

# 鉄道車両用雪分離装置

## Snow Separator for Railway Cars

降雪量の多い地方の鉄道輸送では冬季の雪害対策が最重要課題である。日本国有鉄道では以前から種々の雪害現象に対する対策を検討しており、この論文で述べる雪分離装置の開発もそのうちの一つである。

この研究開発に当たり、永年にわたって模擬雪による基礎実験、北海道での現車実験などを積み重ねた結果、小形軽量で、分離効率が高く、しかも省エネルギー形の画期的な遠心式雪分離装置の開発に成功した。この装置は降雪地方での応用のほか、砂漠地帯を走る車両の除塵などへの適用も考えられ、今後の幅広い発展が期待される。

松田和夫\* Matsuda Kazuo  
 渡邊康彦\* Watanabe Yasuhiko  
 奥本剛直\*\* Okumoto Yoshinao  
 松田紀元\*\*\* Matsuda Toshiharu

### 1 緒言

降雪量の多い寒冷地を走る電車では、主電動機をはじめ電気機器の絶縁劣化による故障を防止することが重要課題の一つである。そのためには、電気機器冷却用空気を取り込む過程で空気中に混入する雪を分離する必要がある、従来から種々の方式が検討されていた<sup>1),2)</sup>。

日本国有鉄道では一連の雪害対策を技術課題として取り上げ、小形で省エネルギー形の画期的な雪分離装置の開発に力を注いできた。この研究を通じ遠心分離の原理とエジェクタ作用を応用した小形軽量で、分離効率が高く、省エネルギー形で保守の容易な雪分離装置が開発された。新しく開発された遠心式雪分離装置は、北海道での現車試験でも良好な性能が確認され、既に962形新幹線試作電車及び925形新幹線電気試験車用として採用されている。

この論文では、遠心式雪分離装置の原理、構造及び模擬雪による基礎実験結果、現車試験結果などについて述べる。

### 2 遠心式雪分離装置の原理

空気中に混入している雪の分離の難易は、雪の重力沈降速度によって決まり、沈降速度が大きいほど分離が容易である。沈降速度  $V_0$  は、それが十分小さいときには(1)式で表わされる。

$$V_0 = K \cdot g \quad \dots\dots(1)$$

ここに  $K$  : 雪の寸法、形状及び密度によって決まる定数  
 $g$  : 重力加速度

雪を混入した空気が、図1に示すようなわん曲ダクト（以下、サイクロンと呼ぶ。）に導入されると旋回運動の過程で雪に遠心力が作用し、外壁の方向に移動する。いま、一つの粒子に着目して力の釣合いを考えると、半径方向への雪の移動速度  $V_r$  は(2)式で表わされる。

$$V_r = K \cdot (V^2/r - g \cdot \cos \theta) \quad \dots\dots(2)$$

ここに  $V$  : 旋回している雪の接線方向速度  
 $r$  : サイクロン回転中心からの曲率半径  
 $\theta$  : 回転角

しかし、 $V_r$  が大きくなって半径方向の運動に関するレイノルズ数が増大すると、球の抵抗は速度の1.5乗に比例するようになり<sup>3)</sup>、(1)、(2)式は次のように近似される。

$$V_0^{1.5} = K \cdot g \quad \dots\dots(3)$$

$$V_r^{1.5} = K \cdot (V^2/r - g \cdot \cos \theta) \quad \dots\dots(4)$$

(3)式によって雪の沈降速度に対応する  $K$  を求め、空気に混入した雪がサイクロン内を流れる過程での飛行軌跡を、(4)式により逐次近似を行なって求めた計算結果の一例を図2に示す。

いま、サイクロンの入口で内壁付近を流れていた雪の飛行軌跡が外壁に接するまでの回転角を分離角度  $\theta_s$  とし、 $\theta_s$  に及ぼす雪の沈降速度  $V_0$ 、及び雪の旋回中での接線方向速度  $V$  の影響について計算すると図3に示すようになり、後述のように雪の沈降速度  $V_0$  が0.2m/s以上であることを考慮し、サイクロン内の雪の接線方向速度  $V$  が10m/s以上になるように設計すれば、分離角度  $\theta_s$  は140度以下となる。したがって、雪の排出ダクトをそれよりも下流側に設ければ、ほぼ完全に空気中の雪を分離することができる。

