

# 超高溫ガス加熱爐に就て

(昭和17年6月化學研究所講演會にて講演)

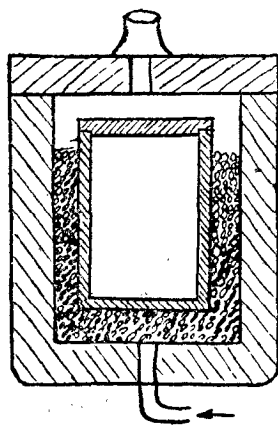
澤井郁太郎

功刀雅長

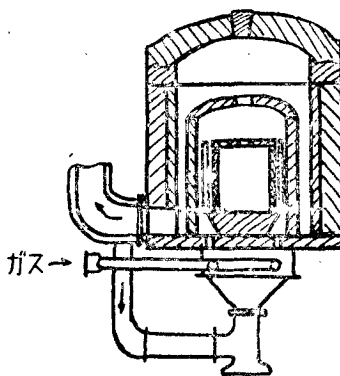
## 緒言

從來一般に用ひられてゐるガス加熱爐の最高溫度は約 1700°前後で、それ以上の高溫を得る一方法としては特殊構造の所謂表面燃焼を利用した爐の使用が考へられる。表面燃焼とは豫めよく混合した燃料ガスと空氣との混合物を固體表面に吹き付け、その接觸反應に依り燃焼を促進せしめる燃焼法であり、古くから數多くの研究が發表されてゐる<sup>(1)</sup>。表面燃焼を利用した爐の代表的なものとしては第一に Bone及び Schna'elの爐<sup>(2)</sup>がある。これは第1圖に示す様に燃焼室に耐火物の小塊を充填し、これに燃料ガスと空氣との混合物を吹き付ける。次に熔融マグネシアの様な特殊耐火物で造つた狭い數多くの管の中を高速度で燃焼ガスを通過させて高溫を得る Degussa の爐<sup>(3)</sup>(第2圖)、その外 Effix の爐<sup>(4)</sup> Krupp型<sup>(5)</sup>の爐等が擧げられる。斯の様な爐は特殊窯業製品の製造には是非とも必要なもので今後益々重要性を増すと思はれるが、爐の構造の詳細に關しては全然發表されてゐない。著者等は半熔融質アルミナの研究の必要上から超高溫ガス爐を試作し、最近常用 1850°に堪へるものが出來たので、その爐の熱收支並びに熱計算の結果を報告する。

第 1 圖



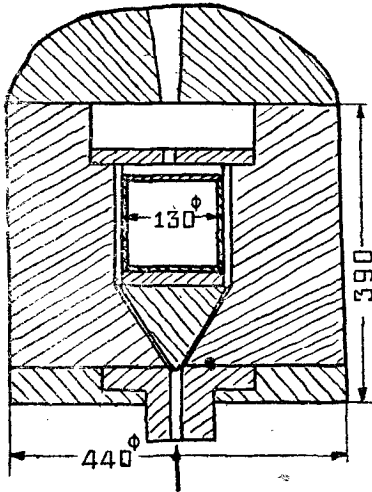
第 2 圖



1) 爐の熱收支

著者等の試作した爐の構造は第3圖の通りである。噴射型のバーナー中で混合したガスと空気が直径約3mmの數多くの細隙を通り燃焼室中に吹き出して燃焼する。(寫眞は蓋を除いて上方より撮影したもの) この爐を用ひ第4圖に示す様な加熱曲線及び第1表に示す作業條件に依つて半熔融質アルミナ製品を焼成した場合の熱收支圖を作つて見た。

