

<b>【整番】 EE-01-RP-003</b>	<b>【標題】 安全弁放出口の騒音レベルの計算(API RP521)</b>
分類：環境(騒音)／種別：推奨指針	作成年月：H17.12／改訂：Ver0.0 (H18.9) 作成者：N.Miyamoto

全4枚

安全弁2次側の放出口から発生する騒音の推算については、APIに推奨指針がある<sup>(1)</sup>。以下この内容を紹介する。関連して【EE-01-RP-002 大気放出騒音に関する情報】参照のこと。

1. 騒音レベルの推算式

(1) 安全弁直後の大気放出口から 30mの離れた位置における騒音レベル(L<sub>30</sub>)は次の式で概算できる。

$$L_{30} = L_0 + 10 \log_{10} \{ (1/2) MC^2 \} \quad \text{-----(1)}$$

ここで L<sub>0</sub>=音圧レベル(dB)、Fig.12 の縦軸の値をとる。

M= 安全弁を通過する質量流量 ( kg/s )

C= 流体(気体)の音速(m/s) = (γ RT)<sup>0.5</sup>

R=ガス定数 8317/MW、MW=モル重量(分子量)

(2) また、安全弁の大気放出口から任意の位置における騒音レベル(L<sub>p</sub>)は次の式で概算できる。

$$L_p = L_{30} - 20 \log_{10} ( r / 30 ) \quad \text{-----(2)}$$

ここで r = 音源(放出口)からの距離(m)

