

三元系では  $A_{CaO}$  をそのまま使用し、 $A_{CaO}$  は  $a_{CaO}$  に近い値であると述べている。同氏らの  $A_{CaO}$  は筆者の  $a_{CaO}$  に近い。ただし  $A_{CaO}$  線図では筆者の  $a_{CaO}$  線図に比べ、大部分の線が右下りになっている。これは鉍滓が含有する S によるものと考えられる。同氏らの CaO-SiO<sub>2</sub>-MgO 系の実験結果を例にとると、CaO/SiO<sub>2</sub> が同じ鉍滓では、MgO 含有量の多いものほど、S 含有量が増加している。筆者は前報<sup>1)</sup>で鉍滓中に S が少量入つても、 $a_{CaO}$  が急速に低下することを示している。

## VI. 結 言

以上 CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO-SiO<sub>2</sub>-MgO および CaO-SiO<sub>2</sub>-MnO の各三元系について、1600°C の  $a_{CaO}$  を前報<sup>1)</sup>と同じ電気化学的方法で、直接測定したが、要約すればつぎのごとし。

1. 三つの三元系の各鉍滓と、CaO-SiO<sub>2</sub> 系、CaO/SiO<sub>2</sub>=0.6 の鉍滓との中の起電力を測定し、これら前同様にして、 $a_{CaO}$  を求めた。
2. 鉍滓の CaO/SiO<sub>2</sub> と  $a_{CaO}$  との関係から、第三成分の挙動が分つた。
3. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は鉍滓の CaO/SiO<sub>2</sub> がほぼ 1.08 を境として、両性の挙動をする。CaO/SiO<sub>2</sub>=1.08 以下では塩基成分として、以上では酸性成分として作用する。
4. MgO, MnO は 1600°C の実験範囲全体にわたり、いずれも塩基性成分として挙動する。
5. CaO-SiO<sub>2</sub> 二元系に添加される第三成分の影響を

定量的に求めるため、対応塩基度  $(CaO/SiO_2)_R$  なる量を導入した。鉍滓の CaO/SiO<sub>2</sub> と  $(CaO/SiO_2)_R$  との間にはつぎの関係がある。

$$(CaO/SiO_2)_R = B[(CaO/SiO_2) - A] + A$$

B は第三成分の種類と含有量による定数、A は第三成分の種類による定数である。これを用い、第三成分を任意量含む鉍滓の  $a_{CaO}$  を求めることができる。

6. 以上の三つの三元系について CaO の等活量線図を作製した。

終りに本実験に対して、終始御指導を載いた九州大学工学部伊藤尚先生、御助言を載いた八木貞之助先生、並びに実験や分析に協力された山口勝也、石黒幸男その他の諸氏に厚く感謝の意を表する。(昭和36年6月寄稿)

## 文 献

- 1) 沢村企好, 鉄と鋼, 47 (1961), p. 1873~1878
- 2) 松下幸雄: 鉄と鋼, 38 (1952), p. 118~121
- 3) L. C. CHANG and G. DERGE: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met & Pet. Eng., 172 (1947), p. 90~120
- 4) 大森, 三本木: 日本金属学会誌, 25 (1961) 2, p. 139~143
- 5) M. R. KALYANRAM, T. G. MACFARLANE, and H. B. BELL: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 195 (1960), p. 58~64
- 6) P. T. CARTER and T. G. MACFARLANE: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 185 (1957), p. 54~66

## 脱燐におよぼす吹錬条件の影響について\*

(純酸素転炉の脱燐に関する基礎研究—I)

瀬川 清\*\*・渡辺 司郎\*\*\*・田中 徳幸\*\*\*

## Effects of Blowing Conditions on Dephosphorization.

(Fundamental study on dephosphorization in L-D converters—I)

Kiyoshi SEGAWA Shirō WATANABE and Noriyuki TANAKA

### Synopsis:

Investigation was made on some blowing conditions of L-D converter that might finish dephosphorization earlier than decarborization, using an experimental baby converter.

The conclusions obtained were as follows.

(1) The degree of preferential dephosphorization was expressed in terms of the maximum value of  $\Delta P/\Delta C$ , where  $\Delta P$  is % of dephosphorization and  $\Delta C$  is % of decarbonization. This degree was increased in parallel with a decrease of the time required for slag formation, an increase of

\* 昭和 36 年 5 月本会講演大会にて発表 \*\* 八幡製鉄所技術研究所, 工博 \*\*\* 八幡製鉄所技術研究所

agitation and an decrease of bath temperature.

(2) The phosphorus content at the end of blowing was decreased against an increase of  $(\Delta P/\Delta C)_{\max}$ .

(3) The time required for reaching the maximum value of  $\Delta P/\Delta C$  became the longer against a delay of slag fomation, a decrease of agitation and a decrease of the bath temperature.

(4) The blowing time became the shorter against a decrease of the time required for the  $\Delta P/\Delta C$  reaching maximum.

(5) If the  $(\Delta P/\Delta C)_{\max}$  was maintained constant, the time requird for the  $\Delta P/\Delta C$  reaching maximum was reduced with an increase of agitation and a decrease of nozzle diameter because of high temperature blowing.

## I. 緒 言

磷含有量の低い鋼材を得るためには、磷含有量の低い鉬石を使用するか、あるいは製鋼過程で除去しなければならない。しかし、常に磷含有量の低い鉬石のみを使用することは一般には困難であるので、製鋼過程において有効に脱磷する方法を考える必要がある。この観点より脱磷平衡に関する研究は多くの学者により、古くより行われてきた。

最近著しく発達した純酸素上吹転炉製鋼法では、全精錬が 20~30 分という短時間で終るにも拘わらず、精錬末期における磷は T. WINKLER and J. CHIPMAN<sup>1)</sup> が報告した平衡値にほとんど達しているという報告<sup>2)</sup>もある。これは酸素上吹転炉では、i) 酸素衝風により浴が激しく攪拌されること、ii) 鋼浴への酸素の供給が十分に行われると考えられること、iii) 脱磷に有利な鋼滓を吹錬初期において短時間に作ることができる。などの理由によるものと考えられ、精錬末期の磷に関する限り現在のところあまり問題はないように思われる。しかし吹錬過程における脱磷と脱炭の推移を調べると、磷が許容限界以下になつた時には浴中の炭素はすでに必要以上に低くなり加炭などを必要とする場合も生ずる。もし磷を早期に除去することができれば、後はおもに炭素濃度を制御するだけでよく、加炭などの必要はなくなり、吹錬時間も短縮されることが予想される。いかにして脱磷を脱炭に先行させるかを検討するためには、平衡論的手法や速度論的手法を用いるのも一法であるが、操業方法の面より検討を加えることも現場に利用する場合有意義と考えられる。しかし現場の大型炉でこのような検討を行うとしても、分析試料の採取、炉内の観察などに困難な点があり十分な試験をすることはむずかしい。そこでこのような困難な点を解決するため、実験室的小型転炉を作り、この炉を使用して吹錬条件を種々に変えることによつて、脱磷、脱炭の推移がいかに変化するかを 58 の熔解例について調べ、その結果の解析を行い、脱磷を脱炭

