連続式円錐型転動造粒機による
造粒と粉(解)砕と分粒との同時操作
—造粒粒子形状評価と操作条件—

杉 本 益 規*, 横 田 尚 子*, 宮 長 広 明*

The Simultaneous Operation of Granulation, Grinding and
Separation in a Continuous Tumbling Conical Granulator
—On the Shape Evaluation of the Granules
and Granulating Conditions—

by

Masunori SUGIMOTO[†], Naoko YOKOTA[†] and Hiroaki MIYANAGA[†]

Small and spherical granules were made from CaCO_3 -powder by the simultaneous operation of granulation, grinding and separation in a continuous rotating conical vessel. The shape characteristics of the granules were evaluated by a pair of shape indices: ϕ is a measure of sphericity, and ζ is that of surface roughness. ϕ , ζ and granule size x were plotted on three-dimensional graphs for various operating conditions of the granulator.

The result was that the increase in rotation speed of the vessel was found to be more effective in obtaining smaller and spherical granules with smooth surface. The increase in ball charge B and feed ratio W made the granules smaller and non-spherical. Longer residence time $\bar{\theta}$ made the granules more spherical with smooth surface remaining $\bar{x}$ unchanged.

Key Words : Continuous Conical Granulator, Simultaneous Operation, Grinding, Segregation, Granule Shape Evaluation

緒 言

最近, 超微粒子を含む微粉末の新しい生成法が開発され, これら微粉末は粉体素材として広く採用されつつある。これにともない, これら微粉末の粉体工学的処理に関する種々の問題が指摘され¹⁾, この解決法の一つにこれらを取り扱い容易な流動性の高い微細球状造粒粒子に成形する方法が考えられている。本報では, 単一回転円錐型容器を用いた造粒と粉碎と分粒と

の同時操作^{2,3)}により生成された微細造粒粒子を, 前報⁴⁾で検討した2つの形状指数により評価することを試みた。さらに, これらの評価をもとに造粒粒子形状特性に及ぼす操作条件の影響について, 製品粒子径をも考慮し検討したのでここに報告する。

1. 実験装置および方法

実験装置 : 前報³⁾と同じ装置を使用した。そのフローシートをFig. 1に示す。装置本体である円錐型容器を回転円筒内に固定し, 容器小口径端には内径93mmのオリフィス型出口せきを, 容器内壁近傍にはスクレーパを設置した。原料粉末の連続定量供給にはテーブルフィーダー①と輸送用電磁フィーダー②を, バインダーの連続定量供給にはローラーポンプ③とノズル④を用いた。粉碎媒体には直径30mmと16mmの磁製ボ

1992年 12月 21日 受付
化学工学会第57年会(1992年 4月, 大阪)および粉体工学会第27回技術討論会(1992年 6月, 東京)にて発表

* 富山大学工学部物質工学科

(〒930 富山市五福 3190) TEL. 0764-41-1271 内線 2782

[†] Dept. of Materials Sci. and Eng., Toyama Univ.,
(3190 Gofuku, Toyama 930)

① Table feeder for powder ③ Roller pump for binder
② Vibratory conveyor ④ Nozzle

Fig. 1 Flowsheet for a simultaneous operation of granulation, grinding and separation by using a single tumbling conical granulator

ール(密度 $=2.4 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)を等重量比で所定量混合装填した。なお、容器回転を小口径端側に 2° 傾けた。

実験試料：原料粉末には市販の炭酸カルシウム粉末(50%粒子径 $\bar{x}_f \approx 6 \times 10^{-3} \text{ mm}$)を、バインダーには水を使用した。

