

# 縮流ノズルを備えたドラフトチューブ付き噴流層による微粉輸送

伊地知 和 也\*・吉澤 秀 和\*\*・上村 芳 三\*\*・幡手 泰 雄\*

## Conveyance of Fine Particles by Draft-Tube Spouted Bed with a Converging Nozzle

Kazuya IJICHI, Hidekazu YOSHIZAWA,  
Yoshimitsu UEMURA and Yasuo HATATE

It is difficult to feed fine particles (such as those belonging to type C powder in Geldart's classification) constantly, because of greater cohesive forces. Therefore, some subsidiary forces should be added to the feeder of fine particles in order to achieve smooth solids feed.

In this study, non-mechanical feeders for fine particles have been investigated by means of a draft-tube spouted bed with a converging nozzle. A few kinds of fine particles, including the C powder, with different mean particle diameters were used as the feed materials.

As a result, the fine particles were conveyed smoothly using the draft-tube spouted bed with a converging nozzle without auxiliary forces such as vibrator and supersonic wave.

### 1. 緒 言

ファインセラミックスなどに代表される素材産業では、新しい材料、製品の開発に伴って、より微細な粒子を高度に処理する微粉体処理装置の開発が強く求められている。粉体供給に関しては、微粉体は粒子間の付着力の影響が支配的となるため<sup>3)</sup>、スクリーフィーダーやロータリーフィーダーなどの供給装置では、装置壁面への微粒子付着による閉塞を起こし、定常供給は極めて困難である。

ドラフトチューブ付き噴流層は、スパウト部とアニユラス部が固体壁で仕切られているため、各所で粒子およびガスの比較的一様な流れが得られ、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いユニークな反応装置である<sup>1, 2, 4)</sup>。更に、このドラフトチューブ付き噴流層の入口ノズルとして縮流ノズルを用い、縮流ノズルからの高速ガスのせん断力とノズルの吸込み効果を利用することにより、機械的補助力なしに微粉のスムーズな噴流流動化の達成が期待される。

本研究では、ドラフトチューブ付き噴流層の入口ノズルとして縮流ノズルを用い、縮流ノズルからの高速ガスのせん断力とノズルの吸込み効果を利用することにより、

振動・音波等の機械的補助力なしの微粉供給装置としての可能性を検討した。

### 2. 微粉供給の概念図

Fig.1はドラフトチューブ付き噴流層に縮流ノズルを

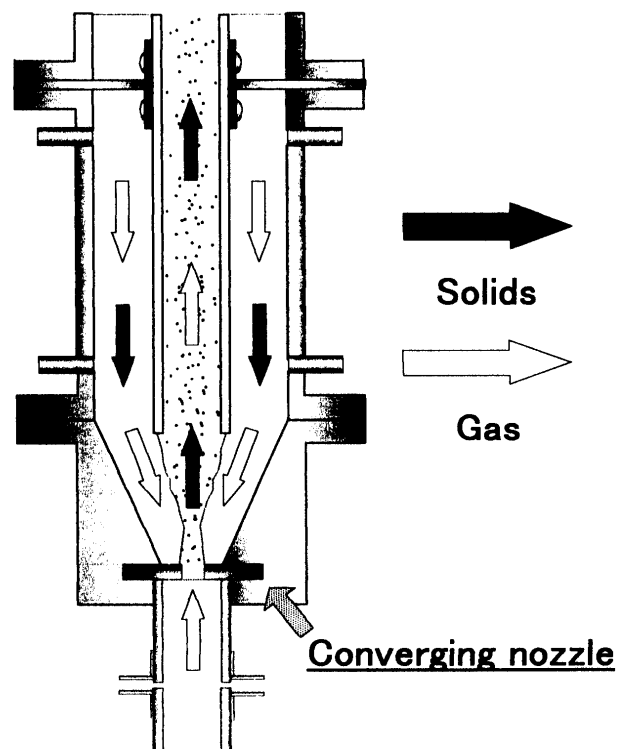


Fig.1 Schematic diagram of gas and solids flow in the lower part of the column with converging nozzle

平成10年5月31日受理

\*応用化学工学科

\*\*生体工学科

取り付けた場合の粒子とガスの挙動を模式的に示したものである。縮流ノズルからの高速ガスによる減圧効果のため、環状部とエントレインメントゾーンの間で圧力差が生じる。この圧力差により環状部からエントレインメントゾーンへのガスの下向き流れが発生する。このガスの下向き流れによって、環状部に充填されている粒子の粒子同伴区間への輸送が促進され、スムーズに流動輸送できると考えられる。

