

# 市販木炭の破碎性について

阿 部 房 子<sup>(1)</sup>

## I ま え が き

市販木炭の輸送途次における俵内の折損状況、もしくは粉炭生成量の多少は原木樹種、炭種および炭化温度経過などによって規制される木炭自身の性質が大きな要因となることは想像にかたくない。しかし、この方面に関する研究、調査等を従来みず、また木炭の耐圧、耐摩耗または耐衝撃性に関する試験方法も規定されていない。上述の場合のみでなく、各種工業の現業操作中に木炭の破碎工程を含むことがしばしばで、現実面でも木炭の機械的強度、特に破碎性または粉碎性の大小が求められうれば好都合であることも多いはずであるが、おそらくは木炭の炭種、硬度または容積重等からその予想をするにとどまっているものと思われる。

本報では数種の2～3級市販木炭（農林規格）を用い、ジョークラッシャーで破碎し、産物の粒度分布から平均粒径を算出し、平均粒径の大きいほど、同機による破碎性が小さいとして試料間の破碎性を比較したところ、各木炭俵中に生成した粉炭量の多少と傾向がよく一致し、ジョークラッシャーを用いてこの種の試験を行なうことにより俵中の破碎ならびに粉化度を再現できる、いいかえればジョーで破碎されやすい木炭ほど一般的に耐圧縮、耐衝撃性とほしく、もろく粉化しやすい傾向にあるのを認めた。また、黒炭の精煉度と平均粒径との相関分析により、両者は直線関係にあり、炭化度の低いものほど、破碎を受けにくいことが明らかになった。本実験で試料の破碎にジョークラッシャーを用いた理由は次のとおりである。

1. 試料はすべて硬度別、精煉度別に調製したため、1回の供試量は100～200g程度しか用意できなかった。ゆえに給炭量が少なくとも、むらなく細破碎または粗粉碎（後述）が可能な機種であること。
2. 破碎木炭の重量損失ができるかぎり少ないこと。
3. 破碎産物の粒度分布がRosin-Rummlerの分布則に従うような破碎方式を選ぶこと。これはHeywood式を用いて平均粒径を算出するための必要条件である。

そこで給炭から排出までの機械の構造が単純で、機械の細隙等への粉体の付着が少なく、破碎部分の回転数が小さくて過粉碎のおそれがなく、破碎室内にスクリーンの装填がなく装入木炭の各粒子ができるだけ均一な回数および力で破碎をうけ、かつ破碎能力があまり大きすぎない等の条件をかなりみだすものとして中型ジョークラッシャーを採用した。

破碎方法を異にすれば産物の破碎比も当然異なるが、木炭の性質、たとえば精煉度と破碎性との関係も違った結果が与えられる。筆者はジョーのほかにも同じ試料でボールミル粉碎を行なつて、両者の関係がジョーの場合と同じでなく、むしろ反対に近いことを観察した。また、ハンマークラッシャー、エッジランナーおよびシングルランナーアトリションミル（Single runner attrition mill）型の衝撃式粉碎機を用いて各機種別の破碎比を求めるなど、木炭の破碎性のおおよそを考察し、ジョーの場合との比較を行なつた。

<sup>(1)</sup> 林産化学部林産製造科木材乾溜研究室員

しかし、本報においてはクラッシャー、ミル等の木炭破碎に際しての性能評価はあくまで二義的なものであり、木炭の破碎性の表示方法に対する一考察を主とすることを明記したい。なお、固体原料を砕いて小塊→粉体とすることを広義の粉碎といい、粉碎過程を破碎と狭義の粉碎とに分けることが多い。両者の間には明確な区別はないが、大約 25 mm 程度が一応境界となつている。おのおのに粗碎・中碎・細碎および粗粉碎・細粉碎・微粉碎の 3 段階があり、やはり明確な粒径上の定義があるわけではないが、本実験で求めた粒度範囲は 4~0.75 mm なる以下であつて、通念上細破碎と粗粉碎の間であるが、言葉の用い方を便宜上「破碎」および「破碎性」等のごとくに統一した。

## II 実験条件および結果

### 1. ジョークラッシャーによる木炭の破碎性試験

#### 1.1 試料木炭について

##### i) 試料の選定および産地などについて

33 年度検査実績表（林野庁林産課編）により、官民炭合計の検査実績の上位のものからざつを除き、

第 1 表 試料の産地その他

Table 1. Description of charcoal samples.

試料番号 Sample No.	種 類 Products by species and grade	産 地 Producing area	正 味 量 Net weight per package kg	10g 以下の小片および粉炭率（正味量に対する %） Dust charcoal and small lump charcoal less than 10g (% to net weight)
I	白炭カシ, 2 級 Kashi ( <i>Quercus</i> spp.) white charcoal, grade 2	和歌山県東牟婁郡 Wakayama Pref.	14.7	4.8
II	白炭ナラ, 2 級 Nara ( <i>Quercus</i> spp.), white charcoal, grade 2	秋田県, 由利郡 Akita Pref.	14.9	14.1
III	黒炭クヌギ, 2 級 Kunugi ( <i>Quercus</i> <i>acutissima</i> ) black charcoal, grade 2	福島県, 伊達郡 Fukushima Pref.	14.8	9.5
IV	黒炭カシ, 3 級 Kashi, black charcoal, grade 3	宮崎県, 児湯郡 Miyazaki Pref.	16.0	7.5
V	黒炭ナラ, 2 級 Nara, black char- coal, grade 2	岩手県, 九戸郡 Iwate Pref.	15.9	10.6
VI	黒炭クリ Kuri ( <i>Castanea</i> <i>crenata</i> ) black charcoal	岩手県 ditto	13.2	—
VII	黒炭マツ Matsu ( <i>Pinus</i> sp.) black charcoal	ditto	11.2	3.6

Note : Kashi, Nara, Kunugi, Kuri and Matsu are local names.

白炭については2炭種、黒炭については3炭種選び、これにクリおよびマツ炭を加え、計7炭種とした。また、黒炭ナラを除き、いずれも1級木炭よりむしろ2~3級木炭の方が検査実績がやや上位にあるので、上述の白炭および黒炭計5炭種は2~3級木炭を用い、これらをいわゆる市販通し物として実験対象にあてることとした。購入に当たっては、東京都内A商店に炭種および級の範囲(2~3級品)のみ指定し、使用目的を告げずに発注し、在庫のものから任意に納入させた。

試料木炭の銘柄・正味量、俵装をといた時の粉炭生成状況を第1表に示す。

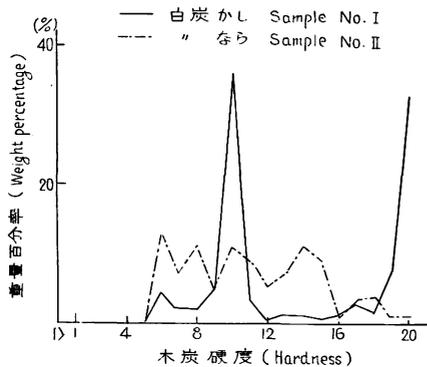
### ii) 炭俵中の木炭の大きさ

供試全炭種につき、俵装をといた時の木炭の大きさ(木口面における最大長さ一昭和33年改正日本農林規格参照一および繊維方向の長さ)を測り、それぞれに付き重量百分率で表わした俵中の木炭の寸法分布を求めた。結果について略記すれば、白炭カシでは木口径(または長辺、以下同じ)2~4cm、繊維方向の長さ(以下長さとのみ記す)5~10cmの小ブロックが最も多く、白炭ナラにおいても、同じ寸法区分ならびに木口径4~6cm、長さ10~15cmのものが最大重量分布を占めており、いずれも特に小径白炭で長さ5~10cmの部位に折損が起りやすいことが観察された。

黒炭クヌギは木口径4~8cm、長さ25~30cm、すなわち全長炭が最も多く、他の炭種に比べ破損が少なかった。ついで木口径2~10cm、長さ15~20cmのもの多く、繊維方向において1/2または1/3の箇所折損が起りやすいことが認められた。黒炭カシは木口径2~14cmと広範囲に分布し、そのうち8cm以上のものが最も多く、大径木を原料としたものである。長さは15~20cmおよび25~30cmのもの多く、1/2折損のものおよび全長のものが大半を占めている。黒炭ナラは、木口径4~8cmで全長炭が多く、家庭燃料向け、または切り炭製造用として最も取り扱い便利な大きさを有するといえる。クリ炭では木口径4~8cm、長さ15cm以下のものが多く、俵内でのこわれが最もいちじるしく、40g以下の小片が正味量の27%を占めていた。マツ炭では木口径の分布範囲は2~6cmで、小径木炭を主とし、全長のもの最も多く、次に1/2または1/3付近で折損を起こしている。白炭・黒炭を通じ小径のものほど繊維方向に短く折れやすいことが認められた。

