

4章 東京ビッグサイト前海上公園での検証

4.1 概要

4.1.1 場所の概要

当該実施場所は、東京国際展示場（東京ビッグサイト）北側のシンボルプロムナード公園イーストプロムナード（管理者は東京都港湾局）に位置する。当該場所には既設のベンチがある屋外休憩スペースがあり、平日昼には隣接する有明フロンティアビルのほか、周辺オフィスビル等から休憩に訪れる人がいる。また、国際展示場駅から東京ビッグサイトに向かう通路に面しており、展示イベントが開催される際には通路にかなりの人通りが予想される。夏季における熱環境は、中木による木陰が形成される場所の他は、日中の日当たりが良く、ただし湾岸であることから終日、風が比較的強い。

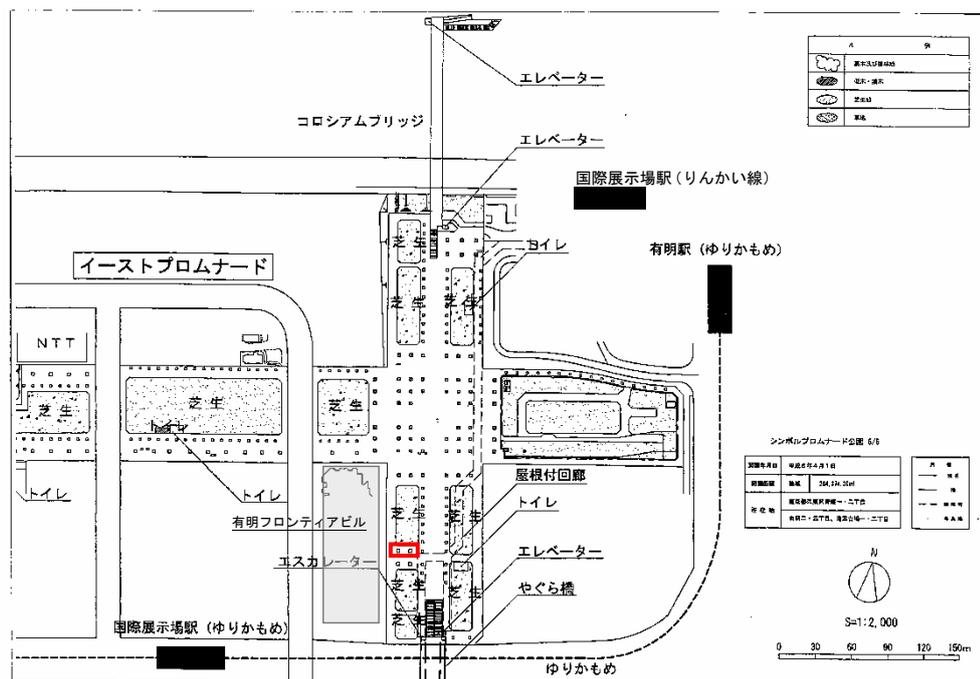


図 4.2 実施場所

本検証では、屋外休憩スペースに暑熱対策を施し、周辺勤務者の来訪者を中心とした不特定多

数を対象として、主に昼休憩などの休憩時間での屋外の利用を促進することで、室内の滞在者を減らし、室内の空調負荷を低減させる、または、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。

4.1.2 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事業の実施に努めた。

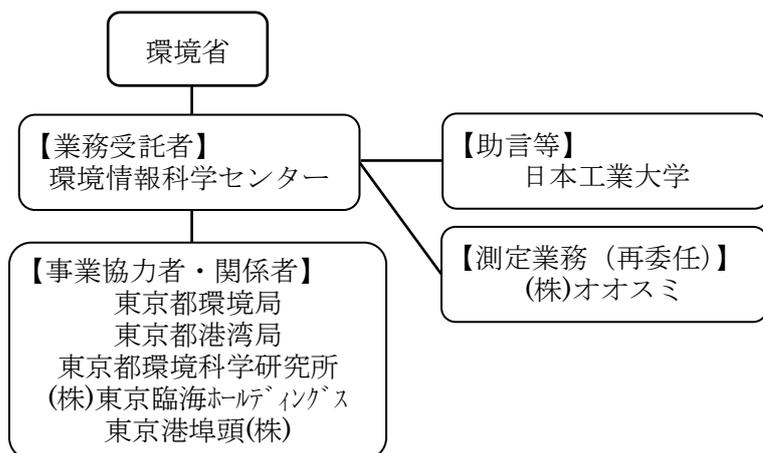


図 4.3 実施体制

4.1.3 実施スケジュール

2015 年度（平成 27 年度）の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（平成 28 年度）には効果検証のための計測やヒアリング等を実施した。2 カ年の実施スケジュールを表 4.1 に示す。

表 4.1 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	■											
	熱環境長期測定(現況把握)			■									
	熱環境集中測定(現況把握)					■							
	利用状況調査(現況把握)					■							
	対策技術の設計					■							
	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			■									
	熱環境測定(効果検証)			■									
	利用状況調査(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										■		

4.2 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、2015年夏季に現地調査を実施した。

- ・日向環境でSET*35℃前後、WBGT29℃前後の環境が15時頃まで続く
- ・終日2～4 m/sの強い南東～東の風が吹いている
- ・15時を過ぎると対策実施予定場所全体がビルの影になる
- ・昼休憩の時間帯（12：00～14：00）に利用が集中している

4.2.1 熱環境測定の実施

1) 実施概要

①長期測定

対策実施場所における夏季の前後を含めた6月～10月の長期的な熱環境測定を行った。測定項目は表4.2の通りである。



図 4.4 長期測定の測器設置場所（左）と測器設置状況（右）

表 4.2 長期測定項目一覧

測定項目	方式等	測定間隔
温湿度	自然通風方式	10分（湿度は20分）
黒球温度	ベルノン式	10分
風速	三杯式	10分
日射量	日射計	10分

②集中測定

盛夏の代表的な気象条件での測定として、2015年8月4日・5日の2日間、また晩夏での測定として9月15日・28日の2日間（8月下旬から9月上旬にかけて雨天が続いたため9月末に実施した）、初秋での測定として、10月19日・20日の2日間、各日9:00～17:00の間、複数地点同時測定を行った。



- ①既設ベンチ付近、日向（左上）
- ②既設ベンチ付近、木陰（右上）
- ③芝生、木陰（左下）

図 4.5 集中測定測器設置状況

測定項目は表 4.3 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 4.3 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

2) 測定結果

①長期測定

2015年6/25～10/19の気温と風速の推移を図に示した。7月下旬から8月上旬にかけては気温30℃を超える真夏日が続いていた。風速は7月～8月にかけての期間は日中2m/sを超える強い風が吹く環境が続いていた。

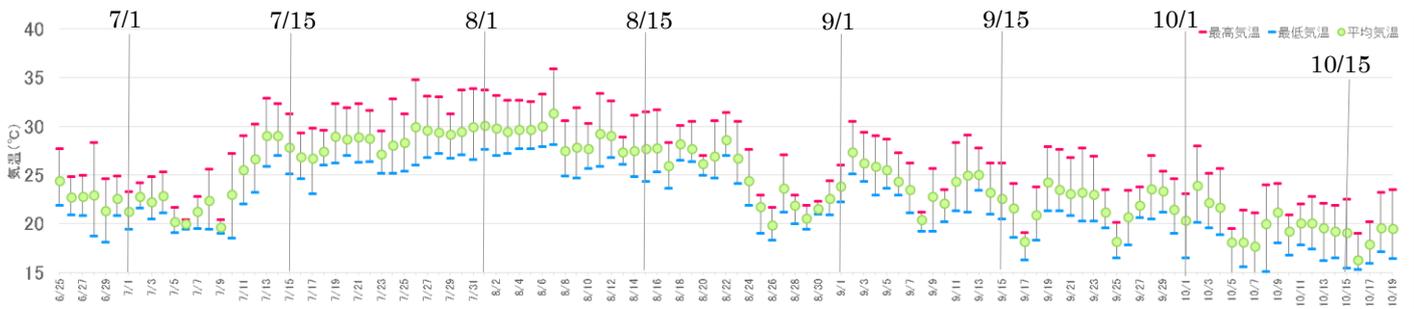


図 4.6 6/25～10/4の気温変化

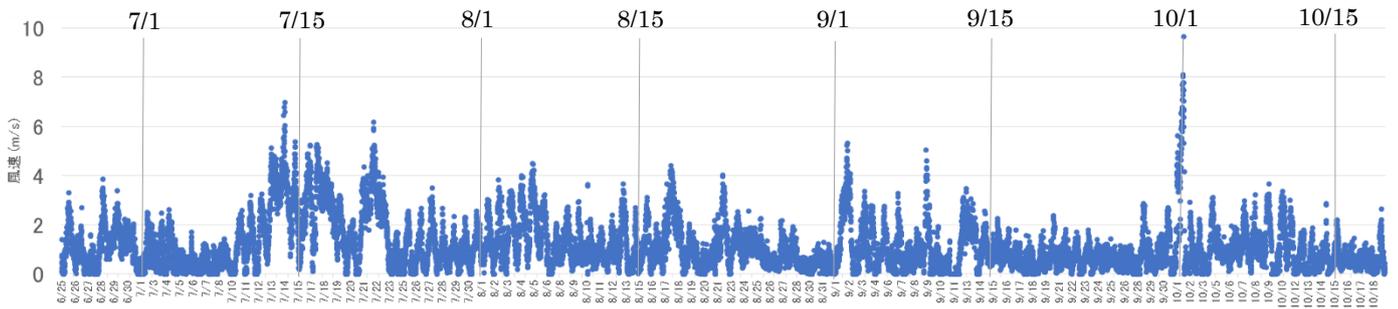


図 4.7 6/25～10/4の風速変化

②集中測定

8月4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。

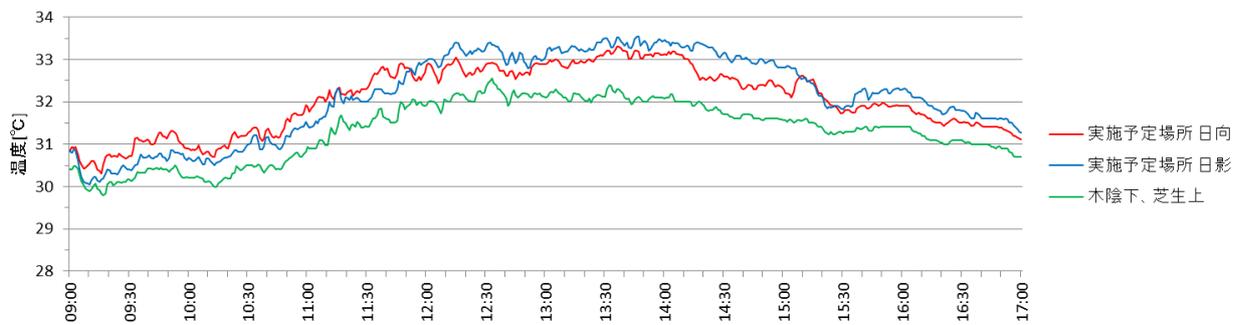


図 4.8 温度の日変化 (8/4)

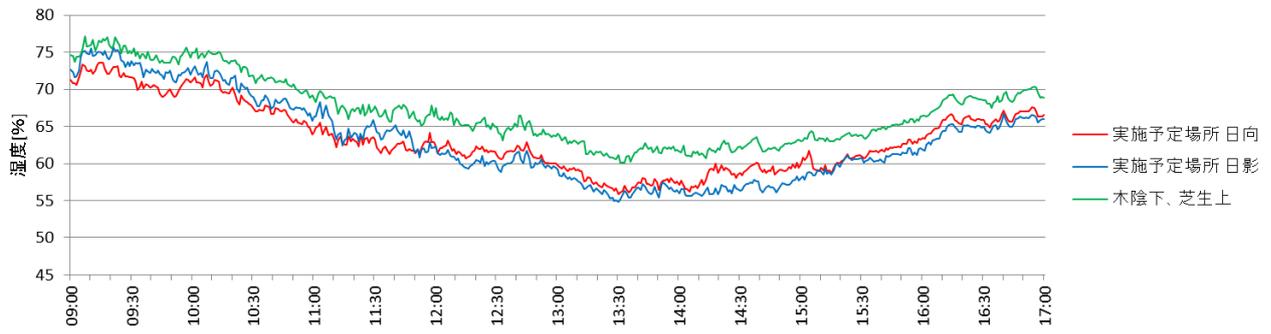


図 4.9 湿度の日変化 (8/4)

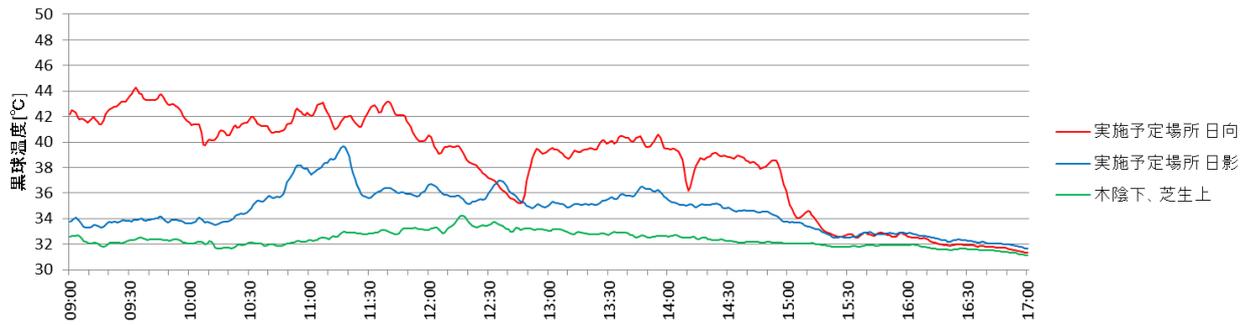


図 4.10 黒球温度の日変化 (8/4)

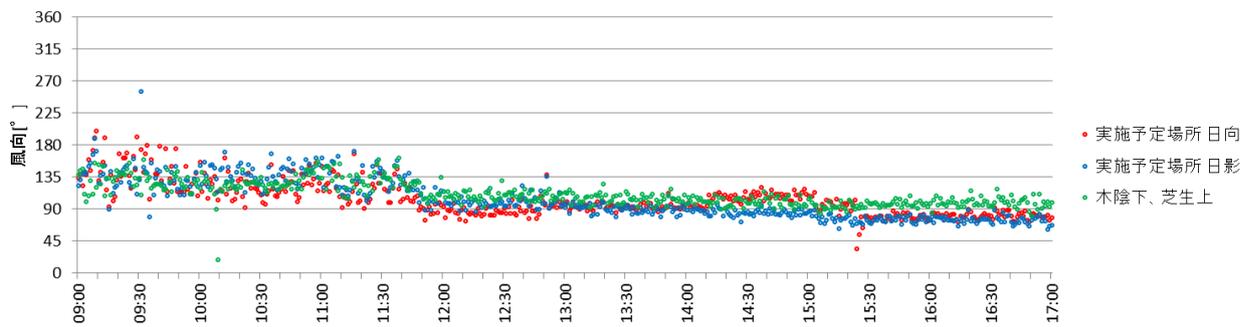


図 4.11 風向の日変化 (8/4)

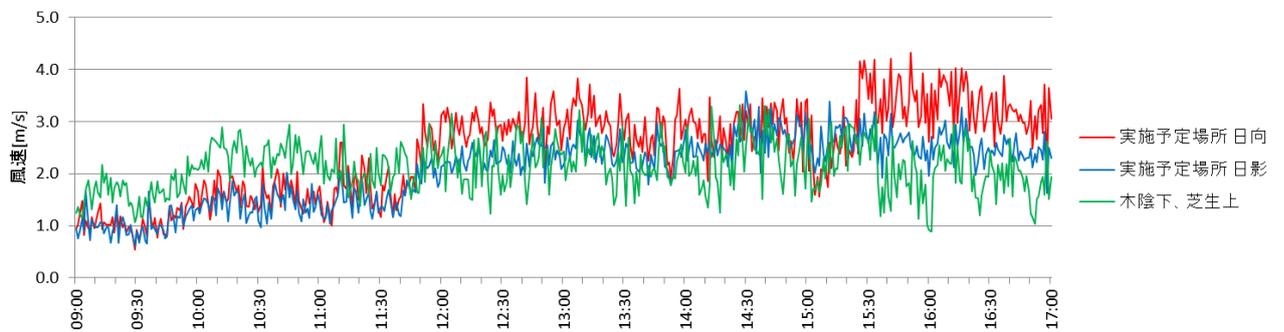


図 4.12 風速の日変化 (8/4)

