

樋型連続製鋼炉出湯諸成分の挙動

岩崎 武*・磯部 裕*・藤川 安生*²
 渡辺 敏昭*³・福沢 章*⁴

Behavior of Components in the Molten Iron from the Trough Type Continuous Steelmaking Furnace

Takeshi IWASAKI, Yutaka ISOBE, Yasuo FUJIKAWA,
 Toshiaki WATANABE and Akira FUKUZAWA

Synopsis :

In the operation of continuous steelmaking plant (CSM process) manufacturing low carbon steel (0.18% C), temperature and analyses of various components, in addition to carbon, of molten iron have been obtained at the cupola outlet and at the steelmaking furnace outlet every 30 min. successively for more than 24 h. Behavior of the components in the molten iron at the steelmaking furnace outlet was investigated concerning to the mean value and the variation of the data taken at that occasion. Principal results are as follows :

(1) 88-94% of oxygen supplied were consumed for decarburization. Mean value of Mn and P in molten iron were close to their equilibrium concentration with slag, while Cr content in molten iron was less than that deduced from slag composition.

(2) Variation at outlet was composed of 3 factors ; contribution of inlet variation, effect of oxygen flow rate and variation brought about in the furnace. Influence of inlet variation on outlet variation was negligible for C and temperature, considerable for Cr, Mn and P, and predominant for Ni and Cu. An increase of oxygen flow rate decreased C, but raised Cr, Mn, P contents as well as metal temperature at outlet.

Key words : continuous steelmaking ; trough type furnace ; oxygen steelmaking ; component ; equilibrium ; variation.

1. はじめに

スクラップを原料として連続製鋼を行うプロセス (CSM プロセス) の実証プラント (20 t/h 規模) を用いて, 1983 年 11 月より約 14 か月の間 30 回以上にわたって鉄筋コンクリート用棒鋼製造のための操業を行った^{1)~4)}. 本プロセスの酸化精錬工程に, 金材技研で試みられた樋型連続製鋼炉⁵⁾を原形として開発した精錬炉を用いたが, その主な目的がプラントの操業性, 経済性を把握することにあつたので, 通常操業においては出口で溶湯のサンプリングを行って燃焼法で C 濃度を分析し, それに基づいて酸素流量を調節した.

このような中にあつて本報告で対象とした操業では, C 以外の成分の挙動を調べる目的で, 試験的に供給する

溶銑と精錬炉から出る溶湯の成分を 30 min ごとにカントバックで分析した. 本報告はこれらの分析値と出湯温度および酸素流量の記録を用いて, 酸素流量と供給する溶銑の諸成分が精錬炉出口の諸成分・温度に及ぼす影響について統計処理による検討を試みたものである.

2. 装置の概要と精錬炉内の状況

CSM プロセスの設備は Fig. 1 に示す諸装置から構成されている. この設備においてキュポラでつくられた原料溶銑は脱硫後溶銑保持炉に入り, そこからは定量供給タンデッシュによつて一定の流量となつて精錬炉に入る. 精錬炉で脱炭昇温し, 脱酸過程を経て調整炉に入った溶鋼は, ここで成分・温度を調整したのち, 連続铸造設備により 100 mm 角のピレットとなる. なお全プロセ

昭和 62 年 8 月 21 日受付 (Received Aug. 21, 1987)

* 元三菱重工業(株) (Formerly Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.)

*² 三菱重工業(株)広島製作所 (Hiroshima Machinery Works, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.)

*³ 金属材料技術研究所 (National Research Institute for Metals)

*⁴ 金属材料技術研究所 工博 (National Research Institute for Metals, 2-3-12 Nakameguro Meguro-ku, Tokyo 153)

