

ヒートアイランド対策のための技術・情報・システム

Outline of the Evaluation System of Thermal Load on Urban Atmosphere

鳴海大典 大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻

Daisuke Narumi

Osaka University, Division of Sustainable Energy and Environmental Engineering

キーワード：ヒートアイランド現象 (Urban Heat Island)、対策技術 (Countermeasures)、大気熱負荷 (Thermal Load on Urban Atmosphere)、評価システム (Evaluation System)、対策目標 (Targeted Goal)

1. はじめに

筆者らは、メソスケール数値解析手法を用いて大気熱負荷の排出量、排出鉛直位置、排出規模、排出時刻、排出地域による拡散性状の違いが地表付近の気温変化に及ぼす影響について感度分析を行い、大気熱負荷評価に資する基礎データの整備を行った¹⁾。また、得られた基礎データを活用する大気熱負荷評価手法として「重みつき大気熱負荷評価手法」の枠組みを提案した²⁾。この手法により、熱負荷の時空間特性を適切に評価することが可能となった。続いて、ヒートアイランド緩和対策に関する具体的な数値目標を設定した際に、各地域で必要となる大気熱負荷削減量や、それを達成するために必要な具体技術の投入量を把握することを目的として、大気熱負荷削減ポテンシャルと目標設定の関係について検討を行った³⁾。以上の検討過程により、ある地域でヒートアイランド緩和対策を計画する際に、地域における具体的な数値目標の設定から重みつき大気熱負荷評価手法を用いた具体的な技術導入効果に関する評価、数値目標の達成度に関する評価までを支援する「大気熱負荷評価システム」を構築した。本報では「大気熱負荷評価システム」の全体概要について紹介する。

2. 重みつき大気熱負荷評価手法

重みつき大気熱負荷評価手法は、都市熱環境悪化の要因である大気熱負荷を地表付近での気温影響で重み付けした大気熱負荷に換算することで評価するものである。

2.1 重みつき大気熱負荷評価手法の概要

図1に重みつき大気熱負荷評価手法の枠組みを示す。図2に示す大気熱負荷の気温感度に関する「気温感度係数²⁾」に大気熱負荷を乗じることで重みつき大気熱負荷を算出する。なお、本研究では地表付近の気温影響を評価対象としていることから、図3に示す「高さ特性係数²⁾」を設定することによって、様々な鉛直位置で排出された大気熱負荷を地表付近 (第1層) から排出されたとする熱負荷 (地表相当大気熱負荷) に換算して評価を行う。これにより、任意の時刻・地域・高さで大気熱負荷を変化させた場合の地表付近の気温影響を考慮に入れた熱負荷変化量を評価することが可能となる。

図1は気温変化に与える影響を評価するための大気熱負荷評価手法である。他のインパクトを対象とする場合は、それに応じた重みを用いればよい。このように、大気熱負荷をベースとする重み付き熱負荷の考え方は一般的なものであり、色々な対象に拡張が可能である。

