

サラウンドサウンド方式の歴史と技術

An Overview of the History and Technologies of Surround Sound

小谷野 進司

Shinji Koyano

要 旨 今や映画やデジタル放送において多くのサラウンドサウンド作品が提供されている。ここでは 1940 年から始まるサラウンドサウンド発展の歴史と主な技術を紹介すると共にサラウンドサウンド普及のための課題を述べる。

Summary Today many surround sound contents are provided through movie, digital broadcast, DVD media and so on. In this article the author overviews the history of surround sound since 1940, and describes the topics of this technology and the issues to increase the popularity of surround sound.

キーワード: サラウンドサウンド 歴史 技術 デジタル放送 ハイビジョン 配信

Keyword : Surround sound History Technology Digital broadcast Hi-Vision Distribution

1. はじめに

2003 年 12 月 1 日より開始された地上波デジタル放送では、ハイビジョン画質と CD 品質の音声の実現されている。音声面で特徴となるのは高品位再生はもちろんのこと、マルチチャンネルによるサラウンドサウンドが提供できることである。2006 年からは Blu-ray や HD-DVD などより大容量のメディアが登場し、ハイビジョン映像と非圧縮多チャンネル広帯域音声の提供が可能となりサラウンドサウンドのさらなる発展が期待される。ここではサラウンドサウンドについて、その歴史、技術そして課題について概観する^(1,2)。

2. サラウンド方式の歴史

図 1 にサラウンド方式の歴史^(3,4)を示す。最初のサラウンド作品は 1940 年に公開されたディズニー映画の「Fantasia」である。「Fantasound」⁽⁵⁾と名付けられた再生システムは、3 チャンネルの光学トラックと 1 チャンネルのコントロールトラックによりサラウンドを実現している。

50 年代から 60 年代にかけて Cinerama や Cinema-Scope などの大画面が実用化され、音声も磁気トラックによるマルチチャンネルとなりフロント 5 または 3 チャン

ネル、サラウンド 1 チャンネルで再生された。

70 年代にはサラウンドサウンドにおいて新たな技術が登場した時代である。大きな技術の一つが P.Scheiber によって開発されたマトリクス方式⁽⁶⁾である。これにより 4 チャンネル信号をステレオの伝送系を使って送信可能とした。この方式を基に、山水 QS 方式、ソニー SQ 方式など様々なデコーダが開発され所謂 4 チャンネルステレオ時代が登場する。スピーカレイアウトはフロント 2 チャンネル、リア 2 チャンネルの 2-2 方式で「Quadraphonic」と呼ばれた。

同じ時代にマトリクス方式の欠点であるセパレーションの悪化を改善するために、ステレオレコードの溝にディスクリットに 4 チャンネルの信号を載せる技術として、日本ビクターが開発した CD-4 方式がある。音溝にフロントとリアの和信号および可聴周波数を超える周波数で変調した差信号を記録し 4 チャンネルの信号を伝送する。このためピックアップカートリッジに可聴域を超える 50kHz 付近までの高いトレース能力が要求された。

しかし、Quadraphonic は方式の乱立、性能の制約、互換性の無さ、そしてソフトの供給が不十分であったため普及することなく姿を消した。

それに対して、映画においてマトリクス方式は発展することになる。1976年にDolby LaboratoriesによりDolby Stereo⁽⁷⁾が開発された。この方式は光学2トラックでフロント3チャンネル、サラウンド1チャンネルを伝送するものである。Dolby Stereoをデコードした状態ではセパレーションの悪さが問題となる。これを改善するために1982年にDolby Pro Logicデコーダが開発された。Pro Logicデコーダにより隣接チャンネル間のセパレーションを3dBから30dB以上と大幅に改善している。この技術はその後5.1チャンネルのPro Logic II、7.1チャンネルのPro Logic II xと発展している。

90年代に入り音声圧縮技術を応用した低ビットレートで多チャンネルの伝送が可能となった。1990年にKodac CDSシステムが最初のデジタル音声システムとして登場した。このシステムはデルタ変調により4:1に圧縮し、5.1チャンネルを再生できた。1992年にはDolby LaboratoriesよりDolby Digital⁽⁸⁾が開発された。この方式はデジタルデータをフィルムのスプロケット間に置くことでアナログの光学トラックと共存し5.1チャンネルを伝送する。後にDVDや米国のDTVの音声フォーマットとして採用され広く普及している。さらに、THX Surround EXに対応し、サラウンドチャンネルを3チャンネルとした6.1チャンネルのDolby Digital EXが1998年に導入されている。

