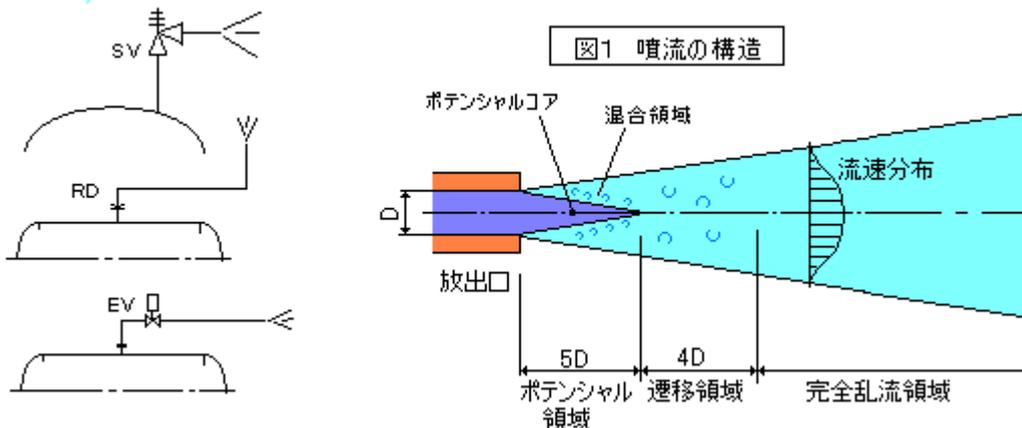


【整番】 EE-01-RP-002	【標題】 大気放出騒音に関する情報
分類：環境(騒音)/種別：推奨指針	作成年月：H17.12/改訂：Ver0.0 (H18.9) 作成者：N.Miyamoto

全7枚

安全弁/ラプチャディスク 2次側あるいは緊急放出弁 2次側などから大気に直接、蒸気/ガスを放出する場合、噴流(Jet)によって放出口周りに 100dB を越えるような著しい騒音(大気放出騒音)が発生する事が多い。本 TS は、この噴流騒音について発生メカニズム、騒音レベル/特性および対策などについて関係情報を要約するものである。



1. 発生メカニズムと傾向⁽¹⁾⁽²⁾

図 1 に放出口からの噴流の構造を示す。円形ノズルからの亜音速噴流は、ポテンシャル領域 (ポテンシャルコア+混合領域) →遷移領域→完全乱流領域から成る。ポテンシャルコアは層流になっており始端の噴出速度はそのまま保持される。コアを囲う混合領域は噴出流体と空気が混合する部分で、不規則で小さい渦が派生し**高周波音**が発生する。遷移領域は流速低下とともに乱れが拡散し渦も大きくなって**低周波音**が発生する。完全乱流領域では音の発生はないが遷移領域から音の伝播がある。混合領域で生じる高周波音は強いが大気に吸収され易く(表 B)、音源から離れた位置では遷移域の低周波音が問題になることが多い。

混合領域と遷移領域で発生する音(4極子音)は、いずれも強い**速度乱れ(質量流の時間的变化)**やエントローピー乱れによるものである。噴流を音源と見るとき、この音源は 15x 噴流径(D) 程度の長さを持っており、横方向の広がりは約 15° 程度となる。

音源の強さには長さ方向に分布があり遷移領域の終端近く 8D 程度にピークがある。またこの音源から外に向かう音には指向性があり噴流軸に対し 30° 方向で dB が最も高くなる傾向がある(超音速噴流では 45° 程度)。

よく知られているように、流速 V との関連では、噴流の音響出力(ワット)はマッハ数 < 2 では V^8 に比例し、マッハ数 $M > 2$ では V^3 に比例する。

噴流の騒音を弱めるには、**[噴流速度を落とす]**、**[噴流を細分化する]**のがよい。前者の場合、予め上流側で放出流量を抑制したり、放出端にディフューザを設けたりする。後者の場合、混合領域のせん断流を弱め、全体に高周波音に移行させ減衰しやすくする(例えば、噴出口に多孔板やワイヤメッシュを挿入するなど)。これら工夫はノイズサプレッサと呼ばれ、種々のアイデアがあり消音器などに用いられている。

