

石炭の粉碎によるコークス粉の粒度分布制御

西村 勝*・松平 寛司*・横山 貴司*・朝田 真吾*

Control of the Particle Size Distribution of Coke Breakage Product by Means of Coal Crushing

Masaru NISHIMURA, Kanji MATSUDAIRA, Takashi YOKOYAMA and Shingo ASADA

Synopsis : Coke samples were produced by using of electrical coke test oven (300 kg charge). Packing density was varied (Series 1). And Crushing weight ratio (<3 mm) of A coal which had high inertinite content ratio was varied, and packing density of blended coal containing A coal was varied in those tests (Series 2). Produced coke samples were investigated by a drum tester according to the JIS method. Size distributions of coke breakage products smaller than 15 mm sieve size were investigated after the drum test. The results are summarized as follows.

(1) There was a close correlation between weight of coke breakage products smaller than 1 mm sieve size and packing density of charged coal.

(2) There was a close correlation between weight of coke breakage products (1~15 mm sieve size) and weight ratio (<3 mm) of crushed A coal in blended coals.

These results show that the primary factor which controls the weight of coke breakage products is different in each breakage particle size fraction. Based on these results, size distribution of coke breakage products generated by mechanical impact can be controlled by the conditions of crushing operation of coals.

Key words : coke breakage products; control of particle size distribution; coke.

1. 緒言

冶金用のコークス強度は、一般にJISに規定されるドラム法やタンブラー法などのいわゆる回転強度試験で評価されている。これらの試験によるコークスの評価法は、所定重量の試料コークスを円筒型の試験器に入れ試験器を回転させて規定の衝撃をあたえ、回転後のコークス試料の規定の大きさの篩で篩い分けて篩上（または篩下）に残る重量の大小で評価するものである。

高炉使用に際してのコークス強度要求品位のひとつであるドラム強度試験では、主に15mmの目開きの篩が用いられて指数化されており、一般に強度が高いすなわち15mm篩下破壊粒子発生重量の低いものが望まれている。

このドラム強度指数において、一概に15mm篩下といっても、15mm近辺の粒子と数百ミクロン程度（以下）の微粉が含まれており、両者のその大きさは100倍以上も異なる。両者の粒径の大きさの差を考えると、例えば高炉に入ってからCO₂と反応し消失するまでの滞留時間を考えても大きい径の粒子の方が長くなるものと考えられるため、大径粒子と微粉の高炉内での挙動は異なったものになると予想される。

したがって、高炉内でコークス塊の破壊により発生する15mm近辺の粗粒子と数百ミクロンの微粉とにおいて個別に重みをつけて評価される場合には、発生粒子の分布を制

御することは重要となろうし、あるいは粗粒子と微粉が同じ評価であったとしても、同指数値で15mm篩下のコークス粒子の粒径分布を制御することがコークス製造コストの低減につながる場合には、コークス破壊発生粒子の分布制御は重要になるものと考えられる。

コークス塊の破壊については、これまでに多くの研究¹⁻³⁾が行われており、それらは、一般に破壊過程を体積破壊と表面破壊として発生機構・発生粒度分布を取り扱ったものである。しかし、現行のコークス強度の一指標であるドラム指数とかわる15mm篩下のみのコークスの粒度分布を、コークスを製造するときの石炭の条件からは言及されていない。

そこで、本報では、試験炉を用い①石炭の充填密度のみを変えた場合、さらに②実操業に対応させて粉碎粒度と充填密度を変えた場合の条件で各々コークスを製造し、ドラム試験器で破壊試験を行った。その結果破壊後コークス粒子の発生量の支配要因がその粒度によって異なること示し、石炭の粉碎操作により15mm篩下のコークス粒子の粒度分布が制御できることを明らかにした。

2. 供試料

試験用コークスの製造はTable 1に示す性状の2種の配合炭を用いた。充填密度のみをかえた試験（シリーズ1）で

Table 1. Properties of used coal.

