

## 4. 東京ビッグサイト前海上公園での技術導入検証

### 4.1 実施場所の概要

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の来場がある。また、国際展示場駅から東京ビッグサイトに向かう通路となっており、展示イベントが開催される際には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、風が比較的強いことが予想される。

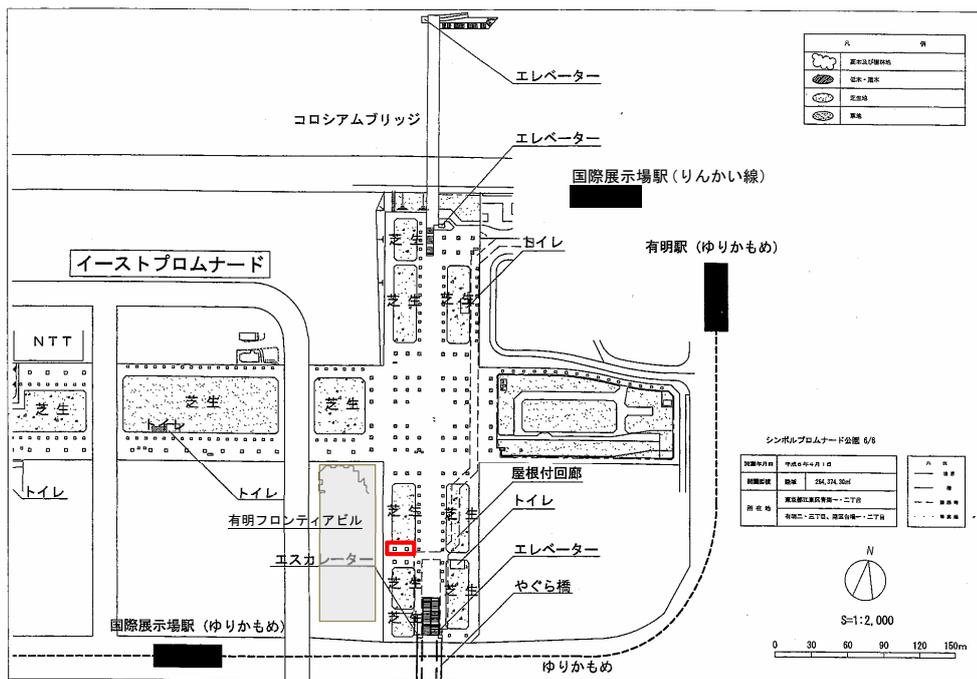


図 4.1 実施予定場所位置図



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、室内の冷房負荷を低減させる手法を検討する。

## 4.2 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。

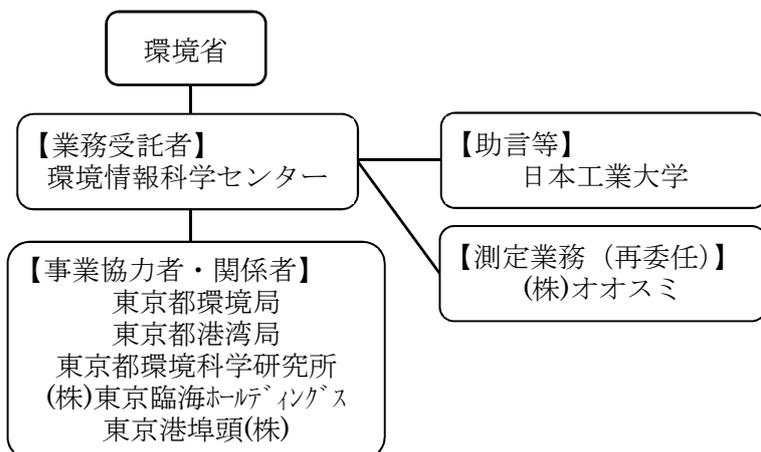


図 4.3 実施体制

## 4.3 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ヒアリング等を実施する。2 カ年のスケジュール予定を下に示す。

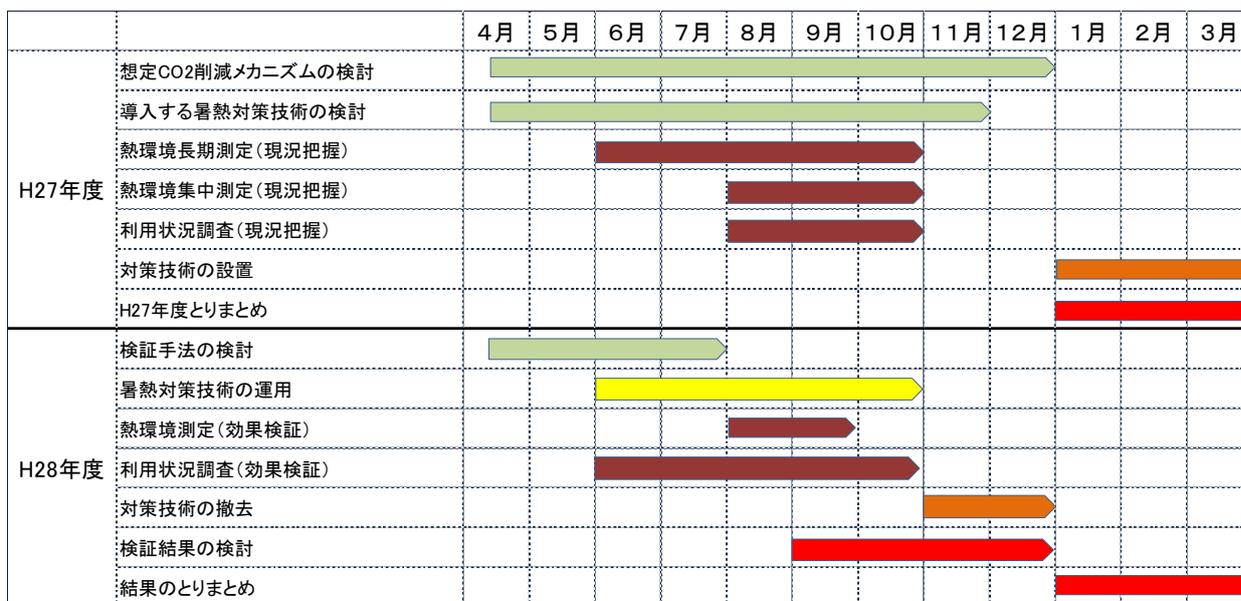


図 4.4 実施スケジュール

## 4.4 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 時を過ぎると対策場所全体ビルの影になり日陰環境となる
- ・昼休憩の時間帯（12：00～14：00）に利用が集中している

### 4.4.1 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 4.1 の通りである。



図 4.5 長期測定の測器設置場所（左）と測器設置状況（右）

表 4.1 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、初秋の気象条件での測定として、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 4.6 集中測定測器設置状況

測定項目は表 4.2 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 4.2 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) 結果概要

