

S2-3-3.

新幹線電車床下機器清掃装置の開発
Development of Cleaning Systems
for Underfloor Equipment of Shinkansen Trains

木村 昌敏 金田 和 正[機] ○井之本 渉
(東日本旅客鉄道株式会社)
坂本 秀嗣 野呂 隆男
(アマノ株式会社)

Masatoshi KIMURA, Nagomu KANEDA, Wataru INOMOTO
East Japan Railway Company, 2-0, Nisshin-cho, Kita-ku, Saitama
Hidetsugu SAKAMOTO, Takao NORO
Amano Corporation, 275, Mamedo-cho, Kohoku-ku, Yokohama

This paper deals with development of cleaning system for underfloor equipment of Shinkansen trains. The equipment of Shinkansen trains such as the power transformer, the main power converter, the air conditioning equipment, etc., needs periodical cleaning to maintain engine performance. However, these cleaning work are too much hard because of being sprinkled with a large quantity of dust, and moreover these equipment to be clean are installed in the low narrow space under the floor. So to improve this hard work, we developed the mobile semiautomatic cleaning systems to support workers. For concrete operations, we performed dust analysis, airflow analysis, examination of nozzles, and system performance evaluation by the experimental model. As a result, we could check enough functions to clean the equipment and achieve environmental improvement to workers, neighboring area and so on.

Key Words: Shinkansen Trains, Dust Catcher, Air Blast Equipment, Underfloor Equipment

1. はじめに

秋田新幹線“こまち”には E3 系新幹線車両が使用されており、平成 9 年 3 月に開業した。秋田新幹線は東京一盛岡間は新幹線区間を走行し、盛岡一秋田間は在来線区間を走行する“新在直通運転”車両である。したがって、防音壁がなく高架化されていない在来区間を走行するので粉塵を吸込みやすく、床下機器は性能低下しやすい傾向がある。したがって、床下機器の多くは他系式の新幹線車両よりも念入りなメンテナンスが必要となっている。特に、床下に設置されている主変圧器・主変換装置は、走行中に熱交換器部のフィン・フィルターに土埃・砂等が付着し、機器の性能低下が起こり、車両走行に支障することがある。

ここで、ラジエター部に詰まった粉塵を取除くためには圧縮空気で直接吹き飛ばす人手による“気吹き作業”が有効であり、機器の性能維持のため定期的に行っている。しかし、これらの機器は床下の低く狭い場所に設置してあるうえ、大量の粉塵を巻き上げる著しい 3 K 作業である。そこで、E3 系新幹線車両の配置区所である秋田車両センターでの床下清掃時の作業性と作業環境の向上を図ることを目的とし、床下機器間を自力で移動走行可能とする半自動清掃装置の開発を行った。

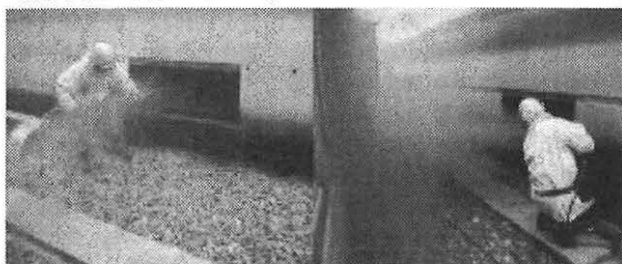


Fig.1 Conventional cleaning operation

本稿では、現状の分析と集塵装置の性能確認に重点を置いた試験結果と、気吹き動作の自動化や清掃度合いの自動判定機能等の開発内容を報告する。

2. 現状分析

2・1 床下機器清掃作業の現状

床下機器清掃作業である気吹きは、多量の粉塵が発生するため屋外で行なわれている。したがって、作業者の健康面への影響が懸念されるため、図 1 のように作業者は防護服・防塵マスクを着用して気吹き作業を行っている。またこの気吹き作業で発生した粉塵は大気放出となっているため、近隣住宅への汚染などの環境面に対する影響が懸念される。そのうえ、この気吹き作業の後は、飛散した粉塵により車体が汚れるので、再び機械洗浄装置により車体の外板洗浄を行う手間が発生する。

