日本建築学会技術報告集 第 19 号, 215-220, 2004 年
6 月

断熱を施した建物における屋根散水と緑化の熱的効果に関する検証研究

Validation On The Thermal Effect Of Roof With The Spraying And Green Plants In An Insulated Building

周　南 *1　　高　偉俊*2
西田勝*3　　尾島俊雄*4

Nan ZHOU　　Weijun GAO
Masaru NISHIDA　　Toshio OJIMA

キーワード:
断熱建物、屋根、散水、緑化、熱環境、効果

Keywords：
Insulated building, Roof, Spraying, Green Plants, Thermal environment, Effect

In this study, the authors conducted a thermal measurement in a building with a roof spraying system and a green roof in order to clarify the effects and problems of them on thermal environment. The results found that although there are some effects of a roof spraying system on the thermal mitigation of indoor air temperature, it is hard to say the roof spraying system is effective in an insulated building. However, the authors concluded the roof with green plants is much more effective than the roof spraying system to lower indoor air temperature.

1. はじめに

近年、省エネルギー・低環境負荷が命題となり、さまざまなパッシブな手法が建築設計に取り込まれるようになった。そのうち、屋上緑化は室内空調負荷の低減やヒートアイランド現象の緩和に貢献できると評価され、屋根散水も断熱性能の低い屋根に対して夏季の熱負荷低減に効果的な手法であるとされている。屋根散水について既往の研究としては、室らは実大モデルを用いて屋根面流下水の放熱効果について研究を行っている[1) 2) 3)]。また、長谷川らは折板屋根における散水システムの温熱効果について解析をした[4)]。一方、宿谷らは実測を用いて、屋根の散水による効果について分析している[5) 6)]。

このように、屋根散水は夏季において確かに室温の低下に貢献しているが、従来は蒸暑地域の建物や伝統的な住宅など屋根断熱性能の低い構造に用い、その効果が実証されている。しかし、現在ほとんどの建物は冬季の保温も考慮して、断熱材を入れている。このような一般的な建物にも屋根散水システムを積極的に取り入れる動きがあるが、実際どのぐらいの効果があるかほとんど解明されていない。

また、屋上緑化についても石原らは屋上芝生植栽の熱特性と水分収支に関する実験的研究を行い[7)]、谷本らも屋上被土からの蒸発量の簡易計算手法について検討をしているが[8)]、屋上緑化による室内熱環境の解明を目的としたものではない。一方梅干野らは薄い盛土層を持った屋上芝生植栽の木造建物における室内熱環境調整効果を明らかにしているが[9)]、RC造の建物を対象にし、実測を用いてその熱環境を明らかにしたものは多いとはいえない。

こうした背景に、本研究はこれらの手法を取り入れている断熱を施した建物について、実測を行うことで、その効果および問題点を明らかにすることを目的とし、今後の建築設計における省エネルギー計画の基礎資料とする。研究対象は北九州市若松区学術研究都市に位置する早稲田大学理工総研の建物とした。

2. 実測概要

2.1　建物概要

調査対象建物は北九州市若松区ひびきの学術研究都市に位置する早稲田大学理工学総合研究センターである。この建物は、屋上緑化や屋根散水装置などさまざまな手法を取り入れ、省エネルギー、環境に優しい建築づくりを試みている。図 1 はその配置図を示している。完成後は中庭を囲むロの字型の建物群になる予定であるが、現在は 3 棟の建物によって構成されるコの字型の 3 階建て、片側廊下式の平面構成となっている(図 2)。延べ床面積は 3447.3 ㎡であり、実験、研究、オフィスとして使用されている。南向きの棟はエンバイロメント系であり、屋上緑化が取り入れられている。東西向きの二棟はサイエンス系で、屋上に自動散水装置がとり付けられている。また、構造は図 3 に示すように、鉄骨構造で天井には露出絶縁断熱工法でアスファルト防水、屋上緑化の屋根にはさらに 250㎜ のビベソイル土層で被覆されている。壁には断熱材であるイソバンド（35㎜）が使用されている。

2.2 実測期間と場所

実測調査は 8 月 15 日～17 日の 3 日間で行った。図 4 に示す 3 階平面図のうち、西側のサイエンス系の棟（以下西棟と称する）で、四部屋のうち外壁の影響を除いた真ん中の S302 室と S303 室で散水の実

