

ミスト付き送風ファンの効果的な運用方法の検証及び啓発資料の作成について

小田切幸次（横浜市環境科学研究所）

Regarding the verification of the operation method of the misting fan and the creation of awareness materials

Koji Otagiri (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：ミスト、送風ファン、WBGT、啓発用チラシ

要 旨

ミスト付き送風ファンの適切な使用方法や効果的な運用を把握するため、様々な事例を用意し、暑熱緩和効果の検証を実施した。検証の結果、ミスト付き送風ファンを2台運用した場合や送風ファンの風量を強くした場合は、暑熱緩和効果が高いこと、ミスト付き送風ファンを日なたに設置した場合や距離を5 m以上離れた場合は、効果が弱まってしまうことなどが分かった。また検証結果に基づき、ミスト付き送風ファンの効果的な使用方法を記した啓発資料を作成し、庁内でミスト付き送風ファンを貸出ししている部署に向けて周知した。

1. はじめに

ミスト付き送風ファンは、扇風機にミストを噴霧する装置を組み合わせた機器で、内部に水タンクを搭載しているため、送風しながらミストを噴霧することが可能である。ミストを併用することによって、ファンで送風するだけよりも涼しく感じる効果があり、屋外でエアコンが使用できない現場や夏季のイベント会場でのクールスポットで活用されている。

一方、環境省のまちなかの暑さ対策ガイドライン¹⁾では、ミスト及び送風ファンはともに、「空気及びからだの冷却」として作用する手法であると整理されており、ミストは噴霧直後に蒸発する際の気化熱により気温を下げ、送風ファンは空間の熱だまりを解消する効果があるとされている。

今回、ミスト付き送風ファンの適切な使用方法や効果的な運用を把握するため、複数の事例に基づき、ミスト

付き送風ファンを用いた暑熱緩和効果の検証を実施した。また検証結果の活用として、庁内でミスト付き送風ファンを貸出ししている部署に向けて、ミスト付き送風ファンの効果的な使用方法を記した啓発資料を作成したことについても併せて報告する。

2. 方法

2-1 調査の実施場所及び実施日

調査はミスト付き送風ファンを所有する横浜市消防局消防訓練センターの協力のもと、横浜市戸塚区内にある同センター内の敷地を実施場所として行った（図1）。

消防訓練センターは、横浜市南西部に位置しており、海岸からの直線距離は最も近い相模湾から約9.5 km、標高は約43 mの丘陵地帯に位置する。周辺は樹木、田畑などの緑地が比較的多く、住宅地も点在している。調査は消防訓練センター敷地内のうち、約1,100 m²ある小訓練



図1 消防訓練センターの位置及び調査場所（小訓練場）の外観

場の一部を使用した。測定機器の設置場所は、地表面がアスファルト舗装であり、周囲は東側及び南側に建物、西側及び北側は敷地の境界に樹木が植えられているが、それぞれ離れた場所に位置しているため、周囲の構造物からの測定への影響は少ないと考えられる。調査日としては2023年8月10日、16日の計2回調査を実施したが、8月16日は午後に天気が急変し、調査を途中で中止したため、解析は8月10日の結果のみを用いた。

2-2 ミスト付き送風ファンの概要

調査で使用したミスト付き送風ファンの概要を表1、外観を図2に示す。なお、当機器のミスト粒子の粒径は10~30 μmで、セミドライフォグ(比較的蒸発しやすく、周囲が濡れにくい粒子径)に分類される。

表1 ミスト付き送風ファンの概要

メーカー	(株)いけうち
機種	CLJ-CSA
電源	AC100V
寸法	W60cm×D110cm ×H100cm
重量	44 kg(空水時)
タンク容量	50 L
ノズル数	6個
ミスト粒子径	10~30 μm
噴霧量	14.2 L/h
送風量	165 m ³ /min



図2 ミスト付き送風ファンの外観

2-3 測定機器の仕様・測定間隔

測定機器の仕様及び測定間隔を表2に示す。このうち、気温及び相対湿度は、温度・湿度センサーを自作の自然通風式シェルターに格納し、気象庁の温度計設置の基準²⁾に準拠して、地表面から高さ約1.5 mの位置で測定を行った。黒球温度は、温度センサーを直径約15 cmの銅製の黒球((株)安藤計器製工所製CK-150)の中心に格納し、地表面から高さ約1.5 mの位置で測定を行った。なお、黒球の表面はほとんど反射しない黒い塗料が塗られているため、黒球温度は直射日光にさらされた状態での球の中の平衡温度を示し、弱風時の日なたでの体感温度と良い相関があるとされる³⁾。風向風速について、高さの規定はないが、周辺の地物の影響を受けないことが望ましいとある²⁾。このため、風向風速計は観測機器の近傍にある自然通風式シェルターの影響を受けないよう、三脚に取り付けたものを、地表面から高さ約1.6 mの位置に固定した。上(天空)と下(地表面)からの日射量及び下(地表面)からの赤外放射量は、地表面からの影響を測定することが主であるため、日射計及び赤外放射計を地表面から高さ約0.3 mに設置し、測定を行った。測定機器の設置状況の一例を図3に示す。

そのほか、各事例の検証を開始してから概ね10分後に、観測機器の遠景及び近景を赤外線サーモグラフィカメラで撮影した。



図3 測定機器の外観

表2 測定機器の仕様及び測定間隔

測定項目	メーカー	型番	測定範囲	測定精度	測定分解能	測定間隔
気温・黒球温度	(株)T&D	TR-52i	-60~155℃	±0.3℃	0.1℃	1分
相対湿度	(株)T&D	TR-72wf	10~95%RH	±5%RH	1%RH	1分
風向	NIELSEN-KELLERMAN	Kestrel 4500/5500	0~360°	±3°	1°	1分
風速	NIELSEN-KELLERMAN	Kestrel 4500/5500	0.4~40 m/s	±3%	0.1 m/s	1分
日射量	Hukseflux	LP-02	0~2000 W/m ²	±5%	—	1分
	Hukseflux	CHF-SR05-A	0~2000 W/m ²	±5%	—	1分
赤外放射量	Hukseflux	IR-02	-300~300 W/m ²	±10%	—	1分
地表面温度	A&D(株)	AD-5635	-38~365℃	±2.5%	0.1℃	30分
熱画像	日本アビオス(株)	R500S	-40~120℃	±2℃	0.03℃	30分