2・2 粉塵解析

粉塵を処理するために必要なフィルターの選定を行うため、床下機器熱交換器部のラジエター部に付着している粉塵を採取し、粉塵解析を実施した。図 2 に採取した粉塵の粒径分布を示す。はじめに $710 \mu\text{m}$ のふるいにかけ、ある程度径の大きい粉塵は排除した。ここで、ふるいにかけられた $710 \mu\text{m}$ より大きい粒径の粉塵は全体の 5 %であった。図より、一番小さい粒径は $10.09 \mu\text{m}$ であり、平均粒径は $68.1 \mu\text{m}$ である。その他の解析結果を表 1 に示す。これらの結果より、通常の乾燥した土埃・砂の類いであることから、微細な粉塵も捕捉できる乾式のフィルターが適していることを明らかにした。

2・3 送風機風量分析

主変圧器、主変換装置は、温度上昇を防ぐために電動送風機から外気を熱交換器に送り込んで放熱を行っている。送風機の稼動時には、外部に風速約 12 m/s の風が放出さ

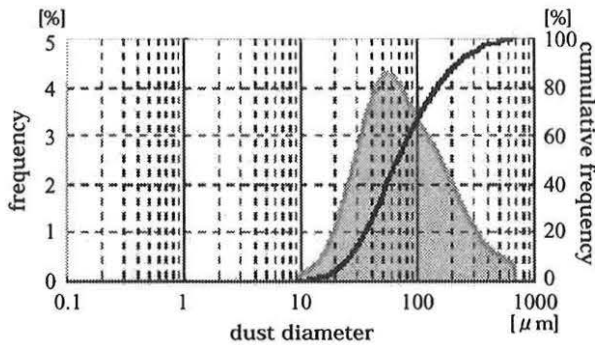


Fig.2 Result of dust diameter analysis

Table.1 Characteristic of dust

粉塵種類	土埃・砂
粉塵密度	0.4~0.7
粉塵含水率	5%以下
磨耗性・腐食性・爆発性	無
ガス成分	大気同等

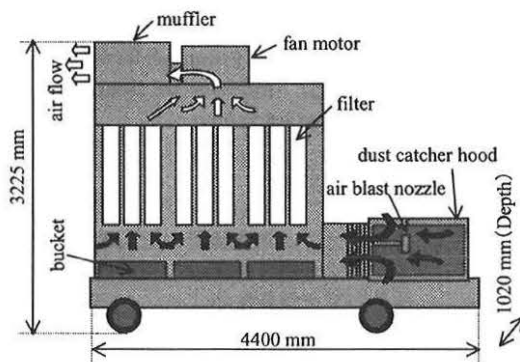


Fig.3 Outline of cleaning system

れている。車両走行中は常に送風機が稼働しているため、熱交換機内のフィン・フィルター部には徐々に土埃等が滞積され、機器の性能低下が起こる。したがって、検査時に風速 6 m/s 以下になると、先述した気吹き作業を実施している。ここで、気吹き作業時には他の床下機器内部への粉塵侵入を防ぐため、機器の送風機を稼働させ、車外に送風した状態で清掃作業を実施している。そのため、開発する集塵装置の吸引能力を決定するためには、最も風量の多い主変圧器の排気風量測定を行う必要がある。そこで、清掃後の主変圧器排出口で測定した平均風速 V と排気口面積 S を用いて、排気風量 Q を下式より求めた。

$$\begin{aligned}
 Q[\text{m}^3/\text{min}] &= V[\text{m/s}] \times S[\text{m}^2] \times 60 [\text{s}] \\
 &= 11.7 \times 0.255 \times 60 \quad \dots[2.1] \\
 &= 179 [\text{m}^3/\text{min}]
 \end{aligned}$$