*1　Lawrence Berkeley National Laboratory　研究員　工博
（BLDG 90　Berkeley, CA 94720-8134　USA）
*2　北九州市立大学　助教授　工博
*3　九州産業大学　教授　工博
*4　早稲田大学　教授　工博

*1　Researcher, Dr. Engineering, Lawrence Berkeley National Laboratory
*2　Associate Professor Dr. Engineering, The University of Kitakyushu
*3　Professor, Dr. Engineering, Kyushu Sangyo University
*4　Professor Dr. Engineering, Waseda University

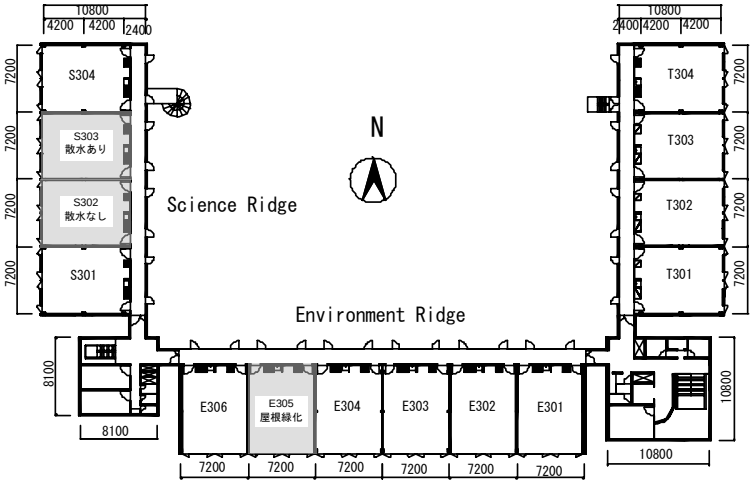
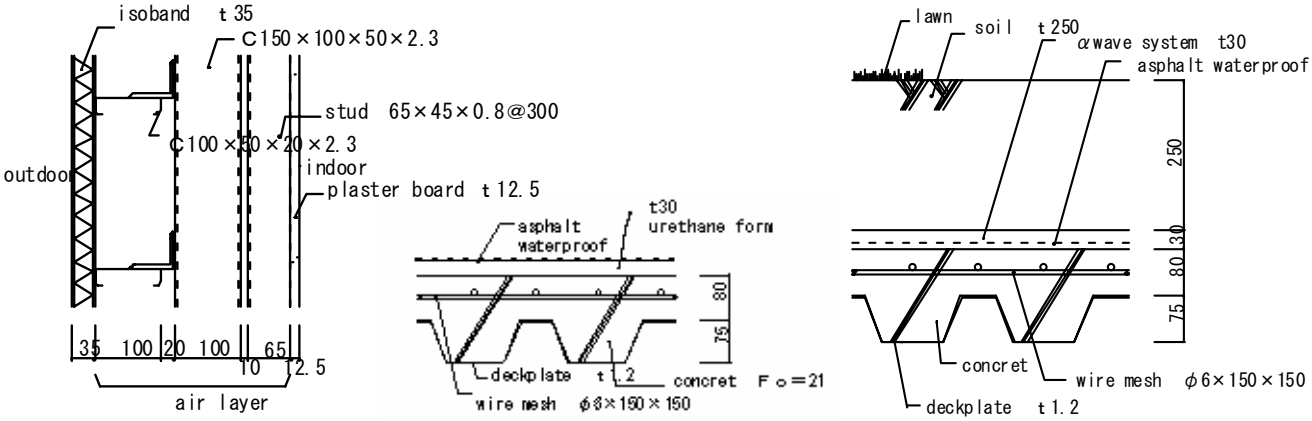


図１　実測建物の平面図（測定フロア）

図２　建物の外観



a) Structure of the Wall　b) Roof of the Environment Ridge (south ridge)　c) Roof of Science Ridge (west ridge)

