

# 115 実験モード解析を利用したカメラ鏡筒モデルの放射音の予測に関する研究

Research into the Calculation of Radiation Sound of a Camera Lens-Barrel Model using Experimental Modal Analysis

○学 石井 位直 (室工大) 室矢 啓助 (室工大)  
正 松本 大樹 (室工大) 正 齊當 建一 (室工大)

Tadanao ISHII, Muroran Institute of Technology, 27-1, Mizumoto-cho, Muroran, Hokkaido  
Keisuke MUROYA, Muroran Institute of Technology,  
Hiroyuki MATSUMOTO, Muroran Institute of Technology,  
Ken-ichi SAITOH, Muroran Institute of Technology,

Keywords : Mode of Vibration, Radiation Sound-Field, Calculation, Experimental Modal Analysis

## 1. 緒言及び目的

最近のコンパクトデジタルカメラは動画撮影機能を始め、顔認識機能やタッチパネル式などの高機能化が進むと同時に、小型・軽量化も進んでいる。

小型化されたコンパクトデジタルカメラでは、動画撮影のための録音用マイクロホンを鏡筒やズーム動作のためのモータやギアで構成される駆動部からは遠ざけることができない。したがって、動画撮影時にズーム動作を行うとズーム音がノイズとして録音されてしまい性能を低下させてしまう。ズーム音は、鏡筒や駆動部がズーム動作時にモータやギアの振動を伝達し、加振されることによって発生する。このことから、動画撮影機能付きのコンパクトデジタルカメラでは、録音されるノイズを抑制するために駆動部の静音化やマイクロホン位置の最適化が求められている。

ノイズを抑制する方法として、カメラ本体とマイクロホンの間に弾性体を取り付けることで駆動部の振動や放射音を抑制させる方法がある。しかし、この方法では弾性体によってスペースを使ってしまうことや材料費などコストがかかってしまうなどの問題がある。

マイクロホン位置の最適化では駆動部の振動と放射音の特性より、駆動部から放射される放射音の音圧レベルの低い位置にマイクロホンを設置することで録音されるノイズを抑制することができる。さらに駆動部からの放射音を予測することが出来ればマイクロホン位置の設計が短時間・低コストで行うことができるようになる。

そこで、本研究は駆動部の一部である鏡筒に着目し、鏡筒をモデル化した円筒の振動と放射音の特性を明らかにする。さらに、マイクロホン位置の最適化を行うために、円筒を打撃した場合に放射される音場がどの振動モードに影響を受けるかを明らかにし、その振動モードを用いて円筒から放射される音場の予測手法を検討することを目的としている。

## 2. 放射音の予測に関する検討

打撃試験による実験モード解析で使用した円筒は、ポリカーボネート製(繊維強化されていないもの)で、寸法は軸方向長さ 60mm, 最大径 51mm, 最小径 49mm(肉厚: 2mm)の軸方向に対してテーパを有しているものである。実験モード解析で設定した打撃点は、円筒の周方向に 12 点, 軸方向に 5 周の計 60 点とした。

放射音場の予測では、振動する円筒を微小振動板の集合と考え、それぞれの放射音から全体の音圧レベルを求める方法について考察する。

円筒を実験モード解析での打撃点と同じ 60 の微小要素に

分割し、各要素を近似的に点音源とみなすことによって速度ポテンシャルを求めることができる。したがって振動する円筒から放射される音は、各要素から放射される音のベクトル和として表され、振動する円筒上における任意の位置での音圧レベルを算出することができる<sup>1)</sup>。

Fig.1 は 60 に微小分割された円筒と計算によって求める平面を示すものである。予測する平面は円筒中央部の軸方向に対して垂直な平面とし、大きさは 480mm×480mm で 30mm 間隔に分けられた各点の音圧レベルを計算する。各点の音圧レベルは近接する軸方向の点音源 3 列からの音圧で計算を行う。振動する円筒表面の振動速度と表面に接している媒質粒子が連続であると仮定し、円筒の微小面積  $ds$  が十分小さいものであれば、近似的に  $ds$  は媒質を排除する体積速度  $Ue^{j\omega t}$  を持つ点音源と考えることができ、第  $J$  微小要素が形成する速度ポテンシャル  $\Delta\phi_J$  は次のように与えられる。

$$\Delta\phi_J = \frac{U_J}{2\pi r_J} e^{j(\omega t - kr_J)} \quad (1)$$

さらにその微小要素の速度振幅を  $u_J$ 、面積を  $\Delta s$  とすれば  $\Delta\phi_J$  は次式で表される。

$$\Delta\phi_J = \frac{u_J \Delta s}{2\pi r_J} e^{j(\omega t - kr_J)} \quad (2)$$

