回転羽根をもつ容器固定型混合器における 混合過程のシミュレーション[†]

藤 原 幸 男* 小 高 基 規**
大 庭 敦** 吉 村 慶 英**

Simulation of Mixing Process in a Stationary Mixer with Vertical Impeller Blades

by

Yukio FUJIHARA*, Motonori ODAKA**, Atsushi OHBA**
and Yoshihide YOSHIMURA**

A simulation model of mixing process presented in the previous paper was based on the assumption that the mixing process is affected by exchanging the positions of high resistance particles with those of low resistance ones in the whole system. In this report, we proposed a modified new simulation model which differs from the previous one in a point that the new one has an expanding mixing zone. By means of this model, the actual mixing process of a stationary mixer with impeller blades fixed on the vertical rotational axis was characterized.

The results obtained were summarized as follows ;

(1) Validity of the simulation method for the actual mixing process was confirmed by comparing parameters (σ , R) related to the actual mixing process with those of modified model.

(2) The arrangement of particles and the mixing zone were determined on the basis of the results obtained from the photographic observation during an actual mixing process.

The standard deviation of the total inspection, σ_{TL} was found to be affected by the number of samples, N and the sample size, S_n . The optimum values of N and S_n were 16 and 25, respectively.

(3) The value of the sampling fraction, ζ was found to be affected by the sampling conditions. In the spot sampling, when the correlation coefficient between σ_{SL} (: Standard deviation in the spot sampling) and R_s (: Total electric resistance calculated by applying the approximation method) was greater than 0.8, the value of ζ became minimum, 20 percent.

(4) The mechanism of actual mixing process seemed to be accounted by the hybridization of two processes, one is the process of expansion of mixing zone and the other is the process of random exchange of position of particles in the mixing zone.

Key words : Simulation, Mixing process, Stationary mixer, Vertical impeller blades,
Solid particles system

1 緒 言

粉体の混合操作において混合度を迅速に推定することは混合器内の混合状態を検出し制御する場合非常に重要である。しかし、従来の混合度測定法はサンプリングを行ない着目物質の濃度を分析し求めるという方法がとられているため測定値を得るまでの所要時間が長いことから混合過程における混合度を評価し制御する方法としては不適當である。

このような立場から、混合過程のシミュレーションに関する研究は混合度を迅速に推定することが可能であることから非常に重要であり、矢野ら^{1), 2)}, S. H.

Shin and L. T. Fan³⁾などの研究報告がある。また、混合度と電気抵抗との関係については Otavi. H.⁴⁾, Bernascom. J.⁵⁾などの研究があるがこれらの研究は混合過程については言及していない。

筆者らは電気抵抗値の異なる二成分粒子系について、Fig. 1(a)に示されているような混合器(直方体容器)の内壁(対方向)に電極(電極面積は粒子充てん層の断面と等しい)を設け電気抵抗を測定する。粒子の仕込状態は電極に対して、高抵抗粒子群と低抵抗粒子群が並列に仕込まれ、混合される混合系である。混合系の電気抵抗値はその混合度と密接な関係にあることに

[†] 原稿受理 平成元年3月13日 Received Mar. 13, 1989

* 正 会 員 工学院大学 八王子市中野町, Department of Chemical Engineering, Kogakuin University, Nakano-cho, Hachioji

** 工学院大学 八王子市中野町, Department of Chemical Engineering, Kogakuin University, Nakano-cho, Hachioji

- L_N : Length of 1/2 of a side in the square mixture.
 B : Length of blade [cm] B .
 A : Mixing zone.
 B : Fixation zone AB .
 R_{ti} : Radius of inside domain of the rotational movement at the initial state of mixing process.
 R_{ti}' : Radius of inside domain of the rotational movement of particles.
 R_{ti}' : Radius of inside domain of the rotational movement at the final state of mixing process.
 R_{of} : Radius of outside domain of the rotational movement at the initial state of mixing process.
 R_{of} : Radius of outside domain of the rotational movement of particles.
 R_{of}' : Radius of outside domain of the rotational movement at the final state of mixing process.

Fig. 1. Mixing method and mixing zone in the modified system.

