

7章 熊谷市役所前バス停での検証

7.1 概要

7.1.1 場所の概要

実施場所は、埼玉県熊谷市、熊谷市役所前のバス停周辺である。このバス停は熊谷市ゆうゆうバスの停留所となっており、3路線のバスが1時間に1～2便程度走っている。

周囲に日陰等の無い場所にバス停が設置されているため、夏季には直達日射や路面からの赤外放射により厳しい熱環境となることが想定される。現状では夏季には数十メートル離れた市役所入口付近にバス待合所が設置され乗客が待合場所として利用している。



図 7.1 実施予定場所位置図⁷¹



図 7.2 実施場所（左：南側から撮影、右：北側から撮影）

本事業では、バス停近くに暑熱対策を施した待合スペースを設置して夏でも快適な環境を作り出すことで、空調待合室の設置を回避し CO₂ 排出量増加を抑制する手法を検討する。

⁷¹ 国土地理院電子国土 Web より作成

7.2 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、夏季に調査を実施した。

- ・ 日中 SET*40℃以上、WBGT31℃以上の酷暑環境が続く
- ・ 日除け下でも SET*36℃前後、WBGT30℃前後の酷暑となる
- ・ 風速は 1 m/s 程度である
- ・ 日除け下でも 15 時過ぎから西日が当たる
- ・ 利用者は 1 日数名で、徒歩で数分の移動でバスに訪れている

7.2.1 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 8 月 6 日・7 日の 2 日間、各 9:00~17:00 の間、3 地点で同時測定を行った。

前年度まで夏期に設けられていた市役所前の待合スペースは庁舎工事中により今年度は設置がなかったため、テントを設置し、待合スペースの環境として測定を行った。



- ①バス停、日陰（左上）
- ②バス停、日向（右上）
- ③対策実施予定場所芝生、日向及び全景（左下）

図 7.4 測器設置状況

測定項目は表 7.2 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 7.2 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

8 月 6 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。

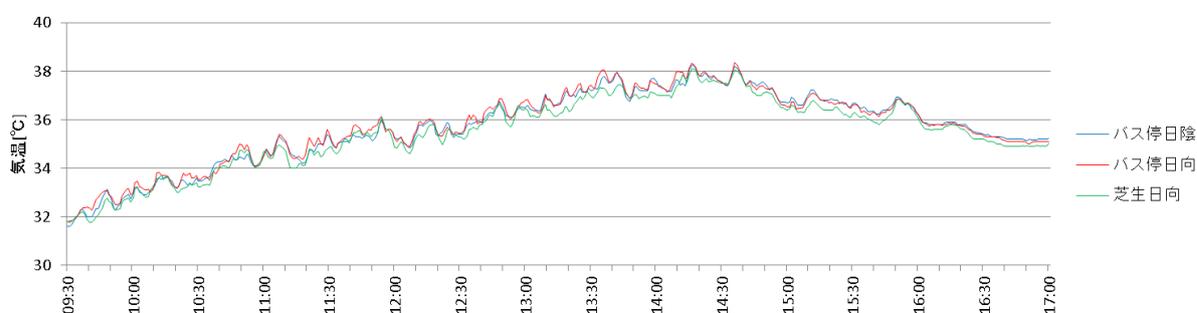


図 7.5 気温の日変化 (8/6)

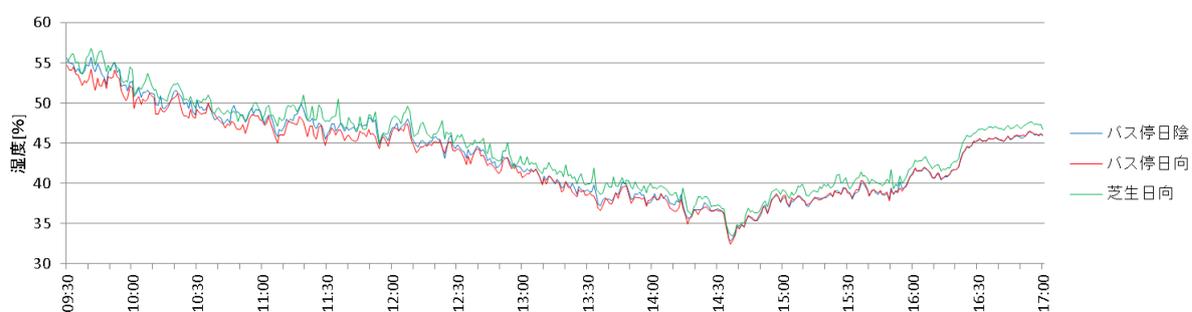


図 7.6 相対湿度の日変化 (8/6)

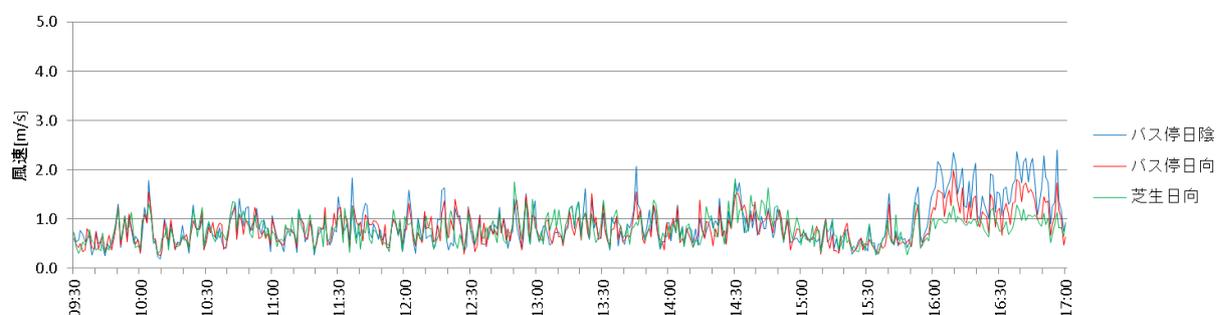


図 7.7 風速の日変化 (8/6)

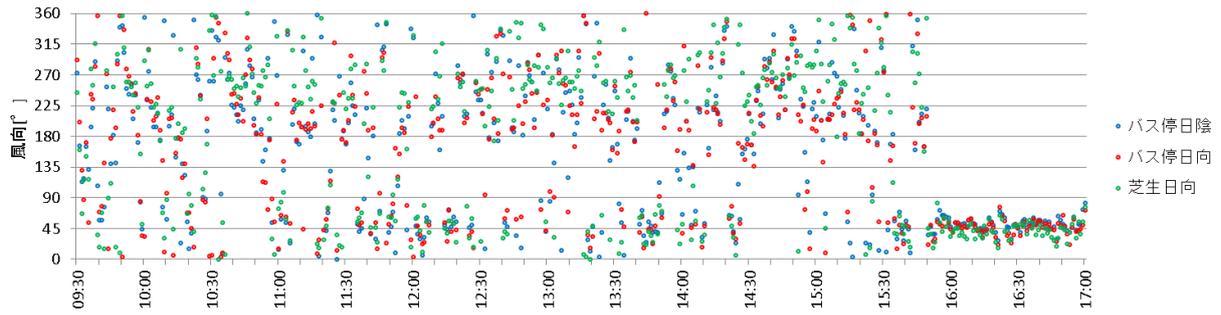


図 7.8 風向の日変化 (8/6)

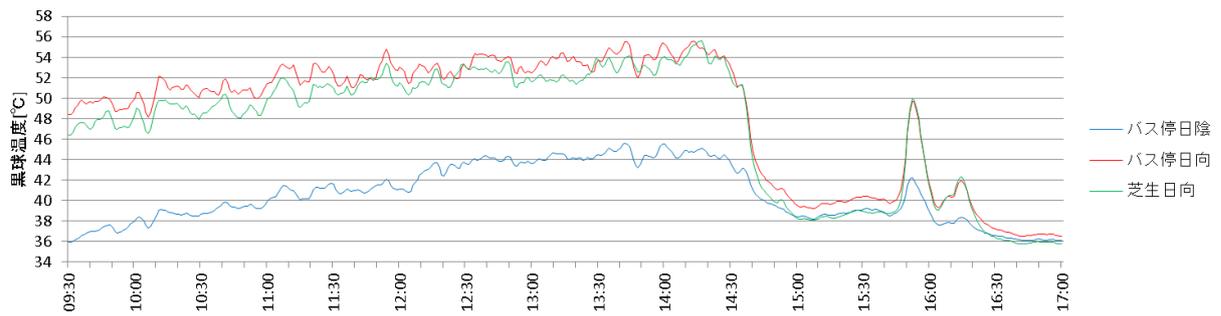


図 7.9 黒球温度の日変化 (8/6)

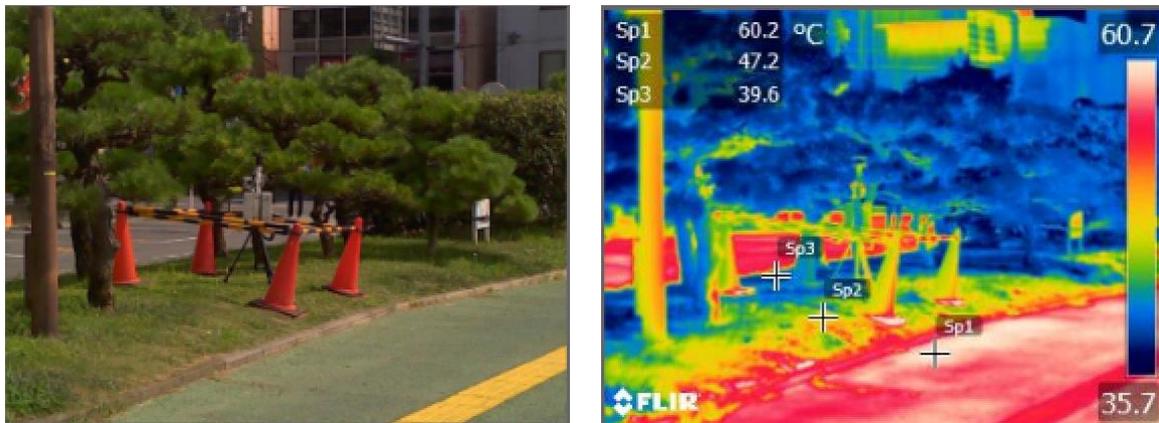


図 7.10 対策実施場所周辺の表面温度分布 (8/6 14:02、気温 37.3°C)

