6. ロス・オリンピックにみる大規模 PA システムの設計手法について

佐 藤 克 昌[†]

1. ま え が き

室内音響設計する時は、建築音響と電気音響設備の両面から検討を進めなければならない。近年、電気音響設備の観点からの計算機利用が盛んに行われるようになった。特に大規模な PA システムにおいては、多数のスピーカを用いて広い面積を様な音圧にすること、個々のスピーカの遅延時間の設定を最適にし良好な明瞭度を得たいという要求などがある。

これらを満足するためには、システム設計時にあらかじめ計算機を用いてシミュレーションすることが有益となる。そこで、これらをあらかじめ予測するために、音のエネルギーが光と同様に直進すると仮定して解析する幾何学的手法を用いた音場解析プログラムを紹介する。このプログラムの特徴は、

- (1) スピーカの指向性、方向、パワー配分を設定することが可能である。
- (2) 高速鏡像法計算が可能である。
- (3) 豊富なポストプロセスが可能である。

これらについてプログラムの構成を含め高速化手法の概略とロスアンジェルスオリンピックメインコロシウムにおける適用事例を報告する。

2. システムおよびプログラムの構成

幾何学的音場手法によるプログラムは、レイトレーシング法と鏡像法が用意されており、それぞれメリットとデメリットが存在する。そこで、長時間のデータや残響時間を求める場合は、レイトレーシング法を用い、初期反射音構造やエコータイムパターンの検討は鏡像法を用いている。これら計算部と入力部はシステム化されており、任意の手法が実行できるとともに、

運用面からバッチジョブも行えるようになっている。図 1 にシステム構成図を、図 2 にプログラム構成を示す。

(1) 入 力

・部屋に関するデータ（形状、吸音率）は、すべてタブレットにより入力することができる。

(2) 計算部

・レイトレーシング法は、音源より出た各音線について順次壁との交点を求め、反射回数あるいは時間で計算を打ち切るようになっている。

・鏡像法は、音源と受音点位置、反射回数を指定すると鏡像が各経路に存在するかどうか、各壁面について計算を行う。

(3) 出力部

・音線トレースは、各音線が音源から受音点に向かってどのような軌跡を描くか示すもので、鏡像法の例を図 3(a) に示す。

図 1 システム構成図

[†] 松下電器産業株式会社 技術本部音響研究所

"6. Application of Acoustic Simulation to the Olympic Main Coliseum" by Katsuaki Satô (Acoustic Research Laboratory, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd., Osaka)

・エコータイムパターンは、受音点における反射音列をエネルギーあるいは音圧で示す。これを検討することにより、明瞭度を劣化させる原因となる鳴き竜やフラッタエコーが生じるかどうかを知ることができる。

図 2 プログラム構成

図 3 出力例

る。図 3(b)

・残響時間は、音の響きの善し悪しを表す。これはエコータイムパターンをもとにエネルギーが-60 dB に減衰するまでの時間を各周波数毎に求めて表示する。レイトレーシング法の結果を図 3(c) に示す。

・音圧分布は、客席上での音圧が等しい点を結んだ等音圧線を示しており、均一な音のサービスが可能かどうか判断する重要な要素である。図 3(d)

3. スピーカの指向性測定

音場をシミュレーションするためには、音源がどのような放射特性をもっているか、あらかじめ計算機に入力しておく必要がある。無響室内の回転台に音源を取り付け、コンピュータ内で計算された R, θ, Z 座標にもとづきマイク移動装置が所定の位置まで動く。次に、マイクで受波された後、増幅され dB 値に変換された音圧が、フロッピーディスクに書込まれる。

4. 高速鏡像法

初期反射音およびエコーの検討をするためには、鏡像法が最も適しているといえる。しかし、鏡像法計算は、反射回数あるいはモデリング面数が増加すると、計算時間が指数関数的に増加するという難点があった。このため実用的な計算反射回数は 2~3 回であったが、以下の手法を用いることにより計算時間を大幅に短縮できた。鏡像法の計算は次の 3 のブロックで構

成されている。

- (1) 壁に対して鏡像を作る。一所要時間 α
- (2) 受音点（直前の壁と音線との交点）と鏡像を結ぶ線分が壁上に在るかのチェック。一所要時間 β
- (3) (2)の線分上に他の壁があるかどうかのチェック。一所要時間 β'

