

DVD オーディオ時代のマルチチャンネル録音再生技術

Recording and Reproduction Techniques for DVD-Audio Multichannel Format

浜田 博幸, 細井 慎太郎

Hiroyuki Hamada, Shintaro Hosoi

要 旨 DVD オーディオフォーマットによるマルチチャンネル再生を良好に実現するため、評価用ソフト、マルチチャンネルスピーカのセッティング法、およびそれによる聴感上の相違などの研究開発を行った。

録音系では、1)音場には、音源、アンビエント音をそれぞれ単独に録音・ミックスダウン後、重ね合わせる「SLM法」を適用、2)マイクロフォンにはサラウンド音場での集音に適するようにステレオペアマイクを発展させた「KHマイクアレイ」の開発、3)ミックスダウン時に各チャンネルの時間干渉を低減させる時間整合(位相調整)、を行い、機器開発、およびセッティングノウハウの開発に適するように、評価用ソフトを制作した。

マルチスピーカの配置はITU-R配置が最適と判断し、正三角形を用いる「H1ルール」と二等辺三角形を用いる「H2ルール」を用いて簡単、かつ正確に実現する方法を考えた。さらに群遅延特性を重視したサブウーファァーの使用方法を開発した。

また、スピーカの設置方法により、1)空間の拡がり感、2)後方への拡がり感、3)横方向への拡がり感、が変化することを確認した。

さらに、本研究ではスピーカの性能向上だけでなく、アンプなどの機能・性能向上の要素を抽出できた。

Summary The authors researched the multichannel recording and playback for accurate reproduction of sound field in the DVD-Audio multichannel format.

In this report, the new concept named "SLM: Sound Layer Method", using multichannel surround consisting of two layers, stage sound layer and ambient sound layer, is introduced.

For recording the natural ambience of a concert hall, a surround microphone array known as "KH-microphone array", an extension of stereo pair microphones, is developed.

Importance of time alignment between each channel at mixing down is also described.

An easy and accurate way of loudspeaker placement according to ITU-R recommendations using two templates, "H1 rule" and "H2 rule" is introduced.

Adjustment of bass management in terms of group delay characteristic of subwoofer is described.

The natural ambience and surrounding space of the sound field is achieved using the above recording/playback techniques.

キーワード : DVD, マルチチャンネルオーディオ, ソフト制作, スピーカ, ITU-R

1. まえがき

DVD オーディオフォーマット(以下DVD-A)による音声のマルチチャンネル(以下チャンネル)の再生を高品位に行なうことは、音楽を対象としているという点で、従来のAC-3やDTSなどの映画のマルチチャンネル再生に比較し難しい。なぜなら、空間的に動的な音の映画に対して、静的であるという点、さらに映像の力(求心力、臨場感)が借りられないからである。

そこで、音楽のためのより良いマルチチャンネルの再生を行うための検討の必要性を感じ、「空間の連続性」と「近接の存在感」の再現を目的・到達点として、研究を開始した。最終的には、エンドユーザーのリスニングルームで最良に再生できる機器の開発・再生法を確立することを目的とした。

本研究には評価用の音楽信号が必要である。そのため再生法の研究と並行して録音・ミックスダウンを行い、独自の評価用ソフトの制作を行った。

DVD-Aでのマルチチャンネル再生では、スピーカ(以下SP)配置には、フォーマット上、特に定められた配置法はない。配置法についても白紙の状態から研究を開始したが、結果的に一般的で2チャンネルステレオや映画音声と互換性の高いITU-R(BS.775-1)配置法(図1)を基本に実験を進めた。

2. 評価用ソフトの確保

2.1 市販ソフトの分析

DVDビデオフォーマットのAC-3やDTSの市販ソフトの分析を行い、各チャンネルへのアサインの

仕方を調べてみた。それによると次の3パターンに分類された。

- (1)前方に音楽 + 前後にライブ音場
- (2)前方に音楽 + 後方に人工的な響き
- (3)前後に音楽(+前後にライブ音場)

これら市販ソフトは制作過程が不明なことや、制作者側の意図するところが正確にわからないため機器開発の評価用や、セッティングノウハウの開発に使用できないと考えた。そこで(1)タイプで、自前の評価用ソフトの制作を行なった。

2.2 評価用ソフトの制作

2.2.1 Sound Layer Method

(音場に対する考え方)

「音楽空間」とは「音響」、つまり「音」+「響き」ととらえることができる。例えばホールでの演奏を聴いているときは、ステージ上の演奏者からの直接の「音」とホールを介しての「響き」を聴いている。この考え方を適用してマイクのセッティングを行い、評価用の音源を制作した。

