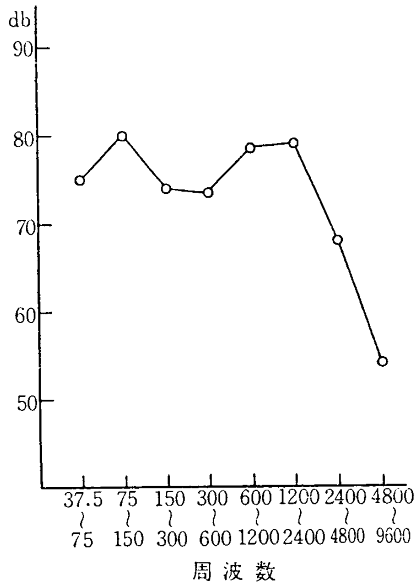

図 8・4　騒音スペクトル

(iv)　超音速風洞拡散筒の剛性がやや不足ぎみなので，拡散筒外板の振動による騒音を減衰させるため，防音塗料の塗布あるいは防音材を巻きつける．

以上 4 点の改修により消音効果は増大し，騒音レベル 60～70 ホン程度が期待できるものと思われる．　(久保田英也)

補　　遺

補遺 AI.　入口空気温度が時間に対して直線的に変化する場合の熱交換器の過渡温度特性

蓄熱型交換器において流入空気が時間に対し直線的に変化する場合の空気温度，蓄熱体の過渡温度特性について解析する．

[記　　号]

θ_f:	空気温度	[°C]
θ_h:	蓄熱体（波板）温度	[°C]
θ_w:	側容量温度	[°C]
$\left.\begin{matrix}\theta_{f_0}\\ \theta_{h_0}\end{matrix}\right\}$:	空気，蓄熱体初期温度	[°C]
c_{pf}:	空気の比熱	[kcal/kg°C]
c_{ph}:	蓄熱体の比熱	[kcal/kg°C]
ρ_f:	空気の密度	[kg/m³]
w_f:	空気の熱交換器内における単位長さあたりの重量	[kg/m]
w_h:	蓄熱体単位長さあたりの重量	[kg/m]
v:	空気の流速	[m/sec]
$G_f=\rho_f v$:	単位面積あたりの空気流量	[kg/sec・m²]

h:	蓄熱体と空気間の熱伝達係数	[kcal/m²·sec·°C]
h_0:	蓄熱体外周面における熱伝達係数	[kcal/m²·sec·°C]
s:	単位体積あたりの蓄熱体熱伝達表面積	[m²/m³]
s_0:	単位体積あたりの熱損失表面積	[m²/m³]
A:	単位長さあたりの空気，蓄熱体の接触面積	[m²/m]
S:	空気流路面積	[m²]
t:	時間	[sec]
x:	熱交換器の軸に沿い，流れの向きの距離	[m]

いま図 AI·1 のごとく蓄熱型熱交換器の一断面における熱平衡を考えると次のごとくなる．流体が失なった熱量は，蓄熱体および側壁に与えられるから，

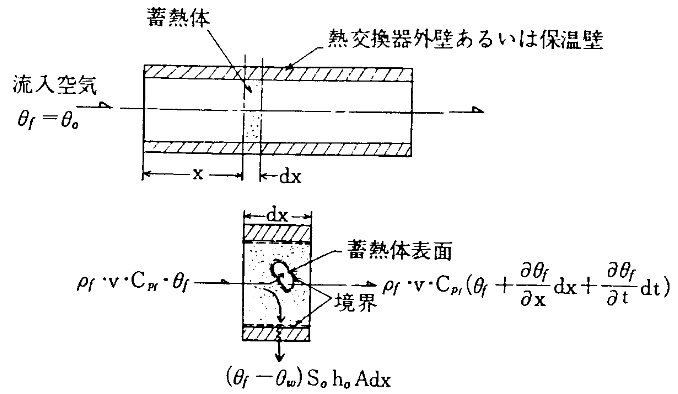

図 AI·1 蓄熱型熱交換器単位断面における熱平衡

$$-G_f C_{pf}\left\{\frac{\partial\theta_f}{\partial x}dx+\frac{\partial\theta_f}{\partial t}dt\right\}=\{(\theta_f-\theta_h)sh+(\theta_f-\theta_w)s_0h_0\}dx \qquad \text{(AI·1)}$$

