

未燃焼微粉炭の高炉内挙動に関する 基礎的検討

© 1991 ISIJ

論 文

岩 永 祐 治*

Investigation on Behavior of Unburnt Pulverized Coal in Blast Furnace

Yuji IWANAGA

Synopsis:

In order to clarify the combustion reaction when PC (Pulverized Coal) is blown into the tuyeres of blast furnace and the effects of resultant unburnt PC on in-furnace reactions, some fundamental experiments were carried out. The main results obtained are as follows.

(1) Most of PC blown through the tuyeres rapidly burns in the raceway, but part of PC may be carried out of raceway without being burnt.

(2) Unburnt PC tends to adhere to the softened and fused ore bed. Unburnt PC adhering to the ore bed is consumed for the direct reduction of FeO, and effectively improves the high-temperature properties of ores.

(3) The gasification reaction rate of unburnt PC is larger than that of coke. The presence of H_2 enhances the reaction, whereas that of CO inhibits it.

(4) Since unburnt PC is selectively gasified, the reaction rate of lump coke lowers, and thereby the degradation of coke in the raceway may be inhibited.

In this way, PC entering the blast furnace without being burnt was found to be effectively consumed. However, since the ash could built up in front of tuyeres, it is necessary to examine an actual blast furnace by sampling in-furnace materials to mitigate combustion conditions, to expand the range of usable quality of burden materials and to search possibility of blowing a great amount of PC.

Key words: blast furnace; pulverized coal injection; degradation of coke; unburnt pulverized coal; gasification.

1. 緒 言

高炉の長期安定およびコークス使用量削減の観点から、吹込み用補助燃料として微粉炭（以下 PC と略する）の採用が急速に普及している。高炉操業においては PC をいかに完全燃焼させるかということに精力が注がれているが、このために設備条件、送風条件が制約されているといわざるをえない。

一方、PC を吹き込むとコークスの石炭による部分的な置換えにとどまらず炉況が安定するということが経験的に知られている。また、このような炉況安定化効果は水蒸気にもまさる効果であるともいわれているが、PC 吹込みによりなぜ炉況が安定化するのかについては納得のいく答えが与えられていない。

稼動中高炉内で未燃焼 PC の存在が観察され¹⁾、未燃焼 PC（以下 UPC: Unburnt Pulverized Coal と略する）

は CO_2 ガスによって優先的にガス化され炉内圧損におよぼす影響が小さいことが報告されている²⁾。しかしながら、高炉内へ PC 吹込み後発生する未燃焼 PC の挙動、すなわちガスの流動現象におよぼす影響、高炉内でおこる種々の反応におよぼす影響等が不明である。もし、完全燃焼せずに炉内に入った未燃焼 PC が有効に消費されたとすれば、PC の多量吹込みの可能性が高くなり、また石炭種、燃焼条件、設備条件の緩和も期待できる。

本報告では、PC の高炉内挙動解明の一環として、充填層に未燃焼 PC を吹き込んで、滞留量の変化および高炉内反応におよぼす影響を調査した結果について述べる。

2. 実験装置と実験方法

2.1 PC の燃焼挙動

Fig. 1 に概略を示す装置を用いて、自然着火による

昭和 63 年 11 月・平成元年 4 月本会講演大会にて発表 平成 2 年 4 月 25 日受付 (Received Apr. 25, 1990)

* 住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 工博 (Iron & Steel Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 16 Oaza-Sunayama Hasakimachi Kashima-gun Ibaraki pref. 314-02)

PC 単一球 (3~7 mg で厳密には単一球ではない) の燃焼実験をおこない、その燃焼挙動を観察した。

燃焼用空気 (流量 20 Nl/min, 流速 1.7 m/s) は電気炉内に設置されたアルミナボールを充填した反応管内を通り 800~1200°C の温度に加熱される。3~7 mg の PC (単一球とみなしたとき粒径 1.6~2.2 mm) が熱電対の先端に付着され、その後熱電対先端に付着したまま燃焼室内の所定の位置に急速に運ばれ燃焼される。熱電対により温度変化と燃焼時間を測定した。また、火炎の変化をコンデンサーレンズで検出し、これをアンプで増幅し電磁オシログラフに接続することにより、着火遅れ、ガス化燃焼時間を測定した。なお、PC としては Table 1 に性状を示す 200 メッシュ以下のオーストラリア産の石炭を使用した。

2.2 未燃焼 PC 随伴気流中における焼結鉱の高温性状試験

実験装置の概略を Fig. 2 に示す。反応管内に焼結鉱あるいはコークスを充填する。試料粒度は管径 (70 φ) の制約から 20 ± 1 mm に整粒し、層高は 100 mm とした。試料としては Table 2 に性状を示す実機焼結鉱を用い、未燃焼 PC は Table 1 に性状を示した石炭をあらかじめ 1500°C で 8 h 熱処理して Table 2 に示すように VM を除去した後、粉体供給装置からスクリーフィーダーにより定量切出しし、N₂ 輸送で還元ガスと

ともに炉内に吹き込んだ。

実験は通常の高温性状試験³⁾における温度、ガス組成、荷重条件下で行い、層内の圧損、荷重棒の降下率、排ガス組成を測定した。吹き込まれた未燃焼 PC は充填層内に滞留するとともに、一部はガスに随伴して系外に飛び出す。これを 2 個のサイクロンで一定時間間隔で切り替え補集して回収した。充填層内の滞留量は実験終了後測定した。

