T ジャンクションによる固液二相流の分配特性*
(第 2 報, 鉛直方向から水平に分岐する場合)太田 淳一^{*1}, 二宮 洋介^{*2}, 奥井 隆宗^{*2}Distribution Characteristics of a Solid-Liquid
Two-Phase Flow by using a T-Junction
(2nd Report, Bifurcating from Vertical to Horizontal Direction)Junichi OHTA^{*3}, Yosuke NINOMIYA and Takamune OKUI^{*3} Course of Mechanical Engineering, Graduate School of Engineering, University of Fukui,
3-9-1 Bunkyo, Fukui-shi, Fukui, 910-8507 Japan

A solid-liquid two-phase mixture (water and aluminum particles) was vertically led to a T-junction. Particle number densities (number of particles per volume) at the outlets were measured at inlet concentrations of $(1.7 \sim 9.2) \times 10^{-3} \%$, Reynolds number ranging from 12 000 to 19 000, and Stokes number of 0.45 to 4.3. As a result, we found a velocity ratio (branch velocity/inlet velocity) range where solid particles did not enter the branch of the T-junction with the vertical orientation. The present data at lower inlet concentrations was compared with those obtained by Nasr-El-Din at higher inlet concentrations, i.e., 3 to 26%. We found that dimensionless concentrations at the branch (the present data) were higher than those obtained by Nasr-El-Din. Our dimensionless particle number density at the branch for the T-junction with the vertical orientation was found to be higher than those with the horizontal T-junction at similar inlet concentrations.

Key Words: Solid-Liquid Two-Phase Flow, T-Junction, Particle Number Density, Flow Visualization

1. 結 論

固液二相流中の粒子の除去や分離, 粒子濃度の簡便な低下方法が機械, 化学, 環境など様々な分野で求められている。低濃度化の一つの方法として, 分岐管を用いることが考えられる。従来, 固液二相流を分岐管に導き, 二つのパイプに分岐させ, 両者の流速比を変化させることで, 固液二相流の濃度の変化することが, Bugliarello and Hsiao⁽¹⁾, Karino and Goldsmith⁽²⁾, Nasr-El-Din ら⁽³⁾⁽⁴⁾, によって明らかにされた(表 1 参照)。Hu and Firth⁽⁵⁾は T-ジャンクションによる分岐によって濃度が変化しない工夫を行った。しかし, これらの実験はいずれも分岐管入口の粒子体積濃度が 3% 以上と比較的高い条件でなされているが, 工業上用途が多いと予想されるより低濃度の実験は報告されていないようである。そこで, 前報⁽⁶⁾では, 分岐管入口の粒子体積濃度が約 $(0.9 \sim 16.8) \times 10^{-3} \%$ と低い条件で, 固液二相流が水平方向から分岐管に流入する際の分配特性について明らかにした。

本報告では, 固液二相流が分岐管に対して鉛直方向に流入する際の分配特性のデータを得て, 入口で高濃度の場合との違い, 分岐管に対して水平方向に流入する場合との違いなどを明らかにすることを目的として, 入口の粒子体積濃度が約 $(1.7 \sim 9.2) \times 10^{-3} \%$, 入口の Re 数が 12000 ~ 19000, ストークス数¹が 0.45 ~ 4.3 の条件で実験を行った結果について述べる。

2. 実験装置と方法

2.1 実験装置 実験装置の概略を図 1 に示す。実験装置はタンク, 遠心ポンプ, バルブ, T 字型の分岐管(図中の Junction), 粒子数測定用の測定部(図中の Measurement Part)からなっている。分岐管の管の番号は「主管の入口側の管」を管 2, 「主管の出口側の管」を管 3, 「枝管」を管 1 と定義する。タンク内にある旋回羽根で攪拌されたアルミ粒子と水の混合水がポンプによりタンクから汲み上げられ, 測定部を通り分岐管に流入する。次に, 混合水は, 分岐管内部で管 1 と管 3 に分岐し, それぞれ測定部を再び通り, タンクに戻る。

