

# 超小型サイクロン分離器に関する実験的研究\*

(内部の流動状態について)

上岡 豊\*\* 上野 五郎\*\* 川上 靖\*\*\*

## Experimental Study on the Micro Cyclone Separator

(Flow Pattern in the Cyclone)

by

Yutaka UEOKA · Gorō UENO · Yasushi KAWAKAMI

### Abstract

The flow pattern and the pressure loss of the micro cyclone separator (diameter  $D=10\text{mm}\sim 30\text{mm}$ ) have been studied experimentally.

The results obtained are as follows:

i) The relations between the inlet air velocity  $V$  and the pressure loss in the various cyclones shaped such as Fig. 1, are shown in Fig. 2.

ii) The pressure loss in the cyclone (Fig. 1, type II) varies completely with the change of cyclone length  $L$ , and it is shown in Fig. 5.

iii) The static pressure distribution at the inside wall of the cyclone (Fig. 2, type II) is illustrated in Fig. 6.

iv) The pattern of collected talc dust on the inside wall of the cyclone is photographed such as Fig. 8.

The pressure loss is minimum in the type II cyclone and it increases as the dimension of the cyclone diameter  $D$ .

In case of type II, the pressure loss has the sharp peaks at the cyclone length of  $2.0D$ ,  $5.5D$ ,  $9.5D$ .

This strange phenomenon will be due to the efflux of spiral-shaped vortex core from the outlet.

The distribution of the static pressure and the talc adhesion on the inside wall reveal obviously the details of the flow pattern in a cyclone.

### 1. 緒 言

大気汚染が公害として重大な社会問題になってきたため、集じん装置に対する一般の関心も最近はとみに高まり、また技術上の進歩も著しいものがある。しかしながら工業的集じん方法として実用化されているものもそれぞれ長所、短所があり、理想的なものは残念ながらまだ実現していない現状である。

コットレル電気集じん器およびベンチュリスクラバなども捕集性能の優秀性は認められながらも、前者は多額の設備費用を要し、また後者は圧力損失が大で運転動力の経済面で問題がある。

一方サイクロン分離器は構造簡単で製作も容易であり、保守も楽であるため、代表的な集じん器として広く用いられてきた。しかしながら標準型のサイクロンでは捕集性能の点でいちおう粒子径 $10\mu$ 前後が分離限

\*\* 機械工学教室

\*\*\* 宇部工業高等専門学校

\* 昭和35年11月3日 日本機械学会 第38期全国大会  
昭和36年11月11日 日本機械学会 第39期全国大会  
昭和38年10月9日 日本機械学会 第41期全国大会

} 山口大学工学部研究報告  
講演会において講演

界とされており、用途によっては必ずしも十分とはいえない。したがってさらに高性能を要求される場合、内径 100mm 程度の小型サイクロンを多数並列にしたいわゆるマルチクロンを用いることにより、分離限界を数 $\mu$ まで引き下げることが可能になり、サイクロンの使用分野を一段と広めるとともに、前記高性能集じん装置のプレダスタとしても多く用いられている現状である。内径をさらに小にすれば性能はより向上するはずであって、内径数十mmのいわゆる超小型サイクロンが活用されるに至った。

Fig. 1 (a)のような標準型のを相似に縮小したものが、単一サイクロンとして $\mu$ 前後のものまで捕集でき予期どおりきわめて高い捕集効率を発揮することについてはすでにある程度実験的に確認されており<sup>1)</sup><sup>2)</sup>ダストサンプリング用にも推しようされている。

しかし工業的規模のガス量を処理するに十分な数の標準型小型サイクロンを併用することはかなり困難な問題であるが、最近では Fig. 1 (b), (c)のような円筒型の超小型サイクロンを用いることにより、湿式ではあるが、この難問を解決し、比較的低圧損で、きわめて高性能のサイクロンが実用の域に達している。

