

札幌市立大学図書館の壁面緑化・日射遮蔽のデザインと性能検証

GREEN WALL SUNSHADE DESIGN AND ITS THERMAL PERFORMANCE
IN THE LIBRARY OF SAPPORO CITY UNIVERSITY

会員外 ○牧野 李会(札幌市立大学) 正会員 斉藤 雅也(札幌市立大学)

Rie Makino* Masaya SAITO*

* School of Design, Sapporo City University

The purpose of this study is improvement of hot indoor climate in summer in the library of Sapporo City University. We developed artificial solar shading system with green plants, and we set this system to the east external wall in 2010 spring. We made an experiment for finding how to maintain this system and to operate ventilation system in day and night. Followings are results; 1) South climbing plants such as bitter melon grew up over 3.5 meter in Hokkaido as cold region, 2) Room temperature with the shading is 1.3 degree as room temperature lower than that without shading, 3) Nocturnal ventilated room temperature with the shading is 2.0 degree as SET* lower than that without shading, 4) Combination of green wall sunshade and ventilation during night and day is most effective for improvement of hot indoor climate.

1. はじめに

札幌市立大学附属図書館(札幌市南区芸術の森)は、外気温が25℃を超える夏季の晴天日には、館内の室温が30℃以上になる。館内には冷房設備がなく、通風と換気を行なっているものの暑熱環境を改善できない状況にある。本図書館は教職員や学生だけでなく、一般市民も利用できる場で、閲覧や勉強のために長時間滞在する人も少なくない。したがって、利用者が快適に過ごすことができる室内暑熱環境の改善が急務である。

日中の室温が外気温よりも高くなる状況を作り出す主な要因として、午前中に東窓面から室内に入る日射が挙げられる。夏季は、日の出が早く、太陽高度が高いため建物東面は早朝から強い日射を受ける。館内には内付けブラインドがあり、直射光は遮られるが、窓ガラスを透過した光はブラインド面に吸収され熱に変わった後、そのほとんどが室内側に放射する。日中の室温が外気温よりも高くなる理由はこの過程のためと考えられる。

本研究では以上の夏季の暑熱環境を改善するために、東窓面でのツル性植物を用いた緑化と、人工資材である寒冷紗を組み合わせた日射遮蔽システムを開発し、2010年7月に設置した。夏季を通して植栽の手入れをしながら、図書館内の室温や周壁平均温度(MRT)の上昇がどのくらい抑えられるかを実測結果に基づいて明らかにした。

2. 研究方法

壁面緑化は、図書館東面につる性植物をロープなどの補助資材で支えて登攀させ、1階窓面を覆うものとした。2階部分は屋上から農業用寒冷紗を下垂させ日射を遮蔽した。寒冷紗は、外側に白色寒冷紗、内側に黒色寒冷紗



図-1 図書館東面の壁面緑化・日射遮蔽の風景
(2010年8月6日撮影)

を重ね合わせて用いた。植物は冬季の積雪を考慮し、秋季の撤去を前提に、つる性1年草を中心に用いた。種類は、ゴーヤ・ミニキュウリ・ユウガオ・オカワカメ(ツルムラサキ科)・アサガオ・ルコウ草(ヒルガオ科)の6種類とした。以上の主として南方に自生する植栽が北海道の夏季の冷涼な気候においてどの程度成長するかを観察した。

図-2に図書館の平面図を示す。日射遮蔽は司書事務室から図書館東面の約27mにおいて窓のある面で行なった。遮蔽がある場合(以下、遮蔽あり)と遮蔽がない場合(以下、遮蔽なし)の室内暑熱環境の比較を行なうために、遮蔽なし室を2階の館長室として東面の南側6mには遮蔽を設けないこととした。なお、遮蔽なし室(館長室)と遮蔽あり(1階と2階の吹抜けのある閲覧室すべて)は、床面積や用途などの条件が大きく異なる。したが

