

7. 熊谷市役所前バス停での技術導入検証

7.1 実施場所の概要

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が想定される。現状では夏季には数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¹



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、仮に空調待合室を設置したと同様な環境を作り出すことで、CO₂ 排出量増加を回避する手法を検討する。

¹ 国土地理院電子国土 Web より作成

7.2 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。

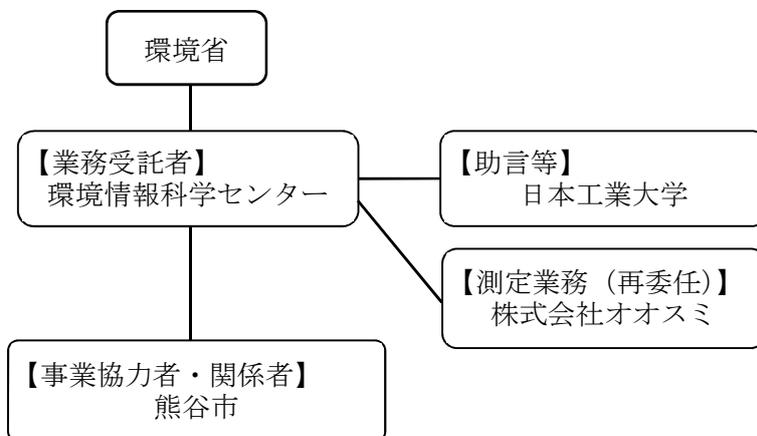


図 7.3 実施体制

7.3 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等を実施し、検証を行う。2カ年のスケジュール予定を下に示す。

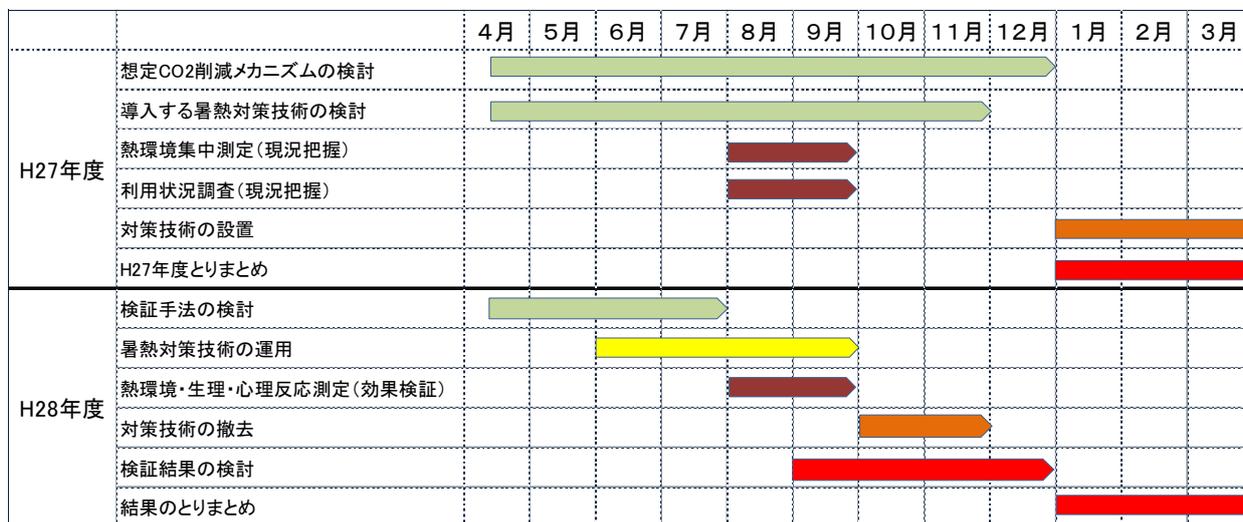


図 7.4 実施スケジュール

7.4 現況把握調査

対策前の熱環境や利用状況を把握するために、夏季に調査を実施した。

- ・日中 SET*40℃以上、WBGT31℃以上の酷暑環境が続く
- ・日陰下でも SET*36℃前後、WBGT30℃前後の酷暑となる
- ・風速は 1m/s 程度である
- ・日陰環境でも 15 時過ぎから西日が当たる環境である
- ・利用者は 1 日数名で、バス停から数分の場所からバスに乗り訪れている

7.4.1 熱環境測定の実施

1) 実施概要

盛夏の代表的な気象条件での測定として、2015 年 8 月 6 日・7 日の 2 日間、各日 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 7.5 測器設置状況

測定項目は表 7.1 の通りである。また、対策予定場所の日照時間の把握のために天空写真を撮影した。

表 7.1 平成 27 年度測定項目一覧

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

2) 結果概要

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。

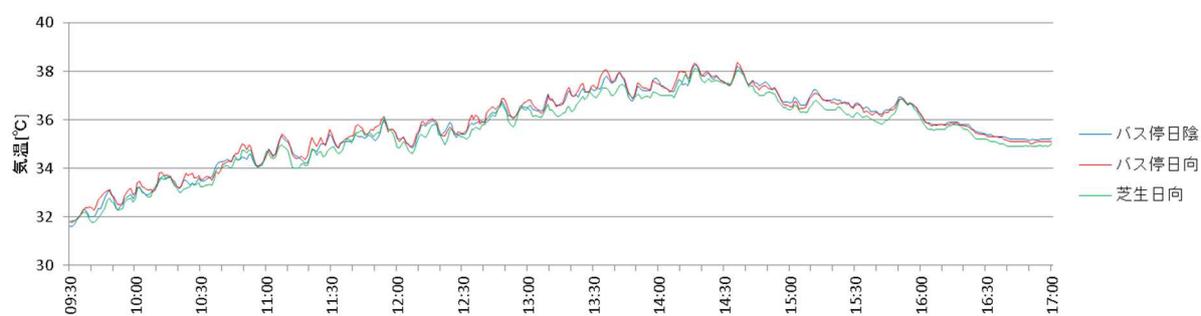


図 7.6 気温の日変化 (8/6)

