

循環固気流動層用反転流サイクロンの分離性能

伊地知 和也・西山 靖志・田中 安彦

(受理 昭和63年 5月31日)

Separation Performance of a Reverse-Flow Cyclone for a Circulating Solid-Gas Fluidized Bed System

Kazuya IJICHI, Yasushi NISHIYAMA and Yasuhiko TANAKA

Experiments were performed to investigate, for silica sand with a mean size of 145 μm and a particle density of 2640 kg/m^3 , the effect of inlet air velocity and aeration velocity on the separation performance of a 50 mm dia. standard cyclone for a circulating fluidized bed system with a 20 mm dia. riser. The results indicated that the inlet solids holdup decreases and the pressure drop across the cyclone increases with an increase of the inlet air velocity. Increasing the aeration velocity over a critical value results in a significant drop in the separation efficiency of the cyclone at high inlet velocities.

1. 緒 言

一般に、サイクロンは重力の数倍、数千倍もの遠心力を利用して、重力場では沈降しにくい微粒子も比較的容易に分離できる集塵装置として広く用いられている。これまでもサイクロンの原理と性能については、理論と実験の両面にわたって多数の研究者による研究成果の著しい進展がみられ、学説が確立されたように見えるが、サイクロン内部の流動や捕集粒子の再飛散、粒子と壁面との摩擦・反投現象の複雑さが正確な捕集性能の推定を困難にしている。

本研究では、サイクロンを通常の使用法とは異なり、最近各種の固気接触プロセスへの応用が期待されている循環・高速流動層などの循環系における固気分離装置として用いた場合の捕集性能をしらべ、慣用サイクロンとの性能比較と考察を行った。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置

実験装置の概略を Fig. 1 に示す。ダウンカマ⑥でエアレーションにより流動化された粒子はライザー①へ導入され、ここを上昇した後、サイクロン入口へ供給される。サイクロン③は直径50mmの井伊谷型¹⁾の構造で、入口、出口、および集塵口にそれぞれ圧力損

失測定のためのタップが設けられている。ライザー上部には、粒子ホールドアップ測定用のボールバルブ②を備えており、分配器④のシャッタの切替操作によって一定時間内に捕集瓶内に集められた捕集粒子量を秤量して循環粒子量を測定することができる。

2.2 実験方法

上述のボールバルブを用いて、粒子ホールドアップの測定を行い、これをサイクロン入口における粒子ホールドアップとした。

分離効率 η は、単位時間当たりのサイクロン供給粒子量 Q_s に対するサイクロン捕集粒子量の比として求められた。

エアレーションによってサイクロン集塵口からサイクロン本体内に流入してくる空気量が一定の条件下で、サイクロン入口流速を変化させて、粒子ホールドアップ、サイクロン各部の圧力損失、および分離効率を測定した。

2.3 使用粒子

本実験で用いた固体粒子は珪砂7号である。その密

*サイクロンとバグフィルタによる捕集量の和

度、平均粒径、および終末速度を Table 1 に示す。密度は比重瓶法を用いて5回測定を行った平均値、平均粒径はフルイ分析の結果、50%の累積分布に対応する粒径、終末速度は球粒子を仮定した推算式²⁾による計算値である。

3. 実験結果および考察

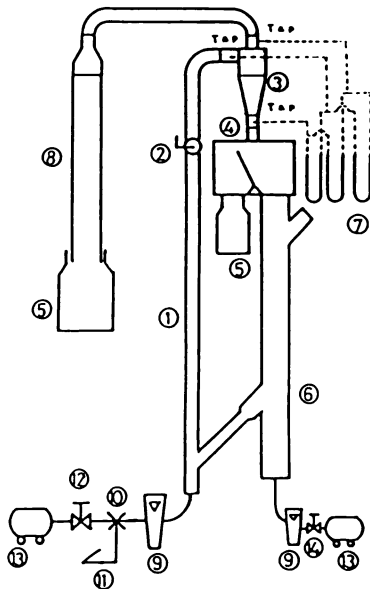
3.1 入口流速と粒子ホールドアップ

サイクロン入口流速 U_i とサイクロン入口における粒子ホールドアップ $(1-\epsilon)_i$ との関係を Fig. 2 に示す。図中のプロットは同一の実験条件下での7~8回にわたる測定値の平均である。 $(1-\epsilon)_i$ はエアレーション効果により集塵口からサイクロン本体に流入する空気の流速 U_a が増すにしたがって高くなっている。また、 U_i を増加させるとともに $(1-\epsilon)_i$ の値は指数関数的に減少しており、CFM 層型*固気接触装置³⁾の場合と同様な傾向を示す。

3.2 入口流速とサイクロン圧力損失

入口流速 U_i とサイクロン圧力損失 ΔP との関係を Fig. 3, 4 および 5 に示す。 ΔP_{1-2} , ΔP_{3-2} , ΔP_{1-3} はそれぞれサイクロンの入口と出口、集塵口と出口、入口と集塵口間の圧力損失を示す。なお、図中の実線および破線は空気のみをサイクロンに供給した場合の圧力損失である。

