

— 第2部 対策編 —

第4章 暑さ対策技術

4.1 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

局所的な人が感じる暑さ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接触することなどにより、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。

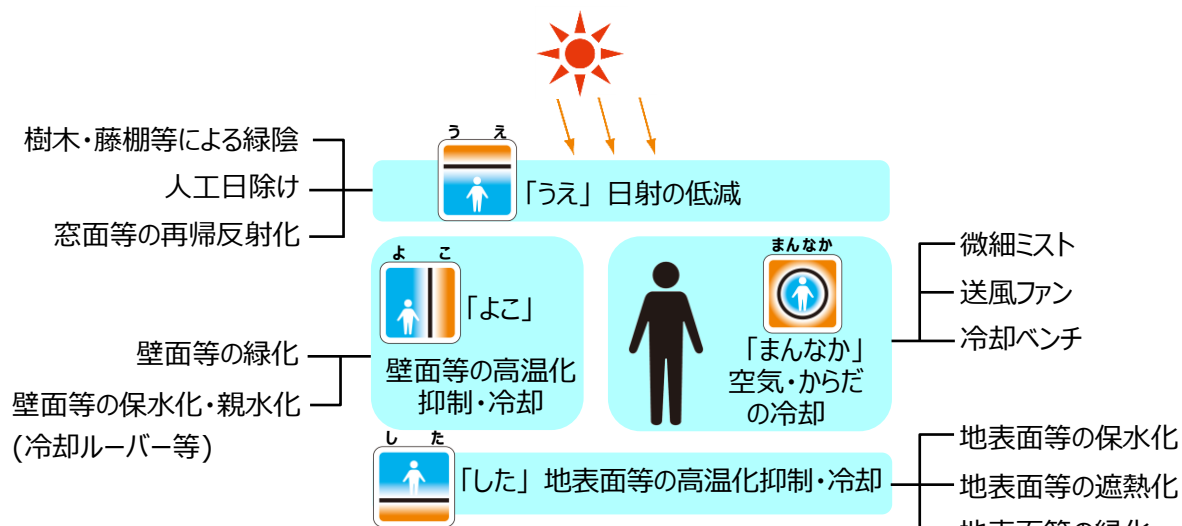


図 4.1 暑さ対策の考え方と技術の分類





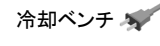

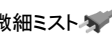





2) 技術の適合性等の確認


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・できない場所」等で対策技術のおおよその適合性を表 4.1 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申請が必要なもの、設置に掘削が必要になるものなどを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 5 章を参照ください。


表 4.1 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(SET)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せん。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。

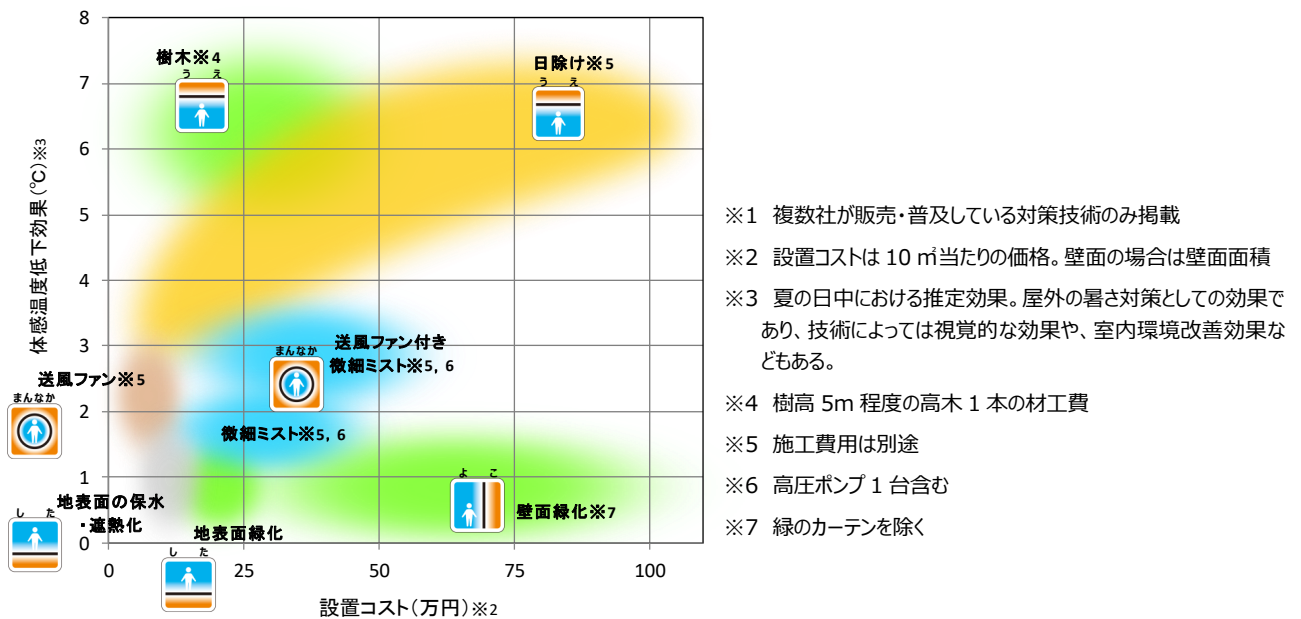


図 4.2 対策技術^{※1}の設置コスト^{※2}と体感温度 (SET) 低下効果^{※3}

4. 2 暑さ対策技術シート

この節では、表 4.2 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 4.3 に整理した通りです。

表 4.2 暑さ対策技術の分類



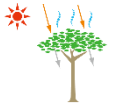
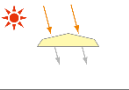
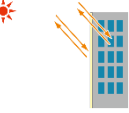