に優先させるための吹錬条件について、ある程度の結論を得たのでここに報告する。

## II. 実験装置および実験操作

使用した炉の構造および寸法を Fig. 1 に示した。吹錬用ランスとしては、内径約 4mm  $\phi$ 、長さ約 540mm の不透明石英管の一端に、内径 1.09~1.95mm  $\phi$  (ほとんどの場合 1.30~1.64mm  $\phi$ )、長さ 10mm の透明石英毛細管をノズルとして熔着したものを使用し、これら全体をテコランダム管の中に納め吹錬中飛散する熔鉄、熔滓による熔損から保護した。吹錬中の浴温は光高温計を用い、鋼浴面で測定した。酸素流量はローターメーター式流量計で調節し、吹錬圧力の測定には一端を大気開放した水銀U字管を用いた。この装置の概略を Fig. 2 に示した。

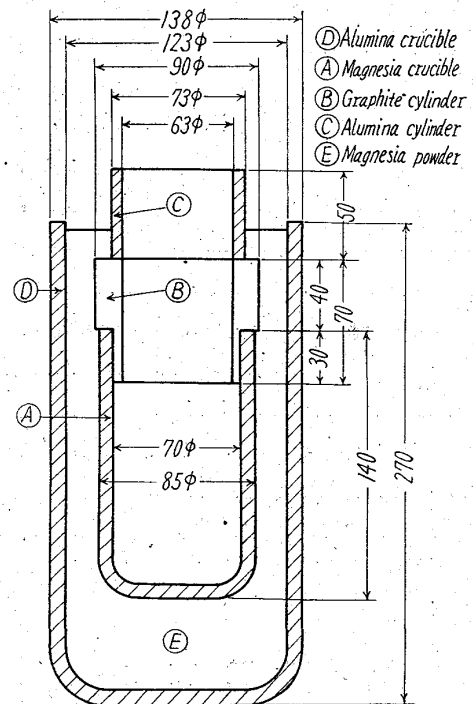


Fig. 1. Construction and size of the furnace.

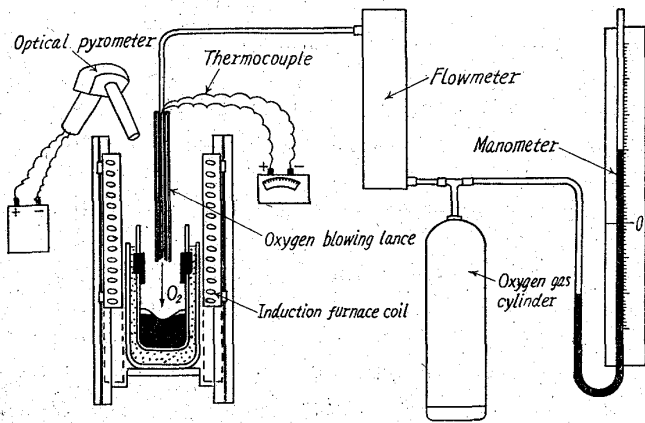


Fig. 2. Arrangement of experimental apparatus.

実験に使用した鉄鉄は高炉より 1 回の出鉄中に約 100 kg を採取し 50mm  $\phi$  の鑄型に鑄込んだもので C 4.40, Mn 0.80, Si 0.78, P 0.27, S 0.022 wt% なる平均組成を有し、また造滓原料としては CaO 54.45, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.68, SiO<sub>2</sub> 0.48, MgO 0.29, ign. loss 44.10 wt% なる平均組成を有する石灰石と、ミルスケール (おもな不純物として SiO<sub>2</sub> 0.87, MnO 0.39, P 0.015, S 0.07 wt% を含む) を 0.70~2.36mm に粉碎し 94:6 の割合で混合して使用した。このほか造滓時間を短縮する目的で CaF<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> などをフラックスとして添加した場合もある。

実験は、まず Fig. 1 に示した炉に前記組成を有する冷鉄 750 g を装入し、Fig. 2 に示すごとく高周波炉によつて加熱溶解する。鉄鉄が溶解し、浴温が 1400°C に達した時前記造滓原料約 100 g を添加しつつ浴面より 60mm 上部にセットしたランスより所定量の酸素ガスを噴出せしめ (酸素ガス流量は 5~11 NI/mn の範囲でそれぞれ一定に保つ) 吹錬を開始すると同時に、高周波コイルの位置を上部に移し黒鉛管のみを加熱し、放熱による鋼滓の温度降下を防ぐ、黒鉛管の温度は 1300~1400°C に調節した。吹錬中は 2 分間隔で鋼滓、熔鉄の分析試料を採取すると同時に光高温計により浴温の測定を行なつた。このほか吹錬中は炉の上部より炉内観察を行ない、特に造滓原料の滓化状況に注意し、造滓原料が完全に滓化熔融状態になるまでの時間を測定し、これを造滓時間とした。分析用熔鉄試料の採取は注射器を用い、内径 5mm  $\phi$  の不透明石英管内に熔鉄を吸上げて行ない、鋼滓試料の採取は径 10mm  $\phi$  の銅丸棒に熔滓を付着させて行つた。

