

計測に関するよくある質問から
- 第 10 回 周波数重み付け特性 A/C/Z について -

当計測コラムでは、当社お客様相談室によくお問い合わせいただきご質問をとりあげ、回答内容をご紹介します。

サウンドレベルメーター（騒音計）や FFT アナライザで音の測定をおこなう際の設定に“周波数重み付け特性（A/C/Z）”という項目があり、これについては、「どれに設定すべきか」、「A とはなにか」、「C はどういう場合に使うのか」など多くのご質問をいただきます

今回は A/C/Z が定められた背景等にまでふみこんで、音の測定の際に使用される周波数重み付け特性 A/C/Z をご紹介いたします。

●人の聴感とラウドネスレベル

音とは空気（等）の圧力変動です。圧力の変動量が同じであっても音の周波数が異なると人は同じ大きさの音だとは感じません。そのため、人が感じる音の大きさを評価するには、人の聴感を把握しその特性を補正する必要があります。

定常音について、正常な聴力を持つ人が、その音と同じ大きさに聞こえると判断した 1 kHz の純音の音圧レベルの値を、“音の大きさのレベル（ラウドネスレベル）”と定義します。

周波数による人間の聴感の変化に関する測定は、フレッチャー・マンソン (Fletcher-Munson) に始まり、1957 年にロビンソン (Robinson, F) らによって再測定がなされました。ロビンソンらが測定した正当な聴覚を持つ人が等しい大きさに感じる純音の音圧レベルと周波数の関係を示した曲線を図 1 に旧規格（青色）として示します。この曲線を等ラウドネス曲線あるいは等感度曲線と呼びます。

その後、ロビンソンらが測定した等ラウドネス曲線には大きな誤差が含まれていることが分かり、2003 年に新しい等ラウドネス曲線が ISO 226 として国際規格化されました。新規格の曲線を図 1 に新規格（赤線）として示します。

