タワーミルによる石灰石の微粉碎*

森 祐 行**・原

剛**

Pulverization of Limestone by the Tower Mill Pulverizer

Sukeyuki MORI and Tsuyoshi HARA

Limestone was pulverized by the Tower Mill Pulverizer in dry batch and semi-continuous systems under various conditions in order to examine the characteristics of the pulverizing system. It was found that the system was characterized by an air flow rate which is induced by the blower mounted to the pulverizer for conveying the pulverized products, and the rate was affected by the number of revolutions (N_R) of the blower and the weights of limestone (W_L) and steel ball (W_B) in the pulverizer. The increased value of N_R and the decreased values more than the optimum ones of W_L and W_B respectively increased the weight of the pulverized product. The increased values of N_R and W_B and the decreased value of W_L respectively decreased the weight percent of the $-10\ \mu\text{m}$ particles in the product. While the increased value of N_R caused an increase in the electricity consumption of the motor of the blower, it decreased that of the pulverizer, and the increased value of W_B increased that of the pulverizer. The minimum values of the total electricity consumption per unit weight of the pulverized product and per unit weight of the $-10\ \mu\text{m}$ product were 0.0494 and 0.527 kWh/kg with the respective capacities 23.6 and 2.25 kg/h, respectively.

1. は じ め に

石灰石は我国唯一の自給鉱物資源であるが、現在、年産約1億7千万トンのうちの約85%はセメント用や鉄鋼・精錬用、道路用、コンクリート骨材用等、単価の安い用途に使われている¹⁾。しかし、鉱床によっては純度と白色度が高く質の良い石灰石が得られるので、そのような鉱石は多少手を加えても付加価値を高くして利用することが望ましい。その一方法として工業用フィラーへの利用が考えられ²⁾、現在、製紙関係においては、従来のカオリン粘土に代る中性紙用でん料および塗土顔料としての炭酸カルシウムの利用が注目されている³⁾。

このようなことから、著者等は石灰石を安価に大量に微粉碎する技術の確立が必要と考え、タワーミルを用いた石灰石の粉碎試験を行い、その一部を報告した^{4,5)}。今回は、今までの実験をまとめ直すと共に、その後の実験で明らかになった粉碎結果に影響する要因と、どのような条件でどの程度の粉碎が行われるのかを報告する。

2. 粉 碎 機 の 選 定

粉碎機として乾式タワーミル（日本タワーミル製 VD-1 型）を使用した⁶⁾が、その機種を選定に至る経過は次の通りである。本研究に着手した1978年時点において微粉碎用の粉碎機を開発していたメーカー数社に同一試料（開口幅7mmにセートしたジョークラッシャーで破碎した⁷⁾戸高鉱業社、戸高津久見鉱山産石灰石）を送り各社の粉碎機で粉碎試験をしていただいた。各社それぞれの方法で粉碎された粉碎産物について、著者等の方法による走査電子顕微鏡を用いた粉体粒度分布測定法および著者等の開発した沈降天秤式粉体粒度分布測定装置によって粒度分析を行った⁸⁻¹⁰⁾。各社から送られてきた粉碎試験データと著者等の粒度分析のデータをもとに、処理量、イニシャルコスト、ランニングコストを比較検討し、本研究の目的に合致するものとしてタワーミルを選んだ。

3. 実 験 方 法

実験に使用したタワーミル（VD-1）の模式図を図1に示す。この装置は円筒形の粉碎塔本体①（直径 260 mm、高さ 1,800 mm）と粉碎産物を塔外に排出させるための

