

低層建物における緑のカーテンの育成と日射遮蔽効果に関する基礎実験

村上順也* 佐々木静郎* 土路生修三* 門倉伸行**

つる性植物を用いた壁面緑化（緑のカーテン）による景観、温熱環境向上効果を検討するため、2階建て事務所（研究所）を対象として、生長量や温度の計測を行った。植物は主に琉球アサガオを用い、生長量は2週間で最大2.5mを観測し、9月において生育3か月半で高さ10mを越え、2階まで完全に覆われた。壁面温度は6℃以上低減した。課題としては、密実で早期の被覆が達成できる育成方法や温熱環境の計測方法の検討が挙げられる。

キーワード：緑のカーテン、生長量、壁面温度、空気温度

1. はじめに

近年、夏季につる性植物による壁面緑化（通称、緑のカーテン）の取り組みが住宅、学校、役所、事業所等各所で増えている。2011年度は全国の約8割の都道府県内、9割の政令市において「緑のカーテン」への取り組みが実施されている（国交省調査）。政府・自治体主催の2011年度のフォトコンテストには、例えば環境省主催のもので900点以上、茨城県主催のもので283点の応募があり、また、種の無料配布や栽培方法の指導・研修等のかたちで取り組みを後押ししている自治体もあるなど、政府や自治体を挙げて緑のカーテンが推進・奨励されてきている。

この緑のカーテンの典型的な形態はゴーヤ、アサガオ、キュウリ、ヘチマ等のつる性植物を外壁面近傍に植栽し、外壁面に沿って設置したネット状の資材にツルを巻きつけ、植物の力で上方へ生長させ、最終的にはネット全面を葉で覆うものである。主として日陰の創出による暑さ対策、癒しの場の提供、学校では環境教育の面などから、手軽に取り組める環境配慮活動として各所で取組まれていると考えられる。

この緑のカーテンは、積極的に建物に導入することで下記の利点が得られる可能性があると考えられる。

- ・夏場の日射遮蔽として機能させ日射熱取得の低減による室内の快適性向上。（屋内環境向上）
- ・植物の蒸散効果や照り返しの緩和による建物周囲の利用者快適性向上。（屋外環境向上）
- ・建物躯体への蓄熱抑制により夜間の周囲への放熱の抑制によるヒートアイランド現象緩和への寄与。（都心部地域の環境向上）

- ・冷房負荷の削減による節電効果。（化石燃料の使用量削減に寄与すれば、地球温暖化防止に寄与）

緑のカーテンが上記の環境改善効果が期待される緑化手法となり建物に積極的に導入されるためには、屋内外温熱環境の改善効果の定量化や確実で効率的な植物の育成方法の確立が必要である。

緑のカーテンの温熱環境改善効果に関する研究は近年、広く行われてきている¹⁾。一方で、生長の速度といった点からの植物の効率的な育成方法に関しては報告例が少ない。

そこで、本研究では2階建て事務所を対象として、西側外壁面につる性植物を用いた登はん型の緑のカーテンを施工し、植物の生長速度を計測するとともに、緑のカーテンの有無による外壁面及び屋内側温度の差異を実験的に計測することで、生長速度からみた緑のカーテンの低層建物での実現性とその日射遮蔽効果の基礎的な知見を得ることを目的として実験を行った。

本実験の生育後の緑のカーテンの全体風景を Photo.1 に示す。



Photo.1 本実験の緑のカーテン全体風景
(撮影日：2012年9月27日)

* 技術研究所 地球環境研究グループ
** 技術研究所

2. 実験方法

2.1 育成方法

実験は 2012 年夏季に茨城県つくば市の熊谷組技術研究所本館建物で行った。実験概要を Table1 に、緑のカーテン設置（育成）計画及び計測地点を Fig.1 にそれぞれ示す。緑のカーテンの実施形状として傾斜型（カーテンA）、垂直型（下部通路あり）（カーテンB）及び垂直型（カーテンC）の3形状計画した。それぞれ、2階屋上までネットを張り、6月中旬にプランターにノアサガオ（*Ipomoea indica* cv.）（以降、琉球アサガオとよぶ）主体とした苗を植え付け育成を開始し、その後、ツルの誘引、散水（自動、手動併用）、枯葉除去、施肥を適宜行った。

