

討6 転炉プロセスにおける計算機制御の現状と将来

住友金属 和歌山製鉄所 梨和 甫 杉田 宏
池内 祥晴 栗林 隆 加藤木 健

I. 緒言

近年 転炉プロセスの自動化およびシステム化における技術開発はめざましく、近い将来の転炉操業の完全自動化へ向け、着実な歩みを踏んでいる。

一方、減速経済下において、現場のニーズも 量(生産性)の追求から 質(品質・合理化・省資材・省エネルギー)的向上へと 重点が移行し、この点からも転炉操業に対する計算機の役割は 増大する一方となっている。

このような状況下での 当社 和歌山製鉄所の転炉プロセスにおける計算機制御の現状および 将来像と今後解決すべき諸問題について その概要を以下に述べる。

II. 転炉プロセスにおける計算機制御の現状と将来

1. 概要

転炉プロセスにおける計算機制御導入の目的は 概ね又つに大別できる。

すなわち、

A. 外的条件により定められた操業条件下で 生産性・歩留・各種原単位を向上させ、

ミニマムコストを維持しつつ、吹錬終点 および取鍋内での 成分・温度のバラツキを減少させ、安定した品質を得ること。

B. 転炉吹錬作業の合理化を 機械化および自動化により推進すること。

のふ点である。

当所では 上記の目的で 転炉プロセスにおいて 6つのモデルを導入しており、うち 開発中の1つを除き、通常操業において有効に活用され、効果をあげている。

当所にて導入しているモデルの概要を 図1に示す。

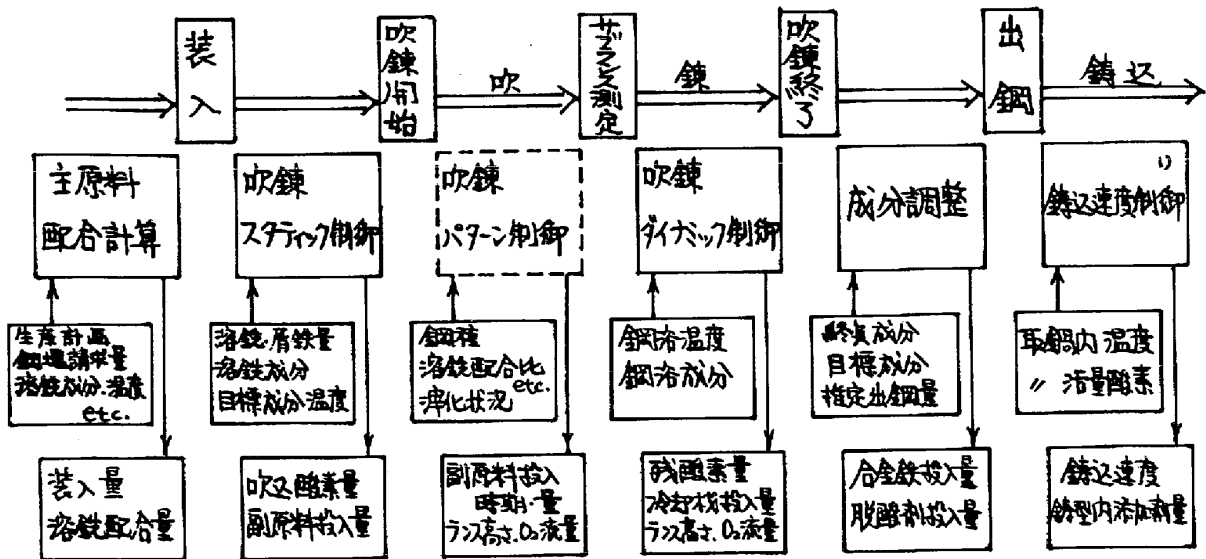


図1. 転炉プロセスにおける計算機制御の現状

2. 主原料配合モデル

本モデルの目的は、適切な装入量および溶鉄率をチャージ毎に設定することにある。

- A. 限られた熱源としての溶鉄の有効利用 およびこれに伴う吹錬的効率の向上
 - B. 製鋼歩留の向上
- にある。特に、吹錬スタティック制御モデルの基盤として、終点温度制御の有効性を保証し、間接的には安定した参考チャージを得るうえで、本モデルの果たす役割は大きい。

