

8章 堺市綾ノ町電停での検証

8.1 概要

8.1.1 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分間隔程度で運行しており、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⁷⁴



図 8.2 実施場所遠景（左）及び近景（右）

⁷⁴ 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、路面電車利用者にとってより快適な待合場所を作ることとした。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、空調利用によるCO₂排出量の増加を回避する手法を検討した。

8.1.2 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。

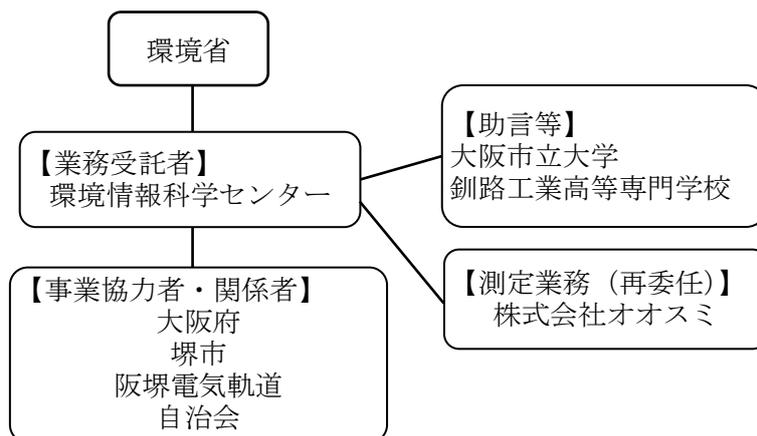


図 8.3 実施体制

8.1.3 実施スケジュール

2015 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、2016 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した。実施 2 カ年の実施スケジュールを次に示す。

表 8.1 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CO2削減メカニズムの検討	■											
	導入する暑熱対策技術の検討	■											
	熱環境集中測定(現況把握)					■							
	利用状況調査(現況把握)					■							
	対策技術の設置										■		
	H27年度とりまとめ										■		
H28年度	検証手法の検討	■											
	暑熱対策技術の運用			■									
	熱環境・生理・心理反応測定(効果検証)					■							
	対策技術の撤去							■					
	検証結果の検討							■					
	結果のとりまとめ										■		

8.2 現況把握と技術の選定・導入

対策前の熱環境や利用状況を把握するために、夏季に現地調査を実施した。

- ・ 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なく、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 1 m/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。

8.2.1 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 8.4 測器設置状況

測定項目は表 8.2 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 8.2 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。

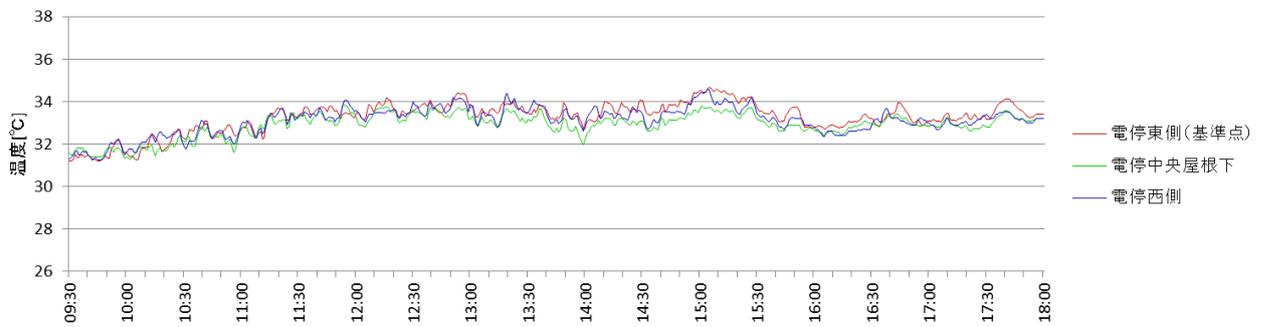


図 8.5 気温の日変化 (7/26)



図 8.6 湿度の日変化 (7/26)

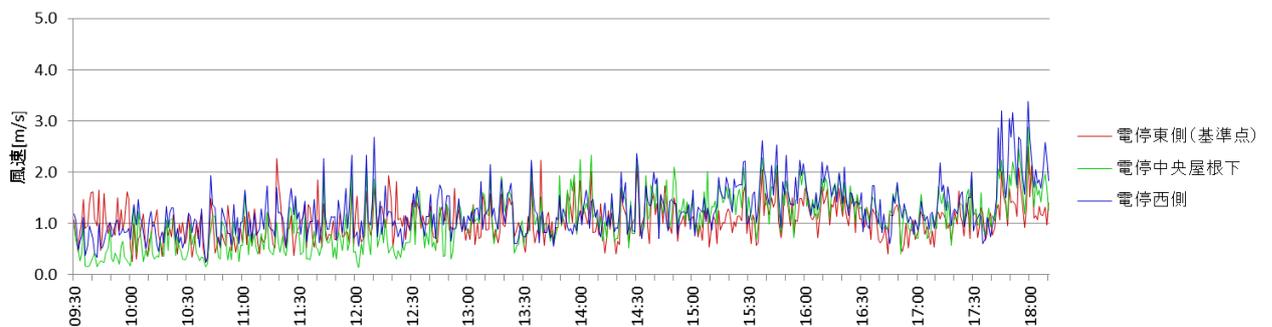


図 8.7 風速の日変化 (7/26)

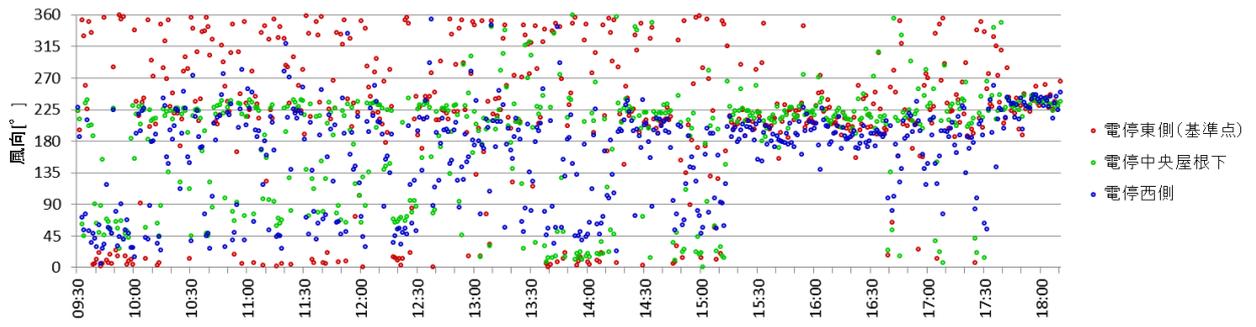


図 8.8 風向の日変化 (7/26)

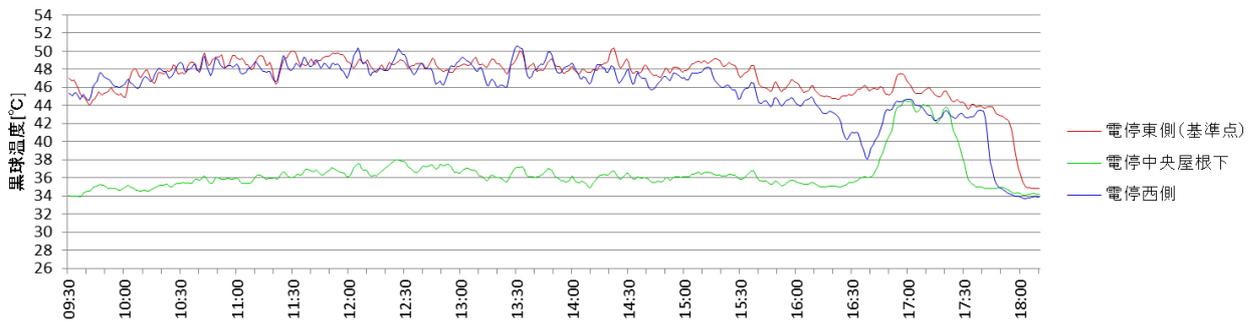


図 8.9 黒球温度の日変化 (7/26)

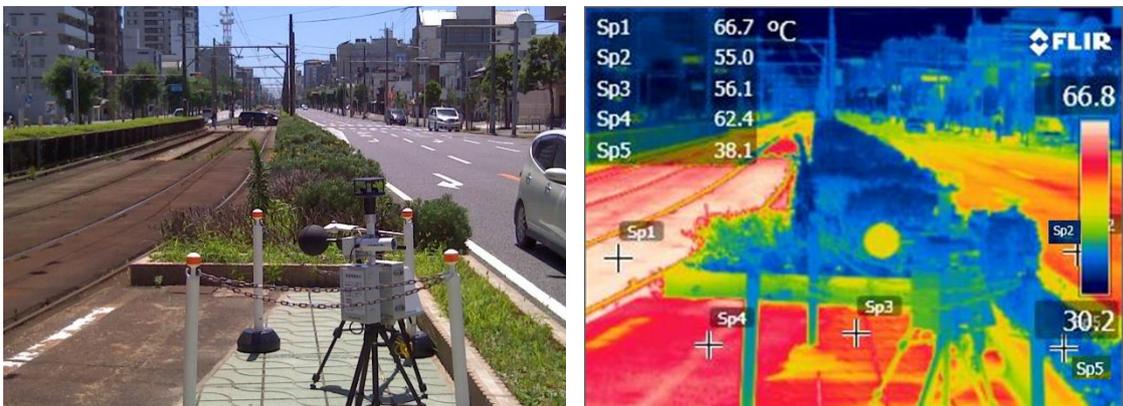


図 8.10 対策実施場所周辺の表面温度分布 (7/26 14:00、32.7°C)

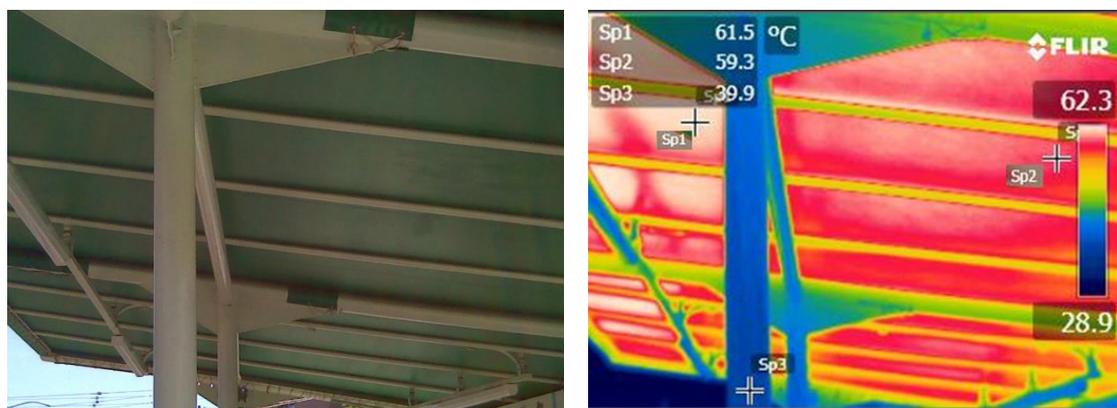


図 8.11 既設屋根のテント膜の表面温度分布 (7/26 14:01、33.0°C)

