

2章 適応策の技術に関する調査

2.1 霧噴射装置の概要

微細なノズルから水を噴射することにより、大気中へ微細なミストを噴霧し、噴霧直後に蒸発することで気化熱を利用して気温を低下させる装置である。

ミスト噴射のシステムは、水を高圧で送り出すポンプ、高い圧力の水を送水する耐圧管もしくはホース、そしてノズルが基本的な構成要素となる。地上 3m 程度の高さからミストを噴霧することで、ミストが降下する際に気化して気温が低下する。人の位置に到達するまでにはミストがほぼ気化することで、人が濡れることなく暑熱を緩和することができる」とされている。

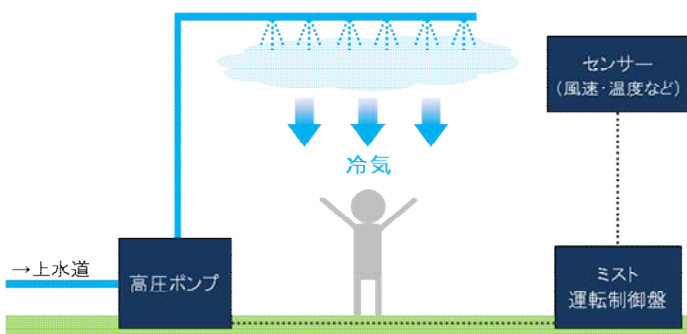


図 2-1 ミスト噴射装置のシステム図

資料) ヒートアイランド対策ガイドライン、環境省



図 2-2 ミスト噴射装置

資料) 三菱地所(株)提供

1) ノズルとミスト粒径

ミストの粒径はノズルのタイプによって異なり、高い圧力の水のみを噴射するタイプの1流体ノズルでは粒径のばらつきがあり 10~40 μm 程度となっている。一方、空気と水を使う2流体ノズルは、水に高い圧力は加えないで圧搾空気とともに水を放出することで超微細な 10 μm 程度の比較的均一な粒径のミストを噴射する。なお、ミスト粒径の計測にはザウター平均粒径¹が使われる。

2流体ノズルは圧搾空気を作り出すためのコンプレッサーのエネルギー消費が大きく、水 10を噴霧するのに 80kWh のエネルギーを要する。一方、1流体ノズルでは高圧ポンプの動力が同じく水 10を噴霧するのに 2.2kWh と 2流体に比較して圧倒的に必要電力量が小さい。(表 2-1)

¹ ザウター平均粒径：総体積／総表面積

表 2-1 水 1t を加湿するのに要するエネルギー²

方 法	エネルギー	備 考
蒸気加湿	720 kW・h	
水噴霧加湿 (二流体)	80 kW・h (コンプレッサ動力)	コンプレッサ動力 0.15 kW・h/Nm ³
水噴霧加湿 (一流体)	2.2 kW・h (高圧ポンプ動力)	送水圧力 6 MPa ポンプ効率 75%

また、加圧せずに水道直圧のみで数百 μm 程度の粗いミストを対象物に散布して表面を冷却する直圧型ミスト³は、夏季の屋外運動競技などで活用されるなど、熱中症予防策として使われている事例が見られる。

2) 霧（ミスト）噴射の導入と運転

ミスト装置の運転には、手動で ON-OFF するものと気象センサーを備え、一定の条件下で稼動するように設定する方法がある。後述するが、ミストの効果は気温、湿度、風、降雨の状況などによって異なることから、効果的にミストを活用するためには一定の条件下で運転することが望まれる。

気象センサーとしては、温度計、湿度計、風速計及び降雨センサーを設けていること⁴が一般的である。ただし、例えばノズル 50 個程度で 2.50/min の噴霧を行う標準的なシステムでは自動制御システムを組み込まない場合で 300 万円程度のシステムが、気象センサー及び自動制御システムを組み込むことで工事費を含めて 500 万円以上のインシャルコストがかかるとされ、多く普及しているものは価格の安い手動運転タイプとなっている（メーカーヒアリング）。

自動運転を実施した場合でも、上水道や電気代を含めたランニングコストは月に 5,000 円程度（夏季の 3 ヶ月で約 500 時間程度の運転をした場合の 1 月分）とのことである（メーカーヒアリング）。

