

既存建物に適用可能な屋上緑化システムの熱的効果と維持管理に関する研究^{注1)}

Study on the Thermal Effect and the Maintenance of the Rooftop Greening System that can be Applied on an Existing Building

西川 豊宏^{*1} 大橋 一正^{*2} 高岡 直人^{*3} 向井 隆司^{*4} 吉岡 孝良^{*5}
Toyohiro NISHIKAWA Kazumasa OHASHI Naoto TAKAOKA Takashi MUKAI Takayoshi YOSHIOKA

Abstract

This research was carried out to report the thermal effect by a long-term survey investigation on an existing office building where the SEDUM planting with the lamella soil had been given. And the this also evaluates the features of evapotranspiration on the greening side with a watering experiment for a short-term.

The rooftop greening system with the lamella soil is effective to the thermal performance improvement on the rooftop side by the shade. SEDUM planting with the maintenance of enough water included is confirmed to bring as much as evaporation as turf.

キーワード：屋上緑化，セダム植栽，既存建物，長期実測調査，蒸発散量

Key Words: Rooftop greening, SEDUM planting, Existing building, Long-term survey investigation, Evapotranspiration

1. はじめに

近年、都市部で問題となっているヒートアイランド現象の緩和効果や建物の省エネルギー対策として、建物の緑化技術が注目されている。中でも水平面の施工となる屋上面の緑化は屋上利用者に対する癒し効果をはじめ、建物の断熱効果や防音効果、植栽の蒸発散による冷却効果など、様々な効果が見込めることから、多くの研究が行われている。

筆者らは1984～2006年の屋上緑化に関する既往研究^{注2)}の調査を行った。清水、奥宮¹⁾らは屋上緑化やウッドデッキが施された建物において、各部の温度や熱流量から、断熱効果や空調負荷について評価を行っている。松下、津川²⁾らは2箇所の屋上庭園においてセダム類の生育量と緑被率の推移を計測し、薄層基盤上でのセダム植生の持続性について検証している。また、千田、森山³⁾らは屋上菜園のある実建物において温度や熱流を実測調査し、断熱効果の評価を行っている。これらの報告は主に新築建物を対象とし比較的短期間の実測解析が多く、屋上緑化を施した既存

建物の長期実測を行った事例や緑化の維持管理についての報告は少ない。その主な理由として既存建物での屋上緑化は積載荷重量が制限される上、緑化植物の種類や施工・維持管理方法も限られることによると考える。そこで、本研究は既存建物の屋上に、薄層土壌による緑化を施した事務所建物(以降、Nビルと記す。)において、緑化を施工する前(以降、緑化前と記す。)、緑化を施工した後(以降、緑化後と記す。)における長期間の詳細な追跡実測調査を行い、緑化による熱的効果を明らかにする。また、一般にセダム植栽は、繁茂状態を維持することが容易な緑化植栽として

Table 1 Outline of N building

Location	Kanagawa prefecture Kawasaki City
Floor	The fourth floor, the first basement, penthouse
Area・Structure	Floor space : 3877.6[m ²] Reinforced concrete construction
Completion history	The completion of N building, Sep. 1966 The construction of rooftop greening, April, 2003
Greening area	Possibility area of rooftop greening*: 325.6[m ²] Greening area : 223.0[m ²]
Member of the roof floor	Waterproof layer 60[mm], Mortar 30[mm], Concrete 120[mm], Excelsior board 10[mm]

※The area is excluded of equipment space

*1 工学院大学大学院工学研究科建築学専攻博士課程
(〒163-8677 東京都新宿区西新宿1-24-2)
e-mail: dd06502@ns.kogakuin.ac.jp

*2 工学院大学工学部建築学科教授

*3 (株)伊藤喜三郎建築研究所

*4 東京ガス(株)

*5 鹿島建設(株)(当時、工学院大学大学院)

(原稿受付:2007年2月7日)

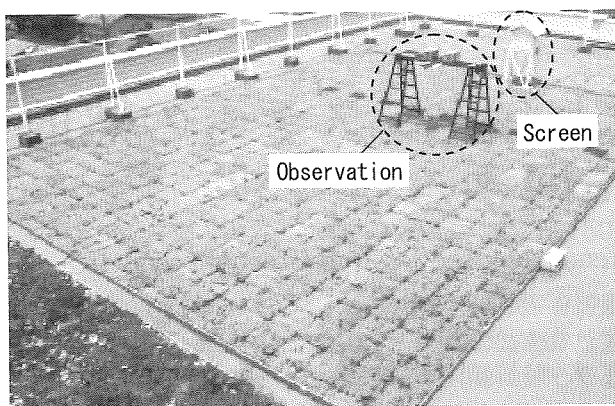


Fig. 1 Situation of rooftop greening

これまで多くの採用事例⁴⁾がある。一方、乾燥状態では、蒸発散作用が減少し、日中のヒートアイランド緩和への効果が期待できないとの横山、山口らの報告⁵⁾があり、適切な散水管理が必要と考えられる。そこで短期実験を行い、セダム、芝の蒸発散特性を比較、検討し、維持管理の要点を明らかにする。

2. 長期実測概要

2.1 建物概要

実測調査建物であるNビルの概要をTable 1、屋上緑化の状況をFig. 1、屋上と最上階(4階事務室)平面図をFig. 2に示す。周囲の建物は低層住居であり、日影などの影響はない。Nビルが既存建物であることから、屋上緑化は軽量の薄層土壌でも育つセダム類の植栽で、施工が容易なパレット型とした。また、風対策として屋上表面に接着剤で緊結し、最上階(4階)事務室直上面積の約70[%]を緑化した。また、解析は主に事務室直上のFig. 2通り芯(X2)~(X4)、(Y1)~(Y3)通りの区画とした。なお、Nビルは竣工後約40年で、屋上面の断熱材はFig. 3に示すように断熱材(木毛板)10[mm]を用いている。