TEST Series	Sample	Ash %	VM %db	log MF ddpm	Ro %	TI %
1	Coal blend	7.9	28.9	2.49	1.03	20.9
2	Coal blend	9.0	26.9	2.48	1.07	19.0
	A coal	8.3	27.8	3.45	1.05	27.8

は、配合炭1を、粉碎粒度と充填密度をかえた試験（シリーズ2）では、配合炭2に高イナー炭（A炭）1銘柄の配合率を30%として用いた。

3. 実験方法

3.1 試料充填条件の設定

充填密度のみを変えた試験では、700, 750, 800 kg/m³の充填密度とし、粉碎粒度は配合炭中の単味炭試料すべてを3 mm篩下重量割合80%とした。

粉碎粒度と充填密度をかえたシリーズ2の試験では、計8ケースで粉碎粒度と充填密度の条件を設定した。先ずそのうち6ケースでは、A炭の粉碎粒度レベル（3 mm篩下重量割合）を6段階に設定し、A炭以外の配合炭の粉碎粒度は、3 mm篩下の割合を80%とした。通常粒度の変化により充填密度も変化するため、A炭の粉碎粒度が異なるこの6ケースの試験ではA炭を含む配合炭全体の粉碎粒度を考慮して配合炭全体の充填密度を設定(No. 1~No. 6)した。さらに、他の2ケースの試験(No. 7, No. 8)では、A炭の粉碎粒度に関係なくNo. 1とNo. 6の充填密度を入れ替えたものとした。No. 1~No. 8の各試験条件をTable 2に示す。

なお、今回実施した全試験の石炭試料水分は、すべて8%としてコークス製造に用いた。

3.2 試験コークスの製造方法

コークスの製造は、可動壁試験炉を用いた。試験炉はFig. 1に示すように、炭化用台車(430 W×1200 L×900 H)と加熱壁からなる両面加熱方式のものである。

粉碎された石炭試料を、加熱壁から出された状態の炭化用台車上で、所定の充填密度で装填した。その後、試料を乗せた炭化用台車は、830°Cに調整された加熱壁部分に装着させ乾留を開始させた。炉壁の最高到達温度は1010°Cとし、装填石炭試料の炉長および炉高方向中央の炭芯部の温度が、950°C到達後2時間経過した時点で炭化用台車を加熱壁部より取り出した。このときの乾留時間は約17時間半であった。

乾留後のコークス試料は散水により湿式消火させ、シャッター試験器を用い2回落下させた後の試料（25 mm篩上）をドラム回転破壊試験に用いた。

3.3 コークスの破壊試験

製造したコークスの破壊試験は、JIS K 2151法に準じてドラム強度試験器で150回転させて実施した。回転後の試料を塊、粉ともに全量回収し、粒度分布の測定に供した。

Table 2. Condition of coal charge (Series 2).

Test No.	Crushing ratio of A Coal (mass % <3mm)	Packing density (kg/m ³)	Moisture (%)
1	90	755	8
2	80	768	8
3	75	778	8
4	65	791	8
5	55	800	8
6	45	814	8
7	45	755	8
8	90	814	8

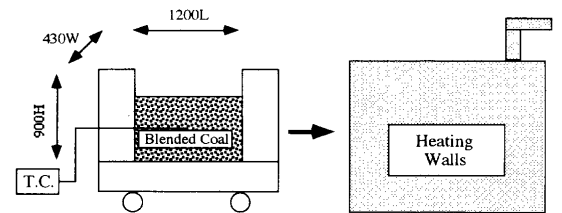


Fig. 1. Carbonization apparatus (electrical coke test oven).

回収した15 mm篩下のコークス粒子は、4分の1に縮分し、9.5 mm, 5.6 mm, 3.0 mm, 1.0 mm, 0.5 mm, 0.15 mmの6種の目開きの篩で篩い分け、各々の粒度区分のコークス粒子の重量を測定し粒度分布を求めた。

3.4 コークスの気孔壁厚さの測定

シリーズ2の試験では、各試験コークスの気孔壁の厚さを評価するため、水銀ポロシメータを用いて気孔壁厚さを測定した。試料は、試験炉から取り出した頭部から尾部まで備わった塊コークスを選び出し、炉幅方向に頭部端から50~100 mmの部分の炉壁に平行に切り出して各測定に供した。

