

論 文

UDC 669.162.283 : 669.162.263.43 : 669.162.211.5 : 669.162.211.3

高炉炉口部におけるガス温度分布と装入物の
降下速度および層厚との関係*成田貴一**・稲葉晋一***・小林 勲***・沖本憲市***
清水正賢***・桑野恵二****・池田耕一****Relationship of the Gas Temperature Distribution with the Descending
Rate and Layer Thickness of Burden in the Throat of Blast FurnaceKiichi NARITA, Shin-ichi INABA, Isao KOBAYASHI, Ken-ichi OKIMOTO,
Masakata SHIMIZU, Keiji KUWANO, and Koichi IKEDA

Synopsis:

The operation data of a blast furnace have been analyzed.

The gas temperature distribution in the throat of the blast furnace is divided into two patterns. One is named the spire type, in which the temperature is extremely high only in the central narrow part. Another is named the hill type, in which the temperature is high over the wide region of center.

The gas temperature distribution seems to be closely related to the descending rate of burden. For the spire type, the descending rate measured by a sounding probe is higher than the average rate calculated from the charging volume of burden. For the hill type, in which the measured rate is lower than the average, the descending rate in the central part is thought to be higher than the average.

The difference in descending rate between the central and the peripheral parts results in variation of the distribution of ore to coke ratio in stack. The variation of the layer thickness of burden in throat is theoretically calculated considering the distribution of descending rate.

The distribution pattern of top gas temperature is closely related to the thermal condition of blast furnace, and its change usually occurs six to ten hours before the beginning of variation in the temperature of pig iron.

1. 緒 言

高炉が大型化するにともなつて、炉口径が拡大した結果、装入物の堆積状況とそれともなうガス流分布の制御が重視されるに至つた¹⁾。そこで大型高炉の炉口部装入線の半径方向温度分布が調査され、大型高炉の炉況を安定に維持するためには中心部の狭い範囲でのみ高温度の温度分布パターンが良いと言われている²⁾³⁾。

この温度分布パターンと炉況との関連性を追究した結果、このパターンは装入物の検尺位置における降下速度と密接に関連していることが判明した。また、降下速度の変化とともにコークスと鉾石の装入層厚も変動するこ

とが確認され、降下速度には半径方向に分布の存在することが推察された。さらに、この温度分布パターンは炉熱の変動とも関連しており、この温度分布パターンを管理することによつて炉熱の変化を事前に制御しうる可能性を見出した。

大型高炉炉口部のガス温度分布は炉内軟化融着帯の形状とシャフト上部の装入物の挙動に影響される。これらの要因は互に影響しあい、相互に原因とも結果ともなりうるが、本報告ではガス温度分布と装入物の挙動、特に装入物の降下速度と装入層厚との関係を検討した。さらに降下速度の半径方向分布を考慮して各装入物の装入層厚を求める理論解析を実施し、実操業データの解析結果

* 昭和 50 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 53 年 3 月 6 日受付 (Received Mar. 6, 1978)

** (株)神戸製鋼所中央研究所 工博 (Central Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd.)

*** (株)神戸製鋼所中央研究所 (Central Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd., 1-3-18 Wakinohana-cho Fukiai-ku Kobe 651)

**** (株)神戸製鋼所加古川製鉄所 (Kakogawa Works, Kobe Steel, Ltd.)

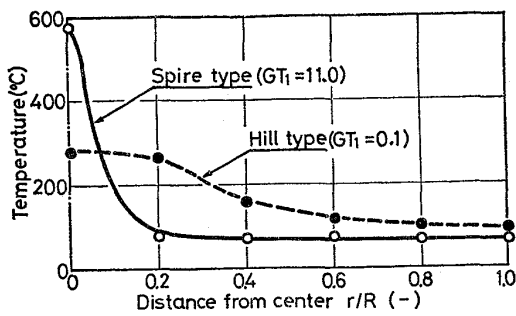


Fig. 1. Typical patterns of temperature distribution of gas at throat.

と比較検討した。

2. 炉口部ガス温度分布パターン

加古川 No. 2 高炉を対象に炉口部の半径方向ガス温度分布を追究した結果、炉況良好時においても Fig. 1 に示すごとく中心部の狭い範囲でのみ温度が高く中間～周辺部にわたってほぼ均一な分布 (Spire type) と中心温度はやや低いが中心部の広い範囲にわたって比較的高い温度を示すパターン (Hill type) の2種類が認められる。これらの温度分布パターンを定量化するためにガウスの誤差関数によつて近似して無次元化したガス温度分布指数 GT_1 を求める。温度分布パターンを半径方向で n 分割し、中心と周辺の温度をそれぞれ T_0 、 T_w とする。任意の測定点の温度 T_i は中心からの距離 r に対して (1) 式のごとく表わされる。

$$T_i = C_1 \times \text{Exp}\left(-\frac{r^2}{2C_2^2}\right) + T_w \dots\dots\dots (1)$$

(1) 式に中心部温度 T_0 と $r=1$ の点の温度 T_1 を代入することによつて係数 C_1 と C_2 を求めることができ無次元指数 GT_1 を (2) 式のごとく定義する。

$$GT_1 \equiv \frac{(C_1/C_2)}{T_1} \dots\dots\dots (2)$$

ガス温度分布をこの GT_1 によつて整理して炉況との関係を調べた結果が Fig. 2 である。図の縦軸は炉況指数 F^4 といわれるもので、(3) 式のごとく単位時間当りの送風圧力の変動量を表わし、炉況が良好な程小さな値を示す。

$$F \equiv \left(\sum_{i=1}^n \Delta P_i\right) / n \dots\dots\dots (3)$$

- ただし $\Delta P_i = |P_{Bi} - P_{B(i-1)}|$
- P_B : 送風圧力 (g/cm^2)
- n : 単位時間当りの測定回数
- $i, i-1$: 測定時間

