

第一章

緑のカーテンによる屋内温熱環境改善効果実験

1-1. 本章の研究目的

本章においては、UR 都市機構が所有する実際の集合住宅を用いた実証実験によって、緑のカーテンによる屋内温熱環境改善効果を検証することを目的とした。なお、緑のカーテンによる屋内の温熱環境改善効果に関する既往研究については、成田¹⁻¹⁾は小学校校舎を対象にした多面的実測から、その屋内温熱環境改善効果について明らかにしている。また、他にも藤井ら¹⁻²⁾は窓を開けた状態における緑のカーテンの屋内環境への影響について測定しており、吉田¹⁻³⁾は日射遮蔽効果に着目して緑のカーテンによる屋内温熱環境緩和効果の実測を行うなど、緑のカーテンの効果の測定は広く行われている。しかしながら、このどれもが緑のカーテンがある場合とない場合との比較実験に終始しており、夏季の日射遮蔽の他の代替手法（スタレなど）との比較は行ってはいない。その観点では、廣田ら¹⁻⁴⁾はスタレとの比較から緑のカーテンの効果を検証し、また井澤ら¹⁻⁵⁾は、白色布地カーテンとの比較から緑のカーテンの熱特性を測定している。さらに、スタレに関しては荒井ら¹⁻⁶⁾が集合住宅におけるスタレの日射遮蔽効果を計測している。しかし、それでもなお、緑のカーテンの設置量の違いによる効果の比較や、日射遮蔽の代替手法と比較することを主目的とした緑のカーテンによる屋内環境改善効果に関する既往研究は少ない。このため、供用されている集合住宅を対象にして、緑のカーテンの設置量の違いや代表的な代替手法であるスタレなどの異なる条件を設定した複数の住戸における屋内温熱環境の比較測定により、緑のカーテンの設置に伴う屋内温熱環境特性を把握することを目的とした実験を実施した。また、緑のカーテンは、単に日射遮蔽によって屋内の温熱環境の改善をするばかりではなく、外部からの目隠し効果があり、かつ葉面の隙間から風を呼び込むことが可能なため、緑のカーテンが窓の解放を促すという指摘がある。Kato et al.¹⁻⁷⁾は、その仮定のもとに緑のカーテンの実践者へのアンケート調査を実施し、その傾向の把握に努めている。また、先にあげた成田¹⁻¹⁾の研究では、標準有効温度 SET* の評価から、緑のカーテン導入による日射遮蔽と通風性の確保によって、窓の開放時における屋内環境改善の有効性が確認されている。このため、併せて通風性の観点からも集合住宅における緑のカーテンの効果について把握することも目的とした。

1-2. 実験方法

実験に使用する集合住宅は、千葉県柏市豊四季台 1 丁目にある UR 都市機構が所有する豊四季台団地（写真 1-1）の 11 号棟（5 階建、昭和 39 年築、RC 造、南西向き）を選定した。選定理由は、この建物は建て替えに伴う撤去が決定しており、実験実施予定時期には十分な空室が確保できたためである。また、同じ住棟の住戸は全て間取り（図 1-1）が同じであることも比較実験に適していた。

1-2-1. 屋内温熱環境比較実験

11 号棟の同じ 4 階で空部屋の 5 住戸（図 1-2 参照）を確保し、それぞれ表 1-1 のように条件設定をし、それぞれの住戸の各部屋の屋内温熱環境を測定した。なお、屋上や建物側



写真 1-1 豊四季台団地

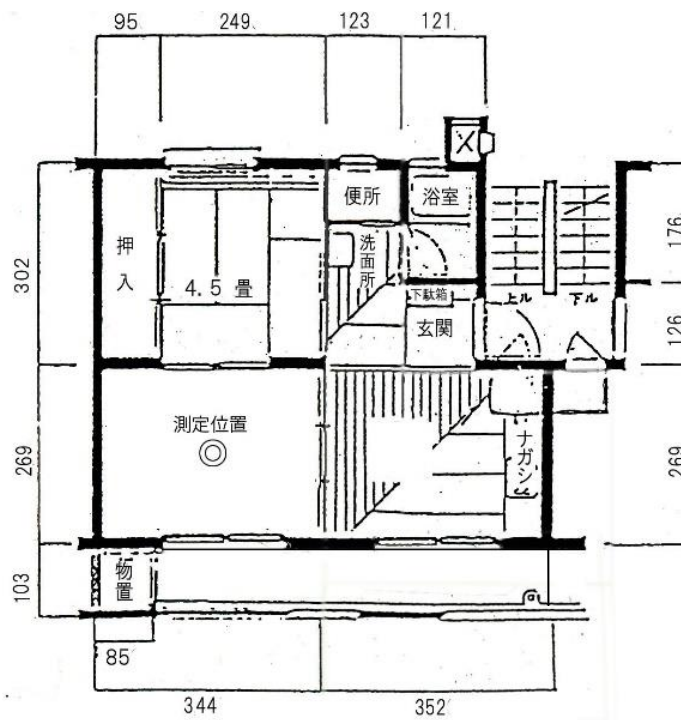


図 1-1 間取図 (単位 : cm)