着目し、電気抵抗値 R より混合度 σ を評価する方法についてシミュレーション実験およびモデル実験による検討を行ってきた。

シミュレーション実験におけるモデル系内での混合の起こる領域について系全体を対象としてきた。

しかし、モデル実験の場合は Fig. 1 (d), Fig. 3 (a), (b) に示されているように混合ゾーン内で混合が起こっている。このような混合領域が限定されたモデル系の σ と R の関係については今まで検討していない。

また、混合器内部の混合状態を的確に検出する研究は佐藤⁽¹⁰⁾らの研究報告以外ほとんど行なわれていないのが現状である。

そこで、本研究はモデル実験における混合器内部の混合状態を考慮した混合過程の σ と R の関係をシミュレーション実験により明らかにすることを目的とした。シミュレーション実験の方法は混合器内部の混合状態を粒子の二次元立方格子配列モデル系として表し、(このモデル化された系を以後モデル系という) モデル系の σ と R の値を求め、所定の混合機構(条件)にしたがって混合を進めるようなプログラムを作

成し、 σ と R の相関係数 γ を求め両者の関係を明らかにした。

モデル系(混合領域が限定された系)の全電気抵抗値は後述する近似計算法(計算処理時間が短く、系を大幅に拡張することが可能である)を適用することの妥当性を確認し近似計算法とした。また、混合度は短距離混合度 σ_s 、系全体をサンプリング対象とした混合度 σ_{TL} (標準偏差)、さらに系の全粒子数 100×100 よりスポットサンプリングサイズ 25 個程度とした場合のスポットサンプリングによる混合度 σ_{SL} などについて調べた。

シミュレーション実験の妥当性はシミュレーション実験用プログラムによりモデル系の σ と R を求め、両者の相関性、混合度を求める際のサンプリング条件などについて検討した。つまり、 σ と R の相関性に対する混合度の表し方の影響、サンプル数、 N の影響、スポットサンプリングの条件の問題および混合機構などについて検討した。

2 モデル実験における混合状態のモデル化

モデル実験における混合過程をシミュレーション実験により解析するためにはモデル実験における混合状態(混合器底部の写真 Fig. 3 (a) 参照)を二次元粒子配列モデル系に置換える必要がある。

実際の混合実験における混合は Fig. 3 (a) に示され

Input: Input of experiment condition.

Initial state: parallel arrangement.

Calculation: Calculation of σ_s , σ_x , σ_r , R_s , R_x in the initial state.

Determination A zone: Determination of domain of mixing in the A zone ($R_t \rightarrow R_{ti}$, $R_o \rightarrow R_{of}$).

Mixing B zone: the random exchange of positions of referring particles in the mixing B zone.

I: Operation variable.

; I was changed for each 90° in the rotation of blade.

KT: Operation variable.

; KT was changed for each 180° in the rotation of blade.

Fig. 2. Flow sheet to calculate the standard deviation and the total electric resistance of a modified system.

(a) Photographs of bottom in an actual mixing.

(b) Modified system in the simulation experimental ($m \times n: 20 \times 20$).

Mixing mechanism of above photograph: $[R_o/L_u=0.8 \text{ fixation}, R_i/L_u=0.4 \rightarrow 0.2]$.

Fig. 3. Photographs of the bottom of mixer in the actual mixing model and the modified system.

ているような観察面（一粒子層）内での粒子の位置交換のみでなく、観察面に垂直方向に存在する面間の粒子の出入が起きているものと考えられる。しかし、モデル系における混合は計算処理の簡単化のために、二次元の観察面内のみでの粒子の位置交換を考えた。

モデル実験では二種粒子の電気抵抗値の差が大きい。たとえば導電性粒子と絶縁性粒子の混合系において、導電性粒子による電路が存在しない混合系においては混合度がどんなに変化しても電気抵抗値はほとんど変化しない。しかし、二種粒子の電気抵抗値の差が少ない場合は電路が存在しない混合系においても全電気抵抗値は系の混合状態に対応して変化するものと考え、実際的には、比較的電気抵抗値の差が少ない（A：鉛粒子群，B：ステンレス粒子群）を用いた。

