

# レースウェイ内におけるコークスの粉化機構

山岡 秀行\*・中野 薫\*

Mechanism of the Degradation of Coke Size in Raceway

Hideyuki YAMAOKA and Kaoru NAKANO

**Synopsis** : Experimental and theoretical studies were made to clarify the mechanism of the coke size degradation inside raceway and following results were obtained.

(1) The mode of the coke breakage inside raceway was surface breakage and the fine generation rate could be estimated as the ratio of the impact energy on coke inside raceway and the fine generation energy per unit mass.

(2) The impact energy charged on coke inside raceway could be calculated as the kinetic energy transferred from the blast to the coke particles through the hydrodynamic interaction and the fine generation energy could be estimated through drum tests as the ratio of the energy charged on coke in the drum to the amount of fine generated.

(3) A mathematical model was developed with the help of the population balance theory usually used for comminution processes in the field of powder technology, which could predict not only the fine generation rate but also the coke size distribution inside raceway.

**Key words** : blast furnace; raceway; coke; size degradation; surface breakage; fine generation rate; coke size distribution; population balance model.

## 1. 緒言

近年、特に高PCI操業との関連においてレースウェイ内におけるコークスの粉化機構の解明と制御が重要な課題となっており、冷間模型、熱間模型を用いたレースウェイ試験や実高炉におけるレースウェイ内のコークスのサンプル調査等が精力的に行われてきた。

レースウェイ内におけるコークスの粉化はコークスのガス化反応を伴った複雑な現象であるが、粉化の主原因はコークスに加わる力学的な衝撃と考えると差し支えない。従って、レースウェイ内におけるコークス粉化現象を理解するに際してまず必要な要件はレースウェイでコークスが受ける衝撃量の定量化であり、破壊強度や粉の生成エネルギー等、コークスの力学的物性値との相対関係に基づいた粉化に関する考察が基本としてなされるべきものと考えられる。しかるに、この様な力学的な視点からレースウェイ内におけるコークスの粉化現象に関して研究した例は見られない。また、レースウェイで発生するコークス粉の反応による消滅、ガス流によるレースウェイからの排出、レースウェイ外充填層内での流動や蓄積など、高炉操業に及ぼす影響を議論するに際して発生する粉の粒度分布は不可欠の要素と考えられるが、レースウェイで発生する粉の粒度分布とその生成原因に視点を置いた研究も見られない。

そこで、本研究ではまず、レースウェイを模擬した冷間実験を下にレースウェイ内におけるコークスの破壊現象の特徴を調査し、その結果を基にレースウェイ内におけるコーク

ス破壊現象、すなわち粉の発生速度と粒度分布を定量的に議論すべき数学モデルの導出を試みた。

## 2. レースウェイ冷間実験

槽体を降下させることにより実際のレースウェイでの燃焼に伴うコークスの更新を模擬した冷間実験を実施し、レースウェイ寸法、レースウェイ内でのコークスの破壊様式、粉コークスの生成速度およびレースウェイ内でのコークス粒度分布について調査した。

### 2.1 実験方法

#### 2.1.1 実験装置

Fig. 1に実験装置の概略を示す。実際のレースウェイでは、燃焼反応によるコークスの消費、更新があるため、ここでは、送風羽口および装入ホッパーを固定し、槽体を一定速度で降下させることにより、燃焼に伴うコークスの消滅、更新を模擬する方式としている。

#### 2.1.2 実験試料

Table 1に使用した試料コークスの性状を示す。塊でのドラム試験値(150回転, -15mm)がそれぞれ、84%、68%のコークスを破碎し、6-8mm、8-10mmに篩い分けて得られた小塊コークスを試料とした。又、粒度調整後の各試料については、I型ドラム試験(筒長0.7m, 回転速度20rpm)も実施した。

#### 2.1.3 実験条件

層頂から羽口までの距離を600mmに設定した。

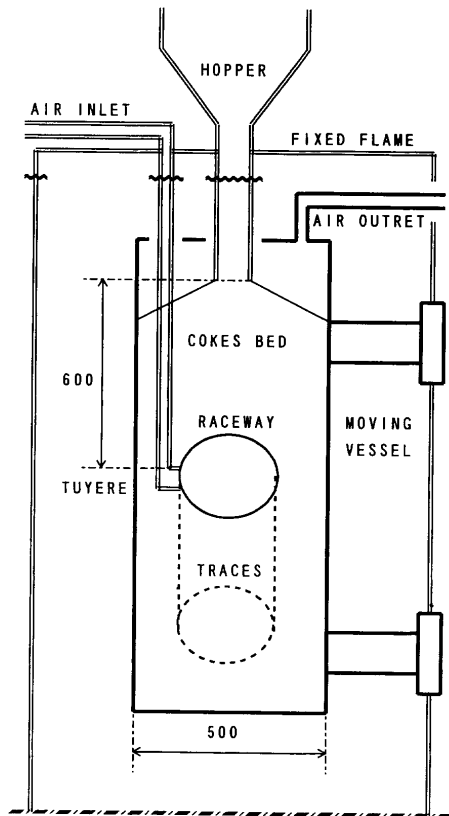


Fig. 1. Experimental apparatus.