解析結果によれば炉況指数 10 以下では羽口破損は全く

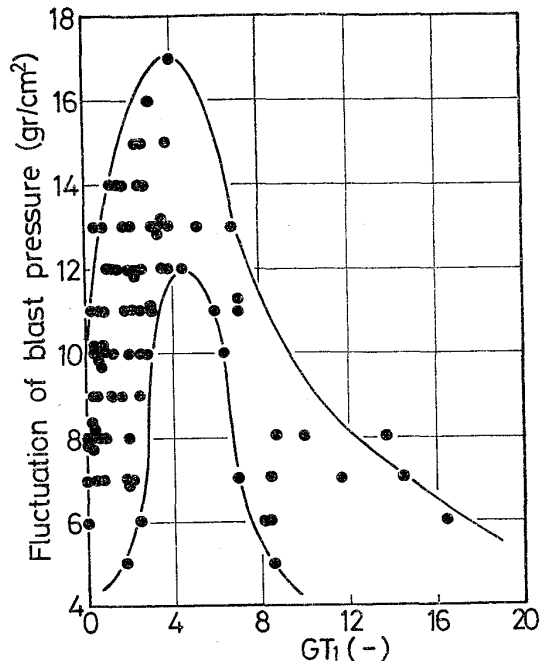


Fig. 2. Relationship between temperature distribution index GT_1 and fluctuation of blast pressure.

認められず炉況はきわめて良好である。図から明らかなように、炉況の良好な領域 (炉況指数 10 以下の領域) は $GT_1 < 1$ と $7 < GT_1$ の2種類好在している。 $7 < GT_1$ の場合のガス温度分布パターンは Fig. 1 に示した Spire type で、この場合には送風圧力の変動が小さく、出鉄比を大きくすることができ、しかも安定な炉況を長時間維持することができる。

これに対して、 $GT_1 < 1$ の場合に得られる温度分布パターンが Hill type で、炉況は良好であるがガス利用率熱効率あるいは炉壁保護の点において不利であり安定な炉況が長期間維持されていない。

3. ガス温度分布と装入物降下速度の関係

まず周辺部 (検尺位置) の降下速度とガス温度分布指数 GT_1 との関係を調べる。平均降下速度 v_{av} は平均的な銑鉄生産速度によつて決定され (4) 式のように表わされる。

$$v_{av} = N \times C_B \times \left\{ \frac{1}{\rho_C} + \frac{(O/C)}{\rho_O} \right\} / (24 \times A) \dots (4)$$

ここで、 N : 装入回数 (charge/d)

A : 炉口断面積 (m^2)

C_B : コークスペース (t/charge)

ρ_O, ρ_C : 銑石とコークスの嵩密度 (t/m^3)

O/C : 装入時の銑石とコークスの重量比 (-)

降下速度比 v^* を周辺部降下速度 v_w と平均降下速度 v_{av}

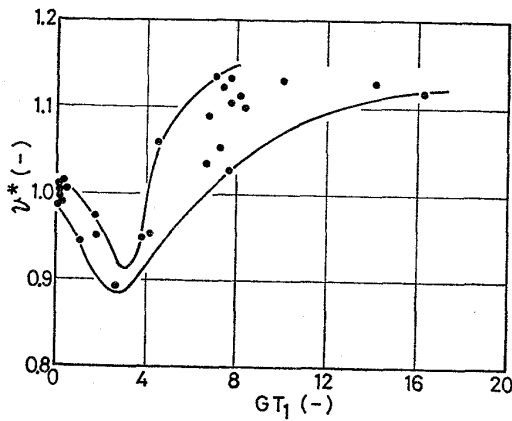


Fig. 3. Relationship between temperature distribution index GT_1 and specific descending rate v^* .

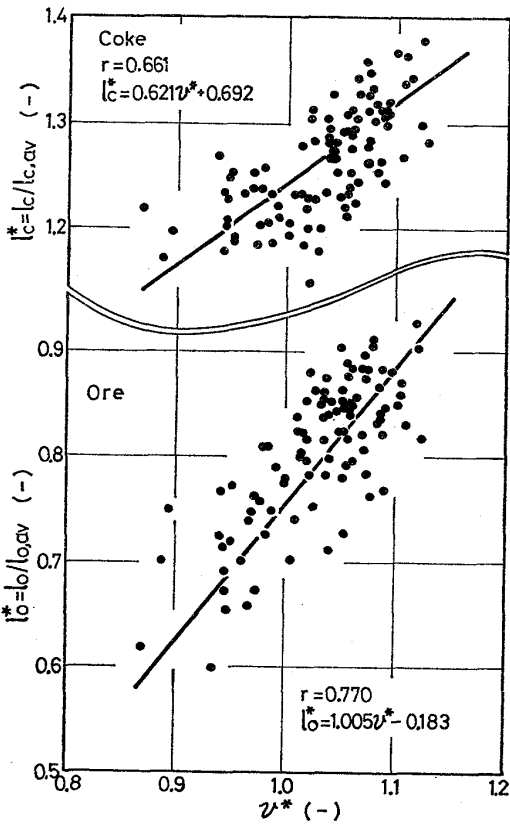


Fig. 4. Relationship between specific descending rate v^* and layer thickness l_o^* , l_c^* .

