

大規模地下駅における 空調負荷の低減の研究



伊与部 宗吾*



佐藤 雅文**

総武快速横須賀線や京葉線などには地下駅があり、換気設備や排煙設備の他、列車や照明、人体からの熱を除去するために冷房設備を設けている。当社の地下駅は、建設されてから30年以上が経っている駅が多いため、建設当初に比べ設計条件が変わっており、当時より設計手法も進歩している。

本研究は、総武快速線東京駅をモデルに地下駅の熱環境や冷房設備の稼働状況から、負荷の見直しを行った省エネルギー化の事例について報告する。また、総武快速横須賀線の地下駅と京葉線の地下駅の温熱環境計測を行い、地下駅が高湿であり潜熱を除去することが必要であることを確認した。

●キーワード：地下駅、空調設備、省エネルギー化、潜熱

1. はじめに

地下空間の空調設備の設計は、列車からの放熱やトンネルからの列車風、壁面からのふく射熱など、一般的な建築物とは異なる設計条件がある。列車からの放熱やトンネルからの列車風は秒単位で刻々と変化する負荷であるが、建設時には過去の研究成果を参考に時間単位の負荷を推定して、ピーク負荷を算出し、冷凍機的能力を決めていた。また、縮小模型による風洞実験を参考にすることや、列車への乗車人員を推定して計算していた。

総武横須賀快速線の東京駅（以下、東京駅総武地下）は機器更新を間近に控えた地下駅であり、既存設備の稼働実態やホームの温熱環境を把握し、設計へ反映することができる。

また、他の東京駅総武地下に隣接する、総武快速横須賀線馬喰町駅、新日本橋駅、新橋駅、京葉線東京駅についても同様に既存設備の実態を把握することによって、今回地下駅の空調設備に対する課題を明らかにした。

2. 東京駅総武地下空間の空調方式

地下駅は冷凍機およびチラーによって冷水を作り出し、ユニット型空調機（以下、空調機）を用いて冷風を送って冷房している。また、換気のために給気ファンや排気ファンが設置されている。

図1は、東京駅総武地下ホームの空調方式の模式図であり、この空調方式を通常モードと呼ぶ。

通常モードに対し、後述するシミュレーションにより明らかとなった、線路部の外気負荷を減らすための空調方式を改善モードとする（図2）。

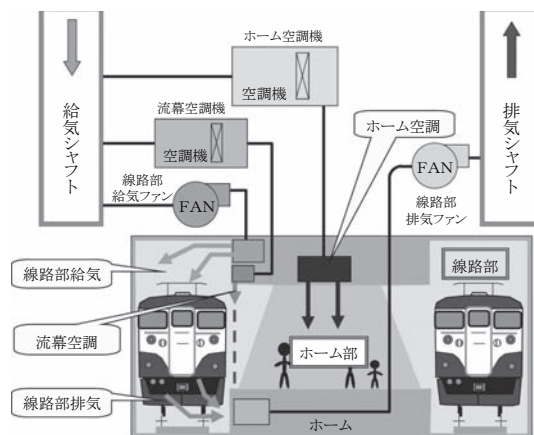


図1 東京駅総武地下ホーム空調方式（通常モード）

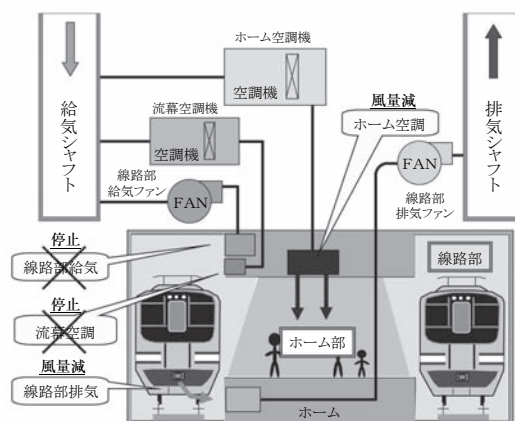


図2 東京駅総武地下ホーム空調方式（改善モード）

3. 東京駅総武地下の空調方式の課題

空調方式は地下駅空調の建設時期によって異なる。東京駅総武地下ホームは、列車の制動力を熱に変換するブレーキが主流であった時期に設計されたものである。

建設当初は、ブレーキによる台車からの放熱が大きいため、

線路部が外気よりも高温になると考え、外気を大量に取り入れる空調方式としていた。

しかし、現在の列車ブレーキは制動力を電気に変換する回生ブレーキが主流となっており、線路部に取り入れる外気はかえって負荷となっていると考えた。

列車からの放熱は、米国で開発されたフリーソフトのS.E.S. (Subway Environment Simulation) に、熱計算機能を追加してシミュレーションを行った (図3)。

