

熱線再帰フィルムを用いた暑熱緩和効果の調査

小田切幸次（横浜市環境科学研究所）、関浩二（横浜市環境創造局）、
山中修、太田栄治、播磨龍哉（デクセリアルズ株式会社）

Study on thermal environment mitigation effect using infrared retroreflective film

Koji Otagiri (Yokohama Environmental Science Research Institute),
Koji Seki (Yokohama Environmental Planning Bureau),
Osamu Yamanaka, Eiji Ohta, Tatsuya Harima (Dexerials Corporation)

キーワード：ヒートアイランド、熱線再帰フィルム、微気象観測、放射空気温度

要旨

横浜市環境科学研究所では、環境省が策定した「まちなかの暑さ対策ガイドライン」に基づき、暑さ対策技術の効果検証を行っている。2017年7～8月にかけて、市内小学校の教室（室内）とグラウンド（屋外）で、教室の窓に貼り付けた熱線再帰フィルムと従来の遮熱フィルムによる暑熱緩和効果を調査した。晴天時、室内の調査では、熱線再帰フィルム及び従来の遮熱フィルムを貼った教室は、フィルムを貼らない教室と比較すると平均で室内の温度が0.3～0.4℃、SAT（放射空気温度）が10.6～12.2℃低かった。また屋外の調査では、教室の窓面で反射して地面に到達する日射の影響について、フィルムを貼らない場合と比較すると従来の遮熱フィルムを貼った場合では平均で日射量が11%、SATが2.9℃増加していた一方、熱線再帰フィルムを貼った場合では日射量、SATともに増加していなかった。晴れて日射のある条件下では、熱線再帰フィルムは、室内では暑熱環境を緩和する効果があり、屋外については暑熱環境を悪化させないことが認められた。

1. はじめに

地球温暖化の影響に加え都市部でのヒートアイランド現象の影響により、大都市で生活する人々が夏に感じる暑さは年々厳しさを増している。環境省では、まちなかの暑さ対策の推進を目的として、人が感じる暑さに関する科学的な情報や効果的な暑さ対策方法を示した「まちなかの暑さ対策ガイドライン」（以下、ガイドラインという）を作成し、関連する技術情報等を紹介している¹⁾。

ガイドラインに示された新たな暑さ対策技術の1つに“窓面等の再帰反射化”がある。従来の遮熱フィルムは建物の窓面の反射率を高めて、外部から建物内へ取り込む熱を抑制するものであるが、フィルムを貼ることにより窓面で反射した日射が歩行者空間の暑熱環境を悪化させるとの懸念がある（図1(b)）²⁾。

一方、熱線再帰フィルムはフィルム内部にプリズム状の構造体を形成し、この構造体表面に反射層を設け、日射のエネルギーを上空方向に反射させる技術を取り入れているため、歩行者空間への日射の照り返しを防ぎ、歩行者空間の暑熱環境を悪化させないと言われている（図1(c)）³⁾。

横浜市環境科学研究所では“窓面等の再帰反射化”による暑さ対策に着目し、公共施設での導入に向けた科学的基礎資料としての活用を視野に入れ、2017年7～8月にかけて実測調査を行った。

今回、いくつかの知見が得られたので報告する。

2. 方法

2-1 調査地点

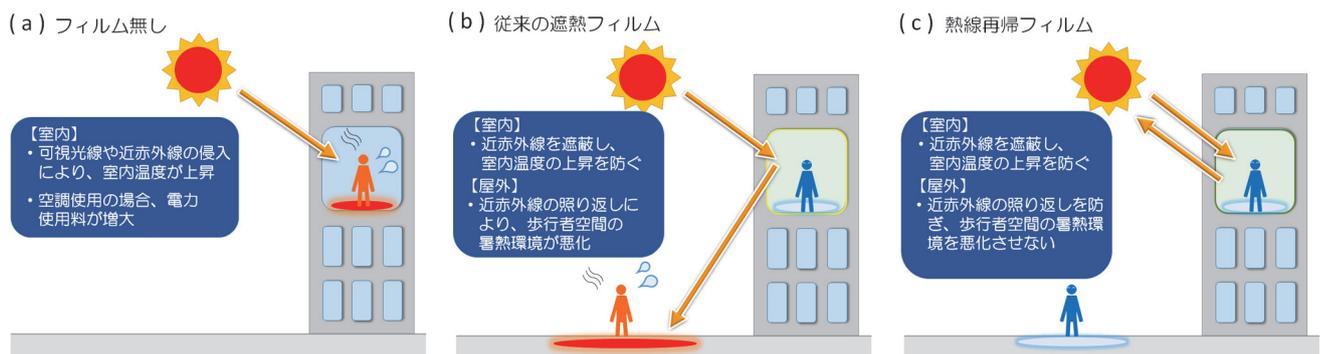


図1 フィルム対策の有無による室内と屋外の暑熱環境のイメージ

従来の遮熱フィルム及び熱線再帰フィルムを公共施設の窓面に貼り付けた場合の暑熱緩和効果を調べるため、横浜市鶴見区にある横浜市立上末吉小学校（地理院地図（電子国土 Web）⁴⁾）をもとに作成の南東向き校舎3階の3教室（熱線再帰フィルムを貼った教室、熱線再帰フィルムと遮蔽係数が同程度の従来の遮熱フィルムを貼った教室、フィルムを貼らない教室とグラウンドで、実測調査を行った（図2、3）。