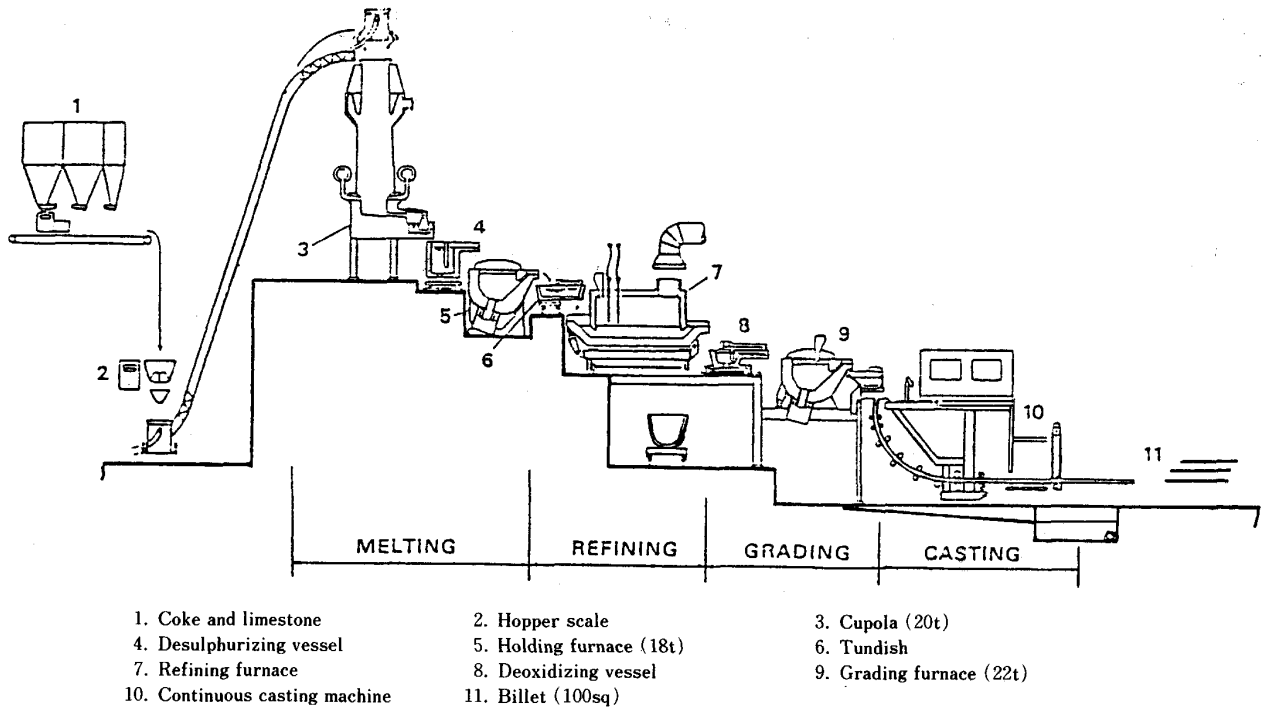
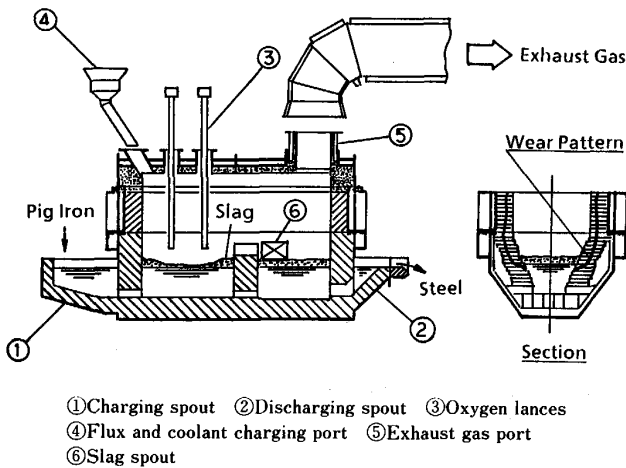


Fig. 1. Schematic flow diagram of CSM process.



①Charging spout ②Discharging spout ③Oxygen lances
④Flux and coolant charging port ⑤Exhaust gas port
⑥Slag spout

Fig. 2. Refining furnace.

スは一貫連続しており、溶湯の流れは重力によるため、各設備の溶湯面の位置は下流にいくほど低くなっている。

精錬炉はマグネシア・クロマイトライニング製で Fig. 2 に示すような形をしており、炉内長 2.8 m、溶湯深さ 450 mm、滞留量約 6.5 t である。酸素は入口寄りの 2 本のランスから上吹きし、造滓材はシュートから連続的に供給する構成とした。酸素流量は手動で調節したが、精錬炉出口の C 濃度は調整炉の平滑効果により製品として差支えない範囲に収めることができた。また出湯温度はこの操業ではほとんど調整炉で制御できる範囲に入っていた。

精錬炉からの溶湯の流れには‘息つき’はみられず、造滓材投入口などから炉内を観察すると、ランス直下からスプラッシュが発生しており、全面で沸騰しているがフォーミングはなく、スラグ面は安定していた。炉のライニングの侵食状況も Fig. 2 にみられるようにスラグ-メタルの界面が比較的一定していることを示している。これらのことから炉内の溶湯量はほぼ一定とみなしてよいと思われる。また精錬炉内の混合状態を調べるため Ni 粉をトレーサーとして受湯口に投入し、出湯口でサンプリングしてインパルス応答を測定した結果、ほぼ完全混合槽とみなしうることがわかった。このことは流入する溶鉄の温度が 1500°C 程度であるのに対し、本操業中に数回試みた炉内計測で、受湯口側の壁付近で既に 1600°C 以上を示すことや、同位置における C 濃度が 0.4~0.7% 程度しかなく、排滓口近くでは出湯成分に近い値であったことから裏付けられた。

3. 測定値と解析方法

溶湯のサンプリングと測温はキューポラ出口、すなわち脱硫槽入口（以下、入口と略す）と精錬炉出口（以下、出口と略す）で、それぞれ 30 min ごとに実施した。これらの測定値について時間経過を含めた解析を行うには、その記録を時系列として取り扱う必要がある。そのために検討の対象には‘データ A’として操業を開始してから定常状態に達した後の約 35 h と、‘データ B’と

して3日目の約24hの切れ目のない測定値を時系列とし、対応する酸素流量も30minごとの平均値を時系列として使用した。主要な操業条件をTable 1に、各データに関する平均値(X_m)、標準偏差(σ_X)の値をTable 2に、その記録の一部をFig. 3に示す。

Table 1. Operating conditions.