面からの太陽の輻射熱の影響を考慮して、建物の最上階及び両端の住戸は実験対象戸からは除外した。各住戸のベランダの状況を図 1-3 の壁面展開図に示す(写真 1-2 参照)。ガラス引戸の開口部が 2 か所 (W 173 cm × H 187 cm) ある。プランター (W 700 cm × D 320 cm × H 280 cm) にそれぞれツルレイシを植えて緑のカーテンを作り、支柱はプランターから自立させ、ネットをかけた。緑のカーテンの 1 枚の大きさは、概ね幅 90cm × 高さ 200cm

510	509	508	507	506	505	504	503	502	501
410	409	408 ◎	407 ◎	406	405 ◎	404 ◎	403	402 ◎	401
310	309	308	307	306	305	304	303	302	301
210	209	208	207	206	205	204	203	202	201
110	109	108	107	106	105	104	103	102	101

図 1-2 11 号棟における住戸の配置図(◎印が実験住戸)

表 1-1 各住戸の条件設

室番号	設置内容	日射遮蔽箇所
402 号室	ツルレイシプランター6 個	引戸と壁を遮蔽
404 号室	ツルレイシプランター2 個	引戸を半分遮蔽
405 号室	ツルレイシプランター4 個	引戸を全部遮蔽
407 号室	スタレ	引戸を全部遮蔽
408 号室	何も無し	遮蔽せず

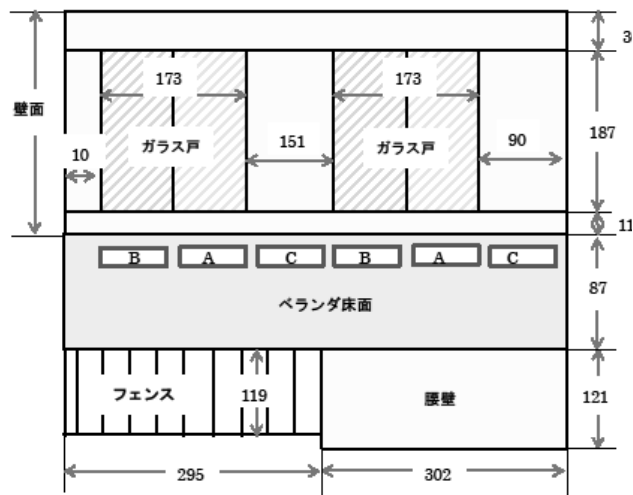


図 1-3 ベランダに面した壁面展開図 (単位 : cm)

※ 図 1-1 に記載した寸法は壁面中央からの寸法のため、本図とは数値に若干乖離が生じている。

(プランター含む)である。プランター2個を図1-3のAの位置に置くと、ガラス引戸の半分が隠れ(写真1-3)、さらにBを加えて4個とすると引戸のすべてが隠れる(写真1-4)。Cのところにもプランター2個を追加すれば、壁面も含めてベランダに面したところが概ね覆われる(写真1-5)。ここで、引戸の半分しか緑のカーテンで覆わない状況を設定したのは、独立行政法人都市再生機構では、被災時における脱出用通路を確保するため、緑のカーテンで開口部を全て覆わないよう指導しているためである。なお、他にスタレを設置した居室や何も設置しない居室を設定した(写真1-6、写真1-7)。



写真1-2 ベランダに面した壁面



写真1-3 404号室(プランター2個)の緑のカーテン



写真 1-4 405 号室 (プランター4 個) の緑のカーテン



写真 1-5 402 号室 (プランター6 個) の緑のカーテン



写真 1-6 407 号室 スダレを設置



写真 1-7 408号室 何も設置せず

実験の測定項目及び測定機器を表 1-2 に示す。測定センサーは、図 1-1 に記した測定位置に設置したポールに取り付け（写真 1-8）、設置高さは人の中心に当たる 110 cm の位置とした。センサーは熱電対と湿度センサー、ミニ黒球プローブをとりつけた。ガラス引戸を介して入射する太陽光を遮るため、熱電対には遮光カバーを取り付けた。これらのセンサーを、各住戸に置いたデータロガーに配線し、測定のインターバルは 1 分間隔とした。また、天候状況を把握するため、当該住棟の屋上に風向・風速、雨量、温度、気圧、湿度が測定可能な気象センサーセットを据え付け、10 分間隔で測定した。測定期間は 2011 年 8 月 8 日から 9 月 16 日までであり、この間の測定条件を表 1-3 に示す。