2.2 実測期間及び条件

実測期間及び条件をTable 2に示す。実測期間は緑化前が2002年9月10日~2003年4月13日、緑化後が2003年4月25日~2005年2月28日である。また、NビルはBEMS⁶⁾による運転制御で、計測記録は2000年6月11日より行っている。なお、緑化前後における4階事務室の空調時間、設定温度などの室内使用条件^{注3)}はほぼ同様である。

2.3 緑化システムと計測概要

緑化システムの概要をTable 3、断面計測ポイントをFig. 4に示す。緑化システムの土壌は培養土と発泡ガラスで構成され、湿潤時重量^{注4)}が16.1[kg/m²]、土壌熱伝導率¹⁾が0.083[W/(m·K)]である。計測ポイントは植栽近傍や土壌など各部の温度とした。

緑化後の屋上面と緑化面直下である4階事務室の平面計

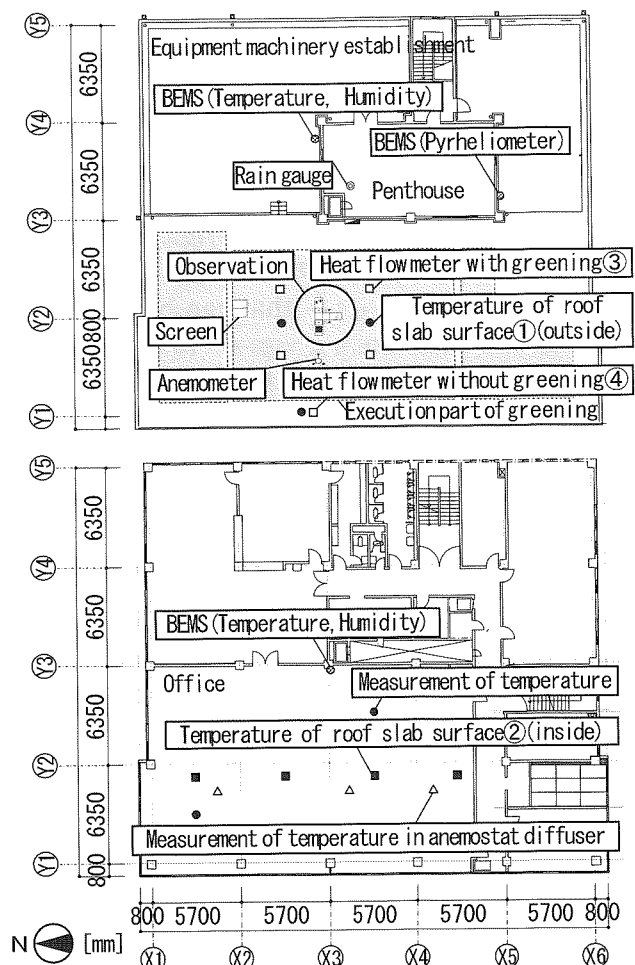


Fig. 2 The plan measurement point of the rooftop side and the office on the fourth floor

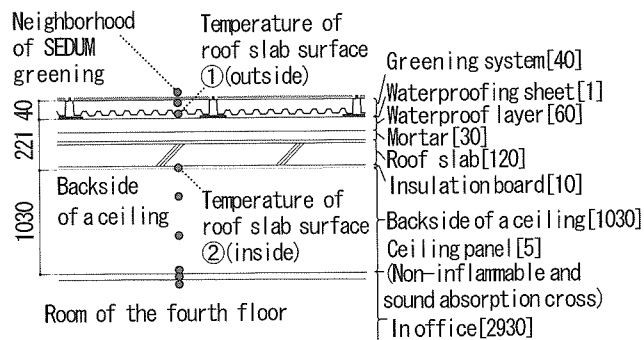


Fig. 3 The section measurement point of rooftop slab surroundings

Table 2 Measurement period and condition

Survey period	September 10, 2002 ~ February 28, 2005 (29 months)
Air conditioning time	Monday through Saturday 9:00~17:00 ^{注3)}
Setting temperature	Cooling: 26[°C] Heating: 22[°C]
Cooling and heating period	Cooling: June through October Heating: November through March

測ポイントをFig. 2、屋上スラブ廻りの断面計測ポイントをFig. 3、計測項目をTable 4に示す。外気温湿度、日射、風向風速など外界気象は、屋上面に設置した観測台、百葉

箱, 風向風速計などにより観測した。屋上面温度, 熱流, 4 階事務室の各温度については事前調査を行い、計測データからほぼ同様な分布であることを確認し、Fig. 2 のポイントを代表とした。なお、BEMS においても室内外の温湿度や日射量, 空調機の給還気温湿度や風量を計測している。

Table 3 Outline of greening system

Planting	Type	Soil	Wet weight 注4)	Soil thermal conductivity
Mexican SEDUM	Pallet type	Compost gas glass	16.1 [kg/m ²]	0.083 [W/(m·K)]