3. 床下機器清掃装置概要

3・1 開発のポイント及び装置構成

現状分析及び現場での作業性を考慮した作業者を支援する半自動清掃装置の開発ポイントとして次の 5 点を挙げる。

- ・ 車両に適応した集塵装置の開発・性能試験
- ・ 装置の安定走行機構
- ・ 気吹きノズルの最適化
- ・ 気吹き清掃の自動化
- ・ 清掃度合い判定の自動化

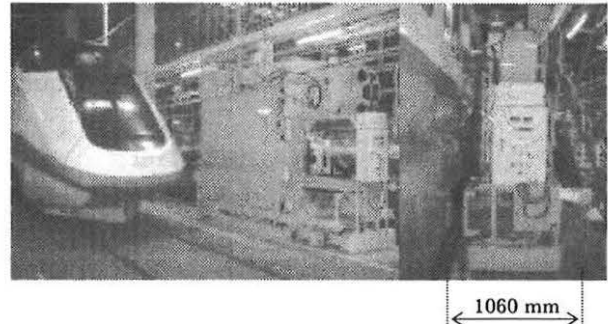


Fig.4 Establish space of cleaning system

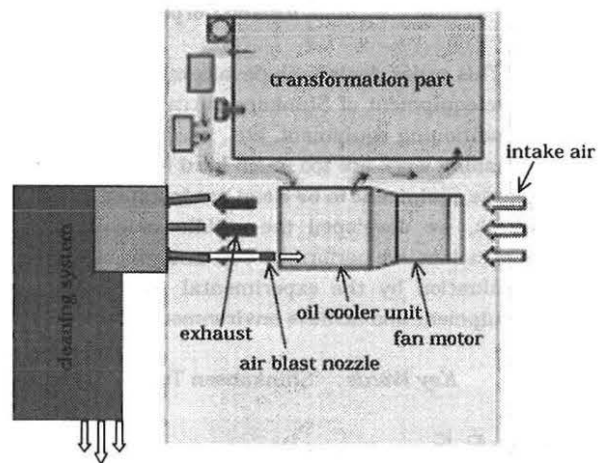


Fig.5 Outline of cleaning operation for the power transformer

ここで、開発した床下機器清掃装置の概略図、及び寸法を図 3 に示す。装置は集塵装置、走行機構、気吹き用ノズル、及び集塵フードからなる。ここで、E 3 系新幹線「こまち」が配置されている秋田車両センターの設置予定箇所の幅が 1060 mm しかなく、200 m³/min の大容量吸気の集塵機を設置するには狭い幅であった (図 4 参照)。しかし、安定した自力走行することも目的であったことから、フィルター形状や機器配置などを工夫し、できる限りの小型化を図った。

また、集塵フード内には気吹き用ノズルが搭載されている。一例として図 5 に主変圧器を気吹く際の概略図を示す。清掃装置による気吹きは、主変圧器等からの送風を利用し、その送風方向とは逆方向の突風を高性能気吹きノズルで集塵装置側から噴射する。よって、床下機器からの送風と気吹き突風を衝突させ、付着している粉塵を舞い上がらせて、集塵器で捕捉する方式とした。この床下機器の送風機を稼働したまま気吹く方式は、従来と変わらないものであり、送風機で排気側に舞い上がった粉塵を押付け、吸気側や他床下機器部に粉塵が漏れることを防止し、舞い上がった粉塵をほぼ全て排気部で補足することを可能とする。

3・2 集塵装置

集塵装置の吸引性能は、吐出風量値 Q の 179 m³/min (2.3 節参照) よりも同等以上の風量を満たさないと、集塵フード部から粉塵の漏れが発生する。したがって、約 10 % の余裕を持たせた 200 m³/min を設計吸引風量とした。今回の集塵装置は一般の高性能集塵装置の技術を活用し、車両に適応した集塵装置を開発した。ろ過装置には、粉塵解析を