の比として (5) 式のごとく定義する。

$$v^* \equiv v_w / v_{aw} \dots \dots \dots (5)$$

この降下速度比とガス温度分布指数との関係を Fig. 3 に示す。図から明らかなように 炉況良好な $GT_1 < 1$ と $7 < GT_1$ に相当する領域では降下速度比が大きい。しかも $7 < GT_1$ の Spire type の方が $GT_1 < 1$ の Hill type に比して降下速度比が大きくなっている。

Fig. 4 には降下速度比の変化にともなつて鉱石とコー

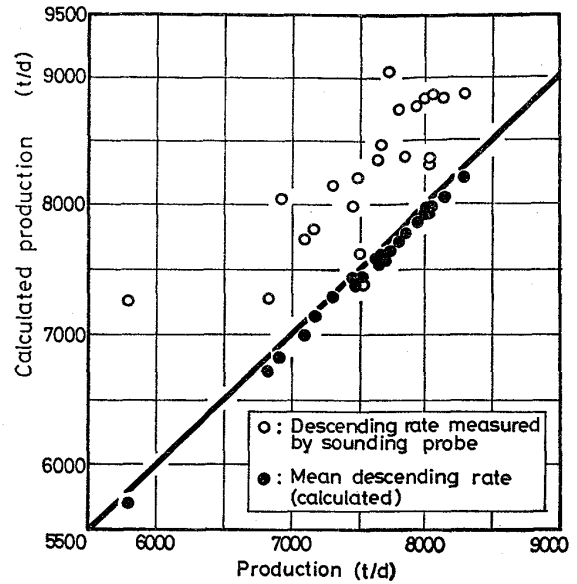


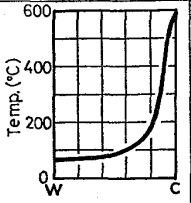
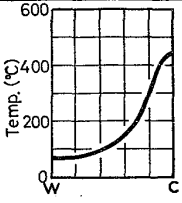
Fig. 5. Comparison of calculated production with actual production.

クスの層厚が変化する状況を示す。縦軸の層厚比は降下速度比と同様に検尺にて実測した層厚を平均層厚に対する比として無次元化したものである (l_o , l_c はそれぞれ鉱石とコークスの検尺測定による層厚)。降下速度比が増加するにつれて各層厚比が増大している。すなわち、周辺部降下速度が大きくなるにつれて周辺部のコークスと鉱石の層厚がともに増大している。しかも回帰係数からも判るように同一降下速度比の変化に対する層厚比の変化はコークス層より鉱石層の方が大きいことから周辺部の ore/coke の変化することが推察される。

4. 降下速度分布の確認

Fig. 5 に実際の銑鉄生産量と検尺にて実測した降下速度から算出した出銑量との関係を示す。図から明らかなように検尺位置の降下速度が平均降下速度に等しい場合の計算出銑量は実際の出銑量と一致しているが、降下速度から求めた銑鉄生産量は実際の出銑量よりしばしば多い。すなわち、検尺位置の降下速度はしばしば平均降下速度より大きいことを示している。そこで、降下速度分布を直線と仮定すれば装入物降下速度が平均の降下速度より小さい領域が存在することとなる。この領域を中心部であると考え、周辺部降下速度の大きい場合には装入から次の装入までの堆積層の平均傾斜角は小さくなる。Spire type と Hill type の場合の傾斜角を休風時を利用して測定した結果を休風直前の操業状況と合わせて Table 1 に示す。いずれの測定においても炉況は安定しており両測定間には約 40 日の隔りがあるものの操業

Table 1. The operation data at different descending rate.

Item	Period	A	B
Slope angle (°)		13	18
v_w (m/h)		8.42	7.54
v_{av} (m/h)		8.00	7.50
ore/coke		3.66	3.72
Bosh gas volume (Nm ³ /min)		7920	7872
Sol. loss C (kg/t-p)		86.4	82.6
Gas temp. pattern			

条件はよく類似していた。この場合、測定結果を直接比較しうるように休風開始から測定までの時間をほぼ同じにした。表から明らかなように、両期間とも堆積傾斜角は装入物の安息角よりかなり低い値を示すが、検尺位置の降下速度が、平均降下速度に比して大きい場合（期間A）には堆積層の傾斜角度は小さくなっている。また、この場合のガス温度分布は典型的な Spire type となっている。周辺部降下速度と平均降下速度がほぼ等しい場合（期間B）には傾斜角が大きくガス温度分布パターンは若干 Hill type 化している。この場合の傾斜角は期間Aに比して大きく装入物分布実験から求めたペレットを含む装入物の傾斜角度⁵⁾にかなり近い値である。

5. 装入物の降下速度分布にともなう層厚分布の理論的解析

装入物の装入実験や降下実験および高炉休風時の観測結果に基づいて、次のような状況を想定する。

(1) 装入方式は $C \downarrow O \downarrow$ とする（ \downarrow は装入を表わすとともに堆積層表面で装入指定線 CL に到達するまで次の装入が行なわれないことを表わす）。

(2) 高炉炉口部では Fig. 6 に示すような M 型分布とし、装入物降下時の体積変化はない。

(3) 降下速度分布は次式で表わされる。

$$v(r) = (v_w - v_c) \cdot r / R_1 + v_c \quad (0 \leq r \leq R_1)$$

$$v(r) = v_w \quad (R_1 \leq r \leq R)$$

(4) 中心部降下速度が周辺部のそれより大きい場合最上層の鉱石層のみ流れこみが生じ、表面傾斜角は一定に保たれる。

(5) コークス層の流れこみはなく、また鉱石装入時にもコークスのまきこみ、すなわち、混合層の形成はな

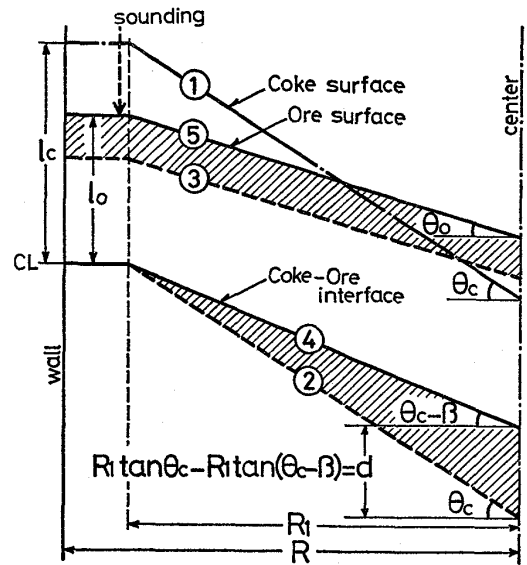


Fig. 6. Schematic diagram of layer thickness when $v_w > v_c$.