### ①長期測定

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。

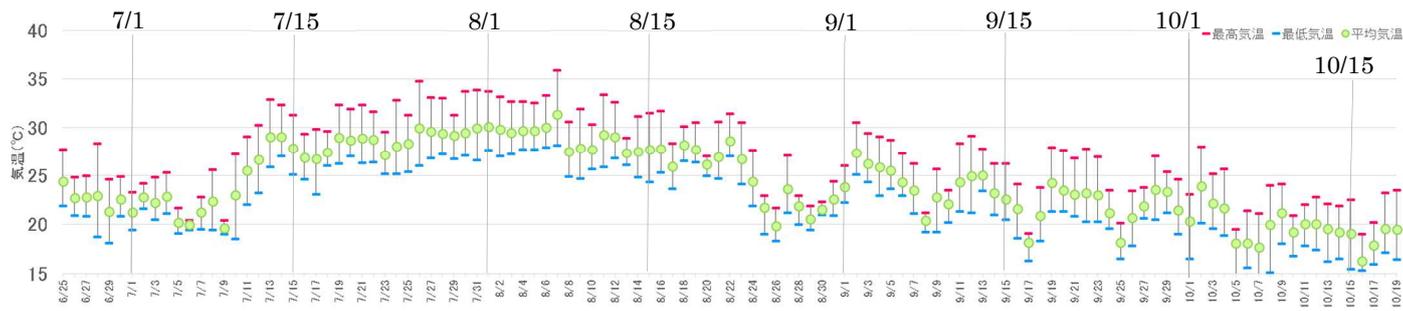


図 4.7 6/25～10/4 の気温変化

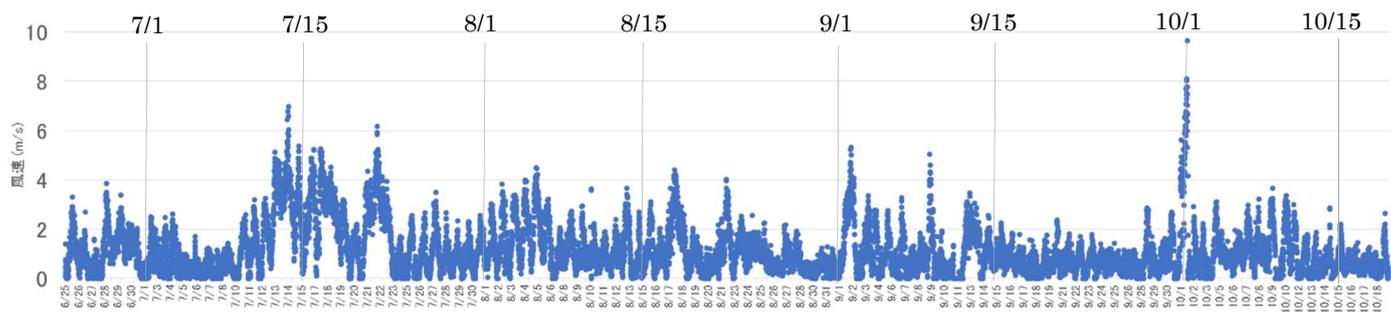


図 4.8 6/25～10/4 の風速変化

## 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。

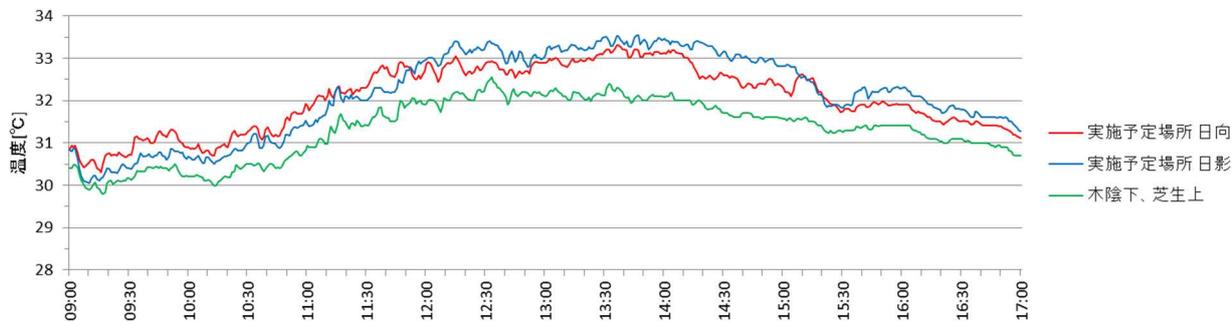


図 4.9 温度の日変化 (8/4)

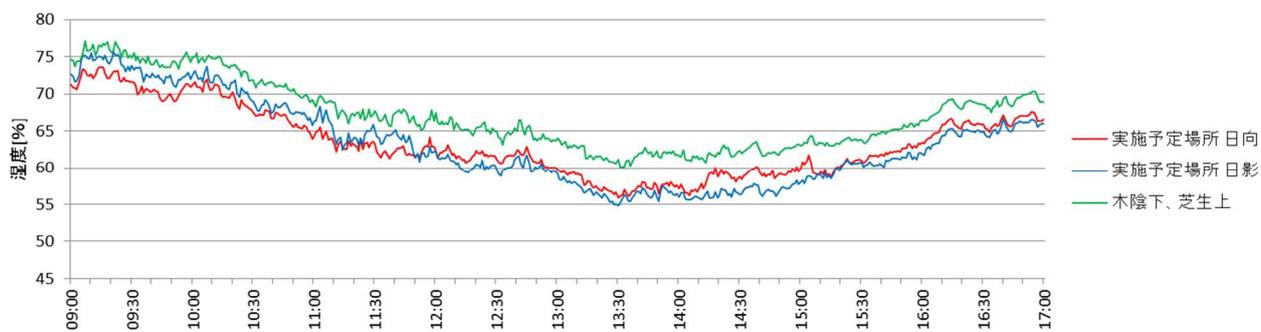


図 4.10 湿度の日変化 (8/4)

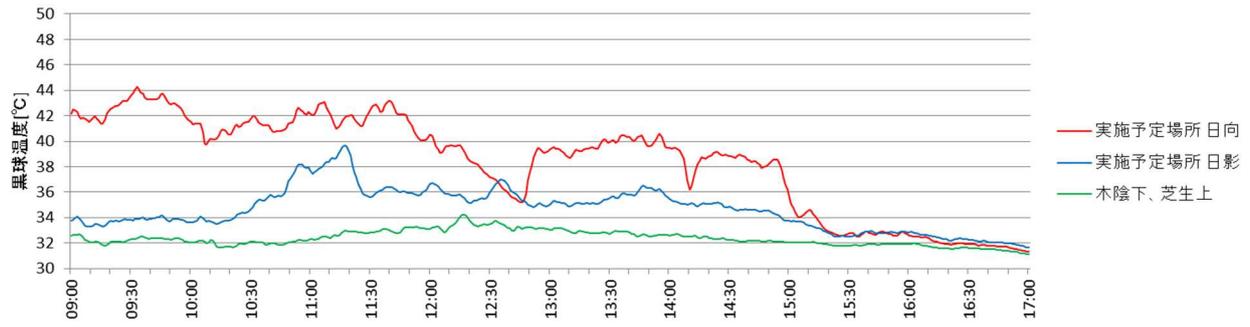


図 4.11 黒球温度の日変化 (8/4)

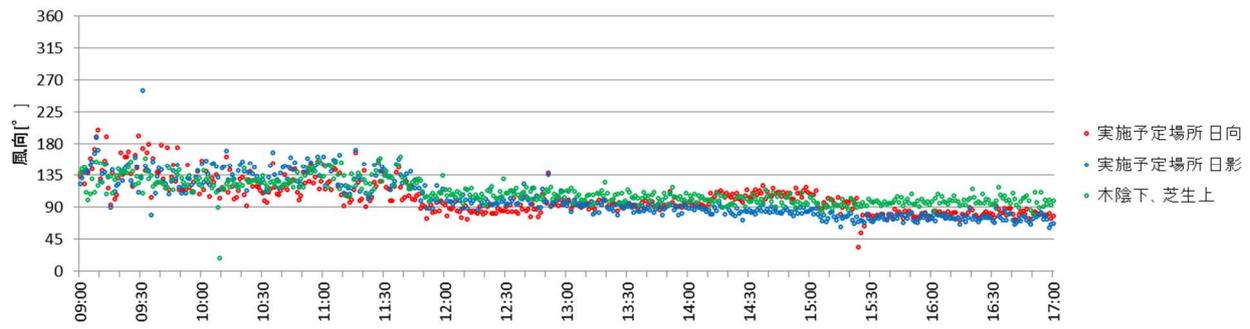


図 4.12 風向の日変化 (8/4)