なお、安全弁から 305m(1000ft)以上の位置では伝播中の大気吸収(molecular noise absorption)を考慮してよい。

(3) 距離 r(基準 30mを含む)がスタック放出口の地上高さよりもっと大きくなる時は(1)(2)式の計算結果に 3 dB 加算する。

(4) 運転中、安全弁の作動で過剰騒音になるときは、安全弁および”安全弁出口から約(5x 管径)長さまでの吐出管部分”に防音ラギングを巻いて騒音を和らげる。

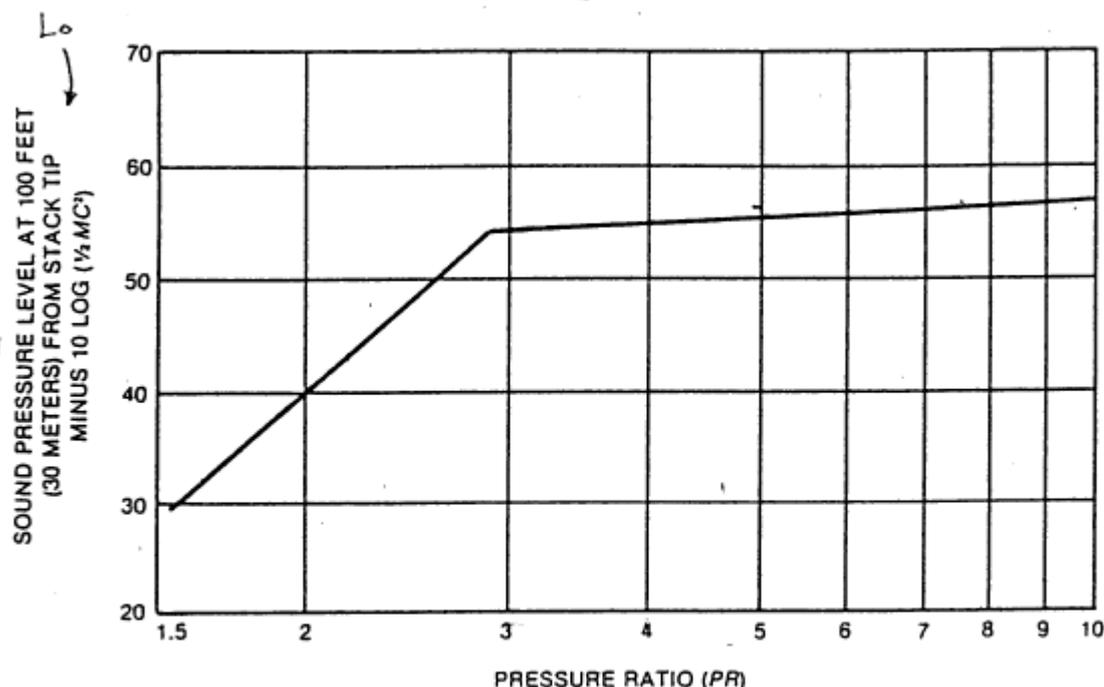


Figure 12—Noise Intensity at 100 Feet (30 Meters) from the Stack Tip

PR=(安全弁 1 次側圧力)/(安全弁 2 次側圧力)-----2 次側は大気圧としても可

## 2. 例題

分子量 29 / 比熱比 1.4 / 温度 38°C のガスが安全弁から吹き出す時、30m 離れた位置での騒音レベルを推定せよ。なお、安全弁の、吹き出し量は 14.6 kg/s、作動圧力は 3 ata とする。

\*\*\*\*\*

流体の音速： $C = (\gamma RT)^{0.5} = \{1.4 \times 8317 / 29 \times (38 + 273)\}^{0.5} = 353 \text{ m/s}$

安全弁の圧力比は 2 次側を約 1 ata (大気) として  $PR = 3/1 = 3$ 。このとき Fig. 16 より  $L_0 = 54 \text{ dB}$ 、従って、

$$L_{30} = L_0 + 10 \log_{10} \{(1/2)MC^2\} = 54 + 10 \log_{10} \{(1/2)(14.6)(353)^2\} = 54 + 60 = 114 \text{ dB}$$

### 【 解 説 】

1. API RP521 の 5.5.4.3 の計算は、圧力レリーフ装置(安全弁や破裂板)2 次側の排気筒(Vent Stack)の大気放出騒音を対象にしている。安全弁類のノズル口径は小さいので、流体はノズルでチョークして音速で流れ出すか、チョークしていなくとも音速に近い状態で流れ出し、更にノズルを通過した後は管径が広がって、多くの場合不足膨張ないし適正膨張して、また場合によっては音速を超えてスタックの吹き出し口に至ると思われる。このプロセスでは、ノズル直後に放出エネルギーの大部分が音響変換して大きな騒音が発生し、それがベントを伝播して中途の管外面あるいはスタック端から大気に放出される。然るにこのプロセスを全部フォローして騒音レベルの推算するのは難しい。そこで、API RP521 の 5.5.4.3 規定では、ノズルからの噴流のみを対象にして、騒音レベルの推算しているようである。

2. API RP521 の式の背景を調べてみる。

音源のパワーレベル( $L_w$ )と音圧レベル( $L_p$ )の関係を示す式は

$$L_w = L_p + 20 \log_{10} r + 11 \quad \rightarrow \quad L_p = L_w - (20 \log_{10} r + 11) \quad \text{----- (a)}$$

音源(ここでは噴流)のパワーレベル  $L_w$  は、

$$L_w = 10 \log_{10} (W/10^{-12}) = 120 + 10 \log_{10} W$$

ここで音響出力  $W = \eta \times (1/2)MV^2$  ( $\eta$  はエネルギーの音響変換効率で  $\eta = 5.09 \times 10^{-5} (V/C_0)^5$ )。従って

$$\begin{aligned} L_w &= 120 + 10 \log_{10} (5.09 \times 10^{-5}) + 50 \log_{10} (V/C_0) + 10 \log_{10} \{(1/2)MV^2\} \\ &= 120 - 42.9 + 50 \log_{10} (V/C_0) + 10 \log_{10} \{(1/2)MV^2\} \quad \text{----- (b)} \end{aligned}$$

(b)を(a)に代入して

$$\begin{aligned} L_p &= 120 - 42.9 + 50 \log_{10} (V/C_0) + 10 \log_{10} \{(1/2)MV^2\} - (20 \log_{10} r + 11) \\ &= 120 - (42.9 + 20 \log_{10} r + 11) + 50 \log_{10} (V/C_0) + 10 \log_{10} \{(1/2)MV^2\} \end{aligned}$$