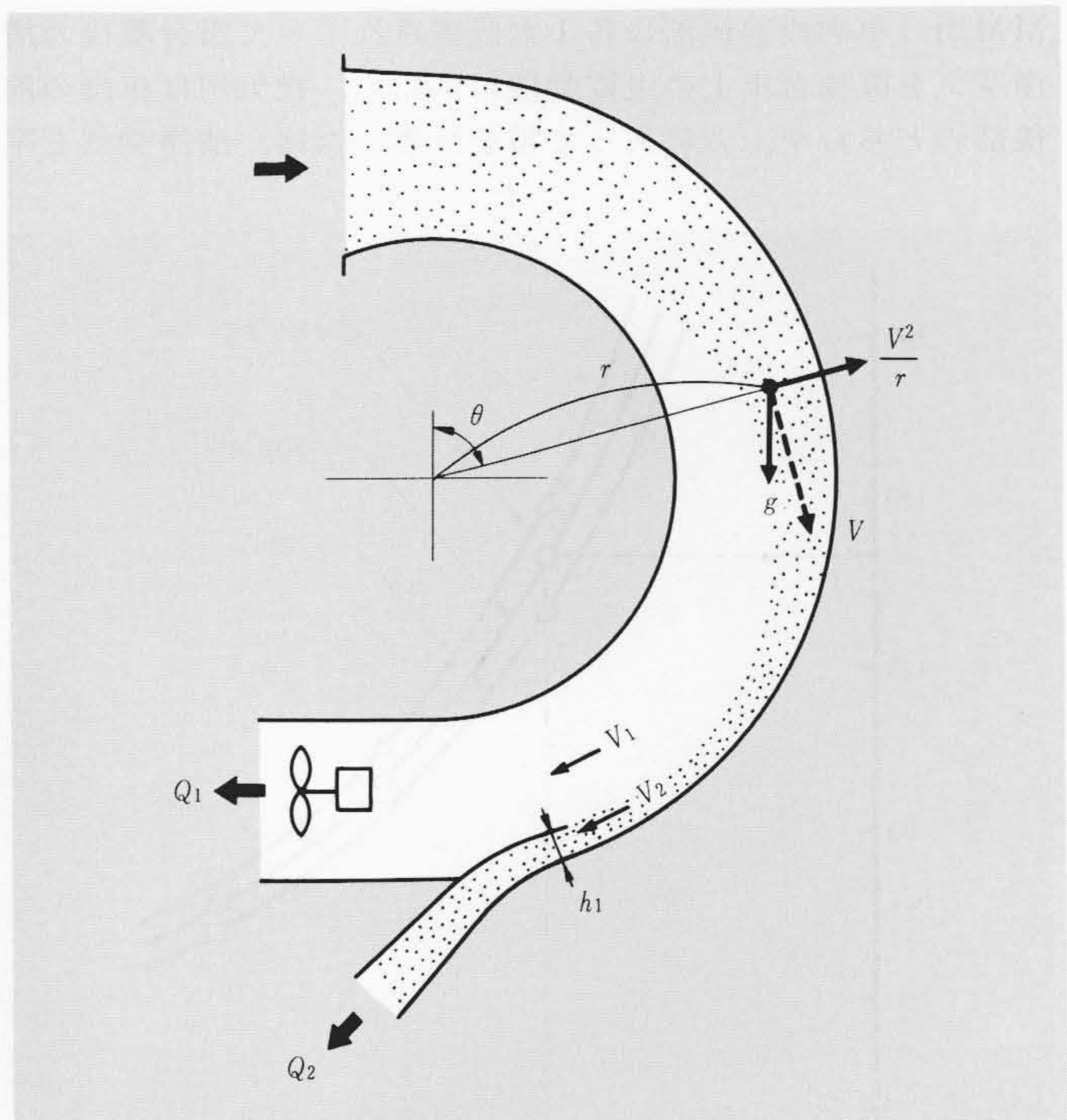


図1 遠心分離の原理 わん曲ダクト(サイクロン)内の雪粒子に作用する加速度の釣合い状態を示す。

\* 日本国有鉄道車両設計事務所 \*\* 日立製作所笠戸工場 \*\*\* 日立製作所機械研究所

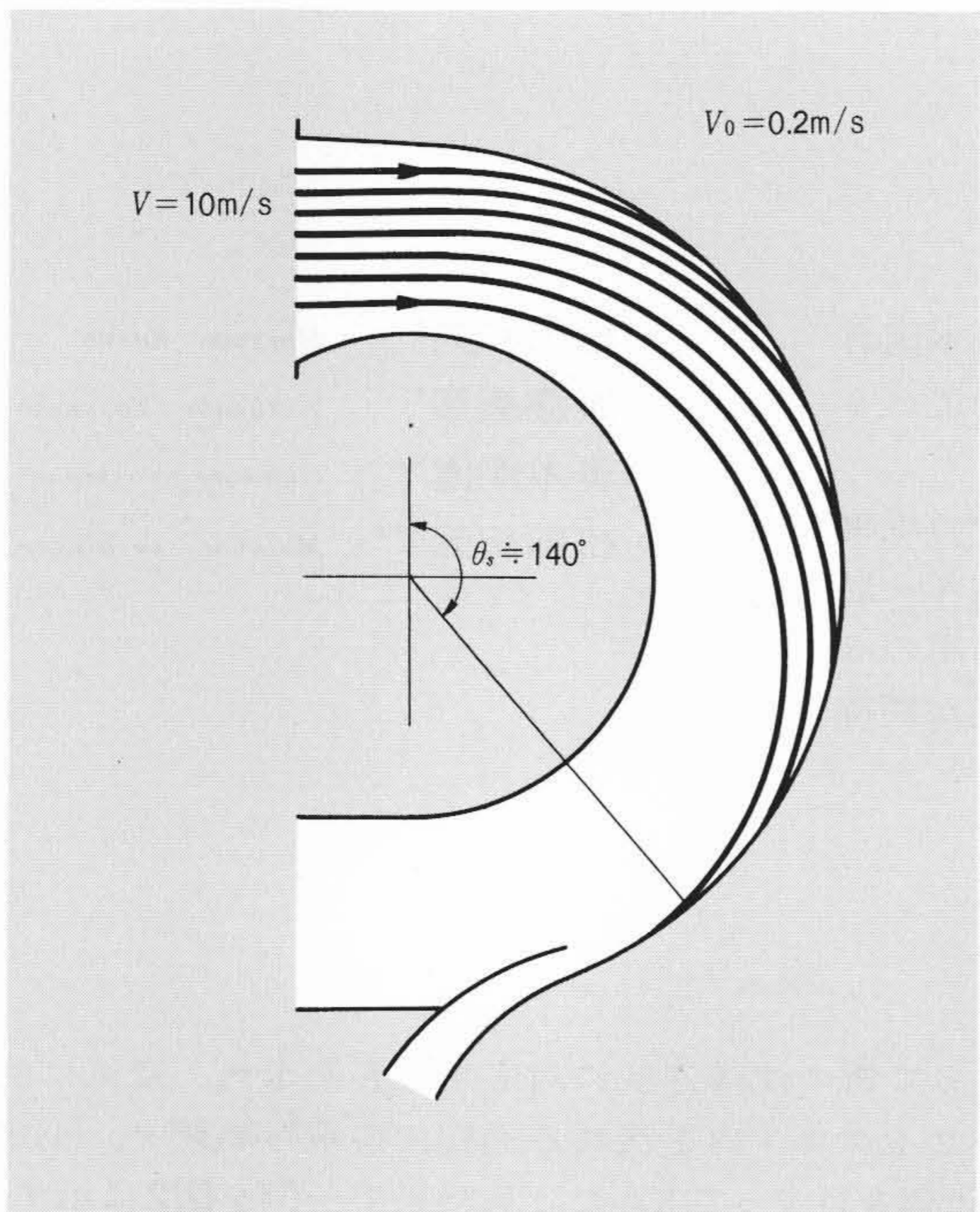


図2 サイクロン内における雪粒子の飛行軌跡計算例  
内壁に近いところに流入した粒子も140度回転すれば外壁に達する。

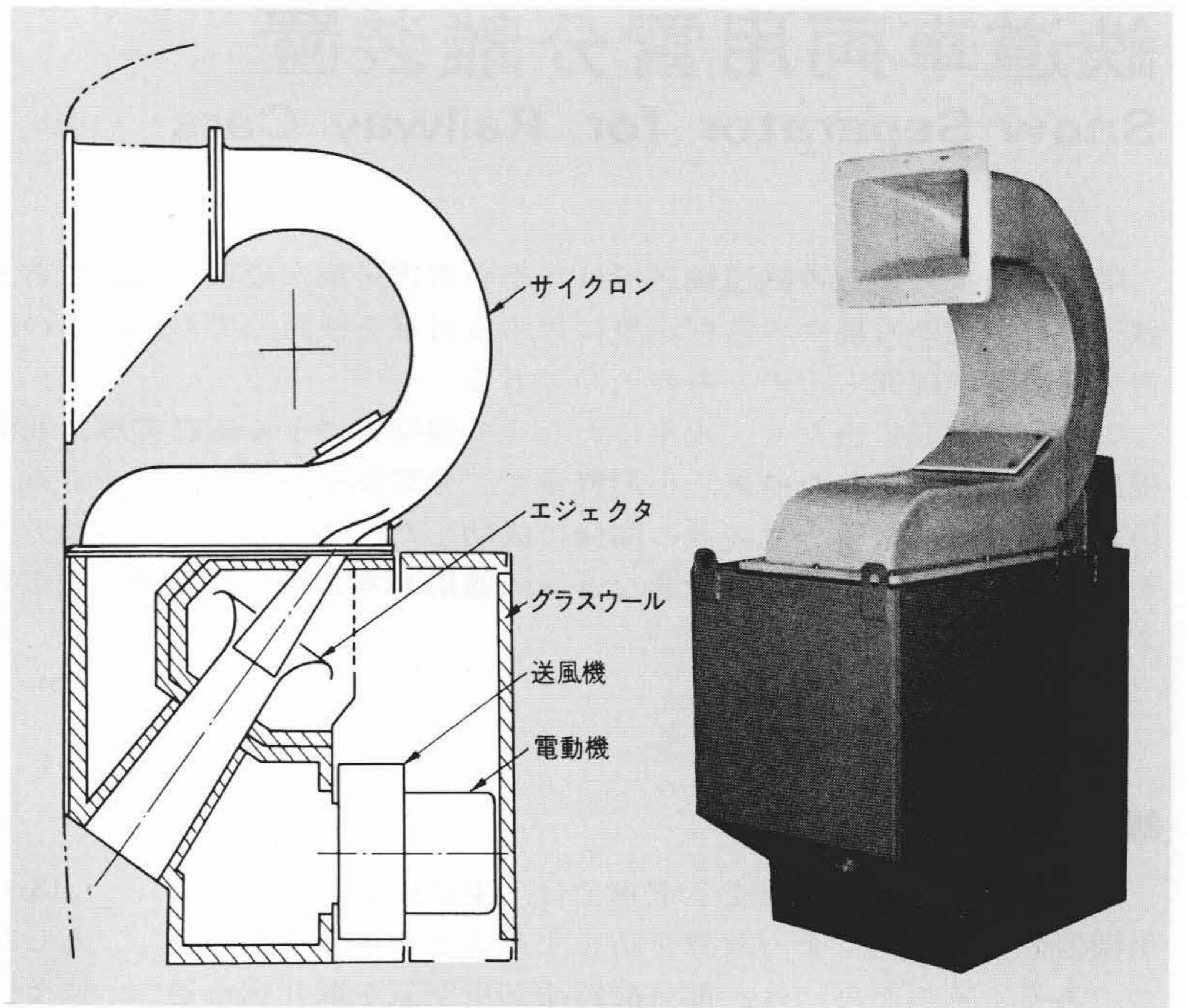


図4 雪分離装置の構造と外観 雪分離装置の外観及び内部機器配置を示す。

### 3 遠心式雪分離装置の仕様と構造

#### 3.1 雪分離装置の概要

雪分離装置の形式としては、(1)主電動機冷却用(以下、MM用と呼ぶ。)、(2)新鮮外気取入れ用(以下、換気用と呼ぶ。)の2種類があり仕様は表1に、構造及び外観は図4に示すとおりである。

また、車両への搭載状態は図5に示すとおりで配置系統はMM用は車両の前後部に各1台設置されていて雪分離後の清浄空気を直接台車上の主電動機に供給し、換気用は車両の前後部のどちらか一方にあって雪を分離した後、清浄空気を屋

表1 雪分離装置の仕様 主電動機冷却用及び新鮮外気取入れ用の雪分離装置の主要仕様を示す。

| 項目    | 種別 | MM用                   | 換気用                   |
|-------|----|-----------------------|-----------------------|
| 形式    |    | FK136X                | FK138X                |
| 外形寸法  |    | 650mm×1,030mm×1,916mm |                       |
| 質量    |    | 172kg                 | 152kg                 |
| 送風機風量 |    | 45m <sup>3</sup> /min | 15m <sup>3</sup> /min |
| 送風機静圧 |    | 1,500Pa{150mmAq}      | 900Pa{90mmAq}         |
| 電源    |    | AC 400V, 単相, 50Hz     |                       |
| 電動機出力 |    | 2.5kW                 | 0.6kW                 |