### III. 実験結果

吹錬条件を表わす因子としては、一定の炉径に対しノズル径 ( $d$ )、酸素流量 ( $Q$ )、吹錬圧力 ( $p$ )、ノズル先端

における酸素ガス流速 ( $V$ )、ノズル先端より浴面までの距離 ( $h$ ) が考えられる。このうちノズル先端より浴面までの距離を離しすぎると吹錬が不安定になることはすでに認められており、接近しすぎるとノズルが熔損するためこの値を変えて実験を行うことはあまり意味がない。残りの 4 因子のうち独立変数は 2 因子のみであるから吹錬条件としては 2 因子のみを採用すればよいことになる。しかし上記の値は炉容が変化するに従つて変化する値であるため、得られた結果を大型炉に適用する場合不便である。これを解決するためには炉容に関係のない値を採用することが望しい。幸いにもわれわれは吹錬条件を規制する上記因子のうちノズル径、ノズル先端における酸素ガス流速、およびノズル先端と浴面の距離と酸素衝風による浴の引込み深さの間に次のごとき関係があることを別の実験で確認した。

$$d \cdot V_0 \cdot \sqrt{\theta} = \sqrt{L} (L + h) \dots \dots \dots (1)$$

ここに  $V_0$ : ノズル先端における標準状態の酸素ガス流速 (m/s)

$d$ : ノズル径 (mm  $\phi$ )

$h$ : ノズル先端より浴面までの距離 (mm)

$L$ : 酸素衝風による浴面の引込み深さ (mm)

$\theta$ : ランスの絶対温度 °K/273°K\*

したがつて (1) 式より酸素衝風による浴の引込み深さ ( $L$ ) を求め、この値と静止時の浴の深さ ( $L_0$ ) の比 ( $L/L_0$ ) をとれば、この値も吹錬条件を表わす値と考えることができ、しかもこの ( $L/L_0$ ) は炉の寸法の縮尺が一定ならば炉容に関係なく使用できる値で、得られた結果を大型炉に適用する場合便利である。なおこの ( $L/L_0$ ) が浴の攪拌程度を表わす値であることも別の実験<sup>3)4)</sup> によつて確かめられている。

脱炭に優先して進行した脱磷の程度を定量的に表わすために、吹錬開始より  $t$  分目における脱磷率 ( $\Delta P = ([\%P]_{\text{initial}} - [\%P]_{\text{at } t \text{ time}}) / [\%P]_{\text{initial}}$ ) と脱炭率 ( $\Delta C = ([\%C]_{\text{initial}} - [\%C]_{\text{at } t \text{ time}}) / [\%C]_{\text{initial}}$ ) の比の最大値 ( $\Delta P / \Delta C$ )<sub>max</sub> を用い、最大優先脱磷率と呼ぶことにした。この実験で採用した吹錬条件、およびその結果得られた最大優先脱磷率と吹錬開始より最大優先脱磷率を示すまでの時間を Table 1 に一括して示した。

\* この実験で使用したランスは水冷していないため吹錬中にランス内の温度が 1000°C 以上になり、このため酸素ガスの密度、ノズル先端の酸素ガス流速が変化する。  $\sqrt{\theta}$  はこの補正を行うため加えられた係数である。現場の炉ではランスを水冷しているためこの係数は大略 1 と考えて差支えないであろう。

Table 1. Experimental results.

