

8. 堺市綾ノ町駅電停での技術導入検証

8.1 実施場所の概要

実施場所は、堺市堺区に位置する阪堺電気軌道（以下、阪堺電車とする）、綾ノ町駅上り電停スペースである。阪堺電車は天王寺・恵美須町方面より浜寺駅方面へ堺市を縦断している路面電車で、10分程度間隔で運行しており、市民の日常生活の足として利用されている。さらに、2015年3月開館の「さかい利品の杜」などへの観光客の利用も見込まれる。広幅員道路と軌道に囲まれ、直達日射、路面の赤外放射などにより夏季には厳しい熱環境が想定される。駅内の上り側に既設の屋根があり、ベンチも設置され、乗車客の待合に利用されている。



図 8.1 実施予定場所位置図¹



図 8.2 実施場所遠景（左）及び近景（右）

¹ 公益社団法人堺観光コンベンション協会 堺旧市街地マップより作成

本検証では、厳しい熱環境が想定される電停に暑熱対策を施し、路面電車利用者を対象として、より快適な待合場所を設置する。仮に空調待合室を設置した場合と同様な環境を作り出すことで、CO2 排出量増加を回避する手法を検討する。

8.2 実施体制

以下の体制で実施する。なお、業務の一部を再委任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る。

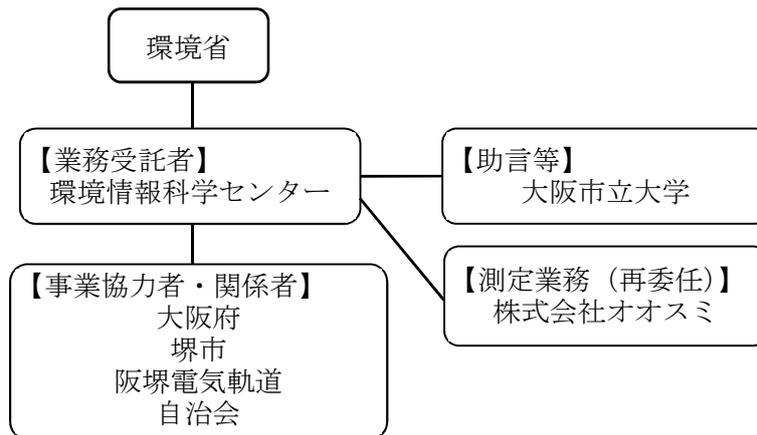


図 8.3 実施体制

8.3 実施スケジュール

平成 27 年度に現況把握にもとづき効果的な暑熱対策技術を設置し、平成 28 年度には効果検証のための計測や利用状況調査等を実施する。2 年間のスケジュール予定を下に示す。

		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CO2削減メカニズムの検討	[Green bar from April to December]											
	導入する暑熱対策技術の検討	[Green bar from April to December]											
	熱環境集中測定(現況把握)					[Dark red bar from August to September]							
	利用状況調査(現況把握)					[Dark red bar from August to September]							
	対策技術の設置										[Orange bar from January to March]		
	H27年度とりまとめ											[Red bar from January to March]	
H28年度	検証手法の検討	[Green bar from April to July]											
	暑熱対策技術の運用		[Yellow bar from June to September]										
	熱環境・生理・心理反応測定(効果検証)					[Dark red bar from August to September]							
	対策技術の撤去							[Orange bar from October to November]					
	検証結果の検討							[Red bar from September to December]					
	結果のとりまとめ										[Red bar from January to March]		

図 8.4 実施スケジュール

8.4 現況把握調査

対策前の熱環境や利用状況を把握するために、夏季に調査を実施した。

- ・日中 SET*40℃前後、WBGT31℃前後の酷暑環境が続く
- ・日射を遮るものが周囲に無く、日中日射が当たり続ける
- ・既設屋根下は日射遮蔽により体感温度は日向よりも低いですが、高温化したテント膜からの長波放射の影響は大きい
- ・路面が 60℃を超える軌道敷や道路に囲まれている。
- ・風速は 1m/s 程度で、南西の風が主に吹いている。
- ・利用者は 10～20 人/時程度で、徒歩 5 分程度圏内からの利用者が多い。

8.4.1 熱環境測定の実施

1) 実施概要

盛夏の代表的な気象条件での測定として、2015年7月26日・27日の2日間、各日9:30～18:00の間、複数地点同時測定を行った。



図 8.5 測器設置状況

測定項目は表 8.1 の通りである。また、対策予定場所の日照時間の把握のために天空写真を撮影した。

表 8.1 平成 27 年度測定項目一覧

測定項目	方式等	測定間隔
温湿度	強制通風方式	1 秒
黒球温度	ベルノン式	1 秒
風向風速	超音波方式	1 秒
対策面温度	非接触式 (連続)	1 秒
	熱画像撮影	1 時間
放射収支	4 成分 (上下長短波)	1 秒

2) 結果概要

7 月 26 日の測定結果を示す。各測定値の 1 分平均値をグラフに示した。

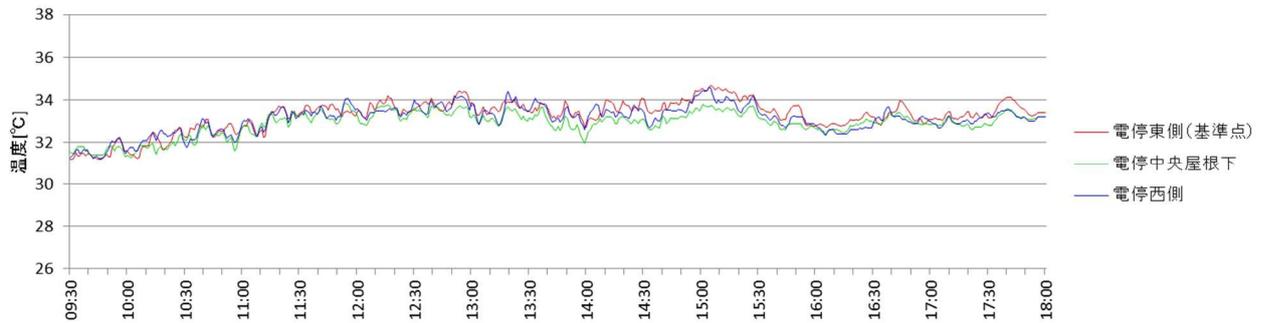


図 8.6 気温の日変化 (7/26)



図 8.7 湿度の日変化 (7/26)

