

街路熱環境の向上を目的とした壁面計画手法に関する検討

Approach of the Wall-Surface Scheme aims at Thermal Environment in Street Canyon

大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻
Graduate School of Engineering, Osaka City University
西岡 真稔、湊 崇徳
Masatoshi NISHIOKA, Takanori MINATO

キーワード： 街路キャニオン, 熱環境, ヒートアイランド, 実測, 数値シミュレーション

Key word: Street Canyon, Thermal Environment, Urban Heat Island, Experimental Measurement, Numerical Simulation

1. はじめに

近年の建物では、ガラス壁面が大きな面積を占めるようになった。日射反射の観点からすると、コンクリートやタイル・石材系の素材は概ね拡散反射性の表面を持つが、ガラス面はこれと異なり鏡面反射性が強く、街路にガラス面が存在すると反射日射の到達範囲が変化する。また熱線反射ガラスは建物の冷房負荷を減じる有効な手段であるが、反射日射のエネルギーも大きく建物周囲の熱環境に影響を与える懸念がある。これに対し本研究では、数値シミュレーションを用いて、街路キャニオンの熱環境に対するガラス面の影響を分析し、また反射を減じる対策として、壁面に庇を設けた場合の効果について検討を行った。

2. 計算条件

(1) 計算の概要

本研究では図1のようなアスペクト比を持つ二次元キャニオンを、数値計算の対象とする。中央部の地面は、南北軸の道路を想定している。数値計算の概要を図2に示す。キャニオン上部に仮想天空面を設け、そこから直達日射と天空日射を射出し、レイトレーシング法によりキャニオン表面での反射・吸収を計算する。キャニオン表面の構成部材(建物壁面または地面)では、差分法により非定常熱伝導計算を行う。建物壁面の場合は、街路側の境界条件として、気温およびレイトレーシング法により得た吸収日射を与え、室内側境界条件として室温(24時間空調として26°C)を与える。地面の場合も同様であるが、室内条件の代わりに地中境界条件(日平均気温)を与える点異なる。天空、地面、壁面間で生じる長波放射の授受は、非定常熱伝導計算と連立させて反復法により求める。計算に与える境界条件の詳細を表1に示す。このようにして、キャニオン各部の放射量および表面温度を求めるとともに、地上の人体への影響をMRTによって評価する。

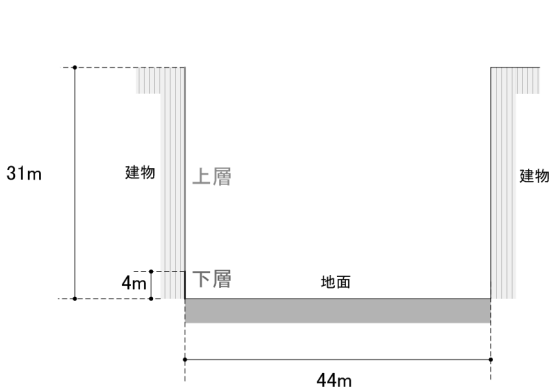


図1 街路キャニオンの形状(東西方向断面)