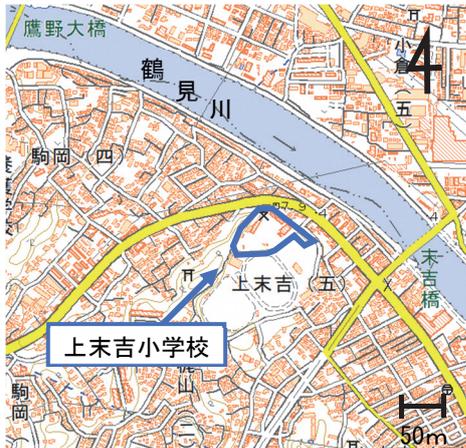


図2 上末吉小学校の位置



図3 調査を行った教室の外観

2-2 測定項目・期間・方法

測定項目と測定期間を表1に示す。室内の温度・相対湿度・黒球温度は、2017年7月22日～8月24日の34日間に3教室内の各2か所（教室の教壇側と後壁側）で5分間隔で測定した。教室内部での測定条件が可能な限り同じになるよう、カーテン等の障害物をできるだけ排除するとともに扉や窓を閉めた状態で、エアコンは使用せずに測定を行った。

なお、黒球温度とは黒色に塗装された薄い銅板の球（中は空洞、直径約15cm）の中心に温度計を入れ、直射日光にさらされた状態での球の中の平衡温度を観測したものである。

また日射量及びSAT（Sol-Air-Temperature、放射空気温度）、以下SATという）は、3教室内の後方窓際と校舎南側のグラウンドで2017年7月28日及び8月21日～24日の計5日間、10秒間隔で測定した。測定のイメージを図4に示す。グラウンドでの測定は、各教室からの反射光の位置を事前にシミュレーションで計算し、現地での太陽の動きに合わせて測定器を移動させた（図5、6）。

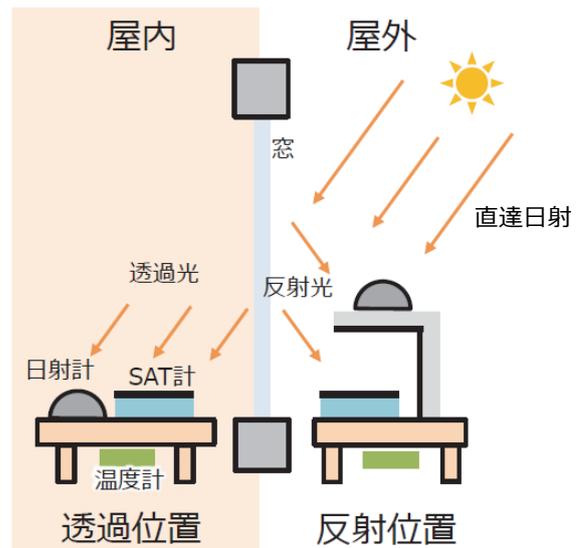


図4 日射計及びSAT計の測定イメージ

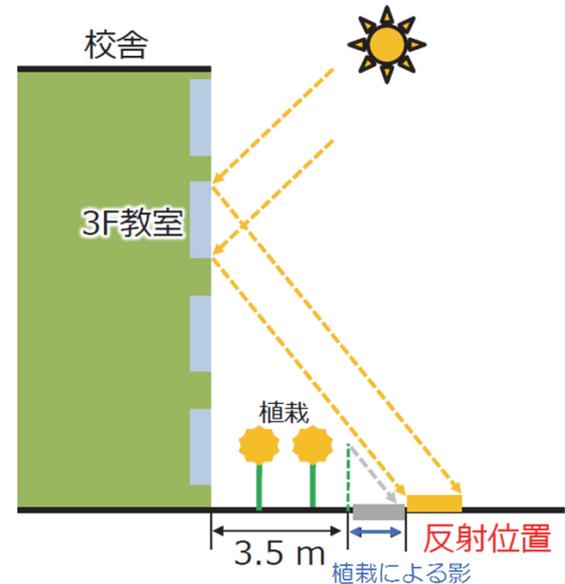


図5 日射の反射位置の選定イメージ

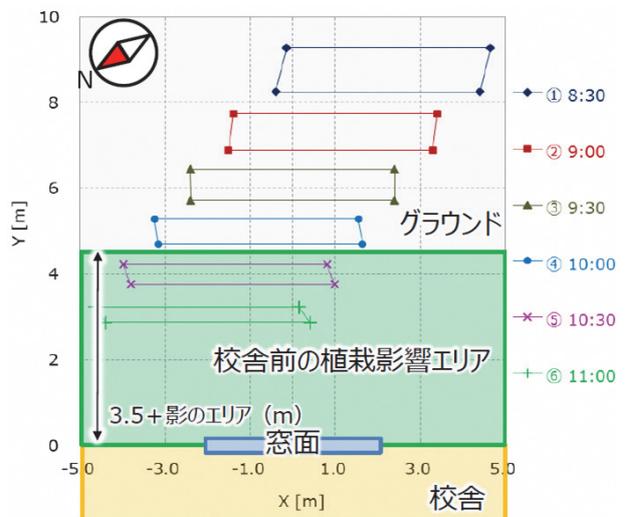


図6 2017年8月23日における
反射位置の時間変化のイメージ
（午前10時以降は反射光が植栽の影に来る）

表 1 室内と屋外での測定項目と測定期間

	温度・相対湿度・黒球温度			日射量・SAT (放射空気温度)		
	測定の有無	測定間隔	測定日	測定の有無	測定間隔	測定日
室内	有	5分	2017年7月22日 ～8月24日	有	10秒	2017年7月28日、 8月21～24日
屋外	無	—	—	有	10秒	2017年7月28日、 8月21～24日

なお、SATとは気温に日射や長波放射の影響を温度として加味した仮想の空気温度（放射が無ければ、気温と同等）である。

温度及び相対湿度は、測定器のセンサーを自作の自然風通式シェルターに格納し、気象庁での温度計設置の基準⁵⁾に準拠して、床面の高さから約1.5mの位置で測定を行った。黒球温度は、センサー部を直径約15cmの黒球（株）安藤計器製CK-150）に格納し、床面の高さから約1.5mの位置で測定を行った。