図３　壁と屋根の構造

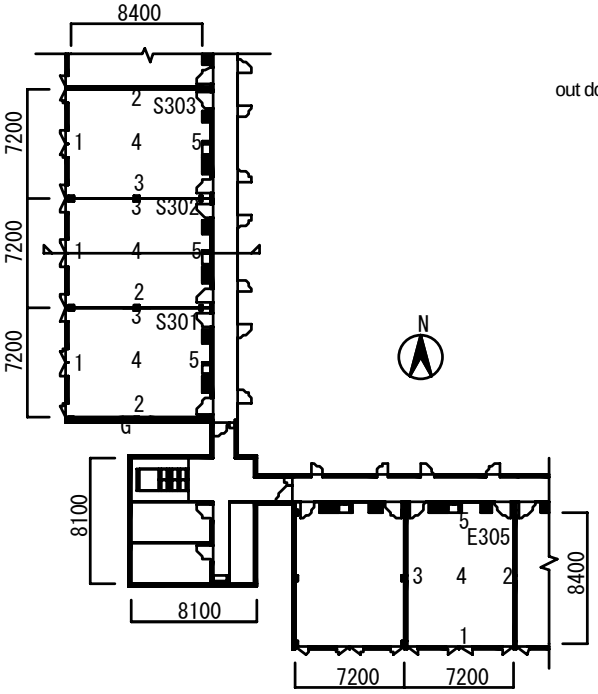


図.4 測定ポイント図

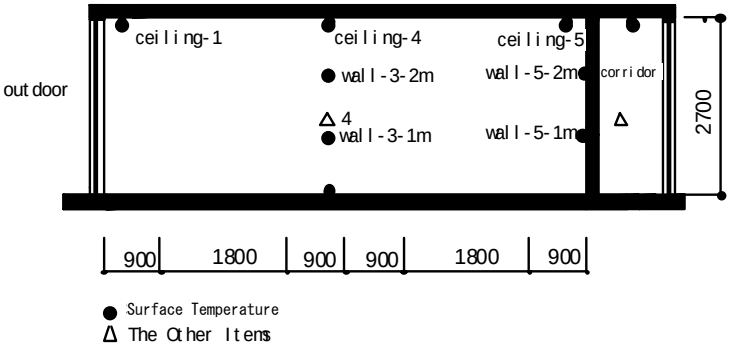


図５　測定ポイント断面図

表１　１日の散水量

Time	Quantity of spraying (ℓ)	Average spraying amount(mℓ/sm^2)
9:15~10:15	229	1.05
10:15~11:15	182	0.84
11:15~12:15	313	1.44
12:15~13:15	319	1.46
13:15~14:15	158	0.73
14:15~15:15	154	0.71
15:15~16:15	154	0.71

測を行った。また、屋上緑化実測はエンバイロメント系の棟（以下南棟と称する）の E305 で行った。各部屋とも窓の上部三分の二はガラスで、下部三分の一はアルミとなっており、廊下側の壁両側に扉がある（図 5 参照)。廊下も全面ガラスの窓があり、開閉できるが、今回はほかの要素を取り除いた屋根散水と屋上緑化のみの効果を見るため、３部屋とも全閉の状態とし、廊下の窓も全閉にした。なお、いずれの部屋とも使用していない空き部屋であった。

2.3 測定方法と項目

西棟の屋上に自動散水装置が設置されているが、水量が少ないため、今回は手動のみで散水を行った。屋上表面が常に濡れる状態に保つように、S303 室上の屋根面に限定してホースで連続的に散水した。散水者は二人で一時間ごとに交替で行った。同時に、散水した量は 1 時間ごとに確認し、記録した。15 日の散水時間は 9：20 から 17：00 までの間とし、表 1 は散水量を示している。16 日は 12：00～17：00、17 日は 10：00～17：00 の間で行い、同要領で散水を行った。

室内測定項目については、図 4、表２に示すように、窓側、中央、廊下側、南壁、北壁の測定ポイントはそれぞれポイント 1、4、5、2、3 とした。室温 2 ヶ所（中央、廊下側)、相対湿度は中央 1 ヶ所、グローブ温度 1 ヶ所（室内中央)、天井表面温度 5 ヶ所（天井の中央と四周の)、壁表面温度 6 ヶ所（窓面を除く三つの壁のそれぞれ床上から 1m、2mの 2 ヶ所)、床中央の表面温度 1 箇所、室内中央の気流速度 1 ヶ所について実測を行った。一方、屋外は屋上において、気温、風速、屋根表面温度について実測を行った。なお、S302 は散水なし、S303 は散水ありであった。