Charge No.	Nozzle diameter $d$ (mm)	Distance of nozzle and surface of bath $h$ (mm)	Abs. temp. of lance $\theta$ ( $^{\circ}\text{K}$ )	Oxygen gas flux $Q$ (Nl/mn)	$d \cdot V_0$	$L/L_0$	Bath temp. at 6mn after blowing $T_6$ ( $^{\circ}\text{K}$ )		Time required for slag formation $t_s$ (mn)		$(\Delta P/\Delta C)_{\text{max}}$		$t_m$ (mn)		
							Exp.	Calc.	Exp.	Calc.	Exp.	Calc.	Exp.	Calc.	
73	1.40	60	4.73	9.09	138.15	0.53	2128	1969	2.5	3.2	2.2	2.4	2.0	2.0	
74	"	"	4.66	10.03	152.43	0.61	2133	1999	3.0	3.0	1.9	1.6	4.0	3.3	
77	"	"	4.26	8.06	122.49	0.41	1968	1892	"	4.5	2.2	2.4	"	4.1	
79	"	"	3.38	9.29	141.19	0.46	1998	1938	4.0	4.4	3.1	2.3	2.0	4.4	
80	"	"	"	8.20	124.62	0.41	1963	1951	5.0	4.5	3.5	2.4	6.0	5.4	
81	1.38	"	3.30	9.99	154.02	0.52	1973	1960	5.5	4.1	2.4	2.5	4.5	5.4	
83	1.40	"	3.26	8.88	134.95	0.42	1913	1920	4.0	4.8	2.7	3.3	5.0	4.7	
84	"	"	5.19	8.79	133.59	0.56	2003	1977	3.5	3.8	4.3	2.6	3.0	3.9	
85	1.37	"	3.71	8.37	129.99	0.44	1953	1925	6.5	4.5	3.2	2.4	8.0	6.2	
86	"	"	4.57	7.37	114.46	0.42	1933	1914	6.0	4.6	3.3	2.6	7.0	6.1	
87	1.95	"	4.63	10.48	114.35	0.29	1923	1906	6.5	5.1	7.5	2.2	2.7	7.0	
91	1.35	75	5.40	6.70	105.59	0.36	1908	1888	6.0	4.7	2.6	2.7	6.0	6.3	
92	1.34	"	5.32	7.31	116.07	0.42	1973	1914	6.5	4.3	1.8	2.1	"	6.3	
94	"	45	5.45	6.03	95.74	0.31	1698	1858	5.5	5.4	4.5	7.9	4.0	6.9	
95	"	"	5.65	7.03	111.62	0.40	1923	1910	3.5	4.8	4.0	3.2	2.0	4.4	
96	"	60	4.54	6.30	100.03	0.31	1848	1860	4.5	5.9	2.8	3.8	7.5	5.6	
98	1.30	"	5.36	7.14	116.86	0.42	1958	1920	6.0	4.4	2.8	2.3	1.0	6.0	
99	1.09	"	4.66	6.49	126.68	0.46	1873	1917	5.0	4.9	6.9	4.0	6.0	5.4	
100	1.64	"	4.11	8.92	115.72	0.37	1973	1913	3.5	4.5	4.3	3.0	5.3	4.4	
101	1.84	"	3.20	10.07	113.97	0.35	1843	1904	5.0	5.8	4.0	4.0	6.0	5.8	
113	1.52	"	5.76	7.76	108.62	0.40	1968	1923	2.5	—	2.9	2.9	4.0	3.5	Flux added Charge
114	1.48	"	3.93	8.91	128.09	0.44	1943	1933	1.5	—	3.3	4.1	2.0	2.5	Flux added Charge
115	"	"	5.45	8.77	126.08	0.48	1978	1959	2.0	—	2.6	3.3	"	2.8	"
116	1.45	"	3.00	8.68	127.36	0.37	1913	1897	2.5	—	3.9	3.7	"	3.6	"
117	1.46	"	2.65	10.06	146.60	0.44	1908	1930	3.5	—	4.5	3.7	4.0	4.3	"
118	1.44	"	3.13	8.86	130.91	0.40	1873	1911	2.5	—	4.0	4.7	3.5	3.6	"
119	1.33	"	3.20	8.34	133.42	0.42	1923	1913	4.0	4.7	3.9	3.2	4.0	4.7	
120	"	"	3.42	9.17	146.70	0.50	1983	1948	3.5	4.2	2.7	2.7	2.0	4.0	
121	1.32	"	2.94	9.19	148.13	0.47	1963	1934	5.0	4.3	2.3	2.5	6.0	5.2	
126	1.48	"	3.60	9.14	131.40	0.44	1908	1932	1.5	—	5.5	4.9	2.0	2.5	Flux added Charge
127	"	"	3.13	9.75	140.17	0.45	1948	1937	1.5	—	3.9	4.1	"	2.4	Flux added Charge
128	"	"	5.25	8.63	124.07	0.46	1958	1950	2.0	—	3.4	3.6	"	2.9	"
129	"	"	3.67	8.91	128.09	0.42	1898	1925	1.5	—	4.2	5.1	"	2.5	"
130	1.49	"	3.56	11.12	158.79	0.57	1978	1989	2.5	—	3.6	3.4	3.3	3.1	"
131	1.47	"	4.26	9.21	133.30	0.47	1938	1950	2.0	—	3.7	4.0	4.0	2.9	"
132	1.45	"	5.43	9.52	139.69	0.56	1993	1989	1.5	—	4.7	3.7	3.0	2.3	"
133	1.45	"	5.40	8.66	127.07	0.50	2013	1963	1.5	—	4.3	3.2	2.5	2.3	"
134	1.47	"	5.07	8.91	128.96	0.48	1968	1957	1.0	—	4.0	4.4	2.0	1.8	"
135	"	"	3.97	9.41	136.20	"	1983	1952	3.0	—	5.0	2.8	2.7	3.7	"
136	1.48	"	4.81	9.01	129.53	"	1978	1956	2.5	—	4.1	3.1	3.0	3.3	"
137	"	"	4.33	8.73	125.50	0.44	1953	1936	1.0	—	4.5	4.5	2.0	1.9	"
138	"	"	4.52	8.45	121.48	0.42	1908	1929	1.5	—	3.7	4.8	6.0	2.5	"
139	1.48	60	4.85	9.23	132.69	0.52	1963	1969	2.0	—	4.4	2.9	4.0	3.5	"
140	"	"	4.41	9.45	135.85	0.49	1933	1960	"	—	4.8	4.2	"	2.9	"
141	1.46	"	4.63	7.53	109.73	0.36	1993	1898	3.0	—	3.5	2.3	9.0	3.9	"
142	"	"	5.04	8.93	130.14	0.49	1963	1960	1.5	—	3.8	4.0	3.3	2.4	"
143	1.47	"	5.14	8.47	122.59	0.44	1943	1941	2.0	—	4.1	3.7	4.0	2.9	"
144	1.48	"	4.99	9.45	135.85	0.52	1953	1974	1.5	—	4.0	4.3	2.0	2.3	"
145	"	"	3.77	9.56	137.44	"	1933	1961	1.5	—	2.9	4.8	4.0	2.4	"
146	1.46	"	4.11	8.93	130.14	0.45	"	1939	"	—	3.1	4.4	2.0	2.5	"
147	1.48	"	4.41	10.01	143.90	0.55	"	1981	"	—	3.7	4.9	"	2.3	"
148	1.45	"	4.79	9.50	139.40	0.54	1873	1971	7	—	3.5	4.7	11.0	6.4	"
150	1.42	"	4.85	8.94	133.95	0.48	1963	1956	4.5	—	4.0	2.7	4.5	4.8	"
151	"	"	5.80	7.41	111.03	0.39	1873	1916	4.0	—	5.5	4.2	4.0	4.9	"
152	"	"	5.32	8.43	126.31	0.48	1923	1954	4.3	—	4.8	4.0	2.0	3.4	"
153	"	"	5.52	8.33	124.81	"	1893	"	1.0	—	4.9	6.4	"	7.6	"
154	1.17	"	4.19	7.57	137.66	0.37	1877	1904	1.5	—	4.9	5.4	"	2.6	"
156	"	"	5.36	5.56	101.11	0.24	1853	1875	4.0	—	3.6	3.4	4.5	5.5	"

A. 吹錬条件と最大優先脱磷率  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$

i)  $(L/L_0)$  と最大優先脱磷率  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  の関係

Fig. 3 は吹錬開始後6分目の浴温が 1680~1695°の範囲にあるものにつき、吹錬条件および浴の攪拌程度を示す  $(L/L_0)$  と最大優先脱磷率  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  の関係を示したもので、 $(L/L_0)$  が大なる程  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  の値が大となる傾向が認められる。すなわち浴の攪拌程度が大になるほど脱磷が脱炭に優先して進むことを示している。しかし、浴温の範囲を限定することなく  $(L/L_0)$  と  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  の関係をプロットした結果では、これと逆の傾向を示した。なお浴温として吹錬開始約6分目の値を採用した理由は、6分目頃より浴温が比較的安定するからである。

ii) 吹錬開始後6分目の浴温と最大優先脱磷率  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  の関係

$(L/L_0)$  が 0.40~0.42 の範囲にあるものについて、吹錬開始約6分目の浴温と  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  の関係を調べたところ、Fig. 4 に示すごとく浴温の上昇と共に  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  の値は減少することが明らかとなった。

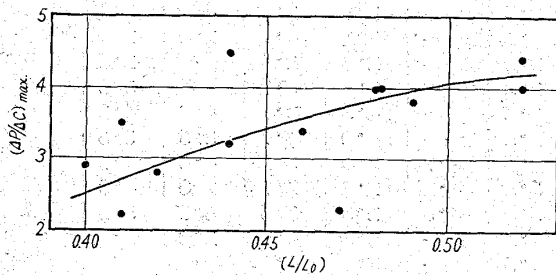


Fig. 3. Effects of intensity of bath agitation on the maximum value of  $(\Delta P/\Delta C)$  at bath temperature range of 1680~1695°C which is shown at 6 mn after blowing.