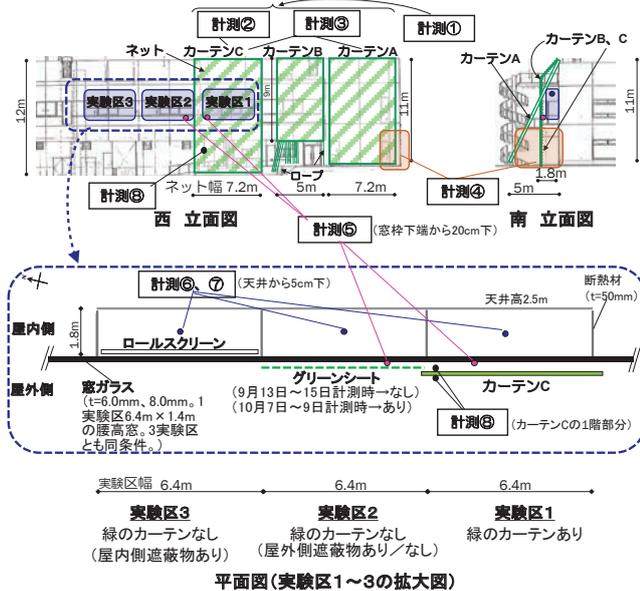


Fig.1 緑のカーテン設置（育成）計画及び計測地点

2.2 計測方法

計測概要を Table2 に示す。生長量の計測は、目視計測ではツル先端の平均的な到達高さを、窓枠の高さ等建物外壁で目印となる高さとの比較で計測した。また、メジャー計測でツルの生長量を計測した。それぞれ2週間当たり、6時間当たりの生長量として整理した（計測 No. ①～③）。

傾斜型（カーテンA）のネットと壁面との間の空間を利用して、緑のカーテン背後の日陰部分及び日なた部分の外壁面温度をサーモカメラで計測した（計測 No. ④）。

垂直型（カーテンC）を対象とした外壁面と屋内側空気温度の計測は、まず、Fig.1 に示すように同一外壁面に沿った隣り合った位置に、実験条件を変えたエリアを3つ設け、実験区1～3とした。実験区1は垂直型（カーテンC）に相当する。実験区2は緑のカーテンなしあるいは屋外側に遮蔽物を設置する条件である。実験区3は屋内側にロールスクリーンを設置する条件である。熱電対を外壁面に貼り付け、緑のカーテンによる被覆前と後の外壁面温度を夏季3日間連続計測した（計測 No. ⑤）。屋内側空気温度については効果の差異をより顕著に捉えるために、Fig.1 に示すようにガラス窓に面した屋内側の空間を小区画（6.4 m×1.8 m×2.5 m(H)）に仕切り、天井付近の空気温度を計測することで、遮蔽物の有無・種類による温度上昇抑制の傾向を把握することとした（計測 No. ⑥、⑦）。また、直射日光が当たる影響を検討するため試行的に垂直型（カーテンC）の前側（日なた）と後ろ側（日陰）にグローブ温度計を設置し計測した（計測 No. ⑧）。

Table1 実験概要

名称	形状	ネット設置規模	植物	プランター数	1プランター当たりの苗数	主な計測項目
カーテンA	傾斜型	幅7.2m×高さ約11m	琉球アサガオ、西洋アサガオ（一部）	8	3	・生長量 ・サーモカメラによる外壁面温度
カーテンB	垂直型（下部通路あり）	幅5m×高さ約12m	西洋アサガオ	5	5	・生長量（目視のみ）
カーテンC	垂直型	幅7.2m×高さ約12m	琉球アサガオ	8	3～4	・生長量 ・熱電対による外壁面温度、屋内側空気温度

- ・実験場所：熊谷組技術研究所本館西面
- ・植栽基盤：プランター（40L用）、培養土、樹脂製ネット（目合10cm）
- ・実施期間：2012（平成24）年6月～12月
- ・その他計測項目：外気温、水平面全天日射量、風向風速

