662. 612. 32 : 621. 45. 019

燃焼気流の温度、圧力および速度の変化*

(第2報、複室燃焼室に対する一次元理論)

菅原 菅雄**, 岐 美 格***, 高橋 忠 祐****

The Thermo-Aerodynamical Analysis
of Combustion Gas Flow(2nd Report, One Dimensional Theory of Annular,
Combustion Chamber)by Sugao SUGAWARA, Itaru MICHIOYOSHI,
and Chusuke TAKAHASHI

Continued from the first report, in which the combustion gas flow through a single chamber was analyzed, this paper presents the theory of gas flow through a typical annular combustion chamber of gas turbine or jet engine by using the thermo-aerodynamical analysis.

By one numerical calculation, it was quantitatively shown that: (1) the cooling air which flows the outer space of annular combustion chamber enters naturally into the inner space through the mixing holes by the pressure difference between outside and inside and (2) it prevents the increase of temperature of combustion gas and it promotes the increase of gas velocity, while it makes the large pressure drop by mixing in addition to that by friction and expansion.

1. 緒 言

ガスタービンやジェットエンジンにおける燃料は連続燃焼が可能のように、可燃限界の範囲内の濃度で供給される。しかし使用材料の耐熱強度の点から、燃焼室出口温度を下げるために、理論空気量以上の空気を送らなければならない。この目的のために、混合穴を設けた複室燃焼室が用いられる。既にわれわれは、熱・空気力学的一次元理論⁽¹⁾によって、単室燃焼室内の燃焼ガスの温度、速度および圧力の変化を解析したが、この報告においては、実際に近い複室燃焼室内、特に混合穴付近の状態を明らかにしようとする。この場合には、混合穴から内外の圧力差によって冷却用空気が内筒に流入するから、内、外筒ともに流量は一定でない。Grobman⁽²⁾も複室燃焼室内の圧力損失を理論解析しているが、混合穴から流入する空気の流入量については実験的に求めた結果を用いている。

2. 熱・空気力学的一次元理論

第1図は複室燃焼室の模型図である。すなわち内筒壁の厚さのうすい二重管を考え、入口より、ある間隔

に一定の幅の長方形の混合穴を、内筒全周に等間隔に設ける。このとき、全周に対して穴の占める割合を ε とする。

内筒、外筒の直径をそれぞれ、 D_1 , D_2 とし、空気入口圧力を P_0 、温度を T_0 とする。内筒入口から流入する空気（便宜上、一次空気と呼び、添字1で表わす）の流量は、入口において、与えられた燃料を燃焼せしめるに必要な理論空気量（たとえば、空燃比 ≈ 20 ）に近く、外筒を流れる冷却用空気（便宜上、二次空気と呼び、添字2で表わす）とは別々に、それぞれ内筒、外筒に分離供給されるものとする。なお、添字0は入口状態を示す(以下同じ)。

さて、理論を展開するに当り、混合穴の部分以外の流れは、さきに発表した単室燃焼室の場合⁽¹⁾、すなわ

第1図 複室燃焼室模型

* 昭和34年3月20日 関西支部第34期定時総会において「第3報」として講演、原稿受付 昭和35年9月7日。
** 正員、関西大学工学部。 *** 正員、京都大学工学研究所(京都市左京区吉田本町)。 **** 正員、三井化学会社。

ち、内筒においては燃料の燃焼が行なわれ、外筒においては内筒からの熱移動があり、流量は、それぞれにおいて一定という場合と同様にして解析することができる。したがって、ここでは主として、混合穴の部分に対して、その解析方法を示す。もちろん数値計算は、入口から、流れの方向 x の方向に順次進めて行かなければならない。