$$\Delta P = ([\%P]_{initial} - [\%P]_{at\ t\ time}) / [\%P]_{initial},$$

$$\Delta C = ([\%C]_{initial} - [\%C]_{at\ t\ time}) / [\%C]_{initial},$$

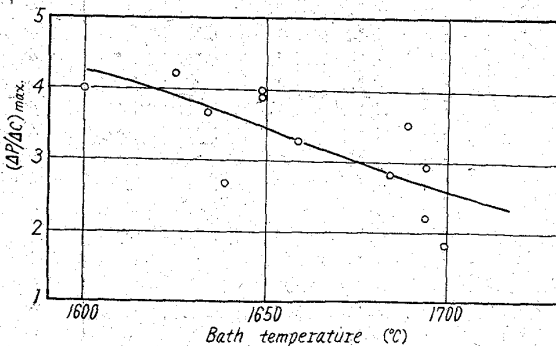


Fig. 4. Effects of bath temperature which is shown in 6 mn after blowing on the maximum value of  $(\Delta P/\Delta C)$  at the range of bath agitation intensities 0.40~0.42.

$$\Delta P = ([\%P]_{initial} - [\%P]_{at\ t\ time}) / [\%P]_{initial},$$

$$\Delta C = ([\%C]_{initial} - [\%C]_{at\ t\ time}) / [\%C]_{initial}$$

$\Delta C)_{max}$  の値は減少することが明らかとなった。 $(L/L_0)$  の範囲を限定することなく吹錬開始約6分目の浴温と  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  の関係を調べた結果でも Fig. 4 と同様な傾向を示し、浴温が高くなるような吹錬を行う場合には脱炭が脱磷に比して速くなることが判つた。

iii) 造滓時間と最大優先脱磷率  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  の関係  
脱磷にとって鋼滓が不可欠であることより、造滓時間が  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  に影響するであろうことが予想される。造滓時間に対し  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  をプロットした結果では Fig. 5 に示すごとく造滓時間が短くなるにしたがつて  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  の値も大となり予想と一致した傾向が認められた。

B. 吹錬条件と最大優先脱磷率を示すまでの時間

脱磷を早期に完了せしめて、その後浴中の炭素濃度を制御するような吹錬条件の確立を目的とする場合には、最大優先脱磷率の値が大であるとともに、その値を示すまでの時間も短いことが必要と思われるので、吹錬開始より最大優先脱磷率を示すまでの時間が吹錬条件によつていかに変化するかについて調べた。

i) 最大優先脱磷率を示すまでの時間  $(t_m)$  と  $(L/L_0)$  の関係

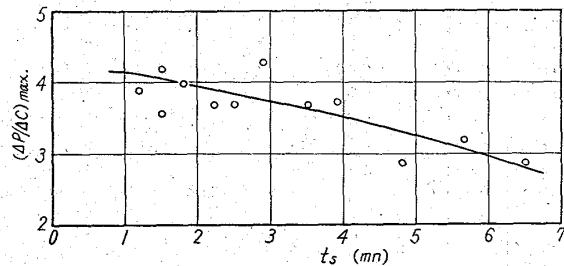


Fig. 5. Relation between the time required for slag formation and maximum value of  $(\Delta P/\Delta C)$ . Each point shows the mean value of 5 heats.

$$\Delta P = ([\%P]_{initial} - [\%P]_{at\ t\ time}) / [\%P]_{initial},$$

$$\Delta C = ([\%C]_{initial} - [\%C]_{at\ t\ time}) / [\%C]_{initial}$$

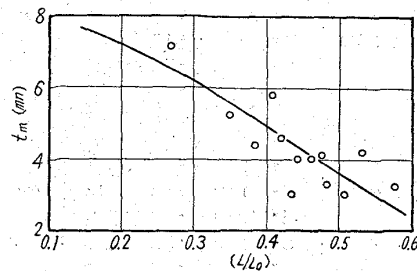


Fig. 6. Effects of intensity of bath agitation on the time required to reach the maximum value of  $(\Delta P/\Delta C)$ . (Each point shows the mean value of 5 heats).

吹錬開始より最大優先脱磷率を示すまでの時間を  $t_m$  (mn) で表わせば、この値と吹錬条件と浴の攪拌程度を示す値 ( $L/L_0$ ) の間には Fig. 6 に示すとき関係が認められた。図は5熔解の平均値をプロットした結果であるが、明らかに ( $L/L_0$ ) が大になるほど最大優先脱磷率を示すまでの時間 ( $t_m$ ) が短くなる傾向を示している。

ii) 最大優先脱磷率を示すまでの時間 ( $t_m$ ) と浴温の関係

吹錬開始後6分目の浴温と最大優先脱磷率を示すまでの時間 ( $t_m$ ) との間には Fig. 7 に示すとき関係が認められた。図も5熔解の平均値をプロットした結果であるが明らかに浴温が高くなるほど最大優先脱磷率に達するまでの時間 ( $t_m$ ) は短くなる。一方前述のごとく浴温が上昇すると最大優先脱磷率の値そのものは小となる。このことは浴温が上昇すると脱炭、脱磷両反応とも急速に進行するが、特に脱炭反応の方が早くなることを示すものと考えられる。

iii) 最大優先脱磷率を示すまでの時間 ( $t_m$ ) と造滓時間の関係

造滓時間 ( $t_s$ ) と  $t_m$  の関係を5熔解の平均値をとって調べた結果、Fig. 8 に示すごとく造滓時間が短くなるほど最大優先脱磷率に早く達することが明らかとなった。これは造滓が短時間で完了した場合には脱磷が円滑に進行するため最大優先脱磷率に早く達するものと考えられ、造滓を短時間で完了することは  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  の値を大にすること、およびその値を示すまでの時間を短くすることより考えて上吹転炉の特徴を十分活用するため重要と考えられる。

C. 最大優先脱磷率と最終磷含有量、および最大優先

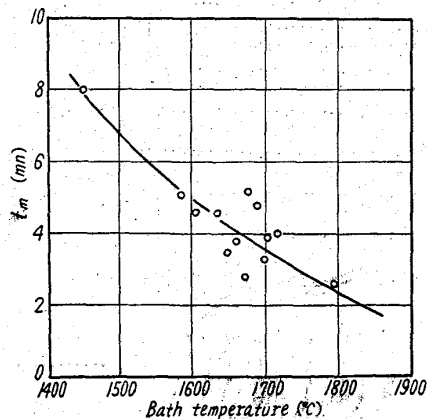


Fig. 7. Relation between the time of required to reach the maximum value of  $(\Delta P/\Delta C)$  and bath temperature which is shown in 6 mn after blowing. (Each point shows the mean value of 5 heats).