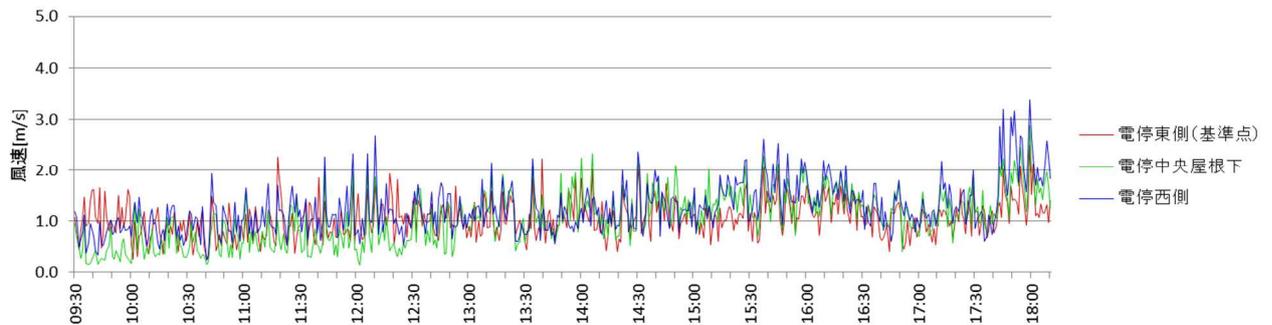


図 8.8 風速の日変化 (7/26)

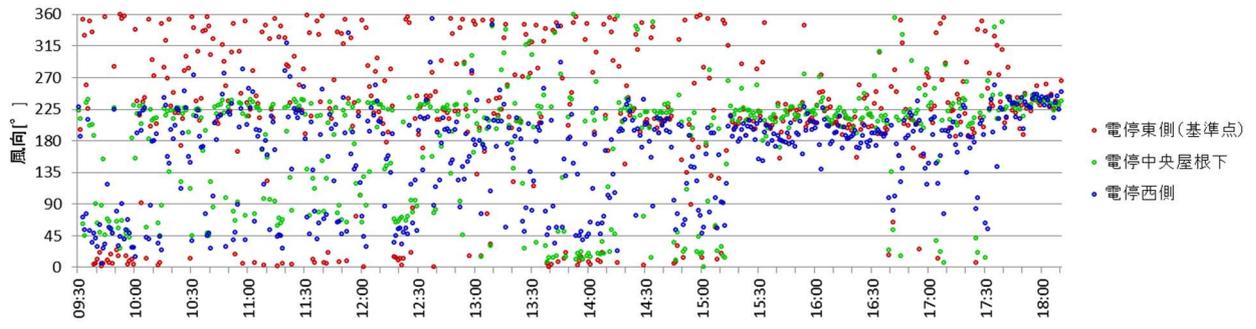


図 8.9 風向の日変化 (7/26)

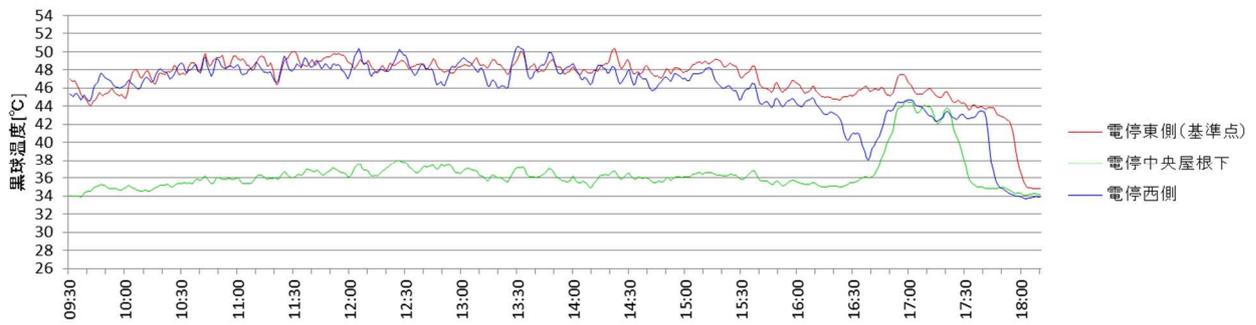


図 8.10 黒球温度の日変化 (7/26)

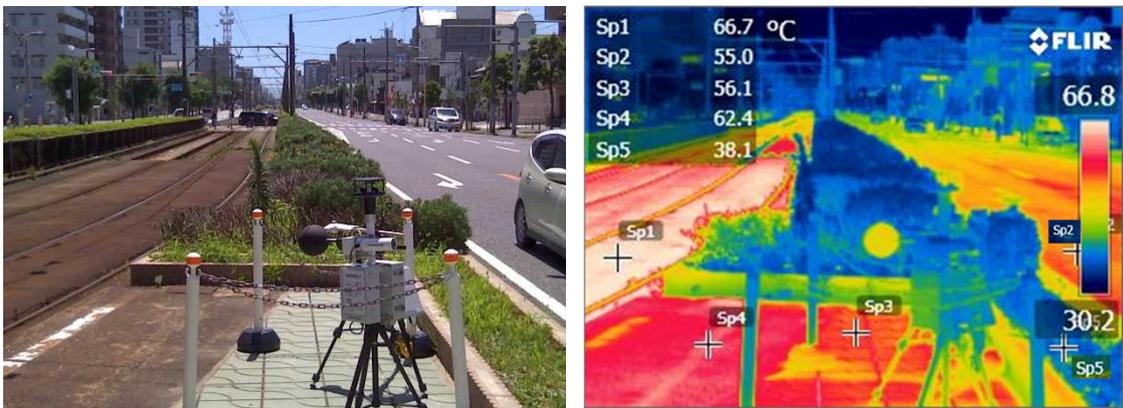


図 8.11 対策実施場所周辺の表面温度分布 (7/26 14:00、32.7°C)

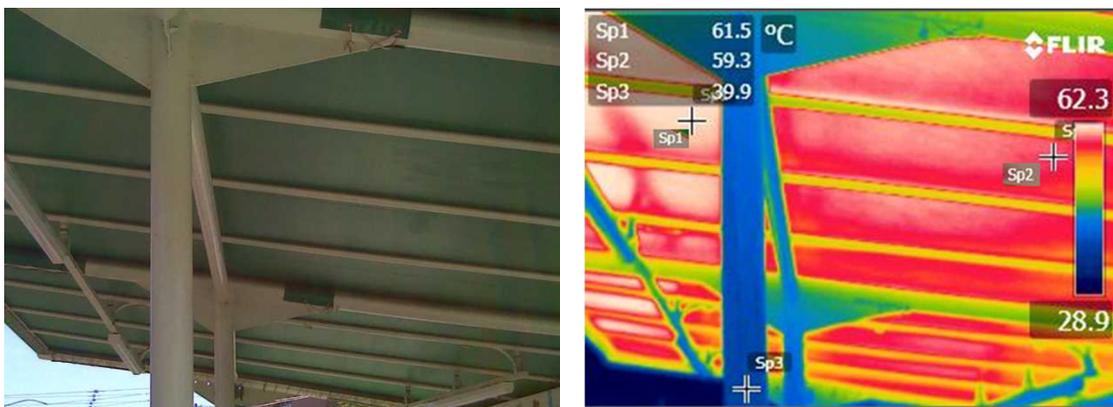


図 8.12 既設屋根のテント膜の表面温度分布 (7/26 14:01、33.0°C)