第 2 図は混合穴付近を描いたもので、図の A, B, C の圧力、比体積、温度、エンタルピおよび速度をそれぞれ次のように表わす。

$$A : P_2, v_2, T_2, i_2, W_2$$

$$B : P_2', v_2', T_2', i_2', u_2' \quad (u_2' \text{ は半径方向の速度})$$

$$C : P_1, v_1, T_1, i_1, W_1$$

燃焼ガス、空気ともに完全ガスと仮定する。微小間隔 dx をととして、二次空気が内筒に断熱的に流入し、その流れの方向が内筒壁に直角である理想な場合、その流入速度 u_2' は、軸方向の速度 W_2 の影響がないものとして

$$u_2' = \sqrt{2g(i_2 - i_2')/A} - W_a^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$u_2' = \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa-1} P_2 v_2 \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{(\kappa-1)/\kappa} \right]} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$i_2' = c_p T_2' = \frac{c_p}{R} P_1 v_2 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1/\kappa} = c_p T_2 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{(\kappa-1)/\kappa} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$|dG_2| = \pi D_1 \epsilon \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_2}{v_2} \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{2/\kappa} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{(\kappa-1)/\kappa} \right]} dx \quad \dots\dots\dots (5)$$

を得る。ここに κ は断熱指数、 c_p は比熱である。

次に燃焼する燃料の量は空気量に比して小さいから無視し、一次空気に対して(以下燃焼気流の意味で用いる)エネルギー式を適用して、

$$G_1 dq_1 = (G_1 + dG_1)(i_1 + di_1) - G_1 i_1 - |dG_2| i_2' + G_1 A df_1 \\ + (G_1 + dG_1) \frac{A}{2g} [W_1^2 + d(W_1^2)] - G_1 \frac{A W_1^2}{2g} - |dG_2| \frac{A}{2g} u_2'^2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$dq_1 = dq_C - dq_A + A df_1 \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに dq_1 : 単位流量当り、流体に加えられる熱量 kcal/kg

dq_C : 単位流量当り、燃焼によって与えられる熱量 kcal/kg

dq_A : 単位流量当り、内筒壁からの放熱量 kcal/kg

$A df_1$: 単位流量当り、内筒壁の流体摩擦による発熱量 kcal/kg

次に運動量の式を適用して、

$$P_1 a_1 - (P_1 + dP_1)(a_1 + da_1) + P_1 da_1 - \frac{G_1}{W_1} df_1 = \frac{G_1 + dG_1}{g} (W_1 + dW_1) - \frac{G_1}{g} W_1 - \frac{|dG_2|}{g} u_2' \quad \dots\dots\dots (8)$$

二次空気についても、同様に、エネルギー式および運動量の式を適用して、

$$G_2 dq_2 = (G_2 + dG_2)(i_2 + di_2) + i_2 |dG_2| - G_2 i_2 \\ + (G_2 + dG_2) \frac{A}{2g} [W_2^2 + d(W_2^2)] - G_2 \frac{A}{2g} W_2^2 + G_2 A df_2 \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$dq_2 = dq_A + A df_2 - dq_B \quad \dots\dots\dots (10)$$

第 2 図

ただし、 g は重力加速度、 A は仕事の熱当量、 W_a は A 点近傍における近寄り速度で、ここでは無視する。一方、断熱変化の関係式および、外筒から内筒へ流入する空気に対する流路断面積、ならびに流入空気流量は

$$\left. \begin{aligned} P_2 v_2^\kappa &= P_2' v_2'^\kappa \\ a_m &= \pi D_1 \epsilon dx \\ |dG_2| &= (a_m u_2')/v_2' \quad (\text{流量係数を 1 と仮定する}) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

で与えられる。これらの式を変形して、

$$P_2' = P_1$$

なる条件を入れると、

ここに

dq_2 : 単位流量当り, 流体に加えられる熱量 kcal/kg

dq_B : 単位流量当り, 外筒壁からの放熱量 kcal/kg

Adf_2 : 単位流量当り, 環状壁の流体摩擦による発熱量 kcal/kg

また,

$$P_2 a_2 - (P_2 + dP_2)(a_2 + da_2) + P_2 da_2 - \frac{G_2}{W_2} df_2 = \frac{G_2 + dG_2}{g} (W_2 + dW_2) - \frac{G_2}{g} W_2 \quad \dots\dots\dots (11)$$