実験方法：粉碎媒体である磁製ボールを所定量装填した後、容器を所定の回転速度に固定した。原料粉末である炭酸カルシウム粉末を容器中央部へ連続供給し、バインダーである水を原料供給位置に滴状供給した。容器内では造粒と粉碎と分粒が同時に行われ、容器小口径端からの造粒粒子群の排出特性が定常状態に達した後、排出粒子を採取した。なお、本報では造粒粒子の排出開始後、少なくとも平均滞留時間 $\bar{\theta}$ の3倍以上経過した後は、これらの排出特性が十分一定に達していることを確かめた上、排出造粒粒子を10分間隔計3回採取し、これらを最終製品とした。この最終製品を乾燥後、小型分析フルイ(フルイ容器径6.6cm)により粒度分析を行った。なお粒度分析の結果、これら最終製品の粒度特性に関しても一定に達していることが確かめられた。また、本造粒プロセスにより、水をバインダーとして得られた微細湿润炭酸カルシウム造粒粒子は比較的硬く、乾燥後の造粒粒子はさらに硬くなっており、本実験で採用された乾燥法および手動による小型フルイ分析法では、これらの造粒粒子の破壊や変形は観測されなかった。

さらに、各粒径範囲にある造粒粒子群からそれぞれ無作為に50個の粒子を抽出し画像処理解析装置(LUZEX II, ニレコ製)により形状分析を行った。なお、実験条件をTable 1に示す。

2. 実験結果および考察

2.1 造粒粒子の形状評価とその表示法

造粒粒子(いずれも粒子径 $\leq 1 \text{ mm}$)の投影画像の代表例をFig. 2に示す。本報では、これらの粒子画像を

Table 1 Experimental Conditions

Feed rate of powder	$F(\text{kg} \cdot \text{min}^{-1})$	$(3.5 \sim 30) \times 10^{-3}$
Feed rate of binder	$G(\text{kg} \cdot \text{min}^{-1})$	$(4.0 \sim 31) \times 10^{-4}$
Feed ratio($=G/F$)	$W(-)$	0.03~0.158
Average residence time	$\bar{\theta}(\text{min})$	19~129
Weight of balls	$B(\text{kg})$	0.2~0.8
Speed of rotation	$n(\text{min}^{-1})$	17~70

Fig. 2 Projections of granules and their shape evaluation by a pair of shape indices ϕ , ζ , as a measure of sphericity and of surface roughness, respectively

Fig. 3 An ellipse model of granule projection (The ellipse has the same area and ratio of breadth to length as the granule projection)

Fig. 3に示すごとく楕円に凹凸を付した画像として近似し、次の2つの形状指数を定義することにより造粒粒子の形状評価を試みた²⁾。

(I) 円形度 ϕ ：粒子画像を楕円(E)に近似し、その楕円の円に対する変(異)形の度合に基づく巨視的形状指数

$$\phi = \frac{\text{粒子画像のHeywood径}(d_H)}{\text{楕円(E)の長径}(D_e)} \quad (1)$$

(Ⅱ)平滑度 ζ : 粒子画像の輪郭の凹凸, 突起等を重視した形状指数

$$\zeta = \frac{\text{楕円(E)の周長}(P_e)}{\text{粒子画像の周長}(P_p)} \quad (2)$$

として, それぞれ定義した。

ここで, 楕円(E)は粒子の画像面積とその長短比がともに等しい楕円である。Fig. 2には, 得られた造粒粒子の代表的な投影画像を円形度 ϕ と平滑度 ζ の座標上に, 各形状指数に対応して配置した^{*1}。同図より, ϕ, ζ の値がともに1.0に近い粒子画像は平滑円に近く, 顕微鏡観察により, これらの造粒粒子は表面が平滑で球状に近い粒子であることが認められた。一方, ϕ, ζ の値がともに小さい($\phi \approx 0.75, \zeta \approx 0.85$)粒子画像を示す造粒粒子は, 表面に凹凸を有する非球状粒子であることが観測された。これより, 造粒粒子の形状特性を, これら2つの形状指数 ϕ, ζ により評価できるものとし採用した。また, 本報では, 回収された全造粒粒子の形状特性(ϕ, ζ)と粒子径(x)の関係を同時に観測することができるように, 円形度 ϕ をX軸に, 平滑度 ζ をY軸に, 造粒粒子径 x をZ軸に示した。なお, 粒度変化に対する形状変化をできるだけ大きく表すために, 造粒粒子径 x を対数目盛りで示した。また, 本報では, いずれの場合も5つの異なる代表粒子径(いずれもフルイ粒子径 $x=0.13(\bigcirc)$, $0.23(\blacksquare)$, $0.39(\times)$, $0.55(\bullet)$, $0.93\text{ mm}(\square)$)を有する造粒粒子50個についての ϕ, ζ, x を点綴し, 回収された全造粒粒子(製品)の粒度分布も併記した。以下, これらをもとに造粒粒子形状特性と粒子径との関係に及ぼす各操作条件の影響について検討する。

