

2. 街路空間等における適応策導入手法と効果の評価に関する調査

2.1 効果的な適応策導入手法の検討

効果的な適応策として、以下の3通りの組み合わせを設計し、その効果を定量化するとともに、今後の活用の方向性や課題等について関係者にヒアリングを実施した。

- ①超親水性冷却不織布による側面冷却技術
- ②膜材等を活用した蓄冷アスファルト技術
- ③歩道の信号待ち場所等におけるクールスポット創出

2.1.1 超親水性冷却不織布による側面冷却技術

1) 適応策の概要

光触媒によって超親水性機能を持たせた不織布を用い、この不織布に吸水させることで不織布表面の水分が蒸発し不織布の表面温度を低下させることができる。この不織布でテント内の側面を覆い、テント内の放射熱を低減させて体感温度を改善させる技術である。



図 2.1 冷却不織布による効果検証実験（左）と体感イベント（右）の様子

2) 適応策の効果

冷却不織布に囲まれた場所の体感温度の改善効果を実測により把握した。効果実験の詳細は参考資料2、体感イベントの結果については「4. 適応策に関する普及啓発 4.2 適応策効果の体験手法の検討」を参照のこととする。

本技術の効果は、主に放射環境の改善によるものであるが、冷却不織布で囲うことで、その場所の気温も低下することが分かった。一方、相対湿度が上昇し、囲うことで風速も低下する。不織布の表面温度は、気温にくらべて5～10℃程度低下した。（表面温度と気温の差は、主に相対湿度の変化に影響され、相対湿度が低いほど不織布の表面温度が低下する。）

体感温度の改善効果は、不織布ケースは日向ケースと比較して WBGT で 2℃、SET* で 4～5℃、日陰ケースと比較して WBGT で 0.5～1℃、SET* で 1℃の低下がみられた。

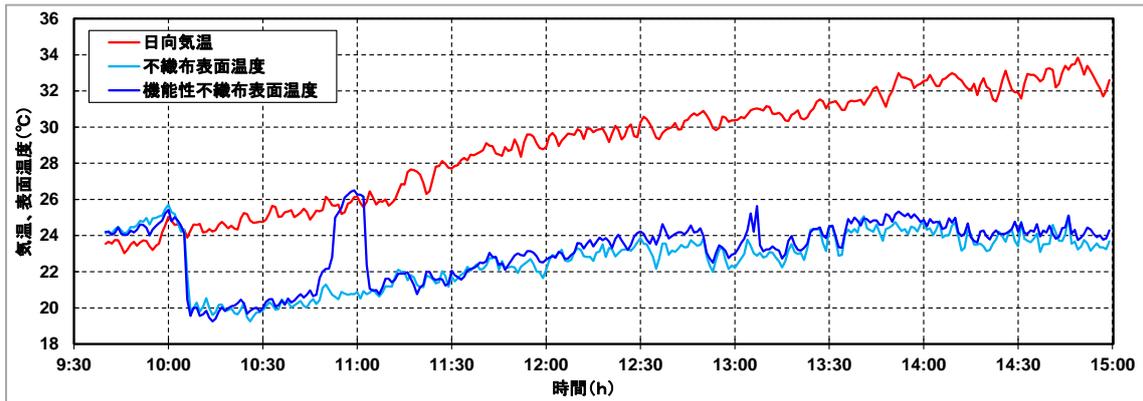


図 2.2 冷却不織布の表面温度

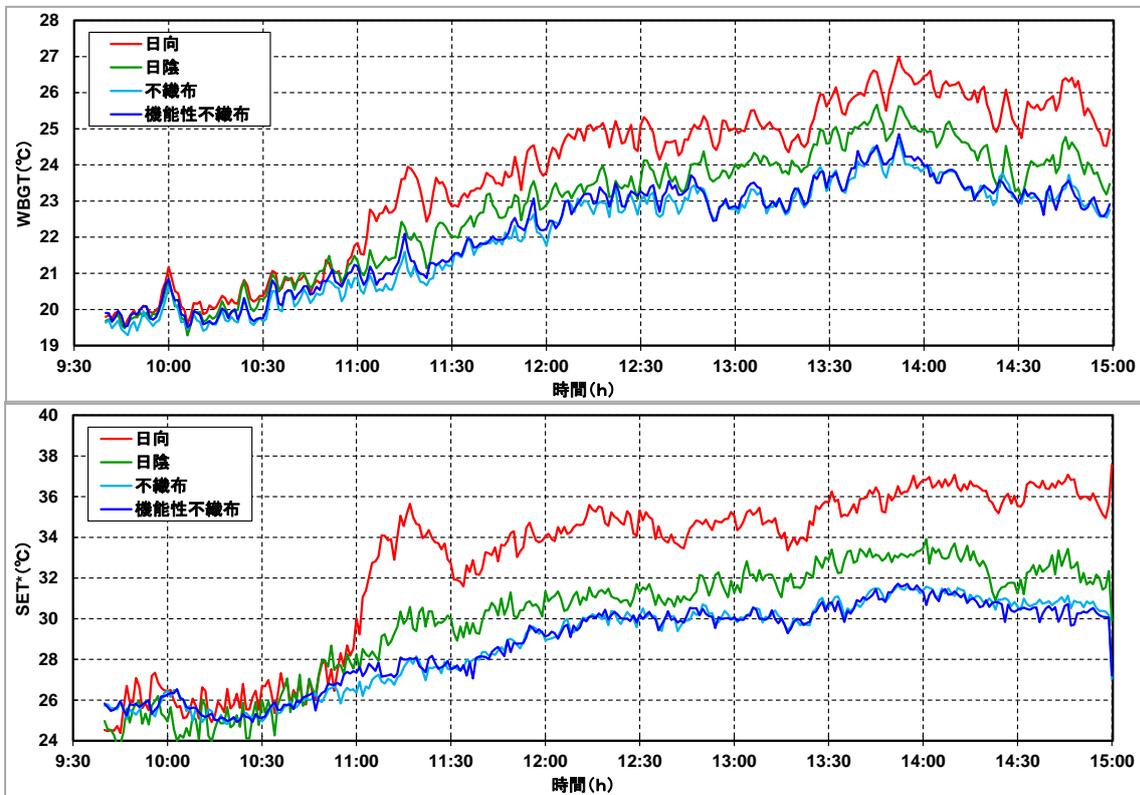


図 2.3 WBGT (上) と SET* (下)

