

# 縮流ノズルと媒体粒子を有するドラフトチューブ ブチューブ付き噴流層における輸送特性

楠崎 貴庸\* 伊地知 和也 上村 芳三 幡手 泰雄

## CONVEYANCE OF FINE PARTICLES BY DRAFT-TUBE SPOUTED BED WITH A CONVERGING NOZZLE & MEDIUM PARTICLES

Takanobu KUSUZAKI, Kazuya IJICHI, Yoshimitu UEMURA and YASUO HATATE

Recently High grade handling of fine particles has been requested as fine particles is applied in various fields of industry. It is difficult to establish good fluidization of fine particles, because the large external surface area combined with the low mass tends to give large attractive affects. In this work, the draft-tube spouted-bed with a converging nozzle and medium particles was proposed for a feeder of fine particles such as the C powders of Geldart's classification. And using cascade impactor measured particle size distribution of conveyed particles in the draft-tube.

**Keywords:** fine particles, draft-tube, converging nozzle, cascade impactor

### 1. 緒言

ドラフトチューブ付き噴流層は、通常の噴流層に比べ各部で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やすく、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・混合・造粒および輸送装置などに幅広く利用され

てきた。近年では、ドラフトチューブ付き噴流層の安定操作域の柔軟性に着目して、石炭ガス化・燃焼およびコーティング造粒装置などにもその技術を応用する試みがなされている。

また近年、産業における微粒子の応用分野が広がるに伴い、Geldart 分類法でCグループに分類される $20\mu\text{m}$ 以下の微粒子のハンドリング技術の確立が望まれている。しかし、C粒子は非常に付着・凝集性が強い層内チャンネルが形成されるため良好な流動状態が得られない。したがってC粒子をスムーズに流動化させるために、層に振動・音波などの機械的補助エネルギーを加える研究がなされている。しかし、これら機械的補助エネル

---

2000年7月15日受理

\* 博士前期課程応用化学工学専攻

ギーを加えることは、「装置設計が複雑になる」・「装置設計に費用がかさむ」・「補助力をスケールアップした装置にマッチさせるのが困難である」などの問題を有している。本研究では、縮流ノズルを用い「減圧効果（インジェクション効果）」と「高速ガスのせん断力」また新たに媒体粒子を用い「解砕力の増加」によって機械的補助力なしに微粒子のスムーズな噴流流動化を試みた。そして、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微粒子と媒体粒子の輸送特性に及ぼす操作、設計条件の影響について検討した。

## 2. 媒体粒子を用いたドラフトチューブ付き噴流層の流動機構

微粒子と媒体粒子の流動機構について Fig. 1 にイメージを示した。

Fig. 1 中の●は微粒子、○は媒体粒子、矢印はガスおよび粒子の流れをあらわしている。

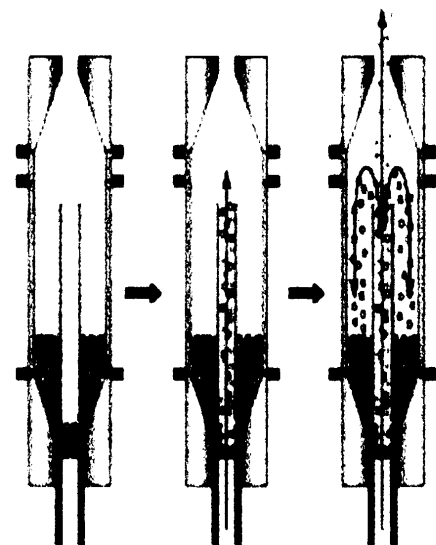
塔下部から導入された流動化ガスは縮流ノズルによる高速ガスのせん断力でエントレインメントゾーンに充填されている微粒子と媒体粒子の混合粒子を解砕する。