Flow rate of molten iron		18.9 t/h
Flux	CaO B. O. F. slag	13.5 kg/t-steel 25.0 kg/t-steel
Lances	Nozzle diameter Height above molten iron	11 mm 300 mm

Table 2. Summary of inlet and outlet data.

Data A : No. of records=70

	X_m	σ_X	σ_a	Range of X_m (min)~(max)	σ_o/σ_i	
					Meas.	Calc.
Q_o (Nm ³ /min)	7.96	1.00	—	—	—	—
C (%)	2.72 0.18	0.13 0.10	0.11 0.10	2.70~2.75 0.16~0.20	0.80	0.66
Ni (%)	0.062 0.058	0.007 0.004	0.007 0.003	0.060~0.063 0.057~0.058	0.51	0.58
Cu (%)	0.183 0.188	0.018 0.014	0.015 0.010	0.180~0.187 0.185~0.190	0.81	0.74
Cr (%)	0.115 0.145	0.022 0.034	0.016 0.015	0.112~0.119 0.141~0.148	1.55	0.79
Mn (%)	0.167 0.164	0.045 0.049	0.033 0.033	0.159~0.175 0.156~0.172	1.04	0.76
P (%)	0.025 0.023	0.002 0.013	0.002 0.007	0.025~0.026 0.021~0.024	6.67	0.56
Temp. (°C)	1521 1669	20 25	14 20	1518~1524 1664~1674	1.25	0.71

Data B : No. of records=47

	X_m	σ_X	σ_a	Range of X_m (min)~(max)	σ_o/σ_i	
					Meas.	Calc.
Q_o (Nm ³ /min)	8.32	0.98	—	—	—	—
C (%)	2.68 0.18	0.18 0.10	0.11 0.09	2.65~2.72 0.16~0.21	0.58	0.83
Ni (%)	0.064 0.058	0.007 0.003	0.005 0.002	0.062~0.065 0.058~0.059	0.42	0.59
Cu (%)	0.193 0.194	0.016 0.014	0.011 0.009	0.190~0.197 0.191~0.197	0.87	0.81
Cr (%)	0.124 0.132	0.018 0.017	0.011 0.008	0.120~0.128 0.129~0.135	0.98	0.77
Mn (%)	0.147 0.154	0.040 0.038	0.024 0.033	0.139~0.155 0.144~0.164	0.96	0.73
P (%)	0.025 0.018	0.003 0.006	0.002 0.003	0.025~0.026 0.017~0.019	2.28	0.75
Temp. (°C)	1505 1623	25 26	20 19	1499~1511 1617~1629	1.04	0.67

Upper figure : Inlet / Lower figure : Outlet

Q_o : Oxygen flow rate

X_m : Mean value

σ_X : Standard deviation (Measured)

σ_a : Standard deviation (White noise)

σ_o/σ_i : Ratio of outlet/Inlet standard deviation

Meas. : Derived from measurements

Calc. : Calculated value, assuming 2 mixed tanks

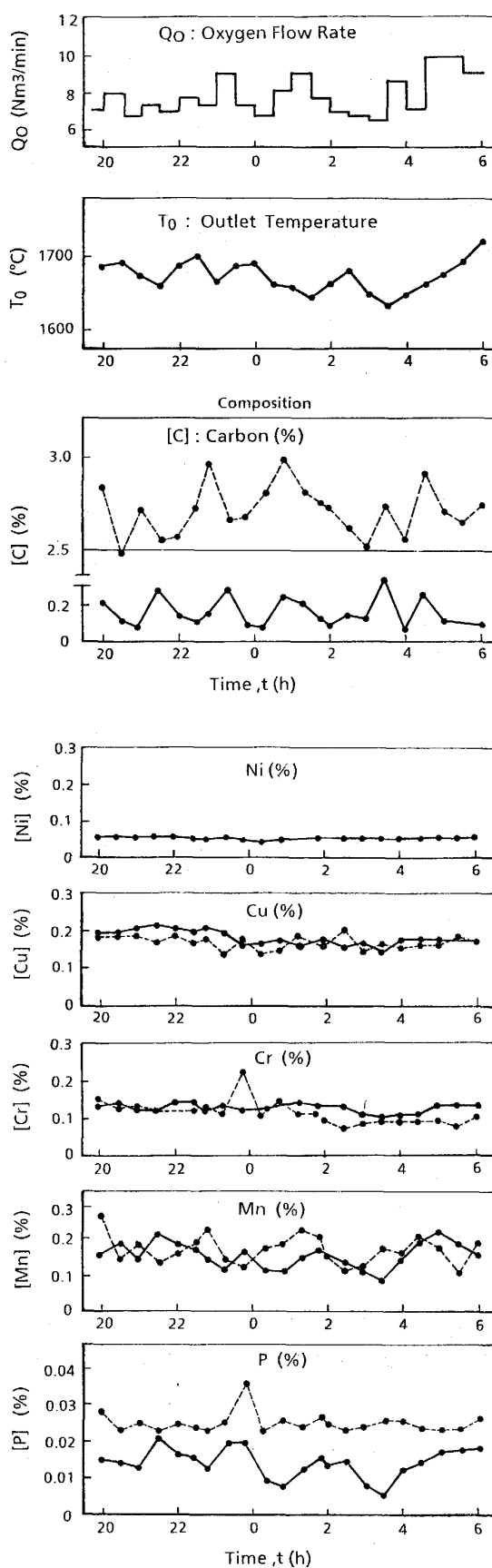


Fig. 3. Variations in oxygen flow rate, outlet temperature and composition of molten iron.

