

# 屋上のコケ植栽による熱的性能に関する研究 —外気気候と緑化システムの遮熱効果について—

建築環境デザイン研究室 臼倉拓人 藤原佑美

## 1. はじめに

この100年間で日本の平均気温は1.0℃上昇している。これは近代になって温暖化が進行していることを示している。更に、東京の平均気温は、2.9℃も上昇しており、日本の平均気温を大きく上回っている<sup>1)</sup>。この原因には、都市部のヒートアイランド現象が挙げられる。ヒートアイランド現象により、都市部の温熱環境は悪化しており、夏季は日中だけでなく、夜間になっても気温が25℃を超える熱帯夜が増え、都市部で生活するのは耐え難いものとなっている。そのため、近年では、悪化している温熱環境を緩和するという点で、屋上緑化への関心が高まり、重要性が認められつつある。東京都では2001年4月に都自然保護条例を改正し、都市緑化に向け、新築ビルを建設する場合、屋上の20%を緑化することを義務付けている。

そこで、本研究では比較的低コストで軽量、施工が容易なコケ植栽による屋上緑化の熱的性能に関する研究を行う。

## 2. 屋上コケ植栽による緑化システムの概要

### 2.1 目的

屋上緑化は、日射の照り返し低減効果という点で、建物周辺の環境の改善を図ることが出来、また焼け込み防止という点において建物内部に対して断熱効果を期待することが出来る。更に、ヒートアイランド現象の軽減による冷暖房負荷低減の期待や、植物の蒸散作用による周辺の冷却効果の期待、レクリエーション、野鳥や昆虫等のビオトープの保全・創出などの面からも効果が期待できる。

そこで、本研究では日射により高温となった屋上面からの再放射による熱的不快感の低減を目的とし、コケ植栽による屋上緑化の照り返し防止・焼け込み防止効果について検討する。また、本年度は、下地材として、より断熱性・保水性に優れ、リサイクル製品で再リサイクル可能なロックウールを使用するため、蒸発潜熱による屋外環境の冷却効果及び室内側への焼け込み防止効果が更に期待される。なお、本研究では効果目標値として、日中のコケ植栽表面温度と各種試験体 ALC（トレイ）下部温度の差を15℃と設定する<sup>1)</sup>。

各種試験体の構成

- ①：波型コケボード+木片チップ+ALC
- ②：平型コケボード+木片チップ+ALC
- ③：生コケ+ロックウール+ALC
- ④：波型コケボード+モルタル+ALC
- ⑤：生コケ+砂利+トレイ
- ⑥：生コケ+ロックウール+トレイ

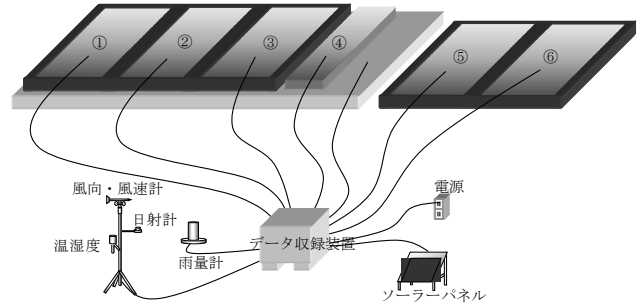
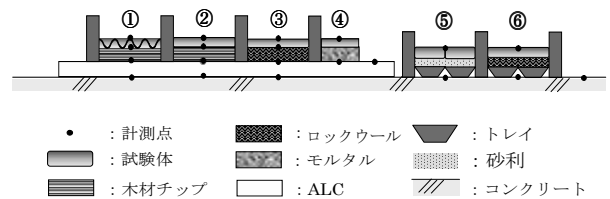


図1 屋上緑化システム概要図



- ：計測点
- ：試験体
- ：木片チップ
- ：ロックウール
- ：モルタル
- ：ALC
- ：トレイ
- ：砂利
- ：コンクリート

図2 コケ植栽断面図

表1 測定機器

測定項目	測定機器		
	名称(型番)	メーカー	主な仕様
温度	熱電対 (0.32×12P T-G=r)	株式会社藤原	T-CCリボン型、ビニル被覆、素線径0.32mm
温湿度	温湿度プローブ (HMP45A/HMP46D)	VAISALA株式会社	湿度計:HUMICAP180高分子薄膜センサ 温度計:厚膜抵抗センサ(P1100、P11000)
風向・風速	風向風速計 (034S)	株式会社ブリッド	測定範囲:風速0~60m/s、風向0~360°
全天空日射量	全天空日射計 (PCM-03A)	株式会社ブリッド	波長範囲:305~2800nm
雨量	雨量計 (370)	株式会社ブリッド	転倒升方式:分解度0.5mm/min
日射量・放射量	長短波放射計 (MR-50)	英弘精機株式会社	日射計部:スペクトル範囲305~2800nm(50%点) 赤外放射計部:スペクトル範囲5~50nm