また振動する円筒の速度ポテンシャル  $\phi$  は、各微小要素の速度ポテンシャル  $\Delta\phi_J$  の総和として次式で表される。

$$\phi = \sum_{J=1}^M \Delta\phi_J \quad (3)$$

一方、音圧  $p$ 、媒質である空気の密度を  $\rho$  とすれば、

$$p = j\rho\omega\phi \quad (4)$$

ここで  $p$  の共役複素数を  $\bar{p}$  で表せば、音圧レベル SPL は基準値を  $p_0(2 \times 10^{-5} \text{ Pa})$  として式(5)により算出することができる。

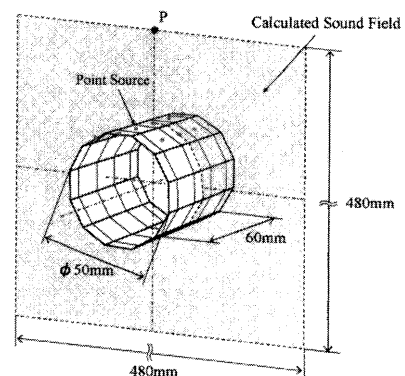


Fig.1 Calculated sound field

$$\begin{aligned}
 \text{SPL} &= 10\text{Log}_{10} \left( \sqrt{\frac{p - \bar{p}}{2}} / p_0 \right)^2 \\
 &= 20\text{Log}_{10} \left( \frac{\rho \omega}{2\pi} \cdot \frac{\Delta s}{\sqrt{2}} \times \left[ \left\{ \sum_{j=1}^M \frac{u_j}{r_j} \cos(\omega t_j - kr_j) \right\}^2 + \left\{ \sum_{j=1}^M \frac{u_j}{r_j} \sin(\omega t_j - kr_j) \right\}^2 \right]^{1/2} \right) \\
 &\quad - 20\text{Log}_{10} p_0
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

解析では、空間の任意の一点における音圧レベル SPL は任意の周波数に関して算出できるが、放射音場の予測ということから、放射音場に大きな影響を与える固有振動数について解析を行えば十分であると考えられる。

本実験において、解析過程を要約すると次のようになる。

- ① 円筒の実験モード解析より固有振動数を求める。
- ② 固有振動数での振動モードと、各打撃点のモビリティと位相を求める。
- ③ 任意の打撃力とモビリティから各打撃点の速度振幅を求める。
- ④ 各固有振動数の音圧レベルの分布を計算し、オーバーオール(OA)値の放射音場を求める。

今回は実験モード解析より得られるモビリティ(速度/力)と位相データを用いて計算を行い、各固有振動数での振動モードに対応した放射音場の予測ができるか検討した。

### 3. 音場を支配する振動モードの検討

放射音の OA 値はあらゆる周波数成分を含んでいる。その中で固有振動数の音圧レベルが寄与する割合は大きなものとなっているが、計算にすべての固有モードを考慮せず、計算を簡単に行うことを考える。そこで、円筒の実験モード解析によって得られた振動モードとモビリティの周波数特性、打撃試験による放射音場測定実験によって得られた音場や測定点での音圧レベルの周波数特性から、OA 値の放射音場を再現するために考慮するモードの数を検討する。

Fig.2 に円筒中央部を 8N の力で打撃した時の放射音の周波数特性と OA 値を示す。測定点は打撃方向に対向し円筒から 5mm 離れた位置である。Fig.2 より、OA 値に対して 1 次と 3 次の固有振動数の寄与する割合が大きくなっていることがわかる。また、モビリティでも 1 次と 3 次の固有振動数の割合が大きくなっていることが明らかとなった。