* 原稿受付 2007 年 9 月 6 日。

^{*1} 正員, 福井大学大学院工学研究科(〒910-8507 福井市文京 3-9-1)。^{*2} 福井大学大学院工学研究科。

E-mail: ohta@mech.fukui-u.ac.jp

¹ Nasr-El-Din らは分岐管のストークス数を $St = \rho d^2 U_{f,in} / (18 \mu D)$ と定義している⁽³⁾。ここで, $U_{f,in}$ は分岐管の入口の液流速, μ は流体の粘性係数で, d は粒子直径で, ρ は粒子密度である。

Table 1 Previous experimental conditions for junctions

	Re	S_T	Concentration(vol)%	Specific weight (particle)	Diameter (particle) μm	Diameter (pipe) mm
Bugliarello and Hsiao ⁽¹⁾ , 1964			5~45		600	6.32
Karino and Goldsmith ⁽²⁾ , 1979	15~420				15~80	3
Nasr-El-Din and Shook ⁽³⁾ , 1986	117000~131000	0.73~16	3~26	2.65	165, 326, 720	24.3
Nasr-El-Din et al. ⁽⁴⁾ , 1989	43200~102000	0.06~3.7	6~20	2.65	80, 230, 400	25.4
Hu and Firth ⁽⁵⁾ , 1997	80000~120000	1.1~7.3, 0.80~1.2	4, 6, 12	2.45, 1.45	260, 500, 290	25
Ohta et al. ⁽⁶⁾ , 2005	9300~13000	0.14~6.6		2.72	156, 457	10

混合水は測定部で下向きに流れるようにしてある。管2の上流と、管1と管3の下流には流量調節用のニードルバルブ(V1, V2, V3)が各々設置してある。遠心ポンプの特性から、バルブV2の開度を固定しV1の開度を大きく変えると、分岐管に入る流量が変化する。

分岐管は幅×高さ×厚さが130 mm×200 mm×30 mmの亚克力製の矩形ブロックで、その中に内径10 mmの分岐管の流路が彫ってある。また、分岐管は図2の下向き流れあるいは、上向き流れになるように設置を変更できる。測定部は幅×高さ×厚さが114 mm×200 mm×30 mmの亚克力製の矩形ブロックで、その中に直径10 mmの円管流路が3本彫っており、管1、管2、管3にそれぞれ繋がっている。ポンプと分岐管を繋ぐ配管は200D (Dは管直) 以上の長さとし、また、分岐管と測定部間の配管は80D以上の長さとする。その配管には、粒子を管断面に分散させるために管断面の収縮・拡大部が測定部の上流に設置され、さらに直管部を経て測定部に繋がれている。

混合水はフィルターを通した上水50 Lにアルミニウム粒子を混ぜたものである。アルミニウム粒子は、平均粒子径156 μm 、真円度(Roundness=外周×外周/(4 π ×断面積)と定義)1.94、半径比(Radius ratio)2.14の粒子(和光純薬工業製)と、平均粒子径384 μm 、真円度1.56、半径比1.68のもの(ミナルコ(株))を使用する。以後、前者をAl(S)、後者をAl(M)と称する。

2.2 実験方法 分岐管入口流量を一定に設定しない場合は、管1のバルブ(図1中のV1)を全開から段階的に絞っていき、所定の入口と岐管出口の流量比に設定する。一方、分岐管入口流量を一定に設定する場合は、V2とV1のバルブ開度を変えて、入口流量を

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Fig. 2 Orientation of T-junction

一定にしながら分岐管入口と枝管出口の流量比を調節する。混合水がタンクに戻る時に、メスシリンダーで管1と管3の流量計測を行う。これらの流量から各管内の平均流速と流速比を得る。また、測定部をハイスピードカメラで125 FPS、シャッタースピード1/3000 sで撮影した画像をパソコンに取り込む。画像処理によって粒子像を抽出し、約3分間の100枚の連続画像から時間平均の粒子数を測定する。粒子像の抽出に

は、粒子の背景画像が変化しても認識しやすいPMC法 (Particle Masking Correlation)⁽⁷⁾を適用する。測定部における測定体積内の粒子数から、粒子数密度 n (粒子数/測定体積) を得る。

