

音響遮蔽板を利用した マルチチャンネルワンポイント球形マイクロホン

NHK エンジニアリングシステム

小野 一穂

NHK 放送技術研究所

西口 敏行 松井 健太郎

1. はじめに

NHK は HDTV の 16 倍の画素数をもつ 7680×4320 の 8K 映像と 22.2 マルチチャンネル音響（以下、22.2ch 音響）によるスーパーハイビジョンの研究を行っており、2016 年に試験放送、2020 年に本放送を開始する予定である。22.2ch 音響は、要求条件として、①視聴者を取り囲む全方位から音が聞こえる、②その場にいるような音による包み込まれ感がある、③スクリーン上の映像の方向に音像が定位する、等を満たす方式として開発された（図 1）。特に、音による包み込まれ感が得られる最小のスピーカ間隔が、水平面内、垂直面内ともに約 45 度であることに基づき、これを上半球で実現するために、中層では、45 度間隔に 8ch を配置し、さらに前方の定位を向上させるために前方右、前方左と前方中央の間にそれぞれチャンネルを追加し、合計 10ch とした。上層では、前記の中層 8ch の真上に 8ch と聴取位置中心の真上に 1ch の計 9ch のチャンネルを配置した。加えて下層には前方の音像定位を向上させるために、前方に 3ch のチャンネルを配置した。以上により合計 22ch を配置し、これに低域用の 2ch を加えて 22.2ch を構成した。

22.2ch の音響の研究開発では簡易な收音法であるワンポイント收音マイクロホンの開発を行っている。22.2ch 音響は、音の方向とチャンネルが 1 対 1 に対応する、いわゆるマルチチャンネル音響と呼ばれる方式であるため、ワンポイントで收音するには、原音場内の 1 か所に指向性マイクロホン素子を各チャンネルの方向に向けて配置し、さらに各指向性ビームの幅が 22.2ch 音響の 1ch 分に対応するマイクロホンが望ましい。そこで、指向性ビームの十分な狭さと、周波数の変化に対するビーム幅の安定性の両立をめざし、球を音響遮蔽板により立体角に仕切り、仕切られた各空間内にマイクロホン素子を設置して指向性を得る方式の、ワンポイントマイクロホン（以下、球形マイクロホン）を開発した。

本稿では、球形マイクロホンの構造、指向特性の測定結果について述べ、さらに、指向性を改善するための信号処理法について述べる。

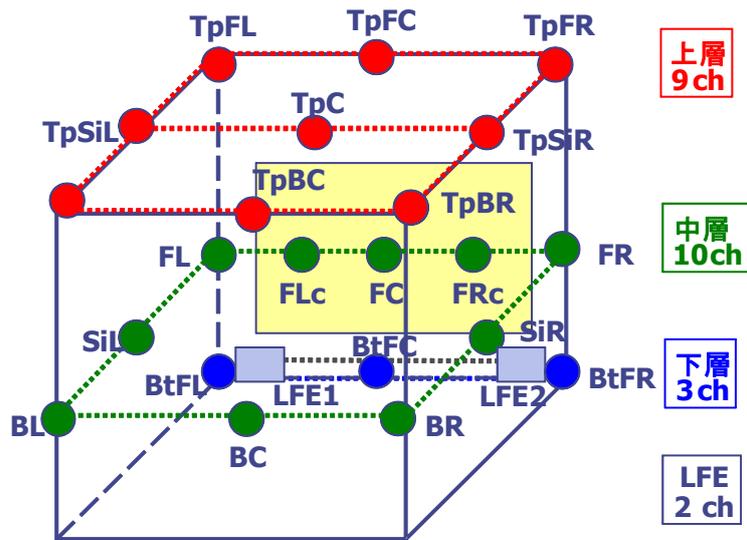


図1 22.2 マルチチャンネル音響

2. 球形マイクロホンの概要

2.1. 形状

開発した直径 45 cm の球形マイクロホンを図2に示す。本マイクロホンでは、22.2ch 音響の背景音等の收音を目的とし、中層の FLc と FRc を除く 8 チャンネルと上層の TpC を除く 8 チャンネルの音を收音することとした。これより水平方向の分割数を 8 とし、目標とする水平面内の指向性のビーム幅を図3の通りとした。また、上下方向は上層、中層、下層の 3 層に分割し、そのうちの上層と中層を使用した。以上より左右方向の開き角は 45 度、上下方向は 60 度とした。

