

第1～第3世代小規模噴霧型ドライミスト装置の開発と環境勘定

辻本研究室

5103404 大手山亮

1. 研究の背景と目的

ドライミストは平成15年度、16年度の中中部経済産業局地域新生コンソーシアム研究開発事業「ドライミストの蒸散効果によるヒートアイランド抑制システムの開発」プロジェクトにおいて、辻本、奥宮により基本的な開発がなされた。この間、平成16年度の実験（20m×12m×4mHの屋根有り空間で10ml/分/m²のミストを噴霧）において小規模^{1,2}ではあるが、半屋外空間において夏季の環境調整機能を持つシステムとしてのドライミストの完成を果たした。

その後平成17年度には愛・地球博における採用、平成18年度には東京都ドライミスト装置設置事業補助金による秋葉原クロスフィールドでの事例、森ビル株式会社による六本木ヒルズへの導入事例等に代表される実社会への適用事例が増える一方、平成18年度には東京理科大学辻本研究室においてシステムの各素材に関する検討と、システム全体についての幾つかの屋外実験とを繰り返す中で、家庭にも適用できる小規模噴霧可能なドライミスト（第1世代、第2世代、第3世代小規模噴霧型ドライミスト装置）など新たな利用形式のドライミストの発展を見た。

本研究は平成18年度に辻本研究室において、従来500m²を超える大規模施設を対象とした噴霧しか実施されなかったドライミストを家庭でも噴霧できる小規模なレベルまでスケールダウンするイノベーションの過程と、そこで得られた新たな知見を含めてドライミストとは何かを考察すると共に、ドライミストの環境勘定・目標世帯普及率の試算を行った。

2. 小規模噴霧型ドライミスト装置開発の方法と過程

2.1 第1世代小規模噴霧型ドライミスト装置

平成18年6月に従来の高価な汎用高圧ポンプを使用せずに、市販の高圧洗浄機A、7月には高圧洗浄機Bを利用してドライミストの噴霧実験を行った。

また配管系は衛生面で配慮した SUS316 製のステンレスチューブ継手と合成ゴム製高圧ホースを用いた。共に配管の基準サイズを呼び径 1/4 インチに統一した。噴霧ノズルは愛・地球博で使用された 50ml/min・個タイプのノズルを使用することに設定した。この結果、配管についてはパイプ部分で従来の直径 17.3mm から直径 6.35mm まで小型化に成功し、チューブ継手を利用することで設計・組立の手間と工期が大幅に短縮された。また、ポンプ価格も従来使用してきたポンプ価格の15分の1程度になった。この第1世代小規模噴霧型ドライミスト装置は平成18年7月29日、30日にドライミストノズル8個を使用し、愛知県名古屋市において初めて民間のマンションに設置した。図1に設置後の様子を示す。しかし、ポンプが発する騒音が問題となった。また、高圧ホースの材質由来の滞留水への臭い移りが発生し衛生面でも課題を残した。平成18年8月末には合成ゴムホースをテフロン製に変更した第1世代小規模噴霧型ドライミスト装置を、ノズル数12個にしてもう1基民間住宅へ設置した。

2.2 第2世代小規模噴霧型ドライミスト装置

第1世代小規模噴霧型ドライミスト装置の問題点を改善したのが第2世代小規模噴霧型ドライミスト装置である。主たる目標は小規模噴霧型ドライミスト装置が求める条件（圧力水量、騒音、消費電力）に合致する小流量高圧ポンプの検討であった。また、合成ゴム製の高圧ホースをテフロン製に変更し、衛生面での改善を図った。平成18年10月に小水量高