3) 今後の活用の方向性や課題等

今後の活用の可能性や課題等について、スポーツイベントなどの開催機関と冷却不織布、かん水システムの開発事業者に対してヒアリングを実施した。

- ・東京都オリンピック・パラリンピック準備局スポーツ推進部事業推進課
課長補佐 競技スポーツ係長 山中太一氏
- ・株式会社イーエス・ウォーターネット 技術部 営業部
- ・日本バイリーン株式会社 研究開発部

①スポーツイベントでの活用について

- ・暑い時期に開催するスポーツイベントでは、熱中症対策が重要となっている。
- ・これまで利用したことのない技術であるので、まずは試験的に導入してみてから、その後の導入拡大を検討していきたい。
- ・試験的に導入する場合、救護用のテントが考えられる。
- ・救護用テントはテント内にベッドを置くため、外部からの視線を遮蔽するため四方を白膜で覆っており、風通しが悪く、テント内はかなり暑くなる。
- ・救護用テントを囲っている膜を冷却不織布にすることで、目隠しとテント内の温熱環境の改善を図ることができる。

②冷却不織布への効果的な給水方法について

- ・効率的に不織布に給水するため、給水量をコントロールできる装置を採用する必要がある。
- ・不織布表面に均一に拡散させるためには給水穴の間隔を狭くして多数つける方が良いが、不織布への必要な給水量は少なく、一定量で給水し続けると過剰な水量となってしまふ。そのため、給水タイマーを使って、給水時間を管理する必要がある。
- ・給水穴の間隔について、均等に不織布を濡らすためにどの程度の間隔で必要になるのか、実際の不織布を用いて実験する必要がある。
- ・救護テントとして活用する場合には、外からの視線を遮るように不織布を並べる必要がある。並べ方も複数あるが、あくまで仮設のテント等への設置を念頭に置いており、装置が複雑にならないように工夫する必要がある。

2.1.2 膜材等を活用した蓄冷アスファルト技術

1) 適応策の概要

アスファルト舗装面は、日中に高温化し夜間まで蓄熱するため、ヒートアイランド現象を助長する要因となっている。しかし、熱をよく吸収し熱容量が大きいという特性を逆に利用することで、都市の冷却源となる可能性も考えられる。アスファルト舗装面に当たる日中の日射を膜材やアルミシートで遮蔽して受熱量を可能な限り低減させ、夜間には膜材等を開放して放射冷却を促進したり、打ち水を実施することでアスファルトに蓄冷していく技術である。

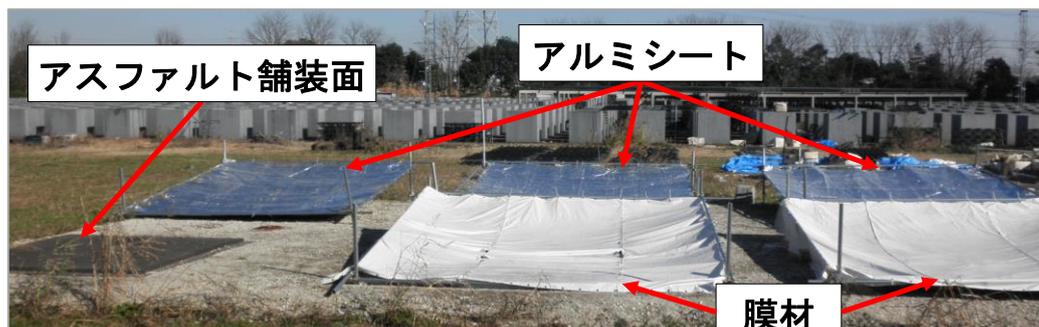
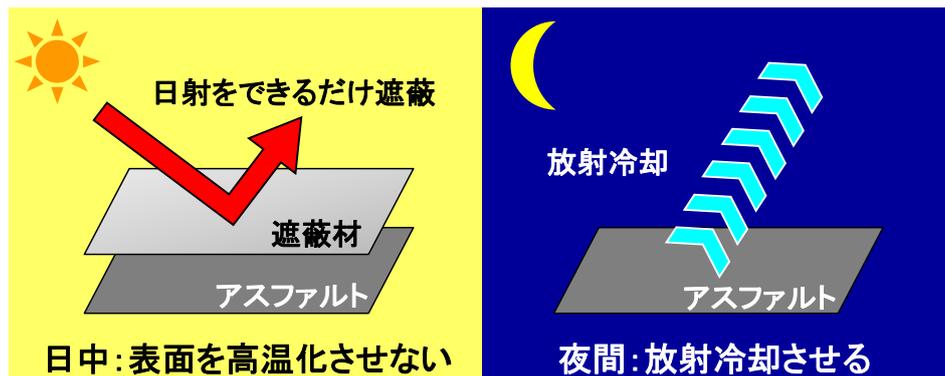


