

Table 1. Operating data for Tōkai No. 1 blast furnace.

Item	Period													
	S. 39 9	10	11	12	S. 40 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hot metal	1297	1711	1917	2069	2016	2391	2726	2957	2995	3003	2949	3018	3007	3232
"	(t/day)	(t/day/m ³)	(t/day)	(t/day/m ³)	(t/day)	(t/day)	(t/day)	(t/day)	(t/day)	(t/day)	(t/day)	(t/day)	(t/day)	(t/day)
Coke ratio	0.64	0.85	0.95	1.02	1.00	1.18	1.35	1.46	1.48	1.49	1.46	1.50	1.49	1.60
Oil ratio	606	522	524	518	524	578	574	551	556	536	549	543	511	484
Blast volume	1430	1536	1803	1962	2014	2546	2915	2989	2962	9246	3004	2928	2938	2975
Blast temp.	649	781	822	892	849	691	793	851	922	892	910	929	942	1045
Blast moisture	—	17	22	20	20	22	32	34	34	34	32	36	31	28
Blast pressure	1076	1031	1180	1183	1264	1559	1721	1835	1773	1782	1760	1671	1791	1817
Top pressure	132	140	174	169	171	393	527	518	563	563	572	557	571	623
Top gas temp.	217	179	185	179	188	241	208	192	209	188	190	174	200	190
Top gas CO ₂	17.9	12.6	19.7	19.9	18.5	18.5	19.8	19.8	18.6	18.7	18.7	18.7	18.6	19.8
" CO	23.7	21.3	21.3	21.7	21.8	23.2	23.4	22.4	23.6	22.9	23.4	23.4	22.5	21.6
Slag volume	311	330	312	292	321	293	318	338	348	342	327	314	305	307
Slag CaO/SiO ₂	1.15	1.23	1.22	1.20	1.17	1.10	1.14	1.17	1.17	1.19	1.20	1.25	1.27	1.27
Hot metal Si	1.25	0.83	0.80	0.82	0.77	0.85	0.83	0.63	0.76	0.78	0.78	0.69	0.72	0.70
" S	0.024	0.026	0.024	0.002	0.021	0.029	0.032	0.030	0.028	0.025	0.023	0.023	0.024	0.024
Sinter ratio	75.7	77.3	80.5	79.2	81.1	76.9	60.9	75.5	84.7	84.8	80.9	84.7	87.4	80.4
Dust	6	8	10	9	11	14	20	39	13	9	11	14	19	18
Hanging	0	0	1	0	2	4	26	6	3	2	3	0	2	0
Slip	0	11	15	15	85	94	78	54	43	41	47	16	8	1
Gsa velocity	2.53	2.75	3.05	3.32	3.33	3.67	3.91	3.91	3.89	3.86	3.95	3.95	3.84	3.82

を 0.3 kg/cm² 程度に下げて、ガス漏れの止まるのを待つという状態である。このため下部バルブの改良を3回行なったが、まだ望ましい状態にいたっていない。

6) 出銑後半の銑滓の飛散防止の減圧について

高圧操業を開始した昭和40年2月には、いわゆる出銑減圧は52回あり、それ以前に比べて急激に多くなり、飛散した銑滓の片付けも大変であった。そこで飛散防止カバー等も試みたが、最終的には出銑口ボタを改善して(実用新案申請中)安定した出銑口をつくるように努めた結果、最近では出銑減圧の回数はカバーなしで月間10回程度となり、作業量も減り良好な成績をおさめている。

5. 結 言

東海第1高炉は昭和40年2月より高圧操業を開始し、3月から最高炉頂圧 0.6 kg/cm²、10月から 0.7 kg/cm² の操業を続けている。最近では高圧操業による設備上、操業上の問題点もほぼ解決して、出銑量 3000 t/dag 以上、燃料比 520 kg/t 前後の成績を維持し、しかもスリップ、棚吊り、送風羽口溶損(火入以来3個)ガス灰発生等がきわめて少なく、順調な荷下がり状況で安定した操業を行なっている。

669.162.283.2:669.162.263.42

(39) 高炉羽口先酸化帯の解析結果について

日本鋼管、技術研究所 ○下 間 照 男
Theoretical Analysis for Phenomena in the
Combustion Zone fo a Blast Furnace.

Teruo SHIMOTSUMA.