図 1: 一般家庭に設置された第1世代小規模噴霧型ドライミスト装置

表 1: 小規模噴霧型ドライミスト装置仕様

	第1世代 (第1期)	第1世代 (第2期)	第2世代	第3世代
ポンプ	高圧洗浄機 A	高圧洗浄機 B	小水量高圧ポンプ A, B	超磁歪素子動力高圧ポンプ
開発時期	2006年6月	2006年7月	2006年10月(A)、12月(B)	2007年2月現在開発中
配管仕様	SUS316 チューブ・継手、サイズ 1/4	SUS316 チューブ・継手、サイズ 1/4	SUS316 チューブ・継手、サイズ 1/4	SUS316 チューブ・継手、サイズ 1/4
高圧ホース	合成ゴム	テフロン + ステンレス ラス	テフロン + ステンレス ラス	テフロン + ステンレス ラス
消費電力	1400W	1500W	100 - 150W	30W
最大吐出圧	8.2MPa	8.2MPa	8.0MPa	6.0MPa
ポンプ形式	3連 プランジャー	3連 プランジャー	A:ピストン B:3連 プランジャー	超磁歪素子を用いたアクチュエータによる動力
電源	単相 100V	単相 100V	三相 200V	単相 100V
質量	9.0kg	15.7kg	12.0kg	未定
騒音値	90dB	85dB	70dB	65dB(見込み)
水量	6 / 分	3 - 7 / 分	~ 433ml / 分	200ml / 分
COP ⁵	5.78	5.40	53.4 - 80.9	270
利点	ポンプ価格安、調達が容易	ポンプ価格安、調達が容易	水量、消費電力、騒音小	消費電力、騒音、ポンプサイズ小
欠点	騒音、消費電力、水量過多。ゴム臭発生、衛生面の不安	騒音、消費電力、水量過多。	安定運転・圧力調節難、Aは脈動過多。高価。	開発が難航、精密部品を使うため耐久性に不安。高価。

圧ポンプAを導入、12月には後述のブログ経由でもたらされた小水量高圧ポンプB試作機を導入して用いて実証実験を行った。その結果比較的安定した噴霧が可能であったことと、消費電力が100～150W程度と第1世代型に使用されたポンプと比較して約10分の1程度で噴霧に成功したことから一定の成果を得た。平成18年12月14日～16日にはこれを東京ビッグサイトで開催された環境見本市「エコプロダクツ2006」⁴に出展し一般公開した。

2.3 第3世代小規模噴霧型ドライミスト装置

運転騒音をさらに低下させ、消費電力を約30W程度まで低減させる試みが第3世代小規模噴霧型ドライミスト装置の開発である。後述のブログ経由で従来のモータを動力とするポンプに代わり超磁歪素子を動力としたポンプの技術がもたらされた。現在製作に着手している試作機の仕様はドライミストの噴霧圧力である6.0MPaにおいて、流量が200ml/minである。このとき計算上COP⁵は270となる。

2.4 ブログ形式での技術公開

本研究室で行われている小規模噴霧型ドライミスト装置の研究開発過程は随時ブログ形式(名称:ドライミスト研究・開発 blog)で社会に公開し、ドライミスト装置の周知と技術の普及を図った。その結果、環境問題に関心のある一般人・学生・企業・行政・教育関係者から継続的に閲覧されると共に、Google 検索上位、Wikipedia からモリリンクが張られるなどドライミストに関する情報ソースとして一定の地位を得た。また、失敗を隠さず公開することで新たな技術交流が生まれるケースも多く、技術公開の目的が達成されたと言える。平成 18 年 5 月末の公開から平成 19 年 2 月 6 日までに 8450 のアクセスを数えた(同一日付同一人物の重複閲覧を除く)。

3. ドライミストと環境勘定

3.1 前提条件

ドライミストの環境緩和作用を森による気温緩和作用と比較し、現実に進められている施策におけるコストなどに置き換えることでその有効性を明らかにする。ここでは第 2 世代小規模噴霧ドライミスト装置をモデルにし、200ml/分のドライミストを噴霧するとした。辻本ら⁶に拠ればクスノキ林の蒸散量は 7.5ml/m²/分であり、ここでは森林の蒸散量の代表値としてこの値を採用することとした。森の貨幣価値のうち、イニシャルコストについては地価を、ランニングコストについては高知県が設定した「森林環境税」の税収から荒廃した人工林を自然林に近い混交林に作り変えるために行われた強制間伐に要する予算額を用いた。

