

[実験] 音で音を消す

アクティブ・ノイズ・キャンセリング

第4回 逆位相音による音の打ち消しの特性
～観測位置がずれたときの特性を知る～ 川村 新

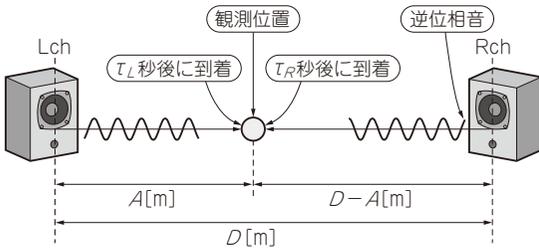


図1 スピーカの配置と観測位置

アクティブ・ノイズ・キャンセリング(ANC)技術では音に逆位相の音をぶつけて消音します。つまり、消したい音の振動と逆の振動を持つ音(これを逆位相音と呼ぶ)をぶつければ、空気の振動を止めて音を消すことができるというものです。

この技術は、ノイズ・キャンセリング・イヤホン(またはヘッドホン)や、車内の騒音低減、空調機器のダクトなどに使われています。本連載ではANC技術を使って自宅で試せる消音実験を解説します。

● 今回の実験テーマ…消音効果は周波数に関係するか

前回(第3回, 2023年9月号)の実験では、2つのスピーカーから、それぞれ逆位相となる正弦波を放射し、2つのスピーカーのちょうど中間位置で音が消えることを確認しました。また、スピーカーの位置を少しずらすと、音がうまく消えないことも確認しました。しかし音を消したい位置が、例えば耳の位置である場合、スピーカーと耳との距離を常に固定しておくことは難しく、どうしてもずれが生じます。そこで今回の実験では、あえて観測位置をずらし、正弦波の周波数によって、音の消え方がどのように変化するかを確認しておきます。今回の実験により、ANCでは観測位置がずれた場合、高い周波数よりも低い周波数の方が消音

注1: 実機開発ではこのようなANCの特性を知る必要があります。例えば、消音効果の保持が難しい周波数が既知であれば、それを物理的に遮断できる材質で実機開発を行うことが非常に有効な手段となります。

効果を保持しやすいことが分かります注1。

実験原理

● 数式で見てみる

2つのスピーカー(Lch, Rch)を D [m]離れた位置に、向かい合わせで配置します。そして、Lchから $\sin(2\pi ft)$, Rchからその逆位相音 $-\sin(2\pi ft)$ を放射するという状況を考えます。ここで、 f [Hz]は周波数、 t [s]は時間を表します。

図1に示すように、観測位置では、Lchの音波が τ_L 秒後に到着し、Rchの音波が τ_R 秒後に到着するとします。このとき、観測位置の信号 $x(t)$ は、

$$x(t) = \sin\{2\pi f(t - \tau_L)\} - \sin\{2\pi f(t - \tau_R)\} \dots \dots (1)$$

と書けます。さらに、スピーカーLchから観測位置までの距離を A [m]とし、音速を c [m/s]とすれば、 $\tau_L = A/c$ [s], $\tau_R = (D - A)/c$ [s]です。もし、 $A = D/2$ [m], つまり、ちょうど中間位置なら $\tau_L = \tau_R$ です。このとき、式(1)から、 $x(t) = 0$ となり、音が消えます。

● シミュレーションしてみる

▶ $A = 9\text{cm}, 10\text{cm}, 11\text{cm}$ としたときの振幅変化

図2に、 $D = 20\text{cm}$ で $A = 9\text{cm}, 10\text{cm}, 11\text{cm}$ としたときの $x(t)$ のシミュレーション結果を示します。ここで、正弦波の周波数 f を200Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHzの4種類とし、音速 $c = 340\text{m/s}$ としました。各図において、距離 A ごとに0.1s間の波形を示しています。全ての図において、 $A = 10\text{cm}$ の中間位置で波形が0になっていることが分かります。また、中間位置から左右に1cmずれた場合($A = 9\text{cm}, 11\text{cm}$)は、低い周波数ほど振幅が小さく、高い周波数に比べて消音効果を保持していることが分かります。

この理由を考えてみます。逆位相音の位置が少しずれた場合、図3のようなイメージとなります。低い周波数では、波長が長いので、位置が少しずれても消音効果はある程度保持されます。しかし、高い周波数では、波長が短いので、少しずれただけで、逆に増幅することもあります。周波数 f [Hz]に対する波長