* 昭和61年3月13日、破碎・粉碎の新技术に関するシンポジウム（日本鉱業会関西支部主催、本会共催）にて発表

** 九州大学工学部資源工学科
昭和61年3月10日受理

図1 タワーミル粉碎機の模式図

送風機〔プレートファン⑥、プーリー⑦、変速機⑧、モータ⑨ (2.2 kW)〕およびサイクロン② (300 mmφ) から成っている。本体上部のたて形ギヤードモータ⑤ (0.75 kW) によって塔内のスクリー③を回転 (85 rpm) させながら粉碎媒体 (アルミナボールあるいはスチールボール) を塔内に充填する。次いで、試料を給鉱口④から投入すると、試料はスクリー③の回転によって粉碎媒体と共に塔内を上下に移動し、ボールと試料相互間の摩砕作用で粉碎される。粉碎産物は送風機で塔内に送り込まれている気流によって本体上部から排出され、サイクロンで捕集される。塔内の気流は系外に出ることなく循環しており、その速度は送風機の回転数を変化させることによって変えられる。一方、この速度は塔内に存在する粉碎媒体や試料の量にも影響されるので、速度を直接測定する必要がある。しかし、現在まだ、その装置を取りつけていないので間接的な方法として、粉碎塔本体とサイクロン間の通路の上部壁面に小孔をあけ、その小孔と傾斜管マノメータをビニールパイプ⑩で繋ぎ、通路内部の圧力 (静圧) を測定した。そして、この静圧をもって塔内の気流速度を表わす一つの尺度とした。粉碎に要した消費電力は、瞬間電力値を交流電力用トランスジューサ (横河電気㈱製 Type 2285-21) を通して記録計で記録し、その値を積算 (数値計算) することによって積算電力を求めた。

試料は、戸高津久見鉱山産の人頭大の塊状石灰石を肉眼的に微晶質と結晶質に分け、ジョウクラッシャーで破砕し、3.36 mm~420 μm (6~36 mesh) でふるい分けを行い、微晶質石灰石の整粒試料を作製した。

粉碎媒体としてはアルミナボール (比重 3.64, 直径 21.1 mm, 日本特殊陶業㈱製) およびスチールボール (比

重 7.56, 直径 20.8 mm) を用いた。

粉碎産物の最大粒子径は光学顕微鏡 (日本光学㈱製ニコンアポフト) および走査電顕 (日本電子㈱製 JXA-50 A) を用いて投影面積円相当径¹¹⁾を求めた。粉碎産物の粒子径分布は著者等が開発した沈降天秤式粉体粒度分布測定装置 (協和科学㈱製, 試作 3 号機) で測定した^{7~10)}。なお、1983 年以降は、測定精度を上げるために粉碎産物をふるい分けし、37 μm ふるい下産物を沈降天秤にかけた。

4. アルミナボールとスチールボールの比較

実験当初、粉碎産物への鉄粉の混入を防ぐ目的で粉碎媒体としてアルミナボールを使用した。その後、試しにスチールボールを使用して見たところ、運転開始後しばらくは鉄粉による黒味があった産物が得られたが、試料を多量に入れ長時間運転しているうちに白い産物が得られた。そこで、塔の内部を点検してみると、ボールの表面や塔内の壁面、スクリー③の表面が粉碎された石灰石で被覆されてしまい、その表面の粉末が除かれない限り鉄粉の混入は心配なくてよいことがわかった。両者を比較するために同一条件 (送風機回転数 888 rpm, 試料重量 2 kg, 粉碎時間 30 min) で粉碎試験を行った。その結果を表 1 に示す。ボールの重量はいずれも 40 kg であるが、アルミナボールについてはスチールボールと体積が同じになるように 19.2 kg についても行った。両者を比較するとスチールボールの方が微粒子の割合は少ないが、粉碎産物重量が多く、結果として粉碎産物単位重量当りの消費電力が小さくなっており、経済的に有利であることがわかった。従って、以後の実験はスチールボールを用いて行った。

5. バッチ式運転による粉碎試験結果

5.1 実験条件

タワーミルにおいてコントロールできる要因として、送風機回転数、試料重量および媒体重量があげられる。これらの要因が粉碎結果にどのような影響を与えるかを知らするためにバッチ運転で粉碎試験 (粉碎媒体: スチールボール) を行った。その実験条件を表 2 に示す。実験は試料を 1 回だけ投入し、粉碎産物がとれなくなるまで継

表1 アルミナボールとスチールボールの比較

媒体材質	媒体重量 kg	粉碎産物 重量 kg	粉碎産物中 -10μm 量当り消費 電力の割合 %	産物単位重 量当り消費 電力 kWh/kg
スチール ボール	40.0	0.612	21.0	1.02
アルミナ ボール	40.0 19.2	0.538 0.452	22.0 24.2	1.14 1.16