ただし, (8) 式および (11) 式においては, 内筒および外筒の流路断面積 a_1, a_2 が変化する一般式として示した. なお (8) 式ないし (11) 式は混合穴以外の部分においても適用される. ただし, そのときには $dG_1 = |dG_2| = 0$ である. しかるに

$$\left. \begin{array}{l} G_1 + G_2 = G \text{ (一定)} \\ \text{ゆえに} \\ dG_1 = |dG_2| \\ \text{また} \\ G_1 = \frac{a_1 W_1}{v_1}, \quad G_2 = \frac{a_2 W_2}{v_2} \\ P_1 v_1 = RT_1, \quad P_2 v_2 = RT_2 \\ i_1 = c_p T_1, \quad i_2 = c_p T_2 \\ df_1 = \lambda_1 \frac{dx}{D_1} \frac{W_1^2}{2g}, \quad df_2 = \lambda_2 \frac{dx}{4h} \frac{W_2^2}{2g} \\ dq_A = \frac{1}{G_1} [k_A (T_1 - T_2) \pi D_1 dx] \\ dq_B = \frac{1}{G_2} [k_B (T_2 - \beta T_{10}) \pi D_2 dx] \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots (12)$$

ただし, λ_1, λ_2 は摩擦係数, k_A, k_B は熱貫流率である. また h は 流体平均深さ = $\frac{\text{環状流路断面積}}{\text{流路断面のぬれ縁長さ}}$, β は燃焼室外界の温度と一次空気入口温度との比である.

以上の諸式より, 未知数を $P_1, W_1, T_1, G_1, P_2, W_2, T_2, G_2$ の 8 個とすれば, 次の 8 個の方程式が得られる.

$$G_1 dq_C - k_A (T_1 - T_2) \pi D_1 dx = G_1 c_p dT_1 + \left(c_p T_1 + \frac{A}{2g} W_1^2 \right) dG_1 - \left[c_p T_2 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{(\kappa-1)/\kappa} + A \frac{\kappa}{\kappa-1} RT_2 \left\{ 1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{(\kappa-1)/\kappa} \right\} \right] |dG_2| + \frac{A}{g} G_1 W_1 dW_1 \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$-a_1 dP_1 - \frac{G_1}{W_1} \lambda_1 \frac{dx}{D_1} \frac{W_1^2}{2g} = \frac{G_1}{g} dW_1 + \frac{W_1}{g} dG_1 - \frac{1}{g} \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa-1} RT_2 \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{(\kappa-1)/\kappa} \right]} |dG_2| \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\frac{G_2}{G_1} k_A (T_1 - T_2) \pi D_1 dx - k_B (T_2 - \beta T_{10}) \pi D_2 dx = G_2 c_p dT_2 + \frac{A}{2g} W_2^2 dG_2 + A \frac{G_2}{g} W_2 dW_2 \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$-a_2 dP_2 - \frac{G_2}{W_2} \lambda_2 \frac{dx}{4h} \frac{W_2^2}{2g} = \frac{G_2}{g} dW_2 + \frac{W_2}{g} dG_2 \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$G_1 + G_2 = G \text{ (一定)} \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$G_1 = \frac{a_1 W_1 P_1}{RT_1} \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$G_2 = \frac{a_2 W_2 P_2}{RT_2} \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$|dG_2| = \pi D_1 \epsilon dx \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_2^2}{RT_2} \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{2/\kappa} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{(\kappa-1)/\kappa} \right]} \quad \dots\dots\dots (20)$$

