

## 鉄道施設における空調設備の設計計算

Design method of air conditioner for the railway buildings



田辺 隆男\*



伊与部 宗吾\*



山口 剛\*\*

The power of air conditioner is decided by calculating the quantity of heating or cooling load. The heat-pump air conditioners have optimum conditions for energy efficient, so for saving energy of air conditioners it's important to choose optimum power. For choosing optimum power of air conditioners it's necessary to calculate the loads with accuracy, so we can have high efficient operation of air conditioners. On the other side, there are general design methods of calculating the loads about general buildings. However, the methods can't fit some special loads in railway buildings, such as bender of tickets, train wind load, train heat emission and so on. This paper introduces the special loads in railway buildings.

●キーワード：空調設備、負荷計算、鉄道施設、駅トイレ、券売機室、地下駅ホーム

### 1. はじめに

空気調和（以下、空調）とは、室内の空気を清潔に保ち、快適な空間を提供することであり、空調設備とは主に換気装置、冷暖房装置の総称である。

ヒートポンプの原理を用いた冷暖房装置は、自動車の燃費と同じように、エネルギー効率が良くなる稼働条件がある。したがって、なるべくエネルギー効率が良い状態で稼働することが、省エネルギー化につながることになる。

ある空間を冷房する場合、基準となる熱エネルギーの状態（温湿度）に対して、空間の内部で発生する熱と空間の外から流入する熱を取除くことが冷却である。この取除くべき熱が「負荷」であり、冷房設備が熱を取除く力が「能力」である。「負荷」に対して「能力」が小さいと、いわゆる冷房の効きが悪い状態となり、逆に「負荷」に対して「能力」が過剰な場合、低いエネルギー効率となることが確認されている。<sup>1)</sup>つまり、現状の「負荷」を正確に把握し、最適な「能力」の冷暖房設備を選定することが、省エネルギー化につながるといえる。

本論文では、鉄道施設に固有な「負荷」計算の精度向上に向けて、実態調査した結果や設計上の計算方法について紹介する。なお、本論文に用いたデータは、環境技術研究所、建設工事部、工事事務所、支社及び現業機関、グループ会社の設計計画担当者でワーキンググループを組んで、調査及び検討を行った成果である。

### 2. 駅トイレ（イメージアップトイレ）

JR東日本では、サービス品質向上のため、乗車人員の多い駅トイレには「よりサービスレベルの高さが求められるイメージアップトイレ」として、パウダーコーナー、水石けん供給栓

の設置とともに、冷暖房装置を設置している。(図1) 以下、冷暖房装置を設置しているイメージアップトイレを、駅トイレと表記する。



図1 イメージアップトイレ（海浜幕張駅）

駅トイレは、非常に多くのお客さまが頻りに利用するため、臭気軽減を目的として換気量を大幅に増やしている。そのため、空調設備の負荷を計算し機器選定をする際は、換気する空気の温湿度が結果に大きく影響する。

#### 2.1 駅トイレの空調方式

駅トイレの空調方式には、室内空気を循環して冷暖房を行う循環冷暖房方式と、取り入れる空気を全て冷暖房するオールフレッシュ方式がある。(図2)

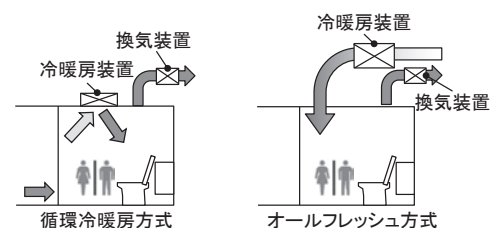


図2 駅トイレの空調方式

## 2.2 空調設備の稼動状況実態調査

外気の熱負荷の算定方法について検証を行うため、空調設備の稼動状況実態調査を行った。調査を行った対象箇所と期間を表1に示す。これらの対象箇所と期間で、駅トイレ内外の温湿度データと冷暖房装置の消費電力データを収集した。収集した消費電力は、定格COP(空調機の成績係数)を掛けることで、実際に処理した熱量を推定した。

表1 稼動状況調査の対象箇所と期間

駅名	空調方式	冷暖房能力 (冷房、暖房)	対象期間
東京駅	循環	20.0kW、22.4kW	2013年8月9日 ～ 9月13日
御徒町駅	循環	14.0kW、16.0kW	
日暮里駅	オールフレッシュ	14.0kW、16.0kW	

