

S3-1-1.

JR 東西線換気装置改良について

○大 林 正 和 (西日本旅客鉄道株式会社)

The improvement in the way of ventilating around JR Tozai line
Masakazu Obayashi, Member (West Japan Railway Company)

We have a number of ventilators, such as air handling units, both inside and between the underground stations. These ventilators work constantly to clear the air around them. On the other hand, a wind whose rate is estimated 4 [m/s] can be caused by trains, which come and go around 345 times a day. In my research, I suggested to make the best possible use of the wind by trains to clear the air, and reduce the load of ventilators, taking account of an energy saving measure. Furthermore, I discussed about cost displacement by this as well.

キーワード：列車風、換気装置、省エネルギー

Keywords：Wind by train, Ventilator, Energy saving

1. はじめに

1997 年 3 月 8 日に、JR 神戸線（東海道本線）・JR 宝塚線（福知山線）尼崎駅と学研都市線（片町線）・大阪環状線京橋駅を結ぶ JR 東西線が開業した。JR 東西線は、全線複線直流電化の路線で、両端の尼崎駅と京橋駅以外の各駅は地下駅になっており、当社において初の本格的な地下鉄道である。一般的に地下鉄道構内では、乗降客と電車の出入りのため、外気と比べ粉塵濃度や二酸化炭素の濃度が高くなり換気が必要となる。かつての地下鉄道における換気の方法は、二酸化炭素を主とするトンネル内の空気の汚染を防止することであったが、その後の輸送量増加に伴う熱の蓄積によって、温度上昇が著しくなり、現在では温度上昇の抑制が一つの目的となっている。特に我国の場合は欧米各都市に見られないような気象条件(高温多湿)であり、これが温度上昇を著しく不快なものにしている。本論文では JR 東西線に出入りする列車の列車風による換気の可能性に着目し、地下駅構内の環境を踏まえた上で、安全かつ効率的な換気装置の運転システムを考察し、お客様に安定した環境を提供しつつ、保守費および電力費のコスト削減効果の検討を行った。

2. JR 東西線の換気システム

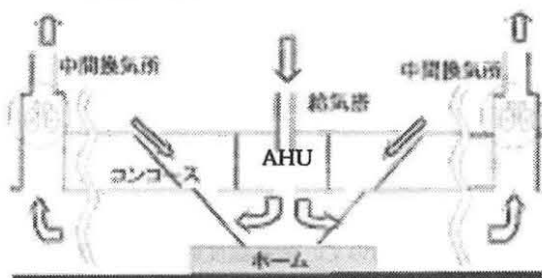


図-1 JR 東西線換気方式

複線型の地下鉄換気方式の場合、自然風が無い状況では、列車が対向しているため汚染空気はトンネル内中央部に寄せられる傾向が理論及び実用により確かめられている(「地下鉄の機械設備設計標準」より)。JR 東西線においても上記標準を用い、換気装置をトンネル中間部に置き汚染空気を排気する中間換気所方式を採用し、トンネル中間部での機械排気を行っており、駅部においてはエアハンドリングユニット(以下 AHU)を用いた機械給気により新鮮空気をコンコース、ホームに給気している。(図-1)

また、中間換気所は排煙装置としての機能も兼ねており、火災が発生した場合は、煙の流れる方向と乗客の避難する方向を分離することができる。そのため、火点ブロック容積(列車火災が発生した場合、乗降場で煙が拡散する空間の内、最も煙濃度が高い空間の容積)による排煙量を確保するため各換気所毎に 2 台の軸流ファンを設置している。通常時の運用は換気のために各換気所の軸流ファンを 1 台(50%)運転しており、火災時の排煙の際には 2 台運転となる。

