

ドライミスト技術とその応用

東京理科大学 工学部 第二部建築学科 教授

辻本 誠

TSUJIMOTO Makoto

同 大学生

大手山 亮

OTEYAMA Ryo

本誌56号(2005.7)で「愛知万博とミスト」と題して、2005年愛知万博でのミスト設備を総括的に紹介すると共に、自らのアイデアが結実した「なごミスト」については、その理論的背景について簡単な説明をさせていただいた。

前報の時点では、規模の大きいグローバループでのドライミストは試運転段階であり、利用者の反応等も紹介できていない。本報では、2回の夏を経て、気温、湿度の実測結果から利用者へのアンケート調査に加えて、2007年での展開も含めて紹介することとしたい。

1. イントロとして

筆者の専門は建築防火であるが、学生時代の研究室は建築設備講座で、その後も数年ではあるが、省エネ研究の講座で助手をさせていただいた。既に30年近く昔のことになるが、その頃から消費者に甘いというか、ユーザーの要求は100%満たしながら、効率の上昇のみを追い続ける技術の姿勢には批判的で、場面によっては利用者に我慢を強いる技術のあり方を、本業の防火部門(100%の安全はありえない)でも探ってきたつもりである。

何をぶつぶつ言っているかと反論される向きには、このまま消費者の言うとおりに冷暖房をし、風呂に入ることを許していたら、どう考えても地球環境は守れない。少々手荒でも、我慢すること

を覚えろ、と説得する技術を開発すべきでは、と言いたいのである。

幸いにも家族の協力で、30年間「東京以西、冷暖房不要論」を実践し、夏には扇風機の後でせせと霧吹きを手押ししていた筆者としては、ドライミストは環境を我慢できる程度に改善する道具として、不思議と筋のいいものである。具体的な技術情報は後述するとして、この間の開発で気付いた話を二つほど。

(1) ドライミストの狙い

「とても暑い」環境を「やや暑い」環境に手軽に変えられる道具があり、それで、満足する消費者がある割合では存在する場へ、エアコンという万能の道具を持ち込んで、エネルギー的にも環境面でも無駄な状況を作り出しているというのが、筆者の現実認識である。この認識で、「エアコンは米国の砂漠地帯のように、無ければ死んでしまうようなところで成立した技術だ」と教えていたが、見田宗介の「現代社会の理論」¹⁾が、1950年代の米国では『国庫から割り戻された90億ドルを手にした消費者たちは、200万の小売店へ豊かさを求めて殺到した。…扇風機をエアコンに取り替えることによって、自分たちの力で経済を発展させられるのだということを彼らは理解した。』というように、エアコンは消費社会の産物であって、必然ではないようである。ならば地球環境

問題を旗印に、可逆的に、エアコンから扇風機もしくはドライミストへの転換も可能はず？である。

(2) パッシブな仕組みの難しさと楽しさ

ドライミストの適用には、その地の気象条件(より微気候的な要素も働く)が大きく影響する。自宅のベランダに設置して挑戦した昨夏でも、ベランダのある南側からどれだけ風が吹くかが大きく結果に影響するわけで、うまく行くかどうかは、一夏やってみてから判断させてください、というのが正直なところである。当然、エアコンをつけて「さあどうです、涼しいでしょう」と言った方が楽だし、難しさも無い。一方、ドライミストが適用できるかどうかを気象データから判断しようと、後述のように各都市のデータを暑そうな時期を選んで分析すると、どうしてこの街は夕方だけ湿度が上がるんだろう(福岡)とか、仙台に比べて東京は乾いてるな、とか考えもしなかった各都市の特徴が、微気候として見えて楽しい。また、ドライミストを使ったパッシブな仕組みで、地下鉄駅舎の気温制御と火災時の排煙を考えている筆者としては、機械排煙と今は全く顧みられないスモークタワーとの対比が、エアコンとドライミストの対比に重なって見える。排煙機を動かせば効果はともかく、空気は動くが、スモークタワーが火災時に能力を発揮できるよう、通常時に縦シャフトの温度調整をするのは大変である。ともに、パッシブに近いもので満足を得ようとする技術的な検討は大変だし、なかなか世間の賛意は得られない。しかし、計測器の発達でかなり綿密な制御をすることが出来るようになった昨今、パッシブな方法論も達成可能なレベルに来ていると思う。

2. 経緯

2003年にドライミストの開発を始めた動機は、簡単にまとめれば「地表面における太陽エネルギーの吸収率を上昇させる可能性のある屋上緑化から、緑化を除いて蒸散による冷却効果だけを残す」

