

# まちなかの暑さ対策ガイドライン(案)

平成 28 年 ● 月

ヒートアイランド現象に対する適応策検討委員会



# まちなかの暑さ対策ガイドライン

## 目次

序章	ガイドラインの概要	1
<b>—第1部 基礎編—</b>		
第1章	まちなかの暑さと暑熱ストレス	5
1.1	人が感じる暑さ	5
1.2	まちなかの暑さと涼しさ	6
1.3	夏の暑さと暑熱ストレス	9
第2章	まちなかの暑さ対策	11
2.1	まちなかに求められる暑さ対策	11
2.2	暑さ対策のポイントと効果	12
2.3	暑さ対策の進め方	14
<b>—第2部 具体的対策編—</b>		
第3章	暑さ対策技術シート	17
3.1	樹冠・藤棚等による緑陰	19
3.2	人工日除け	21
3.3	壁面等の再帰反射化	24
3.4	地表面等の保水化	26
3.5	地表面等の遮熱化	30
3.6	地表面等の緑化	33
3.7	壁面等の緑化	35
3.8	壁面等の保水化・親水化	38
3.9	微細ミスト噴霧	41
<b>—第3部 技術編—</b>		
第4章	体感温度の把握	47
4.1	体感温度指標	47
4.2	実測等による把握方法	49
4.3	シミュレーションによる把握方法	54
第5章	体感温度による対策効果の把握	55
第6章	対策技術選定の際の留意事項	57
<b>—参考資料—</b>		
参考資料	簡易体感温度指標による効果把握	1
補遺1	簡易体感温度の計算方法について	10
補遺2	透過性のある日射遮蔽物（テントや日傘）の対策効果	15



## －序章－ ガイドラインの概要

### 【ガイドライン作成の背景】

地球温暖化や都市のヒートアイランド現象によって、都市で生活する人々が夏に感じる暑さは厳しさを増しています。極端に暑い日が増加し、夜間も気温の高い日が多くなってきています。そのため近年、熱中症が多発しています。この状況は大都市に限ったことではなく、中小の都市においても同様の傾向にあります。

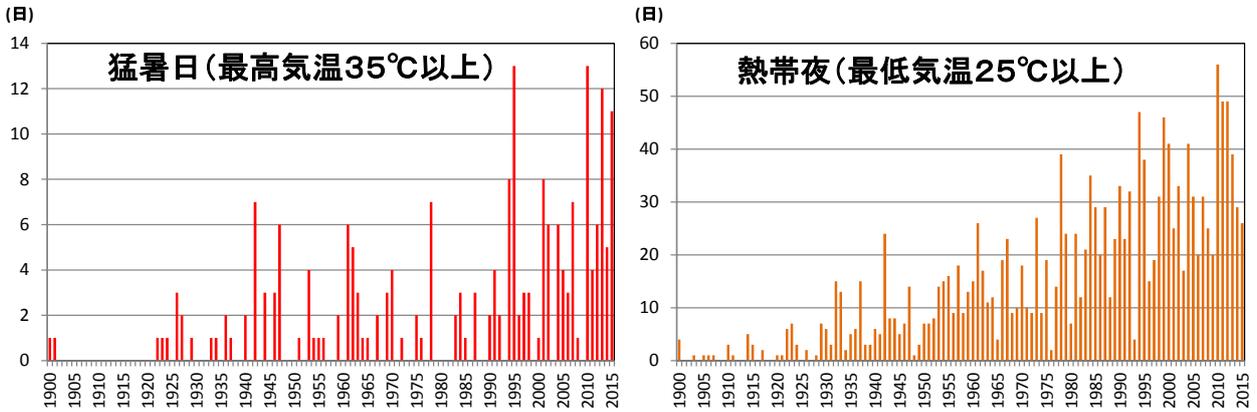


図 1 東京の猛暑日と熱帯夜の日数の推移<sup>1</sup>

これまでの暑さ対策は、個々に日傘をさしたり、打ち水をするなど、ソフトな取り組みを中心に行われてきました。しかし、気候変動による気温上昇は今後も一定程度進むことが予測されており、まちなかの暑さはより一層、厳しさを増す可能性があります。そのため、まちなかの暑さ対策にも積極的に取り組んでいくことが重要となります。



図 2 交差点近くの木陰（左）と商店街での微細ミスト対策（右）

<sup>1</sup> 気象庁データをもとに作成。2014年12月に観測地点が千代田区大手町から北の丸公園へ移転した。

## 【ガイドラインの目的】

夏の暑さによる身体のストレス（以下、「暑熱ストレス」という。）を低減させるためには、人が感じる暑さや涼しさのメカニズムを理解し、その上で適切な対策をとることが重要です。

そこで本ガイドラインでは、まちなかの暑さ対策を推進することを目的として、人が感じる暑さについて科学的な情報を分かりやすく伝えるとともに、効果的な暑さ対策の実施方法についてその考え方を示し、関連する技術情報等を紹介します。

## 【ガイドラインの対象者と構成】

まちなかの暑さ対策を進めるためには、様々な立場の方に広く基本となる事項を知っていただく必要があります。一方で、暑さ対策を実務として担う場合には、暑さ対策の具体的な実施方法等、より技術的な情報も必要になります。そのためガイドラインを3部構成とし、第1部は「基礎編」として一般の方を対象に暑さ対策に関する基本的な内容を分かりやすく説明し、第2部は「具体的対策編」として暑さ対策技術の種類や効果、導入の際の留意事項などを整理しました。第3部は「技術編」として暑さ対策に取り組む実務者向けの技術的な情報等を掲載しています。

表 1 ガイドラインの構成

	内 容	対象者
第1部（基礎編） 第1～2章	暑さや体感温度に関する基本的な知識、暑さ対策のポイントを説明	主に、行政やまちづくりに関わる一般の方
第2部（具体的対策編） 第3章	暑さ対策技術の種類とその概要、効果、導入の際の留意事項などの情報	まちづくりに関わる一般の方から対策を実施する実務者の方まで幅広い方
第3部（技術編） 第4～6章	まちなかの暑さの把握方法や対策効果の評価方法等、効果的な暑さ対策に必要な技術情報等	施設設計や外構設計等の実務者の方

## 【ガイドラインが対象とする暑さ対策】

本ガイドラインは、屋外や半屋外などを対象として、光、水、風などの自然の力を活かして暑さをコントロールする対策手法を既存の建物等に追加的に導入していくことで、局所的に人が感じる暑さを和らげる対策を中心に紹介するものです<sup>2</sup>。

暑さ対策を進めるには、ヒートアイランド現象を緩和して都市の気温を下げる対策、例えばまちなかの風通しを改善するための都市計画や街区設計、建物設計等が重要になりますが、計画・設計段階での配慮事項等につきましては、他のガイドライン等<sup>3</sup>を参照ください。

<sup>2</sup> 紹介する対策手法の一部には、補助的に動力を用いるものも含まれています。また、本ガイドラインで取り上げた対策手法の他に、歩行空間へ排出される空調機器等からの排熱位置・方向を変更することで歩行空間の熱環境を改善するなどの対策手法もあります。

<sup>3</sup> 例えば、国土交通省「ヒートアイランド現象緩和に向けた都市づくりガイドライン」平成25年12月 等

—第 1 部 基礎編 —



## 第1章 まちなかの暑さと暑熱ストレス

### 1.1 人が感じる暑さ

- ・人が感じる暑さ（体感温度）は気温だけでなく、湿度、風、日射や赤外放射にも影響される
- ・本ガイドラインでとりあげる「暑さ対策」は、人が感じる暑さを和らげるために、気温の低下のみで考えるのではなく、体感温度を低下させることを目標とする

人が感じる暑さは、気温だけでなく、湿度、風の強さ、日射や高温化した路面などから放出される熱（赤外放射<sup>3</sup>）の違いに大きく影響されます。日向より木陰が涼しいと感じるのは、木陰の気温が低いためと認識されていることも少なくありません。しかし、日向と木陰の気温がほぼ同じ場合でも、木陰では日射や路面からの赤外放射が少ないために、日向より涼しく感じます。

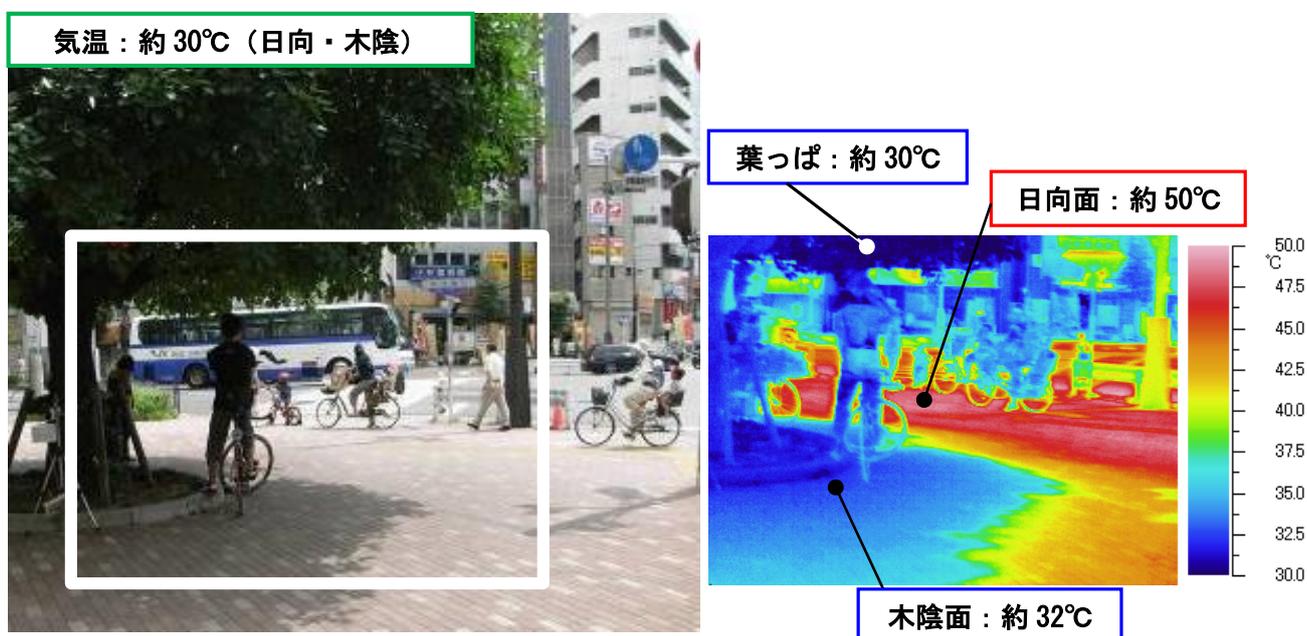


図 1.1 木陰のある交差点（東京都江東区木場）

本ガイドラインでとりあげる「暑さ対策」は、局所的に気温を下げることや、日射や赤外放射を抑制することなどにより、総合的に人が感じる暑さを和らげる、すなわち体感温度を低下させる手法です。暑さ対策の効果は、気温の低下のみで考えるのではなく、「体感温度」の改善を目標とすることが重要です。

体感温度については第4章で詳しく説明します。

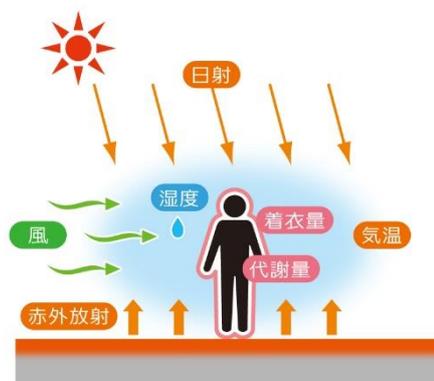


図 1.2 体感温度に影響する要素

<sup>3</sup> ものの表面温度に応じて電磁波として放出される熱を「赤外放射」という。温度が高いほど放射が強くなる。

## 1. 2 まちなかの暑さと涼しさ

- ・まちなかの暑さは場所によって大きく異なる
- ・日射が良く当たる幅の広い東西道路の北側歩道は特に暑い（赤外放射が強い）
- ・風通しの良さも体感温度に大きく影響し、風速が 1m/s から 0.5m/s になると体感温度が 1℃上昇
- ・川辺の風を利用したり、風通しを阻害しないようにすることが重要

まちなかの暑さは場所によって違うのでしょうか。まちを歩いているとき、「暑い」と感じる場所と、逆に「涼しい」と感じる場所があります。

暑さに大きく影響するのは「日射」です。太陽からの日射のエネルギーは大きく、真夏の日中には肌を刺すような刺激を感じます。日射があたる路面は熱を吸収して温度が上昇します。熱を吸収しやすい黒いアスファルトの表面温度は 60℃を超えることもあり、路面から放出される赤外放射が強くなります。

そのため、夏の晴れた日中には気温が 30℃でも日向の体感温度<sup>4</sup>は 40℃程度にもなる場合があります。一方で、大きな樹木の木陰に入ると、頭上からの日射と足元からの赤外放射が大幅に減り、日向にくらべ体感温度が 7℃程度低くなる<sup>5</sup>場合があります。

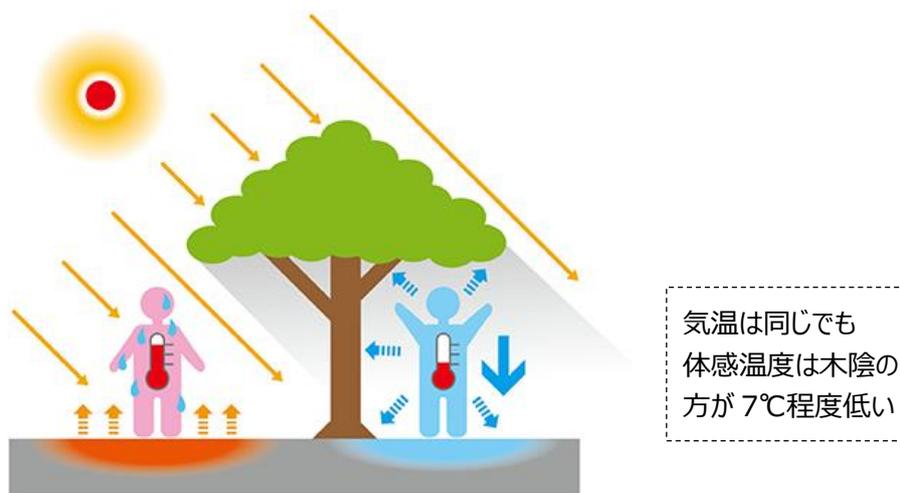


図 1.3 日向と木陰の体感温度の違いのイメージ

放射（日射や赤外放射）に着目して真夏の正午に街路で歩行者が受ける熱量を計算した事例<sup>6</sup>では、まちなかの暑さが場所によって大きく異なることが分かります（図 1.4）。幅の広い東西方向の道路の北側歩道

<sup>4</sup> 体感温度には数多くの指標があり、本ガイドラインで「体感温度」を定量的に用いる場合、SET\*（標準有効温度、詳細は第 4 章を参照のこと）を指します。

<sup>5</sup> 萩島ほか、街路樹の暑熱緩和効果に関する調査研究:その 2 放射温度分布、日本建築学会大会学術講演梗概集 D, 1443-1444, 1994

<sup>6</sup> 環境省、平成 24 年度ヒートアイランド現象に対する適応策及び震災後におけるヒートアイランド対策検討調査、平成 25 年 3 月（国土交通省国土技術政策総合研究所（足永靖信氏）が開発した都市の熱環境評価のためのシミュレーションツールを使用して東京の都心部の街区を対象に計算した結果。真夏の正午（気温約 33℃）に街路で歩行者が受ける正味の受熱量を計算したところ、幅の広い東西方向の道路の北側歩道で受熱量が最も大きく、900W/m<sup>2</sup>（6 畳の部屋で 1,000W の電気ストーブを 10 台使用した場合と同程度の熱）にもなった。）

では、歩行者が受ける熱量が最も大きく、6畳の部屋で1,000Wの電気ストーブを10台使用した場合と同程度になります。このうち、日射によるものは5割強、残りの5割弱は路面や壁面からの赤外放射でした。太陽は東から昇り西に沈むため、太陽が高く昇る夏には東西道路は長時間日射を受けて、路面などが高温化し、北側の歩道や交差点付近では、歩行者の暑熱ストレスが非常に大きくなります。

このように放射熱だけを考えても、まちなかの暑さは場所によって大きく異なります。気温や風の状況を考慮すれば、まちなかの暑さ分布は一層、複雑になります。



図 1.4 都市街路で歩行者が受ける熱量（8月12日）<sup>6</sup>

このような暑い街路でも、少しの空間に木陰とベンチなどがあれば、そこにいる人の体感温度を下げるができます。建物の利用者や歩行者にとって、ありがたいクールスポットになります。



図 1.5 街路沿いのクールスポット（東京都中央区銀座）

風も人の体感温度に強く影響します。多少暑くても、風が吹いていると気持ち良く感じますが、風が止むと不快な暑さを感じます。まちなかで建物が密集すると、風通しを阻害する場合があります。街路内の風をコントロールすることは簡単ではありませんが、クールスポットを作るのであれば、風通しの良いところを選んだり、風を阻害しないよう配慮することが重要です。風速が秒速 1m から 0.5m になると、体感温度にして約 1℃上昇<sup>7</sup>します。

夏の夕方、川辺は心地良く感じます。これは日が傾いて日射が弱くなり、川面の冷たさと河川に吹く比較的強い風が、体感温度を低下させるためです。

都市内には大小さまざまな河川が流れています。川辺の特徴を上手く利用することで、効果的なクールスポットを創出することが期待されます。



図 1.6 夏の夕方に隅田川沿いで過ごす人々

<sup>7</sup> ASHRAE SET\*演算ソフト（空気調和・衛生工学会,新版 快適な温熱環境のメカニズム 付録, 2006 年 3 月）を用いて計算。計算条件：気温 30℃、相対湿度 50%、平均放射温度 30℃、代謝量 1met、着衣量 0.4clo

### 1. 3 夏の暑さと暑熱ストレス

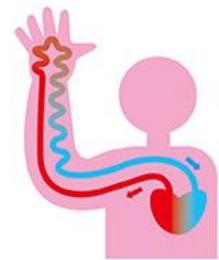
- ・人は体温を一定に保つため発汗などにより放熱するが、暑熱環境下では放熱が進みにくい
- ・高齢者は体温調節機能が衰えはじめ、夏の日中に日向を歩いた場合、若年者にくらべて体の中心部分の温度が上昇しやすい
- ・子供は体温調節機能が未発達であることに加えて、身長が低いと路面からの赤外放射を受けやすい

食べ物を食べたり、運動することで、人の体内では熱が発生します。また、夏には日差しを浴びることで外部からも熱を受けます。人間の体は体内で発生した熱や外部から受けた熱を逃がすために、汗をかいたりして放熱し、体温が一定以上に上がらないようになっており、体の中心部分の温度は、冬も夏も約 37℃で一定に保たれています。

しかし、夏の暑い環境では放熱しにくく、水分補給が十分でない場合などには体温が上昇して、熱中症になるなど健康への影響が生じます。

#### 【人の体温調節メカニズム】

人は体温の上昇を防ぐために、自律的に皮膚近くの血管を拡張し、皮膚の近くに血液を多く流して血液を冷やします。特に手や足の抹消部分は、暑いときには寒いときより血流量が 100 倍程度も多くなると言われています。



皮膚からは以下の 3 通りのメカニズムで放熱します。

#### -[空気に放熱（対流）]-

皮膚に直接当たる空気に放熱して皮膚を冷やします。気温が高いほど、風速が弱いほど、放熱は進みません。



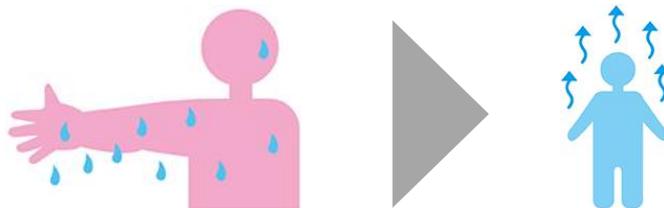
#### -[まわりのモノに放熱（放射）]-

まわりのモノに向かって熱を放射することで皮膚を冷やします。モノの温度が皮膚温（夏は 35℃程度）より高いと放熱が進まず、逆に皮膚が受ける熱が多くなります



#### -[発汗して放熱（蒸発）]-

空気やまわりのモノに放熱するだけでは足りずに、体温が上昇してしまう場合に発汗が始まります。汗が蒸発するとき皮膚から気化熱を奪うことで皮膚を冷やします。湿度が高いと汗が蒸発しにくく放熱が進みません。発汗すると体内から水分が失われるので、水分・塩分を補給する必要があります。



高齢者は体温調節機能が衰えはじめるため、夏の暑さに対する注意が必要です。若年者と高齢者が日向と日陰で歩行運動を行った実験の結果<sup>8</sup>では、若年者は日向でも日陰でも体の中心部分の温度上昇は0.6℃程度であり、高齢者も日陰では同程度の上昇でしたが、日向で運動した高齢者は約1℃と倍近く上昇していました。これは高齢者の発汗量が若年者に比べて少ないことなどが影響していると考えられ、高齢者の方が夏の暑さによる影響を受けやすいことが分かります。

ただし、高齢者も日陰では若年者と同程度の上昇だったため、高齢者でも日陰を選んで歩いたり、日傘をさすことなどにより、夏の暑さによる影響を抑制できると考えられます。

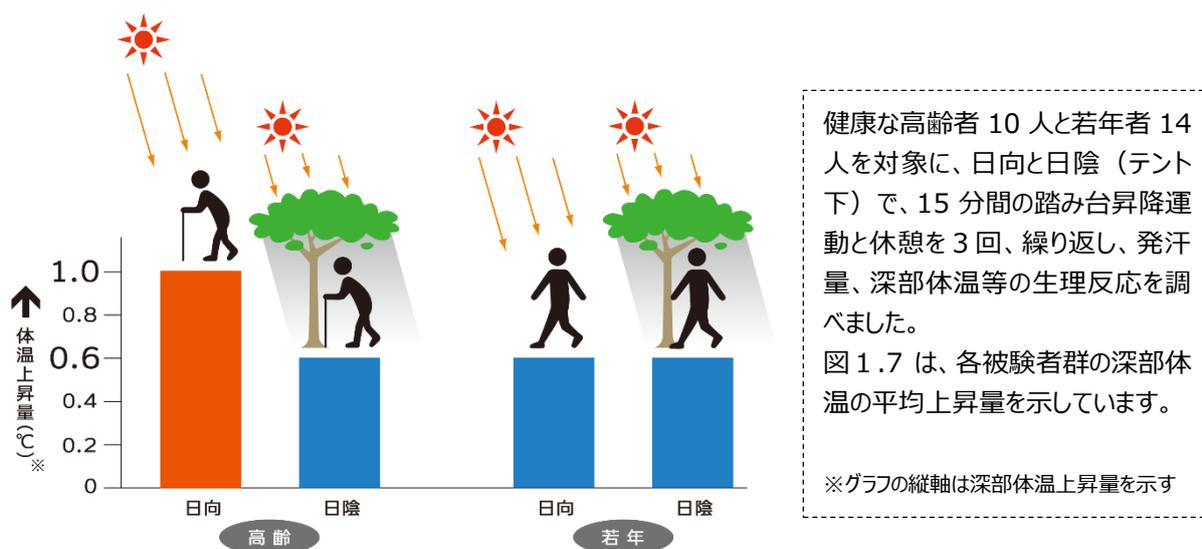


図 1.7 高齢者と若年者の歩行運動実験結果<sup>8</sup>

子供は、汗腺をはじめとした体温調節機能が未発達で十分に放熱できず、厳しい暑さのなかでは体温が上昇しやすいという特徴があります。特に、身長が低い幼児やベビーカーに乗った赤ちゃんは、高温化した路面からの赤外放射を受けやすいため、子供の様子に注意が必要です。

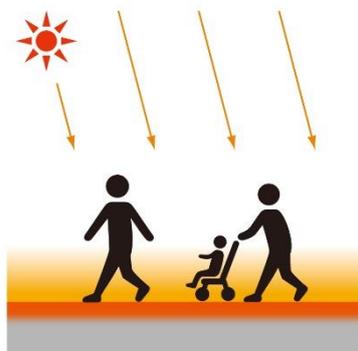


図 1.8 高温化した路面からの赤外放射のイメージ

<sup>8</sup> 環境省，平成 26 年度ヒートアイランド現象に対する適応策及び震災後におけるヒートアイランド対策検討調査業務報告書（平成 27 年 3 月）のデータをもとに作成

## 第2章 まちなかの暑さ対策

### 2.1 まちなかに求められる暑さ対策

・暑くても待たなければならない場所、快適に過ごしたい場所などに暑さ対策を実施することも、健康で快適な環境づくりの推進に効果的

夏の炎天下を歩いていて、目の前の信号が赤になったとき、少しでも日差しを避けたいと思います。近くに木陰があると本当に助かります。

暑さの要因を理解し、暑くても待たなければならない場所、快適に過ごしたい場所などに適切な暑さ対策を実施することで、健康で快適なまちなかの環境づくりを進めることができます。

例えば、人がたくさん集まる駅前のロータリーでは、バス停や待ち合わせに使われる場所などに遮熱性の日除けや微細ミスト、保水性ブロックなどを複合的に導入することで、待ち時間をより快適に過ごすことができます。



図2.1 交差点近くの木陰で信号待ちをする人々

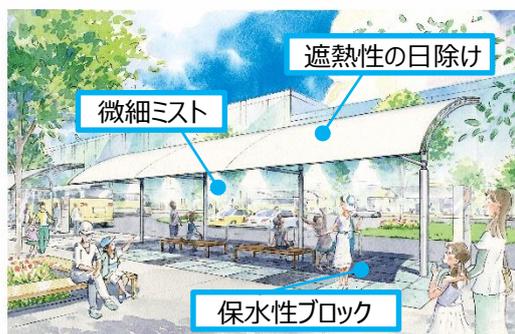


図2.2 バス停など、暑くても待たなければならない場所での暑さ対策のイメージ

また、気持ちのよい屋外の公園も、夏には小さな子供たちにとっては暑すぎる場所になることもあります。樹木の葉っぱを模したような熱くならない日除けや水の蒸発を利用する冷却ルーバーなどで、より快適な休憩スポットを創出することができます。