なお、焼結鉱の場合 1000°C になると融着が始まり、充填層内の粉蓄積量の測定が困難となる。この場合には、低温域における試料層内の滞留量が供給量と回収量の差に等しいことを確認したので、粉バランスより逆算した。

2.3 未燃焼 PC のガス化反応実験

性状の異なる石炭から得られた脱揮発分チャーを試料として CO₂ および H₂O ガスによるガス化反応実験をおこなった。

実験には、熱天秤試験装置⁴⁾を用いた。未燃焼 PC としては、あらかじめ 1500°C まで高速昇温 (100°C/min) した後、8 h 熱処理して揮発分を除去した 3 種類のチャーを用いた。その性状を Table 3 に示す。A はインドネシア、B は南アフリカ、C はオーストラ

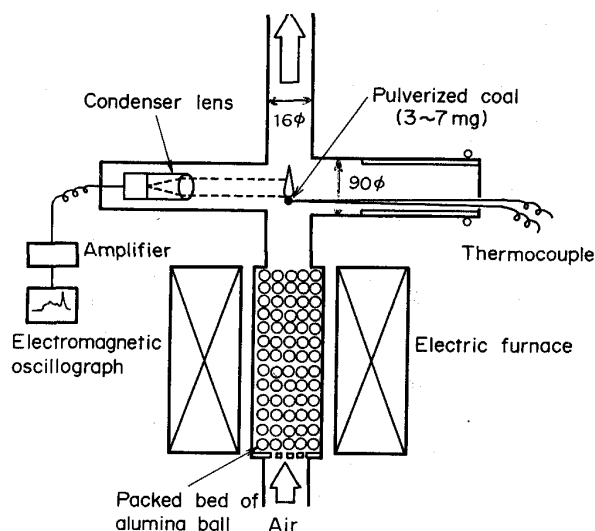


Fig. 1. Experimental apparatus for combustion of pulverized coal.

Table 1. Properties of pulverized coal.

FC (%)	VM (%)	Ash (%)	Density (g/cm ³)	Ultimate analysis (%)		
				C	H	N
58.8	38.1	9.1	0.86	83.5	4.5	2.1

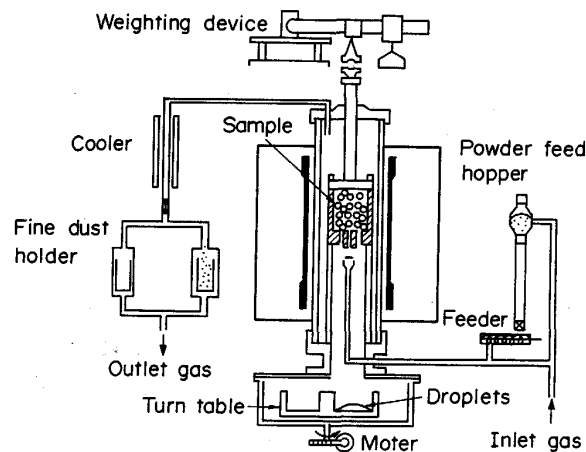


Fig. 2. Experimental apparatus for high temperature properties of ores.

Table 2. Properties of samples.

	Chemical compositions (%)						RI (%)	RDI (-3 mm %)
	T. Fe	FeO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO		
Sinter	55.6	5.89	9.70	5.81	2.11	1.45	64.1	36.1

	FC (%)	Ash compositions (%)					
		T. Fe	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Alkalis
UPC*	92.3	0.2	1.1	2.8	3.0	0.1	0.02

* Unburnt Pulverized Coal

Table 3. Analysis of unburnt pulverized coals.

Kind	FC (%)	VM (%)	Ash (%)	Density (g/cm ³)
A	86.4	0.2	13.4	0.86
B	90.6	0.3	9.1	0.86
C	97.6	0.5	1.9	0.58

Table 4. Experimental conditions.

Oxidation gas	CO ₂	H ₂ O
Reaction temperature (°C)	1 100~1 500	1 100~1 500
Gas components	CO ₂ /CO/N ₂ 20/20/60 20/0/80	H ₂ O/H ₂ /N ₂ 20/20/60 20/0/80
Gas flow rate (l/min)	15	15
Weight of sample (g)	1	1

リア産の石炭を熱処理したものである

チャー約 1 g を白金かごで熱天秤に吊し、N₂ ガス雰囲気下で所定の温度 (1 000~1 500°C) に到達後、反応ガスに切り換えてガス化し重量の経時変化を測定した。CO₂, CO, H₂, N₂ はガスボンベより供給し、H₂O はヒーター加熱したアルミナボールの充填層に精製水を微量定量ポンプで送ることにより蒸発発生させた。

実験条件を Table 4 に示す。酸化性ガスとして CO₂ と H₂O によるガス化反応を実施し、ガス組成についてはそれぞれ CO, H₂ を含む場合と含まない場合の 2 種類の組成を用意した。

3. 実験結果と考察

3.1 未燃焼 PC の発生

Fig. 3 は、単一微粉炭球燃焼時の温度変化および電磁オシログラフ測定結果の代表例を示したものである。PC は④点で炉内に入り加熱されて、⑥点で着火しガス化燃焼により急激に温度が上昇する。やがて揮発ガス化成分が少なくなり、火炎揮度も小さくなって③点でガス化燃焼が終わる。引き続いて残留炭素粒子の一部が着火して固体燃焼に移行し②点で最高温度に達する。①点で固体燃焼が終わり灰分が残留する。

Fig. 3 によると、着火遅れ時間 500 ms, ガス化燃焼時間 200 ms, 固体燃焼時間 900 ms でガス化燃焼期間に対して固体燃焼時間は、約 4~5 倍程度を占めている。