注：略語説明 MM用(主電動機冷却用)

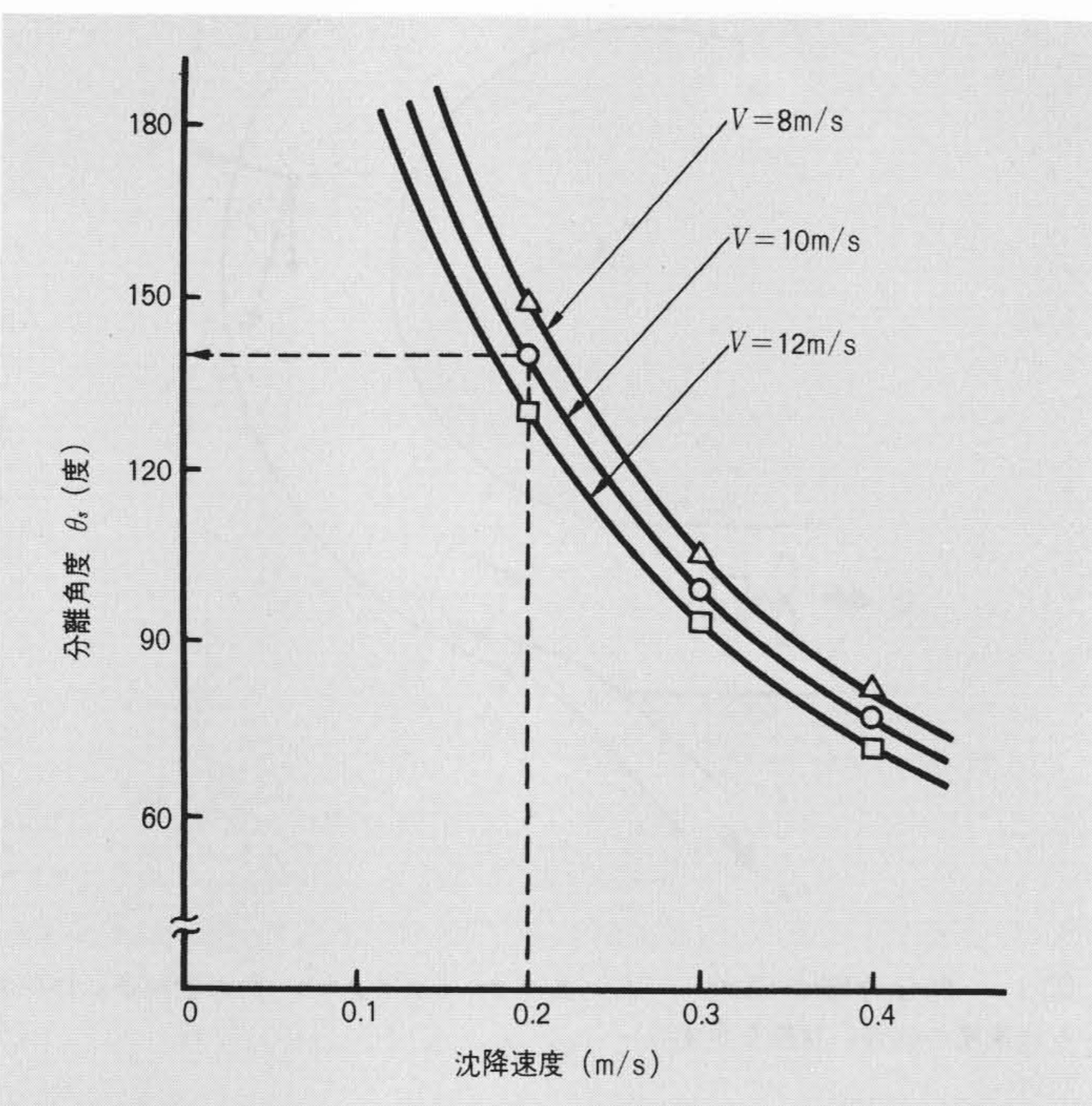


図3 雪の分離位置 沈降速度を0.2m/s以上とみれば、サイクロン内空気流速によって分離角度theta\_sが求められる。

根上の換気装置用給気ファンに供給するようになっている。

雪分離装置の空気取入れ口は車側壁の上部にあり、雪や雨の浸入量をできるだけ少なくするために、前面寸法を大きくして前面風速を下げ(約1.3m/s)、更に垂直格子を設けている。

#### 3.2 遠心式雪分離装置の特徴

今回開発した遠心式雪分離装置は次に述べるような特徴をもっている。

##### (1) 小形軽量、省エネルギー

高性能シロッコファン及び一体箱形構造の採用により、幅方向(車両の長手方向)約650mmと小形化され、サイクロンのFRP(Fiberglass Reinforced Plastic: ガラス繊維強化プラスチック)化及び箱構造のAl化によって大幅に軽量化されている。また消費動力からみるとヒータを使わず、ファンの1台化によって省エネルギー化されている。

##### (2) 高い分離効率

今回開発した装置の雪分離効率(吸い込んだ雪量のうち、分離されて排出される割合)は99%以上で、在来のこの種の装置の雪分離効率が90~95%程度であった<sup>2)</sup>のに比較すると高い分離効率であり、主電動機への雪浸入量は一挙に $\frac{1}{5}$ ~ $\frac{1}{10}$ に低減することになり、主電動機の故障率低減に対する効果は大きい。

(3) 高信頼性, 保守簡易化

可動部品がファン1台であり, しかもファンに吸い込まれるのは雪やごみを分離した後の清浄空気であるから, ファンの羽根へのごみ付着による性能低下や故障が少なく, 信頼性が高い。また, 定期検査時などでファンを取り外すときには車両の通路側から取り出せるように保守の簡易化を図っている。