検証事例	対策なし (日なた)	対策あり (日なた)	対策あり (日陰)
① 送風ファンのみ 	○		○
② ミスト併用 	○	○	○
③ ミスト付き送風ファンの首振りの有無 (有、無の2パターン) 	○		○
④ ミスト付き送風ファンとの距離による違い (1.5 m、3.0 m、5.0 mの3パターン) 	○		○

検証事例	対策なし (日なた)	対策あり (日なた)	対策あり (日陰)
⑤ ミスト付き送風ファンの風量による違い (弱、中、強の3パターン) 	○		○
⑥ 2台運用 (ミスト併用) の場合 	○		○

図4 ミスト付き送風ファンの検証事例

2-4 ミスト付き送風ファンの検証事例

ミスト付き送風ファンの適切な使用方法や効果的な運用を把握するため、図4に示した各事例について検証を実施した。各事例では、図3に示した測定機器を「日なたかつミスト付き送風ファンによる対策をしていない地点(図4では「対策なし(日なた)」と表記)」、「テント下の日陰かつミスト付き送風ファンによる対策をした地点(図4では「対策あり(日陰)」と表記)」の2か所に置き、暑熱緩和効果の差について検証した。なお、図4の②の検証については「日なたかつミスト付き送風ファンによる対策をした地点(図4では「対策あり(日なた)」と表記)」でも測定を行い、同じ対策を日なたと日陰で実施した場合の暑熱緩和効果の違いについても検証した。また図4に特記した場合を除き、ミスト付き送風ファンと測定機器との距離は1.5mとし、首振り機能は使用せず、風量は中とした。そのほか、各事例での測定時間は15分、各事例終了後に10分の平衡化の時間を設けた。

2-5 WBGTの算出

暑さ指数(WBGT: Wet-Bulb Globe Temperature)は熱中症予防を目的として、1957年にYaglou⁴⁾らによって提案された指標である。これは人体と外気との熱収支に着目した指標で、人体の熱収支に与える影響の大きい湿度、日射・放射などの周辺の熱環境、温度の3つを取り入れたものである。WBGTは労働環境や運動環境の指針として有効であると考えられており、日常生活における熱中症予防指針⁵⁾や熱中症予防のための運動指針⁶⁾に採用されている。両指針で示されているWBGTに応じた注意事項を図5に示す。また、労働環境におけるWBGTについて、国際的にはISO 7243⁷⁾、国内ではJIS Z 8504⁸⁾として規格化されている。

WBGT [°C]は、湿球温度^{*1}を t_w [°C]、黒球温度を t_g [°C]、乾球温度^{*2}を t_d [°C]とすると、式(1)で与えられる。

$$WBGT = 0.7 t_w + 0.2 t_g + 0.1 t_d \quad (1)$$

実測調査では、乾球温度 t_d 及び黒球温度 t_g については実測値、湿球温度 t_w については乾球温度及び相対湿度から算出した計算値を用いて、WBGTを算出した。

なお湿球温度 t_w の算出にはSprungの式⁹⁾を使用し、水の飽和蒸気圧の近似式にはTetensのパラメータ値¹⁰⁾によるAugust-Roche-Magnusの式^{11)、12)}を使用した。

WBGT (暑さ指数)	日常生活における注意事項	熱中症予防運動指針
31°C以上 【危険】	外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。	運動は原則中止
28~31°C 【厳重警戒】	外出時は炎天下を避け、室内では室温の上昇に注意する。	激しい運動は中止
25~28°C 【警戒】	運動や激しい作業をする際は定期的に充分に休憩を取り入れる。	積極的に休憩
21~25°C 【注意】	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。	積極的に水分補給
21°C未満 【ほぼ安全】		適宜、水分補給

図5 WBGTに応じた注意事項

2-6 各検証事例での評価方法

送風ファンやミストの対策を実施した際の気温やWBGTの低下量については、検証事例毎に測定の開始時間及び終了時間が異なるため、測定値そのものを直接、比較することができない。このことから、まちなかの暑さ対策ガイドライン¹⁾で示されている対策効果の把握方法を参考に、次の方法で評価することとした(図6)。

① 日なたでの測定値を t_1 [°C]、テントの日陰のみでの測定値を t_2 [°C]とすると、基準値 ΔT_1 [°C]は式(2)で与えられる。

$$\Delta T_1 = t_2 - t_1 \quad (2)$$

② 各検証事例における日なたでの測定値を t_3 [°C]、テントの日陰でミストや送風ファンなどの対策を実施した際の測定値を t_4 [°C]とすると、対策値 ΔT_2 [°C]は式(3)で与えられる。

$$\Delta T_2 = t_4 - t_3 \quad (3)$$

③ 各検証事例において、テントの日陰による効果を除いたミストや送風ファンなどの対策による気温及びWBGTの低下量を D [°C]とすると、式(4)で表せられる。

$$D = \Delta T_2 - \Delta T_1 \quad (4)$$

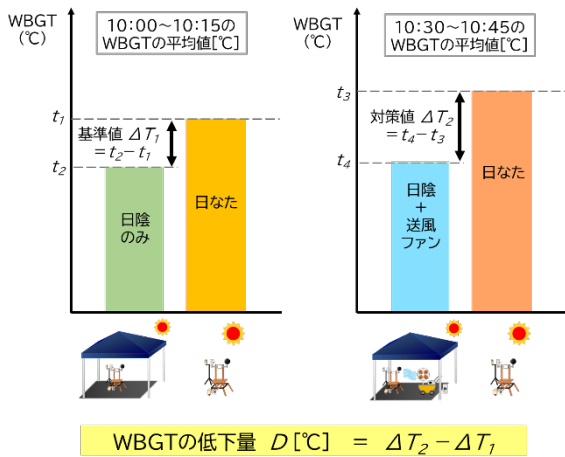


図6 各検証事例での評価方法 (WBGTの低下量の算出例)

3. 結果と考察

3-1 実測調査

3-1-1 調査期間中の気象概況

横浜地方気象台（調査場所とは直線距離で約14.6 km）で2023年8月10日に観測された気象概況を表3に示す¹³⁾。横浜地方気象台では調査期間中、晴れの天候が続いており、気温は9:30頃から30°Cを超え、最高気温は33.6°Cを記録した。また湿度は71~85%と高く、非常に蒸し暑い一日であった。風は概ね東京湾方向からの南東寄りの風が吹いており、風速は1.8~3.4 m/sであった。