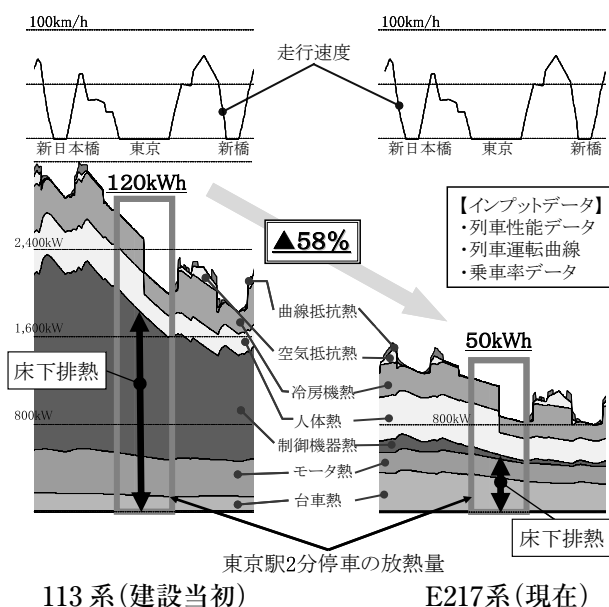


図3 列車からの放熱量の解析結果

図3より、建設当初に主流であった113系快速列車に比べ、E217系快速列車は放熱量が約58%減っており、現在は台車からの放熱より屋根上の空調室外機からの放熱が多いことがわかった。

また、ホームの熱流体解析を行ったところ流幕効果が乏しく、外気がホーム上に流入し、冷気がホーム下に流出する空気の流れが確認された (図4)。

ホーム上のお客さまに対する冷房であるが、外気の流入によりホーム上が暑くなり、冷気をムダに捨てていることがわかった。

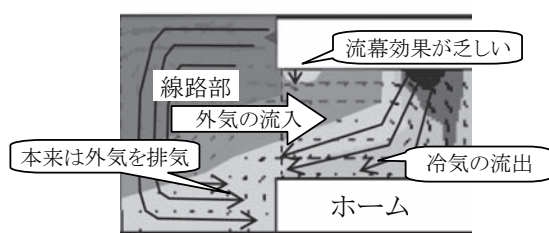


図4 線路部外気のホームへの流入解析結果

4. 東京駅総武地下ホーム空調の実態把握

4.1 ホーム温熱環境の計測

ホーム上の温熱環境および冷凍機の計測は、通常モードと改善モードに分けて以下a)、b)の期間に行った。

a) 通常モード: 2010年7月24日～8月1日

b) 改善モード: 2010年8月2日～8月8日

温熱環境の計測結果を、図5に示す。

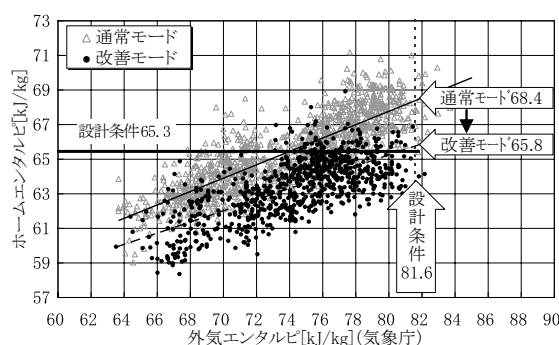


図5 ホームと外気のエンタルピーの関係

図5は縦軸をホームのエンタルピー、横軸を外気のエンタルピーとした計測結果の散布図である。

当社の設計外気温湿度条件は、東京の夏期において最も暑い時間帯は温度33.4℃、相対湿度57.8%となり、エンタルピーは81.6kJ/kgである。

外気エンタルピーがピーク (81.6kJ/kg) のとき、改善モードは通常モードに比べ、エンタルピーが低くなっており、温熱環境が改善したことを示している。これは、ホーム設計条件である温度28℃、相対湿度60%、65.3kJ/kgとほぼ同等の温熱環境である。

4.2 冷凍機生産熱量の計測

温熱環境計測と同期間に、ホームとコンコース系統に供給する配管に温度計と流量計を設置し、冷凍機が生産熱量を計測した。計測結果を図6に示す。

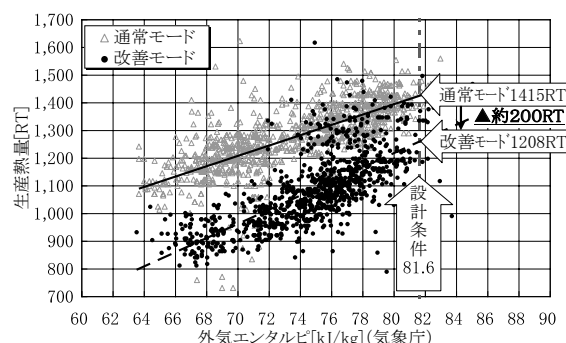


図6 生産熱量と外気エンタルピーの関係

図6は縦軸に生産熱量を横軸に外気エンタルピーを示している。

設計条件における、最大外気エンタルピー時の生産熱量は、通常モードで1,415RTに対し、改善モードで1,208RTであり、約200RT低減された。

5. 東京駅総武地下ホーム空調の改良提案

前節では線路部の外気の取り入れ量を減らすことはホームの温熱環境を改善でき、さらに負荷熱量も低減できることを実証した。更なる省エネルギー化を目指し、空調機で処理する外気の量を減らすために、還気を取り入れることを考えた。