また、研究事例としては、ミストが気化せずに床まで到達してしまう状態では運転を停止するよう、床濡れセンサーによる制御でも効果的な運転ができるとされている⁵。

3) 霧（ミスト）噴霧装置の設置場所

メーカーへのヒアリングによると、設置場所としては屋外の地上部が多く、ショッピングセンターやアミューズメント施設、パーキングエリア、市役所、鉄道駅などの人が多く集まる場所で

² 植村聡「加湿冷房技術の進展」空気調和・衛生工学、第 82 巻、8 号、2008 年

³ 山崎弘太郎「大阪市水道局における水道システムを活用したヒートアイランド対策」水道協会雑誌、第 77 巻、9 号、2008 年

⁴ 平井弘毅「都市空間を冷やす微細な霧（ドライミスト）」資源環境対策、第 44 巻、11 号、2008 年

⁵ 石井智洋、紅谷真司、戸張彩香、辻本誠「実験住宅におけるドライミスト噴霧に関する研究（第 2 報）」日本建築学会学術講演梗概集 D-2、環境工学 2、2009 年

の設置が多い。半屋外空間のような建物のエントランスでの設置も見られる。

製鉄所など暑熱環境の厳しい労働作業環境や、半屋外のような造船所や車両整備場などの作業環境での熱中症対策としての導入も進んでいる。

人だけでなく、動物園や水族館など動物の暑熱緩和を目的とする施設での設置も見られる。

自治体での導入が増えているが、ドライミストは視覚的に強く訴える効果があり、市民に施策の目的を説明しやすいことが導入の理由として考えられる（メーカーヒアリング）。

4) 霧（ミスト）噴霧装置の製品概況

現在、多くの製品が開発され、販売もしくはレンタル等により市場に提供されている。ここでは、調査した関連製品について、その概況をまとめる。

市場に出回っている製品のうち、屋外での暑熱対策等を目的としているものでは、その多くが1流体ノズルを採用しており、ミスト粒径は10~30 μm 程度となっている。2流体ノズルについては選択可としている製品が多少見られるが、メーカーにヒアリングしたところ、屋外に設置する場合にはコストの安い（製品価格の安い）1流体ノズルが選ばれるとのことであった。2流体ノズルについては、粒径が小さく安定していることから、暑熱緩和とは目的が異なるが屋内で消臭薬剤等を噴霧することで消臭などの用途に使われているとのことであった。

現在販売されているものは可搬式でかつファンが装備されている（可搬式のものも多く、多くのノズルから局所的にミストを噴霧するため、ファンで強制的に拡散させる）ものが多く、夏季のイベント時などに暑熱対策として地上に設置して使われていると考えられる。

2. 2 霧噴射装置のヒートアイランド緩和効果

1) 気象条件による気温低減効果の違い

ミスト噴射装置による効果は一般的に 2~3℃程度といわれている。屋外と半屋外でミスト噴射による気温低下効果を測定した事例⁶では、屋外空間では 1.5℃程度、半屋外空間では 2~3℃程度の気温低下効果が確認されている。

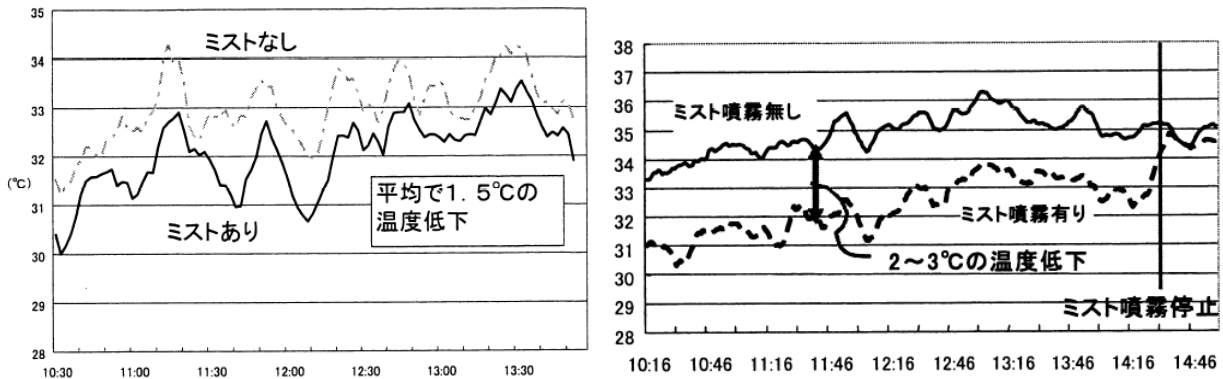


図 2-3 ミスト噴射効果 (左：屋外、右：半屋外)⁶

屋外については 2003 年夏季に名古屋駅近くの駐車場敷地(100m×40m)に 25 本のミストツリーで高さ 6m から噴霧(6.0cc/min・㎡)。半屋外については 2004 年夏季に愛知県日進市のグラウンドに 2 つの大型テント(12m×20m)に 12 本のミストツリーで高さ 3.5m から噴霧(10.0cc/min・㎡)。