本調査に使用した測定器の形式及び仕様を表2、測定器の外観及び観測状況を図7、8に示す。

表 2 調査に使用した測定器の型式・仕様

測定項目	室内の温度（乾球温度）、黒球温度 ^{*1}	相対湿度
メーカー	（株）ティアンドデイ	
形式	TR-52i	TR-72wf
測定範囲	-60～155℃（-20～80℃において）	10～95% RH（25℃、50% RHにおいて）
測定精度	±0.3℃	±5% RH
測定分解能	0.1℃	1% RH

測定項目	日射量	SAT (放射空気温度) ^{**2}
メーカー	英弘精機（株）	JSTM J 6110 (SAT計による建物周壁の放射空気温度測定方法)に準拠
型式	MS-402	
測定範囲	305～2800 nm	
測定精度	±0.5% (安定性)	
測定分解能	—	



図 8 グラウンドでの測定の様子



図 7 教室内での測定の様子

2-3 暑さ指数の算出

暑さ指数 (WBGT) は、熱中症を予防することを目的として、1957 年に Yaglou と Minard⁶⁾ によって提案された指標である。この指標は人体と外気との熱のやりとり (熱収支) に着目した指標で、人体の熱収支に与える影響の大きい湿度、日射・放射などの周辺の熱環境、気温の 3 つを取り入れたものである。

暑さ指数は労働環境や運動環境の指針として有効であると考えられている。日本生気象学会が 2013 年に「日常生活における熱中症予防指針 (Ver. 3)」⁷⁾ を公表しており、(公財) 日本体育協会が「熱中症予防運動指針」⁸⁾ を運動に関する指針として公表している。また、労働環境における暑さ指数 (WBGT) について、国際的には ISO 7243⁹⁾、国内では JIS Z 8504¹⁰⁾ として規格化されている。

暑さ指数 [°C] は、湿球温度を t_w [°C]、黒球温度を t_g [°C]、乾球温度を t_d [°C] とすると、式 (1) で与えられる。

$$WBGT = 0.7 t_w + 0.2 t_g + 0.1 t_d \quad (1)$$

本調査では、乾球温度 t_d 及び黒球温度 t_g については実測値、湿球温度 t_w については乾球温度及び相対湿度から算出した計算値を用いて、暑さ指数を算出した。

また湿球温度 t_w の算出には Sprung の式¹¹⁾ を使用し、水の飽和蒸気圧の近似式には Tetens のパラメータ値¹²⁾ による August-Roche-Magnus の式^{13), 14)} を使用した。

なお、室内での暑さ指数の計算には本来、湿球温度と黒球温度のみを用いるが、今回は室内でも日射の影響を加味するため、式 (1) を用いて暑さ指数を求めた。

2-4 SAT

SAT とは、気温に日射や長波放射の影響を温度として加味した仮想の空気温度であり、温熱指標の 1 つとして建築環境分野で用いられている。SAT [°C] は、気温、日射、外部からの赤外放射の 3 つからなり、式 (2) で与えられる。また日射や外部からの赤外放射の影響が全く無い場合、放射空気温度は気温となる。

$$SAT = \theta_a + \frac{\alpha_s J}{h_{se}} + \frac{\varepsilon_s J_n}{h_{se}} \quad (2)$$

- SAT : 放射空気温度(°C)
- θ_a : 気温(°C)
- α_s : 日射吸収率
- J : 日射量(W・m²)
- ε_s : 放射率
- J_n : 長波放射量(W・m²)
- h_{se} : 外気側表面熱伝達率(W・m⁻²・K⁻¹)

SAT は通常、屋外で用いられることが多いが、室内であっても、空気温度 θ_a を室温とし、屋外と同様に放射を加味すれば、室内の放射空気温度が得られるため、今回の室内の調査では SAT 計を用いた。

また屋外の調査では、窓ガラスからの反射光を捕捉するため、SAT 計は断熱材で囲い、直達日射を遮断した。

3. 結果と考察

3-1 調査期間中の気象概況

調査期間中の気象概況と測定日を表 3 に示す。調査期間中は平年に比べると曇りや雨の日が多かったが、屋外での調査を実施した 2017 年 7 月 28 日及び 8 月 21 日～24 日の計 5 日間は、快晴ではないが晴れ間のある天気となった。

3-2 教室での測定結果

遮熱フィルムによる室内での暑熱環境の違いを調査するため、温度、相対湿度、黒球温度、日射量、SAT を測定した。

3-2-1 室内の温度

屋外での調査を行った日のうち、日照時間が少なかった日を代表して 2017 年 8 月 22 日、日照時間が長かった日を代表して 2017 年 8 月 23 日の各日における日照時間 (横浜地方気象台) の 10 分値と室内の温度の 5 分値の変化を図 9 に示す。なお 2017 年 8 月 22 日、23 日の横浜地方気象台地点付近での日の出が午前 5 時 6 分～5 時 7 分であることから、解析対象時間を午前 5 時から正午までとした¹⁵⁾。

表 3 調査期間中の測定日と気象概況 (横浜地方気象台)

