

2) 大気への熱負荷の評価

(1) 評価項目

提案した3案に対し、熱収支シミュレーションを用いて以下の計算を行い、大気への顕熱負荷の低減効果と街区内の放射環境の改善効果の評価を行った。

街区全体の表面温度分布の算出

屋外生活空間における平均放射温度(MRT)分布の算出

ヒートアイランドポテンシャル(HIP)の算出

(2) 評価対象

評価対象範囲は、熱環境改善対策を実施した図4-29に示す範囲とした。

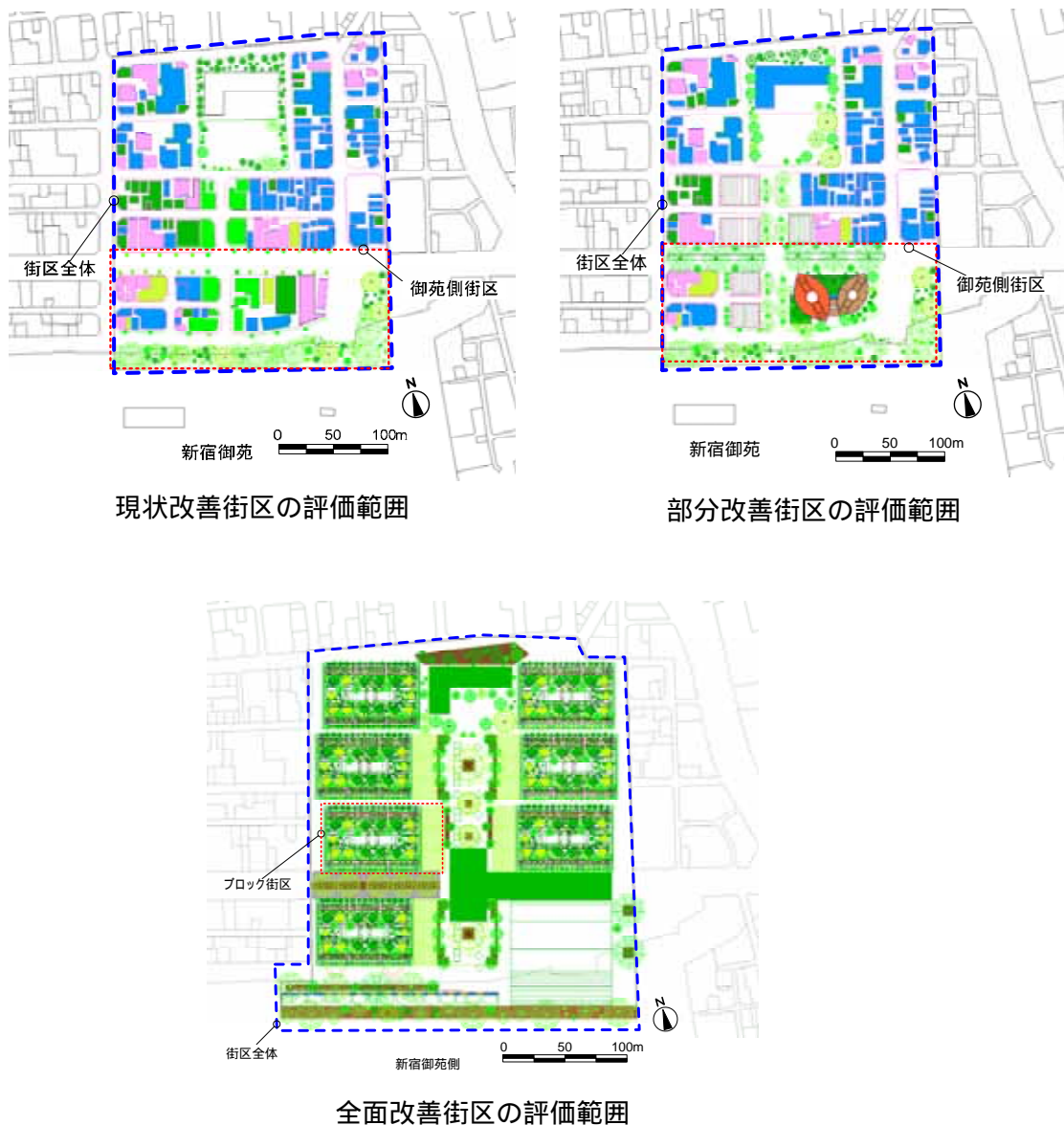


図4-29 熱環境負荷の評価範囲

(3) 熱環境の解析手法

計算メッシュの作成

まず、建物等の3次元的な形状を3D-CAD作図ソフトを用いて再現する。壁や屋根、地面等の構成要素の断面仕様及び材料の物性値を設定し、解析用メッシュ(以下、質点とも呼ぶ)モデルに変換する。メッシュ毎に熱収支計算と断面方向への一次元熱伝導計算を行うことで表面温度を算出し、その結果を3D-CAD上へ出力する。

熱収支の計算手法

作成された質点系伝熱モデルの各質点において熱収支計算(受熱日射量、大気放射量、対流熱伝達量、周辺地物からの長波長放射量)と断面方向の一次元熱伝導計算を行い、表面温度を算出する。気象条件は、水平面全天日射量、気温、相対湿度、風速、雲量である。また表面内部方向の境界条件は、建物では、室内側対流熱伝達率と室温であり、地表面では一定の深さにおける地中温度である。図4-30に質点系における熱収支の模式図を示す。

