混合機中の粉粒体の流動と混合特性の 光学的手法による連続測定

佐藤 宗武*, 出口 雄一郎*
宮 南 啓*

The Continuous Measurement of the Flow and Mixing Characteristics of Solid Particles in a Mixer Using an Optical Method

by

Munetake SATOH†, Yuichiro DEGUCHI†
and Kei MIYANAMI†

A fundamental study of solid mixing was carried out using a newly developed measuring system which employs an optical method. The reflective properties of light for the particle bed and the magnitude of output fluctuation have been measured under static and vibrating conditions to evaluate their degree of mixing in a state of motion. The influence of a number of probes inserted into the particle bed on the mixing index was also examined.

The concentration change with time measured at the six local positions in a high speed agitator-type mixer and the mixing curves based on these concentration variations showed different patterns according to the operating conditions and the combination of the physical properties of the particles.

Eight typical cases of mixing were introduced, and the mechanisms of mixing and/or demixing, segregation, phenomena, the coating process and the electrostatics effect on the mixing were discussed.

Key Words : Solid Mixing, Measurement of Mixedness, Optical Probe Method,
Characterization of Mixing Patterns, Segregation

1. 緒 言

粉粒体の混合操作は、単に異なった成分粒子同士の空間的な配列を適度の外力によって物理的に移動させて均一分散するだけでなく、熱や物質の移動、化学反応を伴う場合、摩擦などによる表面の改質、造粒やコーティングによる材料の機能化あるいは複合化、そ

の他多くの様々な複合目的を伴う場合が少なくない。

このような目的にかなった混合装置の選択、あるいは新しい装置の合理的な設計、最適操作条件の設定などに対する基礎的な知見を得るためには装置内での粉粒体の流動状態と混合過程を十分に把握しておく必要がある。混合機内の濃度変動および混合曲線には装置を特徴づける混合機構のみならず粉粒体の物性のちがい、操作条件その他さまざまな因子が複雑に影響しあって反映されていると考えられ、濃度分布、混合速度係数、混合時間、最終混合度、循環時間などと種々のパラメータとの間の関係が多く研究者によって論じられてきた。この混合機内の濃度変化と混合曲線のパターンをいかに的確に、しかも迅速にとらえることができる

昭和61年12月14日受付

第23回粉体に関する討論会(1985年11月,名古屋)にて発表

*大阪府立大学工学部化学工学科(〒591 堺市百舌鳥梅町4-804)

TEL 0722-52-1161 内線2327

†Dept. of Chem. Eng., University of Osaka Prefecture,
4-804, Mozu-Ume Machi, Sakai 591

本報では、このシステムを用いて連続的に混合度を測定する際の基本的な特性である流動時の反射強度特性、検出端数などを実験的に検討した。ついで、攪拌型混合機を例として種々の物性の組み合わせの二成分系粉粒体について、混合層内の局所的な濃度変動とそれに基づく混合曲線を測定した。これらの結果をいくつかの典型的なパターンに分けるとともに、粉粒体の流動状態と混合あるいは分離・偏析などの機構を動的な状態で考察した。

2. 混合度の計測システムとその特性

粉粒体層中に一對のオブティカルファイバを挿入し、固有の周波数を持たせた光を混合物表面に照射してその反射光のみを検出し濃度に変換して混合機内での粉粒体の濃度の時間的変化および混合度をオンラインで連続的に計測するシステムの詳細は既に報告¹⁾したので、その概略のみを **Fig. 1** に示した。ここでは、プローブの数を前報よりも一本増加して6点で測定できるようにした。

2.1 粉粒体の光反射特性の検量線

2.1.1 静止状態での測定

本実験に使用した粉粒体試料の組み合わせとそれぞれの試料の代表物性値を**Table 1**に示した。粉粒体の光反射特性は粒子の種類、形状、粒径、表面状態などの諸物性、充填状態のような二次物性など種々の因子によって複雑に影響される。そこで、二成分混合粉粒体系についてその組成比と検出される反射光の出力電圧と

