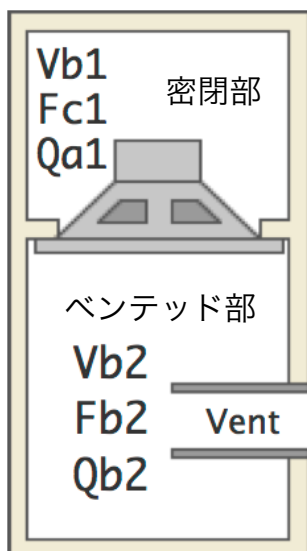


## ケルトン型SPの設計と製作（設計編）

ケルトン型SPは、ASW（Acoustic Sub-Woofer）とも呼ばれシステムのサブ・ウーファーとして古くから存在し製品化もされて来ました。しかしその設計理論には、定番が無く個人で一から設計する記事にはあまりお目にかかれなようです。この設計編では、拙アプリ BoxDesigner 用に考案した設計法を紹介し、まず一般的な方法論を示し、後に別紙の製作編と測定編で具体例を示します。ケルトン型の構造は、図1の密閉部とベンテッド（バスレフ）部から成りベントからの音響出力は、バンドパス特性となります。

図1において示すパラメーターは、



Vb1：密閉部箱の内容積（Liter）

Fc1：密閉部箱の共振周波数（Hz）

Qa1：密閉部箱の吸音材等によるロス成分のQ

Vb2：ベンテッド部箱の内容積（Liter）

Fb2：ベンテッド部箱の容積とベントによる共振周波数（Hz）

Qb2：ベンテッド部箱の空気漏れ等によるロス成分のQ

以下、下記SPユニットの架空のティール・スモール・パラメーターを設定し設計手順を示します。

Qts：0.4（ユニットのトータルQ）

Fs：30Hz（ユニットの共振周波数）

Vas：100Liter（ユニットの等化音響容積）

これ位の値のパラメーターだと大体 20~25cm クラスのウーファーに相当します。

図1ケルトンの構造

◎以下、BoxDesigner の最適平坦アライメントに即した設計法を示します。

1-1. 密閉部の容積（Vb1）を求める。

Vb1 は、Vas の半分のとし

$$Vb1 = Vas/2 = 100/2 = \mathbf{50\text{Liter}}$$

1-2. 密閉部の共振周波数（Fc1）を求める。

密閉部箱の Vas と Vb1 の比をコンプライアンスレシオ( $\alpha$ :アルファ)とすると

$$\alpha = Vas/Vb1 = 100/50 = 2$$

$$Fc1 = Fs \times \sqrt{(\alpha+1)} = 30 \times \sqrt{(2+1)} = 30 \times 1.73 = \mathbf{51.96\text{Hz}}$$

1-3. ベンテッド部の容積（Vb2）を以下の三次式により求める。

$$K = (144.002 \times Qts^3 - 14.4043 \times Qts^2 + 62.4823 \times Qts - 6.07231) / 100$$