### 3. 実験装置及び方法

Fig.2に塔底部の詳細図を示す。塔本体は、透明アクリル樹脂製で、内径100mm、高さ320mmの円筒部と、高さ80mm、開角60度の円錐部で構成されている。円錐部下部には内径20mmの入口ノズルが取り付けられており、円錐部下部と入口ノズルの間には縮流ノズルが挟み込まれている。縮流ノズルには、3種類の異なる径を持つストレートオリフィス型のノズルを用いた。ドラフトチューブは、内径20mm、5mm厚の透明アクリル樹脂製の円筒で、ノズルと中心が一致するように塔本体に取り付けられている。チューブ下端から円錐部下端までの距離（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。

実験は、一昼夜80℃で乾燥させた流動粒子を一定量、塔内に充填した後、コンプレッサーからの空気を塔内に導入し、層内に安定噴流を形成させる。導入ガスは、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する。サイクロ

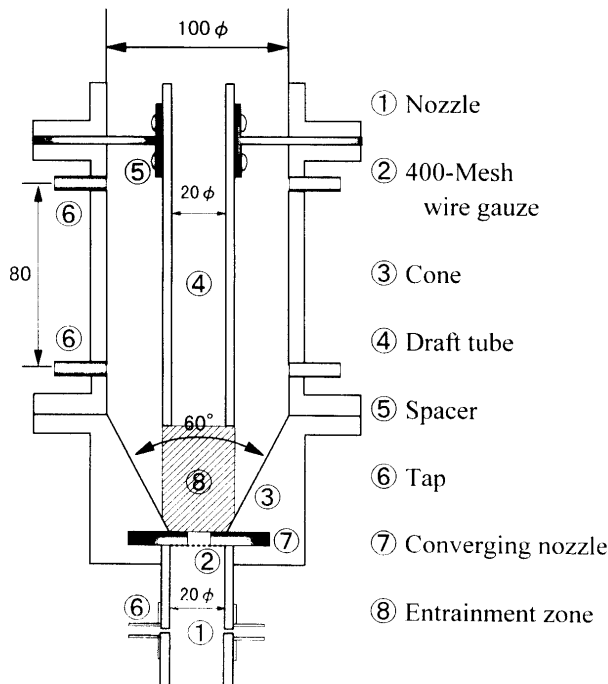


Fig.2 Structure of the bottom of the column

ンでガスと粒子は分離され、ガスは系外へ排出され、粒子は輸送量を測定される。環状部ガス流量は、環状部出口で石鹸膜流量計を用いて測定される。粒子輸送量は、流路変化法、即ち一定時間サンプリングし、その重量を測定する方法より求めた。

### 4. 使用粒子の物性と実験条件

使用粒子の物性を Table 1 に、実験条件を Table 2 に示す。流動粒子としては、ガラスビーズと平均径の異なるアルミナ粒子を用いた。また、実験条件として、入口ガス流速、チューブ距離、縮流ノズル径を変化させた。

使用粒子の平均粒子径は、コールター社の LS-130 型粒度分析器により測定された 50% 粒径である。疎充填かさ密度は、目開き 44  $\mu\text{m}$  の篩を通して充填する電磁振動式かさ密度測定器を、密充填かさ密度は、ストローク 20 mm、タッピング回数約 2000 回の条件でのタッピング式かさ密度測定器による実測値である。終末速度は、球形粒子と仮定した計算値である。

Table 1 Physical properties of powders

Particles	$\rho_p$	$D_p$	$U_t$	$\rho_{fb}$	$\rho_{cb}$	Geldart
Glass beads	2500	35	0.092	1230	1530	A
alumina1	4000	14	0.024	1240	1960	C
alumina2	3790	7.9	0.007	1100	1760	C

Table 2 Experimental conditions

Column	
Inside diameter	100[mm]
Outside diameter	120[mm]
Nozzle diameter	20[mm]
Cone angle	60[deg.]
Draft tube	
Inside diameter	20[mm]
Outside diameter	30[mm]
Tube separation distance	2.5-10[mm]
Average height of tap	1.25[m]
Inlet gas velocity	0-20[m/s]
Bed height	300-400[mm]
Converging nozzle diameter	5.0-10[mm]

