

1. はじめに

本研究は、コンサートホール等の音場を忠実に再現する際に必要となる再生装置(スピーカー)の数を減らすことを目的とする。本来、反射音の到来方向は受聴者の周囲全方向からであり、再生するスピーカも全方向に設置することで再現できるが、人間の聴覚の曖昧さを利用すれば、少数のスピーカによって聴感的に差異のない再現が可能と考えられる。

本報告は、直接音到来後 $80ms$ までの初期反射音部分に着目し、音像の拡がり感をマルチチャンネル再現するための性能評価を行う。評価対象は (1) *LEF* の有用性の確認、および検知限、(2) チャンネル配置による聴感的印象とする。

2. シミュレーション実験

Tab.1、Fig.1 に示す条件でシミュレーションを行った。

Tab.1 Simulation parameters

dimension	$30m \times 20m \times 15m$
room data	volume $9000m^3$ (Rectangular)
	reverberation time
	1s at 500Hz
simulation method	ray tracing/ image method[1]

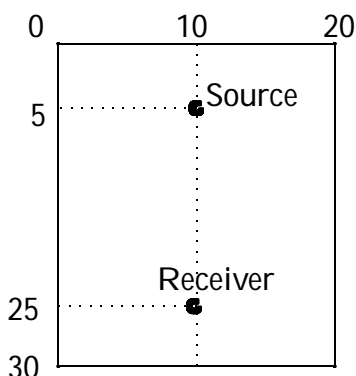


Fig.1 Source and Receiver Point

2-1. マルチチャンネルインパルス応答作成

得られたシミュレーション結果を用いて、マルチチャンネルのインパルス応答作成する流れを Fig.2 に示す。

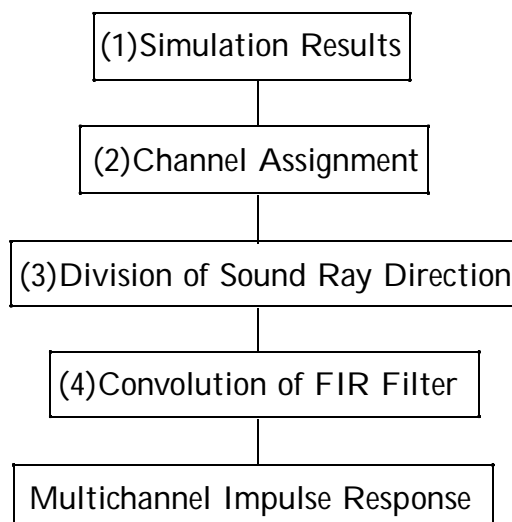


Fig.2 Obtaining Multichannel Impulse Response

- (1) シミュレーション結果を読み込む。
- (2) 水平方向 30° ごとに配置されたスピーカのうち、チャンネル配置によって使用するスピーカ番号を指定する。
- (3) 各反射音に対してチャンネル振り分けを行う。
- (4) 各チャンネルごとに狭帯域ごとのインパルス応答を合成し、広帯域のインパルス応答を作成する。

2-2. 反射音チャンネル振り分け手法

Fig.3 に示すように、 P のレベルをもつ反射音が、チャンネル L, R の中間から入射した場合について述べる。この反射音による L, R チャンネルへの寄与 (P_L, P_R) を (1), (2) 式のように正弦波の重みをつけて決定した。これ

*Physical and Psychological Evaluation of Speaker Assignment for Multichannel Reproduction By Masashi Uemoto, Takashi Nishi(The University of Kitakyushu)