Table 1. Properties of materials used in the experiment.

Material (COKES)	$\rho_p$ (kg/m <sup>3</sup> )	D <sub>15</sub> <sup>150</sup> (%)	D <sub>1</sub> <sup>300</sup> (%)	D <sub>1</sub> <sup>600</sup> (%)
D184	1100	8.4	6.3	10.7
D168	960	6.8	11.5	17.0

また、送風には空気を使用した。コークスの粉化速度は衝風仕事率に依存すると考えられるので、羽口径を16, 18, 20mm, 空気流量を2から3Nm<sup>3</sup>/minとし、衝風速度で150~230 m/s, 次式で示される衝風仕事率では500~2000 J/sの範囲で変化させた。

$$W_g = 1/2 \rho_g v_g^3 s_f \dots\dots\dots (1)$$

槽体の降下に関しては、降下距離を600mm一定とし、降下時間を30, 60, 90分と変化させ、レースウェイ内のコークス更新速度を変化させた。

2.1.4 データの整理方法

試験後槽内の水平断面を観察すると、おおむね円形で、内部には比較的角の取れた粗粒が存在し、周囲には粉が集積した直径が100から200mmのレースウェイの痕跡が認められた。そこで、その痕跡の直径をレースウェイ寸法とした。

また、羽口レベルからその下方600mm迄の槽内のコー

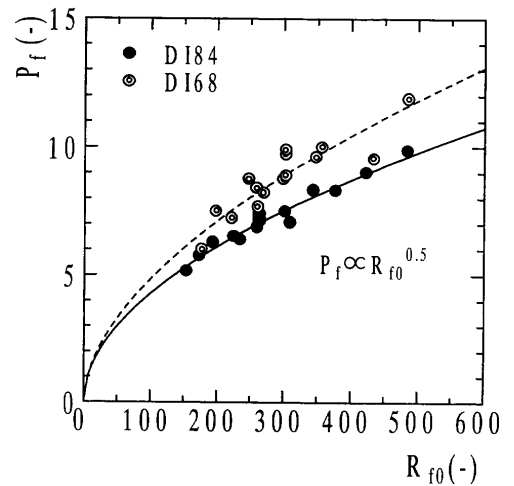


Fig. 2. Relationship between penetration factor ( $P_f$ ) and raceway factor ( $R_{f0}$ ).

クスを採取して1, 3, 5, 7mmの篩い目で篩い分けて粒度分布を計量し、次式によりレースウェイ内コークス量とその粒度分布を算定した。

$$w_R = w - (s_B - s_R) 0.6 \rho_{B0} \dots\dots\dots (2)$$

$$D_R(x) = (w D_S(x) - (w - w_R) D_0(x)) / w_R \dots\dots\dots (3)$$

2.2 実験結果

2.2.1 レースウェイの寸法

従来から、レースウェイの寸法は次式に示すレースウェイファクター $R_f$ とペネトレーションファクター $P_f$ で整理されてきた<sup>1)</sup>。

$$R_f = (1/2 \rho_g v_g^2) / (g \rho_p d_p) \dots\dots\dots (4)$$

$$P_f = L_R / D_t \dots\dots\dots (5)$$

そこでまず、実験結果を、粒子径として原試料の粒度を用いたレースウェイファクター $R_{f0}$ とペネトレーションファクター $P_f$ との関係で整理すると、Fig. 2に示すように、 $P_f$ は $R_{f0}$ の約0.5乗に比例し、コークスのドラム指数で識別されるという結果を得た。ドラム指数で識別された原因は、コークスの粉化の程度の差によるものと予想できるので、実測されたレースウェイ内コークスの調和平均粒度を使用して再度、レースウェイファクターを計算し、ペネトレーションファクターとの相関をプロットした結果、Fig. 3に示すとおり、コークスのドラム指数の差異によらず、 $R_f$ と $P_f$ は同一の曲線で整理され、上記の予想を裏付ける結果となった。

ここで、 $R_f$ と $P_f$ の関係は、直線関係ではなく、次式により整理された。

$$P_f \approx R_f^{1/3} \dots\dots\dots (6)$$

2.2.2 レースウェイにおけるコークスの破壊様式

実験で採取されたレースウェイ内コークスの粒度分布

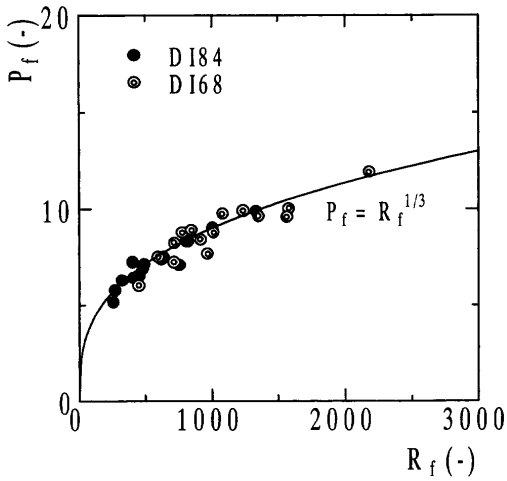


Fig. 3. Relationship between penetration factor ( $P_f$ ) and raceway factor ( $R_f$ ).

