

音響テレビを用いた音源情報の可視化*

及川靖広^{*1}・大内康裕^{*1}・山崎芳男^{*1}・田中正人^{*2}

1. まえがき

音場は音源とそれから放射される音の伝播により生成される。つまり、音響測定、観測は何らかの方法でそれらを測定、観測することが目的となるが、対象にあわせ様々な手法が提案されている。

我々は、音場の空間情報を把握、可視化する方法として近接4点法を用い世界各地のホールや歴史的建造物の音響測定を行ってきた^{1),2)}。近接4点法は直接音、反射音の分布とその時間変化を測定することが可能であり、音場の空間情報を詳細に把握することができ、場の全体的な評価に有効である。

また、近年では走査型レーザドプラ振動計を用い空気疎密(音波)の観測を行う手法が実音場の測定に導入されている³⁾⁻⁸⁾。レーザを用いることにより遠方からの收音が可能で收音位置にマイクロホン等の物体を配置する必要がなく、音場に影響を与えない直接観測が可能となる。現時点ではスキニングによる観測が必要で多数回にわたり音場を再現しなければならず、測定に長時間を要しリアルタイムまたはこれに準ずる時間での音場の把握はまだ難しい。さらに、高速度カメラを用い埃等の空气中に浮遊する物体を撮影しその動きから粒子速度、音圧を求める手法⁹⁾⁻¹¹⁾、マイクロホンとLEDを一体化した小型のセンサ・ディスプレイ素子を音が伝播する空間にアレイ状に配置し音圧を光で表現する手法の検討も行われている¹²⁾⁻¹⁴⁾。これらの手法は音の空間伝播の把握に主眼が置かれている。

音源情報の把握は、その対象はあくまで音源の位置や強さ、特性であって、音波の伝播そのものではない。したがって、音源からの音波が観測点に到達

する途中の状態を知る必要はないので、必ずしも多数のセンサを空間内に広く分布させる必要はなく、むしろセンサをアレイ化して観測点の近傍に集中させた方が簡便である。我々は、パラボラ反射鏡で得た音源の像をマイクロホンアレイを用い可視化する音響テレビと呼ぶシステムを提案している¹⁵⁾。観測者がリアルタイムで直感的に音源の把握ができ、かつ定常的な音場でなくても観測ができる。本報告では、主に音源情報の把握に役立つ音響テレビについて紹介する。

2. 音響テレビの原理

音響テレビは図-1に示すように、直径1.2mのパラボラ反射鏡と、その焦点近傍に設置された図-2に示すような192個のマイクロホンからなる2次元マイクロホンアレイ基板を組み合わせたシステムである。マイクロホンアレイは4個のマイクロホン、マイクアンプ、バンドパスフィルタなどからなるモジュールを縦に6個、横に8個配置し構成している。マイクロホン間隔は2cmである。パラボラ反射鏡に入射した音はそれにより反射され、その焦点付近に集められ、そこに配置されたマイクロホンアレイにより收音される。つまり、光学カメラにおける集光レンズの役割をするのがパラボラ反射鏡であり、音を集めマイクロホンアレイ基板上に音像を結像させる。このとき、光学カメラの像と同様に、マイクロホンアレイ基板上の音像は上下左右反対となる。マイクロホンアレイのそれぞれのマイクが音画素に対応し、マイクロホン出力毎(音画素毎)にバンドパスフィルタを用いたスペクトル分析、それぞれの周波数バンド毎のエンベロープ検出を行い、その情報を15Hz周期で2次元スキャンして読み出す。読み出された各周波数バンドのエンベロープ情報は、マイクロホンアレイ基板下部のFPGAで画素数変換され、RGB三原色に割り当てられてNTSC信号にエンコードされる。このとき、図-3のように音響撮像面裏側(音響テレビ正面)に取り

* Visualization of Sound Source Information Using Acoustic TV

^{*1} Yasuhiro Oikawa, Yasuhiro Ouchi, Yoshio Yamasaki : Waseda University (早稲田大学)

^{*2} Masato Tanaka : Microspace Co., Ltd. (マイクロスペース株式会社)