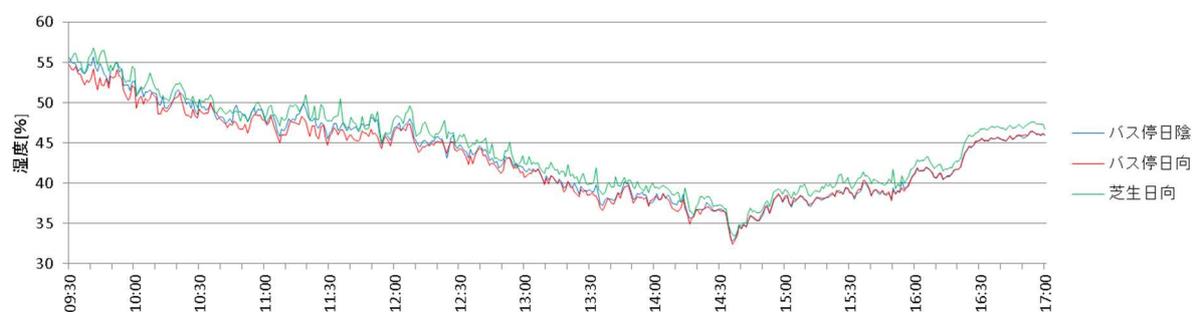


図 7.7 相対湿度の日変化 (8/6)

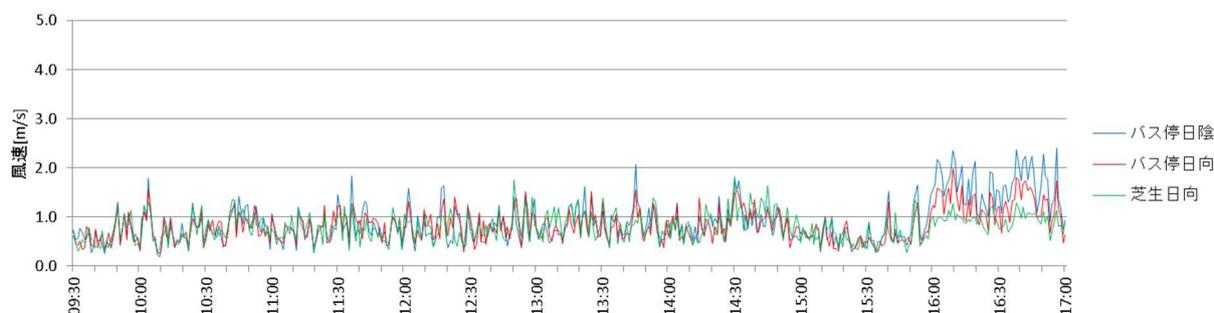


図 7.8 風速の日変化 (8/6)

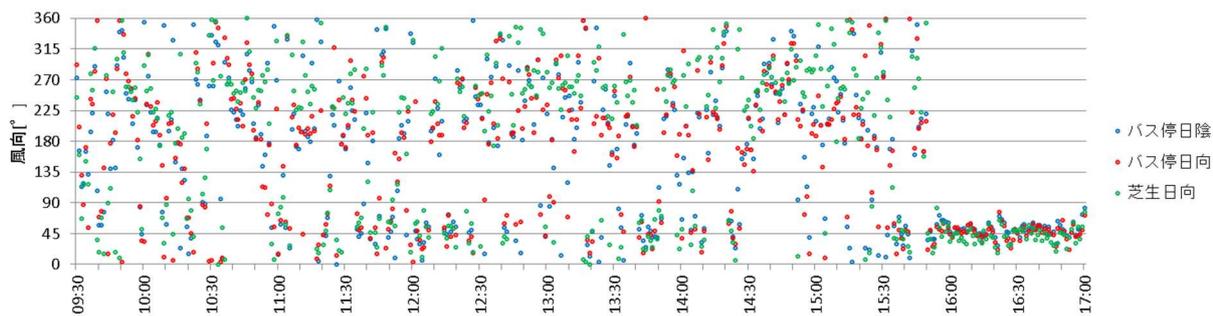


図 7.9 風向の日変化 (8/6)

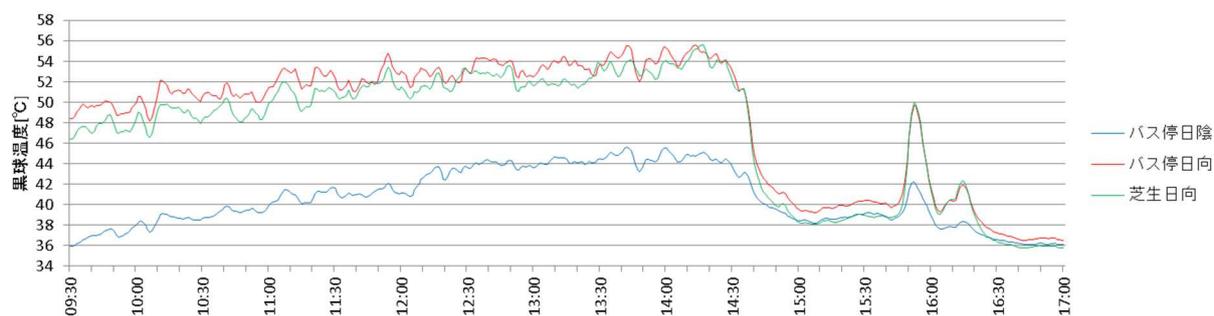


図 7.10 黒球温度の日変化 (8/6)

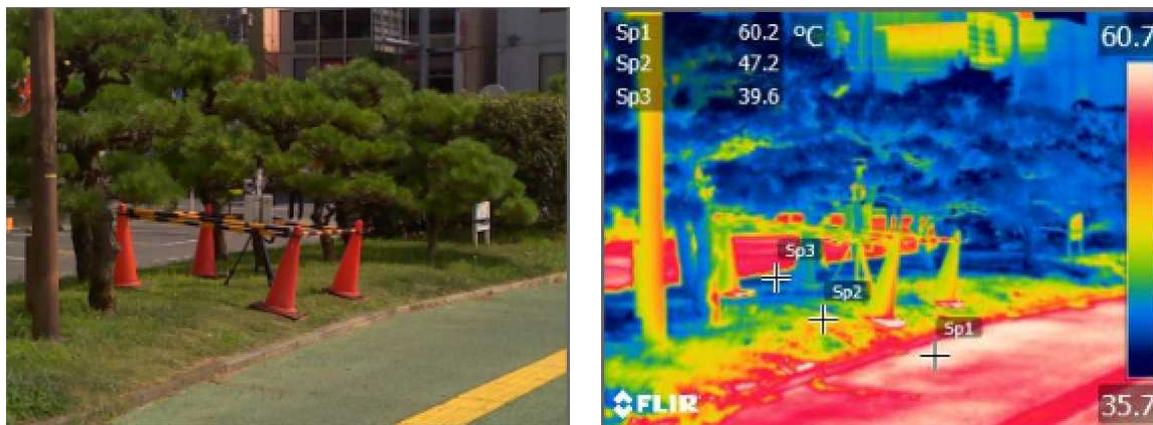


図 7.11 対策実施場所周辺の表面温度分布 (8/6 14 : 02、気温 37.3°C)