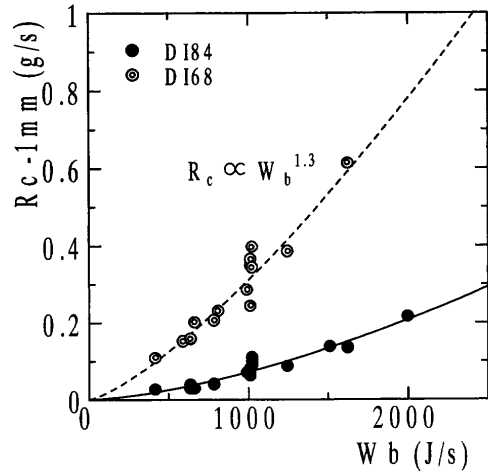


Fig. 5. Relationship between blast energy rate and fine (-1 mm) generation rate.

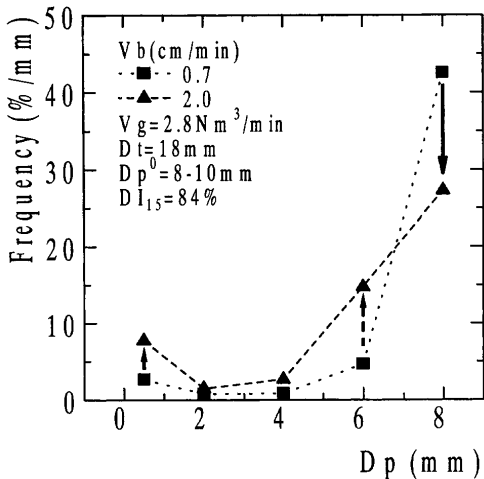


Fig. 4. Coke size distribution observed in the raceway experiment.

を、槽体降下速度が異なるケースに対して整理した結果、Fig. 4に示すとおり、原試料の粒度(8-10mm)を保つ成分(ここでは8mmの頻度)は槽体降下速度 $V_b$ の減少とともに減少し、その分、原試料よりやや粒度の小さな成分(6-8mm)と微細成分(0.5mm)が増加する傾向が示された。ここで、槽体降下速度はコークスのレースウェイ内滞留時間に反比例することを勘案すれば、Fig. 4の結果は、レースウェイ内でのコークス粒子の破壊が、粗粒コークスの粒度低下と微量量の増加という形で進行するいわゆる表面破壊であることを示している。

2.2.3 レースウェイにおけるコークスの粉化速度

レースウェイ内でコークスを破壊させ、粉を生成させるエネルギーの根源は衝風エネルギーと考えられる。そこで、粉として-1mmの粒度をとり、(1)式で計算される衝風仕事率と粉の生成速度の関係を整理した結果、Fig. 5に示すように、粉の生成速度は衝風仕事率の約1.3乗に比例し、かつ、コークスのドラム指数で識別されるという関係が得られた。

3. レースウェイにおけるコークスの粉化現象のモデル化

エネルギーバランスの視点からレースウェイにおけるコークスの粉化現象を捕らえ、粉体工学の分野で活用されている粒子集合破碎におけるポピュレーションバランスモデルを活用してそのモデル化を試みた。

3.1 衝撃によるコークス粒子の表面破壊過程におけるエネルギーバランス

コークスはレースウェイ内で旋回運動しつつコークス粒子同士の接触を介して衝撃を受け、表面破壊していると考えられるが、粒子が衝撃を受けて表面破壊する場合、粒子が受けた衝撃エネルギーは新生表面の生成、破成物(粉および残留塊)の塑性変形、音響および飛散運動エネルギーに転嫁されると考えてよい。ここで、表面破壊後に生成する破成物の飛散運動エネルギー以外はすべてコークス粉の生成のために消費されるものと見なし、単位質量の粉を生成するために必要なエネルギーを粉の生成エネルギー $[E/M]$ と定義すれば、衝撃エネルギー $E$ と粉の生成量 $w_c$ の関係は、以下のように記述できる。

$$w_c = (E - E_k) / [E/M] \dots\dots\dots (7)$$

$E_k$ は破成物の飛散運動に転嫁されるエネルギーであるが、衝撃エネルギーに対して粉の生成に消費されるエネルギーの比率を粉化への寄与率 $\eta$ とし、さらに、単位時間あたりの関係として上式を書き直せば、次式が得られる。

$$R_c = \eta W / [E/M] \dots\dots\dots (8)$$

ここで定義した粉の生成エネルギー $[E/M]$ は、単位質量の試料を全量破碎して-0.1mmが80%の粉にするために必要なエネルギーとして定義されるポンドの仕事指数<sup>2)</sup>と同じく、粒子の破碎抵抗を示す指標である。ここで、粒子の破碎抵抗は一般に衝撃条件に依存する<sup>2)</sup>が、衝撃条件が大

