

まちなかの暑さ対策ガイドライン
改訂版

平成 30 年 3 月

環境省

はじめに

気候変動やヒートアイランド現象の影響により、夏の暑さは厳しさを増しており、熱中症患者の増加や快適性の低下など人々の生活に影響を及ぼしています。

平成 22 年以降、6～9月の熱中症による救急搬送者数は毎年4万人を超えており、多い年には5万8千人に達しました。

気候変動やヒートアイランド現象を緩和するための対策が進められていますが、日本の気温上昇は世界の平均より早い速度で上昇しており、今後も気温上昇は続くと予想されています。そのため、影響を軽減する暑さ対策、なかでも暑さがより厳しいまちなかでの暑さ対策が重要となります。

本ガイドラインは、まちなかの暑さ対策を推進することを目的として、平成 28 年に初版が公表されました。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ています。今般、環境省で実施した暑さ対策の効果検証結果の反映や技術情報の更新などを行い、平成 29 年度版として改訂しました。

本ガイドラインを活用し、まちなかの暑さ対策を進めていただければ幸いです。

本ガイドラインの作成にあたりご協力をいただいた検討委員会の皆様をはじめ、関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

環境省水・大気環境局大気環境課大気生活環境室

まちなかの暑さ対策ガイドライン 改訂版

目次

序章 ガイドラインの概要.....	1
—第1部 基礎編—	
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.....	12
2.3 暑さ対策の事例.....	14
2.4 暑さ対策による効果.....	20
2.5 暑さ対策の進め方.....	22
—第2部 対策編—	
第3章 暑さ対策技術.....	25
3.1 暑さ対策技術の概要.....	25
3.2 暑さ対策技術シート.....	27
① 樹木・藤棚等による緑陰.....	29
② 人工日除け.....	31
③ 窓面等の再帰反射化.....	34
④ 地表面等の保水化.....	36
⑤ 地表面等の遮熱化.....	40
⑥ 地表面等の緑化.....	43
⑦ 壁面等の緑化.....	45
⑧ 壁面等の保水化・親水化（冷却ルーバー等）.....	48
⑨ 微細ミスト.....	51
⑩ 送風ファン.....	55
⑪ 冷却ベンチ.....	57
第4章 対策技術選定の際の確認事項等.....	59
—第3部 技術情報編—	
第5章 体感温度の把握.....	67
5.1 体感温度指標.....	67

5.2 実測等による把握方法.....	69
5.3 シミュレーションによる把握方法.....	74
第6章 体感温度による対策効果の把握.....	75

—参考資料—

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。

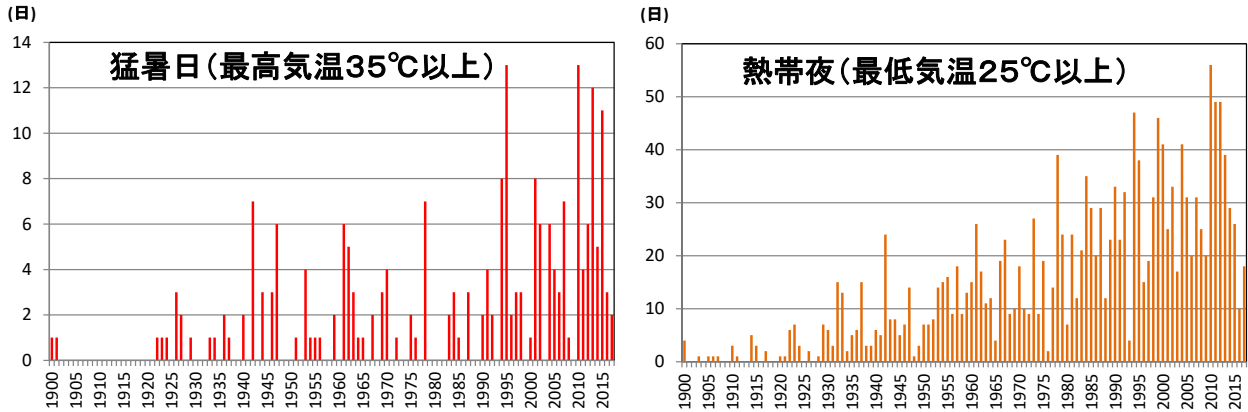


図 1 東京の猛暑日と熱帯夜の日数の推移¹

これまでの暑さ対策は、個々に日傘をさす、打ち水をするなどの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）

¹ 気象庁 HP から東京管区气象台 観測地点「東京」のデータを用いて作成。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「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「技術情報編」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（対策編） 第3～4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（技術情報編） 第5～6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、日射を防いで、水・緑・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²。

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³を参照ください。

² 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。

³ 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⁴）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。実際には、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。

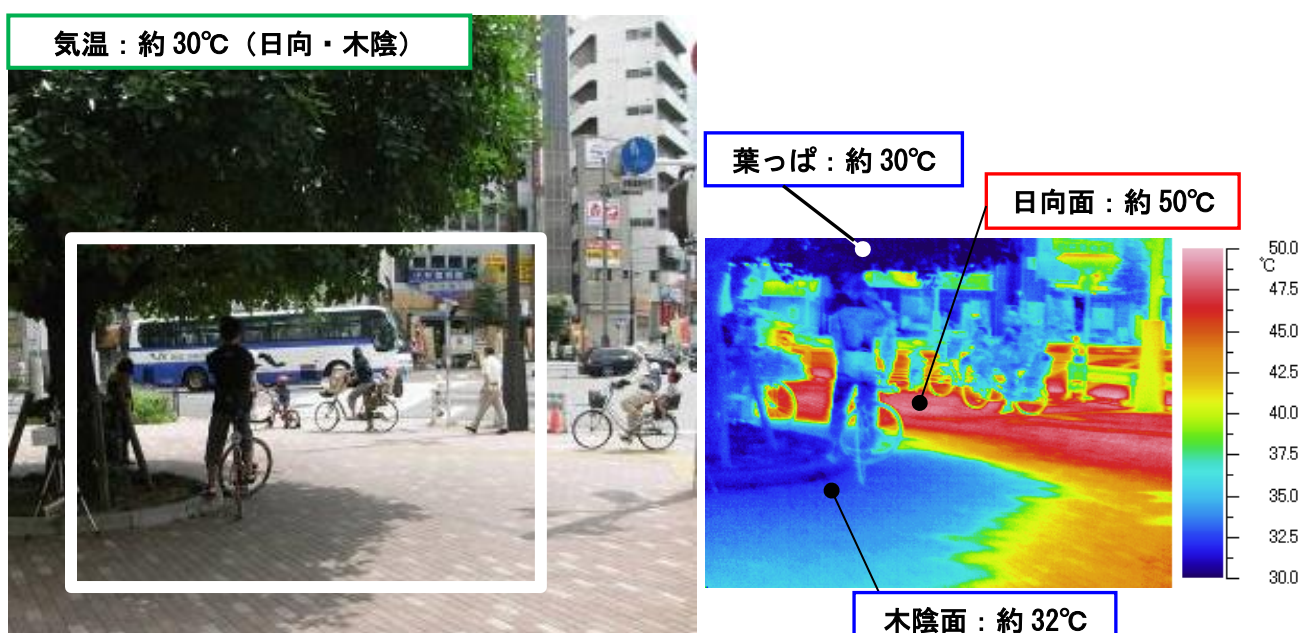


図 1.1 木陰のある交差点（東京都江東区木場）

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。

体感温度指標については第5章で詳しく説明しますが、本ガイドラインでは SET*（標準有効温度）と WBGT（湿球黒球温度）を用います。ただし、WBGT は快適域に近い熱ストレスの評価には適用しないこととされており⁵、本ガイドラインでは快適性の向上も視野に入れていることから、主として SET*を用います。また、SET*と WBGT は同じ「°C」という単位を用いていることから、誤解を避けるために、WBGT は熱中症警戒レベルとして表現します。

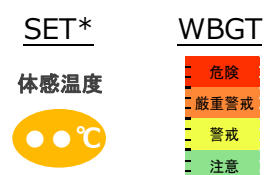


図 1.2 体感温度指標の表記方法

⁴ 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。

⁵ JIS Z 8504:1999, 人間工学－WBGT（湿球黒球温度）指数に基づく作業者の熱ストレスの評価－暑熱環境

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⁶場合があります。

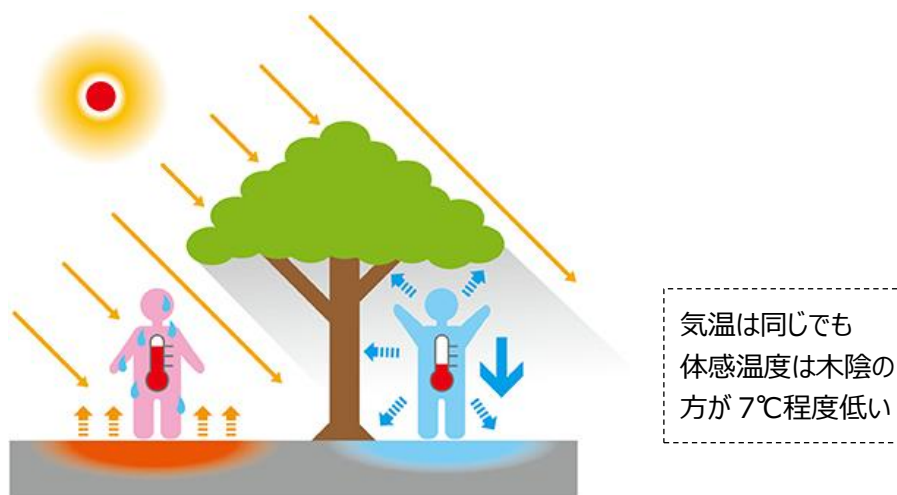


図 1.3 日向と木陰の体感温度の違いのイメージ

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⁷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

⁶ 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

⁷ 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/m²（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。）

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。

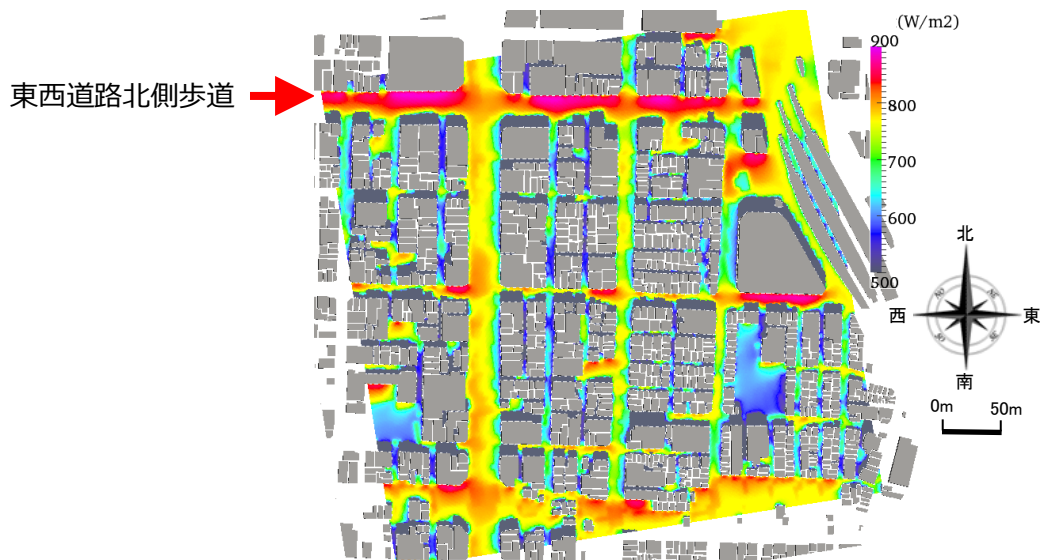


図 1.4 都市街路で歩行者が受ける熱量（8月12時）⁷

このような暑い街路でも、少しの空間に木陰とベンチがあれば、そこにいる人の体感温度を下げることができます。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⁸します。空気が滞留しやすく、人が密集するところなどでは、強制的に送風して熱だまりを防ぎ、人に風を当てて体感温度を低下させる方法も有効です。

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

⁸ 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、運動したりすることで、人の体内では熱が発生します。また、日射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、汗をかくなどして放熱し、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。



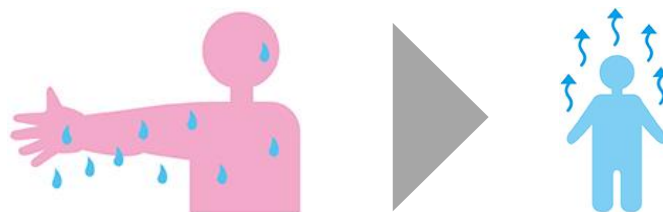
-[まわりのモノに放熱（放射）]-

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⁹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くら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、日傘をさしたりすることにより、夏の暑さによる影響を抑制することができると考えられます。

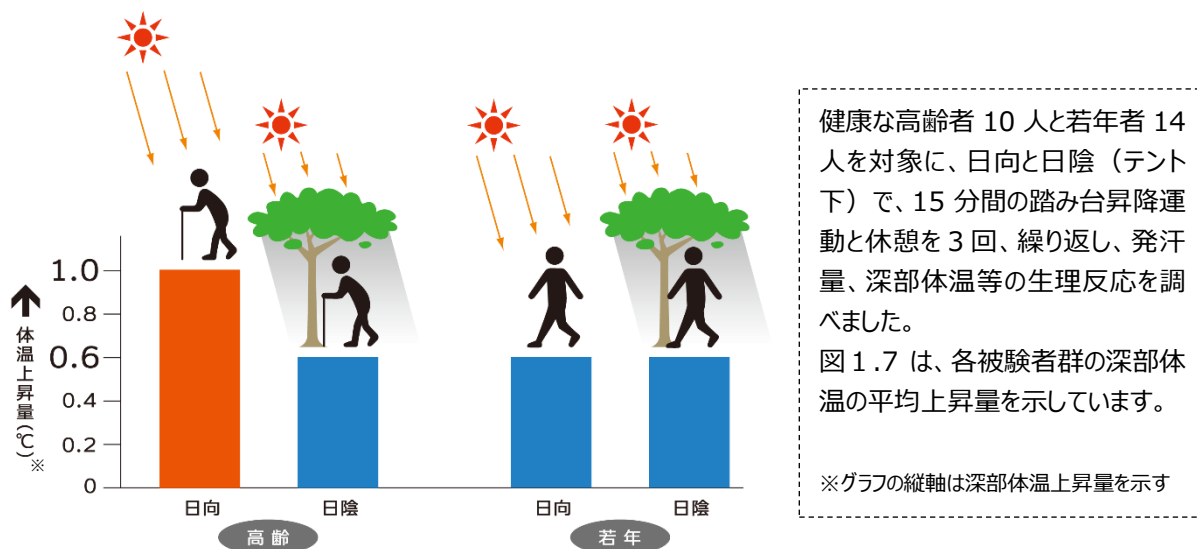


図 1.7 高齢者と若年者の歩行運動実験結果⁹

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

⁹ 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で、健康で快適な環境づくりを推進

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、少しでも日射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。

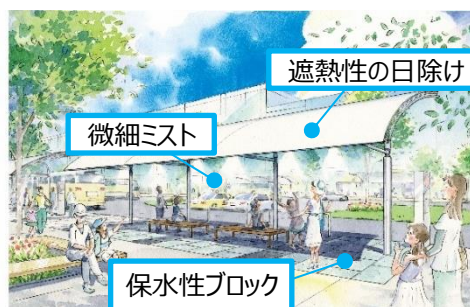


図2.1 バス停など、暑くても待たなければならない場所での暑さ対策のイメージ

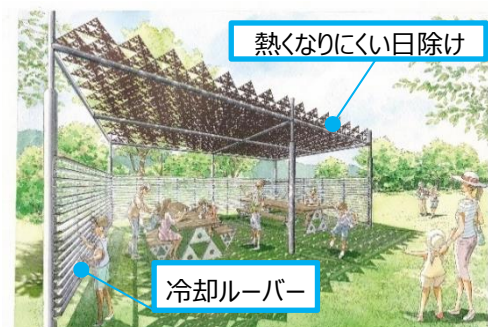


図2.2 公園など、快適に過ごしたい場所での暑さ対策のイメージ

また、気持ちのよい屋外の公園も、夏には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。樹木の葉を模した熱くなりにくい日除けや、水の蒸発を利用する冷却ルーバー⁹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。

暑さ対策は、大まかに、「うえ」日射の低減、「した」地表面等の高温化抑制・冷却、「よこ」壁面等の高温化抑制・冷却、そして「まんなか」空気・からだの冷却、に分類できます。

それぞれの対策を組み合わせることで、より効果的な暑さ対策となります。

次節では、この分類と合わせて暑さ対策のポイントを解説します。技術の詳細は第3章以降を参照ください。

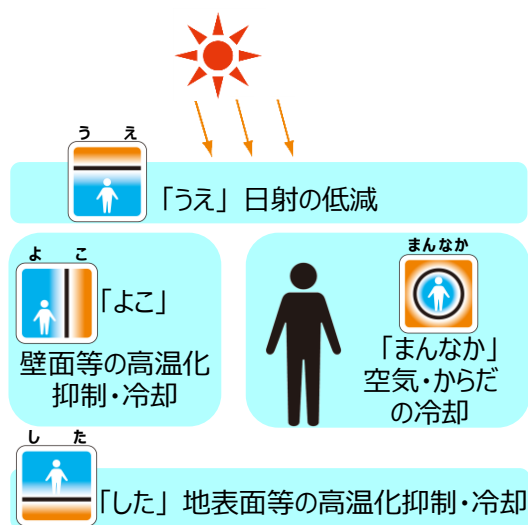


図2.3 暑さ対策の考え方

⁹ ルーバー：壁面や天井の開口部による戸状の板を縦または横に並べて付けたもの。(株式会社岩波書店 広辞苑第五版)

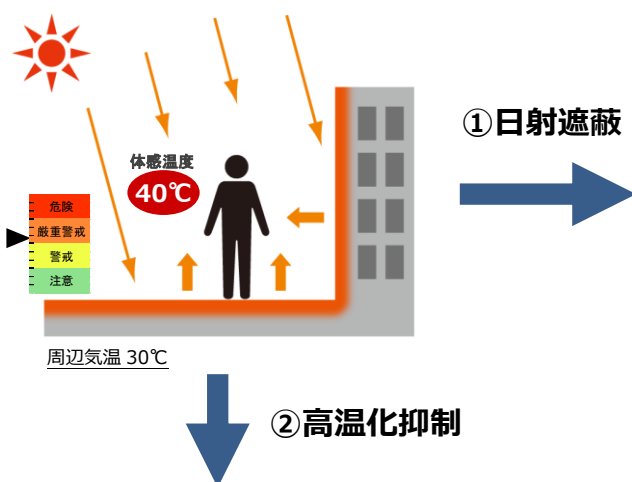
2. 2 暑さ対策のポイント

ここでは、暑さ対策の主な手法と体感温度の低下効果¹⁰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。

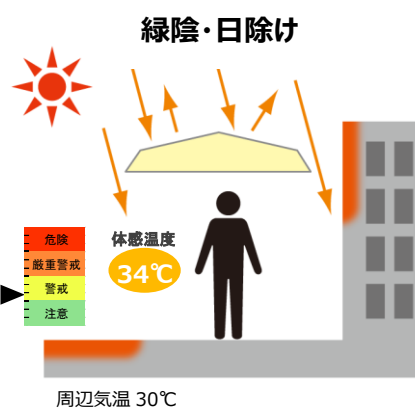
風通しが悪いと、体感温度はさらに上昇します。



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 3～7℃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にくい日除けを選ぶと効果的

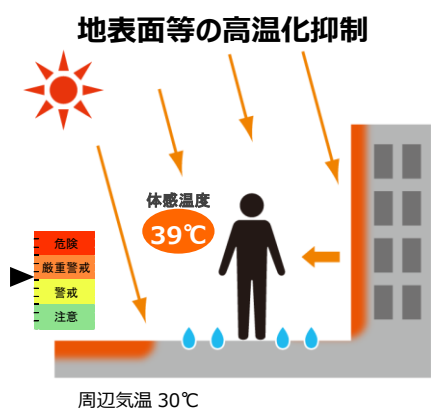


✓ 日射を遮ることが難しい場合は、日射が当たる場所の高温化を防ぎ、赤外放射を減らしましょう

地表面等の高温化を抑制しましょう



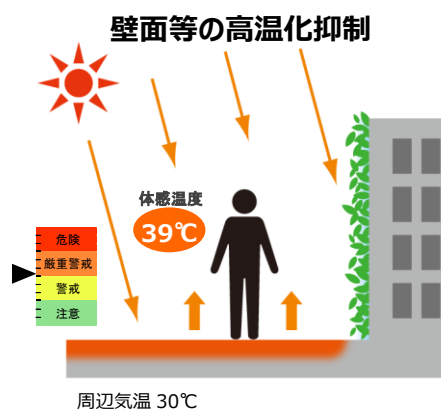
- ・地表面等を緑化もしくは保水化することなどで高温化を抑制し、体感温度が 1～2℃程度低下



