

北海道大学工学部化学工学科 正会員 丹保 寛仁

学生員 渡辺 義公

## 1. フロック形成の理論式

過大生長粒子の破壊も考慮したフロック形成の基本式として式-1 が丹保によつて与えられている。

$$\frac{dn_R}{dt} = \frac{1}{2} A \sum_{i=1}^{R-1} \left[ i^{\frac{1}{3}} + (R-i)^{\frac{1}{3}} \right]^3 n_i n_{R-i} - A n_R \sum_{i=1}^{R-1} \left( i^{\frac{1}{3}} + R^{\frac{1}{3}} \right)^3 n_i \quad \text{----- (1)}$$

式-1 を  $N_i = n_i/n_0$  とおき  $\sum_{i=1}^R i N_i = 1$  なる条件下で無次元化すると式-2 をうる。

$$\frac{dn_R}{dm} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{R-1} \left[ i^{\frac{1}{3}} + (R-i)^{\frac{1}{3}} \right]^3 N_i N_{R-i} - N_R \sum_{i=1}^{R-1} \left( i^{\frac{1}{3}} + R^{\frac{1}{3}} \right)^3 N_i \quad \text{----- (2)}$$

ここで、 $n_0$ : フロック形成開始時 ( $t=0$ ) における単位体積中の粒子数 [ $1/\text{cm}^3$ ]、 $n_i$ ,  $n_R$ : 単位体積中の  $i$  倍,  $R$  倍粒子の数 [ $1/\text{cm}^3$ ]、 $A = 3\pi\beta \sqrt{E_0/\mu} d_1^3$ : フロック形成速度係数、 $\beta$ : 定数 ( $\text{sec}^2/\text{cm}^2$ )、 $E_0$ : 単位体積の流体中で単位時間に失われるフロック形成に有効なエネルギー量 [ $\text{erg}/\text{cm}^3 \cdot \text{sec}$ ]、 $\mu$ : 水の粘性 [ $\text{poise}$ ]、 $d_1$ : 初期粒子 ( $t=0$ ) の径 [ $\text{cm}$ ]、 $m = A^* t$ : 無次元化フロック形成攪拌継続時間 [無次元]、 $A^* = A n_0 = 3\pi\beta \sqrt{E_0/\mu} d_1^3 n_0$  [ $1/\text{sec}$ ]

式-1, 2 はフロック形成の進行と共に生ずる  $i$  倍粒子は  $i$  個の原粒子が集って重量体積共に  $i$  倍のフロックが出来るとして導かれたものであるが、実際に形成されるフロックは衝突合一の際に空隙水を取り込み見かけ密度がフロック径の増大と共にいちじるしく低下して来る。そこで実際のフロック形成を論ずる際には、このフロック密度変化を考慮したフロック形成の基礎式を求めなければならない。

原粒子の直径を  $d_1$ 、 $i$  倍粒子の直径を  $d_i$  とすると質量一定の関係から式-3 をうる。

$$i (\pi/6) d_1^3 (\rho_{e1} + \rho_w) + V_w \rho_w = (\pi/6) d_i^3 (\rho_{ei} + \rho_w) \quad \text{----- (3)}$$

ここで、 $\rho_{e1}$ :  $i$  倍粒子の有効密度 [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]、 $\rho_w$ : 水の密度 [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]、 $V_w$ :  $i$  倍粒子の空隙水の体積 [ $\text{cm}^3$ ]、 $\rho_{ei}$ :  $i$  倍粒子の有効密度 [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ] (註) 有効密度 = 真密度 - 水の密度

体積平衡から  $i$  倍粒子の空隙体積は式-4 で示される。

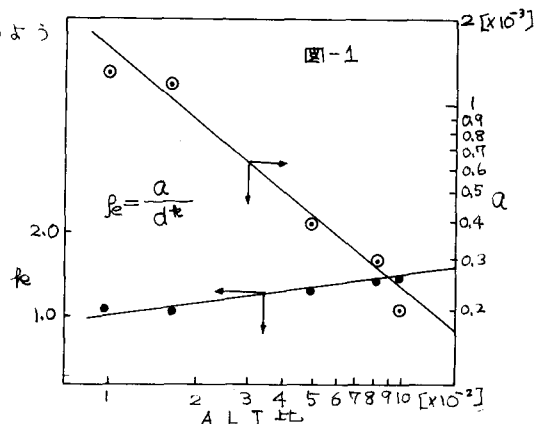
$$i (\pi/6) d_1^3 + V_w = (\pi/6) d_i^3, \quad \therefore V_w = (\pi/6) (d_i^3 - i d_1^3) \quad \text{----- (4)}$$

