

参考資料 2 不織布の蒸発冷却作用による体感温度の改善効果の実験結果

1. 目的

不織布の蒸発冷却作用による暑熱適応策としての効果を把握することを目的として実験を行った。蒸発によって冷却された不織布に囲まれた場所が、体感的にどの程度、涼しく感じられるのかを実際に測定して評価した。

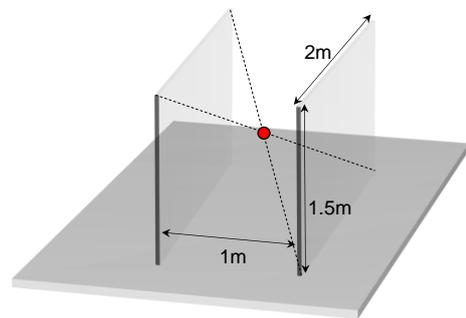
2. 実験場所と実験日時

- 1) 実験場所：日本バイリーン株式会社 研究所（茨城県古河市北利根 7 番地）
- 2) 実験日時：平成 26 年 5 月 30 日

3. 実験方法

不織布を評価点の両側に設置し、不織布に吸水させることで、蒸発冷却による不織布の表面温度低下が評価点の体感温度をどの程度低下させるかを測定する。

なお、評価点に対し、不織布の形態係数が 0.5 以上となるように評価点から不織布までの距離を 0.5m、不織布の大きさを H1.5m×W2.0m とした。



実験は以下の 4 つのケースを実施した。

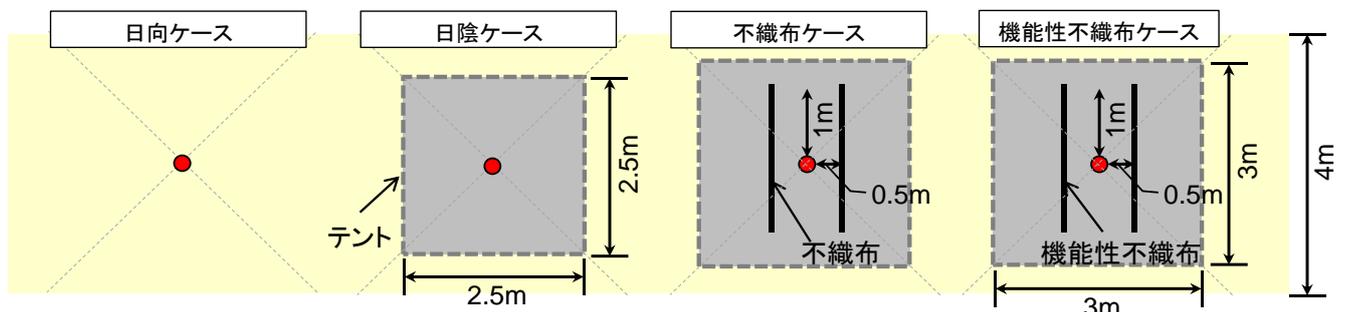
Case1：日向ケース

Case2：日陰ケース

Case3：不織布ケース（日陰）

Case4：機能性不織布ケース（日陰）

機能性不織布とは、光触媒によって超親水性機能を持たせたものである。



吸水については、園芸用のかん水チューブを用い、不織布の上部から給水を行った。また、電磁流量計とバルブを用いて流量調整が可能な方法とした。



図1 実験風景

4. 熱環境測定

測定は、不織布で囲まれた空間の中央付近で、以下の項目について実施した。

- ・ 温湿度（強制通風）
- ・ グローブ温度（ベルノン式）
- ・ 風向風速（2次元超音波）
- ・ 不織布表面温度及び実験場所の地表面温度
（赤外線熱電対とサーモグラフィ）

温湿度センサー、グローブ球、風向風速センサーについては、地上約 80cm の位置に設置した。

また、測定間隔については、風向風速は 1 秒、温湿度、グローブ温度、赤外線熱電対による表面温度測定は 10 秒とした。



図2 熱環境測定

5. 実験手順

実験は、まずは給水開始からの不織布の濡れ面積の広がり方を確認し、次に給水の有無や給水量を変化させ、蒸発しきれないで地面に水滴が落ちる状況や不織布の乾きの状況等を確認し、蒸発に必要な最適な給水量を探った。

給水の有無及び給水量の変化は、以下のように実施した。

なお、ここで扱う給水量は、トータルの給水量であり、各不織布面への給水量の厳密な均一性は確認できていない。また、給水温度については、経時的には測定していないものの、14 時の時

