

ドラフトチューブ付き噴流層による C 粒子流動化

伊地知和也・浅田 忠信

(受理 平成 8 年 5 月 31 日)

FLUIDIZATION OF FINE POWDERS IN A SPOUTED BED WITH A DRAFT TUBE

Kazuya IJICHI and Tadanobu ASADA

The powders used in a fluidized bed or a spouted bed was classified into four groups, A, B, C, D powder, by Geldart. The group C powder is very adhesive, so it is difficult to establish good fluidization. The fluidization of the C powder has been recently studied as the spouted bed are applied in various fields of industry. In the present study, fluidization of C powders in a spouted bed with a draft tube was investigated. As a result, it was found the C powder was fluidized by using the reducing effects of vena contracta of orifice. The powder used in the experiments was alumina powder and the diameter of it was 14 μm .

In addition, characteristics of a spouted bed with a draft tube were measured in terms of solids circulation rate, gas flow rate in the annular section and pressure loss in the draft tube, and they were experimentally measured by changing gas throughput and bed height as operating parameters, and also by changing tube separation distance and draft tube diameter as design parameters.

緒 言

通過の噴流層にドラフトチューブを挿入するだけで層内粒子の流動状態を改善できる¹⁾。チューブを取り付けることによりスパウト部が確保され、スパウト部からアニュラス部へのガス浸透流れがなくなるので、アニュラス部上部での流動層化が起こらず、充填層高の制限がなくなる。又、アニュラス部からスパウト部への粒子の流れがないので、粒子の滞留時間も一定になる。さらに、本装置はスパウト部では上向き流れの希薄輸送層、アニュラス部では下向き流れの移動層が形成されており、層の複合化が達成された機能性に富んだ反応装置といえる。上述のように、各部で、層の流動形態は異なるが、粒子およびガスの比較的一様な流れが得られるので、流動状態の予測や制御が行い易く、微粒子への対応能力も高くなると考えられる。従来、この噴流層技術は、乾燥装置、造粒装置などに幅

広く利用されてきた。近年では、その柔軟性に着目して、ガス化装置²⁾、燃焼装置などにもその技術を応用する試みがなされている。装置閉塞を避け、かつ、効率よく反応装置として利用するためには、種々の操作条件、設計条件における層内粒子の挙動に対する知見が必要となるが、まだ十分とはいえない。本研究では、取扱いが困難といわれる c 粒子 (白色溶融アルミナ、14 μm) を流動粒子として使用し、その流動特性に及ぼす操作、設計条件の影響について検討したので報告する。

1. 実験装置及び実験方法

Fig. 1 に実験に使用した装置の概略を示す。

実験では、流動粒子を一定量、層内に充填後、コンプレッサーからの空気を減圧弁で流量調整して層流型流量計を通り塔内に導入し、層内に安定噴流を形成させる。導入ガスの大半は、チューブ下端と円錐部の隙

