

立体テレビのための音像・音場制御

小野 一穂 小宮山 撰

NHK放送技術研究所音響聴覚研究部

立体テレビなど新しい放送システムのための、音像・音場の制御技術について述べる。立体映像では、前後（飛び出す）方向の映像の表現が可能となるが、これに対応して音像・音場についても遠近感、奥行き感が表現できれば、映像と音像・音場の立体感が相乗的に働き極めて高い臨場感が得られると考えられる。本稿では、広い視聴範囲にわたり良好な音像・音場を得るという観点に着目し、立体映像に対応した音声システムとして当研究所で研究を行っている、スピーカアレイによる音像の遠近制御法、及びスピーカウォールによる音場の能動制御法を中心に述べる。

METHODS OF CONTROLLING SOUND IMAGES AND SOUND FIELD FOR 3D-TV

Kazuho Ono and Setsu Komiyama

NHK Science and Technical Research Laboratories

1-10-11, Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo, 157, Japan

This paper describes methods for controlling sound images and sound field for new broadcasting system by 3D-TV. 3D-TV can reproduce distance or depth of visual image. Then, if a sound system can reproduce distance or depth of sound image and sound field corresponding to 3D-TV system, the coincidence of visual image with sound image and sound field will effectively improve the 3D effect. Here, methods of controlling sound image distance and sound field for 3D-TV by loudspeaker array, which can reproduce stable sound images and good sound field in large listening area, are mainly introduced.

1. はじめに

現在、当研究所では、ハイビジョンの次の、将来のメディアの研究開発の一環として、立体テレビなど新しい放送システムの検討を行っている。新しいシステムは、立体映像の奥行き感のある画面とそれに対応した新しい音声方式による、高い臨場感の実現を目標としている。

放送等、映像や音響を提示するシステムにおいて臨場感を高める重要な要因の一つに、人間（視聴者）が動いたときその動きに対応した映像や音響を提示することが考えられる。この、人間の動きに対する映像や音響の追従性を実現するためには、実際に人間の動きをセンサで検出して、人間の動きを補償する方法がまず考えられる。しかしながら、放送システムでは複数の人が同時に視聴する関係で、人間の側になるべく特殊な装置を装着しない方法が望ましい。この場合センサを用いる方法に比べて一般的に人間の動きの動きに対する保障は難しくなるが、ある広さの視聴範囲内で制御可能な方法があれば、少なくともその範囲内においては人間の動きが補償されたと考えることができる。

そこで今回は、この観点から映像・音場の制御技術を整理し、当所で行っている研究を中心に述べる。

2. 音場の制御技術

奥行き方向の表現が可能な立体映像が導入されることにより、空間の広さや拡がりの表現力が増大する。このとき、その空間の広さに対応した音場（響き）が再現できれば、さらに臨場感を高くすることができると考えられる。特に、教会内やコンサートホール内の再現では、その効果が大きいと考えられる。

(1) 従来の音場の制御方法

再生音場内の広い聴取範囲で上記のような効果を得ることは、従来の方法では相当な困難を伴う。コンサートホール等の実音場を忠

実に再現する方法としては、すでに再生音場の一点の周りに設置した複数のスピーカから原音場の反射音を再生する方式¹⁾が報告されている。しかしこの方式では少数のスピーカを離散的に配置するため、方向による音質の差が生じやすい。また、再生音場内の一点を忠実に再現する方法であるため広い聴取範囲での音場の再現性は保証されない。

さらに、再生音場内の広い範囲での実音場を再現する方法としては、ホイヘンスの原理に基づく方法がCamras²⁾によって提案されている。これは、図1のように原音場の仮想壁面上に設置したマイクロホン出力をこのマイクロホンと対応する再生音場においたスピーカに接続して再生し、原音場の波面を再生音場で再現するものである。しかしこの方法では、再生に用いる音が仮想壁面上に設置したマイクロホンで収音されたものに限定されること、原音場、再生音場間を伝送するチャンネル数が基本的にマイクロホンの数だけ必要であることなどから実現されなかった。また放送用の音声システムとしても非現実的である。