水銀ポロシメータ用の試料は、切り出した部分からさらにコアドリルを用い12 mm^φ×3 mmに切り出し、小片試料5個を測定に供した。水銀ポロシメータ用試料とした部分の残りの近接した部分を試料として、JIS K 2151法に準じて見掛け比重および真比重を測定し、気孔率を算出した。水銀ポロシメータの測定結果と気孔率の測定結果から、既報⁴⁾の方法と同様にして気孔壁厚みを計算により求めた。

3.5 コークス塊内亀裂度の測定

シリーズ2の試験では、コークスの塊内の亀裂の程度を測定した。測定用のコークス塊は、各種条件で乾留し消火したコークスで炉長および炉高方向におけるほぼ中央に位置するものを採取した。

測定は、採取した塊コークスを炉壁に対して垂直に切断して、切断面上に現れた目視で確認できる全亀裂の長さを画像解析装置を用いて実施した。本報では、全亀裂の総長を塊コークス切断面の面積で除し、単位断面積あたりの亀裂長さを亀裂度とした。なお、塊を完全に分断するような大きな亀裂は測定には含めなかった。

4. 結果および考察

装入炭の各銘柄を性状に応じて選択的に粉碎する方法や装入時の装入嵩密度を高くする方法等によりコークス強度が向上することが知られている^{5,6)}。しかし、選択粉碎や充填密度を高くするという方法では、ドラム指数としての強度向上に注目して扱われ、衝撃により破壊され発生したコークス粒子の粒度分布がどのように変化して強度が向上するかという点まではあまり言及されていない。

そこで本検討は、充填密度のみを変化させたもの、さらに配合炭中の高イナー炭の粉碎粒度を変え、それにともない充填密度も変えた試験等を行い、コークス破壊時の発生粒子の粒度分布変化に注目して試験を実施した。

4.1 粉碎粒度一定で充填密度をかえた試験結果

Fig. 2に粒度一定とし、充填密度のみをかえたシリーズ1の試験の、各充填密度ごとの15mm篩下発生コークス粒子の粒度分布（供試コークス1kgあたりの粒子発生量）を示す。約3mmより小径のコークス粒子の発生量は、充填密度変化に比例して変化し、充填密度が高いほど粒子発生量は減少していることが認められる。しかし、3mmより大きい粒径のコークス粒子については、充填密度の変化に対応した粒子発生量の変化は認められない。

Fig. 2の結果から、充填密度の変化は、ドラム試験後の15mm篩下のコークス粒子のうち、比較的小径の粒子の発生量に影響していることが明らかになった。

そこで、次に配合炭中の高イナー炭の粉碎粒度と充填密度をかえたシリーズ2の試験を実施した。

4.2 粉碎粒度と充填密度をかえた試験

Fig. 3にNo. 1~No. 6の試験で、A炭の粉碎粒度が最大で充填密度が最小である試験No. 1、および粉碎粒度が最小で充填密度が最大となる試験No. 6、さらに粒度・充填密度が中程度となる試験No. 3の破壊試験後の15mm篩下の発生コークス粒子の粒度分布測定結果を示す。

No. 1, No. 3, No. 6の試験の粒度分布は、1~3mmおよび3~4mm程度のフラクションで発生量が近接した値となっ

ている。さらに、Fig. 2の充填密度のみをかえたシリーズ1の試験結果と異なり、1~3mm, 3~4mmのフラクションを境に粗粒側および細粒側で、試験条件であるA炭粉碎粒度と充填密度の変化に対して、それぞれの粒子発生量が増減している。すなわち、0.15mm篩下と9.5~15mmのフラクションを例にみると、A炭がより弱く粉碎され、充填密度が高くなるほど、0.15mm篩下の粉発生量は減少しており、一方同条件変化に対し9.5~15mmの粒子の発生量は増加している。

Fig. 3は結果を見やすくするため三つの試験について示したものであるが、全試験についてもA炭の粉碎粒度および充填密度の変化にともない、約1mmを境に粒度分布の変化は同様の傾向を示した。