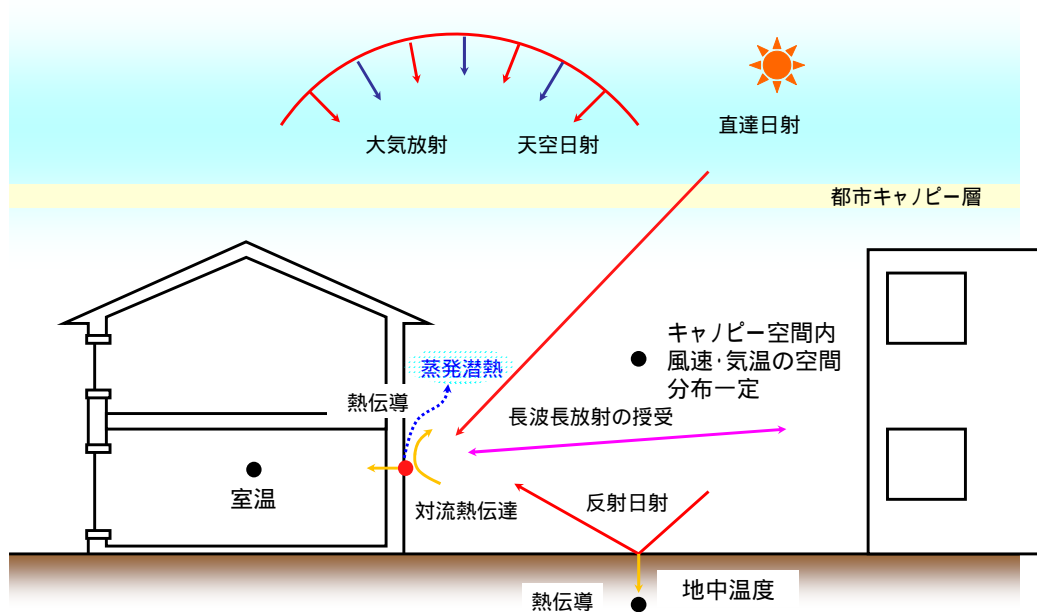


図4-30 質点系における熱収支の模式図

作成した街区モデルの全表面の質点(メッシュ)において、熱収支計算(直達日射、天空日射、反射日射、周辺地物との長波長放射の授受、対流熱伝達)と各面断面方向の1次元非定常熱伝導計算を行い、時系列の表面温度を算出する。

熱収支計算の概要は以下の通りである。直達日射量はレイトレース法により、また反射日射量は、その面における直達日射量から、鏡面・拡散成分ともに1次反射までを計算する。天空からの放射成分は、いずれも別途計算される天空率をパラメータとし、天空日射量は気象条件の水平面天空日射量との積から求める。また大気放射量はBruntの式で求まる放射量

と天空率の積から算出する。周辺地物との長波長放射量の授受は熱線探査法に基づく。

今回の解析はヒートアイランド現象が起こりやすい風の弱い日を仮定し、都市キャノピー内の気温と風速には分布がないものとして計算する。対流熱伝達量はユルゲスの式による。

部材断面方向の熱伝導は、上記の通り一次元として扱い、後退差分により5分間のタイムステップ毎に表面温度及び部材内断面温度分布を算出する。このとき、建物であれば外壁の断面構成を再現する。地表であれば温度の日変化のない60cm程度までの材料構成を計算上再現する。差分計算においては、各構成層より細かな分割幅で一次元方向にメッシュ分割している。室温は時間変化を考慮するが、空間分布は一定である。樹木及び芝生の表面温度については、実測に基づく回帰式を用いた。

$$q = a_{su} (\cos \theta \cdot I_{DR} + \Phi_{sky} I_{SR} + I_{RR})$$

伝導熱量
受熱日射量(直達、天空、周囲からの反射)

$$+ \varepsilon_s \Phi_{sky} \sigma T_a^4 (a + b\sqrt{e}) + \varepsilon_s \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \Phi_i \sigma T_{si}^4 - \varepsilon_s \sigma T_s^4$$

大気放射量
周辺地物との長波長放射の授受量

$$+ \alpha_c (T_a - T_s) + LE$$

対流熱伝達量
蒸発潜熱項

<p>q : 伝導熱量 (W/m²)</p> <p>T : 温度 (K)</p> <p>a_{su} : 日射吸収率</p> <p>θ : 質点の面に対する直達日射入射角 (rad)</p> <p>I_{DR} : 直達日射量 (W/m²)</p> <p>Φ : 形態係数 (<i>sky</i>: 天空率)</p> <p>I_{SR} : 天空日射量 (W/m²)</p> <p>I_{RR} : 周辺地物からの反射日射量 (W/m²)</p> <p>ε : 長波長放射率</p>	<p>σ : ステファンボルツマン定数 (W/m²K⁴)</p> <p>a, b : Brunt 式における定数</p> <p>e : 地表付近の水蒸気圧 (Pa)</p> <p>α_c : 対流熱伝達率 (W/m²K)</p> <p>s (下付文字) : 表面</p> <p>a (下付文字) : 空気</p> <p>n (下付文字) : 長波長放射の授受を計算する周辺地物の数</p> <p>i (下付文字) : 長波長放射の授受を計算する周辺地物の番号</p>
--	--