点での給水温度は約 35℃であった。

実験場所は、建物の北側に位置しており、測定機器の設置場所が日向になったのは、11 時少し前であった。

表 1 吸水パターンと濡れ・乾燥状況

| 時刻 | 給水の有無 | 給水量 (L/min) | 給水量 (L) | 滴りと乾きの程度 |
|-------|-------|-------------|----------|-------------|
| 9:40 | 無 | | 0 | 全面乾燥 |
| 10:00 | 有 | 0.8 | 16 | 上部から濡れ、滴り確認 |
| 10:20 | 無 | | 0 | 上部から徐々に乾燥 |
| 11:00 | 有 | 0.8 | 16 | 上部から濡れ、滴り確認 |
| 11:20 | 有 | 0.4 | 10 | 滴り確認 |
| 11:45 | 有 | 0.2 | 9 | 滴り確認 |
| 12:30 | 有 | 0.1 | 4 | 下部から乾燥確認 |
| 13:10 | 有 | 0.15 | 16.5 | 若干の乾燥と微量の滴り |
| 15:00 | 終了 | | 合計: 71.5 | |

6. 測定結果

1) 実験実施時の温湿度と風向風速

日向ケースと日陰ケースの気温と相対湿度の推移を示す。実験開始時の気温は 24℃程度で、徐々に上昇し、実験終了前には 33℃を超えていた。一方、相対湿度は実験開始時に約 50%程度であったものが、実験終了時には 20%近くまで低下していた。

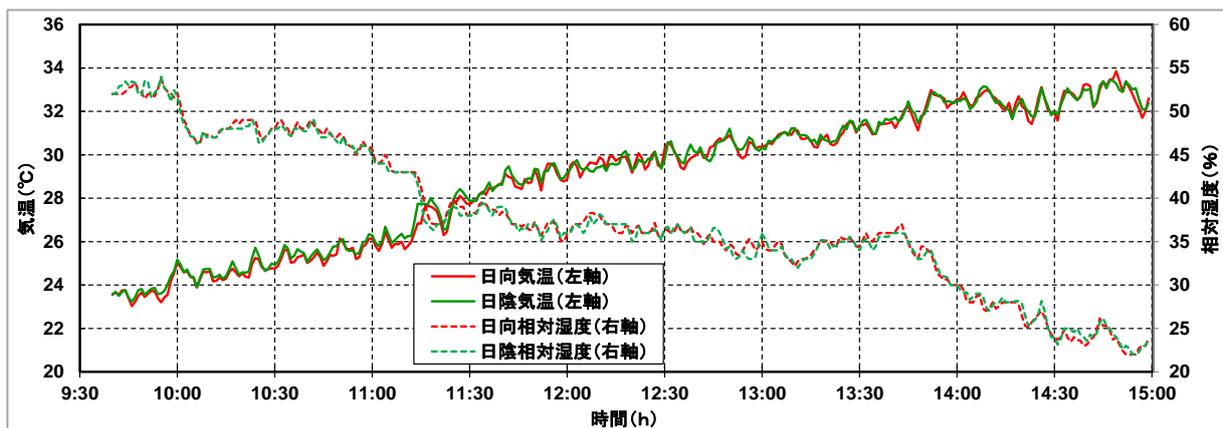


図 3 日向ケースと日陰ケースの気温と相対湿度 (1 分値)

日向ケースの風向は、11 時くらいまでは西よりで比較的安定していたが、その後ばらついていった。風速は 0.5~1m/s 程度の弱い風であった。ただし、14:20 過ぎに一時的に東よりの風で 2m/s 程度となった。

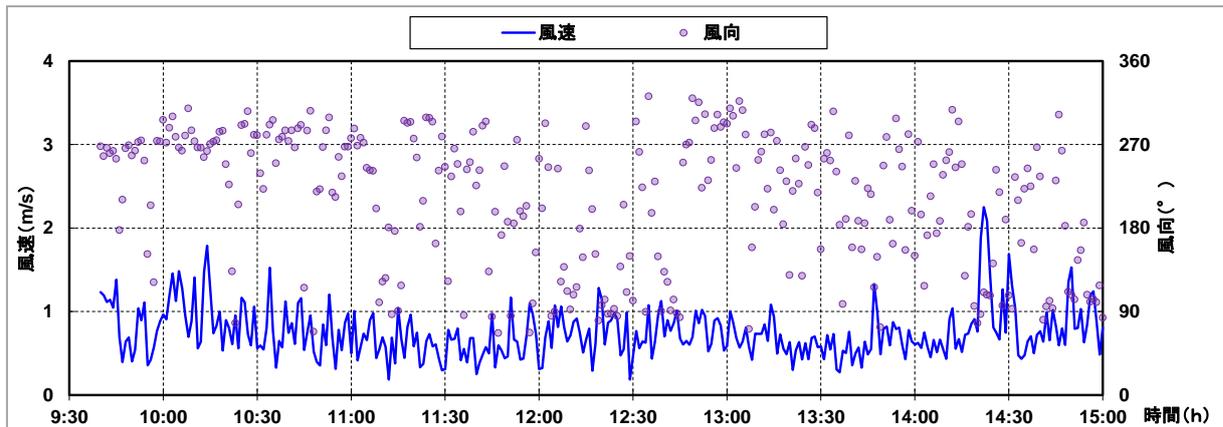


図4 日向ケースの風向風速 (1分値)