図 2.4 効果検証実験の様子

2) 適応策の効果

3 m × 3 m のアスファルトに 4 m × 4 m の遮蔽材を用いて日中は日射を遮蔽し、夜間は遮蔽材を開放することで放射冷却をさせた。用いた膜材は、白いターポリン（アスファルト面への日射遮蔽率 91%）とアルミシート（同 97%）で、比較対照として終日遮蔽するケースと、日の入り時に打ち水を行うケースも実施した。以下の効果については、蝦名、成田ら（2014）¹を参照した。

盛夏には天候不順であったため 9 月下旬のデータではあるが、日射を受けて 50℃ 程度になるアスファルト表面が、日中に日射を遮蔽することで、気温相当もしくは気温より 5℃ 程度低下させることが分かった。特に、日中は日射遮蔽率の高いアルミシートでの効果が大きく、夜間に開放することでアスファルト温度の低下が促進されることが分かった。また、気温を基準としたアスファルトの蓄熱量の推移を見ると、日中に日射遮蔽率の高いアルミシートで日射を遮

¹ 蝦名聖二、成田健一ら「アスファルト舗装面における蓄冷実験」、第 11 回環境情報科学ポスターセッション、2014 年 12 月

蔽し、夜間は開放し放射冷却を促進させることで、前日の蓄冷分が翌日まで残存し終日蓄冷状態となる可能性があることが指摘されている。

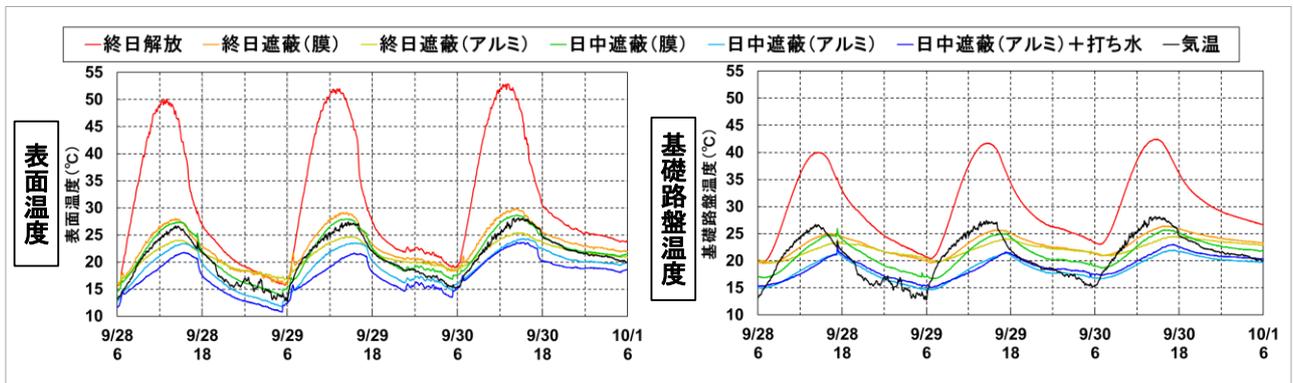


図 2.5 アスファルト表面 (左) と基礎路盤 (右) の温度の推移

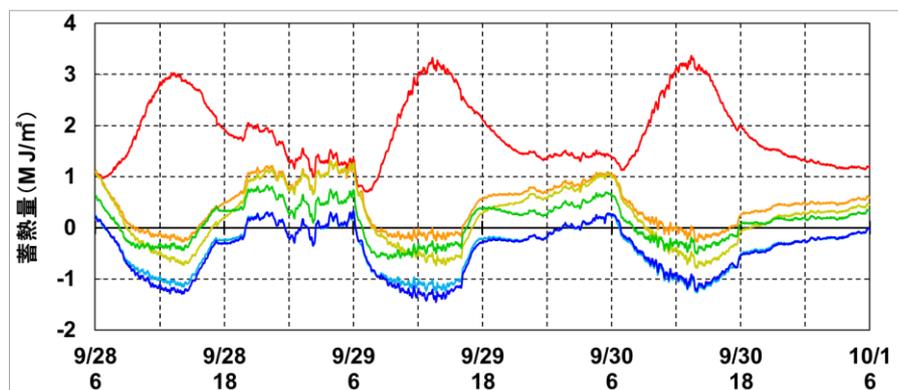


図 2.6 気温を基準としたアスファルトの蓄熱量の推移

3) 今後の活用の方向性や課題等

今後の活用の可能性や課題等について、実験を主導いただいた研究者と膜構造の開発事業者に対してヒアリングを実施した。

日本工業大学建築学科 教授 成田健一 氏 (実験の実施者)

太陽工業株式会社 研究開発本部 (膜構造物の設置事業者)

①開閉式の膜構造物について

開閉式の膜構造物は、スタジアムなどで多く使われるようになっており、主に芝生育成のための日射の取込みと降雨時等の雨除け等を両立するための手段として活用されている。

開閉式膜構造は、他の建築物と同様に、地震、風、雪などに対する荷重基準を満たす必要がある。しかし、開閉式の場合は、気象条件等に応じて機械式で開閉させるため、機械の故障等が建築構造設計に影響を及ぼし、設計の責任の所在があいまいになりがちである。そのため、既存の開閉式膜構造は、制御システムや災害時(台風など)の対応を含め国土交通省の許認可を得ており、関係機関との調整や設計等、ハードルが高い。

②実験における今後の検討項目について

膜構造の開閉は課題が多く、終日遮蔽する方法でできるだけアスファルトを冷やす方法を検討することが有効である。アルミシートで終日遮蔽した場合に、ターポリンテントで遮蔽した場合よりも夜間のアスファルト表面温度が低下しにくくなっていた。これはアルミの放射率が低く、夜間の放射冷却を妨げたことが要因と考えられたが、終日遮蔽しても夜間の放射冷却を促進できるような膜材の検討が必要である。