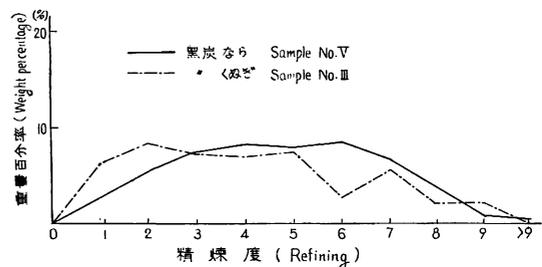
### iii) 炭俵中の木炭の硬度<sup>1)</sup>および精煉度<sup>2)</sup>分布

炭俵中の木炭の性質の分布を求めることにより、各俵ごとの木炭品位をできるだけ正しく把握したいと



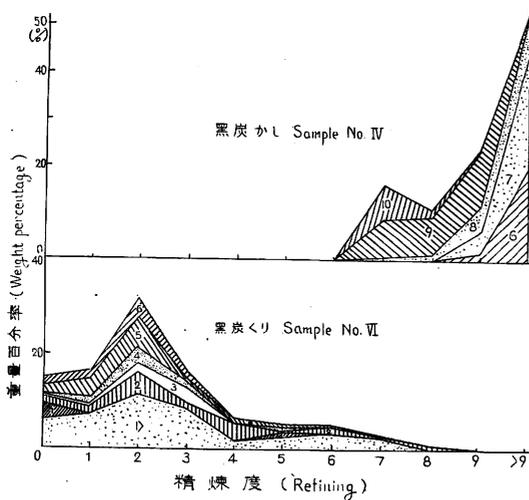
第1図 白炭試料の俵中の硬度分布

Fig. 1 Distribution of hardness in weight percentage in each package of *Quercus* white charcoals.



第2図 黒炭クヌギおよび同ナラの俵内の精煉度分布

Fig. 2 Distribution of refining in weight percentage in each package.



第 3 図 黒炭および同カンの俵中の硬度精煉度分布  
Fig. 3 Distribution of hardness by refining in weight percentage in each package. Sample No. IV and VI.

に対し、硬度および精煉度別試料を作り、それぞれ秤量し、分類前の当初重量に対する重量百分率を求め第 1～4 図に示した。

第 1 図の白炭では精煉度はいずれも 0 である。第 3 図 (上方) 黒炭カンおよび第 4 図黒炭マツでは精煉度 9 または 9 以上のものが大部分を占め、揮発分の最高は前者で約 17%、後者で約 38% である。第 3 図 (下方) クリは精煉度はおもに 1～3 に分布し、第 1 表右端のカラムでは数字を欠くが、前述のとおり粉炭および小塊の木炭の生成比は他のいずれよりもいちじるしく大であつた。

また、前項で求めた黒炭クリの大きさの分布でも、繊維方向の長さ 15 cm 以下のものの占める割合が、黒炭中最も多い。黒炭における精煉度ならびに気孔率と破碎性との関係 (後述) より推して、クリのごとく軟質炭を与えるものの製炭では、製品の精煉度の目標をどの程度におくかは留意せねばならないことと考えられる。その点で黒炭マツの精煉度分布 (第 4 図) は強度的には好ましいといえよう。ただし、揮発分最高 (精煉度 9 以上、硬度 1 以下の試料の分析値) が 38% では高すぎ、精煉が不足であり炭化操作に際し考慮すべきことである。

iv) 工業分析値その他

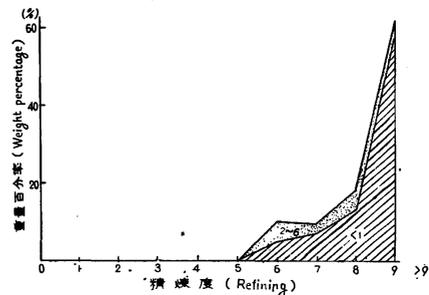
硬度精煉度別に試料を作ると約 120 種類となるが、そのうち出現比率の比較的高いもの 33 種を選んで破碎試験用にあてた。これらの工業分析値\*1、容積重・比重測定値および気孔率\*2を第 2 表に示した。

1.2 破碎条件およびクラッシャーの仕様

試料木炭を 2～5 メッシュに手動で予碎して、製炭過程で生じた 1 次的亀裂による影響をできるかぎり除き、ジョークラッシャーに 1 回通過して破碎した。供試重量はマツおよびクリ炭で、120 g、他は 150 g である。

\*1 JIS K 8810～8814 (1960) による。

\*2 気孔率% =  $\left(1 - \frac{\text{容積重}}{\text{比重}}\right) \times 100$



第 4 図 黒炭マツの俵中の硬度、精煉度分布  
Fig. 4 Distribution of hardness by refining in weight percentage in the package. Sample No. VII.

考えて表題の項目につき調査した。その方法は次のとおりである。全試料を 6 cm 長に玉切り、精煉度が測定部位によつていちじるしくむらのあるものを除いた残り全部

第2表 試料の性状  
Table 2. Analytical values of charcoal samples for crushing test.

試料番号 Sample No.	実験番号 Run No.	試料の種類 Sample			容積重 Apparent density	比重 Specific gravity	気孔率 Porosity %	工業分析値 Industrial analysis			
		炭種	精煉度 Refining	硬 度 Hardness				灰分 Ash %	水分 Moisture %	揮発分 Volatile matter %	固定炭素 Fixed carbon %
I	1	白炭カン	—	7	0.76	1.76	56.7	3.52	6.33	6.90	83.25
	2		—	10	0.81	1.81	55.5	2.27	9.63	6.31	81.79
	3		—	17	0.82	1.82	54.8	3.32	5.95	6.71	84.02
	4		—	20	1.01	1.77	43.1	2.39	9.80	6.17	81.64
		平均	mean		0.85	1.79	52.5	2.88	7.93	6.52	82.68
II	5	白炭ナラ	—	6	0.59	1.84	68.1	1.04	10.22	5.53	83.21
	6		—	10	0.67	1.86	64.2	1.25	10.46	5.25	83.04
	7		—	12	0.75	1.78	58.2	2.21	9.75	6.06	81.98
	8		—	18	0.75	1.84	59.2	1.71	10.40	5.93	81.96
		平均	mean		0.69	1.83	62.4	1.55	10.21	5.69	82.55
III	9	黒炭クヌギ	2	10	0.74	1.73	57.6	1.56	8.22	10.29	79.93
	10		4	10	0.77	1.56	50.6	1.18	5.96	11.34	81.52
	11		6	10	0.74	1.47	49.5	1.24	5.20	11.70	81.86
	12		8	10	0.76	1.44	47.4	1.10	5.16	12.26	81.48
		平均	mean		0.75	1.55	51.3	1.27	6.14	11.40	81.20
IV	13	黒炭カン	7	9	0.75	1.43	47.6	2.37	4.70	12.12	80.81
	14		9	6	—	—	—	1.53	2.77	15.59	80.11
	15		9	8	0.78	1.47	46.8	2.01	2.37	14.18	81.44
	16		9	9	0.77	1.44	46.5	1.53	4.26	15.08	79.13
	17		>9	6	0.74	1.42	48.1	1.33	4.73	16.56	77.38
	18		>9	7	0.79	1.44	45.3	2.88	4.35	17.45	75.32
	19		>9	8	0.83	1.46	43.2	2.59	4.22	17.08	76.11
	平均	mean		0.78	1.44	46.3	2.03	3.91	15.44	78.61	
V	20	黒炭ナラ	2	6	0.66	1.60	58.9	2.18	9.06	7.21	81.55
	21		4	6	0.67	1.57	57.4	1.34	7.18	7.55	83.73
	22		6	6	0.72	1.45	50.3	1.53	6.13	13.31	79.03
	23		8	6	0.62	1.40	55.9	1.63	5.38	15.23	77.76
		平均	mean		0.67	1.51	55.6	1.67	6.94	10.88	80.52
VI	24	黒炭クリ	1	<1	0.31	1.74	82.0	0.99	9.17	7.56	82.28
	25		1	5	—	—	—	1.00	6.52	6.78	85.70
	26		2	<1	0.39	1.63	76.0	1.03	8.64	7.82	82.51
	27		2	5	0.43	1.68	74.6	0.67	8.86	6.86	83.61
	28		3	<1	0.39	1.61	75.7	0.77	8.23	8.50	82.50
	29		3	3	—	—	—	0.80	4.25	8.65	86.30
	30		6	<1	0.44	1.49	70.7	—	—	—	—
	平均	mean		0.39	1.63	75.8	0.88	7.61	7.70	83.82	
VII	31	黒炭マツ	6	<1	0.40	—	—	1.11	6.12	11.19	81.58
	32		8	<1	0.31	—	—	1.00	4.40	15.94	78.66
	33		9	<1	0.36	—	—	0.49	5.06	38.36	56.09
		平均	mean		0.36	—	—	0.87	5.19	21.83	72.11