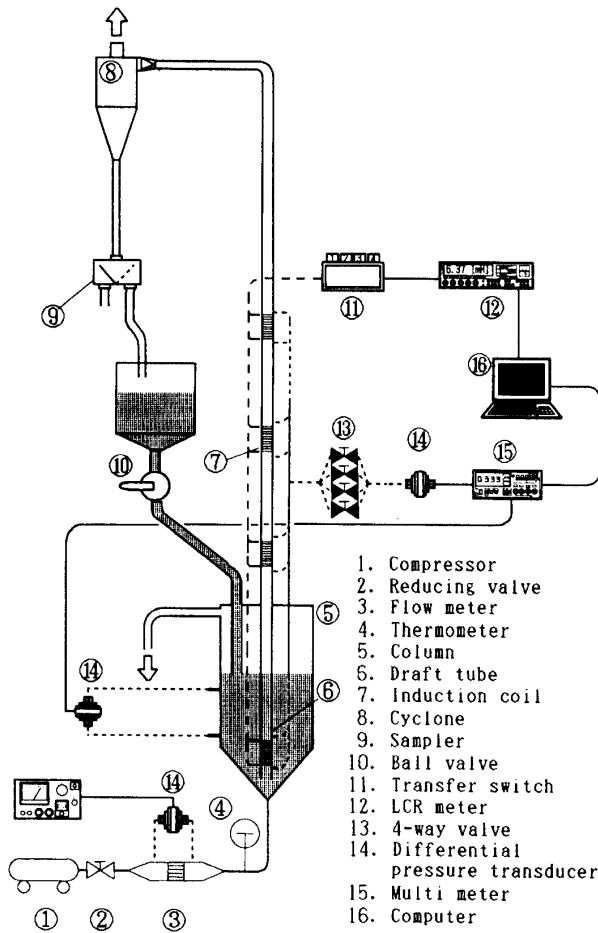


Fig. 1 実験装置概略図

間、即ちエントレインメントゾーンで環状部より下降してくる粒子を同伴して、ドラフトチューブ内を上昇し、サイクロンで粒子と分離され、系外へ排気される。

分離された粒子は、環状部へ戻されるが、途中 Sampler により循環量が測定される。

導入ガスの一部はアニュラス部内を上昇し、その流量をアニュラス部圧力損失を用いる事により間接的に算出する。この時のチューブ内ガス流量 (Q_D) は、入り口ガス流量 (Q_T) からアニュラス部に流れ込むガス流量 (Q_A) を差し引くことにより求められる。また、圧力損失測定のため塔下部からの平均高さ 0.100, 0.675, 1.050, 1.425 m の 4 カ所にタップを設けた。

塔本体は底部に開角 60 度の円錐部を持つ内径 100 mm のアクリル樹脂製円筒内に、中心が一致するように内径 20 mm, 外径 30 mm のアクリル樹脂製チューブが取り付けられており、塔高さは 2400 mm である。塔本体下部の底部には内径 20 mm の入り口ガスノズルが取

Table 1 使用粒子の物性

Particles	ρ_p	D_p	U_T	ρ_{lb}	ρ_{cb}	Geldart
Alumina	4,000	14	0.02	1,240	1,960	C

Table 2 実験条件

Column	
Inside diameter	100 [mm]
Outside diameter	120 [mm]
Nozzle diameter	20 [mm]
Cone angle	60 [mm]
Draft tube	
Inside diameter	20 [mm]
Outside diameter	30 [mm]
Tube separation distance	2.5-10 [mm]
Average height of tap	0.10, 0.675, 1.05, 1.425 [m]
Inlet gas flow rate	$0-2 \times 10^{-3}$ [m^3/s]
Bed height	250 [mm]