測定日 室内 屋外	年月日	日降水量(mm)	日照時間(h)	天気概況	
				(昼:06時~18時)	(夜:18時~翌日06時)
○	2017/7/22	0	10.2	薄曇時々晴	薄曇時々晴
○	2017/7/23	0	0.2	曇後時々雨	曇
○	2017/7/24	0	4.6	曇	曇後一時晴
○	2017/7/25	0	6.4	曇	曇後一時雨
○	2017/7/26	8.5	0	雨時々曇	曇時々雨
○	2017/7/27	0.5	0	曇一時雨	曇時々雨
○	2017/7/28	0.5	8.5	薄曇一時晴	曇
○	2017/7/29	18.5	4.3	曇後一時雨	雨後一時曇
○	2017/7/30	0.5	1.2	曇	晴時々曇
○	2017/7/31	0	10.8	晴	晴後曇
○	2017/8/1	17.5	1	曇後雨、雷を伴う	雨後曇
○	2017/8/2	2	0	曇時々雨	曇一時雨
○	2017/8/3	0	2.5	曇	曇時々雨
○	2017/8/4	1.5	0.5	曇	曇時々雨
○	2017/8/5	0	6.8	曇時々晴	曇時々晴
○	2017/8/6	0	9.5	晴	晴
○	2017/8/7	2.5	4.8	曇一時晴	曇時々雨
○	2017/8/8	0	5.1	曇後晴	曇後晴
○	2017/8/9	0	9.8	晴後一時曇	曇時々雨
○	2017/8/10	3.5	1.4	曇時々雨	雨一時曇
○	2017/8/11	7	0	雨一時曇	雨時々曇
○	2017/8/12	7	3.1	曇時々雨後一時晴	晴後一時薄曇
○	2017/8/13	0	4.7	晴時々曇	曇一時雨
○	2017/8/14	15.5	0	曇時々雨	曇時々雨
○	2017/8/15	32.5	0	大雨一時曇	雨時々曇
○	2017/8/16	18	0	雨	雨後時々曇
○	2017/8/17	0.5	0	曇	曇時々雨
○	2017/8/18	0	3.2	曇時々晴一時雨	曇一時晴
○	2017/8/19	31	4.9	晴時々曇一時雨、雷を伴う	大雨時々曇、雷を伴う
○	2017/8/20	5	0	曇	曇一時雨
○	2017/8/21	0	3.1	曇時々晴一時雨	薄曇時々晴
○	2017/8/22	0	3.2	曇	晴時々曇 ※
○	2017/8/23	0	10.6	晴後曇	薄曇時々晴 ※
○	2017/8/24	0	8.2	曇時々晴	晴時々薄曇

※比較対象日

8 月 22 日は、午前 5 時から室内の温度は 28 °C を超えていたが、午前 5 時～正午の日照時間は 1 時間強と少なかったため、午前 5 時～正午にかけての室内の温度は最大で 32 °C 台に留まっていた。熱線再帰フィルムを貼った教室と従来の遮熱フィルムを貼った教室のいずれも、室内の温度はフィルムを貼らない教室と比較すると、午前 5 時～正午の平均で 0.1 °C 低かった。

一方 8 月 23 日は、午前 5 時から室内の温度は 29 °C を超えており、午前 5 時～正午の日照時間は 6 時間強と長かったため、室内の温度は最大で 36 °C を超えた。熱線再帰フィルムを貼った教室と従来の遮熱フィルムを貼った教室のいずれも、室内の温度はフィルムを貼らない教

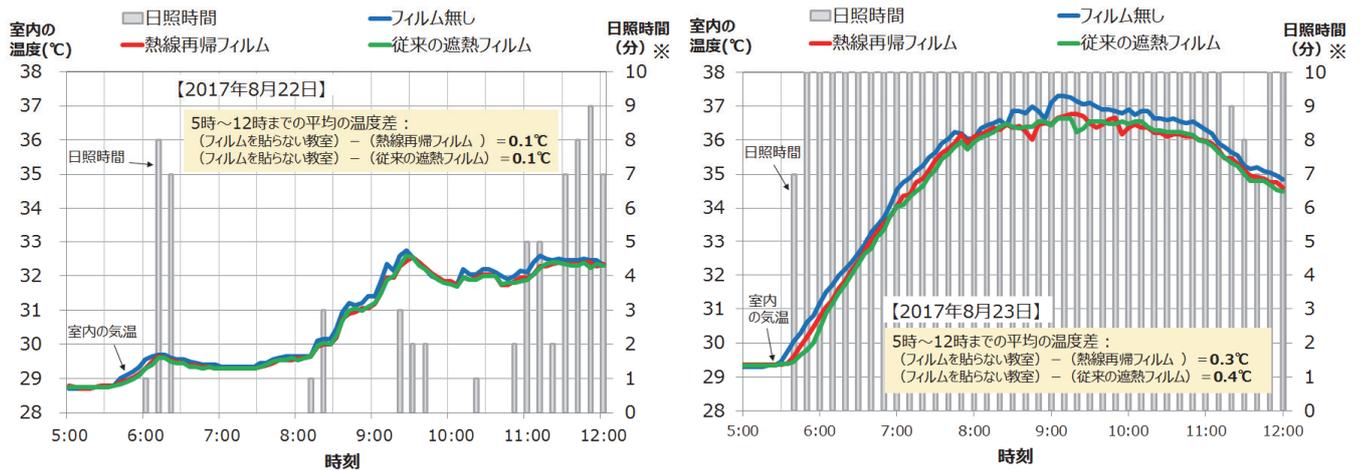


図9 日照時間と室内の温度の変化
 ※日照時間は横浜地方気象台（中区山手）の10分毎のデータ（最大で10分）を使用

室と比較して、午前5時～正午の平均で0.3～0.4℃低かった。

このことから、十分な日照時間がある場合、フィルムを貼らない教室は日射の影響を受けて室内の温度が上がる一方、熱線再帰フィルムや従来の遮熱フィルムを貼った教室では、室内へ侵入する近赤外線が遮蔽され、室内の温度の上昇が抑制されていること、従来の遮熱フィルムと再帰反射フィルムの遮熱の性能はほぼ同等であることを確認した。

3-2-2 暑さ指数

2017年8月22日と23日の暑さ指数の変化を図10に示す。

8月22日は、3教室ともに午前5時から暑さ指数は25℃以上（警戒ランク）を記録し、午前9時前には28℃以上（厳重警戒ランク）となったが、その後は正午にかけて31℃以上（危険ランク）には至らなかった。

8月23日は、3教室ともに午前5時から暑さ指数は25℃以上（警戒ランク）を記録し、午前6時過ぎには28℃以上（厳重警戒ランク）、午前9時～10時には31℃（危険ランク）前後を記録した。

3教室の暑さ指数を比較すると、日照が少なかった8月22日では、熱線再帰フィルムと従来の遮熱フィルムを

貼った教室の暑さ指数はいずれも、フィルムを貼らない教室と比較して、平均で0.0～0.1℃低かった。

また日照が多かった8月23日では、熱線再帰フィルムと従来の遮熱フィルムを貼った教室の暑さ指数はいずれも、フィルムを貼らない教室と比較して、平均で0.1～0.2℃低かった。