日向と既設の屋根の下の長短波放射量を比較すると、屋根の下では短波放射量（S↓）は 90% 以上遮られているが、一方で下向き長波放射量（L↓）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。

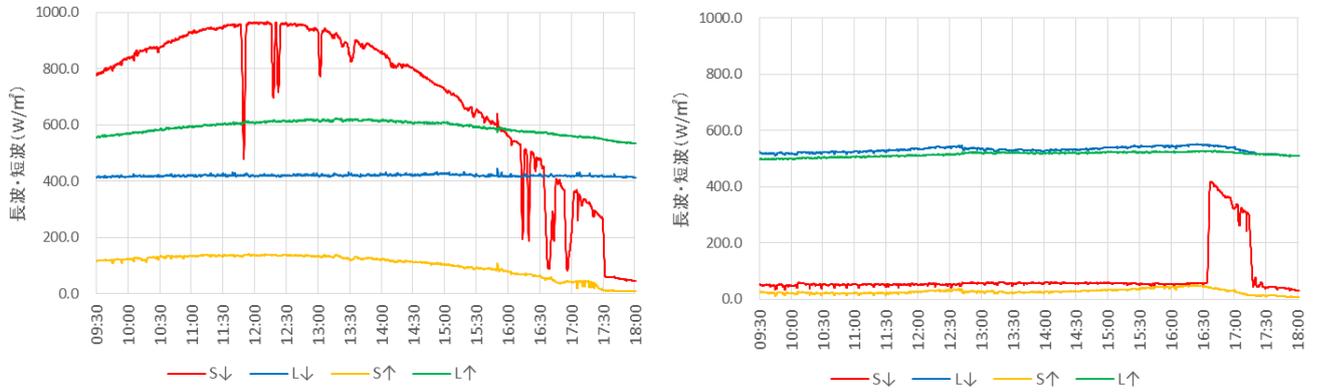


図 8.12 対策予定場所（日向）（左）と既設屋根下（右）の長短波放射量

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

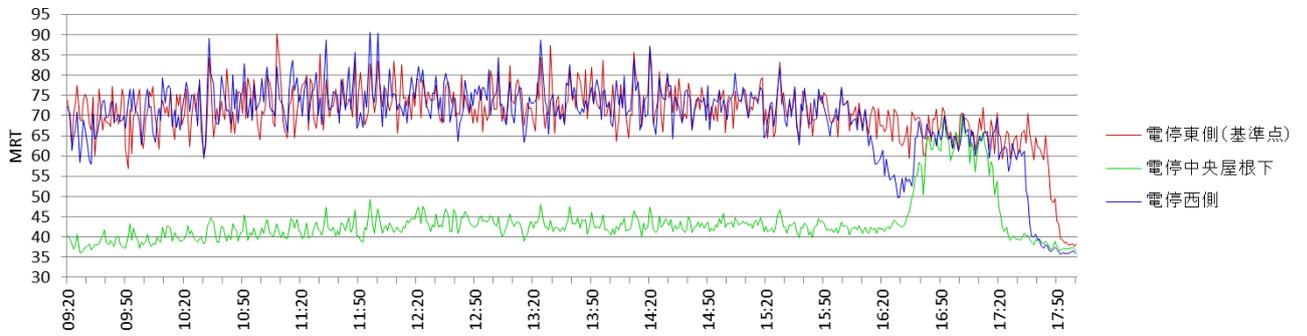


図 8.13 MRT の日変化 (7/26)

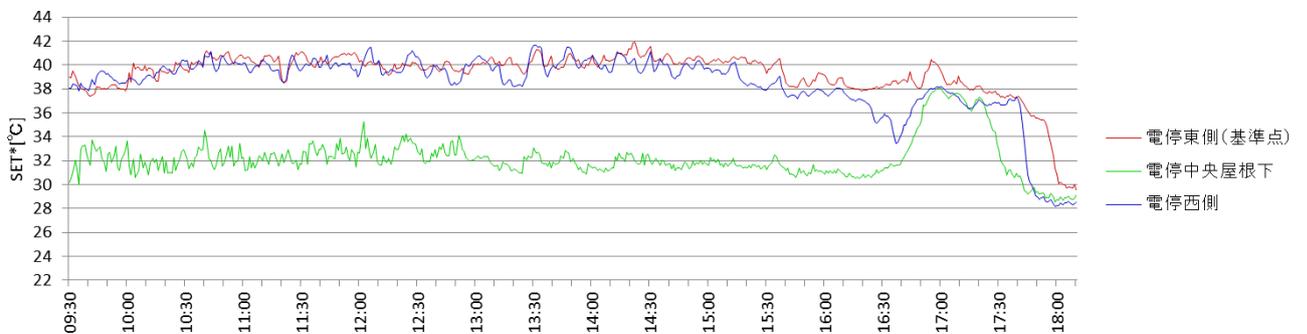


図 8.14 SET* の日変化 (7/26)

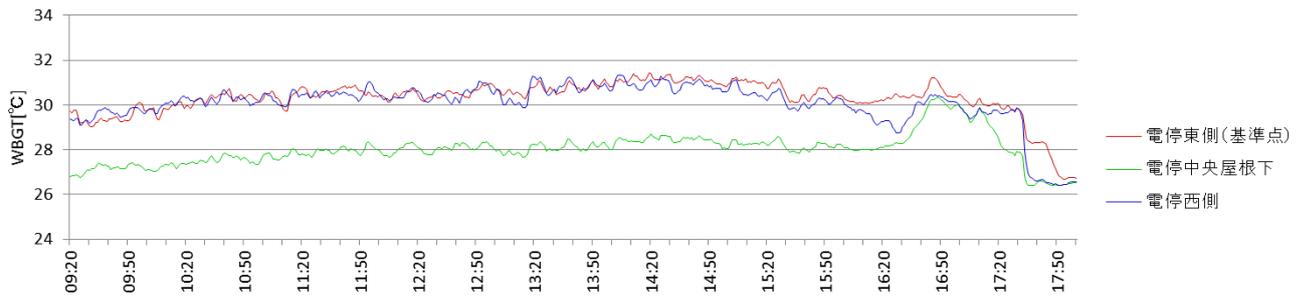


図 8.15 WBGT の日変化 (7/26)

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。

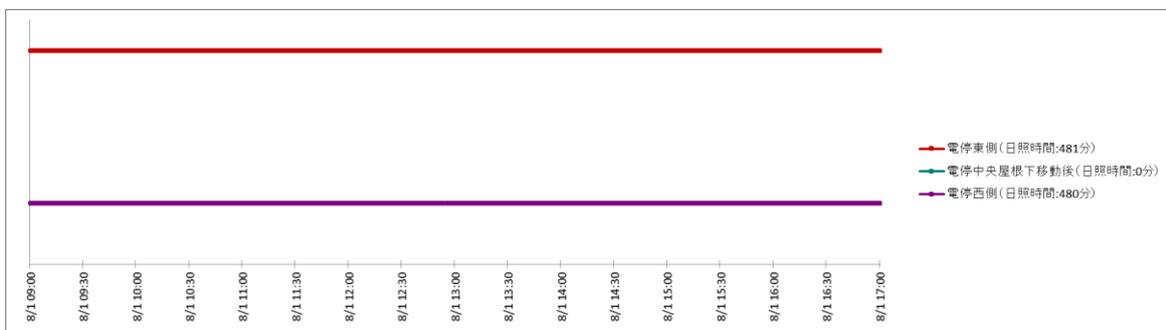


図 8.16 8月1日の日照時間（実線部分が日が当たっている時間）

8.2.2 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 8.18 に示したとおりで、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 8.19 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 8.20 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 8.17 1001 形車両

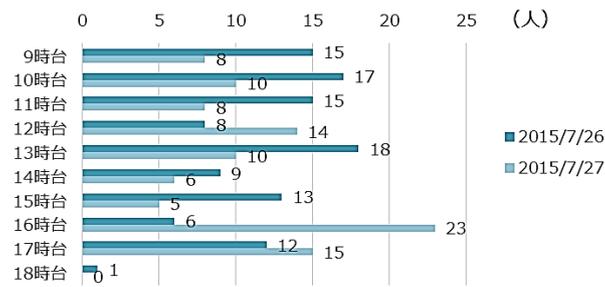


図 8.18 時間帯別滞在人数 (N=213)

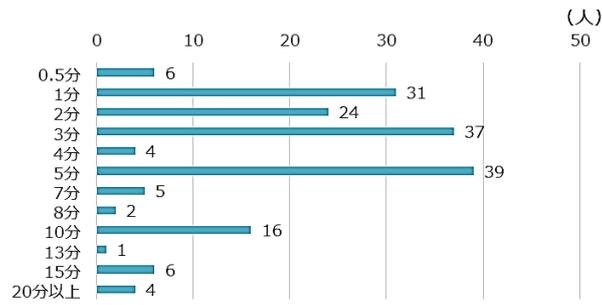


図 8.19 徒歩時間の分布 (8/4, 8/5 合計) (N=175)

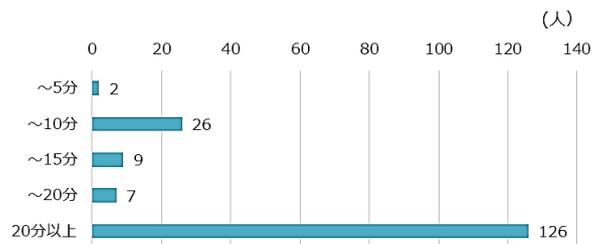


図 8.20 電車乗車時間 (8/4, 8/5 合計) (N=170)

