

騒音制御への一つの試み

日大生産工(院) ○小林 郷平 日大生産工 山崎 憲
早大基幹工(院) 関根 晃太

1.はじめに

立体音響の手法の1つに波面合成法がある。波面合成法は広域な空間及び多人数に対して有効な立体音響手法である。

この手法により再現した音が原音(騒音源)とは逆位相で作り出せれば広域なアクティブノイズコントロール(ANC)として用いることが可能である。

そこで本研究は、ANCの一つの試みとして立体音響の再現手法である波面合成法を用いたANCに関して、正弦波を用いてシミュレーションによる検討を行った。また、空間エイリアシングが起きると目的の音場に関してどのような影響が出るのかを確認した。

2.原理^[1]

2.1 波面合成法 (WFS)

波面合成法は第2種レイリー積分に基づき音場を制御する方法であり、以下の式で表される。

$$P(r_p) = \iint_{s_1} P_{s_1(r_q)} \frac{\partial}{\partial n} G(r_q, r_p) dS_1 \quad (1)$$

式(1)より平面 ds 上の音圧 $P(rq)$ を制御することで空間内音圧 $P(rp)$ を制御することが可能となる。式(1)を離散化することでスピーカアレイを用いての制御が可能となる。

離散化の影響として標本化定理よりスピーカ間隔は以下の式を満たす必要がある。

$$\Delta x \leq \frac{2}{f} = \frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

式(2)からスピーカ間隔が半波長以下でな

ければならない。これが満たされない場合、空間エイリアシングの発生により波面合成されない。

2.2 波面合成法を用いたANC^[2]

Fig.1 に波面合成法を用いたANCの原理を示す。波面合成法を用いたANCは打ち消したい騒音源をマイクロホンにより測定し、マイクロホンと同一に配置されたスピーカからマイクロホンで測定したデータを反転させて出力することで騒音源の打ち消しが可能となる。

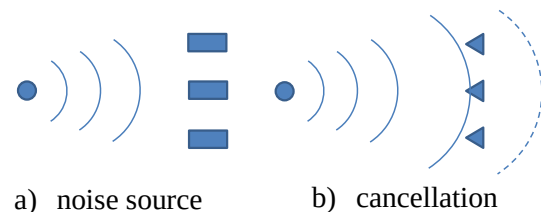


Fig1. Theory

2.3 TLM法

TLM法はホイヘンスの原理に基づき波動伝搬を時間軸について離散化し、コンピュータ上で追跡する方法である。音場内の任意の点における音圧 p についての波動方程式は次式で表わせる。

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = \frac{\rho}{\kappa} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (3)$$

ある長さを持った二組の線路が交わった形をした2次元TLM要素で分割し、単位長さあたりのキャパシタンスとインダクタンスを C 、 L とすると、要素中央の節点における電圧 V と電流 I の関係はキルヒホッフの法則より次式で表わされる。

$$-\frac{\partial I_x}{\partial x} - \frac{\partial I_y}{\partial y} = 2C \frac{\partial V}{\partial t} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial V}{\partial x} &= L \frac{\partial I_x}{\partial t} \\ -\frac{\partial V}{\partial y} &= L \frac{\partial I_y}{\partial t} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

この(4), (5)式から要素における電圧Vの波動方程式が得られる。

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = 2LC \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} \quad (6)$$

(3)式と(6)式を対応させる事で波動伝搬を電氣的に表わすことができる。

3. シミュレーション条件

3.1 二次音源配置の影響確認

Fig.2に示すように、領域(x [cm], y [cm], z [cm])=(0~150, 0~200, 0~200)の自由空間内にx=50, y=25, z=60の位置に騒音源を配置。x=25~125, y=75, z=60に20 [cm] 間隔で二次音源を配置。二次音源の有無による音場の影響に関して比較検討を行った。

3.2 マイクロホンにより収録した音を二次音源から出力させた場合

3.1と同様の自由空間内においてマイクロホンに二次音源背部に配置し、騒音源を500[Hz], 700[Hz], 900[Hz], 1000[Hz]と変えた際に測定領域(x[cm], y[cm], z[cm])=(0~150, 115~200, 60)において騒音源と二次音源からの出力が重ね合わさることで音の打ち消しが行われているかを定常状態にて検討を行った。