これら 8 個の式から, G_1 および G_2 を消去し, かつ, 次の無次元数および記号を用いると,

$$t_1 = \frac{T_1}{T_{10}}, \quad t_2 = \frac{T_2}{T_{10}}, \quad p_1 = \frac{P_1}{P_{10}}, \quad p_2 = \frac{P_2}{P_{10}}, \quad w_1 = \frac{W_1}{W_{10}}, \quad w_2 = \frac{W_2}{W_{20}}, \quad w_2' = \frac{W_2}{W_{10}}$$

$$\begin{aligned} \frac{W_{10}^2}{gRT_{10}} &\equiv B, & \frac{W_{10}}{a_1 P_{10} g} &\equiv C_1, & \frac{W_{10}}{a_2 P_{10} g} &\equiv C_2, & \frac{RT_{10}}{a_1 P_{10} W_{10}} &\equiv D_1', & \frac{RT_{10}}{a_2 P_{10} W_{10}} &\equiv D_2' \\ \pi D_1 \varepsilon \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_{10}^2}{RT_{10}}} &\equiv E, & \frac{\lambda_1 W_{10}^2}{2g R D_1 T_{10}} &\equiv F_1, & \frac{\lambda_2 W_{10}^2}{2g R \cdot 4h T_{10}} &\equiv F_2, & \frac{2\pi \varepsilon D_1}{a_1} \frac{\kappa}{\kappa-1} &\equiv K \\ \frac{1}{c_p T_{10}} &\equiv H, & \frac{RT_{10} \pi D_1 k_A}{a_1 P_{10} W_{10} c_p} &\equiv J_1, & \frac{RT_{10} \pi D_2 k_B}{a_2 P_{10} W_{10} c_p} &\equiv J_2 \end{aligned}$$

次の 6 個の基礎微分方程式,

$$\begin{aligned} \frac{dw_1}{dx} &= \left(1 - \frac{B}{\kappa} \frac{w_1^2}{t_1}\right)^{-1} \left[\left(D_1' \frac{t_2}{p_1} + \frac{\kappa+1}{2\kappa} C_1 \frac{w_1^2}{p_1}\right) E \sqrt{\frac{p_2^2}{t_2} \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{2/\kappa} \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{(\kappa-1)/\kappa}\right]} \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{a_1} \frac{da_1}{dx} w_1 + F_1 \frac{w_1^3}{t_1} - K w_1 \left[\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{(1-\kappa)/\kappa} - 1\right] + H \frac{w_1}{t_1} \frac{dq_c}{dx} - J_1 \frac{t_1 - t_2}{p_1} \right] \dots\dots\dots (21) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dw_2'}{dx} &= \left(1 - \frac{B}{\kappa} \frac{w_2'^2}{t_2}\right)^{-1} \left[- \left(D_2' \frac{t_2}{p_2} + \frac{\kappa+1}{2\kappa} C_2 \frac{w_2'^2}{p_2}\right) E \sqrt{\frac{p_2^2}{t_2} \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{2/\kappa} \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{(\kappa-1)/\kappa}\right]} \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{a_2} \frac{da_2}{dx} w_2' + F_2 \frac{w_2'^3}{t_2} + J_1 \frac{t_1}{t_2} \frac{w_2'}{w_1} \frac{t_1 - t_2}{p_1} - J_2 \frac{t_2 - \beta}{p_2} \right] \dots\dots\dots (22) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dt_1}{dx} &= H \frac{dq_c}{dx} - J_1 \frac{t_1(t_1 - t_2)}{w_1 p_1} - \frac{\kappa-1}{\kappa} B w_1 \frac{dw_1}{dx} - D_1' \frac{t_1}{w_1 p_1} \left\{ t_1 + \frac{\kappa-1}{2\kappa} B w_1^2 \right\} E \\ &\quad \times \sqrt{\frac{p_2^2}{t_2} \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{2/\kappa} \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{(\kappa-1)/\kappa}\right]} \dots\dots\dots (23) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dt_2}{dx} &= J_1 \frac{t_1(t_1 - t_2)}{w_1 p_1} - J_2 \frac{t_2(t_2 - \beta)}{w_2 p_2} - \frac{\kappa-1}{\kappa} B w_2' \frac{dw_2'}{dx} + \frac{\kappa-1}{2\kappa} C_2 E \frac{t_2 w_2'}{p_2} \\ &\quad \times \sqrt{\frac{p_2^2}{t_2} \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{2/\kappa} \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{(\kappa-1)/\kappa}\right]} \dots\dots\dots (24) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dp_1}{dx} &= -F_1 \frac{p_1 w_1^2}{t_1} - B \frac{w_1 p_1}{t_1} \frac{dw_1}{dx} - C_1 E w_1 \sqrt{\frac{p_2^2}{t_2} \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{2/\kappa} \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{(\kappa-1)/\kappa}\right]} \\ &\quad + K p_2 \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{1/\kappa} \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{(\kappa-1)/\kappa}\right] \dots\dots\dots (25) \end{aligned}$$