日照が多かった8月23日においても、3教室間の暑さ指数に差が見られなかった原因として、湿球温度の上昇による寄与が大きいと考えられる。

表4は熱線再帰フィルムを貼った教室とフィルムを貼らない教室での温度、黒球温度、湿球温度の暑さ指数への寄与を調べた結果であるが、熱線再帰フィルムを貼った教室での室内の温度及び黒球温度の低下による暑さ指数の低下と湿球温度の上昇による暑さ指数の上昇が相殺されている（±0.0℃）ことから、結果として暑さ指数に違いが見られなかったと推察される。

3-2-3 日射量

2017年8月22日、23日のうち、日射量の測定開始から屋外で植栽による影の影響を受けるまでの午前9時～午前10時の間、教室内で測定した日射量の変化を図11に示す。

雲が多く日照時間が短かった8月22日は、午前9時

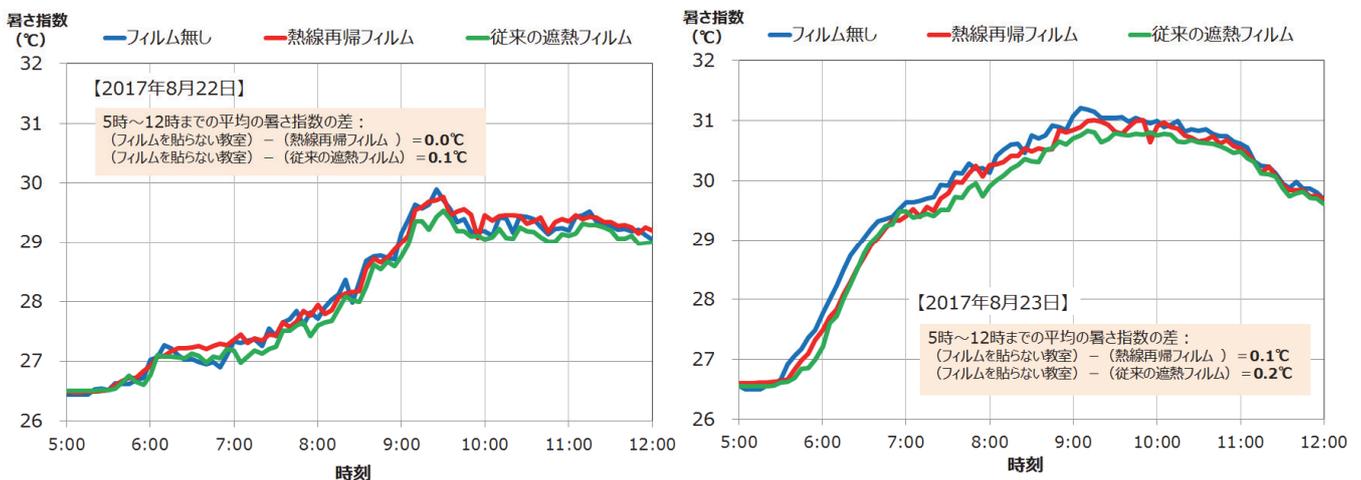


図10 暑さ指数の変化

表4 熱線再帰フィルムとフィルムなしの場合の各項目の暑さ指数への寄与

	平均値 (2017年8月23日 5~12時)				計(°C)
	室内の温度(°C)	相対湿度(%)	黒球温度(°C)	湿球温度(°C) ※	
(A) フィルムなし	34.8	53.7	38.0	26.7	
(B) 熱線再帰フィルム	34.5	56.1	36.9	26.9	
(B) - (A) の差分	-0.3	2.5	-1.1	0.2	
差分の暑さ指数への寄与	0.0		-0.2	0.2	±0.0

※湿球温度は計算値

～午前9時25分頃までは、時々日が差した影響で日射量が大きく変動しており、日射量の平均は、フィルムを貼らない教室で319 W/m²、従来の遮熱フィルムを貼った教室で202 W/m²、熱線再帰フィルムを貼った教室で165 W/m²であった。午前9時25分以降は曇りとなったため、日射量は低く推移しており、午前9時25分～午前10時までの日射量の平均は、フィルムを貼らない教室で93 W/m²、従来の遮熱フィルムを貼った教室で61 W/m²、熱線再帰フィルムを貼った教室で48 W/m²であった。

また教室間の日射量を比較すると、8月22日午前9時～午前10時の日射量は平均で、フィルムを貼らない教室と比べて、熱線再帰フィルムを貼った教室では49%低く、従来の遮熱フィルムを貼った教室では36%低い結果となった。

一方、よく晴れた8月23日は、午前9時25分前後に一時的に日射量が低下したほかは、大きな変動がなく推移した。なお、熱線再帰フィルムを貼った教室の日射量計は、動作不良による計器の交換作業を行ったため、午前9時～午前9時33分まで欠測である。午前9時33分～午前10時の日射量の平均は、フィルムを貼らない教室で319 W/m²、従来の遮熱フィルムを貼った教室で202 W/m²、熱線再帰フィルムを貼った教室で165 W/m²であった。

また教室間の日射量を比較すると、8月23日午前9時33分～午前10時の日射量は平均で、フィルムを貼らない教室と比べて、熱線再帰フィルムを貼った教室では49%低く、従来の遮熱フィルムを貼った教室の日射量では37%低い結果となった。

このことから天候にかかわらず、従来の遮熱フィルム及び熱線再帰フィルムは一定割合の日射量を抑える効果

があることが分かった。

3-2-4 SAT

2017年8月22日、23日のうち、SATの測定開始から屋外で植栽による影の影響を受けるまでの午前9時～午前10時の間、教室内で測定したSATの変化を図12に示す。

