

焼失型装入物による焼結ケーキ性状 および通気性への影響

市川 孝一*・町田 智*・主代 晃一*・佐藤 秀明*・武田 幹治*

Effect of Insertion of Burning Down Materials on Sinter Cake Property and Permeability

Koichi ICHIKAWA, Satoshi MACHIDA, Koichi NUSHIRO, Hideaki SATO and Kanji TAKEDA

Synopsis : To increase the utilization of the high combined water ores in sinter production, the improvement of gas permeability of the sintering bed is required.

It was attempted for permeability improvement that the burning down materials; paper briquette (PB) would be inserted into the lower half of sintering bed up to 5 vol% at pot test. The permeability of the bed was almost equal to that of normal bed during sintering of the upper bed, but at the lower half of the bed permeability increased in proportion of PB insertion volume.

The reason of permeability improvement is that the flow resistance at combustion zone decreases with formation of macro void caused by PB combustion just before ignition of the coke breeze.

The ratio of large particle in the product sinter reduced as increase of PB insertion. It is considered that thin parts of sinter; "bridge" between macro voids formed by PB insertion, and these bridges break preferentially during sizing process. Therefore, the large sinter particle could decrease as PB insertion increases.

Key words: Sinter; permeability; burning down materials; void structure; size distribution.

1. 緒言

鉄鉱石の主要供給源である豪州では、従来の良質なヘマタイト鉱石は枯渇しつつあり、ピソライト鉱石や、マラマンバ鉱石などの高結晶水鉄石の生産比率が上昇している。高炉による製鉄プロセスにおいて、粉鉄鉱石の事前処理工程である焼結製造では、これらの鉱石が増大すると、ピソライトのベッド内での過溶融や、マラマンバ鉱石による鉱石中微粉の増大など、ベッドの通気性を阻害する要因が増大する。一方で、近年のCO₂排出量低減の要望にこたえるべく、焼結機操業ではベッド層厚を可能な限り増大させて、ベッド上層部の占める容積比率を低下することで歩留りを改善し、凝結材原単位の削減が図られている。このため、焼結生産性の維持、向上にはベッドの通気性確保が重要課題となっている。

通気性はベッド内の空隙率に強く影響されるため、従来より焼結原料をグレート上に装入した段階で、ベッド中に高空隙率領域を形成することにより吸引ガスの圧力損失を軽減する手法が報告されている¹⁻³⁾。

一般に高温保持時間が短いベッド上層部の焼成期間では、通気改善による焼成速度向上の必要性は低い。一方、上層部で予熱した空気の伝熱によって、熱が蓄積され燃焼溶融帯の厚みを増して圧損が高くなるベッド下部の焼成期

間では通気改善の必要性が高い。

この観点で、通気圧損の大きいベッド下層部での焼成時に、ケーキ下層部に載荷される圧力を緩和することで、下部の空隙低下を抑制する手法としてスタンド支持焼結法⁴⁾が報告されている。また、10~20 mm径の粗粒物を導入し、粗粒表面部に形成される低充填領域を利用した通気性改善の報告もある⁵⁾。

これに対し筆者らは下層部の圧損低減のための人工的な粗大空隙の導入を意図して焼失型の成形体をベッド下部側に装入する焼結方法を試みた。これはベッド下部に焼成が及んだ時点から、燃焼帯の進行に先立って成形体が順次焼失して、その痕跡として空隙を形成していく効果が期待でき、装入部でのベッド充填の時点で高空隙領域を形成させる従来の多くの研究とは異なり、焼成中にベッド下部でダイナミックに空隙構造を変化させる手法である。この際、意図的に導入した粗大空隙の存在により、シンターケーキの破碎の際に特異な破壊様式が生じる可能性がある。

そこで本研究において、焼失型装入物の導入による焼成過程での通気性変化に及ぼす影響や焼結ケーキ性状の変化を、各種焼成試験により検討した結果を報告する。

Table 1. Chemical composition of raw material (used paper).

mass%					
H ₂ O	V.M.	Fixed C	ash		
6.9	81.8	13.6	4.6		
C	H	O	N	S	Cl
45.3	6.1	44.0	Tr.	Tr.	0.06

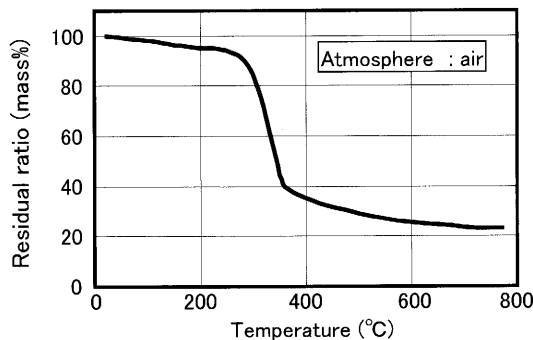


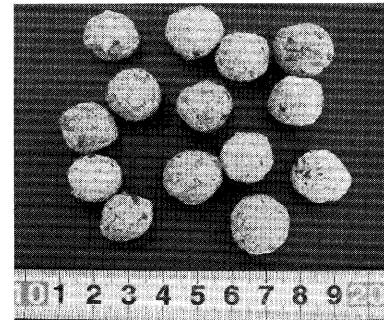
Fig. 1. Thermal behavior of the used paper in thermogravimetry test.