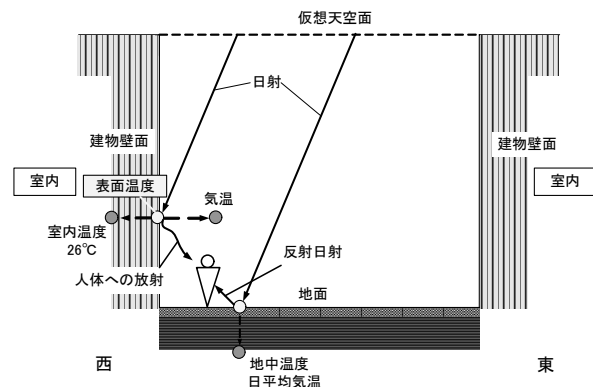


図2 数値計算の概要

表 1 日射条件とその他の境界条件

<p>日射計算</p> <p>計算日：8月21日 地点：大阪 直達日射量：Bourgerの式 天空日射量：渡辺の式 大気透過率：0.7</p> <p>キャニオン表面放射特性</p> <p>日射反射率： ガラス：入射角による指向反射率 コンクリート面：0.2(完全拡散反射) アスファルト面：0.2(完全拡散反射) 長波放射率：0.9</p>	<p>境界条件</p> <p>大気放射量：Bruntの式 気温：日周期sin関数、振幅$28.8^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$ 絶対湿度：$0.012\text{kg}/\text{kg}^3$ 街路側対流熱伝達率：$12\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 建物壁面：室内側表面熱伝達率：$8.6\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 建物壁面：室内温度 26.0°C(24時間冷房) 地面：地中温度：28.8°C一定</p> <p>人体に対するMRT計算の設定値</p> <p>人体の日射吸収率：0.71 人体の長波吸収率：0.95 人体の放射熱伝達率：$5.0\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 人体形状：中村(文献1)にしたがい微小直方体と仮定する。</p>
--	---

表 2 計算に使用した物性値

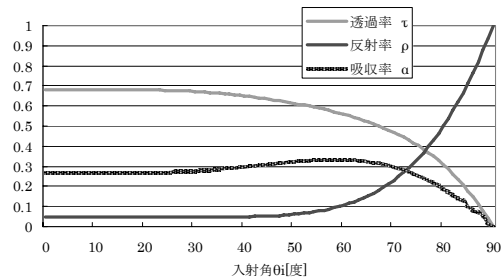
材種	厚さ(mm)	熱抵抗 ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)	熱伝導率 (W/mk)	熱 ($\text{kJ}/\text{m}^3\text{K}$)
コンクリート壁面				
コンクリート	150	—	1.2	1.9
発泡ウレタン	15	—	0.029	0.047
中空層		0.12	—	—
プラスターボー	12.5	—	0.14	1.9
ガラス壁面(単板)				
ガラス	12	—	1.0	1.9
ガラス壁面(二重)				
ガラス	3	—	1.0	1.9
中空層	12	0.46	—	—
ガラス	3	—	1	1.9
地面				
アスファルト	80	—	0.7	1.4
土壌	420	—	2	3

注) 材種は街路側表面から順に記した。

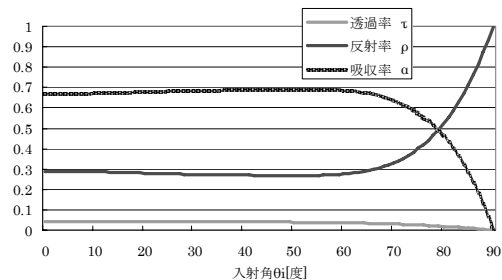
コンクリート壁面、地面、および二重ガラス(Low-E)の断面構造を表 2 に、また計算に用いた熱物性を示す。アスファルト面のアルベドは、一般には 0.1 程度とされるが、この研究ではコンクリート面と揃えて同一の値とした。

(2) ガラスの反射特性

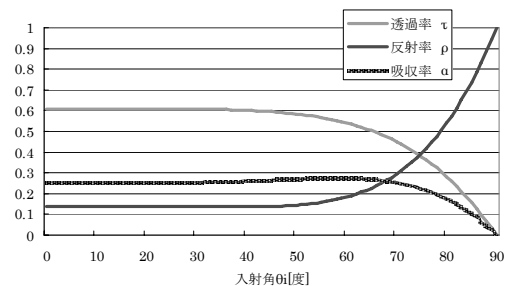
ガラスの光学特性は図 3 のように、入射角によって大きく変化する。ここで、入射角とはガラス面の法線に対する直達日射の入射方向のなす角度である。本研究ではフロートガラス(単板)、熱線反射ガラス(単板)、Low-E ガラス(二重)の 3 種のガラスを取り上げるが、入射角の小さい領域でフロートガラスと Low-E ガラスの吸収率が 0.3 程度で小さいのに対し、熱線反射ガラスの吸収率は 0.7 程度と大きく、両者には相異がある。しかし、入射角が 80 度以上になると、いずれのガラスでも吸収率は極めて小さくなり、日射の大部分が反射される。