混合過程における Fig. 1(a) に示されているような電極間の電気抵抗 R_m を測定し、実際のモデル実験において羽根の回転に伴う混合器の表面および底面粒子の移動軌道を明らかにするために混合器の上部と底部の写真撮影を行なった。その結果より追従係数を考慮した現実的な系の全電気抵抗値 R の導出式を求めた。また、実際のモデル実験において羽根の回転に伴う混合器の表面および底面粒子の移動軌道は円形軌道であることを明らかにした。

モデル化はこれらの実験結果を基にした混合ゾーンの考え方に基いて行なった。

モデル系は Fig. 3(b) に示されているような二次元立方格子配列モデル系とし、混合の初期状態は Fig. 1(a) に示されているような二種の粒子群が並列に仕込まれている状態とした。

混合ゾーンは Fig. 1(b) に示されているように羽根

の回転に伴って粒子が移動する領域（図中の A の部分）とする。したがって、二次元モデル系では混合ゾーンと粒子が移動しない領域（図中の B の部分）に区分される。さらに、混合ゾーンは羽根の回転に伴って粒子の位置交換が起こる領域（Fig. 1(d) 中の R_{or} と R_{lr} の間の領域）と位置交換が起こらない領域（同図中の R_{lr} より内部の領域）に区分される。

系の混合機構は羽根の回転に伴う混合ゾーンの拡張（ $R_{oi} \rightarrow R_{or}$, $R_{ui} \rightarrow R_{lr}$ ）と混合ゾーン内の Fig. 1(d) 中の R_{or} と R_{lr} の間の領域における粒子の位置交換の二つの機構を考え、これらの機構は羽根の回転に伴って同時に起こるものと考えた。

ここで、 R_o , R_i は混合過程において変化する外円と内円の半径、 R_{oi} , R_{ui} は混合初期における外円と内円の半径、 R_{or} , R_{lr} は混合限界（混合限界とは混合容器の大きさ、かく伴羽根の大きさなどの混合条件によって、いくら混合を進めてもこれ以上混合が行なわれないような最終的な状態を意味する）における外円と内円の半径である。混合初期の混合ゾーンは羽根の長さ、 B によって決まり、モデル実験の写真を基に決定した。混合ゾーンの拡張速度（ R_o , R_i の変化速度）は羽根が $1/2$ 回転するごとにそれぞれの変化範囲（ $R_{oi} \rightarrow R_{or}$, $R_{ui} \rightarrow R_{lr}$ ）の $1/8$ ずつ変化するものとした。

R_i と R_o の変化範囲はモデル実験の写真により R_{oi} , R_{or} と R_{ui} , R_{lr} から決定した。

一方、混合ゾーン内における粒子の位置交換は羽根が 90° 回転するごとに行なうものとした。位置交換を行なう粒子は混合ゾーン内に存在する全粒子の二次元的な位置を確認し、そのうちの 80 % の粒子について、

一様疑似乱数系列により決定した。この際、一度交換の対象となった粒子はつぎの交換の対象とならないものとした。さらに、羽根が 90° 進むごとにまったく同様な方法を繰り返し混合を進めた。なお、混合過程の σ と R の計算は羽根の回転が 90° 進むごとに行った。(Fig. 2 のフロシート参照)

3 モデル系の混合度と電気抵抗値の計算方法

混合度の計算は σ_s , σ_{TL} ともに前報の方法にしたがった。しかし、 R_s と σ_{SL} の関係を検討する場合のスポットサンプリングにおけるサンプル位置の決定はモデル系全体を対象とし乱数により決定する場合と混合領域を対象とし決定する場合とについて行なった。

モデル系の全電気抵抗値は系の各行の抵抗要素の直列総和を求め、それらが並列に接続しているような等価回路の全抵抗値、つまり、式(1)により求められる近似計算法による計算値、 R_s を求めた。

$$R_s = (1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n)^{-1} \quad (1)$$

