

## 6章 JR 前橋駅での検証

### 6.1 概要

#### 6.1.1 場所の概要

実施場所は半屋外環境である JR 前橋駅である。群馬県前橋市は夏季に高温化する全国でも有数の地域として知られており、暑熱対策技術の導入効果を評価するうえで適していると考えられる。駅周辺地域には企業や学校が立地しており、主に通勤・通学の用途で利用されている。1日の平均乗車人員は約1万人である<sup>67</sup>。



図 6.1 実施場所位置図 (JR 前橋駅)



図 6.2 実施場所の周辺状況写真 (JR 前橋駅)

<sup>67</sup> 参考 URL : [http://www.jreast.co.jp/passenger/2014\\_02.html](http://www.jreast.co.jp/passenger/2014_02.html)(2017/03 閲覧)

JR 前橋駅は、群馬県を中心都市である高崎駅の北東に位置する JR 東日本の両毛線の駅で、東西方向の線路に沿った横長の平面形状の駅舎である。駅の北側には群馬県庁、前橋市役所が立地している。駅構内は南北を結ぶ改札外通路と、改札外からホームに向かう東西方向の通路からなる。東西方向の通路は、ホームへの階段、エスカレータ以外に開口部を有していない。

本事業では、駅コンコースに暑熱対策を実施し、夏季においても快適な環境を創出することで、空調の設置を回避し CO<sub>2</sub> 排出量増加を抑制する手法を検討する。

### 6.1.2 実施体制

検証事業は、以下の体制で実施した。なお、業務の一部を再委任することにより効率的に実施し、さらに大学等の研究機関から適切な助言等を得つつ有効な事業の実施に努めた。

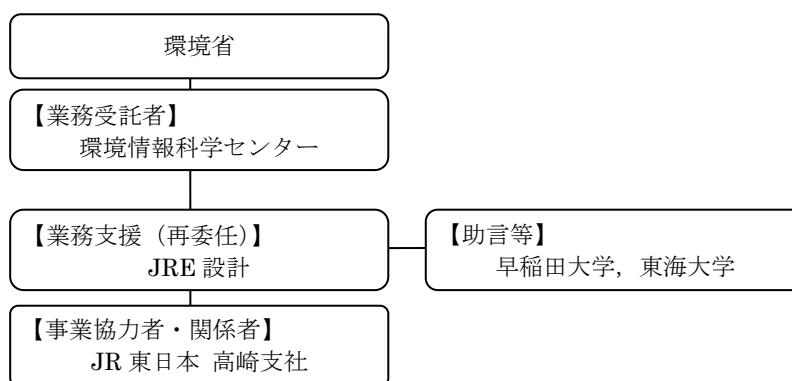


図 6.3 実施体制

### 6.1.3 実施スケジュール

2か年の実施スケジュールを表 6.1 に示す。

平成 27 年度に実施した現況把握にもとづいて、効果的な暑熱対策技術を選定し、平成 28 年度に暑熱対策技術の効果把握を行った。

表 6.1 暑熱対策施設の運用・効果測定スケジュール

|        |                               | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |
|--------|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|
| H27 年度 | 想定 CO <sub>2</sub> 削減メカニズムの検討 |    |    | ■  |    |    |    |     |     |     |    |    |    |
|        | 導入する暑熱対策技術の検討                 |    |    |    | ■  |    |    |     |     |     |    |    |    |
|        | 熱環境長期測定（現況把握）                 |    |    |    |    |    | ■  |     |     |     |    |    |    |
|        | 熱環境集中測定（現況把握）                 |    |    |    |    |    | ■  |     |     |     |    |    |    |
|        | 現況把握データの検討                    |    |    |    |    |    |    |     | ■   |     |    |    |    |
|        | H27 年度成果のとりまとめ                |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    | ■  |    |
| H28 年度 | 暑熱対策技術の試運転、測定準備               |    |    | ■  |    |    |    |     |     |     |    |    |    |
|        | 熱環境長期測定（効果把握）                 |    |    |    | ■  |    |    |     |     |     |    |    |    |
|        | 熱環境集中測定（効果把握）                 |    |    |    |    | ■  | ■  |     |     |     |    |    |    |
|        | 検証結果の検討                       |    |    |    |    |    |    |     | ■   |     |    |    |    |
|        | 2年間の成果のとりまとめ                  |    |    |    |    |    |    |     |     |     | ■  |    |    |

## 6.2 現況把握と技術の選定・導入

### 6.2.1 熱環境測定の実施

#### 1) 実施概要

熱環境調査は、一般の旅客が利用する JR 前橋駅コンコース（改札外通路、および改札内通路）を対象とし、駅職員が利用する駅事務室等は調査の対象外とした。なお、平成 27 年度夏季に対象地における温熱環境の経時的な変化を捉えることを目的とした長期測定と、利用者近傍である居住域の温熱環境の詳細を捉えることを目的とした集中測定を実施した。

測定により把握した内容を以下に示す。

- ・ 構内は直達日射の影響がないため、屋外に比べ緩やかな温度変化を示した。
- ・ 夕方以降、構内に熱が滞留していた。
- ・ 対策導入場所の SET\*は高くても 28℃程度、WBGT も 22～23℃（曇天日）に留まった。
- ・ 構内風速は 0.2～0.4 m/s 程度（屋外風速 0.6～1.0 m/s）であった。
- ・ 利用形態としては、電車の発着にあわせて利用者の通過が発生していた。

#### ①長期測定

2015 年 8 月 6 日に測定器の設置、2015 年 10 月 23 日に測定器の撤去作業を行った。なお、2015 年 8 月中旬以降の夏季の気候が著しく冷涼であったため、分析対象データは測定期間前半の晴天日が比較的連続した 2015 年 8 月 6 日から 2015 年 8 月 11 日の 6 日間とした。

表 6.2 に長期測定の測定項目を示す。

表 6.2 長期測定の測定項目一覧（JR 前橋駅）

| 測定場所          | 測定間隔 | 測定項目          |
|---------------|------|---------------|
| 高崎車両センター 屋上   | 10 分 | 日射量、温湿度、風向・風速 |
| 前橋工科大学 学内（屋外） | 10 分 | 日射量、温湿度       |
| JR 前橋駅 構内     | 1 分  | 温湿度           |

次に、図 6.4 に JR 前橋駅構内の長期測定点を示す。測定点は、改札外コンコースに 10 点、改札内コンコースに 6 点、屋外測定点としてホームに 1 点、北側駅前広場の上家下部に 1 点の計 18 点を設けた。

なお、長期測定の測定器設置箇所は、一般の利用者の流動を阻害しないよう、案内サインの吊元、および、天井部分に既設されていた掲示物用の吊金物に固定し、測定高さは床上約 3.0m となっている。

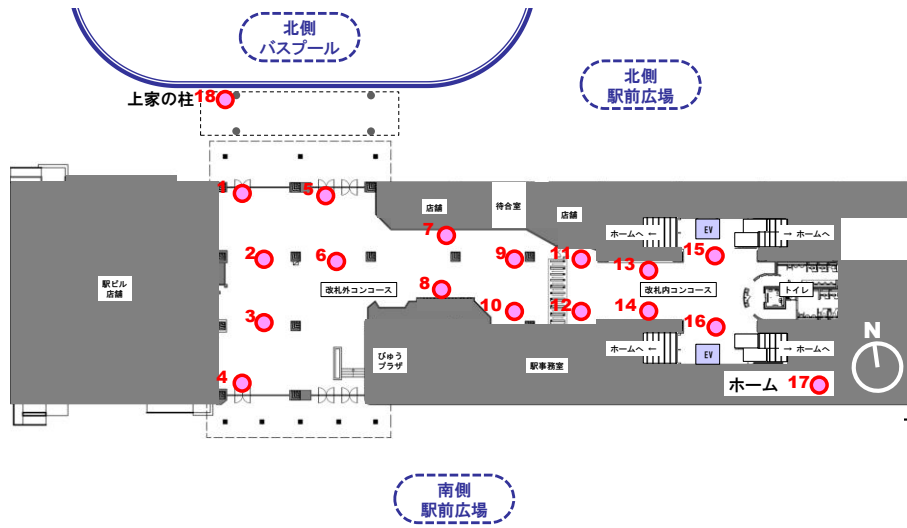


図 6.4 JR 前橋駅構内の温湿度測定点

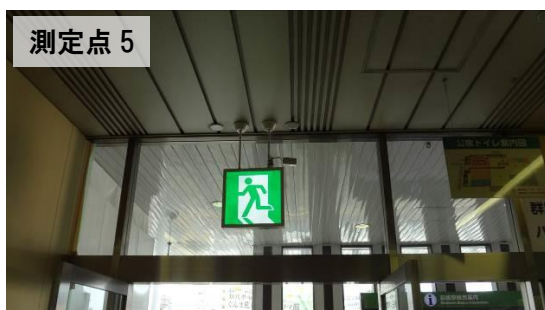
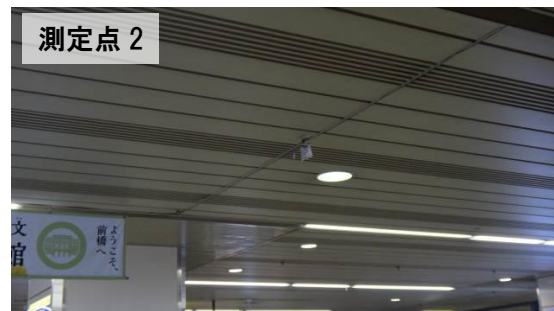


図 6.5 各測定点の機器設置状況①

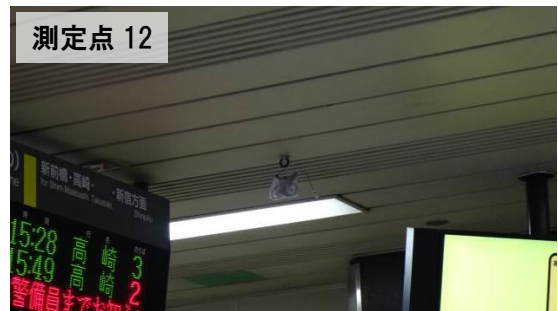


図 6.6 各測定点の機器設置状況②



図 6.7 各測定点の機器設置状況③

## ②集中測定

集中測定では、長期測定では把握が困難な居住域高さにおける温湿度や、長期測定では実施していない温熱環境特性を把握するために実施した。図 6.8 に集中測定における JR 前橋駅構内の測定点を示す。

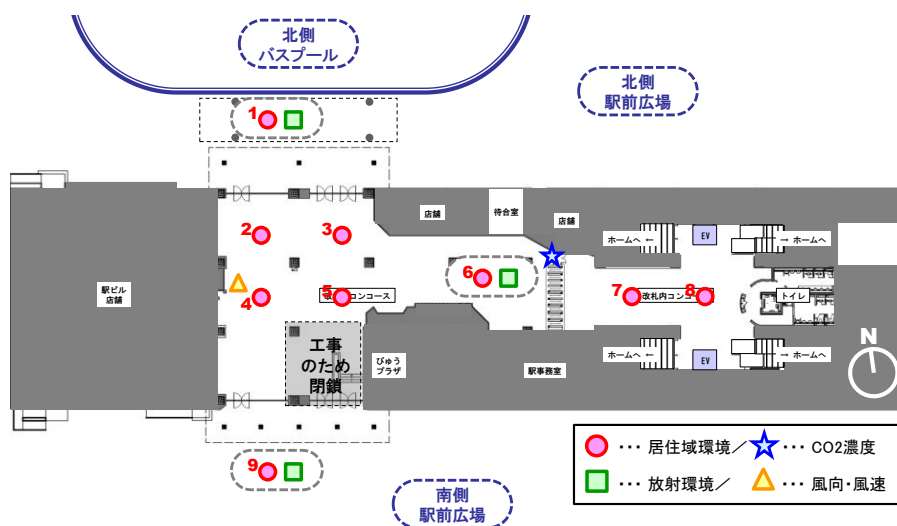


図 6.8 JR 前橋駅構内における集中測定の測定点

表 6.3 集中測定の測定項目一覧 (JR 前橋駅)

| 測定項目               | 使用機器                      | 測定間隔等  |
|--------------------|---------------------------|--|
| 居住域環境              | 温湿度計                      | 1 分間隔 3 分間の測定値の平均を測定値とした                               |
|                    | 黒球温度計 (黒色・ピンク色) : (φ40mm) | 黒球温度は 3 分間静置後の値を測定値とした                                 |
|                    | 熱線式風速計                    | 1 秒間隔の 180 サンプルの平均を測定値とした                              |
| 放射環境               | 長短波放射収支計<br>構内熱画像         | 上下、前後、左右の 6 面を捉えた 3 軸方向それぞれで 10 秒間隔 4 分間静置後の定常値を測定値とした |
| 構内風向・風速            | 超音波風向・風速計                 | 10 秒間隔   |
| CO <sub>2</sub> 濃度 | CO <sub>2</sub> 濃度計       | 10 分間隔   |

集中測定は、8月23日(日)、8月24日(月)、8月28日(金)、8月29日(土)の延べ4日間実施し、10:00~17:00(8月29日のみ10:00~13:00)の1時間毎に各測定項目について計測を行った。表6.3に集中測定の各測定項目の詳細を示す。いずれも測定高さ1.1mとして計測を実施した。



図 6.9 集中測定の実施状況

### ③利用者ヒアリング・施設利用状況調査

集中測定の際に利用者ヒアリング、および施設利用状況調査(利用目的、到着後経過時間、滞在予定時間)を行った。表6.4に設問項目の一覧を示す。

表 6.4 利用者ヒアリング・施設利用状況調査の設問内容

| ◆ 回答者属性   |                              |          |             |           |          |
|-----------|------------------------------|----------|-------------|-----------|----------|
| 性別        | 性別をお聞かせ下さい                   |          |             |           |          |
|           | 男性                           | 女性       | —           | —         | —        |
| 年齢        | 年齢をお聞かせ下さい                   |          |             |           |          |
|           | 10歳代                         | 20歳代     | 30歳代        | —         | —        |
|           | 40歳代                         | 50歳代     | 60歳以上       | —         | —        |
| 職業        | 職業をお聞かせ下さい                   |          |             |           |          |
|           | 会社員/自営業等                     | 主婦       | 学生          | パート/アルバイト | その他      |
| ◆ 施設利用状況  |                              |          |             |           |          |
| 利用目的      | 前橋駅を日頃どのような目的で利用されますか        |          |             |           |          |
|           | 通学/通勤                        | 遊び/旅行    | 駅での買い物      | 待ち合わせ     | その他      |
| 利用頻度      | 前橋駅を日頃どの程度の頻度で利用していますか       |          |             |           |          |
|           | ほぼ毎日                         | 週に数回     | 月に数回        | ほとんど利用しない | —        |
| 滞在時間      | この場所についてからの程度の時間が経過していますか    |          |             |           |          |
|           | 5分未満                         | 10分程度    | 20分程度       | 30分以上     | —        |
| ◆ 熱的快適性評価 |                              |          |             |           |          |
| 温冷感       | いま、この場所での暑さ・寒さの程度はどうか        |          |             |           |          |
|           | 暑い                           | 暖かい      | やや暖かい       | どちらでもない   | —        |
|           | やや涼しい                        | 涼しい      | 寒い          | —         | —        |
| 適温感       | いま、この場所での暑さ・寒さがどうあれば良いと思いますか |          |             |           |          |
|           | 今よりも涼しい方が良い                  | このままで良い  | 今よりも暖かい方が良い | —         | —        |
| 気流感       | いま、この場所での風を感じますか             |          |             |           |          |
|           | はい                           | いいえ      | —           | —         | —        |
| 適気流感      | いま、この場所での風がどうあれば良いですか        |          |             |           |          |
|           | 今よりも強い方が良い                   | このままで良い  | 今よりも弱い方が良い  | —         | —        |
| 熱的快不快感    | いま、この場所での快適さ・不快さの程度はどうか      |          |             |           |          |
|           | 非常に快適                        | 快適       | やや快適        | どちらでもない   | —        |
|           | やや不快                         | 不快       | 非常に不快       | —         | —        |
| 熱的受容度     | いま、この場所での暑さ・寒さを受け入れられますか     |          |             |           |          |
|           | 受け入れられる                      | 受け入れられない | —           | —         | —        |
| 乾湿感       | いま、この場所での湿度をどう感じますか          |          |             |           |          |
|           | 非常に湿っている                     | 湿っている    | どちらでもない     | 乾いている     | 非常に乾いている |
| 適乾湿感      | いま、この場所での湿度がどうあればよいと思いますか    |          |             |           |          |
|           | 今より高い方が良い                    | このままで良い  | 今より低い方が良い   | —         | —        |