表2 バッチ式粉砕試験の実験条件
(粉砕媒体: スチールボール)

媒体重量 kg	試料重量 kg	送風機回転数 rpm
40	2	348 529 707 888 1090 1260 1440
40	2 3.5 5 10	1260
20 40 60 80 100	5	1260

図2 粉砕産物重量に対する各要因の影響

続したが、実験結果の比較ができるように、30分毎に機械を止めて粉砕産物を取り出した。以下に示す実験結果は最初の30分間の粉砕結果である。

5.2 粉砕産物重量に対する各要因の影響

送風機回転数、試料重量および媒体重量の各要因が粉砕産物重量に与える影響を図2に示す。図の左からそれぞれ、送風機回転数、試料重量および媒体重量の1要因だけを変化させ、他の2要因を一定にして実験した結果である。図には粉砕産物重量(○印)と粒径分布測定結果から求めた $-10\mu\text{m}$ 粒子重量(△印)を一緒に示している。これらの結果から次のようなことがわかった。
①産物重量と $-10\mu\text{m}$ 粒子重量の変化は同じような変化を示しており、産物重量が増加すれば微粒子の重量も増加する。
②送風機回転数を増すと産物重量は増加する。
③試料重量を増すと、3.5 kg で最大となり、さらに試料重量を増すと産物重量は減少する。
④媒体重量は 40 kg の時最大で、さらに媒体重量が増すと産物重量は減少する。

図3 消費電力に対する各要因の影響

5.3 消費電力に対する各要因の影響

各要因が消費電力に与える影響を図3に示す。図の左からそれぞれ、送風機回転数、試料重量および媒体重量の影響を示し、図には粉砕機のみ(P)、送風機のみ(B)、およびその両者を加えた全体(P+B)の消費電力を示している。これらの結果から次のようなことがわかった。
①送風機回転数が増すと送風機の消費電力が増し、全体の消費電力が増す。
②試料重量を増しても消費電力はあまり変わらない。
③媒体重量を増すと粉砕機の消費電力が増し、全体の消費電力が増す。

5.4 粉砕産物単位重量当りの消費電力に対する各要因の影響

各要因が粉砕産物単位重量当りの消費電力に与える影響を図4に示す。これらの図から次のことがわかった。粉砕産物単位重量当りの消費電力は①送風機回転数が増すと増加し、②試料重量については、3.5 kg の時に最低

図4 粉砕産物単位重量当り消費電力に対する各要因の影響

で、さらに試料重量を増すと増加し、③媒体重量については 40 kg の時に最低で、さらに媒体重量を増すと増加する。図に示された条件内で各要因を調べると、媒体重量の影響が 1 番小さく、次いで試料重量、送風機回転数となっている。なお、これらの図の中の最小値は媒体重量 40 kg、試料重量 3.5 kg、送風機回転数 1260 rpm のとき粉砕産物単位重量当りの消費電力 0.33 kWh/kg である。

5・5 粉砕産物中の微粒子の割合と各要因の関係

粉砕産物中の $-10\mu\text{m}$ 粒子の重量割合 (○印) および粉砕産物のメディアン径 (Δ 印) の関係を図 5 に示す。図から次のことがわかった。①送風機回転数が増すと $-10\mu\text{m}$ 粒子の割合は減少し、メディアン径は大きくなる。②試料重量が増すと $-10\mu\text{m}$ 粒子の割合は増加し、メディアン径は小さくなる。③媒体重量が増すと $-10\mu\text{m}$ 粒子の割合は減少し、メディアン径は大きくなる。

5・6 気流の静圧と各要因の関係

塔内気流の流速を示す間接的数値として図 1 に示す場所で気流の静圧を測定した。気流の静圧と各要因の関係を図 6 に示す。図の○印は静圧の平均値 (平均静圧) を、○印を挟む縦線は静圧の最小値と最大値 (最大静圧) の