ここで、 $R_1, R_2, R_3, R_4, \dots, R_n$ は各行の電気抵抗値である。また、 n は行数である。

また、追従係数を考慮した計算式による電気抵抗値はつぎの式により求めた。

$$R = \ell \cdot e^{-k_1 \cdot t} \Sigma a_i \sin 2(\omega_i \cdot t - \pi/4) + m - n \cdot e^{-k_2 \cdot t} \quad (2)$$

式中の記号や各項の意味は前報と同じである。

なお、モデル系の表示および各種混合度、電気抵抗値を計算するプログラムの概略を Fig. 2 にフロシートとして示した。

4 シミュレーション実験の結果および考察

4・1 シミュレーション実験の妥当性について

モデル実験の混合過程における σ と R_s の関係をシミュレーション実験により明らかにするためにはシミュレーション実験における σ と R_s の求め方の妥当性を検討する必要がある。そこで、モデル実験とシミュレーション実験における混合度の比較およびいろいろの方法で求めた電気抵抗値を比較することにより妥当性を検討した。

4・1・1 シミュレーション実験の混合過程における混合度の妥当性 モデル系の混合度の妥当性を検討するために、モデル実験における羽根の回転角が π , 2π , 8π の場合の混合容器底部の写真 (Fig. 3 (a)) より求めた σ_{TL} と同一回転角におけるモデル系 (同図 (b)) の σ_{TL} を求め Table I に示した。その結果、Fig. 3 (a), (b) および Table I よりモデル実験とシミュレーション実験の混合過程における混合ゾーンの変化および混合度の変化傾向がほぼ一致していることからモデル系の混合度の求め方が妥当であることを明らかにした。

R_m : The electric resistance of the actual mixing process was measured by an electric tester.

R : Total electric resistance calculated by considering the following coefficient was obtained from the photograph of the actual mixing.

R_k : Total electric resistance calculated by strict method in the modified system. Mixing mechanism of above photograph: [$R_s/L_w=0.8$ fixation, $R_i/L_w=0.4 \rightarrow 0.2$].

Fig. 4. Comparison of the electric resistance obtained by three different methods.

さらに、モデル系について、混合度の表現方法の異なる σ_s と σ_{TL} を求め、両者の相関係数 γ に対する系の拡張効果をサンプル数、($N=4, 16$) 一定の場合 (Table II (a)) とサンプルサイズ、($S_n=25$) 一定の場合 (Table II (b)) について検討した。

その結果、 $N=4, 16$ のいずれの場合も系の小さいほど γ が大きいことを示しており、 γ の絶対値は $N=4$ の場合は $0.52 \sim 0.64$ と低い値を示し、 $N=16$ の場合は $0.88 \sim 0.95$ と高い値を示した。また、($S_n=25$) 一定の場合は系が大きいほど γ が大きいことを示し、 γ の絶対値はいずれの系においても $0.95 \sim 0.99$ と高い値を示した。

したがって、 σ_{TL} を求める際、 σ_s と σ_{TL} の良い相関性を示す N は Table II (b) および Fig. 5 の結果を合わせて考えると $N=16$ 前後で、 S_n は 25 位であることが分かった。

つぎに、モデル系における混合機構が σ_s と σ_{TL} の γ に与える影響を明らかにするために、系の大きさは 100×100 とし、 σ_{TL} を求める際の N を 4, 16, 400 と変えた場合の σ_s と σ_{TL} の γ を Table II (c) に示した。

その結果、混合機構 (a) (Fig. 1 (d) の外円の半径 R_0 を一定とした場合) の $N=4$ の場合、 γ は 0.5259 と

Table I. Comparison of standard deviations of an actual mixing and modified system.

A	π	2π	8π
(a)	0.4557	0.3667	0.3262
(b)	0.4316	0.4264	0.2997

A: Angular revolution.

(a) Standard deviations obtained by the photograph of bottom in a mixing model.

(b) Standard deviations of the simulation model Mixing condition based on the photograph: [$R_0/L_w=0.6 \rightarrow 0.8$, $R_i/L_w=0.4 \rightarrow 0.25$]; $N=16$.

Table II. Effect of an extension of the system on the correlation function (σ_s vs σ).