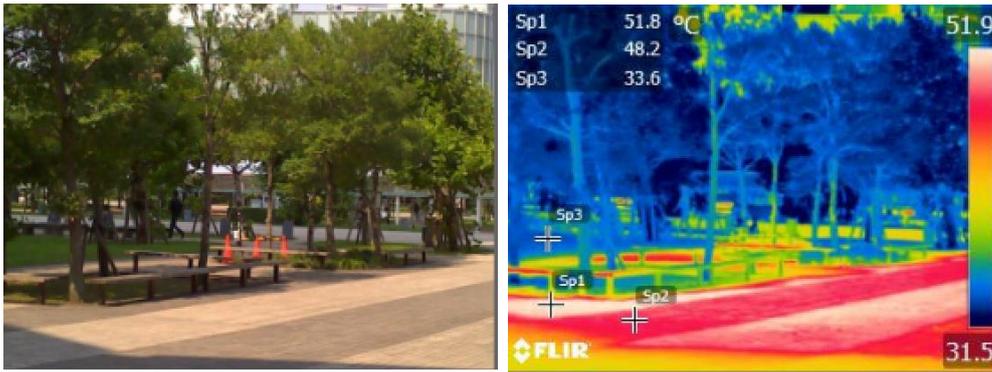


図 4.13 対策実施場所周辺の表面温度分布 (8/4 13:50、気温 33.1°C)

測定結果より、平均放射温度 (MRT) と体感温度指標 (SET*⁵⁷、WBGT) を算出し、日変化をグラフに示した。

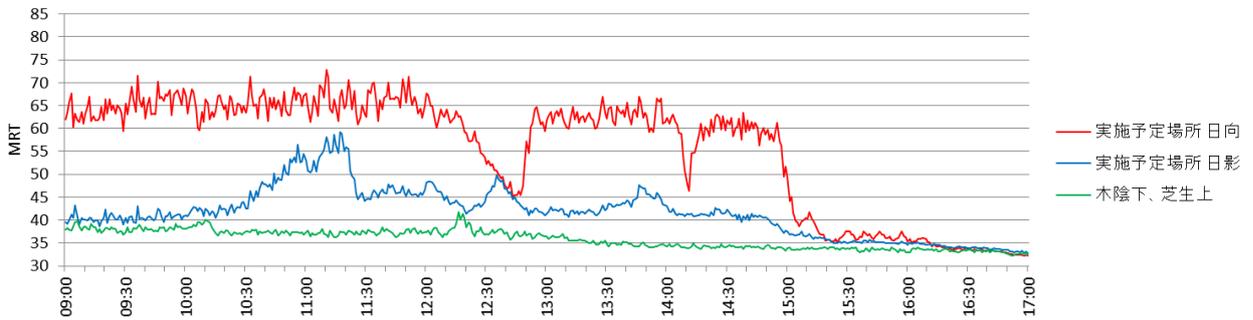


図 4.14 MRT の日変化 (8/4)

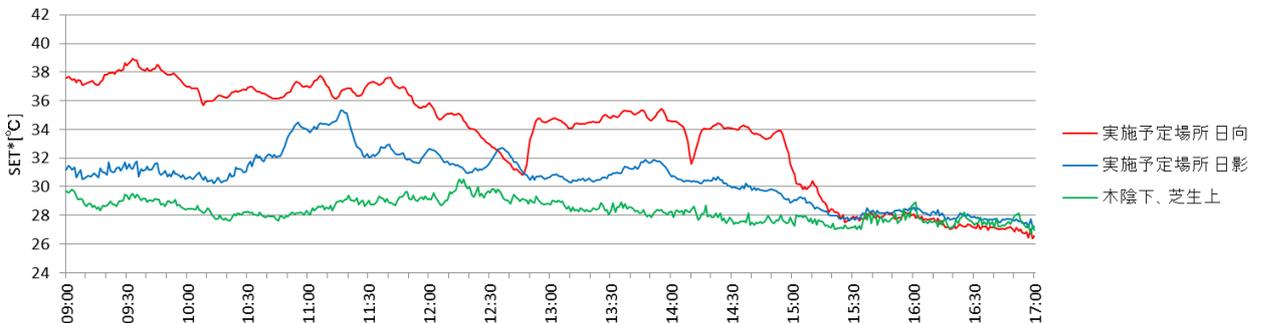


図 4.15 SET* の日変化 (8/4)

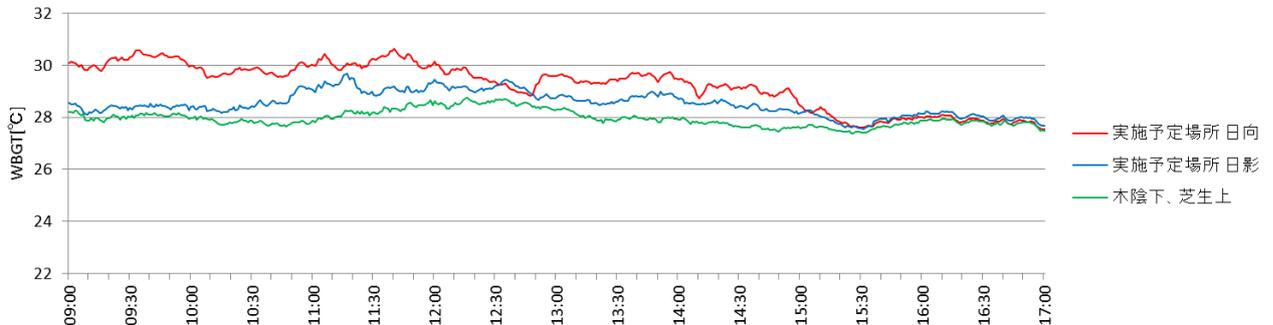


図 4.16 WBGT の日変化 (8/4)

⁵⁷ 体重 62kg、体表面積 1.62m²、着衣量 0.43clo、代謝量 58.2W/m²として計算。以降の計算も特記する条件がない限りこの条件を用いて計算した。

9月、10月にも同様の測定を行い、実測値からSET*を算出し比較したところ、9、10月ともに、午前中の日向ではSET*が30°C近くになるが、日陰ではSET*25°Cを下回る快適な環境であった。

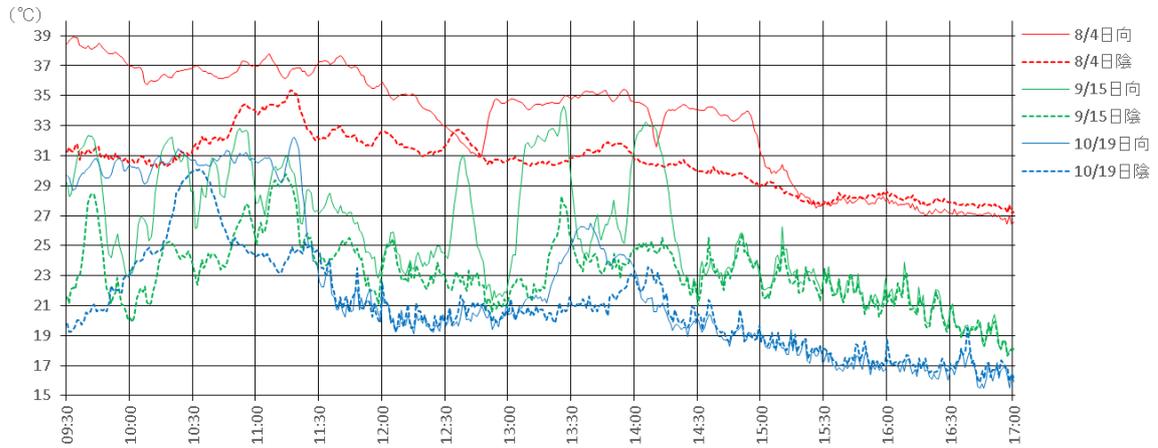


図 4.17 8月・9月・10月⁵⁸のSET*の経時変化

また、天空写真を解析し、屋外休憩スペースの各ベンチの日照時間（8月1日の太陽軌道を想定）を求めた

（図 4.19）。ベンチにより日照時間帯が異なり、15時を過ぎるとどのベンチも日陰になることがわかった。

昼食時の時間帯（11:00-14:00）では、南側に比べて北側ブロックのベンチが、日が当たる箇所が多かった（図 4.18におけるベンチ番号1, 2, 3, 5, 6）

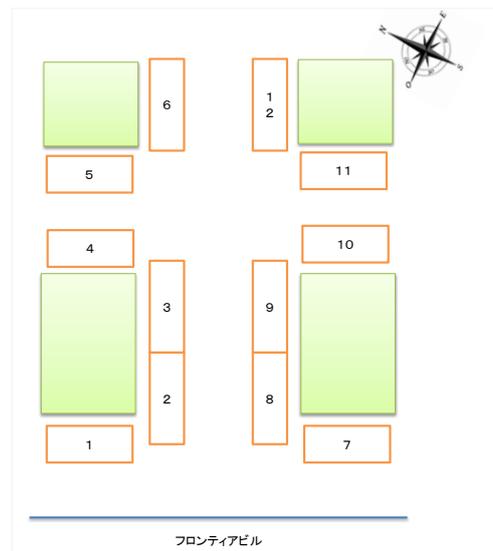


図 4.18 ベンチの位置

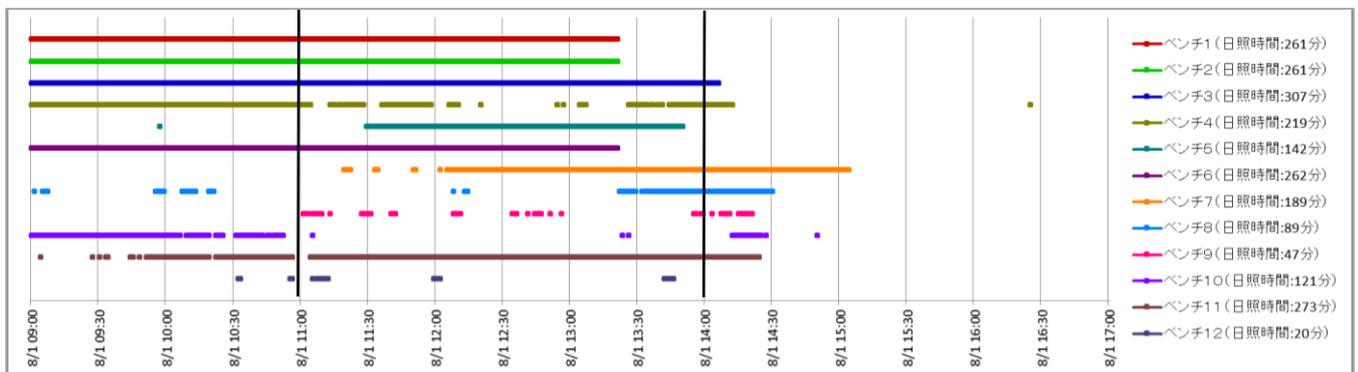


図 4.19 8月1日の日照時間（実線部分が日が当たっている時間）

⁵⁸ 10月には利用者の着衣が長袖の場合が多かったため着衣量 0.7clo で算出を行った。

4.2.2 利用状況調査

1) 実施概要

熱環境測定と同日に、屋外休憩スペースのベンチでの利用者数と滞在時間を記録した。

測定項目は、性別（男・女）、年代（10歳以下・60歳以下・60歳より高齢）、滞在時間、着席環境（日向、日陰、中間）、行動（食事、読書、スマホ操作など観察して記録）とした。

2) 調査結果

時間帯別滞在人数は、8月・9月・10月いずれも昼休憩時の利用が多かった。ピーク時間帯には8月に比べて9月は2倍以上の利用が確認された。滞在時間は、8月・9月・10月いずれも10分以下が多かった。



図 4.20 対策実施予定場所
屋外休憩スペース利用状況

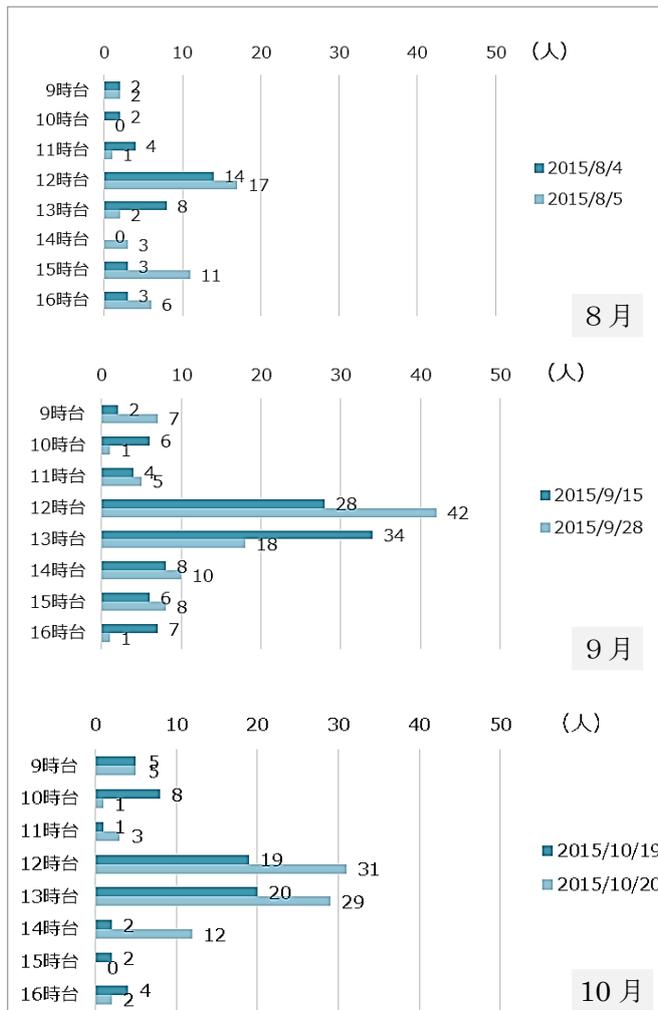


図 4.21 時間帯別滞在人数
(上：8月、中：9月、下：10月)

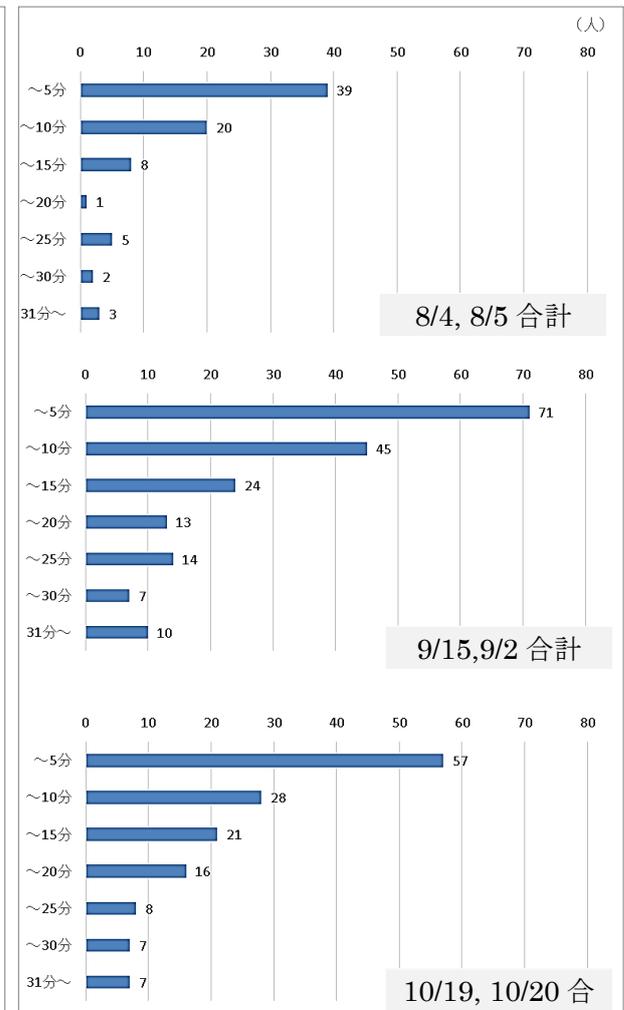


図 4.22 滞在時間の分布
(上：8月、中：9月、下：10月)

