

西谷紀子 馬場貞如 山崎芳男(千葉工大)

1. まえがき

現在、音場を再現する方法としてパイノールシステムや、トランスオーラルシステムなどがある。これらは少人数でしかきけなかったり、体や頭の位置を固定しなければならない。また、キルヒホッフの積分公式に基づいて空間を制御する方法もあるが、これは制御点の数が膨大になり実現が難しい。

そこで本研究では、波面合成を用いて音源の位置によって使うスピーカの個数を変えろという方法で再現を試みる。

2. 波面合成

図-1に示すように、 $Z=Z_1$ の位置のマイクロホンによって録音された音圧をスピーカで再放射することによって、いくつかの受音点において波面を物理的に合成することができる。

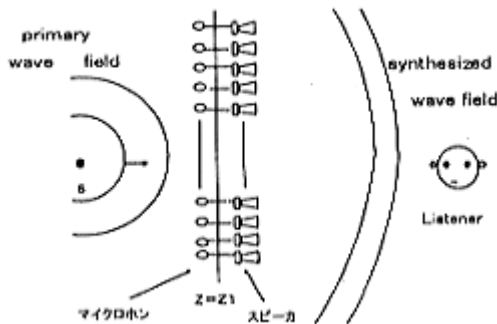


図-1 波面合成の原理図

しかし多くの場合には初期音源が最初に録音され、再放射が別の空間で行われる。

有限個のスピーカを用いるので受音点で再現される音圧はRayleigh 積分及びその離散型を用いて次の式で表わされる。

$$P(r, \omega) = |z - z_1| \sum_n (P(r_n, \omega) \frac{1 + jk|r - r_n|}{2\pi|r - r_n|^3} e^{-jk|r - r_n|}) \Delta x \Delta y \dots (1)$$

(1)式を実現するには再現したい波長の半分の間隔でスピーカを配置しなければならない。しかし現実には制御点が膨大になり実現不可能である。そこで図-2に示すような入射した音圧をN個で離散化し1個のスピーカで再現するような関数Wを導入する。

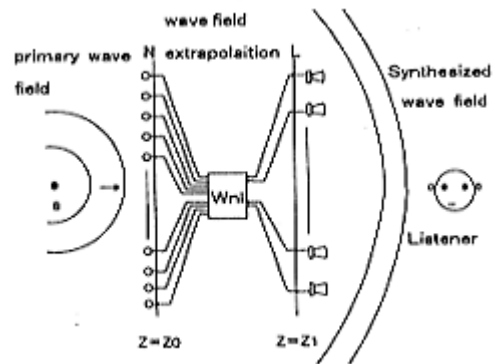


図-2 波面合成の原理図(NからLへの変換)

$$W_{nl} = |Z_0 - Z_l| \frac{1 + jk|r_n - r_l|}{2\pi|r_n - r_l|^3} e^{-jk|r_n - r_l|} \Delta x \Delta y$$

$$\approx \frac{e^{-jk|r_n - r_l|}}{2\pi} (jk \cos \phi_{nl}) \Delta x \Delta y \dots (2)$$

$$P(r_n, \omega) = \sum_l W_{nl} P(r_l, \omega)$$

\* Construction of 3-D sound field by wave field synthesis based on sound source position. By Noriko Nishitani, Sadayuki Baba and Yoshio Yamasaki, (Chiba Institute of Technology)

すべてのスピーカ信号がN次元ベクトルで結合されて同様にすべてのマイクロホン信号がL次元ベクトルで結合されるときに行列式として上式が書ける。

### 3. マイクロホンの制御範囲

今回、音源から仮想的なマイクロホンまでの距離や角度によって使うマイクロホンの個数を変えれば良いのではないかと考えた。図-3(a)のように音源からマイクロホンまでの距離が近い場合は使うマイクロホンの個数を少なく、図-3(b)のように距離が遠くなるにしたがって使うマイクロホンの個数を多くすることにした。