図 4 - 31 各メッシュにおける熱収支基本式

気象条件

ヒートアイランドが形成されやすい気象条件として、以下の理由に基づき標準気象データ(空気調和・衛生工学会)から東京の8月5日のデータ(図4-32)を使用した。

日中の気温が 32 以上に上昇する真夏日で、夜間も 26 以下に低下しない熱帯夜であること。

夜間に雲が発生することで放射冷却が阻害され、表面温度及び気温の低下が抑えられること。

ヒートアイランド現象が顕在化しやすい低風速日であること。

日中多くの日射量を得られ、地物への蓄熱が促進されること。

また、風速については都市キャノピー層内の空間分布を考慮せず、上空風条件としての気象データに指数則を適用し、キャノピー平均高さの風速を算出した値を使用した。

なお、熱収支シミュレーションにおいては、この日変化を5日間繰り返す計算という周期定常解析により、表面温度を求めた。

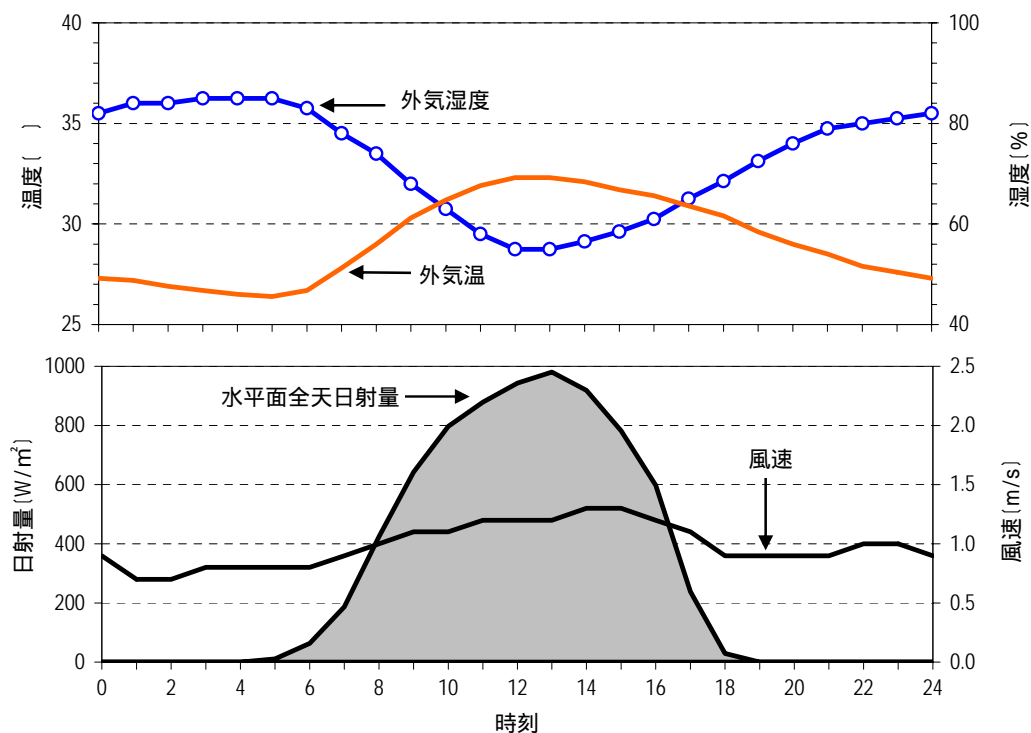


図 4 -32 計算に用いる気象条件 (東京 8月晴天日)

室内条件

計算に用いた室内条件は以下の通りとした。

冷房運転時間：商業建物 7:00～24:00、住宅 19:00～24:00

冷房時の室温設定：26℃、その他は自然室温

計算メッシュサイズ：30cm

(4) 熱環境の計算結果

街区内の全表面の温度は1日を通して計算されている。ここでは、太陽高度が高く日影が最小となる午前12時と夜間の放射により表面温度が最も下がる日出直前の午前5時の全表面温度分布画像を示しながら、考察を行う。

現状市街地

熱環境改善効果を評価するベースラインとして、現状市街地の表面温度の算出を行った。

午前12時には(図4-33)日射が当たっている屋根面が60近く上昇しており、直達日射を受けている地面(アスファルト舗装)が60以上に高温化している。建物と建物の間隔が狭い空間にある壁面は直達日射を殆ど受けず、外気温相当の温度になっている。なお、日中では、商業業務ビルの室内は冷房しているため、窓面の温度は外気温(12時では31.9)より低くなっている。

朝方(午前5時)になっても(図4-34)屋根面と壁面は日中の受熱日射の蓄熱によって外気を2ほど上回る状態が続いている。このように外気より高温となっている屋根面と壁面が全屋根面・壁面の大半を占めていることが見られる。また、日中直達日射を受けた地面は蓄熱によって外気温より3も高く、30近くに保っている。

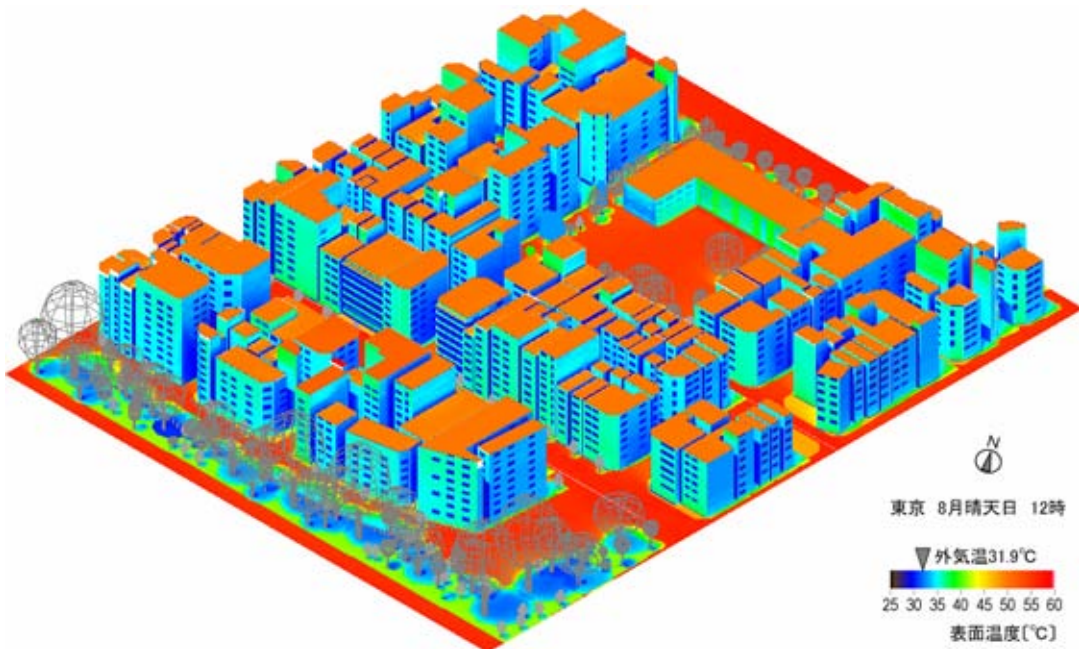


図4-33 現状街区の表面温度(午前12時)