1993年には、DTS (Digital Theater System)⁽⁹⁾とSDDS(Sony Dynamic Digital Sound)の二つの方式が登場している。DTSは音声トラックをCD-ROMにより提供し、フィルム上のタイムコードと同期して再生するようになっている。2000年にはディスクリット6.1チャンネルを実現したDTS-ESが導入されている。SDDSはSonyが開発したフロント5チャンネル、サラウンド2チャンネル、LFE 1チャンネルの7.1チャンネルを持つサウンドシステムである。音声圧縮方式としてMD(Mini Disc)と同じATRACを用いている。

90年代後半にはMPEGによりマルチチャンネルに対応した音声コーデックが制定されている。1994年にMPEG-1と互換性を持つMPEG-2 BCが承認された。1997年には互換性を犠牲にすることでより高音質を図ったMPEG-2 AACが承認されている。

90年代にはハイビジョン放送も始まりこの音声方式としてディスクリット3-1方式が使われた。

1997年にはDVD-AudioによりLossless圧縮およびリニアPCMを含む6チャンネル再生が実現された。

2003年にはMicrosoft社よりWMA9がリリースされた。これはパソコン上でのマルチメディア再生環境であり、ストリーミングによるサラウンド再生を可能としている。WMA9 Proでは128kbpsから768kbpsのレートで最高7.1チャンネルおよび96kHz/24bitのサンプリングレートに対応している。

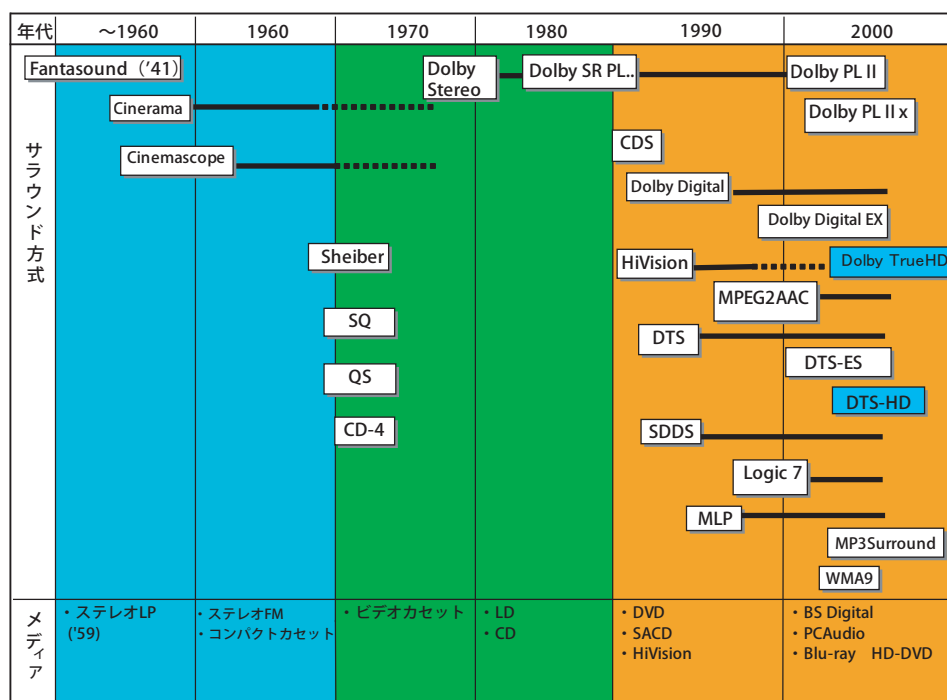


図1 主なサラウンドサウンド方式の変遷

2004年から2006年にかけてはMP3Surround⁽¹⁾やNeural Audioのような低ビットレートでのサラウンド符号化技術や、Dolby TureHD, DTS-HDのような高ビットレート Lossless 圧縮技術が発表され、使いやすさと高品位の両極に広がりを持ち始めている。