2) 冷却不織布が各熱環境要素に及ぼす影響

①表面温度

不織布の表面温度は、給水前は気温相当であったが、給水後に気温より 5℃程度低下した。給水を止めて不織布が乾いてくると、11 時前には再び気温相当に戻り、その後、給水を継続したところ気温との差は徐々に大きくなり、実験終了間際にはその差は最大で 10℃まで拡大した。

不織布と機能性不織布で 1℃程度の違いが見られるが、測定した表面温度は不織布の局所的 (直径 5cm 程度の円内の温度) な値であり、今回の実験では給水の均一性が確認できていないことから、この測定値を持って違いを評価することは適当ではない。

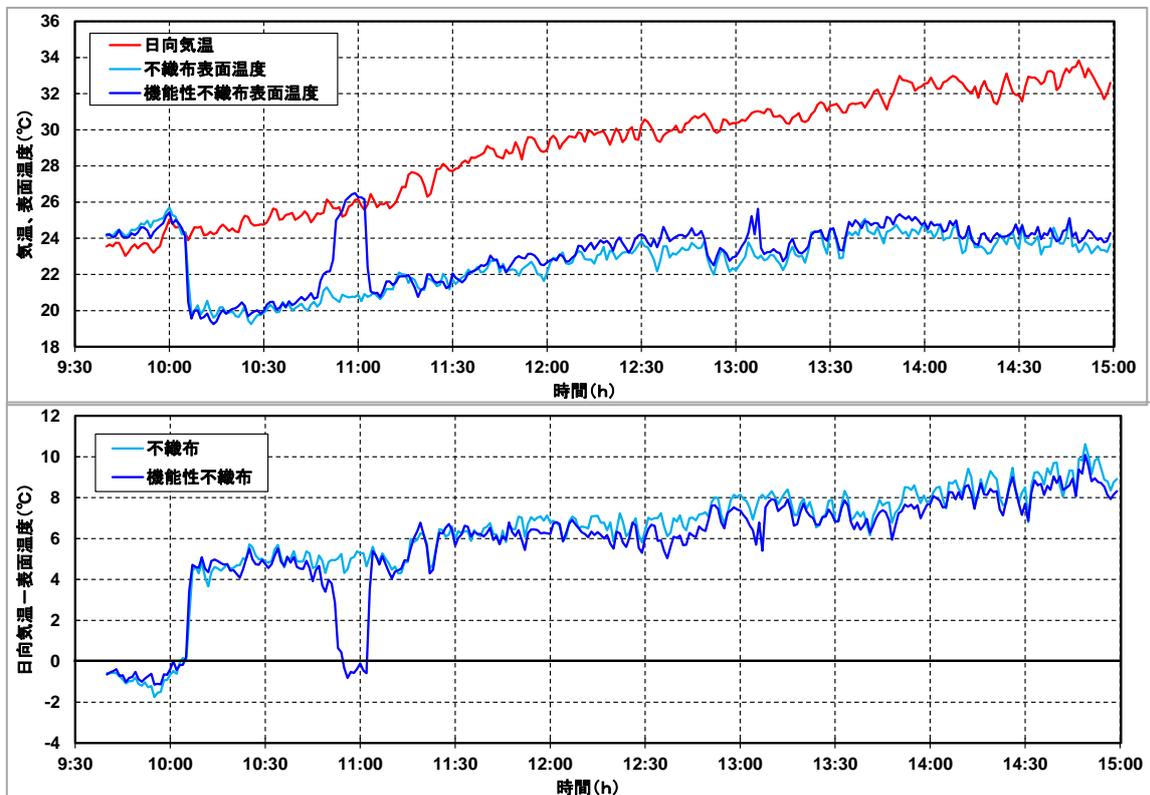


図 5 不織布表面温度（下段は日向ケースの気温との差）

不織布表面はほぼ全面が濡れていたが、表面温度には分布が見られた。特に加工をしていない不織布では、下部に温度の低いところが現れ、上部と比較して1~1.5℃程度低くなっていた。そのため、表面温度の評価には適切な流量の管理と複数点での測定が必要である。



