

氏 名	東 貢 男
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成元年12年13日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最 終 学 歴	昭 和 31 年 3 月 茨城大学工学部電気工学科卒業
学 位 論 文 題 目	音源分離用円弧配列マイクロホクシステムの感度の 空間特性に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 城戸 健一 東北大学教授 曾根 敏夫 東北大学教授 中村 僖良 東北大学助教授 牧野 正三

論 文 内 容 要 旨

本研究の目的は、多数の騒音源が存在する厳しい環境の中で、狙った対象音源だけを分離測定するための受信装置を開発することにある。

本研究は、次の4つの主題を中心に行っている。

- (1) 円弧配列マイクロホンの感度の空間特性に関する理論的検討
- (2) 円弧配列マイクロホンの感度の空間特性に関する実験的検討
- (3) 交差形円弧配列マイクロホンシステムの感度の空間特性に関する理論的検討
- (4) 交差形円弧配列マイクロホンシステムの実用化に関する実験的検討

円弧配列マイクロホンの基本原理は、任意の半径の円周上で等間隔に配列した小型マイクロホン素子の各出力に荷重を加えた後に合成するもので、マイクロホン配列の構成寸法は、実用に近いかたちとして、配列マイクロホンの曲率半径が5 m、マイクロホン素子の配列間隔が2 cm、マイクロホン素子数が101個で配列の全長は2 mとした。

交差形円弧配列マイクロホンシステムの基本原理は、2本の配列マイクロホンをX字またはV字状の交差とし、2配列マイクロホンにおける各合成出力のクロスパワーをとるものである。

円弧配列マイクロホン、ならびに交差形円弧配列マイクロホンシステムは、音場空間(x , y , z)内で、座標原点(配列の焦点)上に置いた対象音源を、周囲の騒音源から分離して測定することを目的とする。したがって、その特性を従来の指向性の概念によって表すのは適当ではなく、本論文では、 z 軸方向から配列マイクロホンで対象音源を狙ったときの x - y 平面上(または y 軸上)

で音源を移動したときの、マイクロホンシステムの出力を音源位置の関数として表している。その特性を感度の空間特性と称する。

[1] 円弧配列マイクロホンの感度の空間特性に関する理論的検討

円弧配列マイクロホンの感度の空間特性曲線性は、メインローブとサイドローブによって形成される。メインローブの幅（空間分解能）とサイドローブの尖頭値の大きさは、各マイクロホン素子の出力へ付加する荷重関数の種類によって異なる値を示す。ここでは、実際的な利用の点で、ハミング荷重関数が適当な荷重関数であることを確かめた。以後においては、付加荷重関数にハミング関数を採用することにした。この場合、配列マイクロホンは、配列方向の空間分解能に優れ、かつ、サイドローブの尖頭値はすべて -43dB 以下に抑えられる。

次に、マイクロホン素子の感度のばらつきが、特性に与える影響について調査している。感度の振幅のばらつきが、特性に与える影響は小さい。しかし、感度の位相のばらつきは、サイドローブの尖頭値を上昇させる形で特性を悪化させる。実際に使用を予定した小型マイクロホン素子について抜き取り測定を実施したところ、相対感度は $\pm 1\text{dB}$ 以内に収まっていた。また、相対位相は無視しうる程に小さいので、商用の小型マイクロホン素子を用いても、特性を十分に満足できるとの見通しがつけられた。

構造上の寸法精度については、焦点と各マイクロホン素子間の距離ばらつきがあるとき、サイドローブの尖頭値に与える影響は大きい。特に、高域の信号ほど特性劣化が顕著である。その他の寸法精度による影響は軽微である。

[2] 円弧配列マイクロホンの感度の空間特性に関する実験的検討

試作円弧状配列マイクロホンにおける感度の空間特性の測定実験は、無響室と屋外とで行った。また、その結果をふまえて、構造精度のばらつき問題、各マイクロチャンネルの感度と位相にばらつきがある場合、クロストークの存在、マイクロホン素子の欠落問題等が、特性に及ぼす影響について検討した。

試作配列マイクロホンの感度の空間分布特性を測定したところ、空間分解能は理論値どおりに求められる。しかし、サイドローブの尖頭値は、約 -20dB まで上昇悪化した。特性劣化要因の分析では、

- (1) マイクロホン素子の感度の振幅のばらつきが、サイドローブの尖頭値に与える影響は小さい。
- (2) マイクロホン素子の感度の位相ばらつきが、サイドローブの尖頭値に与える影響は大きい。
- (3) 配列のマイクロホン素子数の増加は、感度の振幅・位相のばらつきによる特性劣化を軽減させる。
- (4) クロストークの存在は、サイドローブの尖頭値を上昇悪化させる。
- (5) 配列の中央部付近でマイクロホン素子の欠落があるとき、少数個であってもサイドローブに与える影響は大きい。

[3] 交差形円弧配列マイクロホンシステムの感度の空間特性

交差形円弧状配列マイクロホンシステムは、複数個の配列マイクロホンの中心部、または、配列マイクロホンの終端で交差させた構成となる。

交差形円弧配列マイクロホンシステムの感度の空間特性曲線は、主極大値と副極大値とによって形成される。交差形円弧配列マイクロホンシステムによる分離測定には2通りの方法がある。一つは、数個の配列マイクロホン出力を加算する方法、他の一つは、2個の配列マイクロホン出力間のクロススペクトルをとる方法である。前者を「加算法」、後者を「クロススペクトル法」と呼ぶ。