Table.1に二次音源のスピーカー間隔と各周波数の半波長の関係を示す。

Table.1 Relation between speaker distance and half wavelength

周波数 [Hz]	半波長 [cm]	スピーカー間隔 [cm]
500	34	20
700	24	
900	19	
1000	17	

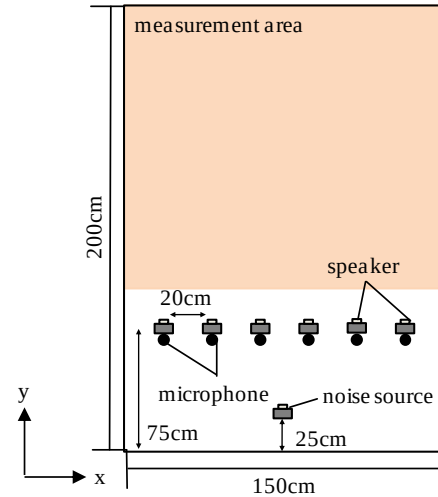
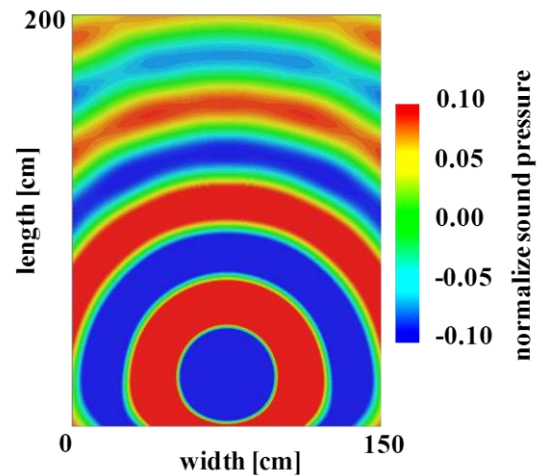
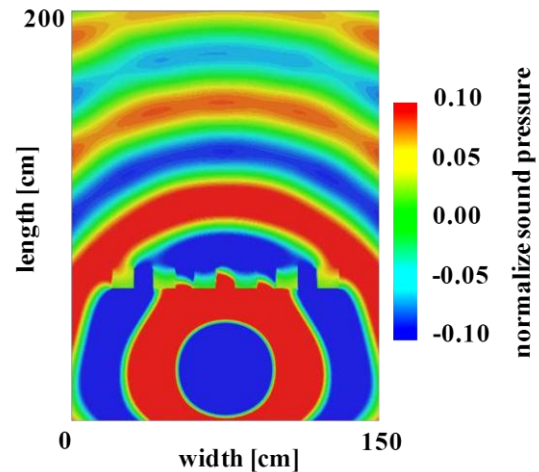


Fig.2 Condition of simulation (z=60[cm])



(a) sound field(second sound source none)



(b) sound field (second sound source)

Fig.3 Result of simulation (f=700[Hz])

4. シミュレーション結果

4.1 二次音源配置の影響確認

Fig.3に周波数700[Hz]での計算結果を示す。

Fig.3(a)は二次音源を配置しなかった場合、

(b)は二次音源を配置した場合である。(a)と(b)を比較してみると、二次音源の周囲では若干の影響が確認でき、二次音源前方および後方において、騒音源のみでの伝搬と二次音源を配置した際での騒音源の伝搬に関して大きな違いがないことが確認出来た。

4.2 マイクロホンにより収録した騒音を二次音源から出力し、騒音源に合成波を重ねた場合

Fig.4に周波数500[Hz], Fig.5に周波数700[Hz], Fig.6に周波数900[Hz], Fig.10に周波数1000[Hz]のシミュレーション結果を示す。

Fig.4(a)は騒音源のみの波面、(b)はマイクロホンにより収録した騒音を二次音源から出力し騒音源に合成波を重ねた波面である。(a)と(b)を比較してみると、騒音源のみでの伝搬に対し、二次音源からの出力を重ねた場合の方が減衰していることが確認出来る。

