

パッシブ手法による教室の温熱環境の快適性に関する研究

西川嘉雄*¹・中村純平*²・丸山秀司*²

Research on the amenity of a thermal environment
in the classroom by passive method.

NISHIKAWA Yoshio, NAKAMURA Jyunpei and MARUYAMA Shuuji

In this paper we deal with the amenity of the thermal environment in the classroom by the passive technique.

Temperature of the exterior wall fell 3°C by Green curtain. When solar radiation shielding with light shield sheet, operative temperature drop 4.1°C. Shielding effect of the blind can be reduced by 20% operating rate of air conditioning. A result of examining the air conditioning energy, reduction of heating energy is more important than cooling energy in cold temperature area, such as Nagano.

キーワード：グリーンカーテン，冷暖房，遮光シート

1. はじめに

地球温暖化の対策として CO₂ 削減目標が示され、化石燃料の依存を少なくする政策が行われている。さらに、東日本大震災以降の原子力発電所が停止し安定した電力供給が困難になり、再生可能エネルギーの実用化や節電・省エネの必要性が今まで以上に高まっている。学校では CO₂ 削減や省エネルギーの取り組みを行うとともに、環境マインドを学生に持たせる教育も重要になっている。本研究では、エアコンの使用を抑えながら快適な住環境の確保をする基礎的な検討として H23,24 年度の二年間教室の温熱測定を行った。

2. 教室の温度測定

教室の温度測定は、日本建築学会規準 AIJES-H002-2008³⁾に準拠した方法で行う。図 1 に測定系統図に示す。データは一分間隔で記録した。

3. グリーンカーテンの生育調査

3-1 グリーンカーテンの設置概要

H23,24 年度のグリーンカーテンの設置場所を図

*1 環境都市工学科准教授

*2 宇都宮大学工学部 (平成 24 年度環境都市工学科卒業)

*3 長野県職員 (平成 23 年度環境都市工学科卒業)

原稿受付 2013 年 5 月 20 日

2 に示す。グリーンカーテン用の植物として、葉が大きく日射遮蔽効果の大きいヘチマと花による彩りを演出するためアサガオを選んだ。

H23 年度はグリーンカーテンにより教室が暗くなることが懸念された事と同一教室でグリーンカーテンの有無により外壁及びガラスの温度にどの程度影響があるかを確認するため 51 番教室は半分、52 番教室は 1/3 のみ設置した。

H23 年度の結果、グリーンカーテンは教室が暗くなるほど生育しなかったため、H24 年度は全面にグリーンカーテンを設置した。



図 1 測定系統図

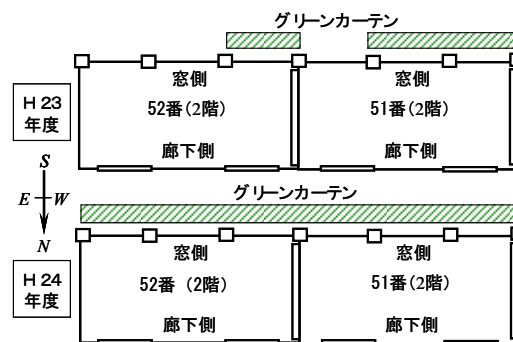


図 2 グリーンカーテン設置場所 上:H23年,下:H24年

3-2 生育記録

種まきなどの作業状況を表1に示す。種をポットに植え苗を作り、本葉が数枚出たころ路地植えにした。キュウリネットの両端にロープを通し屋上から下げ張った(写真1)。

グリーンカーテンの生育の記録はデジカメで記録し、写真から成長した長さを求めた(写真2)。グリーンカーテンの成長記録と一日平均外気温を図3に示す。8月まではH23年度(■)とH24年度(●)はほぼ同程度の成長をした。8月中旬ごろからH23年度の生育が遅くなったが、最高成長長さはH23,24年度ともに約650cmであった。H23年度に成長が遅くなった原因は2つあり、ネットを支えたロープがヘチマの重さに耐えきれなくなり一部切れたた事と8月中旬の気温がH23年度の気温(□)のほうがH24年度(○)より低かったことである。H24年度は、ロープの強度を上げたり、ネットがきれいに張れるような設置方法の改善を行ったりした。