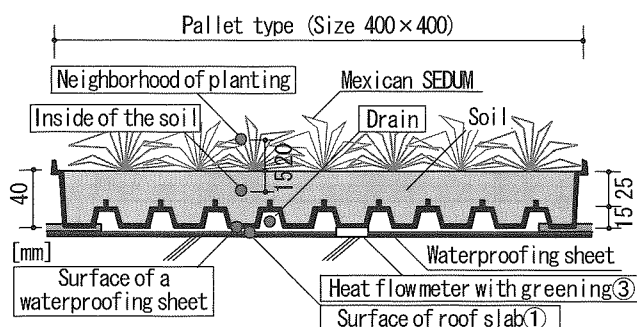


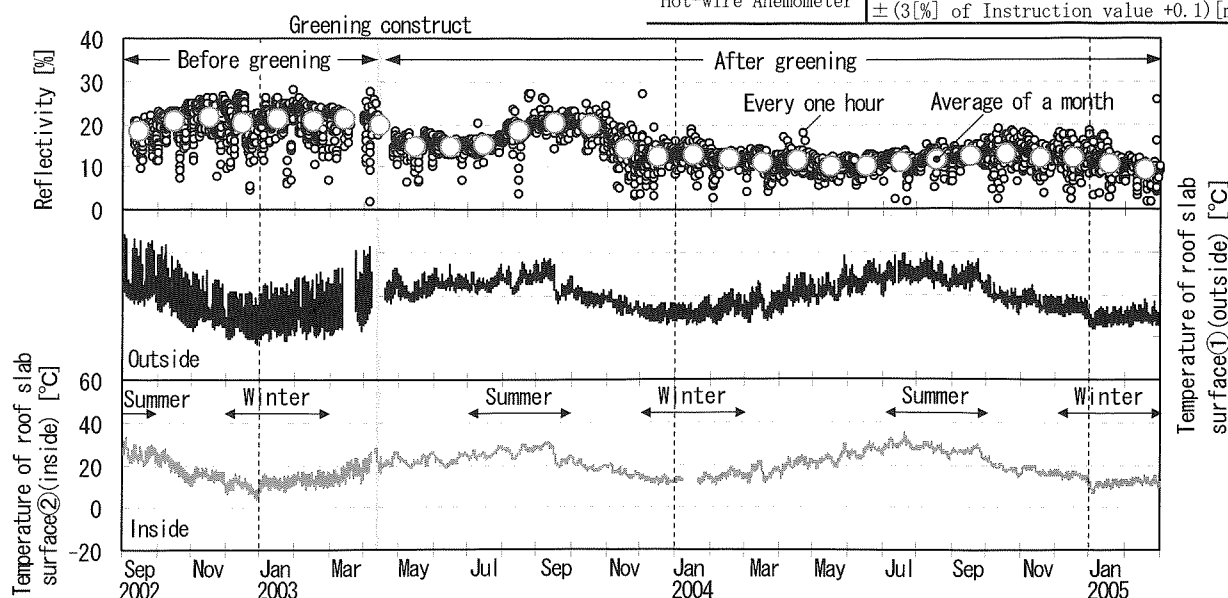
Fig. 4 The section measurement point of greening system

3. 長期実測による結果

3.1 屋上面日射反射率と表面温度の長期計測結果

実測期間を通した緑化前後における屋上面の日射反射率と屋上スラブ表面温度[屋外側①及び室内側②]の時系列変化を Fig. 5 に示す。

緑化前における屋上面の日射反射率は 22[%] 前後であった。緑化後における日射反射率は植栽の繁茂状態により 10~20[%] で変動しており、平均 13[%] で、緑化による反射率の低下がなされている。また、屋外側①, 室内側②屋上ス



$$\text{Reflectivity} = \text{solar radiation} \div \text{reflection of solar radiation} \times 100$$

Fig. 5 The solar reflectivity and the temperature change of the outside and inside of the roof slab surface

Table 4 Measurement item

Measurement point	Measurement item	Measurement equipment
Rooftop side	Air temperature (Dry bulb·Wet bulb)	T type thermocouple 注5)
	Rainfall (SL+400[mm])	Tipping bucket rain gauge
	Wind Speed·Wind Direction	Ultrasonic wind sensor
	Solar radiation, Solar reflection radiation	Pyranometer
	Amount of downward radiation	Pyrradiometer
	Amount of radiation revenue and expenditure	Pyrradiometer
	Amount of atmospheric radiation	Pyrradiometer
	Sol-air temperature	SAT Meter
	Temperature of roof slab surface ①	T type thermocouple 注5)
	Heat flow rate without greening ④	Heat flow meter
Inside	Greening system ③ temperature·heat flow rate	T type thermocouple 注5) Heat flow meter
	Air temperature, humidity, Temperature of roof slab surface ②	T type thermocouple 注5)
BEMS	Supply air (Temperature, Humidity)	Thermo recorder
	Air temperature, humidity (Inside, Outside, Supply, Return)	Thermostat
	Air conditioner air volume	Hot-wire Anemometer
	Flux of global solar radiation	Pyranometer

Measurement equipment	Accuracy·Resolution
Date logger	Measurement accuracy: 0.02[%]rdg ± 0.2 [°C] (0~400 [°C]) Resolution: 0.1 [°C]
Tipping bucket rain gauge	Measurement accuracy: 2 [%] Resolution: Rainfall 0~50 [mm]
Ultrasonic wind sensor	Accuracy (Wind Speed): ± 0.135 [m/s] (Wind Direction): ± 2 [°] Resolution (Wind Speed): 0.1 [m/s] (Wind Direction): 1 [°]
Pyranometer	Integrated accuracy: ± 1.5 [%] (0.25 [kW/m ²])
Pyrradiometer	Wavelength region: 0.3~30 [μ m]
Pyrradiometer	Spectral range: 3~50 [μ m]
Heat flow meter	Reproduction accuracy: ± 2 [%]
Thermostat	Set accuracy: 21~26 [°C] ± 0.8 [°C]
Hot-wire Anemometer	Measurement accuracy: $\pm (3$ [%] of Instruction value $+0.1)$ [m/s]