3. 粒子数密度と関係式

3.1 粒子数密度と粒子体積濃度 粒子数密度と Nasr-El-Din ら⁽³⁾の測定した粒子体積濃度 C (以後、体積濃度あるいは濃度と称する) を比較するために、両者の関係を述べる。後者は、次のように定義される。

$$C = \frac{V_s}{V_{bulk}} \quad (1)$$

ここで、 V_{bulk} は二相の体積、 V_s は V_{bulk} 内に存在する粒子の総体積である。Nasr-El-Din ら⁽³⁾は、各管から出る二相流の質量と体積から C を測定している。しかし、入口体積濃度が低いとき、この方法では測定精度が低くなる。そこで、本研究では、節 2.2 で述べた測定部における粒子数密度 n を測定することにする。

次に、枝管の出口の濃度を表わす管 1 の管 2 に対する無次元濃度 C_1/C_2 は、式 (1) と粒子数密度 n と体積平均粒子径 $\bar{d}$ を用いると、式 (2) の関係がある。

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\frac{\pi \bar{d}_1^3 n_1}{6}}{\frac{\pi \bar{d}_2^3 n_2}{6}} \cong \frac{n_1}{n_2} \quad (2)$$

一般的には、粒子直径に分布が存在し、 C_1/C_2 と n_1/n_2 が等しいとは限らない。しかし、測定部における管 1、管 2、管 3、の体積平均粒子径が近似的に等しいとすると、式 (2) より C_1/C_2 と n_1/n_2 は等価なものとなせるため、両者を比較できる。

3.2 分岐管出口の粒子数密度の関係式 厳密には、局所の粒子速度と液速度の空間時間平均で液相の連続の式や粒子からなる固相の連続の式を導くべきである。しかし、粒子分配特性の測定結果の妥当性を簡便に確認するために、液相と固相 (粒子相) がそれぞれ単一の速度を有するという一次元モデル⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾に基づいた、各管の粒子数密度の関係式 (3) (前報⁽⁶⁾で導いた) が便利である。これは入口と出口における粒子の通過数の保存と液流量の保存式から誘導されている。

$$\frac{n_3}{n_2} = \frac{1 - \frac{S_1}{S_2} \frac{n_1}{n_2} \frac{U_1}{U_2} \frac{A_1}{A_2}}{\frac{S_3}{S_2} \frac{U_3}{U_2} \frac{A_3}{A_2}} = \frac{1 - \frac{S_1}{S_2} \frac{n_1}{n_2} \frac{U_1}{U_2} \frac{A_1}{A_2}}{\frac{S_3}{S_2} (1 - \frac{U_1}{U_2} \frac{A_1}{A_2})} \quad (3)$$

ここで、 U は管内の液速度 (実速度⁽⁹⁾)、 A は管の断面積、 S はスリップ比⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾ (=固体相の実速度/液相の実速度) であり、添え字は各管の番号を表している。測定部における管 1 の無次元粒子数密度 n_1/n_2 、液流

速比 U_1/U_2 、無次元スリップ比である S_1/S_2 と S_3/S_2 、各管の断面積比を式 (3) に代入すれば、管 3 の無次元粒子数密度 n_3/n_2 が求まる。すなわち、式 (3) によって、出口管の n_1/n_2 と n_3/n_2 を同時に予測できないが、両者の関係を与えることができる。

4. 実験結果と考察

4.1 粒子数密度とスリップ比 図 1 の測定部では、粒子が鉛直下向きに流れていて、粒子の密度が液の密度より大きいことから、粒子の速度は流れが発達していると静止液中の終端速度の分だけ、速くなることが予想される。従って、 S_i = 粒子速度/液速度 = (液速度 + 終端速度)/液速度とみなせる。スリップ比が、式 (3) には含まれているので、 n_3/n_2 に及ぼす影響を検討する。まず、各管の粒子速度を求めるために、アルミニウム粒子の静止水中の終端速度を一次元の粒子の運動量の式⁽¹²⁾で加速度をゼロとおいて、反復計算によって求めた。ここで、粒子に対する抗力は、Schiller & Nauman の式⁽¹¹⁾⁽¹²⁾を使用した。