もとに乾式のフィルターを採用した。また、集塵装置自体のメンテナンスを容易にするため、フィルターに粉塵が付着して目詰まりの兆候が見られた時点で、圧縮空気を瞬時にフィルター部に送り、衝撃と風力で除塵を行う機構とした。また、振り落とされた粉塵は装置下部のバケットに溜まるので、簡単に処理することが可能である。

3・3 走行・横行機構

床下機器清掃装置が移動するスペースは、先述のように狭いことから、清掃装置が車両に接触することを避けるためにガイドレールを設置し、そのガイドに沿った自力走行機構とした。また、作業者と装置との接触を防止するために、接触衝撃感知パンパーによる緊急停止機能と走行時のパトライト点灯及び、シグナルホーン鳴動による注意喚起機能を搭載した。さらに、列車が入線・出線する際、建築限界を支障しないように格納（柱側に移動）する横行機能を付加した。横行する際には手動油圧ジャッキにて走行架台と横行架台の入換えを行い、ハンドル操作にて 400 mm 装置を横行することが可能である。この機能により、乗務員の心理的不安を和らげることが可能となった。

3・4 集塵フード

集塵フードの上下方向の移動は、人力では大きな労力を要するため電動とした。また、前後・左右方向への移動は手動でスライドする機構とし、集塵フードを設置する作業において、微調整可能とした。また、主変圧器や主変換装置等の排気部形状はそれぞれ異なるため、自動気吹きノズルの移動パターンをそれぞれ変えなくてはならない。そこで、集塵フード設置後の位置によって、床下機器の種類を装置側で自動的に判断する機構とした。

3・5 気吹きノズルの選定

ここで、車両床下機器の清掃に適した気吹きノズルの選定を行う。粉塵を模擬した平均粒径 $60 \mu\text{m}$ の石灰と、主変圧器を模擬した $200 \text{ m}^3/\text{min}$ の送風機を用いて各種気吹きノズルの試験を行い、清掃効果・清掃範囲・手動・自動化の項目についての評価結果を表 2 に示す。便宜上のため、それぞれのノズルに番号を付した。これらの試験結果から清掃効果と清掃範囲に、より優れていた No.1・7・8 を選定候補としたが、清掃範囲が広いほうが吹き残しは少なく、制御が比較的容易となり自動化に適していたことから、No.7 のフラット型ノズルを採用した。図 6 に気吹きノズルの取付け状況を示す。主変圧器の排気部のダクト上部が図 7 に示されているように傾斜していることから、3 つ取付けたノズルのうち、1 つを斜めに取付けた。

3・6 気吹き動作

気吹き清掃動作はプログラム化されている。例として主変圧器の気吹き作業では、ラジエター面を四段に分けて気吹きを行い、一往復約 40s 程で、一段あたり三～四往復する（図 7 参照）。

Table.2 Evaluation of air blast nozzles

No	ノズルタイプ	清掃効果	清掃範囲	手動評価	自動化評価
1	直射型 A	◎	○	◎	△
2	直射型 B	△	○	△	△
3	直射型 C	△	×	△	△
4	直射型 D	△	○	○	△
5	フラット型 A	○	△	○	○
6	フラット型 B	×	△	×	×
7	フラット型 C	○	◎	◎	○
8	ラウンド型	◎	○	◎	△

また、均一な清掃の確立と作業者を支援する装置とするため、気吹きの清掃度合いを自動判定するシステムとした。従来の手作業では、風速計を用いて排気口の風速を数点測定し、その風速が全て規定値以上に回復するまで気吹き清掃作業を実施していた。一方、装置を用いた清掃度合い判定は、集塵装置そのものによる吸込み風の影響を受けるため、風速計だけでは自動判定が困難である。そこで、粉塵濃度計を併用し、清掃効果の確認が行えるようにした。その効果の確認は、粉塵濃度が $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ （任意設定可能）を一定時間下回り、さらに、装置の吸込み量を考慮した風速によって換算された排気口からの風量が $170 \text{ m}^3/\text{min}$ を上回ると清掃終了と判断する。

