

## 参考資料：簡易体感温度指標による効果把握

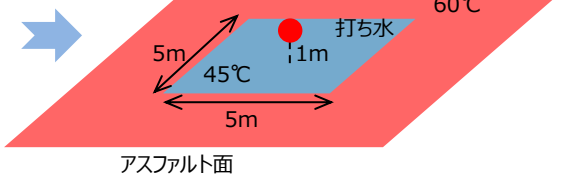
暑さ対策の効果把握するには体感温度への影響を評価します（第5，6章）。

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

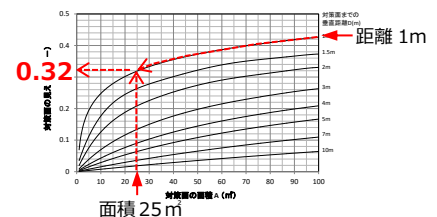
**STEP 3**：路面等の高温化抑制対策の効果(長波放射の低減)を把握 → 25 m<sup>2</sup>が 15℃低下！

長波放射の変化量(ΔMRT<sub>L</sub>)

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

(※1 対策面の見える割合は、面積 25 m<sup>2</sup>と評価点までの距離 1m として「0.32」。右に示すように後述の図 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<sub>S</sub> + ΔMRT<sub>L</sub>)

(※2 風速係数は、風速 0.5m/s のとき「0.6」。右に示すように、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)、<math>h_c</math>：対流熱伝達率(W/°Cm<sup>2</sup>)、<math>h_r</math>：放射熱伝達率(W/°Cm<sup>2</sup>)</p>

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

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

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（ $\Delta$ 気温）を把握したり MRT の変化量（ $\Delta$ MRT）を近似的に推定することは可能です。

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

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

表 3 風速係数（再掲）

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

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

← 1 頁 STEP1

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

## 2. ΔMRT 簡易計算式

### 1) 計算式の概要

ΔMRT 簡易計算式は、対策による短波放射と長波放射の変化量から、MRT のおおよそ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 ( $\Delta MRT_S$ ) と長波放射の変化量 ( $\Delta MRT_L$ ) を足し合わせて求めます。

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

$\Delta MRT_S$  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 ( $\Delta SUN$  : W/m<sup>2</sup>) に短波係数 0.02 (°C・m<sup>2</sup>/W) を乗じて近似的に推定します。

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

$\Delta MRT_L$  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 ( $\Delta MRT_{Li}$ ) は、面  $i$  の表面温度の変化量 ( $\Delta T_{Si}$  : °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。

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

$\Delta MRT_S$  は日射の低減量が大きいくほど、 $\Delta MRT_L$  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： $\Delta MRT_S$