壁面等の高温化を抑制しましょう



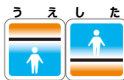
- ・壁面等を緑化することなどで高温化を抑制し、体感温度が 1℃程度低下



¹⁰ ○内の数値で示している体感温度は ASHRAE SET*演算ソフト（空調調・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）を用いて計算した SET*。計算条件：気温 30℃、相対湿度 50%、風速 0.5m/s、日射量 900W/m²、代謝量 1.7met、着衣量 0.43clo。また、WBGT を熱中症警戒レベルで示した。

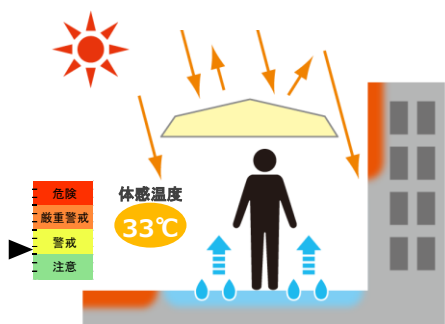
- ✓ 日射を遮り、水の気化熱を活用して路面や側面、空気を冷やすことで、積極的に涼しさを作りましょう
※冷却技術を使うことで、局所的に気温が低下する場合があります。

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

日除け+地表面等の冷却



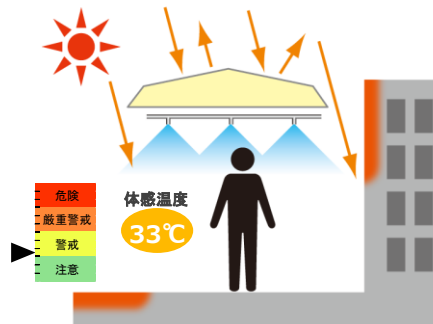
周辺気温 30℃ (対策により局所的に気温低下)

空気・からだを冷やしましょう



- ・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
- ・送風ファンで風を当てたり、座面を冷やしたベンチに座ることで、直接、からだを冷やす方法も有効

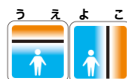
日除け+微細ミスト等



周辺気温 30℃ (対策により局所的に気温低下)

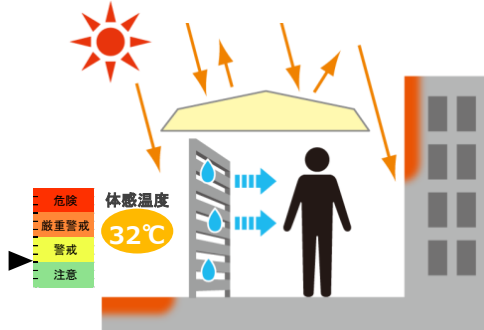
冷却

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

日除け+壁面等の冷却



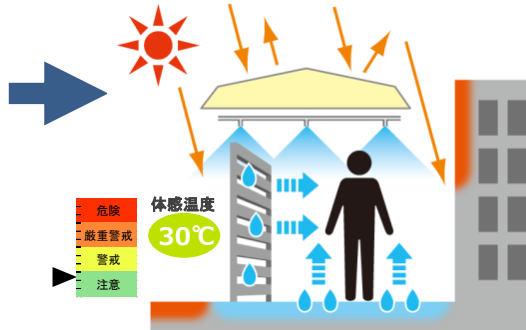
周辺気温 30℃ (対策により局所的に気温低下)

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・からだを冷却し、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+地表面等の冷却 + 壁面等の冷却 + 微細ミスト等



周辺気温 30℃ (対策により局所的に気温低下)

*図の凡例は第3章 表 3.3 を参照ください。

2. 3 暑さ対策の事例

ここでは、実際のまちなかでの暑さ対策の事例を取り上げました。

日射を遮る



道路（埼玉県熊谷市 JR 熊谷駅前）

導入技術：パーゴラ（藤棚）



暑くても信号待ちの間滞在しなければいけない交差点の歩道に暑さ対策を実施した例。道路の付属物である「街路樹」として藤棚を設置した。

（埼玉県熊谷市藤のパラソル事業）

商業施設（香川県高松市高松丸亀町商店街）

導入技術：人工日除け



商店街の各店舗の軒先に日除けを設置した例。商品から日射や雨を避けるために設置されたが、商店街を訪れる人が日射を避けて店舗間を移動できる環境となっている。

鉄道駅（東京都品川区旗の台駅）

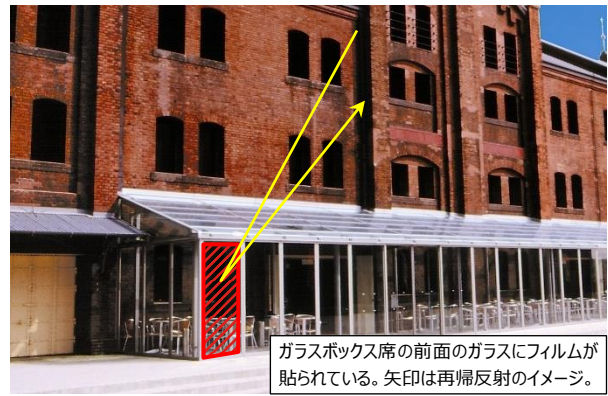
導入技術：人工日除け



駅の改修に伴い、ホーム全体を覆う膜構造の屋根を設置した例。金属屋根などと比べると、膜屋根は屋根の下を明るく保つことで照明の電力を削減できる。また、防汚効果が高い光触媒膜材で、高い日射反射率を維持することができる。

商業施設（神奈川県横浜市中区赤レンガ倉庫）

導入技術：再帰反射フィルム



商業施設内の飲食店のガラスボックス席に再帰反射フィルムを設置した例。ボックス席内への熱の侵入を抑えると同時に、日射の一部を上空に反射させることにより、反射した日射が、ガラス前面の歩行者に当たるのを防ぐことができる。

路面を冷やす



道路（京都府京都市上京区小川通）

導入技術：保水性舗装



(写真提供：京都市)

保水性舗装の設置例。地域の人々が日常的に打ち水を実施していた道路に、打ち水の効果の持続性を高める「石畳風保水性アスファルト舗装」を施工した。

(京都府京都市小川通無電柱化事業の一環)

道路（大阪府大阪市西区高台地区）

導入技術：保水性ブロック



保水性ブロックの設置例で、行政とまちづくりの会の協働により施工した。地域の歴史に因んだデザイン（相撲）に施工されている。市と住民との間で協定が結ばれ、整備された歩道には、住民が打ち水を実施している。

側面を冷やす



住宅外構（埼玉県熊谷市）

導入技術：冷却ルーバー



戸建住宅の1階テラスの暑さ対策として冷却ルーバーを設置した例。アルミ製のルーバー表面に親水性・吸水性塗膜を施し、少量の水でルーバー表面温度が効率的に低下する製品が使用されている。

(埼玉県熊谷市熊谷スマートタウン整備事業の一環)

空気を冷やす



商業施設（愛知県名古屋市中区アスナル金山）

導入技術：微細ミスト



商業施設の軒下に、微細ミストを設置した例。駅からの出口や店舗が立ち並ぶ通路沿いに設置されている。温湿度センサーで気象条件に応じた運転をしている。

複合的に対策を組み合わせる

《H28 年度環境省検証事業¹¹の結果》

バス停（埼玉県熊谷市役所前）

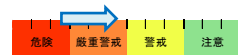
導入技術：人工日除け・保水性ブロック・水景施設・冷却ルーバー・冷却ベンチ



暑くても待たなければならないバス停に、複数の暑さ対策技術を組み合わせ導入した例。地下水の冷たさを利用できる技術を導入した。お年寄りの憩いの場や子ども水遊び場として活用された。

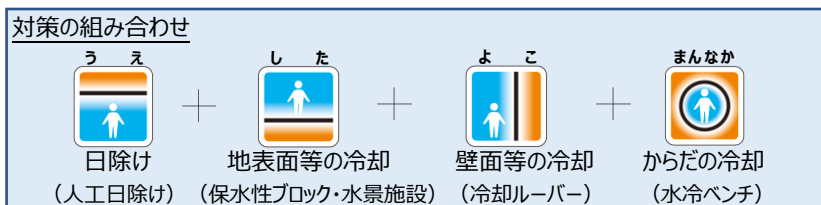
■体感温度改善効果：日向に比べて約-11.9～-9.5℃

■熱中症警戒レベル：



※ 8月の日中（例えば気温 34℃、湿度 50%、風速 1.0m/s、日向の日射量 846W/m²）のときの測定結果

（H28 年度環境省検証事業¹¹）



路面電車電停（大阪府堺市綾ノ町電停）

導入技術：人工日除け・冷却ルーバー・送風ファン付き微細ミスト



高温化した車道と軌道に囲まれた路面電車の電停に暑さ対策を実施した例。施工可能な面積が 6 m²程度と限られていたため、ベンチに座る人を直接冷やす送風ファン付き微細ミストを導入した。

■体感温度改善効果：日向に比べて約-8.7～-7.1℃

■熱中症警戒レベル：



※ 7月の日中（例えば気温 32℃、湿度 55%、風速 0.9m/s、日向の日射量 912W/m²）のときの測定結果

（H28 年度環境省検証事業¹¹）



¹¹ 環境省 平成 28 年度余剰地下水等を利用した低炭素型都市創出のための調査・検証事業

公園（東京都江東区東京ビッグサイト前海上公園）

導入技術：人工日除け・保水性ブロックと散水システム・冷却ルーバー



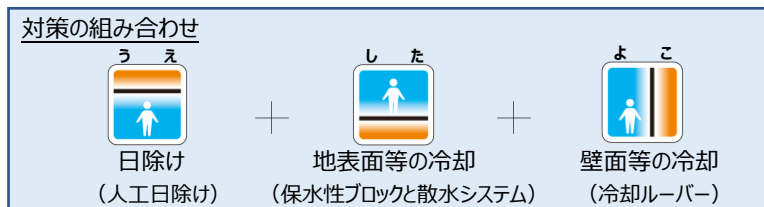
オフィスビルの近隣で昼食時等に利用されていたベンチに暑さ対策を導入した例。緑が豊かな公園の特徴に合わせて、緑化した冷却ルーバーや樹木の葉を模したフラクタル形状の日除けなどを導入した。

■ 体感温度改善効果：日向に比べて約-7.2~-5.2℃

■ 熱中症警戒レベル：



※ 8月の日中（例えば気温 33℃、湿度 56%、風速 1.1m/s、日向の日射量 685W/m²）のときの測定結果（H28 年度環境省検証事業¹¹）



【個人でできる暑さ対策の例～日傘～】

個人で取り組める暑さ対策の一つとして、自分専用の日陰をつくりだせる日傘が挙げられます。平成 22 年度の環境省の調査では、クールビズと日傘を併用することで、人の暑熱ストレス（汗の量）を約 20%軽減でき、これは 10m 間隔で街路樹を形成する効果に匹敵することがわかっています。

観光地では、日傘のレンタルを行っているところもあります。例えば、埼玉県熊谷市の国宝歓喜院聖天堂の門前町で協力店舗のどこでも日傘を借りて返せる取組み（熊谷市 えんむすび日傘事業）や、日本庭園内をより快適に楽しめるように和傘を貸し出している旧芝離宮恩賜庭園、着物と合わせて日傘も貸し出している京都の着物レンタル店などがあります。

最近では、男性用の日傘も増えてきており、男女問わず夏の必需品として、普及が期待されます。

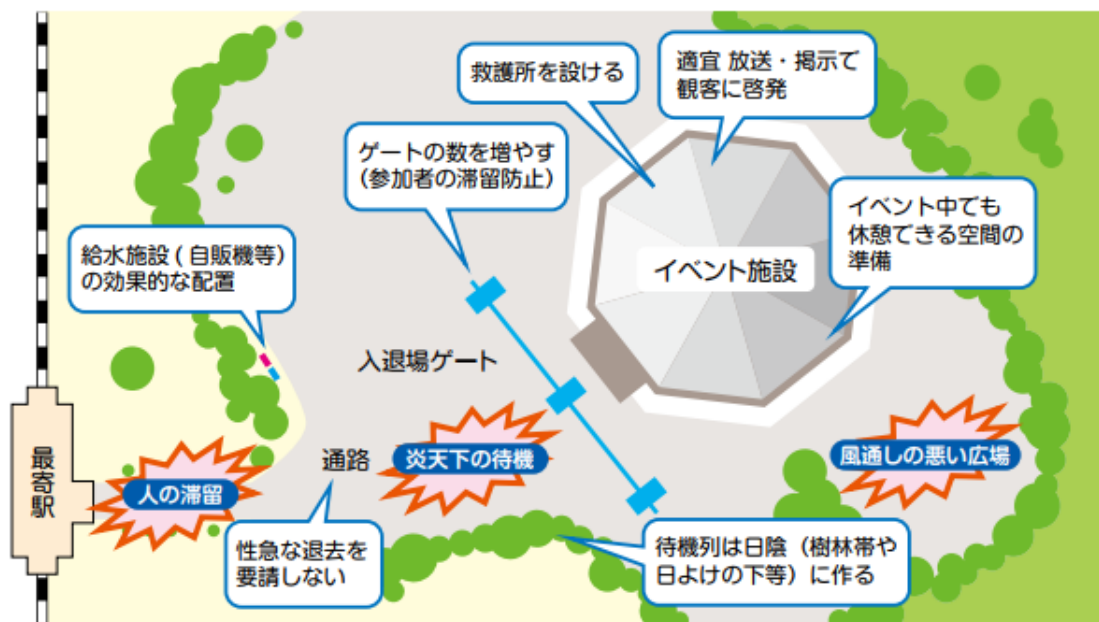



（写真提供：熊谷市 HP）
熊谷市歓喜院聖天堂と門前町内商店街での日傘の貸出

イベントにおける暑さ対策

夏季にイベントが開催される場合には、参加者等の安全性や快適性を確保するため、十分な飲料を供給するとともにイベント会場などの暑熱環境を把握し、参加者等が厳しい暑熱環境を回避できるよう、施設や運営上の工夫が必要です。

環境省「夏季のイベントにおける熱中症対策ガイドライン 2017(暫定版)」(以下、「熱中症対策ガイドライン」という)では、炎天下で人が滞留・待機する場所や風通しの悪い広場など、注意が必要な場所が示されています(下図)。ここでは、イベントにおける暑さ対策の参考となる事例を紹介します。



(熱中症対策ガイドライン 図「イベント会場における暑熱環境の緩和」より)  注意が必要な箇所

①人の動線の暑さを和らげる

駅から会場までの道や会場内の通路は、たくさんの人が密集してゆっくりと移動することになります。日陰がない道の場合には、街路樹の整備や店舗の軒先に日除けを設置し、連続した日陰をつくりだすことで動線上の暑熱環境を大きく改善することができます。また、微細ミストを動線に沿って設置することで歩行者の暑さを緩和することができます。



←歩道沿いでの微細ミスト設置の例(世界陸上大阪大会)



↑連続した日除け設置の例

②人が待機・滞在する場所の暑さを和らげる

イベント当日には、チケット等の購入、入場待ちなどで人々が炎天下で待機する状況が想定されます。簡易テントや移動式の日除けを用いて、日射を避けられる環境を作りましょう。

また、休憩所などには面的に広い日陰空間を作る必要がありますが、大型のテントの他、仮設の構造物（アルミトラス）による大規模な日除けの設置事例などがあります。

また、日除けに微細ミストや送風ファンを併設することで、快適性を高めることができます。

日除け下の路面への打ち水も有効です。



↑移動式日除けを使用した待機所の例



↑仮設構造による大規模な日除けの設置の例



↑移動式の送風ファン付き微細ミストの例

③イベントの一環として暑さを和らげる

打ち水・散水などをイベントとして参加者とともに行うことで、楽しみながら暑さ対策を実施することができます。ミストを活用する場合にも、濡れにくい微細ミストに加えて、スポーツイベントなどの際には、噴霧量や粒径が大きいものを採用し、積極的に濡らしてからだを冷やす方法が有効な場合もあります。見た目にも涼しげで、人が集まる効果も期待できます。



↑消防用ホースを活用し、参加者とともに散水した例
(大阪府吹田市 第48回吹田まつり 吹田スプラッシュパーティー)



↑大噴霧量のミストの例（緑化トンネルとの組み合わせ）

イベント時には、このような対策の他にも、こまめな水分補給など個人でできる対策の呼びかけや、熱中症発生時の医療体制を整えることも重要です。詳しくは熱中症対策ガイドラインを参照してください。

2. 4 暑さ対策による効果

暑さ対策技術の導入により体感温度が低下することで、からだへの負荷が減るだけでなく、まちづくりの視点でも望ましい効果が期待できます。例えば、人の生理・心理反応の改善、にぎわいの創出、省エネルギー効果です。

1) 生理・心理反応の改善

体感温度が低下することで、人の生理反応（心拍数・皮膚温）や心理反応（快適感、温冷感など）が改善しています。

H28 年度環境省検証事業の堺市綾ノ町電停での実験で、被験者の温冷感や皮膚温度などを調べた結果、日向→テント下→暑さ対策施設内（送風ファン付き微細ミストなどを設置）の順に体感温度が下がり、被験者の温冷感の申告も、暑い→涼しいに変化することが確認されています。



図 2.4 被験者実験の様子

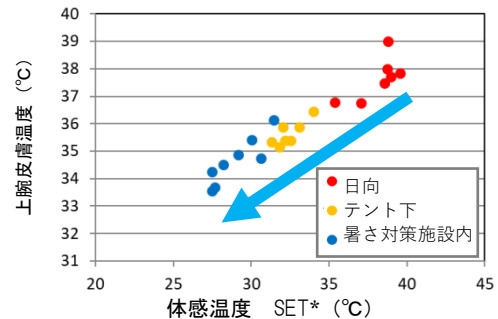
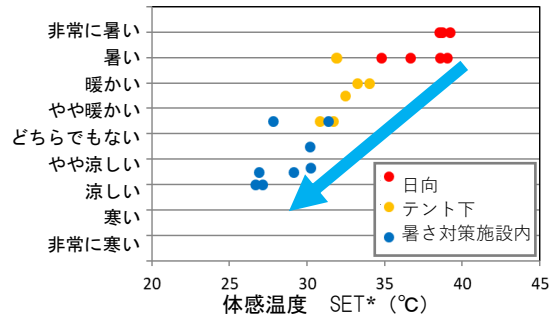


図 2.5 体感温度 SET*と温冷感（上）、上腕皮膚温度（下）の関係

2) にぎわいの創出

暑さ対策を実施することで、夏には閑散としていた公園に、にぎわいを取り戻したり、商業施設であれば集客力向上にもつながる可能性があります。

H28 年度環境省検証事業では、公園内のベンチの利用と体感温度との関係を調査した結果、夏に対策によって体感温度が低下することで、ベンチの利用が増加する傾向があることがわかりました。

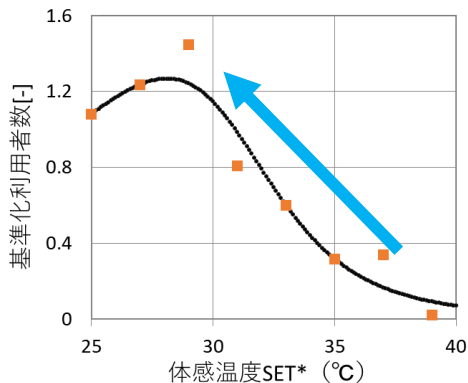


図 2.6 体感温度 SET*と基準化利用者数^{注)}の関係

注) ある場所・時間帯における平均利用者数に対する比率
(H28 年度環境省検証事業 東京ビッグサイト前海上公園及び大阪ビジネスパーク前コミュニティスペースでの利用状況調査結果より)



対策前



対策後

図 2.7 対策前と対策後のベンチの様子 (H28 年度環境省検証事業 東京ビッグサイト前海上公園)

実際に、暑さ対策施設を利用した方々から、「空調が効いた室内の休憩場所よりもコミュニケーションが弾む」という声も聞かれ、暑さ対策施設が子どもから高齢者まで、幅広い世代を対象にまちなかの交流スポットとなる可能性があることもわかりました。

- 自然の涼しさがこちよい
- エアコンの部屋よりもコミュニケーションが弾む
- エアコンと比べて涼しすぎないけど汗がでないレベルが良い
- 子どもが遊ぶ場所としてちょうどよい
- 流れている水が涼しげ
- イスがひんやりして気持ちが良い



図 2.8 暑さ対策施設の利用の様子と利用者の声（H28 年度環境省検証事業 熊谷市役所前）

3) 省エネルギー効果

日除けなどの技術は、稼働時にエネルギーを使用しなくても体感温度を低下させることができます。水や電気を使用する微細ミストなどの技術でも間欠運転にすることなどで稼働エネルギーを小さくすることができます。