### 2.2 測定方法

図1に示す屋上緑化システムは、明治大学5号館3階屋上に設置する<sup>注1)</sup>。気象データ(乾球温度、相対湿度、風向、風速、全天空日射量、雨量)を、素線径0.32mmの熱電対により図1に示した各試験体の温度と同時に測定することが可能である。また、計器に必要な電力は、屋上に設置されたソーラーパネル及び電源により24時間連続供給される機構となっている。本研究では測定インターバルを1分に設定し、時系列データを取

得する。各種コケ植栽断面図を図2に示す。

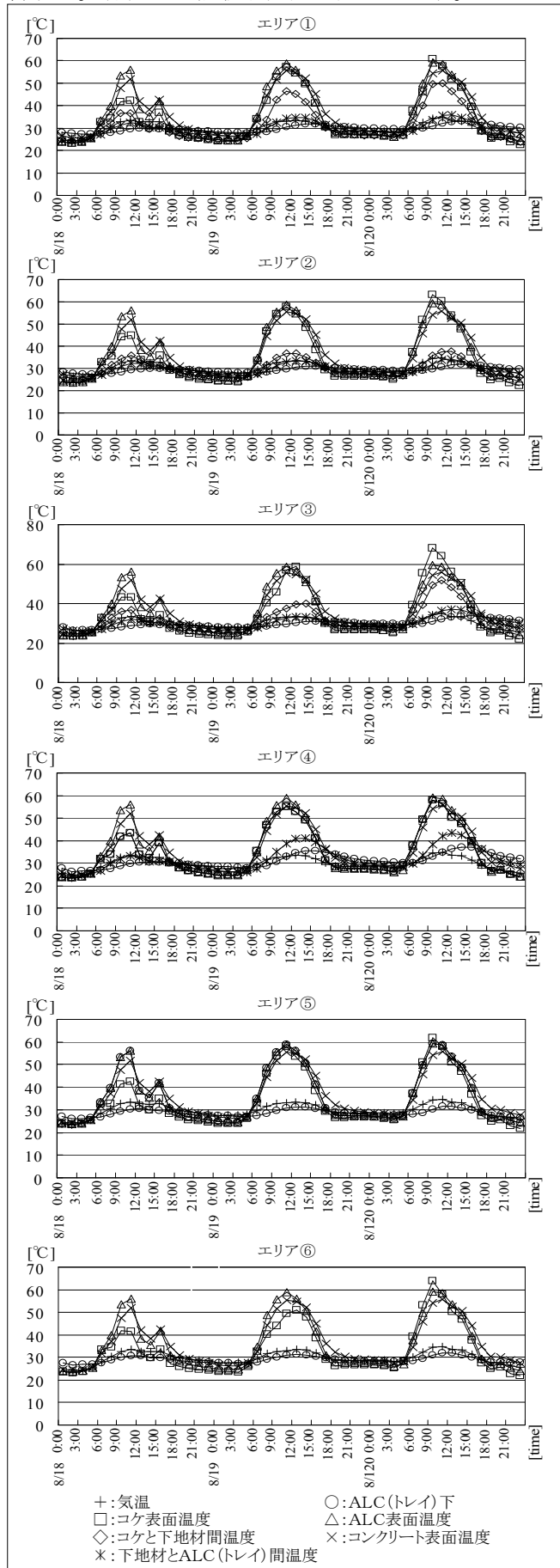


図3 各種コケ植栽温度測定データ(2004/8/18~8/20)