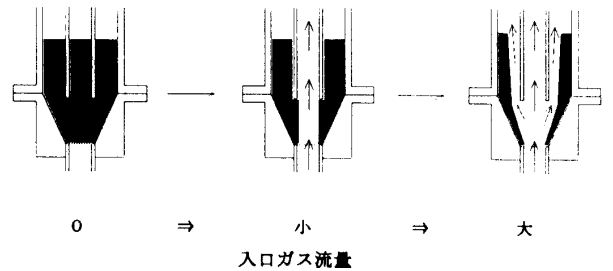


Fig. 2 アルミナ粒子を用いた場合の層の移り変わりの模式図

り付けられており、またその間には充填粒子支持のため 400 メッシュの金網が挟み込まれている。

チューブ下端から円錐部までの距離、いわゆるチューブ距離の調整は、チューブ先端を取り替えることにより行った。

2. 使用粒子の物性と実験条件

Table 1 に使用粒子の物性^{3), 5)}, Table 2 に実験条件を示す。

実験条件として、入り口ガス流量 (Q_T), チューブ距離 (H_D) 及びオリフィス径 (D_{OR}) を変化させる。

3. 実験結果及び考察

Geldart 分類法における group C 粒子による影響

Fig. 2 にアルミナ粒子を用いた場合の本実験におけ

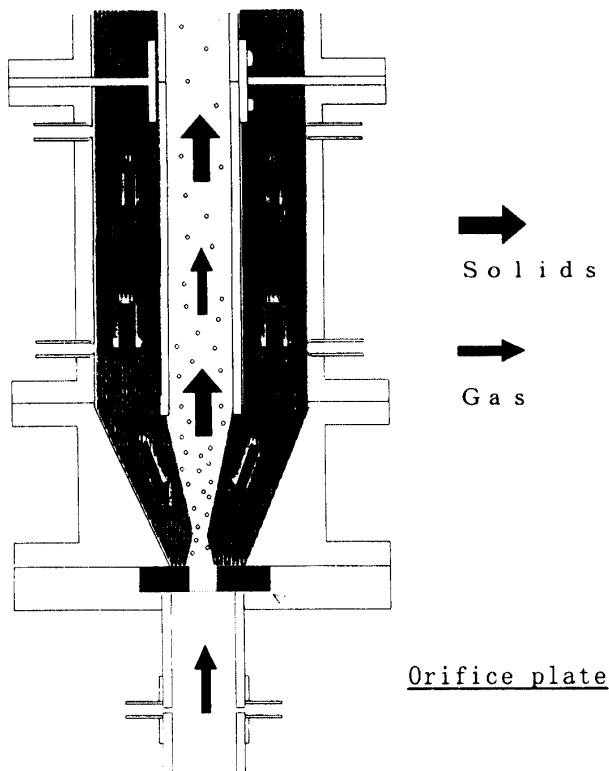


Fig. 3 塔下部でのガスと粒子の流れの概略図

る層の状態の模式図を示す。先に示した通り、c 粒子であるアルミナ粒子は、付着、凝集性がかなり大きいので、他の使用粒子と異なった挙動を示した。入口ガス流量を増すと、初め、ドラフトチューブ内の粒子層が噴流するが、その後、アニュラス部からチューブ内に粒子が供給されないため噴流できなかつた。さらに入口ガス流量を増すと、チューブ内圧力損失が増すため、アニュラス部内側にチャネリングが生じ、チューブ外側面に沿って噴き抜けてしまった。

vena contracta による減圧効果の利用

そこで、このアルミナ粒子をアニュラス部からチューブ内に供給するために、Fig. 3 に示すように、塔入口にオリフィスプレートを設置し、ベナコントラクタによる減圧効果^{4), 6)}を利用して見た。オリフィス上部は減圧下にあるため、アニュラス部からエントレイメントゾーンへのガスの下向き流れが形成される。このガス流れにより、アニュラス部に充填してある粒子がエントレイメントゾーンへ運ばれて、噴流が可能となるのではないかと考えてみた。その結果、噴流流動化する事がわかった。

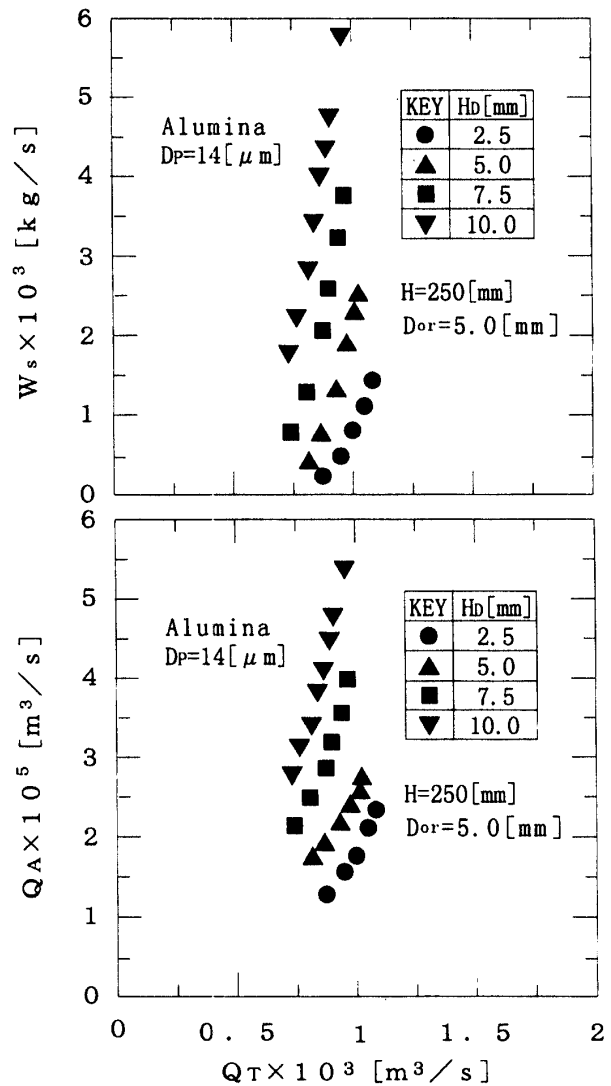


Fig. 4 粒子循環量と入口ガス流量及びアニュラス部下向き流れのガス流量と入口ガス流量の関係

粒子循環量のアニュラス部下向き流れのガス流量による影響

Fig. 4 に層高 250 mm, オリフィス径 5.0 mm における粒子循環量と入口ガス流量及びアニュラス部下向き流れのガス流量と入口ガス流量の関係を並べて示す。これより、アニュラス部下向き流れのガス流量が増すと、粒子循環量が増加している事が分かる。これは、ガスの下向き流れがエントレイメントゾーンへの粒子供給を促進するためであると考えられる。