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

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

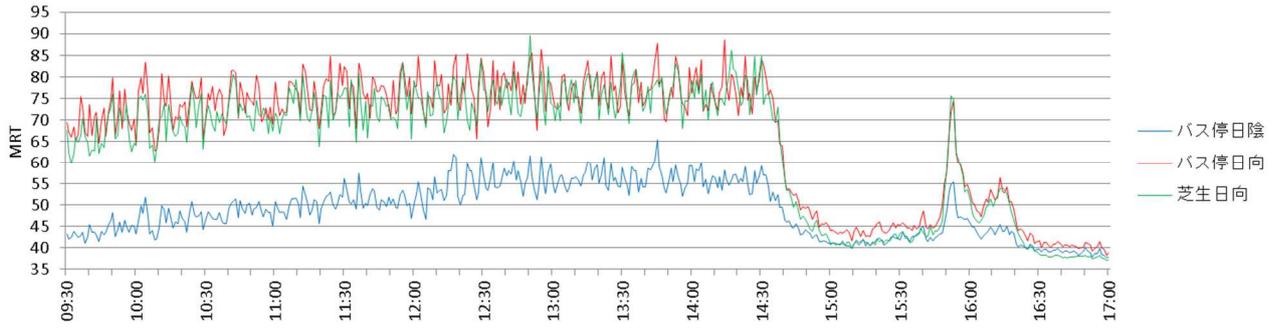


図 7.12 MRT の日変化 (8/6)

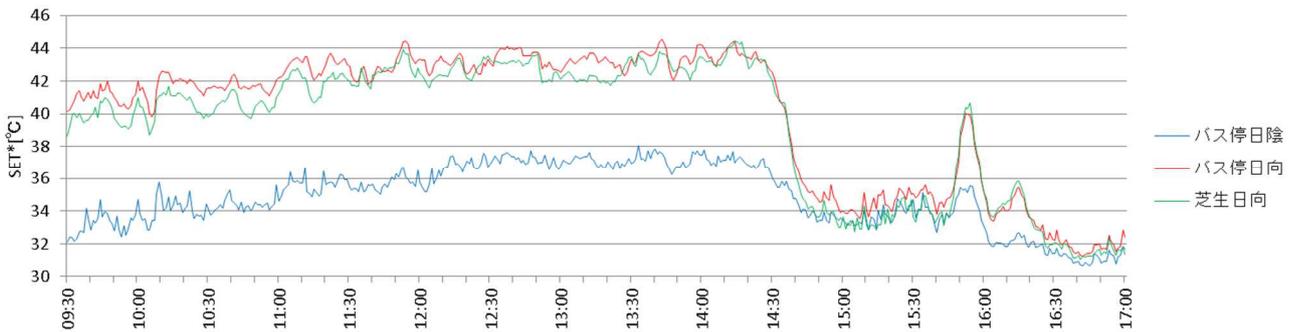


図 7.13 SET*の日変化 (8/6)

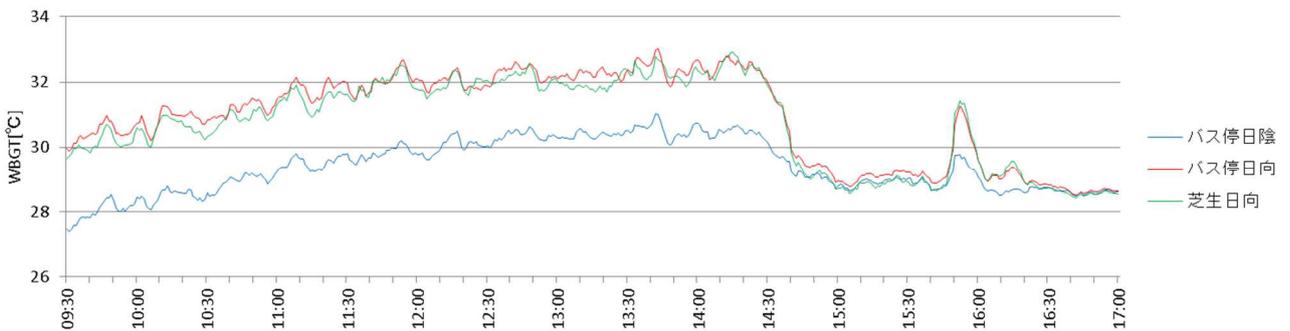


図 7.14 WBGT の日変化 (8/6)

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。

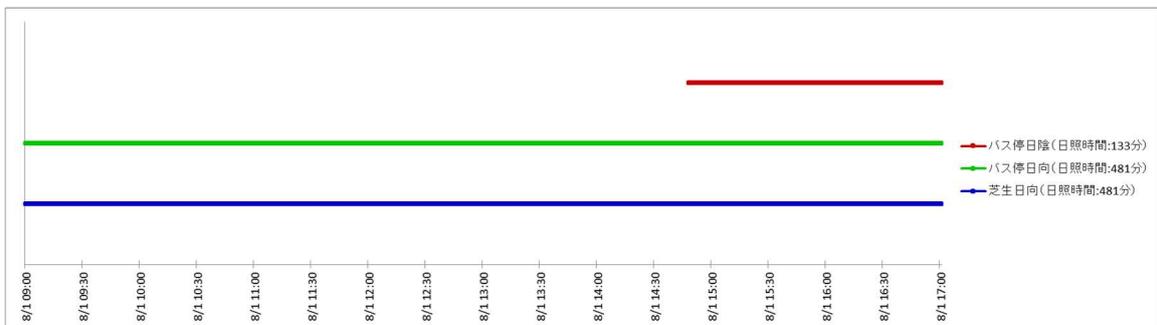


図 7.15 8月1日の日照時間 (実線部分が日が当たっている時間)