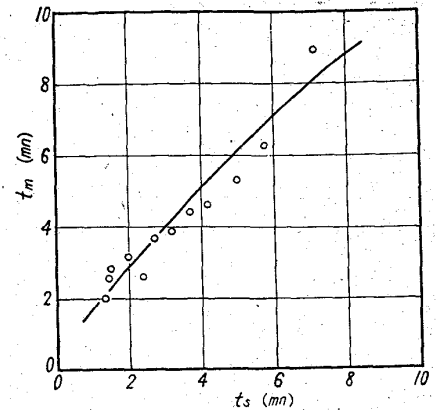


Fig. 8. Effects of the slag forming time ( $t_s$ ) on the time required to reach maximum value of  $(\Delta P/\Delta C)(t_m)$ . Each point shows the mean value of 5 heats.

脱磷率を示すまでの時間と全吹錬時間

いままでわれわれは最大優先脱磷率、およびそれを示すまでの時間と吹錬条件の関係についてのみ調べてきたが、一般の鋼材においては磷含有量は低いことが望ましく、この点より単に脱磷率と脱炭率の比較値である  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  の値を大きくし、またそれを示すまでの時間を短くすることのみに努力を集中することが妥当か否かを検討する必要があると考え、まず脱炭が90%進行した時の磷の濃度と最大優先脱磷率の関係を調べた。対象とした磷の濃度を脱炭が90%進行した時期に進んだ理由は、この実験で使用した鉄鉄を90%脱炭すること

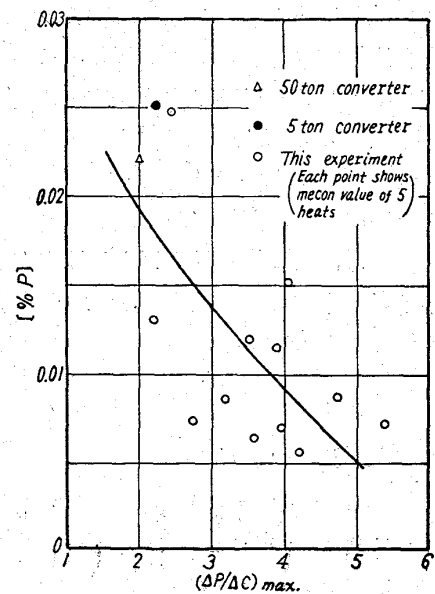


Fig. 9. Relation between the maximum value of  $(\Delta P/\Delta C)$  and phosphorus contents at time of the 90% decarburization.  
 $\Delta P = ([\%P]_{initial} - [\%P]_{at t time}) / [\%P]_{initial}$ ,  
 $\Delta C = ([\%C]_{initial} - [\%C]_{at t time}) / [\%C]_{initial}$ .

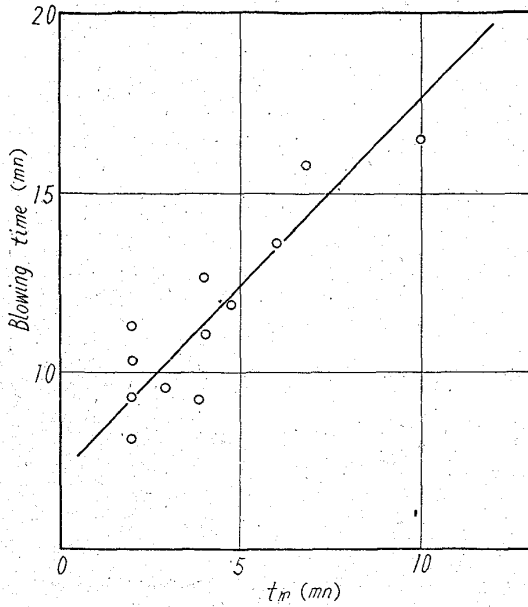


Fig. 10. Relation of the blowing time and the time required to reach the maximum value of  $(\Delta P/\Delta C)$ . (Each points shows the mean value of 5 heats).

は浴中の炭素濃度を約 0.5% にすることであり、この炭素量は転炉で吹錬する鋼として比較的高い値であり、この時期で磷が十分低くなっておれば 0.5% 以下の炭素濃度を有する鋼は自由に吹錬できるからである。

この結果は Fig. 9 に示す。図中の各点は 5 熔解の平均値を示すが明らかに  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  の値が大になる程最終の磷含有量は低くなる事がわかる。図には 5 t および 50 t 炉における 1 例も併記したが実験によつて得られた結果と比較的良好な一致を示した。この結果より最終磷含有量を 0.01% 以下にするためには  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  の値を少なくとも 3 以上にする必要がある。

つぎに最大優先脱磷率を示すまでの時間と脱炭が 90% 進行するまでの時間との関係を求め、Fig. 10 に示すごとき結果を得た。図より早く最大優先脱磷率を示した場合の方が早く脱炭率 90% に達する。すなわち全吹錬時間が短くてすむことがわかる。

#### IV. 考 察

##### A. 吹錬条件と最大優先脱磷率

実験結果において明らかにしたごとく、最大優先脱磷率には吹錬開始後 6 分目の浴温、造滓時間、および吹錬条件と浴の攪拌程度を示す  $(L/L_0)$  が影響することが明らかとなつたのでこれらの影響を総合して表わすため、得られた結果を最小二乗法によつて処理し次式で示される関係を得た。

$$(\Delta P/\Delta C)_{max} = 3.16 \times 10^{32} \cdot (L/L_0)^{0.53} / t_s^{0.35} \cdot T_6^{0.62} \dots\dots\dots (2)$$

$(\Delta P/\Delta C)_{max}$ : 最大優先脱磷率

$t_s$ : 造滓時間 (mn)

$T_6$ : 吹錬開始約 6 分目の浴の絶対温度

$L$ : 酸素衝風による浴の引込み深さ (mm)

$L_0$ : 静止時の浴の深さ (mm)

(2)式によつて得られた  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  の値を実験値と対比して Table 1 に示したが比較的良好一致した値が得られることがわかる。