制御式は、熱バランス式および物質バランス式によって示される。

$$\Delta HMR = F(\bar{S}_{iHM}, T_{HM}, C_{HM}, T_{HM}, CMR) \quad (1)$$

$$W_{CHARGE} = G(W_{It}, GRD, HMR, CME, \gamma) \quad (2)$$

ここで ΔHMR : [各チャージの溶鉄率] - [生産計画により定まる基準溶鉄率]

\bar{S}_{iHM} : 溶鉄 S_i

T_{HM} : 溶鉄温度 (出鉄温度 - 溶鉄脱硫処理法別温度降下量)

C_{HM}, T_{HM} : 終点目標 C , 終点目標温度

CMR : 冷鉄配合率

GRD : 鋼種

W_{It} : 鋼塊請求量

γ : 製鋼歩留

3. 吹錬スタティック制御モデル

吹錬終点 C および温度の制御は、転炉プロセスにおける最大の課題であるが、当所では、スタティック+ダイナミック制御の併用により、終点制御を行なっている。スタティック制御の役割は、ダイナミック制御の自由度を保證することにある。当所では特に、吹錬末期ダイナミック制御開始時長での鋼浴温度を目標値 $\pm 30 \sim \pm 10^\circ$ 以内に制御することを目標としている。

制御式は、熱バランス式・酸素バランス式の2種であり、終点目標 C により区分された鋼種グループ毎に、終点温度および酸素原単位の各基準曲線 (別途オフライン解析にて算出) からの偏差実績をファイル (計50ch) し、参考チャージ方式にて吹込酸素量および副原料投入量の適正值を決定している。

終点温度推定式: $\bar{T}_{OT} = \bar{T}_{OT} + \Delta T_{OT} \quad (\bar{T}_{OT}: \text{終点温度基準値}) \quad (3)$

但し $\Delta T_{OT} = k_1 \Delta T_{HM} + k_2 \Delta \bar{S}_{iHM} + k_3 \Delta HMR + k_4 \Delta CMR - \sum_i k_i \Delta W_{iFLX} + k_c \cdot f_T(C, \bar{C}) - k_L \Delta t_{LOSS} - k_I \cdot I \quad (3')$

吹込酸素原単位

推定式: $\bar{\gamma} = \bar{\gamma} + \Delta \gamma \quad (\bar{\gamma}: \text{吹込酸素原単位基準値}) \quad (4)$

但し $\Delta \gamma = l_1 \Delta \bar{S}_{iHM} + \sum_j l_j \Delta W_{jFLX} + l_c \cdot f_o(C, \bar{C}) - l_I \cdot I \quad (4')$

ここで ΔT_{HM} : 溶鉄温度偏分値

$\Delta \bar{S}_{iHM}$: " S_i "

ΔHMR : 溶鉄率偏分値

ΔCMR : 冷鉄率 "

ΔW_{iFLX} : 副原料偏分値

$f_T(C, \bar{C})$: 終点 C 偏分による昇温値

$f_o(C, \bar{C})$: " 酸素原単位偏分値

Δt_{LOSS} : 炉休止時間偏分値

I : 炉口地金取りの有無

当所160T転炉で本モデルを適用した結果を図2に示す。吹込酸素原単位および終臭温度の誤差は互に正の相関があり、その結果ダイナミック制御を適用してもC・温度の同時的中が不可となったチャージが7%存在する。この問題の解決は滓化のバラツキの減少により得られると考えられ、吹練的中率の向上のためには、今後解決すべき項目である。

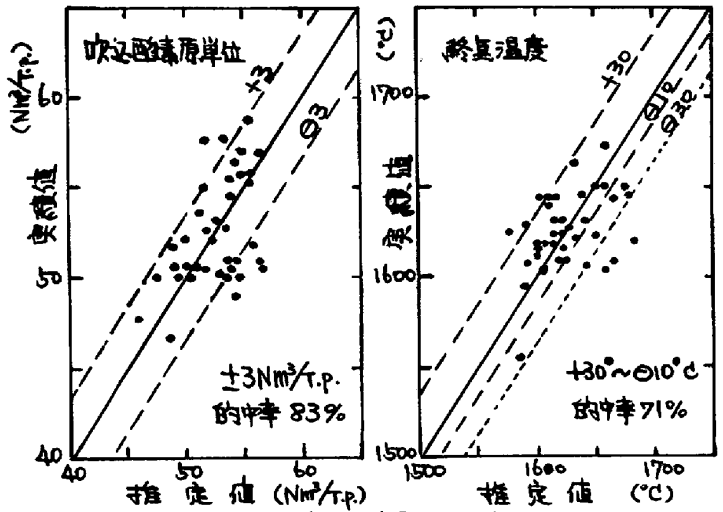


図2. スタティック適用結果(160T転炉)

