

グリーンカーテンプロジェクト

平成 23 年度 実施報告書

平成 24 年 3 月 31 日

首都大学東京理工学研究科

グリーンカーテンプロジェクト

東京都が平成 22 年 4 月に改正施行した「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例」により南大沢キャンパスは CO₂ 排出総量の削減義務を負うこととなった。また、国も同時期に「エネルギーの使用の合理化に関する法律」を改正施行し、首都大学東京法人全体としてもエネルギー消費原単位年平均 1% 以上低減の努力義務をもとめられた。このような背景のもと、エコキャンパス・グリーンキャンパス推進委員会が設置され、各キャンパス部会を中心に義務達成計画が検討されてきた。検討項目の多くは、CO₂ 排出量に直接換算できる電力消費の削減に関連するものであるが、植物による日陰や蒸発散に伴う気化熱による冷却効果として生態学分野で研究されている植物の環境形成作用などの間接効果については検討が必ずしも十分とは言えない。

そこで、生命科学専攻では、平成 21 年度に学生・教職員らによる自主的な活動として、牧野標本館前、動物飼育棟、11 号館裏、8 号館 4 階ベランダなどでゴーヤ、ヘチマ、ヒョウタンなどのツル性のウリ科植物を栽培し、夏季における植物による壁面温度上昇の抑制効果について予備実験を行った。平成 22 年度には、理工学研究科研究推進室から資金援助を得て、植物によるいわゆる「グリーンカーテン効果」を定量的に評価することを目的とした実証実験を実施した。その結果、よしずの被陰による壁面温度の低下の効果 (-3.5 度) にくわえてグリーンカーテン (アサガオ) を設置することにより、壁面温度がさらに -1.5 度低下することを示した。これらの成果をふまえ、平成 23 年度には、教室内の気温に対するグリーンカーテンの効果を直接評価することを目的として、11 号館教室棟において検証実験を実施した。本報告書はその結果をとりまとめたものである。

本研究を遂行するにあたり、都市環境学部地理環境コースの高橋日出男教授から学内で計測している日射量、気温、降水量などのデータの提供を受けた。また、実験の実施およびデータ解析にあたり、森林総合研究所多摩森林科学園非常勤職員の森廣信子氏、理工学研究科非常勤職員の近藤日名子氏の協力を得た。プロジェクトを代表して感謝申し上げます。

平成 24 (2012) 年 3 月
理工学研究科グリーンカーテンプロジェクト代表
小柴 共一

目次

グリーンカーテンプロジェクト概要	1
はじめに	4
方法	
測定場所	4
グリーンカーテンの育成	4
温度の測定	6
日射量の測定	6
結果	
実験期間の天候と気温	7
測定温度の変遷	8
測定温度の日変化	17
日照量の比較	23
考察	
室内の温度分布	23
グリーンカーテンが室内の温度上昇に及ぼす効果	24
夜間の温度低下	24

グリーンカーテンプロジェクト概要

1. 目的

南大沢キャンパスの教室を対象として、植物による「グリーンカーテン効果」を定量的に評価する。

2. 研究組織

研究代表者：

小柴共一 理工学研究科生命科学専攻 教授

研究分担者：

可知直毅 理工学研究科生命科学専攻 教授

黒川 信 理工学研究科生命科学専攻 准教授

村上哲明 理工学研究科生命科学専攻 教授

研究協力者：

近藤日名子 理工学研究科生命科学専攻 非常勤職員

高橋日出男 都市環境科学研究科地理環境科学域 教授

森廣信子 森林総合研究所多磨森林科学園 非常勤職員

3. 研究費

物品費 130,000 円

人件費 320,000 円

旅 費 0 円

印刷費 50,000 円

総 計 500,000 円

4. 成果の概要

グリーンカーテンには一年生の蔓植物、ヘチマを用いた。壁面に沿ったネットを伝ってヘチマの蔓を、窓を被うように成長させた。6月30日にはネットの上端に到達した。さらに上にネットを設置して、8月22日には窓全体が被われるまでに成長した。グリーンカーテンで窓を被った教室（グリーン室）と、窓

を全く被わない教室（対照室）とに、同じ配置で12個の温度センサーを設置した。測定期間は8月13日夕方から9月1日までと、9月8日から26日であった。測定期間のうち、終日雲が少ない晴れの日が13日、日照のなかった日は7日だった。

室内と窓際で温度の変化は大きく異なっていた。窓際の温度が大きく変動するのに対し、室内の温度の変動は小さかった。日最高温度の平均値で比較すると、気温に対してグリーン室の廊下側・中央は気温より1°C程度低いが、窓側は気温と同程度ないしやや高めで、対照室では廊下側・中央が気温と同程度、窓側は4°C程度高い。晴れの日だけを比べると、グリーン室が廊下側で気温より3°C程度低く、窓側でも1°C低いのにに対し、対照室は廊下側で1°C程度低いものの、窓側は3.5°C程度高くなった。窓際の最高温度はグリーン室の外壁の内側では室温と同程度だったが、ガラス窓の内側では気温より高かった。晴れの日はこの差が大きくなり、最も温度が高いのはガラス窓の外側、次いでガラス窓の内側となった。対照室では、外壁の内側は室内廊下側よりもやや高いが、窓側の室温よりも低かった。最低温度は、室内では常に気温より高く、室内の廊下側では27度前後となり、晴れの日が高く、日照のない日は低くなったが、その差は2°Cに達せず、気温より高い状態が保たれていた。日較差はグリーン室室内廊下側・中央が最も小さく、1.4°C、グリーン室窓側と対照室の廊下側・中央が2-3°C、ガラス窓の内側が最も大きく、対照室のガラス窓内側では10°Cを超えた。最高温度は窓ガラスの内側部分が日射によってまず高温になり、室内が暖められるが、その効果は窓に近い場所では大きく、廊下側ではそれほど大きくなかった。グリーンカーテンは日射による窓付近の温度上昇を抑えているが、その効果は室内窓側でも対照室に比べて3°C程度の差であった。グリーン室と対照室の温度差は、室内廊下側および中央ではグリーン室が対照室より最大でも2°C低い程度だった。しかし、窓側では5°C以上低い日もあった。窓際は室外の差が最も小さく、ガラス窓の内側が最も差が大きかった。この差は晴れの日には顕著になった。日照のある日のグリーン室と対照室の温度差は、高い順にガラス窓内側>ガラス窓外側>室内窓側>外壁内側>室内中央≒室内廊下側で、最高温度の高い順と一致した。

日射量の変化をもとに、日中ほとんど雲が出なかった晴れの日と、終日直達日射のなかった日について、日射量、気温、室内温度およびグリーン室の対照室に対する室内温度の差を検証した。晴れの日には正午前後に日射量が最大になり、気温は14時頃に最も高くなった。室温の最大値はこれより早く出る傾向があり、廊下側および中央の室内温度は気温よりも変化が小さかった。窓側の室内温度は正午前に鋭いピークを示し、温度変化は廊下側よりも大きいですが、気温よりも変化は小さかった。日中の温度上昇はグリーン室より対照室で大きかつ

た。また、室温には夜間の温度低下がほとんど見られなかった。グリーン室の対照室に対する温度差は、日が昇るにつれて徐々に開き、廊下側および中央の室温の差は最大で -2°C 程度になり、窓側では8月18日は -4°C 、8月30日は $-8^{\circ}\text{C}\sim-10^{\circ}\text{C}$ になり、9月15日の場合でも $-7^{\circ}\text{C}\sim-8^{\circ}\text{C}$ に達した。温度差が最大になるのは、8月中は11時頃、9月は約1時間遅れて12時頃だった。その後は徐々に差が小さくなり、17時頃には差がほとんどなくなり、廊下側と窓側との差もなくなる。この時、室内の温度は気温ほど下がらないで、高い状態で維持された。

5. まとめと提言

グリーンカーテンによる教室内の温度低下の効果を南大沢キャンパス11号館の1階講義室を使って検証した。グリーンカーテンの有無で、垂直面での日射量の差が非常に大きいことだけが示された。日射が入るガラス窓付近と、ガラスを通して直射日光が入る室内の窓側部分は、晴れの日には室内の他の部分より高温になり、周囲を暖める。この温度上昇は、グリーンカーテンがあることで、ガラス窓付近で平均約 8°C 低くなり、8月下旬以降は温度差が 10°C を超えることもあった。室内窓側での温度上昇抑制も平均では約 4°C だったが、やはり8月下旬以降は差が大きくなり、 10°C 近い差がある日もあった。8月下旬から9月中旬までは気温の低下はほとんどないが、太陽高度が少し低くなるために日射が室内に入りやすくなり、グリーンカーテンがない場合に温度がより上昇するものと思われる。グリーンカーテンはこうした太陽高度の影響を受けずに、日射を遮り、室温上昇を抑制した。日射が直接当たらない室内中央及び廊下側の温度は、グリーンカーテンによる温度上昇の抑制効果が、約 2°C と小さかった。これは教室の奥側の空気が、暖まった窓側から伝わる熱で間接的に暖められることによる。人が動いて空気を攪拌すれば、奥側の温度も高くなった可能性がある。

夜間の温度低下（日最低温度）については、グリーンカーテンの有無による違いが検出されなかった。グリーン室、対照室とも、晴れの日には日照のない日より日最低気温は 1.5°C 程度高いが、グリーン室と対照室の温度差は、晴れの日においても日照のなかった日においても、ほとんどなかった。夜間に室温が下がらないため、翌朝からの温度上昇にグリーンカーテンによる抑制があったとしても、限られたものとなった可能性がある。室温の上昇を抑え、グリーンカーテンの効果を高めるには、気温の下がる夜間から明け方に換気を行い、室温を気温程度にまで下げる必要がある。

はじめに

2010年の測定では、コンクリート壁の温度上昇が、グリーンカーテンで抑えられ、その効果が日射を遮るだけのすだれよりも高いことが実証された。2011年は教室を使い、グリーンカーテンの室温への効果を検証した。

方法

測定場所

理学部講義棟（11号館）の1階講義室のうち、2室を使った。2つの講義室の南東側の壁には4つの窓があり、北西側は廊下、北東および南西側には別の部屋があって、壁は外壁になっていない（図1）。講義室の大きさは9.60m×7.08m、高さ3.00mで容積は約204 m³。窓の外側には池がある。

温度測定に使用した講義室は、廊下をはさんだトイレの工事のため、測定期間中は使われず、人の出入りもなかった。そのため冷房が使用されることがなく、換気することもなく、人の移動による空気の攪乱もなかった。

測定期間の気象データとして、大学構内の別の場所で記録している日照量及び気温のデータを参照した。

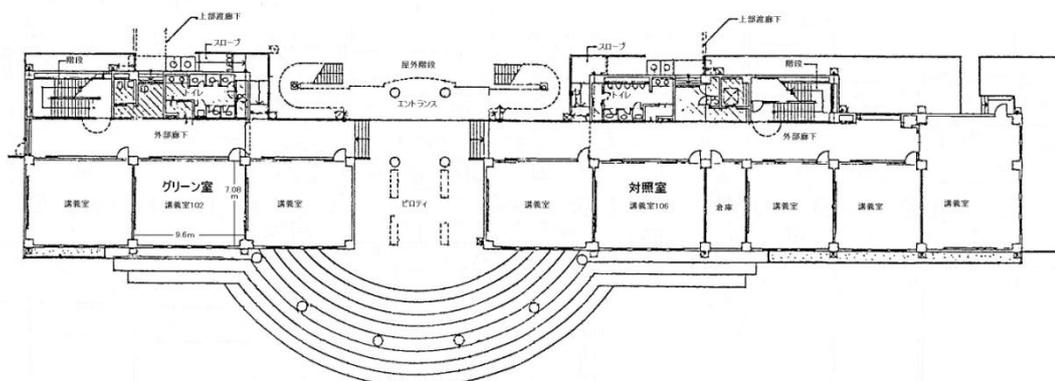


図1 11号館と使用した講義室の位置

グリーンカーテンの育成

グリーンカーテンには一年生の蔓植物、ヘチマを用いた。容量76ℓのプランター4個に培養土を入れ、5月26日に高さ10cmのヘチマ苗を植え、6月8日に11号館の窓の下に置き（図2-B）、壁面にネットを取り付けた。肥料には堆肥（商品名馬力王）、ダイアジノン粒剤と椿の油粕ペレットを使った椿キングを併用した。水は池に水を引くシステムの一部を流用して自動給水した（図2-A）。