また、打ち水についても効果が確認されたが、今後、水量、水の撒き方、撒く時間などによる効果の違いを検証する必要がある。さらに、路面に藻類などが発生しないような手法についても合わせて検討する必要がある。

2.1.3 歩道の信号待ち場所等におけるクールスポット創出

1) 適応策の概要

熊谷市暑さ対策プロジェクトチームの提案による「藤の parasol 事業」(以下参照)を対象として、追加的な適応策の実施を検討した。

藤の parasol 事業について

藤が作り出す夏季の緑陰と、藤花による初夏の美観により、熊谷の夏を涼しくします。駅周辺には日陰を作るような街路樹が少なく、信号待ちの間などに直射日光を遮る場所がありませんでした。そこで、平成26年秋に、熊谷駅前通りの歩道3箇所に藤棚の設置と藤の苗木の植樹を行います。藤が成長し、日陰を作るまでには2~3年を見込んでいます。

藤棚の設置場所

- ・みずほ銀行熊谷支店前付近
- ・漆原自転車預かり所、エコメガネ店前付近
- ・埼玉りそな銀行熊谷支店前(星川通り側)付近

【設置イメージ】



引用) 熊谷市ホームページ

信号待ちなど、人が滞留する場所での適応策の実施は、その効果を体感しやすいと考えられる。そこで藤棚を基本として、熱環境の改善効果を数値計算で把握しながらさらなる改善につながる適応策技術を検討した。

検討した適応策技術は、路面の保水化、車道との境界面への冷却ルーバーの設置である(図2.7)。

適応策技術のケースを表2.1に示す。

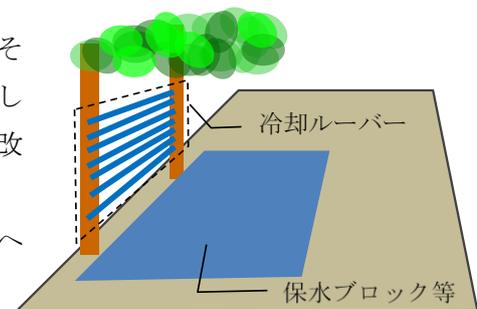


図2.7 信号待ち場所の適応策

表2.1 検討した適応策技術ケース

ケース	内容
現状ケース	一般的な歩道を再現。暑さ対策をしないケース。
藤棚ケース	歩道に藤棚を設置したケース。
藤棚 +路面の保水化ケース	藤棚設置に加え、藤棚下の路面を保水化したケース。
藤棚 +冷却ルーバー設置ケース	藤棚設置に加え、藤棚付近の車道と歩道の間冷却ルーバーを設置したケース。
藤棚 +路面の保水化 +冷却ルーバー設置ケース	藤棚と路面の保水化、冷却ルーバー設置のすべてを実施したケース。

2) 効果予測手法

適応策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。道路や建物を CAD ソフトウェア (Vectorworks 2013 : Nemetschek 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や、熊谷気象台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

建物データについては、熊谷駅北口の一部、約 60m×60m (みずほ銀行熊谷支店前付近) を計算領域とし (図 2.8)、道路や敷地、建物の 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 (建物部材、土地被覆など) について ThermoRender のデータベースから適切な「部位仕様 (材料、断面仕様など)」を設定した。

気象データについては、熊谷気象台における過去 5 年間 (2009 年～2013 年) の気象データから、8 月に 1 日中降水のない晴れの日 (日照時間が 40% 以上の日) を抽出し、気温・湿度・風向・風速の 4 成分について時間毎の平均値を求め設定した (図 2.9)。