Table 3. Example of slag composition (mass %).

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	Cr ₂ O ₃	Total Fe	FeO	P ₂ O ₅
CSM slag	48.2	16.3	2.97	7.19	3.31	0.93	13.08	8.66	1.41
B. O. F. slag	43.2	15.0	1.33	7.19	5.49	0.38	15.90	14.80	2.41

なお Si, Al は出口の値が分析精度以下であり, また S は脱硫槽で除去しているため対象外とした。

定常操作の場合でも各測定値は Fig. 3 にみられるように時間とともに不規則な変動を示すので, それらを平均値と変動 (平均値からの偏差) とに分けて検討することにした。したがって各測定値から平均値を差し引いた変動分が時間とともに変わる時系列となる。このような時系列の i 番目の値 $x(i)$ を, それ以前の j 個の値 $x(i-1)$, $x(i-2)$, ..., $x(i-j)$ と, ランダム変動を発生するホワイトノイズ $\alpha(i)$ の線形結合で表現する次数 j の自己回帰モデル

$$x(i) = \phi_1 x(i-1) + \phi_2 x(i-2) + \dots + \phi_j x(i-j) + \alpha(i) \dots \dots \dots (1)$$

に解析の対象としたデータの適用を試みた結果, 定数 ϕ を適当に選ぶことにより, いずれも $3 \leq j \leq 1$ の範囲で $\alpha(i)$ がほぼホワイトノイズとなり, いわゆる定常ランダム過程とみなしうることが分かった⁶⁾⁷⁾。 $\alpha(i)$ の平均値は 0 であるが, その標準偏差 (σ_α) は Table 2 に記したような値となった。各データを (1) 式に代入して $\alpha(i)$ の時系列とすると, $i \neq k$ で $\alpha(i)$ と $\alpha(k)$ が無相関となることから無作為標本とみなして母集団の推定ができる⁸⁾。たとえば標本数 N 個からなる 2 組のデータについて, まず (1) 式でそれぞれのホワイトノイズからなる時系列を求め, その相関係数 (ρ ; $-1 < \rho < 1$) を計算した場合, 母集団の相関係数が 0 のときでも, 標本数 $N=70$, 47 に対してそれぞれ ± 0.24 , ± 0.29 の ρ が現れることがありうる (5% 危険率)。したがって以下に述べる変動の検討にはこのモデルを利用し, 相関の有無は 'データ A', 'データ B' について, それぞれ $\rho = \pm 0.24$, ± 0.29 を基準に判断した。また生成したスラグについては時系列データが得られなかつたため, 数個の分析値の平均を検討対象として用いた。その値を, 造滓材に用いた転炉スラグの分析値とともに Table 3 に記した。

4. 検討結果と考察

4.1 出湯成分の平均値

4.1.1 物質収支

脱硫槽入口と精錬炉出口における溶湯成分の平均値 (X_m) を Table 2 の上下段にそれぞれ示したが, C 以外の成分では目立つた差はないように見える。その差を定

Table 4. Approximate oxide balance for Cr, Mn and P (kg/t-steel).

		Cr ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅
Slag	Input (as BOF slag)	0.10	1.37	0.60
	Output (as CSM slag)	0.47	1.66	0.71
	Increase in the furnace	0.37	0.29	0.11
Liquid iron	Decrease in the furnace*	-0.33	0.06	0.10

* Converted into corresponding oxide

量的に比較するために, 5% の危険率で母集団の平均値の範囲を推定すると⁸⁾ 同様に Table 2 に記すような値となり, Cu, Mn については出入口で平均値の範囲が重なる部分があるが, その他の成分, 例えば Cr は増加し, P およびわずかではあるが Ni は減少する傾向が認められる。

出入口 C 濃度の差と溶湯流量から脱炭量を求め, 酸素流量と比較してみると, 脱炭酸素効率 は 'データ A', 'データ B' についてそれぞれ 94%, 88% となる。

また造滓材として投入した CaO 量が生成したスラグ中の CaO 量に等しいものとして Table 1 に記した投入量と Table 3 に記した分析値から生成スラグの量を推定すると, 約 50 kg/t-steel となる。これらの値を用いて Cr₂O₃, MnO, P₂O₅ について投入した転炉スラグ中の量, 生成スラグ中の量, ならびにその差と, 溶湯成分の出入口濃度差を酸化物の質量に換算した値を Table 4 に記した。この結果によると, Mn, P については溶湯とスラグの間ではほぼ収支の均衡がとれているが, Cr では均衡が失われており, その原因は耐火物の損耗によるものとみられる。

4.1.2 平衡値との関係

出湯成分の平均値とスラグ組成との平衡関係をみるために 'データ A', 'データ B' について Table 2 に記した平均出湯温度において, Cr, Mn, P の平均出口濃度と平衡するスラグの条件を推定して Table 3 に記したスラグ成分の実測値と比較してみる。(以下の計算結果で二つの数値の組は, それぞれ 'データ A', 'データ B' に対応する)