H23年度のグリーンカーテンの状況を整理する。52番教室のグリーンカーテンはネットを支えたロープが重みに耐え切れずに切れ、2階を覆うまでに至らなかった。51番教室は8月の中旬頃には教室の窓の上部に達するまで成長し、9月にもっとも広い面積をグリーンカーテンで覆った。写真3に示すように3階まで先端が達しているが、2階教室の日射を完全に遮蔽するまでには至っていない。H24年度もH23年度とほぼ同じ状況で、1階全面の日射遮蔽はできているが、2階教室の日射を完全に遮蔽するには至らなかった。

3-3 グリーンカーテンによる教室温度の比較

H23年度のデータでグリーンカーテンの設置効果を外壁の温度で検討する。熱電対の設置個所を図4に示す。最も広い範囲がグリーンカーテンで覆われた、9月中旬(9/10~14)の外壁温度を図5に示す。

表1 グリーンカーテン作業過程

作業項目	H23年	H24年
ポットへの種まき	4/20	4/25
発芽	4月下旬	5月上旬
植えつけ	6/15	6/13
ネット貼り	6/22	6/27
撤去	10/26	10/17

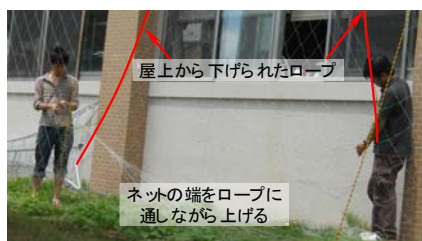


写真1 ネット設置状況

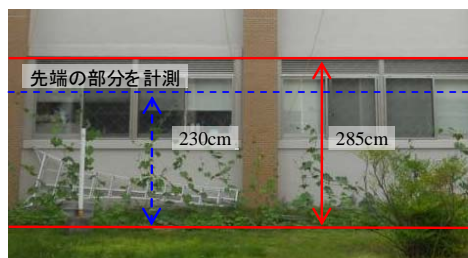


写真2 グリーンカーテン成長長さ計測(2012/7/17)

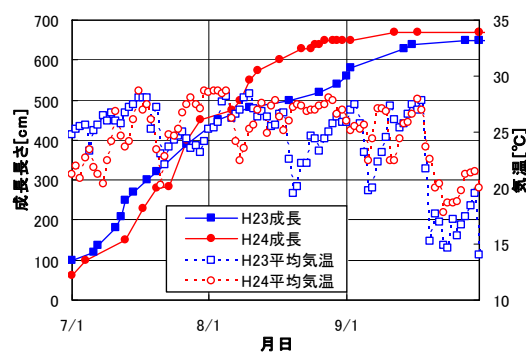


図3 グリーンカーテン成長曲線・平均外気温



平成23年度 2011/9/1 平成24年度 2012/9/1

写真3 グリーンカーテン状況

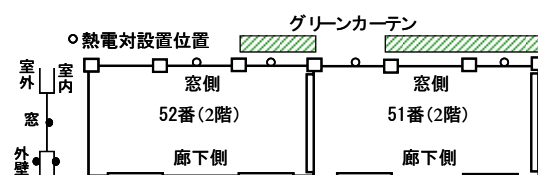


図4 グリーンカーテン効果確認測定点 (H23年度)

