

(215)

転炉からの放熱に関する一検討

(株) 神戸製鋼所 機械研究所 ○箕浦 忠行 山本 俊二
 神戸製鉄所 鍛名 清 花沢 豊丸

1 緒言

転炉操業においては、高炉出銑量および鋼種による製鋼時間の違いなどの諸条件により、空炉時間および溶銑保持時間が決定される。空炉中の炉壁からの放熱が転炉装入後の溶銑温度に与える影響および、溶銑保持中の溶銑からの放熱がその温度に与える影響が、エネルギーコストの観点から大きな問題となる。そこで溶銑温度低下防止対策として考えた断熱蓋の放熱防止効果の定量的把握が必要となってきた。本研究では転炉壁の厚み方向の熱伝導に着目した転炉の伝熱モデルを作成し、数値計算結果と実測結果との対比からこのモデルの妥当性を確認するとともに、転炉の放熱に関する特性、断熱蓋の放熱防止効果さらにレンガ内部温度分布からレンガ張り換え最適待ち時間を数値計算により検討した。

2 転炉伝熱モデル

2-1 モデル化のための仮定

当社神戸製鉄所80t転炉の断面をFig. 1に示す。この転炉の伝熱シミュレーション計算を行うにあたって、以下に示す仮定を設けた。

- (1) 壁内は厚さ方向の熱伝導によってのみ熱が移動し、長手方向の熱伝導は無視し得るものとする。
- (2) 炉内は放射による熱移動が支配的であり、対流による熱移動は無視し得るものとする。
- (3) 溶銑、溶鋼温度は一樣と考え、内部の温度分布はないものとする。
- (4) 溶銑、溶鋼に接した壁の表面温度は、溶銑、溶鋼温度に等しいものとする。
- (5) 溶銑、溶鋼表面のスラグの熱伝導は無視する。

2-2 基礎式および解法

前述の仮定からFig. 2に示すような計算モデルを考える。長手方向に円板状あるいは円輪状の領域に分け、それぞれの領域を層状の微小要素に分ける。

- (1) 微小要素の熱収支式（壁の熱伝導による熱収支式）

$$\rho C \frac{\partial T_s}{\partial \tau} = \lambda \frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2} + \lambda \frac{\partial A}{\partial x} \frac{1}{A} \frac{\partial T_s}{\partial x}$$

境界条件

$$T_s = T_M \quad (\text{温度が指定される場合})$$

$$\rho C \frac{\partial T_s}{\partial \tau} dx = q + \lambda \frac{\partial T_s}{\partial x} \quad (\text{熱流束が指定される場合})$$

- (2) 炉内各領域からの放熱量計算式

各領域からの放熱量は次式から計算することができる。

$$\begin{pmatrix} Q_M \\ Q_3 \\ Q_0 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} (1-\epsilon_M)F_{MM}^{-1}, (1-\epsilon_M)F_{3M}, (1-\epsilon_M)F_{0M} \\ (1-\epsilon_3)F_{M3}, (1-\epsilon_3)F_{33}^{-1}, (1-\epsilon_3)F_{03} \\ (1-\epsilon_0)F_{M0}, (1-\epsilon_0)F_{30}, (1-\epsilon_0)F_{00}^{-1} \end{bmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} A_{Mi} \sigma \epsilon_M T_M^4 \\ A_{3i} \sigma \epsilon_3 T_{3i}^4 \\ A_{0i} \sigma \epsilon_0 T_0^4 \end{pmatrix} \quad (4)$$

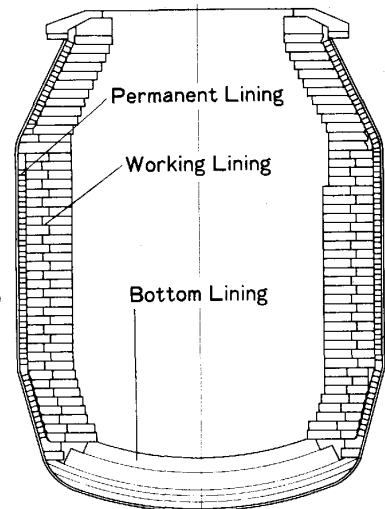


Fig. 1 Profile of 80t Converter

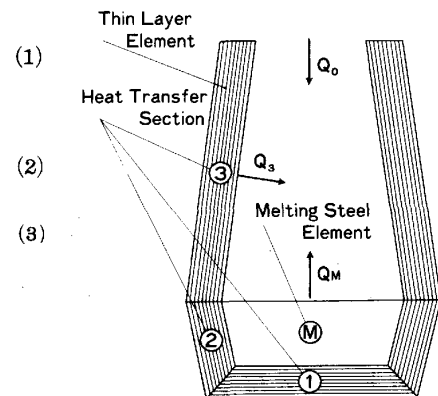


Fig. 2 Converter Calculation Model

以上示した基礎式から、微分方程式は差分法を利用して、Fig. 3 に示す手順で転炉の伝熱シミュレーション計算を行うことができる。

3 シミュレーション計算結果と実測結果との比較

転炉壁内温度分布を求める場合、転炉の熱に関する履歴を考慮しなければならない。個々の転炉に着目すれば、その履歴は非常に不規則であるが、Fig. 4 (a) に示すように実操業データを平均化し、同図に示す操業履歴を繰り返し計算し、収束して得られた壁内温度分布をFig. 4 (b) に示す。同図から転炉の内壁付近は大きな温度変化履歴を示すが、外表面付近は、ほとんど温度変化がないことがわかる。この結果から転炉内壁付近の温度分布が、溶銑、溶鋼温度に影響をおよぼすと考えられる。空炉後溶銑を装入した場合と、吹錬後すぐに溶銑を装入した場合の溶銑温度変化の計算結果と実測結果の比較をFig. 5 に示す。同図から両者よい一致が得られ、計算モデルの妥当性を確認することができた。