使用機械は次表のとおりである。

吉田製作所製ジョークラッシャー (型録番号 No. 1023 B)

投入試料 最大 mm	投入口寸法 mm	破碎粒度 mm	破碎能力 kg/H	プレート振幅 mm	回転数 R/M	電動機 3相, 2IP
70	166×140	約 5	約 250	6.8~8.0	280~300	1420 R/M

破碎木炭は各試料別に、5, 10, 20, 60, 100, 200 メッシュふるいでロータップ型自動ふるい器を用い20分間ふるい分け、粒度分布および平均粒径を次により求めた。すなわち、破碎産物の粒度とそのふるい上積算重量との関係は次式により表わしうる場合が多い<sup>4)5)6)7)8)9)</sup>。

$$R = 100e^{-\left(\frac{d}{d'}\right)^n} \dots\dots\dots(1)$$

ここで  $R$  はふるい上積算重量百分率%,  $d$  は粒度 mm,  $d'$ ,  $n$  はそれぞれ物質の粒度分布により定まる常数である。 $d'$  は一種の代表粒径で粒度特性値とよばれる。 $n$  は粒度分布指数とよばれ、粒度がそろっているか広い範囲にわたっているかの程度を示す。

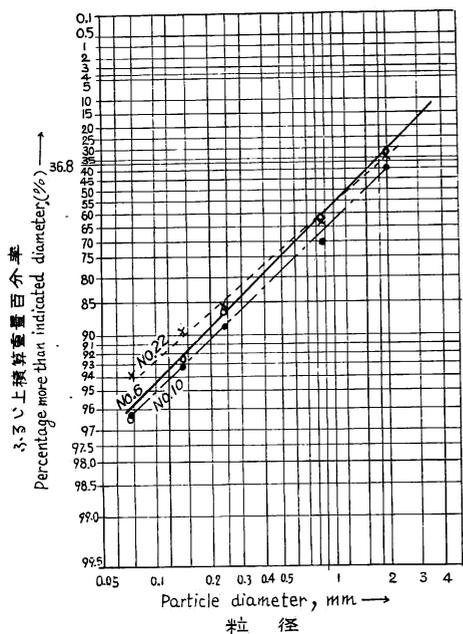
(1) 式は Rosin-Rummler の分布函数とよばれ、1933 年、P. ROSIN および E. RUMMLER が石炭について実験的に求めて提唱し、以来多くの破碎物または粉体についてこの粒度分布函数があてはまること知られている。

(1) 式を  $\frac{100}{R} = e^{\left(\frac{d}{d'}\right)^n}$

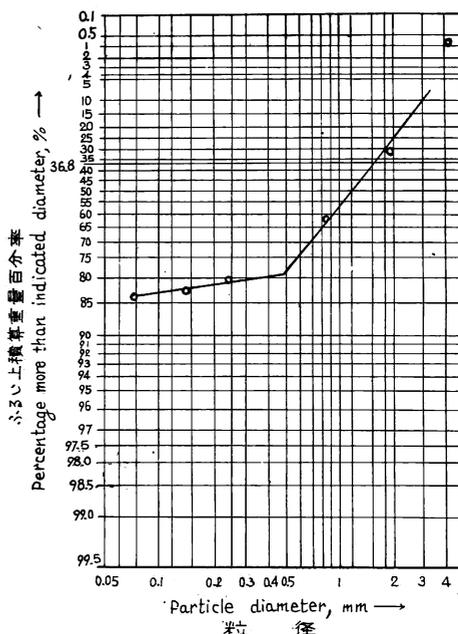
と変形して2度対数をとれば

$$\log\left(\log \frac{100}{R}\right) = n(\log d - \log d') \dots\dots\dots(2)$$

となるから、 $X$ 軸に  $\log d$ ,  $Y$ 軸に  $\log\left(\log \frac{100}{R}\right)$  を目盛つたグラフ (Rosin-Rummler-Bennet 線図と



第5図 カン属木炭の破碎産物の R-R-B 線図の一例 (実験 No. 6, 10, 22)  
Fig. 5 A few examples of size distributions of crushed charcoal particles—*Quercus* charcoal samples, Run No. 6, 10 and 22.



第6図 黒炭マツ破碎産物の R-R-B 線図 (実験 No. 32)  
Fig. 6 Size distribution of crushed *Pinus* charcoal particles, Run No. 32.

いう) 上にプロットすれば直線となる。

(1) 式で  $d=d'$  とおけば

$$R=100e^{-1}=36.8$$

よつて図上で 36.8% に相当する  $d$  のよみが常数  $d'$  の値である。 $n$  は直線の勾配である。

赤尾・佐藤・大塚は H. Heywood の式を用いて本邦産各種石炭の圧縮破碎産物の平均粒径を計算し、その大小をもつて破碎性の難易を表わすとし、得られた平均粒径と石炭の着火温度との関係を検討している。すなわち、破碎産物が Rosin-Rummler 分布に従う時、次式によつて平均粒径が示される。

$$dm=d' \Gamma\left(\frac{1}{n} + 1\right) \dots \dots \dots (3)$$

第3表 ジョークラッシャーによる破碎木炭の平均粒径  
Table 3. Average particle size of crushed charcoal by jaw crusher.

実験番号 Run No.	試料の種類 Sample			粒度特性値 $d'$	粒度分布指数 $n$	平均粒径 Average particle size (mm)
	精煉度 Refining	硬 度 Hardness				
1	白炭カン	—	7	2.5	0.72	3.09
2		—	10	2.6	0.69	3.34
3		—	17	3.0	0.78	3.46
4		—	20	2.8	0.84	3.07
平 均 mean				2.7	0.76	3.24
5	白炭ナラ	—	6	1.4	0.84	1.53
6		—	10	1.7	1.00	1.70
7		—	12	1.8	0.85	1.96
8		—	18	1.8	0.87	1.93
平 均 mean				1.7	0.89	1.78
9	黒炭クヌギ	2	10	2.2	0.97	2.23
10		4	10	2.3	0.95	2.35
11		6	10	2.2	0.87	2.36
12		8	10	2.3	0.94	2.36
平 均 mean				2.3	0.93	2.33
13	黒炭カン	7	9	2.0	0.77	2.33
14		9	6	2.4	0.80	2.72
15		9	8	2.1	0.81	2.35
16		9	9	2.1	0.86	2.27
17		9<	6	2.3	0.80	2.60
18		9<	7	2.5	0.80	2.83
19		9<	8	2.3	0.82	2.62
平 均 mean				2.2	0.81	2.53
20	黒炭ナラ	2	6	1.7	0.82	1.89
21		4	6	1.8	0.85	1.96
22		6	6	1.8	0.85	1.96
23		8	6	1.8	0.82	2.00
平 均 mean				1.8	0.84	1.95
24	黒炭クリ	1	<1	1.1	0.65	1.50
25		1	5	1.4	0.73	1.71
26		2	<1	1.3	0.64	1.80
27		2	5	1.3	0.67	1.72
28		3	<1	1.6	0.62	2.31
29		3	3	1.4	0.71	1.75
30		6	<1	1.6	0.67	2.11
平 均 mean				1.4	0.67	1.84