単純に外気の量を減らすことは二酸化炭素や粉塵濃度が高くなる懸念がある。徐々に外気量を減らす実証を行った結果、ホーム階1m²あたり現状の190m³/h外気風量20m³/hまで低減しても問題ないことを確認した。

還気を取り入れるためには改修工事が必要となるため、S.E.S.を用いて負荷を検証した。(図7)。

図7より、改良提案による負荷熱量は、約1,100RTであり通常モードの負荷に比べ、約670RT (▲38%) の低減が見込まれた。

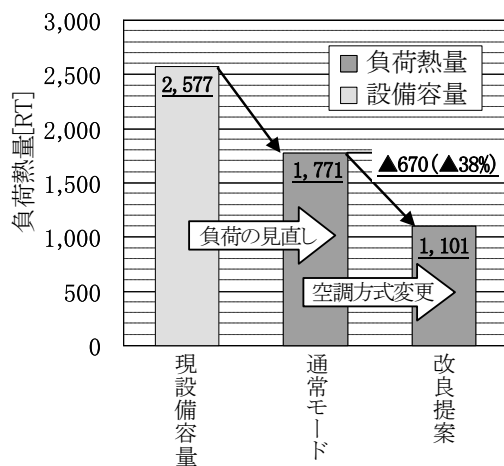


図7 冷凍機の負荷熱量シミュレーション結果

消費電力削減量は、改良提案を実施することで3,379MWh (約33%) の削減が可能であると試算した (表1)。

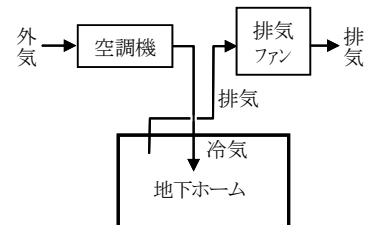
表1 改良提案による消費電力の削減

	消費電力量 [MWh]			削減割合
	通常モード	改良提案	削減量	
搬送動力	3,411	1,410	2,001	59%
熱源	6,866	5,488	1,378	20%
合計	10,277	6,898	3,379	33%

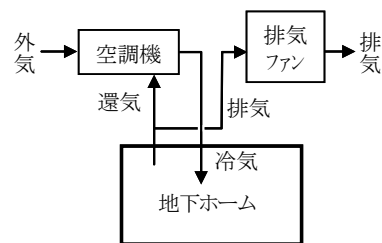
6. 総武快速線東京駅以外の地下駅の現状把握

6.1 各駅の空調方式

総武快速横須賀線馬喰町駅、新日本橋駅、新橋駅、京葉線東京駅の空調方式の概要図を図8に示す。



(a) 馬喰町駅、新日本橋駅、京葉線東京駅



(b) 新橋駅

図8 総武快速横須賀線、京葉線地下駅の空調方式

新橋駅は還気を取り込む空調方式となっているが、馬喰町駅、新日本橋駅、京葉線東京駅は全外気空調方式となっている。しかし、新橋駅の還気を取り込む空調機は2010年より節電の取組みの一環として還気を取り込む空調機を停止しているため、現在はすべて図8 (a) の空調方式となっている。

6.2 温熱環境の計測

ホーム冷房の制御に用いている温度計とは別に湿度を計測するため、各駅の地下ホームの1箇所に、別途温湿度ロガーを取り付け計測した。

ホーム上の温熱環境の計測は、通常モードと改善モードに分けて以下c)、d) の期間に行った。

c) 冷房期：2010年8月23日～8月29日

d) 中間期：2010年11月15日～11月23日

既存の冷房制御はホーム温度を検知して行われており、冷房期のホーム温度は各駅ともに、ほぼ28℃に保たれていることが確認できた。

湿度測定の結果を中間駅と、終端駅に分けて図9、10に示す。尚、本文における中間駅とは、短時間列車が停車する駅を指し、新橋駅、新日本橋駅、馬喰町駅が該当する。一方、終端駅は長時間列車が滞留する駅を指し、京葉線東京駅が該当する。縦軸にはホームの絶対湿度、横軸には外気の絶対湿度を示している。グラフ中の斜め点線は外気と