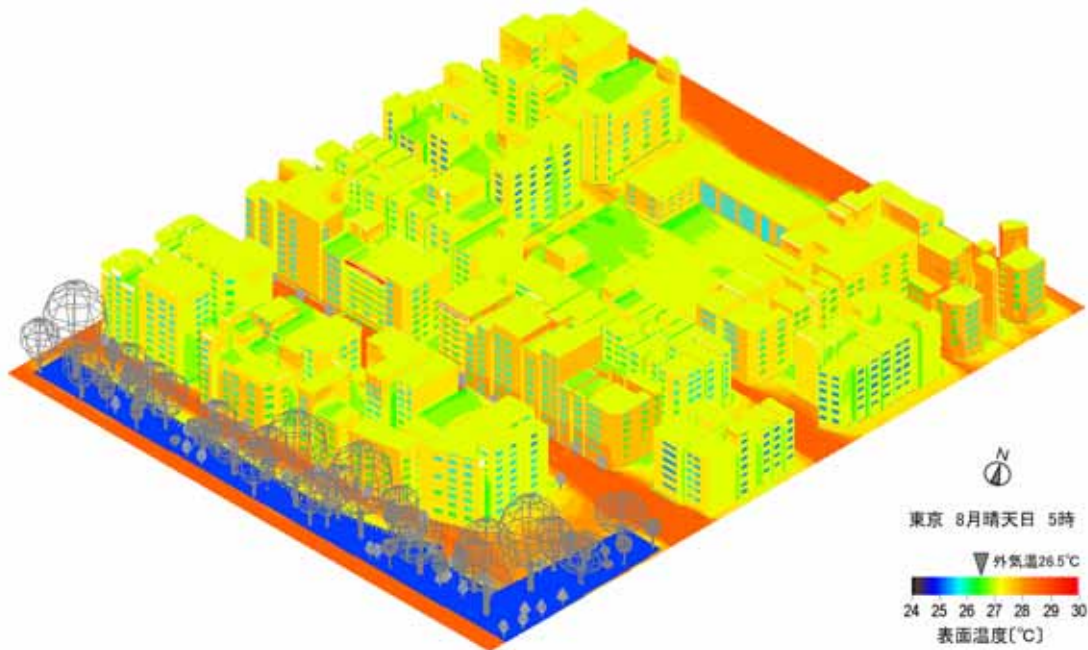


図 4 -34 現状街区の表面温度（午前 5 時）

現状改善案

午前 12 時には（図 4-35）日射が当たっている屋上緑化なしの屋根面が 60 近いのに対して、屋上緑化あり（芝生植栽）の屋根面は 45 以下に抑えられている。緑陰の地面では樹木の日射遮蔽によって表面温度が 45 前後に低下している。また、日射が当たっている壁面では、壁面緑化無しの壁面の温度は外気温より数 高いのに対して、壁面緑化によって外気温相当に下げられている。なお、このケースにおいても日中では、商業業務ビルの室内は冷房しているため、窓面の温度は外気より低くなっている。

朝方（午前 5 時）になっても（図 4-36）緑化無しの屋根面と壁面は日中の蓄熱によって外気を 2 ほど上回る状態が続いているが、緑化ありの屋根面と壁面は外気温より低くなっている。