(a) In the case, the number of sampling was kept constant.

m	N	S_n	γ	N	S_n	γ
20	4	100	0.6433	16	25	0.9509
40	4	400	0.5702	16	100	0.9204
60	4	900	0.5497	16	225	0.9057
80	4	1600	0.5258	16	400	0.8833
100	4	2500	0.5259	16	625	0.8956

(b) In the case, the sample size was kept constant.

$m \times n$	N	S_n	γ
20 × 20	16	25	0.9509
40 × 40	64	25	0.9895
60 × 60	144	25	0.9915
80 × 80	256	25	0.9966
100 × 100	400	25	0.9980

(c) In the case of the different mixing conditions.

N	4	16	400
S_n	2500	625	25
(a)	0.5289	0.8972	0.9979
(b)	0.9516	0.9979	0.9981

 m : Size of the system. n : Size of the system. N : Number of sampling. S_n : Sample size. γ : Correlation function.

Mixing condition:

(a) [$R_s/L_w=0.8$ fixation $R_l/L_w=0.4 \rightarrow 0.2$].(b) [$R_s/L_w=0.5 \rightarrow 1.0$, $R_l/L_w=0.4 \rightarrow 0.1$].

低い値を示しているがその他の場合は 0.8972 以上である。これらのことから σ_{TL} を求める際の N は 16 前後で充分であること。また、混合機構としては (b) のように混合ゾーンが $R_{oi} \rightarrow R_{of}$ と拡張するような混合機構の方がよいことが分かった。

4.1.2 シミュレーション実験の混合過程における電気抵抗値の妥当性 シミュレーション実験の混合過程における電気抵抗値の妥当性は Fig. 4 に示されて

N : Number of sampling

Mixing condition:

[$R_s/L_w=0.8$ fixation, $R_l/L_w=0.4 \rightarrow 0.2$].Fig. 5. Effect of extension of the system on the correlation function (σ_s vs σ).

いるようにモデル実験における全抵抗の測定値 (同図中の R_m)、全電気抵抗を求める一般式による計算値 (同図中の R)、と本研究のモデル系による厳密計算値 (同図中の R_K) の各値の混合過程における変化傾向を比較することにより検討した。

その結果、 R_m と R はほぼ同じ振幅で変化している。しかし、 R_K の値は混合初期から 6π まで振幅が大きく、その後、 R_m 、 R とほぼ同じ振幅で変化している。

この原因は R_K の場合、二次元的な観察面内における粒子の位置交換のみを対象にしており、観察面に垂直方向に存在する面間の粒子の位置交換を考慮していないためである。

しかし、 6π 以後においては R_K の変化傾向は R よりむしろ測定値 R_m の変化傾向に同一傾向を示している。

したがって、 R_K によりモデル実験の電気抵抗値を推定することが可能であるものと考えられる。

さらに、本研究のような混合領域の限定された系について、系の大きさに対する R_K と R_s の γ を求めた結果、系の大きさ、 $20 \times 20 \sim 40 \times 40$ において γ は 0.8651 ~ 0.9261 と良い相関性を示している。したがって、 R_s によりモデル実験の電気抵抗値を推定することが可能であることが分かった。

以上よりシミュレーション実験における混合度と電気抵抗値 R_s の値を求める方法はモデル実験の混合過程におけるそれらの値を推定する方法として妥当であることを明らかにした。

4.2 シミュレーション実験における混合度と全電気抵抗の関係

前述したように混合領域が限定された系の混合度と全電気抵抗の関係を明らかにするために、両者の相関性に対する混合度の求め方の影響、サンプル数、 N の影響、スポットサンプリングの条件などの問題および混合機構などについて検討する必要がある。

4.2.1 R_s と σ の相関係数 γ に対する σ の求め方の影響 R_s と σ の γ に対する σ の求め方の影響を検討するために、モデル系の大きさ (系の一辺の粒子数) m が 20, 40, 60, 80, 100 の各系について、行間混合度 σ_x , σ_s , σ_{TL} と R_s を求め、 R_s と各混合度の γ を Table III に示した。