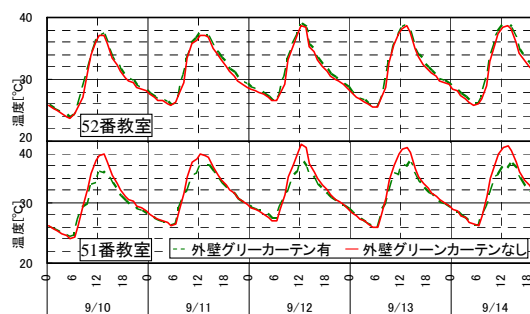


図5 教室の外壁温度比較 上:52番教室下:51番教室

す。また、天候²⁾やグリーンカーテンのある外壁とない外壁の日最高温度の差を表2示す。

51番教室のグリーンカーテンがある部分の外壁では、完全に日射を遮蔽する状況ではなかったが気温が上昇する日中において、グリーンカーテンの無い外壁より1.8~2.8℃低いことが分かる。また、52番教室は教室までグリーンカーテンが届かなかったため、温度に差が見られなかった。これより、日射による温度上昇が、グリーンカーテンによって抑えられていることが分かる。

4. 遮光シートによる検討

4-1 遮光シート設置の概要

グリーンカーテンの生育が遅い場合の対応として、農業用の遮光シートを用いた日射遮蔽効果の検討を行った(写真4)。図6に示すように遮光シートは51番教室のみに設置し52番教室と比較を行った。

4-2 遮光シートの有無による温度の比較

遮光シート有無の温度比較を図7に示す。遮光シートのあり・なしを比較すると、ガラス・内壁・外壁・室内温度ともに低くなっている。表3に最高温度の一覧を示す。遮光シートの有無により最高温度の温度差はガラス:13.5℃、外壁:4.7℃、内壁:0.6℃、室内1.4℃であった。外壁とガラスの温度差は大きい内壁と室内の差が小さいことが確認できた。外壁やガラスの温度が内壁と室温へ移動する時間がかかるため、このような差が生じている。

室温の温度差は小さいが、明らかに暑さの感じ方が違うため、各周壁・窓からの放射温度を考慮した指標で作用温度(OT)³⁾で考察する。体感温度を表す作用温度(OT)は平均放射温度(MRT)と室内温度により式1から求められる。平均放射温度(MRT)は、壁面・ガラスの表面温度、表面積により式2から求められる。なお、室内温度、MRT算出時のガラス、壁面の温度は12:00のデータを使用した。

$$OT = \frac{(\theta + MRT)}{2} \quad [^\circ\text{C}] \quad \text{式1}$$

$$MRT = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad [^\circ\text{C}] \quad \text{式2}$$

θ : 室内温度

S_i : i 番目の壁・ガラス表面積

θ_i : i 番目の表面温度

表2 天気・最高気温・51番教室外壁温度差一覧

2011	6~18時の天気	最高気温	外壁の温度差
9/10	晴後曇	31.7℃	2.8℃
9/11	晴	33.3℃	1.8℃
9/12	晴後一時薄曇	33.1℃	2.7℃
9/13	晴後一時薄曇	32.1℃	2.6℃
9/14	晴	32.3℃	2.8℃



写真4 遮光シート設置状況

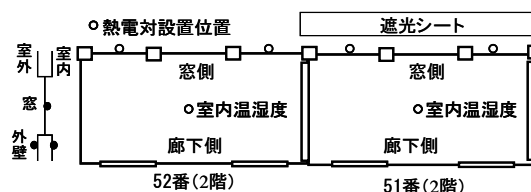


図6 遮光シート効果確認の測定点

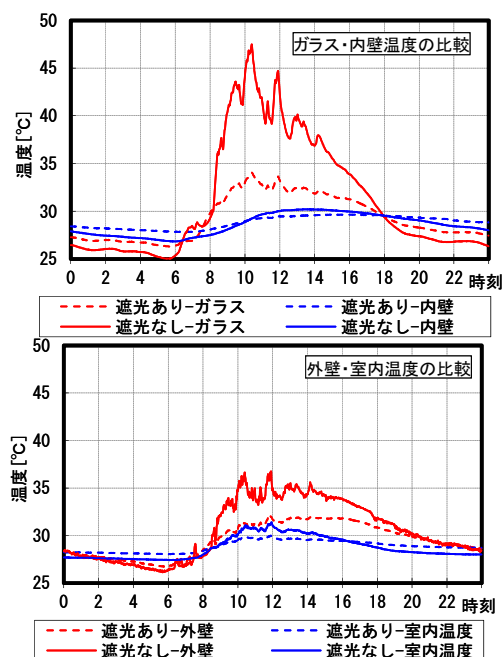


図7 遮光シート有無の温度比較

表3 遮光シートの有無による最高温度: 2012/9/9

	ガラス	外壁	内壁	室内
遮光シート有	34.0	32.0	29.6	30.0
遮光シート無	47.5	36.7	30.2	31.4
温度差	13.5	4.7	0.6	1.4

