

VOD 精錬の終点制御システムの開発

技術報告

高輪 武志*・片山 勝美*・阪根 武良*²
照沼 正明*³・山村 昇*⁴

Development of the Endpoint Control System for VOD Refining Process

Takeshi TAKAWA, Katsumi KATAYAMA, Takeyoshi SAKANE,
Masaaki TERUNUMA and Noboru YAMAMURA

Synopsis:

For the endpoint control of VOD refining, a new simplified mathematical model suitable for online application has been developed on the following procedures.

(1) The equation of oxygen consumption in the period of vacuum oxygen decarburization is formulated, which comprises the range from low carbon to high carbon.

(2) The carbon content in the melt in the period of vacuum decarburization and temperature rise are formulated.

(3) By means of above-mentioned equations, the control system for carbon content and temperature at the endpoint of decarburization has been developed.

At VOD shop in Amagasaki, the system is being used for the endpoint control, and is contributing to the decrease of the amount of reduction agent, flux and blown oxygen by prevention of excessive decarburization.

Key words: secondary steelmaking; process control; VOD; endpoint control; mathematical model; oxygen consumption; temperature rise; carbon content.

1. 緒 言

VOD 精錬における最大の課題は、脱炭終了時の溶鋼 C の的中である。この目的のために、終点制御の研究が 1970 年代後半より主として国内で始められた。

当初は、低炭素域まで脱炭が進行すると排ガス成分や真空度に顕著な変化があらわれる点を利用して脱炭終了時期を判定する方式が検討されていた¹⁾²⁾。

齊田らは³⁾⁴⁾、排ガス分析の精度をあげるため質量分析計を導入して刻々の脱炭量を求め、初期の溶鋼 C から逐次この脱炭量を差し引くことにより溶鋼 C を推定する方法を報告している。

一方、石井らは⁵⁾、酸素メーターを用いて測定した溶鋼中の酸素活量より溶鋼中の C を推定する方法を報告している。

本研究は、初期の溶鋼 C が 1.0% のような高炭素の場合でもオンライン適用が可能なように汎用性のある簡

潔なモデルの開発をめざした。以上の観点より、

(1) 真空酸素脱炭 (VOD) 期では、低炭素領域から高炭素領域までを包括した酸素消費量の式を作成する。

(2) 真空脱炭 (VD) 期では必要な処理時間を算出可能とする。

(3) 脱炭終了時点での溶鋼温度の制御も可能なよう必要な昇温量を算出する。

(4) 排ガス情報はモデルのパラメーターの修正に利用する。

などの諸点を考慮したモデルを開発し、オンラインへの適用をはかり終点制御の実用化を行つた。以下システムの概要と精度について述べる。

2. 数式モデルの構成

2.1 モデルの基本構想

VOD 工程では、Fig. 1 に示すごとく電気炉から出鋼した溶鋼に真空酸素脱炭と真空脱炭の処理を施したあ

昭和 61 年 11 月 4 日受付 (Received Nov. 4, 1986)

* 住友金属工業(株) システムエンジニアリング本部 (System Engineering Division, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 1-3 Nishinagahondori Amagasaki 660)

*² 住友金属工業(株) 鉄鋼技術部 (Iron & Steel Technical Development Department, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

*³ 住友金属工業(株) 鋼管製造所 (Steel Tube Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

*⁴ 住金制御エンジニアリング(株) 製造開発部 (Production & Development Department, SMI Control Engineering Company, Ltd.)

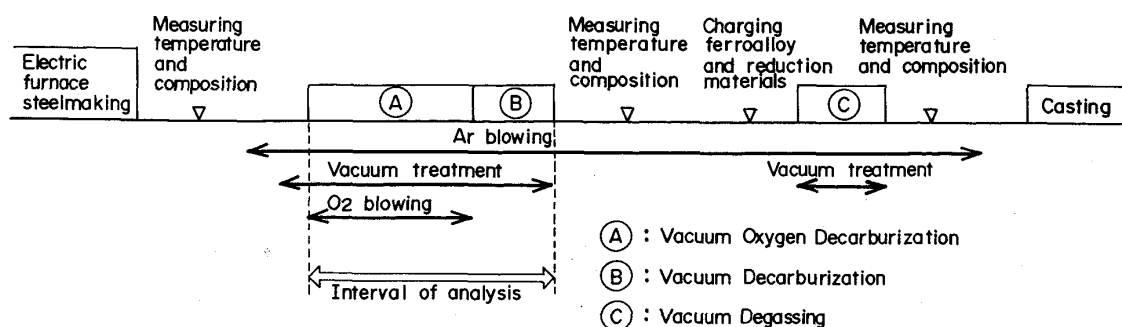


Fig. 1. Outline of VOD process.