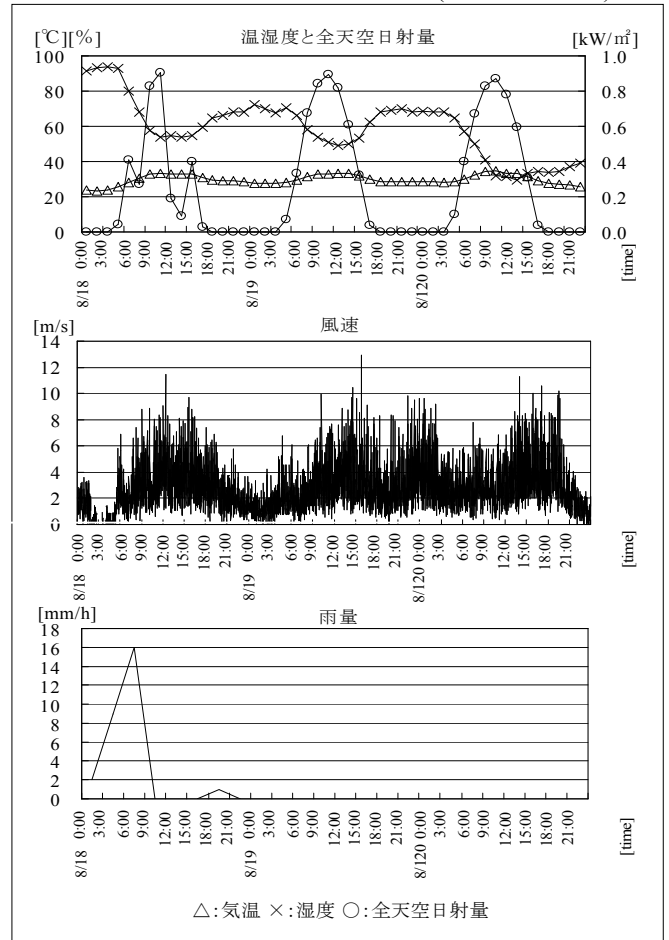


図4 気象データ(2004/8/18~8/20)

表2 エリア別温度差 P.M.12:00(2004/8/18~8/20)

2004/8/18		単位 [°C]		
測定エリア	表面温度	ALC(トレイ)下部温度	温度差1	温度差2
①	42.3	29.6	12.7	22.4
②	44.7	29.3	15.4	22.7
③	43.2	28.9	14.3	23.1
④	43.4	29.9	13.5	22.1
⑤	42.4	30.4	12.0	21.6
⑥	41.9	30.8	11.1	21.2
ALC	55.9	-	-	-
コンクリート	52.0	-	-	-

2004/8/19		単位 [°C]		
測定エリア	表面温度	ALC(トレイ)下部温度	温度差1	温度差2
①	57.3	30.5	26.8	25.3
②	58.2	29.8	28.4	26.0
③	57.2	29.7	27.5	26.1
④	55.7	32.8	22.9	23.0
⑤	58.2	30.9	27.3	24.9
⑥	50.1	31.1	19.0	24.7
ALC	59.1	-	-	-
コンクリート	55.8	-	-	-

2004/8/20		単位 [°C]		
測定エリア	表面温度	ALC(トレイ)下部温度	温度差1	温度差2
①	57.7	32.0	25.7	24.6
②	60.7	30.7	30.0	25.9
③	64.7	31.9	32.8	24.7
④	57.2	34.8	22.4	21.8
⑤	60.2	31.4	28.8	25.2
⑥	60.1	31.9	28.2	24.7

ALC	59.3	-	-	-
コンクリート	56.6	-	-	-

+: 気温  
 □: コケ表面温度  
 ◇: コケと下地材間温度  
 \*: 下地材とALC(トレイ)間温度  
 ○: ALC(トレイ)下  
 △: ALC表面温度  
 ×: コンクリート表面温度

図5 各種コケ植栽温度測定データ(2004/12/12~12/14)