4.2.3 屋内利用者へのヒアリング

1) 実施概要

対策実施場所の熱環境測定と同日に、隣接する建物（有明フロンティアビル）1階の屋内休憩スペース利用者に対して、温冷感や休憩スペースの利用に関するヒアリングを実施した。



図 4.23 対策実施予定場所近隣の屋内休憩スペース

2) 調査結果

「今後、屋外に夏の暑さを和らげる施設・対策が導入されれば、屋外の休憩スペースを利用したいと思いますか。」という質問項目に対して、77%の回答者（N=62）が利用の意向を示した。この結果より、現況では屋内を利用している休憩者も、屋外の熱環境を改善することで、屋外を休憩スペースとして利用する可能性が示唆された。

今後、屋外に夏の暑さを和らげる設備・対策が導入されれば屋外の休憩スペースを利用したいと思いますか

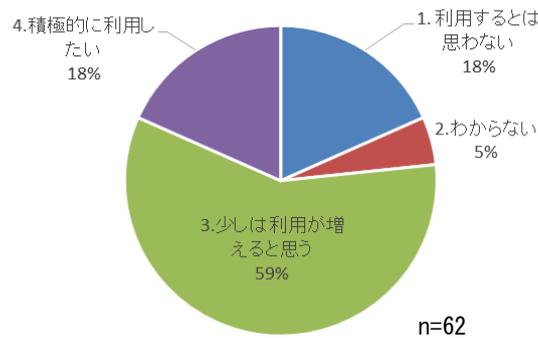


図 4.24 屋内滞在者の屋外利用意向

4.2.4 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、効率的な暑熱対策技術の設計を行った。



図 4.25 暑熱対策技術導入場所（赤枠部分）（左）とその近景（右）
(2015年11月頃に座板が交換されていることを確認した)

1) 設計の考え方

暑熱対策技術の設計にあたっては、利用人数が多い昼休憩時に日が当たるベンチに日除けを設置することや、ベンチ周辺の路面・側面を、水を活用した技術で冷却することとした。

2) 対策技術の選定

①日除け

真夏の日射を効率的に遮り、日除け自体が熱くなりにくいフラクタル形状の日除けを選択した。日照時間の調査結果図 4.19 から、昼休憩時に日が当たっているベンチ（図 4.25 の赤線部分）が日除けで覆われるように設置することとした。



図 4.26 木の葉を模したフラクタル形状の日除け⁵⁹

②側面と路面に水を活用した冷却材

ベンチ背面に風を通す冷却ルーバーを設置（景観に配慮して、緑化冷却ルーバー）し、路面には灌水システムを備えた保水性ブロックを設置し、熱放射環境を改善することとした。

①、②の技術を組み合わせたイメージを図 4.27 に示す。

⁵⁹ 写真は江戸川区での設置事例

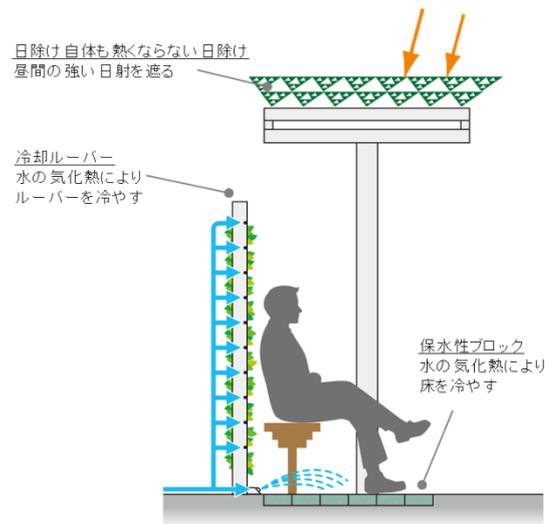


図 4.27 対策イメージ

また、この他に非対策路面からの赤外放射抑制効果を検証するために中低木の可搬式樹木ポットを設置することを検討したが、従来の歩行路阻害になることや、転倒や盗難のおそれも考えられたため、夏季の検証測定時にのみ設置することとした。

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。道路や設置予定技術を 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4日の日向測定点(但し、15時ごろからは日向地点も日陰となる)の気温・湿度・風速・日射量のデータを用いた。

対策実施場所を含む約 10m×18m 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。

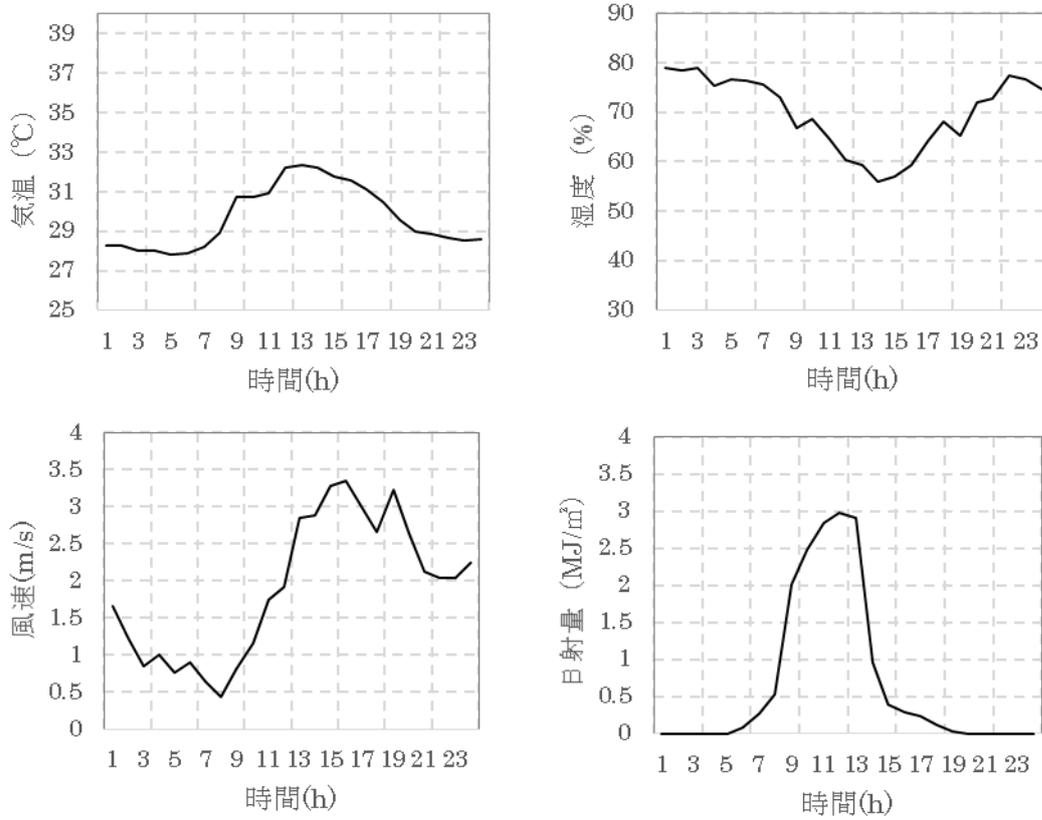


図 4.28 シミュレーションに入力した気象データ

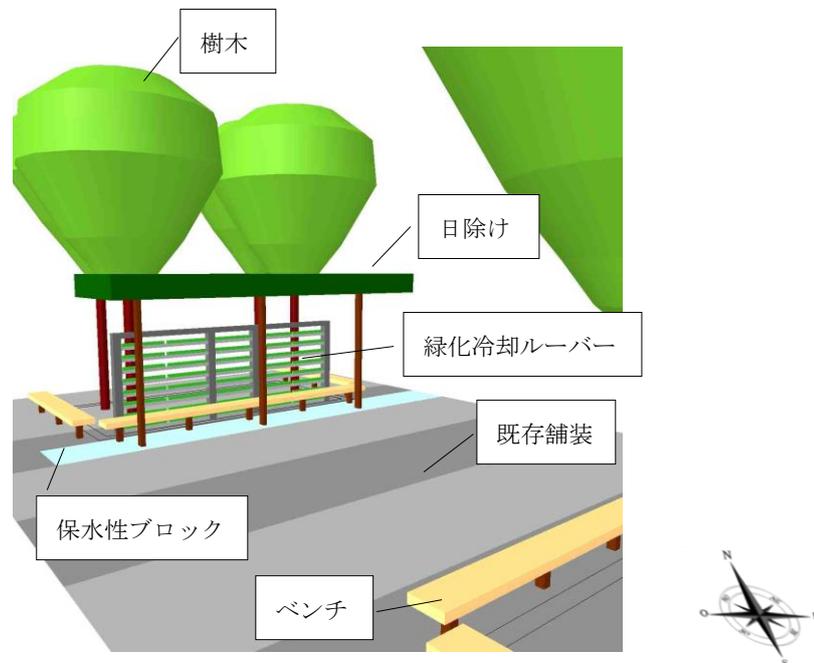


図 4.29 作成した 3D モデル

②パラメータの設定

日除けの日射透過率は既往の研究⁶⁰を参考に 15%とした。保水性ブロックは、朝 5 時に給水(水温 27°C程度)した。緑化冷却ルーバーについては、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

8月4日の正午時点で、気温 32.2°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 50°C前後と気温よりも 18°C前後高くなるが、日向の保水ブロックの表面は 36°Cとなった。さらに、日陰になる保水ブロックの表面は 29.5°Cと気温より 3°C程度低くなり、複合的な効果は高いと予測された。

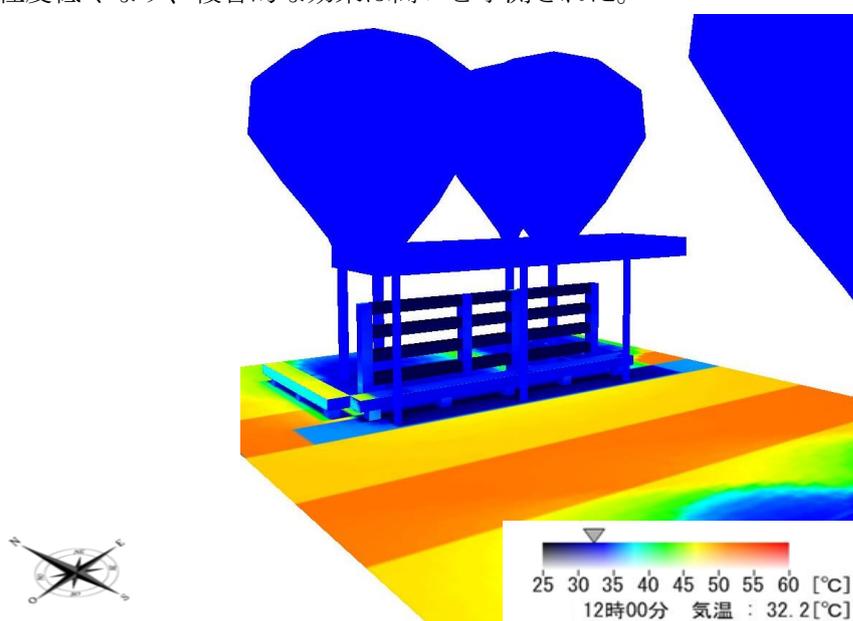


図 4.30 12時の表面温度分布の計算結果

ii) MRT

地上高 1.1m 地点における正午の MRT を求めた。図 4.32 に 12 時(気温 32.2°C、相対湿度 60.3%、風速 1.9m/s)の MRT 平面分布を示した。日向の MRT が 61.8°Cであったのに対し、対策場所は 41.1°Cとなっており、設置予定の暑熱対策技術によりマイナス 20.7°Cの効果が予測された。また、図 4.33 に経時変化を示した。日中は日向に比べ対策により 10°C~27°Cの MRT 低減効果がみられ夕方 17 時前ごろからは気温と同程度またはそれ以下に低下することがわかった。

⁶⁰ 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

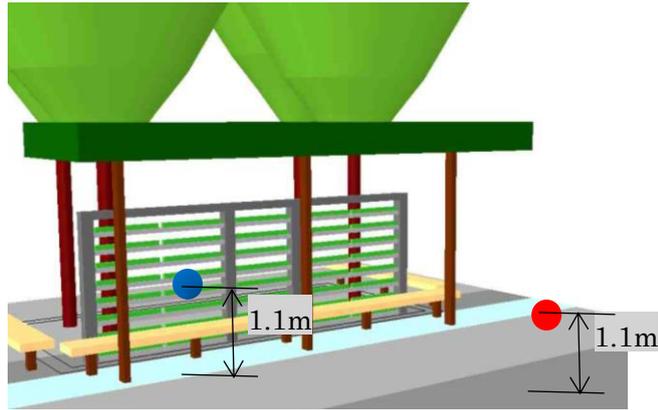


図 4.31 MRT 算出地点

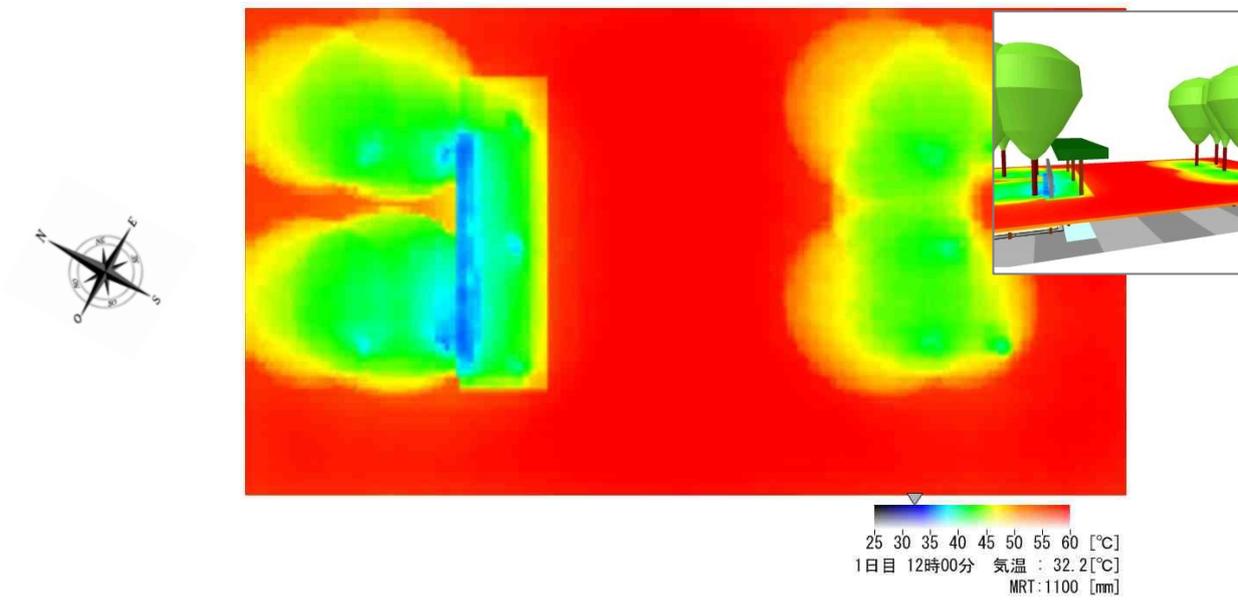


図 4.32 12 時の MRT の面的分布の計算結果

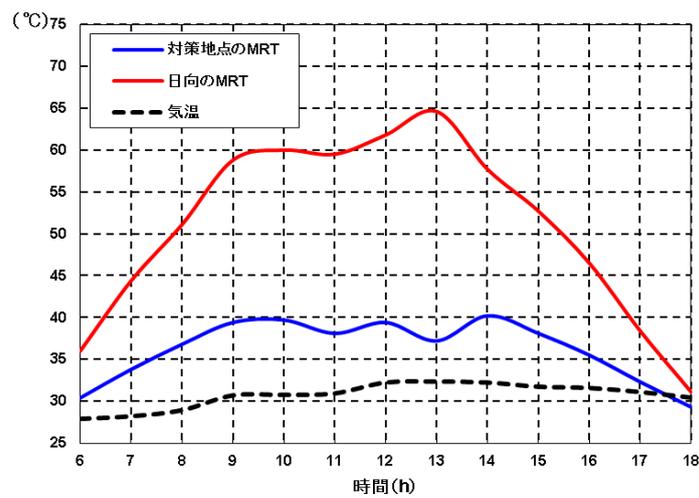


図 4.33 MRT の経時変化の計算結果

iii) SET*

12 時の MRT の値を用いて SET*を算出した。日向では 32.7℃である一方、対策により 28.8℃となり、マイナス 3.9℃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予測できた。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。