$$Qts = 0.4 \text{ とし } K = 0.2583 \quad \text{※巻末添付資料：アライメント・チャート参照}$$

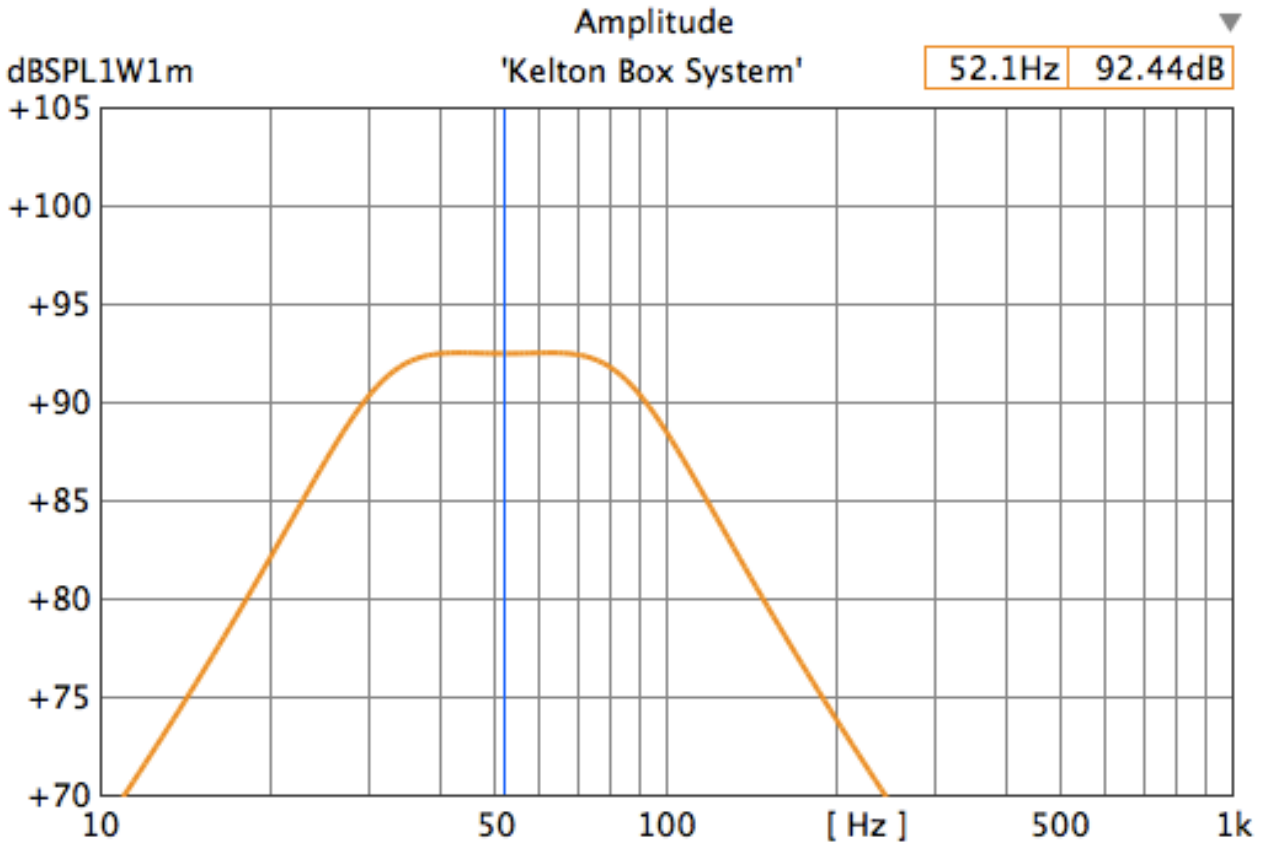
$$Vb2 = K \times Vas = 0.2583 \times 100 = \mathbf{25.83\text{Liter}}$$

1-4. ベンテッド部の共振周波数（Fb2）を求める。

最適平坦では、単純に  $Fb2 = Fc1$  とし  $Fb2 = \mathbf{51.96\text{Hz}}$

この時、ベントからのバンドパス出力は、左右対称の特性のなり、ベンテッド部に 25.83L で 51.96Hz に同調するベント（ダクト）を取り付ければよいことになります。

以上の場合のバンドパス周波数特性を示します。



$Vb1 = 50$  Liter、 $Vb2 = 25.83$  Liter、 $Fc1 = Fb2 = 51.96$  Hz

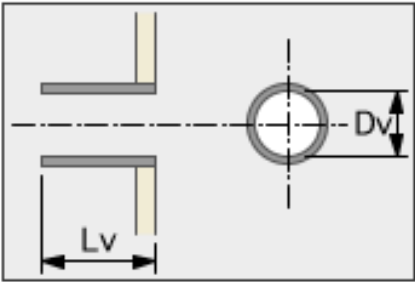
このサブ・ウーファーとしての再生範囲は、27~100Hz 位になります。

取り付けるベント（ダクト）の仕様（一例）は、

Vent Information  
'Kelton Box System'