表3 調査期間中の気象概況（横浜地方気象台）¹³⁾

時刻	降水量 [mm]	気温 [°C]	湿度 [%]	風向 [16方位]	風速 [m/s]	日照時間 [h]	天候
10:00	-	31.0	66	東南東	2.9	0.9	晴
11:00	-	31.3	64	東南東	1.8	1.0	晴
12:00	-	32.0	65	南南東	3.4	0.7	晴
13:00	-	32.7	59	南	2.3	0.9	晴
14:00	-	31.6	59	東南東	2.8	0.7	晴
15:00	-	33.1	57	東南東	2.1	0.8	晴
16:00	-	32.6	55	東	2.4	0.8	晴

3-1-2 テントの日陰のみの検証事例（基準値）

テントの日陰のみ及び日なたでの気温・WBGTの時間変化を図7に、結果一覧を表4に示す。気温は日なたと比べて日陰の方が若干高くなっており、平均では0.5°C高くなっていた。一方、同地点での風速の時間変化（図8）から、日なたと比べて日陰では風速が弱くなっており、平均で0.6 m/sほど低い。日陰となっているテント内では、上部がテント幕で覆われていることで風通しが悪くなるため、風速が弱まったものと考えられる。風通しが悪くなることで、テント内で熱だまりが発生するため、日なたと比べて日陰では気温が高くなったと推測される。

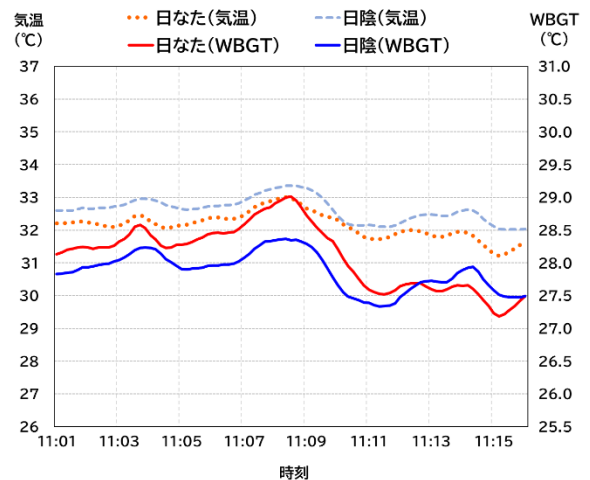


図7 テントの日陰のみ及び日なたでの気温・WBGTの時間変化

表4 テントの日陰のみの事例での結果一覧

地点	気温 [°C]	WBGT [°C]
日なた (t_1)	32.1	28.1
日陰 (t_2)	32.6	27.9
基準値 (ΔT_1)	+0.5	-0.2

※ t_1, t_2 は11:01~11:16の平均値

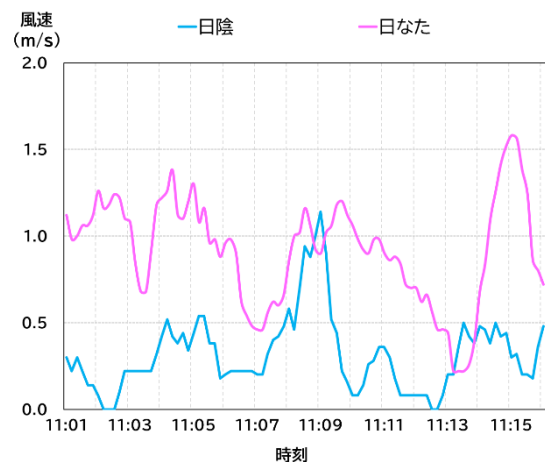


図8 テントの日陰のみ及び日なたでの風速の時間変化

WBGTは気温とは反対に、日なたと比べて日陰の方が若干低くなっており、平均で0.2℃低い。同地点での上からの日射量の時間変化(図9)から、日陰となっているテント内では、上部がテントで覆われて日射が遮られているため、日なたと比べて日射量は平均で89%減と、かなり小さくなっている。日射が遮られることで、黒球温度の上昇が抑えられ、結果的にWBGTも日陰の方が若干低くなったものと考えられる。

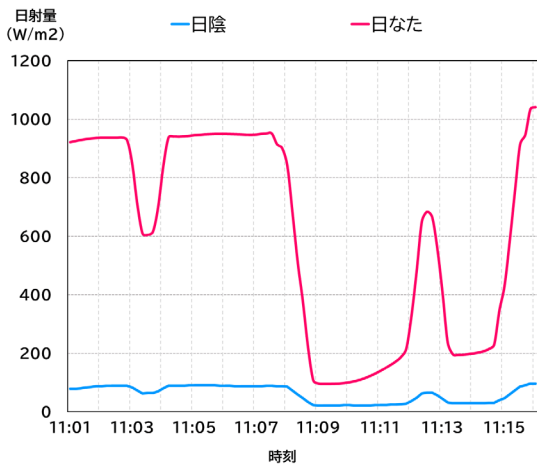


図9 テントの日陰のみ及び日なたでの日射量の時間変化

3-1-3 送風ファンのみの事例

テントの日陰で送風ファンのみを使用した場合の気温・WBGTの時間変化を図10に、結果一覧を表5に示す。気温・WBGTともに日なたと比べて日陰で送風ファンを使用の方が若干低くなっており、気温は平均で0.3℃、WBGTは平均で0.6℃低くなっていた。これを基準値と比較すると、気温の低下量は-0.8℃、WBGTの低下量は-0.4℃と見積もることができた。送風ファンを使用することで、テント内の熱だまりが解消されたためであると考えられる。