表 1-2 測定項目と使用機器

測定項目	使用機器	測定場所
室温	熱電対（二宮電線工業製 Type T）	全 5 戸対象
湿度	湿度センサー（TDK 製 CHS-UPS）	全 5 戸対象
グローブ温度	ミニ黒球プローブ（メック社製 MTP-35B-001 直径 4 cm ）	全 5 戸対象
風速	風速プローブ（シュミット社製 SS20.250）	405、407、 408
気候	ヴァイサラ製 MWXT-520-L20	屋上
計測	グラフテック製 midi LOGGER GL220	全 5 戸対象
日射	日射計（英弘精機製 ML-020VM）	404 ベランダ、 408



写真 1-8 測定機器の設置状況

各住戸は間取りが同じとはいえ、緑のカーテン等を設置しない状態の屋内温熱環境が全く同じとは言い切れない。また、実験に使用した建築物の住戸の一部にはまだ居住者が暮らしており、居住者の生活に伴う測定実験への影響も懸念される。このため、測定実験が終了し、後に緑のカーテン等を全て撤去し、この状態の屋内温熱環境の比較を行うこととした（表 1-3 参照）。これにより、各住戸の何も設置しない状態での特性が明らかになる。

なお、本研究の主目的は緑のカーテンの設置量に伴う室内温熱環境改善効果を検証するものであるため、緑のカーテンの緑量を把握する必要がある。このため、LAI(葉面積指数)と日射遮蔽率を測定した。LAIの測定方法は、緑色指定法¹⁻⁸⁾を用いて、緑のカーテンの写真画像から Adobe® Photoshop® CS5 により、葉が 1 枚の箇所、2 枚重ねの箇所、3 枚重

表 1-3 各測定日における測定条件

月	日	戸窓の開閉	カーテン等の設置状況
8	8-22	締切●	緑のカーテン等設置
8	23-30	開放○	〃
8	31-1	締切●	〃
9	2	開放○	〃
9	3-6	締切●	〃
9	7-10	開放○	〃
9	11-14	締切●	緑のカーテン等全て撤去
9	15-16	開放○	〃

ねの箇所それぞれを抽出して求めた。また、日射遮蔽率の測定は、緑のカーテンとガラスを通過する日射量と日向の日射量の比率（式 1-1）から求めた。ただし、緑のカーテンは葉の茂り方が一様でないため、写真 1-9 のような測定台（91 cm×23 cm×3.6 cm）を製作し、台上の日射計を手動で 5 秒毎に 5 cm ずつ移動させ、測定値の平均値を求めた。

$$\text{日射遮蔽率 (\%)} = (\text{日向の日射量} - \text{遮蔽後日射量}) / \text{日向の日射量} \times 100 \quad (\text{式 1-1})$$

以上の実験により、各条件下における屋内温熱環境の比較を行うとともに、この結果から、緑のカーテンによる節電効果の算定を行うこととした。

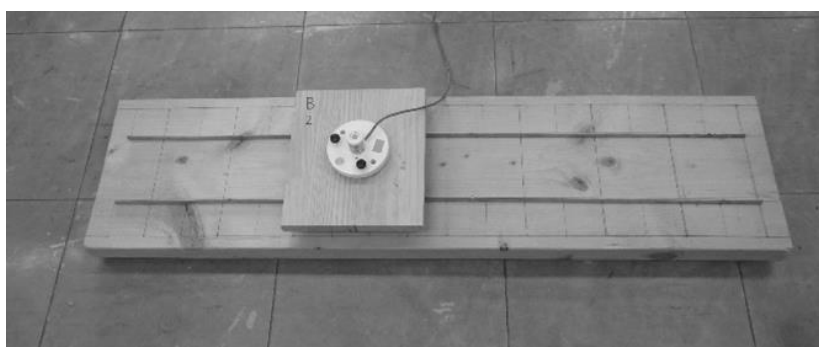


写真 1-9 日射測定台

1-2-2. 戸窓開放時における温熱環境測定実験

Kato et al.¹⁻⁷⁾ によるアンケート調査では、緑のカーテン利用者の 68.6% が日中はよく窓を開けていたと回答している。緑のカーテンは日射とともに通風も阻害するが、本アンケート調査では葉越しに部屋に入る風が心地良いという自由回答が多く見られた。このため、試験住戸への風の流入速度を測るため、405、407、408 号の 3 住戸のリビング中央に風速計を設置し（写真 1-10）、ガラス引戸と窓を開け放った状態で屋内流入風速と室温・グローブ温度を計測した。風速プローブは無風向性で、微風（最低測定可能風速 0.06 m/s）を測定できるものを選定した。この風速と室温及びグローブ温度から MRT（Mean Radiant Temperature）及び快適指標の一つである作用温度（OT: operative temperature）を求め、これらから緑のカーテンの効果の評価を行うこととした。なお、本団地にはまだ入居者がいたために、保安上の理由から開放実験は昼間だけとし、夜間は窓を閉め切った。

1-3. 結果と考察

1-3-1. 屋内温熱環境比較測定実験結果及び節電効果の算定

緑のカーテン撤去後の各住戸の室温の比較を図 1-4 に示す。各住戸とも同様の变化傾向を示し、かつ住戸間の室温差も小さいことから、各種のバイアスは小さいものとみなした。また、緑のカーテンの緑量の測定値を参考値として表 1-4 に示す。