また、実測に用いた測定機器は表 2 に示す。各測定項目は 10 分間隔で記録した。

本論文では、外気については 3 日間のデータについて解析を行うが、室内についてはもっとも効果の出ていた 3 日目の 17 日のデータを例に解説を行う。

3. 実測結果および考察

3.1 実測期間の気象状況

8 月 15 日～17 日の 3 日間はおおむね晴天であり、水平面全天日射量の実測結果は図 6 に示すように、日射量は 12 時～13 時の間に最も大きくなり、15 日は 1MJ/㎡があり、16 日は 0.96 MJ/㎡、17 日は 0.88 MJ/㎡であった。

図 6 は外気温と相対湿度を示す。15 日の外気温は最高温度が 17：00 時前後に 36.8℃となり、16 日は早朝 6：00 頃に最低で、26.5℃となり、最高 12:00 前後に 35.3℃となった。17 日は最低 6:00 に 25.2℃、最高 14：00 に 34.2℃となった。一方、相対湿度は 15 日では 17：00 ごろに最低となり、43.6%である。16 日は最高午前 6：00 頃に 81.6%、最低昼 12：00 頃 39.8%となり、17 日は最高午前 6：00 頃に 89.2%となり、最低 13：30 に 46.8%となっていた。

3.2 室内温湿度

室内気温と湿度に関する考察は室内中央のデータを用いた。図 7 は各部屋の室内気温を、図 8 は相対湿度を示している。図 9 では散水ありなしの場合の室内気温と湿度の差を示している。

散水なしの部屋では、室内気温は最高で 40.4℃、平均で 35.1℃、

表 2　測定項目と方法

Items	Points		Used devices	Detail
Room Temp.	center of each room and corridor	4,6	Thermo Recorder RH Cooper Constant	①Thermo Recorder RH ②Cooper Constant （ T&D. TR-72） T-type 0.3mm
	side of each room	5		Cooper Constant 0.3mm
Room Humid.	center of each room	4		Thermo Recorder RH （ T&D. TR-72）
Surface Temp.	5 points of ceiling and 1 point for corridor	1,2,3, 4,5,6	Cooper Constant	T-type 0.1mm
	floor	4		
	wall	2,3,5		T-type 0.3mm
Air Velocity	center of each room and corridor	4,6	Anemo-Thermo meter	Anemo-Thermo meter （ AM－05）
Globle Temp.	center of each room and corridor	4,6	Glove、 Cooper Constant	
Outdoor Temp. & Humid.	outdoor		Thermo Recorder RH Cooper Constant	①Thermo Recorder RH ②Cooper Constant （ T&D. TR-72）
Wind Velocity	outdoor			RION ANEMOMETER （ AM－09T）
Surface Temp. of Roof	2 points of each ridge		Cooper Constant	T-type 0.1mm
Recorder device	west ridge		Dataloga	① Tokyosokki DATALOGA （ TDS－601）
	south ridge			② AUTOMATIL SWICHING BOX （ ASW-SOC)

