HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	形態学的特徴による粒形の比較と粒子の熱処理変形の検討
Author(s)	柴田, 俊春; 傅田, 淳; 山口, 賢治
Citation	北海道大學工學部研究報告, 142, 61-66
Issue Date	1988-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42134
Type	departmental bulletin paper
File Information	142_61-66.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学工学部研究報告
第142号（昭和63年）

Bulletin of the Faculty of Engineering,
Hokkaido University. No. 142 (1988)

形態学的特徴による粒形の比較と粒子の熱処理変形の検討

柴田　俊春　傳田　　淳　山口　賢治

（昭和63年6月30日受理）

A Shape Comparison of Particulates and Descriptions of Thermally Deformed Ones by their Morphological Characteristics

Toshiharu SHIBATA, Atsushi DENDA, Kenji YAMAGUCHI

(Received June 30, 1988)

Abstract

The Fourier sine method in a half interval was well applied to contour analysis of particulate groups such as sharpedged sand, blocky coal, rounded ash of the coal and crushed acrylic ruptures for classification and characterization of shapes.

Bulk materials of coal and of the acrylic rupture, which were not small and had certain decision points, were thermally deformed and morphologically traced. The result showed in-lined changes along a characteristic axis but rather unexpected deformations such that initial irregularity resulted in complex contours and vice versa.

1．緒　　言

粉粒体の反応，溶解，凝集などの扱いで着目化学種の移動，反応による組成変化は第一義的であるが，これに加え変化が表面積に依存したり，表面での角張り，凹凸などの形態学的な構成も重要である。これら角張り，凹凸などは二次元的な粒子輪郭情報にも含まれるものであり，この指標化と特徴抽出が必要になるであろう。輪郭形状の指標化に関する研究は必ずしも新しいものではないが，最近の計算機の普及によりその数が急増しつつある。それらのうち代表的なものは旧来からのフーリエ変換による係数列の利用と，最近注目を集めているフラクタル次元によるものがある。Fong-Beddow-Vetter[1]は化学的溶解によって生じた粒子形状の変化を伴う粒の解析にフーリエ変換を適用した。化学処理は濃塩酸水を入れた塔中での亜鉛粒子の沈降時変化追跡である。いっぽうフラクタル次元の解析によるものとしてはKaye[2,3]による一連の研究，Normand-Peleg[4]によるインスタントコーヒー凝集粒子の解析がある。また最近，Clarkら[5,6]はフラクタル解析結果が形の局部的情報の提示に限られるとしてフラクタルハーモニックスの考え方をしめしている。これは大局的には調和解析をふくみ，微視的にはフラクタル情報を含めることが可能としている。

形状が複雑化すると動径のフーリエ変換による追跡では十分詳細な処理が出来なくなる場合も生ずる。著者らは素描的処理でも十分多くの内容を盛り込むことが可能と考えて，フーリエ変換

応用化学科　応用化学第一講座

に着目している。本報告は広い意味での粉粒体，実際には石炭の小塊粒子，アクリル破砕物を試料とし，加熱処理をすることによっての形，大きさの変化，粒子が石炭とその灰，あるいは砂と比較した際の形状の差異と特徴，異種粒子の識別可能性，さらに形状解析に有効な指標の探索などの点に問題意識を持って検討を加えた。

2．解　析　法

解析手続きは粒子輪郭を求め，これの重心からの動径曲線をフーリエ解析した。フーリエ変換は著者らが提案している半区間展開型である。粒子輪郭図形の重心を原点に置き，輪郭図形の短径に直交する長軸を基軸に合わせた。このときの偏角-距離の関係 $f(t)$ を変換することで係数は次式を用いて求められる[7]。

$$A_k=\frac{1}{N}\sum_{t=0}^{N-1} f(t)\cos\frac{\pi kt}{N},\quad B_k=\frac{1}{N}\sum_{t=0}^{N-1} f(t)\sin\frac{\pi kt}{N} \qquad (1)$$