8月22日は、午前9時25分頃までは時々日が差した影響で、SATが一時的に高くなっており、午前9時～午前9時25分までのSATの平均は、フィルムを貼らない教室で53.7°C、従来の遮熱フィルムを貼った教室で45.9°C、熱線再帰フィルムを貼った教室で44.8°Cであった。午前9時25分以降は曇りとなったため、SATは下がり、午前9時25分～午前10時までのSATの平均は、フィルムを貼らない教室で43.5°C、従来の遮熱フィルムを貼った教室で39.6°C、熱線再帰フィルムを貼った教室で39.1°Cであった。

また教室間のSATを比較すると、午前9時～午前10時のSATは平均で、フィルムを貼らない教室と比べて、熱線再帰フィルムを貼った教室では6.3°C低く、従来の遮熱フィルムを貼った教室では5.6°C低い結果となった。

一方、よく晴れた8月23日は、雲の影響で午前9時25分前後に一時的にSATが低下したほかは、高い値で推移しており、午前9時～午前10時までのSATの平均は、フィルムを貼らない教室で72.5°C、従来の遮熱フィルムを貼った教室で61.9°C、熱線再帰フィルムを貼った教室で60.3°Cであった。

また教室間のSATを比較すると、午前9時～午前10時のSATは平均で、フィルムを貼らない教室と比べて、熱線再帰フィルムを貼った教室では12.2°C低く、従来の遮熱フィルムを貼った教室では10.6°C低かった。

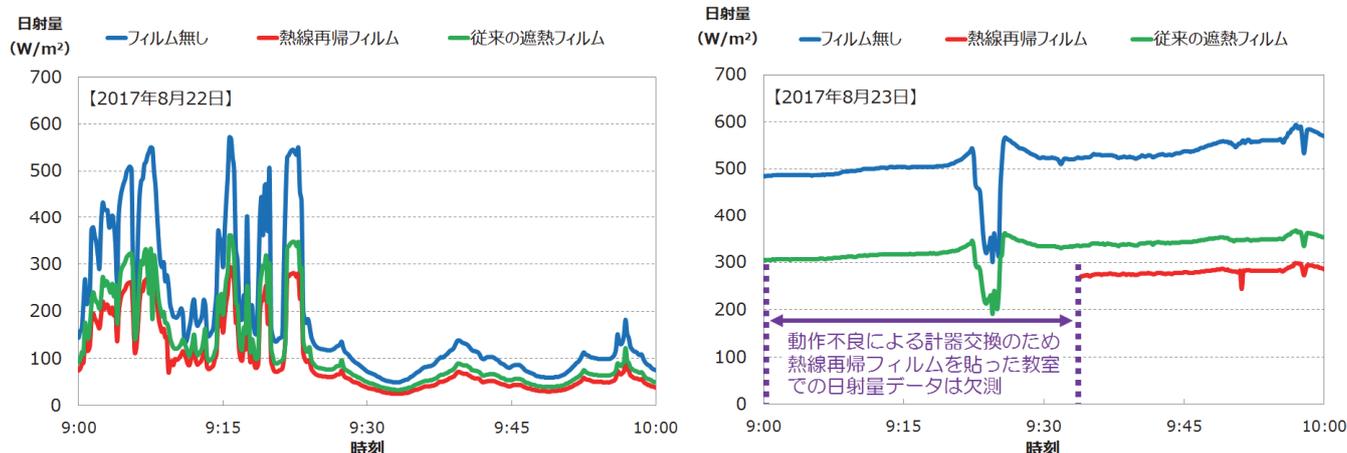


図11 室内での日射量の変化

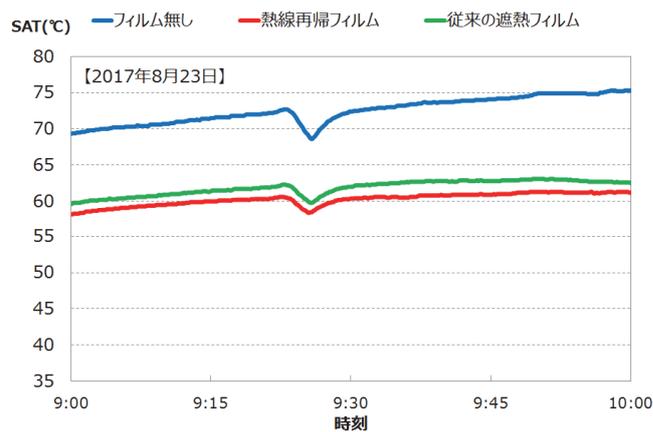
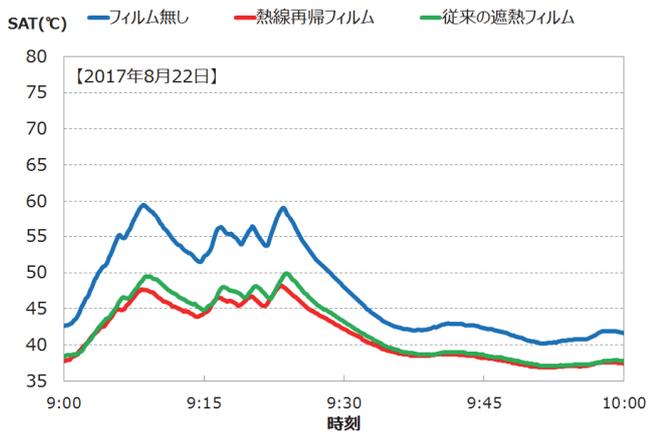


図 12 室内での SAT の変化

このことから晴れて日射量や近赤外線量が多いほど、従来の遮熱フィルムと熱線再帰フィルムはいずれも、SAT の低減効果が大きいことが分かった。

3-3 グラウンドでの測定

遮熱フィルムによる外部の歩行空間への暑熱影響を調査するため、日射量と SAT を測定した。

3-3-1 日射量

2017年8月22日、23日のうち、測定開始から屋外で植栽による影の影響を受けるまでの午前9時～午前10時の間、屋外のグラウンドで測定した日射量の変化を図13に示す。なお、グラウンドで測定した日射量は直達日射量と教室の窓面からの反射による日射量との和である。