Vent Parameters

Vent is .....	Ducted	
$Vb2$ .....(Box2 Volume)	25.83	Liter
$Fb2$ .....(Box2 Tuning Frequency)	51.96	Hz
$Dv$ .....(Diameter of Each Vent)	70	mm
$Lv$ .....(Vent Length)	281.67	mm
$Sv$ .....(Total Vent Area)	76.97	cm <sup>2</sup>
Number of Vents .....	2	



Vent Figure

内径=70mm、長さ=281.67mmのダクトを2個並列に取り付ける

尚、ベントの計算方法は、次の機会に回します。

以上、架空パラメーターSPの最適平坦での特性例でした。

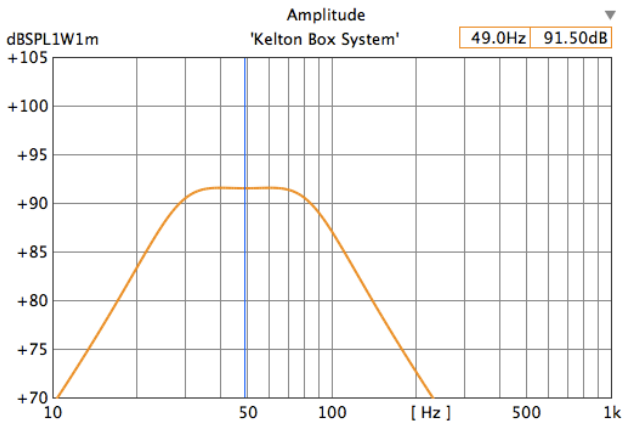
◎次に各種箱のパラメーターを変化した場合の特性を見て行きます。

以下、指定以外のパラメーターは、頁1 架空値デフォルトとします。

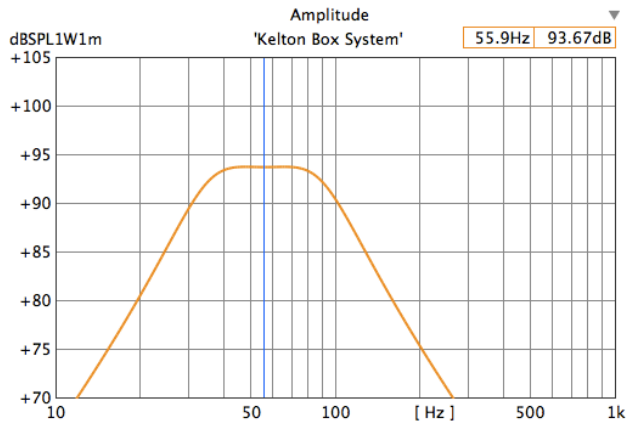
### 2-1. 密閉部の容積 (50Liter) を 60Liter と 40Liter へ変更した場合

60L の時、 $\alpha = 100/60 = 1.666$ 、 $F_{c1} = 30 \times \sqrt{1.666+1} = 48.99\text{Hz}$

40L の時、 $\alpha = 100/40 = 2.5$ 、 $F_{c1} = 30 \times \sqrt{2.5+1} = 56.12\text{Hz}$