暑さ対策施設と仮想の空調室の電気消費量と体感温度低下効果を比べてみると、H28 年度環境省検証事業で検証した暑さ対策施設では、電力消費量は空調室に比べて格段に小さく一定の体感温度低下効果が得られることがわかりました。



図 2.9 暑さ対策施設での電力消費量と体感温度低下効果の目安（H28 年度環境省検証事業より）

2.5 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。

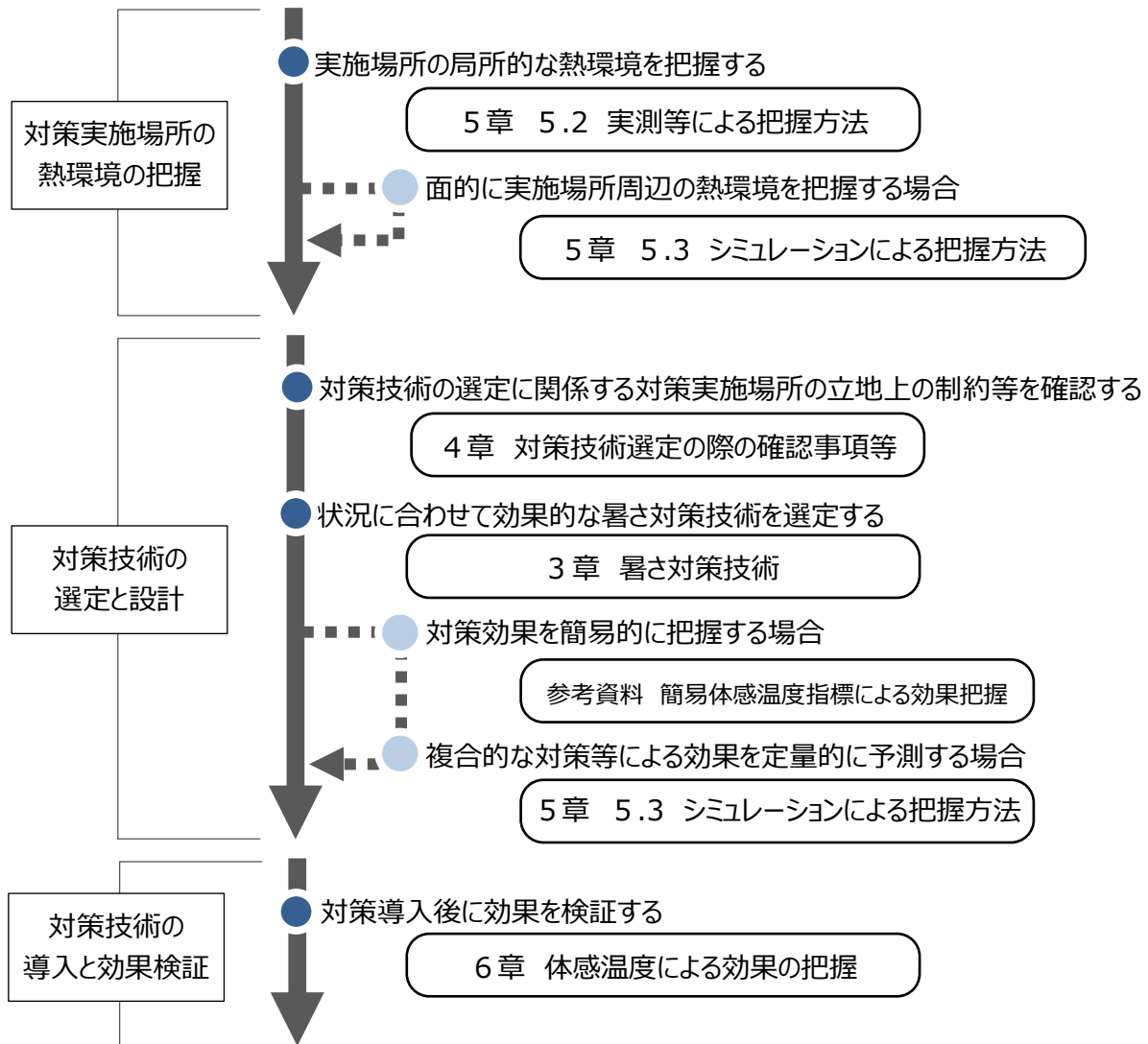


図 2.10 暑さ対策の手順とガイドラインの関係 (● は必要に応じて実施する項目)

— 第2部 対策編 —

第3章 暑さ対策技術

3.1 暑さ対策技術の概要

本ガイドラインでは、日射を防いで、水・緑・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中心に紹介します。具体的には、日射を遮蔽する・反射させる、水の気化熱を利用して冷やす、緑で高温化を抑制する、風通しを確保するもしくは風を起こして涼しくするなどです。

ここでは、暑さ対策の基本的な考え方と技術の分類、技術選定に際して確認しておくべき事項の概要、さらには設置コストの目安について示します。

1) 対策の考え方と技術の分類

人の局所的な体感温度の改善を目的とする暑さ対策の手法は、大まかに「うえ」、「した」、「よこ」、「まんなか」の対策に分類できます。「うえ」の対策は樹木や日除けによる日射の低減、「した」と「よこ」の対策は水や緑による地表面や壁面等の高温化抑制や冷却です。「まんなか」は、人のまわりの空気を冷却する、風を起こして人に当てる、人が冷たいものに直接触れることなどにより、からだに熱が溜まるのを防ぐ対策です。

各対策技術の詳細は、次節の技術シートを参照ください。

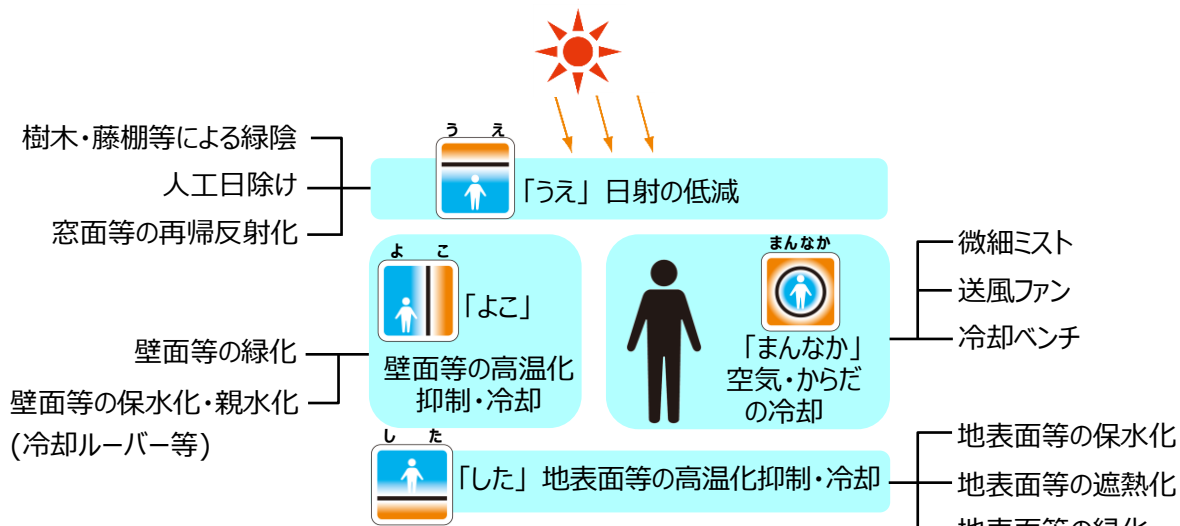


図 3.1 暑さ対策の考え方と技術の分類











2) 技術の適合性等の確認


各対策技術の導入に際しては、効果が発揮できる環境や水・電気等の必要なインフラなど、対策実施場所への適合性を考える必要があります。また、事前に必要になる関係機関等との協議や調整などもあります。


例えば、対策実施場所の特性として「日向・日陰」、「水が利用できる場所・できないところ」等で対策技術のおおよその適合性を表3.1に分類しました。こうして見ると、水を使わない技術は、日射を遮蔽するもしくは反射させる手法等に限られ、その他の多くの対策では水の確保が必要になることが分かります。


その他にも、風が強い場所には適さないものや電気が必要なもの、建築物としての確認が必要なもの、設置に掘削が必要になるものなど、あらかじめ確認しておくことで、結果的に暑さ対策技術を円滑に導入・運用することが可能になります。確認事項等の詳細は、第4章を参照ください。


表 3.1 日射環境と水利用環境に応じた対策技術の適合性

	日向 	日陰 
水が必要 	樹木・藤棚  地表面等の緑化 壁面等の緑化	地表面等の保水化 冷却ベンチ  微細ミスト  送風ファン付き微細ミスト  冷却ルーバー等 
	人工日除け 壁付け型 自立固定式  自立可搬式 窓面等の再帰反射化 地表面等の遮熱化	送風ファン 

 電気が必要

 強風に適さない

 建築物としての確認が必要

 掘削工事が必要

3) 暑さ対策技術の設置コスト【参考】

技術選定の際に確認しておきたい重要な項目の一つがコスト情報です。コストには設置時のものとその後の維持管理に要するものがありますが、特に維持管理コストについては、製品によって、またその運用方法等によって大きく異なります。例えば植物の維持管理には、灌水、剪定、落ち葉清掃、病害虫対策などの多くの手間とコストを要します。また、水を使う技術についても、アオコが発生した場合の対応や水質の衛生面での管理などが必要になります。各対策の維持・管理については、次節の技術シートを参照ください。

そのため、ここでは参考情報として、設置時のコストの目安を整理しました。また同時に、体感温度の低下効果の目安も合わせて示しましたが、技術によっては視覚的な効果や室内環境の改善効果なども合わせて期待できるものもあります。なお、ここで対象とした対策技術は、複数の製品が普及しているものに限りました。コストの詳細については、その都度、事業者等からの見積り等で確認してください。

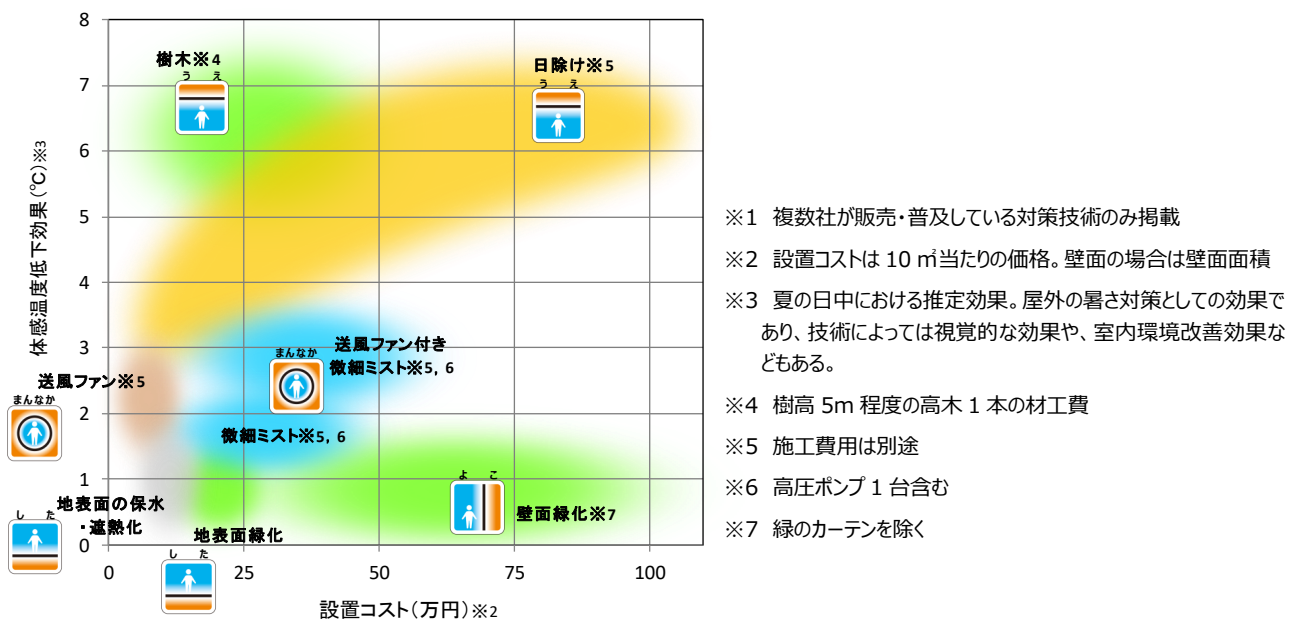


図 3.2 対策技術※1の設置コスト※2と体感温度 (SET*) 低下効果※3

3. 2 暑さ対策技術シート

この節では、表 3.2 に分類した主な暑さ対策の技術ごとに、効果や留意事項等を技術シートとしてまとめました。記載項目は表 3.3 に整理した通りです。

表 3.2 暑さ対策技術の分類



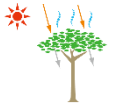
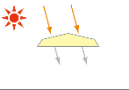
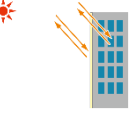

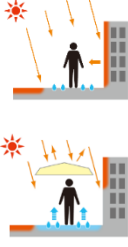
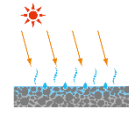

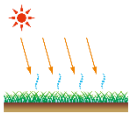

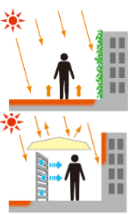
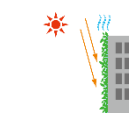
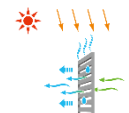


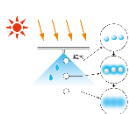

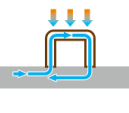











	対策手法	対策技術の分類
	<p>日射の低減</p> <ul style="list-style-type: none"> ●緑陰・日除け 	<p>① 樹木・藤棚等による緑陰</p> <p>樹冠の大きな樹木により緑陰を作る日射遮蔽対策</p> 
		<p>② 人工日除け</p> <p>人工日除けにより日陰を作る日射遮蔽対策</p> 
		<p>③ 窓面等の再帰反射化</p> <p>建物の窓や壁面に当たる日射の一部を上空に反射させて、地上の歩行者への反射日射を抑制する対策</p> 
	<p>地表面等の高温化抑制・冷却</p> <ul style="list-style-type: none"> ●地表面等の高温化抑制 ●地表面等の冷却 	<p>④ 地表面等の保水化</p> <p>路面や屋上面を濡れた状態に保つことで、気化熱により路面等の温度上昇を抑制・冷却する対策</p> 
		<p>⑤ 地表面等の遮熱化</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>⑥ 地表面等の緑化</p> <p>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</p> 
	<p>壁面等の高温化抑制・冷却</p> <ul style="list-style-type: none"> ●壁面等の高温化抑制 ●壁面等の冷却 	<p>⑦ 壁面等の緑化</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>⑧ 壁面等の保水化・親水化（冷却ルーバー等）</p> <p>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</p> 
	<p>空気・からだの冷却</p> <ul style="list-style-type: none"> ●空気の冷却 ●からだの冷却 	<p>⑨ 微細ミスト</p> <p>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</p> 
		<p>⑩ 送風ファン</p> <p>からだに風を当てて、皮膚表面からの放熱を促進する・熱だまりを解消する対策</p> 
		<p>⑪ 冷却ベンチ</p> <p>ベンチに冷水等を導水することで、座面を人の皮膚温より冷やし、人が着座した際に臀部（お尻）からの放熱を促進する対策</p> 

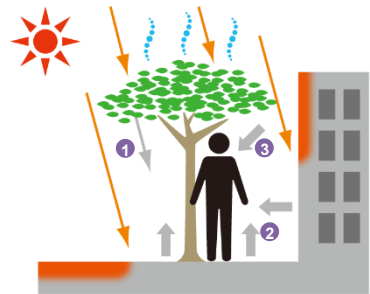
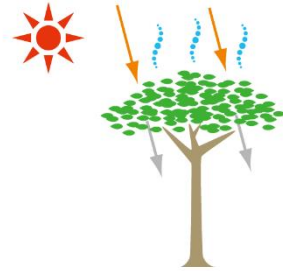
表 3.3 対策技術シートの記載内容

# 対策技術の分類	
主要な確認事項について、各技術にマークを付しました。  水が必要  強風に適さない  掘削工が必要  電気が必要  建築物としての確認が必要	
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	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。 <ul style="list-style-type: none">  日射  低減された日射  赤外放射  低減された赤外放射  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）  蒸発・蒸散  自然風・送風  冷やされた風  散水・保水化・親水化  直接伝わる熱
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	【設置】 設置に必要な費用等について、目安となるよう平均的な情報を記載しました。 【維持管理】 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。
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、利点（人工排熱の削減等につながる等）がある場合に記載しました。



日射の低減

<p>①概要</p>	<p>【特徴】</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>【事例】</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>	<p>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）。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>
<p>③体感温度の低減効果</p>	<p>○日射の遮蔽</p> <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¹²。</p> <p>○表面温度</p> <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¹³。</p> <p>○体感温度指標</p> <p>日向と比べて緑量の多い街路樹下は、SET*が7℃程度低い¹⁴（樹冠の形状や樹高によってSET*低減の程度は異なる¹⁵）ことが確認されている。</p>



1 樹木・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>広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"> 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¹⁶ ¹⁷。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。 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¹⁶。 <p>【維持管理】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。 	
<p>⑥留意事項</p>	<ul style="list-style-type: none"> 設置の際には掘削が必要となる。 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。 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。 樹木への灌水のため、水の確保が必要となる。 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¹⁸。 	
<p>⑦副次的効果</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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、CO₂ 排出量の削減が期待される。 樹木の成長による CO₂ 固定効果が期待される。 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。 	

¹² 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

¹³ 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

¹⁴ 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

¹⁵ 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

¹⁶ 一般社団法人建設物価調査会、建設物価、2017年11月

¹⁷ 一般社団法人建設物価調査会、土木コスト情報2017年10月

¹⁸ 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

2 人工日除け



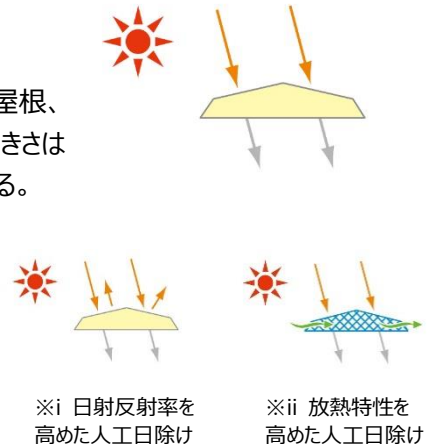
日射の低減

①概要

【特徴】

人工日除けにより日陰を作る日射遮蔽対策。
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¹⁹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^{※i}、樹木の葉を模したフラクタル形状を用いて放熱特性を高める^{※ii}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。

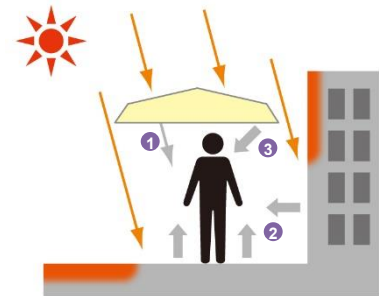


【事例】

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^{20 21 22}。樹木の葉を模したフラクタル形状の日除けには、太陽高度が高いほど日射透過率が小さくなる物もある²²。

○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^{23 24}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^{22 25 26}。

○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²⁵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^{25 27}。

○体感温度指標

日除け下のSET*は日向より3~6℃程度低くなる^{21 22 28}ことが確認されている。

2 人工日除け



	<p>日射透過率が小さく、日射反射率が高い素材の日除け下の SET*は日向より7℃程度低くなることを確認されている²⁹。</p>
<p>④効果を高める選び方・使い方</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○認証制度等を活用して選定する <ul style="list-style-type: none"> *ヒートアイランド対策認証制度 <p>一般社団法人日本ヒートアイランド対策協議会が実施する認証制度。認証委員会審査会が、第三者技術評価機関による評価結果を審査する。「日よけ」では、明度により、日射反射率と近赤外波長域日射反射率の認証基準が設けられている³⁰。</p> ○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²⁰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³¹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> ○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フラクタル形状の日除けも開発されている。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> ○風通しを阻害しないように配慮する <p>空間を囲い込むように日除けを設置する際には、風通しを阻害しないように配慮することが望ましい。</p> ○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赤外放射を遮り、さらに暑さを和らげることが期待される。</p> ○西日を遮蔽する <p>西日が当たるところでは、風通しを遮らないように、縦型のルーバーや緑のカーテン、よしず等を設置することで、強い横からの日射を遮ることができる。</p>
<p>⑤設置・維持管理</p>	<p>【設置】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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、千円～十数万円/m²（本体のみ、施工費別）である。イベントなどであれば、レンタルでテントや移動式のオーニングを設置する方法もある。 <p>【維持管理】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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。

