電機車主電動機用炭素刷子の試作研究 (第二報)

故・赤 沼 哲 郎

鉄道技術研究所 熊 谷 正 博

Tentative Manufacture of Carbon Brush for Electric Car

Main Motor (Report II)Fundamental test

late T. Akanuma

M. Kumagai

(Railway Technical Research Institute)

Tests were made on stability of pitch coals to pulverization. Investigations on shape of powder; effect of binder on pulverizability; relation between pulverization and production process, between pulverization of particles and pressure; stability to pulverization, indicate that pitch coals should have higher mechanical strength. Five grades of pitch coals were selected and crushed in a hot mill to obtain the particle size distribution. It is observed that two peaks stand out in the curve; the crest of the first peak tends to shift with time toward minor particles. Converting the second peak in terms of the grade of minor particle size gives the final limit of pulverizability and observation of the shifting crest of the first peak gives the hardness of pitch coke.

These are stated with theoretical explanations from a new angle.

1. 緒 言

電機車主電動機用炭素刷子はピッチコークスを主原料として製造される。したがってピッチコークス自身の機械的強度の高いことが必要とされることは勿論である。即ちピッチコークス自体の形状その他が、これを成形、あるいはその他の工程で他よりこれに圧力を加えられた場合、それに耐え得るようでなければならない。本報はピッチコークスのこわれ難さの研究に主力を置いたものである。

2. 予 備 実 験

粉末を取り扱いこれを実験する場合、その精度を得るためには同一条件で数多くの実験を行い、その再現性を確かめると同時に平均値の信頼度を向上させる必要がある。それには非常にはんぎつな実験を行わねばならないので、予備実験を行い、どの程度簡易法を用いても信頼度を損わないかを調べる必要がある。

(1) 粉末の形態について

粉末の形状は普通立体形のものである。従つてこれを表示するには長径 l 、短径 r 、及びその厚さ t を以つて表わすことが必要である。しかし顕微鏡で調査する場合には、スライドガラス上の粉末を単に平面的に観察する場合が多い、故に l 、及び r のみ測定可能で t は r と等しいものとして考察を進められている。筆者等はこれを確かめるため、スライドガラス端部に粉末を固定させ接眼筒で俯瞰面における r を測定し、またその直角方向より端部にある同一粒子の側面より t を測定した。試料は GL コークスで、その粒度は 50 ~ 75, 150 ~ 180, 285 ~ 325 mesh のものを測定した。この結果は Table. 1 のようである。今各々測定値の平均値を求め、推計学によつて有意差の検定をしてみると、1% の危険率で有意の差を認めることができないことが判る。故に普通行つている俯瞰面像で観察した短径 r は、側面より測定した t と同一なものであり、炭素粉粒子は一種の

Table. 1 Shape of particle

No. 1 Minor axis of 50~75 mesh particles observed $\times 30$											
As measured on the plane (r)	13.5	14.0	12.5	12.0	13.0	12.5	14.0	13.0	12.0	14.0	average 13.1
As measured on the side (t)	12.0	14.0	12.0	13.0	11.5	14.0	13.0	13.0	12.5	12.5	average 12.9
No. 2 minor axis of 150~180 mesh particles observed $\times 80$											
As measured on the plane (r)	8.0	6.5	7.0	7.0	6.0	7.0	6.5	6.5	7.0	8.0	average 6.9
As measured on the side (t)	7.5	8.0	7.0	7.5	8.0	6.0	6.5	7.0	8.0	7.5	average 7.0
No. 3 minor axis 285~325 mesh particles observed $\times 120$											
As measured on the plane (r)	6.5	8.0	6.5	8.0	8.0	7.0	8.0	7.0	7.0	8.0	average 7.0
As measured on the side (t)	6.0	7.0	5.5	7.0	7.0	8.0	8.0	6.0	7.0	6.5	average 6.9

廻転隋円体とみて差支えないことが明らかにされた。今平面上より測定した短径 r と、その直角面より測定した短径 t と各 20 個の不偏分散を求め、その分散比を求めれば、

	(No. 1)	(No. 2)	(No. 3)
不偏分散 u_r^2	54.2	49.7	65.5
分散比 v_r^2	69.9	47.4	54.2
F_0	1.29	1.05	1.20 ⁸