普通寸法のサイクロンおよびマルチクロンなどについてはすでにある程度実験的資料もあるが、超小型サイクロンの特性上の二大要目である捕集並びに圧損と密接な関係を有する根本問題である内部のガス流動状

態についてはほとんど発表されたものを見ない。

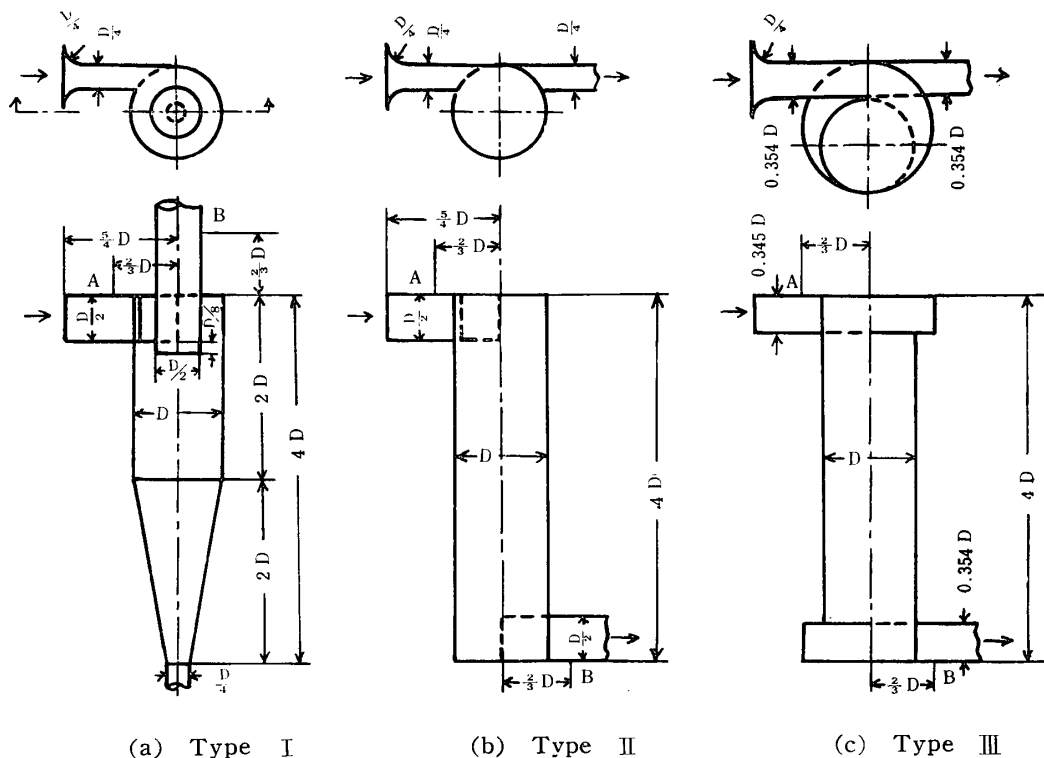
超小型であるため、寸法的に制約され技術上の困難さはあるが、種々の方法により解明を試み、主として実験的結果として得られた若干の知見について述べる。

## 2. 実験の概要および考察

### i) 入口風速と圧力損失の関係

供試サイクロンは内部の観察が可能のように、透明プラスチック製とし、形状は Fig. 1 に示した。I, II, III型の3種を採用し、おのおの内径 $D=10\text{mm}$ ,  $20\text{mm}$ ,  $30\text{mm}$ の3種類を用いた。II型およびIII型は実用上処理ガスは噴霧が混入された状態で流入し、ダストは捕集されて出口では水滴中に含まれて出るいわば湿式のものである。実験装置の概要は Fig. 2 に示してある。常温の空気について実験を行なったが、風量測定のオリフィスはあらかじめ精密に検定されたものである。

この実験では粉体などを混入せず、空気流のみの場合に限った。Fig. 1 に示された入口、出口の測定点 A, B における静圧の差をいちおう圧力損失と考えて $\Delta P$ と表わし、サイクロンへの流入平均空気速度 $V$ を広範囲に変えて得られた $V-\Delta P$ の関係を示す実験結果の一例を Fig. 3 に示した。