### 5. 実験結果及び考察

Fig.3は、粒子を充填していない場合の各ノズル径における環状部ガス流速と入口ガス流速の関係を示したも

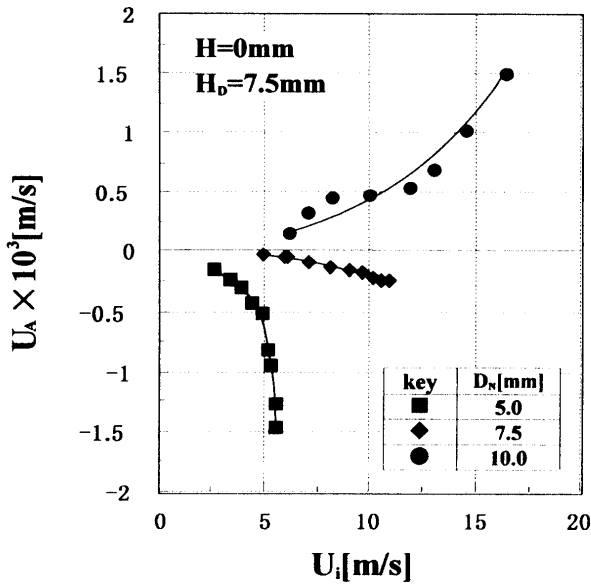


Fig.3 Relationships between gas velocity in annulus region and inlet gas velocity in case of bed weight equal zero for different converging nozzle

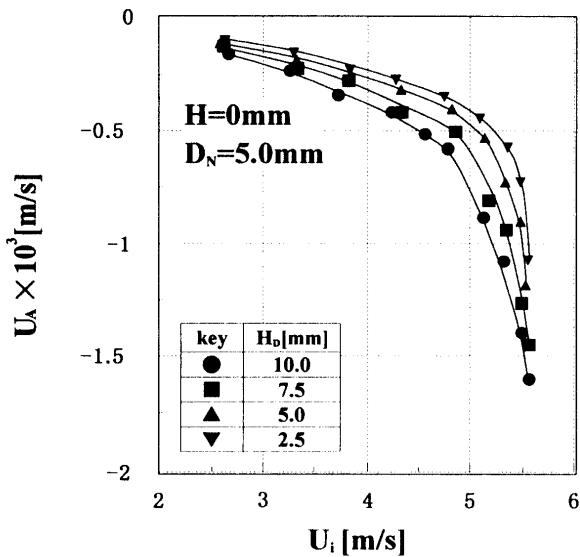


Fig.4 Relationships between gas velocity in annulus region and inlet gas velocity in case of bed weight equal zero for different tube separation distance

のである。縦軸の負の量は下向き流れを示し、正の量は上向き流れを表す。図より、ノズル径の減少とともに上向きガス流れが、下向きガス流れに変わるのわかる。また、下向きガス流れは入口ガス流速が増すとともに増加している。これはノズルからの線速度が増すとともに環状部との圧力差が大きくなるためと考えられる。

Fig.4は、粒子を充填していない場合の環状部ガス流速に及ぼすチューブ距離の影響を示したものである。図

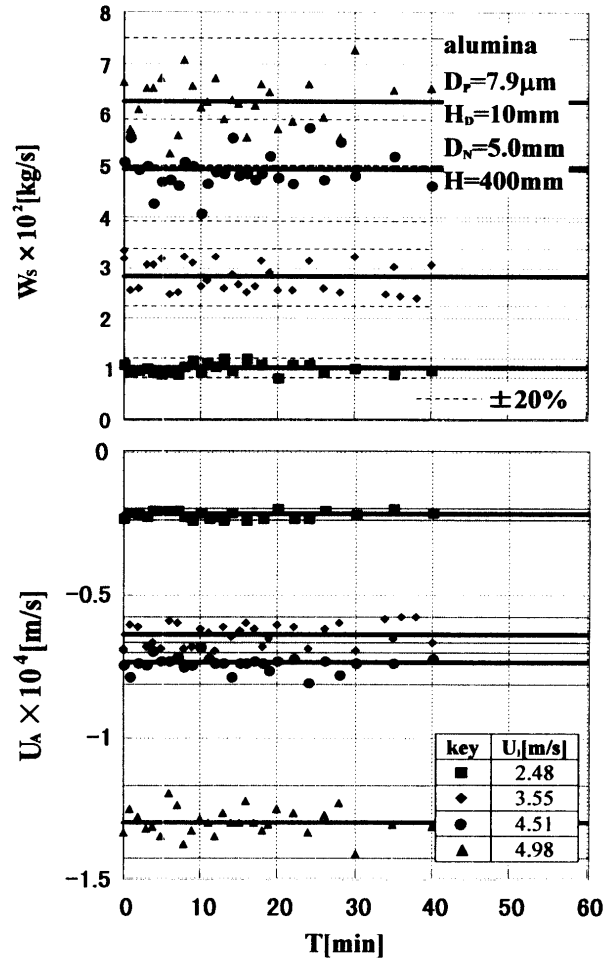


Fig.5 Effect of operation time and inlet gas velocity on solids transportation rate and gas velocity in the annulus where  $d_p=7.9\mu\text{m}$ ,  $H_D=10\text{mm}$ ,  $D_N=5.0\text{mm}$  and  $H=400\text{mm}$