図 6 機能性不織布の表面温度（12：50）

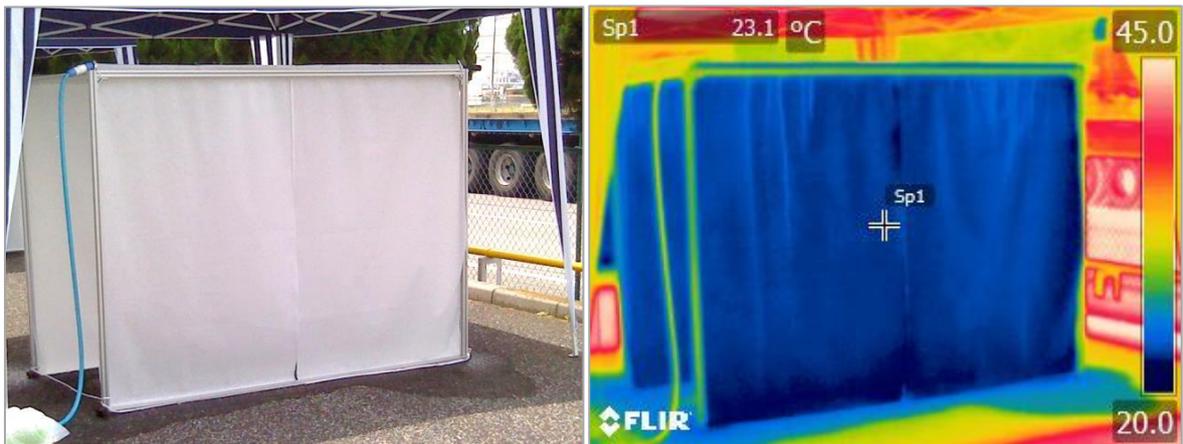


図 7 不織布の表面温度（13：10）

②グローブ温度

各ケースのグローブ温度は、実験開始時は日向ケースが1℃程度高くなっているものの、ほぼ同様の値を示していた。給水開始後に不織布及び機能性不織布ケースは日陰ケースより2℃程度低下し、日射が当たり始めた11時ころより日向ケースのグローブ温度が上昇し、最高で48℃になった。日陰ケースは温度の上昇が抑えられ、最高で39.5℃まで上昇した。一方で、不織布及び機能性不織布ケースでは終始35℃を下回り、人の皮ふ温程度となった。また、相対湿度が30%を下回った14時くらいからは、不織布ケースより機能性不織布ケースの温度が最大で0.7℃低下していた。その結果、日向ケースと機能性不織布ケースでは最大で約14℃の違いとなった。

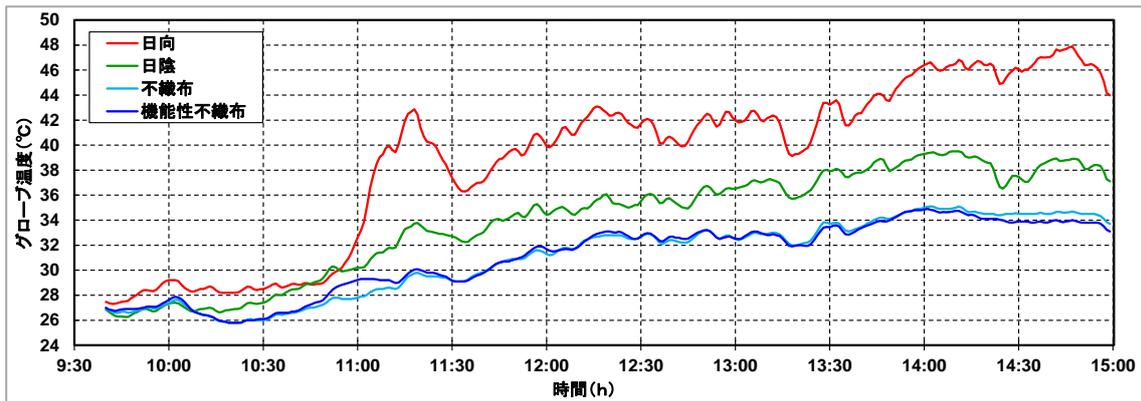


図8 各ケースのグローブ温度

③気温

実験開始直後は各ケースともにほとんど差が見られなかったが、給水後、不織布及び機能性不織布ケースの気温が低くなる傾向が見られた。日向気温と不織布の表面温度の差は午前中は0.5°C程度、午後は1°C程度と拡大し最大で1.5°C、不織布の表面温度が低かった。