(a) フロートガラス(単板 12mm)



(b) 熱線反射ガラス(単板 12mm)



(c) Low-E ガラス
(複層 3mm+空気層 12mm+3mm)

図 3 ガラスの光学特性

(文献 2, 文献 3 をもとに作成した)

(3) 建物の側壁面構成の設定条件

表3に示すように case1 から case6 までの6種の壁面構成を設定し、相互に比較しながら検討を行う。建物壁面は図4に例示するように、上層部と下層部の2つの領域に区分している。この図は case2(case3,case4 も同様)の場合に対応しており、建物下層部はガラス壁面が0%(コンクリート壁面100%)であり、建物上層部はガラス壁面(50%)とコンクリート壁面(50%)の構成である。建物の1、2階の部分はエントランスやショーウィンドウが設けられることがあり、3階以上の壁面とは異なる構成になることが多いので、このように上層部と下層部を分けて2区分とした。

3. 計算結果

(1) キャニオン表面の日射吸収

細かい分析を始める前に、10時、11時、12時の3時刻における街路キャニオン表面への入射日射量を図6に示す。10時は東向き壁面全面と、地面の約半分に直達日射が当たる時刻である。12時になると地面の全面に直達日射があたる一方、建物側壁面には直達日射が少なくなる。地面に直達日射が入射するのは9時から15時までである。なお、本研究の分析では午前中の東向き壁面に対する分析を行うが、午前と午後では、太陽と側壁面の位置関係が対称であるので、ここでの分析結果は午後の西向き面に対しても同様のことが成立する。

(2) 壁面構成が地表に与える影響

case1~case4の壁面構成を比較し、地面において日射吸収量がどのように変わるのかについて、壁面構成を変えることによって生じる差異について検討する。地面の日射吸収量について、上層部にガラスを有する case2~case4 を、case1(上層部にガラスなし)と比較する。図7と図8は、9時と11時における地面の断面方向(東西方向)の日射吸収量分布である。地面の西端5mから31mと広範囲に渡って、case1とcase3に50W/m²の日射吸収量の差異が見られる。これは、建物上層部のガラス面から来た反射に起因するものである。case3は熱線反射ガラスであり、この時の日射反射率は0.3と大きく、

表3 建物側壁面の構成(ガラス面積率)

ガラス面積率を%で示す。ガラス部以外はコンクリート壁体

case名	下層	上層
case1	ガラス0	ガラス0
case2	ガラス0	フロートガラス50%
case3	ガラス0	熱線反射ガラス50%
case4	ガラス0	Low-E二重ガラス50%
case5	フロートガラス100%	ガラス0
case6	後退壁面	ガラス0

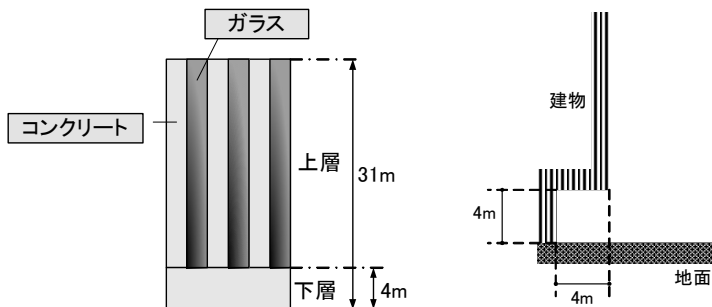


図4 建物側壁面の構成例 図5 後退壁面部の形状 (case2の場合)