遮蔽板で仕切られた空間の中には任意の指向性のマイクロホン素子を取り付け可能である。検討の結果、低域において振幅特性のロールオフが生じない、遮蔽板の効果のみで一定の指向性が得られる、の 2 つの理由により、全指向性の素子を用いることとした。以下の測定では周波数特性の平坦な全指向性マイクロホン素子（ゼンハイザ製 MKH-8020）を使用した。



図2 音響遮蔽板を用いた球形マイクロホン

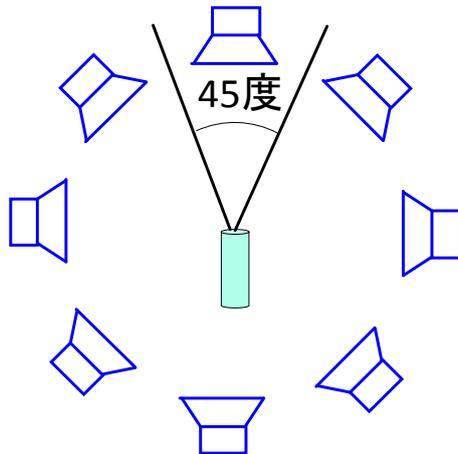


図3 目標とする指向特性のビーム幅

2.2. 指向特性の測定

指向特性の測定を NHK 技研無響室で行った。球形マイクロホンを回転台に載せ、スピーカ (Genelec 製 2029B) から LogTSP 信号を再生し、各マイクロホンのインパルス応答を測定した。スピーカの応答も計測用マイクロホンを用いて測定し、球形マイクロホンの周波数特性を求めると同時に、周波数ごとの指向特性を算出した。測定は1度刻みで360度回転させて行った。スピーカからマイクロホンの中心までの距離は1.2mとした。

2.3. 測定結果

中層の1チャンネル分の水平面内指向特性を図4に示す。図より、4kHz以下の周波数帯域では周波数が低いほどビーム幅が広がる傾向にあり、500Hzではほぼ全指向性となる一方、6kHz以上16kHzまでの多くの周波数においてビームの半値幅が約50度となり、周波数の上昇に伴いビーム幅が狭まらなかった。なお、半値幅の50度は、水平方向を8分割した45度と近く、22.2ch音響のチャンネル配置に適合しているといえる。

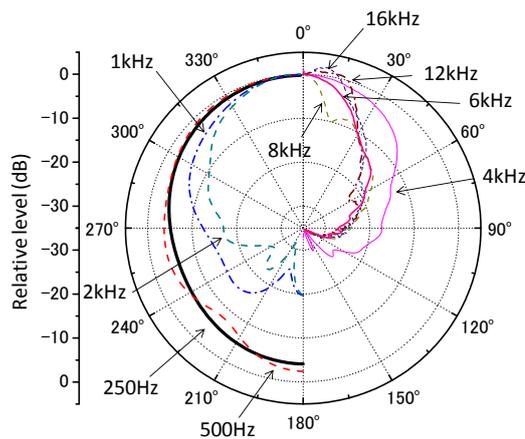


図4 球形マイクロホンの指向特性 (水平面内1ch分)

3. 球形マイクロホンの活用例

本マイクロホンは、スポーツ番組を中心に、スーパーハイビジョン音響の收音に用いられてい

る。特に、マイクロホンの設置可能な場所が限定される五輪などで広く使われている。特にロンドン五輪では、開会式、水泳、自転車など、収録を行った競技の多くで使用され好評を得た他、ソチ五輪でも使用された (図 5)。



図 5 ソチ五輪での使用風景

4. 低域での指向性改善法の検討

これまでに述べたとおり、本球形マイクロホンは 6kHz 以上の高域ではビーム幅がほぼ一定となるが、4kHz 以下では周波数の下降に伴い全指向性に近づく傾向にある。これは、周波数が低くなるにつれ遮蔽板の効果だけでは十分な指向性が得られないことを意味する。そこで、6kHz 以下の周波数を対象として、複数のマイクロホン素子出力の合成による指向性改善法について検討を行った。