Fig. 1 Schematic diagram of the continuous measuring system of the degree of mixing

の関係をあらかじめ明らかにしておく必要がある。

まず、第一成分(明色)と第二成分(着目成分：暗色)を所定の重量比で後で述べる高速攪拌型混合機で予め十分混合したものを標準試料とし、静置した同一試料について20回以上測定を繰り返して出力電圧の平均値 E をその組成における値とした。**Fig. 2** には、それぞれの粉粒体系における着目成分濃度 C と検出器出力電圧比 $E (= E/E_0)$ の関係を示した。各粉粒体系の C と E の関係を最小自乗法を用いて次式の形で近似し、検量線とした。

$$C = \sum_{i=1}^n a_i \cdot E^i \quad (a_i : \text{const.}) \quad (1)$$

2.1.2 動的状態での測定

混合装置内での運動状態における粉粒体層の光反射特性は静止状態のそれとは異なり測定面への粒子の接触状態および空隙率が時間的に変動しており、さらに空隙を通しての後方の粒子からの反射光の影響なども考えられ多くの複雑な因子を含むことになる。

そこで、ここでは流動状態における粉粒体の反射特性を検討するために粉粒体層に種々の振動を加えて流

Table 1 Physical properties of solid particles and combination of the binary component

Component A (White)				Component B (Dark)			
Material	Key	d_p (μm)	ρ (kg/m^3)	Material	Key	d_p (μm)	ρ (kg/m^3)
Alumina*	WA # 80	129~297	3970	Silicon carbide*	SiC# 46	250~590	3240
					SiC# 80	125~297	3240
					SiC# 180	53~125	3240
Glass powder	Gl	150~350	2500	Glass powder (dyed)	Gl	150~350	2500
Kaoline K	K	4~160	2860	Ironoxide	Fe_2O_3	~ 5	5770
P. V. C.	PVC	40~200	1540	Zirconsand	Zr	105~350	4650

* JIS R-6111

Fig. 2 Calibration curves of binary components mixture

動化させた場合の光反射とその変動を実測した。測定に用いた装置の概略は **Fig. 3** に示したような振動数を変化させても加速度が一定になるように制御された電磁式加振機上に内径 80 mm, 高さ 80 mm の円筒型測定セルを取り付け濃度検出用プローブ 6 本を上部から挿入したものである。

セル中に層高約 60 mm (静止容積 300 ml) になるように試料 (溶融アルミナ JIS R6111 WA #80) を仕込

- ①~⑥ Optical probes
- ⑦ Cylindrical vessel
- ⑧ Electromagnetic vibrator
- ⑨ Acceleration sensor
- ⑩ Charge amplifier
- ⑪ Acceleration sensor
- ⑫ Multichannel oscilloscope
- ⑬ Function generator and power amplifier
- ⑭ Stand
- ⑮ Optical fiber
- ⑯ Photometer
- ⑰ Data-processing system
- ⑱ Powder bed

Fig. 3 Dynamic measurement system for the reflective properties of solid particles by vibration

Fig. 4 Effect of the amplitude r on the reflective intensity on the particles bed

み, 垂直方向に正弦波状の振動を加えつつ光反射特性を連続的に測定するようにした。種々の振動条件下で各プローブ毎にそれぞれ 300 回出力電圧を測定し, その平均値 E (V) と標準偏差値 σ をその条件における反射特性値とした。

まず, 粒子層の充填状態変化が光反射におよぼす影響を調べるために振動数一定の下で振幅を変化させた場合の測定結果の一例を **Fig. 4** に示した。ここで使用したアルミナ粒子は 80 Hz, 2 G の振動条件下で密充填状態になることが振動試験機によって確かめられている²⁾。そこで, この条件下で均一充填した粉粒体層の光反射による出力電圧 E_{80} を基準とし, 各条件で得られた平均出力電圧 E を E_{80} で除した E/E_{80} と振幅 r の関係として示した。図からも明らかなように, 振幅を大きくしてゆくにしたがって激しく流動化し空隙率が増すことにより光の反射が減少しているのが分かる。本実験範囲内では E/E_{80} と r の関係を次式でほぼ相関できた。

$$E/E_{80} = 1 - K \cdot r \quad (2)$$

したがって, さきに示した静止状態での濃度対出力電圧の関係を流動状態の場合に適用する際には Eq. (1) の電圧を Eq. (2) を用いて補正して検量線とするように予めプログラミングした。他の粉粒体系についても同様に密充填状態を示す振動数を基準として検量線を求めるようにした。