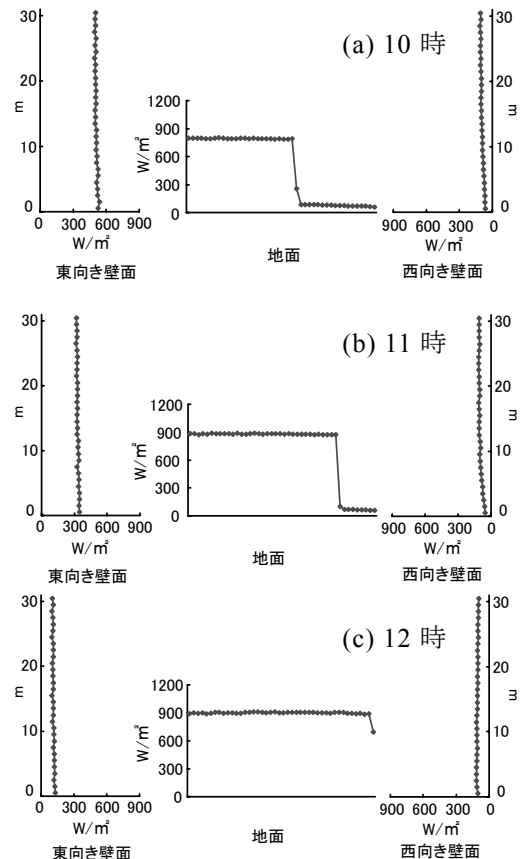


図6 キャニオン表面の入射日射量

反射の影響が大きく出現している。case4でも反射に起因する日射吸収の増加がいくらか見られるが、case2では増加が見られない。case2はフロートガラスであり、太陽高度の低い(入射角の小さい)9時の時点では、日射反射率が0.04と小さく、このような結果となった。11時になると太陽高度が高くなり、ガラス面への直達日射の入射角が大きくなるため、各ガラスの反射率はいずれも高くなる。反射日射による日射吸収量の増分は100~130W/m²に達するが、影響の及ぶ範囲は小さくなる。いずれのガラスでも、日射反射率が高くなるため、ガラス種による差異は小さくなる。

(3) 歩道上の人体に対する平均放射温度(MRT)

人体の暑熱感に対する放射の影響について、温度の単位で表示したものが平均放射温度(MRT)である。ここでは、前節と同様に、case1を基準に、case4~case6について比較検討する。ここでcase6の設定条件を図17に示すが、これは建物のエントランス部に見られるような、壁面の一部が建物側壁面のラインから建物内側へ後退しているような形状条件である。壁面が後退している形状が日射の反射特性を特徴付けるような条件設定である。

中村^{文献1)}に従い、図13のように人体を微小な直方体と見立ててMRTを計算する。人体は腹部と背部の面積が大きく、側方から受ける放射が大きく寄与するので、寄与の度合いを示す重み係数が0.238と大きい。一方、上からの放射と下からの放射については寄与の度合いが小さく、このような人体の形態的特徴が直方体に近似されている。MRTの計算点は、東向き壁面から1.5m、地上1.5mの点(図12)とした。

図10をみると、8時から12時にかけて、case1と比べてcase5のMRTが低くなっており、最大で5(K)程度の差が生じていることがわかる。同様に図11から、case6についても同様のことが生じていることが示される。しかしながら図9をみると、case4とcase1との差は小さい。つまり、case4とcase1はMRTが同程度であるが、case5とcase6は、これと比べてMRTが低いことがわかる。case1とcase4の共通点は、下層部がコンクリート壁面という条件であり、これに対しcase5は下層部がフロートガラス100%、またcase6は後退壁面の条件である。

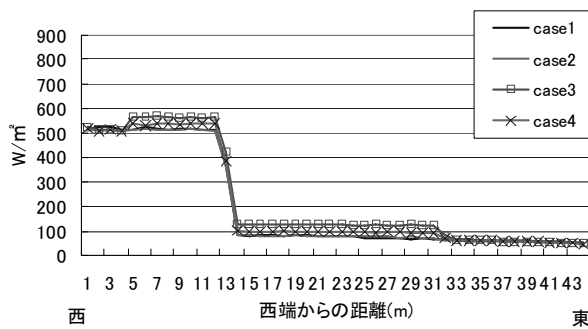


図7 地面の日射吸収量(9時)