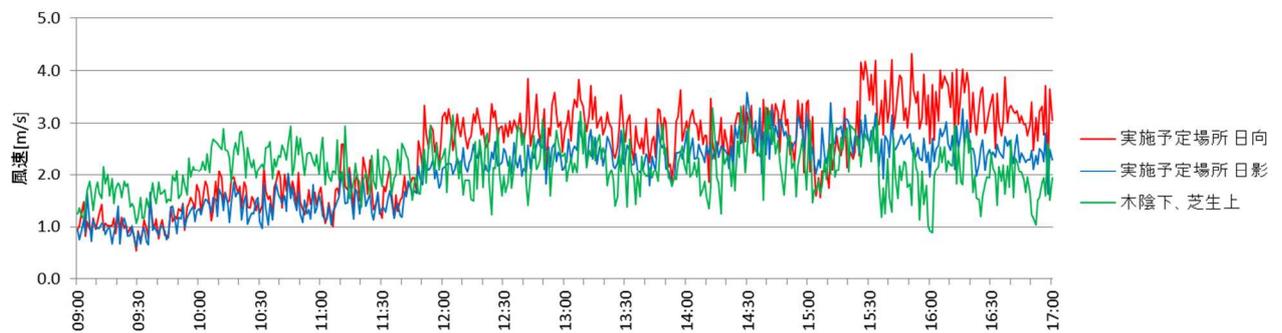


図 4.13 風速の日変化 (8/4)

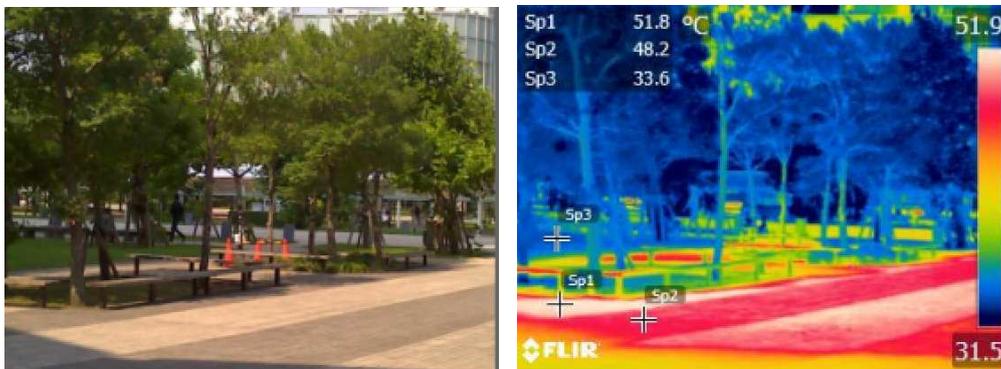


図 4.14 対策実施場所周辺の表面温度分布 (8/4 13:50、気温 33.1°C)

測定結果より、平均放射温度（MRT）と体感温度指標（SET\*<sup>1</sup>）を算出し、日変化をグラフで表した。

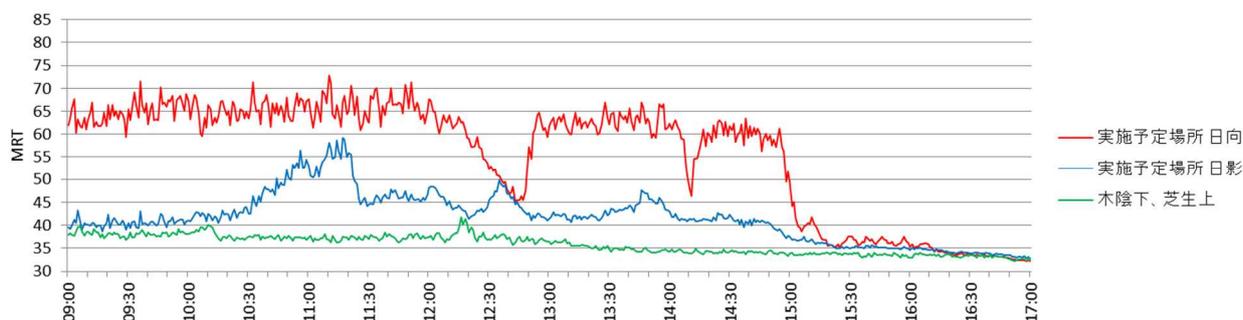


図 4.15 MRT の日変化 (8/4)

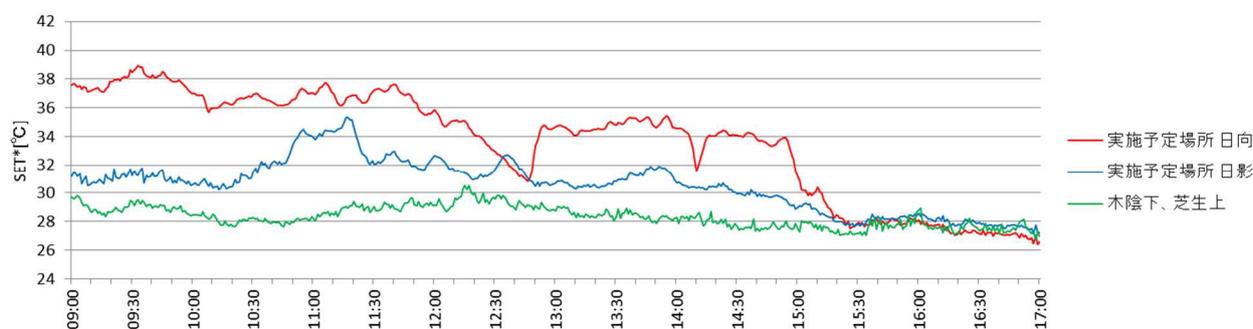


図 4.16 SET\* の日変化 (8/4)

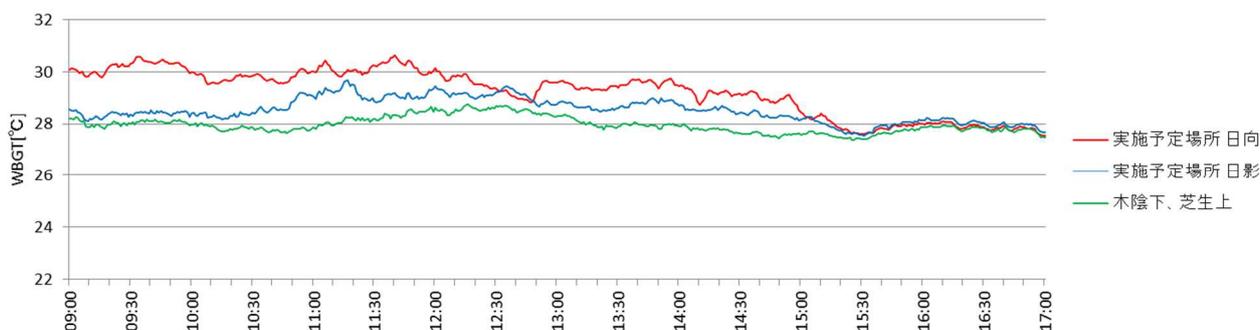


図 4.17 WBGT の日変化 (8/4)