(以上は亜音速噴流をベースにしている。音速/超音速噴流についても、基本的に同一傾向になるが、擬似衝撃波がでてスクリーチ音が発生する。これについては次の Version で補足する予定。)

バンドレベル(dB)	Lc-4δ	Lc-3δ	Lc-2δ	Lc-δ	Lc	Lc-δ	Lc-2δ	Lc-3δ
------------	-------	-------	-------	------	----	------	-------	-------

$$L_p = 10 \log_{10} [10^{(L-4\delta)} + 10^{(Lc-3\delta)} + 10^{(Lc-2\delta)} + 10^{(Lc-\delta)} + 10^{Lc} + 10^{(Lc-\delta)} + 10^{(Lc-2\delta)} + 10^{(Lc-3\delta)}]$$

より、未知数 Lc を求める。また δ は中心周波数が半減ないし倍増する時の dB の減少量で、2~4dB 程度とする。

ステップ 4. Lc がわかったので、各バンドレベル($Lc-\delta$)、($Lc-2\delta$)、($Lc-3\delta$)…を求める。

以上でセットした周波数特性を連結評価に使用し、当該大気放出音が敷地境界で全体騒音に与える影響度を評定する。もし減音を必要なら消音器類の設置を検討する。

3. 対策—必要な消音器能力

消音器を取り付けた場合のパワーレベル PWL は次のようになる⁽¹⁾。

$$PWL = PWL_{JV} - (\Delta R_D + \Delta R_A - PWL_R) \quad (\text{dBA})$$

ここで PWL_{JV} = 消音器なしのときの(噴出し口における噴流+上流の安全弁類の絞り噴流)エネルギーによる音響出力(dB)

ΔR_D = 消音器入口部などのノイズサプレッサ類による減音量(dB)

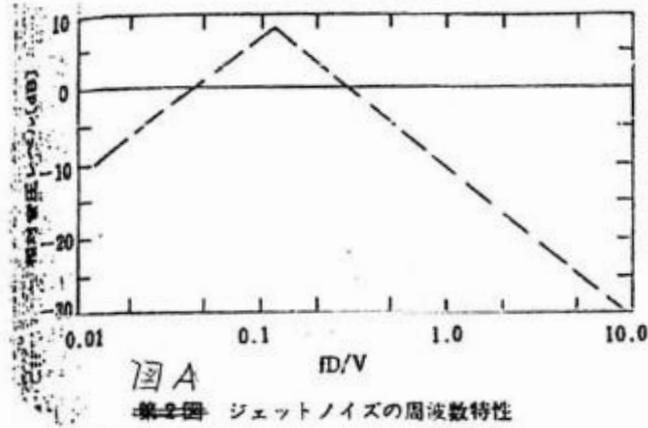
ΔR_A = 消音器本体の、吸気ダクトなどによる減音量(dB)

PWL_R = 消音器内外で流れにより再発する音響出力(dB)

PWL_{JV} は、噴出し口の PWL に 3dB 程度を加算すれば十分だろう。 PWL_R は実質、消音器出口の噴流による PWL で、出口径を噴流径として前述の 2.(1)の計算式から算出する。

消音器は、以上の PWL が許容値を満足するか、連結評価をパスできるように設計される。この場合、減音構造の如何によって ΔR_D 、 ΔR_A は変わってくるが、この辺の情報や議論についてはメーカー資料や報文類によるものとして本 TS では割愛する。なお、 ΔR_D に関連して、参考としてノイズサプレッサに関する情報⁽¹⁾を図 C に示す。

(上記の消音器取付け後の PWL の計算は多分に仮定的である。噴き出し後の(配管+消音器)内の流れから騒音を評価するやり方があるように思える、要調査か? なお、ノイズコンプレッサについてはスクリーチ音対策も含めて、今後 TS を発行したい。)