表4に室内温度とOTの結果を示す。二つの教室で、室内温度の差は1.2℃、に対して壁やガラスからの放射温度を考慮したOTは4.1℃の差があった。よって、遮光カーテンの有無により室内温度では差が小さいが、窓近くでは実際の体感温度に大きな差が出る事が解る。

5. 効率的な冷房などの使用方法の検討

5-1 検討方法の概要

51番教室を対象に、効率的な冷房・扇風機・換気扇の使用法の検討を2012/8/25~9/4の期間で実施した。表5に示すA~Cの3パターンの機器稼働条件で計測を3,4日ずつ実施した。温度測定は図8に示す教室内の9点の位置の床上110cmに熱電対を設置し行った。表6に、計測実施日、ブラインドの開閉、外気温、天候などの計測条件一覧を示す。

5-2 各パターンの測定結果比較

各パターンの状況の9~16時の平均外気温と室内温度の関係を図9に示す。エアコンを使用したパターンA(○),C(□)は外気温が29~32℃の間でも28℃以下でエアコンの設定温度以下になっている。エアコンを使用しないパターンBは室内温度が外気温よりやや低くなりながら外気温と同じ変化をする。エアコンを使用せずに快適な室内環境を確保するには低い温度の外気を取り入れることが必要である。

エアコン使用時の(パターンA),ブラインド開閉による窓・前点の温度変化を図10に示す。エアコンは28℃設定である。室温は9時前に30度を超えていたが、エアコンを稼働させると26℃以下に下がる。さらに、エアコンの運転は、温度が28℃を超えると温度が26℃程度に下がるまで稼働を続け、その後、

温度が28℃に上がるまで停止する事を繰り返している。

表4 12:00の室内温度とOT:2012/9/9

	室内温度	OT(体感温度)
遮光シート有	29.8	30.3
遮光シート無	31.0	34.4

表5 機器稼働条件

パターン	エアコン	扇風機	窓・扉	換気扇
A	ON	OFF	閉	OFF
B	OFF	ON	開	ON
C	ON	ON	閉	ON

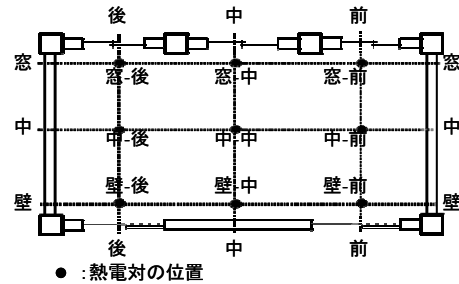


図8 効率的な冷房方法の検討の測定点

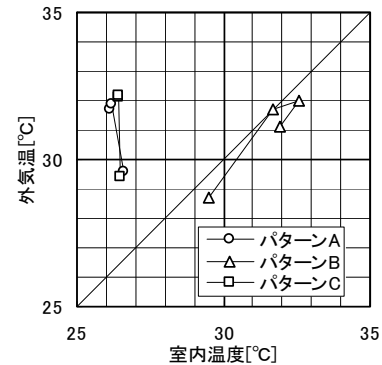


図9 外気温と室内温度の比較

表6 計測条件一覧

パターン	実施日	ブラインド	外気温	天候	コメント
A エアコンのみ	8月28日	開	31.7℃	晴れ	
	8月31日	閉	31.9℃	晴れ	
	9月3日	閉	29.6℃	晴れ	
B 換気扇+扇風機+窓開	8月25日	開	31.1℃	晴れ	
	8月26日	開	32.0℃	晴れ	
	8月30日	閉	31.7℃	晴れ時々雨	15:25~強雨, 15:45~弱雨
	9月4日	閉	28.7℃	晴れ時々雨	15:00~雨
C エアコン+扇風機	8月27日	開	32.1℃	晴れ	工事
	8月29日	閉	32.2℃	晴れ	
	9月1日	閉	29.4℃	曇り時々晴れ	