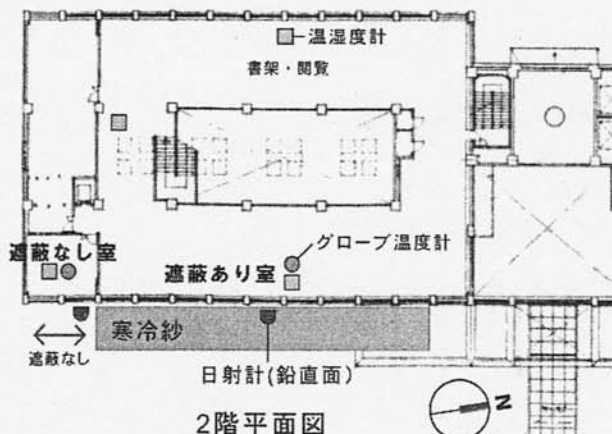
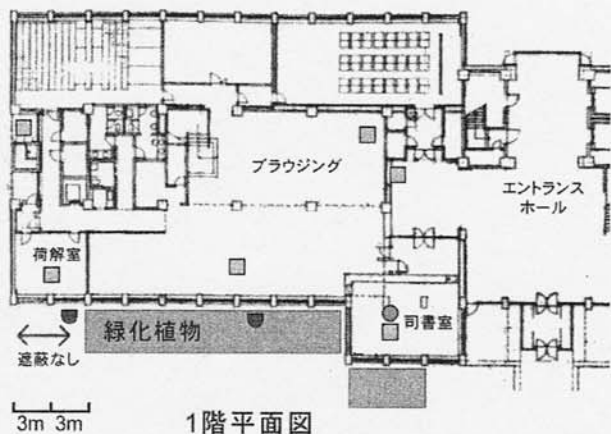


図-2 対象とした図書館の平面図

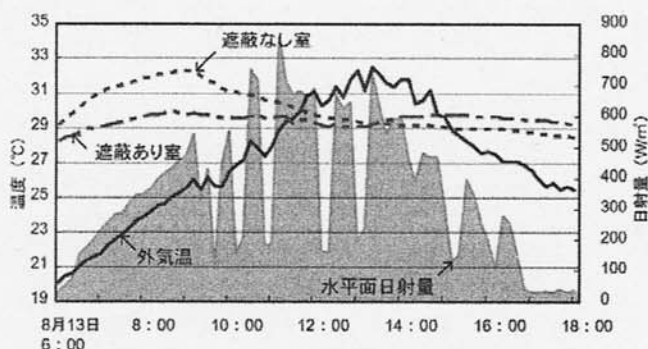


図-3 開館日の室温変化 (2010年8月13日)

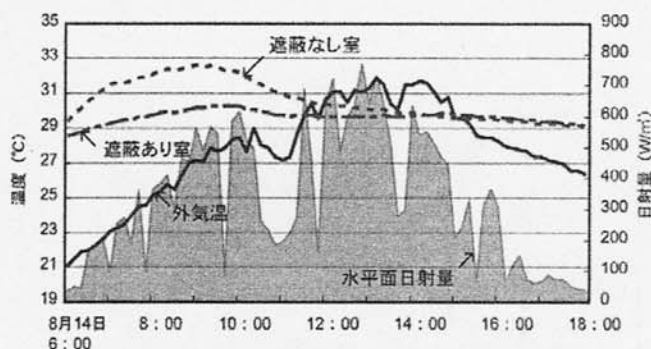


図-4 閉館日の室温変化 (2010年8月14日)

って、室内温熱環境を直接、比較することは難しい。しかしながら、1シーズン中に遮蔽の設置や撤去を繰り返すことが現実的ではなかったため、前述の条件の違いがあることを大きな前提として、遮蔽の有無による室内での暑熱環境の緩和効果を比較した。なお、図書館の開館時間は9時～20時で、開館時間中は閲覧室の窓がすべて開放されて通風がなされ、換気ファンが常時稼働している(昼間換気)。

