5章 音楽と高品質化

正会員 小野一穂[†]

キーワード：音楽，高品質化，スーパーハイビジョン，3次元音響，22.2マルチチャンネル音響，音響信号処理

1. まえがき

音響技術の進歩と発展においては、音楽の收音再生がそのモチベーションの一つとなっている。音を記録再生する機器の黎明期にエジソンが発明したフォノグラフの特許には、その用途として、速記の記録や耳で聞く書籍とともに、音楽の記録再生が記されている。また、20世紀前半にベル研究所では、多数のマイクロホンとスピーカを用いた立体音響の伝送技術の実験を、ストコフスキー指揮フィラデルフィア管弦楽団の演奏を用いて行っている。

レコードやCDをはじめとするパッケージメディアにおいて音楽が重要であるのはもちろんのこと、放送においても、放送開始時期のモノ（1ch）音声から、アナログ放送で用いられた2chステレオ、デジタル放送の5.1chサラウンド、8Kスーパーハイビジョンの22.2chマルチチャンネル音響へと発展を続ける中、音楽は常に放送システムの魅力を示す上で欠かせないコンテンツであり、その制作においては、素材を高品質なまま扱える信号処理技術が重要な役割を果たしてきた。そこで本稿では、放送やパッケージメディアなど、音楽コンテンツの制作にかかる技術を、特に音楽の高品質化の観点から概観するとともに、近年のトピックとして、8Kスーパーハイビジョンの音響方式である22.2マルチチャンネル音響に関連する音響信号処理技術を中心に紹介する。

2. 高品質化の要素

音響技術の高品質化にはさまざまな要素が存在するが、ここではHarry F. Olsonが提案した下記の5項目について考えてみたい。

- ① 雑音が低いこと
- ② ダイナミックレンジが広いこと
- ③ 周波数帯域が広いこと
- ④ 音の定位が明確であること
- ⑤ 音の空間的な印象を再現すること

[†] NHK 放送技術研究所

"High Quality Audio Signal Processing for Music" by Kazuho Ono (Science & Technology Research Laboratories, NHK, Tokyo)

このうち、①～③については、マイクロホンなどの收音装置や、テープレコーダなどの記録装置、スピーカなどの再生装置の性能向上が図られてきた。これらのうち、劣化の要因の一つであった記録装置については、NHK技研が世界で始めて開発したPCM録音技術が品質の改善に与えたインパクトが大きく、大半の音響記録伝送機器をアナログ方式からデジタル方式に移行させた。

具体的にはデジタル方式で十分なビット深度を確保することにより、①の雑音のうち量子化雑音の低減と②のダイナミックレンジを確保でき、③の周波数帯域についても、デジタル放送で用いられるサンプリング周波数48kHzや、コンパクトディスクで用いられるサンプリング周波数44.1kHzなどにより、ナイキスト周波数が一般に人間の聴覚の上限といわれる20kHzをカバーした。近年では、自然界や楽器音には存在する20kHzを上回る周波数帯域までカバーする機器が広まりつつある。なお、これらの品質を確保するためには、收音・再生機器、A/D・D/A変換の品質が充分に高いことが前提であることはいうまでもない。

また、音の空間性にかかわる④と⑤について、音響システムはモノ（1ch）再生から始まり、ステレオ（2ch）、5.1サラウンド（5ch）まで、水平方向にチャンネルを増やすことで進歩を図ってきた。5.1サラウンドがデジタル放送や映画をはじめとして広く用いられるフォーマットとして普及しているのは、周知の通りである。

一方、現実の音空間では、音は前後、左右、上下のあらゆる方向から到来するものであり、人間の聴覚もまた、視覚と異なり前後左右から到来する音を知覚することが可能である。その意味において、④と⑤はまだ発展途上にあるともいえる。現在も研究開発が進み、一部実用化も進み始めている3次元音響技術は、この音響事象の空間性を取り扱うための技術である。そこで次章以降、3次元音響に関連した信号処理技術について述べる。

3. 3次元音響に関連した信号処理

3.1 3次元音響方式の分類

3次元音響技術は、空間内の1点を基準に方向の異なる複数チャンネルを設置し、その各チャンネルが音の到来方向と

図1 22.2マルチチャンネル音響

1対1に対応するマルチチャンネル方式、複数チャンネル全体で音場を表現する音場再現方式に大きく分けられる。詳しくは本誌2014年8月号の特集「立体音響技術」を参照されたい。

いずれの方式においても、④の定位の実現、⑤の音響空間印象の実現の双方において、チャンネルを高さ方向にも配置することがキーとなる。

このうちマルチチャンネル音響はすでに実用化も進み、これまでにさまざまなフォーマットが提案され、主要なものが勧告ITU-R BS.2051に記載されている。2016年に試験放送を開始した8Kスーパーハイビジョンの音響方式である22.2ch音響(図1)は、高精細な大画面用の音響システムとして主として以下の要求条件を定めた、ITU-R勧告BS.1909を満たす高品質な音響再生を可能とするフォーマットである。

