

研究概要報告書

(/)

研究題目	境界音場制御の原理に基づいた3次元音臨場感再現に関する研究	報告書作成者	伊勢史郎
研究従事者	伊勢史郎		
研究目的	<p>ステレオフォニクスは3次元空間におけるある領域内の音の波面を時空間信号として記録・保存し、別の場所で同じ音の波面を時空間信号として再生する技術である。従来のステレオフォニクスの理論基盤はホイヘンスの原理に基づいており、その実現のためには点音源とみなせる音響的に透明なスピーカ、すなわち音場に影響を与えない程小さなスピーカを無響室の壁一面に設置し、そのスピーカと同じ配置の多数のマイクロホンを用いて録音した音響信号をスピーカから送出するというシステムが必要となる。ここで無響室において無響状態を保ちながら多数のスピーカを設置すること、および音響的に透明なスピーカを開発することの困難さから真のステレオフォニクスの実現は不可能であると考えられて来た。本提案者が発案した境界音場制御の原理はある空間領域を取り囲む境界上の音圧と粒子速度を制御するための逆フィルタを設計することにより、その内部の空間において物理的に厳密な意味で音場再現が可能であることをキルヒホッフ--ヘルムホルツ積分方程式を用いて理論的に証明したものである。これまでの研究ではシミュレーションおよび基礎的な実験を行い、その実現が可能であることが確認されている。本研究では境界音場制御の原理に基づいた音場再現システムを開発し、これまで不可能と思われてきた真のステレオフォニクスが実現できることを実験的に証明することを目的とする。</p> <p>以上は長期的な研究目的であるが、本研究期間内での研究目的を述べる。まずは基本的な実験システムの構築を目指す。16チャンネルのスピーカとマイクロホンを持つ音場再現システムを構成するために、必要な機材をとりそろえ、実験システムを実現するためのソフトウェアを作成する。ソフトウェアは16個のスピーカとマイクロホンの間の伝達関数を自動測定するプログラム、測定された伝達関数から逆フィルタを計算するプログラム、原音場における音を収録するプログラム、および収録された原音場データと計算された逆フィルタを畳み込むプログラムから構成される。データ量および計算量は大規模になり、従来の測定技術(例えばDATで1チャンネル毎に収録するような方法)では極めて煩雑になり、間違いも起こりやすい。そこで、ネットワークを最大限利用し、測定系のシステムと計算系のシステム、開発系のシステムをネットワーク上で接続し、いちいちデータを収録したメディアを持ち歩いたり、変換する手間を省くようにする。すなわち、本研究期間内における研究目的はネットワークを使って、効率的に実験ができるようなシステム構築を行うことである。</p>		

研究概要報告書

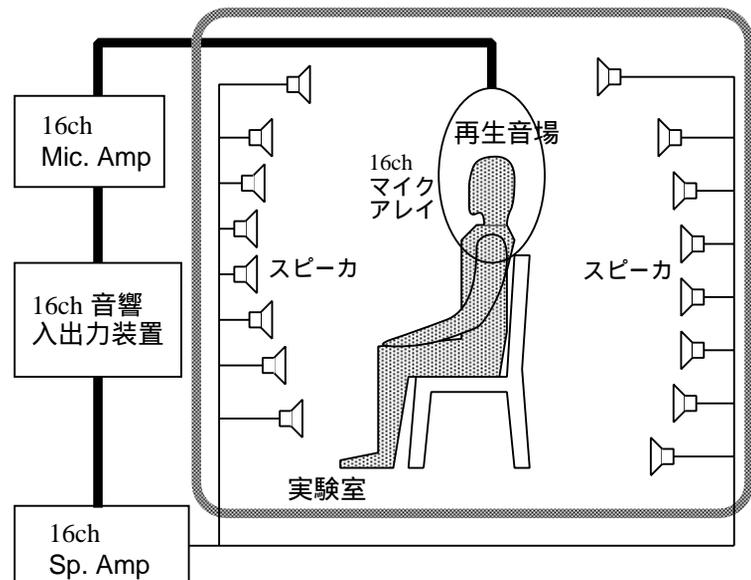
(/)