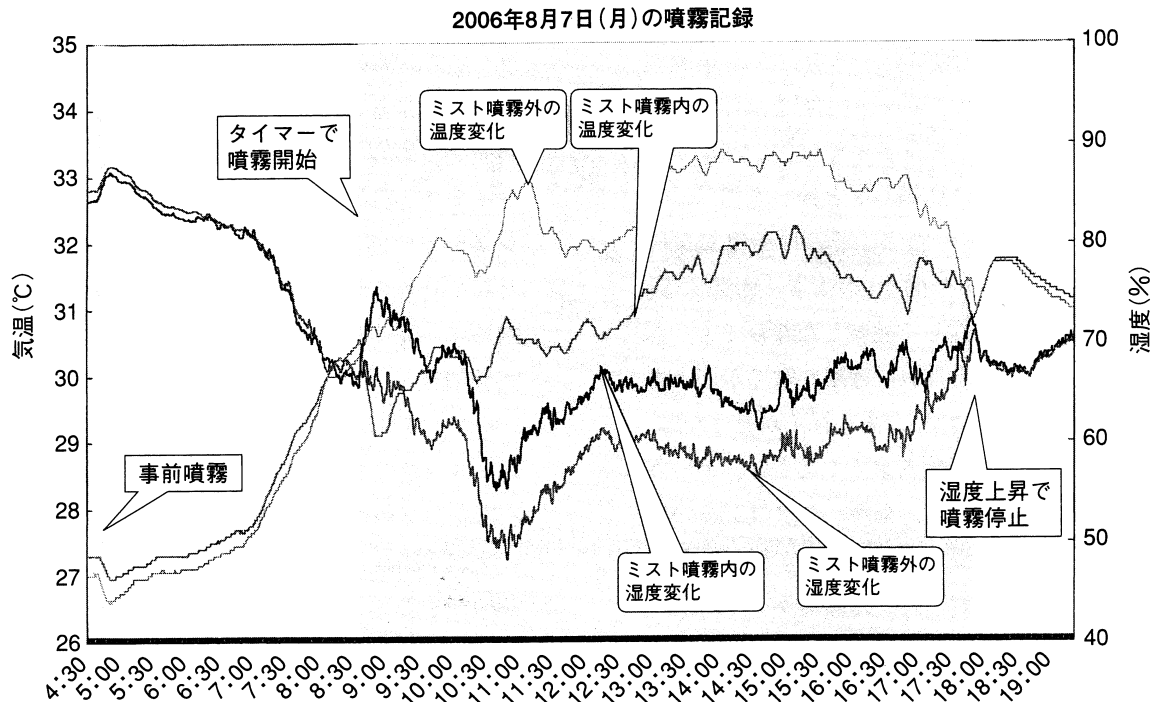
と「ミスト消火のために開発されたノズル技術」の合体である。このアイデアが平成15-16年度経済産業省地域新生コンソーシアム研究開発事業「ドライミスト蒸散効果によるヒートアイランド抑制システムの開発」(代表：辻本誠/奥宮正哉)^{注1)}として認められ、ドライミストを噴霧した空間の内外に一卵性双生児を配して温冷感を測るなどの実験研究^{2), 3)}を経て、2005年夏に愛・地球博(グローバルループ、ワンダーサーカス電力館、オーストラリア館)でデビューした。微小な水滴を散布して涼をとる方法は、公園などのアミューズメント施設に以前から存在し、愛・地球博でも20種類ものミストが乱舞?した(上記、本誌56号参照)。しかし、1流体ノズル(後述)単独で「頭上から噴霧し、濡れを感じさせずに涼をとる」というシステムは我々の「なごミスト」^{注2)}だけである。

愛知万博で大勢の人に体験してもらい評判が良かったお陰で、2006年夏は、グローバルループ施設の再利用として、豊田市駅前のペDESTリアンデッキ、安城市デンパークの休憩所などに移設されたのをはじめ、東京都が平成18年度重点事業18「都市と地球の温暖化対策」の中でドライミストの設置に関する補助(最大1,000万円×2件)を用意することとなった。我々としては採用された「秋葉原クロスフィールド」を含め複数の案件を提案し、六本木ヒルズ66プラザ(写真-1参照)