Table2 計測概要

目的	計測 No.	計測目的	計測期間（月/日）（2012年）	計測項目	計測方法	計測対象カーテン	実験区分※4	備考
生長速度の把握	①	カーテン形状別比較	9/27	生長量	目視※1	カーテンA～C	-	大まかな傾向の把握
	②	季節変化	7/3～11/22		カーテンC	-	2週間当たりの生長量を計測	
	③	時間帯変化	7/30～31		カーテンA、C	-	6時間当たりの生長量を計測	
熱負荷抑制効果の傾向把握	④	緑のカーテンの日陰と日なたの比較	9/12	外壁面温度	サーモカメラ※2	カーテンA	-	-
	⑤	緑のカーテンの有無の比較	7/31～8/2（被覆前） 8/30～9/1（被覆後）				カーテンC	1: 緑のカーテンあり（＝カーテンC） 2: 緑のカーテンなし（遮蔽物なし）
	⑥	緑のカーテンの有無と屋内側遮蔽物の効果	9/13～9/15	屋内側空気温度	熱電対※3	カーテンC	1: 緑のカーテンあり（＝カーテンC） 2: 緑のカーテンなし（遮蔽物なし） 3: 屋内側にロールスクリーンあり	3日間の日内・日間変化を比較
	⑦	緑のカーテンと屋外・屋内側遮蔽物の効果	10/7～9				1: 緑のカーテンあり（＝カーテンC） 2: 緑のカーテンなし（屋外側にグリーンシート※5あり） 3: 屋内側にロールスクリーンあり	3日間の日内・日間変化を比較
	⑧	直射日光の影響（試行）	9/19～21				グローブ温度	-

※1 定点より写真撮影し、撮影画像を解析し求めた。 ※2 サーモカメラ：日本アビオニクス H2630 ※3 T型。データロガー：グラフテック GL820。
 ※4 カーテンCを実験区1とした。カーテンCと同一外壁面でカーテンC近傍に実験区2、3を設けた。（図-2参照） ※5 モリリン カラーシート（材質：ポリエチレン。色：ライトグリーン。）
 ※6 ネットからの垂直距離45cmで高さ1.5mの位置に、前側（日なた）と後ろ側（日陰）に1つずつグローブ温度計を吊り下げて設置した。



