

課題番号	Q19J-06
課題名（和文）	頭部の影響を考慮した仮想2次音源を用いた局所音場再現
課題名（英文）	Local sound field synthesis with virtual loudspeakers considering effect of listener's head reflection
研究代表者	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 未来科学部 情報メディア学科 助教 氏名 池田 雄介

研究成果の概要（和文）

本研究では、剛球モデルによって頭部の反射を模擬し、シミュレーションによって局所音場合成における頭部反射の影響を明らかにした。シミュレーション実験結果から、頭部付近の音源と反対側の位置で再現精度が低減されることが確認された。特に、仮想2次音源を用いた局所音場合成では、再現する音源の距離に近いほど頭部の影響が見られ、Pressure Matching では、距離による影響の差が小さいことが明らかとなった。また、頭部の影響を低減する局所音場再現の実現に向けて、少数マイクロホン情報と等価点音源を用いた局所領域への直接音伝達関数のモデリング手法を提案した。

研究成果の概要（英文）

In this research, we reveal the effect of sound reflections by a listener's head in the local sound field synthesis (LSFS), by modeling a head's reflections as a rigid sphere in the simulation experiments. From the result of the simulation experiments in LSFS, the reproduction error was worsened as the image source approached the head. On the other hand, the reproduction error was not changed by the distance of the image source. In addition, to improve the negative impact of the listener's head reflection, we proposed the modeling method of the direct sound propagating the local area by using the equivalent source method and a small number of microphones.

1. 研究開始当初の背景

近年、音場の物理的な再現は、解析的・数値的手法が数多く提案され注目を集めている。特にスピーカの物理的な制約以上の高周波数まで音場合成が可能な手法として、局所音場再現手法が提案されてきた。しかし、これらの再現手法では、再現領域内に音響反射を想定されておらず、聴取者の頭部の反射の影響を避けることができない。一般に、スピーカ間隔の物理的な制約によって再現が行われる1 kHz程度までは、頭部反射の影響が小さいことが知られている。一方、局所音場合成で再現可能な8 kHzまでの高周波数での頭部反射

の影響が明らかではなかった。また、頭部反射の影響を考慮した音場再現を行うには、スピーカから局所音場へのモデリングが必要となるが、一般に多くのマイクロホンによる計測が必要だが、少ない計測で実現する方法がない。

2. 研究の目的

本研究では、まず、剛球モデルを用いたシミュレーションによって、特に周波数領域ごとに、局所音場再現手法における聴取者の頭部反射が再現精度に与える影響を明らかにする。また、局所音場合成において頭部の反射の影響を低減するには、頭部を含めた音場のモデル化が必要となる。

そこで、その基礎的検討として、等価音源を用いた直接音に関して音場のモデル化手法を提案し、シミュレーションによって、その有効性を検証する。

3. 研究の方法

まず、局所音場再現における聴取者の頭部反射が再現精度へ与える影響についてシミュレーションで検証する方法について説明する。聴取者の頭部を一般的な耳間距離に合わせ、直径 0.12 m の剛球としてモデル化する。点音源に対する剛球によって作られる拡散音場は、解析的に第 2 種の球面 Hankel 関数の和で表せることが知られている。そこで、局所音場再現用のスピーカを点音源で模擬し、直接音と拡散音場を足し合わせることでスピーカから任意の位置の伝達関数を解析解を求めることができる。これに局所音場再現に必要なスピーカの駆動関数を掛ける。これらをすべてのスピーカについて実施し、和を取ることで、局所音場再現における頭部反射のある再現音場を作成可能となる。これと所望の音場の比較を行うことで再現誤差を計算する。また、比較のため、直接音のみの再現（頭部の反射なし）においても同様の計算を行い、再現誤差の比較を行う。

次に、等価音源を用いた直接音に関する音場のモデル化手法（提案手法）を説明する。音場再現などに必要となる伝達関数を計測する多くの場合、スピーカや再現領域の相対的な位置関係はおおよそ測定可能である。したがって、少数マイクロホンアレイに対して、スピーカを取り囲むのに

十分な大きさ球上に点音源を仮定する。球内に存在する音源は単一であることから、少数の点音源によってスピーカからの放射される音場が表現可能であることを仮定する。少数のマイクロホンによって計測した伝達関数に基づき、スパース最適化を用いて、音場をそれらの点音源を基底とした空間で表現する。

4. 研究成果

頭部反射の影響については、シミュレーション実験結果から、頭部付近の音源と反対側の位置で再現精度が低減されることが確認された。したがって、聴取者に対して、音源が横から放射される際にその反対側の耳で 8 kHz で再現精度 15 dB 程度下がることが確認された。特に、仮想 2 次音源を用いた局所音場合成では、再現する音源の距離に近いほど頭部の影響が大きくなるという傾向が見られた。しかし、Pressure Matching 法では、距離による影響の差が小さいことが明らかとなった。

音場のモデル化に関しては、等価音源にダイポール音源まで用いることで、点音源のみの場合と比べ、20dB 程度の改善されることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕（計 1 件）

- ① 津國和泉, 田中琴美, 黒川翔瑠, 池田雄介, 小坂直敏, “等価点音源を用いた局所領域への直接音伝達関数の推定”, 日本音響学会秋季研究発表会, pp.317-318, 2019.9