##### B. 最大優先脱磷率の制御方法

さきに実験結果 C 項において最終磷含有量を 0.01% 以下にするためには  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  の値を少なくとも 3 以上にする必要があることを述べた。このような  $(\Delta P/\Delta C)_{max}$  の値を得るためにはどのような吹錬条件が必要であろうか。この問題を解決するためには (2) 式を使用すればよいが、 $(L/L_0)$ 、吹錬開始後 6 分目の浴温 ( $T_6$ )、造滓時間 ( $t_s$ ) の間には相互に関係があるためそれらを独立に変化させることができずしたがって (2) 式をそのままの形で用いることは不便である。そこでまず吹錬条件と浴温および造滓時間の関係を求めて見ることにする。

##### i) 浴温と吹錬条件

吹錬開始後 6 分目の浴温と吹錬条件の関係を実験結果より調べた結果次式で示される関係が得られた。

$$T_6 = 1.70 \times 10^3 \cdot Q^{0.068} (L/L_0)^{0.060} \cdot \theta^{0.027} / d^{0.017} \dots\dots\dots (3)$$

ここに  $Q$ : 標準状態における酸素流量 (Nl/mn)

$d$ : ノズル径

$\theta$ : (ランスの絶対温度 °K)/(273°K)

((1)式注参照)

(3) 式による計算値は Table 1 に示すごとく実験値とよく一致することが認められる。

一方 (3) 式における酸素流量 ( $Q$ ) とノズル径 ( $d$ ) およびノズル先端における標準状態の酸素ガス流速 ( $V_0$  m/s) の間にはつぎの関係が成立する。

$$Q = 4.7 \times 10^{-2} \cdot V_0 d^2 = 4.7 \times 10^{-2} (V_0 d) d \dots\dots (4)$$

したがって (4) 式を (3) 式に代入して整理すれば次式が得られる。

$$\log T_6 = \log K + 0.051 \log d \dots\dots\dots (5)$$

ここで水冷ランスの場合を考えればランス温度は冷却水温度と見なすことができる。いまこの温度を 20°C とすれば

$$\log K = 0.068 \log (V_0 d) + 0.060 \log (L/L_0) + 3.140 \dots\dots\dots (6)$$

(6) 式において  $(V_0 \cdot d)$  はノズル先端と浴面の距離  $(h)$  およびランス温度が一定ならば (1) 式により酸素衝風による浴の引込み深さ  $(L)$  によつて決まる値である。したがつて浴の深さ  $(L_0)$ 、ノズル先端より浴面までの距離およびランス温度が一定ならば (5) 式より吹錬開始後 6 分目の浴温は  $(L/L_0)$  とノズル径  $(d)$  によつて決まり、 $(L/L_0)$  およびノズル径  $(d)$  が大なる程浴温は高くなることわかる。したがつて浴温を考慮することなく  $(L/L_0)$  と  $(\Delta P/\Delta C)_{\max}$  の関係を調べた場合には前述のごとく  $(L/L_0)$  が大になると浴温が上昇し、しかも浴温が  $(\Delta P/\Delta C)_{\max}$  に与える影響が大なるため ((2) 式)  $(L/L_0)$  が大になるにしたがつて  $(\Delta P/\Delta C)_{\max}$  が小になつたのであろう。Fig. 11 は浴の深さ  $(L_0)$  を 25mm、ノズル先端より浴面までの距離  $(h)$  を 60mm、ランス温度を 20°C として (5) 式を図に表わしたものである。

ii) 吹錬条件と造滓時間

実験結果より造滓時間と吹錬条件の間には次式で示される関係が成立することを認めた。

$$t_s = 1.02 \times 10^{12} / T_6^{3.48} (L/L_0)^{0.25} \dots \dots \dots (7)$$

ここに  $t_s$ : 吹錬開始より造滓完了までの時間 (mn)

$T_6$ : 吹錬開始より 6 分目の浴の絶対温度 (°K)

(7) 式の  $T_6$  に (5) 式を代入することによつて  $t_s$  もまたノズル径と  $(L/L_0)$  で表わすことができる。

iii) 吹錬条件と最大優先脱磷率

以上のごとくノズル径と  $(L/L_0)$  で表わされた造滓時間  $(t_s)$  および吹錬開始後 6 分目の浴温  $(T_6)$  を (2) 式に代入すれば次式のごとく最大優先脱磷率  $(\Delta P/\Delta C)_{\max}$  もノズル径と  $(L/L_0)$  のみで表わすことができる。

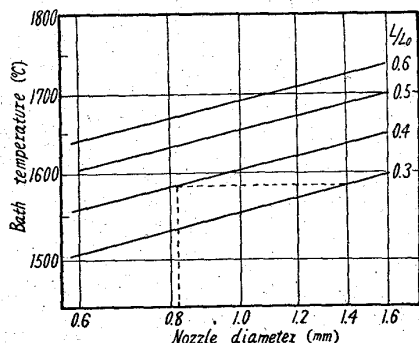


Fig. 11. Relation between temperature after blowing for 6 minutes and nozzle diameter, and degree of agitation of bath. (Depth of bath=25mm, height of lance=60mm, lance temp.=20°C)

$$\log(\Delta P/\Delta C)_{\max} = \log K'' - 0.43 \log d \dots (13)$$

ただし  $\log K'' = 1.92 - 0.57 \log (V_0 \cdot d)$

$$+ 0.11 \log (L/L_0) \dots \dots \dots (14)$$

(14) 式の  $(V_0 \cdot d)$  はノズル先端と浴面の距離  $(h)$  とランス温度が一定ならば (1) 式より酸素衝風による浴の引込み深さ  $(L)$  が決まることによつて決まる値であり、したがつて浴の深さ  $(L_0)$  が一定ならば  $(L/L_0)$  によつて決まる値でもある。したがつて (13) 式を使用すればノズル径  $(d)$  と  $(L/L_0)$  を適当に変えることにより希望する  $(\Delta P/\Delta C)_{\max}$  の値を得ることができる。例えば  $L_0=25\text{mm}$ 、ランス温底 20°C、 $h=60\text{mm}$  なる条件の下で  $(\Delta P/\Delta C)_{\max}=4$  にするためには、 $(L/L_0)=0.3, 0.4, 0.5, 0.6$  に対しノズル径  $(d)$  はそれぞれ 0.85, 0.74, 0.62, 0.57 mm  $\phi$  であることが必要である。またその時の浴温は (5) 式あるいは Fig. 11 より 1540, 1580, 1610, 1630°C となり、 $(L/L_0)$  が大でノズル径  $(d)$  を小にした方が高い浴温で吹錬しても同一の  $(\Delta P/\Delta C)_{\max}$  を得ることができる。

