

高速度カメラを用いた3次元音場の記録と解析*

酒井寿理，武岡成人，及川靖広，山崎芳男（早稲田大学）

1 はじめに

一般に振動体の解析手法としては振動ピックアップや超音波速度計やレーザドップラ振動計^[1]といった振動の各点を測定する方法が挙げられる。一方，2 観測点から得た画像の相関を利用して3次元情報を得ることが可能である。したがって振動体や音場に対して適当な位置に2台以上の測定計を設置し観測すれば3次元の変位情報が得られるはずである。

これまで我々は，光・映像情報からの特徴抽出による光収録システムの研究を進めてきた^[2]。本稿では高速度カメラを利用し振動の3次元解析を行った。2台の高速度カメラを用いて振動板を撮影し画像相関法により対象全面の3次元解析を試みたので報告する。本研究は振動体や音場に対し非接触かつ受動的な全面収録を試みるものである。

2 振動の3次元解析

高速度カメラで適切なフレームレートや画素数を選択すれば画面上任意かつ複数の点における振動の収録が可能である。そこで単純な振動の解析例としてスピーカを対象とした実験を行った。図-1に示すように高速度カメラ(Photron FASTCAM SA1.1)2台をスピーカ(SHARP Active Servo Technology CP-A5)のコーン正面に向かい対称に設置した。このとき高速度カメラ間の距離は280mm，高速度カメラとスピーカの距離はどちらも360mmとなっている。また測定用音源はコンピュータからオーディオインタフェース(YAMAHA UW10)を通して出力した信号(44.1kHz 16bit)を使用した。

2.1 画像相関法

本稿では画像相関法を用い振動の解析を行った。画像相関法は予めランダムなパターンを持つ計測物の画像を小領域に分解し，相関を用いて画素片における画像間の形状変化を

求める方法である。求めた変化から画素に生じた回転や傾き，歪を計算することにより3次元情報が得られる。

本実験においては測定対象であるスピーカのコーン表面にエアースプレーでランダムパターンを塗布した。また振動面全面の解析にあたり，コーンに対して左右をX軸，上下をY軸，法線方向をZ軸とし画像は2mm四方形程度の画素片に分解し3次元情報の取得を試みた。この測定にあたり Correlates Solutions社のVic-3Dを使用した。

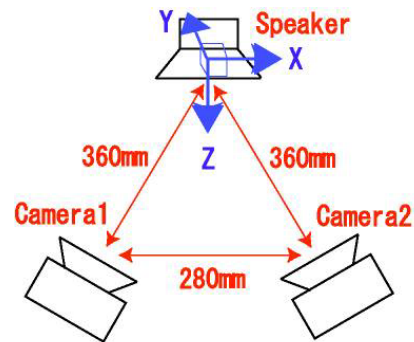


図 - 1 測定器配置図

2.2 正弦波信号の測定

フレームレートを2,000 fps，解像度を1024 × 1024 とし 80Hz の正弦波を収録した。

高速度カメラ1から得た画像を図-2に，コーン中心部の測定点から得たX,Y,Z軸方向の変位の周波数スペクトラムを図-3に示す。このときZ軸の最大振幅で正規化した。80Hzに大きな振幅が出ており，高調波もみられる。また振動板の駆動方向である法線方向のみならずX軸やY軸方向からも80Hzの振動情報が得られた。図-4にX,Y,Z方向のベクトル成分を図示するとともに，コーン全面を解析したデータから再構築したスピーカの三次元動画内の一画像を示す。

* The 3-D Analysis of Vibrating Objects Utilizing a High Speed Camera, by SAKAI, Juri, TAKEOKA, Shigeto, OIKAWA, Yasuhiro, and YAMASAKI, Yoshio (Waseda University).