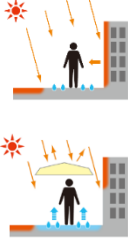
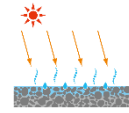

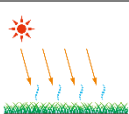

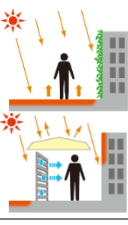
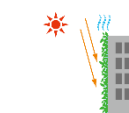
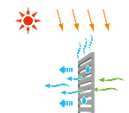


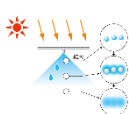

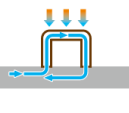















	対策手法	対策技術の分類
	<p>日射の低減</p> <ul style="list-style-type: none"> ●緑陰・日除け 	<p>① 樹木・藤棚等による緑陰</p> <p>樹冠の大きな樹木により緑陰を作る日射遮蔽対策</p> 
		<p>② 人工日除け</p> <p>人工日除けにより日陰を作る日射遮蔽対策</p> 
		<p>③ 窓面等の再帰反射化</p> <p>建物の窓や壁面に当たる日射の一部を上空に反射させて、地上の歩行者への反射日射を抑制する対策</p> 
	<p>地表面等の高温化抑制・冷却</p> <ul style="list-style-type: none"> ●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> 

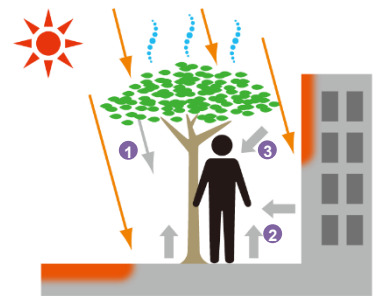
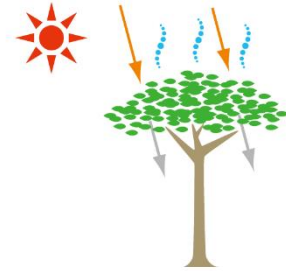
表 4.3 対策技術シートの記載内容

# 対策技術の分類	
<p style="text-align: center;">主要な確認事項について、各技術にマークを付しました。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  水が必要 </div> <div style="text-align: center;">  強風に適さない </div> <div style="text-align: center;">  掘削工が必要 </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 5px;"> <div style="text-align: center;">  電気が必要 </div> <div style="text-align: center;">  建築物としての確認が必要 </div> </div>	
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人が感じる暑さを下げるメカニズム	<p>各対策技術の機能について、人が感じる暑さの低減につながる仕組みを記載しました。また、以下の凡例に基づいて仕組みを図示しました。</p> <div style="margin-left: 20px;">  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 </div>
③人が感じる暑さの低減効果	人が感じる暑さの低減につながる温度変化の程度と、暑さ指数(WBGT)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）についての効果の一事例として引用しています。また、参考として体感温度(SET)の変化の程度についても記載しています。
④効果を高める選び方・使い方	人が感じる暑さの低減効果の効果を高めるための、製品の選定方法、対策技術の組み合わせ、推奨される利用場所、運用方法等について記載しました。
⑤設置・維持管理	<p>【設置】</p> <p>設置に必要な費用等について、目安となるよう平均的な情報を記載しました。</p> <p>【維持管理】</p> <p>設置した対策技術を使用する際の、安全性や美観等を維持するために必要となる費用等について記載しました。</p>
⑥留意事項	対策選定時や設置時に留意すべき事項や、設置後に安全面で配慮が必要な事項について記載しました。効果を低下させないために配慮すべき事項については、「④効果を高める選び方・使い方」の欄に記載しています。
⑦副次的効果	人が感じる暑さの低減の他に、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人が感じる暑さ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人が感じる暑さの低減効果</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²⁸。</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²⁹。</p> <p>○暑さ指数(WBGT)</p> <p>日向と比べて緑量の多い街路樹下は、暑さ指数(WBGT)が 2 程度低い³⁰ことが確認されている。</p> <p>○体感温度(SET)</p> <p>日向と比べて緑量の多い街路樹下は、体感温度(SET)が 7℃程度低い³¹（樹冠の形状や樹高によって体感温度(SET)の低減の程度は異なる³²）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暑さ指数(WBGT)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^{33,34}。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³³。 <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。 樹冠拡大により暑さの厳しい時期に木陰を増やすための樹木の管理・剪定が望ましい。 	
<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³⁵。 	
<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。 	