ただし、気温や湿度などの条件によってミストによる効果が異なることも指摘されている。気温、湿度、風速などとミストによる気温低減効果との関係を測定した事例⁷では、気温は比較的低い温度帯からミスト効果(温度差)が見られるが、31℃を超える辺りから効果が大きくなる傾向が見られた。相対湿度については湿度 60%を超えないところで効果が見られた。

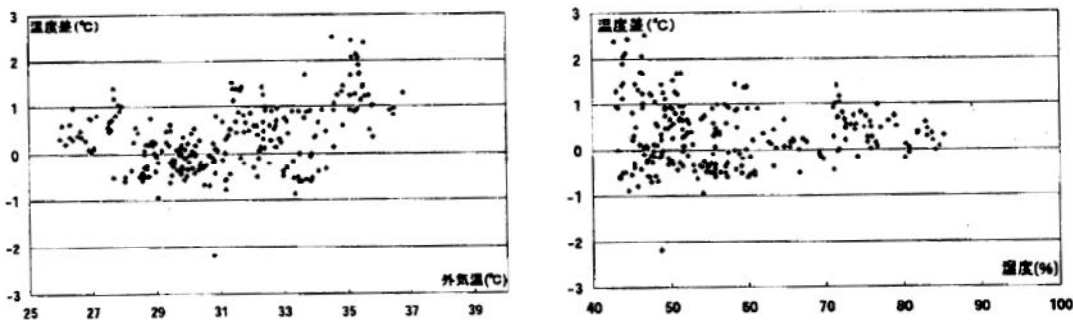


図 2-4 温湿度の違いがミストの効果に及ぼす影響 (左：気温、右：湿度)⁷

2003/7~8 にかけて名古屋市の駐車場約 3,080 ㎡に 24m×24m の区画で 6.0ml/min・㎡のミストを噴霧

⁶ 奥宮正哉「建物周辺微気候の調整・制御—ドライミストを用いた環境制御」日本建築学会環境工学委員会熱シンポジウム、2007 年

⁷ 林啓紀、児玉奈緒子、辻本誠、奥宮正哉、原田昌幸、一瀬茂弘、奥山博康、進藤義一「ドライミスト散布によるヒートアイランド抑制システムの開発 (その 1) ミスト散布条件、気象条件と気温低下の関係」日本建築学会学術講演梗概集 (北海道) 2004 年

また、風速については複数の測定事例が見られるが、その結果には大きく違いが見られる。図 2-5 では 3m/s を越えるところでは効果が全く見られず、風速 2.1m/s 以下では効果が大きくなっていった。図 2-6 では 1.5m/s を超える辺りから効果が期待できなくなっている。さらには図 2-7 では風速が増すことで効果が少なくなることは同様であるが、比較的大きな風速でも 1℃以上の効果が確認されている。

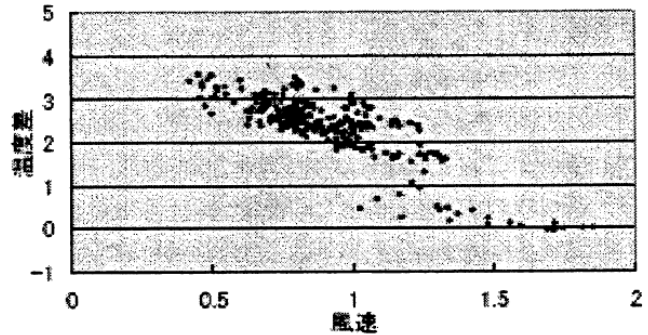
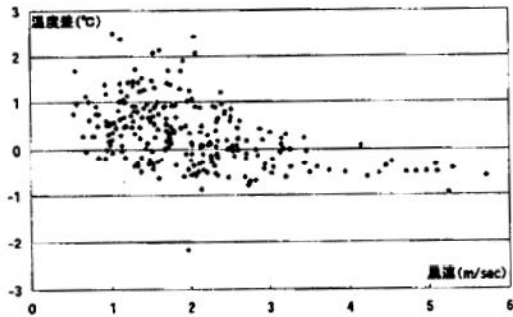