- (1) 聴取位置を取り囲む全方向からの音の到来が再現可能なこと
- (2) 高品質な3次元音響空間印象(包み込まれ感)を再現できること
- (3) スクリーン上任意の位置での映像と音像の方向が一致すること
- (4) 広い視聴範囲をもつこと

以下、22.2ch音響を中心に、3次元音響に用いられる信号処理技術について紹介したい。

3.2 收音

收音については、通常の2チャンネルステレオや、5.1サラウンドの收音と同様に、全体の音を捉えるメインマイク、残響や背景音の收音、広がり感を表現するアンビエンスマイクにより構成されることが多い。この場合、收音した各マイクロホンの音を各チャンネルに割当てて、方向性を表現するために3次元パンニング装置が用いられる。詳細については解説¹⁾を参照されたい。

一方、限られた狭い空間で收音する場合などは、基本的には空間内の1点を囲むように、チャンネルの方向に合わせ

図2 ワンポイント收音の考え方

図3 ショットガンマイクロホンアレイ

て方向別に收音するワンポイントマイクロホンが考えられる(図2)。この場合、22.2ch音響などのように、隣接するチャンネル間の角度が狭いシステムでは、チャンネル間のセパレーションを確保するためには、より狭い指向性が求められる。

一般にマイクロホンの指向性制御では、全指向性の(指向性を持たない)素子を用いたマイクロホンアレイにより指向性合成を行うことが多い。このようなマイクロホンアレイを用いて可聴帯域である20 Hz～20 kHzの帯域をカバーする場合、波長の長い低周波数帯域(以下、低域)において指向性を確保するにはマイクロホンアレイ全体の大きさが必要である一方、波長の短い高周波数帯域(以下、高域)はマイクロホン間隔を狭める必要がある。このため、広い帯域をカバーするようなマイクロホンアレイを構成するには、マイクロホン間隔の狭い条件で、大きなアレイを構成する必要がある。結果として極めて多数のマイク素子を配置する必要がある。

一方、図3のように22.2ch音響のチャンネルの方向が固定していることに着目し、チャンネルの方向に狭指向性のショットガンマイクロホンを設置すれば、高域ではショットガンマイクロホンの単体の狭指向性が利用可能である。ただし、前述の理由により低域ではショットガンマイクロホンでも狭指向性が得られない。

そこで、低域についてのみ、図4に示すようにショット

図4 ショットガンマイクロホンアレイによる

指向性合成処理

高域：ショットガンマイクロホン信号をそのまま出力

低域：音場の逆フィルタ処理Hを行い指向性制御を行う

ガンマイクロホンの複数の素子を組合せて音場の逆フィルタ処理による指向性制御を行い、広い帯域で狭指向性を得る手法が提案されている²⁾。本手法は、任意の向きへの指向性制御には不向きであるが、あらかじめチャンネル配置が既知であるマルチチャンネル音響において、マイクロホン素子数を一定に抑えることが可能である。

3.3 音場の方向情報に基づいた記録手法

狭指向性により音波の方向を物理的に分離する手法をとらず、全指向性の(方向性を持たない)音を収録すると同時に、時々刻々の方向情報を同時に計測・収録し、この二つの情報を統合して3次元音響を記録する手法が知られている。DirAC (Directinal Audio Coding)³⁾と呼ばれるこの手法は、3軸のダイポールから構成されるマイクロホンアレイ等を用い、図5に示すように各周波数帯ごとに時々刻々の方向(音響インテンシティベクトル)を計測・記録すると

ともに、同時に収録した方向情報を持たない音の振幅を合わせて収録し、これらを統合して音場を再構成する方式である。特定の短時間窓の中で、特定の周波数帯では、方向を1方向に限定するため近似の大きい方式であるが、極めて効率的に3次元音響を記録できると考えられ、3次元音響の高効率な圧縮符号化などにも応用されている。

3.4 残響付加

制作における信号処理としては、残響付加技術が重要である。空間の響きは一般に全方位から到来し、かつ方向ごとに無相関であり、この特徴が広がり感に大きく寄与している一方、上記の要件を満たす残響音を収録するためには、多数のマイクロホンを間隔を離して設置することを必要とする。このため、十分な質とチャンネル数を有する残響音の収録は必ずしも容易でなく、残響付加装置によって制作時に残響を付加する場合がある。また、異なる素材信号間の残響感を揃えて、音をミックスした際により自然に聞こえるための調整も、残響付加装置の重要な役割である。

残響付加装置の基本的な構成としては、インパルス応答をFIRフィルタとして重畳する方式(以下FIR型)と、IIRフィルタを用いる方式(IIR型)がある。FIR型は、優れた音響特性を有する空間の残響音をより正確に再生できる一方、制作時に必要な調整が容易でない。一方、IIR型は音響的にはFIR型ほどの正確さはないが、パラメトリックに自在な調整が可能である。番組制作では残響感の調整が重要となること、処理コストが相対的に低いことから、残響付加装置はIIR型が主流であった。

一方、ハードウェアの進歩により、FIRフィルタを用いるケースも増えつつある。特に22.2ch音響の制作では、FIR型が開発され、番組制作に用いられている⁴⁾(図6)。本装置は残響特性の自在な調整は不可能であるが、残響時