により、振り分けの前後で音の大きさを一定にすることができる。

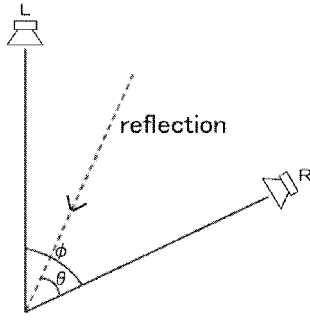


Fig.3 Channel Distribution of Reflections

$$P_L = P \sin\left(\frac{\pi}{2\phi}\theta\right) \quad (1)$$

$$P_R = P \cos\left(\frac{\pi}{2\phi}\theta\right) \quad (2)$$

$$P^2 = P_L^2 + P_R^2 \quad (3)$$

3.LEF(Lateral Energy Fraction)

3-1.LEF 定義

初期反射音に対する評価は「見かけの音像の拡がり」や「空間的印象」などと呼ばれる感覚によって行われる。これらの感覚を制御する物理パラメータとして多く用いられる LEF は、初期反射音のインパルス応答 $g(t)$ 、耳軸と反射音の到来方向とのなす角 θ を用いて以下のように定義される [2]。

$$LEF = \frac{\int_0^{80\text{ms}} g(t)^2 \cos^2 \theta dt}{\int_0^{80\text{ms}} g(t)^2 dt} \quad (4)$$

LEF は、全体の初期反射音エネルギー和に対する耳軸方向に射影したエネルギー和の比率であるため、「初期側方エネルギー率」とも呼ばれる。側方エネルギーの比率によって LEF の値は 0~1 で変化するが、実在するホールでは 0~0.5 の値となる [2]。

3-2.LEF 設定手法

LEF の有用性の確認、および検知限の評価において LEF の異なるインパルス応答を作成した。その際、以下の 2 条件に従った。

- 全チャンネルのエネルギー和一定
- インパルス応答の時系列パターン一定

側方成分に寄与しない正面方向の成分を α 倍、側方成分を β 倍することによって任意の LEF を設定した。各チャンネルのエネルギー和を耳軸方向へ射影した合計を A 、全方向のエネルギー和を A_p 、側方成分に寄与しないエネルギー和を B 、側方成分に寄与しないエネルギー和を $C(= A_p - B)$ とし、設定する LEF 値を lef とする。設定する LEF、および全方向のエネルギー和は次式で表される。

$$lef = \frac{A\beta}{A_p} \quad (5)$$

$$A_p = B\alpha + C\beta \quad (6)$$

上記 2 式を解いて、各成分の倍率 α 、 β を得た。

$$\alpha = \frac{1}{C} \left(A_p - \frac{B}{A} A_p \cdot lef \right) \quad (7)$$

$$\beta = \frac{A_p \cdot lef}{A} \quad (8)$$

4. 聴感実験

マルチチャンネル再生の基本特性を得るため、LEF 検知限の評価実験、LEF 一定のもとでのチャンネル配置評価実験を行った。

4-1. 実験環境

本実験は 500Hz の残響時間 0.1 秒の簡易無響室で、中央に座った被験者から 2m 離れた位置に正面方向を基準とし、30° ごとに 12 個のスピーカを配置して行った。使用する音源は、評価が音源に依存する非定常のものではなく、定常的な雑音を用いた。低域 (63, 125, 250Hz)、中域 (500, 1kHz)、高域 (2k, 4k, 8kHz) の 3 種類の雑音を用いて予備実験を行い、LEF 変化に対する評価の行いやすかった中域雑音を評価音源として用いた。

LEF 検知限評価では $LEF = 0.3$ を、チャンネル配置による評価では 12 チャンネルを基準とした。実験では A, B の順序で再生した。 A あるいは B の一方は必ず基準とした提示パターンとし、もう一方を評価用とした。

4-2. 評価に用いたチャンネル配置

今回検討したチャンネル配置図を以下に示す。スピーカ配置は Fig.4 に示すように、受聴者の正面方向を *ch1* とし、以下時計回りに *ch2, ch3, …, ch12* と番号付けする。以前の研究で検知限であった 4 チャンネル、および 6 チャンネル使用のものを評価対象とした [3]。

