

# 博士論文概要

## 論文題目

A Study on Miniaturizing Microphone Array  
Utilizing Aggregated Microphones

集中マイクロホンによるマイクロホンアレイの小型化  
に関する研究

## 申請者

氏名

松本	光春
Mitsuharu	Matsumoto

専攻・研究指導  
(課程内のみ)

物理学及応用物理学専攻・情報工学研究

2005年 12月

マイクロホンアレイは複数のマイクロホンを異なった場所に置き、その位置関係の違いを利用して雑音除去や音源定位を実現する技術である。

近年、テレビ会議や音声認識装置、デジタル補聴器などの利用が進展するにつれ、高品質受音装置への需要はますます高まりを見せており、ロボットや、会議システムなどマイクロホンアレイの応用範囲は広がり始めている。

既出のように、マイクロホンアレイでは複数のマイクロホンを異なった場所に置き、その位置関係の違いを利用して雑音除去や音源定位を実現する。そのため、従来のマイクロホンアレイでは、システムにある程度の大きさが必要であり、システムの小型化が難しい。この問題を解決することは、マイクロホンアレイの適用範囲を広げる上で非常に重要である。

本論文では、従来のマイクロアレイ（以下、位相型マイクロホンアレイと呼ぶ）の問題を解決する集中型マイクロホンアレイを提案し、その理論的な枠組みと有効性を実証した。

本論文の第1章では、本研究の背景と目的を述べ、本論文の構成を示した。

本研究の目的は、集中型マイクロホンアレイを小型化すること。そして、その適用範囲が、位相型マイクロホンアレイに遜色ないことを示すことにある。

そのために、本論文では、位相型マイクロホンアレイにおける既存技術を、集中型マイクロホンアレイに適宜適用し、その有効性を確かめた。また、位相型マイクロホンアレイにはない集中型マイクロホンアレイ特有の性質を用いた、新たなブラインド音源分離手法に関する提案も行った。

第2章では、位相型マイクロホンアレイと提案する集中型マイクロホンアレイについて定式化を行い、その特徴を述べた。

位相型マイクロホンアレイは、通常、複数の無指向性マイクロホンを互いに異なった場所におき、各マイクロホンに入る音の位相差、振幅差を利用することで雑音除去や音源定位を実現した。位相型マイクロホンアレイにある程度の大きさが必要であることは位相型マイクロホンアレイの持つ原理的な問題であり、従来の位相型マイクロホンの枠組みでは小型化が非常に困難であるといえる。

一方、集中型マイクロホンアレイでは、複数のマイクロホンを同位置に置く。

その代わりにマイクロホンとして無指向性マイクロホンではなく、指向性マイクロホンを用い、各マイクロホンの伝達特性の違いを用いることで雑音除去や音源定位を実現する。本章での記述により、位相型マイクロホンアレイと集中型マイクロホンアレイは数学的に同じ枠組みで記述できることを示し、位相型マイクロホンアレイの手法が、集中型マイクロホンアレイにも無理なく適用できることを示した。

第3章は、一般に適応型マイクロホンアレイと呼ばれる雑音抑制技術の集中型マイクロホンアレイへの適用例について述べた。

第3章では、第2章に示した枠組みの中で、パワーインバージョンアダプテ

ィブアレイ、及び、DCMP アダプティブアレイについて、集中型マイクロホンアレイでの理論展開を行った。パワーインバージョンアダプティブアレイは、ひとつの素子ウェイトを一定値に固定した状態で、アレイ出力を最小化する手法であり、振幅の大きい信号ほど、その方向に深いヌルが形成される。パワーインバージョンという名前は、この特徴に由来する。パワーインバージョンアダプティブアレイは、アレイの自由度が妨害音の数と等しく、所望音の振幅が妨害音の振幅よりも小さい場合に有効な手法である。