3. サラウンドサウンド方式の現状

サラウンドサウンドの音声フォーマットとしては表1のように分類される。これらの主な方式について述べる。

表1 主なサラウンドフォーマット

方式	名称	
マトリクス方式	Dolby Surround, NEO:6, Logic7 など	
ディスクリット方式	非可逆圧縮	Dolby Digital, DTS, MPEG-2AAC, SDDS など
	可逆圧縮	MLP, TureHD, DTS-HD
	非圧縮	LPCM, DSD

3.1 マトリクス方式

マトリクス方式はP.Scheiberによって基本原理が考案され(図2)、現在マトリクス方式を使っている符号化方式は全てこの技術がベースとなっている。図3にマトリクス方式の例としてDolby Surround方式について示す。

デコーダ側では基本的にフロントとサラウンドチャンネル間のセパレーションは3dBしか取れないが、図のような遅延、フィルタ処理を施すことにより聴覚心理的なセパレーションを改善することができる。このタイプのデコーダはパッシブ型と呼ばれている。

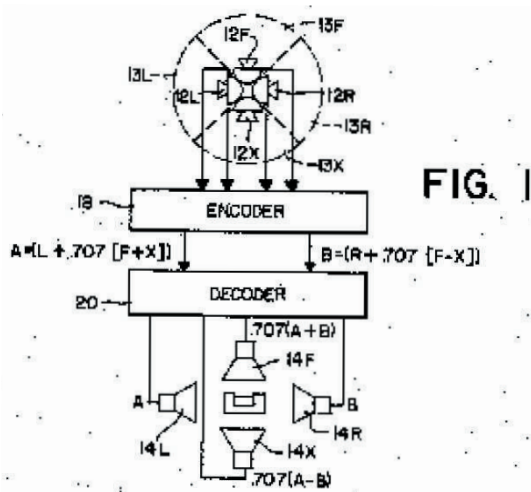


図2 P.Sheiberによるマトリクス伝送方式

それに対し、より明確な定位特性を得るために、方向性強調回路を使ったアクティブ型のDolby Pro Logicデコーダがある。この方式は、各チャンネルのレベルを比較し、最も優勢であると判断されたチャンネルへのクロストーク成分を打ち消すように動作することでチャンネル間のセパレーションを30dB以上に改善できる。Pro Logicでは独立したセンターチャンネルを持っている。

3.2 ディスクリット方式

ディスクリット方式は全てのチャンネルを独立に伝送できる。従って、十分なセパレーションやダイナミックレンジを得ることができ、理想的な定位特性やサラウンド感を得ることが可能である。しかし、マルチチャンネル信号をデジタル伝送するときはその伝送容量が問題となる。例えば、CD相当の44.1kHz サンプリング 16ビットのデータを6チャンネル伝送するためには約4.2Mbps必要となり、DVDなどのメディアではデータ圧縮の必要性が生じる。圧縮技術には大別して非可逆圧縮と可逆圧縮とがある。

(1) 非可逆圧縮

非可逆圧縮では知覚符号化(Perceptual coding)と呼ばれる、聴覚のマスクング現象を利用したデータリダクションが行われる。マルチチャンネルではチャンネル間のマスクングも利用し、圧縮効率を高めることも行われている。この方式としてDolby Digital, DTS, MPEG-2 AACなどがある。

Dolby DigitalはDolby Laboratoriesが開発したAC-3と呼ばれる圧縮方式を使っている。チャンネル数はモノラルから5チャンネルまで規定されており独立したLFEチャンネル(0.1)を持っている。データ転送レートは32kbps(モノラル)から640kbps(5.1チャンネル)までサポートしている。通常DVDなどで使われているのは384kbpsで5.1チャンネルを伝送する。

DTSはCoherent Acousticsと呼ばれる符号化方式を使っている(図4)。データ転送レートはローエンドのチャンネルあたり8kbpsからハイエンドの512kbpsで5.1チャンネルを伝送する。サンプリング周波数は24kHzから192kHz、量子化ビットは16から24ビットまで対応できる。音楽関連では96kHz/24bitでエンコードされたソフトが多くあり、従来のDTSデコーダを使っても48kHz/16bitで再生が可能である。スウェーデン放送ではデジタルラジオの音声フォーマットとして本方式を採用している。