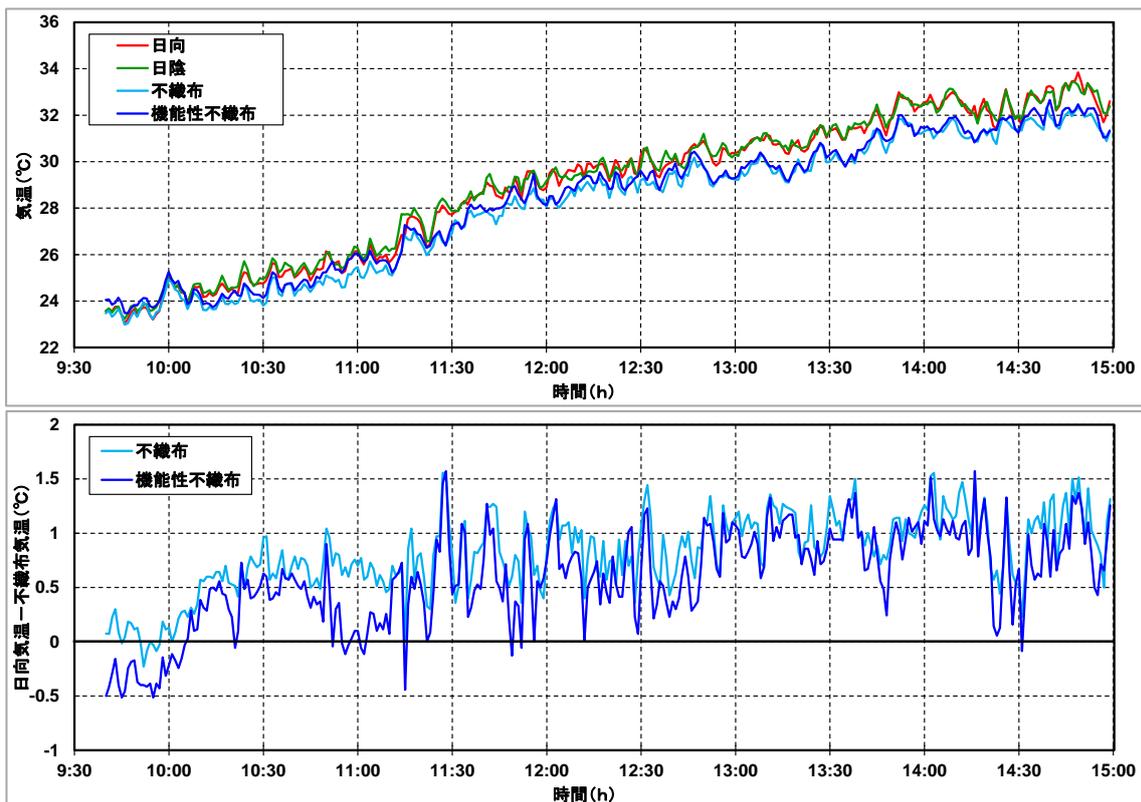


図9 各ケースの気温（下段は日向気温との差）

④湿度

相対湿度については、給水開始後、不織布及び機能性不織布ケースで3%から最大で7%程度高くなっていた。

絶対湿度については、不織布及び機能性不織布ケースで $0.5\text{g}/\text{m}^3$ 程度、最大で約 $1.5\text{g}/\text{m}^3$ 高くなっていた。なお、飽和水蒸気圧を求める際には tetens の実験式を用いた。