条件に該当するデータは、過去 5 年間のうち 86 日間であった。



図 2.8 計算領域

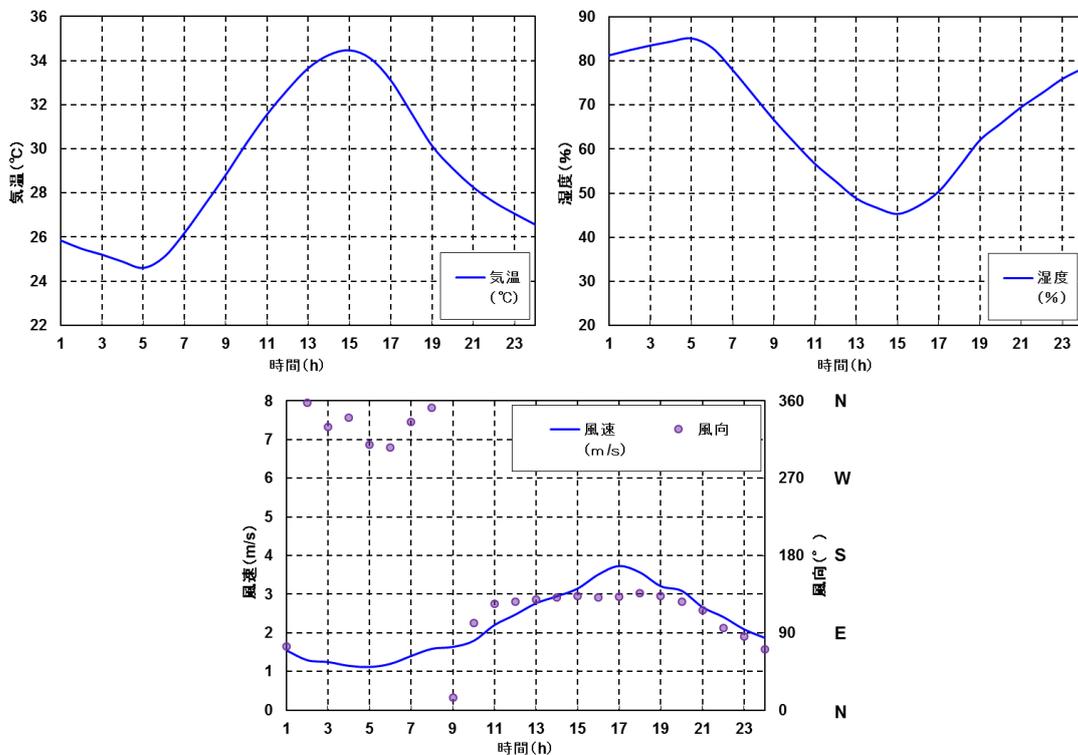


図 2.9 シミュレーションに入力した気象データ

②各パラメータ等の設定

藤棚の大きさは、実際に設置するサイズ（幅4m×高さ3.5m×奥行2m）を設定した。日射透過率については、先行研究²における報告を参考に5%とした。

保水ブロックについては、人通りの少ない朝5時～6時に打ち水を行い、徐々に水分が蒸発するように設定をした。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をした。