写真 1-10 風速計の設置状況

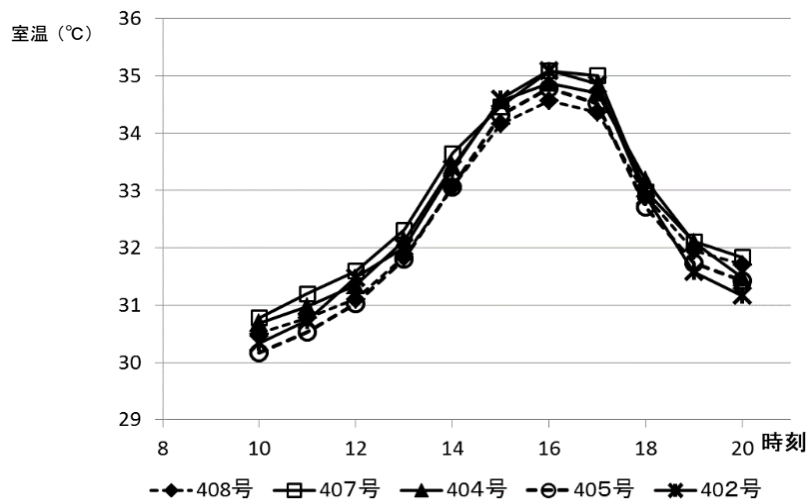


図 1-4 緑のカーテン等撤去後の室温比較 (9月13日：晴)

表 1-4 緑のカーテン等の緑量等の測定値

室番	設置内容	カーテン面積 (cm ²)	壁面被覆率 (%)	LAI (m ² /m ²)	日射遮蔽率 (%)
402	ツルレイシ (6)	97,200	66.6	1.31	94.0
404	ツルレイシ (2)	32,400	22.2	1.44	95.6
405	ツルレイシ (4)	64,800	44.4	1.36	93.0
407	スダレ	64,050	43.8		90.5
408	何も無し (ガラスのみ)	64,702 (引戸の面積)	0		43.2

測定期間中で晴の日(8月14日)における各住戸の室温比較を図1-5に示す。この日は、開口部(窓、戸)は全て締め切った状態で測定した。緑のカーテンの設置面積が増えるほどより大きな室温の低下傾向が見られる。

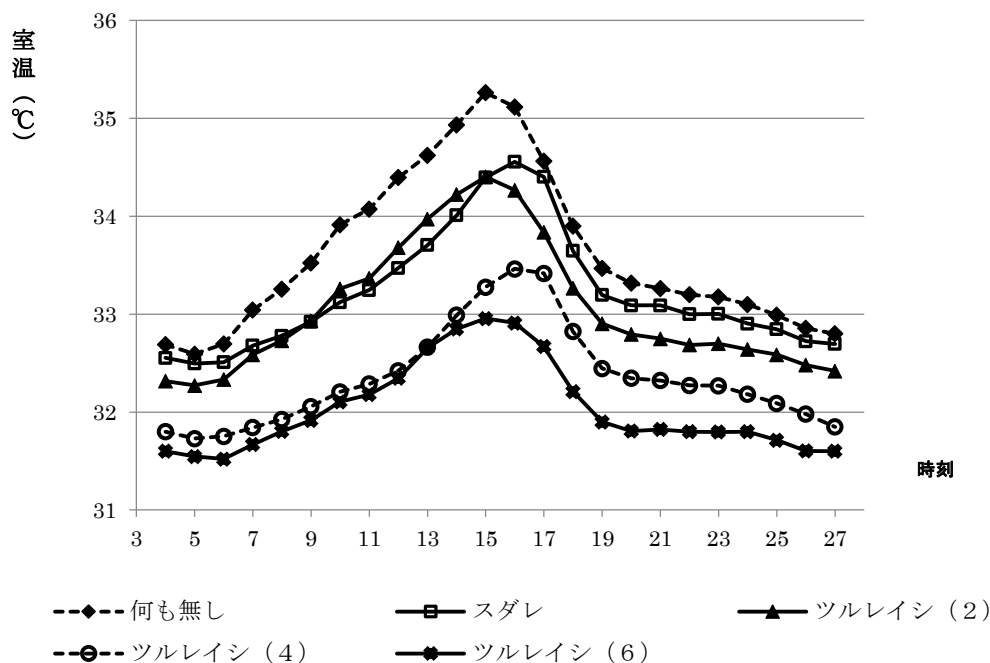


図1-5 緑のカーテンの設置量に伴う室温の違い

ここで、日中の平均気温と補正壁面遮蔽面積との関係を図1-6に示す。補正壁面遮蔽面積は、式1-2によりカーテン面積に日射遮蔽率を乗じて求めた。ツルレイシ(2)はガラス戸を半分しか覆っていないため、補正壁面遮蔽面積はツルレイシ(2)とガラス戸半分との合算値である。また、図中の近似線はツルレイシのみの近似線である。

$$\text{補正壁面遮蔽面積 (cm}^2\text{)} = \text{カーテン面積 (cm}^2\text{)} \times \text{日射遮蔽率 (\%)} / 100 \quad (\text{式 1-2})$$