2.2 重みつき大気熱負荷評価手法の適用事例

本項では、重みつき大気熱負荷評価手法を用いて、表1に示

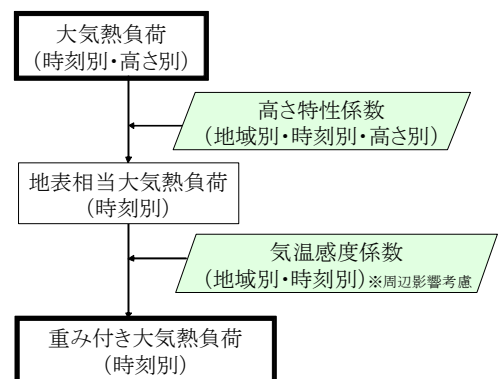


図1 重みつき大気熱負荷評価手法の枠組み

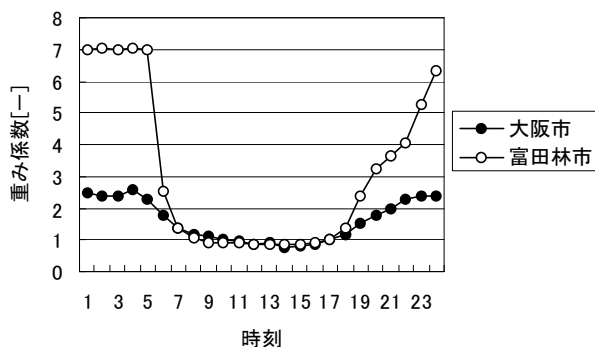


図2 時刻別気温感度係数

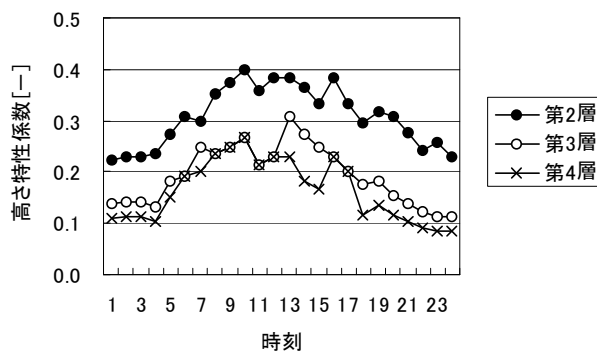


図3 大阪市における高さ特性係数

層番号	第1層	第2層	第3層	第4層
評価モデル上の鉛直位置 [m]	0.0-8.0	8.0-16.0	16.0-24.0	24.0-32.0

表1 評価対象建物の概要

建物種別	敷地面積[m ²]	建築面積[m ²]	延床面積[m ²]	建物階数[階]
戸建住宅	200	100	200	2
事務所建物	200	100	800	8

す仮想的な戸建住宅と事務所建物を対象に各種ヒートアイランド対策技術の性能評価を行った結果を示す。

評価の流れであるが、まずヒートアイランド緩和対策技術を導入しない場合（ベースライン条件）を想定した各建物から発生する大気熱負荷量を算出する。なお、大気熱負荷量の算出にはヒートアイランド熱負荷簡易評価ツール⁴⁾を用いた（ヒートアイランド熱負荷とは自然被覆状態から開発後の大気熱負荷の差分、すなわちヒートアイランド現象の原因となる正味の大気熱負荷量と定義される）。なお、時刻別・鉛直位置別の大気熱負荷量を定量化できれば、実測値やサーモレンダー⁵⁾などの市販ツール、研究者自らが開発するツールを用いて評価を行うことも可能である。

続いて、各種ヒートアイランド緩和対策技術を導入した時の大気熱負荷発生量を算出し²⁾、ベースライン条件の大気熱負荷発生量からこれを差し引くことで各種対策技術導入による大気熱負荷削減量を算出した。その後、求められた大気熱負荷削減量に、高さ特性係数や気温感度係数を乗じることで重みつき大気熱負荷削減量を求めた。

図4に戸建住宅におけるベースライン条件の経路別熱負荷発生量を、図5に事務所建物における結果をそれぞれ示す。戸建住宅は2階建てを想定しており、全ての経路から発生する熱負荷が図3で定義される第1層から放出される。これに対して、事務所建物は8階建てを想定しており、熱負荷は第1層から第4層に分かれて放出される。

図6に各種ヒートアイランド緩和対策技術を導入した時の大気熱負荷削減量を示す。戸建住宅に関しては、屋上緑化や地上緑化などの被覆系対策の大気熱負荷削減効果が大きい一方で、屋外機水噴霧や高効率