Fig. 3の試験結果では、高イナー炭の粉碎粒度および充填密度が変わることにより、ドラム試験後の15mm篩下コークス粒子の粒度分布が全対的に変化することが明らかになったので、粉碎粒度と充填密度の二つの試験条件と各粒度フラクションの発生粒子量との関係について検討した。

4.2.1 充填密度との関係

シリーズ1の試験で、充填密度のみを変化させた場合には、充填密度の変化は約3mm篩下のような比較的小径のコークス粒子の発生量に影響していた。そこでシリーズ2の試験で、充填密度とドラム試験後15mm篩下粒径分布との関係について調べた。A炭の粉碎粒度に関係なく充填密度を設定したNo. 7, No. 8の試験も含めたNo. 1~No. 8の全試験結果で、充填密度と各粒度区分の粒子の発生量との相関係数を調べた。結果をFig. 4に示す。

Fig. 4では、特に粒径0.5mm以下の区分で高度な負の相関関係が見られ、シリーズ1と同じく充填密度は、比較的小径のコークス粒子の発生量と関係していることが認められる。なお、シリーズ2の8試験のうちNo. 1~No. 6の試験条件は、A炭の粉碎粒度にしたがって充填密度を変えたものでもあり、0.5mm以下の区分の発生量とA炭粉碎粒度との関係も同様にNo. 1~No. 8全試験において調べた。後

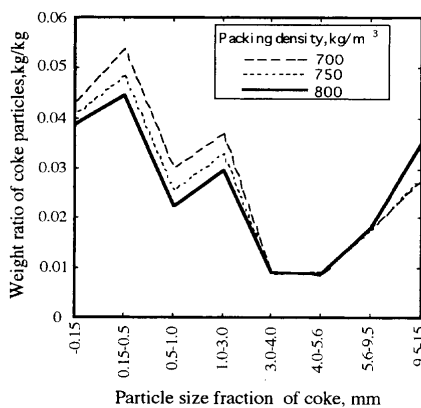


Fig. 2. Size distributions of coke breakage products (<15mm) in various packing density (<3mm = 80% const.)

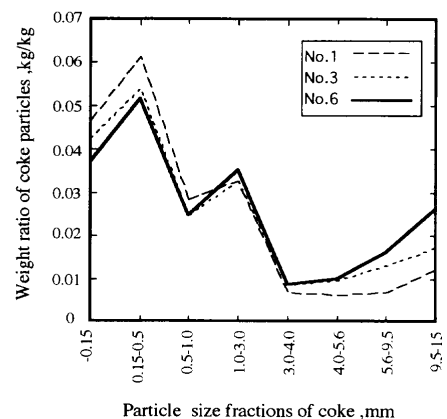


Fig. 3. Size distributions of coke breakage products (<15mm) in the case of Test No. 1, No. 3 and No. 6.

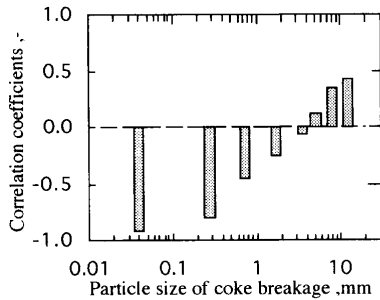


Fig. 4. Relationship between packing density of coal blend and weight of coke breakage products in each particle size fraction.

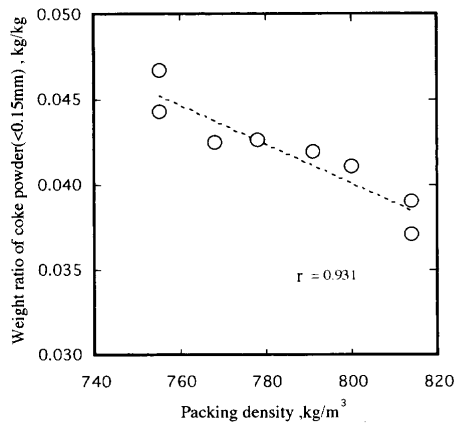


Fig. 5. Relationship between packing density of coal charge and weight ratio of coke breakage products (<0.15 mm).