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、日変化をグラフに示した。

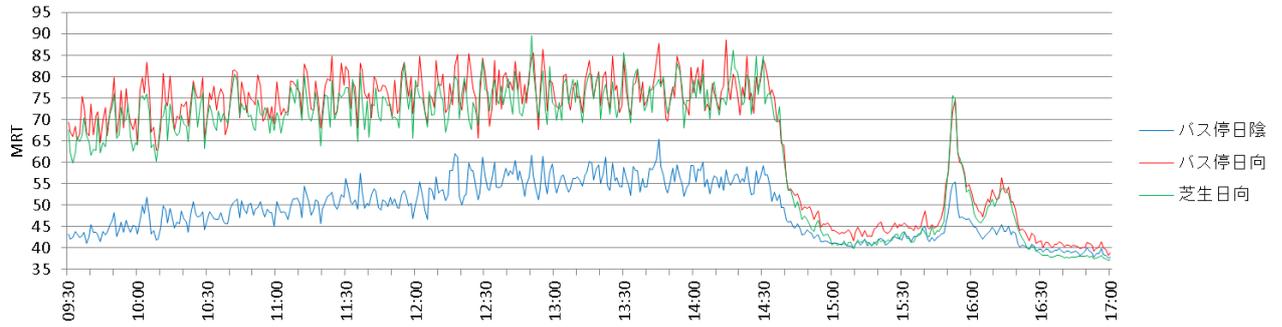


図 7.11 MRT の日変化 (8/6)

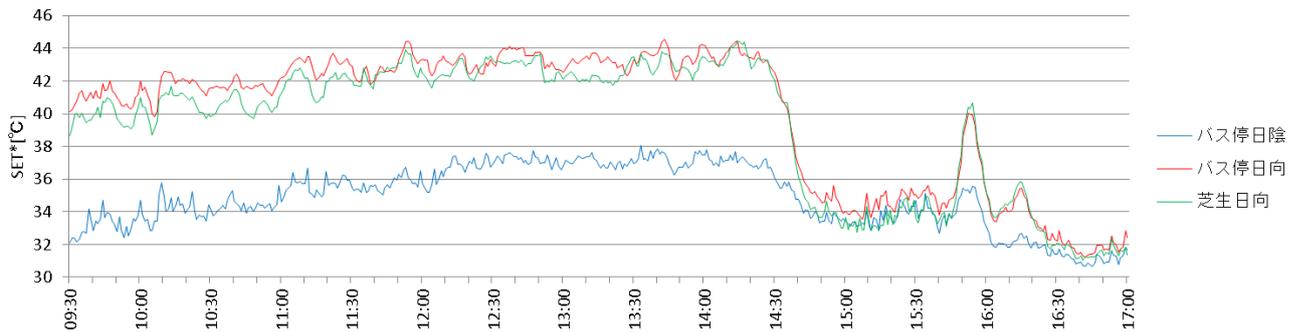


図 7.12 SET* の日変化 (8/6)

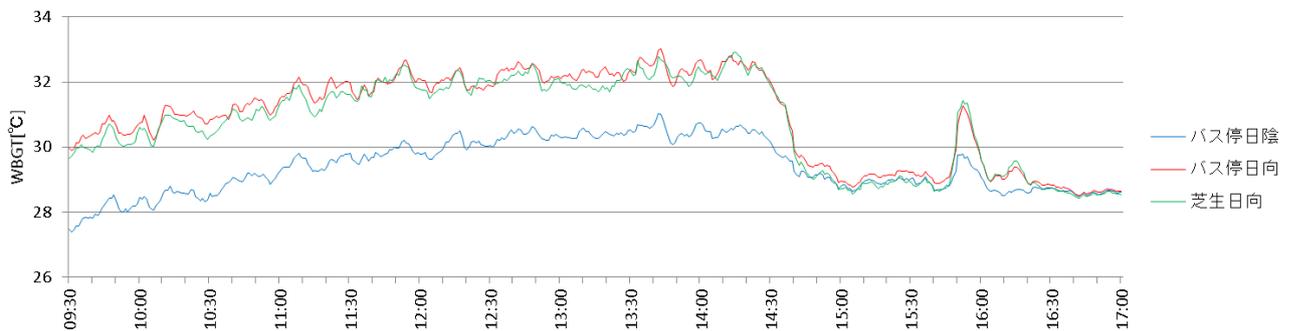


図 7.13 WBGT の日変化 (8/6)

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。テントを設置していた地点（図 バス停日陰）においても15時以降は日射が当たることがわかった。

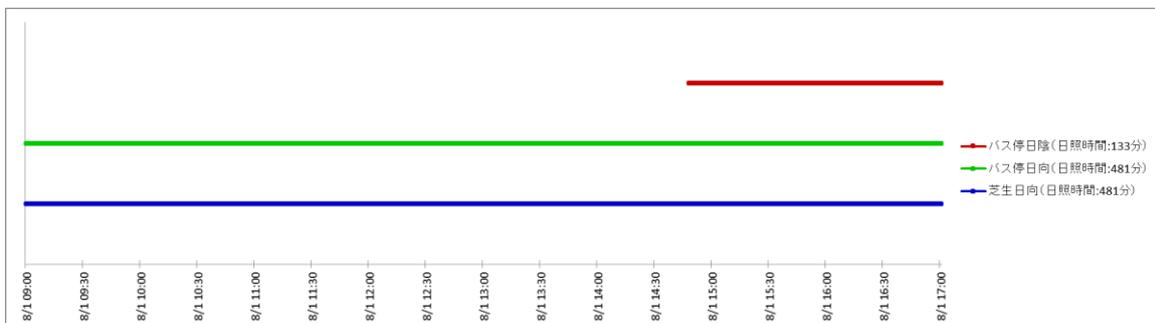


図 7.14 8月1日の日照時間（実線部分が日が当たっている時間）

7.2.2 利用状況調査

1) 実施概要

熱環境測定と同日に、バス停利用者調査を行った。

測定項目は、滞在時間、バス停までの徒歩時間（ヒアリング）、行き先停留所（ヒアリング）とした。

2) 結果概要

バスは1時間に1～2本運行しているが、バス停の利用者は各日4名であった。バス停までの徒歩所要時間は4名へのヒアリングで1分が2名のほか、5分、10分であった。市役所前バス停からの乗車時間は行き先停留所の回答と各停留所までの所要時間を整理したところ、回答者4名とも15分程度であった。

7.2.3 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 7.15 暑熱対策技術導入場所（赤枠部分）

1) 設計の考え方

暑熱対策技術の設計にあたっては、現状では日中日射を遮るものが周囲になく、上面に日除けがある場合でも西日の影響が避けられないため、太陽軌道を考慮した日射対策を実施すること、また、地下水の利用が可能のため、その冷たさ⁷²を活用した技術を導入することを検討した。

⁷² 市役所周辺の民家で使用されている井戸水温を測定したところ、19℃～20℃程度であり、ヒアリングにより掘削深度は4m～6mであることがわかった。

2) 対策技術の選定

①昼間の日射遮蔽と夕方の西日よけ

天井面に遮熱性の日除けと、西日よけ縦置きルーバーを設置し、日中から夕方までの日射の影響を取り除く。



図 7.16 遮熱性日除けの例⁷³

②水を活用した冷却技術

座面を冷やす水冷ベンチ、直接水に触れることができる水景施設を設置し、体を直接的に冷やすことができるような施設とする。また、ベンチを囲むように冷却ルーバーを設置、路面には保水性ブロックを敷設し、放射環境を改善する。①、②の技術を組み合わせたイメージを図 7.17 に示す。

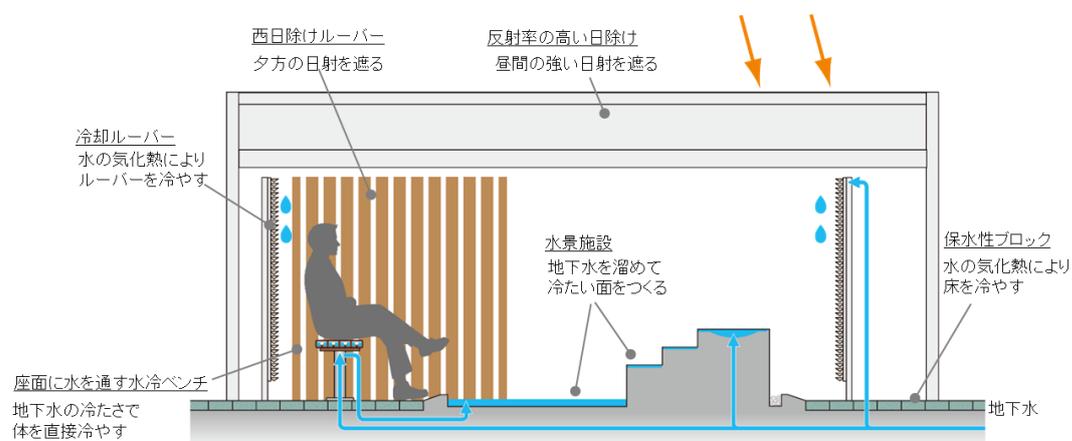


図 7.17 対策イメージ

⁷³ 写真は 2015 年夏の暑さ対策展 展示物

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8月6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。

