

特集:マイクロホン

リアキャンセル マイクロホン CSR-2 について

三研マイクロホン株式会社 技術部

盛田 章

1) はじめに

ショットガンマイクロホンは、離れた場所の音をクリヤーに收音することを目的とし、近づけない場所で発する音の收音に利用する。たとえば、スポーツ番組や報道番組の中継、ドラマなどでマイクロホンの仕込めない状況での收音の場合である。このようなマイクロホン設計では、なるべく周りの音を取らず目的音のみを收音する指向性パターンを目指している。

従来のショットガンマイクロホンでは、一般的にライン効果のない中低域では横方向の音を取らないように、スーパーカーディオイド特性に調整されている。このため、中低域の指向性パターンは後ろの方にローブができ、マイクロホンの後ろから来る目的音以外の音、ノイズを收音してしまう。

このノイズをなるべく收音しないように、中低域で後ろ方向に形成される指向性のローブをキャンセルするマイクロホンを開発し、リアキャンセルマイクロホン CSR-2 として、今年 4 月に発売を開始したので、紹介する。

なお、このマイクロホンは、NHK 放送技術研究所と共同で開発した。また、このマイクロホンについては、これまでに数多くの報告がある。[1]~[7]

2) マイクロホンの構成と動作

このマイクロホンは、図 1-1 に示すように、前方に向けたラインマイクロホンと後方に向けた単一指向性の 2 次の音圧傾度マイクロホンから構成されている。動作は、ラインマイクロホンの出力から、ローパスフィルタ (LPF) により帯域制限した 2 次の音圧傾度マイクロホンの出力を減算することにより、中低域で指向性パターンの後方のローブを消している。図 1-2 は中低域での指向性パターンのリアキャンセルを行うことによる変化の様子を模式的に表している。リアキャンセル出力では、ラインマイクロホンのスーパーカーディオイド指向性パターンの後方のローブが抑圧されることが分かる。

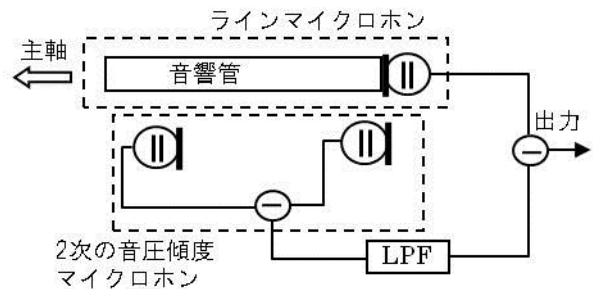


図1-1 リアキャンセルマイクロホン構成図

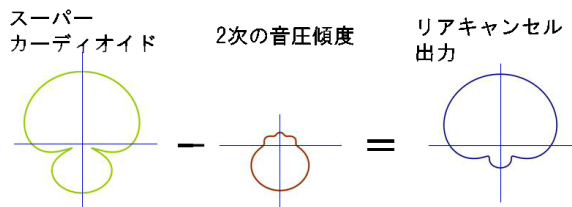


図1-2 中低域での指向性パターン遷移 (リアキャンセル効果の説明図)

2-1) ラインマイクロホン

音響管に全指向性マイクロホンカプセルを取り付けたラインマイクロホンの主軸に対して θ 方向から到来した音波に対する感度は、遅延和モデルによる解析では、音響管がない場合の音響管の受端位置での音圧を基準とすると、

$$E_L(\theta) = K_1 e^{-j\frac{k\ell}{2}(1-\cos\theta)} \frac{\sin\{k\ell(1-\cos\theta)/2\}}{k\ell(1-\cos\theta)/2} \dots\dots (1)$$

で表される。なお、 K_1 比例定数、 ℓ は音響管の長さ、 $k(=\omega/c, c$ は音速) は波長定数である。

図2に、式(1)を用いて計算した CSR-2 で採用した音響管長 $\ell=120\text{mm}$ の時の周波数特性を表す。この図に示すように、ラインの効果が出る高域では、指向性が鋭くなり、中低域ではカプセルの特性である全指向性となることが分かる。