(2) スピーカウォールによる音場の能動制御^{3)~5)}

新しい音場の制御技術の一つとして、スピーカウォール（部屋の壁一面にアレイ状に配

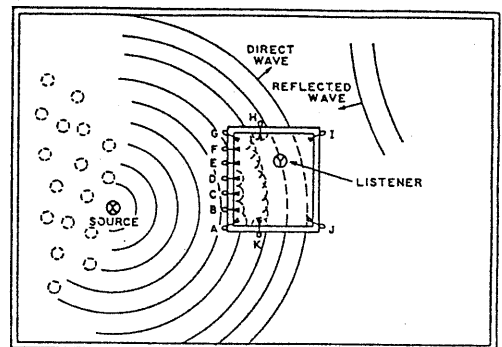


図1 Camrasの提案した音場再生方式²⁾

列した多数の小型スピーカ（図2）による音場制御法について紹介する。この方法は、部屋の壁一面に設置した多数の小型スピーカを用いて反射音の大きさと方向性を制御することにより、再生音場内の広い聴取範囲での良好な音場の再現・創造を行うものである。その特徴は、

1. 反射音のエネルギーがスピーカウォールを構成する多数のスピーカユニットに分散され、少数のスピーカの場合より再生音場内の音圧分布が平坦に近くなり、広い聴取範囲で自然な音場が得られること、
2. 反射音については伝達特性のみを伝送すればよいため、伝送チャンネル数が少なくすむこと、である。

図3に示すように、コンサートホール（原音場）の中にリスニングルーム（再生音場）を仮想的においた状態を考える。このとき原音場内の仮想的な再生音場における反射音の状態を現実の再生音場において再現できれば、再生音場全体において原音場が実現されると考えられる。

反射音の再生は、主として初期反射音の時間・空間的な構造と、残響時間の周波数特性が音場の特性の決定に聴感上重要であると考え、以下のように行う。初期反射音について

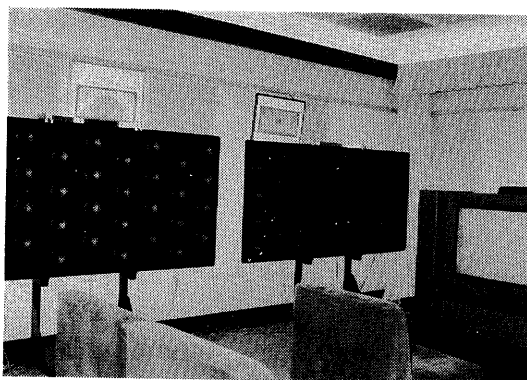


図2 スピーカウォールシステム

は音線追跡法などのシミュレーション手法によって、反射音のレベル、遅延時間、音の方向を求め、これをスピーカウォールにより再現する。初期反射音の方向の制御は、スピーカウォールを構成する複数のスピーカユニット群の位相を制御することによって行う。一方、後部残響音については、聴感上重要な統計量である残響時間周波数特性のみを原音場と一致させたものを人工的に付加し、スピーカウォールから再生する。

上記の考え方に基づいて、スピーカウォールシステムを試作した（図4）。スピーカウォールは、実験用リスニングルームの大きさ（約4m×5.5m）に合わせ、1枚が90cm×180cmの板に口径10cmのスピーカユニットを4×9個配列したものとした。このスピーカウォールをリスニングルームの側方と後方に5枚（側方に2枚ずつ、後方に1枚）設置した。また、リスニングルームの前方には直接音再生用のスピーカを2台設置した。

ハードウェアの制約から今回は前方の直接音再生用を含めて12チャンネルのシステムとし、そのうち2チャンネルを前方の直接音再生用スピーカに配分し、残りの10チャンネルを各スピーカウォールに配分した。スピーカウォールは人間の聴覚が水平方向で分解