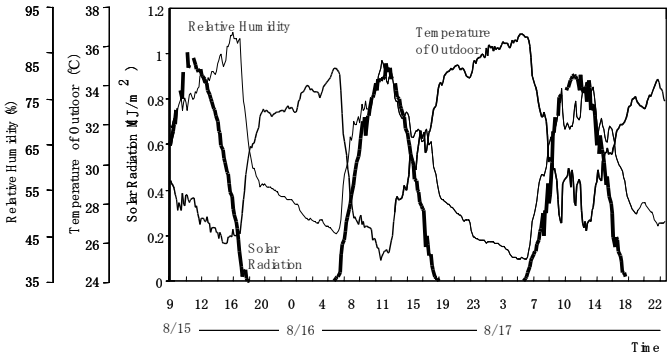


図 6　測定期間中の日射量

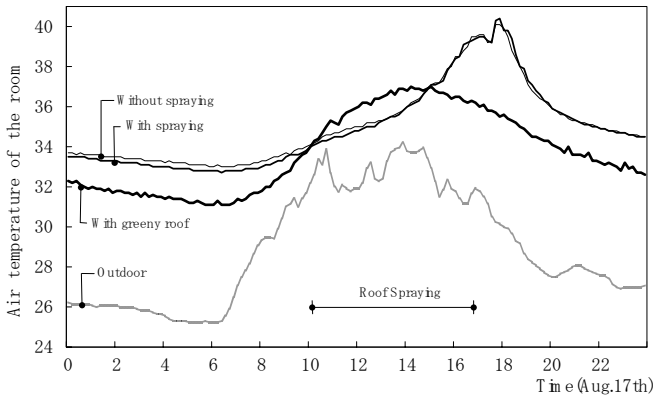


図 7　室内気温

最低で 33.0℃であったのに対して、散水ありの部屋では、気温は最高で 40.1℃、平均では 34.9℃、最低で 32.7℃であり、0.1-0.4℃の気温緩和効果が見られたが、いずれにもその差が小さく、散水効果が大きく見られなかった。その原因としては、本研究対象建物は屋根断熱を施しているため、散水による屋根から熱流への阻止機能は十分に発揮できないと推測する。また、図 9 に示すように、散水なしの室内

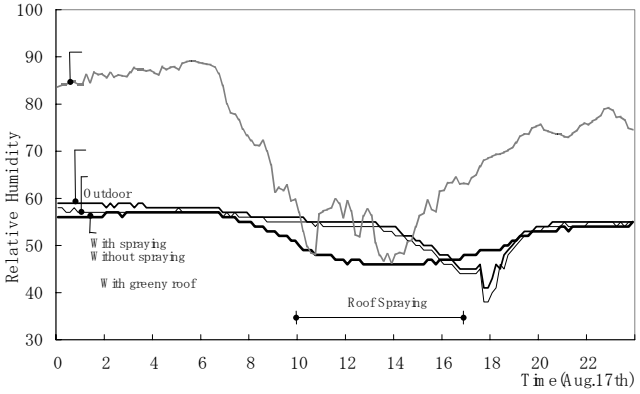


図 8　室内湿度

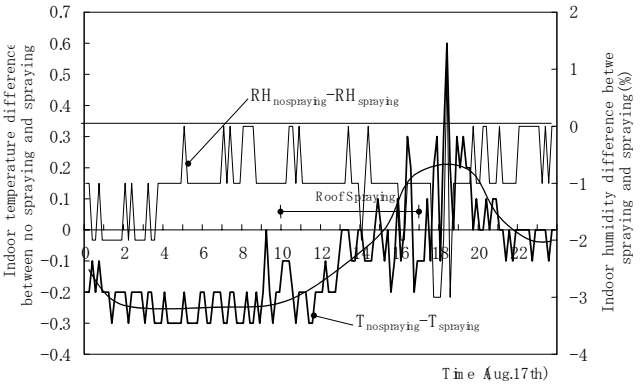


図 9　室内気温、湿度の差

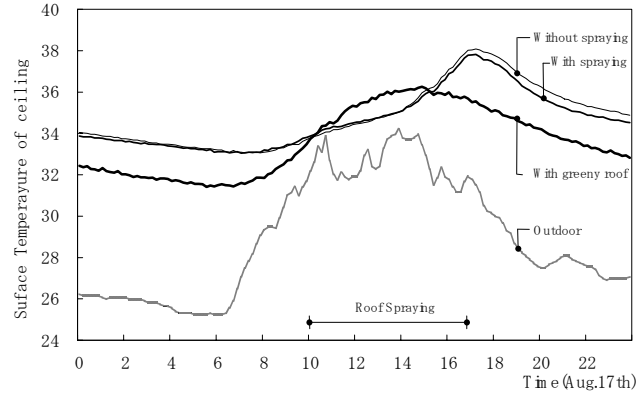


図 10　天井表面温度

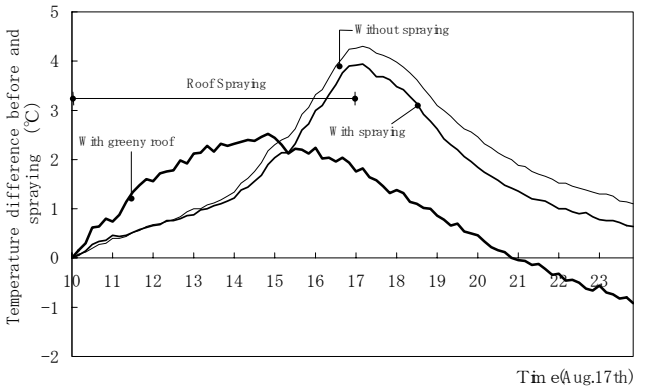


図 11　散水開始時との温度差

気温$T_{nospraying}$は 14 時まで散水ありの室内気温$T_{spraying}$より高く、その後 22 時まで逆転になり、その散水効果は散水から約 4 時間後に現れている。