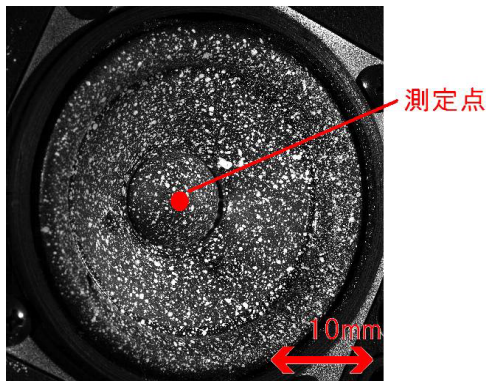


図 - 2 高速度カメラ 1 の測定画像

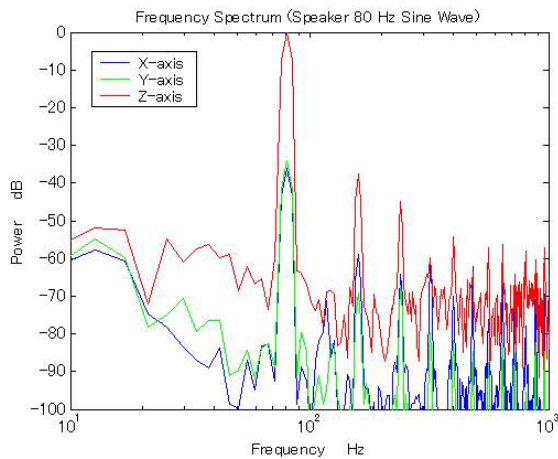


図 - 3 80Hz 正弦波入力時のスペクトラム

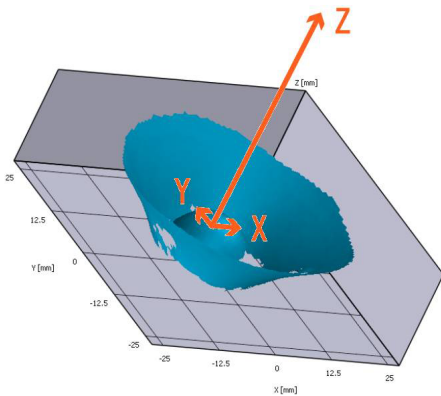


図 - 4 振動のベクトル成分と
三次元動画からの画像

2.3 TSP 信号の測定

高速度カメラを通した周波数特性の測定を行った。フレームレートを 20,000 fps, 解像度を 320×320 とした高速度カメラで TSP(Time Stretched Pulse)信号を測定すると共にスピーカからの出力をコンデンサマイクロホン(BK社 DPA Type 4006)で収録した。

マイクロホン及び高速度カメラで TSP 応答を測定した。それぞれの手法による周波数特

性を図 - 5 に示す。マイクロホンに比べ高速度カメラから得られた信号は 300Hz 程度を境に高域下がりの特徴を示している。これは本システムが振動板の変位そのものを測定していることに起因すると考えられる。

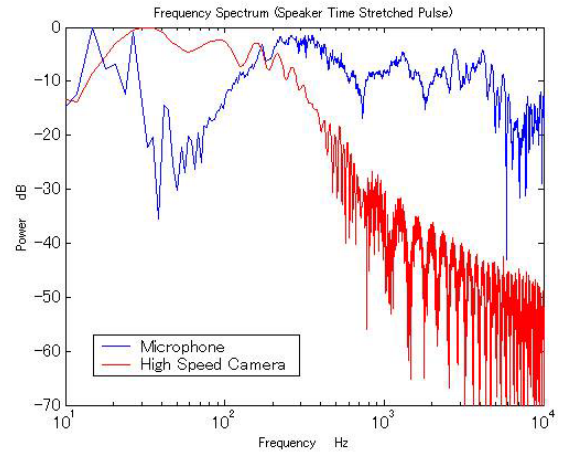


図 - 5 周波数特性の比較

3 むすび

2 台の高速度カメラを用いて測定し、画素間の相関を利用した 3 次元解析を行うことにより画面上のわずかな振動からでも音情報を抽出することが可能であった。また十分なダイナミックレンジを得られることを確認した。さらに同システムを用いて撮影したスピーカの映像からは高域の S/N に課題は残るものの十分な音楽信号を聞き取ることが可能であった。

今後は喉のような複雑な振動体や、膜の振動・煙等を使用した 3 次元音場の解析、複数台を用いた収録帯域の拡張、レコードの音溝などからの音情報の抽出に取り組んでいく所存である。

謝辞

測定・解析にご協力賜りました株式会社フォトロン佐々木剛史氏, 上須大輔氏, 株式会社レーザー計測の早川峰之氏に深謝致します。

参考文献

- [1] 齊藤, 山崎他, “ 振動板を用いない音情報の収録 ”, 音講論(秋), 479-480, 2002 .
- [2] 酒井, 山崎他, “ 色彩を利用した光収録 ”, 音講論(秋), 445-446, 2006 .