写真-1 六本木ヒルズ66プラザ

散布面積：約180㎡、ノズル数：6個1セット×9セット、
全体の噴霧量：2.7ℓ/分、ポンプ：7.0MPa、750W



図一 ドライミスト内外での気温と湿度：2006年8月7日(月)

でも実現することができた。図一はそこでの8月7日の測定値でドライミストの降温降下がよく分かる。ドライミスト噴霧領域の内外で等エンタルピー線を空気状態が変化している(気温30℃付近では気温1℃低下で相対湿度5%上昇)。2007年夏には函館五稜郭タワーのアトリウム部(写真一参照)、新丸ビルの外構部での利用が決まっています、これまでの適用範囲を分類すると、建物周辺の待合・休憩スペース、遊歩道の半屋外空間と、室内では夏季に冷房設備の無い地域でアトリウムのように自然換気が期待できる空間への対応となる。今後はエネルギー・水の使用実績の公表ならびに適用地の気象分析を蓄積することで、より具体的な展開が期待できる。

3. 技術論

3.1 ミスト生成

ミストの作り方に入る前にドライミストとは何かが定義される必要がある。自然界のmist(霧)は、平凡社大百科事典によれば、直径数 μ ~数十 μ の水滴が1cm³の空气中に数個~数百個含まれた



写真一 函館・五稜郭タワーのアトリウム部

ものである。我々がドライミストに求める性能は、①噴霧後、空中でほぼ100%蒸散することと②接触がドライで、触っても濡れた感じがしない。また女性の髪が濡れたり、化粧が崩れたりしないことである。こんな性能を評価する既成の試験方法は無く、試行錯誤の結果として、平均粒径としてザウター平均値(総体積/総表面積)： 16μ ^{注3)}のノズルを使っている。ただし、平均値だけでなく粒径分布にも注意が必要で、分布の幅が広がるとドライミストも出来るが、粒径の大きい方で雨も降るといふ感じになって、②の性能が満たされない上に、水滴になる分、(蒸発により奪う熱量)/(ミストを作る際の投入エネルギー) = COPと考えた場合のCOPが低下する。

次に、ミストの作り方は、現状では水を6MPa(60気圧)で加圧して、直接、ノズルから噴出させてミストを作るやり方(一流体式)である。この方法でのエネルギー消費は、ラフな数字だが、超音波方式の1/100、二流体式(圧縮空気を利用する霧吹き原理)の1/10である。一方、一流体式の弱点は、発停時の圧力変化時に、ミストになりきれない水がノズル先でポタ落ちすることであるが、これは昇圧と降圧の仕方を工夫することで対応できる。

次の問題は室外でミストを噴霧する場合、どんなノズルでも起こる課題だが、外気風の影響により噴霧したミストが、ノズルもしくは周辺の配管に吹き戻されて水滴化し、滴下することである。これではせっかく上記のポタ落ちを防いでも甲斐が無い。これへの対策は水平面(外気風のベクトルの向き)に対して噴霧角を調整する、配管とは一定の離隔距離をとり、その距離の間にミストの濃度(空間密度)を水滴化しないレベルまで下げる、などがあるが、これも今のところ、試行錯誤にならざるを得ない。これらの現象を簡易に試験する方法が存在しないので、現状では大学の屋上の手すりに各種のノズルを取り付け、上方へ向けて噴霧して、手すりが濡れるかどうかで性能を比

較している。

3. 2 蒸散量と適用範囲

さて、ミストが100%うまく蒸散するシステムが出来上がったとして、ノズル先からどれだけ水を出すかというのも難問である。自然観察が趣味の筆者としては、単純に森の冷却効果をそのまま持ち込もうということで、「図解生物学データブック」(丸善、1986、p67)に従い、クスノキの全蒸散速度：測定日8/28 2,137 (mgH₂O/d平米/h/10mmHg飽差)から、気温34℃、相対湿度50%→飽差21mmHgで、かつ葉の重なりから水平面全体から蒸散するとして、標準値を7.5ml/分/m²とした。山田宏之(2003)(都市緑化の観点から、環境情報科学、32-2、pp.28~31)でも、単木を対象とした夏の1日の総蒸散量の測定値は、樹幹面積23m²のイチョウで1日あたり2201(6.6ml/分/m²)、32m²のイチョウで4521(9.8ml/分/m²)でほぼ同じオーダーである。

