

討4

669.184.232.142: 62-52: 681.323: 669.184.235.012.1
 サブランスによる転炉吹錬終点制御

川崎製鉄(株)水島製鉄所 飯田義治 江本寛治 ○難波明彦
 山田博右 武 英雄 増田康男

1. 緒 言

転炉吹錬の終点制御方法は、スタティックモデルによる計算機制御に加えて、吹錬中の情報をもとにダイナミック制御する方式が実用化されてきている。当所においてはシンカーによる中間测温データからダイナミック終点制御を行なう方式を採用していたが、さらに終点Cも含めて制御精度を上げるため、昭和48年よりサブランス装置を設置し、ハード、ソフト両面の改良を重ねた結果、終点制御精度の向上を果たした。

本報告は、当所における終点制御に関するサブランス利用技術の現状について述べたものである。

2. 終点制御システム

吹錬開始前に得られる情報をもとにスタティックモデルによる終点制御を行ない、かつ、サブランスによる中間測定情報からダイナミック終点制御を行なって完結するシステムを採用している。その概要を図1に示す。

2.1 スタティック終点制御モデル

数式モデルの基本構成は次のとおりである。

出熱(Q₀)・入熱(Q₁)および入酸素(V₁)・出酸素(V₀)の収支を表わす2組の構造式からなり、この式で表現されていない不明項をそれぞれ次式で定義する。

$$\Delta Q \text{ (不明熱量)} \equiv \sum Q_{0i} - \sum Q_{1i} \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta V \text{ (不明酸素量)} \equiv \sum V_{1i} - \sum V_{0i} \dots\dots\dots (2)$$

ΔQ , ΔV の推定は、操業要因の実績値を統計的手法によって解析して得た推定式から求める。

$$\Delta Q^* \text{ (推定値)} = f(x_i) \dots\dots\dots (3)$$

$$\Delta V^* \text{ (推定値)} = f(y_i) \dots\dots\dots (4)$$

x_i, y_i : 操業要因項

(1), (2)式の各項に予定値を入れ、鉄鉱石量(Wore)と、ランスからの送酸量(O₂)を未知数として残し、(3), (4)式で推定値を与えると、

$$\Delta Q^* = (k_1 Wore + \alpha) - K \dots\dots\dots (5)$$

$$\Delta V^* = (O_2 + k_2 Wore + \beta) - L \dots\dots\dots (6)$$

となり、 α, β は予定値が決まれば確定する項の総称で、 K, L は時系列変動を吸収する補正項である。したがって、 $\Delta Q^*, \Delta V^*$ の推定値、 K, L を与えればWore およびO₂を未知数とする二元連立一次方程式となり、それぞれ独立に求めることができる。