1. 緒 言

高炉羽口先酸化帯の状態を解明するために、比較的単純なモデルを想定して、羽口先のガス濃度分布、ガス流速分布およびガス温度分布について解析して、それぞれの分布式を導いた。この分布式の妥当性を確かめるために操業条件の異なる場合について、分布式から計算によって求めた値と、実測値とを対比した結果、両者は比較的よく合うことがわかったので、これらの分布式は羽口先酸化帯の状態をかなりよく表わすといえる。

2. 羽口先酸化帯の解析

2.1 ガス濃度分析

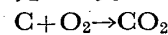
2.1.1 羽口先のモデル

羽口先のガス濃度分布式を導くために、次のような単純なモデルを仮定した。

1) 衝風は乾燥空気と考える。

2) 羽口先には、粒度一様の球状のコークスが充填されている。

3) ガス流れ、ガス濃度変化は羽口中心軸方向のみとし羽口先では次の2つの反応が起きる。



4) 一定の位置に着目すると、その点を流れるガスの濃度は時間に対して一定である。

5) O₂ の移動速度が酸化反応の速度を支配し、還元反応も1次反応とする。

6) 羽口先コークスの酸化, 還元反応速度はガス境界膜支配であつて, O_2, CO_2 の拡散定数 (D_{O_2}, D_{CO_2}) は近似的にその温度, 圧力における O_2, CO_2 の動粘度 ($\mu_{O_2, \theta, p}, \mu_{CO_2, \theta, p}$) に等しい¹⁾.

7) 羽口先コークスの酸化, 還元反応におけるガス境界膜の厚さ δ は次式で表わされる²⁾.

$$\delta = d_c / S_h = d_c / 1.5 Re^{0.55} \dots\dots\dots (1)$$

ここに d_c : コークスの平均直径

Re : レイノルズ

S_h : シャーウッド数

2.1.2 ガス成分分布式

いま, ガスの濃度は分圧比例するとして, 前記モデルについて羽口中心軸上の距離 x と, O_2 の分圧 P_{O_2}, CO_2 の分圧 P_{CO_2}, CO の分圧 P_{CO} との関係を求めると次のようになる³⁾⁴⁾.

$$P_{O_2} = P_{O_2,0} \exp(-k_{eff,1} x / V_g) \dots\dots\dots (2)$$

$$P_{CO_2} = P'_{CO_2, \theta} + P_{O_2,0} / (1 - k_{1,2}) [1 - (P'_{CO_2, \theta} / P_{O_2,0}) (1 - k_{2,1})] \exp(-k_{eff,2} x / V_g) - \exp(-k_{eff,1} x / V_g) \dots\dots\dots (3)$$

$$P_{CO} = 2(P_{O_2,0} - P'_{CO_2, \theta}) - 2P_{O_2,0} / (1 - k_{2,1}) [\{1 - (P'_{CO_2, \theta} / P_{O_2,0}) (1 - k_{2,1})\} \exp(-k_{eff,2} x / V_g) - \exp(-k_{eff,1} x / V_g)] \dots\dots\dots (4)$$

ここに

$P_{O_2,0}$: $x=0$ (羽口先端)における O_2 の分圧

$P'_{CO_2, \theta}$: 温度 θ における CO_2 の平衡分圧

$k_{eff,1}$: $C + O_2 \rightarrow CO_2$ 反応の実効速度定数

$k_{eff,2}$: $CO_2 + C \rightarrow CO$ 反応の実効速度定数

$k_{2,1}$: $k_{eff,2} / k_{eff,1}$

$k_{eff,1}, k_{eff,2}$ は次式で表わされる.

$$k_{eff,1} = ac D_{O_2} / \delta \dots\dots\dots (5)$$

$$k_{eff,2} = ac D_{CO_2} / \delta \dots\dots\dots (6)$$

ここに ac : 単位体積当りのコークスの表面積

コークスは粒度一様の球状と考え, (1)式およびモデルの(6)の項を(5), (6)式に代入すると次式のようになる.

$$k_{eff,1} = (5 \cdot 4 \mu_{O_2, \theta, p} / d_c^2) (V_g x d_c / \mu_{O_2, \theta, p})^{0.55} \dots\dots\dots (7)$$