蓄熱体に伝わる熱量と温度上昇の関係は，

$$c\frac{\partial\theta_h}{\partial t}Adx=(\theta_f-\theta_h)sh\,Adx \qquad \text{(AI·2)}$$

式 (AI·1), (AI·2) が求める基礎式である．

両式をつぎのように変形する．

$$a_1\frac{\partial\theta_1}{\partial x}+a_2\frac{\partial\theta_1}{\partial t}=-(1+a_3)\theta_1+\theta_2 \qquad \text{(AI·3)}$$

$$a_4\frac{\partial\theta_2}{\partial t}=\theta_1-\theta_2 \qquad \text{(AI·4)}$$

ただし，

$$\theta_1=\theta_f-\theta_w, \qquad \theta_2=\theta_h-\theta_w$$

$$a_1=\frac{G_fC_{pf}}{sh}\cdots\cdot[\mathrm{m}] \quad a_2=\frac{G_fC_{pf}}{vsh}\cdots\cdot[\mathrm{s}] \quad a_3=\frac{s_0h_0}{sh}\cdots\cdot[\mathrm{dl}] \quad a_4=\frac{c}{sh}\cdots\cdot[\mathrm{s}]$$

式 (AI·3), (AI·4) を Laplace 変換によって解析する．

式 (AI·3), (AI·4) より

$$a_1\frac{d\Theta_1}{dx}+a_2[p\Theta_1-\theta_1(x)]=-(1+a_3)\Theta_1+\Theta_2 \qquad \text{(AI·5)}$$

$$a_4[p\Theta_2-\theta_2(x)]=\Theta_1-\Theta_2 \qquad \text{(AI·6)}$$

$$\Theta=\int_0^\infty e^{-st}\theta dt$$

式 (AI·5), (AI·6) を式 (AI·7), (AI·8) の如く変形する.

$$\frac{d\Theta_1}{dx}+f_1\Theta_1=0 \qquad \text{(AI·7)}$$

$$\Theta_2=\frac{\Theta_1}{a_4\left(\dfrac{1}{a_4}+p\right)} \qquad \text{(AI·8)}$$

ただし,

$$\theta_1(x)=\theta_2(x)=0$$

$$f_1=a_0-\frac{1}{a_1a_4\left(\dfrac{1}{a_4}+p\right)}+\frac{a_2}{a_1}p, \qquad a_0=\frac{1+a_3}{a_1}$$

$$f_2=\frac{1}{a_1\left(\dfrac{1}{a_4}+p\right)}$$

$$f_3=\frac{a_2}{a_1}$$

式 (AI·7), (AI·8) の一般解は

$$\Theta_1=Be^{-f_1x} \qquad \text{(AI·9)}$$

$$\Theta_2=\frac{B}{a_4\left(\dfrac{1}{a_4}+p\right)}e^{-f_1x} \qquad \text{(AI·10)}$$

$$B=\text{積分常数}$$

式 (AI·9), (AI·10) で流入空気温度条件を考え, 逆変換すれば θ_1, θ_2 を求めることが出来る.

流入空気温度を時間に対し直線的に変化すると考える.

$$x=0 \qquad \theta_1=\theta_0-c_1t \qquad \theta_0=\theta_{f_0}-\theta_{h_0} \qquad \theta_w=\theta_{h_0}$$

$$\therefore \quad \underset{x=0}{\Theta_1}=\frac{\theta_0}{p}-\frac{c_1}{p^2} \qquad \text{(AI·11)}$$