2. 実験に使用した焼失物

焼失により空隙を形成しうる材料としては、低温で燃焼し始める有機系の物質が種々考えられたが、入手や成型加工が比較的容易な点から本報告では紙類を選択した。現実的には何回か再生利用された後に廃却される新聞紙などの古紙類をイメージした。

Table 1に示すように、本試験に用いた古紙は元素的にC, H, Oが大部分を占め、アッシュは5%以下である。固定炭素が1割強含まれており、これらの炭素の一部は熱源として焼成反応に寄与することも期待される。大気雰囲気下での古紙の熱的挙動を確認するため、熱天秤(TG)による測定を実施した。約100mgの試料を小ピースに成形し、TGにて800°Cまで昇温した結果をFig. 1に示す。250°Cまでは吸着水の蒸発等と見られる小さな減量が現れるが300°C程度で分解、燃焼により大きく減量し、元重量の20%強にまで低減する。この結果から、焼結ベッドで燃焼前線が到達してから、コークスの燃焼温度より低温側で古紙の燃焼に伴う容積低下により、ベッド内に空隙を形成させることが可能と考えた。

比較的小さな焼失物をベッドに装入した場合、焼失により一旦空隙を形成しても、通常は鉍石-副原料の反応で生成した融液の流動によって空隙自体が流動し生成した粗大気孔と区別できない懸念がある。そのため、空隙の残留に十分な成形物の大きさとして15mmを目安とした。通気性改善を目的としてペーパーラッジをペレット鉍石の造粒助剂的に使用する検討の報告⁶⁾はあるが、本研究では空隙を形成することを主目的に古紙単独で成形物を作製した。古紙を数ミリメートル大に裁断して水中に24時間浸漬した後、手指間で古紙片を圧迫して核となる粒子を形成し、



Size : 15~20mm
Apparent density : 0.5~0.8

Fig. 2. Outlook of the paper briquette (PB).

一定の大きさとなるまで古紙片を加えながら掌間で圧迫およびローリングすることによりPBを成形した。Fig. 2に成形体の外観を示す。以降、本文中ではこの古紙成形体をペーパーブリケットと呼び、PBと表記する。成形体サイズには若干バラツキがあるが、最大20mmを上限として選別した。見掛け比重も個々の成形状況によりばらつきがあるが、0.5~0.8の範囲に収まっていた。

3. 実験方法

燃焼挙動と焼成への影響を調べるために、以下の3項目につき検討を行った。

- (1) 石英ガラス管内で、PBを混入した充填層を焼成しての外部からのPB燃焼挙動観察。
- (2) X線CTホットモデルでPBを配置した充填層を焼成することによる、PBの焼失挙動と充填層周辺部組織への影響調査。
- (3) 焼成鍋試験による焼成影響、成品焼結鉍への影響調査。

3.1 石英ガラス管内での燃焼挙動観察

観察時の条件をFig. 3に示す。石英ガラス管の下側半分は原料を充填する際に、PBを容積で5%置換して混合した。Table 2に使用鉍石の化学組成および原料の配合条件を示す。原料は実機操作に用いる鉍石および副原料を用い、配合も実機操作での実績に近い焼結鉍組成を選択した。PBの崩壊やPBと鉍石の再造粒を避けるために、PB以外の原料を造粒した擬似粒子と、所定量のPBを原料容器内で合わせ、一定回数繰り返すことで簡易的に混合した。バーナで上層部に点火後、9800 Paの一定差圧で焼成し、管側方から観察した。

3.2 X線CTホットモデル

Fig. 4にX線CTホットモデルでの焼成イメージを示す。基本的な操作は既報に依った⁷⁾。ベッド内ではPBが近接して存在している状況を考慮し、これによる焼結組織形成への影響を観察するため、2個のPBを配置した。PBを除く

焼結原料配合は3・1の石英ガラス管内観察と同様とした。焼成時の吸引ガス速度は実機焼結機におけるベッド上面での平均的なガス線速度である0.5m/sとした。

3.3 焼成鍋試験

Fig. 5に鍋試験の模式図と試験条件を示す。焼結原料配

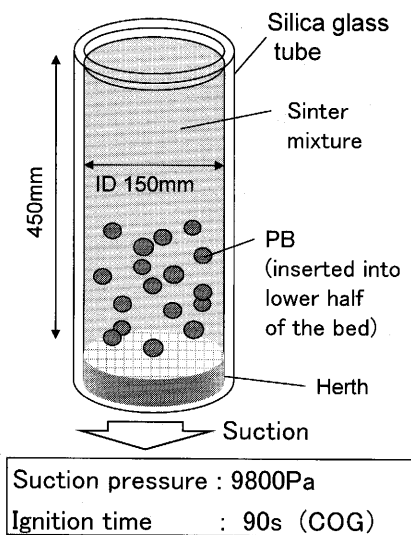


Fig. 3. Schematic illustration on the observation of PB combustion in the silica glass tube.

Table 2. Chemical compositions of ores and contents of sinter mixture.