²⁸ 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

²⁹ 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

³⁰ 山田ほか、夏季高温下における公園利用者の緑陰選択行動に関する研究、土木学会論文集 G (環境) Vol74 No.6 (環境システム論文集 第 46 巻), II_9-II_18, 2018

³¹ 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

³² 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

³³ 一般社団法人建設物価調査会、建設物価, 2017 年 11 月

³⁴ 一般社団法人建設物価調査会、土木コスト情報 2017 年 10 月

³⁵ 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

【街路樹の管理指針】

近年、街路樹管理の考え方に変化が見られ、例えば埼玉県川口市ではこれまでの「樹冠のコンパクト化」から施工が可能な場所で「樹冠拡大」を目指す方針に切り替えています。

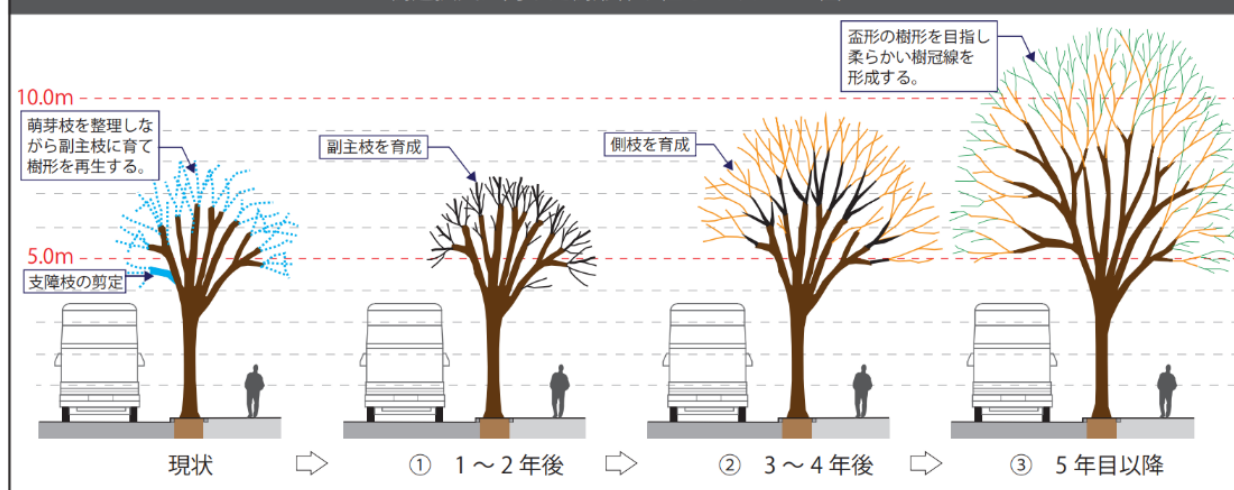
川口市樹木管理指針【街路樹編】（令和2年4月）では、街路樹の役割として「生命を守る砦としての役割」を明確にし、ヒートアイランド現象を抑制するために、これまでの樹冠を「コンパクトに抑える」管理から「樹冠拡大」を目指した管理への転換を打ち出し、理想とする街路樹像を明確にしています。

管理委託を複数年間で発注して樹形を整えるといった方法も見られます。

●ヒートアイランドの抑制に効果を発揮する街路樹

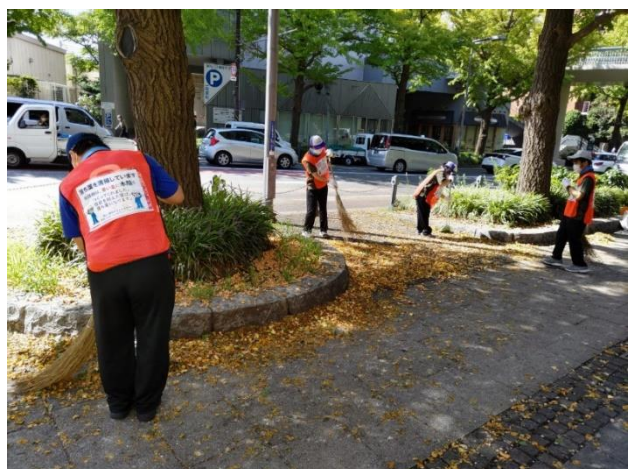
- ・年々暑さを増すヒートアイランド現象の緩和（生命を守る）
 - 大きな連続性のある緑陰形成による舗装面の温度上昇抑制
 - 緑陰を作って夏の強い日差しと高温から身体を守る
- ・街路樹の健全育成、樹冠拡大による微気候の緩和、CO2吸収量の増大
- ・雨水の地下浸透、涵養機能の強化による都市洪水、温度上昇の抑制
- ・緑の都市基盤として、適切な管理により健全に大きく生長