(3) 式は平均粒径が (1) 式の微分曲線の図形の重心として与えられるとの考えに基づいて導かれたものである。平均粒径の算出方法は他に 10 数種<sup>9)</sup> があるが、多くはふるい分け産物につき算術平均または幾何平均をとつたものである。大塚は石炭粉砕物につき各種の算出方法を検討の上、Rosin-Rummler 則に分布が従うものについては (3) 式を用いる場合、もつともすつきりした形で平均粒径が与えられるとの意見をとつており<sup>10)</sup>、筆者もこれに同調した。

ジョークラッシャーによる本試験で破砕木炭の粒度分布が R-R-B 線図上ではほぼ直線となる (数例を第 5 図に示す)。これよりその勾配および粒度特性値を実測し、(3) 式により平均粒径を計算した (第 3 表)。ただし、マツ炭 (Run No. 31~33) では屈曲点を有するため (3) 式が使えず平均粒径は計算できなかった (1 例を第 6 図に示す)。

## 2. ボールミルによる試験

### 2.1 試料木炭および試験方法

第 1 表に掲出した木炭のうち、硬度精煉度区分を黒炭中から適当に選んでジョークラッシャーとの比較試験を行なつた。ふるい分け産物の粒度分布は Rosin-Rummler 則に従わず、(3) 式を使い得ぬため中央累積値 (median 径) を計算し、粉化性を考察した。試料の種類および粉砕結果を第 4 表に示す。なお、実験方法は次のとおりである。すなわち、各試料を予砕後ふるい分けして 2~5 メッシュとし、その 200g を磁製ボールミル (径 240 mm, 高さ 240 mm, 45 R/M, 電動機 1/4 HP) 中で 1 時間粉砕し、前項と同条件でふるい分けを行なつた。

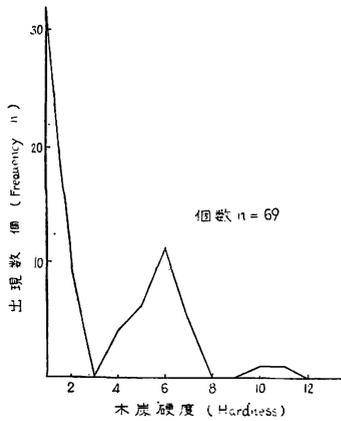
第 4 表 黒炭数種のボールミルテストによるふるい分け結果とメジアン径  
Table 4. Distribution of diameter and average particle size (by median) of crushed charcoal which pulverized by a laboratory ball mill.

試 料 Sample	精煉度 Refin- ing	硬 度 Hard- ness	備 考 Note	ふるい上積算重量百分率 % Cumulative weight percentage for indicated diameter in mm							メジアン径 Average particle size by median (mm)
				over 4.04 (mm) 以上	4.04 } 1.90	1.90 } 0.864	0.864 } 0.221	0.221 } 0.140	0.14 } 0.074	below 0.74 以下	
Kunugi	0	10	=第 3 表 Table 3.No.13 =No. 20 =No. 21 =No. 22 =No. 23	29.4	55.9	73.9	86.4	90.5	99.4	100.0	2.38
Kashi	7	9		29.9	42.1	48.5	56.4	62.2	76.8	100.0	0.74
Nara	2	6		59.5	76.5	81.5	86.5	88.8	99.6	100.0	over 4.04
ditto	4	6		43.3	59.8	67.9	76.1	81.1	97.4	100.0	以上
ditto	6	6		36.1	48.4	53.0	59.9	65.7	75.8	100.0	3.17
ditto	8	6		31.1	38.1	41.5	47.5	52.7	63.9	100.0	1.54
Kuri	0	<1		46.6	68.4	73.0	76.3	78.5	98.7	100.0	0.18
Matsu	8	<1	35.8	31.6	33.9	36.8	38.7	57.5	100.0	3.71	
											0.10

## 3. その他の破砕試験

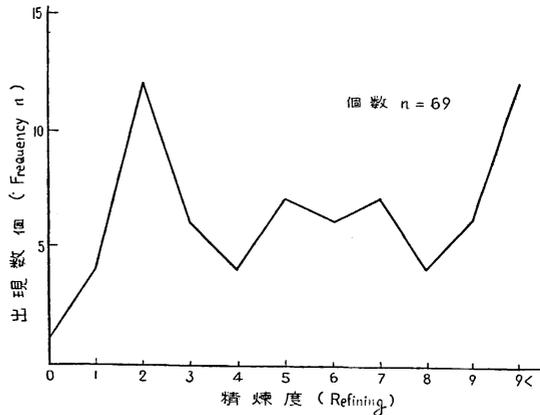
### 3.1 試料木炭

浅川実験林で炭化した黒炭ザツ (軟質広葉樹を主とし、他にカンおよび少量のマツを含む) を用いた。硬度は 6 以下で 1 のものが最も多く (第 7 図)、精煉度の範囲は 2~9 以上で (第 8 図)、炭化度の低いものを多く含む。このように種々の段階のものを含み、平均硬度および平均精煉度として与えられぬため、任意 69 個の予砕木炭片をとつてその出現の頻度を図示した。容積重および工業分析値を第 5 表に示す。



第7図 エッジランナー、ハンマークラッシャーおよび衝撃式粉碎機による破砕試験のための木炭試料の硬度分布

Fig. 7 Frequency of hardness of charcoal prepared for crushing test with edge runner, hammer crusher and single runner attrition mill.



第8図 エッジランナー、ハンマークラッシャーおよび衝撃式粉碎機による破砕試験のための木炭試料の精煉度分布

Fig. 8 Frequency of refining of charcoal prepared for crushing test with edge runner, hammer crusher and single runner attrition mill.

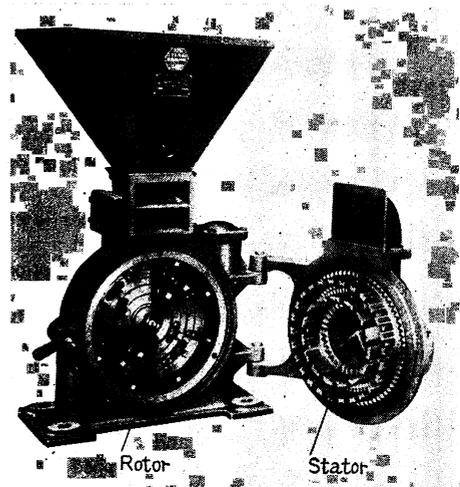
第5表 エッジランナー、ハンマークラッシャー、衝撃式粉碎機による破砕試験用の試料の分析値  
Table 5. Analytical value of sample that prepared for crushed test with edge-runner, hammer crusher and single runner attrition mill.

容積重 Apparent density	灰分 Ash %	水分 Moisture %	揮発分 Volatile matter	固定炭素 Fixed carbon %
0.4	2.8	7.1	15.8	74.3

### 3.2 破砕条件および機械の仕様

用いた機種はエッジランナー、ハンマークラッシャー、衝撃式粉碎機である。実験条件は第6表のとおりである。

前記各項と同条件でふるい分けし、粒度別にふるい上積算重量百分率を求めて Rosin-Rummler-Bennet 線図上にプロットした(第10, 11, 12図)。エッジランナーおよびハンマークラッシャーによるものはほぼ良好な直線を示すが、衝撃式によるもののうち粉碎機の回転数を落とした場合の2例は直線性が不良で、前者については(3)式による平均粒径および粒度分布の中央累積値を、後者については中央累積値のみを計算した。第7表にこれを示す。

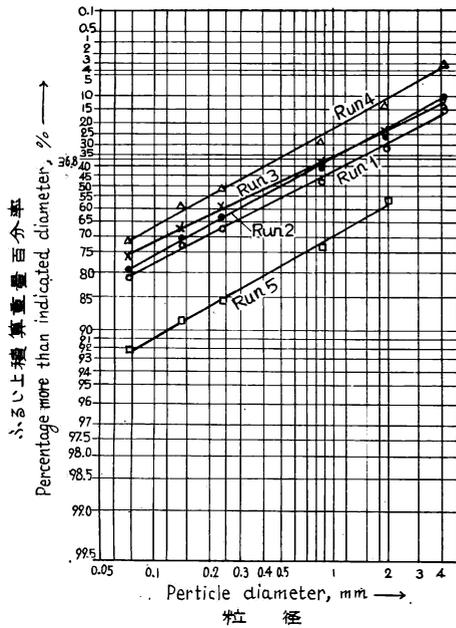


第9図 衝撃式粉碎機

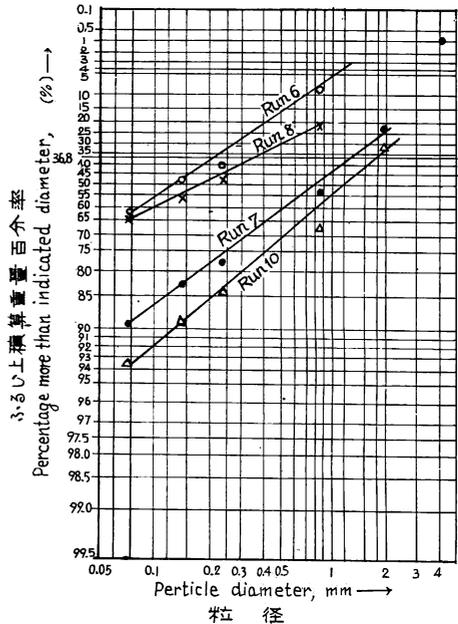
Fig. 9 Single runner attrition mill.