佐賀井ら⁵⁾は 1.4 mm までの初期粒径の COM 液滴を強制着火燃焼させたとき、初期粒径と燃焼時間の間にはほぼ直線関係が成立することを報告している。燃焼中の時間と粒径に関する二乗則を適用すると、ガス化燃焼時間、固体燃焼時間が次のように求まる。

$$D_0^2 = k_g t_g \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$D_0^2 = k_s t_s \quad \dots\dots\dots (2)$$

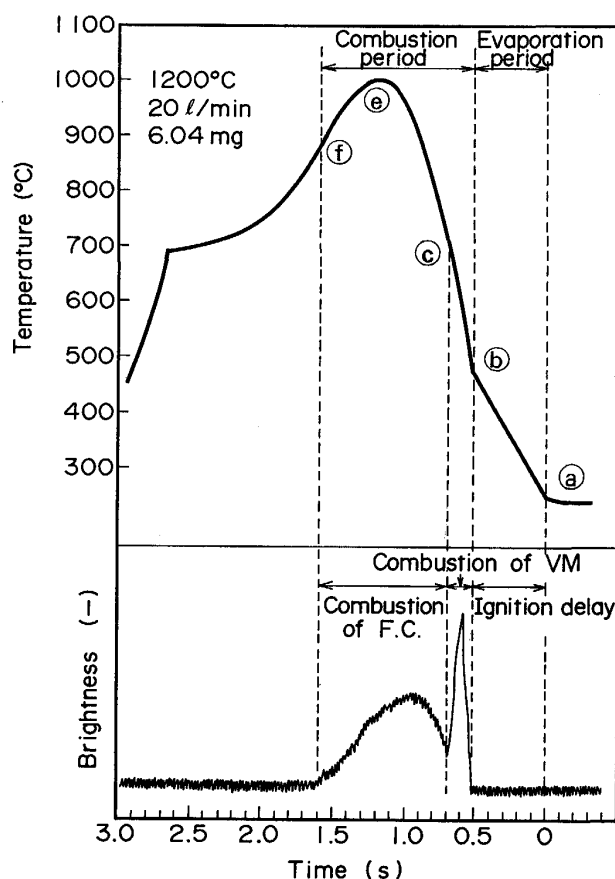


Fig. 3. Burning history of pulverized coal.

$$D_0 = 2 \left(\frac{3}{4\pi\rho} M \right)^{1/3} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 D_0 : 初期 PC 粒子径 (cm), k_g : ガス化燃焼速度定数 (cm²/s), t_g : ガス化燃焼時間 (s), k_s : 固体燃焼速度定数 (cm²/s), t_s : 固体燃焼時間 (s), M : PC 重量 (g), ρ : PC の密度 (= 1.3 g/cm³) である。(1)~(3)式に実験条件として、 $M = 6.04 \times 10^{-3}$ g, $t_g = 0.2$ s, $t_s = 0.9$ s を代入すると、

$$k_g = 0.0536 \text{ (cm}^2\text{/s)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$k_s = 0.0119 \text{ (cm}^2\text{/s)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

が求まる。

一方、着火遅れ時間について D. A. FRANK-KAMENETSKII⁶⁾は温度のみに支配されることを確認し、発熱、放熱、蓄熱の非定常熱収支式から次式を導いている。

$$t_d = \frac{C_p \cdot \rho}{Q} \cdot \frac{R \cdot T_a^2}{E} \cdot \frac{1}{Z} e^{E/RT_a} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 t_d : 着火遅れ時間 (s), C_p : 定圧比熱 (kcal/kg·°C), ρ : 密度 (kg/m³), R : ガス定数 (kcal/mol·°C), E : 活性化エネルギー (= 34 kcal/mol), Z : 相当頻度因子 (kg/m³·s), T_a : 温度 (= 980°C), Q : 発熱量 (= 7 800 kcal/kg) である。各物性値を(6)式に代入し、実

験結果より Z を逆算すると、

$$Z = 5.05 \dots\dots\dots (7)$$

が求まった。

次に、(4)、(5)式を使うと 200 メッシュ以下 ($74 \times 10^{-3} \text{ mm}$) の PC の燃焼時間として

$$t_g = (74 \times 10^{-4})^2 / 0.0536 = 1.02 \times 10^{-3} \dots\dots (8)$$

$$t_s = (74 \times 10^{-4})^2 / 0.0119 = 4.60 \times 10^{-3} \dots\dots (9)$$

が得られる。すなわち、 10^{-3} s のオーダーで燃焼が完了することを示している。

羽口から吹き込まれた PC は、送風空気により加熱された後燃焼するが、レースウェイ内に滞留する時間は $10 \sim 30 \text{ ms}$ であることから^{7,8)}、速度の面からはレースウェイ内で燃焼が完結してしまうことを示している。しかしながら、ガス化燃焼までの着火遅れを考慮すると、固体燃焼に移行する前にレースウェイ外に吹き飛ばされる確率はかなり高いものと考えられる。

武田ら¹⁾は斜行羽口ゾンデを用いて、移動中高炉内の PC の燃焼挙動について調査し、レースウェイ外周部から採取したダスト中に PC に由来するダストが認められることを報告している。また、このような未燃焼 PC の量は PC 吹込み量が多くなると顕著に増加するようである。また、稲葉ら²⁾は燃焼炉で PC 吹込み実験をおこなったところ、レースウェイ内で燃え残り、炉内に蓄積する未燃焼 PC の存在を認めている。PC の燃焼率は、酸素量が多くなるほど向上する。しかしながら、現実の高炉で PC 吹込みを実施する場合には、酸素富化をおこなっても燃焼率は 100% を維持することは困難で、未燃焼 PC がレースウェイ外へ飛散することは回避できないものと推定される。