$r = 30 \text{ m}$  として

$$L_p = 36.6 + 50 \log_{10} (V/C_0) + 10 \log_{10} \{(1/2)MV^2\}$$

$V = C_x(V/C) =$  を右辺 3 項に代入して

$$L_p = 36.6 + 50 \log_{10} (V/C_0) + 20 \log_{10} (V/C) + 10 \log_{10} \{(1/2)MC^2\}$$

$C_0 = (\gamma RT_0)^{0.5}$ 、 $C = (\gamma RT)^{0.5}$  及び  $T_0 = T \{1 + (\gamma - 1)M^2/2\}$  の関係より

$$V/C = 1 / \{(C_0/V)^2 - (\gamma - 1)/2\}^{0.5}$$

従って

$$L_p = 36.6 + 50 \log_{10} (V/C_0) + 10 \log_{10} [1 / \{(C_0/V)^2 - (\gamma - 1)/2\}] + 10 \log_{10} \{(1/2)MC^2\} \quad \text{----- (c)}$$

ここで  $V =$  吹き出し流速、 $C_0 =$  淀み点の音速  $= (\gamma RT_0)^{0.5}$ 、 $C =$  吹き出し点の音速  $= (\gamma RT)^{0.5}$

$r$  = 吹き出し口からの距離、 $M$ =質量流量、 $T_0$ =全温度、 $T$ =静温度

ここで  $V$  を求める。圧縮性流れのベルヌーイ式は、等エントロピー関係  $\rho = \rho_0 (P/P_0)^{1/\gamma}$  を用いて②

$$(1/2)V^2 + \{\gamma / (\gamma - 1)\} (P_0 / \rho_0) (P/P_0)^{(\gamma-1)/\gamma} = \{\gamma / (\gamma - 1)\} (P_0 / \rho_0)$$

ここで、 $P_0$ =淀み点(静止流体)の圧力(全圧)、 $\rho_0$ =淀み点(静止流体)の密度、

$P$ =流れている流体の圧力(静圧)、 $\rho$ =流れている流体の密度

この式を  $V$  について解くと

$$V = \left[ \frac{2\gamma RT_0}{\gamma - 1} \left\{ 1 - (P/P_0)^{(\gamma-1)/\gamma} \right\} \right]^{0.5}$$

$C_0 = \gamma RT_0$  なので、

$$V/C_0 = \left[ \frac{2}{\gamma - 1} \left\{ 1 - (P/P_0)^{(\gamma-1)/\gamma} \right\} \right]^{0.5}$$

(c)式に代入して

$$L_p = 36.6 + 25 \log_{10} \left[ \frac{2}{\gamma - 1} \left\{ 1 - (P/P_0)^{(\gamma-1)/\gamma} \right\} \right] \\ + 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{\left\{ \frac{2}{\gamma - 1} \left\{ 1 - (P/P_0)^{(\gamma-1)/\gamma} \right\} \right\} - (\gamma - 1)/2} \right] + 10 \log_{10} \left\{ (1/2)MC^2 \right\}$$

この式を変形して

$$L_p - 10 \log_{10} \left\{ (1/2)MC^2 \right\} = 36.6 + 25 \log_{10} \left[ \frac{2}{\gamma - 1} \left\{ 1 - (P/P_0)^{(\gamma-1)/\gamma} \right\} \right] \\ + 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{\left\{ \frac{2}{\gamma - 1} \left\{ 1 - (P/P_0)^{(\gamma-1)/\gamma} \right\} \right\} - (\gamma - 1)/2} \right] (P/P_0)$$