雲が多く日照時間が短かった8月22日は、午前9時～午前9時25分頃までは、時々日が差した影響で日射量が大きく変動していた。また午前9時25分以降は機器の動作不良により、従来の遮熱フィルムを貼った場合とフィルムを貼らない場合での測定結果は欠測となった。

午前9時～午前9時25分の日射量の平均は、フィルムを貼らない場合で588 W/m²、従来の遮熱フィルムを貼った場合で594 W/m²、熱線再帰フィルムを貼った場合で599 W/m²であった。測定地点によってグラウンドでの直達日射量は差がないと仮定すると、各教室の窓に反射して地面に到達する日射量に、明確な差は見られなかった。

一方、よく晴れた8月23日は、日射量は小刻みな変動があるものの、高い値で推移しており、午前9時～午前10時の日射量の平均は、フィルムを貼らない場合で773 W/m²、従来の遮熱フィルムを貼った場合で860 W/m²、熱線再帰フィルムを貼った場合で764 W/m²であった。測定地点によってグラウンドでの直達日射量は差がないと仮定すると、各教室の窓に反射して地面に到達する日射量は午前9時～午前10時の平均で、フィルムを貼らない場合と比べて、従来の遮熱フィルムを貼った場合では11%高く、熱線再帰フィルムを貼った場合では1%低かった。

このことから十分な日射量がある場合、従来の遮熱フィルムでは窓面での照り返しによる地面への日射量を増加させる一方で、熱線再帰フィルムでは窓面での照り返しによる地面への日射量の増加が抑えられていることを確認した。

3-3-2 SAT

2017年8月22日、23日のうち、SATの測定開始から屋外で植栽による影の影響を受けるまでの午前9時～午前10時の間、屋外のグラウンドで測定したSATの変化を図14に示す。

なお、教室内で用いたSAT計は全方向からの日射の影響を加味している一方、グラウンドで用いたSAT計は窓ガラスからの反射光を捕捉するため、断熱材で囲い、直

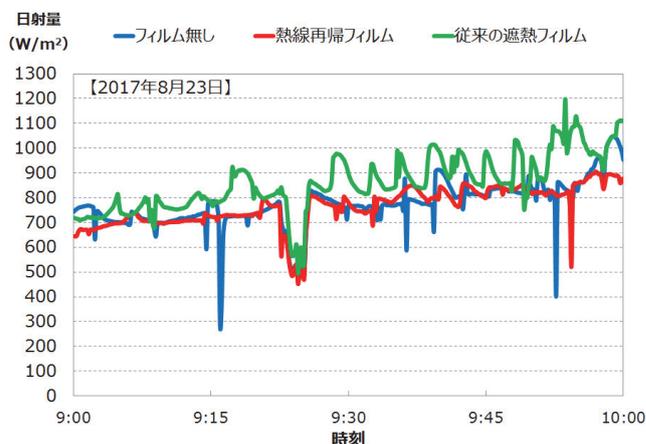
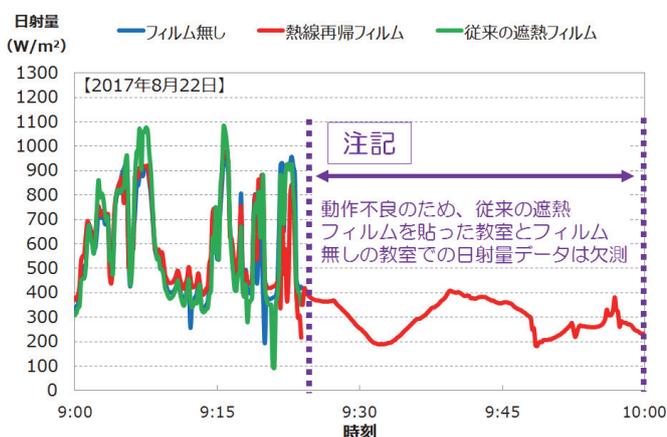


図 13 グラウンドでの日射量の変化

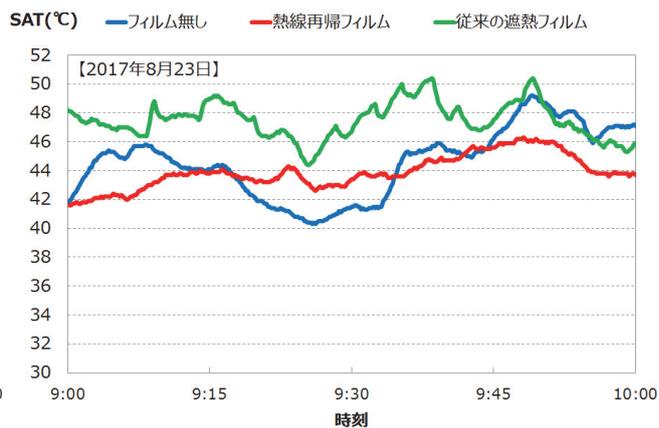
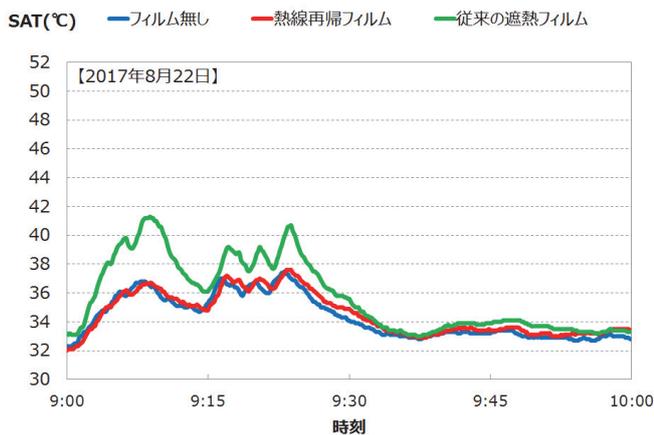