い。

5.1 周辺部の降下速度が中心部より大きい場合の層厚分布

この場合の層厚を求める模式図を Fig. 6 に示す。図中の各堆積層表面は次の状況を示している。

- ①：コークスが装入された直後の堆積表面
- ②：①の表面が平行に降下して指定装入線 CL に達した時の表面
- ③：コークス表面 ② 上に鉱石が装入された直後の堆積層表面
- ④：周辺部の降下速度が大きく、コークス層表面 ① が CL に達した時の表面
- ⑤：表面 ④ 上に鉱石が装入された直後の堆積表面（斜線部分の体積だけ層厚が増加する）

Fig. 6 に従って鉱石層の体積を求めると (6) 式が得られる。

$$V_o = \pi R^2 l_o - (\pi R_1^3 / 3) \{ \tan \theta_0 - \tan(\theta_0 - \beta) \} \dots (6)$$

鉱石装入時のコークス層表面傾斜角 $(\theta_0 - \beta)$ を降下速度を用いて表わすと (7) 式となる。

$$\tan(\theta_0 - \beta) = \tan \theta_0 + (l_c / R_1) (v_c - v_w) / v_w$$

$$= \tan \theta_0 + (l_c / R_1) \cdot \Delta v \dots (7)$$

ここで、 $\Delta v = [(v_c - v_w) / v_w]$ は降下速度分布を表わす無次元数で相対降下速度比と呼ぶ。(7) 式を (6) 式に代入して炉口部断面積で割ると (8) 式が得られる。

$$l_o = l_{o,av} - P(R_1 \Delta \theta + l_c \cdot \Delta v) \dots (8)$$

コークス層厚についても同様にして (9) 式が求まる。

$$l_c = l_{c,av} + P(R_1 \Delta \theta - l_o \cdot \Delta v) \dots (9)$$

(8), (9) 式から各層厚は (10), (11) 式となる。

$$l_o = \frac{(l_{c,av} + P \cdot R_1 \cdot \Delta\theta) \cdot P \cdot \Delta v - (l_{o,av} - P \cdot R_1 \cdot \Delta\theta)}{(P \cdot \Delta v)^2 - 1} \dots\dots\dots (10)$$

$$l_c = \frac{(l_{o,av} - P \cdot R_1 \cdot \Delta\theta) \cdot P \cdot \Delta v - (l_{c,av} + P \cdot R_1 \cdot \Delta\theta)}{(P \cdot \Delta v)^2 - 1} \dots\dots\dots (11)$$

ただし, $P = (R_1/R)^2/3$ (-) $l_{o,av} = V_o/\pi R^2$ (m)
 $\Delta\theta = \tan \theta_c - \tan \theta_o$ (-)
 $l_{c,av} = V_c/\pi R^2$ (m) $\Delta v = (v_c/v_w) - 1$ (-)

l_o, l_c : 周辺部の鉱石とコークスの装入時の層厚 (m)
 V_o, V_c : 1 チャージ当りの鉱石とコークスの体積 (m³)
 θ_o, θ_c : 鉱石とコークスの堆積傾斜角 (°)
 v_c, v_w : 中心部と周辺部の降下速度 (m/h)
 R_1 : M型分布頂点の炉軸からの距離 (m)

添字 *av*: 平均値を表わす.

(10), (11) 式から計算した相対降下速度比と層厚の関係を Fig. 7 に示す. 図から明らかなように, Δv の減少, すなわち周辺部降下速度が中心部より大きくなるにつれてコークス層と鉱石層の周辺部層厚が増加する.

5.2 中心部降下速度が周辺部より大きい場合の層厚変化

Fig. 8 に示した模式図に従って装入の各段階ごとの層厚を求める.

5.2.1 コークス装入直後の層厚 (Fig. 8 (a))

鉱石層の傾斜角は流れこみにより一定値 θ_o に保たれており, その上に堆積するコークスの周辺部および中心部の層厚は (12), (13) 式で与えられる.

$$l_c = (V_c + \pi R_1^3 \cdot \Delta\theta/3) / (\pi R^2) \dots\dots\dots (12)$$

$$l_o = l_c - R_1 \cdot \Delta\theta \dots\dots\dots (13)$$

5.2.2 鉱石装入直後の鉱石層厚 (Fig. 8 (c))

鉱石は傾斜角が $(\theta_c + \beta)$ のコークス層上に傾斜角 θ_o で装入される. この状況は (14) 式で表わされる.

$$V_o = \pi R^2 l_o(0) - (\pi R_1^3/3) \{ \tan \theta_o - \tan(\theta_c + \beta) \} \dots\dots\dots (14)$$

(8) 式の算出と同様な操作を行うと, 周辺部と中心部の層厚は (15), (16) 式となる.

$$l_o(0) = l_{o,av} - (1/3) (R_1/R)^2 (l_c \cdot \Delta v + R_1 \cdot \Delta\theta) \dots\dots\dots (15)$$

$$l_o'(0) = l_o(0) + l_c \cdot \Delta v + R_1 \cdot \Delta\theta \dots\dots\dots (16)$$