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℃近くになるが、日陰や午後にはSET\*25℃を下回る快適な環境であった。なお、晩夏の測定は8月下旬から9月上旬にかけて雨天が続き、測定が行えず9月末になったことにより、晩夏というには涼しい気候であった。今回の8月と9月の中間となる気候も実際は存在していたと考えられる。

<sup>1</sup> 体重 62kg、体表面積 1.62 m<sup>2</sup>、着衣量 0.43clo、代謝量 58.2W/m<sup>2</sup>、外部仕事量 0W/m<sup>2</sup>として計算

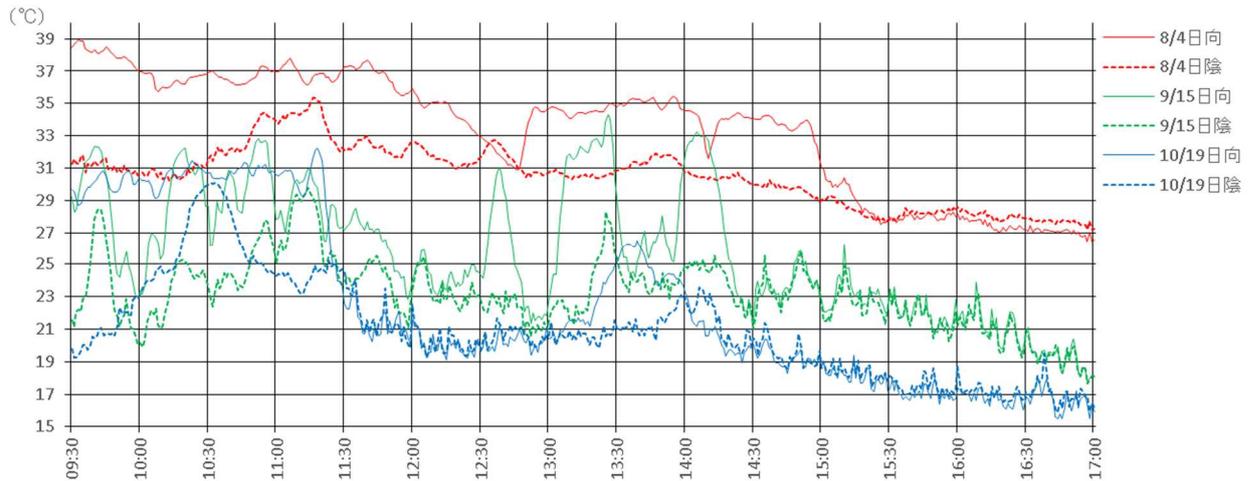


図 4.18 8月・9月・10月<sup>2</sup>のSET\*の経時変化

また、天空写真より対策場所に既設のベンチの各箇所の日照時間（8月1日）を求めた。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 4.19 中ベンチ番号1, 2, 3, 5, 6）

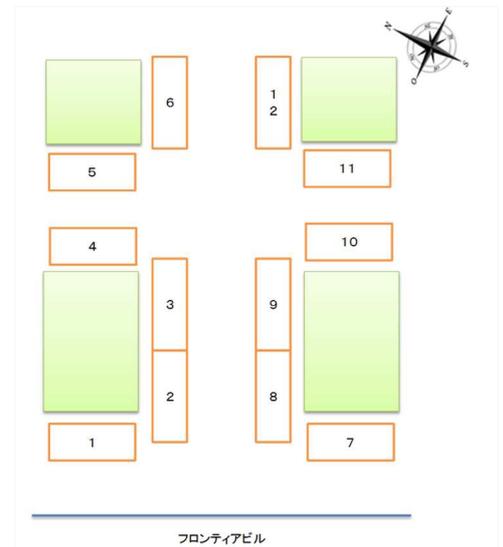


図 4.19 ベンチの位置

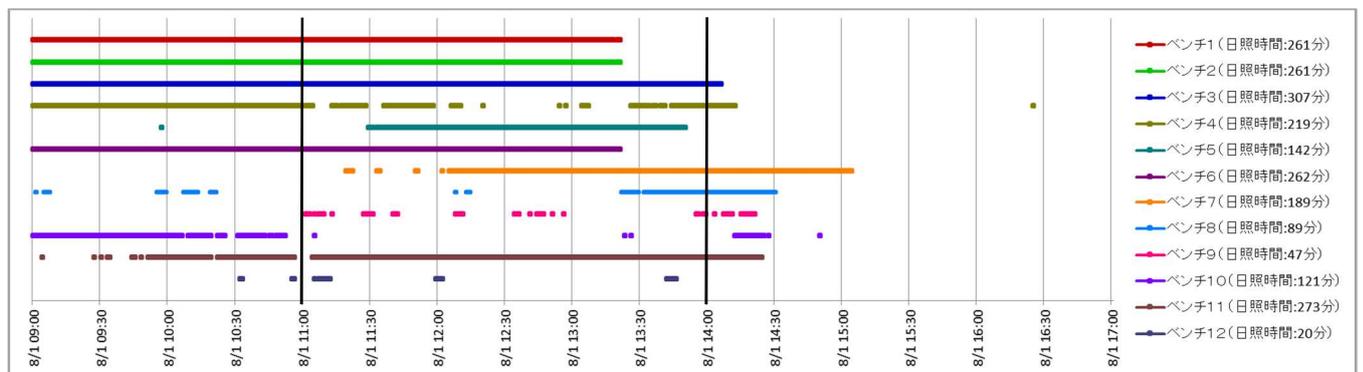


図 4.20 8月1日の日照時間（実線部分が日が当たっている時間）

<sup>2</sup> 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。

#### 4.4.2 利用状況調査

##### 1) 実施概要

熱環境測定と同日に、既設ベンチの利用者数と滞在時間を記録した。

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、着席環境（日向、日陰、中間）、行動

##### 2) 結果概要

時間帯別滞在人数は、8月・9月・10月ともに時間帯については昼時の利用がピークであった（図 4.22）。ピーク時間帯には8月に比べて9月は倍以上の利用が確認された。滞在時間は、8月・9月・10月ともに10分以下が多かった（図 4.23）。



