

(27) 原料別の熱収支式を基に焼結プロセスの数学的モデル

川崎製鉄 技研
東北大学 化工

○小笠原武司
只木積力 前田四郎

I. 緒言 焼結原料としては鉄石、コークス、石灰石などが配合されるが、その粒子径や比熱などの物性値が焼結プロセスにいかなる影響を及ぼすかを評価するため各原料別に熱収支式をたて数値計算を行った。乾燥過程は昇温期の低温領域にしか関与しないので省略したが、焼結層の空隙率および通気質量速度の変化、ならびに石灰石の熱分解および鉄石の熔融と凝固などは考慮している。また伝熱については対流伝熱とともに原料粒子間の放射伝熱も無視出来ないことがわかったのでこれを含めた。

II. 数学的モデル ①ガスの熱収支式： $C_g G \partial t_g / \partial z = 4\pi Y_s^2 n_s h_s (t_s - t_g) + 4\pi Y_c^2 n_c h_c (t_c - t_g) + 4\pi Y_l^2 n_l h_l (t_l - t_g) + R_c(C_{CO_2} t_c - C_{CO_2} t_g) + R_d(C_{CO_2} t_d)$ ②鉄石の熱収支式： $\frac{5}{3}\pi Y_s^3 n_s C_s \rho_s \partial t_s / \partial \theta = 4\pi Y_s^2 n_s h_s (t_g - t_s) + Q_s - R_{sm}(\Delta L_{ms}) + R_{ss}(\Delta L_{ms})$ ③コークスの熱収支式： $\frac{5}{3}\pi Y_c^3 n_c C_c \rho_c \partial t_c / \partial \theta = 4\pi Y_c^2 n_c h_c (t_g - t_c) + Q_c - R_c(C_{CO_2} t_c - C_{CO_2} t_g) + R_c(-\Delta H_c)$ ④石灰石の熱収支式： $\frac{5}{3}\pi Y_l^3 n_l C_l \rho_l \partial t_l / \partial \theta = 4\pi Y_l^2 n_l h_l (t_g - t_l) + Q_l + R_d(-\Delta H_d) - R_d C_{CO_2} t_l$ ⑤コークスの燃焼式： $R_c = 4\pi Y_c^2 n_c k_s p / (R t_g)$, $\partial p / \partial z = -R_c \rho_g R t_g / G$, $\partial C / \partial \theta = -R_c M_c / (4\pi Y_c^2 n_c \rho_c)$ ⑥石灰石の熱分解式 ($t_l \geq 1167^\circ K$, $Y_{ls} > 0$): $R_d = [4\pi Y_l^2 n_l h_l (t_g - t_l) + Q_l] / \Delta H_d$, $\partial Y_{ls} / \partial \theta = -R_d M_d / (4\pi Y_{ls}^2 n_l \rho_l)$ ⑦鉄石の熔融式 ($t_s > m.p.$, $Y_{sm} > 0$): $R_{sm} = [4\pi Y_s^2 n_s h_s (t_g - t_s) + Q_s] / \Delta L_{ms}$, $\partial Y_{sm} / \partial \theta = -R_{sm} M_s / (4\pi Y_{sm}^2 n_s \rho_s)$ ⑧鉄石の凝固式 ($t_s < m.p.$, $Y_{ss} > 0$, $Y_{sm} < Y_{ss}$): $R_{ss} = [4\pi Y_s^2 n_s h_s (t_s - t_g) - Q_s] / \Delta L_{ms}$, $\partial Y_{ss} / \partial \theta = -R_{ss} M_s / (4\pi Y_{ss}^2 n_s \rho_s)$

対流伝熱係数は充填層における $Ranz$ の式 $Nu = 2.0 + 0.6(Pr)^{1/4} (9x Re_p)^{1/2}$ より求め、原料粒子間の放射伝熱量は両空間での放射伝熱の概念によって求めた。なお焼結層の空隙率はコークスの燃焼のみによって変化するとし、さらに通気質量速度は層高方向では一定で、Engun の式を導入するこゝにのみその時間変化のみを考慮している。計算方法は前進差分と R.K.G. 法を併用した。

III. 結果 対流伝熱のみを考えた計算結果によると原料粒子間にかかりの温度差が生じるので、原料粒子間の放射伝熱も考慮する必要が認められた。そこで導入した放射伝熱モデルは伝熱面積を粒子の表面積としているが、かりに伝熱面積を小さくするとしてそれによってコークスの温度が高くなるため、全体としては鉄石の放射伝熱量はあまり変らばい。その他各原料の粒子径や鉄石の熱的物性値の影響を調べた。計算結果の一例を図1に示す。

(記号) C: 比熱, Y: 粒子半径, ρ: 密度, n: 単位体積層中の粒子数, h: 対流伝熱係数, t: 温度, Q: 単位体積層当りの原料粒子間放射伝熱量, θ: 時間, z: 層上面からの距離, R_c: コークスの燃焼速度, R_d: 石灰石の熱分解速度, R_{sm}: 鉄石の熔融速度, R_{ss}: 鉄石の凝固速度, -ΔH_c: コークスの燃焼反応熱, -ΔH_d: 石灰石の熱分解反応熱, ΔL_{ms}: 鉄石の熔融凝固潜熱, k_s: コークスの総括燃焼反応速度定数, p: ガスの酸素分圧, G: 通気質量速度, R: 気体定数, M: 分子量, Y_{ls}: 石灰石の反応界面半径, Y_{sm}: 鉄石の熔融界面半径, Y_{ss}: 鉄石の凝固界面半径, m.p.: 鉄石の熔点

(添字) S: 鉄石, C: コークス, L: 石灰, G: ガス, g: S.T.P. のガス

文献1) 樋口、鞆: 本誌, 56(1970), No.3, p371~381

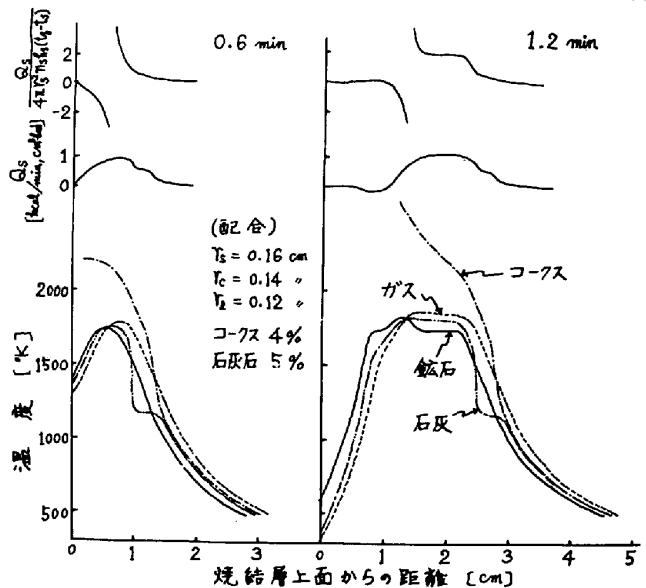


図1 鉄石の伝熱量とガスおよび各原料粒子の温度分布