Fig.5(a)は騒音源のみの波面、(b)はマイクロホンにより収録した騒音を二次音源から出力し騒音源に合成波を重ねた波面である。(a)と(b)を比較してみると、騒音源のみでの伝搬に対し、二次音源からの出力を重ねた場合の方が減衰していることが確認出来る。

Fig.6(a)は騒音源のみの波面、(b)はマイクロホンにより収録した騒音を二次音源から出力し騒音源に合成波を重ねた波面である。(a)と(b)を比較してみると、騒音源のみでの伝搬に対し、二次音源からの出力を重ねた場合に減衰していることが確認出来る。しかし、空間エイリアシングの発生により一部はほとんど減衰していないことが確認できた。

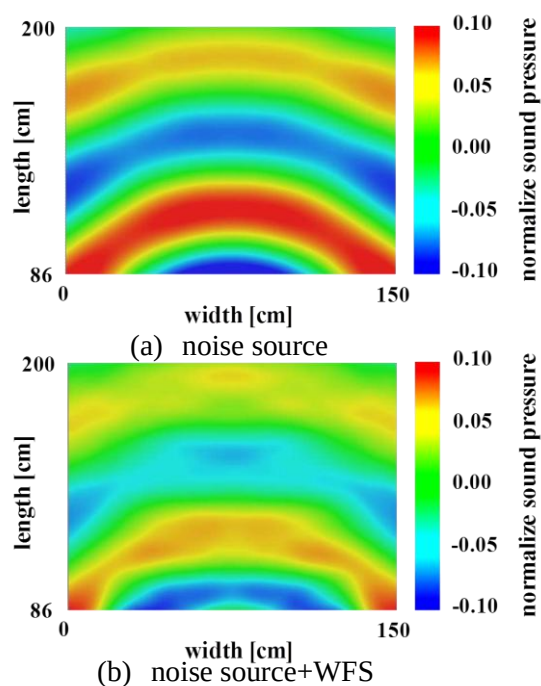


Fig.4 Result of simulation (f=500[Hz])

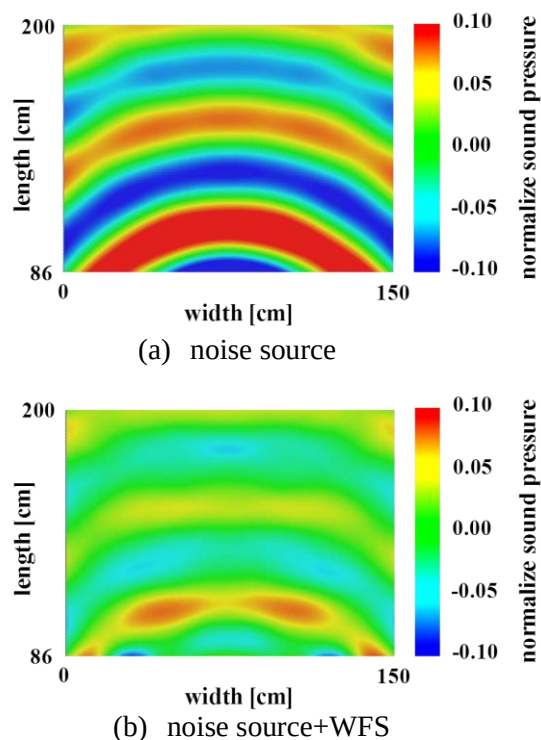


Fig.5 Result of simulation (f=700[Hz])

Fig.7(a)は騒音源のみの波面、(b)はマイクロホンにより収録した騒音を二次音源から出力し騒音源に合成波を重ねた波面である。(a)と(b)を比較してみると、騒音源の

みでの伝搬に対し、二次音源からの出力を重ねた場合に減衰していることが確認出来る。しかし、空間エイリアシングの発生により一部はほとんど減衰していないことが確認できた。さらに、同様に空間エイリアシングが起きているFig.6と比較してみると減衰効果も低くなることが確認出来た。