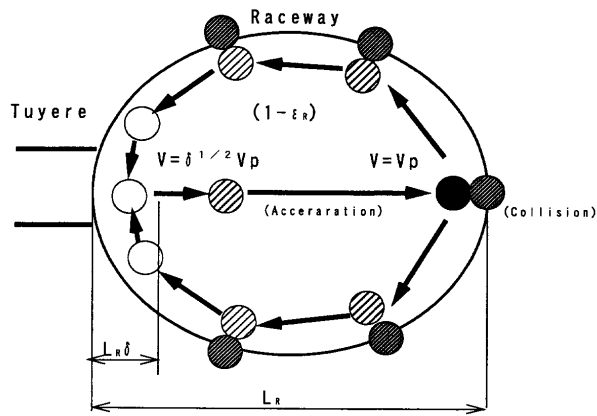


Fig. 6. Concept of the model to calculate the impact energy rate.

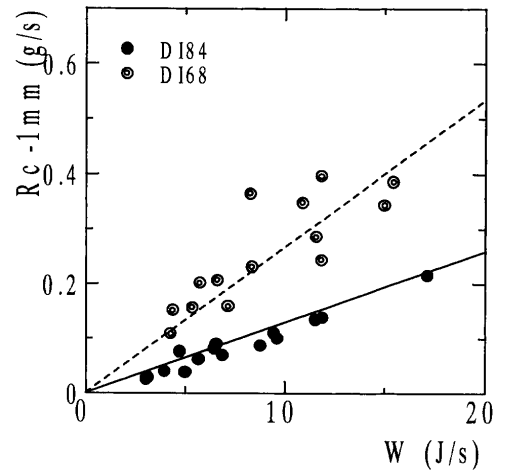


Fig. 7. Relationship between impact energy rate and fine (-1 mm) generation rate.

大きく異なる範囲では一定と考えて良いので、上式は、粉の生成速度はおおむね、衝撃仕事率に比例することを示唆している。

### 3.2 粉の生成エネルギーとレースウェイ内でコークスが受ける衝撃仕事率

粉の生成エネルギーは上述の通り、ボンドの仕事指数から概算されるが、コークス強度の評価に用いられているドラム試験も粒子破碎試験と見なすことができるので、コークス粉の生成エネルギーの算定に活用することができる。I型ドラム試験の場合、ドラム長をL、試料の量をw<sub>d</sub>とすれば、コークスに加わる衝撃仕事率は1回転につき「2gLw<sub>d</sub>」と見てよく、粉の生成エネルギー[E/M]は次式で概算することができる。

$$[E/M] = \sum W/(D(x)w_d) = 2n_d gL/D(x) \dots (9)$$

ここで、粉を規定すべき粒度xをいかにとるかが問題となるが、I型ドラムの場合、生成する粉の大半は-1mmであるため、D(x)として-1mm比率をとれば、Table 1に示した実験試料であるDI84とDI68のコークスに対して各々、65および35kJ/kgと算定され、コークスに対するボンドの仕事指数として報告されている一例、約60kJ/kg<sup>2</sup>とほぼ同オーダーの値となった。

他方、レースウェイ内でコークスが受ける衝撃仕事率Wに関しては、(1)式で示した衝風仕事率はコークスが受ける衝撃仕事率と関係する因子ではあるが、衝風がレースウェイを囲む充填層を通過するためのエネルギーロス等を勘案すれば、衝風仕事率そのものが衝撃仕事率に等しいとは考えられない。そこで、レースウェイでコークスが実際に受けている衝撃仕事率を定量化するため、Fig. 6に示すモデルを想定した。

すなわち、コークスはレースウェイ内で、羽口からの衝風で加速されてレースウェイ壁へ衝突し、再度羽口前に戻るといった循環運動を行っているとし、1回の旋回運動で受ける衝撃エネルギーの総和はコークスがレースウェイ壁に

衝突する際の運動エネルギーに等しいと仮定すると、コークスが受ける衝撃仕事率は以下のように記述できる。

$$W = (1/2 m_p v_p^2) n \dots (10)$$

ここに、m<sub>p</sub>はコークス粒子1個の質量であり、次式で計算される。

$$m_p = \pi/6 d_p^3 \rho_p \dots (11)$$

v<sub>p</sub>はレースウェイ壁へ衝突する際のコークスの速度であり、衝風から受ける抗力でコークスが加速力されるとしたコークス粒子に関する運動方程式を積分して得られる次式で記述できる。

$$v_p = (3/2 c_d \rho_g v_g^2 L_R / (\rho_p d_p))^{1/2} \dots (12)$$

nは単位時間あたり、レースウェイ壁にコークス粒子が衝突する回数であり、羽口先の衝風加速域にコークスが流入する巾をδとすれば、物質収支に基づいて導出される次式で計算できる。