$$\frac{dp_2}{dx} = -F_2 \frac{p_2 w_2'^2}{t_2} - B \frac{w_2' p_2}{t_2} \frac{dw_2'}{dx} + C_2 E w_2' \sqrt{\frac{p_2^2}{t_2} \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{2/\kappa} \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{(\kappa-1)/\kappa}\right]} \dots\dots\dots (26)$$

が得られる。

3. 数 値 計 算 例

次の諸数値を用いて数値計算の一例を行なった。

$$D_1 = 0.1 \text{ m}, \quad D_2 = 0.15 \text{ m} \quad (\text{ともに一定})$$

$$4h = 0.05 \text{ m}$$

$\varepsilon = 0.2$ ただし混合穴は幅 1 cm の長方形穴で、燃焼室入口より 6 cm 間隔とする。

$$G_{10} = 0.3 \text{ kg/s}, \quad G_{20} = 0.7 \text{ kg/s}, \quad G_1 + G_2 = 1 \text{ kg/s}$$

$$P_{10} = P_{20} = 5.166 \text{ kg/cm}^2, \quad T_{10} = T_{20} = 503^\circ \text{K}, \quad \beta = 0.57$$

$$W_{10} = 10.89 \text{ m/s}, \quad W_{20} = 20.32 \text{ m/s}$$

$$\lambda_1 = 0.018, \quad \text{ただし入口から第 1 混合穴までは } 0.013, \quad \lambda_2 = 0.025^{(3)}$$

$$k_A = k_B = 100 \text{ kcal/m}^2 \text{h}^\circ \text{C} \quad (\text{仮定})$$

$$\kappa = 1.4, \quad c_p = 0.246 \text{ kcal/kg}^\circ \text{C}, \quad R = 29.27 \text{ kgm/kg}^\circ \text{K}$$

さて、 dq_c/dx については、第 1 報の場合と同様に

$$\frac{dq_c}{dx} = \frac{3 \times 10^4}{0.3} \frac{t_1}{w_1 p_1} x e^{-(x/x_s)^2} \quad \text{kcal/kg m} \dots\dots\dots (27)$$

$$\text{ただし } x_s = 0.1 \text{ m}$$

と仮定する。これは第 1 報で発熱分布と名づけたものである。内筒に二次空気が流入する場合は、 dq_c/dx は t_1 , w_1 , p_1 , x の関数として与えられる。この分布の数値計算結果を第 3 図に示した。図中点線は、本報における流

入条件のもとで、混合穴なき単室燃焼室に対する結果を示している(以下同じ)。混合穴では、二次空気が流入するから、一次空気の流量が増し、 dq_c/dx が単室燃焼の場合よりも低くなる。

かくして、(21)式ないし(26)式を連立に、Runge-Kutta の数値積分法によって、入口から逐一、解くことができる。

第4, 5, 6 図は、内筒を流れる燃焼気流の温度、速度、圧力の分布をそれぞれ示している。すなわち、内筒に流入した一次空気は、燃料の燃焼によって、燃焼気流となり、入口 ($x=0$) から流れの方向に温度は上昇し、膨張して速度は増大し、一方圧力は第1混合穴までは摩擦と膨張によって低下する。点線で示された単室燃焼室の場合と比べるとわかるように、混合穴を