(a) Type I

(b) Type II

(c) Type III

Fig. 1 Shape and dimension of tested cyclone

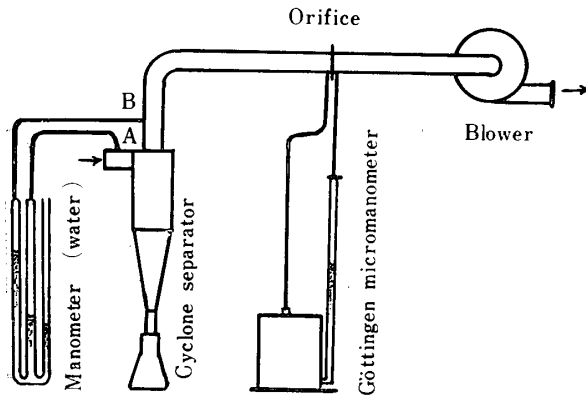


Fig. 2 Experimental apparatus

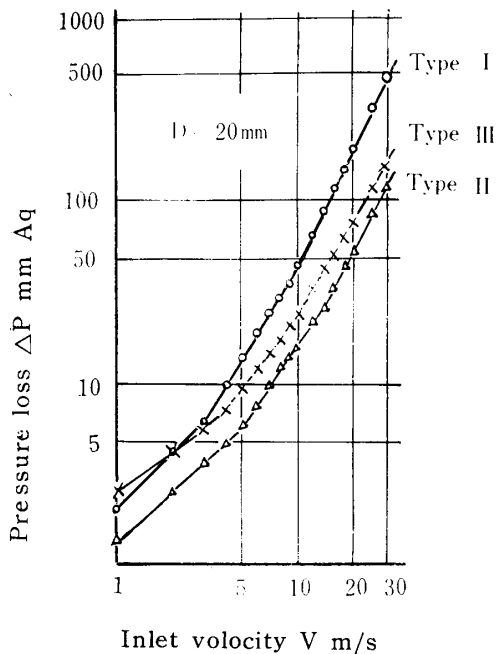


Fig. 3 Relation between inlet velocity and pressure loss

これは  $D=20\text{mm}$  の場合の各型式のものについての対数線図であるが、II型、III型については噴霧は混入していない。一般的傾向として、各曲線ともほぼ三つの直線部分に分けられる。そのおのおのはそれぞれサイクロン内部の流れが層流、遷移状態、および乱流になっていることをその傾斜によって示唆しているが、このことは発煙剤を用いての流線実験によっても確認することができた。

代表寸法が小になれば当然予想されることであるが、実用範囲の流入風速で層流状態が存在することは、従来の大型のものに比してきわめて特異な現象である。単に圧力損失のみでなく捕集性能の面でも種々の興味ある問題が包蔵されているように思われる。

この層流から乱流への遷移は  $D$  が小になるほど  $V$  の

大なる方へ移動する傾向はあるが、 $D$  を代表長さにとって計算したレイノルズ数を用いて臨界点を単純に処理することは無理なようである。

次にI型の圧力損失は常用のVの範囲では大型のものときほど変わらないにもかかわらず、II型、III型の損失はこれよりはるかに小さい値を示している。このことは最近実用化されつつあるIII型系統の超小型サイクロンが圧力損失の面でもきわめて経済的であることを裏書きしたことになる。I型は円錐部を有するなど周壁の形状の差異もあるが、圧力損失にもっとも影響を及ぼす有力な因子は出口の位置の違いであろう。

空気流の回転運動に基づく圧力分布の状態を考えてみれば、接線方向から流入し、同じ接線方向に出て行くII型、III型の方がランキンウズで最低圧を示す中心部に出口のあるI型より圧力損失が小さく落ちることは当然である。

また構造上は入口および出口部が若干異なる程度であるにもかかわらず、III型に比してII型の方がさらに大幅に圧力損失が軽減されていることは奇異に感じられる点である。