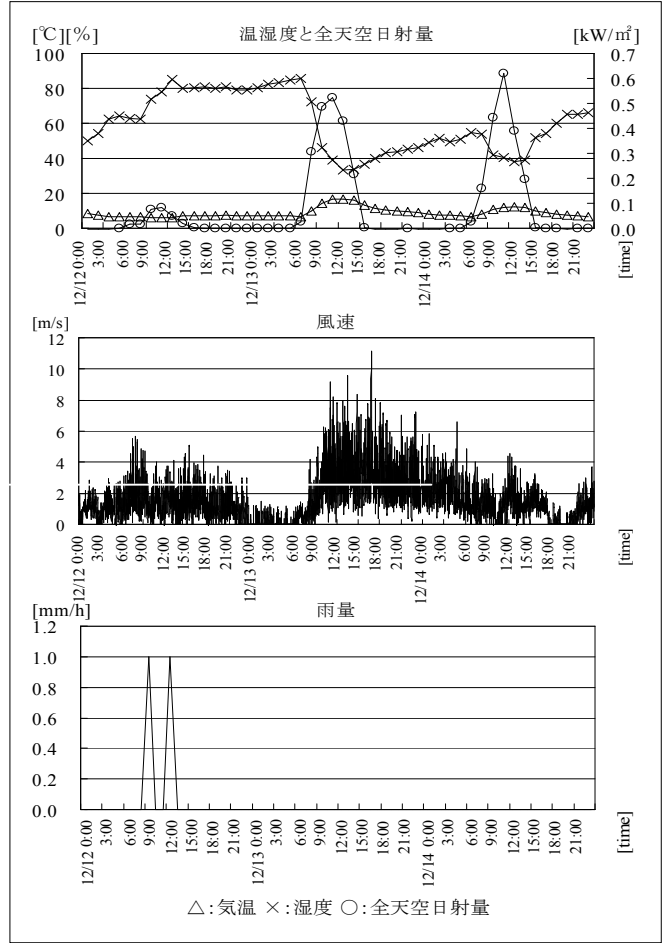
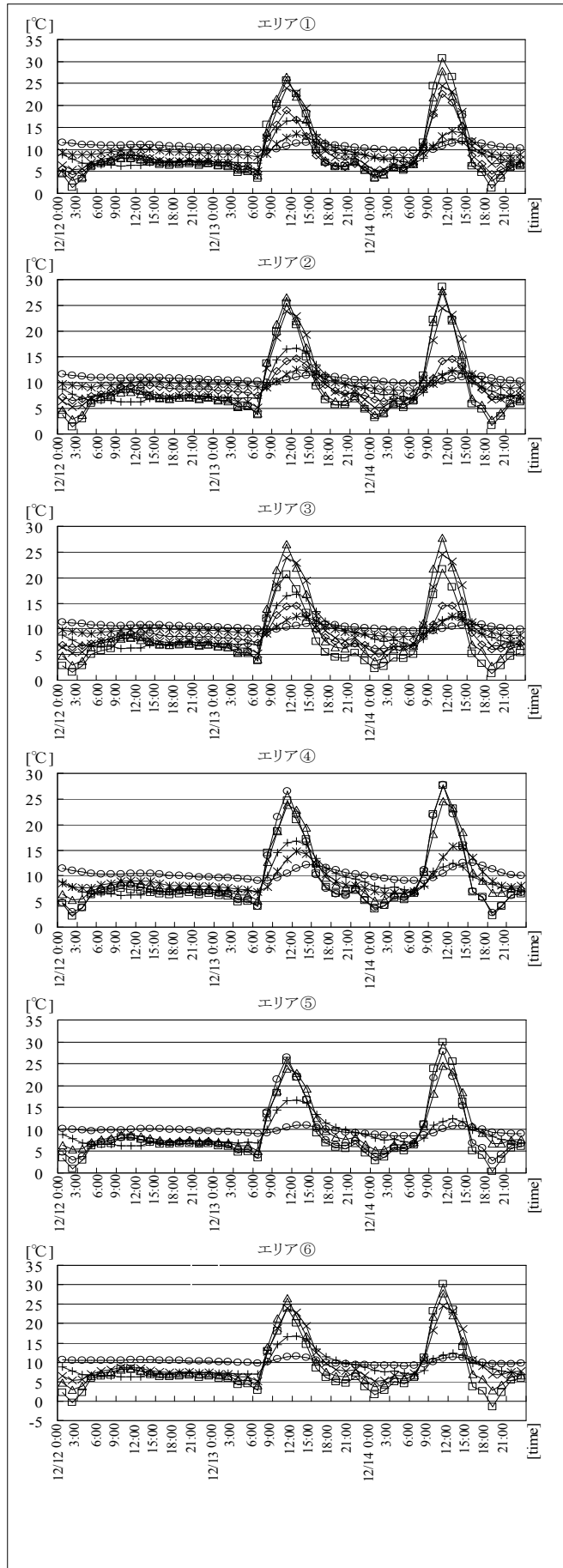


図6 気象データ(2004/12/12~12/14)

表3 エリア別温度差 P.M.12:00(2004/12/12~12/14)

		単位 [°C]		
測定エリア	表面温度	ALC(トレイ)下部温度	温度差1	温度差2
①	7.8	11.0	-3.2	-2.5
②	8.6	10.9	-2.3	-2.4
③	8.3	10.7	-2.4	-2.2
④	7.1	10.4	-3.3	-1.9
⑤	8.0	10.0	-2.0	-1.5
⑥	8.1	10.7	-2.6	-2.2
ALC	8.0	-	-	-
コンクリート	8.5	-	-	-
		単位 [°C]		
測定エリア	表面温度	ALC(トレイ)下部温度	温度差1	温度差2
①	25.4	10.7	14.7	12.8
②	25.2	10.5	14.7	13.0
③	20.6	10.2	10.4	13.3
④	24.1	10.5	13.6	13.0
⑤	25.8	10.4	15.4	13.1
⑥	23.8	11.3	12.5	12.2
ALC	26.2	-	-	-
コンクリート	23.5	-	-	-
		単位 [°C]		
測定エリア	表面温度	ALC(トレイ)下部温度	温度差1	温度差2
①	30.0	10.7	19.3	11.1
②	28.3	10.2	18.1	11.6
③	21.6	10.0	11.6	11.8
④	26.6	10.5	16.1	11.3