## 2) 測定結果

### ①長期測定

晴天代表日 8月 10 日における気温の経時変化傾向を図 6.10、気温の平面分布を図 6.11 に示す。なお、凡例に示す各系列は各測定点番号と対応している。(例：測定点 1 の気温の系列名は TA01)。また、測定結果の測定点 14 については、センサ不良のため気温、相対湿度ともに欠測していた。

1:00~5:00 の夜間にコンコースの南北の出入り口を閉鎖しており、同時間帯において改札外コンコースの気温が顕著に高くなっていることがわかる。また、改札外コンコースの開口部付近の測定点である TA01 と TA04 では、屋外の高温の空気が流入するため、他の測定点に比べて気温が高くなる傾向がみられた。一方、TA05、TA06、TA07、TA08 では、開口部が開放された直後、他の測定点比べて気温の値が低くなる傾向がみられ、屋外の冷えた空気による影響が通路の奥に及ぶことが窺える。また、改札内コンコースの測定点である TA13 では、構内に設置した測定点の中で最も高い気温となることわかった。

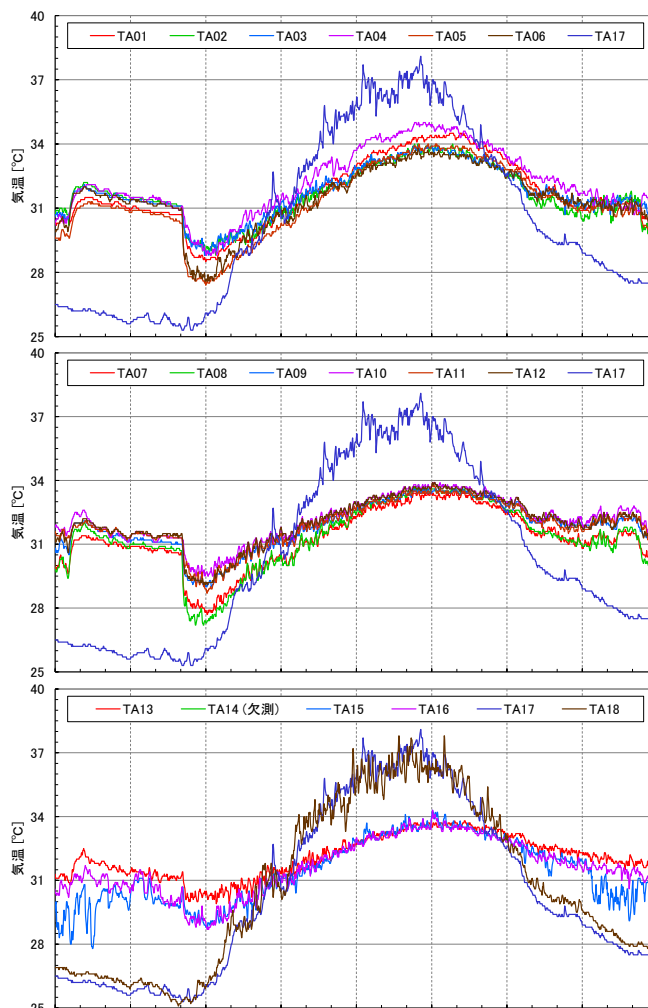


図 6.10 JR 前橋駅構内における気温の経時変化 (晴天代表日・8月 10 日)



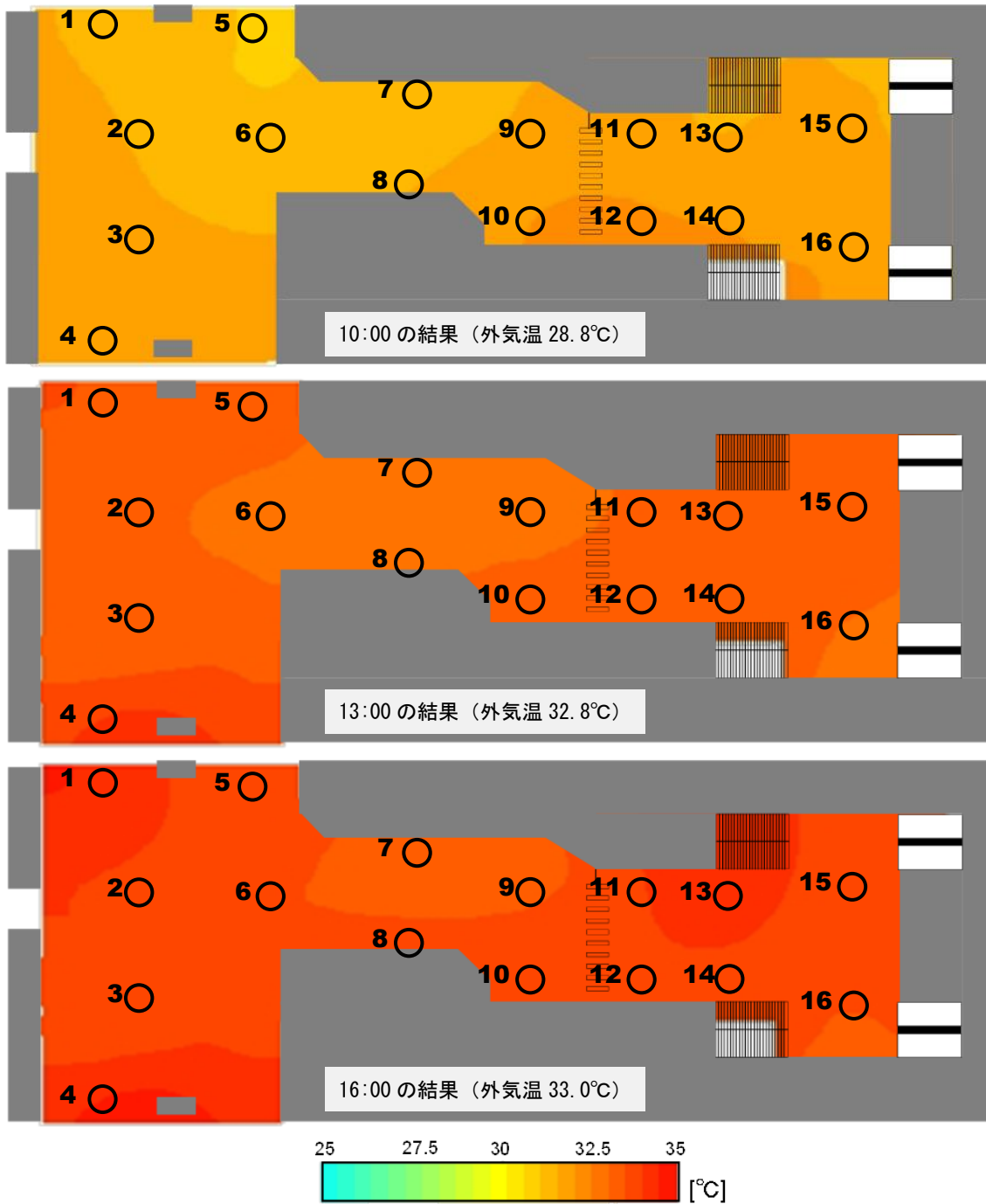


図 6.11 JR 前橋駅構内における気温の平面分布 (晴天代表日・8月10日)

構内における気温の平面分布の結果からも、改札内通路には通路の突きあたり部分に階段、エスカレータが設置され、屋外空間と接しているが、それ以外には有効な開口部が無いことにより、改札外通路から改札内通路にかけてのコンコース部分が、最も熱が滞留しやすい空間となっている可能性が示唆された。

## ②集中測定

表 6.5 に集中測定を実施した8月23日(日)、8月24日(月)、8月28日(金)、8月29日

(土)の4日間の天候を示す。いずれの日も曇天日であり、8月24日のみ一時晴、それ以外は、一時雨であった。また、集中測定の際に実施した利用者ヒアリングでは4日間で延べ56件の回答が得られた。JR前橋駅の利用形態として、発着する電車にあわせて利用者が往来し、構内にはほとんど滞在することなく通過するという傾向であった。

表 6.5 集中測定の実施各日における天候（気象庁・過去の気象データ<sup>68</sup>より）

|                | 昼 (6:00~18:00) |
|----------------|----------------|
| 2015年8月23日 (日) | 曇、一時雨          |
| 2015年8月24日 (月) | 曇、のち一時晴        |
| 2015年8月28日 (金) | 曇、のち一時雨        |
| 2015年8月29日 (土) | 雨、のち曇          |

次に、構内風向・風速の測定結果を図 6.12、居住域環境の熱線式風速計による風速測定結果の平均値を図 6.13 に示す。

集中測定各日ごとの構内の風向・風速測定結果をみると、いずれの日も風速は 0.3~0.5 m/s 程度、風向は南方向であった。南北に開口部がある改札外コンコースでは夏季の卓越風向である南側から外気が流入し、北側開口部に流れていることが確認できた。

つづいて、各時間帯に計測を行った集中測定による結果をみると、屋外の測定点が 0.6~1.0 m/s 程度の風速が得られているのに対して、いずれの測定点も 0.2~0.4 m/s 程度と非常に低い値となっていた。

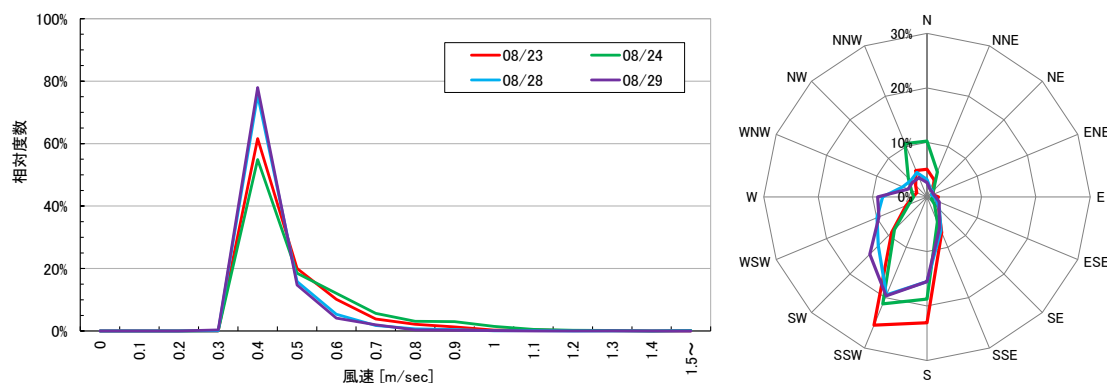


図 6.12 構内の風向・風速測定結果（集中測定）

<sup>68</sup> <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>(2017/03 閲覧)

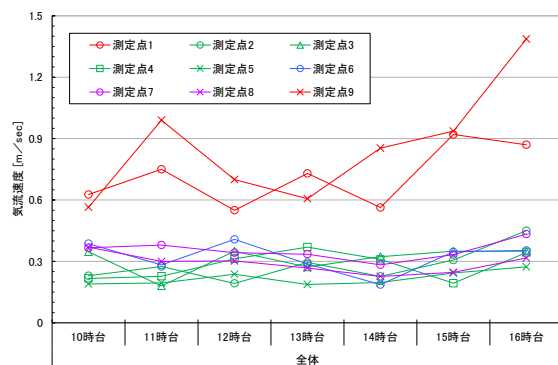


図 6.13 集中測定における風速測定結果（集中測定）

集中測定による気温、および、黒球温度測定結果を図 6.14 に、また 8 月 23 日の 14 時台における構内熱画像を図 6.15、図 6.16 に示す。これより、気温と黒球温度の傾向は概ね共通していることがわかった。また、構内熱画像をみると、グラフの傾向どおり均一な温度環境となっており、一部、内照式の案内サインや券売機などが高温となっていた。

以上より、JR 前橋駅構内の放射環境は、局所的な不快を引き起こす高温か所はみられず、全体的に概ね一様な放射環境であることが確認できた。

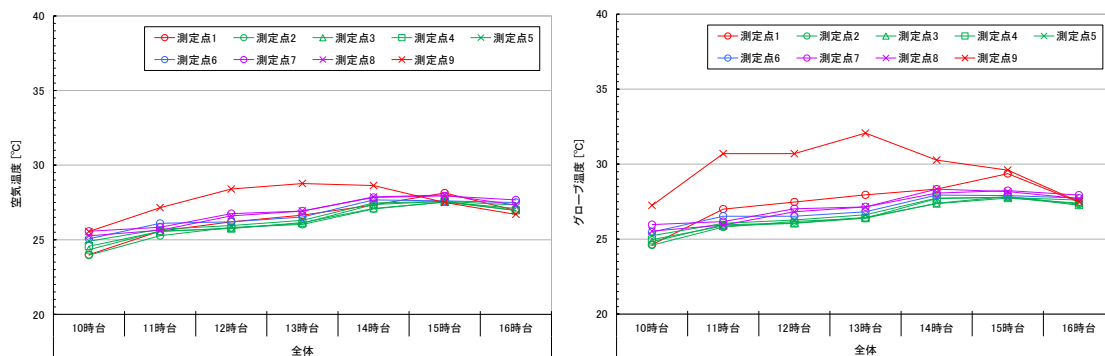


図 6.14 気温と黒球温度測定結果（集中測定）

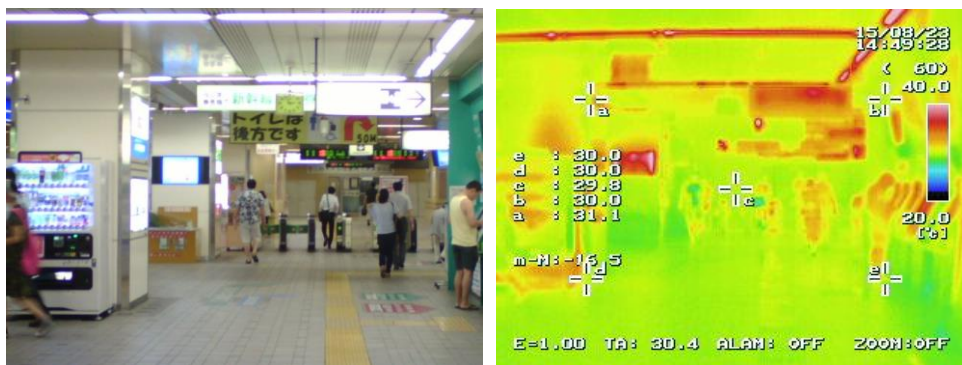


図 6.15 8 月 23 日 14 時台における構内熱画像（改札外コンコース）



図 6.16 8月23日14時台における構内熱画像（改札内コンコース）

次に、JR 前橋駅構内の熱環境について、熱環境の総合的な評価を行うために、集中測定の値を用いて、SET\*、および WBGT の値を求めた。SET\*の算出結果を図 6.17、WBGT の算出結果を図 6.18 に示す。