← 1 頁 STEP2

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

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

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

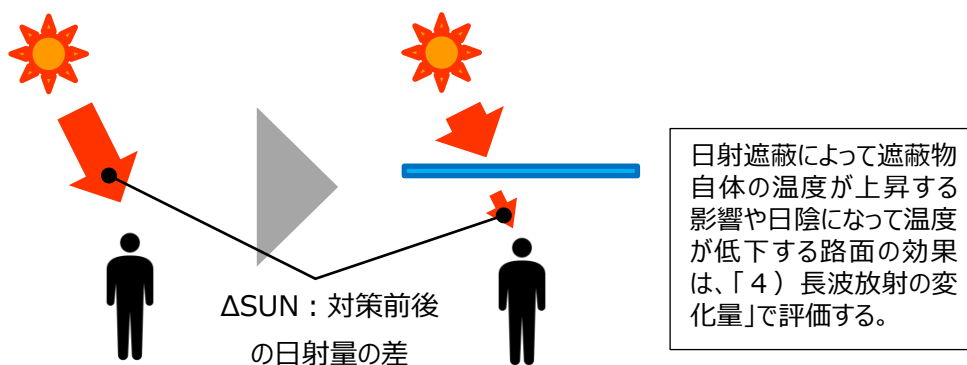


図 1 日射低減対策のイメージ

### 4) 長波放射の変化量： $\Delta MRT_L$

← 1 頁 STEP3

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

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

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

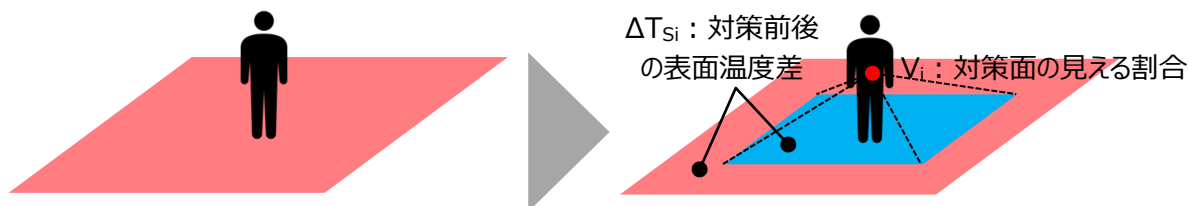


図 2 路面の高温化抑制対策のイメージ

5) 対策面の見える割合： $V_i$

対策面の見える割合とは、評価点から見た対策面が、全球に対してどの程度の割合を占めるかを示すものです。対策面の見える割合の計算は複雑です。等立体角射影方式の魚眼レンズを用いて対策面を撮影することで、その面積から求めることができます。本ガイドラインでは対策面の面積  $A_i$  ( $m^2$ ) 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。