日向と既設の屋根の下の長短波放射量を比較すると、屋根の下では短波は 90%以上遮られているが、一方で下向き長波放射量が日向に比べて大きく、高温化したテント膜の影響があることがわかる。

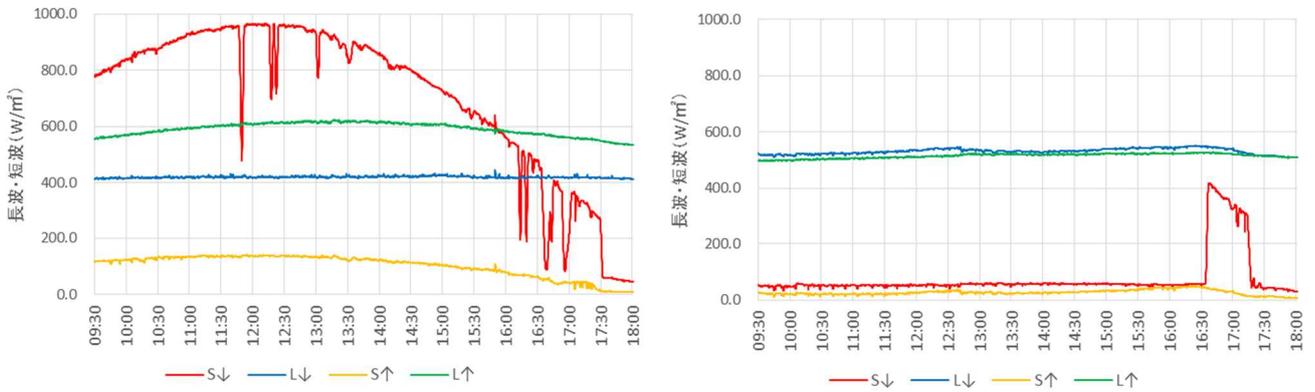


図 8.13 対策予定場所（日向）（左）と既設屋根下（右）の長短波放射量

測定結果より、平均放射温度（MRT）と体感温度指標（SET*²、WBGT）を算出し、日変化をグラフで表した。

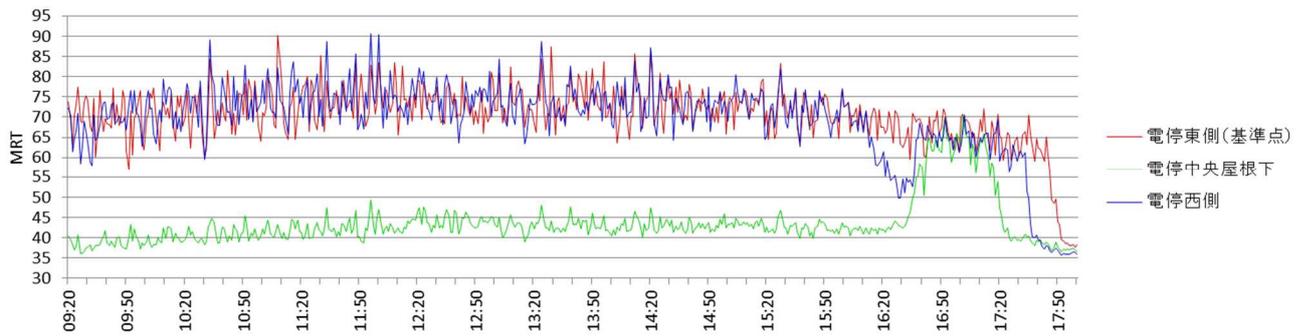


図 8.14 MRT の日変化 (7/26)

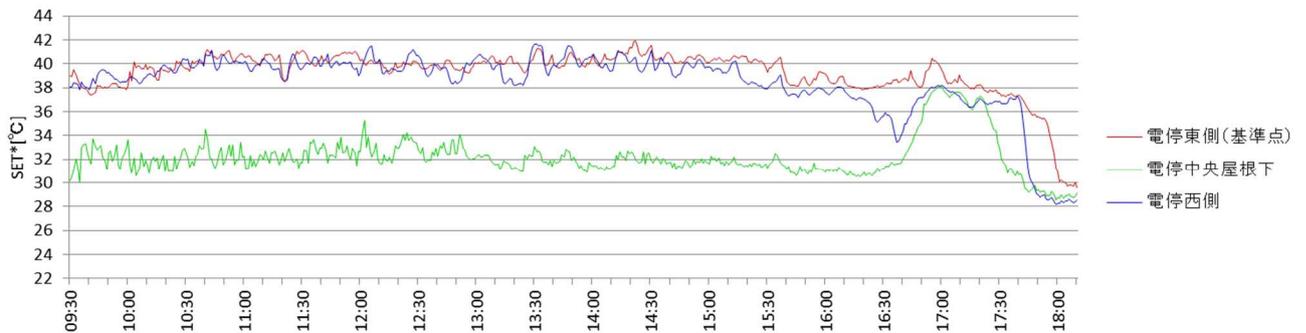


図 8.15 SET*の日変化 (7/26)

² 体重 62kg、体表面積 1.62 m²、着衣量 0.43clo、代謝量 58.2W/m²、外部仕事量 0W/m²として計算

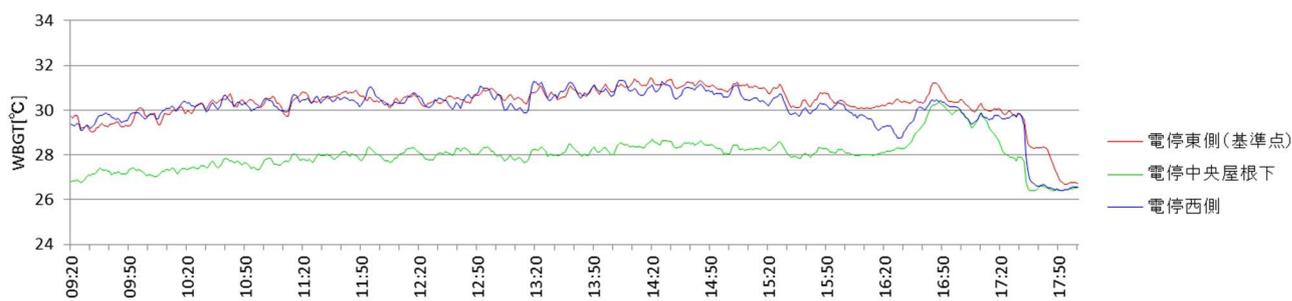


図 8.16 WBGT の日変化 (7/26)

