

## 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-

1123310 鈴木 麻美 1123315 仙田 啓太

指導教員 成田 健一

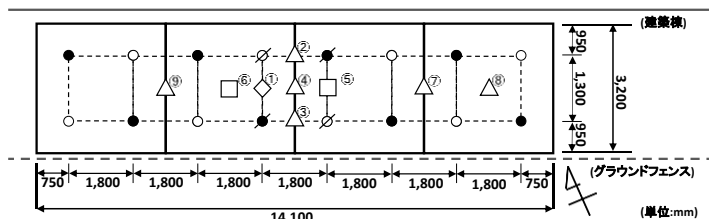
**1. 研究目的** 微細水ミスト(以下ミスト)とは、微粒子化した水を人工的に噴霧することで水分蒸発による気化熱の吸収を引き起こし、周囲の気温を低下させる気化冷却装置である。これまでの研究では、ミスト噴霧による気化冷却の具体的な要因が明らかになっているとは言い難い。また、暑熱緩和効果は実際の気温低下と皮膚が濡れる効果が複合していると思われ、その詳細は未だ不明である。気化冷却の要因、及び暑熱緩和効果のメカニズムを解明することができれば、ミスト噴霧冷却装置のより適正な設計手法の確立が可能になる。昨年度はミスト噴霧による気温低下域の実測を超音波風速温度計の多点計測によって検討した。今年度はミスト噴霧による気温の瞬時変動の測定に加え、気温低下と皮膚表面の冷却効果に伴う体感評価の検証を被験者実験によって行った。

**2. 実験概要** 本学建築棟南側に実験サイトを作成した。実験サイトは幹線道路の歩道空間に見立て、幅3.2m、長さ14.1m、高さ2.5mとした。風の影響をコントロールするために建築棟側と屋根面にプラスチック製の波板を取り付けた。ミストノズルは2.5m高さに1.8m間隔で2列、計16個取り付けた。外気温、湿球温度、湿度、日射量を測定するため実験サイトの東側に、アスマン式通風乾湿計、温湿度データロガー、及び全天日射計を設置した。アスマン式通風乾湿計は熱電対を用いてデータロガーにつなぎ、超音波風速温度計と共に温度、3成分風向・風速の変化を1秒毎に記録した。

**2-1. 気温低下量の測定** 超音波風速温度計を9台用いて、気温の変動を測定した。測定期間中ノズルは16個、8個、4個の順に変更した。また、ノズル数4個ではミストの粒径を20 $\mu$ m、40 $\mu$ m、50 $\mu$ m、60 $\mu$ mの順にミストノズルを交換することで変更し、測定を行った。ミストノズルと超音波風速温度計の配置は図1に示す。測定の流れは、記録開始30分後にミストを2時間噴霧、その後30分間のミスト停止を繰り返し、ミスト停止から30分後に記録を終了する。

**2-2. 被験者実験** ミスト噴霧による涼しさを椅座状態で体感評価した。人による体感の違いを考慮し被験者は計5名、条件を統一させるため服装は指定の半袖、半ズボンとした。視覚による冷却効果の影響を避けるため、目を閉じて評価を行った。評価は涼しさを全く感じない1から非常に強く感じる5までの5段階とした。涼しさを評価してもらうためのスイッチをデータロガーにつなぎ、1秒毎に申告値を記録した。ミスト噴霧によって肌が濡れることによる蒸発冷却効果の検証を行うため、赤外線放射カメラを使用し表面温度変化の動画と3秒毎の熱画像を取得した。ミストノズルは5個、粒径は20 $\mu$ m、30 $\mu$ m、40 $\mu$ mの3種類を使用した(図2)。超音波風速温度計は9台、それぞれ被験者の周囲に配置した(図3)。過去の実験により、25%以上の日射遮蔽を行うことで、より効果的なミストの冷却効果が得られるという事が判明しているため、屋根面に葦簀を設置し日射を63%遮蔽した。実験の流れは、予め超音波風速温度計による記録を開始する。赤外線放射カメラの動画と画像の記録を開始、1分後にミストを10分間噴霧、その間の瞬時瞬時の涼しさを申告してもらう。過去の実験から気温25 $^{\circ}$ C以下でのミスト噴霧は不快になるということが判明しているため、測定条件は気温25 $^{\circ}$ C以上とした。