と、测温、サンプリングを行い、再度真空状態にして Fe-Si による還元を行う。本研究では、これらの処理のうち酸素吹精の期間である真空酸素脱炭期と、その後の真空度をあげて Ar 攪拌で脱炭させる真空脱炭期とを解析の対象とする。

このプロセスを理論的に定式化するのは容易ではなく、仮に定式化できたとしてもモデルの複雑性が増し直ちに実操業に適用することはむずかしい。

そこで理論的な反応モデルによるアプローチではなく VOD 工程の実操業データの解析から精錬プロセスの特性を定式化する方法をとることにした。

2.2 溶鋼 C の推定

各チャージごとに計測されるデータを用いて、真空酸素脱炭期では脱炭にともなう増大する酸素消費量を、真空脱炭期では処理時間に対応する溶鋼 C の量を定式化する。

2.2.1 真空酸素脱炭 (VOD) 期

真空酸素脱炭期を簡略化して以下の 3 期に区分した。すなわち、脱炭に先立つて溶鋼中 Si, Mn および必要に応じて投入される昇温剤 (Al など) の酸化が優先的に行われる第 1 期、酸素の供給速度が律速となる脱炭域の第 2 期、および低炭となり脱炭が鈍化してくるとともに Cr の酸化が活発になりはじめる第 3 期である。これらの各区分における脱炭の挙動を Fig. 2 に示す。

第 1 期は脱炭が進行していないと仮定しており、その特性は (1) 式で表すことができる。

$$\frac{\Delta O_2}{W_{ST}} = h_H \cdot \frac{W_H}{W_{ST}} + \sum_i h_i \cdot (X_{i0} - X_{iE}) \quad (1)$$

ただし、

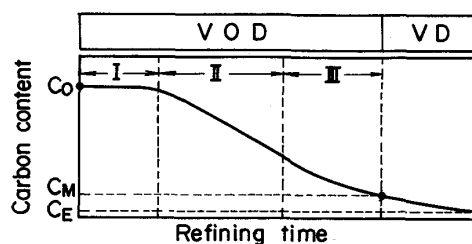
ΔO_2 : 第 1 期期間中に消費される酸素量 (Nm³)

W_{ST} : 溶鋼重量 (t)

W_H : 昇温剤量 (t)

X_{i0} : 処理前溶鋼 Si, Mn (wt%)

X_{iE} : 処理後溶鋼 Si, Mn (wt%)



VOD: Vacuum Oxygen Decarburization
VD: Vacuum Decarburization

Fig. 2. Decarburization characteristics in refining.

h_H, h_i : 定数

上式右辺中の処理後溶鋼 Si, Mn については実データの解析の結果、(2) 式に示すようにそれぞれ処理前溶鋼 Si, Mn の関数として表すのが妥当との結論を得た。

$$X_{iE} = h_0 X_{i0} + h_C \quad (2)$$

ただし、 h_0, h_C : 定数

第 2 期では、C の溶鋼表面への拡散速度が大きく、酸素の供給速度が脱炭速度を律速するため、脱炭速度は近似的に (3) 式で表すことができる。

$$-\frac{dC}{dO_2/W_{ST}} = k_0 \quad (3)$$

ただし、C: 溶鋼 C (wt%)

O_2 : 第 2 期期間中の酸素消費量 (Nm³)

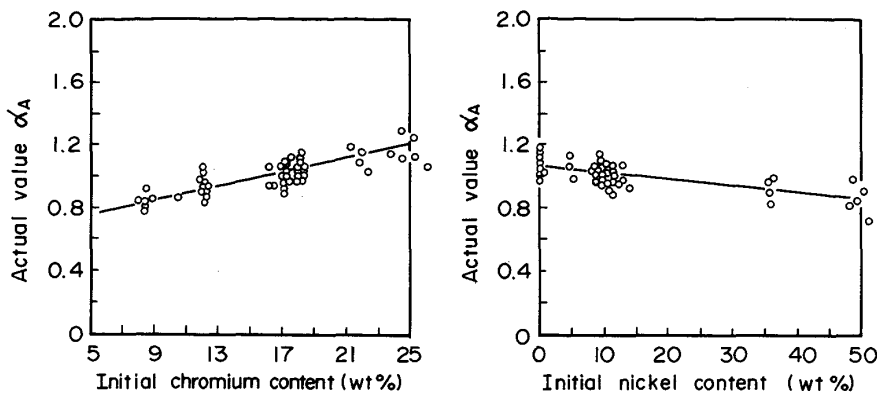
k_0 : 係数

第 3 期では溶鋼表面への C 拡散速度が減少し、C 拡散速度が脱炭速度を律速するため脱炭速度は近似的に (4) 式で表すことができる。

$$-\frac{dC}{dO_2/W_{ST}} = k_1 \cdot C \quad (4)$$

ただし、 k_1 : 係数

上記のごとく第 2 期と第 3 期を考えると、高炭素領域では (3) 式が成立し、低炭素領域では (4) 式が成立する

Fig. 3. Influence of initial steel composition on actual value α_A .