F' 分布表によれば $F_{20}^{20} (0.01) = 3.00$ になる。故に何れも同一分散とみて差支えなく、従つて共通分散を計算してこれより各々 r 、及び t の平均値の差を t 分布によつて検定すると、

	(No. 1)	(No. 2)	(No. 3)
共通分散 u^2	62.05	48.25	59.85
u	7.8	6.9	7.7
t 分布 t_0	0.256	0.145	0.129
t 分布表より $t(n=40, \alpha=0.01)=2.704$			
$t(n=30, \alpha=0.01)=2.750$			

なる故にその差に有意の差がないことが明らかである。

(2) 炭素粉末の破碎に及ぼす結合剤の影響

刷子材は主原料であるピッチコークスと、その 25~50% 程度の粘結剤によつて製造されるのが普通である。従つて主原料であるピッチコークスの粉末の破碎に関する実験を行つても、粘結剤を

含む場合とは異なる実験値を得るかも知れない。今粉末の破碎を考慮するに、粘結剤の影響があるか否を予備実験した。

(実験 -1)

試料。河西社製ピッチコークス、100 mesh 標準 (90~110 mesh) のもの、及び 200 mesh 標準 (180~220 mesh) のものを使用し、タール 30、ピッチ 70 を配合した。粘結剤は外割で原料の 35% 重量比に混せて捏合した。これを前者は 60~80 mesh 程度、後者は 15 mesh 程度に粉碎して、 $4 \times 4 \text{ cm}^2$ の金型を用い 1.5 ton/cm^2 の圧力で成形した。成形されたブロックを鋭利な切断刀で小豆大に截つてソックスレーの抽出器を使用し、ベンゾール液で約 15 時間粘結剤を抽出して後篩別け粒度を測定した。また他方粉末に粘結剤を加えずに同一金型を用い、同一成形圧力で加圧し、その粉末の破碎状態を粒度分布測定により両者を比較した。

以上の実験数値を示せば Table 2, a 及び b のようになる。これを図示すれば Fig. 1 の通りになる。本実験によれば圧力による粉末の破碎は、粘結剤の配合されたものと否とにかかわらず、破碎率は 5~8% 上昇するのみで略同一になる。特に粘結剤の配合されたものは配合後の粉碎等により、

Table. 2 (a) Crushing of particles under pressure

Sample 60gr Kawanish pitch coke, Standard particle size 100 mesh

mesh		100	120	150	170	200	250	325	loss	total amount of pulverization
without binder	weight (gr)	39.6	17.7	2.7	—	—	—	—	0	20.4
	ratio (%)	66.0	29.5	4.5	—	—	—	—	0	34.0
with binder	weight (gr)	34.5	12.0	4.8	2.1	1.5	1.2	1.2	2.7	25.5
	ratio (%)	57.5	20.0	8.0	3.5	2.5	2.0	2.0	4.5	42.5

(b)

Sample 70gr Kawanish pitch coke, standard particle size 200 mesh

mesh		100	120	150	170	200	250	325	loss	total amount of pulverization
without binder	weight (gr)	—	—	—	—	64.5	5.3	0.7	0	5.5
	ratio (%)	—	—	—	—	1.5	7.5	1.0	0	8.5
with binder	weight (gr)	—	—	—	—	60.7	4.0	2.1	2.3	9.3
	ratio (%)	—	—	—	—	86.7	7.0	3.0	4.5	13.5

Fig. 1 Distribution of crushed particle under pressure

破碎率が多くなることは当然であり、従つて粘結剤配合は破碎率を考慮する必要はないと思われる。

(3) 原料ピッチコークスの破碎と製造工程の影響

本実験は原料であるピッチコークスが製造工程中、どの工程で最も多く破碎されるかを調査したものである。即ち成形加圧以外の第二粉碎におい

ては、どの位の破碎率を持つているかを調査したものである。

(実験 -2)

試料。GL. ピッチコークス(トロンメルミルで粉碎したもの) 70~100 mesh, タール 30%, ピッチ 70% を配合したものを外割で原料の 30% 重量比に混せて捏合した。第二粉碎はスタンプミルで 4 時間粉碎し、再篩別けをし得た 70~100 mesh の粉を、ベンゾールを溶媒としてソックスレーの抽出器で 16 時間粘結剤を抽出した後、標準篩で篩別けをした結果は、Table 3 (1) に示す通りである。また別に前記の 70~100 mesh の粉を成形用金型に入れ、2.5 ton/cm² の圧力で加圧しこれを切断刀で小豆大に截り、ソックスレー抽出器にかけて前記同様に粘結剤を抽出して、篩別けした結果は Table 3 (2) 及び Fig. 2 のようになる。