なお、SET\*の算出にあたっては、着衣量は夏季を想定した 0.5 clo、代謝量は歩行時を想定した 1.6 met と固定した値を用いた。

集中測定を実施日は、いずれも曇天であったため、前述したとおり構内の気温が低く、SET\*、WBGT ともにあまり上昇する傾向はみられなかった。また、既往研究<sup>69</sup>で利用者による構内温熱環境の受容上限のしきい値としている SET\*32℃を超える状況は出現しなかった。

SET\*の値が比較的高かった8月23日、および8月24日の結果をみると、構内の SET\*の値は概ね 29℃で推移しており、測定点ごとの違いをみるならば、改札内の測定点である測定点7、測定点8において若干値が高い傾向であった。これは、南北の開口部により通風が得られている改札外通路に比べて熱環境としては不利な状況にあるためと考えられる。

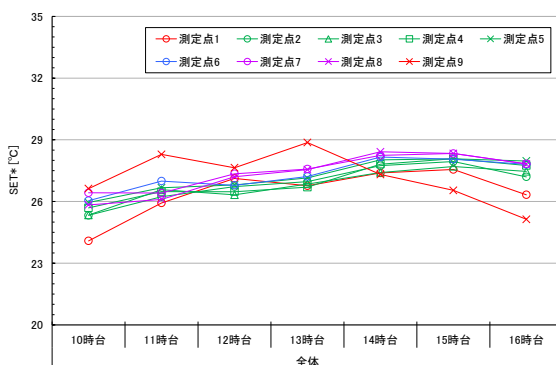


図 6.17 集中測定結果にもとづく SET\*算出結果

WBGT の結果では、屋外の測定点である測定点1と測定点9を除いた測定点では、日ごとに概ね一定の値で推移していた。WBGT の算出では温熱環境要素として気流速度が含まれない。

<sup>69</sup> 中野ほか:環境適応研究の半屋外温熱環境計画への展開 鉄道駅舎における熱的快適域と熱的受容域, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿)

気温、黒球温度は測定点ごとであり違いがみられていないため、このように類似した傾向を示したと考えられる。

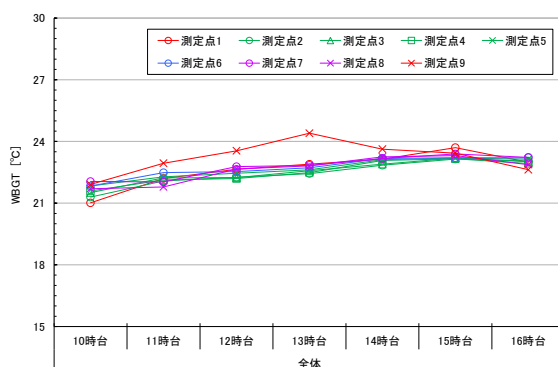


図 6.18 集中測定結果にもとづく WBGT 算出結果

集中測定時の SET\*、WBGT 結果はいずれも曇天日であったため、長期測定データを用いて夏季晴天時を想定した SET\*、WBGT を算出することとした。

夏季の晴天代表日である 8 月 10 日の長期測定による気温、相対湿度のデータを用い、平均放射温度は気温と同等、気流速度はより不利な環境を想定して 0.1 m/s とした。着衣量と代謝量はそれぞれ 0.5 clo、1.6 met とした。

WBGT では、長期測定において黒球温度を測定していないため、構内環境のみを計算対象とし、黒球温度の値は乾球温度と同等として算出を行った。

SET\*の算出結果を図 6.19、WBGT の算出結果を図 6.20 に示す。

SET\*の算出結果では、利用者の受容上限である SET\*32℃を超える状況が各測定点にみられた。特に、改札内コンコースの測定点である SET\*13 では、11:00 頃から SET\*32℃を超えており、その状況が深夜の 0:00 頃まで継続していた。

また、改札付近のエリアにおいても SET\*32℃を超える状況がみられ、この部分の熱環境が悪化しやすいことが示唆された。

一方、WBGT の算出結果では、構内の放射環境がそれほど悪化しているわけではなかったため、WBGT28℃を超えるような測定点はみられなかった。

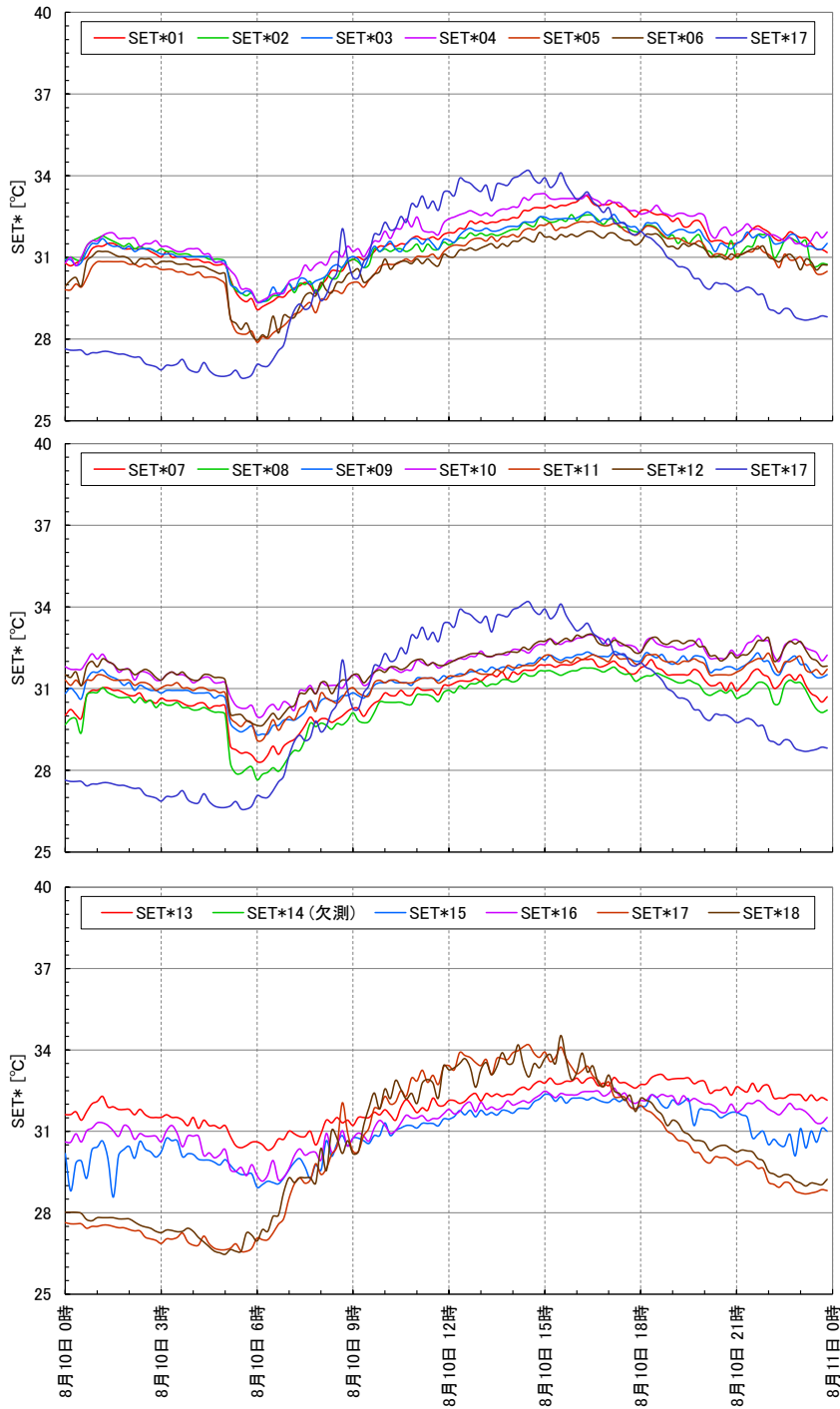


図 6.19 長期測定結果にもとづく SET\*算出結果 (晴天代表日・8月10日)

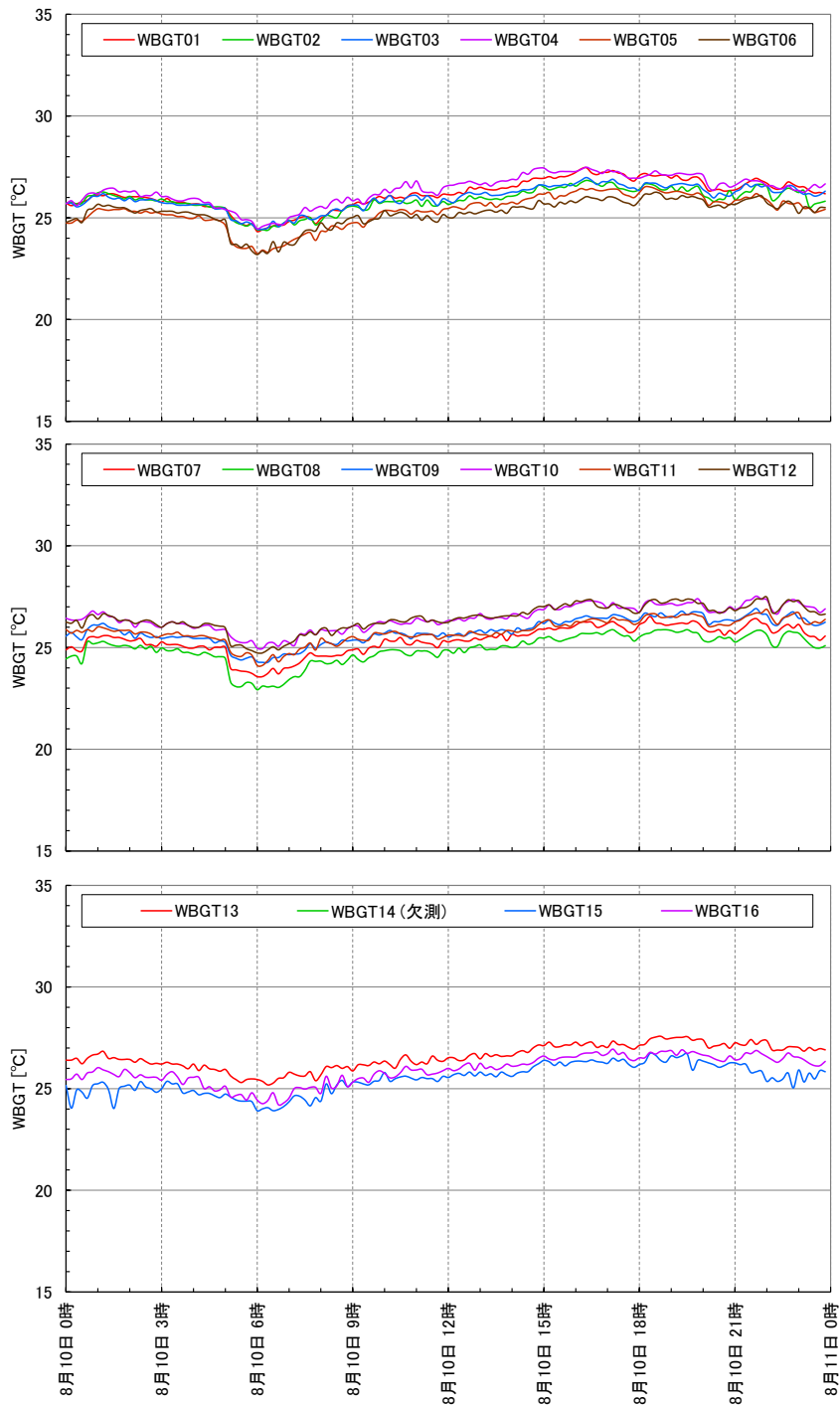


図 6.20 長期測定結果にもとづく WBGT 算出結果 (晴天代表日・8月10日)

最後に、集中測定の各日における改札付近での CO<sub>2</sub> 濃度測定結果を図 6.21 に示す。

いずれの日も駅構内の CO<sub>2</sub> 濃度は 500ppm 程度の値で安定して推移しており、CO<sub>2</sub> 濃度の変動も少ないことから、駅構内における空気の滞留は小さいものと推察される。

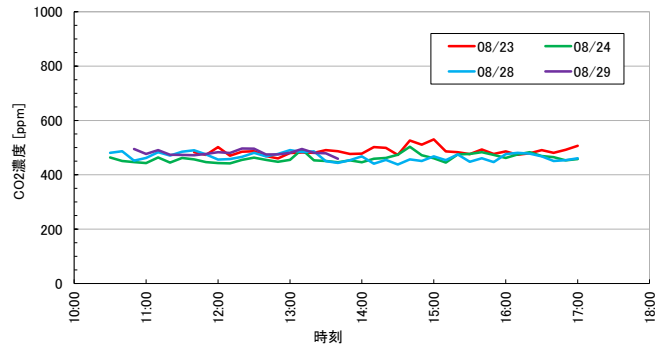


図 6.21 改札付近での CO<sub>2</sub> 濃度測定結果（集中測定）

### ③利用者ヒアリング、施設利用状況調査

集中測定の際に利用者ヒアリング、および施設利用状況調査を実施した。なお、4日間で得られた延べ回答者数は56件であった。

回答傾向は、性別では概ね男女同数、年齢では19歳以下が約5割を占めていた。また、職業では、年齢と関連して学生が多くを占めていた。

施設利用状況として、利用目的では「待ち合わせ」が約20%、「通勤、通学」が約30%、「遊びや旅行」が約30%となっていた。JR前橋駅の主な利用者は通勤、通学が中心であると想定していたが、通勤、通学以外の利用も多くみられる結果であった。

また、利用頻度では「ほとんど利用しない」と「月に数回」で6割の回答が占められており、普段あまり利用していない方の回答が多かったと言える。

回答時点での滞在時間は、「5分未満」と「10分程度」で約8割が占められており、発着する電車にあわせて駅を利用する短時間滞在者が多い傾向がみられた。

温冷感では「暑い」側の回答が3割程度みられ、適温感でも「今よりも涼しいほうが良い」の回答がほぼ同様の3割程度であったが、熱的快不快感での不快側の申告が2割程度に留まっており、熱的受容度でも8割程度が「受け入れられる」と回答していた。

## 6.2.2 技術の選定と効果予測

### 1) 導入技術の選定と熱環境改善効果測定

JR前橋駅では、構内の風速が低い値であることから、自然対流により冷涼な環境を形成する天井冷房システムを設置することとした。

天井冷房システムによる熱環境改善効果を予測するために、平成27年8月12日～16日にメーカー協力のもと天井冷房システムの組み立て工場において運転状態の設備の確認、および、空間冷却効果確認のための実測調査を実施した。

図6.22に実測調査時の測定器の設置状況を示す。気温の平面分布状況、気温の上下分布状況、放射環境として黒球温度、フィンの冷却程度を把握するためにフィン表面温度、ヘッダにて循環する行き還り冷水温度を計測した。なお、工場内は、面積が約50m<sup>2</sup>、2階床スラブまでの天井高さが約4.2m、天井冷房システムの設置高さが、冷却フィンの中央で3.15mであった。