今回適用した指向性改善のブロック図を図 6 に示す。図中、各方向の音源信号を $\mathbf{x}=(x_1, x_2, \dots)^T$ 、各マイクロホン素子の出力を $\mathbf{s}=(s_1, s_2, \dots)^T$ 、音源 \mathbf{x} からマイクロホン素子出力 \mathbf{s} への伝達関数行列を $\mathbf{C}=(c_{ij})$ 、マイクロホン素子出力 \mathbf{s} を入力とし出力を $\mathbf{y}=(y_1, y_2, \dots)^T$ とする逆フィルタの伝達関数行列を $\mathbf{H}=(h_{jk})$ とする。指向性の改善は、出力 \mathbf{y} が \mathbf{x} の重み付き線形和、すなわち、

$$y_i = \sum_j r_{ij} x_j$$

となるように、フィルタの伝達関数行列を求めることにより行う。ここで、 $\mathbf{r}_i=(r_{i1}, r_{i2}, \dots)$ は各出力

y_i の指向性を規定する重みベクトルであり、重みベクトルにより構成される重み行列を $\mathbf{R}=(r_{jk})$ とする。ここで、

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{s} = \mathbf{H}\mathbf{C}\mathbf{x}$$

として表されるため、これを目標とする指向性となる $\mathbf{R}\mathbf{x}$ と等しいとおく、すなわち、

$$\mathbf{R}\mathbf{x} = \mathbf{H}\mathbf{C}\mathbf{x}$$

まず、指向性を規定する方向数がマイクロホン数と同じ場合の検討を行った。この場合、行列 \mathbf{H} , \mathbf{C} , \mathbf{R} は正方行列となり、特に \mathbf{R} を単位行列とすると音源分離問題となるが、目標とする方向とそれ以外の方向で抑圧量が大きく異なり、指向性に大きなピークとディップを生じた。そこで、指向性を規定する方向数を増やして指向性を平滑化した。

検討の結果、マイクロホン数が8の場合、音源方向数をある程度増やすことで指向性のピークとディップを減らす一方、音源方向数を増やしすぎると指向性そのものが劣化することがわかった。方向数24程度であれば、指向性の大きな劣化がなく、かつ指向性のピークやディップを抑える効果が確認できた。よって本検討では以後、音源方向数を24として計算を行うこととした。このとき、音源方向数がマイクロホン数よりも多く優決定問題となるため、フィルタの伝達関数行列は一般化逆行列を解くことにより求めた。

また、不安定性を避けるため、 \mathbf{H} は \mathbf{C} の逆行列として解かず、正則化法もしくは特異値分解により緩和[3]を行った。また、 \mathbf{C} は無響室内で実測したインパルス応答を用いた。

計算結果を図7に示す。図に示す通り、低い周波数帯域では指向性改善処理によるサイドローブの抑圧効果が得られる傾向があり、約1.5 Hz以下の周波数帯域では、サイドローブの抑圧効果が明確であった。また、正則化と特異値分解に大きな違いは見られなかった。

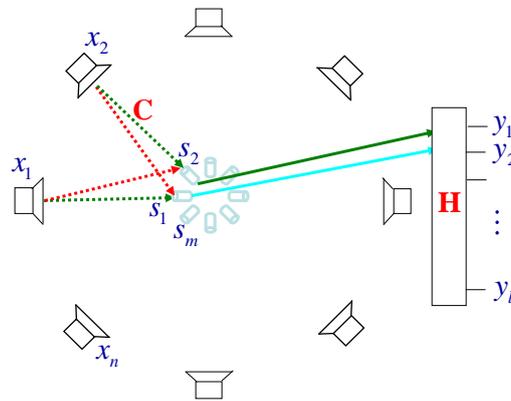


図6 逆フィルタ処理による指向性改善

$(\mathbf{x}=(x_1, x_2 \dots)^T$: 各方向からの信号、 $\mathbf{s}=(s_1, s_2 \dots)^T$: 各マイク素子の出力、
 $\mathbf{C}=(c_{ij})$: 方向 i からマイク素子 j への伝達関数行列、 $\mathbf{H}=(h_{jk})$: 逆フィルタ行列)

