

マイクロホン対向配置型ハンズフリー通話モジュール

Hands-Free Communication Module in Facing Microphone-Speaker Design

北田 耕作* · 赤坂 修* · 木本 進弥** · 有川 泰史** · 吉田 恵一***
 Kosaku Kitada Osamu Akasaka Shinya Kimoto Yasufumi Arikawa Keiichi Yoshida

住宅設備用ハンズフリー通話機器において、マイクロホン対向型音響構造、二つのマイクロホンをしている位相の同期制御方式、エコーキャンセル量の平均化を図るエコーキャンセルアルゴリズムなどにより、DSPによるエコーキャンセル処理と同等の性能を有しながら複雑な演算処理が不要な低コストのハンズフリー通話モジュールを開発した。また、マイクロホンの位相に影響を与えない1/4波長音響管内蔵型密閉構造の開発により、薄型かつ小型のハウジングでありながら低域の音量向上を実現している。

In the field of home equipment for communication, a low-cost hands-free communication module that doesn't equip with complex signal processing method by a DSP for its echo cancel function has been developed by devising a microphone facing to speaker acoustic structure, dual-microphone phase-synchronized control method, and echo cancel algorithm such as averaging echo cancellation. In addition, the developed closed cabinet with a quarter-wave acoustic tube does not affect the phase of microphones and achieves an increased volume of low-frequency sound even with a thin and small housing.

1. ま え が き

近年、住宅空間の快適性向上のため、住宅設備系ネットワークシステムの高機能化が進んでいる¹⁾。

そこで筆者らは、住宅空間における音の利便性向上を目的として、部屋間通話、一斉通話、音声報知や威嚇などができ、各部屋に容易かつ低コストで設置可能な30×40×8mmサイズの薄型で小型の住宅設備用ハンズフリー通話モジュールを開発した(図1)。

この開発において、従来からあるDSP(Digital Signal Processor)によるエコーキャンセル処理と同等の性能を有しながら複雑な演算処理が不要な信号処理アルゴリズムとして、マイクロホンの位相を制御する独自の音響エコーキャンセル処理法を開発した。

さらに、マイクロホンの位相に影響を与えない発音体の音響構造により、薄型で小型のハウジングでも周波数1kHz以下の低域における音圧向上を実現した。本稿では、これらの技術について報告する。

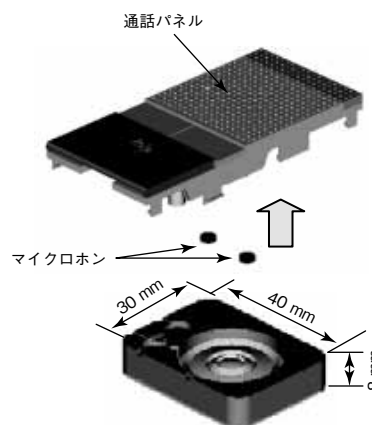


図1 ハンズフリー通話モジュール

2. 技 術 課 題

本開発における技術課題は、スピーカからマイクロホンに回り込む音響エコーを低減することである。音響エコーが増大するとハウリングが発生するが、その対策として従来品はマイクロホンへの回り込みを抑制するためスピーカとマイクロホンの間の距離を大きくした音響構造となっている(図2(a))。本開発品では図2(b)に示すように薄

* 新規商品創出技術開発部 New Product Technologies Development Department

** 先行技術開発研究所 Advanced Technologies Development Laboratory

*** 情報機器事業本部 情報機器R & Dセンター Research & Development Center, Information Equipment & Wiring Products Manufacturing Business Unit

型で小型のハウジングにスピーカとマイクロホンを組み込むため、マイクロホンとスピーカの距離が従来の1/4以下になり音響エコーが増大する。音響エコーを低減するためにはDSPでエコーキャンセル処理する方式が一般的に行われている²⁾。筆者らは低コストでモジュールを開発するため、二つのマイクロホン音響信号の遅延和を求める方式で、かつ簡便なハードウェアで実現することを試みる。