5.2.3 鉱石層厚の経時変化 (Fig. 8 (d))

鉱石層下面の傾斜角の経時変化を $\lambda(t)$ とすると, 次の関係が得られる.

$$\tan \lambda(t) = \tan(\theta_c + \beta) + (v_c - v_w)t/R_1 \dots\dots (17)$$

鉱石層の体積変化がないことから (18) 式が成立する.

$$V_o = \pi R^2 l_o(t) - (\pi R_1^3/3) \{ \tan \theta_o - \tan \lambda(t) \} \dots\dots\dots (18)$$

(18) 式に (17) 式を代入して (14) 式を用いると, 鉱石層厚の経時変化が (19) 式で求められる.

$$l_o(t) = l_o(0) - (1/3) (R_1/R)^2 (v_c - v_w) \cdot t \dots\dots (19)$$

中心部の層厚は Fig. 8 (d) の幾何学的関係に (17), (19) 式を適用すると (20) 式で与えられる.

$$l_o'(t) = l_o'(0) + \{ 1 - (1/3) (R_1/R)^2 \} (v_c - v_w) \cdot t \dots\dots\dots (20)$$

5.2.4 指定装入線 CL 到達時の鉱石層厚

鉱石層の周辺部表面が指定装入線に到達するまでの時間 t_0 は (21) 式から計算できる.

$$l_o(0) = \{ v_w + |dl_o(t)/dt| \} t_0 = \{ v_w + (1/3) (R_1/R)^2 (v_c - v_w) \} t_0 \dots\dots (21)$$

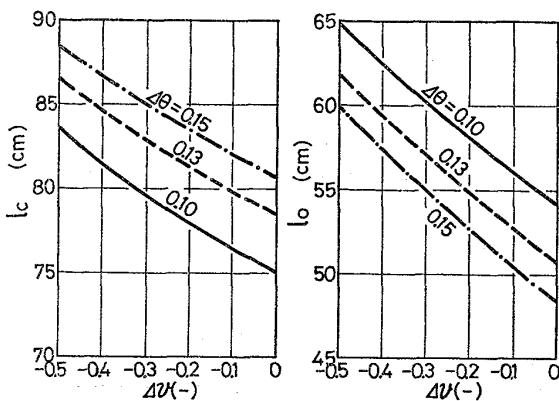


Fig. 7. Relationship between Δv and layer thickness in periphery (Coke base: 25 t, O/C: 3.7, Dia. at throat: 10.0 m).

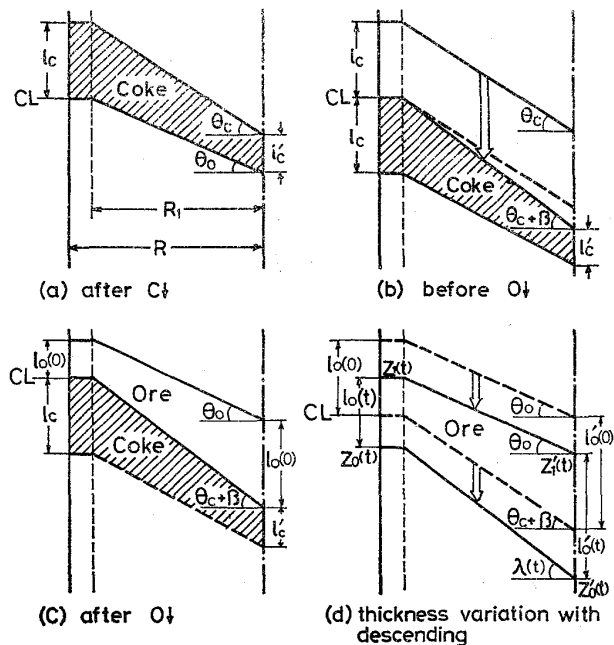


Fig. 8. Schematic diagrams of layer thickness when $v_w < v_c$.

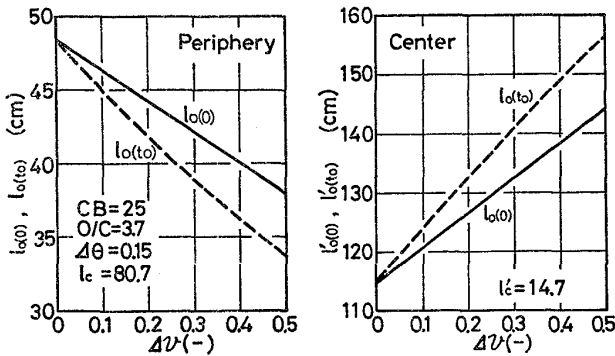


Fig. 9. Relation between Δv and layer thickness of ore when $v_w < v_c$.

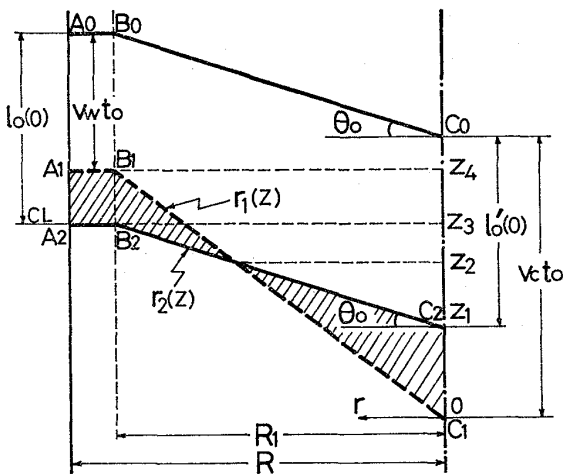


Fig. 10. Schematic drawing of ore volume traveled into the central part at stock line.