3.2 ドライミストの環境勘定

表 2 に試算されたドライミストの環境勘定を示す。東京 23 区部に、理想的な小規模噴霧型ドライミスト装置と等価な環境緩和作用を生み出す森を作るコストと、エアコン(冷却作用のみ)を比較した。

表 2:ドライミストの環境勘定結果

項目	イニシャルコスト	ランニングコスト(年間)	消費エネルギー 上段: 単位時間 下段: 年間当り	上段: 消費電力 下段: 供給した冷却量
東京 23 区部に 26.7 m ² の森を作り、維持するコスト	¥24,075,390 (*1)	¥53.5 (*2)	N/A	N/A
ドライミストのコスト 有効面積 26.7 m ²	¥400,000 (*3)	¥1,648 (*4)	¥0.19/m ² ・h(*5) 49.8kWh(*7)	0.15kWh(*6) 0.16GJ(*8)
エアコン(冷却作用のみ)のコスト	¥92,066 (*9)	¥26,579 (*10)	¥0.60/m ² ・h 1,656 kWh(*12)	1.0kWh(*11) 1.0GJ(*13)

(*1)第 2 世代型小規模噴霧型ドライミスト装置(ノズル 4 つ:仕様 50ml/分・個)が噴霧する水量 200ml が効果を与える面積(7.5ml/m²換算で 26.7 m²)に対応する東京都の地価を算出した。平成 17 年 1 月 1 日現在、東京 23 区部における全用途平均の地価は東京都の報道発表資料⁷より 901,700 円/m²であった。よって東京 23 区部平均地価より、仮定したドライミストの有効範囲 26.7 m²の地価を計算すれば 24,075,390 円となる。

(*2)高知県における 26.7 m²当たりの強度間伐費用は、3 年平均額を用いれば 535.4 円/年である。東京 23 区内に森を作り維持する費用とは、東京 23 区内任意の場所に更地を設定し、10 年に 1 度の手入れのみで自然に森が成長すると仮定した。

(*3)第 2 世代小規模噴霧型ドライミスト噴霧装置の価格は現状の製作費用である価格を基に 40 万円と設定した。

(*4~*7)夏季に 332 時間噴霧(愛知万博での実績値)した場合の電気代と水道代を合わせたランニングコスト。

(*8)ドライミスト噴霧総水量(200ml/分×332 時間)と気温 30 における水の蒸発潜熱(2.428kJ/g)の積。

(*9)エアコンのイニシャルコストは 26.7 m²の室内に適した能力のエアコン価格の平均値⁸。

(*10~*12)ドライミストノズル 4 個がカバーする面積(26.7 m²、16.2 畳)に相当する面積を冷却するために必要な動作時平均

消費電力量 1.0kW とし、冷房期間 3 ヶ月間(7 月 1 日~9 月 30 日の 92 日)、1 日 18 時間使用した場合。電気料金は ¥16.05/kWh(東京電力)として試算した。

(*13)水谷傑ら⁹による。また、エアコンの COP から逆算すれば、COP=6.04 とすればほぼこの値に合致する。

3.3 環境勘定の考察

表 2 のうち網掛け部分でのイニシャル+ランニングコスト比較をする。仮に 100 年を単位として森を作ると考えれば次式 $\frac{24075390+53.5 \times A}{N} = A$ より、 $A=100[\text{年}]$ としたとき、N の値 $\frac{400000+1648 \times A}{N}$

は 42.6 となる。つまり、森の持つ様々な価値のうちその約 1/40 が気温緩和作用に相当すると言えるならば、森の持つ気温緩和作用に相当する価値をドライミストが提供できる、と考えられる。しかし、現在のところ森の価値を総合的に算定する手段は確立されていない。

4. 家庭用ドライミストの目標世帯普及率

東京 23 区における人工排熱インベントリ¹⁰を基に、家庭に設置されたドライミスト¹¹が効果を持つ世帯普及率を試算した。この結果表 3 に示す通り、戸建+集合住宅からの人工排熱(顕熱)総量を潜熱化するために必要な世帯普及率は 7.6%であると試算でき、これを第 1 次目標世帯普及率として提案した。