3. 換気装置停止の可能性

JR 東西線は、単線シールド構造のため列車のピストン作用が大きい。また縮小限界を採用したためトンネル断面積に対する列車の割合が大きいこと等に着目し、列車風による換気量の調査を行った。実際の駅で列車風を測定し、その結果からホーム両端から列車が接近した場合の最高風速により換気量を算出したところ、約 2,400m³/min となることがわかった。一方設計上必要な換気量は 1800~2400m³/min であることから列車風を換気に置き換えられる可能性があることが判明した。

4. 列車風換気の可能性へ向けての調査項目

(1) 地下鉄換気に関わる法令について

換気装置を完全に停止するにあたり、法令上の問題が無いか該当する法令を調査する。

(2) CO₂ 濃度変化について

換気装置を停止することによる影響を調べるため、まず、各駅ホームで換気装置運転時における 1 日の CO₂ 濃度変化の測定を行った。測定結果を分析したところ、最高値や平均値から見ても新福島駅における CO₂ 濃度が JR 東西線の中では最も高い数値を示していたため新福島駅を代表駅とし温度、粉塵濃度を測定し、調査を行うこととした。

(3) 浮遊粉塵量変化について

乗降客の着衣等からの塵埃や土砂の持込み、電車の走行に伴い発生する塵埃、オイルミストのほか、換気口、駅開口部からの塵埃等の流入により、地下鉄構内は一般的に塵埃濃度が高くなることが分かっている。新福島駅ホームにおいて 1 日の塵埃濃度の変化を測定することとした。

(4) 温度変化について

地下鉄道における熱の発生は、使用電力がそのまま熱になると仮定すると、電車用電力によるものが約 70%、照明・動力・信号などの付帯設備の電力によるものが約 16%、人体からの発熱が約 14% である。発熱量の大部分を占める電車用電力による発熱は、電車の発車抵抗、走行抵抗、ブレーキによる発熱のほか、車両空調設備の放熱があり、VVVF 車の投入により、減少傾向ではあるものの、駅部の環境に大きく影響している。換気装置の停止は、温度上昇と深く関係していることから、温度変化を測定することとした。

(5) 列車風の風速について

トンネル内の列車のピストン作用により誘発される列車風は法的な制限は無いが、お客様に対する影響は風速 8 m/s を超えると苦情が出やすい。このことは都営地下鉄 12 号線認可時に運輸省(現国土交通省)と東京都が調査を行った結果からも実証されている。JR 東西線では換気装置運転時に最大風速が 6m/s となるように設計されている。各駅において測定した結果、大阪天満宮駅で最も高い風速を観測し、列車進入時のホーム上で、最高風速約 4m/s、列車風流入面積の小さくなる階段部において約 5.1m/s となった。この結果から現状の東西線はお客様への影響を考慮した設計条件を満たしていることが分かる。しかし、中間換気所の換気装置(排気ファン)を停止すると、換気装置のダンパが閉じ、列車風の強さに関係する要因の一つである強制換気が無くなるとともに、列車風の逃げ道も無くなる。したがって、駅構内に集中的に列車風が流れ込み、お客様へ悪影響を与える可能性が生じる。そこで、換気装置停止後のホームおよび階段部での風速を測定することとした。

5. 調査結果

(1) 関係法令について

表-1 に各種関係法令を示す。これらの法令を調査することで、換気をするための手段は必ずしも機械換気によらずによいことが分かった。

表-1 関係法令

法令	適用項目
国土交通省制定「鉄道に関する技術上の基準を定める奨励」	十分な自然換気が得られるものは換気装置を設けなくてもよい
消防法	規定なし
ビル衛生管理法	CO ₂ 濃度 1000ppm 以下 粉塵量 0.15mg/m ³ 以下

(2) CO₂ 濃度について

測定結果から、換気装置の効果は若干見受けられるが、最高値は運転、停止に関わらず約 650ppm という結果が得られた。これをビル衛生管理法の基準値 1000ppm と比較すると許容範囲内であることが分かる。(図-2)