4. 集塵性能確認試験

4・1 吸込み風量とフィルター

集塵装置の性能を確認するため、吸込み風量の測定と差圧ゲージによるフィルターの目詰まり程度の確認結果を表 3 に示す。集塵装置の吸込みの風量目標 $200 \text{ m}^3/\text{min}$ に対し、開発初期値で $209 \text{ m}^3/\text{min}$ の吸込み風量を達成することができた。また、現車に 5 回適用した後の耐久性を確認した結果、試験終了後では、 $203 \text{ m}^3/\text{min}$ の吸込み風量であった。その後、フィルター除塵機能を用いて $208 \text{ m}^3/\text{min}$ まで回復することが可能であったため、実際の使用時においても集塵に十分な風量を確保可能であることが示された。また、吸込風量を確保するため、フィルターの差圧基準は、設計値で 1.5 kPa 以下としている。連続 5 回使用した後の差圧は、最大で 0.42 kPa であった。フィルター除塵機能を適用した後の差圧は 0.33 kPa であったことから、目詰まりの兆候はなく、定期的にフィルター除塵機能を使用していけば 3 年以上のフィルター寿命を見込むことが可能である。

4・2 粉塵捕捉

清掃装置本体の集塵性能を把握するため、図 8 に示す①～④の点において、集塵機稼動時と未稼動時それぞれについて粉塵濃度を測定した。測定は最も粉塵の排出量が多い主変圧器の気吹きを行い、清掃開始と同時に 10 分間行った。その結果を表 4 に示す（10 分間の平均値）。表より、装置稼動時において場所①の粉塵濃度は $30.25 \text{ mg}/\text{m}^3$ であり、装置内フィルターを通った後の排出口②では 0.15

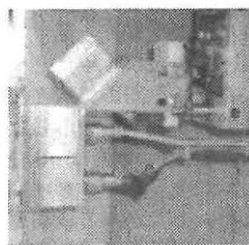


Fig.6 Air blast nozzle

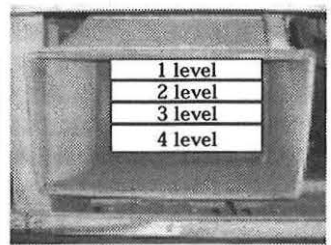


Fig.7 Vent of transformer

Table.3 Result of filter endurance test

	風量 (m^3/min)	差圧 (kPa)
試作初期	209	0.32
集塵 1 回	207	0.34
連続集塵 5 回	203	0.42
自動清掃後	208	0.33

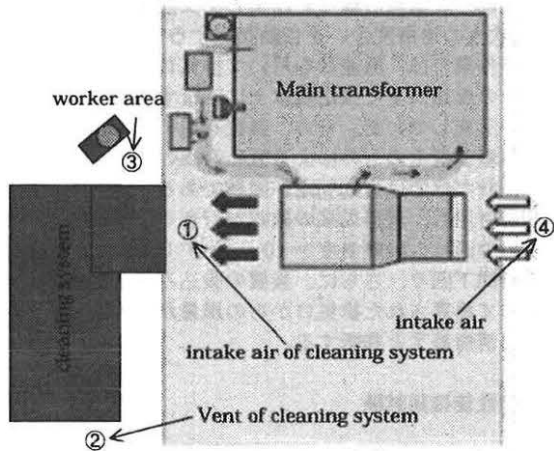


Fig.8 Outline of measurement points

Table.4 Effect of cleaning system

場所	未稼動時 (mg/m^3)	稼動時 (mg/m^3)	改善率 (%)
①装置吸引口		30.25	
②装置排気口		0.15	
③作業位置	36.49	0.06	99.8
④吸気側	0.91	0.04	95.6