$$k=0,1,2,3,\cdots\cdots N-1,(N)$$

$$f(t)=\frac{A_0}{2}+\sum_{k=1}^{N-1}\left(A_k\cos\frac{\pi kt}{N}+B_k\sin\frac{\pi kt}{N}\right)+\frac{A_N}{2}\cos\pi t$$

$$=2\left(\frac{A_0}{2}+\frac{A_N\cos\pi t}{2}+\sum_{k=1}^{N-1}A_k\cos\frac{\pi kt}{N}\right)2^{-\delta_{0t}}$$

$$=\left(\frac{A_0+A_N}{2}+\sum_{k=1}^{N-1}A_k\right)\delta_{0t}+2\sum_{k=1}^{N-1}B_k\sin\frac{\pi kt}{N} \qquad (2)$$

$$\delta_{0t}=1 \text{ at } t=0 \text{ and } \delta_{0t}=0 \text{ at } t=0$$

展開式は従来の t に関する半区間展開法と基本的に同じであり，添字を整数値から半整数値(整数＋0.5)に拡張したことに対応する。上式中Nは標本点数である。余弦係数列，正弦係数列は両方を用いても，あるいは片方を用いても図形の再現のうえでは十分な情報をもっていることは述べた[7]通りである。ここでも係数値は，部分的な一定性を有する場合を省くことで正弦係数列に注目する。加えて関数 $f(t)$ が一定に近いような，すなわち輪郭が簡単な円形状から大きく偏倚していない場合を一種の標準図形として準備する。すなわち，$f(t)=const=c$ として正弦係数 B_k を算定する。この場合の係数を B_k^0 とおいて(2)式より

$$B_k^0=(c/N)\sum_{t=0}^{N-1}\sin\frac{\pi kt}{N} \qquad (3)$$

k が偶数の時，B_k^0 は零になり，残りの級数和は三角級数の性質により次式のように簡単化される。

$$B_k^0=(c/N)/\tan((2k+1)\pi/(2N)) \qquad (4)$$

輪郭図形の特徴のいくつかはこれらの変換係数の組合せ，および傑出係数に表れてくる。

3．実 験 方 法

検討の対象とした粒子は熱処理で変質あるいは変形を受ける物質，具体的には破砕された太平洋炭からのチャー，およびその約50%反応物からなる粒子群，形にいくつかの特徴箇所がある比較的大きな同チャー塊，アクリル破砕物である。粒子群と対比する目的で一部のオリビン砂を追加した。解析は粒子集団としての挙動および粒子個々の形状変化の追跡の二つからなる。粒子集団についてはチャー，および50%反応物をそれぞれふるいで分級し，各粒度ごとの粒子画像から

20-30個を任意に選んで試料とした。一方個別粒子については撮像の後，石炭チャーについては450℃の電気炉で4-8分空気酸化，アクリル破砕物については約380℃で2分程度の部分溶融変形後に再度撮像し試料画面とした。なお粒子が形状特徴の大部分を失ってしまうと知見がえられないこと，ならびに電気炉での非連続的加熱という制約もあって，変形の過程の温度，時間調整の把握は十分なものではなく，変形化の手法には改良の余地を残している。

図形処理は粒子輪郭（粒子配置は重心通過の長軸（短軸）を基軸）等角度刻みに40点選び，重心からの距離をフーリエ解析した。

4．実験結果および考察

4-1　粒子群としての平均的特徴

試料とした石炭粒子の一例をFig. 1に示した。石炭は圭角的である。これらをフーリエ解析した。変換係数のうち正弦係数の例をFig. 2に示す。粒子種類の相違による係数比較のためにアクリル破砕物とオリビン砂も併記した。アクリル，オリビン砂は係数が大きくごつごつしている。石炭と灰