MPEG-2 AACは各チャンネル64kbps、総合384kbpsのビットレートで5.1チャンネルを符号化で

きる。MPEG-2 AACはMPEG-1とは互換性を持たず、より高音質化を達成している。対応するチャンネル数はモノラルから5.1チャンネルのマルチチャンネルに対応でき、最大48チャンネルの伝送が可能である。AACにはMain, LC(Low Complexity), SSR(Scalable Sampling Rate)のプロファイルがあり、日本におけるデジタル放送の音声ではLCが使われている。

(2) 可逆圧縮

可逆圧縮方式としてはDVD-AudioにおけるMLP(Meridian Lossless Packing)方式がある。MLPはデータそのものの冗長性を圧縮することでデータ量を減らしている。特に高周波帯域では冗長性が大きくな

るためハイサンプリングの場合に圧縮効率が良くなる。圧縮率としては50%程度となるが96kHz/24bit6チャンネルの音声データをDVDの転送レートである9.6Mbpsに納めることができる。

Blu-rayやHD-DVDでは大容量を生かし、TrueHD(18Mbps)やDTS-HDなどの新たな可逆圧縮方式が搭載され、より高品位な再生を目指している。

(3) 非圧縮

DVDやSACDにおいては非圧縮の音声トラックによるマルチチャンネル伝送を実現している。DVD-Audioでは最高96kHz/16bitまたは48kHz/24bitで6チャンネルのLPCM伝送が可能となっている。

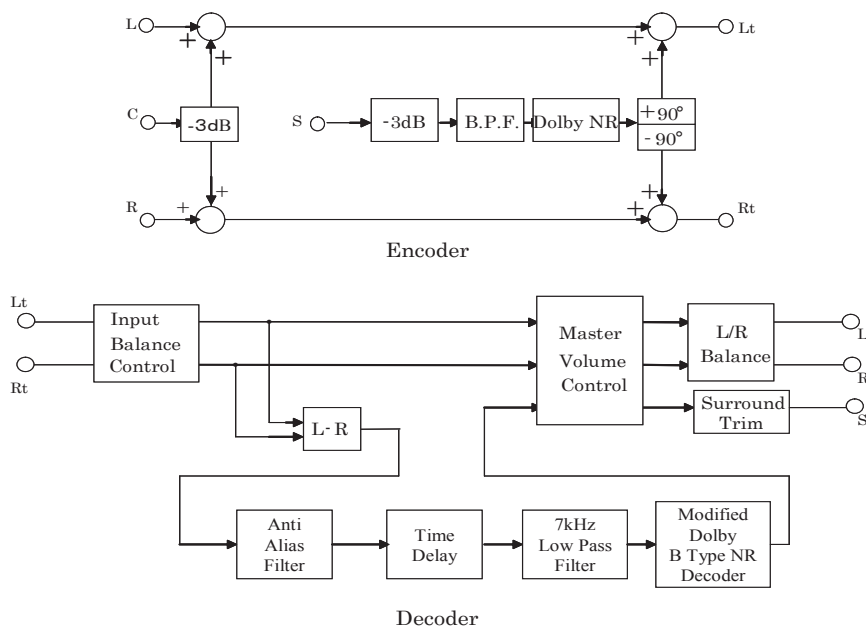


図3 マトリクス方式の例 (Dolby Surround)

