

(12) 熱風炉操業の理論的解析

70012

名古屋大学大学院
名古屋大学工学部

○ 都築 仁・堀尾正毅
 櫻 巖

1. 緒言 熱風炉では、蓄熱、放熱のくり返しによる周期的平衡状態の下で、非定常的な熱交換が行なわれており、とくに放熱期にはガスの流量も時間的に変化するため、解析解の導出は困難であり、非定常計算による収束計算が必要とされる。本研究では、まず、熱風炉の操業特性に及ぼす 燃焼生成ガス温度と流量、切替時間等の操業条件変更の効果、および、総括伝熱係数の変動の効果と明らかにし、さらに、解析解と最適化について検討する。

2. 基礎式 解析に当り、次の仮定を設ける。1) 炉壁からの熱損失は無視する。2) レンガ内の温度は水平方向に均一である。3) 軸方向の熱伝導の効果は無視する。4) 蓄熱室入口での燃焼生成ガス温度は一定とする。モデルの概要を図1に示す。

$\partial\phi/\partial\tau = H \cdot St \cdot (\bar{\phi} - \phi) \dots (1)$, $\partial\bar{\phi}/\partial\zeta = \sigma \cdot (St/u) \cdot (\phi - \bar{\phi}) \dots (2)$ ここで、 $\tau = (L/v) \theta$, $\zeta = z/L$, $\phi = t/T_b$, $\bar{\phi} = T/T_b$, $St = UaL/\epsilon Wc$, $H = \epsilon \rho^* c / (1-\epsilon) \rho_s c_s$ 。また、 $\sigma = 1$ (放熱期), $\sigma = -1$ (蓄熱期) $\dots (3)$

<初期及境界条件> 放熱期: $\tau=0$ で $\phi = \phi_0(\zeta) \dots (4)$, $\bar{\phi} = \bar{\phi}_0(\zeta) \dots (5)$ 蓄熱期: $\tau=0$ で $\phi = \phi_{R0}(\zeta) \dots (6)$, $\bar{\phi} = \bar{\phi}_{R0}(\zeta) \dots (7)$ 、周期的平衡状態の条件は、蓄熱期及び放熱期の最後におけるレンガ内の温度分布をそれぞれ $\phi_R(\tau_R, \zeta)$, $\phi_C(\tau_C, \zeta)$ とおくと $\phi_{C0}(\zeta) = \phi_R(\tau_R, \zeta)$, $\phi_{R0}(\zeta) = \phi_C(\tau_C, \zeta) \dots (8)$ 且、 $u_R = 1$, $u_C = (1 - \bar{\phi}_{Ci}) / (\bar{\phi}_{Co} - \bar{\phi}_{Ci}) \dots (9)$ 、また、蓄熱期の温度効率 $\eta_1 = \{T_{hi} - (1/\theta_{Ri}) \int_0^{\theta_{Ri}} T_{rod} \theta\} / (T_{hi} - T_{Ci}) \dots (10)$

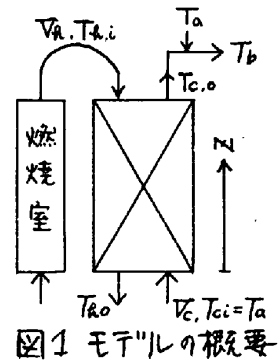


図1 モデルの概要

3. 結果 (1)~(4)式に基づいて、(8)式の条件が満足されるまで収束計算を行なう。燃焼生成ガス流量の変更が炉内温度分布に及ぼす効果を図2に、総括伝熱係数 U の変化の効果を図3に示す。熱流比を $G = V_R c_R \theta_R / V_C c_C \theta_C$ と定義するとき、表1の計算条件の下では $G = 0.9 \sim 1.0$, $V_C = V_R / V_b \approx 0.4$, $U_R / U_a \approx 0.4$ の場合に直線的な温度分布が得られた。また(10)式で定義される蓄熱期の温度効率に対する操業条件の変動の効果を図4に示す。放熱期においてはレンガの軸方向平均温度 $\bar{\phi}$ は、(1)式のように直線的に変化する。 $\bar{\phi}_m = \bar{\phi}_{m0} - Hc(\bar{\phi}_b - \bar{\phi}_{Ci})\tau \dots (11)$

表1 計算条件

T_a	T_b	T_{hi}/T_b	V_b	V_R/V_b
70	1100	1.15	76100	0.2~0.6
θ	τ	~1.25	Nm^3/hr	—
θ_R	θ_C/θ_R	U_C	U_R/U_C	
1~2.5	0.5	15~30	0.4~1.4	
h_r	—	$kcal/m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C$	—	

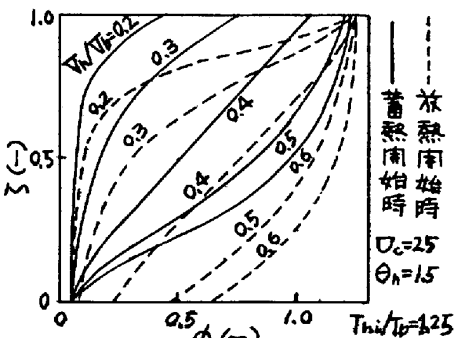


図2 燃焼生成ガス流量の効果

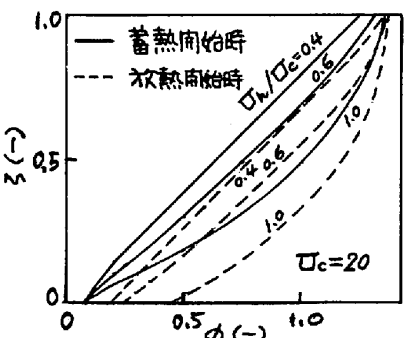


図3 総括伝熱係数の効果

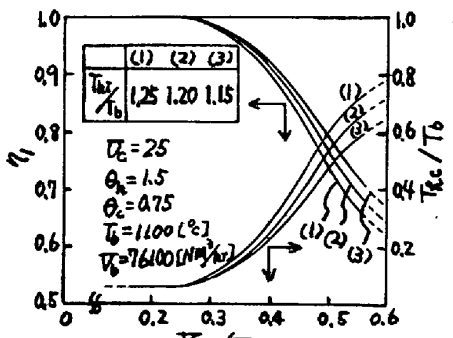


図4 温度効率への影響

[記号] a: 伝熱面積 [m^2], c: 気体モル比熱 [$kcal/kg \cdot ^\circ C$], c_s : レンガ比熱 [$kcal/kg \cdot ^\circ C$], L: 蓄熱室高さ [m], T, t: 気体、レンガ温度 [$^\circ C$], U: 総括伝熱係数 [$kcal/m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C$], V: 気体流量 [Nm^3/hr], W: 気体モル質量速度 [$kg/mol \cdot m^2 \cdot hr$], z: 下方から測った距離 [m], ϵ : 空間率 [-], θ : 時間 [hr], ρ_s : レンガ密度 [kg/m^3], ρ^* : 標準状態での気体モル密度 [$kg/mol \cdot Nm^3$] [本字] a: air, b: blast, c: 放熱期, R: 蓄熱期, i: 入口, o: 出口, s: レンガ