8.2.3 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 8.21 暑熱対策技術導入場所

1) 設計の考え方

暑熱対策技術の設計にあたっては、電停駅舎の限られた敷地であり、高温化している路面に囲

まれているため、コンパクトな対策技術で強制的に冷却する工夫をした。

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た。

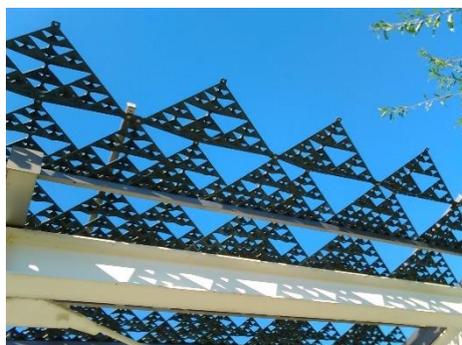


図 8.22 木の葉を模したフラクタル形状の日除け⁷⁵

②送風機にミスト噴霧ノズルを取り付けた冷却ユニット

送風機付きミスト噴霧装置を用いて水と風を発生させて強制的に体を冷却した。設置場所が車道際であったため、噴霧量や風向きにより道路にミストが流され、交通の視認性の悪化が懸念される可能性があったため、送風機付きのものを選択し、ある程度一定方向に噴霧されるようにすることとした。

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 8.23 に示す。

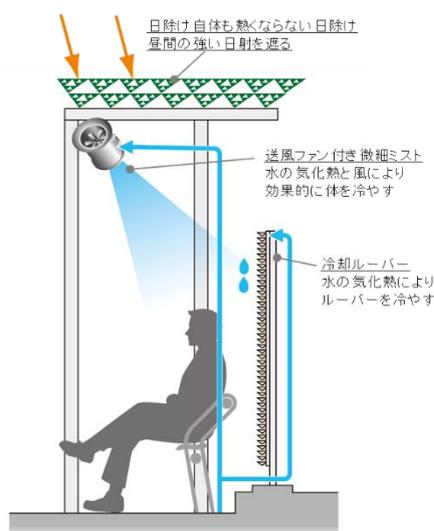


図 8.23 対策イメージ

⁷⁵ 写真は江戸川区での設置事例

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、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、2015 年 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 を計算領域とした。また、モデルの各部位 (設置物部材、道路被覆、樹木) の熱的特性について ThermoRender のデータベースから適切な部材特性 (材料、断面仕様など) を設定した。

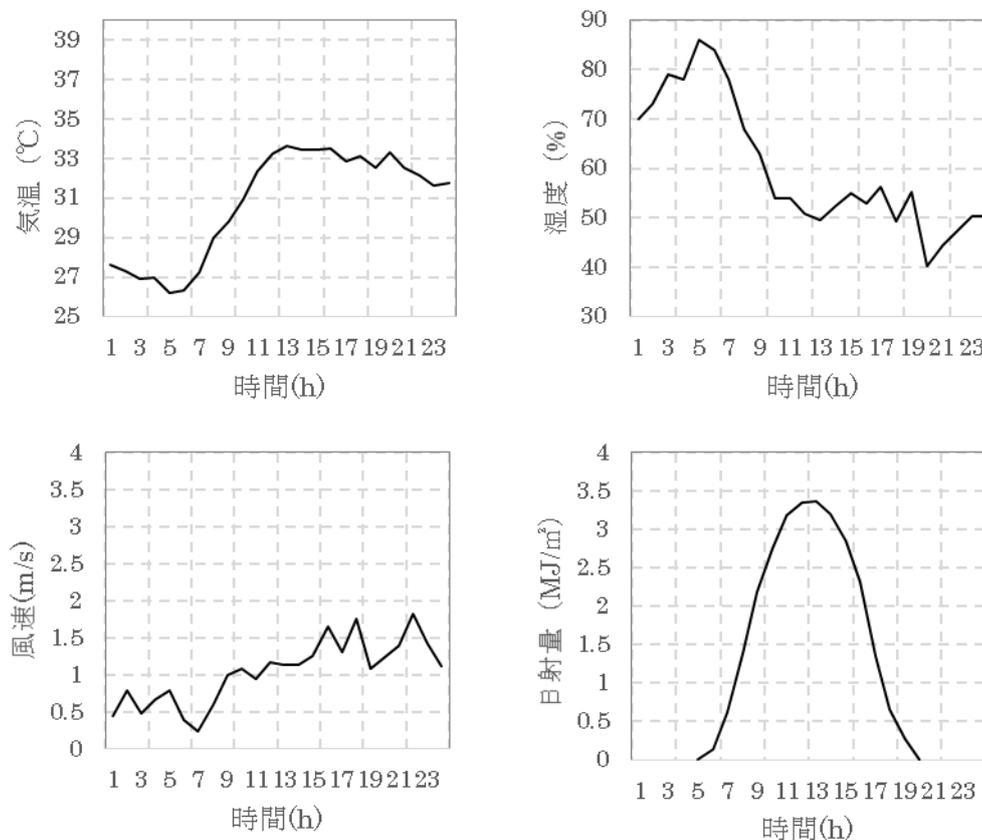


図 8.24 シミュレーションに入力した気象データ

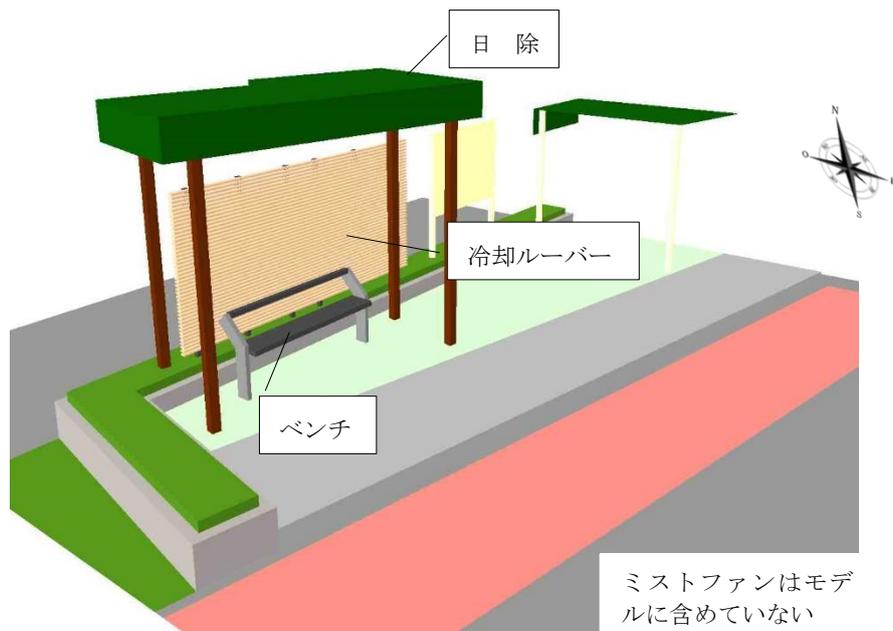


図 8.25 作成した 3D モデル

②パラメータの設定

日除けの日射透過率は既往研究⁷⁶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

i) 表面温度

7月26日の正午時点で、気温 33.3°C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°C近くなり気温よりも 27°C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°C程度に抑えられる。

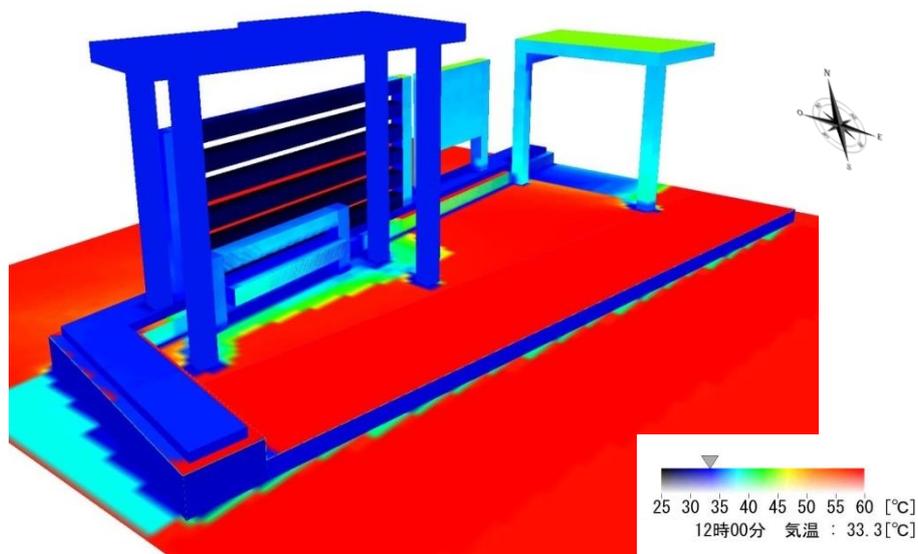


図 8.26 12時の表面温度分布の計算結果

⁷⁶ 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

ii) MRT

地上高 1.1m 地点における正午の MRT を求めた。図 8.28 に 12 時(気温 33.3℃、相対湿度 50.7%、風速 1.2m/s) の MRT の平面分布を示した。日向地点の MRT が 61.1℃であったのに対し、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 8.29 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約により、午前中に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。