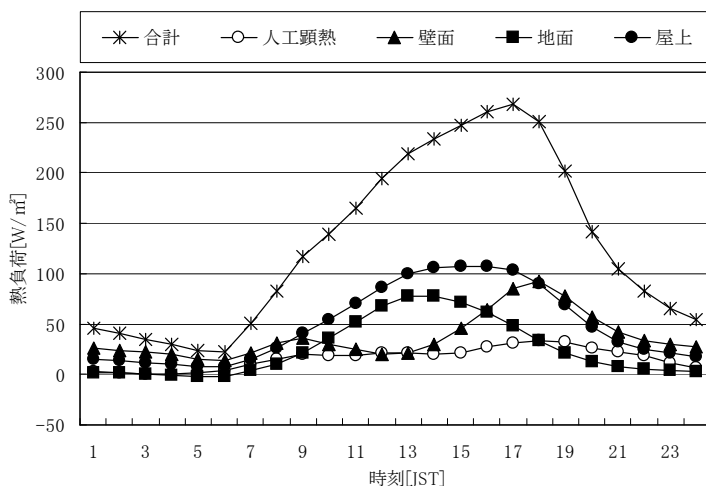


図4 ベースライン条件における経路別熱負荷発生量（戸建住宅）

空調機などの人工排熱系対策の効果が小さいことがわかる。一方で事務所建物に関しては、屋外機水噴霧の効果が非常に大きく、高効率空調機についても戸建住宅と比較して大きな効果を示している。なお、図6で示した熱負荷削減量は重み係数を乗じない通常の熱負荷評価を行った結果を示しており、これに高さ特性係数や気温感度係数を乗じた重み評価の結果について以下に紹介する。

表2に戸建住宅に関する重みつき大気熱負荷評価手法による評価結果を、表3に事務所建物に関する結果をそれぞれ示す。なお、戸建住宅

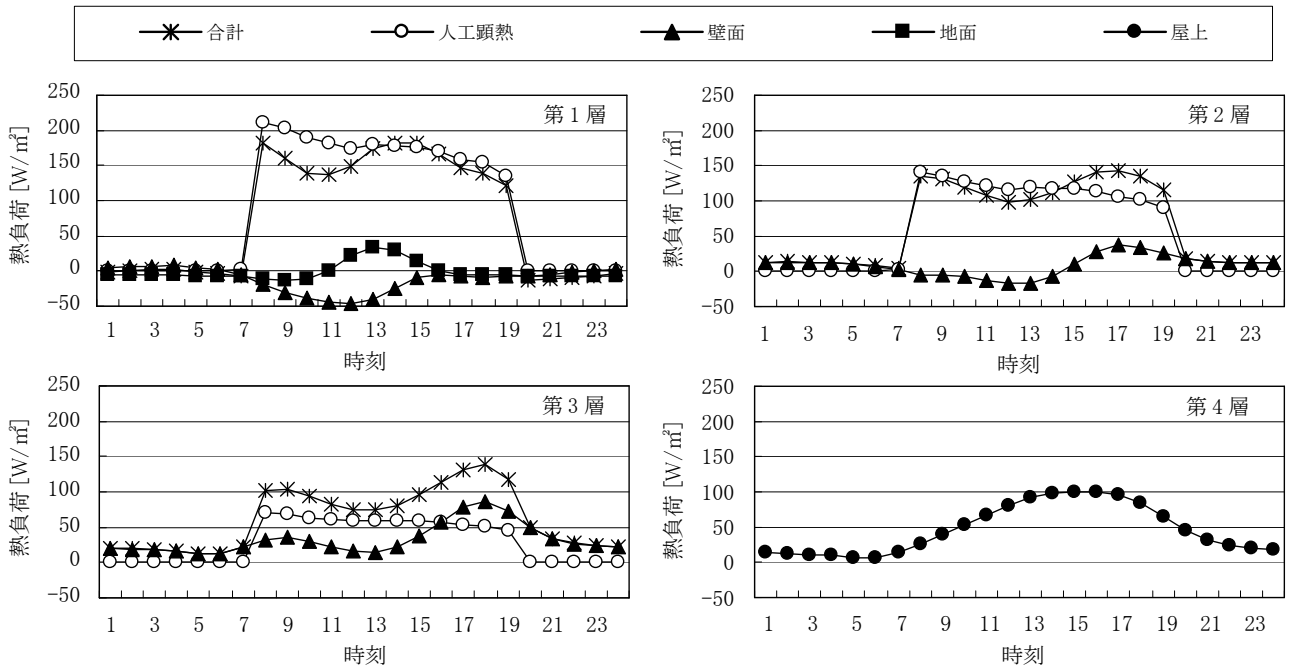


図5 ベースライン条件における各層別の経路別熱負荷発生量(事務所建物)