2.2 粒子平均滞留時間($\bar{\theta}$)の影響

Fig. 4は, 回収された造粒粒子の形状指数 ϕ, ζ と造粒粒子径 x の関係に及ぼす粒子平均滞留時間 $\bar{\theta}$ の影響について示したものである。同図より, 粒度分布に及ぼす粒子平均滞留時間 $\bar{\theta}$ の効果はあまり認められないが, 粒子形状と粒子径との関係に及ぼす $\bar{\theta}$ の影響はかなり大きいことが認められる。すなわち, いずれの $\bar{\theta}$ においても, 全体的に x の減少に対して ϕ, ζ の値はともに減少の傾向が認められる。さらに, 滞留時間の比較的小さい $\bar{\theta}=19\text{ min}$ (a)では, 各粒径粒子の ϕ, ζ の値のばらつきは大きいが $\bar{\theta}=56\text{ min}$ (b), 129 min (c)と滞

留時間が増加するにしたがい, 造粒粒子の ϕ, ζ 値のばらつきは共に小さく, それぞれの平均値は共に1.0に近くなる傾向が認められる。特に, 粒子平均滞留時間の大ききの $\bar{\theta}=129\text{ min}$ (c)では $x \geq 0.3\text{ mm}$ の造粒粒子群の ϕ, ζ の値のばらつきは小さく, $\bar{\theta}$ の増加にともなう造粒粒子の平滑・球状化が促されていることが分かる。

Fig. 5は, 次式によって算出される全造粒粒子(製品)の平均円形度 $\bar{\phi}$, 平均平滑度 $\bar{\zeta}$ および平均粒子径 $\bar{x}$ と $\bar{\theta}$ の関係について示したものである。

$$\bar{\phi} = \sum F(x_i) \cdot \phi_i \quad (3)$$

$$\bar{\zeta} = \sum F(x_i) \cdot \zeta_i \quad (4)$$

$$\bar{x} = \sum F(x_i) \cdot x_i \quad (5)$$

Fig. 4 Three-dimensional plots of the granule shape indices ϕ, ζ and size x along with product size distribution curve (— $\bullet$ —) for various average residence time $\bar{\theta}$ (Keys: granule size $x=0.13(\bigcirc)$, $0.23(\blacksquare)$, $0.39(\times)$, $0.55(\bullet)$, $0.93\text{ mm}(\square)$)

^{*1} Fig. 2は, 本報で得られた造粒粒子の形状特性とEqs.(1), (2)より算出された ϕ, ζ の対応関係を示したものである。同図では, 個々の粒子画像の大きさの違いによって生ずる ϕ, ζ の誤差の変動をできるだけ小さくするために, 顕微鏡を通してほぼ一定の大きさに拡大された造粒粒子の画像を画像解析装置に取り込み, 各粒子の画像について ϕ, ζ を算出した。

Fig. 5 Effect of residence time ($\bar{\theta}$) on granule shape ($\bar{\phi}$, $\bar{\zeta}$) and size ($\bar{x}$)

ここで、 $F(x_i)$ は、造粒製品中に含まれる粒径 $x=x_i$ の造粒粒子群の質量分率(-)、 ϕ_i , ζ_i は、 $x=x_i$ の造粒粒子群の各平均形状指数(-)である。