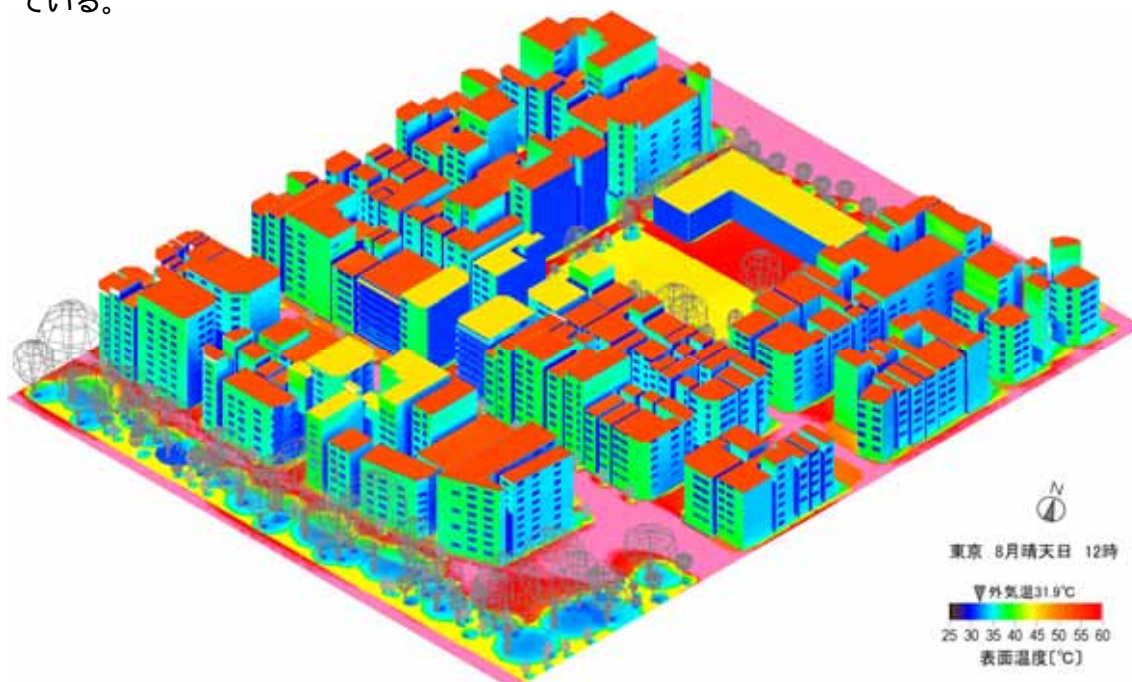


図 4 -35 現状改善街区の表面温度（午前 12 時）

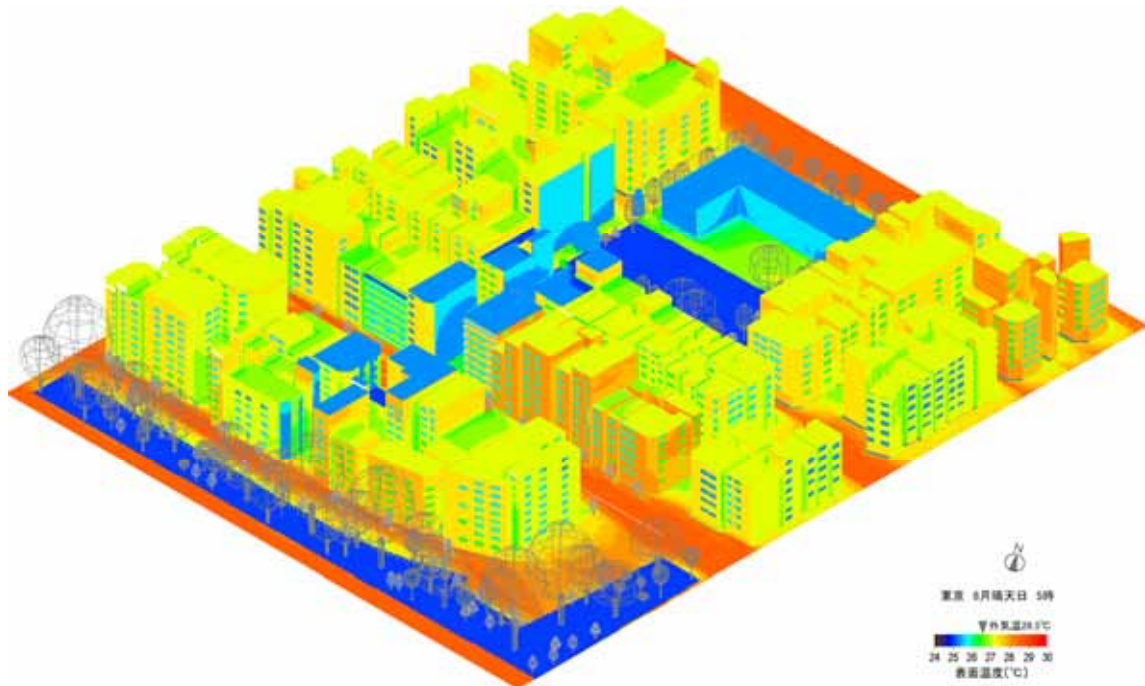


図 4 -36 現状改善街区の表面温度（午前 5 時）

部分改善案

現状改善街区で見られたように、午前 12 時には（図 4-37）日射が当たっている屋上緑化なしの屋根面が 60 近く上昇しており、日向の地面（アスファルト舗装）が 60 以上に高温化している。これに対して、屋上緑化ありの屋根面は 45 以下に抑えられている。現状改善案に比べ、建物周辺の植栽（植樹、芝地）が増えているため、緑陰の地面や空間が増加していることがわかる。また、高層棟の壁面はダブルスキン構造であるため、直達日射が当たっていない壁面の温度は外気温相当となっている。しかし、直達日射が当たっている場合、高層棟の壁面温度は 40 以上に上昇している。高層棟の周辺に高木を植樹することにより、多くの緑陰が造られており、緑陰の表面温度の上昇が緩和されている。

午前 5 時（図 4-38）になっても、植栽無しの建物の屋根面と壁面は日中の蓄熱によって外気を 2 ほど上回る状態が続いている。日中直達日射を受けた地面では蓄熱によって外気温より 3 も高く、30 近くになっているところもある。これに対して、高層棟の壁面は蓄熱せず、夜間放射冷却によって外気温相当かやや低めの温度となっている。高層ビル北側の道路に導入した蒸発冷却舗装面では表面温度は日変化が少なく、一日中外気温前後に保っている。