Vb1=60Liter、Fb2=48.99Hz

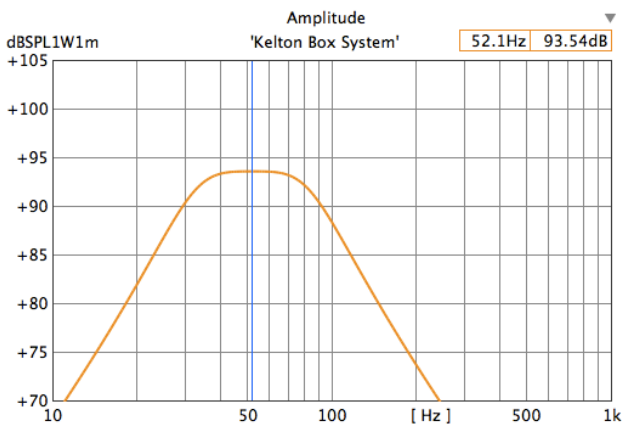


Vb1=40Liter、Fb2=56.12Hz

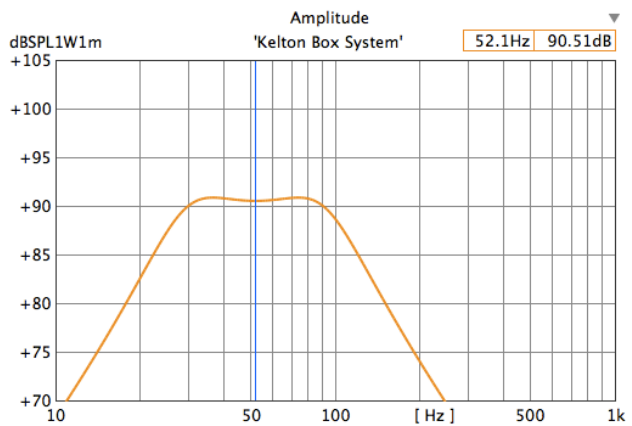
傾向：密閉容積を大きくすることにより  $F_{c1}$  と  $F_{b2}$  がともに低くなり  
再生帯域も低くなりかつ能率は低くなる。  
少なくすると能率が上がり帯域は狭くなる。

### 2-2. ベンテッド部の容積 (25.84Liter) を 30Liter と 20Liter へ変更した場合

Fb2 は 51.96Hz で同じ



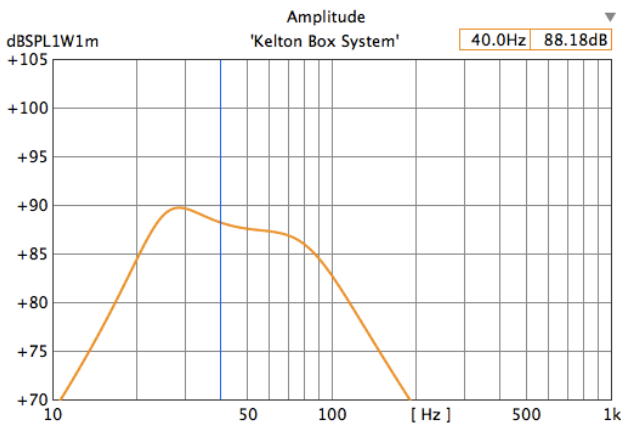
Vb2=30Liter、Fb2=51.96Hz



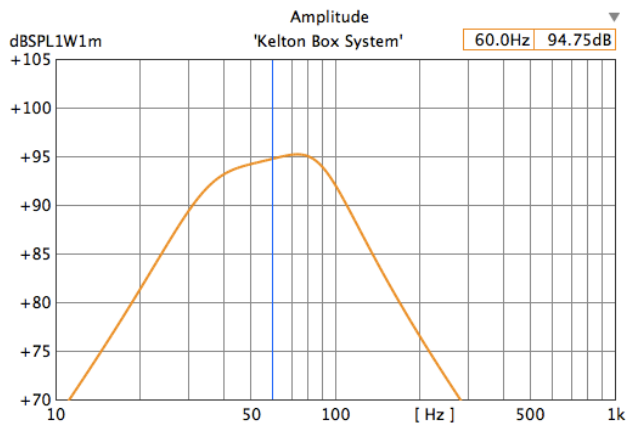
Vb2=20Liter、Fb2=51.96Hz

傾向：ベンテッド部容積を大きくすることにより能率が上がるが再生帯域は狭くなる。  
また少なくすると能率が下がり帯域は広がる。  
帯域を狭くしたければ容積を大きく、広くしたければ容積を少なくすればよい。

