

(43) 高炉融着帯制御のための伝熱-融解モデル・シミュレーション

新日鐵 生産技術研究所 安田 一 美

1. 緒 言： 高炉を安定に操業するためには炉内の融着帯位置を推定するだけでなくこれを制御することが必要である。このためには操作要因に対する融着帯の挙動を把握しておく必要があり、その基礎的検討として、1次元・定常の向流伝熱-融解モデルのシミュレーションを行ない送風条件の融着帯に及ぼす影響を調べた。その結果下記の如く操業データと傾向の一致した現象も得られたが、1次元伝熱-融解モデルで実際の高炉内現象がどの程度シミュレートできるかについては早断できない。今回は一番簡単な1次元伝熱融解モデルについて報告し羽口前のコークス燃焼を考慮したモデルは別途報告予定である。

2. 基礎方程式： 図1に示すような1次元向流伝熱融解モデルにおいて、高温気体(温度  $\theta_0$ )がO点より上向きに吹込まれ炉頂Lより固体(温度  $\theta_L$ )が炉内融解速度に等しい速度で装入されている。Mは融解開始点、Oは融解終了点であり、融解で生じた液体はO点の間隙より流出しそれに応じて炉内の固体が降下する。簡単のため液体の炉内滞留時間は無視できるものとする。気体から固体への熱伝達が温度差に比例しまた熱伝達率が一定とすると基礎方程式は次のように表わせる。

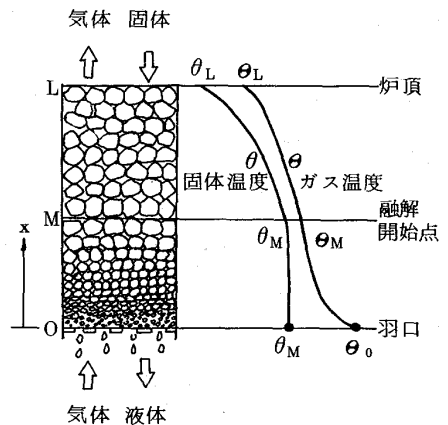


図1. 伝熱-融解向流モデルと炉高方向温度分布

$$0 \leq x \leq M: \frac{d}{dx} \theta(x) = B_g \{ \theta_M - \theta(x) \} \quad (1), \quad \theta(x) = \theta_M \quad (2)$$

$$M \leq x \leq L: \frac{d}{dx} \theta(x) = B_g \{ \theta(x) - \theta_M \} \quad (3), \quad \frac{d}{dx} \theta(x) = B_s \{ \theta(x) - \theta(x) \} \quad (4)$$

境界条件:  $x=0; \theta(x) = \theta_0$  (5),  $B_g$ ; given,  $x=L; \theta(x) = \theta_L$  (6)

融解速度:  $\frac{1}{B_s} = \frac{c}{h} \int_0^M \{ \theta_M - \theta(x) \} dx$  (7) (ただし  $\theta$ : 気体温度,  $\theta$ : 固体

温度,  $\theta_M$ : 融点,  $h$ : 融解熱,  $c$ : 固体比熱,  $B$ : 温度伝達率(添字  $g$ : 気体,  $s$ : 固体, 流量に反比例))

問題は送風条件(送風温度  $\theta_0$ , 送風量 ( $1/B_g$  に比例))及び固体装入温度  $\theta_L$  が与えられたとき未知量である融解開始点  $M$ , ガス温度分布  $\theta(x)$ , 固体温度分布  $\theta(x)$ , 熱流比  $-B_g/B_s$  を式(1)~(7)が満足されるように定めることである。この問題の特徴は境界条件を与える融解開始点  $M$  及び固体降下速度 ( $1/B_s$  に比例) が予め与えられておらず、送風条件(温度, 風量)及び固体装入温度により変化し計算の結果始めて決まることであり、いわゆるステファン問題に状況が似ている。このために問題を解析的に解くことができず、やむを得ず計算機を用いて数値計算を行なった。

3. 計算結果と考察： 図2は送風温度の影響を、図3は送風量の影響を調べたものである。これより、(1)融解開始点  $M$  は送風温度が高くなると低下する。これは固体流量を強制的に与えたモデルでは見られない現象である。送風量増加に対しては  $M$  は上昇しこれは固体流量指定モデルと同様である。また  $M$  は送風温度を高くしても低下量に限界があり、送風量を増しても上昇量に限界がある。(2)炉頂ガス温度  $\theta_L$  は送風量が小さいときは送風温度に対して単調減少、送風量大のときは単調増加、中程度の送風量のとき送風温度に対し極小点を有する曲線となる。(3)融解点ガス温度  $\theta_M$  は送風温度、送風量の増加に伴ない高くなる。(4)熱流比は送風温度に対して増加し送風量に対して減少する。

注) 図2図3において温度は  $\frac{h}{c}$  で長さは  $L$  で無次元化されている。

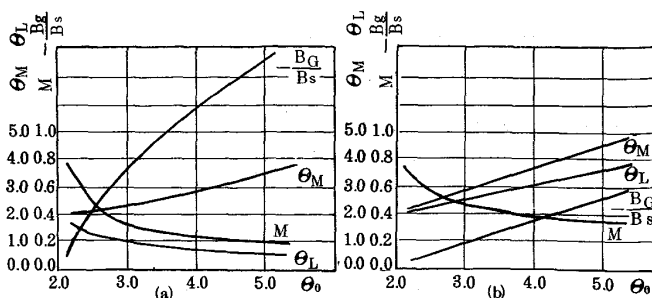


図2. 送風温度の影響 (a) 送風量小 ( $B_g=4.0$ ) (b) 送風量大 ( $B_g=0.5$ ) ( $\theta_L=0.1, \theta_M=1.99$ )

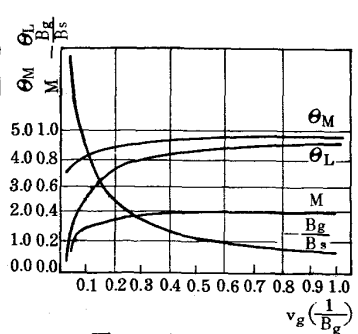


図3. 送風量の影響