同図からも、 $\bar{x}$ は $\bar{\theta}$ の変化に対してほとんど変化していないのに対し、 $\bar{\phi}$, $\bar{\zeta}$ は $\bar{\theta}$ の増加にともないともに1.0に近づいていることが認められ、Fig. 4の結果を裏付けている。これは、粒子平均滞留時間の増大にともない、造粒粒子が排出するまでに受ける総流下回数($\propto$ 容器回転速度 $n \cdot \bar{\theta}$)が増加し、整粒効果が高められた結果によるものと考えられる。

2.3 磁製ボール装填量(B)、容器回転速度(n)の影響

Figs. 6および7は、造粒粒子の微細化にともなう、粒子形状特性 ϕ , ζ に及ぼす磁製ボール装填量 B と容器回転速度 n の影響について、両者を比較したものである。 B , n は、いずれも造粒粒子の微細化を支配する代表的な操作因子である。これらの図より、 B および n の増加は、いずれも粉碎効果を増大せしめ造粒粒子の微細化を促していることが粒度分布の比較から分かる。しかし、粒子形状特性に及ぼすこれら(B , n)の効果はかなり異なっている。

Fig. 6は、ボール装填量 B の増加にともなう造粒粒子径と粒子形状特性の変化について $B=0.2\text{kg}$ (a)と $B=0.8\text{kg}$ (b)の両者を比較したものである。後者(b)の ϕ , ζ は前者(a)のそれらよりも全粒子径範囲にわたりばらつきが大きく、それらの値も小さくなっている。特に、粒子径の大きい範囲の形状指数のばらつきが目立つ。すなわち、ボール装填量の増加にともなう造粒粒子の微細化は、全粒径範囲にわたり造粒粒子の非平滑・非球状化を促している。

Fig. 7は、容器回転速度 n の増大にともなう造粒粒子径と形状特性との変化について $n=17\text{min}^{-1}$ (a)と $n=70\text{min}^{-1}$ (b)の場合を比較したものである。 n

Fig. 6 Three-dimensional plots of the granule shape indices ϕ , ζ and size x along with product size distribution curve (—) for ball charge $B=0.2\text{kg}$ (a) and 0.8kg (b) (Keys : same as Fig. 4)

Fig. 7 Three-dimensional plots of the granule shape indices ϕ , ζ and size x along with product size distribution curve (—) for rotation speed $n=17\text{min}^{-1}$ (a) and 70min^{-1} (b) (Keys : same as Fig. 4)

$=17\text{min}^{-1}$ では全粒子径範囲にわたって ϕ , ζ のばらつきがともに大きいことが分かる。特に、粒子径の大きい造粒粒子の ϕ , ζ のばらつきは大きい。これは容器回転速度 n が小さいことから、得られる造粒粒子の圧密化と整粒効果が減少し、表面の凹凸が大きい非球状の造粒粒子が多く生成されていることを示している。これに対して、 $n=70\text{min}^{-1}$ では全体的に ϕ , ζ の分散が小さく、特に、粒子径の大きい造粒粒子群では ζ の均一化が認められる。また、その平均値は粒径の小さい造粒粒子に比較して ϕ , ζ ともに1.0に近い。すなわち、容器回転速度 n の増大による造粒粒子の微細化は、粒子の平滑・球状化をも促していることが分かる。

Figs. 8および9は、造粒製品の $\bar{\phi}$, $\bar{\zeta}$ および $\bar{x}$ の各値と磁製ボール装填量 B および容器回転速度 n の関係について整理したものである。Fig. 8では、 $\bar{\phi}$, $\bar{\zeta}$ および $\bar{x}$ は磁製ボール装填量 B の増加にともないともに減少の傾向を示している。一方、Fig. 9では、容器回転速度 n の増加にともない $\bar{x}$ は減少しているのに対して、低回転速度領域($n < 50\text{min}^{-1}$)では $\bar{\phi}$ および $\bar{\zeta}$ はともに増加の傾向を示している。また、高回転速度領域($n \geq 50\text{min}^{-1}$)ではほぼ一定になっている。これより、磁製

Fig. 8 Effect of ball charge B on the granule shapes ($\bar{\phi}$, $\bar{\zeta}$) and size ($\bar{x}$)