2 人工日除け

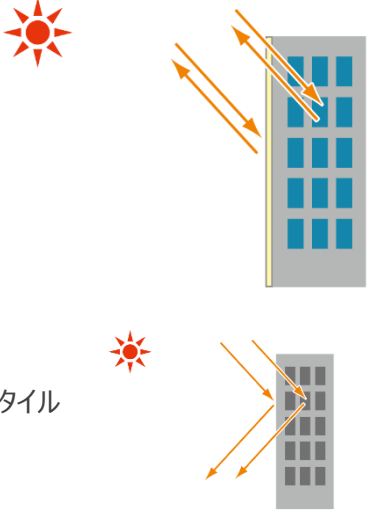
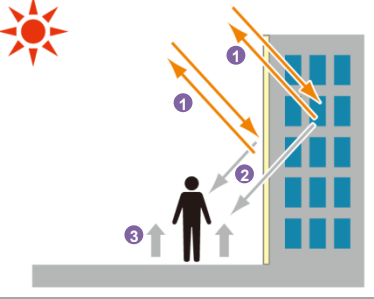


⑥留意事項	<ul style="list-style-type: none"> ・ 製品により設置の際に掘削が必要となる。 ・ 製品・設置場所・方法によっては、道路占用許可等の申請を要する場合もあるため、関係機関に相談する必要がある。 ・ 自立固定式の製品などでは、建築物としての確認申請を要する場合もあるため、市区町村の建築確認申請などの窓口にご相談する必要がある。 ・ 方位特性を有するフラクタル形状の日除けの場合、設計時、設置時に製品の設置方位に注意する必要がある。また、製品によって、季節、時間帯によって日射遮蔽効果に変化することに留意する必要がある。 ・ オーニング等は強風時に破損する恐れがあるため、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。 ・ 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。
⑦副次的効果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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、CO₂ 排出量の削減が期待される。

- 19 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)
- 20 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
- 21 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
- 22 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
- 23 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
- 24 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
- 25 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
- 26 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
- 27 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
- 28 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
- 29 平成 28 年度環境省検証事業
- 30 明度により、基準となる日射反射率と、近赤外波長域日射反射率(波長範囲:780nm~2500nm)が異なる。明度 $L^* \leq 40.0$ では、日射反射率 ≥ 30.0 、且つ近赤外波長域日射反射率 ≥ 40.0 。明度 L^* 値が $40.0 < L^* < 80.0$ では、日射反射率 $\geq 3/4L$ 、且つ近赤外波長域日射反射率 $\geq 1/2L + 20$ 。明度 $L^* \geq 80.0$ では、日射反射率 ≥ 60.0 、且つ近赤外波長域日射反射率 ≥ 60.0 としている。一般社団法人日本ヒートアイランド対策協議会、ヒートアイランド対策認証制度実施の要領について(平成 29 年 8 月改訂版)
- 31 日本膜構造協会、環境に貢献する膜構造の技術開発、平成 23 年 2 月

3 窓面等の再帰反射化

日射の低減

<p>①概要</p>	<p>【特徴】</p> <p>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。</p> <p>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[*]。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。</p> <p>窓面に適用する透明なフィルムの外、外壁に適用できるタイルが開発されている。</p> <p>【事例】</p> <p>オフィスビル、商業施設、学校など</p>  <p>※ 一般的な遮熱窓フィルムを施工した場合</p>
<p>②体感温度を下げるメカニズム</p>	<ol style="list-style-type: none"> 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。 
<p>③体感温度の低減効果</p>	<p>○反射日射の抑制</p> <p>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/m²程度）抑制することが確認されている^{32 33}。</p> <p>○表面温度</p> <p>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^{32 34 35}。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³²、午後から夕方に効果を得られる。</p>
<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>窓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>* 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。「再帰性高日射反射率窓フィルム」では、上方日射反射率 10%以上、下方日射反射率 10%未満、「再帰性高日射反射率外壁材」では、上方日射反射率 40%以上、下方日射反射率 30%未満等の認証基準が設けられている³⁶。</p>

3 窓面等の再帰反射化

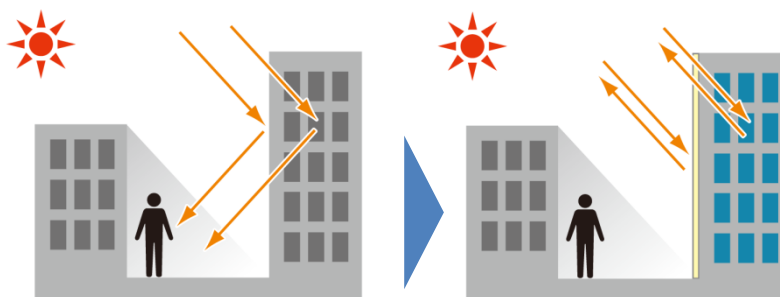
* 環境省環境技術実証事業 (ETV)

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。

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技術（指向性反射技術）に選定されている。

○ 日陰になる歩道や商業施設のオープンテラスなどへの反射日射を抑制する

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。



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）

また、建物壁面に当たった日射が公園などのクールスポットなどに向かって反射される場合にも、再帰反射技術を導入することで、快適なクールスポットを保全することができる。

⑤ 設置・維持管理

【設置】

- ・ 窓面や壁面の再帰反射化対策の設置に要する費用は、数千円～数万円/m²（材料＋施工費）である。

⑥ 留意事項

—

⑦ 副次的効果

- ・ 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、CO₂ 排出量の削減が期待される。
- ・ 反射光による眩しさの低減が期待される。

³² 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

³³ 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

³⁴ 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

³⁵ Inoue, Improvement of Outdoor Thermal Radiation Environment in Urban Areas using Wavelength-selective Retro-reflective Film, PLEA2015(Bologna, Italy), 2015

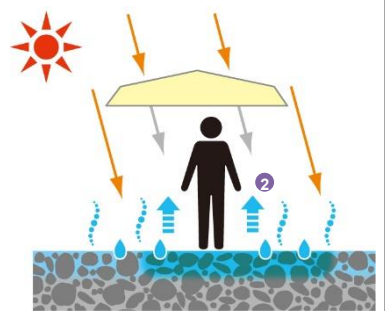
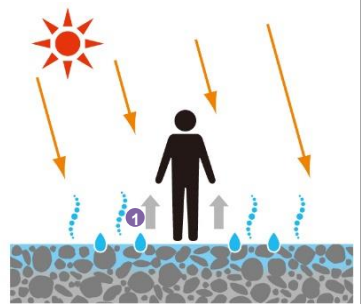
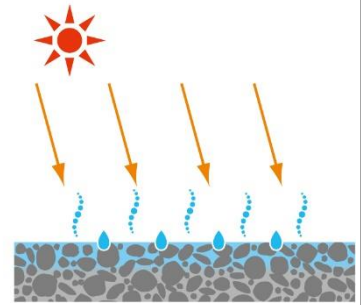
³⁶ 上方/下方日射反射率について、JIS A 5759（建築窓ガラス用フィルム）に準じて算出するとしている。大阪ヒートアイランド対策技術コンソーシアム ホームページ, 2017.11.27 閲覧

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^{37 38 39}。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⁴⁰。</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^{39 40}。</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⁴¹、建物屋上に設置する場合で 9℃</p>



4 地表面等の保水化



	<p>程度⁴²低くなることが実証されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○体感温度指標 <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^{43 44 45}。</p> ○効果の持続性 <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⁴⁶。</p>
<p>④効果を高める選び方・使い方</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○認証制度等を活用して選定する <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> <ul style="list-style-type: none"> * 環境省環境技術実証事業（ETV） <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> * クールブロックペイブ認定制度 <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。2016 年度時点で 13 製品が認定されている⁴⁷。</p> * 大阪ヒートアイランド対策技術認証制度 <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⁴⁸。</p> * ヒートアイランド対策認証制度 <p>一般社団法人日本ヒートアイランド対策協議会が実施する認証制度。認証委員会審査会が、第三者技術評価機関による評価結果を審査する。「保水性舗装」では、保水性、吸水性、蒸発効率の認証基準が設けられている⁴⁹。</p> ○湿潤を保つ <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方法等があり、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、適切な散水量は降雨量で 2～5mm 相当とする報告がある⁵⁰。</p> ○日射遮蔽と組み合わせる <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⁴⁰、体感温度低減の効果を実感しやすくなる。ある程度の規模の日除けの下を保水化することで、日没から深夜にかけて、日除け下の気温が低下することが確認されている⁵¹。</p>

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"> 保水性舗装の設置に要する費用は、数千円/m²前後（材料＋施工費）⁵²である。 保水性ブロックの設置に要する費用は、1万円/m²前後（材料＋施工費）^{52 53}である。 <p>【維持管理】</p> <ul style="list-style-type: none"> 湿潤状態を保つと、施工箇所によってはアオコやぬめり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。 コンクリートの保水性ブロックは、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。 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。
<p>⑥留意事項</p>	<p>○設計・施工</p> <ul style="list-style-type: none"> 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⁵⁴。 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。 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。 <p>○給水</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。 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⁵⁴。 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⁵⁴。
<p>⑦副次的効果</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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⁵⁵と、それに伴う人工排熱の減少、CO₂排出量の削減が期待される。

³⁷ 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

³⁸ 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

³⁹ 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

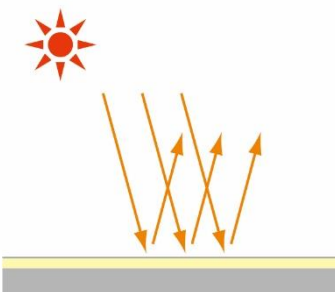
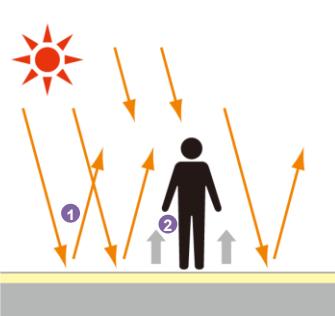
⁴⁰ 平山ほか、パッシブクーリングアイテムによる戸建住宅街区のクールスポット創出に関する研究（その3）開発初期の住宅地における屋外熱環境の検証、日本建築学会大会学術講演梗概集（環境工学D）、523-524、2015

⁴¹ 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

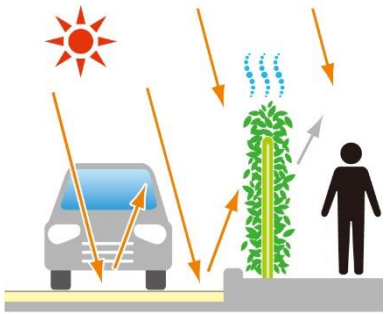
-
- 42 環境省 ETV 実証技術、軽歩行が発生する場合にも適用可能な、屋根・屋上用保水性建材に関する公表結果
- 43 長野ほか、道路舗装上の体感温度と被験者の心理反応・各種道路舗装材が微気候形成に及ぼす影響その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学 D),865-866,2012
- 44 梅田ほか、太陽光発電による給水方法を用いた保水性舗装に関する実験的研究, 日本建築学会環境系論文集(605), 71-78, 2006
- 45 佐々木ほか、保水性舗装及び大規模緑地のヒートアイランド緩和機能について(都立日比谷公園における調査), 東京都環境科学研究所年報 2007, 3-11, 2007
- 46 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
- 47 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, 2017.11.24 閲覧
- 48 認証基準として、蒸発効率 β 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,2017.11.27 閲覧
- 49 JIS A 5371 に従う試験で保水性 0.15 g/cm^3 、吸水性(吸上げ高さ) 70.0%以上及び蒸発効率 40.0%を超えるものとしている。蒸発効率の平均化時間は 12 時間としている。一般社団法人日本ヒートアイランド対策協議会, ヒートアイランド対策認証制度実施の要領について(平成 29 年 8 月改訂版)
- 50 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
- 51 酒井ほか、フラクタル日除けと保水性舗装による暑熱環境改善, 日本ヒートアイランド学会第 12 回全国大会予稿集, 2017
- 52 一般社団法人建設物価調査会, 建設物価, 2017 年 11 月
- 53 一般社団法人建設物価調査会, 土木コスト情報 2017 年 10 月
- 54 路面温度上昇抑制舗装研究会, 保水性舗装技術資料, 2011
- 55 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

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⁵⁶。</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⁵⁷</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[*]。</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^{58 59 60 61}。</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^{59 60}。</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⁶⁰。</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⁶⁰。</p>	

5 地表面等の遮熱化

<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。</p> <p>*クールブロックペイブ認定制度</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。2016 年度時点で 18 製品が認定されている⁶²。</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。「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%以上の場合は準認証）と、暴露 3 年後の日射反射率保持率 70%以上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⁶³。</p> <p>*ヒートアイランド対策認証制度</p> <p>一般社団法人日本ヒートアイランド対策協議会が実施する認証制度。認証委員会審査会が、第三者技術評価機関による評価結果を審査する。「遮熱舗装」では、明度により、日射反射率と近赤外波長域日射反射率の認証基準が設けられている⁶⁴。</p> <p>○夕方に利用の多い場所で効果的</p> <p>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。</p> <p>○日当たりの良い車道で効果的</p> <p>日射を反射させ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⁶⁵。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。</p> 
<p>⑤設置・維持管理</p>	<p>【設置】</p> <ul style="list-style-type: none"> 遮熱性舗装の設置に要する費用は、数千円/m²（材料+施工費）である⁶⁶。 遮熱性ブロックの設置に要する費用は、1 万円/m²前後（材料+施工費）である^{66 67}。 <p>【維持管理】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。
<p>⑥留意事項</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。

5 地表面等の遮熱化

	<ul style="list-style-type: none"> 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⁵⁶。 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配慮することが望ましい。
⑦副次的効果	<ul style="list-style-type: none"> 路面温度の上昇抑制により、舗装のわだち掘れ低減⁶⁸が期待される。 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⁶⁸。 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⁶⁹。

⁵⁶ 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

⁵⁷ 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

⁵⁸ 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

⁵⁹ 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

⁶⁰ 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

⁶¹ 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

⁶² 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,2017.11.24 閲覧

⁶³ 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,2017.11.24 閲覧

⁶⁴ 明度により、基準となる日射反射率と、近赤外波長域日射反射率（波長範囲:780nm～2500nm）が異なる。明度 L^* 値が $L^* \leq 40.0$ では、日射反射率 ≥ 20.0 、且つ近赤外波長域日射反射率 ≥ 30.0 。明度 L^* 値が $40.0 < L^* < 80.0$ では、日射反射率 $\geq 5/8L^* - 5$ 、且つ近赤外波長域日射反射率 $\geq 6/8L$ 。明度 L^* 値が $L^* \geq 80.0$ では、日射反射率 ≥ 45.0 、且つ近赤外波長域日射反射率 ≥ 60.0 としている。一般社団法人日本ヒートアイランド対策協議会，ヒートアイランド対策認証制度実施の要領について（平成 29 年 8 月改訂版）

⁶⁵ 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

⁶⁶ 一般社団法人建設物価調査会，建設物価，2017 年 11 月

⁶⁷ 一般社団法人建設物価調査会，土木コスト情報 2017 年 10 月

⁶⁸ Pomerantz et al., Durability and visibility benefits of cooler reflective pavements, Lawrence Berkeley National Laboratory Report No. LBNL43443, 2000

⁶⁹ 路面温度上昇抑制舗装研究会，遮熱性舗装リーフレット

6 地表面等の緑化



地表面等の高温化抑制・冷却

<p>①概要</p>	<p>【特徴】</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>【事例】</p> <p>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</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と、緑化面からの赤外放射が低減する。</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^{70 71}。</p> <p>夕刻以降、緑化面の温度は気温より低くなり⁷²、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^{70 73}。</p>	

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>【設置】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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⁷⁴。 ・ 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⁷⁴。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⁷⁵。 <p>【維持管理】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 芝刈、除草、施肥など定期的な管理が必要となる⁷⁶。
⑥留意事項	<ul style="list-style-type: none"> ・ 植物への灌水のため、水の確保が必要となる。 ・ 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。
⑦副次的効果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 景観向上や生物多様性保全への寄与が期待される。 ・ 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。 ・ 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、CO₂排出量の削減が期待される。

⁷⁰ 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

⁷¹ 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

⁷² 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

⁷³ 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

⁷⁴ 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

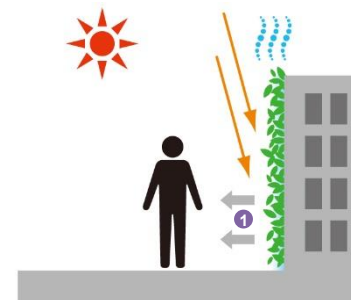
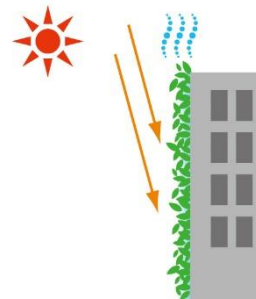
⁷⁵ 鈴木ほか、屋上緑化施設の公開、植栽形態ならびに費用に関する公共と民間の比較、ランドスケープ研究 74(5), 451-456, 2011

⁷⁶ 公益社団法人日本道路協会、道路緑化技術基準・同解説, 平成 28 年 3 月



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、建物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らにくいため、緑化面からの赤外放射が低減する。</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⁷⁷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^{78 79 80}。</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⁸¹。</p>



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>【設置】</p> <ul style="list-style-type: none"> 壁面緑化（緑のカーテンを除く）の設置に要する費用は、数万～十数万円/m²（材料＋施工費）である⁸²。緑のカーテンは、工夫次第で安価に導入が可能な対策である。 <p>【維持管理】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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/m²前後である⁸²。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⁸³。 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⁸⁴。
⑥留意事項	<ul style="list-style-type: none"> 植物への灌水のため、水の確保が必要となる。 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⁸⁴。 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⁸⁵。
⑦副次的効果	<ul style="list-style-type: none"> 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、CO₂排出量の削減が期待される。 景観向上や生物多様性保全への寄与が期待される。 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。 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⁸⁶ことが期待される。

77 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

78 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

79 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

80 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

81 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

82 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

83 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

84 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

85 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

86 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⁸⁷。

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⁸⁸。

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、微細ミストや保水性舗装も組み合わせ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。



大規模壁面緑化「バイオラング」
（写真提供：公益財団法人都市緑化機構）

⁸⁷ 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

⁸⁸ 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



壁面等の高温化抑制・冷却

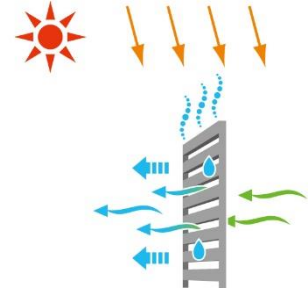
①概要

【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、緑と組み合わせている製品もある。

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。



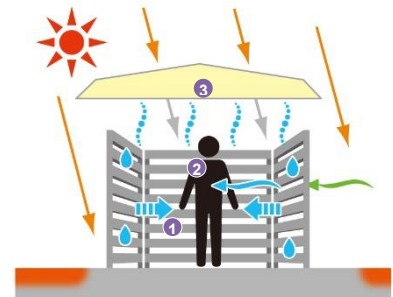
なお、建物ガラス面や建物外側に設置した膜やパネルに親水性を持たせて散水し、建物壁面の温度上昇を抑制する方法や、看板をミスト噴霧で濡らして体感温度低減の効果を得ようとする試みも見られる。

【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

冷却ルーバーの表面温度の低下量は、相対湿度により変化するが、例えば相対湿度50%の場合には気温よりも5℃程度低くなることが確認されている⁸⁹。

○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^{90 91}。

○風速

冷却ルーバーの風下側の風速は、風上側風速の2割から最大8割程度減衰することが確認されている^{89 92}。

○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

8 壁面等の保水化・親水化（冷却ルーバー等）	
	<p>の、SET*が1～2℃低下することが確認されている^{93 94 95}。</p> <p>○人の快適感</p> <p>冷却ルーバー等の風下側では、室内にくらべると気温や風速の乱れが大きくなり、温熱快適性が改善することが確認されている^{96 97}。</p>
④効果を高める選び方・使い方	<p>○日射遮蔽と組み合わせる</p> <p>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</p> <p>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>2方向以上の面を囲んで設置する際には、風通しを阻害しないように配慮することが望ましい。</p>
⑤設置・維持管理	<p>【設置】</p> <ul style="list-style-type: none"> 冷却ルーバー・ブロック等の設置に要する費用は、10～20万円/㎡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。 冷却ルーバー・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・保水性のある素材で仕上げる等の処理が必要となる。 <p>【維持管理】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 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。
⑥留意事項	<ul style="list-style-type: none"> 製品により設置の際に掘削が必要となる。 製品・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。 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。 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。 人が冷却ルーバー・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。 風が強い場所にルーバーを設置する場合、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。また、ルーバー前面に植栽を配置することで風速を低減させる方法もある。
⑦副次的効果	<ul style="list-style-type: none"> 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、CO₂排出量の削減が期待される。

89 平成 28 年度環境省検証事業

90 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

91 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

92 平山ほか,親水・吸水性塗膜を施した表面濡れ性が高いパッシブクーリングルーバーシステムの開発と屋外実験による基本性能の把握,日本ヒートアイランド学会誌 Vol.11, 2016