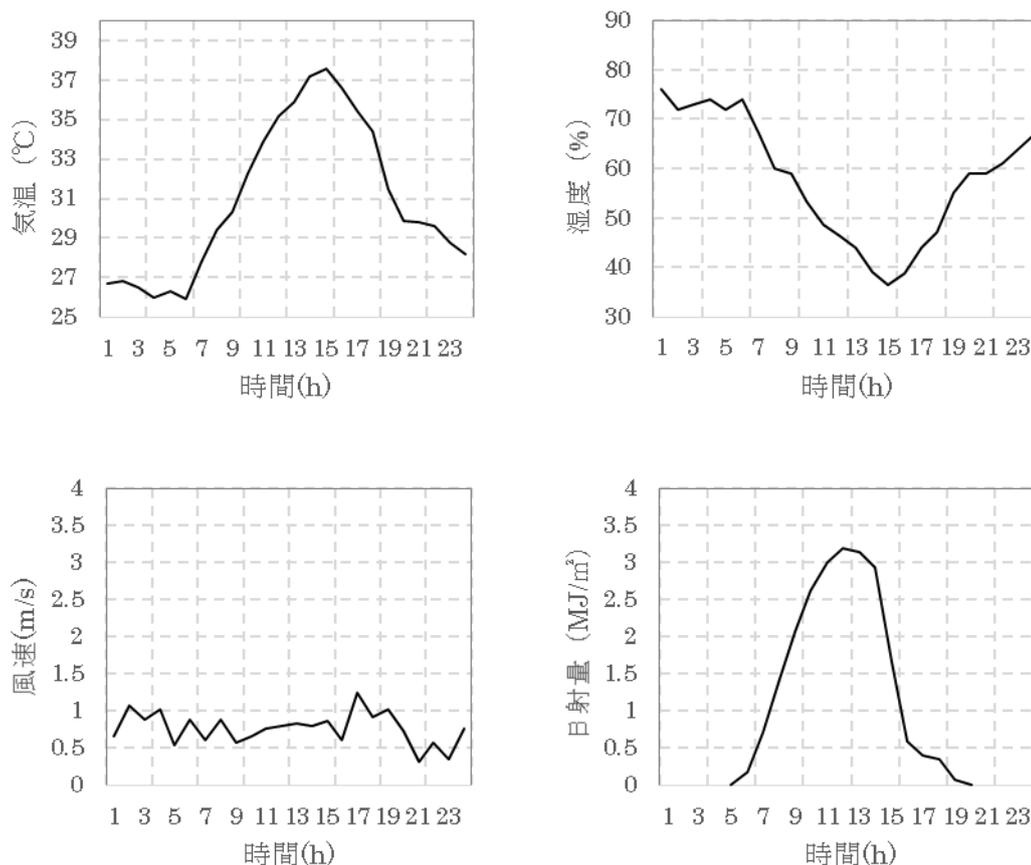


図 7.18 シミュレーションに入力した気象データ

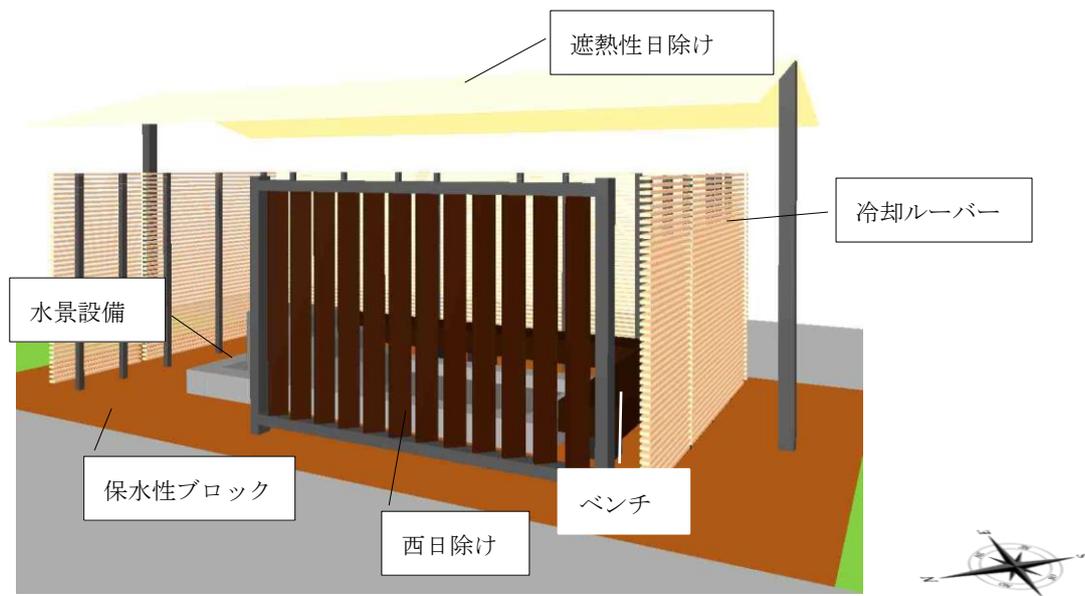


図 7.19 作成した 3D モデル

②パラメータの設定

日除けの日射透過率は設置予定の日除けの性能値と同じく 10%とした。保水性ブロックには、毎朝、水を撒いて保水させることとした。冷却ルーバーと水景施設については、終日、一定量で給水するように設定した。

③計算結果

i) 表面温度

8月6日の12時、気温 35.2℃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約 25℃程度高くなるが、対策実施場所では、冷却ルーバー、保水ブロック、水景施設といった気温よりも低い表面温度が保たれている。

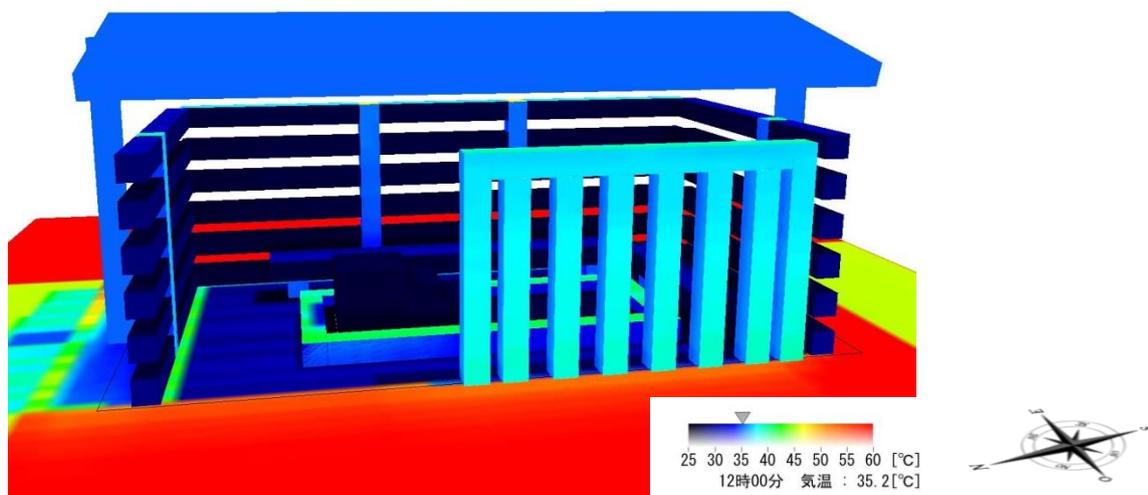


図 7.20 12時の表面温度分布の計算結果

ii) MRT

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 7.22 に 12 時（気温 35.2℃、相対湿度 46.3%、風速 0.8m/s）の平面分布を示した。日向地点の MRT63.9℃と比べると、対策場所のベンチ付近は開口部付近から奥側にかけて 35.2℃～38.2℃となっており、設置予定の暑熱対策技術によりマイナス 30℃弱の効果が予測される。

また、図 7.23 に経時変化を示した。日中は日向に比べ対策施設内は 15℃～27℃程度、低くなっており、対策施設内の MRT は 15 時すぎからは気温よりも低いレベルになっていた。