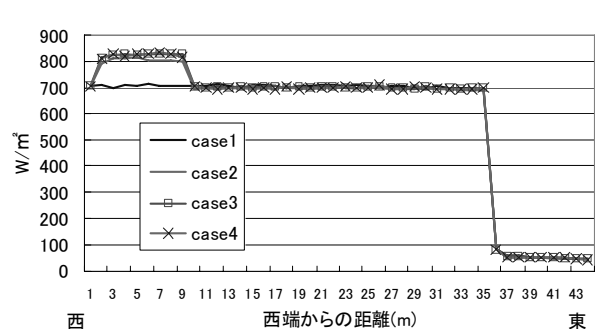


図8 地面の日射吸収量(11時)

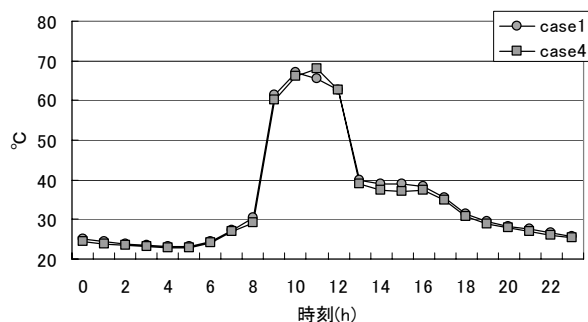


図9 case1とcase4のMRT比較

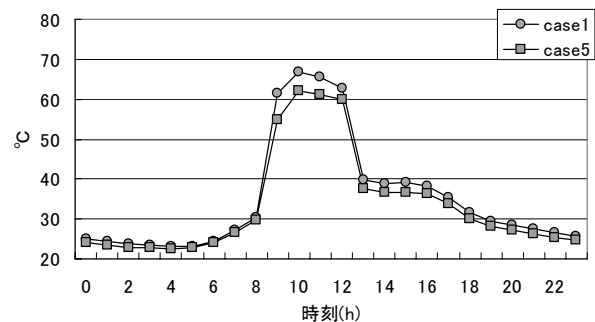


図10 case1とcase5のMRT比較

MRT の差異が何によるものであるかを見るために、図 14 と図 15 に、MRT 計算点に入射する方向別の反射日射量を示す。この 2 つの図では、放射の方向成分の内 MRT への影響が大きい成分である「上からの反射日射」と「西からの反射日射」の 2 方向の成分を示しており、反射の生じた位置(下層部/上層部)と反射の成分種別(コンクリート面の拡散反射/ガラス面の鏡面反射)を区分している。図 15 を見ると case1 と case4 において「西からの反射日射」が大きいこと、これに加え MRT の計算条件によって直方体側面の重み係数が大きいことから、この「西からの反射日射」が MRT を大きくする原因であると断定される。この反射は下層部のコンクリート面から来ている成分、つまり歩道脇のコンクリート壁面で生じる拡散反射が主成分である。下層部がガラス面の場合は、ガラス面から下方へ鏡面反射が生じており人体へ向かう反射日射が小さくなり、鏡面反射性が MRT の低減に寄与している。図 14 では、case5 において反射日射量が大きい、直方体上面の重み係数が小さいのでその寄与分は小さい。また、長波放射について方向別の放射量を見ると(図 16)、case 間の放射量の差は小さく、MRT に及ぼす長波放射量の影響は小さいことがわかる。

(4) 庇の設置による熱環境改善

建物上層部にガラス面があると、地面に反射日射が到達する時間帯があることがわかったので、壁面に庇を設け、これを抑制する試みについて検討する。壁面構成 case 4 に対して、図 17 に示す形状の庇を設けた場合について検討する。

図 18~図 19 は地面の日射吸収量分布を 10 時、11 時について示したものである。これによれば 10 時では、「庇なし」では地面の西端 3m から 19m まで広い範囲に反射日射があるが、庇によって全体にわたり反射日射が抑制されている。11 時になると太陽高度が高くなり、反射日射の範囲が小さくなるが、10 時と同様に庇の効果が現われている。

この検討のように、庇を設けるとガラスの反射日射の大部分を遮蔽できることがわかる。また下層部コンクリート面へ入射する日射も遮蔽され反射が抑制されるので、歩道上の MRT も低下する(図 20)。

