

氏名（本籍）	森 淳一（栃木県）		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	甲第 181 号		
学位授与の日付	平成 26 年 3 月 22 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
学位論文題目	広域防災放送システムの音響設計のための可聴型シミュレーションシステムに関する研究		
論文審査委員	（主査）	教授	佐藤 史明
	（副査）	教授	鎌田 元弘
		教授	矢野 博夫
		教授	橘 秀樹
		東京大学 生産技術研究所 准教授	坂本 慎一

学位論文の要旨

広域防災放送システムの音響設計のための可聴型シミュレーションシステムに関する研究

本論文では、広域防災放送システム（防災行政用無線同報系）の音響設計やその設計指針を検討するための聴感実験を行う手法として、コンピュータシミュレーションによって計算した音場を実験室内に 3 次元的に再現する可聴型シミュレーションシステムを考案し、その有効性を検討している。

日本では、屋外にいる人々に音響情報を伝えるための伝達手段として、広域防災放送システムの整備が進められており、地域内の複数個所に設置されたスピーカシステムから災害の発生やその後の避難誘導を伝えるアナウンスが一斉に放送されている。しかし、複数のスピーカシステムからの直接音や近隣の建物からの反射音は、長い遅れ時間を持ったマルチパスエコーとなり、それによって放送されたアナウンスの明瞭性が低下しがちである。この放送システムのアナウンス信号は、無線通信を利用することによって各スピーカシステムへ伝送されているために、その設計は無線通信システムの一部として取り扱われ、アナウンスがスピーカシステムから放送される部分については、音響的な設計指針の検討が不十分である。このような放送システムの音響設計を考える場合、適切な音響情報信号の作成、スピーカシステムの最適設計（配置計画、指向性制御等）、屋外音響伝搬（インパルス応答）の把握、音響情報の伝達特性の聴感評価などの多くの要素を組み合わせた設計手法を研究・開発する必要がある。また、この種のシステムの効果を検討する場合、実際に現場で行う聴感実験も有効であるが、その実施には諸々の条件によって大きな困難が伴う。そこで、実験室内に音場をシミュレートし、実験条件を自由に变化させながら不特定多数の被験者を対象に聴感実験を行う手法が有効であると考えられる。その場合、広域防災放送の明瞭性の低下を引き起こすマルチパス

エコーは、いろいろな方向から到来することが大きな問題であり、これを含めて検討するためには、音の3次元的な空間情報も再現できる手法を用いる必要がある。その点で、本論文で提案する3次元の可聴型シミュレーションシステムは、広域防災放送システムの音響設計並びに検討に有効であり、これを用いて様々な音場条件について聴感実験を行うことによつて、将来、音響的な視点から広域防災放送システムの設計指針を確立することも可能であると考えられる。

本論文は以下の6つの章で構成されている。

第1章では、広域防災放送システムの概要と可聴型シミュレーションシステムの必要性を述べている。

第2章では、広域防災放送システムに関する既発表の論文の中から、本論文と関連性のある研究を紹介している。

第3章では、屋外音響伝搬の把握手法に関する概要とその基礎的な検討の詳細を述べている。本研究では、屋外音響伝搬を把握するコンピュータシミュレーションとして、音響伝搬計算法の中でも最も単純な幾何音響シミュレーションに基づく虚像法を適用している。まずこの幾何音響シミュレーションによる計算方法をまとめている。本研究は、可聴型シミュレーションシステムの有効性を検討することが目的であるため、幾何音響シミュレーションによる計算では、均質な音場を仮定し、単純な条件をモデル化している。つぎにそのシミュレーションの精度を調査するために応用した現場測定法(Swept-Sine法とクロススペクトル法)をまとめている。さらに幾何音響シミュレーションの利用可能性を基礎的に検討するために、比較的穏やかな気象条件下において広域防災放送システムの音響伝搬の現場測定を行い、その測定結果と幾何音響シミュレーションによる計算結果を比較している。その結果から、本手法が広域防災放送システムの音響伝搬予測に対して有効であることを述べている。今後の課題としては、幾何音響シミュレーションの手法をさらに高度化し、気象の条件、地表面効果、回折効果、拡散効果などを詳細に反映できる手法の開発の必要性を述べている。