3.2 未燃焼 PC の滞留位置と滞留速度

コークス充填層に室温で未燃焼 PC を吹き込んだ時のコークス充填層内滞留量の時間変化によると、経過時間にはほぼ比例して滞留量が増加する。そこで、勾配を滞留速度とみなし吹込み条件との関係を整理したものが Fig. 4 である。吹込み条件および充填粒子径が一定であれば、焼結鉱層とコークス層での滞留量の違いは小さい。ガス流速が低下するほど滞留速度が増加するが、低ガス流速領域ほどその程度は顕著になる。また吹込み量が増加すれば当然のことながら、滞留速度も上昇する。

コークス充填層の場合、熱間と冷間とではほとんど滞留量に差が認められなかった。焼結鉱充填層の場合には、高温になると軟化、収縮、滴下現象を呈するために滞留量にも顕著な変化が現れる。Fig. 5 は所定温度で未燃焼 PC の滞留量を調査した結果から、高炉を想定して求めた高さ方向における滞留速度の分布を示したものであ

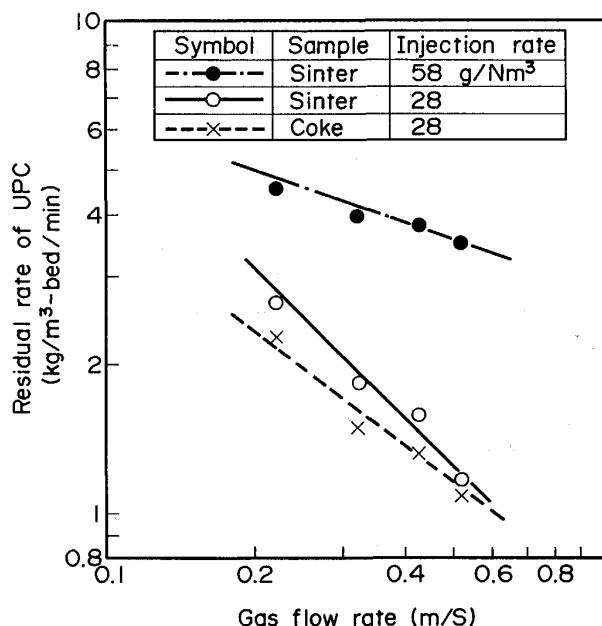


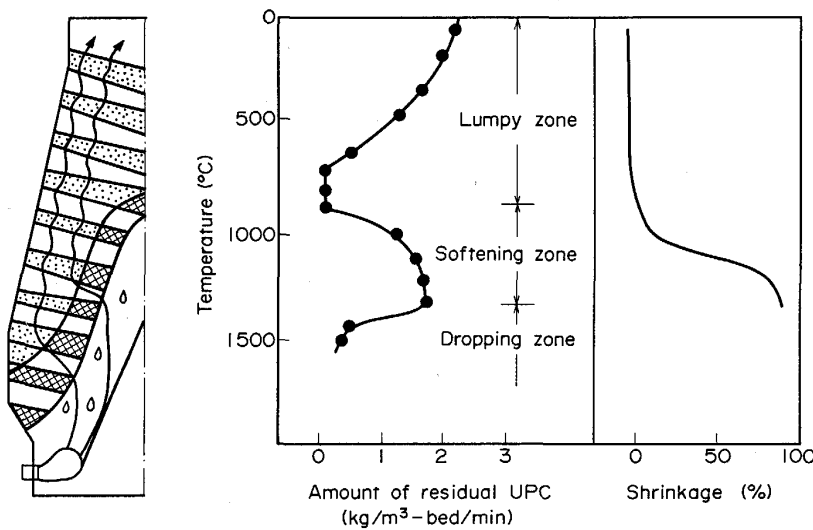
Fig. 4. Effects of gas flow rate, injection rate and sample kind on residual rate of UPC.

る。レースウェイで発生した未燃焼 PC はガスに伴って上昇し、融着層で捕捉される量が急激に増大する。1400°C 近傍で捕捉される量が最大となり、さらに上昇すると捕捉量がしだいに低下する。これは収縮率が小さくなり空隙率が大きくなるためと考えられる。600~800°C の塊状帯では全く滞留しないが、さらに上昇するとガス流速の低下により滞留量は再び増大に転じる。

3.3 未燃焼 PC の焼結鉱高温性状におよぼす影響

Fig. 6 に代表的な圧力損失の温度依存性測定結果を示す。軟化溶融過程には、いくつかの明確なステップがある。第一は 1100°C 近傍で生じる初期溶融である。この段階では間接還元反応が進行している。温度の上昇とともにスラグの融液量が上昇し層の空隙を埋めるようになるために圧力損失は急上昇する。次のステップは、FeO を多く含むスラグを FeO の少ないあるいは FeO を全く含まないスラグおよびメタルに変換する直接還元反応である。直接還元反応の進行とともにスラグ融液の量は減少し通気性は徐々に回復する。この段階で FeO を含む流動性の高いスラグの滴下が始まる。

Fig. 6 によると、未燃焼 PC を吹き込んだ場合、1200~1400°C のいわゆる軟化融着帯における圧力損失が低下している。一方、Fig. 7 に示すように吹込み温度が高くなるほど圧力損失低下効果が大い。これは吹込み温度が高いほど未燃焼 PC が FeO の直接還元消費される速度が速く、スラグ融液量が低下することおよびその結果として軟化抵抗³⁾が上昇することによるものと



Injection rate of UPC is 28 g/Nm³

Fig. 5. Change of amount of residual UPC in blast furnace.