Fig. 9 Effect of rotation speed of the vessel on the granule shapes ($\bar{\phi}$, $\bar{\zeta}$) and size ($\bar{x}$)

ボール装填量の増加および容器回転速度の増大は、ともに粉碎エネルギーを増大せしめ、造粒粒子の微細化を促す。しかし、粒子形状特性に及ぼす両者の効果は大きく異なる。前者は造粒粒子の非平滑・非球状化を促し、後者はこれらの平滑・球状化を促す。これは、粉碎媒体である磁製ボール装填量の増加が、整粒効果に較べて破碎効果を増大せしめた結果によるものと考えられる。一方、容器回転速度の増大は、粉碎効果を高めると同時に、単位時間当りの粒子の流下回数を増加せしめ、整粒効果を増大せしめた結果によるものと考えられる。したがって、平滑・球状微細造粒粒子を得るには、粉碎媒体である磁製ボール装填量の増加よりも容器回転速度の増加がより効果的であると思われる。

2.4 バインダー・原料供給比(W)の影響

Fig. 10は、粒子形状特性 ϕ , ζ と造粒粒子径 x との関係に及ぼすバインダー・原料供給比 $W(-)$ の影響について示したものである。Fig. 10(a)にはバインダー・原料供給比 $W=0.03$, Fig. 10(b)は $W=0.158$ の実験結果を示し、比較した。 W の比較的小さい $W=0.03$ の場合には、全体に造粒粒子径 x は大きい。また、 x の小さい範囲を除いては、各粒径粒子の ϕ , ζ のばらつきは比較的小さく、 ϕ , ζ の値は1.0に近い。一方、

Fig. 10 Three-dimensional plots of the granule shape indices ϕ , ζ and size x along with product size distribution curve (◆) for feed ratios $W=0.03$ (a) and 0.158 (b) (Keys: same as Fig. 4)

W の比較的大きい $W=0.158$ の場合には、 $W=0.03$ に比較して、造粒粒子径は全体的に小さいが、全粒径範囲にわたり、各造粒粒子の ϕ , ζ の値のばらつきは大きく、 ϕ , ζ の値はともに小さい。これより、バインダー・原料供給比の増加は造粒粒子の微細化を促すと同時に非平滑・非球状化を促していることが分かる。これらの関係について前報³⁾にて検討した造粒プロセスモデルをもとに考察する。

Fig. 11 には単一回転円錐型容器を用いた造粒と粉砕と分粒との同時操作による造粒プロセスモデルを示した。同モデルでは、同容器内を3つの仮想的領域に分けて考える。容器中央部(造粒域B)にて造粒された全造粒粒子のうち、小口径側(整粒域C)に偏析し容器排出端にて回収される小球状造粒粒子の平均径を $\bar{x}_s$, その各平均形状指数を $\bar{\phi}_s$, $\bar{\zeta}_s$ とし、大口径側(粉碎域A)に偏析した粗大造粒粒子(平均径 $\bar{x}_L$) が粉碎され、微細化された後、領域B, Cをへて容器排出端にて回収される微細造粒粒子のそれらを $\bar{x}_G$, $\bar{\phi}_G$, $\bar{\zeta}_G$ とする。また、小口径端排出口より回収された全造粒粒子群(最終製品)のそれらを $\bar{x}$, $\bar{\phi}$, $\bar{\zeta}$ とする。いま、 $\bar{x}_L$ なる粗大造粒粒子が粉碎によって、すべて粒径 $\bar{x}_G$, 各平均形状指数 $\bar{\phi}_G$, $\bar{\zeta}_G$ なる微細造粒粒子として回収されると仮定すれば、次式が得られる。

$\bar{x}_s, \bar{\phi}_s, \bar{\zeta}_s$: Average size and shape indices of the granules discharged from the outlet after segregating toward the rounding zone (C) without grinding, respectively

$\bar{x}_G, \bar{\phi}_G, \bar{\zeta}_G$: Average size and shape indices of the granules ground at the grinding zone (A) and discharged from the outlet, respectively

$\bar{x}, \bar{\phi}, \bar{\zeta}$: Average size and shape indices of the final product, respectively