壁面に沿ったネットを伝ってヘチマの蔓を、窓を被うように成長させた。6月30日にはネットの上端に到達し、葉群が発達してきて開花も始まった（図2-C）。何度か蔓を戻すなどして

上への成長を抑制したが、7月中旬にはネットを設置した窓の下2/3を葉群が被うまでに成長し(図2-D)、さらに上にネットを設置して、8月22日には窓全体が被われるまでに成長した(図2-E)。しかし、台風15号により9月21日にはグリーンカーテンが破損した(図2-F)。



A 灌水システム



B 成長初期(6月16日)



C 窓を被い始める(6月30日)



D ネット上端まで葉群が被う(7月8日)



E 窓全体が被われる(8月22日)



F 台風による破壊(9月22日)

図2 グリーンカーテンの育成状況

温度の測定

グリーンカーテンで窓を被った教室（グリーン室）と、窓を全く被わない教室（対照室）とに、同じ配置で12個の温度センサーを設置した。設置場所は教室内の廊下側、中央、窓側、および窓の内側に接した場所、窓側の壁の内側、窓の外側の6通りの場所に各2個ずつとした（表1、図3、4）。温度センサーの高さは床から約1m、壁際はそれより高い位置で、直射日光の当たる場所の温度センサーはアルミの傘で被い、温度センサーに直射日光が当たらないようにした。

測定期間は8月13日夕方から9月1日までと、9月8日から26日まで、気温を1時間ごとに記録した。9月21日にはグリーンカーテンが破損したので、実質的には9月20日までとなった。

表1 温度センサーの位置と温度センサー番号

	室内			窓際		
	廊下側	中央	窓側	ガラス内側	壁の内側	ガラス外側
グリーン室	1、2	3、4	5、6	7、8	9、10	11、12
対照室	13、14	15、16	17、18	19、20	21、22	23、24

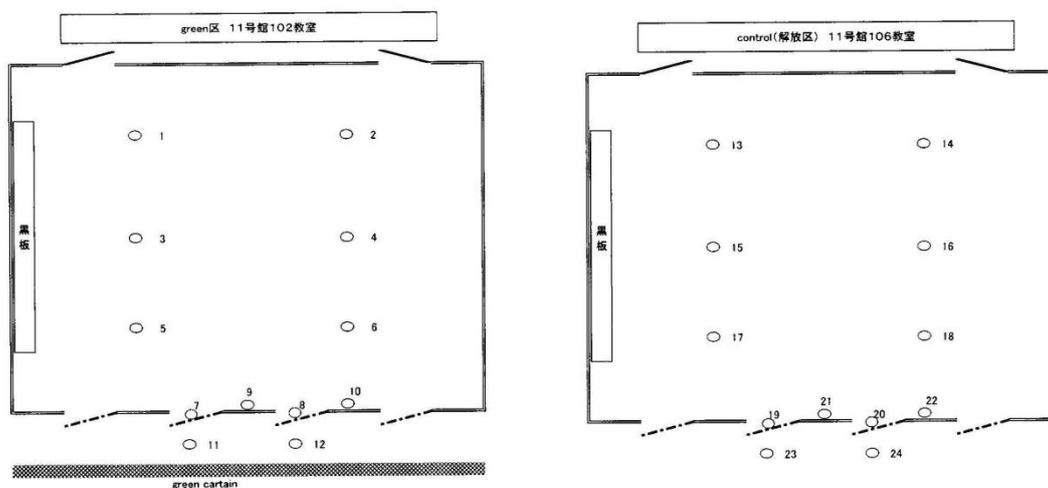


図3 温度センサー設置位置図

日射量の測定

垂直の壁面に当たる日射量を推定するために、光によって退色するフィルム（オプトリーフ、最大吸収波長 521nm）を、グリーン室と対照室の窓の内側と外側に張り付け、温度の測定期間中の垂直面での日射量を測定した。設置場所は温度センサーの7、8（グリーン室）及び19、20（対照室）のそばである（図4-D）。



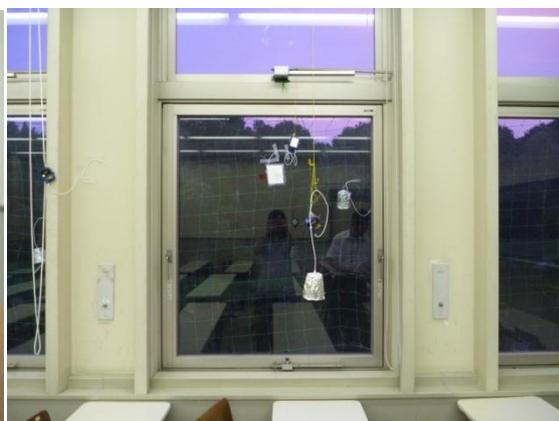
A 室内の温度センサー



B 室内の温度センサー



C 温度センサー



D 直射日光が当たる温度センサーとオプトリーフ

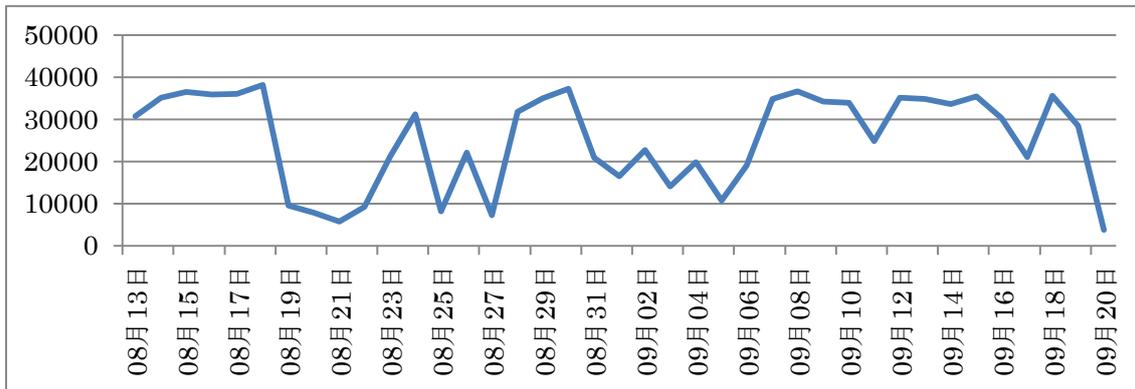
図4 温度センサーの設置状況

結果

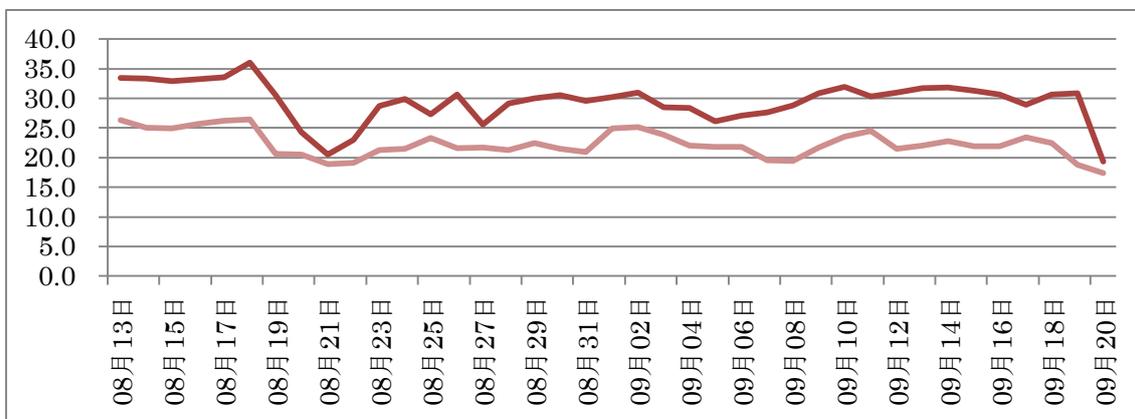
実験期間の天候と気温

測定期間の日照と気温の変化を図5、表2に示す。測定を始めた8月13日から18日までは晴天が続き、雷雨もなく、気温の高い日が続いた。8月19日から27日までは雲の多い日が続き、降水があった。8月末の28, 29日は一旦天気が回復したが、30日から台風12号の影響で雨が多くなった。雲の多い天気は9月6日まで続き、9月7日以降はしばらく安定した晴天が続き、気温も高くなった。9月19日には再び雲が多くなり、20日から台風15号による雨となり、強風でグリーンカーテンの一部が破損した。

測定期間のうち、終日雲が少ない晴れの日は13日、日照のなかった日は7日だった。表2に全測定期間及び晴れの日、日照のなかった日の最高気温と最低気温の平均値を示す。日照のない日の最高気温は晴れの日よりもはるかに低く、最低気温も低いとその差は小さい。



A 日積算日射量



B 気温 (日最高気温 (濃い線) と日最低気温 (薄い線))

図5 測定期間の日照量、日最高気温、日最低気温

表2 日最高気温・最低気温の日照の有無による比較

晴れの日13日、日照のなかった日は7日間。

	日最高気温の平均値 (°C)	日最低気温の平均値
全測定期間	29.5	22.3
晴れの日	32.1	23.3
日照のなかった日 (終日曇りか雨)	24.3	20.8

測定温度の変遷

室内と窓際で温度の変化は大きく異なっていた (表3、図6、7、8)。窓際の温度が大きく変動するのに対し、室内の温度の変動は非常に小さく、特に廊下側で小さい。

日最高温度の平均値で比較すると、気温に対してグリーン室の廊下側・中央は気温より1°C程度低いが、窓側は気温と同程度ないしやや高め、対照室では廊下側・中央が気温と同程度、窓側は4°C程度高い。晴れの日だけを比べると、グリーン室が廊下側で気温より3°C程度低く、窓側でも1°C低いのに対し、対照室は廊下側で1°C程度低いものの、窓側は3.5°C程度高くなった。

表3 室内及び窓際の温度（日最高温度、最低温度の平均値、日較差）の比較

A 日最高気温 グリーン室室内

測定点	1	2	3	4	5	6
全測定期間	28.3	28.3	28.4	28.4	30.0	29.2
晴れの日	29.2	29.2	29.3	29.3	31.6	30.5
日照のなかった日(終日曇りか雨)	27.2	27.2	27.3	27.3	27.3	27.2

B 日最高気温 グリーン室窓際

測定点	7	8	9	10	11	12
全測定期間	30.8	29.6	28.7	28.6	30.7	30.9
晴れの日	33.2	31.6	29.9	29.8	34.0	34.2
日照のなかった日(終日曇りか雨)	26.0	26.2	27.1	27.1	24.3	24.1

C 日最高気温 対照室室内

測定点	13	14	15	16	17	18
全測定期間	29.4	29.5	29.8	29.7	33.3	33.2
晴れの日	30.7	30.7	31.1	31.0	35.7	35.5
日照のなかった日(終日曇りか雨)	27.1	27.3	27.4	27.5	28.0	28.2

D 日最高気温 対照室窓際

測定点	18	19	20	21	22	23
全測定期間	36.5	35.8	31.2	30.9	32.6	33.2
晴れの日	40.3	39.4	32.8	32.8	36.5	37.4
日照のなかった日(終日曇りか雨)	27.6	27.5	29.0	27.6	24.5	24.7

