

研究論文

事務所街区におけるヒートアイランド対策および省エネルギー対策導入による年間気温・エネルギー消費変化の同時評価

Change in Year-Round Air Temperature and Annual Energy Consumption in the Office Area by Urban Heat Island Mitigating Countermeasures and Energy-Saving Measures

井原智彦*・亀卦川幸浩****・旭一岳*****
Tomohiko Ihara Yukihiro Kikegawa Kazutake Asahi

玄地裕**・近藤裕昭***
Yutaka Genchi Hiroaki Kondo

(原稿受付日2005年10月13日, 受理日2006年2月8日)

Abstract

This paper deals with the effects of the installation of various countermeasures for the urban heat island (UHI) and energy-saving measures in the office area on UHI and global warming. UHI and energy consumption simulation model was developed from 1-D canopy meteorological model combined with building energy use model, and was expanded to evaluate year-round air temperature and energy consumption. The simulation results showed that installation of the humidifying of building surface and the increasing albedo of building surface reduced by more than 60 hours per year of period with the air temperature over 30 degrees Celsius in the daytime. Both countermeasures reduced annual energy consumption despite the increase in energy consumption in winter. In addition, they brought about some unfavorable consequences to pedestrians. Energy savings, on the other hand, reduced only few hours per year of period with the air temperature over 30 degrees Celsius. It was demonstrated that by expanding the calculation period from one season to year-round, this simulation model became capable of evaluating the effectiveness of the countermeasures for UHI and global warming.

1. はじめに

我が国の大都市では、1980年代以降、都市部の気温が郊外よりも高温化する、いわゆるヒートアイランド現象が顕著に観測されるようになってきた。たとえば、東京地域における7～9月の30[°C]超延べ時間数(推計時間)は、最近20年間で168[h]から357[h]へと約2倍に増大している¹⁾。ヒートアイランド現象は人工排熱の増加や地表面の改変、地表面形状の複雑化などによって起こると考えられており、その結果として冷房需要増や熱中症の増加などさまざまな環境問題を引き起こすとされている。これに対し、政府が2004年3月にヒートアイランド対策大綱を制定した²⁾のを始めとして、各地でヒートアイランド現象を環境問題として捉え、対策を講じようとする動きが活発になってきている。

一方で、ヒートアイランド対策を導入すると、気温の変化や断熱構造の変化によって、空調需要を主としてエネルギー消費量が増減することが予想される。地球温暖化も重要な環境問題であり、政府は省エネルギーを中心とした地球温暖化対策推進大綱(新大綱)³⁾を制定している。そのため、ヒートアイランド対策を導入してもエネルギー消費が増大しないようにすることが求められる。

地球温暖化を考慮する場合、エネルギー消費量は年間積算値で評価する必要がある。しかしながら、これまでヒートアイランド対策の導入評価に関する研究は、夏季のみを対象としており、気象モデルを含んだシミュレーションにより対策の導入効果を通年で評価した例は見られない。

そこで、本稿では、各種ヒートアイランド対策を導入した場合の通年シミュレーションをおこない、熱環境とエネルギー消費量の変化をヒートアイランド・地球温暖化の両面から評価した。また対策導入に関する検討をおこなった。

2. ヒートアイランド対策導入評価モデル

ヒートアイランド対策の評価には、著者らが開発してきたヒートアイランド対策導入評価モデル(CM-BEM)⁴⁾を改良して用いた。CM-BEMは、街区キャノピー気象モデル(CM)⁵⁾とビルエネルギー・排熱解析モデル(BEM)のサブ

* (独)産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメント研究センター 研究員

E-mail: ihara-t@aist.go.jp

**

チーム長

環境管理技術研究部門 グループ長

〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1 産総研つくば西事業所

**** 明星大学理工学部環境システム学科 助教授

〒191-8506 東京都日野市程久保2-1-1

***** みずほ情報総研(株)

〒101-8443 東京都千代田区錦町2-3 竹橋スクエア

モデルより成る。同モデルは、街区気象に対する建築物での空調エネルギー需要の応答と、その結果生じる外気への排熱によるフィードバック過程を表現する。図1に概略図を示す。

CMは、数百メートルスケールの気象の表現を目的に、都市キャノピー層内を鉛直方向に解像したモデルである。水平方向には1格子内に同一の大きさの直方体ビルが整形配列し、鉛直方向には高度ごとにビルの存在密度が考慮される。各気象要素は鉛直方向への変化のみ陽に考慮される。

$$C_p \rho \frac{\partial \theta}{\partial t} = C_p \rho \frac{1}{m} \frac{\partial}{\partial z} \left(K_v \cdot m \cdot \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + Q_{w*} + Q_{R*} + Q_{A*} + Q_{V*} \dots (1)$$

$$l \rho \frac{\partial q_v}{\partial t} = l \rho \frac{1}{m} \frac{\partial}{\partial z} \left(K_q \cdot m \cdot \frac{\partial q_v}{\partial z} \right) + Q_{w*} + Q_{R*} + Q_{A*} + Q_{V*} \dots (2)$$