室内気温と同様に、散水ありなしの場合(図 8)、室内相対湿度もあまり差が見られなかったが、図 9 のように散水ありの部屋は散水なしの部屋より相対湿度が平均で 1%低い。

屋上緑化の部屋では、室内気温は最高で 37.0℃、平均で 33.7℃、最低で 31.1℃であった。他の 2 部屋より室内気温は最高で 3.4℃、平均で 1.3℃、最低で 1.9℃低い。部屋の向きが違うが、散水よりも屋根緑化の方はより効果的であったことがわかる。

また、屋上緑化のある部屋の気温は他の両部屋に比べ、日較差が小さく、安定している。また、午前中は両部屋より温度が高いが、午後からは低くなる。最高温度が現れる時間が早いが、日中は温度が恒温となり、変動は緩やかである。一方屋上緑化なしの部屋は午後から急激に温度が上昇している。最高温度に達するまで屋上緑化の部屋に比べ 4 時間も遅れており、これは西日の影響であると推察される。

3.3　室内表面温度

屋上緑化の効果および屋上散水の効果のもっともわかる項目は天井表面温度であり、その考察は 5 点の測定ポイントの平均値を用いた。

図 10 に示すように、屋上緑化のある部屋は、表面温度は最低で 31.4℃、最高で 36.2℃、平均 33.6℃になった。散水なしの部屋は、最低で 33.1℃、最高で 38.1℃、平均で 34.8 になった。一方散水ありの部屋は最低で 33.0℃、最高で 37.8℃、平均で 34.7℃になった。

散水なしに比べて、散水ありの天井表面温度は最低と平均温度では殆ど差がないが、最高温度では 0.3℃の差があった。また屋上緑化ありの部屋の天井表面温度はほかの両部屋に比べ、全体的に温度が低く抑えられ、最高温度で 3.5℃の差があった。

一方、図 11 に示す散水開始時の温度との差を検討した場合、時間につれ、散水ありとなしの天井表面温度の開きが大きくなり、散水が天井表面温度を低減する効果が僅かながらあることを確認できた。

また、図 7、9 と図 10、11 に比べて、天井表面温度は室内気温より約 1 時間早くその最大値に達している。伝熱の時間差をものがたっている。

壁の表面温度は窓をのぞく 3 面をそれぞれ 1m と 2m の 2 点を測定し,床は真ん中 1 点を測定した。図 12 では散水なしの部屋(302 室)の平均壁表面温度を示す。廊下側の壁が日中では最も高い。それは廊下

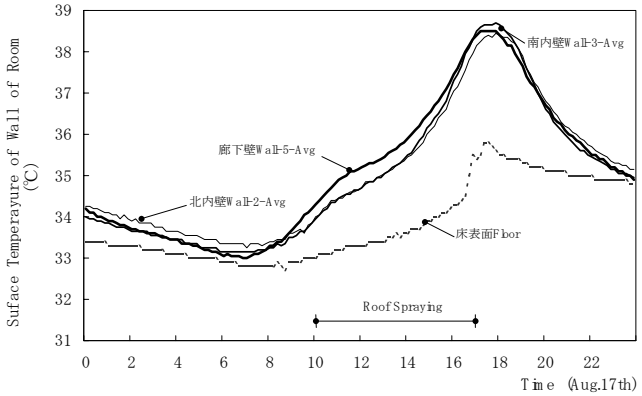


図 12　302 の壁表面温度

側も前面ガラスで日中では非常に高い気温になったためだと思われる。両側の壁では表面温度はほとんど差がない。また夜間では各壁の表面温度がほぼ近づくことがわかる。

散水ありと屋上緑化の部屋は散水なしの部屋とほぼ同じ傾向で、ここでは図を省略するが、屋上緑化の壁表面温度は他の２へやより平均で約１－1.5℃低い。

一方、図 13 に示すように床の表面温度は散水ありなしで大きな差がなく、散水の効果は床まで届いていない状況だと推測される。しかし、屋上緑化のほうが緑化なしの部屋よりも低くなっている。