Cr:

$$\left. \begin{aligned} \text{FeCr}_2\text{O}_4(\text{s}) &= \text{Fe}(\text{l}) + 2\text{Cr} + 4\text{O} \\ \log[\text{Cr}]^{\frac{1}{2}} [f_{\text{O}} \times \% \text{O}] &= \\ &= -12690/T + 5.41 \end{aligned} \right\} \dots \dots (2)$$

の関係式⁹⁾ から $f_o \approx 1$ として $[O\%] = 0.20, 0.14$ が得られる. また Fe-O系の関係¹⁰⁾

$$\log [\% O] = -6320/T + 2.734 \dots\dots\dots (3)$$

からは $[\% O] = 0.30, 0.25$ となるので, 実測した Cr 濃度と平衡する FeO の活量は 0.66, 0.56 となる.

一方スラグの分析値からは $a_{FeO} \approx 0.40$ 程度と推定される¹¹⁾ ので, Cr はスラグとの平衡値より低かつたものとみられる.

Mn :

$$\left. \begin{aligned} \underline{Mn} + (FeO) &= (MnO) + Fe(l) \\ \log \frac{a_{MnO}}{a_{FeO}} \cdot \frac{1}{[\% Mn]} &= \frac{7406}{T} - 3.436 \end{aligned} \right\} \dots\dots (4)$$

の関係式¹²⁾ から $a_{MnO}/a_{FeO} = 0.39, 0.45$ が得られる. 一方スラグの分析値からは, この値が $0.15/0.40 \approx 0.38$ 程度となり¹¹⁾¹²⁾, かなり良い一致を示している.

P :

$$\left. \begin{aligned} 2P + 5(FeO) &= (P_2O_5) + 5Fe(l) \\ \log \frac{(\% P_2O_5)}{[\% P]^2 (\% \Sigma FeO)^5} &= \\ &10.78 \log (\% CaO) - c \end{aligned} \right\} \dots\dots (5)$$

$c = 21.10(1669^\circ C), 20.73(1623^\circ C)$

の関係式¹³⁾ から $(FeO)_l = 19, 18\%$ が得られ, スラグ分析からの値 17% とよく一致している.

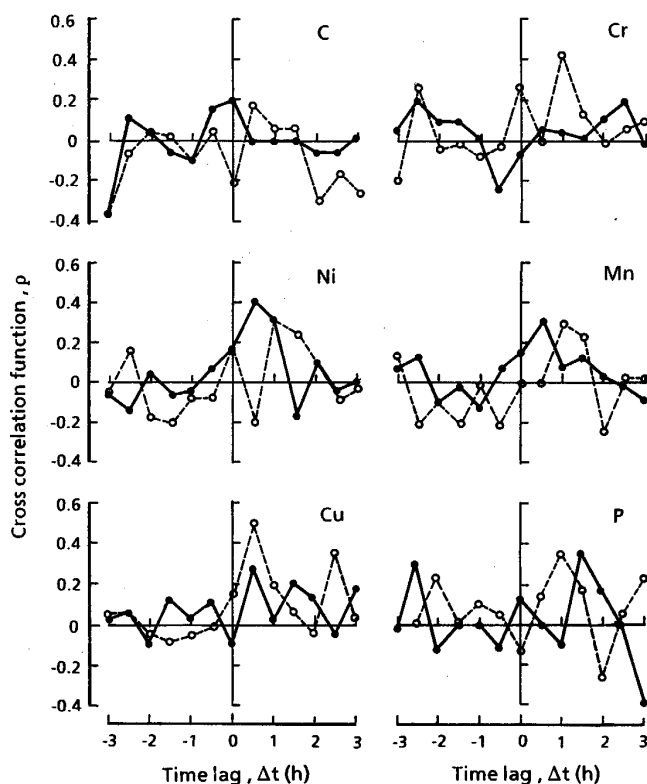
以上のことから精錬炉出口溶湯中の Mn, P の平均値はスラグとの平衡に近かつたものと推測される.

4.2 出湯成分の変動

4.2.1 入口成分変動の影響

一般に定常ランダム過程が反応を伴わない完全混合槽を通過すれば, 平均値は変わらず, 分散が減少し, その程度はパワースペクトル分布に依存し, 槽内平均滞留時間に比べて周期が長い成分ほど減少しにくい. 溶銑保持炉と精錬炉を, それぞれ平均滞留時間 40 min, 20 min の反応を伴わない完全混合槽とみなし, 入口における対象成分の変動がこれらの炉を通過した時にどの程度減少するかを試算した. その結果が Table 2 に "Calc." として記した '標準偏差の出入口比' (σ_o/σ_i) の値で, これを "Meas." と記した実測値の σ_o/σ_i と比較すると, Ni, Cu は計算値と実測値に大差がないのに対し, Cr, Mn 特に P では実測値の方が大きい. このことは炉内で単に混合がおこるだけでなく, これら 3 成分については変動, すなわち反応がおこっていたことを意味している. 溶銑保持炉では Cr, Mn, P に関する反応は無視し得ると考えられるから, 変動の発生源は精錬炉に絞られる.