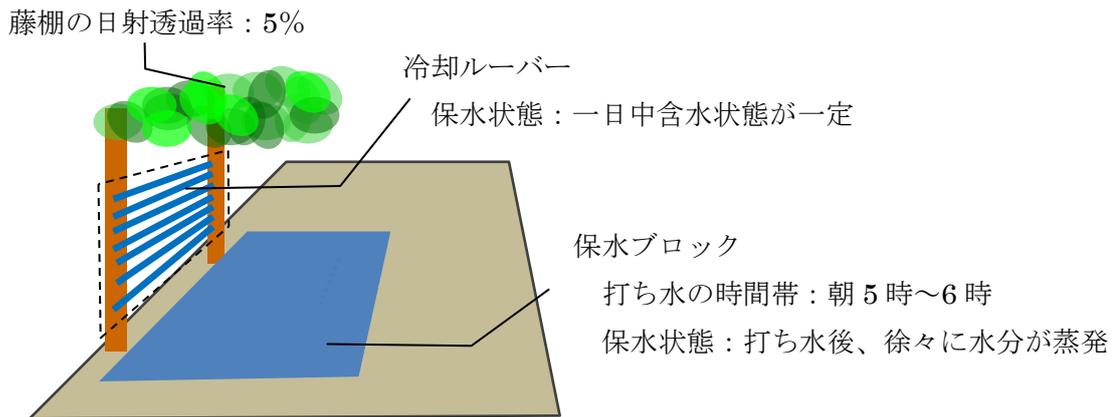


図 2.10 適応策技術のシミュレーションにおける設定

² 太田垣亮, 日置佳之 藤棚の緑陰を用いた駐車場の熱環境改善効果の評価

③各シミュレーションケースの3Dモデル

図 2.11 にモデルを歩行者の視点から見た状況を示す。

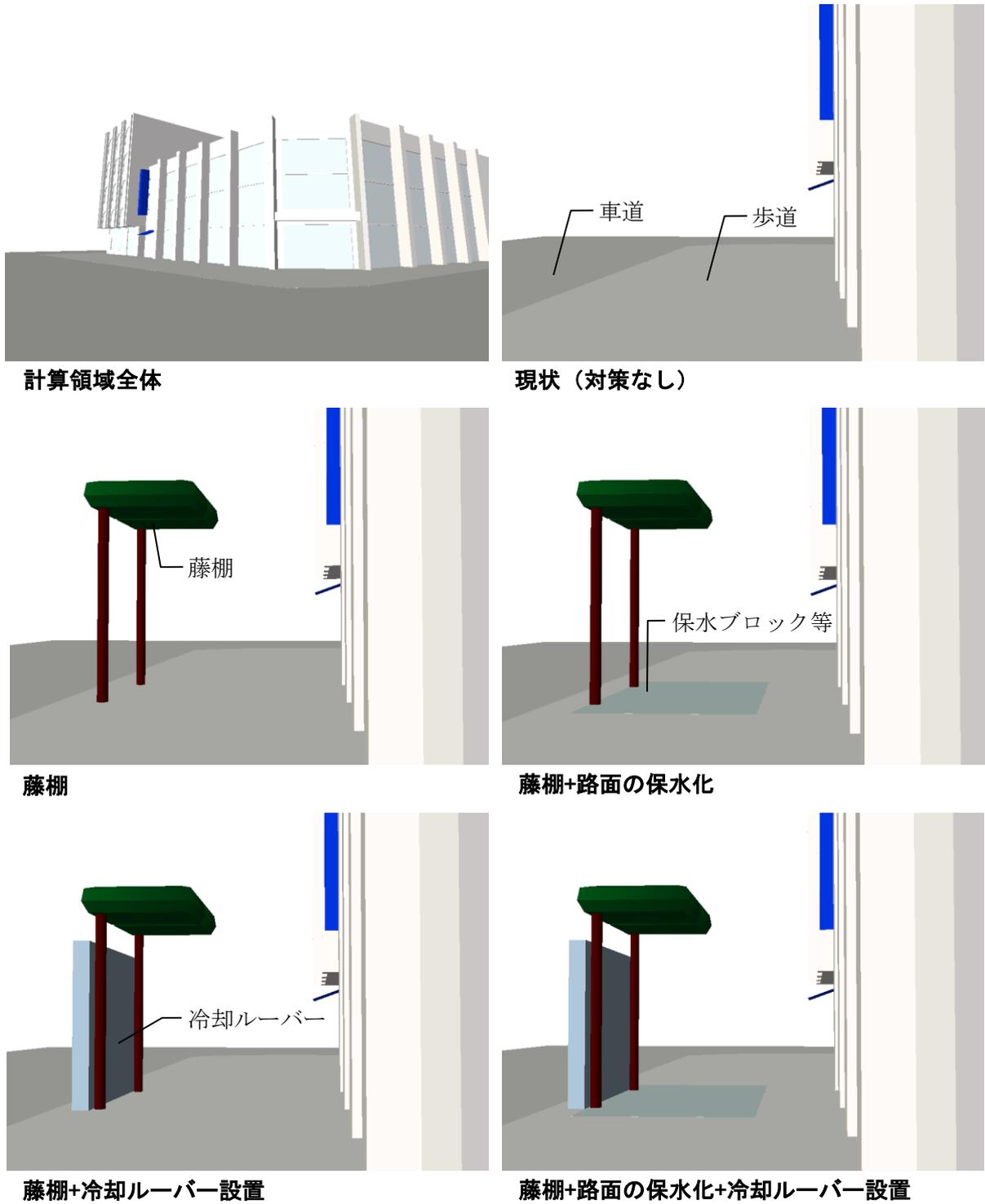


図 2.11 3Dモデル（地上高 1.6m の視点）

3) 計算結果

①表面温度

図 2.12 に気温が 33.7℃となる 8月 15 日 13 時の時点の表面温度分布を示す。対策を実施しない歩道の表面温度は、48.3℃と気温よりも 15℃程度高くなっていた。藤棚を設置した場合、歩道の表面温度は 33.2℃と気温を下回る。藤棚と他の対策を組みわせると、冷却ルーバー設置による歩道の表面温度への影響は小さい。一方、路面の保水化による表面温度への影響は大きく、藤棚のみ設置した場合よりも 5℃程度低くなる。

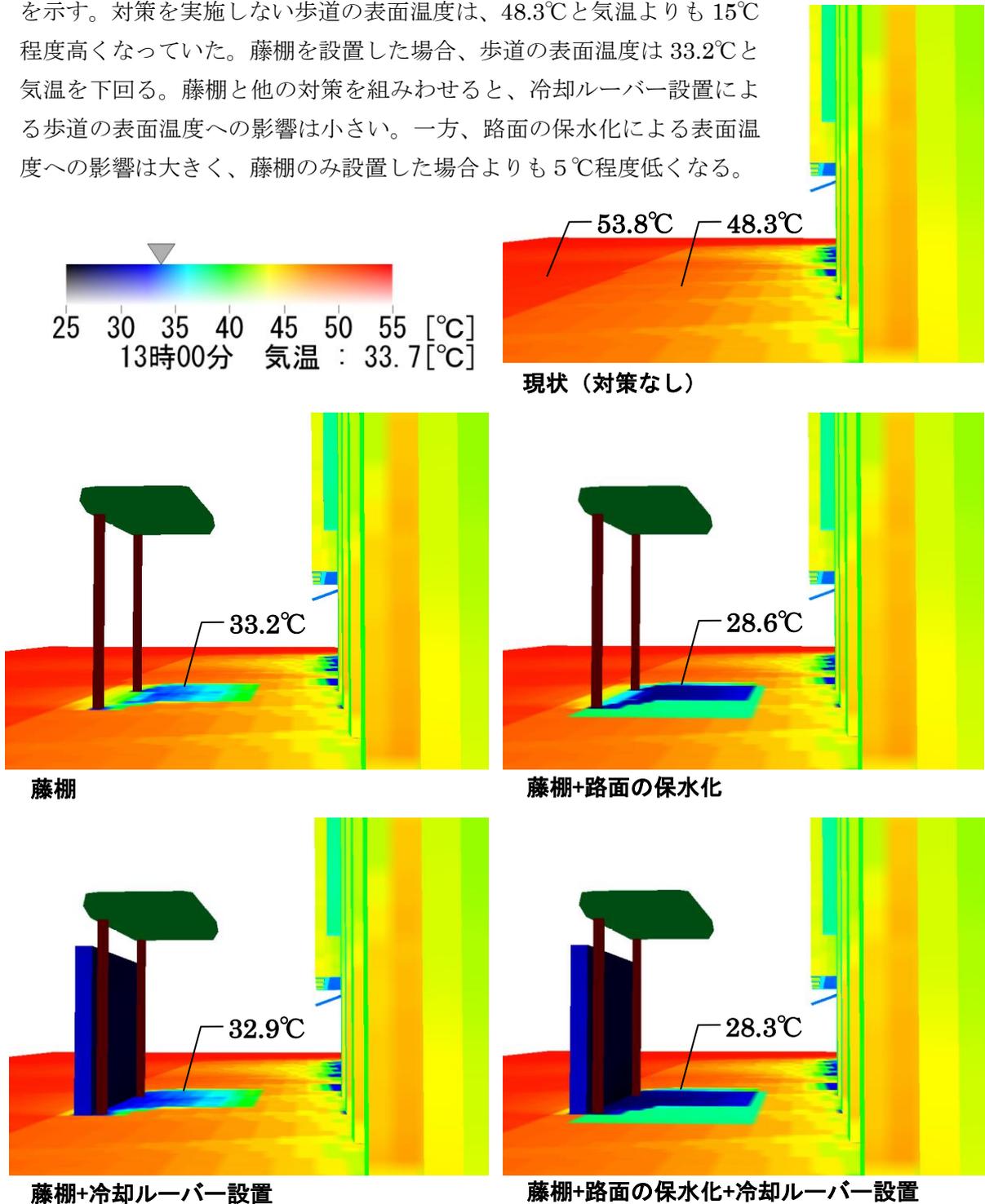


図 2.12 13 時の表面温度分布 (地上高 1.6m の視点)

図 2.13 に各ケースにおける表面温度の経時変化を示す。全ての対策を組み合わせたケースは、藤棚下に日が入ることで 11 時頃に一度表面温度が上昇してはいるが、それ以降は気温よりも低く推移している。また、冷却ルーバーの設置により、13 時過ぎに入ってくるはずの西日を防ぐことで、表面温度の上昇が抑制されている。