93 平山ほか,パッシブクーリング技術の複合による冷涼な半屋外空間の形成手法に関する研究,日本建築学会環境系論文集(744), 193-203, 2018

94 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

95 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

96 平山ほか,微気象の時間・空間的な変化が熱的快適性に与える影響-蒸発冷却手法適用空間における「気温の低下」と「気温の乱れ」-,日本ヒートアイランド学会第11回全国大会予稿集, 2016

97 佐藤ほか,アダプティブモデルを用いたパッシブクーリング技術の熱的快適性評価に関する研究,日本建築学会学術講演梗概集(環境工学 II), 29-30, 2017

【水景施設による暑さ対策】

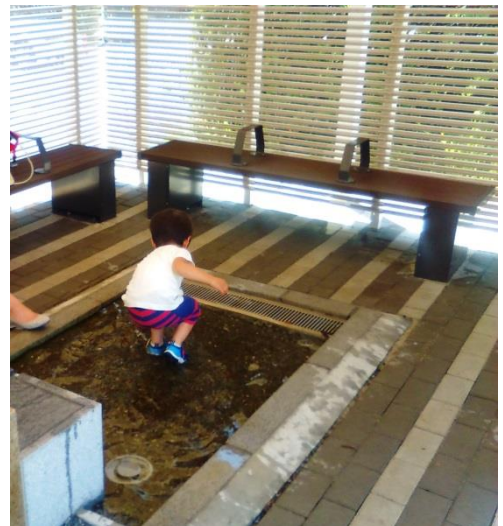
水を利用する暑さ対策の一つに、水景施設の活用も挙げられます。

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たり、直接、水に触れたりすることで涼しさを得られます。

体感温度の低減効果としては、噴水の風下側の気温が1～2℃低くなる⁹⁸ことや、体感温度指標 SET*が2～3℃低くなる⁹⁹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。

人が直接、水に触れる施設の場合には、水質への配慮が必要になります。



水景・親水施設の設置の例

⁹⁸ Nishimura et al., Novel water facilities for creation of comfortable urban micrometeorology, Solar Energy, 197-207, 1998

⁹⁹ 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



空気・からだの冷却

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際の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。

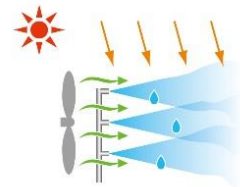
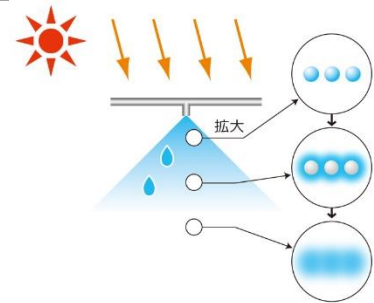
噴霧されるミストの粒子径は、製品によって異なるが 10~30 μm と微細であり、短時間で気化するため人が濡れを感じることなく暑さを和らげることができる。

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[※]。

【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

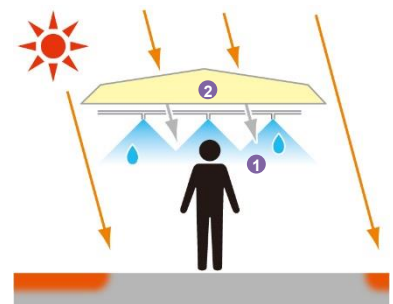


※ 送風ファンと組み合わせた場合

②体感温度を下げるメカニズム

① 噴霧された微細ミストが蒸発する際に、周囲の空気から気化熱を奪い、局所的に気温が低下する。

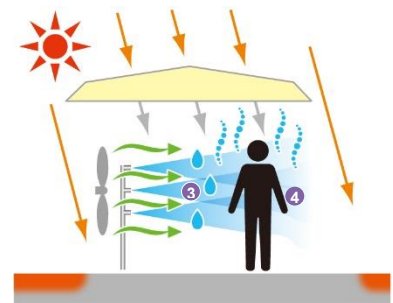
② 日射を遮蔽すると、効果を体感しやすい。



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し、皮膚温度が低下することで体感温度が下がる。



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 $^{\circ}\text{C}$ 、瞬時的には5 $^{\circ}\text{C}$ 程度低下することが確認されている¹⁰⁰。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¹⁰¹。

9 微細ミスト



	<p>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^{100 101}。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¹⁰⁰。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○皮膚温の低下 送風ファンを併用して微細ミストを飛ばすことで、風とミストが当たる皮膚の温度が局所的に 1～7℃程度低下することが確認されている¹⁰²。 ○体感温度指標 微細ミストによって SET*が 2℃程度低下することが確認されている^{101 103}。 送風ファンを併用して微細ミストを飛ばすことで、SET*が 3℃程度低下することが確認されている¹⁰⁴。 ○視覚的な涼感効果 ミストの視覚的な涼しさを実験したところ、実際にはミスト有りの方がミスト無しよりも気温が高くなっていても、その差が 0.6℃までであれば、大半の利用者は、ミスト有りの方が涼しいと感じることが確認されている¹⁰⁵。
<p>④効果を高める選び方・使い方</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○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¹⁰⁶。 ○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¹⁰⁰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に、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 風が強い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^{100 101}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¹⁰⁶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。被験者を用いた実験で、被験者の温冷感などの申告値は、被験者の上半身近傍の気温や SET*との良好な関係性が確認されている^{104 107}。そのため、送風ファンの向き等を調整することで、効果の高い対策を実施することが可能である。
<p>⑤設置・維持管理</p>	<p>【設置】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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

9 微細ミスト



	<p>料+施工費)である。</p> <ul style="list-style-type: none"> 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～数百万円である。可搬式の製品などは、レンタルで設置が可能である。 <p>【維持管理】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 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¹⁰⁸。 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。
<p>⑥留意事項</p>	<ul style="list-style-type: none"> 稼働に電気が必要である。 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。 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。 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。 車道際に設置する場合は、噴霧量や風向きにより道路にミストが流され、交通の視認性への影響が懸念される可能性があることに留意する必要がある。 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。 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。 用いる水の温度が高くて（約90℃）、ノズルから1m離れたところでは、気温低下効果への影響は小さいことが確認されている¹⁰⁹。 微細ミストのためのポンプやファンの稼働には一定の電力が必要になるが、間欠的な運転や人感センサーの活用などにより、省エネ効果をより一層、高めることができる。
<p>⑦副次的効果</p>	<p>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。</p>

¹⁰⁰ 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 D),617-618,2015

¹⁰¹ 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

- 102 Farnham et al, Evaluation of cooling effects: outdoor water mist fan, Building Research & Information, 43(3), 334-345, 2015
- 103 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
- 104 平成28年度環境省検証事業
- 105 ファーナム クレイグ, ミストによる温冷感のうち視覚的要因が与える影響, 日本ヒートアイランド学会第12回全国大会予稿集, 2017
- 106 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
- 107 成田ほか, 微細水ミスト噴霧による暑熱緩和効果の屋外実験 気温の瞬時変動の解析と体感評価の時間変化, 日本建築学会学術講演梗概集(環境工学 I), 969-970, 2016
- 108 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
- 109 Craig FARNHAM et al., Effect of water temperature on evaporation of mist sprayed from a nozzle, 日本ヒートアイランド学会誌 Vol.11, 2016

【上海万博での微細ミスト】

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¹¹⁰。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¹¹¹

¹¹⁰ 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

¹¹¹ 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

10 送風ファン



空気・からだの冷却

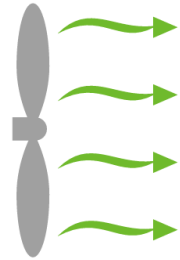
①概要

【特徴】

送風ファンでからだに直接、風を当てて、皮膚表面からの放熱を促進する対策。

また、空気が滞留しやすい場所や人が密集して熱が溜まりやすい場所などで送風ファンを使うことで、熱だまりを解消し、気温の上昇を抑制する効果も期待できる。

電気が使えれば簡便かつ安価に導入が可能な対策で、暑さ対策としての効果が高いことが特徴である。



【事例】

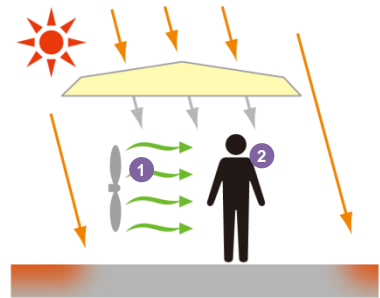
(イベントなどで) 人や空気が滞留しやすい場所

②体感温度を下げるメカニズム

① からだに直接、風を当てる。

② 皮膚から放熱して皮膚温を低下させて、体感温度を下げる。

送風ファンで熱だまりを解消することで、気温の低下による体感温度の改善も期待できる。



③体感温度の低減効果

○風速の増加

ファンの風量と風の直進性、ファンからの距離とそのときの自然の風の風速によって、人が受ける風速が影響される。例えば、風量 24 m³/min の送風ファンから 2m 離れた位置での風速の増加量は、1.5～1.6m/s程度（自然風速が0.8～0.9m/sの場合）となる¹¹²。

○体感温度指標

上記の風速の増加によって、SET*では 2.6～2.8℃低下する¹¹²。

10 送風ファン



④効果を高める選び方・使い方	<p>○気象条件に応じて風速を調節する</p> <p>好まれる風速は、気温が高いほど強くなり、26℃ではほぼ 0.6m/s、28℃では 0.8m/s 程度、30℃では 1.2m/s 程度、また同様に相対湿度が高いほど好まれる風速が強くなる¹¹³。</p> <p>○変動風を活用する</p> <p>同じ平均風速であれば、定常風より変動風の方が涼感・快適感を得やすい¹¹⁴。</p> <p>多方向からの変動気流は快適感を得やすい¹¹⁵。</p> <p>○熱だまりを解消する</p> <p>送風ファンにより空気を攪拌するだけでなく、空間の熱だまりを解消し、気温の上昇を抑制することが望ましい。半閉鎖空間の換気においては空間上部の空気を排気すると効果的である。</p>
⑤設置・維持管理	<p>【設置】</p> <ul style="list-style-type: none"> 直径 50cm 程度の業務用扇風機で 1 万円前後、直径 1m を超える大型ファンで 5 万～数十万円である。イベントなどであれば、レンタルでの設置も可能である。
⑥留意事項	<ul style="list-style-type: none"> 稼働に電気が必要である。 涼しさが得られるには 0.5m/s 以上の風速が必要であるが、風速が強ければ強いほど涼しさが得られるわけではないことに留意する必要がある¹¹⁶。 気流を好む人と、逆に好まない人がいる¹¹⁷ため、風量を抑えるもしくは、気流を好まない人が風を避けることができるよう配慮する必要がある。 防水仕様の製品は少ないため、屋外で使用する場合は降雨時に撤去するなどの対応が必要になる。
⑦副次的効果	—

¹¹² 平成 28 年度環境省検証事業

¹¹³ 久保ほか、蒸暑環境における好まれる気流速度の人体影響に関する研究、日本建築学会計画系論文報告集(442)、9-16, 1992

¹¹⁴ 徐ほか、変動風環境における生理・心理反応に関する研究：暑不快環境から気流のある中立環境へ移動した場合の温冷感実験、日本建築学会計画系論文集(519)、47-53, 1999

¹¹⁵ 森本ほか、変動気流の温熱的快適性に関する研究、日本建築学会関東支部研究報告集 I (75)、569-572, 2005

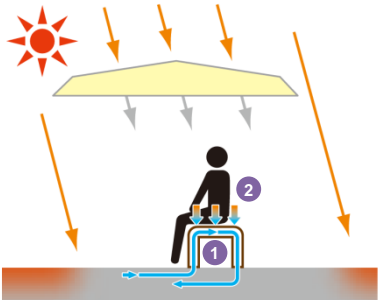
¹¹⁶ 斉藤ほか、「涼しさ」を感じる気流に関する屋外での実測とその解析、日本建築学会計画系論文集 (523)、39-44, 1999

¹¹⁷ 大浦ほか、心地よい風を把握するためのアンケート調査と心理反応実験に関する研究、日本建築学会近畿支部研究報告集、環境系 (54)、385-388, 2014

11 冷却ベンチ



空気・からだの冷却

<p>①概要</p>	<p>【特徴】</p> <p>ベンチに冷水等を導水することで、座面を人の皮膚温より冷やし、人が着座した際に臀部（お尻）からの放熱を促進する対策。</p> <p>座面を冷やす方法は、地下水を導水する、電氣的に冷やす方法などがある。</p> <p>人のからだを直接的に冷却するため、効率よく人の暑さの感じ方を緩和することができる。</p> <p>【事例】</p> <p>バス停のベンチ、鉄道駅の待合室のベンチ、スタジアムのベンチ等</p>
<p>②体感温度を下げるメカニズム</p>	<p>① ベンチの座面を皮膚温より冷やす。</p> <p>② 臀部から放熱することで、人の体温の上昇を抑制し、暑さの感じ方を緩和する。</p> 
<p>③体感温度の低減効果</p>	<p>○皮膚温の低下</p> <p>ベンチの座面を 27℃程度に保って 15 分間着座したところ、臀部の皮膚温度は 31℃程度まで低下することが確認されている¹¹⁸。</p> <p>○体感温度指標</p> <p>冷却ベンチへの放熱量を人の熱収支との関係性から評価した結果、SET*にして 2.4℃～3.6℃の低下に相当することが指摘されている^{118 119}。</p>
<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</p> <p>冷却ベンチの効果は、ベンチの温度に大きく影響されるため、日射の影響によりベンチ座面温度が上昇しないように日射を遮蔽することが望ましい。</p> <p>○導水量を制御する</p> <p>ベンチの座面が皮膚温近くまで上昇すると効果が感じられなくなる一方、冷たすぎると不快感が増すとともに、結露により座面が濡れてしまうため、水源の水温や気象条件によって導水量を制御することが望ましい。</p>
<p>⑤設置・維持管理</p>	<p>【設置】</p> <ul style="list-style-type: none"> 地下水等を導水する冷却ベンチの設置に要する費用は、30 万円／基前後（材料＋施工費）で、別途、地下水等の給排水に要する費用等が必要となる。

11 冷却ベンチ



	【維持管理】 <ul style="list-style-type: none">・ シーズンイン・オフの 2 回／年、水抜きや清掃等を要する。・ 長期間使用しない場合は、ベンチの中の水を全て排水する。
⑥留意事項	<ul style="list-style-type: none">・ 地下水の揚水等のため電気が必要である。・ 結露が発生した場合に座ると濡れる可能性があることを喚起する注書きを掲示するなどの対応が望まれる。
⑦副次的効果	—

118 平成 28 年度環境省検証事業

119 三坂ほか、水冷ベンチを用いた暑熱環境緩和に関する研究その 2 人体熱収支解析による暑熱環境緩和効果の評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学 I、755-756、2017

【天井冷房システムの半屋外空間での利用】

一般的に屋内向けの製品として発売されている天井冷房システムの半屋外空間での利用について、平成 28 年度の環境省検証事業で試験的に設置し効果検証が行われました。

検証を行った天井冷房システムは、天井に設置された冷却フィンに冷水を通水し、冷却フィンの表面温度を低下させることで、フィン近傍の空気を冷やし、下向きの自然対流を発生させ、均一で冷涼な環境を形成することを意図した設備です。

JR 前橋駅の駅コンコース内の約 20 m²の範囲に設置され、約 17℃の冷水を循環させて運用しました。

夏季の測定の結果、システムの下（地上 1.1m）では、気温の低下と放射環境の改善が見られ、体感温度（SET*）で最大 1.2℃の低下が確認されました。

ただし、気流の影響を受けやすいこともわかり、設置場所の風環境を把握し、風速が弱い場所に適用するのが効果的であることがわかりました。



JR 前橋駅コンコースに設置された天井冷房システム

第4章 対策技術選定の際の確認事項等

- ・対策技術の選定の際に確認・調整すべき項目を体系的に把握しておくことが重要
- ・「場所の特性と対策技術の適合性」「設置時・運用時の留意事項」「関係機関等との事前協議・調整」「効果」「利用期間」の5つの軸で整理

導入する暑さ対策技術を効果的かつ円滑に運用するには、技術を選定する際に、場所の特性と対策技術の適合性を確認するだけでなく、関係機関や利害関係者と必要な協議・調整をするなど、事前に確認等しておくべき項目を体系的に把握しておくことが重要です。

本章では、「場所の特性と対策技術の適合性」「設置時・運用時の留意事項」「関係機関等との事前協議・調整」「効果」「利用期間」の5つの軸で整理しました。

1) 場所の特性と対策技術の適合性

暑さ対策を導入する場所の特性を踏まえて対策技術を選定します。表 4.1 に、環境条件として日射環境と風環境、立地条件として水、電気の利用可能性について、各技術の適合性を整理しました。

①日射環境

日向に最も適しているのは、日射を防ぐ対策です。一方で日陰に適した対策として、微細ミストや地面・壁面を蒸発により冷却させる対策、座面を冷却する対策などがあります。

②風環境

ビル風などにより常時、風速が強い場所がありますが、微細ミストのように風に煽られてしまう対策や、冷却ルーバーのように水滴が風下に飛散する可能性がある対策は適さない場合があります。

③水の利用

水質や水温によっても、適した対策が異なります。微細ミストのように、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。

④電気の利用

本ガイドラインで紹介する対策は、水の蒸発や放射のコントロールなど、できるだけ自然の力を活かす対策手法です。微細ミストなどの一部の対策は電気の利用が必要になりますが、太陽光発電による電力で高圧ポンプを稼働させる製品等を利用することで、系統電力を使わずに対策を実施することが可能です。

表 4.1 場所の特性と対策技術との適合性^{※1}

				日射環境		風環境		水の利用			電気利用	
				日向	日陰	強風	弱風	上水	地下水	不可	系統電力	不可
 日射の低減	緑陰	樹木	◎	×	-	-	○	○	△	-	○	
		パーゴラ（藤棚）	◎	×	-	-	○	○	△	-	○	
		人工日除け	壁付け型	◎	×	△ ^{※4}	-	-	-	○	-	△
			自立固定式	◎	×	△ ^{※4}	-	-	-	○	-	△
			自立可搬式	◎	×	△ ^{※4}	-	-	-	○	-	△
窓面等の再帰反射化	◎	△	-	-	-	-	○	-	○			
 地表面の高温化抑制・冷却	地表面等の保水化	○ ^{※2}	◎ ^{※3}	-	-	○	○	△	-	○		
	地表面等の遮熱化	△	×	-	-	-	-	○	-	○		
	地表面等の緑化	○	△	-	-	○	○	△	-	○		
 壁面等の高温化抑制・冷却	壁面等の緑化	○ ^{※2}	△	-	-	○	○	×	-	○		
	冷却ルーバー等	○ ^{※2}	◎	×	◎	○	○	×	-	○		
 空気・からだの冷却	微細ミスト	○ ^{※2}	◎	×	◎	◎	-	×	○	△ ^{※5}		
	送風ファン付き微細ミスト	○ ^{※2}	◎	△	◎	◎	-	×	○	△ ^{※5}		
	送風ファン	○ ^{※2}	◎	△	◎	-	-	○	○	△ ^{※5}		
	冷却ベンチ	△ ^{※2}	◎	-	-	△	◎	△	○	△ ^{※6}		

※1 ◎：非常に適している、○：適している、△：製品・工法によっては適している、×：適さない

※2 日向であっても、日除け等の対策と組合せることで、十分な効果が得られる技術

※3 日陰を常時、保水状態に保つと、アオコなどが発生するため、定期的に乾燥や清掃が必要になる

※4 一定以上の風速で自動的に閉じる仕組みなどが必要になる

※5 太陽光発電による電力で高圧ポンプやファンを稼働させる製品もある

※6 既存の井戸等から一定の圧力で汲み上げられている地下水を使える場合

2) 設置時・運用時の留意事項





暑さ対策技術については、技術の特性上、設置時や運用時の留意点があります。

効果的な対策とするための設置時の留意点と、水の利用に関する留意事項等を表 4.2 に整理しました。

留意事項を事前に把握して、適切に対応することで対策技術の効果的で円滑な運用が可能になります。

より詳細な留意事項等は第3章 3.2 暑さ対策シートで各対策技術の項目を参照してください。

表 4.2 設置時・運用時の留意事項

			設置場所、設置向き等	水の利用等	
 日射の低減	緑陰	樹木	-	-	
		パーゴラ（藤棚）	-	-	
		人工日除け	壁付け型	・風通しを阻害するように設置すると、体感温度の改善効果が低減するため留意すること	-
			自立固定式	・壁付け型オーニング等は強風時に破損する恐れがあるため、管理体制に留意すること	-
			自立可搬式	・方位特性を有するフラクタル形状の日除けの場合、設置方位に留意すること	-
窓面等の再帰反射化	-	-			
 地表面の高温化抑制・冷却	地表面等の保水化	-	・湿潤状態を保つと、施工箇所によってはアオコ等が発生するため、定期的な乾燥や清掃が必要なことに留意すること		
	地表面等の遮熱化	・歩行者等が路面からの反射日射を受けないように留意すること	-		
	地表面等の緑化	-	-		
 壁面等の高温化抑制・冷却	壁面等の緑化	-	-		
	冷却ルーバー等	・冷却ルーバーを設置する場合、風通しを阻害するように設置すると、体感温度の改善効果が低減するため留意すること	・冷却ルーバーを設置する場合、強風時に水滴が飛散するため、ルーバー前面に植栽を配置することで風速を低減させるなどの対策に留意すること		
 空気・からだの冷却	微細ミスト	<ul style="list-style-type: none"> ・体感温度改善効果が体感しやすいように風向きに配慮して設置すること ・道路際での使用は、交通の視認性の確保に留意すること 	<ul style="list-style-type: none"> ・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こと ・水源の選定やタンク・ホースの水抜きや適切な維持管理により、微細ミストの水質の安全性の確保に留意すること 		
	送風ファン付き微細ミスト			-	-
	送風ファン	-	-		
	冷却ベンチ	-	・ベンチの表面温度を下げ過ぎると、ベンチ表面に結露が発生することに留意すること		