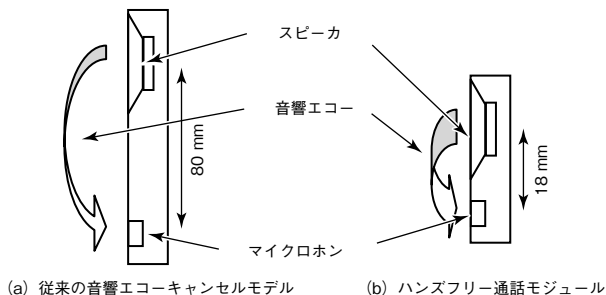


図2 音響エコーと音響構造

そのためには次の二つの技術課題がある。

(1) マイクロホンの位相制御

話者音とスピーカ音を分離するため、二つのマイクロホンが受信する音響信号の位相を制御すること。

(2) 発音体の音響構造

スピーカの放射音圧がマイクロホンの位相に影響を与えることなく、かつスピーカの周波数特性が1 kHz以下の低域で音圧が低下しない発音体構造とすること。

それぞれの技術課題の解決手段について以下に述べる。

3. マイクロホン位相制御

3.1 従来音響構造によるマイクロホン位相制御

本技術課題を解決するために図3に示すアルゴリズムを採用する。これは前方からの話者の音声信号を受信するために配置した主マイクロホンとスピーカからの音声信号をキャンセルするために配置した副マイクロホンで構成され、遅延和を求めることによりスピーカからの音声信号を低減させ、前方の話者の音声信号のみを抽出する方式である。

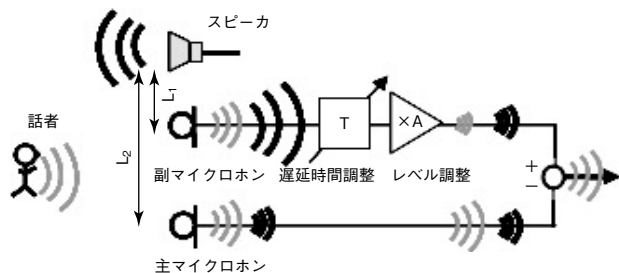


図3 マイクロホン位相制御アルゴリズム

前方からの話者音 $P(t)$ は二つのマイクロホンに同音圧

で同時に入力されると、本アルゴリズムによる信号処理後の話者音の信号 $P'(t)$ は式(1)となる。

$$P'(t) = P(t) - A \cdot \exp(-j\omega T) \cdot P(t) \\ = P(t) \cdot \{1 - A \cdot \exp(-j\omega T)\} \quad (1)$$

ここで、 A はレベル調整係数 ($\equiv L_1/L_2$)、 T は遅延時間調整値である。

したがって、 $\{1 - A \cdot \exp(-j\omega T)\}$ の項により話者音の音量が低下する。この低下を1 dB以下にするためには $\{1 - A \cdot \exp(-j\omega T)\}$ を0.9以上としなければならない。最悪条件は $T = 0$ であることから A は0.1以下にする必要がある。

従来の主副マイクロホンから成る音響構造を図4に示す。この構造では、主マイクロホンと副マイクロホンが近接配置されているため、 A は0.5以上となり、話者音の音量の低下が大きくてスピーカ音のみを効率良く低減することができない。

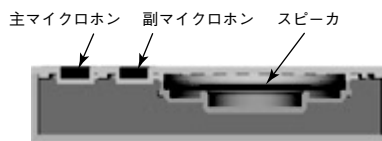


図4 従来の音響構造

3.2 マイクロホン対向配置型音響構造

従来方式の問題を解決するため、図5に示すマイクロホン対向配置型音響構造を考案した。この構造の特徴は一方のマイクロホンをスピーカに対向させて配置することである。これにより、 $30 \times 40 \times 8 \text{ mm}$ という薄型で小型のハウジングにおいてもレベル調整係数 A を0.1以下にすることが可能となり、3.3節と3.4節で述べるアルゴリズムの信号処理による話者音の音量の低下が1 dB以下を達成している。これにより、表1に示すようにエコーキャンセル処理の効果を最大にすることができる。

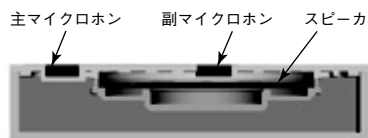


図5 マイクロホン対向配置型音響構造

表1 マイクロホン対向配置型構造の効果

項目	従来構造	マイクロホン対向配置型構造
A	0.7	0.1
話者音の劣化量	10.5 dB	0.9 dB

3.3 サンプリングタイミングの制御方式

A/D変換のサンプリング周波数が8 kHzでも精度良くエコーキャンセル処理できるように図6の構成で、図7に示すサンプリングタイミングの制御方式を考案した。ここでS1(t)は副マイクロホンのスピーカからの音信号、S2(t)は主マイクロホンのスピーカからの音信号である。この構成によるエコーキャンセルアルゴリズムにおいて、スピーカと副マイクロホンの距離、およびスピーカと主マイクロホンの距離は異なり、この距離の差分によってスピーカからの音信号の到達時間が異なる。このとき、二つのマイクロホンに入力されるスピーカからの音信号には式(2)に示す特定の時間差 T_0 (s)が生じる。