以上の実験結果によると、加圧成形前に破碎される率はその 25% 程度で、成形によつて破碎されるものは前者を含めて約 50% 程度となる。この増加は主として第二粉碎によるものであることが第二粉碎を行わない粉との比較から明かに判

Table. 3 Comparison of particle size before and after forming (%)

mesh	70~80	80~100	100~120	120~150	150~170	170~200	200~250	250 下	loss	remark
before forming (1)	58.0	15.0	13.0	10.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0	under 100 mesh
after forming (2)	43.0	9.0	11.0	10.0	4.0	2.0	5.0	8.0	8.0	under 100 mesh

Fig. 2 Particle size distribution before and after forming

明する。従つて第二粉碎後は、第一粉碎によつて得た粉の原型を保っているものはその 75% 程度にすぎないことが判る。

(4) 微粉 (325 mesh 以上) の破碎と圧力について

325 mesh 以上の炭素粉末は吸水性があり且吸着性があるため、これを分散させて顕鏡を行うのは容易ではない上に、篩分けすることも困難である、そこで一般には沈降法によつてその粒度の分布状態を調査することが行われている。325 mesh (以下) の粉は上記の作用はなく、また圧力によつて粉が破碎する状態も明らかであるが、325 mesh 以上の粉では前述の理由で明らかでないので沈降法で実験を行つた。

(実験 -3)

- 試料 a) GL. ピッチコークス
 b) パレンバン, ピッチコークス
 c) 河西社製, ピッチコークス
 d) 八幡製, ピッチコークス
 e) 登別製ピッチコークス
 f) 三菱化成, ピッチコークス
- ボールミル粉碎
 トロノメルミル粉碎

等によつて得た 325 mesh 篩下の粉末 (A) と、これをさらに $1.0 \sim 3.5 \text{ ton/cm}^2$ の圧力で加圧した粉末 (B) につき沈降法による実験結果は、Table. 4 のようになる。

以上の予備実験の総合結果より、

(1) 粉末の形態を調査するには俯瞰面像の長径、及び短径を測定するだけでよく、俯瞰面よりみた短径はその粉末の高さと略々同等である。故にその短径が代表するものとみて差支えない。

(2) 炭素粉末の破碎を調査する場合は、結合

Table. 4. Comparative sedimentation of particles

Sample	material	Pulverizer	Forming pressur kg/cm ²	Sedimentation (%)		
				mim 10	20	30
1	G. L. pitch Cokes.	Ball- ring Mill	(A) 0	20.0	16.0	14.4
			(B) 2.000	23.2	16.0	14.8
			diff.	3.2	0	0.8
2	Palemba- ng pitch cokes	"	(A) 0	28.0	22.0	20.0
			(B) 1.500	28.4	22.0	20.0
			diff.	4.0	0	0
3	Yawata pitch cokes	"	(A) 0	42.0	18.0	17.0
			(B) 2.000	44.0	20.0	18.8
			diff.	2.0	2.0	1.8
4	Nobori- betsu pitch cokes	"	(A) 0	20.8	17.6	16.0
			(B) 1.000	21.6	18.4	16.0
			diff.	0.8	0.8	0
5	Kawani- shi pitch cokes	Ball- ring Mill	(A) 0	26.0	15.6	14.0
			(B) 2.000	28.0	16.8	15.2
			diff.	2.0	1.2	1.2
6	Mitsubi- shi pitch cokes	Trom- mel Mill	(A) 0	52.5	18.0	17.0
			(B) 3.500	92.4	84.0	77.6
			diff.	39.9	66.0	60.6

剤を混合状態でも、また結合剤なしの場合もほぼ同様である。故に結合剤を混合状態にて調査する必要はない。

(3) 炭素粉末は主として成形固結する場合に破碎すが、粉碎時においても若干破碎される恐れがある。しかしその破碎率は最大にて僅少である。

(4) 炭素粉末は 325 mesh 以上の微粉でも圧力によつて破碎される、従つて取扱いにくい 325 mesh 以上の微粉をもつて実験するよりも、150 ~ 325 mesh 迄の粉末にて実験を数多く繰返し、325 mesh 以上の細い粉の場合を推定して考察することができる。