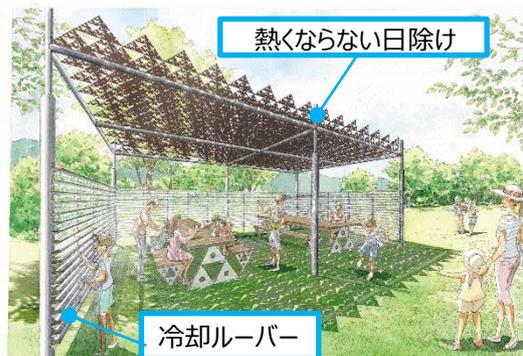


図2.3 公園など、快適に過ごしたい場所での暑さ対策のイメージ

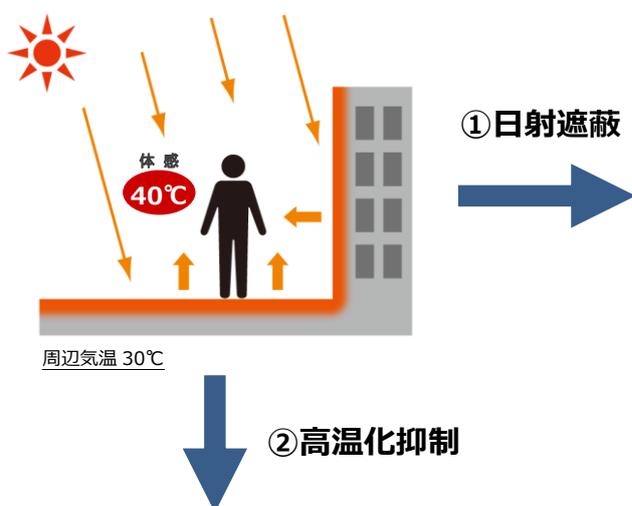
## 2. 2 暑さ対策のポイントと効果

ここでは、暑さ対策の主な手法と体感温度の低下効果<sup>9</sup>の目安を示しました。

### まちなかの体感温度は高い

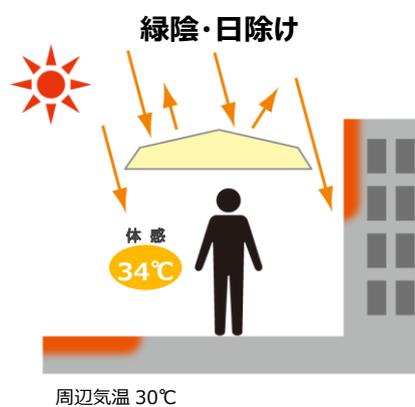
真夏の強い日射と、高温化したアスファルトなどの路面や建物の壁面からの赤外放射によって、気温は 30℃程度でも体感温度は 40℃近くになることがあります。

風通しが悪いと、体感温度はさらに上昇します。



### 日射を遮りましょう

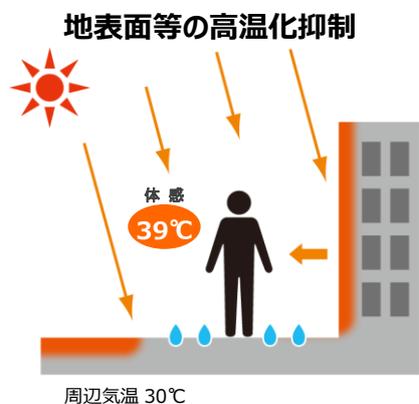
- ・人が受ける日射、路面や壁面に当たる日射を遮ることは暑さ対策として最も効果的
- ・日射と路面や壁面からの赤外放射が減り、体感温度が 5～7℃程度低下
- ・緑陰、日射が透過しにくい日除け、日除け自体の温度が上昇しない日除けを選ぶと効果的



✓ 日射を遮ることが難しい場合は、日射が当たる場所の高温化を防ぎ、赤外放射を減らしましょう

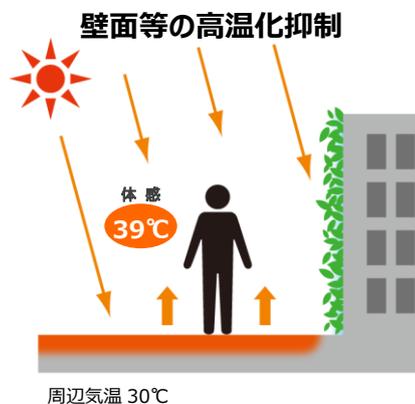
### 路面の高温化を抑制しましょう

- ・路面を緑化もしくは保水化することなどで高温化を抑制し、体感温度が 1～2℃程度低下



### 側面の高温化を抑制しましょう

- ・壁面を緑化することなどで高温化を抑制し、体感温度が 1℃程度低下



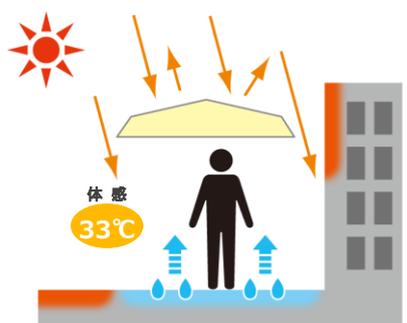
<sup>9</sup> ASHRAE SET\*演算ソフト（空気調和・衛生工学会,新版 快適な温熱環境のメカニズム 付録, 2006年3月）を用いて計算。計算条件：気温 30℃、相対湿度 50%、風速 0.5m/s、日射量 900W/m<sup>2</sup>、代謝量 1.7met、着衣量 0.43clo

- ✓ 日射を遮り、水の気化熱を活用して路面や側面、空気を冷やすことで、積極的に涼しさを作りましょう  
※冷却技術を使うことで、局所的に気温が低下する場合があります。

### 路面を冷やしましょう

- ・日陰になっている路面に散水もしくは給水すると、路面の温度は気温より低下し、体感温度が 1℃ 程度低下

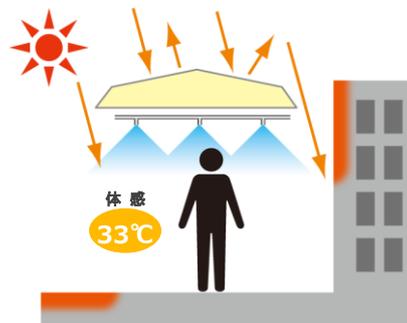
#### 地表面等の冷却（日除け+路面冷却）



### 空気を冷やしましょう

- ・微細ミストを噴霧すると、気化熱により局所的に気温が 2℃程度、体感温度が 1℃程度低下
- ・ただし、風が強いと効果を実感できないことに注意

#### 空気の冷却（日除け+微細ミスト）

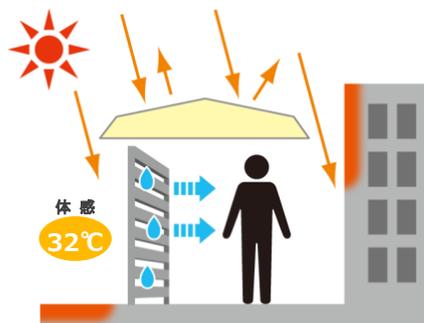


冷却

### 側面を冷やしましょう

- ・側面に冷却ルーバーなどを設置して路面からの赤外放射を遮ると、体感温度が 1~2℃程度低下

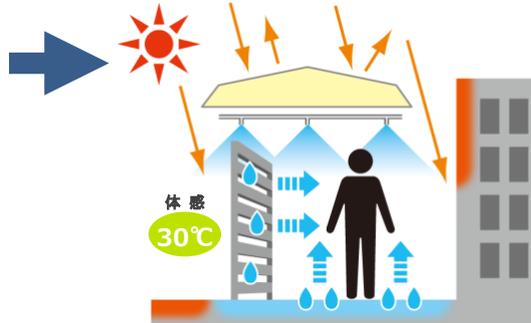
#### 壁面等の冷却（日除け+側面冷却）



### 複合的に対策を組み合わせましょう

- ・頭上からの日射を防ぎ、路面、側面、空気を冷却し、涼しさを実感できる空間を創出
- ・ただし、風通しの阻害に注意

#### 日除け+側面冷却+路面冷却+微細ミスト



\*図の凡例は第3章 表 3.2 を参照ください。

## 2.3 暑さ対策の進め方

・効果的な暑さ対策を実施するには、「現況の熱環境を把握すること」、「適切な対策技術を選定すること」、「効果を検証すること」の3つの手順が重要

暑さ対策は行政や民間事業者などの多様な主体がそれぞれの目的に応じて取り組むことが期待されます。そのため、暑さ対策を進める際の技術的な検討項目や検討内容は様々ですが、「現況の熱環境を把握すること」、「適切な対策技術を選定すること」、「効果を検証すること」の3つの手順を実施することで、有効な対策を進めることができます。

それぞれの手順と本ガイドラインの内容との関係を示します。ただし、以下に示した手順の全てを実施しなければならないわけではありません。必要に応じて、本ガイドラインを参照しつつ実施してください。

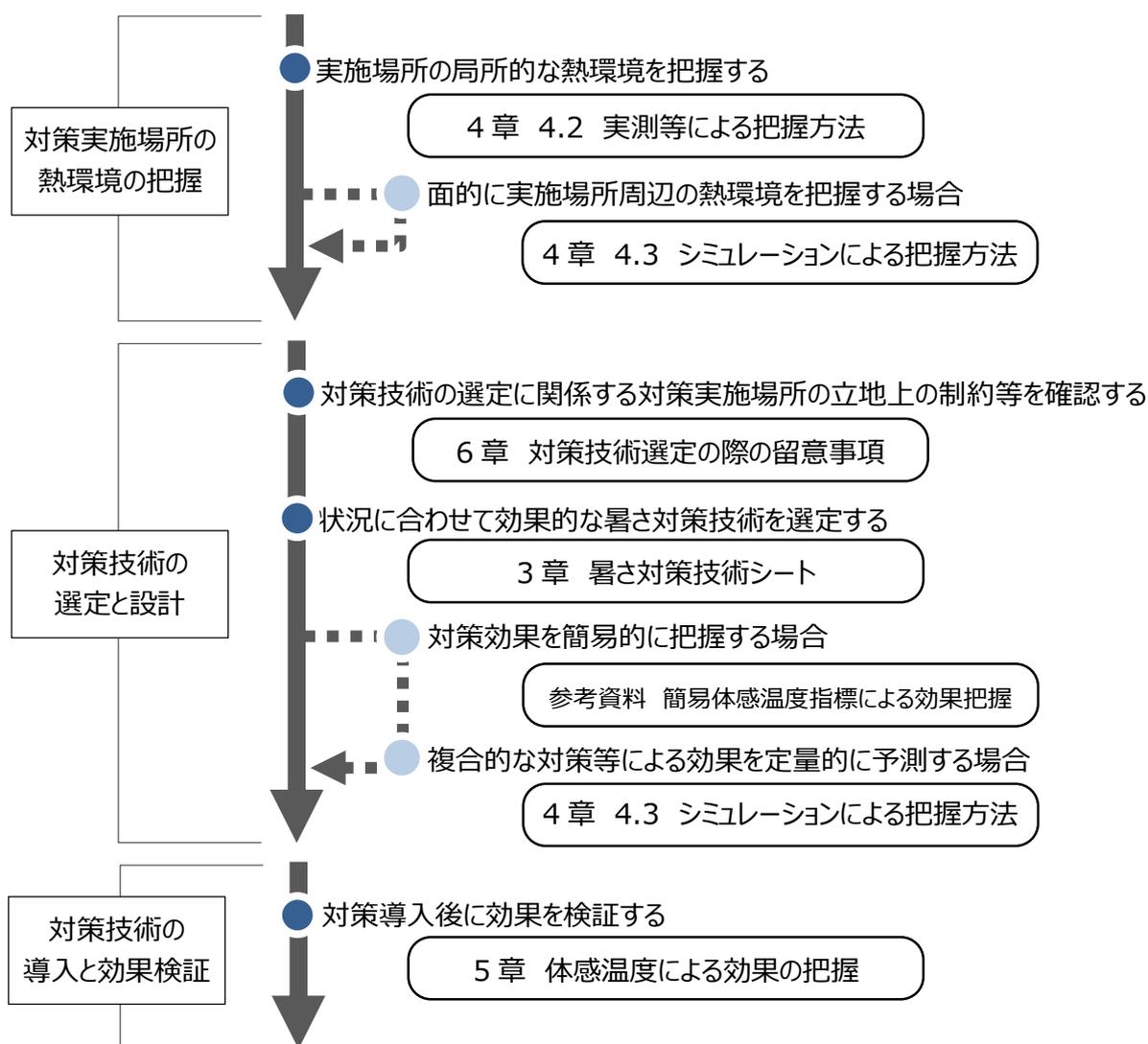


図 2.4 暑さ対策の手順とガイドラインの関係 (● は必要に応じて実施する項目)

— 第2部 具体的对策編 —



### 第3章 暑さ対策技術シート

この章では、表3.1に分類した主な暑さ対策の技術等を対象として、暑さ対策技術の効果や留意事項等を暑さ対策技術シートとしてまとめました。各技術について記載した項目は表3.2に整理した通りです。

表3.1 暑さ対策技術の分類

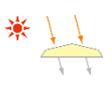
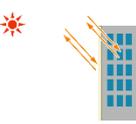
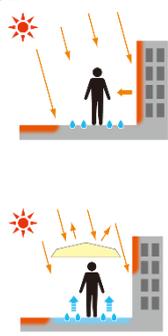
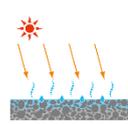
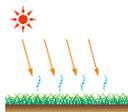
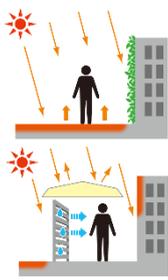
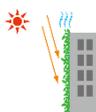
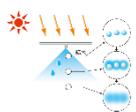
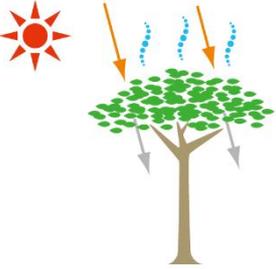
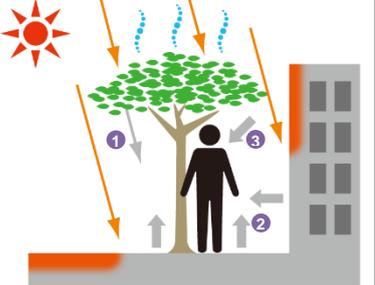
対策手法	対策技術の分類
日射の低減 ●緑陰・日除け 	3.1 樹冠・藤棚等による緑陰 樹冠の大きな樹木により緑陰を作る日射遮蔽対策 
	3.2 人工日除け 人工日除けによる日射遮蔽対策。表面の加工や形状の工夫によって、日除け素材の温度上昇を抑制するものもある。 
	3.3 壁面等の再帰反射化 建物の窓や壁面に当たる日射の一部を上空に反射させて、地上の歩行者への反射日射を抑制する対策 
地表面等の高温化抑制・冷却 ●地表面等の高温化抑制  ●地表面等の冷却 	3.4 地表面等の保水化 路面や屋上面を濡れた状態に保つことで、気化熱を利用して路面等の温度上昇を抑制・冷却する対策 
	3.5 地表面等の遮熱化 路面に当たる日射の一部を上空に反射させて、路面の温度上昇を抑制する対策 
	3.6 地表面等の緑化 地面や屋上面を芝生等で緑化することで、地面等の温度上昇を抑制する対策 
壁面等の高温化抑制・冷却 ●壁面等の高温化抑制  ●壁面等の冷却 	3.7 壁面等の緑化 建物壁面をつる性植物や緑化パネル等で覆い、壁面の温度上昇を抑制する対策 
	3.8 壁面等の保水化・親水化 ルーバー等に散水することで表面を冷却し、放射環境を改善するとともに、通過する風を冷やす対策 
空気の冷却 ●空気の冷却 	3.9 微細ミスト噴霧 微細ミストを噴霧することで、噴霧直後に気化し、局所的に気温を低下させる対策 

表 3.2 対策技術シートの記載内容

# 対策技術の分類	
対策手法	
①概要	形状、素材等の特徴と事例について記載しました
②体感温度を下げるメカニズム	<p>各対策技術の機能について、体感温度の低減につながる仕組みを記載しました。また、以下の凡例に基づいて仕組みを図示しました。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> 日射</li> <li> 低減された日射</li> <li> 赤外放射</li> <li> 低減された赤外放射</li> <li> 冷放射（表面温度が皮膚温(約 35℃)より下がる可能性が大きい場合)</li> <li> 蒸発・蒸散</li> <li> 自然風・送風</li> <li> 冷やされた風</li> <li> 散水・保水化・親水化</li> </ul>
③体感温度の低減効果	体感温度低減につながる温度変化の程度と、体感温度指標の一つである SET* の変化の程度について記載しました。ただし、分類内の全製品に共通の数値ではなく、一部製品における実験結果等を記した論文等から、夏期の最も暑い時（日中については南中時や最高気温時、夕刻と夜間については日中に暑くなった日）についての効果を引用しています。
④効果を高める選び方・使い方	より高い体感温度低減効果を得るための、製品の選定方法、対策技術の組み合わせ、推奨される利用場所、運用方法等について記載しました。
⑤設置・維持管理	<p>【設置】</p> <p>設置に必要な費用と施工期間について、目安となるよう平均的な情報を記載しました。</p> <p>【維持管理】</p> <p>設置した対策技術を使用する際の、安全性や美観等を維持するために必要となる費用等について記載しました。</p>
⑥留意事項	対策選定時や設置時に留意すべき事項や、設置後に安全面で配慮が必要な事項について記載しました。効果を低下させないために配慮すべき事項については、「④効果を高める選び方・使い方」の欄に記載しています。
⑦副次的効果	体感温度低減の他に、人工排熱の削減等につながる利点がある場合に記載しました。

### 3.1 樹冠・藤棚等による緑陰

#### 日射の低減

<p>①概要</p>	<p><b>【特徴】</b></p> <p>休憩スペースや歩行空間に、樹冠（樹木の枝や葉の茂っている部分）の大きな樹木により緑陰を作る日射遮蔽対策。</p> <p>樹冠は蒸散作用等によって、日射を遮蔽しても熱くなりにくいという特徴がある。樹種、樹高、枝張り、成長状況等や、植栽の密度等によって、日射の透過率は異なる。</p> <p>中高木による樹冠の他、藤棚等の上部につる性の植物を這わせる棚も用いられる。街路樹の他にも、可搬式の樹木を一定期間設置して緑陰を作る試みも見られる。</p> <p><b>【事例】</b></p> <p>街路樹、公園や公開空地等の樹木、公園や歩道の藤棚</p>	
<p>②体感温度を下げるメカニズム</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 樹冠が日射を遮る（日射透過率は樹種や植栽の密度等により異なる）。</li> <li>② 樹冠で陰になる路面・壁面温度の上昇が抑制され、赤外放射が低減する。</li> <li>③ 蒸散作用等により日射を受けても樹冠が熱くならないため、上部からの赤外放射が少ない。</li> </ol>	
<p>③体感温度の低減効果</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○日射の遮蔽           <p>樹冠により 75～95%程度（樹種や植栽の密度等により異なる）の日射を遮ることが確認されている<sup>10</sup>。</p> </li> <li>○表面温度           <p>樹木の葉の表面温度は日射の当たり具合によって部分的に気温より高くなるが、樹冠部全体の平均表面温度は一日を通じて気温と同程度となることが確認されている<sup>11</sup>。</p> </li> <li>○体感温度指標           <p>日向と比べて緑量の多い街路樹下は、SET*が7℃程度低い<sup>12</sup>（樹冠の形状や樹高によってSET*低減の程度は異なる<sup>13</sup>）ことが確認されている。</p> </li> </ul>	

### 3.1 樹冠・藤棚等による緑陰

<p>④効果を高める選び方・使い方</p>	<p>○街路樹に、低木の植樹帯やフェンスの緑化を組み合わせる</p> <p>高幅員道路等に接する歩道では、日射によって熱くなった車道の路面からの赤外放射が体感温度を上昇させる可能性がある。車道と歩道との間に低木植樹帯を設けることで、車道からの赤外放射の影響を遮り、歩行空間の暑さを和らげることが期待される。</p> <p>植樹帯の設置が難しい場合は、プランター式の緑化ガードレールのようなものを用いる方法もある。また、歩道の防護柵に植栽基盤を一体化させた製品もある。</p>	
<p>⑤設置・維持管理</p>	<p>【設置】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 植樹に要する費用は樹種や大きさ、植栽場所等によって異なり、数万円/本（材料＋施工費）程度である<sup>14</sup> <sup>15</sup>。その他に支柱設置や灌水設備設置の費用等が必要となる。</li> <li>・ パーゴラ（藤棚）の設置に要する費用は大きさ等によって異なり、100～200 万円/基（本体のみ、施工費別）前後である<sup>14</sup>。</li> </ul> <p>【維持管理】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 剪定や施肥等の生育管理、落ち葉等の清掃、害虫駆除等が必要となる。</li> </ul>	
<p>⑥留意事項</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 街路樹等、道路上の整備となる場合は、関係機関との調整が必要となる。</li> <li>・ 信号や看板等の視界を遮らないよう注意する必要がある。</li> <li>・ 施工後の管理体制を確保する必要があり、地域のボランティアによる美化活動を行っている地域もある<sup>16</sup>。</li> </ul>	
<p>⑦副次的効果</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 建物壁面や建物内に当たる日射を遮蔽するように整備した場合、冷房負荷の削減と、それに伴う人工排熱の減少、CO<sub>2</sub> 排出量の削減が期待される。</li> <li>・ 樹木の成長による CO<sub>2</sub> 固定効果が期待される。</li> <li>・ 景観向上、生物多様性保全、火災延焼防止等への寄与が期待される。</li> </ul>	

<sup>10</sup> 吉田ほか、樹木の成長、樹種の違いが樹冠の葉面積密度・光学的深さに及ぼす影響：実測に基づく街路樹の日射遮蔽効果の評価手法に関する研究、日本建築学会環境系論文集（605）、103-110、2006

<sup>11</sup> 萩島ほか、樹木の放射温度分布に関する実測、日本建築学会計画系論文集（516）、79-85、1999

<sup>12</sup> 萩島ほか、街路樹の暑熱緩和効果に関する調査研究：その2 放射温度分布、日本建築学会大会学術講演梗概集 D、1443-1444、1994

<sup>13</sup> 小林ほか、パーゴラによる遮熱効果が夏季の暑熱環境に及ぼす影響(第2報)屋外温熱環境の快適性評価、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、109-112、2011

<sup>14</sup> 一般社団法人建設物価調査会、建設物価、2015年11月

<sup>15</sup> 一般社団法人建設物価調査会、土木コスト情報 2015年秋号、2015年10月

<sup>16</sup> 国土交通省、既成市街地における水と緑のネットワークの保全・再生・創出のための施策カタログ、平成20年3月

### 3.2 人工日除け

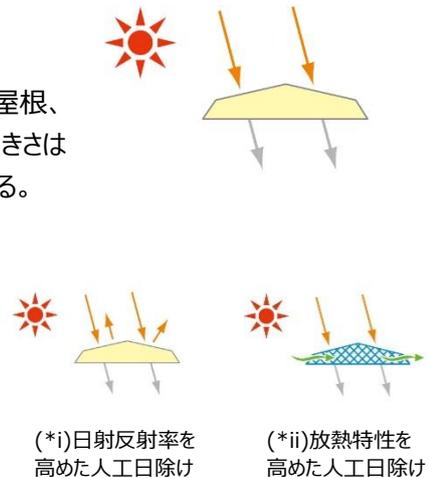
#### 日射の低減

##### ① 概要

##### 【特徴】

人工日除けによる日射遮蔽対策。  
建物の出入り口や窓に設置する庇、バス停等の屋根、テント、パラソル、オーニング<sup>17</sup>等があり、材質や大きさは様々である。自立型のもので壁付け型のものがある。

日除けの材質や色によっては、日除け素材の表面温度が高くなり、体感温度の低減効果が限定される。そのため、日射の反射率を高めたり<sup>(\*)i</sup>、樹木の葉を模して放熱特性を高める<sup>(\*)ii</sup>等の工夫で、日除け部分が熱くなるのを防ぐ製品も開発されている。

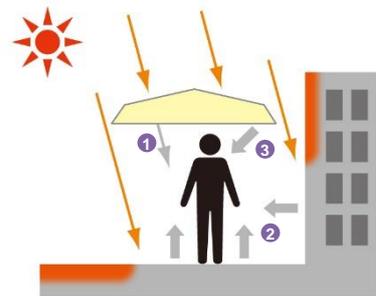


##### 【事例】

オープンカフェ、バス停、休憩施設、ショッピングモールの通路、公共施設等の歩行空間、鉄道プラットフォーム

##### ② 体感温度を下げるメカニズム

- ① 日除けが日射を遮る（日射透過率は製品により異なる）。
- ② 日除けで陰になる路面・壁面温度の上昇が抑制され、赤外放射が低減する。
- ③ 日除け部分が熱くなりにくい製品では、日除け素材からの赤外放射が少なく、体感温度低減の効果が大きい。



##### ③ 体感温度の低減効果

##### ○日射の遮蔽

コンクリートや金属等の日射を透過しない材質では日射を全て遮る。オーニングやテントでは6～9割程度（製品により異なる）の日射を遮ることが確認されている<sup>18 19 20</sup>。樹木の葉を模した形状の日除けには、太陽高度が高いほど日射透過率が小さくなる物もある<sup>20</sup>。

##### ○日除け下の地表面温度

日向のアスファルト舗装面の温度は60℃程度に達する<sup>21 22</sup>ことがあるのに対し、日除け下の地表面温度は気温より2～3℃高い程度となることが確認されている<sup>23 20 24</sup>。

##### ○日除け素材の表面温度

日除け素材の色や放熱特性によって、表面温度の上がり方は異なる。

例えば、金属屋根面の温度は気温より15℃程度高くなる<sup>23</sup>ことがあるのに対し、日射吸収率が低い日除け面は、日射を受けているときでも気温より3～4℃高い程度となることが確認されている<sup>23 25</sup>。