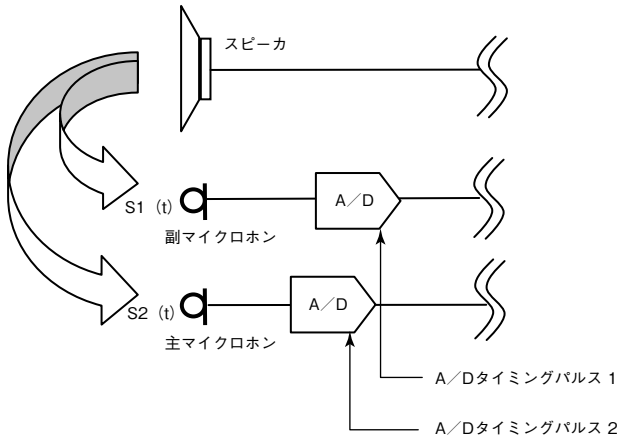


図6 A/D変換サンプリングの調整回路

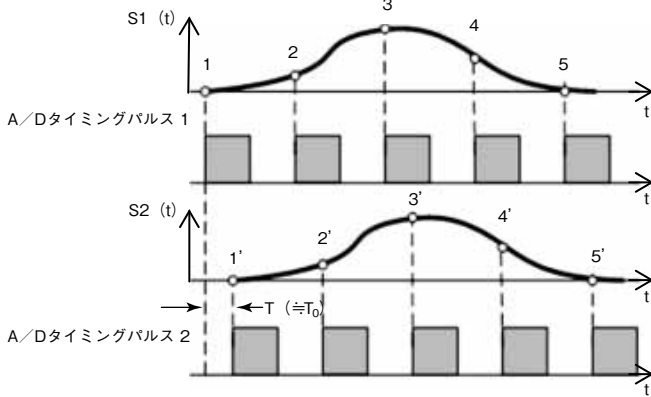


図7 A/D変換サンプリングのタイミングチャート

$$T_0 = \frac{L_2 - L_1}{v} \quad (2)$$

ここで、 L_1 はスピーカと副マイクロホンの距離、 L_2 はスピーカと主マイクロホンの距離、 v は音速である。

精度良くキャンセル処理するためにはこの T_0 を調整する必要がある、その精度も1 μ s以下で要求される。この調整をシフトレジスタで構成されるデジタル遅延器で行うとサンプリング周波数が1 MHz以上必要となり、高コス

トで複雑なハードウェアとなる。

そこで簡便なハードウェアで実現するため、副マイクロホンと主マイクロホンに入力されるスピーカからの音信号のタイミングは T_0 ずれることに注目し、副マイクロホンと主マイクロホンの二つの信号をこの T_0 だけA/D変換のタイミングをずらすことにより、そのデジタルデータは、同じ時間に放射されたスピーカからの音信号となる。

このようなサンプリングタイミングの同期制御を行うことにより、従来音声通話に使用されているサンプリング周波数が8 kHzでも十分な遅延時間の調整刻みを実現している。

3.4 平均化処理アルゴリズム

広い音声帯域において、安定したキャンセル特性が得られるように平均化処理アルゴリズムを考案した。理想的な条件下において、スピーカ音は広い周波数で完全に低減される。しかし実際には、スピーカ振動板の分割振動、不要な音の回り込み、点音源の影響等により、周波数特性をもつ遅延時間調整値 T およびレベル調整係数 A の最適値は、ある周波数で調整してもそれ以外の周波数帯において、エコーキャンセル処理の効果が小さくなるという問題がある。