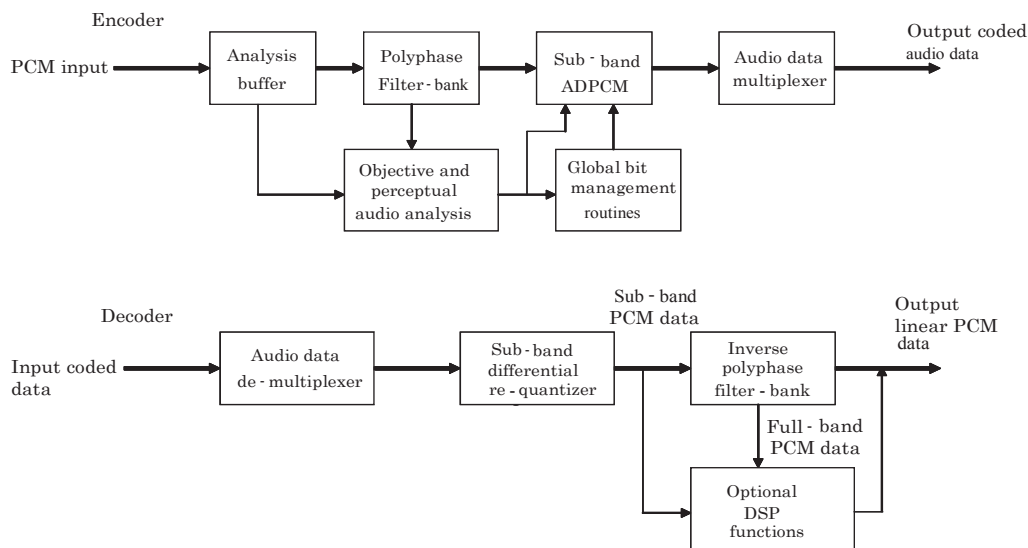


図4 デジタル伝送方式の例 (DTS Coherent Acoustics)

SACDではDSD(Direct Stream Digital)フォーマットにより2.8MHz/1bitで伝送する。

3.3 その他の方式

2チャンネルステレオとの互換性を維持したまま、サラウンドサウンドを伝送する方式としてMP3SurroundではBCC(Binaural Cue Coding)が使われている。これは、サラウンド信号を2チャンネルにダウンミックスし定位情報を付加情報として符号化する。これにより192kbpsでディスクリットに近い5.1チャンネルを再生可能としている(図5)。

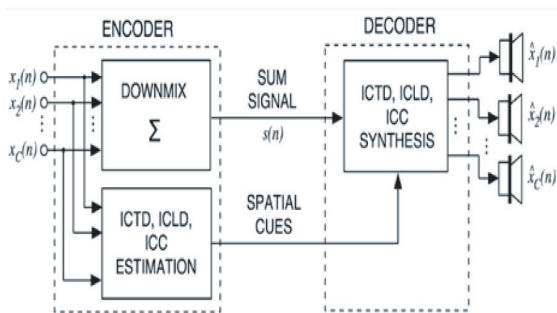


図5 MP3Surround ブロック図

4. サラウンド技術の展開

最新のAVアンプは殆どの伝送方式に対応し、プレーヤーはユニバーサルプレーヤーとしてDVD-Video, DVD-Audio, SACD各方式の再生が可能となっている。

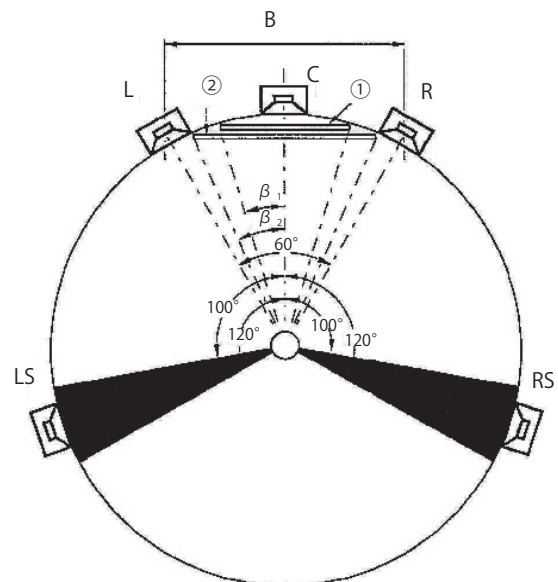
サラウンド再生が可能な機器が普及するにつれて、より手軽にサラウンドを体験できる環境を提供しようとする技術が開発されている。家庭に於けるサラウンド再生をより効果的に行うためにはスピーカ配置や再生レベルの適切な調整が欠かせない。しかし、多くのユーザーは十分な視聴環境や知識を持ち合わせていないため必ずしも最適な状態で再生しているとは限らない。このような状況を改善するため近年のAVアンプなどには自動で調整を行う機能が搭載されてきている。一例としてパイオニアが開発したMCACC(Multi Channel Acoustic Calibration System)と呼ばれる自動補正システム⁽¹²⁾について説明する。

サラウンド再生においてはITU-R BS 775-1⁽¹³⁾において規定されたスピーカレイアウト(図6)が一つの理想的な状態とされている。しかし、一般の家庭環境においてこれを実現することは容易でない。この矛盾を解決する手段としてDSPによる信号処理で理想に近い状態を作り出すことを目的としたのがMCACCで