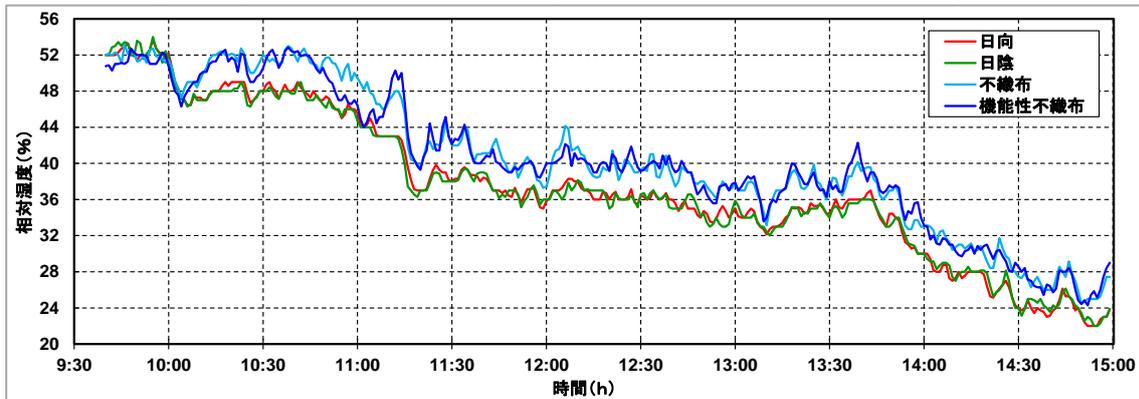


図 10 各ケースの相対湿度

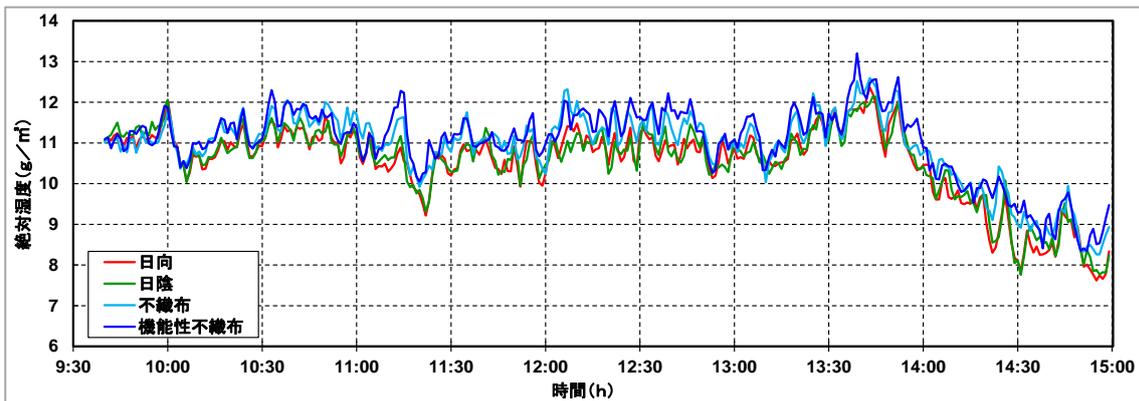


図 11 各ケースの絶対湿度

⑤風速

風速については、日向ケースと日陰ケースが $0.5\sim 1\text{m}/\text{s}$ 程度であったのに対し、不織布及び機能性不織布ケースでは両面が不織布で覆われているため $0.2\sim 0.4\text{m}/\text{s}$ と弱くなっていた。

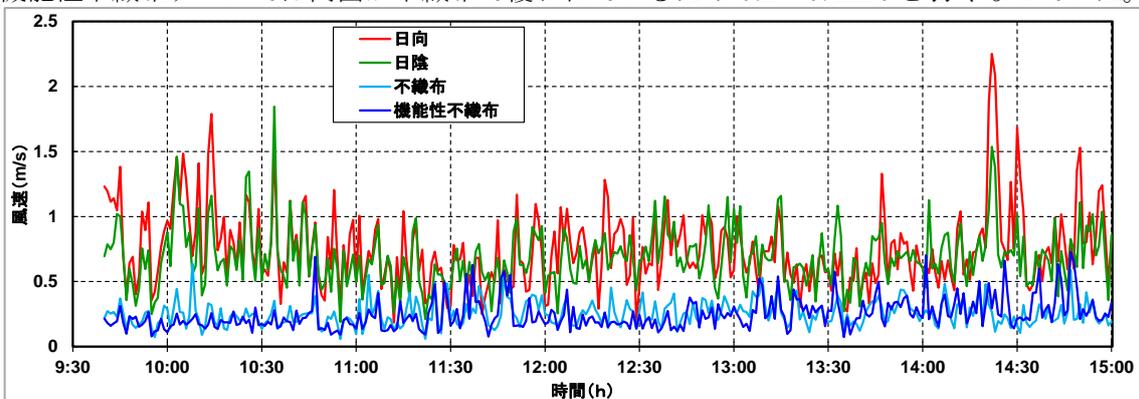


図 12 各ケースの相対湿度

3) 冷却不織布が体感温度の改善に及ぼす効果

冷却不織布によって放射熱や気温が低下することが確認され、人の体感温度が改善されることが期待される。一方で湿度が上昇し、風速も低下しており、体感温度の観点からは暑く感じやすい可能性がある。そのため、各熱環境要素を総合的に評価する体感温度の指標を用いて評価した。

①WBGT

熱中症予防のための暑さ指数として使われている WBGT で評価したところ、午後には日向ケースでは警戒域に相当する 25°C 以上となっていた。また、日陰ケースは 13:30 から 30 分間程度、 25°C 以上となっていた。不織布及び機能性不織布ケースでは終始 25°C を下回っていた。

日向ケースとの差分で見ると、日陰ケースは日向ケースよりも $1\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ 程度低く、不織布及び機能性不織布ケースは日陰ケースよりも $0.5\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ 程度低くなっていた。日向ケースと不織布及び機能性不織布ケースを比較すると、最大で 3°C 程度の WBGT 低減効果が見られた。