2.2 混合度

2.2.1 流動によるばらつきの補正

振動によって流動化した粉粒体層においては, 振幅が大きくなるほど検出器の出力電圧の平均値が低下するのみならず, 検出面上での粉粒体の接触状態が時間とともに微小変動を繰り返すので 300 点の測定値のばらつきの程度が変化する。このことは, 均一粒子系あるいは完全混合状態においても各操作条件, 粒子物性に応じて或る大きさのばらつきが含まれ, 混合度の時

Fig. 5 Standard deviation of the reflected light for the vibrating bed

間変化および最終混合度を評価する際にあらかじめ考慮しておく必要がある。

本実験の振動範囲内では測定される出力電圧変動値は平均値を中心としてほぼ正規分布であったので、Eqs. (1), (2) を用いて電圧 E_j を濃度 C_j に変換し、その標準偏差値 σ_E を次式によって求めた。

$$\sigma_E = \sqrt{(1/N) \sum_{j=1}^N [(C_j/C_{j0}) - 1]^2} \quad (3)$$

ここで、 C_{j0} は濃度 C_j の平均値、 N は 300 である。 σ_E の実測例を振幅 r との関係として Fig. 5 に示した。 σ_E の値は静止時から僅かに振幅 r が増加したところで最小値を示し、さらに r を増加させると σ_E は増加の傾向を示した。 σ_E の最小値は振動周波数によって変化し、低周波数になる程振幅の大きい方にずれ、その値も大きくなった。混合実験においては、この σ_E の値よりも大きい値を示す場合に初めて着目成分の空間的分布の不均一性に基づく標準偏差(混合度)を有為に検出したことになる。そこで σ_E を用いて、本システムで連続測定される標準偏差値を補正した次式によって着目成分の組成変動に基づく正味の混合度 σ_M を算出するようにした。

$$\sigma_M = \sqrt{(1/N-1) \sum_{i=1}^N (C_i - \bar{C})^2 - \sigma_E} \quad (4)$$

ここで、 N は全プローブ数であり、 $\bar{C}$ は着目成分の平均組成である。また、最終混合度への到達度を示す表示には次式の定義による混合度 M を用いた。

$$M = 1 - \sigma_M / \sigma_0 \quad (5)$$

ここで、 σ_0 は着目成分の仕込み比率によって決まる初期標準偏差値である。

2.2.2 サンプルサイズの影響

混合度を評価する際に 1 サンプル(検査面)内に何個の粒子が存在するか、および粉粒体層から何点のサンプルを採取すれば母集団の状態を代表することができるかなどを確かめておく必要がある。ここで用いて

Fig. 6 Influence of the probe number on the standard deviation

いるプローブ本体の検査面積は 22mm^2 であり、平均粒子径 $211\mu\text{m}$ の粒子の例では約 370 個が面上に配列することになり、これまでの予備実験によりスポットサンプルとして十分な数の粒子を含んでいるといえる。つぎに、物性の似ているアルミナ(WA #80 白)と炭化珪素(SiC #80)を容積比 9 : 1 で十分混合した物を標準試料とし、前述と同様に振動流動しているところにプローブを 1 から 6 本挿入して繰り返して組成を測定し、平均値およびその標準偏差値 σ_M を求めたところ Fig. 6 のような結果を得た。これより、プローブ数が 5 本以上になると σ_M はほぼ一定値となり、同一粒子径の豊浦砂-炭酸ナトリウム系を用いた別の実験でシーフサンプラによるサンプリング法で得られた標準偏差値(図中▲印)にほぼ一致したので、以後の実験は全て 6 本のプローブで行なうことにした。

