

## 高速車両用サイクロン式集塵装置の開発

Development of Cyclone Dust Collector for High Speed Vehicle

橋本 克史 Katsufumi HASHIMOTO  
小泉 貴洋 Takahiro KOIZUMI  
大須 賀 晋 Susumu OOSUGA  
太野 明 Akira FUTONO

新幹線車両は車内の空気清浄性を保つため、換気装置を設置して常に車外から新鮮な空気を取り入れている。車外から取り入れる空気には塵埃が含まれるため、換気装置の吸い込み口にフィルタを設置している。フィルタに塵埃が多く付着すると給気風量が減少するため、メンテナンスの際に定期的なフィルタ交換が行われている。フィルタ交換作業を軽減することを目的に、サイクロン方式の集塵装置の開発を進めている。集塵装置は床下の換気装置に隣接して設置可能な寸法形状とし、集塵性能を向上する検討を重ね試作機を製作した。換気装置を模擬した試験装置を使用した試験により基本性能を確認し、営業車両での実用化に向け、さらに改良開発を進めている。

Ventilation equipment to keep clean air in passenger area, is installed in the Shinkansen vehicle. It supplies outside fresh air into the passenger area. Since the outside air contains dust, in order to remove the dust, the ventilation equipment has a filter to the inlet port. To avoid reduction of the ventilation volume due to clogging of the filter, periodical maintenance of filter is needed. We are developing cyclone type dust collector, in order to prevent ventilation volume decline and to reduce maintenance. In this development, we confirmed basic performance of cyclone dust collector.

### 1 はじめに

新幹線車両は車内の空気清浄性を保つため、換気装置を設置して常に車外から新鮮な空気を取り入れている。しかし、走行する線路の周囲環境の影響により、車外から取り入れる新鮮空気には、さまざまな塵埃が含まれていることから、換気装置の吸い込み口にフィルタを設置して、これらの塵埃を捕集し清浄な空気のみを取り入れる構造としている。このフィルタに塵埃が多く付着すると、給気風量が減少するため、メンテナンスの際に定期的なフィルタ交換が行われている。このフィルタ交換作業を軽減することを目的に、新たな集塵装置の開発を進めている。

なお、本集塵装置の開発はJR東日本からの委託を受けて実施しているものである。

### 2 新幹線車両の換気方式

前述のとおり、新幹線車両は車内の空気清浄性を保つため換気装置を設置して常時換気を行っている。新幹線車両の換気空調系統の概略を図1に示す。

新幹線車両は高速走行するため、トンネル通過中に車外の圧力が大きく変動する。この圧力変動が車内に伝わると、耳に不快感（耳つん）が発生する。これを防止す

るため車体を気密構造とし、換気装置には高い静圧特性を持つ送風機が使用されている。換気装置には給気送風機と排気送風機があり、給気・排気の風量を調整し、車内圧力が車外圧力より僅かに高くなるように設定している。

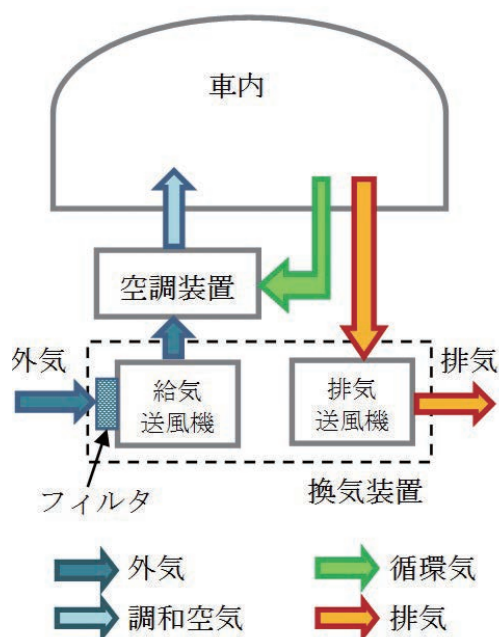


図1 新幹線車両の換気空調系統

換気装置の吸い込み口に設置したフィルタに塵埃が多く付着すると、給気量が減少するため、車内空気の清浄性が低下するだけでなく、車内圧力が低下傾向になり耳つんが発生しやすくなるため、メンテナンス作業の際、フィルタを定期的に新品に交換している。このフィルタ購入と交換作業がメンテナンス上の負担となっているのが現状である。