F_c : Fraction of the larger granules ($\bar{x}_L$) segregating toward the grinding zone (A) to total ones

Fig. 11 A continuous granulation process model for the simultaneous operation of granulation, grinding and separation in a tumbling conical granulator

$$\bar{x} = (1-F_c) \cdot \bar{x}_s + F_c \cdot \bar{x}_G \quad (6)$$

$$\bar{\phi} = (1-F_c) \cdot \bar{\phi}_s + F_c \cdot \bar{\phi}_G \quad (7)$$

$$\bar{\zeta} = (1-F_c) \cdot \bar{\zeta}_s + F_c \cdot \bar{\zeta}_G \quad (8)$$

ここで、 F_c は全造粒粒子のうち粉碎域(A)への粒子偏析割合(－)であり、次式にて与えられる³⁾。

$$F_c = W/W^* \quad (0 < F_c < 1) \quad (9)$$

また、 W^* は、本同時操作における造粒可能な W の上限値(=0.16)である。

Eqs.(6), (7)および(8)をそれぞれ $\bar{x}_s$, $\bar{\phi}_s$, $\bar{\zeta}_s$ で除して、無次元化すれば

$$\frac{\bar{x}}{\bar{x}_s} = 1 - \left(1 - \frac{\bar{x}_G}{\bar{x}_s}\right) \cdot F_c \quad (10)$$

$$\frac{\bar{\phi}}{\bar{\phi}_s} = 1 - \left(1 - \frac{\bar{\phi}_G}{\bar{\phi}_s}\right) \cdot F_c \quad (\because \bar{\phi}_G / \bar{\phi}_s \leq 1.0) \quad (11)$$

$$\frac{\bar{\zeta}}{\bar{\zeta}_s} = 1 - \left(1 - \frac{\bar{\zeta}_G}{\bar{\zeta}_s}\right) \cdot F_c \quad (\because \bar{\zeta}_G / \bar{\zeta}_s \leq 1.0) \quad (12)$$

上式において、被粉碎造粒粒子の形状特性 $\bar{\phi}_G$, $\bar{\zeta}_G$ はその破碎効果により、小口径側に偏析した非破碎造粒粒子の形状特性 $\bar{\phi}_s$, $\bar{\zeta}_s$ に比較して、小さくなっているものと考えられ、 $\bar{\phi}_G / \bar{\phi}_s < 1.0$, $\bar{\zeta}_G / \bar{\zeta}_s < 1.0$ とおくことができる。したがって、Eqs.(11)および(12)より、 $\bar{\phi} / \bar{\phi}_s$, $\bar{\zeta} / \bar{\zeta}_s$ の値は、 F_c の増加にともない共に減少することが分かる。すなわち、 W の増加は造粒粒子の非平滑・非球状化を促すことが推定できる。なお、粒度特性におけるEq.(10)については前報³⁾にて検討した如く、粉碎効果が大きい($\bar{x}_G / \bar{x}_s < 1.0$) 場合には、 W の増大にともない $\bar{x}$ は減少する。

上述の造粒プロセスモデルに基づけば、Fig. 10(a)の結果は、造粒域Bで生成された全造粒粒子のうち粉碎域Aへの偏析割合が $F_c=0.19$ ($W=0.03$) の場合に相当する。この場合、全造粒粒子の内約2割が粉碎域に移動し微細化されると同時に非平滑・非球状化され、約8割の造粒粒子が粉碎域Aに移動することなく、直接整粒域Cに偏析し、整粒される。これらは、小口径端排出口より同時に回収されることになる。その結果、全造粒粒子の約8割が平滑・球状に近い非破碎粒子で占められているものと考えられる。また、Fig. 10(b)の結果は、粉碎域Aへの偏析割合が $F_c=0.99$ ($W=0.158$) の場合に相当する。この場合、造粒粒子の大部分がいったん粉碎域Aに偏析し、粉碎され、微細化された後、小口径端排出口より回収されたことになる。その結果、ほとんどの造粒粒子が破碎を受けるこ