空気のみを供給した場合、 U_i と ΔP_{1-2} とは両対数紙上でほぼ直線関係で示される。一般に、サイクロンは含塵空気を供給すると、ダストによって気流の旋回運動が妨げられ、旋回速度が低下するため、純気流のみを供給した場合に比べて、その圧力損失は低下することが知られている。しかしながら、本実験の場合には、 ΔP_{1-2} は $U_a=0.39, 0.78, 1.18, \text{および} 1.96\text{m/s}$ では粒子の存在にもかかわらず空気のみを供給した場合の圧力損失とほぼ同じ値をとることが示されている。これは U_a によってサイクロン内の粒子の摩擦、



- ① Riser
- ② Ball valve
- ③ Cyclone
- ④ Sampling device
- ⑤ Dust bunker
- ⑥ Downcomer
- ⑦ Manometer
- ⑧ Bag filter
- ⑨ Rota meter
- ⑩ Electromagnetic valve
- ⑪ Foot switch
- ⑫ Reducing valve
- ⑬ Compressor
- ⑭ Valve

Fig. 1 Experimental apparatus

Table 1 Physical properties of particle used

density	[kg/m ³]	2640
mean particle diameter	[μm]	145
terminal velocity	[m/s]	1.18

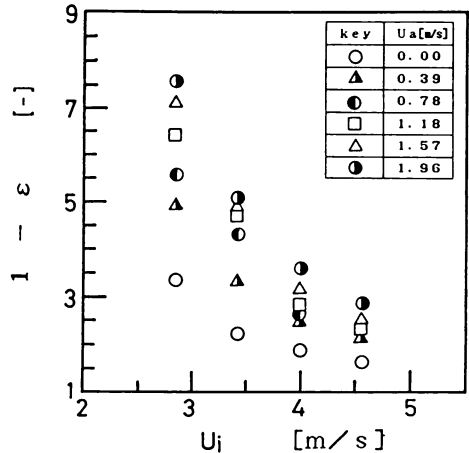


Fig. 2 Relationship between inlet air velocity and inlet particle holdup

* Combined Fast Fluidized Bed and Moving Bed

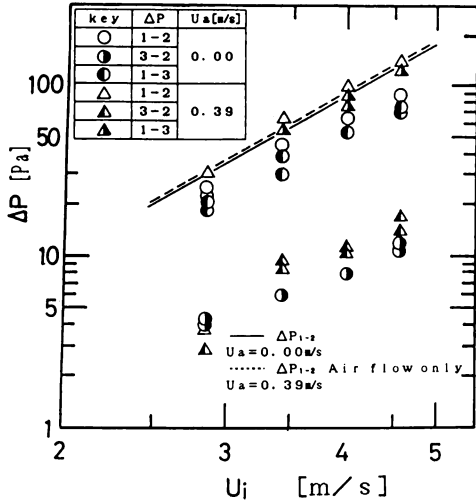


Fig. 3 Relationship between inlet air velocity and pressure drop ($U_a=0, 0.39$ m/s)

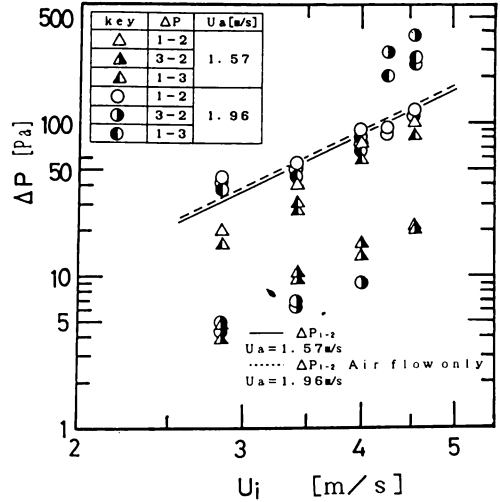


Fig. 5 Relationship between inlet air velocity and pressure drop ($U_a=1.57, 1.96$ m/s)

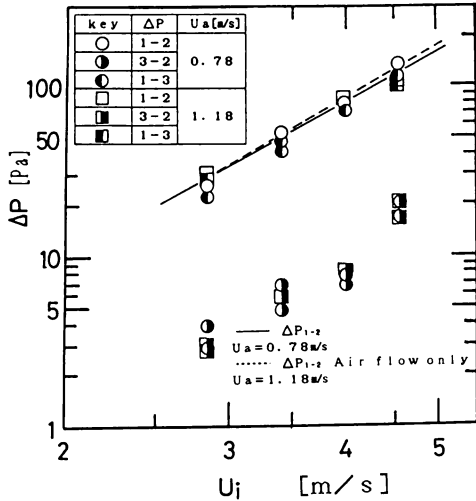


Fig. 4 Relationship between inlet air velocity and pressure drop ($U_a=0.78, 1.18$ m/s)

衝突によるエネルギーの付加圧損が増大するため⁴⁾と考えられる。しかし、 $U_a=1.57$ m/s に関しては、空気のみを供給したときの値より低くなる。これは次の Fig. 6 に示すように、 U_i の増加とともに分離効率が低下し、サイクロン内の粒子ホールドアップが減少す