$$n = 3/\pi s (1 - \epsilon_R) \delta^{1/2} v_p / d_p^3 \dots (13)$$

ここで、諸数値を以下のとおり設定し、すべての実験条件に対する衝撃仕事率を計算した。すなわち、羽口先端へコークスが流入する領域の長さのレースウェイ寸法に対する比δは0.1とし、レースウェイの空隙率ε<sub>R</sub>は0.8とし、抗力係数c<sub>d</sub>は、本実験条件での粒子レイノルズ数が約10<sup>5</sup>であることから、この範囲における回転楕円体に対する値である0.1とし<sup>3)</sup>、さらに、粒子径としては、レースウェイの観察結果から粉は旋回運動に加わらないと見なし、実測されたレースウェイ内コークスの+3mm粒子の調和平均径を用い、また、レースウェイ寸法には実測値を採用した。

計算された衝撃仕事率と-1mm粉の生成速度との関係をFig. 8に示す。-1mm粉の生成速度と衝撃仕事率には

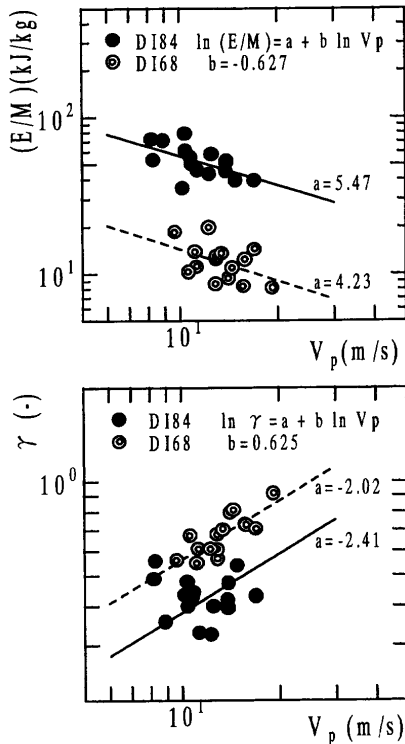


Fig. 8. Effects of impact velocity and coke drum index on size distribution index ( $\gamma$ ) and fine generation energy ( $E/M$ ).

(8)式から期待される比例関係が得られ、粉の生成エネルギーはほぼ一定と見なして良いことが示された。また、勾配から計算される -1 mm 粉の生成エネルギーは、DI84とDI68のコークスに対してそれぞれ 75, 35 kJ/kg となり、ボンドの仕事指数およびI型ドラム試験からの算定値と大きく相違しない値となった。

Fig. 5では、-1 mm 粉の生成速度は衝風仕事率の約 1.3 乗に比例する関係が示されている。この関係は、(10), (12), (13)式から明らかとなり、衝風仕事率がガス流速の 3 乗に比例すると共にレースウェイ寸法の 1.5 乗に比例し、レースウェイ寸法は、(6)式に示したとおり、ガス流速の 2/3 乗に比例したことを勘案すれば、衝風仕事率は送風仕事率の約 1.3 乗に比例することになり、理解される関係である。

これらの結果から、レースウェイにおいてコークスが受ける衝風仕事量はおおむね(10)式により算定できると判断された。

### 3.3 コークス粉化現象に対するポピュレーションバランスモデル

破成粉の粒度分布の解析に関して粉体工学の分野では、次に示すポピュレーションバランス方程式が活用されている<sup>4)</sup>。

$$\frac{\partial}{\partial t} D(x, t) = \int_x^1 S(y)B(y, x) \frac{\partial D(y, t)}{\partial y} dy \dots\dots\dots(14)$$

上記の積分方程式は、粒度  $x$  以下の粉は、粒度  $x$  以上の粉の破壊によってもたらされるとする物質収支の関係を示すものであり、 $D(x, t)$ は粒度  $x$  以下の篩い下分率で定義される粒度分布関数、 $S(y)$ は粒度  $y$  の粒子の破壊速度を示す選択関数、 $B(y, x)$ は粒度  $y$  の粒子の破壊により生成する破成粉の粒度分布 (篩い下分率) を示す破壊関数である。従って、選択関数  $S(y)$  と破壊関数  $B(y, x)$  が得られれば、対象とするシステムにおける粒子破壊現象を、粒度分布の視点で解析することが可能となる。ここでは、先に導出したレースウェイにおけるコークスの衝風仕事率の計算式および粉の生成エネルギーを基に、ポピュレーションバランスモデルを活用したレースウェイにおけるコークスの粉化現象を予測すべき数式モデルを作成した。