Fig. 12 Effect of feed ratio of binder to powder W on granule shapes ($\bar{\phi}$, $\bar{\zeta}$) and size ($\bar{x}$)

とにより、粒子径に関係なく、非平滑・非球状化された破碎造粒粒子で占められているものと考えられる。

Fig. 12は、 $\bar{\phi}$, $\bar{\zeta}$ および $\bar{x}$ の各平均値とバインダー・原料供給比 W との関係について示したものである。同図より、 $\bar{\phi}$ および $\bar{\zeta}$ は W の増加にともないともに減少している。この傾向は、上述の造粒プロセスモデルによる推定結果と一致する。なお、 W の増加にともなう $\bar{x}$ の減少は $\bar{x}_G/\bar{x}_S < 1.0$ によるものと推定される。

Nomenclature

B : weight of balls charged (kg)
 D_e : major axis of equivalent ellipse model(E) of projection having the same area and elongation as granule one (mm)
 d_H : Heywood diameter of granule projection (mm)
 F : feed rate of powder ($\text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$)
 F_c : fraction of granules segregating to the grinding zone(A) (-)
 $F(x_i)$: weight fraction of granules having size x_i to total granules (-)
 $f(x)$: particle size distribution function ($\% \cdot \text{mm}^{-1}$)
 G : feed rate of binder ($\text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$)
 H : total hold up (kg)
 n : speed of rotation (min^{-1})
 P_e : perimeter of equivalent ellipse model(E) (mm)
 P_p : perimeter of granule projection (mm)
 W : feed ratio of binder to powder (-)
 W^* : critical feed ratio of binder to powder

これより、同操作条件では、バインダー・原料供給比の増加は粒子偏析割合 F_c の増大にともなう被破碎粒子量の増加を促し、造粒粒子の非平滑・非球状化と同時にその微細化も促していることがわかる。

結 言

造粒粒子の形状特性を2つの形状指数により評価し、これら形状指数を粒子径と同一グラフ(3次元グラフ)に示すことにより粒子形状に及ぼす操作条件の影響について検討した。これより、(a) 粒子平均滞留時間の増大は粒子群の総流下回数を増加せしめ、粒子の平滑・球状化を促す。(b) 粉碎媒体装填量の増加は粉碎効果を高め、粒子の微細化と非平滑・非球状化を促す。(c) 容器回転速度の増加は破碎効果と整粒効果を高め、粒子の微細化と平滑・球状化を促す。(d) バインダー・原料供給比の増加は粉碎域Aでの被破碎粒子量を増加せしめ、造粒粒子の非平滑・非球状化を促すと同時に、粉碎効果が大きい場合には造粒粒子の微細化も促す、ことを得た。

corresponding to upper limit of the ratio required for forming granules (-)
 x : granule size (mm)
 x_i : granule size having $x=x_i$ (mm)
 $\bar{x}_f$: average size of powder (mm)
 $\bar{x}_G, \bar{x}_L, \bar{x}_S$: average size of granules (see Fig. 11) (mm)
 $\bar{x}$: average size of the final product (mm)
 $\phi, \bar{\phi}$: shape index of granule as a measure of sphericity (see Eq.(1)) and mean value, respectively (-)
 $\zeta, \bar{\zeta}$: shape index of granule as a measure of surface roughness (see Eq.(2)) and mean value, respectively (-)
 $\bar{\theta}$: average residence time ($=H/(F+G)$) (min)
Subscripts
 G, S : denote value of granule having size $x = x_G, x_S$ respectively

References

- 1) Sekiguchi, I. : *J. Soc. Powder Technol., Japan*, **26**, 586(1989)
- 2) Sugimoto, M., N. Yokota and H. Kawamoto : *J. Chem. Eng., Japan*, **23**, 244(1990)
- 3) Sugimoto, M., N. Yokota and M. Sugihara : *J. Soc. Powder Technol., Japan*, **27**, 590(1990)
- 4) Sugimoto, M., N. Yokota and H. Nakazawa : *J. Soc. Powder Technol., Japan*, **26**, 624(1989)