窓際の最高温度はグリーン室の外壁の内側では室温と同程度だが、ガラス窓の内側では気温より高い。晴れの日はこの差が大きくなり、最も温度が高いのはガラス窓の外側、次いでガラス窓の内側となる。対照室では、外壁の内側は室内廊下側よりもやや高いが、窓側の室温よりも低い。ガラス窓付近の温度は内側が非常に高温になり、外側よりも高くなる。

グリーン室は対照室に比べて晴れの日最高温度が低く、特に窓側で差が大きい。

日照のなかった日は室外を除き、一貫して室内は気温より高温の状態が保たれた。

最低温度は室内では常に気温より高く、室内の廊下側では27度前後となり、晴れの日には高く、日照のない日は低くなったが、その差は2℃に達せず、気温より高い状態が保たれている。

日較差はグリーン室室内廊下側・中央が最も小さく、1.4℃、グリーン室窓側と対照室の廊下側・中央が2-3℃、ガラス窓の内側が最も大きく、対照室のガラス窓内側では10℃を超えた。

表3 室内及び窓際の温度の（日最高温度、最低温度の平均値、日較差）比較（続き）

E 日最低気温 グリーン室室内

測定点	1	2	3	4	5	6
全測定期間	27.0	27.0	27.0	27.0	27.1	27.1
晴れの日	27.6	27.6	27.7	27.7	27.9	27.8
日照のなかった日（終日曇りか雨）	26.1	26.1	26.2	26.2	26.3	26.2

F 日最低気温 グリーン室窓際

測定点	7	8	9	10	11	12
全測定期間	25.4	25.7	27.1	27.0	23.0	23.0
晴れの日	26.2	26.8	28.0	28.0	24.1	24.2
日照のなかった日（終日曇りか雨）	24.4	24.4	25.8	25.8	21.7	21.5

G 日最低気温 対照室室内

測定点	13	14	15	16	17	18
全測定期間	26.9	27.0	27.1	27.2	27.1	27.3
晴れの日	27.6	27.7	27.8	27.9	27.9	28.0
日照のなかった日（終日曇りか雨）	26.0	26.1	26.2	26.3	26.2	26.3

H 日最低気温 対照室窓際

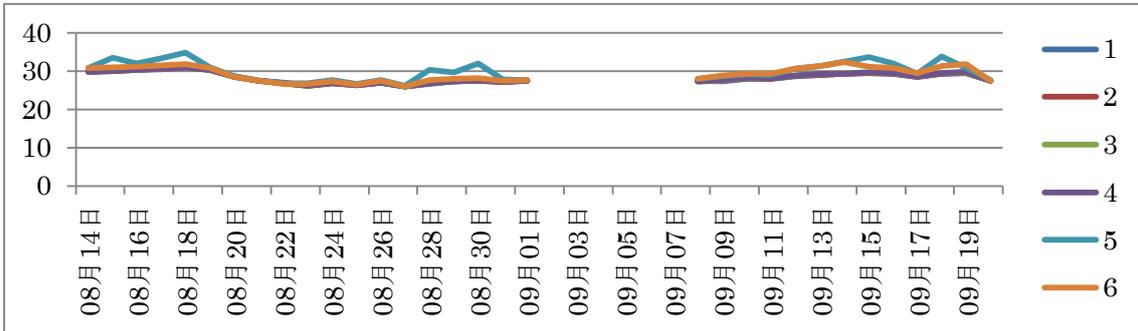
測定点	18	19	20	21	22	23
全測定期間	25.2	25.1	27.3	27.3	22.6	22.6
晴れの日	26.1	26.0	28.3	28.3	23.7	23.7
日照のなかった日（終日曇りか雨）	24.1	24.0	25.8	25.9	21.2	21.2

I 日較差の平均値

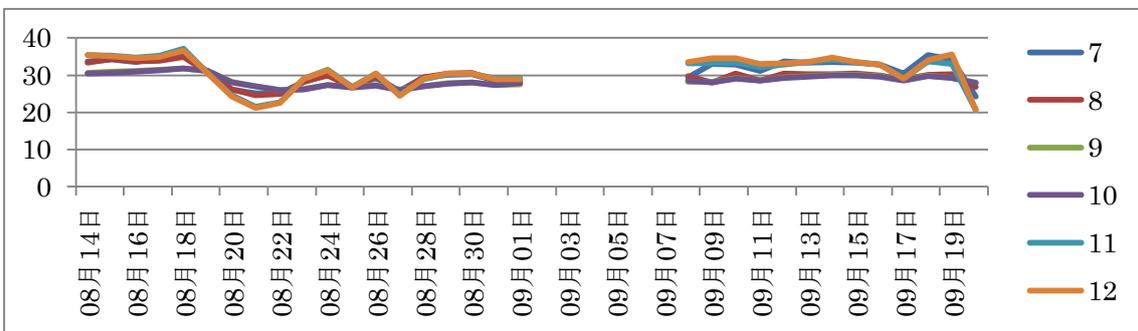
気温	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7.2	1.3	1.4	1.4	1.4	2.8	2.2	5.3	3.9	1.7	1.6	7.7	7.8
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	2.4	2.4	2.7	2.5	6.2	6.0	11.3	10.8	4.0	3.7	10.0	10.0

最高温度は窓ガラスの内側部分が日射によってまず高温になり、室内が暖められるが、その効果は窓に近い場所では大きく、廊下側ではそれほど大きくはない。グリーンカーテンは日射による窓付近の温度上昇を抑えているが、その効果は室内窓側でも対照室に比べて3℃程度の差であった。外壁内側の温度は室内と同程度であり上昇しない。

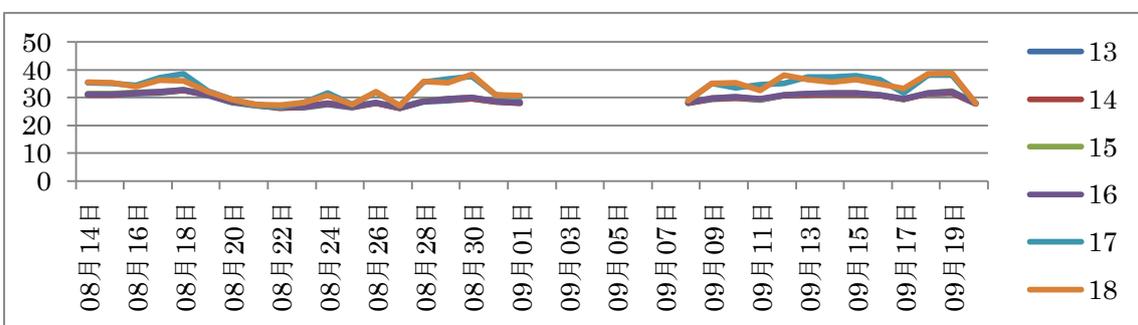
A 日最高温度 グリーン室室内



B 日最高温度 グリーン室窓際



C 日最高温度 対照室室内



D 日最高温度 対照室窓際

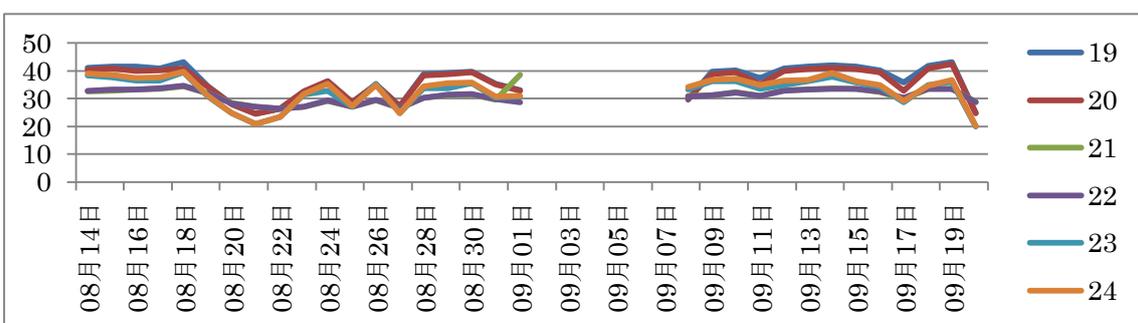
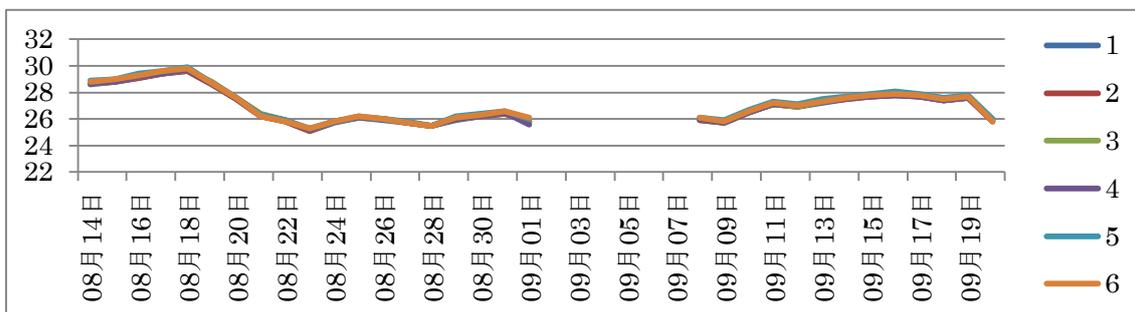
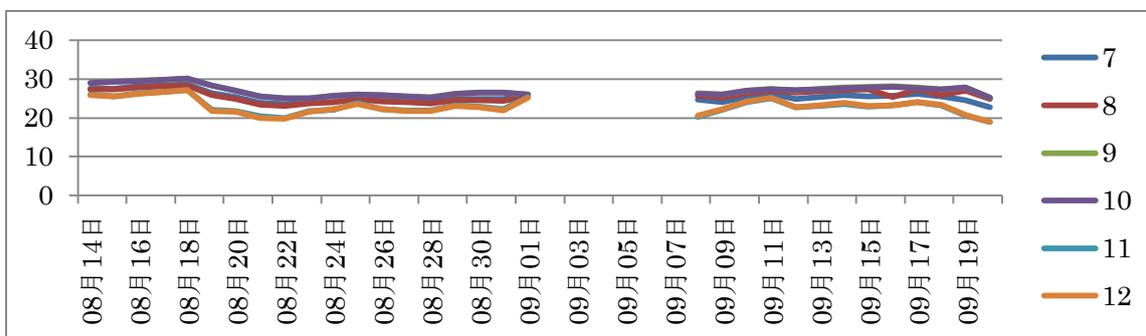