解砕された粒子はチューブ内を上昇する。媒体粒子は微粒子に比べ質量が大きいので塔外へは排出されずにチューブと塔壁の間を充填層へ落下していく。微粒子は塔内の圧力や空気などによって塔上部の穴から塔外へと発塵される。

## 3. 実験

### 3-1 実験装置

Fig. 2 に本実験に用いた装置の概略図を示す。塔本体は高さ 600mm 内径 100mm の透明アクリル樹脂製の円筒部と、高さ 80mm、開角 60° の塩化ビニル製の塔上下部とで構成されている。また円錐部下



- Fine Particles
- Media Particles

Fig.1 Schematic diagram for gas and solids flow in column

部には内径 20mm のガス入口が取り付けられており、またその間には縮流ノズルが挟み込まれている。塔内部には内径 20mm 外径 30mm の透明アクリル樹脂製のドラフトチューブがありスパーサーによってノズルと中心が一致するように固定されている。24 時間約 110℃ で乾燥させた微粒子とガラスビーズを混合充填し、塔下部からガスを送る。Coulter 社の LS130 型粒度分布測定器で測定した微粒子の物性と入口ガス流量ごとにカスケードインパクターもしくはサンプラーによって集塵した微粒子へ

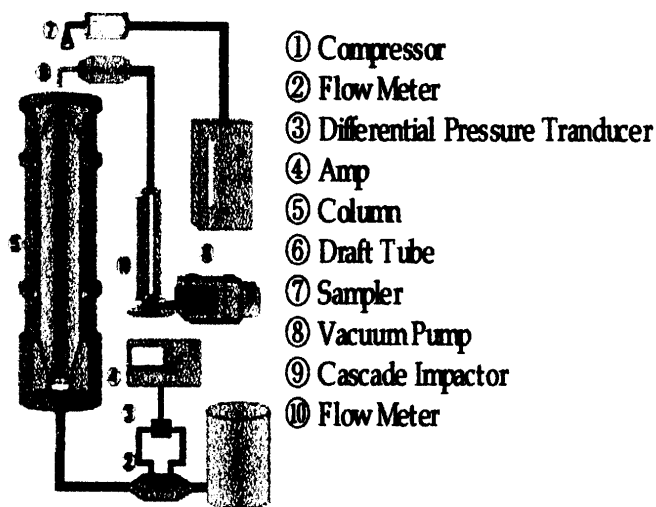


Fig.2 Schematic diagram of experimental apparatus

の影響を比較検討した。

### 3-2 実験条件

Table.1 に本実験で使用した微粒子および媒体粒子の物性を示す。前者は白色溶融アルミナ、後者はガラスビーズである。

塔下部からのガス流速および使用粒子の組み合わせを変える事による微粒子への影響を検討した。流動化ガスについては室温で湿度約 14.4% の空気を使用した。

Table.1 Physical properties of particles used

	Fine Particles		Media Particles	
	Alumina1	Alumina2	GlassBeads1	GlassBeads2
Mean Diameter $D_p$ [ $\mu\text{m}$ ]	7.9	4.9	392.2	256.4
Density $\rho_p$ [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	3970	3830	2500	2500
Terminal Velocity $U_t$ [ $\text{m}/\text{s}$ ]	0.007	0.003	3.09	2.02