2-3. ベンテッド部の共振周波数 (Fb2 : 51.96Hz) を 40Hz と 60Hz へ変更した場合  
Vb2 は 25.83Liter で同じ



Fb2=40Hz、Vb2=25.83Liter



Fb2=60Hz、Vb2=25.83Liter

傾向：周波数をずらした側の特性に盛り上がりができる。  
共振周波数が低い程、能率が下がり帯域は広がる。

可能性：平坦特性にすると低域側が設計通りにならないことがあるので、低い側に山を作る  
ことによりローエンドの拡張が更にできるのではと考えます。

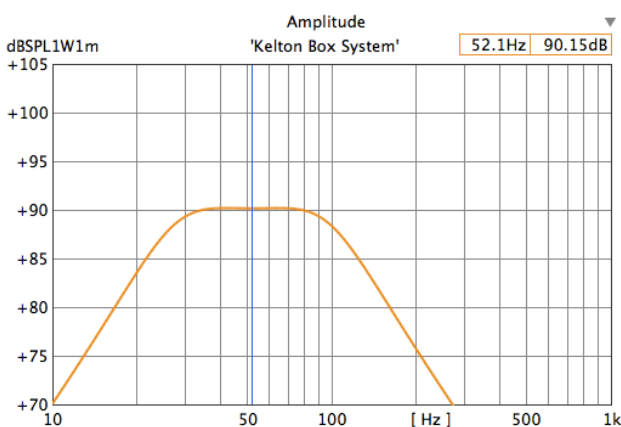
欠点：より低い方まで再生しようとするとうとう能率が犠牲になるのでそれを見越しサブ・ウーファー用のアンプを設ける必要がある。  
すなわち 2・1ch システムにする必然がある。

◎次は、ユニットのパラメーターを変更した場合の特性変化を見ます。

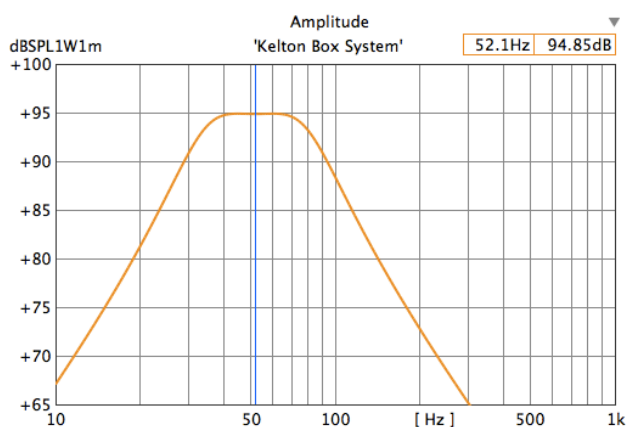
以下、指定以外のパラメーターは、頁1 架空値デフォルト

3-1. Qts (0.4) が 0.3 と 0.5 の時、最適平坦特性

Vb1=50L、Fc1=51.96Hz、Fb2=51.96Hz 固定



Qts=0.3、Vb2=15.26L



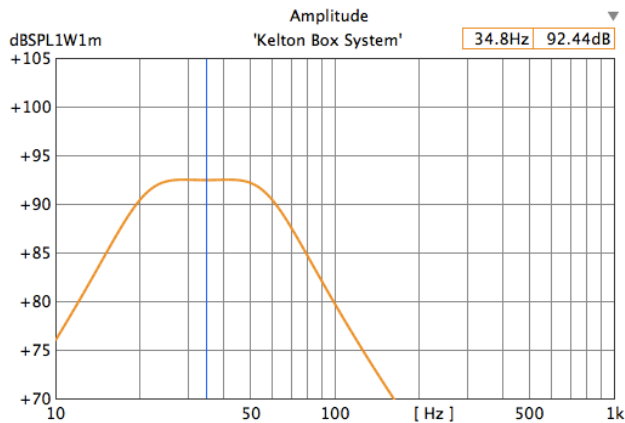
Qts=0.5、Vb2=39.57L

(SPL レベル目盛のズレに注意、最大値：105dB と 100dB)