図5 DirACによる音場の表現

図6 22.2ch 音響残響付加装置

間の短縮化については、実測したインパルス応答のエンベロープの減衰を早めることで連続的に可能である。一方、残響時間の伸長はエンベロープの調整では困難なため、残響時間の伸長手法が新たに提案されている⁵⁾。

本伸長手法は、インパルス応答を窓関数をかけてブロックに分割し、それを一定の規則のもとでランダムにシャッフルすることで、多数の応答を生成する手法である。ブロックシフト法を拡張したものである。従来のブロックシフト法では、生成する応答中のブロック数は既存の応答と同数であったが、同一のブロックを複数回用いて再構成することで、既存のインパルス応答の残響時間を伸長することが可能である。

このようにして生成した、例えば約2倍の長さの応答をライブラリーとして残響付加装置内に入れておき、前述のエンベロープの減衰と組合せることにより、残響時間を連続的に増減することが可能である。なお、ブロックシフト法は本来、音色が類似し、かつ互いに相関の低いインパルス応答を多数生成する機能も有するため、上記の残響時間の調整だけでなく、2chや5.1chのインパルス応答をもとに、22.2chのインパルス応答を生成する機能も有し、ライブラリーの拡充に貢献している技術である。

3.5 バイノーラル再生

3次元音響のアプローチとして、本稿ではスピーカ再生を基本とする音場再生技術について述べたが、バイノーラル再生技術も重要である。バイノーラル再生とは、人間の耳が二つであるので、人間の両耳の位置の音情報を再現すれば、すべての音情報は、人間にとって必要充分であるという考え方に基づく。その技術の基本は、人間の耳に取り付けたマイクロホン、もしくは人間の頭の形をしたマネキン(ダミーヘッド)の耳の位置に取り付けたマイクロホンで収録し、これをヘッドホンやイヤホンにより再生するものである。

マルチチャンネル音響をヘッドホン再生する場合は、各チャンネルの信号ごとに、そのチャンネルの方向の頭部伝達関

数をたたみ込んでヘッドホン信号を生成することにより可能である。より安定した定位感を得るために、頭部運動を補償した音響再生も試みられている。

一方、バイノーラル信号をスピーカから再生することができれば、ヘッドホンを着ることなくバイノーラル再生を楽しむことができる。一般にスピーカから放射される音は左右の両耳に入るため、2チャンネル以上の信号を前処理し、右耳用の信号が反対耳(左耳)に入らないようにする逆フィルタ処理が必要となる。

本技術は、古くは2チャンネルのクロストークキャンセル問題として提案されたが、近年では逆フィルタを安定化する目的で再生するスピーカの幅を音波の波長にあわせて変化させる方式⁶⁾、22.2ch音響のディスプレイ一体型スピーカとして12個のスピーカにより再生する方式⁷⁾等が開発されている。

4. むすび

音楽再生の高品質化にかかわる技術について述べた。ここでは紹介できなかったが、記録や伝送に用いる圧縮技術の進歩も、音楽再生の高品質化には不可欠の要素である。

今回主として取り上げた22.2ch音響は、8Kスーパーハイビジョン用の音響方式として、すでに試験放送が行われている。ワールドカップや五輪などの主要なスポーツイベントなどと並んで、多様な魅力ある音楽コンテンツが人気を博している。

今後も音響信号処理技術の発展により、魅力ある音楽コンテンツがさらに広まることを願いたい。

(2017年6月2日受付)

〔文 献〕

- 1) 小野：“マルチチャンネルオーディオ”，映情学誌，68，8，pp.604-607 (2014)
- 2) 佐々木ほか：“音場の逆フィルタ処理に基づくマルチチャンネルワイドポイントマイクロホンについて～指向性マイクロホン素子による検討～”，2015年秋季日本音響学会研究発表会講演論文集，577-578 (2015)
- 3) V. Pulkki: "Spatial Sound Reproduction with Directional Audio Coding", J. Audio Eng. Soc., 55, 6, pp.503-516 (2007)
- 4) 西口ほか：“8Kスーパーハイビジョン22.2ch音響制作システムの開発”，映情学技報，38，44，BCT2014-89，pp.77-81 (2014)
- 5) 森ほか：“22.2ch音響制作のための多数の残響音生成手法の検討－残響時間の調整－” 2016年春季日本音響学会研究発表会講演論文集，p.789-790 (2016)
- 6) 武内：“スピーカを用いたバイノーラル立体音響再生”，日本音響学会誌，61，7，pp.398-403 (2005)
- 7) 松井ほか：“22.2マルチチャンネル音響の枠型スピーカによるバイノーラル再生法の開発”，映情学誌，70，1，pp.J37-J46 (2016)

小野 一穂 1991年，東京大学工学部計数工学科修士卒業。同年，NHK入局。以来，放送技術研究所にて，音響トランスデューサ，3次元音響の研究，ARIB標準化活動等に従事。市村学術賞，日本音響学会技術開発賞，関東地方発明表彰発明奨励賞，放送文化基金賞，IEEE GCCE2016 Excellent Paper Award 1st Prizeなどを受賞。正会員。