4 断熱蓋の放熱防止効果およびレンガ張り換え待ち時間の検討

Fig. 5 (a) に示す空炉時間および溶銑保持時間に、炉体および溶銑自身からの放熱のため、炉装入後溶銑温度が低下する。この時間に転炉上部に断熱蓋を設置した場合、炉装入後溶銑温度がどのように変化するかを計算し、結果をFig. 6 に示す。同図から30分間の空炉時間と溶銑保持時間に断熱蓋を使用した場合、炉装入30分後溶銑温度の低下を12°C防止できる効果のあることがわかった。

さらにレンガ張り換えのため、転炉を自然放冷させればFig. 7 のように壁内部温度が変化することが計算によりわかる。従来壁内部温度がわからないために、放冷開始後48時間後にレンガ張り換え作業を開始したが、パーマントレンガは600°Cで張り換え作業が可能のため、放冷後15時間で作業を開始できることがわかった。

5 結言

本報告では転炉伝熱モデルを示し、実際の転炉をシミュレートできることを確認した。断熱蓋の放熱防止効果の把握やレンガ張り換え待ち時間の短縮などの応用例を示したが、今後各種鋼の伝熱性能把握にこのモデルを適用する予定である。

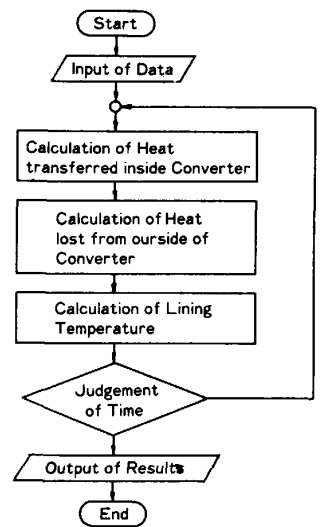
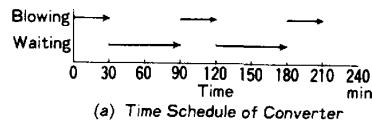
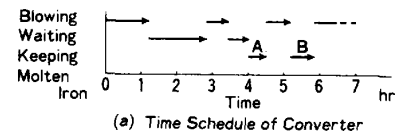


Fig. 3 Calculation Flow



(a) Time Schedule of Converter



(a) Time Schedule of Converter

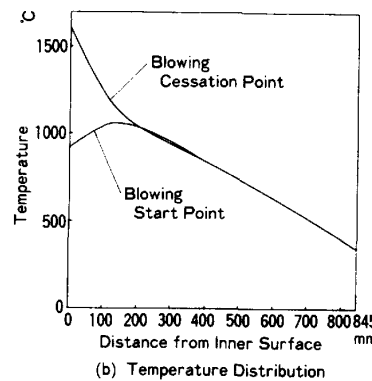


Fig. 4 Temperature Distribution Inside Bottom Wall at Working Time

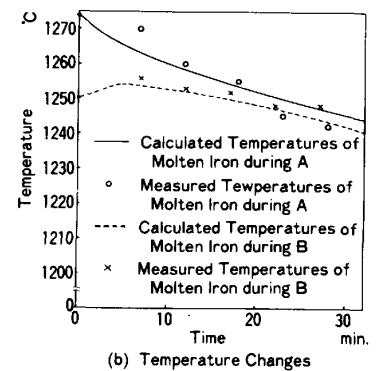


Fig. 5 Temperature Changes of Molten Iron

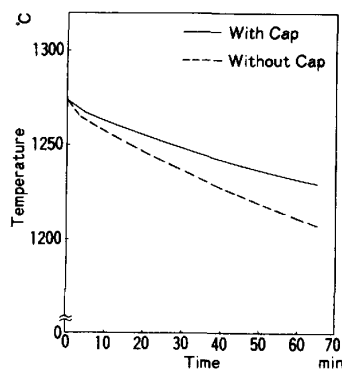


Fig. 6 Temperature Changes of Molten Iron in Converters with Cap and without Cap

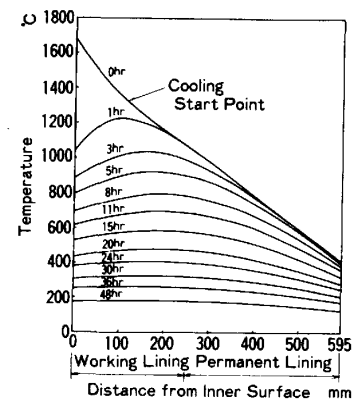


Fig. 7 Temperature Changes in Bottom Wall during Cooling Time

記号: A: 熱通過面積 C: 比熱 F: 形態係数 Q: 壁内面放熱量
 q: 熱流束 T: 温度 x: 壁厚さ方向長さ e: 放射率
 σ: ボルツマン定数 ρ: 密度 λ: 熱伝導率
 添字: O: 外気, M: 溶銑, 溶鋼, S: 転炉壁 1~3: 領域

参考文献
 (1) 鉄鋼便覧
 (2) 鉄鋼熱計算用数値