実態調査を行った結果、オールフレッシュ方式が外気を直接冷却するのに比べ、循環冷房方式ではコンコースの空気を換気として取り入れる割合が多く、その気温と湿度は外気に比べ低いことがわかった。このため、負荷計算を行う際は取り入れる空気の温湿度と空調方式を考慮し、顕熱負荷と潜熱負荷の和に、実測値より求めた外気負荷緩和係数を乗じて計算することとした。(式(1))

$$q_o = r (q_{os} + q_{ol}) \dots (1)$$

$q_o$  : 外気取入負荷[W]

$q_{os}$  : 顕熱負荷[W]

$q_{ol}$  : 潜熱負荷[W]

$r$  : 外気負荷緩和係数(=0.8、1)

従来の負荷計算結果と、外気負荷緩和係数を用いた負荷計算結果、および実際に処理した熱量の関係を図3に示す。外気負荷緩和係数( $r=0.8$ )を導入したことにより、負荷計算結果が実測結果のピーク値とほぼ一致していることがわかる。

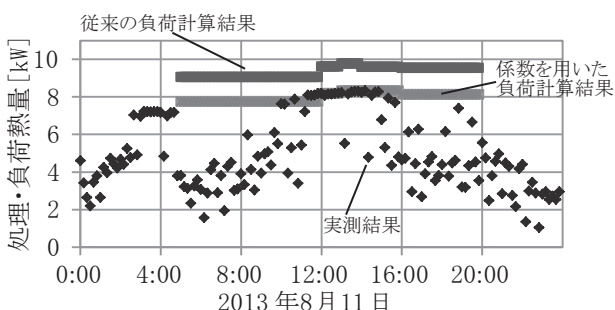


図3 負荷計算と実際の処理熱量の関係

## 2.3 駅トイレの在室人数

駅トイレの室内負荷は、主に使用する人の発熱によるものである。一般的な居室では室内で作業する人数があらかじめ決まっており、この負荷を計算することは容易である。一方で、駅トイレの在室人数はこれまで設計者が推定して決めていたため、統一した考え方がなかった。そこで、駅トイレの実態調査により在室人数の考え方を決めることとした。

調査を行った対象箇所と期間は、表1の駅と期間内の数日であり、駅トイレへの進入者と退出者を10分ごとに記録した。2013年8月20日に実施した東京駅での調査結果を一例として図4に示す。

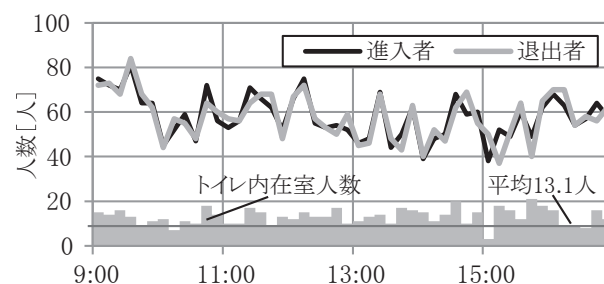


図4 駅トイレ在室人数調査結果

この調査結果を基に使用中の平均人数を求め、設備数より計算した使用率を表2にまとめる。表2の所要設備数とは、社内基準である「駅トイレ整備マニュアル」に基づき乗降人員から計算した設備数のことである。駅スペースの制約や他のトイレとのバランスにより所要設備数と現状設備数は一致しないことがある。

表2 駅トイレの使用中平均人数と使用率

駅名	現状設備数	所要設備数	使用中 平均人数	使用率[%]
			東京駅	14
御徒町駅	15	9	6.0	40.0 66.7
	日暮里駅	9		11

表2より、駅トイレの使用率は所要設備数の約70%であることがわかった。

この結果と設備ごとに占める面積から1m<sup>2</sup>あたりの在室人数を計算した結果、目安は0.35[人/m<sup>2</sup>]として定義した。外気取入負荷と在室人数以外の負荷の考え方は一般的な居室と同様である。

### 3. 券売機室

券売機室は、券売機や精算機を密集して設置している部屋であり、機器発熱により室内温度が高くなるため冷暖房装置を設置している。(図5)



図5 券売機室の例(左:外観、右:券売機室内)

#### 3.1 券売機の消費電力調査

券売機からの放熱量は、消費電力に比例する。カタログに記載されている消費電力は、電源容量を計算するために安全率を考慮した値である。また消費電力は、お客さまが切符などを購入している時(稼働時)と、お客さまの操作を券売機が待っている時(待機時)で異なる。