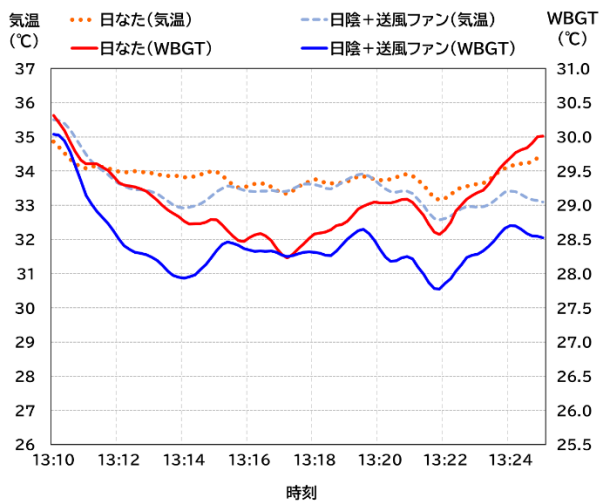


図10 テントの日陰で送風ファンのみを使用した場合の気温・WBGTの時間変化

表5 送風ファンのみの事例での結果一覧

地点	気温 [°C]	WBGT [°C]
日なた (t_3)	33.8	29.0
日陰+送風ファン (t_4)	33.5	28.4
対策値 (ΔT_2)	-0.3	-0.6
低下量 (D)	-0.8	-0.4

※ t_3, t_4 は13:10~13:25の平均値
 ※ 低下量は「対策値(ΔT_2) - 基準値(ΔT_1)」から算出

3-1-4 ミスト併用時の事例

テントの日陰で送風ファンに加え、ミストを併用した場合の気温・WBGTの時間変化を図11に、結果一覧を表6に示す。気温・WBGTともに対策なしの日なたと比べて、日陰で送風ファンとミストを併用した場合は、かなり低くなっており、気温は平均で3.4℃、WBGTは平均で1.5℃低くなっていた。これを基準値と比較すると、気温の低下量は-3.9℃、WBGTの低下量は-1.3℃と見積もることができた。送風ファンによってテント内の熱だまりが解消されたことに加え、ミスト粒子が蒸発する際の気化熱により空気が冷やされたことと、ミスト粒子の蒸発そのものが送風によって促進されたことが要因と考えられる。

一方、日なたで送風ファンとミストを併用した場合は、対策なしの日なたと比べて、気温はやや下回っているものの、WBGTはほぼ変わらず、時間帯によっては上回っている時間も見られた。基準値と比較すると、気温の低下量は-1.2℃、WBGTの低下量は+0.3℃と見積もることができた。特にWBGTについては、送風ファンやミストによる冷却効果よりも、日射による輻射熱の影響が上回り、暑熱環境が改善されなかったことが推測される。このため、屋外でミスト付き送風ファンを効果的に使用するには、日陰での利用が望ましいと考えられる。

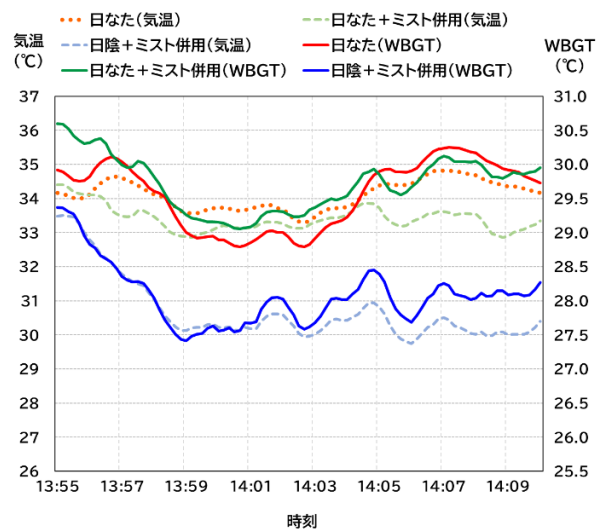


図11 送風ファンとミストを併用した場合の気温・WBGTの時間変化

表 6 ミスト併用時の事例での結果一覧

地点	気温 [°C]	WBGT [°C]
日なた (t_3)	34.1	29.6
日なた+ミスト併用 (t_4)	33.4	29.7
日陰+ミスト併用 (t_5)	30.7	28.1
対策値① ($\Delta T_2 = t_4 - t_3$)	-0.7	+0.1
対策値② ($\Delta T_3 = t_5 - t_3$)	-3.4	-1.5
低下量① ($D_1 = \Delta T_2 - \Delta T_1$)	-1.2	+0.3
低下量② ($D_2 = \Delta T_3 - \Delta T_1$)	-3.9	-1.3

※ t_3, t_4, t_5 は13:55~14:10の平均値

3-1-5 首振り機能を使用した事例

イベント時など、広範囲を涼しくする場合に首振り機能の使用が想定されるため、テントの日陰でミスト付き送風ファンの首振り機能を使用した場合の検証を行った。

首振り機能を使用した場合の気温・WBGTの時間変化を図12に、結果一覧を表7に示す。首振り機能を使用した場合でも、気温・WBGTともに日なたと比べると低くなっており、気温は平均で2.2°C、WBGTは平均で1.2°C低くなっていた。これを基準値と比較すると、気温の低下量は-2.7°C、WBGTの低下量は-1.0°Cと見積もることができた。

また、首振り機能の有無による暑熱緩和効果の違いについては、首振り機能を使用した場合の方が気温は平均で1.2°C高かったが、WBGTは平均で0.3°C高いだけで、顕著な上昇は見られなかった。首振り機能を使用した方が、より広範囲を涼しくすることができるため、屋外で人が多く集まるような場所では、首振り機能を使用した運用が望ましいと考えられる。

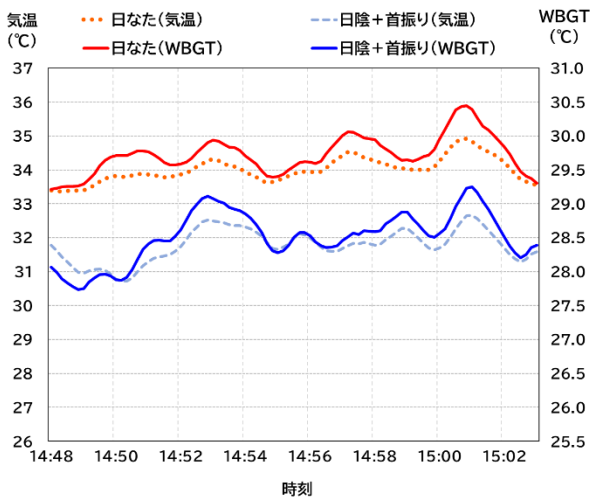


図 12 テントの日陰でミスト付き送風ファンの首振り機能を使用した場合の気温・WBGTの時間変化

3-1-6 ミスト付き送風ファンとの距離による違い

ミスト付き送風ファンからの距離がどの程度離れると、暑熱緩和効果が弱まるのかを把握するため、ミスト付き送風ファンと観測機器との距離を、1.5 m、3.0 m、5.0 mにした場合の暑熱緩和効果の変化を検証した。