入口の変動が出口におよぼす影響を時間経過のなかでみるために, 各成分について入口と出口の相関係数を時



●—● for Data A ○-○-○ for Data B
 $\Delta t > 0$; Outlet composition is delayed
 $\Delta t < 0$; Inlet composition is delayed

Fig. 4. Cross-correlation function between inlet and outlet composition in molten iron.

間遅れ (Δt ; 刻み数 $k \times 30$ min) の関数として表現する相互相関関数 ($\rho(k)$) の形で Fig. 4 に示した. この結果によると C の変動に関しては出入口の相関がほとんど認められない. 保持炉における反応は Cr などと同様に無視しうることから, このことは C の変動の主原因が精錬炉内にあつたことを意味している. 周波数分析によると, 入口変動のパワースペクトルが主として 5 h 以上の長周期成分からなるのに対し, 出口成分には比較的短い周期の成分が多いことがわかつた. したがって入口での変動は制御によって打ち消され, 出口では炉内で発生する変動に比べて無視できる程度に減少したものと考えられる. また Fig. 4 から Ni, Cu, Mn, P については出口が入口に 30~90 min 程度遅れて相関が認められ, 炉内で変動が存在していても, 入口の影響が出口に現れることがわかる. この遅れは溶銑保持炉と精錬炉の平均滞留時間の和, 40~80 min に相当している.

さらに入口温度変動が出口諸成分に及ぼす影響をみるためにそれらの相関関数を求めたが, その値はほとんど 0.2 以下で相関は認められなかつた.

4.2.2 酸素流量変動の影響

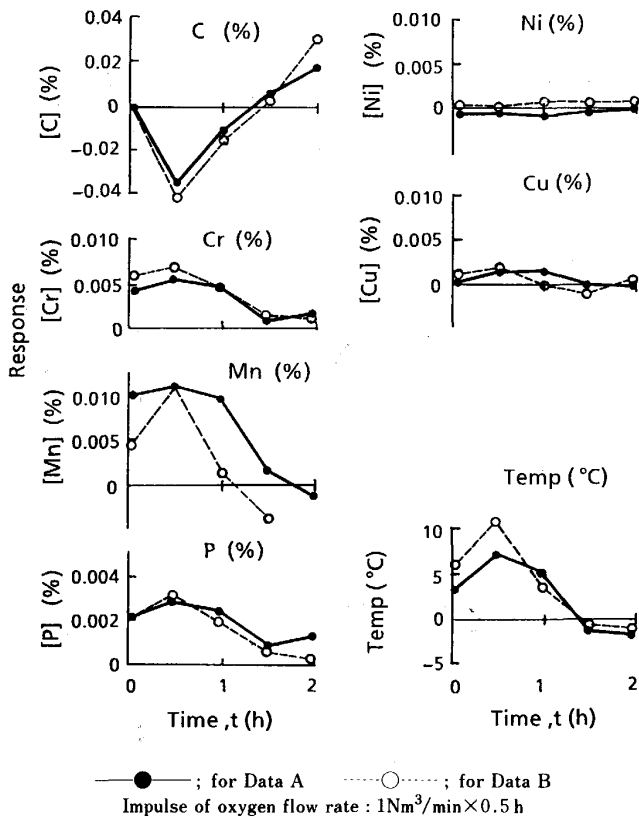


Fig. 5. Impulse response of composition and temperature in outlet molten iron to oxygen flow rate.

酸素流量が出口成分・温度に及びす効果を調べるために、それらの測定値の時系列からインパルス応答を計算した。それによると Fig. 5 に示すように $1 \text{ Nm}^3/\text{min} \times 30 \text{ min}$ の酸素流量の増加に対して出口C濃度は0.04%程度しか減少しないという結果となった。操業中の平均としては、酸素流量が約 $8 \text{ Nm}^3/\text{min}$ のときの総脱炭量が約2.5%であることからみて、これはかなり低い値といえるが、本操業における目標Cが0.18%という、反応界面へのCの移動が脱炭反応を律速する濃度領域にあつたためと考えられる¹⁴⁾。

同じく Fig. 5 によると Ni, Cu は酸素流量変動の影響をほとんど受けないが、Cr, Mn, P および出湯温度はいずれもよく似た挙動を示し、 $1 \text{ Nm}^3/\text{min} \times 30 \text{ min}$ の酸素流量の増加に対し30min遅れて、Cr:0.006%, Mn:0.01%, P:0.003%, 温度7~11°C程度の最大値に達する正応答があり、その影響が60minまで及ぶという傾向を示している。このことはまたCr, Mn, Pが各成分相互間に相関をもつとともに、温度とも相関をもっていたことを示唆している。

このような関係を裏付けるためにC, Cr, Mn, Pについて、成分間の相互相関係数を、ここでいう入口、す

Table 5. Cross-correlation function of components in molten iron at lag=0.