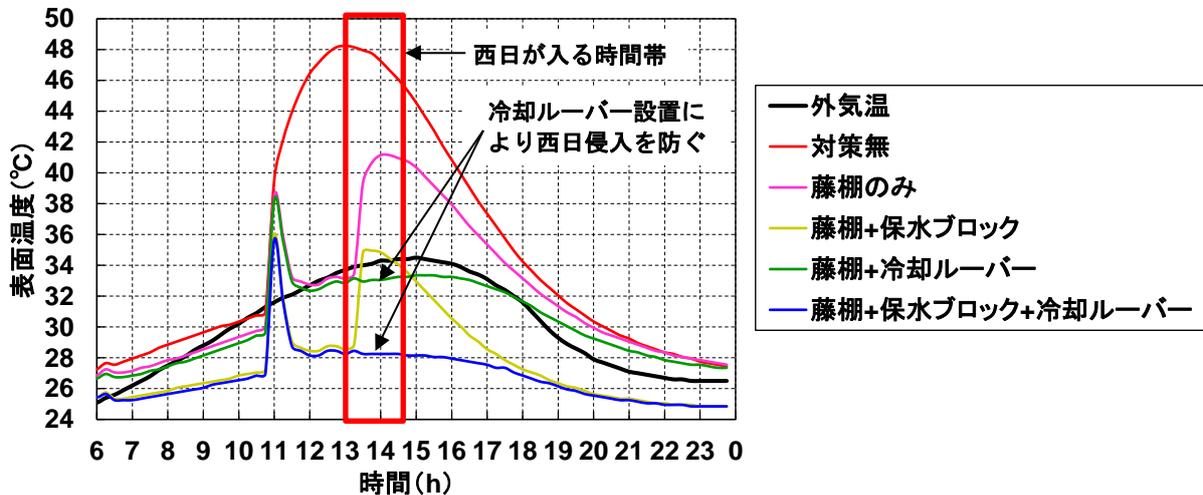


図 2.13 各ケースにおける表面温度の経時変化

②MRT (平均放射温度)

地上高 1.2m 地点 (大人) と地上高 0.7m 地点 (子供) における 13 時の平均放射温度をそれぞれ求めた (図 2.14)。結果を表 2.2、図 2.15 に示す。

対策を実施しないケースの MRT は 50°C 以上と、気温よりも 20°C 程度も高くなっているが、藤棚を設置することで 10°C 程度の MRT 低減効果がみられる。また、路面の保水化、冷却ルーバーの設置を組み合わせることで、気温よりも低下することがわかる。

表 2.2 各ケースの MRT

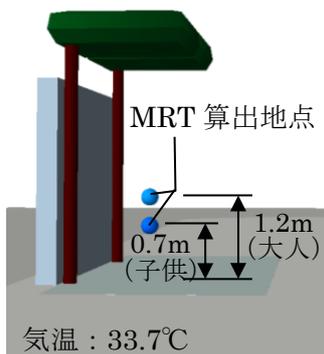


図 2.14 MRT 算出地点 (2 箇所)

ケース名	MRT (°C)	
	地上高1.2m(大人)	地上高0.7m(子供)
現状(対策なし)	53.1	54.3
藤棚	41.1	40.9
藤棚+路面の保水化	40.2	39.5
藤棚+冷却ルーバー設置	35.8	35.5
藤棚+路面の保水化+冷却ルーバー設置	33.7	33.0

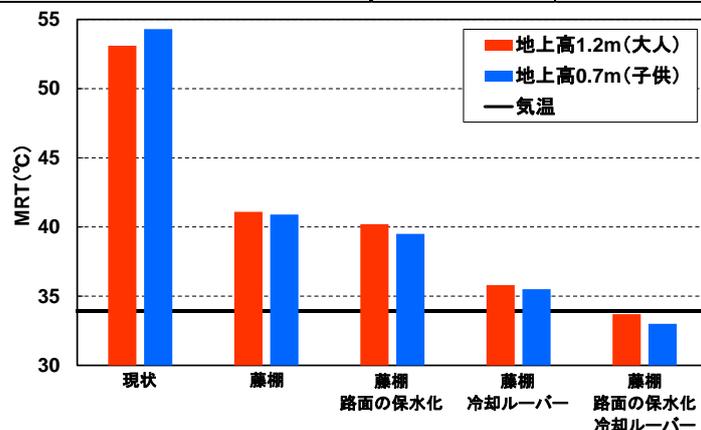


図 2.15 各ケースの MRT

③体感温度

・湿球黒球温度 (WBGT)

表 2.3、図 2.16 に熱中症予防のための暑さ指標として使われている WBGT の算出結果を示す。藤棚のみのケースは、日常生活における熱中症予防指針の嚴重警戒レベルを超えている (表 2.4)。しかしながら、藤棚と冷却ルーバーの設置を組み合わせることで、警戒レベルまで緩和している。

表 2.3 各ケースの WBGT

ケース名	WBGT(°C)	
	地上高1.2m(大人)	地上高0.7m(子供)
現状(対策なし)	29.1	29.2
藤棚	28.2	28.2
藤棚+路面の保水化	28.1	28.1
藤棚+冷却ルーバー設置	27.8	27.8
藤棚+路面の保水化+冷却ルーバー設置	27.5	27.5