7.4.2 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：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）

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。

7.5 技術の選定と効果予測

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



図 7.16 暑熱対策技術導入場所（赤枠部分）

7.5.1 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³を活用した技術を導入することを検討した。

³ 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。

7.5.2 対策技術の選定

①昼間の日射遮蔽と、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 7.17 光触媒加工が施された遮熱性膜⁴（天井面の日除けとして検討）

②側面と路面に水を活用した冷却材

座面を冷やす冷却ベンチ（2. 2.1.1 参照）を設置し、体を直接的に冷やすことを目指す。また、直接水に触れることができる水景施設（足水・手水鉢）（2. 2.1.7 参照）、冷却ルーバー（2. 2.1.3 参照）を用いて椅子を囲むように設置、路面には保水性ブロック（2. 2.1.2 参照）を敷設し、熱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 7.18 に示す。

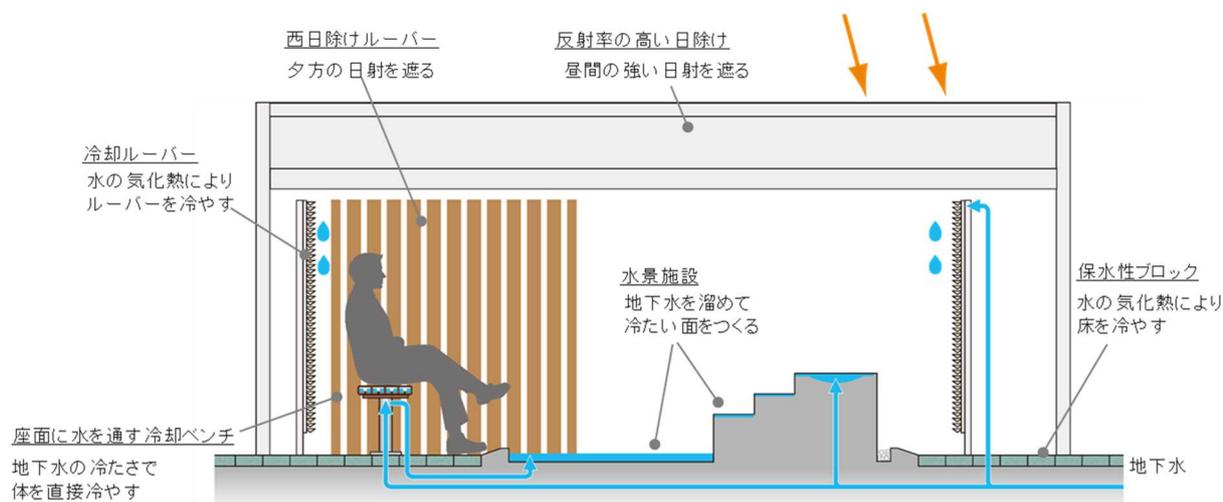


図 7.18 対策イメージ

7.5.3 効果の予測

導入予定技術の効果を実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

⁴ 写真は 2015 年夏の暑さ対策展 展示物

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、7.4 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、7.4 で得られた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。