図6 各測定点の最高気温、最低気温

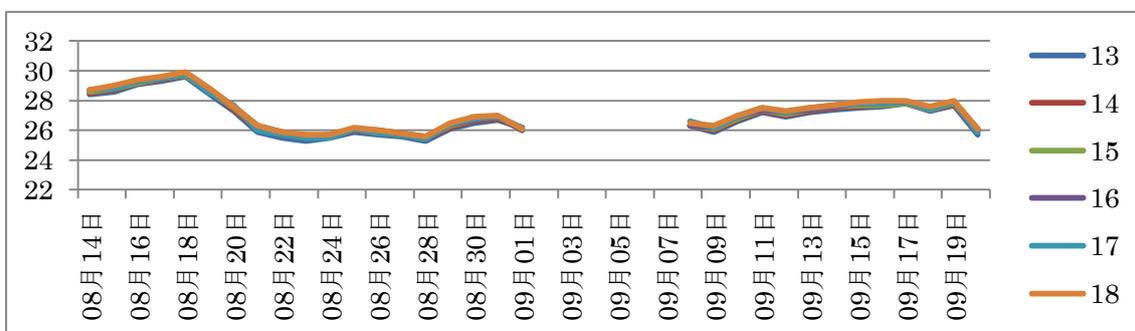
E 日最低温度 グリーン室室内



F 日最低気温 グリーン室窓際



G 日最低気温 対照室室内



H 日最低気温 対照室窓際

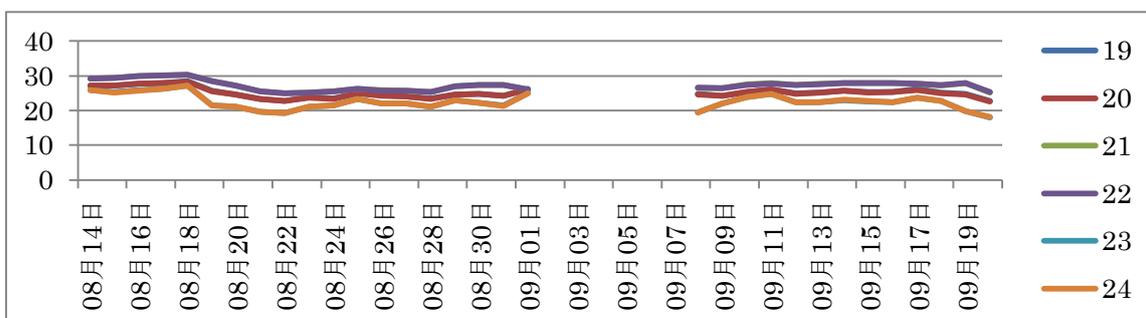


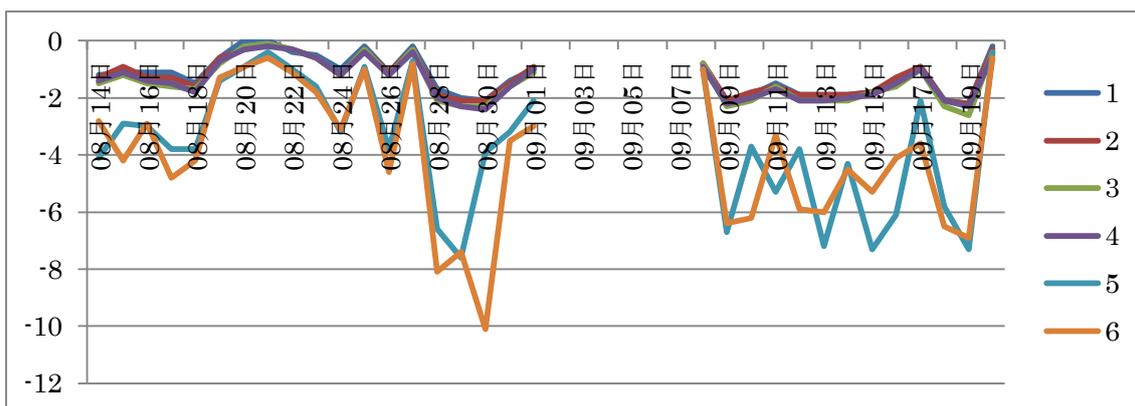
図6 各測定点の最高気温、最低気温 (続き)

グリーン室と対照室の温度差（図 7）は、室内廊下側および中央ではグリーン室が対照室より最大でも 2℃低い程度だった。しかし窓側では 5℃以上低い日もあった。窓際は室外の差が最も小さく、ガラス窓の内側が最も差が大きい。この差は晴れの日には顕著になるが、日照のない日は非常に小さく、ほとんど差がないこともある。

最高温度と最低温度の差だけをとって比較する（図 8）と、最低温度の差はほとんどなく、グリーン室が対照室よりもわずかに温度が高いこともあった。最高温度の差は、室内の廊下側および中央ではグリーン室が対照室よりも日照のある日は 1–2.5℃低く、日照のない日は差がほとんどない。室内窓側は日照のある日の最高温度の差がより大きく、日照のない日は差が小さい。窓際は、日射が直接当たらない外壁内側では室内窓側よりも温度差が小さく、ガラス窓内側では日照のある日の差が測定点のうちでもっとも大きい。

日照のある日のグリーン室と対照室の温度差は、高い順にガラス窓内側>ガラス窓外側>室内窓側>外壁内側>室内中央≒室内廊下側で、最高温度の高い順と一致した。

A 室内



B 窓際

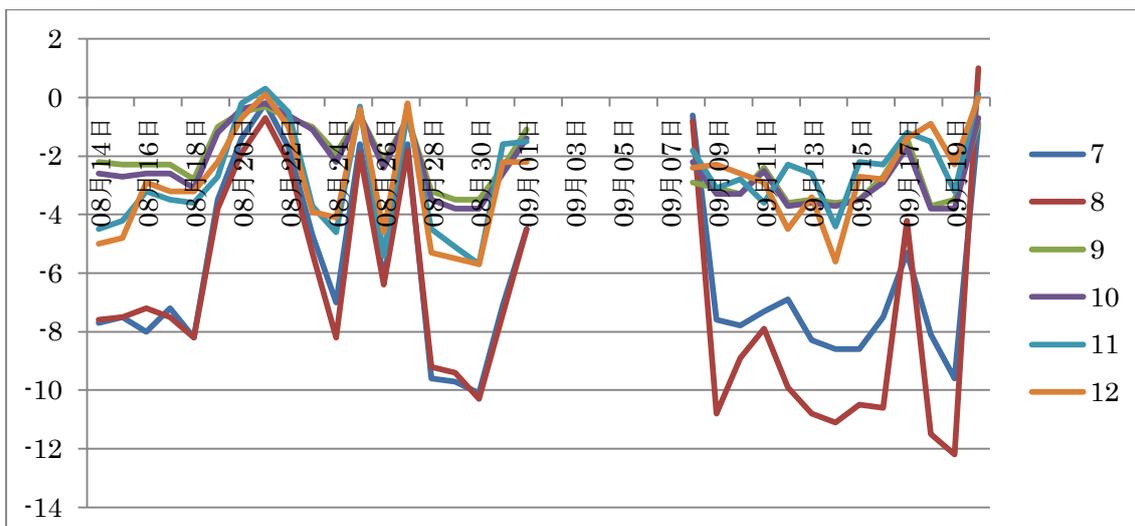
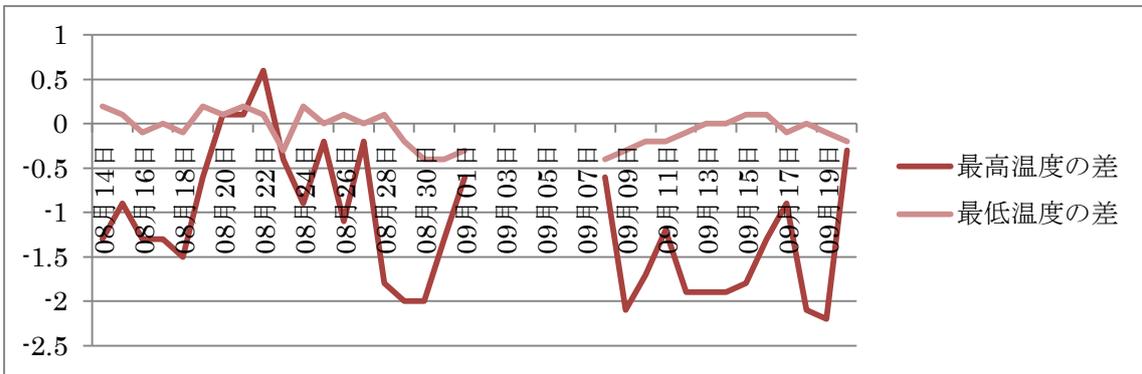
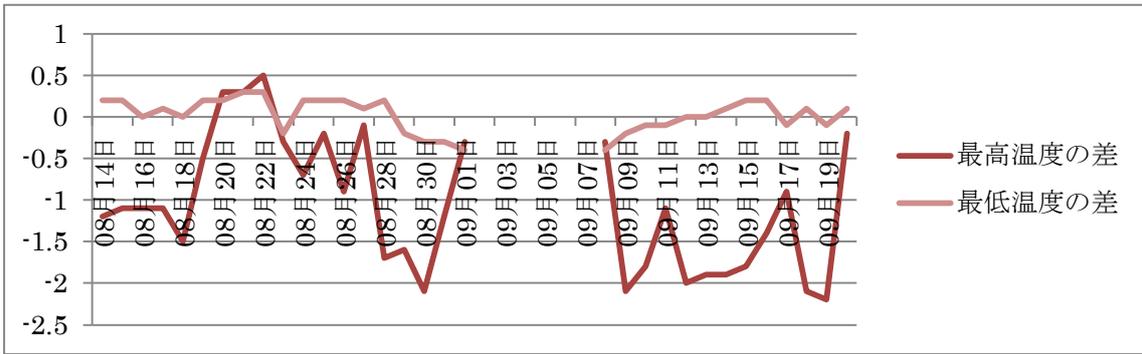


図 7 グリーン室の対照室に対する温度差の日最大値

A 室内廊下側



B 室内中央

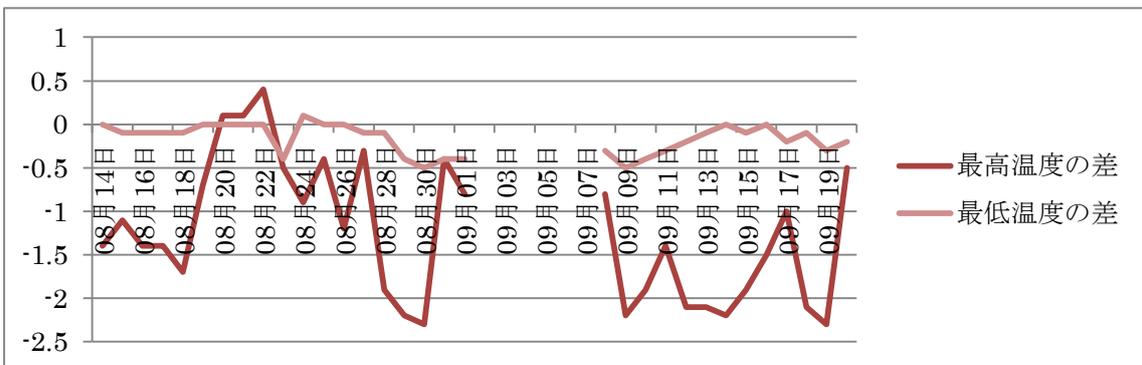
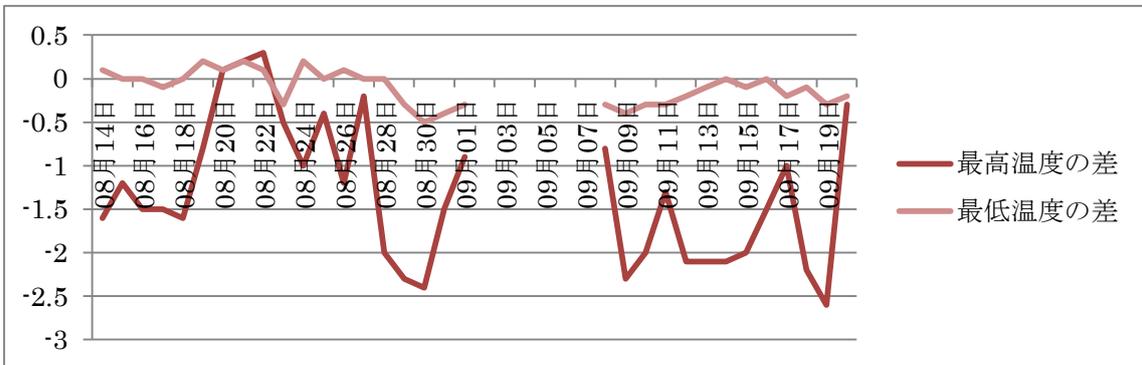
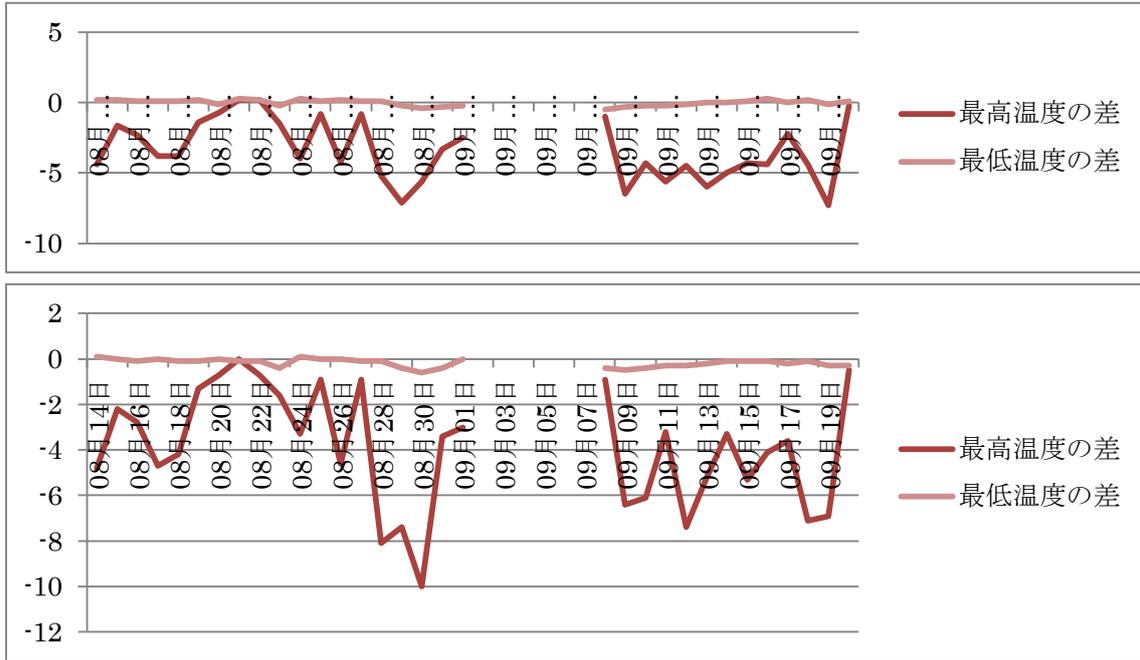


