An Observation of Marangoni Effect and Electric Oscillation Phenomena in an Oil-Water Interface

Toshiyuki Nonaka, Youichi Iyoku* and Mutsumi Suzuki

Dept. of Biochemistry and Engineering, Tohoku University, Sendai 980

Key Words : Marangoni Effect, Taste Sensor, Interface Phenomena

Interface phenomena in an electrically oscillating oil-water system, which was reported as a novel taste sensor, is investigated by Schlieren photographs. It is shown that the oscillation is caused by Marangoni effect in an inclined interface. It depends only on the physico-chemical properties of the system and not on the taste nor on the chemical reactivities.

* SHOWA SHELL SEKIYU K.K.

粉粒流動層内の微粒子滞留状況の検討[†]

中川紳好・古川 純*・佐藤 武**・加藤邦夫

群馬大学工学部 生物化学工学科^{††}

先に著者らは粉粒流動層における微粒子の滞留時間分布を残余濃度曲線法を用いて測定し、滞留時間に対する諸因子の影響を調べ、微粒子の平均滞留時間は(1)微粒子平均径の減少とともに増加すること、(2)ガスの平均滞留時間に相当する理論平均滞留時間の150~500倍も大きいことなどを明らかにした¹⁾。実際の工業プロセスへの応用において、微粒子の長い滞留は、微粒子利用率を高くできるという利点になる反面、非常に細かい微粒子は層内に残留してしまう可能性があることをも暗示している。また、比較的広い粒径分布の微粒子を利用する場合、粒径ごとの滞留時間分布を明らかにすることが必要になってくると考えられる。従って実際のプロセスへの応用を検討する上で、このような微粒子の残留や層内滞留の詳細を調べることは、重要である。しかしながら、前報で用いた残余濃度曲線法では層内の初期微粒子濃度(初期微粒子量/媒体粒子量)を明らかにできないため、微粒子の層内残留や、粒径ごとの滞留状況を明らかにすることが困難であった。

著者らは、新たに微粒子供給を回分式で行い、初期微

粒子濃度を明確にして微粒子の層内滞留状況の詳細を調べた。

実験装置および方法

実験装置の概略をFig. 1に示す。流動層は内径100 mm、高さ0.60 mのアクリル樹脂製円筒である。分散板や筒内への金網リングの充填などは前報¹⁾と同様にした。流動化ガスには相対湿度を50%に調節した空気を用いた。

洗浄、乾燥後の媒体粒子(球状活性アルミナ、 $d_{ep} = 400 \mu\text{m}$, $U_t = 1.57 \text{ m/s}$) 2500 gに微粒子を所定量混合し、層内に入れ(静止層高0.39 m)、瞬時にガスを供給して流動化を開始させた。空塔基準ガス速度は0.27 m/sで、このときの層高は0.55 mであった。流動化開始後、排出してくる微粒子をバッグフィルターで捕集して、排出速度を連続的に測定した。微粒子としては平均径(体積基準) $5 \mu\text{m}$ の重質 CaCO_3 、平均径(体積基準) $1 \sim 16 \mu\text{m}$ の Al_2O_3 を用いた。これらの粒子密度およびメーカーカタログから得た累積体積分率97%における粒子径をTable 1に示す。

微粒子の層内平均滞留時間 θ はその排出速度 F_{fp} を用いて、次式で与えられる。

$$\theta = (1/W_f) \int_0^\infty t F_{fp} dt \quad (1)$$

本実験の場合、捕集開始後1時間でも排出されない微粒子があったが、これらは実用上層内に蓄積するものと判断し、供給微粒子量 W_f の代りに捕集時間 t_i までの捕

[†] 1993年9月2日受理; 化学工学会第26回秋季大会(京都, 1993年9月30日)にて発表

^{††} 〒376 桐生市天神町1-5-1

* 大日本インキ化学工業(株)

** 利根実業高校

Table 1 Ratio of fine particles remained in the bed and average residence time of the fine particles based on the 0.5h or 1h operation. ($U_0=0.27$ m/s, $L_{mf}=0.39$, coarse particle; Al_2O_3 of $d_{cp}=400$ μm)