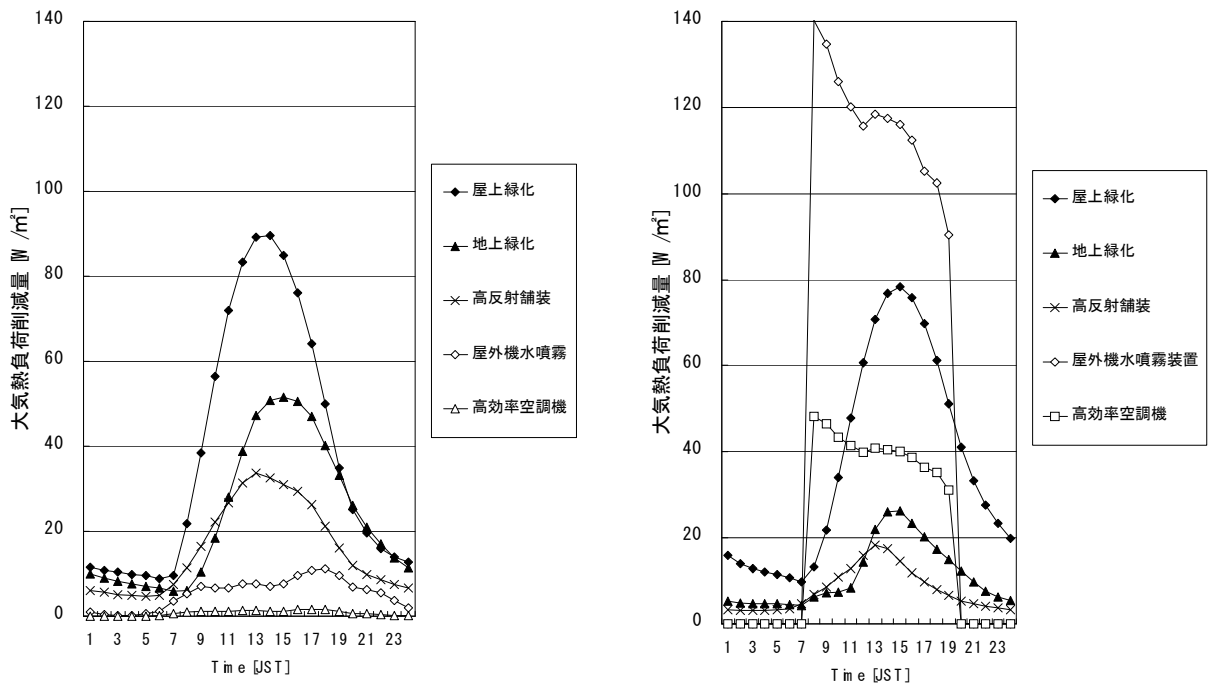


図6 各ヒートアイランド対策の実施による大気熱負荷削減量(左:戸建住宅、右:事務所建物)

表2 重みつき大気熱負荷評価手法による評価結果(戸建住宅)

対策	大気熱負荷 (重みなし)		重みつき大気熱負荷			
			大阪市		富田林市	
	削減 [W·h/m²]	順位	削減 [W·h/m²]	順位	削減 [W·h/m²]	順位
屋上緑化	919	1	1186 (1.3)	1	1672 (1.8)	1
地上緑化	566	2	820 (1.4)	2	1261 (2.2)	2
高反射舗装	382	3	525 (1.4)	3	773 (2.0)	3
屋外機水噴霧装置	128	4	181 (1.4)	4	254 (2.0)	4
高効率空調機	18	5	23 (1.2)	5	29 (1.6)	5

表3 重みつき大気熱負荷評価手法による評価結果(事務所建物)

対策	大気熱負荷 (重みなし)		重みつき大気熱負荷			
	削減 [W・h/m ²]	順位	大阪市		富田林市	
			削減 [W・h/m ²]	順位	削減 [W・h/m ²]	順位
屋上緑化	893	2	207 (0.2)	5	199 (0.2)	5
地上緑化	268	4	399 (1.5)	2	626 (2.3)	2
高反射舗装	186	5	263 (1.4)	4	397 (2.1)	3
屋外機水噴霧	1399	1	817 (0.6)	1	855 (0.6)	1
高効率空調機	482	3	281 (0.6)	3	295 (0.6)	4

