

レーザーホログラフィによるスピーカーの振動測定

進藤 武男*・鈴木 英男*・木村 博雄*
久保 高啓**・小泉 孝之**

Vibration Mode Measurement of Loudspeaker Diaphragm by Laser-Holography

Koriyama Works Takeo SHINDO・Hideo SUZUKI・Hiroo KIMURA
Central Research Laboratory Takahiro KUBO・Takayuki KOIZUMI

In the cone type loudspeakers, few changes are seen in appearance since their invention, but improvements are remarkable in their performance.

The mode of vibration is almost clarified in the region around the lowest resonant frequency and the so-called "piston-motion".

However, the medium and high frequency region covering the overtones still remain unsolved in many respects because of insufficiency in measuring techniques.

Recently, the holographic technique by laser has come into practical use, making it feasible in photographic observation of the high frequency vibration with small amplitudes.

Applying this technique to the measurement of vibration mode of various loudspeakers, we have obtained fairly good informations, chiefly about the vibration modes of the cut-off frequency peak and overtones.

1. ま え が き

最近のスピーカーは性能面で以前にくらべ格段の進歩をとげており、とくに、コーン形スピーカーに関してはかなりの性能が得られるまでに至っている。しかしながら、理論面での解析がいまひとつ実際のスピーカーに結びつかず、釈然としない点があった。そのうちのひとつにスピーカー振動板の振動解析があげられよう。

スピーカーから放射される音響エネルギーは振動板の振動によるものであり、したがって、その振動のしかたがスピーカーの諸特性に及ぼす影響は大きく、スピーカーの良否は一概にこの振動状態にかかっているといっても過言ではない。このように振動を検出し解析することは、スピーカーを設計、製作するうえで非常に重要な項目であるにもかかわらず、その測定法が完全なものでなかったために、とくに高域周波数においては十分な検討を加えることができなかった。ところが近年、にわかに脚光をあびてきたホログラフィの技術を振動計測の手段として用いることによって、これらの問題解決が計られ、スピーカーの振動状態のは(把)握がより精度のよいものになり、解析が可能になってきた⁽¹⁾。

当社においても、いち早くこのホログラフィによる測定技術をスピーカーの振動測定にとり入れることにより、これまでむずかしかった高域周波数での微小振動をとらえることに成功した。

スピーカーの振動を測定するにあたり

- (1) 低音域での音圧の平たんな帯域
- (2) 中音域での音圧の落ち込む帯域
- (3) 音圧特性上、山谷の生ずる帯域
- (4) 高域限界付近の帯域

の四つの周波数帯域が考えられるが、今回はとくに(3)、(4)の帯域に主眼をおき、当社の代表的な低音用・高音用・全帯域用のコーンスピーカーおよび中音用ドームスピーカーの4種類のスピーカーについて、測定を行なった。その結果、音圧特性上の山谷とスピーカーの振動モ

ードとのあいだに対応関係がみいだされ、いくつかのスピーカー設計への示唆を得ることができた。ここに、ホログラフィによる振動測定法の紹介とあわせて、上記4種類のスピーカーの測定写真と掲げ、考察を加える。

2. 測 定 法

この章では、従来の振動測定法とホログラフィ測定法との相違を述べ、次いで、ホログラフィの測定原理とその振動計測への応用を説明する。

これまで、スピーカーの振動検出に用いられていた方法は

- (1) ストロボにより振動を観測する方法
- (2) 容量変化によって変位を測定する方法
- (3) フォーブマイクで近接音圧を測定する方法
- (4) 振動板表面に粉をふりかけて振動モードを検出する方法

などがあるが、これらの方法は、局部的な測定しかできなかったり、振動振幅の大きい周波数においてしか測定できないほどの欠点もっていた。

これに対し、ホログラフィ干渉法による振動計測は下記のような特長をもっている。

- (1) 全体の振動状態が一目でながめられること。
- (2) 光の波長のオーダー(0.1ミクロン)の微小振幅が測定できること。
- (3) 振動板に無接触で測定できること。
- (4) 写真撮影などの記録が容易にできること。
- (5) 振動振幅の絶対値を読みとることが可能であること。