一般的なラインマイクロホンでは、中低域でもある程度指向性を得るように、受音に指向性マイクロホンカプセルを使用している。その指向性パターンは、単一指向性よりも横からのノイズに強いスーパーカーディオイドに調整している。図3にその周波数特性を示す。このように、中低域はスーパーカーディオイド、高域はラインマイクロホンの特性となっている。中低域では、 90° 方向のノイズに対し、単一指向性では -6dB の減衰に対しスーパーカーディオイドでは、 -10dB 近い抑圧効果が表れており、全帯域で横からのノイズを抑圧している。しかし、スーパーカーディオイドでは、単一指向性には基本的に現われない後方に感度を持ち、この方向からのノイズを拾ってしまう。

リアキャンセルマイクロホンでは、中低域の 180° 方向の感度を、後方に向けた単一指向性の2次の音圧傾度マイクロホンで打ち消し、後ろからのノイズを抑圧する。

2-2) 単一指向性の2次の音圧傾度マイクロホン

180° 方向に向けた単一指向性の2次の音圧傾度マイクロホンの感度の式は、

$$E_2 = K_2 \left(\frac{1}{2} + \frac{1 - e^{-jkd \cos(180-\theta)}}{j2kd} \right) (1 - e^{-jkd_1 \cos(180-\theta)}) \dots\dots (2)$$

と表される。ここで、 K_2 は比例定数、 d はマイクロホンカプセルの音響端子間距離、 d_1 は2次の音圧傾度マイクロホンを形成する2個のマイクロホンカプセルの間隔、 k は波長定数である。

CSR-2 の設計値である $d=26\text{mm}$ 、 $d_1=120\text{mm}$ の場合の周波数特性は、図4となる。このように 180° 方向では、必要とする中低域では、低域に向かって、1オクターブ 6dB で減衰する特性となる。このマイクロホンをリアキャンセルに用いるには、周波数特性を補正して、ラインマイ

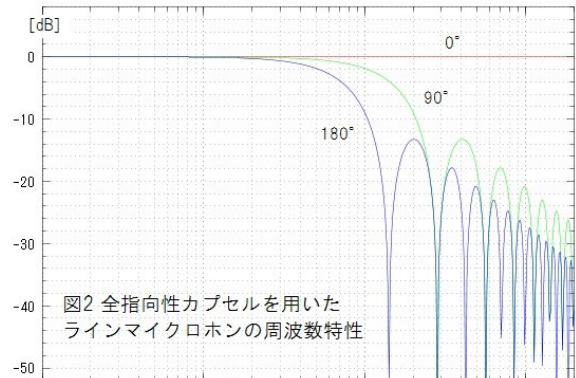


図2 全指向性カプセルを用いたラインマイクロホンの周波数特性

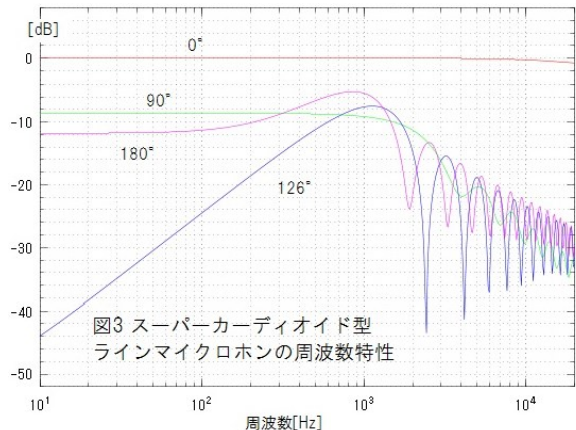


図3 スーパーカーディオイド型ラインマイクロホンの周波数特性

クロホンの 180° 方向の特性に近づける必要がある。また、リアキャンセルの必要でないラインマイクロホンの本来の高域の特性に影響を与えないようにする必要がある。このため、単一指向性の 2 次の音圧傾度マイクロホンの出力に周波数特性補正のためローパスフィルタとさらに不要帯域をカットするためローパスフィルタを通してている。

周波数特性補正のためのフィルタのカットオフ周波数は、なるべく低く設定した方が平坦になる帯域は広がるが、結果的にレベルを減衰させているので、マイクロホンの固有雑音レベルが上昇する。このため、あまり低い周波数に設定することはできない。全体の特性を考慮して、カットオフ周波数は 80Hz 程度に設定した。