3. 濃度変動曲線と混合曲線

3.1 混合機および実験方法

実験に用いた混合装置の概略およびプローブの設置位置を Fig. 7 に示した。混合容器は内径 160 mm、高さ 160 mm の円筒で底部の隅角部に丸味を付け、中央部は死空間を減らすために中高になっている。容器全体は 6 本のバネによって支持された振動盤上に固定され、偏心ウエイト付きモータによって 15 ~ 60 Hz の範囲で三次元的な振動を加えることができる。粉粒体試料を装入した状態での容器の振動特性は Fig. 8 に示したように振動数によらず振幅は約 0.6 mm 一定で、加速度は振動数の二乗に比例する傾向にあった。攪拌羽根は底面形状に沿うように W 型に曲げた形状である。

濃度検出用プローブは図に示したように円筒部の上、中、下部の側面から水平に挿入し先端が円筒壁面および内部のそれぞれの距離になるように計 6 本を固定した。なお、プローブ先端面は粉粒体が常にその表面を

Fig. 7 Schematic diagram of a high speed agitator-type mixer with a vibrating vessel and position of optical probes

Fig. 8 Characteristic curves of vibration for the mixer vessel

流動する方向になるように調整した。

混合実験は、まず混合容器にA成分(明色)を装入し所定の振動数 N_V [Hz], 攪拌速度 N_R [rpm] で定常攪拌しておき、そこへ時間 $t = 0$ でB成分(暗色)を層上部にパルス的に投入する方法を採った。ここで、粉粒体層のホールドアップ(A+B)は1.6 l、混合比率は見掛け容積基準でA:B=8:2とした。

サンプリング時間はA/D変換や微小時間内の平均化処理などを含めて全6チャンネルで約9 msである。B成分を投入した直後から1チャンネルにつき512秒までは1秒間に4回(4 Hz)の速度で測定し、その後は毎秒1回(1 Hz)の間隔で2048秒間、合計2560秒

間連続測定するようにした。

3.2 測定結果と考察

Table 1に示した粉粒体試料について容器振動数 N_V [Hz]および攪拌羽根回転数 N_R [rpm]を種々変化させた場合に連続的に測定された濃度変動曲線およびそれらに基づいて得られた混合曲線の典型的なパターンを以下に示した。

3.2.1 物性差の少ない粒状体系

比較的流動性が良好で物性の類似した粉粒体の組み合わせとして、A成分(バルク)にアルミナ(WA # 80), B成分に炭化珪素(SiC # 80)を用いた。

(1) 混合状態が良好な場合: $N_V = 50$ Hz, $N_R = 500$ rpmの条件で攪拌した場合の濃度変動曲線(C-t)と混合曲線(M-t)をFig. 9(1a), (1b)に示した。B成分投入後の槽内の濃度変動は(1a)のように、まず、粉体層上部のプロブAで炭化珪素粒子が検出され、次いで層中間部のE, F, 底部のCおよびDに時間差を持って現れ、その後再び層上部にもどってくる周期的な循環運動を繰り返しながら仕込み濃度に近付いていく。粉粒体層が全体的にほぼ均一に流動化して混合状態が良好なときには槽内各所において観測される循環流の周期にあまり差がないことが認められた。この濃度変動曲線に基づく混合曲線は(1b)に示すように、混合度Mは混合時間tとともに単調に増加し最終混合度M=1に近付いている。