このようにホログラフィ測定法は、従来の方法にくらべ格段すぐれた振動測定技術であり、しかも最近の光学技術の進歩により比較的容易に測定が行なえるようになった。

2.1 測定原理

ホログラフィは、レーザーの発明によって急速に進歩をみた波を記録し再生する新しい技術である。それ以前からの光学的画像技術として

* 郡山製作所 ** 中央研究所

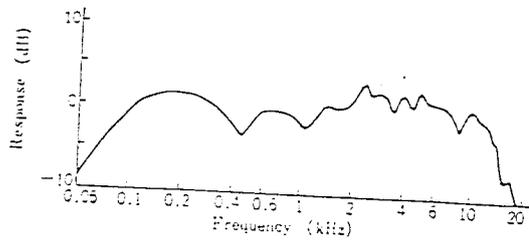


図 3.5 P-610 A 周波数応答特性
Frequency-response characteristic of type P-610 A full-range speaker.

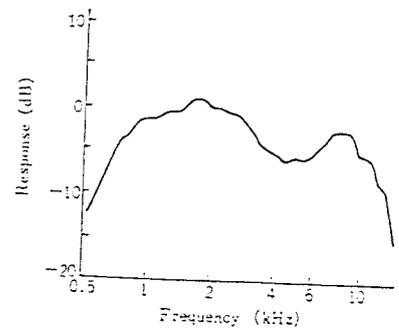


図 3.7 DM-2210 周波数応答特性 (ディフューザなし)
Frequency-response characteristic of type DM-2210 dome squawker.

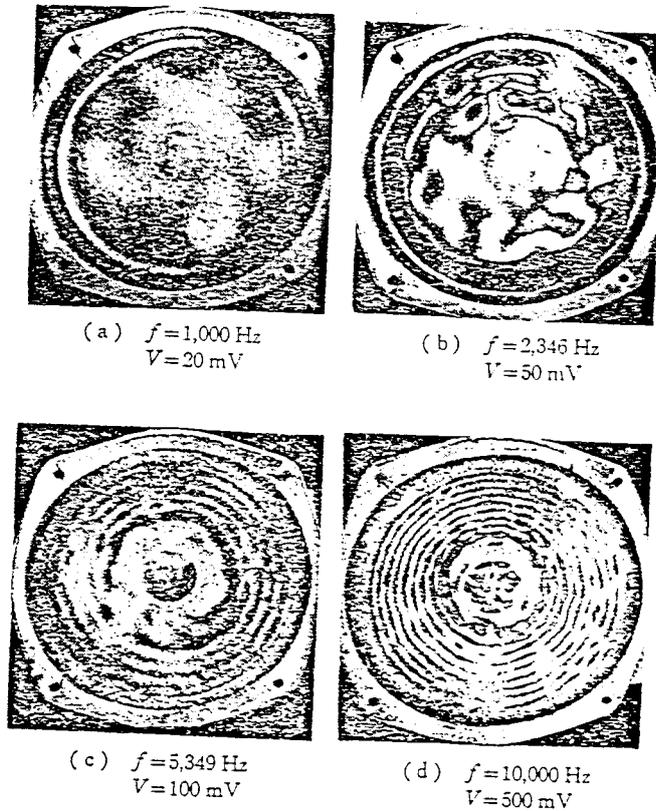


図 3.6 P-610 A のホログラフィによる振動状態
Vibration mode of type P-610 A full-range speaker

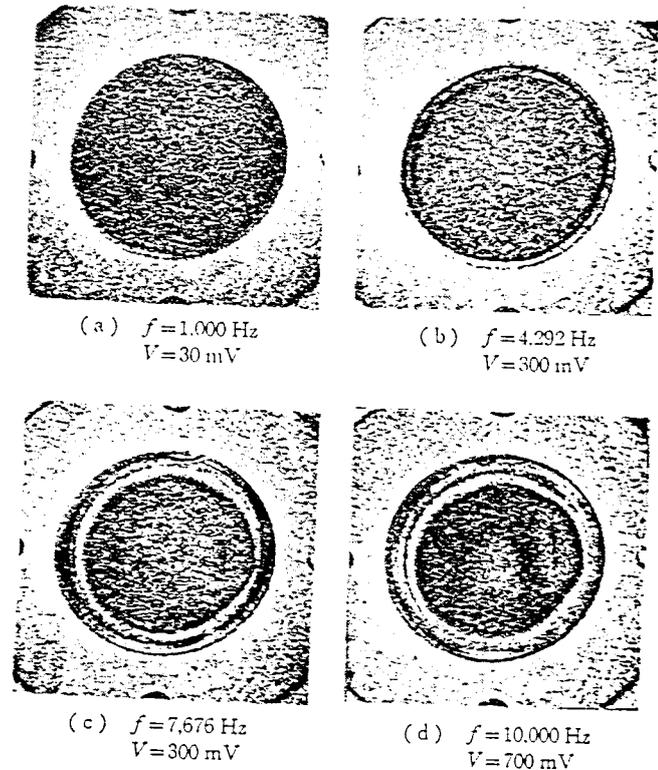


図 3.8 DM-2210 のホログラフィによる振動状態
Vibration mode of type DM-2210 dome squawker.