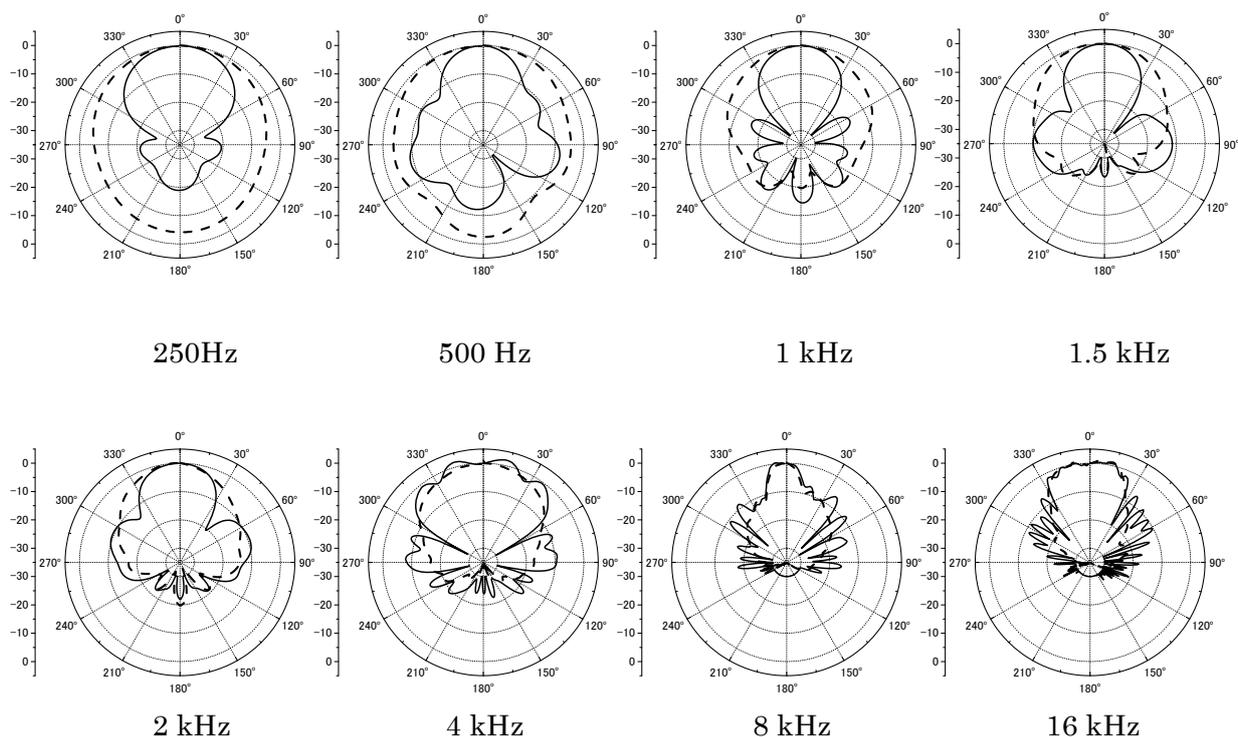


図7 指向性改善の効果（実線：指向性改善処理後、破線：指向性改善処理前）

5. おわりに

音響遮蔽板を利用したマルチチャンネルワンポイント球形マイクロホンを開発し、一定の周波数以上で、ビーム幅が一定になることを示した。また、指向性の得られない低域において、複数のマイクロホン素子を組み合わせさせた指向性合成の可能性を示した。今後、さらなる小型化を目指して研究開発を進めてゆきたい。

参考文献

- [1] Hamasaki, et al., SMPTE J., 117(3), 40-49, 2008.
- [2] <http://www9.nhk.or.jp/pr/marukaji/m-giju232.html>
- [3] 猿渡他, 音響誌, 61(7), 380-385, 2005.

執筆者のプロフィール



小野 一穂 (おの かずほ)

1965 年生まれ。東大工学部修士卒。1991 年 NHK 入局、以来放送技術研究所にて、電気音響変換器、スーパーハイビジョン音響等の研究開発に従事。2013 年より、(一財)NHK エンジニアリングシステムに出向。趣味はクラシックのピアノ演奏。