図2にこの概念を示す。音響(ACOUSTICS) = 音源(SOURCE SOUND) + アンビエント音(AMBIENT SOUND)と定義する。このように音源のレイヤーとアンビエントのレイヤーを想定し、レイヤーごとの録音やミックスダウンを行い、その後重ねる方法を『サウンドレイヤー法(Sound Layer Method : SLM)』と名付ける。L/RフロントSPとリアSPで音場という音楽のファウンデーションを作り、その上に楽器の音をセンター・フロントSPで配置するという考え方である。

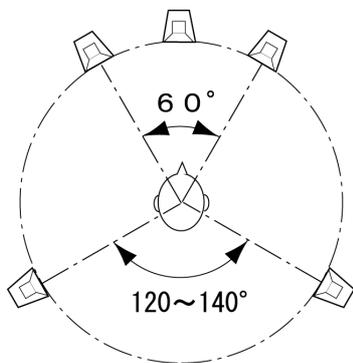


図1 ITU-R(BS-)

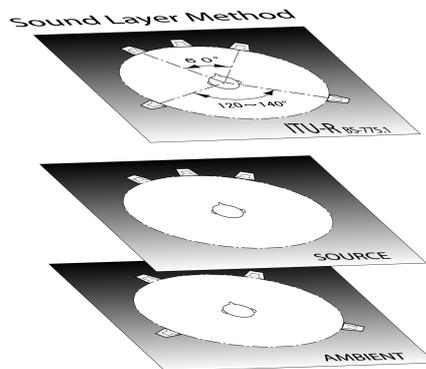


図2 Sound Layer Method

2.2.2 アンビエント収録方法

図3に従来の各種マルチチャンネル録音用マイク配置の一例を示す。ITU-R配置を前提とし、空間的に連続（全方向さらに近接にも音空間の存在感があるように）な「響き」を再生するために、さまざまな音場の録音体験を経て、試験用音源の制作に適しているマイクシステム「KH マイクアレイ」を開発した。

例えばホールなどにおいて、リスナーを取り巻く響きは、図4 aに示すように仮想のある境界線を想定し、無限数のマイクを用い、各々を記録し、図4 bのように相対する無限数のSPにそれぞれをアサインし、再生すれば再現される（音響キルヒホッフの応用）。ここで、図中おのおののマイクの先に音源があると考える。これは、近接マイク（マルチマイク）の考え方である。

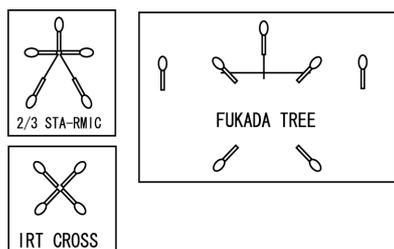


図3 マイク配置（従来例）

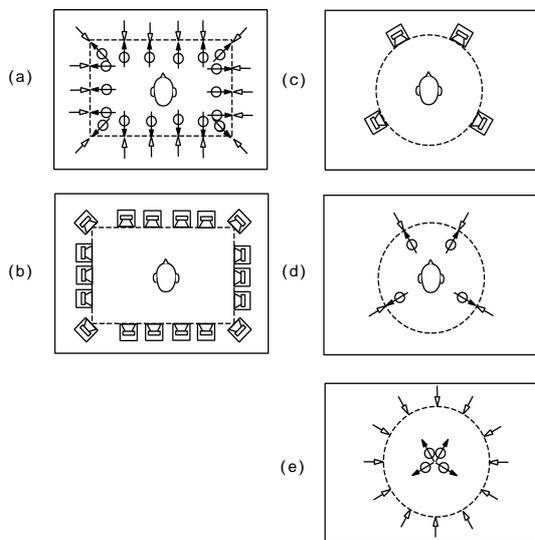


図4 録音と再生

現実的には、響に対して無限数のマイクやSPを使用することはできないから、再生SPの状況によって收音方式は変わる。例えば図4 cのITU-RのようなSP配置では、マイク配置は図4 dようになる。しかし、マイクを配置した円周が大きい場合、隣り合うマイク間それぞれの間の音を拾えなくなる。つまり、所謂中抜けを生じる。これを防ぐには、到来音波の拡がり比べてマイクカプセルを小さな円周上に配置し、マイクの指向性を利用し、補正する。これが『KH マイクアレイ』である。