(21) 式は検尺の検知する降下速度はみかけの降下速度で真の降下速度 v_w より $(1/3)(R_1/R)^2(v_c - v_w)$ だけ大きくなることを示している。(21) 式から得られる t_0 を (19), (20) 式に代入することにより、指定装入線到達時の層厚が (22), (23) 式のように求められる。

$$l_o(t_0) = l_o(0) / \{1 + (1/3)(R_1/R)^2 \Delta v\} \dots\dots (22)$$

$$l'_o(t_0) = l'_o(0) + \{1 - (1/3)(R_1/R)^2\} \Delta v \cdot l_o(0) / \{1 + (1/3)(R_1/R)^2 \Delta v\} \dots\dots (23)$$

(15), (16), (22), (23) 式から計算した相対降下速度比と層厚の関係を Fig. 9 に示す。実線は鉱石装入時の層厚を示し、破線は流れこみを伴って指定装入線に到達した時の層厚を示す。鉱石装入直後の周辺部層厚 $l_o(0)$ は Δv の増加（中心部降下速度の増大）とともに減少し中心部層厚は逆に増大する。同一 Δv における装入直後と指定装入線到達時の層厚変化をみると、周辺部では中心部への流れこみにより実線 ($l_o(0)$) から破線 ($l_o(t_0)$) の層厚に減少し、中心部ではこの逆になっている。また、 Δv の増加とともに流れこみ量が増加するため、 $l_o(0)$ との差は大きくなる。

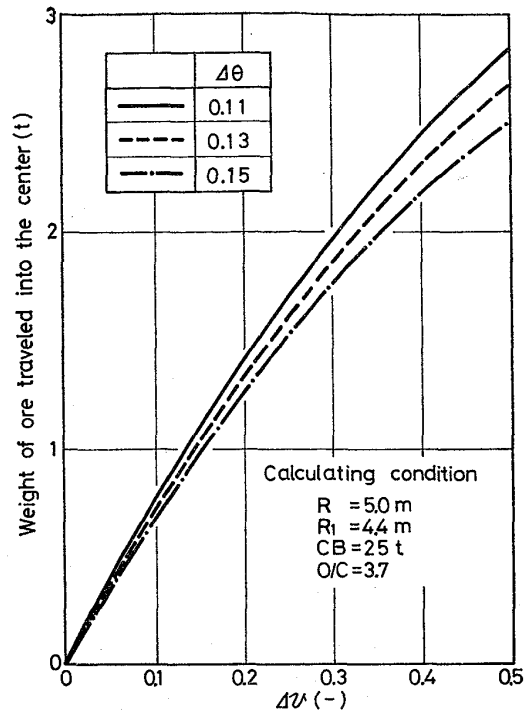


Fig. 11. Relation between Δv and weight of ore traveled into the center.

5.2.5 中心部への鉱石の流れこみ量

Fig. 10 の模式図に従って中心部への鉱石の流れこみ量を求める。図に示すように装入直後の鉱石層表面を、 $A_0 B_0 C_0$ とし、周辺部層厚を $l_o(0)$ とする。流れこみが生じている場合に周辺部が指定装入線に到達する時間を t_0 とし、それ層が流れこみを起すことなく降下した場合に t_0 時間後に到達する堆積層表面を $A_1 B_1 C_1$ とする。従って、Fig. 10 の斜線部が流れこんで初期の傾斜角 θ_0 を保っていると仮定すれば、流れこみ量 V_1 は (24) 式で求めることができる。

$$V_1 = \pi \int_0^{z_1} r_1(z)^2 dz + \pi \int_{z_1}^{z_2} \{r_1(z)^2 - r_2(z)^2\} dz \dots (24)$$

Fig. 11 に相対降下速度比 Δv と流れこみ量との関係を示す。この図は炉口径 10.0m の高炉においてコークスベース=25 t, ore/coke=3.7 とした場合の計算結果である。図から明らかなように、 $\Delta v=0.5$ では鉱石が装入されて指定装入線まで降下する間に全装入量の 2.7% に相当する $1.4m^3(2.5 t)$ の鉱石が流れこむこととなる。

6. 考 察

6.1 周辺部層厚の実測データと計算結果との比較

Fig. 4 に示した降下速度比と層厚の関係と、理論解析による計算結果とを比較して Fig. 12 に示す。ここで、降下速度比 v^* と相対降下速度比 Δv の関係は次のように求まる。

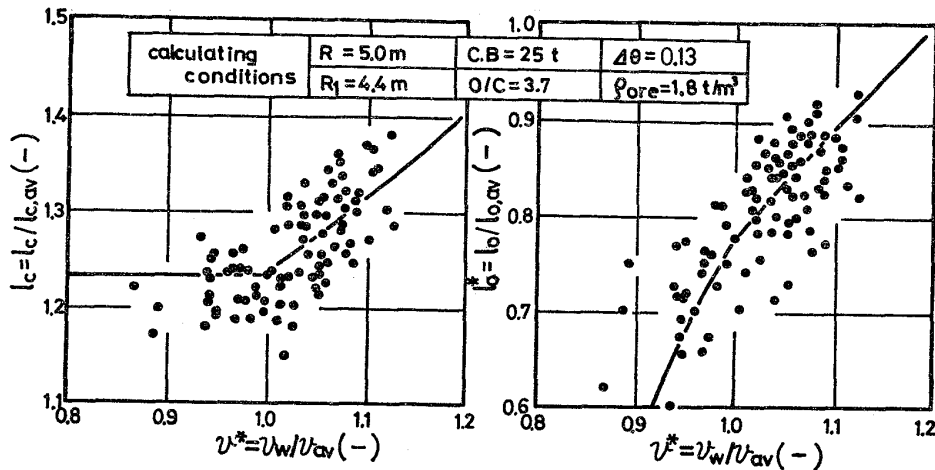


Fig. 12. Comparison of calculated layer thickness with measured values.