とおして流入する二次空気によって、内筒内の気流の温度はその上昇を妨げられ、一方速度は増大し、圧力は急激に低下する。これからすると、複室燃焼室においては、混合穴による圧力降下の大きなものであることがわかる。すなわち、実際のカスタービンやジェットエンジンの燃焼室内の圧力降下は、摩擦、膨張、混合によることが理論的に示される(うずによる損失は別に考えねばならないであろう)。

一方、二次空気は、第8図と第9図に示したように温度、速度、圧力ともに、第1混合穴まではほとんど変化しない。したがって、混合穴では内外の圧力差によって二次空気が内筒に流入している。混合穴において、どれほどの二次空気が流入するかは、その条件にもよるが、本報の数値計算例では、第7図に示したようになり、第1混合穴において約20%の二次空気が自然流入している。

第3図 dq_c/dx の分布

第4図 燃焼気流の無次元温度分布

第5図 燃焼気流の無次元速度分布

第6図 燃焼気流の無次元圧力分布

ところで、二次空気は内筒内の温度が上昇するにつれて、熱貫流によって温度が増加するが、この計算例ではその変化は大きなものではない。しかし速度は混合穴において急に低下する。一方圧力は混合穴で増す

第 7 図 一次空気流量の変化

第 8 図 二次空気の無次元温度、速度分布

第 9 図 二次空気の無次元圧力分布

が、それ以外の部分では、燃焼気流と同様に、摩擦と膨張によって低下している。しかしこれらの変化はいずれも燃焼気流の場合に比して小さい。

以上の計算を、下流に向かって、逐一行なうことによって、複室燃焼室内の気流の温度、圧力および速度の変化を知ることができる。その計算は複雑ではあるが、燃焼室の設計すなわち、たとえば混合穴の最適位置や最適の大きさを設計することなどに資するところが大きいであろう。

4. 結 語

熱・空気力学的一次元理論によって、複室燃焼室の内筒および外筒を流れる気流の温度、圧力および速度の変化を求めるべき理論式を導き、一つの数値計算例を行なって、(1) 二次空気が内外の圧力差によって混合穴から自然流入して、(2) 内筒を流れる燃焼気流の温度上昇を妨げ、速度を増大せしめ、圧力を低下せしめることを定量的に示した。これによると、混合穴を適当に設けることによって、燃焼気流の温度を所要の温度にすることはできるが、摩擦、膨張による圧力損失に加えて混合による圧力損失が増大する。いかなる位置に、いかなる大きさの混合穴を設けるべきか、すなわち燃焼の発熱分布曲線のどの位置に設けるべきかは、燃焼室の設計上重要な問題であるが、本報の理論式が、その計算の基礎式として適用されることが望まれる。

なお、この研究は文部省科学研究費の一部によるものであることを付記して感謝する。

文 献

- (1) 菅原、岐美、機械学会論文集、24, 144 (昭 33-8), 558.
- (2) J.S. Grobman, R.T. Dittrich, & C.C. Graves, *Trans. ASME*, 79 (1957), 1 601.
- (3) 機械工学便覧(昭 26), 8-33, 日本機械学会.

ニュース

ファサードの一部をなす空気調和機

ニュージャージー州ニューワークのコロネード公園のアパートには、窓下の所で構造物に取付けられた長方形箱形の防水空気調和キャビネットがついている。これは、ウインド形空気調和機で、不整なファサードを避けるために、建築家ミース・ファンデル・ローエが設計したものである。これらのキャビネットを取付けるために、施工会社のメトロポリタン・ストラクチャー社は特に細長いユニットを作る空気調和機製造会社を捜した。その結果、キャビネットプラグとウェザー

プルーフをいっしょにしたアマナ社のカーテンウォール形空気調和機が採用された。外側から眺めると熱気排気用の各窓下のアルミニウム鋳造格子がひどく目立つ。これら特製ユニットは高さ 12 1/4 in, 長さ 51 5/8 in, 奥行き 12 1/8 in, 重さ 135 lb, 9 000 Btu 能力をもつ。この定価は 300 ドルである。

[Architectural Forum, Nov. (1960) 68]

(日本科学技術情報センター提供)