Data A					Data B				
	C	Cr	Mn	P		C	Cr	Mn	P
C	1.00	0.17	0.65	0.24	C	1.00	0.36	0.62	0.26
	1.00	-0.14	-0.22	-0.26		1.00	-0.02	0.07	-0.09
Cr		1.00	0.38	0.38	Cr		1.00	0.57	0.02
		1.00	0.42	0.72			1.00	0.21	0.65
Mn			1.00	0.13	Mn			1.00	0.28
			1.00	0.56				1.00	0.08
P				1.00	P				1.00
				1.00					1.00

Upper figure : Inlet / Lower figure : Outlet

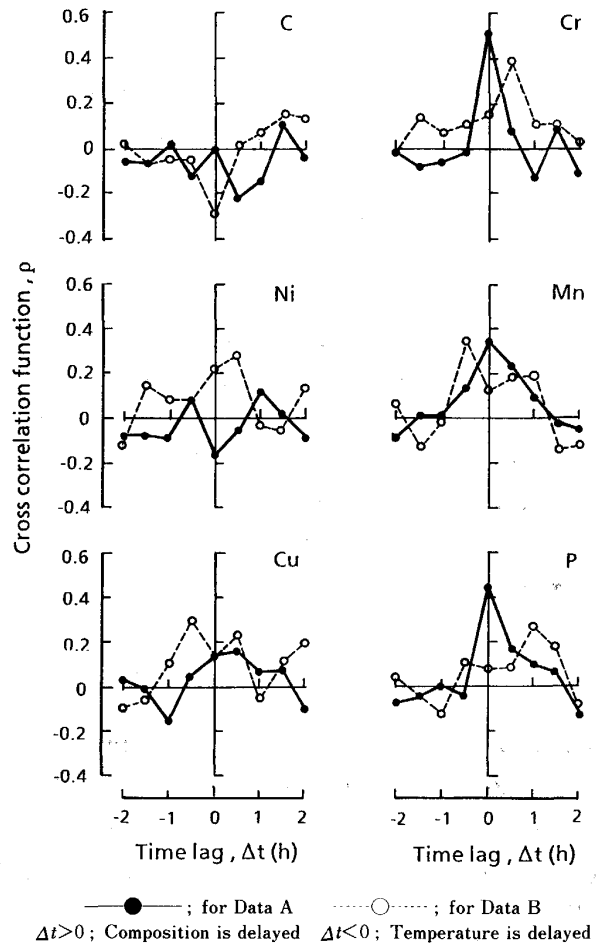


Fig. 6. Cross-correlation function between composition and temperature in outlet molten iron.

なわちキュボラ出口と、精錬炉出口とで比較した結果が Table 5 である。入口(上段)と出口(下段)の値を比べると、両データに共通して入口で高い相関を有していたCとMnの関係が出口で失われたこと、また精錬炉出口ではCrとPに高い相関を生じたことがわかる。

次に、出湯温度と出口成分の相関関数をみると、Fig. 6 に示すようにCr, Mn, Pについては‘データA’、‘データB’で傾向は異なるが、温度上昇に伴っていずれも増

加することが認められた。酸素吹精量の増加により、各成分の酸化、とくに酸化鉄の生成が進むと考えられるが、他方では Fig. 5 にみられたように酸化反応による浴温の上昇が併行して起こっていたことが明らかになった。ここで Cr, Mn, P について溶湯の温度変化が鋼中の平衡濃度に及ぼす影響をみるために、前出の(2)~(5)の関係式を用い、スラグの組成に関する項を一定として温度 T で微分した後、平均出湯温度、平均出口成分の値を代入して、温度が 10°C 上昇した場合の鋼中濃度の増加を試算すると、Cr:0.01%, Mn:0.007%, P:0.002% という結果が得られた。これらの値は Fig. 5 の濃度増加分とほぼ一致しており、この操業条件においては酸素吹精量の増加が Cr, Mn, P に対しては酸化反応の進行よりも、浴温の上昇による鋼中濃度の増加により大きく寄与したものと考えられる。

4.2.3 出湯成分の変動要因

C 以外の 5 成分の出口における変動は三つの要素、すなわち [1] その成分の入口での変動, [2] 酸素流量に起因する変動および [3] 炉内状況の変化に基づく上記以外の変動から合成されたものと考えられる。これらの影響の目安として [1] については Table 2 に記した入口の σ_x と σ_o/σ_i ("Calc.") から、入口と出口の間に変動の発生がない場合の出口の標準偏差 (σ_1) を、 $\sigma_1 = \sigma_x \times \sigma_o/\sigma_i$ として計算し、また [2] については酸素流量変動に対する各成分のインパルス応答 (Fig. 5) から、酸素流量が出口成分にもたらす変動の標準偏差 (σ_2) を求め、実測した出口の標準偏差 (σ_x) と併せて Table 6 に記した。

各成分について σ_1 , σ_2 および σ_x の大きさを比較すると、出口での変動は Ni, Cu ではほとんど入口変動に起因するが、P の場合には酸素流量変動の影響が大きく、Cr, Mn はその中間にあるが入口変動の影響の方が大きいことがわかる。またこれらの 3 成分については σ_1 , σ_2 に比べて σ_x が大きいことから、入口変動、酸素流量変動以外の炉況変動要因が影響しているものと考え