##### ○体感温度指標

日除け下のSET\*は日向より2～6℃程度低くなることが確認されている<sup>26 20 19</sup>。

### 3.2 人工日除け

<p>④効果を高める選び方・使い方</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○日射反射率の高い日除けを選ぶ           <p>日除けの素材や色によって日射反射率や日射吸収率は大きく異なるが、日射反射率が高く日射吸収率が低い方が体感温度低減の効果が大きい。</p> <p>日除け素材のなかには遮った日射の熱の多くを吸収し<sup>27</sup>日除け自体が熱くなるものもあり、導入の際には意匠性や体感温度の低減効果等を総合的に検討することが重要である。なお、製品の日射吸収率あるいは日射反射率は、公開されていないことも多い<sup>28</sup>ため、メーカーに問い合わせる必要がある。</p> <p>表面に光触媒加工してある日除け素材は、親水性が高く、汚れにくいいため、白に近い色の場合には汚れによる日射反射率の低下を防ぐことができる。</p> </li> <li>○放熱特性の高い日除けを選ぶ           <p>樹木の葉を模して放熱特性を高めることで、日除け部分が熱くなるのを防ぐ製品も開発されている。雨除けにはならないが天気の良い日に利用される公園施設や屋外の休憩スペース等での導入に適している。</p> </li> <li>○可搬式樹木等と組み合わせる           <p>日除けのあるオープンカフェ等を、簡単に設置できる可搬式樹木等で囲うことで、高温化している周辺の路面等からの放射を遮り、さらに暑さを和らげることが期待される。</p> </li> </ul>
<p>⑤設置・維持管理</p>	<p><b>【設置】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 人工日除けの設置に要する費用は、施工方法や形状・素材によって異なり、テント地や膜材の人工日除けの場合では、数万～十数万円/m<sup>2</sup>（本体のみ、施工費別）である。</li> </ul> <p><b>【維持管理】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ オーニング等の日除け素材は、定期的に拭き掃除をするか、素材によっては専門業者によるクリーニングが必要となる。</li> </ul>
<p>⑥留意事項</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 設置場所・方法によっては、道路占用許可等の申請を要する場合もあるため、関係機関に相談する必要がある。</li> <li>・ 設置場所・方法によっては、建築物としての確認申請を要する場合もあるため、市区町村の建築窓口相談が必要がある。</li> <li>・ オーニング等は強風時に破損する恐れがあるため、管理に注意する必要がある。強風時にセンサー感知して自動で閉じる製品もある。</li> <li>・ 耐風性能、耐積雪性能等は、製品によって異なるため留意する必要がある。</li> </ul>
<p>⑦副次的効果</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 建物壁面や建物内に当たる日射を遮蔽するように設置した場合、冷房負荷の削減と、それに伴う人工排熱の減少、CO<sub>2</sub>排出量の削減が期待される。</li> </ul>

- 
- 17 オーニング：片流れの日除けテント。窓、縁側、出入口などの上に設けて外側に差し出すもので、巻き取り、収納も可能。(株式会社岩波書店 広辞苑第五版)
  - 18 小島ほか, オーニングの素材と色による日射遮蔽効果の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学 II), 145-146, 2013
  - 19 三坂, 温熱環境的な空間を創出するための日射遮蔽と表面被覆対策技術の性能評価に関する研究: その1 膜状日射遮蔽材料の暑熱環境緩和効果に関する研究, 日本工業大学研究報告 第44巻 第2号, 59-60, 2014
  - 20 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(環境工学 I), 893-894, 2013
  - 21 橋田ほか, 駐車場の舗装構造改善と緑化による夏季の温熱環境改善効果, ランドスケープ研究 72(5), 471-474, 2009
  - 22 志村ほか, 道路舗装に関する屋外比較実験の概要と夏季測定結果: 各種道路舗装材が微気候形成に及ぼす影響その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学 I), 863-864, 2012
  - 23 濱野ほか, 透過日射が膜屋根下の熱的快適性に与える影響に関する研究 その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (環境工学 II), 383-384, 2012
  - 24 酒井ほか, フラクタル日除けによる都市表面温度抑制効果 都市模型実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (環境工学 II), 475-476, 2013
  - 25 梅干野ほか, 膜構造建築物の半屋外生活空間に形成される夏季の微気候に関する実測調査, 日本建築学会技術報告集 15(30), 505-510, 2009
  - 26 安藤ほか, 人が利用する屋外空間における環境評価に関する研究: その1 屋外オフィスにおける日除けを対象とした温熱環境評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, 815-816, 2011

### 3.3 壁面等の再帰反射化

#### 日射の低減

##### ①概要

##### 【特徴】

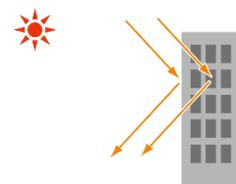
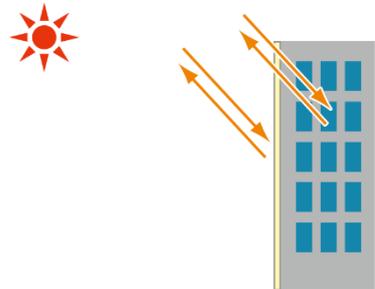
建物の窓や壁面に当たる日射の一部を上空に反射させて、地上の歩行者への反射日射を抑制する対策。

近年、建物の窓面の反射率を高めて建物内へ取り込む熱を抑制するフィルム等の技術が普及しているが、ただ反射させるのでは窓面で反射した日射が歩行空間の熱環境を悪化させることが懸念される<sup>(\* iii)</sup>。その点を考慮し、表面形状等を工夫することで日射のエネルギーを上空方向に反射させる技術が開発されている。

窓面に適用するフィルムの他、外壁に適用できるタイルが開発されている。

##### 【事例】

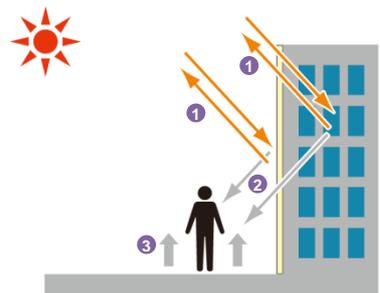
オフィスビル、商業施設



(\* iii)一般的な遮熱窓フィルムを施工した場合

##### ②体感温度を下げるメカニズム

- ① 再帰反射化した窓・壁面で、日射の一部を上空方向に反射させる。
- ② 歩行空間へ反射する日射が低減する。
- ③ 路面に当たる日射が減り、路面温度の上昇が抑制され、赤外放射が低減する。



##### ③体感温度の低減効果

##### ○反射日射の抑制

再帰反射化した窓・壁面から歩行空間に向かって反射する日射を、7割程度（70～150 W/m<sup>2</sup>程度）抑制することが確認されている<sup>29 30</sup>。

##### ○表面温度

南面や西面に設置すると、従来の壁材や高反射窓フィルムを設置した場合と比べて、建物前面の路面温度が5℃程度低いことが確認されている<sup>29 31 32</sup>。特に南面・西面に対策を施すと地表面温度の上昇を抑制する効果が大きく<sup>29</sup>、午後から夕方に効果を得られる。

### 3.3 壁面等の再帰反射化

<p>④効果を高める選び方・使い方</p>	<p>○技術実証の結果等を参考に選定する</p> <p>壁面等を再帰反射化する技術は、以下の制度の対象となっている。</p> <p>* 環境省環境技術実証事業（ETV）</p> <p>先進的環境技術について、第三者が客観的に実証することにより、環境技術の普及を促進し、環境保全と環境産業の発展に資することを目的とした事業。</p> <p>ヒートアイランド対策として、建築物外皮による空調負荷低減等技術もその一つとされており、再帰反射化の技術も実証対象（指向性反射技術）に選定されている。</p> <p>○日陰になる歩道への反射日射を抑制する</p> <p>日陰で受ける反射日射を抑制するように再帰反射技術を導入すると、効果を体感しやすい。</p> <div data-bbox="571 853 1361 1144" data-label="Image"> </div> <p>日陰で受けていた反射日射（左:対策前）を、再帰反射化によって抑制する（右:対策後）</p>
<p>⑤設置・維持管理</p>	<p>【設置】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>壁面等の再帰反射化対策の設置に要する費用は、数万円/㎡（材料＋施工費）である。</li> </ul>
<p>⑥留意事項</p>	<p>—</p>
<p>⑦副次的効果</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>建物外皮を高反射化させることにより、冷房負荷の削減と、それに伴う人工排熱の減少、CO<sub>2</sub> 排出量の削減が期待される。</li> <li>反射光による眩しさの低減が期待される。</li> </ul>

<sup>29</sup> 産業技術総合研究所，クールアイランドタイル検証試験報告書，2012年3月

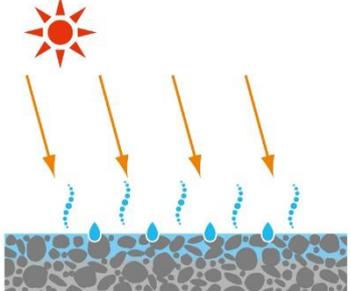
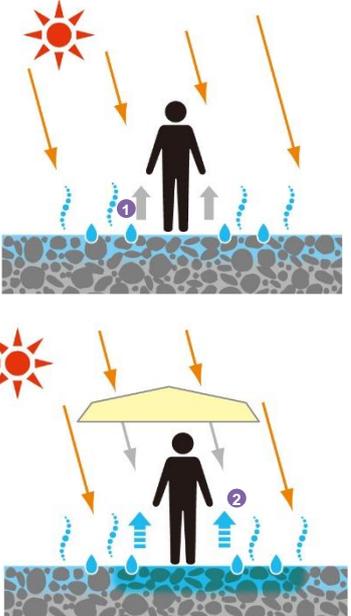
<sup>30</sup> 藤田ほか，建物周辺放射環境を考慮した開口部の遮熱対策に関する研究：一近赤外域における再帰反射特性を有する遮熱フィルムの提案と効果検討一，日本建築学会環境系論文集 79(696)，167-172，2014

<sup>31</sup> Yoshida et al., An evaluation of the effects of heat ray retro-reflective film on the outdoor thermal environment using a radiant analysis method, ICUC9 - 9th International Conference on Urban Climate, 2015

<sup>32</sup> Inoue, Improvement of Outdoor Thermal Radiation Environment in Urban Areas using Wavelength-selective Retro-reflective Film, PLEA2015(Bologna, Italy), 2015

### 3.4 地表面等の保水化

#### 地表面等の高温化抑制・冷却

<p>①概要</p>	<p>【特徴】</p> <p>路面や屋上面を濡れた状態に保つことで、気化熱を利用して路面等の温度上昇を抑制・冷却する対策。</p> <p>保水性舗装には、開粒度タイプアスファルトや多孔質材に吸水・保水性能を持つ保水材を充填したもの等がある。吸水・保水能力を備えた舗装用ブロックや、保水性と透水性を兼ね備えた製品もある。また、舗装材下部より給水する施工例も見られる。</p> <p>公園内の遊歩道等で利用される土系舗装にも、保水性能がある。</p> <p>建物屋上や住宅のベランダに設置する保水性建材もある。</p> <p>【事例】</p> <p>歩道、車道、駐車場、建物屋上、住宅ベランダ</p>	
<p>②体感温度を下げるメカニズム</p>	<p>① 雨や散水によって供給された水分が蒸発する際の気化熱で、路面温度の上昇が抑制され、赤外放射が低減する。</p> <p>ただし、路面温度の上昇を抑制する効果は、路面の湿潤の程度に影響を受ける。</p> <p>② 日陰で使用した場合は、日射を遮るとともに、日陰になる路面に給水することで、路面温度が気温よりも低下し、赤外放射がより一層、低減する。</p>	
<p>③体感温度の低減効果</p>	<p>○表面温度</p> <p>日中、日向での表面温度が、通常のアスファルト舗装と比べて 10～15℃程度低く、気温より 5～12℃程度高いことが確認されている<sup>33 34 35</sup>。また、日陰で散水すると表面温度が気温以下に低下することが確認されている<sup>36</sup>。</p> <p>夜間は、表面温度が通常のアスファルト舗装と比べて 1～3℃程度低く、気温と同程度か 1℃程度低いことが確認されている<sup>36 35</sup>。</p> <p>なお、建物屋上や住宅のベランダに設置する保水性建材もあり、コンクリートと比べて日中の表面温度が、ベランダに設置する場合で 3℃程度<sup>37</sup>、建物屋上に設置する場合で 9℃程度<sup>38</sup>低くなることが実証されている。</p>	

### 3.4 地表面等の保水化

	<p>○体感温度指標</p> <p>路面に近いほど体感温度低減の効果は大きく、日中、日向ではアスファルト舗装と比べて、SET*が高さ 1.5m 地点では 0.5～1℃程度、高さ 0.6m 地点では 2℃程度低いことが確認されている<sup>39 40 41</sup>。</p> <p>○効果の持続性</p> <p>概ね降雨後 3 日間は散水無しで表面温度低減の効果を得られることが確認されている<sup>42</sup>。</p>
<p>④効果を高める選び方・使い方</p>	<p>○認証制度等を活用して選定する</p> <p>地表面等を保水化する技術は、以下のような制度の対象となっている。</p> <p>*クールブロックパイプ認定制度</p> <p>一般社団法人インターロッキングブロック舗装技術協会の定めた認定制度。協会認定機関が、協会が定めた測定方法で測定して、路面温度低減値が 8℃以上のものに対して認定する。2015 年度時点で 12 製品が認定されている<sup>43</sup>。</p> <p>*大阪ヒートアイランド対策技術認証制度</p> <p>大阪ヒートアイランド対策技術コンソーシアムが実施する認証制度。認証制度運営委員会が、評価実施機関による評価結果を審査する。「保水性舗装ブロック」では、蒸発効率が 50%以上、または蒸発効率が 40%以上で乾燥時の日射反射率（波長範囲 300～2500nm）が 15%以上等の認証基準が設けられている<sup>44</sup>。</p> <p>*環境省環境技術実証事業（ETV）</p> <p>先進的環境技術について、第三者が客観的に実証することにより、環境技術の普及を促進し、環境保全と環境産業の発展に資することを目的とした事業。</p> <p>ヒートアイランド対策として、建築物外皮による空調負荷低減等技術もその一つとされており、保水性建材等の表面温度の低下効果等が示されている。</p> <p>○湿潤を保つ</p> <p>降雨の有無にかかわらず効果を維持するためには、定期的に給水する必要がある。給水方法は、散水車によるものと道路脇に散水設備を設ける 2 つの方法があり、歩道等では舗装材下部から給水するタイプもある。散水車による方法については、適切な散水量が降雨量で 2～5mm 相当とする報告がある<sup>45</sup>。</p> <p>○日射遮蔽と組み合わせる</p> <p>日除け等により日射を遮蔽することで、水分の蒸発量が少なくなり、効果が持続する。また、地表面等の表面温度が気温より低くなり<sup>36</sup>、体感温度低減の効果が大きくなる。</p>

### 3.4 地表面等の保水化

<p>⑤設置・維持管理</p>	<p>【設置】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 保水性舗装の設置に要する費用は、数千円/㎡前後（材料＋施工費）<sup>46</sup>である。</li> <li>・ 保水性舗装ブロックの設置に要する費用は、1万円/㎡前後（材料＋施工費）<sup>47 48</sup>である。</li> </ul> <p>【維持管理】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 湿潤状態を保つと、施工箇所によってはアオコやヌメリが発生することがあるため、定期的な清掃を要する場合がある。</li> <li>・ コンクリートの保水性舗装ブロックは、白華（レンガ、コンクリート等の表面に生じる白色の粉）が生じやすい。美観を損なわないよう、発生状況に応じて洗浄が必要となる。</li> <li>・ 自動灌水を行う場合、灌水設備の設計、設置コスト、管理コストが必要となる。</li> </ul>
<p>⑥留意事項</p>	<p>○設計・施工</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 保水材および保水性舗装の構造によって施工方法が異なるため、施工にあたってはその特性を十分把握した上で行う必要がある<sup>49</sup>。</li> <li>・ 舗装材下部から給水するタイプについては、耐荷重の制限があるため、導入場所への車両通行頻度等について予め検討する必要がある。</li> <li>・ ブロックを新たに設置する場合は、既設舗装部分との段差が生じないように配慮する必要がある。</li> </ul> <p>○給水</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 給水に用いる水には、水資源の有効な活用に配慮し、下水再生水や雨水等を利用することが望ましい。</li> <li>・ 一度に多量の散水をして保水されずに排水されてしまうため、表面が湿潤となる適量を数回に分けて散水することが望ましい<sup>49</sup>。</li> <li>・ 歩行者や一般車両の安全走行への影響を考慮して、散水時刻等を計画する必要がある<sup>49</sup>。</li> </ul>
<p>⑦副次的効果</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 路面が保水することで、流出雨水の減少が期待される。一部の製品には保水性だけでなく透水性を兼ね備えたものもあり、流出雨水をさらに少なくし、都市型洪水の予防、健全な水循環の維持に貢献することが期待される。</li> <li>・ 保水性建材を建物の屋上に設置した場合には、空調負荷の削減<sup>50</sup>と、それに伴う人工排熱の減少、CO<sub>2</sub>排出量の削減が期待される。</li> </ul>

- 
- 33 高瀬ほか,給水型保水性舗装による屋外暑熱環境緩和の実験による評価:(第1報)実験概要と表面温度・アルベド測定結果, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集(1), 565-568, 2009
  - 34 古橋ほか, 環境配慮型道路舗装面の熱収支に関する研究:その1測定結果, 日本建築学会近畿支部研究報告集. 環境系(45), 213-216, 2005
  - 35 三坂ほか, 都市内緑地における芝生・舗装面の熱収支実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, 669-670, 2007
  - 36 平山ほか, パッシブクーリングアイテムによる戸建住宅街区のクールスポット創出に関する研究(その3)開発初期の住宅地における屋外熱環境の検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学 I),523-524,2015
  - 37 環境省 ETV 実証技術、ベランダ用保水性建材に関する公表結果
  - 38 環境省 ETV 実証技術、軽歩行が発生する場合にも適用可能な、屋根・屋上用保水性建材に関する公表結果
  - 39 長野ほか, 道路舗装上の体感温度と被験者の心理反応:各種道路舗装材が微気候形成に及ぼす影響その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学 I),865-866,2012
  - 40 梅田ほか, 太陽光発電による給水方法を用いた保水性舗装に関する実験的研究, 日本建築学会環境系論文集(605), 71-78, 2006
  - 41 佐々木ほか, 保水性舗装及び大規模緑地のヒートアイランド緩和機能について(都立日比谷公園における調査), 東京都環境科学研究所年報 2007, 3-11, 2007
  - 42 橋本ほか, 遮熱性舗装と保水性舗装の路面温度低減性能について, 東京都土木技術支援・人材育成センター年報, 43-52, 2014
  - 43 一般社団法人インターロッキングブロック舗装技術協会ホームページ,2015.11.10 閲覧
  - 44 認証基準として、蒸発効率  $\beta$  により異なる日射反射率(乾燥時)を定めている。 $\beta < 20\%$ の場合は日射反射率 40%以上、 $20\% \leq \beta < 30\%$ の場合は日射反射率 28%以上、 $30\% \leq \beta < 40\%$ の場合は日射反射率 22%以上、 $40\% \leq \beta < 50\%$ の場合は日射反射率 15%以上、 $\beta \geq 50\%$ の場合は日射反射率は問わない。保水性ブロックの蒸発効率とは、保水性ブロックの蒸発速度と十分湿らせた表面からの蒸発速度の比のことをいい、大阪ヒートアイランド対策技術コンソーシアムではワーキンググループが指定した蒸発性能試験法により試験するとしている。大阪ヒートアイランド対策技術コンソーシアムホームページ,2015.12.10 閲覧
  - 45 小作ほか, 保水性舗装に散水した場合の気温・湿度への効果, 東京都土木技術センター年報 2008, 141-152, 2008
  - 46 一般社団法人建設物価調査会, 建設物価, 2015年11月
  - 47 株式会社建設物価サービス, 建設資材情報, 2015年11月
  - 48 一般社団法人建設物価調査会, 土木コスト情報 2015年秋号, 2015年10月
  - 49 路面温度上昇抑制舗装研究会, 保水性舗装技術資料, 2011
  - 50 足永ほか, 保水性建材を設置した建物の表面温度及び熱負荷に関する検討, 日本建築学会環境系論文集 79(701), 615-621, 2014

### 3.5 地表面等の遮熱化

#### 地表面等の高温化抑制・冷却

<p>①概要</p>	<p>【特徴】</p> <p>路面に当たる日射の一部を上空に反射させて、路面の温度上昇を抑制する対策。</p> <p>遮熱性舗装は、舗装表面に遮熱性材料を吹きつける、あるいは塗布する「塗布型」、舗装表面近傍に遮熱性材料を充填する「充填型」、表層用混合物に遮熱性材料を混合する「混合物型」に大別される。<sup>51</sup></p> <p>また、表面に遮熱性材料を塗布したインターロッキングブロック等もある。</p> <p>【事例】</p> <p>車道、交差点、バス停、駐車場、工場の構内道路<sup>52</sup></p>	
<p>②体感温度を下げるメカニズム</p>	<p>① 遮熱化した路面が、日射の一部を反射する<sup>※</sup>。</p> <p>② 路面に吸収される熱が減り、路面温度の上昇が抑制され、赤外放射が低減する。</p> <p>(※人が受ける反射日射は増える)</p>	
<p>③体感温度の低減効果</p>	<p>○表面温度</p> <p>日中は、日向での表面温度が、通常のアスファルト舗装と比べて 5～10℃程度低く、気温より 10～15℃程度高いことが確認されている<sup>53 54 55 56</sup>。</p> <p>夜間は、遮熱性舗装の表面温度は通常のアスファルト舗装と比べて 1～3℃程度低く、気温と同程度となることが確認されている<sup>54 55</sup>。</p> <p>○体感温度指標</p> <p>日中は、通常のアスファルト舗装と比べて路面からの赤外放射が少ないことが体感温度の低減に寄与する。ただし、反射した日射が歩行者に当たるため、場合によっては SET*が通常のアスファルト舗装と比べて高くなることもある<sup>55</sup>。</p> <p>夕刻は、高さ 0.5m 地点の SET*が通常のアスファルト舗装と比べて 1℃程度低いことが確認されている<sup>55</sup>。</p>	

### 3.5 地表面等の遮熱化

④効果を  
高める選び方  
・使い方

○認証制度等を活用して選定する

地表面等を遮熱化する技術は、以下のような制度の対象となっている。

\*クールブロックパイプ認定制度

一般社団法人インターロッキングブロック舗装技術協会の定めた認定制度。協会認定機関が、協会が定めた測定方法で測定して、路面温度低減値が 8℃以上のものに対して認定する。2015 年度時点で 12 製品が認定されている<sup>57</sup>。

\*大阪ヒートアイランド対策技術認証制度

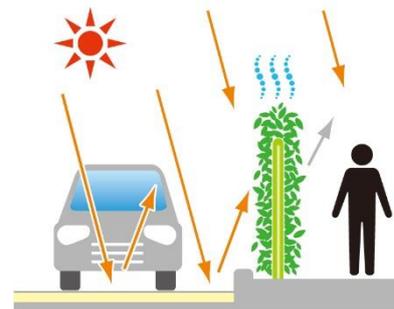
大阪ヒートアイランド対策技術コンソーシアムが実施する認証制度。認証制度運営委員会が、評価実施機関による評価結果を審査する。「高日射反射率舗装（車道除く）」では初期の日射反射率（波長範囲 300～2500nm）が 40%以上（30%以上の場合準認証）との認証基準が設けられており、5 製品が認証（準認証を含む）されている<sup>58</sup>。

○夕方に利用の多い場所で効果的

遮熱性舗装は、夕方以降の日射の影響が少なくなってからの時間帯で、効果を体感しやすい。

○日当たりの良い車道で効果的

日射を反射することで効果を得られるため、日当たりの良い車道等への施工が効果的である。その際、車道と歩道の上に植栽を設けることで、車道面から歩道への反射日射を遮り、歩行者への影響を和らげることができる<sup>59</sup>。植栽を設ける方法には、植樹帯の他、プランター式の緑化ガードレールのようなものを用いる方法、防護柵を緑化する方法がある。



⑤設置・維持  
管理

【設置】

- ・ 遮熱性舗装の設置に要する費用は、数千円/m<sup>2</sup>（材料＋施工費）である<sup>60</sup>。
- ・ 遮熱性舗装ブロックの設置に要する費用は、1 万円/m<sup>2</sup>前後（材料＋施工費）である<sup>60 61</sup>。

【維持管理】

- ・ タイヤ跡等で塗料の剥がれ・摩耗が発生した場合は、一部分あるいは全面に再度、塗布施工をする。剥がれや摩耗の程度は施工場所によって異なる。

### 3.5 地表面等の遮熱化

⑥留意事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>歩道に設置する場合には、日中には歩行者が反射日射を受けるため、歩行者への影響に留意して施工場所等を検討することが重要である。</li> <li>明度の高い素材については眩しさを感じる場合があるので、導入の際には周辺環境の状況を把握した上で、明度について検討する必要がある。</li> <li>塗布型の中には強い臭気を発するものもあるので、周辺環境への影響に留意する必要がある。また、使用に当たってはメーカー発行の製品データシート（MSDS）の記載を確認する必要がある。<sup>62</sup></li> <li>ブロックを新たに設置する場合は、既設舗装部分との段差が生じないように配慮することが望ましい。</li> </ul>
⑦副次的効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>路面温度の上昇抑制により、舗装のわだち掘れ低減<sup>63</sup>が期待される。</li> <li>車道面や歩道面の反射率が高まることで、夜間に照明の光を反射して視認性が増すことが期待される<sup>63</sup>。</li> <li>塗布型については、塗布した遮熱材が母体の舗装表面を保護し、骨材飛散の抑制が期待される<sup>64</sup>。</li> </ul>

<sup>51</sup> 社団法人日本道路協会，環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック，平成 21 年 6 月

<sup>52</sup> 路面温度上昇抑制舗装研究会，遮熱性舗装 技術資料，平成 23 年 9 月

<sup>53</sup> 橋本ほか，遮熱性舗装と保水性舗装の路面温度低減性能について，東京都土木技術支援・人材育成センター年報，43-52,2014

<sup>54</sup> 露木ほか，太陽熱高反射塗料の日射熱防除効果(その 4):遮熱舗装の温熱環境への影響，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 147-148,2006

<sup>55</sup> 赤川ほか，湿潤舗装と遮熱舗装上の温熱環境改善効果に関する実験的研究，日本建築学会環境系論文集 73(623), 85-91,2008

<sup>56</sup> 志村ほか，道路舗装に関する屋外比較実験の概要と夏季測定結果:各種道路舗装材が微気候形成に及ぼす影響その 1，日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学 D), 863-864,2012

<sup>57</sup> 一般社団法人インターロッキングブロック舗装技術協会ホームページ,2015.11.10 閲覧

<sup>58</sup> 大阪ヒートアイランド対策技術コンソーシアム ホームページ,2015.12.10 閲覧

<sup>59</sup> 若間ほか，高反射性舗装が街路空間の熱環境に及ぼす影響(その 1): 表面温度・放射の実測と作用温度による温熱環境評価，日本建築学会近畿支部研究報告集，環境系 (43), 281-284, 2003

<sup>60</sup> 一般社団法人建設物価調査会，建設物価，2015 年 11 月

<sup>61</sup> 一般社団法人建設物価調査会，土木コスト情報 2015 年秋号，2015 年 10 月

<sup>62</sup> 社団法人日本道路協会，環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック，平成 21 年 6 月

<sup>63</sup> Pomerantz et al., Durability and visibility benefits of cooler reflective pavements, Lawrence Berkeley National Laboratory Report No. LBNL43443, 2000