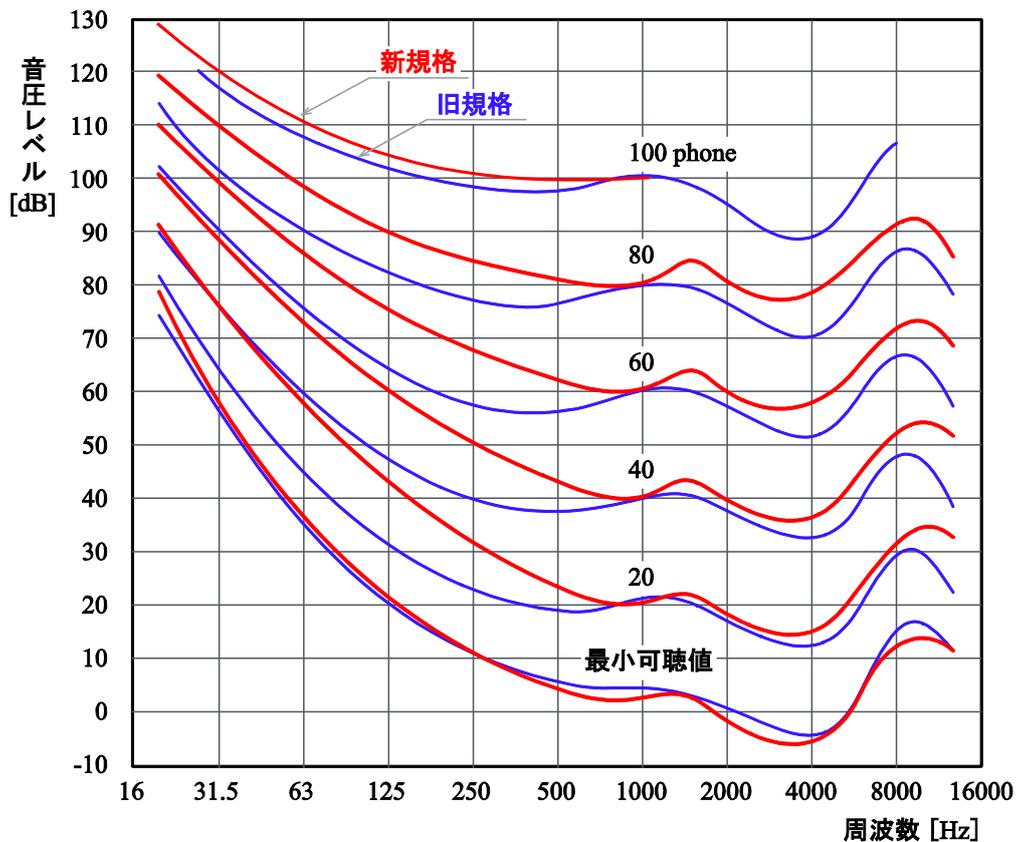


図1 純音の等ラウドネス曲線（新旧比較）

●周波数重み付け特性 A とは

A 特性は、JIS C1509 で規定された、騒音のうるささ（騒音レベル）を測定する際に使用する周波数重み付け特性です。工場や道路の騒音を測定する場合や、騒音レベル、A 特性音圧レベルを測定するように定められている場合は、周波数重み付け特性 A を使います。

A 特性を簡単に説明する場合は「人の聴覚を模した周波数特性」と表現してしまう場合もありますが、あくまで近似ですので、厳密に人の聴覚を反映したものではありません。

A 特性は、図1 純音の等ラウドネス曲線（旧規格）の小さい音のラウドネス曲線を近似して作られた特性です。他にも大きい音の等ラウドネス曲線を近似して作られたC特性もあり、過去においては音の大きさによりこの特性を使い分けて測定されてきました。

その後の研究で、この特性は聴覚的な音の大きさを表すものの、騒音のうるささを表すには適しているとはいえなく、騒音のうるささを表すには大きい音でも A 特性曲線を使うほうが良いことが明らかになりました。

2003 年に新しい等ラウドネス曲線が ISO 226 として国際規格化されましたが、等ラウドネス曲線（旧規格）を近似して作られた A 特性は変更されず現在も騒音のうるささ（騒音レベル）を測定する際の重み付け特性として使われ続けています。

●周波数重み付け特性 C とは

C 特性は等ラウドネス曲線（旧規格）の大きな音の聴感を近似して作られた特性です。過去においては音の大きさによりこの特性を使い分けていましたが、騒音のうるささを表すには大きい音でも A 特性曲線を使うほうが良いことが明らかになり、現在では C 特性はほとんど使用されません。ただ、ヨーロッパの規格では一部の測定で C 特性の使用が規定されているものがあります。

C 特性ですが、現在でも音響校正器により騒音計（サウンドレベルメーター）やマイクロホンで校正する際に、暗騒音（ノイズ）の影響を避けるために使用される場合もあります。

実際には暗騒音（ノイズ）が相当大きくない限りは Z 特性で校正をおこなっても影響はありません。なお、校正信号の周波数が 1 kHz 以外だった場合に影響が無視できないので校正の際に A 特性を使うことはありません。

●周波数重み付け特性 Z とは

Z 特性は、規定された周波数範囲で平坦な特性を持った周波数重み付け特性です。人の聴感とは無関係に、あくまで音（圧力変動）という物理現象そのものを測定する際に使用されます。

また、音・振動・電圧その他の測定に使用できるような汎用的な解析装置で、音の測定用に周波数重み付け特性 A/C/Z を備えているものもありますが、そういった解析装置で音以外を解析する場合はかならず Z 特性を使います。

Z 特性は、騒音計の旧規格である JIS C1502/1505 では、平たん特性（FLAT）として規定されていた特性です。新規格の JIS C1509 では周波数範囲が 10 Hz ～ 20 kHz に拡大され、周波数重み付け特性 Z として規定されました。

●その他の周波数重み付け特性

音の測定で使用される周波数重み付け特性としては、他に現在ではほとんど使われていない B 特性、D 特性や、超低周波音を評価する際に用いる G 特性がありますが、詳細は割愛いたします。