にも示すが、粉碎粒度との関係では、Fig. 4の様な高度な相関は認められなかった。

0.5 mm以下の各粒度区分で、充填密度と発生量の関係の一例として0.15 mm篩下の場合をFig. 5に示す。粉碎粒度を考慮しないで充填密度を設定した試験No. 7, 8も含めた充填密度と発生量の関係は高度な負の相関($r=0.931$)がみられる。ちなみに同発生粒子の発生量とA炭粉碎粒度との相関係数は0.314であり、充填密度との方がかなり強い相関を示している。

杉辺⁷⁾は、ドラムおよびタンブラーを用いた粉化試験結果より、0.25 mm以下の微粉の発生は気孔壁の崩壊で生成するものと推察している。充填密度との関係において、高度な負の相関がみられた0.5 mm以下の各篩区分の粒径の大きさは、杉辺の示す気孔壁の崩壊の領域と重なっており、気孔壁の破壊によるものと考えられる。

さて、既報^{4,8)}では、石炭乾留時の装入炭の充填密度の変化に対しては、製造されたコークスの気孔壁の厚さが変化し、充填密度が高くなればコークスの気孔壁は厚くなりコークス強度が変化することを示した。そこでシリーズ2の試験の各充填密度で製造したコークスの気孔壁厚さを測定した。Fig. 6に結果を示す。

Fig. 6では、既報^{4,8)}と同様に、A炭の粉碎粒度がかわっても、装入炭の充填密度が高くなるほどコークスの気孔壁

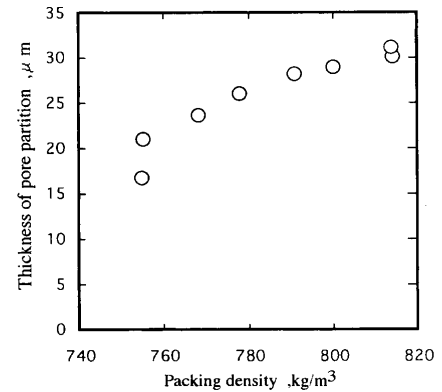


Fig. 6. Relationship between packing density of coal and thickness of pore partition in coke.

厚さが厚くなる傾向を示している。試験では、全て同じ石炭性状の配合炭を用いており、また乾留条件はほとんど同じであることから、気孔壁を形成する基質の性状はほぼ同じと考えられる。したがって、高充填密度となり気孔壁が厚くなるほど気孔壁の破壊に対する強さは高くなって⁹⁾気孔壁部分の崩壊が減少し、微粉の発生量は低くなったものではないかと考えられる。

Fig. 3では、1 mmといった粒径に、破壊粒子の粒度分布の変化の境界が見られた。また、Fig. 4では充填密度と1 mm以下の各区分の発生粒子量との関係は負の相関、特に0.5 mm以下の区分では高度な負の相関がみられた。

1 mmという粒径に着目した場合、粉碎試料の平均粒度は1 mm前後であり、またNo. 1~No. 6の試験の場合、充填密度はA炭の粉碎粒度から設定したものであるため、各試験では1 mm篩を境にした粒子の割合も必然的に変わっている。したがって、破壊試験後のコークスの粉化は、各石炭粒子が相互に接着してコークス化したものが衝撃を受けて粒子が離れ、コークス化前の石炭粒子の粒度がそのまま破壊後に発生するコークス粒子の粒度分布に影響していることも考えられる。

このコークスの破壊後発生粒子に関する石炭粒子接着性の影響について、既報⁸⁾でギーセラー流動度性の異なる試料($\log MF=0.78, 2.76, 3.76$)を用いて試験を行い、低流動性炭では石炭粒子の接着性が破壊後発生粒子に対し支配的であり、破壊後発生したコークス粒子は元の石炭粒子とほぼ近似した粒径が半数以上を占めることを示した。しかし、流動性が高くなる場合には石炭粒子が全体的に流動化し、もとの粒径をとどめないため、破壊により発生するコークス粒子の粒径は、元の石炭粒度とは関係がなくなることも示した。