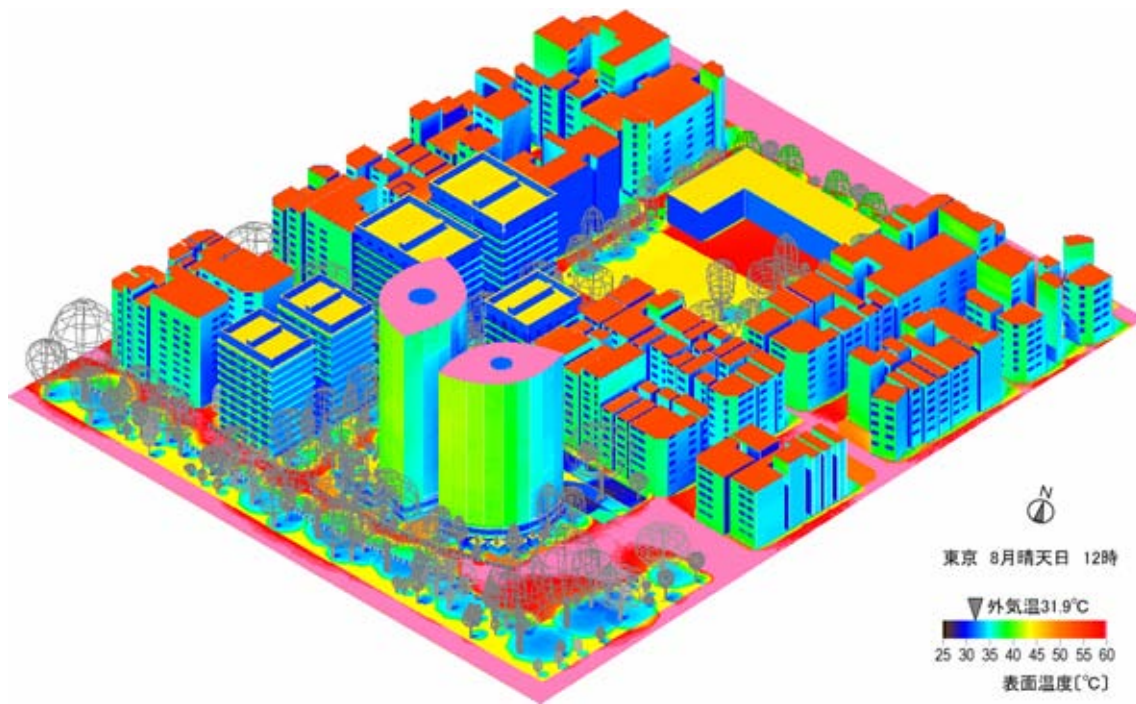


図 4 -37 部分改善街区の表面温度（午前 12 時）

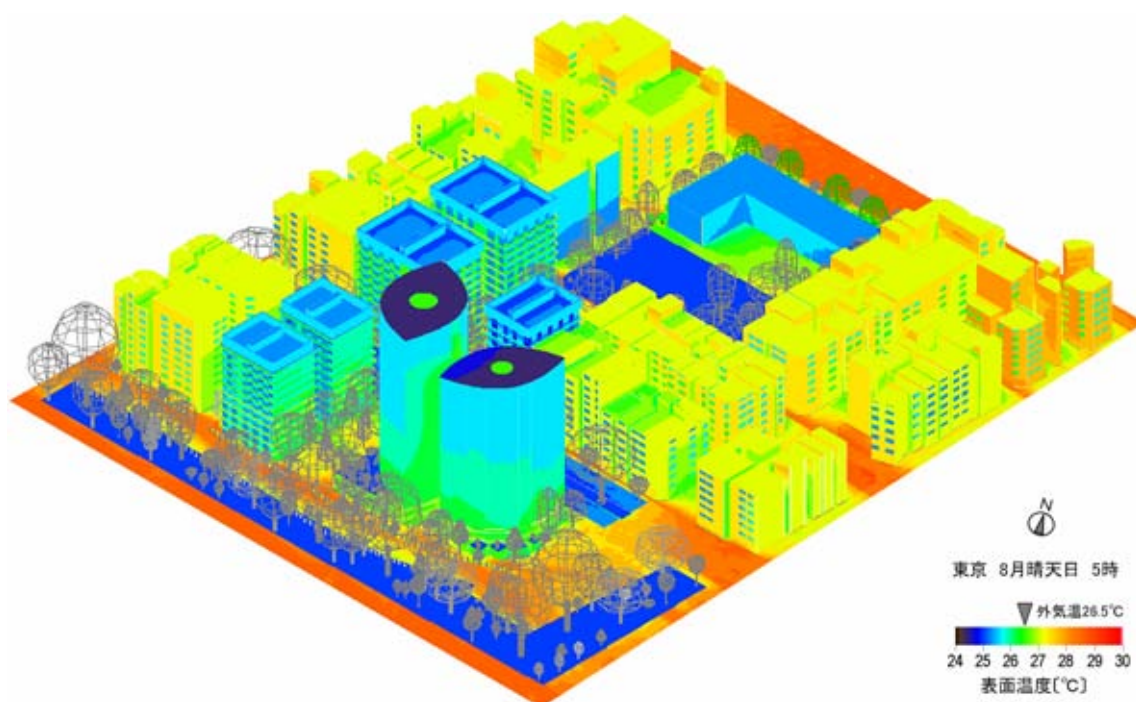


図 4 -38 部分改善街区の表面温度（午前 5 時）

全面改善案

全面改善街区においては、全面的な植栽（全ての屋根面に屋上植栽を施し、地面を芝生により緑化し、広い屋外空間には高木を植栽する。等々）により、午前 12 時の街区全体の表面温度分布画像（図 4-39）に示すように、日中では 50 以上の表面が少なく、40 前後の表面や緑陰の表面が多くある。また、これらの表面は日中直達日射を受けないまたは植栽されているため、午前 5 時の時点では気温より表面温度が低くなっていることもわかる。