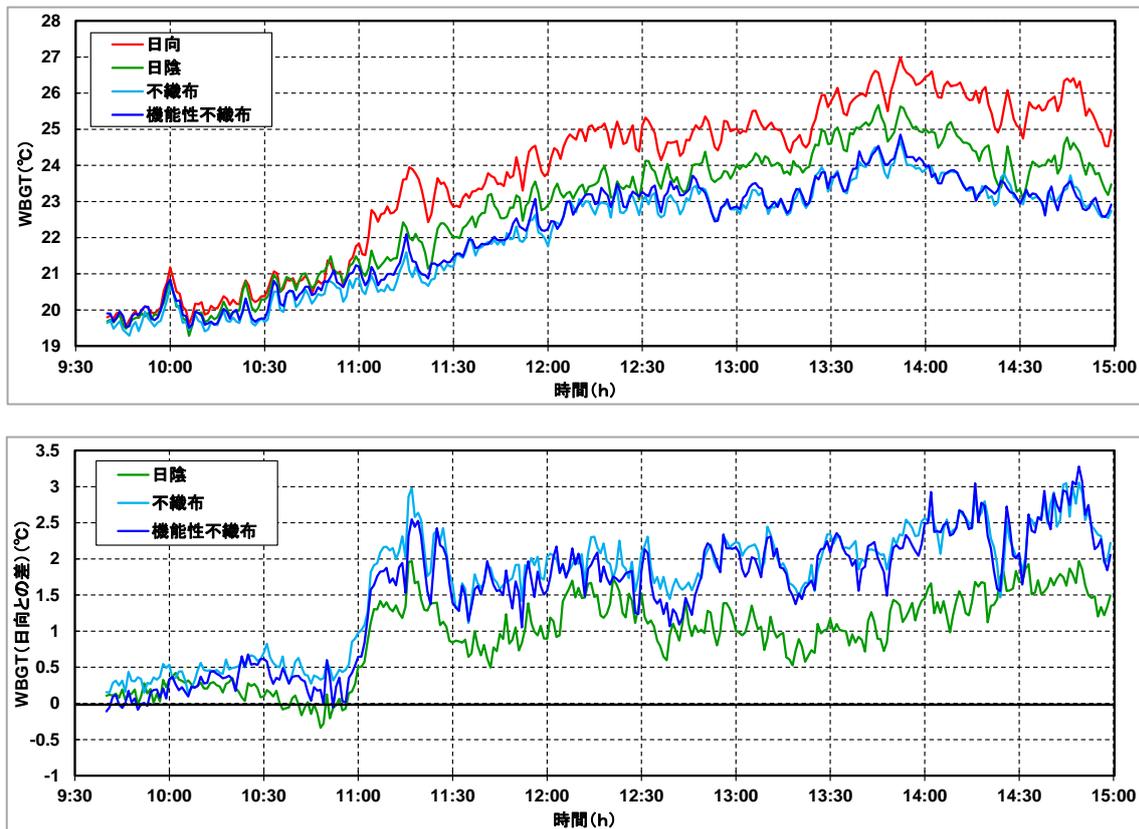


図 13 各ケースの WBGT (下段は日向ケースとの差)

②SET*

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

日向ケースは最高で 37°C程度となった。また、日陰ケースは最大で 34°C、不織布及び機能性不織布ケースでは 32°C以下であった。

また、日向ケースとの差分で見ると、日陰ケースは日向ケースよりも 2~4°C程度低く、不織布及び機能性不織布ケースは日陰ケースよりも 1~3°C程度低くなっていた。日向ケースと不織布及び機能性不織布ケースを比較すると、最大で 8°C程度の低減効果が見られた。