『KH マイクアレイ』はアンビエント録音専用であり、ITU-RのSP配置に対応した前方60度、後方120度を開いた単一指向性マイクの4本で構成する（図5）。

図6に録音時に適用の概念を『SLM』に従って示す。概念図に示す音源(SOURCE SOUND)の録音には従来の2チャンネル録音手法を用いている。



図5 KH マイクアレイ

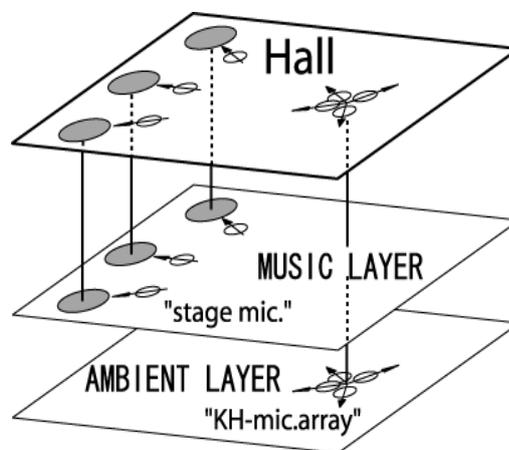


図6 SLM（録音）

2.2.3 ミックスダウン

・ 時間整合

マルチチャンネル再生ではチャンネル数が多い分、各チャンネル間の各楽器の時間干渉を少なくしておかなければならない。つまりフロント用信号と『KHマイクアレイ』さらに、『ステージ内オンマイク同士の「かぶり」』に対する時間整合を行なう必要がある。そのため、録音時にはレーザー距離計によるマイク位置の記録や紙破裂ピストルによるインパルス音を録音しておき、ミックスダウン時に時間整合を行なった(図7)。

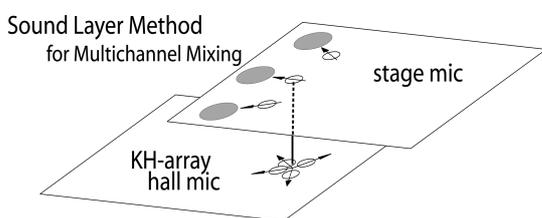


図7 SLM 時間補正 (ミックスダウン)

・ Phase Sync LFE (Low Frequency Effect) (サブウーファーミックスにおける位相の補償)

フロント信号の低域部を用いて、サブウーファー信号(以下LFE)を作る場合を考えてみる。LFE信号はLPFがかかっているために位相が回り、元信号と位相が合わない。そのために両者を再生するとき周波数特性上にうねりを生じる。これを補正するためには、元信号に遅延をかける。図8に遅延をかけたときの振幅と群遅延特性を示す。遅延をかけないでそのまま足すと、聴感では、演奏の低音が遅れてくるような感じになる。

この方法を用いると、位相が合わない2つの信号がシンクしたような効果があるので、Phase Sync LFEと呼ぶことにする。

2.2.4 『プレイバックアンビエント』

スタジオ録音のような響きのない場所で収録音源に対して自然なアンビエンスを付加し、マルチチャンネル化することで音楽の演出の幅を大きく広げることができる。このための録音手法も同時に開発した。

スタジオ録音などによる響きのない元音源をホールにてSPで再生し、ホールの自然なアンビエント音をKHマイクアレイにて録音し、後で元音源とミックスした(図9)。この方法で得たアンビエントを『プレイバック(以下PB)アンビエント』と名付ける。SPには12面体形状のもの(Dodecahedron以下『ドデック』)を中高音用に使用し、低音用SPを群遅延特性を加味して付加したものをを用いた。この『ドデック』システムは再生エネルギー特性を補正してある(図10)。

さらにこのPBアンビエントの発展型として、ホール音響の伝達関数を測定し、元音源を畳み込み計算することで、ホールの響きを付加する手法も開発した。2チャンネルソフトのマルチチャンネル化エフェクターのような応用が考えられる。

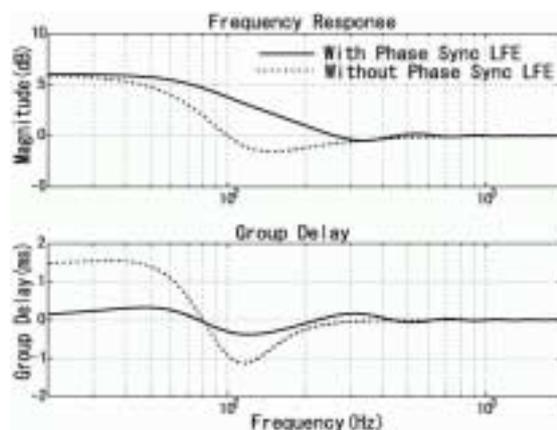


図8 Phase Sync LFE



図9 PB アンビエント



図10 ドテック

3. 再生スピーカの選定

(各チャンネルのSPの特性差について)