## 4. 実験結果および考察

### 4-1 輸送された微粒子の粒径測定結果および考察

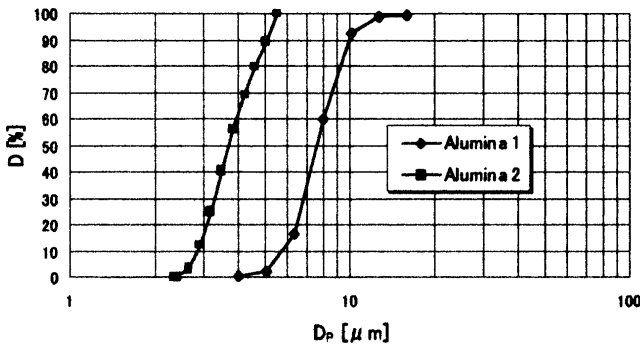
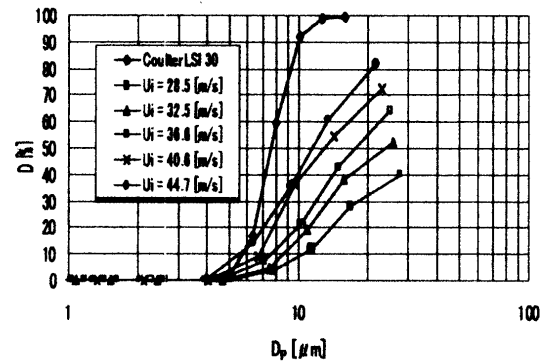


Fig.3 Cumulative under distribution of fine particles measured by Coulter LS130

入口部ガス流速および微粒子ごとのカスケードインパクトでの微粒子の粒径測定結果とコールター社の LS130 型粒径分布測定器との測定結果を

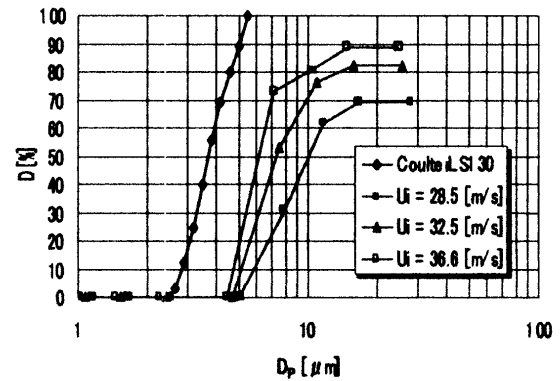
比較検討した。粒径分布測定器での値は理想の分散状態 (Fig3) として後のグラフにあわせてプロットしてある。

### 4-1-2 入口部ガス流速による影響



Fine Particles	Alumina 1	7.9 [ $\mu\text{m}$ ]
Media Particles	Glass Beads 1	392.2 [ $\mu\text{m}$ ]

Fig.4 Cumulative size distribution of suspended fine particles of  $D_p = 7.9 \mu\text{m}$



Fine Particles	Alumina 2	4.9 [ $\mu\text{m}$ ]
Media Particles	Glass Beads 1	392.2 [ $\mu\text{m}$ ]

Fig.5 Cumulative size distribution of suspended fine particles of  $D_p = 4.9 \mu\text{m}$

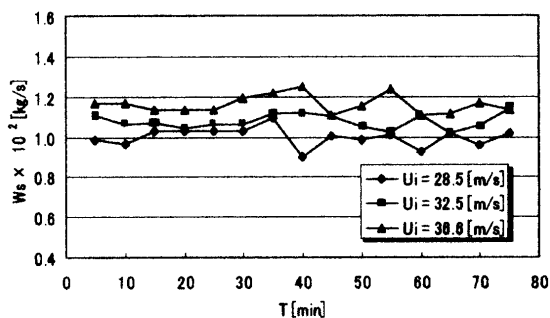
カスケードインパクトを用いて塔外へ輸送されてくる微粒子の一部を出口部ガス流速と等速で吸引した。ふるい下累積率に補正しプロットしたものが Fig. 4、5 である。

Fig. 4、5 の結果よりいずれも入口部ガス流速を

大きくするとコールター社 LS130 型粒径分布測定器の測定値に近づくことが分かった。すなわち流速の増加によって微粒子同士の凝集が解消され、理想の分散状態に近づいて塔外へ輸送されている事になる。この結果から通常のドラフトチューブ付き噴流層でのガス流速と微粒子の分散状態の相互影響は媒体粒子を混合充填したドラフトチューブ付き噴流層においても同じ事が言える。