mg/m^3 であった。したがって、装置の粉塵捕捉率は、99.6 % であることが示された。また、作業位置③においては、装置稼動時に $36.49 \text{ mg}/\text{m}^3$ であった粉塵濃度が、装置を稼動することにより $0.06 \text{ mg}/\text{m}^3$ まで低くなったことから、作業位置における環境改善率は 99.8 % を達成することができたといえる。さらに、冷却用送風機の吸気側であり、車両を挟んで集塵装置の反対側となる④での粉塵濃度は、装置未稼動時 $0.91 \text{ mg}/\text{m}^3$ から、稼動時 $0.04 \text{ mg}/\text{m}^3$ になったことから、95.6 % の環境改善を達成可能とした。この値は、運転所・工場等には適用されないが、ビルの事務所等で適用されるビル管理法内で室内浮遊粉塵基準管理値が $0.15 \text{ mg}/\text{m}^3$ と定められていることを参考にすると、開発した床下機器清掃装置を庫内で用いて作業することに問題ないことを示すことができる。

4・3 現車への効果

床下機器が粉塵で汚れやすいのは草花の綿などが飛び交う春先や夏場であり、この時期は日中気温も日々上昇することから、特に注意が必要である。そこで、2004 年 3 月～6 月にかけて、開発した装置を用いた床下機器の気吹き清掃を行った。例として図 9 に、主変圧器の風速結果を示し、図 10 に主変圧器排気部の風速測定点を示す。数値は 36 台 (18 編成×2 台) の平均値である。図より、ラジエーター部下段の 4～6 の測定点の風速値が低い。したがって、粉塵はラジエーター部下段に溜まりやすいことが示されている。また、気吹き清掃をした後は、全ての測定点において風速の回復が見られ、6 点の測定値を平均して、約 1.7 m/s の風速を回復することを可能とした。

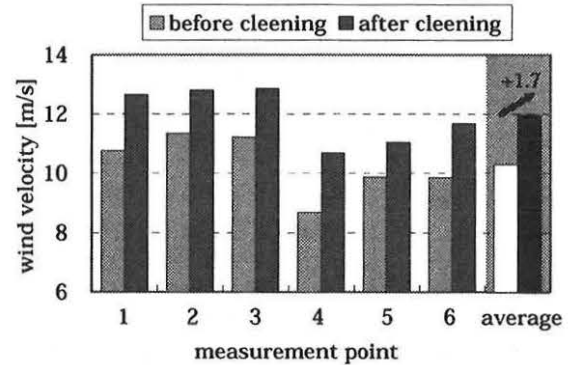


Fig.9 Effect of cleaning system for main transformer

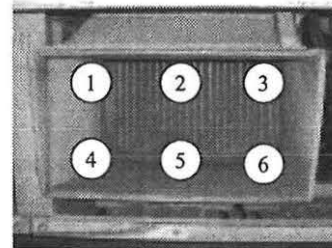


Fig.10 Measurement points of air velocity for vent of main transformer

従来の気吹き作業では、防護服・防塵マスクの必要とされる著しい 3 K 作業であったため、検査時の風速が 6 m/s 以下になれば気吹き清掃を行うという、発生主義的に行っていた。しかし、装置を導入したことにより、この 3 K 作業が改善されたため、今年度は計画的に気吹き清掃を行うことが可能となった。したがって、今年度の主変圧器の過温度による故障は、現在までの 9 ヶ月間発生していない。

5. まとめ

E 3 系新幹線用の床下機器清掃装置の開発を行い、全ての開発項目に対して性能を確認することができた。この結果、今まで防護服・防塵マスクを着用しての屋外作業であり、発生していた粉塵を大気放出としていた作業を、それら特殊な装備不要な屋内作業とすることが可能となった。また、装置の導入によって 3 K 作業が改善されたため、従来の発生主義的メンテナンスから、計画的な予防保全へと移行することが可能となり、新幹線電車の信頼性が向上した。

今後の取組みとして、装置の耐久性について使用しながら継続して監視し、より作業者が扱いやすい装置への改良を引き続き行っていく。

謝 辞

最後に、本件名の開発を進めるにあたり、ご指導ならびにご協力を賜りました関係各位に深い感謝の意を表します。