は2階建てで全てが第1層に含まれることから、高さ特性係数を用いた熱負荷の重み評価を行わない。また、重みつき熱負荷低減量については、熱量をある係数で増幅した数値であることから、熱量と明確に区分するために便宜上単位を[W・h']と表記した。また、表中の括弧内の数値は、通常重み係数を乗じない熱負荷削減量に対する重みつき熱負荷削減量の比を示している。

重みつき大気熱負荷評価手法は、地表付近での気温変化に大きな影響を及ぼす熱負荷変化に大きな重みを与えるという考えに基づくものであるが、戸建住宅および事務所建物の評価結果から、屋上面での対策などの高層位置における熱負荷変化や大気が不安定で上空拡散が活発な昼間における熱負荷変化(例えば高反射化など)の効果は相対的に低く評価する一方で、地表面近傍での熱負荷変化や夜間における熱負荷変化(例えば住宅の人工排熱)については相対的に高く評価しており、熱負荷の時空間特性を適切に評価する手法と言える。

3. 大気熱負荷削減に関する数値目標設定

本節では具体的な対策数値目標の設定方法について述べる。すなわち、何らかの根拠を基に対策数値目標を設定し、以降でそれを達成するための手段を具体化するための検討方法について紹介する。

3.1 目標設定方法

目標に何らかの設定根拠を持たせる方法には、その主たる意味として「過去回帰」もしくは「被害対象の影響緩和」の2通りが考えられ、その手段として「観測データ」もしくは「シミュレーション」の2通りが考えられる。ここでは「シミュレーション」による方法を用い「過去回帰」を数値目標として設定した。具体的な目標設定時点としては、2000年代前半の時点から1970年代前半への回帰⁹⁾を目標とした。また、指標には「熱帯夜デGREEアワー(熱帯夜DH)」を用いた。熱帯夜DHとは25℃以上の気温を閾値としたDHを意味する(図7の着色部分)。時刻は19時から翌朝7時までを対象

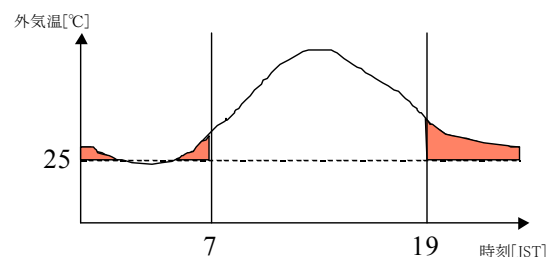


図7 熱帯夜DHの概念図

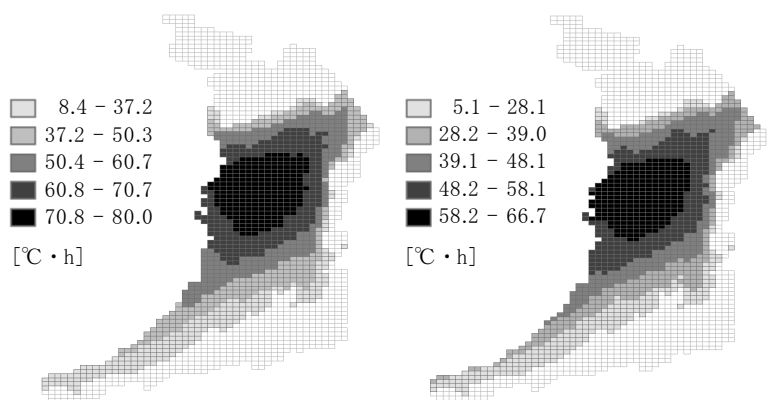


図8 熱帯夜DHの分布(左: 現況、右: 過去)

