

(114) 有限要素法と特性曲線法による高炉のガス流れと伝熱の同時解析

東北大学選鉱製錬研究所 ○工藤純一, 工博 八木順一郎

1. 緒言

最近の高炉の炉内解析法は2次元モデルによるものが主流であり、数値解析法にはいくつかの方法がある。その中高炉のような複雑な層構造を具体的にモデルの中に反影するためには有限要素法が有効である。しかし、有限要素法は計算機上に大量の記憶容量を必要とし、演算時間も長くなる。これに対して、特性曲線法は1次元数値解の組み合わせとして2次元場の解を求める方法であり、解を比較的簡単に求めることができ、計算に必要な記憶容量も少なくすむ。本研究では両者の長所を取り入れて有限要素法で計算したガスと固体の流れの結果を使い、それぞれガスと粒子の流線を計算し、伝熱計算の特性曲線とした。この方法で高炉の流動と伝熱の同時解析を試みた。

2. 解析法

ガス流れについては既に計算した値を用いた¹⁾。固体の流れもガス流れと同様に有限要素法で求めた。伝熱に関しては、ガスと固体の温度分布をガス流れと同時に求めなければならないので、ガスおよび固体の質量速度を用いて、流れ関数 Ψ_0 を次のように定義した。2次元円柱座標系では、ガス側の連続の式は(1)式のようになる。(1)式を満足するガス側の流れ関数 Ψ_0 を(2)、(3)式で定義する。

$$\frac{\partial(r G_r)}{\partial r} + \frac{\partial(r G_z)}{\partial z} = 0 \quad (1), \quad \frac{\partial \Psi_0}{\partial r} = r G_z \quad (2), \quad -\frac{\partial \Psi_0}{\partial z} = r G_r \quad (3)$$

これらの式から十数本の等 Ψ_0 曲線をもとめた。固体側についても同様に等 Ψ_0 曲線を求めた。高炉内においては、熱伝導による熱移動量は、流動に伴う熱移動に比べて著しく小さいので²⁾、熱伝導項を無視すると、伝熱方程式は(4)、(5)式になる。

$$\text{div}(G_g C_g T_g) + A_s h_p (T_s - T_g) = 0 \quad (4)$$

$$\text{div}(G_s C_s T_s) + A_s h_p (T_s - T_g) = 0 \quad (5)$$

上記の伝熱方程式の特性曲線は、それぞれガスと固体の流線になるので、(4)式の積分はガスの流線に沿って羽口から層頂に向かってRunge-Kutta-Gill法を用いて行い、 T_g の分布を求めた。固体側についても同様に行った。

3. 結果

Fig.1 にモデルから計算されたガス側流線および温度分布を示す。ガスの流線は融着帯の位置で著しく変化しているのが特徴である。この計算では、粒子径は鉱石とコークスでそれぞれ均一にしたが、層構造の半径方向不均一分布により、炉の中心側の温度が高く、炉壁側に向かって低下している。また、1600 Kのラインが融着帯の上端ラインに沿っていた。

記号 A_s : 固体表面積, C : 比熱, G : 流速,
 h_p : 気固間伝熱係数, T : 温度, r, z : 座標,
 Ψ : 流れ関数, 添字 g : ガス, s : 固体

- 文献 1) 工藤ら: 鉄と鋼, 69(1983),s1
 2) 羽田野ら: 鉄と鋼, 66(1980),p1898

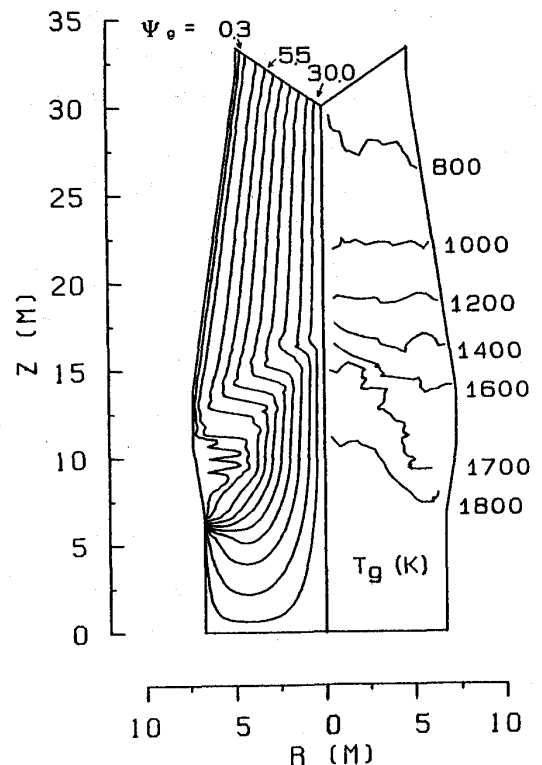


FIG.1 STREAM LINES AND ISOTHERMAL LINES OF GAS.