2チャンネルステレオの左右のSPが異なることは通常の場合にはないように、マルチチャンネルの場合も全ての再生チャンネルのSPは同じであることが基本である。フロント2チャンネルを、例えば左フロントと左リアに置き換えてみれば自明のことである。つまり、左側のある位置に音像を定位させようと思えば両方のSPの特性は同一であることが前提になる。しかし、2チャンネルステレオから発展し、他チャンネルのSPを追加したり、場所の制約などで後方SPを小型にせざるを得ないなど、異なるSPを使う例が現実には多い。このようなときのSP選択はできるだけ特性(音圧周波数特性と位相特性)が同じようなものを選ぶと良い。近年SPの性能が向上し、一般的にどんなSPでも音圧周波数特性は平坦であるから、位相特性に留意すると良い結果を得る。

SP設計のテクニックとしてユニットを逆相に接続する。つまり位相を180度ずらし、音圧特性を平坦にすることが一般的に行なわれている。クロスオーバー近傍の位相の回転は千差万別であるが、通過帯域ではSPユニットの接続極性に位相特性は依存する。一般的にはSPの位相特性が公表されることは少ないが、クロスオーバー周波数とユニット極性により概略の位相特性は推測できる。

つまり、異なるSPを使う場合には、ユニット駆動極性ができるだけ広い範囲で合ったSPシステムを使用すればよい。

4. スピーカ配置と調整

ここではITU-R配置を簡便に行う手法やSP設置後の調整方法を述べる。各SPからの再生レベルや距離を合わせることは再生の基本である。さらに、SPの向き調整が重要なことを述べる。

4.1 スピーカ設置

実際にSPの配置を行なってみると、それぞれの角度を正確にとることは意外に面倒である。後方を120°としたときのITU-R配置を簡便に行なう方法を考案した。『H1ルール』『H2ルール』と呼

ぶ2つの三角形を用いて位置決定を行なう方法がある。これを図11に示す。

「H1ルール」、「H2ルール」とは、図11に示すITU-R配置をつくるための、正三角形と直角三角形のゲージにつけた呼称である。

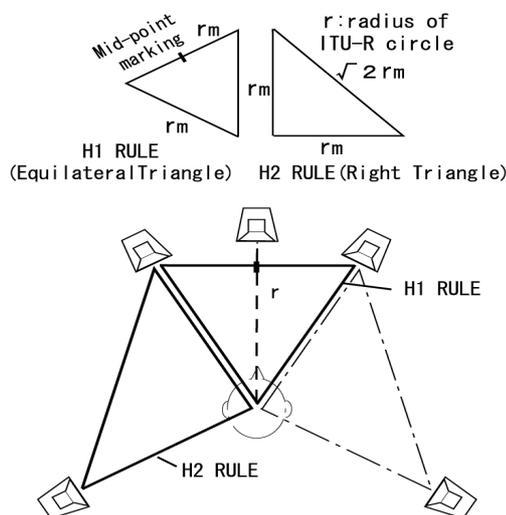


図11 SP配置方法

4.2 サブウーファの設置

ITU-R配置ではサブウーファの設置位置は定められていないが、位相を管理するためには他のチャンネルのSPと同様に同心円上に置くことが良いと考える。

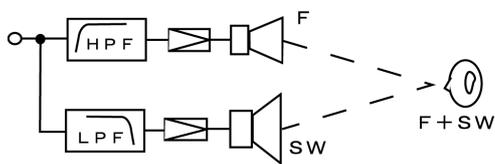
サブウーファには二つのタイプがある。1つは前述のLFE(専用のチャンネルに入れられた効果的に使用する低音信号を再生するもの)と再生音場の低域特性の不均一さや小型メインSPの低音特性を補うためにフロント/センター/リア5つのチャンネルの低音部分を再生するものである(バスマネージメントと呼ばれている)。バスマネージメントにおける群遅延特性について考察してみる。

図12は簡便のために1チャンネルのみを示したバスマネージメントの構成図である。メイン信号はHPFによりその高域部がメインSPに入れられ、LPFでその低音部はサブウーファに入れられる。両者は空間で合成され、聴取される。それぞれのSPが理想的なものとして位相回りもなく、聴取点までの距離も同一とすると図12の振幅特性と群遅延特性は図13のようになり、受音点では

フィルターの位相回りのために群遅延が大きくなり、そのため音質劣化を生じる。

群遅延特性を良くするには、位相回りを補償する手段を講じなければならない。図14にフィルター次数を変え、メイン信号に遅延をかけ、群遅延をほぼ平坦化したときの伝送特性を重ねて示す。実際には使用するSPの特性を考慮し、フィルターの次数や遅延量を決定する必要がある。

この考察から、サブウファーでの位相管理は重要であり、AVアンプなどに搭載されるバスマネージメントでの性能改善手法が導かれる。



(1chのみを表示)