**3. 気温低下量測定結果・考察** 気温低下量2 $^{\circ}$ C以上の持続時間分布を図4に示す。ミストノズル16個、粒径20 $\mu$ m、風速1m/s未満の環境で、図1、①の地点での気温低下持続時間を湿度34.6%、75.5%とで比較する。



○ミストノズル16個 △超音波風速温度計(2,000mm)  
●ミストノズル8個 △超音波風速温度計(1,500mm)  
◇ミストノズル4個 □超音波風速温度計(750mm)

図1 ミストノズルと超音波風速温度計の平面配置

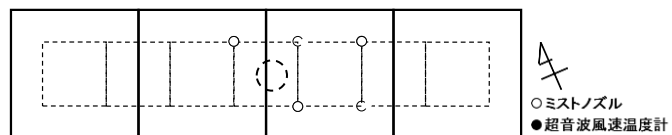


図2 被験者実験時のミストノズルの平面配置

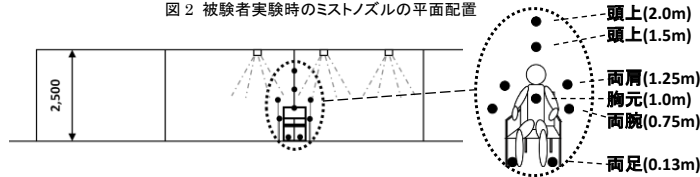


図3 被験者実験時のミストノズルと超音波風速温度計の配置

1123315 仙田 啓太 1123310 鈴木 麻美

湿度の高い環境でミスト噴霧を行うと、気温低下出現率(=気温低下総時間/実験時間×100)は低下するが持続時間が長くなるのがわかる。これは、高湿状態ではミストが蒸発しづらく徐々に蒸発するため、冷却された空気がよりその場に留まるからと思われる。

図1、①の地点での風速と相対湿度、及び気温低下2℃以上の気温低下出現率との関係を図5に示す。図中の丸で囲った部分のように、風速・湿度条件が類似しているにも関わらず、気温低下出現率が大きく異なるものがあった。これらについて日射量を含めて相関を検討した(図6)。上記のように条件が類似していたものでも、日射量が多くなると気温低下出現率が低くなった。しかし、日射量が多いにも関わらず、気温低下出現率が高くなるケースもあった。また、湿度の高い環境や、強風時は気温低下出現率が低くなると予想していたが、どの地点でも20~40%程度の気温低下が起きた。上記のことからミスト噴霧による冷却効果がどのような環境によって変化するのか明確な関連性を見つけることはできなかった。

**4. 被験者実験の結果・考察** 全被験者実験で得られた気温低下量の平均値を部位毎に求め粒径別に比較したグラフを図7に示す。粒径が大きくなるに従い、気温低下量も大きくなるのがわかる。小さい粒径では広く均等な気温低下が見られるのに対し、粒径が大きくなると地面に近い部位の気温低下が大きくなり、上半身と足元の気温低下量の差が顕著になった。これは冷気が下方に流れるという性質に加え、足元は冷気が逃げにくく、ミストが長く空気中に留まるためだと考えられる。

気温低下と被験者が反応した申告値の相関係数を粒径別に比較したグラフを図8に示す。申告値は粒径が大きいほど涼しいと反応する割合が高くなった。図7,8を比較すると気温低下量が大きくなる部位は足元であるのに対し、体感に最も影響を与えているのは上半身という結果となった。ミストの冷却効果を期待していた皮膚表面温度の相関係数は他の部位に比べると一番低く、人は涼しさを皮膚表面温度より、主に上半身周辺の気温で体感していることがわかる。

**5. まとめ** ミスト噴霧による気温低下の持続時間は瞬時的なものであったが、湿度の高い環境になると気温低下の持続時間が長くなった。ミスト噴霧による暑熱緩和は、皮膚表面に付着したミストの気化反応による冷却効果を期待していたが、今回の実験では皮膚表面温度より、周辺気温の低下量が大きかった。また、反応が大きかったのも皮膚表面温度以上に周辺気温であった。