また、天空写真より測定地点各箇所の日照時間（8月1日）を求めた。周囲に日射を遮る建物などがなく日中日射が当たり続けることがわかった。

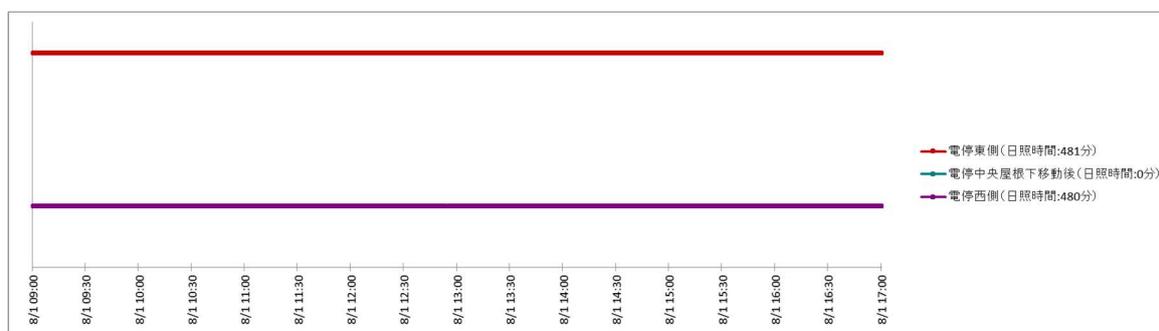


図 8.17 8月1日の日照時間（実線部分が日が当たっている時間）

8.4.2 利用状況調査

1) 実施概要

熱環境測定と同日に、電停利用者調査を行った。
測定項目：性別（男・女）、年代（10歳以下・60歳以下・60歳より高齢）、滞在時間、電停までの徒歩時間（ヒアリング）、行き先停車所（ヒアリング）

2) 結果概要

時間帯別滞在人数は、図 8.19 で示したとおりで、毎時5本前後電車が停車し、電車が来るたびにおよそ2～3人の乗車があることがわかった。また、図 8.20 に示したとおり、電停までの徒歩所要時間は5分以下の利用者が8割近くを占めた。行き先停留所の回答と各停留所までの所要時間から、電車乗車時間を整理したところ、図 8.21 のようになり、7割以上の利用者が20分以上乗車していることがわかった。



図 8.18 N1001系車両

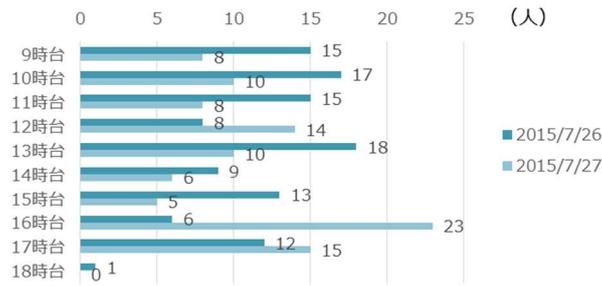


図 8.19 時間帯別滞在人数 (N=213)

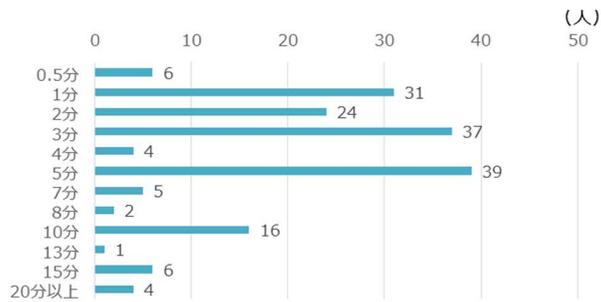


図 8.20 徒歩時間の分布 (8/4, 8/5 合計) (N=175)

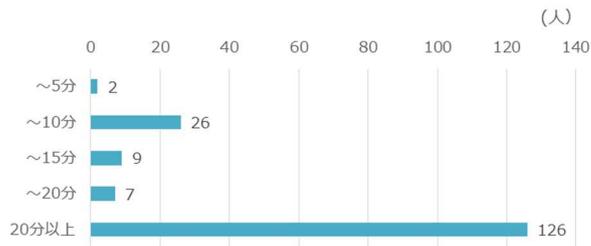


図 8.21 電車乗車時間 (8/4, 8/5 合計) (N=170)

8.5 技術の選定と効果予測

これまでに把握した環境特性や利用特性、施工上の制約を考慮した上で、暑熱対策技術の設計を行った。



図 8.22 暑熱対策技術導入場所

8.5.1 設計の考え方

暑熱対策技術の設計にあたっては、限られた範囲かつ、高温化している路面に囲まれているため、強制的に冷却する工夫をした。

8.5.2 対策技術の選定

①日除け

施工可能な範囲を最大限に覆うように日除けを設置し、日射の影響を軽減させる。



図 8.23 木の葉を模したフラクタル形状の日除け³

②ファンにミスト噴霧ノズルを取り付けた冷却ユニット

ミストファン（2. 2.1.6 参照）を用いて水と風を発生させて強制的に体を冷却する

③背面に水を活用した冷却材を設置

背面に冷却ルーバー（2. 2.1.3 参照）を設置し、寄りかかりタイプのベンチ（サポート付きベンチ）を設置することにより冷却面に近づいて着座できるように工夫した。

①、②、③を組み合わせたイメージを図 8.24 に示す。

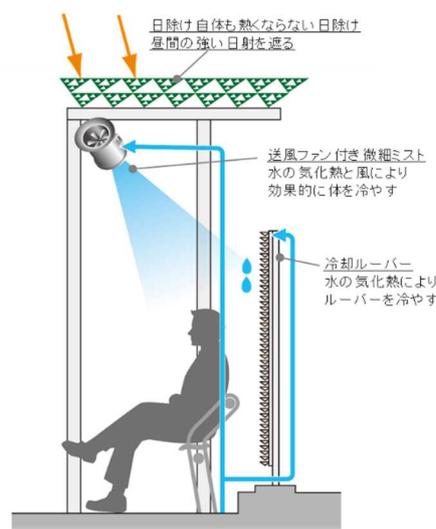


図 8.24 対策イメージ

³ 写真は江戸川区での設置事例

8.5.3 効果の予測

導入予定技術の効果を熱環境シミュレーションツール (ThermoRender 4 Pro : A&A 社) を用いて予測、評価した。道路や設置予定物を CAD ソフトウェア (Vectorworks2013 : Nemetscheck Vetorworks 社) 上において3次元でモデル化し、それぞれの素材の熱容量や日射反射率などの熱的な特性や、8.4 で得られた現況の気象データ等を入力しシミュレーションを実施した。