⑤	30.0	10.1	19.9	11.7
⑥	30.0	11.1	18.9	10.7
ALC	27.5	-	-	-
コンクリート	21.8	-	-	-

### 2.3 測定結果

図3~6に示す、夏季と冬季の各種コケ植栽の温度測定結果及び気象データは、1日目を降雨日、2、3日目を晴天日となるような期間(8/18~20、12/12~14/)を図示した。これは、降雨後の蒸発潜熱によりコケ表面温度が低下し、断熱効果の差異が各エリアで顕在化することに着目したためである。また、各種コケ植栽の断熱効果を表す指標として温度差1及び2<sup>注2)</sup>を設定し、表2、3に示す。測定結果より、夏季においては最大で26.1℃の温度差となり、コケ植栽により断熱効果が得られることがわかる。更に、夏季・冬季共にコケ植栽下部の温度変化が小さい傾向にあることから、コケ植栽により断熱効果が得られると考えられる。また、コケ表面温度は全天空日射量に非常に影響を受けることが見受けられるが、降雨後は全てのエリアにおいて、コケ表面温度はコンクリート表面温度と比較して低くなっており、保水時は断熱性が高いことが言える。特に、エリア③、⑥は他エリアと比較して保水期間が長く、断熱効果の持続性が高いことがわかる。これは、下地材に使用しているロックウールが保水性に優れているため、コケ植栽の保水期間を持続させたと考えられる。

## 3. コケ植栽の有無による熱流量・天井面温度比較

### 3.1 目的

コケ植栽による屋上緑化システム下部の天井面と、屋上緑化システムの設置を行っていない面下部の天井面の熱流量及び天井面温度を比較し、コケ植栽による日射の焼け込み防止効果について評価とする。

### 3.2 測定方法

図7に測定模式図を示す。理工学部5号館5304教室の、屋上緑化システムを設置した天井面(以下、コケ植栽あり)と設置していない天井面(以下、コケ植栽なし)に熱流計及び熱電対を設置して測定を行う。また、天井面に設置された熱電対により室内温度を測定する。測定はインターバル1分とする。表4に測定機器の主な仕様を示す。

### 3.3 測定結果

図8、9に示す測定結果より、コケ植栽あり、なし、いずれの場合も熱流量及び天井面温度は、日射量に影響を受けており、日射を受けてから約2時間で室内側に伝わる事がわかる。また、熱流量及び天井面温度

を比較すると、熱流量は最大で約125W/m<sup>2</sup>、天井面温度は約1.5℃の差異が表れた。今回の測定は冬季のみ行ったので、今後は夏季においても計測を行い、焼けこみ防止効果について評価することが望ましい。

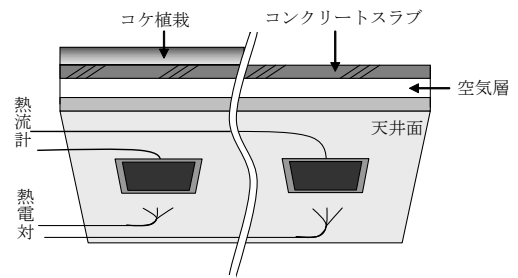


図7 天井面温度と熱流の測定模式図<sup>注3)</sup>

表4 測定機器

測定項目	測定機器		
	名称(型番)	メーカー	主な仕様
温度	熱流量(MF-190)	英弘精機株式会社	熱抵抗:8.3×10 <sup>3</sup> 温度依存性0.05以下 再現精度:±2

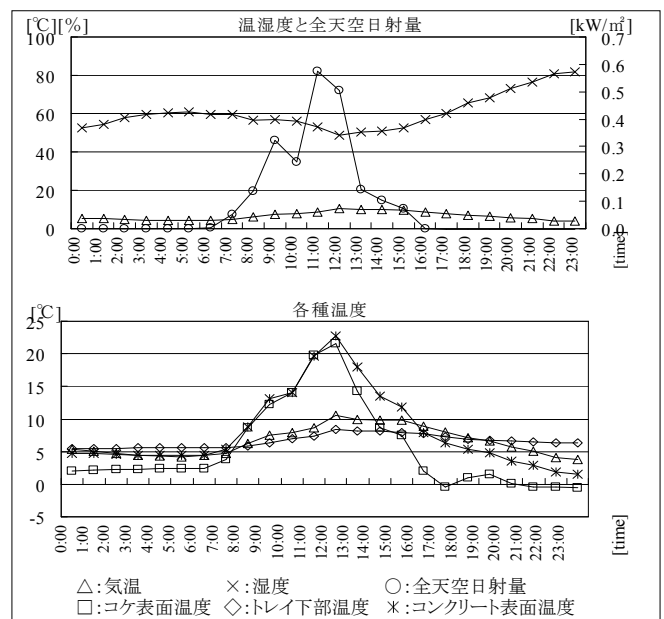
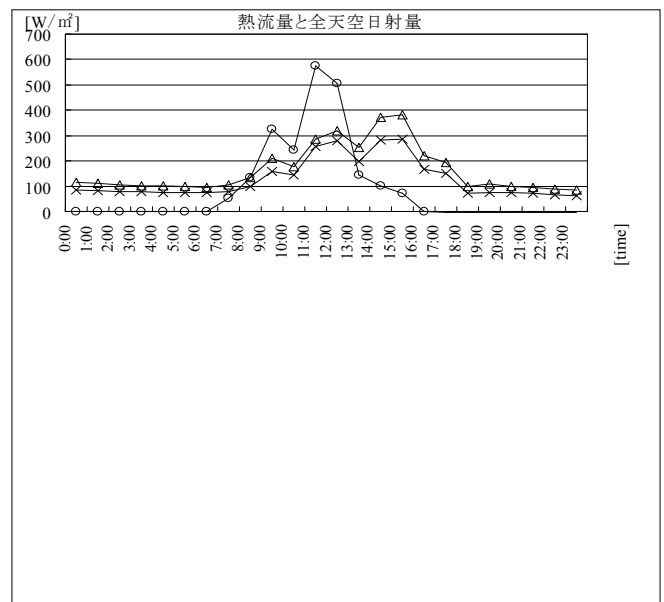