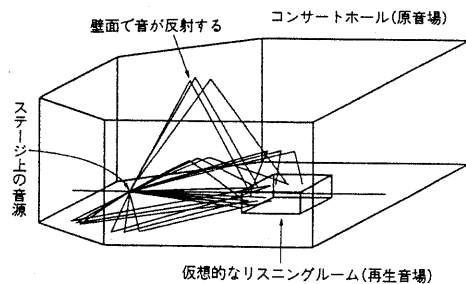
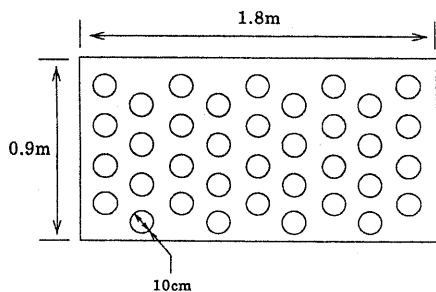
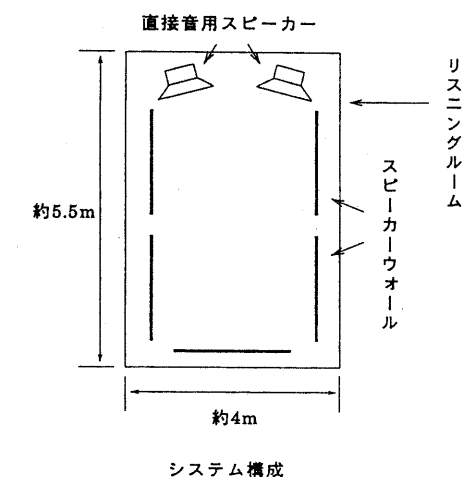


図3 原音場の中に仮想的に置かれた再生音場及び音線追跡法によるシミュレーションの例

能が高いことを考慮し、水平面内で10個のグループ（1枚あたり2グループ）に分け、各グループに1つのチャンネルを割り当てた。1つのグループ内のスピーカユニットは同相で駆動するシステムとした。

また、反射音の再生は、初期反射音については、1次反射音のみをシミュレーションにより求めた値に基づいて厳密に制御し、2次反射音以降は各チャンネルごとに独立なものを付加した。後部残響音については、残響時間周波数特性は同じであるが互いに独立なものを付加した。



スピーカウォール (1枚)

図4 試作システム

無響室で録音されたピアノのソロ演奏を音源とし、残響時間を平均約2秒として試聴を行ったところ、スピーカウォールの効果により自然で良好な音場が再現された。また、聴取位置を変えて試聴を行った際にも、聴取位置による音場の不自然な変化は感じられず、スピーカウォールに近い距離にまで接近しても、スピーカの存在は感じられなかった。

3. 音像の遠近制御技術

高臨場感を実現する新しい放送システムに、立体映像の導入がある。立体映像では、従来の上下左右方向に加えて、前後（奥行き）方向の映像の表現が可能となる。これに対応して音像についても前後方向にも動かし遠近感が表現できれば、映像と音像の立体感が相乗的に働き極めて高い臨場感が得られると考えられる。例えば、目の前に浮かんだ歌手の立体像の口元から音声を再生できれば、従来の「AV」にはない新しい表現が可能となる。

(1) 従来の音像の遠近制御方法

従来の音響再生システムでは、音像をスピーカから飛び出させ、聴取位置が変化しても移動しない安定な音像を聴取者のすぐ近くに定位させることは容易ではない。音のラウドネスやエコーの量を変えることで、音像の遠近感のある程度は制御できるが⁶⁾、聴取者のすぐ近くに音像を提示することは難しい。音源から外耳道入り口までの頭部伝達関数を、近距離の音源と等しくなるようにフィルタで補正すれば、任意の位置に音像を提示できるという考え方もあるが⁷⁾、聴取位置が限定されるという欠点がある。また、この方法は聴取する部屋の響きの影響を考慮に入れる必要があるので、部屋ごとに別のフィルタを用いる必要がある。

(2) アレイスピーカによる音像の遠近制御⁸⁾

立体映像に対応した新しい音像の遠近制御法の一つとして、アレイ状に配置した多数の小型スピーカ（アレイスピーカ）を用い、聴

取者の近傍に極めて音圧の高い点を作り、その場所を仮想的な音源とする手法について紹介する。

この方法の特徴は、

1. ラウドネスによらず音像を聴取者の目の前に提示できること、
 2. かなり広い聴取範囲で音像が安定して定位すること、
- である。

空間内のある一点に音像を知覚させるためには、その点において局所的に音圧が極めて高い状態を作り出せばよいと考えられる。これはアレイスピーカを構成する各スピーカユニットから放射される音波が、その点において位相が等しくなる（強め合う）ように遅延量を制御することによって可能となる。