(4) 低騒音

清浄空気の流路の内壁にはすべて吸音材としてグラスウールを張り付け, その上を多孔板で覆うことによって大幅な騒音低減を図っている。その結果, 車両に搭載した状態での雪分離装置の騒音は客室内で53dB(A)以下であり, 他の機器よりも5dB以上低くなっている。

4 基礎実験

4.1 雪の性状と模擬雪

雪の分離の難易は雪の沈降速度で決まるが, 沈降速度は結晶の形で異なり, 0.2m/sから2.5m/sになっている<sup>4)</sup>。一方, 基礎実験では実際の雪を使用する代わりに沈降速度を雪とほぼ同じにした模擬雪を用いた。模擬雪としては, 発泡スチロ

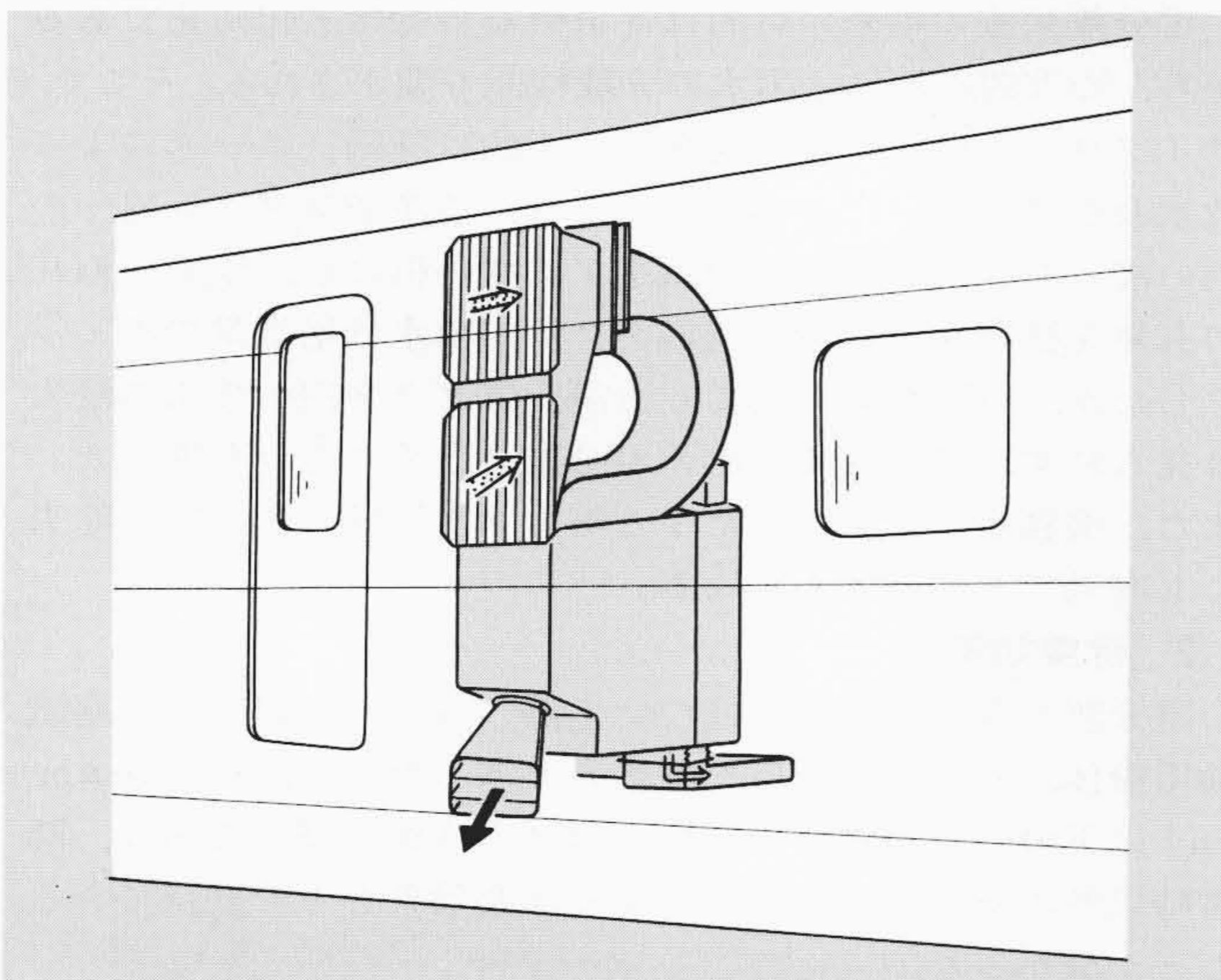


図5 雪分離装置のぎ装状態図 雪分離装置は, 車側に設けられた空気取入れ口から風を吹き込むように設置されている。

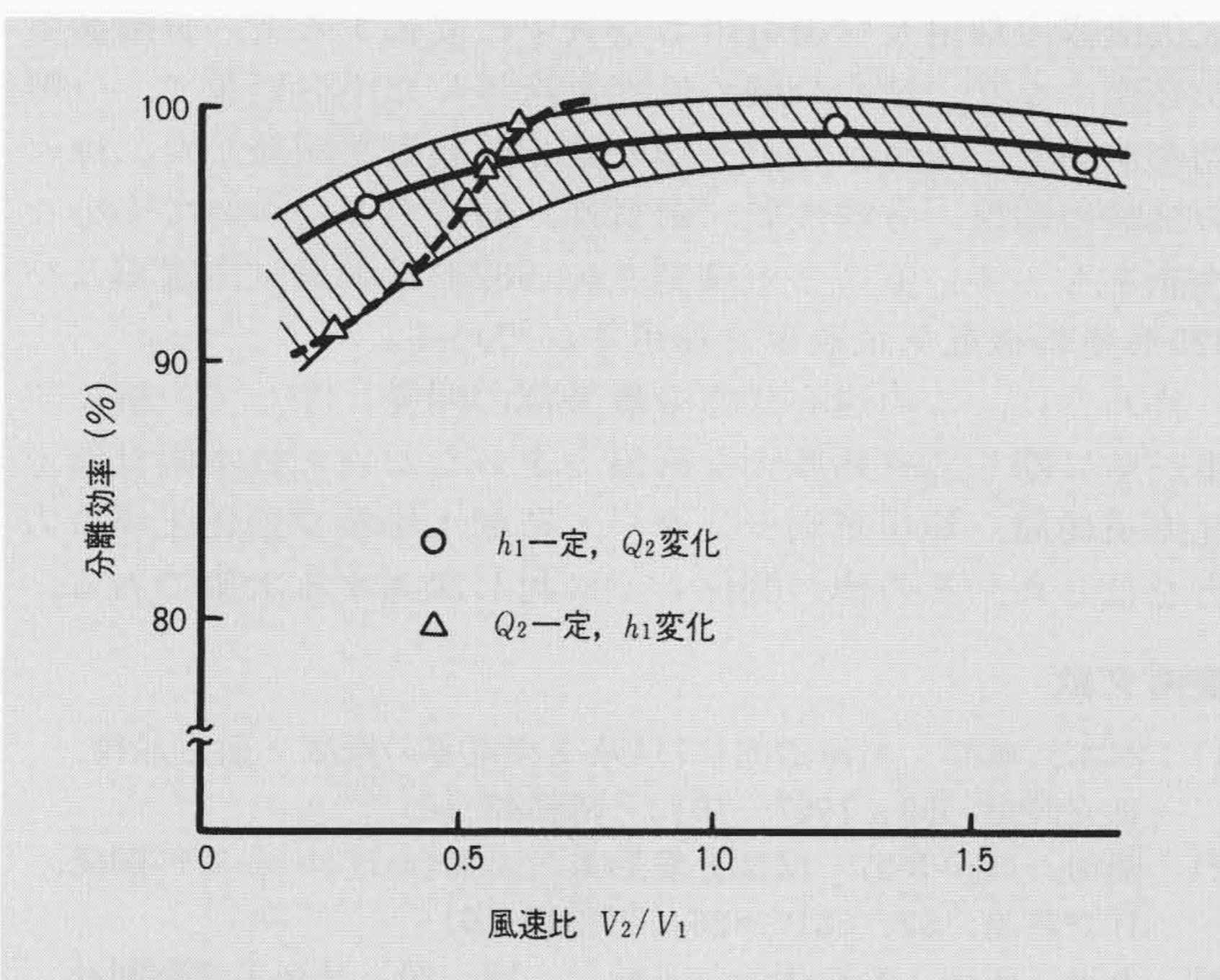


図6 風速比と分離効率の関係  $V_2/V_1 < 0.5$ では $Q_2$ 変化と $h_1$ 変化による差が大きいが,  $V_2/V_1 > 0.7$ では安定した分離効率を示す。