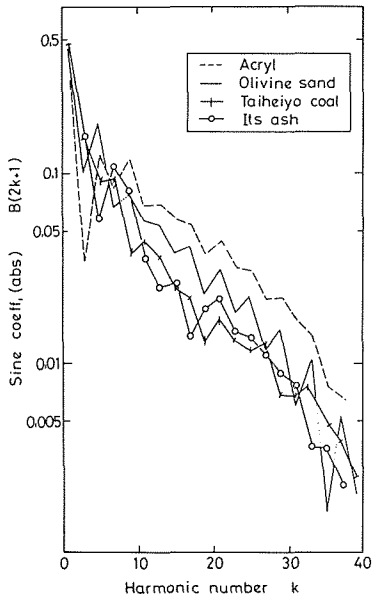

Fig. 2　Fourier sine coefficients for various particles -odd harmonic number-

と併記した石炭反応物は周波数の増加に連れて係数の大小に数ヶ所逆転しているのが特徴的である。Fig. 3に灰粒子の係数と粒径の関係を集団の平均値で示した。平均化のため値の上下の振れかたが少なくなっており，測定範囲のサイズの変化では形の大小を除いて大きな差異はない。わずか

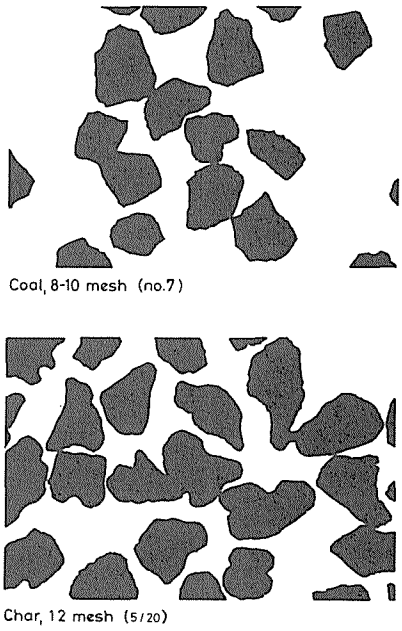

Fig. 1　Particle silhouettes

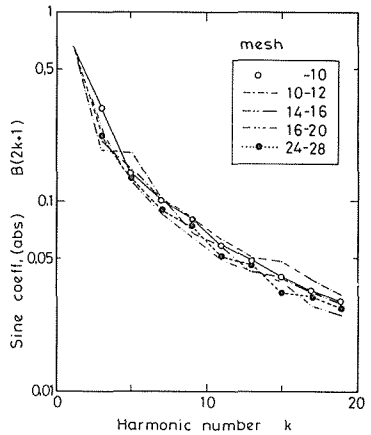

Fig. 3　Common nature for ash particles between different mesh sizes

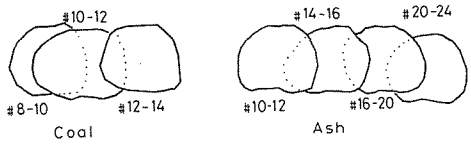

Fig. 4 Model shapes

に 10-12 メッシュでの 2 ヶ所にずれがある。Fig. 4 は変換係数を用いての平均形状の再生図である。石炭の方が圭角的であることは先の図と共通している。Fig. 5 は粒子の平均直径と周辺長の関係である。ここで平均直径とは粒子数での平均ではなく，粒子輪郭投影面積と正弦係数の 2 乗 $B_1^2=B(1)^2$ との比例関係から求めた一種の円相当径である。灰は角が取れていることとわずかな表面凹凸の増加がある。