<sup>64</sup> 路面温度上昇抑制舗装研究会，遮熱性舗装リーフレット

### 3.6 地表面等の緑化

#### 地表面等の高温化抑制・冷却

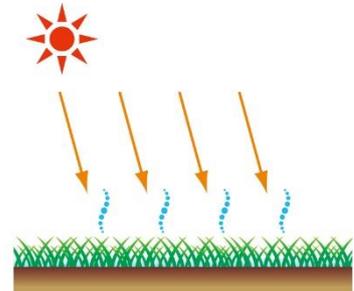
##### ①概要

##### 【特徴】

地面や屋上面を芝生等で緑化することで、地面等の温度上昇を抑制する対策。

公園、学校の校庭、比較的規模の大きな駐車場等は、日射が良く当たり、地表面の温度が高くなる。芝生や低木、草本類等を植えることによって、表面温度の上昇を抑制することができる。

また、屋上についても、テラス空間等として利用する場合には、屋上面を緑化することで足元からの暑さを和らげることができる。

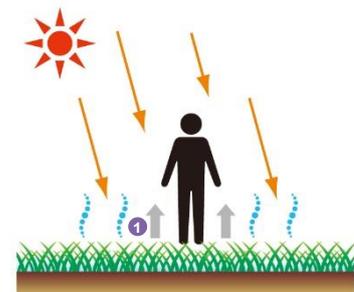


##### 【事例】

公園広場の緑化、学校校庭の芝生化、駐車場の芝生化（グラスパーキング）、路面電車軌道敷の緑化、屋上庭園

##### ②体感温度を下げるメカニズム

- ① 蒸散作用等により日射を受けても植物の葉が熱くなく、緑化面からの赤外放射が少ない。



##### ③体感温度の低減効果

##### ○表面温度

日中は、日向のアスファルト面等と比べて緑化面の温度は 10℃以上低いことが確認されている<sup>65 66</sup>。

夕刻以降、緑化面の温度は気温より低くなり<sup>67</sup>、日中に日が当たっていたアスファルト面等より 3～4℃程度低いことが確認されている<sup>65 68</sup>。

### 3.6 地表面等の緑化

④効果を高める選び方・使い方	—
⑤設置・維持管理	<p><b>【設置】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 駐車場緑化の設置に要する費用は工法等によって異なり、数万円/㎡（材料＋施工費）である<sup>69</sup>。</li> <li>・ 芝類やセダム類による屋上緑化の設置に要する費用は、数万円/㎡（材料＋施工費）である<sup>69</sup>。ただし、事務所や商業施設等の民間施設では、高木・中木の樹木を植栽する屋上緑化を採用する傾向があり、設置費用が10万円/㎡を超える事例も少なくない<sup>70</sup>。</li> </ul> <p><b>【維持管理】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 刈り込み、雑草防除や施肥等の生育管理、病虫害防除等が必要となる<sup>71</sup>。</li> </ul>
⑥留意事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 対策場所に適した種類の植物を選定する。 駐車場の芝生化では、日照時間不足や自動車の踏圧、アイドリングによる熱によって枯れてしまうことがあり、緑化する場所や植物の種類の選定に留意する必要がある。</li> </ul>
⑦副次的効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 景観向上や生物多様性保全への寄与が期待される。</li> <li>・ 植栽部分の基盤に保水効果がある場合、流出雨水の減少が期待される。</li> <li>・ 屋上緑化では、建物屋上面に当たる日射を遮蔽することで、冷房負荷の削減と、それに伴う人工排熱の減少、CO<sub>2</sub>排出量の削減が期待される。</li> </ul>

<sup>65</sup> 淑ほか、緑化タイプの違いによる駐車場の熱環境改善効果の比較、日本緑化工学会誌 37(2), 318-329, 2011

<sup>66</sup> 山本ほか、屋上緑化による温熱環境改善効果に関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 233-234, 2002

<sup>67</sup> 瓜生ほか、学校林と校庭芝生化の夏季温熱環境緩和効果の比較研究、日本建築学会学術講演梗概集 D-1, 775-776, 2011

<sup>68</sup> 三坂ほか、軽量・薄層型屋上緑化技術のヒートアイランド緩和効果の定量評価に関する研究、日本建築学会技術報告集 (21), 195-198, 2005

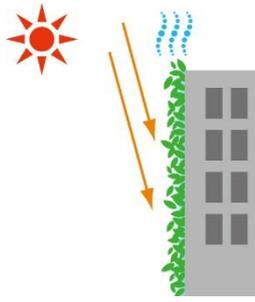
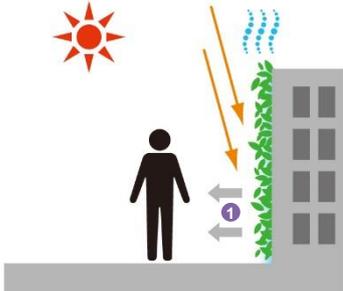
<sup>69</sup> 日本政策投資銀行、都市環境改善の視点から見た建築物緑化の展望, 2004

<sup>70</sup> 鈴木ほか、屋上緑化施設の公開、植栽形態ならびに費用に関する公共と民間の比較、ランドスケープ研究 74(5), 451-456, 2011

<sup>71</sup> 社団法人日本道路協会、道路緑化技術基準・同解説, 昭和 63 年

### 3.7 壁面等の緑化

#### 壁面等の高温化抑制・冷却

<p>①概要</p>	<p>【特徴】</p> <p>建物壁面をつる性植物や緑化パネル等で覆い、壁面の温度上昇を抑制する対策。</p> <p>壁面緑化の形状には、植物を壁面に登攀または下垂させる方法、建築に支持材を取り付ける方法、ユニット型の緑化パネルを組み合わせる方法、緑化ブロックを組み合わせる方法等がある。</p> <p>緑のカーテンは、窓面やベランダなどに設置したネット上につる性植物を這わせる方法で、住宅や校舎等において各地で実施されている。</p> <p>【事例】</p> <p>オフィスビルや商業施設のエントランス等の壁面緑化、学校や市庁舎等の緑のカーテン</p> 
<p>②体感温度を下げるメカニズム</p>	<p>① 蒸散作用等により日射を受けても植物の葉が熱くなりにくいいため、緑化面からの赤外放射が少ない。</p> 
<p>③体感温度の低減効果</p>	<p>○表面温度</p> <p>日射が当たる通常の壁面は、南面では気温より 4～10℃程度、西面では気温より 10～20℃程度高くなる<sup>72</sup>ことがあるのに対し、緑化面の葉の表面温度は、気温より 2～5℃高い程度となることが確認されている<sup>73 74 75</sup>。</p> <p>○体感温度指標</p> <p>日中、面積約 2m 四方の緑化面から水平方向に 0.5m 離れた地点の SET*が、通常の壁面と比べて 1℃程度低いことが確認されている<sup>76</sup>。</p>

### 3.7 壁面等の緑化

④効果を高める選び方・使い方	○日がよく当たる建物の西面や南面に設置する 建物の西面や南面の壁面を緑化すると壁面温度の上昇を抑制する効果が大きく、冷房負荷削減の効果も得られる。
⑤設置・維持管理	<p><b>【設置】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>壁面緑化の設置に要する費用は、数万～十数万円/m<sup>2</sup>（材料＋施工費）である<sup>77</sup>。</li> </ul> <p><b>【維持管理】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>剪定、施肥、病虫害防除、除草の維持管理が必要となり、費用は数千円/m<sup>2</sup>前後である<sup>77</sup>。灌水設備や登攀・下垂用の支持材等の施設管理も必要となる<sup>78</sup>。</li> <li>壁面緑化では枯損や病虫害被害の改修コストが大きくなりやすいため、早期発見・早期対処のための定期巡回も重要となる。また、定期的に枯葉を除去することで、景観を保つことができる。<sup>79</sup></li> </ul>
⑥留意事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>壁面緑化の維持管理に要する作業頻度・項目等を、設計段階で検討する必要がある<sup>79</sup>。</li> <li>緑のカーテンを窓面に設置する場合には、窓からの通風を阻害しないよう、窓面から一定の距離を確保することが望ましい<sup>80</sup>。</li> </ul>
⑦副次的効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>建物壁面や建物内に当たる日射を遮蔽することで、冷房負荷の削減と、それに伴う人工排熱の減少、CO<sub>2</sub>排出量の削減が期待される。</li> <li>景観向上や生物多様性保全への寄与が期待される。</li> <li>壁面緑化は屋上緑化にくらべて人の目に留まりやすく、緑化対策のアピール効果が期待される。</li> <li>目に見える緑が増えることで、空間の「安らぎ」、「潤い」というイメージが高まる<sup>81</sup>ことが期待される。</li> </ul>

<sup>72</sup> 環境省，平成 19 年度都市内水路等によるヒートアイランド抑制効果検討業務報告書，平成 20 年 3 月

<sup>73</sup> 鈴木ほか，季節の違いによる壁面緑化の温熱環境改善効果，日本緑化工学会誌 33(4)，587-595，2008

<sup>74</sup> 梅干野ほか，つる植物による植栽スクリーンの日射遮へい効果に関する基礎的研究：植栽スクリーンの葉温分布，日本建築学会研究報告．中国・九州支部．2，環境系 (6)，137-140，1984

<sup>75</sup> 成田，緑のカーテンは周囲空気を冷却するか？，環境情報科学論文集 23，167-172，2009

<sup>76</sup> 鈴木ほか，WBGT，SET\*による壁面緑化の温熱環境改善効果の評価，ランドスケープ研究：日本造園学会誌 69(5)，441-446，2006

<sup>77</sup> 鈴木，壁面緑化の研究動向と普及に向けた諸課題，城西国際大学紀要 22(7)，1-25，2014

<sup>78</sup> 鈴木ほか，壁面緑化に関する技術開発の動向と課題，日本緑化工学会誌 31(2)，247-259，2005

<sup>79</sup> 屋上開発研究会技術開発部会 壁面緑化 WG，「美しいまちをつくる」ための壁面緑化，2009

<sup>80</sup> 成田，緑のカーテンが教室の温熱環境に及ぼす効果，環境情報科学論文集 21，501-506，2007

<sup>81</sup> 国土交通省，都市の緑量と心理的効果の相関関係の社会実験調査について，国土交通省 都市・地域整備関係報道発表資料 平成 17 年 8 月 12 日

## 【大規模壁面緑化 バイオラング】

2005年日本国際博覧会（愛・地球博）長久手会場には、横幅約150m、最大高さ15m、緑化面積約3500㎡の大規模な自立型緑化壁が設置されました。

生物を意味する「バイオ」と肺の「ラング」を組み合わせ「バイオラング」と名付けられたこの壁は、都市部の気温上昇を抑える、植物が空気中の二酸化炭素を吸収する等の効果が期待される都市緑化の社会実験モデルとして施工され、熱環境改善効果などが測定されました<sup>82</sup>。

その結果、バイオラングの表面温度は25～35℃（気温は33.4℃）で、高いところでも気温より2℃高い程度となり、バイオラング近傍の気温も低下していることが示されました<sup>83</sup>。



（写真提供：公益財団法人都市緑化機構）

バイオラングの設置場所には、暑熱環境の一層の改善を期待して、微細ミスト噴霧や保水性舗装も組み合わせて施工されていました。

複数の対策を組み合わせる「暑さ対策」としても、参考になる先行事例と言えます。

<sup>82</sup> 井口，緑化によるヒートアイランド現象の緩和，環境省クールシティ 2008 講演資料，2008 年 7 月

<sup>83</sup> 国土交通省，2005 年日本国際博覧会（愛・地球博）で実施している大規模壁面緑化（バイオラング）の効果測定実験について（速報），2005 年 8 月 12 日

### 3.8 壁面等の保水化・親水化

#### 壁面等の高温化抑制・冷却

##### ①概要

##### 【特徴】

建物壁面や、ルーバーやブロック等の立面を構成する部材に、保水性や親水性の機能を持たせて水を供給し、気化熱により壁面等の温度上昇を抑制・冷却する対策。

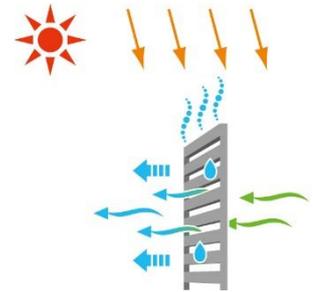
ルーバーや通風性を有するブロックを用いることで、通過する風を冷やすことができる。表面に吸水性・親水性を持たせたアルミ材等を用いたルーバー、保水性能を持たせたブロック等が使われており、緑化と組み合わせている物もある。

製品によって、常時給水するものと間欠的に給水するものがある。

なお、建物ガラス面や建物外側に設置した膜やパネルに親水性を持たせて散水し、建物壁面の温度上昇を抑制する方法や、看板をミスト噴霧で濡らして体感温度低減の効果を得ようとする試みも見られる。

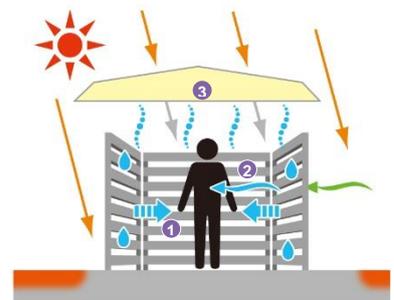
##### 【事例】

商店街のベンチ、バスやタクシー等の待合所、住宅のバルコニー



##### ②体感温度を下げるメカニズム

- ① ルーバーやブロックの表面から水が蒸発する際の気化熱で、表面温度が低下し、赤外放射が低減する。
- ② ルーバーやブロックを通過する風が冷やされ、風下側の気温が局所的に低下する。
- ③ 日射を遮蔽すると、効果を体感しやすい。



##### ③体感温度の低減効果

##### ○表面温度

日向に設置した場合でも、散水しない場合と比べて、散水面の温度は 2～5℃程度低いことが確認されている<sup>84 85</sup>。

##### ○周辺気温

日陰に設置した場合、日中、風上と比べて風下側の気温が 1～1.5℃程度低下することが確認されている<sup>86 87</sup>。

##### ○体感温度指標

日陰に設置した場合、日中、風下側に 1m程度の範囲、または冷却面に囲まれた場所の、SET\*が 1～2℃低下することが確認されている<sup>88 89 90</sup>。

### 3.8 壁面等の保水化・親水化

<p>④効果を高める選び方・使い方</p>	<p>○日射遮蔽と組み合わせる 冷却ルーバー・ブロック等に日射が当たると表面温度が低下しにくくなるため、日除け等により日射を遮蔽することで、体感温度低減の効果が大きくなる。</p> <p>○2方向以上の面を囲んで設置する 冷却ルーバー・ブロック等を1面だけではなく、2方向以上の面を囲んで設置すると、囲まれた空間で体感温度低減の効果を体感しやすくなる。</p>
<p>⑤設置・維持管理</p>	<p><b>【設置】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 冷却ルーバー・ブロック等の設置に要する費用は、20万円/㎡前後（材料＋施工費）で、設置場所や灌水方法によって、別途、水道工事等を要する場合がある。</li> <li>・ ルーバー・ブロック等に給水した水が下部に滴下するため、床面を透水性のある素材で仕上げる等の処理が必要となる。</li> </ul> <p><b>【維持管理】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 冷却ルーバー・ブロック等の運用中は、10リットル/日・㎡前後の水を使用する。</li> <li>・ 給水のためにポンプを使用する場合等には電気代が必要となる。</li> <li>・ 下水道料金については、給水した水が公共下水道に流れ込まない場合、地方自治体によっては減免される場合があるが、当該自治体に問い合わせる必要がある。</li> </ul>
<p>⑥留意事項</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ いずれの製品についても、灌水設備を給水装置として水道に接続する場合には、水道法を遵守する必要がある。</li> <li>・ 高台や沿岸部等の非常に風当たりの強い場所への設置を検討する際は、製品の耐風性能等に留意する必要がある。</li> <li>・ 人がルーバー・ブロック等に触れる可能性がある場合、給水する水の水質に配慮する必要がある。</li> <li>・ 風が強い場所に設置する場合、風下に水滴が飛散することがあるため、給水する水の水質に配慮する必要がある。</li> </ul>
<p>⑦副次的効果</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 建物の窓の外側に設置すると、窓を開けた際に室内に取り込まれる外気が冷やされるため、冷房の使用を控えることで、人工排熱の減少、CO<sub>2</sub>排出量の削減が期待される。</li> </ul>

<sup>84</sup> 安藤ほか、外付け日射遮蔽スクリーンを併用した光触媒外装材散水実験棟の温熱環境実測に関する研究、日本建築学会環境系論文集 (608), 17-22, 2006

<sup>85</sup> 武田ほか、光触媒外付けスクリーン散水による温熱環境実測とシミュレーション、日本建築学会環境系論文集 73(632), 1179-1188, 2008

<sup>86</sup> 平山ほか、パッシブクーリングアイテムによる戸建住宅街区のクールスポット創出に関する研究（その3）開発初期の住宅地における屋外熱環境の検証、日本建築学会 学術講演梗概集(環境工学 II), 523-524, 2015

<sup>87</sup> 小松精練株式会社、グリーンビズを用いたルーバー型壁面緑化による温度低減効果, 2015

<sup>88</sup> 平山ほか、パッシブクーリング技術を複合したテラス空間の設計とクールスポットの形成評価、日本ヒートアイランド学会全国大会第10回, 2015

<sup>89</sup> 奥田ほか、透水性孔あきレンガを用いたパッシブクーリングウォールの開発：その3 SET\*による風下空間の熱的快適性の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 419-420, 1997

<sup>90</sup> 白井ほか、パッシブクーリングウォールにより構成された空間における涼しさの評価：透水性の孔あき壁体を利用した蒸発冷却による屋外・半屋外快適空間の形成 その3、日本建築学会計画系論文集 (552), 15-20, 2002

### 【水景施設による暑さ対策】

水を利用する暑さ対策の一つに、水景施設の活用も挙げられます。

噴水や水盤等を設置することによって、見た目や水音で周囲の環境に変化を与えるだけでなく、水分の蒸発により周囲の暑さを和らげます。

体感温度の低減効果としては、風下側の気温が1～2℃低くなる<sup>91</sup>ことや、体感温度指標 SET\*が2～3℃低くなる<sup>92</sup>ことが確認されています。

公園の噴水のほか、まちなかの公開空地等に噴水や水盤を設置して憩いの空間を提供している事例もあります。



噴水の設置事例（写真提供:環境省）

<sup>91</sup> Nishimura et al., Novel water facilities for creation of comfortable urban micrometeorology, Solar Energy, 197-207, 1998

<sup>92</sup> 三坂ほか, 水景施設を活用した暑熱環境改善効果に関する研究 : その2 温熱快適性と熱収支の評価, 日本建築学会大会 学術講演梗概集 D-1, 887-888, 2009

### 3.9 微細ミスト噴霧

#### 空気の冷却

##### ①概要

##### 【特徴】

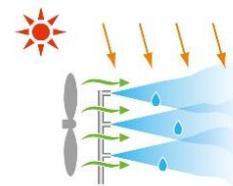
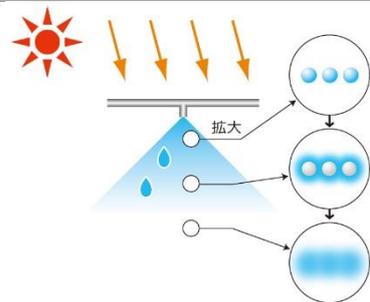
大気中へ微細なミストを噴霧し、噴霧直後に蒸発することで気化熱を利用して局所的に気温を低下させる対策。

噴霧の方法には、水に圧力をかけて噴射する(一流体)方法と、圧搾空気とともに水を放出する(二流体)方法とがある。

噴霧されるミストの粒子径は、製品によって異なるが 10~30 $\mu$ m と微細であり、短時間で気化するため人が濡れを感じることなく暑さを和らげることができる。

微細ミストが噴霧される光景は涼しげで、民間の集客施設や公共施設等で導入例が見られる。

送風ファンと組み合わせた物もある<sup>(\*iv)</sup>。



(\*iv)送風ファンと組み合わせた場合

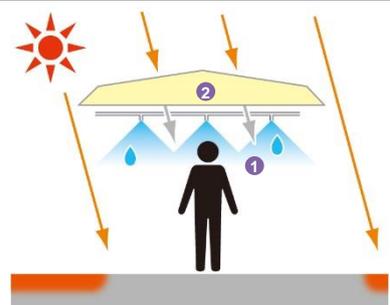
##### 【事例】

人通りの多いアーケードや駅前、イベント会場

ショッピングセンター、アミューズメント施設、パーキングエリア、市役所、鉄道駅、建物エントランスの半屋外空間

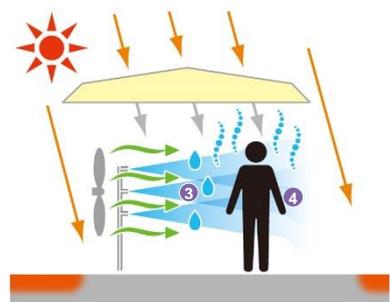
##### ②体感温度を下げるメカニズム

- ① 微細ミストから噴霧された水が蒸発する際に、周囲の空気から気化熱を奪い、局所的に気温が低下する。
- ② 日射を遮蔽すると、効果を体感しやすい。



送風ファンを併用する場合はさらに、

- ③ ファンによって冷やしたい場所へミストが運ばれる。
- ④ ファンの風が肌に当たり、汗や皮膚に付着した微細ミストを蒸発させ、皮膚温度を低下させて体感温度を下げる。



### 3.9 微細ミスト噴霧

#### ③ 体感温度の低減効果

##### ○近傍の気温

日陰で微細ミストを噴霧した場合、ノズルから風下側の水平方向に約 5mの範囲内（弱風時）の気温が平均的には 2℃、瞬時的には 5℃程度低下することが確認されている<sup>93</sup>。

噴霧開始直後から気温が低下し、噴霧停止直後に気温が上昇する<sup>94</sup>。

ミストが風で流されるため、風速が 1～1.5m/s 程度以上の場合にはノズル直下の気温は低下しない<sup>93 94</sup>。また、相対湿度が高い場合には微細ミストが気化しにくくなり、気温の低下量は小さい<sup>93</sup>。

##### ○体感温度指標

微細ミスト噴霧によって SET\*が 2℃程度低下することが確認されている<sup>95 94</sup>。

#### ④ 効果をもつ高める選び方・使い方

##### ○日射遮蔽と組み合わせる

日向より日陰で使用した方が、ミストの効果を体感しやすいことが確認されている<sup>96</sup>。

##### ○日中に、屋外・半屋外で使用する

相対湿度が高い場合には気温の低下量が小さい<sup>93</sup>ため、相対湿度が比較的低い日中の利用が適している。閉鎖空間での使用は相対湿度が高くなるため適さず、半屋外空間においても、相対湿度が高くなりすぎないよう、ある程度の換気量が確保される場所で利用するとよい。

##### ○一定の気象条件の下で稼働させる

風があるとミストが飛ばされてノズル下で気温低下の効果を得られない<sup>93 94</sup>こと、また気温が 25℃以下ではミストを噴霧すると不快になる傾向が確認されている<sup>96</sup>ことから、気象センサーを設置して、一定の気象条件で噴霧するよう制御することが望ましい。

例えば、「気温 27℃以上・湿度 70%未満・風速 3 m/s 未満・降雨なし」等の条件を設定する例が見られる。

##### ○イベント会場等で利用する

一時的に人が大勢集まるイベント会場等、恒久的な暑さ対策の設置が難しい場所では、電源があれば稼働できる移動式製品の利用が適している。

##### ○送風ファンを併用して特定の場所を冷やす

送風ファンを併用した物は、強制的にミストを飛ばすことで、特定の場所を効率的に冷却することができる。併用した場合、皮膚温が 1～7℃程度低下することが確認されている<sup>97</sup>。

### 3.9 微細ミスト噴霧

⑤設置・維持管理	<p><b>【設置】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 微細ミストの設置に要する費用は製品や規模等により異なり、数十万～数百万円（材料＋施工費）である。</li> <li>・ 送風ファン付き微細ミストの製品価格は製品や大きさにより異なり、数十万円/個前後（本体のみ）である。</li> </ul> <p><b>【維持管理】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ シーズンイン・オフの 2 回/年、配管の水抜きや清掃、点検、部品の交換等を実施する。ノズル、ポンプユニットの消耗部品とオイルは、定期的に交換を要する。</li> <li>・ タンクに給水する仕様のもは、水質を適切に維持できる頻度で水を入れ替える。長期間使用しない場合は、ノズルやタンクの中の水を全て排水する。</li> <li>・ 水道直結式でも、配管ホースや延長ホースに汚染が発生しないよう、消毒と持続的放水による維持管理が有効であることが確認されている<sup>98</sup>。</li> <li>・ 下水道料金については、噴霧した水が公共下水道に流れ込まない場合、地方自治体によっては減免される場合があるが、当該自治体に問い合わせる必要がある。</li> </ul>
⑥留意事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水の粒径によって周辺の濡れ具合は異なり、粒径が大きいほど濡れやすいため、用途に応じて製品を選定する必要がある。</li> <li>・ 給水装置として水道に接続する場合には、水道法を遵守する必要がある。</li> <li>・ 商業街路等で実施する場合、店舗の商品等によっては、わずかな濡れも適さない場合があるため、噴霧場所に留意する必要がある。</li> <li>・ ポンプと一体型の移動式製品の場合、ポンプは直射日光や雨が当たるところには設置しないよう留意する。</li> <li>・ ミストが人の口に入ったり吸引されたりする可能性を考慮し、水源の選定やタンク・ホースの維持管理により、ミストの水質の安全性を確保する必要がある。</li> </ul>
⑦副次的効果	視覚的にも涼しさを提供するため、暑さ対策のアピール効果が期待される。

<sup>93</sup> 成田ほか、微細水ミスト噴霧による気温低下領域の実測超音波風速温度計の多点計測による検討、日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学 I),617-618,2015

<sup>94</sup> 金田ほか、都市街路空間内でのミスト噴霧による熱環境改善効果に関する実証実験、空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集(3),2049-2052,2007

<sup>95</sup> 三坂ほか、微細ミストによる暑熱環境緩和に関する研究:(第 2 報)半屋外の実空間への適用と効果評価、空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集(2),1063-1066,2011

<sup>96</sup> 河野ほか、日射遮蔽を考慮した微細水ミスト噴霧環境の快適性評価に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学 II),499-500,2013

<sup>97</sup> Farnham et al, Evaluation of cooling effects: outdoor water mist fan, Building Research & Information, 43(3), 334-345, 2015