式 (AI·9), (AI·10), (AI·11) より B を決定すると, 式 (AI·9), (AI·10) は

$$\Theta_1=\left(\frac{\theta_0}{p}-\frac{c_1}{p^2}\right)e^{-f_1x}=e^{-a_0x}\left\{\theta_0\frac{1}{p}e^{-\frac{x}{v}p}e^{\frac{1}{\frac{a_1a_4}{x}\left(\frac{1}{a_4}+p\right)}}-\frac{c_1}{p^2}e^{-\frac{x}{v}p}\cdot e^{\frac{1}{\frac{a_1a_4}{x}\left(\frac{1}{a_4}+p\right)}}\right\} \qquad \text{(AI·12)}$$

$$\Theta_2=\left(\frac{\theta_0}{p}-\frac{c_1}{p^2}\right)\frac{e^{-f_1x}}{a_4\left(\dfrac{1}{a_4}+p\right)}=\frac{1}{a_4}e^{-a_0x}\left\{\theta_0\frac{e^{-\frac{x}{v}p}}{p}\cdot\frac{e^{\frac{1}{\frac{a_1a_4}{x}\left(\frac{1}{a_4}+p\right)}}}{\left(\dfrac{1}{a_4}+p\right)}-c_1\frac{e^{-\frac{x}{v}p}}{p}\frac{e^{\frac{1}{\frac{a_1a_4}{x}\left(\frac{1}{a_4}+p\right)}}}{p\left(\dfrac{1}{a_4}+p\right)}\right\} \qquad \text{(AI·13)}$$

あるいは

$$k_h=\frac{hA}{w_h c_{ph}} \qquad k_f=\frac{hA}{w_f c_{pf}} \qquad \frac{x}{v}=X$$

$$\frac{1}{a_4}=k_h \qquad \frac{x}{a_1}=k_f\frac{x}{v}=k_f X \qquad a_0 x=k_f X+a_5 x \qquad a_5=\frac{s_0 h_0}{G_f c_{pf}}$$

とすると

$$\Theta_1=e^{-a_5 x}\cdot\left\{\theta_0 e^{-k_f X}\frac{e^{-pX}}{p}\cdot e^{\frac{k_f k_h}{p+k_h}X}-c_1 e^{-k_f X}\cdot\frac{e^{-pX}}{p}\cdot\frac{e^{\frac{k_h k_f}{p+k_h}X}}{p}\right\}$$
$$=e^{-a_5 x}\cdot\{\theta_0 e^{-k_f X}[f_1(p)+f_1(p)\cdot f_2(p)]-c_1 e^{-k_f X}[f_1(p)\cdot f_4(p)]\} \qquad (\mathrm{AI}\cdot 14)$$

$$\Theta_2=k_h e^{-a_5 x}\left\{\theta_0 e^{-k_f X}\cdot\frac{e^{-pX}}{p}\cdot\frac{e^{\frac{k_h k_f}{p+k_h}X}}{(p+k_h)}-c_1 e^{-k_f X}\frac{e^{-pX}}{p}\frac{e^{\frac{k_h k_f}{p+k_h}X}}{p(p+k_h)}\right\}$$
$$=k_h e^{-a_5 x}\{\theta_0 e^{-k_f X}[f_1(p)\cdot f_3(p)]-c_1 e^{-k_f X}[f_1(p)\cdot f_5(p)]\} \qquad (\mathrm{AI}\cdot 15)$$

(14), (15) 式を逆変換する.

$$\theta_1=e^{-a_5 x}\left\{\theta_0 e^{-k_f X}\left[g_1(t)+\int_0^t g_1(t-z)g_2(z)dz\right]-c_1 e^{-k_f X}\int_0^t g_1(t-z)g_4(z)dz\right\} \qquad (\mathrm{AI}\cdot 16)$$

$$\theta_2=k_h e^{-a_5 x}\left\{\theta_0 e^{-k_f X}\int_0^t g_1(t-z)g_3(z)dz-c_1 e^{-k_f X}\int_0^t g_1(t-z)g_5(z)dz\right\} \qquad (\mathrm{AI}\cdot 17)$$

[Laplace 変 換 表]