4.2.5 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 4.34、図 4.35 に示す。

①水の利用について

- ・保水性ブロックと散水装置ベンチの下に保水性ブロックを敷設するとともに、公園内の散水栓を水源とし、背後の植え込みからスプリンクラーで散水する設計とした。
- ・散水時間は人がほとんどいない始発運行前のみとするよう配慮した。

②立地による制約

- ・公園敷地の容積率の制約
公園敷地の建物容積に余裕がないため、建築物は設置できないことに留意が必要であった。
- ・ベンチ周辺の見通しの確保
周辺建物テナントの営業上の配慮からベンチの南側には視界を遮る構造物は設置しないよう設計した。

③冷却ルーバー

- ・ベンチの風上側にルーバーを設置することでベンチの熱環境の改善につながることを考えられたが、風が比較的強く、水滴が飛散する可能性があるため、風下側に設置することとした。

④その他

- ・建築物とならない日除け
採用したフラクタル形状の日除けは、本事業の場合は建築物に該当しないとの判断を受けた。
- ・フラクタル形状日除けの基礎
当初、日除けの4隅に柱を設置することを検討したが、できるだけ空間の視界を遮らないよう、かつ緑化冷却ルーバーの柱の基礎との干渉を避けるため、2本の柱でT型構造とした。
- ・緑化冷却ルーバーの景観
4種類の異なる植物を使い、色彩のデザインに配慮して設計した。

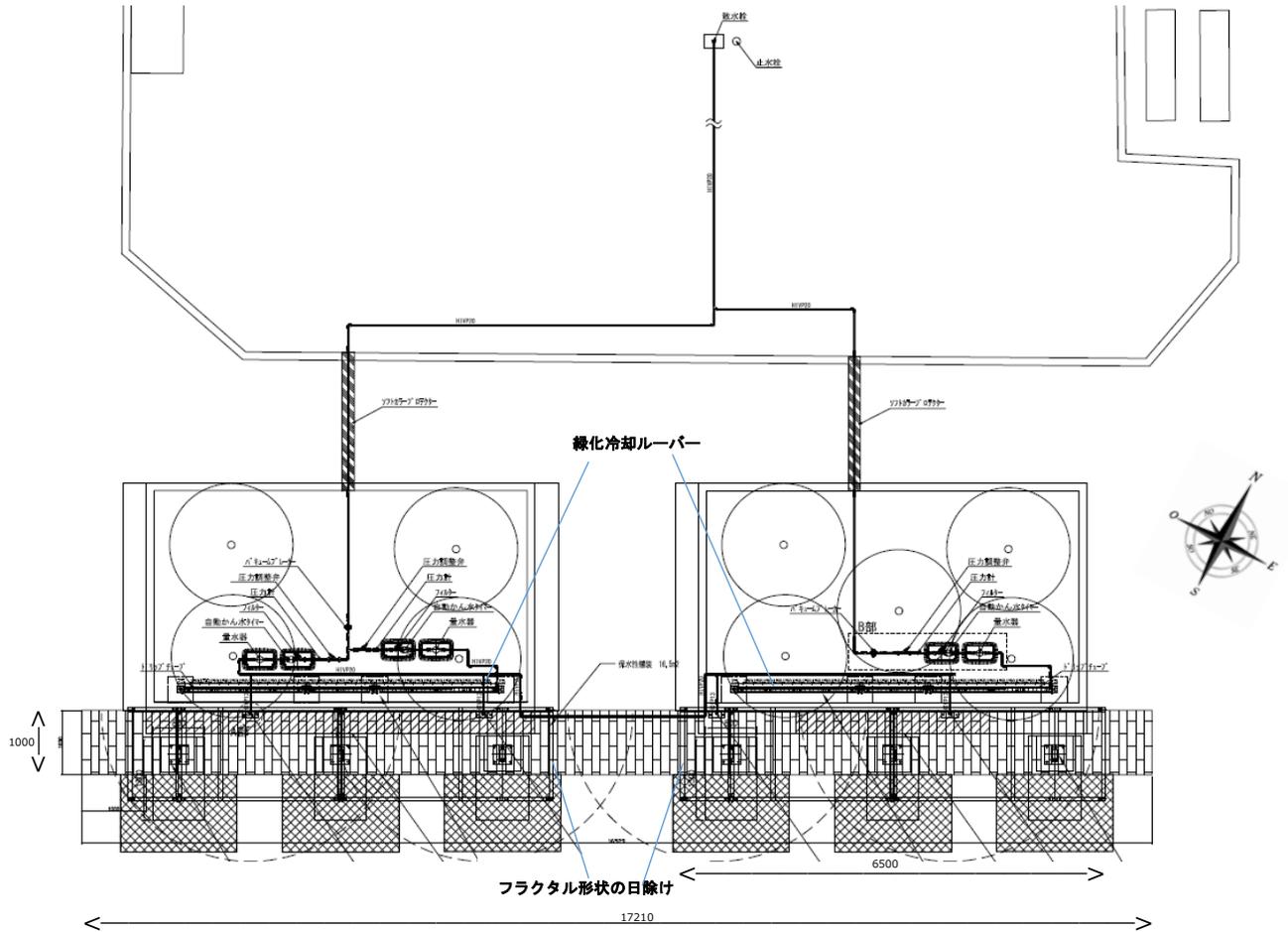


図 4.34 設計平面図



図 4.35 設計立面図 (左：フラクタル形状の日除け、右：緑化冷却ルーバー)

2) 設置工程

対策技術は以下の工程で導入した。施設完成写真を図 4.36 に示す。

表 4.4 技術設置工程表

工 期 自 平成28年2月22日 至 平成28年3月24日

工 種	2月									3月																										
	22	23	24	25	26	27	28	29	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
				東京マラソン																																
準備工																																				
フラクタル日除け設置工																																				
グリーンルーバー設置工																																				
保水性舗装工																																				
後片付け																																				



図 4.36 施設完成写真

4.2.6 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。

2016年6月1日より稼働を開始した。下記に運用方針を示す。

- ・ 緑化冷却ルーバーには7時、11時、15時の1日3回、1回あたりおよそ46ℓの給水を行い、基盤の湿潤状態を保つこととした。季節により状況を確認しながら水量は調節した。
- ・ 緑化冷却ルーバーは毎月植栽のメンテナンスを行い、剪定・枯れた植栽の交換を行った。
- ・ 保水性ブロックへの散水は毎朝4時から18分間散水し、およそ7ℓ/m²を供給した。季節により状況を確認しながら水量は調節した。
- ・ 平日・休日ともに稼働させるが、早朝からビッグサイトへの来場が見込まれる大きなイベントが実施される際（8月12日～14日）はスプリンクラー散水を停止させた。
- ・ 雨水センサーを設置し、降雨時（6mm）には給水・散水は行わないこととした。

- ・ 使用水量は流量計メーターよりデータを読み取り把握した。
- ・ 11月25日に撤去工事を完了し、12月7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 4.37 雨水センサー



図 4.38 流量計

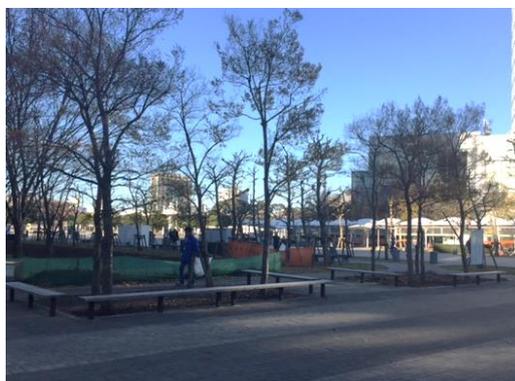


図 4.39 撤去工事完了状況写真

2) 暑熱対策技術運用に要したエネルギー等使用量

暑熱対策技術運用には上水を使用していた。上水の使用状況を下記に示す。

表 4.5 上水の使用状況

	給水条件	使用水量
保水ブロック	毎日朝4時に自動散水 ⁶¹	1日あたり 262ℓ
緑化冷却ルーバー	毎日7時・11時・15時に自動灌水	1日あたり 138ℓ (1ユニット (w900,h45,d100)あたり 1.38ℓ、合計 100ユニット)

水道メーターの情報から、6月の稼働開始から9月末時点でおおよそ 39 m³の水を使用しており、月平均 24 日間稼働していた計算になる。月平均 6～7 日は雨水センサーが作動し、給水を停止していたと考えられる。

⁶¹ 保水ブロック敷設範囲は 16.5 m²だが、スプリンクラー散水で、半円状に保水ブロック以外の範囲にも散水していた。

4.3 対策効果の測定の実施と結果

4.3.1 実施概要

1) 長期測定

対策実施場所における夏季の前後を含めた 2016 年 6 月～10 月の長期的な熱環境測定を行った。

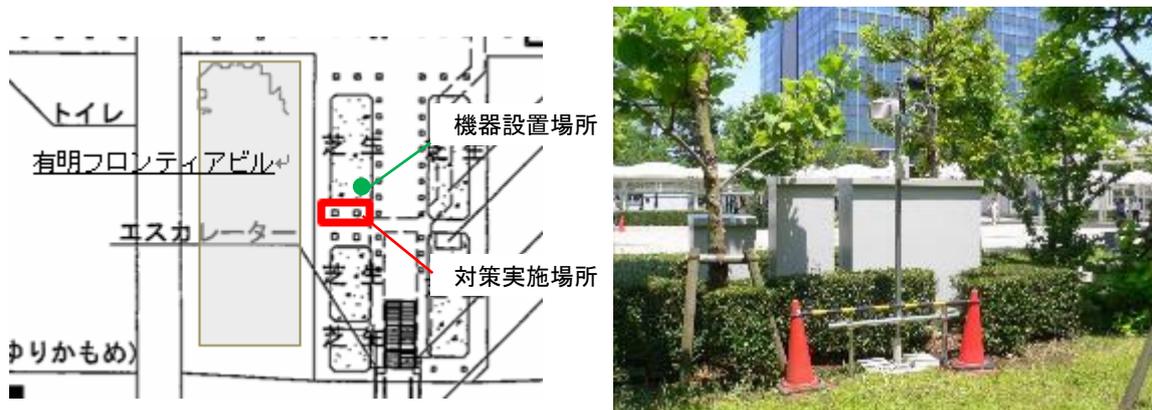


図 4.40 長期測定の測器設置場所（左）と測器設置状況（右）

表 4.6 長期測定項目一覧

測定項目	方式等	測定間隔
温湿度	自然通風方式	10 分（湿度は 20 分）
黒球温度	ベルノン式	10 分
風速	三杯式	10 分
日射量	日射計	10 分

2) 集中測定

初夏から盛夏の期間中の 9 日間（2016 年 6 月 10・20・27 日、7 月 1・6・29・30 日、8 月 9・10 日）に複数地点同時測定を行った。利用者が座る環境としてベンチがある箇所に測器を設置した（図 4.41：対策①・②）。また、南東の風向きの場合に、緑化冷却ルーバーの風下側の熱環境を把握するため、緑化冷却ルーバー裏にも測器を設置した（図 4.41：対策③・④）。

対策実施場所の熱環境の対照として、付近の日向の熱環境を測定したほか、参考として、ベンチ付近の木陰と、対策実施場所近く芝生内の木陰を測定した。いずれも測定高さは黒球の中心が 1.1m となる位置となるように測器を設置した。

8 月 9 日・8 月 10 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。8 月 10 日の測定では、保水ブロックへの打ち水持続等の効果を期待し、幅 0.8m 高さ 1.36 m 前後の樹木ポットを 5 基、追加的に設置し効果測定を行った。

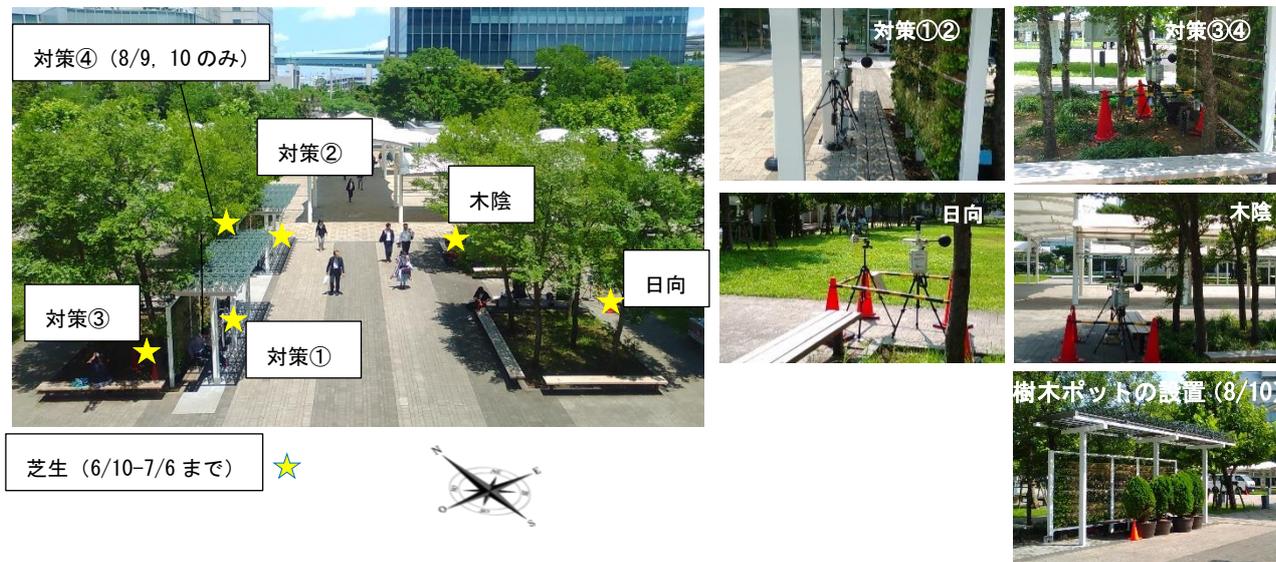


図 4.41 測器設置場所

表 4.7 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
放射収支量	4 成分放射収支計	1 秒 (8/9, 10 のみ)

4.3.2 測定結果と効果の評価

1) 2016 年の夏季気象概要

6月8日～9月15日の気温、湿度の推移を次の図に示した。7月は最高気温30℃を超える真夏日もあったが、数日おきに気候が大きく変わり不安定であった。8月は比較的気候が安定し、30℃を超える真夏日が多くみられた。

2015年と比較すると、2015年は7月後半から8月上旬にかけて真夏日が多かったのに対し、2016年の7月中旬は不安定な環境であったが、8月は下旬まで比較的安定していた。

相対湿度については、50～60%を超える日がほとんどであった。

また風速は2015年と同様、日中2～4 m/sの比較的強い風が吹く日が多くみられた。



図 4.42 6～9月の気温推移（上：2016年、下：2015年）



図 4.43 6～9月の湿度推移（上：2016年、下：2015年）

2) 総合評価

集中測定の中で、比較的安定したデータが取得できた6月10日、7月1日、8月9日、8月10日の測定結果を示す。

6月10日は気温 27°C前後、7月1日は 29°C前後となる夏日であった。8月9日はフェーン現象の影響もあり、36°C～38°Cに達する猛暑日であった。8月10日は最高気温が 33°C近くに

なる真夏日であった。湿度は8月9日は特に低く、30%台であったほかは、いずれの日も50～70%程度であった。

気温・湿度の変化は、湿度が低い上に、北寄りの風が吹いた8月9日に見られ、日向に対して気温は0.5℃前後減少、湿度は3%前後の増加であった。ルーバーが十分に冷え、さらにベンチが緑化冷却ルーバーの風下になったことによると考えられる。他の測定日には気温・湿度の変化はほとんどみられなかった。

対策施設内の風速は、風向により減少の程度が異なり、6月10日、7月1日には南寄りからの風で緑化冷却ルーバーに対してほぼ垂直に吹き、8月9日は逆に北寄りの風が主に吹いていた。北寄りの風・南寄りの風、いずれでも対策施設での風速は減少している。8月10日は緑化冷却ルーバーに対して平行に近い風向で、風速の変化はほとんど見られなかった。