図 4.21 対策実施予定場所  
既設ベンチ利用状況

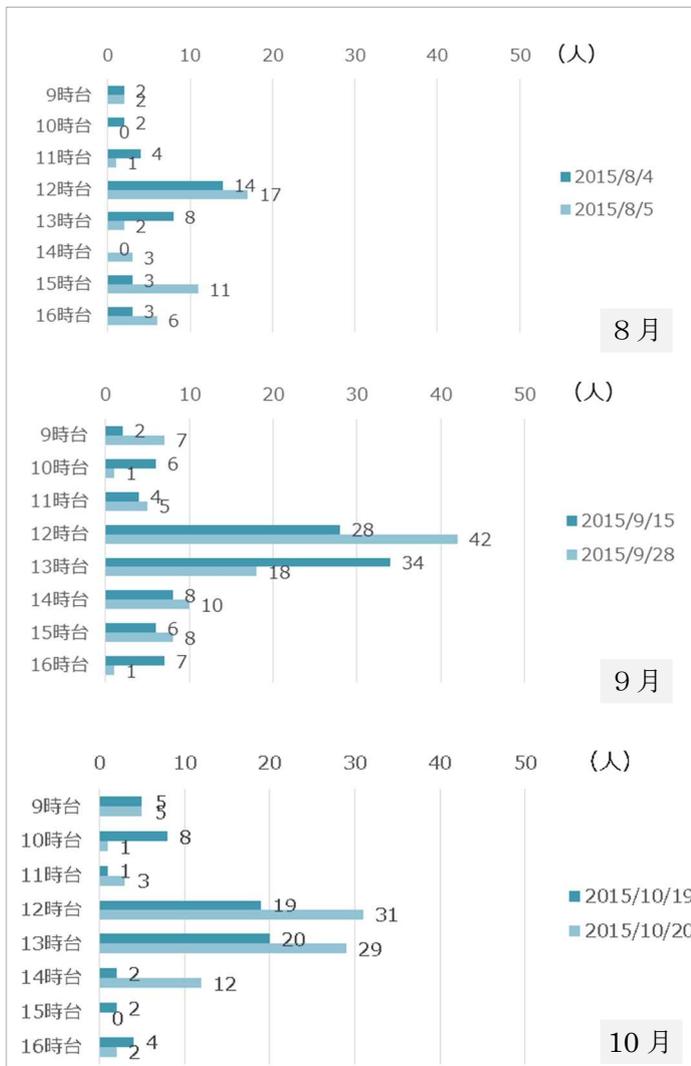


図 4.22 時間帯別滞在人数  
(上：8月、中：9月、下：10月)

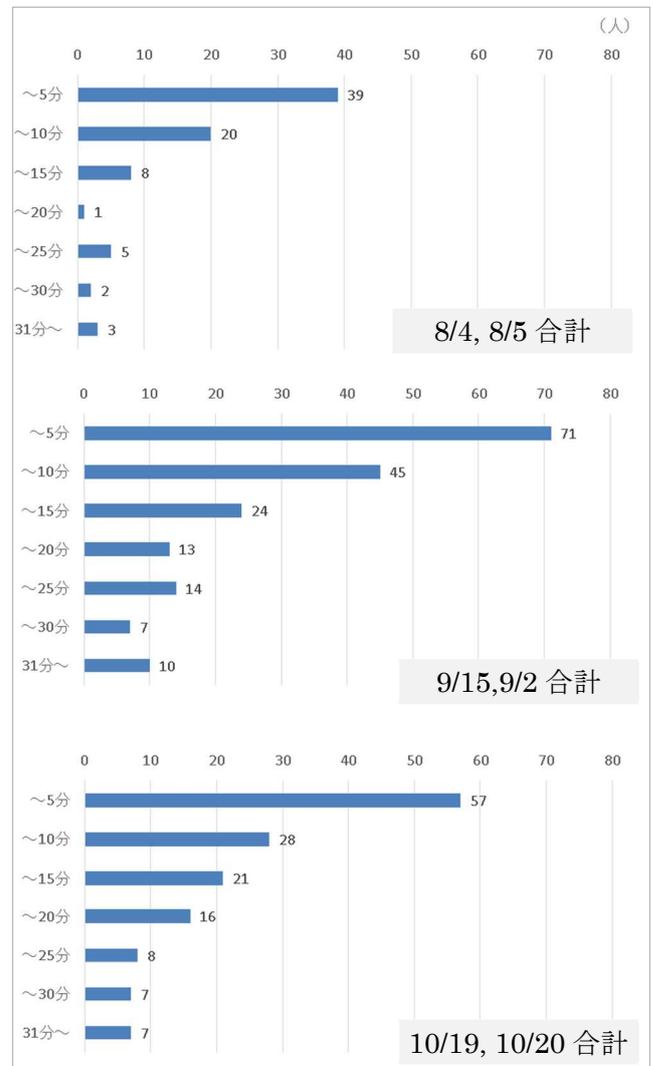


図 4.23 滞在時間の分布  
(上：8月、中：9月、下：10月)

同時に実施した温熱環境測定結果と、暑熱対策技術設置後の平成 28 年度にも同様の調査（温熱環境測定・利用状況調査）を合わせて、2.2.3 で述べた、SET\*と利用者数の関係式の精度を上げる予定とする。

#### 4.4.3 屋内利用者へのヒアリング

##### 1) 実施概要

熱環境測定と同日に、対策実施場所に隣接するビル（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、温熱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 4.25 対策実施予定場所近隣の屋内休憩スペース

##### 2) 結果概要

「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。」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環境改善により屋外を休憩スペースとして利用する可能性が示唆される

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

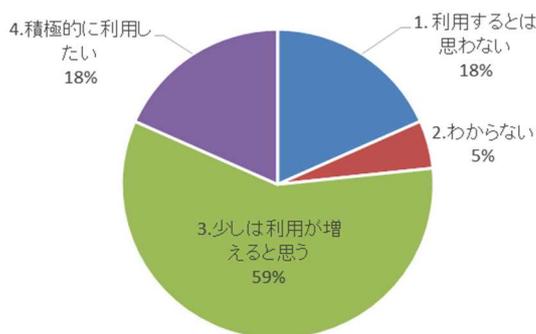


図 4.24 屋内滞在者の屋外利用可能性

## 4.5 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、暑熱対策技術設計を進めている。



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)

### 4.5.1 設計の考え方

暑熱対策技術の設計にあたっては、利用人数が多い昼食ときに日が当たるベンチで日射を遮蔽することや、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を目指した。

### 4.5.2 対策技術の選定

#### ①日除け

フラクタル形状の構造により真夏の日射を遮り、通風阻害を行わず日除け自体が熱くなりにくい日除けを選択した。日照時間の調査結果である図 4.20 からわかる、昼どきに日が当たっているベンチ番号 2, 3, 6 (図 4.19) の一連のベンチ (図 4.27 左) に設置する。



図 4.26 木の葉を模したフラクタル形状の日除け<sup>3</sup>

#### ②側面と路面に水を活用した冷却材

ベンチ背面に風を阻害しない冷却ルーバーを配置（景観に配慮して、緑化ルーバー（2. 2.1.4 参照）を選択）し、路面には灌水システムを備えた保水性ブロック（2. 2.1.2 参照）を配置し、熱放射環境を改善する。

<sup>3</sup> 写真は江戸川区での設置事例

①、②の技術を組み合わせたイメージを図 4.27 に示す。

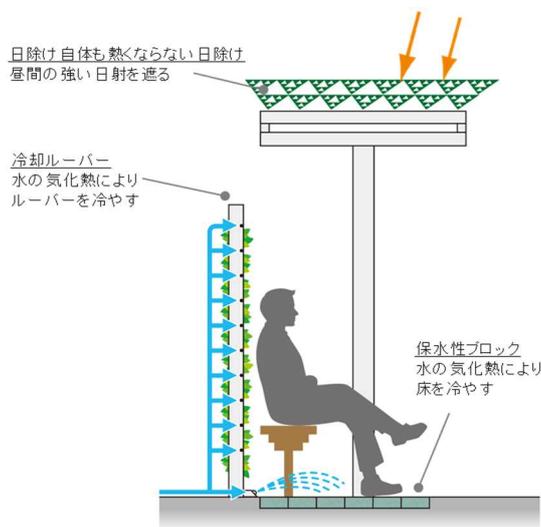


図 4.27 対策イメージ

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ている。ただし、従来の歩行路阻害になるため、夏季測定時のみ設置を予定している。