Particle	d_{fp} (**)[μm]	W_f/W_c [-]	FR_1 or $FR_{0.5}$ *[-]	θ_{e1} or $\theta_{e0.5}$ *[s]
CaCO_3 ($\rho_p=2350$ kg/ m^3)	5	0.020	0.220	605
		0.015	0.244	437
		0.010	0.228	400
		0.005	0.197	221
		0.003	0.240	316
		0.001	0.213	346
Al_2O_3 ($\rho_p=3980$ kg/ m^3)	1 (1.99)	0.005	0.941	1193
			0.126	704
	3 (4.76)		0.223	432
	5		0.059	166
	6.3 (9.58)		0.074 *	67 *
	10 (13.9)		0.051 *	44 *
	16 (20.4)			

* value obtained from 0.5h operation.

** diameter at 97 % of cumulative volume

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

集微粒子量 W_e を用い、次式より捕集微粒子に対する平均滞留時間 θ_e を求めた。

$$\theta_{e1} = (1/W_e) \sum_{i=0}^1 (t_i F_{fp_i} \Delta t_i) \quad (2)$$

また、次式より層内微粒子残存率 FR_I を求めた。

$$FR_I = (W_f - W_e) / W_f \quad (3)$$

実験では、初期微粒子濃度 W_f/W_c 、微粒子平均径と θ_{e1} 、微粒子残存率 FR_I との関係を調べた。さらに、排出粒子の粒度分布を光透過式粒度分布測定器（セイシン企業, SKN 500）で測定した。また、層内媒体粒子表面の SEM 観察も行った。

実験結果および考察

1) 初期微粒子濃度の影響

平均径 $5 \mu\text{m}$ の CaCO_3 を用いて測定した、微粒子排出速度 F_{fp} に対する初期微粒子濃度 W_f/W_c の影響を Fig. 2 に示す。 F_{fp} は W_f/W_c の増大とともに大きくなる傾向を示し、ま

Fig. 2 Effect of initial fine particle concentration on the elutriation rate of fine particles

た時間の進行とともに減少していることがわかる。 Fig. 3 に、流動化開始後 7.5 s で求めた初期微粒子排出速度 F_{fp0} と W_f/W_c との関係を示す。 W_f/W_c が 0.005 以下では、 F_{fp0} は W_f/W_c にほぼ比例して増加しているが、 W_f/W_c が 0.005 より大きくなると F_{fp0} はおよそ 0.13 g/s に頭打ちになっていることが分る。

捕集時間 0.5 時間あるいは 1 時間で求めた層内微粒子残存率 ($FR_{0.5}$ あるいは FR_1) と捕集量基準の平均滞留時間 ($\theta_{e0.5}$ あるいは θ_{e1}) を Table 1 に示す。 平均径 $5 \mu\text{m}$ の CaCO_3 の場合、 FR_1 は初期微粒子濃度に関わらずおよそ 0.2 と一定であった。 後の結果から分るように、粒子径の小さい成分が残留したものと考えられる。 また、 θ_{e1} は W_f/W_c が 0.005 以上では W_f/W_c の増加とともに増加する傾向を示した。 このことは、 Fig. 2 で見られた

Fig. 3 Effect of initial fine particle concentration on the initial elutriation rate measured at $t = 7.5$ s

ように、この W_f/W_c では初期排出速度が頭打ちになった結果と考えられる。この粒子の場合、 W_f/W_c が 0.005 より大きい場合と小さい場合とでは微粒子の層内滞留状況が異なっていると考えられる。層内では微粒子は媒体粒子表面に付着していることが考えられるが、微粒子濃度が大きすぎると、付着しきれずに残った微粒子は凝集体を作っていることが予想される。

2) 微粒子平均径の影響

平均径 1~16 μm の Al_2O_3 を用いて測定した、微粒子排出速度に対する微粒子平均径の影響を Fig. 4 に示す。平均径が大きいほど流動化開始直後の初期排出速度が大きく、また、時間の経過に伴う排出速度の減衰は微粒子平均径の減少とともに緩やかになった。このことは、微粒子径が大きい場合と小さい場合とでは、その滞留時間分布関数が異なることを意味している。平均径が 1 μm の微粒子の場合、その排出速度は 0.001 g/s 以下と極めて小さかった。