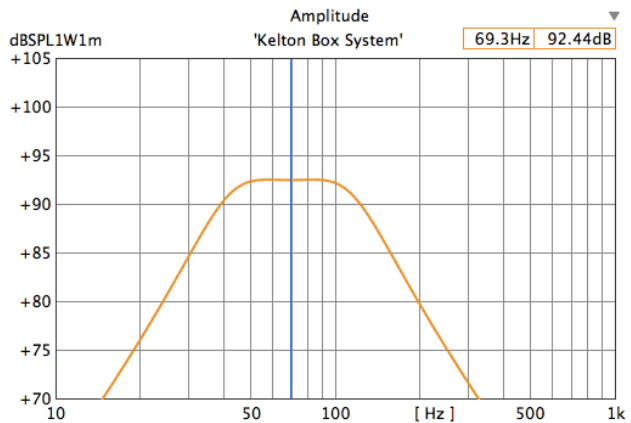
傾向：Qts の小さい方が帯域は広がるが能率は下がり大きい方は逆になる。

Qts は、大き過ぎず小さ過ぎず程々 (0.4 程度) が良い。

3-2.  $F_s$  (30Hz) が 20Hz と 40Hz の時、最適平坦特性  
 $V_{b1}=50L$ 、 $V_{b2}=25.28Hz$  固定