より、チューブ距離が増すとともに、環状部下向き流れのガス流速も微小ではあるが、増加しているのが分かる。これは、チューブ距離が増すとエントレインメントゾーンの側面積が増加し、それによってガスが流れやすくなるためと考えられる。

Fig.5に、平均径 $7.9\mu\text{m}$ のアルミナ粒子を使用し、入口ガス速度を変化させた場合の粒子輸送量および環状部ガス流速に対する輸送時間の影響を示す。環状部ガス流速の負の量は下向き流れを示している。入口ガス速度を増すとともに、粒子輸送量が増加していることがわかる。これは、入口ガス速度を増すことで、ノズル出口での減圧効果が増し、環状部の下向きガス流れが増加し、環状部からエントレインメントゾーンへの粒子供給を促進しているためと考えられる。また、入口ガス速度が増すとともに輸送量の変動幅も大きくなっており、環状部から供給される粒子が凝集体を形成していることが推測される。多少の変動は見られるが、縮流ノズル付き噴流層が

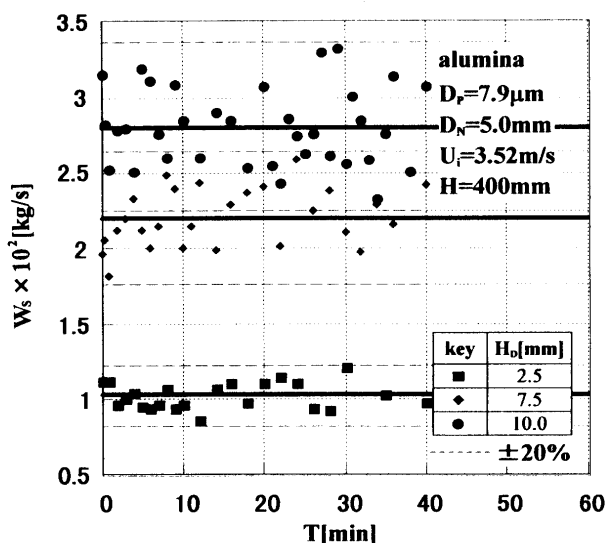


Fig. 6 Effect of operation time and tube separation distance on solids transportation rate where  $d_p=7.9 \mu\text{m}$ ,  $D_N=5.0\text{mm}$ ,  $U_i=3.52\text{m/s}$  and  $H=400\text{mm}$

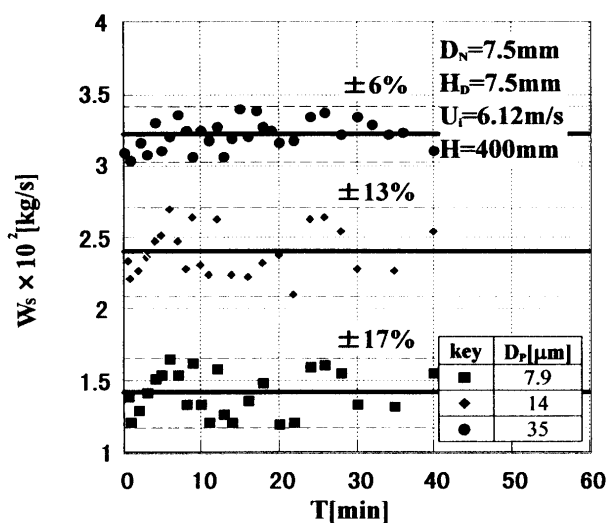


Fig. 7 Effect of operation time and mean particle diameter on solids transportation rate where  $H_0=7.5\text{mm}$ ,  $D_N=7.5\text{mm}$ ,  $U_i=6.12\text{m/s}$  and  $H=400\text{mm}$