$f_1(p)=e^{-pX}/p$	$g_1(t)=I$	$t>X$
$f_2(p)=e^{\frac{k_h k_f}{p+k_h}X}-1$	$g_2(t)=\left(\frac{k_h k_f X}{t}\right)^{1/2}e^{-k_h t}I_1[2\sqrt{k_h k_f X t}]$	$t>0$
$f_3(p)=\frac{e^{\frac{k_h k_f}{p+k_h}X}}{p+k_h}$	$g_3(t)=e^{-k_h t}I_0[2\sqrt{k_h k_f X t}]$	$t>0$
$f_4(p)=\frac{e^{\frac{k_h k_f}{p+k_h}X}}{p}$	$g_4(t)=e^{-k_h t}I_0[2\sqrt{k_h k_f X t}]+k_h\int_0^t e^{-k_h z}I_0[2\sqrt{k_h k_f X z}]dz$	$t>0$
$f_5(p)=\frac{e^{\frac{k_h k_f}{p+k_h}X}}{p(p+k_h)}$	$g_5(t)=\int_0^t e^{-k_h z}I_0[2\sqrt{k_h k_f X z}]dz$	$t>0$

$$\int_0^t g_1(t-z)g_2(z)dz=e^{-k_h t^*}I_0[2\sqrt{k_h k_f X t^*}]-I+\int_0^{k_h t^*}e^{-\eta}I_0[2\sqrt{k_f X\eta}]d\eta$$

$$\int_0^t g_1(t-z)g_3(z)dz=\frac{1}{k_h}\int_0^{k_h t^*}e^{-\eta}I_0[2\sqrt{k_f X\eta}]d\eta$$

$$\int_0^t g_1(t-z)g_4(z)dz=\frac{1}{k_h}\int_0^{k_h t^*}e^{-\eta}I_0[2\sqrt{k_f X\eta}]d\eta+\frac{1}{k_h}\int_0^{k_h t^*}\int_0^{\xi}e^{-\eta}I_0[2\sqrt{k_f X\eta}]d\eta\cdot d\xi$$

$$\int_0^t g_1(t-z)g_5(z)dz=\frac{1}{k_h^2}\int_0^{k_h t^*}\int_0^{\xi}e^{-\eta}I_0[2\sqrt{k_f X\eta}]d\eta\cdot d\xi$$

ゆえに

$$\theta_1=e^{-a_5x}\left\{\theta_0\left[\frac{I_0[2\sqrt{k_fXk_ht^*}]}{e^{k_fX+k_ht^*}}+e^{-k_fX}\int_0^{k_ht^*}e^{-\eta}I_0[2\sqrt{k_fX\eta}]d\eta\right]\right.$$
$$\left.-\frac{c_1}{k_h}e^{-k_fX}\int_0^{k_ht^*}e^{-\eta}I_0[2\sqrt{k_fX\eta}]d\eta+\int_0^{k_ht^*}\int_0^{\xi}e^{-\eta}I_0[2\sqrt{k_fX\eta}]d\eta\cdot d\xi\right]\right\} \qquad (AI\cdot18)$$

$$\theta_2=e^{-a_5x}\left\{\theta_0e^{-k_fX}\int_0^{k_ht^*}e^{-\eta}I_0[2\sqrt{k_fX\eta}]d\eta-\frac{c_1}{k_h}e^{-k_fX}\int_0^{k_ht^*}\int_0^{\xi}e^{-\eta}I_0[2\sqrt{k_fX\eta}]d\eta\cdot d\xi\right\} \qquad (AI\cdot19)$$

$$t^*=t-X$$

式 (AI·18), (AI·19) において下記のごとき記号を用いる:

$$\phi_1=\frac{I_0[2\sqrt{k_fXk_ht^*}]}{e^{k_fx+k_ht^*}} \qquad (AI\cdot20)$$

$$\alpha_1=e^{-k_fX}\int_0^{k_ht^*}e^{-\eta}I_0[2\sqrt{k_fX\eta}]d\eta$$
$$=1-\frac{\sum_{n=0}^{\infty}(2k_fX)^n[2\sqrt{k_fXk_ht^*}]^{-n}I_0[2\sqrt{k_fXk_ht^*}]}{e^{k_fX+k_ht^*}} \qquad (AI\cdot21)$$

$$\alpha_2=e^{-k_fX}\int_0^{k_ht^*}\int_0^{\xi}e^{-\eta}I_0[2\sqrt{k_fX\eta}]d\eta\cdot d\xi=e^{-k_fX}\int_0^{k_ht^*}\alpha_1d\xi \qquad (AI\cdot22)$$

$$\theta_1=e^{-a_5x}\left\{\theta_0[\phi_1+\alpha_1]-\frac{c_1}{k_h}[\alpha_1+\alpha_2]\right\} \qquad (AI\cdot23)$$

$$\theta_2=e^{-a_5x}\left\{\theta_0\alpha_1-\frac{c_1}{k_h}\alpha_2\right\} \qquad (AI\cdot24)$$