図 5 粉砕産物中の微粒子の割合と各要因の関係

図 6 気流の静圧と各要因の関係

図 7 静圧と粉砕産物の粒子径の関係

幅を示す。送風機回転数が増すと静圧も増す。試料重量と媒体重量については、各々が増すと静圧は減少する。これは送風機回転数が増すと気流の流速が速くなり、塔内の試料と媒体が多くなれば抵抗が大きくなり流速が遅くなることを示している。

5・7 静圧と粉砕産物の粒子径の関係

粉砕産物の粒径と塔内気流の流速の関係を知るために、産物の最大粒径、メディアン径および $-10\mu\text{m}$ 粒子の割合と静圧の関係を調べた。その結果を図 7 に示す。図の○印、 Δ 印および□印は各々、送風機回転数、試料重量および媒体重量をパラメータとして得られた結果を示す。左端の図から、最大静圧が大きく (気流の流速が速く) なければ産物の最大粒径が大きくなる事がわかる。中央と右端の図から、送風機回転数 (○印) と試料重量 (Δ 印) をパラメータとした場合、平均静圧が大きく (気流の流速が速く) なければ $-10\mu\text{m}$ 粒子の割合は少なくなり、メディアン径が大きくなる事がわかる。しかし、媒体重量をパラメータとした場合 (□印) にはそれと逆の結果が得られた。

6. 半連続式運転による粉砕試験結果

6・1 実験条件

バッチ式試験の結果、媒体重量は粉砕結果に対して比

表 3 半連続式粉砕試験の実験条件
(スチールボール 40 kg, ○印で実験)

初期投入 試料重量	送風機回転数 (rpm)								
	707	888	1090	1260	1440	1630	1780	2080	2370
3.5kg	○	○	○	○	○				
5				○	○	○	○	○	○
6					○	○	○	○	
7						○	○	○	
8							○	○	
9							○	○	
10							○	○	
11							○	○	

較的影響が少なく、実験条件としてコントロールし難い要因であることがわかったので、媒体（スチールボール）重量を一定（40 kg）とし、送風機回転数と初期投入試料重量の2要因を変化させて半連続式運転（10分毎に試料を補給する方法）による粉砕試験を行った。その実験条件を表3に示す。

6・2 10分毎のフィード（補給）量の決定

バッチ式試験と同じように、実験開始時にある一定量の試料（初期投入試料重量）を投入し、粉砕を開始すると粉砕の進行につれて塔内の試料は減少していく。そこで、その減少量と同じ量の試料をフィード（補給）すれば連続運転になる。しかし、当研究室ではまだ、その段階に至っていないので、今回は、10分間で取り出された産物重量と同じ量の試料を間歇的（10分毎）にフィードするという半連続式）間歇フィード、連続運転）の粉砕試験を行った。10分毎のフィード量を決める方法を図8で説明する。図8は粉砕時間と粉砕産物の積算重量を示したものである。直線Aは初期投入試料重量6 kg、送風機回転数1630 rpmの場合である。まず、試料6 kgを塔内に投入し、10分間粉砕を行い、産物重量 P_1 kg を求める。次いで、その10分間の産物重量である P_1 をフィードして10分間粉砕し、産物重量 $P_2 - P_1$ を求める。さらに、 $P_2 - P_1$ をフィードして10分間粉砕し、その時の産物重量 $P_3 - P_2$ を求める。最後に $P_3 - P_2$ と $P_2 - P_1$ の平均値を10分毎のフィード量として機械を止めて30分間粉砕を継続し、30分間の粉砕産物重量 $P_4 - P_3$ を求めた。

直線B（初期投入試料重量3.5 kg、送風機回転数1260 rpm）は30分以後も10分毎に機械を止めて産物重量を測

図8 半連続式粉砕試験結果の1例

図9 粉砕産物重量に対する2要因の影響（半連続30分粉砕、スチールボール40 kg）

定したものであるが、直線A、Bともに10分以後はよい直線関係が得られているので、10分毎のフィード量が適切であったと考えられる。一方、直線C（初期投入試料重量5 kg、送風機回転数1260 rpm）はよい直線関係が得られていないので、10分毎のフィード量が適切でなかったと考えられる。

