

ミスト散布技術によるエネルギー消費削減ならびにヒートアイランド緩和効果に関する研究

鳴海大典^{*1}、繁松健太郎^{*1}、下田吉之^{*1}

^{*1} 大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻

Effect of the decreasing of energy consumption and mitigating urban heat island phenomena by use of the mist water spray

Daisuke NARUMI^{*1}, Kentaro SHIGEMATSU^{*1}, Yoshiyuki SHIMODA^{*1}

^{*1} Osaka University

Abstract : Technique of the mist water spray for evaporative cooling is receiving increasing attention as heat island mitigation strategies. In this paper, we conducted several techniques of spraying mist on public housing. Then we simulated the techniques were conducted on all over the public housing. When we evaluated the effects of reducing cooling energy and the atmosphere sensible heat load by the technique through the result of experiment and simulation, we understood that the technique for evaporation cooling are effective in reducing cooling energy and the atmosphere sensible heat load.

Key Words : Energy Consumption, Urban Heat Island, Mist Spray, Cooling Effect by Evaporation, Feasibility Experiment, Numerical Simulation

要旨 : 本報では、集合住宅を対象としてミスト技術を導入した際の省エネルギー性やヒートアイランド緩和効果について実証試験ならびに数値シミュレーションを用いた検討を行った。実証試験については、「屋上散布」、「ベランダ散布」、「エアコン屋外機散布」の3種類の蒸発冷却技術についてエネルギー消費削減およびヒートアイランド緩和効果を検討した。また、数値シミュレーションについては、蒸発冷却技術を対象建物全体に施した場合に得られる効果について検討を行った。結果として、ミスト技術は冷房用エネルギー消費や冷房利用時間の削減効果が大きいことが示されると共に、大気顯熱負荷を大きく低減することが示された。

キーワード : エネルギー消費量、ヒートアイランド現象、ミスト噴霧、蒸発冷却効果、実証実験、シミュレーション

1. はじめに

夏季の熱環境緩和方策として近年ミスト冷却技術が注目されている。辻本ら（2004）は高圧で水滴を微細化し大気冷却を行うドライ型ミスト散布技術の実証試験を行っている。また、武田ら（2006）は光触媒技術を用いて壁面に水膜を作り壁面冷却を行う装置の実証試験を行っている。さらには、環境省（2004）は空調屋外機に水滴を直接噴霧することにより空調効率の向上を目的とする屋外機水噴霧装置の実証試験を行っている。本研究ではこれらのミスト技術に着目し、集合住宅を対象として最大限ミスト技術を導入した際の省エネルギー性やヒートアイランド緩和効果について実証試験ならびに数値シミュレーションを用いた検討を行うことを目的としている。

2. 実証実験による評価

2.1 実験対象住宅

本実証試験では、大阪市鶴見区にある集合住宅を対象施設として、「屋上散布」、「ベランダ散布」、「エアコン屋外機散布」の3種類の蒸発冷却技術についてエネルギー消費削減およびヒートアイランド緩和効果を検討した。対象集合住宅は築42年の5階建て市営住宅（RC造）である。実験住宅の概要をFig.1に示す。屋上では「屋上散布」、4階では「ベランダ散布」および「エアコン屋外機散布」の各実験を実施した。なお、各実験ともに散布実施世帯との比較対照のために隣接世帯で非散布条件での測定を行った。

2.2 実験期間

実験期間は2007年8月10日～2007年9月27日

である。本実験住宅は 2007 年末での取り壊しが決まっていることから、実験期間中は全世帯で無人であり、エネルギー等の消費も行われることはなかった。

2.3 散布装置

水を散布するノズルは 1 流体ノズルを使用し、性能の異なるタイプ A とタイプ B の 2 種類を用意した。ノズル A は水道直圧で粒子径のやや大きな水滴（約 $300 \mu\text{m}$ ）を散布するものである。ノズル B はポンプ加圧（約 1.8 MPa ）によって粒子径の小さなミスト状の水滴（約 $40 \mu\text{m}$ ）を散布するものである。