4. 吹練ダイナミック制御モデル²⁾³⁾⁴⁾

当所のダイナミックモデルはサブランスモデルを主体とし、排ガス分析値からほぼ連続的に算出される脱炭速度を併用して成立している。サブランス稼働率および本モデルを用いた終臭C・温度同時的中率の推移を図4に示す。

終臭制御精度の向上には、前述の主原料配合モデル・スタティックモデルの精度向上に加えて、種々の誤差要因を解消する必要がある。その主な要因と対策を表1に、またダイナミック制御のフローチャートを図5に示す。

表1 終臭制御精度に影響をおよぼす諸要因

分類	項目	内容	対策
鋼浴成分 温度変化の 再現性	C変化	吹練初期の数値の再現性 ⁶⁾	排ガスモデルの併用 滓化の安定
		吹止後の "	
	温度変化	吹練初期の "	滓化の安定 (吹練のバッチ化)
		吹止後の "	
制御モデルの良否	Cモデル	C変化の推定精度	オフライン解析の定常化
	温度モデル	温度変化の "	"
測定値の代表性	C	鋼浴内の不均一性 ⁶⁾	測定位置の固定化
	温度	"	"
計測誤差	C計測(CD)	熱電対・記録計etc	サブランス迅速分析
	温度 "	"	-
	脱炭流量 "	-	-
	湯面位置 "	-	-
その他	溶鋼重量推定	-	-

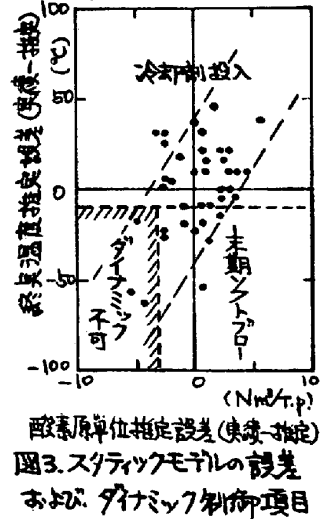


図3. スタティックモデルの誤差およびダイナミック制御項目

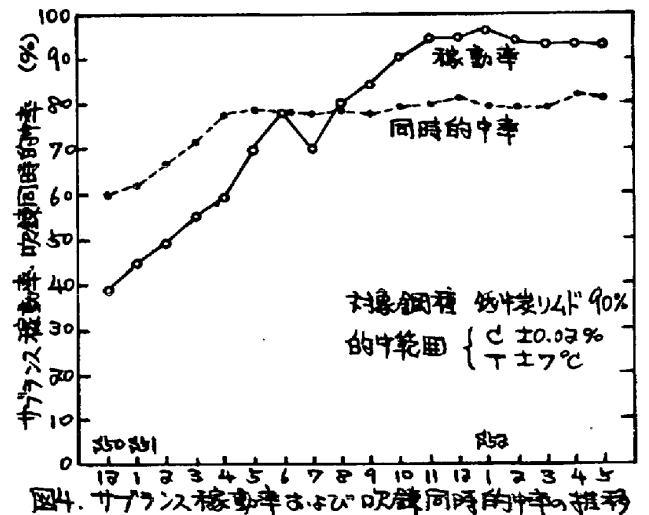


図4. サブランス稼働率および吹練同時的中率の推移

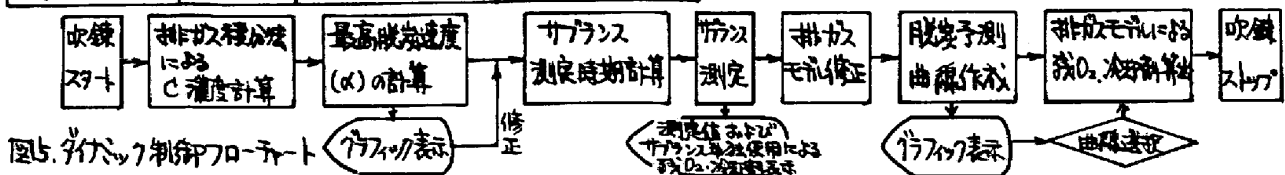


図5. ダイナミック制御フローチャート

排ガスモデルの併用により、終息値の中精度は約15%向上した。(±0.07%・72%→87%)
 即ち、従来のJELモデル²⁾： $\varphi(=C/C_0) = \alpha - \beta \exp(-\gamma C)$
 に対し、サプランス測定時のカーボン濃度(C_{su})と脱炭速度(φ_{su})
 が判明しているため、係数 $\beta \cdot \gamma$ の決定に際し、次式からより
 正確な値が決定され、推定精度が向上したためである。