温熱環境実測は、図書館内の8ヶ所、室外の1ヶ所に自動記録型の温湿度計、室内3ヶ所にグローブ温度計、室外4ヶ所に日射計を設置して行なった。数値解析では、遮蔽あり室と遮蔽なし室と換気の有無について、それぞれ室温・周壁平均温(MRT)・SET*の高低を比較した。

3. 日射遮蔽による室内温熱環境

つる性植物と人工資材の寒冷紗を併用したことで、1階窓面は、6月から8月にかけての植物の十分な成長を観察しながら安定的に日射を遮蔽することができた。ゴーヤやユウガオなどの、つる性1年草の植物は北海道地域においても、概ね3.5m以上生育することが確認できた。日射量の計測値から、ユウガオ(1階)と寒冷紗(2階)それぞれの日中午前の日射透過率を計算したところ、ユウガオ45%、寒冷紗38%だった。

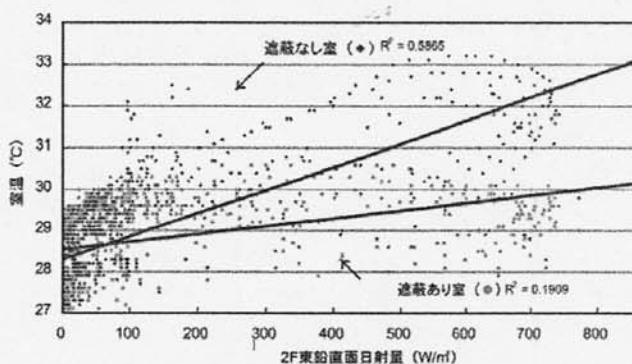


図-5 東鉛直面日射量(2階)と遮蔽の有無による室温

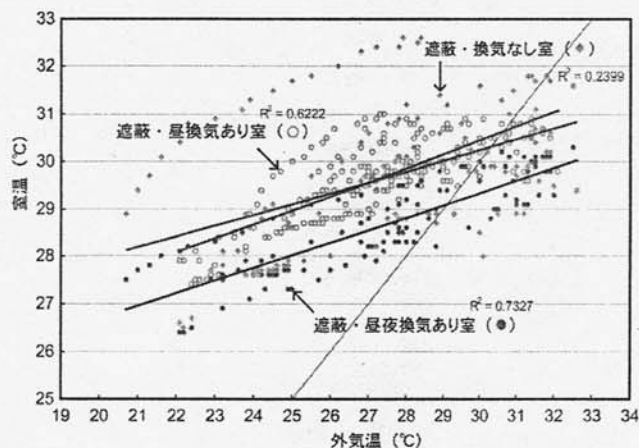


図-6 外気温と遮蔽・換気の有無による室温(日中午前)

日常の植栽の手入れは、散水、害虫予防に木酢液の散布、ロープの点検、成長した植物の実の収穫と間引き、枯れた葉や害虫のついた葉の除去などを週 2~3 回ほど行なった。植物が成長するにつれ、つるが補助ネットのない場所からまると、多くの水が必要になること、実の除去作業など手入れが重要である。

図-3と図-4は、8月13日の晴天の開館日と8月14日の晴天の閉館日の室温と水平面日射量の変化である。室温が最も高くなるのはいずれも8:30~10:00の間である。外気温は正午~15:00に最も高くなるので、東面からの日射が室温上昇に強い影響を与えている。