られる。

この解析では 30 min 間隔のサンプリングによるデータを用いたので、1 h 以上の周期をもつ変動のみが対象となっている。このように緩やかに変動する現象として、操業中排滓がかなり不規則で必ずしも連続流とならず、しばしば間歇状態になることや、排気口上での排ガスの燃焼状態が変化すること、また定量供給タンデッシュからの溶湯流が変動すること等が観察された。これらの現象を参考にして炉内で発生する変動の要因を考えると次のような項目が挙げられる。

- (a)スラグ:組成, 物理的性状, 滞留時間および炉壁への付着と炉壁からの流下状態の変化
 - (b)溶湯:定量供給タンデッシュに用いたノズルの有効径が変化することによる流量の変化
 - (c)雰囲気:周辺空気の吸引によつて起こる炉内での燃焼状態の変化
 - (d)ランス:変形や付着物による酸素流れの変化
- しかしこれらの変化は定量的な把握が困難で、この解析結果に表れた変動の主要原因を明らかにすることはできなかった。

5. おわりに

CSM プロセスの実証プラントで低炭素鋼を作るための操業が行われた際の、脱硫槽入口、精錬炉出口における溶湯諸成分の分析値、温度と酸素流量の 30 min ごとの測定値を平均値と変動に分け、スラグ組成の平均値を使つてそれらの関係を検討した。その結果明らかになった溶湯の諸成分・温度に関する主な事項は次のとおりである。

- (1)脱炭酸素効率は 88~94% であつた。Mn, P は溶湯、スラグについての収支がほぼ均衡していたが、Cr に関しては耐火物の損耗分がスラグに入ったものとみられ、溶湯中、スラグ中で共に増加を示した。
- (2)精錬炉出口溶湯中の Mn, P の平均値はほぼスラグ組成と平衡しており、この操業条件では Mn は出入口でほとんど変わらず、P は出口で幾分減少した。Cr の平均値は出口で増加しているが、スラグとの平衡には達していなかつた。

(3)精錬炉出口での成分・温度の変動は、その成分・温度の入口での変動と酸素流量変動、および炉内で発生するとみられるこれら以外の変動の 3 要素に起因するものと考えられる。Ni, Cu については入口変動の影響が大部分を占め、Cr, Mn については入口変動の影響が酸素流量変動に比べて大きく、P では酸素流量変動の影響の方が大きかつた。C, 温度では入口変動の影響は出口

Table 6. Contribution of the variation in inlet concentration and in oxygen flow rate to the variation in outlet concentration of molten iron.

	Data A			Data B		
	σ_x	σ_1	σ_2	σ_x	σ_1	σ_2
Ni	0.004	0.004	0.001	0.003	0.004	0.001
Cu	0.014	0.013	0.002	0.014	0.013	0.003
Cr	0.034	0.017	0.008	0.017	0.014	0.010
Mn	0.049	0.033	0.017	0.038	0.029	0.016
P	0.013	0.001	0.004	0.006	0.002	0.004

σ_x : Standard deviation of variation in outlet, measured (%)
 σ_1 : Standard deviation, due to the variation in inlet (%)
 σ_2 : Standard deviation, due to the variation of oxygen flow rate (%)

では認められなかった。

(4) 酸素流量の増加により出口での C は減少したが, Cr, Mn, P および温度はいずれも増加する傾向を示し, 時間経過に伴う挙動はよく似ていた。これらの 3 成分の増加には浴温の上昇が寄与したものと推測される。

文 献

- 1) R. NAKAGAWA, S. YOSHIMATSU, T. IWASAKI, Y. FUJIKAWA: *Iron Steel Eng.*, **61** (1984), p. 57
- 2) 大多和公昭, 藤川安生, 大林省三, 小林 隆: *三菱重工技報*, **21** (1984), p. 765
- 3) K. OHTAWA, T. KOBAYASHI, Y. FUJIKAWA: *6 th Process Technology Conference, Proceedings* (1986), p. 1094
- 4) 吉松史朗: 第 114・115 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編) (1986), p. 283
- 5) 中川龍一, 吉松史朗, 上田卓弥, 福沢 章, 佐藤 彰, 尾崎 大: *鉄と鋼*, **59** (1973), p. 414
- 6) 赤池弘次, 中川東一郎: *ダイナミックシステムの統計的解析と制御* (1972), p. 50 [サイエンス社]
- 7) G. E. P. BOX and G. M. JENKINS: *Time Series Analysis, forecasting and control* (1976) [Holden-Day]
- 8) 増山元三郎: 少数例の纏め方と実験計画の立て方 (1949), p. 35, p. 58 [河出書房]
- 9) J. CHIPMAN: *J Iron Steel Inst.*, **180** (1955), p. 97
- 10) C. TAILOR and J. CHIPMAN: *Trans. AIME*, **154** (1943), p. 228
- 11) E. T. TURKDOGAN and J. PEARSON: *J Iron Steel Inst.*, **173** (1953), p. 217
- 12) E. T. TURKDOGAN and J. PEARSON: *J Iron Steel Inst.*, **175** (1953), p. 393
- 13) K. BALAJIVA and P. VAJRAGUPTA: *J Iron Steel Inst.*, **155** (1947), p. 563
- 14) 第 3 版 *鉄鋼便覧 II* (日本鉄鋼協会編) (1979), p. 472 [丸善]