次に、MRT、SET*、WBGTを算出した。MRTはISO7726の方法により黒球温度等から算出(1)、SET*は体重62kg、体表面積1.69m²、代謝量58.2W/m²、着衣量を0.43cloとして2-Node-Modelにより算出した。WBGTは式(2)により算出した。以降の実施場所でも特記する条件がない限り、同様の算出方法を用いて総合評価を行った。

$$MRT = \left[(T_g + 273)^4 + 2.5 \times 10^8 \times V^{0.6} \times (T_g - T_a) \right]^{0.25} - 273 \quad (1)$$

T_g : グローブ温度[℃], V : 風速[m/s], T_a : 気温[℃]

$$WBGT = 0.7 \times T_w + 0.2 \times T_g + 0.1 \times T_a \quad T_w: \text{湿球温度}[℃] \quad (2)$$

対策施設内のMRTは、特に6月の測定時に大きく改善し、日向との差は35℃前後であった。これは、フラクタル形状日除けの設置向きが、6月の太陽軌道を遮るのに適していたためと考えられる。

対策施設内のSET*は、日除けの効果が大きい6月には最大で10℃程度低く、8月の12時台には5.2～7.2℃低くなっていた。

WBGTについては、南中時には対策施設内が日向より2℃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。

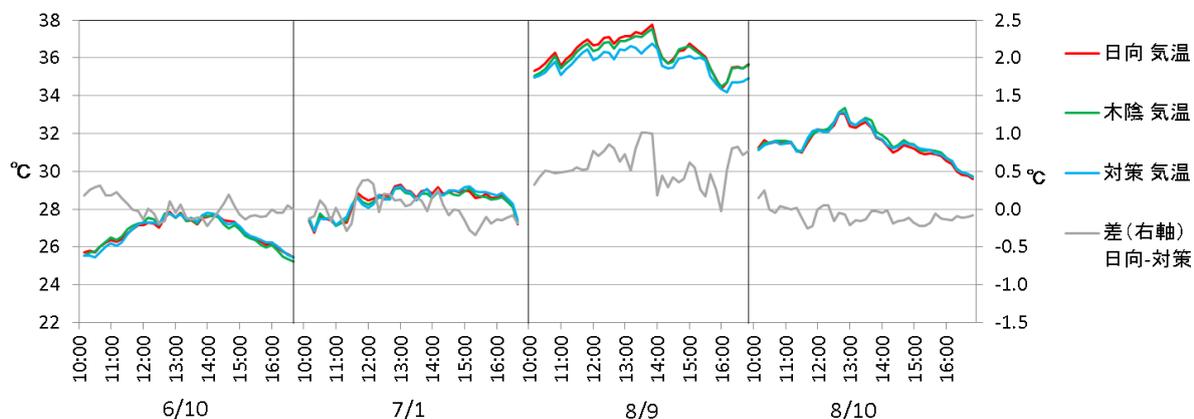


図 4.44 熱環境測定結果 (気温)

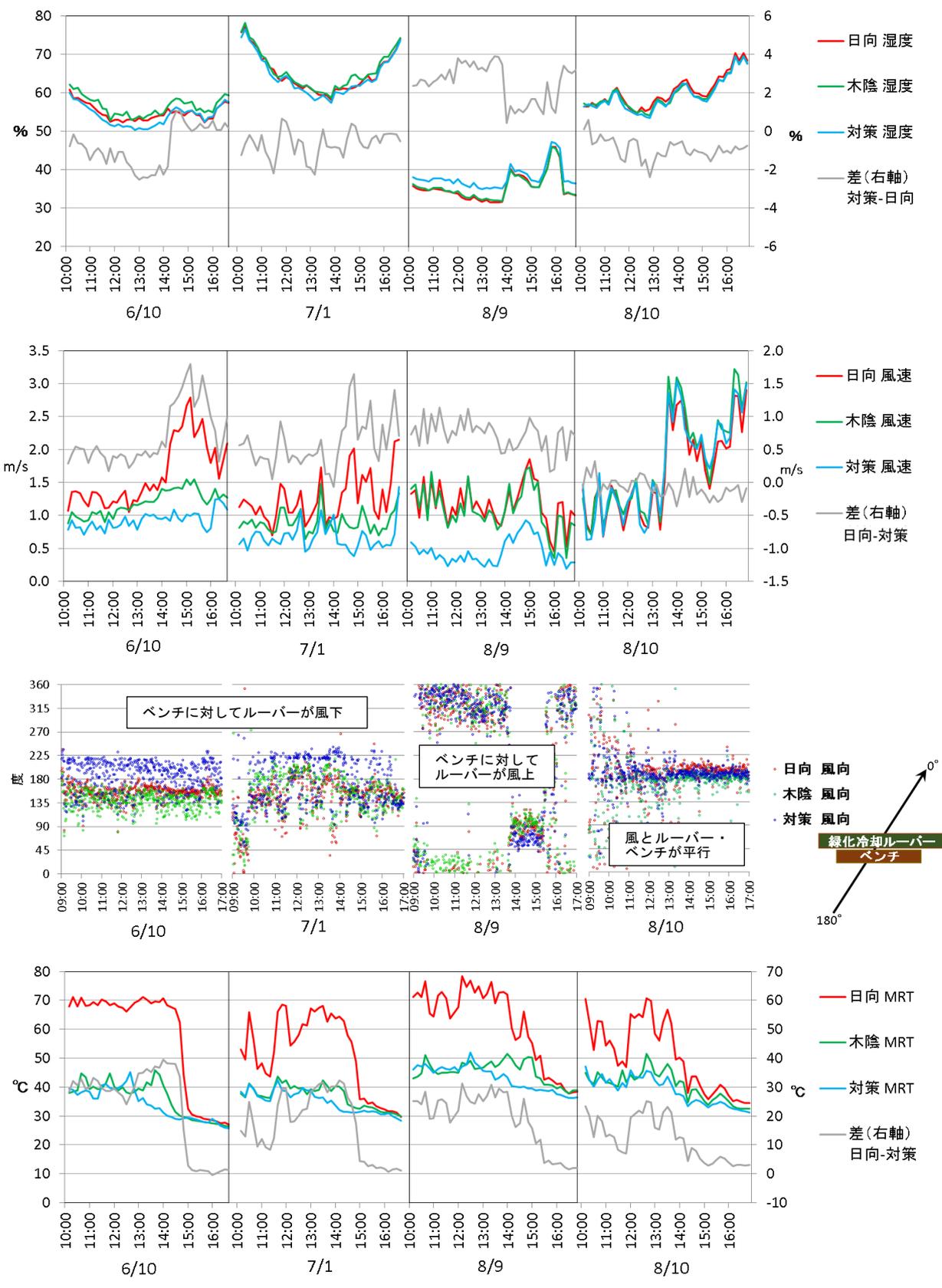


図 4.45 熱環境測定結果 (湿度、風速、風向、MRT)

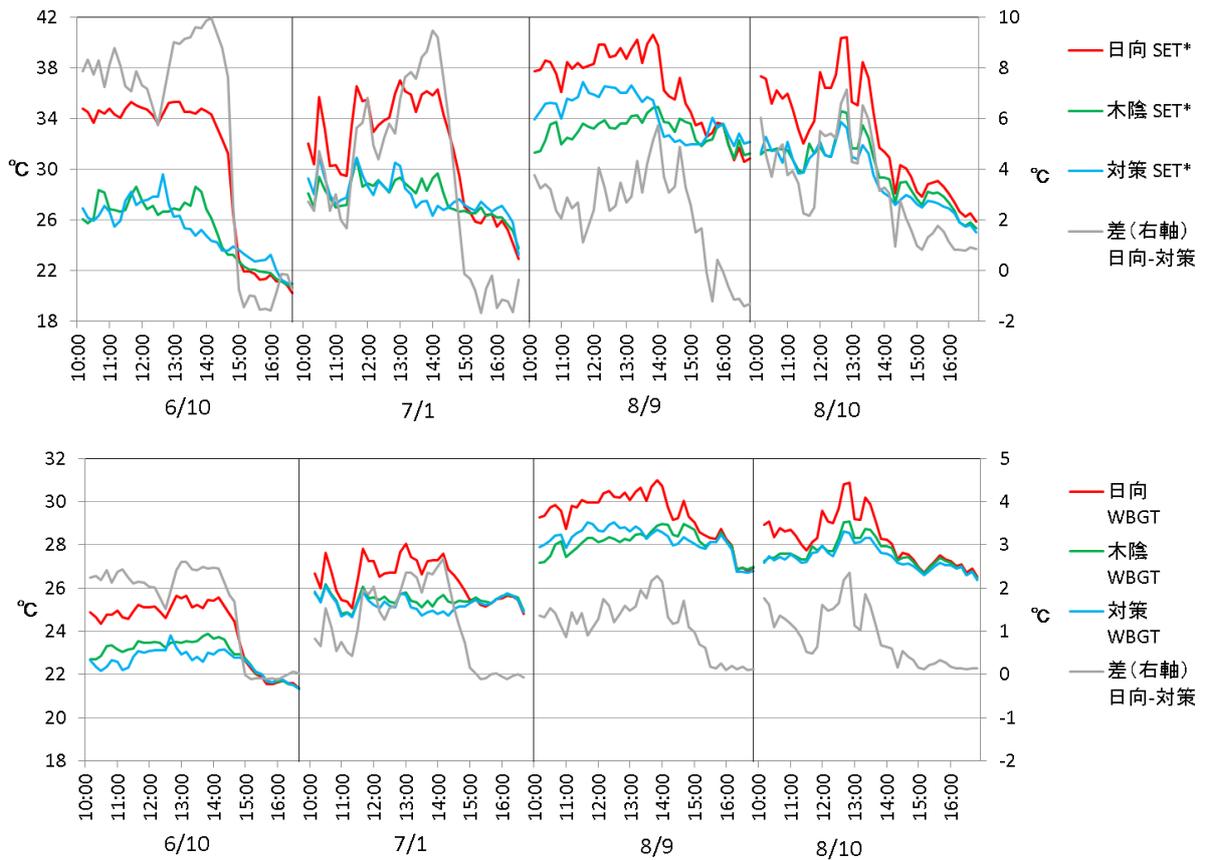


図 4.46 熱環境測定結果 (SET*、WBGT)

3) 技術別性能評価

(1) 評価対象技術

日除け、保水ブロック、緑化冷却ルーバー、および樹木ポット（8月10日に一時的に設置）の4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 4.8 技術性能評価の一覧（東京ビッグサイト前海上公園）

対象技術	気温	湿度	風速	放射
フラクタル形状日除け				○
保水ブロック				○
緑化冷却ルーバー	○	○	○	○
樹木ポット			○	○

(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複数日の日

中の気象条件を用いた。

表 4.9 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。
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。
緑化冷却ルーバー	気温	強制通風式の Pt100 センサを用い、緑化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、緑化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、緑化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等から MRT 変化量を算出した。
樹木ポット	風速	2次元超音波風速計を用い、樹木ポット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等から MRT 変化量を算出した。

(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いため、日除け下の放射環境を改善する効果を持つ。

8月9日の南中時(12時台)には日向の日射量が838W/m²に対してフラクタル形状日除け下では159W/m²、また、8月10日の南中時(12時台)には日向の日射量が685W/m²に対し、フラクタル形状日除け下では115W/m²であった。両日ともおよそ8割の日射を遮蔽する効果があった。

MRTは日向にくらべて約13~19℃改善し、その結果SET*は3.3~3.7℃、WBGTは0.9~1.3℃低下した。

表 4.10 フラクタル形状日除けの評価結果

気温 (℃)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (℃)	SET* (℃)	WBGT (℃)
-	-	-	-18.6~-13.1	-3.7~-3.3	-1.3~-0.9

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	-18.63	-3.75	-1.33
【参考】	日向	36.98	32.34	1.26	69.96	37.97	29.88
	フラクタル日除け	36.98	32.34	1.26	51.33	34.23	28.54

※ MRT の評価と参考として示した値は、2016/8/9 12:00~13:00 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	-13.10	-3.34	-0.94
【参考】	日向	32.55	55.65	1.14	61.23	36.41	29.38
	フラクタル日除け	32.55	55.65	1.14	48.13	33.07	28.44

※ MRT の評価と参考として示した値は、2016/8/10 12:00~13:00 の熱環境を例として計算した。

②緑化冷却ルーバー

緑化冷却ルーバーは、緑化基盤が保水力の高い多孔質材料で、保水した水分が蒸発し、ルーバーを通過する空気を冷やすとともに、冷えたルーバーによる放射環境の改善が期待される。本検証期間には1日に3回（7:00、11:00、15:00）、1ユニット（w900,h45,d100）あたり1.4ℓの灌水を行った。

相対湿度とルーバー面温度との関係を見ると、湿度が低いほど、ルーバー面温度が気温よりも低下していることがわかった。ここで、ルーバー面温度は、水で冷やされたブロックとブロック間（植物等）を含む「面」の温度を熱画像から抽出している。また、緑化基盤上の灌水チューブが設置されていた位置が、緑化基盤の中心からずれていたが、緑化基盤の側面の表面温度を確認したところ、灌水チューブに近い側面のほうが（図 4.47「灌水チューブ設置側_面」、遠い側面（図 4.47「ベンチ側_面」）よりも面温度の低下がやや大きかった。

また、湿潤状態のブロックのみの表面温度を確認すると、上述の「面」の温度よりも冷えており、「面」の温度にはブロック間の植物の密度や、外側の環境（道路等）の温度の影響が大きいと考えられる。

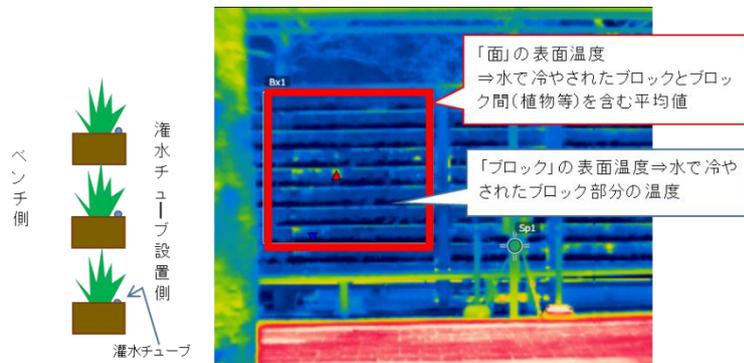
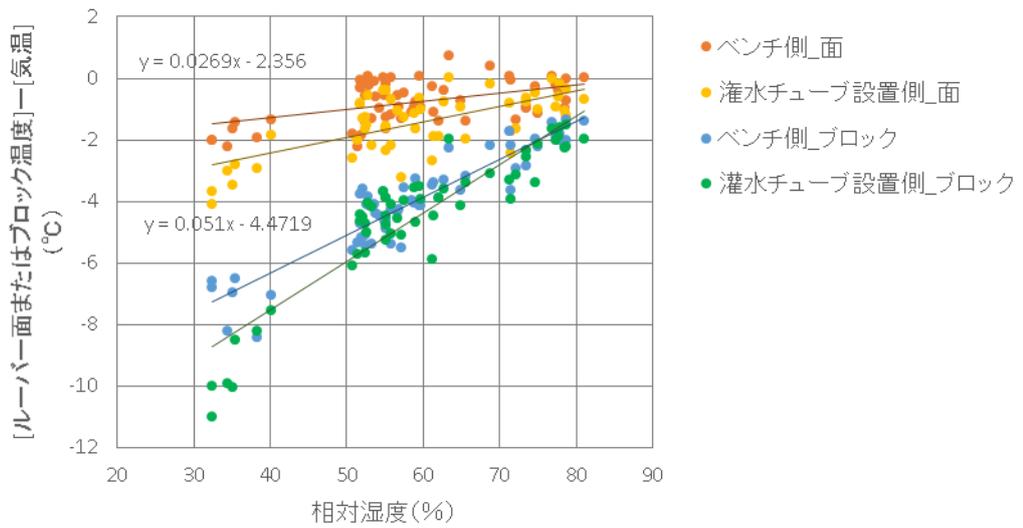