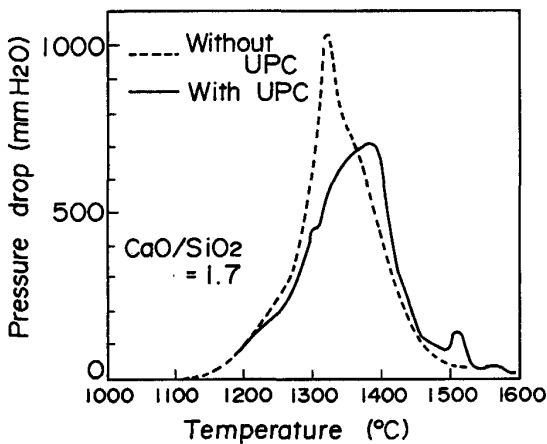


Fig. 6. Change of pressure drop.

考えられる。

軟化熔融過程では FeO の高いスラグと FeO の低い 2 種のスラグが生成する。前者は十分な流動性を有するが、後者は残留スラグとなってメタルの滴下性状に強く影響する。Fig. 8 はメタルの滴下温度と塩基度との関係を未燃焼 PC の吹込み有無で比較したものである。いずれも塩基度の上昇とともにメタルの滴下開始温度が高くなるが、未燃焼 PC を吹き込んだ方が上方にシフトしている。またその効果は塩基度上昇とともに小さくなる傾向が認められる。このように未燃焼 PC の存在はメタルの滴下性状に強く影響する。

多成分系スラグの状態図から滴下スラグと残留スラグの固液比が温度とともにどのように変化するかを調査した結果によると⁹⁾、残留スラグは滴下スラグに比べて相対的に固相の比率が高い。未燃焼 PC の存在はメタルの滴下性状に強く影響する。未燃焼 PC は FeO を多く含むスラグと反応して FeO を低減し固液比を介して流

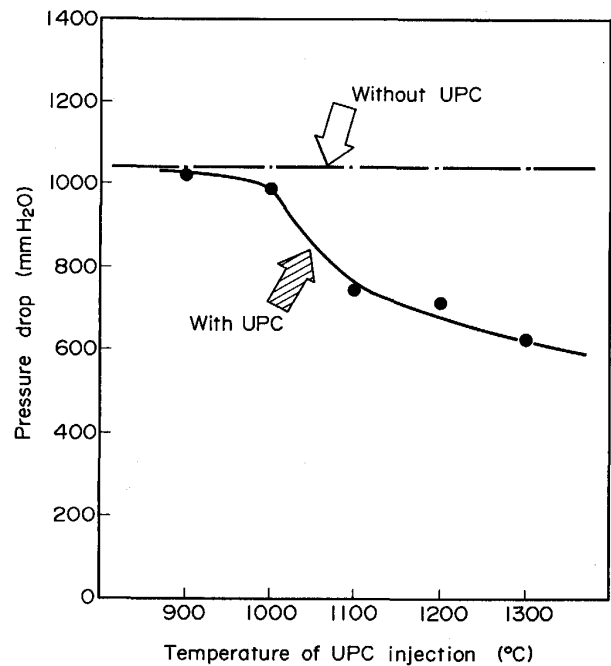


Fig. 7. Effect of temperature of UPC injection on pressure drop.

動性を変化させる。すなわち、粘度の高いスラグが形成され、この粘度の高いスラグはメタルをコークスから効果的に遮断し、浸炭および滴下を妨げるものと考えられる。

未燃焼 PC の吹込みにより、メタル中炭素濃度あるいはスラグの組成が変化することが予想される。滴下したメタル中炭素濃度の実測結果を Fe-C 平衡状態図にプロットして Fig. 9 に示す。昇温還元によってもメタル中の炭素濃度が上昇する。メタル中炭素濃度がオーステナイト固相線の濃度となった時に熔融を開始する。本実験の場合には、この温度より 100~150°C 程度高い

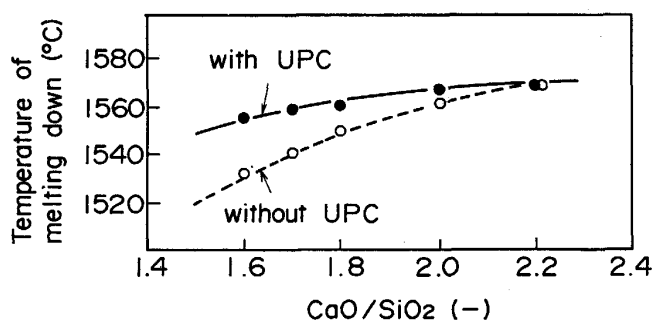


Fig. 8. Change of melting down properties.

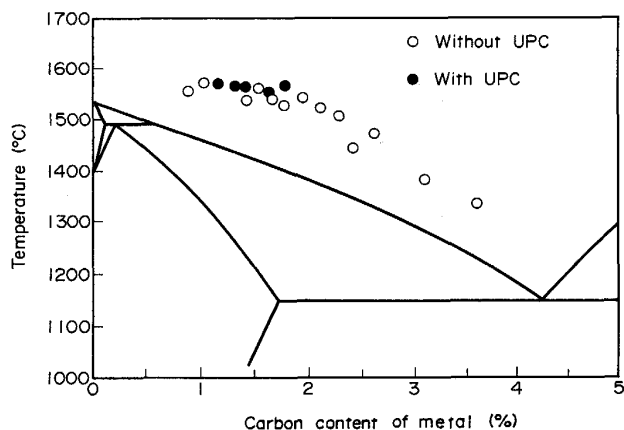


Fig. 9. Relation between melting down temperature and carbon content of metal.