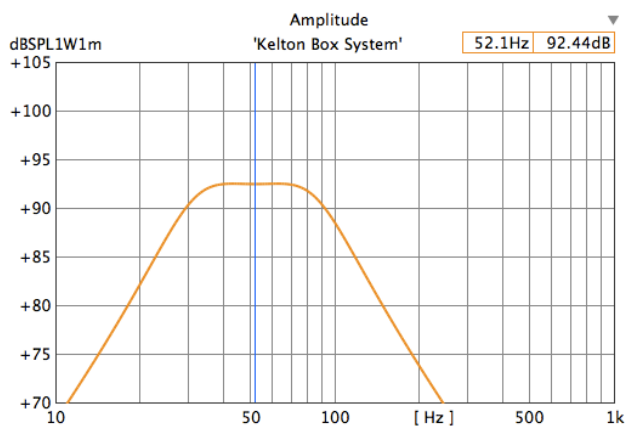
$F_s=20Hz$ 、 $F_{c1}=F_{b2}=34.64Hz$



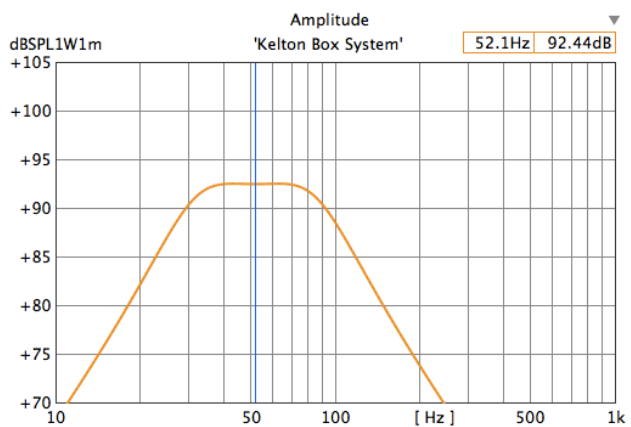
$F_s=40Hz$ 、 $F_{c1}=F_{b2}=69.28Hz$

傾向： $F_s$  ( $F_{c1}$ ) の違いの分、左右にスライドするがレベルと帯域は同じ。  
 $F_s$  は、低い方がより低い帯域を再生できる。

3-3.  $V_{as}$  (100L) が 150L と 50L の時、最適平坦特性  
 $F_{c1}=F_{b2}=51.96Hz$  固定



$V_{as}=150L$ 、 $V_{b1}=75L$ 、 $V_{b2}=38.74L$



$V_{as}=50L$ 、 $V_{b1}=25L$ 、 $V_{b2}=12.92L$

傾向：密閉部容積、ベンテッド部容積それぞれ違うが特性は同じになる。  
 $V_{as}$  は、少ない方がトータルのボックス容積は少なくなる。

終りに：ケルトン型 S P の各種パラメーターの違いによる特性の変化を見てきました。  
 どこをどうすれば、どう言う特性になるか何となく見えて来たのではないかと思います。読者の設計の参考になれば幸いです。

次回、製作編で実際の製作例を示して行きたいと思います。

※本冊子の著作権はフリーとします。記：長谷川義之 ケルトン型 S P 設計編 2018/03

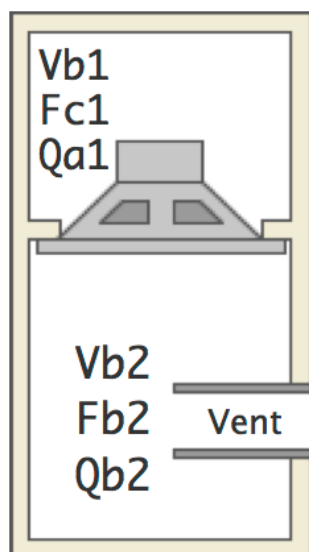
## 付 録

最後にケルトン型 S P のパラメーターの傾向をもう一度記して置きます。

1. Qts は、大き過ぎず小さ過ぎず程々 (0.4 程度) が良い。
2. Fs は、低い方がより低い帯域を再生できる。
3. Vas は、少ない方がトータルのボックス容積も少なくなる。
4. 一般的に密閉部容積は、ベンテッド部容積よりかなり大きくする必要がある。  
密閉容積は大きくした方が低域再生が有利になる  
Qts = 0.4 の場合、密閉容積はベンテッド容積の約 2 倍  
Qts が大きくなるほどベンテッド容積は密閉容積に近づく  
(図 1 では密閉容積が少なく描かれていますが、実は逆です。)
5. 帯域を狭くしたければベンテッド容積を大きく、広くしたければ少なくすればよい、ただし能率は変化する。

この様なパラメーターを満たす S P は、見つけるのが意外と大変だと思います。

あまりこだわる必要はないとも思いますが、次頁に Vb2 を求めるための Qts を変数としたアライメント・チャートを添付して置きますので参考にして下さい。



### ケルトン型 S P の最適平坦アライメント設計法のまとめ

1. 密閉部の容積 (Vb1) を求める。  
Vb1 は、Vas の半分のとし  
 $Vb1 = Vas / 2$  Liter
2. 密閉部の共振周波数 (Fc1) を求める。  
密閉部箱のコンプライアンスレシオ ( $\alpha$ :アルファ) とすると  
 $\alpha = Vas / Vb1$   
 $Fc1 = Fs \times \sqrt{(\alpha + 1)}$  Hz
3. ベンテッド部の容積 (Vb2) を以下の三次式により求める。  
 $K = (144.002 \times Qts^3 - 14.4043 \times Qts^2 + 62.4823 \times Qts - 6.07231) / 100$   
または、次頁: Vb2 計算アライメント・チャート  
より、 $Vb2 = K \times Vas$  Liter
4. ベンテッド部の共振周波数 (Fb2) を求める。  
最適平坦では、単純に、 $Fb2 = Fc1$  Hz
5. Vb2 と Fb2 よりベント (ダクト) を設計する。

## ケルトン S P Vb2 計算アライメント・チャート Vb2=K x Vas (Liter)