図8 グリーン室の対照室に対する最高温度・最低温度の差

C 室内窓側



D ガラス内側

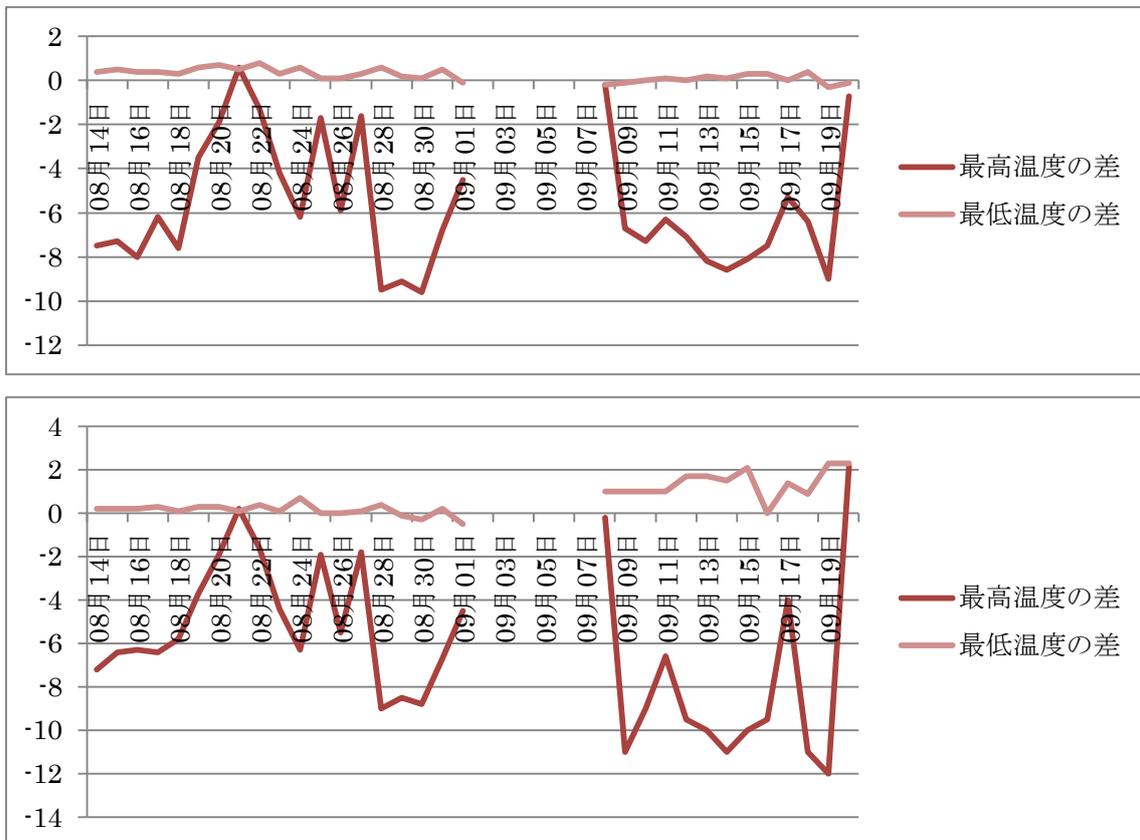
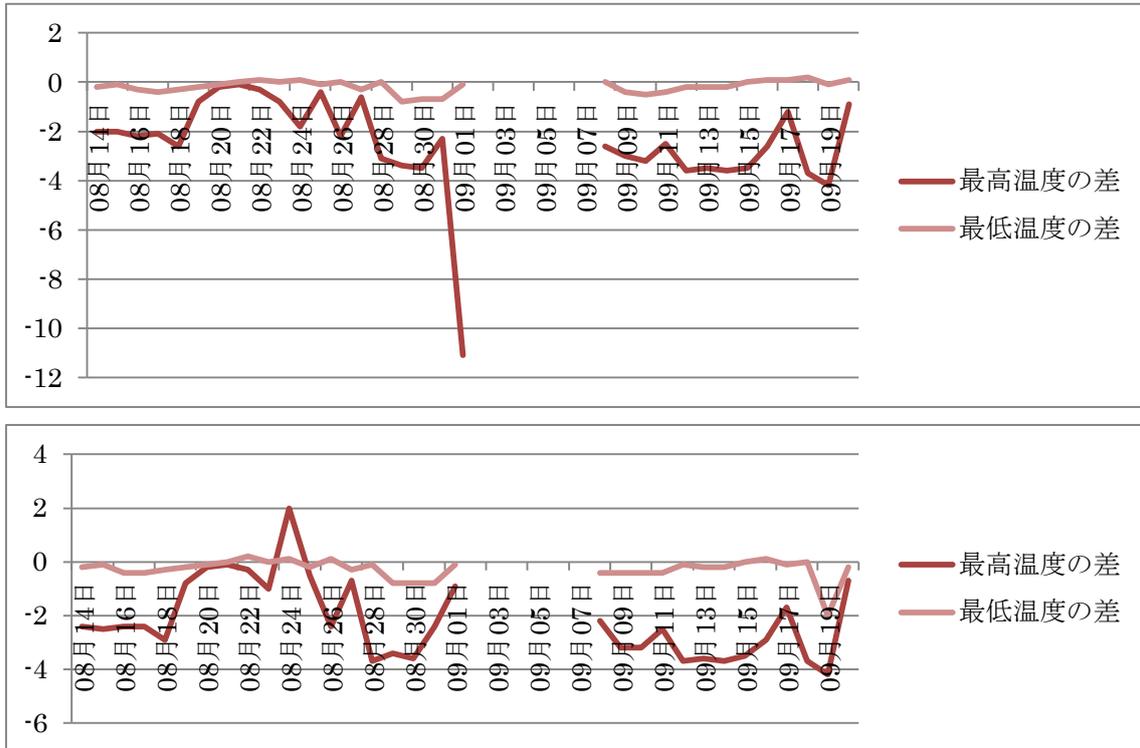


図8 グリーン室の対照室に対する最高温度・最低温度の差 (続き)

E 壁の内側



F ガラス外側

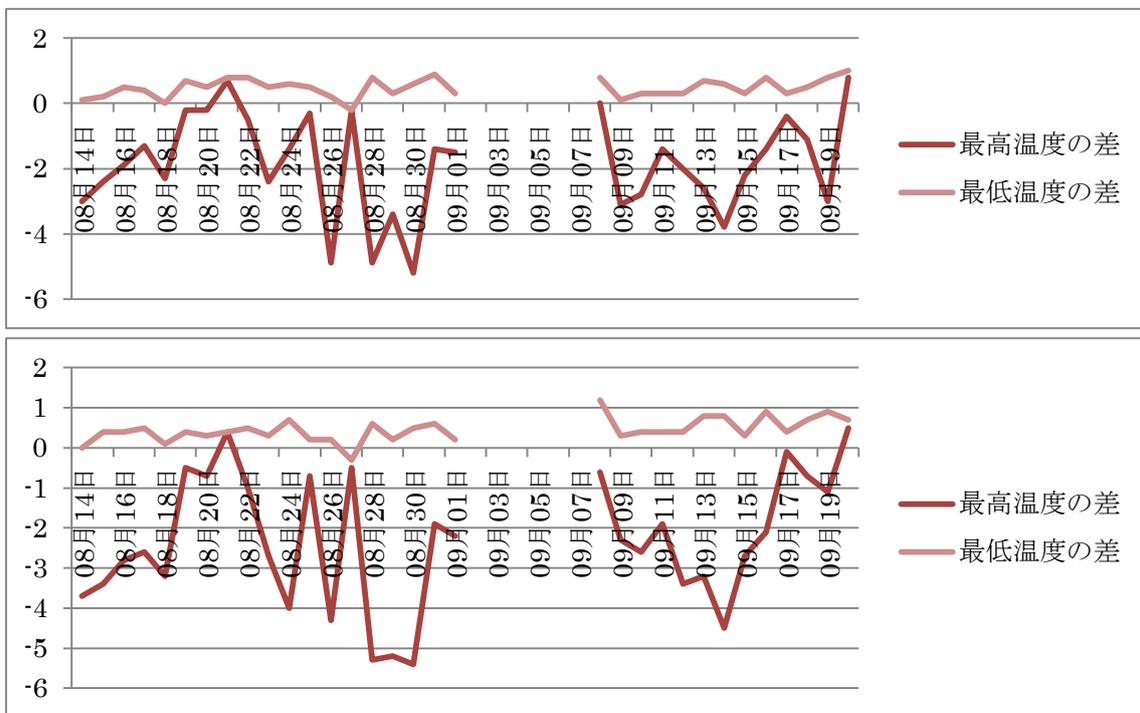


図8 グリーン室の対照室に対する最高温度・最低温度の差 (続き)

測定温度の日変化

日射量の変化をもとに、日中ほとんど雲が出なかった晴れの日（8月18日、8月30日、9月15日）と、終日直達日射のなかった日（8月21日、8月27日）について、日射量、気温、室内温度およびグリーン室の対照室に対する室内温度の差を図9～13に示す。

晴れの日には正午前後に日射量が最大になり、気温は14時頃に最も高くなる（9月15日は13時頃に最も高い）。室温の最大値はこれより早く出る傾向があり、廊下側および中央の室内温度は気温よりも変化が小さい。窓側の室内温度は正午前に鋭いピークを示し、温度変化は廊下側よりも大きい、気温よりも変化は小さい。日中の温度上昇はグリーン室より対照室で大きかった。また、室温には夜間の温度低下がほとんど見られない。