式中、右辺第1項は顕潜熱の鉛直乱流拡散を表す。他項は街区構成物からの顕潜熱輸送を表し、 Q_{A*} ：人工廃熱、 Q_{V*} ：建物換気に伴う交換熱、 Q_{W*} ：建物側壁面からの熱、 Q_{R*} ：屋上面からの熱である（*は顕熱ならばs、潜熱ならばlである）。このほか、 $C_p \rho$ [J/m³K]：空気の顕熱容量、 θ [K]：気温、 K_v [m²/s]：顕熱の鉛直乱流拡散係数、 $l \rho$ [J/m³(kg/kg)]：空気の潜熱容量、 q_v [kg/kg]：比湿、 K_q [m²/s]：潜熱の鉛直乱流拡散係数、 m [-]：キャノピーの有効体積率 ($m = \{1 - b^2 / (m + b)^2 P_w(z)\}$) を指す。

放射環境は3次元的に扱われ、屋上・東西南北を考慮した各側壁・道路の各表面温度および顕熱輸送が計算される。

$$Q_w \cdot \frac{1}{m} \left\{ P_w(z) (H_{w*_{east}} + H_{w*_{west}} + H_{w*_{south}} + H_{w*_{north}}) \frac{bdz}{(b+w)^2 dz} \right\} \dots (3)$$

$$Q_R \cdot \frac{1}{m} \{ P_w(z) - P_w(z+dz) \} H_R \cdot \frac{b^2}{(b+w)^2 dz} \dots (4)$$

$Q_w \cdot Q_R$ いずれもキャノピー内の高度z~z+dz間における大気に与えられる単位空気体積あたりの熱量であり、 H_R は

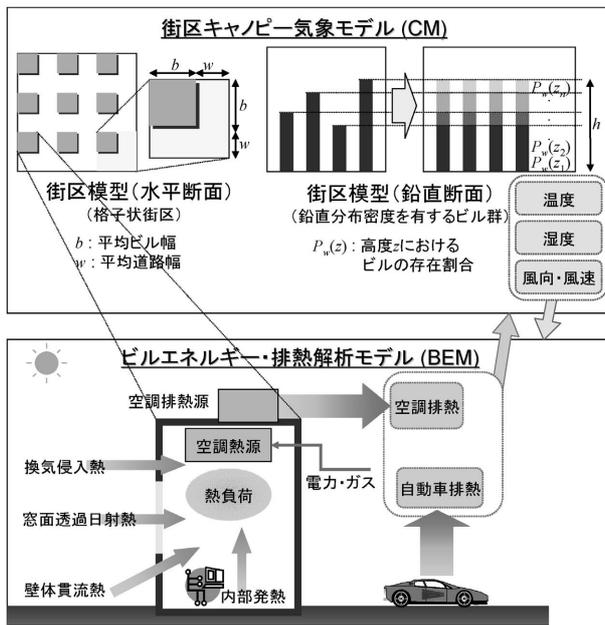


図1 CM-BEMの概略図

屋上からの、 H_w は各方位側壁からの顕潜熱輸送を指す。

BEMは、建物を1つのボックスとして取り扱うことで室内の熱収支計算をおこなう。窓面からの透過日射熱、壁体からの貫流熱、換気に伴う侵入熱、OA機器などコンセント電力や照明および人体などからの内部発熱を求めることによって、建築内への顕潜熱別熱負荷 $H_{in} \cdot E_{in}$ [W] を計算する。

$$H_{in} = \sum_i A_i h_i (\theta_{in} - \theta_i) + \sum_j A_j \eta_j S_j + (1 - \beta) C_p \rho V_a A_f (\theta_o - \theta_i) + A_f q_E + A_f P \phi_p q_{ps} \dots (5)$$

$$E_{in} = (1 - \beta) l \rho V_a A_f (q_{va} - q_{vr}) + A_f P \phi_p q_{ps} \dots (6)$$