まず、Fig. 4に示したとおり、レースウェイでのコークスの破壊様式は表面破壊であり、衝撃を受ける度に表面が破壊されて粉を生成すると考えてよいので、選択関数  $S(y)$  は、粒子個々が衝撃を受ける頻度として次式で記述できる。

$$S(y) = n/N = 3/\pi s_t \delta^{1/2} v_p / L_R^3 \dots\dots\dots(15)$$

$$N = L_R^3 (1 - \epsilon_R) / d_p^3 \dots\dots\dots(16)$$

ここで、 $N$ はレースウェイに存在するコークス粒子総数である。

次に、表面破壊により粉が生成すると、その分、親粒子の粒度が低下すると考えると、破壊関数  $B(y, x)$  は、生成粉と残留親粒子の粒度分布の合成として記述することができる。さらに、粉および残留粒子の粒度分布を共にベキ分布と仮定すれば次式を得る。

$$B(1, x) = \phi x^\gamma + (1 - \phi) x^\beta \dots\dots\dots(17)$$

$$\phi = 1/2 v_p^2 / [E/M] \dots\dots\dots(18)$$

ここに、 $\phi$ は粒子が衝撃ごとに生成する粉の親粒子質量に対する比率、 $\gamma$ および $\beta$ は生成粉および残留粒子の粒度分布指数であるが、残留粒子の粒度分布指数 $\beta$ は、粉を生成した量に相当する分残留粒子の粒度が低下すると考えれば、 $\phi$ の関数として次式で記述することができる。

$$\beta = (1 - \phi) / \phi \dots\dots\dots(19)$$

次に、(15), (17)式を(14)式に代入して積分すれば、(14)式の近似解として粒度分布に関する次式が得られる。

$$D_R(x) = \frac{\tau S \phi x^{\gamma/(1+\tau S \phi)} + x^{1/\tau S \phi}}{1 + \tau S \phi} \dots\dots\dots(20)$$

ここで、 $\tau$ は滞留時間であり、次式で与えられる。

$$\tau = \pi/6 L_R^3 (1 - \epsilon_R) \rho_p / F_R \dots\dots\dots(21)$$

以上に導出した数式モデルでは、破成粉の粒度分布指数

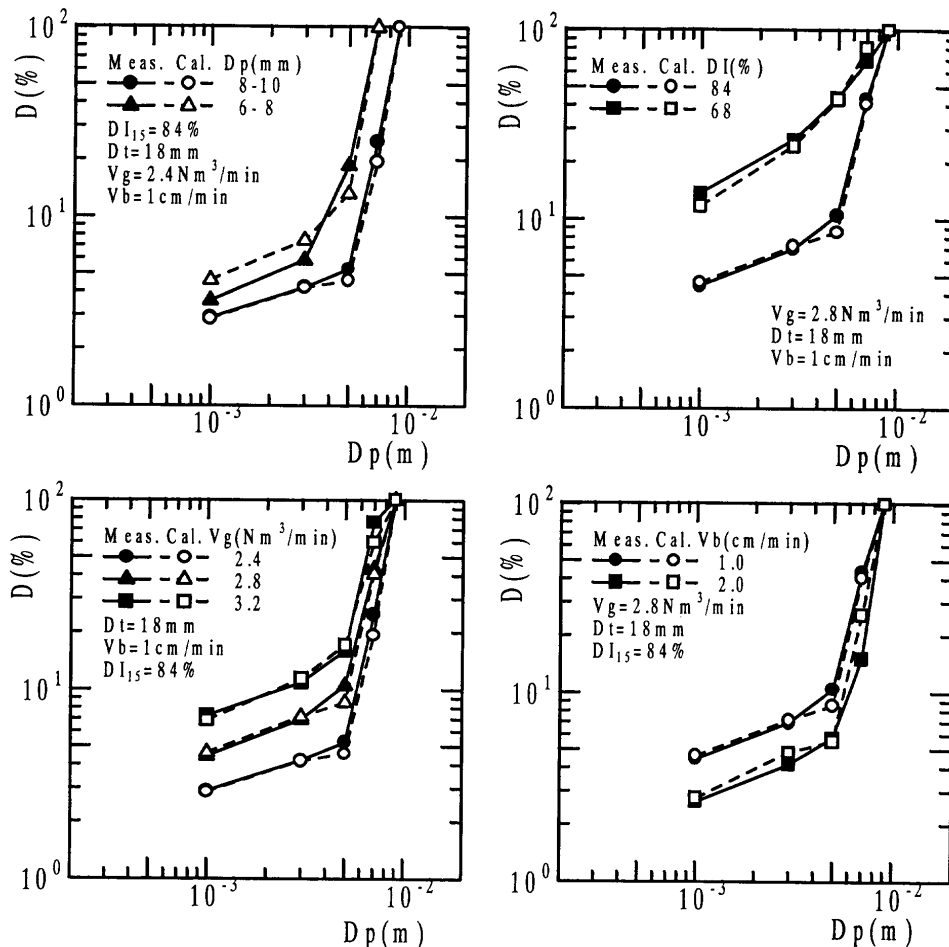


Fig. 9. Coke size distribution in raceway calculated and measured.