ので、これらの逆数をとって加えた(5)式により全炭素領域に対して包括的に脱炭特性を近似することができる⁶⁾。

$$-\frac{dO_2/W_{ST}}{dC} = m_0 + \frac{m_1}{C} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ただし、(5)式右辺の m_0 , m_1 はそれぞれ k_0 , k_1 の逆数を表し、操業因子の変動によつて影響を受けると考えられる。解析を容易にするため(5)式での係数 m_0 , m_1 を $\alpha \cdot a_0$, $\alpha \cdot a_1$ とおき、 a_0 および a_1 を定数、 α を操業因子の変動にもとづく影響を受けるパラメーターとすると、(5)式は(6)式のごとく表すことができる。

$$-\frac{dO_2/W_{ST}}{dC} = \alpha \left(a_0 + \frac{a_1}{C} \right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

ただし、パラメーター α は、操業因子が基準的な値をとる場合はその値を1とする。第2期と第3期とを包括した脱炭期で消費される酸素量は(6)式の積分により(7)式として得られる。

$$\frac{\Delta O_2}{W_{ST}} = \alpha \cdot \left\{ a_0 (C_0 - C_M) + a_1 \cdot \log \frac{C_0}{C_M} \right\} \quad \dots\dots (7)$$

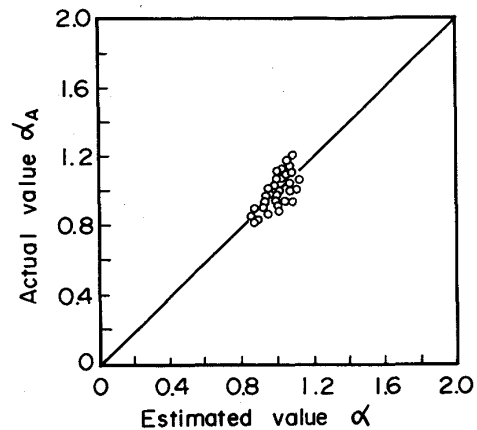
ただし、 C_0 : 処理前溶鋼 C (wt%)

C_M : 真空酸素脱炭期終了時の溶鋼 C (wt%)

第1期での酸素消費量は(1)式で表されるから第1, 2, 3期を統合して真空酸素脱炭期全体としての酸素消費量は(8)式で表すことができる。

$$\frac{\Delta O_2}{W_{ST}} = h_H \cdot \frac{W_H}{W_{ST}} + \sum_i h_i \cdot (X_{i0} - X_{iE}) + \alpha \cdot \left\{ a_0 \cdot (C_0 - C_M) + a_1 \cdot \log \frac{C_0}{C_M} \right\} \quad \dots\dots\dots (8)$$

上式でまず、パラメーター α の値を1とおいて回帰分析により係数 a_0 , a_1 , h_H , h_i の値を求めることができる。たとえば a_0 , a_1 の値はそれぞれ 10.116, 0.957 であつた。次に α を操業因子の関数として定式化するため、(8)式から導出される(9)式より α の実績値 α_A を算出し、それと各操業因子との関係を調査した。

Fig. 4. Estimation accuracy of α .

$$\alpha_A = \frac{\frac{\Delta O_2}{W_{ST}} - \left\{ h_H \cdot \frac{W_H}{W_{ST}} + \sum_i h_i \cdot (X_{i0} - X_{iE}) \right\}}{a_0 \cdot (C_0 - C_M) + a_1 \cdot \log \frac{C_0}{C_M}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

Fig. 3 に処理前溶鋼成分との α_A との関係を示す。ただし、処理前 $\underline{Cr}$ と α_A との関係を見る場合、実測値 α_A は処理前 $\underline{Cr}$ 以外の因子の変動にもとづく影響も含んでいるので、図のプロットで示す量は α_A からこれらの影響を除外しておいた。処理前 $\underline{Ni}$ と α_A との関係を見る場合も同様に α_A から処理前 $\underline{Ni}$ 以外の因子の影響を除外してある。これらの図において、処理前 $\underline{Cr}$ と α_A とは明確な正相関が認められるが、これは $\underline{Cr}$ が $\underline{C}$ の活量を下げるため $\underline{Cr}$ が高いほど脱炭反応が鈍化するという理屈と一致する。逆に、処理前 $\underline{Ni}$ と α_A とは負の相関が認められるが、これは $\underline{Ni}$ が $\underline{C}$ の活量を上げるため $\underline{Cr}$ の場合と逆の傾向が出たものと考えられる。また処理前 $\underline{Mo}$ と α_A とはわずかながらあるが $\underline{Cr}$ の場合と同様の傾向が認められた。このような調査を他の操業因子との関係についても実施し、これらの関係を用いてパラメーター α を(10)式のごとく定式化した。