5. おわりに

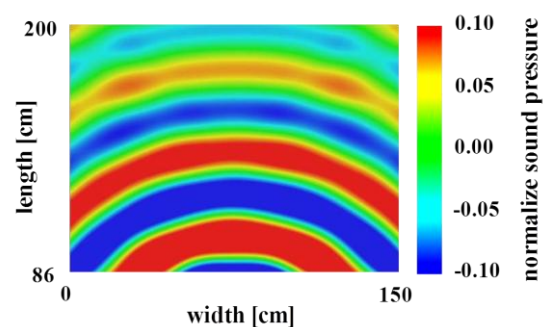
本研究はANCへの一つの試みとして、立体音響の再現手法である波面合成法を用いたANCに関してシミュレーションによる検討を行った。

その結果として、500[Hz], 700[Hz]に関してはマイクロホンにより収録した騒音を二次音源から出力し騒音源に合成波を重ね合わせることで音の打ち消しが行えることが確認出来た。900[Hz], 1000[Hz]に関しては空間エイリアシングの影響により一部が打ち消されずに残ってしまった。さらに、900[Hz]よりも1000[Hz]の方が、効果が低くなることが確認出来た。これは(2)式の条件を満たすように配置することで改善できると考えられる。このことから、波面合成法を用いたANCの検討は可能と考えられる。

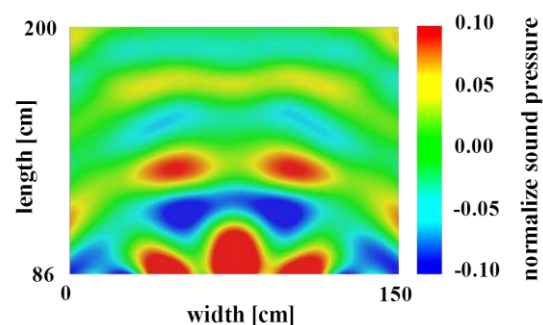
今後の課題としては、実験による検討を行い、同様な効果が得られるかを検討する必要があると考えられる。また、騒音源と二次音源の距離が変わった場合、騒音源と二次音源との間に障害物があった場合において同様の効果が得られるか検討する必要があると考えられる。さらに、空間エイリアシングを避けるためにスピーカの小型化を検討する必要がある。

参考文献

[1] 関根晃太, 山崎憲「伝達線路行列法を用いた波面合成法の解析とその応用に関する研究」日本大学生産工学研究科修士論文概要集(2011)PP.37-38

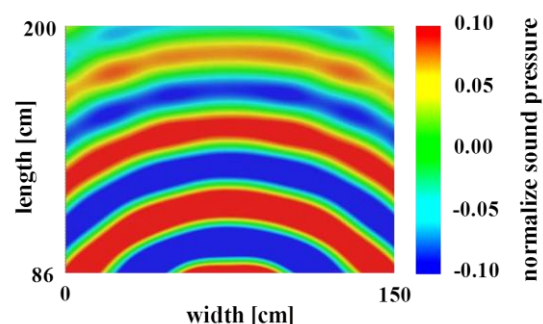


(a) noise source

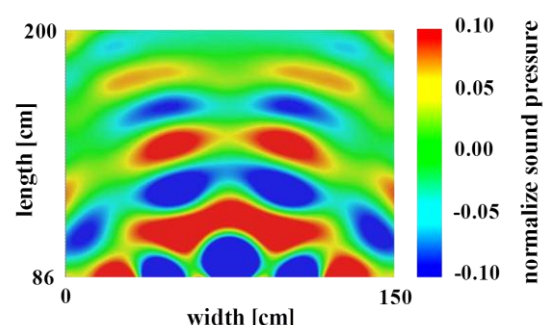


(b) noise source+WFS

Fig.6 Result of simulation (f=900[Hz])



(a) noise source



(b) noise source+WFS

Fig.7 Result of simulation (f=1000[Hz])

[2] 小林郷平, 関根晃太, 山崎憲「アクティブノイズコントロールへの一つの試み」日本音響学会2011年秋季研究発表会講演論文集(2011)PP.79