微粉の供給装置として利用可能であることを示している。Fig. 6に、平均径 $7.9 \mu\text{m}$ のアルミナ粒子を使用し、チューブ距離を変化させた場合の粒子輸送量および環状部ガス流速に対する輸送時間の影響を示す。粒子輸送量は、チューブ距離が増すとともに増加していることがわかる。これは、エントレインメントゾーンの側面積が増し、下向き流れの流動抵抗が減少するため、環状部ガス流量が増加し、それに伴って粒子輸送量も増加しているものと考えられる。

Fig. 7に、縮流ノズル径、チューブ距離、入口ガス速

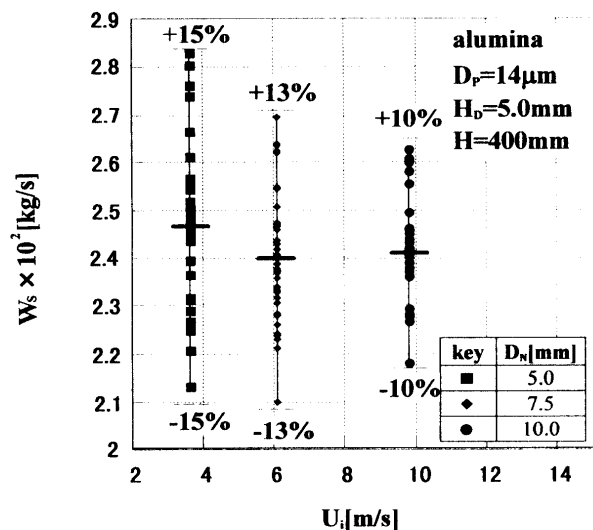


Fig. 8 Effect of inlet gas velocity and converging nozzle diameter on solids transportation rate where  $d_p=14 \mu\text{m}$ ,  $H_0=5\text{mm}$  and  $H=400\text{mm}$

度を一定にして、流動粒子を変化させた場合の粒子輸送量および環状部ガス流速に対する輸送時間の影響を示す。粒子径の大きいガラスビーズは、他の粒径の小さいアルミナ粒子に比べ、安定的に供給されていることが示されている。これは、アルミナ粒子の方が粒径が小さく、付着凝集性が強いと考えられる。

Fig. 8は、平均径 $14 \mu\text{m}$ のアルミナ粒子を使用し、縮流ノズル径を変化させた場合の粒子輸送量に対する輸送時間の影響を示したものである。本データは、粒子輸送量を約 $2.45 \times 10^{-2} \text{kg/s}$ になるように入り口ガス量を調整し、輸送実験を行ったものである。図より、縮流ノズル径が大きいほど安定供給されていることがわかった。縮流ノズルの影響に関して、当初の予測と異なる結果が得られており、さらに検討が必要である。

## 6. 結論

縮流ノズルを備えたドラフトチューブ付き噴流層を微粉輸送装置として提案した。結果として、多少の変動は見られるが、縮流ノズルの減圧効果を利用することによって、微粉の供給装置として利用可能であることが分かった。

## Nomenclature

- $D_N$  : 縮流ノズル径 [mm]
- $D_p$  : 平均粒子径 [ $\mu\text{m}$ ]
- $H$  : 層高 [mm]
- $H_0$  : チューブ距離 [mm]
- $U_A$  : 環状部ガス流速 [m/s]

$U_i$  : 入口ガス流速 [m/s]

$W_s$  : 単位時間あたりの粒子輸送量 [kg/s]

$\rho_p$  : 粒子密度 [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_{nb}$  : 疎充填嵩密度 [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_{cb}$  : 密充填嵩密度 [kg/m<sup>3</sup>]

### References

- 1) Ferreira, M. C. and J. T. Fereire; "Fluid Dynamics Characterization of a Pneumatic Bed Using a Spouted Bed Type Solid Feeding System," *Can. J. Chem. Eng.*, **70**, 905-909 (1992)
- 2) Hatate, Y., Y. Uemura, S. Tanaka, T. Tokumasu, Y. Tanaka, D. F. King and K. Ijichi; "Development of a Spouted Bed-Type Coal Gasifier with Cycling Thermal Medium Particles," *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **20**, 758-765 (1994)
- 3) Morooka, S., K. Kusakabe, A. Kobata and Y. Kato; "Fluidization State of Ultrafine Powders" *J. Chem. Eng. Japan*, **21**, 41-46 (1988)
- 4) Muir J.R., F. Beruti and L.A. Behie; "Solids Circulation in Spouted and Spout-Fluid Beds with Draft Tubes" *Chem. Eng. Comm.*, **88**, 153-171 (1990)