ホームの湿度が同値であることを表し、縦の一点鎖線は設計条件の外気湿度のピークを、横の二点鎖線は設計条件のホーム湿度を示している。

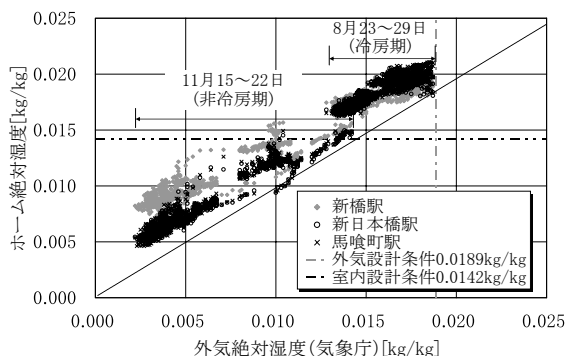


図9 ホームと外気の絶対湿度の相関（中間駅）

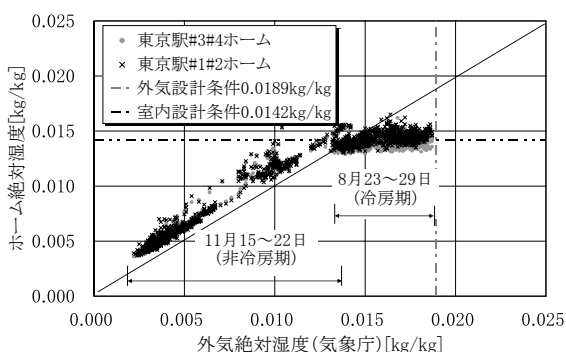


図10 ホームと外気の絶対湿度の相関（終端駅）

図9、10より、中間駅における湿度は外気湿度に比べ常に高く、終端駅における湿度は、非冷房期間は外気湿度よりも若干高いが、冷房期は設計絶対湿度に保たれていることがわかった。

6.3 冷凍機の生産熱量

冷凍機のプロダクション熱量は、既存の監視システムに収集保存されているデータを活用した。図11に冷凍機の設備容量と測定期間中最も外気温度が高かった日（2011年8月9日）のピーク負荷を示す。

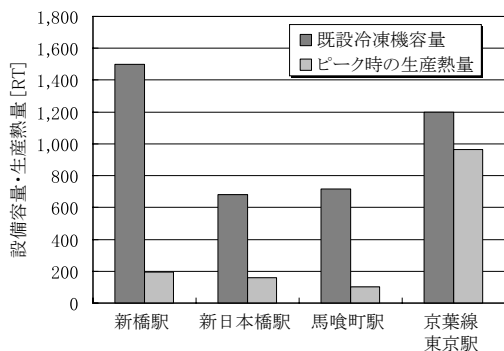


図11 冷凍機設備容量と生産熱量

総武快速横須賀線の各駅は現状の設備容量に対し、ピーク時の生産熱量は非常に少なく、冷凍機は低負荷で運転していることがわかった。

7. 考察

中間駅は湿度が高く、冷凍機の設備容量に対し生産熱量が少ない要因として、トンネル湧水の蒸発により潜熱が多く、顕熱比が低いことが考えられる。一方で、終端駅は長時間列車が滞留するため列車冷房の室外機からの顕熱が多く顕熱比が中間駅より高いと考えられる。

既存の冷凍機は、顕熱は処理できるが、潜熱は十分に処理できない。したがって、顕熱比の低い中間駅は冷凍機のプロダクション熱量が設備容量に対し小さく、終端駅は設備容量に対し高い負荷率で運転できている（図12）。

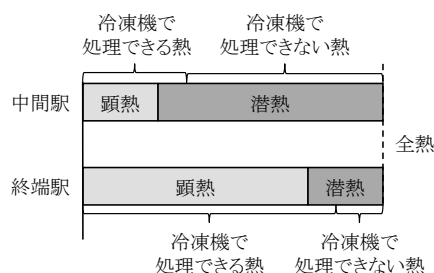


図12 中間駅と終端駅の熱の概念

S.E.S.を応用したシミュレーターを用いて負荷を解析した結果、図11と同様に計測したピーク負荷との乖離が確認された。現在のシミュレーターでは、潜熱の条件を精度よく解析できていないためと考えられる。

8. おわりに

総武快速線東京駅では空調方式の見直しによって省エネルギー化が図られることが実証できたため、2011年から節電の取組みとして一部空調設備の運用方法を変更している。また、熱源の機器更新に合わせて空調機の改修も計画している。

中間駅は潜熱の割合が高く、既存の冷凍機では潜熱を処理できないため、ホームの温熱環境を改善するためには新たな空調システムを検討、開発が必要である。

現在のS.E.S.を応用したシミュレーションでは潜熱の条件を精度よく解析できていないため、熱解析方法を見直し、機器更新時の設計方法に反映することが必要と考えている。