第 6 表 実験条件および破碎機の仕様  
Table 6. Specification of the grinding machines and experimental conditions of charcoal sample.

投入前のサイズ Sample size at feedings	破碎機種および仕様の概略 Specification of machine	実験番号 Run No.	実験条件 Experimental condition		
こぶし大 Fist-size	(i) エッジランナー Edge-runner パン回転式 Pan rotation type ローラ Roller : 花こう岩製 Granite 直径×幅 960×300 mm パンの直径 Diameter of pan 1,540 mm 回転数 Rotation : 21R/M 電動機 Motor : 3相 phase, 5 HP 1回装入量 Each feeding : 20 kg	1	破碎時間, 分 Working hrs. min.		
		2	2		
		3	3		
		4	7		
粒径範囲 Range of diameter : 10~30 mm	(ii) ハンマークラッシャー Hammer crusher ヤリヤ製作所製ヤリヤ1号, 吊り下げ型 Swing hammer type ホッパー Hopper : 260×190 mm 回転盤の径 : Diameter of disk rotor 126mm 回転数 Rotation : 5,800 R/M 格子のすきま Crevice of bar screen : 12 mm 電動機 Motor : 3相 phase, 2 HP	5			
投入前のサイズ Sample size at feeding	破碎機種および仕様の概略 Specification of machine	実験番号 Run No.	実験条件 Experimental condition		
			ふるい目の大 きさ Eyes of screen mm	回転数 Rotation R/M	固定盤の歯 Tooth of disk stator
同 上 ditto	(iii) 衝撃式粉碎機 Single runner attrition mill 奈良機械製作所製単式自由 粉碎機  破碎部は固定盤と回転盤よりなり, それぞれ歯状の突起部がついている。ホッパーからシフターを経て破碎室の中央に落下した試料は遠心力により外側へふき飛ばされながら突起部のかみ合せによつて多数回の破碎を受け, ついに周辺部に装填したふるいを経て下方へ落ちる。ふるいおよび固定盤は交換可能である。  The crushing chamber is consisted of a rotor and a stator with teeth like projection. The sample which was fallen in the center of the chamber from the hopper via shifter and is blown off to the outside by centrifugal force and crushed by clutching of the projection and at last, through the sieve equipped at the border fallen down to the outside. The sieve and the stator is renewable (Fig. 16).	6	2	2,000	内外 2 周, Double same as Fig. 16
		7	7	2,000	外周のみ, 1 本おき Single
		8	2	650	内外 2 周 Double
		9	3	650	同 上 ditto
		10	5	650	外周のみ, 1 本おき Single
		11	5	650	内外 2 周 Double



第10図 エッジランナー(Run 1~4)およびハンマークラッシャー(Run 5)による破碎木炭の R-R-B 線図  
Fig. 10 Size distribution of charcoal particles crushed by edge runner and hammer crusher.



第11図 衝撃式粉碎機による破碎木炭の R-R-B 線図  
Fig. 11 Size distribution of charcoal particles crushed by single runner attrition mill.

### III 考 察

#### 1. ジョークラッシャーによる破碎の結果について

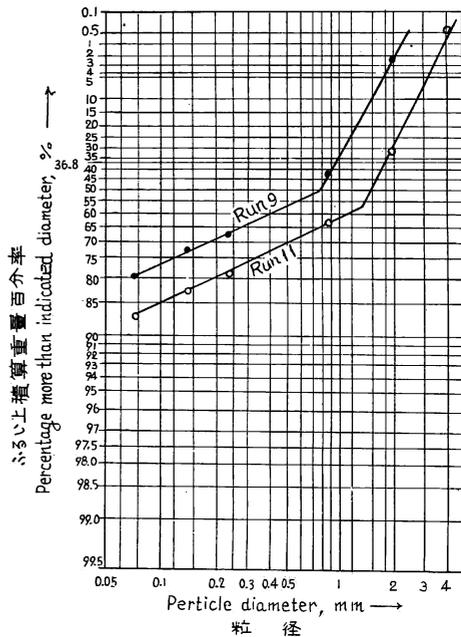
##### 1.1 炭種間に破碎性の相違があること

第3表の各試料における平均粒径測定値および炭種ごとの平均値にもとづいて、炭種間ならびに炭種内の測定値の分散を求めた(第8表)。

分散比はF分布表の自由度 5.24 における 1% の値 3.90 よりいちじるしく大で等平均の仮説は危険率 1% 以下ですることができる。すなわち、供試炭種内のばらつきが少なく、互いの破碎性間に差を認めることができる。

1.2 ジョークラッシャーによつて求めた木炭の破碎性と、俵装内の木炭のこわれ方との間に直線関係があるか否かについて

前項で炭種ごとの破碎性の平均値は、各炭俵についての代表的な破碎性を示すと考えられるので、こ



第12図 衝撃式粉碎機による破碎木炭の R-R-B 線図  
Fig. 12 Size distribution of crushed charcoal particles by single runner attrition mill.

第 7 表 エッジランナー、ハンマークラッシャーおよび  
衝撃式粉砕機による木炭の破砕産物の平均粒径

Table 7. The average particle size of crushed charcoal product crushed by the edge-runner, hammer crusher and single runner attrition mill.

実験番号 Run No.	粒度特性値 $d'$	粒度分布指数 $n$	(3)式による平均粒径 Average size of charcoal particle by the equation (3) $mm$	メジアン径 Average size by median $mm$	破砕機種 Machine
1	1.3	0.53	2.40	0.79	Edge-runner
2	1.1	0.55	1.89	0.62	
3	0.9	0.50	1.80	0.53	
4	0.5	0.57	0.80	0.27	
5	5.5	0.58	8.64	2.42	Hammer crusher
6	0.2	0.69	0.26	0.21	Single runner attrition mill
7	1.3	0.74	1.56	2.20	
8	0.4	0.49	0.83	0.21	
9	—	—	—	0.67	
10	1.8	0.85	1.96	2.97	
11	—	—	—	0.29	

第 8 表 炭種間の破砕性の比較

Table 8. Comparison among the representative grindabilities by charcoal products.

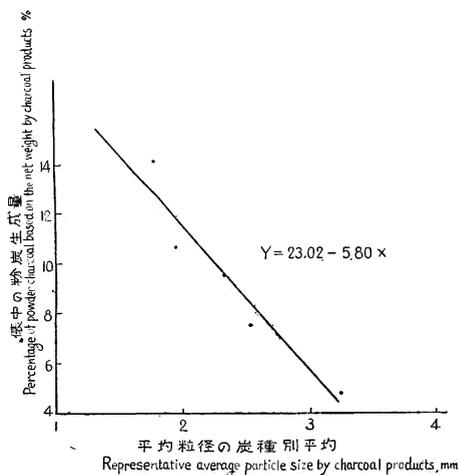
要因 Factor	平方和 Sum of square	自由度 Degree of freedom	平均平方 Mean square error	分散比 Variance ratio
炭種間 Between the charcoal products	6.894	5	1.379	$F_{24}^5=33.63$
同一炭種内試料間 Within the charcoal products	0.983	24		
合計 Total	7.877	29		

第 9 表 炭種ごとの破砕性と粉炭生成量との関係

Table 9. Relationship of grindability to production of powder charcoal by charcoal products.