また、DCMP アダプティブアレイは、方向拘束付アダプティブアレイとも呼ばれ、目的とする方向に対して、出力を拘束しながら、アレイからの出力を最小化することで雑音を抑制する手法として知られる。この手法は到来方向が既知である必要があるが、広帯域信号や角度的に広がりを持つような従来適用対象からはずされていた入力に対しても適用可能性が増し、音響における処理でもよく利用されている。

第4章では、到来方向推定技術の集中型マイクロホンアレイへの適用例について記述した。

本章では、位相型マイクロホンアレイにおける代表的な到来方向推定技術である線形予測法、Capon 法、MUSIC 法を、集中型マイクロホンアレイに適用した。線形予測法は、到来方向に対してヌル点を形成することで、到来方向推定を行うものであり、その拘束条件は、パワーインバージョンアダプティブアレイと同等であることが知られる。

また、Capon 法は、ある方向にメインローブを向けると同時にほかの方向からの出力への寄与を最小化することで、到来方向の推定精度を向上させた手法である。この考え方は、DCMP アダプティブアレイの考え方と同等であり、拘束条件は、DCMP アダプティブアレイと同様に設定できる。

MUSIC 法は、相関行列の特徴を積極的に利用することで、到来方向の推定精度を向上させた手法であり、到来方向推定技術として、現在多く利用されている。

第5章では、集中型マイクロホンアレイの別の適用例として、音源分離手法 SAFIA の集中型マイクロホンアレイへの適用例を示した。SAFIA は、音源が周波数軸上で互いに重ならない調和構造を持つと仮定し、各周波数成分が目的音と雑音のどちらに属するかを判断することで2つの音源を分離する手法である。このような音源の調和構造に注目したアプローチは、従来のマイクロホンアレイのアプローチとは異なるアプローチ法として現在、注目を集めている。

また、第6章では、集中型マイクロホンアレイの特性を生かした新しいブラインド音源分離法について述べた。ここまでの手法は、マイクロホンの伝達特性を事前に知る必要があったが、提案する手法はマイクロホンの特性を事前に知る必要がない。また、この手法は、SAFIA と異なり、周波数軸上で、音源の大部分が重なっていても音源を分離することができ、また、その周波数軸上で

の重なり部分についての事前情報を必要としない。そして、一度、分離ができてしまえば、マイクロホンの指向特性を未知の状態から決定することができる。

これらの特性は、集中型マイクロホンアレイで必要となるマイクロホンの伝達特性の事前測定を簡略化できる可能性を示唆しており、集中型マイクロホンアレイの実用上の可能性を強く示すものである。

第7章以降では、記述した手法に関する実験結果を報告した。

第7章では、適用型マイクロホンアレイの性能評価実験について述べた。ここでは、実験環境に関する説明と、パワーインバージョンアダプティブアレイとDCMPアダプティブアレイそれぞれについて最適な重みの設定方法と、結果として生成される指向特性について報告した。位相型マイクロホンアレイと同様、パワーインバージョンアダプティブアレイでは、振幅の大きな信号の方向に指向特性のヌルが形成されることを示した。また、DCMPアダプティブアレイでは、雑音方向として設定された方向にヌルが形成されることを示した。

第8章では、線形予測法、Capon法、MUSIC法に対し、その実験環境と実験結果について記述した。そして、線形予測法、Capon法、MUSIC法、それぞれについて、有意な音源定位結果が得られていることを確認した。

第9章では、SAFIAによる音源分離の結果についての実験結果を報告し、その可能性について述べた。集中型マイクロホンアレイによるSAFIAは従来のSAFIAと同程度の性能を持ちながら、小型で携帯性の高い音源分離システムを実現することができることを示した。

第10章では、ブラインド音源分離の結果について、人工音、楽器音、人の声で実験を行った結果を報告し、SAFIAの結果と比較しながら、その可能性について述べた。

第11章では、本研究を総括し、結論及び展望を述べた。

本研究で提案する集中型マイクロホンアレイは、位相型マイクロホンアレイと同等の性能を持ちながら、原理的に小型化が非常に容易である。という大きな利点を持つ。この特徴は、家庭用小型ロボットなど、マイクロホンアレイの適用範囲を大きく広げるものであるといえる。