表 7 首振り機能を使用した事例での結果一覧

地点	気温 [°C]	WBGT [°C]
日なた (t_3)	34.0	29.7
日陰+首振り (t_4)	31.8	28.5
対策値 (ΔT_2)	-2.2	-1.2
低下量 (D)	-2.7	-1.0
(首振りありの対策値) -(首振りなしの対策値)	+1.2	+0.3

※ t_3, t_4 は14:48~15:03の平均値

※ 低下量は「対策値(ΔT_2) - 基準値(ΔT_1)」から算出

ミスト付き送風ファンと観測機器との距離が、1.5 mの時の気温・WBGTの時間変化を図11、結果一覧を表6、3.0 mの時の気温・WBGTの時間変化を図13、結果一覧を表8、5.0 mの時の気温・WBGTの時間変化を図14、結果一覧を表9に示す。

日なたと比べると、距離 1.5 m 時では気温は平均で3.4°C、WBGTは平均で1.3°C低く、距離 3.0 m 時では気温は平均で0.8°C、WBGTは平均で1.0°C低く、距離 5.0 m 時では気温は平均で0.1°C高く、WBGTは平均で0.7°C低かった。ミスト付き送風ファンと観測機器との距離が離れるほど、日なたとの気温及びWBGTの差が縮まっていることが分かる。

また基準値との比較から、距離 1.5 m 時での気温の低下量は-3.9°C、WBGTの低下量は-1.3°C、距離 3.0 m 時で

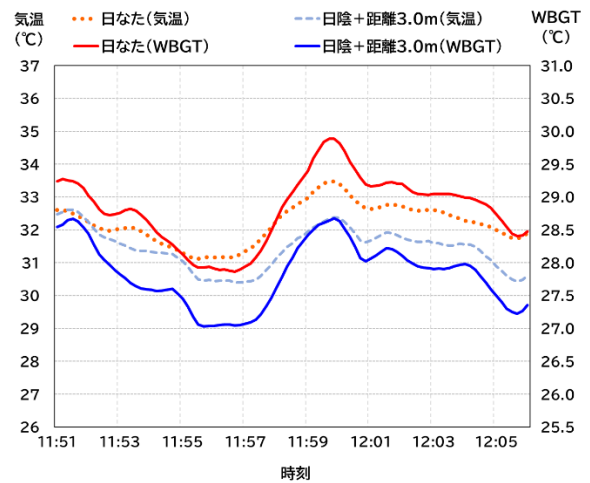


図 13 ミスト付き送風ファンと観測機器との距離が 3.0 m の時の気温・WBGT の時間変化

表 8 距離 3.0 m 時の事例での結果一覧

地点	気温 [°C]	WBGT [°C]
日なた (t_3)	32.2	28.8
距離3.0 m (t_4)	31.4	27.8
対策値 (ΔT_2)	-0.8	-1.0
低下量 (D)	-1.3	-0.8

※ t_3, t_4 は11:51~12:06の平均値

※ 低下量は「対策値(ΔT_2) - 基準値(ΔT_1)」から算出

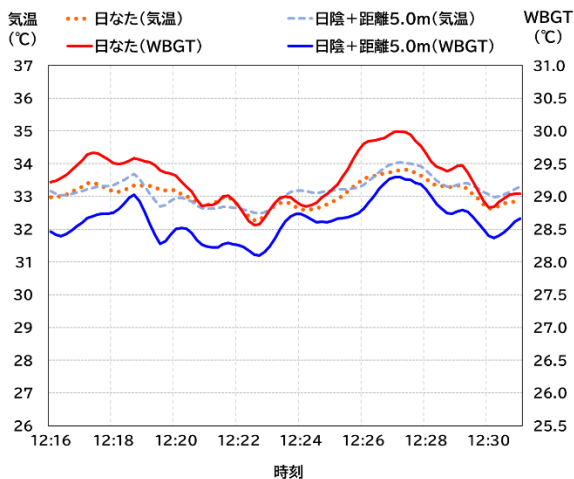


図 14 ミスト付き送風ファンと観測機器との距離が 5.0 m の時の気温・WBGT の時間変化

表 9 距離 5.0 m 時の事例での結果一覧

地点	気温 [°C]	WBGT [°C]
日なた (t_3)	33.1	29.3
距離5.0 m (t_4)	33.2	28.6
対策値 (ΔT_2)	+0.1	-0.7
低下量 (D)	-0.4	-0.5

※ t_3, t_4 は12:16~12:31の平均値

※ 低下量は「対策値(ΔT_2) - 基準値(ΔT_1)」から算出

の気温の低下量は-3.9°C、WBGTの低下量は-0.8°C、距離5.0 m 時での気温の低下量は-0.4°C、WBGTの低下量は-0.5°Cであった。ミスト付き送風ファンから観測機器までの距離を横軸に、WBGTの低下量を縦軸にとったグラフ(図15)から、距離が5.0 mより離れてしまうとWBGTの低下量はさらに小さくなるのが推測されるため、ミスト付き送風ファンによる涼しさを体感するには5.0 m以内が望ましいと考えられる。

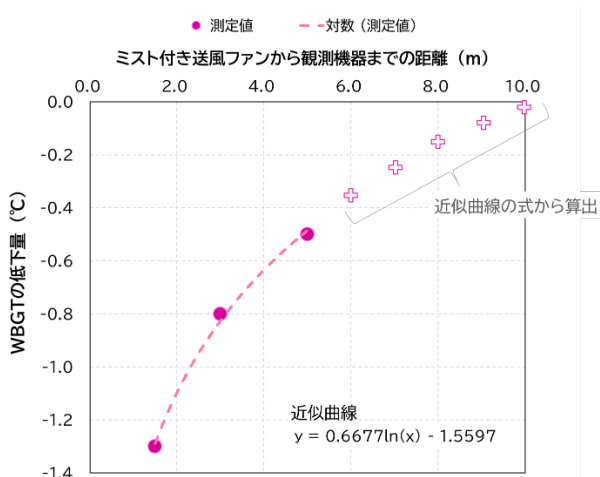


図 15 ミスト付き送風ファンから観測機器までの距離と WBGT 低下量との関係

3-1-7 ミスト付き送風ファンの風量による違い

ミスト付き送風ファンの風量を変えることで、暑熱緩和効果にどれくらいの差が生じるのかを把握するため、ミスト付き送風ファンの風量を「弱」、「中」、「強」にした場合の暑熱緩和効果の変化を検証した。