図1-6から、補正壁面遮蔽面積に応じて日中平均室温の低下傾向が窺える。また、スダレとガラス戸のみの場合は、ツルレイシの近似線に対して日中平均気温が高い傾向にあり、このことからツルレイシの有利性分かる。特に、ツルレイシ(4)とスダレは補正壁面遮蔽面積がほぼ同じであるにもかかわらず、ツルレイシの方が日中平均室温は低く、かつ、半分しかガラス戸を覆っていないツルレイシ(2)と比べてもスダレはほぼ同じ日中平均室温を示している。このことから、緑のカーテンのスダレよりも高い効果が窺える。

2011年の夏は、東日本大震災に伴う計画停電に伴って夏場の節電が叫ばれ、緑のカーテンは節電対策の一つとして推奨されていた。今後も節電対策手法として緑のカーテンが活

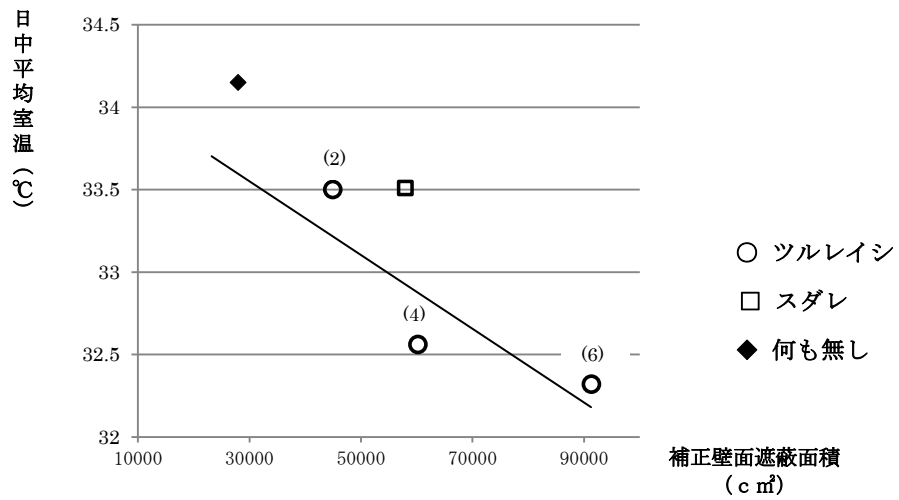


図 1-6 緑のカーテン等の壁面被覆量に伴う日中平均室温の違い

用される可能性は高い。その場合に、緑のカーテンがどれだけの節電効果を有するのかと
 いうことを知ることは重要である。このため、今回の実験で得られた結果から節電量を求
 めてみる。

まず、図 1-5 からツルレイシ (2) (404 号室) と何も無し (408 号室) の日中の室温差
 を求めて図 1-7 に示した。この図で囲まれた面積 S は、緑のカーテンによって緩和された
 屋内総熱量に相当するため、この総熱量をエアコンで冷却するのに必要な電気使用量を求
 めれば、それが節電量とみなせる。

財団法人省エネセンターが実物大の住宅模型を用いた実験¹⁻⁹⁾ から式 1-3 の計算式が得
 られている。

$$y = -29.982x + 1,006.2 \quad (\text{式 1-3})$$

y : 冷房時消費電力量 (Wh/h) x : 設定温度 (°C)

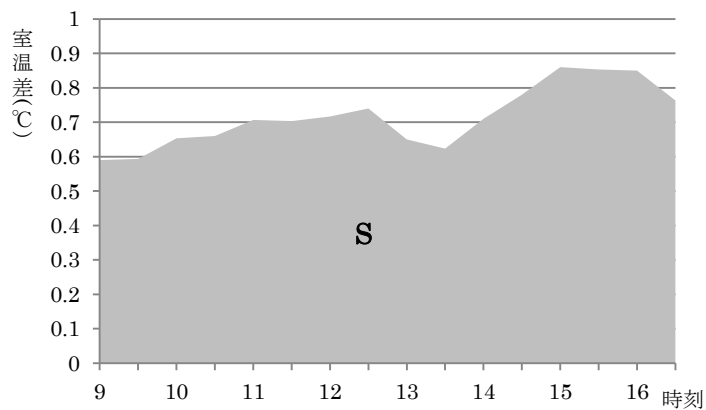


図 1-7 緑のカーテンによって下がった室温差 (ツルレイシ [2])

この実験は、一般の家庭がエアコンの設定温度を下げることによって軽減される電気使用量を求めるためのものであり、式 1-3 はエアコンの設定温度を 1 度上げると、1 時間あたり 29.982 Wh の電気使用量が軽減できることを意味している。