### 3 新幹線車両の換気方式

#### 3. 1 集塵方式の選定

集塵装置の方式を比較検討し、メンテナンスの軽減が見込め、新幹線車両の換気方式に適した集塵方式を選定した。

現在、一般に使用されている集塵装置は、重力式、慣性式、遠心式、洗浄式、ろ過式、電気式の6種類に分類され、現状はろ過式が採用されている。他の方式のうち、重力式、慣性式、洗浄式、電気式については、その性能を確保するためには、塵埃を含んだ空気の流速を比較的低くする必要があるが、集塵装置が大きくなる。一方、新幹線車両の集塵装置設置可能スペースには限りがあり、寸法の制約が厳しいことから、これらの方式の採用は不可能であると判断した。

遠心式（サイクロン方式）は、他方式と比べ圧力損失が高めの傾向にあるが、一般的には現状のろ過式と大差なく、集塵性能についても遜色がない。また、集塵した塵埃の回収は必要であるが、フィルタの交換は不要となること、フィルタの目詰まりによる給気風量の減少がないことから、メンテナンスの負担の軽減が可能な方式として、開発を進める方式として選定した。サイクロン方式は、近年、家庭用掃除機としても広く使われているが、紙パック（フィルタ）の交換が不要で、吸引力の低下がないことが長所であり、同様の効果を新幹線車両に期待するものである。

#### 3. 2 サイクロン集塵装置の基本構造

サイクロン集塵装置の基本的な構造と動作を図2に示す。上部が円筒形で下部が円錐形をしており、上部円筒面に設けた吸込口から流入した塵埃を含んだ空気が、筒内を旋回しながら下方向に流れる。旋回により遠心力が働き、塵埃は外周方向に移動し内壁に衝突する。内壁に衝突した塵埃は下方に落下し分離される。塵埃量が減った空気はサイクロン下部から反転上昇して上部の排出口から排出される。この気流を発生させるためには、吸込側か排出側のいずれかに送風機が必要である。新幹線車両では、上部の排出口を換気装置の給気口に接続し塵埃

量が減った空気を供給する。空気の流れの発生源は換気装置内の給気送風機が担う。

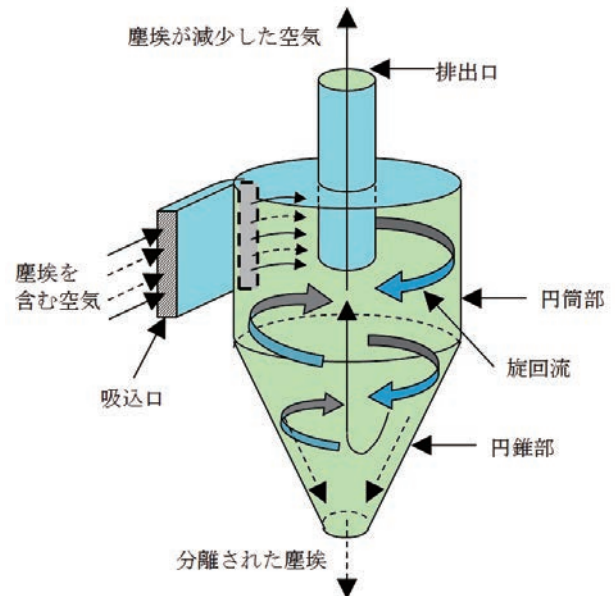


図2 サイクロン式集塵装置の構造

#### 3. 3 新幹線車両用集塵装置の試作

##### 3. 3. 1 設置位置

集塵装置の排出口を換気装置の給気口に接続する必要があることから、換気装置に隣接して設置することとした。換気装置は車両の床下に配置されている。車両の床下には多くの機器が配置されており、それらの機器との干渉を避けるほか、メンテナンス作業の障害にならない範囲に収める必要がある。一方、換気装置の給気性能を阻害しないためには、極力圧力損失を抑えることが必要であり、支障がない範囲で使用可能なスペースを最大限に使用して構成することとした。車両床下の設置位置を図3に示す。

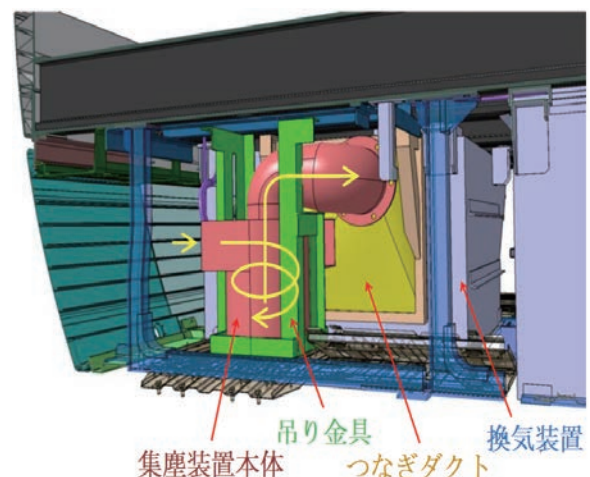


図3 集塵装置の設置位置

3. 3. 2 構造

集塵装置は「集塵装置本体」、集塵装置と換気装置給気口をつなぐ「つなぎダクト」、車体に固定するための「吊り金具」から構成することとした。

機能上、「集塵装置本体」上に「排気口ダクト」を配置する必要がある、これらが上下に重なった構成にならざるを得ないため、高さ方向の寸法制約が厳しく、一般的なサイクロン式集塵装置と比べ、高さ方向寸法が短い形状とした。