3.3 P-610 A のホログラフィによる振動状態

口径	16 cm
伝域共振周波数	80 Hz
再生周波数帯域	80~13,000 Hz
出力音圧レベル	97 dB/VA (50 cm)
有効振動半径	6.5 cm
振動系の等価質量	6.5 g
振動系の等価的な Q_0	0.8
ボイスコイル直径	1.92 cm

3.4 DM-2210 のホログラフィによる振動状態

口径	4.0 cm
伝域共振周波数	700 Hz
再生周波数帯域	700~7,000 Hz
出力音圧レベル	95 dB/VA (50 cm)
有効振動半径	2.0 cm
ボイスコイル直径	4.0 cm

4. 考 察

今回の測定はいくつかのタイプのスピーカーについて行なったが、それぞれのタイプに応じた振動状態を示していることがわかる。以下、各タイプのスピーカーについてその振動状態を考察し、その後、各タイプに共通な高域限界、あるいは、分割共振時のピークの発生機構について検討を行なう。

4.1 低・高音用コーンタイプスピーカーの振動状態

このタイプのスピーカーの特長は低域から中域にかけては平坦な特性を示し、その後ピークディップを繰返しながら次第に減衰する特性を示す。

PW-125, TW-25 のホログラフィの結果を見ると、周波数帯域は異なるけれども、ほぼ同様なパターンを示していることがわかる。すなわち、

(1) 各使用帯域において、低音域から中音域にかけては共振ピストン振動を行なっている (図 3.2 (b), 3.4 (a))。

(2) 中域から高域にかけてはコーン中心付近の振幅が小さく、

露光時間の設定は、被測定物の回折光を測光器で測定し算出した。なお、測定スピーカーの口径に応じて光学系配置ならびに露光時間は若干異なる。スピーカーへの入力信号は正弦波で行ない、入力電圧は干渉しまの見やすい電圧で測定した。

低音用スピーカーの測定では、外部の振動および騒音によって振動板が揺らされることがあり、これらの除去にかなりの注意を払う必要があった。

3. 測定結果

今回の測定はスピーカーの全帯域にわたる振動状態、および特に高域限界あるいは分割領域での振動状態をつかむことを目的としており、スピーカーの機種についても、コンタタイプの低音用・高音用・全帯域およびドームタイプの中音用に関して測定を行なった。以下各機種についてスピーカーの諸定数と周波数応答特性および測定結果を示す。なおここに示すデータは測定周波数、入力電圧ともに全体の測定結果の中の代表的なものである。

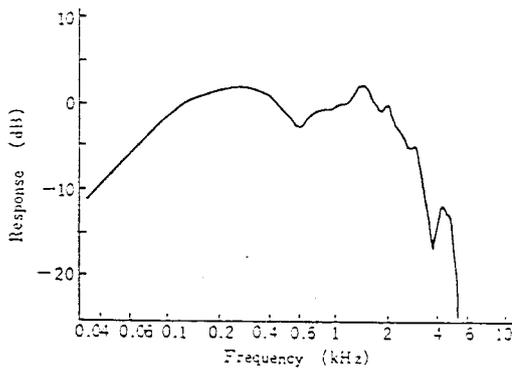


図 3.1 PW-125 周波数応答特性
Frequency-response characteristic of type PW-125 woofer

3.1 PW-125 のホログラフィによる振動状態

口径	30 cm
低域共振周波数	40 Hz
再生周波数帯域	40~1,500 Hz
出力音圧レベル	102 dB/V/A (50 cm)
有効振動半径	13 cm
振動系の等価質量	33 g
振動系の等価的な Q ₀	0.5
ボイスコイル直径	5.8 cm