図 1-7 の面積 S から、日中 (9:00 から 18:00 まで) の緑のカーテンによって緩和された室温 (ツルレイシ [2]) の総計は 6.420 °C・h が求められる。よって、緑のカーテンによって軽減された電気使用量は式 1-4 のように求められる。

$$29.982 \text{ Wh/h} \times 6.420 \text{ °C} \cdot \text{h} = 192.484 \text{ Wh/日} \quad (\text{式 1-4})$$

ここで、2011 年の天候実績から、ツルレイシ繁茂期間 (7~9 月) で日最高気温が 25 °C 以上の晴天日数は 39 日が導かれる。日最高気温を 25 °C 以上としたのは、井上ら¹⁻¹⁰⁾によると、気温 25 °C で冷房使用率が高くなるためである。さらに、電気料金目安単位 22 円/kWh¹⁻⁹⁾ から、式 1-5 より年間 165.2 円の節電額が導ける。同様にツルレイシ (4) とツルレイシ (6) についても節電額を求め、結果を表 1-5 に示した。

$$192.484 \text{ Wh/日} \times 39 \text{ 日} \times 22 \text{ 円/kWh} \div 1,000 \text{ Wh/kWh} = 165.2 \text{ 円/年} \quad (\text{式 1-5})$$

表 1-5 各住戸の節電量

住戸	低減電力 (kWh/年)	節電額(円/年)	24 時間平均低下室温 (°C)	9 時間平均低下室温 (°C)
404	7.5	165.2	0.6	0.7
405	18.1	398.2	1.3	1.7
402	20.9	459.3	1.6	2.0

1-3-2. 建築壁面の蓄熱遮蔽効果

ここで、ツルレイシ (4) とツルレイシ (6) の室温の比較を行い、その結果を図 1-8 に示す。ツルレイシ (4) とツルレイシ (6) の違いは、双方とも緑のカーテンでガラス戸を全面覆っているが、ツルレイシ (6) はさらに壁まで覆っているのに対し、ツルレイシ (4) は壁を覆ってはいない。その状況は写真 1-4 と写真 1-5 を比較するとよく分かる。

図 1-8 から、ツルレイシ (6) は常にツルレイシ (4) よりも低い室温を示していることが分かる。ただし、日中はその差はさほど大きくはないが、午後 14 時頃からその差が顕著になりはじめ、日没を過ぎても差が開いたままである。室温の差はそのまま朝方まで継続している。これは、コンクリート壁面を緑のカーテンで覆ったことによって、壁面への日射が遮られ、その結果コンクリート部への蓄熱が抑えられたものと考えられる。ツルレイシ (4) の居室は、日没後は建物躯体のコンクリート部への蓄熱が放出されたことによ

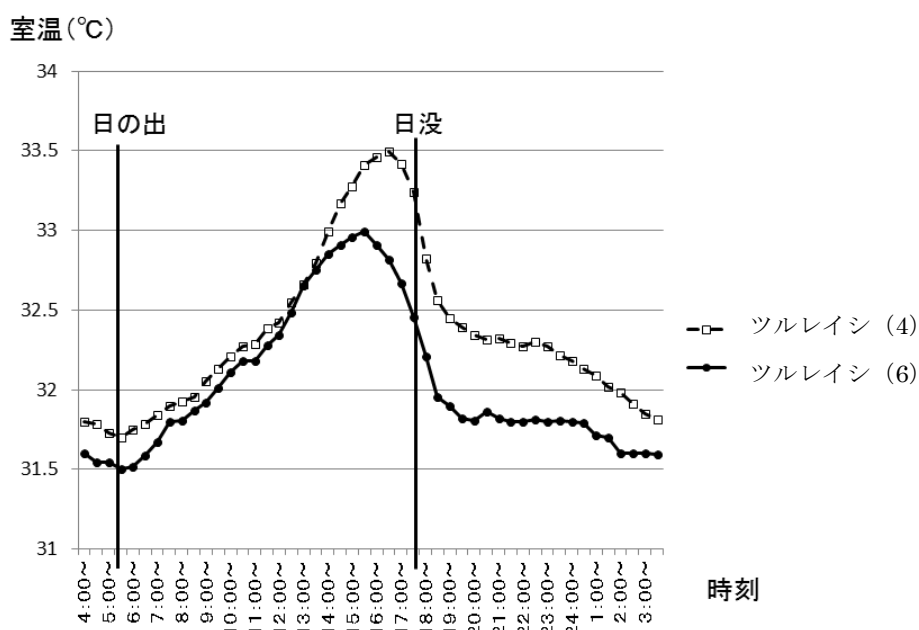


図 1-8 壁を覆うことの効果

って、ツルレイシ (6) よりも室温が高い状態が続いたものとみられる。このことは、熱帯夜を過ごしやすくするためには、壁面に緑のカーテンを設置することが有効であることが考えられる。一般に緑のカーテンは建物の窓などに設置されることが多いが、熱帯夜対策として壁面への設置も今後推奨されるべきかもしれない。