本試験に用いた粉碎粒度を変えたA炭は比較的流動性が高く($\log MF=3.45$)、既報⁸⁾に用いた石炭と比較して十分粒子の接着性が破壊発生コークス粒径に影響しない範囲の石炭種である。したがって、本試験結果では、粒子の接着性を考えた元の試料石炭粒度の破壊後コークス粒子の粒度分

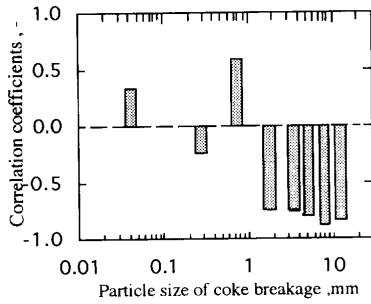


Fig. 7. Relationship between crushing ratio of A coal (<3 mm) and weight of coke breakage products in each particle size fraction.

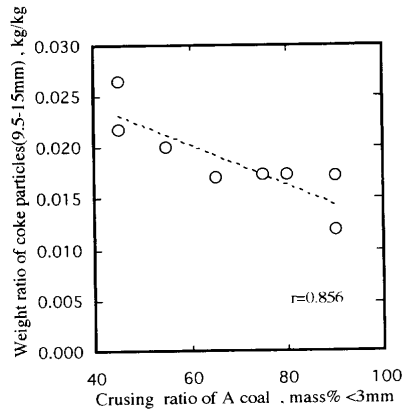


Fig. 8. Relationship between crushing ratio of A coal and weight ratio of coke breakage products (9.5~15 mm).

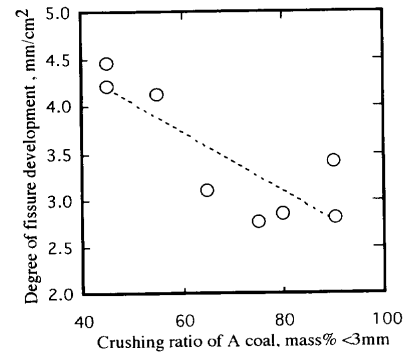


Fig. 9. Relationship between crushing ratio of A coal and degree of fissure development in lump coke.

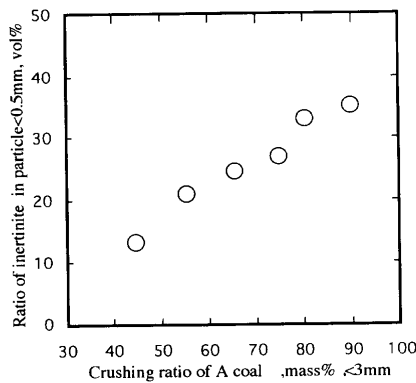


Fig. 10. Relationship between crushing ratio of A coal and ratio of inertinite contained in particle smaller than 0.5 mm.

布への影響はほとんどないものと考えられる。

4.2.2 高イナー炭の粉碎粒度との関係

次に、配合炭中の高イナー炭であるA炭の粉碎粒度とドラム試験後15mm篩下コークス粒子発生量との関係について調べた。充填密度の場合と同じく、A炭の粉碎粒度と関係なく充填密度を設定した試験No. 7, No. 8も含めたNo. 1~No. 8の全試験でのA炭粉碎粒度と破壊粒子発生量との関係を調べ、各フラクションの単相相関係数を計算した。結果をFig. 7に示す。

Fig. 4の場合とは逆にFig. 7では、高イナー炭の粉碎粒度は1mm以上の比較的大径の粒子発生量と高度な負の相関関係にあり、充填密度の場合より相関係数の絶対値は大きい。

Fig. 8に、1mm以上の粒径区分の一例として、A炭粉碎粒度(3mm篩下%)と15mm篩下コークス粉のうち最も粗いフラクションである9.5~15mmの粉発生量との関係をNo. 1~No. 8全てについて示す。高イナー炭であるA炭の粉碎粒度と9.5~15mmの粉発生量とは、高度な負の相関関係にある。