$$\gamma = -1/\Delta C \ln \alpha(1-0.95)/\alpha(1-\alpha) \quad (5')$$

$$\beta = (\alpha - \varphi_{su}) \exp(\gamma C_{su}) \quad (5'')$$

また、 C_{su} を知ることにより、吹錬スタート以降サプランス測定
 までの排ガス積分法の補正值 C_1 を決定でき、これをサプランス
 測定以降の排ガス積分法に適用することにより、各時点での C 推定も精度良く計算できる。

$$C_1 = (C_0 - C_{su}) / (C_0 - C_{su,calc}) \quad (6)$$

但し、 C_0 ：初期 C $C_{su,calc}$ ：サプランス測定時までの排ガス積分法による C 推定値
 この結果、図4の如く、80%以上の同時的中率を得ている。

5. 吹錬パターン制御モデル(自動吹錬モデル)

吹錬的中率の向上および炉内脱炭の安定には、安定した率化を得ることが極めて重要である。当所では吹錬の安定を目的として吹錬のパターン化に取り組んでいるが、吹錬中の率化状況の定量化が困難であり、未だ実用化には至っていない。

6. 成分調整モデル

終息成分および溶鋼重量推定値を知り、物質バランス式より合金鉄投入量を決定する。この際、先行95チャージの作業実績ファイルより類似チャージを選択し、レードル成分推定誤差の平均値を求めて、物質バランス式を補正する。例えば、 C バランス式では

$$C_{LAMB} - C_E = \sum k_i \cdot W_i - k + \delta_c \quad (7)$$

但し、 C_{LAMB} ：目標レードル C W_i ：合金鉄 i 原単位
 C_E ：終息 C δ_c ：推定誤差平均値
 k_i ：合金鉄 i の歩留係数

本モデルのリムド鋼への適用例を 図7に示す。

III. 結 言

現在、転炉プロセスは装入から出鋼までほぼ計算機制御が適用されている。しかし、吹錬的中精度のより一層の向上、また炉内脱炭を含めた制御、および自動吹錬により真のミニマムコストを達成するためには、吹錬中に随時率化状況を知ることが不可欠であると考え、我々は、この方向で更に各モデルの精度向上をはかり、転炉プロセスの計算機による完全制御を早期に実現したい。

(参考文献) 1) 鉄と鋼 63(1977)S113 2) 冶金 62(1976)S113 3) 鉄と鋼 vol.25, No.1 4) 鉄と鋼 62(1976)S113 5) 鉄と鋼 62(1976)S116 6) 鉄と鋼 62(1976)S115

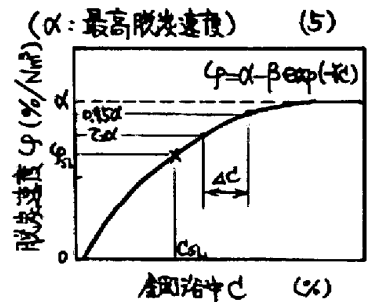


図6. 脱炭速度とCの関係

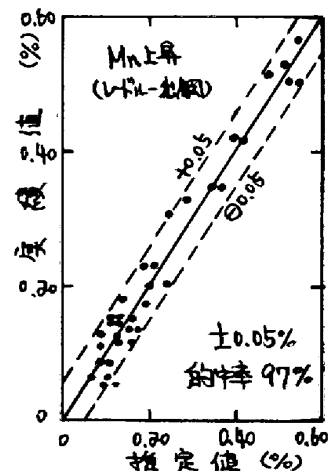
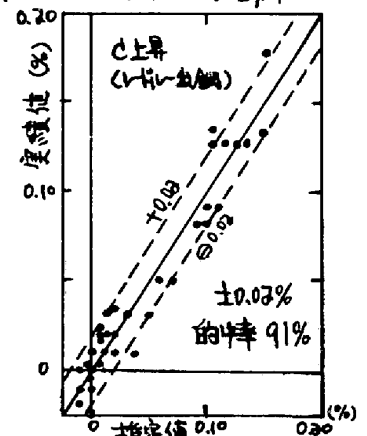


図7. 成分調整モデル適用例 (リムド鋼)