2.2 サブランスによるダイナミック制御

2.2.1 サブランス装置 当所第1製鋼工場に設置されているサブランス装置の要点を次に示す。

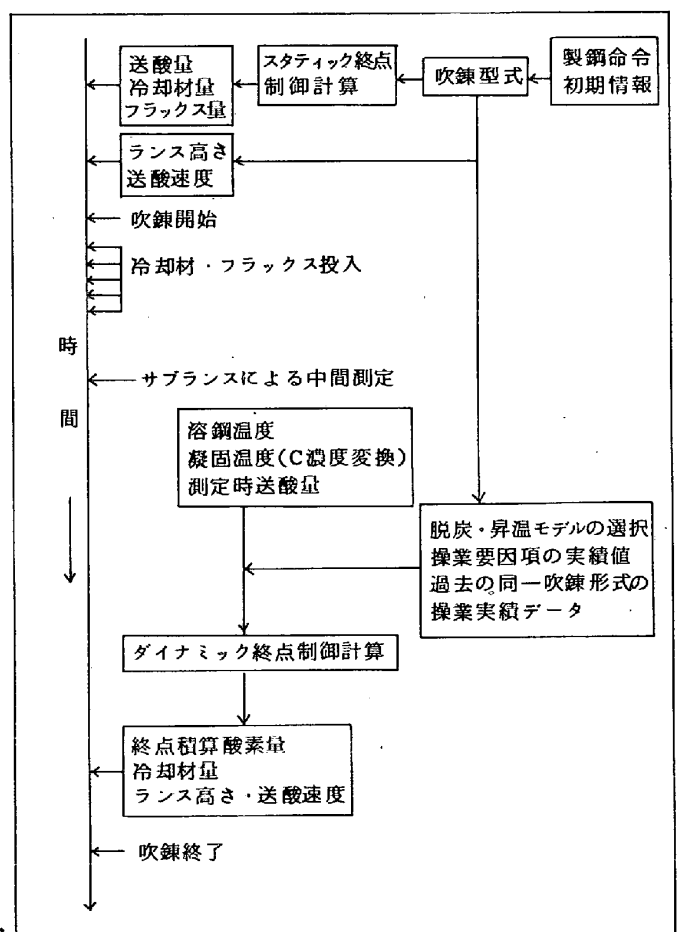


図1 転炉吹錬終点制御システム

- (1) ランス系 2本のワイヤーによる自由懸荷方式。昇降速度 75m/5m/min
 測定高さ制御精度 ±5mm
 測定点 炉芯より1235mm
- (2) プローブ着脱系 着脱装置・プローブ格納装置分離型
 プローブ種類は4種まで選択使用可能
 サンプル自動回収可能
- (3) その他 測定サイクルタイム 82秒、操作 全自動

2.2.2 ダイナミック終点制御モデル

(1) 脱炭モデル 吹錬末期の脱炭速度変化は、排ガス分析などの情報から一般に $-dC/dO_2 = A + B \cdot e^{Kc}$ と表わされている。¹⁾脱炭挙動をこのように数式化して表現しようとする場合、式を仮定することによる誤差の発生は避けられない。この誤差補正を行なうと同時に、操業要因による影響をとりこむフィードバック方式の考えを追加したモデルを開発した。測定後の送酸量(ΔO_2)を求める式を次のように定めた。

$$\Delta O_2 = F(C_s, C_f) + G(x_i) + X$$

$$\text{ただし } F(C_s, C_f) = - \int_{C_s}^{C_f} \frac{dC}{A + B \cdot e^{Kc}}, C_f: \text{終点C濃度}(\%), C_s: \text{中間測定C濃度}(\%)$$

$G(x_i)$: 操業要因の実績値から統計的手法により求めた補正式

X : 短期的時系列変動補正項

このモデル式の係数は吹錬形式ごとに決めている。フィードバック方式としては炉代ごとのデータ集計により $G(x_i)$ の各系数を更新して行き、 X については過去10ヒートの実績値を加重平均して算出する方式をとっている。

(2) 昇温モデル スクラップ溶解後の昇温量(ΔT)は、一般に単位溶鋼当りの送酸量(ΔO_2)に比例するとして $\Delta T = a + b \Delta O_2$ で表わされている。C濃度が高い場合はこの式で精度良く推定できるが、低炭域ではC濃度によって昇温率は大きく変動するようになる。これを、酸素の鉄の酸化に消費される割合の変動としてとらえ、吹錬末期の鉄の酸化量がC濃度に反比例すると仮定して、中間測定から吹錬終了までの鉄の酸化量を $(1/C_f - 1/C_s)$ という項で表現した。

$$\text{すなわち, } \Delta T = f(x_i) \cdot \Delta O_2 + \eta(1/C_f - 1/C_s) + Y$$

$f(x_i)$: 操業要因の実績値から統計的手法により求めた補正式

Y : 短期的時系列変動補正項

となり、脱炭モデルと同様に吹錬形式ごとに係数を決めている。フィードバック方式も脱炭モデルと同様である。

(3) 冷却材 冷却材としては、鉄鉱石、石灰石及び転炉滓磁選屑を試用した結果、磁選屑の場合が最も冷却精度が良かった。

冷却温度 \equiv (中間測定データからの終点推定温度) - (終点実績温度)とすると回帰式は

$$y = 1.12 + 2.11 \cdot x \quad \sqrt{Vyx} = 3.63 \quad y: \text{冷却温度}(\text{°C}), x: \text{磁選屑量}(\text{kg/t} \cdot \text{steel})$$

となる。この冷却精度 \sqrt{Vyx} の値には、昇温モデルによる終点温度推定誤差も含まれており、温度的中範囲を $\pm 1.2 \text{°C}$ とすれば磁選屑の場合は3.3 σ に相当し、温度的中率は100%に近づく可能性を持っている。

3. 中間測定用プローブの開発

溶鋼温度の測定は、発生起電力も安定しており、計算機による自動読取上も問題はなかった。一方、開発初期のプローブのサンプル室はシェルモールド製の円筒型で、サンプル内に引け巣が多発し、冷却曲

線にみだれを生じていた。引け巣対策として、サンプル底部から上方へ方向性を持たせた凝固形態を得る目的で、図2に示すテーパ付のサンプル室形状を基本としたプローブを試用した。その結果ロ型プローブで凝固温度指示を明確に示す冷却曲線の発生率が最も高く、この型式をプローブ開発の基礎とした。