要因 Factor	平方和 Sum of square	自由度 Degree of freedom	平均平方 Mean square error
平均粒径に対する粉炭生成量の回帰 Ascribed regression	44.011	1	44.011
原因不明 Unknown causes	4.249	3	1.416
合計 Total	48.260	4	

れと、輸送や保管等を経て流通の末端に到達したときの商品のこわれかたとの間に直線関係を仮定し、その検定を行なった。すなわち、第 1 表右端のカラム、俵の中の粉炭量%と、炭種ごとの破砕性(平均粒径  $mm$ ) 平均とで相関表を作つて分析し第 9 表を得た。第 13 図は実測値および回帰直線である。この直線



第13図 炭種ごとの破碎性と粉炭生成量との関係  
Fig. 13 Relationship of grindability to production of powder charcoal by charcoal products.

おのずからある限度が存在するものであり、俵内ならびに破碎機によるこわれを左右する主要因が、外部的な力の質や量以外にあるのだと考えることはできないであろうか。おそらくこの主要因は木炭の内部的な性質に依存すると考えて以下の観察を行なった。

1.3 木炭分析値と破碎性との関係について

第10表 木炭硬度と破碎性との関係

Table 10. Relationship of hardness to grindability.

要因 Factor	平方和 Sum of square	自由度 Degree of freedom	平均平方 Mean square error
硬度に対する平均粒径の回帰 Ascribed regression	1.791	1	1.791
原因不明 Unknown causes	5.926	28	0.212
合計 Total	7.717	29	

第11表 黒炭精煉度と破碎性との関係

Table 11. Relationship of refining to grindability in black charcoal.

要因 Factor	平方和 Sum of square	自由度 Degree of freedom	平均平方 Mean square error
黒炭精煉度に対する平均粒径の回帰 Ascribed regression	1.688	1	1.688
原因不明 Unknown causes	1.009	20	0.050
合計 Total	2.697	21	

につき有意性の検定を行なうと  $F_0=31.07$  となり、F 分布表の自由度 1.3 における 5% の値 10.13 と比べて大きいので、両者の間には直線的関係があるといえる。なお、相関係数は  $-0.85$  となる。すなわち、ジョーによる破碎性が大きいものほど、俵の中でのこわれた方がはげしい傾向にあることが推定される。

第1表で明らかのように、それぞれ供試炭種が末端消費者にわたるまでの経歴はまことにさまざまで、粉炭生成に関与した力の種類と量はまったく一様ではない。一方破碎試験は等しい条件で行なっている。しかも両者間に直線関係が観察されたのは、偶然の一致とも考えられないでもない。しかし、商品が末端にわたる間に加えられた力の質と量には、

第12表 木炭の容積重と破碎性との関係  
Table 12. Relationship of apparent density to grindability.

要 因 Factor	平 方 和 Sum of square	自 由 度 Degree of freedom	平 均 平 方 Mean square error
容積重に対する平均 粒径の回帰 Ascribed regression	2.953	1	2.953
原 因 不 明 Unknown causes	4.133	25	0.165
合 計 Total	7.086	26	

第13表 木炭の比重と破碎性との関係  
Table 13. Relationship of specific gravity to grindability.

要 因 Factor	平 方 和 Sum of square	自 由 度 Degree of freedom	平 均 平 方 Mean square error
真比重に対する平均 粒径の回帰 Ascribed regression	0.061	1	0.061
原 因 不 明 Unknown causes	7.025	25	0.281
合 計 Total	7.086	26	

第14表 木炭の気孔率と破碎性との関係  
Table 14. Relationship of porosity to grindability.

要 因 Factor	平 方 和 Sum of square	自 由 度 Degree of freedom	平 均 平 方 Mean square error
気孔率に対する平均 粒径の回帰 Ascribed regression	2.265	1	2.265
原 因 不 明 Unknown causes	4.821	25	0.193
合 計 Total	7.086	26	

第 2 表および第 3 表から各硬度別にグループを作り、破碎性の平均値間の有意差の検定を行なつたところ、5%以下の危険率で有意であつた。次に硬度・黒炭の精煉度・比重・気孔率のおのおのと木炭の破碎性との間に直線関係の検定を行なつた。第 14~18 図に各実測値、回帰直線式および第 10~14 表にその分析結果を示す。

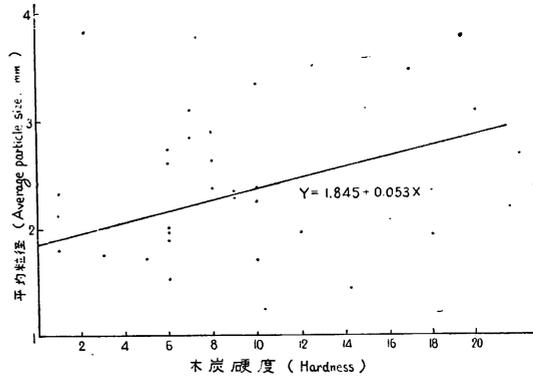
市販 2~3 級木炭の硬度・精煉度・容積重および気孔率と破碎性間の直線関係は有意であり、比重との関係は有意でない。すなわち、次のような傾向を認めることができる。

- 1) 木炭硬度が高いものほど破碎を受けにくい。
- 2) 黒炭において精煉度が大きいほど、すなわち炭化が進んでいないものほど破碎を受けにくい。
- 3) 容積重が大きいほど破碎を受けにくい。

4) 比重の大小から破碎性を類推することは困難である。

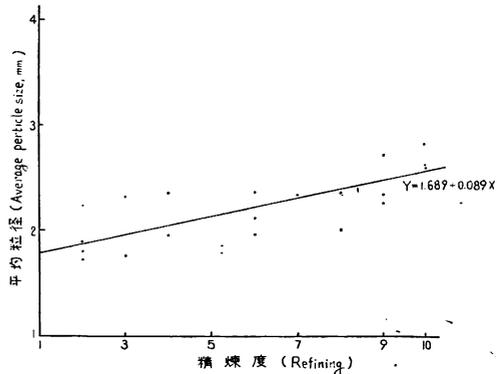
5) 気孔に富むほど破碎されやすい。

以上の結果より木炭の破碎性に対し、その炭化温度経過がきわめて重要な意味をもつことが明らかである。破碎性に影響を及ぼすと考えられる諸要素の平均平方および相関係数を表にまとめていづれが最も大きな影響を及ぼすかを比較すると(第15表)、精煉度・容積重・気孔率・硬度の順で影響が大であると考えられる。硬度を除けばいずれも炭化が excess にわたらぬ方が破碎性低下を防ぐ上からは好ましい。木炭硬度は樹種および木炭の内部的構造に影響をうける。すなわち、前者以外には炭素結晶の成長度に左右されると経験的に考えられ、一般に白炭と黒炭とでは、前者がより高い硬度を示すことがあまねく知られている。第2表の白炭2種(カン, ナラ)でそれぞれ硬度10以上のものは10以下のものに比し、容積重, 比重, 灰分値の増加, 気孔率の減少よりして炭化が進んでいる



第14図 木炭硬度と破碎性との関係

Fig. 14 Relationship of hardness to grindability.



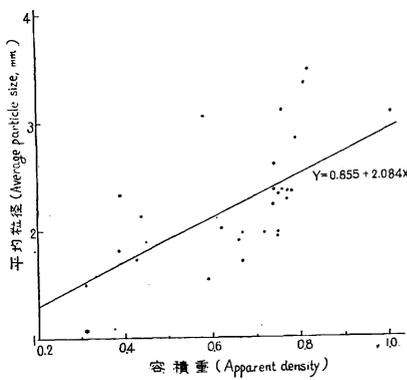
第15図 黒炭の精煉度と破碎性との関係

Fig. 15 Relationship of refining to grindability.

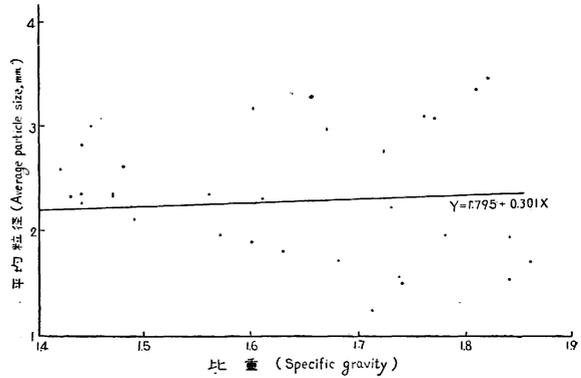
第15表 各要素と破碎性との関係の総括表

Table 15. A synopsis of the significance on relationships of characteristics to grindability and comparison among the efficiencies of characteristics as independent factor of grindability in commercial charcoal.