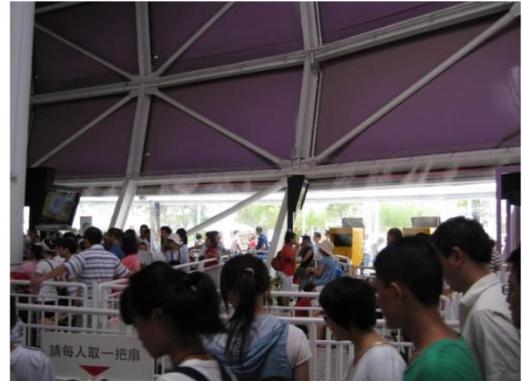
<sup>98</sup> 濱武ほか、水道直結式ミスト発生装置の維持管理方法について、日本公衆衛生雑誌 62(4), 182-189, 2015

## 【上海万博での微細ミスト噴霧】

2010年5月から10月にかけて上海で開催された国際博覧会では、来場者が列をなす場所などに微細ミスト噴霧等の暑さ対策が実施されました。日本館でも、パビリオンへの入場者が待機する屋根の付いた半屋外空間において、人体発熱量等を考慮した微細ミスト噴霧が設計され、送風機付きとノズルのみの2種類の装置により、合計で10kg/minのミストが噴霧されました。

開催期間中のミスト噴霧日と非噴霧日に計測が実施されました<sup>99</sup>。微細ミストの非噴霧日では外気にくらべ待機場所の気温は1℃低く、一方、噴霧日では外気にくらべ最大5℃、平均で2℃程度低くなっており、微細ミスト噴霧による気温の低下効果が示されました。また、SET\*についても評価しており、微細ミスト噴霧による暑熱緩和効果が示されています。

設置場所の気象条件等を踏まえた適切な設計により、大規模イベント時の半屋外空間において、効果的な暑さ対策が実施可能であることが示された事例と言えます。



上海万博で設置された微細ミスト<sup>100</sup>

<sup>99</sup> 三坂ほか、微細ミストによる暑熱環境緩和に関する研究（第2報）半屋外の空間への適用と効果評価，空気調和・衛生工学会学術講演会論文集(2)，1063-1066，2011

<sup>100</sup> 写真出典：三坂，ヒートアイランド現象に対する適応策（快適な熱環境の形成），環境省ヒートアイランド対策推進ブロックセミナー講演資料，2012年3月6日

—第3部 技術編—



## 第4章 体感温度の把握

### 4.1 体感温度指標

- ・体感温度指標は複数の温熱要素から計算され、人が感じる暑さや涼しさを単一の尺度で表す指標
- ・数多くの体感温度指標がそれぞれの目的に応じて開発されており、評価に適した環境条件が異なる
- ・屋外の評価で使われる指標の例として、標準有効温度 SET\*、湿球黒球温度 WBGT などがある

体感温度には気温や湿度、風速、放射（日射、路面などからの赤外放射）の4つの環境側の要素（以下、「温熱4要素」と言う。）と、運動量と着衣量の2つの人間側の要素が影響します。体感温度指標は、これらの複数の要素を用いて計算され、人が感じる暑さや涼しさを単一の尺度で表す指標です。

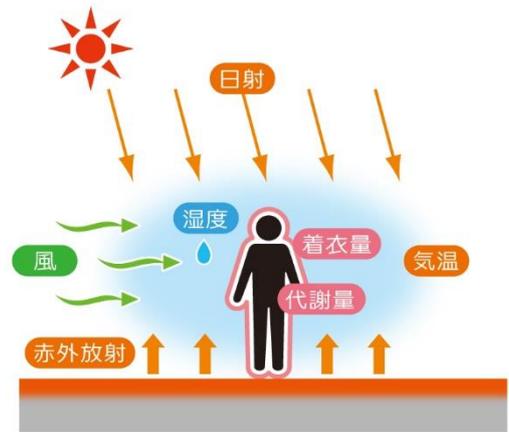


図 4.1 体感温度に影響する要素（再掲）

数多くの体感温度指標がそれぞれの目的に応じて開発されており、世界的には PET、ETU などが多く使われています。各体感温度指標は、一定の環境条件、人間条件のもとで最も適切な評価ができるため、地域の気候特性の違いなどを考慮して体感温度指標を選ぶ必要があります。以下では、日本で屋外の評価

に使われている指標の例として、標準有効温度 SET\*と湿球黒球温度 WBGT を紹介します。また、気温と放射の2つの要素で計算する作用温度 OT については、巻末の参考資料で紹介します。

#### 1) 標準有効温度 SET\* (Standard Effective Temperature)

SET\*は研究者や空調分野の技術者などの間で広く使われている体感温度指標で、温熱的に同等な標準環境の気温（℃）とすることができます。屋内の熱環境の評価を基本としていますが、日射などの条件を適切に設定<sup>101</sup>し、屋外の評価にも使われています。人の温冷感や快適感と良い関係性を示し、SET\*で 32℃ を超えるあたりで「不快」と感じる傾向にあるようです。

表 4.1 SET\*と快適感との関係

SET* (℃)	快適感
33.3	非常に不快
32.1	不快
30.8	やや不快
28.4	どちらでもない
27.0	やや快適
	快適

日本人の屋外における快適感の申告試験結果<sup>102</sup>を参考に作成

<sup>101</sup> 条件設定の一例は 51 頁のコラムを参照ください。

<sup>102</sup> 石井ほか、屋外気候環境における快適感に関する実験的研究、日本建築学会計画系論文報告集、386、28-37、1988

また、非空調空間を対象に SET\*と人の許容度との関係を調べた研究<sup>103</sup>では、SET\*32℃が温熱的に受容できる上限であると報告されています。

## 2) 湿球黒球温度 WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)

WBGT は、人の耐暑限界を知るために開発され、日本では主に産業職場の熱環境評価に使われてきました。現在では屋内外の熱中症予防の指標として普及し、環境省では「暑さ指数」として全国 840 地点の実況値と予測値を公表しており<sup>104</sup>、関心のある地域の暑さの状況を簡単に確認することができます。観測地点を選択して電子メールでデータを受け取ることもできます。

対応する熱中症の予防指針が示されており、WBGT28℃以上では厳重警戒等となっています。

表 4.2 日常生活における熱中症予防指針<sup>105</sup>

WBGT (°C)	注意すべき生活活動の目安	注意事項
危険 (31 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高い。外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。
厳重警戒 (28~31)		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)	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 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。

表 4.3 運動に関する熱中症予防指針<sup>106</sup>

WBGT (°C)	熱中症予防運動指針	
31℃以上	運動は原則中止	WBGT31℃以上では、特別の場合以外は運動を中止する。特に子どもの場合は中止すべき。
28~31℃	厳重警戒 (激しい運動は中止)	WBGT28℃以上では、熱中症の危険性が高いので、激しい運動や持久走など体温が上昇しやすい運動は避ける。運動する場合には、頻りに休息をとり水分・塩分の補給を行う。体力の低い人、暑さになれていない人は運動中止。
25~28℃	警戒 (積極的に休息)	WBGT25℃以上では、熱中症の危険が増すので、積極的に休息をとり適宜、水分・塩分を補給する。激しい運動では、30 分おきくらいに休息をとる。
21~25℃	注意 (積極的に水分補給)	WBGT21℃以上では、熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。熱中症の兆候に注意するとともに、運動の合間に積極的に水分・塩分を補給する。
21℃未満	ほぼ安全 (適宜水分補給)	WBGT21℃未満では、通常は熱中症の危険は小さいが、適宜水分・塩分の補給は必要である。市民マラソンなどではこの条件でも熱中症が発生するので注意。

<sup>103</sup> 中野ほか, O 駅及び非空調駅の熱的快適域の比較-大規模空調空間を有する駅の熱的快適域に関する研究その 3, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学 II), 319-320, 2012

<sup>104</sup> 環境省「熱中症予防情報サイト」<http://www.wbgt.env.go.jp/>

<sup>105</sup> 日本気象学会, 日常生活における熱中症予防指針 Ver.3

<sup>106</sup> 日本体育協会, スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック 2013

## 4. 2 実測等による把握方法

- ・現地で日当たりや風通しの状況を確認し、黒球温度計等を用いて温熱 4 要素を測定
- ・実測による方法は、測定場所の局所的な影響を受けやすいことに注意
- ・測定した複数の温熱要素を用いて SET\*や WBGT などの体感温度指標を計算

夏季日中などに実際に現地を訪れることで、測定するまでもなく、日当たりや風通しの状況など、熱環境の重要な要素を確認することができます。体感温度を定量的に把握するには、体感温度指標の算出に必要な温熱要素を測定し、計算して求めることができます。

標準有効温度 SET\*と湿球黒球温度 WBGT について、測定方法や留意事項、計算方法などを整理しました。

### 1) SET\*

SET\*を把握するには気温(°C)、相対湿度(%)、風速(m/s)、黒球温度(°C)もしくは平均放射温度 MRT<sup>107</sup>(°C)の温熱 4 要素に加え、人の代謝量(met)と着衣量(Clo)が必要になります。

温熱 4 要素をそれぞれ測定するのは煩雑ですが、気温や相対湿度、風速、黒球温度の測定をパッケージ化した測定機器が市販されています。このような機器を用いることで比較的簡単に測定することができます。以下に測定上の留意事項の例を示します。

#### ①測定場所の選定

体感温度は日当たりや風通しの状況などの局所的な影響を受けやすいため、計測場所周辺の建物状況などを観察し、評価に適した

場所に計測器を設置します。また、計測センサーの設置高さについて、高温化した路面上で測定する場合などは低い位置ほど体感温度が高くなる可能性があります。歩行者の体感温度を評価する場合には地上高 1.1m が基本になりますが、着座時を評価する場合にはより地面に近い位置で測定する必要があります。

#### ②気温の測定

気温センサーが日射や路面からの赤外放射を受けないように物理的に囲う必要があります。気温センサーを筒や放射シールドで遮蔽する場合、通風を確保する必要があります。その際、自然通風式は強制通風式(気温センサーを入れた筒などにファンで強制的に風を導入する方式、図 4.3 参照)の温度計にくらべて、日向では日射などの影響をかなり受けることが指摘されています<sup>108</sup>。日向では、気温を強制的な通風条件で測定することで正確な値を測ることができます。



図 4.2 温熱 4 要素を測定する機器の例

<sup>107</sup> MRT (Mean Radiant Temperature) : 周囲から受ける放射熱量の全方向に対する平均値と等価な放射熱量を出す黒体放射の温度 (°C)

<sup>108</sup> 気象庁, 気象観測の手引き, 1998 年 9 月

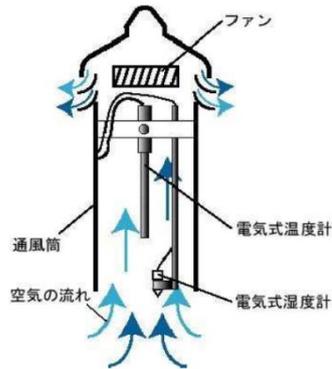


図 4.3 気温センサーを入れる通風筒の例（断面と概観）<sup>109</sup>

### ③放射環境の測定

放射環境を簡単に測るには黒球温度計を uses。黒球は全方位からの日射（短波放射）と路面等からの赤外放射（長波放射）の全ての放射熱を同時に測定します。黒球温度の値が安定するまでには時間がかかるため 15 分以上、放置する必要があります。視覚的には、サーモカメラを用いて熱画像を撮影することで、赤外放射量が多い高温部分を容易に特定することができます。スマートフォンなどを用いて簡単に熱画像を撮影できる機器も市販されています。

長短波放射収支計を用いて波長帯別、方向別に計測する方法もあります。短波、長波の別に上下 2 方向を計測<sup>110</sup>したり、より詳細には 6 方向（上下、左右、前後）を計測（次頁のコラムを参照ください）し、波長帯別、方向別に重み付けして MRT を算出することで、人が受ける放射により近い値を知ることができます。

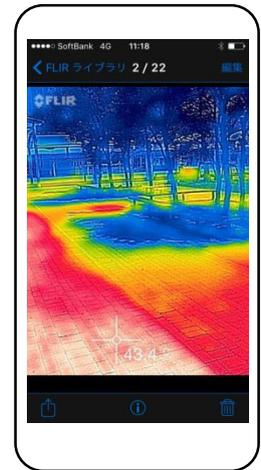


図 4.4 スマートフォンによる熱画像撮影のイメージ

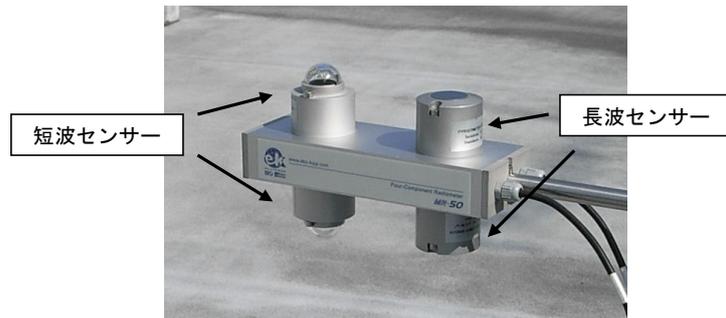


図 4.5 直径 15cm の黒球温度計（左）と長短波放射収支計（右）の例

なお、以下の式を用いて黒球温度などから MRT を求めることができます。

$$MRT = \left[ (t_g + 273)^4 + 2.5 \times 10^8 \times V_a^{0.6} (t_g - t_a) \right]^{0.25} - 273 \quad (\text{ISO7726})$$

ここで、MRT：平均放射温度(°C)、 $t_g$ ：黒球温度(°C)、 $t_a$ ：気温(°C)、 $V_a$ ：風速(m/s)。ただし、標準的な黒球温度計（直径 15cm）の場合。

<sup>109</sup> 気象庁, 気象観測ガイドブック, 2002 年 12 月

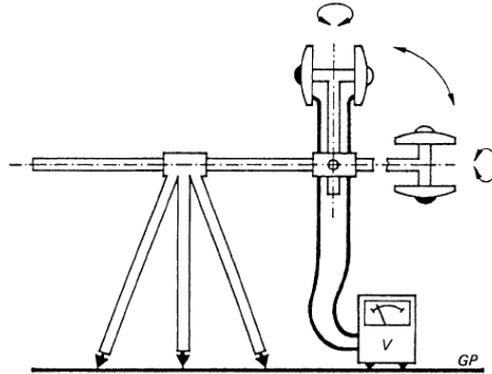
<sup>110</sup> 渡邊ほか, 屋外における平均放射温度の算出法の比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学 II), 357-358, 2013

### 【屋外日射環境における平均放射温度 MRT の測定方法の紹介】

屋外日射環境における MRT について、ドイツ技術者協会規格（VDI）に示されている測定方法を紹介します。

<VDI 3787 Part 2 Annex A : 平均放射温度 MRT>

- ・長短波放射収支計を使い、下方や上方へ 90°ずつ動かし、6つの方向からの放射フラックスを測定
- ・測定高さ：地上 1.1m ※立位の人間の重心位置にほぼ一致



- ・6方向別の重み係数と短波・長波別の吸収率から、人体に吸収される平均放射フラックス密度  $S_{Str}$  ( $W/m^2$ ) を計算

$$S_{Str} = \sum_{i=1}^6 W_i \cdot (a_k \cdot K_i + a_l \cdot L_i)$$

6方向別の重み係数  $W_i$  ( $i = 1$  to  $6$ )

$$\left[ \begin{array}{l} \text{東・南・西・北の方向からの放射フラックス : } 0.22 \\ \text{上または下からの放射フラックス : } 0.06 \end{array} \right]$$

$K_i$  : 短波放射（日射）フラックス ( $W/m^2$ )

$L_i$  : 長波放射（赤外放射）フラックス ( $W/m^2$ )

$a_k$  : 短波放射に対する吸収率 0.7

$a_l$  : 長波放射に対する吸収率 0.97

- ・MRT ( $^{\circ}C$ ) を計算

$$t_{MRT} = \left[ S_{Str} / (\epsilon_p \cdot \sigma) \right]^{0.25} - 273.2$$

$\sigma$  : ステファンボルツマン定数  $5.67 \times 10^{-8}$  ( $W/(m^2 \cdot K^4)$ )

$\epsilon_p$  : 人体の放射率 0.97

SET\*の計算は複雑ですが、演算ソフトが一般に公表されており<sup>111</sup>、計測した気温、相対湿度、風速、黒球温度（グローブ温度）などから求めることができます。

また、代謝量（作業量）と着衣量は状況に応じた適当な数値を入力します。以下に代謝量と着衣量の例を示します。例えば、静かに椅子に座っている場合で1.0[met]、男性の夏の服装で0.43[clo]などが使われます。

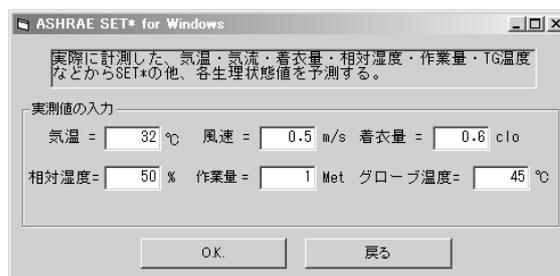


図 4.6 SET\*演算ソフトの例<sup>111</sup>

表 4.4 代謝量（met 値）の例<sup>112</sup>

活動	代謝量 (met)
いす座安静	1.0
立位安静	1.2
歩き回り	1.7
平坦歩行：3.2km/h	2.0
平坦歩行：4.8km/h	2.6

表 4.5 着衣量（clo 値）の例<sup>112</sup>

男性		女性	
服装	着衣量 (clo)	服装	着衣量 (clo)
1) 半ズボン、半袖シャツ、サンダル等	0.3	1) 夏ワンピース、サンダル等	0.21
2) 夏ズボン、半袖ワイシャツ、靴等	0.43	2) 夏ブラウス、夏スカート、サンダル等	0.26
3) 2)に夏上着、ネクタイ	0.56		

## 2) WBGT

WBGT を把握するには、気温（乾球温度）、自然湿球温度、黒球温度を計測し、下の計算式で求めることができます。

$$\text{WBGT (屋外)} = 0.7T_w + 0.2T_g + 0.1T$$

T：気温(°C)、T<sub>w</sub>：自然湿球温度(°C)、T<sub>g</sub>：黒球温度(°C)

気温、黒球温度を測定する際の留意事項は、1) SET\*に記した内容と同様です。

<sup>111</sup> ASHRAE SET\*演算ソフト（空気調和・衛生工学会，新版 快適な温熱環境のメカニズム 付録，2006年3月）

<sup>112</sup> 空気調和・衛生工学会，新版 快適な温熱環境のメカニズム，2006年3月

自然湿球温度は、湿球温度計（アウグスト温湿度計）を自然の風に当てて測定します。しかし、現在の測定機器は相対湿度を測定する機会が多く、表 4.6 を使うことで気温と相対湿度から湿球温度を求めることができます。屋外日向で気温と相対湿度を測定して湿球温度を求める場合、本来の自然湿球温度より低くなる可能性があります。

WBGT を自動的に計算する測定機器も市販されています。ただし、黒球温度を測定しない装置は、妥当な値を示さない場合があります。



図 4.7 WBGT 測定装置 (演算型) の例

表 4.6 乾球温度と相対湿度から湿球温度 (°C) を求める表

		相対湿度 (%)														
		30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
気温 (乾球温度) (°C)	40	25	27	28	29	30	32	33	34	35	36	37	37	38	39	40
	39	24	26	27	28	30	31	32	33	34	35	36	37	37	38	39
	38	24	25	26	28	29	30	31	32	33	34	35	36	36	37	38
	37	23	24	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	35	36	37
	36	22	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36
	35	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	33	34	35
	34	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	32	33	34
	33	20	21	22	24	25	26	26	27	28	29	30	31	32	32	33
	32	19	21	22	23	24	25	26	26	27	28	29	30	31	31	32
	31	19	20	21	22	23	24	25	26	26	27	28	29	30	30	31
	30	18	19	20	21	22	23	24	25	26	26	27	28	29	29	30
	29	17	18	19	20	21	22	23	24	25	25	26	27	28	28	29
	28	17	18	19	20	20	21	22	23	24	24	25	26	27	27	28
	27	16	17	18	19	20	20	21	22	23	24	24	25	26	26	27
	26	15	16	17	18	19	20	20	21	22	23	23	24	25	25	26
	25	15	15	16	17	18	19	20	20	21	22	22	23	24	24	25

### 4. 3 シミュレーションによる把握方法

- ・シミュレーションツールを用いることで体感温度の面的な分布の把握や対策効果の予測が可能
- ・ただし、適切なツールの選定や詳細な入力データの作成など、専門的な知識と技術が必要

街路空間の体感温度を面的に把握するにはシミュレーションを活用することが有効です。放射環境や風環境などのまちなかの分布状況から対策すべき場所を検討したり、様々な対策効果を予測することなどができます。ただし、シミュレーションを実施するまでには、適切なシミュレーションツールを選定し、道路や建物等の情報を数値化、気象データを作成するなど、その準備にも専門的な知識と技術が必要になります。そこで、専門技術を有するコンサルタント等にツールの選定やシミュレーションに必要な作業等を委託する方法もあります。

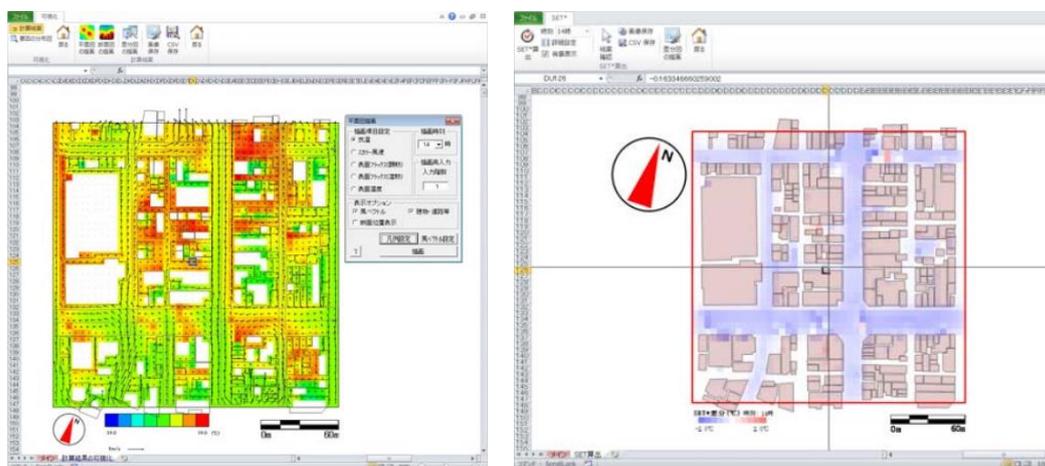
#### 【シミュレーションツールの選定】

シミュレーションツールは研究機関等で保有するものが多くありますが、市販のシミュレーションツールも存在し、目的、費用等に応じて選定します。

体感温度を扱うことができるシミュレーションツールは、気温、湿度、風速、放射の複数の温熱要素を連成して計算するため、コンピューターの計算機負荷が高くなる傾向があります。そのため、どの程度のスケールの街区を対象とするのか、どの程度の解像度のデータが求められるのかを予め検討し、必要な計算機資源等を見積る必要があります。また、ツールによっては、出力可能な温熱要素や計算できる体感温度指標に制約があるため、どの種類の要素や指標が出力可能か、事前に確認しておく必要があります。

#### 【国土交通省 – 都市の熱環境対策評価ツール – の紹介】

国土交通省は、地方公共団体等がヒートアイランド対策に資する「風の道」を活用した都市づくりを検討する際、パソコンを用いて、緑化や保水性舗装、「風の道」の確保などの様々な対策効果を予測できるシミュレーションツールを開発・提供しています。詳細版と簡易版が用意されており、詳細版では 500m 四方の地区を設定し、入力データの作成支援ツールを活用し、様々な対策の効果を体感温度（SET\*）でも評価することができます。 <http://www.nilim.go.jp/lab/icg/hyouka-tool.htm>



都市の熱環境対策評価ツールの出力例（左：気温と風速分布、右：SET\*の差分分布）

## 第5章 体感温度による対策効果の把握

- ・対策効果を体感温度指標で把握することで、人の実感に近い評価が可能
- ・暑さが厳しい夏季日中だけでなく、対策実施場所の利用状況に応じて夕方なども対象に評価
- ・効果予測にはシミュレーション等による複雑な計算が必要だが、簡易的に効果を把握する手法を紹介
- ・実測の場合、適切な比較対照地点で同時に測定することが望ましい

暑さ対策技術の導入による熱環境改善の効果は、標準有効温度 SET\*や湿球黒球温度 WBGT などの体感温度指標で評価します。気温だけでは対策効果が明確にならない場合でも、体感温度指標を用いることで人の実感に近い評価が可能になります。また、対策効果を評価する際、暑さが最も厳しい夏季日中はもとより、対策実施場所の利用状況を想定の上、夕方なども対象として評価することが考えられます。その際、次の1)～3)のいずれの比較であっても、夏季日中や夕方等、同じ時間帯での測定結果を比較することが重要です。また、対策効果を明示する際には、効果を把握する際の気象条件を記載しておくことも重要です。

効果的に対策を進めるためには、事前に効果を予測すること、そして事後に効果を検証することが有効です。効果を定量的に予測するには、シミュレーションツールで面的に把握する方法と演算ソフト等を用いて局所的に計算する方法がありますが、専門的な知識等が必要になります。そこで本ガイドラインでは、巻末に参考資料として作用温度 OT を用いて簡易的に体感温度の改善効果を把握する方法を紹介しています。

シミュレーションによる方法は4.3を参照ください。以下では、実測による効果把握方法の例を紹介します。

### 1) 対策実施前後で比較

対策を実施する前と対策を実施した後の熱環境を測定して、体感温度の違いを評価します。測定日の気象条件が異なると、測定結果には対策効果だけでなく気象の違いが影響するため、できるだけ同じような気象条件のもとで測定することが望まれます。

なお測定時、可能であれば2)で説明するように、対策を実施していない基準地点でも同時に測定しておくことで、対策前後の単純比較ではなく、基準地点との差分を用いて体感温度の低下量を把握することができます。