集塵装置最下部には、捕集した塵埃を蓄積するスペースを設け開閉可能な蓋を設置した。運転時は蓋を閉め塵埃を蓄積し、メンテナンス時に蓋を開けて塵埃を回収し廃棄する。開発した集塵装置本体の外形を図4に示す。

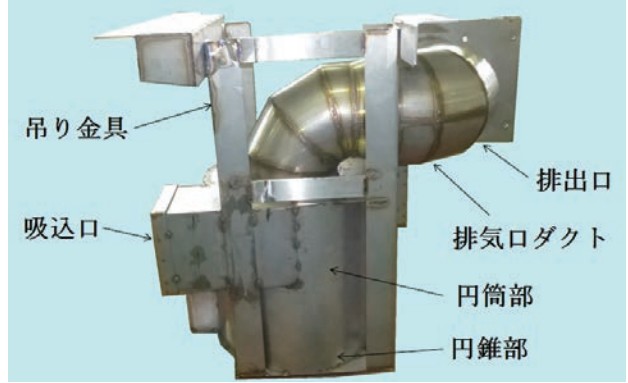


図4 集塵装置本体外形

3. 3. 3 集塵対象となる塵埃

集塵の対象となる塵埃について、実際の車両で使用済のフィルタを回収して、捕集されている塵埃を採取し成分を調査した。分析の結果、ケイ素、アルミニウム、鉄が多く含まれていることが判明した。これらの成分は鉄道車両の運転環境における特有のものと考えられ、これらを主たる対象塵埃として、解析や試験を実施して開発を進めた。

3. 3. 4 集塵性能向上の検討

遠心力を利用して塵埃を分離する方式であることから、基本的には装置内の旋回流の速度を向上することと、円筒部・円錐部の高さを十分確保することが集塵性能向上に繋がる。しかし、旋回流速の向上は圧力損失の増加に繋がる。給気風量を確保するため圧力損失は極力低減させる必要がある。また、円筒部・円錐部の高さは車両スペースの制約から拡大できない。このような制約のもとで、集塵性能の向上が図れないか検討を進めた。いくつかの改良案について検討した結果、円筒内面に上下方向のスリットと衝立を設け、円筒内面に沿って旋回する塵埃を強制的に減速させ、下部の塵埃蓄積部に導く方法

を考案した。また、この方式ではスリット内に捕集した塵埃が舞い上がって再度円筒内に戻ることが懸念されたため、外周に円筒を追加する方式も考案した。前者を「タイプA」後者を「タイプB」とし、上面から見た断面図を図5に示す。

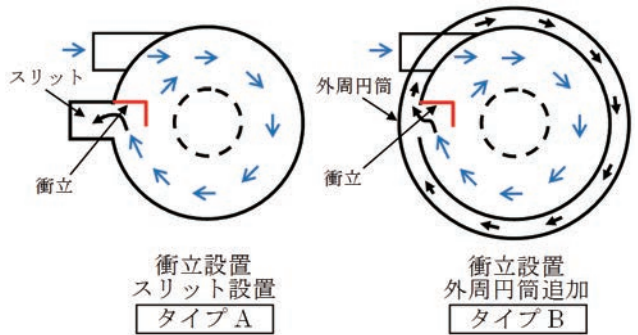


図5 集塵性能向上案

3. 3. 5 集塵性能の評価方法

集塵性能の評価には集塵率を用いた。集塵率は、「集塵装置の集塵効果を示す数値で、装置が捕集したダスト及びミストの量と、処理前の量との比を百分率で表したもの」(JIS B 9909集塵装置の仕様の表し方)とされている。解析、試験において、集塵装置が捕集した塵埃量と投入した塵埃量との比を百分率で表し集塵率を算出した。

3. 3. 6 集塵性能の評価

タイプA、Bの2方式について、流体解析を実施して、集塵率を比較した。換気装置は車両の走行状態によって、「高速」「中速」「低速」の3種類の運転モードがあり、風量が異なる。解析は3種類の運転モードについて実施し、解析対象の塵埃は「鉄粉」「アルミ粉」「ケイ砂」とした。