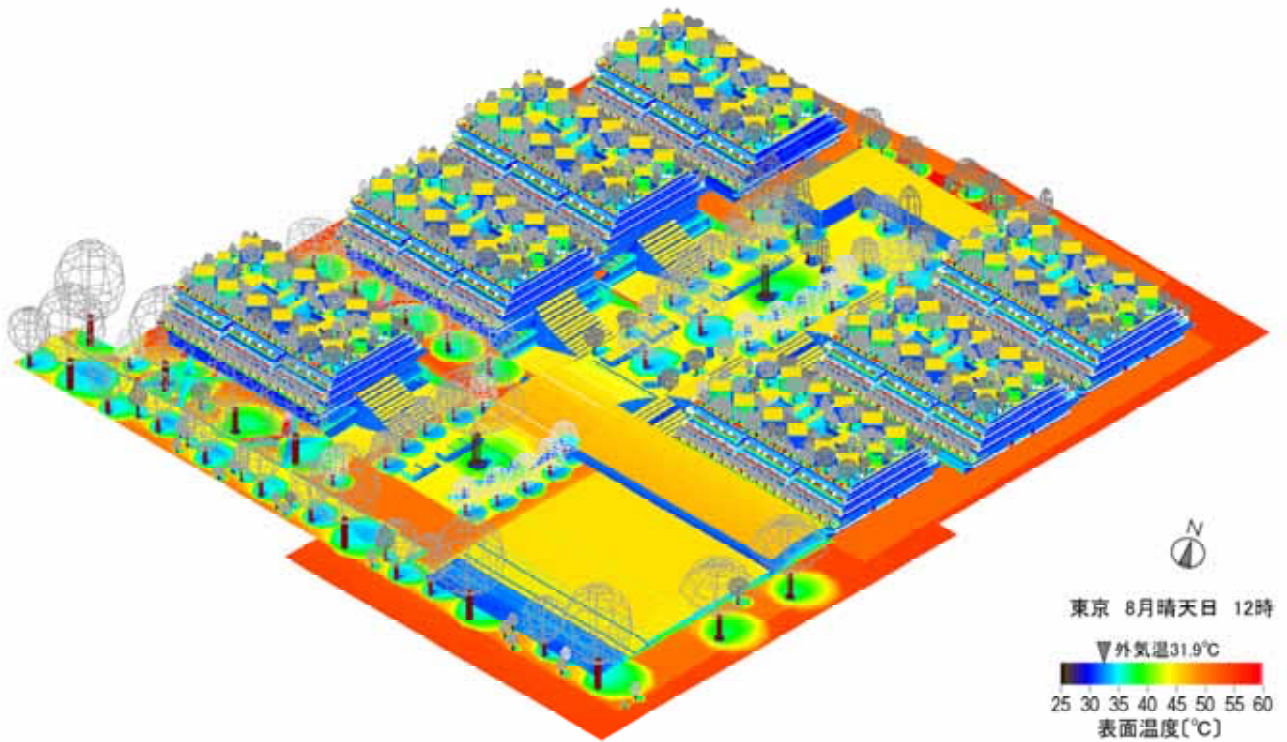


図 4 -39 全面改善街区の表面温度（午前 12 時）

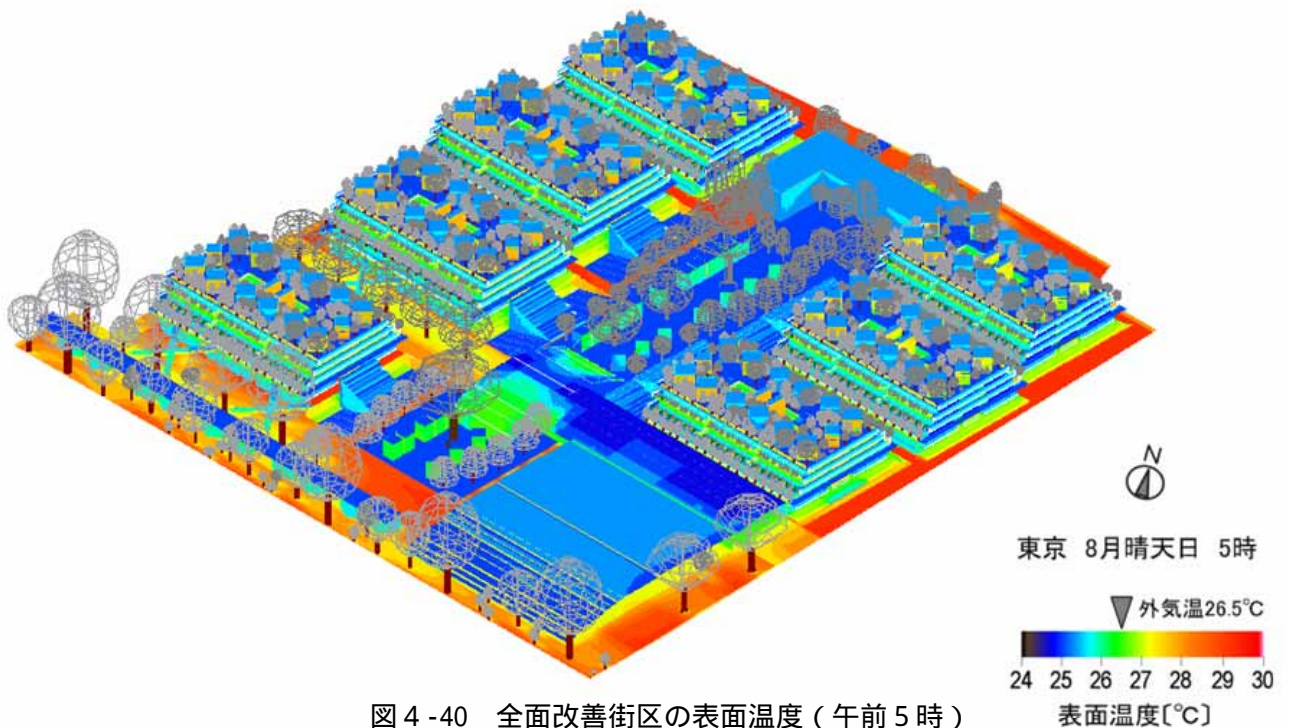


図 4 -40 全面改善街区の表面温度（午前 5 時）

(5) 屋外生活空間における快適性の向上

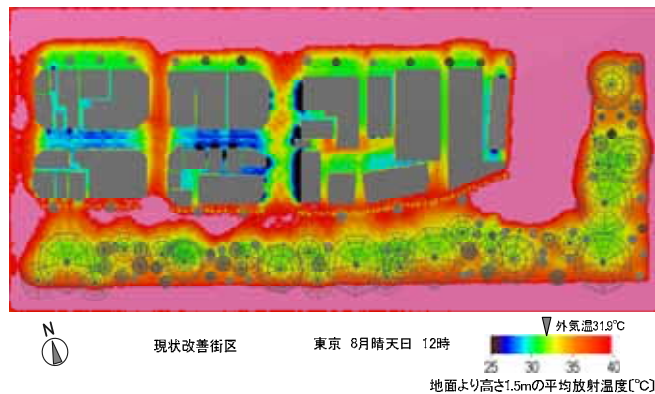
地表面より1.5m高さにおける平均放射温度(MRT)の平面分布の比較により、屋外生活空間における熱的快適性の向上効果について検討を行った。

現状改善街区においては(図4-41)屋外生活空間における植栽による緑陰空間等が少ないため、日中では平均放射温度が外気温以上に高い場所が多くなっている。

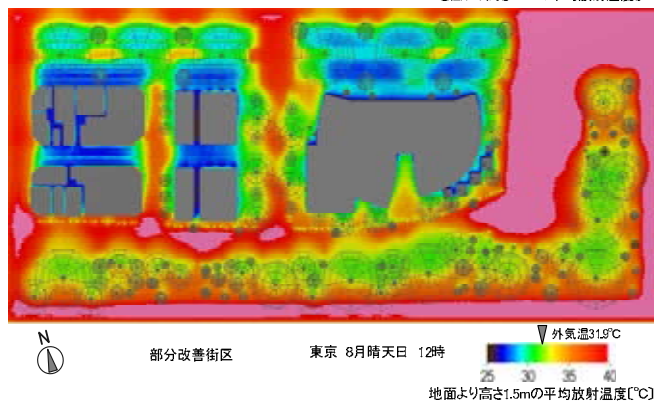
部分改善街区では、種々の緑化手法(高木の街路樹、芝地など)や保水性舗装道路等を多く取り入れることにより、緑陰空間と日中高温化しない表面が多く作られている。その結果、現状改善街区に比べ、図4-41で見られるように屋外における放射環境が改善され(高温の表面は減少)日中では平均放射温度が気温を下回る箇所は増えている。

全面改善街区については、生活空間(6階の住宅地内)において緑被率が100%に近い緑化手法(地面芝生植栽、屋上・壁面・ベランダ植栽、高木植栽等)が積極的に取り入れられている。建物の外表面や地面が植栽や緑陰によって覆われており、日中の高温化が防止されている。その結果、日中でも住宅地内の屋外生活空間における平均放射温度が外気温以下に抑えられている。

現状改善案



部分改善案



全面改善案

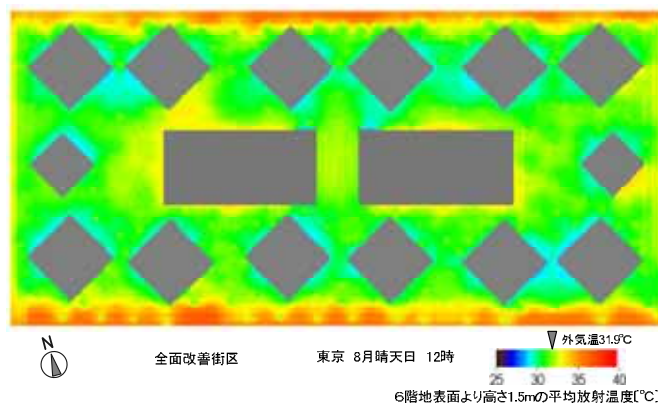


図4-41 12時平均放射温度分布

(6) 植栽による効果の考察

ここでは、全面改善案を例にとり植栽による建物壁面や屋外生活空間への熱環境改善効果の詳細に考察する。なお、樹種及植栽方法の選定にあたっては植物特性等を考慮して計画している。植栽計画内容については「4.3 緑を活用した熱・風環境改善手法」に整理した。

全面改善案においては建物南側、西側には建物への直達日射を遮るように高木を植栽している。この植栽の効果によって、建物壁面の表面温度上昇が抑制されている。(図4-42~43)

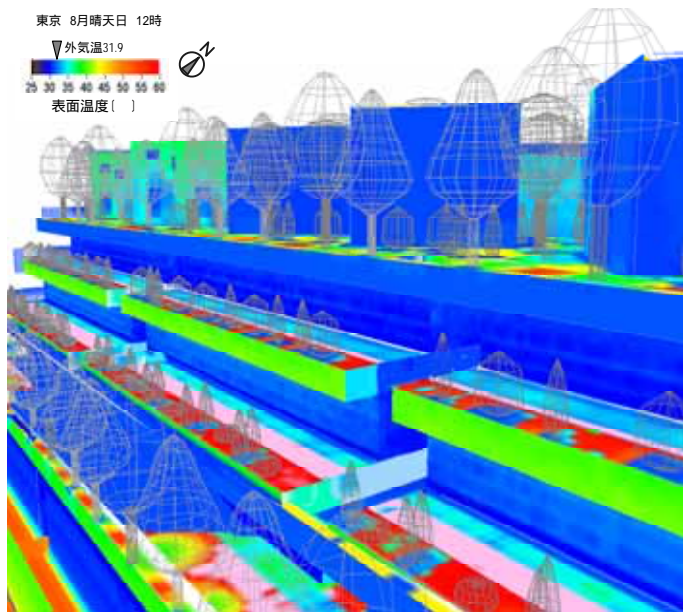


図4-42 植栽による表面温度低下効果(全面改善案 建物南面：午前12時)