反射回数を1次まで計算するものとし、受音点が1次壁面までの1つの音線を求める手間は(2)のチェックで交点が存在する確率を P とすると、

$$(1)+(2)+(3)=\alpha+\beta+P(n-1)\beta$$
$$=\beta(1.5+nP)$$

ただし n は壁面の数、 $\alpha \approx 0.5\beta$

1次反射面の数 N は、

$$N=n(n-1)$$

であるから計算の手間は全体でおよそ、

$$\beta(1.5+nP)n$$

そこで(3)の β' を減らすために次の2つの手法を導入した。

手法1: 壁の法線ベクトル h と音線ベクトル R との積が正になる組合せは除く。

手法2: branch and bound法の考え方を利用し、1つの壁面に対し次の反射壁の候補を減らす。鏡像 S に対応する壁面 W を長方形に近似し、この長方形壁面と S の作る角錐の W に関し S と反対側の空間に存在する壁を次の反射面候補とする。

これらにより、およそ計算時間を1/10に短縮した。

5. Los Angeles Olympic Main Stadium における音響設計例

第23回オリンピックの時に設置された音響設備が老朽化したので改修することになった。そこで、システムを設計するに当たって、次に示す4項的を満足するように、本報告におけるシミュレーションを用いて音圧分布を計算で求めたうえで最適なシステム構成を決定した。

(1) 使用の目的は主にスピーチとする。

(2) 騒音公害にならないように最大音圧レベルは、90 dB とする。

(3) スピーカの配置できる場所および明瞭度を確保するために central speaker clusters 法を採用する。

(4) 音圧偏差は、観客席で ± 6 dB とする。

計算機上で何回かのシステム UP を繰り返した後、最終的に決定したシステムの配置図と音軸の方向を図4、図5、図6に示す。

図4は、水平面上でスピーカが音圧をカバーする様子を表している。図5は、垂直面での音軸方向を示しており、この図でグラウンドと観客席にどのような音のエネルギー配分が行われるか検討することができる。図6は、聖火台の左右に設けられた場所に構成さ

図4 水平方向サービスエリア検討図

図5 垂直方向サービスエリア検討図

図 6 スピーカクラスタ

表 1 高音ホーン検討用パワー配分表

スピーカ	スピーカの向 いている方向	入力パワー
C	遠距離用	100 W
C _i	近距離用	50 W
B	上段観客席中央	100 W
B _i	下段観客席中央	50 W

れたスピーカクラスタの正面、上面、右側から見た図であるが、近距離用 60°×40° 高音ホーン 6 本、遠距離用 40°×30° 高音ホーン 10 本、ウーハ 12 本が図に示すようにそれぞれの方向に向けられている。

それぞれの方向のスピーカを 1 つだけ鳴らした時のメインコロシアムと音軸をモデリングした鳥観図を図 7 に示す。この時のシステムの条件を表 1 に示す。これによる音圧分布を図 8 に示す。図 8 に示された等高線図によると音圧分布が一樣であることがわかる。そこでウーハをすべて鳴らした時の等高線図を図 9 に示

図 7 メインコロシアム鳥観図

図 8 高音用ホーンを各方向 1 つ拡声した音圧分布
(斜線のスピーカのみ動作)

図 9 低音用スピーカをすべて拡声したときの音圧分布
(斜線のスピーカのみ動作)

す。この時に用いられた入力パワーの条件は表2である。図10は測定点の位置を示しており、全部で12点ある。充分とはいえないが、広さと時間の関係で決定された。

図11は、測定点1～5におけるピンクノイズによる音圧周波数特性を表している。図12は、500 Hzのときの音圧分布である。表2は、それぞれの方向におけ

るスピーカへの入力パワーの計算値と実測値とを比較してのせている。スピーカの指向性を実測値を用いていることもあって、計算と実測値が音圧分布、入力パ

表2 各方向における入力パワーの計算値と実測値の比較

方 向	アンプ番号	A ch(volts) 計算値/実測値	B ch(volts) 計算値/実測値
C Horn	1	38/29	38/29
	2	38/33	38/33
	3	38/30	38/31
B Horn	8	100/100	100/100
C Horn	11	50/51	50/51
C Horn	12	50/54	50/54
B Horn	12		50/54
	13	50/54	50/54

図10 測定点の位置と番号

図11 測定点1～5における音圧の周波数特性

図12 500 Hz における実測音圧分布

ワーともによく一致したといえる。

〔参 考 文 献〕

6. む す び

計算機の使用料が低下するとともに、あらゆる分野でその利用が盛んになってきている。建築音響の分野でも、かつてできなかったような計算ができるようになった。本報告で紹介した幾何学的手法も、図面に線を引いて検討する過去の方法では、数本の反射を考察するのが限界であったが、計算機により数千本かつ十数回の反射まで計算可能になった。