調査対象機器と操作内容を表3に、多機能券売機の消費電力測定結果を図6に示す。図6より、操作内容に関わらず稼働時は400W弱、待機時は300W弱であることがわかった。これはカタログの消費電力に比べ20~250W程度低い。

表3 調査対象機器と操作内容

対象機器	調査対象操作
券売機 多機能券売機	機器立上げ、立下げ、Suicaチャージ、Suica履歴印字、切符購入
精算機	機器立上げ、立下げ、Suica精算、現金精算

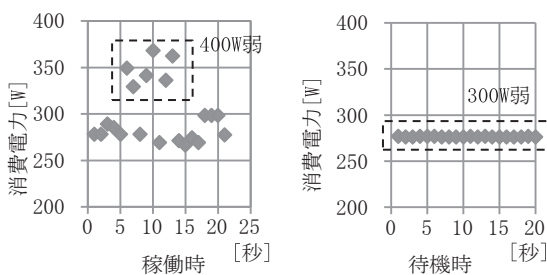


図6 多機能券売機の消費電力測定結果

#### 3.2 券売機の同時稼働率調査

券売機の稼働時と待機時では、消費電力が異なることから、負荷を計算するためには、お客さまが操作する時間を加味する必要がある。複数台ある券売機が同時に稼働する時間の割合を同時稼働率と定義する。

同時稼働率を調査するために、券売機の操作履歴データを用いた。駅の規模に応じて結果が異なることが予想されたため、乗降人員で3つに分類した6駅を調査対象とした。(表4)

表4 調査対象駅

駅規模(乗降人員)	対象駅(改札口)
大規模(10万人/日以上)	新宿駅東南口、有楽町駅銀座口
中規模(2万~10万人/日)	阿佐ヶ谷駅、小田原駅、田端駅
小規模(2万人/日以下)	布佐駅

券売機の同時稼働率の調査結果の一例を図7に示す。大規模駅と中規模駅では同時稼働率が60%弱であり、小規模駅では30%弱であった。この調査結果から、券売機の同時稼働率を大・中規模駅では60%、小規模駅では30%と定義した。

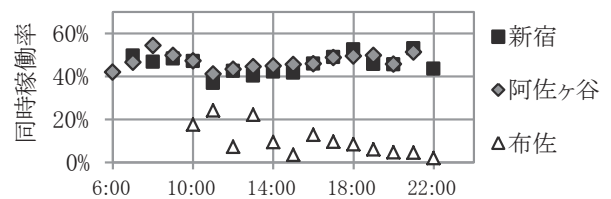


図7 券売機の同時稼働率

#### 3.3 券売機の負荷計算

券売機の消費電力と同時稼働率を用いて、券売機の熱負荷 $Q_M$ の計算式を式(2)に示す。消費電力と同時稼働率は調査結果よりも多めに見込んでいるため、安全率を含んでいる。

$$Q_M = (\varepsilon \times R + (1 - \varepsilon) \times S) \times N \cdots (2)$$

$N$  : 設置台数[台]

$S$  : 待機中の消費電力[W]

$R$  : 稼働時の消費電力[W]

$\varepsilon$  : 同時稼働率

### 4. 地下駅ホーム

地下駅ホームは、列車の放熱などにより夏期に気温が高くなるため冷房装置を設置している。(図8)



図8 地下駅ホーム(仙石線 仙台駅)



## 4.1 地下駅ホームの負荷内訳

地下駅ホームの負荷関連図を図9に、ホーム部負荷 $q$ を式(3)に示す。<sup>2)</sup>

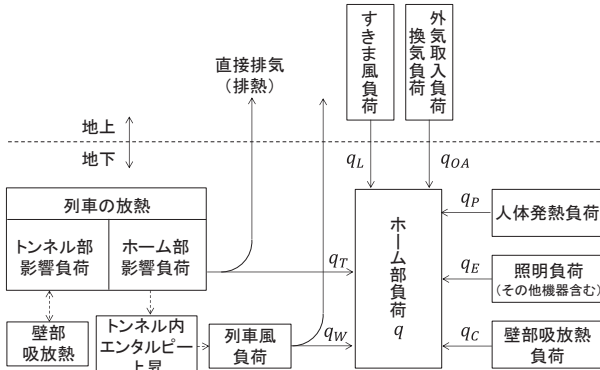


図9 地下駅の負荷関連図

$$q = q_C + q_W + q_T + q_L + q_P + q_E + q_{OA} \dots (3)$$

- $q_C$  : 壁部吸放熱負荷[W]
- $q_W$  : 列車風負荷[W]
- $q_T$  : 列車放熱負荷(冷房装置の放熱を含む)[W]
- $q_L$  : すきま風負荷[W]
- $q_P$  : 人体発熱負荷[W]
- $q_E$  : 照明負荷(その他機器を含む)[W]
- $q_{OA}$  : 外気取入負荷[W]