そこで、600 Hzから3 kHzの音声帯域において安定してキャンセル量を得られるようにアルゴリズムを改善している。その平均化処理アルゴリズムを図8に示す。

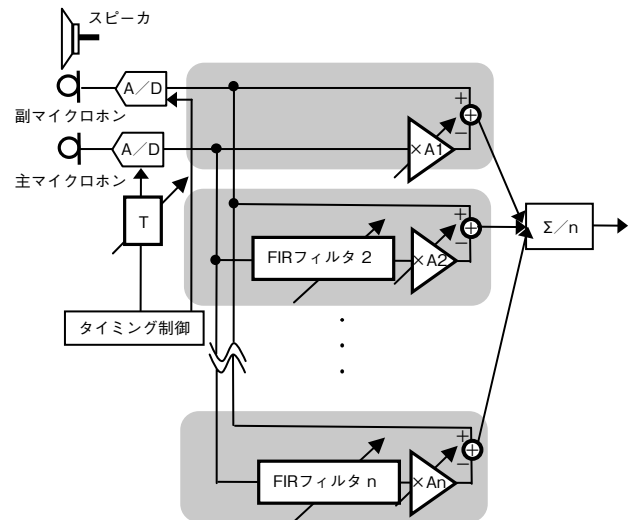


図8 平均化処理アルゴリズム

このアルゴリズムは、以下の特徴を有する。

- (1) 周波数帯域を n 分割する。
- (2) 分割した帯域ごとに、3.3節で調整した遅延時間との差分をFIR (Finite Impulse Response) フィルタにより線形予測する。
- (3) 近似処理したデータをレベル調整する。
- (4) 各周波数帯域でキャンセル処理したデータを平均化処理する。

3.5 評価結果

3.2～3.4節で考案した音響構造とエコーキャンセルアルゴリズムを適用し、スピーカから回り込む音響エコーのキャンセル量を評価した結果と、当社で開発したDSPを用いた従来方式³⁾によるキャンセル量の評価結果を図9に示す。

本エコーキャンセル方式の特徴は以下のとおりである。

- (1) DSPを用いた方式に比べてロジックエレメント規模が小さく、複雑な演算を必要としない簡便なロジックである(表2(a))。
- (2) エコーキャンセル量の最大値はDSPを用いた方式に劣るものの、最低値は3 dB高く、ハウリングが起こりにくい(表2(b))。

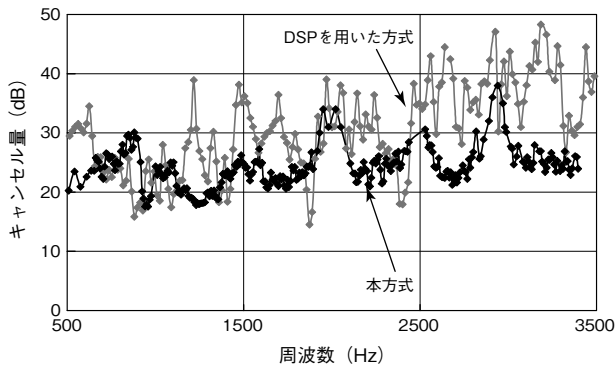


図9 エコーキャンセル特性結果

表2 音響エコーキャンセルの効果

項目	本方式	DSPを用いた方式
(a) ロジックエレメント規模	約8kゲート	約92kゲート
(b) キャンセル量	最大値	38 dB
	最低値	20 dB
		48 dB
		16 dB

4. 発音体の音響構造

4.1 キャビネット構造

図10に示す1/4波長音響管内蔵型密閉構造を考案し、キャビネット内の音響構造を開発した。容積の小さいキャビネットを気密封止した場合、キャビネット内のスチフネスが大きくなり、キャビネット内の音圧が低下する。キャビネット内の音圧が低下するとスピーカの放射音圧も低下して共振周波数 f_0 が上昇するため、現実的ではない。一般的にこの問題を回避する手段にバスレフ構造⁴⁾がある。しかし、本方式ではスピーカから回り込んだ音に対してキャンセル処理をするため、バスレフポートから回り込んだ音を低減させることは困難である。

筆者らが考案した1/4波長音響管内蔵型密閉構造は、低周波数域で音響管とキャビネット内空気の音波を共鳴させることでキャビネット内の音圧を上げ、 f_0 上昇の主要因である空気のスチフネスを小さくするものである。