Photo. 2 垂直型（カーテンC）の生長推移

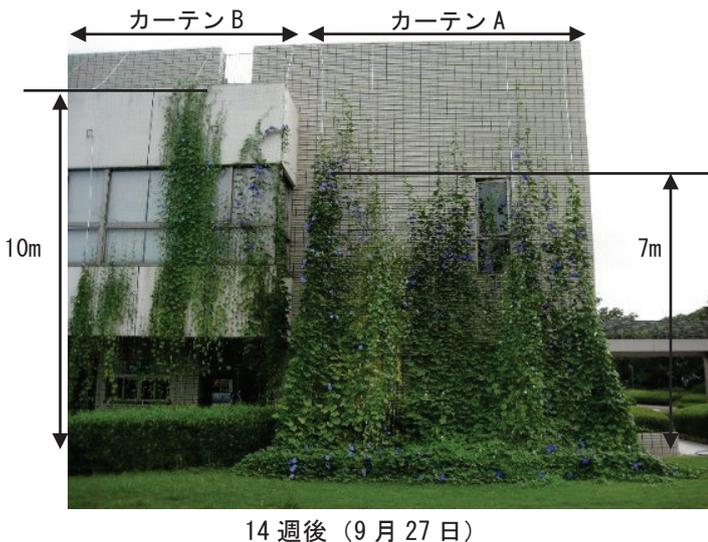


Photo. 3 傾斜型（カーテンA）と垂直型（下部通路あり）（カーテンB）の生長の様子

3. 結果と考察

3. 1 生長量

3. 1. 1 カーテン形状別比較（計測 No. ①）

苗植え付け後 2~14 週の垂直型（カーテン C）の生長推移を Photo. 2 に示す。同 14 週の傾斜型（カーテン A）、垂直型（下部通路あり）（カーテン B）の様子を Photo. 3 に示す。14 週時点では生長の良かった順にカーテン C > A > B であった。垂直型（カーテン C）では8月初め（6 週後）に 1 階天井，9 月末（14 週後）には地上からの高さ 10 m の 2 階屋上部にまで達し，ネット全面が植物で覆われた。一方，垂直型（下部通路あり）（カーテン B）では一部の株で 10 m を超えているものの生育不良によりネット全体を被覆できなかった。また，傾斜型（カーテン A）では 7 m の到達にとどまった。垂直型（下部通路あり）（カーテン B）の生育不良の原因は，下部に通路の空間を設けるため中央部にはネットがなく，上部において両脇から登ってきたツルを中央に誘引する必要があり誘引管理の難しい形状であったこと，一個のプランターあたりの苗数が多かったことあるいは植物種にあると考えられた。既往文献には，垂直面に比べ水平面では伸長が鈍化した

との報告例²⁾がある。垂直と水平の中間の形状である傾斜型（カーテン A）が垂直型（カーテン C）より生長が悪かった今回の結果についても傾斜に起因している可能性があるが，その原因として鉛直方向生長時の生長量が大い性質を有するのか，傾斜したネットにはツルが巻きつきづらかったためか，あるいはその他の理由によるものか，現段階では不明であり，今後の検証課題である。

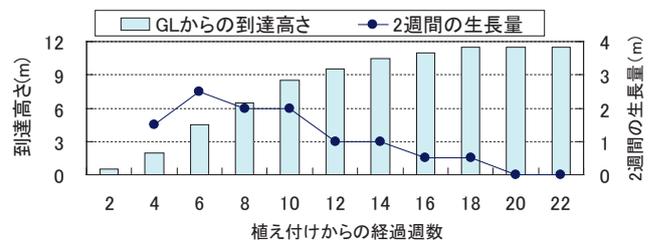


Fig. 2 垂直型（カーテンC）の生長量の季節変化（計測 No. ②）

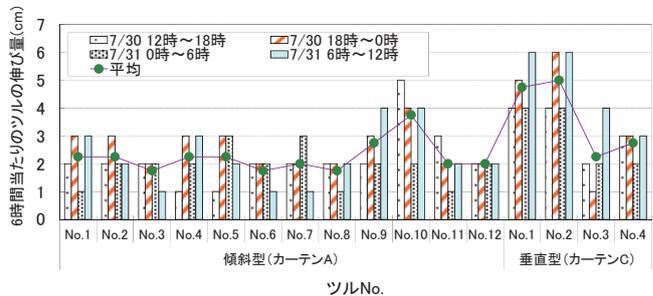


Fig. 3 生長量の時間帯変化（計測 No. ③）

3. 1. 2 季節変化（計測 No. ②）

最も生長の良かった垂直型（カーテン C）について，植え付けから 2~22 週における，2 週間毎の到達高さとし生長量の計測結果を Fig. 2 に示す。8 月（6~10 週に対応）の生長量が最も大きく，2 週間毎で 2.0~2.5 m 生長した。6 月中旬の植え付けから 3 か月半の 9 月中旬（14 週）で 2 階部分まで覆う生長量があることが確認できた。植え付け時期を早めることで 7, 8 月での 2 階までの被覆あるいは 9 月における 3 階以上の被覆が実現できる可能性があるが，旺盛な生長を示す時期に違いがあるため，複数の植え付け時期での生長量の比較が課題である。

3. 1. 3 時間帯変化（計測 No. ③）

傾斜型（カーテン A）から 12 本，垂直型（カーテン C）から 4 本のツル（いずれも琉球アサガオ）を選び，7 月

30日12時より同31日12時までの間、6時間ごとに生長量をメジャーにより測定した結果を Fig. 3 に示す。1日を4等分した時間帯による生長量の差異は特にみられなかった。

傾斜型(カーテンA)は平均で6時間当たり1.8~3.8 cm伸び、計測したツル12本の平均生長量は2.2 cmであった。垂直型(カーテンC)は平均で6時間当たり2.3~4.8 cm伸び、計測したツル4本の平均生長量は3.7 cmであった。計測した全てのツルを平均すると、6時間当たり2.6 cmの生長量となった。本測定結果では、垂直型(カーテンC)が傾斜型(カーテンA)よりもやや生長量が大い傾向がみられ、カーテンAよりCの生長量が大い上述の結果と符合していた。垂直型の測定結果を一日当たりの生長量に換算すると $3.7 \times 4 = 14.8$ cmとなり、2週間当たりに換算すると $14.8 \times 14 = 207$ cmとなり、2週間当たりの生長量2~2.5 mの上述の結果とほぼ一致した。