ある。これは、受聴位置にマイクを置くことで再生音場の状態を計測し、スピーカまでの距離補正、各チャンネルの再生レベルおよび周波数特性の補正、適切な入力信号帯域を設定するためのスピーカ大小判断などを行いユーザーが操作することなく最適な状態に設定することを可能としている(図7)。

前記の技術は少なくとも5つのスピーカを設置できる状態が可能な場合に有効な技術である。しかし、ユーザの中には5つのスピーカを設置することが出来なかつたり通常のテレビに簡単に接続して楽しみたいとする人たちがいる。このような要求に対応する技術として仮想サラウンド再生技術がある。仮想サラウンドは基本的に人間の音の方向知覚を利用した再生方式である。これにより実際のスピーカは前にありながらスピーカに囲まれたような音場を作ることが出来る。この技術はヘッドホンによるサラウンド再生にも応用ができる。

サラウンド再生における別の取り組みとして、アレースピーカによる指向性制御を利用した製品も開発されている。近年のデジタルアンプの進歩やDSPの能力の向上により現実的な規模でのアレー制御が可能となっている。アレースピーカにより複数のビームを生成しそれを壁などに反射させてサラウンド音場を形成する。複数のスピーカを実際に部屋の中に配置する



Screen1 HDTV-Reference distance = $3H(2\beta_1 = 33^\circ)$
 Screen2 = $2H(2\beta_2 = 48^\circ)$
 H : height of screen
 B : loudspeaker base width

図6 ITU-R BS 775-1によるスピーカ配置

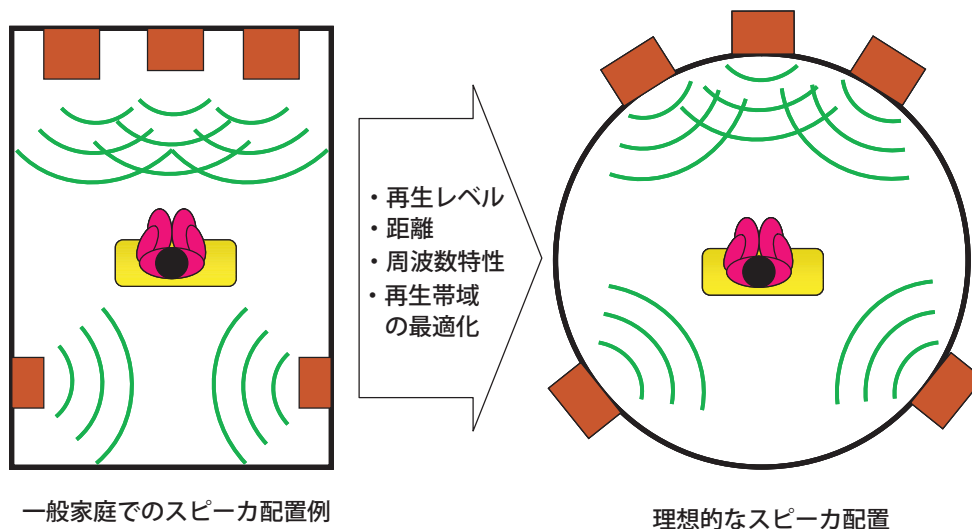


図7 音場補正イメージ

ことなく1台のスピーカでサラウンドを楽しむことができる。

映画の世界では、水平面におけるサラウンド感だけでなく上方からの音情報を再現するため、10.2チャンネルのシステムが提案されている。また、NHKでは、4000本の解像度を持つスーパーハイビジョンの音声方式として22.2チャンネルの実験システムを試作しており、より臨場感に溢れる音場を再現するための実験を進めている。ヨーロッパでは、CARROUSO(Creating Assessing and Rendering in Real time Of high quality aUdio-viSual envirOnments in MPEG-4 context) プロジェクト⁽¹⁴⁾により境界制御(Wave Field Synthesis)による音場再生が試みられた(図8)。これらの研究、技術は家庭での再生用途としては実用的でないが、臨場感や音の定位など認知に関しての知見を与え、将来の再生機器開発のヒントを与えてくれると思われる。