(a) Chemical compositions

	mass%				
	T. Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Ig.loss
A-ore	57.3	0.06	5.6	2.7	7.7
B-ore	68.1	0.1	0.7	0.5	1.1
C-ore	66.3	0.2	3.2	0.7	0.8

(b) Content of sinter mixture

	mass%
A-ore	34.1
B-ore	17.0
C-ore	17.0
Dolomite	1.6
Ni-slag	0.8
Converter slag	2.5
Burnt lime	0.8
Lime stone	8.1
Return fine	18.0
Coke breeze	4.5

合と混合作業は3・1の石英管内観察条件と同様とし、鍋の下側半分には装入する造粒擬似粒子とPBを切り返し混合して装入した。焼成後ケーキはJIS条件を満たしたシャッター試験機での落下試験（2m高さから4回落下）から、成品焼結鉱の粒度等の品質を調べた。

4. 実験結果および考察

4.1 石英管内での焼成挙動観察結果

Fig. 6に管外部からの観察結果を経時的に並べて示す。(a)の点火後8minの段階では、コークス燃焼により赤熱した燃焼帯が管の水平断面におおむね一様の厚みで分布して降下するのが観察された。管の下側の領域に燃焼帯が及び始めた(b)9minの段階で、ガラス管の内壁近傍に在ったPBに着火し、急速に燃焼するのが観察された(c)。これにともない燃焼帯は、着火したPBの方向に向かって厚みを増しつつ燃焼前線を下方に進めた。続いて(d)では、さらに下方にある別のPBの燃焼が始まり、もう1段階、燃焼前線を下方に進行させた(e)。

このように、PBの燃焼開始を発端として、焼結燃焼帯が急速に進む様子をFig. 7に模式的に示す。すなわち、焼成の進行とともに燃焼帯が降下して、PB着火可能となる温度域となると、PBは速やかに燃焼して容積を低減するために、PBが存在していた領域に空隙を形成する。PBサ

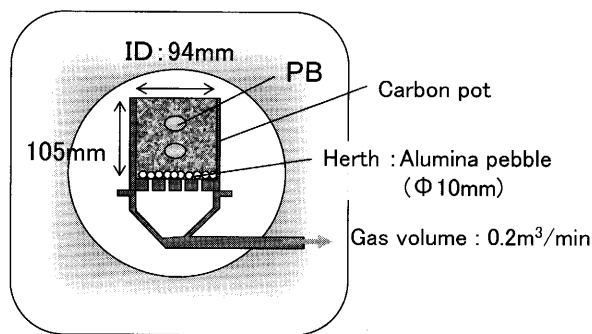


Fig. 4. Schematic illustration of X-ray CT hot stage observation.

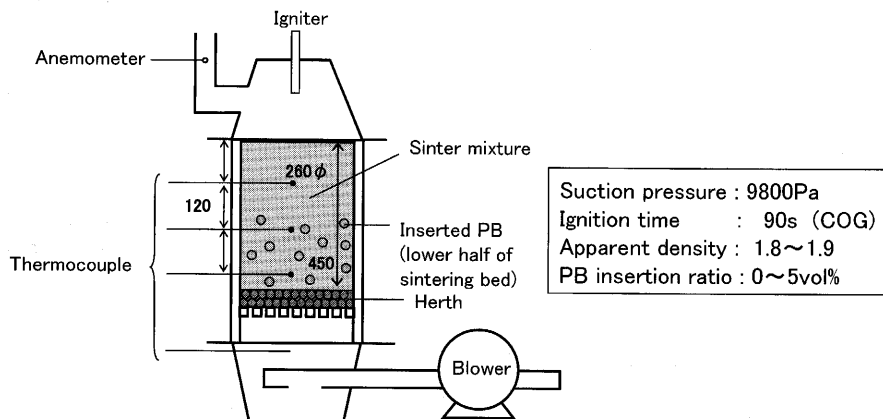


Fig. 5. Schematic illustration of sintering pot test.

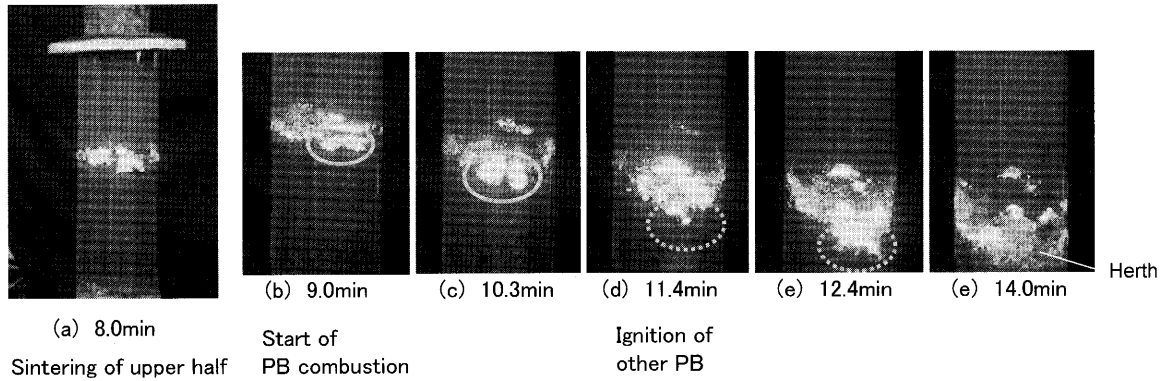


Fig. 6. PB combustion in sintering observed in the silica glass tube.