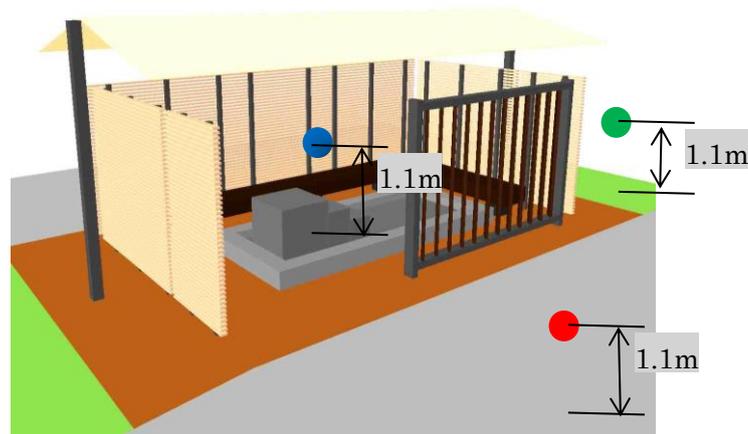


図 7.21 MRT 算出地点

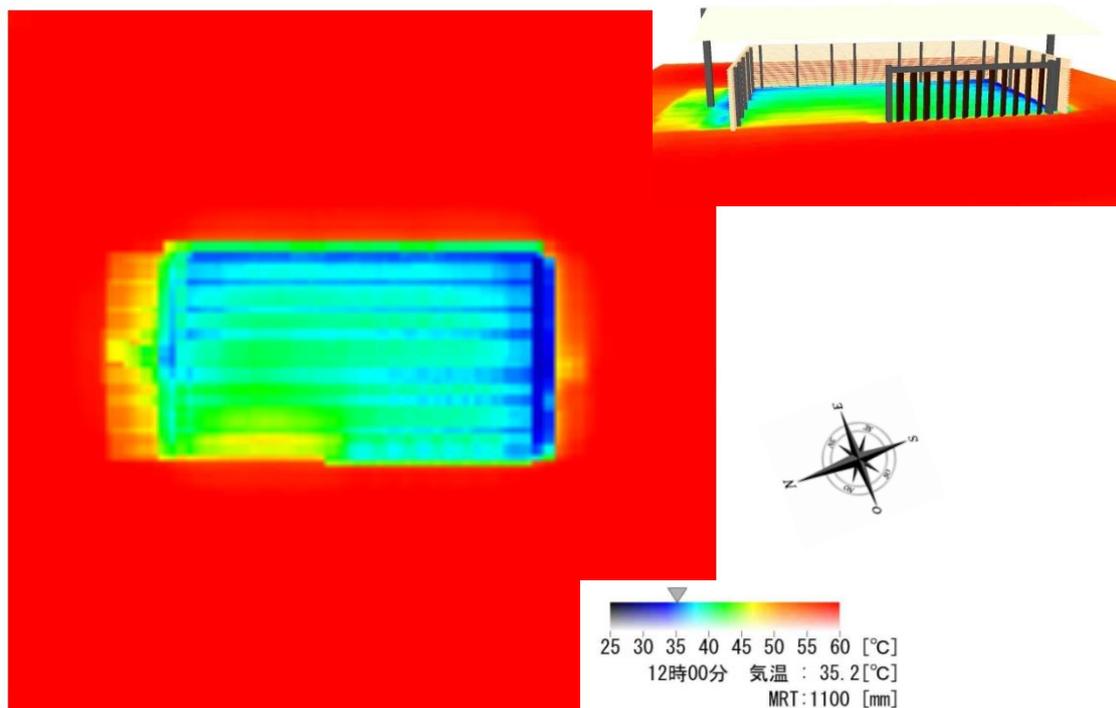


図 7.22 12 時の MRT の面的分布の計算結果

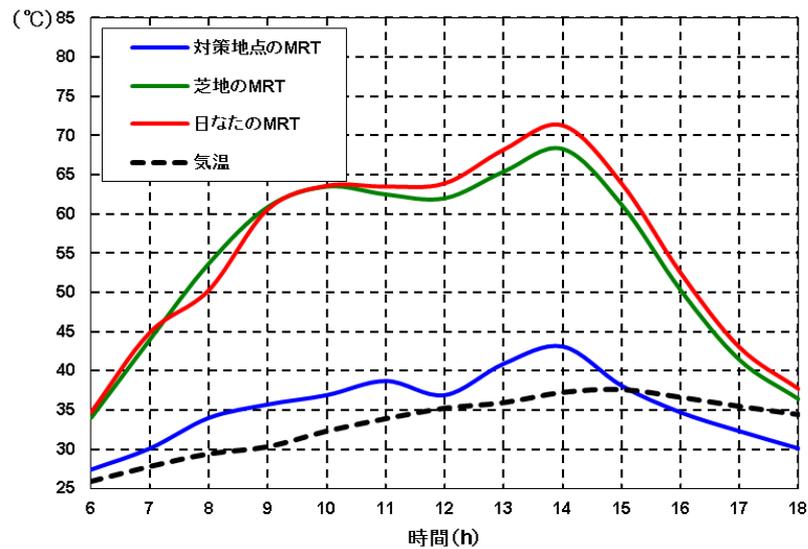


図 7.23 MRT の経時変化計算結果

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。7.2.1 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として計算したところ、日向では 43.1°Cである一方、対策により 34.5°Cとなり、マイナス 8.6°Cの効果が見込まれ、より快適な休憩場所を創出できることがわかった。

なお、ここでは、気温・湿度・風速については、変化がないとしたが、実際の暑熱対策技術設置場所では、これらの熱環境要素も変化し、SET*に影響すると考えられる。また、水冷ベンチや水景施設による直接的な冷却効果については、SET*には反映されておらず、平成 28 年度の実測により効果を確認する。

7.2.4 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 7.24～7.26 に示す。

①地下水の利用に関して

- ・地下水の確保

15l/分程度の水量を確保するため、地下 20m 程度から揚水（想定水温 17°C）して、水景施設、水冷ベンチ、冷却ルーバーに供給することとした。

- ・下水排水経路の確保

手水等に一旦、水を溜めるため、汚水として排水する必要があるため、20m 程度の下水管等工事を計画した。

②地下水を活用した技術の設計に関して

- ・冷水の流水面

水景施設的设计では、地下水の流水面をできるだけ多く確保するよう设计した。

- ・水深の浅い水景施設

少ない水量で水流を確保できるよう水深を浅く设计した。

- ・水冷ベンチ

3台のベンチを直列につなげ、ベンチの温度がそれぞれ、24℃、27℃、30℃程度になるよう流量を調節できる设计とした。ベンチを流れた水は水景施設に導水するように设计した。

③冷却ルーバー

- ・3方向を囲い、合計で20m²を確保する设计とした。

- ・ルーバー下部まで流れた水は保水ブロックに吸水される位置に設置した。

④保水性ブロック

- ・全面に保水性ブロックを敷設する设计とした。

⑤日除けに関して

- ・建築物とならない日除け

採用した日除けは、小規模な布製の巻上げ構造であり、夜間は自動で閉じるように设计したことなどにより、建築物には該当しないと判断された。

- ・日除けの強風時対応

揺れセンサーを内蔵し、強風時には自動で巻き上げる仕組みを導入した。

- ・日除け素材の選定

生地メーカー3社の性能（メーカー提供情報）を比較し、日射透過率10%、日射反射率71%の生地を採用した。

⑥西日除け縦ルーバー

- ・西日を除けるための縦型ルーバーを設置することで、ベンチには日が当たらないよう设计した。

⑦電気の利用について

- ・隣接する市庁舎から電線引込を行った。

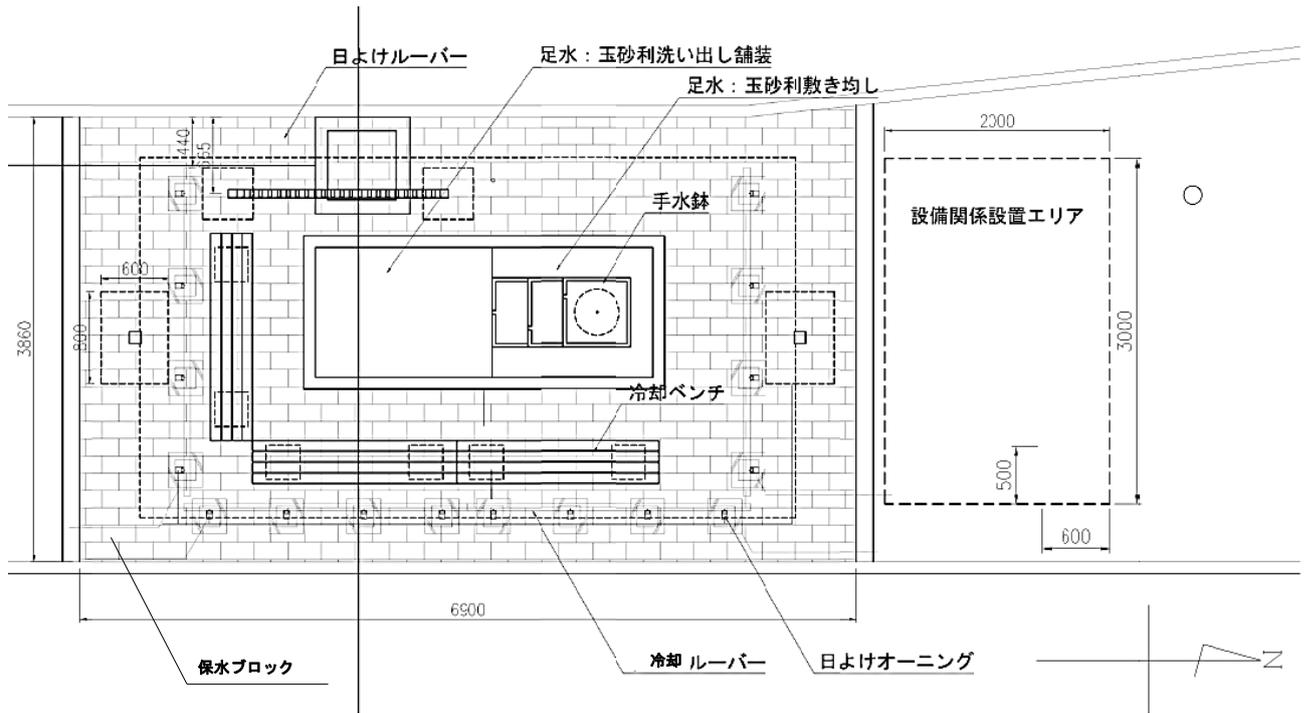


図 7.24 設計平面図

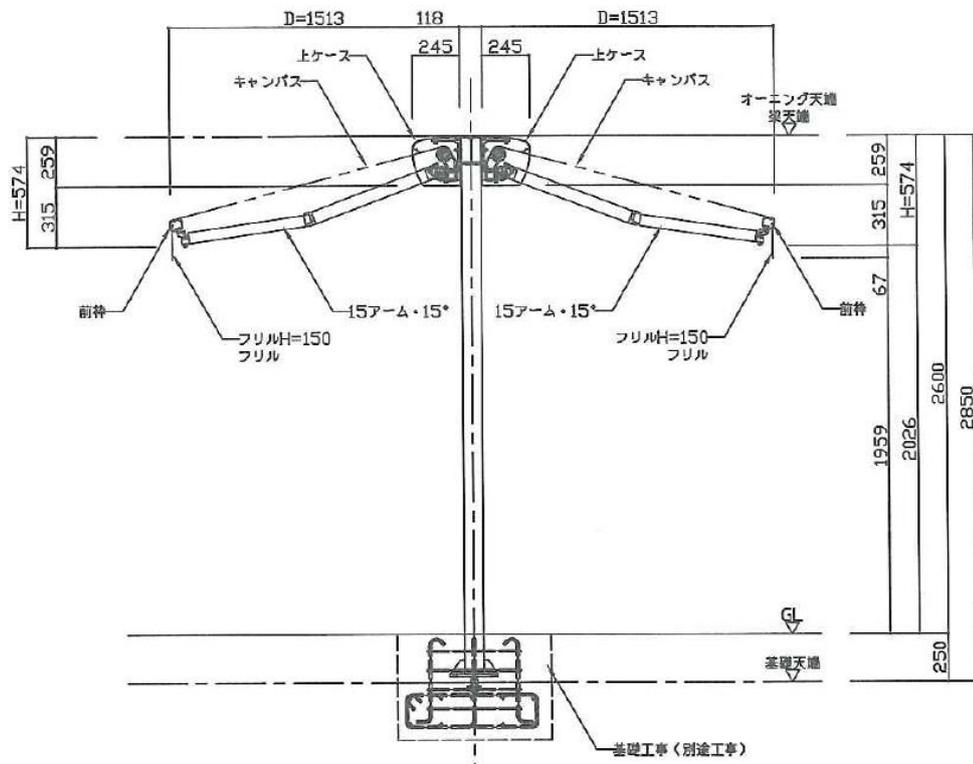


図 7.25 設計立面図 (オーニング)