音楽におけるサラウンドコンテンツの制作には多くの労力が必要であり早急にその充実を望むことは困難であるが、過去の資産を活用し、これらからアップミックスによりサラウンドサウンドを制作する技術が開発されている。ダイマジック社のAST(Adaptive Surround Technology)は適応制御技術を応用し、2チャンネルソースのサラウンド化を実現している。

5. サラウンドの課題

以上、サラウンドの歴史と技術の概要を述べたがサラウンドサウンド普及のためには様々な課題があり

解決に向けた努力を行って行かなくてはならない。

第一にサラウンドの効果を視聴者にどこまで伝えられるかが課題である。一口にサラウンドと言ってもその表現の仕方はさまざまである。アンビエンスや空間イメージを重視した作品、音の移動感や定位感を重視した作品、包囲感を重視した作品など様々なアプローチが存在している。また、制作者のモニター環境はITU-R BS775-1や1116-1⁽¹⁵⁾などに規定された条件で行われており、制作意図が視聴者の再生環境でどこまで再現されているかを知る必要がある。現状ではスイートスポットに限られ、あまりピンポイントな効果を狙った作品は視聴者に誤解を与え易いため広いエリアで効果を認識できる作品とすることが要求される。再生機器についてもより広いエリアでその効果を感じさせる環境を作り出す機能の搭載が必要であろう。

第二にサラウンドコンテンツの充実が望まれる。サラウンドを普及させるためにはなぜサラウンドでなければ成らないのかを視聴者に理解させる必要がある。そしてその効果が従来のステレオ再生より遙かに優れたものであることをアピールしなければならない。そのためにはサラウンドの特色、表現力を生かした作品を提供する必要がある。視聴者がサラウンドで是非聴いてみたいと思うような作品を制作し、それを体験できる場を与えて行くことも必要となる。デジタル放送については画像の高精細化だけでなく音声のサラウンド化を積極的に行い視聴者に新たな感動を与えることが望まれる。

第三は車における再生環境の改善である。デジタル放送により今後車での受信環境が改善されてくる。それ

に伴い移動中の車内での視聴機会が増えてくる。当然サラウンド再生も行われることになるが、車室内は音響再生にとって特殊な環境でありサラウンド再生においても新たな技術が要求される。空間が狭く、反射物、吸音体が偏って配置され、試聴位置も偏っている。このような環境下では意図したサラウンドの効果は失われ易くなり、家庭環境以上に補正を行う技術が要求される。

第四はサラウンドサウンドに対する基礎的な研究への取り組みである。空間認識は聴覚のメカニズムとも関わり様々な研究が行われている。これらの知見を応用するために産官学が共同して取り組む必要があり科学的なアプローチでサラウンドを研究して行くこと

が求められる。

6. おわりに

サラウンドサウンドは映画を中心に発展普及してきており、今やDVD、デジタル放送において多くの作品が提供されてその世界は広がりつつある(図9)。しかし、放送や音楽収録における制作技術や再生技術は発展途上にあり今後大きく改善されて行くことと思われる。地上デジタル放送やBlu-ray, HD-DVDなどの大容量メディアにより新たな普及の機会を得たサラウンドサウンドを発展させるため今後とも関係者の取り組みに期待したい。