図 4.47 相対湿度とルーバー表面温度の低下量の関係

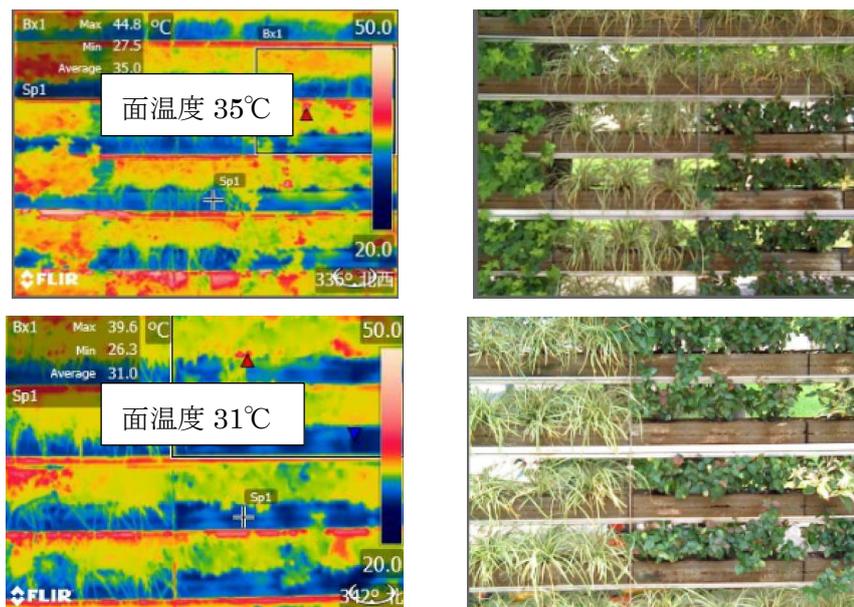


図 4.48 12時の緑化冷却ルーバーの表面（ベンチ側）温度（上段：8月9日気温 37.0°C、湿度 32.3%、下段：8月10日気温 32.5°C、湿度 55.7%）

気温の低下は北寄りの風が吹いた場合にのみ観測された。また、北寄りの風が多く見られた8月9日には相対湿度が30%前後と一般的な夏の状況とくらべて特に低く、緑化冷却ルーバーの表面温度の低下の程度が大きく、ルーバーの風下側気温の低下につながったと考えられる。測定日の中で、北寄りの風が吹いた時刻を抽出し、気温低下量との関係を表すと、相対湿度が低いほど気温低下量が大きくなっていった。

相対湿度が50%以上の場合には気温低下がほとんど見られないということもわかった。

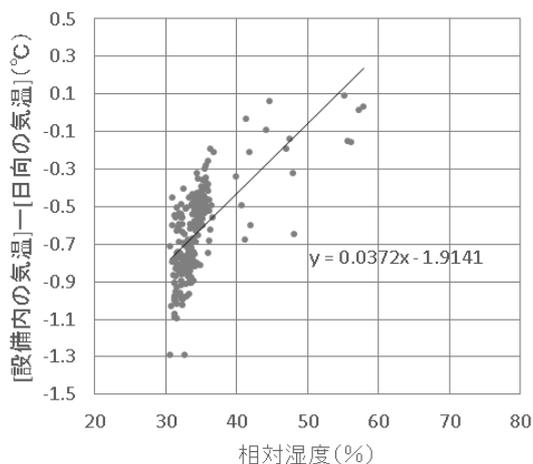


図 4.49 相対湿度と気温低下量の関係

湿度についても、北寄りの風が吹いた時刻を抽出し、気温低下量との関係を表すと相対湿度が低いほど湿度増加量が大きくなっていった。

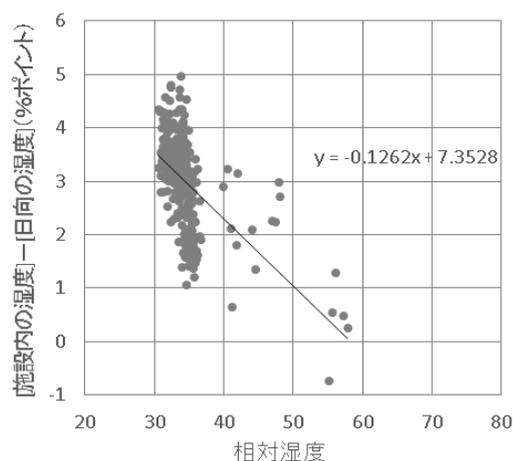


図 4.50 相対湿度と湿度増加量の関係

風速については、北寄りの風の場合と、南寄りの風で自然風速と対策施設での風速の関係は下図に示すように、自然風速が弱いほど、対策施設の風速への影響が小さいことがわかる。

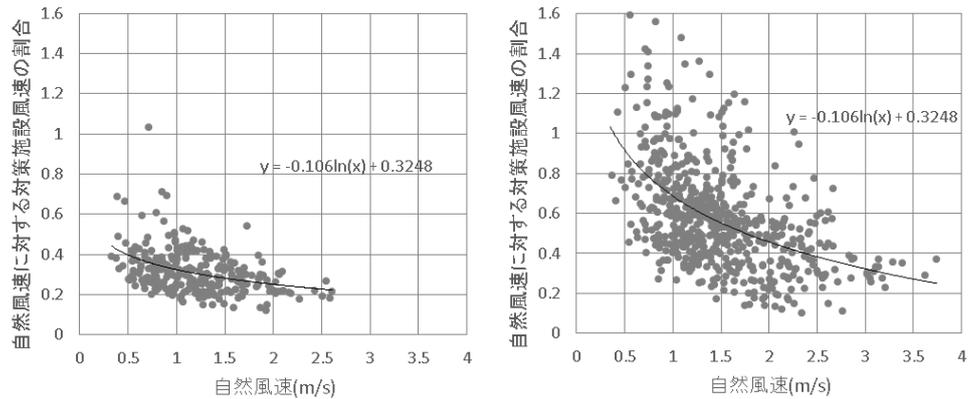


図 4.51 自然風速と対策施設内の風速の関係（左：北風の場合、右：南風の場合）

MRT については、図 4.47 で示した通り、湿度が低いほどルーバー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、遮蔽する敷地が日向の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、敷地が人工被覆の場合は MRT が $5.1^{\circ}\text{C}\sim 6.4^{\circ}\text{C}$ 、敷地が緑地の場合は $3.2^{\circ}\text{C}\sim 4.5^{\circ}\text{C}$ 低下した。

以上より、風速に影響がない場合（平行風のとき）には、日陰（フラクタル形状の日除け下）を対照地点として最大で SET* 1.0°C 、WBGT 0.3°C の低減効果があるが、ルーバーに法線方向から風が吹いた場合にはルーバー近傍の風速が低下するため、体感温度が増加する場合もあることがわかった。

表 4.11 緑化冷却ルーバーの評価結果

気温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT ($^{\circ}\text{C}$)	SET* ($^{\circ}\text{C}$)	WBGT ($^{\circ}\text{C}$)
-0.7~0	0~3.3	-0.9~0	-4.3~-4.2	-1.2~1.4	-0.3~0.2
			-3.1~-2.3	-0.7~2.3	-0.2~0.3

※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°C 、人工被覆は気温+ 25°C であると仮定した。

緑化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）平行風

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
効果		0	0	0	-4.25	-1.19	-0.29
【参考】	道路面	32.55	55.65	1.14	48.57	33.19	28.19
	緑化冷却ルーバー	32.55	55.65	1.14	44.32	32.00	28.47

※ MRT の評価と参考として示した値は、2016/8/10 12:00～13:00 の熱環境を例として計算した。
 ※フラクタル日除けの下に緑化冷却ルーバーが設置されているとして計算した。

緑化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）北風

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
効果		-0.71	3.27	-0.88	-4.21	1.45	0.15
【参考】	道路面	36.98	32.34	1.26	52.00	34.38	28.59
	緑化冷却ルーバー	36.26	35.61	0.38	47.79	35.82	28.75

※ MRT の評価と参考として示した値は、2016/8/9 12:00～13:00 の熱環境を例として計算した。
 ※フラクタル日除けの下に緑化冷却ルーバーが設置されているとして計算した。

緑化冷却ルーバーの評価結果（緑地に囲まれた敷地）北風

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
効果		0	0.33	-0.78	-2.31	2.33	0.28
【参考】	道路面	32.55	55.65	1.14	46.63	32.65	28.34
	緑化冷却ルーバー	32.55	55.98	0.35	44.32	34.98	28.62

※ MRT の評価と参考として示した値は、2016/8/10 12:00～13:00 の熱環境を例として計算した。
 ※フラクタル日除けの下に緑化冷却ルーバーが設置されているとして計算した。

緑化冷却ルーバーの評価結果（緑地の道路に囲まれた敷地）平行風

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
効果		0	0	0	-2.31	-0.65	-0.15
【参考】	道路面	32.55	55.65	1.14	46.63	32.65	28.34
	緑化冷却ルーバー	32.55	55.65	1.14	44.32	32.00	28.19

※ MRT の評価と参考として示した値は、2016/8/10 12:00～13:00 の熱環境を例として計算した。
 ※フラクタル日除けの下に緑化冷却ルーバーが設置されているとして計算した。

※上記にあげたパターンを含め、8/9・8/10 の熱環境で、北風・南風・平行風の場合、遮る敷地が人工被覆の場合、緑地の場合で計算を行い表 4.11 にまとめた

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。7月29日と8月9日の測定では、フラクタル形状日除け下に敷設されている保水ブロックに打ち水する箇所としない箇所を設けて測定を行った。7月29日には9:00と11:30に打ち水を行い、8月9日は9:00にのみ打ち水を行った。打ち水をしない保水ブロックと表面温度を比較し、効果を検証した。

11時を過ぎる頃まで、路面が日向になっていたため、打ち水を行ったブロックの表面温度も上昇しているが、11時すぎより日陰になり、7月29日にはさらに打ち水を追加することで湿潤状態が保たれた。

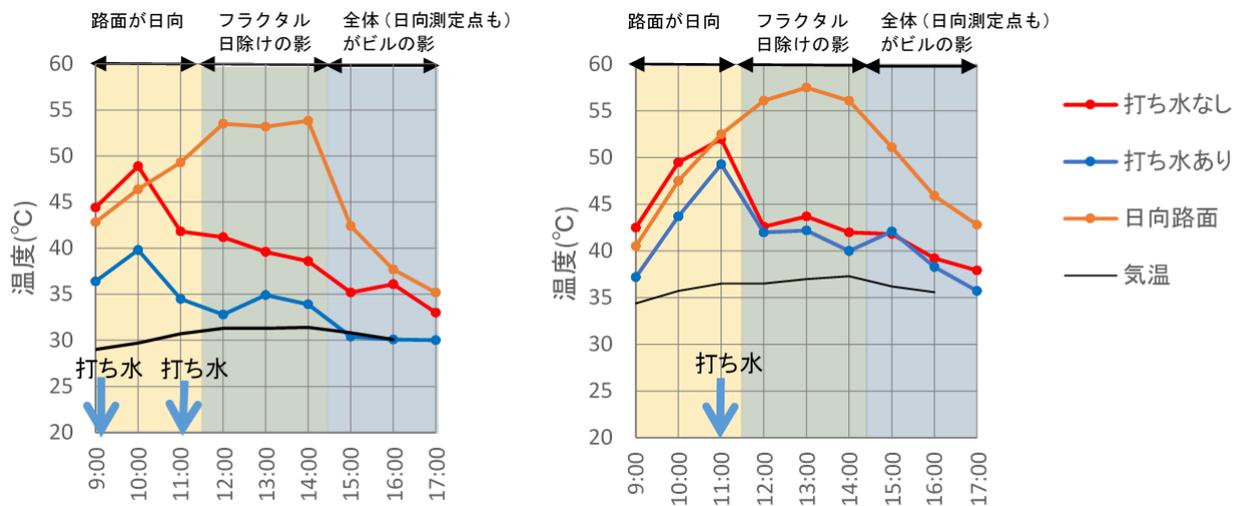


図 4.52 路面温度の経時変化（左：7月29日、右：8月9日）

日陰（フラクタル形状の日除け下）を対照地点として、南中時のMRTは、路面（日陰）に比べて0.1～1℃低下しており、その結果SET*は0～0.3℃、WBGTは0～0.1℃低下した。

表 4.12 保水ブロックの評価結果

気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
-	-	-	-1.0～-0.1	-0.3～0	-0.1～0

保水ブロックの評価結果（その1）_9時・11時に打ち水

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
効果		0	0	0	-0.99	-0.28	-0.07
【参考】	路面	32.55	55.65	1.14	47.52	32.90	28.40
	保水ブロック	32.55	55.65	1.14	46.53	32.63	28.33

※ 表面温度の変化量は7/29 12時の値を用いた

※ MRTの評価と参考として示した値は、2016/8/10 12:00~13:00の熱環境を例として計算した。

※ フラクタル日除けの下に保水ブロックが設置されているとして計算した。

保水ブロックの評価結果（その2）_9時に打ち水

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
効果		0	0	0	-0.07	-0.02	-0.005
【参考】	路面	36.98	32.34	1.26	51.38	34.24	28.55
	保水ブロック	36.98	32.34	1.26	51.31	34.22	28.54

※ 表面温度の変化量は8/9 12時の値を用いた

※ MRTの評価と参考として示した値は、2016/8/9 12:00~13:00の熱環境を例として計算した。

※ フラクタル日除けの下に保水ブロックが設置されているとして計算した。

④樹木ポット

樹木ポットは、足元に設置することで、路面の日除けとなり、保水ブロックの湿潤状態を保つ効果がみられた。また、熱くなった道路（南側）からの長波を遮る効果や短波低減効果も合わせて、MRTで3.3°C低下していた。

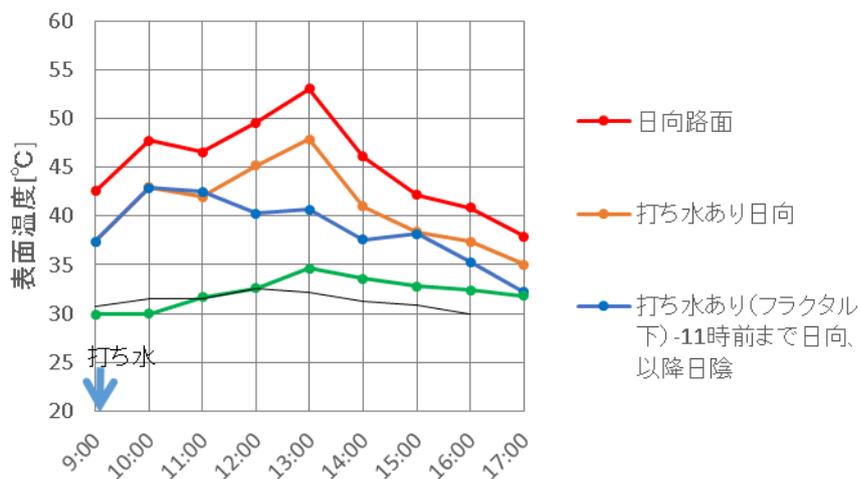


図 4.53 路面温度の経時変化（8月10日）

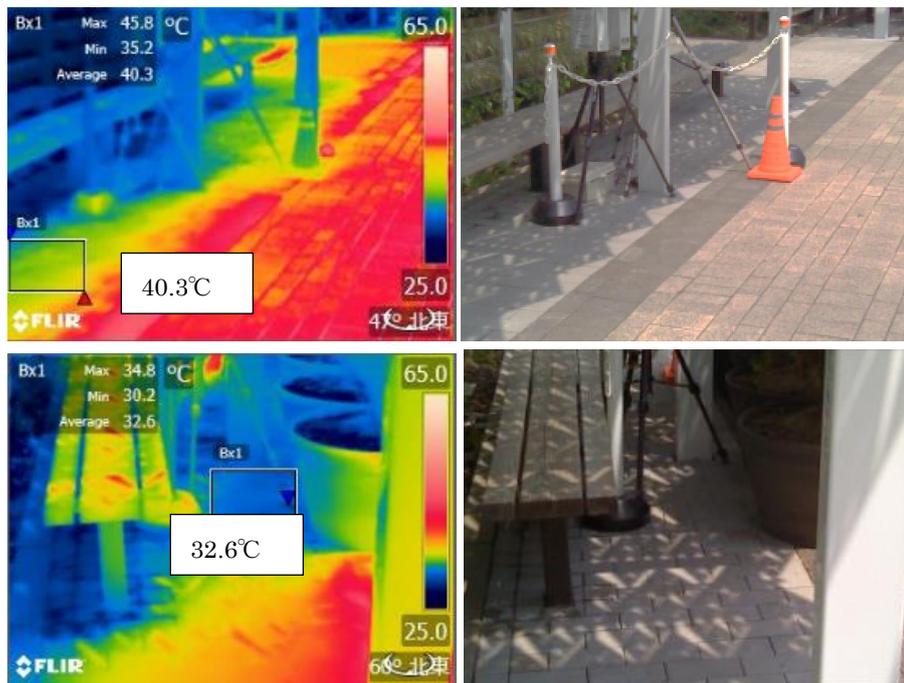


図 4.54 樹木ポット有無による保水ブロックの表面温度の違い（上：樹木ポットなし、下：樹木ポットあり）（気温 32.5°C）

風速について、樹木ポットを設置した8月10日には測定日が主に南よりの風で樹木ポットによって風が阻害され、ベンチ上の測定点では一定の割合で風速が減少していた。

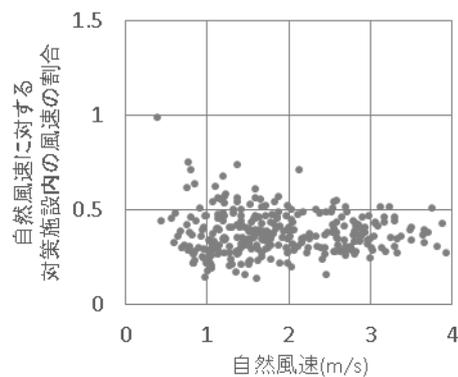


図 4.55 自然風速と樹木ポット設置場所の風速の関係

そのため放射環境の改善効果よりも風速の低減影響が大きく、SET*や WBGT は増加していた。風速を遮らないように樹木ポットを置いた状態を想定して算出すると、日陰に保水ブロックが設置されていた場合（フラクタル形状の日除け下）を対照地点として SET*は 0.9°C、WBGT は 0.2°C低下すると推定された。