8:30~10:00では、外気温よりも室温が遮蔽なし室で4.2℃、遮蔽あり室は2.9℃高い。遮蔽あり室は日射による室温上昇を平均で1.3℃抑えたと考えられる。

図-5に2階の東鉛直面日射量に対する遮蔽あり室と遮蔽なし室の室温を示す。東鉛直面日射量が500W/m²のとき、遮蔽あり室では室温が29.5℃に対して、遮蔽なし室では31℃以上になる。日射量と室温の相関は、遮蔽なし室(R²=0.59)に対して、遮蔽あり室(R²=0.19)が小さいので、鉛直面での日射遮蔽は室温上昇を抑えるのに非常に有効な手段と言える。

図-3では、14:00以降に遮蔽あり室が遮蔽なし室よりも室温が高く、図-4の閉館日はどちらの室温もほぼ同じである。これは、開館中の遮蔽あり室では照明や人体等の内部発熱があり、閉鎖している遮蔽なし室(館長室)より内部発熱が大きいことが原因と考えられる。遮蔽あり室で開館中に灯される蛍光灯の表面温度を、熱画像データに基づいて平均したところ約34℃だった。夏季は内部発熱を工夫して削減していくことで、室温上昇のさらなる抑制効果が期待できる。

4. 夜間換気の併用時の室内温熱環境

図書館は前述のとおり、昼間換気を行なっているが、夜間換気も併用しコンクリート躯体への蓄冷による効果がどの程度あるかを実験によって確認した。

8月27日から9月2日まで遮蔽あり室で、夜間も換気ファンを運転した(窓は防犯上、閉鎖)。夜間換気をした晴天日4日間について、日中午前(6:00~12:00)と夜間(18:00~6:00)の換気の有無による室温を比較した。日中午前と、夜間の遮蔽あり・遮蔽なし室温の関係を図-6と図-8にそれぞれ示す。なお、晴天日の判断は以下にしたがった。実測した外気温と水平面日射量の関係を多項式で回帰し(R²=0.65)、水平面日射量を外気温から算出し、この水平面日射量が400W/m²を上回る日を晴天日と判断した。

図-6では、外気温が30℃のとき、遮蔽あり・昼換気あり室の室温は30.5℃、遮蔽なし・換気なし室は30.2℃で、遮蔽を行ない昼間に換気をしていても室温がやや高

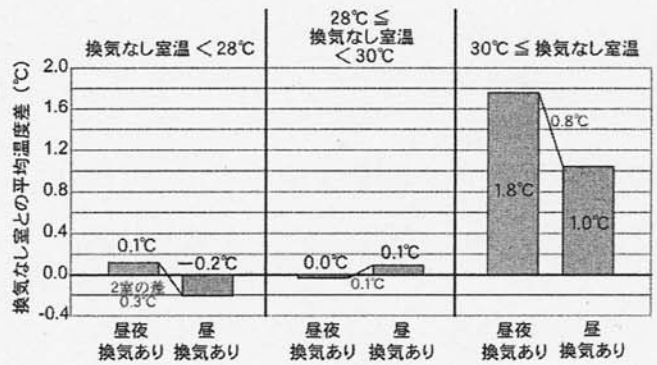


図-7 遮蔽・換気の有無による室温差(日中午前)

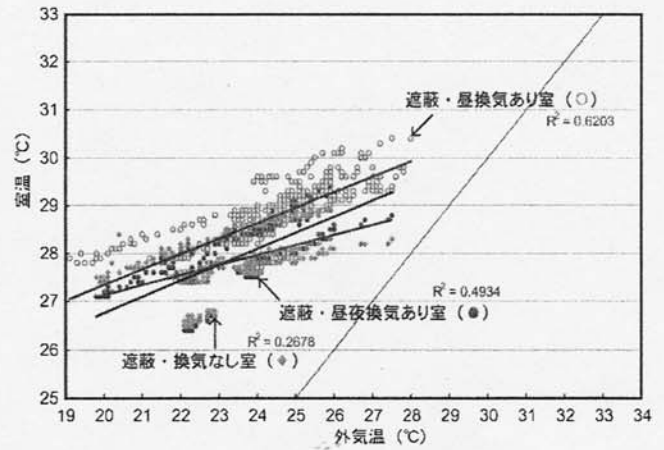


図-8 外気温と遮蔽・換気の有無による室温(夜間)