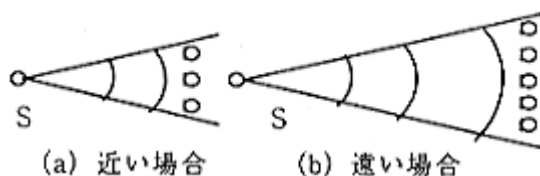


図-3 音源の位置とマイクの関係

### 4. 再現方法

音場を再現する方法として、実際にホールで近接4点法によって測定した仮想音源分布から仮想音源の座標と大きさを求める求めた音源に対してそれぞれのマイクロホンへの時間差と距離減衰を考え(2)式よりパルスをつくるすべての仮想音源に対しても同様の計算を行い、それぞれのスピーカのパルス列をつくる。パルス列とTSPを畳み込んで無響室で再生する。近接4点法によって測定を行い、得られた応答と逆TSPを畳み込むことでインパルス応答に変換し、仮想音源分布を求める。

### 5. シミュレーション結果

愛知芸術文化ホールの3次元音空間をシミュレートした結果を図-4に示す。原音場と再生音場を比較すると、かなり類似し

ていることがわかる。

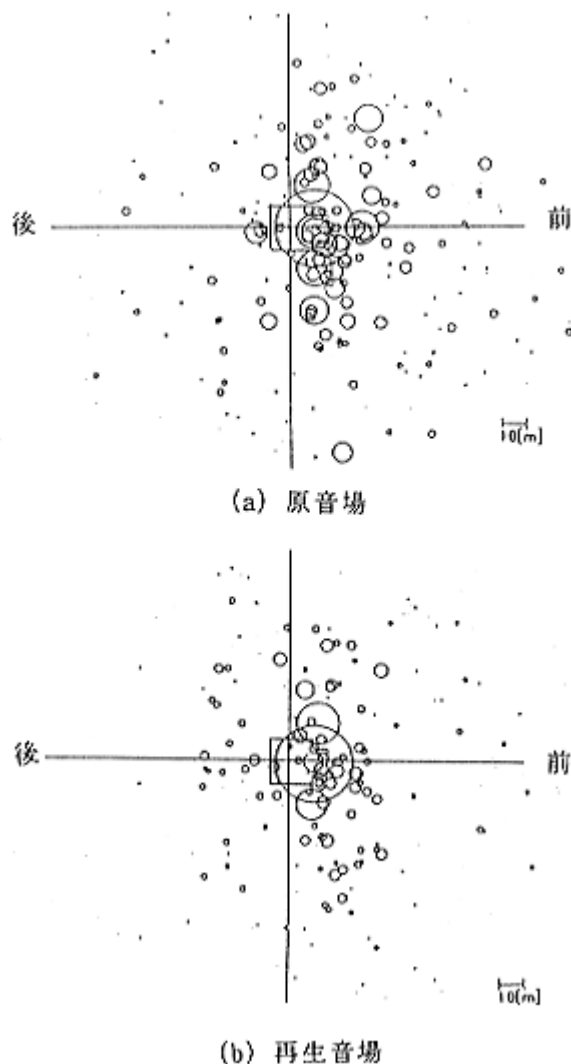


図-4 近接4点法による仮想音源分布

### 6. むすび

波面合成を使うにあたり音源位置や角度を考慮することが、有効だとわかった。さらにシミュレーションを重ね、どのような時により良い結果が得られるのか検討したい。また実際に測定を行い、シミュレーション結果との比較をしていきたい。

#### 文献

- (1) A.J.Berkhout, M. Rinus M. Boone and Diemer de Vries "Generation of sound fields using wave fields synthesis, an overview" Active95 pp.1193-1202, (1995)
- (2) A.J.Berkhout, D.deVries and P.Vogel "Acoustic control By Wave Field Synthesis", J.Acoust.Soc. Am (1993)