このような方法で粉砕試験としては60分間行ったが、実験結果をまとめる際には、バッチ試験との比較も考慮し、図8の P_3 から P_4 までの30分間の連続運転（10分毎の間歇フィード）の結果を用いた。

6・3 粉砕産物重量に対する2要因の影響

送風機回転数および初期投入試料重量と粉砕産物重量の関係を図9に示す。図は、粉砕媒体40 kgで10分毎に試料をフィードし、30分間連続運転して得られた粉砕結果である。左の図は、送風機回転数を横軸に初期投入試料重量を一定（ $\Delta=3.5$, $\circ=5$, $\square=6$, $\times=7$, $\odot=8$, $\nabla=9$, $\bigcirc=10$, $\star=11$ kg）にして描いた図である。右の図は、初期投入試料重量を横軸に送風機回転数を一定（ $\odot=707$, $\bigcirc=888$, $\star=1090$, $\diamond=1260$, $\nabla=1440$, $\times=1630$, $\square=1780$, $\bigcirc=2080$, $\Delta=2370$ rpm）にして

図10 消費電力に対する2要因の影響（半連続30分粉砕、スチールボール40 kg）

描いた図である。図から、バッチ試験で得られた結果と同じように、送風機回転数を増すと産物重量が増し、初期投入試料重量には極大値があることがわかる。

6.4 消費電力に対する2要因の影響

図10に送風機回転数（左図）および初期投入試料重量（右図）の消費電力に対する影響を示す。図中の印は図9の印と同一で、Pが粉砕機のみ、Bが送風機のみ、P+Bがその両者を加えた全体の消費電力である。図から、バッチ試験の結果と同じように、消費電力は初期投入試料重量にあまり影響を受けず、送風機回転数に大きく影響を受け、送風機回転数が増すと、粉砕機の消費電力は減少し、送風機の消費電力は増加することがわかる。

6.5 静圧に対する2要因の影響

図11に送風機回転数（左図）および初期投入試料重量（右図）が気流の平均静圧に与える影響を示す。図中の印は図9、10の印と同一である。図からバッチ試験の結果と同じように、送風機回転数が増すと、平均静圧が増し、初期投入試料重量が増すと平均静圧は減少することがわかる。

6.6 静圧と粉砕産物重量の関係

気流の静圧には送風機回転数と初期投入試料重量の両方が関与することがわかったが、粉砕結果にたいする静圧の影響を確認するために、静圧と粉砕産物重量の関係

図11 気流の静圧と2要因の関係（半連続30分粉砕，スチールボール 40 kg）

図12 静圧と粉砕産物重量の関係（半連続30分粉砕，スチールボール 40 kg）

図を描いた。その結果を図12に示す。左図が送風機回転数一定（ $\odot=707$, $\bullet=888$, $\star=1090$, $\diamond=1260$, $\nabla=1440$, $\times=1630$, $\square=1780$, $\circ=2080$, $\triangle=2370$ rpm）の点を、右図は、初期投入試料重量一定（ $\triangle=3.5$, $\circ=5$, $\square=6$, $\times=7$, $\odot=8$, $\nabla=9$, $\bullet=10$, $\star=11$ kg）の各点を結んだグラフである。左図に示されるように、送風機回転数を一定にした場合、グラフに極大値がみられる。また、右図に示されるように、初期投入試料重量を一定にした場合、平均静圧が増すと、粉砕産物重量も増すことがわかる。左右の図における各点は同一の点にプロットされているのであるが、このようにパラメータのとり方で全く異なったグラフが描かれる。左図のように、平均静圧を横軸にとってデータを整理することで視覚的に分かり易いグラフがえられることがわかった。

6.7 静圧と粉砕産物の粒子径の関係

図13に気流の最大静圧と粉砕産物の最大粒子径（左図）、平均静圧と粉砕産物のメディアン径（中央の図）および平均静圧と産物中の $-10\mu\text{m}$ 粒子の重量割合（右図）の関係を示す。左図から、最大静圧が大きくなると最大粒子径が大きくなる。また、バッチ試験の