1) 入力データ

気象データは、8.4 で得られた7月26日の日向測定点の気温・湿度・風速・日射量のデータを用いて設定した。

対策実施場所を含む約10m×10mを計算領域とし、道路や設置予定物の3Dモデルを作成した。また、熱的特性の反映のため、モデルの各部位(設置物部材、道路被覆、樹木)についてThermoRenderのデータベースから適切な部材使用(材料、断面仕様など)を設定した。

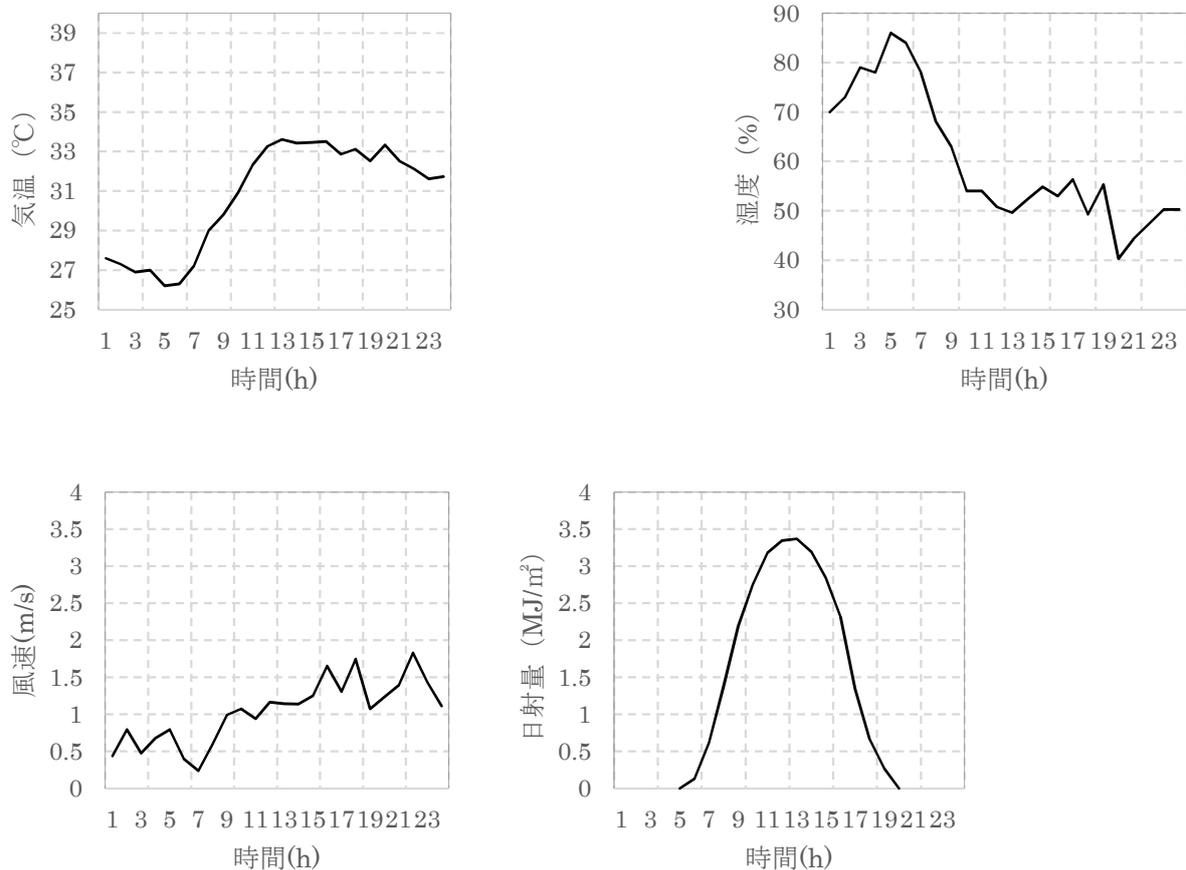


図 8.25 シミュレーションに入力した気象データ

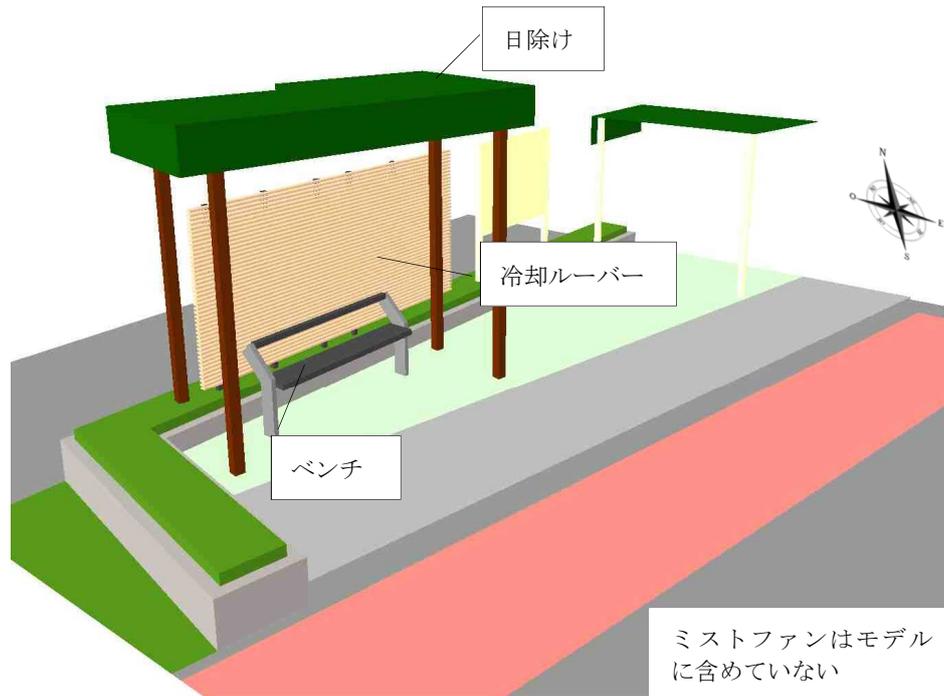


図 8.26 作成した 3D モデル

2) パラメータの設定

日除けの日射透過率は既往研究⁴を参考に 15%とした。冷却ルーバーは、一日中含水状態が一定となるように設定した。

3) 計算結果

① 表面温度

7月26日の正午時点で、気温 33.3℃のときの表面温度分布を図に示した。対策を実施していない日向の道路の表面温度は 60℃近くなり気温よりも 27℃程度高くなるが、対策実施場所では、日陰の効果で路面は 40℃程度に抑えられる。