3) 関係機関等との事前協議・調整

暑さ対策技術の設置を検討する場合、関係機関による確認・調整等が必要になります。事前に調整等が必要な事項を整理しておくことで、法令等を遵守しつつ円滑に進めることができます。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施設管理者等との協議

暑さ対策技術の設置場所の土地の所有者や管理者等が対策に合意し、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。特に、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、道路占用許可（道路法）や道路使用許可（道路交通法）等の関係法令を確認するとともに、道路管理者（地方自治体や国土交通省等）だけでなく交通管理者（警察）とも事前に協議する必要があります。

②建築物の設置に係る確認

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基準法上の建築物¹¹⁷に該当し、関係法令

¹¹⁷ 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。

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もあります。

そのため、事前に市区町村の建築確認申請などの窓口にご相談し、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。

③ 構造物の基礎をつくる場合の事前調整

自立固定式の日除け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。

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を確認してください。

④ 周辺の店舗等との事前協議

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。

また、日除け等の構造物は、地域の景観にも影響を及ぼします。地域の景観に配慮した対策技術・製品を選定するとともに、暑さ対策を導入した場合の夏季の良好な景観の形成について、関係者間で協議しつつ進めることが重要です。

表 4.3 関係機関との事前調整

				施設管理者	建築確認申請 などの窓口※1	埋設インフラ などの管理者※2	近隣の店舗等
 日射の低減	緑陰	樹木		○	-	-	○
		パーゴラ（藤棚）		○	-	○	○
	人工日除け	壁付け型		○	-	-	○
		自立固定式		○	○	○	○
		自立可搬式		○	-	-	○
	窓面等の再帰反射化		○	-	-	-	
 地表面の高温化 抑制・冷却		地表面等の保水化		○	-	-	-
		地表面等の遮熱化		○	-	-	-
		地表面等の緑化		○	-	-	-
 壁面等の高温化 抑制・冷却		壁面等の緑化		○	-	○※3	-
		冷却ルーバー等		○	-	○※3	○※4
 空気・からだの 冷却		微細ミスト		○	-	○※3	○※4
		送風ファン付き微細ミスト		○	-	○※3	○※4
		送風ファン		○	-	-	-
		冷却ベンチ		○	-	-	-

※1 建築基準法の建築物に該当するかの確認を要するもの

※2 ガス、上下水道、埋蔵文化財等、基礎の掘削をする場合に調整を要するもの

※3 基礎を掘削する構造物等を新たに設置する場合に確認・調整を要するもの

※4 水の飛沫がかかる可能性がある近隣の書店や服飾関係の施設等との協議が望まれるもの

なお、上に示した各項目以外にも、暑さ対策技術の導入の際には、留意すべき点があります。例えば、夏以外の季節には、暑さ対策技術が良好な環境づくりにつながらない場合があるなど、夏以外の季節への配慮が求められる可能性があります。関係者と協議するなどにより、事前に留意事項を整理しておくことが重要です。

4) 効果

対策技術の選定の際には、留意事項だけでなく、どの程度の効果が期待できるのかも重要な確認項目です。詳細は各対策技術の頁を参照いただきますが、ここではおおよその目安について、体感温度低減効果、エネルギー使用量の少なさ（省エネ効果）、その他の効果について整理しました。

①体感温度低下効果

暑さ対策としての効果が高いのが、日向で日射を遮る対策技術です。大きな樹木の下や遮熱性能の高い日除けの下での体感温度は日向にくらべて7℃程度低くなります。また、地表面の保水化などは、単体技術としての効果はそれほど大きくありませんが、日射遮蔽と組合せることで、より効果を実感しやすくなります。

②省エネ効果

本ガイドラインで紹介する対策は、水の蒸発や放射のコントロールなど、できるだけ自然の力を活かす対策手法です。ただし、例えば微細ミストの稼動には一定の電力が必要になりますが、一般的なエアコンにくらべると、噴霧位置近傍の空気を冷やす効率（COP）は約13倍、高いことが指摘されている¹¹⁸など、省エネで低炭素な対策技術と言えます。また、間欠的な運転や人感センサーを活用することなどにより、省エネ効果をより一層、高めることができます。さらに、太陽光発電等の再生可能エネルギーを利用することで、低炭素な暑さ対策にすることができます。

③その他の効果

体感温度の物理的な低減効果だけでなく、まちなかに設置する対策としては、対策技術の外観など、設置場所に適したデザイン等が必要になります。特に緑を利用した対策や、水を利用した対策については、視覚的な涼しさや、人を惹きつける効果があるため、対策の目的や場所に適した対策技術を選定してください。

表 4.4 対策技術の効果

			体感温度 ^{※1} 低下効果			省エネ ^{※2} 効果	その他の効果	
			4℃以上	3℃程度	2℃以下			
 日射の低減	緑陰	樹木	○	-	-	◎	緑の涼しげな視覚的な効果	
		パーゴラ（藤棚）	○	-	-	◎	緑の涼しげな視覚的な効果	
	人工日除け	壁付け型	○ ^{※3}			-	◎	
		自立固定式	○ ^{※3}			-	◎	
		自立可搬式	○ ^{※3}			-	◎	
		窓面等の再帰反射化	-	-	○	◎		
 地表面の高温化 抑制・冷却	地表面等の保水化	-	-	○	◎			
	地表面等の遮熱化	-	-	○ ^{※4}	◎			
	地表面等の緑化	-	-	○	◎	緑の涼しげな視覚的な効果		
 壁面等の高温化 抑制・冷却	壁面等の緑化	-	-	○	◎	緑の涼しげな視覚的な効果		
	冷却ルーバー等	-	-	○	◎	水滴の涼しげな視覚的な効果		
 空気・からだの 冷却	微細ミスト	-	-	○	○	ミストの涼しげな視覚的な効果		
	送風ファン付き微細ミスト	-	○	-	△	ミストの涼しげな視覚的な効果		
	送風ファン	-	○	-	○			
	冷却ベンチ	-	○	-	◎			

※1 体感温度の目安として、特に注記しない限り、夏季日中における標準有効温度 SET*の低下量を示している

※2 ◎：エネルギー使用量ほぼ無し、○：30Wh/m²程度以下、△：60Wh/m²程度以下（H28年度環境省検証事業による）

※3 簡易な日除けの場合、素材の違いにより効果のばらつきが大きくなる

※4 日没後の夕刻における効果を示している

¹¹⁸ 原田ほか，都市におけるドライミストの普及促進に関する研究：ドライミストによる都市の暑熱環境の改善効果と空調エネルギーの削減効果，日本建築学会学術講演梗概集，719-720，2015

5) 利用期間

夏の暑さ対策は、まちなかの恒久的な施設として導入する場合と、一時的なイベントあるいは夏季に限定した仮設的な設備として導入する場合が考えられます。そこで、現在、市販されている製品において、恒久施設、仮設設備の一般的な対応状況の例を整理しました。ただし、この分類に限らず、技術や製品によってはどちらにも対応可能なものがあります。

また、対策技術によっては、利用期間の長さによって、人の快適性向上などの効果に影響を及ぼす場合があります。特に、視覚的な効果が認められている微細ミストやファンによる強制的な送風などは、短期的な利用において快適性を改善する効果が高く、イベントなどには適している対策技術と言えます。

なお、中長期的に考えれば、暑さ対策の推進によって、低炭素で持続性の高いまちづくりにつなげていくことが求められます。そのため、エネルギーをできるだけ使わずに、ヒートアイランド現象の緩和を進めるという視点で暑さ対策技術を選定することも重要です。

表 4.5 利用期間に応じた対策技術の適合性

			恒久的な導入	一時的な利用		
 日射の低減	緑陰	樹木	◎※1	○	プランター型の可搬式樹木など	
		パーゴラ（藤棚）	◎※1	-		
		人工日除け	壁付け型	○	-	
			自立固定式	○	-	
			自立可搬式	○	○	
		窓面等の再帰反射化	◎※1	-		
 地表面の高温化抑制・冷却	地表面等の保水化	◎※1	○	打ち水イベントなど		
	地表面等の遮熱化	○	-			
	地表面等の緑化	◎※1	○			
 壁面等の高温化抑制・冷却	壁面等の緑化	◎※1	○	緑のカーテンなど		
	冷却ルーバー等	○	-			
 空気・からだの冷却	微細ミスト	○	◎※2			
	送風ファン付き微細ミスト	○	◎※2			
	送風ファン	○	◎※2			
	冷却ベンチ	○	○			

※1 ヒートアイランド現象の緩和と夏季の省CO2の効果が大きい技術

(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 (H25.12) より)

※2 イベント等での短期的な利用で、快適性向上などの効果が特に高い技術

—第3部 技術情報編—

第5章 体感温度の把握

5.1 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（代謝量）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。

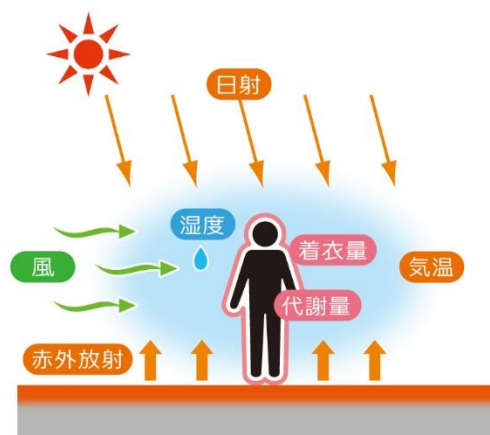


図 5.1 体感温度に影響する要素

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¹¹⁹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 5.1 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¹²⁰を参考に作成

¹¹⁹ 条件設定の一例は 71 頁のコラムを参照ください。

¹²⁰ 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¹²¹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、暑熱環境での労働や運動時の熱中症の予防措置に用いられている指標で、環境省では「暑さ指数」として全国約 840 地点の実況値と予測値を公表しており¹²²、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。

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

表 5.2 日常生活における熱中症予防指針¹²³

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)		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 5.3 運動に関する熱中症予防指針¹²⁴

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	嚴重警戒 (激しい運動は中止)	WBGT28℃以上では、熱中症の危険性が高いため、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。

¹²¹ 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

¹²² 環境省「熱中症予防情報サイト」<http://www.wbgt.env.go.jp/>

¹²³ 日本生気象学会，日常生活における熱中症予防指針 Ver.3

¹²⁴ 公益財団法人日本体育協会，スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック，2013

5. 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。

SET*と 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(℃)、相対湿度(%)、風速(m/s)、黒球温度(℃)もしくは平均放射温度 MRT¹²⁵(℃)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 1.1m¹²⁶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 5.3 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¹²⁷。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 5.2 温熱 4 要素を測定する機器の例

¹²⁵ 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 (℃)

¹²⁶ 日本建築学会, 日本建築学会環境基準 ALJES-H002-2009 室内温熱環境測定規準・同解説 を参考とした。

¹²⁷ 気象庁, 気象観測の手引き, 1998 年 9 月

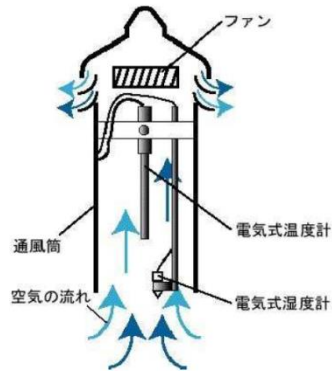


図 5.3 気温センサーを入れる通風筒の例 (断面と外観) ¹²⁸

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¹²⁹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。

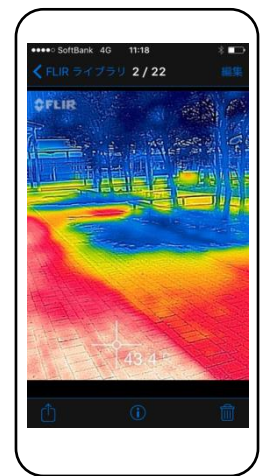


図 5.4 スマートフォンによる熱画像撮影のイメージ

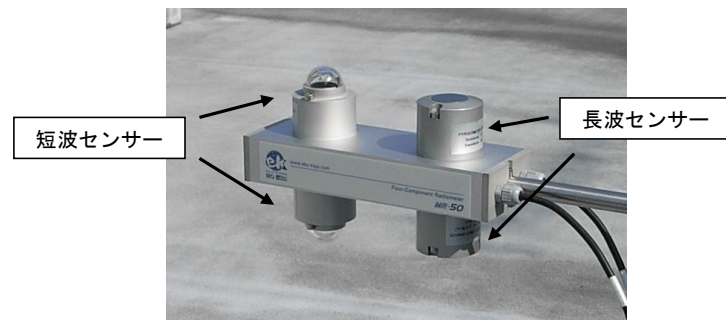


図 5.5 直径 15cm の黒球温度計（左）と長短波放射収支計（右）の例

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(℃)、 t_g ：黒球温度(℃)、 t_a ：気温(℃)、 V_a ：風速(m/s)。ただし、標準的な黒球温度計（直径 15cm）の場合。

¹²⁸ 気象庁，気象観測ガイドブック，2002 年 12 月

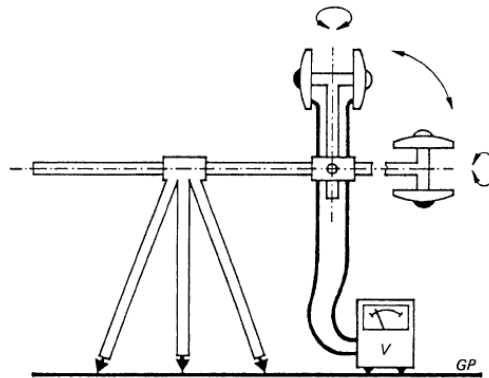
¹²⁹ 渡邊ほか，屋外における平均放射温度の算出法の比較，日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学 II)，357-358，2013

【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

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

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

ϵ_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¹³⁰、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。

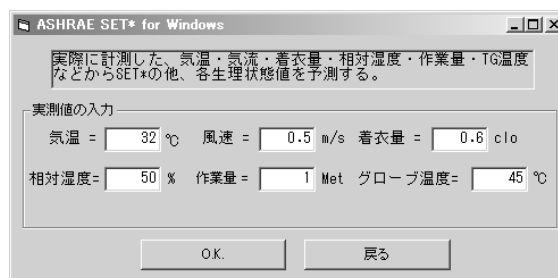


図 5.6 SET*演算ソフトの例¹³⁰

表 5.4 代謝量（met 値）の例¹³¹

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 5.5 着衣量（clo 値）の例¹³¹

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_w : 自然湿球温度(°C)、 T : 気温(°C)、 T_g : 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。

¹³⁰ 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）

¹³¹ 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 5.6 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 5.7 WBGT 測定装置 (演算型)の例

表 5.6 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

なお、平成 29 年 3 月に JIS-B-7922「電子式湿球黒球温度 (WBGT) 指数計」が発行され、屋外日向における相対湿度などから自然湿球温度を近似的に求める方法が示されています。風速などの詳細なデータが必要になりますが、WBGT の精度を向上させることができます。

5.3 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。

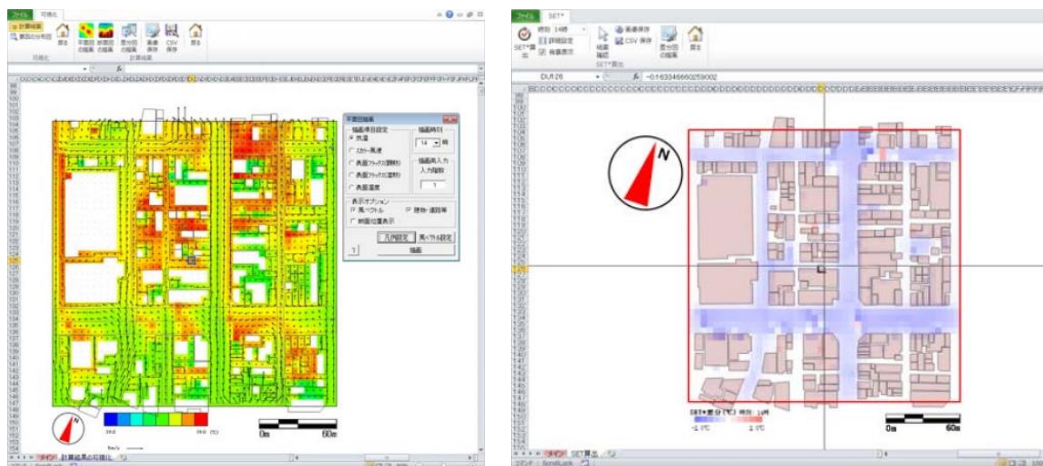
【シミュレーションツールの選定】

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6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 5.3 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) 対策実施前と後で比較

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。

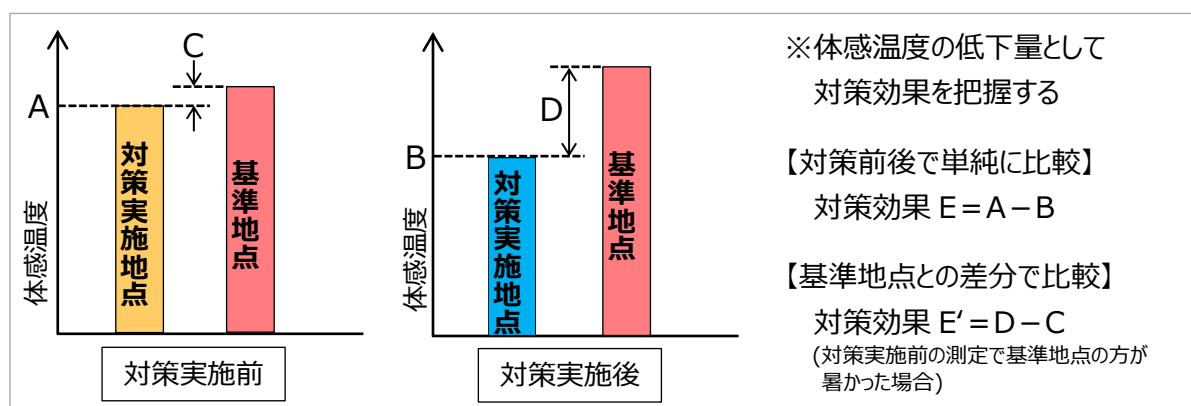


図 6.1 対策前後で結果を比較したイメージ

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)

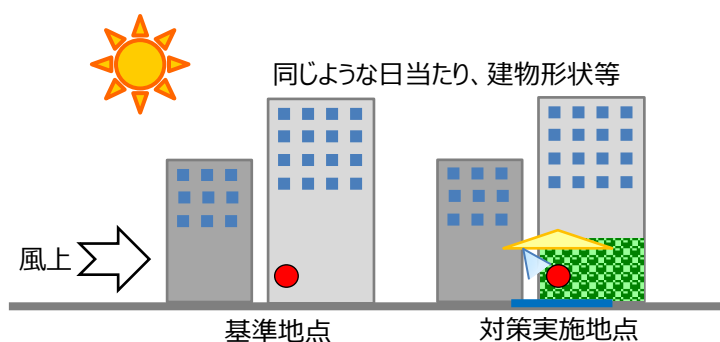


図 6.2 対策実施地点と未実施地点で比較するイメージ

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。

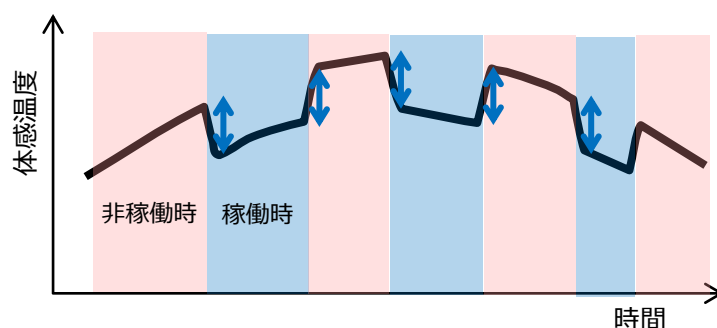


図 6.3 対策の稼働時と非稼働時で比較した結果のイメージ

— 參考資料 —

参考資料：簡易体感温度指標による効果把握

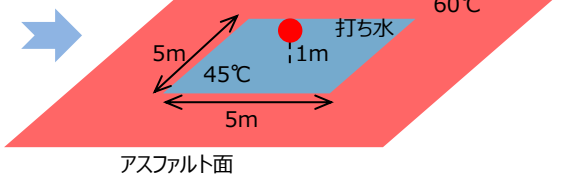
暑さ対策の効果把握するには体感温度への影響を評価します（第5，6章）。

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_S) = 短波係数(0.02℃・m²/W)×日射変化量(0W/m²) = 0℃