これはサイクロン内部の気流の回転数の差異が原因であろうと推察される。流線実験の結果、II型では主流は2回転であるのに対し、III型は3回転していることが明らかになった。回転数の増加は捕集効率の点では好影響を与えるので、II型とIII型の優劣は必ずしも圧力損失の面からのみ論ずることは早計であるが、上述の回転数の問題はこの種のサイクロンについてはとくに留意すべき事項のように思われる。Fig. 4はサイクロン寸法の変化による影響をみるためにIII型につ

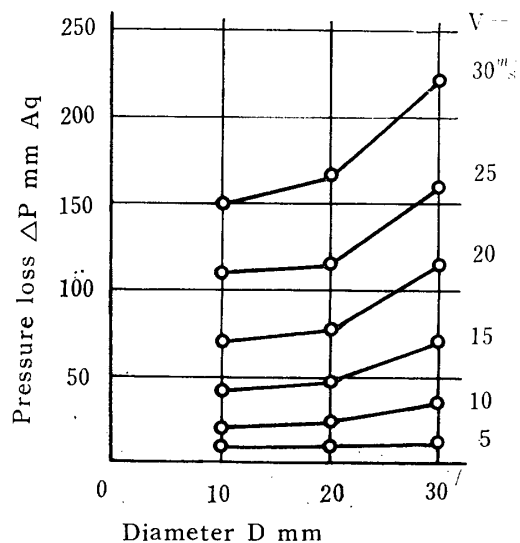


Fig. 4 Relation between diameter and pressure loss (type III cyclone)

いてDと $\Delta P$ の関係を入口風速別に表わしたものである。すなわちDが大になるにつれて同一風速においても圧力損失は増大しており、この傾向は他の型においても同様である。しかしI型ではDが10mmと20mmの間の増加が目立ち、またII型、III型ではDが20mmと30mmの間の増加が大である。なお、II型およびIII型についてはスプレー噴霧ノズルにより発生した噴霧を流入空気に混入して実験を行なってみたが、実用の混水比の範囲ではあまり顕著な圧力損失の変化はないようである。

ii) 円筒型サイクロンの長さによる圧力損失の変化

入口管、出口管の測定点(A, B)で圧力損失を測った場合、流入空気速度の影響については低速部で層流域のあること以外は大体大型サイクロンと同様な傾向を示すが、標準型のものに比較して円筒の方がはるかに小である。流入空気速度を一定に保ち、円筒部の長さを連続的に変化させた場合の圧力損失 $\Delta P$  (mm Aq)の値をFig. 5に示した。長さHの大になるに

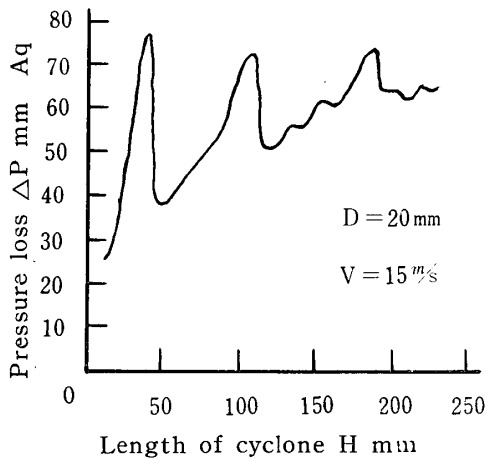


Fig. 5 Relation between length H of cylindrical cyclone and pressure loss  $\Delta P$

つれて $\Delta P$ も増大はするが、その変化は予想外に複雑であって、 $H = 2.0D, 5.5D, 9.5D$ の附近に顕著な極大点があられ、流入空気速度およびサイクロ径が異なっても同様な現象を呈した。この極大点に相当する急激な圧損の変動は単にサイクロン内部の流動損失の影響と考えることはできない。出口側端面における静圧分布の模様などからみて、この場合はうずが端面に付着しないで、出口管を通り抜けて外部に達している状態になり、このため出口測定点の静圧が著しく低下したためと思われる。i)の結果によれば同一流入速度についても普通型は円筒型に比して圧損がはるかに大であるが、これはサイクロン長さ $H = 4D$ とした寸法割合で円筒型(II型)ではうずが中心が出口端面に