$$\alpha = \sum_i p_i \cdot (Y_i - \bar{Y}_i) + p_0 \quad \dots\dots\dots (10)$$

ただし、 p_i , p_0 : 定数

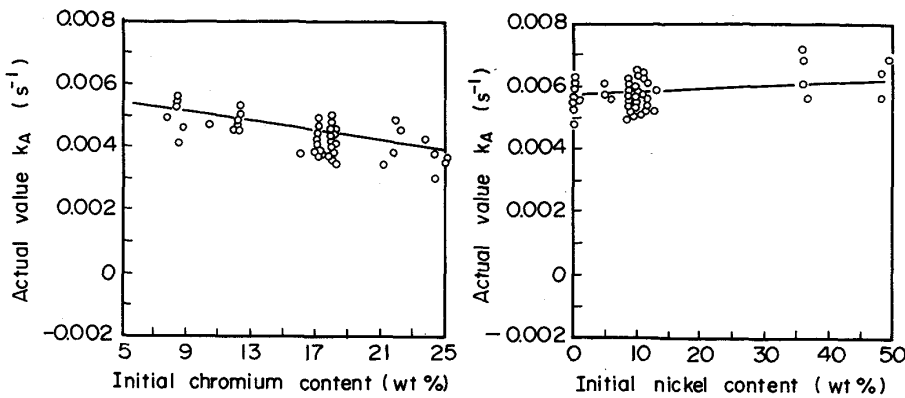


Fig. 5. Influence of initial steel composition on actual value k_A .

Y_i : 操業因子

$\bar{Y}_i$: 操業因子 Y_i の基準値

上式中の操業因子 Y_i は処理前溶鋼成分 (Cr , Ni , Mo), 処理前溶鋼温度および Ar 流量を示す。これらの因子に関する係数 p_i の値はそれぞれ 0.01973, -0.00402, 0.00831, -0.001879, -0.000612 であった。(10)式にもとづくパラメーター α の推定値と(9)式にもとづく実績値の対比の一例を Fig. 4 に示す。

2.2.2 真空脱炭 (VD) 期

真空脱炭期の脱炭速度は C 拡散律速となるので近似的に(11)式で表すことができる。

$$\frac{dC}{dt} = -k \cdot C \quad \dots\dots\dots (11)$$

ただし, t : 時間 (s)

(11)式中のパラメーター k は, パラメーター α と同様操業因子の変動によつて影響を受ける。(11)式を積分することにより真空脱炭期の C を(12)式のごとく計算できる。

$$C_E = C_M \cdot \exp(-k \cdot \Delta t) \quad \dots\dots\dots (12)$$

ただし, C_E : 真空脱炭期終了時の C (wt%)

Δt : 真空脱炭期の処理時間 (s)

(12)式におけるパラメーター k を操業因子の関数として定式化するため, (12)式から導出される(13)式より k の実績値 k_A を算出し, それと各操業因子との関係を調査した。

$$k_A = \frac{1}{\Delta t} \cdot \log \frac{C_M}{C_E} \quad \dots\dots\dots (13)$$

Fig. 5 に処理前溶鋼成分と k_A との関係を示す。これらの図においても, Fig. 3 と同様, 処理前 Cr と k_A との関係を見る場合, 図の縦軸の量は k_A から処理前 Cr 以外の因子の影響を除外してある。処理前 Ni と k_A との関係についても同様である。図より処理前 Cr , Ni と k_A とはそれぞれ負相関, 正相関が認められるが, これらは真空酸素脱炭期のパラメーター α_A によぼす処理

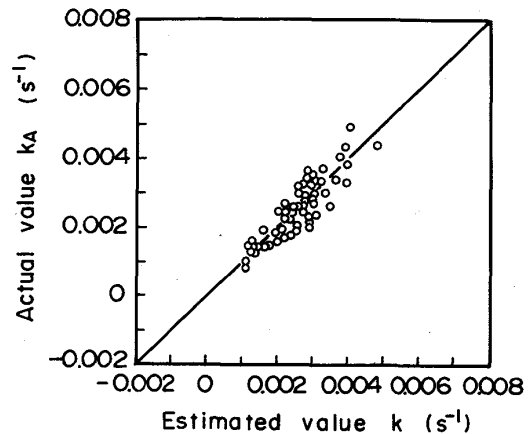


Fig. 6. Estimation accuracy of k .