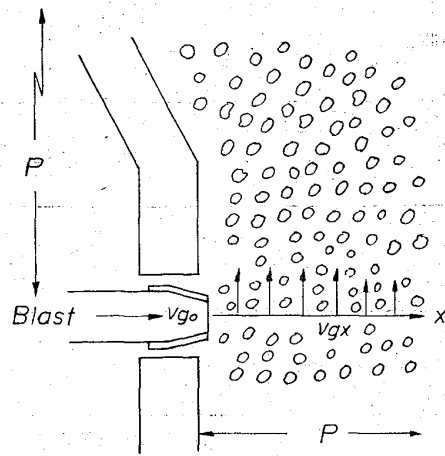
$$k_{eff,2} = (5 \cdot 4 \mu_{CO_2, \theta, p} / d_c^2) (V_g x d_c / \mu_{CO_2, \theta, p})^{0.55} \dots\dots\dots (8)$$

(7), (8)式およびガス流速分布 V_{gx} を表わす(13)式を(2)~(4)式に代入し, ガス濃度分布式に書き替えると次式のようになる. なお羽口先は高温であるので, $P'_{CO_2, \theta} = 0$ と考えた.

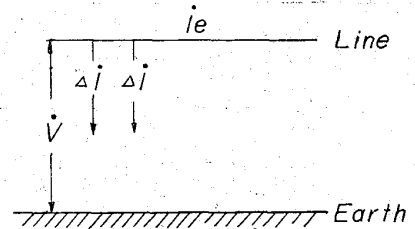
$$C_{O_2} = 0.21 \exp\{-5.4/d_c\} (\mu_{O_2, \theta, p} / d_c V_{go})^{0.45} (1/0.45b) \int_0^l \exp(0.45bx) dx / A \dots\dots\dots (9)$$

$$C_{CO_2} = 0.21 / (1 - k_{2,1}) [\exp\{-5.4/d_c\} (\mu_{O_2, \theta, p} / d_c V_{go})^{0.45} (1/0.45b) \int_0^l \exp(0.45bx) dx] - \exp\{-5.4/d_c\} (\mu_{O_2, \theta, p} / d_c V_{go})^{0.45} (1/0.45b) \int_0^l \exp(0.45bx) dx / A \dots\dots\dots (10)$$

$$C_{CO} = 0.42(1 - 1/1 - k_{1,2}) [\exp\{-5.4/d_c\} (\mu_{CO_2, \theta, p} / d_c V_{go})^{0.45} (1/0.45b) \int_0^l \exp(0.45bx) dx] - k_{1,2} \exp\{-5.4/d_c\} (\mu_{O_2, \theta, p} / d_c V_{go})^{0.45} (1/0.45b) \int_0^l \exp(0.45bx) dx \dots\dots\dots (11)$$



(A) Model of gas pass in blast furnace



(B) Equivalent circuit of gas pass

Fig. 1. Model of gas pass in blast furnace.

$$(1/0.45b) \int_0^l \exp(0.45bx) dx / A \dots\dots\dots (11)$$

ここに

$$A = 0.21 \exp\{-5.4/d_c\} (\mu_{O_2, \theta, p} / d_c V_{go})^{0.45}$$

$$(1/0.45b) \int_0^l \exp(0.45bx) dx + (0.21/1 - k_{2,1})$$

$$[\exp\{-5.4/d_c\} (\mu_{CO_2, \theta, p} / d_c V_{go})^{0.45}$$

$$(1/0.45b) \int_0^l \exp(0.45bx) dx] - \exp\{-5.4/d_c\}$$

$$(\mu_{CO_2, \theta, p} / d_c V_{go})^{0.45} (1/0.45b) \int_0^l \exp(0.45bx) dx$$

$$- k_{1,2} \exp\{-5.4/d_c\} (\mu_{O_2, \theta, p} / d_c V_{go})^{0.45}$$

$$(1/0.45b) \int_0^l \exp(0.45bx) dx] + 0.79 \dots\dots\dots (12)$$

2.2 ガス流速分布

羽口先の通気状態について, Fig. 1 Aのようなモデルを考えて, 圧力 P を電圧 V , ガス流速 V_g^2 を電流 I , 通気抵抗 ζ を抵抗 R として, 等価回路に置き換えると, Fig. 1 Bに示すように送電線の回路となる. したがって送電線の式に, 初期条件, 境界条件を入れて解き, 通気の式になおすと, 羽口先のガス流速分布式は次のようになる.

$$V_{gx} = V_{go} \exp(-bx) \dots\dots\dots (13)$$

ここに

V_{gx} : 羽口先端から距離 x におけるガス流速

V_{go} : 羽口先端における衝風流速

b : 定数

2.3 ガス温度分布

羽口先の各位置における反応量すなわち発熱量は(10)