Al (S) の下向き流れの分岐管について、無次元粒子数密度 n_1/n_2 と n_3/n_2 を流速比 U_1/U_2 に対し図 3 に示す。実験結果は●と■の記号で、実験結果 n_1/n_2 から式 (3) について終端速度を使って計算した結果 n_3/n_2 を△記号で、無次元スリップ比 $S_1/S_2=S_3/S_2=1$ で計算した n_1/n_2 を□で示している。この図から、計算の□と△は、測定の■とほぼ等しい。従って、 n_1/n_2 と n_3/n_2 の測定値は式 (3) の粒子数密度の連続から導かれた関係をほぼ満たすので、妥当であると判断できる。同様に、Al (M) について流速比に対する n_1/n_2 と n_3/n_2 が図 3 と同じ記号で図 4 に示されている。図 4 から、無次元スリップ比を 1 とした結果は終端速度を使った結果より少し大きい、実験値と計算値は全体として近いことがわかる。以後、一次元モデルでは、本実験の U_1/U_2 の範囲内でスリップ比を $S_1/S_2=S_3/S_2=1$ とおいた計算値で、実験データの妥当性を検討する。ただし、後述の図 6 以外の実験範囲で、AL(S) について平均の U_2 は 1.29 m/s、計算の平均のスリップ比は $S_1=1.05$, $S_2=1.01$, $S_3=1.02$ であり、AL(M) について平均の U_2 は 1.38 m/s、平均のスリップ比は $S_1=1.15$, $S_2=1.04$, $S_3=1.07$ であった。最後に、以上の考察は測定部の粒子の終端速度に関する粒子挙動のものであって、節 4.7 で述べるように水平流入の分岐管の鉛直方向の分岐部では重力によって分離特性に影響が出る。

4.2 入口流量設定の有無の影響 バルブ V1 と V2 を調整して入口流量を一定に設定した場合、上向き流れの Al (M) の無次元粒子数密度 n_1/n_2 と n_3/n_2 が横

Fig. 3 Measured and estimated particle number densities with slips for AL(S)

Fig. 4 Measured and estimated particle number densities with slips for AL(M)

軸に流速比 U_1/U_2 に対して図5に示されている。 n_1/n_2 の測定値を●, n_3/n_2 の測定値を■で表し, n_1/n_2 測定値から式(3)によって計算した n_3/n_2 を□で表す。一方, V1だけ設定して U_1/U_2 を変えると, 入口流量が0.15から0.097 L/sまで変化した。この条件で, 上向き流れについて, Al(M)の $n_1/n_2, n_3/n_2$ を U_1/U_2 に対して図6に示す。図6の n_1/n_2 と n_3/n_2 は, 各々, 図5のそれらとほぼ同じ値を示している。従って, 入口流量設定の分配特性に及ぼす影響が本実験の入口流量範囲内で小さいことがわかる。なお, 図6の垂直流入および図14と図15の水平流入のデータを除いた, 本実験データは入口流量が一定の設定のもとで測定されたものである。

4.3 粒子混入開始点 Al(M)について, 下向き流れの n_1/n_2 と n_3/n_2 を図7に示す。図から, n_1/n_2

Fig. 5 Effect of inlet flow rate at a constant velocity

Fig. 6 Effect of inlet flow rate at non-controlled inlet velocities

は $U_1/U_2 \approx 0.08$ でゼロであって, 完全分離状態となっている。粒子は U_1/U_2 がこの値以下では枝管に入らず, その値以上では入ってくる。従って, $U_1/U_2 \approx 0.08$ 付近に粒子混入開始点のあることがわかる。

4.4 流入方向の影響 上向き流れの Al(M) の無次元粒子数密度 n_1/n_2 と n_3/n_2 が図5と図6に既に表示され, 一方, 下向き流れの n_1/n_2 と n_3/n_2 が図7に既に表示されている。以上の中から入口流量一定の図5と図7を比較すると, 流入方向の違いが考察できる。それらの図の間に n_3/n_2 について大きな差異が見られないし, n_1/n_2 は, $U_1/U_2 = 0.2$ 付近で, 上向き流れの方がやや低いが, 上向きと下向きで大きな差異がないと考えられる。