前溶鋼成分の影響と同一の理由によるものと考えられる。 α の場合と同様の方法でパラメーター k を(14)式のごとく定式化できる。

$$k = \sum_i q_i \cdot (Y_i - \bar{Y}_i) + q_0 \quad \dots\dots\dots (14)$$

ただし, q_i, q_0 : 定数

上式中の操業因子すなわち処理前 Cr , Ni , Mo , 処理前溶鋼温度および Ar 流量に関する係数 q_i の値はそれぞれ -0.000076, 0.000017, -0.000039, 0.00000652, 0.0000036 であった。(14)式にもとづくパラメーター k の推定値と(13)式にもとづく実績値の対比の一例を Fig. 6 に示す。

2.3 溶鋼温度の推定

真空酸素脱炭期では酸素による脱炭反応が主であるから, 昇温量は吹込み酸素量と強い相関があると考えられる。したがつて昇温量を(15)式のごとく定式化する。

$$\Delta T_1 = l_1 \cdot \frac{\Delta O_2}{W_{ST}} + l_2 \cdot \frac{W_H}{W_{ST}} + l_3 \quad \dots\dots\dots (15)$$

ただし, ΔT_1 : 真空酸素脱炭期の昇温量 ($^{\circ}\text{C}$)

ΔO_2 : 吹込み酸素量 (Nm^3)

l_1, l_2, l_3 : 係数

真空脱炭期では, 酸素を吹き込まず Ar 攪拌を行うの

で溶鋼温度は低下するが、この時期での昇温量を(16)式のごとく定式化した。

$$\Delta T_2 = l_4 \cdot \Delta t + l_5 \dots \dots \dots (16)$$

ただし、 ΔT_2 : 真空脱炭期の昇温量 (°C)

Δt : 真空脱炭処理時間 (s)

l_4, l_5 : 係数

したがって、真空酸素脱炭期と真空脱炭期を統合した期間の昇温量 ΔT は(17)式で表すことができる。

$$\Delta T = l_1 \cdot \frac{\Delta O_2}{W_{ST}} + l_2 \cdot \frac{W_H}{W_{ST}} + l_4 \cdot \Delta t + l \dots \dots \dots (17)$$

ただし、(17)式中の l は l_3 と l_5 の和であり、操業因子の変動にもとづく影響を受けるパラメーターを示す。(17)式中の係数 l_1, l_2, l_4 は $\Delta T, \Delta O_2, W_{ST}, W_H, \Delta t$ にそれぞれの実績データを代入して回帰分析手法を用いれば値を決定することができる。たとえば l_1, l_4 の値はそれぞれ 16.641, -0.08944 であった。Fig. 7, Fig. 8 にそれぞれ吹込み酸素量と昇温量の関係、および真空脱炭処

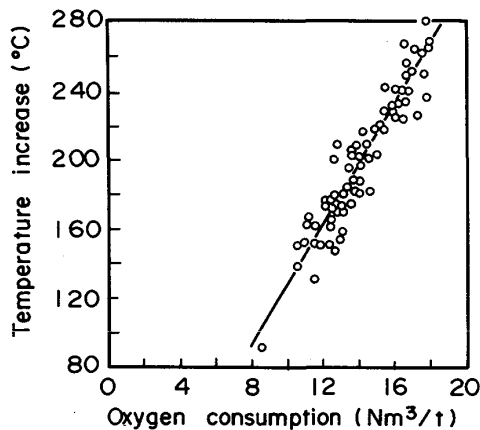


Fig. 7. Influence of oxygen consumption on temperature increase.

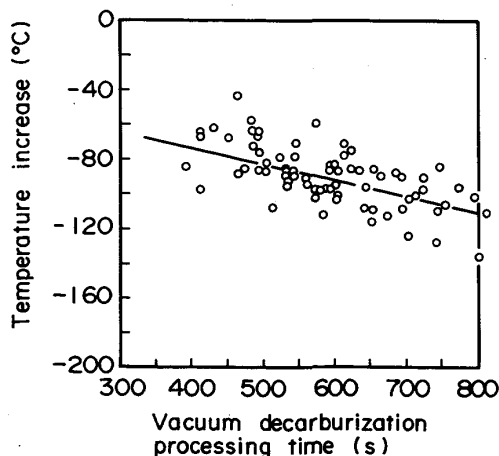


Fig. 8. Influence of vacuum decarburization processing time on temperature increase.