図 14 グラウンドでの SAT の変化

達日射を遮断したことから、教室内での SAT と比べると、グラウンドでの SAT は相対的に値が低くなっている。

8月22日は、午前9時25分頃までは時々日が差した影響で、SAT が一時的に高くなっており、午前9時～午前9時25分までのグラウンドでの SAT の平均は、フィルムを貼らない場合で35.7℃、従来の遮熱フィルムを貼った場合で38.0℃、熱線再帰フィルムを貼った場合で35.7℃であった。

フィルムを貼らない場合と比べると、SAT は午前9時～午前9時25分の平均で、従来の遮熱フィルムを貼った場合では2.3℃高かったが、熱線再帰フィルムを貼った場合では差がなかった。

午前9時25分以降は曇りとなったため、SAT は下がり、午前9時25分～午前10時までのグラウンドでの SAT の平均は、フィルムを貼らない場合で33.4℃、従来の遮熱フィルムを貼った場合で34.1℃、熱線再帰フィルムを貼った場合で33.7℃であった。

フィルムを貼らない場合と比べると、SAT は午前9時25分～午前10時の平均で、従来の遮熱フィルムを貼った場合では0.7℃高く、熱線再帰フィルムを貼った場合では0.3℃高かった。

一方、よく晴れた8月23日は、午前9時25分前後に一時的に SAT が低下したほかは、高い値で推移しており、午前9時～午前10時までのグラウンドでの SAT の平均は、フィルムを貼らない場合で44.6℃、従来の遮熱フィルムを貼った場合で47.5℃、熱線再帰フィルムを貼った場合で43.9℃であった。

フィルムを貼らない場合と比べると、SAT は午前9時～午前10時の平均で、従来の遮熱フィルムを貼った場合では2.9℃高かったが、熱線再帰フィルムを貼った場合では0.7℃低かった。

このことから、日射のある条件下では、熱線再帰フィルムを貼った場合、窓から受ける照り返しの影響を軽減し、SAT の上がり幅をフィルムを貼らない場合と同じ程度に抑える効果があることが分かった。

4. まとめ

横浜市立上末吉小学校において、窓面に熱線再帰フィルムを貼った教室、従来の遮熱フィルムを貼った教室、

フィルムを貼らない教室を用意し、フィルムによる暑熱緩和効果を調査した。

室内において、十分な日射のある条件下では、熱線再帰フィルムを貼った教室と従来の遮熱フィルムを貼った教室いずれも、フィルムを貼らない教室と比較して、室内の温度が0.3～0.4℃、日射量が37～49%、SAT が5.6～6.3℃低かった。

このことから、室内においては従来の遮熱フィルムと熱線再帰フィルムは暑熱環境を緩和する効果があることを確認できた。

また屋外のグラウンドにおいて、十分な日射のある条件下では、フィルムを貼らない場合と比較して従来の遮熱フィルムを貼った場合、日射量は11%、SAT は2.9℃高かった。一方、熱線再帰フィルムを貼った場合、日射量は1%、SAT は0.7℃低かった。

このことから、屋外では十分な日射量がある場合、従来の遮熱フィルムでは窓面での照り返しによる地面への日射量を増加させ、SAT も上がってしまうが、熱線再帰フィルムではそれらの影響を抑える効果があることを確認できた。

なお、本調査は横浜市環境科学研究所、熱線再帰フィルムの製造・販売を行っているデクセリアルズ株式会社、熱線再帰フィルムの販路開拓・検証を支援する株式会社 JVC ケンウッドの三者が連携して、取組を進めたものである。

謝 辞

本調査の実施に当たり、横浜市教育委員会事務局教育施設課及び横浜市立上末吉小学校に調査場所の提供に関してご協力をいただきました。また、株式会社 JVC ケンウッド及び横浜市共創推進室共創推進課に調査の企画や実施の際にご協力をいただきました。この場を借りてお礼申し上げます。

文 献

1) 環境省：まちなかの暑さ対策ガイドライン 改訂版、76pp. (2018)

- 2) 高橋悠、井上隆、榎本正他：波長選択性を有する再帰反射フィルムによる都市熱環境改善への効果、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2011. 2(0)、1615-1618 (2011)
- 3) デクセリアルズ株式会社：熱線再帰フィルム、<https://www.dexerials.jp/products/dl/index.html> (2019年3月時点)
- 4) 国土地理院：地理院地図（電子国土 Web）、<http://maps.gsi.go.jp/> (2019年3月時点)
- 5) 気象庁：気象観測の手引き、81pp. (1998)
- 6) C. P. Yaglou and D. Minard：Control of heat casualties at military training centers, *A. M. A. Arch. Ind. Health*, 16, 302-316 (1957)
- 7) 日本生気象学会：日常生活における熱中症予防指針 Ver. 3 確定版、<http://seikishou.jp/pdf/news/shishin.pdf> (2019年3月時点)
- 8) 公益財団法人日本体育協会：スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック（平成 25 年度改定版）、52pp. (2013)
- 9) International Organization for Standardization : ISO 7243:1989 Hot environments—Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature) (1989)
- 10) 日本工業規格：JIS Z 8504:1999 人間工学—WBGT（湿球黒球温度）指数に基づく作業者の熱ストレスの評価—暑熱環境（1999）
- 11) 日本工業規格：JIS Z 8806:2001 湿度—測定方法（2001）
- 12) O. Tetens:Über einige meteorologische Begriffe, *Z. Geophys.*, 6, 297-309 (1930)
- 13) O. A. Alduchov and R. E. Eskridge : Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure, *J. Appl. Meteor.*, 35, 601-609 (1996)
- 14) M. G. Lawrence : The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86, 225-233 (2005)
- 15) 国立天文台:各地のこよみ、<https://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/dni/2017/s1508.html> (2019年3月時点)