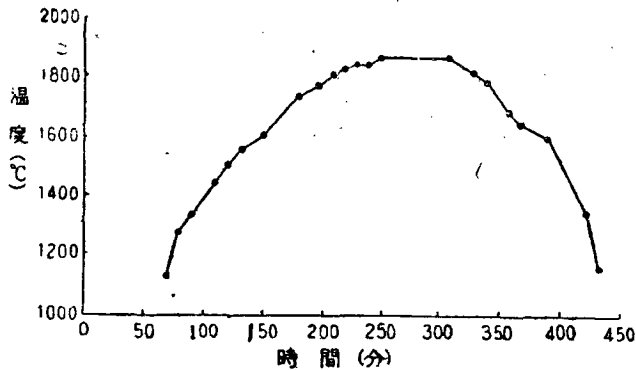
第3圖



第1表

|                    |                           |                                |                |      |                |                 |                   |
|--------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------|------|----------------|-----------------|-------------------|
| 1) 石炭ガスの組成 (實測)    | CO <sub>2</sub>           | C <sub>n</sub> H <sub>2n</sub> | O <sub>2</sub> | CO   | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub>    |
|                    | 2.0                       | 1.4                            | 4.0            | 10.0 | 40.0           | 27.0            | 15.6 %            |
| 2) 石炭ガスの眞發熱量 (計算)  | 3880 kcal/Nm <sup>3</sup> |                                |                |      |                |                 |                   |
| 3) 全使用ガス量          |                           |                                |                |      |                |                 | 100m <sup>3</sup> |
| 4) 過剰空氣率           |                           |                                |                |      |                |                 | 5%                |
| 5) 出口に於ける燃焼ガスの平均溫度 |                           |                                |                |      |                |                 | 1400°C            |
| 6) 被熱物の重量          |                           |                                |                |      |                |                 | 1.3kg             |

第4圖



その結果は燃焼ガスの持ち去る熱量が非常に多く 65.1%で、被熱物には僅に 0.3%の熱量が與へられるに過ぎないことを知つた。(第5圖)

2) 理論燃焼溫度

前記の組成の石炭ガスを 5%の過剰空氣率で燃焼した場合の理論燃焼溫度は

$$t_v = \frac{h_u + t_1 \sum v_1 C_{po}^{t_1}}{\sum v_2 C_{po}^{t_2}} \quad \text{により計算することが出来る。}^{\circ}$$

但し  $h_u \dots$  石炭ガスの眞發熱量  
 $t_1 \sum v_1 C_{po}^{t_1} \dots$  石炭ガス及び空氣  
 の顯熱量の和  
 $t_v \sum v_2 C_{po}^{t_v} \dots$  燃燒ガスの顯熱量  
 燃燒ガスの解離を  $CO_2$  10%  $H_2O$  2% と  
 し發熱量の低下と組成の變化とを考慮に入  
 れて理論燃燒溫度を計算すると  $2060^\circ$  とな  
 る。

3) 燃燒ガスの溫度降下

高温の燃燒ガスは燃燒室内を高速で流  
 れながら輻射及び對流に依つて熱を被熱物  
 及び爐壁と與へ、ガス自身の溫度は低下す  
 るが、例へば爐内を  $1850^\circ$  に保たうとする  
 時、 $1850^\circ$  以下の燃燒ガスが燃燒室内にあ  
 れば、これは却つて燃燒室の壁を冷却する

から、燃燒ガスが適當の溫度で燃燒室から出る様に爐を設計しなければならない。従つて燃燒  
 ガスの溫度降下の状態は爐の大きさを制限し、又これから爐壁の保温の條件も定つて來る譯で  
 ある。

$q$  を燃燒ガス  $1m^3$  に就ての全熱量、 $q_1$  を  $z$  秒間に已に燃燒して發生した熱量とすれば

$$\frac{dq_1}{dz} = k(q - q_1) \dots \dots \dots (1)$$

と云ふ關係が考へられる。但し  $k$  は反應速度恆數である。この解

$$q_1 = q(1 - e^{-kz}) \dots \dots \dots (2)$$

に於て著者等の場合の様な爆發燃燒の條件( $k \rightarrow \infty$ )を入れると

$$q_1 = q \dots \dots \dots (3) \text{ となる。}$$

一方燃燒ガスが燃燒室内を流れる時て放散する熱量  $dq_2$  は

$$dq_2 = C \cdot dx = C \cdot \omega \cdot dz \dots \dots \dots (4)$$

となる。但し  $x$  は燃燒室の長さ、 $\omega$  は燃燒ガスの流速、 $C$  は放熱恆數である。又任意の點に於  
 けるガスの溫度は

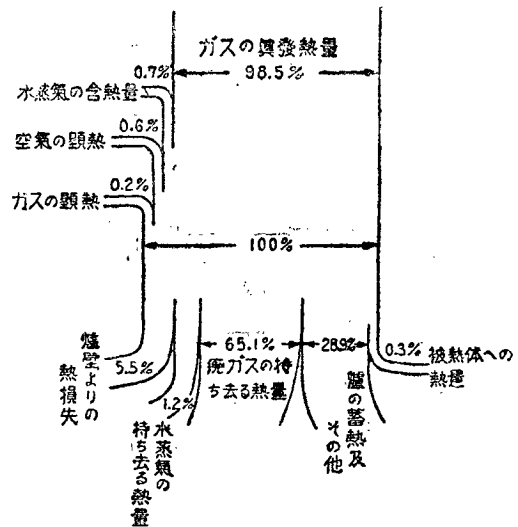
$$t = \frac{q - q_2}{C_p} \dots \dots \dots (5)$$