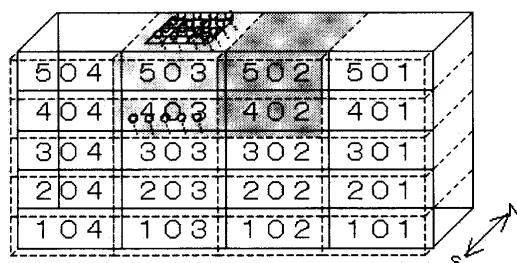


Figure 1 Outline of the Targeted Apartment Houses

2.4 実験条件

「屋上散布」はノズル A を用いて屋上面に水滴を散布することにより、最上階の熱環境改善やヒートアイランド緩和効果を得ようとするものであり、ここでは水滴散布が屋上面および直下の室内（5 階）に与える影響について、実測データによる非散布エリアとの比較によって評価した。散布システムとして 503 号室の屋上にノズル 3 基を 1 列として 4 列配置し、2 列ずつで各 15 秒散布後、7 分間停止するサイクルで 9 時～17 時まで散布を行った。この散布条件による 1 日の推定散布水量は 261L/日であった。

「ベランダ散布」はノズル B を用いてベランダでミスト状の水滴を散布することにより、冷却された外気を自然通風によって室内へ取り込む手法である。散布システムとして 403 号室の南側ベランダと北側窓手摺にノズルをそれぞれ 8 基、2 基設置し、24 時間散布を行った。この散布条件による 1 日の推定散布水量は 322L/日であった。

「エアコン屋外機散布」はノズル A を用いてエアコン屋外機の給気口に水滴を散布することにより給気や熱交換フィンの温度を下げて空調効率を向上させる手法である。本実験では、エアコン屋外機の給気口にノズル 1 基を設置し、1 秒散布後、29 秒停止するサイクルで 24 時間散布を行った。この散布条件による 1 日の推定散布水量は 66L/日であった。

2.5 実験結果

「屋上散布」の測定結果の一例として、8 月 16 日の屋上表面温度低減効果を Fig.2 に示す。散布時間は 9

時～17 時であったが、散布停止後も低減効果が得られ、終日平均で 16.4°C 低下した。また、室内環境に対しては床上高さ 120cm の室温では 1.2°C であったが、天井付近ではより大きな室温低減効果が得られた。エアコン利用時に関しては、「屋上ミスト」を実施した部屋で消費電力が 9.7% 削減されることが確認された。

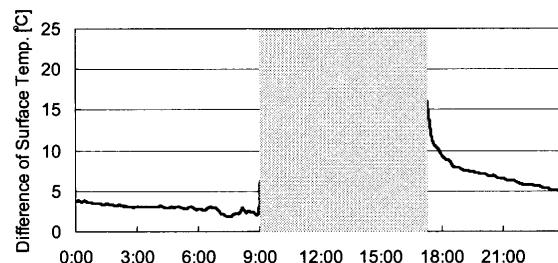


Figure 2 Variation with Time of Surface Temp. Reduction by Use of the Mist Water Spray at Rooftop (16th Aug.)

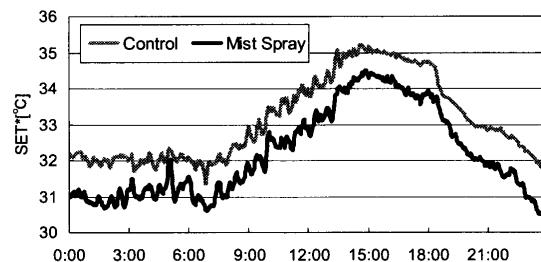


Figure 3 Comparison of Variation with Time of SET* by Use of the Mist Water Spray at Balcony (16th Aug.)