1-3-3 戸窓開放時における温熱環境測定実験結果

9月9日(晴)におけるツルレイシ(4)(405号室)、スダレ(407号室)、何も無し(408号室)の室内風速の比較を図1-9に示す。この風速結果と室温及び放射温度の結果データから、MRT及び快適性指標としての作用温度(OT)を求め、その結果を図1-10、1-11に示した。MRT及び作用温度は式1-6及び式1-7により算出した。

$$MRT = T_g + 2.37\sqrt{V} \times (T_g - T_d) \quad (\text{式 1-6}) \quad 1-11$$

T_g : グローブ温度 (°C) V : 風速 (m/s) T_d : 室温 (°C)

$$OT = (T_d + MRT) / 2 \quad T_d: \text{室温 (°C)} \quad MRT (\text{°C}) \quad (\text{式 1-7})$$

図1-10、1-11のように、MRTと作用温度(OT)ともにツルレイシ(4)が最も低い値を示している。以上から、窓を閉め切った状態でも、また窓を開放した状態でも、屋内温熱環境改善上は緑のカーテンが有利であることが分かる。窓の開放時における緑のカーテンの有利性については、先にあげた Kato et al. ¹⁻⁷⁾の研究で、緑のカーテン利用者の多く

が日中に窓を開けているという調査結果があり、この結果内容と合致するところである。

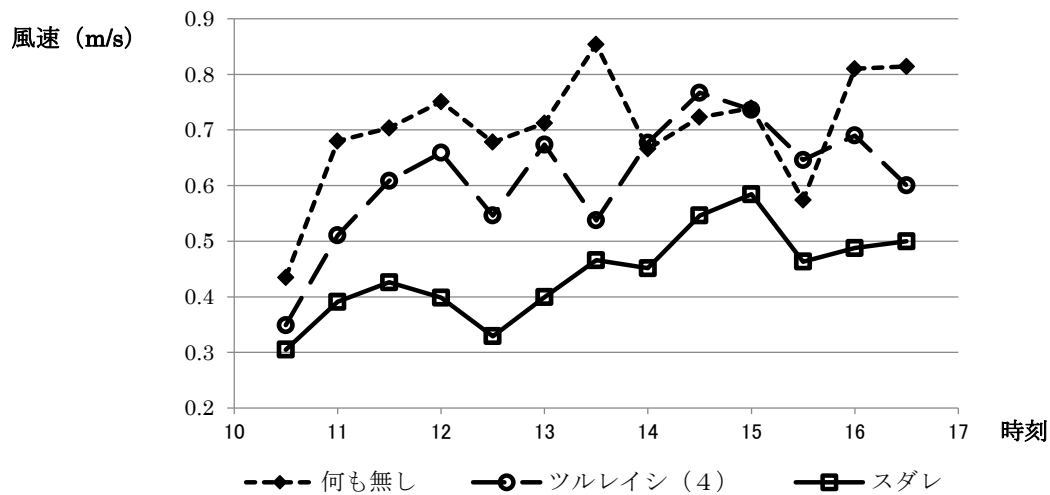


図 1-9 各住戸の風速の違い

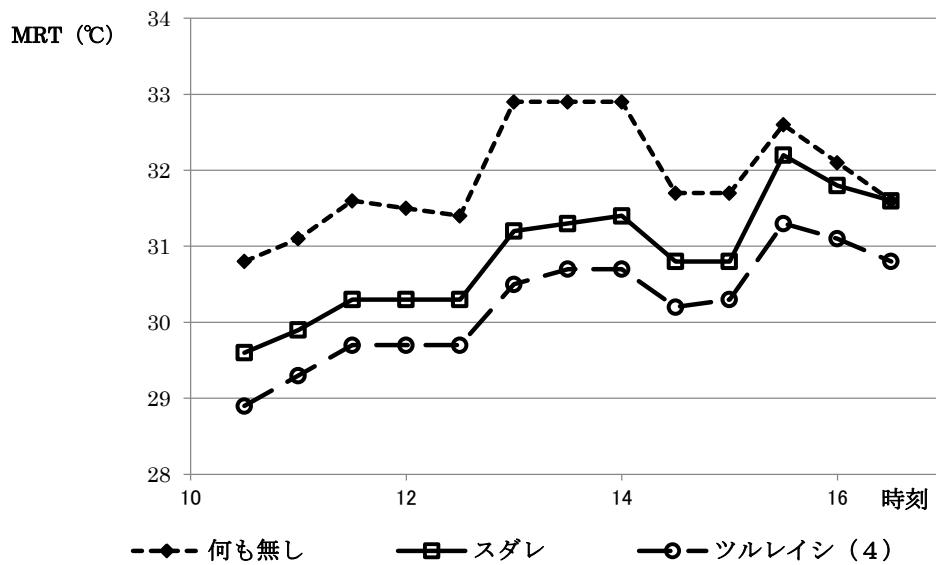


図 1-10 各住戸の MRT の比較

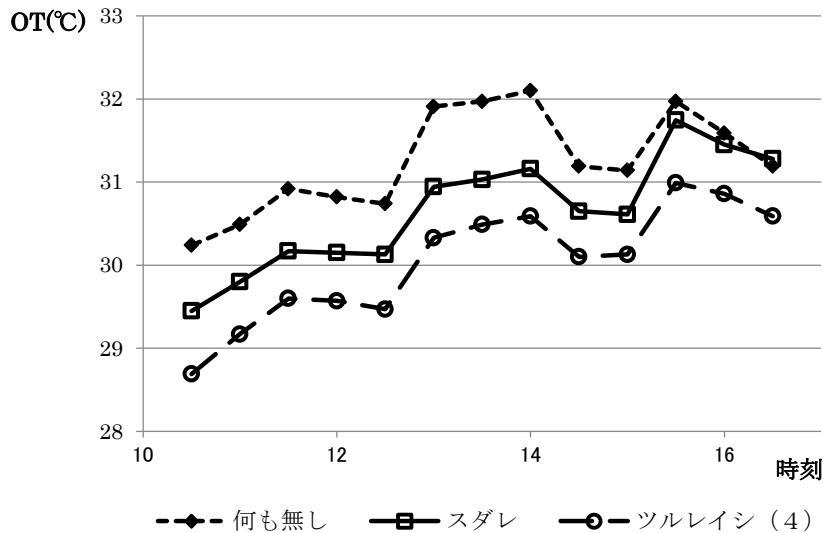


図 1-11 各住戸の作用温度の比較

1-4. 第 1 章のまとめ

本実験によって、緑のカーテンの設置による屋内温熱環境改善効果が確認できた。特に居室のガラス戸や窓を締め切った状態でも、また戸窓を開け放った状態でも、緑のカーテンを設置することによって屋内の温熱環境の改善が図られることが分かった。また、それは従来から夏季における日射遮蔽機能を有するとして用いられてきたスタレよりも効果が大きかった。加えて、緑のカーテンはコンクリート壁面をも覆うことによって、夜間の屋内温熱環境の改善に効果があることも確認できた。さらに、緑のカーテンによって屋内温熱環境が改善されることによって、エアコンへの負荷が緩和されることに伴う節電効果が期待できるが、本章の実験から節電効果を算定することもできた。ただし、緑のカーテン導入による家庭の電気使用量の節電効果は、ガラス戸の半分を覆った状態で年間 165.2 円という数値が推計できたものの、これは一世帯あたりではさほど大きな数字ではない。先にあげた Kato et al. 17) のアンケート調査では、自由回答の 25 %が緑のカーテンによる窓辺景観の向上による清涼感を指摘している。場合によると、実際の体感温度以上に、緑のカーテンの視覚効果によって室温をより低く感じ取っている可能性も否めない。このことに関しては本建築研究資料の第四章で検証を行うこととする。