●周波数重み付け特性 A/C/Z の値

JIS C1509 に規定された周波数重み付け特性 A/C/Z の値とそのグラフを表1、図2に示します。

表1 周波数重み付け特性 A/C/Z (1/3 オクターブバンド)

No	公称周波数 (Hz)	厳密周波数 (Hz)	A 特性 (dB)	C 特性 (dB)	Z 特性 (dB)
10	10	10.00	-70.4	-14.3	0.0
11	12.5	12.59	-63.4	-11.2	0.0
12	16	15.85	-56.7	-8.5	0.0
13	20	19.95	-50.5	-6.2	0.0
14	25	25.12	-44.7	-4.4	0.0
15	31.5	31.62	-39.4	-3.0	0.0
16	40	39.81	-34.6	-2.0	0.0
17	50	50.12	-30.2	-1.3	0.0
18	63	63.10	-26.2	-0.8	0.0
19	80	79.43	-22.5	-0.5	0.0
20	100	100.00	-19.1	-0.3	0.0
21	125	125.89	-16.1	-0.2	0.0
22	160	158.49	-13.4	-0.1	0.0
23	200	199.53	-10.9	0.0	0.0
24	250	251.19	-8.6	0.0	0.0
25	315	316.23	-6.6	0.0	0.0
26	400	398.11	-4.8	0.0	0.0
27	500	501.19	-3.2	0.0	0.0
28	630	630.96	-1.9	0.0	0.0
29	800	794.33	-0.8	0.0	0.0
30	1000	1000.00	0	0	0
31	1250	1258.93	0.6	0.0	0.0
32	1600	1584.89	1.0	-0.1	0.0
33	2000	1995.26	1.2	-0.2	0.0
34	2500	2511.89	1.3	-0.3	0.0
35	3150	3162.28	1.2	-0.5	0.0
36	4000	3981.07	1.0	-0.8	0.0
37	5000	5011.87	0.5	-1.3	0.0
38	6300	6309.57	-0.1	-2.0	0.0
39	8000	7943.28	-1.1	-3.0	0.0
40	10000	10000.00	-2.5	-4.4	0.0
41	12500	12589.25	-4.3	-6.2	0.0
42	16000	15848.93	-6.6	-8.5	0.0
43	20000	19952.62	-9.3	-11.2	0.0