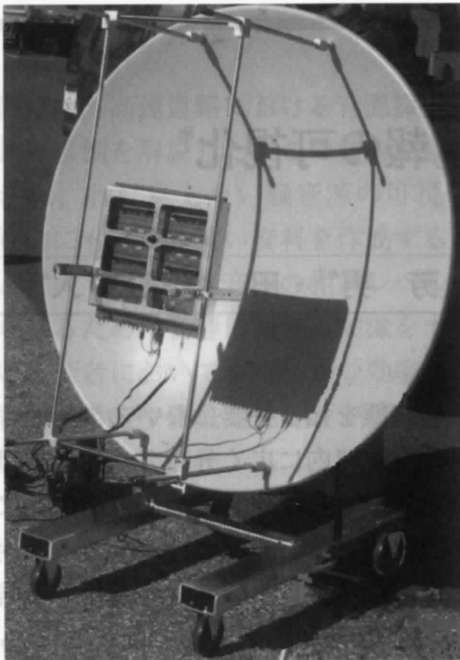


図-1 音響テレビ外観

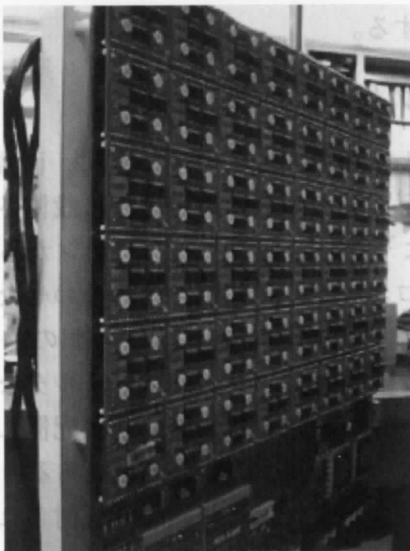


図-2 マイクロホンアレイ

付けられている CCD カメラからの映像を画像合成して出力することが可能である。図-4、図-5 に音響テレビの信号処理ブロック図を示す。

収録したそれぞれの音の強度は明るさで、音響スペクトルはカラー成分で表示される。CCD カメラからの光学画像信号と重ね合わせて表示することで、ある音場での音源の位置、分布、動き、特性をテレビ画面上にリアルタイムで表示することが可能であり、直感的な把握が可能である。音源が複数ある場合もそれぞれの音源についてその特性を把握することができ、直接音と反射音を同時に観測することも可能である。音響テレビでは、パラボラ反射鏡の半径が開口数に関係し、開口数と周波数により分