(11)式から求めることができるので、羽口先の各微小部分における熱収支の基本方程式を解くことによつて、羽口先のガス温度分布を求めることができる。すなわち羽口先端から距離 Δl におけるガス温度を $\theta_{\Delta l}$ とすると近似的に次式で表わされる。

$$\theta_{\Delta l} = \{ (h_{CO_2} C_{CO_2, \Delta l} + h_{CO} c_{CO, \Delta l}) (0.79/c_{N_2, \Delta l}) + 22.4 c_{O, \theta_0} \theta_{0,0} \} / [(C_{O_2, \theta_{\Delta l}} c_{O_2, \Delta l} + C_{CO_2, \theta_{\Delta l}} c_{CO_2, \Delta l} + C_{CO, \theta_{\Delta l}} c_{CO, \Delta l} + C_{N_2, \theta_{\Delta l}} c_{N_2, \Delta l}) \{ 22.4 \times 0.79 \} / c_{N_2, \Delta l}] - 0.75 C_{C, \theta_{\Delta l}} \cdot 12 \{ c_{CO, \Delta l} + c_{N_2, \Delta l} \}] \dots (14)$$

ここに

- h_{CO_2} : $C + O_2 = CO_2$ 反応における発熱量
- h_{CO} : $C + 1/2 O_2 = CO$ 反応における発熱量
- C_{a, θ_0} : 温度 θ_0 までの空気の平均定圧比熱
- $C_{O_2, \theta_{\Delta l}}$: 温度 $\theta_{\Delta l}$ までの O_2 の平均定圧比熱
- $C_{CO_2, \theta_{\Delta l}}$: " CO_2 の "
- $C_{CO, \theta_{\Delta l}}$: " CO の "
- $C_{N_2, \theta_{\Delta l}}$: " N_2 の "
- $C_{C, \theta_{\Delta l}}$: " コークスの平均比熱

$\theta_{a,0}$: 衝風温度

$\theta_{\Delta l}$: 羽口先端から距離 Δl の位置におけるガス温度
 羽口先端から $2\Delta l$ におけるガス温度 $\theta_{2\Delta l}$ は次式で表わされる。

$$\theta_{2\Delta l} = [\{ h_{CO_2} (c_{CO_2, 2\Delta l} - c_{CO_2, \Delta l}) + h_{CO} (c_{CO, 2\Delta l} - c_{CO, \Delta l}) \} (0.79/c_{N_2, 2\Delta l}) + C_{O_2, \theta_{2\Delta l}} c_{O_2, 2\Delta l} + C_{CO_2, \theta_{2\Delta l}} c_{CO_2, 2\Delta l} + C_{CO, \theta_{2\Delta l}} c_{CO, 2\Delta l} + C_{N_2, \theta_{2\Delta l}} c_{N_2, 2\Delta l} \} \{ 22.4 \} (0.79) \theta_{\Delta l} / c_{N_2, 2\Delta l}] / [(C_{O_2, 2\Delta l} + C_{CO_2, \theta_{2\Delta l}} c_{CO_2, 2\Delta l} + C_{CO, \theta_{2\Delta l}} c_{CO, 2\Delta l} + C_{N_2, \theta_{2\Delta l}} c_{N_2, 2\Delta l}) \{ 22.4 \} (0.79) / c_{N_2, 2\Delta l}] - 0.75 C_{C, \theta_{2\Delta l}} \cdot 12 \{ (c_{CO_2, 2\Delta l} - c_{CO_2, \Delta l}) + (c_{CO, 2\Delta l} - c_{CO, \Delta l}) \}] \dots (15)$$

(14), (15)式を(9)~(11)式と連立させて、微小部分 Δl 毎に順次計算することにより、ガス温度分布を求めることができる。

3. 解析結果と実測結果との比較

3.1 比較方法

昭和37年11月~12月に、当社川崎製鉄所4高炉で、Table 1に示すような、送風量、送風温度の異なる3種の条件で操業し、羽口先のガス濃度分布、ガス温度分布の測定を行なうと共に、その条件について、それらの分布の計算を行なつて両者を比較した。

3.2 比較結果

操業条件A, B, Cについて、ガス濃度分布式から計算により求めた結果を Fig. 2~Fig. 4 に線で示し、実測結果を Fig. 2~Fig. 4 に○, ×, △印で示した。同様にガス温度分布式から計算した結果と、実測結果を Fig. 5に示した。