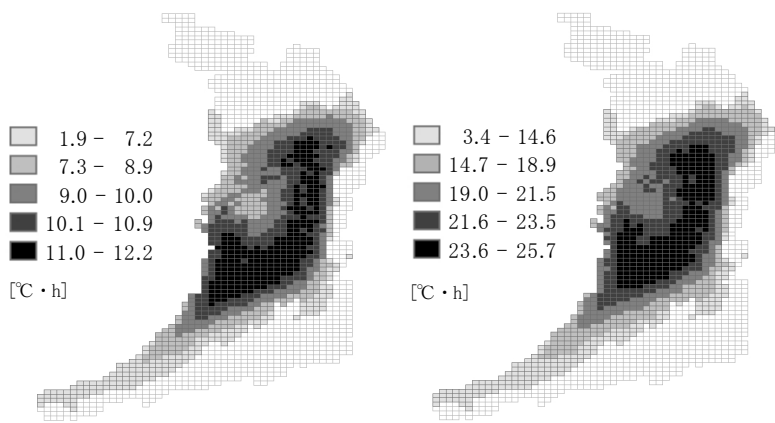


図9 大阪平野部全域で熱負荷削減を行った場合の熱帯夜DH低減量
(左: 10W/ m²削減時、右: 20W/ m²削減時)

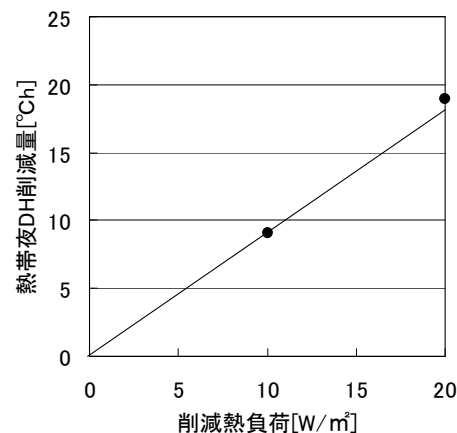


図10 熱負荷削減量と熱帯夜DH低減量の関係

とする。ここで使用する数値解析手法はその特性上ある連続期間の熱環境を再現するものではなく、ある一日の熱環境を再現するものであり、熱帯夜DHを評価する際にも再現された一日の気温変化を基にして定量化を行った。

3.2 目標とする熱帯夜DH低減量

図8に都市熱環境評価モデル(OASIS-HI)⁷⁾を用いて再現した、現況と過去の熱帯夜DHに関する大阪府内の分布状況を示す。図8の結果を基に、各計算メッシュにおいて現況と過去の熱帯夜DHの差を求め、これを大阪府内の概ね居住地域に相当する標高100m以下の地域(以下、「大阪平野部」と称す)で空間平均した値を、本研究のヒートアイランド緩和に関する数値目標として設定した。結果として、必要となる熱帯夜DHの削減量は10.7°C_hと算出された。なお、大阪平野部は大阪府域の約6割の面積を占めている。

3.3 目標達成に必要な大気熱負荷削減量

本項では対策目標(熱帯夜DHを10.7°C_h削減)の達成に必要な大気熱負荷削減量について述べる。大気熱負荷を削減する対象地域は、大阪平野部に限定する。また、大気熱負荷の削減は気温に直接的な影響を及ぼす顕熱を対象とし、削減は一日中継続して行う。なお、大気熱負荷の削減は計算モデル上の最下層計算メッシュ(鉛直高さ0.0~8.0m)で行い、熱帯夜DHの算出についても最下層の計算結果を基に行う。

以上の条件下で、目標達成に必要な大気熱負荷削減量を求めるために、大阪平野部の全計算メッシュで一律に熱負荷削減(10W/ m²、20W/ m²)を行った場合の熱帯夜DHについて検討した。結果として、大阪平野部全域で熱負荷削減を行った場合の熱帯夜DH低減量を図9に、熱帯夜DH低減量と大気熱負荷削減量の関係を図10に示す。熱帯夜DHを10.7°C_h低減するために必要となる熱負荷削減量を図10より求めると約12W/ m²となった。