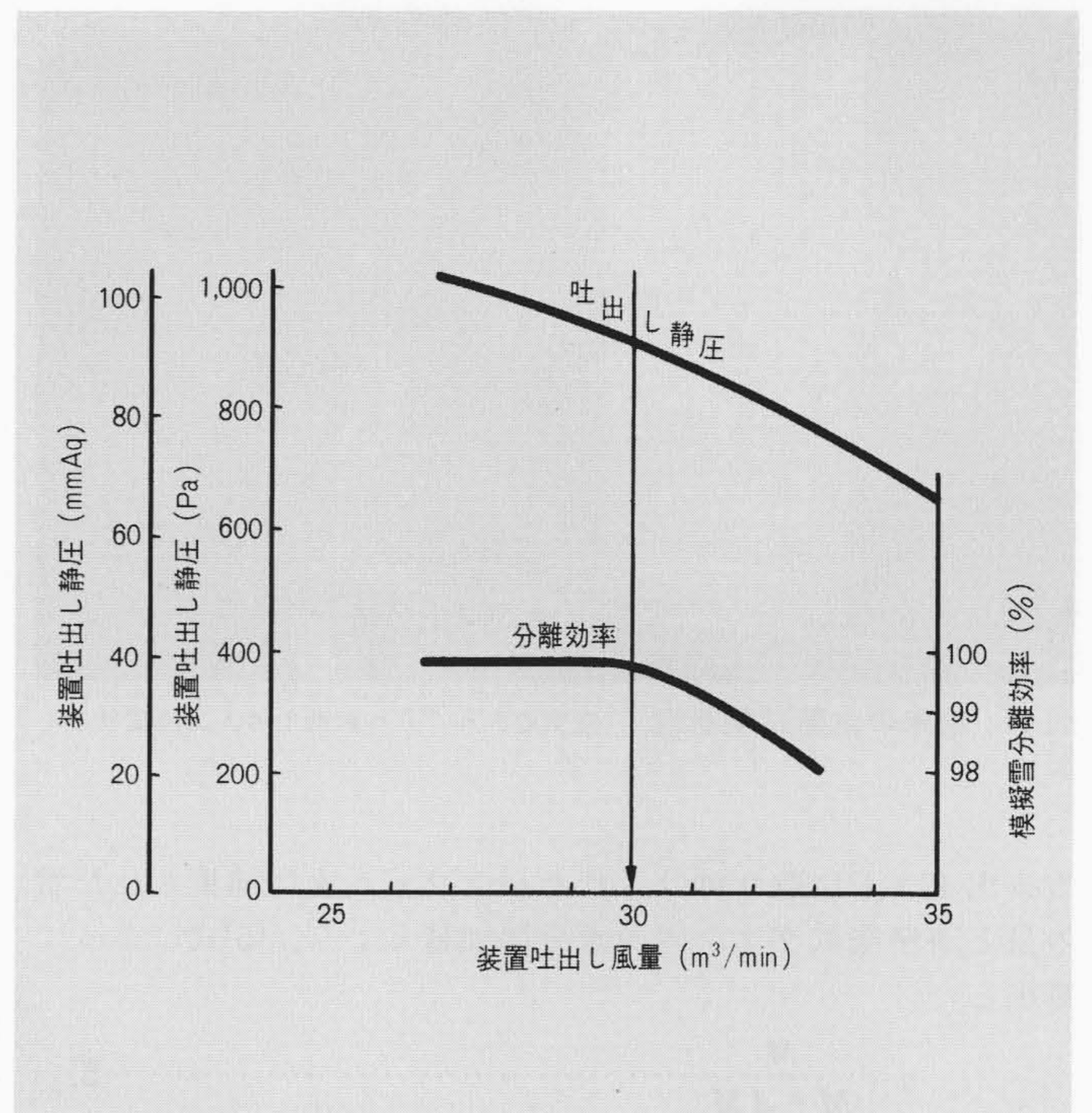


図7 風量, 圧力特性と分離効率 主電動機冷却系の通風抵抗は約900Pa{90mmAq}まで許容し, また優れた雪の分離性能をもっている雪分離装置となっている。

ールをワイヤブラシでフレーク状の粒子にしたものを風力分級し, 粒径0.5~1.5mm, 沈降速度0.2~0.7m/s(大部分は0.3m/s)のものを採用した。

4.2 風速比と分離性能

基礎実験で分離性能に及ぼす各因子の影響について調べた結果の一例を図6に示す。それによれば, 清浄空気流量 $Q_1 = 30\text{m}^3/\text{min}$ , サイクロン断面高さ $H = 180\text{mm}$ を一定として, 雪排出側流量 $Q_2$ 及び雪排出側ダクト高さ $h_1$ を変化させた場合, 清浄空気ダクトと雪排出ダクトの分岐点での風速比 $V_2/V_1$ を0.5以上にすれば分離効率が95%以上になり,  $V_2/V_1$ が1以上になれば分離効率は99%程度になることが分かった。

4.3 風量, 圧力特性と分離効率

MM用の雪分離装置は, 送風機から吐き出された空気をチャンバ内にいったんためて, ファン吐出し動圧を静圧に変換し, その後主電動機及びエジェクタに供給される。いま, MM用雪分離装置の風量, 圧力特性として装置吐出し静圧と装置吐出し風量との関係について示すと図7のようである。

すなわち, 主電動機への風量を所期仕様の $30\text{m}^3/\text{min}$ にするには雪分離装置~主電動機間のダクト抵抗(≒装置吐出し静圧)として約900Pa{90mmAq}まで許容できることが分かる。また, そのときの雪分離効率は図中に示すように99%以上である。

5 現車試験

昭和50年, 51年に北海道で試験車に搭載し, 定置試験及び80km/hまでの走行試験を実施した。定置試験では車両の側壁に取り付けられた空気取入れグリルの前面にふるいで雪を降下させ(人工降雪量は最大自然降雪量の約10倍), 地上に設置した扇風機で吹き付けた。雪の性質は粉雪で, 密度は0.15~0.25g/cm<sup>3</sup>であった。図8は現車での定置試験の状況を示す。

5.1 雪の分離効率

現車試験は屋外で行なわれるため, 供給した雪の一部が飛散して正確な供給量が把握できないので, 分離効率の算出は



図8 現車の定置試験状況 空気取入れグリル前面での人工降雪状況を示す。

雪排出ダクトに取り付けられたバグフィルタに捕集された雪の量と清浄空気ダクト内の水分増加量とより、(5)式によって算出した。

$$\eta = \frac{M}{M + \Delta M} \dots \dots \dots (5)$$

ここに  $\eta$  : 分離効率

$M$  : 雪排出ダクトで捕集された雪の量

$\Delta M$  : 雪供給時の清浄空気ダクト内の水分増加量

測定結果の一例は図9に示すとおりで、大部分が99%以上の分離効率であり、模擬雪による基礎実験の結果と同程度であった。

5.2 耐雪性の検討

北海道での現車試験では雪質が粉雪であったため特に問題にはならなかったが、その他の地方に適用する場合、雪質の違いによる問題として空気取入れグリル及びサイクロン内壁への雪の付着による性能低下が予想された。そこで、雪分離装置を金沢にある日本国有鉄道松任工場内の屋外に据え付けて冬季2箇月にわたって運転し、雪の付着の有無を観察するとともに、耐雪性の確認を行なった。試験の結果、長期運転を行なっても空気取入れグリル及びサイクロン内壁への雪の付