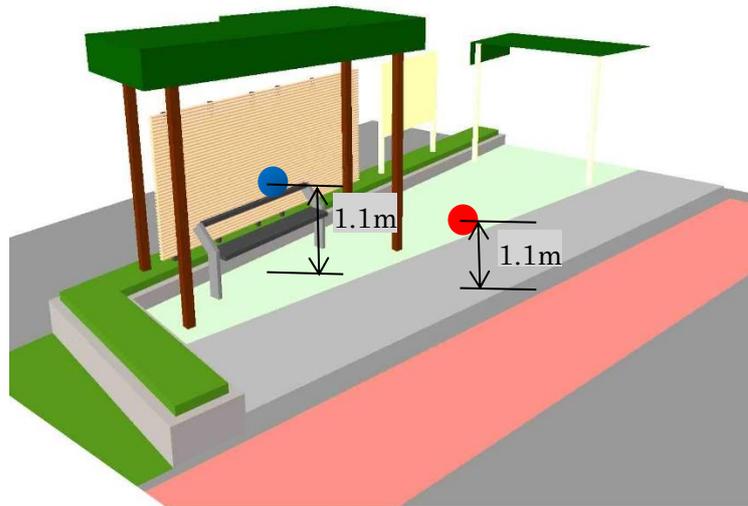


図 8.27 MRT 算出地点

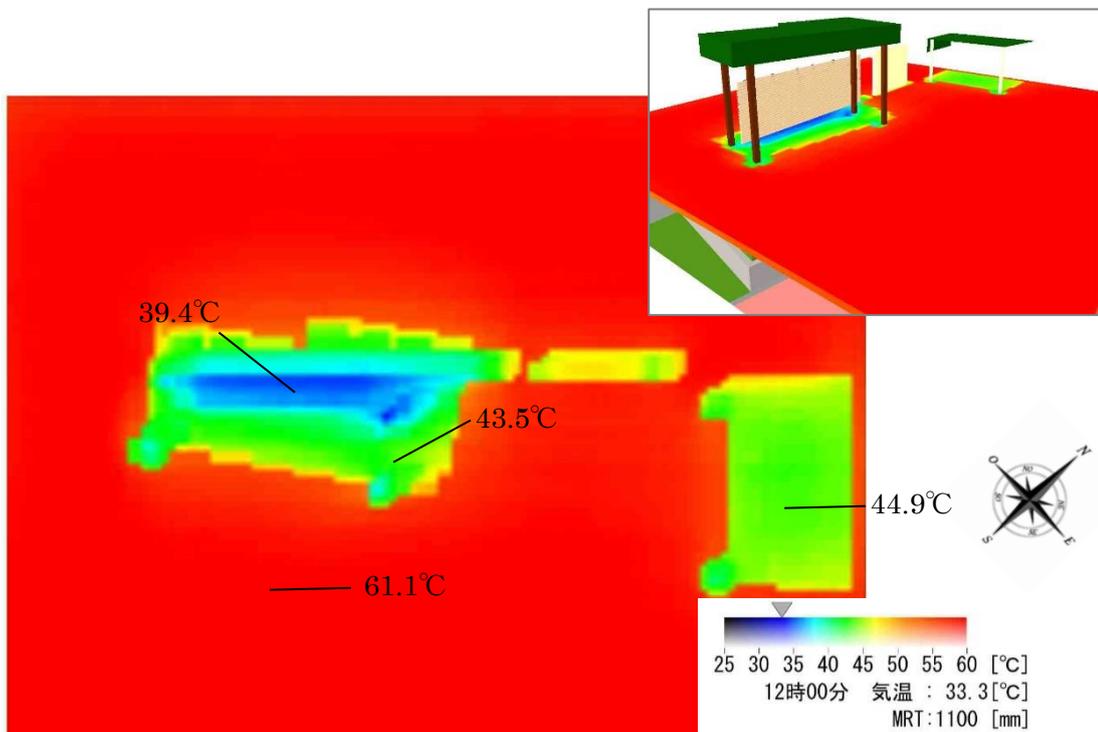


図 8.28 12 時の MRT の面的分布の計算結果

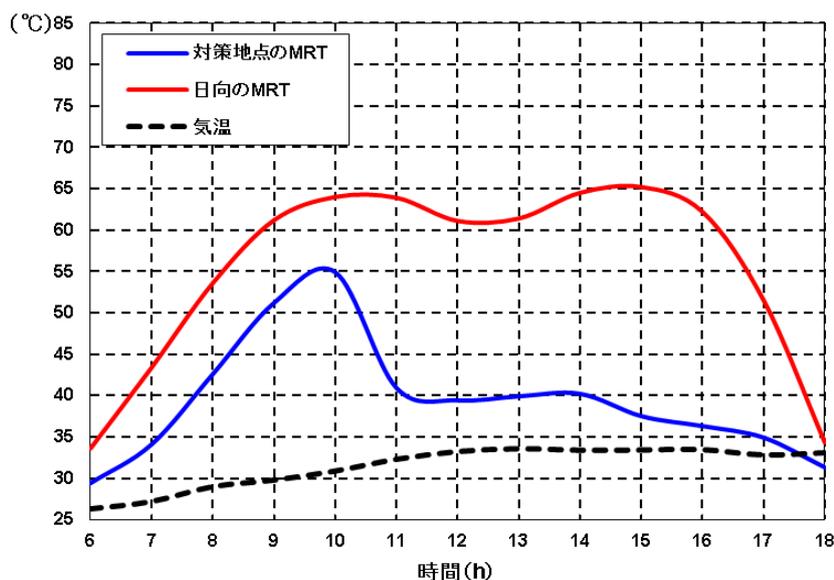


図 8.29 MRT の経時変化の計算結果

iii) SET*

②で面的分布を示した 12 時の MRT の値を用いて、SET*を算出した。計算条件は、これまでと同様、体重 62kg、体表面積 1.62m²、着衣量 0.43clo、代謝量 58.2W/ 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。

8.2.4 技術の導入

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 8.30、図 8.31 に示す。

①水の利用について

- ・給水

水道敷設が難しいため、貯水タンクにより給水することとした。給水量は約 300ℓ/日で、毎日給水、全量排水を行うこととした。

②電気の利用について

- ・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。

- ・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 6 m 以上とした。

③掘削に関する制約

- ・掘削限界

軌道近傍であることから一定の掘削限界があるため、その範囲での仮設電柱の設置方法を検討した。

- ・文化財保護法の埋蔵文化財包蔵地

対策実施場所が埋蔵文化財包蔵地であることから、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、今回の基礎工事に必要な掘削深度では届出のみの手続きとなった。

④その他

- ・植込みの土壌 pH

植物への影響が懸念されるため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。

- ・施設の利用促進

施設の利用を促進する、また間欠運転による省エネ化を図るため、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。

- ・冷却ルーバー下部まで流れた水は土に吸水されるように植込み内に冷却ルーバーを設置した。

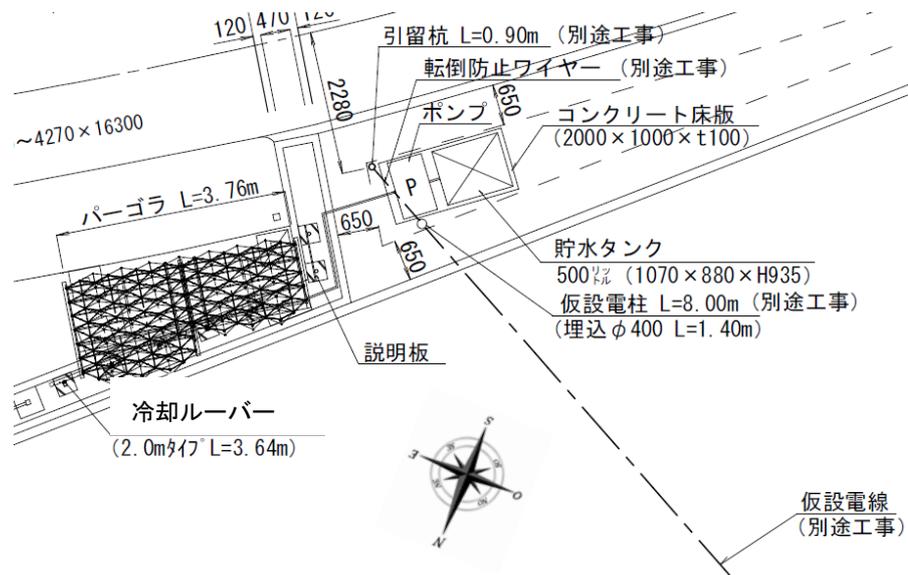


図 8.30 設計平面図



図 8.32 施設完成写真

8.2.5 施設の管理

1) 暑熱対策施設の運用について

平成 28 年度の暑熱対策施設の運用について、下記に示す。

6 月 3 日より稼働を開始した。下記に運用方針を示す。

- ・ 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 10 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。
- ・ より効果的に人の上半身を冷却するように運用中に送風機の向きの調節を行った。
- ・ 10 月 22 日に撤去工事を完了し、12 月 13 日に環境省立会の下、施設撤去・現状復旧の確認を行った。



図 8.33 撤去工事完了状況写真

2) 暑熱対策技術運用に要したエネルギー等消費量

暑熱対策技術運用には電力と上水を使用した。

表 8.4 電力の使用状況

	稼働条件	使用電力量
送風ファン付微細ミスト	人感センサー 感知後 5 分間	1 日あたり 2.5kWh (5分×10時から19時の電車本数分(47本)稼働していた場合の電力量)
インラインポンプ・制御盤	毎日 10 時～19 時	1 日あたり 0.6kWh (送付ファン付微細ミスト非稼働時の合計)

実際の電力メーターの情報から6月3日から9月末日まで266kWhの電力を使用しており、雨の日を除いて1日あたりの電力使用量を計算すると2.4kWhになり、およそ80%以上の割合で電車が来る度に送風ファン付き微細ミストが作動していたと考えられる。

表 8.5 上水の使用状況

	稼働条件	使用水量
送風ファン付微細ミスト	人感センサー 感知後 5 分間	1 日あたり 37ℓ (1回あたり5分間の噴霧で、10時から19時の電車本数分(47本)稼働していた場合の水量)
冷却ルーバー	毎日 10 時～19 時	1 日あたり 128ℓ (9時間の合計)

水の供給は雨の日を除く毎朝 300ℓ の上水をタンクに貯めて使用し、残った水は隣接する植栽帯に灌水していた。

8.3 対策効果の測定の実施と結果

8.3.1 実施概要

2016年の初夏から盛夏の期間中の6日間（6月3日、7月27～30日（被験者実験と並行して実施）、9月9日）の10:00～17:00に複数地点同時測定を行った。対策施設内のベンチ上に測器を設置した（下図：①）。また、対照として、対策施設近傍の日向（下図：②）及び既設テント下（下図：③）でも測定を実施した。いずれも測定高さは、黒球の中心が地上1.1mとなるように調整した。

また、7月の測定では、放射収支計を用いて長短波放射量を測定した。



図 8.34 測器設置場所

表 8.6 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（3次元）	1秒
路面温度	非接触式	1秒
放射収支量	4成分放射収支計	1秒
熱画像	サーモカメラ	毎正時

8.3.2 測定結果と効果の評価

1) 総合評価

安定したデータが取得できた6月3日、7月27日、7月29日の測定結果を示す。

ただし、6月3日はミストファンの吹き出しが評価点（地上1.1m）の約50cm程度上方を向いており、7月の測定時には、直接、評価点に向くように調整した。

6月3日は気温が25℃程度、相対湿度が30%程度と低くなっていた。7月27日、29日は気温32℃程度、湿度は50～60%程度であった。気温の低下量は、ミストファンの向きの違いが影響し、6月3日はミストファン噴霧時で0.5～1℃程度、7月は1.5～2℃程度であった。特に7月27日16:00からの濃い水色の網掛け部分は、ミストファンの噴霧に加え、通常のみストノズルから