図12 バスマネージメント構成

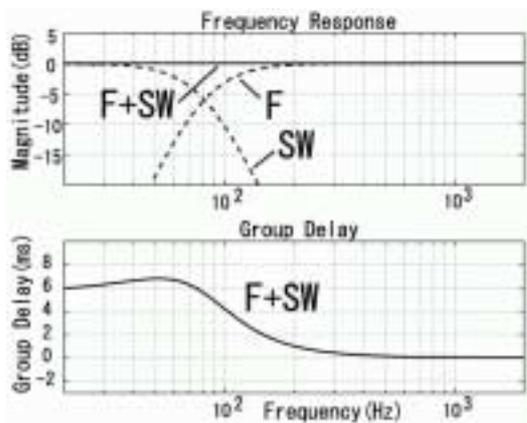


図13 周波数特性と群遅延特性

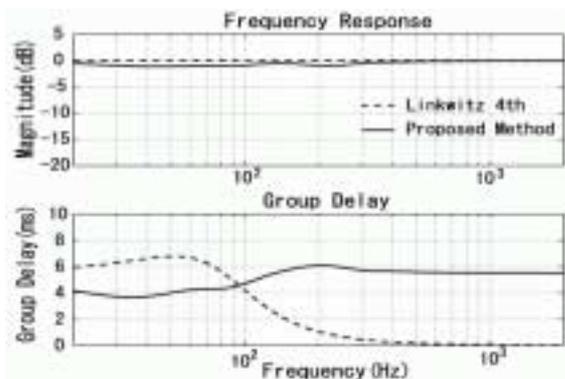


図14 群遅延特性延平坦化

4.3 各スピーカのレベル調整

各SPからの再生レベルを均一にするには、従来ホワイトノイズやピンクノイズを用い、音圧計でレベル測定するか聴感に頼っていた。しかし、フロントとリアのSPが違う場合、音圧計での読みは同一でも後で聴感で補正する必要があったり、聴感での合わせでは誤差が大きくなる問題点があった。改善するためには、試験信号にバンドパスフィルターをかけたノイズを用いると良い。バンドパスフィルターの通過帯域はSPの音色が近い範囲でできるだけ広いほうが良いが、SPの違いは低音の再生帯域の違いに大きく現れるので低域側は急峻に切ったほうが良い。

4.4 距離調整

ITU-Rの中心から各SPまでの距離を正確に合わせると、音場感や定位感の良さが格段に向上する。その誤差は1mm以下が良い。距離を合わせたときと異なる距離のときの二本のSPで作る空間のエネルギー分布のシミュレーション結果を図15に示す。距離を合わせないと、特に壁面の反射に係るリスニングポジション背面の乱れが大きくなる(図15の丸印部)ため、空間の広がり感が損なわれる。

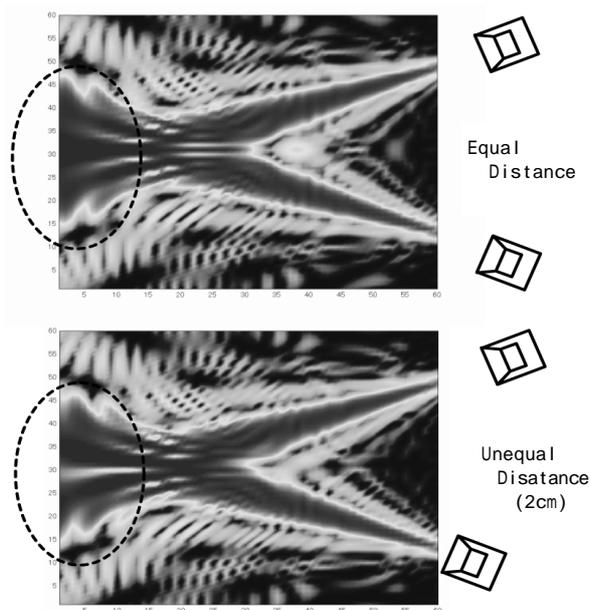


図15 空間のエネルギー分布

4.5 スピーカの向きの調整

4.5.1 後方，次に側方の音場の拡がり感，定位が出にくい。

円周上で声を出しながら回り，その中心に置いた「KHマイクアレイ」で録音した音源(図16に音源制作時の模様を示す)で試聴実験を行ってみると，スピーカをその中心に向けたITU-Rでは後方，次に側方の音場の拡がり感や正確な定位が出にくい。特に，後方の音像は頭内定位しやすかった。