粒子循環量及びアニュラス部下向き流れのガス流量のチューブ距離による影響

Fig. 4 よりチューブ距離が増すと、粒子循環量、アニュラス部下向き流れのガス流量が共に増加している

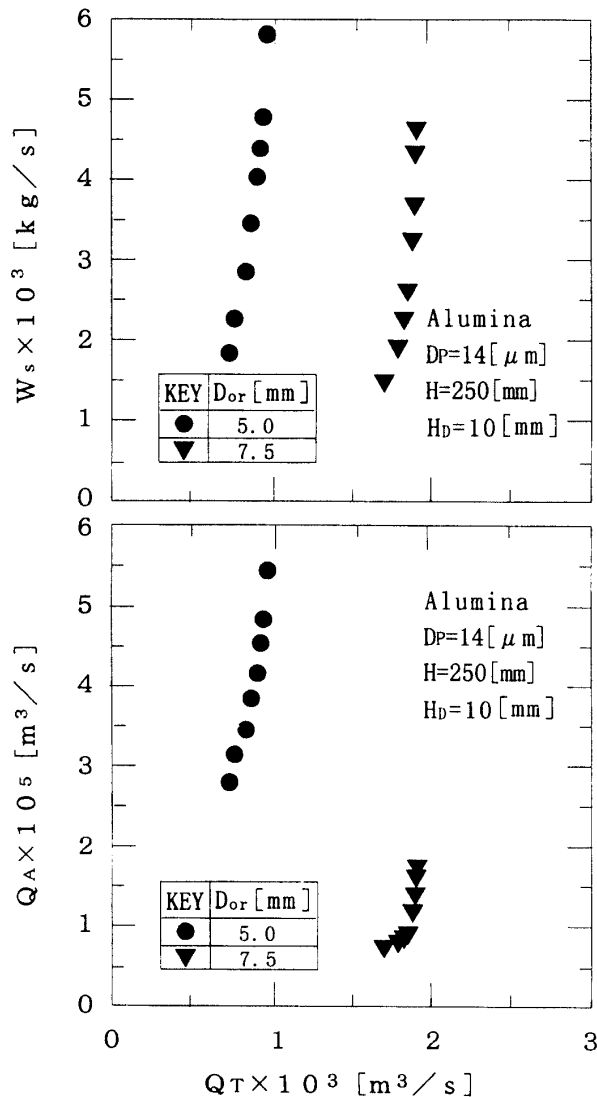


Fig. 5 粒子循環量と入口ガス流量及びアニュラス部下向き流れのガス流量と入口ガス流量の関係

事が分かる。これは、エントレインメントゾーン側面積が増加し、この下向きガス流れの受ける抵抗が減少するため、アニュラス部下向き流れのガス流量が増加し、それにともなって、粒子循環量が増加していると考えられる。

粒子循環量及びアニュラス部下向き流れのガス流量のオリフィス径による影響

Fig. 5 に層高 250 mm, チューブ距離 10 mm における粒子循環量と入口ガス流量及びアニュラス部下向き流れのガス流量と入り口ガス流量の関係をオリフィス径をパラメータとして並べて示す。これより、オリフィス径が減少すると、粒子循環量及びアニュラス部下向き流れのガス流量は共に増加している事が分かる。こ

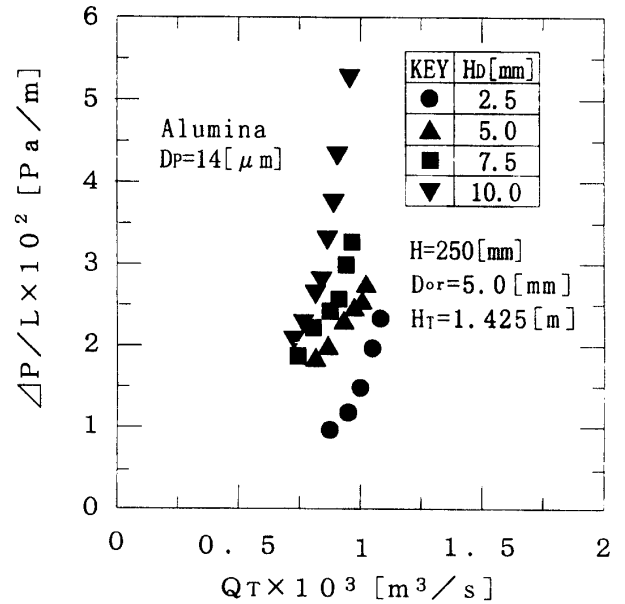


Fig. 6 チューブ内圧力損失と入口ガス流量の関係

れは開口比の減少による減圧効果の増加のため、アニュラス部下向き流れのガス流量が増加し、それにともなって粒子循環量が増加していると考えられる。又、ノズル径としての要因とも考えられる。

ここで、オリフィス径 2.5, 10 [mm] については、データが得られなかった。オリフィス径 2.5 mm については、塔下部静圧の高さからくる入り口ガスの供給限界から、又オリフィス径 10 mm については、開口比の増加による減圧効果の減少からそれぞれ噴流化に至らなかった。