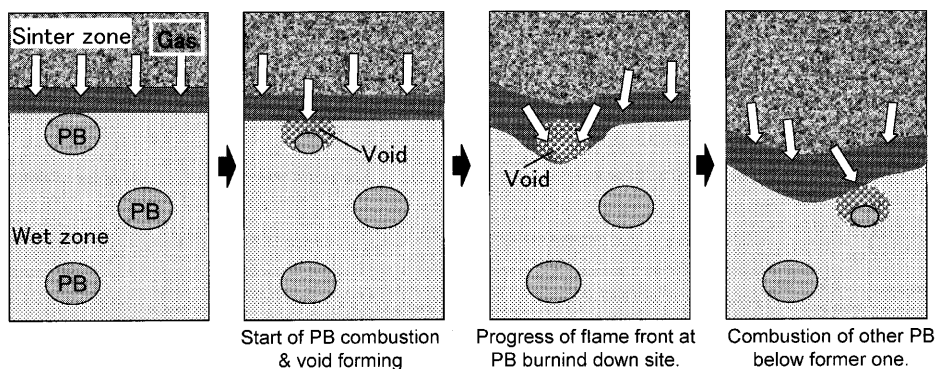


Fig. 7. Schematic diagram of PB combustion and transferring flame front.

イズで下方に拡大したこの空隙部では、ベッド水平断面の他のバルク部分より圧力損失が大幅に低下するため、周囲の上部領域からも焼成ガスが流れ込むと考えられる。コークス燃焼帯の伝搬は、酸素供給および対流伝熱を支配するガスの流れに沿ってPB空隙に向かうように変わり、燃焼帯はPB燃焼部が先行する形に変化していくと推察される。空隙により先行した燃焼帯の先にさらにPBが存在すれば、PB燃焼でさらに下方に空隙を形成して、燃焼帯の進行が連鎖的に起きていくと考える。

4.2 X線CTホットステージ試験での焼成結果

Fig. 8に焼成前後のホットステージ鍋断面のCTイメージを示す。比較として、PBを入れない通常の充填層（原料組成は同一）の焼成前後の断面(Base)を示す。PBは鉱石に比べ、低密度でCT値が低く、焼成前段階でも暗く表示されるが、暗い2つの班の中をPBが占めている。

Baseの焼成後垂直断面では、面全体にマクロで不定形な空隙が成長し、一部が連続空隙を形成している。また、画面内では連続していない空隙も全面に渡って分散している。一方、PBを配置した場合、PBの焼失痕は、配置時とほぼ同様の形状で、やや断面積を増大させた。また、PB間隙部の側方周囲では相対的に大きな空隙は少ない。ここから、2つのPB痕として形成された20 mm径レベルの“大空隙”と、その間隙に当たる薄い焼結の“ブリッジ部”（ここには空隙も混在）にガスが優先的に流通して焼成し

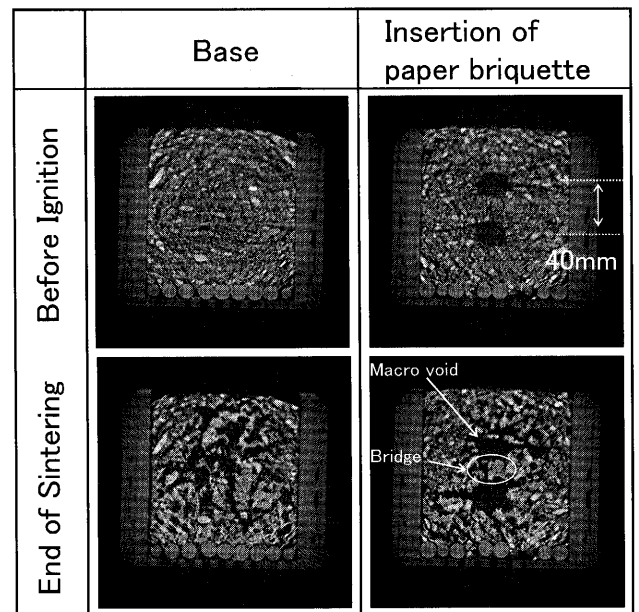


Fig. 8. Comparison of observed sinter cake section by X-ray CT scanner.

たことが推察される。PB位置よりも上層と下層側では、Baseと同様に不定形の連続空隙と、不連続の空隙が分散した状態となっており、PBの装入領域以外を燃焼前線が通過する状況ではBaseと同様にガスが鍋の水平断面全体に分散して流れたことを示している。

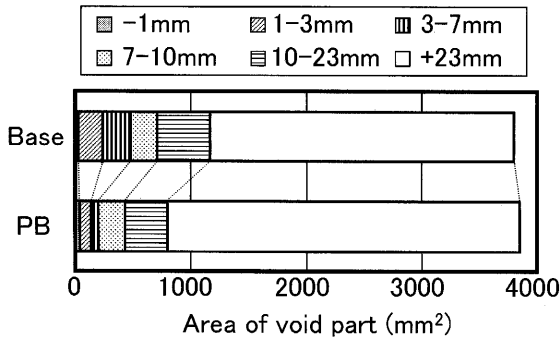


Fig. 9. Area size distributions of void part in CT scanner image.