付着して圧損小である範囲であるが、標準型においては流出管が中心部にあるため、ここが最低圧となる。このような現象は常時生じているのであって両者の流出口の位置が異なるのが主要な原因であろう。したがって円筒型でもうずが中心が外部に流出した状態では標準型に近い圧力損失を生じて圧損が小であるという長所の一つも失われ、流れもきわめて不安定になるので円筒型の長さの割合は設計上とくに留意する必要がある。

iii) 円筒型サイクロンの内壁面上の静圧分布

円筒部側壁面および両端面において多数の測定孔を穿ち、多岐管マンメータに連結して、サイクロン寸法、流入空気速度Vを種々に変えた場合の静圧分布を測定した。

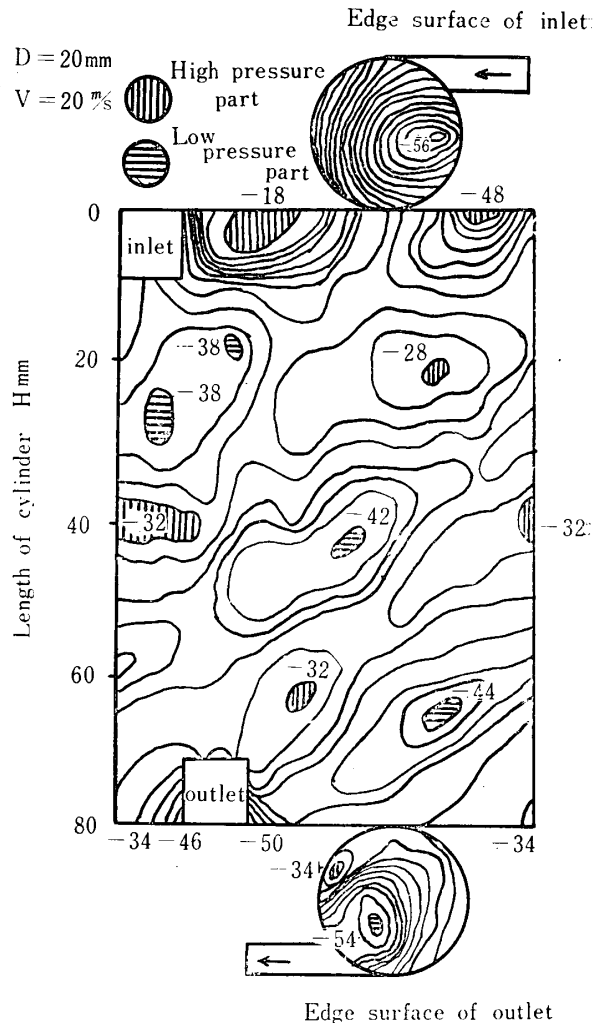


Figure shows gauge pressure and unit is mm Aq. Isobaric lines are drawn at intervals of 2 mm Aq.

Fig. 6 Static pressure distribution

一例を Fig. 6 に示したが、高圧領域と低圧領域が交互に入り交じったかなり複雑な模様を呈している。流入空気速度を変化させても傾向は同様であり、またサイクロン寸法を変化させても圧力分布の模様は大体相似である。

内部の流れはもちろん組合わせずになっているが、圧力のもっとも低い点を示すうず中心の位置は端面においては円形の中心よりかなり偏心していることが認められる。

実際の空気流とレイノルズ数を一致させ、流動状態を相似に保った水流を用いて内部のうず中心を観測、撮影したものを Fig. 7 に示したが、これからもうず中心はサイクロンの軸心のまわりなら旋状になっていることがわかる。しかもこのら旋は流れのら旋とは反対にねじれていることも明らかになった。