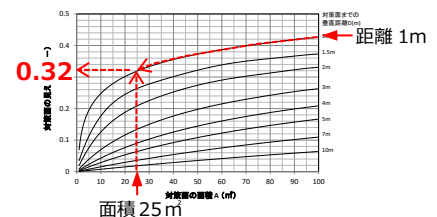
STEP 3：路面等の高温化抑制対策の効果(長波放射の低減)を把握 → 25 m²が 15℃低下！

長波放射の変化量(ΔMRT_L)

= 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 m²と評価点までの距離 1m として「0.32」。右に示すように後述の図 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_S + ΔMRT_L)

(※2 風速係数は、風速 0.5m/s のとき「0.6」。右に示すように、後述の表 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 ← 風速 0.5m/s
0.6m/s 以上、1.0m/s 未満	0.7

= 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)、h_c：対流熱伝達率(W/°Cm²)、h_r：放射熱伝達率(W/°Cm²)</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。

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

風速係数は、以下のように設定します。

簡易体感温度は、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（ Δ 気温）を把握したり MRT の変化量（ Δ 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（ Δ 簡易体感温度）を Δ 気温と Δ 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

Δ 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

Δ MRT は、次頁に示す「 Δ 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_S) と長波放射の変化量 (ΔMRT_L) を足し合わせて求めます。

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

ΔMRT_S 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/m²) に短波係数 0.02 (°C・m²/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_L 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_{Li}) は、面 i の表面温度の変化量 (ΔT_{Si} : °C) と面 i の見える割合 (V_i) 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_S は日射の低減量が大きいくほど、 ΔMRT_L 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： ΔMRT_S

← 1 頁 STEP2

日射の変化量 ΔSUN 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^2 と仮定して計算します。例えば日射透過率が 50% の場合、 ΔSUN は $900 \times 0.5 = 450\text{W/m}^2$ となります。

日射透過率 50% の場合、 ΔMRT_S は近似的に 9°C 低下すると推定できます。

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

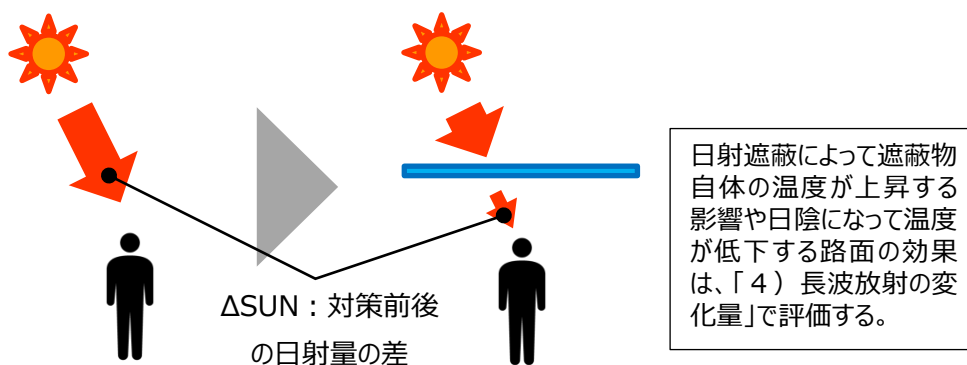


図 1 日射低減対策のイメージ

4) 長波放射の変化量： ΔMRT_L

← 1 頁 STEP3

対策面 i の表面温度の変化量 ΔT_{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、 ΔMRT_L は近似的に 4.8°C 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_i (㎡) と対策面までの垂直距離 D_i (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。

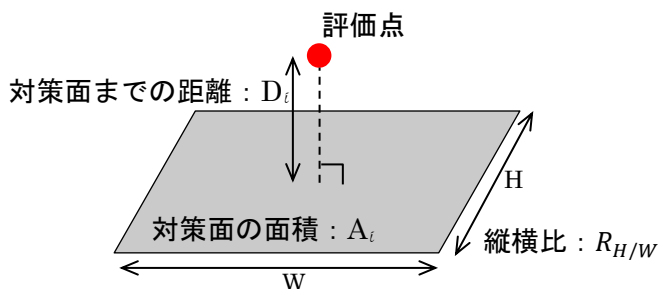


図3 評価点と対策面との関係

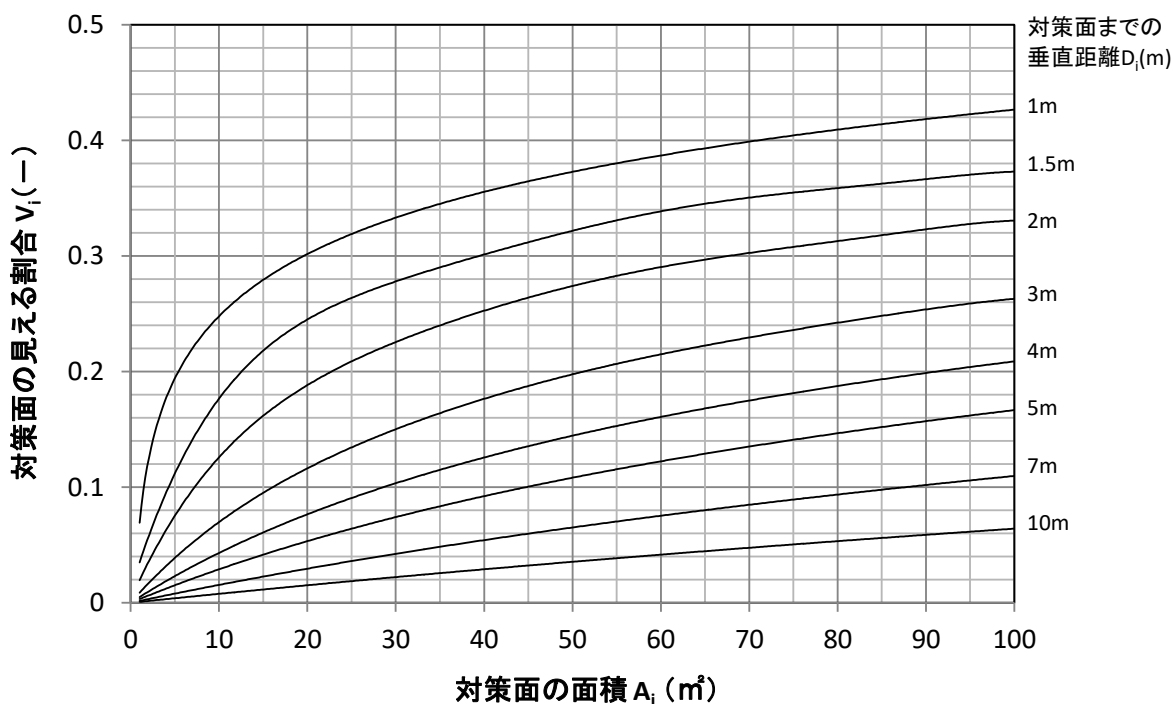


図4 対策面の面積、対策面までの垂直距離と対策面の見える割合（縦横比 $R_{H/W}=1$ の場合）

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

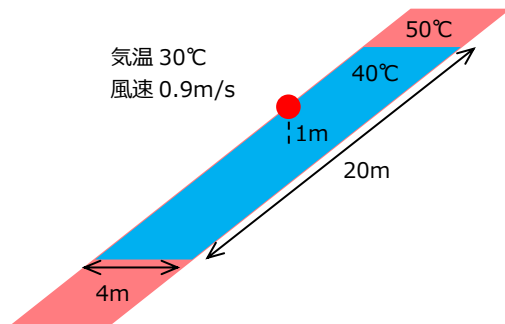
歩道幅 4m、歩道延長 20m に保水性ブロックを整備し保水化、初期表面温 50℃の歩道の温度が 10℃低下する。

■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、 Δ 気温 = 0℃

STEP2：日射対策はしていないので、 Δ MRT_S = 0℃

STEP3：

V (歩道の保水化) …… 図 4 から面積 80 m²・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

ΔT_s (歩道の保水化) …… -10℃

Δ MRT_L (歩道の保水化) は、 $0.8 \times 0.308 \times (-10℃) \approx -2.5℃$

STEP4：

【簡易体感温度】

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

②歩道の保水化+緑化フェンス

条件：■対策内容

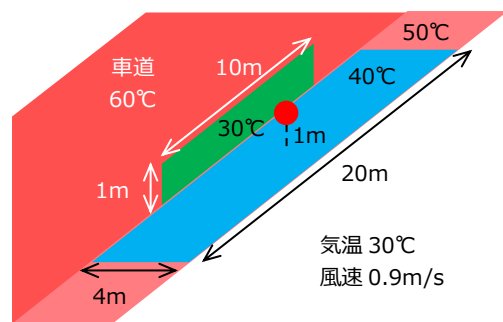
歩道幅 4m、歩道延長 20m に保水性ブロックを整備し保水化、初期表面温 50℃の歩道の温度が 10℃低下する。さらに、車道との間に高さ 1m、延長 10m の緑化フェンスを整備し、表面温度 30℃の葉によって、60℃の車道が遮蔽される。

■対策による変化

事例①に加えて、側面の温度が 1m×10m 範囲で 60℃から 30℃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、 Δ 気温 = 0℃

STEP2：日射対策はしていないので、 Δ MRT_S = 0℃

STEP3：

【歩道の保水化】

Δ MRT_L (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 m²・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。

Δ T_S (歩道の保水化) … 60℃ から 30℃ になるので -30℃

Δ MRT_L (緑化フェンス) は、 $0.8 \times 0.07 \times (-30℃) \div -1.7℃$

【MRT_L 合計】

Δ MRT_L = Δ MRT_L (歩道の保水化) + Δ MRT_L (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、 Δ 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

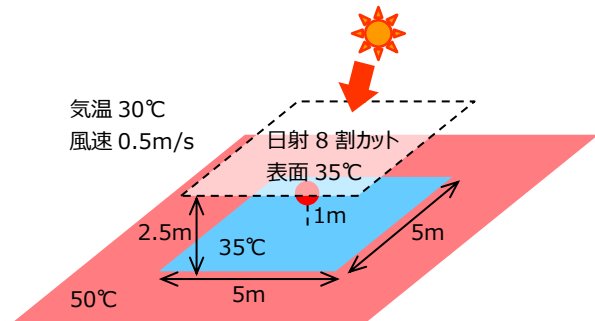
日射透過率 0.2。

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。¹

■ 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/m² とする。



効果：STEP1：気温は変化していないので、 Δ 気温 = 0℃

STEP2：

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

¹ 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 m^2 ・距離 1 m ・縦横比 1 のとき、 0.32 。

ΔT_S (日陰の路面) …… 50°C から 35°C になるので -15°C

ΔMRT_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 m^2 ・距離 1.5 m ・縦横比 1 のとき、 0.26 。

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

ΔMRT_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 m/s の場合、 Δ 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、平成27年度 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/(m²・K))、 h_r ：放射熱伝達率(W/(m²・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、 ΔOT ：作用温度の変化量 (°C)、 ΔT_a ：気温の変化量 (°C)、 ΔMRT ：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、 ΔOT は ΔT_a と ΔMRT 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、 ΔT_a 、 ΔMRT 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 (Δ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

ΔT_a については実測の結果や既往の文献等から求め、 ΔMRT 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 ΔMRT 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、 ε_p は人体の放射率：0.97、 σ 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¹⁾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、 φ_{sky} (sr)は天空の立体角、 φ_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 i 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。

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

¹ 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

$$\begin{aligned}
&= a_s \frac{\Delta SUN}{4} + a_L \cdot H_{r_long} \left(\sum_i \phi_i \cdot T_{S1,i} - \sum_i \phi_i \cdot T_{S2,i} \right) \\
&= a_s \frac{\Delta SUN}{4} + a_L \cdot H_{r_long} \sum_i \phi_i \cdot \Delta T_{S,i} \quad (9)
\end{aligned}$$

ここで、対策前の直達日射 Q_{direct_1} (W/m²)、周囲の平均表面温度 T_{S1} (K)、対策後はそれぞれ Q_{direct_2} (W/m²)、周囲の平均表面温度 T_{S2} (K)、 $\Delta SUN = Q_{direct_1} - Q_{direct_2}$ (W/m²)、長波放射のみの放射熱伝達率 H_{r_long} (W/(m²·K))= $\sigma(T_{S1}^2 + T_{S2}^2)(T_{S1} + T_{S2})$ 、対策面 i の立体角の割合 ϕ_i と対策による対策面 i の表面温度の低下量 $\Delta T_{S,i}$ (= $\Delta T_{S1,i} - \Delta T_{S2,i}$)(°C)である。

(6)、(9)式より、 ΔMRT は短波放射低減効果 (ΔMRT_S) と長波放射低減効果 (ΔMRT_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。

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

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

$$\Delta MRT_L = \frac{H_{r_long}}{H_{r_all}} \sum_i \phi_i \Delta T_{S,i} \quad (12)$$

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/(m²·K))、 T_{S1} と T_{S2} をそれぞれ 40°Cとして H_{r_long} を 7(W/(m²·K))に設定し、 ΔMRT_S 、 ΔMRT_L を(13)、(14)式のように近似的に推定する。

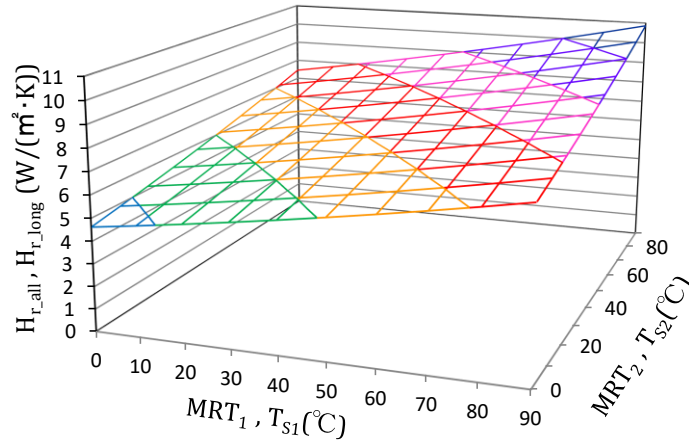


図 1 平均放射温度、表面温度と放射熱伝達率の関係

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

$$\Delta MRT_L \sim 0.8 \times \sum_i \phi_i \Delta T_{S,i} \quad (14)$$

ΔMRT_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、 ΔMRT_L は、対策面 i の表面温度変化量 ($\Delta T_{s_i} : ^\circ C$) と面 i の立体角の割合 (Φ_i) 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 ΔMRT 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。

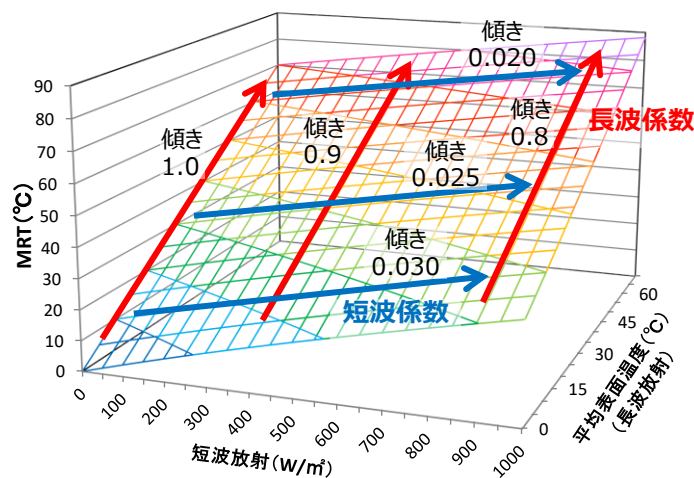


図 2 短波放射、平均表面温度（長波放射）と MRT の関係

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 (i) の面積 (A_i) と対策面までの垂直距離 (D_i) 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。

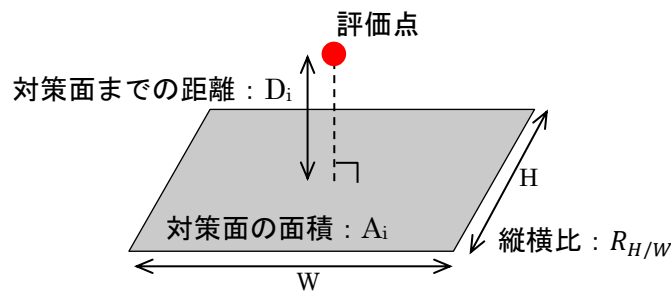


図 3 評価点と対策面との関係

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²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。

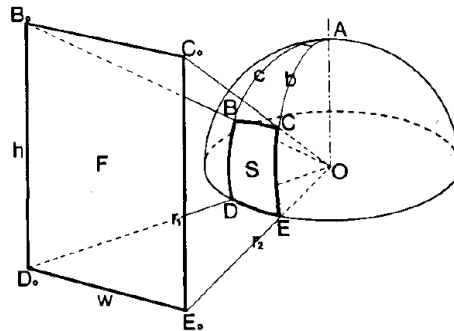


図4 面Fと立体角S、評価点Oの関係²

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_iの面積 (m²) と対策面までの垂直距離D_i (m) から (評価点から見た) 対策面A_iの立体角割合を求めるための線図 (図5) を作成した。

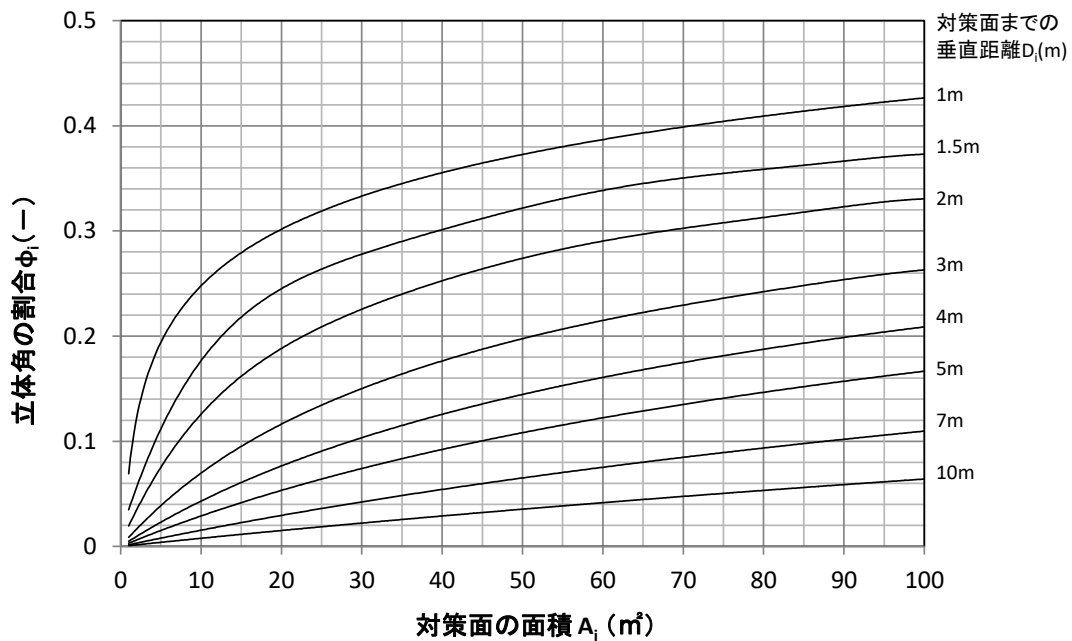


図5 対策面の面積と対策面までの垂直距離から立体角割合を求める線図

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)。

² 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、平成 27 年度 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 ²]	$Q_{diffuse}$: 天空日射量[W/m ²]
φ_i	: 立体角[sr]	φ_{sky}	: 天空率[sr]
$Q_{reflect_i}$: 反射日射[W/m ²]	φ_{cover}	: 遮蔽物の立体角[sr] (=2π-φ _{sky})
T_i	: 地表面温度[K]	P_s	: 遮蔽物の透過率[-]
σ	: ステファン・ボルツマン定数[W/m ² K ⁴]		

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/m²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。