表から明らかなように、 R_s と σ_x の場合はいずれの系においても良い相関性を示しているが R_s と σ_s , R_s と σ_{TL} の場合はあまり良い相関性を示していない。この原因は系におけるサンプルの分割方法にあり、 σ_x の場合のサンプルは Fig. 3(b) に示されているモデル系の各行をサンプルとしているため、式 (1) のような R_s の求め方と対応していることから良い相関性を示すものと考えられる。

Table III. Comparison of correlation function between the standard deviations obtained by three different methods and the electric resistance.

m	R_s vs σ_x	R_s vs σ_s	N	R_s vs σ
20	0.9404	0.7222	16	0.8247
40	0.9353	0.7269	64	0.7322
60	0.9338	0.7319	144	0.7418
80	0.9421	0.6935	256	0.7222
100	0.9418	0.6879	400	0.7024

m : Size of the system.

R_s : Total electric resistance calculated by an approximation method.

σ_x : Inter-row standard deviation.

σ_s : Short range disorder.

σ : Standard deviation.

N : Number of sampling.

Mixing condition:

$[R_o/L_w=0.8$ fixation $R_i/L_w=0.4 \rightarrow 0.2]$.

しかし、 R_s と σ_{TL} の場合でも $m=20$, $N=16$, $S_n=25$ の条件においては γ が 0.8247 と比較的高い値を示している。このことから、 R_s と σ_{TL} の場合、最適な m , N , S_n の条件が存在するものと考えられる。

そこで、 R_s と σ_{TL} の場合の γ と m の関係について、 N をパラメータとして Fig. 5 に示した。その結果、図より $N=16$ においてはいずれの系においても γ は 0.8 以上であり比較的良好な相関性を示すことから N の値が 16 より小さい 4 および大きい 100, 400 の場合も相関性が良くないことから、最適な N の値が存在することが分かった。

4・2・2 最適スポットサンプリング数（採取率）

モデル系において最適スポットサンプリング数を求めることはサンプリングの手間を省くという点から非常に重要である。そこで、 R_s と σ_{SL} の γ とスポットサンプリングの採取率 ξ の関係を検討した。

スポットサンプリングの採取率 ξ は

$$\xi = N \cdot S_n / (m \cdot n) \quad (3)$$

ここで、 N はスポットサンプリング数、 S_n はサンプルサイズ（1 サンプル中の粒子数） $m \cdot n$ はモデル系の大きさである。

そこで、モデル系全体を $N=40$ (2, 20) に分割し、サンプリングの位置を乱数により決定する方法で、 $m=60, 80, 100$ の場合について γ と ξ の関係を Fig. 6 (a) に示した。なお、サンプルの形状は長方形サンプル（モデル系の一辺を 2 分割し、その辺に垂直な辺を 20 分割したサンプル）とした。

その結果、系の大きさによる影響はほとんどなく ξ が 40% 以上において γ は 0.8 以上の値を示した。

また、サンプリングの位置を系全体を対象として乱数により決定する場合と混合ゾーン内を対象としてサンプリングする場合を比較検討するために両者の γ と ξ の関係を Fig. 6 (b) に示した。

その結果、後者の場合は ξ が 20% 以上において γ

(a) Effect of size of the system.

(b) Effect of location of the sample.

Mixing condition:

$[R_o/L_w=0.8$ fixation $R_i/L_w=0.4 \rightarrow 0.2]$.

 Fig. 6. Relationship between the correlation function (R_s vs σ) and the percent of picking ($\xi = N \cdot S_n / (m \cdot n)$).

は 0.8 以上の値を示した。

以上の結果から、スポットサンプリング法の条件としての N と S_n の値は区別して条件設定するのではなく、採取率、 $\xi = [N \cdot S_n / m \cdot n]$ として条件設定すればよいものと考えられる。さらに、サンプリングの位置を混合ゾーン内とした場合 ξ を 20% としても、混合過程における σ_{SL} と R_s との相関が良いことが分かった。

5 結 言

モデル実験のような混合領域が限定された系の混合過程における σ と R_s の関係を明らかにすることを目的としてシミュレーション実験を行い、系の全電気抵抗値 R_s により混合度を推定する場合の基礎的事項を検討し、つぎのような結果を得た。