3. ピッチコークスの破碎強度

耐欠損刷子の試作について、第一に考慮しな

Table. 5 Sieve mesh and particle size

sieve mesh	16	32	42	60	80	100	115	150	170	200	250	325
nominal dimension (s)	1.000	0.500	0.354	0.250	0.177	0.149	0.125	0.105	0.088 ⁴	0.074 ⁴	0.062 ⁵	0.052 ⁶
indicated particle size (x)	0	1.00	1.50	2.00	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25

$$x = -\log s / \log 2$$

ればならないことは原料であり、そのピッチコークスの強さについて調査しなければならない。即ち細くなり易さを測定し、その最も細くなり難いものが必要である。従つて各種ピッチコークスよりこれを選定することである。

(実験 -4)

各種ピッチコークスを直径 10 mm 程度に選定し、180 mm ϕ $\times$ 200 mm の磁製ポットミルに 45 mm と、35 mm ϕ の磁製ボールを各々 5 個使用し、このポットミルに 80 R.P.M の廻転を与え、このピッチコークスを粉碎した。その後各々 1 時間毎に粉碎した粉末を取出しこれをタイラーの標準篩を使用して、篩振盪機により指定された標準方法で一定時間篩分をし、さらにこれを顕微鏡写真で撮影後、再びポットミルに戻して粉碎した。使用した篩は Table 5 のような網目をもつもので、予じめ篩目を検鏡により縦横の長さが正確な網目かを撰定した。また各々粉末について後の処理と、計算の便宜を考慮して公称寸法 s mm を、 $x = -\log s / \log 2$ に換算してこれを表示粒度とした。さらに銘記目種 325 mesh 以上、即ち表示粒度で 4.25 以上を一括してこれを Z 群として、後に処理することにした。顕微鏡撮影したものより 30 個以上の粉末についてその長径 l と、短径 r を測定し、 $l/r = m$ を形状係数とし、 $r + l/2 = D$ を平均径として計算した。最後に篩分けしかねる Z 群の粉末 325 mesh 以上の粉末*に対しては、内径 10 mm ϕ $\times$ 1000 mm の硝子管にてベンゾールを使用して沈降法を用い、これを半固結しその長さを 10 等分し、各区中より摘出して再びベンゾールに分散させ、顕微鏡で 200~500 倍に撮影分布状態を調べた。

調査の対称となつた原料。

a) GL, ピッチコークス

b) パレンバン, ピッチコークス

Fig. 3 Relation between cumulative distribution and particle size

Fig. 4 Relation between cumulative distribution and particle size

- c) 登別製, ピッチコークス
- d) 八幡製, ピッチコークス
- e) 河西製, ピッチコークス

以上の実験結果を図示すると Fig. 3 から Fig. 7 のようになり、今これらの累積分布図の一例を普通分布の状態に書き直して調べてみると、Fig. 8 のようになる。粉碎において普通 325

*この項あらためて別途発表の予定本文には略す。

Fig. 5 Relation between cumulative distribution and particle size

Fig. 6 Relation between cumulative distribution and particle size

Fig. 7 Relation between cumulative distribution and particle size

Fig. 8 Change of Distribution

mesh 以上の篩別けは困難であり、また誤差を含み易いためこれを一括した。従つてそれより粗い粉の状態を調べると、いずれの原料についてもまたいずれの粉碎機による工程中の時間においても、総てが正規分布の型をとっている。しかし今これを正規分布とすれば、最低の値をとる管の 4.25 の粉の分布の値が最低の値をとらず、その値より粗いもの、即ち 4.0、または 3.75、3.5 附近より増加の形をとっている。この現象は粉碎の時間が進むにつれ、

- 1) 分布の最低の値を示す粉の粒度が次第に粗くなる。
- 2) 正規分布の山の高さが低くなる。
- 3) 正規分布の山の値が粒度の細い方に移動する。

の現象が表われ、非常に長時間粉碎すれば終に山が全部なくなり微粉末即ち Z 群のみとなる。

以上の現象よりみて、ピッチコークスが粉碎の途中にある場合は、粉碎の途中にある正規の形をした分布と（仮に第一分布とする）、粉碎の工程を完了した粉末の分布（仮に第二分布とする）、とがあり第一分布は時間と共にその山の高さは次第にきえ、遂に第二分布と合致するものと考えられる。また第二分布はその粉碎機さえ一定であれば、その原料を粉碎させる際の限界の粉分布であると考えられる。（実際第一山の移動する時間の 15～20 倍の時間を与えると、第二山は移動するがほとんど問題とならない程度である）。従