の噴霧を追加したため、最大 2.5°C 程度の気温低下が見られた。

ミストファン噴霧時の風速は、日向にくらべて 1~1.5m/s 増加していた。

対策施設内の MRT は、6月の測定時に大きく改善し、日向との差は 30°C 程度に達した。これはフラクタル形状日除けの日射遮蔽性能が太陽高度や方位、日除けの設置向きによって異なり、今回の設置状況が6月の太陽軌道を守るのに適していたためと考えられる。

対策施設内の SET*は、6月は強い日射を遮ることで正午前後に 9.2~9.9°C、7月はミストファンの効果が大きく、正午前後には 7.1~8.7°C、また、15時以降には西側に設置していた冷却ルーバーが西日避けになった効果も加わり最大で 10°C 程度低くなっていた。

WBGT については、対策施設内が日向より 2~3°C 程度、低くなっており、WBGT の警戒レベルを日向より 1 ランク下げることができた。

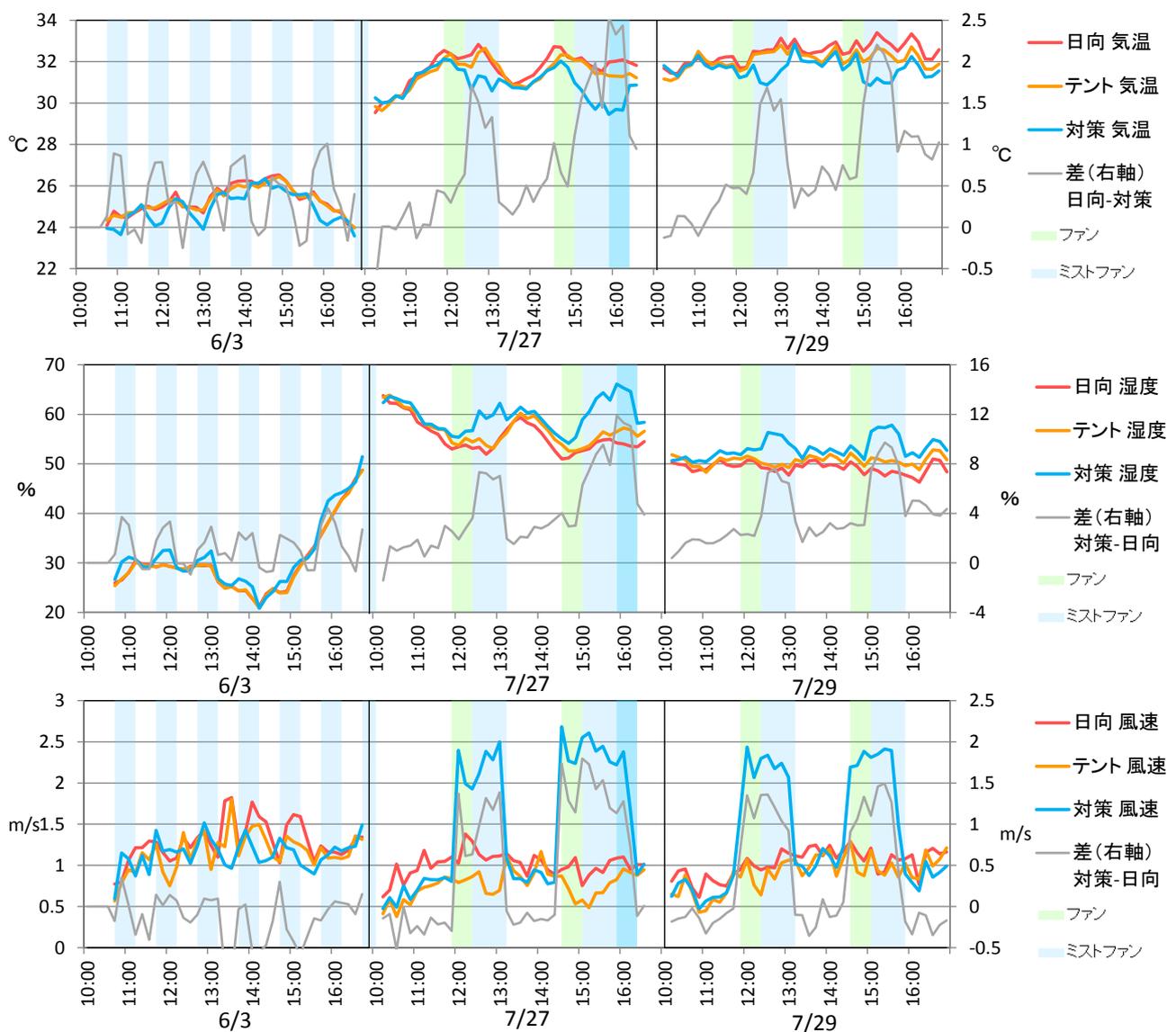


図 8.35 熱環境測定結果 (気温、湿度、風速)

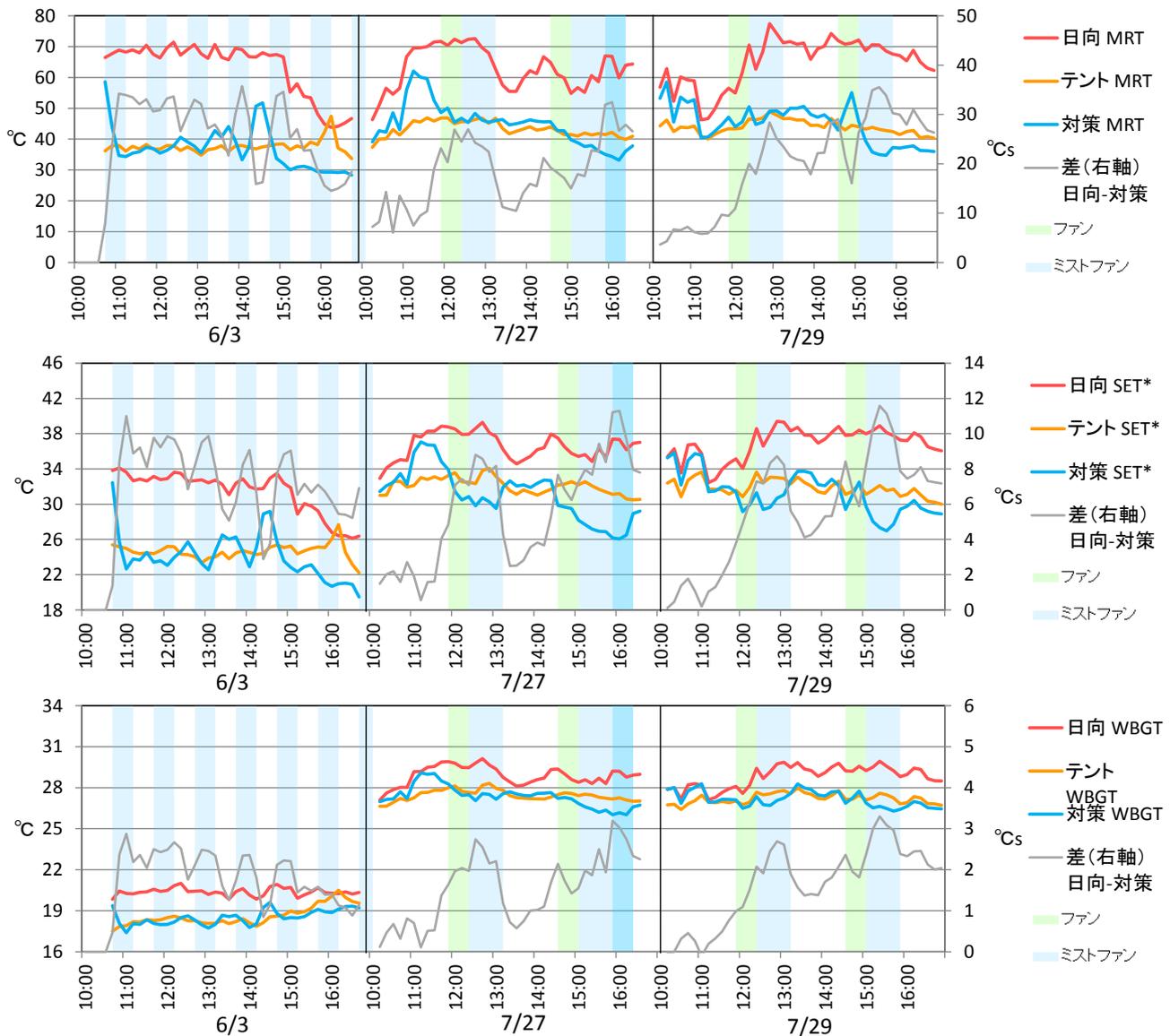


図 8.36 熱環境測定結果 (MRT、SET*、WBGT)

2) 技術別性能評価

(1) 評価対象技術

日除け、送風ファン付微細ミスト噴霧、冷却ルーバーの3種類の技術を対象に評価した。

各技術が影響を及ぼす熱環境要素の変化と体感温度として SET* と WBGT の変化を示した。それぞれの技術が影響を及ぼす熱環境要素を表に示した。

表 8.7 技術性能評価の一覧 (堺市綾ノ町電停)

対象技術	気温	湿度	風速	放射
フラクタル形状日除け				○
送風ファン付微細ミスト噴霧	○	○	○	
冷却ルーバー	○	○		○

送風ファン付微細ミストについては、人体生理・心理反応実験も合わせて効果の評価を行った。(参考資料7)

(2) 評価方法

各技術の評価方法を表に示した。

評価は、できるだけ一般的な効果を抽出するものとし、体感温度の算出には夏季晴天の複数日の日中の気象条件を用いた。

表 8.8 評価方法

対象技術	評価方法	
フラクタル形状日除け	放射	長短波放射計から求めた MRT を用い、日向との比較を行った。南中時を対象に評価した。
送風ファン付微細ミスト噴霧	気温	超音波風速計の音仮温度を用い、微細ミストの影響がない場所の気温との比較を行った。
	湿度	高分子薄膜静電容量式センサを用い、微細ミストの影響がない場所の湿度との比較を行った。
	風速	3次元超音波式風速計を用い、送風ファンの影響がない場所の風速との比較を行った。
冷却ルーバー	気温	強制通風式の Pt100 センサを用い、冷却ルーバーの影響がない場所の気温との比較を行った。
	湿度	高分子薄膜静電容量式センサを用い、冷却ルーバーの影響がない場所の湿度との比較を行った。
	放射	表面温度の変化量と対策面の立体角から MRT 変化量を算出した。 南中時と西日が差し込む 16 時を対象に評価した。