表A

第1表 安全弁吹出しジェットノイズの実測値
(90°方向、中心軸より5 m位置)

流量 T/H (バルブ口径 mm)	騒音レベルおよびオクターブバンドレベル (A特性補正) dB									吹出圧力 (温度 kg/cm ² G (°C))	
	dB(A)	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8K Hz		
68 (60)	130	—	103	113	119	123	126	124	115	110	(308)
66 (60)	128	—	98	108	114	120	122	119	112	103	(308)
31 (50)	130	—	101	109	118	122	125	126	119	99	(513)

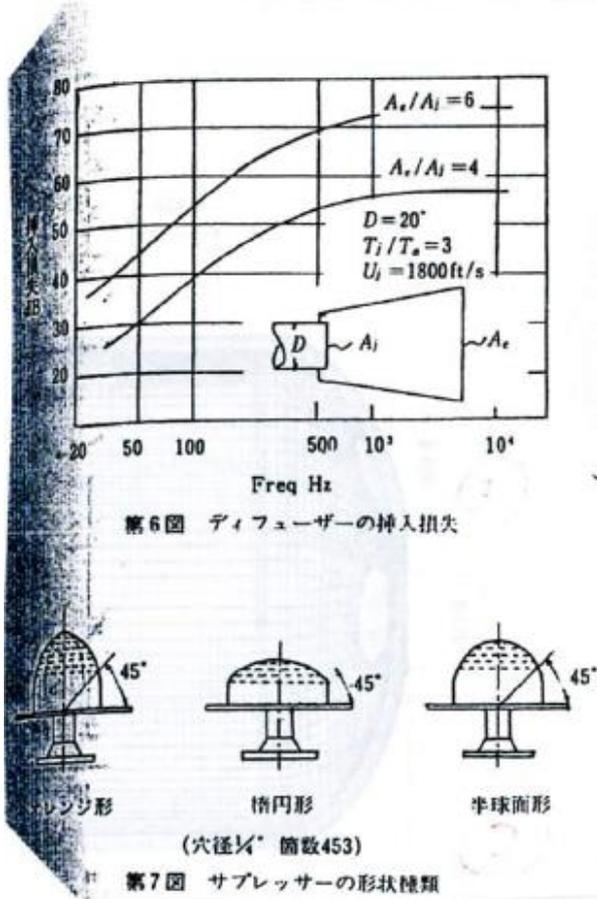
表B

第2表 大気吸収による減衰量

周波数 Hz	気温 °C	(dB/100m)			
		相対湿度 %			
		40	60	80	100
500	0	0.22	0.18	0.16	0.16
	10	0.20	0.17	0.15	0.14
	20	0.19	0.16	0.15	0.14
	30	0.18	0.16	0.14	0.13
1000	0	0.69	0.47	0.39	0.36
	10	0.48	0.42	0.38	0.35
	20	0.46	0.40	0.36	0.33
	30	0.44	0.38	0.35	0.32
2000	0	2.38	1.55	1.15	0.94
	10	1.45	1.04	0.93	0.86
	20	1.13	0.98	0.88	0.81
	30	1.09	0.94	0.85	0.79
4000	0	7.41	5.22	3.90	3.08
	10	4.90	3.21	2.46	2.16
	20	3.12	2.44	2.22	2.06
	30	2.72	2.38	2.15	2.01
5940	0	11.62	10.24	7.71	6.19
	10	9.65	6.38	4.80	3.95
	20	6.15	4.31	3.77	3.52
	30	4.64	4.04	3.69	3.42

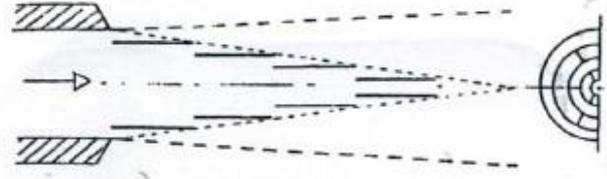
注記：図A、表Aおよび表Bは文献(1)より引用した。

図C ノイズサプレッサに関するデータ (全て文献(2)より引用)