図8 気象データと屋上緑化システム測定データ(2005/1/19)



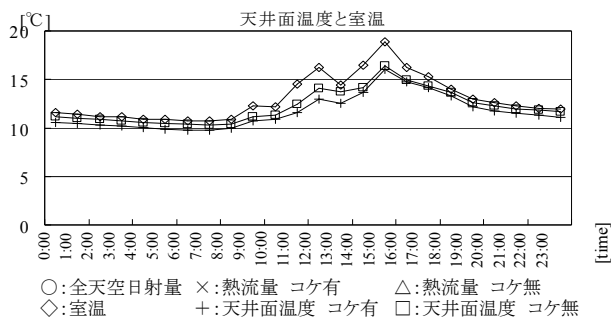


図9 熱流量・天井面温度・室温測定データ(2005/1/19)

## 4. 蒸散実験

### 4.1 目的

コケ植栽の蒸散作用による周辺環境の冷却効果が期待できる。そこで、実際に屋内及び屋外で蒸散作用によるコケ植栽の温度変化と蒸散作用に影響する気象データの測定を行い、それぞれの関係を示すことで、より定量的な評価を与える。

### 4.2 実験方法

図10に、蒸散実験の概要図を示す。実験ではエリア⑥の試験体を使用する。蒸発量を直接測定することは困難であるため、試験体を水で満水状態にし、電子天秤上に載せ、質量の変化より減少した質量を蒸発量とみなす。質量の測定は、インターバル10分と設定して行う。また、室内外共に、試験体表面温度2点、試験体内部温度2点及びトレイ下温度2点を測定する。そして、室内実験における温度測定点として、試験体上部に2点、室内代表部に1点を設定し、屋外実験では、屋上緑化システムで測定した気象データを採用する。トレイの穴はシリコンでふさぎ、トレイと試験体の間にはビニールシートを挟むことで、蒸散以外の水分の流出を不可能にして実験を行う。表5に測定機器の主な仕様を示す。

### 4.3 実験結果

図11に示した、室内実験での室内温湿度、各測定点温度及び試験体の質量変化より、僅かではあるが室内温度は低下し、室内相対湿度は上昇していることがわかる。また、試験体の蒸発量は、各種測定点温度の低下とともに、時間経過に伴い一定量で減少することがわかる。このことより、コケの蒸発散はコケ下部温度及び表面温度に影響を及ぼし、焼け込み防止効果と関係することが言える。

図12に屋外実験での試験体質量変化と気象データ、図13に試験体各種温度、図14に1時間当たりの蒸散量と気象データとの関係を示す。屋外実験では、日射の多い時刻にはコケ表面温度はエリア⑥表面温度と比べ低くなっており、日中の蒸発量が夜間に比べ多くなっていることから、コケの蒸散作用には日射の影響を

大きく受けることがわかる。また、蒸発量には相対湿度及び気温も影響しており、コケの蒸散には外気気候に大きく影響すると考えられる。

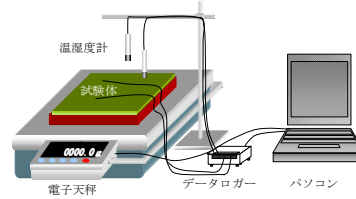


図10 蒸散実験詳細図(室内)