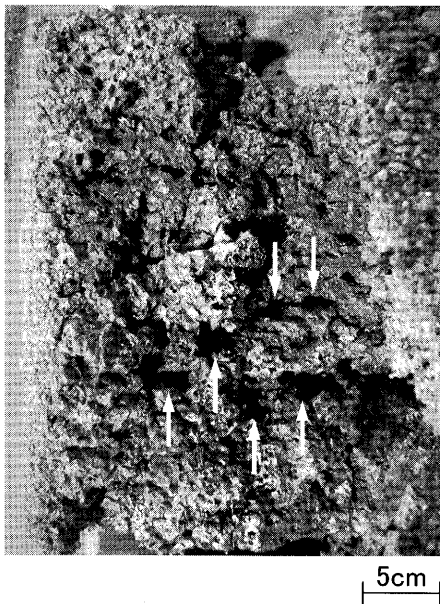


Fig. 10. Voids in cake section of sintering pot test (PB 5 vol%).

CTイメージを2値化処理して空隙部と焼結鉱充填部に分離し、画像解析から算出した、空隙部分の円相当径ごとの面積構成比率をFig. 9に示す。通常装入のBaseに比べ、PB装入系では23 mm以上分の面積が増大し、それ以下の相等径面積分は低減している。これはPBのあった位置に大空隙が形成され、そこに周囲領域の空隙が焼成中に統合されていく傾向を反映していると考えられる。

4.3 焼成鍋試験結果

Fig.10にPBを5%体積置換したケーキを垂直方向に割った断面の状況を示す。ケーキ下側半分で白矢印位置にPB焼失痕と見られる20~30 mmレベルの大空隙が分散しており、焼成後もPBによる空隙がケーキ内に残留することがおおむね確認できた。

Table 3に、本焼成鍋試験結果を示す。焼結時間はPBの5 vol%装入までPB装入量に応じて低下し、Baseに比較して17%短縮した。歩留り、および、冷間強度指標であるSIはいずれも低下したが、Baseに比較してそれぞれ5%および3%の低下に留まり、全体として生産率が約12%

Table 3. Experimental result of the pot test.

	Base	1.25vol%	2.5vol%	5vol%
Sintering time (min)	23.7	22.4	19.7	18.2
Yield +10mm (%)	87.0	85.4	82.5	82.2
SI (-)	80.2	79.4	78.6	77.2
Productivity (T/h·mf)	1.57	1.63	1.76	1.84

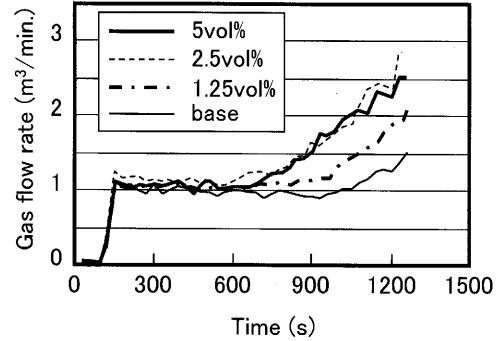


Fig. 11. Change in suction gas velocity depending on PB volume.

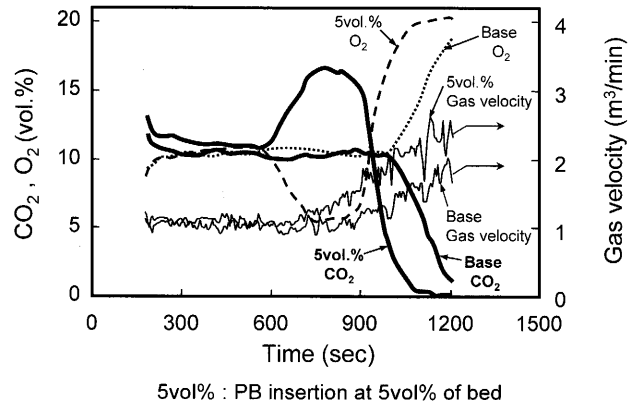


Fig. 12. Change in CO₂, O₂ concentration and gas velocity.

(5 vol%装入条件) 増大した。これは、焼成時に熱過剰となっているベッド下方のみでPB装入により通気性が改善され、脆弱化しやすいベッド上方では焼成への影響が抑制された結果と考えられる。以降、PB装入による通気性への影響について述べる。

4.3.1 ベッドの通気性への影響

ベッド通気性の指標として焼結ベッドの吸引ガス量の時間推移をFig.11に示す。時間軸の原点は点火開始に対応するが、試験装置上の制約から点火が完了した約150秒後からガス量を測定した。通常、この試験では焼成時間の経過とともにガス量は低減し、ベッド内の湿潤帯がベッド下端で消失する時点から、ガス量が増大し始め、さらにベッド内のコークス燃焼が終了すると、排ガス温度が最高点に達して焼成終了となる。PBを装入しないBaseではガス量が増大に転じるのは約900秒後からなのに対して、PBを装入した条件では約600秒後からガス量増大を示した。増大の程度はPB置換量の多い方が顕著であるが、2.5 vol%と5 vol%の置換ではほぼ同程度の風量変化だった。