図13 静圧と粉砕産物の粒子径の関係（半連続30分粉砕，スチールボール 40 kg）

図14 静圧と産物中の $-10\mu\text{m}$ 粒子重量の関係 (半連続30分間粉碎, スチールボール 40 kg)

結果から予測されることであるが、半連続試験では媒体重量を一定にしているため、図7における媒体重量の影響がなくなっており、平均静圧が大きくなるとメディア径(中央の図)が大きくなり、産物中の $-10\mu\text{m}$ 粒子の重量割合(右図)が減少する。

6・8 静圧と $-10\mu\text{m}$ 粒子重量の関係

気流の静圧と $-10\mu\text{m}$ 粒子重量の関係を図14(左図: 送風機回転数一定, 右図: 初期投入試料重量一定, 図中の印は図12と同一)に示す。図から、 $-10\mu\text{m}$ 粒子重量に極大値があることがわかる。

6・9 静圧と消費電力の関係

気流の平均静圧と消費電力の関係を図15(左図: 送風機回転数一定, 右図: 初期投入試料重量一定, 図中の印は図12と同一)に示す。Pが粉碎機のみ, Bが送風機のみ, P+Bがその両者を加えた全体の消費電力である。図15の左図は図10の左図よりも分かり易い図となっており、送風機回転数が増すと平均静圧が大きくなり、粉碎機の消費電力が減少し、送風機の消費電力が増大することがわかる。

6.10 静圧と粉砕産物単位重量当り消費電力の関係

気流の平均静圧と粉砕産物単位重量当り消費電力の関

図15 静圧と消費電力の関係 (半連続30分間粉碎, スチールボール 40 kg)

図16 静圧と粉砕産物単位重量当り消費電力の関係 (半連続30分間粉碎, スチールボール 40 kg)

係を図16(左図: 送風機回転数一定, 右図: 初期投入試料重量一定, 図中の印は図12と同一)に示す。図から、静圧が大きくなると粉砕産物単位重量当り消費電力は小さくなるのがわかる。なお、図の中での最小値は粉砕産物単位重量当り消費電力 0.0494 kWh/kg , 平均静圧 22.0 mmAq の点で、送風機回転数 2080 rpm , 初期投入試料重量 9 kg , 30分間の粉砕産物重量 11.798 kg , 粉砕産物の最大粒子径 $520\mu\text{m}$, メディア径 $58\mu\text{m}$, $-10\mu\text{m}$ 粒子の重量割合 8.0% , 30分間の $-10\mu\text{m}$ 粒子重量 0.944 kg , $-10\mu\text{m}$ 粒子単位重量当り消費電力 0.617 kWh/kg である。

6・11 静圧と $-10\mu\text{m}$ 粒子単位重量当り消費電力の関係

気流の平均静圧と $-10\mu\text{m}$ 粒子単位重量当り消費電力の関係を図17(左図: 送風機回転数一定, 右図: 初期投入試料重量一定, 図中の印は図12と同一)に示す。図から、静圧が大きくなると $-10\mu\text{m}$ 粒子単位重量当り消費電力は小さくなるのがわかる。なお、図の中の最小値は $-10\mu\text{m}$ 粒子単位重量当り消費電力 0.527 kWh/kg , 平均静圧 19.3 mmAq の点で、送風機回転数 2080 rpm , 初期投入試料重量 10 kg , 30分間の粉砕産物重量

図17 静圧と $-10\mu\text{m}$ 粒子単位重量当り消費電力の関係 (半連続30分間粉碎, スチールボール 40 kg)

11.621 kg, 粉碎産物の最大粒子径 480 μm , メディアン径 51 μm , $-10\mu\text{m}$ 粒子の重量割合 9.7%, 30分間の $-10\mu\text{m}$ 粒子重量 1.127 kg, 粉碎産物単位重量当り消費電力 0.511 kWh/kg である。