ラブ表面温度はともに夏期の7～9月^{注6)}に最も高く、冬期の12～2月に最も低くなる変動を示した。屋外側屋上スラブ表面温度の2年間平均日較差は、夏期が緑化前16.1[°C]、緑化後5.8[°C]、冬期が緑化前16.9[°C]、緑化後6.4[°C]と、緑化前より緑化後の方が夏期に10.3[°C]、冬期に10.5[°C]小さい値を示した。室内側屋上スラブ表面温度の日較差は、屋外側屋上スラブ表面温度と同様に緑化前より緑化後の方が夏期に2.6[°C]、冬期に2.1[°C]小さい値を示した。

このことから、緑化により夏期、冬期ともに日射反射率は低下し、屋上スラブ温度の日較差が小さくなっていることを確認した。

3.2 緑化後の屋上スラブ表面の熱流量

緑化を施している部分(以降、緑化有と記す。)と施していない部分(以降、緑化無と記す。)の夏期における屋上スラブ表面の熱流をFig. 6に示す。熱流は屋外側から建物側を正の値、建物側から屋外側を負の値で示した。緑化無の熱流は、熱流計による実測値(以降、実測値と記す。)と算出式^{注7)}により求めた値(以降、算出値と記す。)がある。両者を照合したところ日射のない時間帯においてはほぼ同様な変動を示したが、日射のある昼間は実測値が日射の影響を受け大きな値を示した。この結果から緑化無の熱流は算出値を用いることとする。

Fig. 6において夏期晴天日における緑化有無の屋上スラブ表面の熱流は緑化有無ともに昼間に正の値を示し、夜間に負の値を示していることから、昼間は屋外からの熱が建物に侵入し、夜間は建物から屋外へ放熱している。

Fig. 7における各月の熱流量は、昼間、夜間^{注8)}ともに緑化有の部分が減少している。2年間平均の差は、夏期が昼間4.1[MJ/(m²・day)]、夜間0.8[MJ/(m²・day)]、冬期が昼間3.0[MJ/(m²・day)]、夜間1.6[MJ/(m²・day)]であった。

以上の計測結果から、緑化システムは、日射を遮蔽し、夏期、冬期の昼間における屋外からの侵入熱と夜間における建物からの放熱を減少させ、屋上面の断熱性を向上させている。

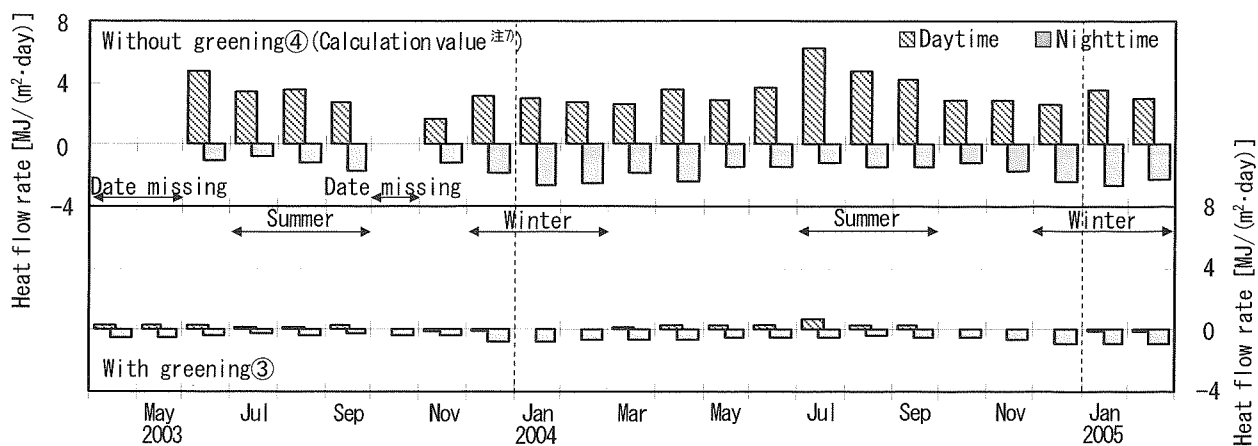


Fig. 7 Heat flow rate on the rooftop surface after greening

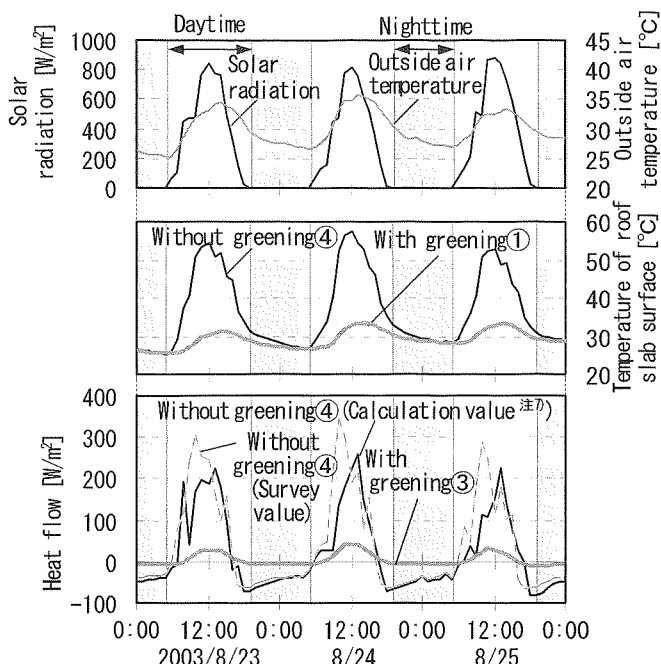


Fig. 6 Change of heat flow on the rooftop slab surface

3.3 降雨による屋上スラブ表面への影響

屋上緑化を施した屋上スラブ面への降雨による熱的影響を評価するため、日射量、外気温がほぼ同様で、前日に降雨のあった湿潤日(2003年7月5日)と降雨のない乾燥日(2004年7月3日)を比較対象日に選定し、屋上スラブ表面の温度変動を比較した結果をFig. 8に示す。屋上スラブ表面温度は、6時以降において湿潤日の方が低い値を示し、降雨により緑化システムに保水された雨水が屋上スラブ表面の温度上昇を抑制していることを確認した。