図 2-5 風速がミスト効果に及ぼす影響①⁷ 図 2-6 風速がミスト効果に及ぼす影響②⁶

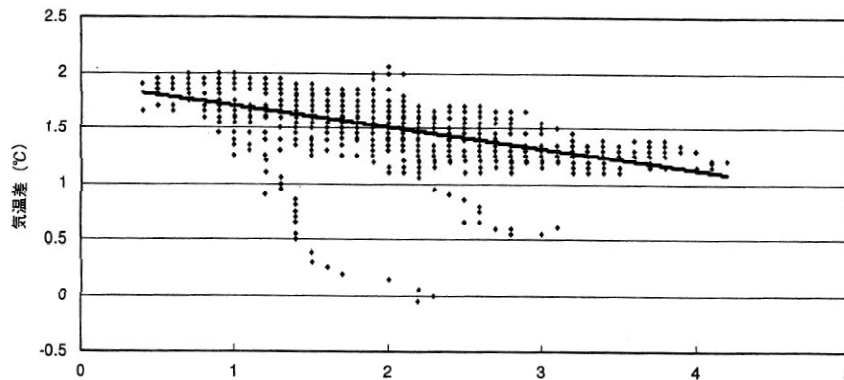


図 2-7 風速がミスト効果に及ぼす影響③⁸

このように、気象条件によってはミストの効果が期待できない場合があり、ミスト噴射装置を気象センサー等と連動させて一定の条件のもとで自動運転させることの意味がここにある。

ただし、特に風速がミストの効果に及ぼす影響が研究事例によって異なることは、都市内の建物近傍等での風速分布は均一ではなく非常に大きなムラがあることを考慮すると、一律の風速の閾値を持って効率的な自動運転の条件とすることは難しいことが分かる。ミスト装置の設置場所ごとに風速などの運転条件を検討することで、効果の高いミスト噴射装置の活用が可能となると考えられる。

例えば、熊谷駅の事例では、毎日 7時から 21 時までで「気温 27℃以上・湿度 70%未満・風速 3 m未満・降雨なし」を稼働の条件としている。

⁸ 辻本誠「ドライミストの効果について」給排水設備研究、第 25 巻、2 号、2008 年

東京 23 区でヒートアイランド現象の原因である顕熱量の削減にミストを活用する方法も提案されている。一般家庭へのミスト噴射装置の導入を検討した研究事例⁹では、東京 23 区の 7.6%の世帯に普及することで、23 区全体の住宅からの顕熱を潜熱化することができるとしている。

なお、ミスト噴射による気温低下効果の測定においては、熱電対を用いたものが主流である。多くの温熱環境等の測定を実施している日本工業大学成田健一教授にヒアリングしたところ、ドライミスト噴霧時の気温測定では、水滴が熱電対に付着し、結果として湿球温度を計測している可能性を指摘された。実際に成田教授が計測したところ、超音波風速計で測定した温度にくらべ、熱電対による測定値は低下しており、厳密なドライミストの効果測定には熱電対は不適切であり、適切な効果測定のためには、超音波風速計による音仮温度¹⁰の測定と赤外吸収湿度計による水蒸気量の測定が必要としている。

2) ミストによる体感、心理・生理的改善効果

ミストを空気中に噴霧することで湿度が上昇し蒸し暑くなることが懸念される。ASHRAE などの研究成果¹¹では、相対湿度 75%までは温冷感は気温によって決まるとされる。そのため、ミスト噴射により相対湿度が上昇しても 75%以内で運転すれば、ミストの効果が得られることが分かる。すなわちミストによる温度降下で暑さが和らげられる効果が、湿度上昇で暑さが増す効果を上回ると予測できる¹²。ミストの自動運転条件として湿度 70%以下としているケースが多いのは、気化しやすさという視点の他にも、体感的な快適性を保つ観点からも理解できる。

また、ミスト噴射は視覚的で涼しげな印象を与えるといった心理的な効果もあり、ミストによる快適性の向上を調べる事例が見られる。心理反応や生理反応が比較的近いと考えられる一卵性双生児等を対象としてミストによる快適性の向上について研究した事例¹³では、ミスト噴霧ありとなしのテントでの快適性申告の結果、不快・やや不快の申告がミストなしでは 40%程度であるのに対しミストありでは 20%以下となっていた（図 2-8）。

⁹ 大手山亮、辻本誠、石井智洋「ドライミスト装置の開発と環境勘定」日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）、2007年8月