チューブ内圧力損失の入り口ガス流量による影響

Fig. 6 に層高 250 mm, オリフィス径 5.0 mm, 搭下部からの平均測定高さ 1.425 m におけるチューブ内圧力損失と入り口ガス流量の関係を示す。これより、入り口ガス流量が増加すると圧力損失が増加している事が分かる。これは、入り口ガス流量の増加と共にアニュラス部下向き流れのガス流量が増加し、それにともない粒子循環量が増加することからチューブ内粒子ホールドアップが増加していると考えられ、その増加から圧力損失が増加していると考えられる。

チューブ内圧力損失のチューブ距離による影響

Fig. 6 より、チューブ距離が増すとチューブ内圧力損失が増加している事が分かる。これは、チューブ距離の増加と共に、アニュラス部下向き流れのガス流量が増加し、それにともない粒子循環量が増加することからチューブ内粒子ホールドアップが増加していると

考えられ、その増加から圧力損失が増加していると考えられる。

チューブ内圧力損失のオリフィス径による影響

Fig. 7 に層高 250 mm, 塔下部からの平均測定高さ 1.425 m におけるチューブ内圧力損失と入り口ガス流量の関係をオリフィス径をパラメータとして示す。これより、オリフィス径が減少すると、チューブ内圧力損失が増加していることが分かる。これは、オリフィス径の減少と共にアニュラス部下向き流れのガス流量が増加し、それにともなって、粒子循環量が増加し、チューブ内粒子ホールドアップが増加していると考えられ、この増加によって、圧力損失が増加していると考えられる。

結 言

流動化が困難と言われる c 粒子を、vena contracta による減圧効果を利用することによって、噴流流動化できることがわかった。

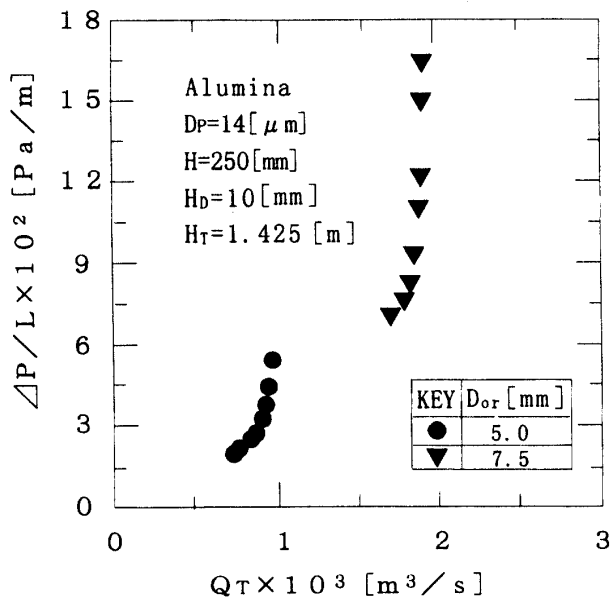


Fig. 7 チューブ内圧力損失と入口ガス流量の関係

Nomenclature

D_D : ドラフトチューブ内径	[mm]
D_O : ドラフトチューブ外径	[mm]
D_{Or} : オリフィス径	[mm]
D_p : 平均粒子径	[μm]
H : 層高	[mm]
H_D : チューブ距離	[mm]
H_T : タップ平均高さ	[m]
ΔP_D : ドラフトチューブ内圧力損失	[kPa]
Q_A : アニュラス部下向き流れのガス流量	[m^3/s]
Q_D : ドラフトチューブ内ガス流量	[m^3/s]
Q_T : 入り口ガス流量	[m^3/s]
W_S : 単位時間あたりの粒子循環量	[kg/s]
ρ_p : 粒子密度	[kg/ m^3]
ρ_{ib} : 祖充填嵩密度	[kg/ m^3]
ρ_{cb} : 密充填嵩密度	[kg/ m^3]

Literature cited

- 1) J.R. Muir, F. Ferruti and L.A. Behie: Chem. Eng. Com m, Vol. 88, pp.153-171 (1990)
- 2) Hatate, Y.: Kagaku kougaku ronbunshu, Vol. 20, No. 6, pp.754-765 (1994)
- 3) 森 滋勝・他, “流動層の反応工学”, 培風館, ('84)
- 4) 水科篤朗・他, “輸送現象”, 産業図書株, ('81)
- 5) 社団法人化学工学協会, “化学工学便覧” 丸善株, ('78)
- 6) 辻 裕, “空気輸送の基礎”, (株)養賢堂, ('84)
- 7) 粉体工学会編, “粉体工学用語辞典”, 日刊工業新聞社 ('81)