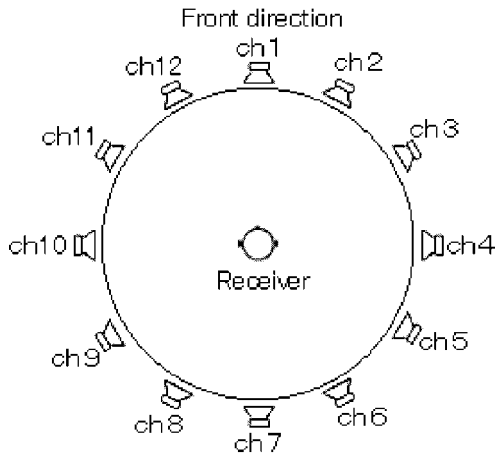


Fig.4 12 Channel Assignment

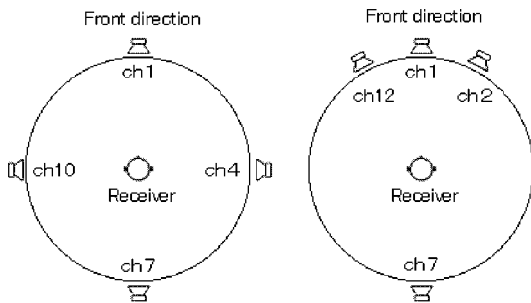


Fig.5 Pattern 4-A

Fig.6 Pattern 4-B

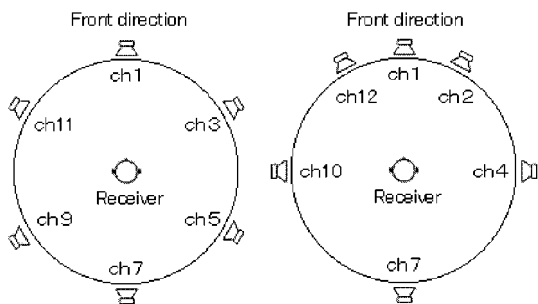


Fig.7 Pattern 6-A

Fig.8 Pattern 6-B

4-3. LEF 検知限の評価実験

LEF 検知限の評価では、中域雑音にシミュレーションで得られた 12ch のインパルス応答を畳み込んだ 5 秒の音を作成し、LEF の

みを Tab.2 に示すように 0.1~0.5 で変化させ評価を行った。提示した 2 つの音の音像の拡がりを実評価基準とし、同程度の音像の拡がりであると感じたときを 3 とし、1~5 で評価した。各提示パターン、および評定者数、再生レベルを Tab.2 に示す。

Tab.2 Difference Limen of LEF

Testee	3
Hearing Level	70dB
Presentation Value of LEF	0.1/0.2/0.25/0.3/0.35/0.4/0.5

実験結果を Fig.9 に示す。Fig.9 の実線は今回の実験における評価の平均値、上限値および下限値は母平均の 95 % 信頼限界を示す。得られた結果を分散分析した。LEF = 0.3 に対して危険率 1 % で有意差があるものは ** で、危険率 5 % で有意差があるものは * として Tab.3 に示す。

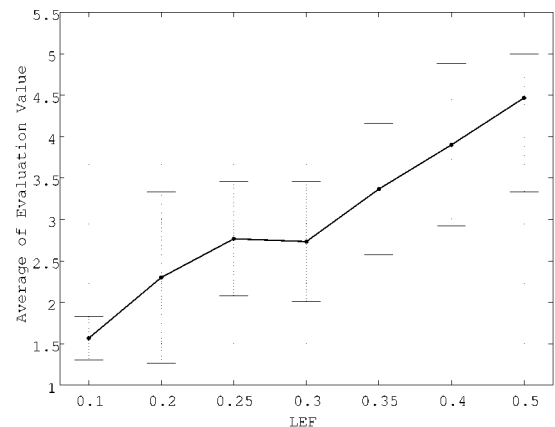


Fig.9 Relation Between Source Width and LEF

Tab.3 Results of Analysis of Variance

LEF	0.1	0.2	0.25	0.35	0.4	0.5
	**	*		*	**	**

Tab.3 に示すように、LEF = 0.2, 0.35 のときは危険率 5 % で基準である LEF = 0.3 と有意差があり、LEF = 0.1, 0.4, 0.5 のときは危険率 1 % で有意差があることが分かった。