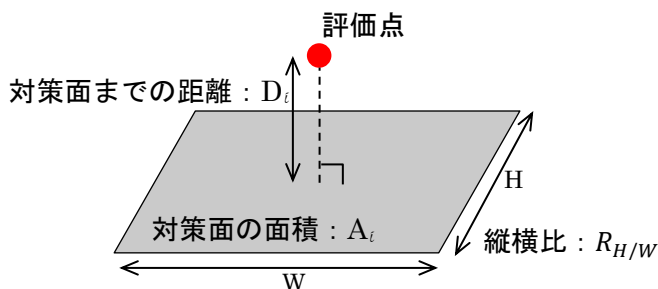


図3 評価点と対策面との関係

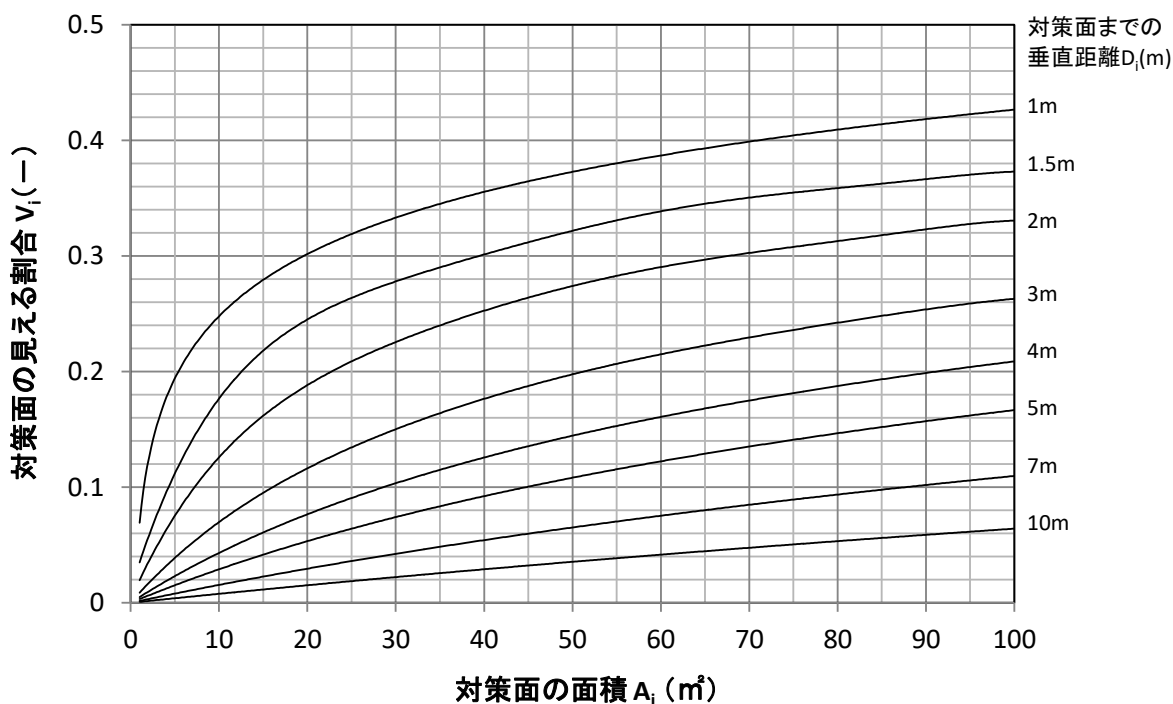


図4 対策面の面積、対策面までの垂直距離と対策面の見える割合（縦横比  $R_{H/W} = 1$  の場合）

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

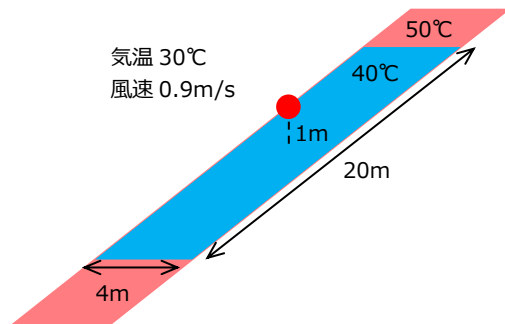
歩道幅 4m、歩道延長 20m に保水性ブロックを整備し保水化、初期表面温 50℃の歩道の温度が 10℃低下する。

■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、 $\Delta T_{\text{気温}} = 0^\circ\text{C}$

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

STEP3：

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

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

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

STEP4：

【簡易体感温度】

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

#### ②歩道の保水化+緑化フェンス

条件：■対策内容

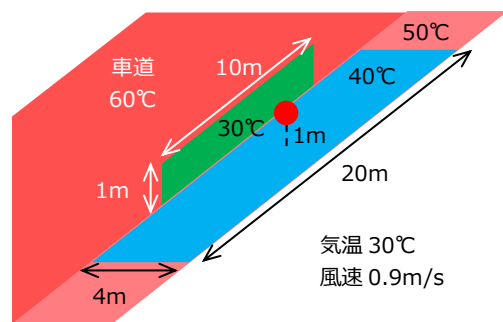
歩道幅 4m、歩道延長 20m に保水性ブロックを整備し保水化、初期表面温 50℃の歩道の温度が 10℃低下する。さらに、車道との間に高さ 1m、延長 10m の緑化フェンスを整備し、表面温度 30℃の葉によって、60℃の車道が遮蔽される。

■対策による変化

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

■計算の条件

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



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

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

STEP3：

【歩道の保水化】

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

【緑化フェンスの整備】

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

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

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

【MRT<sub>L</sub> 合計】

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

STEP4：

【簡易体感温度】

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

### ③テントによる日射遮蔽

条件：■対策内容

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

■対策による変化

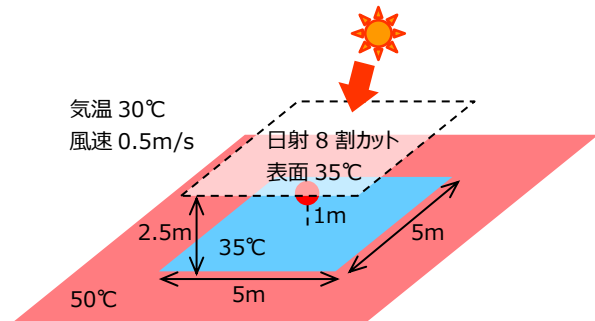
日射透過率 0.2。

路面の温度が 5m×5m 範囲で 50℃ から 35℃ になる。

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

■計算の条件

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



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

STEP2：

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

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



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

STEP3 :

【路面の表面温度低下】

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

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

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

【テント生地 of 温度上昇】

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

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

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

【 $MRT_L$  合計】

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

STEP4 :

【簡易体感温度】

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

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