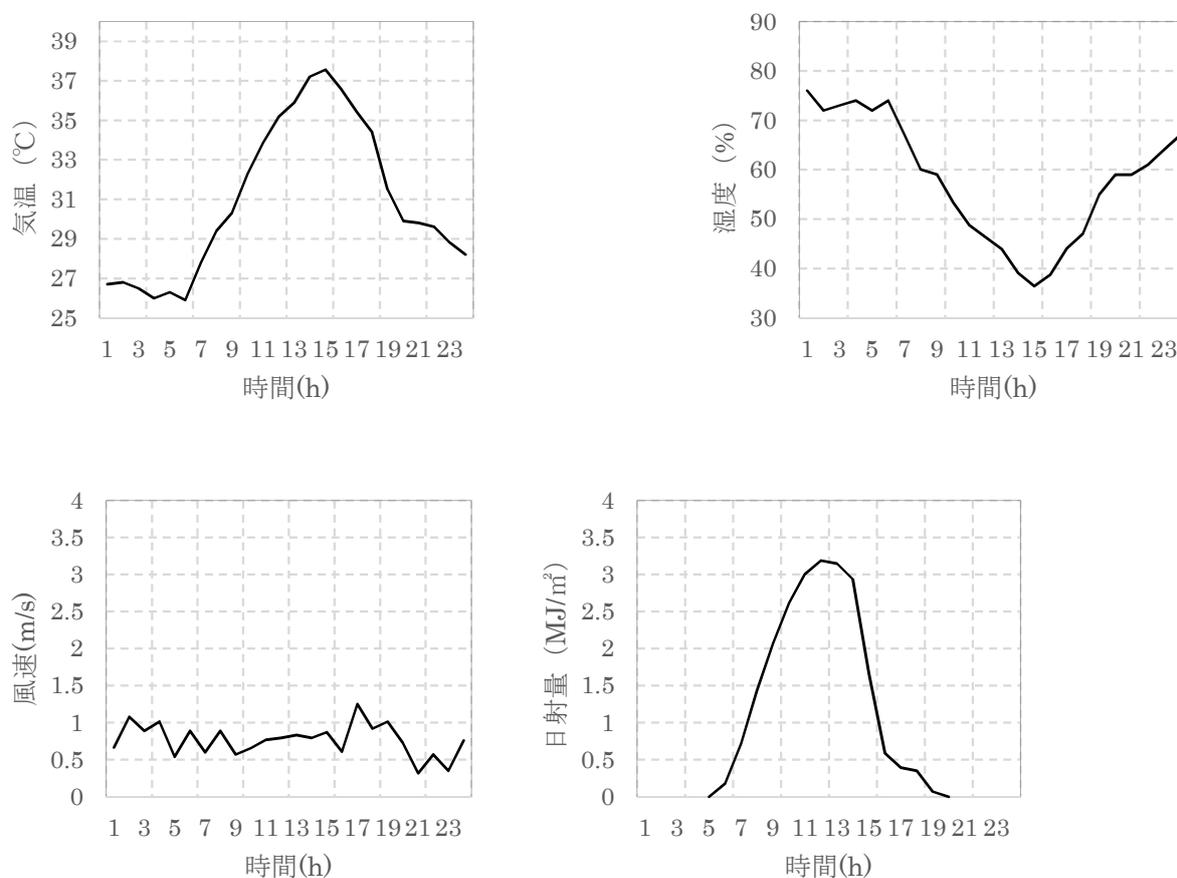


図 7.19 シミュレーションに入力した気象データ

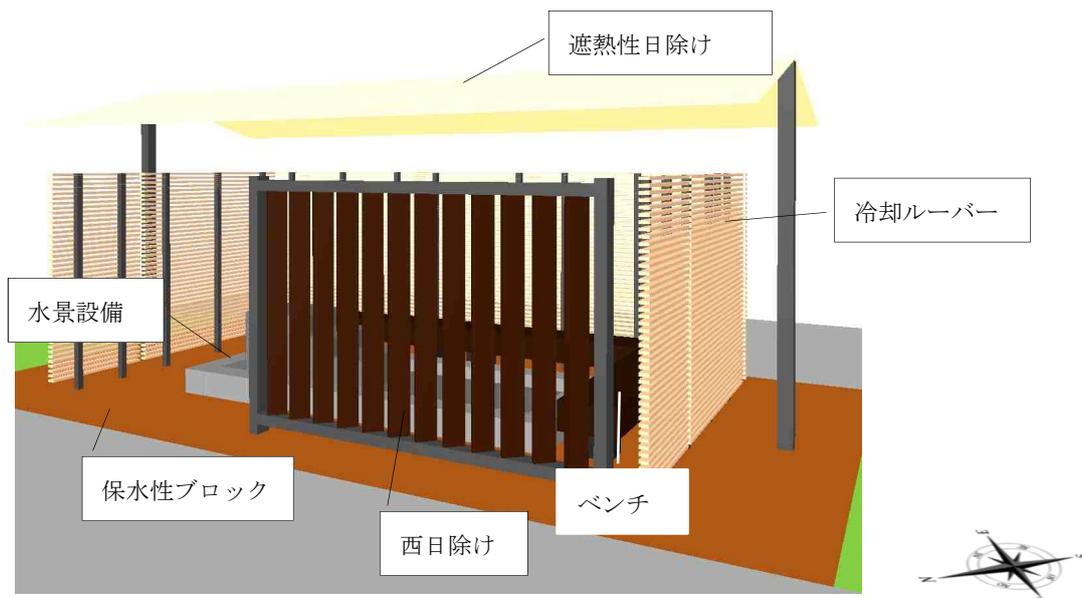


図 7.20 作成した 3D モデル

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 7.3%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。冷却ルーバーと水景施設については、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6日の正午時点で、気温 35.2°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 60°C近くなり気温よりも 25°C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ものに囲まれる。

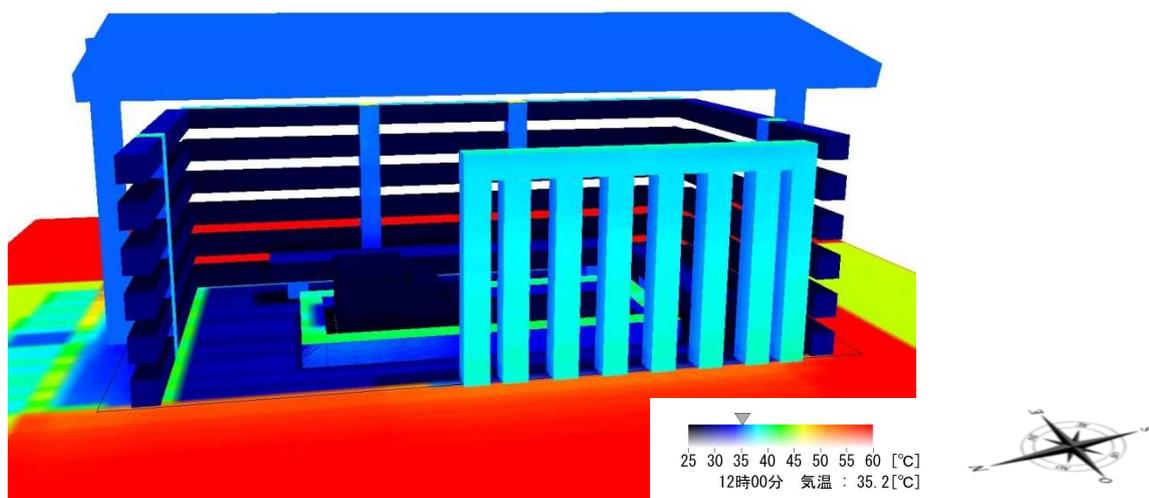


図 7.21 12 時の表面温度分布の計算結果

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 7.23 に 12 時時点 (気温 35.2℃、相対湿度 46.3%、風速 0.8m/s) で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℃前後の効果が予測される。

また、図 7.24 に経時変化を示した。日中は日向に比べ対策により 15℃~27℃程度の MRT 低減効果がみられ夕方 15 時すぎからは気温よりも低い温度に低下することがわかる。