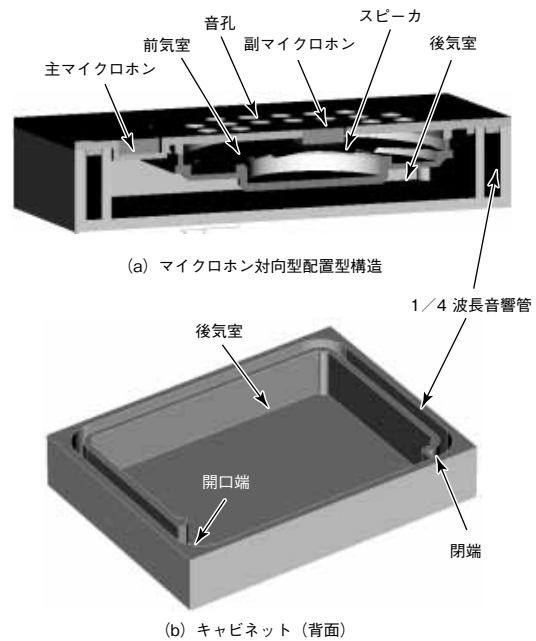


図10 1/4波長音響管内蔵型密閉構造

4.2 等価回路

音響管のインピーダンスを表す式(3)を適用した f_0 の計算値と実験値の結果を図11に示す。

$$Z_p = -jZ_0S \cot(-j\gamma)(L_x + \Delta L) \quad (3)$$

ここで Z_p は音響管の音響インピーダンス、 Z_0 は特性インピーダンス、 γ は伝播係数、 L_x は音響管長、 ΔL は開口端補正、 S は音響管断面積である。

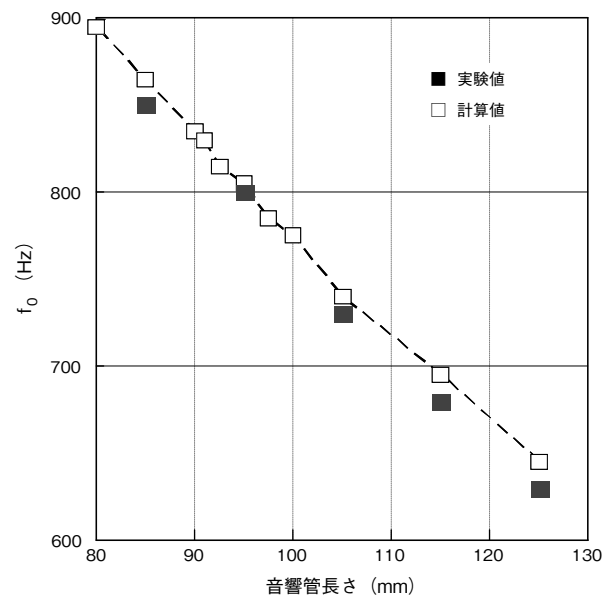


図11 音響管長さ f_0 の関係

計算値と実験値が良く一致しており、1/4波長音響管内蔵型密閉構造の電気的な等価回路モデルは図12のとおり表すことができる⁵⁾。具体的には図10で示した音孔、前

気室、スピーカ、振動板、後気室等の構成要素を電気インピーダンスに置き換え、さらに式 (3) から得られた音響管を後気室インピーダンスと並列に配置している。

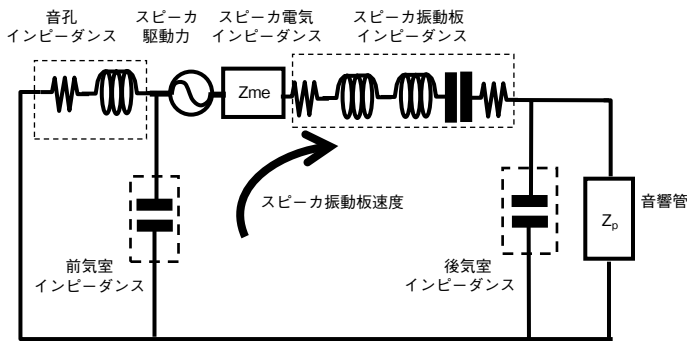


図12 等価回路モデル

4.3 音響解析

図12で示した等価回路を用いて、キャビネット内の共鳴周波数が750 Hzになるように音響解析シミュレーションを行い、キャビネット内の音圧への影響を可視化する。

汎用の音響解析ソフトウェア (LMS社製, SYSNOISE) を用いてキャビネット内の音圧の解析結果を図13に示す。密閉構造のときのキャビネット内の均一な音圧を0 dBとした場合 (図13 (a)), 音響管を内蔵したときは開口端付近で音圧が低下しており (図13 (b)), 音響管による共鳴効果が確認できる。