3. 2 外壁面温度

3. 2. 1 緑のカーテンの日陰と日なたの比較(サーモカメラ)(計測 No. ④)

傾斜型(カーテンA)について、9月中旬の午後西日が方位角でほぼ垂直にカーテン(壁面)に差し込む時間帯において、サーモカメラで撮影した外壁面温度分布を Fig. 4 に示す。外壁面温度は、西日が直接当たる日なた部分で47.2℃、緑のカーテンにより西日が遮られた日陰の部分で37.4℃を示し、緑のカーテンによる10℃程度の温度上昇抑制効果を確認した。なお、この外壁面は西面であり、西南の方角から壁面を撮影しているため、太陽の方位角・高度角の変化に伴い直射日光の当たる時間の多い南側の端の日陰で温度が高く、奥側の日陰に行くにつれて温度は低くなっている。また、緑のカーテン植物表面の温度は、正面(西側)で46.5℃あり、西日が直接当たる外壁面とほぼ同じ温度を示した。

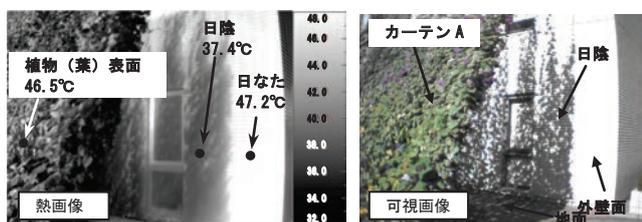


Fig. 4 外壁面温度分布(9月12日14時45分)(計測 No. ④)

3. 2. 2 外壁面温度の緑のカーテンの有無の比較(計測 No. ⑤)

実験区1(Fig. 1)が植物で覆われる前の8月初めと、植物で覆われた後の8月末における熱電対による外壁面温度連続計測結果を Fig. 5, 6 にそれぞれ示す。その期間の日射量と外気温を Fig. 7, 8 にそれぞれ示す。Fig. 7, 8 より、当該期間は両者とも最大日射量約 $1,000 \text{ W/m}^2$ 、最高気温は35℃であり、ほぼ同じような日射・温度条件

であった。

Fig. 5 より、葉で覆われる前は両実験区測定点とも直射日光が当たる状態であったため、両者とも30~45℃で推移し両者間に大きな差異がなく、計測方法は妥当と確認した。Fig. 6 より、葉で覆われた後では、緑のカーテン「あり」が「なし」に比べて1日を通して低い温度で推移した。計測した3日間における1日の最高温度で比較するとその差は6.4~6.8℃(平均6.6℃)であり、盛夏で6℃以上の温度上昇抑制効果を確認した。

3. 3 屋内側空気温度

3. 3. 1 緑のカーテンの有無と屋内側遮蔽物の効果(計測 No. ⑥)

9月中旬の3日間の屋内側空気温度と日射量・外気温を Fig. 9, 10 にそれぞれ示す。Fig. 10 より、当該期間は最大日射量約 $1,000 \text{ W/m}^2$ 、最高気温は33℃である。Fig. 9 より、緑のカーテン「あり」は「なし」と比べ1日を通して常に低い温度で推移した。計測した3日間における1日の最高温度で比較するとその差は7.8~8.8℃(平均8.3℃)あった。また、屋内側遮蔽物(ロールスクリーン)のみは緑のカーテンなしの実験区とほぼ同じかやや低い温度推移を示した。本結果では、屋内側に設ける遮蔽物だけでは、何も設けないのと同じ程度の日射の侵入を許した一方、屋外側に設ける緑のカーテンでは、それらと比較して大きな遮蔽効果が得られた。

3. 3. 2 緑のカーテンと屋外・屋内側遮蔽物の効果(計測 No. ⑦)