(2) 混合が不十分な場合: (1)と同じ粉粒体の組み合わせを用いて $N_V = 30$ Hz, $N_R = 150$ rpmの操作条件で混合した結果をFig. 9(2a), (2b)に示した。濃度変動曲線(2a)に見られるように層上部に投入されたB成分はしばらくの間、上部に滞留しプロブBに検出されているが上部反対側のプロブAにはなかなか到達せずにその間に槽内部に浸透してゆく。槽の中部では不規則ながら循環流が観測され(プロブE), 底部にはB成分が非常に遅れて到達している(プロブC)。また、長時間混合にもかかわらずプロブDでは最終濃度にならず、この付近が不十分な流動域とみなせ、槽内が全体としては不均一な流動化状態にあることが分かる。混合度Mは(2b)のように時間とともに不規則に増減し最終混合度の1.0には到達せずこのような操作条件下では混合が不完全であることが明らかである。

3.2.2 微粉体系

付着し易く凝集性の強い微粉体の組み合わせとしてA成分にカオリン, B成分に酸化鉄を用いた場合の濃度変動曲線および混合曲線の一例をFig. 9(3a),

Fig. 9 Concentration changes in the vessel with mixing time and the characteristics of the mixing curves measured for various conditions by optical method

Fig. 10 Electrostatics change of the bed surface with time

(3b) に示した。凝集塊を解砕しつつ混合するために

$N_V = 55 \text{ Hz}$, $N_R = 1800 \text{ rpm}$ の操作条件にした。粉体層は羽根付近では激しく攪拌されているが羽根の通過領域以外では比較的緩慢な流れを形成しており、その部分でいったん解砕された粉体が再凝集する傾向にあり、B成分がバルクのA成分に包み込まれた形となり濃度の顕著な変動は検出されないが徐々にB成分が分散されるために混合時間が粒状体の場合に比べて大きくなっている。また、容器壁面や羽根裏部に付着した粉体が不規則に剝離するためとみられる濃度変動およ

びそれに基づく混合度の変化が検出された。

3.2.3 粒子径の異なる系

(1) 大粒子中に小粒子を添加した場合：A成分の大粒子(バルク)としてアルミナ(WA #80: $\bar{d}_{PA}=178\mu\text{m}$)、B成分の小粒子として炭化珪素(SiC #180: $\bar{d}_{PB}=64\mu\text{m}$)を用いて(粒径比 $\bar{d}_{PB}/\bar{d}_{PA}=0.36$)、 $N_V=50\text{Hz}$ 、 $N_R=500\text{rpm}$ の操作条件で混合した例をFig. 9 (4a)、(4b)に示した。大粒子層上面に投入された小粒子は振動によって大粒子の間隙を上から下へ浸透するように流下しつつ混合されてゆく様子が濃度変動曲線から観察される。すなわち、層上部のプロープAでは、B成分が投入直後から減少してゆき最終的には混合比より小さい値で定常状態になっている。

これに対して、層底部のC、Dでは混合の進行とともにB成分の濃度が増加し、ある混合時間のところでプロープAの値と交叉した後、混合比よりも大きい値を採って定常状態になっている。この様子を混合曲線(4b)でみると、混合度 M の値は時間 t の増加とともに一旦増加し、最大値をとった後に減少して或る一定値に到達している。ここで、 M の最大値を示す時点はB成分が上から下方に移動する途中の濃度変動曲線のいくつかが交叉する時とほぼ一致していることがわかった。

(2) 小粒子中に大粒子を添加した場合：A成分の小粒子(バルク)としてアルミナ(WA #80: $\bar{d}_{PA}=178\mu\text{m}$)、B成分の大粒子として炭化珪素(SiC #46: $\bar{d}_{PB}=358\mu\text{m}$)、粒径比 $\bar{d}_{PB}/\bar{d}_{PA}=2.01$ の粉体系について $N_V=50\text{Hz}$ 、 $N_R=500\text{rpm}$ の操作条件で混合した結果の例をFig. 9 (5a)、(5b)に示した。

この粉粒体の組み合わせでは、(1)の場合とは逆に大粒子のB成分はバルクの流動速度に比べて遅く、小粒子層の上部や流れが下方に転ずる領域付近に滞留する傾向があった。したがって、槽底部に到達するB成分は少なく槽内全体も不均一な濃度分布を示しており、最終混合度は1.0より小さい値となっている。