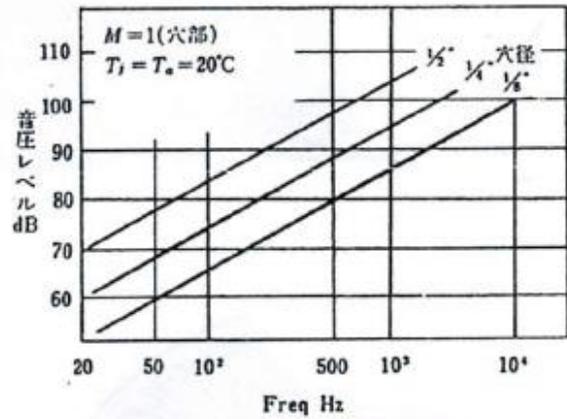


第6図 ディフューザーの挿入損失

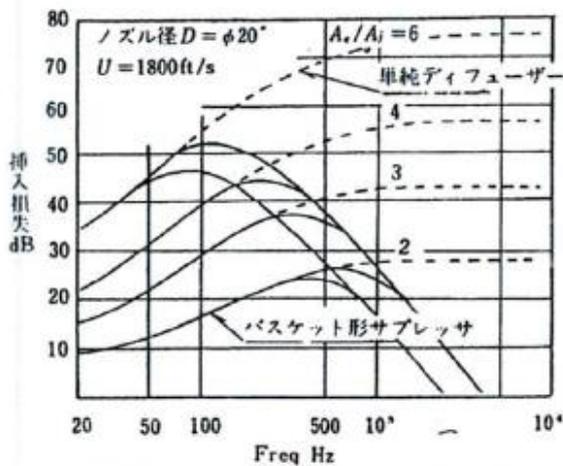
第7図 サプレッサの形状種類



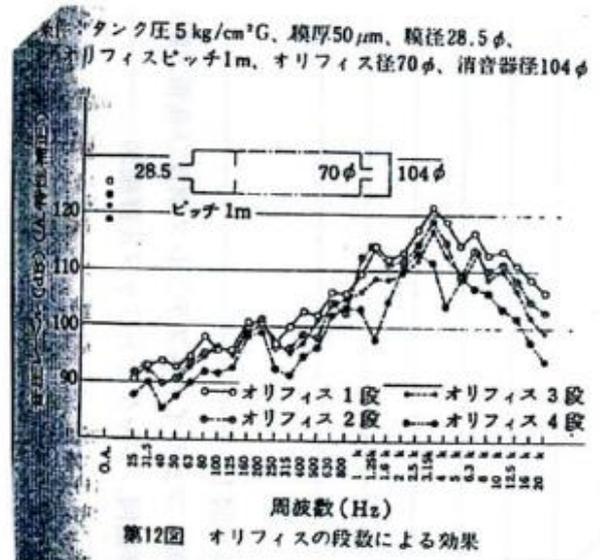
第8図 同心円状サプレッサ



第9図 多孔板による再発生音



第10図 バスケット形サプレッサの減音特性



第12図 オリフィスの段数による効果

メモ：騒音レベルの推算式の内容に関して

(1)式自身は、音源が地上にある時即ち半自由空間での音源のパワーレベル(L_w)と音圧レベル(L_p)の関係を示す一般式である。この右辺の L_w が噴流騒音を表している。以下、この L_w について。

噴流の運動エネルギーは

$$E_d = (1/2)mV^2 = (1/2)(\rho \times \pi D^2/4 \times V)V^2 = (\pi/8)(\rho D^2V^3)$$