Fig.12にBaseとPBを5 vol%置換した水準での排ガス中

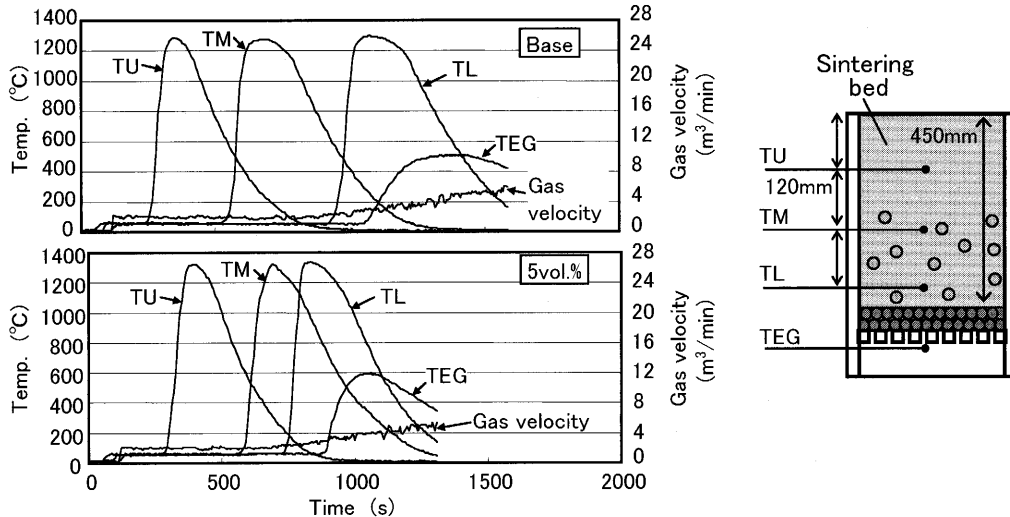


Fig. 13. Change in temperatures in sintering bed and exhaust gas with gas velocity.

CO₂, O₂濃度と吸引ガス量の経時変化を示す。Baseではベッド内の焼成が完了に近づきCO₂濃度が低下し始めてからガス量が増大するのに対し、PB装入系ではCO₂増大とともにガス量が増大しており、PBの燃焼とともに通気性が向上したことを示している。

Fig.13に焼結ベッド内高さ別の測温点と、排ガスの温度(TEG)推移を示す。PB 5 vol%置換の水準では中層部(TM)の昇温段階まではBase条件と比較して差は無いが、中層部の温度推移が時間軸方向で短縮して鋭くなり、下層部(TL)の昇温がより早い時間から開始する。下層部の温度保持も若干短縮して燃焼が終了に向かい、排ガス昇温も速まって短時間でピークを迎える。すなわち、下層部での焼成が大幅に短縮されることを示している。また、Fig.12のガス組成推移と併せてみると、焼成後半でCO₂の濃度が大きく増大している期間も排ガス温度は一定を持続しており、CO₂濃度が低減し始めてから昇温が始まっている。これは、PB装入による通気改善の効果として、巨大な連続空隙がベッド下端まで貫通する事態は起きず、ベッド内で段階的に空隙を形成しつつ、進行したことを示す。すなわち、焼成が促進された下層部でも、燃焼が垂直方向に進むと融液流動により粗大気孔下部に難透過域が形成され、通気パスがその脇を通り水平方向の焼成が進むという焼結における通気パスの特異的な現象⁹⁾が残っており、局所的なムラ焼けによる大幅な歩留低下は回避される可能性がある。

Fig.12のCO₂濃度上昇はPB装入量に対応して増大するため、PBの燃焼で発生したCO₂によると考えられる。しかしFig.14中に示したベース条件からのCO₂濃度の差を示した斜線部である濃度増大領域においては、CO、CO₂濃度とガス量から算出した炭素排出量は、装入したPB質量から算出した炭素量より大きい。このため、PBを装入した系では時間あたりの粉コークス燃焼量も増大していると考

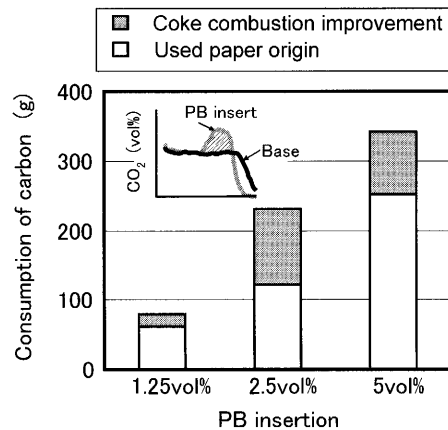


Fig. 14. Estimation of carbon balance at CO₂ raising area.

Table 4. Gas flow rates passing through the cake after cooling. (at room temperature)

Test	Base	1.25vol%	2.5vol%	5vol%
Gas flow rate (m/s)	0.88	0.90	0.92	0.81

えられる。この理由は明瞭ではないが、PBの燃焼により、PB近傍のコークスが予熱され、それによりコークスの燃焼速度が増大した可能性が考えられる。

4.3.2 PB焼失の作用位置

鍋試験機での焼結終了後、ケーキを室温まで冷却してから、ケーキ下位置で9800 Paの負圧状態に保持しつつ、ベッド上方の風速計で測定した吸引ガスの空塔風速をTable 4に示す。Fig.11の1200s時点では、5%置換に比較してBaseはガス流速が低いが、焼結の進行により風速が増大し、最終的にPBを装入した水準とほぼ同様となった。すなわち、PB装入のケーキの通気抵抗は最終的にベースと大差が無いことになる。鍋焼成したケーキの空隙率は、焼結鉄の真密度から考えれば、いずれも60%近くなるが、実際のガス風速から算出される空隙率は、これよりかなり