フロック径  $d$  とフロック有効密度  $\rho_e$  の間には式-5 のようなフロック密度関数が成立する。

$$\rho_e = a d^{-k} \quad \text{----- (5)}$$

ここで、 $a$ ,  $k$ : フロック形成条件で決定される定数  
アルミニウムフロックについては主に A/LT 比との関係で定まり、図-1 のように示される。

式-3, 4, 5 の関係から  $\rho_w = 1$  とすると  $i$  倍粒子の径は式-6 のように与えられる。



$$\alpha_i = \alpha_1 i^{\frac{1}{3-R}} \text{----- (6)}$$

したがってフロック密度の変化を考慮した無次元化フロック形成式は式-7で示される。

$$\frac{dN_R}{dm} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{R-1} \left[ i^{\frac{1}{3-R}} + (R-i)^{\frac{1}{3-R}} \right]^3 N_i N_{R-i} - N_R \sum_{i=1}^{S-R} \left( i^{\frac{1}{3-R}} + R^{\frac{1}{3-R}} \right)^3 N_i \text{----- (7)}$$

式-2, 7は最大生長度  $S = (d_{\max}/d_1)^{\frac{3-R}{R}} \div 100$  程度であれば電子計算機を用いた数値解をうる事が出来る。実際のフロック形成では  $d_1 \div 10^{-4} \text{cm}$ ,  $d_{\max} = 10^{-2} \text{cm}$  のオーダーであり  $S \div 10^3 \sim 5$  といふ値となるのでこのような多元の連立微分方程式は計算機容量の関係から数値解をうることが不可能である。したがって実験的方法によって解を求めざるをえない。

## 2. 無次元化フロック形成度表示 (無次元化時間累積除去百分率曲線)

式-7において長および  $S$  の組合せについて各々のフロック群の組成変化を実験的に求めておけば  $m$  値を構成している諸因子の個々の量にかかわらず、普遍的に使用しうるフロック粒度分布曲線を導く事が出来る。図-1に示すようにアルミウムフロックの長値は1.2~1.4と比較的小さな範囲でしか変化しないので実用的にはその平均的な値を用いる事が出来る。また  $S$  は式-8によつて攪拌強度  $E_0$  が与えられれば予め計算で求める事が出来る。

$$S = (d_{\max}/d_1)^{\frac{3-R}{R}} = \left[ (K/\sqrt{E_0 \mu})/d_1 \right]^{\frac{3-R}{R}} \text{----- (8)}$$

ここで  $K$ : フロックの性質によって定まる定数  $[\text{dyne/cm}^2]$

フロック形成は通常つぎの沈殿段階でのフロック群の沈降分離を目途とするものであるから、本論ではフロック群の組成を静水沈降槽における沈降時間と除去率の関係に引き直して表示することとした。この場合も使用の普遍化を計るため沈降時間を1倍粒子が所定の水深を沈降し切るに要する時間  $t_1$  を原粒子が同水深を沈降し切るに要する時間  $t_0$  で除した百分率  $\theta = (t_1/t_0) \times 100$  なる無次元化時間を用いた。このようにして描かれた無次元化時間沈降曲線の1例  $S = 7.25 \times 10^3$  は図-2のようである。

この様な図を考えられる  $S$  の範囲について数種描いておくことによつて、任意の無次元化攪拌時間  $m$  だけフロック形成を行うことによつて存在する全粒子の何れを与えられた無次元化沈降時間で除去しうるかが知られる。無次元化に用いた式を逆に用い  $m$  値,  $\theta$  を構成する要素に実数値を代入することによつてフロック形成池, 沈殿池の設計要素を定めうる。(図-2の  $E_0$  は接触フロック形成によつて求めたものである)

$m$  値は Camp の  $G T$  値に  $C \propto d_1^3 n_0$  をかけたものであり  $S$  は  $G$  の関数であるから、無次元化設計は  $G T$  値と、 $G$  値を指標として与えられるべきである。Camp が明確に設計数値を与え得なかつたのは  $G T$  値を考えたのみで  $C$  値に対しての連解を構えなかつたためと、 $G$  値を生長限度に対しての定性的な目安としたのみで取捨を理論的扱いをなしえなかつた故である。