音響変換効率を $\eta' = (W/E_d)$ とすれば、音響パワー W は

$$W = \eta'(\pi/8)(\rho D^2V^3) = \eta(\rho D^2V^3)$$

ここで $\eta = (\pi/8)\eta'$ 。 η' に換えてこの η を音響変換効率とする。音響変換効率 η は次の値をとる。

$$(V/C_0) \leq 2 : \quad \eta = 2 \times 10^{-5} (V/C_0)^5$$

$$(V/C_0) > 2 : \quad \eta = 6 \times 10^{-3}$$

C_0 は、噴流の全圧力 P_0 でカウントされた音速で、 $C_0 = (\gamma R P_0)^{0.5}$ である。故に (V/C_0) は擬似的なマッハ数になる。

さて音響パワー式では、噴出し速度 V が重要なパラメータになる。これは以下のように導かれる⁽³⁾。

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

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

ここで、 P_0 = 淀み点(静止流体)の圧力(全圧)、 ρ_0 = 淀み点(静止流体)の密度、

P = 流れている流体の圧力(静圧)、 ρ = 流れている流体の密度

この式を V について解くと

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

この式は図2のモデルによっている。大きな容器のように流れのない所(淀み点)から流体が流れ出してノズルから噴出す場合、途中の摩擦ロスがなく圧力損失がゼロであれば、噴出し口の全圧力 P_0 、全温度 T_0 、全密度 ρ_0 は、淀み点のそれと殆ど同じである。従って、(a)式においては (P/P_0) は噴出し口における(静圧/全圧)を表している。このモデルで静圧 P 、あるいは静密度 ρ を得るのは容易でない。しかし、仮にこの状態での静圧 P が大気圧 P_b に極く近いとして、 $P = P_b$ とすれば、(a)は容易に計算できる。実際は $P > P_b$ であるから、この仮定条件では流速 V は高めに見積もられ、最終的に騒音レベルはほんのわずか高めにカウントされる。従って、(1)式では P を大気圧とみなして計算して差しつかえない。しかし噴出し口でチョークすると、背圧 P_b が噴出し速度 V に関わることはないので、この $P = P_b$ の仮定で行われる(1)式の計算はナンセンスになる。従って、噴出し口でチョークしている場合は、 $T_0 = T \{1 + (\gamma-1)M^2/2\}$ の関係を用いて

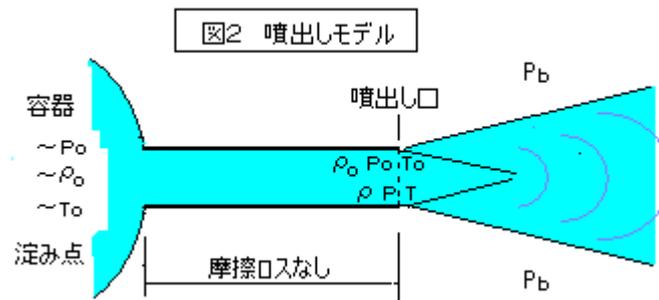
$$V = C(\text{実音速}) = (\gamma RT)^{0.5} = \left[\frac{2\gamma}{\gamma+1} RT_0 \right]^{0.5} \quad (\text{as } M=1)$$

を適用する。一方、亜音速域 ($M < 1$) および超音速域 ($M > 1$) になる場合は、(a)式を適用して V を求める。(ただ、安全側に騒音レベルを求めるのであれば、全マッハ域に対し(a)式を適用してよい。)

通常のプラントの圧力レベルでは、大気噴出し流速が亜音速 ($M < 1$) に収まることは少なく、音速あるいは超音速になる。音速であるか超音速であるかは噴出しラインの形状によることが多い。即ち

- ・安全弁/ラプチャ/放出弁出口から殆ど直に大気放出される時→超音速化しやすい。
- ・安全弁/ラプチャ/放出弁からある程度長い放出管を経て大気放出される時→チョーク(音速)

一般に、チョークして音速流になるケースが多いと思われる。



引用文献：

- (1) 「ジェットノイズの騒音対策（発生機構と対策について）」 斎木（配管技術' 81. 4. P104～110）
- (2) 「大気放出騒音とその対策」 岡田（配管技術' 81. 3. P79～86）
- (3) 「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）