で與へられるから  $\omega_0$  を標準状態に於ける燃燒ガスの流速とすれば

$$q_2 = \left( \frac{C \omega_0}{m} + q \right) (1 - e^{-mz}) \dots \dots \dots (6)$$

となる。但し  $m = \frac{C \cdot \omega_0}{273 \cdot C_p}$

第 5 圖



従つて燃焼ガスが燃焼室に入つた瞬間からの経過時間  $z$  を與へて相當する燃焼室の位置  $x$  及びその場所の焔の温度  $t$  を

$$\left. \begin{aligned} t &= \frac{q - \left( \frac{C\omega_0}{m} + q \right) (1 - e^{-mz})}{Cp} \\ x &= \left( \frac{q}{c} + \frac{\omega_0}{m} \right) (1 - e^{-mz}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

に依つて計算することが出来る。

先づ前記の爐に於て、燃焼室の壁が平均  $1850^\circ$  に保たれて定常状態となつてゐると考へ、 $2060^\circ$  の燃焼ガス ( $60\text{m}^3/\text{hr}$  標準状態) が流れる時の温度降下を計算して見よう。

放熱恒数  $C$  ( $\text{Kcal}/\text{mm}^2$ ) は燃焼ガスの輻射による傳熱及び強制對流による傳熱から求められる。ガス輻射の傳熱係數  $a_r$ 、強制對流の傳熱係數  $a_k$  は次の式で示される。<sup>10)</sup>

$$\left. \begin{aligned} a_{\text{CO}_2} &= S \cdot p_c^{\frac{1}{8}} D^{\frac{1}{8}} \{0.0513(\text{tg}_m + t\omega_m) - 30.25\} \text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C} \\ a_{\text{H}_2\text{O}} &= S \cdot p_w^{\frac{1}{8}} D^{\frac{1}{8}} \{0.107(\text{tg}_m + t\omega_m) - 46.5\} \text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C} \\ a_k &= \frac{3.0 \times \omega_0^{0.8}}{D^{0.26}} \text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C} \end{aligned} \right\} \dots\dots (8)$$

但し

- $a_{\text{CO}_2}$  :  $\text{CO}_2$  の輻射傳熱係數       $a_{\text{H}_2\text{O}}$  :  $\text{H}_2\text{O}$  の輻射傳熱係數
- $p_c$  :  $\text{CO}_2$  の分壓       $p_w$  :  $\text{H}_2\text{O}$  の分壓       $S$  : 壁の輻射黒度
- $D$  : ガス有効層の厚さ ( $\text{m}$ )       $\omega_0$  : 燃焼ガスの流速 (標準状態)  $\text{m}/\text{sec}$
- $\text{tg}_m$  : 燃焼ガスの平均温度  $^\circ\text{C}$        $t\omega_m$  : 燃焼室壁の平均温度

燃焼ガスの温度が分らなければ  $a_s$  を求めることが出来ないのので、便宜上燃焼ガスの温度を、 $2060^\circ \sim 2000^\circ$ 、 $2000^\circ \sim 1950^\circ$ 、 $1950^\circ \sim 1900^\circ$ 、 $1900^\circ \sim 1850^\circ$  の四つに區分して計算を行つた計算に使用した条件及び計算結果を第2表に示す。

放熱恒数  $C$  の値を (7) 式に代入して  $z = 10^{-3}$  の程度の値を與へると  $x$  と  $t$  との関係が得られる。

( (7) 式で  $z$  の項は消却出来るから  $z$  の値を代入しなくても計算は可能 ) 第6圖にこの関係を示す。 $2060^\circ$  の燃焼ガスが  $2000^\circ$  に下つた後は  $2000^\circ$  の燃焼ガスの曲線に従つて温度が降下すべきであると考へ、 $2060^\circ$  の曲線の  $2000^\circ$  の所を  $2000^\circ$  の曲線の原點とした。斯の様にして曲線を繼ぎ合し、温度

| S : 0.8      D : 0.02m $\omega_0$ : 4.0m/sec |                         |                           |
|--|-------------------------|---------------------------|
| tg (c)                                       | (gkcal/m <sup>3</sup> ) | C(kcal/m <sup>2</sup> ·m) |
| 2060~2000                                    | 750                     | 250                       |
| 2000~1950                                    | 720                     | 174                       |
| 1950~1900                                    | 703                     | 116                       |
| 1900~1850                                    | 678                     | 58                        |