高速モードでの解析結果を表1に示す。中速、低速モードでも同様な結果が得られた。解析の結果から、タイプAの構造を選定し、以後の開発を進めた。

表1 集塵性能向上策の解析結果

| 換気装置<br>運転モード | 対象塵埃 | 集塵率 (%)                             |      |
|---------------|------|-------------------------------------|------|
|               |      | タイプA                                | タイプB |
| 高速            | 鉄粉   | ◎                                   | ○    |
|               | アルミ粉 | ○                                   | ○    |
|               | ケイ砂  | ○                                   | ×    |
| 集塵率           |      | ◎ 76～100 %<br>○ 50～75 %<br>× 0～49 % |      |

## 4 模擬換気装置による試験

### 4.1 模擬換気装置の製作

塵埃を用いた集塵率測定は実際の車両では実施できないことから、模擬換気装置を製作し測定を実施した。

模擬換気装置は、換気装置内の給気送風機と同等の性能を持つ送風機を用いて、インバータ制御と送風機吸い込み口に設置した風量調整板により、換気装置の3種類の運転モードに合わせた風量が設定できる構造とした。模擬換気装置を図6に示す。

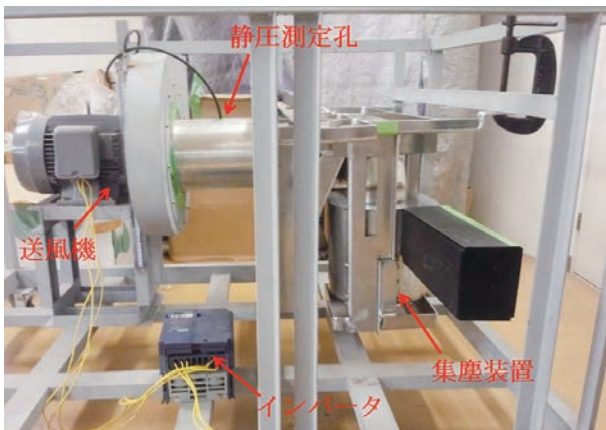


図6 模擬換気装置

### 4.2 試験方法

模擬換気装置による試験では、集塵装置の吸い込み風量、静圧、集塵率を測定した。試験粉体は、鉄粉、アルミ粉、ケイ砂を使用し、それぞれについて3種類の換気装置運転モードで実施した。試験用粉体の投入量(重量)は一定とし、一定時間模擬換気装置を稼働させた後、集塵装置内の塵埃を回収して重量を測定し集塵率を算出した。

高速モードでの集塵率算出結果を表2に示す。集塵率は他の運転モードで、全ての試験粉体について良好な結果を得た。

表2 集塵率測定結果

| 換気装置<br>運転モード                        | 対象塵埃 | 集塵率 (%) |
|--------------------------------------|------|---------|
| 高速                                   | 鉄粉   | ◎       |
|                                      | アルミ粉 | ◎       |
|                                      | ケイ砂  | ◎       |
| 集塵率 ◎ 76～100%<br>○ 50～75%<br>× 0～49% |      |         |

また、風量、静圧の測定結果から、集塵装置の圧力損失を算出した。その結果、給気装置の性能の範囲内であり、規定の風量が供給できることを確認した。

試験の際に集塵装置内の風量分布も測定し、これまでに実施した解析結果との比較も行い、解析結果が実測値と一致することも確認できた。

## 5 まとめ

高速車両の換気装置のフィルタの目詰まりによる給気風量低下の防止と、メンテナンスの軽減を目的として、車両床下の換気装置給気口に設置できるサイクロン式集塵装置の開発を実施した。集塵率向上策を検討し、結果を反映させた試作機を製作し模擬換気装置による試験を実施した。その結果、集塵率、給気風量、圧力損失などの基本性能を確認することができた。今後は、実際の車両に設置しての試験などにより実環境でのデータを取集し、実用化に向け更なる改良を進めていく。

### 参考文献

- (1) 齋藤寿彦, 他:「新幹線車両用サイクロン集塵装置の開発」, 日本機械学会 第24回 交通・物流部門大会 講演論文, (2015)

### 著者紹介



橋本克史  
生産本部  
技術部 部長 (高速車両)



小泉貴洋  
生産本部  
技術部 (車体設計) 主査



大須賀晋  
生産本部  
技術部 (技術解析) 主査



太野 明  
東日本旅客鉄道(株)  
新幹線総合車両センター  
車両技術主任