理時間と昇温量の関係を示す。上記のパラメーター l については、パラメーター α, k と同様の方法で(18)式で示す l の実績値 l_A と各操業因子との関係を調査することにより、(19)式のごとく定式化した。

$$l_A = \Delta T - l_1 \cdot \frac{\Delta O_2}{W_{ST}} - l_2 \cdot \frac{W_H}{W_{ST}} - l_4 \cdot \Delta t \dots \dots \dots (18)$$

$$l = \sum_i r_i \cdot (Y_i - \bar{Y}_i) + r_0 \dots \dots \dots (19)$$

ただし、 r_i, r_0 : 定数

3. 制 御 方 式

前章で述べたモデルにより溶鋼 C, 温度を推定し、それが所定の目標値になるよう吹込み酸素量などの操作量を算出することができるが、操業条件が変動した場合のモデル精度維持のため、実績データを用いてモデルパラメーターの修正を行うのが望ましい。

修正の対象となるパラメーターは、真空酸素脱炭期の酸素消費量を求める(8)式における α と、真空脱炭期の溶鋼 C を求める(12)式における k , および昇温量を求める(17)式における l である。いずれも脱炭終了時の実績データを用いて、各パラメーターの実績値と推定値との差すなわち推定誤差を計算する。

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\frac{\Delta O_2}{W_{ST}} - \left[h_H \cdot \frac{W_H}{W_{ST}} + \sum_i h_i \cdot (X_{i0} - X_{iE}) \right]}{a_0 \cdot (C_0 - C_M) + a_1 \cdot \log \frac{C_0}{C_M} - \left\{ \sum_i p_i \cdot (Y_i - \bar{Y}_i) + p_0 \right\}} \dots \dots \dots (20)$$

$$\varepsilon_k = \frac{1}{\Delta t} \cdot \log \frac{C_M}{C_E} - \left\{ \sum_i q_i \cdot (Y_i - \bar{Y}_i) + q_0 \right\} \dots \dots \dots (21)$$

$$\varepsilon_l = \Delta T - l_1 \cdot \frac{\Delta O_2}{W_{ST}} - l_2 \cdot \frac{W_H}{W_{ST}} - l_4 \cdot \Delta t - \left\{ \sum_i r_i \cdot (Y_i - \bar{Y}_i) + r_0 \right\} \dots \dots \dots (22)$$

ただし、 $\varepsilon_\alpha, \varepsilon_k, \varepsilon_l$: パラメーター α, k, l の推定誤差
ここで上記(20)式、(21)式の右辺中の真空酸素脱炭期終了時の溶鋼 C (C_M) については通常操業では実測しないので排ガス情報を用いて計算した。すなわち(23)式を用いれば C_M を計算することができる。

$$C_M = C_0 - \frac{100}{W_{ST}} \cdot \sum_M K \cdot (V_{CO} + V_{CO_2}) \cdot 12/22.4/1000 \dots \dots \dots (23)$$

ただし、

V_{CO}, V_{CO_2} : 排ガス中の CO 量, CO₂ 量 (Nm³/h)

(23)式中の $\sum_M$ は真空酸素脱炭期での積算をあらわす。また係数 K は本来は 1 の値をもつべきものであるが、排ガス情報による脱炭量積算方式をそのまま用いれば計測誤差などのために十分な計算精度が得られなくなるため、補正項として導入された係数であり、脱炭量積

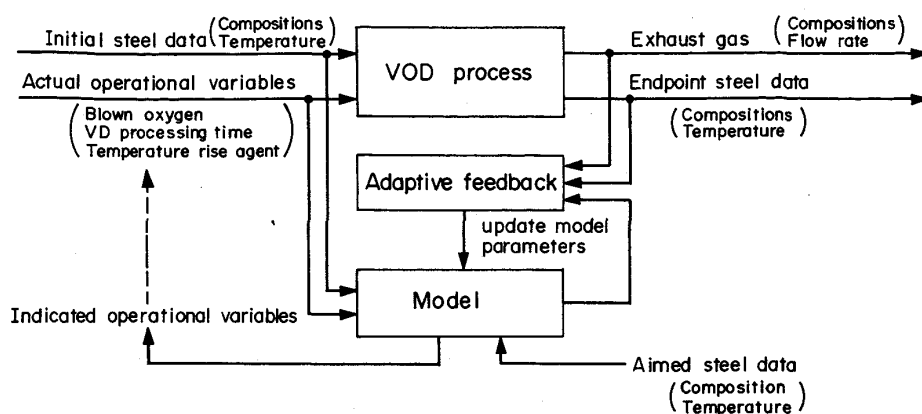


Fig. 9. Schematic diagram of control system.