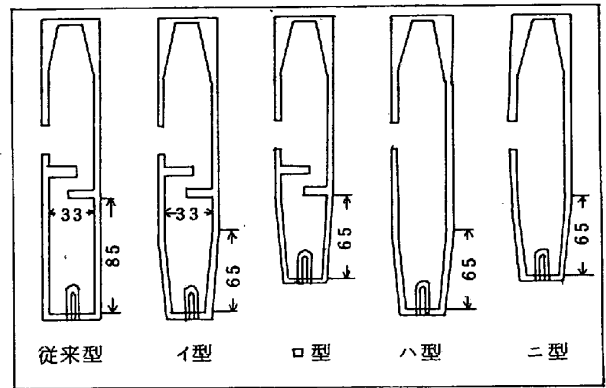


図2 各種サンプル形状

この(ロ)型プローブによる冷却曲線のパターンを分類し、その特性を調査した。図3に示すように冷却曲線のパターンは、溶鋼温度と凝固温度の差(以下 ΔT_s と表わす)に強く依存している事が認められる。これをサンプル内部の凝固組織と対応させると次のようになる。

A型曲線 : ΔT_s が80℃以下で集中的に発生。凝固組織は柱状晶の発達はなく、粒状晶が多い。

B型曲線 : ΔT_s が80~110℃の領域でC型曲線と混在。凝固組織はA型曲線のものと同様。

C型曲線 : ΔT_s が80~125℃の領域に集中。凝固組織は側壁から柱状晶が伸びているが、测温部は粒状晶になっている。

D型曲線 : ΔT_s が120℃以上で発生。過冷却現象を示す冷却曲線で、凝固組織は柱状晶の発達が顕著で测温部に達している。

各冷却曲線の凝固温度読取値とC分析値との対応を表1に示すが、C型曲線が最も検量精度が良く、他の冷却曲線の発生率を抑える必要がある。発生率の高いA、B型曲線に対する改善策として、凝固組織観察を参考にしながら、サンプル室内への溶鋼流入速度の向上、サンプル室の冷却能調整を計り、C型曲線の発生率90%を確保した。

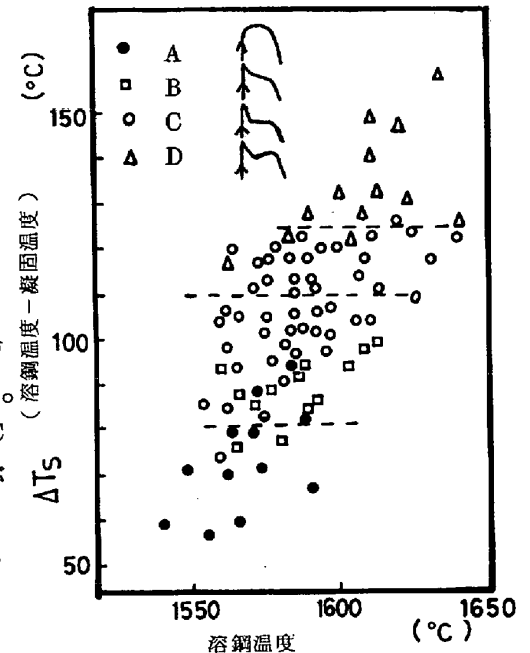


図3. 冷却曲線のパターンと溶鋼温度および凝固温度との関係

4. 吹錬終了時の鋼浴成分の代表性

吹錬終了後の鋼浴成分の推移を、鋼浴深さの異なる3点で同時にサンプリングして調べた結果の代表例をC、P、及びSについて図4~6に示す。

C : (1)吹錬終了直後は活発な脱炭反応が進行している。

(2)深い採取位置のほうがより低い値を示し、倒炉後のポンプサンプルとの対応も良くなる。

P : (1)吹錬終了直後はCと同様脱リン現象がみられる。

(2)鋼浴深さ方向の差はほとんどない。

S : (1)吹錬終了後のSの低下はわずかに認められる程度。(2)鋼浴深さ方向の差はみられない。

このように時間とともにC、Pの大きな成分変動が生じているため、信頼性のあるサンプリングを行うには、溶鋼とスラグの反応の鎮静を計る必要がある。このため、吹錬終了直後炉体揺動を行ってからサブランスにより連続サンプリングした結果、図7に示すように脱炭反応はおさまり、サンプリング位置は深い方がより安定していることを確認した。これらの調査結果より、工程的にはプローブ先端の浸漬深さを静止湯面下700mmとし、炉体揺動後サブランスでサンプリングする方法を採用した。その結果、サブランスサンプリング直後に倒炉して採取したポンプサンプルのC分析値との対応は図8に示すよう

表1 凝固温度読取値とC分析値の対応

波形区分	回帰式	$\sqrt{V_{yx}}$
A	$y = 1.056x + 1629.6$	1.89
B	$y = 1.198x + 1840.6$	3.53
C	$y = 1.222x + 1878.0$	1.36
D	$y = 1.130x + 1739.4$	2.87

y : c 分析値(10⁻²%) x : 凝固温度読取値(℃)