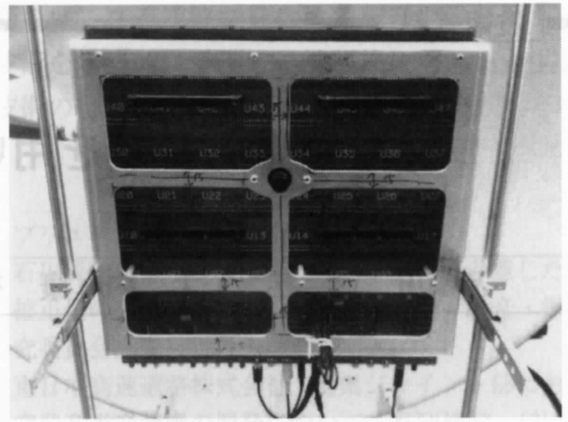


図-3 CCD カメラ

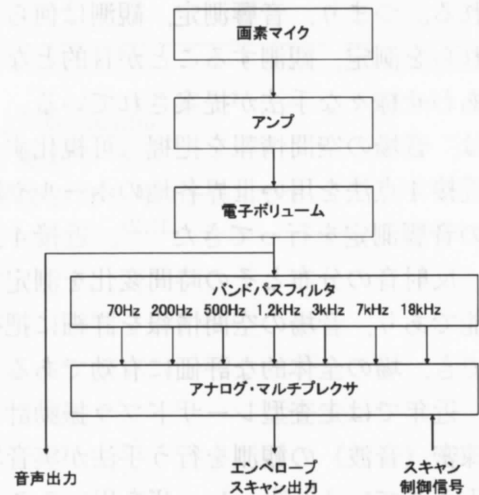


図-4 音画素モジュールの信号処理ブロック図

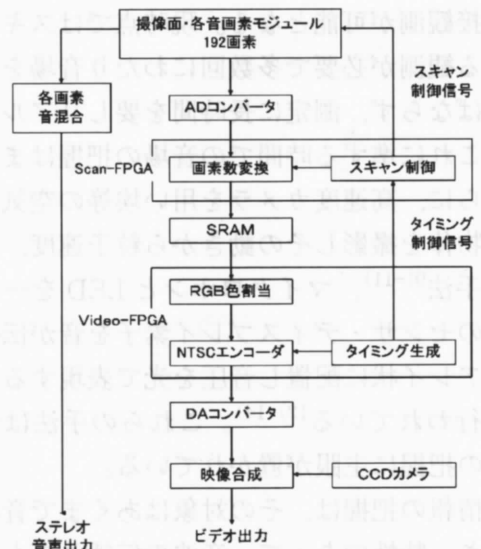


図-5 音響テレビの全体信号処理ブロック図

解能がきまる。大きなパラボラ反射鏡ほど低域まで分解能が高くなるが、用途等を考慮した上で適した大きさの反射鏡を用いる必要がある。

音響テレビの出力は NTSC 信号で出力されるので一般のテレビをモニターとして用いることができ、

ビデオデッキ、DVカメラ、DVDレコーダ等の映像機器を用いて映像と音声を記録することも可能である。音に関しては選択した任意のマイクロホンで収録された音を出力することが可能である。その他、パラボラ反射鏡の方向および、パラボラ反射鏡とマイクロホンアレイ基板との距離を変えることができ音源に焦点を合わせることが可能である。

3. 音源情報の可視化

音響テレビを用いた実際の音源情報の可視化としてスピーカを用いた純音再生時の観測、コンクリート壁による反射音の観測、様々な音源の観測を行った。今回、音響テレビ出力のRGBの割当については、R（赤）を中心周波数3kHz、G（緑）を7kHz、B（青）を18kHzのバンドパスフィルタ出力に対応させた。