<p>研究内容</p>	<p>境界上の全ての位置における音圧と粒子速度が制御できれば、その領域内部の音場を制御することが可能であるが、実際にはそのすべての位置の音圧と粒子速度を観測することができない。境界の形が規則的である場合には共鳴周波数において音圧と粒子速度の関係が非一意的になるが、マイクロホンを規則的に配置しないことによって、それらの一意的な関係を保つことができるようになる。すなわち、マイクロホンを不規則に並べることによって、粒子速度を監視せずに音圧だけで制御が可能となる。本研究では16チャンネルという比較的小規模なシステムで音場再現を実現しようとしているため、閉じた境界面を生成することはできない。したがって、頭部を囲む耳と同じ高さの水平面上の16点を制御することによって、その内部の水平面を制御することを試みる。これによって頭部の動きを許容できる音場再現システムが構築できることを期待する。また、本研究はシステムの構築を目標にするため実験は無響室で行う。すなわち、無響室において音場再現システムを構築する。そのためには16個のスピーカを設置し、16個のマイクロホンを頭部の周りに配置し、それらのスピーカとマイクロホン間の伝達関数を測定する必要がある。全部で256個の伝達関数を測定する。スピーカとマイクロホンなどの測定系を設置した後で、測定の作業自体は全て自動的に行われるようなプログラムを作る。ただし、伝達関数の測定は比較的長時間(4秒程度)のTSP法を用いる。測定されたデータはネットワーク経由で逆システム計算システムに送られて、逆フィルタが計算される。逆フィルタの計算法としては時間軸上で行う方法と、周波数軸上で行う方法があるが、時間軸上で行う方法は計算機上で大量のメモリを必要とするため、周波数軸上で計算する方法を採用する。また、マイクロホンが多い場合と少ない場合についても逆フィルタが得られるようにしておく。これは周波数軸上で計算する場合に解くべき行列が正則でない場合には擬似逆行列を求めることにより可能となる。さらに、それらの方法によって設計された逆フィルタシステムの精度を確認するために、再びネットワーク経由で測定系に逆フィルタを転送し、それらの逆フィルタの精度を自動測定できるようにする。伝達関数を測定後、温度変化などで音場が変化した場合に逆フィルタの精度が低下することが知られているが、そのようなことを考慮すると逆フィルタの計算精度を確認するためには、伝達関数の測定後にできるだけ早くその精度を確かめる必要がある。そのためにもネットワーク経由で逆行列計算を高速に行う計算機へネットワーク経由でデータをやりとりすることは有効と考えられる。そして、最終的に逆フィルタ計算のアルゴリズム、およびそのパラメータを確定後、測定してきた原音場データと逆フィルタを畳み込み、その結果をD/A変換器から出力してスピーカを駆動することによって音場再現を行う。この場合にも同時にA/D変換器の出力信号をモニタリングすることによって音場再現が精度よく行われているかどうかを確認する。</p>
-------------	---

研究概要報告書

(/)