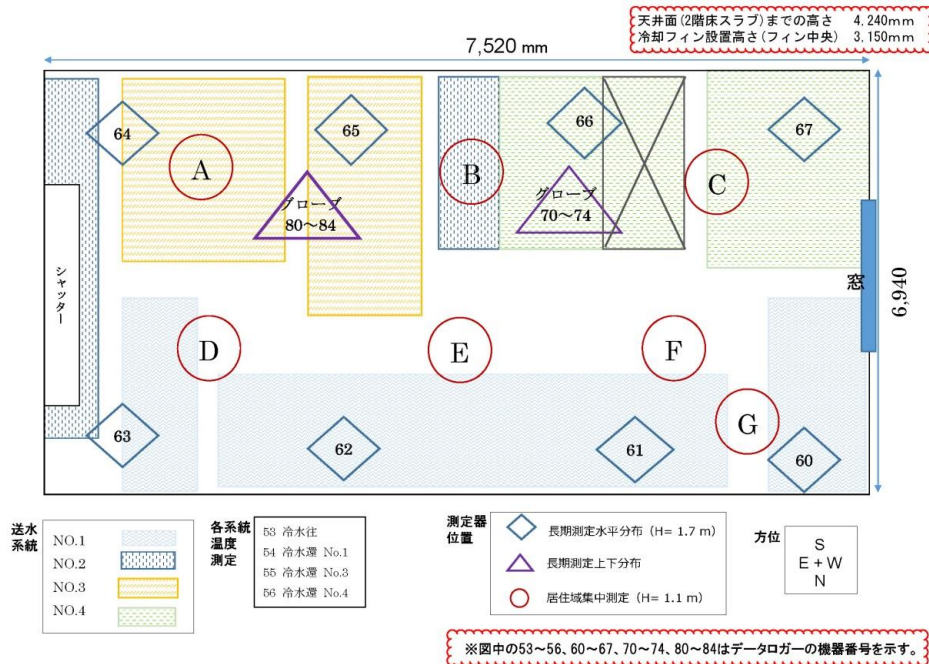


図 6.22 実測調査時の測定器の設置位置と天井冷房システムの通水系統



図 6.23 実測調査時の測定状況

組み立て工場内の冷水の循環系統は NO.1 から NO.4 に分岐して敷設されているが、全体的な空間の冷却効果を確認するために、全系統に 17℃の冷水を 13 l/min で通水する運転を行い、組み立て工場の空間内における温熱環境の測定データを得た。

測定結果として、実測調査を実施した 2015 年 8 月 12 日～8 月 16 日の 5 日間のうち、屋外気温の最大値が 32℃の真夏日であった 8 月 15 日について示す。なお、各系統の行き還り冷水温度は行きが約 17℃、還りが約 20℃となっており、概ね一定の温度差(約 3℃)で冷水が循環していることを確認している。

気温平面分布(高さ 1.7m)を図 6.25 に示した。空間内の平面方向では温度分布小さく、最大でも 1℃未満であった。また、いずれの測定点も外気温がピークとなる 32℃程度の時間帯でも空間内は 28℃程度に保たれていた。

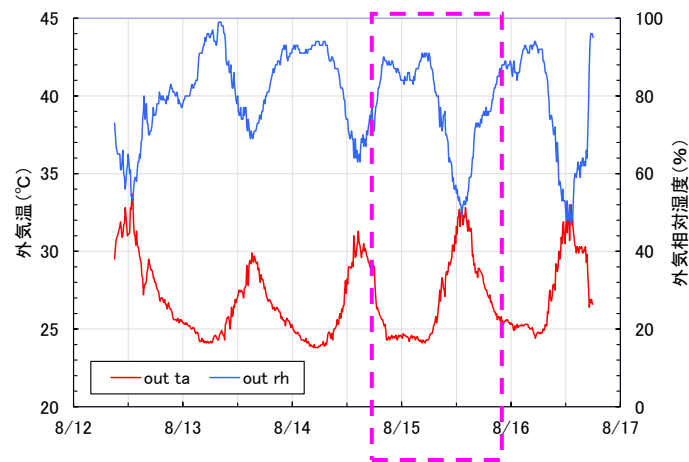


図 6.24 天井冷房システムの実測調査結果（屋外温湿度）

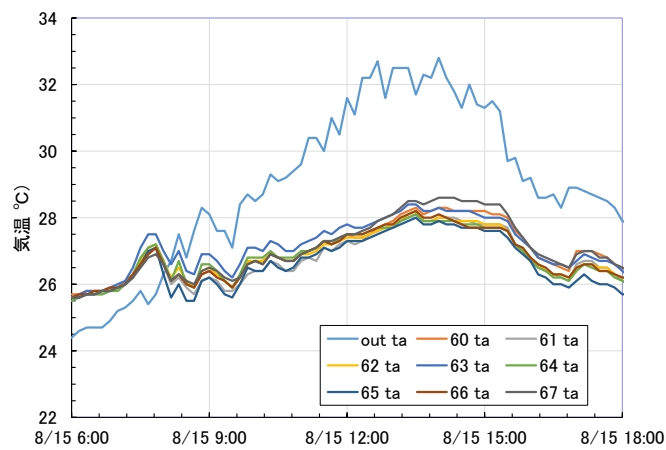


図 6.25 天井冷房システムの実測調査結果（気温の平面分布）

効果予測調査を実施したメーカーの組み立て工場内の環境は、壁面等の断熱性能が非常に低く（無断熱）、内部空間の気温が上昇しやすいという点で駅舎の特徴と類似していたため、JR 前橋駅に設置した場合も同様の効果が得られると予想される。

## 2) 設置位置の検討

構内風速が低い値となる方がシステムの特長上、合理的かつより高い熱環境改善効果が期待できるため、南北の開口部からの通風により気流が乱れやすい改札外コンコースではなく、改札内コンコース部分に設置することとした。

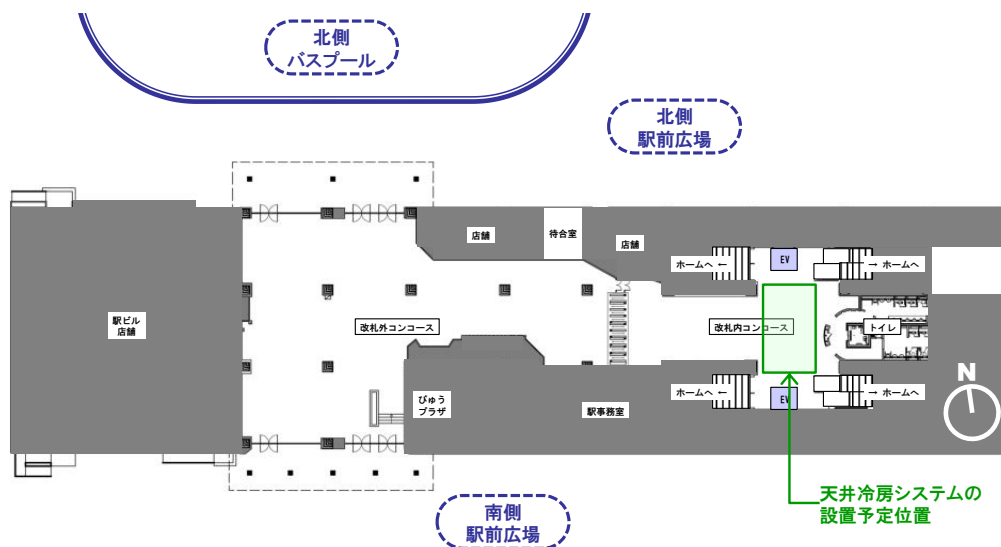


図 6.26 暑熱対策技術の設置位置

### 3) 設計図および導入の際の留意点

天井冷房設備の設計図を図 6.27～図 6.29 に示す。

設置範囲は、改札内コンコースの天井部約 20 m<sup>2</sup>の範囲とした。

また、図 6.30、図 6.31 に駅構内に天井冷房システムを設置するうえでの留意点について記載した。

駅構内には天井から吊り下げられた各種設備があることや、有料広告が多数掲載されていることから、それらの設備への支障や案内サイン、広告の見え方について配慮が必要であった。



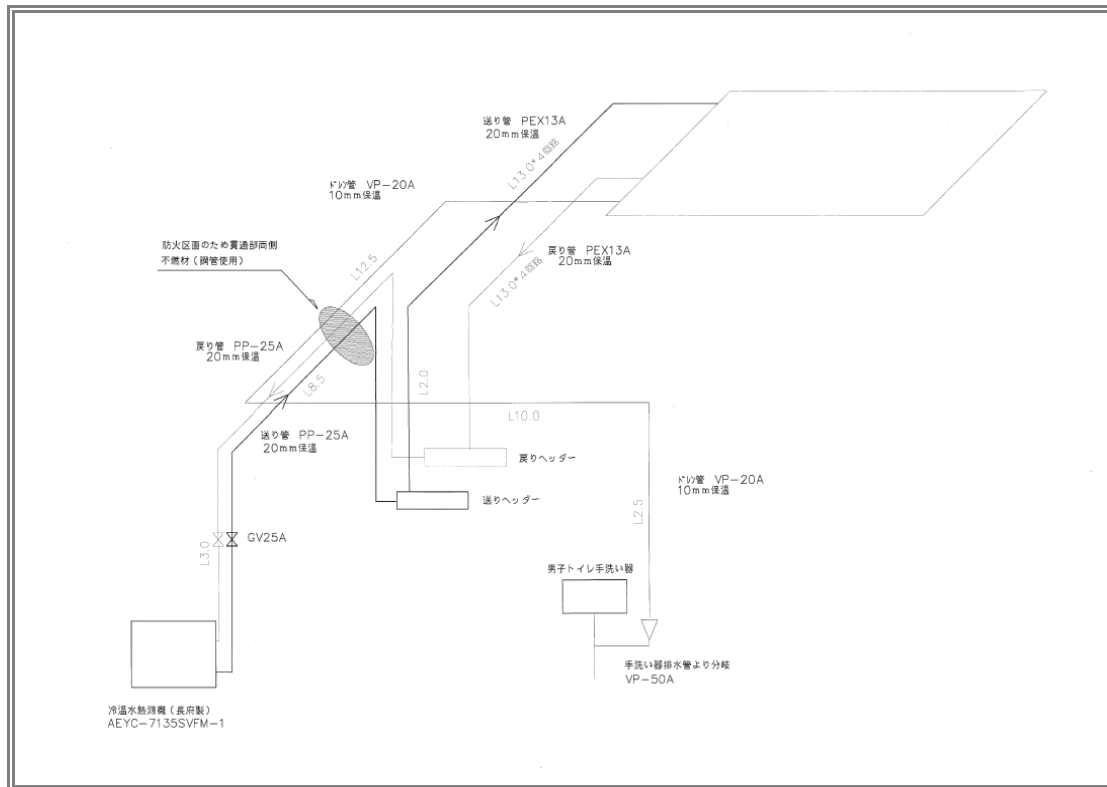


図 6.29 天井冷房システム設置図面（給排水系統図）

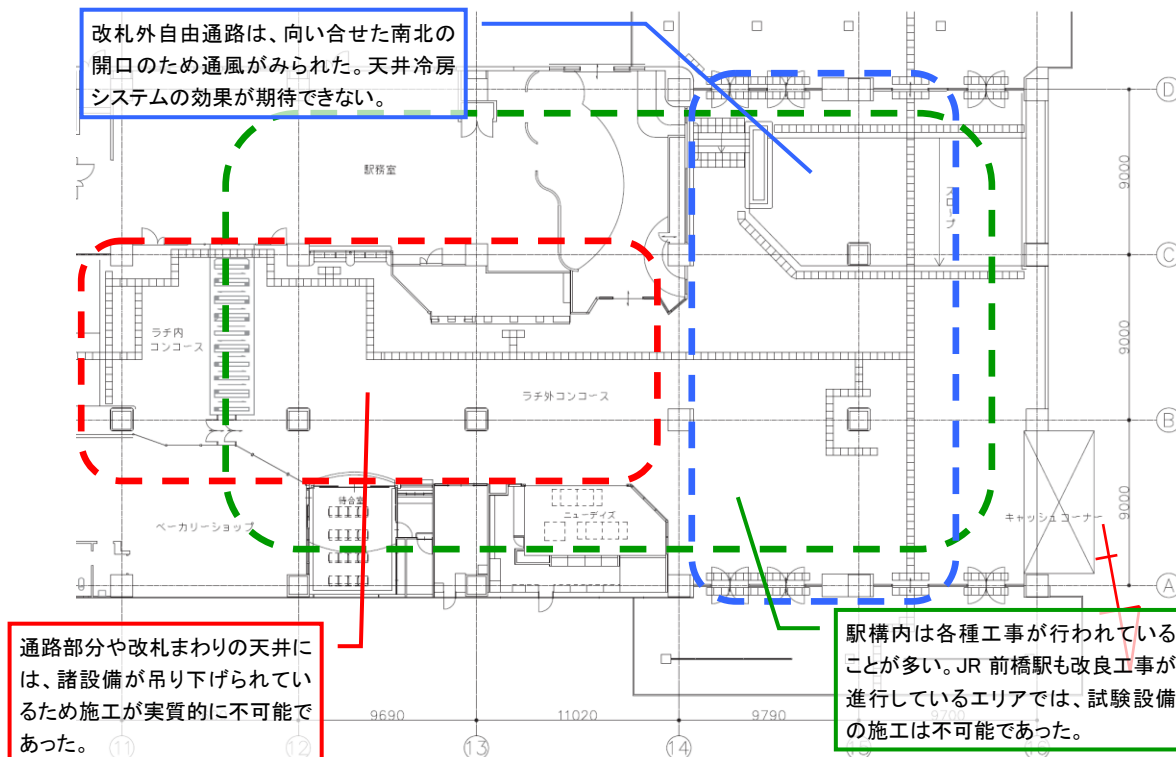


図 6.30 天井冷房システム設置上の留意点①



図 6.31 天井冷房システム設置上の留意点②

### 6.3 対策効果の測定の実施と結果

#### 6.3.1 施設の運用・効果測定スケジュール

2016年7月1日に天井冷房システムの本格稼働を開始し、以降10月24日まで連続運転を行った。天井冷房システムの設置状況写真を図 6.32、イメージ図を図 6.33、施設全体のシステム図、および測定用センサ位置を図 6.34 に示す。