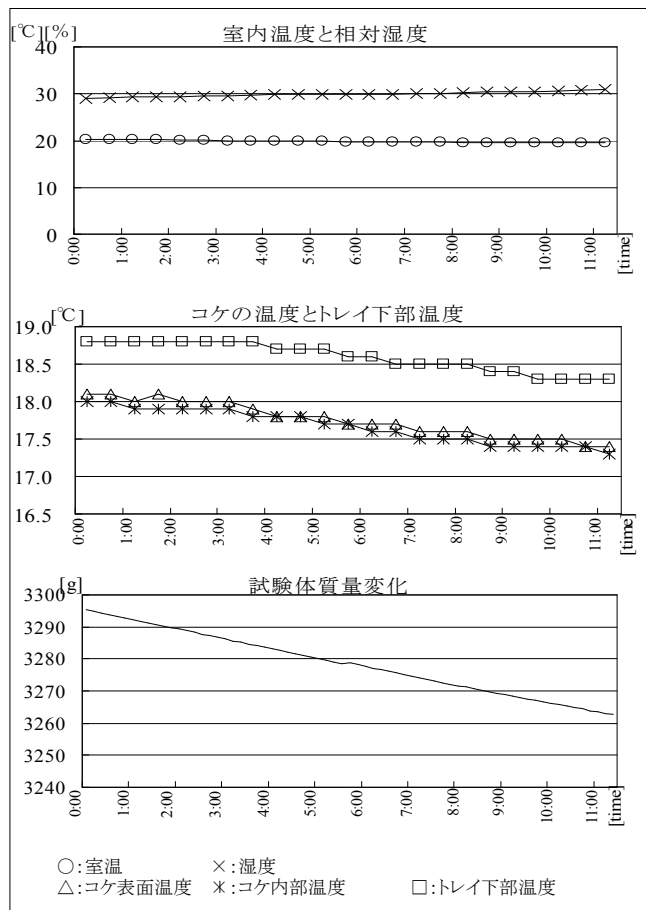
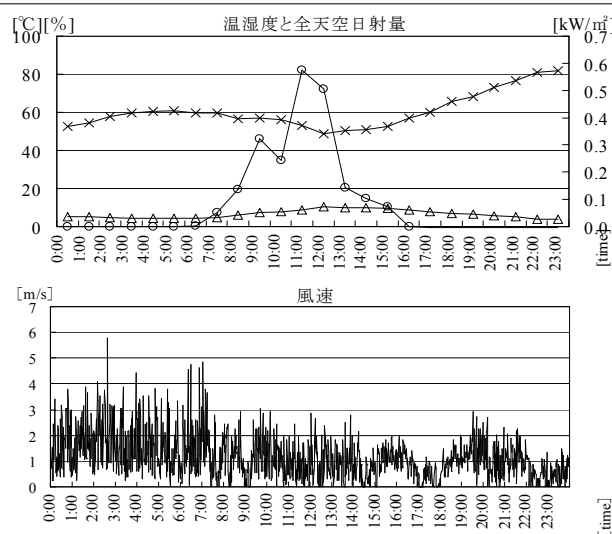
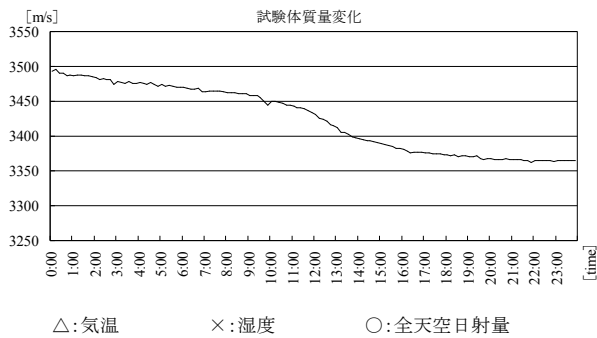


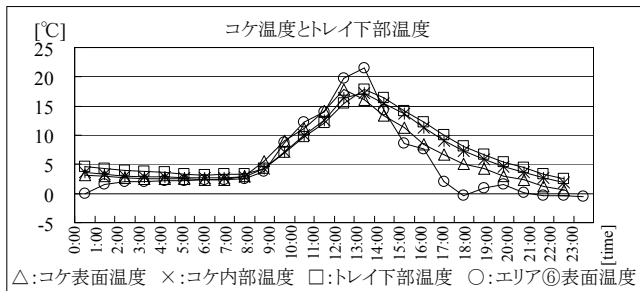
図11 蒸散作用による試験体の質量・温度変化(2004/12/14)





△:気温 ×:湿度 ○:全天空日射量

図 12 気象データと試験体質量変化(2005/1/19)



△:コケ表面温度 ×:コケ内部温度 □:トレイ下部温度 ○:エア⑥表面温度

図 13 各種温度測定データ(2005/1/19)

