案し、実際にいくつかの音源周囲の放射音場について可視化測定を試みた。さらに、音圧レベル分布をグラフィック出力した場合との比較・検討を行った。その結

6300 Hz 1/3 octave-band noise

図 8 音圧レベル分布のプロッタによる出力結果

果、次のことが明らかとなった。

(1) 用いた音場の可視化方法により、音圧レベル分布の状態、音源の指向性、回折の状態など音場の特性を定量的にしかも詳細にとらえうることが確認された。

(2) 音圧レベル分布をグラフィック出力する場合と比較して、可視化方法によれば測定時間を短縮することができる。

(3) 撮影方向を適当にえらび、複数の走査平面による可視化結果を1枚のフィルム上に記録することにより、音圧レベルの空間的な分布を把握することができる。

(4) 可視化方法を用いて板面近傍の音圧レベル分布を可視化することにより、振動板のかなり高次の振動モードをも測定しうることが確認された。

文 献

- (1) 例えば古賀, 機械の研究, 29-10 (明 41), 359.
- (2) Sas, P., *CETIM, Senlis (France) 30 September-2 October*, (1981), 119.
- (3) 西田・岩倉, 昭和 59 年度精機学会春季大会学術講演会論文集, 昭 59-3, 365.
- (4) Kock, W. E., *Sound Waves and Light Waves*, (1965), Poubleday & Company; 藤岡訳, 音波・光波・電波, (昭 52), 37, 河出書房新社.
- (5) 水野・ほか 2 名, 機論, 49-447, C (昭 58), 1982.