$$v_{av} = \frac{2\pi}{\pi R^2} \int_0^R v(r) \cdot r dr = v_w + \frac{1}{3} \left(\frac{R_1}{R} \right) (v_c - v_w) \dots \dots \dots (25)$$

両辺を v_w で割って整理すると (26) 式が得られる.

$$v_w^* = \frac{v_{av}}{v_w} = \frac{1}{1 + (1/3) (R_1/R)^2 \Delta v} \dots \dots \dots (26)$$

コークス層についてみると、 $v^* < 1$ の領域では鉍石の流れこみが生じて鉍石表面の傾斜角が一定に保たれるという仮定から、コークスの計算層厚はコークスペースと $\Delta\theta$ によつて決定され、 v^* には無関係に一定値を示すことになる。実測値もほぼこの傾向を示している。 $v^* > 1$ の計算結果は周辺部の降下速度の増大に対応して指定装入線到達時の鉍石鉍層傾斜角が小さくなるために、その上に堆積するコークス層厚は大きくなるが、実測結果も計算結果とよく一致している。

鉍石層の場合、 $v^* > 1$ ではコークス層と同様に v^* とともに層厚が大きくなり、計算値と実測値はよい一致を示している。 $v^* < 1$ では v^* の減少とともにコークス層の傾斜角が大きくなり中心部の装入鉍石量が増加する結果、周辺部の鉍石層厚は減少する。計算値と実測値を比較する際、 $v^* < 1$ の場合の検尺は前述のように真の降下速度 v_w を検出していないので、流れこみの効果を加味した補正が必要であると考えられる。しかし、検尺棒の追隨の不確実性から、今回は測定値を、そのまま採用した。このために実測データにはかなりのバラツキはみられるものの、その傾向は計算結果と一致している。

これらの事実から、半径方向の降下速度分布が装入物の層厚に影響をおよぼすことが理論的に裏付けられたと考えられる。実測値と計算値とのズレについては次の原因が考えられる。

i) 半径方向には粒度分布とともにかさ密度の分布が

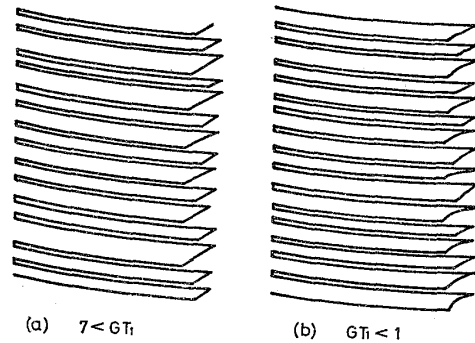


Fig. 13. Descending trajectory of sounding probe in blast furnace.

ある。

ii) 装入物の配合変更による傾斜角の変動にともない $\Delta\theta$ が変化する。

iii) 装入物堆積層表面の頂点、すなわち、 R_1 の位置が装入物の粒度分布などによつて変化する。

iv) コークス層は流れこまないと仮定したこと の 当否

6.2 検尺の降下軌跡

検尺の降下軌跡は装入物の降下状況を知る重要な指標である。Fig. 13 に $GT_1 < 1$ と $7 < GT_1$ の操業における代表的な降下軌跡を示す。 $7 < GT_1$ の場合には検尺位置と時間は直線関係にあり周辺部は一定速度で円滑に降下していることが判る。一方、 $GT_1 < 1$ では曲線となり降下速度が時間とともに増加しているようにみえる。そこで、装入物が中心部へ流れこむ場合を考え、Fig. 14 (a) の模式図のように検尺の重錘の中心へ向う速度ベクトル \mathbf{V} が半径方向の速度成分 V_r をもつとする。図から重錘の降下軌跡は (27) 式で与えられる。

$$S(t) = \sqrt{(L + V_z \cdot t)^2 + (V_r \cdot t)^2} - L \dots \dots \dots (27)$$

速度成分 V_r の定量が困難なため、周辺部の降下距離に

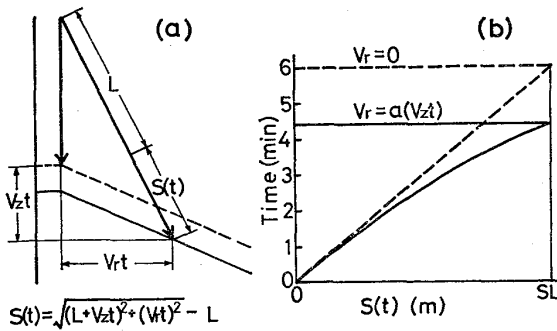


Fig. 14. Analysis of descending trajectory of sounding probe.

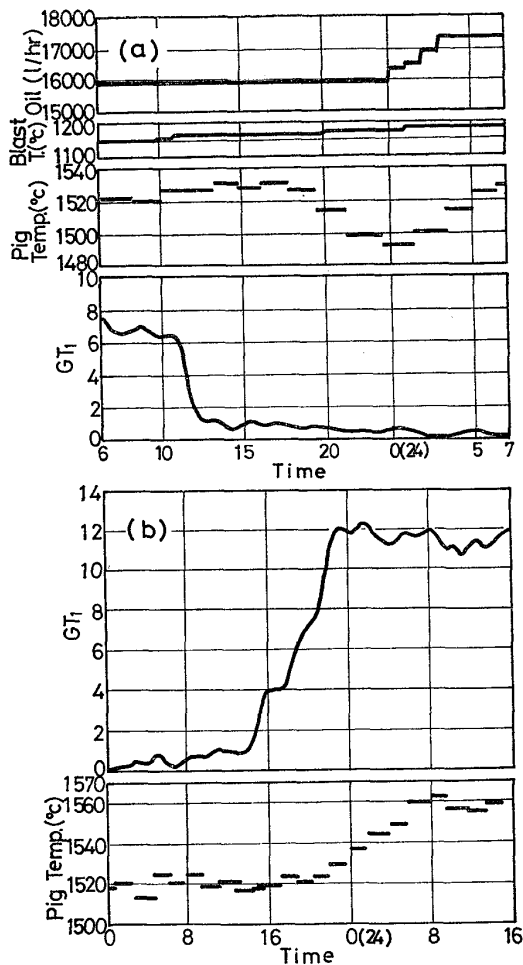


Fig. 15. Relationship between pig iron temperature and GT_1 index.