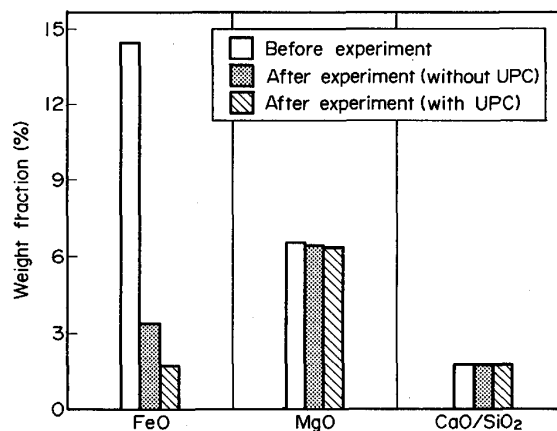
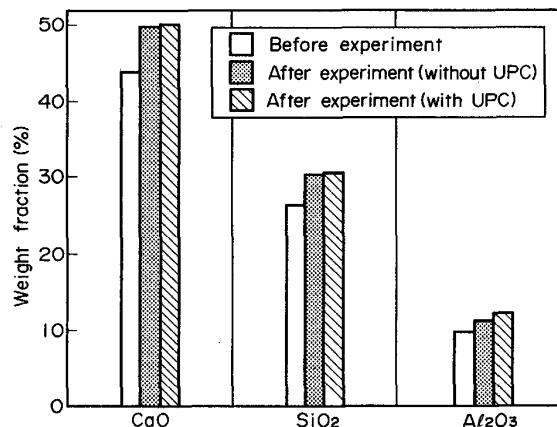


Fig. 10. Change of slag components.

温度で滴下する。未燃焼 PC 吹込みの場合も状態図において未燃焼 PC 吹込み無しの場合と同一挙動を示し、滴下開始温度が同一であれば炭素濃度は未燃焼 PC 吹込み無しの場合と一致している。

Fig. 10 はスラグ組成を実験前後および未燃焼 PC 有無で比較したものである。未燃焼 PC 吹込みの場合 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 が若干高くなることが認められる。灰分の同化によるものと考えられる。これに対して、 FeO の低下が顕著である。メタル中炭素濃度が変化しないことと併せて、未燃焼 PC が FeO の直接還元反応に優先的に消費されることを確認できた。

3.4 未燃焼 PC のガス化反応速度

3 種類の未燃焼 PC について、反応温度を変更した時の反応率の経時変化によると、未燃焼 PC の種類により反応速度に違いが認められ、VM の高い石炭に由来する未燃焼 PC-A の反応速度が一番高い。また、 CO ガスの添加により反応速度が抑制されるが、この傾向はコークスの場合と同じである。

これに対して、 H_2 添加の効果には違いが認められる。Fig. 11 は未燃焼 PC-A について、反応速度におよぼす H_2 の影響を示したものである。コークスとの反応にお

いては、 H_2 は反応阻害効果があったが、未燃焼 PC の場合には H_2 添加により反応速度が増大することがわかる。コークス表面上に H_2 が選択的に化学吸着するのに対して、未燃焼 PC の場合には吸着しにくいことが想像される。この点の解明については、今後の課題とした。

Fig. 12 は、コークスと未燃焼 PC の反応特性の差を比較したものである。 CO_2 および H_2O のいずれに対しても未燃焼 PC の反応速度はコークスに比べて大きい。未燃焼 PC の CO_2 によるガス化反応速度はコークスの H_2O による反応速度に比較的近い値を示す。また未燃焼 PC の H_2O による反応速度は低温ではコークスのそれと同等であるが、高温になるほど両者の差が大きくなる。

Fig. 13 に示すように未燃焼 PC からなる充填層をガスが拡散しながら未燃焼 PC をガス化していくことを想定して速度解析をおこなった。未燃焼 PC 粒子内に温度差はなく、ガス側には擬定常が成立すると仮定すると、ガス側では(10)式、未燃焼 PC 側では(11)式が成り立ち、境界条件は(12)式となる。なお、粒内の拡散方

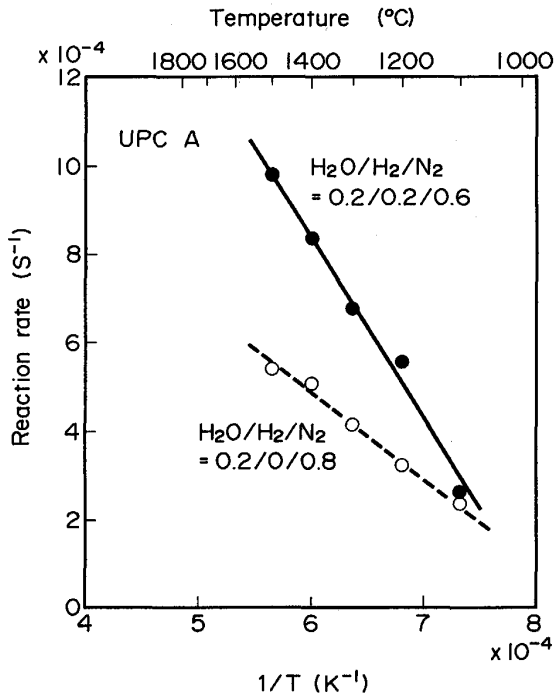


Fig. 11. Effect of hydrogen on gasification reaction.