第一章の参考文献

- 1-1) 成田建一 (2007) 緑のカーテンが教室の温熱環境に及ぼす効果,環境情報科学論文集、21、501-506
- 1-2) 藤井廣男・井澤健輔・姚咪・宿谷昌則 (2006) ツル性植物で作られた外付け日除けによる採涼効果に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東)、649-650
- 1-3) 吉田伸治 (2009) 実測による緑のカーテンの室内温熱環境緩和・日射遮蔽効果の分析、日本建築学会北陸支部研究報告集 52、207-210
- 1-4) 廣田幸子・田中俊六 (1999) へちま植栽スクリーンの日射遮蔽と昼光利用効果に関する研究、平成 11 年度照明学会第 32 回全国大会論文集、141
- 1-5) 井澤健輔・藤井廣男・姚咪・宿谷昌則 (2006) ツル性植物で作られた外付け日除けによる採涼効果に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東)、651-652
- 1-6) 荒井健二・宿谷昌則・小坂信二・石井春夫 (1991) 集合住宅における自然エネルギーの利用と制御に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北)、1371-1372
- 1-7) Kato, M., Iwata, T., Ishii, N., Hino, K., Tsutsumi, J., Nakamatsu, R., Nishime, Y., Miyagi, K., Suzuki, M., (2011) Effects of green curtains to improve the living environment, The proceedings of international conference 2011 on spatial planning and sustainable development, B31-10, 1-9
- 1-8) 外崎公知 (2010) 植物の葉の色度領域を用いた緑視率の新たな計測手法に関する基礎的研究、ランドスケープ研究 (オンライン論文集) 3、26-31
- 1-9) (財) 省エネルギーセンター (2005) 「省エネライフスタイルチェック 25」の各種行動と省エネ効果に関する調査報告書、4-27
- 1-10) 井上銀次郎・林小勇・梅宮典子・西岡利晃・大倉良司 (2005) 集合住宅における冷房使用と窓開閉の関係に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿)、193-194
- 1-11) 鈴木弘孝 (2006) WBGT, SET*による壁面緑化の温熱環境改善効果の評価、ランドスケープ研究 69(5)、441-446