3.1 スピーカを用いた純音再生時の音場の可視化

スピーカを用いて2k、8k、16kHzの正弦波を再生し音響テレビで観測した。その結果を図-6～

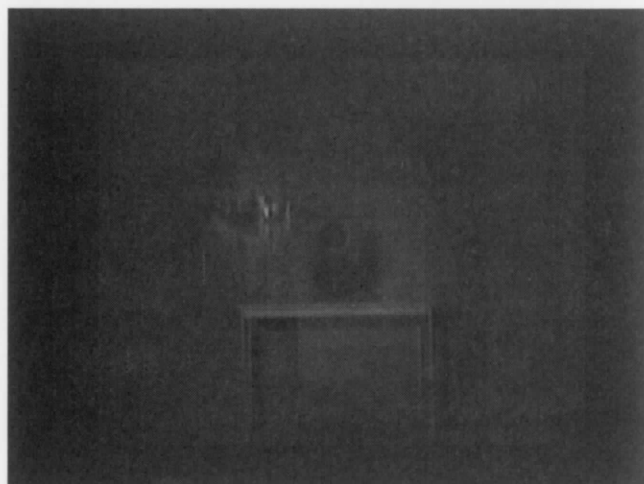


図-6 スピーカの観測（正弦波 2kHz）

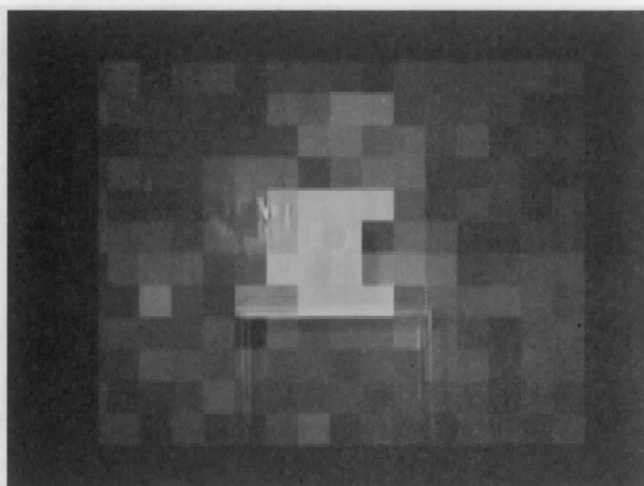


図-7 スピーカの観測（正弦波 8kHz）

図-8に示す。スピーカはYAMAHA MSP10を用い、音響撮像面からスピーカまで5mとして観測を行った。スピーカ近辺の音画素が、周波数が高くなるにつれて赤→緑→青と変化することが確認できる。

3.2 コンクリート壁による反射音の可視化

スピーカをコンクリート壁の近くに設置し壁による反射音の観測を行った。スピーカの中央部とコンクリート壁との距離は0.9mとし、スピーカと音響テレビの音響撮像面までの距離は5mとした。スピーカは3.1節と同じくYAMAHA MSP10を用いた。その実験の様子を図-9に示す。また、観測した結果を図-10に示す。スピーカの位置に明るい音画素が確認でき、壁方向に反射音と思われる明るい音画素が確認できる。



図-8 スピーカの観測（正弦波 16kHz）

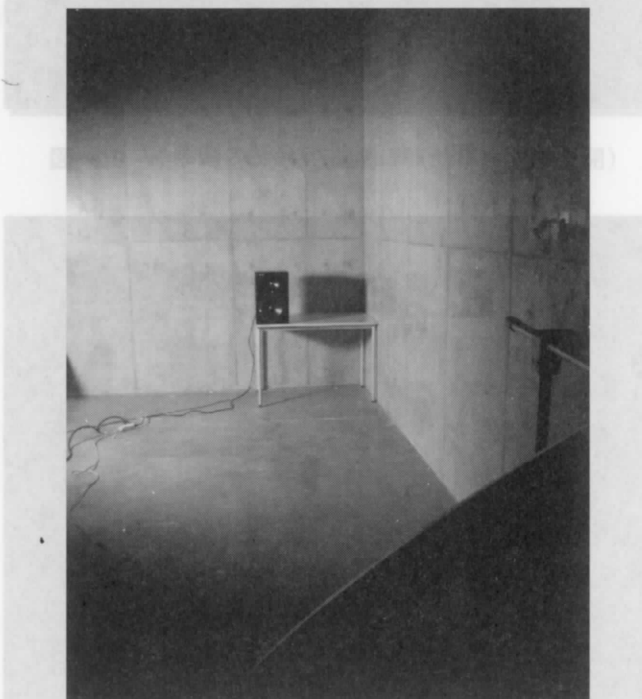


図-9 実験の様子

3.3 様々な音源の可視化

音響テレビを用いて、様々な音源の観測を行った。結果を図-11～図-25に示す。

図-11は女性の発話、図-12は自転車走行音、図-13はセミの鳴き声と自動車走行音の観測結果である。自転車のチェーン周辺に高域成分を示す青

色の音画素が確認できる。また、セミの鳴き声がする木には緑色の音画素が、自動車の車輪付近には赤色の画素が集中していることが確認できる。図-14は新幹線走行音の観測を行った結果である。台車の位置に明るい音画素が集中している。図-15は飛び立つ飛行機の観測を行った結果である。○で囲ん