樹冠拡大に向けた樹形作り直しのイメージ図



【地域の雇用を創出する落ち葉清掃】

樹木の枝葉を充実させて緑陰を増やすと落ち葉対策が課題となります。横浜市では地域のみなさまの協力のもと、ハマロード・サポーター等ボランティアによる落ち葉清掃を実施しています。また、駅前の人通りの多い場所では、地域の障がい者施設の方々に落ち葉清掃を随意契約し、景観の向上と雇用の創出を行い、地域住民との交流の機会にもなっています。これらの取り組みにより、落ち葉対策のための過度な剪定を防ぎ、樹形管理を行うことで、管理費の削減と良質な景観形成を図っています。





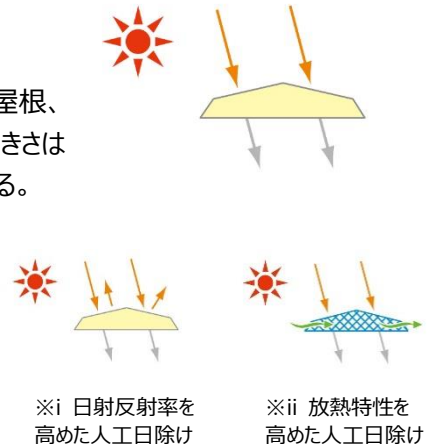
日射の低減

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³⁶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(SET)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たりする^{※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。

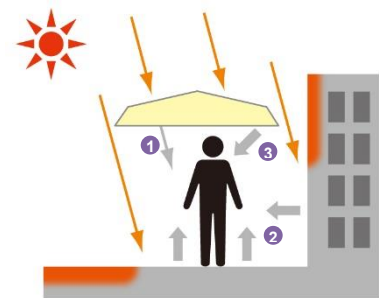


【事例】

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人が感じる暑さ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(SET)低減の効果が大きい。



③人が感じる暑さの低減効果

○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^{37,38,39}。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³⁹。

○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^{40,41}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^{39,42,43}。

○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⁴²ことがあるのに対し、日射吸収率が低い日除け面は、日射を受けているときでも気温より3~4℃高い程度となることが確認されている^{42,44}。

2 人工日除け

	<ul style="list-style-type: none">○暑さ指数(WBGT) 日除け下の暑さ指数(WBGT)は日向より 1.7 程度低くなることが確認されている⁴⁵。 高遮光遮熱シートの日除け下の暑さ指数(WBGT)は日向より 1.9 程度低くなることが確認されている⁴⁵。○体感温度(SET) 日除け下の体感温度(SET)は日向より 3~6℃程度低くなることが確認されている^{38,39,46}。 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体感温度(SET)は日向より 7℃程度低くなることが確認されている⁴⁷。
④効果を高める選び方・使い方	<ul style="list-style-type: none">○認証制度等を活用して選定する *ヒートアイランド対策認証制度 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⁴⁸。○日射反射率の高い日除けを選ぶ 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、人が感じる暑さの低減効果が大い。 日除け素材のなかには遮った日射の熱の多くを吸収し³⁸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人が感じる暑さ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⁴⁹ため、メーカーに問い合わせる必要がある。 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。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。○放熱特性の高い日除けを選ぶ 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。○風通しを阻害しないように配慮する 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。○可搬式樹木等と組み合わせる 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。○西日を遮蔽する 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。

2 人工日除け

<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。
<p>⑥留意事項</p>	<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相談が必要がある。 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が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。
<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。

36 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）

37 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

38 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

39 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

40 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

41 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

42 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

43 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

44 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

45 令和元年度 東京都環境公社検証事業

46 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

47 平成28年度環境省検証事業

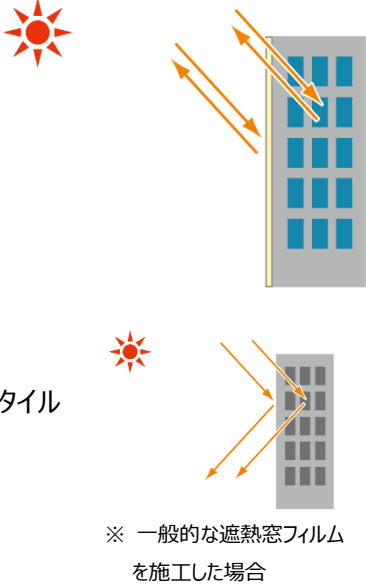
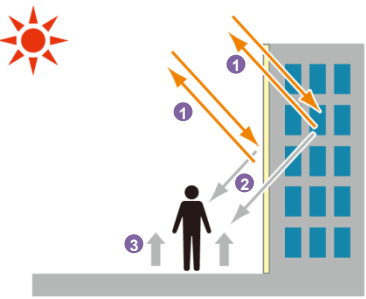
48 明度により、基準となる日射反射率と、近赤外波長域日射反射率（波長範囲:780nm～2500nm）が異なる。明度 $L^* \leq$

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)

⁴⁹ 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他、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>②人が感じる暑さ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人が感じる暑さの低減効果</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^{50,51}。</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^{50,52,53}。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⁵⁰、午後から夕方効果を得られる。</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⁵⁴。</p>