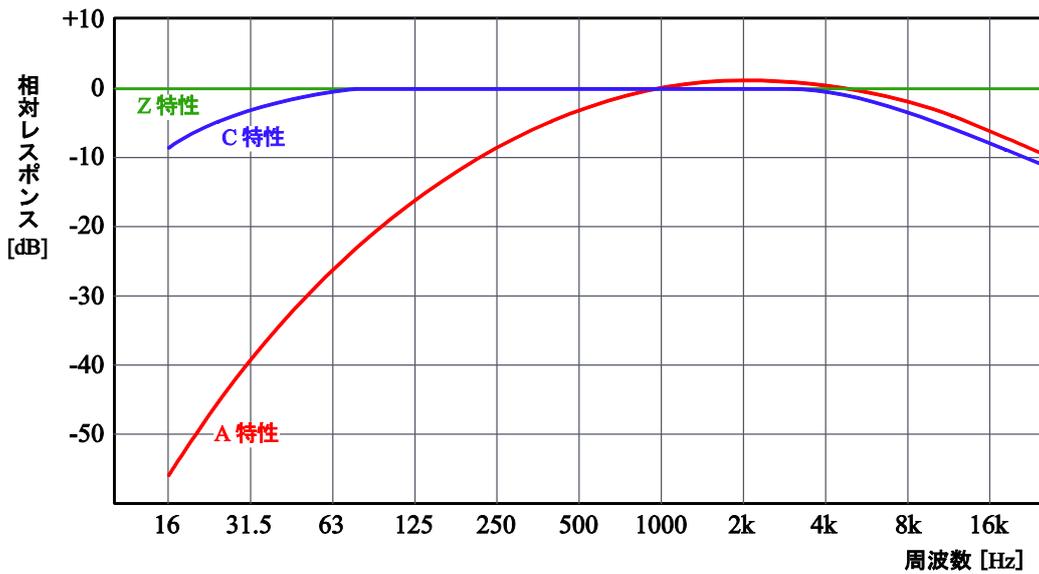


図2 周波数重み付け特性 A/C/Z

公称周波数は各 1/3 オクターブバンドの中心周波数をきりのよい周波数であらわしたものです。厳密周波数はバンド番号 n を 10 ~ 32 の整数として式 1 により求めた各バンドの厳密な中心周波数の値です

$$f = 1000 \times 10^{0.1 \times (n-30)} \quad [\text{Hz}] \quad \dots\dots\dots (1)$$

表 1 は各 1/3 オクターブバンドの周波数重み付け特性の値です。表 1 から 1/1 オクターブバンドの周波数 (16 Hz、31.5 Hz、63 Hz、125 Hz、250 Hz、500 Hz、1 kHz、…、16 kHz) の行だけを残し他の行を削除すれば 1/1 オクターブバンドの表になります。

●周波数重み付け特性 A/C/Z の計算式

周波数重み付け特性 A/C/Z の計算式は JIS C1509 で式 (2) ~ 式 (4) のように規定されています。ここで f は周波数 [Hz] です。

$$A(f) = 20 \times \log_{10} \left[\frac{f_4^2 f^4}{(f^2 + f_1^2)(f^2 + f_2^2)^{1/2}(f^2 + f_3^2)^{1/2}(f^2 + f_4^2)} \right] - A_{1000} \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

$$C(f) = 20 \times \log_{10} \left[\frac{f_4^2 f^2}{(f^2 + f_1^2)(f^2 + f_4^2)} \right] - C_{1000} \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

$$Z(f) = 0 \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

ここで、各定数は次の通りです。

$$f_r = 1000 \quad [\text{Hz}] \quad \dots\dots\dots (5-1)$$

$$f_L = 10^{1.5} \quad [\text{Hz}] \quad \dots\dots\dots (5-2)$$

$$f_H = 10^{3.9} \quad [\text{Hz}] \quad \dots\dots\dots (5-3)$$

$$f_A = 10^{2.45} \quad [\text{Hz}] \quad \dots\dots\dots (5-4)$$

$$D = \sqrt{1/2} \quad \dots\dots\dots (5-5)$$

$$b = \left(\frac{1}{1-D} \right) \times \left[f_r^2 + \frac{f_L^2 f_H^2}{f_r^2} - D(f_L^2 + f_H^2) \right] \quad \dots\dots\dots (5-6)$$

$$c = f_L^2 f_H^2 \quad \dots\dots\dots (5-7)$$

$$f_1 = \left[\frac{-b - \sqrt{b^2 - 4c}}{2} \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (5-8)$$

$$f_4 = \left[\frac{-b + \sqrt{b^2 - 4c}}{2} \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (5-9)$$

$$f_2 = \left(\frac{3 - \sqrt{5}}{2} \right) \times f_A \quad \dots\dots\dots (5-10)$$

$$f_3 = \left(\frac{3 + \sqrt{5}}{2} \right) \times f_A \quad \dots\dots\dots (5-11)$$

また A_{1000} 、 C_{1000} は 1 kHz における周波数重み付け特性が 0 dB となるようにするための基準化定数です。

●周波数重み付け特性 A/C/Z の計算例

周波数重み付け特性 A/C/Z の計算例をエクセルファイルとして用意しました。下記 URL よりダウンロードいただけます。

https://www.onosokki.co.jp/HP-WK/eMM_back/emm184-aczweight.xlsx

●まとめ

今回は音の測定の際に使用される周波数重み付け特性 A/C/Z をご紹介しました。次回も引き続き周波数重み付け特性をとりあげます。

以上

(YK)