次はどんな気候のところが適用範囲か、言い換えればどんな地域では蒸散がうまくいかずに不適切か、という判断が必要になる。これも精査は必要だが、相対湿度が70%を超えると、経験的に蒸散が不十分で床が濡れやすいことと、3. 3の「ドライミストと温冷感」のことを配慮して、気温30℃以上、相対湿度70%以上をミストの冷却効果が薄れる望ましくない条件と決めて、気象庁のホームページから各地の24時間データを分析した。

2003-2005年の3年間、6-9月の1時間データで、「気温30℃以上、相対湿度70%以上」の時間数は、以下の各都市でそれぞれの数字となる。

函館：0、仙台：6、東京：0、名古屋：9、
大阪：9、松山：5、福岡：20

各都市の気象をさらに詳しく検討すると、海風の存在の有無、降雨などが時間数に影響していることがわかる。時間数が極端に多い福岡では、次頁図-2のように発生はピークを17時とする山形の分布で、夕方から夜半にかけての過ごし方が気

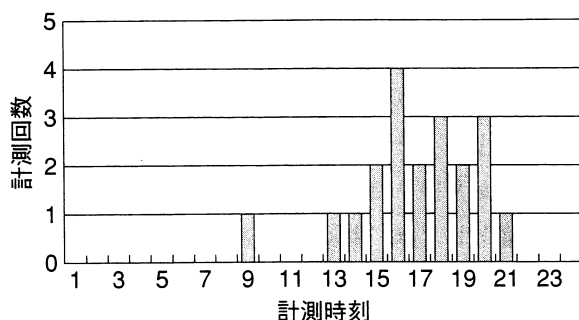


図-2 福岡(2003-2005年)で気温30℃以上、湿度70%以上が起こる時間帯

になるところである。このように、ドライミスト適用の可否を検討することで、各都市の夏の特徴、微気候への対処のあり方など、新しい視点も開けてくる。

3.3 ドライミストと温冷感

「日本は高温多湿なので、ミストを噴けば湿度があがり、体感上、蒸し暑くなるだけではないか?」というのが、このシステムを提案すると必ず出る反論である。

これについては本誌56号でASHRAE (Kochほか, 1960)の研究をもとに、真夏の名古屋であれば、ミストを噴霧すると過半数が暑いとは言わない環境、すなわち「暑い」から「少し暑い」へ環境をシフトすると判断している。ただし、利用した研究は室内での実験結果であり、日射、外気風の影響などまだまだ解けていない部分が多い。今後は、標準新有効温度 (SET*)、予測平均温冷感申告 (PMV) などで検定する必要がある。

さらに東南アジア (バンコク、シンガポールなど) で利用されている例では、ミストは水滴が直接、肌にあたる粒径の大きいもので、蒸散で気温を下げるのが主目的のようには見えない。相対湿度が高くて蒸散の十分起らない場では、一部が気化して気温より温度の下がった水滴が肌にあたった方が、涼しさを感じるのでは、とも考えている。真夏、子供たちにはこの方が人気があることは明らかである。

ちなみに、世界気象資料 (2005年)⁴⁾で前述の

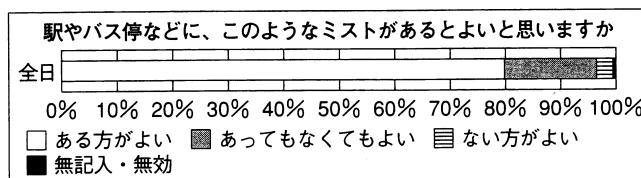
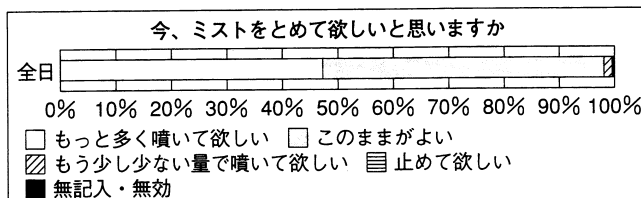
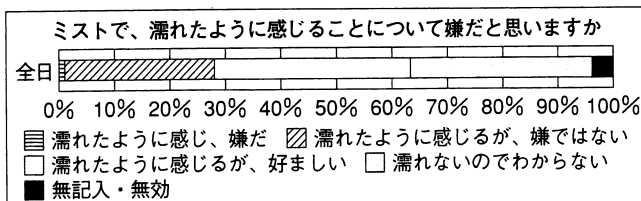


図-3 愛知万博ワンダーサーカス電力館でのアンケート結果

3.2と同様のデータ処理をすると、

バンコク：26、シンガポール：21、北京：6となる。集計したデータが1年分かつ6時間ごと(1日4回)であることを考慮すると、バンコク、シンガポールでは前述の数値が100を超えることは確かであり、なごミストの適用には限界がありそうである。