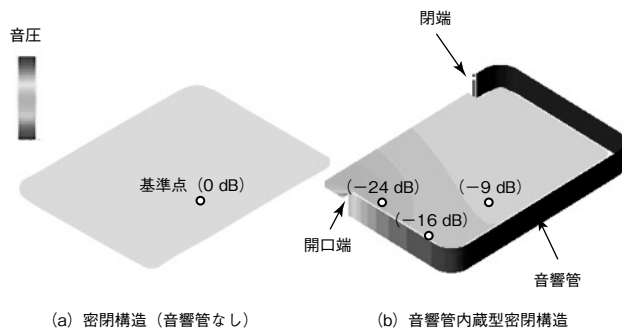


図13 音響管によるキャビネット内の音圧

4.4 評価結果

f_0 が750 Hzの音響管を内蔵するハンズフリー通話モジュールと内蔵しないものを試作して、それぞれの音圧特性を測定する。そのときの放射音圧特性と音響管内蔵による結果を図14と表3に示す。音響管なしのモジュールは f_0 が1.2 kHzであるのに対し、音響管ありではねらいどおりの750 Hzとなっていることがわかる。また、1 kHz以下の帯域においても音圧向上がみられる。

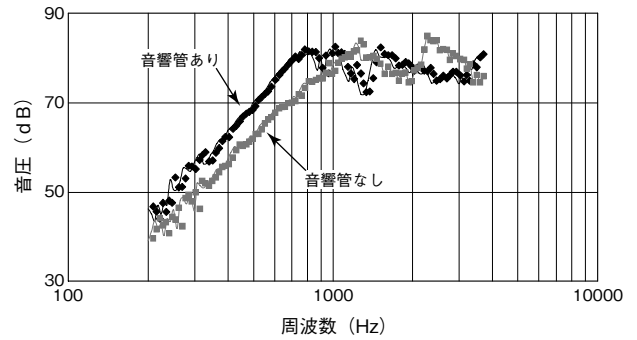


図14 1/4波長音響管の放射音圧特性

表3 1/4波長音響管内蔵型密閉構造の効果

項目		本構造による効果
音圧向上量		
音圧向上量	500 Hz	7.2 dB up
	750 Hz	8.6 dB up
	1.0 kHz	2.3 dB up
f_0 の低減効果		1.2 kHz → 750 Hz

5. あとがき

住宅空間における音の快適性向上を目的として、各部屋に容易、かつ低コストで設置可能な住宅設備用ハンズフリー通話モジュールを開発した。筆者らは独自技術のマイクロホン対向型音響構造、2マイクロホンの位相制御方式およびエコーキャンセルアルゴリズムにより、DSPによるエコーキャンセル処理と同等の性能を有しながら複雑な演算処理が不要なハンズフリー通話モジュールを実現することに成功した。さらに、マイクロホンの位相に影響を与えない1/4波長音響管内蔵型密閉構造の開発により、薄型かつ小型のハウジングでも低域の音量向上を可能とした。また、住宅用設備コンポーネント等に本モジュールを用いることで、音響設計の品質を向上させ、かつ設計工数を大幅に削減することが可能となる。

本研究の成果により、今後の住宅空間における音の快適性を高めるハンズフリー通話モジュールを実現し、さらに住宅設備以外の製品でも本ハンズフリー通話モジュールを組み込むことで、高品質な音声通話機能を容易に備えることが可能となった。

*参考文献

- 1) 吉田 恵一, 福島 実, 竹山 博昭: 双方向通話型の浴室用ハンズフリーインタホン, 松下電工技報, Vol. 52, No. 4, p. 32-36 (2004)
- 2) 猿渡 洋: アレー信号処理を用いたブライド音源分離の基礎, 電子情報通信学会誌, Vol. 101 No. 31 p. 49-56 (2001)
- 3) 福島 実, 吉田 恵一: 双方向同時通話型ハンズフリーインタホン, 松下電工技報, Vol. 55, No. 1, p. 61-67 (2007)
- 4) 高澤 誠, 醍醐 徹, 金田 豊: 音の可視化を利用したバスレフ型スピーカの周波数特性の検討, 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, 1-P-1, (2008)
- 5) 宇津野 秀夫, 坂谷 亨, 山口 善三: 伝達行列法による多孔板吸音特性の実験的研究, 日本音響学会誌, 59 卷 (6 号), p. 301 (2003)

◆執筆者紹介



北田 耕作
情報機器開発部



赤坂 修
情報機器開発部



木本 進弥
先行技術開発研究所



有川 泰史
先行技術開発研究所



吉田 恵一
情報機器 R & D センター