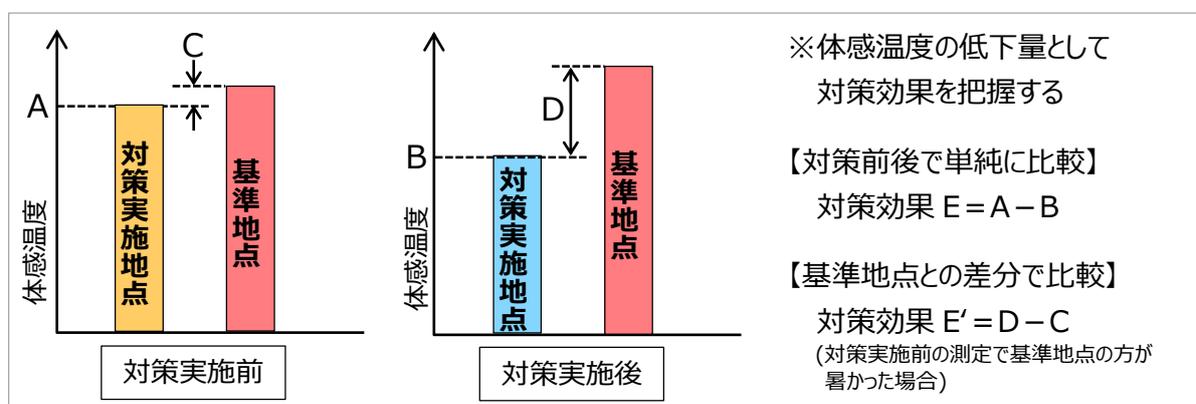


図5.1 対策前後で結果を比較したイメージ

## 2) 対策実施地点と未実施地点（基準地点）で比較

対策実施地点での測定に加え、対策を実施していない比較対照（基準）となる地点でも測定する方法です。ただし、例えば基準地点の風が局所的に強い場合などには単純に比較できなくなるため、基準地点の選定には注意が必要です。基準地点を選定する際の留意事項の例を以下に示します。

- ・対策実施地点の近傍で、日当たりや周辺建物形状等が対策実施地点と大きく変わらないこと  
(対策を導入する前に対策実施予定地点と基準地点の熱環境を同時に測定し、同程度の熱環境であることを確認しておくことが望ましい)
- ・対策実施地点の対策効果の影響を受けない地点であること  
(例えば、微細ミストの効果을把握する場合、対策実施地点の風下側に効果が波及することが考えられるため、基準地点は対策実施地点の風上側であることが望ましい)

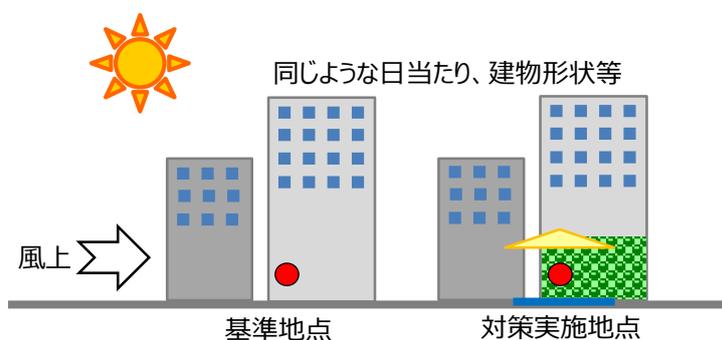


図 5.2 対策実施地点と未実施地点で比較するイメージ

## 3) 対策の稼働時と非稼働時で比較

対策技術の稼働と非稼働を繰り返すことにより、測定値の変化から対策効果を評価します。例えば、微細ミストの噴霧と停止を一定時間ごとに繰り返すことで、熱環境の変化を測定します。その際、可能であれば上記 2) と同様に、基準地点でも同時に測定することで、稼働時の効果を基準地点との差分として評価することができます。なお、気温などの変化を測定する場合には、センサーの応答時間を考慮して測定機器を選定する必要があります。

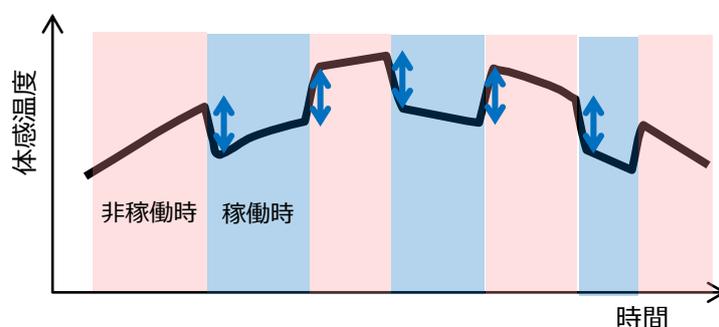


図 5.3 対策の稼働時と非稼働時で比較した結果のイメージ

## 第6章 対策技術選定の際の留意事項

- ・対策技術の導入は、実施地点の特性や制約等を踏まえて事前に留意事項を整理しておくことで、適切な対策を円滑に進めることが可能
- ・建築物としての扱いの要否、道路上の構造物の制約、基礎工事等に必要な事前協議等
- ・対策技術の運用に必要な水や電気の利用に関する留意事項
- ・夏以外の季節への配慮

暑さ対策を導入する際には、実施する地点の特性や制約等を踏まえ、現実的に導入可能な技術を選定する必要があります。前提として、実施地点の土地の所有者や管理者等が対策に合意していることが条件となり、土地占用などの手続きが必要になりますが、その他にも留意すべき事項があります。事前に留意事項を整理しておくことで、適切な対策技術を選定・設計し、法令等を遵守しつつ円滑に進めることができます。

以下に留意事項の例を示します。地域によっては以下に示した例の他にも様々な制約等が存在するため、適宜、関係機関等と事前に協議することが望まれます。

### 1) 建築物の設置

日除け等の対策技術はその規模や形状等によっては建築物<sup>113</sup>に該当し、関係法令等に従って手続きを進める必要があります。また、場所によっては床面積としての制約があり、追加的な建築物が認められない場合があります。

そのため、事前に市区町村の建築窓口にご相談し、検討している日除け等の対策が建築物に該当するかを確認し、必要な手続き等を実施してください。

### 2) 道路上の構造物

車道や歩道等の道路上で暑さ対策を実施する場合、構造物等が車両や歩行者の交通の安全性・円滑性に支障をきたすことを防ぐため、関係法令等により一定の幅、一定の高さの範囲内には構造物等を設置することができません。例えば、車道では高さ 4.5m以内、歩道では高さ 2.5m以内に構造物を配置してはならないとされていますので、関係法令を確認するとともに、道路管理者や安全管理者と事前に協議する必要があります。

### 3) 構造物の基礎

日除けや冷却ブロック等の構造物を設置する場合には、構造計算にもとづく基礎等の土木工事が必要になります。基礎等の構造と大きさを明確にしたうえで、対策実施地点の埋設物等を確認するため、電気、ガス、上下水道等のインフラ設備の関係機関との協議が必要になります。

<sup>113</sup> 建築物（建築基準法第2条）：土地に定着する工作物のうち、屋根及び柱若しくは壁を有するもの（これに類する構造のものを含む。）、これに附属する門若しくは扉、観覧のための工作物又は地下若しくは高架の工作物内に設ける事務所、店舗、興行場、倉庫その他これらに類する施設（鉄道及び軌道の線路敷地内の運転保安に関する施設並びに跨線橋、プラットホームの上家、貯蔵槽その他これらに類する施設を除く。）をいい、建築設備を含むものとする。

その他にも、例えば文化財保護法により指定された地域で土木工事等を行う際には事前に届出が必要になるなど、対策実施地点の土地の特性に応じて、関係機関への必要な手続き等の確認が必要になります。

#### 4) 水の利用

水を利用した技術を使う場合、以下の点に留意が必要です。

- ①供給可能な水の水質、水量が導入を検討する対策技術に適しているかの確認が必要です。微細ミスト噴霧等のように、水が人に触れることを想定する場合、一定の水質基準を満たす必要があります。また散水用水などとして利用する場合には、水資源の有効な活用に配慮し、下水再生水や雨水等を利用することが望まれます。国土交通省の「下水処理水の再利用水質基準等マニュアル（平成17年4月）」では、用途に応じた下水処理水の水質について基準が示されています。
- ②水の供給経路と配水経路が確保できるかを事前に検討することも重要です。なお、配水経路については、排水する水の質に応じて、排水先が異なる場合がありますので留意してください。
- ③水の飛沫がかかる可能性がある対策技術を選定する場合、近隣の書店や服飾関係の施設等、水滴が付着することで問題となる可能性があるため、対策実施地点の風の状況や対策技術の飛沫の飛散状況を事前に確認するとともに関係者間で協議することが望まれます。
- ④水源に地下水を使う場合で、新たに井戸を作る場合、地下水の揚水は地域ごとに条例等できめ細かく規制されているため、関係機関に確認する必要があります。また揚水が可能な場合にも事前の届出や定期的な揚水量の報告等が義務付けられていることがありますので留意してください。

#### 5) 電気の利用

電気の利用に際しては、省エネルギーに十分、配慮する必要があります。

水を使う場合のポンプや風を送るファンの稼働等で使用する電気について、必要な電気の容量（W、Aなど）や種類（単相、三相など）を明らかにしたうえで、当該地点で使える電気で賄えるのか、新たに電気を引き込む必要があるのかについて検討が必要になります。新たに引き込む場合の手続き、経路等については、電力会社等に確認する必要があります。

なお、過剰な電力消費は人工排熱の増加につながり、かえって都市の気温を上昇させる恐れがあります。

#### 6) 夏以外の季節への配慮

暑さ対策を実施することで、例えば常緑広葉樹による緑陰を作ると、冬にも日射を遮るなど、夏以外の季節には良好な環境づくりにつながらない場合があります。そのため冬に日射しを取り込みたい場合は、冬に葉を落とす落葉広葉樹を選ぶ、収納可能な日除け製品を選定するなど、暑さ対策が夏以外の季節に及ぼす影響に対しても配慮することが必要です。

— 參考資料 —



## 参考資料：簡易体感温度指標による効果把握

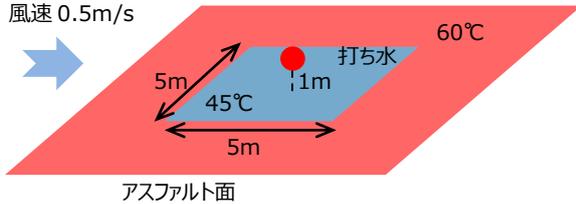
暑さ対策の効果把握するには体感温度への影響を評価します（第5章）。

ここでは、局所的な気温低下や、日除けによる日射対策、路面・壁面等の温度を下げる対策について、効果の目安を体感温度として手軽に計算する方法を紹介します。詳細は次頁以降をご覧ください。

### 【計算してみよう】 打ち水で体感温度はどのくらい下がる？

(条件)

気温 30℃  
風速 0.5m/s



夏の日中、表面温度が 60℃になっているアスファルト面の 5m×5m の範囲に打ち水をしました。すると、アスファルトの表面温度は 45℃に下がり、涼しく感じました（評価点の高さは 1m）。気温 30℃、風速 0.5m/s のとき、体感温度の改善効果の目安を簡易的に求めてみましょう。なお、打ち水前後の気温は変わらないものとします。

**STEP 1**：気温の変化を把握 → 気温は変化していない！

気温変化量(Δ気温) = 0℃

**STEP 2**：日除けによる効果(短波放射の低減)を把握 → 日射対策はしていない！

短波放射の変化量(ΔMRT<sub>S</sub>) = 短波係数(0.02℃・m<sup>2</sup>/W)×日射変化量(0W/m<sup>2</sup>) = 0℃

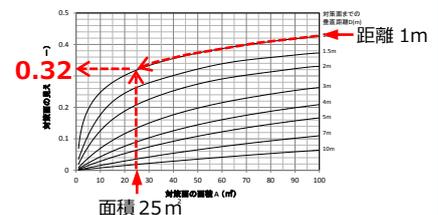
**STEP 3**：路面等の高温化抑制対策の効果(長波放射の低減)を把握 → 25 m<sup>2</sup>が 15℃低下！

長波放射の変化量(ΔMRT<sub>L</sub>)

= 長波係数(0.8)×対策面の見える割合(※1)×表面温度変化量(-15℃)

(※1 対策面の見える割合は、面積 25 m<sup>2</sup>と評価点までの距離 1m として「0.32」。右に示すように、図 4 から求めることができます。)

= 0.8×0.32×(-15) ≒ -3.8℃



**STEP 4**：簡易体感温度を把握 → STEP 1～STEP 3 をまとめましょう！

Δ簡易体感温度 = 風速係数(※2)×Δ気温 + (1 - 風速係数)×(ΔMRT<sub>S</sub> + ΔMRT<sub>L</sub>)

(※2 風速係数は、風速 0.5m/s のとき「0.6」。右に示すように、表 2 から求めることができます。)

風速	風速係数
0.2m/s 未満	0.5
0.2m/s 以上、0.6m/s 未満	0.6
0.6m/s 以上、1.0m/s 未満	0.7

← 風速 0.5m/s

= 0.6×0℃ + (1 - 0.6)×(0℃ - 3.8℃) ≒ -1.5℃

**気温は変わらなくても、打ち水することで体感温度は約 1.5℃、涼しく感じます！**

以下に、簡易体感温度による効果把握の考え方、具体的な方法、留意事項等をまとめました。適用できる対策や気象条件等に制約がありますが、気温と放射環境の改善による暑さ対策の効果の目安を手軽に計算することができます。

計算方法の詳細については、「補遺 1：簡易体感温度の計算方法について」を参照ください。

## 1. 効果把握の考え方

### 1) 簡易体感温度

人体の熱収支計算に基づく体感温度指標である作用温度 OT (Operative Temperature) の考え方を我们用います。表 1 に示すように、作用温度 OT は、気温と平均放射温度 MRT から求めます。

表 1 作用温度の概要

指標	概要
作用温度 OT	<p>熱収支計算に基づき気温と放射環境で評価する指標であり、風が弱く、比較的乾いた環境での利用に適している。</p> $OT = (h_c \cdot T + h_r \cdot MRT) / (h_c + h_r)$ <p>T：気温(°C)、MRT：平均放射温度(°C)、<math>h_c</math>：対流熱伝達率(W/°Cm<sup>2</sup>)、<math>h_r</math>：放射熱伝達率(W/°Cm<sup>2</sup>)</p>

本ガイドラインでは、風の強さに応じた熱伝達率を設定し、以下の方法で求める作用温度を「簡易体感温度」と呼びます。

$$\text{簡易体感温度}(\text{°C}) = \text{風速係数} \times \text{気温} + (1 - \text{風速係数}) \times \text{MRT}$$

風速係数は、以下のように設定します。

簡易体感温は、風が弱い場合は気温と MRT をそれぞれ 2 分の 1 して足し合わせた値（風速係数が 0.5）になりますが、風が強くなるほど簡易体感温度に対する気温の影響が大きくなり、一方で MRT の影響が小さくなります。この係数は ISO7726 を参考に設定しています。

表 2 風速係数 (ISO7726(1998))

風速	風速係数
0.2m/s 未満	0.5
0.2m/s 以上、0.6m/s 未満	0.6
0.6m/s 以上、1.0m/s 未満	0.7

なお、対策実施前の現状の簡易体感温度を求める場合、現状の MRT を求める必要がありますが、黒球温度と気温、風速を実測し、以下のように計算することができます。ただし、黒球は放射熱の吸収率が高く、一般的な着衣の人が受ける MRT より高くなります。

$$MRT = \left[ (t_g + 273)^4 + 2.5 \times 10^8 \times V_a^{0.6} (t_g - t_a) \right]^{0.25} - 273 \quad (\text{ISO7726(1998)})$$

ここで、MRT：平均放射温度(°C)、 $t_g$ ：黒球温度(°C)、 $t_a$ ：気温(°C)、 $V_a$ ：風速(m/s)。ただし、標準的な黒球温度計（直径 15cm）の場合。

## 2) 効果把握の方法

簡易体感温度で対策効果の目安を事前に把握する際、対策後の気温と MRT の把握が必要になります。対策後の気温と MRT が厳密に何°Cになるかを予測することは簡単ではありませんが、既往の対策事例から局所的な気温の低下量（ $\Delta$ 気温）を把握したり MRT の変化量（ $\Delta$ MRT）を近似的に推定することは可能です。

そこで、本ガイドラインでは、簡易体感温度の変化量（ $\Delta$ 簡易体感温度）を $\Delta$ 気温と $\Delta$ MRT から求めます。

$$\Delta \text{簡易体感温度} (\text{°C}) = \text{風速係数} \times \Delta \text{気温} + (1 - \text{風速係数}) \times \Delta \text{MRT}$$

表 3 風速係数（再掲）

風 速	風速係数
0.2m/s 未満	0.5
0.2m/s 以上、0.6m/s 未満	0.6
0.6m/s 以上、1.0m/s 未満	0.7

$\Delta$ 気温は、実験的に対策効果を実測したり、既往の文献等から効果を求めます。

← 1 頁 STEP1

$\Delta$ MRT は、次頁に示す「 $\Delta$ MRT 簡易計算式」を用いて推定します。

## 2. ΔMRT 簡易計算式

### 1) 計算式の概要

ΔMRT 簡易計算式は、対策による短波放射と長波放射の変化量から、MRT のおおよそその変化量を近似的に見積もるものです。

ΔMRT は、短波放射の変化量 (ΔMRT<sub>S</sub>) と長波放射の変化量 (ΔMRT<sub>L</sub>) を足し合わせて求めます。

$$\underline{\Delta MRT = \Delta MRT_S + \Delta MRT_L}$$

ΔMRT<sub>S</sub> は、主に上面からの日射の遮蔽効果を把握するもので、対策による日射の変化量 (ΔSUN : W/m<sup>2</sup>) に短波係数 0.02 (°C・m<sup>2</sup>/W) を乗じて近似的に推定します。

$$\underline{\Delta MRT_S \sim 0.02 \times \Delta SUN}$$

ΔMRT<sub>L</sub> は、主に路面や壁面の高温化抑制 (冷却) 対策の効果を把握するもの対策面の数だけ効果を足し合わせて推計します。ある対策面 *i* の長波放射の変化量 (ΔMRT<sub>L*i*</sub>) は、面 *i* の表面温度の変化量 (ΔT<sub>Si</sub> : °C) と面 *i* の見える割合 (V<sub>i</sub>) に長波係数 0.8 (-) を乗じて近似的に推定します。

$$\underline{\Delta MRT_L \sim \sum_i (0.8 \times V_i \times \Delta T_{Si})}$$

ΔMRT<sub>S</sub> は日射の低減量が大きいくほど、ΔMRT<sub>L</sub> は対策面の温度低下量が大きいくほど、対策面積が大きく対策面の見える割合が大きいくほど、その低下量が大きくなります。

### 2) 計算可能な対策

ΔMRT 簡易計算式は暑さ対策の効果を簡易的に推定するものであり、効果のメカニズムが複雑な対策や正確に予測したい場合については別途、詳細なシミュレーションツールを活用ください。以下に簡易計算式で対象とする対策の例を示します。

- ① 太陽から直接、降り注ぐ日射の低減対策
- ② 日射が当たるのを防いだり保水化させることで、路面や壁面などの高温化を抑制する対策
- ③ 歩道から見える高温化した車道面を生垣などで遮る対策
- ④ 蒸発冷却により路面や壁面等を気温より低下させる対策

特に短波放射については、太陽から直接、降り注ぐ日射のみを対象としており、路面等の日射反射率を高めて路面等の高温化を抑制する遮熱性舗装などの対策は、路面等からの反射日射が増加するなど、複雑なメカニズムとなることから現状では対象としていません。遮熱性舗装などの対策は、歩行者等への反射日射の影響を考慮して実施してください。

また、Δ簡易体感温度の制約上、対象とする気象条件は風速 1m/s 未満です。

テントなどによる日射遮蔽対策では、上からの短波放射と、路面の高温化が抑制されて下からの赤外放射が低減しますが、日射吸収率の高いテント生地では生地自体が 60℃以上にもなる場合があり、テント生地からの長波放射量を増加させるため、計算が複雑になります。詳細は、「3. 計算事例」を参照ください。

### 3) 短波放射の変化量： $\Delta MRT_S$

← 1 頁 STEP2

日射の変化量 $\Delta SUN$ は、実際に日射計を用いて計測するか、具体的な製品や対策技術シートなどの日射透過率データを用い、夏季正午の日射量を 900W/m<sup>2</sup>と仮定して計算します。例えば日射透過率が 50%の場合、 $\Delta SUN$ は 900×0.5=450W/m<sup>2</sup>となります。

日射透過率 50%の場合、 $\Delta MRT_S$ は近似的に 9℃低下すると推定できます。

$$\Delta MRT_S \sim 0.02^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2/\text{W} \times 450 \text{ W/m}^2 = 9^\circ\text{C}$$

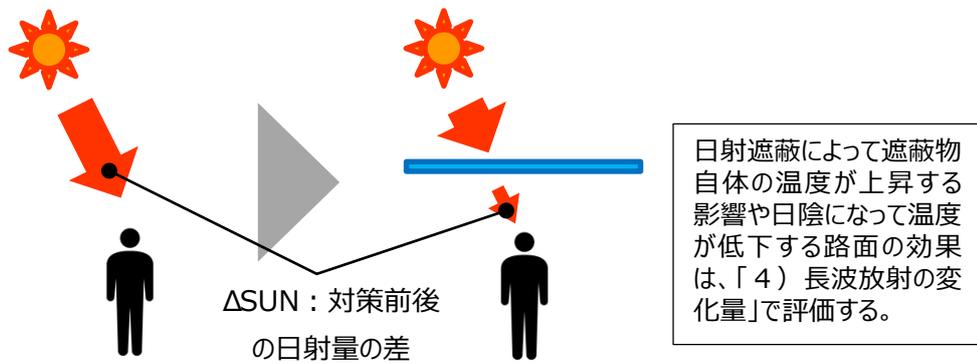


図 1 日射低減対策のイメージ

### 4) 長波放射の変化量： $\Delta MRT_L$

← 1 頁 STEP3

対策面  $i$  の表面温度の変化量 $\Delta T_{Si}$ は、対策による表面温度の低下量を実際に計測するか、具体的な製品や対策技術シートなどのデータなどを用いて計算します。対策面  $i$  の見える割合  $V_i$ は、対策面の面積と評価点までの距離から次頁の図 4 から読み取ります。

面  $i$  の $\Delta T_{Si}=20^\circ\text{C}$ 、 $V_i=0.3$ の場合、 $\Delta MRT_L$ は近似的に 4.8℃低下すると推定できます。

$$\Delta MRT_L \sim \sum_i (0.8 \times 0.3 \times 20^\circ\text{C}) = 4.8^\circ\text{C}$$



図 2 路面の高温化抑制対策のイメージ

5) 対策面の見える割合 :  $V_i$

対策面の見える割合とは、評価点から見た対策面が、全球に対してどの程度の割合を占めるかを示すものです。対策面の見える割合の計算は複雑です。等立体角射影方式の魚眼レンズを用いて対策面を撮影することで、その面積から求めることができます。本ガイドラインでは対策面の面積  $A$  ( $m^2$ ) と対策面までの垂直距離  $D$  (m) から簡易的に対策面の見える割合を求めるための線図を作成しました。ただし、評価点の位置は対策面の中央にあることを条件とします。

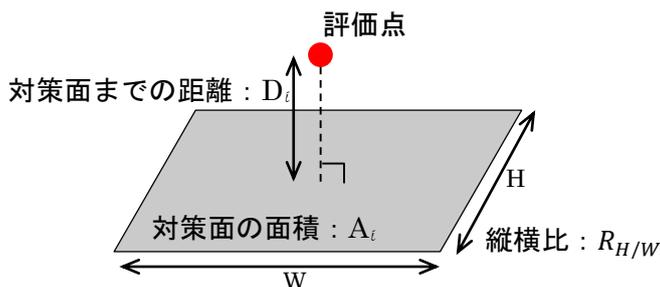


図3 評価点と対策面との関係

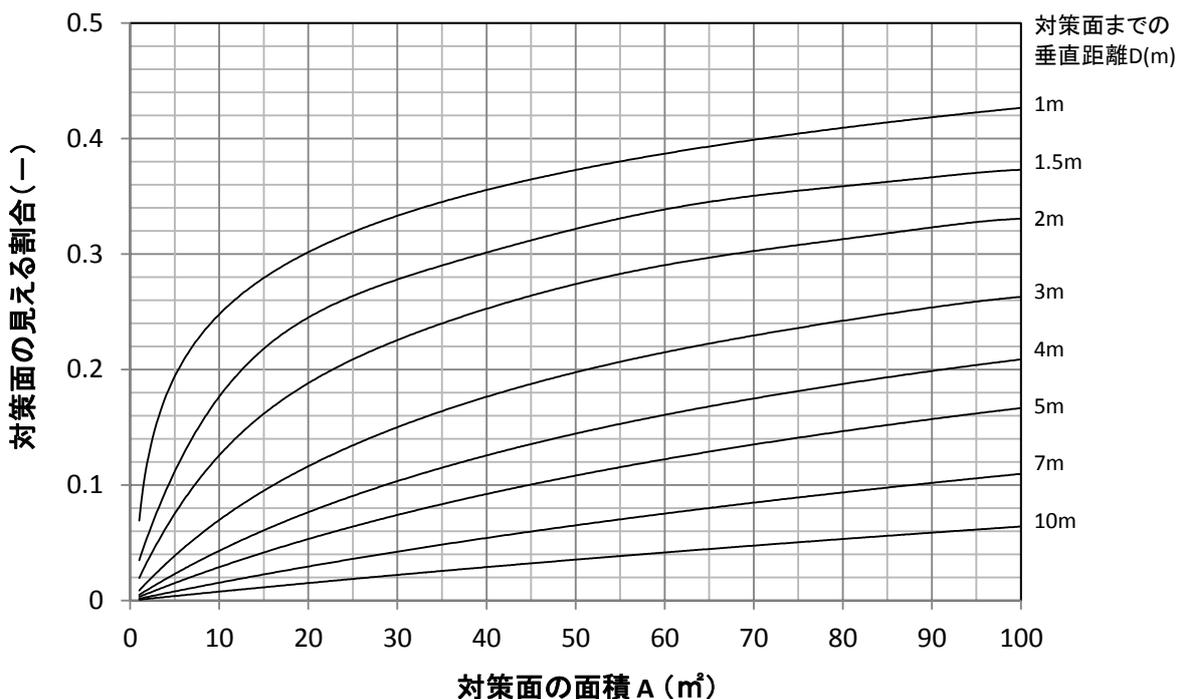


図4 対策面の面積、対策面までの垂直距離と対策面の見える割合（縦横比  $R_{H/W}=1$  の場合）

なお、対策面の縦横比  $R_{H/W}$  が 1 から乖離すると、対策面の見える割合が小さくなります。目安として、縦横比が「1」から 1 増加することで割合は約 5%ポイント減少します（縦横比 7 程度まで）。

### 3. 計算事例

#### ①歩道の保水化

条件：■対策内容

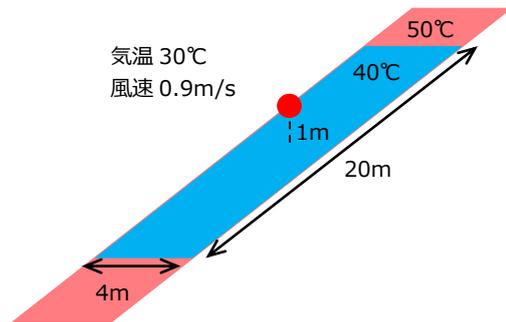
歩道幅 4m、歩道延長 20m に保水性ブロックを整備し保水化、初期表面温 50℃の歩道の温度が 10℃低下する。