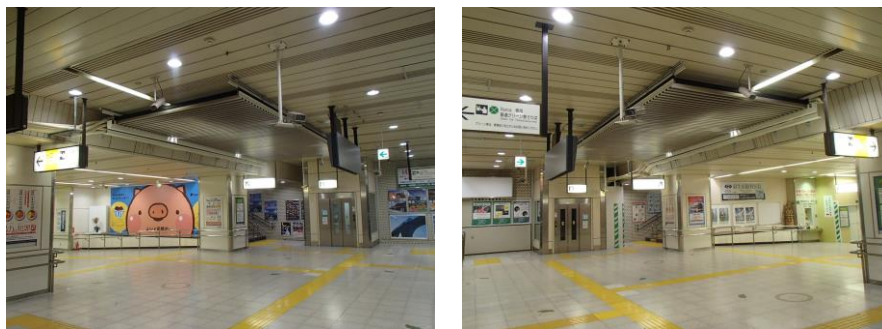


図 6.32 天井冷房システムの設置状況

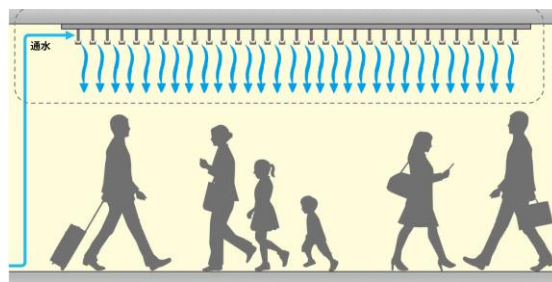


図 6.33 暑熱対策技術のイメージ図

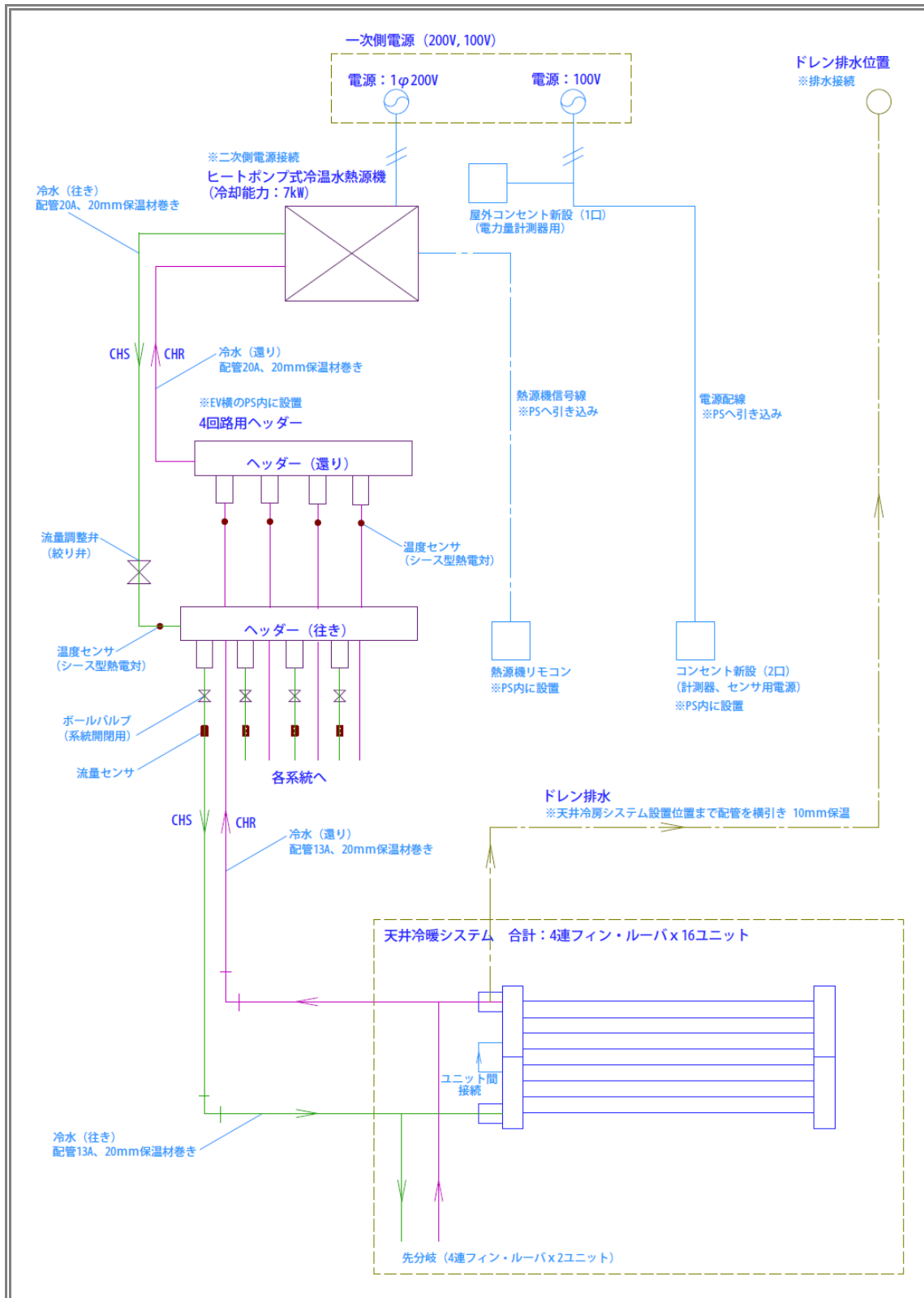


図 6.34 施設全体のシステム図、および測定用センサ位置

天井冷房システムの運転は、循環水温度を地下水同等と想定した 17 °C 設定、循環流量をシステム全体で 16 l/min を基本として行った。

夏季における熱環境の長期測定、集中測定の実施状況を表 6.5 に示す。長期測定は稼働開始時から稼働停止時までの期間、集中測定は8月と9月に延べ5日間の実測調査を行った。なお、設備システムについては長期測定の期間中各種計測（冷水行き還り温度、循環水流量、熱源機使用電力量、循環ポンプ使用電力量、冷却フィン・ルーバ表面温度、冷却フィン・ルーバ表面熱流束、天井表面温度、天井表面熱流束）を実施した。

11月17日に撤去工事を完了し、11月28日に施設撤去・現状復旧の確認を行い、環境省に確認写真を提出した。

表 6.5 暑熱対策施設の運用・効果測定スケジュール

|            | 6月   | 7月    | 8月           | 9月     | 10月 | 11月   |
|------------|------|-------|--------------|--------|-----|-------|
| ①暑熱対策施設の運用 | 設備設置 |       |              |        |     | 設備撤去  |
| ②熱環境測定（長期） |      | ● 7/1 | →            |        |     | 10/24 |
| ③熱環境測定（集中） |      |       | 8/8, 9, 8/31 | 9/7, 8 |     |       |
| ⑤利用者ヒアリング  |      |       | 8/8, 9, 8/31 | 9/7, 8 |     |       |

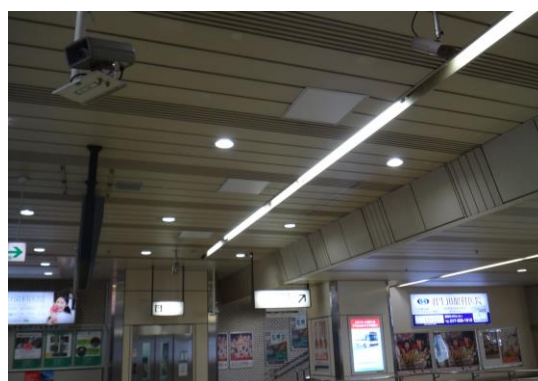


図 6.35 撤去工事完了状況写真

### 6.3.2 熱環境効果測定の実施

#### 1) 実施概要

##### ①長期測定

長期測定の測定項目を表 6.6、測定点位置を図 6.36、測定器設置状況写真を図 6.37 に示す。測定点位置は、天井冷房システム周辺に加えて、冷却効果がどの範囲に及ぶのか確認するために、改札内コンコースに加えて改札外コンコースにも測定点を設けた。



表 6.6 長期測定の測定項目一覧

| 測定項目             | 測定間隔                   | 備考                              |
|------------------|------------------------|---------------------------------|
| 屋外気象<br>(温湿度、ほか) | 1日値、1時間値、10分値<br>を適宜利用 | 前橋気象台（気象庁ウェブ<br>サイトよりダウンロード）    |
| 構内温湿度            | 10分                    | データロガー<br>設置高さ：H27 測定と同様        |
| 黒球温度             | 10分                    | 小径黒球+データロガー<br>設置高さ：床上 2.5m の位置 |



図 6.36 長期測定の測定器設置場所（下図は天井冷房システム周辺の拡大図）



図 6.37 測定器の設置状況② (左：設備直下，中：スロープ天井，右：スロープ足元)

## ②集中測定

居住域における熱環境のデータを取得するために、集中測定を実施した。2016年の測定日は、8月8日、8月9日、8月31日、9月7日、9月8日の5日間である。測定項目を表 6.7 に示す。図 6.38 に集中測定の測定点位置、図 6.39 に測定状況写真を示す。

表 6.7 夏季集中測定の測定項目一覧

| 測定項目  | 測定間隔       | 備考          |
|-------|------------|-------------|
| 構内温湿度 | 1分         | データロガー      |
| 黒球温度  | 1分         | 小径黒球+データロガー |
| 風速    | 1秒×3分間を演算  | 熱線式風速計      |
| 放射環境  | 各地点・各方向4分間 | 長短波放射収支計    |
| 熱画像   | 毎正時        | サーモカメラ      |

※構内温湿度、黒球温度、風速、放射環境の測定高さは 1.1m

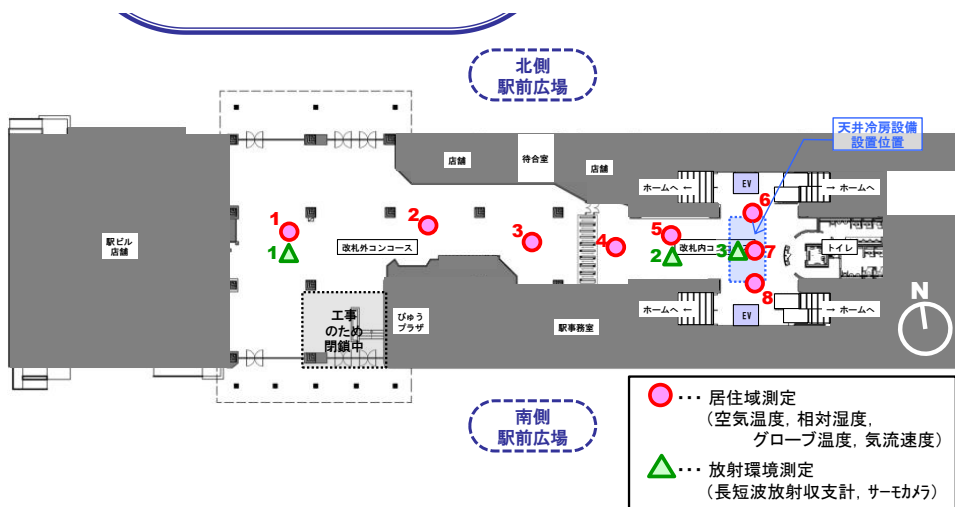


図 6.38 集中測定の測定位置



図 6.39 集中測定の実施状況（手前：放射環境測定，奥：居住域4要素測定）

はじめに前橋気象台の気象データより、集中測定各日の天候・気温を図 6.40 に示す。

8月8日、8月9日、8月31日の3日は日照率も高く、晴れた一日であったことがわかる。一方、9月7日、9月8日の2日はほとんど日差しが見られず、いずれも降水があった。また、気温をみると、8月31日には平均気温 25℃と低くなっており、8月9日がフェーン現象による特徴的な日であったことから、以降では、8月8日を夏季の晴天代表日とした。

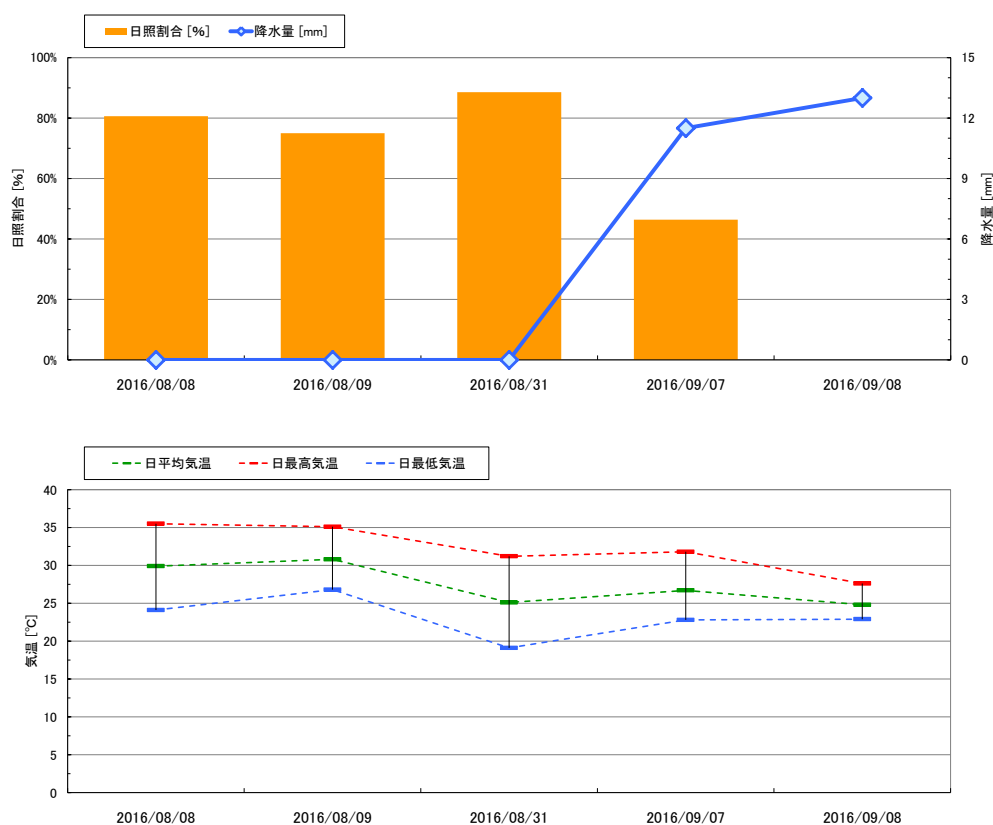


図 5.40 集中測定各日の天候・気温（前橋気象台より）

## 2) 測定結果

### ①長期測定

はじめに、分析対象となる夏季の期間において、気候の特徴を把握するために前橋気象台の気象データより、2016年と2015年の日平均気温、最高気温、最低気温を確認した。

2016年と2015年の7月～9月の気温、および、最も暑かった8月の3日間の気温を図6.41に示す。2015年は8月中旬以降気温が低下した冷夏であったのに対して、2016年では9月中旬までは日平均気温が25℃を超える夏日がみられた。ただし、安定して外気温が高い日が連続しているのは8月前半までであった。

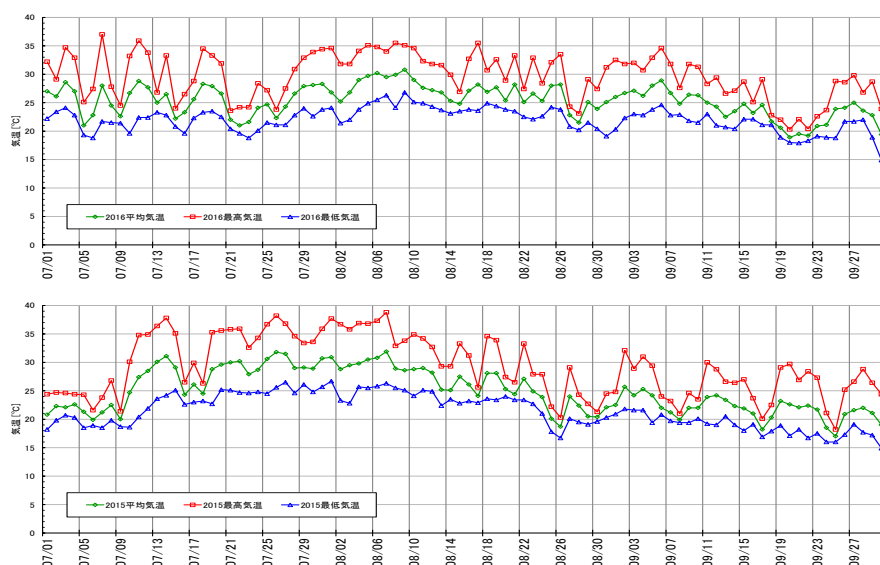


図 6.41 前橋気象台における夏季の気温（上：2016年，下：2015年）

晴天が連続して3日間続いた2016年8月4日～8月6日の期間を夏季の晴天代表日とした。晴天代表日3日間における10分間隔の測定値について、各時刻別での気温の1時間平均値を算出した結果を図6.42に示す。これより、天井冷房システム設備直下の測定点13～17、19、20において、設備のない改札外施設外の測定点1～7の値に比べて約1℃の気温低下がみられた。