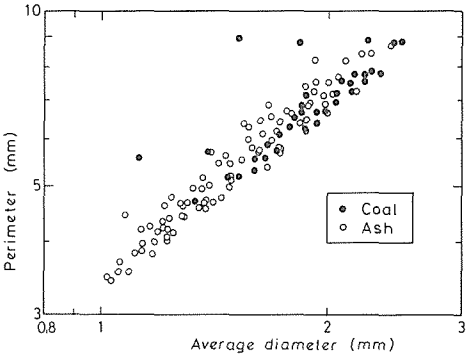

Fig. 5 Ruggedness of coal and its ash

4-2 個別粒子の熱変形による特徴変化

上述のように粒子種類によって異なる全体的な丸み，角ばりの特徴，および大きい振幅の成分が平均的にどこに表れるかを見た。ここでは個々の粒子を加熱することで表れた形状の変化を調べた。変形追跡に用いた試料を Fig. 6 に示す。C 8-1，2，A-1 は輪郭が滑らかな試料であり，C 10-2，3，A-4 はごつごつしているか，かさばった試料である。いずれも色塗が熱処理後のものである。これらをさきの場合と同様にフーリエ解析した。

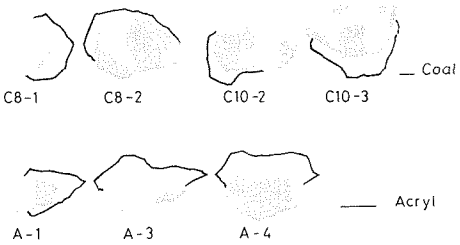

Fig. 6 Coal and acryl

Fig. 7 に正弦係数中，形の非対称性と輪郭の微細性を支配する偶数成分の和を基準にして形の凹凸性を示した。これは凹凸性基準の対称性でもある。加熱変形処理により，形のごつごつしていない試料は輪郭線全体の角張りが取れ，非対称成分減少という平滑化が図示相関線に添いながら進んでいる。アクリルでは特に変化が大きい。

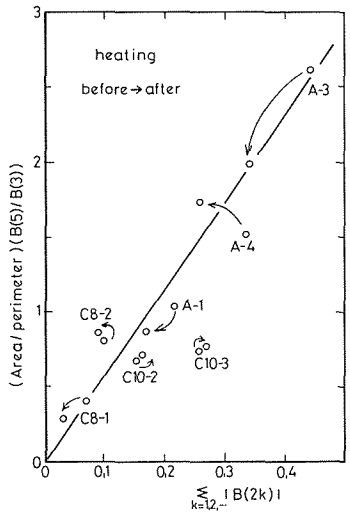

Fig. 7 Fine structure (asymmetry)

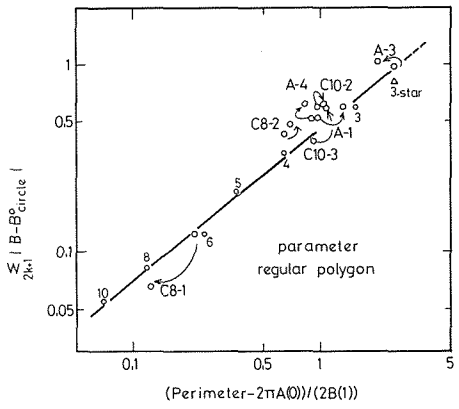

Fig. 8 Skeletal characteristics

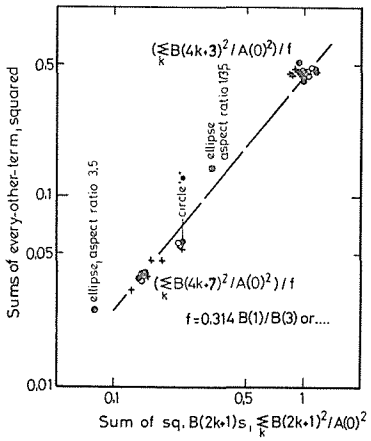

Fig. 9 A kind of Minowski's relation
—for estimation of shape irregularity—

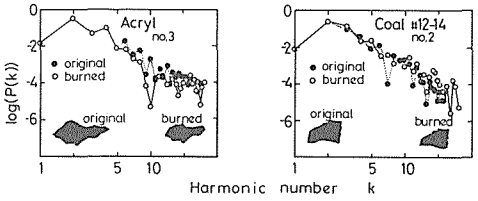

Fig. 10 Examples of a spectral analysis

Fig. 8 は（振動）形状の骨格的複雑さの指標化を目的にして導入される変換係数の抜取り部分和の関係を示した図である。ここで円（球）形は簡単な図形の代表であり，軸比が 1 でない楕円は円の複雑化した形状としてとらえられる。添字指標を変えた係数和の使用により傾向の明かな点列の構成と形の分類の可能性を示唆している。

