

スピーカーユニットに関するQ値

スピーカーユニットにはその特徴を表す様々なパラメータがあります。しかしながら、パラメータについては、よく分からない場合が多いのではないのでしょうか。その中でも特に分からないパラメータとしてQ値があります。

Q値は、バスレフ型スピーカーシステムの設計公式の他、長岡式バックロードホーン設計の提案式(公式とは呼べない)にも登場しますが、どうしてそうなるのかが説明されている訳ではありません。もしかすると、書いている本人も深く考えたことがないだけかもしれないし、説明しても分かってもらえないと決めつけて省略しているのかもしれません。そこで、今回は、自身の備忘録としてQ値についてまとめてみました。

Q値は、”Quality Factor”を指します。

Wikipediaでは、冒頭で以下のように説明されています。

Wikipedia 日本語版より(2015/3/16 時点)

Q値は主に**振動の状態を現す無次元数**。弾性波の伝播においては、**媒質の吸収によるエネルギーの減少に関係する値**である。振動においては、**1周期の間に系に蓄えられるエネルギーを、系から散逸するエネルギーで割ったもので、この値が大きいほど振動が安定であることを意味する**。また、Q値は振幅増大係数とされる場合もある。これは、**共振周波数近傍での強制振動における最大振幅が静的強制力による変位のQ倍となることから解釈される**。振動子や電気回路の場合には一般にQ値が高いほうが望ましいが、逆にQ値が高いほど応答性が悪くなり、起動時間が長くなるという面もある。

振動する物理量の実際の振動状態は、周波数軸に展開した振動振幅(Amplitude)や位相(Phase)のスペクトラムにより理解される。振動スペクトラムの共振ピーク近傍の形はその振動系の振動状態を特徴付ける。

以上を読んでそのまま理解できる人も稀にはいるでしょうが、私自身、これを理解するにはかなりの時間がかかりました。いまでもちゃんと理解していないでしょう。しかし、それでも、自分自身の備忘録として書きます。

上記を読んで、解釈すると、Q値とは、以下の定義のようです。

定義

- a) 振動の状態を表す指標である
- b) 無次元数である
- c) 弾性波の伝播の場合、媒質が吸収するエネルギー現象に関する値である
- d) 振動の場合、系に蓄えられるエネルギーを系を散逸するエネルギーで割った値である
- e) 振幅増大を表す係数ともされる(副次的な定義のようである)

上記のa)、b)、c)、e)は、漠然としているので、定義として適切な記述ではありません。d)だけが、定義として使用できるものでしょう。

d)を数式で表すと、

$$Q = \frac{E_S}{E_D}$$

ただし、

E_S : 系に蓄えられるエネルギー

E_D : 系から散逸するエネルギー

系への入力エネルギーが使用されていません。 $\frac{E_S}{E_D + E_S}$ とするほうが分かりやすいような気がします。少し変な

感じがしますが、Wikipediaをもう少し読み解いていきましょう。

Wikipedia 日本語版より(2015/3/16 時点)

Q 値とは

$Q = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1}$ で定義される無次元数。ここで、 ω_0 、 ω_1 、 ω_2 はそれぞれ共振ピークでの共振周波数、共振ピークの左側において振動エネルギーが共振ピークの半値となる周波数、共振ピークの右側において振動エネルギーが半値となる周波数である。ここで $\omega_2 - \omega_1$ を半値幅と呼ぶ。

Q 値の低い機械振動系は振動エネルギーの分散が大きい系である。Q 値の高い構造物では一旦振動が開始されると振動が長く続く。

Q 値が低い素材は振動がすぐに減少する性質がある。これを利用して防振材、防音材に用いられる。

Wikipedia の説明を読むと、Q 値の大きな素材は、減衰比が大きいようです。減衰比とは、自由振動の一般運動方程式

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\zeta \omega_n \frac{dx}{dt} + \omega_n^2 x = 0$$

の ζ のことです。 ζ が 1 より大きければ、自由振動せずに減衰します。ちなみに、スピーカーユニットのパラメータのひとつである Q_m は、この ζ を別な形で、次式のように表したものです。

$$Q_m = \frac{1}{2\zeta} \quad \text{すなわち、} \quad \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{\omega_n}{Q_m} \frac{dx}{dt} + \omega_n^2 x = 0$$

パラメータ Q_m は、私が配布しているバスレフシミュレータを使用するのに必要なパラメータです。

次も Wikipedia の情報を抽出します。

Wikipedia 日本語版より(2015/3/16 時点)

電子工学の分野でも共振回路の共振のピークの鋭さを表す値「Q」(Quality factor)として一般的に用いられる。(省略)

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$Q = \frac{\omega L}{R} = \frac{1}{\omega CR} \quad , \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

スピーカーユニットの場合には、L と R とを測定すれば、電氣的 Q が計算できてしまいます。

Thiele のスモールパラメータでは、機械的 Q と電氣的 Q とから次式で総合的 Q を計算し、総合的 Q を Q_{ts} としてスピーカーユニットのパラメータ値としています(“Thiele/Small”の項、Wikipedia 英語版)。

$$Q_{ts} = \frac{Q_{ms} Q_{es}}{Q_{ms} + Q_{es}} \quad \text{すなわち} \quad \frac{1}{Q_{ts}} = \frac{Q_{ms} + Q_{es}}{Q_{ms} Q_{es}} = \frac{1}{Q_{ms}} + \frac{1}{Q_{es}}$$

但し、

Q_{ms} : 機械的 Q

Q_{es} : 電氣的 Q

多自由度バスレフシミュレータソフトでは、駆動力に力そのものを使用しますが、これを、アンプの特性を含めた電気(電力)信号とすれば、 Q_{es} も必要になるはずですが。

それは、以降の課題としたいと思います。