その結果、建築図面の段階でエコータイムパターンや音圧分布を詳細に机上で検討し、音響効果の善し悪しを予測することができるようになりつつある。しかし、幾何学的手法には波動性が考慮されておらず、おのずと限界がある。これを克服するために有限要素法や有限音線積分法などが提案されている。これらを使い分けるとともに、実測データの積み重ねにより、精度と使いやすさが向上すると考えられる。

最後に、発表の機会を与えて頂いた松下通信工業(株)視聴覚機器事業部技術部 片倉部長、大町室長、当所 小幡所長、木村室長に感謝します。

(昭和61年4月14日受付)

- 1) M. R. Schröder, et al.: "Computers in Room Acoustics", Proc. 4th ICA, M21 (1962)
- 2) M. R. Schröder: "Digital Simulation of Sound Transmission in Reverberant Space", 76th Meeting of ASA, Sec. H (1968)
- 3) A. Krokstad, et al.: "Calculating the Acoustical Room Response by Use of Ray Tracing Technique", J. Sound Vib., 8 (1968)
- 4) A. Krokstad, et al.: "Fifteen Years Experience with Computerized Ray Tracing, Applied Acoustics, 16 (1983)
- 5) K. Satoh: "Acoustic Field Simulation Ray Method Considering Directivity", Spring Meeting ASJ, 2-1-3 (1982)
- 6) J. P. Walsh: "The Design of Godot: A System for Computer Aided Room Acoustics Modeling and Simulation", 10th ICA, E15.3 (1980)
- 7) Teruji Yamamoto: "Method for Examining Room Acoustics by Means of Computer Simulation", Architectural Acoustics and Noise Control, 13 (1984)
- 8) K. Sekiguchi, et al.: "How to Use Computer for Room Acoustic Design", Architectural Acoustics and Noise Control, 13 (1984)
- 9) T. Yoshizawa, et al.: "First Computation Technique for Image Model", Fall Meeting ASJ (1983)
- 10) J. Borish: "Extension of the Image Model to Arbitrary Polyhedra", JASA, 75, 6 (1984)
- 11) You-Dong, et al.: "An Analysis and Algorithm for Polygon Clipping", Communication of the ACH, 26, 11 (1983)

テレビジョン学会誌 61 年 9 月号「画像とネットワーク」小特集予定目次

【ふ お ー か す】	 摂南大 滑川敏彦
【小 特 集】	1. 画像通信サービスのためのネットワーク NTT 小杉 信・岸本登美夫
	2. LAN と画像情報 日 電 後藤裕一
	3. CATV の現状と将来 東京ケーブルビジョン 石黒 公
	4. 米国における衛星のネットワーク 東京放送 加納孝夫
	5. 国際画像サービス網の将来展望 KDD 丸山辰夫
【技 術 解 説】	最近の医用画像処理 筑波大 井上多門
【論 文 ・ 資 料】	11 mm 単管カラー用撮像管の開発 松下電子 高島三男・松原正治・一番ヶ瀬剛・上村剛博・荒木 勉
	浅く平坦な p ウェルを用いた 490 (V) × 519 (H) 画素 CCD 撮像素子
	 シャープ 宮武茂博・永川忠示・三沢清利・小佐々治海・坂本渉二・小川伸一・山野利昭・飯川寛平
	高感度パイロビジコンカメラの開発 松下技研 金子 彰・田部哲夫・麗 照夫・富井 薫・西田 準
	明朝体ドット漢字パターンをもとにした大型ゴシック体漢字の生成と表示
	 岡山理大 塩野 充・橋本礼治
	市街地テレビジョン移動受信における画像品質劣化の検出
	 京 大 河 徳鎬・竹内 勉・池上文夫・吉田 進
	航空機散乱波によるテレビ電波の受信電界変動とフラッタ障害の予測
	 NHK 伊藤士郎, 航空公害防止協会 太田 晃
【研 究 速 報】	テレビジョン移動受信におけるゴーストフラッタの原子時計を用いた移動測定法
	 京 大 河 徳鎬・竹内 勉・池上文夫・吉田 進
【講 座】	パソコンによる画像処理 (第 4 回): 画像処理の基本手法 (I) 日 電 花木真一・岩下正雄・寺嶋廣克
【会 議 レ ポ ー ト】	ICASSP 東 大 原島 博
	IPA' 86 信州大 岡本正行
	ICC' 86 NTT 谷中一寿
	ICCE 東 芝 厚東健彦