■対策による変化

路面の温度が 4m×20m 範囲で 10℃低下

■計算の条件

評価点は、歩道の中央、高さ 1m とする。気温は対策前後とも 30℃、風速は 0.9m/s とする。



効果：STEP1：気温は変化していないので、 $\Delta T_{\text{気温}} = 0^\circ\text{C}$

STEP2：日射対策はしていないので、 $\Delta MRT_s = 0^\circ\text{C}$

STEP3：

$V$  (歩道の保水化) …… 図 4 から面積  $80\text{ m}^2$ ・距離 1m・縦横比 1 のとき 0.41、対策面の縦横比 5 なので面の見える割合が 25% 小さくなり、対策面の見える割合  $V$  (歩道の保水化) は 0.308

$\Delta T_s$  (歩道の保水化) ……  $-10^\circ\text{C}$

$\Delta MRT_L$  (歩道の保水化) は、 $0.8 \times 0.308 \times (-10^\circ\text{C}) \approx -2.5^\circ\text{C}$

STEP4：

【簡易体感温度】

風速 0.9m/s の場合、 $\Delta$ 簡易体感温度 =  $-2.5^\circ\text{C} \times (1 - 0.7(\text{風速係数})) = -0.75^\circ\text{C}$

#### ②歩道の保水化+緑化フェンス

条件：■対策内容

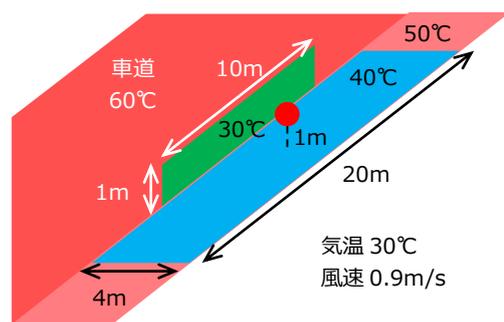
歩道幅 4m、歩道延長 20m に保水性ブロックを整備し保水化、初期表面温 50℃の歩道の温度が 10℃低下する。さらに、車道との間に高さ 1m、延長 10m の緑化フェンスを整備し、表面温度 30℃の葉によって、60℃の車道が遮蔽される。

■対策による変化

事例①に加えて、側面の温度が  $1\text{m} \times 10\text{m}$  範囲で  $60^\circ\text{C}$  から  $30^\circ\text{C}$  になる。

■計算の条件

評価点は、歩道の中央、高さ 1m とし、生垣からの距離は 2m とする。気温は対策前後とも 30℃、風速は 0.9m/s とする。



効果：STEP1：気温は変化していないので、 $\Delta$ 気温 = 0℃

STEP2：日射対策はしていないので、 $\Delta$ MRT<sub>S</sub> = 0℃

STEP3：

【歩道の保水化】

$\Delta$ MRT<sub>L</sub> (歩道の保水化) は -2.5℃ (事例①)

【緑化フェンスの整備】

V (緑化フェンス) …フェンスの高さを 2m と仮定し、図 4 から面積 20 m<sup>2</sup>・距離 2m・縦横比 1 のとき 0.19。対策面の縦横比 5 なので面の割合が 25% 小さくなり、高さ 2m と仮定した場合の対策面の見える割合は 0.14。高さ 1m の緑化フェンスの見える割合は、その半分となり、V (緑化フェンス) は 0.07。

$\Delta$ T<sub>S</sub> (歩道の保水化) … 60℃ から 30℃ になるので -30℃

$\Delta$ MRT<sub>L</sub> (緑化フェンス) は、 $0.8 \times 0.07 \times (-30℃) \div -1.7℃$

【MRT<sub>L</sub> 合計】

$\Delta$ MRT<sub>L</sub> =  $\Delta$ MRT<sub>L</sub> (歩道の保水化) +  $\Delta$ MRT<sub>L</sub> (緑化フェンス) = -2.5℃ - 1.7℃  $\div$  -4.2℃

STEP4：

【簡易体感温度】

風速 0.9m/s の場合、 $\Delta$ 簡易体感温度 = -4.2℃ × (1 - 0.7(風速係数)) = -1.26℃

### ③ テントによる日射遮蔽

条件：■ 対策内容

縦 5m、横 5m の日射透過率 0.2 のテントで頭上を覆い、日陰となる路面温度が 50℃ から 35℃ に低下する。テント膜の温度が 35℃ となる。

■ 対策による変化

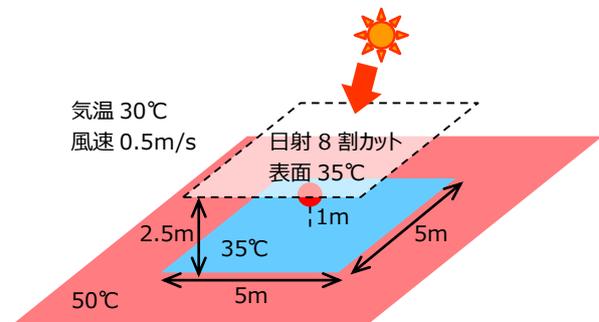
日射透過率 0.2。

路面の温度が 5m × 5m 範囲で 50℃ から 35℃ になる。

頭上の温度が 5m × 5m 範囲で 30℃ (気温) から 35℃ になる。<sup>1</sup>

■ 計算の条件

テントは地上 2.5m とし、評価点は地上 1m でテント下の中央とする。気温は対策前後とも 30℃、風速は 0.5m/s とする。日射量は 900 W/m<sup>2</sup> とする。



効果：STEP1：気温は変化していないので、 $\Delta$ 気温 = 0℃

STEP2：

日射対策によって、日射の変化量  $\Delta$ SUN は  $900 \text{ W/m}^2 \times (1 - 0.2) = 720 \text{ W/m}^2$

<sup>1</sup> テント設置前の天空の温度は、実際には気温よりも低いですが、ここでは簡便のために気温相当としている。

$$\Delta MRT_S \text{ は、} 0.02 \times (-720) = -14.4^\circ\text{C}$$

STEP3 :

【路面の表面温度低下】

$V_{\text{(日陰の路面)}}$  …… 図 4 から面積  $25 \text{ m}^2$ ・距離  $1 \text{ m}$ ・縦横比  $1$  のとき、 $0.32$ 。

$\Delta T_S$  (日陰の路面) ……  $50^\circ\text{C}$  から  $35^\circ\text{C}$  になるので  $-15^\circ\text{C}$

$\Delta MRT_L$  (日陰の路面) は、 $0.8 \times 0.32 \times (-15^\circ\text{C}) \doteq -3.8^\circ\text{C}$

【テント生地 of 温度上昇】

$V_{\text{(テント生地)}}$  …… 図 4 から面積  $25 \text{ m}^2$ ・距離  $1.5 \text{ m}$ ・縦横比  $1$  のとき、 $0.26$ 。

$\Delta T_S$  (テント生地) ……  $30^\circ\text{C}$  から  $35^\circ\text{C}$  になるので  $+5^\circ\text{C}$

$\Delta MRT_L$  (テント生地) は、 $0.8 \times 0.26 \times (+5^\circ\text{C}) \doteq +1.0^\circ\text{C}$

【 $MRT_L$  合計】

$$\Delta MRT_L = \Delta MRT_L \text{ (日陰の路面)} + \Delta MRT_L \text{ (テント生地)} = -3.8^\circ\text{C} + 1.0^\circ\text{C} \doteq -2.8^\circ\text{C}$$

STEP4 :

【簡易体感温度】

風速  $0.5 \text{ m/s}$  の場合、 $\Delta$ 簡易体感温度 =  $(\Delta MRT_S + \Delta MRT_L) \times (1 - 0.6(\text{風速係数}))$

$$= (-14.4^\circ\text{C} - 2.8^\circ\text{C}) \times 0.4 \doteq -6.9^\circ\text{C}$$

## 補遺 1：簡易体感温度の計算方法について

簡易体感温度の計算と放射環境改善効果の推定について、その導出方法の詳細を取りまとめた資料である。なお、本資料は、暑さ対策ガイドライン 技術検討ワーキンググループの足永靖信氏の指導のもと事務局でとりまとめた。

### 1. 簡易体感温度の計算方法

作用温度  $OT$  (°C) は気温と平均放射温度から熱収支計算に基づいた体感温度を算出できる。

$$OT = (h_c \times T_a + h_r \times MRT) / (h_c + h_r) \quad (1)$$

ここで、 $T_a$ ：気温(°C)、 $MRT$ ：平均放射温度(°C)、 $h_c$ ：対流熱伝達率( $W/(m^2 \cdot K)$ )、 $h_r$ ：放射熱伝達率( $W/(m^2 \cdot K)$ )である。

気温の低下や放射環境を改善する対策で、湿度や風の大きな変化を伴わない場合、(1)式から作用温度の変化量を以下のように表すことができる。

$$\Delta OT = (h_c \times \Delta T_a + h_r \times \Delta MRT) / (h_c + h_r) \quad (2)$$

ここで、 $\Delta OT$ ：作用温度の変化量 (°C)、 $\Delta T_a$ ：気温の変化量 (°C)、 $\Delta MRT$ ：平均放射温度の変化量 (°C) である。

$h_c$  は風速によって変化するため、 $\Delta OT$  は  $\Delta T_a$  と  $\Delta MRT$  及び風速の関数として表すことができる。本ガイドラインでは、この風速の関数を風力階級に応じた風速係数として設定し、 $\Delta T_a$ 、 $\Delta MRT$  と風速係数から求める作用温度の変化量を簡易体感温度の変化量 ( $\Delta$ 簡易体感温度) と呼ぶ。

$$\Delta \text{簡易体感温度} (^\circ\text{C}) = \text{風速係数} \times \Delta T_a + (1 - \text{風速係数}) \times \Delta MRT \quad (3)$$

風速係数は、ISO7726(1998) Annex G を参考に、風速階級別に以下のように設定する。

表 1 風速係数

風 速	風速係数
0.2m/s 未満	0.5
0.2m/s 以上、0.6m/s 未満	0.6
0.6m/s 以上、1.0m/s 未満	0.7

$\Delta T_a$  については実測の結果や既往の文献等から求め、 $\Delta MRT$  については次頁以降に簡易的に推定する方法を検討した。

## 2. 平均放射温度の変化量の推定方法の検討

### 1) 放射熱伝達率による $\Delta MRT$ の推定方法

人の放射特性に近い微小球が受ける放射熱 $Q(W/m^2)$ と $mrt(K)$ との関係を(4)式に示す。

$$Q = \varepsilon_p \cdot \sigma \cdot mrt^4 \quad (4)$$

ここで、 $\varepsilon_p$ は人体の放射率：0.97、 $\sigma$ はステファン・ボルツマン定数 ( $5.67 \times 10^{-8}(W/(m^2 \cdot K^4))$ )である。(4)式より、暑熱対策前後の全放射量の変化は、以下のように計算することができる。

$$Q_1 - Q_2 = \varepsilon_p \cdot \sigma (mrt_1^4 - mrt_2^4) \quad (5)$$

ここで、 $Q_1$ は対策前の全放射熱量( $W/m^2$ )、 $mrt_1$ は対策前の平均放射温度 ( $K$ )、対策後はそれぞれ $Q_2$  ( $W/m^2$ )、 $mrt_2$  ( $K$ )である。

(5)式で $\sigma(mrt_1^2 + mrt_2^2)(mrt_1 + mrt_2)$ を短波、長波を含めた全放射の放射熱伝達率 $H_{r,all}(W/(m^2 \cdot K))$ として置き換えると、平均放射温度の変化量 $\Delta MRT(^{\circ}C)$ を(6)式のように表すことができる。

$$\Delta MRT = mrt_1 - mrt_2 = \frac{1}{\varepsilon_p \cdot H_{r,all}} (Q_1 - Q_2) \quad (6)$$

足永の方法<sup>1)</sup>によれば、微小球が受ける全放射熱量は、全球短波放射強度 $I_s\{sphere\}$  ( $W/(m^2 \cdot sr)$ )と全球長波放射強度 $I_L\{sphere\}$  ( $W/(m^2 \cdot sr)$ )から求めることができる。人体による短波放射と長波放射の吸収率を考慮して以下のように示すことができる。

$$Q = \pi(a_s \cdot I_s\{sphere\} + a_L \cdot I_L\{sphere\}) \quad (7)$$

ここで、 $a_s$ は短波放射の吸収率：0.7、 $a_L$ は長波放射の吸収率：0.97である。

$I_s\{sphere\}$ は、直達日射 $Q_{direct}$  ( $W/m^2$ )、散乱日射 $Q_{diffuse}$  ( $W/m^2$ )、面 $i$ からの反射日射 $Q_{reflect,i}$  ( $W/m^2$ )を用い、 $I_L\{sphere\}$ は、面 $i$ の表面温度 $T_{Si}$  ( $K$ )を用いて以下のように示すことができる。

$$Q = \frac{a_s \cdot Q_{direct}}{4} + \frac{a_s \cdot Q_{diffuse} \varphi_{sky}}{4\pi} + \frac{a_s \cdot \sum_i (Q_{reflect,i} \varphi_i)}{4\pi} + \frac{a_L \cdot \sigma \sum_i T_{Si}^4 \varphi_i}{4\pi} \quad (8)$$

ここで、 $\varphi_{sky}$  ( $sr$ )は天空の立体角、 $\varphi_i$  ( $sr$ )は面 $i$ の立体角である。

(8)式より暑熱対策前後の全放射熱量の変化は、短波放射と長波放射に分け、短波放射については、簡略化のためここでは直達日射のみを扱い、長波放射については長波放射のみの放射熱伝達率によって線形化し、対策によって表面温度が変化した面 $j$ の立体角の割合と表面温度で表すことができる。

なお、透過性のある素材で日射を遮蔽する場合の散乱日射を考慮した $MRT$ 削減効果の試算については、補遺2に示した。

$$\begin{aligned} Q_1 - Q_2 &= a_s \frac{Q_{direct,1} - Q_{direct,2}}{4} + a_L \cdot \sigma (T_{S1}^4 - T_{S2}^4) \\ &= a_s \frac{\Delta SUN}{4} + a_L \cdot H_{r,long} (T_{S1} - T_{S2}) \end{aligned}$$

<sup>1</sup> 足永, 屋外空間における短波および長波の放射強度の分布に関する実測, 日本建築学会計画系論文集第500巻, 71-77, 1997

$$\begin{aligned}
&= a_s \frac{\Delta SUN}{4} + a_L \cdot H_{r\_long} \left( \sum_j \phi_j \cdot T_{S1\_j} - \sum_j \phi_j \cdot T_{S2\_j} \right) \\
&= a_s \frac{\Delta SUN}{4} + a_L \cdot H_{r\_long} \sum_j \phi_j \cdot \Delta T_{S\_j} \quad (9)
\end{aligned}$$

ここで、対策前の直達日射 $Q_{direct\_1}$ (W/m<sup>2</sup>)、周囲の平均表面温度 $T_{S1}$ (K)、対策後はそれぞれ $Q_{direct\_2}$ (W/m<sup>2</sup>)、周囲の平均表面温度 $T_{S2}$ (K)、 $\Delta SUN = Q_{direct\_1} - Q_{direct\_2}$ (W/m<sup>2</sup>)、長波放射のみの放射熱伝達率 $H_{r\_long}$ (W/(m<sup>2</sup>·K))= $\sigma(T_{S1}^2 + T_{S2}^2)(T_{S1} + T_{S2})$ 、対策面 j の立体角の割合 $\phi_j$ と対策による対策面 j の表面温度の低下量 $\Delta T_{S\_j}$ (= $\Delta T_{S1\_j} - \Delta T_{S2\_j}$ )(°C)である。

(6)、(9)式より、 $\Delta MRT$  は短波放射低減効果 ( $\Delta MRT_S$ ) と長波放射低減効果 ( $\Delta MRT_L$ ) を合計したものであり、それぞれ(11)、(12)式のように表すことができる。

$$\Delta MRT = \Delta MRT_S + \Delta MRT_L \quad (10)$$

$$\Delta MRT_S = \frac{a_s}{4 \cdot \varepsilon_p \cdot H_{r\_all}} \Delta SUN \quad (11)$$

$$\Delta MRT_L = \frac{H_{r\_long}}{H_{r\_all}} \sum_j \phi_j \Delta T_{S\_j} \quad (12)$$

上で定義した放射熱伝達率 $h_{r\_all}$ 、 $h_{r\_long}$ について、図 1 より、夏季屋外の日射環境下であれば 7～9 程度の値をとり得ることが分かる。対策による MRT の変化量の過大評価を避けるため、 $H_{r\_all}$ は高め、 $H_{r\_long}$ は低めに設定することとする。そこで、 $MRT_1$  と  $MRT_2$  をそれぞれ 70°C程度として $H_{r\_all}$ を 9(W/(m<sup>2</sup>·K))、 $T_{S1}$ と $T_{S2}$ をそれぞれ 40°Cとして $H_{r\_long}$ を 7(W/(m<sup>2</sup>·K))に設定し、 $\Delta MRT_S$ 、 $\Delta MRT_L$ を(13)、(14)式のように近似的に推定する。

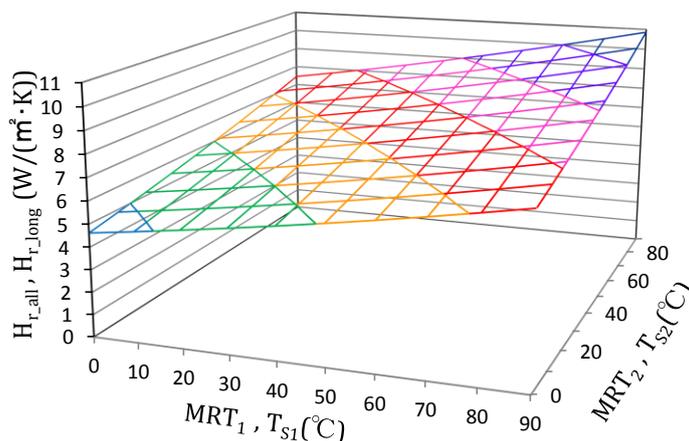


図 1 平均放射温度、表面温度と放射熱伝達率の関係

$$\Delta MRT_S \sim 0.02 \times \Delta SUN \quad (13)$$

$$\Delta MRT_L \sim 0.8 \times \sum_j \phi_j \Delta T_{S\_j} \quad (14)$$

$\Delta MRT_s$  は、日射変化量 ( $\Delta SUN : W/m^2$ ) に短波係数  $0.02 (^\circ C \cdot m^2/W)$  を乗じて近似的に推定、 $\Delta MRT_L$  は、対策面  $j$  の表面温度変化量 ( $\Delta T_{s_j} : ^\circ C$ ) と面  $j$  の見える割合 ( $V_j$ ) に長波係数  $0.8 (-)$  を乗じて近似的に推定する。

なお、短波係数と長波係数について、短波放射量と平均表面温度（長波放射量）と各係数の関係を示すと、図 2 のようになる。

短波放射と MRT との関係は、平均表面温度が  $60^\circ C$  のときに短波係数が「 $0.02$ 」となり、平均表面温度が  $30^\circ C$  のときには係数が「 $0.025$ 」と大きくなる。また、長波放射と MRT との関係は、日射量が  $900W/m^2$  のときに短波係数が「 $0.8$ 」となり、日射量が  $400W/m^2$  のときには係数が「 $0.9$ 」と大きくなる。(13)、(14)式で設定した係数については、それぞれ  $\Delta MRT$  を過大に推計しないような熱環境条件での設定であることが分かる。

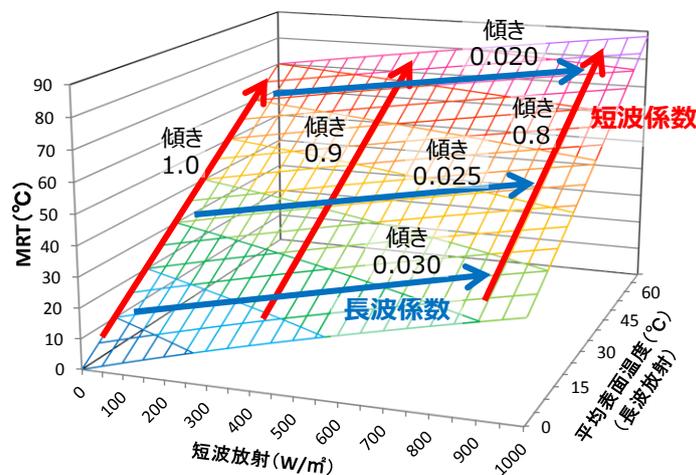


図 2 短波放射、平均表面温度（長波放射）と MRT の関係

## 2) 立体角の推定

立体角の割合の計算は複雑であるが、等立体角射影方式の魚眼レンズを用いて対策面を撮影することで、面積から立体角を求めることができる。本ガイドラインでは簡易的に対策面 ( $j$ ) の面積 ( $A_j$ ) と対策面までの垂直距離 ( $D_j$ ) から線図によって立体角の割合を求める方法を提示する。なお、評価点は対策面の中央に位置するものとする。

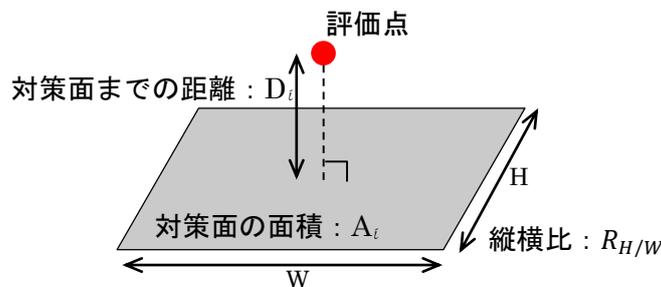


図 3 評価点と対策面との関係

微小球から見た対策面の立体角( $sr$ )の計量手法に関する既往研究<sup>2</sup>では、図4に示す面Fの縦横の長さ( $h, w$ )と評価点Oからの距離( $r_1, r_2$ )により立体角Sを求める手法が示されている。

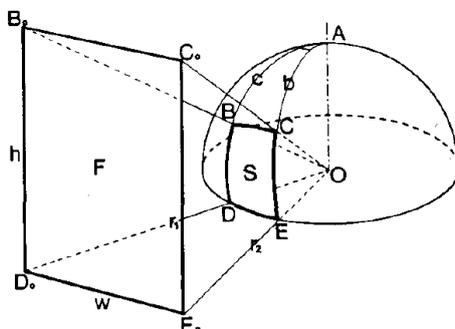


図4 面Fと立体角S、評価点Oの関係<sup>2</sup>

上記の立体角の計量手法を参考に、図3における対策面Aの面積( $m^2$ )と対策面までの垂直距離D(m)から(評価点から見た)対策面Aの立体角割合を求めるための線図(図5)を作成した。

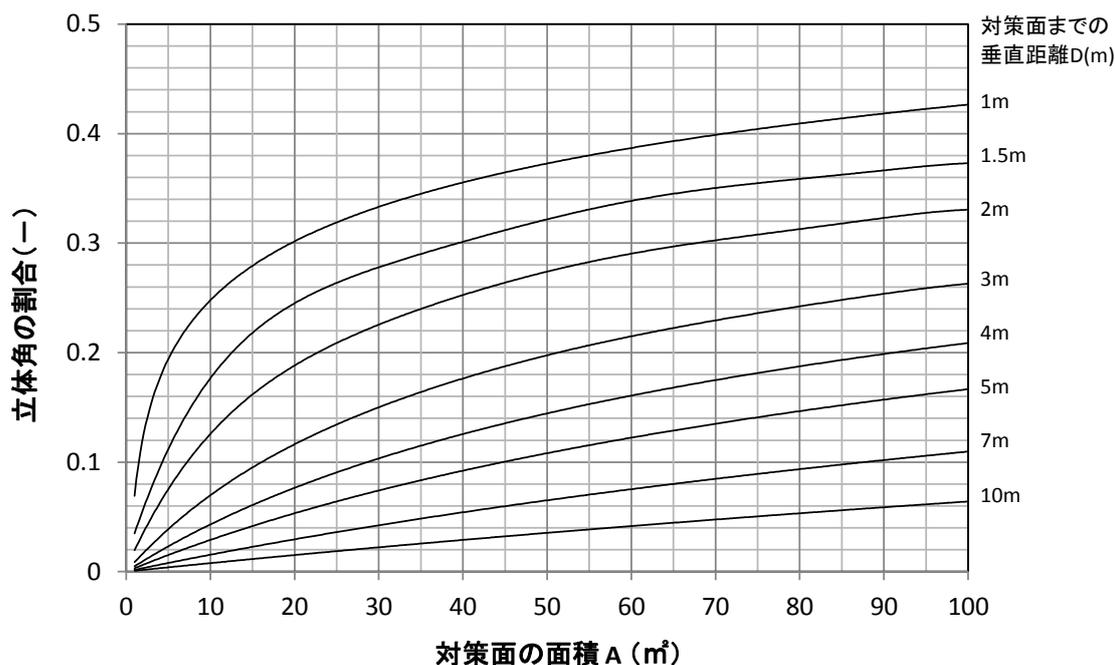


図5 対策面の面積と対策面までの垂直距離から立体角割合を求める線図

また、対策面の縦横比  $R_{H/W}$  が1から乖離すると、立体角の割合が小さくなる。目安として、縦横比が「1」から1増加することで立体角割合は約5%ポイント減少する(縦横比7程度まで)。

<sup>2</sup> 中岡ほか, 都市空間における天空開放性の計量技法に関する研究, 土木計画学研究・講演集No.7, 499-504, 1985

## 補遺 2 : 透過性のある日射遮蔽物 (テントや日傘) の対策効果

### －天候による日射量の直散比率の変化を考慮する場合－

本資料は、暑さ対策ガイドライン 技術検討ワーキンググループの鍋島美奈子氏の指導のもと、大阪市立大学 地域環境計画研究室でとりまとめたものである。

#### 1. はじめに

テントや日傘のような透過性のある素材で日射を遮蔽する場合の MRT 削減効果を試算する。遮蔽物に覆われることによって、直達日射だけでなく天空日射も遮られることを考慮する。また、晴れて全天日射量が多い時は直達日射の割合が高く、曇天で全天日射量が少ない時は天空日射の割合が大きくなるといった天候による直散比率の変化を考慮する。ただし、今回は日射遮蔽物からの長波放射増分や遮蔽物の大きさの違いによる地表面温度の変化は考慮していない。