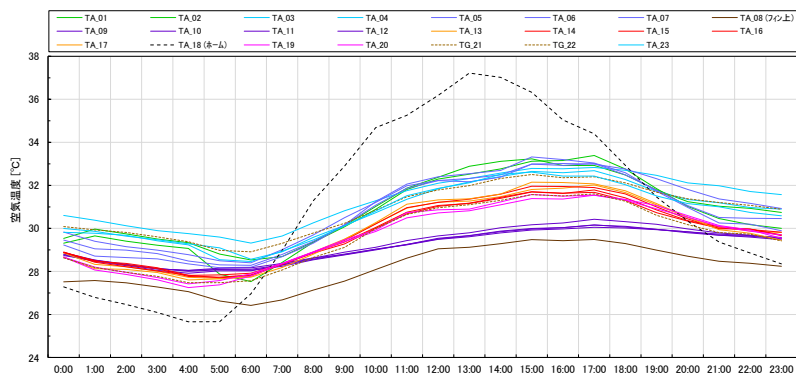


図 6.42 気温の測定結果（晴天代表日：2016年8月4日～8月6日）

気温同様に相対湿度の測定結果を図 6.43、絶対湿度の結果を図 6.44 に示す。

相対湿度については、天井冷房システムにより気温が低下した測定点において、若干上昇する傾向がみられている。特に、フィンの上部にあたる測定点 8 では、気温が大きく低下していることから、それに伴って相対湿度が約 70%と高くなっていた。その他の測定点では、日中は概ね 50~60%の相対湿度で推移する傾向であった。

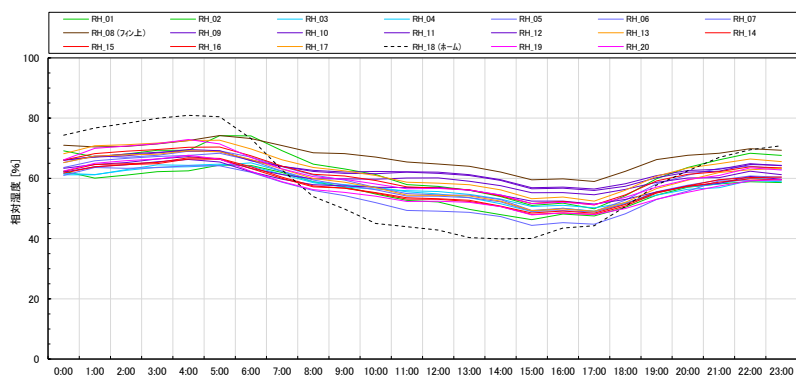


図 6.43 相対湿度の測定結果（晴天代表日：2016年8月4日～8月6日）

絶対湿度については、13~18g/kg 程度の値で推移しており、天井冷房システム設置範囲周辺の絶対湿度の値が、設置範囲外に比べて若干低い傾向であった。

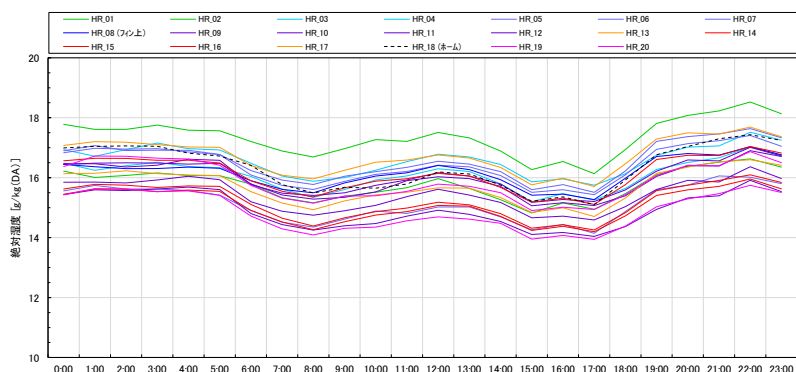


図 6.44 絶対湿度の測定結果（晴天代表日：2016年8月4日～8月6日）

除湿の効果を確認するために、各測定エリア別での絶対湿度についてフィン直下 2.5m の値を基準として値の差を確認した結果を図 6.45 に示す。

これより、天井冷房システムの設置範囲外の測定値は、全てのエリアでフィン直下 2.5m よりも高い水分量となっていた。フィン直下 2.5m 近傍の改札内奥のエリアにおける値の差は、約 0.3g/kg で1日をとおして推移しており、この値が天井冷房システムにより除去された水分量であると考えられる。

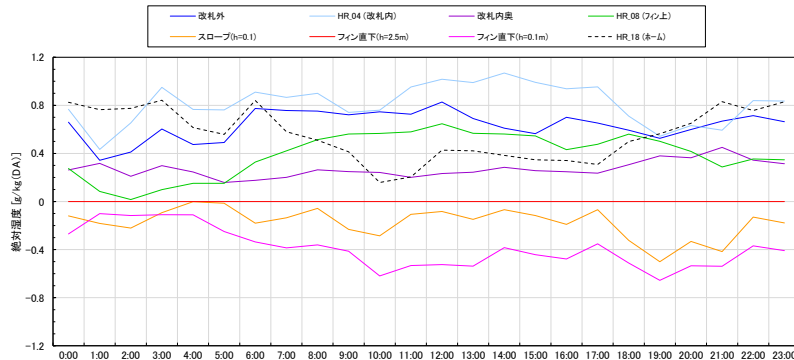


図 6.45 フィン直下 2.5m を基準とした絶対湿度の差

次に、黒球温度の測定結果を図 6.46 に示す。左図にフィン直下 (h=2.5m) の測定点 21 での測定結果、右図にスロープ部の天井位置の測定点 22 での測定結果を示す。これより、フィン直下の測定点 21 では、気温に比べて黒球温度がごくわずかであるが低くなっており、天井冷房システムによる放射の影響がみられた。一方、天井冷房システムの設置されていないスロープ天井部では、気温の最高値である 33℃あたりでは黒球温度と気温がほぼ同様の値を示している。また、28～31℃あたりでは黒球温度が気温に比べてわずかに高くなっていた。これは、躯体への蓄熱による影響が現れており、気温の低下に対して、周壁の温度が若干遅れて低下しているためと考えられる。

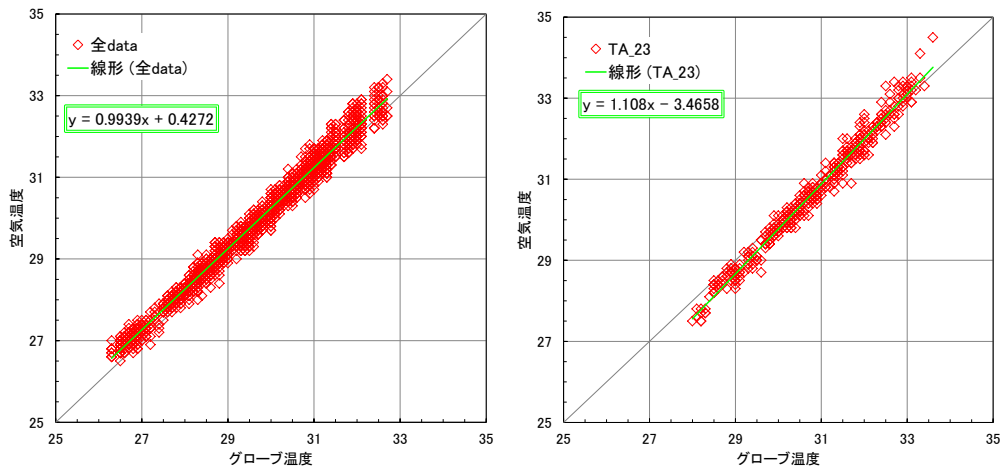


図 6.46 黒球温度と気温の関係 (左：フィン直下、右：スロープ天井)  
(晴天代表日：2016年8月4日～8月6日)

## ②集中測定

集中測定の測定結果として、代表日 (8月8日) における気温、相対湿度、絶対湿度、黒球温度の測定結果を図 6.47～図 6.50 に示す。

気温では、時間経過とともにすべての測定点の温度が午後にかけて上昇する傾向がみられた。測定点の違いに着目すると、わずかであるが測定点 7 の値が低くなっていた。

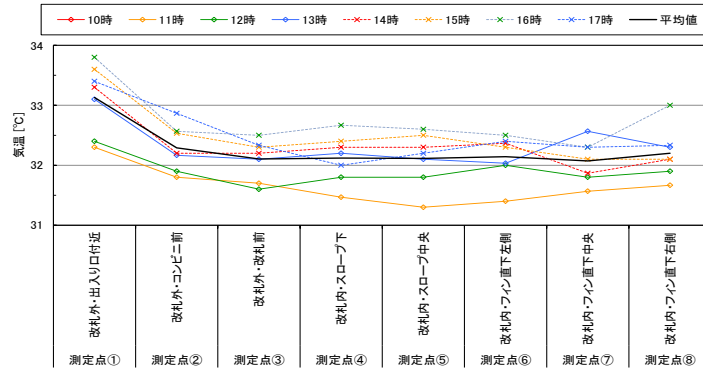


図 6.47 集中測定による気温 (h=1.1m) の測定結果

相対湿度では、10 時台を除き約 55%と時間帯に関わらずいずれの測定点も概ね同様の値を示した。

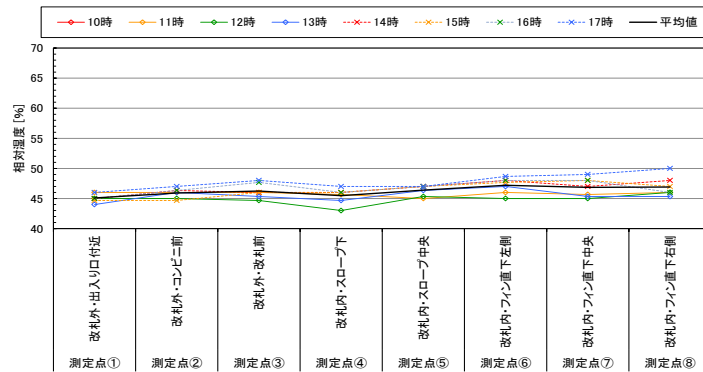


図 6.48 集中測定による相対湿度 (h=1.1m) の測定結果

絶対湿度でも相対湿度と同様にいずれの測定点も概ね同様の値を示していた。

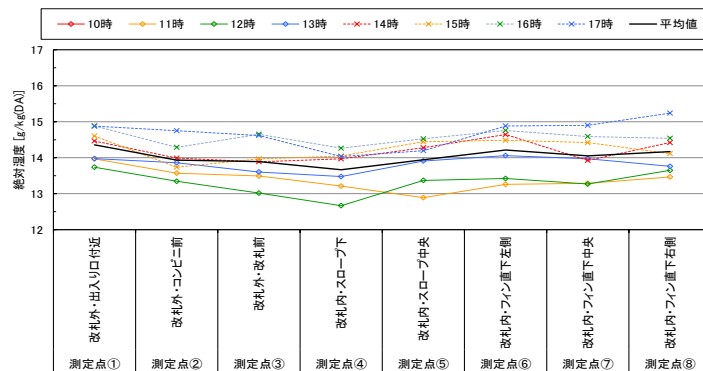


図 6.49 集中測定による絶対湿度 (h=1.1m) の測定結果

黒球温度では、気温と概ね同様の傾向を示していた。

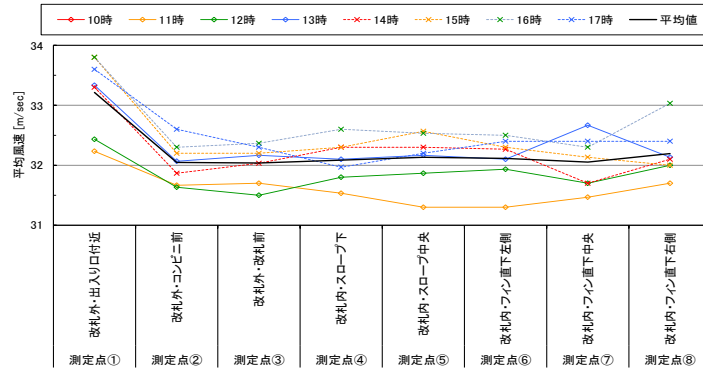


図 6.50 集中測定による黒球温度の測定結果

つづいて、図 6.51 に集中測定で計測した値から算出した居住域 SET\*、図 6.52 に WBGT の算出結果を示す。なお、SET\*算出の際の着衣量、代謝量はそれぞれ 0.5clo、1.6met とした。

代表日（8月8日）の結果では、SET\*、WBGT はいずれも気温と概ね同様の傾向を示していた。

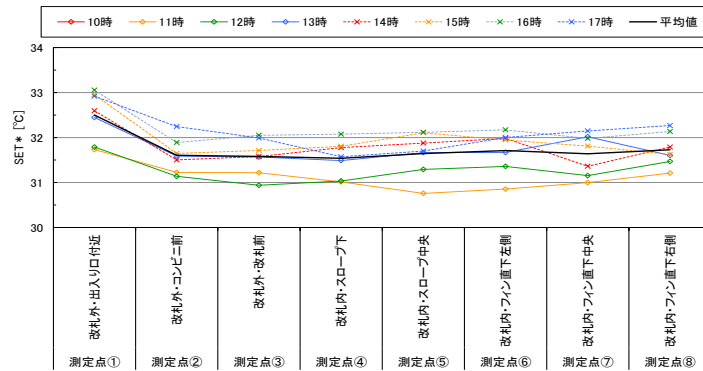


図 6.51 集中測定データによる SET\*の算出結果

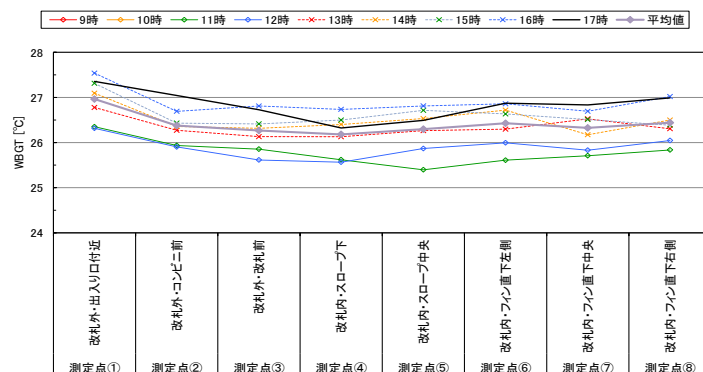


図 6.52 集中測定データによる WBGT の算出結果

次に、構内風速の測定結果を図 6.53 に示す。代表日（8月8日）では 0.2 m/s 程度の風速となっており、時間帯に関わらず構内の気流は非常に低かった。なお、フェーン現象による影響のあった8月9日の測定結果では、駅構内においても 0.4~0.8 m/s 程度の風速も計測されていた。