3.4　屋根表面温度

図 14 は屋根の表面温度を示す。散水なしの屋根面では、表面温度が最高で 60.8℃、平均で 34.5℃になった。散水ありの屋根面では、10：00 の散水開始前は 48.3℃まで上がったが、散水後 37.5℃に下がり、平均温度で 29.0℃であった。散水なりなしで、13 時のピークで 24.7℃の差があり、散水により屋根表面温度の低減では非常に効果があるが、前述のように室内気温への低減ではほんの僅かであった。その原因としては屋根の断熱や外壁の大面積ガラス等のため、部屋の気温は屋根からの伝熱よりも外壁や廊下壁からのほうが多いようだ。

一方、屋上緑化のある屋根面は、廊下の屋根面はコンクリートで、研究室の屋根面が芝生であるため、2 ヶ所それぞれ測定した。コンクリート面は約 27.0℃から 48.0℃までの間に、芝生は 25.0℃から 37.0℃の間で変動している。芝生の平均表面温度は 28.8℃、ほぼ散水ありと同じ効果であった。

3.5　屋根表面温度と天井表面温度からみた散水の効果

図 15 は散水ありと散水なし両部屋の屋根面の温度差及び室内天井表面の温度差を示している。なお、天井表面温度差は小さいため、第 2 軸で表している。

散水が始まる前、両部屋の屋根面温度はほぼ同じであるが、散水開始後、散水ありの部屋の屋根面温度が大きく下がり、散水なしの部屋との差は 11 時から 15 時までの間で最大となり、20.0℃～25.0℃に達している。15 時からその差は縮まり、散水停止後はまたほぼ同じとなった。

一方、天井表面温度の差は散水開始後しばらくはあまり差がみられなく、むしろ散水ありの部屋のほうが高かった。しかし、徐々に散水ありのほうの温度が下がり、散水停止 3 時間後の 20 時ごろで両部屋の天井表面温度差が最も大きくなり、約 0.5℃がある。ピークが現れる時間は屋根表面温度差のピーク時間から約 7、8 時間遅れている。また、この温度差は散水停止後の夜間もずっと続き、翌日の朝 8 時まで続いた。

４．まとめ

以上、本研究では、屋根断熱をしている建物における、屋上緑化と屋根散水の効果について解析を行った。以下のような結果を得られた。

散水により屋根表面温度の低減には非常に効果的であった。最大で約 24.7℃、平均で 5.5℃の低減があった。しかし、その効果は十分に天井や室内に届けることができず、散水ありなしの天井表面温度は最低と平均温度では殆ど差がなく、最高では 0.3℃の差しかなかった。また、その効果は屋根の断熱や熱容量のため約 7 時間遅れて現れる。