本研究のシミュレーション実験における σ と R_s の求め方によりモデル実験のそれを推定することが可能であることを明らかにした。

混合度を求める際のサンプリング条件を検討した結果、 R_s と σ_{TL} , σ_{SL} の相関係数より最適なサンプリング

グ条件が存在することを明らかにした。

シミュレーション実験における混合機構は羽根の回転に伴って、モデル系における外円、内円の半径が共に変化する（混合ゾーンが羽根の回転軌道の内外に拡張される）と同時に混合ゾーンの一部における粒子の位置交換が起こるような機構であることを明らかにした。

（昭和63年10月28日 第26回粉体に関する討論会にて講演）

参 考 文 献

- 1) T. Yano, T. Aratani and K. Terashita, DEHEMA-mono graphien, **66**, 177 (1970).
- 2) 寺下敬次郎, 矢野武夫, 粉体と工業, No. 10, 55 (1974).
- 3) S. H. Shin, L. T. Fan, Powder Technology, **19**, 137

(1978).

- 4) H. Ottavi, J. Clerc, G. Giraud, J. Rousseng, E. Guyon and C. D. Mitescu, J. Phys. C, Solid State Phys., **11**, 1311 (1978).
- 5) J. Bernascom, W. R. Schneider and H. J. Wiesmann, Physical Review B, **16**, 5250 (1977).
- 6) 藤原幸男, 吉村慶英, 材料, **36**, 1198 (1987).
- 7) 藤原幸男, 小高基規, 大関 清, 吉村慶英, 材料, **36**, 1198 (1987).
- 8) 吉岡哲也, 兼子孝宏, 藤原幸男, 吉村慶英, 材料, **34**, 1255 (1985).
- 9) 藤原幸男, 吉村慶英, 材料, **35**, 1240 (1986).
- 10) 佐藤宗武, 出口雄一郎, 宮南 啓, 粉体工学会誌, **24**, 647 (1987).

書 評

Rheological Measurement

A. A. Collyer and D. W. Clegg (編)

(1988年, Elsevier Applied Science Publishers, London 発行, 23×14.5 cm, 647ページ, £ 87)

レオロジー測定法をまとめた成書は、以前国内外で相当数発刊され、レオロジーの研究に少なからず貢献してきた。本書もそれらと類を同じくするものであるが、久しぶりに出版されたという感がある。16章から成る厚い本であるが、各章の表題を列記する。

第1章 Capillary Rheometry, 第2章 Slit Rheometry, 第3章 Converging Dies, 第4章 Recoverable Elastic Strain and Swelling Ratio, 第5章 Viscous Heating, 第6章 Computer Control and Data Processing in Extrusion, 第7章 Commercial Instruments, 第8章 Elongational Rheometers, 第9章 Rotational Viscometry, 第10章 Oscillatory Rheometry, 第11章 Normal Stress Differences from Hole Pressure Measurements, 第12章 Sliding Plate and Sliding Cylinder Rheometers, 第13章 Commercial Rotational Instruments, 第14章 Flow Visualisation in Rheometry, 第15章 The Rheology of Two-Phase Flow, 第16章 Mathematical Modelling of Two-Phase Flows.

本書の特長は次の点であろう。(1) 古くからある伝統的測定法に加えて、近年開発された測定法が扱われている。第8, 11, 14章などが新しく、第4, 5, 6章などもまとめて書かれ、読者にとって有用であろう。(2) この分野で伝統のある英国で編集されている。各章の著者すべてが英国の研究者ではないが、内容は英国臭が強い。これは良いことだと思う。ただし、第7, 13章は単に例であるとみる方がよい。(3) サスペンションやポリマーアロイなど二相不均質系のレオロジーに関する章(第15, 16章)がつけ加えてある。測定法とは直接関係のないものであるが、最近の材料は複雑な系が多く、測定結果にとまどうことがないように配慮されたものと考えられる。これで十分だとは思えないが、ある方がよい。

各章を別々の著者が担当しているため、章ごとにみれば、いろいろ文句もあるが全体としてよくまとまっている。レオロジー測定に関係する人々のみならず、レオロジーの勉強にも参考になる本である。

(京都大学医用高分子研究センター 升田利史郎)