Fig. 9 に骨格情報を持つ奇数調和成分を図示した。図中縦軸の値は先に求めた標準図形，円の係数との差を要素とした。この円の半径は余弦係数の最初の係数 $A_0=A(O)$ で近似した。図において縦軸値が小さくなるのは形状の角が取れて丸くなることを意味する。試料中 6 角形状の C 8 - 1 石炭粒子が加熱変形を受けて円形度を増したほかは何れも 3 - 4 角形に近い範囲にある。これは形の上では変化が小さかったことによる。

Fig. 10 は従来法のフーリエ解析からの合成係数の点綴である。熱処理前後で低周波の係数に差異はない。アクリルでは加熱で高周波の成分が小さくなり輪郭が平滑化し，逆に石炭では僅かながら輪郭が複雑化する傾向にあった。しかし点列勾配の差異を識別するのは困難であった。

5．結　　論

粒子の輪郭形状解析にフーリエ変換法を適用し，その知見に基づきある粒子集団の識別や特徴抽出を行う目的をもって，石炭，砂，アクリルの試料例を対比し，形態学的に区別，分類可能であることを示した。また石炭とアクリル粒子については熱変形を加えた実験結果を示した。

石炭熱処理（反応）後の灰に粒子群としては，粒径の相違で形態上の差異はないと考えられた。灰は石炭より輪郭の周辺長がいくぶんあがる。すなわち表面の肌理が荒れる。

個々の粒子では加熱変形の程度が大きくなかったので輪郭形状も 3 - 4 角形に留まり，正弦係数成分に大きな変化はなかった。偶数成分を見ると元の形状が簡単なものはさらに簡単化し，簡単でないものは複雑化を進める現象がみられた。しかしこれらは必ずしも永続的に対立するのではなく複雑な箇所は変形の進行につれて隣と連なり，みかけ上その時点で縁の形が簡単化する。一方滑らかな縁も部分的に侵食変形を交互に受けると予想される。

参考文献

1) Fong, S. T., Beddow, J. K. and Vetter, A. F. : Acid-Zinc Reaction Predictably Affects Particle Morpholory, Powder Techn., **23**, 187-190 (1979)
2) Kaye, B. H. : Multifractal Description of a Rugged Fineparticle Profile, Part. Charact., **1**, 14-21 (1984)
3) Kaye, B. H., Clark, G. G., Leblanc, J. E. and Trottier, R. A. : Image Analysis Procedures for Characterizing the Fractal Dimension of Fineparticles, Part. Charact., **4**, 63-66 (1987)
4) Normand, M. D. and Peleg, M. : Determination of the Fractal Dimension of a Particle Silhouette Using

Image-Processing Techniques, Powder Techn., **45**, 271-275 (1986)
5) Clark, N. N. : A New Scheme for Particle Shape Characterization Based on Fractal Harmonics and Fractal Dimensions, Powder Techn., **51**, 243-249 (1987)
6) Clark, N. N., Diamond, H., Gelles, G., Bocoum, B. and Meloy, T. P. : Polygonal Harmonics of Silhouettes : Shape Analysis, Part. Charact., **4**, 38-43 (1987)
7) 柴田俊春，山口賢治：対称および非対称（粒子輪郭）形状の離散フーリエ解析，粉体工学会誌，24(4)，pp. 217-224（1987）