ることから、他の場合に比べて前述の付加圧損増大の効果があらわれないためと考えられる。さらに、 $U_a=1.96$ m/s については、 $U_i=4.3$ m/s 付近でサイクロン各部の静圧が急激に増大し、 ΔP_{3-2} 、 ΔP_{1-3} が急激に増加する。これについては、使用粉体である珪砂 7 号の粒径が均一でないために、粒子終末速度が U_a と同じか、それよりも小さい一部の粒子が沈積できずに再飛散がおり、サイクロン内粒子ホールドアップが著しく増大したため圧力損失が上昇したと思われる。

3.3 入口流速と分離効率

サイクロン入口流速 U_i と分離効率 E との関係を Fig. 6 に示す。本図からわかるように、 $U_a=0 \sim 0.78$ m/s における E はほぼ 100% である。また、 $U_a=1.18$ と 1.57 m/s に増加すると U_i の上昇とともに E は減少しており、さらに $U_a=1.96$ m/s になると、 $U_i=4.3$ m/s 付近で E は急激に低下する。一般に、サイクロンは粒子供給濃度（粒子密度と粒子ホールドアップとの積）が高いほど E は低下する。しかし、本実験においては、前出の Fig. 2 に示したように、 U_i の上昇とともに粒子ホールドアップしたがって粒子供給濃度は低下しており、高い U_i の領域では U_a の大小にかかわらずほぼ同じ値を示す傾向が認められるので、分離効率の低下は粒子供給濃度だけによるも

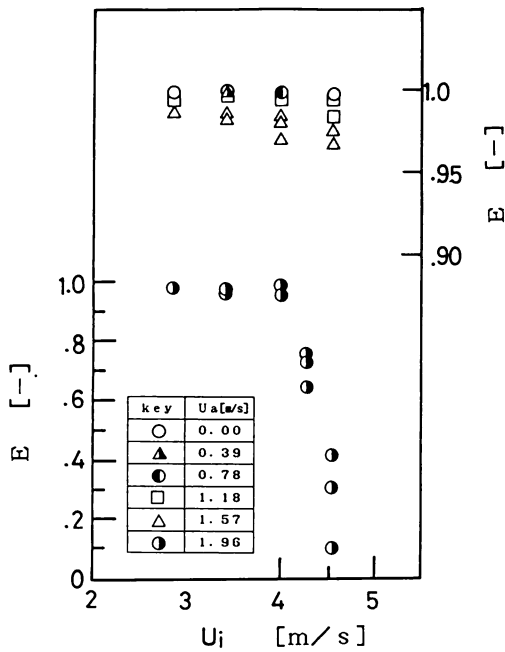


Fig. 6 Relationship between inlet air velocity and separation efficiency

のではないといえる。また、 U_a については、平均粒径に対する粒子終末速度よりも常に高い流速範囲で実験を行った場合の、 U_a が1.57m/sと1.96m/sのときには、低い U_i の場合には分離効率が比較的高いことから、集塵口からのエアレーション用空気の流入だけが効率低下の原因であるとも断定できない。むしろ、Fig. 6から U_i と U_a との比が循環系におけるサイクロンの分離性能に関連があると予想されるが、そのようなデータの整理は今後の検討課題としたい。なお、本実験で用いたサイクロンの分離限界粒子径 ($U_a=0$ に相当)はLapple and Shepard, Rosin, Rammler and Intermannの理論式⁴⁾から4~7 μ mと推算され、本実験の使用粒子の平均径よりもはるかに小さいので、分離効率は100%に近いことが予想された。

4. 結 言

平均径145 μ m、密度2640kg/m³の珪砂7号粒子を流動化粒子に用いて、20mm径の循環流動層のライザー頂部に設けられた50mm径の井伊谷型サイクロンの分離性能を、サイクロン入口速度が2.85~4.56m/s、エアレーション速度が0~1.96m/sの範囲でしらべた結果、サイクロン入口流速の増加とともに入口粒子ホールドアップは減少し、圧力損失は増加するが、低いエアレーション速度範囲では、分離効率はわずかに減少すること、エアレーション速度が高すぎると、分離効率が著しく低下することがわかった。

Nomenclature

E	= separation efficiency	[-]
ΔP	= pressure drop across the cyclone	[Pa]
U_a	= aeration velocity	[m/s]
U_i	= cyclone inlet velocity	[m/s]
$(1-\epsilon)$	= particles hold up	[-]

<subscripts>

- 1 = inlet
- 2 = outlet
- 3 = throat

Literature cited

- 1) Fujita, S. and H. Tohata: "Kagaku Kogaku II", p. 238, Tokyo Kagaku Dojin, (1966)
- 2) Muchi, I., S. Mori and M. Horio: "Ryudoso no Hanno Kogaku", p. 17, Baifukan (1984)
- 3) Naruse, I., H. Matsuda and M. Hasatani: Kagaku Kogaku Ronbunshu, **13**, 404 (1987)
- 4) Ogawa, A.: "Saikuron Bunriki", p. 65, Asusya (1980)
- 5) Iinoya, K.: "Syujinsochi no Seino", p. 16, Sangyo Gijutsu Senta (1976)