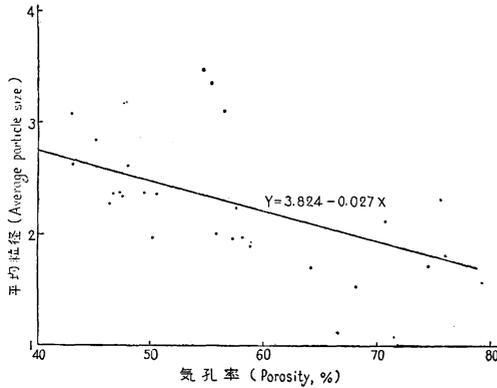
要素 Characteristics that analysed for relationship to grindability	自由度 Degree of freedom	原因不明の要因による平均平方 Mean square error from unaccountable factor	F <sub>0</sub>	がい当する自由度におけるF分布表の値 The value of table of F corresponding degree of freedom	有意性 Significance	相関係数 Correlation coefficient
硬度 Hardness	29	0.212	8.45	7.64 (α=1%)	有意 Significant	0.48
黒炭精煉度 Refining	21	0.050	33.78	8.02 (α=1%)	同上 ditto	0.79
容積重 Apparent density	25	0.165	17.86	7.77 (α=1%)	同上 ditto	0.65
比重 Specific gravity	25	0.281	4.61	ca.250(α=5%)	有意でない Not significant	0.09
気孔率 Porosity	25	0.193	11.74	7.77 (α=1%)	有意 Significant	-0.57



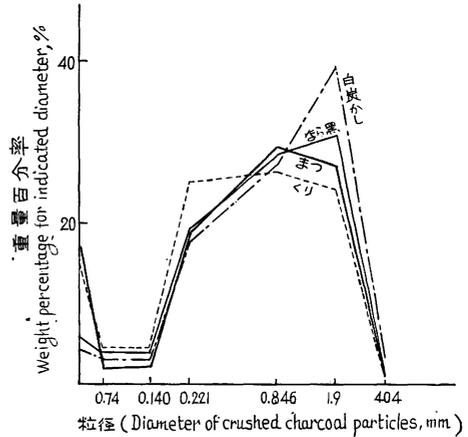
第16図 木炭の容積重と破碎性との関係  
Fig. 16 Relationship of apparent density to grindability.



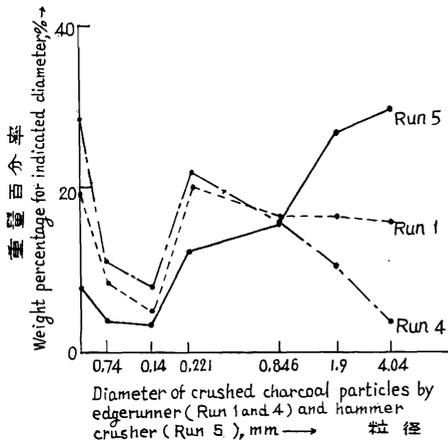
第17図 木炭の比重と破碎性との関係  
Fig. 17 Relationship of specific gravity to grindability.



第18図 木炭の気孔率と破碎性との関係  
Fig. 18 Relationship of porosity to grindability.

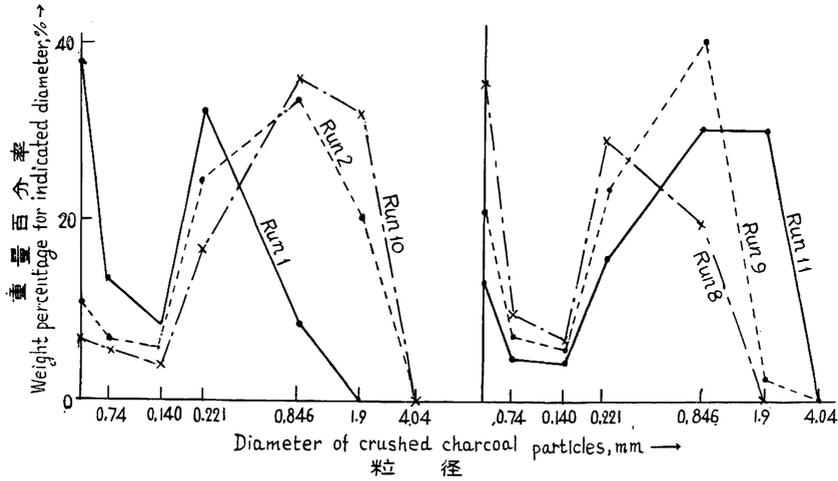


第19図 ジョークラッシャーによる破碎木炭の各区分重量分布  
Fig. 19 Size distribution of charcoal particles crushed by jaw crusher.



第20図 エッジランナーおよびハンマークラッシャーによる破碎炭の各区分重量分布  
Fig. 20 Size distribution of charcoal particles crushed by edge runner and hammer crusher.

のが明りようであるが、白炭カンにおける硬度17と20、同ナラの12と18との差は明りようでなく、破碎性もむしろ硬度の高い方が落ちてい。そこで、このような硬度範囲では炭化の進行にともなつて硬度は上昇するが、破碎性はいつたん peak に達した後向上するのか、あるいは硬度自身が炭化進行にともなつてある点で最高となり後低下するものか、本試験の範囲からは全く明らかでない。すなわち、気孔率の減少と炭素結晶の成長によるいわゆるやき締りの影響は本実験の



第21図 衝撃式粉碎機による破碎木炭の各区分量分布  
 Fig. 21 Size distribution of charcoal particles crushed by single runner attrition mill.

ごとき破碎条件下では明りようでないという。むしろ、炭化を抑制した方が破碎をうけにくくなるとの結論が得られた。

2. ボールミルによる試験

第4表から、硬度あるいは精練度と粒径との相関表を作り、両者間に直線性の検定を行なつたが有意でなく、それぞれの相関関係は否定された。しかし、精練度との関係は平均平方の比がF分布表の危険率5%の値よりわずかに低く、しかも相関係数はジョークラッシャーの場合と反対でマイナスで与えられる。すなわち、ジョークラッシャーと反し炭化の進んでいるものほど粉化しがたい傾向があるといえる。

3. 各種破碎機の性能の比較

破碎機の性能の表示には、粉碎比、粉碎能、破碎効率などを求める

第16表 破碎機別の80%破碎比

Table 16. A comparative review of reduction ratio on crushed charcoals by several crushers.

機 種 Crushing machine	試 料 Sample	80%破碎比 Reduction ratio of crushed charcoal
ジョークラッシャー Jaw crusher	白炭カン平均 Sample No. I	3.1
	白炭ナラ平均 II	3.5
	黒炭クスギ平均 III	3.0
	黒炭カン平均 IV	3.1
	黒炭ナラ平均 V	3.5
	黒炭クリ平均 VI	4.2
	黒炭マツ平均 VII	3.8
エッジランナー Edge runner	Run No. 1	26.0
	2	33.2
	3	35.0
	4	57.6
ハンマークラッシャー Hammer crusher	5	5.4
衝撃式粉碎機 Single runner attrition mill	6	47.5
	7	12.7
	8	30.3
	9	18.0
	10	9.5
	11	9.7

