

床下機器清掃装置の開発



木村 昌敏* 金田 和** 井之本 渉** 吉田 豊*

新幹線電車の主変圧器、主変換装置、空調装置等は、性能維持のため定期的な清掃が必要とされている。これらの清掃作業は、多量の粉塵が発生し、作業環境が悪い代表的な3K作業となっている。そこで、この3K作業を解消するために作業者を支援できる移動型半自動清掃装置の開発を行った。具体的には、粉塵解析や風量分析、試作機による性能試験を行い、その結果、機器の清掃に十分な機能を確認することができたので、秋田車両センターにおいて使用開始することとした。

●キーワード：気吹き清掃、集塵、作業環境

1 はじめに

現在、E3系新幹線「こまち」の床下機器である主変圧器、主変換装置等は、走行中にフィン、フィルターに土埃・砂が付着して機器の性能低下が起こる。そのため、これらの機器の性能維持のために定期的な清掃を行っている。この清掃は図1のような気吹きという手作業を行っているが、これらの機器は狭い床下にあるため作業性が悪く、また多量の粉塵が発生するため作業環境が悪い3K作業となっている。

そのため、清掃能力が高い気吹きノズルや集塵能力の高い集塵装置を備え、床下機器間の移動走行を自力でできる半自動清掃装置を開発し、床下清掃時の作業性向上と作業環境向上を図ることとした。2002年度は、基礎開発として現状の分析と集塵装置の性能確認に重点を置いた開発を行い、2003年度は、実用化開発として、気吹き動作の自動化や清掃度合の自動判定機能等の追加を行い、総合的な確認試験を行った。



図1：床下機器の気吹き清掃作業

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ので、図1のように防護服、防塵マスクを着けて屋外で行い、粉塵は大気放出となっている。また、この気吹き清掃の後は、飛散した粉塵により車体が汚れてしまうので、再度機械洗浄装置により洗浄している。

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に床下機器の排出口から発生する粉塵を採取し、粉塵解析を実施した。

【解析結果】

・粉塵種類	土埃・砂
・平均粒径	68.1 μ m (計測値0.133~704 μ m)
・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

これらの結果から、微細な粉塵粒が含まれていたが、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がわかった。

2.3 送風機風量分析

主変圧器、主変換装置には、温度上昇を防ぐために送風機が搭載されていて、送風機を稼働させると外部に風速約12

m/sの風が放出させられる仕組みになっている。車両走行中にフィン、フィルター部に土埃等が付着し、機器の性能低下が起るため風速6 m/s以下になると、清掃作業を実施している。気吹き作業時には床下機器内部への粉塵の侵入を防ぐために、各機器の送風機を稼働させて、車体の外に送風した状態で清掃作業を実施している。そのため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吐出風量の測定を行う必要がある。そこで、清掃後の主変圧器排出口からの風速(V)を測定し、吐出風量Qを下記の式から求めた。

$$Q(\text{m}^3/\text{min}) = V(\text{m/s}) \times S(\text{m}^2 \times 60(\text{s}))$$

$$= 11.7 \times 0.37 \times 0.69 \times 60 = 179(\text{m}^3/\text{min})$$

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て作業者を支援できる半自動の清掃装置の開発は、次のような内容とした。

- ・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
- ・清掃度合判定の自動化

開発した床下機器清掃装置の外観を図2に示す。装置は集塵装置、走行機構及び集塵フードからなる。E3系新幹線「こまち」の基地である秋田車両センターの設置予定箇所の幅が1060mmなので、床下機器清掃装置幅を設置箇所に合ったコンパクト構造1000mm以下とした(図3)。



図2：床下機器清掃装置外観
(1点鎖線内は集塵装置)
(点線枠内は集塵フード)



図3：設置状況

3.2 集塵装置

車両の清掃時に発生する粉塵を処理できる能力を有した集塵装置を搭載させた。集塵フード内に気吹きノズルが搭載されている。主変圧器等の稼働時の送風を利用して、その送風と集塵装置側からは高性能気吹きノズルから突風を噴射させて、送風と気吹き突風を衝突させ、付着している土砂・埃をフィン部から除去し、粉塵を舞い上がらせて、集塵する機構とした(図4)。