⁴ 蝦名ほか, 日射遮蔽による屋外暑熱環境の緩和に関する研究 その1 フラクタル形状日除けによる暑熱環境緩和効果の実測評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2013.08

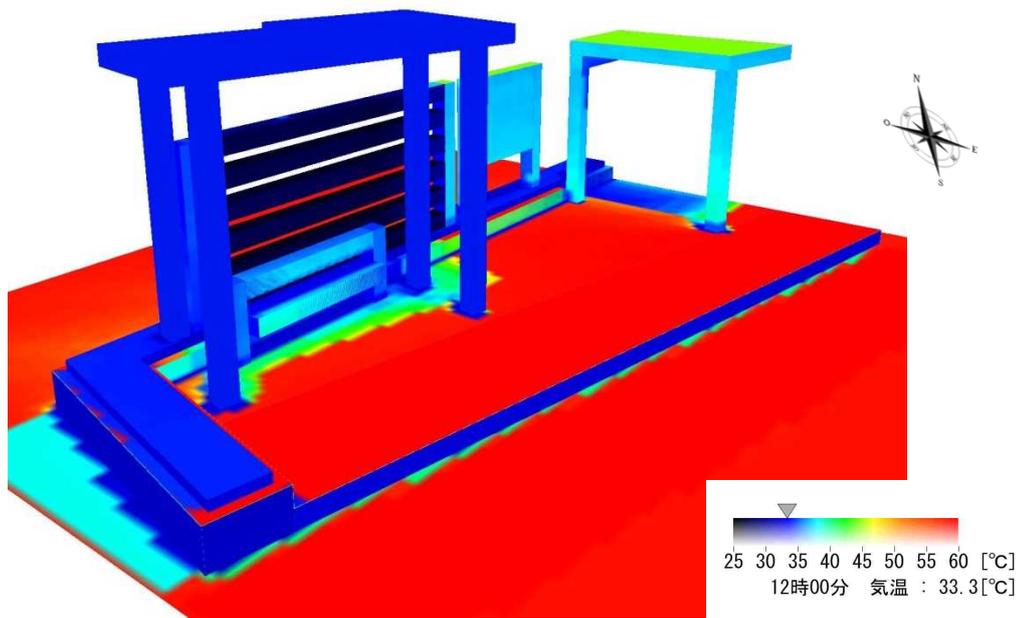


図 8.27 12 時の表面温度分布の計算結果

② MRT (平均放射温度)

地上高 1.1m 地点における正午の平均放射温度を求めた。図 8.32 に 12 時時点(気温 33.3℃、相対湿度 50.7%、風速 1.2m/s)での平面分布を示した。日向地点の MRT61.1℃と比べると、対策場所のベンチ付近は 39.4℃となっており、設置予定の暑熱対策技術により 21.7℃の MRT 低減効果が予測される。

また、図 8.33 に経時変化を示した。午前中は対策場所と日向では 10℃程度の差にとどまるが、これは日除けの面積の制限により、午前中の日射が当たる影響と考えられる。日中は日向に比べ日除けと冷却ルーバーにより 23℃前後の MRT 低減効果がみられ夕方 17 時半以降には気温よりも低い温度に低下することがわかる。