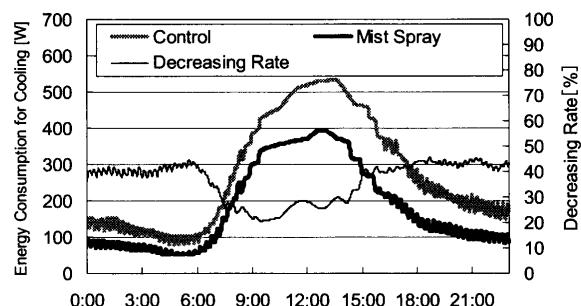


Figure 4 Comparison of Variation with Time of the Energy Consumption Reduction for Cooling by Use of Mist Water Spray to the Outdoor Unit of Air Conditioner (22th Sep.)

「ベランダ散布」の測定結果として、8 月 16 日には床上高さ 120cm の室温が終日平均 1.9°C 低減した一方で、絶対湿度が終日平均で 1.7 g/kg 増加したことから、湿度上昇による熱的快適性の悪化が懸念される。この点に関して、Fig.3 に示すように、気温や湿度などを含む総合的な熱的快適性を評価する指標である SET* を算出した結果、終日平均で 0.9°C 、最高で 1.4°C 低減しており、熱的快適性には気温低減効果が優勢であることが示された。

「エアコン屋外機散布」の測定結果の一例として、

Fig.4に9月22日における冷房用電力消費の削減効果を示す。このとき、対策室では比較対照室に対して34.3%の消費電力が削減されていた。なお、実験期間中の平均消費電力削減率は36%であった。

3. 数値シミュレーションによる評価

3.1 エネルギー消費に関する評価

前節に示した実証試験は住宅の一部を利用して各種対策技術の効果を確認したものである。本節では蒸発冷却技術を対象建物全体に施した場合に得られる効果を数値シミュレーションによって求めるものとする。本研究では住宅用熱負荷計算プログラムSMASH(建築環境・省エネルギー機構2002)を用い、建物データとしてFig.1に示す全20世帯をモデル上で再現した。

本項のエネルギー評価計算では、集合住宅各20世帯に4人家族が生活していると仮定して、各部屋における在室者と機器発熱のスケジュールを設定した。また、蒸発冷却技術として、Table1の5条件で計算を行う。壁面散布については、実証実験では行っていないが、屋上と同様の散布を壁面に対して施すことを再現した。

Table 1 Experimental Cases of the Simulation

Case	Calculation Method
Rooftop	Using effective solar absorption for evaporation at rooftop (Control:93%,Spray:30%)
Balcony	Decreasing -2°C of the air temp. from control
AC	Reducing 35.7% of energy consumption for cooling from control cases
Sidewall	Using effective solar absorption for evaporation at rooftop (Control:93%,Spray:30%)
All	All cases

Table 2 Effects of the Each Cases of Mist Water Splay upon the Energy Consumption Reduction (Floor Average)

Floor	Ratio of Energy Saving [%]				
	Rooftop	Balcony	AC	Sidewall	All
5F	22	51	36	4	80
4F	1	65	36	4	79
3F	0	65	36	5	79
2F	0	65	36	5	79
1F	0	65	36	5	79

Table 3 Effects of the Mist Water Splay (All Available Condition) upon the Energy and Water Consumption (Monthly Average)

	Jul.	Aug.	Sep.
Energy Saving for Cooling [%]	85	74	89
Reducing Time of Using AC [%]	85	68	90
Whole Energy Saving [%]	13	14	13
Monthly Total Electricity Saving [kWh]	544	1111	435
Monthly Total Electricity Necessary [A:60[W] B:30[W]]	280	477	267
for Mist Spray [kWh]	178	290	169
Monthly Total Water Necessary for Mist Spray [m ³ /month]	166	227	158

各技術による各階平均のエネルギー消費削減率をTable2に示す。「屋上散布」は3階より下階で効果は得られなかった。また、各技術を単独で実施した場合に最も効果が得られるのは「ベランダ散布」であった。