Al(S)について, 上向き流れの n_1/n_2 を図8に示す。 n_1/n_2 は, U_1/U_2 が0.25から0.54まではほぼ一定だが, U_1/U_2 が0.25以下では減少傾向を示している。 n_3/n_2

Fig. 7 Break off point

は、ばらつきはあるが、 $U_1/U_2 = 0.54$ の測定値を除いて実験結果と計算結果がほぼ一定の傾向を示している。 $U_1/U_2 = 0.54$ では、 n_3/n_2 の実験結果と計算結果が大きく異なる。 $U_1/U_2 = 0.54$ で、 n_1/n_2 と n_3/n_2 の実験結果がともに 1 より大きいことから、単位時間に通過する粒子数の保存の関係が分岐管入口と出口で満たされていないことになる。従って、 $U_1/U_2 = 0.54$ の n_1/n_2 と n_3/n_2 の測定値は正確でないことがわかる。

図9はAl(S)について、下向き流れの n_1/n_2 と n_3/n_2 を示している。 n_1/n_2 は図8の上向き流れの場合と同じ傾向を示している。図8と図9を比較すると、 n_1/n_2 は、 $U_1/U_2 = 0.2$ 付近で上向き流れの方がやや低いが、大きな差異はないと考える。

Fig. 8 Upward flow for Al(S)

4.5 粒子径の影響 図10は、入口流量一定で下向き流れについて、 U_1/U_2 に対するAl(S)の n_1/n_2

Fig. 9 Downward flow for Al(S)

を■記号でAl(M)のそれを▼記号で示し、図11は上向き流れについて図10と同様のものを示す。図10ではAl(S)の n_1/n_2 はAl(M)のそれより常に高く、図11についても同じ傾向であることがわかる。これは、Al(S)よりもAl(M)の方が粒子径が大きいため、慣性力と重力による影響が他の力に比べて相対的に大きく、粒子が管1に流入しにくいためである。さらに、粒子径が小さいと、ストークス数も小さく、Al(S)の粒子の方がAl(M)のものより管1の流れに追従しやすい。従って、 n_1/n_2 は、Al(S)の方がAl(M)より高いと考えられる。

Fig. 10 Effect of particle size on distribution performance for downward flow

4.6 従来の実験結果との比較 分岐管の入口の粒子体積濃度が低い条件で行われた本実験の n_1/n_2 及び高い条件で行われたNasr-El-Dinら⁽³⁾の C_1/C_2 を図

Fig. 11 Effect of particle size on distribution performance for upward flow

12に示す。ここでは、節3-1の式(2)の関係が成立するとして両者を比較する。Nasr-El-Dinらの粒子径が165 μm のデータを●, 粒子径が326 μm のデータを▲で記してあり, 本実験結果のAl(S)を■, Al(M)を▼で記してある。また, 本実験のAl(S)は平均粒子径が156 μm でNasr-El-Dinらの165 μm のデータと対応し, 本実験のAl(M)は平均粒子径が384 μm でNasr-El-Dinらの326 μm のデータと対応する。Al(S)とAl(M)の n_1/n_2 は, U_1/U_2 が0.18~0.54の範囲で, 対応する C_1/C_2 より高い。この理由は次のように考えられる。粒子体積割合(体積濃度) C を使うと, 無次元平均粒子間距離(=平均重心間距離/粒子直径)が $(\pi/6C)^{1/3}$ と定義される⁽¹²⁾。これを使うと, 無次元平均粒子間距離が, 本実験では17.9~31.3であるのに対し, Nasr-El-Dinらの実験では1.26~2.59である。このことから, Nasr-El-Dinらの実験では粒子間の相互作用の影響がより大きいために, 鉛直方向に直進する粒子が管1に流入しにくいと考えられる。すなわち, 高濃度の粒子の集団が一方方向に移動しているとき, 分岐部で液体の流動方向や圧力分布の変化に伴い, 一部の粒子が, 進行方向を変えようとして動くと, 近接する粒子との衝突頻度が高まるだろう。粒子は, 粒子間衝突に伴い移動方向が変化し, これに伴い連鎖的に粒子衝突が多数起こり, 枝管方向の運動エネルギーが減衰するであろう。従って, 粒子は, 高濃度の方が流動方向を変えにくいと考えられる。