い。これは前述のとおり、開館中の遮蔽あり・昼換気あり室の内部発熱や、遮蔽なし・換気なし室に対して容積が大きく、日中にコンクリート躯体に蓄えられた熱を室外に放出できないことによるものと予想される。一方、遮蔽あり・昼換気あり室は遮蔽あり・昼換気あり室より1℃ほど常に低い。

図-7は、遮蔽・換気の有無による遮蔽なし室と遮蔽あり室の温度差である。遮蔽なし・換気なし室が30℃以上のとき、遮蔽あり・昼換気あり室は平均1.8℃低い。遮蔽あり・昼換気あり室に比べて遮蔽あり・夜換気あり室は0.8℃低い。つまり、室温が外気温より高くなる理由は躯体への蓄熱によると考えられる。図-8で夜間の状況を確認すると、夜間換気を行なった遮蔽あり・夜換気あり室は、外気温20℃前後のとき、室温が最も低く、日中、外気温が上昇しても遮蔽あり・昼換気あり室より室温は常に低い。日射遮蔽に加えて夜間の冷涼な外気を取り入れ、コンクリート躯体に蓄冷することができれば日中の室温上昇を抑えることに寄与する。

図-9は、日中前夜の遮蔽と換気の有無別のMRTである。遮蔽なし・換気なし室、遮蔽あり・昼換気あり室、遮蔽

あり・昼夜換気あり室の順で室温との差が大きい。MRTは空気温と同じように、ヒトの温冷感に極めて大きな影響を与えるが、日中の窓面温度を低く抑え、MRTを30℃以下に抑えることができれば「涼しさ」が得られる¹⁾。日中の日射遮蔽と夜間換気を行なうことによって、常にMRTを低い状態に抑えることができていると言える。

図-10に、日中午前中の外気温と遮蔽・換気の有無によるSET*を計算して示した。SETの計算に必要な気流速度は0.15m/s、人体側の着衣量と代謝量はそれぞれ0.5clo、1.2Metと仮定した。

外気温が27℃前後で、遮蔽あり・昼換気ありの回帰直線が遮蔽なし・換気なしの回帰直線を上回る。しかし、遮蔽あり・昼夜換気ありは、遮蔽あり・昼換気あり、遮蔽なし・換気なしよりも常に1℃ほど低い。また、遮蔽あり・昼夜換気あり室のSET*は外気温との相関が最も高い ($R^2=0.73$)。

遮蔽と換気の有無別に日中前午のSET*を求めた。図-11はそのときの室温とSET*の平均値である。SET*が室温より高い理由は放射(MRT)の影響と考えられる。遮蔽あり・昼換気あり室は室温とSET*の温度差が最大になり、室温よりもSET*が0.7℃高い。遮蔽あり・昼夜換気あり室は室温よりもSET*が0.4℃高い。遮蔽あり・昼換気あり室のSET*は最高値で、遮蔽あり・昼夜換気あり室のSET*は最低値で両者の差は1.1℃である。以上から、夜間換気は遮蔽を行なえば、日中前午のSET*を1℃ほど下げる効果があると言える。遮蔽あり・昼夜換気あり室では、日射遮蔽によって室温上昇を抑え、昼間換気によって壁面および床面での蓄熱を上手く放熱するとともに夜間換気によって躯体に蓄冷できたと考えられる。

6. まとめ

図書館の室温上昇は、日中前に東鉛直面から入射する日射を遮蔽しないと、晴天日の8:30~10:00での室温が外気温より3~4℃高い。日射透過率40%前後の日射遮蔽により室温上昇を1.3℃ほど抑えることができる。