### 4.5.3 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、4.4 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、4.4 で得られた 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て設定した。

対策実施場所を含む約 10m×18m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。

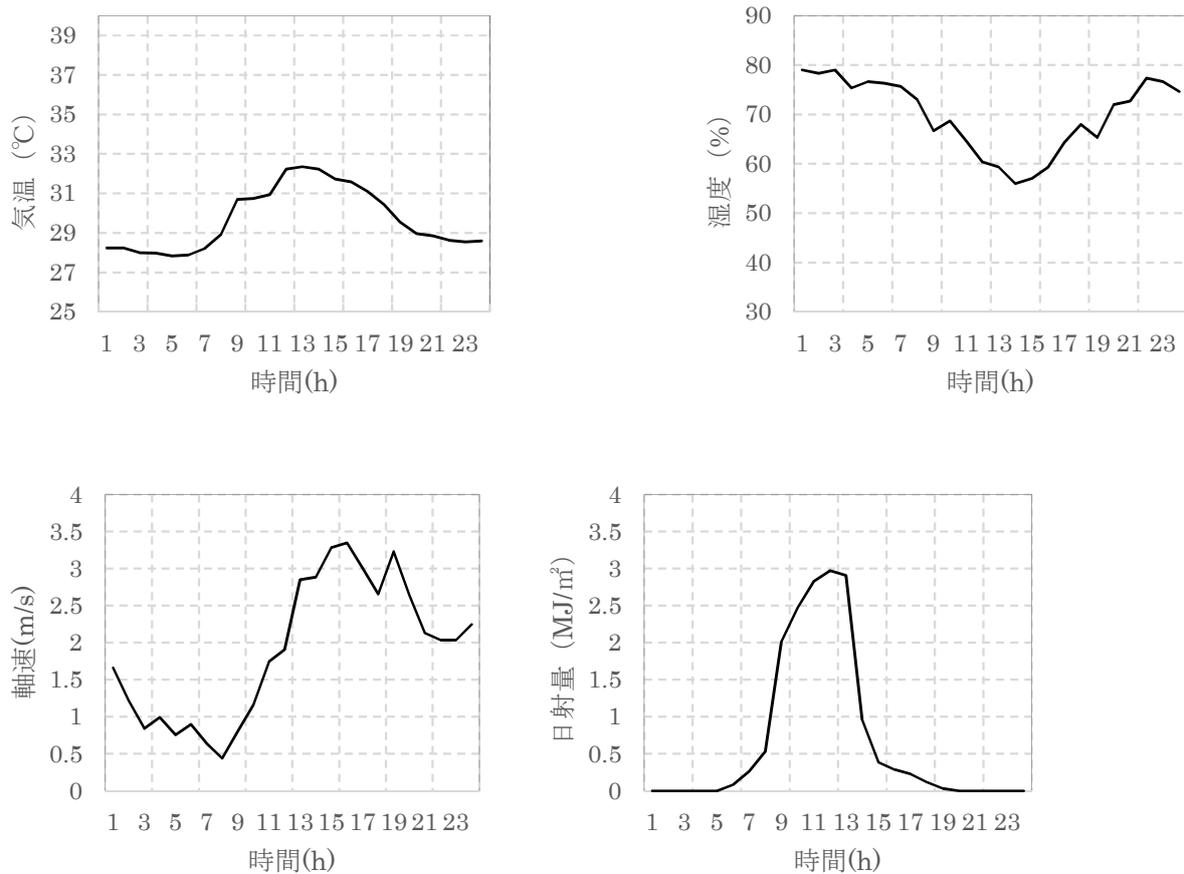


図 4.28 シミュレーションに入力した気象データ

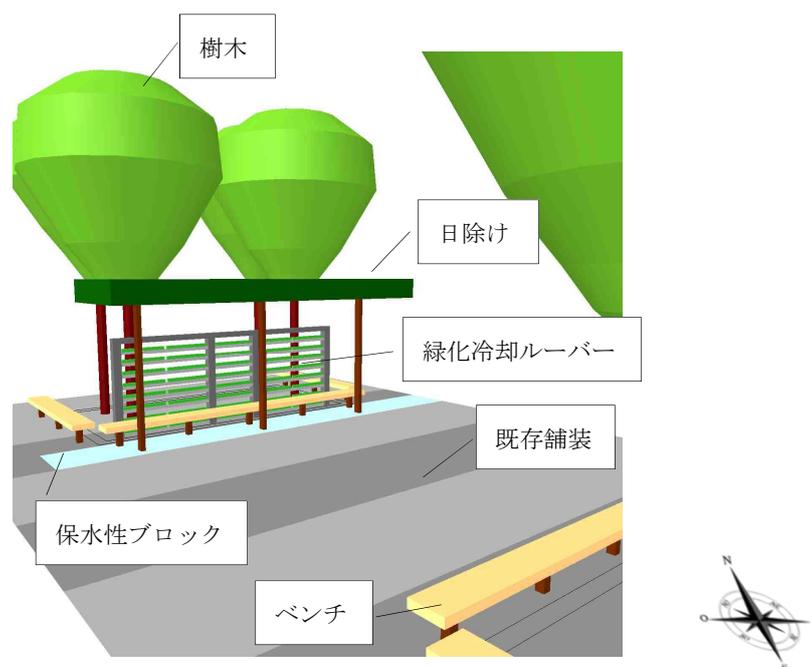


図 4.29 作成した3Dモデル

## 2) パラメータの設定

日除けの日射透過率は既往の研究<sup>4</sup>を参考に 15%とした。保水性ブロックは、朝 5 時に給水 (27°C) し、徐々に水分が蒸発するよう設定した。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

### ① 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、保水ブロックの効果により 36°Cとなる。さらに、日除けの下になる部分では 29.5°Cとなり複合効果は高いと予測される。

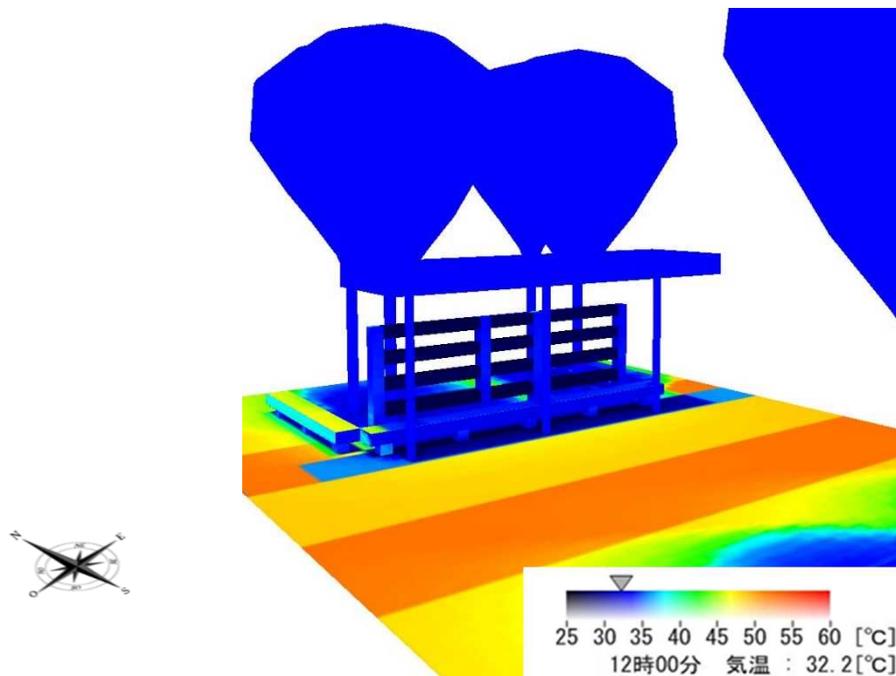


図 4.30 12 時の表面温度分布の計算結果

### 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 4.32 に 12 時時点 (気温 32.2°C、相対湿度 60.3%、風速 1.9m/s) での平面分布を示した。日向地点の MRT は 61.8°C と比べると、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 の効果が予測される。また、図 4.35 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る。