$\gamma$ と粉の生成エネルギー $[E/M]$ が未知数であり、それぞれが与えられれば、任意の送風条件、コークス更新条件(槽体降下条件)、コークス粒度に対し、(20)式からレースウェイにおけるコークスの粒度分布、(6)式からレースウェイ寸法を推定することができ、さらに、粉の生成速度と粉率は次式の関係にあることを考慮すれば、任意の粒度の粉の生成速度も計算することができる。

$$R_c(x) = F_R D(x) \dots \dots \dots (22)$$

ここで、粉の生成エネルギーおよび粉の粒度分布は共に、コークスの性状とともに衝撃条件にも依存すると考えられ、そのような要件を勘案して求められるべき指標であるが、(20)式を用いれば実験結果を基にして当該実験条件に対する値を見積もることも可能である。Fig. 8に実験結果から逆算された粉の生成エネルギー $[E/M]$ および粉の粒度分布指数 $\gamma$ を、コークスのレースウェイ壁への衝突速度 $V_p$ に対してプロットした。ここで、粉の生成エネルギー $[E/M]$ は、粉の最大径を試料粒度の1/2として算定したものであり、粉の最大径を-1mmとした3-2における値とは異なるものであることへの注意は必要であるが、 $[E/M]$ と $V_p$ の間には負の相関関係、 $\gamma$ と $V_p$ の間には正の相関関係が認められ、いずれもコークスの強度に対応するドラム指

数で識別された。上記の関係は、コークス強度が低いほど、また、コークスに加わる1回あたりの衝撃が大きいほど、コークスは粗く粉化し、また、多量に粉化する傾向にあることを示している。衝撃により粒子内に応力場が形成され、破壊強度を上回る領域が破壊するものとすれば、衝撃が強いほど、また、強度が低いほど破壊される領域は拡大するので大きな粒度の破成粉が生成し易くなり、さらに、粉の生成エネルギーの主体が粉の表面の生成エネルギーであるとするれば、破成粉の粒度が大きいほど粉の生成エネルギーは小さくなると考えられるので、上記の関係は、定性的には妥当なものと考えられることができる。

### 3.4 モデルの精度検証

Fig. 8に示された生成エネルギー $[E/M]$ および破成粉の粒度分布指数 $\gamma$ のコークスのレースウェイ壁への衝突速度およびコークスのドラム指数で示された強度依存性を正しいものとして採用し、全実験条件に対してレースウェイ内コークス粒度分布、レースウェイ寸法、粉の生成速度を計算し、実験結果と対比した。

レースウェイ内コークス粒度分布に及ぼすコークス粒度、強度、送風量、槽体降下速度の影響に関する計算と実験結果との比較をFig. 9に示す。コークス粒度が小さいほど粒子速度が増大するため、また、コークス強度が低いほ

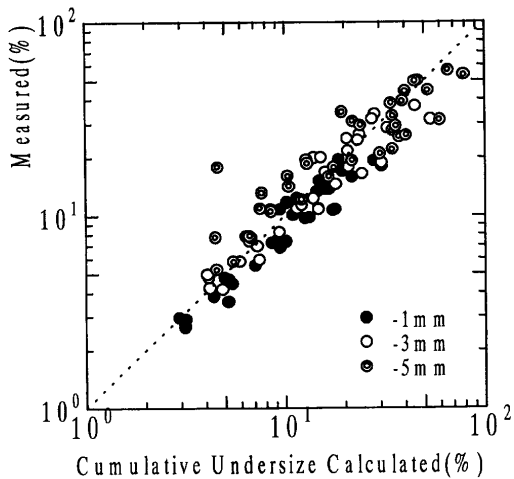


Fig. 10. Cumulative undersize in raceway calculated and measured.

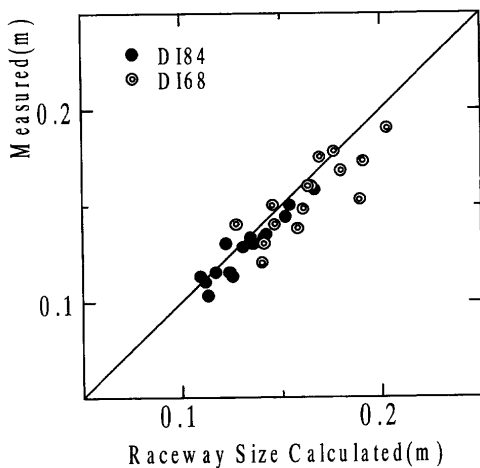


Fig. 11. Raceway size calculated and measured.

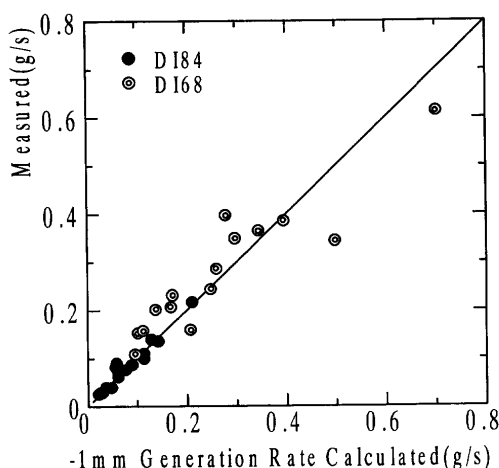


Fig. 12. Fine (-1 mm) generation rate calculated and measured.