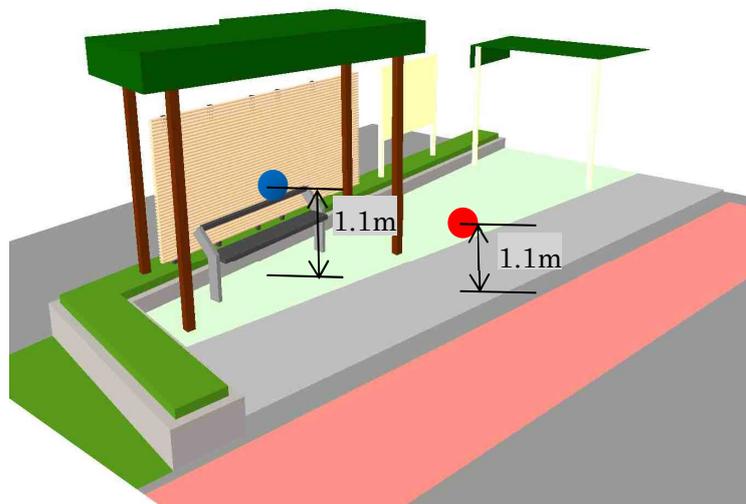


図 8.28 MRT 算出地点

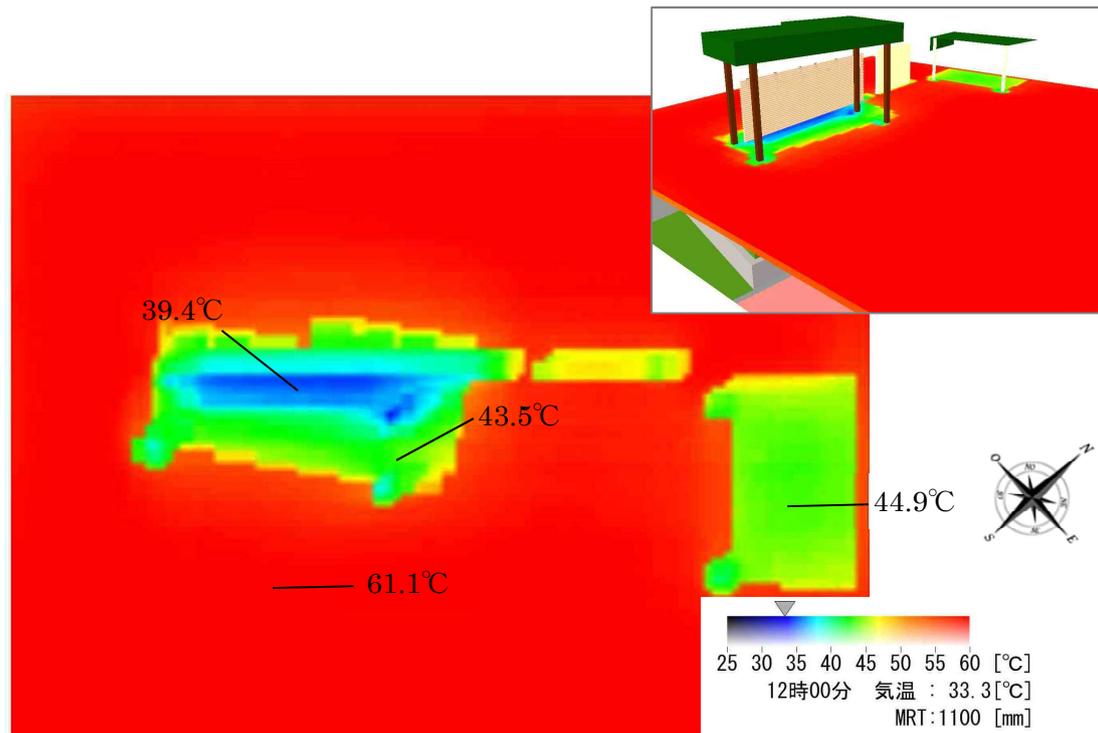


図 8.29 12 時の MRT の面的分布の計算結果

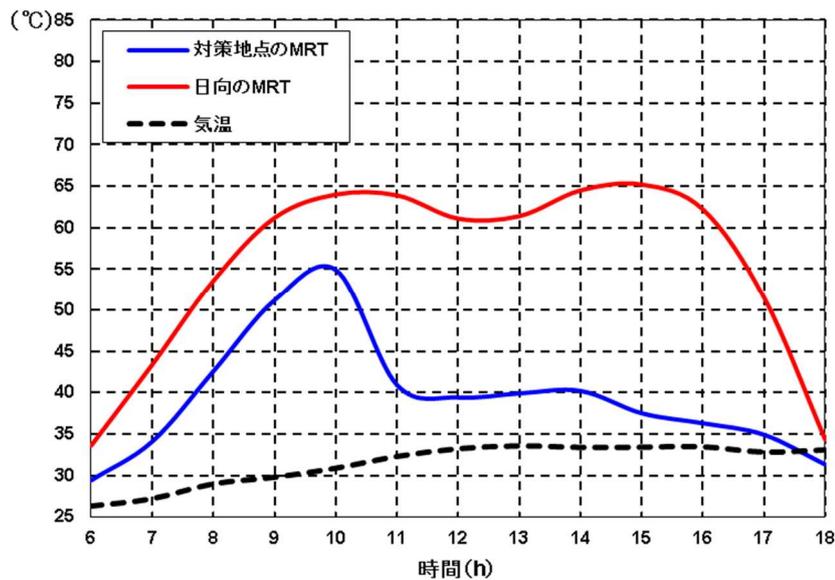


図 8.30 MRT の経時変化の計算結果

③ SET*

②で面的分布を示した 12 時時点の MRT の値を用いて、SET*を算出した。条件は、8.4 で用いた値と同じく、体重 62kg、体表面積 1.62 m²、着衣量 0.43clo、代謝量 58.2W/m²、外部仕事量 0W/m²とした。ミストファンの影響として、仮に 2°Cの気温低下、1 m/s の風速増加、8.6%の湿度増加があったと仮定して SET*を計算したところ、日向では 40.9°Cである一方、対策により 28.7°Cとなり、体感としては 12.2°Cの低減効果が見込まれ、より快適な待合場所を創出できることがわかった。