<sup>4</sup> 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

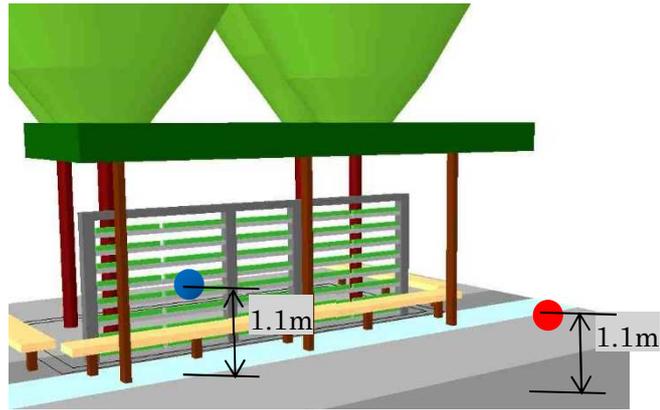


図 4.31 MRT 算出地点

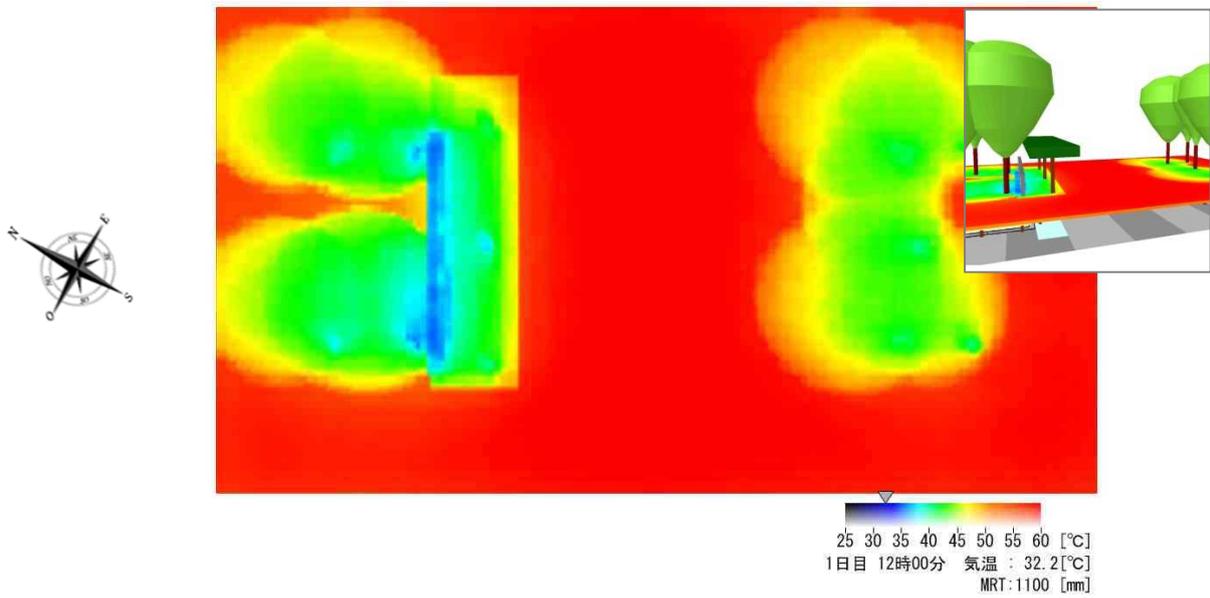


図 4.32 12時の MRT の面的分布の計算結果

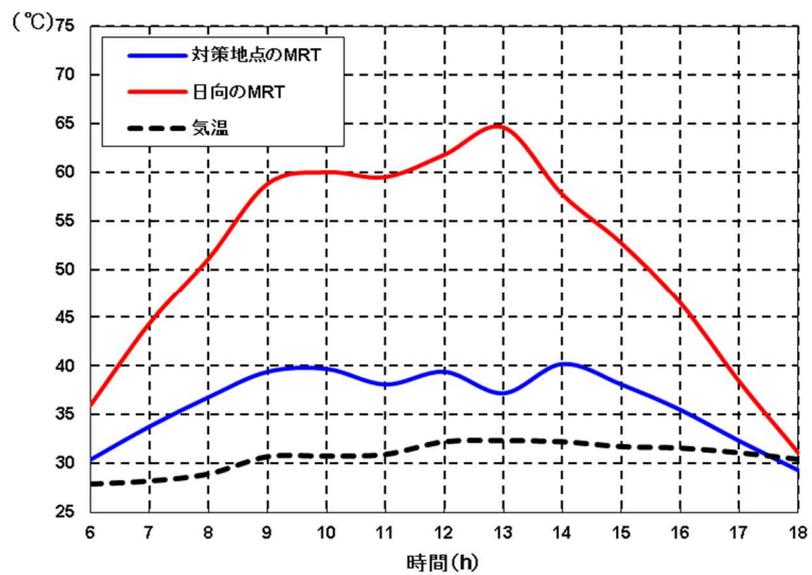


図 4.33 MRT の経時変化の計算結果

### 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。4.4で用いた値と同じく体重62kg、体表面積1.62㎡、着衣量0.43clo、代謝量58.2W/㎡、外部仕事量0W/㎡として計算したところ、日向では32.7℃である一方、対策により28.8℃となり体感としては、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わかった。

## 4.6 技術の導入

### 4.6.1 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4.34、図4.35に示す。

#### 1) 水の利用について

- ① 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。
- ② 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