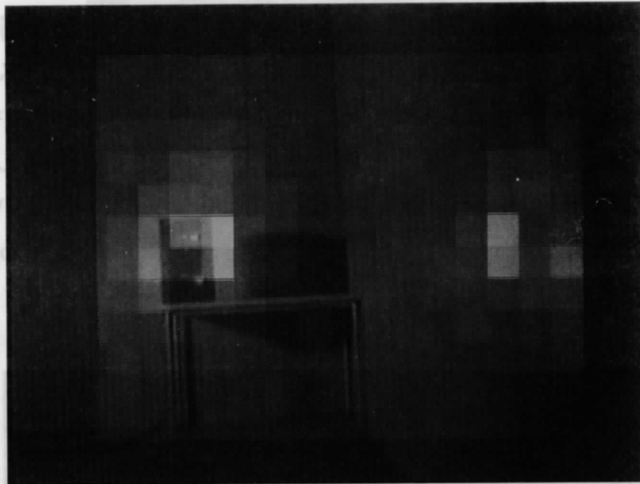


図-10 反射音の観測 (ホワイトノイズ)



図-13 セミの鳴き声と自動車走行音の観測



図-11 女性の発話の観測

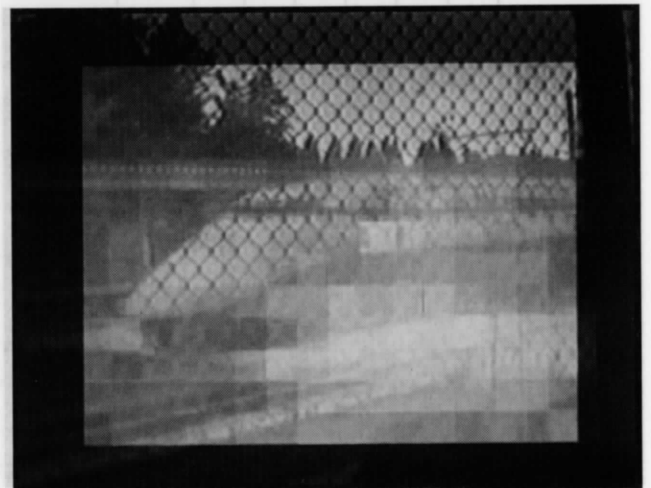


図-14 新幹線走行音の観測



図-12 自転車走行音の観測

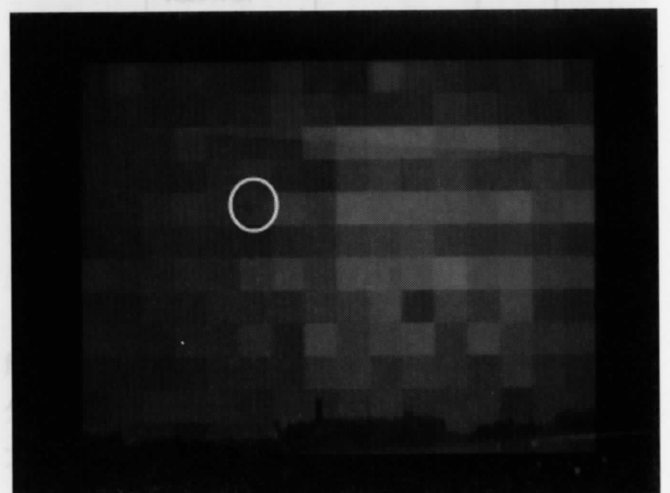


図-15 飛び立つ飛行機の観測 (○が飛行機)

だ部分に視覚的に飛行機を確認できるが、音は光との速度の違いの分だけ遅れて到達する。図-16はスピーカにより室内でホワイトノイズを発生させ窓を開けた場合の様子を観測したものである。高域成分を示す青緑色の音画素が確認でき、ホワイトノイズの高域成分が漏れている様子が確認できる。また

窓からの直接音と軒での反射音を確認できる。

図-17~図-19はラジオをかけた自動車を観測したものである。図-17は窓、ドアを全て閉じた場合で、音の漏れは確認できない。図-18は助手席窓を全開にした場合で、窓からの音の放射が確認できる。図-19は助手席ドアを全開にした場合で、ドアに装着されているスピーカからの直接的な音の放射と思われる位置に明るい音画素が確認できる。

図-20~図-22は遠方からの観測の様子である。約400メートル離れた本庄早稲田駅方面を観測したものであり、工事による発生音、新幹線通過の際の騒音が観測された。図-23~図-25は、スピーカからホワイトノイズを発生させ、スピーカ・音響テレビ間に滑り止めマット、ベニヤ板を配置した場合の様子を観測した結果である。ベニヤ板を設置した場合はスピーカからの音はそれにより遮られている様子がわかる。滑り止めマットを設置した場合は音の透過が観測されるが音画素の色がやや赤色に変化しており、高域成分が減衰されているものと思われ