図 7.27 施設完成写真

7.2.5 施設の管理

1) 暑熱対策施設の運用について

2016年度の暑熱対策施設の運用について、下記に示す。

5月16日より稼働を開始した。下記に運用方針を示す。

- ・ 5月から9月を稼働期間（給水を行う期間）とした。
- ・ 平日のみの稼働とした。
- ・ 遮熱性日除けは朝9時に開き、17時に閉じる。（強風時にも閉じる）
- ・ 冷却ルーバー・水冷ベンチ・水景施設への給水は9時から17時の間常時行うが、給水量は、水冷ベンチの温度、冷却ルーバーの保水程度を確認しながら調整を行った。
- ・ 保水ブロックへの散水は市へ協力を依頼した。
- ・ 使用水量は流量計によりデータを回収し把握した。
- ・ 使用状況に応じて適宜施設内の清掃を行った。
- ・ 10月19日に撤去工事を完了し、10月24日に環境省立ち会いの下、施設撤去・現状復旧の確認を行った。



図 7.28 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使用量

暑熱対策技術運用のため、井戸ポンプ運転のために電気を使用していたが、使用量はおよそ1.5kwh/日（8時間）であった。稼働開始（5月16日）から稼働終了（10月18日）までの間に170kWhの電力を使用していた。これは119日間中、約113日稼働していた計算となり、6日間は雨水センサーが作動し、運転が停止していたと考えられる。

また、地下水の使用については、施設全体で2,400ℓ/日（8時間）を使用した。地下水位のモニタリングからは揚水による水位低下は見られなかった。

表 7.4 地下水の使用状況

対策技術	使用水量
水冷ベンチ	624ℓ/日
冷却ルーバー	336ℓ/日
水景施設	1,440ℓ/日

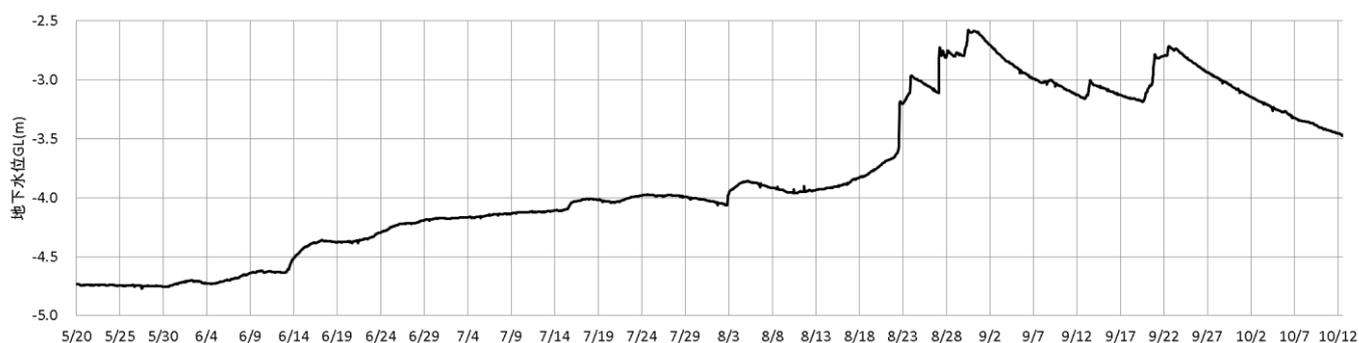


図 7.29 稼働期間中の水位変動

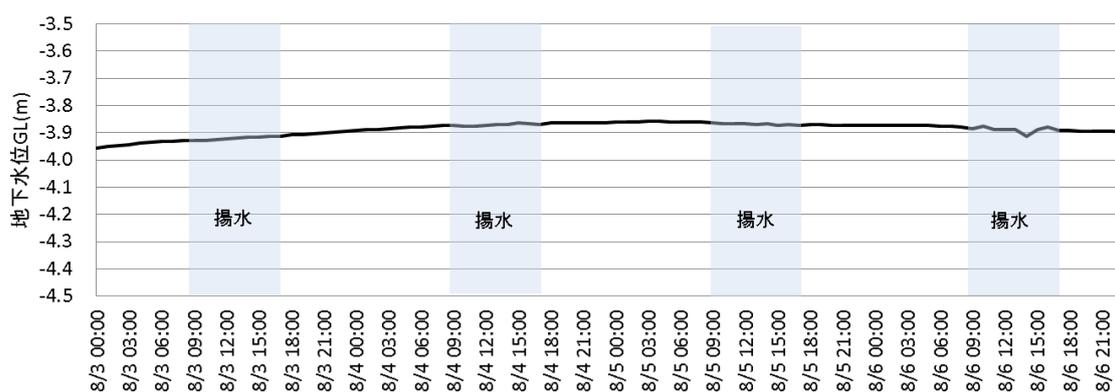


図 7.30 8月3日～6日の水位日変動

7.3 対策効果の測定の実施と結果

7.3.1 実施概要

2016年の初夏から盛夏の期間中の4日間（5月19日、6月22日（降雨により13:00まで）、7月12日、8月6日）の9:00～17:00に複数地点同時測定を行った。対策施設内の水冷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）に測器を設置したほか、8月の測定では、仮設テントによる日陰空間（下図：③）をつくり、ここにも測器を設置した。いずれも測定高さは黒球の中心が地上1.1mとなるように設置した。

また、8月6日の測定では、放射収支計を用いて6方位の長短波放射量を測定した。



図 7.31 測器設置場所

表 7.5 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
放射収支量	4成分放射収支計	1秒（8月6日のみ）
熱画像	サーモカメラ	毎正時

7.3.2 測定結果と効果の評価

1) 総合評価

天候に恵まれた5月19日、7月12日、8月6日の測定結果を示す。

5月19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12日は最高気温34℃、8月6日は同36℃と猛暑であった。対策施設内の気温は、日向にくらべて0.3～1.2℃程度低くなっており、逆に相対湿度は最大で5%程度、高くなっていた。

対策施設内の風速は、0.3～0.6m/s程度と弱く、日向の風速の4割程度に低下していた。

対策施設内のMRTは、日向にくらべて最大で40℃程度も低く、この違いが体感温度の低下に大きく寄与したものと考えられる。

対策施設内の SET*は、日中には、日向にくらべて7~10℃程度低く、特に5月の測定では対策施設内の SET*が 13 時ごろまで平均的に 10℃程度、低くなっていた。8月の測定の 12 時台には 7.1~9.5℃低くなっていた。WBGT については、対策施設内が日向より平均的に 3℃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。

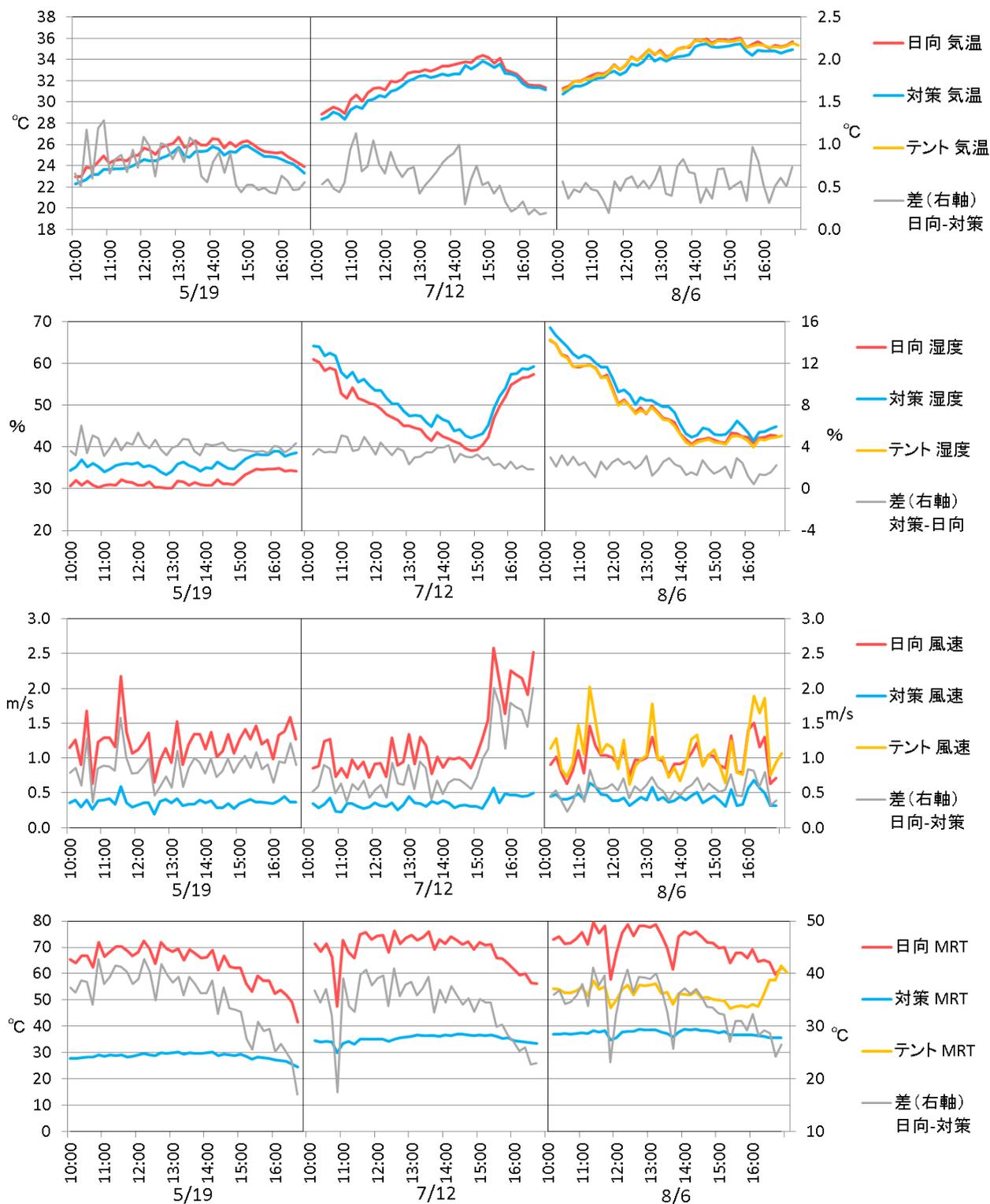


図 7.32 熱環境測定結果 (気温、相対湿度、風速、MRT)