3.2.4 密度差のある粉粒体系

平均粒径がほぼ等しく密度が異なる粉粒体の組み合わせの例として、A成分にアルミナ(WA #80: $\rho_A=3970\text{kg/m}^3$)、B成分に鉄粒子(Fe : $\rho_B=7860\text{kg/m}^3$)、密度比 $\rho_B/\rho_A=2.01$ の二成分系を、 $N_V=50\text{Hz}$ 、 $N_R=500\text{rpm}$ の操作条件で混合した結果をFig. 9 (6a)、(6b)に示した。この条件下ではB成分の重粒子は軽成分中を沈降し、先に述べた大粒子中を小粒子が浸透してゆく濃度変動曲線の交叉や混合度が最大値を示す特徴に類似であった。しかし、混合槽内におけ

るA、B両成分の循環時間はそれぞれ約18~22秒でほぼ等しい値をとっており、搅拌と振動によって一旦流動化した粉粒体層内での密度差のある粒子の流れは重力の作用を受け難い場合があることが推察される。このことは、水平円筒型混合機の場合にも実験的に確かめられた例があり³⁾、本装置でも良好な混合状態が得られる適当な N_V と N_R の組み合わせの範囲が存在する場合があった。

3.2.5 粒子の表面状態の変化を伴う系

(1) 粒子表面への色素の付着：A成分には白色ガラス粒子($d_p=250\mu\text{m}$)、B成分としては同ガラス粒子を有機溶剤に可溶な直接染料(スピリットブラック)で染色し、溶剤を蒸発させて染料を粒子表面に固定化した後、余分な染料を水洗によって除去乾燥したものを試料とした。染色前後の粒子間にはほとんど物性差が無く、B成分中に含まれる染料の量はガラス粒子1g当り $9.71 \times 10^{-4}\text{g}$ であった。 $N_V=50\text{Hz}$ 、 $N_R=500\text{rpm}$ の条件で搅拌した結果はFig. 9 (7a)、(7b)に示すように混合初期においては物性差の無い3.2.1(1)の系と同様に槽内各所において循環を繰り返しながら次第に均一化が進行してゆく。ところが、混合終了時間(3.2.1(1))を過ぎててもなお全体的に僅かな濃度変化が長時間続き、定常状態に到達したときの濃度がA、B成分の仕込み比よりも大きい値になった。このことは、A、Bのガラス粒子の混合の進行と同様に、B粒子表面の染料が粒子同士の接触によってさらに微粒化して分散し相手側粒子の表面に移行するような摩擦コーティングも起っている。このとき、B粒子同士の接触では染料の移動があっても色の変化としては現れず、BとA粒子が接触して初めて色の変化として検出されるものと考えられる。したがって、初期において二成分が不十分な混合状態にあるときにはコーティングの進行は少なく、A、B粒子の位置交換の影響が大きく現れ、一方、混合後期においてB粒子がA粒子中に十分に分散した状態では染料のコーティング過程がより支配的に濃度変動曲線と混合曲線に現れているものと推察される

(2) 静電気による混合：A成分としてポリ塩化ビニル(PVC)粒子、B成分として真密度比が3あるジルコンサンド(Zr)を、 $N_V=33.3\text{Hz}$ 、 $N_R=1500\text{rpm}$ の条件で混合した場合の濃度変動曲線および混合曲線をFig. 9 (8a)、(8b)に示した。(8a)よりPVC層上面に投入された重成分Zrが時間の経過とともに約20~40秒で循環を繰り返しながら次第に沈降して槽底部に分離し始め、約3分で最も多く偏析して粒子層がほ

ば完全に二相に分かれているのがプローブDで検出されている。この状態が1分程持続した後、底部のZrが急速に動きだし約5分後からは槽内全体にわたって濃度変化が激しくなっていく、約15分で物性差の無い粉体系で得られるような最終混合状態に到達した(8b)。