測定期間中の最高気温を記録した8月18日では、グリーン室の日中の温度は気温よりも低くなっているが、対照室の窓側は短時間気温を上回った。8月30日の室温はこの日の最高気温に近い高い状態が維持され、ピーク時はグリーン室でも気温を越えた。対照室の窓側は、ピーク時には気温よりもはるかに高い温度になった。9月15日は室温が気温より高い状態が対照室だけでなく、グリーン室でも続いた。

グリーン室の対照室に対する温度差は、日が昇るにつれて徐々に開き、廊下側および中央の室温の差は最大で -2°C 程度になり、窓側では8月18日は -4°C 、8月30日は $-8^{\circ}\text{C}\sim-10^{\circ}\text{C}$ になり、9月15日の場合でも $-7^{\circ}\text{C}\sim-8^{\circ}\text{C}$ に達した。温度差が最大になるのは、8月中は11時頃、9月は約1時間遅れて12時頃だった。その後は徐々に差が小さくなり、17時頃には差がほとんどなくなり、廊下側と窓側との差もなくなる。この時、室内の温度は気温ほど下がらないで、高い状態で維持された。

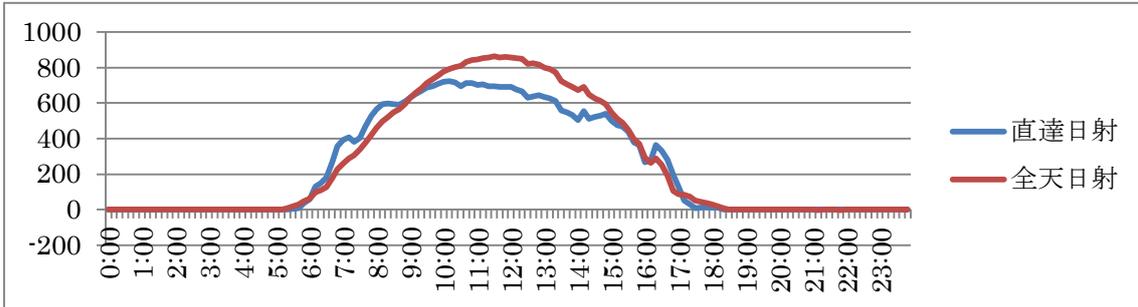
日照のなかった8月21日は気温がほとんど変化せず、最高気温は午前0時で 20.1°C と低かったが、室温は 27°C 以上と高く、24時間かけて徐々に下がっていったが、温度低下は $1.2^{\circ}\text{C}\sim 1.3^{\circ}\text{C}$ にとどまった。また室内の位置による違いはほとんどなく、6つの測定点がほとんど同じ温度を示した。

8月27日は21日より気温が高く、夕方にかけて緩やかな気温上昇があった。室温は常に気温より高かったが、その差は8月21日より小さい。グリーン室では気温の上昇があっても室温はごく緩やかに低下していき、測定点間の差はほとんどない。対照室では日中に小さな温度上昇があった。この温度上昇は窓側でわずかに大きい。

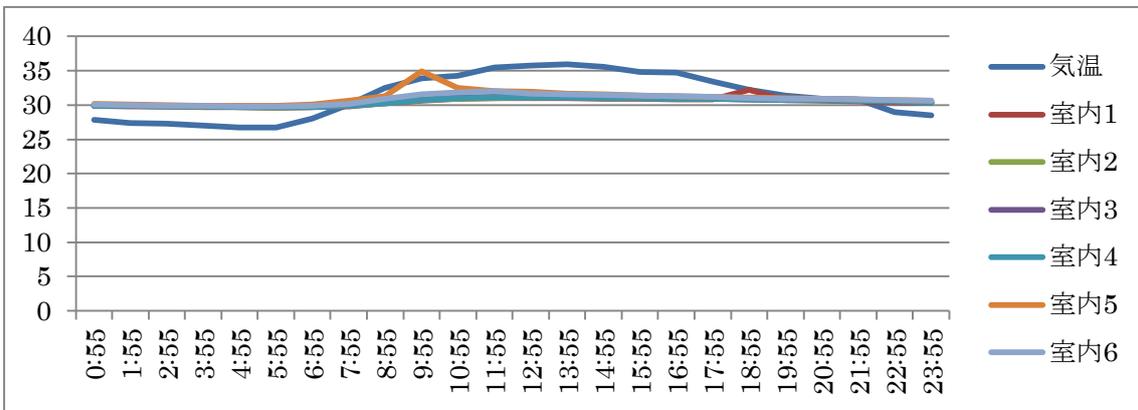
グリーン室の対照室に対する差は、窓側が廊下側・中央よりもやや大きい、差は 1°C 以下であった。

晴れの日、日照のなかった日を通じて、気温が夜間に下がっても、グリーン室、対照室ともに室内の温度はあまり下がらずに高く維持されていた。

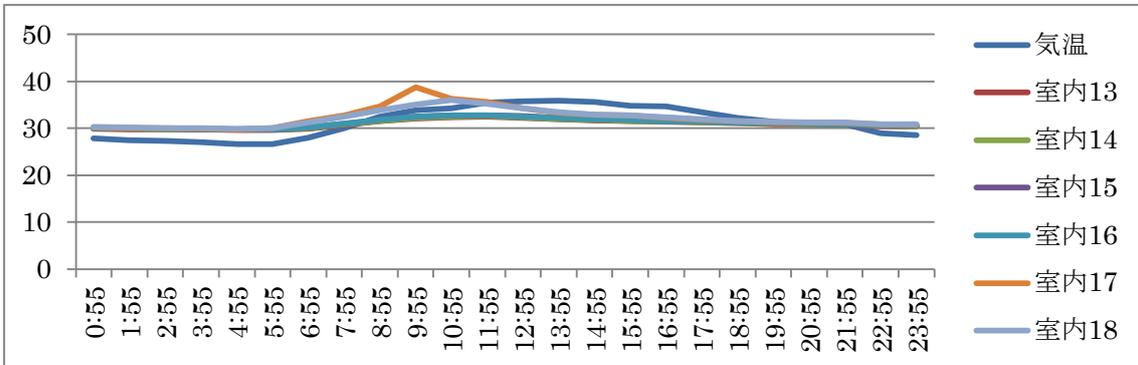
A 日射量



B 気温およびグリーン室の室内温度



C 気温および対照室の室内温度



D グリーン室の対照室に対する温度差

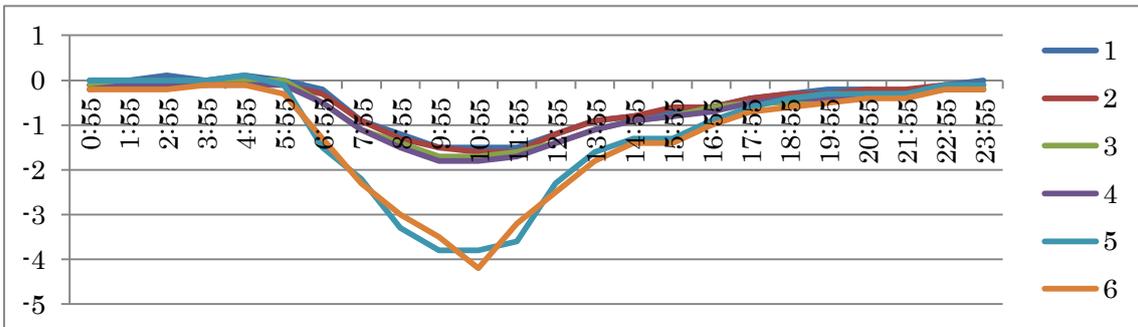
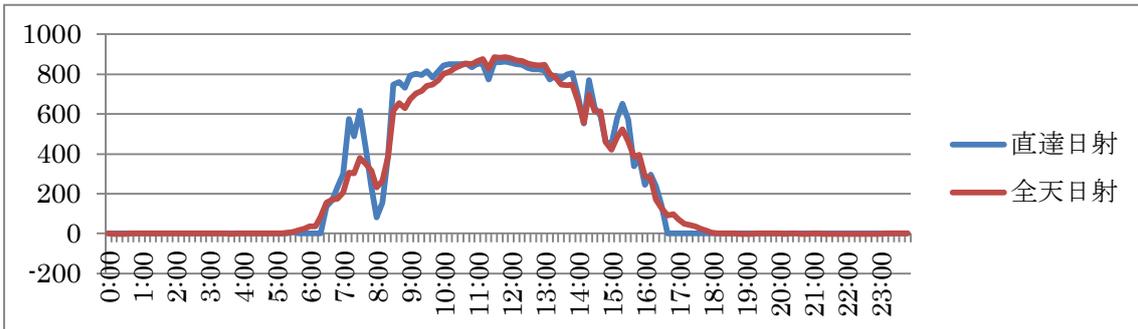
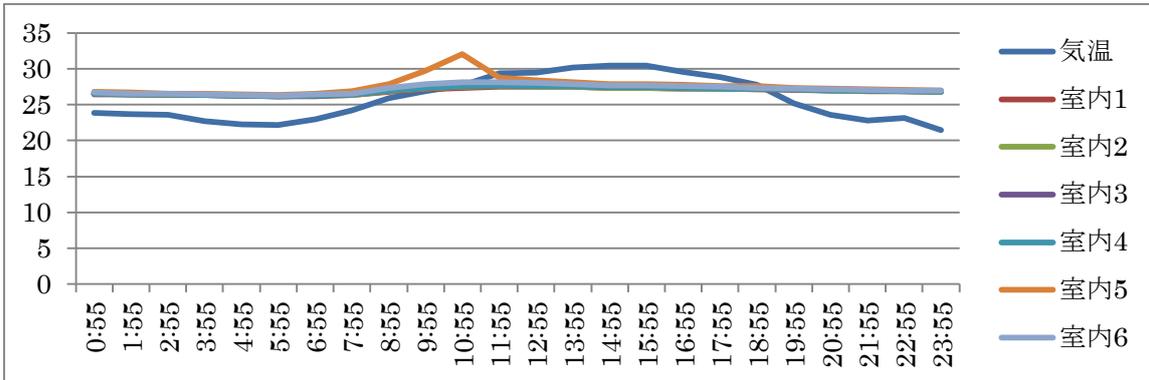