外気温は9-16時の平均温度

ブラインド開 (図10 青細線 8/28) は、日射が教室に入る条件であり温度の変動する周期がブラインド閉 (図10 赤太線 8/31) と比較して早いのがわかる。測定時間でのエアコンの稼働回数と、一時間の平均稼働回数を表7に示す。ブラインドを閉る事で冷房の稼働回数は9~16時で27回から22回に減少し (81%に削減)、5回ほど少なくなり、一時間に0.8回ほどの差が出た。温度の変動周期が早いとエアコンが稼働する回数が多く、省エネでないということになる。

この検討で得られたことを以下に箇条書きする。

- ・ 扇風機の有無による室内の温度のばらつき差は見られなかったが、風による体感的な涼しさによる効果がある。
- ・ 教室の換気は第一種換気であるため、廊下の空気を教室に引き込むことはできない。

エアコンなどの効率的な使用方法をして、「雨や曇りなどで外気温が低いときは窓を開放して、扇風機を稼働させることでエアコンの使用を抑える。」
「外気温が 30℃を超えるときはエアコンを使う。」
「エアコンを使うときはブラインドなどで日射は遮断する。」が挙げられる。

6. 冬季の日射による快適性の検討

6-1 検討方法の概要

冬休みの 12/27~1/6 の間に、51 番教室のブラインドを閉め日射を遮断し(日射無)、52 番教室はブラ

インドを開け日射を取得するようにし(日射有)、図11の位置で温度を測定した日射の影響の検討を行った。

6-2 日射による壁面・室内温度の検討

表8に気象条件²⁾を、図12に12/26~1/1の壁付近と中央の室温の測定結果を示す。日射有のほうが日射無と比較して気温が高いことが解る。

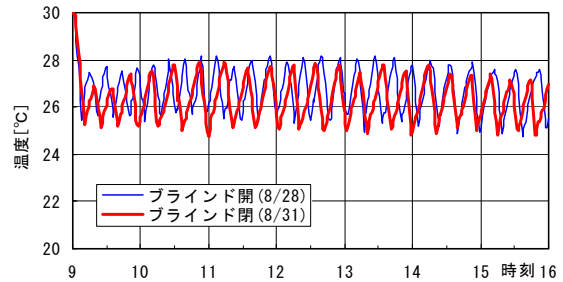


図10 ブラインド開閉による室内温度比較 (窓・前)

表7 ブラインド開閉によるエアコン稼働状況

	稼働回数	平均(1h)
ブラインド開(8/28)	27	3.9
ブラインド閉(8/31)	22	3.1

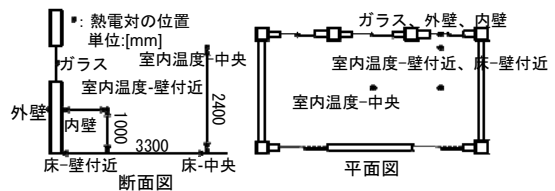


図11 冬季日射の測定点

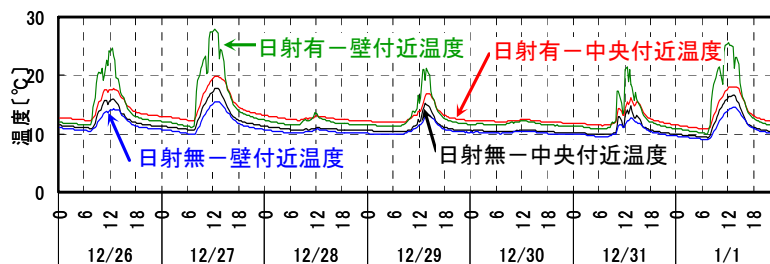


図12 冬季日射有無による温度変化 (12/26~1/1)