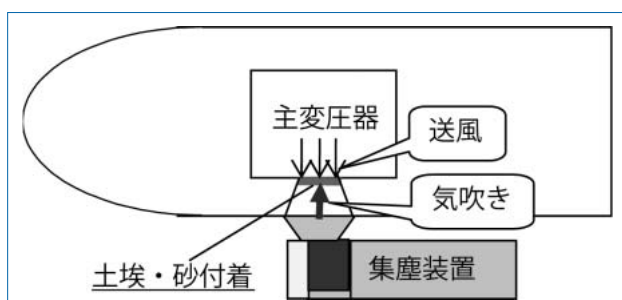


図4：集塵概要

吸引性能は、吐出風量値Qの179m³/minより、同等以上の風量を必要とすることから、10%程度の余裕をもたせた200m³/minを設計風量とした。今回の集塵装置試作にあたっては、一般の高性能集塵装置の技術を活用して、図5のような車両に適応した集塵装置を試作した。ろ過装置は、粉塵解析をもとに乾式のフィルターを選定したが装置のコンパクト化を図るため図6のような乾式の星型成形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省略するため、フィルターに粉塵が付着して目詰まりの兆候がみられた時点で、圧縮空気を瞬時に送りフィルター除塵を自動的に行う機構とした。また、集塵装置の下部のバケットに粉塵が溜まるので、簡単に処理できる(図7)。

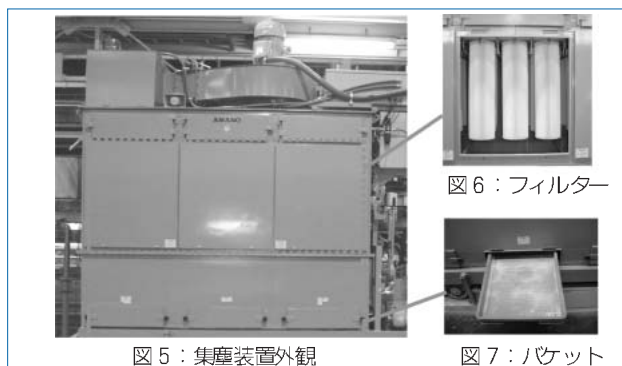


図5：集塵装置外観

図6：フィルター

図7：バケット

3.3 走行機構

床下機器清掃装置が稼働する車両と建物の柱との間隔は

狭いことから、清掃装置の車両への接触を避けるためにガイドレールを設置し、そのガイドに沿っての自力走行機構とした。また、作業員との接触によるケガを防止するために接触衝撃感知バンパーによる緊急停止機能と走行時のパトライトの点灯とシグナルホーン鳴動による注意喚起機能を搭載した。

3.4 集塵フード

集塵フード内に気吹きノズルを設置(図8)している。また、集塵フードは通常は収納させた状態で走行する。清掃時には、車両床下機器までフードが自動移動する機構(図9、10)とした。車両床下機器に集塵フード先端のゴム部が接触時すると、ショックセンサーにより停止する。また、微調整等集塵フードを正確な位置に移動させるため、前後・左右スライドできる機構とした。また、位置決めガイドがあるため、変圧器、主変換装置の開閉部へ密着を容易にした。

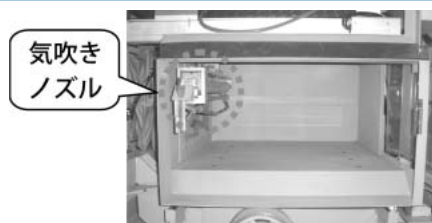


図8：集塵フード正面外観



図9：集塵フード側面(収納時)

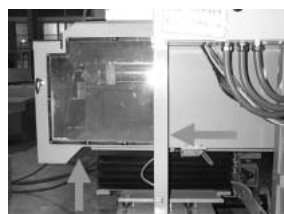


図10：集塵フード側面(全開時)

3.4.1 気吹きノズルの選定

車両床下機器の清掃に適した気吹きノズルを選定するために、粉塵を模擬した平均粒径60 μ mの石灰と主変圧器を模擬した200m³/minのブローを用いて各種気吹きノズルの清掃性能試験を実施した。各種ノズルについて、清掃効果、清掃範囲、手動、自動で行った時の評価を表1に示す。

表1：各種ノズル性能試験結果

NO	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		○		

これらの試験結果より、NO.1、7、8を選定候補としたが、清掃範囲が広い方が吹き残しは少なく、制御が比較的容易で、自動化に適していることから、NO.7のフラット型Cノズルを採用した。

3.4.2 気吹き清掃動作の半自動化

気吹き清掃動作は、プログラム化されており、横方向には、気吹きノズルを1往復20s程度で速度で行い、上下方向については、4段を移動する清掃方式とし全域をカバーするようにした(図11)。

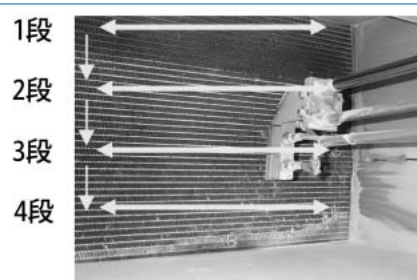


図11：気吹き清掃動作

3.4.3 気吹き清掃度合判定

清掃基準の確立と作業者を支援できる装置とするため、気吹きの清掃度合を自動判定するシステムとした。現行の手作業では、風速計で送風機の風速を測定し、その風速が規定値に回復するまで気吹き清掃作業を実施している。気吹き清掃度合判定は、集塵装置による吸込み風の影響と清掃箇所、未清掃箇所の風量の変位があるため、風速計だけでは自動判定は困難である。そこで、粉塵濃度計を併用し、清掃効果を確認するようにした。