第4章では、音場を実験室内に3次元的に再現する音場再現手法の概要と幾何音響シミュレーションと音場再現手法を組み合わせる方法、組み合わせた可聴型シミュレーションシステムを適用した検討の詳細を述べている。本研究では音場再現手法として、マルチチャンネル手法の中でも比較的簡便な6チャンネル收音・再生手法を適用している。まずこの手法について、既往の研究成果に基づいてその精度と原理をまとめている。この手法の再生システムを利用するためには、幾何音響シミュレーションの計算結果に基づいて6チャンネルの音圧信号を合成する必要がある。その方法としては、幾何音響シミュレーションによって得られた各パルス(スピーカシステムからの直接音や優勢な反射音)の入射方向情報を基に6チャンネルマイクロホンのカーディオイド型単一指向特性の指向係数を計算し、その係数を無指向性收音の音圧に重みづけることによつて6方向に振り分ける新たな方法を適用している。つぎにこの手法を実際に適用して、広域防災放送システムが整備されている地域における6チャンネル收音システムを用いた現場測定の結果と幾何音響シミュレーションによる計算結果との対応を調べ、両者がかなりよく一致することを確かめている。さらに、本学の音響実験スタジオ内に設置されている6チャンネル再生システムを用いて単独反射音の音像定位実験、6チャンネル收音システムを通して実際に録音したアナウンスとシミュレーションで合成したアナウンスの聞き取りにくさに関する比較実験を行い、この手法の有効性を示している。

第5章では、広域防災放送システム設計の上での本可聴型シミュレーションシステムの有

効性を調べるために、スピーカシステムを構成するホーン型スピーカの数とその向きを考慮することによってアナウンスの聞き取りにくさが改善できる可能性に着目したケーススタディの結果を述べている。

第6章では、本論文の総括と今後の展望をまとめている。

審査結果の要旨

本論文は、広域防災放送システム（防災行政用無線同報系）の音響設計やその設計指針を検討するための聴感実験を行う手法として、コンピュータシミュレーションによって計算した音場を実験室内に3次元的に再現する可聴型シミュレーションシステムを考案し、その有効性を検討したものであり、全6章で構成されている。

第1章では、広域防災放送システムの概要と可聴型シミュレーションシステムの必要性を述べている。

第2章では、広域防災放送システムに関する既発表の論文の中から、本論文と関連性のある研究を紹介している。

第3章では、屋外音響伝搬の把握手法に関する検討について述べている。本研究では、屋外音響伝搬を把握するコンピュータシミュレーションとして、音響伝搬計算法の中でも最も単純な幾何音響シミュレーションに基づく虚像法を適用しており、まずこの幾何音響シミュレーションによる計算方法をまとめている。つぎにそのシミュレーションの精度を調査するために応用したインパルス応答の現場測定法（Swept-Sine法とクロススペクトル法）についてまとめている。そして、幾何音響シミュレーションの利用可能性の基礎的な検討として、比較的穏やかな気象条件下において広域防災放送システムの音響伝搬の現場測定を行い、測定によって得られたインパルス応答と幾何音響シミュレーションによる計算結果を比較している。その結果から、提案の手法が広域防災放送システムの音響伝搬予測に対して有効であることを示している。

第4章では、音場を実験室内に3次元的に再現する音場再現手法の概要を述べた上で、幾何音響シミュレーションと6チャンネル再生手法を組み合わせた可聴型シミュレーションシステムを提案し、各種検討を行っている。

まずこの手法について、既往の研究成果に基づいてその精度と原理をまとめている。幾何音響シミュレーションによって計算した結果に基づいて6チャンネル再生のための信号を得る方法としては、計算によって得られた各インパルス（スピーカシステムからの直接音や優勢な反射音）の入射方向情報を基に6チャンネル再生手法のためのマイクロホンのカーディオイド型単一指向特性の指向係数を計算し、その係数を無指向性收音の音圧に重みづけることによって6方向に振り分ける新たな方法を適用している。この手法を実際に適用し、広域防災放送システムが整備されている地域において、6チャンネル收音システムを用いた現場測定の結果と幾何音響シミュレーションによる計算結果との対応を調べ、両者がかなりよく一致する

ことを確かめている。さらに、本学の音響実験スタジオ内に設置されている6チャンネル再生システムを用いて単独反射音の音像定位実験、6チャンネル收音システムを通して実際に録音したアナウンスとシミュレーションで合成したアナウンスの聞き取りにくさに関する比較実験を行い、提案の手法の有効性を示している。

第5章では、広域防災放送システム設計の上での提案した可聴型シミュレーションシステムの有効性に関する検討について述べている。スピーカシステムを構成するホーン型スピーカの数とその向きを考慮することによってアナウンスの聞き取りにくさが改善できる可能性に着目したケーススタディの結果を通し、提案の手法の音響設計ツールとしての有効性を示している。

第6章では、本論文の総括と今後の展望をまとめている。

以上、本論文は、建築都市環境工学分野における研究として極めて重要なテーマの一つである都市・地域環境の安全性に関わる問題に取り組んだものであり、その研究の進め方も十分な信頼性を有しており、提案した可聴型音響設計手法は、広域防災放送システムからのアナウンスの明瞭性確保のための設計ツールとして非常に有効性が高いものと判断できる。先の東日本大震災において露呈した非常放送の不明瞭さの問題を改善していくために寄与できる、工学における学術論文として価値の高いものと判断できる。

よって本論文は、博士（工学）の学位論文として合格と認められる。