

J02

気泡塔におけるレーザー透過法を用いた粒子径の測定

(奈良高専) ○(他)黒崎 由佳・(正)河越幹男*

緒言

我々は、従来、粒子・気泡・液滴の表面積や速度の測定に用いられていたレーザー透過法¹⁾を気泡径の測定に応用した²⁾。本研究では、本法の基礎的特性を明らかにするため、粒子径が既知の固体粒子を用いて本法の測定限界と粒子径が異なる混合粒子系への拡張について検討した。

測定原理

図1に示したように、受光器からはレーザーが完全遮断されたピークAと部分遮断されたピークBの2種類の信号が得られる。

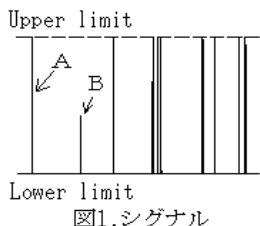


図1. シグナル

単一粒子系： 粒子径を d 、レーザー光束径を δ 、光束中心から粒子中心までの距離を λ とする(図2)。レーザー光と流れが直行する場合、ピークAの個数 N_A は粒子が $\lambda < (d - \delta)/2$ の範囲の帯状断面を通過する個数、全個数 N_T は $\lambda < (d + \delta)/2$ の断面を通過する個数に比例するので、ピークAの出現確率 P は(1)式で与えられる。

$$P(x) = \frac{N_A}{N_T} = \frac{d - \delta}{d + \delta} = \frac{x - 1}{x + 1} \quad (1)$$

ここで $x = d/\delta$ である。 $P(x)$ を測定すれば(1)式から x が求められ、粒子径 $d (= \delta x)$ を算出できる。

混合粒子系： 粒子径が d_1, d_2 である2種類の粒子を n_1, n_2 個ずつ混合した混合粒子系を考える。

(1)式と同様に、混合粒子系におけるピークAの出現確率 P_m を次式で与える。

$$P_m = \frac{x_m - 1}{x_m + 1} \quad (2)$$

ここで $x_m = d_m/\delta$ で、 d_m は平均粒子径である。各粒子のピークAの個数を N_{A1}, N_{A2} 、全ピーク数を N_{T1}, N_{T2} とし、それぞれのピークAの出現確率を $P_1 = N_{A1}/N_{T1}$ 、 $P_2 = N_{A2}/N_{T2}$ とする。このとき、混合粒子系のピークAの個数 N_{Am} と全ピーク数 N_{Tm} を各粒子のピーク数の和とすれば、 P_m は次式で表わされる。

$$P_m = \frac{N_{Am}}{N_{Tm}} = \frac{N_{A1} + N_{A2}}{N_{T1} + N_{T2}} = \frac{P_1 N_{T1} + P_2 N_{T2}}{N_{T1} + N_{T2}} \quad (3)$$

全ピーク数 N_{T1}, N_{T2} は粒子の投影断面積 $n_1 (\pi d_1^2/4)$ 、 $n_2 (\pi d_2^2/4)$ に比例すると考えられるので、(3)式は次のように表わされる。

$$P_m = \frac{P_1 n_1 d_1^2 + P_2 n_2 d_2^2}{n_1 d_1^2 + n_2 d_2^2} = \frac{\left(\frac{x_1 - 1}{x_1 + 1}\right) n_1 x_1^2 + \left(\frac{x_2 - 1}{x_2 + 1}\right) n_2 x_2^2}{n_1 x_1^2 + n_2 x_2^2} \quad (4)$$

(2)式と(4)式より x_m は次式から求められる。

$$x_m = \frac{n_1^* x_1^3 + n_2^* x_2^3}{n_1^* x_1^2 + n_2^* x_2^2} \quad (5)$$

ここで $n_i^* = n_i/(x_i + 1)$ で有効個数である。 x_m が分かれば粒子径 $d_m (= x_m \delta)$ が算出できる。特に、 $d_1 \rightarrow d_2$ の極限のときは $d_m = d_{SV}$ (体表面積平均径) になる。

実験方法

測定は図3に示した液外部循環式エアリフト型気泡塔の下降管で行った。 δ は0.635mmである。用いた固体粒子の特性を表1に示した。混合粒子系では $d_1 = 2.51\text{mm}$ 、 $d_2 = 5.91\text{mm}$ のものを用いた。全粒子個数 $(= n_1 + n_2)$ は50個とし、両者の比は表2のように変えた。

粒径 [mm]	密度 [g/cm ³]	材質
2.51	1.002	ゲル※
5.91	1.023	ポリスチレン
9.55	1.147	ナイロン
15.96	1.133	ナイロン

※アルギン酸カルシウムゲル

表2. 粒子個数比

n_1/n_2	1/4	3/1	7/3	4/1
-----------	-----	-----	-----	-----

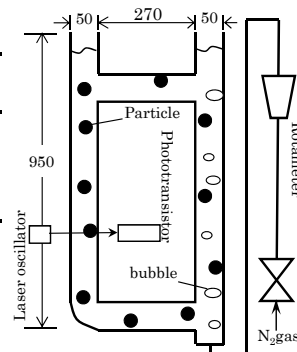


図3. 実験装置

結果及び検討

単一系の測定結果を図4に示した。 $d/\delta < 15$ では誤差はほぼ±10%以内であった。混合粒子系の結果を図5に示した。測定値は(5)式から求めた計算値と±10%以内でほぼ一致する。

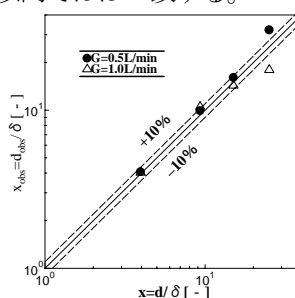


図4. 単一粒子系の結果

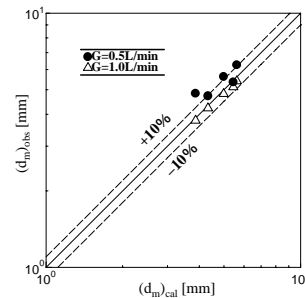


図5. 混合粒子系の結果

結言

レーザー透過法を用いて単一粒子系と混合粒子系における粒子径の測定を行った。 $d/\delta < 15$ では単一系における実測の粒子径はほぼ±10%以内で真の粒子径と一致した。また、混合粒子系でも同程度の精度で測定ができた。

参考文献

- 河越ら；化学工学論文集, 35, 195-200 (2009)
- 河越ら；化学工学会第41回秋季大会, E120 (2009)

*kawagoe@chem.nara-k.ac.jp