8.6 技術の導入

8.6.1 設計図と設計の際の留意点

技術の設計においては、以下の点に留意した。作成した設計図の一部を図 8.31、図 8.32 に示す。

1) 水の利用について

① 給水

水道敷設不可のため貯水タンクにより給水することとした。必要給水量は約 300ℓ/日で、毎日給水、全量排水を行う。

2) 電気の利用について

② 仮設電源の引き込み

電力供給不可のため仮設電線引込により対応した。

③ 仮設電柱の高さ

車道の建築限界を確保するため、仮設電柱の高さを 6m 以上とした。

3) 掘削に関する制約

④ 掘削限界

枕木中心から 45 度の角度という掘削限界を遵守して仮設電柱の設置方法を検討した。

⑤ 文化財保護法の埋蔵文化財包蔵地

掘削 60 日前に届出が必要であった。掘削深度によっては埋蔵文化財調査となるが、それを避けるために掘削を最低限に留めた。

4) その他

⑥ 植込みの土壌 pH

コンクリート打設は不適のため、出来合いの床板を設置した。

⑦ 施設の利用促進

施設の利用を促進するため、施設に近づくとミストファンが稼動するように、人感センサーを備える設計とした。

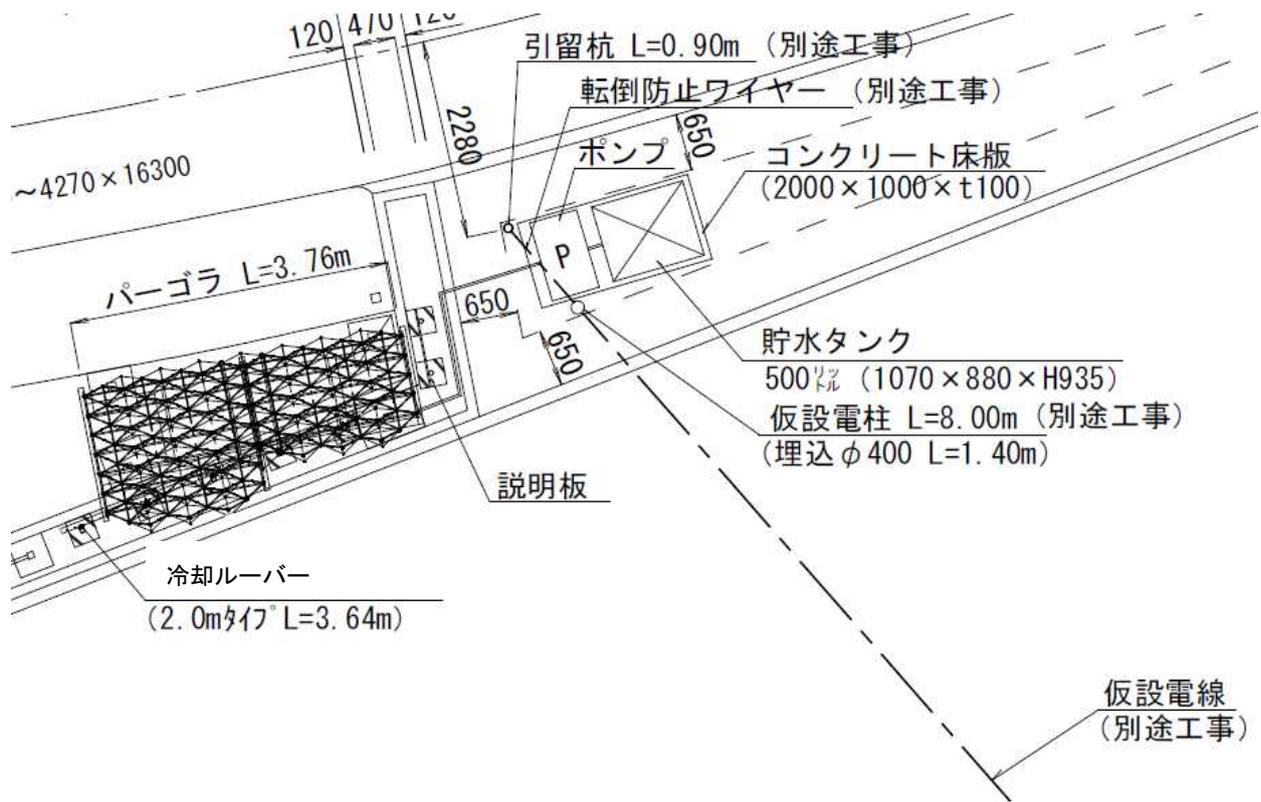


図 8.31 設計平面図

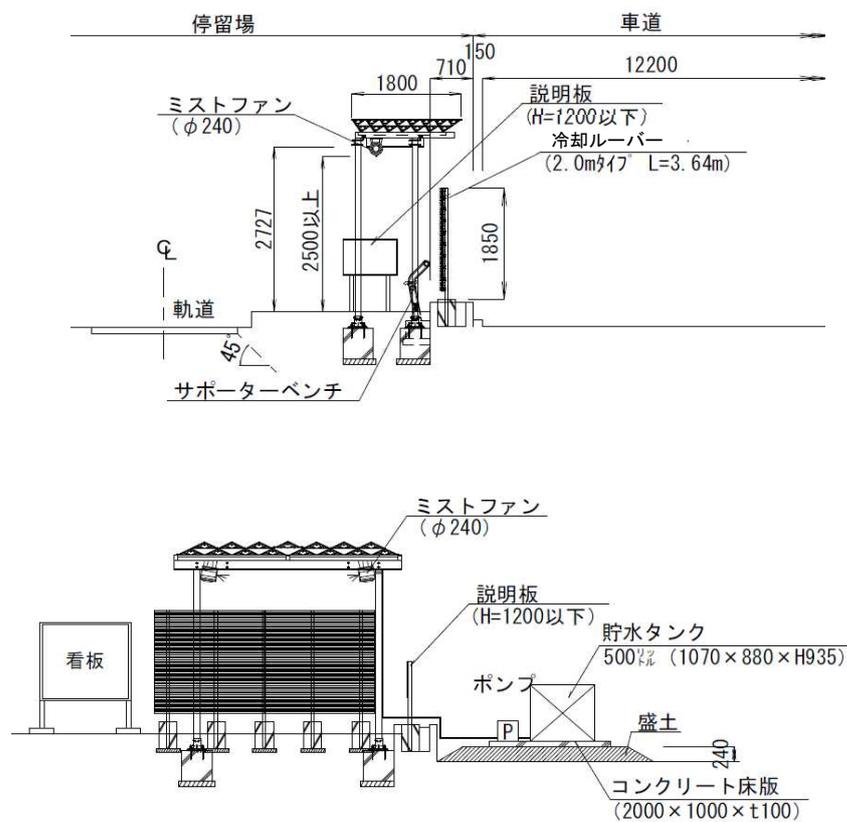


図 8.32 設計立面図

8.7 平成 28 年度の効果評価計画

導入した技術を平成 28 年度に運用し、技術の効果の評価を行うための実施計画を示す。

8.7.1 運用計画

平成 28 年度の暑熱対策技術運用について、下記に示す。

- ・ 6 月から 9 月を稼働期間（給水を行う期間）とし、10 月以降に撤去を行う。
- ・ 平日・休日ともに稼働する。
- ・ 冷却ルーバーへの給水、ミストファンの稼働は 8 時から 19 時とする。
- ・ ミストファンは人感センサーにより、人が近づくと作動する。

8.7.2 平成 28 年度対策効果測定方針

1) 夏季集中測定

夏季晴天の代表的な気象条件において測定を行い、暑熱環境改善効果を把握する。SET*の低減効果を評価する温熱 4 要素測定と、ミストファンの効果を人体生理反応等で評価するための調査を実施する。

① 温熱 4 要素測定

冷却ルーバー、ミストファン、日除けの効果の把握のため、温熱 4 要素の測定を行う。技術導入前と同様の環境にある場所を基準点とし、対策実施場所との比較を行う。得られた実測値から SET*低減効果を評価する。

測定パターンとして、対策技術への導水効果を把握するために、給水の有無を変える（表 8.3）。日射が少ない場合での暑熱対策技術の効果把握するために、曇天日での測定も行う。各日、日中（9:00～17:00 程度）に複数地点の同時測定を行うこととし、表 8.4 の項目を測定する。

表 8.3 給水条件を変えた測定パターン

給水条件	給水有無（○：あり、×：なし）	
	冷却ルーバー	ミストファン
①	○	○
②	×	×
③	○	×
④	×	○

表 8.4 平成 28 年度夏季集中測定項目一覧

測定項目	方式等	測定間隔
温湿度	強制通風方式	1 秒
黒球温度	ベルノン式	1 秒
風向風速	超音波式	1 秒
路面温度	非接触式	1 秒
日射量	-	1 秒
熱画像	サーモカメラ	毎正時

利用者の着座時の熱環境を把握するため、阪堺電車と相談のうえ一時的にベンチを専有し、ベンチ着座時を想定した測定（GL+1.1m）を行う。基準点は平成 27 年度調査と同様の日向に置く。



図 8.34 測定点

② 人体生理反応調査等によるミストファンを含めた複合効果調査

ミストファンを含めた効果評価を人体生理反応等で調査する。評価方法は大阪市立大学等と検討中であるが、現時点で実施を予定している人体生理・心理反応実験の概要を以下に示す。

被験者 6 名を 3 グループに各 2 人ずつ振り分ける。始めに空調室である堺市青少年センターで安静にし、その後、屋外に出て 5 分間歩行する。その後、技術設置場所を含めた熱環境の異なる 3 パターン（日向、対策実施場所、参考比較点として、電停既存の屋根の下）のベンチに 15 分間着座する。



図 8.35 実験イメージ

表 8.5 実験スケジュール

	30分	5分	15分
A	屋内にて準備の後、 座位安静	日向歩行	屋外座位 (日向 対策無)
B			屋外座位 (対策1 技術設置場所)
C			屋外座位 (対策2 既設屋根)

測定項目：被験者の心拍、各滞在箇所の温熱4要素

2) 春季・秋季測定

実施場所の温熱環境の傾向の把握を目的とし、春季（6月ごろ）、秋季（9月ごろ）といった1)で測定した時期以外にも、同様の測定を実施する。測定項目・測定点については1)と同じ条件で行う。ただし、天候は雨天でない限り問わない。また、給水パターンも変えずに、通常運転の状態を実施する。得られた結果は、CO₂ 排出削減量算出の際に、標準気象下での SET*低減量を把握するための参考数値として用いる。

3) 利用者ヒアリング

導入した対策技術について、利用者からの主観評価を得るため、ヒアリング調査を実施する。ヒアリング項目は検討中である。