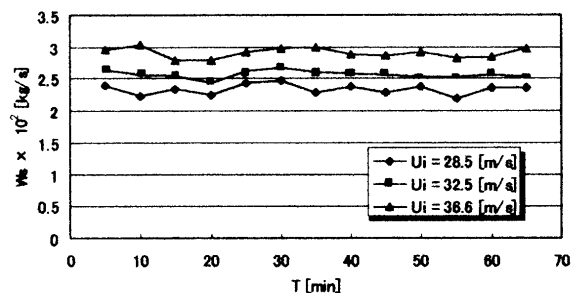
#### 4-2 微粒子輸送量の測定結果および考察

##### 4-2-1 入口部ガス流速による影響



Fine Particles	Alumina 1	7.9 [ $\mu\text{m}$ ]
Media Particles	Glass Beads 1	392.2 [ $\mu\text{m}$ ]

Fig.7 Effect of inlet gas velocity on solids conveying Rate



Fine Particles	Alumina 2	4.9 [ $\mu\text{m}$ ]
Medium Particles	Glass Beads 1	392.2 [ $\mu\text{m}$ ]

Fig.8 Effect of inlet gas velocity on solids conveying Rate

円筒ろ紙をはさみ込んだサンプラーで塔外へ輸送されてくる微粒子を一定時間全捕集する方法で微粒子の輸送量を測定した。

円筒ろ紙の測定前と後の質量差から捕集量を測定した。この値を捕集時間で除したものの単位時間あたりの捕集量＝輸送量である。

入口部ガス流速を 28.5、32.5、36.6 [m/s] の 3 点で変化させ、微粒子と媒体粒子 4 通りの組み合わせについて輸送量が極端におちるまで測定した。

Fig. 6、Fig. 7 の結果から入口部ガス流速が大きくなると輸送量も増加していることが分かった。なお、各測定結果での誤差範囲は 4.1～8.6%ということで比較的定常的に輸送できていることが分かった。

## 5. 結言

### 5-1 結言

- (1) 媒体粒子を混合充填することで装置閉塞を抑制できた。つまり微粒子の付着しやすい特性を活かし、エントレインメントゾーンへ微粒子を同伴させることに成功した。
- (2) ガス流速が大きくなるにつれて輸送される微粒子の凝集を抑制でき、これまでのドラフトチューブ付き噴流層と同様にガス流速が解砕力に与える影響を確認できた。
- (3) 同じガス流速下では、媒体粒子の粒径を大きくすることで輸送されてくる微粒子を分散させることができた。
- (4) 媒体粒子の粒径、ガス流速を大きくすることで輸送量を高めることができた。ガス流速と輸送量の相関関係は既知であったが、媒体粒子が微粒子の輸送量の増加に影響している

と考えられる。

### Notation

- $D_p$  : 粒子径 [ $\mu\text{m}$ ]  
 $T$  : 捕集時間 [s] [min]  
 $W$  : 微粒子捕集量 [kg]  
 $W_s$  : 微粒子輸送量 [kg/s]  
 $U_i$  : 入口部ガス流速 [m/s]

### References

- (1) Muri, J. R. , F. Berruti and L. A. Behie “Solids Circulation in Spouted and Spout-Fluid Beds with Draft-Tubes” Chem. Eng. Comm., 88, 153-171 (1989)
- (2) K. Ijichi, Y. Tanaka, Y. Uemura, Y. Hatate and K. Yoshida ; “Solids Behavior in The Draft Tube of A Spouted Bed ” Chem. Eng. Symp., 163-168 (1994)
- (3) Hongshen , Ji. , A. tsutsumi and K, Yosida ; “Characteristics of Particle Circulation in a Spouted Bed with a Draft Tube, ”AIChE Symp Ser. , 93 (317) , 131-135 (1997)
- (4) 三輪 茂雄, “粉体工学通論”, 日刊工業新聞社, (1981)
- (1) Muri, J. R. , F. Berruti and L. A. Behie “Solids Circulation in Spouted and Spout-Fluid Beds