4. 熱負荷削減ポテンシャルと設定目標の関係

前節の結果から、1970年代前半への過去回帰を目標とした場合の大阪府における大気熱負荷削減目標が決定された。ここでは、2節で評価を行った戸建住宅と事務所建物に関して、各種ヒートアイランド対策技術を導入した際に数値目標を達成するか否かについての評価を行う。

図10に戸建住宅における評価結果として、各種ヒートアイランド緩和対策の導入による夜間の時刻別熱負荷削減量と達成目標(図中の波線)の関係を示す。図10の結果から、19時から23時頃までの時間帯については、単独の技術で熱負荷削減目標を達成する可能性があることが示された。特に大きな効果が認められたのは屋上緑化や地上緑化であった。右表には各対策実施時の夜間平均熱負荷削減量と削減順位を示

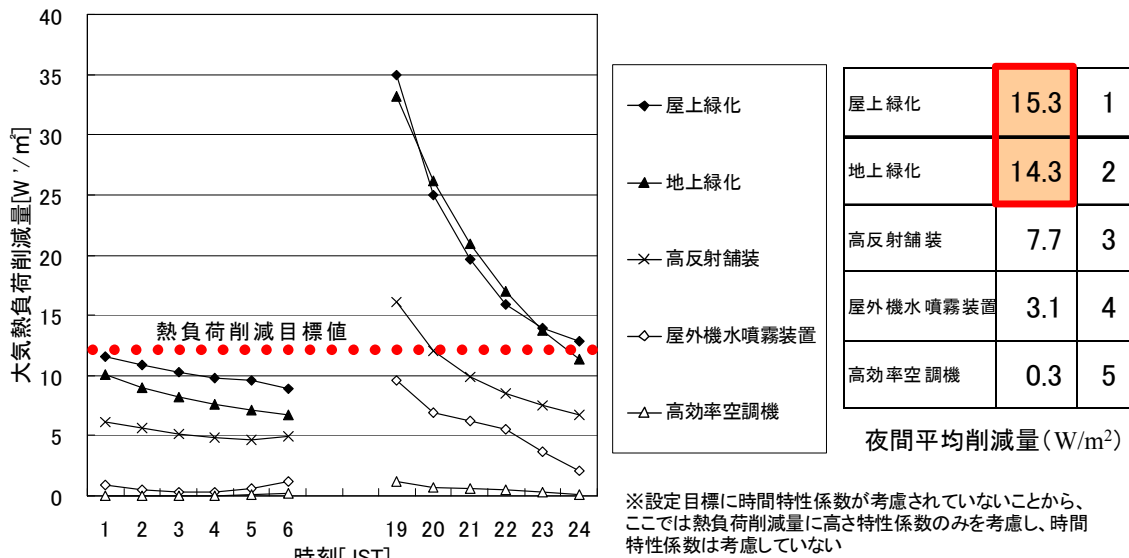


図10 戸建住宅に関する大気熱負荷削減目標達成度評価

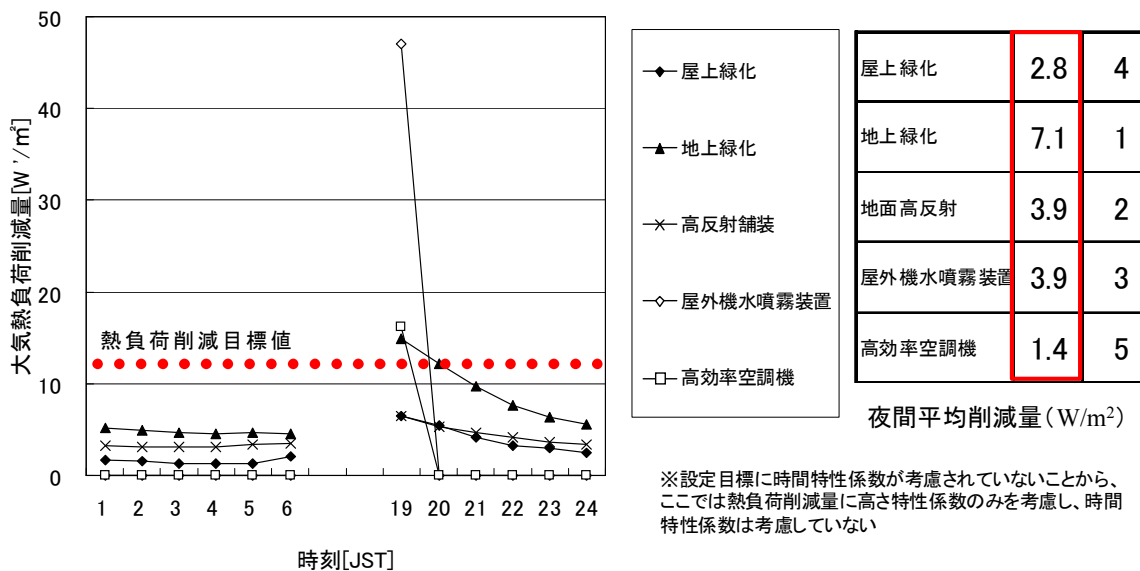


図11 事務所建物に関する大気熱負荷削減目標達成度評価

しているが、屋上緑化や地上緑化では達成目標である12W/m²を超過する一方で、それ以外の対策では単独では目標を達成しないことがわかる。

図11に事務所建物における評価結果として、夜間の時刻別熱負荷削減量と達成目標（図中の波線）の関係を示す。図11の結果から、19時には屋外機水噴霧装置で大きな効果が確認されるが、それ以外については効果は比較的小さいことがわかる。同様に右表に各対策実施時の夜間平均熱負荷削減量と削減順位を示すと、全ての対策で単独では達成目標である12W/m²を超過しないことがわかり、複数対策の組み合わせが必要であることが示された。

このように熱負荷削減目標が設定できると、達成可能性の評価が容易に可能となる。

5. まとめ

本報では「大気熱負荷評価システム」の全体概要について報告した。「大気熱負荷評価システム」の構築により、ある地域でヒートアイランド緩和対策を計画する際に、地域における具体的な数値目標の設定から重み付き大気熱負荷評価手法を用いた具体的な技術導入効果に関する評価、数値目標の達成度に関する評価までを可能とした。