ドライミストを設置した現場で、利用者に直接、温冷感や快適感をアンケート調査したものとしては、図-3の愛知万博ワンダーサーカス電力館の待合スペース (1,424名) と2006年8月の六本木ヒルズでのもの (309名) がある。ともに「濡れた感じはするが好ましい、嫌ではない」と答える人が約半数、「濡れたように感じ嫌だ」という人が2%と不思議なほど一致している。

3.4 ドライミストとヒートアイランド対策

使用電力量と水量の実績については、愛知万博グローバルループの一区画で以下の値が得られていて、ポンプ容量とドライミスト噴霧量が理想的な組合せであれば、前述の定義のCOPが300を超える装置となる。



写真-3 自宅(名古屋市千種区)での適用例
集合住宅の規模、3LDK(57㎡×2戸) なごミストの仕様：
1住戸当りノズル4個 噴霧量：200ml/分

対象面積：約4,100㎡ ノズル総数：576個 期間：7/5-9/25 使用水量：838.480㎡(398ml/時間・㎡)、使用電力量：2,025.9kWh(1.03W/㎡)

このCOPであれば、夏季、都市内の小公園(50m四方)に適用して、小公園の全周囲に建築物があり空調しているとして、高さ3mまでの部分の伝熱負荷を2℃下げることによって生じる省エネルギー分は、ミスト噴霧に必要なエネルギーを下回る。その結果、地域のエネルギー消費の総量は変わらずに、気温が2℃下がる(相対湿度は10%上がる)わけで、これがヒートアイランド緩和につながるという点が、我々の狙うドライミストの神髄である。

なお、打ち水や保水性舗装はエネルギーを使わないので、COPが無限大という議論も成り立つが、平面からの蒸散には限界があり、特に無風の場合はミストの1/3-1/2で、気温を降下させる効果は期待できない。日射が直接当たる空間では、ドライミストも打ち水も効果を実感することは困難で、ドライミストの場合は、テントのような日射遮蔽が必需品だし、打ち水の場合には、日暮れ時でないとう効果を実感できない。

4. 過去から未来へ

時代を遡って、現行の冷房システムが無い時代、エアワッシャを備えた蒸発冷却は、千葉県庁(明治43年)、東大六角講堂(大正3年)に採用されて

いた⁵⁾ようである。またドライミストの先達として、深堀⁶⁾は1993年に一流体ノズルによる霧発生システムで都市空間の快適性向上の可能性を指摘しているし、名古屋のオアシス21でも2004年夏から細霧冷房の試みがなされている。

冷媒を用いる既成の装置、いわゆるクーラーは容易に涼しさをもたらす反面、「窓を閉めて廃熱を掛け合う」近隣関係を作り出している。筆者としては、「少し我慢しても窓を開けてドライミストによる冷気を分け合う」ことを目標にしたい。このため、2006年夏には、住宅に適用できる小規模の装置を開発するというこで、自宅も含めて、DIYに挑戦した(写真-3参照)。この経緯は大手山 亮のブログ(<http://blog.livedoor.jp/misuto601/>)に詳しいので、是非、見ていただいて、騒音レベルが低く省エネルギーのポンプの開発にお知恵を拝借したい。

〈注〉

注1) 地域新生コンソーシアムのメンバーは以下のとおりで、ドライミストの登録商標は能美防災(株)による(商標登録第4947954号)。名古屋大学、清水建設(株)：管理法人、中部電力(株)、(株)川本製作所、能美防災(株)、(株)トーキン

注2) 筆者が商標登録第4907059号を有している。

注3) He-Neレーザーを用いたフランホーヘル解析法で粒径分布を求めている

【文献】

- 1) 見田宗介、現代社会の理論、p4、岩波新書、1996
- 2) 辻本 誠、ミストの蒸散効果を利用したヒートアイランド対策—そのコンセプトと初歩的検討—空気が調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集第4号、2003年3月
- 3) 児玉奈緒子ほか、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)、日本建築学会東海支部研究報告集 第44号、2006.2
- 4) 世界気象資料2005年(CD-ROM)、気象庁、(財)気象業務センター
- 5) 空気調和・衛生設備技術史、pp6-7、(社)空気調和衛生工学会、1991.4
- 6) 深堀賢久、霧発生システム、産業機械、1993年7月号