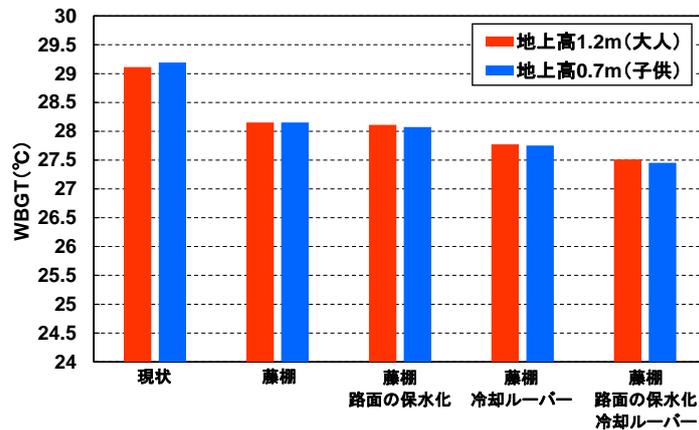


図 2.16 各ケースの WBGT

表 2.4 日常生活における熱中症予防指針

温度基準 (WBGT)	注意すべき生活活動の目安	注意事項
危険 (31°C以上)	すべての生活活動でおこる危険性	高齢者においては安静状態でも発生する危険性が大きい。外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。
嚴重警戒 (28~31°C)		外出時は炎天下を避け、室内では室温の上昇に注意する。
警戒 (25~28°C)	中等度以上の生活活動でおこる危険性	運動や激しい作業をする際は定期的に十分に休息を取り入れる。
注意 (25°C未満)	強い生活活動でおこる危険性	一般に危険性は少ないが、激しい運動や重労働時には発生する危険性がある。

引用) 日本生気象学会「日常生活における熱中症予防指針 Ver.3」(2013)

・SET*（標準新有効温度）

体感指標として使われることが多いSET*を用いて評価した（表 2.5、図 2.17）。算出に用いた Clo 値は 0.43（長ズボン、半袖シャツ）、代謝量は 1.7met（ゆっくり歩く程度）とした。

何かしらの対策を実施することによって、SET*は気温を下回る。藤棚設置のケースは、対策なしのケースと比較して 3℃程度低下している。また、藤棚と路面の舗装化、冷却ルーバーの設置を組み合わせることで、さらに 2℃程度低下する。

表 2.5 各ケースの SET*

ケース名	SET*(°C)	
	地上高1.2m(大人)	地上高0.7m(子供)
現状(対策なし)	35.6	35.8
藤棚	32.8	32.7
藤棚+路面の保水化	32.6	32.4
藤棚+冷却ルーバー設置	31.4	31.4
藤棚+路面の保水化+冷却ルーバー設置	30.9	30.7

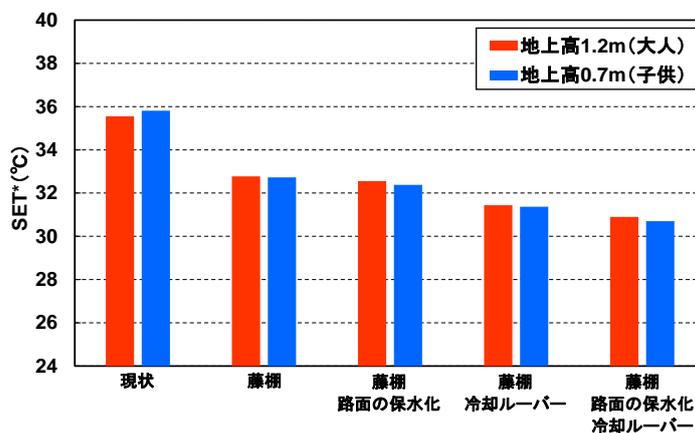


図 2.17 各ケースの SET*

4) まとめ

藤棚を中心とした複合的な適応策の効果、シミュレーションにより定量的に評価した。

日射を遮蔽する藤棚、路面の保水化による冷却、側面のルーバーによる冷却を組み合わせたが、効果が最も高かったのは、やはり日射を遮蔽する藤棚であった。しかし、暑さが厳しい熊谷市においては日射遮蔽だけでなく、その他の対策を組み合わせることが望ましい。例えば、全ての対策を組み合わせたケース（藤棚+路面の保水化+冷却ルーバー設置）の地上高 0.7m の MRT は 33.0℃と気温 33.7℃よりも低く、体感的には 33.7℃よりも低く感じるようにすることができる。

積極的に人の暑熱ストレスを減らし、健康で快適な空間を創出するという観点からは、複合的な適応策の有効性が示されたと考えられる。

5) 今後の活用の方向性や課題等

今後の活用の可能性や課題等について、熊谷市の関係者に対してヒアリングを実施した。

熊谷市 環境部環境政策課温暖化対策担当副参事 藤井氏
総合政策部企画課地域活性化担当副参事 茂木氏
建設部道路課工事係主査 渡辺氏
暑さ対策プロジェクトチーム 細江氏、関根氏

①効果の表現方法について

適応策の効果を市民に分かりやすく伝える方法について、現状では表面温度、MRT、WBGT、SET*と様々な表現方法がある中で、使うべき指標が定まっていないことに対する問題意識がある。これまで一般的に表面温度分布などが使われているが、表面温度のみでは人の体感温度を表現できない。

②保水ブロックの設置について

路面のブロックについては透水性平板を設置予定済みなので、藤棚設置工事と同タイミングでの保水性ブロックの導入は難しい。

③冷却ルーバーの設置について

設置方向について、道路に水平方向に設置することは可能だが、垂直方向に建設することは歩行者の障害になるため困難である。

また、水平方向に建てる場合も、車道と歩道間の遮蔽物となるので、管理者との調整等が必要である。透視性が図れるようにルーバーを間引くことも考えられる。

設置許可については、試験的なものとして期間限定で設置する場合は認可が下りる可能性が高い。夏だけのイベントとして、柱等の構造は常設しておくとしても、夏季のみにルーバーを設置する組み立て式であると実現性が高まるかもしれない。

危険性回避のため、ルーバーの端は丸みのある構造にするよう指摘される可能性もある。