低く、充填粒子を擬似粒子径の0.003 mとした場合、約40%となる。葛西ら⁹⁾によれば、通常に焼成した焼結ベッドでErgun式から算出される空隙率は、ケーキ断面から算出される値に比べて大幅に小さいことが示されており、連続気孔中に存在するボトルネック的な狭い部分の通気阻害により、Ergun式の適用は困難としている。

PB焼失により大空隙が分散した本報告の鍋焼成ケーキでも、大空隙間のガス通路が狭窄するブリッジ部では圧力損失が増大すると推察され、また、水平に延びて下に緻密組織を有する空隙の存在などから、圧力損失はBaseのケーキと同様に、空隙量だけでなく、空隙形状にも支配されていると考えられる。

それにもかかわらず、ベッドのPB装入部分の焼成時にガス速度が増大したのは、PBの焼失により、燃焼溶融帯¹⁰⁾での空隙形成が作用して、通気抵抗が相対的に低下したためと考える。

2章のTG測定および4・1の石英管観察から考えて、PBは焼成前半で焼結ベッドの湿潤帯にある期間は変化せず、仮焼帯の温度域に入ってから燃焼を開始する。ここで、PBが燃焼しているベッド水平断面を考えると20 mm大の孔が複数箇所形成され、空隙率 ϵ が増大してガスを大量に通過させる。この断面は引き続き上層からの対流伝熱で、速やかに燃焼帯温度域に達しコークスが燃焼し始める。本来、燃焼溶融帯は単位層厚当たりの圧力損失($\Delta P/L$)の大きい領域であるが、この時、原料の熔融により空隙の再配置が起きる前段階から、PB燃焼による大孔が複数開孔しているため、面全体では通気抵抗が大幅に抑制されると推察される。この大孔は、下層へ抜ける大きな断面のチャンネルとなるはずであるから、平均径が3 mm程度の原料擬似粒子の形成する通常ベッドの細かいチャンネルに比較して、優先的な通気パスとなるはずである。

溶融帯で空隙が合体、再配置してケーキの構造を形成すると、PB痕跡以外にも焼結ケーキ特有の水平に拡がった空隙の形成や連続空隙中に狭窄部が形成され、通常のケーキと同レベルの通気抵抗となると考えられる。

PBによる通気改善は、通常ベッドで大きな比率を占めている燃焼帯での圧力損失を燃焼帯のベッド内降下とともに逐次的に低下していくことにあると考えられる。この焼失箇所の分散により、ベッド全体でのガス流偏向は抑制され、一定ペースで降下すると考える。

なお、本試験では2.5 vol%と5 vol%の水準でガス速度が同程度で推移することから、5 vol%レベルで通気改善効果が飽和に近いことを示唆している。

4・3・3 焼結鉄成品粒径分布への影響

4・2で述べたように、PBを垂直方向に並べて配置したCT観察断面では、PB周囲の空隙と連結して、もとのPBより拡大した大空隙を形成し、かつ2つの大空隙間のブリッジ部には大空隙を連結して優先的にガスが流れたと考

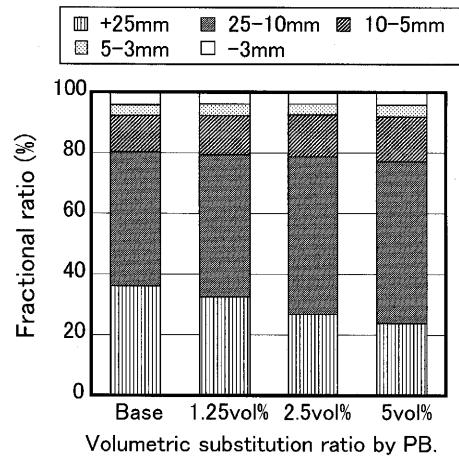


Fig. 15. Particle size composition of sinter produced by pot test.

えられる空隙が形成されていた。鍋焼成試験でPBが分散されたベッド下部においても、上下配置関係にあるPB間で同様の現象が起きるとすれば、ケーキには大空隙を連結してガスが流通する連続空隙が多数形成すると考えられる。

さらに、コークス燃焼に加えてPBの燃焼熱を考慮すれば、PB近傍では賦与熱量が増大しているから、葛西ら⁹⁾が示したように、融液量の増加や粘性の低下によって、大空隙の固体壁では形状の複雑さは消滅して、より滑らかな表面の空隙となっている可能性がある。

このような連続空隙が内在するケーキでは、破碎により成品焼結鉄となった状態でも空隙構造を反映する可能性がある。

焼結ケーキの落下試験後時点の成品粒度をFig.15に示す。5 mm以下粒径の構成比率はPB装入量の増大に伴う変化は小さいが、5~10 mm, 10~25 mm粒径の比率はPBの装入量と相関して増大した。PB装入での通気改善により、焼成時間が短縮するため、強度は低下する傾向にあるが、5 mm以下の「粉」の変化に比較して、大粒径側の変化は顕著である。