表8 気象条件 (長野市)

	12/26	12/27	12/28	12/29	12/30	12/31
天気	雪	晴れ	曇り後雪	曇り後晴れ	雨	曇り時々雪
最高気温	-0.3	0.2	0.5	5.9	6.3	3.8
最低気温	5.1	-8	-6.3	-0.1	3.3	-1.9
日射し	強い	強い	弱い	弱い→強い	弱い	昼強く他弱い
	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6
天気	晴れ	晴れ	晴れ時々曇り	曇り	晴れ	雪
最高気温	5.5	7.7	-0.6	-1.2	0.1	0.9
最低気温	-4.4	-0.9	-3.8	-5.5	-7.3	-7.6
日射し	強い	強い	やや弱い	弱い	やや強い	やや弱い

図13に12/26の12:00から12/27の10:00の温度変化を示す。日射有の壁付近と中央付近のデータを見る。12~15時は壁付近の温度が高いが、15時を過ぎると中央付近の温度が高くなる。これは、ブラインドを開けた状態では、日射が少なくなる15時以降において窓から熱が逃げやすくなり、温度低下が大きくなったためと考えられる。8:00以降には再び日射が得られるため、温度が上昇する。

日射による受熱を効果的にするために、日射があるときはブラインドを開け、日射がない夕方以降はブラインドを閉めるなどブラインドを上手に開閉することで熱を逃がさなくなり、暖房負荷を低減できる。

7. 冷暖房の消費エネルギー

環境都市工学科棟の2010~2012年度における冷暖房による消費エネルギー（ガス使用量）と、月ごとの日平均気温を図14に示す。また、各年度の夏季と冬季における消費エネルギーを表9に示す。

ガス使用量は（塗りつぶし）5,6,10月の中間期を節目に冷房（夏季）と暖房（冬季）の使用量に分けられる。2012年（◇）の2月の暖房エネルギーが大きい。気温がほかの年度と比較して低いことの影響である。エネルギー消費は温度との関係がある。次に、夏季と冬季を比較すると、期間の長さはあるものの表9に示すように暖房のガス使用量は冷房の倍以上である。また、図14より夏季の7~9月の冷房ガス使用量は1,500m³を下回っているが冬季の12~2月の暖房ガス使用量は1,500m³を上回っている。

長野のように冬季に冷え込む寒冷地では、冬季における省エネルギーの検討が重要である。6章の冬季の日射取得による暖房負荷の軽減をより積極的に行ったり、断熱を強化したりすることが必要である。

8. 省エネルギーの意識調査

グリーンカーテン実施前後の2回、グリーンカーテンの実施によって、学生の省エネルギーの意識に変化があるかを確認するためアンケートを実施した。対象とした学生はグリーンカーテンで覆われる教室を使用する環境都市工学科の4,5年生である。「エアコンを使用するときは窓や扉をどうしているか」「エアコンが不要なときはどうしているか」「省エネを意識しているか」などの質問をし、回答を得た。

アンケートの結果の一例として、2011年度（H23）の4年生と2012年度（H24）の5年生の「省エネを意識しているか」という質問の回答結果を図15、

16に示す。アンケートの回答者は二年間同じ学生である。

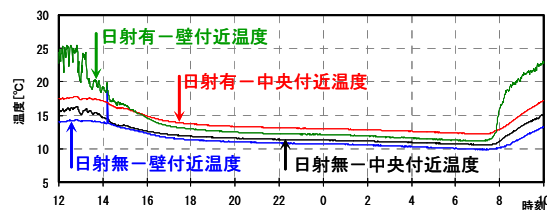


図13 冬季日射有無による温度変化詳細(12/26~27)