の區分を細かくすればするほど實際の温度降下に近い曲線が得られる。第6圖の曲線の最高點即ち燃焼ガスが  $2060^\circ$  になる位置は實驗が不足してゐるので假想的のものである。

次に爐の外側壁から自然対流及び輻射に依つて逃げる熱量は

$$Q_1 = 2.2 \sqrt{\Delta t} \cdot \Delta t \quad \text{Kcal/hr m}^2$$

$$Q_2 = 4.95 S \left[ \left( \frac{T_w}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_a}{100} \right)^4 \right] \quad \text{Kcal/hr m}^2 \quad \dots\dots(9)$$

但し  $Q_1$  : 自然対流による熱量  $Q_2$  : 輻射による熱量

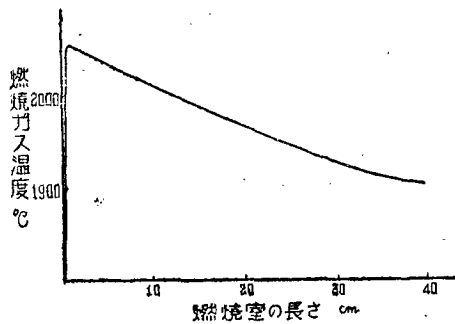
$\Delta t$  : 壁と外氣との温度差  $S$  : 壁の輻射黒度

$T_w$  : 外壁の温度 ( $^{\circ}\text{K}$ )  $T_a$  : 外氣の温度 ( $^{\circ}\text{K}$ )

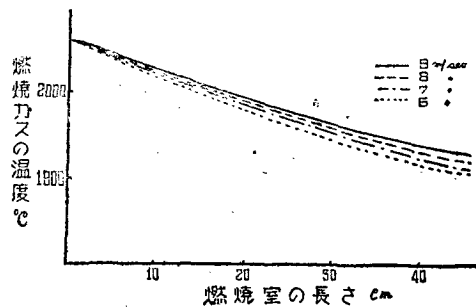
で表され、銅—コンスタンタン熱電對を用ひ測定した側壁平均温度 $1400^{\circ}\text{C}$ 、外氣温度  $20^{\circ}\text{C}$ 、壁の輻射黒度 0.9 (假定)を(9)式に代入すれば、熱損失は約 $1100\text{Kcal/hr}$ となる。一方定常状態の場合には燃燒ガスはこの熱損失に釣つた熱量を燃燒室の側壁に與へねばならないが、燃燒室の壁が $1850^{\circ}$ の場合に燃燒ガスは $2000^{\circ}$ まで低下すればほぼ上記の熱量を壁に與へることになる。第6圖に於てこの時の燃燒室の長は 12cmを示し、これは實験の長さ一致してゐる。

以上は燃燒ガスの初速が $4\text{m/sec}$ の場合であるが、これを6. 7. 8.  $9\text{m/sec}$ とし前と全く同

第 6 圖



第 7 圖



じ方法で計算し燃燒室の長さ温度との關係を求めると第7圖の様になる。この圖から分る如く保温條件が一定の場合、燃燒ガスの流速が速い方が長い距離を加熱することが出来る。

### 結 言

以上述べた所はこの種の爐の性質の一端を表すもので、燃燒ガスの温度降下の計算は爐の設計の有力な一因子となると思はれる。

### 引用文献

- 1) E. Sachs ; Industriegasbrenner und Zugehörige Einrichtungen, 1937
- 2) R. Schnabel ; chem. Fabr., 10, 436, 1937.
- 3) Anon ; Ber. d. Keram. Ges., 15, 261, 1934.
- 4) (1)に同じ (94頁)
- 5) J. Lamort ; Glastechn. Ber., 10, 480, 1930.
- 6) H. Menzel ; Theorie der Verbrennung, 1924,
- 7) A. Schack ; Der Industrie Wärmeübergang, 1940.
- 8) 矢木榮, 工業窯爐, 昭, 11.