3.4 空調機負荷(4階事務室)への影響

緑化前後で日射量、外気温湿度、SATがほぼ同様な晴天日である5日間^{注9)}の平均空調機負荷をFig. 9に示す。なお、空調機負荷とは4階事務室に係わる室内負荷、送風機負荷、ダクト負荷、外気負荷の合計値である。

空調機負荷の日積算値を比較すると、屋上緑化システム

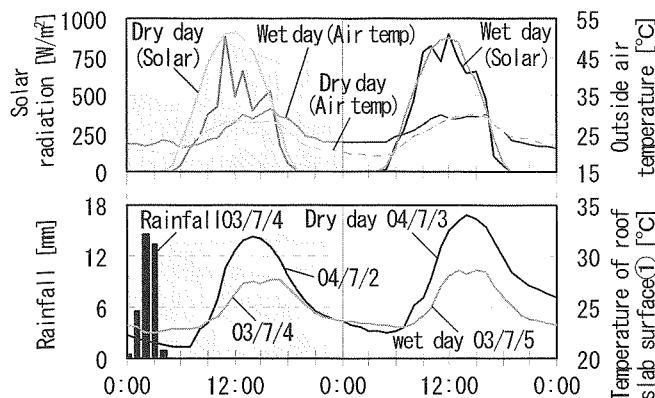


Fig.8 The influence of rain water on the rooftop slab surface

を設置することで日射が遮蔽され、夏期では減少、冬期では増加する傾向が確認された。Fig. 7 に示した様に屋上表面においては緑化の有無により熱流量の差異が確認されたが、屋上スラブ及び直下階の天井裏空間への蓄熱の影響により、空調機負荷に置き換えると夏期は緑化前 $3.6[\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})]$ 、緑化後 $3.4[\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})]$ 、冬期は緑化前 $4.0[\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})]$ 、緑化後 $4.3[\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})]$ で、屋上緑化により夏期(冷房)の空調機負荷は約 $4.2[\%]$ 減少、冬期(暖房)の空調機負荷は約 $9.6[\%]$ 増加となった。これは、冬期の屋上緑化システムが昼間の日射受熱を防ぐためである。また、緑化前後における空調機負荷の時系列変化を比較すると、夏期緑化前では12時以降に上昇する傾向であったが、緑化後は顕著な上昇は無く、冬期は空調立ち上がりの8時を除いては常に緑化後が緑化前を上回っていた。

4. 維持管理から見た植栽の蒸発散特性

既存建物への屋上緑化の適用は、建築構造上の積載荷重の制約を前提に、植栽と土壤に適した散水や肥料などを与え、緑を維持するための管理が必要である。特に散水は植栽の生育と蒸発散にも関連していることから、セダムと芝の蒸発散特性について短期の比較実験を行った。

4.1 実験概要

実験は2005年7月15日～9月14日に東京都八王子市の工学院大学11号館屋上で行い、実験状況をFig. 10に示す。実験に用いた試験体概要と散水方法をTable 5, 6に示す。実験は散水後、1時間ごとに緑化システムの重量を計測し、その変化量を蒸発散量とした。試験体はセダムと芝の2種類で、土壤の量および構成は積載荷重の制約がある既存建物への適用を前提としたため、同様なパレット型に限定した。なお、乾燥時重量は送風定温乾燥機を用い、 $105[^\circ\text{C}]$ で24時間乾燥させた状態(セダム・土壌)、湿潤時重量は散水後、排水孔からの排水が停止した状態の重量である。実験はセダム、芝ともに散水頻度を2日毎の湿潤状態^{注12)}としたI実験と、散水量を最低限^{注13)}とし、湿潤と乾燥状態^{注14)}の蒸発散量を比較したII実験を行った。