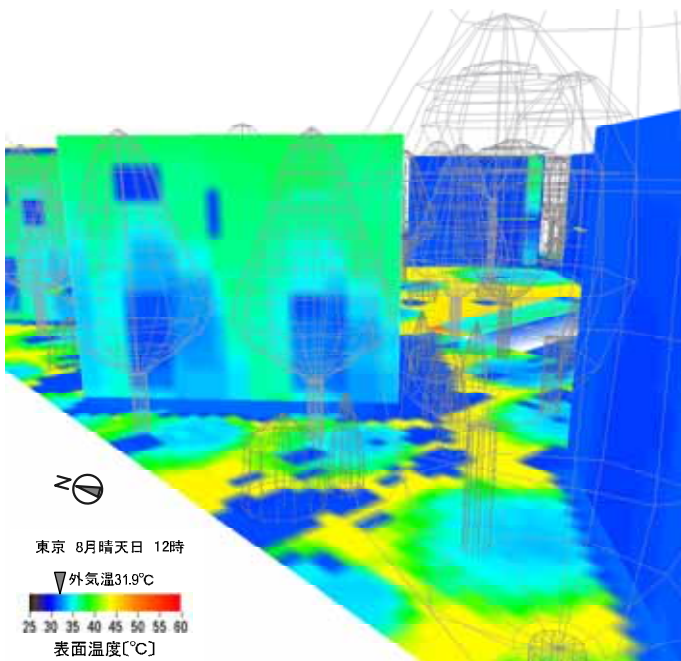


図4-43 植栽による表面温度低下効果(全面改善案 上層住宅エリア：午前12時)

(7) ヒートアイランドポテンシャル(HIP)の評価

現状の市街地と3つの改善案について、HIPの日変化を図4-44に示す。

現状改善案では一部の建物での屋上緑化や壁面緑化により、現状と比べ日中では1 前後、夜間では約0.3 のHIP低減効果が見られる。部分改善案では、再構成した建物への日射遮蔽と植栽の導入による表面温度の低下及び高木植樹、地面芝生植栽などの効果によってHIPは日中では現状より3 程度、夜間では1 程度下がった。

全面改善案では、全面的に建物の表面とその周辺に行われた緑化対策により、殆どの表面が緑陰と植栽に覆われることになる。また、通風・排熱及び日陰空間として、建物の内部には、直達日射が当たらないピロティのようなポラス空間が設けられている。その結果、HIPは3案中で最も低く、日中では現状よりも5 前後低下している。夕方から明け方まで概ね0、明け方だけを見るとマイナスとなっている。すなわち、この市街地の被覆は、夜間、全く周辺の気温を暖めることなく、良好な熱環境の形成に寄与していると推定される。

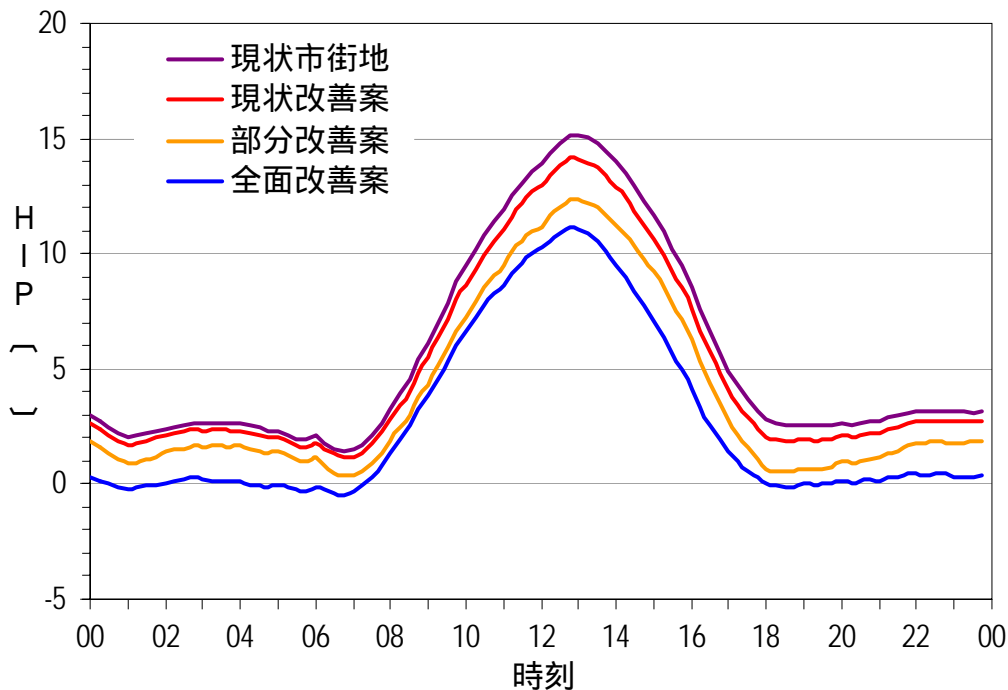


図4-44 HIPの経時変化

3) 総合評価

3つの案の改善効果を総合的に見てみると、表4-2のように整理することができる。

個別のビルオーナーや公共施設への行政の取り組みなど、比較的容易に実施できる現状改善案では風の流れを変えることはできないが、大気への顕熱負荷については低減できることが数値シミュレーションによって確認された。

風の通り道沿いの街区など部分的な合意で可能な部分改善案では、街区が大気に与える顕熱負荷の低減に効果が見られた。風の流れに関しては、通風を向上させることは可能であるが、効果の範囲は限定的であり、また強風域や弱風域が出現するというようなマイナス面もみられた。

全面改善案ではその実現には地域全体としての合意が必要となるものの、建物を低層に抑えることで、風の流れを改善するとともに、建物における緑化可能面積の拡大と日陰（ピロティ、ポーチ）空間の増加により大気への顕熱負荷は大きく低減できることが数値シミュレーションにより確認できた。

表4-2 冷気誘導面からの将来市街地像の評価

	風の流れの改善	大気への顕熱負荷の低減
現状改善案	現状のまま	
部分改善案		
全面改善案		

(: 限定的な効果がある、 : 効果がある、 非常に優れている)