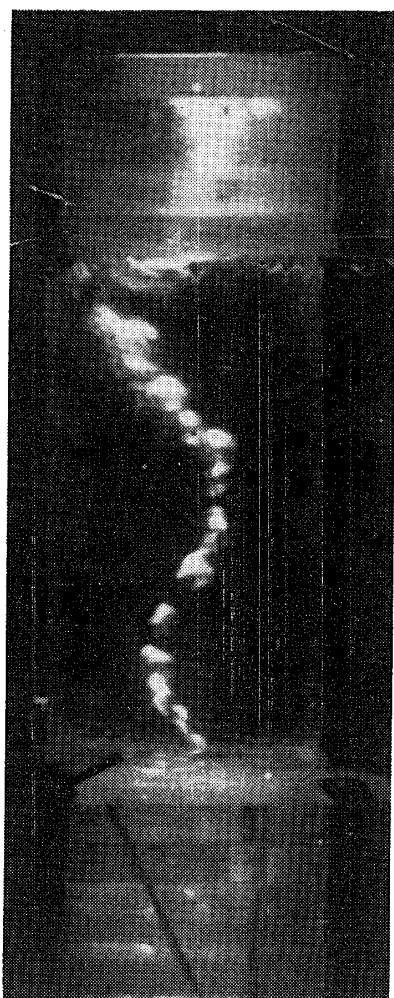
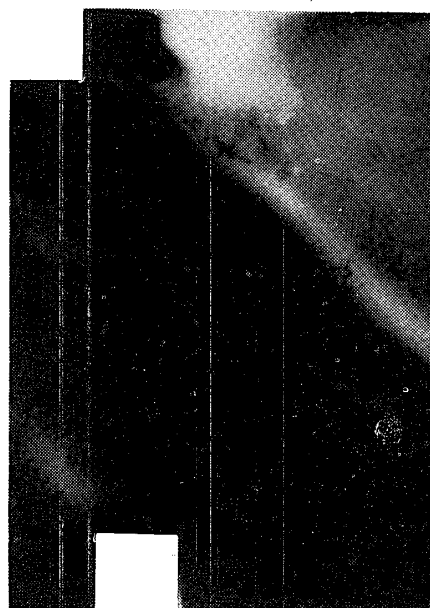
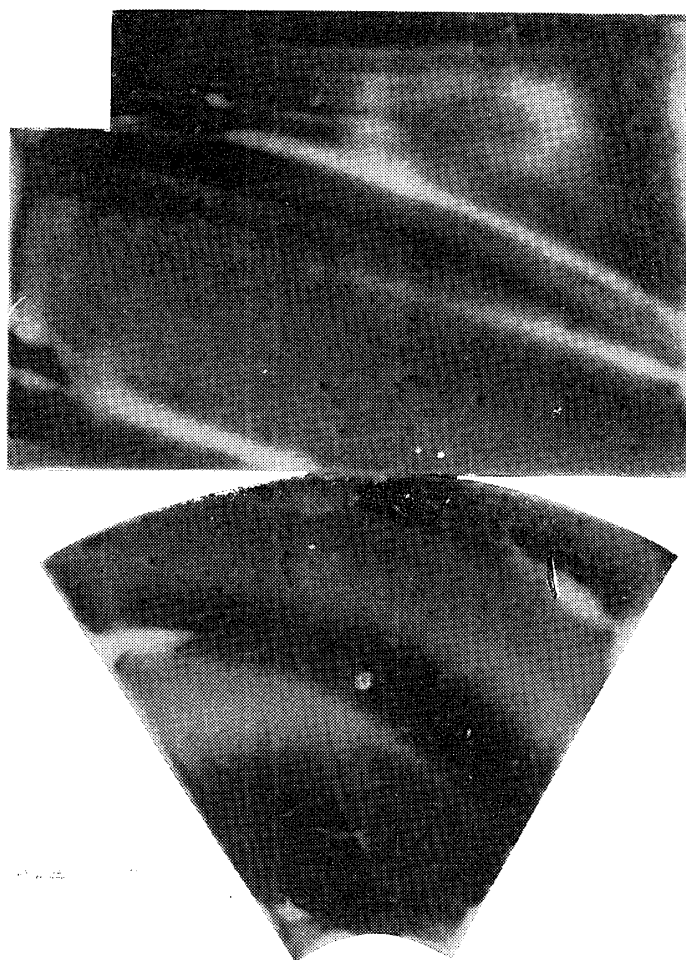