次に、「全対策実施」条件に関して、夏季3ヶ月の効果を月別に算出し、Table3に整理した。冷房エネルギー消費削減率は8月よりも7、9月の方が大きくなつた。8月は気温が高く、蒸発冷却技術のみで過ごすことができる時間帯が少ないとによる。ただし、住宅全体のエネルギー消費に対する削減率を見ると、9月では冷房エネルギー消費の割合が少ないため、削減率は最も小さくなつた。

以降では各技術を実施するために必要となる水資源やエネルギー消費量について分析を行つた。水資源に関して、1人が生活する上で使用する水量を254L/日とする(大阪市水道局2006)。4人家族が20世帯生活している状態での、複数の対策を実施した場合、1.3倍程度に増えることになる。エネルギー消費に関しては、水生成に伴う電力原単位0.454kWh/m³(大阪市水道局2006)とベランダ散布時のポンプ動力(30Wもしくは60W)を考慮してエネルギー消費削減効果を求めた結果、8月の値が最も大きくなつた。

3.2 大気顕熱負荷に関する評価

大気顕熱負荷は表面被覆由来(一次破壊系)と人工排熱由来(二次破壊系)の顕熱放熱に大別される。ここでは、一次破壊系として地面由来、屋上由来、壁面由来の3経路、二次破壊系として空調由来と給湯由来の2経路、計5経路を対象に計算を行う。本研究では5経路の大気顕熱負荷を時刻別に算出した後、対策が直接関与する3種(「屋上散布」時の屋上由来顕熱放熱、「壁面散布」時の壁面由来顕熱放熱、「エアコン屋外機散布」時の空調由来顕熱放熱)について、それぞれの削減効果を評価する。なお、いずれの放熱経路についても、8月の典型的な快晴日を想定した。

a)一次破壊系大気顕熱負荷

本計算ではFig.5のように計算領域を設定した。地面・屋上・壁面からの大気顕熱負荷の算出には、大気顕熱負荷簡易評価ツール(寺澤他2007)を用いた。

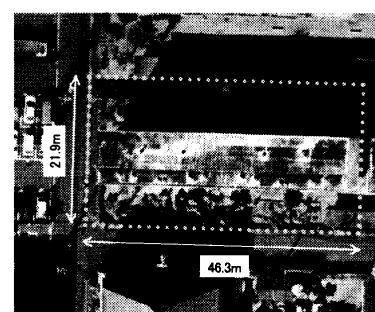


Figure 5 Evaluation Area for the Heat Flux from Ground and Building Surface

b)二次破壊系大気顕熱負荷

空調由来の人工排熱は、冷房エネルギー消費削減効

果の検討した際の数値シミュレーションの結果から空調排熱と消費電力の値を足して算出した。「エアコン屋外機散布」による大気顕熱負荷削減効果については、散布水が全て蒸発するものとし、その蒸発潜熱分だけ空調由来の大気顕熱負荷を削減することで表現した。

c) 大気顕熱負荷削減効果

Fig.6は「屋上・壁面散布」対策の有無による屋上・壁面由来の大気顕熱負荷の変化を示したものである。各対策を実施することで、屋上・壁面からの大気顕熱負荷が削減されていることがわかる。終日平均では、屋上・壁面それぞれで77%、61%削減された。

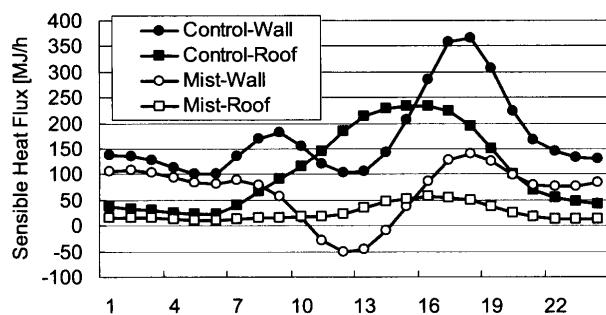


Figure 6 Variations with Time of Heat Flux Reduction from Building Rooftop and Sidewall by Use of the Mist Water Spray