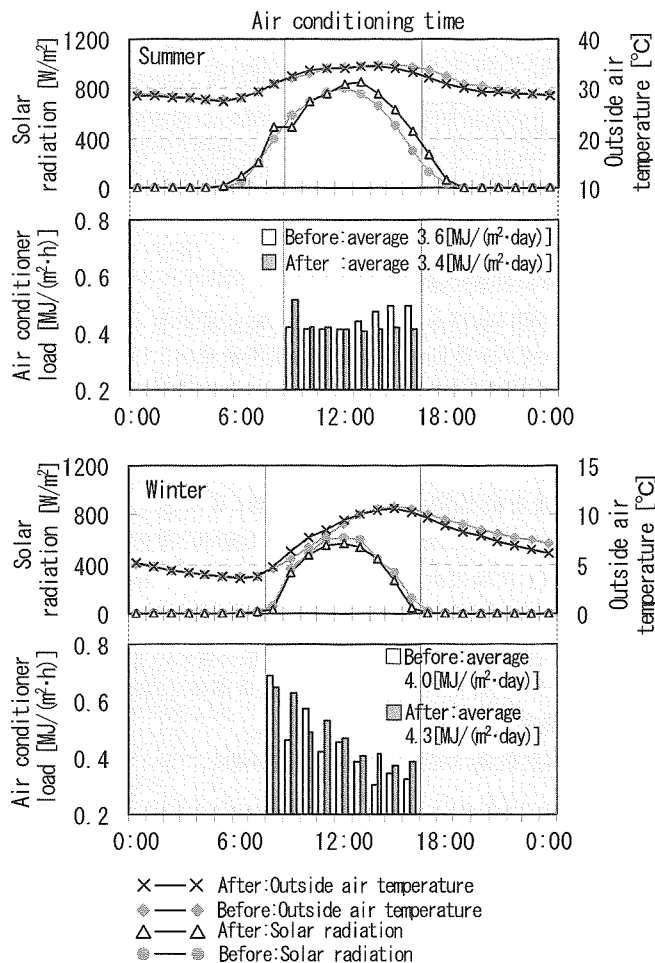


Fig.9 Air conditioner load before and after greening (Summer and winter)

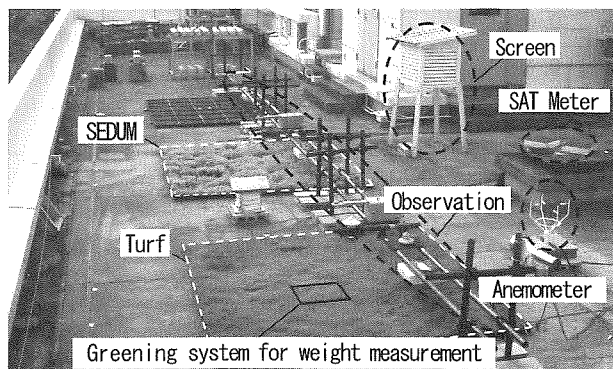


Fig.10 Experiment situation

Table 5 Outline of sample

	SEDUM	Turf
Planting	Mexican SEDUM	Korai turf
Dry Weight $[\text{kg}/\text{m}^2]$	20.2	23.4
The maximum water content $[\text{kg}/\text{m}^2]$	16.1	18.6
One pallet size $[\text{mm}]$	400×400×50 (Each 36 pallet)	
Constitution of the soil	Black soil, lava	

Table 6 Watering method

	Quantity of sprinkling		Sprinkling time
Experiment I	4000[g] at the beginning of this experiment ^{注1)}	2000[g] every 2day	6 o'clock
Experiment II		500[g] every 4day	

4.2 セダムと芝の蒸発散特性

湿潤状態における蒸発散量（Ⅰ実験）の変動を Fig. 11 に示す。セダム、芝緑化システムの蒸発散量および含水率はほぼ同様な変動を示していることから、湿潤状態を保つことでセダム、芝緑化システムではほぼ同様な蒸発散量が得られている。

散水量を最低限とした蒸発散量（Ⅱ実験）の変動を Fig. 12 に、湿潤と乾燥状態におけるセダム、芝の蒸発散特性を比較した結果を Fig. 13 に示す。Fig. 13 は 4000[g] の散水を行い各システムの含水率がほぼ 100[%] である湿潤代表日（8/26）と、実験開始から 8 日経過し各システムの含水率が 20～30[%] に低下した乾燥代表日（9/3）における含水量と蒸発散量を比較したものである。

芝の蒸発散量は湿潤、乾燥状態で比較したところ、ほぼ

同様であり、活発な蒸発散が見られた。この結果は芝の含水量が低下しても蒸発散が続くことを示しているが、乾燥状態が続いた場合は植栽の一部に枯れが発生した。一方、セダムの乾燥状態での蒸発散量は湿潤状態に比べて半分程度まで減少し、含水量の増減が蒸発散量に大きく影響を与えている。芝の枯死を防ぐためには乾燥状態にさせず、湿潤状態を保つ散水管理が必要となり、セダムにおいても芝と同じ散水管理を行うことで、同様の蒸発散を得ることができる。したがって、蒸発散量は散水による維持管理が大きく影響し、セダム、芝ともに適度な湿潤状態を保つような散水管理が必要である。

5. まとめ

薄層土壌による屋上緑化を施した既存建物の長期実測調査と蒸発散特性に関する短期実験から以下の知見を得た。

- ・日射反射率は植栽の繁茂状態により変動し、緑化前の 22[%] 前後から緑化後の平均 13[%] に低下した。
- ・屋上スラブ表面温度の日較差は緑化前に比べ緑化後は小さくなった。また、緑化システムへの保水は屋上スラブ表面の温度上昇を抑制した。