<p>研究のポイント</p>	<p>研究のポイントはネットワークを用いたシステム作りのなかに求められる。本方式は多数のスピーカとマイクロホンを用いるため、データ管理が非常に煩雑となる。また本研究の実施場所である京都大学では実験を行うための場所(無響室)と計算を行うための場所(データ処理室)が離れているため、データの変換作業を行うために何回も行き来することが非常に非効率的になる。もちろん根性があれば不可能ではないが、多数の人間が関わりのながら継続的にシステムを構築していく必要があるためデータ変換の作業や大量の測定系の管理などをコンピュータネットワークを利用して行うことは不可欠である。以上の観点から研究のポイントは便利な道具を作りながら、楽しく研究することである。</p>
<p>研究結果</p>	<p>測定系と逆フィルタ設計系の二つのチームに分かれ、それぞれプログラムを作成した。測定系は16チャンネルA/D、D/A変換器を用いて最初にD/A変換機のあるチャンネルから任意の長さのTSP信号を出力し、A/D変換器でとれた信号をインパルス応答に変換するというプログラム作りである。現在、これらのプログラムの作成が終わり、伝達関数の測定を行ったところ20kHz以下で60dB以上と高いSNが得られた。測定系は16ビット精度であるため、広帯域にわたってこの程度のインパルス応答が得られれば十分である。また、逆フィルタ計算システムの開発も終わったが、ネットワークにつながっていないため個別の精度をコンピュータシミュレーションにより行っており、数値計算誤差以内の精度が得られていることがわかっている。</p>
<p>今後の課題</p>	<p>今後は上記の二つの測定系、計算系をネットワーク上で接続し、さらに計算精度の確認も行えるように全てを自動化するプログラム作りがまず必要である。それによって伝達関数自動測定、逆フィルタ計算、逆フィルタ精度自動測定を行って、開発したシステムの動作を確認する。次に最初の段階の原音場として無響室内で移動する音源を測定し、その測定したデータと設計した逆フィルタを畳み込み、そのデータをスピーカ出力し、同時に測定する。それによって原音場データと再現音場データの差のSNを測定する。それによってシステムの精度を最終確認する。さらに生成された音場において聴感実験を行う。聴感実験ではある方向からの定位が再現されているかどうかを調べ、その際に頭部を動かすことを許容する。さらに無響室ではなく残響のある部屋にシステムを移動し、その部屋でも逆フィルタの設計が可能かどうかを上記と同様の手順で試みる。</p>



16チャンネルのスピーカ、マイクロホンおよび音響入出力装置からなる音場再現システムを構築することを目指した。このシステムでは16個のスピーカを受聴者周辺に、16個のマイクロホンを頭部周辺に設置する。16個のマイクロホンの出力が望みの応答となるように16個のスピーカから音を出力する。そのときスピーカに入力する信号は16個のマイクロホンの出力が望みの応答となるようにコンピュータにより予め計算した信号である。そのような計算を行うためには16個のスピーカと16個のマイクロホン間という多チャンネルの音響システムの伝達関数をまず測定し、その逆システムを設計する必要がある。設計された逆システムと再現したい音場の空間情報に畳み込むことにより、スピーカへ入力する信号を計算する。本実験ではステレオフォニクスシステムとしてはそれほど規模の大きいシステムを構築しなくても水平方向の定位感に目標を絞れば空間的な音場再現、すなわち受聴者が頭部を動かしても不自然を感じない臨場感のある音場再現システムが構築することを目指している。本助成金において行った研究は上記の一部であり、以下の通りである。

すなわちネットワークを用いて上記システムを構築するためのコンピュータネットワーク環境を整備した。特に本方式は多数のスピーカとマイクロホンを用い、それらの間のすべての伝達関数を求めるためデータ管理が非常に煩雑となる。また本研究の実施場所である京都大学では実験を行うための場所（無響室）と計算を行うための場所（データ処理室）が離れているため、データの変換作業を行うために何回も行き来することが非常に非効率になる。そこで測定系と逆フィルタ設計系の二つのチームに分かれ、それぞれプログラムを作成した。測定系は16チャンネルA/D、D/A変換器を用いて最初にD/A変換機のあるチャンネルから任意の長さのTSP信号を出力し、A/D変換器でとりこんだ信号をインパルス応答に変換するというプログラム作りである。現在、これらのプログラムの作成が終わり、伝達関数の測定を行ったところ20kHz以下で60dB以上という高いSNが得られた。測定系は16ビット精度であるため、広帯域にわたってこの程度のインパルス応答が得られれば十分である。また、逆フィルタ計算システムの開発も終わったが、ネットワークにつながっていないため個別の精度をコンピュータシミュレーションにより行っており、数値計算誤差以内の精度が得られていることがわかっている。