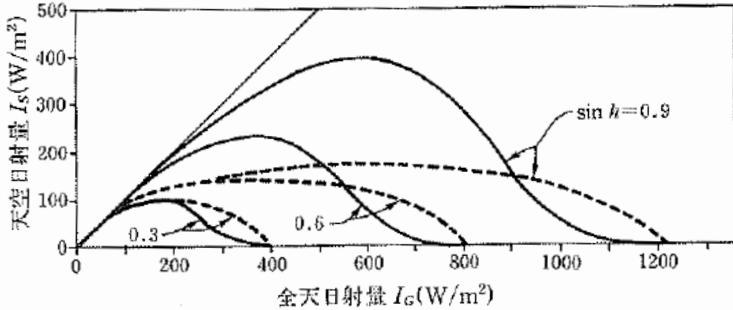


表 1 直散分離

全天日射量 [W/m ²]	直達日射量 [W/m ²]	天空日射量 [W/m ²]
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/m² まで変化させて $\Delta\text{SUN} = 200\text{W/m}^2$ 刻み毎に ΔMRT 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/m² 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。

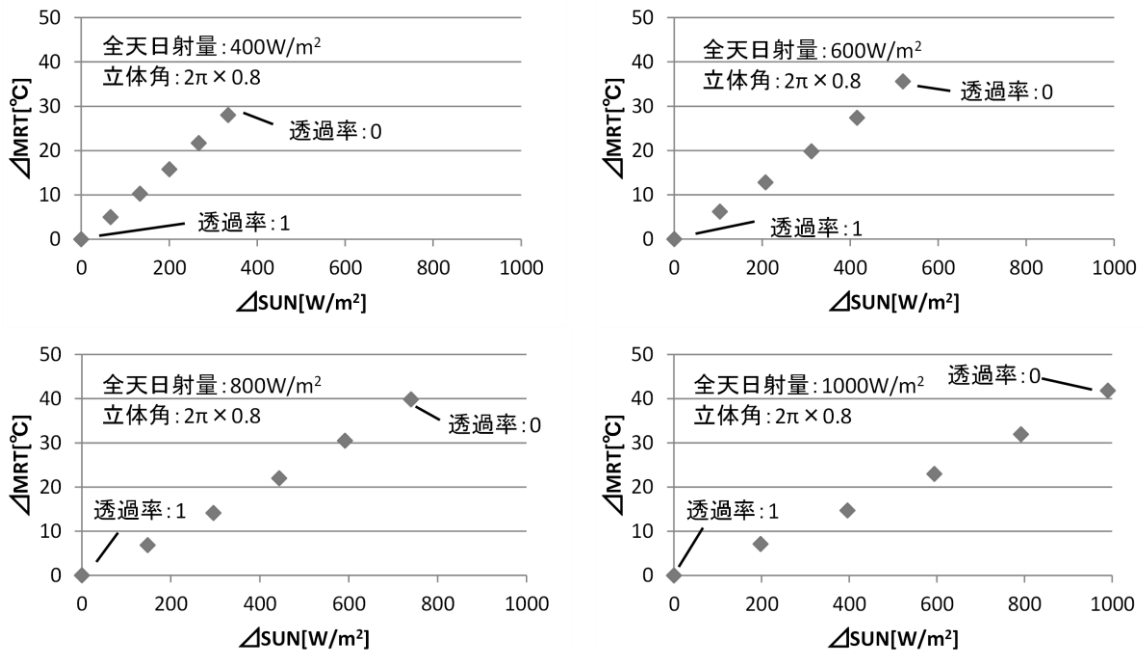


図 2 ΔSUN と ΔMRT との関係

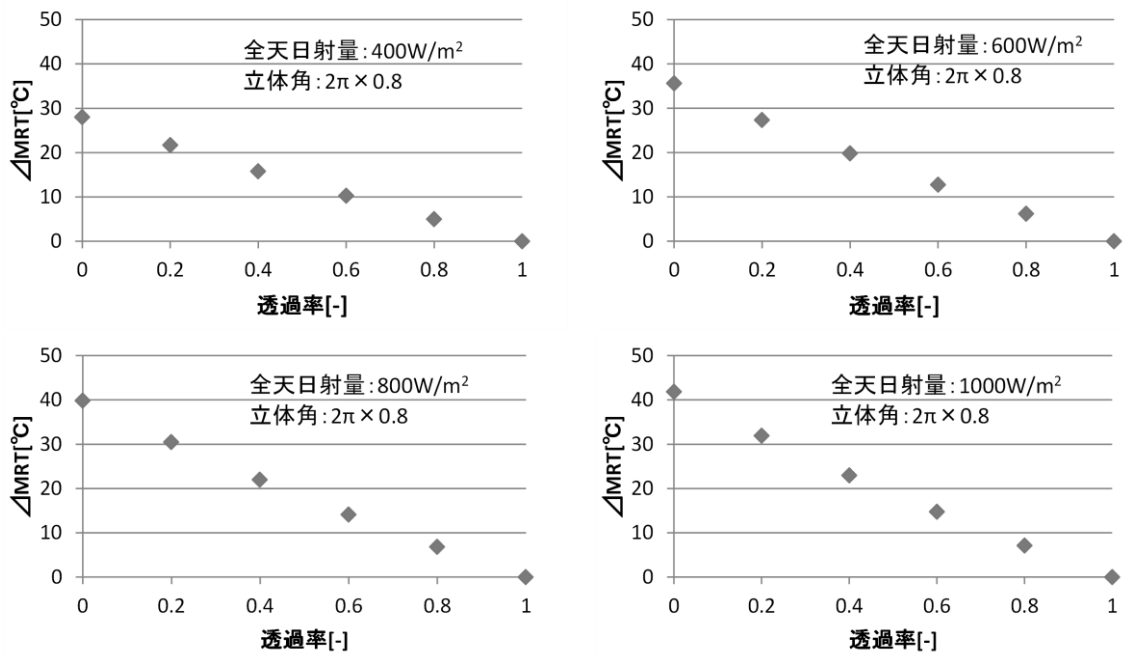


図 3 透過率と ΔMRT との関係

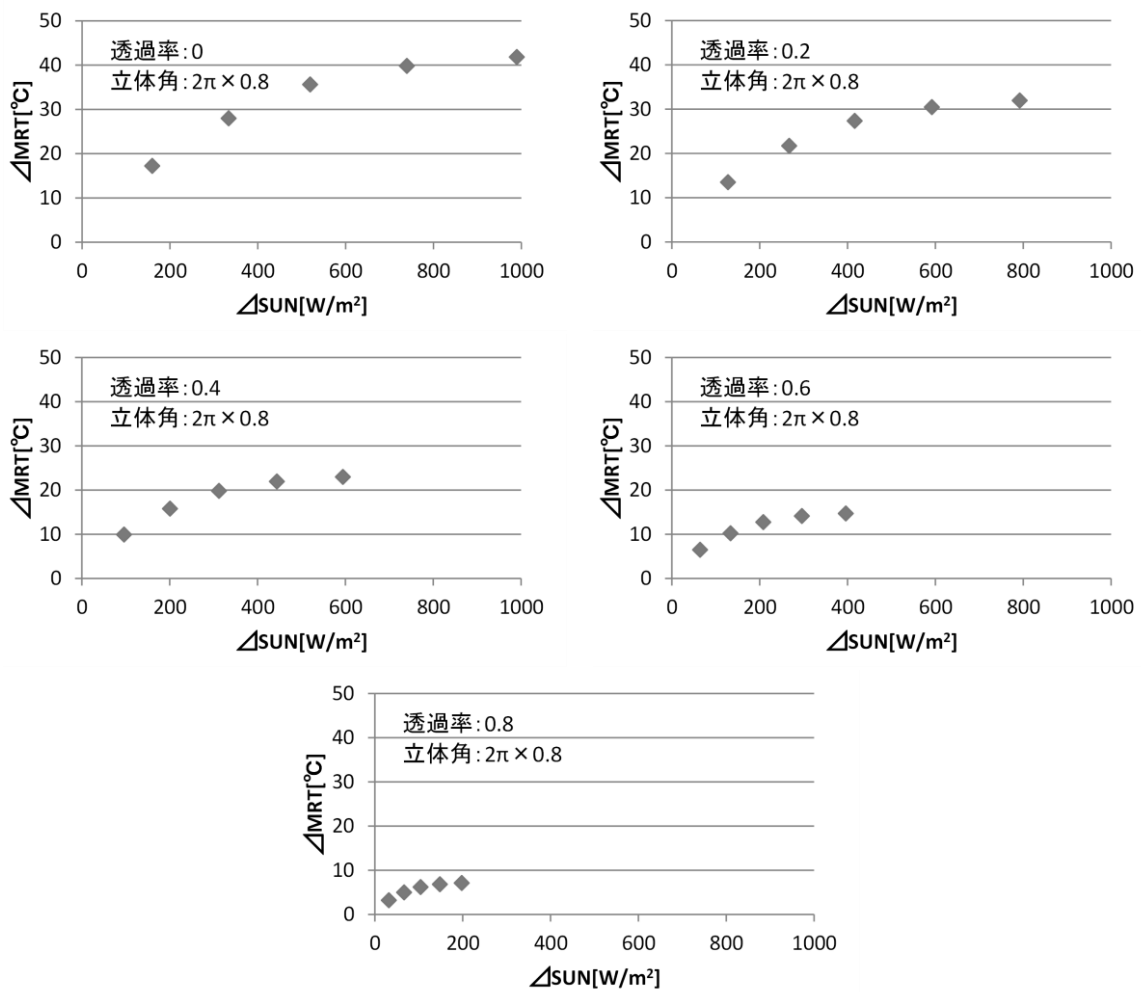


図 4 ΔSUN と ΔMRT との関係

図 2 より、全天日射量が大きくなるほど Δ SUN と Δ 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 Δ MRT が大きくなることがわかる。図 4 より、同じ Δ SUN でも透過率が高いほど Δ MRT が低くなることがわかる。すべてのデータをまとめて、 Δ SUN と Δ MRT との関係を図 5 に示す。

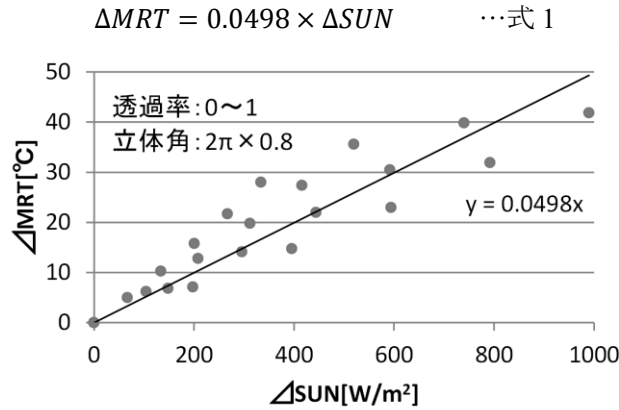


図 5 Δ SUN と Δ MRT との関係

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 Δ SUN = 200 W/m^2 刻み毎に Δ MRT を試算したもの図 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°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 Δ SUN にかかる回帰係数が大きくなり、 Δ 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 Δ SUN を算出し Δ MRT を推定すると、ばらつきは大きくなり、 Δ SUN から Δ 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 Δ SUN にかかる回帰係数が大きくなり、 Δ MRT が大きくなることがわかった。

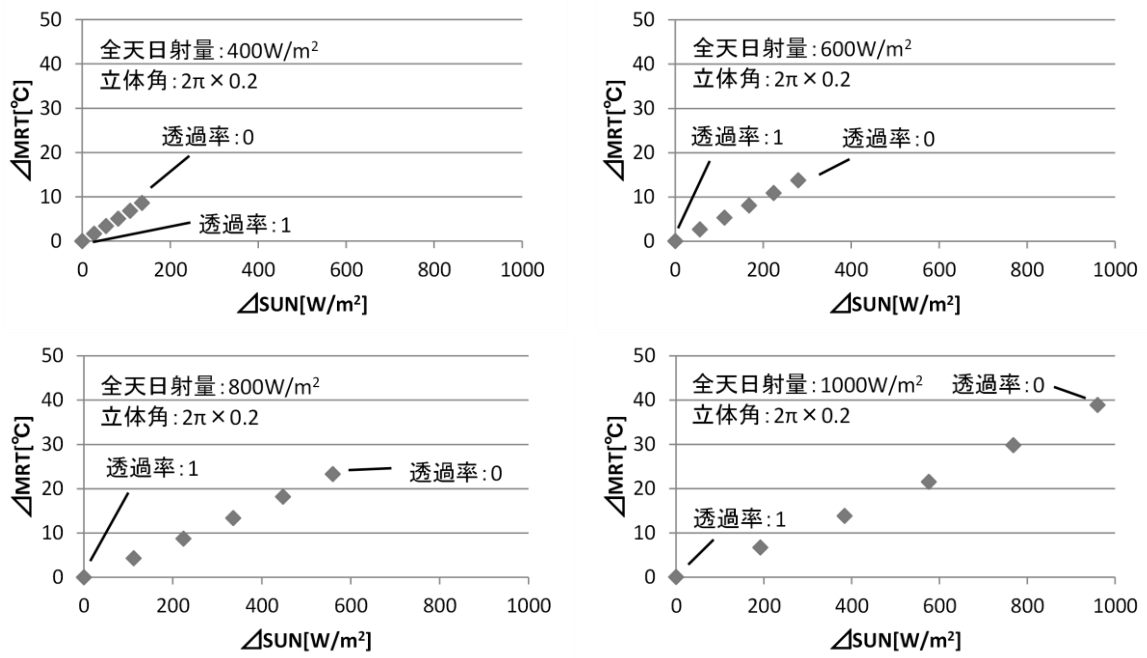


図 6 Δ SUN と Δ MRT との関係

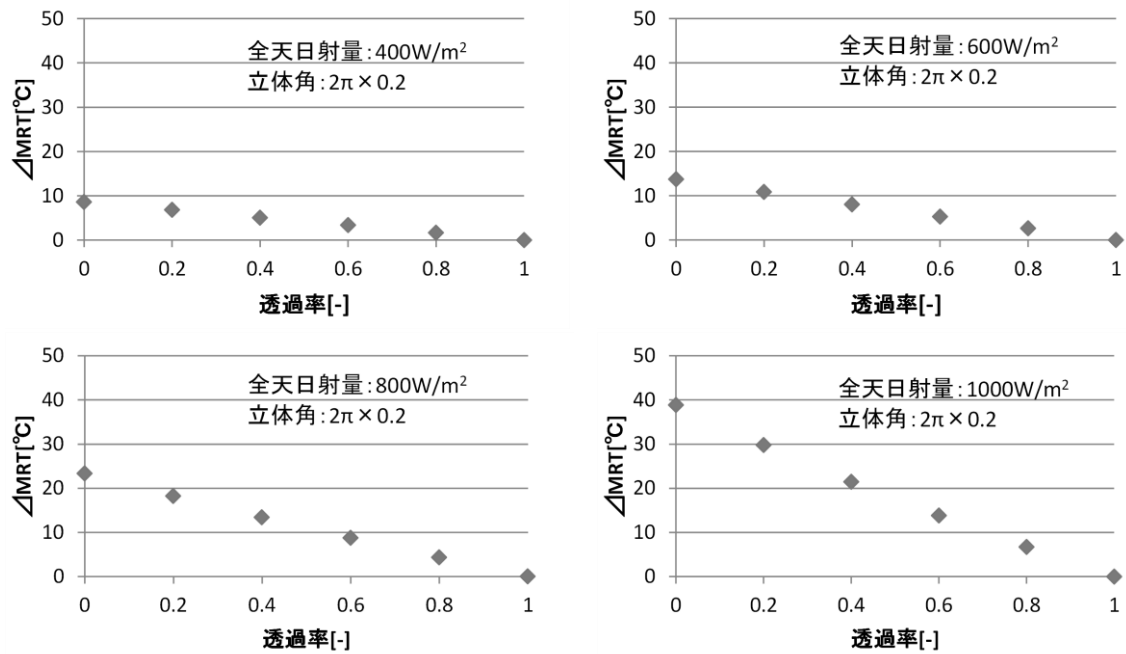


図 7 透過率と Δ MRT との関係

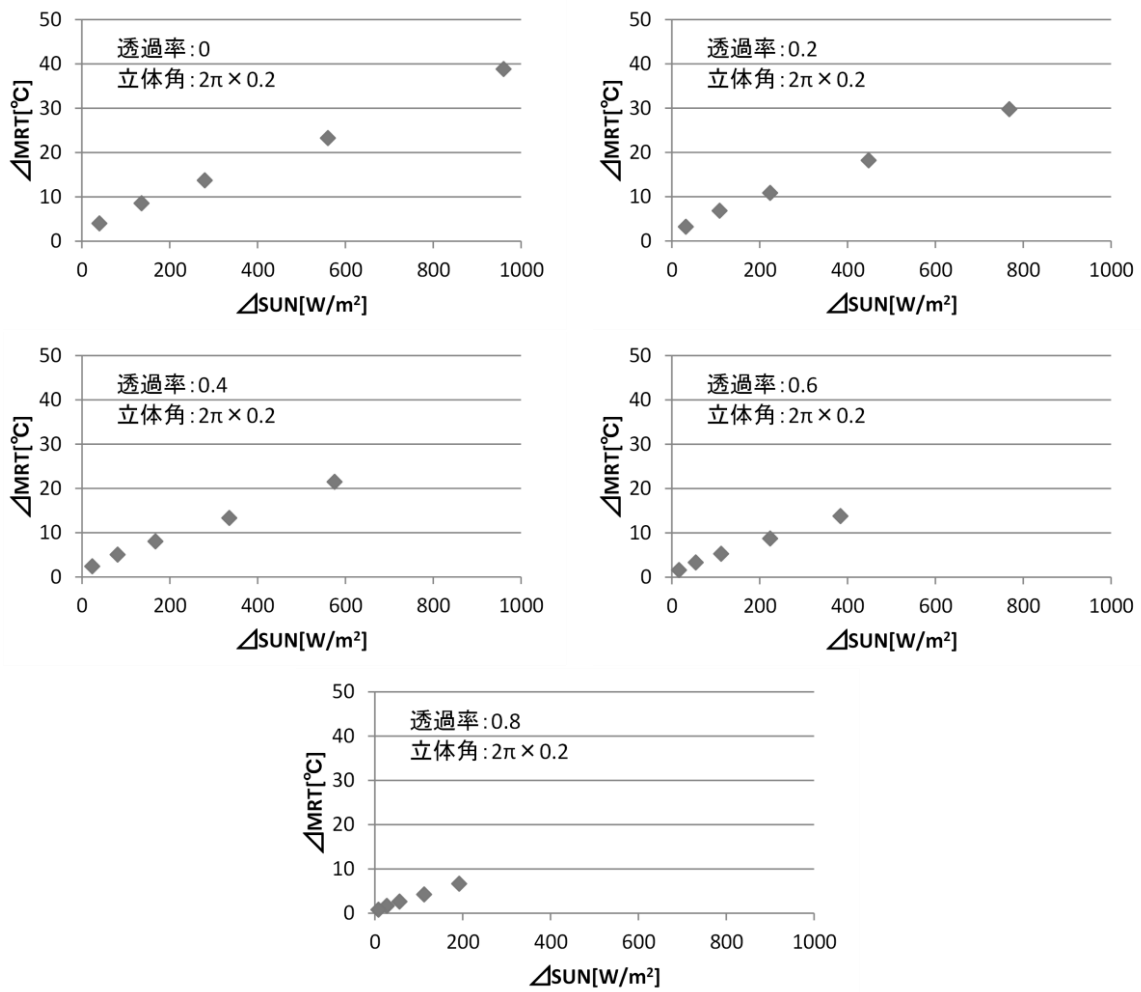


図 8 ΔSUN と ΔMRT との関係

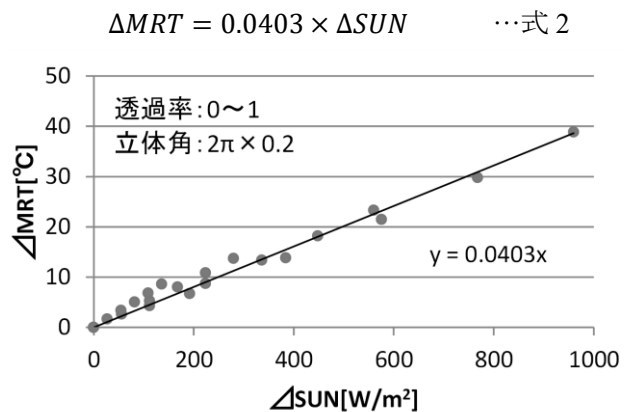


図 9 ΔSUN と ΔMRT との関係

平成29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 国立研究開発法人建築研究所 環境研究グループ 主席研究監

後藤 圭二 吹田市長

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（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

村上 孝憲 三菱地所株式会社 開発推進部 専任部長

（一般社団法人 大丸有環境共生型まちづくり推進協会 専務理事）

（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

平成28年5月 発行

平成30年3月 改訂

環境省 水・大気環境局 大気環境課 大気生活環境室