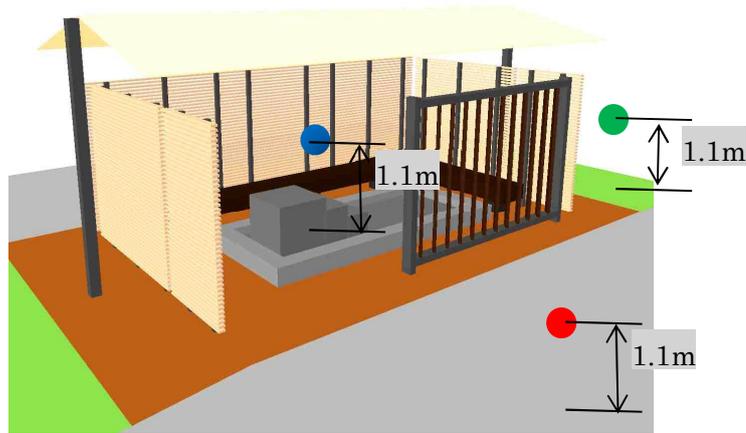


図 7.22 MRT 算出地点

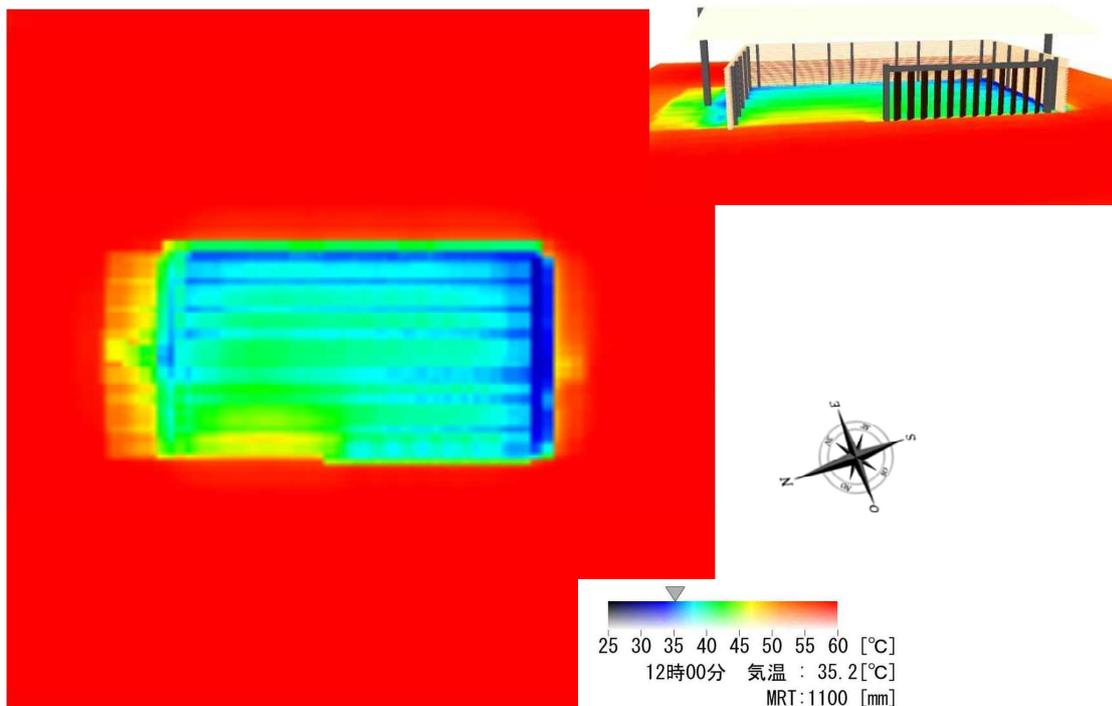


図 7.23 12時の MRT の面的分布の計算結果

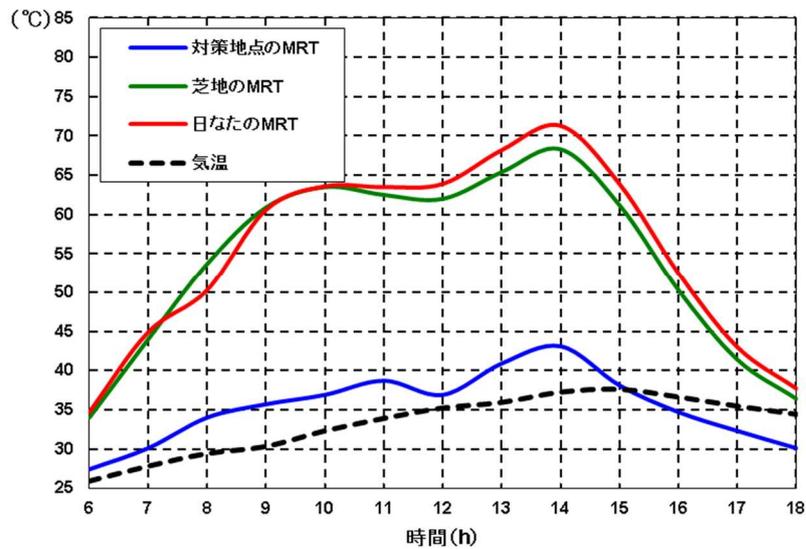


図 7.24 MRT の経時変化計算結果

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。7.4 で用いた値と同じく体重 62kg、体表面積 1.62 m²、着衣量 0.43clo、代謝量 58.2W/m²、外部仕事量 0W/m²として計算したところ、日向では 43.1℃である一方、対策により 34.5℃となり体感としては、マイナス 8.6℃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。

ただし、冷却ベンチや水景設備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。

7.6 技術の導入

7.6.1 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 7.25、図 7.26 に示す。

1) 地下水の利用に関して

① 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℃）して、手水・足水、冷却椅子、冷却ルーバーに供給するよう設計した。