(3) 評価結果

①フラクタル形状日除け

フラクタル形状日除けは、夏の南中時の日射を効果的に遮蔽し、かつ日除け自体が熱くなりにくいため、日除け下の放射環境を改善する効果を持つ。

MRTは日向にくらべて約17~18°C程度低下し、その結果SET*は4.7~4.9°C、WBGTは1.1°C低下した。

表 8.9 フラクタル形状日除けの評価結果

気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
-	-	-	-18.4~-17.5	-4.9~-4.7	-1.1

フラクタル形状日除けの評価結果（その1）

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
効果		0	0	0	- 18.37	- 4.88	- 1.13
【参考】	日向	31.94	54.92	0.85	73.52	40.17	30.53
	フラクタル 形状日除け	31.94	54.92	0.85	55.15	35.29	29.40

※MRTの評価と、参考として示した値は、2016/7/27 11:30~12:30の熱環境を例として計算した。

フラクタル形状日除けの評価結果（その2）

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
効果		0	0	0	- 17.48	- 4.65	- 1.08
【参考】	日向	32.75	53.06	0.88	73.42	40.36	30.73
	フラクタル 形状日除け	32.75	53.06	0.88	55.94	35.70	29.65

※MRTの評価と、参考として示した値は、2016/7/28 11:30~12:30の熱環境を例として計算した。

なお、参考までに既設テント下との放射環境の違いを比較すると、下向き短波放射（上空から降り注ぐ日射）は既設テントの方が少なく、フラクタル形状日除けは季節や時間帯によって日射の透過率が変化し、7月末には既設テントにくらべて100W/m²多くなっていた。逆に、下向き長波放射（日除け面等からの赤外放射）は日除け面が高温化する既設テントの方がフラクタル形状日除けより115W/m²多く、放熱特性に優れ、温度が低い青空が見えるフラクタル形状日除けの特徴が見られた。

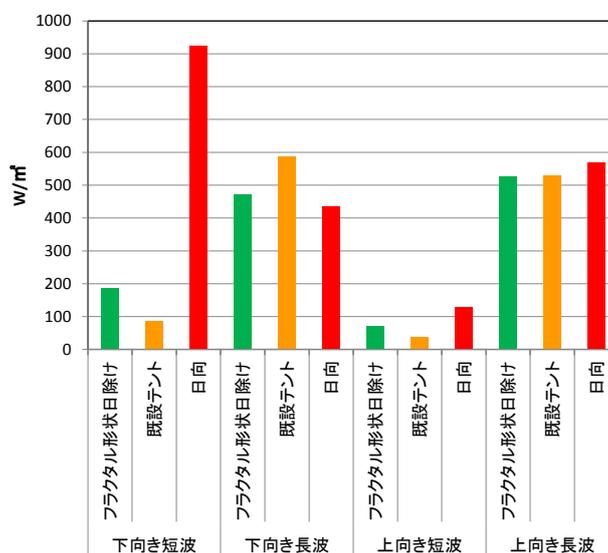


図 8.37 フラクタル形状日除けと既設テントの放射環境の比較
※2016/7/27 と 7/28 の 11:30~12:30 の平均値

②送風ファン付微細ミスト噴霧

送風ファン付微細ミストは、微細ミストが気化することによって気温を低下させ、効果的に

ファンで冷気を送風するものである。ただし一方で湿度を増加させる。
 まず、ファンのみによる効果は、風速の変化量はファン稼働時の自然風の強さによって影響される。自然風が強ければ、風速の変化量は小さくなり、およそ自然風が2 m/s 以上になるとファンによる風速の変化量はほとんど見られなくなる。

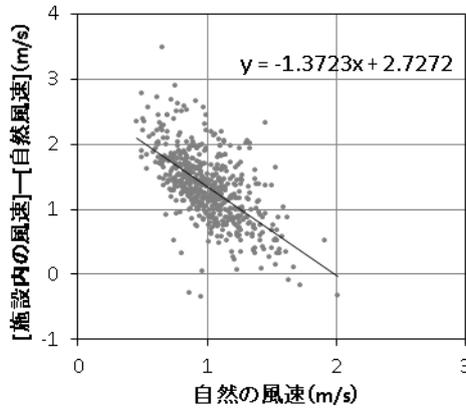


図 8.38 日向の風速とファンによる風速の変化量の関係

自然風速が 0.8~0.9m/s の場合は、ファンにより風速が 1.5~1.6m/s 増加し、日陰（フラクタル形状の日除け下）を対照地点として、SET*では 2.6~2.8℃、WBGT は 0.4~0.5℃低下した。

表 8.10 送風ファンの評価結果

気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
-	-	1.5~1.6	-	-2.8~-2.6	-0.5

送風ファンの評価結果（その1）

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
効果		0	0	1.56	0	-2.81	-0.46
【参考】	ファンなし	31.94	54.92	0.85	55.15	35.29	29.40
	ファンあり	31.94	54.92	2.41	55.15	32.48	28.94

※ 参考として示した値は、2016/7/27 11:30~12:30 の熱環境を例として計算した。

※ 日除けの下に送風ファンが設置されているとして計算した。

送風ファンの評価結果（その2）

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
効果		0	0	1.51	0	-2.58	-0.45
【参考】	ファンなし	32.75	53.06	0.88	55.94	35.70	29.65
	ファンあり	32.75	53.06	2.40	55.94	33.12	29.21

※ 参考として示した値は、2016/7/28 11:30~12:30 の熱環境を例として計算した。

※ 日除けの下に送風ファンが設置されているとして計算した。

次に送風ファンと微細ミストを合わせた効果は、風速の変化に加え、気温と相対湿度の変化を考慮する。気温は自然の風速が弱いほど低下量が大きくなっていた。湿度についても同様の傾向が見られた。

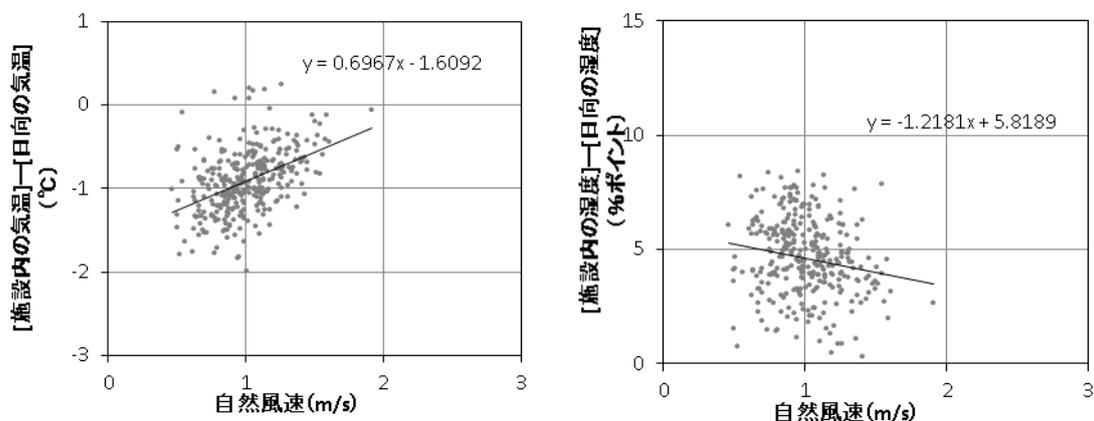


図 8.39 自然風速と気温低下量（左）、湿度増加量（右）の関係

風速が 0.8~0.9m/s の場合、風速の変化に加えて気温は 1℃低下、逆に相対湿度は約 5%増加し、SET*では 2.9~3.2℃、WBGT は 0.2~0.3℃低下した。

表 8.11 送風ファン付微細ミスト噴霧の評価結果

気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
-1.0	4.7~4.8	1.5~1.6	-	-3.2~-2.9	-0.3~-0.2

送風ファン付微細ミスト噴霧の評価結果（その 1）

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
効果		-1.02	4.79	1.56	0	-3.23	-0.26
【参考】	ミストファンなし	31.94	54.92	0.85	55.15	35.29	29.40
	ミストファンあり	30.92	59.71	2.41	55.15	32.06	29.14

※ 参考として示した値は、2016/7/27 11:30~12:30 の熱環境を例として計算した。

※ 日除けの下に送風ファン付微細ミストが設置されているとして計算した。

送風ファン付微細ミスト噴霧の評価結果（その 2）

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
効果		-0.99	4.74	1.51	0	-2.94	-0.24
【参考】	ミストファンなし	32.75	53.06	0.88	55.94	35.70	29.65
	ミストファンあり	31.75	57.80	2.40	55.94	32.76	29.41

※ 参考として示した値は、2016/7/28 11:30~12:30 の熱環境を例として計算した。

※ 日除けの下に送風ファン付微細ミストが設置されているとして計算した。

送風ファン付微細ミスト噴霧は、局所的に涼風を当てる技術であるが、局所的に改善された熱環境の値を用いて人全体の体感温度を評価することの妥当性については、被験者による実験の結果を参考資料7の1. に示した。また、ミストの噴霧量が多い場合などには気化していないミストが直接、肌を濡らし、皮膚表面を冷却する効果が期待される。参考資料7の2. で示した実験から、微細ミストで皮膚が濡れることで皮膚温が低下し、温熱快適性の改善に寄与する可能性があることが示唆された。

③冷却ルーバー

冷却ルーバーは、ルーバー表面を水で濡らすことで、ルーバーを通過する空気を冷やすとともに、冷えたルーバーが放射環境を改善する。ただし一方で湿度を増加させる。

ルーバー面の温度の低下については、相対湿度との関係式から求めた(7章)。気温の低下についても、相対湿度が低いほど気温の低下量が大きく、湿度の増加量についても日向の相対湿度との関係式から求めた。