つてこの第一、第二の山を分析し、かつその移動の速度、あるいは山の面積の移動を計算すればピッチコークスの細くなり易さ、すなわち機械的強度を表示することができる。第二山が移動しないもの及び第一山、第二山が正規型分布であると仮定すれば、 $A_1B_1 + A_2B_2 = Y_1 + Y_2 = 1$ なる場合、

$$y = A_1/\sqrt{\pi} e^{-\frac{(x-x_{01})^2}{B_1^2}} + A_2/\pi e^{-\frac{(x-x_{02})^2}{B_2^2}}$$

として表すことができる。 y = 正規分布における山の任意の点の高さ。

(詳細は炭素、第3巻第3、4号、通巻第11、12号参照)

実測値より以上の各諸元を求めてみると、実測値につき次の二つの換算を行う必要がある。第一の換算は粒度の表示方法で、測定値は平均径をmmで表してあるがこれを x をもつて粒度を表すことに換算する。(このようにすることによつて数値計算その他これを取扱う上に便利になる) 換算値は Table. 5 の通りになる、すなわち s の数値が半減すれば x の数値は1だけ増すことになる。

第二の換算は y の実測値であるが、粒度はある値を積算されたもので表示されている。すなわち、

$$0.500 > s > 0.354,$$

$$\text{あるいは } 0.105 > s > 0.088$$

等の積算値であつて x に換算すれば、

$$1 < x < 1.5, \text{ あるいは } 3.25 < x < 3.5$$

等のように換算の範囲が一定となるのでそのままでは分布密度に代る値とならない。故に

$0 < x < 1$, の範囲値はそのまま $1 < x < 2.5$, の範囲の各値は2倍する。

$2.5 < x$, の範囲の各値は4倍する。

このようにして換算した値をそれぞれの積算範囲の中央の分布密度とする。

例えば、 $2.5 < x < 2.75$ の積算値の4倍をもつて2.625の粒度の分布密度とする。

今第二分布の混入しない、即ち x の値の比較的小さい場合の第一分布について考えてみる。(1の副記号を省略する)

$$y = A/\sqrt{2\pi} e^{-\{(x-x_0)/B\}^2}$$

$$y' = dy/dx = -2\{(x-x_0)/B^2\}y$$

$$y'/y = -2\{(x-x_0)/B^2\}$$

今換算した実測値 y の値を数個をもつてこれ等

より近似的に y' を求め、従つて普通3~4個の x に対する y'/y の値を求めることができる。しかしこれらを順次 $a, b, \dots$ の副記号で表すことにすれば、

$$\begin{aligned} \left(\frac{y'}{y}\right)_a - \left(\frac{y'}{y}\right)_b &= -\frac{2}{B^2}(x_a - x_0 - x_b + x_0) \\ &= \frac{2}{B^2}(x_b - x_a) \end{aligned}$$

一方 B は次式で与えられる、

$$B = \sqrt{\frac{2(x_b - x_a)}{(y'/y)_a - (y'/y)_b}}$$

これによつて第一分布の B 、即ち B_1 を求めることができる。しかし B_1 は本来同一である故にこれを平均して所要の B とする。次に

$$y'/y = -2(x - x_0/B^2)$$

より本来同一な x_0 の値を3~4個を求められるから、これを平均して所要の x_0 とする。次に

$$y = A/\sqrt{2\pi} \cdot e^{-\{(x-x_0/B)\}^2}$$

によつて、本来同一な A の値を3~4個求め得られる。これを平均して A とする。

故に $Y = A \cdot B$

によつて第一分布の面積が求められる。以上より A, B, x_0, Y が求められたが、次にこれらの係数の誤差を補正せねばならない。まず

$$\int_{-\infty}^{+\infty} y \cdot dx = Y$$

として各測定積分値に対応する値を A, B, x_0 を用いて数表により求め、これを比較して Y を修正すべきかどうかを確める。 Y を修正した後さらに積分値を数表より求め再度修正すべきかを確める。普通2回の修正で充分であるが、もし必要ならば3回行う。今仮に2度の修正で p^2 倍したとすれば、(例えば B を p 倍する) 前述の方法即ち、