n_1/n_2 の U_1/U_2 に対する勾配は, U_1/U_2 が約0.3~0.54の範囲では C_1/C_2 の勾配と同じだが, U_1/U_2 が約0.3以下では C_1/C_2 のそれより大きくなっている

ことがわかる。 n_1/n_2 の勾配の変化は, U_1/U_2 が0.3以下で管1の U_1 が低くなり, 管3の U_3 が高くなり, 粒子が慣性力の影響を強く受けるためと考えられる。

本実験の n_1/n_2 及び入口体積濃度が30%のBugliarello and Hsiao⁽¹⁾の C_1/C_2 を図13に示す。本実験のAl(M)の粒子は直径が384 μm , 比重2.72であって, Bugliarello and Hsiaoの粒子は直径が600 μm で比重が1に近い。粒子の慣性を考える。もし後者の粒子について前者と同じ比重と仮定すると, 粒子直径がより大きいので直進しやすいために, 後者の枝管出口は前者より低濃度に向かうであろう。同様に, もし後者の粒子について前者と同じ直径を仮定すると, 比重が小さいので流動方向を変えやすく後者の枝管出口は前者より高濃度に向かうだろう。両者の直径と比重が違うので, 流動抵抗や追従性などを考えると, 枝管出口のどちらがより低濃度になるか説明できない。もし, 粒子が比重1をもち, 直径が小さく, 無次元平均粒子間距離の長い理想的な状況を仮定すれば, この粒子はトレーサーとみなせ C_1/C_2 が1に近づくであろう。Bugliarello and Hsiaoの実験は, 管直径が6.32mmの中に直径600 μm の粒子が高濃度で流れるために, 粒子は, 粒子間の衝突や相互作用のために枝管に流れにくくなるが, 本実験より枝管出口で低濃度になる一因と考えられる。

Fig. 12 Comparison between the present and Nasr-El-Din⁽³⁾

4.7 鉛直流入と水平流入の比較 前報で示した水平流入で上方へ分岐する場合の分配特性⁽⁶⁾(U_1/U_2 に対する n_1/n_2)及び本報の鉛直流入(上向き流れ)のそれを図14に示す。鉛直流入の平均粒子径156 μm のAl(S)を■で, 平均粒子径384 μm のAl(M)を▼で

Fig. 13 Comparison between the present and Bugliarello and Hsiao⁽¹⁾

表し、水平流入の $156 \mu\text{m}$ の Al (S) を●で、平均粒子径 $457 \mu\text{m}$ の Al (M') を▲で表してある。この図から、水平流入では、Al (S) と Al (M') の n_1/n_2 が U_1/U_2 が減少するにつれて徐々に低下していることがわかる。一方、鉛直流入では Al (S) と Al (M) の n_1/n_2 は U_1/U_2 が約 0.3 以下で減少勾配が大きくなっており、両者の分配特性の異なることがわかる。

Al (S) と Al (M) の n_1/n_2 は、 $U_1/U_2 = 0.18 \sim 0.54$ の範囲で、水平流入が鉛直流入よりも低い値をとっていることがわかる。これは、水平流入で上方へ分岐する際、重力が枝管に流れる方向に反対に働くために、粒子は主管内で軌跡がわずかに下に曲げられて枝管に入りにくくなったり、枝管内に入った粒子の一部が枝管内の大きな再循環域で渦ののって下向きに流れて主管に戻るなどの現象が起こるが、鉛直流入ではそのような妨げがないためと考えられる。従って、 U_1/U_2 が 0.18 以上の範囲では、上向きの鉛直流入より水平流入で上方へ分岐する方が低濃度になると考えられる。参考のために、鉛直流入と前報の水平流入で枝管が下向きの場合の n_1/n_2 の比較を図 15 に示す。