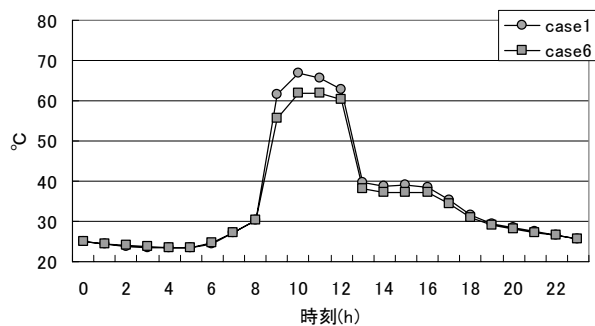


図 11 case1 と case6 の MRT 比較

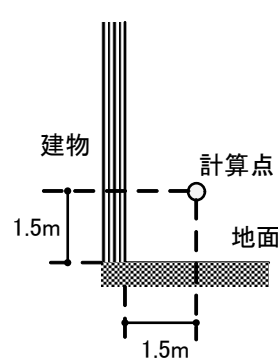


図 12 MRT 計算点

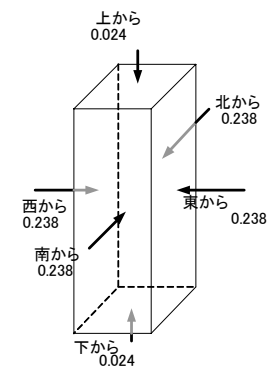


図 13 微小直方体

図中の数値は方向別の重み係数

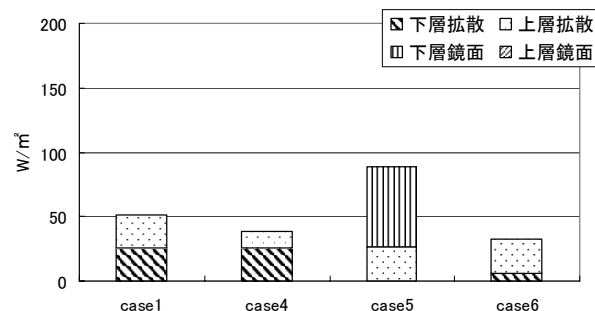


図 14 上からの反射日射の吸収(10時)

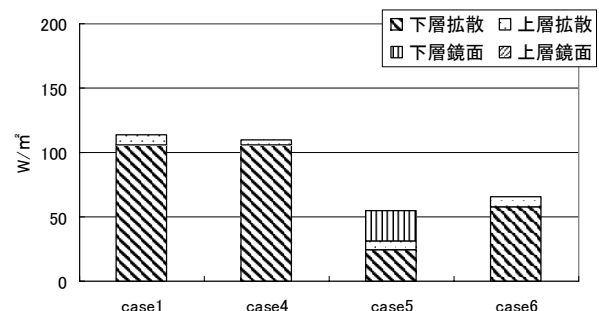


図 15 西からの反射日射の吸収(10時)