日射の影響以外に開館時の電灯照明や、人体・家電などからの発熱、コンクリート躯体への蓄熱などにより室温は午後から夜間にかけて外気温より高くなる。夜間の換気は、換気をしない場合に比べて日中前午は室温、SET*ともに1℃ほど低く抑えることができる。

本研究において最も室温上昇の抑制に効果的だったのは、日射遮蔽とともに夜間の換気扇の運転である。日射遮蔽と夜間換気の2つの手法を併用することによって、室温上昇を2℃ほど抑える効果があることがわかった。

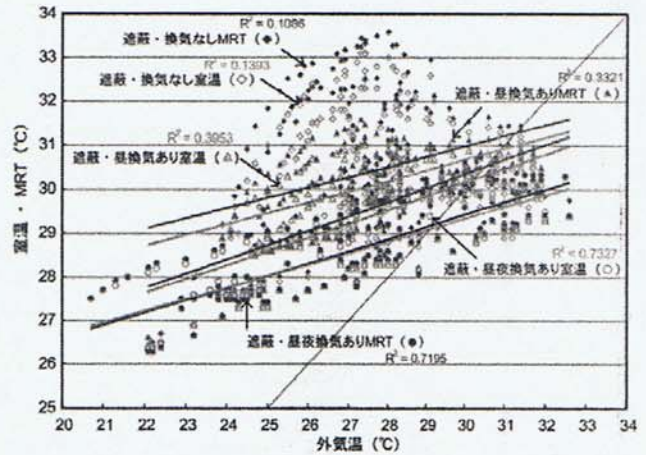


図-9 外気温と遮蔽・換気の有無によるMRT・室温 (日中午前)

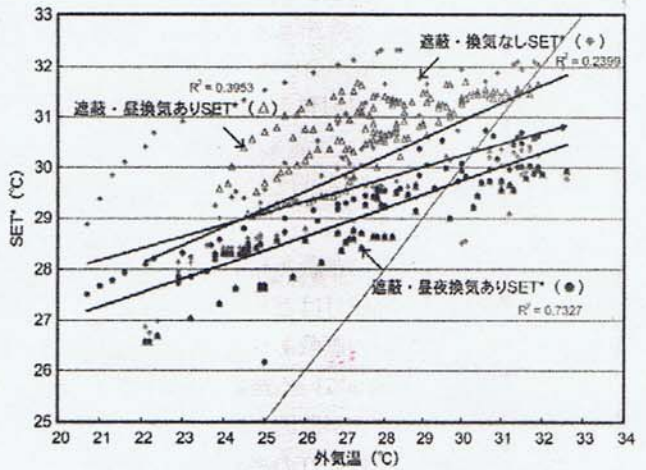


図10. 外気温と遮蔽・換気の有無によるSET* (日中午前)

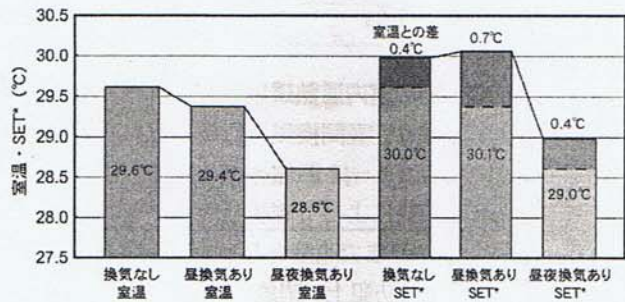


図11. 遮蔽・換気の有無によるSET*・平均室温 (日中午前)

謝辞：本研究を実施するにあたり、札幌市立大学芸術の森キャンパス附属図書館、事務局総務課施設ご担当の職員のみなさまには多大なる協力をいただきました。また、植栽の土壌づくりに参加いただいた札幌市立大学デザイン学部の学生のみなさまにも謝意を表します。

参考文献

1) 宿谷昌則編著：エクセルギーと環境の理論(改訂版) 流れと循環のデザイン、井上書院、pp.76-84、2010.9.