表 4.13 樹木ポットの評価結果

気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
-	-	-0.7~0	-3.3	-0.9~1.5	-0.2~0.1

樹木ポット有無による保水ブロックの評価結果（その1）

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
効果		0	0	-0.71	-3.30	1.48	0.11
【参考】	樹木ポットなし (打ち水あり日陰)	32.55	55.65	1.14	47.58	32.92	28.40
	樹木ポットあり	32.55	55.65	0.43	44.28	34.40	28.51

※ 参考として示した値は、2016/8/10 12:00~13:00の熱環境を例として計算した。

※ フラクタル日除けの下に保水ブロックが設置されているとして計算した。

樹木ポット有無による保水ブロックの評価結果（その2）_風速低減なしを仮定

		気温 (°C)	湿度 (%)	風速 (m/s)	MRT (°C)	SET* (°C)	WBGT (°C)
効果		0	0	0	-3.30	-0.93	-0.22
【参考】	樹木ポットなし	32.55	55.65	1.14	47.58	32.92	28.40
	樹木ポットあり (風遮蔽なしを仮定)	32.55	55.65	1.14	44.28	31.99	28.18

※ 参考として示した値は、2016/8/10 12:00~13:00の熱環境を例として計算した。

※ フラクタル日除けの下に保水ブロックが設置されているとして計算した。

4.4 利用状況及びヒアリング調査の実施と結果

4.4.1 利用状況調査

1) 実施概要

4.3 で述べた集中測定実施日のうち、平日を対象として利用調査を実施した。9:00～17:00 の時間帯に有明フロンティアビル前の休憩スペースのベンチ利用者（暑熱対策施設なしの場所も含む）について、下記の項目を記録した。

また、6月27日の調査より休憩エリア内中央の通路を通行した人数もあわせて記録した。

表 4.14 利用調査の記録項目

項目	記録内容
滞在時間	1分単位
性別	男/女
年代	~10歳/~60歳/60歳~
服装	半袖・半ズボン (clo 0.3相当) 半袖・長ズボン (clo 0.43相当) 長袖・長ズボン (clo 0.56相当) 長袖・薄カーデガン・長ズボン (clo 0.7相当)
着座環境	日向/日陰/中間
着席場所	着席しているベンチ位置
行動	食事・スマホ・電話・読書等

2) 調査結果

①測定日ごとのベンチ利用人数と休憩エリア内の通行人数

調査実施日に隣接する東京ビッグサイトで開催されていたイベントと、フロンティアビル前の休憩スペースのベンチ利用人数（暑熱対策施設なしの場所も含む）、休憩スペース内中央の通路を通行した人数を図 4.56 にまとめた。

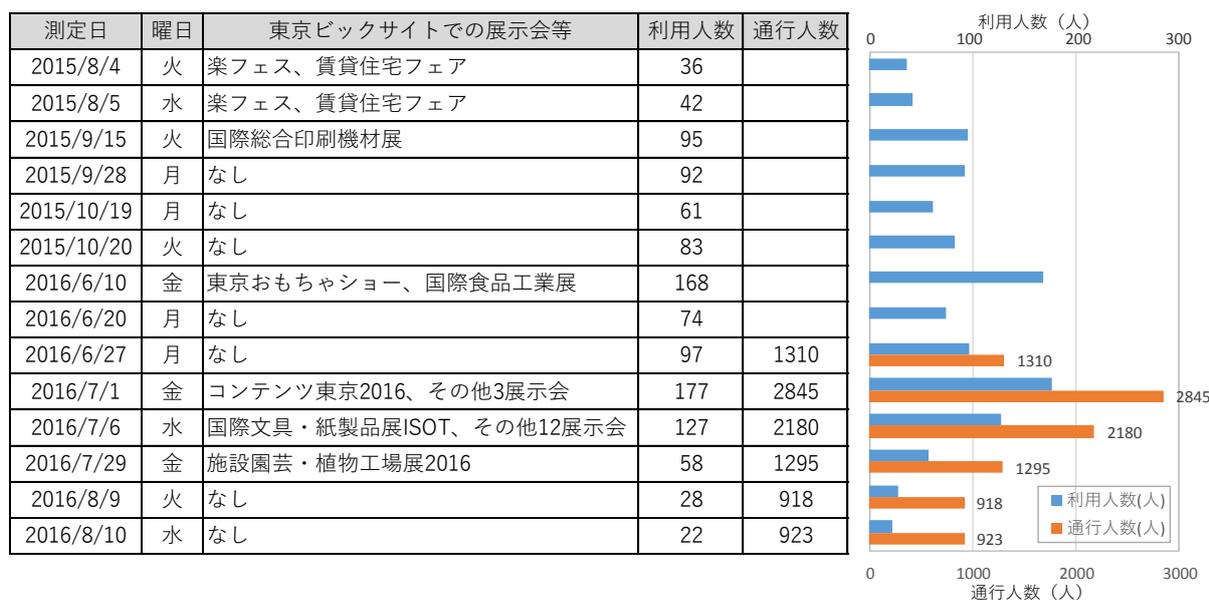


図 4.56 調査日ごとのベンチ利用人数と休憩エリア内の通行人数等

休憩エリア内中央の通路を通行する人の多くは、近隣で勤務するオフィスワーカーと、東京ビックサイトの展示会等への来場客と考えられる。そのため、特に2016年は展示会等が開催される日は、開催されない日に比べて通行人数と利用人数が多い傾向がみられる。また、測定日ごとの通行人数のうちベンチを利用する割合と最高気温の関係を見たところ、気温が高くなるほど、ベンチを利用する割合が小さくなっており、暑い日は屋外のベンチを使うことが敬遠されていることが分かる。イベント有無よりも熱環境によりベンチを利用する割合が影響されていると考えられる。

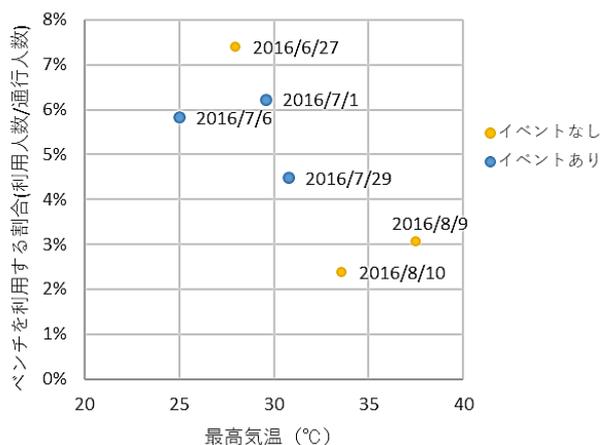


図 4.57 最高気温とベンチを利用する人の割合の関係 (黄: イベントなし、青: イベントあり)

②時間帯別の利用人数と利用者の属性等

2016年の全測定日の時間帯別の利用人数と時間帯別のベンチ全体の平均利用者数を、図4.58に整理した。12時台と13時台に多くの人々が利用していることがわかる。

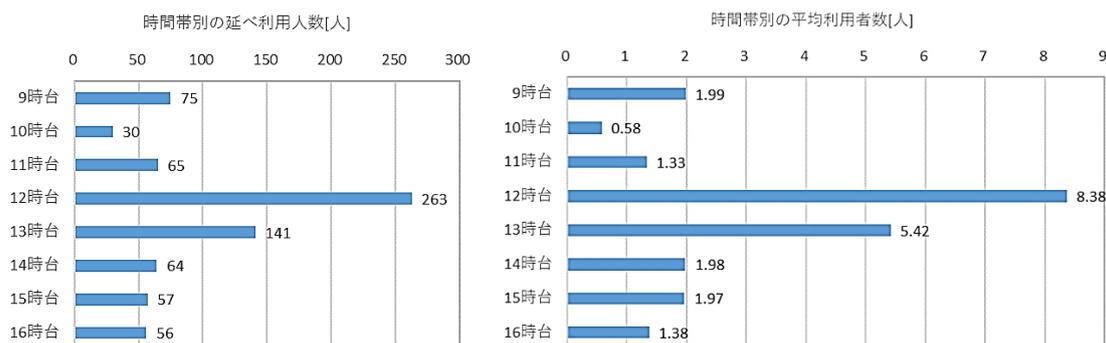


図 4.58 時間帯別の利用人数と時間帯別の平均利用者数

2016年の全測定日の利用者の属性として、滞在時間、行為、年齢別・性別、着衣量 (clo値)、日射状況、座ったイスについて、図4.59に整理した。

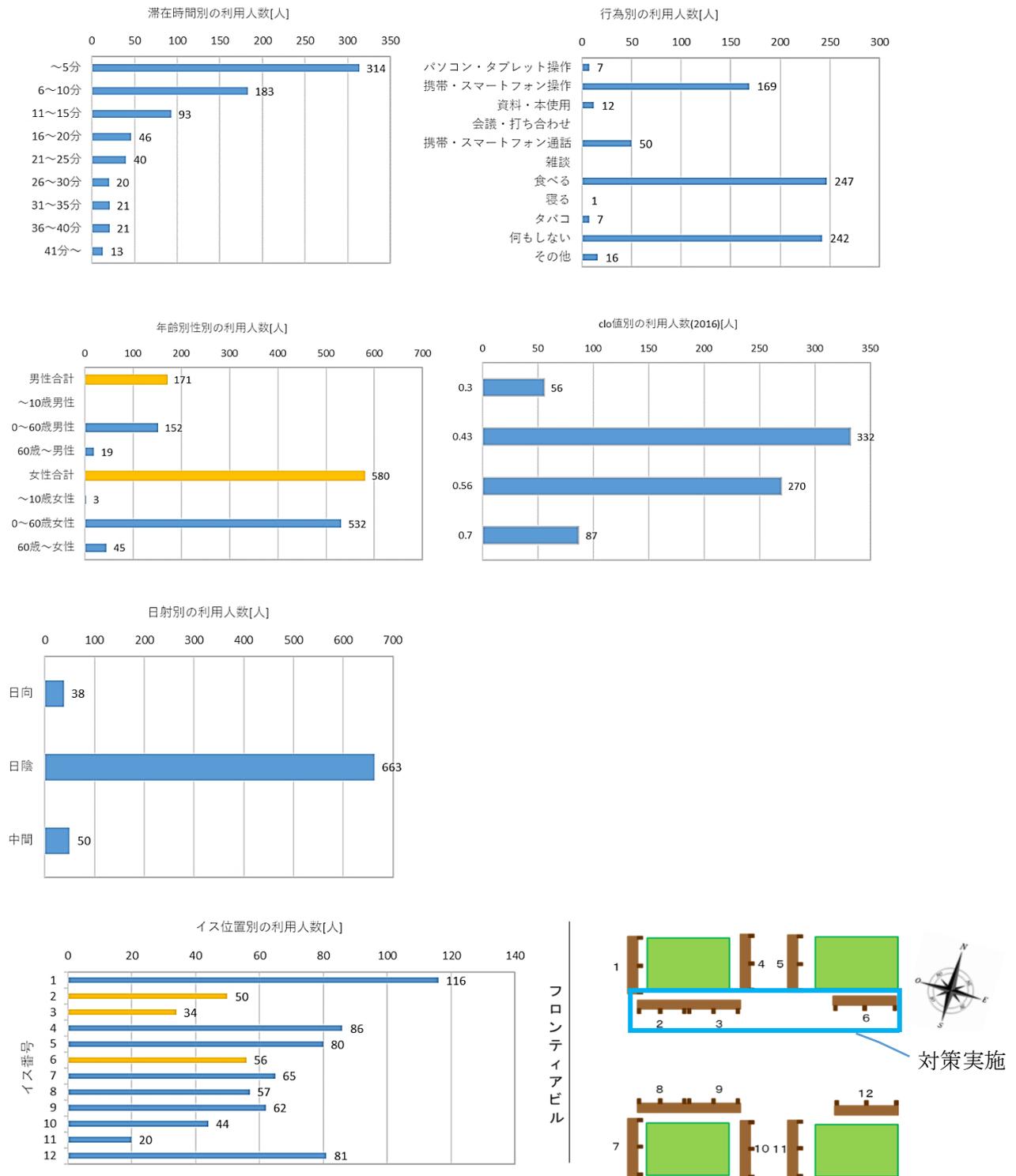


図 4.59 利用人数の属性等

③対策による利用人数の変化

暑熱対策施設を設置したことにより、利用人数がどのように変化したかを把握するために、測定日ごとの12時台の対策施設前のベンチ（2015年は対策実施前）の延べ利用人数を集計した。

暑熱対策実施前の2015年8月はSET*33～35℃であったため、利用者はゼロであった。暑熱

対策実施後の 2016 年は 6～7 月の測定日は日向の SET*が 33～36℃であったが、対策により SET*は 5～7℃低下しており、利用人数は 5～15 人であった。

全体的に対策前に比べて同じベンチでも利用者が増えていたことがわかる。

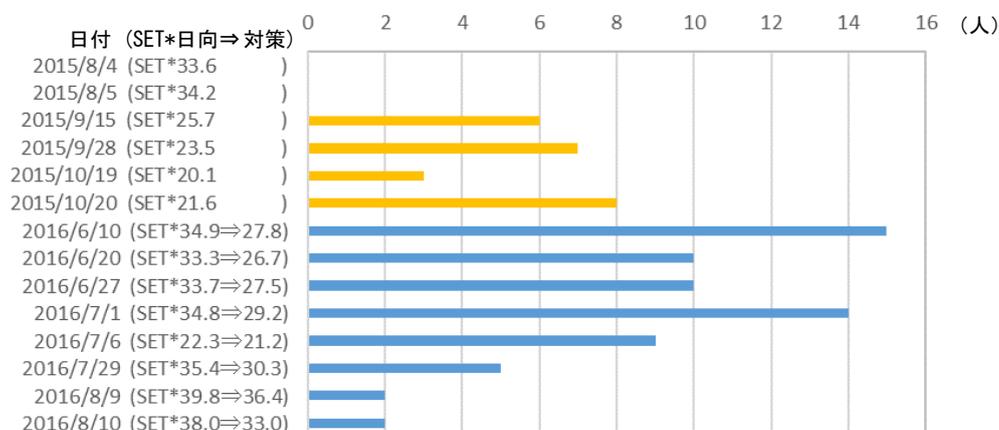


図 4.60 12 時台の対策による SET*と利用人数の変化

④基準化利用者数の計算

各時刻における利用者数に対し基準化を行い（基準化利用者数）、2℃刻みの SET*域毎に平均化した（3章及び参考資料2に方法の詳細は示した）。平均化する期間は、人ごとの着衣量を観察した、もしくは着衣量が想定しやすいことから、2016年と2015年8月を対象とした。既往研究から導出した利用者数の傾向と比較すると（参考資料3 図1）、26～28℃にピークが出来ることは共通しているが、今回の調査では18～20℃と低い温度帯にもピークが出来ている。18～20℃にピークが出来たのは、7月にも関わらず、12時台の日向の SET*が 22℃台と低かった 2016年7月6日が影響している。