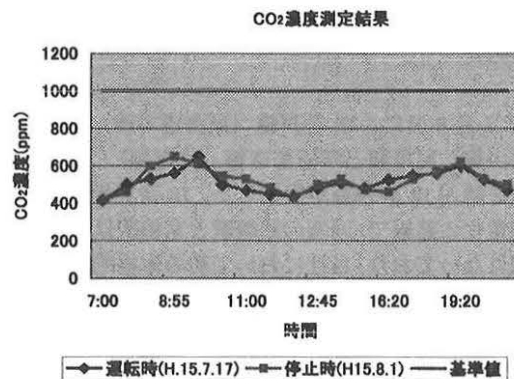


図-2 CO₂ 測定結果

(3) 浮遊粉塵量について

浮遊粉塵量は、換気装置運転時の最大値約 0.029mg/m³、停止時には最大値約 0.031mg/m³ という値(図-3)が測定された。この値は共にビル衛生管理法の基準値 0.15mg/m³ を満たしている。

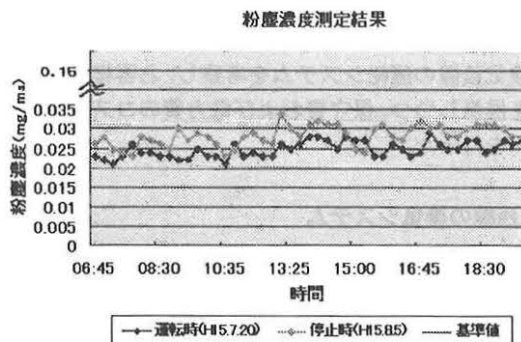


図-3 粉塵濃度測定結果

(4) 温度について

換気装置停止時において、最高温度約 33℃と運転時に比べて約 1℃高い値を示したものの、平均温度で比較すると停止時は約 31.0℃、運転時は約 30.5℃であり僅かな差し

か生じなかった。

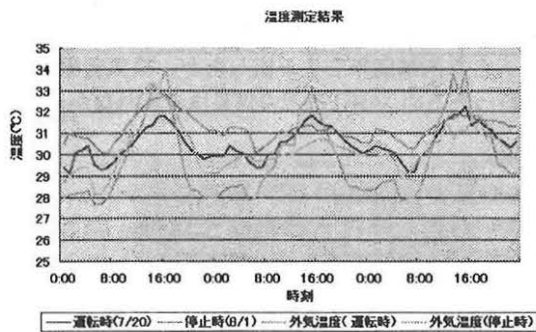


図-4 温度測定結果

(5) 列車風速について

大阪天満宮駅における列車風速測定結果では、風速は換気装置停止前後ではほぼ違いは現れなかった(図-5)。この原因として、換気装置による強制換気は得られなくなったものの、中間換気所地点の上部空間で列車風が分散し弱まったと考えられる。また、測定結果を分析すると、列車到着 120 秒前から測定を行い、70 秒後に最高風速を記録しているが、列車発進時においては換気装置停止後、逆に減少している。これは、列車進入時における正圧はホーム上において換気装置が逆方向に働き列車風を弱める働きを持っていたのに対して、発進時の負圧については正方向に換気装置の影響が働き列車風を強めていた。その影響が無くなったため今回の測定結果が得られたと考えられる。また、今回の結果から列車風の強さを決定する数多くの因子(表-2)の中で、強制換気は JR 東西線において大きな影響を及ぼさなかったことが分かる。

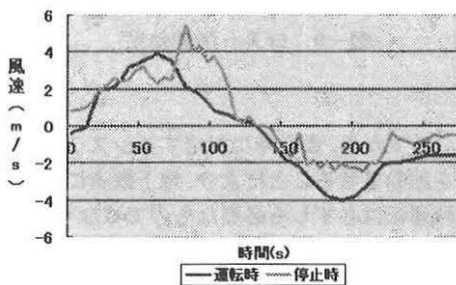


図-5 列車風測定結果

表-2 列車風に影響を与える因子

要因	具体例
運行要因	列車速度・パターン・運行間隔・対抗列車の有無・車両断面形状 列車先端部、後端部の形状・列車長さ・車両側面の凹凸
構造要因	複線単線の別・トンネル断面形状・トンネル長さ・トンネル壁面の凹凸 接続トンネル数・駅部構造
換気要因	換気方式・換気塔形状・配置・強制換気量・自然風