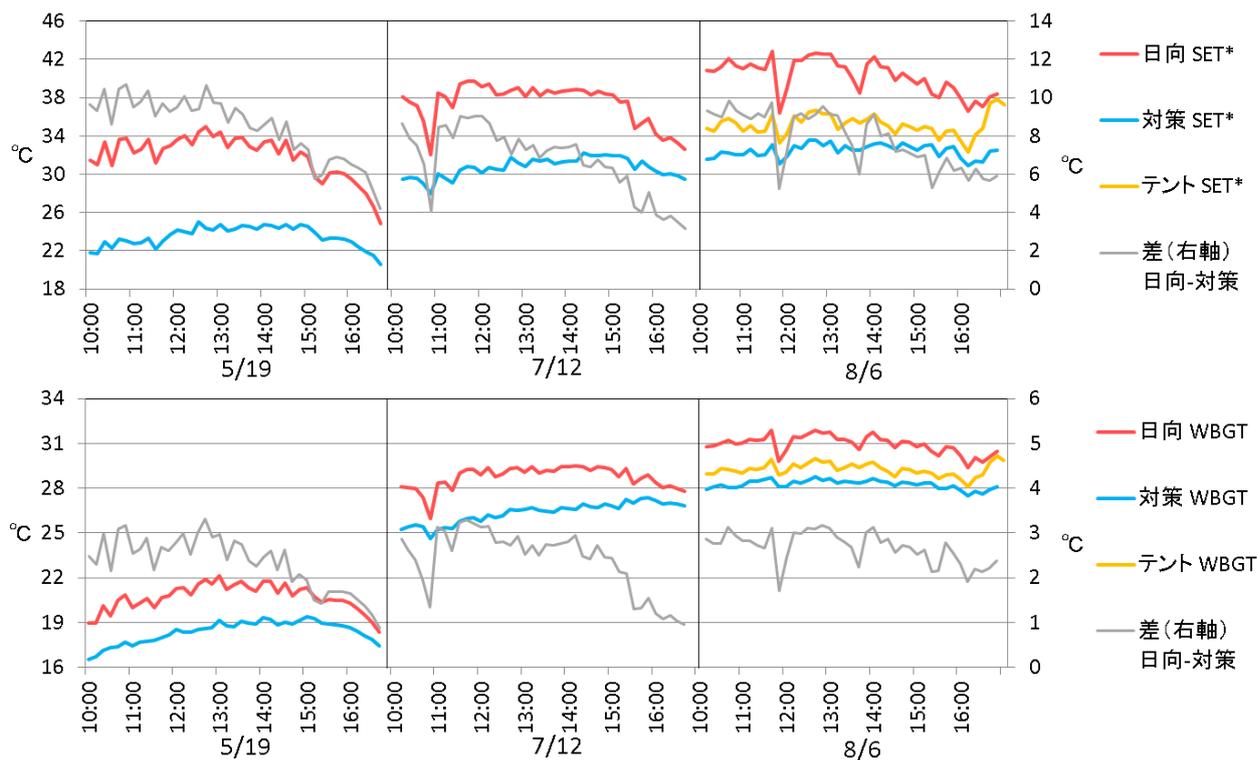


図 7.33 熱環境測定結果 (SET*、WBGT)

2) 技術性能評価

(1) 評価対象技術

日除け（オーニング）、保水ブロック、水景施設（水面）、冷却ルーバー、水冷ベンチの5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3に示した。

表 7.6 技術性能評価の一覧（熊谷市役所前バス停）

対象技術	気温	湿度	風速	放射
日除け（オーニング）				○
保水ブロック				○
水景施設（水面）				○
冷却ルーバー	○	○	○	○

※湿度への影響は冷却ルーバー以外にも保水ブロック・水景施設によっても影響がある可能性があるが、切り分けが困難なため、冷却ルーバーによる影響とした。

※水冷ベンチについては、人体生理・心理反応実験により効果の評価を行った。（参考資料6）

(2) 評価方法

各技術の評価方法を表 7.7 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の晴天日の日中の気象条件を用いた。

表 7.7 評価方法

対象技術	評価方法	
日除け（オーニング）	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。
保水ブロック	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、夕方（16 時台）を対象に評価した。夕方は西日除けにより日が遮られている箇所と、西日が差し込んでいる箇所との比較も行った。
水景施設（水面の評価）	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。
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
	風速	2次元超音波風速計を用い、冷却ルーバーの影響がない場所の風速との比較を行った。
	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。

(3) 評価結果

①日除け（オーニング）

オーニングは、日中の強い日差しを遮り、南中時（12 時台）には日向の日射量が 846W/m² に対してオーニング下では 81W/m² で、9 割の日射を遮蔽する効果があった。平均放射温度（MRT）は日向に比べて約 25℃低下し、その結果 SET*は約 7℃、WBGT は約 2℃低下した。

表 7.8 日除け（オーニング）の評価結果

気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
-	-	-	- 24.5	- 6.9	- 2.1

日除け（オーニング）の評価結果

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
【参考】	日向	34.45	49.55	0.95	79.17	42.81	31.79
	オーニング	34.45	49.55	0.95	54.65	35.89	29.72

※ MRT の評価と、参考として示した値は、2016/8/6 12:00~13:00 の熱環境を例として計算した。

②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。相対湿度とルーバー面の温度（ルーバー表面及びルーバー間を含む面としての温度）の関係をみると、相対湿度が低いほど、気温にくらべて表面温度低下する傾向が明確である。

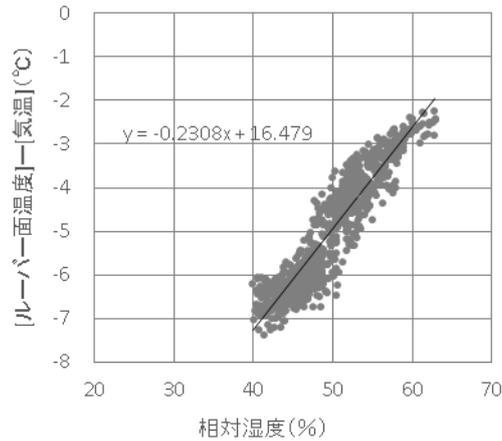


図 7.34 相対湿度とルーバー面温度の低下量の関係
(熊谷市と堺市の検証施設での実測結果より算出)

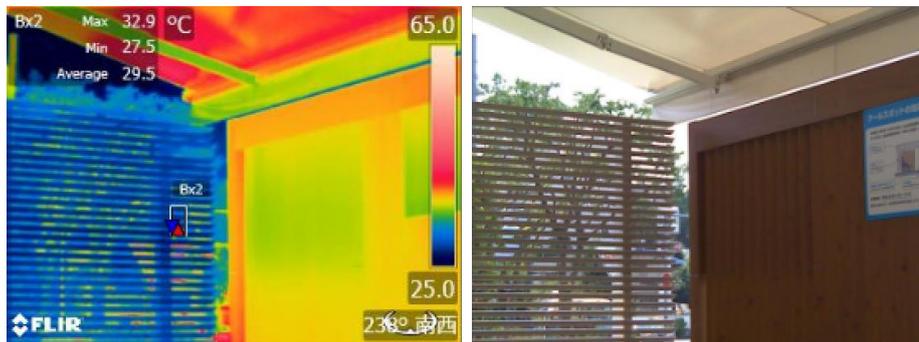


図 7.35 8月6日12時の冷却ルーバーの表面温度（気温 34.4°C、湿度 49.6%）

施設内の気温の低下については、相対湿度と風速に影響を受ける傾向がみられた。

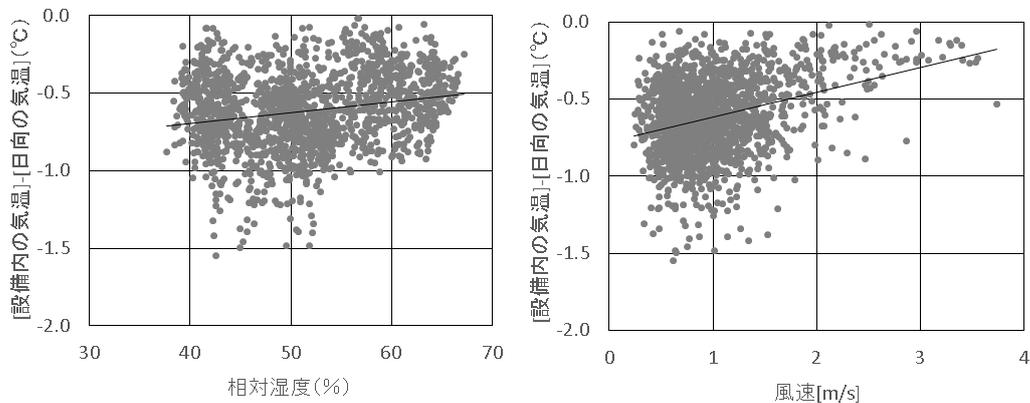


図 7.36 相対湿度と気温低下量（左）・風速と気温低下量の関係（右）

風向や風速による気温低下量の変化は見られなかった。

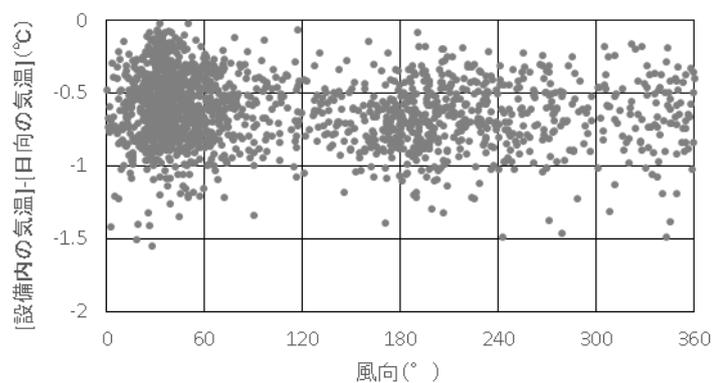


図 7.37 風向と気温低下量の関係

一方、湿度の増加量については相対湿度との関係は見られず、平均でおよそ 2.9%の増加であった。

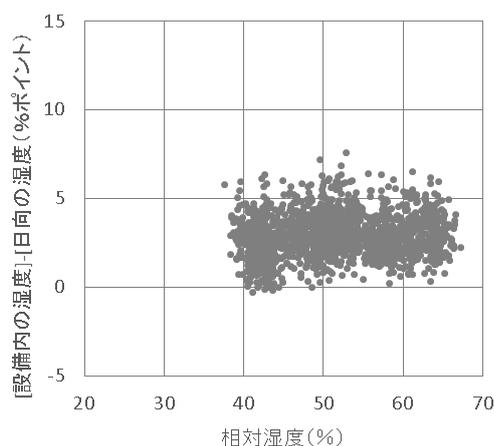


図 7.38 相対湿度と湿度増加量の関係

3面を冷却ルーバーで囲っており、風速の低下も見られた。施設内の風速は、冷却ルーバーが施設外の風を遮り減少していた。減少の程度は以下に示すように施設外の自然風速との関係が見られた。