② 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

③ 冷水の流水面

水景施設の設計で地下水の流水面をできるだけ多く確保するよう設計した。

④ 水深の浅い足水

少ない水量で水流を確保できるように水深を浅く設計した。

⑤ 冷却椅子

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設計とした。

⑥ 冷却ルーバー

3 方向を囲い、合計で 20 m²を確保する設計とした。

⑦ 保水性ブロック

全面に保水性ブロックを敷設する設計とした。

3) 日除けに関して

⑧ 建築物とならない日除け

期間限定で小規模な布製の巻上げ構造であり、夜間は閉じることとしたことで、建築物には該当しないと判断された。

⑨ 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。

⑩ 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。

⑪ 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設計した。

4) 電気の利用について

⑫ 隣接する市庁舎から電線引込を行った。

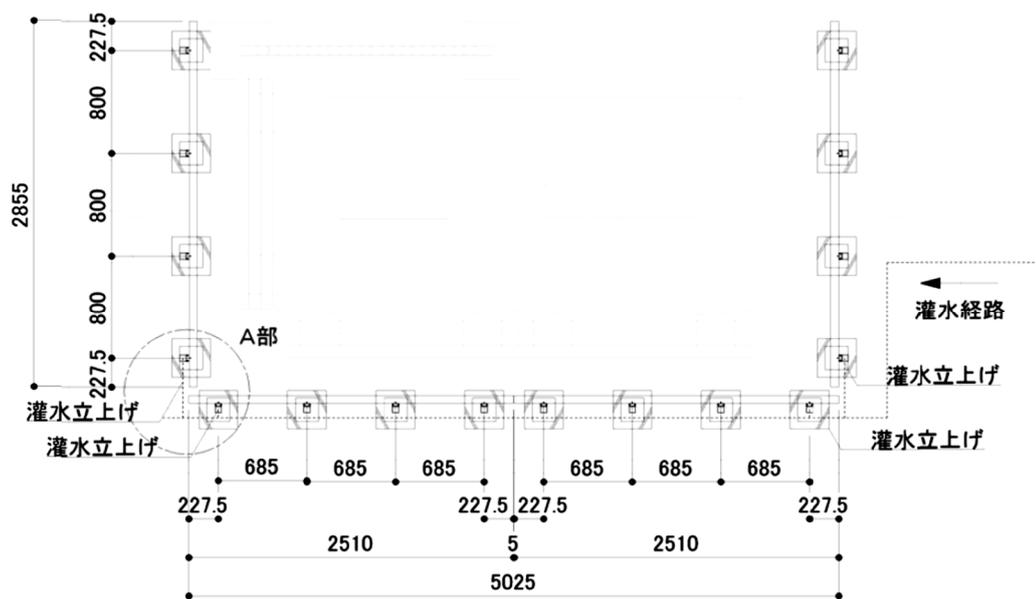
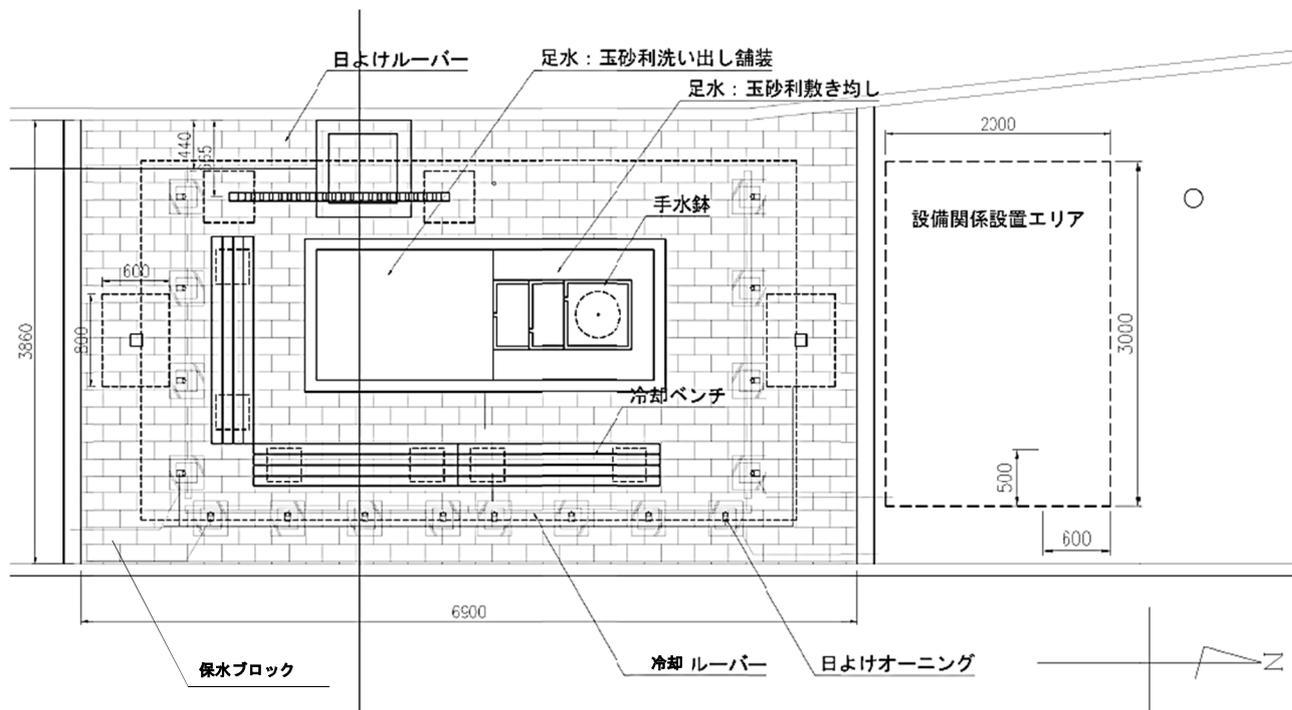
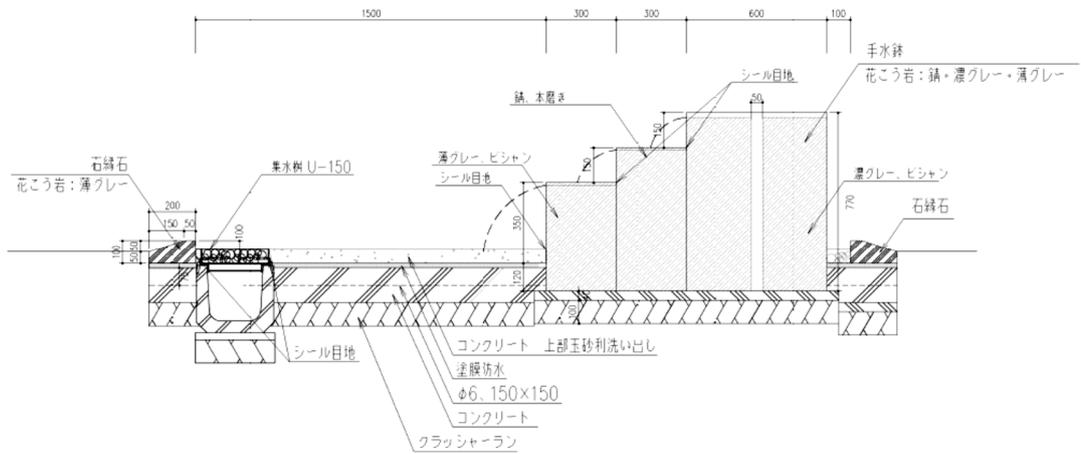
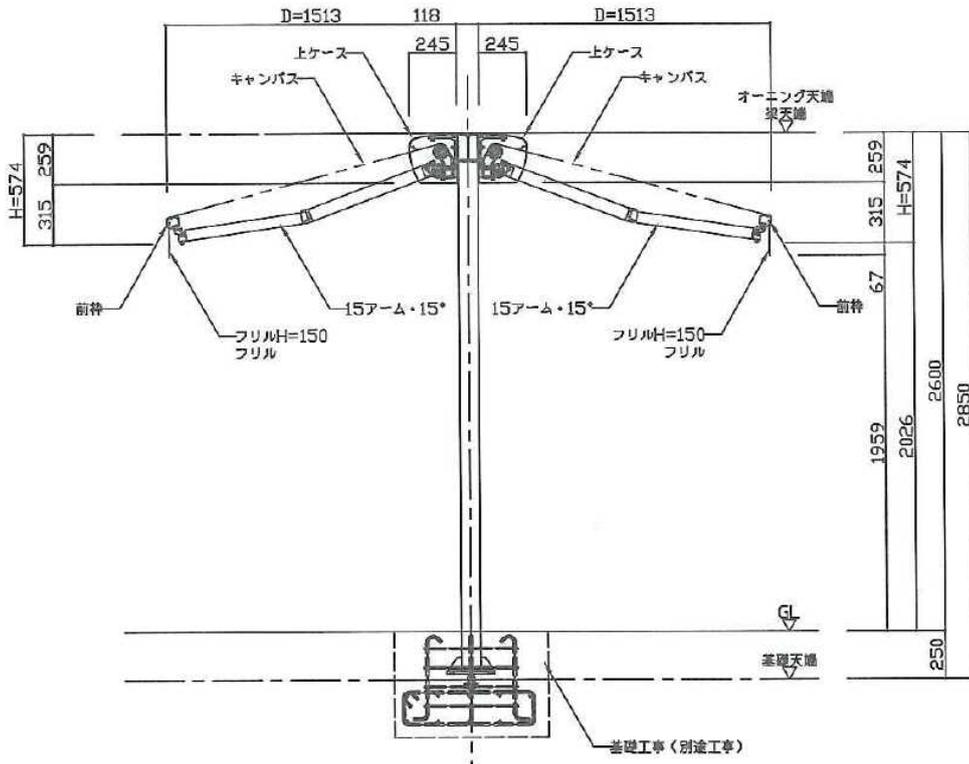