実際に図5に示すような、3.6m×1.8mの板に200個のスピーカを15cm間隔の同心円状に取り付けたアレイスピーカを試作し効果を確認したので、その結果を以下に示す。実験はこのアレイスピーカを、音響スタジオ内で聴取者から3mの位置に設置し、聴取者から0.5mの位置（アレイスピーカから2.5mの位置）で各スピーカからの音波の位相が等しくなるように遅延時間を制御した。比較のためにアレイスピーカと同じ距離に単一スピーカを設置

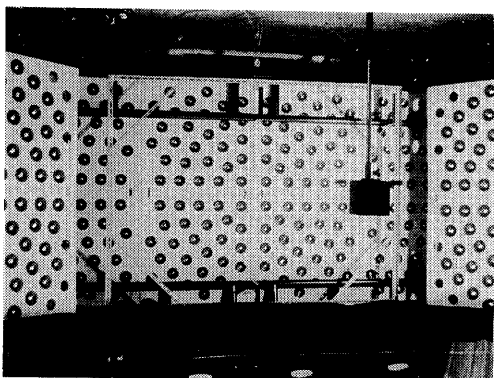


図5 音像の遠近制御のためのスピーカアレイシステム

し、両者のスピーカから様々な音圧レベルで音を提示した。聴取者に音像の距離を判断させたところ、次の結果が得られた。

1. 音圧レベルが大きいほど音像が聴取者にとって近く感じられる傾向にあるが、同じレベルで再生した場合、アレイスピーカの方が明らかに聴取者の近くに定位する。
2. 3mの距離にある単一のスピーカの音像は、音圧レベルを大きくしても1m以内にはほとんど近づかない。
3. アレイスピーカによる音像は音圧レベルが小さくても1m以内の距離に知覚される確率が高い。
4. アレイスピーカによる音像は聴取位置が多少横にずれても音像の位置は動かない。すなわち、アレイスピーカを使用するとラウドネスによらず安定な音像を聴取者の目の前に提示できることが確認された。

4. おわりに

立体映像の高度な表現力に対応した、音像・音場の制御技術を紹介した。今回紹介した技術は、いずれも聴取範囲を広くするために、聴取範囲全体を制御しようとする方法である。一方、立体映像についても観視範囲を拡げる技術は進展しつつある。すでに開発された4眼式のレンチキュラーレンズを用いた立体ディスプレイ⁹⁾（現在は8眼式も開発されている）では、特殊なメガネを使用せずに、ディスプレイと平行な左右方向のある範囲内でその方向からの立体視が実現されている。今後はこれらの音響技術と映像技術が組み合わさった場合の相乗効果についての研究も必要となるものと思われる。

新しい放送システムが実用化されれば、野球のスタジアムやコンサートホールを茶の間で体験することも決して夢ではなくなり、放送番組の魅力は大きく高まると期待される。同時にまた、その高度な情報伝達能力を利用した新たな応用の可能性が拡大していくと期

待される。

参考文献

- 1) 是永雄二, "音場シミュレーター," センサ技術, 9, 17-23(1989).
- 2) M. Camras, "Approach to Recreating a Sound Field," J. Acoust. Soc. Am 43, 1425-1431(1968).
- 3) 小野一穂, 井上友幸, 西隆司, 中林克己, 三上淳一, "アレイスピーカによる音場の能動制御," 音講論集, 769-770 (1991.10).
- 4) 小野一穂, 小宮山摂, "アレイ状に配置したスピーカによる音像・音場の制御法に関する一考察," 信学会春期全国大会講論集, 1-462 (1992.4).
- 5) 小野一穂, "スピーカーウォールについて," JAS Journal 32, No.9, 75-78(1992).
- 6) Blauert, J., Spatial Hearing (The MIT press, Cambridge, 1983) p.116-137.
- 7) 森本政之(難波精一郎編), 聴覚ハンドブック(ナカニシヤ出版, 京都, 1984), p.209-217.
- 8) S. Komiyama, A. Morita, K. Kurozumi, K. Nakabayashi, "Distance control of sound images by a two-dimensional loudspeaker array," J. Acoust. Soc. Jpn. (E) 3, 171-180(1992).
- 9) 磯野春雄, 安田稔, 竹森大祐, 金山秀行, 山田千彦, 千葉和夫, "多眼式メガネなし3次元テレビジョン," 信学論誌 J76-C-II, No.1, 16-23(1993)