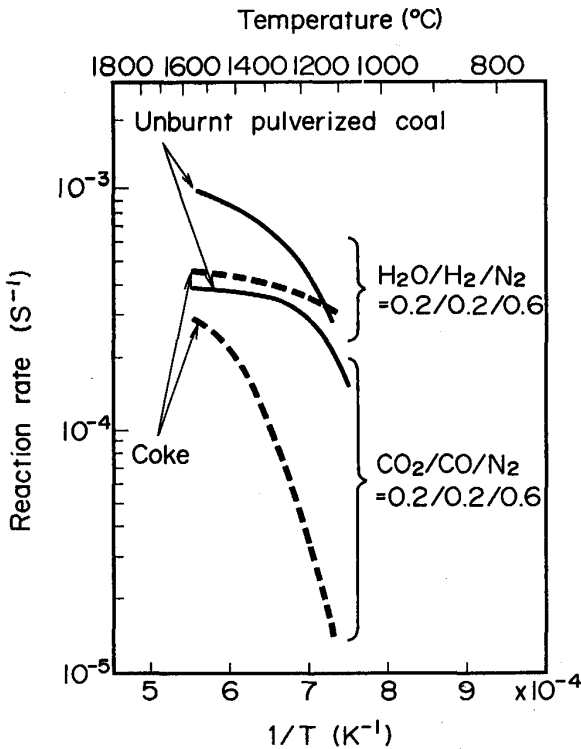


Fig. 12. Comparison of gasification rate between unburnt pulverized coal and coke.

程式には Stefan-Maxwell の式を用い、非定常かつ非等温で解析を進める。

$$\left(\frac{D_i}{T} \right) \frac{d^2 X_i}{dr^2} + \left\{ \frac{d}{dr} \left(\frac{D_i}{T} \right) + \left(\frac{D_i}{T} \right) \frac{2}{r} \right\}$$

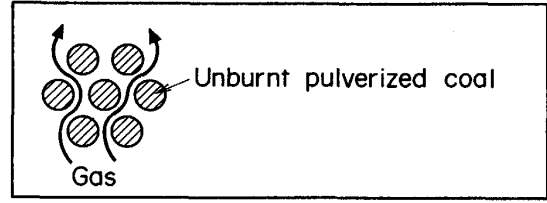


Fig. 13. Gasification condition of unburnt pulverized coal.

$$\times \frac{dX_i}{dr} - \frac{R}{P} \cdot R_i = 0 \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$\frac{\partial C_C}{\partial t} = \frac{k_1 P (X_{CO_2} - X_{CO_2}^e)}{1 + P X_{CO} / k_2} C_C = R \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$X_i|_{r=r_s} = X_i^s \quad (\text{Surface})$$

$$\left. \frac{dX_i}{dr} \right|_{r=0} = 0 \quad (\text{Center}) \quad \dots\dots\dots (12)$$

また、熱収支およびその境界条件として(13)、(14)式が得られる。

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_p C_p T) = k_e \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \left\{ \frac{\partial k_e}{\partial r} + k_e \frac{2}{r} \right\} \frac{\partial T}{\partial r} + R(-\Delta H) \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\left. k_e \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=r_s} = h_t (T_0 - T) \quad (\text{Surface})$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=0} = 0 \quad (\text{Center}) \quad \dots\dots\dots (14)$$

ここで、 R_i : i 成分の生成速度 ($\text{mol}/\text{cm}^3 \cdot \text{s}$)、 r : 粒子半径 (cm)、 t : 時間 (s)、 R : ガス定数 ($\text{cm}^3 \cdot \text{atm}/\text{K} \cdot \text{mol}$)、 T : 温度 (K)、 D_i : 分子拡散係数 (cm^2/s)、 X_i : モル分率 (—)、 C_C : 炭素濃度 (mol/cm^3)、 P : 圧力 (atm)、 k_1 、 k_2 : 速度定数 ($1/\text{atm} \cdot \text{s}$)、 X_{CO_2} 、 X_{CO} : CO_2 、 CO の濃度 (—)、 PX_{CO_2} : CO_2 の平衡分圧 (atm)、 ρ_p : 密度 (g/cm^3)、 C_p : 比熱 ($\text{cal}/\text{g} \cdot \text{K}$)、 k_e : 有効熱伝導度 ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}$)、 $-\Delta H$: 反応熱 (cal/mol)、 T_0 : 初期温度 (K)、 h_t : 総括伝熱係数 ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}$)

(10)~(14)式を連立させて解き、速度パラメーター k_1 、 k_2 を初期反応速度 (Fig. 11, Fig. 12 で直線近似した勾配) とモデル計算の値との差の2乗和が最小となるように探索法で決定した。

決定された反応速度定数の温度依存性を Fig. 14 に示す。ガス化反応速度を促進させるパラメーター k_1 は未燃焼 PC の種類によらずほぼ一定の値となる。ガス化速度を支配するのは CO ガスによる抑制パラメーター k_2 と考えられる。また、コークスの速度パラメーターと比較すると k_1 は大きく、 k_2 は小さい。