一般に遮蔽物は屋内側より屋外側に設置するほうが日射遮蔽効果が高いとされる。そこで、緑のカーテンと同様に屋外側に人工的な遮蔽物がある場合に温度上昇抑制効果に差がみられるかを確認するために、試験的に実験区2の屋外側に緑色のシート(汎用資材であるポリエチレン製ブルーシートと同等の素材・形状で色が緑色の市販品。以降、グリーンシートとよぶ)を設置した。計測した10月上旬の3日間の屋内側空気温度と日射量・外気温を Fig. 11, 12 にそれぞれ示す。Fig. 11 より、当該期間は最大日射量約 900 W/m^2 、最高気温は23℃である。

Fig. 12 より、緑のカーテンはグリーンシートと比べ1日を通して常に低い温度で推移し、計測した3日間における1日の最高温度で比較するとその差は3.0~3.2℃(平均3.1℃)あった。また、ロールスクリーンはグリーンシートと比べ夜間は同程度、昼間は常に高い温度で推移し、同様に1日の最高温度で比較するとその差は3.4~5.0℃(平均4.5℃)あった。本結果では簡易的に設置した屋外側遮蔽物が屋内側遮蔽物に比べて日射を遮る傾向がみられ、また、ともに屋外側遮蔽物となる緑のカーテンとグリーンシートの比較では、琉球アサガオによる緑のカーテンはグリーンシート1枚よりも大きな遮蔽効果が得られ、緑のカーテンが建物の熱負荷抑制対策の有効な手段となりうることを確認した。

3. 4 屋外グローブ温度による緑のカーテンの日なた側と日陰側の比較 (試行) (計測 No. ⑧)

9月中旬の3日間の屋外グローブ温度と日射量・外気温を Fig. 13, 14 にそれぞれ示す。Fig. 14 より、当該期間には最大日射量約 1,000 W/m²、最高気温は 30℃であった。Fig. 13 より、9月20日に着目すると、緑のカーテンの前側(日なた)は後ろ側(日陰)と比べ昼間は常に高い温度で推移し、日なたで最高50℃に達していた一方、日陰は40℃以下で推移した。1日の最高温度で比較するとその差は12℃程度あった。この結果より、放射(特に直射日光)の影響も加味された体感温度が緑のカーテンによる日陰では日なたに比べ低くなることが示唆されたが、本計測は現段階では試行の域を出ず、更に適切な計測方法を検討していく必要がある。

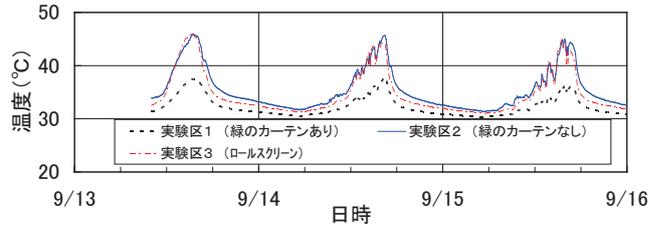


Fig. 9 屋内側空気温度 (計測 No. ⑥) (緑のカーテンの有無比較)

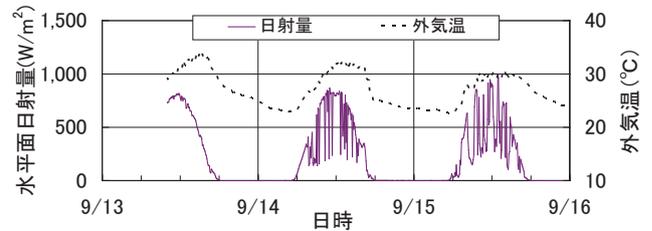


Fig. 10 日射量と外気温 (Fig. 9の温度計測期間)

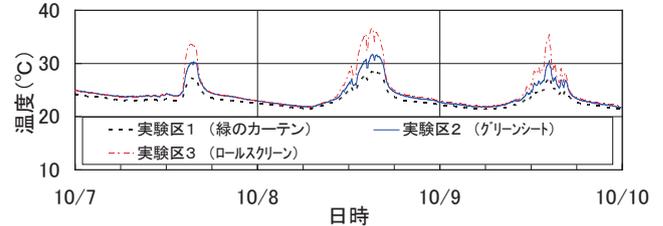


Fig. 11 屋内側空気温度 (計測 No. ⑦) (屋外・屋内側遮蔽物比較)