比例すると仮定して求めた降下軌跡を Fig. 14(b)に示す。図から明らかなように検尺重錘が鉛直に降下した場合 ($V_r=0$) には破線のごとく降下距離は時間に比例した直線に変化する。一方、流れこみのある場合には曲線となり堆積層表面は短時間でストックレベルに到達することとなる。この計算結果は Fig. 13 の検尺軌跡によく類似していることがわかる。

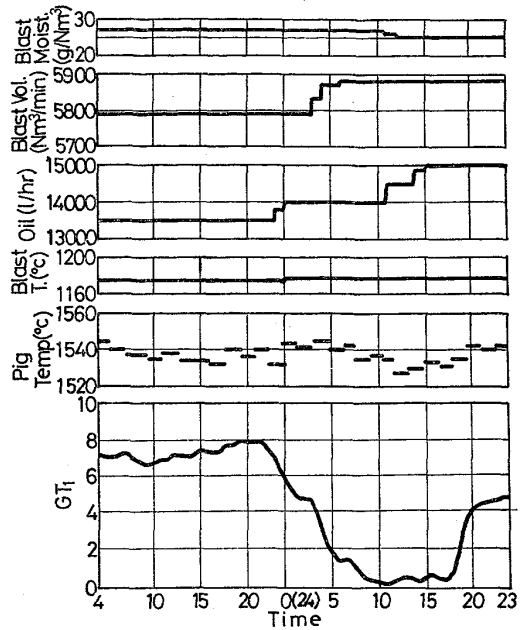


Fig. 16. Effect of blast condition against GT_1 changing on pig iron temperature.

6.3 GT_1 と炉熱の関係

GT_1 に対応して装入物の降下速度が変化し、この降下速度比と層厚との間には密接な関係のあることが判明した。前述の過程からもわかるように、層厚分布が変化することによつて ore/coke 分布の変化することが考えられその結果、炉熱への影響が推察される。

炉熱を溶銑温度で代表させ、ガス温度分布が急変した場合の溶銑温度の変化を Fig. 15(a) と (b) に示す。Fig. 15(a) に示すように、 GT_1 が大 → 小に急速に減少した後約 6 ~ 8 h 後に溶銑温度が、低下しはじめている。送風温度により若干の熱補償は行なわれているが溶銑温度の上昇はみられず 1490°C まで大きく低下している。この時点で重油吹込量の大幅な増加 (酸素富化率一定) により装入物の炉内滞留時間を長くして溶銑温度の回復が図られているが、温度分布は GT_1 値が小さいまま推移した。Fig. 15(b) は逆の場合の例である。 GT_1 は小 → 大に急上昇しており、溶銑温度はこの急変後約 6 ~ 8 h で 1560°C まで上昇している。

これらの結果を利用して、炉熱調整を行なった例を Fig. 16 に示す。前例のごとく GT_1 が大 → 小に急変した場合には 6 ~ 8 h 後に溶銑温度の低下が予想されるため、 GT_1 の急変後ただちに重油吹込量 (酸素富化率一定) を増加した。一方、解析の結果 GT_1 が小さい場合には銑鉄 1 t あたりのボッシュガス量の小さいことが判明しており、熱流比を減少させる意味で増風している。 GT_1 はこの場合にも小さいが溶銑温度の低下は回避され、ガス

温度分布も約 10 h 後にはもとの中心流に回復している。

このように GT_1 は溶銑温度と密接な関係があり、しかも溶銑温度の変化に先立つて現われることから高炉操業上溶銑温度を管理する有効な手段となりうるがわかる。

7. 結 言

高炉の操業データ解析を行なった結果、炉口部のガス温度分布パターンは検尺位置で測定した装入物降下速度と関連しており、同時にこの検尺位置での降下速度の変化は装入層厚の変化と対応していることが判明した。本報告では、この温度分布パターンに影響をおよぼす因子の一つとして、降下速度の変化にともなう傾斜角の変化に着目し、これらの結果を理論解析によつて検証した。この解析では鉍石の中心部への流れこみが装入物の層厚におよぼす影響をも検討した。

また、炉口部ガス温度分布が炉熱に及ぼす影響をも調査しガス温度分布指数が高炉操業上きわめて有用な指標であることを示した。

しかし、本検討結果においては周辺部降下速度の変化する原因は何ら解明されていない。この原因はガス温度分布や降下速度の変化におよぼす軟化融着帯形状の影響あるいはソリューションロス反応などの炉内反応の分布を考慮することによつて解明されるものと考えられる。

文 献

- 1) (例えば) 田代 清, 加瀬 恣, 金山有治, 奥野嘉雄: 鉄と鋼, 61 (1975), A53
- 2) 本会共同研究会製銑部会: 銑 44-19-自 (1974)
- 3) 樋口正昭: 鉄と鋼, 61 (1975), A61
- 4) 公開特許公報: 特開昭 49-59717
- 5) 成田貴一, 稲葉晋一, 沖本憲市, 小林 勲, 清水正賢, 上仲俊行, 矢場田武, 玉田慎一: 鉄と鋼, 63 (1977), S435