3 窓面等の再帰反射化

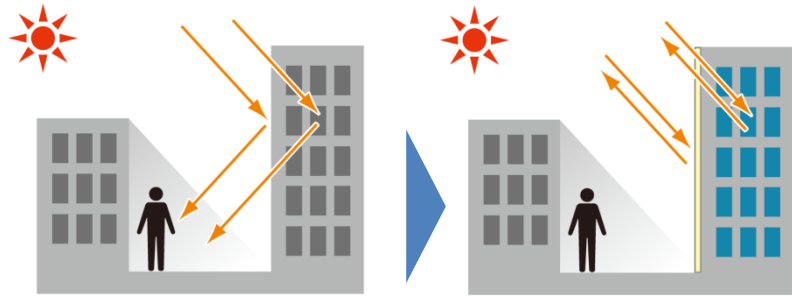
＊環境省環境技術実証事業（ETV）

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。

⁵⁰ 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

⁵¹ 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

⁵² 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

⁵³ Inoue, Improvement of Outdoor Thermal Radiation Environment in Urban Areas using Wavelength-selective Retro-reflective Film, PLEA2015(Bologna, Italy), 2015

⁵⁴ 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人が感じる暑さ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人が感じる暑さの低減効果</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^{55,56,57}。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⁵⁸。</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^{57,58}。</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⁵⁹、建物屋上に設置する場合で 9℃程度⁶⁰低くなることが実証されている。</p>	

4 地表面等の保水化



	<ul style="list-style-type: none"> ○暑さ指数(WBGT) 日中、日向では打ち水をしていない場所と比べて、打ち水を実施した地点の暑さ指数(WBGT)が0.3程度低いことが確認されている⁶¹。 ○体感温度(SET) 路面に近いほど体感温度(SET)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、体感温度(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^{62,63,64}。 ○効果の持続性 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⁶⁵。
<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 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。 <ul style="list-style-type: none"> * 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、保水性建材等の表面温度の低下効果等が示されている。 * クールブロックパイプ認定制度 一般社団法人インターロッキングブロック舗装技術協会の定めた認定制度。協会認定機関が、協会が定めた測定方法で測定して、路面温度低減値が8℃以上のものに対して認定する。2016年度時点で13製品が認定されている⁶⁶。 * 大阪ヒートアイランド対策技術認証制度 大阪ヒートアイランド対策技術コンソーシアムが実施する認証制度。認証制度運営委員会が、評価実施機関による評価結果を審査する。「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⁶⁷。 * ヒートアイランド対策認証制度 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⁶⁸。 ○湿潤を保つ 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⁶⁹。 ○日射遮蔽と組み合わせる 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⁵⁸、人が感じる暑さの効果を実感しやすくな

4 地表面等の保水化



	<p>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⁷⁰。</p>
⑤設置・維持管理	<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）⁷¹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）^{71,72}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。
⑥留意事項	<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⁷³。 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⁷³。 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⁷³。
⑦副次的効果	<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⁷⁴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。

⁵⁵ 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

⁵⁶ 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

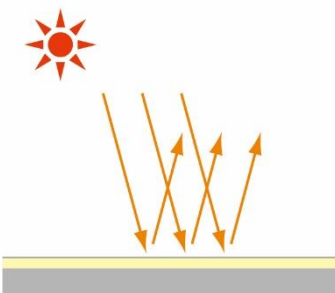
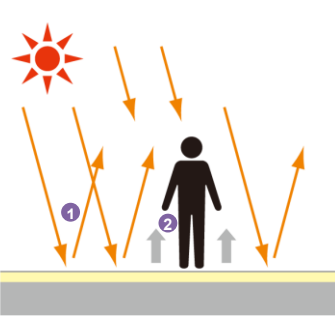
⁵⁷ 三坂ほか、都市内緑地における芝生・舗装面の熱収支実測、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1、669-670、2007