Table 1 に示したように、 Al_2O_3 微粒子の場合、平均径が 6.3 μm では FR_1 は 0.06 程度と小さく、1 時間後には供給した微粒子の 94% が排出している。また、 FR_1 は平均径の減少とともに増加する傾向を示した。平均径が 1 μm では FR_1 が 0.941 と大きく、この場合、実用上層内に蓄積されると判断したほうがよいと思われる。一方、微粒子平均径と θ_e の関係は、平均径が小さくなるほど θ_e が増加しており、前報¹⁾の結果と一致している。平均粒子径が 5 μm 、初期微粒子濃度が 0.005 と同じ場合でも、 Al_2O_3 の θ_{e1} は CaCO_3 のものより 2 倍近くも大きくなっており、滞留時間は微粒子材料に依存することが分かる。

3) 排出微粒子の粒径分布の経時変化

Fig. 5 は CaCO_3 を用いた場合の排出微粒子の粒径分布の経時変化を示している。この図より、供給された微

Fig. 4 Effect of average particle-size of fine particles on the elutriation rate of the fine particles

Fig. 5 Particle size distributions for the collected fine particles

Fig. 6 SEM photographs of fine particles (CaCO_3 , $d_{fp} = 5 \mu\text{m}$) adhering on the surface of a coarse particle (activated alumina, $d_c = 400 \mu\text{m}$) at different operating time

粒子はその中でも大きな径の微粒子から順に排出されることが分る。Fig. 6 は 0s, 80s, 600s, 3600s 後に層内から取り出した媒体粒子の表面の SEM 写真である。0s のとき表面には $10\mu\text{m}$ 以下の様々な径の微粒子が付着しているが、それぞれ 80s では $5\mu\text{m}$, 600s では $3\mu\text{m}$, 3600s では $1\mu\text{m}$ より大きいものがほとんど見られなくなっている。粉粒流動層における微粒子は媒体粒子上に付着して層内に滞留し、大きい径の微粒子ほど滞留時間が短いことがこれらの写真から裏付けられた。

結 言

1) 供給された微粉体の中でも、径が大きい微粒子はど層内滞留時間が短く、 $1\mu\text{m}$ 程度の細かい微粒子はその多くが層内に残留する場合がある。

2) 層内微粒子濃度がある程度以上大きくなると、初期排出速度が頭打ちになり、その結果平均滞留時間が大きくなる傾向がある。

3) 層内媒体粒子上に付着する微粒子を確認した。

[謝 辞] 本研究の一部は文部省科学研究費の補助のもとに行われた。記して感謝する。

Nomenclature

d_{cp} = average diameter of coarse particles [μm]

d_{fp} = average diameter of fine particles [μm]
 F_{fp} = elutriation rate of fine particles [g/s]
 FR = fraction of fine particles remained in the bed [—]
 H_r = relative humidity [%]
 L_{mf} = minimum fluidizing gas velocity [m/s]
 t = time [s]
 U_o = superficial gas velocity [m/s]
 U_t = terminal velocity of particles [m/s]
 W_c = amount of coarse particles fed to the bed [g]
 W_e = amount of particles collected [g]
 W_f = amount of fine particles fed to the bed [g]
 θ = mean residence-time [s]
 θ_e = mean residence-time for particles collected [s]
 ρ_p = density [kg/m^3]

Literature cited

- 1) Kato, K., T. Takarada, M. Matsuo, T. Suto and N. Nakagawa: *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **17**, 970–975 (1991)

The Fine Particles Residence in a Powder-Particle Fluidized Bed

Nobuyoshi Nakagawa, Jun Furukawa*, Takeshi Sato**
and Kunio Kato

Dept. of Biological and Chem. Eng., Faculty of Eng.,
Gunma Univ., Kiryu 376

Key Words : Fluidized Bed, Fine Particle, Residence Time, Adhesion, Powder, Elutriation

Residence time distribution of fine particles in a powder-particle fluidized bed was measured by using batch feeding of the fine particles. The effects of the initial fine particle concentration and the size of fine particles on the residence time distribution and on the amount of fine particles remaining in the bed were described. When the initial fine particles concentration was greater than a definite critical value, the initial elutriation rate of fine particles remained constant and equal to a certain limit value. For particles as small as $1\mu\text{m}$, almost all fine particles remained in the bed after 1h operation.

* Dainippon Ink and Chemicals Inc.

** Tone Jitsugyou High School