算方式で計算された真空脱炭期終了時の溶鋼Cの値が実測値と一致するように逆算される。すなわち(24)式が成り立つような K を求めて、その値を(23)式に代入することにより C_M を計算する。

$$C_E = C_0 - \frac{100}{W_{ST}} \cdot \sum_E K \cdot (V_{CO} + V_{CO_2}) \cdot 12/22.4/1000 \quad (24)$$

ただし、(24)式中の $\sum_E$ は真空酸素脱炭期と真空脱炭期とを合わせた期間での積算をあらわす。

脱炭終了時に(20)～(22)式により求められた各パラメーターの推定誤差 $\varepsilon_\alpha, \varepsilon_k, \varepsilon_l$ の移動平均値を $\bar{\varepsilon}_\alpha, \bar{\varepsilon}_k, \bar{\varepsilon}_l$ とすれば、修正されたパラメーターはそれぞれ(25)～(27)式で表される。

$$\alpha = \sum_i p_i \cdot (Y_i - \bar{Y}_i) + p_0 + \bar{\varepsilon}_\alpha \quad (25)$$

$$k = \sum_i q_i \cdot (Y_i - \bar{Y}_i) + q_0 + \bar{\varepsilon}_k \quad (26)$$

$$l = \sum_i r_i \cdot (Y_i - \bar{Y}_i) + r_0 + \bar{\varepsilon}_l \quad (27)$$

上述のように修正されたパラメーター α, k, l を、既述の(8), (12), (17)式中の $C_M, C_E, \Delta T$ の代わりにそれぞれの目標値 $C_{MA}, C_{EA}, \Delta T_A$ を用いた下記(28)～(30)式に代入することにより、必要な操作量すなわち吹込み酸素量 ΔO_2 、真空脱炭処理時間 Δt 、および昇温剤量 W_H を算出することができる。

$$\frac{\Delta O_2}{W_{ST}} = h_n \cdot \frac{W_H}{W_{ST}} + \sum_i h_i (X_{i0} - X_{iE}) + \alpha \left\{ a_0 \cdot (C_0 - C_{MA}) + a_1 \cdot \log \frac{C_0}{C_{MA}} \right\} \quad (28)$$

$$C_{EA} = C_{MA} \cdot \exp(-k \cdot \Delta t) \quad (29)$$

$$\Delta T_A = l_1 \cdot \frac{\Delta O_2}{W_{ST}} + l_2 \cdot \frac{W_H}{W_{ST}} + l_4 \cdot \Delta t + l \quad (30)$$

Fig. 9は本制御方式の概念図を示したものである。

モデルによる真空脱炭期終了時の溶鋼C、昇温量の精度をFig. 10, Fig. 11に示す。

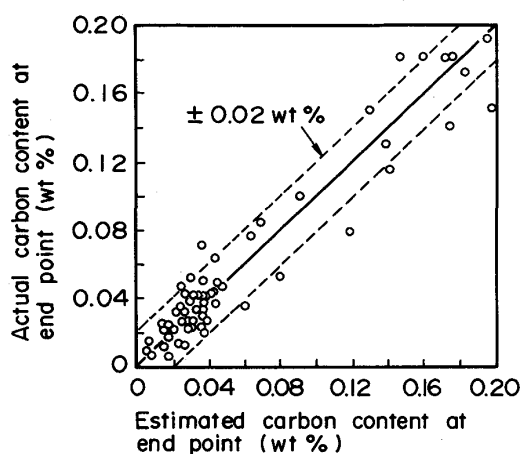


Fig. 10. Estimation accuracy of carbon content at end point.

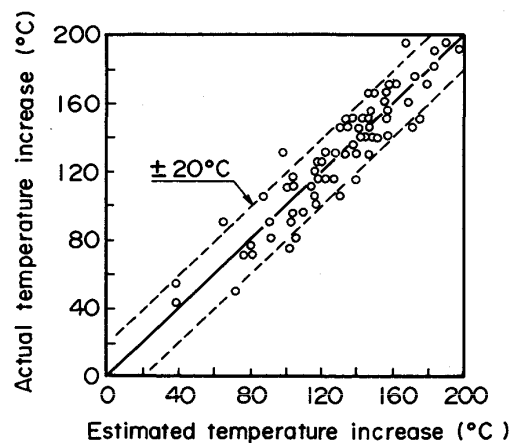


Fig. 11. Estimation accuracy of temperature increase.