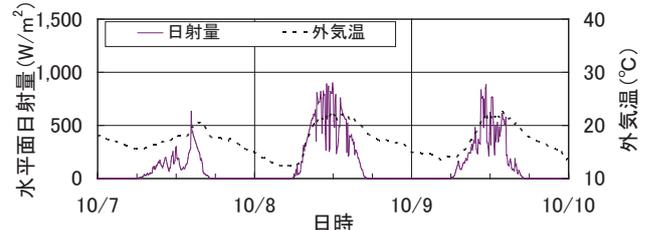


Fig. 12 日射量と外気温 (Fig. 11の温度計測期間)

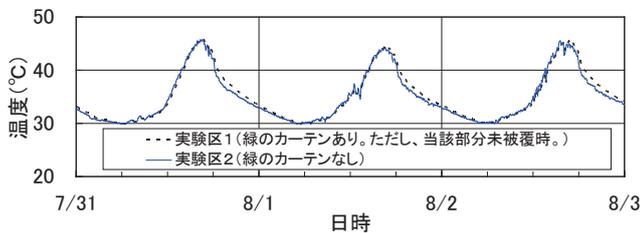


Fig. 5 外壁面温度 (計測 No. ⑤) (実験区1被覆前)

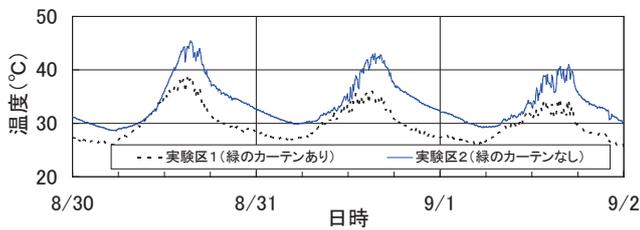


Fig. 6 外壁面温度 (計測 No. ⑤) (実験区1被覆後)

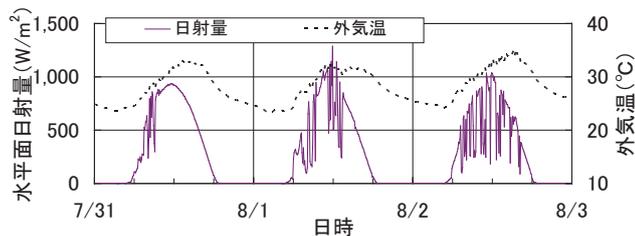


Fig. 7 日射量と外気温 (Fig. 5の温度計測期間)

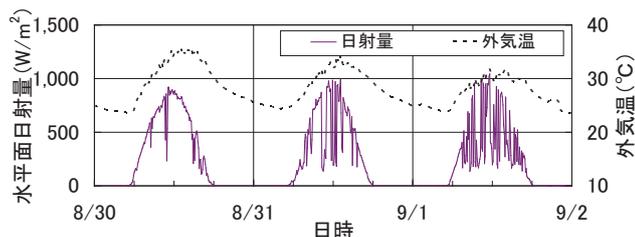


Fig. 8 日射量と外気温 (Fig. 6の温度計測期間)

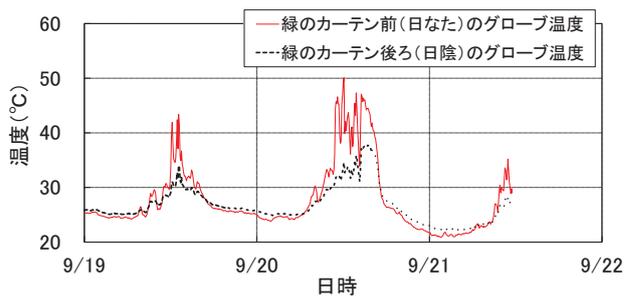


Fig. 13 グローブ温度 (計測 No. ⑧)

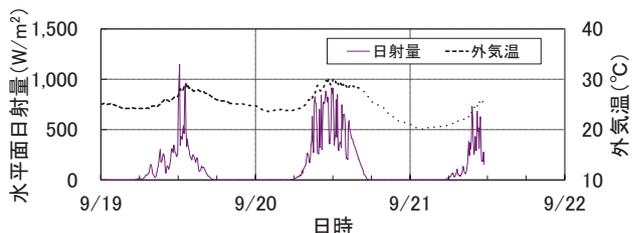


Fig. 14 日射量と外気温 (Fig. 13の温度計測期間)