大粒径比率が変化した原因として、PB焼失で生成した大空隙間のブリッジ部がバルクの中で最弱部となり、Fig.16のように優先的に割れて破面を生成することが考えられる。ベッド下半分領域でPBが単純格子以上に配置すると仮定して、(1)式により算出した中心間距離 l について、PB置換比率に対応した変化をFig.17に示す。

$$l = (V/n)^{1/3} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 V : PBの分散する領域のベッド容積、 n : PBの装入個数である。

5 vol%の置換でPB中心間距離 l は約35 mmまで接近する。Fig.18のイメージのように、実際の空隙間距離の頻度は平均距離から何らかの分布幅を持って分散しており、大

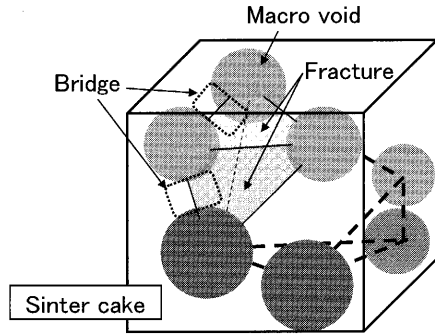


Fig. 16. Schematic illustration of cake degradation effected by neighboring macro voids.

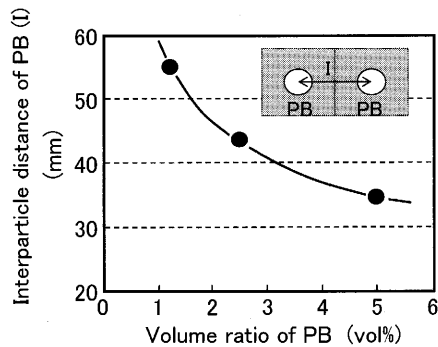


Fig. 17. Relationship between volume ratio of PB and inter-particle distance.

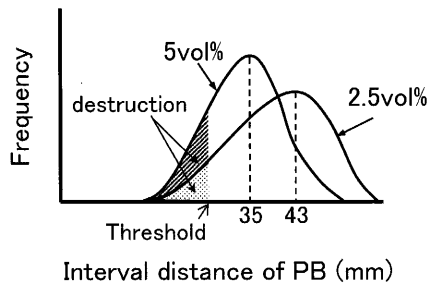


Fig. 18. Schematic illustration of frequency distribution in the interval of PB.

空隙数が増大すれば、相対的にブリッジ部の厚みは低下する。中心間距離 I の低下に伴い、厚みが薄くなったブリッジ部は、ある閾値を限界として応力集中による破壊確率が增大するはずであり、大空隙間を連結する連続空隙が存在

する一部のブリッジ部では、破壊する確率はさらに増大すると考えられる。このため、PB焼失による大空隙が分散したケーキでは、近接した空隙間のブリッジ部が優先的に破壊し、成品中の大粒径焼結が低減して、25~10 mmの中間粒径の焼結鉱が増大したと考える。

この傾向は、ケーキに導入する焼失物の量や分散の程度により、成品焼結鉱の粒径分布、とくに粗大粒径分の発生量の制御が可能なことを示唆すると考える。

5. 結言

(1) 焼失型成形体を焼結ベッド下方に装入することで、ベッド上層部の焼成中は通気性に変化を与えず、ベッド下半分の焼成段階で焼失開始以降にベッドの通気性を増大させることを確認した。

(2) 焼失物での5 vol%までの置換に応じてガス量は増大するが、いずれもベッドコークスの燃焼完了とともに焼落ちが観測され、通気改善による局所的なムラ焼けは認められなかった。

(3) PB置換率増大に伴い焼結成品の粒度は低減するが、近接した大空隙間が優先的に破壊して成品焼結鉱を形成する傾向にあるためと推察される。

文 献

- 1) K.Nushiro, Y.Konishi, K.Igawa, K.Takahira and N.Fujii: *Tetsu-to-Hagané*, **83** (1997), 413.
- 2) M.Kawasaki, K.Kitamura, K.Yanagisawa, H.Ono, T.Seiho: *CAMP-ISIJ*, **3** (1990), 1059.
- 3) T.Jinno, K.Matsumoto, N.Ooyama: *CAMP-ISIJ*, **14** (2001), 954.
- 4) K.Higuchi, T.Kawaguchi, M.Kobayashi, Y.Toda, Y.Tsubone, Y.Ito and S.Furusho: *Shinnittetsu Giho*, No. 384 (2006), 28.
- 5) C.Kamijo, M.Matsumura and T.Kawaguchi: *ISIJ Int.*, **45** (2005), No. 4, 544.
- 6) T.Matsumura, K.Morioka and F.Noma: *CAMP-ISIJ*, **14** (2001), 953.
- 7) K.Nushiro, N.Ooyama, K.Igawa, K.Sorimachi and T.Uetake: *CAMP-ISIJ*, **9** (1996), 822.
- 8) E.Kasai, B.Batcaihan, Y.Omori, N.Sakamoto and A.Kumasaka: *ISIJ Int.*, **31** (1991), No. 11, 1286.
- 9) E.Kasai, R.Lovel, W.Rankin and Y.Omori: *Tetsu-to-Hagané*, **75** (1989), 228.
- 10) 今井秀樹, 武内寿久禰, 藤木良則編: 鉱物工学, 丸善, 東京, (1975), 175.