原因としてSP相互の反射音や壁面の反射の影響があるのではないかと仮定し，実験およびシミュレーションを行い確認した。

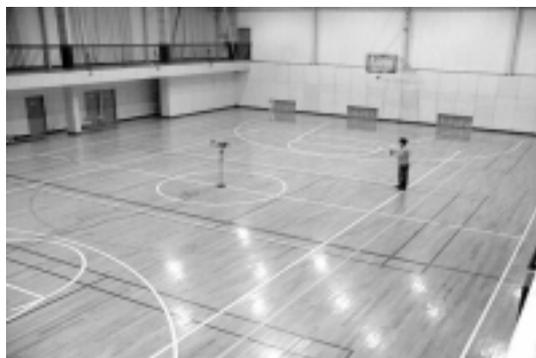


図16 円周上を旋回する音源の制作

4.5.2 SP相互の反射による定位感の喪失

無響室内にSPをITU-R配置し，1本のSPのみにインパルスを入力し，中央に置いたマイクの波形を観測した。この結果をリア左SPへ入力した場合について述べれば，

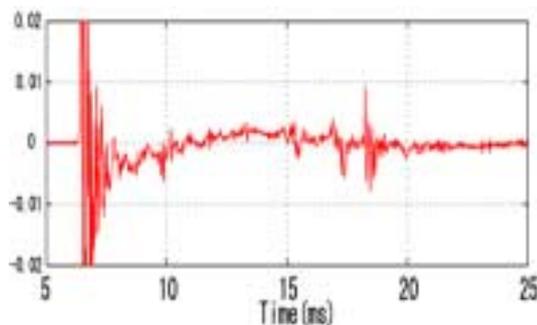
- (1) 各SPの反射が時間的に並んで生じている。
- (2) 距離の遠い中心に対して反対側のフロント右SPの反射が一番大きいことがわかる(図17a)。

この中心に対して反対側SPの聴感への影響を確かめるため，試聴実験を行なった。リア左SPに音楽信号を入れ，フロント右SPの有無による空間の印象を聴いた。(フロント右SPは駆動しない)その結果，フロント右SPがあると空間の圧迫感や頭内への定位感を感じた。

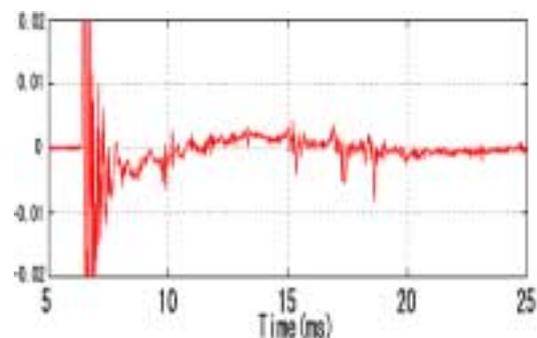
この問題を改善するために，リア左SPの中心軸

方向をセンターから後ろ方向に変えてみた。図17bにそのインパルスレスポンスの結果を示す。図17aに比べ，反射波が低減されている。音楽での聴感でも後方への拡がり感の改善が確認された。

次に，リア左SPへ入力し，フロント右SPの形状を変えて(矩形小，矩形大，流線型1，流線型2，ドデック)同様の測定，試聴を行ってみた。図18に試験SPを，図19に結果を示す。反射音が拡散する形状のドデックではパルスの反射が少ないことがわかる。試聴でも，この場合の空間の印象はフロント右SPがない場合とほとんど変わらなかった。



a) 中心軸を中央へ



b) 中心軸を中央からやや後ろへ

図17 スピーカ振り角変更による反射低減



図18 各種形状の試験スピーカ

4.5.3 リスニングルーム壁面の影響

次に壁面の影響によるものをフロントSPで考えてみる。図20はフロントSPについて行った音響インテンシティのシミュレーション結果である。中心に向けたものはその方向が集中しているため、フロント左SPからの音はリア右方向からの反射が多くなる。経験的にSPの中心軸を外に振ると横方向の広がり感が改善されるのはインテンシティが分散し、特定の方向からの反射が少なくなるためと推測される。

4.5.4 広がり感や定位感の改善

以上から、音の広がり感、定位感を出すためには、SPの向き調整が有効であることがわかる。図21に一般的な中心軸方向を示す。具体的な角度は、次に述べる試験信号などを用いて調整すると良い。