Fig. 7 Photograph of vortex core



Type II  
D=20mm V=10m/s



Type I  
D=30mm V=15m/s

Fig. 8 Photograph of talc adhesion patterns

## iv) サイクロン内壁面へのタルク付着状況

流入空気中に風篩によりタルク微粉末を混入し、サイクロン内面に張ったプラスチックフィルム面へ捕集した後、展開して付着状況を調べた。形態、寸法、入口風速などを種々に変え、広範囲な実験を行なったが、その一例を Fig. 8 の写真に示した。その結果捕集作用の実態をつかむと同時にサイクロン内壁近くの流れの状態もかなり正確に知ることができた。

流入口の直後が付着が著しいのは当然であるが、上記ら旋流はさらに二次伴流をともっており、これにうず中心の偏心の影響も加わってくるので、タルクの濃淡の模様も単純ではない。静圧分布図とタルク付着状況とを対比してみれば、この間に密接な相関性が認められ、内壁面近くの流れを知る有力な手がかりを得られる。流入口附近は別として、全般に圧力が低下している領域がタルクの付着量が多いのはうず中心が内壁面に近づいて捕集が強力に行なわれたものと解釈され、また旋回流相互の境界と推定される部分に付着の多いのはおそらく二次伴流の衝突によって生じたものと考えられる。なおこの際できる微細な縞目は遠心力の場において発生した一種の極微な砂漣的な現象ではないかと推察される。また円筒長さを増すにつれて旋回流の回転数も増加し、圧損も大になるが、回転数の変化は不連続的に起るものでないことがタルク付着状況よりわかる。

## 3. 結 言

超小型サイクロン内の流動状態を探知するため、3種類の型態のものについて圧力損失、内壁面の静圧分布、捕集タルク粉末の付着状況など種々の方面から手がかりを求めて実験的研究を行ない、従来明確にされ

ていない流動の回転数などをはじめ、ほぼその実態を把握することができた。とくに有望な形式である円筒型においては出口が接線方向であるため、圧力損失は標準型に比して大幅に軽減できることが明らかになった。しかし標準型と異なり中心部に生ずるうず中心がかなり偏心してら旋状を呈し、このため流動状態は著しく複雑になる。またサイクロンの長さによりその末端が出口管を通して外部に通じる場合があり、このような状態では圧力損失が急激に増大するとともに流動状態も不安定になることがわかり、この種サイクロンの設計に当り留意すべき重要な示唆を得た。

本研究の結果をもとに、引続き超小型サイクロンの捕集性についても研究遂行中である。

本研究は文部省科学研究費（昭和38年度）の補助を受け、また実験には当時本学学生であった、下瀬善弘、金丸一正、小野達、野方一勲、中谷通宣、海津豊彦、熊谷博行、角 忠、中村慎二、中元一旦、原田宏志、林慶治、の諸君が熱心に協力されたことを付記し、謝意を表す。

## 文 献

- 1) A. J. Linden : Engg. 167, 4334, (1949—2—18), 165.
- 2) 村上, 福永 : 機械学会論文集, 18巻 73号, (昭27), 56.
- 3) 上岡 : 機械学会論文集, 20巻 93号, (昭29), 353.

前号, 16巻1号の訂正

- 1) P 41, 式(5)右辺 ( ) 内の積分記号の前に負記号をつける。
- 2) (10)中 2行目の式においてCを乗ずる。

(昭和41年6月15日受理)