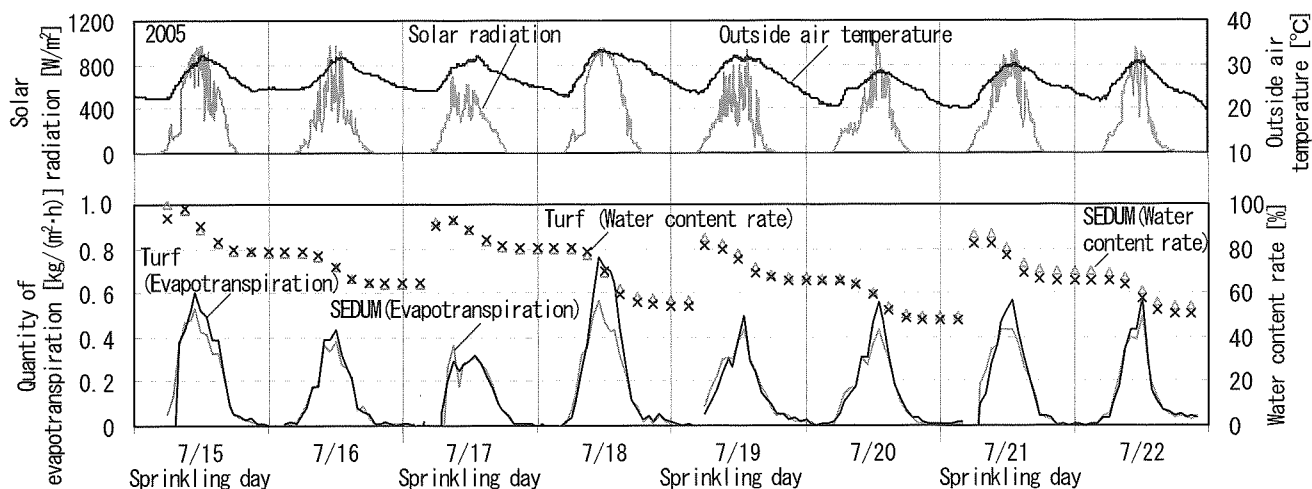


Fig. 11 Amount of evapotranspiration of SEDUM and turf in wet state of moist (Experiment I)

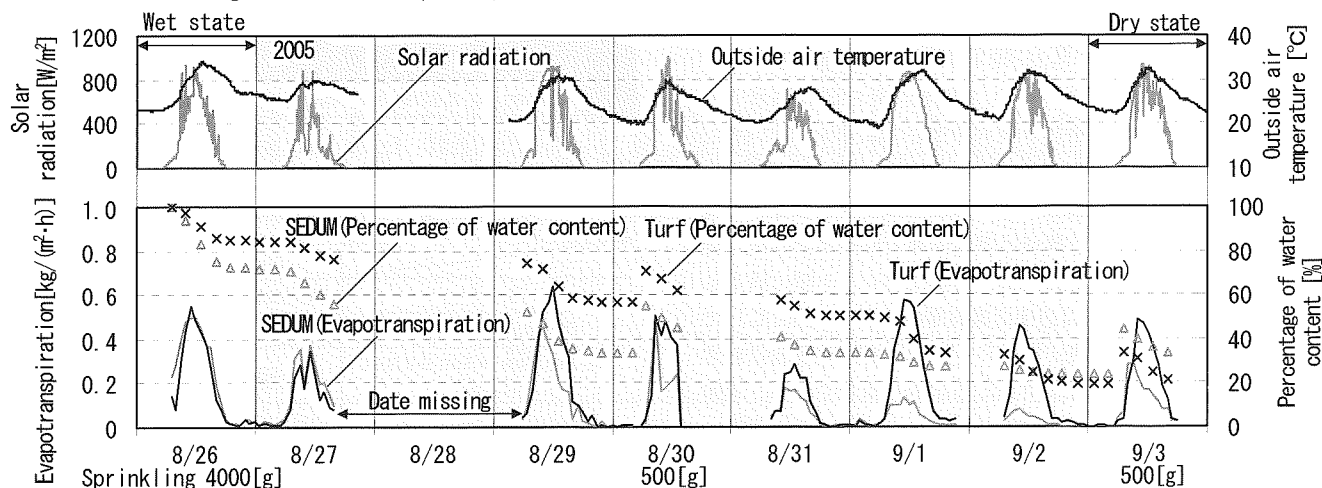


Fig. 12 Amount of evapotranspiration of SEDUM and turf with a minimum of watering (Experiment II)

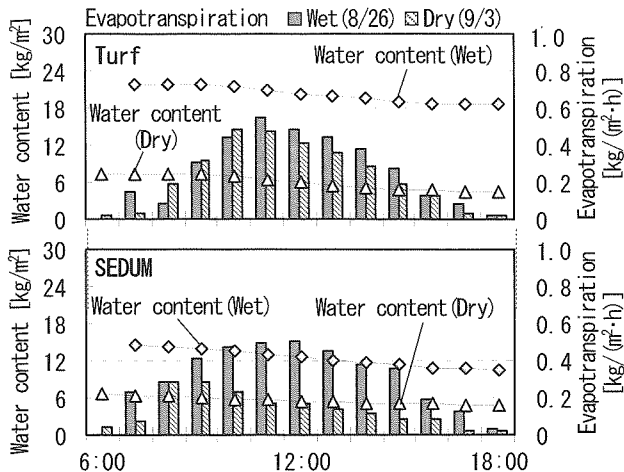


Fig. 13 Comparison of evapotranspiration amount between in the wet and dry

- ・緑化システムは、屋上面への日射を遮蔽し、夏期、冬期の昼間における屋外からの侵入熱と夜間における建物からの放熱を減少させ、屋上面の断熱性を向上させた。
- ・適切な散水管理を行うことで、セダムは芝と同等の蒸発散量を得ることができ、日中のヒートアイランド緩和への効果が期待できる。

以上の結果より、薄層土壌による屋上緑化システムは、日射遮蔽による屋上面での熱的性能向上に有効であり、十分な含水を維持できるよう管理することでセダムは芝と同等な蒸発散があることを確認した。