図-16 窓から漏れるホワイトノイズ



図-17 ラジオをかけた自動車（窓/ドア全閉）



図-19 ラジオをかけた自動車（助手席ドア全開）



図-18 ラジオをかけた自動車（助手席窓全開）



図-20 遠距離での騒音観測（騒音なし）

る。音響テレビ正面に視覚的に障害するものがあったとしても、音響的に透明であれば、その向こう側を透視するかのよう観測できる。

4. む す び

音響テレビを用いて音源情報の可視化を行った。音響テレビはパラボラ反射鏡を用いて音を集め、マイクロホンアレイ上に音像を結像させる。パラボラ反射鏡が大型であるので、運搬、設置に限界がある。しかしながら、テレビ画面上に CCD カメラ画像と音画像を重ねて表示でき、観測者にとって観測対象の振る舞いが直感的に分かりやすい。また、ガラス等の視覚的に透明でも音響的に透明でないものがある場合にはその向こう側を観測できないが、逆に視覚的に透明でなくても音響的に透明な場合はその向こう側を観測することが可能である。

各種音源または設備、施設等の音環境の解析、監視、夜間や濃霧時といった有視界ではないときの観測への応用が期待できるとともに、コミュニケー

ションの観察への応用を検討している。また、マイクロホンアレイ部分を3次元アレイ化することにより奥行き方向の分解能を持たせることも可能であり、それらについても検討していく所存である。

今回紹介したデータの動画等をホームページ <http://www.acoust.rise.waseda.ac.jp/research/sfv/>



図-23 スピーカからの発音



図-21 遠距離での騒音観測 (工事)

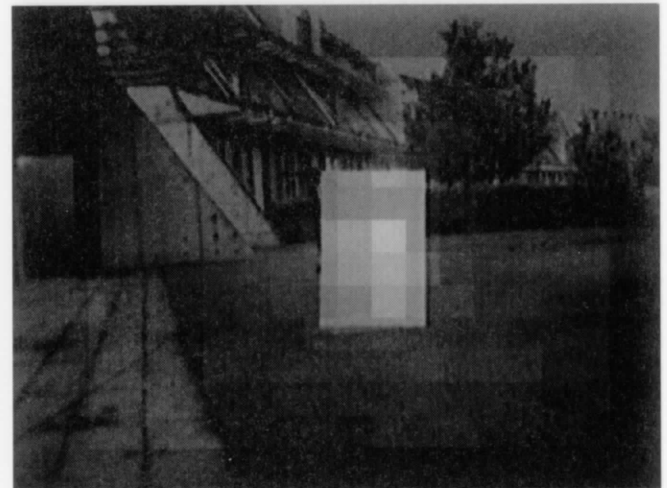


図-24 スピーカからの発音 (間に滑り止めマット)



図-22 遠距離での騒音観測 (新幹線通過)

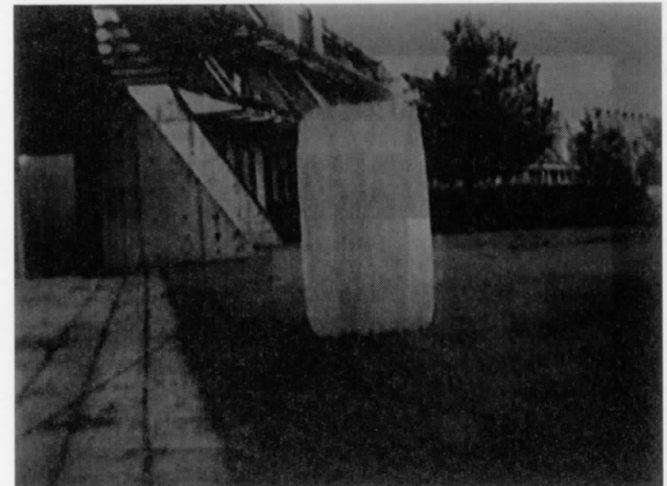


図-25 スピーカからの発音 (間にベニヤ板)