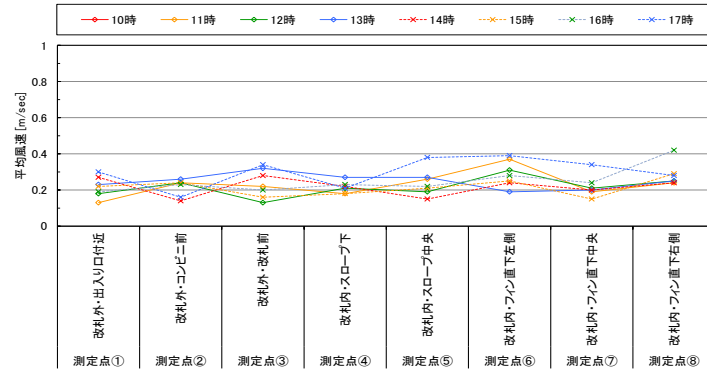


図 6.53 集中測定による風速の測定結果

つづいて、構内放射環境の計測結果を図 6.54 に示す。構内放射環境では、天井冷房システム直下の測定点において、いずれの方向からの放射温度も他の測定点に比べて低くなっていた。天井冷房システム直下の値を基準として各方向からの放射温度測定値の差をみたところ、上面からの下向きの放射温度は2℃程度、他の測定点の値に比べて低い放射温度を示しており、天井冷房システムによる放射の影響が確認できた。

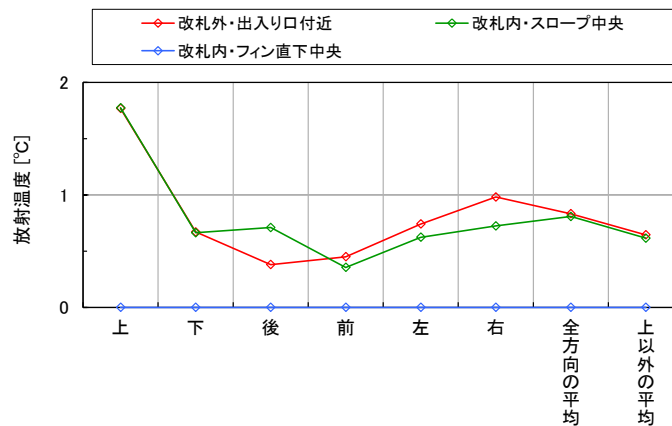


図 6.54 集中測定による放射環境の測定結果 (フィン直下との温度差)

最後に、集中測定の代表日 (8月8日) における測定値により、天井冷房システムの効果を表 6.8 にまとめた。各時間帯の結果から、天井冷房システムの設置範囲では、気温で最大マイナス1.5℃、MRTで最大マイナス1.8℃、SET\*で最大マイナス1.2℃、WBGTで最大マイナス0.9℃-の効果となった。相対湿度についてはその他の項目とは異なり、最大2%の増加となった。

表 6.8 天井冷房システムの評価結果 (代表日 8月8日)

| 気温 (°C)   | 湿度 (%)  | 風速 (m/s) | MRT (°C)  | SET* (°C) | WBGT (°C) |
|-----------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|
| -1.5~-0.5 | 0.3~2.0 | -0.1~0.1 | -1.8~-0.8 | -1.2~-0.4 | -0.9~-0.3 |

### ③長期測定データと集中測定データの比較

集中測定データと長期測定データの比較、および、天井冷房システムの効果について、集中測定、長期測定のそれぞれで対策地点（フィン直下中央）と対策なし地点（改札外・出入口付近）における各時間帯の SET\*値の比較を行った。なお、この2点を比較した理由は、長期測定と集中測定をほぼ同様の位置で計測を行っていたため、対策地点（フィン直下）と対策なし地点（改札外・出入口付近）の代表点とした。

各測定点における集中測定データと長期測定データを縦軸、横軸とした散布図を作成して SET\*値の比較を行った。結果を図 6.55 に示す。なお、対象としたデータは、晴天日である 8月 8日、8月 9日とし、比較対象として若干気温が低かった 8月 31日の結果も参考として示した。

晴天かつ気温が高い 8月 8日、8月 9日では、フィン直下のデータに若干のばらつきがみられるものの、概ね同様の値を示していることが確認できた。一方、気温が低かった 8月 31日のデータでは、若干値に差がみられており、フィン直下中央の測定点では、 $h=2.5m$  の長期測定データが  $h=1.1m$  の集中測定データに比べて低い値であった。

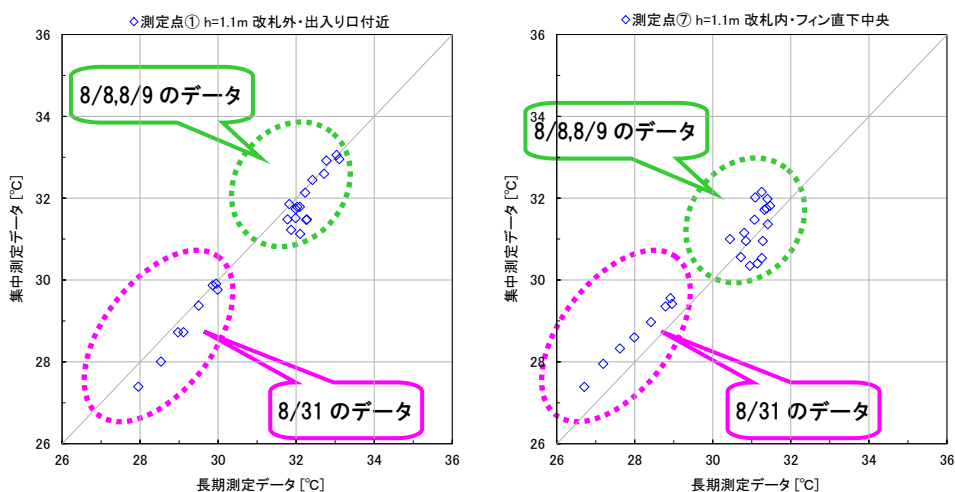


図 6.55 集中測定と長期測定の SET\*値の比較（左：改札外出入口付近，右：フィン直下）

次に、集中測定、長期測定のそれぞれで、対策地点（フィン直下中央）と対策なし地点（改札外・出入口付近）における SET\*値を比較し、天井冷房システムによる効果の確認を行った。結果を図 6.56 に示す。なお、対象としたデータは前の図同様、晴天日である 8月 8日、8月 9日とし、若干気温が低かった 8月 31日の結果も参考として示した。

晴天かつ気温が高い 8月 8日、8月 9日では、集中測定のデータに若干のばらつきが見られるものの、フィン直下中央での気温が温度の低い側に位置している傾向が確認できた。また、長期測定では、低温側に位置したデータにおいてもフィン直下中央での気温が低くなる傾向であった。

以上より、長期測定と集中測定のデータには 8月 31日のような違いが現れているが、SET\*が  $32^{\circ}C$  を超えるような暑い日（8月 8日、8月 9日）では長期測定と集中測定のデータにほとんど差はみられなかった。仮に測定高さで値の違いのみられる日について、高さによる影響の補正を行ったとしても、該当する日は涼しい日であることから SET\* $32^{\circ}C$  を超えないことが予想される。したがって、CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果を検討の際に、長期測定のデータを用いても CO<sub>2</sub> の

削減効果には影響がないと予想されることから、以降の検討において安定した長期間の計測データである長期測定データに基づいて検討を進めることとした。

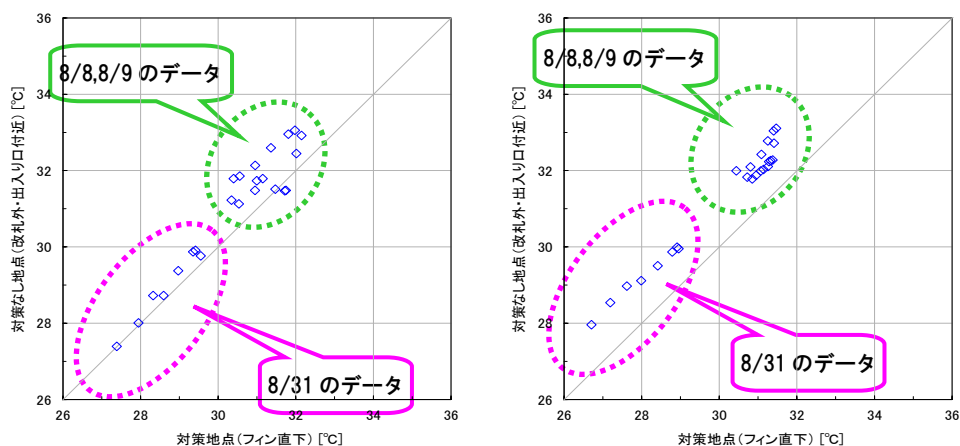


図 6.56 対策有無による SET\*値の比較 (左：集中測定，右：長期測定)

### 6.3.3 暑熱対策技術運用に要したエネルギー等使用量

天井冷房システム稼働にともなうエネルギー増分については、天井冷房システムの2次側電源接続位置に設置した電力量計により運用時の電力量の計測を行った。図 6.57 に長期測定の晴天代表日3日間（2016年8月4日～8月6日）の電力量使用量の結果を示す。

各日とも山型の負荷形状をしており、8月4日の朝方には、熱源機の発停に伴う電力量の増減がみられる。また、電力量は13～14時頃がピークとなっており、約1000Wであった。

3日間の電力量による1時間平均値では、外気温の変化に追従してピークまで上昇する傾向がみられ12時～19時にかけて0.9kWh程度の高負荷で運転されていた。

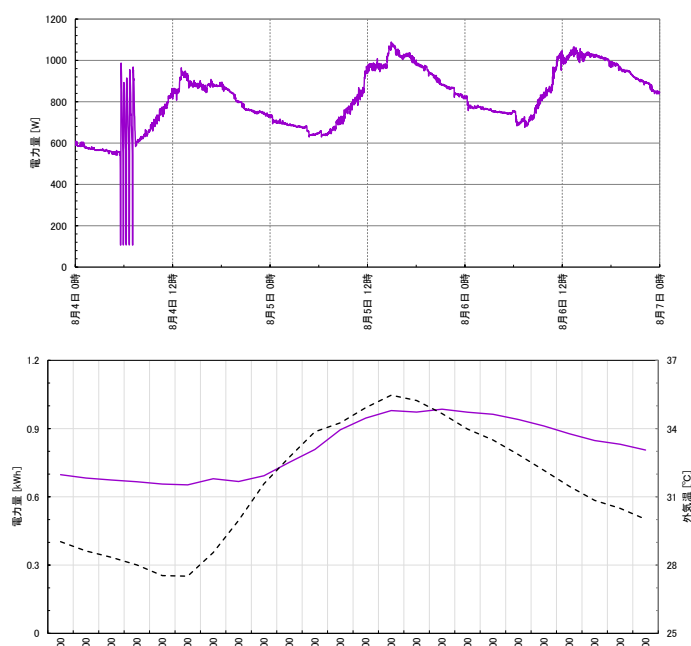


図 6.57 電力量の測定結果 (上：1分値 (W)，下：1時間平均値 (kWh))  
(晴天代表日：2016年8月4日～8月6日)

## 6.4 利用者ヒアリング調査の実施と結果

天井冷房システム周辺の居住域における利用者の体感効果を明らかにするため、利用者へのヒアリングを実施した。

集中測定5日間で得られた利用者ヒアリングの回答数は合計122件であった。回答場所の位置図を図6.58、回答場所別での回答数の構成割合を図6.59に示す。回答を行った場所は多くが改札周辺であり、設備の下での回答は約2割程度であった。

得られた回答より、温冷感では「暑い」側の回答が6割程度みられ、適温感では「今よりも涼しいほうが良い」の回答が7割程度であった。一方で、熱的受容度では約8割が「受け入れられる」側に回答しており、熱的快不快感でも不快側の申告は4割弱に留まっていた。なお、天井冷房システム直下での回答において、特徴的な回答傾向はみられなかった。

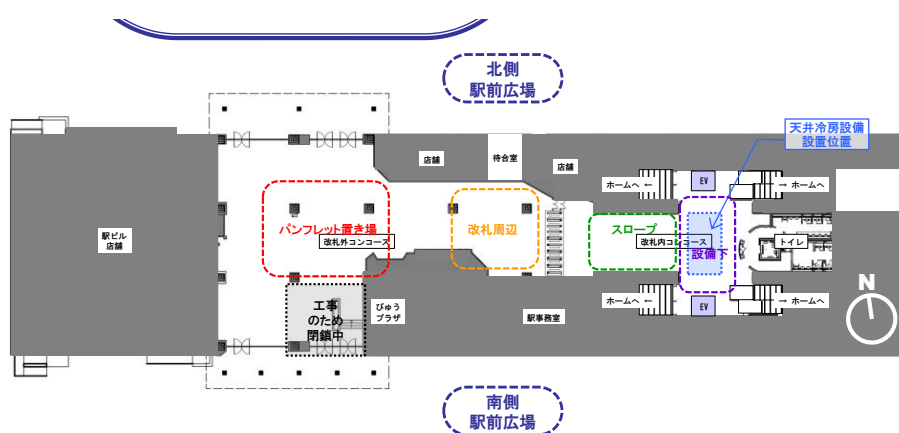


図 6.58 利用者ヒアリングの回答場所

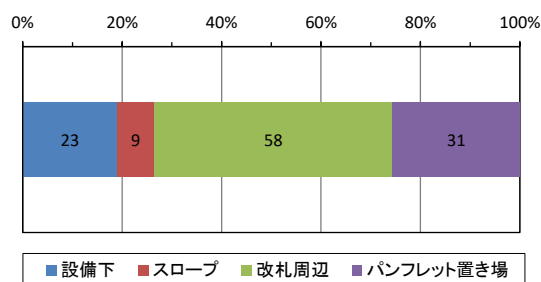
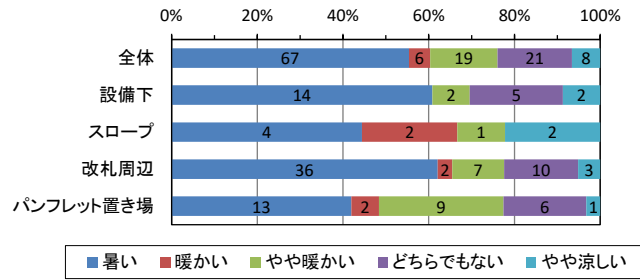
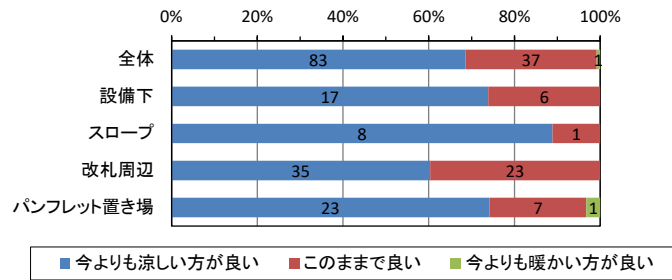