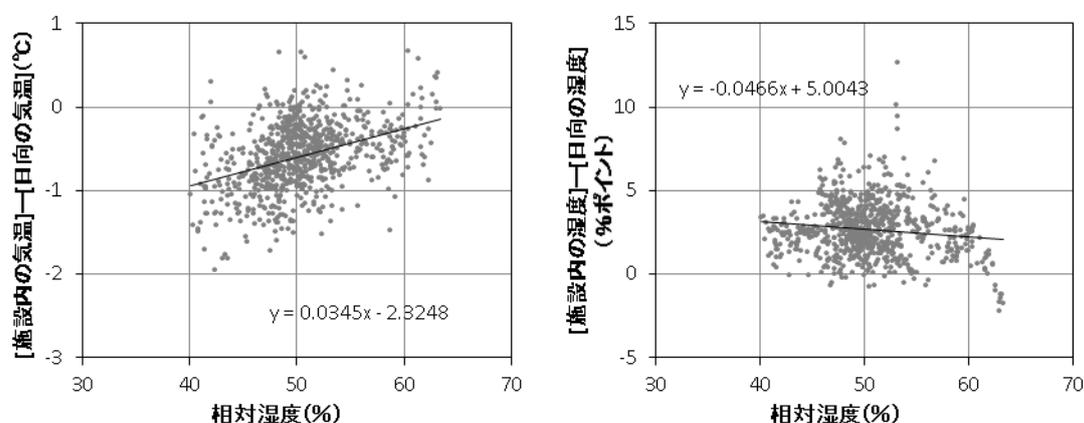


図 8.40 相対湿度と気温低下量(左)、湿度増加量(右)の関係

冷却ルーバーの評価については、ルーバーによって遮蔽される敷地の種類によって効果が異なる。例えば、遮蔽する敷地がアスファルト等の人工被覆であれば、ルーバーによる遮蔽効果は高くなると考えられる。そこで、人工被覆と緑地の2種類の敷地を想定して評価した。

以上より、相対湿度が53~55%のとき、気温は0.4~0.5°C低下、相対湿度は2.4~2.5%ポイント増加し、日陰(フラクタル形状の日除け下)を対照地点として、敷地が人工被覆の場合はMRTが8.5~8.8°C、SET*が2.5~2.7°C、WBGTは0.3°C低下した。敷地が緑地の場合は、MRTが6.7~7.0°C、SET*が2.0~2.1°C、WBGTは0.2°C低下した。

表 8.12 冷却ルーバーの評価結果

気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
-0.5~-0.4	2.4~2.5	-	-8.8~-8.5	-2.7~-2.5	-0.3
			-7.0~-6.7	-2.1~-2.0	-0.2

※上段が遮蔽する敷地が人工被覆の場合、下段が遮蔽する敷地が緑地の場合

※緑地は表面温度が気温+3°C、人工被覆は気温+25°Cであると仮定した。

冷却ルーバーの評価結果（人工被覆の道路に囲まれた敷地）その1

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
効果		- 0.43	2.45	0	- 8.77	- 2.59	- 0.33
【参考】	道路面	31.94	54.92	0.85	54.67	35.16	29.37
	冷却ルーバー	31.51	57.37	0.85	45.89	32.57	29.04

※MRTの評価と、参考として示した値は、2016/7/27 11:30~12:30の熱環境を例として計算した。

※フラクタル日除けの下に冷却ルーバーが設置されているとして計算した。

冷却ルーバーの評価結果（人工被覆の道路に囲まれた敷地）その2

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
効果		- 0.49	2.53	0	- 8.48	- 2.45	- 0.35
【参考】	道路面	32.75	53.06	0.88	54.79	35.41	29.58
	冷却ルーバー	32.25	55.59	0.88	46.31	32.95	29.23

※MRTの評価と、参考として示した値は、2016/7/28 11:30~12:30の熱環境を例として計算した。

※フラクタル日除けの下に冷却ルーバーが設置されているとして計算した。

冷却ルーバーの評価結果（緑地に囲まれた敷地）その1

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
効果		- 0.43	2.45	0	- 6.97	- 2.10	- 0.23
【参考】	道路面	31.94	54.92	0.85	52.86	34.97	29.27
	冷却ルーバー	31.51	57.37	0.85	45.89	32.57	29.04

※MRTの評価と、参考として示した値は、2016/7/27 11:30~12:30の熱環境を例として計算した。

※フラクタル日除けの下に冷却ルーバーが設置されているとして計算した。

冷却ルーバーの評価結果（緑地に囲まれた敷地）その2

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
効果		- 0.49	2.53	0	- 6.67	- 1.98	- 0.24
【参考】	道路面	32.75	53.06	0.88	52.98	34.93	29.48
	冷却ルーバー	32.25	55.59	0.88	46.31	32.95	29.23

※MRTの評価と、参考として示した値は、2016/7/28 11:30~12:30の熱環境を例として計算した。

※フラクタル日除けの下に冷却ルーバーが設置されているとして計算した。

風向による影響については、ルーバー側から風が吹いたときに瞬時的に、気温の低下量が大きくなる傾向が見られるが、現地の主風向（210°程度）がルーバー面と並行に吹く風であり、安定したデータとしては評価できなかつた。綾ノ町の施設では、ルーバーとベンチの距離が近く、気温を測定した位置のルーバーからの距離が20cm程度と近かつたことなどが要因として考えられる。

また、同様の理由（主風向がルーバー面と平行）から、ルーバーによる風の低下はほとんど見られなかつた。

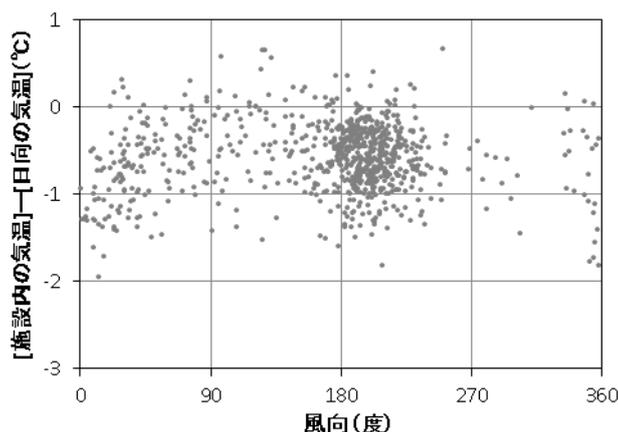


図 8.41 風向と気温の変化量との関係

西日が差す16:00では、ルーバーが西日を遮ることで日除け効果が加わることがわかつた。西日の透過率は晴天日の7月30日の16:00~16:30で3%程度であつた。MRTは約26°C低下し、その結果SET*は7.1°C、WBGTは1.2°C低下するなど大きな効果が見られた。

表 8.13 冷却ルーバーの評価結果（西日時）

気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
-0.6	2.7	-	-25.9	-7.1	-1.2

冷却ルーバーの評価結果（西日時）

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
【参考】	道路面	32.37	49.29	1.35	60.61	35.10	28.65
	冷却ルーバー	31.74	52.00	1.35	34.74	28.01	27.49

※MRTの評価と、参考として示した値は、2016/7/30 16:00~16:30の熱環境を例として計算した。
 ※敷地が人工被覆の場合の評価を行った。
 ※フラクタル日除けの下に冷却ルーバーが設置されているとして計算した。

冷却ルーバーが日射によりルーバー自体が温められるという影響も考えられる。西日が当たる時間帯に、西日が当たっている面と、当たっていない面を比べると、1℃程度、西日が当たっている面の表面温度が高くなっていた。一方、相対湿度と西日が当たっていない面の表面温度の低下量との関係は、西日の有無にかかわらず一定の傾向を示した。そのため、ルーバーに西日が当たった場合でも、ルーバーの内側に滞在する人の体感温度への影響はほとんどないと考えられる。

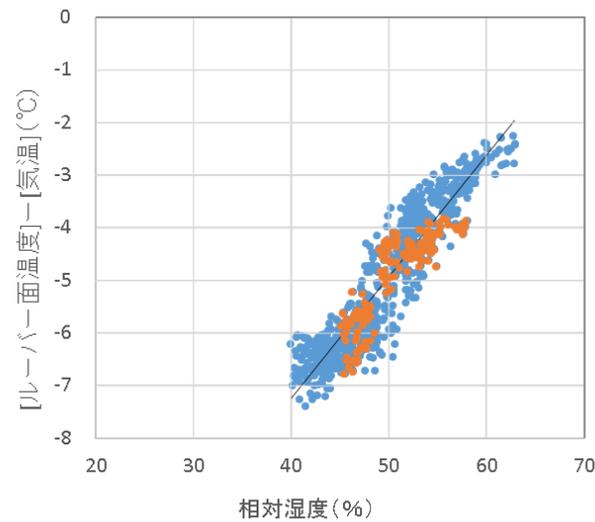


図 8.42 相対湿度とルーバー面温度の低下量の関係
(熊谷市と堺市の検証施設での実測結果より算出したもののうち、堺市の16時~17時の時間帯をオレンジ色に色付けした)

8.4 利用者ヒアリング調査の実施と結果

8月9日に対策施設内のベンチに座った人に、暑熱対策施設内のベンチを選んだ理由や座って見た印象などについてヒアリングを実施した。

暑熱対策施設を利用した理由としては、電車待ちの際にミストが気になったためという回答があった。利用してみた印象としては、涼しい、オープンなスペースなのが良いという好意的な回答の他に、(日除けの設置面積の制約からベンチ付近に日が差していた時間帯に)日よけが欲しい、ベンチが暑くなっているといった回答もあった。このような対策施設が必要な場所については、駅のホーム、バス停、公園、市役所の前などがあげられた。



図 8.43 ヒアリング回答者の属性

表 8.14 ヒアリング結果

No.	1	2	3	4
日程	8月9日	8月9日	8月9日	8月9日
ヒアリング時間	11:42	12:30	12:31	16:40
滞在時間	3	1	10	3
年代	40	60	50	30
性別	女	女	男	男女
利用目的	電車まち ミストが出ていたので来てみた	電車待ち	人待ち	
利用頻度	たまたま いつもはとなり駅を使っている(あることを)知らなかった	不明	リピーター	たまたま
設備の印象や効果	日よけがほしい ベンチがあつい(冷却ルーバー)冷たくてすずしい	日よけがあった方がいい ミストがあるのもったいない	すずしい 風があると自然の涼しさでいいのでは	すごくよい 思いのほかすずしい
エアコンがきいた場所と比べた印象や効果	エアコンはスーパードキすぎているのでこれくらいがちょうどいい 自然の涼しさがいい 屋根の下にルーバーがあったらいいかも すずしすぎなのかな?		エアコンは体悪くする	南海の待合所とかエアコン付きの部屋あるけど部屋だと入りにくいので、こうしたオープンな方が入りやすいしすずしい
このような設備を備えた場所がまちなかのどのような場所にあるとよいと思うか			駅のホーム バス停	公園、市役所の前

8.5 CO₂ 排出削減量の試算

暑熱対策技術導入による CO₂ 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。

8.5.1 2010 年の気象条件における熱環境改善効果

2010 年の東京の気象条件を用いて堺市綾ノ町電停と同様の対策が施された場合の熱環境の改善の効果を算出した。評価期間は6月1日～9月30日の各日9時～17時とした。