不要帯域をカットするフィルタについては、ラインマイクロホンの音響管の効果が出る周波数までと考えカットオフ周波数を決めた。理論的に音響管の長さの 2 倍が 1 波長になる周波数が、180° から到来した音波の感度が 0 になる最初の周波数である。このマイクでは、120 mm の長さの音響管を使用しているので、波長が 240 mm すなわち約 1.4kHz で 180° の周波数特性の最初のディップとなる。ラインマイクロホンの本来の特性が得られるのは、この周波数から上と考え、カットオフ周波数を 1.2kHz 程度に設定した。この 2 段のフィルタを通した後の周波数特性を図 5 に示す。

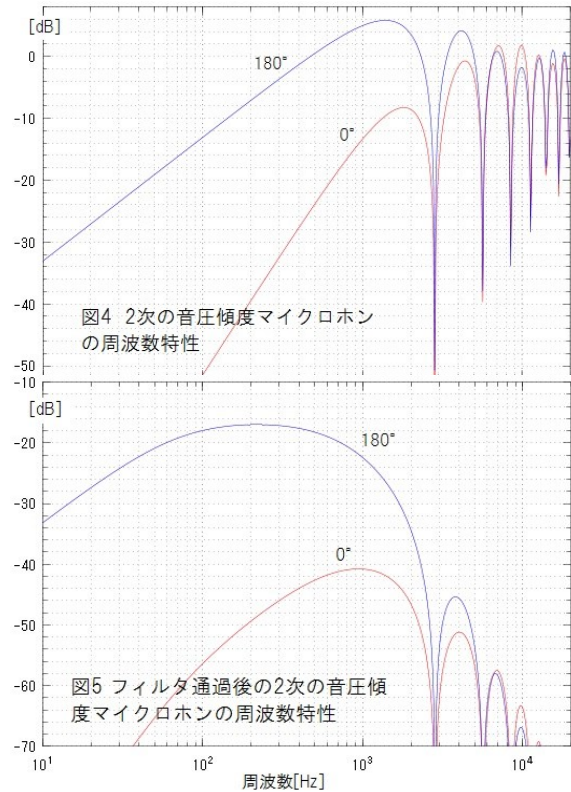


図4 2次の音圧傾度マイクロホンの周波数特性

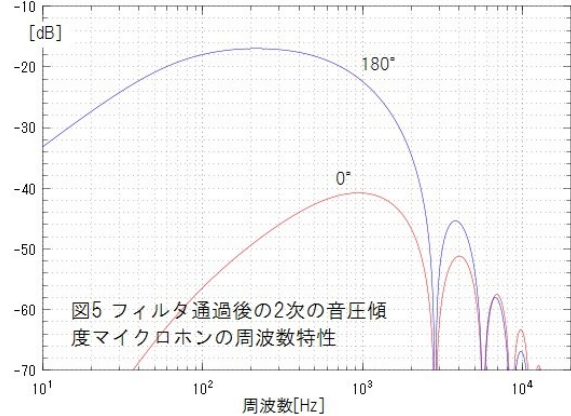


図5 フィルタ通過後の2次の音圧傾度マイクロホンの周波数特性

2-3) リアキャンセルマイクロホン

2-1) で述べたラインマイクロホンから、2-2) の単一指向性の 2 次の音圧傾度マイクロホンのフィルタ通過後の出力を減算することにより、リアキャンセル特性を得る。両マイクロホンの 180° 方向の出力レベルを一致させるため、2 次の音圧傾度マイクロホンを約 6dB 増幅した後、合成している。計算結果を図 6 に示す。この図のように、180° 特性は、100Hz から 200Hz の間にディップ状にへこみができ、キャンセル効果が表れていることが分かる。

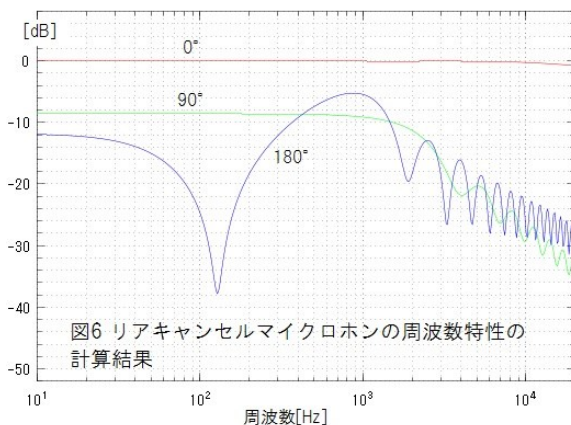


図6 リアキャンセルマイクロホンの周波数特性の計算結果

3) CSR-2

4 月に新発売したリアキャンセルマイクロホン CSR-2 を図 7 に示す。リアキャンセルしない場合(off 時)の感度周波数特性を図 8 に、リアキャンセルを働かせた場合(on 時)の感度周波数特性