参考文献

- 1) 鳴海大典、羽原勝也、近藤明、下田吉之、水野稔：都市熱環境緩和を目的とした大気熱負荷評価システムの開発 その1 大気熱負荷排出条件の違いが地表付近の気温変化に及ぼす影響、空気調和・衛生工学論文集、No. 117、pp. 11-19、2006年12月
- 2) 鳴海大典、羽原勝也、水野稔：都市熱環境緩和を目的とした大気熱負荷評価システムの開発 その2 重みつき大気熱負荷評価手法の枠組みと適用事例、空気調和・衛生工学論文集、No. 147、pp. 17-28、2009年6月
- 3) 鳴海大典、照井奈都、羽原勝也、水野稔：都市熱環境緩和を目的とした大気熱負荷評価システムの開発 その3 大気熱負荷削減ポテンシャルと目標設定の関係、空気調和・衛生工学論文集、No. 153、印刷中、2009年12月
- 4) 榎本太郎、中島聡紀、鳴海大典、水野稔：ヒートアイランド対策を目的とした大気熱負荷評価システムの提案（第3報）ヒートアイランド熱負荷簡易評価ツールの概要、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、2009年9月
- 5) 浅輪貴史、梅干野晁：屋外の空間形態と構成材料を考慮した建築伝熱シミュレーションモデルの開発、日本建築学会環境系論文集、No. 578、pp. 47-54、2004年4月
- 6) 水野稔、鳴海大典：ヒートアイランド対策を目的とした大気熱負荷評価システムの提案（第1報）現状の問題点と計画支援体系の提案、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、2009年9月
- 6) 照井奈都、鳴海大典、下田吉之、水野稔：過去の再現に基づくヒートアイランド現象の成因解析、日本建築学会環境系論文集、No. 644、pp. 1163-1172、2009年10月
- 7) 近藤明、加賀昭和、山口克人、合田恵理子、水間健二：数値モデルによる地域開発の微気象影響評価、空気調和衛生工学会論文集、No. 83、pp. 1-9、2001年10月