ミスト付き送風ファンの風量が「弱」の時の気温・WBGTの時間変化を図16、結果一覧を表10、「中」の時の気温・WBGTの時間変化を図11、結果一覧を表6、「強」の時の気温・WBGTの時間変化を図17、結果一覧を表11に示す。

日なたとミスト付き送風ファンとの気温の差は3.4~4.2°Cの範囲で、風量の増加に伴って、気温がより下がる傾向は見られなかった。一方、WBGTは日なたと比べて、ミスト付き送風ファンの方が風量「弱」で1.3°C、風量「中」で1.5°C、風量「強」で1.9°C低く、風量が増加するほど、WBGTが下がる傾向となった。また基準値との比較から、風量「弱」での気温の低下量は-4.4°C、WBGTの低下量は-1.1°C、風量「中」での気温の低下量は-3.9°C、WBGTの低下量は-1.3°C、風量「強」での気温の低下量は-4.7°C、WBGTの低下量は-1.7°Cであった。

WBGTの低下量についてのまとめを図18に示す。ミスト付き送風ファンの風量が「弱」から「中」になると、WBGTは0.2°C低下し、さらに風量が「中」から「強」になると、WBGTは0.4°C低下した。風量が増加すると、ミストが風下側に多量に運ばれ、対象物(本調査では観測機器)により多くのミストが付着すること、また対象物に付着したミスト粒子の蒸発が促進され、冷却効果が強まったことが要因として考えられる。

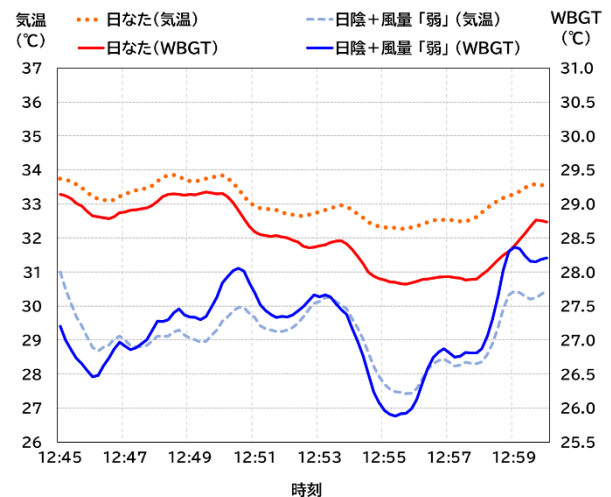


図 16 ミスト付き送風ファンの風量が「弱」の時の気温・WBGT の時間変化

表 10 風量「弱」時の事例での結果一覧

地点	気温 [°C]	WBGT [°C]
日なた (t_3)	33.1	28.5
風量「弱」(t_4)	29.2	27.2
対策値 (ΔT_2)	-3.9	-1.3
低下量 (D)	-4.4	-1.1

※ t_3, t_4 は12:45~13:00の平均値

※ 低下量は「対策値(ΔT_2) - 基準値(ΔT_1)」から算出

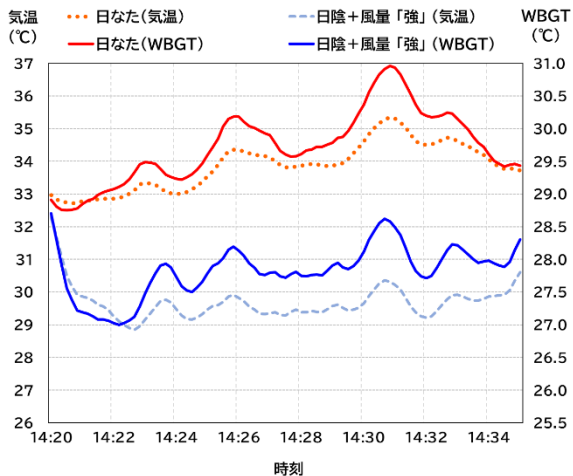


図 17 ミスト付き送風ファンの風量が「強」の時の気温・WBGT の時間変化

表 11 風量「強」時の事例での結果一覧

地点	気温 [°C]	WBGT [°C]
日なた (t_3)	33.9	29.7
風量「強」 (t_4)	29.7	27.8
対策値 (ΔT_2)	-4.2	-1.9
低下量 (D)	-4.7	-1.7

※ t_3, t_4 は14:20~14:35の平均値
 ※ 低下量は「対策値(ΔT_2) - 基準値(ΔT_1)」から算出

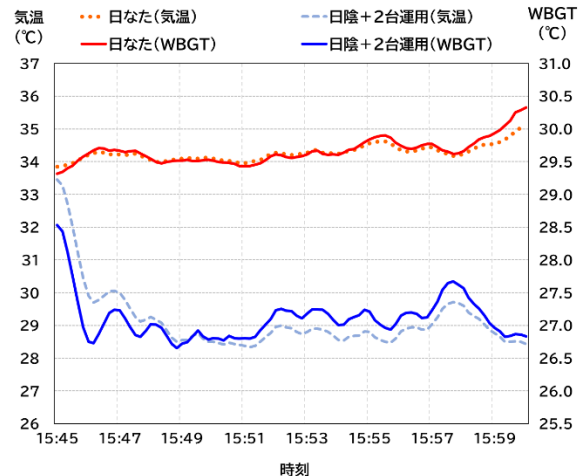


図 19 ミスト付き送風ファンを2台運用した時の気温・WBGT の時間変化

表 12 2台運用時の事例での結果一覧

地点	気温 [°C]	WBGT [°C]
日なた (t_3)	34.3	29.7
2台運用 (t_4)	29.1	27.1
対策値 (ΔT_2)	-5.2	-2.6
低下量 (D)	-5.7	-2.4