(1) 加算法によれば、配列マイクロホンの個数を増加するにしたがい、焦点上の空間感度は増大する。そして、空間感度は組数 N について $20\log N$ [dB] の値を示す。しかし、配列システムの規模は大きくなる。加算法による配列システムは、焦点上の音源の波形収録に用いることができる。

(2) クロススペクトル法によれば、最小個数の組み合わせによって空間分解能を向上できる。2配列システムを直交させれば、すべての方向で一様な空間分解能が得られる。また、交差角度を 30° 以上に保つとき、直交の場合と大差のない空間分解能が得られる。本方式は、実時間での適用や音源波形の収録に使うことはできないが、機械類の特定部分から発する異常音の測定等に機能を発揮すると考えられる。

[4] 交差形円弧配列マイクロホンシステムの実用化に関する実験的検討

試作交差形配列マイクロホンシステムは、配列終端を約 90° の交差角で交差させたV字形とし、周囲騒音源の中から対象音源の分離測定はクロススペクトル法によって行った。この場合、空間分解能は良好であるが、配列マイクロホンにおけるサイドローブの尖頭値が -43dB 以下に収められたのに対し、クロススペクトル法による交差形配列マイクロホンシステムでは、配列に直交する2直線上に -22dB の副極大値が現れるため、分離の度合いは、総合して -22dB 劣化する。

試作V字形配列マイクロホンシステムを用いた屋外と屋内実験を通して、周囲騒音源が存在する中で、焦点上の音源を分離測定できることを確かめた。

焦点上の音源には 1kHz または 2kHz の純正弦波を、そして、周囲騒音源には白色雑音源または機械類の騒音を用いている。実験的な検討を通して、次のような事柄が見出された。

(1) 屋外測定においては、空間分解能は理論値と同じ値をとる。音源のクロススペクトル測定では、副極大値が理論値 -43dB より 15dB 程度悪化する。しかし、周囲の騒音源が焦点上の音源から 2m 以上離れてさえいれば、広帯域で効果的な分離が可能である。風の影響による誤差は、100回の加算平均処理によって -10dB まで軽減することができる。

(2) 屋内測定においては、副極大値が理論値 -43dB より 20dB 程度悪化する。屋外測定に比較して、測定スペクトルに残響音または定在波の影響による細かい脈動を生じるが、全体としてほぼ同様の傾向が見られる。

円弧配列マイクロホンは、構造精度を保って製作するならば、現状のままで実用化が可能である。本配列マイクロホンは、配列方向の空間分解能に優れ、サイドローブの尖頭値も -43dB と良好な特性を有する。ただし、配列に直交する方向では、音源の分離機能を有しない。

交差形円弧配列マイクロホンシステムは、マイクロホン素子の感度特性のばらつき、あるいは構造上の寸法誤差等の影響によらず、比較的安定した特性を有する。また、空間分解能は、 $x-y$ 平面上で焦点上に対する全周方向において一様な値を示す。本円弧配列マイクロホンシステムの使用によれば、屋内外の実際的な条件の中において、機械系、その他の異常音の検出、または音響モニタリング用の測定装置としてその機能を発揮することができる。

審 査 結 果 の 要 旨

騒音の制御や音による機械系の監視・診断等のためには、多数の騒音源が存在する環境において、測定対象の音源の位置とスペクトルを、他の音源から発生する音と分離して測定することが必要である。しかし、従来から用いられている指向性マイクロホンは、遠距離音場を対象とするため、この目的には適さない。本論文は、この目的の達成を円弧配列マイクロホンとデジタル信号処理技術の利用によって行った研究の成果をまとめたもので、全文6章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、本研究の基礎となる、円弧配列マイクロホンの近傍音場特性を理論的に検討し、各マイクロホン素子の出力にかかる重み関数と、素子の感度と配列のばらつきの影響を明らかにしている。

第3章では、前章で理論的に検討した結果について計算機シミュレーションと試作円弧配列マイクロホンによる詳細な実験を行い、理論的検討の結果が当を得たものであることを確認している。

第4章では、2本以上の円弧配列マイクロホンを用いて空間感度特性を改善する方法について、理論的な検討を行っている。これにより、複数個の配列マイクロホンの出力の和を用いる方法では、多数の円弧配列マイクロホンを用いても良好な特性を得ることができないが、2本の配列マイクロホンの出力のクロススペクトルを用いれば、容易に高い空間分離特性が得られることを示し、また、そのときに、円弧配列マイクロホンを中央で交差させる代りに端で交差させてV字形にしてもよいことを明らかにしている。これらは、実用化のために有用な優れた着想である。

第5章では、前章の結果を計算機シミュレーションと試作配列マイクロホンシステムを使った実験によって確かめ、さらに、屋内外における実験により実用上の問題を検討し、外部騒音が存在する場合にも音源の発生する音のスペクトルを求め得ることを実証している。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、多数の音源が存在するときに各音源を分離して測定することを目的として、円弧配列マイクロホンの特性を詳細に検討するとともに、新しい処理方式を提案して有用な知見を得たもので、情報工学ならびに音響工学の進歩に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。