図9 8月18日(晴れの日)の日射、気温、室内温度

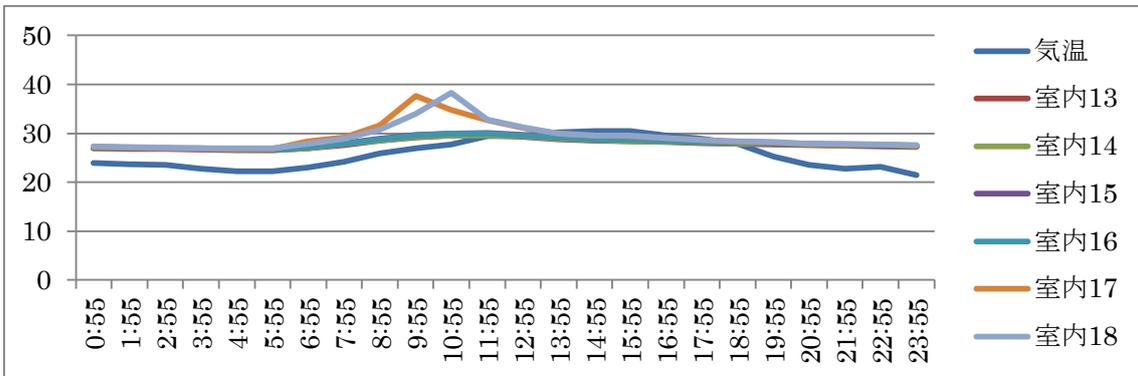
A 日射量



B 気温およびグリーン室の室内温度



C 気温および対照室の室内温度



D グリーン室の対照室に対する温度差

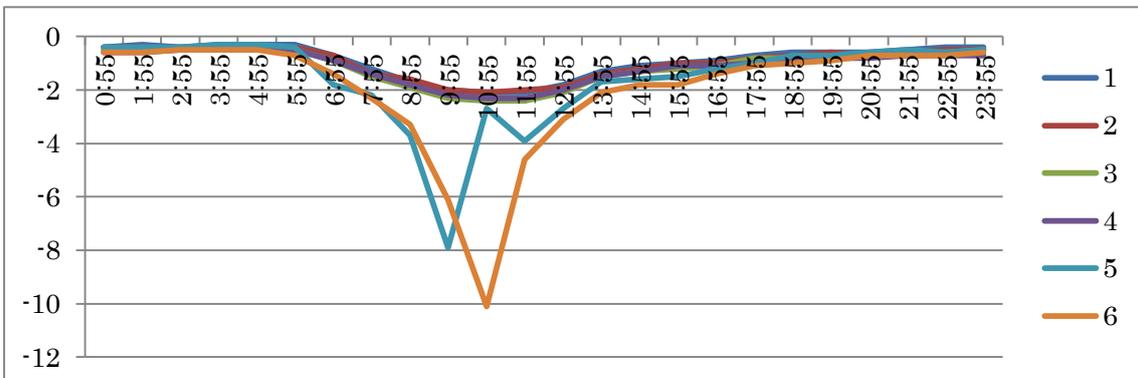
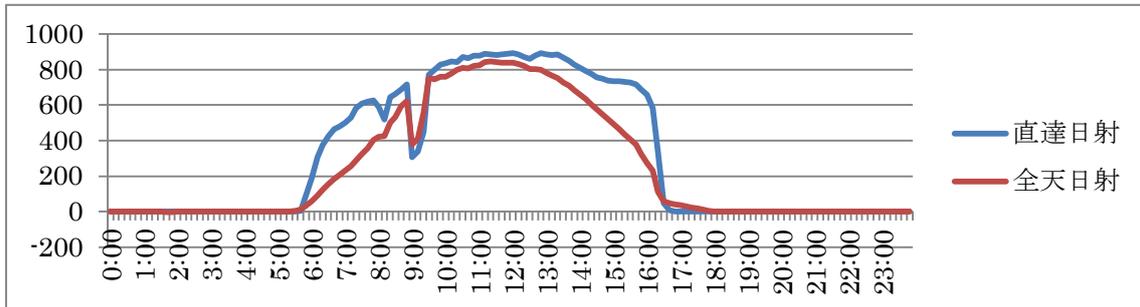
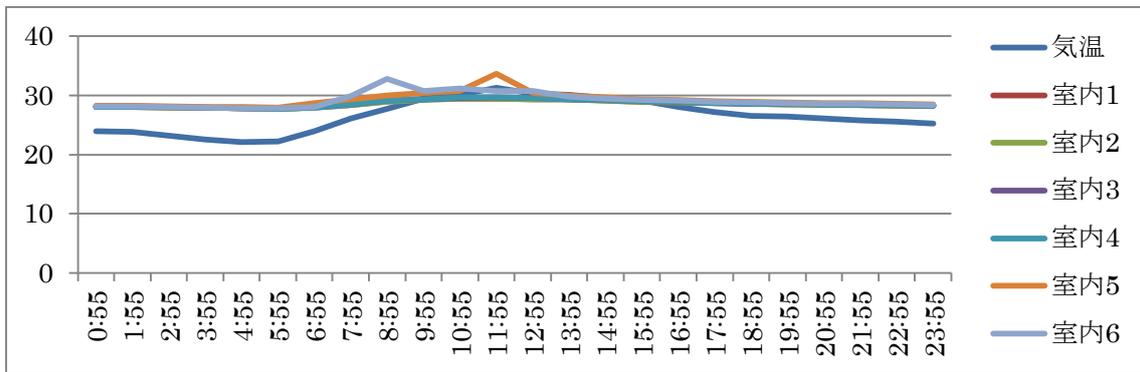


図9 8月30日(晴れの日)の日射、気温、室内温度

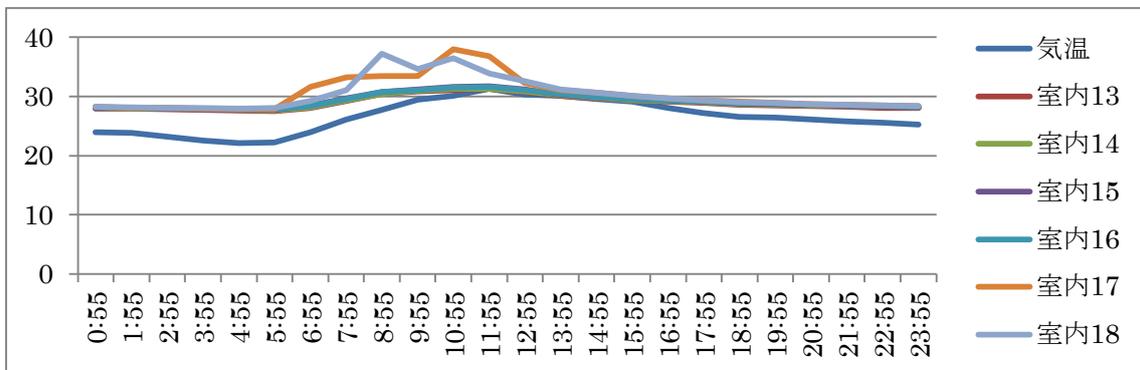
A 日射量



B 気温およびグリーン室の室内温度



C 気温および対照室の室内温度



D グリーン室の対照室に対する温度差

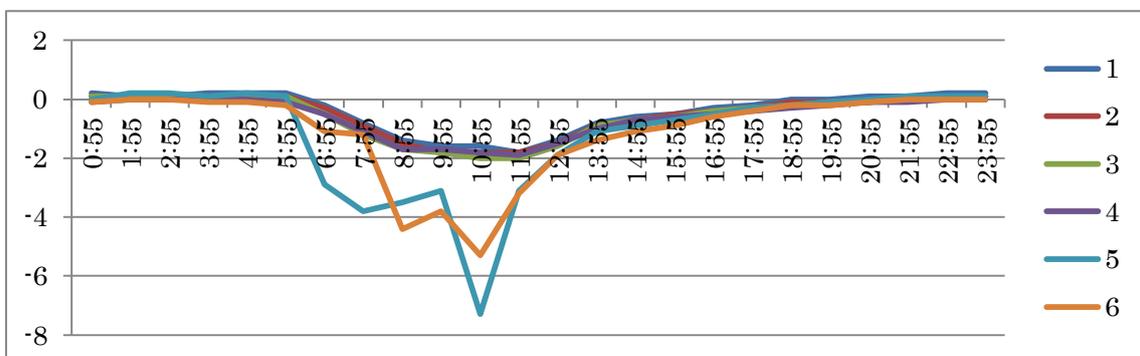
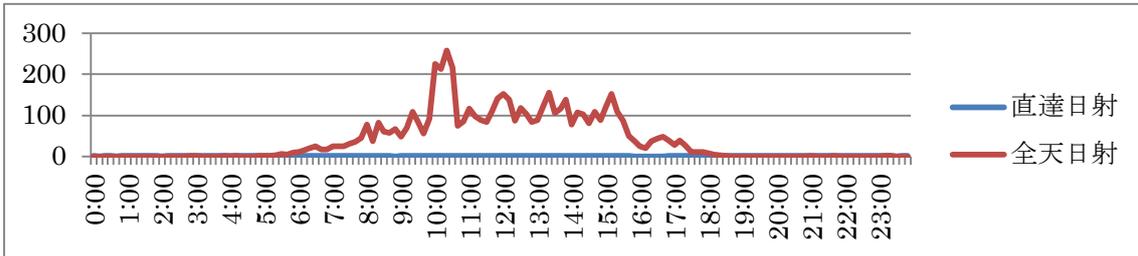
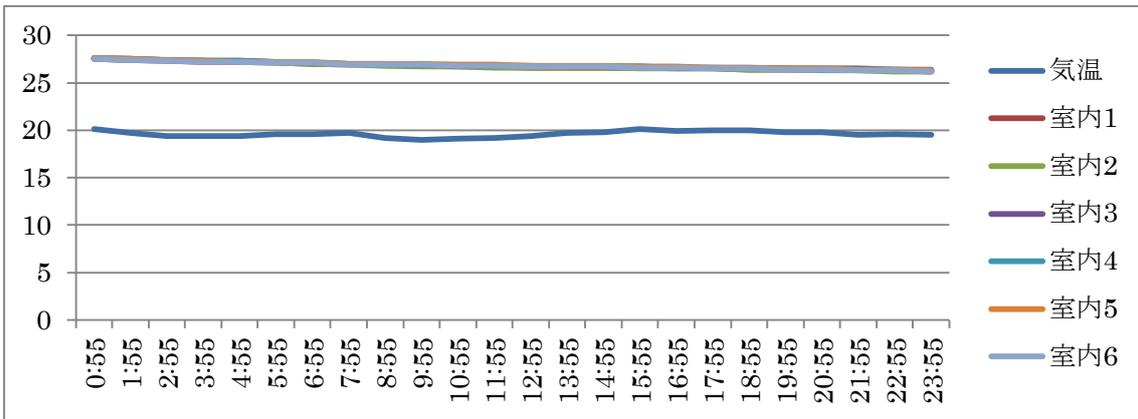