※ t_3, t_4 は15:45~16:00の平均値
 ※ 低下量は「対策値(ΔT_2) - 基準値(ΔT_1)」から算出

3-1-8 2台運用（ミスト併用）の事例

ミスト付き送風ファンの運用台数を増やすことで、暑熱緩和効果がどの程度強まるのかを把握するため、ミスト付き送風ファンの運用台数を、「2台」にした場合の暑熱緩和効果の変化を検証した。

ミスト付き送風ファンを2台運用した場合の気温・WBGTの時間変化を図19に、結果一覧を表12に示す。気温・WBGTともに日なたと比べると大幅に低くなっており、気温は平均で5.2℃、WBGTは平均で2.6℃低くなっていた。これを基準値と比較すると、気温の低下量は-5.7℃、WBGTの低下量は-2.4℃と見積もることができた。ミスト付き送風ファンを1台運用した場合の気温・WBGTの低下量と比べてみても、2台運用では、気温の低下量は-1.8℃、WBGTの低下量は-1.1℃であり、運用台数を増やすことで、さらなる暑熱緩和効果があることが確認できた。

3-1-9 各検証事例のまとめ

表3に示した①~⑥の各検証事例について、気温の低下量を横軸に、WBGTの低下量を縦軸にとり、視覚的にわかりやすくまとめたグラフを作成した(図20)。

なお、グラフ上の値は、3-1-2章で算出した基準値(表5)からの差分を「気温・WBGTの低下量」と設定しており、グラフの右上に行くほど、暑熱緩和効果が小さく、グラフの左下に行くほど、暑熱緩和効果が大きくなる。

「ミスト付き送風ファンとの距離が5m」の事例や、「送風ファンのみ」の事例では効果が小さく、「ミスト付き送風ファンの風量強」の事例や「2台運用」の事例では、効果が大きい結果となった。また「ミスト付き送風ファンの風量弱」の事例や「首振り有り」の事例では、ミスト付き送風ファンとの距離が近いこともあり、効果は「標準」の事例と大きく変わらないことも分かった。

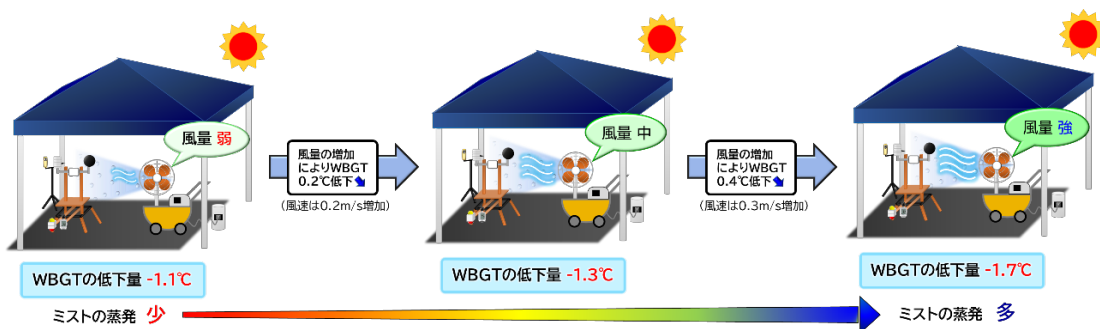


図 18 ミスト付き送風ファンの風量を増加させた場合の WBGT の低下量の変化

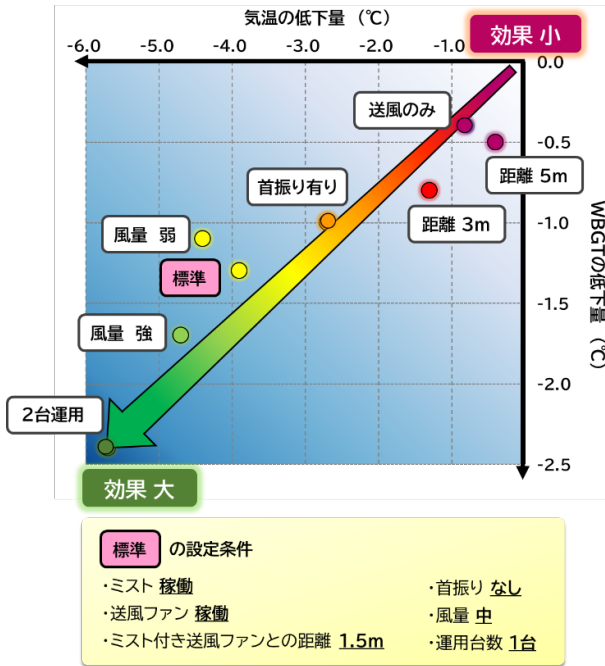


図 20 ミスト付き送風ファンの検証事例のまとめ

なお、ミストや送風ファンの性能、日陰の大きさや種類、日射等の気象条件の違いにより、これらの低下量は前後することに留意する必要がある。

また今回の各検証で明らかとなった WBGT の低下量が実際にどの程度、熱中症搬送者数の減少につながるのかを視覚的に分かりやすくするため、過去に環境科学研究所で解析した WBGT と熱中症による救急搬送者数との関係を示した結果¹⁴⁾を用いて、試算を行った(図 21)。

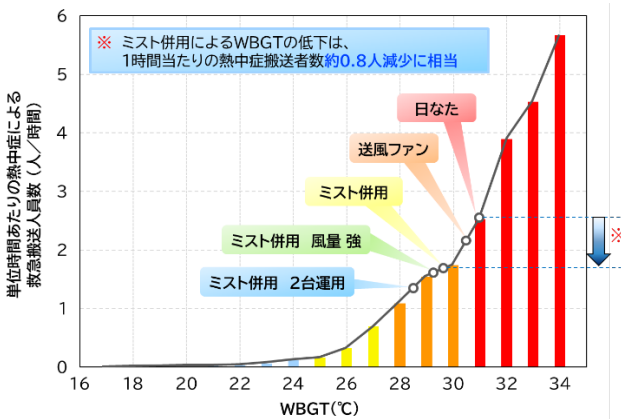


図 21 WBGT と熱中症による救急搬送者数の関係(関ら¹⁴⁾の結果に今回の検証事例を加筆)

何も対策していない日なたでの WBGT が 31°C の危険ランク(今回の調査期間中で記録した最高値)であった場合、送風ファンとミストの併用では、WBGT は約 1.3°C 低下する。これは 1 時間当たりの熱中症救急搬送者数に換算すると、約 0.8 人の減少に相当することが分かった。