C. 吹錬条件と最大優先脱磷率を示すまでの時間

さきに実験結果の B 項に示したごとく最大優先脱磷率を示すまでの時間が  $(L/L_0)$ 、浴温および造滓時間と関係を有することが明らかとなつたがこれらについて得られたデータを処理し、つぎの関係式を得た。

$$t_m = 6.46 \times 10^2 \cdot t_s^{0.639} / T_6^{0.797} \cdot (L/L_0)^{0.247} \dots (15)$$

ここに  $t_m$ =最大優先脱磷率を示すまでの時間 (mn)

$t_s$ =造滓時間 (mn)

$T_6$ =吹錬開始後 6 分目の浴の絶対温度 (°K)

(15) 式より最大優先脱磷率を示すまでの時間を短縮するためには、浴温を高くすることが最も効果的で、ついで造滓時間の短縮、 $(L/L_0)$  の増大にあることがわかる。(13) 式で求めたと同様な方法で最大優先脱磷率を示すまでの時間  $(t_m)$  も  $(L/L_0)$  とノズル径  $(d)$  で表わすことができる。

$$\log t_m = \log K''' - 0.154 \log d \dots \dots \dots (16)$$

ただし  $\log K''' = 0.996 - 0.693 \log (V_0 d)$

$$- 1.018 \log (L/L_0) \dots \dots \dots (17)$$

さきに浴の深さ  $L_0=25\text{mm}$ 、浴面よりノズル先端までの距離  $h=60\text{mm}$ 、ランス温度 20°C なる条件で  $(\Delta P/\Delta C)_{\max}$  を 4 ならしめるためには  $(L/L_0)=0.3, 0.4, 0.5, 0.6$  に対しノズル径はそれぞれ 0.85, 0.74, 0.62, 0.57 mm  $\phi$  を必要とすることを明らかにした。これらのノズル径  $(d)$  と  $(L/L_0)$  の値の組合せを (16) 式に代入して  $t_m$  を求めるとそれぞれ 7.2, 6.0, 5.2, 4.6 分となり  $(L/L_0)$  が大でノズル径が小なる場合の方が早く最大優先脱磷率を示すことがわかる。これは Fig.



10より吹錬時間が短くてすむことも意味している。この理由は同一  $(\Delta P/\Delta C)_{\max}$  の値を得る場合でも  $(L/L_0)$  を大にし、ノズル径 ( $d$ ) を小にした方が高い浴温で吹錬でき、反応速度が大となることによるものと考えられる。

以上の結果は実験室の小型炉において得られたもので大型炉に直接使用できないが同様な傾向は大型炉でも成立し、実際操作にあたって吹錬条件を検討するために役立つものと思う。

## V. 結 言

上吹転炉において浴中の炭素濃度を自由に制御し、比較的高炭素の鋼を吹錬するためにはできる限り吹錬初期において浴中の磷を低くする必要がある。そこで早期に脱磷を完了させるための吹錬条件を実験室的な小型転炉を用いて検討した。吹錬条件を代表する値として、浴の攪拌程度を示す値、すなわち酸素衝風による浴の引込み深さ ( $L$ ) と浴の深さ ( $L_0$ ) の比  $(L/L_0)$  をとり、この値と吹錬開始後6分目の浴温、造滓時間の関係、およびこれらと脱磷率と脱炭率の比の最大値  $(\Delta P/\Delta C)_{\max}$  (最大優先脱磷率) および吹錬開始より最大優先脱磷率を示すまでの時間 ( $t_m$ ) との関係を調べつぎの結果を得た。

(1) 最大優先脱磷率は浴温が高くなると減少し、浴の攪拌程度を示す  $(L/L_0)$  が大になるほど、また造滓時間が短縮される程大となる。

(2) 最大優先脱磷率を示すまでの時間 ( $t_m$ ) は浴温が高く、 $(L/L_0)$  が大なるほど、また造滓時間が短い程短縮される。

(3) 造滓時間を短縮するためには浴温を高くし、 $(L/L_0)$  を大にすることによつてその目的を達することができる。

以上のごとく攪拌の程度を大にすること、すなわち  $(L/L_0)$  の値を大にすることは最大優先脱磷率を大に

し、その値に達するまでの時間を短くし、また造滓時間を短縮するために有効であるが、ノズル径を考慮することなく単に  $(L/L_0)$  を大にすると浴温が過度に上昇するため最大優先脱磷率の値を小にする場合が生ずる。すなわち脱磷よりも脱炭を進行させる結果となる。そこでノズル径 ( $d$ ) および  $(L/L_0)$  と浴温、造滓時間の関係を浴の深さ ( $L_0$ )、ノズル先端より浴までの距離 ( $h$ )、ランス温度がそれぞれ一定なる条件の下で求め、さらにこれらの関係を使用して最大優先脱磷率  $(\Delta P/\Delta C)_{\max}$ 、およびそれを示すまでの時間 ( $t_m$ ) と  $(L/L_0)$ 、およびノズル径 ( $d$ ) の関係を求め所要  $(\Delta P/\Delta C)_{\max}$  を得るための  $(L/L_0)$  とノズル径 ( $d$ ) の値を明かにした。この結果  $(\Delta P/\Delta C)_{\max}$  の値が同一の場合でも  $(L/L_0)$  が大で、ノズル径 ( $d$ ) が小なる方が高い浴温で吹錬でき、したがって最大優先脱磷率の値を示すまでの時間 ( $t_m$ ) も短くなることを知った。

(4) 最大優先脱磷率と脱炭率 90% における磷の濃度の関係を調べ、最大優先脱磷率が大なる方が磷の濃度は低くなり、脱炭率 90% において磷の濃度を 0.01% 以下にするためには少なくとも最大優先脱磷率の値は3以上であることが望ましいようである。

(5) 最大優先脱磷率を示すまでの時間と 90% 脱炭するまでの時間すなわち吹錬時間の関係を調べ、早く最大優先脱磷率を示した場合の方が吹錬時間も短くなることを認めた。

(昭和 36 年 7 月寄稿)

## 文 献

- 1) T. B. WINKLER and J. CHIPMAN: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 167 (1945) 111.
- 2) 富士製鉄室蘭製鉄所: 学振 19 委 4683 (昭和 32 年 7 月)
- 3) 瀬川, 前原, 島田, 石橋: 鉄と鋼, 44 (1958) 9, 1056
- 4) 武田喜三: 未発表