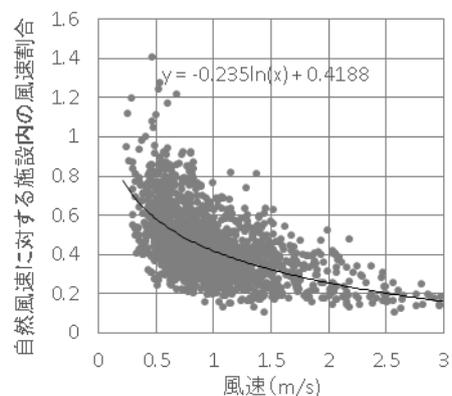


図 7.39 自然風速と施設内風速の関係

MRTについては、図 7.34 で示したとおり湿度が低いほど、表面温度が気温よりも低下し、放射環境改善効果は大きくなる。また、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ところ、日陰（オーニング下）を対照地点として、敷地がアスファルトの場合は MRT が 13℃、敷地が緑地の場合は約 11℃低下した。

その結果、SET*は 1.0～1.6℃、WBGT は 0.7～0.9℃の低下がみられた。

表 7.9 冷却ルーバーの評価結果

気温 (℃)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (℃)	SET* (℃)	WBGT (℃)
- 0.7	2.9	- 0.5	- 13.0	- 1.6	- 0.9
			- 10.9	- 1.0	- 0.7

※MRT・SET*・WBGTの効果は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℃、人工被覆は気温+25℃であると仮定した。

冷却ルーバーの評価結果

		気温 (℃)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (℃)	SET* (℃)	WBGT (℃)
【参考】	道路面 (人工被覆の道路に囲まれた敷地)	34.45	49.55	0.95	57.06	36.47	29.91
	道路面 (緑地に囲まれた敷地)	34.45	49.55	0.95	54.93	35.96	29.75
	冷却ルーバー	33.79	52.42	0.41	44.05	34.91	29.05

※ MRTの評価と、参考として示した値は、2016/8/6 12:00～13:00の熱環境を例として計算した。

※ オーニングの下に冷却ルーバーが設置されているとして計算した。

※ 人工被覆と緑地の表面温度は、実測値をもとに、それぞれ気温+25℃、または+3℃とした。

③保水性ブロック

保水性ブロックは、路面を湿潤状態に保つことで、気化熱を利用して路面の温度上昇を抑制・冷却するものである。夏季の測定では、オーニング下に敷設されている保水ブロックに9:00に打ち水を行い、効果を検証した。日陰が保たれていた部分の表面温度は夕方まで湿潤状態が保たれ、低い表面温度が保たれていた。

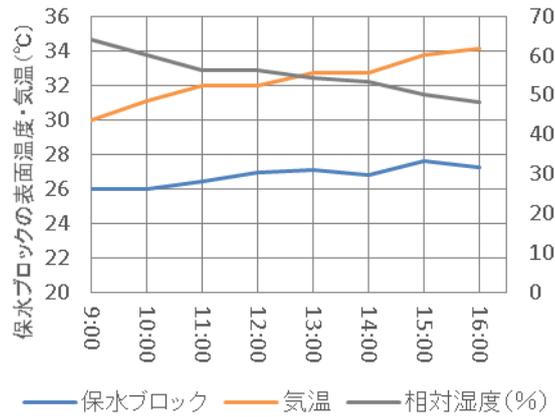


図 7.40 保水ブロックの表面温度の経時変化（8月4日）

相対湿度と保水ブロックの表面温度の関係をみると、湿度が低いほど、表面温度が気温よりも低下していた。

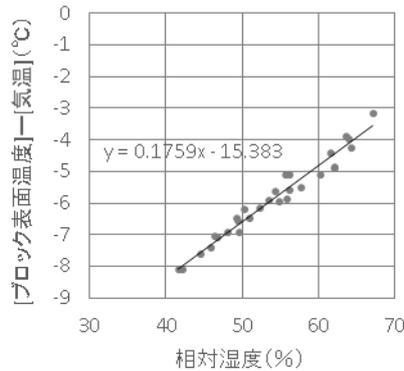


図 7.41 相対湿度と保水ブロック表面温度の低下量の関係
（8月3日～8月6日 9:00～16:00 のデータを用いて導出）

12時の気温 34.4℃、相対湿度が 49.6%のとき、仮設テント下の日陰のアスファルトの表面温度に比べて対策施設内の保水性ブロックの表面は 14.6℃低く、日陰（オーニング下）を対照地点として、MRTは 2.1℃低下、その結果 SET*は 0.5℃、WBGTは 0.2℃低下した。

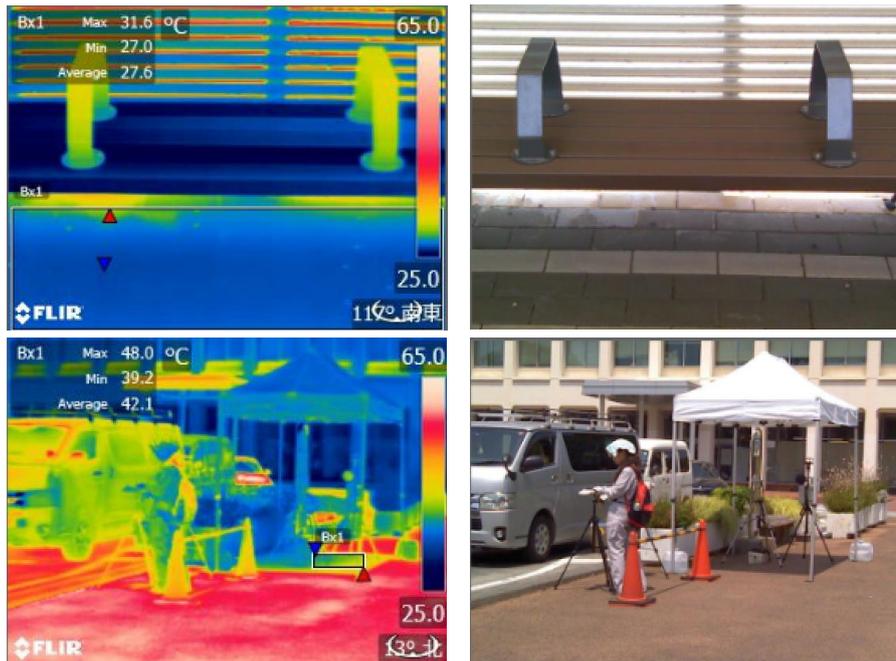


図 7.42 12 時の路面温度（上段：施設内保水ブロック、下段：テント日陰）

表 7.10 保水ブロックの評価結果（南中時）

気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
-	-	-	- 2.1	- 0.5	- 0.2

保水ブロックの評価結果（南中時）

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
【参考】	アルファルト (日陰)	34.45	49.55	0.95	54.67	35.89	29.72
	保水ブロック	34.45	49.55	0.95	52.58	35.37	29.56

※MRT の評価と、参考として示した値は、2016/8/6 12:00～13:00 の熱環境を例として計算した。

※オーニングの下に保水ブロックまたはアスファルトが敷設されているとして計算した。

12 時を過ぎると、保水ブロックに日が当たることにより床面の温度が上昇しやすくなり、16 時台には MRT は 1.7°C の低下となるが、西日除けを設置していた場所の保水ブロックは湿润状態が保たれ、アスファルト路面に比べて MRT が 2.1°C 低下した。



図 7.43 西日避けあり・なしの測定点

表 7.11 保水ブロックの評価結果 (16時)

気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
-	-	-	- 2.1 ~ - 1.7	- 0.5 ~ - 0.4	- 0.2 ~ - 0.1

保水ブロックの評価結果 (16時) _西日影響あり

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
【参考】	アルファルト (日陰)	35.59	42.26	0.99	60.81	37.10	29.96
	保水ブロック	35.59	42.26	0.99	59.08	36.71	29.85

※MRTの評価と、参考として示した値は、2016/8/6 16:00~17:00の熱環境を例として計算した。
 ※オーニングの下に保水ブロックまたはアスファルトが敷設されているとして計算した。

保水ブロックの評価結果 (16時) _西日除け設置場所

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
【参考】	アルファルト (日陰)	35.59	42.26	0.99	60.81	37.10	29.96
	保水ブロック	35.59	42.26	0.99	58.70	36.63	29.80

※MRTの評価と、参考として示した値は、2016/8/6 16:00~17:00の熱環境を例として計算した。
 ※オーニングの下に保水ブロックまたはアスファルトが敷設されているとして計算した。
 ※西日除けによる効果は短波遮蔽の効果も想定されるが、上記の計算では長波のみ評価している。

④水景施設

本事業で整備した水景施設は地下水を石盤で受け、冷水面をできるだけ大きく確保するように工夫した設備で、下流部分に溜まる水は 23°C前後に保たれていた。手や足を直接濡らして涼む効果も考えられるが、ここでは、足元にできる冷水面による放射環境改善効果を評価した。親水部分と手水鉢部分を含めた 2.8m×1.0m のサイズが地面の高さの水面であるとして水面の放射改善効果を評価した。12時には MRT はアスファルト路面 (日陰) に比べて 1.3°C低下しており、その結果 SET*は 0.3°C、WBGT は 0.1°C低下した。

表 7.12 水景施設の評価結果

気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
-	-	-	- 1.3	- 0.3	- 0.1

水景施設の評価結果

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
【参考】	アルファルト (日陰)	34.45	49.55	0.95	54.35	35.81	29.70
	保水ブロック	34.45	49.55	0.95	53.06	35.49	29.58