1) 気温の変化

夏期測定結果より、冷却ルーバーと送風ファン付微細ミストによる複合効果として自然風速と相対湿度との関係から求めた。

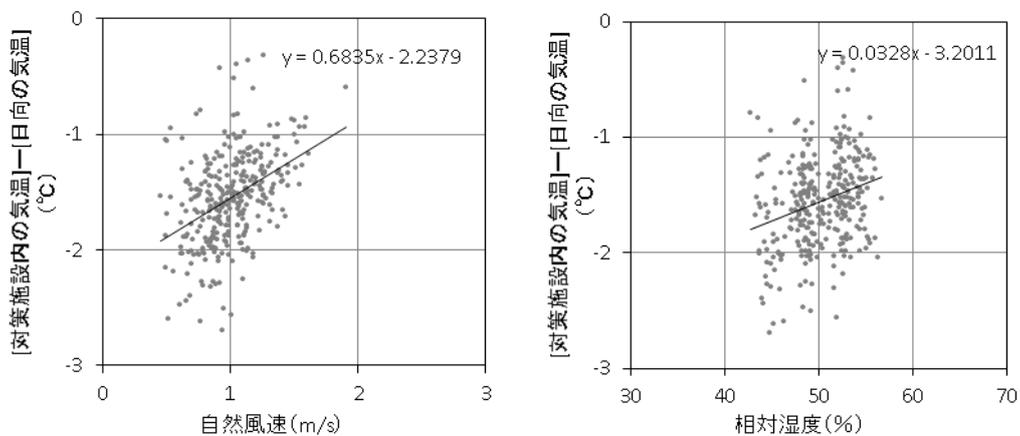


図 8.44 気温低下と自然風速 (左)、相対湿度 (右) との関係

2) 湿度の変化

湿度についても、送風ファン付微細ミスト稼働時に、冷却ルーバーとの複合効果として、自然風速との関係から求めた。

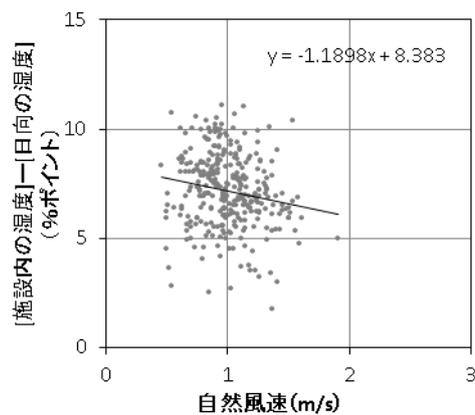


図 8.45 自然風速と湿度増加の関係

3) 風速の変化

8.3 で示したとおり、ファンにより増加する風速は自然風速との関係から求めた。

4) MRT の変化

熱環境シミュレーションツール (ThermoRender 4 Pro : A&A 社) を用いて、地上高 1.1m 地点における MRT のシミュレーションを行った。施設を CAD ソフトウェア (Vectorworks2013 : Nemetscheck Vectorworks 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を入力し、シミュレーションを実施した。

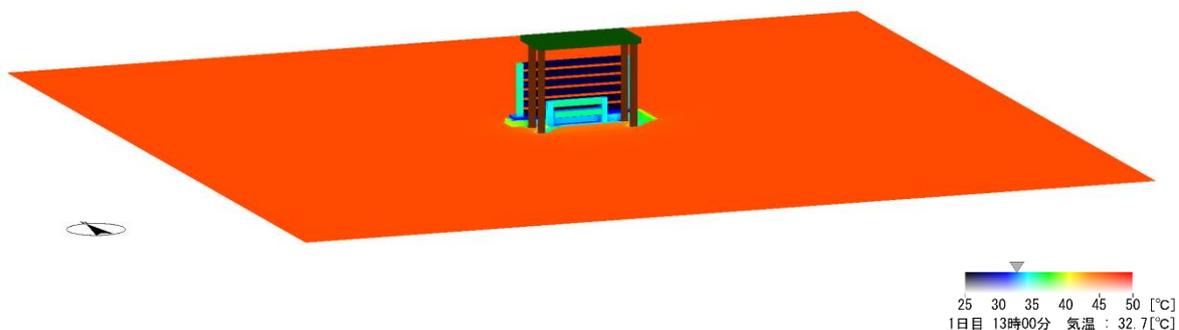


図 8.46 作成した 3D モデル (周囲の建物等は存在しないものとしてモデルを作成)

5) SET*の変化

1) ~ 4) から 6 月 1 日 ~ 9 月 30 日 (9 時 ~ 17 時) の、評価点と対照地点 (対策なし日向) の SET* を算出した。(6/14, 6/23, 7/12, 7/29, 9/8, 9/16, 9/23, 9/27, 9/28, 9/30 は 1 日 4 時間以上降雨がありで効果が見込めない日としてシミュレーションから除いた。)

8.5.2 空調利用代替型を適応した場合の CO₂ 削減

温熱環境の受容限度を SET*32°C と設定し、上で求めた SET* が受容限度を下回る時間帯は空調利用を代替できるものとして、その時間数計算した。

例として、7 月 8 日 (比較的涼しい日)、8 月 16 日 (比較的暑い日) の結果を以下に示す。7 月 8 日には、対策施設では終日 SET*27°C を下回る温度を推移していた。一方 8 月 16 日には、対策施設でも 13 時 ~ 15 時には SET*32°C を超える暑さであった。

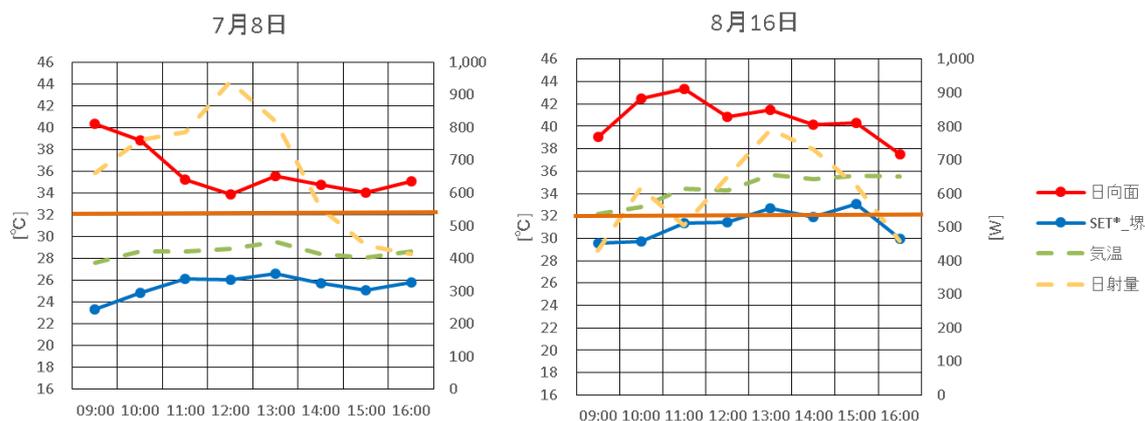


図 8.47 堺市綾ノ町電停の暑熱対策施設の2010年の気象条件でのSET*変化
(左：7月8日、右：8月16日)

6月から9月において、暑熱対策により空調を代替できた時間を下表に示した。4ヶ月間を通じて100%近くの時間割合で暑熱対策施設により空調利用を代替できると推定された。

表 8.15 暑熱対策による空調代替時間数

	空調稼働時間 (時間)	空調代替時間数 (時間)	代替できた時間の 割合 (%)
6月	231	223	96.5
7月	248	232	93.5
8月	248	243	98.0
9月	193	182	94.3

※空調稼働時間は空調室内が設定温度(28°C)を下回る場合を除いた時間

代替できた時間毎に空調室の電力消費量を積算して、空調利用電力の削減量を求めた。

表 8.16 削減電力量(1m²あたり)

	空調室の 電力消費量 (kWh)	空調利用代替による 削減電力量 (kWh)	削減率 (%)
6月	23.1	22.7	98.6
7月	32.3	31.2	96.5
8月	37.5	36.6	97.5
9月	22.7	22.4	98.5

一方、暑熱対策施設稼働には電力及び上水を使用する。8.2.5で述べた使用量を時間あたり、施設面積1m²あたり(施設面積は5.8m²とした)に換算し、暑熱対策稼働時間分のCO₂排出量を考慮すると、各月6.6~8.5(kg-CO₂)が排出されていることになる。

この分を電力使用に係るエネルギーとして削減量から減ざると、CO₂排出削減量は下表となる。

暑熱対策技術により月によって4～7割程度のCO₂排出削減が達成できることがわかった。

表 8.17 空調利用代替によるCO₂排出削減量（1 m²あたり）
（暑熱対策稼働に上水を使用した場合）

	空調室での CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	空調利用代替による CO ₂ 排出削減量 (kg-CO ₂)	上水・電力使用 によるCO ₂ 排 出量 (kg-CO ₂)	暑熱対策による CO ₂ 排出削減量 (kg-CO ₂)	削減率 (%)
6月	12.7	12.5	7.7	4.8	38.2
7月	17.8	17.2	7.9	9.2	51.8
8月	20.6	20.1	8.5	11.6	56.4
9月	12.5	12.3	6.6	5.7	45.9
合計	63.6	62.1	30.7	31.4	49.4

※送風機付き微細ミストに使用する電気使用量は阪堺電車の平日の10:00-19:00の電停到着本数分、5分間ずつ稼働したと仮定して計算した値から求めた。

※上水使用量は検証実施場所では毎日一定で300ℓ/日使用していたが、この計算では技術にかかる使用量のみを対象とした。

また、暑熱対策施設稼働に使用する水に地下水を利用したと仮定し、揚水に必要な電力とファン付き微細ミスト噴霧に係る電力を暑熱対策稼働に係るエネルギーとしてCO₂排出量を算出した場合も同程度であることがわかった。

表 8.18 空調利用代替によるCO₂排出削減量（1 m²あたり）
（暑熱対策稼働に地下水を使用した場合）

	空調室での CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	空調利用代替による CO ₂ 排出削減量 (kg-CO ₂)	地下水使用を 想定した場合 の電力使用に よるCO ₂ 排 出量 (kg-CO ₂)	暑熱対策による CO ₂ 排出削減量 (kg-CO ₂)	削減率 (%)
6月	12.7	12.5	7.7	4.8	38.2
7月	17.8	17.8	7.9	9.2	51.9
8月	20.6	20.1	8.5	11.6	56.4
9月	12.5	12.5	6.6	5.7	46.0
合計	63.6	62.9	30.6	31.4	49.5

※電力消費量は、熊谷市役所前の検証で使用した地下水揚水ポンプの電力消費量を参考に求めた。