さてFig. 9にNo. 1~No. 8全ての塊コークス内の亀裂の

発達程度を測定した結果を示す。A炭が強く粉碎されるほどコークス塊内の亀裂は減少している。コークス塊内の亀裂が多くなれば、衝撃を受ける際に亀裂部分で当然破壊が生じやすくなるものと考えられる。測定した亀裂の大きさは気孔壁の大きさよりはるかに大きく亀裂に沿った割れは比較的大きく割れ、割れて発生する粒子も比較的大きなものになると考えられる。したがって、比較的大きな粒子の発生は、粉碎粒度をかえて変化した塊内の亀裂の発達程度に影響されているのではないかと考えられる。

また、高イナー炭の粉碎による強度向上については、イナー粒子が細粒化して、イナー粒子と軟化溶融物との接着面積の増大や気孔壁の連続性向上⁵⁾、さらに均一分散しコークス塊内での均一収縮による応力発生抑制¹⁰⁾等が考えられている。本試験でもFig.10に示すようにA炭を強く粉碎するほど石炭中全イナーチニットのうち0.5mm篩下に存在するイナーチニット量は多くなり、細粒化されている。

高イナー炭のA炭を強く粉碎するほどイナー粒子が細粒化され、その結果一粒子あたりのイナー粒子界面が減少し亀裂発生に至るような応力発生部分が少なくなり亀裂生成に影響しているのではないかと考えられるが、イナー粒子の亀裂への影響の明確化については、イナー粒子の大きさ、塊内の亀裂の発生場所および時期、および亀裂の量との関係を明らかにする必要がある、今後の課題のひとつと考える。

4.3 粉碎条件とコークス強度

配合炭の粉碎操作を行う際に、高イナー炭を選択的に微粉碎するとともに、配合炭全体の粒度分布を高充填密度となるように調整することによって、一層のコークス強度向上効果が得られることが知られており⁵⁾、粉碎による強度向上は、イナーの粉碎によって石炭中の均一性を増し、充填密度を上げて粒子接着性が高くなるためとされている。

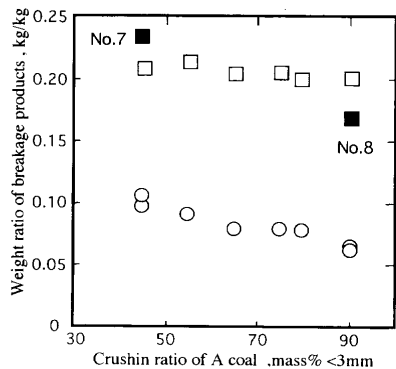


Fig. 11. Relationship between crushing ratio of A coal and weight ratio of breakage products of coke. (○: 1~15 mm □■: <15 mm).

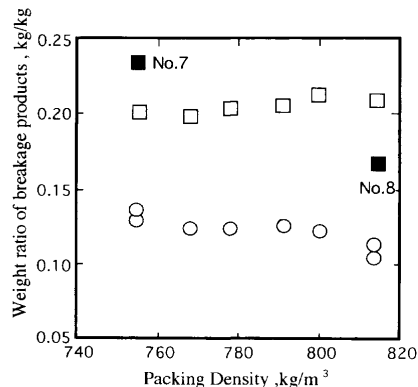


Fig. 12. Relationship between packing density of coal blend and weight ratio of breakage products of coke. (○: <1 mm □■: <15 mm).

Table 3. DI₁₅ (150 rev) of each test (Series 2).

Test No.	DI ₁₅	Test No.	DI ₁₅
1	79.9	5	78.6
2	79.6	6	79.1
3	80	7	76.5
4	79.4	8	83.1

しかし高イナー炭の粉碎粒度をかえ充填密度もかえ実施した今回のシリーズ2のNo. 1~No. 8の試験結果は、装入炭の充填密度を高くする場合と高イナー炭を微粉碎する場合とでは、ドラム強度向上につながる15mm篩下のドラム試験後発生粒子量の減少が、破壊発生粒子の粒度によって異なっていた。つまり、充填密度の変化は比較的小さい径、特に0.5mm以下の粒度区分の粉発生量と強く関係し、一方高イナー炭の粉碎程度の変化は比較的大きい径、特に1mm以上のコークス粒子の発生量と強く関係していた。またこの充填密度および高イナー炭粉碎粒度変化によるドラム試験後の15mm下発生粒子の粒度分布変化傾向は、おおよそ1mm近辺を中心に異なっていた。