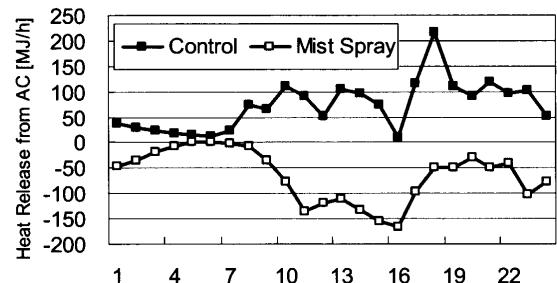


Figure 7 Variations with Time of Heat Flux Reduction from Air Conditioner by Use of the Mist Water Spray to the Outdoor Unit of Air Conditioner

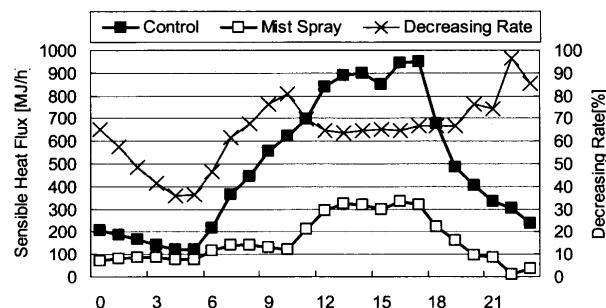


Figure 8 Variations with Time of Heat Flux Reduction from All of the Evaluation Area by Use of the Mist Water Spray

Fig.7は「エアコン屋外機散布」対策の有無による空調由来の大気顕熱負荷の変化を示したものである。

対策を実施することで、空調由来の大気顕熱負荷が削減されていることがわかる。対策実施時にはマイナスの値が見られるが、これはエアコンの稼働時間が長いために、「エアコン屋外機散布」によって散布した水の蒸発潜熱量が空調顕熱排熱量を超えたためである。終日平均では189%と削減率は非常に大きくなつた。

Fig.8には、5経路の大気顕熱負荷を総計して全体の大気顕熱負荷を算出し、対策実施による全体の大気顕熱負荷に対する削減効果を示した結果である。全体の大気顕熱負荷全体に対する削減率は終日平均で64%であった。

4. まとめ

本報では、集合住宅を対象としてミスト技術を導入した際の省エネルギー性やヒートアイランド緩和効果について実証試験ならびに数値シミュレーションを用いた検討を行つた。実証実験から、ミスト冷却技術を集合住宅に実施することで、エアコン使用時間の削減やエアコン効率の改善効果が得られ、冷房エネルギー削減効果を確認した。さらに、数値シミュレーションでは対策導入による大気顕熱負荷削減効果についても確認した。

5. 文献

- 大阪市水道局 2006: 大阪市水道局環境報告書
- 環境省 2004: 環境技術実証モデル事業平成16年度実証試験結果報告書
- 建築環境・省エネルギー機構 2002: 住宅用熱負荷計算プログラム SMASH
- 空気調和・衛生工学会近畿支部 1997: 関西地区建物エネルギー消費実態調査報告書
- 武田他 2006: 光触媒外装材散水システムによる戸建住宅の冷房負荷低減効果に関する研究、日本建築学会環境系論文集、No.606、37/44
- 辻本他 2004: 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、日本建築学会学術講演梗概集D-1分冊、805/806
- 寺澤他 2007: ヒートアイランド熱負荷簡易評価ツールの構築に関する研究、日本建築学会大会大会学術講演梗概集（九州）、環境工学D-1

＜連絡先＞

著者名：鳴海大典

住所：〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1

所属：大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻

E-mail: narumi-d@see.eng.osaka-u.ac.jp