7. ま と め

タワームル粉碎機を用いて石灰石のバッチおよび半連続（間歇フィード，連続運転）乾式粉碎試験を行い，粉碎に影響する各種の要因を調べ，以下のことがわかった。

(1) 粉碎産物の質と量は粉碎産物を排出するために送り込まれる空気の流れ（静圧）に影響を受け，その流速は送風機の回転数，粉碎筒内に存在する試料の重量および粉碎媒体の重量の3要因に規定される。

(2) 粉碎産物の最大粒子径は気流の最大静圧が大きくなると大きくなる。また，気流の平均静圧が大きくなると産物のメディアン径が大きくなり，産物中の $-10\mu\text{m}$ 粒子の重量割合は少なくなる。

(3) 粉碎産物重量に対する3要因の影響をみると，送風機回転数が増すと産物重量も増すが，試料重量と媒体重量については最適値が存在し，その値以上の重量では産物重量が減少する。

(4) 粉碎産物中の $-10\mu\text{m}$ 粒子の重量割合に対する3要因の影響をみると，送風機回転数と媒体重量が増すとその割合は減少するが，試料重量が増すとその割合は増加する。

(5) 消費電力に対する3要因の影響をみると，送風機回転数が増すと送風機用モータの消費電力は増加するが，粉碎機用モータの消費電力は減少する。また，媒体重量が増すと粉碎機用モータの消費電力が増加する。

(6) 今回の実験における，粉碎産物単位重量当り消費電力の最小値は 0.0494 kWh/kg（処理量 11.798 kg/30 min）であり， $-10\mu\text{m}$ 粒子単位重量当り消費電力の最小値は 0.527 kWh/kg（処理量 1.127 kg/30 min）である。

謝 辞

試料の提供をはじめ本研究のために色々と協力載いた

神戸高鉱業社の関係者の皆様に厚くお礼申し上げると共に，本研究に携われた九州大学名誉教授麻生欣次郎氏ならびに同大学工学部資源工学科河本徳氏，昭和55～59年度の同学科学生鈴木啓文氏，弓削誠氏，喜多浩人氏，古田賢治氏，齊藤秀二氏，中国政府派遣研究員（株州選炭工場）張徳威氏の各氏に感謝の意を表する。

参 考 文 献

1. 通商産業大臣官房調査統計部編：資源統計年報（1984），通産統計協会，東京，1985，p. 7.
2. 笠井順一：無機フィラーとしての炭酸カルシウム，石膏と石灰，No. 198，1985，pp. 243-244.
3. 網田佳代子，松井 博，尾野凱生，橋詰源蔵：紙用フィラー，一二，三のフィラーの特性とその分析一，石膏と石灰，No. 198，1985，pp. 278-289.
4. 麻生欣次郎，森 祐行，原 剛，河本 徳：石灰石の微粉化に関する研究，浮選，29巻，4号，1982，pp. 168-177.
5. 原 剛，森 祐行，河本 徳，麻生欣次郎：タワームルによる石灰石の微粉化，日本鉱業会誌，102巻，1176号，1986，pp. 91-95.
6. 麻生欣次郎，森 祐行，堤 敦，久留秀蔵，中江保男，原 剛：走査電顕による粉体の粒度分布測定，浮選，26巻，1号，1979，pp. 7-15.
7. S. Mori, H. Okamoto, T. Hara, K. Aso: Flocculation and Dispersion Properties of Quartz and Fluorite Particles in Suspension, Colloids and Surfaces, Vol. 14, No. 2, 1985, pp. 109-120.
8. 森 祐行，原 剛，高木博志，麻生欣次郎：沈降天秤式粉体粒度分布測定装置の開発，日本鉱業会誌投稿中。
9. 原 剛，森 祐行，麻生欣次郎：沈降天秤（試作3号機）による微粉タンカルの粒度分布測定，日本鉱業会昭和54年度春季大学講演要旨集，1979，pp. 57-58.
10. 原 剛，高本博幸，森 祐行，麻生欣次郎：沈降天秤（試作3号機）による微粉タンカルの粒度分布測定（第2報）一分散剤の選定および最終沈積量の検討一，日本鉱業会昭和56年度春季大会講演要旨集，1981，pp. 229-230.
11. 粉体工学研究会編：粒度測定技術，日刊工業新聞社，東京，1975，p. 5.