ど粉の生成エネルギーが小さいため、また、送風量が増加するほど粒子速度が増大するため、また、槽体降下速度が遅いほど粒子のレースウェイ内滞留時間が増加するため、それぞれ、レースウェイにおけるコークスの粒度は低下し、

粉の比率が増大する傾向が精度良く計算されている。Fig.10, 11, 12には、-1, -3および-5 mm篩下分率、レースウェイ寸法および-1 mm粉の生成速度に関する計算値を全実験条件に対して実験結果と比較して示した。いずれに対しても、計算値と実験結果との間には良好な一致性が認められた。

#### 4. 結言

冷間実験を実施してレースウェイ内におけるコークスの粉化現象について検討し、レースウェイ内におけるコークスの破壊様式は表面破壊が主体であること、粉の生成速度はコークスが受ける衝撃仕事率に比例し、粉の生成エネルギーに反比例する関係で整理できることを示した。さらに、ポピュレーションバランス理論に基づくレースウェイ内コークス粉化モデルを開発し、レースウェイにおけるコークス粉化現象を、粉の発生速度のみならず粒度分布の視点でも精度良く解析しうることを示した。上記のモデルに従えば、レースウェイにおけるコークスの粉化現象を定量的に把握するための要件は破成粉の粒度分布および粉の生成エネルギーの定量的な把握であり、それらとコークスのミクロおよびマクロ構造並びに衝撃条件との関連性の究明が今後の課題である。

#### 記号

$B(y, x)$	: 破壊関数 (-)
$c_d$	: 抗力係数 (-)
$d_p$	: 粒子径 (m)
$D_i$	: 羽口径 (m)
$D(x, t)$	: 篩下分率 (-)
$D_0(x)$	: 試料篩下分率 (-)
$D_R(x)$	: レースウェイ内でのコークス篩下分率 (-)
$D_S(x)$	: 採取コークス篩下分率 (-)
$E$	: 衝撃エネルギー (J)
$E_k$	: 飛散運動エネルギー (J)
$e$	: 衝撃エネルギー (J/kg)
$[E/M]$	: 粉の生成エネルギー (J/kg)
$F_R$	: コークスのレースウェイ通過流量 (kg/s)
$g$	: 重力加速度 ( $m/s^2$ )
$L$	: I型ドラム長 (m)
$L_R$	: レースウェイ深度 (m)
$m_p$	: コークス粒子質量 (kg)
$n$	: レースウェイ壁コークス衝突頻度 (1/s)
$n_d$	: ドラム回転数 (-)
$N$	: レースウェイ内コークス粒子数 (-)
$S_B$	: 槽体断面積 ( $m^2$ )
$S_R$	: 槽内レースウェイ断面積 ( $m^2$ )
$S_i$	: 羽口断面積 ( $m^2$ )
$S(y)$	: 選択関数 (1/s)
$t$	: 時間 (s)
$v_g$	: 羽口ガス流速 (m/s)
$v_p$	: コークス粒子速度 (m/s)
$w$	: 採取試料総量 (kg)
$w_c$	: コークス粉化量 (kg)
$w_R$	: レースウェイ内コークス量 (kg)
$w_d$	: ドラム試験試料質量 (kg)
$W$	: 衝撃エネルギー速度 (J/s)
$x, y$	: 粒径/最大粒径 (-)

$\beta$	: 破成粗粒粉粒度分布指数 (-)
$\gamma$	: 破成粉粒度分布指数 (-)
$\delta$	: コークス流入巾/レースウエイ深度 (m/m)
$\varepsilon_R$	: レースウエイ内空隙率 (-)
$\eta$	: 衝撃エネルギー破壊寄与率 (-)
$\phi$	: 粉化指数 (-)
$\rho_g$	: ガス密度 (kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_p$	: 粒子密度 (kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_{B0}$	: 試料コークス嵩密度 (kg/m <sup>3</sup> )
$\tau$	: コークスレースウエイ内滞留時間 (s)

## 文 献

- 1) M.Hatano, M.Fukuda and M.Takeuchi: *Tetsu-to-Hagané*, **62** (1976), 25.
- 2) 化学工学便覧 (改訂5版), 化学工学協会編, 丸善, 東京, (1998), 820.
- 3) 藤本武助: 流体の力学と流体機械, 養賢堂, 東京, (1964), 139.
- 4) 粉碎と粉体物性 (ケミカルエンジニアリング・シリーズ10), 八嶋三郎編, 培風館, 東京, (1986), 153.
- 5) 八嶋三郎: 原料炭基礎物性部会報告書, 日本鉄鋼協会特定基礎研究会原料炭基礎物性部会編, 日本鉄鋼協会, 東京, (1982), 117.