参考文献

- 清水・奥宮 他：「ソル性植物を用いた屋上緑化及びウッドデッキ敷設による空調負荷低減効果に関する研究」空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 2004 年 P. 1099～1102
- 松下・津川 他：「屋上緑化の維持管理に関する研究」日本建築学会大会学術講演梗概集 2004 年 P. 709～710
- 千田・森山 他：「屋上緑化(菜園)の熱特性に関する実測研究(その1～2)」日本建築学会大会学術講演梗概集 2002 年 P. 857～860
- 太陽エネルギーVOL. 31 NO. 2 2005 特集 P. 14
- 横山・山口 他：「屋上緑化のヒートアイランド緩和効果」東京都環境科学研究所年報 2004 P. 3～10
- 甘利・大橋 他：「省エネルギー改修技術を導入した既存建物における運用実績(その1～6)」日本建築学会大会学術講演梗概集 2000 年 P. 1093～1094, 2001 年 P. 1139～1140, 2002 年 P. 1163～1170
- 空気調和・衛生工学会便覧 12 版「1 基礎編」P. 159
- 幸田・石野 他：「植栽の熱的特性および熱環境調整効果に関する研究」日本建築学会大会学術講演梗概集 2006 年 P. 1061～1064
- 堀口・梅干野 他：「屋上芝生植栽の熱的特性に関する実験研究(その1～6, 9, 10)」日本建築学会大会学術講演梗概集 1991 年 P. 927～932, 1992 年 P. 757～762, 1993 年 P. 1527～1530
- 日本建築学会編：「建築設計資料集成 1 環境」丸善 P. 56
- 吉岡・大橋 他：「屋上緑化と放射環境の実測調査(その1～3)」太陽/風力エネルギー講演論文集 2003～2005 年
- 高岡・大橋 他：「既存建物における屋上緑化の実測調査(第1～4報)」日本建築学会大会学術講演梗概集 2004～2006 年
- 仙川・大橋 他：「屋上緑化による環境改善効果に関する研究(第1～4報)」空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 2003～2005 年
- 注1) 本論は参考文献11)～13)をまとめ直したものである。
- 注2) 日本太陽エネルギー学会、日本建築学会、空気調和・衛生工学会の講演・論文集の緑化に関する論文179文献の調査による。
- 注3) 空調運転は、緑化前後共に室内設定温度を9:00～17:00で維持するように自動制御されており、外乱負荷によって発停時間が若干異なる。また、実測を行った事務室は空室であり、人体や照明の負荷はない。
- 注4) 土壌と植栽の含水率が100[%]における緑化システム全体の重量
- 注5) 日本工業規格 Z 8710 温度測定方法通則を基に計測を行った。
屋上緑化の周辺温度やスラブ表面温度に用いた T 型熱電対には、計測誤差防止のため受感部に絶縁体(エポキシ樹脂)をコーティングし、計測を行った。植栽近傍は日射の影響を受けない植栽の近傍に設置し、土壌内部は土壌の中に受感部を埋め込み計測を行った。各表面温度においては日射による影響を除くため、表面との接着にアルミテープを用いた。
- 注6) 緑化前は9月で7, 8月は計測を行っていない。
- 注7) 緑化無熱流量の算出式

$$q = q_c + q_r, \quad q_c = \alpha_c (\theta_o - \theta_r), \quad q_r = \varepsilon R_n$$

$$q$$
 : 屋上スラブ表面熱流[W/m²]
 q_c : 熱流(対流熱伝達成分)[W/m²]
 q_r : 熱流(放射熱伝達成分)[W/m²]
 α_c : 対流熱伝達率[W/(m²·K)] (ユルゲスの実験式)
 実測期間平均 11.7[W/(m²·K)]
 θ_o : 外気温度[°C] (実測値)
 θ_r : 屋上スラブ表面温度[°C] (実測値)
 ε : 放射率[-]=0.9
 R_n : 放射収支量[W/m²] (測定波長範囲: 0.3～30[μm]以上)
- 注8) 太陽位置図¹⁰⁾より、各月の日の出から日の入までを昼間、日の入から日の出までを夜間とした。
- 注9) 緑化前夏期: 2002/8/6～10
 冬期: 2003/1/10, 2/13, 2/15, 2/19, 2/21
 緑化後夏期: 2004/7/7～9, 8/19, 8/20
 冬期: 2004/1/9, 1/20, 1/28, 1/29, 1/31
- 注10) 空調機負荷算出式

$$q = q_s + q_L, \quad q_s = Q (t_r - t_o) C_p \gamma, \quad q_L = Q (x_r - x_o) r \gamma$$
 q : 空調機負荷[J/h]
 q_s : 顕熱負荷[J/h]
 q_L : 潜熱負荷[J/h]
 Q : 送風量[m³/h] (BEMS による値)
 t_o : 給気温度[K] (BEMS による値)
 t_r : 還気温度[K] (BEMS による値)
 x_o : 給気絶対湿度[g/kg (DA)] (BEMS による値)
 x_r : 還気絶対湿度[g/kg (DA)] (BEMS による値)
 C_p : 空気の定常比熱[J/(kg·K)]
 r : 空気の蒸発潜熱[J/g]
 γ : 空気の密度[kg (DA)/m³]
- 注11) 緑化システムの重量(電子台はかり: 分解能 1[g])変動から求めた。実験は開始前に緑化面の環境を一樣にするため、1パレットでは保水できない量の散水を行い、排水孔からの排水が停止したことを確認してから重量測定を開始した。
- 注12) 湿润状態: 緑化システムの含水率=[(緑化システムの重量-乾燥時重量)/最大含水量×100]が60[%]以上の状態
- 注13) 都市緑化技術開発機構特殊緑化共同研究会編: 「屋上緑化のQ&A」を参考に予備調査を実施し、芝が枯死しない量とした。
- 注14) 乾燥状態: 緑化システムの含水率[注12)と同様]が30[%]以下の状態

謝辞

当研究の実測機会と測定に関しご協力を頂いた、東京ガス株式会社関係者各位、実測・実験の実施と分析を担当した当時工学院大学建築学科大橋研究室 佐藤智、山田雅之、藤村一樹、宮沢祐香里君らに感謝し、謝辞とします。