6. 異常時対応のシステム構築

以上の結果より換気装置を停止しても列車風により換気が可能なことが判明した。しかし、列車風は列車の通過

により発生するものであり、事故等により長時間の列車停止事象が発生すると十分な換気量は得られなくなる。

そのため、列車風が得られない場合に、換気装置を作動させるシステムが必要となる。様々な方法を検討し、次の2案を併用した新システムを採用することとした。

- ①CO₂ 濃度が設定値を超えた場合に換気装置を起動する。
- ②列車が長時間停止した場合換気装置を起動する。

なお、CO₂ 濃度が設定値以下で列車ダイヤが正常な場合は換気装置の運転はしない。

(1)CO₂ センサーによる換気制御

駅構内にセンサーを取付け、CO₂ 濃度を測定し、設定値を超えた場合に換気システムを起動させる方式である。このシステムを用いることで、ホームに滞留する乗降客の増加による今回の測定で得た以上の CO₂ 濃度の上昇やホーム火災による異常時に対応することが可能である。なお、ホーム火災に関しては、現在も駅員による緊急運転により排煙装置を起動させることになっており、さらに安全性が増加することになる。

CO₂ 発停の基準は法令を考慮し、800ppm と設定する。

(2)信号機による換気制御

列車の閉塞信号の変化を受信し、一定時間の列車停止を検知し、換気装置を起動させるシステムである。このシステムの利点としては、列車の運転状況を的確に検知することができ、また信号機からの信号を直接得ることにより、信頼性が高く、システム構築費用を抑えることができる。また、駅間における列車の一定時間の停止にも対応することが可能である。

仕組としては、場内信号の現示状態を信号機器室から遠方監視盤へ通信し、遠方監視盤より換気装置の自動発停を行なうものである。条件は

- ①列車停止時又は信号機が変化しない場合の換気装置起動。(ダイヤ異常)
- ②列車走行時に変化する場内信号を得ている場合は換気装置を停止させる。(ダイヤ正常)

とする。

実際のシステムフローを図-6 に示す。

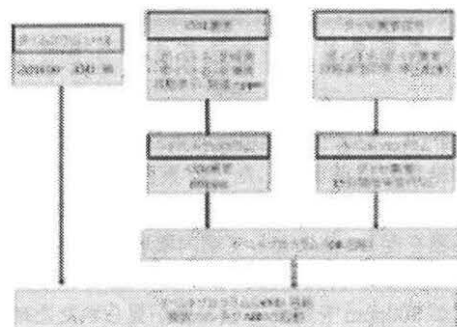


図-6 システムフロー

また、急な発停による換気装置への悪影響を防ぐため、運

転再開後は最低 30 分運転状態確保を行うこととした。2 つのシステムこのシステムの採用により始発、終電時において換気装置はダイヤ異常を検知し運転を行うこととなる。この換気装置の運転は、ベアリング等の固着を防止することを目的とした定期運転としての目的を果たすこととなる。