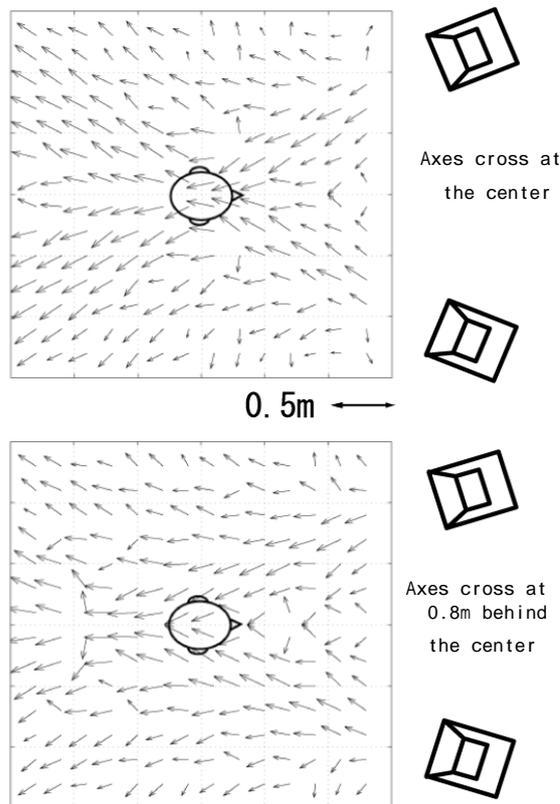
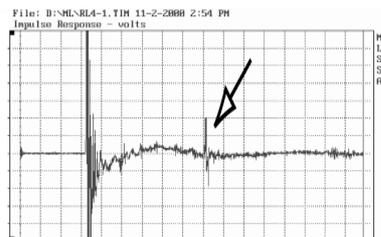
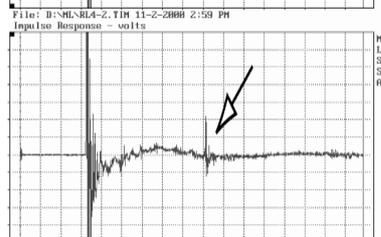


図20 音響インテンシティの向き

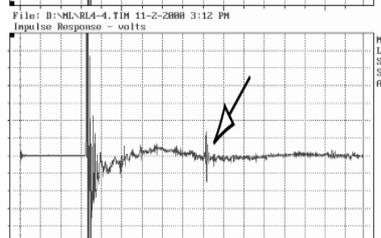
矩形小



矩形大



流線形A



ドデック

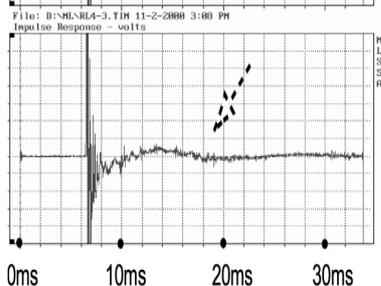


図19 スピーカ形状による反射の違い

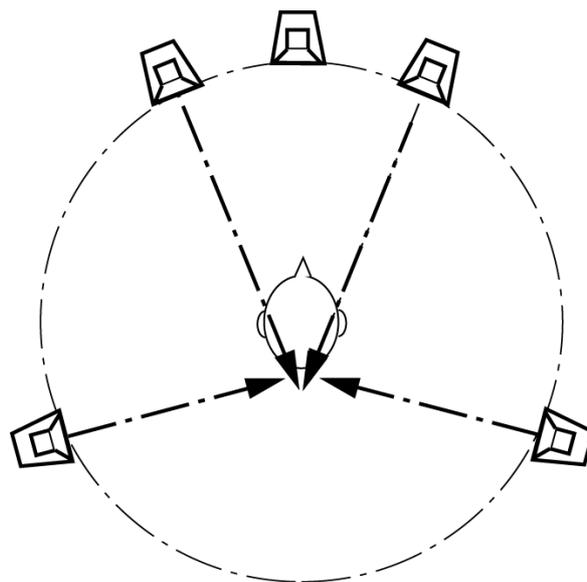


図21 スピーカの向き調整

5. DVD オーディオディスク製作

以上の結果を踏まえて、音楽的にも十分楽しむ、かつ各種の調整や、評価に十分使用できるDVD-Aディスク「VARIATIONS」(PEKDA-507/パイオニア)を制作した(図22)。このDVD-Audioディスクは2つのグループに分かれている。

グループ1は、2.2節での技術を用いて録音したJAZZトリオのスタジオ、ライブハウス、ホール録音(前述の『PB アンビエント』は3曲含む)が収録されている。

グループ2には、4章で述べたようなスピーカーセッティングが容易に行えるように、聴感で調整できる各チャンネルのレベルや聴取点との距離を調整する信号、SP方向調整信号を入れた。

レベル調整は、バンドノイズを隣り合う2つのSPから交互に再生し、大きさが等しくなるように調整する。

距離調整は、レベル調整終了後、隣り合う2つのSPに同時にパルス音を入れ、パルス音が両者の中央に定位するか聴感で確かめることで判定する。

SPの向きはリスニングポイントの周りを回る信号の定位を聴き、調整する。



図22 VARIATIONS

6. 残された問題点

6.1 再生対象空間の拡大

『KH マイクアレイ』による録音と、良く調整さ

れたITU-R配置で一応の空間の再現は達成される。今後、上方向の広がりやステージの奥行き感の再生が求められるであろう。

6.2 リスニングルームの広さ

ITU-RのSPの内側で聴くことを、インフィールドリスニング(以下IFL)と呼ぶことにする。IFLでは全方向の広がり感が得られるが、現実にIFLを実現するためには、比較的広い面積が必要となる。例えば、6畳間では聴取位置からSPまで約1.5m(3mの円)、8畳間でも約1.8m(3.6mの円)しか取れない。