⁵⁸ 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

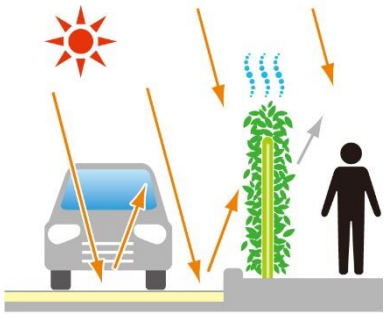
-
- 59 環境省 ETV 実証技術、ベランダ用保水性建材に関する公表結果
- 60 環境省 ETV 実証技術、軽歩行が発生する場合にも適用可能な、屋根・屋上用保水性建材に関する公表結果
- 61 東京都 平成 30 年度海上公園暑さ対策実証実験等実施委託業務報告書
- 62 長野ほか、道路舗装上の体感温度と被験者の心理反応:各種道路舗装材が微気候形成に及ぼす影響その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学 I),865-866,2012
- 63 梅田ほか、太陽光発電による給水方法を用いた保水性舗装に関する実験的研究, 日本建築学会環境系論文集(605), 71-78, 2006
- 64 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
- 65 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
- 66 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
- 67 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
- 68 JIS A 5371 に従う試験で保水性 0.15 g/cm³,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)
- 69 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
- 70 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
- 71 一般社団法人建設物価調査会, 建設物価, 2017 年 11 月
- 72 一般社団法人建設物価調査会, 土木コスト情報 2017 年 10 月
- 73 路面温度上昇抑制舗装研究会, 保水性舗装技術資料, 2011
- 74 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⁷⁵。</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⁷⁶</p>	
<p>②人が感じる暑さ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人が感じる暑さの低減効果</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^{77,78,79,80}。</p> <p>夜間は、日中の蓄熱量が減少し、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^{78,79}でヒートアイランド現象の抑制につながることが期待される。</p> <p>○暑さ指数(WBGT)</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暑さ指数(WBGT)の低減に寄与する。ただし、反射した日射が強くなることで、場合によっては暑さ指数(WBGT)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ため注意が必要⁷⁹。</p> <p>○体感温度(SET)</p> <p>夕刻は、高さ 0.5m 地点の体感温度(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⁷⁹。</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⁸¹。</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⁸²。</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⁸³。</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、車道と歩道の間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⁸⁴。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⁸⁵。 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^{85,86}。 <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⁷⁵。 ブロックを新たに設置する場合は、既設舗装部分との段差が生じないように配慮することが望ましい。
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⁸⁷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⁸⁷。 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⁸⁸。

⁷⁵ 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

⁷⁶ 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

⁷⁷ 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

⁷⁸ 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

⁷⁹ 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

⁸⁰ 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

⁸¹ 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

⁸² 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

⁸³ 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）

⁸⁴ 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

⁸⁵ 一般社団法人建設物価調査会，建設物価，2017 年 11 月

⁸⁶ 一般社団法人建設物価調査会，土木コスト情報 2017 年 10 月

⁸⁷ Pomerantz et al., Durability and visibility benefits of cooler reflective pavements, Lawrence Berkeley National Laboratory Report No. LBNL43443, 2000

⁸⁸ 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人が感じる暑さ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人が感じる暑さの低減効果</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^{89,90}。</p> <p>夕刻以降、緑化面の温度は気温より低くなり⁹¹、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^{89,92}。</p>	
<p>④効果を高める選び方・使い方</p>	<p>—</p>	

6 地表面等の緑化



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⁹³。 ・ 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⁹³。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⁹⁴。 <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⁹⁵。
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。

【ロボット式芝刈り機】

芝生の利用頻度が高い場合、良好な空間を維持するためには、きめ細かな管理が必要です。ロボット式芝刈り機の導入は、省力化のほか、低刈りへの対策にもなります。また、長期的な管理を行う場合、人力管理に比べて、管理費を抑えることができるという試算結果が確認されています⁹⁶。



●2,000㎡の場合の管理費用の比較（単位：円）

	機械を用いた 人力管理(年3回)	ロボット式 芝刈機	差
7年	1,230,623	846,069	384,555
14年	2,461,247	1,692,138	769,109
21年	3,691,870	2,538,206	1,153,664

⁸⁹ 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

⁹⁰ 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

⁹¹ 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

⁹² 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

⁹³ 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

⁹⁴ 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

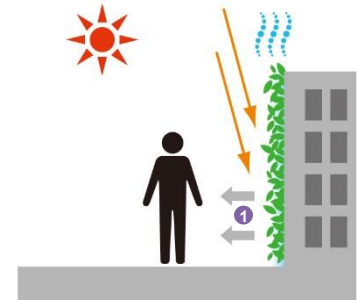
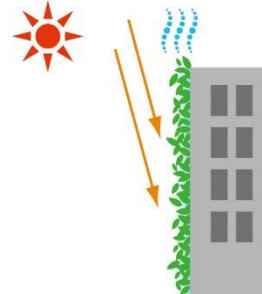
⁹⁵ 公益社団法人日本道路協会、道路緑化技術基準・同解説、平成 28 年 3 月

⁹⁶ 国土交通省、ロボット式と人力（機械刈り）による芝刈り費用の比較について



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人が感じる暑さ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人が感じる暑さの低減効果</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⁹⁷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^{98,99,100}。</p> <p>○暑さ指数(WBGT)</p> <p>緑化冷却ルーバーの場合、日中日陰で高さ 1.5m、幅 5m、ルーバーから 0.3m 離れた場所では暑さ指数(WBGT)が 0.2～0.3 程度低下することが確認されている¹⁰¹。</p> <p>○体感温度(SET)</p> <p>日中、面積約 2m 四方の緑化面から水平方向に 0.5m 離れた地点の体感温度(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¹⁰²。</p>



7 壁面等の緑化



<p>④効果を高める選び方・使い方</p>	<p>○日がよく当たる建物の西面や南面に設置する</p> <p>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。</p>
<p>⑤設置・維持管理</p>	<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¹⁰³。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¹⁰³。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¹⁰⁴。 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¹⁰⁵。
<p>⑥留意事項</p>	<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¹⁰⁵。 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¹⁰⁶。
<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¹⁰⁷ことが期待される。