を図9に示す。図8と図9を比べると分かるように、リアキャンセルを働かせると180°方向の感度が中低域で15dB程度減衰している。減衰する帯域は100~1000Hzとかなり広帯域で良好なキャンセル効果が表れていることが分かる。これは、計算結果の図6の比較的狭い帯域のディップを形成するキャンセル特性とは一致しない。この原因のひとつとして、ラインマイクロホンの計算に音響管内の線路インピーダンスを考慮しない遅延和モデルを利用したことによるものと考えられる。そこで、ラインマイクロホンの計算により実際に則する分布定数モデル⁸⁾の適用が必要と考える。紙面の都合で、この詳細は割愛するが、分布定数モデルによるリアキャンセルマイクロホンの計算結果の一例を図10に示す。図9の実測値と比較すると良く一致していることが分かる。

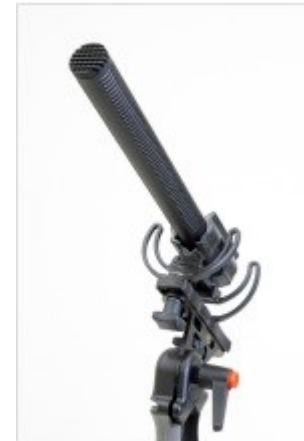


図7 CSR-2

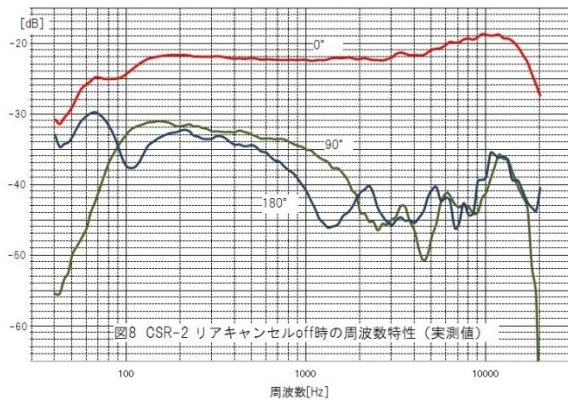


図8 CSR-2 リアキャンセルoff時の周波数特性 (実測値)

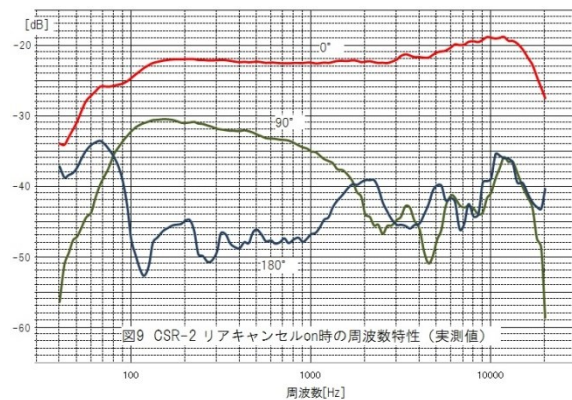


図9 CSR-2 リアキャンセルon時の周波数特性 (実測値)

4)おわりに

新しく発売しているリアキャンセルマイクロホン CSR-2 の動作を説明するため、理論的考察を行った。ラインマイクロホンを遅延和モデルで計算した場合、キャンセル効果は示されるが、その周波数特性は、実測値とはあまり一致しない。ラインマイクロホンの計算には分布定数モデルの適用が必要であることが分かった。実機におけるリアキャンセル