ことが多いが、ここでは80%破碎比  $R_{80}$  を次式により求めるにとどめた<sup>11)</sup>。

$$R_{80} = \frac{F_{80}}{P_{80}} \dots \dots \dots (4)$$

ここで  $F_{80}$  は与えた物質の 80% 粒度,  $P_{80}$  は破碎産物の 80% 粒度である。80% 粒度とはその 80% が通過してふるい下となる粒度を指す。破碎比 reduction ratio によつて, 言葉の示すとおり細分化の程度を表わすことができる。機種別の 80% 破碎比を第 16 表に示す。また, 第 19~21 図に各粒度区分の重量分布を示した。これによればジョーの場合, 粒径 0.846~1.9 mm に最大の分布を示し, 0.74~0.140 mm に最少を示す。この下方の peak は他の試料(すなわち, 浅川産ザツ)および他の機種においても必ず出現している。80%破碎比は 3~4 で他の機種より小さい。エッジランナーの場合, 最大の分布は 0.221 mm 付近となつている。また, 0.074 mm 以下の粉の量比が増加する。破碎時間の延長によつて細くなるのはおもに 1.9~4.04 mm の粒度区分であり, 0.221~0.846 mm のものの量比にはほとんど変化がない。これはこの粒度範囲を目的とする場合好ましいことといえよう。80% 破碎比は 2 分間稼働で 26.0 とかなり大きく, その後 5 分間に約 2 倍となる。ハンマークラッシャー破碎の場合, 30% が 4.04 mm 以上の粒径を有し, 80% 破碎比が 5.4 と小さいが, これはきわめてあらいふるいを着用したためばかりではなく, ハンマー破碎の特徴を示すといえよう。衝撃式粉碎機の場合は, 回転数, スクリーンの網目, 衝撃輪の変更等によつて, 粒度分布, 破碎比を各種に変えることができる。ここでは Run No. 6~11 の種類の条件によつて, 最大破碎区分は 0.74 mm 以下, 0.846 mm, 1.9 mm 等に変化し, また, 80% 破碎比も 9.5~47.5 の範囲に与えられた。ボールミルの場合は計算および図示はしなかつたが,  $P_{80}$  は 4.04 mm 以上で 80%, 破碎比はおおよそ 1.5~2 となりきわめて小さい。これは微粉部分と粒径のほとんど変化しない部分の両端に最大分布を示し中間のものがきわめて少ないためである。

#### IV 総 括

1. 木炭はかなり方向性が強い, 特にカシ属黒炭では, 精煉度 9 以上に炭化が進むと柘目面を劈開面として横断面所見上規則的な細隙をつくり, 破碎を受けると長方形の小薄片に破碎される。この種のこわれ方は劈開性をもつ鉱物質のそれを想起させるが, かかる異方性にもかかわらずジョークラッシャーで破碎した供試市販木炭の大部分が, その粒度分布は Rosin-Rammler の分布関数により表わされ, すなわち Rosin-Rammler-Bennet 線図上直線が得られ, 図上より粒度分布指数および粒度特性値を実測し, Heywood 式を用いて平均粒径 mm を計算することが可能である。

2. このようにして算出した平均粒径の大小をもつて木炭の破碎性の大小を示すことができると仮定して, 各種の市販木炭の破碎性の難易を論じた。炭種間の比較では, 白炭カシ, 黒炭カシ, 黒炭クヌギ, 黒炭ナラ, 黒炭クリ, 白炭ナラの順で平均粒径の炭種ごとの平均値が小となり, 白炭カシが最も破碎しがたいことが示された。また, 炭種間の破碎性平均値と, 炭俵内における粉炭生成率との直線関係の検定を行なつて 5% の危険率で有意であるのを知つた。すなわち, ジョーによつて破碎性を求めれば, 流通の末端における商品のこわれ方を予想することが可能であると考えられる。

3. 木炭の各種の示性値のうち, その破碎性を予知しうるものがいずれであるかを考察した。その結果, 木炭硬度, 精煉度, 容積重および気孔率からは破碎性を予測しうる可能性が大きいのに反し, 比重からは予測できないことがわかつた。そこでよく炭化されて, 気孔率が高いと破碎されやすい傾向にあるため, 特に粉化が好ましくない時や, いわゆる軟質炭を与える樹種で, 容積重小さく, かつ炭化の進行にと

もなつて容積重が増さず、一方比重のみは炭化に従つて増加するような場合は、いちじるしく高い気孔率が与えられる結果となるので、製品は強度的見地からも十分に炭化経過を検討しなければならない。一方、十分炭化した木炭では破碎がより容易になることが、気乾木炭について確かめられた。

4. ジョークラッシャー以外の機種についても破碎産物の粒度分布が R-R-B 線図に直線となる場合が多い。また、60~100 メッシュに必ず各区分重量分布率の下方の peak が出現し、この粒度付近を境にして一種の選択破碎が行なわれていると見ることもできよう。

5. 破碎比はエッジランナーを最大として、衝撃式粉碎機、ハンマー、ジョーの順に減少している。ゆえに粉破碎の場合、機械の粉破碎能力に対する考慮とあわせて目的粒度に応じて選択の要がある。衝撃式粉碎機は、破碎比、粒度分布の範囲等がいろいろに調整でき、いわゆる多用途ミルとしての便利さを特徴とする。一方ジョーは全く反対にわずか Slit (プレート 間隙) の調節が可能なのみで、破碎比や粒度分布を変化させることはできないが、破碎産物の粒度範囲が狭く (R-R-B 線図によれば粒度分布指数の炭種平均 0.67~0.93 で、他の、たとえばエッジランナーにおける 0.53 より大きい)、微粉化される部分が僅少であり、目的粒度がおもに 1~2 mm であり、大きい処理能力を要求しないときは好ましい機種ということができる。

終わりにのぞみ、種々有益なご助言を賜つた秋田大学鉱山学部大塚一雄氏、東京大学工学部今泉常正氏、本場経営部栗屋仁志氏に厚くお礼申し上げる。また、実験材料入手に際し林野庁林産課担当官各位に、実験遂行上、林産化学部木炭研究室の各位に、破碎実験および破碎機使用にあつて東京ガス総合研究所および奈良機械製作所の各位の熱心なご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表したい。

#### 文 献

- 1) 三浦伊八郎：薪炭学考料共立出版、(1943) p. 410.
- 2) 岸本定吉：林業試験場研究報告、65、(1953) p. 135.
- 3) 日本林業技術協会編：林業百科事典、丸善書房、(1961) p. 879.
- 4) 今泉常正：選炭、7、31、(1957) p. 254.
- 5) 赤尾孝太郎・佐藤金一・大塚一雄：日本鉱業会誌、75、853、(1959) p. 445.
- 6) CLYDE, Orr, Jr. and J. M. DALLAVALLE: Fine Particle Measurement, The Macmillan Co., New York, (1959) p. 31.
- 7) HERDAN, G.: Small Particle Statistics, Elsevier Publishing Co., Amsterdam, (1953) p. 121~124.
- 8) 森 芳郎：新化学工学講座 IV-1、粉体工学、日刊工業新聞社、(1958) p. 15
- 9) 化学工業社：化学工業臨時増刊、工場操作、粉碎編、(1960) p. 2
- 10) 大塚一雄：著者宛の書簡、(1961)
- 11) 今泉常正：石灰石、第 25 号、(1953) p. 2

### On the Grindability of Commercial Charcoal.

Fusako ABE

(Résumé)

A study on the grindability of commercial charcoal was made with several crushers, particularly, a jaw crusher.

Thirty three (33) specimens of white charcoal of *Quercus* spp. and black charcoal of the same spp., and charcoal of *Castanea crenata* and *Pinus* sp. by hardness and carbonization (indicated by the patented tester, so-called "Charcoal Refining Tester") were prepared. Some analytic values were determined on these specimens. Then, they were crushed by a jaw crusher and screened with 5, 10, 20, 60, 100 and 200-mesh sieves. The straight line was obtained (except *Pinus* sp.) when the distributions of crushed charcoal particles were plotted on ROSIN-RAMMLER-BENNET graph (see Fig. 5 in the text), and the average diameter of the particle in mm can be determined by HEYWOODS' equation (see the equation (3) in the text).

Assuming that a given value of the average diameter of the particle indicates the extent of the grindability, a comparison was made among measured values and a study on the correlation among grindability and characteristics of charcoal was made. The conclusion thus obtained is as follows :

- i) In common charcoal, the more the carbonization, the easier the grindability.
- ii) The higher the hardness or the porosity of the charcoal, or the lesser the apparent density of the charcoal, the easier the grindability.
- iii) It is difficult to analogize the grindability from the specific gravity.
- iv) The average value of the grindability by the wood-stuff and the amount of dust charcoal produced in the package are correlated, i. e., charcoal easily crushed by a jaw crusher is found heavily crushed in pieces when a consumer opens the end of the package for use.
- v) The reduction ratio of charcoal was determined by various crushers. The ratio thus obtained is 3~4 by a jaw crusher, 26~58 by an edge runner, 5 by a hammer crusher and 10 to 48 by a single runner attrition mill.
- vi) When the distribution of weight percentage of crushed charcoal particles was examined on various crushers, because of the fact that the minimum was found between 60 to 100 mesh size in every machine, it is presumed that there is a possibility of selective crushing according to internal different constituent of charcoal.