##### ③ 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。

##### ④ 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。

##### ⑤ 冷却ルーバー

本来、ベンチの風上側に設置すべきところ、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。

#### 3) その他

##### ⑥ 建築物とならない日除け

- ・雨よけにならない
- ・どの方向から見ても（穴が）抜けている
- ・人が上に乗れない

ということから、建築物に該当しないとの判断を受けた。

##### ⑦ 構造物の基礎の取り合い

フラクタル日除けとグリーンルーバーを一つの柱に設置するための制約が多く、別々の基礎を設置することとした。

##### ⑧ フラクタル日除けの基礎

当初、ベンチ背後に柱を建てる片持ち構造で設計したが、既存ベンチの基礎等との干渉が避けられず、T型構造とし、かつ基礎をずらして設計した。

##### ⑨ グリーンルーバーの景観

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。

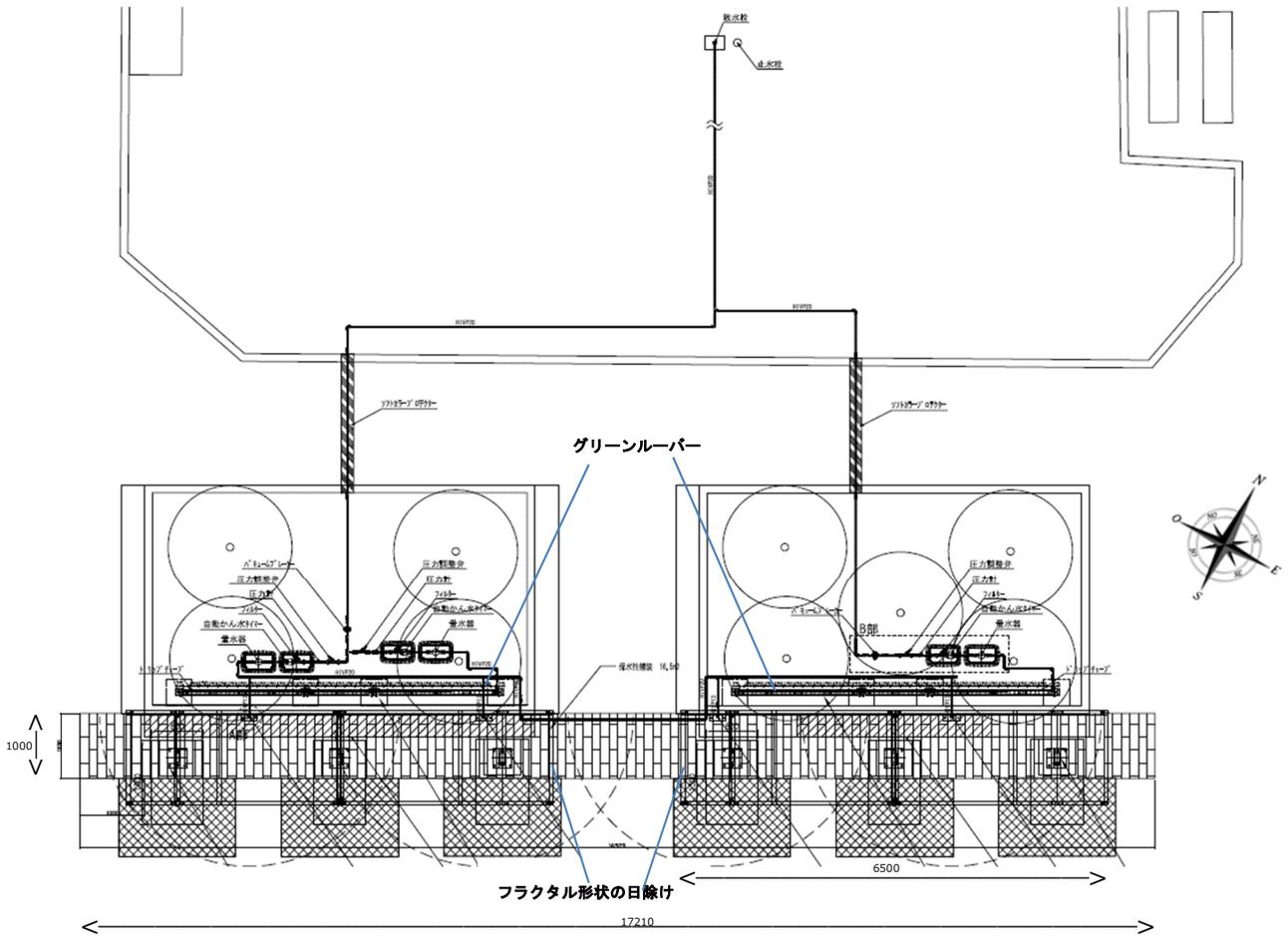


図 4.34 設計平面図



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

#### 4.6.2 設置工程

対策技術は以下の工程で導入された。また、完成写真を図 4.38 に示す。

表 4.3 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	月日	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 完成写真

#### 4.7 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。

#### 4.7.1 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 10 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。
- ・ 緑化冷却ルーバーには灌水チューブより給水される。流量・灌水時間は調整しながら運用する。
- ・ 保水性舗装には毎朝 5 時にスプリンクラー散水で給水される。
- ・ 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はスプリンクラー散水を停止させる。
- ・ 降雨時には給水・散水は行わない。
- ・ 使用水量は流量計によりデータを回収し把握する。

#### 4.7.2 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。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 4.4）。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 4.5 の項目を測定する。

表 4.4 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）	
	保水性舗装	冷却ルーバー
①	○	○
②	×	×
③	○	×
④	×	○

表 4.5 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、公園管理者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。基準点は機器設置の制約を公園管理者と相談した上

で、設置場所を決定する。

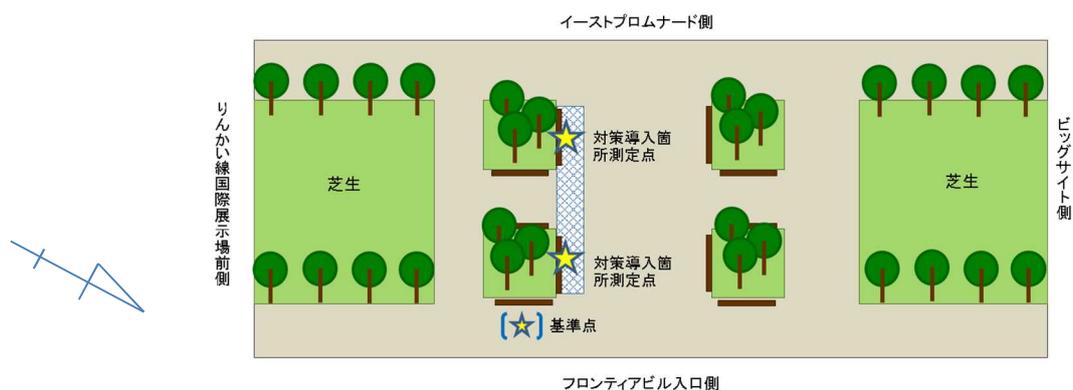


図 4.37 測定点

## 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～10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、通常運転の状態で実施する。得られた結果は、CO<sub>2</sub> 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) 利用状況調査

CO<sub>2</sub> 削減効果評価における利用人数を設定するために 6月～10月の期間中に利用状況調査を行う。測定項目は下記を想定している。

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、着席環境（日向、日陰、中間）、行動

着席時の SET\*を求めるための測定も同時に行う。基準点と、対策実施場所の2点を測定点とする。基準点は平成 27 年度長期測定と同じ箇所に設定し、対策実施場所での測定点は利用の阻害にならない場所に設置する。

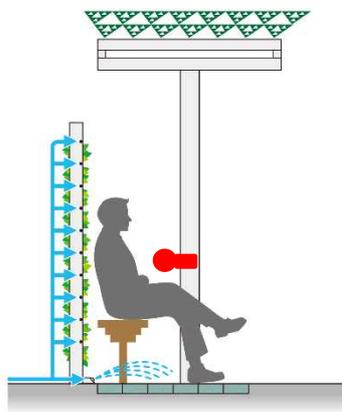


図 4.38 対策実施場所測器設置予定場所

測定項目を以下に示す。対策実施場所での測定項目は黒球温度のみとし、SET\*等の算出時には基準点の値を使用する。対策実施場所の黒球温度測定は石川式を使用するが、基準点ではベルノン式・石川式両方式で測定し、補正を行う。

表 4.6 平成 28 年度長期測定項目一覧

	測定項目	方式等	測定間隔
＜基準点＞	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+石川式	10 分
	風速	三杯式	10 分
＜対策実施場所＞	黒球温度	石川式	10 分

#### 4) 利用者ヒアリング（定性的評価）

導入した対策技術について、実際の利用者の評価を収集するため、温冷感等の温熱心理や見た目の印象などのヒアリングを行う。3) と同日の実施を予定している。