4-4. チャンネル配置評価実験

チャンネル配置評価では、中域雑音にシミュレーションで得られた各チャンネル配置のインパルス応答を畳み込んだ5秒の音を作成した。AとBを比較し、どの程度差異を感じるかを基準とし、1(差異がない)~5(明らかに違う)で評価した。各提示パターン、および評定者数、再生レベルを Tab.4 に示す。

Tab.4 Channel Assignment

Testee	10
Hearing Level	70dB
LEF	0.3(Constant)
Pattern of Channel Assignment	4-A/4-B/6-A/ 6-B/12(Reference)

チャンネル配置評価の実験結果を Fig.10 に示す。Fig.10 の実線は今回の実験における評価の平均値、上限値および下限値は母平均95%信頼限界を示す。得られた結果に分散分析を行い、12チャンネル再生に対して危険率1%で有意差があるものは**で、危険率5%で有意差があるものは*として Tab.5 に示す。

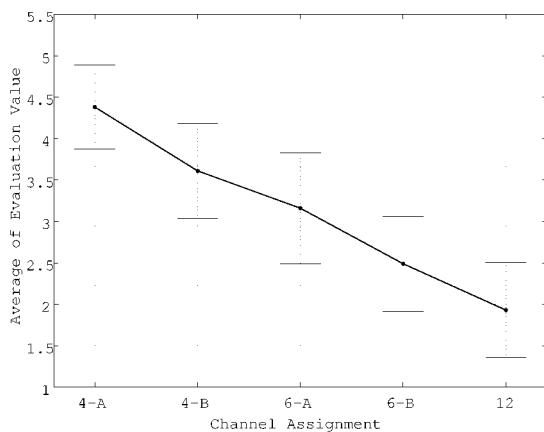


Fig.10 Results Between Channel Assignment

Tab.5 Results of Analysis of Variance

Channel Assignment	4-A	4-B	6-A	6-B
	**	**	**	

Tab.5 に示すように4チャンネル使用の4-A, 4-B、および6チャンネル使用の6-Aに関しては12チャンネル使用したものの対して危険率1%で有意差があることが分かった。

5. まとめ

LEF 検知限の評価実験において、チャンネル配置を一定とし、LEFのみ変化させて評価を行った結果からLEFによって音像の拡がり感が変化することを確認した。LEF = 0.3に対してLEF = 0.35のとき、危険率5%で有意差が得られたことから、検知限として0.05程度であるといえる。また、LEF = 0.3を中心に対称的な結果とならなかったことから、基準とするLEFが低い状況下では検知限は小さくなり、高い状況下では検知限が大きくなる傾向を示した。

チャンネル配置評価実験において、LEFを一定とすることで少ない使用チャンネルでの聴感的印象の制御を試みたが12チャンネル使用に対して4チャンネル使用、および6チャンネル使用における6-Aでは危険率1%で有意差があった。これは以前の研究における検知限とも一致する[3]。LEF 検知限の評価実験結果からも、音像の拡がりに関してLEFが重要な物理パラメータであることは間違いないが、チャンネル配置評価実験の結果からLEFのみで音像の拡がり制御することは困難であることが分かった。

参考文献

- [1] M. Vorlaender, Simulation of the transient and steady state sound propagation in rooms using new combined raytracing/image-sources algorithm. J. Acoust. Soc. Am, 86(1), 172-178, 1989
- [2] ハインリッヒ・クットルフ, 室内音響学 建築の響きとその理論, 市ヶ谷出版社, 2003
- [3] 植本 将史, チャンネル配置による聴感的印象の評価, 北九州市大 卒業研究, 2005