ITU-RのSPの外側で聴くことを、アウトフィールドリスニング(以下OFL)と呼ぶことにする。広さの限られた部屋でのマルチチャンネル再生を成功させるためにOFLを提案する。『OFL』では音場全体を客観的に感じたり、俯瞰するような感覚が得られる。リアSPは聴取位置よりやや前に向け、聴取位置で再生レベルを合わせるのが良い。図23に『IFL』『OFL』の概念を示す。

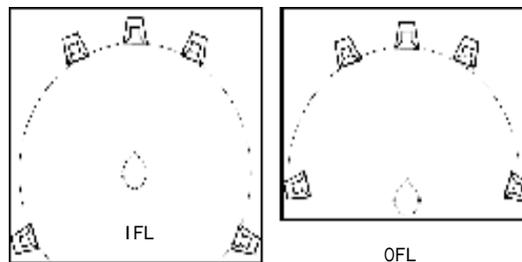


図23 IFLとOFL

6.3 センタースピーカの設置

ITU-Rでは各SPは同一水平面に設置されることとある。しかし、センターSPは画像の関係上ほとんどのケースで同一平面に置けないのが現実である。映画などは、センターSPを画面の下に置いても画像の力によってあまり不自然さは意識されないが、音楽の場合、例えば歌手の声がセンターSPから出るような場合には、非常に不自然になる。前方L,RにセンターSP信号を振り分けてセンター音像を作ることでもできるが、音像の明瞭さと奥行き感がやや不足する。

6.4 映画音響との関連

家庭での映画音響再生のためのリア SP 設置位置は、リスニング位置側方かつ上方が推奨されている。さらに後方中央の再生チャンネルを付加する方式も市販されてきた。一方、マルチチャンネルオーディオは、フロントSPと同一高さが望ましい。一般的な家庭の場合、それぞれに専用のSPを持つことは少ない。映画とオーディオの両方に対応するリア SP の研究が必要となる。

7. まとめ

本研究は、DVD-Aによる音声のマルチチャンネル再生を良くするための基礎研究である。録音から再生まですべてにわたる研究を通じ、以下の結果を得た。

- (1) 『SLM』という概念を構築し、サラウンド音場を収録するためにステレオペアマイクを発展させた『KH マイクアレイ』を開発した。
- (2) 上記延長線上で、『ドデック』を用いた『PB アンビエント手法』を開発した。
- (3) ミックスダウン過程で時間(位相)の管理が大切なことを確認し、『Phase Sync LFE』手法を開発した。
- (4) 『H1 ルール』『H2 ルール』や調整信号を考案し、ITU-RのSP配置や調整を正確かつ簡単に行なう手法を開発すると共に、調整することにより何が変わるかを解析した。
- (5) 新たに開発した録音、ミックスダウン手法を用いて制作した音楽と、調整用信号を含むDVD-Aディスクを制作し市販した。
- (6) 群遅延特性を重視したサブウファァーの使用法を開発した。

また、小空間でのリスニング形態『OFL』を提案した。

この研究からはSPの性能向上のみならず、アンプなどの機能・性能向上をもたらす要素が抽出できる。さらに、成果は2チャンネルステレオの再生の高品位化に応用できる点も多い。

今後、センターSPやリアSPの問題について検討を加えるとともに、マルチチャンネルによるさらに自然な音場再生を目指す。

8. 謝辞

音源や録音機材の提供とオペレーション、さらには再生までの研究の全てにわたりご協力いただきましたNRP 亀山信夫氏に深く感謝いたします。また、再生機材の提供や「VARIATIONS」ディスク制作に協力をいただいた研究開発本部市川俊一氏をはじめ関係各位に感謝します。

筆者

浜田 博幸(はまだ ひろゆき)

- a. ホームエンターテイメントカンパニー スピーカ事業統括部スピーカ技術部
- b. 1974年4月
- c. 入社以来スピーカの研究・開発・設計に携わり、今日に至る。TAD, EXCLUSIVEを担当。
- d. マルチチャンネルの研究は、2チャンネルステレオの音質をさらに良くする着目点も提供する。

細井 慎太郎(ほそい しんたろう)

- a. ホームエンターテイメントカンパニー スピーカ事業統括部スピーカ技術部
- b. 1999年4月
- c. 入社時よりスピーカユニットの開発や測定・解析技術の開発業務に従事。
- d. 響きの再現は、デジタルの性能追求によりさらに良いものになる。