そこで、1mmの篩径で破壊粒子発生量を2分して全試験のA炭の粉碎粒度と供試コークス1kgあたりの1mm~15mmの範囲の粒子発生量との関係をまとめてみた。Fig.11に結果を示す。また同じく全試験の充填密度と供試コークス1kgあたりの1mm篩下粒子発生量との関係をまとめてFig.12に示す。なおFig.11, 12には、15mm篩下全発生粒子量との関係も同時に示し、15mm篩下量と関係する各試験のドラム15mm指数は、Table 3に示す。

Fig.11, 12では、A炭の粉碎粒度を変え、また充填密度を変えた場合の破壊粒子の発生量変化は、A炭の粉碎粒度と関係なく意図的に充填密度を調整した試験No. 7, 8を除いて、ドラム指数である15mm篩下発生粒子量の変化より大きいことがわかる。さらにFig.11およびFig.12の結果は、製造されたコークスが衝撃を受け破壊して発生する場合の15mm篩下コークス粒子のうち、1mm篩上あるいは1mm篩下発生量といった破壊による発生粒子の粒度分布を、高イナー炭の粉碎粒度と充填密度の調整により制御できることを示している。このことは装入石炭の粉碎操作によりコークスの破壊後発生粒子の粒度分布の制御が可能であることを示している。

5. 結言

充填密度のみを変化させた場合の試験では、ドラム試験後の15mm篩下のコークス粒子の発生量は、充填密度の変化により約3mm以下の比較的小さい粒径の発生量に影響していたが、3mmより大きな粒子の発生量にはほとんど変化がなく充填密度の影響はみられなかった。さらに配合炭中の高イナー炭の粉碎粒度と装入炭の充填密度を同時に変化させた場合には、衝撃を受け発生するコークス粒子の粒度分布は15mm篩下全体で変化することを示した。試験結果から、コークス粒子の発生量の支配要因が、破壊されて発生するコークス粒子の粒度で異なること、すなわち

(1) 装入炭の充填密度の変化は、篩径1mm未満、特に0.5mm篩下のような微粉の発生量と高度な負の相関がみられる。

(2) 一方、高イナー炭の粉碎粒度の変化は、篩径1mm以上の粗粒子の発生量と高度な負の相関がみられることを示した。得られた試験結果から、石炭の粉碎操作により、コークスが製造されその後に受ける衝撃で破壊され発生するコークス粒子の粒度分布が制御できるものと考えられる。

文 献

- 1) R.V.Wallach, H.S.Sichel: J.Inst. Fuel, **36** (1963), 421.
- 2) 朝田真吾, 谷端律男: 第81回コークス特別会要旨集, 燃料協会コークス部会, 東京, (1986), 17.
- 3) 有馬 孝, 西 徹, 奥原捷晃: 鉄と鋼, **78** (1992), 1101.
- 4) M.Nishimura, Y.Nojima, S.Asada.: Proc. of the Int. Symp. on Coal and Organic Petrology, Society of Applied Coal Petrology of Jap., Tokyo, (1995), 82.
- 5) 三浦義明, 山口徳二, 西 徹, 米 靖弘: 燃料協会誌, **60** (1981), 771.
- 6) 奥山泰男, 宮津 隆: 燃料協会誌, **63** (1984), 63.
- 7) 杉辺英孝: 鉄と鋼, **71** (1985), S854.
- 8) 朝田真吾, 西村 勝, 野島 隆: 日本エネルギー学会誌, **73** (1994), 1060.
- 9) 西村 勝, 松平寛司, 朝田真吾: 鉄と鋼, **82** (1996), 431.
- 10) 角南好彦, 西岡邦彦, 杉本行広: コークス・サーキュラー, **29** (1980), 24.