チャーのガス化反応速度は一般に石炭化度、細孔構造、

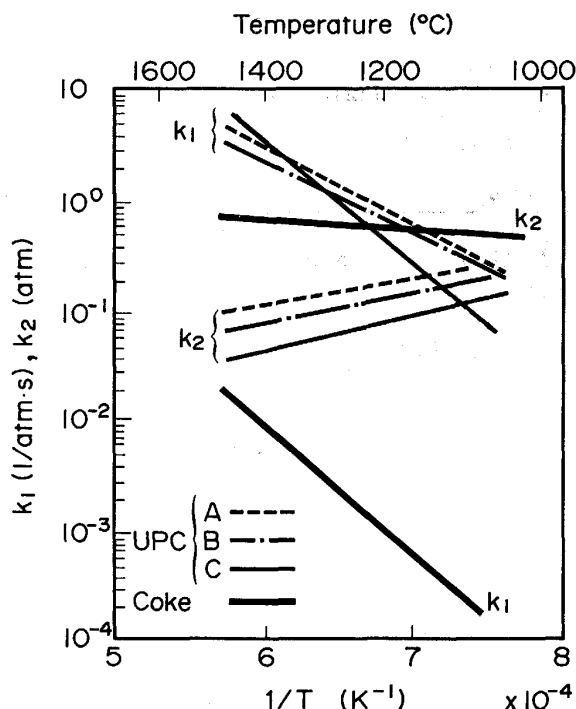


Fig. 14. Temperature dependence of rate constants.

鉱物種、乾留条件および活性点などに関係するといわれているが、Fig. 15 に示すように反応速度の大きいほど 10~1000 Å の細孔容積が大きい。VM の揮発による細孔構造の発達が発達した反応速度の増加に寄与しているものと考えられる。

反応速度の炭種依存性を X 線回折結果に基づいて検討した。十分に脱灰処理した試料の X 線回折結果によると、反応速度の大きい石炭由来の未燃焼 PC-A は炭素構造が発達していない。しかしながら、炭素構造の一番発達している石炭由来の未燃焼 PC-B の反応速度は、未燃焼 PC-C よりも反応速度が大きく、反応速度と炭素構造の発達の程度とは必ずしも対応していない。

4. 結 言

高炉羽口に PC を吹き込んだ場合の燃焼反応および発生した未燃焼 PC の炉内反応におよぼす影響について主として基礎実験により調査し、以下の点が明らかとなった。

(1) 羽口から吹き込まれた PC は主としてレースウェイ内で急速に燃焼が進行するが、未燃焼でレースウェイ外に飛び出す可能性はかなり高い。

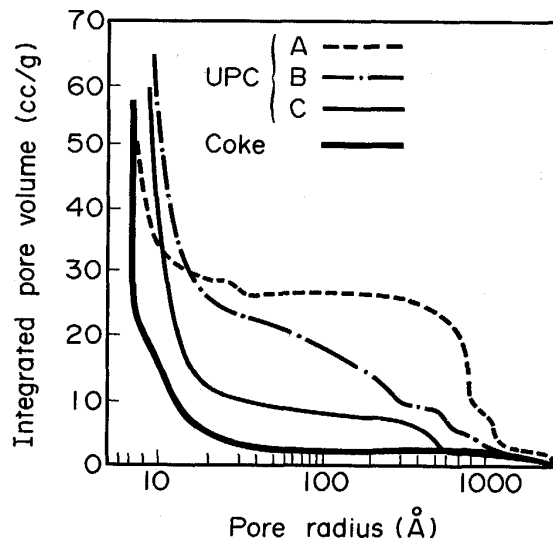


Fig. 15. Comparison of pore volume.

(2) 未燃焼 PC は軟化融着した鉱石層に付着しやすい。また、付着した未燃焼 PC は、FeO の直接還元消費されて鉱石の高温性状(収縮率、融着時の通気性、滴下開始温度等)を改善する効果がある。

(3) 未燃焼 PC のガス化反応速度は、コークスのそれに比べて大きい。また、H₂ の存在により反応は促進され、CO の存在により抑制される。

(4) 未燃焼 PC のガス化優先消費により塊コークスの反応率が低下し、レースウェイ部の劣化は抑制される可能性がある。

このように完全燃焼せずに炉内へ入った PC は、有効に消費されることが明らかとなった。しかしながら、羽口前でのアッシュの蓄積も懸念されることから、今後、燃焼条件の緩和、装入物品質の緩和、大量吹込みの可能性追求のためには、炉内採取等の実炉調査が必要である。

文 献

- 1) 武田幹治, 田口整司, 福武 剛, 加藤治男, 高島暢宏, 中井歳一: 鉄と鋼, **72** (1986), S871
- 2) 稲葉晋一, 柴田耕一郎, 出口幹郎, 福岡正能: 学振製鉄第 54 委員会-No. 1854 (昭和 63 年 2 月)
- 3) 岩永祐治: 鉄と鋼, **68** (1982), p. 2223
- 4) 高谷幸司, 岩永祐治: 鉄と鋼, **75** (1989), p. 594
- 5) 佐賀井武, 斉藤正浩: 燃料協会誌, **60** (1981), p. 183
- 6) D. A. FRANK-KAMENESKII: Diffusion and Heat Exchange in Chemical Kinetics (1969) [Princeton Univ. Press]
- 7) 加藤友則, 岸本純幸, 木村康一, 下村昭夫, 和田 隆, 大野陽太郎: 日本鋼管技報 (1986) 115, p. 73
- 8) O. CHARON, G. PRADO, C. OFFROY, M. PICARD and J. L. ROTH: 1st. European Ironmaking Congress (1986), p. IV/2
- 9) G. CLIXBY: Ironmaking Steelmaking, **13** (1986), p. 169