また最も暑熱緩和効果が高かったミスト付き送風ファンの 2 台運用では、WBGT は約 2.4°C 低下しており、1 時間当たりの熱中症救急搬送者数に換算すると、約 1.2 人の減少に相当していた。

3-2 啓発資料の作成

検証結果の活用として、庁内でミスト付き送風ファンを貸出ししている部署に向けて、ミスト付き送風ファンの効果的な使用方法を記した啓発資料を作成した(図 22、23)。啓発資料は A4 サイズの用紙 1 枚とし、表面には今回の検証結果を踏まえて、ミスト付き送風ファンの効果的な使い方として、次の 4 点に絞って記載した。

- ① 日陰に設置すること
(日なたに設置すると効果が弱まるため)
- ② 涼むときは 5 m 以内で涼むこと
(5 m 以上離れてしまうと効果が弱まるため)
- ③ 人が多く集まる場所では、より広範囲を涼しくするために首振り機能を活用すること
- ④ より涼しい環境を作る場合は、風量を強めたり、運用台数を増やしたりすることで対応可能

また啓発資料の裏面は、同じミスト付き送風ファンを設置した場合でも、日陰と比べて日なたでは表面温度が高いことを示す結果や、3-1-9 の図 20 で示した検証結果を掲載し、表面の記載内容を裏付けるように工夫した。



図 22 ミスト付き送風ファンの効果的な使い方を記した啓発資料の表面

4. まとめ

ミスト付き送風ファンの適切な使用方法や効果的な運用を把握するため、ミスト付き送風ファンを所有する横浜市消防局消防訓練センターの協力のもと、横浜市戸塚区内にある同センター内の敷地を利用して検証を行った。検証の結果、ミスト付き送風ファンの使用方法として、日なたに設置する場合や距離が 5 m 以上離れてしまう場合は、暑熱緩和効果が弱まってしまったことが分かった。

またミスト付き送風ファンの首振り機能を使用すると、暑熱緩和効果は弱まってしまったことが想定されたが、検

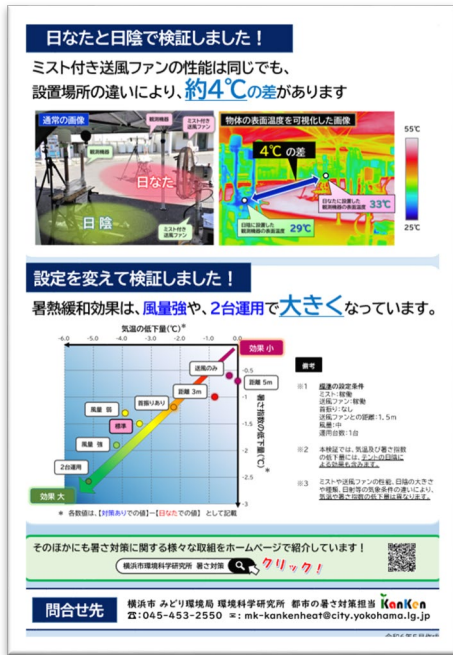


図 23 ミスト付き送風ファンの効果的な使い方を記した啓発資料の裏面

証の結果、WBGT の上昇はわずかであったことから、人が多く集まるような場所では、より広範囲を涼しくするために首振り機能を活用することが望ましい。

そのほか、ミスト付き送風ファンによる暑熱緩和効果を高める方法として、風量を強くしたり、運用台数を増やしたりすることが有効であることが分かった。

これらの検証で明らかとなった WBGT の低下量が実際にどの程度、熱中症搬送者数の減少につながるのかを分かりやすくするため、WBGT と熱中症による救急搬送者数との関係を用いて試算した。試算の結果、WBGT31°C の環境下では、対策なしの日なたと比べて、送風ファンとミストを併用した場合は、WBGT は約 1.3°C 低下し、1 時間当たりの熱中症救急搬送者数に換算すると、約 0.8 人の減少に相当することが分かった。

検証結果の活用として、ミスト付き送風ファンの効果的な使い方を記した啓発資料を作成し、庁内でミスト付き送風ファンを貸出ししている部署に向けて周知した。

謝辞

本調査の実施に当たり、ミスト付き送風ファンを所有する横浜市消防局消防訓練センターにはミスト付き送風ファンの貸出や調査実施場所の提供など、調査にご協力をいただきました。この場を借りてお礼申し上げます。

注釈

※1

水で湿らせたガーゼを温度計の球部に巻き、温度計表面にある水分が蒸発した時の冷却熱と平衡した時の温度

※2

通常の温度計を用いて、測定した温度（気温）

文献

- 1) 環境省：まちなかの暑さ対策ガイドライン 改訂版、76pp. (2023)
- 2) 気象庁：気象観測の手引き、81pp. (1998)
- 3) 環境省：熱中症予防情報サイト、https://www.wbgt.env.go.jp/doc_observation.php(2025年3月時点)
- 4) C. P. Yaglou and D. Minard : Control of heat casualties at military training centers, *A. M. A. Arch. Ind. Health*, 16, 302-316 (1957)
- 5) 日本生気象学会：日常生活における熱中症予防指針 Ver. 4、<https://seikishou.jp/cms/wp-content/uploads/20220523-v4.pdf> (2025年3月時点)
- 6) 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（第5版）、56pp. (2019)
- 7) International Organization for Standardization : ISO 7243:1989 Hot environments—Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature) (1989)
- 8) 日本産業規格：JIS Z 8504:2021 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 (2021)
- 9) 日本産業規格：JIS Z 8806:2001 湿度—測定方法 (2001)
- 10) O. Tetens : Uber einige meteorologische Begriffe, *Z. Geophys.*, 6, 297-309 (1930)
- 11) O. A. Alduchov and R. E. Eskridge : Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure, *J. Appl. Meteor.*, 35, 601-609 (1996)
- 12) M. G. Lawrence : The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86, 225-233 (2005)
- 13) 気象庁：過去の気象データ検索、<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2025年3月時点)
- 14) 関浩二、小倉智代、内藤純一郎、山下理絵、岩崎満：横浜市内における2015年夏季の暑さ指数 (WBGT) の調査、横浜市環境科学研究所報、41、38-44 (2017)