ゆえに

$$\theta_f=\theta_{h_0}+e^{-a_5x}\left\{\theta_0[\phi_1+\alpha_1]-\frac{c_1}{k_h}[\alpha_1+\alpha_2]\right\} \qquad (AI\cdot25)$$

$$\theta_h=\theta_{h_0}+e^{-a_5x}\left\{\theta_0\alpha_1-\frac{c_1}{k_h}\alpha_2\right\} \qquad (AI\cdot26)$$

なお. 東大航研貯気槽の場合には次のようになる.

式 (AI·25), (AI·26) において

$$t=0 \qquad \theta_{f_0}=\theta_{h_0} \qquad \theta_0=0$$

流入空気温度 (交換器入口)

$$\theta_{f_{x=0}}=\theta_{f_0}-c_1t \qquad (AI\cdot27)$$

空気温度

$$\theta_f=\theta_{f_0}-e^{-a_5x}\frac{c_1}{k_h}[\alpha_1+\alpha_2] \qquad (AI\cdot28)$$

蓄熱体温度

$$\theta_h=\theta_{h_0}-e^{-a_5x}\frac{c_1}{k_h}[\alpha_2] \qquad (AI\cdot29)$$

熱交換器外表面より熱放散なき場合は

空気温度

$$\theta_f=\theta_{f_0}-\frac{c_1}{k_h}[\alpha_1+\alpha_2] \tag{AI·30}$$

蓄熱体温度

$$\theta_h=\theta_{h_0}-\frac{c_1}{k_h}[\alpha_2] \tag{AI·31}$$

（山口富夫）

補遺 AII. 貯気槽内空気温度が時間に対して直線的に変化する場合の貯気槽球殻壁の温度変化

［記　　号］

α_i:	熱伝達係数	[kcal/m²·sec·°C]
λ:	熱伝導率	[kcal/m·sec·°C]
c_p:	比　熱	[kcal/kg°C]
σ:	密　度	[kg/m³]
$\kappa=\frac{\lambda}{c\sigma}$:	温度伝導率	[m²/sec]
h_i:	$\frac{\alpha_i}{\lambda}$	[1/m]
r_2:	球殻外半径	[m]
r_1:	球殻内半径	[m]
r:	球殻中心からの距離	[m]

基礎式

$$\frac{\partial\theta}{\partial t}=k\left(\frac{\partial^2\theta}{\partial r^2}+\frac{2}{r}\frac{\partial\theta}{\partial r}\right)\qquad r_1\leq r\leq r_2 \tag{AII·1}$$

$$t=0\qquad \theta=0 \tag{AII·2}$$

$$r=r_1\qquad \frac{\partial\theta}{\partial r}=h_2\{\theta-f(t)\} \tag{AII·3}$$

$$r=r_2\qquad \frac{\partial\theta}{\partial r}=-h_1\theta \tag{AII·4}$$

今 $\Theta=\theta r$ とし，式 (AII·1)～(AII·4) に代入すると下記の如くなる．

$$\frac{\partial\Theta}{\partial t}=k\frac{\partial^2\Theta}{\partial r^2} \tag{AII·1$'$}$$

$$t=0\qquad \Theta=0 \tag{AII·2$'$}$$

$$r=r_1\qquad r\frac{\partial\Theta}{\partial r}-(1+h_2r)\Theta=-h_2r^2f(t) \tag{AII·3$'$}$$

$$r=r_2\qquad r\frac{\partial\Theta}{\partial r}-(1-h_1r)\Theta=0 \tag{AII·4$'$}$$

$$f(t)=ct$$

式 (AII·1′)，(AII·2′) の演算子解は