3.2 TW-25 のホログラフィによる振動状態

口径	5 cm
低域共振周波数	1,500 Hz
再生周波数帯域	1,500~16,000 Hz
出力音圧レベル	102 dB/V/A (50 cm)
有効振動半径	2.0 cm
振動系の等価質量	0.37 g
ボイスコイル直径	1.6 cm

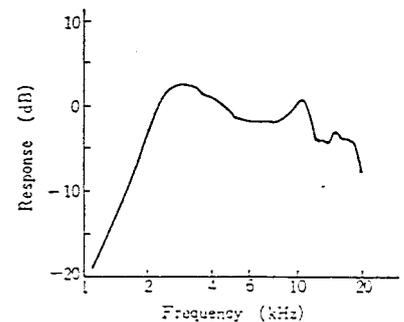
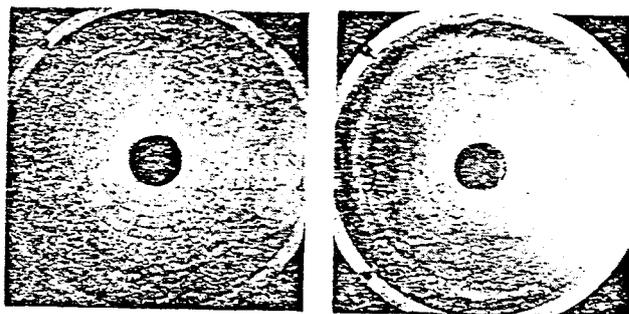
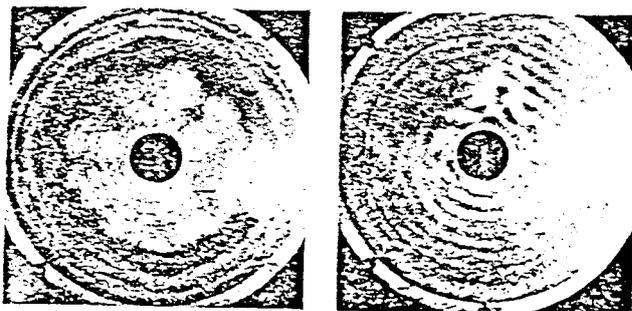


図 3.3 TW-25 周波数応答特性
Frequency-response characteristic of type TW-25 tweeter

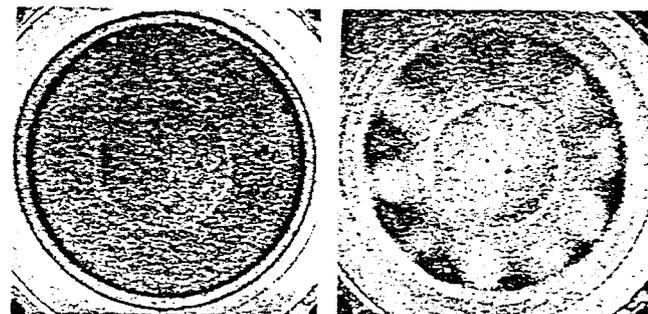


(a) 静止状態
(b) $f=500$ Hz
 $V=10$ mV

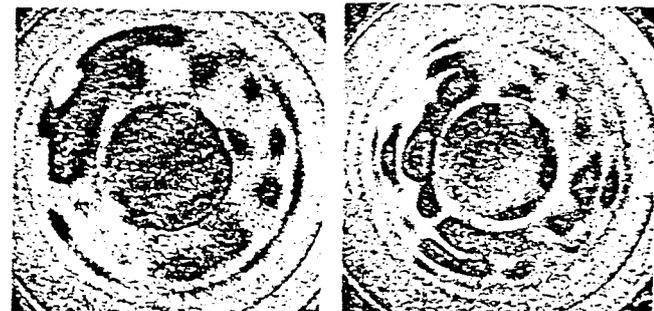


(c) $f=1,408$ Hz
 $V=20$ mV
(d) $f=5,000$ Hz
 $V=800$ mV

図 3.2 PW-125 のホログラフィによる振動状態
Vibration mode of type PW-125 woofer.



(a) $f=2,000$ Hz
 $V=40$ mV
(b) $f=8,000$ Hz
 $V=100$ mV



(c) $f=13,000$ Hz
 $V=300$ mV
(d) $f=20,000$ Hz
 $V=500$ mV

図 3.4 TW-25 のホログラフィによる振動状態
Vibration mode of type TW-25 tweeter.