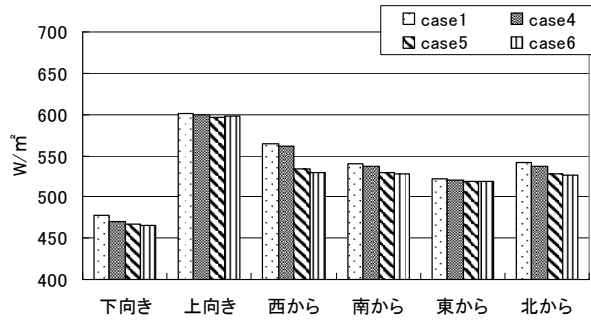


図 16 各方位の長波放射量

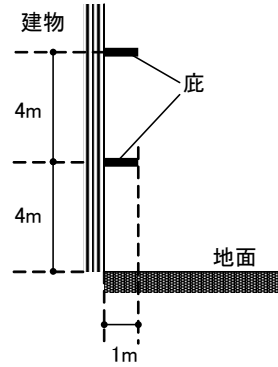


図 17 庇の設置

庇の出 1m、地上から鉛直方向に 4m 間隔で設置

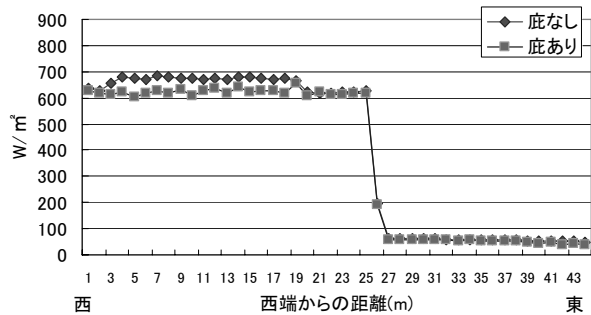


図 18 庇の有無と地面の日射吸収量(10時)

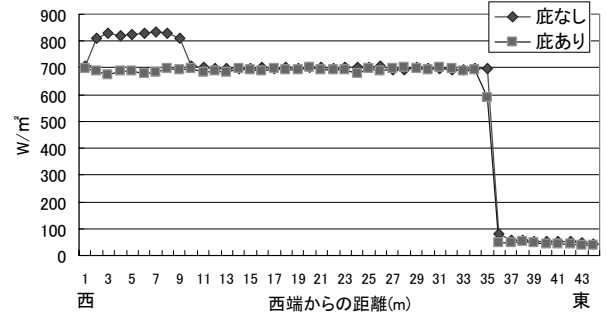


図 19 庇の有無と地面の日射吸収量(11時)

4. まとめ

本研究では、南北道路を持つ二次元キャニオンを対象に、夏期の日射条件で数値計算によるケーススタディを行った。これにより、建物側面のガラス壁面で生じる反射日射が街路キャニオンの熱環境に与える影響について検討を行い、次のような結果を得た。

- 1) 建物上層部にガラス面(面積率 50%)を設ける場合について、上層部全体がコンクリート面の場合と比較した。太陽高度の高い 10 時~14 時において、地面の日射吸収量は、建物上層部のガラス壁面から来る日射反射のために増加する。その増分は最大時には 100W/m^2 を超える場合がある。
- 2) 建物下層部にガラス面(100%)を設ける場合について、下層部全面をコンクリートとする場合と比較した。ガラス面の場合、歩道部の人体に対する反射日射が減少し、MRT は最大 5(K)ほど低下する。
- 3) 建物上層部にガラス面を持つ壁面に、上下方向に 4m 間隔で庇を設ける条件でケーススタディを行い、庇の無い場合と比較した。庇によって地面のほぼ全域において反射日射が遮蔽できる。

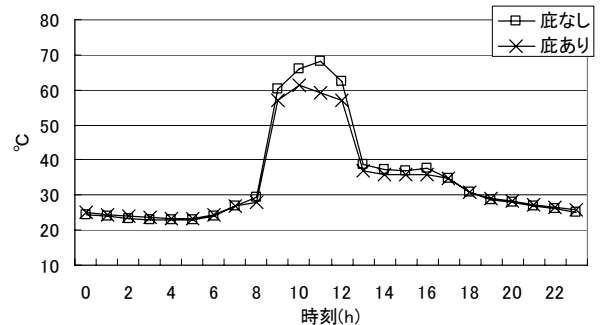


図 20 庇の有無による MRT の比較

参考文献

- 1) 中村泰人：「建築都市空間内の人体に対する熱放射場の表現方法について」, 日本建築学会計画系論文報告集, No. 376, pp29-35, 1987
- 2) 各種板ガラスの光学特性・熱的性能, セントラル硝子株式会社
- 3) ガラス建材総合カタログ 技術資料編, 日本板硝子株式会社
- 4) JIS R3107, 板ガラス類の透過率・反射率・放射率・日射熱取得率の試験方法
- 5) JIS R3106, 板ガラス類の熱抵抗及び建築における熱貫流率の算定方法