このような混合過程は単なる攪拌による分散効果だけでは説明が難しい。そこで、混合槽の上部に集電式の電位測定プローブ(^{241}Am)を取り付けて攪拌中の粉体層の表面電位を連続的に測定したところ Fig. 10 のようなパターンをえた。PVCのみの攪拌では負の電位を示しているが、Zrを投入することより正に転じ、Zrが上表面から消失して槽底に偏析した約3分後から再び負の方向に変化し始めた。この間に槽内での再混合が起こっているのに対応している。15分以降は -1000 V の値で平衡状態になった。なお、分離し易い二成分粒子が摩擦帯電による静電気力によって安定に均一混合状態を保っていることを確かめるために、攪拌状態で電位が平衡になった後、液状帯電防止剤(信越化学:KF-354)を粉体層に数ml添加したところ、表面電位が上昇してPVCとZrとは直ちに分離し、Zrが底部に偏析するのが観察された。

このほか、類似の混合過程を示す例としては、高速攪拌による摩擦発熱で熱可塑性樹脂などが軟化あるいは溶融して他の粒子を付着し分離作用を抑制する一種の造粒を伴う混合などがあつた。

4. 結 言

粉粒体の混合状態を連続的、自動的に測定するため

に開発された光学的手法とマイクロコンピュータを組み合わせた計測システムを用いて、まず、本システムの基本的な特性である粉粒体の光反射特性および混合度の検定を行ない、ついで、種々の組み合わせによる二成分粉粒体系の混合特性を測定してつぎのような結果を得た。

(1) 流動状態にある粉粒体の動的な反射特性を調べるために振動条件下で測定したところ、光反射強度は周波数、振幅および加速度などの粉粒体層の充填状態を左右する因子に影響されているが、基本的には静止系で得られた濃度-出力電圧の関係の実験式 Eq. (1) を Eq. (2) で補正した形で近似できた。

(2) 混合度の表示には粉粒体の流動に伴う反射強度の揺らぎの標準偏差を考慮した値 σ_M を用い、プローブの数を変えてサンプルサイズを検討したところ、5本以上のプローブを用いれば混合槽内全体の混合状態をほぼ代表できることが分かった。

(3) 容器振動を伴う高速攪拌型混合機を用いて、いくつかの粉粒体の組み合わせについて着目成分の濃度変動を連続測定し、それに基づいて種々の特徴ある混合曲線のパターンを分類した。なかでも、従来のサンプリング法では測定がかなり困難であった局所的な循環流や物性差による特定成分の分離偏析現象が動的な状態で明確に捕らえることができた。さらに、一度分離した粒子が静電気などの表面状態の変化に伴って再混合するような場合についての新しいパターンに属する混合曲線を得ることができ、そのメカニズムも考察することができた。

Nomenclature

a_i : 定数	[-]	N : プローブ数	[-]
C_i, C_j : 着目成分濃度	[wt%]	N_R : 羽根回転速度	[rpm]
C, C_{j0} : 着目成分の平均濃度	[wt%]	N_v : 振動周波数	[Hz]
$\bar{d}_{PA}$: A成分の平均粒子径	[μm]	r : 振幅	[mm]
$\bar{d}_{PB}$: B成分の平均粒子径	[μm]	σ_E : 振動による反射変動の標準偏差値	[-]
E : 濃度検出器出力電圧	[mV]	σ_M : Eg.(4)による標準偏差値	[-]
E_{80} : 80Hzで振動時の出力電圧	[mV]	σ_0 : 混合前の標準偏差値	[-]
K : 定数	[-]	ρ : 真密度	[kg/m^3]
M : Eg.(5)で定義される混合度	[-]		

References

- 1) Satoh M., Y. Deguchi, S. Komura and K. Miyunami : *J. Soc. of Powder Technology Japan*, **22**, (2), 79 (1985)
- 2) Satoh M., S. Komura and K. Miyunami : *ibid*, **22**, (8), 529 (1985)
- 3) Yano T., K. Terashita and T. Musha : *Funsai*, **17**, 22 (1972)