気吹き清掃当初は、粉塵が舞い上がり粉塵濃度が上がる。また、付着粉塵による目詰まりがあるため、風量は落ちている。清掃度合判定は、粉塵濃度が10mg/m³(設定可能)を一定時間下回り、なお風速から換算された風量が170m³/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 吸込風量

集塵装置の性能を確認するために、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2に示す。風量は、図12のように6点の風速点を測定し、その平均値

を風量に換算した。連続5回使用してその耐久性を確認したが、 $200 \text{ m}^3/\text{min}$ 以上の吸込み風量を確保しているので安定性能を確認することができた。また、フィルターの寿命を確認するために差圧ゲージを装備させている。フィルターの差圧性能維持基準は、吸込風量を確保するため、設計差圧で 15 kPa 以下としている。差圧も試作初期から、連続5回使用したが、 0.42 kPa であったので、安定性能を確認することができた。

集塵装置の圧縮空気を瞬間的に開放して行うフィルター除塵の自動清掃後は風量で $208 \text{ m}^3/\text{min}$ に、差圧で 0.33 kPa まで回復することができた。



図12：風速測定点

表2：吸込み風量とフィルター差圧

	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

4.2 集塵捕捉

集塵装置本体の集塵捕捉を把握するために、吸引口①と排出口②の箇所での粉塵濃度を測定した(図13-1、13-2)。床下機器の清掃開始と同時に10分間行った結果、平均値で、吸引口①では平均で $30.25 \text{ mg}/\text{m}^3$ だったものが、排出口②での値は、 $0.025 \text{ mg}/\text{m}^3 \sim 0.125 \text{ mg}/\text{m}^3$ とすることができた。このことから、集塵捕捉としては、99.6%以上であることが確認された。

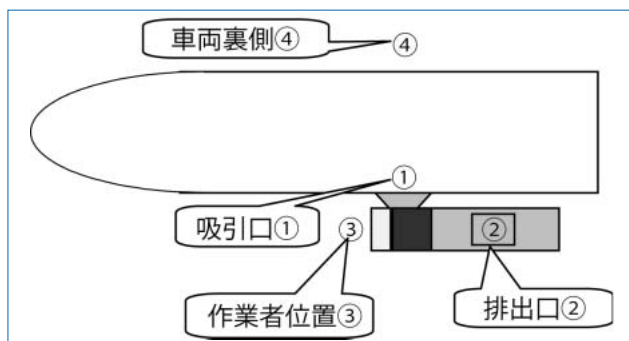


図13-1：集塵捕捉・作業環境測定位置上面図

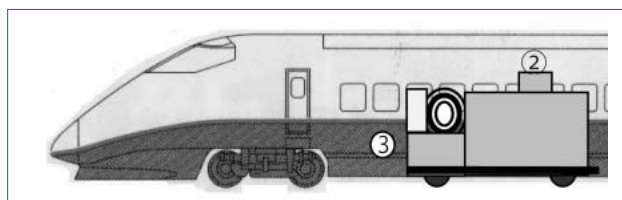


図13-2：集塵捕捉・作業環境測定位置側面図

4.3 作業場への影響

作業場への影響を確認するために、集塵装置未稼働時と、床下機器清掃装置による床下機器清掃作業時の作業環境測定を作業位置③と車両裏側④について行った(図13-1、13-2)。10分間での測定結果は、集塵装置が未稼働時は、作業位置③においては、 $36.49 \text{ mg}/\text{m}^3$ で、車両裏側④においては、 $18.77 \text{ mg}/\text{m}^3$ となったが、集塵装置を稼働時は、作業位置③においては、 $0.06 \text{ mg}/\text{m}^3$ で、車両の裏側④においては、 $0.04 \text{ mg}/\text{m}^3$ まで改善することができた。通常の作業等を行う運転所、工場等には適応されないが、ビルの事務所等で適応されるビル管理法では、室内浮遊粉塵基準管理値 $0.15 \text{ mg}/\text{m}^3$ と定められていることを参考にしても、開発した床下機器清掃装置は作業場の環境を大幅に改善することができた。

5 まとめ

E3系新幹線用の床下機器の気吹き清掃集塵装置の開発を行い開発項目に対して全ての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、発生していた粉塵を大気放出としていた作業を、防護服・防塵マスクの不要な屋内作業とすることができた。

6 おわりに

開発した床下機器清掃装置は、開発目標を達成し、2004年度から実使用される。今後は、装置の耐久性について実使用しながら継続して監視することとする。さらに同様な粉塵発生問題を抱えている箇所へ展開していくための取組みを行っていくこととする。