※MRTの評価と、参考として示した値は、2016/8/6 12:00~13:00の熱環境を例として計算した。

※オーニングの下に水景施設が設置されているとして計算した。

⑤水冷ベンチ

人が着座して利用するものであり、臀部からの放熱量を人の熱収支と主観申告の関係から評価するため、8月3日~5日に被験者による実験を行った。実験内容と結果は参考資料6に示す。

結果として、水冷ベンチに着座することでSET*2.4°C低下相当の効果があると推定された。

7.4 利用者ヒアリング調査の実施と結果

8月3日～8月5日の3日間に、暑熱対策施設を利用した人に対しヒアリングを実施した。暑熱対策施設を利用した理由や利用した際の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、バスを待つための他に、うわさを聞いて利用してみたという回答もあった。利用してみた印象としては、ベンチが冷たくて良いという温熱環境に関するもの以外に、流れている水が涼しげ、子供が遊ぶのに良い、地下水を利用するのは良い、コミュニケーションがはずむなどの回答もあった。このような対策施設が必要な場所については、駅前、バス停、公園などがあげられた。



図 7.44 対策施設での利用の様子

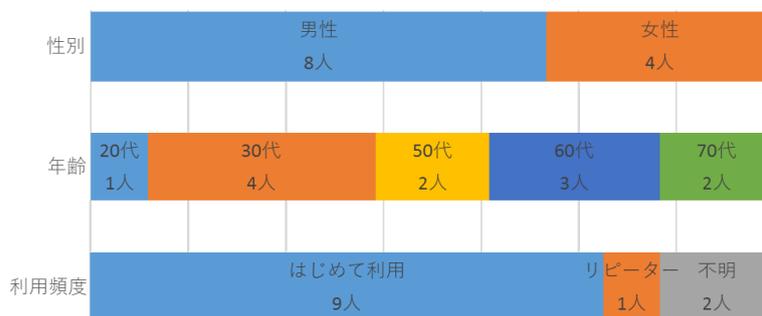


図 7.45 ヒアリング回答者の属性

表 7.13 ヒアリング結果

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
日程	8月3日	8月3日	8月3日	8月3日	8月4日	8月4日	8月5日	8月5日	8月5日	8月5日	8月5日
ヒアリング時間	不明	10:50	11:00	14:00	11:00	12:05	9:30	9:40	9:50	10:28	14:40
滞在時間	10	5	60	15	10	不明	20	15	3	5	5
年代	30	30	70	50	60	30	70	60	20	50	60
性別	女	女	女	男	男	男女	男	男	男	男	男
利用目的	バス待ち たまたま	休憩 たまたま	依けい たまたま	たまたま	試しに 不明	休憩 たまたま	バス待ち 2回/週	うわさを聞いて はじめ	テレビで見て 不明	休憩 たまたま	たまたま
利用頻度											
市庁舎1階スペースではなく本体親所を選んだ理由	バスを待つていい 水が冷たくて、子供にはいい涼しい アイスがひんやりして気持ちいい	たまたま (冷却ルーバー、冷却ベンチ、水景施設)水が流れているのでイメージ的にも涼しい遊ぶ子供が少し遊ぶのに調度いい	こちらの方が気持ちいい 見た目が涼し気居心地が良い	涼しい感じがする	試しに 見た目が涼し気地下水の涼しさを利用して涼しいのが良い	気がなっていたから (冷却ルーバー、冷却ベンチ、水景施設)た風が非常に涼しく、気持ち良いベンチが冷たくて、一気に体温が下がると涼しくなる 水の音が聞こえるだけで涼しくなる	バス待ちに都合が良い 水が涼し気良い機会に「しり」が冷えた	自然の涼しさがこち良いベンチが冷たくて良い	涼しくていいですね	庁舎に入る前にめについたため (冷却ルーバー、冷却ベンチ)アイスが冷たいというのには非常に涼しく感じる風が冷たくて気持ちが良い	涼しい感じがする おしりが冷たいのが良い
設備の印象や効果											
エアコンがまいた場所と比べた印象や効果		涼しすぎないけれど、汗が出ないレベルで良い	エアコンは自然	自然の涼しさ	自然の涼し気良い	庁舎内は冷房がきすぎており、長くいると寒くなりすぎる				冷えずぎないの で良い	エアコンの室内より外に居れるのが良い
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		公園内	自宅に置きたい	まちのあちこちでできると熱中症対策になる		もつとあっても良いと思う。駅前やバス停、公園内にあると良い。	バス停			公園	バス停
その他						涼しすぎて出ていきたくない様子		まちなかのベンチにはすわらない(熱くて)このような施設がある利用者どうしのコミュニケーションがはすむ 冷房ルームではこうならない			

7.5 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。

7.5.1 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、熊谷市役所前バス停と同様の対策施設が設置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9時～17時とした。

1) 気温の変化

7.3で示したとおり、気温の低下量を相対湿度と風速との関係から求めた。

2) 湿度の変化

7.3で示したとおり、湿度の増加量は相対湿度とは関係が見られずほぼ一定であったため、2016年の夏季(8/3～8/6)に測定された湿度増加量の平均値である2.9%ポイントの増加を適用した。

3) 風速の変化

7.3で示したとおり、自然風速と施設内の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。

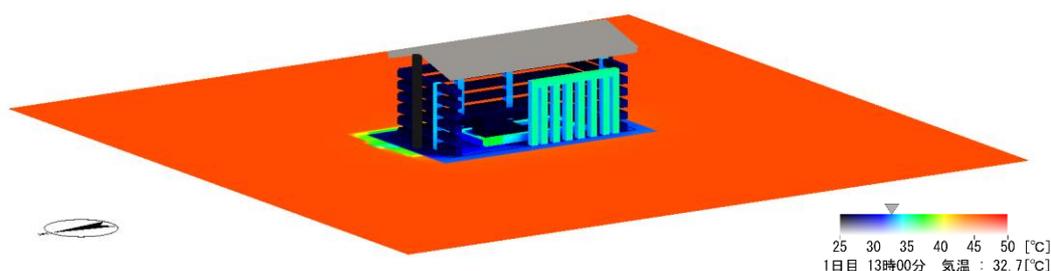


図 7.46 作成した3Dモデル(周囲に建物等は存在しないものとしてモデルを作成)

5) SET*の変化

7.3で示したとおり、環境要因の変化から得られたSET*からさらに2.4°CのSET*相当の改善が水冷ベンチに着座することで得られると推定されるため、1)～4)を用いて計算されるSET*からさらに2.4°C低下させた値を対策施設の複合効果とした。

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。)

7.5.2 空調利用代替型を適応した場合のCO₂削減

利用者の受容限度を SET*32℃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、その時間数を計算した。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）の結果を示す。7月8日には、対策施設では終日 SET*28℃を下回る温度で推移していた。8月16日は気温が35℃を超える猛暑日であり、対策施設内では10時台と11時台に受容限度の SET*32℃を超えた。

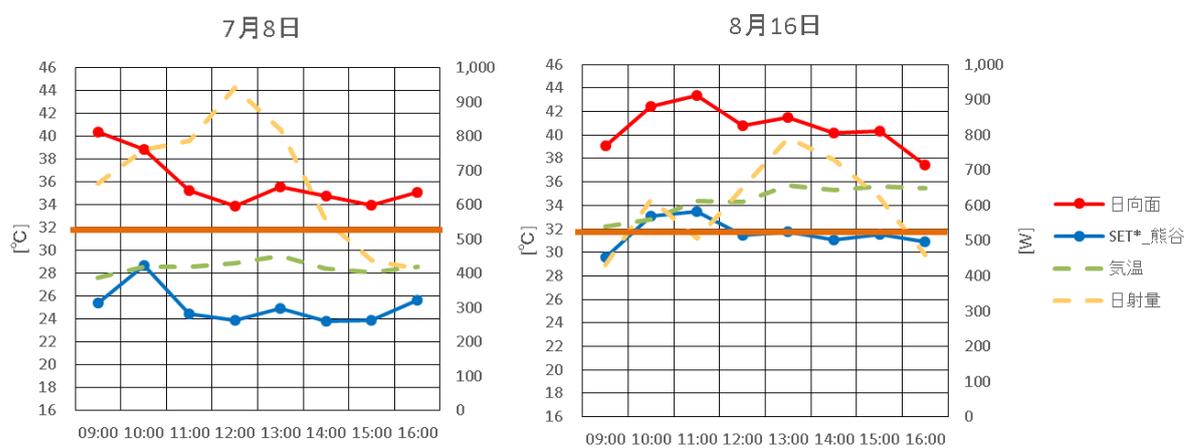


図 7.47 熊谷市役所前バス停の暑熱対策施設の2010年気象下での SET*変化
(左：7月13日、右：8月16日)

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ヶ月間を通じてほぼ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 7.14 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	231	93.1
8月	248	244	98.4
9月	193	182	94.3

※空調稼働時間は空調室内が設定温度（28℃）を下回る場合を除いた時間

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 7.15 削減電力量 (1 m²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	31.0	95.9
8月	37.5	36.8	98.0
9月	22.7	22.4	98.5

一方、暑熱対策施設稼働には電力を使用する。7.2.5 で述べた使用量を時間あたり、施設面積 1 m²あたり (施設面積は 18m²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 1.1~1.4(kg-CO₂)が暑熱対策稼働により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4ヶ月を通じて9割程度のCO₂排出削減が達成できることがわかった。

表 7.16 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)	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	1.3	11.2	88.5
7月	17.8	17.0	1.3	15.7	88.4
8月	20.6	20.2	1.4	18.8	91.1
9月	12.5	12.3	1.1	11.2	89.7
合計	63.6	62.1	5.1	57.0	89.6

参考までに、暑熱対策施設稼働に地下水ではなく上水使用を想定した場合には暑熱対策稼働によるCO₂排出量がわずかに多いが同程度であった。

表 7.17 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)	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	1.3	11.2	88.4
7月	17.8	17.0	1.3	15.7	88.3
8月	20.6	20.2	1.4	18.8	91.1
9月	12.5	12.3	1.1	11.2	89.6
合計	63.6	62.1	5.2	56.9	89.5