¹⁰ 音波の速度は気温以外にも水蒸気量にも影響されるため、超音波温度計で測定される温度は大気中の水蒸気量で補正する必要があるが、この水蒸気補正を行っていない超音波温度計による温度を音仮温度という（大阪府立大学生命環境科学部大気環境学研究室）。

¹¹ Koch, Jenning and Humphrey : Sensation Responses to Temperature and Humidity, ASHRAE trans, 66(1960)

¹² 辻本誠「ドライミストによる蒸発冷房の現状」クリーンエネルギー、第17巻、1号、2008年

¹³ 尹奎英、奥宮正哉「都市におけるクールスポット ライミスト」空気調和・衛生工学、第83巻、8号 2009年

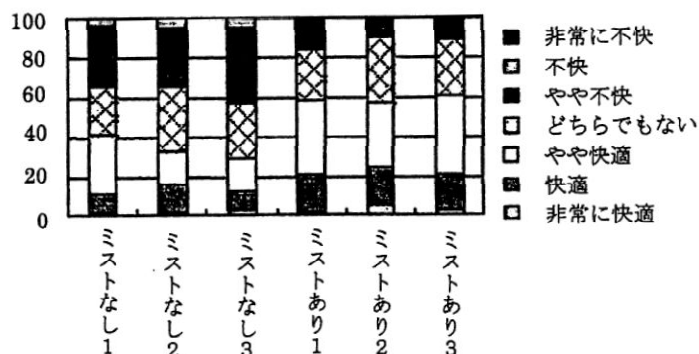


図 2-8 ミストあり・なしの快適感申告¹²

ミスト環境下での温熱快適性について、気温や相対湿度を変化させた場合の申告を調査した事例¹⁴では、気温の上昇とともに不快の申告が増加していることが分かる。一方で相対湿度は変化しても快適感にはほとんど影響がないように見えてきている。

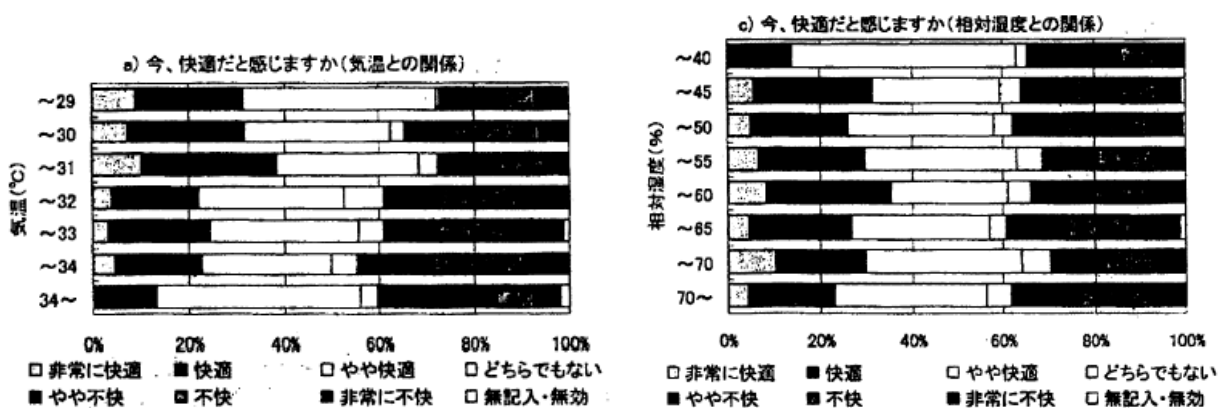


図 2-9 気温（右）・相対湿度（左）と温熱感覚の関係¹³

2. 3 霧噴射装置の使用上の課題

ミスト噴射で使用する水は、人の体と接触したり、人の口から体内に取り込まれることも考えられる。そのため、衛生面に配慮し、使用する水は上水道が適している。

また、重要なことであるが、運転停止時に配管内の水が長期間、配管に溜まることのないよう、夜間などに水入れ替えのための運転を自動で行うよう設定するなどの工夫が必要である。また、配管の素材にも配慮し、ステンレスなどを使用することが望ましい。

¹⁴児玉奈緒子、林啓紀、原田昌幸、奥宮正哉、辻本誠、佐藤治朗、山田英貴「ドライミスト散布によるヒートアイランド抑制システムの開発（その5）万博パビリオンにおける温熱快適性に関するアンケート調査」日本建築学会東海支部研究報告集、第44号、2006年2月