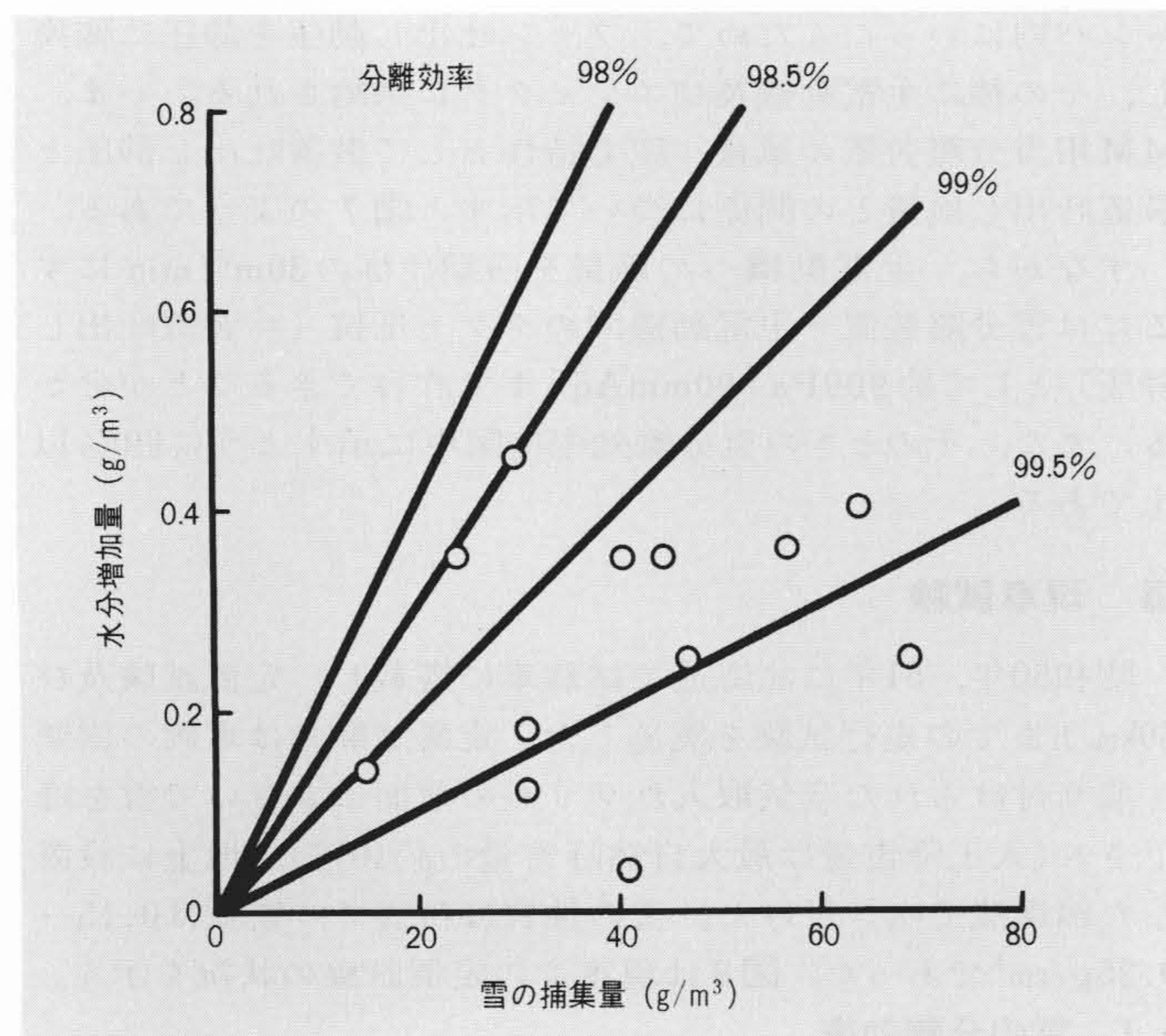


図9 現車試験における雪の分離効率 雪の供給量に関係なく、ほとんどが99%以上の分離効率を示す。

着はほとんどなく、雪分離性能への影響は全くみられなかった。

5.3 走行による影響

車両の走行時、サイクロン入口での風速分布の不均一の有無、及び雪分離効率への影響について、北海道での現車試験を行ない調べた。その結果、走行によってサイクロン入口のグリル直後では約±20%の風速分布の不均一を生ずるものの、雪排出ダクトとの分岐点直前ではほぼ均一な風速分布になっており、走行の影響はサイクロンの下流までは及ばないことが判明した。また、雪分離効率への影響も認められなかった。

更に、走行による風速分布への影響については、後日961形新幹線試作電車を用いて高速時の風速分布の変化の有無を調べた。その結果、上記の場合と同じようにグリル直後では風速分布の不均一が見られたが、雪排出ダクトとの分岐点直前ではほぼ均一な風速分布（平均値に対してばらつきは±10%以内）になっており、走行速度が増しても走行の影響はサイクロンの下流まで及ばないことが確認された。

6 雪以外への適用例

6.1 雨水の分離

雪分離装置の本来の目的は電気機器の絶縁劣化防止であるから、降雪期以外には雨水の分離機能も要求される。そこで、サイクロン入口のグリル前面に人工的に降雨（ホースによる散水及びスプレーによる噴霧）させ、清浄空気ダクト内への雨の浸入を目視（一方の側面をアクリル板にし、壁面のぬれの有無を観察）及び清浄空気ダクト内の水分増加量でチェックしたが、いずれの方法でも清浄空気ダクト内への水の浸入は見られず、ほぼ100%雨水も分離できることが判明した。また、噴霧水が分離できたことから雨水以外のミストの除去にも有効であると考えられる。

6.2 除塵効果

雪分離装置の除塵効果について調べるため、JISの集塵試験用粉体、6種類について試験を実施した結果、粒径10μm {μ}以下の微粒粉体を除けば分離効率は80~85%であり、降雪時以外の空気中のごみに対する除塵効果も十分期待できることが分かった。

7 結 言

降雪量の多い地方を走る鉄道車両の雪害対策の一環として、電気機器冷却用及び換気用の空気中に混入する雪の分離装置が必要になり、遠心分離の原理を適用した小形軽量で、分離効率が高く、省エネルギー形の雪分離装置を開発した。種々の試験の結果、分離性能、耐雪性、騒音などについて十分な性能をもっていることが確認され、962形新幹線試作電車及び925形新幹線電気試験車に採用されている。

終わりに、この遠心式雪分離装置の開発に際して、特に現車試験に際して終始多大な御協力をいただいた日本国有鉄道北海道総局、旭川車両センター、苗穂工場及び松任工場の方方をはじめ、その他の関係各位に対し深謝する次第である。

参考文献

- 1) 木本、藤井：北海道向け711系交流電車の概要と耐寒設備、日立評論、50、1007~1012（昭和43-10）
- 2) 岡田、ほか3名：慣性分離形集じん器(ハイルーバ)の開発、日立評論、52、881~886（昭和45-10）
- 3) 上滝、西岡：粉粒体の空気輸送、18~20、日刊工業新聞社（昭和36年）
- 4) 中谷：雪の研究、56~59、岩波書店（昭和24年）