表 3:家庭用ドライミストの目標世帯普及率

人工排熱源の例(顕熱のみ)	構成比 (%)	排熱量 (TJ/day)	ミスト噴霧量 ² (m ³ /min)	水道供給能力 ³ に対する割合	目標世帯普及率 ⁴	東京都区部における同等世帯普及率 ⁵
自動車	32.1%	505.8	144.7	5.7%	17.4%	食器洗い機 (17.1%)
戸建+集合住宅	14.0%	219.9	62.9	2.5%	7.6%	輸入自動車 (6.5%)
生産工場・清掃工場・火力発電所	17.4%	274.3	78.5	3.1%	9.5%	20万円以上のユニット家具 (9.2%)
(顕熱全体)	100%	1574.3	450.3	17.7%	54.3%	システムキッチン(56.1%)

5. まとめ

500 m²を超える大規模施設を対象として噴霧されていたドライミスト装置の小型化を試み、高圧洗浄機を利用した第 1 世代小規模噴霧型ドライミスト装置を開発した。

第 1 世代型に改良を加えた第 2 世代小規模噴霧型ドライミスト装置を開発し、平成 18 年 12 月に「エコプロダクツ 2006」に出展した。しかし、ポンプの振動対策やポンプの小水量化に伴う噴霧圧力保持困難等の改善課題も明らかになった。

第 2 世代型にさらに改良を加えた超磁歪素子を用いた第 3 世代型の開発に着手、消費電力を 30W 程度まで軽減することで COP を改善し、運転音も抑えることを目標とした。

ドライミストの環境勘定を行った結果、100 年単位では森の持つ価値の 1/40 が気温緩和作用に相当するならばドライミストが森の気温緩和作用と同等の冷却量を提供できると結論付けた。

家庭用ドライミストの第 1 次目標普及率を 7.6%と試算した。

¹林啓紀他、ドライミスト散布によるヒートアイランド抑制に関する研究(第 4 報) 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会講演論文集 2005 年

²児玉京子他、ドライミスト散布によるヒートアイランド抑制に関する研究(第 5 報) 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会講演論文集 2005 年

³ 50ml/min・個タイプのドライミストノズル 4 つ使用の場合。計算式は以下の脚注 5 参照。

⁴ 「エコプロダクツ 2006」主催:(社)産業環境管理協会、日本経済新聞社、後援:経済産業省、環境省、文部科学省、国土交通省等。出展規模 572 社・団体、確定来場者 152,966 人。日本最大級の環境総合展。

⁵ COP₁ = $\frac{\text{噴霧水量}[\text{g/s}] \times \text{蒸発潜熱}[\text{J/g}]}{\text{消費電力}[\text{W}]}$

が COP=300 程度であった。

⁶辻本誠「最近気なる用語 149 ドライミスト」冷凍 2003 年 9 月号第 81 巻第 947 号

⁷東京都報道発表資料「東京の土地 2004 土地関係資料集 第 7 章 地価」2005 年 6 月

⁸価格.com (http://kakaku.com/) による。

⁹「住宅内における用途別エネルギー消費と住まい方の実態に関する研究」2006 年 11 月 日本建築学会環境系論文集 第 609 号 117-124

¹⁰「平成 15 年度 都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書」国土交通省・環境省 平成 16 年 3 月

¹¹ 3. ドライミストの環境勘定で述べた仕様のものを想定。

¹²試算に用いた水の密度は 1000kg/m³

¹³水道供給能力は平成 17 年 9 月 8 日における東京都区部での最大配水量 3673000 m³/day から算出。「東京の水道」東京都水道局サービス推進部広報サービス課平成 18 年度第 4 類第 39 号

¹⁴平成 17 年度国勢調査速報。東京都区部の総世帯数: 4,146,481 世帯

¹⁵普及率は総務省統計局「平成 16 年全国消費実態調査: 主要耐久消費財結果表」

http://www.stat.go.jp/data/zensho/2004/submenu3.htm を参照