4. まとめ

本研究では、2階建て事務所を対象として西側壁面につる性植物を用いた登はん型の壁面緑化「緑のカーテン」を施工し、生長速度を把握するためにツルの生長量を計測した。また、日射の遮蔽効果を把握するために外壁面温度並びに簡易的に屋内温度を計測した。

形状の異なるカーテンの比較では、傾斜型より垂直型の生長が良かった。垂直型は植え付けから14週後の9月末に2階部分まで覆いつくし、その生長速度は8月が最も大きく、2週間当たり最大2~2.5 mに達した。1日の中での生長速度には昼間と夜間との間に顕著な差は認められなかった。今回使用した琉球アサガオは適切な育成方法により非常に面的に密で早期の生長が期待できることが確認できた。一方、西洋アサガオについては生育不良がみられ面的に密なカーテンは実現できなかったものの、琉球アサガオに匹敵する速度で生長した株もあったことから、育成方法を適切にすることで十分緑のカーテンに使用できると考えられた。今回は植物種間の育成条件が同一でないため、生育の良否原因は明らかとはならなかった。

緑のカーテンにより生じた日陰部分と日なた部分の温度分布測定では、常時日射を受ける外壁面と植物表面の温度は同程度である一方、緑のカーテンによる日陰部分の壁面温度はそれより10℃程度低いことを確認した。熱電対による外壁面温度連続測定では、1日を通して緑

のカーテン「あり」が「なし」に比べて低い温度で推移し、最高温度で6℃以上の温度低減効果を確認した。屋内側空気温度測定により、屋内側に設ける遮蔽物は何も設けないのと同じ程度の日射の侵入を許し、一方、緑のカーテンはそれらと比較して大きな遮蔽効果が得られることが示唆された。また、試験的に実施した屋外側遮蔽物の効果は、屋内側遮蔽物と同じかそれ以上ではあるものの、緑のカーテンよりは劣っていた。

2階建ての建物に対して緑のカーテンが、盛夏に3か月半程度で2階まで達する十分な被覆が得られることと、外壁面の温度低減並びに屋内側温度低減効果を確認し、低層建物の日射遮蔽策として有効な手段となりうることを確認した。課題としては、生長量の詳細な測定による中層建物への適用可能性の評価、建物に対する熱負荷抑制効果の詳細な計測・評価、また、植物種間の生育の良否比較や同一植物種での肥料や土壌水分等条件の違いによる生育良否比較等による密実で早期の被覆をなす育成方法の検討が挙げられる。

参考文献

- 1) 加藤真司・桑沢保夫・石井儀光・樋野公宏・橋本剛・池田今日子：集合住宅における緑のカーテンの温熱環境改善効果研究，日本緑化工学会誌，38(1)，pp. 39-44，2012
- 2) 小田悠介・淑敏・日置佳之：駐車場緑化のためのつる植物の栽培実験，広葉樹研究，14，pp. 9-14，2011

Fundamental Experiment of Growth and Solar Insulating Effects of Green Curtain by Climbing Plant on Outer Wall of Low-rise Office Building

Junya MURAKAMI, Shizuo SASAKI, Shuzo TOROBU and Nobuyuki KADOKURA

Abstract

In this paper, the fundamental experiment of green curtain is described. The green curtain was constructed on the outer wall of two stories office building by growing climbing plant. Growth increment and solar insulating effects were measured to examine possibility of application of green curtain for low-rise building and thermal environment improvement effect. Mainly, *Ipomoea indica* was used as plant of the green curtain. Growth increment was shown at most 2.5 meters per two weeks. For three and a half months growing, the green curtain reached 10 meters in height in September. The wall temperature in the shade of the green curtain decreased by 6 degrees Celsius or more compared to that in the sun. Subjects are examinations of growth method which can attain precise covering in a short period and the appropriate measurement method of a thermal environment.

Key words: Green Curtain, Growth Increment, Wall Temperature, Air Temperature