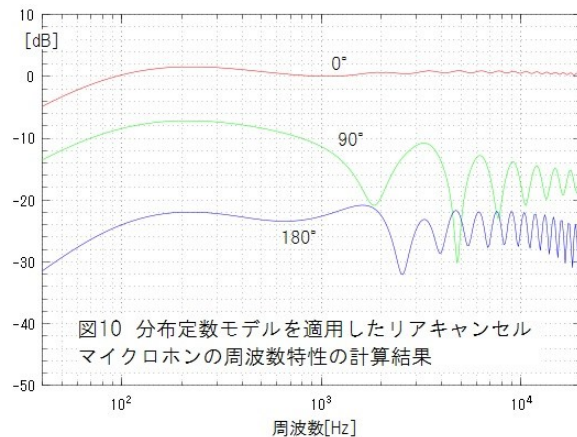


図10 分布定数モデルを適用したリアキャンセルマイクロホンの周波数特性の計算結果

効果は、中低域の広い帯域に良好に作用し、高域のラインマイクロホンの効果と合わせて全帯域で後方からのノイズを抑圧しており、前方の目的音を明瞭に收音できるマイクロホンが実現した。

リアキャンセルマイクロホン CSR-2 の主な仕様を表1に示す。このマイクロホンは、リアキャンセル on/off スイッチを搭載し、リアキャンセルが必要ない時は、従来のショットガンマイクロホンとしても利用できるようになっており、設置場所、收音目的に応じて使い分けることができる。

このマイクロホンは、後ろに中低域の雑音源があるときは、鋭く雑音を抑圧し非常に効果的に目的音を收音することができる。マラソン中継などでバイクに搭載しエンジン音など後ろから到来する中低域の騒音を抑圧したい時やスポーツ番組で後ろの歓声などを收音したくない時、後ろに空調などに騒音源がある時などいろいろな場面が考えられる。現場でどしどし使用していただいて、問題点、改善点などがあればご指摘いただければ幸いです。

表1 CSR-2の仕様

指向特性	中高域：狭角度指向性 中低域：リアキャンセル
トランスデューサー	バックエレクトレットコンデンサ×3
周波数特性	70Hz～18kHz
感度(1kHz 標準)	71mV/Pa (-23dB,0dB=1V/Pa)
固有雑音の 入力換算等価音圧レベル (A特性)	16dB-A (リアキャンセルON) 15dB-A (リアキャンセルOFF)
最大入力音圧レベル(1% THD)	123dB SPL
スイッチ	リアキャンセルON/OFF
出力インピーダンス(1kHz)±30%	150Ω
電源(ファンタム給電)・消費電流	+48V±4V · 4.5mA以下
寸法・質量	Ø22mm、全長 250mm · 170g

CSR-2については、弊社のホームページ www.sanken-mic.com もご覧いただきたい。

最後に、開発にあたり NHK 放送技術研究所に多大なる協力をいただいた、ここに謝意を表す。

参考文献

- [1]石井ほか, “超小型狭角度指向性マイクロホン”, AES 東京コンベンション 2005 予稿集(2005)
- [2]T.Sugimoto et al., “Development of Narrow-Angle Directional Microphones with Suppressed Rear Sensitivity”, AES 14th Regional Convention, Convention Paper(2009)
- [3]小野ほか, 「音響管を用いた狭指向性マイクロホンにおける背面感度の抑圧条件」, 日音講論集, 2-P-24, 2009年3月(2009)
- [4]T. Sugimoto et al., “A Narrow-Angle Directional Microphone With Suppressed Rear Sensitivity”, IEEE Trans. Broadcast. Vol. 56, No.1, pp. 92-97 (2010).
- [5]小野ほか, 「背面感度抑圧特性を有する狭指向性マイクロホンの特性に関する考察～音響管のモデリング～」, 日音講論集, 3-P-19, 2010年3月(2010)
- [6]杉本ほか, 「後方の感度を抑圧した狭指向性マイクロホン」, NHK R&D, No.126(2011)
- [7]杉本ほか, 「後方の感度を抑圧した狭角度指向性マイクロホンの小型化」, 映像情報メディア学会誌, Vol.66, No.5, pp.J151-J157(2012)
- [8]溝口, 「ラインマイクロホン用音響管に関する考察」, 日音講論集, 1-2-12, 昭和42年11月(1967)

著者プロフィール



盛田 章 (もりた あきら)

1977年 熊本大学大学院電子工学専攻修了。同年 NHK 入局。岡山放送局を経て、1981年 NHK 総合技術研究所に異動し、音響機器の研究に従事。2010年 NHK 退職。同年、三研マイクロホン株式会社に入社し、マイクロホンの開発に従事、現在に至る。日本音響学会会員、AES 会員。