⁹⁷ 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

⁹⁸ 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，日本緑化学会誌 33(4)，587-595，2008

⁹⁹ 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

¹⁰⁰ 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

¹⁰¹ 平成 28 年度環境省検証事業

¹⁰² 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

¹⁰³ 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

¹⁰⁴ 鈴木ほか，壁面緑化に関する技術開発の動向と課題，日本緑化学会誌 31(2)，247-259，2005

¹⁰⁵ 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

¹⁰⁶ 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

¹⁰⁷ 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¹⁰⁸。

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¹⁰⁹。

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られていました。

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）

¹⁰⁸ 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

¹⁰⁹ 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

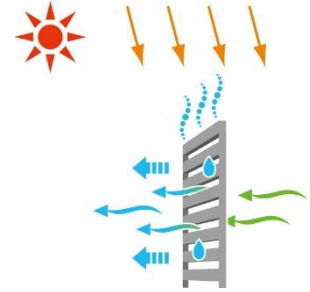
①概要

【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。



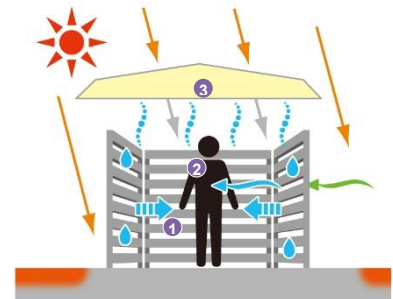
なお、建物ガラス面や建物外側に設置した膜やパネルに親水性を持たせて散水し、建物壁面の温度上昇を抑制する方法や、看板をミスト噴霧で濡らして体感温度(SET)低減の効果を得ようとする試みも見られる。

【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人が感じる暑さ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人が感じる暑さの低減効果

○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¹¹⁰。

○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^{111,112}。

○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^{110,113}。

○体感温度(SET)

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、体感温度(SET)が1～2℃低下することが確認されている^{114,115,116}。</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^{117,118}。</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(SET)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(SET)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。

- 110 平成 28 年度環境省検証事業
- 111 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
- 112 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
- 113 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
- 114 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
- 115 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
- 116 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
- 117 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
- 118 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(SET)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¹¹⁹ことや、体感温度(SET)が 2～3℃低くなる¹²⁰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

¹¹⁹ Nishimura et al., Novel water facilities for creation of comfortable urban micrometeorology, Solar Energy, 197-207, 1998

¹²⁰ 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。

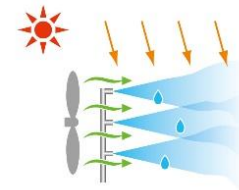
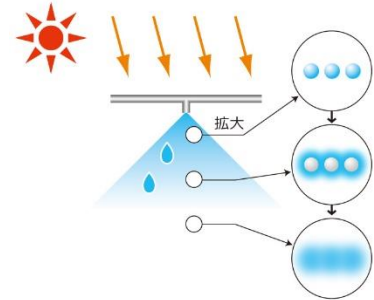
噴霧されるミストの粒子径は、製品によって異なるが 10~30 μm と微細であり、短時間で気化するため人が濡れを感じることなく暑さを和らげることができる。

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

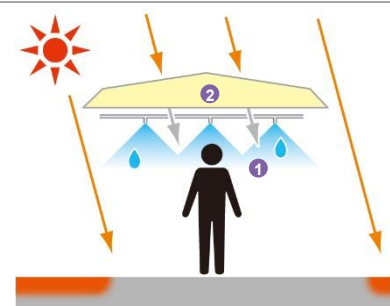


※ 送風ファンと組み合わせた場合

②人が感じる暑さ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。

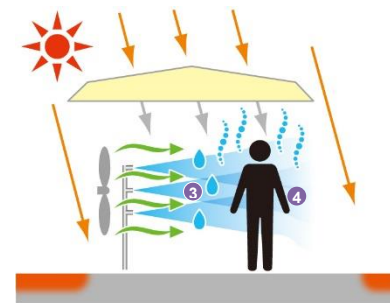
② 日射を遮蔽すると、効果を体感しやすい。



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 (SET) が下がる。



③人が感じる暑さの低減効果

○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¹²¹。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¹²²。

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 程度以上の場合はノズル直下の気温は低下しない^{121,122}。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¹²¹。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○皮膚温の低下 <p>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¹²³。</p> ○暑さ指数(WBGT) <p>微細ミストによって暑さ指数(WBGT)が 0.1～0.3 程度低下することが確認されている^{124,125}。</p> ○体感温度(SET) <p>微細ミストによって体感温度(SET)が 2℃程度低下することが確認されている^{122,126}。</p> <p>送風ファンを併用して微細ミストを飛ばすことで、体感温度(SET)が 3℃程度低下することが確認されている¹²⁷。</p> ○視覚的な涼感効果 <p>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¹²⁸。</p>
<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 <p>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¹²⁹。</p> ○日中に、屋外・半屋外で使用する <p>相対湿度が高い場合には気温の低下量が小さい¹²¹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。</p> ○一定の気象条件の下で稼働させる <p>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^{121,122}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¹²⁹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。</p> <p>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。</p> ○イベント会場等で利用する <p>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。</p> ○送風ファンを併用して特定の場所を冷やす <p>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^{127,130}。そのため、送風ファンの</p>