これらを比較すると、解析結果と実測結果はかなりよく合っていることがわかる。

4. 考 察

解析により得られた分布式による計算値と実測値とを操業条件の異なる3つの場合について比較した結果、かなりよく合うことがわかつたので、この分布式は羽口先酸化帯の状態を比較的よく表わすことができると考えてよい。

しかしこの解析方法の問題点は、モデルが単純で、衝風中の湿分を無視し、コークスを粒度一様の球状と見な

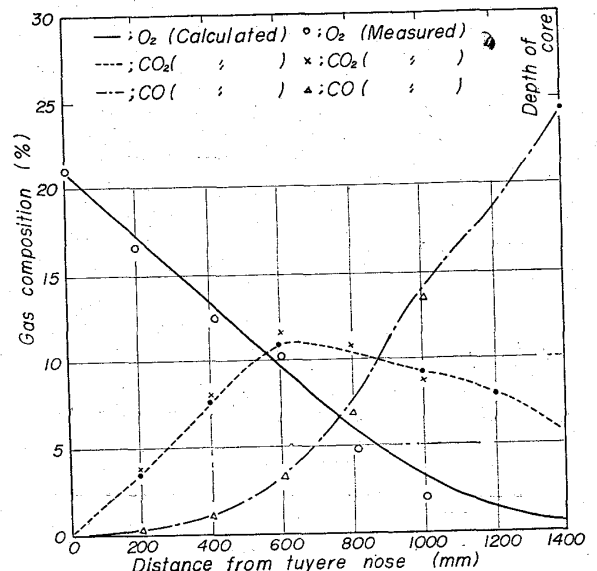


Fig. 2. Calculated and measured gas composition in combustion zone (Operation A).

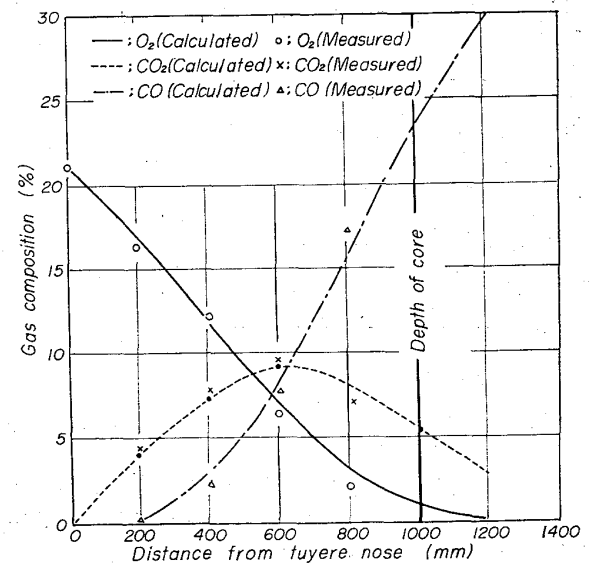


Fig. 3. Calculated and measured gas composition in combustion zone (Operation B).

Table 1. Blast furnace operations.

Operation	Blowing rate (Nm ³ /min)	Blowing pressure (kg/cm ² G)	Blowing temp. (°C)	Mean size of coke (mm)	Depth of core (mm)
A	1450	1.2	900	64.5	1400
B	1100	0.93	970	64.5	1000
C	1000	0.88	630	64.5	1180

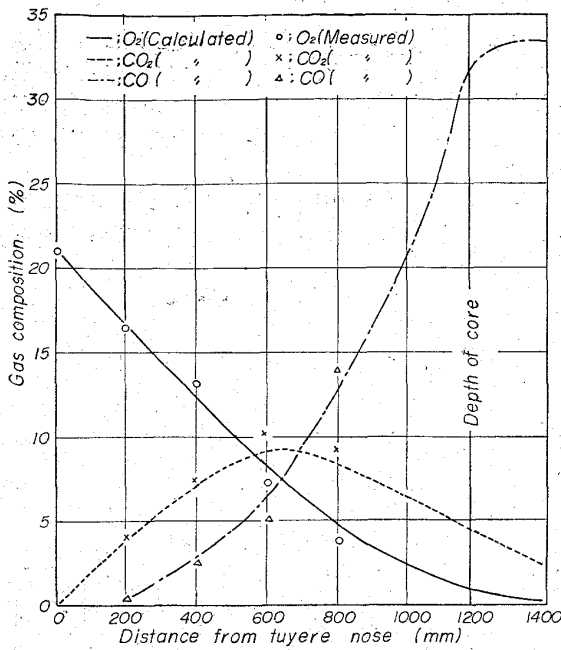


Fig. 4. Calculated and measured gas composition in combustion zone (Operation C).