= PR とおいて

$$\left[ L_p - 10 \log_{10} \left\{ (1/2)MC^2 \right\} \right] = 36.6 + 25 \log_{10} \left[ \frac{2}{\gamma - 1} \left\{ 1 - PR^{-(\gamma-1)/\gamma} \right\} \right] \\ + 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{\left\{ \frac{2}{\gamma - 1} \left\{ 1 - (PR)^{-(\gamma-1)/\gamma} \right\} \right\} - (\gamma - 1)/2} \right]$$

$L_0 = L_p - 10 \log_{10} \left\{ (1/2)MC^2 \right\}$  とおくと

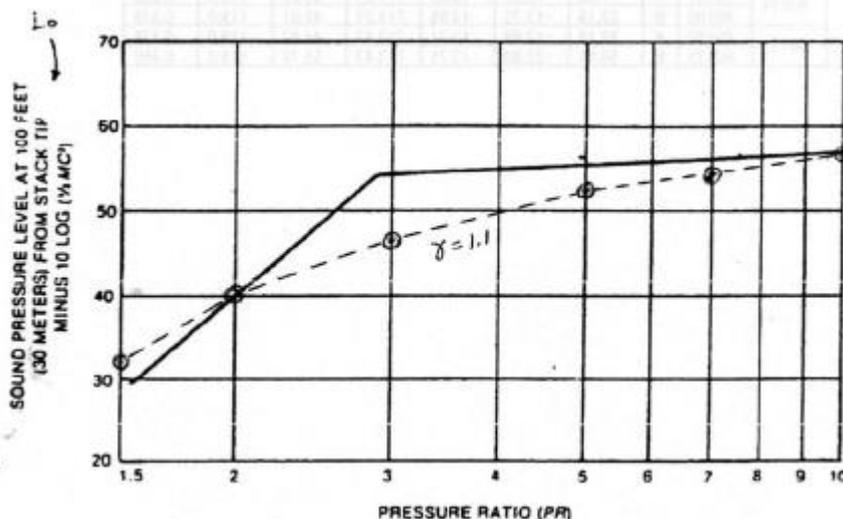
$$L_p = L_0 + 10 \log_{10} \left\{ (1/2)MC^2 \right\}$$

即ち、(1)式が得られる。ここで、 $L_0$ は、

$$L_0 = 36.6 + 25 \log_{10} \left[ \frac{2}{\gamma - 1} \left\{ 1 - PR^{-(\gamma-1)/\gamma} \right\} \right] \\ + 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{\left\{ \frac{2}{\gamma - 1} \left\{ 1 - (PR)^{-(\gamma-1)/\gamma} \right\} \right\} - (\gamma - 1)/2} \right] \quad \text{-----(d)}$$

で与えられ、圧力比 PR を変数とする関数である。これをグラフ化したものが Fig.12 と思われる。

(d)式で比熱比  $\gamma$  を 1.1 にとって Fig.12 にプロットすると下図のようになる。傾向としては、だいたいあっているように思える。



(2)式は任意の距離の騒音レベル  $L_p$  を求めるもので、次のように得られる。

$$L_p = L_{30} + 20 \log_{10}(30) - 20 \log(r) \quad \rightarrow \quad L_p = L_{30} - 20 \log_{10}(r/30)$$

3. 1.(3)の規定は、(1)式が無指向性の自由空間の式に拠っているのを補正するもの。放出口の長さより長い距離の場合は半自由空間になるので、3dB を加算している。因みに

$$\text{無指向性自由空間の場合（音源が上空にあるとき）： } L_w = L_p + 20 \log r + 11$$

$$\text{半自由空間(音源が地上にあるとき)： } L_w = L_p + 20 \log r + 8$$

4. 1.(4)には、弁体から吹き出した噴流の騒音発生部分(噴口～9 x 噴口径)を覆って騒音を緩和する意図があるようだ。実際には消音器を接続することが多いのではないか？

引用文献：

(1) API RP521 “Guide for Pressure-Relieving and Depressing System”(1982)

5.4 Design of Disposal System Component 5.4.4 Vent Stacks 5.4.4.3 Noise

(2) 「圧縮性流体力学(内部流れの理論と解析)」 松尾一泰 (理工学社)