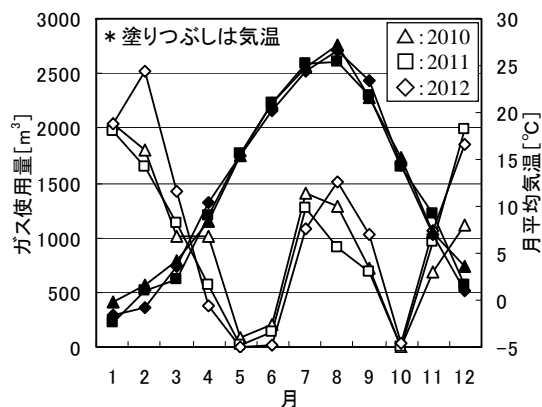


図14 冷暖房エネルギー使用量（ガス）平均気温

表9 各年の環境都市工学科の冷暖房ガス使用量 [m³]

	2010年度	2011年度	2012年度
夏(7~9月)	3,393	2,879	3,626
冬(11~4月)	7,116	9,297	9,539

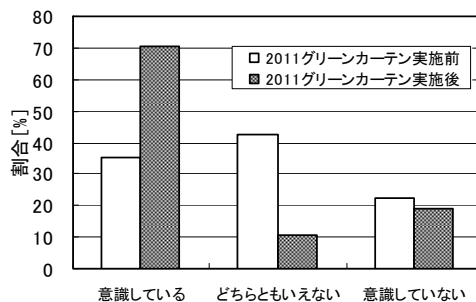


図15 2011年度4年生アンケート結果

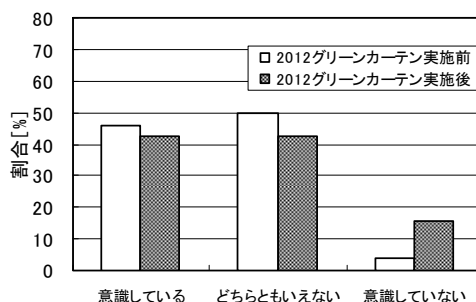


図16 2012年度5年生アンケート結果

2011年度は、グリーンカーテンを設置後に「省エネを意識している」と答えた学生が35%から70.3%に増え省エネに対する意識向上が確認できた。

2012年度では、グリーンカーテン設置前に「省エネを意識している」と答えた学生が46.2%で半分程度であった。グリーンカーテン設置後の回答は42.3%で少し下がった。逆に意識していない学生が3.8%から15.4%に増えた。2年目ではグリーンカーテンによって環境の意識変化が少なくなる。ただ見せるのではなく、自分たちが参加する事や継続的な啓蒙活動が重要である。

9. まとめ

エアコンの使用を抑えながら教室の快適な温熱環境をえるため、グリーンカーテンの設置など基礎的な検討を行った。以下のことが確認できた。グリーンカーテンが完全に覆われていない状態でも外壁温度を3°C程度低くすることができた。

遮光シートを設置することで外壁温度を4.7°C下げることができる。室内温度は1.2°Cの差であったが体感温度(OT)は4.1°Cの差があった。

ブラインドを活用することで、エアコンの稼働回数を9-16時の間で27回から22回(80%)に減らすことができた。

冬季の日射取得の検討では、日射があるときはブラインドを開け受熱し、日射がなくなった後にブラインドを閉め放熱を少なくすることが大切である。

冷暖房の消費エネルギーを検討した結果、長野のような寒冷地では夏季よりも冬季のエネルギー削減が重要であることが確認できた。

省エネ意識調査アンケート結果から、グリーンカーテンにより環境に対する意識は改善するものの、2年目には意識の改善が見られなくなった。環境意識の教育には見せるだけ以外の方法が必要と思われる。

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会,室内温熱環境測定規準・同解説, 日本建築学会, pp.7-10, pp.16-21 (2008.3)
- 2) 気象庁 Web サイト <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 3) 田中俊介ほか, 最新建築環境工学 [改定 3 版], 井上書院, pp.56-57 (2006.3)