stv/stv.htmlにて公開している。

参 考 文 献

- 1) Y. Yamasaki, T. Itow : Measurement of spatial information of sound fields by closely located four point microphone method, J. Acoust. Soc. Jpn. (E), vol. 10, no. 2, pp. 101-110 (1989).
- 2) 山崎芳男, 橋秀樹, 森本政之, 平沢佳男, 前川純一 : ヨーロッパのコンサートホールの音響に関する実測調査 (第2報) —近接4点法による測定結果—, 日本音響学会誌, vol. 43, no. 4, pp. 277-285 (1987).
- 3) 中村健太郎 : 空気の屈折率変動を検出する空中強力音場の測定, 電子情報通信学会技術研究報告, US2001-9, vol. 101, no. 42, pp. 15-20 (2001).
- 4) 池田雄介, 後藤亮, 岡本直毅, 滝澤俊和, 及川靖広, 山崎芳男 : レーザCTを用いた再生音場の測定, 日本音響学会誌, vol. 62, no. 7, pp. 491-499 (2006).
- 5) 池田雄介, 岡本直毅, 後藤亮, 小西雅, 及川靖広, 山崎芳男 : レーザトモグラフィを用いた音圧分布測定における精, 日本音響学会誌, vol. 64, no. 1, pp. 3-7 (2008).
- 6) 池田雄介, 岡本直毅, 小西雅, 及川靖広, 鴫田康弘, 山崎芳男 : レーザトモグラフィを用いた進行波の観測, 日本音響学会誌, vol. 64, no. 3, pp. 142-149 (2008).
- 7) 及川靖広, 長谷川知美, 大内康裕, 池田雄介 : レーザCTを用いたインパルス応答測定, 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, pp. 723-724 (2010).
- 8) 小西雅, 池田雄介, 及川靖広, 山崎芳男 : 光を使った音場の計測, 騒音制御, vol. 34, no. 3, pp. 198-204 (2010).
- 9) 武岡成人, 阿久津真理子, 及川靖広, 山崎芳男 : 高速度カメラを用いたPIV法による音場収録, 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, pp. 1451-1452 (2010).
- 10) 武岡成人, 八十島乙暢, 酒井寿理, 及川靖広, 山崎芳男 : 高速度カメラを用いたPIV法による粒子速度分布の測定, 日本音響学会アコースティックイメージング研究会資料, AI2010-3-03 (2010).
- 11) 阿久津真理子, 武岡成人, 及川靖広, 山崎芳男 : 空气中浮遊物の高速撮影による音場情報の取得, 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, pp. 1559-1560 (2011).
- 12) 栗原誠, 本地由和, 藤森潤一, 及川靖広, 山崎芳男 : MIC-LED200個のアレイによる音場の実時間可視化, 日本音響学会アコースティックイメージング研究会資料, AI2010-3-01 (2010).
- 13) 栗原誠, 本地由和, 藤森潤一, 及川靖広, 山崎芳男 : ストレージ型MIC-LEDアレイを用いた音場の観測, 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, pp. 1261-1262 (2011).
- 14) 藤森潤一, 栗原誠, 本地由和, 及川靖広, 山崎芳男 : センサ・ディスプレイ複合アレイによる音場の可視化, 電子情報通信学会論文誌 A, vol. J94-A, no. 11, pp. 846-853 (2011).
- 15) 大内康裕, 及川靖広, 山崎芳男, 田中正人 : 音響テレビを用いた音場の可視化, 日本音響学会アコースティックイメージング研究会資料, AI2009-2-06 (2009).

35 卷 6 号特集 カラー図表へのアクセス方法

会誌「騒音制御」(URL <http://www.ince-j.or.jp/05/05.html>)

「騒音制御」特集題目一覧→「35 卷 6 号」→「画像データ」

本図表のWEBへの掲載は平成23年12月～平成24年5月(予定)です。