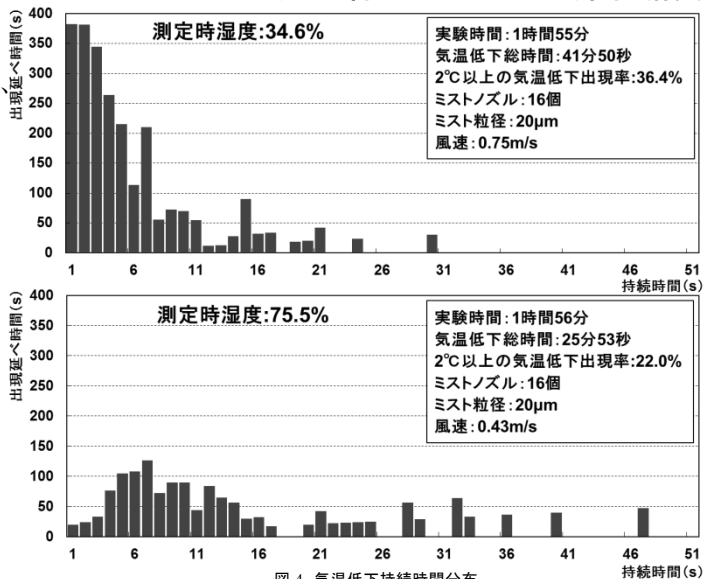


図4 気温低下持続時間分布

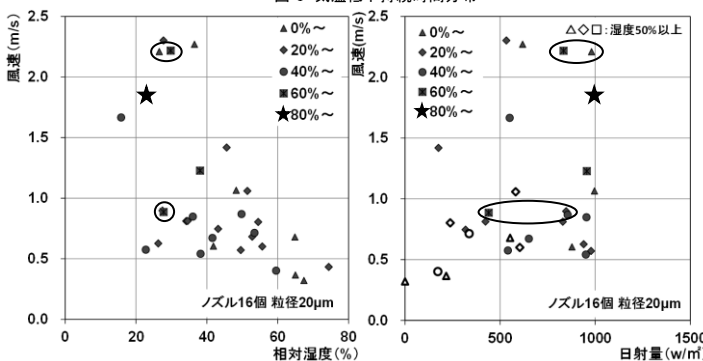


図5 気温低下出現率散布図 (風速・相対湿度相関)

図6 気温低下出現率散布図 (風速・日射量相関)

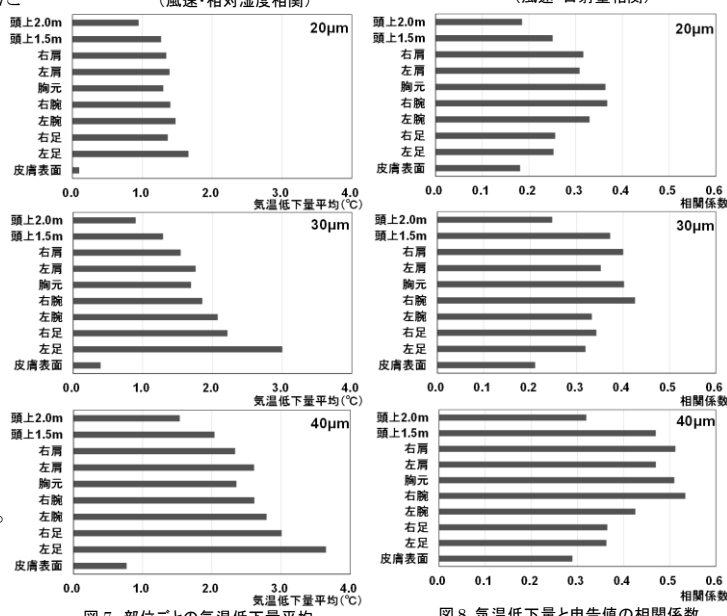


図7 部位ごとの気温低下量平均

図8 気温低下量と申告値の相関係数