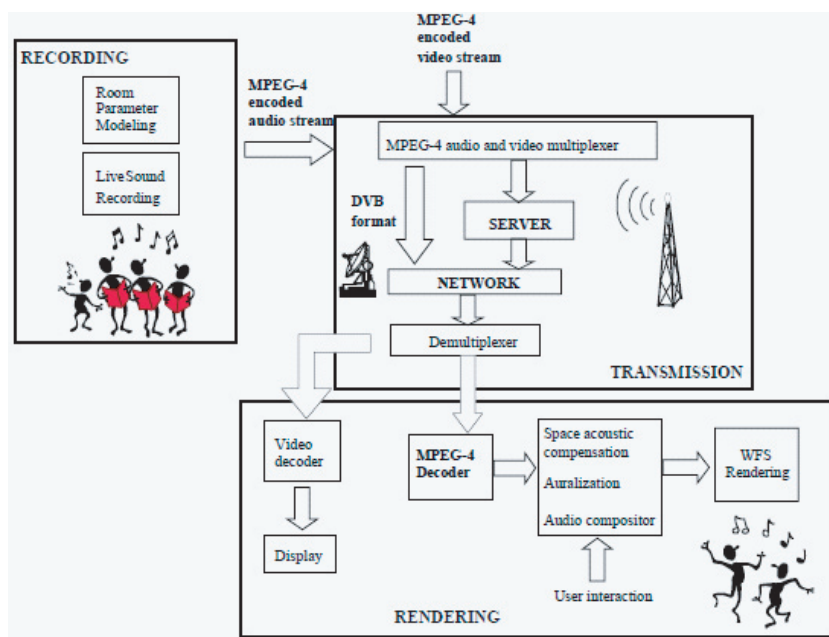


図8 “CARROUSO” Project Wave field synthesis による音場再生

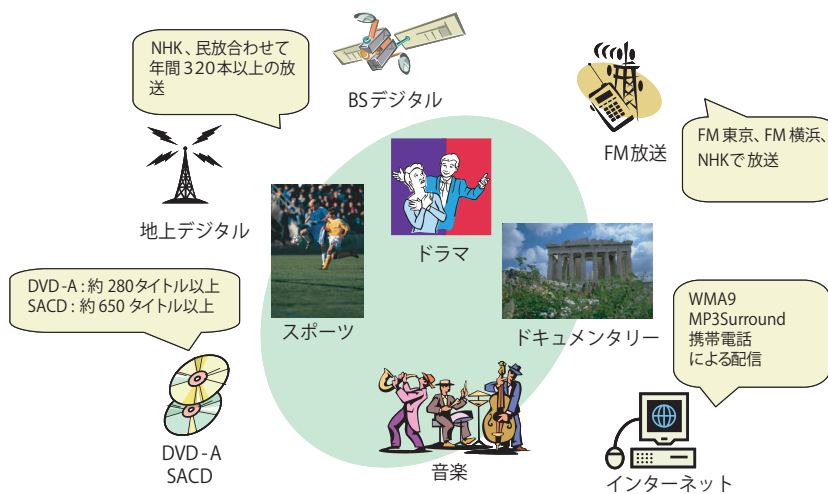


図9 広がるサラウンドサウンドの世界

参 考 文 献

- (1) 小谷野, “サラウンド再生の進化”, 映像情報メディア学会誌 Vol58 No5, pp.625-628(2004)
- (2) 小谷野, 太田, “サラウンドサウンド方式とオーディオアンプ”, 電気学会誌 125 巻 4 号 (2005)
- (3) <http://www.mtsu.edu/~smpte/timeline.html>
- (4) Mark F.Davis , “History of Spatial Coding”, J.Audio Engineering Society Vol51 No6, pp.554-569(June 2003)
- (5) W.M.E.Garity, J.N.A.Hawkins , “Fantasound” , the Journal of the Society of Motion Picture Engineers ,(1941)
- (6) US Pat. 3,632,886
- (7) Roger Dressler , “Dolby Surround Pro Logic Decoder Principles Of Operation” , Dolby White paper
- (8) Mark Davis “The AC-3 Multichannel Coder”, 96th AES Convention, preprint 3774(1993)
- (9) Mike Smith “An Overview of the Coherent Acoustics Coding System” , DTS White paper (1999)
- (10) Jr.Stuart, Pg.Craven, Mj.Law, “Lossless Compression for DVD-Audio”, AES 東京コンベンション 99 予稿集 pp152-155(1999)
- 11) Karsten Linzmeier, Christof Faller , “An Introduction To MP3 Surround”, Fraunhofer IIS
- (12) 太田, 松下, 石原, 小谷野, “自動音場補正システムの開発”, Pioneer R&D vol11, pp.12-17(2001)
- (13) Rec. ITU-R BS.775-1 “Multichannel Stereophonic Sound System with and without Accompanying Picture”
- (14) <http://www.idmt.fraunhofer.de/projects/carrouso/>
- (15) Rec. ITU-R BS.1116-1 “Methods for the Subjective Assessment of Small Impairments in Audio Systems Including Multichannel Sound Systems”

筆 者 紹 介

小 谷 野 進 司 (こやの しんじ)

技術開発本部 技術戦略部。入社以降スピーカユニット, システムの設計, 開発, 音場制御, デジタル信号処理, 変換器の研究に従事。