以上のことより、OA 値の計算では 1 次と 3 次の固有振動数の音圧レベルを合成したものとす。

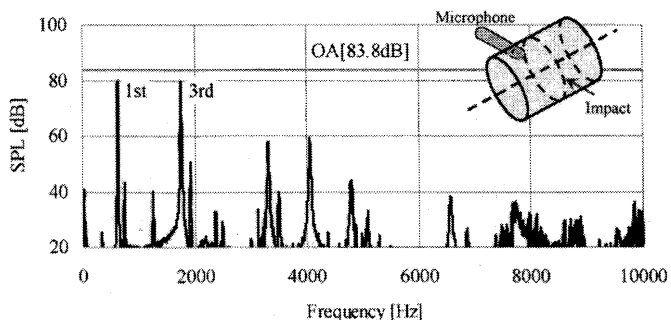


Fig.2 Frequency characteristic of sound pressure level

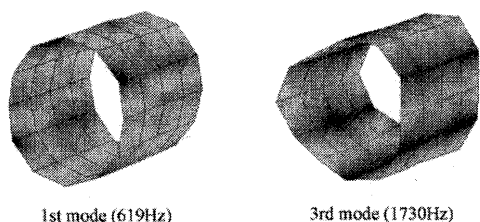


Fig.3 Mode of vibration

### 4. 実験結果及び考察

Fig.3 に本実験で用いた円筒の 1 次[619Hz]と 3 次[1730Hz]での振動モード、Fig.4 に 1 次と 3 次での計算による放射音場、Fig.5 に打撃した時(打撃力 8N)の OA 値の放射音場と計算による放射音場を比較したものを示す。

Fig.3 より、1 次モードは円周方向の節を結ぶ線が 2 本で円筒が楕円のように変形するモード、3 次モードは円周方向の節を結ぶ線が 3 本で円筒が 3 角形のように変形するモードである。Fig.4 より、放射音場は振動モードの振幅の大きさと対応していることがわかる。

Fig.5 より、(a)の OA 値の放射音場と、(b)の 1 次と 3 次の固有振動数の音圧レベルを合成した放射音場の指向性も対応している。よって、OA 値の放射音場の計算では 1 次と 3 次の固有振動数の音圧レベルを合成したものでよいといえる。

また、今回は単位力あたりの速度振幅による計算であるため音圧レベルの比較は行えないが、実験値よりも計算値のほうが大きくなった。これは円筒表面の振動速度と表面に接している媒質粒子が連続であると仮定しているために、計算値のほうが大きくなったと考えられる。今後は計算精度を上げるために、放射効率や打撃力と音圧レベルの関係を考慮したプログラムを作成し、打撃力が変化した時の放射音場の予測が出来るようにしたい。

### 5. 結言

円筒を微小音源の集合であると考え、モビリティから放射音の予測を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 計算した音場の指向性は振動モードに対応している。
- (2) 放射効率や打撃力と音圧レベルの関係を考慮したプログラムの作成が必要である。

### 6. 参考文献

- 1) 福田ほか、振動円板から放射される騒音の予測(第 2 報)、山口大学工学部研究報告 29(1), 1978, pp.153-160

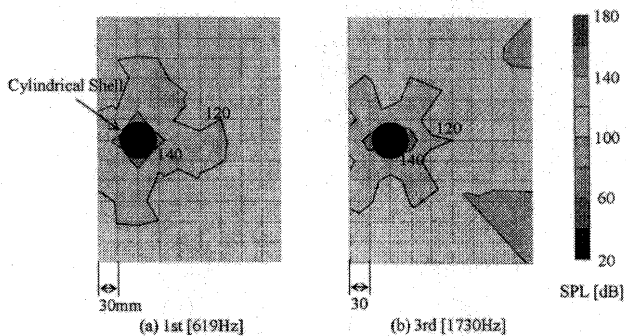


Fig.4 Radiation sound-fields by calculation

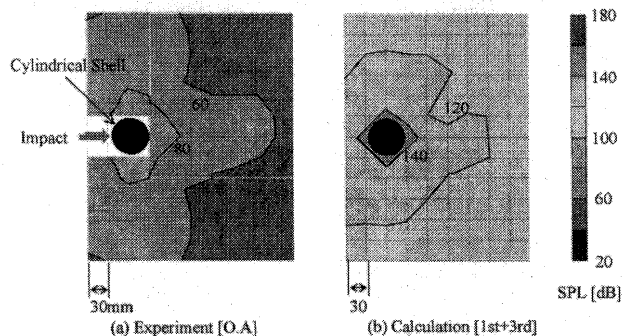


Fig.5 Comparison of radiation sound-fields