#### 2. 直散分離を考慮した MRT の算出方法

算出する MRT に関して、対策前を式 1 に、対策後を式 2 に、その差をとったものを式 3 に示す。対策後の MRT(式 2)に関して、1 項目は遮蔽物から透過する直達日射項、2 項目は遮蔽物から透過する天空日射項、3 項目はテント外から入射する天空日射項、4 項目は地表面からの反射日射項、5 項目は地表面からの長波長放射項である。

$$MRT_{前} = \sqrt[4]{\frac{Q_{direct}}{4\sigma} + \frac{Q_{diffuse}\varphi_{sky}}{4\pi\sigma} + \frac{\sum i(Q_{reflect\_i}\varphi_i)}{4\pi\sigma} + \frac{\sum iT_i^4\varphi_i}{4\pi}} \quad \text{式 1}$$

$$MRT_{後} = \sqrt[4]{\frac{Q_{direct}P_s}{4\sigma} + \frac{Q_{diffuse}\varphi_{cover}P_s}{4\pi\sigma} + \frac{Q_{diffuse}\varphi_{sky}}{4\pi\sigma} + \frac{\sum i(Q_{reflect\_i}\varphi_i)}{4\pi\sigma} + \frac{\sum iT_i^4\varphi_i}{4\pi}} \quad \text{式 2}$$

$$\Delta MRT = MRT_{前} - MRT_{後} \quad \text{式 3}$$

$Q_{direct}$	: 直達日射量[W/m <sup>2</sup> ]	$Q_{diffuse}$	: 天空日射量[W/m <sup>2</sup> ]
$\varphi_i$	: 立体角[sr]	$\varphi_{sky}$	: 天空率[sr]
$Q_{reflect\_i}$	: 反射日射[W/m <sup>2</sup> ]	$\varphi_{cover}$	: 遮蔽物の立体角[sr] (=2π-φ <sub>sky</sub> )
$T_i$	: 地表面温度[K]	$P_s$	: 遮蔽物の透過率[-]
$\sigma$	: ステファン・ボルツマン定数[W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ]		

また全天日射量を直達日射 $Q_{direct}$ と天空日射 $Q_{diffuse}$ に直散分離する必要がある。簡易的に図 1 の sin h=0.9 (太陽高度 h が高い時間帯を想定) の実線を用いて、全天日射量が 0~1000W/m<sup>2</sup> の

時の天空日射量の値を読みとった。読み取った全天日射量，天空日射量，残差としての直達日射量値を表 1 に示す。

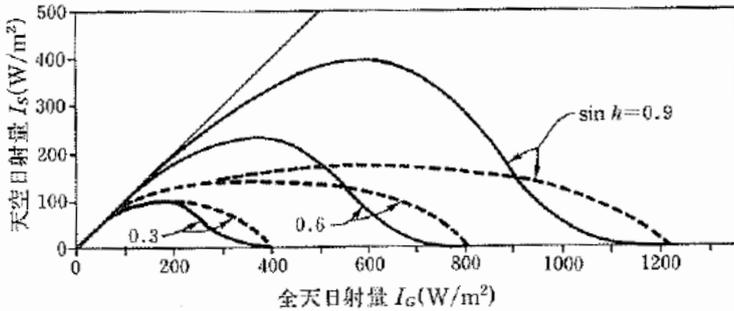


表 1 直散分離

全天日射量 [W/m <sup>2</sup> ]	直達日射量 [W/m <sup>2</sup> ]	天空日射量 [W/m <sup>2</sup> ]
0	0	0
200	0	200
400	70	330
600	200	400
800	500	300
1000	950	50

図 1 全天日射量と天空日射量の関係

(浦野良美，中村洋編著「建築環境工学」森北出版，P144，1996)

### 3. 大きな日射遮蔽物（テント）を想定（立体角： $2\pi \times 0.8$ ）

全天日射量を 400～1000W/m<sup>2</sup> まで変化させて  $\Delta\text{SUN} = 200\text{W/m}^2$  刻み毎に  $\Delta\text{MRT}$  を算出したもの図 2 に、透過率を 0～1 まで変化させたものを図 3 に示す。また遮蔽物の透過率を 0～1 まで 0.2 刻みごとに分類し、全天日射量を 400～1000W/m<sup>2</sup> まで変化させたものを図 4 に示す。その際、地表面温度は一様に 30℃ であると仮定した。

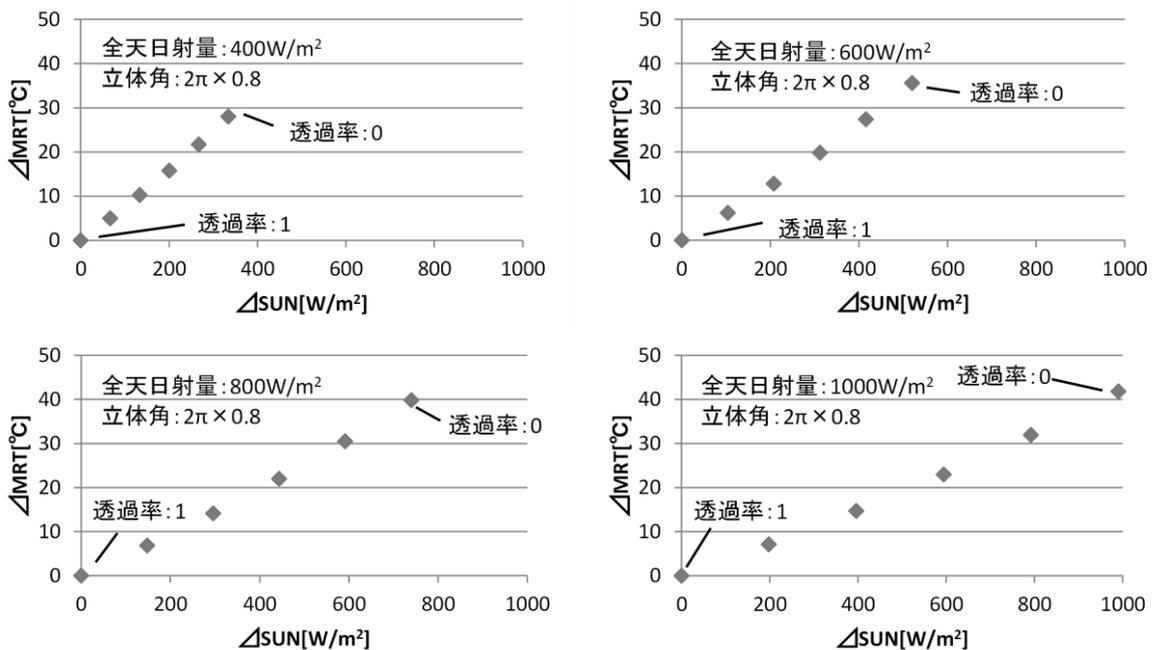


図 2  $\Delta\text{SUN}$  と  $\Delta\text{MRT}$  との関係

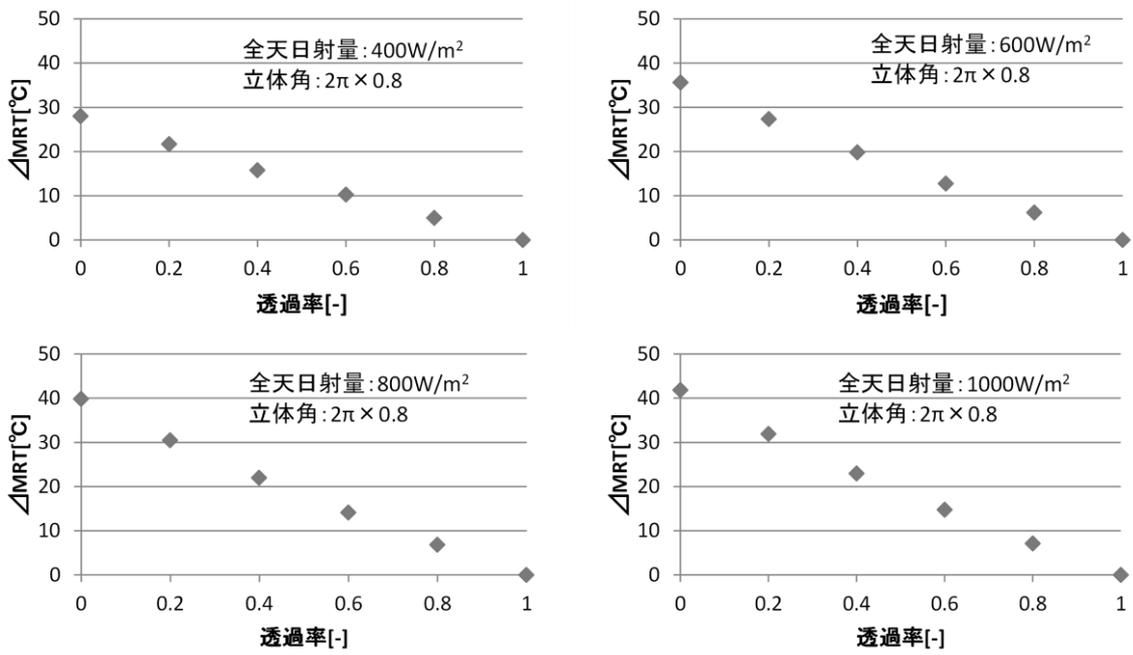


図 3 透過率と $\Delta MRT$ との関係

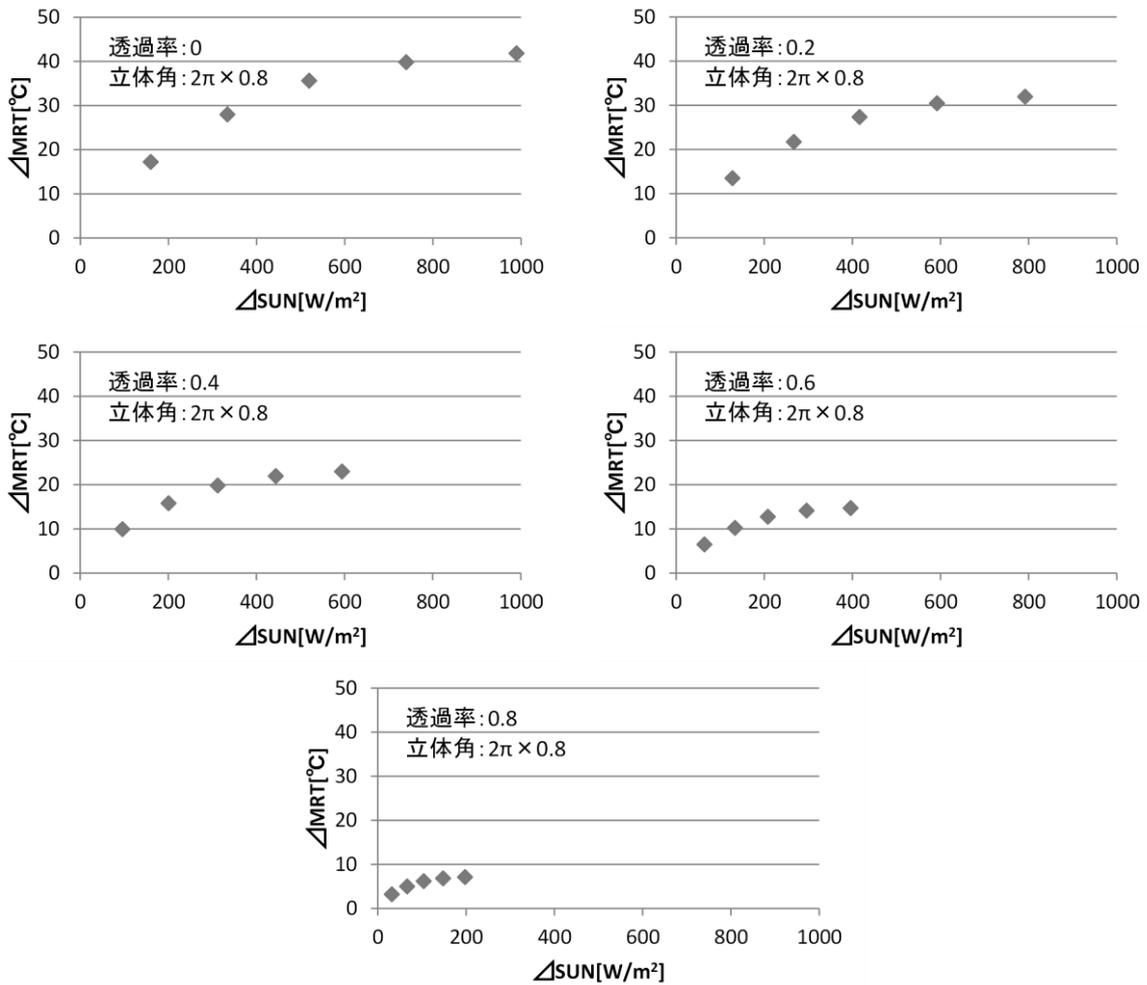


図 4  $\Delta SUN$ と $\Delta MRT$ との関係

図 2 より、全天日射量が大きくなるほど $\Delta$ SUN と $\Delta$ MRT の関係式の傾きが小さくなる傾向が読み取れる。図 3 より、同じ透過率であれば全天日射量が大きくなるほど $\Delta$ MRT が大きくなることがわかる。図 4 より、同じ $\Delta$ SUN でも透過率が高いほど $\Delta$ MRT が低くなることがわかる。すべてのデータをまとめて、 $\Delta$ SUN と $\Delta$ MRT との関係を図 5 に示す。

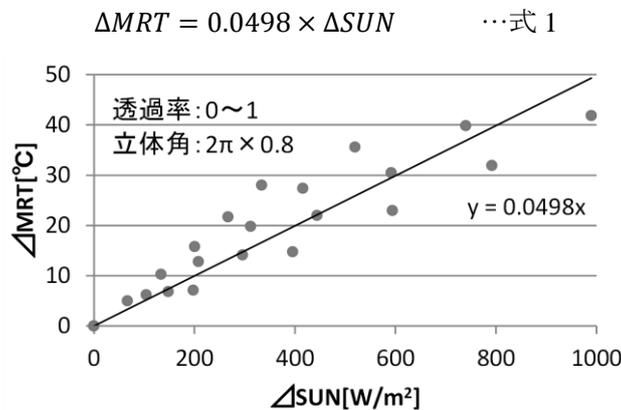


図 5  $\Delta$ SUN と $\Delta$ MRT との関係

#### 4. 小さい日射遮蔽物（傘など）を想定（立体角： $2\pi \times 0.2$ ）

全天日射量を  $400 \sim 1000 \text{ W/m}^2$  まで変化させて  $\Delta$ SUN =  $200 \text{ W/m}^2$  刻み毎に $\Delta$ MRT を試算したものを図 6、透過率を  $0 \sim 1$  まで変化させたものを図 7 に示す。また透過率を  $0 \sim 1$  まで  $0.2$  刻みごとに分類し、全天日射量を  $400 \sim 1000 \text{ W/m}^2$  まで変化させたものを図 8 に示す。すべてのデータをまとめて図 9 に示す。その際、地表面温度は一様に  $30^\circ\text{C}$  であると仮定した。

立体角  $2\pi \times 0.8$  の式 1（図 5）と、立体角  $2\pi \times 0.2$  の式 2（図 9）の回帰係数を比較すると、式 1 は  $0.0498$ 、式 2 は  $0.0403$  となり、日射遮蔽物の立体角が大きい（遮蔽物が大きい）ほど $\Delta$ SUN にかかる回帰係数が大きくなり、 $\Delta$ MRT が大きくなることがわかる。

#### 5. まとめ

日射遮蔽対策を評価するにあたり、天候の変化による全天日射の直散比率の変化の影響を分析した。全天日射量を直散分離して対策前後の $\Delta$ SUN を算出し $\Delta$ MRT を推定すると、ばらつきは大きくなり、 $\Delta$ SUN から $\Delta$ MRT への単回帰式の説明力が低下することがわかった。しかし、線形近似でも対応可能であることもわかった。また、日射遮蔽物の大きさ（立体角）が大きいほど $\Delta$ SUN にかかる回帰係数が大きくなり、 $\Delta$ MRT が大きくなることがわかった。

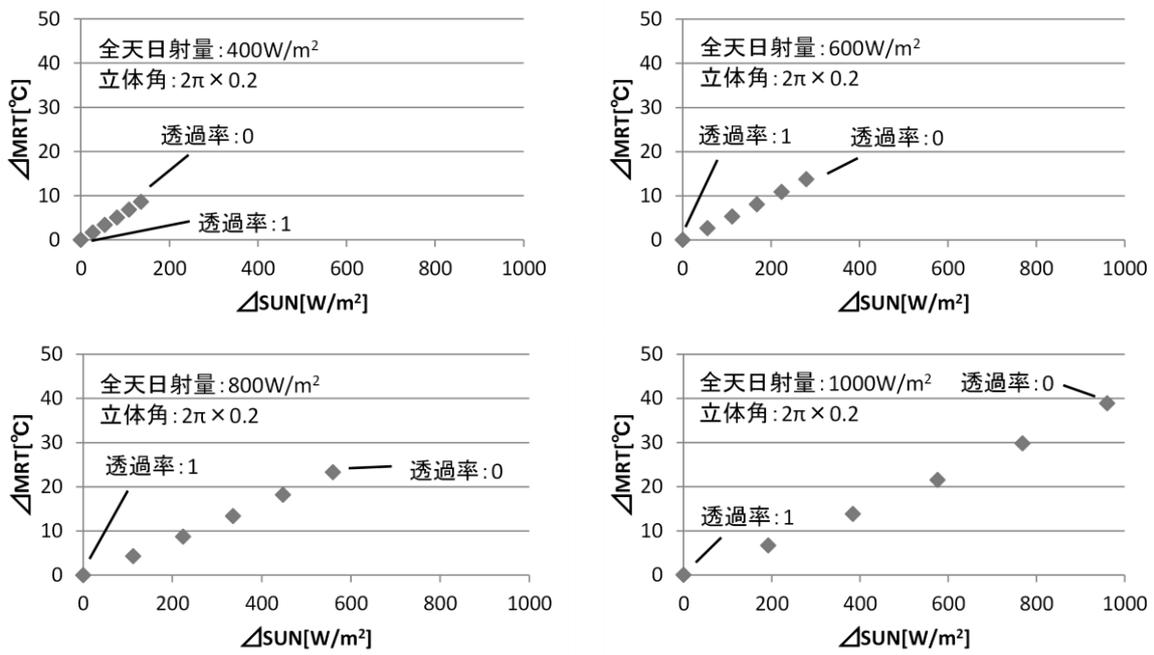


図 6  $\Delta \text{SUN}$  と  $\Delta \text{MRT}$  との関係

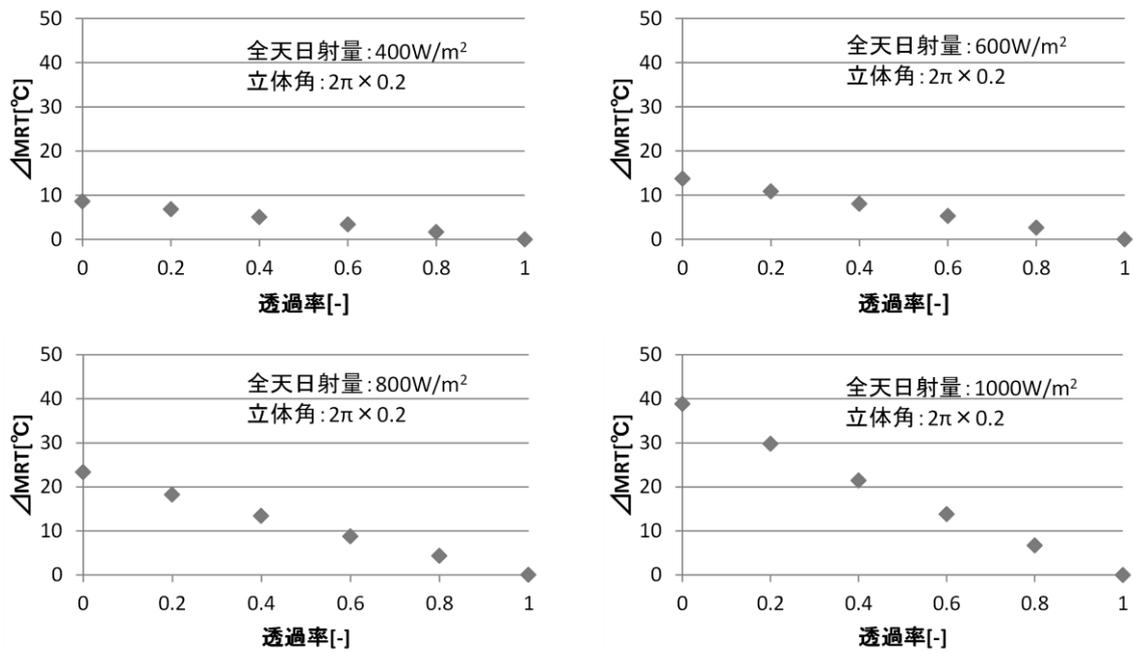


図 7 透過率と  $\Delta \text{MRT}$  との関係

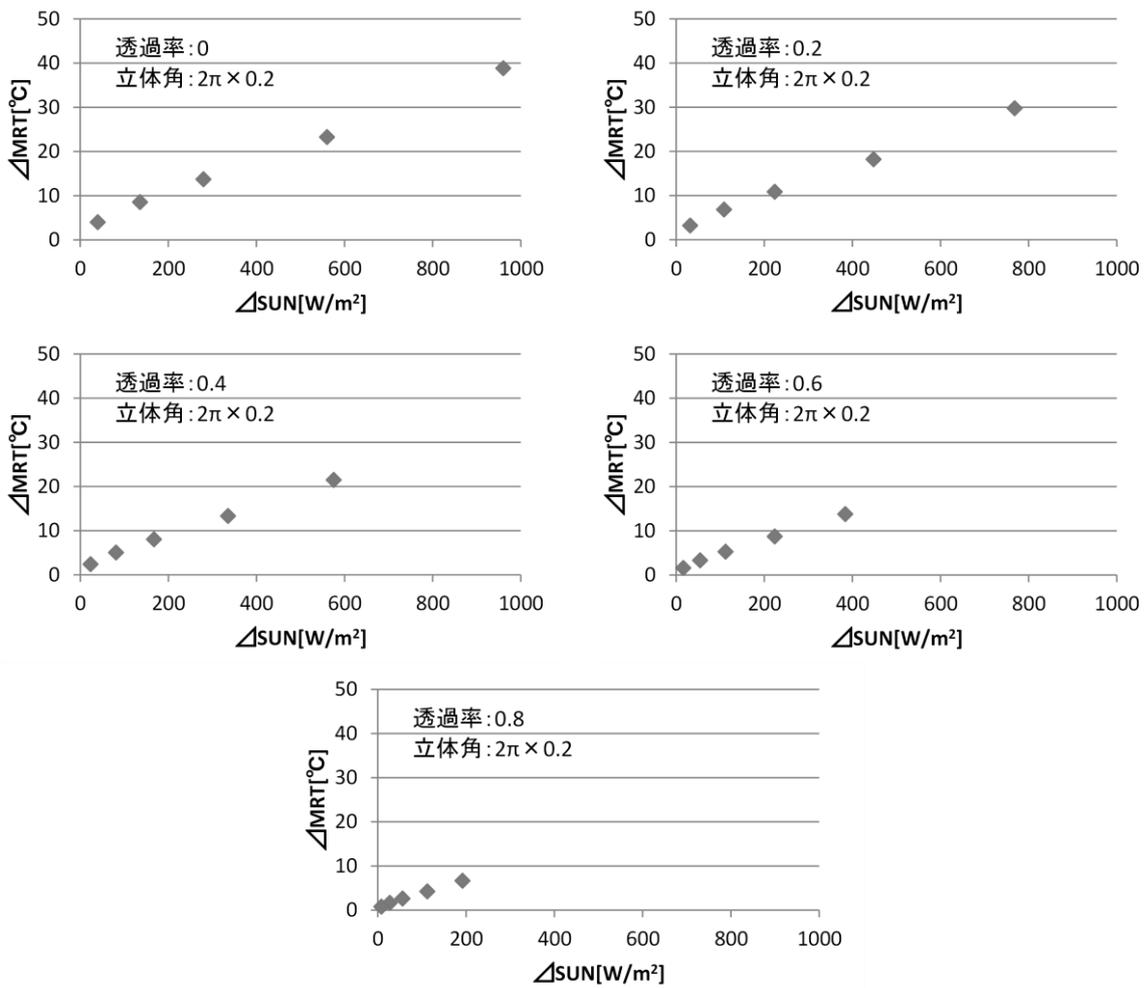


図 8  $\Delta SUN$  と  $\Delta MRT$  との関係

$$\Delta MRT = 0.0403 \times \Delta SUN \quad \dots \text{式 2}$$

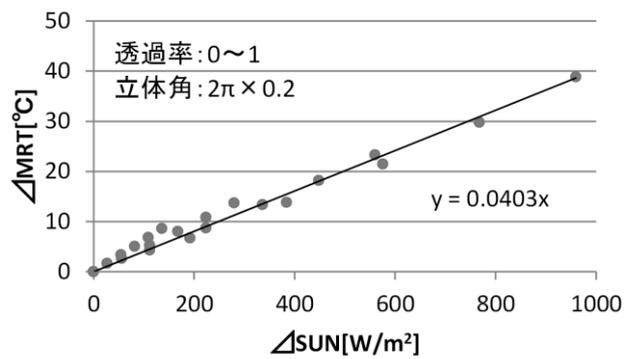


図 9  $\Delta SUN$  と  $\Delta MRT$  との関係

## 平成27年度ヒートアイランド現象に対する適応策検討委員会

- 足永 靖信 国土交通省国土技術政策総合研究所 住宅研究部 建築環境研究室 室長
- 国富 剛 三菱地所株式会社 開発推進部 副長  
(一般社団法人大手町・丸の内・有楽町地区まちづくり協議会事務局)
- 後藤 圭二 吹田市市長
- 都築 和代 産業技術総合研究所 人間情報研究部門 総括研究主幹 (第1回検討会まで)
- 鍋島 美奈子 大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 准教授
- 成田 健一 日本工業大学 学長 (座長)
- 堀越 哲美 愛知産業大学 学長
- 本條 毅 千葉大学大学院 園芸学研究科 教授
- 三坂 育正 日本工業大学 工学部建築学科 教授 (五十音順、敬称略)

## まちなかの暑さ対策ガイドライン 技術検討ワーキンググループ

- 足永 靖信 国土交通省国土技術政策総合研究所 住宅研究部 建築環境研究室 室長
- 鍋島 美奈子 大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 准教授
- 成田 健一 日本工業大学 学長
- 堀越 哲美 愛知産業大学 学長
- 本條 毅 千葉大学大学院 園芸学研究科 教授
- 三坂 育正 日本工業大学 工学部建築学科 教授 (五十音順、敬称略)

## 事務局

一般社団法人環境情報科学センター