なお、火災発生時には非常プログラムの作動により、現状どおりの排煙制御が働くものとする。

7. システム運用後の検証

上記の設計思想に基づき、JR 東西線にて平成 16 年 3 月 16 日導入を行った。

(1) 運用後の環境変化について

換気装置新システム運用後の JR 東西線地下環境を以下に示す。

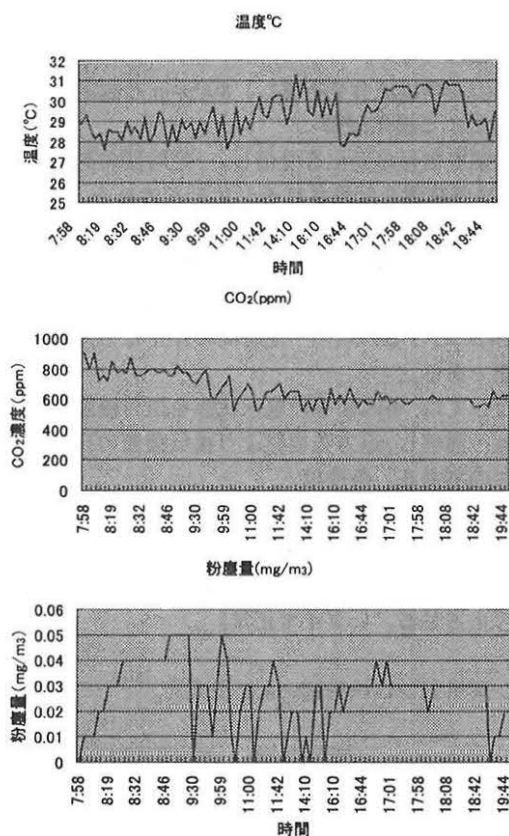


図-7 システム運用後の東西線地下環境

これらの結果と以前測定した JR 東西線地下環境の結果を比較すると、ほぼ、同様の結果となり列車風が地下空気の空気循環を促し、結果として構内環境基準以内に環境を保持できることが判明した。しかし、結果を考察すると CO₂ 濃度が 800ppm を超えている点が見られたため、換気装置起動設定濃度は現状維持とし、CO₂ 起動警報鳴動の値を 900ppm に設定変更を行い、現在運用を行っている。

(2) 換気装置稼働時間及びコスト削減について

昨年度までの稼働値とシステム導入後の稼働値を比較した結果を以下に示す (図-8)。この結果から、AHU については大きな削減効果を生み出したが、換気装置は 2 台運転を行ったため、AHU ほどの効果は生まれなかった。

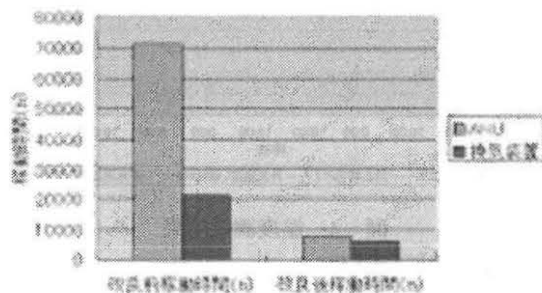


図-8 稼働時間比較

また、稼働時間と使用電気料金によりコスト削減効果を調査した。(図-9) この結果から、新システムの運用により半年間で約 3 千万円のコスト削減が図れた。

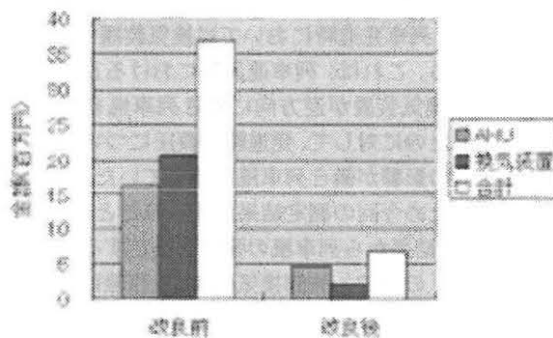


図-9 コスト削減効果

8. 考察

本研究の結果から、異常時に対応するシステムを用いて、換気装置を起動させることにより、地下鉄道における換気装置の常時運転は必ずしも必要なものではなく、列車風を用いた換気により地下の構内環境を基準値以内に押さえることが可能であると判明した。また、換気装置、AHU 運転時間を常時運転から、異常時及び定期運転に変更することにより省エネルギー化が実現でき、大幅なコスト削減にも繋がるのが分かった。