負荷の中で、一般的な建物と異なるのは、列車風負荷 $q_W$ と列車放熱負荷 $q_T$ である。

## 4.2 列車風負荷

列車風負荷は、トンネル形状や列車速度などの条件によって風量が異なる。また、列車風の温湿度は、トンネルの深さや壁の温度などの環境によって異なる。そのため、既存の地下駅ホームの空調設備を設計する際は、風量や温湿度を実測することが、負荷計算の精度向上につながる。

表5は、列車風とトンネル内温湿度の計測値である。ただし、列車風は直接測定することができないので、プラットホーム端で計測した値である。

表5 列車風とトンネル内温湿度の計測値

	総武快速線		仙石線 宮城野原駅	埼京線 大宮駅
	新日本橋駅	新橋駅		
列車風 [m <sup>3</sup> /列車]	16,000	20,000	8,000	8,000
トンネル温度[℃]	28.8	25.8	26.5	27.2
トンネル湿度 [kg/kgDA]	0.0167	0.0176	0.0162	0.0143
駅構造	1面2線*		2面4線	

\*トンネル形状は総武快速線と仙石線で異なる  
(環境技術研究所の調査結果)

表5より列車風の風量や温湿度は駅によって大きく異なることがわかる。実際に負荷計算をする場合は、計測値に1時間当たりの列車本数とプラットホーム部への影響係数などを乗じて、列車風を求める。プラットホーム部への影響係数は列車風がホーム部に与える影響の割合である。列車風はプラットホーム部や線路部、開口部を通じて抜けていく。(図10) そのためプラットホーム部影響係数は、トンネル形状や開口部の位置など様々な要因が複雑に影響するため一律に決めることは非常に困難である。

プラットホーム部影響係数の精度を向上するために、数値流体解析を活用する方法の研究が行われている。<sup>3)</sup>

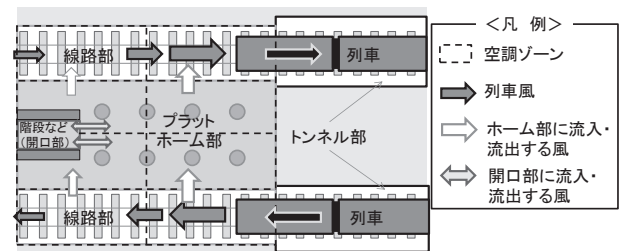


図10 列車風の流れイメージ

## 4.3 列車放熱負荷

列車はブレーキ力の一部を熱に変換するため、台車からの放熱がある。また、列車の屋根上には車内冷房の室外機が搭載してあり放熱している。つまり、列車は動く放熱体であるため、駅に停車している間がホーム部への負荷となる。既存駅では列車風負荷と同様に、計測値を採用することが望ましい。

ただし、新築駅などで実測が困難な場合には、列車に搭載される冷房の能力やブレーキ回生率などから計算する方法がある。<sup>4)</sup>

## 5. おわりに

今回調査した鉄道固有施設の負荷は、社内資料である「空調設計計算の手引き」として編纂し、社内の設計業務で活用をしている。また、手引きの背景となった調査データや設計事例を「空調設計計算の手引き<技術資料編>」としてまとめ、設計技術の向上に寄与するものとして活用している。今後も社内の設計技術を高め、省エネルギー化に貢献していく。

### 参考文献

- 1) 公益社団法人 空気調和・衛生工学会;ビル用マルチパッケージ型空調システム -計画・設計から性能評価まで-127~129,2014
- 2) 空気調和衛生工学便覧(第11版)(II-759)
- 3) 木村ほか5名;既存地下駅における設計最大冷房負荷推定に関する研究,空気調和・衛生工学会大会(長野),2013.9
- 4) 空気調和衛生工学便覧(第14版)(III-469)