

# (357) 逆時間演算法による連続炉最適燃焼制御

日本鋼管(株)京浜製鉄所 齊藤森生 谷本直  
八子一了(現福山) 日下武夫

I. 結言; 連続炉の最適燃焼制御に関する本方式は、熱片装入・ライン休止を含む種々の操業変化に対し、最小の燃料原単位でスラブを圧延に必要な温度に加熱するのみならず、重点元素の固溶及びスケール生成等の品質をも併せて制御するものである。本方式は京浜製鉄所熱延工場に適用中である。

II. 制御方式; 連続炉最適燃焼制御の概念を右に表わす。(1)式を次式に変換する。

$$\Leftrightarrow \text{Min}_{u \in \Omega} \int (\text{排ガス温度} \cdot \text{排ガス流量}) dt \quad (1')$$

$$\Leftrightarrow \text{Max}_{u \in \Omega} \int \text{抽出帯投入燃料} dt \quad (1'')$$

本問題を解くに際し、熱プロセスを次式で近似した。

$$\text{スラブ内: } \frac{\partial}{\partial t} (\lambda \frac{\partial T}{\partial x}) = c \rho \frac{\partial T}{\partial t} \quad (6)$$

$$\text{スラブ表面: } \lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \varepsilon \cdot \phi \cdot 4.88 \cdot 10^8 (T_g^4 - T_s^4) + \alpha (T_g - T_s) \quad (7)$$

ここで、 $x$ はスラブ厚方向位置、 $T$ はスラブ厚方向温度分布である。雰囲気温度 $T_g$ は炉長方向3m毎に分割したマイクロゾーンで代表させる。スラブの各マイクロゾーンに将来滞在する時間は、各スラブの予定抽出ピッチを抽出側から積算して予測する。最適化計算は、内部状態の推定と操作出力の決定とに分かれる。まず、炉内全スラブの現温度分布を(6)・(7)式を用いて求める。操作出力の決定は以下の手順で行なう。オン帯に在るスラブ $i$ に対し期待する抽出時のスラブ内温度分布を(4)の目標抽出温度、内外温度差を用いて表わす。(7)式にてまず均熱帯の雰囲気温度を求め、(6)・(7)式を $t=-t'$ なる逆時間演算にて各マイクロゾーンでの滞在時間を考慮し均熱帯入口におけるスラブ内温度分布 $T_{均}^i$ を求める。加熱帯に対しては設備上許される最高雰囲気温度、最高燃料流量および冶金制限値以下において最大の操作量を得るように、逆時間演算にて $T_{均}^i \rightarrow T_{均+1}^i$ を求める。 $T_{均+1}^i$ はスラブ $i$ がオン帯出側で保証されなければならない必要最低温度である。一方、オン帯の雰囲気を保持した前提でスラブ $i$ のオン帯出側におけるスラブ内温度分布 $T_{均+1}^i$ を(6)・(7)式の順時間演算にて予測する。オン帯内全スラブに対して逆時間演算結果と順時間演算結果を突き合わせ、最終的にオン帯の調節計の目標値を変更する(図1)。

III. 適用結果; 本制御によるスラブ温度推定例を図2に、抽出目標温度への追従例を図3に示す。本制御方式は、内部状態の推定と操作出力の決定とに共通の伝熱モデルを用い、逆時間演算法にて最適性を保証している。また、冶金指標を取り込む事により、連続炉の操業を温度管理のみのレベルから品質管理の定量化へと改善している。

評価指標の最適化:  $\text{Max}_{u \in \Omega} \int \text{炉熱効率} dt \quad (1)$   
 熱プロセス:  $\frac{\partial T}{\partial t} = f(x, u, t) \quad (2)$   
 制約条件:  $x \leq g(x, u, t) \quad (3)$   
 個々のスラブに対し抽出仕様を満す  $(4)$   
 個々のスラブに対し冶金仕様を満す  $(5)$

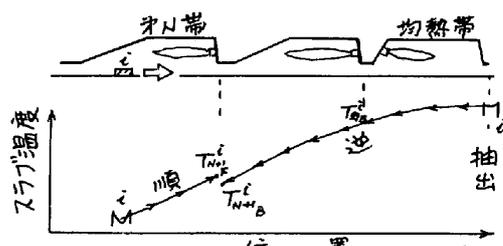


図1. 順/逆時間演算の突合せ

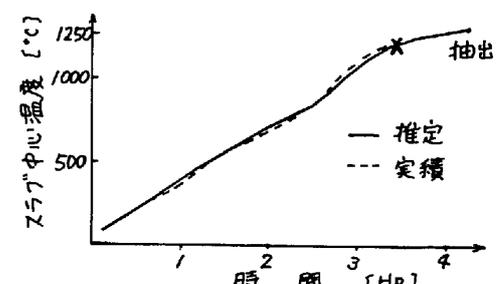


図2. スラブ温度推定

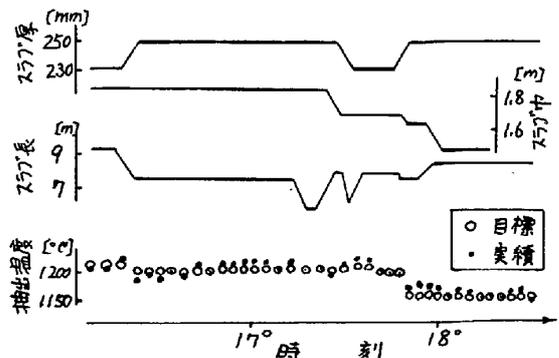


図3. 抽出目標温度への追従