最後に、理論と応用の両側面から本研究の展望を記述した。

理論面からは、本研究で提案したブラインド音源分離と既存のマイクロホンアレイの組み合わせによるより実用的なシステム開発の可能性に関して述べた。また、応用面からは、実ロボットへの集合型マイクロホンアレイへの適用可能性や音声認識機構との連携などについて記述した。

## 研 究 業 績

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
論文	Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "Modified SAFIA utilizing aggregated microphones", The 3rd IASTED International Conference on Signal Processing, Pattern Recognition, and applications, Innsbruck, Austria, Feb 15-17, 2006 (掲載決定)
論文	Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "A Miniaturized Adaptive Microphone Array Under Directional Constraint Utilizing Aggregated Microphones", Journal of Acoustical Society of America (掲載決定).
論文	Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "DOA estimation utilizing power inversion adaptive array by aggregated microphones", The 5th IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, Athens, Greece, Dec 18-21, 2005 (掲載決定).
論文	Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "Minimum variance method by aggregated microphones", Proc. of 8th International Conference on Signal Processing and Its Applications, pp.879-882, Sydney, Australia, Aug 28-31, 2005.
論文	Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "Multiple signal classification by aggregated microphones", IEICE transaction on Fundamentals, Vol.E88-A, No.7, pp.1701-1707, 2005.
論文	Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, " A Miniaturized Sound Localization System Using Aggregated Microphones", Proc. of 2005 Joint Workshop on Hands-Free Speech Communication and Microphone Arrays, pp.c9-c10, New Jersey, USA, Mar 17-18, 2005.
講演	Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, "Sound Localization by Two Aggregated Microphones", 第 52 回 数理モデル化と問題解決研究会, pp.17-20, 東京, 2004 年 12 月 20 日-21 日.
講演	松本光春, 橋本周司, "同位置マイクロホンの伝達特性を利用したサウンドフォーカスと音源定位", 応用(電気)音響研究会, pp.7-12, 東京, 2004 年 6 月 25 日.
講演	Mitsuharu Matsumoto, Shuji Hashimoto, " Aggregated Microphones Method for Sound Localization", 第 48 回 数理モデル化と問題解決研究会, pp.3-6, 下呂, 2004 年 3 月 1 日-2 日.
講演	松本光春, 橋本周司, "同位置に置かれた複数マイクの伝達特性を利用した音源定位手法," 電子情報通信学会 2004 年総合大会講演論文集, CD-ROM, 東京, 2004 年 3 月 22 日-25 日.

講演	松本光春 橋本周司, "同位置に置かれたマイクロホンの指向特性を利用した音源分離," 日本音響学会平成 15(2003)年春季講演論文集, pp.685-686, 東京, 2003年3月18日-20日.
特許	橋本 周司, 松本 光春, 中村 淳良, "信号分離方法およびその装置", 2004年10月.
その他 (著書)	松本光春, "PowerPoint スライド&プレゼン ユーザー便利帳", 秀和システム, 2005年7月.
その他 (著書)	松本光春, "10日でおぼえる Fedora Core4 サーバ構築・管理入門教室", 翔泳社, 2005年7月.
その他 (著書)	松本光春, "UNIX ユーザーコマンドリファレンス ユーザー便利帳", 秀和システム, 2005年5月.
その他 (著書)	松本光春, "リピーターをがっちりつかむインターネット戦略 128 の法則", ソフトバンクパブリッシング, 2005年3月.
その他 (著書)	松本光春, "apache 辞典", 翔泳社, 2004年9月.
その他 (著書)	松本光春, "アフィリエイトではじめる! ホームページウハウハ副業生活", 翔泳社, 2004年1月.
その他 (著書)	松本光春, "10日でおぼえる Red Hat Linux9 サーバ構築・管理入門教室", 翔泳社, 2003年7月.