4. 終点制御システム

前述の制御方式にもとづいて、マイコンを用いた終点制御システムを開発し、鋼管製造所鋼材工場に導入した。このシステムは、吹込み酸素流量、Ar流量、排ガス成

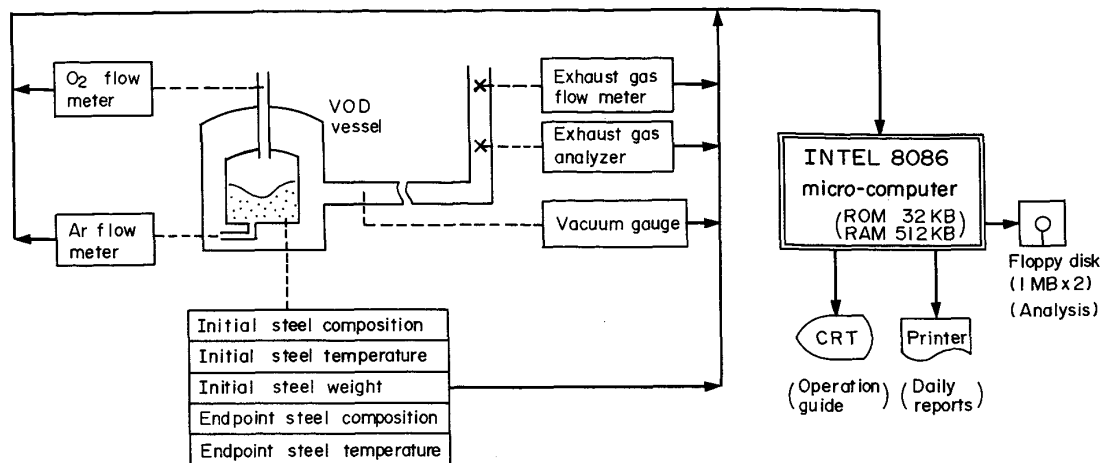


Fig. 12. Computer system of VOD process.

Table 1. Hitting accuracy (Standard deviation).

Item	Without model	With model
Endpoint carbon content	0.020 %	0.013 %
Endpoint temperature	24.9°C	12.2°C

分、排ガス流量、溶鋼関係の各種操業データを収集し、真空脱炭期終了時の溶鋼 C と溶鋼温度が所定の目標となるよう、真空酸素脱炭期の直前に必要な操作量すなわち吹込み酸素量、真空脱炭処理時間および昇温剤量を算出して CRT に表示するとともに、真空脱炭期終了後にモデル・パラメータの修正を行う機能を有している。Fig. 12 に本システムの概念図を示す。本システムの実用化により、Cr, Ni, Mo のレベルが種々の広範囲な鋼種の終点制御が可能になり、Table 1 に示すごとく、従来の現場操業者による場合と比較して溶鋼 C、溶鋼温度ともの精度が向上した。これにより、終点 C 目標の 0.007% 上方修正が可能となり、Cr 還元用 Fe-Si、媒溶剤の各投入量および吹込み酸素量の低減効果がもたらされた。

5. 結 言

従来 VOD 精錬の終点制御の研究は、排ガス分析値と真空度から終点を判定する方式や、質量分析計による排ガス情報を用いる脱炭量積算方式などが主であった。本研究では、真空酸素脱炭期と真空脱炭期とを解析対象区間として、溶鋼 C と溶鋼温度の制御を目的とした簡潔で汎用性のある数式モデルを開発する研究を行い、次の結果を得た。

(1) 真空酸素脱炭期では、低炭素領域および高炭素領域でのそれぞれの脱炭特性を考慮して、低炭素領域から高炭素領域までを包括した酸素消費量の式を作成した。

(2) 真空脱炭期では、溶鋼 C の量を処理時間に対応させて定式化した。

(3) 真空酸素脱炭期と真空脱炭期を統合した期間の昇温量を吹込み酸素量、真空脱炭処理時間と関係づけて定式化した。

(4) 上記三つの関係式における主要なパラメータを処理前溶鋼成分などの操業因子の関数として定式化した。

(5) 上記三つの関係式を核とし、これにパラメータの適応修正機能を付加して、脱炭終了時点における溶鋼 C と溶鋼温度を制御するための制御システムを開発した。

(6) 本システムを鋼管製造所鋼材工場に導入して実用化した結果、溶鋼 C、溶鋼温度の的中精度向上による過剰脱炭防止が可能となり、還元剤、媒溶剤の各投入量および吹込み酸素量の低減効果が得られた。

最後に、本研究に対して御支援、御指導をいただいた住友金属工業(株)前中央技術研究所所長西岡邦夫博士に深謝の意を表するとともに、有益な助言をいただいた制御技術センター制御 OR 部部长美坂佳助博士および鋼管製造所の技術者の方々の熱心な御討議に対しまして厚く感謝いたします。

文 献

- 1) 梶岡博幸, 竹内英麿, 片山裕之, 大野剛正, 佐藤信吾: 製鉄研究, (1977) 291, p. 12196
- 2) 桑野知矩, 斉田雄三, 佐野泰弘, 重松直樹, 星 記男, 荻原 弘: 日新製鋼技報, 43 (1980), p. 55
- 3) 斉田雄三, 小林敬二, 桑野知矩, 星 記男, 荻原 弘: 鉄と鋼, 67 (1981), S 913
- 4) 斉田雄三, 深沢格三, 上杉孝興, 星 記男, 衣笠雅吾: 日新製鋼技報, 51 (1984), p. 49
- 5) 梶井 明, 海老沢勉, 石井 彰, 天満英昭: 鉄と鋼, 68 (1982), S 206
- 6) 高輪武志, 片山勝美, 戸崎泰之, 布袋屋道則, 平山憲雄, 長沢尚人: 鉄と鋼, 70 (1984), S 895