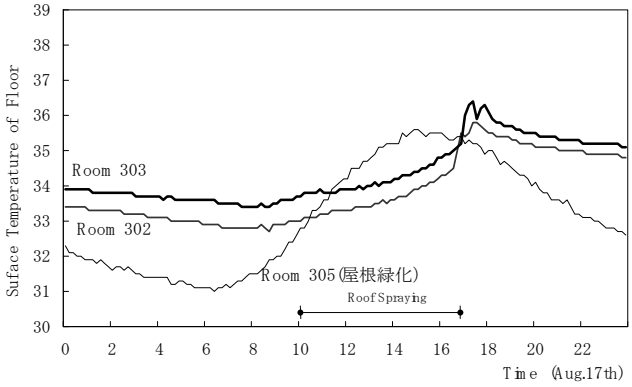


図 13　床の表面温度

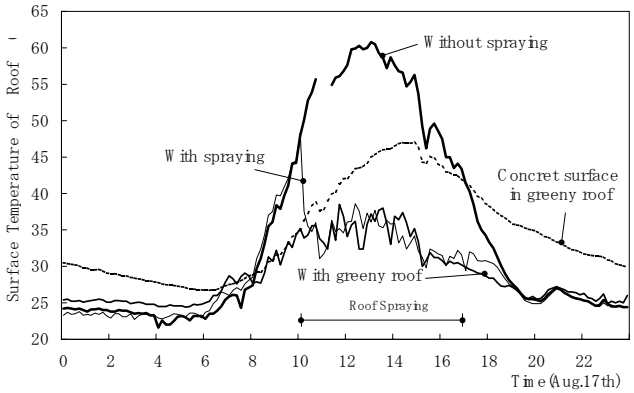


図 14　屋根面表面温度

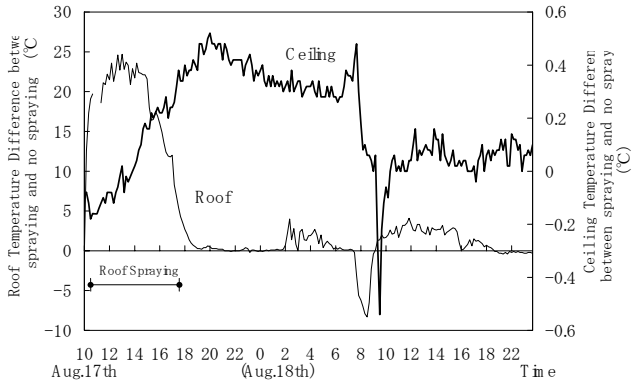


図 15　散水ありと散水なしの屋根面と天井表面温度差

その影響で室内気温への影響も小さく、約 0.1-0.4℃の気温緩和効果を推測される。

一方屋根緑化では、屋根表面温度の低減は勿論だが、散水に比べ、天井表面温度、室内気温にも大きな気温緩和効果があった。他の 2 部屋より室内気温は最高で 3.4℃、平均で 1.3℃、最低で 1.9℃低い。部屋の向きが違うが、散水よりも屋根緑化の方はより効果的であったことがわかる。

以上のように、屋根散水はある程度の効果が見られたが、熱環境負荷の低減にそれほど貢献できているとはいいにくい。また、散水に用いた水量も含めて考えたとき、省エネルギーにつながるとも考えにくい。このように、断熱材を使用している建物には、屋根散水を検討するとき十分な検討が必要だと思われる。一方、屋上緑化は日中の最高

温度を抑え、夜間の最低温度を緩和され、安定した室内環境を保つことができ、一般的な建物にも比較てき取り入れやすく、有効的な手法であると考えられる。

謝辞

本研究の実施に当たっては、早稲田大学理工総研に場所を提供していただき、管理員の山本氏にも便宜を計っていただいたことに、厚く感謝の意を表します。また、実測に際しては、早稲田大学理工学部尾島研究室の博士課程許雷氏に多大な協力を得た。実測、データ整理にあたり、九州産業大学西田研究室の卒論生猪股志穂子氏にもご協力をいただき、あわせて感謝の意を表します。

参考文献

1） 井上憲一、須永修通、室恵子：屋根面流下水の放熱効果を用いた冷房システムに関する研究、その３　実大モデルによる実験解析、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 、pp. 413、1997

2） 井上憲一、須永修通、室恵子：屋根面流下水の放熱効果を用いた冷房システムに関する研究、その４　屋根流水面に対する日よけの効果、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 、pp. 413、1998

3） 馬景輝、須永修通、室恵子：屋根面流下水の放熱効果を用いた冷房システムに関する研究、流水屋根を直接利用した放射冷房の可能性に関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 、pp. 477、2001

4） 長谷川智久、紺野康彦：折板屋根大規模建物の温熱環境改善に関する研究、その４　屋外における散水時の水滴・空気温度測定、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 、pp. 473、2001

5） 田辺俊彦、佐山竜一、宿谷昌則他 2 名：ストート葺き屋根の二重化と散水による天井表面温度の低下に関する実測、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 、pp. 507、2000

6） 斉藤英範、佐山竜一、宿谷昌則他 2 名：ストート葺き屋根の二重化と散水が日射遮蔽効果に与える影響に関するエクセルギー解析、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 、pp. 509、2000

7） 石原修、張晴原、下山和美：屋上芝生植栽の熱特性と水分収支に関する実験的研究、日本建築学会計画系論文集、NO.484、pp. 17、1996

8） 谷本潤、林徹夫、片山忠久：屋上被土からの蒸発量の簡易計算手法に関する研究、日本建築学会計画系論文集、NO.492、pp. 23、1997

9） 梅干野晃、白井一義、大塚修弘、岩村和夫：薄い盛土層を持った屋上芝生植栽の木造建物における室内熱環境調整効果、日本建築学会計画系論文集、NO.527、pp. 15、2000