図 7.25 設計平面図 (上：全体、下：冷却ルーバー)



立面図 S=1:20

図 7.26 設計立面図 (上: 遮熱性日除け、下: 水景設備)

7.6.2 設置工程

対策技術は以下の工程で導入した。また、完成写真を図 7.27 に示す。

表 7.2 技術設置工程表

工 種	期		日																																			
	自	至	2月													3月																						
申請許可(着工前)			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		
準備工			■	■																																		
樹木移植、造成工			■	■	■																																	
井戸設置工						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																							
電気、排水設備工																				■	■																■	■
水景システム工																						■			■				■									
手水鉢・足水工																			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				■		
日除け、ルーバーフェンス工																				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
水冷ベンチ工																																						
保水性舗装工																																				■	■	
後片付け																																					■	■



図 7.27 完成写真

7.7 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。

7.7.1 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。

- ・ 5 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。
- ・ 平日のみの稼働とする。
- ・ 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・冷却椅子・水景設備への給水は 9 時から 17 時の間常時行うが、給水量は、冷却椅子の温度、冷却ルーバーの保水程度を確認しながら調整を行う。
- ・ 保水ブロックへの散水は市へ協力をお願いをする
- ・ 使用水量は流量計によりデータを回収し把握する。

7.7.2 平成 28 年度対策効果測定方針

1) 夏季集中測定

夏季晴天の代表的な気象条件において測定を行い、暑熱環境改善効果を把握する。SET*の低減効果を評価する温熱 4 要素測定と、冷却椅子の効果含めた評価をする人体生理反応調査及び人体熱収支測定等を実施する。

① 温熱 4 要素測定

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

測定パターンとして、対策技術への導水効果を把握するために、給水の有無を変える（表 7.3）。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 7.4 の項目を測定する。

表 7.3 給水条件を変えた測定パターン

給水条件	給水有無（○：あり、×：なし）		
	冷却ルーバー	保水ブロック	水景設備
①	○	○	○
②	×	×	×
③	○	×	○
④	○	×	×
⑤	×	○	○
⑥	×	○	×

表 7.4 平成 28 年度夏季集中測定項目一覧

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

利用者の着座時の熱環境を把握するため、市担当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。基準点は平成 27 年度調査と同様の日向きに置く。

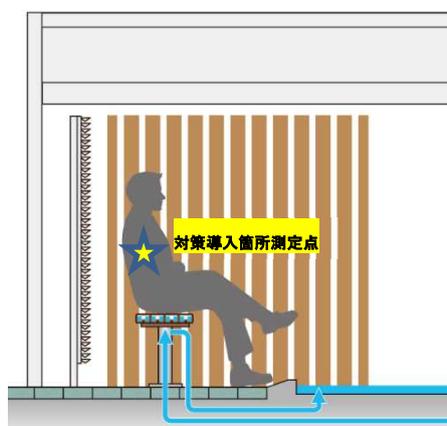


図 7.28 測定点

② 人体生理・心理反応調査及び人体熱収支測定

冷却椅子を含めた効果評価を人体生理・心理反応及び人体熱収支で評価する。

被験者 6 名を 3 グループに各 2 人ずつ振り分ける。始めに空調室である熊谷市庁舎内で安静にし、その後、屋外に出て 5 分間歩行する。その後、技術設置場所を含めた熱環境の異なる 3 パターン（日向、対策実施場所、参考比較点として、仮設テントの下）のベンチに 15 分間着座する。



図 7.29 実験イメージ

表 7.5 実験スケジュール

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

測定項目：椅子の表面温度、被験者の心拍、各滞在箇所の温熱4要素

※ 結果の計算に必要な椅子の熱コンダクタンスは別途測定し算出する。

また、平均皮膚温の測定も別途実施する。(巻末の参考資料5参照)

さらに、CO₂削減量評価の際には、標準気象下での空調空間と対策場所での人体熱負荷を求め、両空間が同質空間となることを確認し、各季節での空調使用回避時間を求め、CO₂削減量を求める。なお、同質空間であることの評価方法について詳細は巻末の参考資料5に述べた。

2) 春季・秋季測定

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

3) 利用者ヒアリング

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