9 微細ミスト



	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。
⑤設置・維持管理	<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（材料＋施工費）である。 ・ 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¹³¹。 ・ 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。
⑥留意事項	<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も（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¹³²。 ・ 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。
⑦副次的効果	視覚的にも涼しさを提供するため、暑さ対策のアピール効果が期待される。

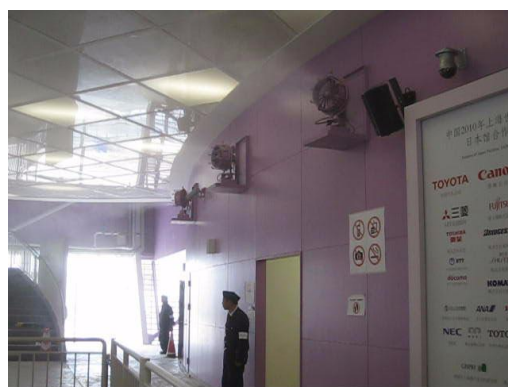
- 121 成田ほか, 微細水ミスト噴霧による気温低下領域の実測超音波風速温度計の多点計測による検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学 I),617-618,2015
- 122 金田ほか, 都市街路空間内でのミスト噴霧による熱環境改善効果に関する実証実験, 空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集(3),2049-2052,2007
- 123 Farnham et al, Evaluation of cooling effects: outdoor water mist fan, Building Research & Information, 43(3), 334-345, 2015
- 124 東京都 平成 30 年度海上公園暑さ対策実証実験等実施委託業務報告書
- 125 東京都 令和 2 年度国際展示場駅前広場暑熱対応設備実証実験委託業務報告書
- 126 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
- 127 平成 28 年度環境省検証事業
- 128 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
- 129 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
- 130 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
- 131 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
- 132 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¹³³。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¹³⁴

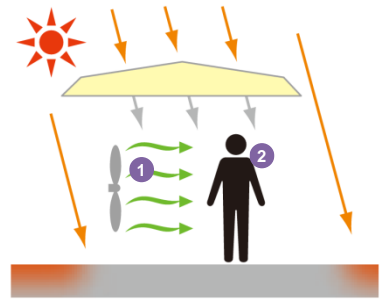
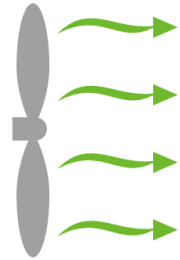
¹³³ 三坂ほか, 微細ミストによる暑熱環境緩和に関する研究 (第 2 報) 半屋外の空間への適用と効果評価, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集(2), 1063-1066, 2011

¹³⁴ 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



空気・からだの冷却

<p>①概要</p>	<p>【特徴】</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>【事例】</p> <p>(イベントなどで) 人や空気が滞留しやすい場所</p>
<p>②人が感じる暑さを下げるメカニズム</p>	<p>1 からだに直接、風を当てる。</p> <p>2 皮膚から放熱して皮膚温を低下させて、体感温度(SET)を下げる。</p> <p>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(SET)の改善も期待できる。</p>
<p>③人が感じる暑さの低減効果</p>	<p>○風速の増加</p> <p>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¹³⁵。</p> <p>○体感温度(SET)</p> <p>上記の風速の増加によって、体感温度(SET)が 2.6~2.8℃ 低下する¹³⁵。</p>



10 送風ファン



<p>④効果を高める選び方・使い方</p>	<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¹³⁶。</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¹³⁷。</p> <p>多方向からの変動気流は快適感を得やすい¹³⁸。</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>
<p>⑤設置・維持管理</p>	<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。
<p>⑥留意事項</p>	<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¹³⁹。 気流を好む人と、逆に好まない人がいる¹⁴⁰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。
<p>⑦副次的効果</p>	<p>—</p>

¹³⁵ 平成 28 年度環境省検証事業

¹³⁶ 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

¹³⁷ 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

¹³⁸ 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

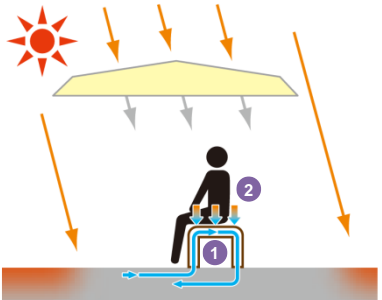
¹³⁹ 斉藤ほか、「涼しさ」を感じる気流に関する屋外での実測とその解析，日本建築学会計画系論文集 (523), 39-44, 1999

¹⁴⁰ 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人が感じる暑さ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人が感じる暑さの低減効果</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¹⁴¹。</p> <p>○体感温度(SET)</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^{141,142}。</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意書きを掲示するなどの対応が望まれる。
⑦副次的効果	—

¹⁴¹ 平成 28 年度環境省検証事業

¹⁴² 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