に良く、P、Sについても同様に信頼性の高い分析値が得られ、サブランスによるサンプリングの自動化が可能となった。

5. 操業実績

以上報告したサブランス利用技術のレベルアップにより、終点同時的中率を大巾に向上させた。昭和52年2~4月の第1製鋼工場(3基サブランス設置)の的中率と再吹錬率を、サブランス3基稼動以前のシンカーによるダイナミック制御を行った時のものと比較して表3、及び表4に示す。

表3. 第1製鋼工場における終点的中率 (%)

C範囲 (%)		シンカー使用 (昭和51年10~12月)	サブランス使用 (昭和52年2~4月)	的中範囲
0.06~0.12	温度的中率	83.8	93.7	±12°C
	C的中率	63.9	84.0	±0.020%
	同時的中率	54.6	80.3	
0.12~0.24	温度的中率	84.1	94.2	±12°C
	C的中率	60.2	84.2	±0.025%
	同時的中率	51.5	81.0	
0.24~0.36	温度的中率	85.4	94.5	±12°C
	C的中率	59.3	84.6	±0.035%
	同時的中率	51.7	81.5	

表4. 第1製鋼工場における温度、Cによる再吹錬率 (%)

	シンカー使用 (昭和51年10~12月)	サブランス使用 (昭和52年2~4月)
温度による再吹錬率	7.2	3.2
Cによる再吹錬率	6.2	1.3

6. 結 言

スタティック制御計算にサブランスを利用したダイナミック制御方式を採用し、ダイナミック制御モデルのレベルアップ、プローブの改良、さらに吹錬の安定化技術の開発により、大巾な終点制御精度改善を果たした。また、サブランスによる終点サンプリング法を確立し、転炉操業の自動化を推進した。今後スタティックモデルの改造も含め終点制御精度の一層の向上をめざし、さらに付加的吹錬情報の測定技術の研究を進め、自動吹錬技術を開発して行く。

参考文献 1) H.W. MEYER et al: Iron Steel Eng Vol 43(1966) No.7 P116

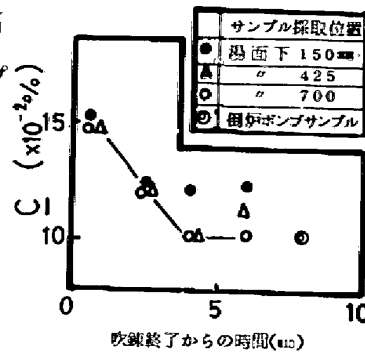


図4. 吹錬終了後のCの推移

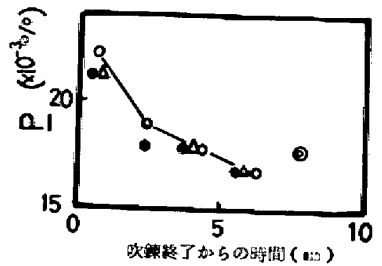


図5. 吹錬終了後のPの推移

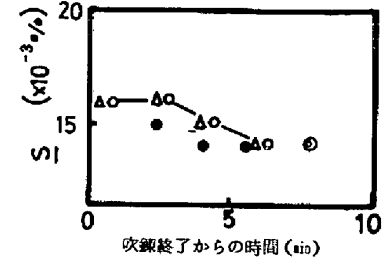


図6. 吹錬終了後のSの推移

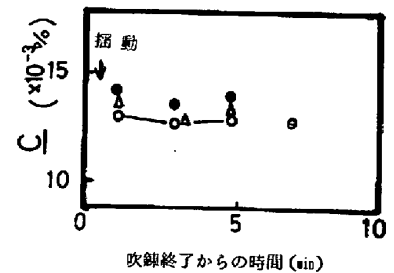


図7. 吹錬終了後のCの推移

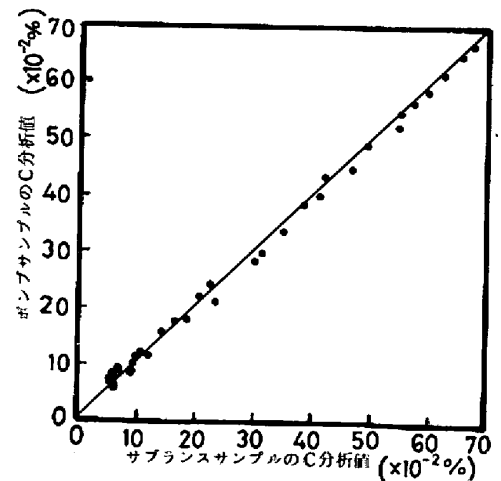


図8. サブランスサンプルとポンプサンプルのC分析値の対応