5. 結 論

比重 2.72 で平均直径 $156 \mu\text{m}$ の固体粒子あるいは平均直径 $384 \mu\text{m}$ の固体粒子と水からなる固液二相流を鉛直方向に分岐管に導いた際、固液の分配特性を調べた。また、分配特性に及ぼす入口流量、粒子径、流入方向の影響を調べ、前報の水平流入と比較した。さらに、入口で高濃度の従来の実験と入口で低濃度の本実験を比較した。本研究の実験条件の範囲内で主に以下

Fig. 14 Comparison between vertical T-junction and horizontal T-junction⁽⁶⁾ with an upward branch

Fig. 15 Comparison between vertical T-junction and horizontal T-junction⁽⁶⁾ with a downward branch

のことがわかった。

- (1) 分岐管入口で流量一定とする設定の有無が、分配特性（流速比 U_1/U_2 に対する無次元粒子数密度の曲線）に及ぼす影響は小さい。
- (2) 低濃度の本実験と高濃度の Nasr-El-Din らの実験と比較すると、枝管出口の無次元濃度（枝管出口の濃度/入口濃度）は、後者の方が $0.18 < U_1/U_2 < 0.54$ の範囲で低く、また両者の分配特性は異なっている。
- (3) 入口で低濃度の鉛直流入では、ある流速比 (U_1/U_2) 以下で枝管に粒子の流れなくなる完全分離状態が存在することがある。
- (4) 分岐管の姿勢について、枝管出口の無次元粒子

濃度は, 本実験の鉛直流入より水平流入から上向きに分岐する方が $0.18 < U_1/U_2 < 0.54$ の範囲で低くなる.

文 献

- (1) Bugliarello, G., Hsiao, G. C. C., Phase Separation in Suspensions Flowing through Bifurcations, *Science*, **143**, (1964), pp.469-471.
- (2) Karino, T., Kwong, H. M. Herman, Goldsmith, H. L., Particle Flow Behavior in Models of Branching Vessels, I, *Biorheology*, **16**, (1979), pp.231-248.
- (3) Nasr-El-Din, H., Shook, C. A., Particle Segregation in Slurry Flow through Vertical Tees, *Int. J. Multiphase Flow*, **12**, 3, (1986), pp.427-443.
- (4) Nasr-El-Din, H., Afacan, A., Masliyah, J. H., Solids Segregation in Slurry Flow Through a T-junction with a Horizontal Approach, *Int. J. Multiphase Flow*, **15**, 4, (1989), pp.659-671.
- (5) Hu, S. and Firth, B., Reducing the Biased Slurry Feed Subdivision in Vertical Pipe T-junction using Partition Wall and Stratifier, *Mineral Engineering*, **10**, 2, (1997), pp.163-174.
- (6) Ohta, J., Yamamoto, T., Kainuma, Y., Takagi, K., Distribution Characteristics of a Solid-Liquid Two-Phase Flow by using a T-junction (1st report), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, **71**, 712, (2005), pp.2892-2899. (in Japanese)
- (7) Etoh, T., Takehara, K., Michioku, K., Kuno, S., A study on Particle Identification in PTV -particle mask correlation method-, *Mizukougaku Ronbunshu*, **40**, (1996), pp.1051-1058 (in Japanese).
- (8) Wallis, G. B., *One-dimensional Two-phase Flow*, McGraw-Hill, Inc., (1969).
- (9) JSME, *Handbook of Gas-Liquid Two-Phase Flow Technology*, Corona Publishing Co., (1989), (in Japanese).
- (10) Japanese Society of Multiphase flow, *Handbook of Multi-Phase Flow*, Asakura Publishing Co., (2004), (in Japanese).
- (11) Schiller, L., and Naumann, A., Über die grundlegenden Berechnungen bei der Schwerkraftaufbereitung, *Ver. Deut. Ing.*, **77**, (1933), p.318.
- (12) Crow, C., Sommerfeld, M., Tsuji, Y., *Multiphase Flows with Droplets and Particles*, CRC Press (1997).