

(107) 電気炉溶製プロセスモデルのパラメータ推定

名古屋大学 工学部 ○堀部芳武 大井純 柳巖

1 緒言 製錬プロセスのモデル中に含まれる未知パラメータの推定は、モデルを妥当ならしめる上で極めて重要である。組織的でない試行錯誤的決定法は、最適なパラメータ値を得ることが困難であり、それが得られたかどうかを判定し難い。パラメータ推定法については、①モデルのプロファイルと実測値が最も良く合うパラメータ値を組織的に探索する方法であること、②計算が容易で収束が速いこと、が要求される。以下、電気炉溶製プロセスモデル¹⁾について各種の計算方法により計算を行い比較検討する。

2 問題の定式化 モデル式は次のような常微分方程式系で表わされる。 $\dot{x} = f(x, \bar{x}, \theta, t)$, $x(t_0) = x_0$. (1)

ここで、 x は濃度、温度を表わす状態変数(n 次元)、 θ はパラメータ(p 次元)、 $\bar{x}$ は界面濃度(m 次元)で x の関数である。時刻 t_r での x の値と実測値 y_r (l 次元)には次式の関係があるものとする。 $y_r = g(x(t_r, \theta)) + \eta_r$ (η_r : 誤差) (2)

パラメータ決定問題は次の目的関数(3)式を最小にすることである。 $F(\theta) = \sum_{r=1}^R \{y_r - g(x(t_r, \theta))\}^T W_r \{y_r - g(x(t_r, \theta))\}$ (3)

ここで、 R は実測回数、添字 T は転置を表わす。また、 W_r は重み係数を表わす l 次の正方行列である。なお、本モデルでは $n=10$, $p=3$, $m=3$, $l=7$ である。

3 計算方法 最適化計算法としては、直接探索法であるHooke-Jeeves法(HJ法)とNelder-Mead法(NM法)²⁾を用いた。直接探索法は勾配計算プログラムが不要なので適用が容易であるが、勾配法より計算量は多くなりがちである。パラメータの初期値は適当に数点選りそれぞれ探索を行う。これは収束が容易であるか、また最小点に到達しているかを判別するためである。重み係数 W_r については各成分、温度に均等に重みをかけた場合と、溶鋼内成分と温度とき実測値とより一致させるために、それらの重みを大きくしてスラグ内成分の重みを小さくした場合とについて計算を行った。

4 結果 HJ法は異なった初期値から探索を始めてもほぼ同じ点に収束し、実測値とプロファイルの比較において C , Si は極めて良く一致した。目的関数はいずれの点から出発しても反復の初期に急速に減少し、約10回程度の反復で収束する(図1)。一方、NM法は収束が遅く、また目的関数 $F(\theta)$ の値についてもそれほど減少しない。すなわちNM法は一般にいわれているほど有効な方法ではなかった。溶鋼の成分と温度の重みを大きくした場合には、 C , Si についてはさらに良く一致し、 Cr についてもかなり改善されることがわかる(図2)。しかしながら温度は逆により高温の側へ移行した。この場合も重み均等の場合と同様、HJ法では目的関数の値は急速に減少して収束した。

5 結言 パラメータ推定にHJ法とNM法とを適用し比較した。HJ法は最適なパラメータ値を速く容易に得ることができすぐれた方法であった。

(参考文献) 1) 小林, 太田, 柳: 鉄と鋼, 60(1974), P1084 2) M.J.Box et al.: Non-linear Optimization Techniques, Oliver & Boyd(89)

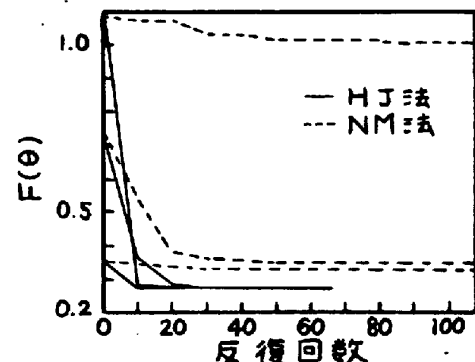


図1 目的関数値の変化(重み均等)

パラメータとその収束値
 α (脱炭反応におけるパラメータ) 0.0152
 k_m (溶鋼側物質移動係数) $1.01 \times 10^{-3} \text{ m/sec}$
 k_d (スラグ側物質移動係数) $1 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$

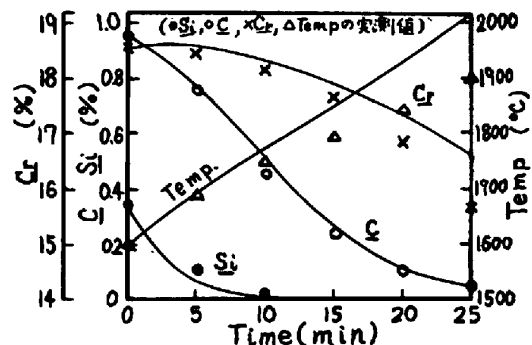


図2 溶鋼内成分、温度の変化(重み変更)

(実測値は日本鋼管京浜製鉄所のもので文献1)の引用)