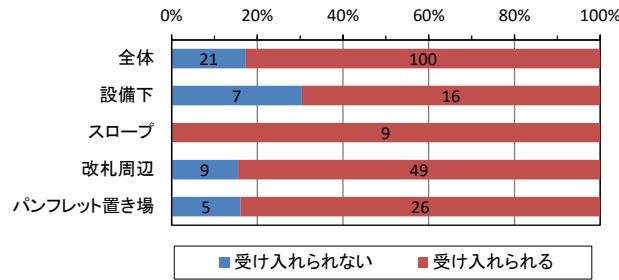
図 6.59 利用者ヒアリングを行った回答場所の構成割合



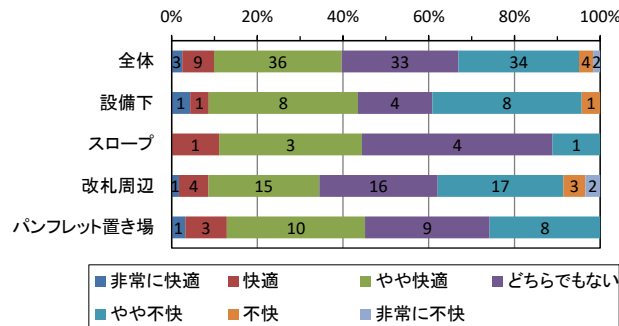
a) 温冷感



b) 適温感



c) 熱的受容度



d) 熱的快・不快感

図 6.60 利用者ヒアリング結果

## 6.5 CO<sub>2</sub> 排出削減量の試算

暑熱対策技術導入による CO<sub>2</sub> 排出量削減効果について、3章で述べた手順に沿って削減量を求めた。

### 6.5.1 2010 年の気象条件における熱環境改善効果

2010 年東京の気象データについて、今年度の前橋における気象データとどの程度違いがあるのかを確認した。グラフを図 6.61 に示す。なお、2011 年さいたまの気象データは、天井冷房シ

システムに必要な電力量を比較するための、既存の空調設備の実績値となるデータの測定年度である。

これより、外気温の傾向を比較すると、2016年の前橋が最も高い値を示し、次いで2010年東京となっていた。2010年東京の気象データでは、2016年前橋に比べて、最高気温が上回る日はほとんどみられないが、日平均気温が30℃程度の日が非常に多い年であった。

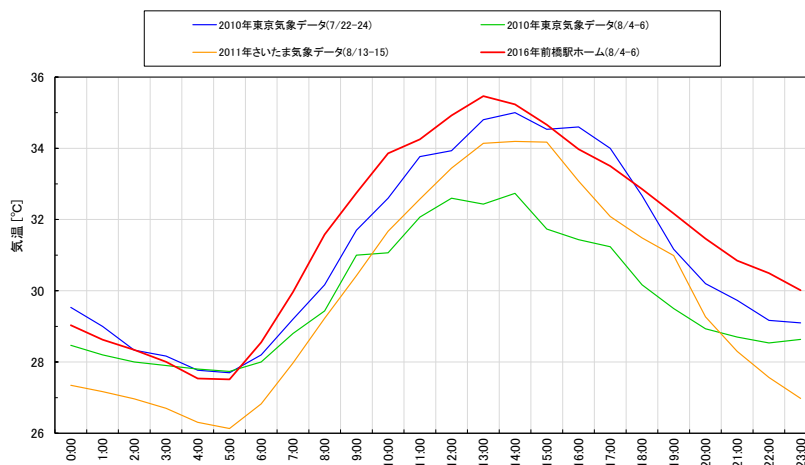


図 6.61 各気象データの時間平均気温の比較

### 6.5.2 空調利用代替型を適応した場合のCO<sub>2</sub>削減量

利用者の受容限度を SET\*32℃とし、駅構内環境が SET\*が 32℃を超える場合には、空調回避ができないものとして、天井冷房システムの稼働による空調回避時間を求めた。

天井冷房システムの稼働による前橋駅構内の SET\*改善効果として 2016年の長期測定データでの晴天代表日（2016年8月4日～8月6日）における SET\*の算出結果を図 6.62 に示す。なお、算出条件は、気温、相対湿度、黒球温度は長期測定により得られた値を用い、風速は気流がほぼない状況を仮定して 0.1 (m/s)とした。着衣量は 0.5 (clo)、代謝量は歩行時を想定した 1.6 (met)と設定した。

これより、2016年で最も暑かった晴天代表日において、フィン直下で SET\*32℃を上回る時間帯はみられず、天井冷房システムの運転によりコンコースにおける空調が回避できる可能性の高いことが窺える。一方で、対照地点となる天井冷房システムが設置されていないエリアの測定点では、11時台から22時台まで SET\*32℃を上回っており、熱的受容域を逸脱していることが確認できた。

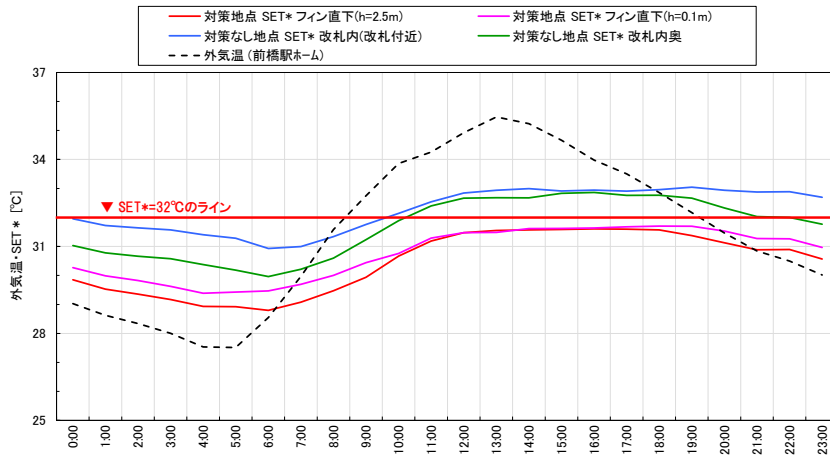


図 6.62 長期測定データに基づく SET\*の算出結果

つづいて、2016 年前橋での測定データ全体についても、天井冷房システムの稼働によって、SET\*32°Cを上回る時間数がどの程度みられるのか確認を行った。

駅舎における空調電力使用量は、駅が半屋外環境という特性上、屋外の影響を受けやすく、電力使用量が日平均外気温と非常に高い相関を示すことがすでにわかっているため前橋での日ごとの測定データから、1日あたり何時間が SET\*32°Cを上回るかを計数し、日平均外気温ごとに集計を行った。結果を図 6.63 に示す。

空調回避できない時間数は天井冷房システムのフィン直下では、日平均外気温が 29°Cのところ、僅かながら値がみられており、唯一1日のみ SET\*32°Cを上回る時間が発生していることが確認できた。この結果から空調回避できない時間の設定として、日平均外気温が 29°Cを超えた場合に1時間の空調回避ができないことを条件として設定した。

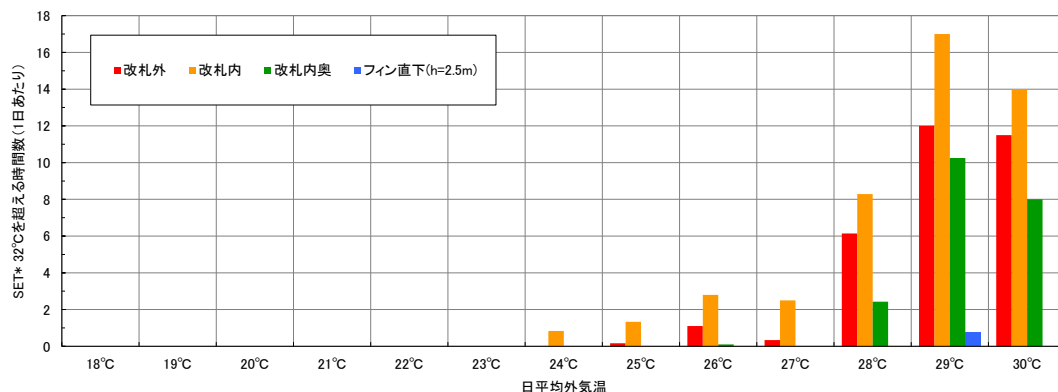


図 6.63 長期測定データに基づく SET\*32°Cを上回る時間数

次に、2010 年東京の気象条件下において、非空調空間で空調を使用した場合の電力使用量を推計する手続きについて示す。

非空調空間における空調電力使用量は、過去に実測調査が行われている既存の駅における空調

電力使用量の実績値より求める<sup>70</sup>。

日平均外気温と空調電力使用量の関係式を図 6.64 に示す。

構内気温が屋外の風による特徴的な影響を受けない風向が北寄りのデータに基づいた関係式によって、2010 年東京の気象データにおける空調電力使用量を算出することとした。

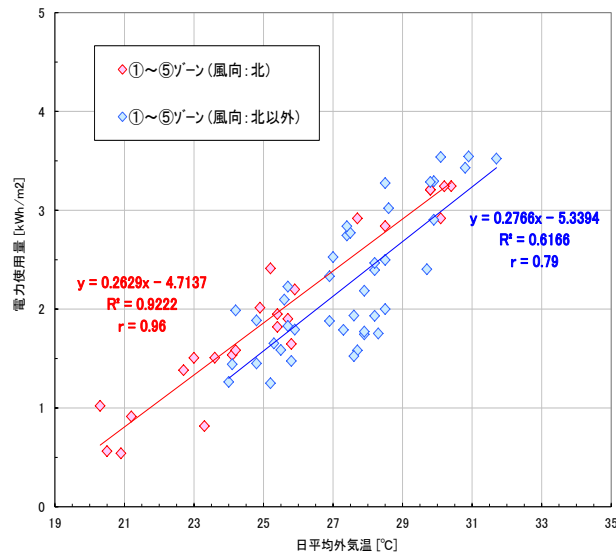


図 6.64 日平均外気温と空調電力使用量の関連

同様に、2010 年東京の気象データにおける天井冷房システムを稼働させた際の電力量について、図 6.65 に示す日平均外気温と天井冷房システム稼働時の電力使用量の関連から算出することとした。

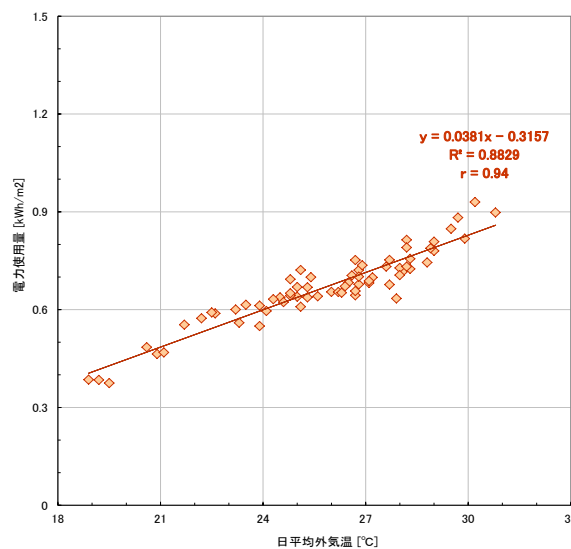


図 6.65 日平均外気温と天井冷房システムによる電力使用量の関連

<sup>70</sup>大石ほか: 鉄道駅における夏季の空調電力使用量の実態に関する研究, 2016 年度日本建築学会 関東支部研究発表会



以上の結果を用いて、CO<sub>2</sub> 排出削減量を算出した。

天井冷房システムによって空調回避できた時間数である空調代替時間数を表 6.11 に示す。

日平均外気温が比較的低い6月ではすべての時間において空調を代替できている。一方で、最も暑い8月においては、23 時間が空調を代替できない時間となっており、駅構内環境は SET\*32°Cを上回る状況であったことがわかる。

表 6.11 暑熱対策による空調代替時間数

|    | 空調稼働時間<br>(時間) | 空調代替時間数<br>(時間) | 代替できた時間<br>の割合 (%) |
|----|----------------|-----------------|--------------------|
| 6月 | 630            | 630             | 100                |
| 7月 | 651            | 641             | 98.5               |
| 8月 | 651            | 628             | 96.5               |
| 9月 | 630            | 623             | 98.9               |

※月ごとの空調稼働時間数は、1日あたり21時間運転として求めた。

つづいて、CO<sub>2</sub> 排出削減量の算出結果を表 6.12、表 6.13 に示す。

表 6.12 は、暑熱対策稼働に係る CO<sub>2</sub> 排出量を、今回の検証に利用した熱源機に要する電力量から求めた算定結果である。施設面積 1 m<sup>2</sup>あたり（施設面積は 22.65 m<sup>2</sup>とした）に換算した結果である。

CO<sub>2</sub> 排出削減率は、概ね7割に迫る結果となっており、既存の対流式空調のように、強力に空間を冷却することなく利用者に受容される空間の熱環境を形成できることから、CO<sub>2</sub> 排出量の非常に少ない暑熱対策設備であることが検証できた。

表 6.12 施設面積 1 m<sup>2</sup>あたりの CO<sub>2</sub> 排出削減量（熱源機利用）の算定結果

|    | 空調を使用した半屋外<br>空間での CO <sub>2</sub> 排出量<br>(kg-CO <sub>2</sub> ) | 空調利用代替による<br>CO <sub>2</sub> 排出削減量<br>(kg-CO <sub>2</sub> ) | 暑熱対策施設での CO <sub>2</sub><br>排出量<br>(kg-CO <sub>2</sub> ) | 暑熱対策による CO <sub>2</sub> 排<br>出削減量<br>(kg-CO <sub>2</sub> ) | 削減率<br>(%) |
|----|---|---|--|--|------------|
| 6月 | 27.2  | 27.2  | 9.6  | 17.6   | 64.6       |
| 7月 | 45.1  | 44.3  | 12.8   | 31.5   | 69.7       |
| 8月 | 52.4  | 50.5  | 13.9   | 36.6   | 69.9       |
| 9月 | 40.0  | 39.2  | 10.6   | 28.6   | 71.6       |
| 合計 | 164.8   | 161.2   | 46.9   | 114.3  | 69.4       |

また、熱源機によらず地下水を使用して冷水を供給することを仮定した結果が表 6.13 である。地下水をくみ上げる際のポンプの電力量から暑熱対策稼働に係る CO<sub>2</sub> 排出量を算出した。なお、ポンプの稼働による電力量は熊谷の実績データにもとづいた試算で得られた 0.63 (kWh/m<sup>2</sup>・日) の値を用いた。

結果をみると、地下水利用を想定した場合は、CO<sub>2</sub>排出量削減率が7割を超える値を示しており、熱源機を用いて上水を冷却するよりもCO<sub>2</sub>排出削減効果が高いことが推計された。

表 6.13 CO<sub>2</sub> 排出削減量（地下水利用想定）の算定結果

|    | 空調を使用した<br>半屋外空間での<br>CO <sub>2</sub> 排出量<br>(kg-CO <sub>2</sub> ) | 空調利用代替によ<br>る CO <sub>2</sub> 排出削減量<br>(kg-CO <sub>2</sub> ) | 暑熱対策施設で<br>の CO <sub>2</sub> 排出量<br>(kg-CO <sub>2</sub> ) | 暑熱対策による<br>CO <sub>2</sub> 排出削減量<br>(kg-CO <sub>2</sub> ) | 削減率<br>(%) |
|----|--|--|---|---|------------|
| 6月 | 27.2   | 27.2   | 10.4  | 16.8  | 61.8       |
| 7月 | 45.1   | 44.3   | 10.7  | 33.6  | 74.4       |
| 8月 | 52.4   | 50.5   | 10.7  | 39.8  | 75.9       |
| 9月 | 40.0   | 39.2   | 10.4  | 28.8  | 72.0       |
| 合計 | 164.8  | 161.2  | 42.3  | 118.9   | 72.2       |