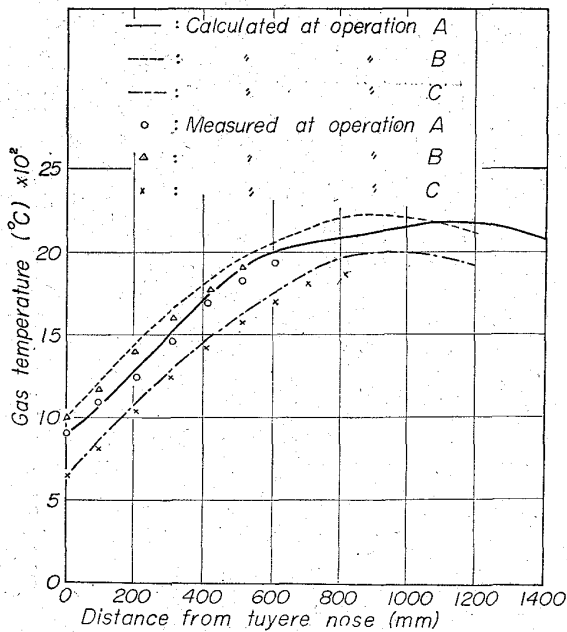


Fig. 5. Calculated and measured gas temperature distribution in combustion zone (Operation A, B and C).

したことなどの点で実際操業と異なっていること、衝風および羽口先ガス流れは、静的な一様の流れと仮定して動的な流れをまったく考えてなく、部分熱収支では熱伝達を無視し、コークスの顕熱について簡単な仮定をおいているなどの点で、羽口先の実際の機構を十分正確には示していないこと、燃料吹込みを考慮しない点で、操業の実情に即していないことなどである。

これらの問題点について検討すると、コークス粒度の問題は、この解析の場合のように平均値を知ろうとする

場合に、平均粒径で考えても、たいした誤りとはならない。衝風中の湿分の問題は、O₂, CO₂, COの濃度分布にはあまり大きく影響しないが、ガス温度分布については H₂O の解離熱が大きいので、実際の値は解析結果よりも若干低目に出ると考えられ、Fig. 5にもその傾向が見られる。

なおこれらの問題点については、今後の解決にまたねばならない。

5. 結 言

(1) 比較的単純なモデルによつて、羽口先酸化帯の解析を行なつて、ガス濃度分布式、ガス流速分布式、ガス温度分布式を導いた。

(2) 操業条件の異なる場合について、分布式による計算値と実測値とを比較した結果、かなりよく合ったのでこの分布式により、羽口先の状態を比較的良好に表わすことができると考えられる。

(3) モデルは、まだ十分に実際操業条件および羽口先の機構に適合していないので、なお今後の検討を要する。

文 献

- 1) Wuhoer, J. u. K. HEDDEN: Kalk Gips, 9(1956), p. 140
- 2) Hynert, G. u. J. WILLEMS: Stahl u. Eisen, 79 (1959), p. 1545
- 3) 矢木栄, 国井大蔵: 工業窯炉, 共立出版社, 昭和28年, p. 208
- 4) Mayers, M.A.: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 59 (1937), p. 279

669.162.2.013.5
(40) 堺第1高炉の建設について

八幡製鉄, 建設本部

工博 上嶋 熊雄・本田 明
平塚 義男・本田 亥住

堺製鉄所

井上 誠・吉永 博一
林 洋一・○安田 弘路

Construction of No. 1 Blast Furnace at Sakai Works.

Dr. Kumao UEJIMA, Akira HONDA,
Yoshio HIRATSUKA, Izumi HONDA,
Makoto INOUE, Masakazu, YOSHINAGA,
Yooichi HAYASHI and Kōji YASUDA.

1. 緒 言

堺第1高炉は1965年6月24日に火入を行なつた新鋭大型高炉である。これによつて、1961年10月に発足した堺製鉄所の鉄鋼一貫態勢が確立された。高炉建設に当つては、従来の当社高炉設備の集大成として、配置、設備等の合理化を行なつた。以下設備の概要について報告する。

2. 計 画 概 要

堺製鉄所は最終鋼塊年産量 350~400 万 t を目標に、第1高炉関連として約 71 万坪 (関連会社を含めて約 87 万坪) の造成地に建設されたもので、成品はH型鋼とし