図9 9月15日(晴れの日)の日射、気温、室内温度

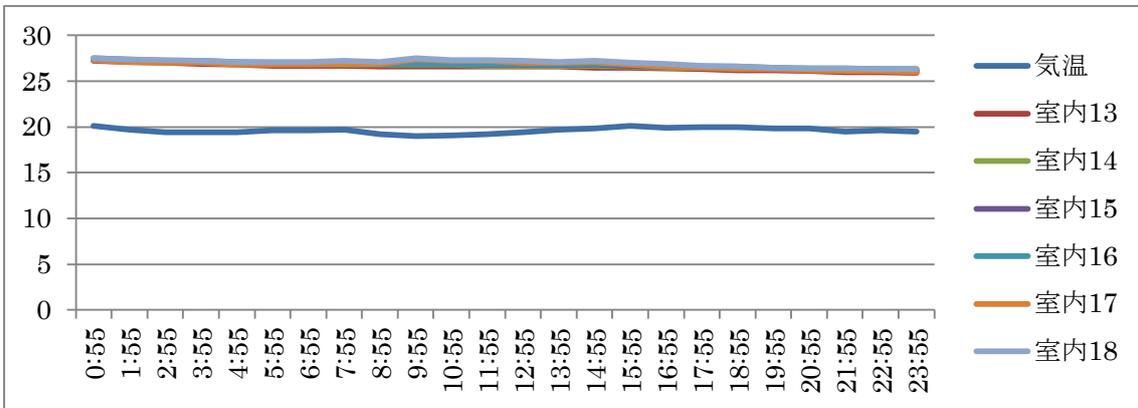
A 日射量



B 気温およびグリーン室の室内温度



C 気温および対照室の室内温度



D グリーン室の対照室に対する温度差

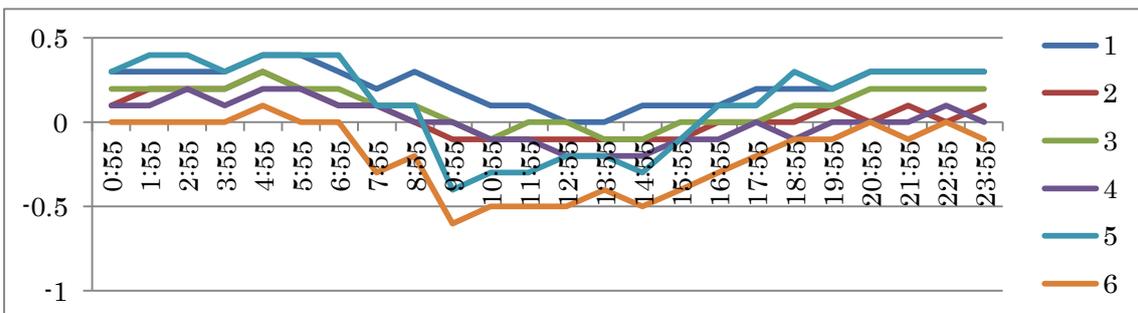
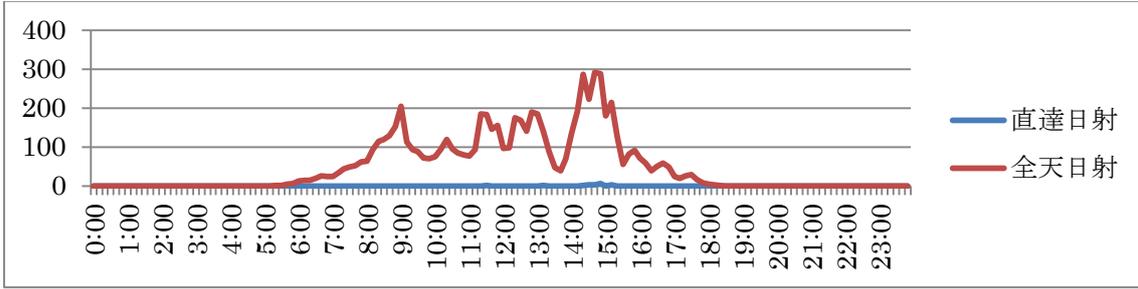
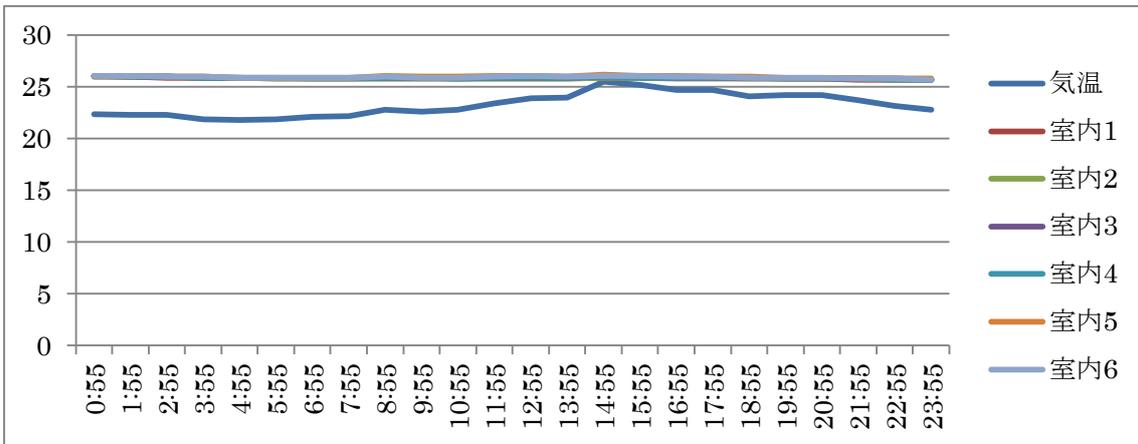


図9 8月21日(日照のなかった日)の日射、気温、室内温度

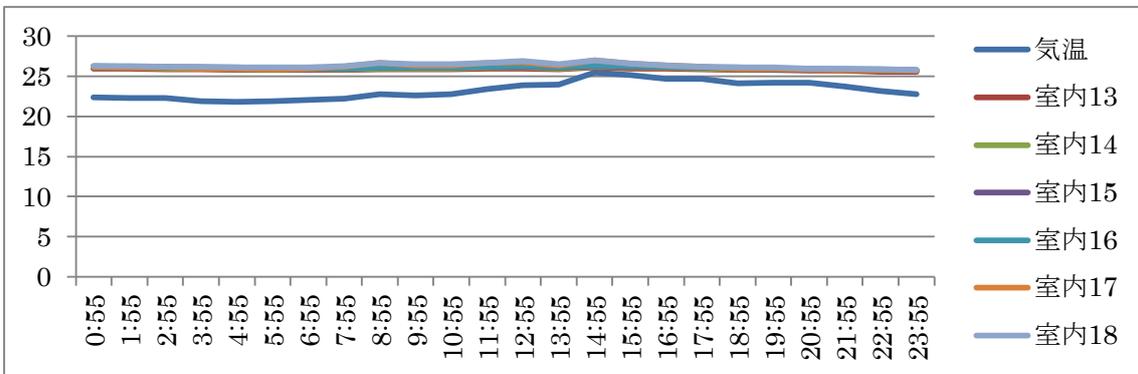
A 日射量



B 気温およびグリーン室の室内温度



C 気温および対照室の室内温度



D グリーン室の対照室に対する温度差

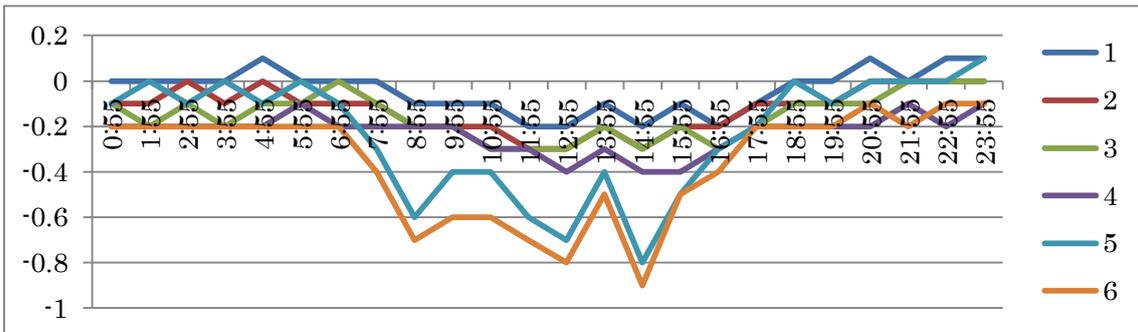


図9 8月27日(日照のなかった日)の日射、気温、室内温度

日照量の比較

垂直面に当たる日射量は、グリーン室と対照室の差が大きく、グリーン室では前半の8月13日から9月1日までの19日で平均7.2MJ/m²、9月8日から26日までの18日間でややバラツキがあるが平均11.9MJ/m²であった。対照室ではオプトリーフの退色が大きすぎて信頼できる値が得られなかった。グリーン室の値が後半で大きくなっているのは、太陽高度が低くなったため、垂直面に対しては深い角度で日が当たるようになったためであろう。

表4 オプトリーフによる日照量の評価

単位：MJ/m²

設置場所	グリーン室				対照室			
	7内	7外	8内	8外	19内	19外	20内	20外
前期（19日）	7.53	6.85	—	7.30	—	—	—	—
後期（18日）	9.19	26.63	15.41	15.41	—	—	—	—

前期は8月13日夕方から9月1日までの19日間、後期は9月8日から26日までの18日間。

考 察

室内の温度分布

室内の各点で最も変動の大きい場所はガラス窓の内側で、晴れの日、8月は11時、9月は12時頃に最高温度になり、最も温度変化の小さい室内廊下側に比べて3℃から4℃高い。グリーン室よりも対照室の最高温度が著しく高くなり、40℃を超えることもあった。室外の温度は、グリーン室ではガラス窓の内側よりも1-3℃高いが、対照室ではむしろ低かった。夜間の温度低下は室外が最も大きく、次いでガラス窓の内側で、グリーン室と対照室の差はほとんどない。

次に変動が大きいのは室内の窓側で、晴れの日の日中には廊下側よりも少し高温になり、グリーン室では気温よりもやや低い、対照室では気温よりも3℃程度高くなる。これは窓ガラスを通った日射によって机が暖まり、付近の空気を暖めた結果と考えられる。グリーン室と対照室の晴れの日差は、最高温度で4℃に達する。しかし夜間には温度が下がり、廊下側との温度差がなくなる。

外壁内側は日射の影響を直接受けないため、壁自体の温度上昇よりも室内の温度が上がることで間接的に暖まると考えられ、日射の影響をある程度受ける室内窓側よりも晴れの日温度上昇が僅かに小さくなるものと考えられる。また、窓からの日射が到達しない中央及び廊下側の、晴れの日温度上昇は小さく、その結果日較差が非常に小さくなっている。

まとめると、晴れの日の日中には日射の影響を受けるガラス窓の内側と、室内窓側で温度が上昇し、気温よりも高くなって周囲の空気を暖める。日射の影響を受けない室内の中央及び廊下側には、人による空気の攪乱がない状態では熱が伝わりにくく、窓側に比べて少し温度が低い状態が保たれる。

夜間及び日照のない日の室内温度は均質で、しかも気温より高い。ガラス窓付近の温度は室内

よりも下がるものの、それでも室外および気温よりも高い。一旦上がった温度が下がらないため、翌日の温度は高い状態から上がっていくことになる。

グリーンカーテンが室内の温度上昇に及ぼす効果

オプトリーフの結果は、グリーンカーテンの有無で、垂直面での日射量の差が非常に大きいことだけが示された。室内を暖める日射を遮ることによって、温度上昇にどの程度の効果があるか、が問題になる。

日射が入るガラス窓付近と、ガラスを通して直射日光が入る室内の窓側部分は、晴れの日には室内の他の部分より高温になり、周囲を暖める。この温度上昇は、グリーンカーテンがあることで、ガラス窓付近で平均約 8℃低くなり、8月下旬以降は温度差が 10℃を超えることもあった。室内窓側での温度上昇抑制も平均では約 4℃だったが、やはり 8月下旬以降は差が大きくなり、10℃近い差がある日もあった。

8月下旬から9月中旬までは気温の低下はほとんどないが、太陽高度が少し低くなるために日射が室内に入りやすくなり、グリーンカーテンがない場合に温度がより上昇するものと思われる。グリーンカーテンはこうした太陽高度の影響を受けないで、日射を遮り、室温上昇を抑制した。

日射が直接当たらない室内中央及び廊下側の温度は、グリーンカーテンによる温度上昇の抑制効果が、約 2℃と小さかった。これは教室の奥側の空気が、暖まった窓側から伝わる熱で間接的に暖められることによる。人が動いて空気を攪拌すれば、奥側の温度も高くなった可能性がある。

夜間の温度低下

測定期間中、日最低気温が 25℃を上回った日は 6 日しかなく、8月下旬以降では 1 日だけだった。それにもかかわらず、室温の日最低温度は常に 25℃を超え、晴れの日が続いた 8月 13 日から 8月 19 日の間は 28℃以上になり、続いて 8月 20 日から 8月 27 日まで日照の少ない日が続く間にゆっくり下がって 26℃程度まで低下した。この時、最低気温は 18.9℃から 23.3℃と、室温よりもさらに低かった。

日最低温度はグリーンカーテンの有無に影響されていないように見える。グリーン室、対照室とも、晴れの日には日照のない日よりも日最低気温は 1.5℃程度高いが、グリーン室と対照室の温度差は、晴れの日においても日照のなかった日においても、ほとんどない。夜間に室温が下がらないため、翌朝からの温度上昇にグリーンカーテンによる抑制があったとしても、限られたものとなった可能性がある。

日射の影響を受けない廊下側及び中央の室温は、晴れの日々の温度上昇の影響よりも、夜間及び日照のない日の温度低下がほとんどないことによって高く保たれ、グリーンカーテンによる温度上昇の抑制効果が小さくなったと考えられる。

室温の上昇を抑え、グリーンカーテンの効果を高めるには、気温の下がる夜間から明け方に換気を行い、室温を気温程度にまで下げる必要がある。

印刷・発行日：2012年3月31日

発行者：首都大学東京 理工学研究科グリーンカーテンプロジェクト

代表者 小柴 共一

編集協力 森廣 信子

編集補助 近藤 日名子

〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1

首都大学東京 理工学研究科

電話 042-677-1111 (代表)