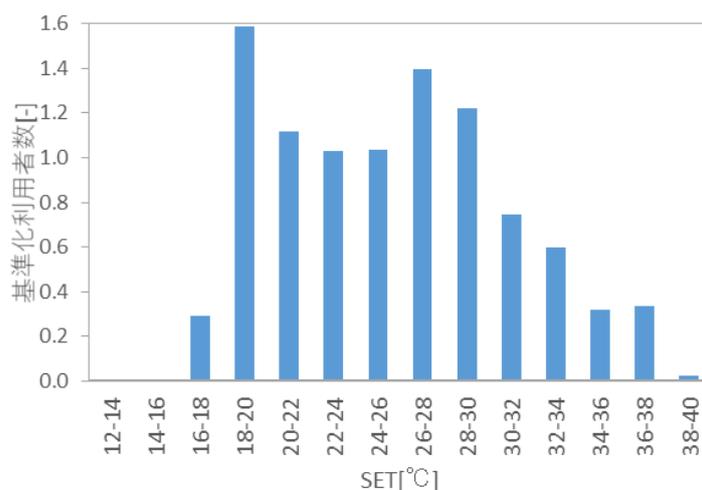


図 4.61 SET*と基準化利用者数（ビックサイト）

4.4.2 利用者ヒアリングの実施と結果

2016年の利用調査実施日のうち、7月29日と8月9日の2日間に、暑熱対策施設のベンチに座った人のうち7人に、暑熱対策施設のベンチを選んだ理由や座ってみた印象などについてヒアリングを実施した。

対策施設のベンチに座った理由や座ってみた印象としては、風が感じられるため、エアコンがついた室内のように寒すぎないからなど温熱環境に関する回答がある一方、緑が多く自然が感じられるため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、オフィス街などの都心部や公園、人が一定時間座る場所であるバス停、屋外のスポーツ観客席などがあげられた。



図 4.62 対策施設での利用の様子（左・中央）、ヒアリングの様子（右）

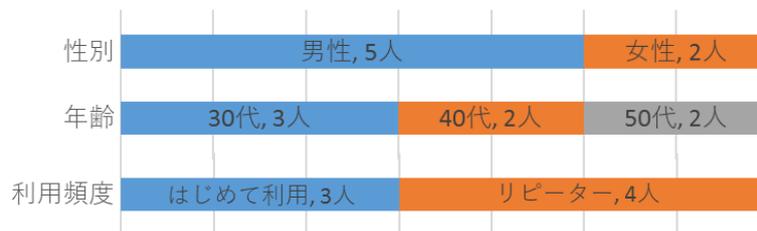


図 4.63 ヒアリング回答者の属性

表 4.15 ヒアリング結果

No.	1	2	3	4	5	6	7
日程	7月29日	7月29日	7月29日	7月29日	7月29日	8月9日	8月9日
ヒアリング時刻	11:56	12:04	12:15	12:23	12:22	11:48	13:17
滞在時間(分)	24	11	7	30	30	20	40
年代	40代	30代	30代	30代	50代	50代	40代
性別	男	女	男	男	男	女	男
利用目的	昼食	お昼休みのため	気になった		水分補給	お昼ごはん	休けい
利用頻度	リピーター	リピーター	はじめて	たまたま	たまたま	リピーター	リピーター
屋内の休憩場所ではなく、本ベンチを選んだ理由	自然を感じる環境だから	外にご飯を食べに行った帰りのため	ビックサイト帰りに気になって	屋内にベンチが見当たらない	風もあるし、より快適にすごしたかった	エアコンが寒いから	外に出たかっただけ
屋外の他の場所のベンチではなく、本ベンチを選んだ理由	日差しと気流感	涼しそうだったから	フラクタルや緑の壁が気になって	たまたまあいていたから	木はやわらかく、気持ちが良い	緑が多く、飛行機が見えるから	いつも座っている場所だから
設備の印象や効果	良い印象 欲をいえばもう少し緑が多くてよいかも	とても良い 涼しく感じる	緑化ルーバーは涼しい気持ちにさせてくれる	特に何も	緑化ルーバーとても良い	もっと緑化ルーバーなど緑を多くしてほしい	暑すぎると効果を感じない
エアコンがきいた場所と比べた印象や効果	自然な印象でよいと思う	こちらの方が涼しい	エアコンがきいた場だと、体調が悪くなるが緑の場所だと気持ちいい	暑い	自然を感じられる	エアコンみたいに寒くなりすぎない	特になし
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	オフィス街	公園など	バス停、庭(家の)、屋外スポーツ観戦	良いと思う	都内は特に必要です	もっと緑化ルーバーなど緑を多くしてほしい	新宿や渋谷
その他	こういう場所を都市でも増やしてもらいたい				なし	特になし	特になし

4.5 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。

4.5.1 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、東京ビッグサイト前海上公園と同様の対策施設が設置された場合の熱環境の改善効果を算出した。評価期間は6月1日～9月30日の9時～17時とした。

1) 気温・湿度・風速の変化

4.3で述べた通り、気温・湿度に変化はほとんどなく、風が緑化冷却ルーバーと平行に吹き、風速の低減がない場合に最大の効果が発揮されると考えられるため、対策による気温・湿度・風速の変化はなしとした。

2) 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。

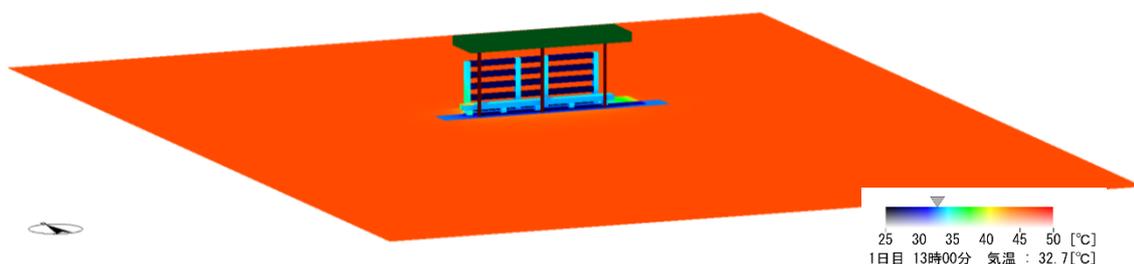


図 4.64 作成した 3D モデル (周囲に建物等は存在しないものとしてモデルを作成)

3) SET*の変化

1)、2) 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。)

4.5.2 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、その時間数を計算した。

例として、7月8日 (比較的涼しい日)、8月17日 (比較的暑い日) の結果を下図に示す。7月8日には、対策施設では終日受容限度を下回る温度を推移していた。一方8月17日には、対

策施設でも 14 時までは受容限度を上回り暑熱対策施設で空調を代替できる環境にはならなかった。

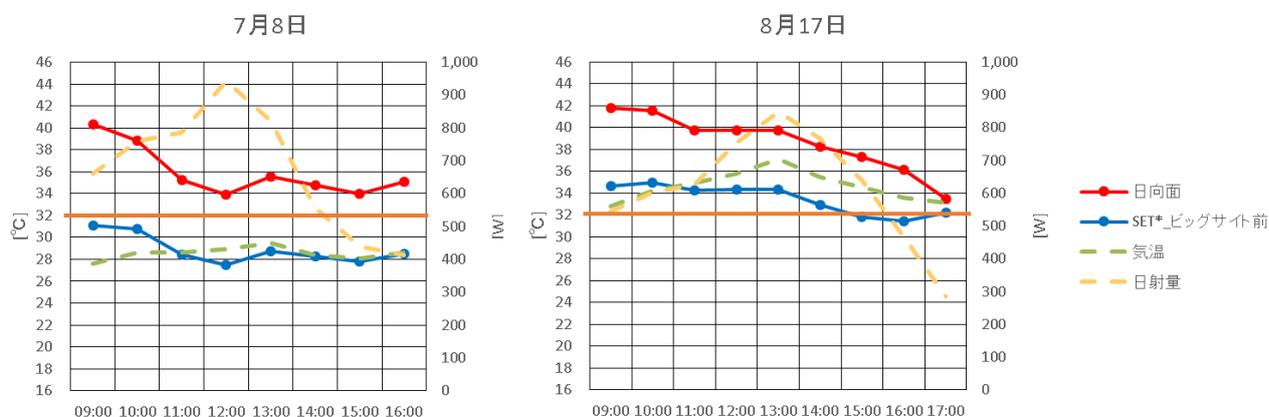


図 4.65 東京ビッグサイト前海上公園の暑熱対策施設の 2010 年の気象条件での SET*変化 (左：7月13日、右：8月17日)

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。各月7～9割程度の時間で、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 4.16 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	217	93.9
7月	248	176	71.0
8月	248	166	66.9
9月	193	150	77.7

※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

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 4.17 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	22.0	95.3
7月	32.3	21.7	67.2
8月	37.5	23.7	63.1
9月	22.7	17.4	76.4

一方、暑熱対策施設稼働に上水を使用する際の CO₂ 排出量を考慮すると、施設面積 1 m² あたり各月 0.1～0.2(kg-CO₂)が排出されていることになる（施設面積は 23.4m²とした）。この分を暑

熱対策施設稼働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。

暑熱対策技術導入により4ヶ月平均で72.2%のCO₂排出削減が達成できることがわかった。

表 4.18 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	12.1	0.2	11.9	94.0
7月	17.8	11.9	0.2	11.8	66.2
8月	20.6	13.0	0.2	12.8	62.2
9月	12.5	9.5	0.1	9.4	75.3
合計	63.6	46.6	0.7	45.9	72.2

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のCO₂排出削減量となることがわかった。

表 4.19 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)	地下水揚水の ための電力使 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	12.1	0.2	11.9	94.0
7月	17.8	11.9	0.2	11.8	66.2
8月	20.6	13.0	0.2	12.8	62.2
9月	12.5	9.5	0.1	9.4	75.3
合計	63.6	46.6	0.7	45.9	72.2

※地下水揚水による電力消費量は、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。

4.5.3 屋外利用促進型を適応した場合のCO₂削減

大阪ビジネスパークの実測調査の結果と合わせて求めた SET*と利用人数の関係をを用いて暑熱対策の SET*低減効果による基準化利用人数増加量を求めた。

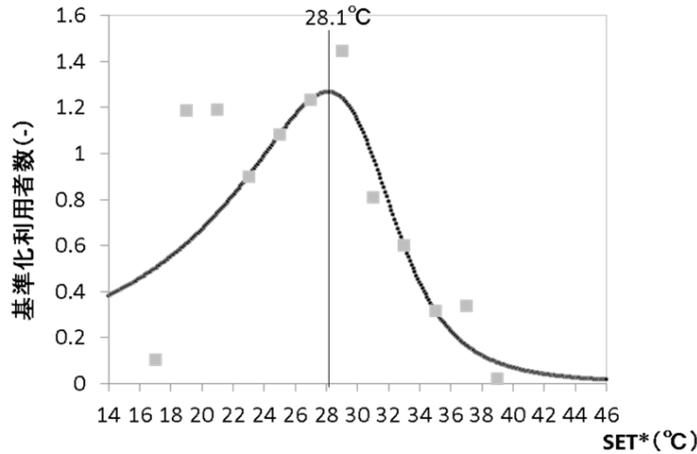


図 4.66 利用者人数と SET*の関係（2016 年東京ビッグサイト前海上公園と大阪ビジネスパークでの実測結果を集約して導出）

基準化利用者数を増加利用人数（人・時）に換算する際には、東京ビッグサイト前海上公園での対策施設の時間帯ごとの平均利用者数の値を用いた。

表 4.20 時間帯ごとの平均利用者数

時間帯	平均利用者数（人・時）
9 時台	0.14
10 時台	0.01
11 時台	0.03
12 時台	2.36
13 時台	2.18
14 時台	0.46
15 時台	0.18
16 時台	0.17

例として、7月8日（比較的涼しい日）、8月17日（比較的暑い日）の12時台をとりあげた。8月17日は対策前後で SET*が 39.8°Cから 34.3°Cになり、利用人数は 1.17 人の増加だった。一方、7月8日には対策前後で SET*が 33.9°Cから 27.5°Cになり、利用人数は 1.59 人の増加だった。SET*40°C程度の高温度域での変化より、30~35°C程度の曲線が急峻な温度帯で対策前後の熱環境が変化する方が、対策による屋外利用の増加人数が多くなる。

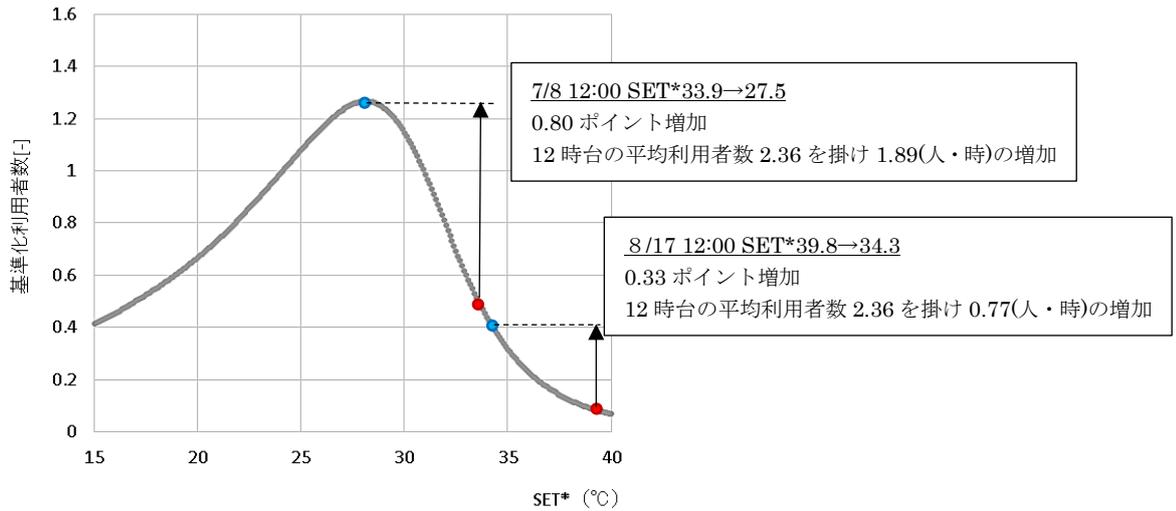


図 4.67 7/8 と 8/17 の 12 時台の増加利用者数

月ごとの合計増加利用者数を下記に示す。

表 4.21 暑熱環境改善による増加利用人数

	暑熱対策施設稼働対象時間 (時間)	暑熱環境改善により利用者が増加した時間 (時間)	増加利用人数 (人・時)
6月	224	173	90.6
7月	232	230	129.2
8月	248	247	121.9
9月	192	165	86.9

※暑熱対策施設稼働対象時間は雨の日を除く各日 9 時-17 時の全時間

※暑熱環境改善により利用者が増加した時間は、対策前から対策後の SET* の変化により利用者が減少してしまう時間帯を除いている。

得られた値から、オフィスから一人退出あたりの電力消費量を乗じ、さらに、上水使用に係るエネルギーとして、使用水量から求めた CO₂ 排出量を削減量から減ずる。

表 4.22 暑熱環境改善による利用人数増加から削減される CO₂ 排出量 (暑熱対策稼働に上水を使用した場合)

	オフィス退出による電力削減量 (kWh)	オフィス退出による CO ₂ 排出削減量 (kg- CO ₂)	上水使用による 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)
6月	7.4	4.1	3.0	1.1
7月	12.5	6.9	4.0	2.9
8月	12.6	6.9	4.3	2.6
9月	7.6	4.2	2.9	1.3
合計	40.0	22.0	14.2	7.8

※上水使用による CO₂ 排出量は、雨の日を除く時間数分上水を使用したとして計算している。

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CO₂排出削減量がわずかに多くなるがほぼ同程度であることがわかった。

表 4.23 暑熱環境改善による利用人数増加から削減されるCO₂排出量
(暑熱対策稼働に地下水を使用した場合)

	オフィス退出による電力削減量 (kWh)	オフィス退出によるCO ₂ 排出削減量 (kg-CO ₂)	地下水使用を想定し、揚水のための電力使用による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)
6月	7.4	4.1	3.0	1.1
7月	12.5	6.9	4.0	2.9
8月	12.6	6.9	4.2	2.7
9月	7.6	4.2	2.8	1.3
合計	40.0	22.0	14.0	8.0

※地下水揚水による電力消費量は、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。