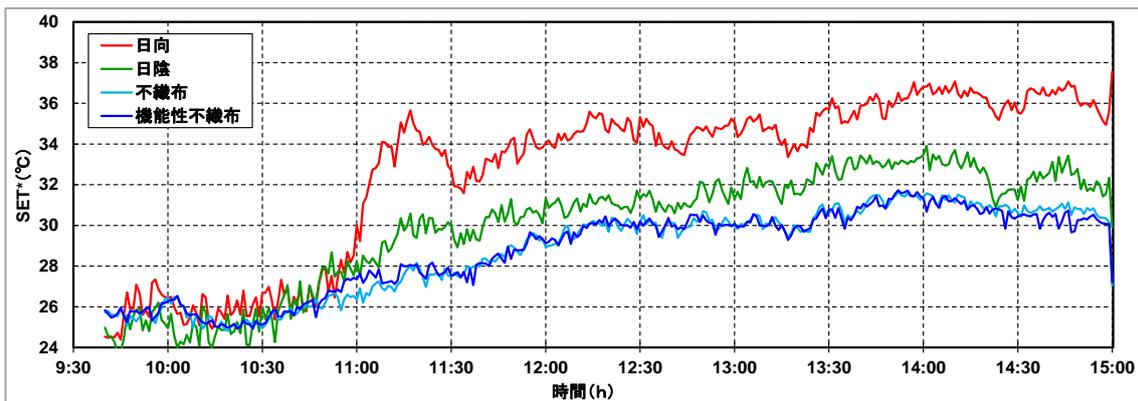


図 14 各ケースの SET*

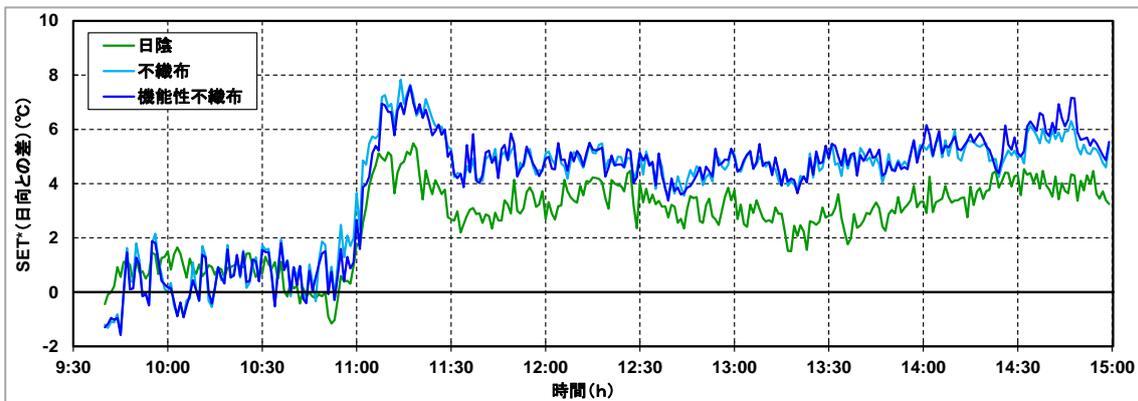


図 15 SET*の低減効果（日向ケースとの差）

7. 考察

1) 不織布の冷却に影響を及ぼす熱環境要素

今回の実験では、給水中の不織布の表面温度の低下は、気温に対して 5℃から 10℃と、2 倍程度の違いが確認された。水分の蒸散の程度に影響する要素として、短時間の変動には風速が関係していると考えられるが、主たる要素としては湿度が影響しているものと考えられる。そこで蒸発しやすさの目安となる乾球温度（気温）と湿球温度の差を指標として、気温と不織布表面温度の差との関係を示した。

図からは良好な関係が確認され、相関係数は 0.94 となった。実験当日はかなり相対湿度が低く、乾球温度と湿球温度の差が最大で 14℃以上になったため、不織布表面温度が気温より 10℃も低下した。しかし、日本の夏の日中の乾球温度と湿球温度の差は一般的には 7~8℃で、大きくても 10℃程度である。そのため、夏季には不織布の表面温度は気温より 5~6℃程度、低下すると期待できる。

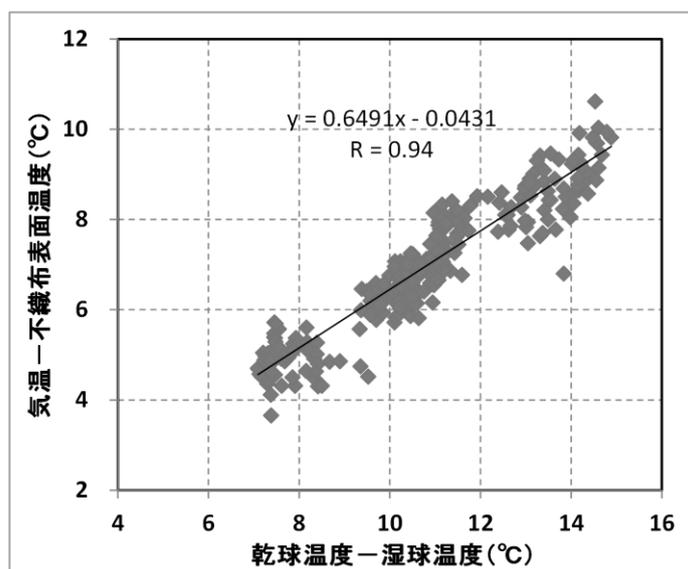


図 16 不織布の表面温度の低下に及ぼす湿度の影響

2) 適切な給水量

今回の実験を行った気象条件のもとでは、13 : 10 からの 150ml/min 程度の給水量が、水の滴りが少なく、無駄の少ない効率的な量であった。この給水量を不織布単位面積当たりになると、25ml/(min・㎡)、1.5L/(hr・㎡)となる。ただし、上述のとおり実験の実施日は不織布から水分が蒸発しやすい気象条件であったことから、あくまで目安としての値であることに留意する必要がある。

なお、この 1.5L/(hr・㎡)を潜熱量に換算すると 940W となり、今回の実験で使用した不織布 1 面 (1.5m×2m=3 ㎡) で 2.8kW と、ほぼ家庭用エアコン 1 台分の冷却能力を有していることが分かる。

3) 機能性不織布の効果

今回の実験では、各不織布面への給水の均一性を確認していないため、冷却効果に関する厳密な評価はできない。ただし、目視によって不織布面の濡れ方の違いが確認できたため、状況を記しておく。

不織布、機能性不織布ともに一定量以上の給水を行えば、全面的に濡れ、表面温度の低下の程度には大きな差は見られなかった。しかし、濡れた不織布の表面を観察すると、機能性不織布には全くムラが見られないのに対し、不織布には表面に水の通り道が確認できた。このことから、不織布表面の水の広がり方は、機能性不織布の方が均一である可能性が考えられる。

14時以降に相対湿度が30%を下回ったときに、機能性不織布のグローブ温度の低下が促進されたが、蒸発が著しく促進される条件のもとでは、機能性不織布の蒸発性能の高さが効果を発揮した可能性がある。今後、給水量や水の滴りなどを厳密に測定し、機能性不織布の効果进行评估することなどが課題である。



機能性不織布

不織布

図 17 濡れた不織布の表面