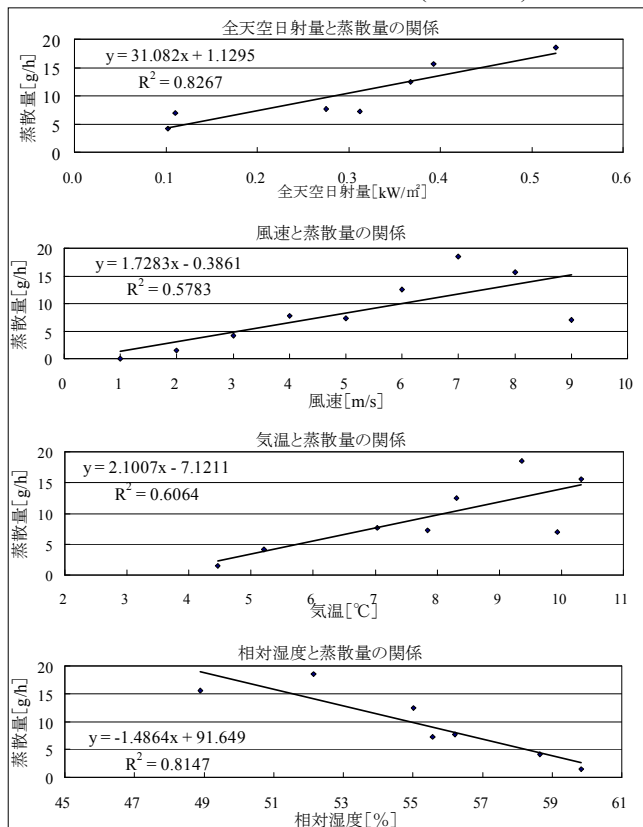


図 14 蒸散量と各種気象データの関係(2005/1/19)

表 5 測定機器

測定項目	測定機器		
	名称(型番)	メーカー	主な仕様
蒸発散量	電子天秤 (GP-20KR)	エー・アンド・デイ	精度:0.1g、秤量:21kg 表示部・計量部:耐水性能 データメモリ数:最大200個(時刻・日付付加時最大100個)
温湿度	温湿度計 (2119A)	堀江藤電気	精度範囲:湿度0-100%RH、温度0~+50°C 精度:湿度±0.3%、温度±0.3°C

## 5. まとめ

研究の目的である、日射による焼け込み防止効果・

断熱効果については、夏季・冬季共に効果が見られた。コケ植栽は日射による影響を大きく受けることが緑化システム各種実験において検証された。また、コケ植栽は保水時においては、蒸散作用により周辺環境の冷却効果、焼け込み防止効果、断熱性の向上がみられるため、コケの保水期間を持続する下地材を使用することが必要であると考えられる。現在使用しているロックウールより更に保水期間を持続出来る下地材の採用が望まれる。

## 6. 今後の課題

- 1) 日射の照り返し防止効果として、長短波放射計を用い、各種コケ植栽及びコンクリートの放射温度の測定を行う。
- 2) 蒸散実験より、コケ植栽は気象データに大きく影響することがわかった。そこで、気温、絶対湿度、風速、全天空日射量の測定データを元にコケ表面熱収支シミュレーションを行う。
- 3) コケ植栽の熱的性能により定量的な評価を与えるため、下地材のみのシステムを設置し、コケ植栽との比較を行う。また、現在の芝生緑化を増設し、コケ植栽との比較を行う。
- 4) 夏季においてもコケ植栽の有無による室内側天井面の熱流量及び温度の測定を行い、冷暖房負荷の低減効果について検証を行う。また、降雨後の保水状態の場合においても測定を行い、乾燥状態の場合と比較することも必要である。

※本研究は(株)国際環境デザイン協会との共同研究である。

- 注 1) 昨年度の明治大学理工学部 5 号館 2 階屋上より、日中、日の当たる明治大学理工学部 5 号館 3 階屋上へ移設  
 注 2) 温度差 1=表面温度-ALC(トレイ)下部温度  
 温度差 2=コンクリート表面温度-ALC(トレイ)下部温度  
 注 3) **コンクリートスラブと天井仕上材との間に の空気層がある**

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、多くのご指導・ご協力を頂いた中川俊夫氏並びに、(株)国際環境デザイン協会、兒玉孝則氏、(株)スヴェンソンの久保栄一郎氏には、多大なる感謝の意を示します。

## 参考文献

- 1) 船瀬俊介:「屋上緑化 緑の建築が都市を救う」、築地書館、2000
- 2) 梅田和彦ら:屋上緑化植栽の熱環境改善効果に関する研究、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.1417-1420、2003.9
- 3) 加治屋亮一ら:屋上のコケ植栽による熱的性能に関する研究(その1コケ植栽の基礎的実験)、日本建築仕上げ学会学術講演会論文集、pp.171-174、2004.10
- 4) 加治屋亮一ら:屋上のコケ植栽による熱的性能に関する研

究（その2 コケ植栽の測定実験）、日本建築仕上り学会学術講演会論文集、pp.175-178、2004.10

- 5) 天野大志ら：屋上緑化による空調負荷低減効果に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、pp.655-656、2003.7
- 6) 梅干野晃ら：屋上の芝生植栽による照り返し防止・焼け込み防止効果、日本建築学会環境工学論文集、pp.133-140、1983.11
- 7) 梅干野晃ら：芝生植栽における照り返し防止・焼け込み防止・雨水の保水効果 I、日本建築学会九州支部研究報告第 27 号、pp.125-128、1983.3
- 8) 梅干野晃ら：西壁に列植した樹木の日射遮へい効果 I、日本建築学会九州支部研究報告第 27 号、pp.129-132、1983.3