$$y'/y = -2\{(x-x_0)/B^2\}$$

$$y = A/\sqrt{\pi} e^{-\{(x-x_0)/B\}^2}$$

によつて x_0, A を求め Y が p^2 倍となつたかどうかを確める。またもし Y をさらに q^2 倍しなければ所要の Y とならないとすれば、仮に今用いた B を更に q 倍する。このように同じ方法を繰返して所要の Y になるように A, B, x_0 を求める。普通この修正も2~3回にて所要の値を求めることができる。次に測定の積分値より、計算上の第一分布の積算値を差引きすれば第二分布が得られ、

第二分布についても同じ方法によつて各係数は求められる。ただし第二分布は粒度 4.25 迄しか測定値がない。故に B , x_0 , A , 等は通常 1 個求められるが、または求められない場合もある。しかし第二分布は Y の値が、

$$Y = 1 - Y_1$$

によつて求められる。故に計算の手数は第一分布より遙かに少い。このようにして求めた A_1 , A_2 , B_1 , B_2 , x_{01} , x_{02} , Y_1 , Y_2 , の一例は Table 6 のようになる。

Table. 6 Example of measured values

		Y_1	Y_2	x_{01}	x_{02}	A_1	B_1	A_2	B_2	average particle size
G.L. cokes	1	75	25	1.75	4.12	0.47	1.65	0.40	0.60	2.34
	2	76	24	1.80	4.27	0.45	1.70	0.39	0.61	2.45
	3	71	29	2.08	4.38	0.44	1.61	0.53	0.54	2.68
	4	61	39	2.07	4.42	0.45	1.35	0.96	0.41	2.94
	5	51	49	2.28	4.24	0.48	1.06	1.04	0.47	3.00

a) 係数の時間的变化について

正規分布の各係数につき時間による変化の比較について検討してみるに、今最初のコークス粒の平均直径は 10 mm である。故にこれを x に換算すると -3.32 となる。今 x_{01} は第一分布の中心位置である故に -3.32 より次第に増して x_{02} に次第に接近してゆく。 x_{02} は同一な粉碎機を用いる限り x 軸に対して移動の起らないものとしてある。故に

Y_1 は 1 から次第に減じて遂に 0 になる。

Y_2 は 0 より次第に増して遂に 1 になる。

その他 A_1 , B_1 は共に次第に減じ、 A_2 は次第に増加し、 B_2 は余り変化しない。前述の測定値より計算して計算値は大凡この仮定を裏付けする。

故に、各値の変化の模様を指数函数に近似するとすれば次式によつて表わされる。

$$Y_1 \text{ について, } Y_1 = e^{-\alpha t}$$

$$x_{01} \text{ について, } x_{01} = -3.32 + (x_{02} + 3.32) \times (1 - e^{-\beta t})$$

$$\text{また平均粒度, } x_0 = x_{01} Y_1 + x_{02} Y_2$$

$$\text{とすれば, } x_0 = -3.32 + (x_{02} + 3.32) \times (1 - e^{-\gamma t})$$

ただし α, β, γ は時間係数, t は時間

上式において α, β, γ は未知数である。故に計算値 1 組について 1 組の α, β, γ が求められ、1,

2, 3, 4, 5 時間の各時間の測定値を平均して所要の時間係数とする。各時間係数の意味は大約次の通り解することができる。

α . 第 1 分布の面積の減り方である。故に早く微粉化されるものは大きい値をとる。

β . 第 1 分布の中心位置の移動の速さである。故に早く微粉化されるものは大きい値をとる。

γ . 平均粒度の移動の速さである。故に早く微粉化されるものが大きい値となる。

この方法によつて各原料につき実験した結果より計算して α, β, γ を表示すると Table 7 のようになる。

Table. 7 Time Ceefficient

Brand	α	β	γ
G.L.	0.13	0.36	0.50
Palembang	0.16	0.49	0.68
Noboribetsu	0.10	0.44	0.54
Yawata	0.09	0.35	0.43
Kawanishi	0.06	0.32	0.38

以上実験により、破碎し難いコークスは時間係数が小である。すなわち上記コークス中では河西製のものが最も微粉化し難い換言すれば破碎し難いものと思われる。