(5)式の右辺各項は、第1項から順に壁体貫流熱、窓面透過日射、換気、室内の機器・照明発熱、在室人員からの発熱による各顕熱負荷を、(6)式の右辺各項は、換気、人体発熱による各潜熱負荷を示す。 i と j は、建物の屋上・側壁の室内側表面と窓面上の各面要素を指し、 A_i [m²]、 A_j [m²]はそれらの面積を表す。式中、 h_i [W/m²K]：総合熱伝達率、 T_{wi} [K]：室内側壁面温度、 θ_i [K]：室温、 θ_o [K]：外気温、 $\eta_j S_j$ [W/m²]：窓面透過日射量、 β [-]：全熱交換器効率、 V_a [(m³/s)/m²]：単位床面積あたり外気導入量、 A_f [m²]：建物床面積、 q_E [W/m²]：機器・照明発熱、 $P \phi_p$ [人/m²]：人員密度、 q_{ps} [W/人]：人体顕熱発熱、 q_{ps} [W/人]：人体潜熱発熱、 q_{va} [kg/kg]：外気比湿、 q_{vr} [kg/kg]：室内比湿である。

室温 T_i と室内比湿 q_{vr} の計算は次式による。

$$Q_B \frac{d\theta_r}{dt} = H_{in} - H_{out} \quad H_{out} = \zeta_r \gamma H_{in} + \zeta_r \gamma Q_B \frac{\theta_r - \theta_{rset}}{\Delta t} \dots (7)$$

$$l \rho V_B \frac{dq_{vr}}{dt} = E_{in} - E_{out} \quad E_{out} = \zeta_r \gamma E_{in} + l \rho \zeta_r \gamma V_B \frac{q_{vr} - q_{vrset}}{\Delta t} \dots (8)$$

式中、 Q_B [J/K]：建物の総熱容量、 V_B [m³]：空気の容積、 H_{out} [W]：空調熱源による除去顕熱量、 E_{out} [W]：除去潜熱量、 ζ_r [-]：運転スケジュール(0-1)、 γ [-]：総空調面積率を指す。 θ_{rset} [K]・ q_{vrset} [kg/kg]は空調設定温度と比湿である。

室内の空調運転により、熱量を除去するための空調需要(電力・ガス) E_c [W]と、それに伴って外気に排出される排熱 Q_A [W]が発生する。冷房時の場合を次式に示す。

$$E_c = \frac{H_{out} + E_{out}}{COP} \left(COP \equiv \frac{H_{out} + E_{out}}{E_c} \right) \dots (9)$$

$$Q_A = E_c + (H_{out} + E_{out}) = \frac{COP + 1}{COP} (H_{out} + E_{out}) \dots (10)$$

COP [-]は運転条件・外気条件を考慮した空調熱源の実COPである。 Q_A は熱源の種類に応じて顕熱 Q_{As} と潜熱 Q_{Al} に分けて算出され、CMでの外気の温湿度計算に反映される。

従来のCM-BEMは夏季平日を評価対象としたため、空調熱源は冷房のみ、建築物内の機器・照明や在室などの内部発熱および空調運転の各スケジュールは夏季平日のみの設定となっていた。本稿では、気象条件に関する通年化⁶⁾を

おこない、街区条件に関しても冷暖房熱源および季節別曜日別のスケジュールを扱えるようにCM-BEMを改良した。

著者らは実際の都市街区における気象観測⁷⁾もおこなってきた。実測値とCM-BEMによる計算値との比較を通じ、計算値が実測値を良好に再現することを確認している⁸⁾。

3. 計算条件

ヒートアイランド対策を施さない場合を無対策ケースとした。以下、初期条件および境界条件（大気、地中）および街区条件（街区、建築物、自動車排熱）について説明する。

3.1 計算期間

2002年6月1日0時より2003年6月1日0時の1年間を計算対象期間とした。ただし、CM-BEMは、降水に伴う諸現象を正しく取り扱うことはできないので、降水中および降水終了12時間後までの期間における計算結果は結果集計の対象外とし、評価に含まないようにした。

3.2 初期条件および境界条件

(1) 大気

初期の温位・比湿両勾配は実際の高層気象観測値に基づいた。上端の気温・比湿は、AMeDASにおける気温・比湿の時間変化率を適用して、初期値を時間発展させた⁹⁾。上端の風速は、AMeDASの風速に対数則を適用して算出した。

(2) 地中

季節変化をほぼ無視できる地中9[m]⁹⁾を固定端とし、地中9[m]の温度を与えた。なお、地中は地表～固定端を鉛直方向に3[cm]ごとに分割し計算をおこなった。

3.3 計算対象街区の選定

東京都23区を4次メッシュ（3次メッシュを4分割したメッシュ、大きさは約500[m]四方）に分割すると、2,457個のメッシュ（街区）が作成される。3次メッシュとは、「統計に用いる標準地域メッシュ及び標準地域メッシュコード」（昭和48年行政管理庁告示第143号）に基づき、一定の経線・緯線で網の目に分割された約1[km]四方の区画である。

2,457個のメッシュには、自然被覆と人工被覆、人工被覆には事務所や商業施設、住宅などが含まれる。23区の仕事所街区における各種対策の一般的な導入効果を評価するために、平均的な事務所街区を次の手法で選定した。

東京都GIS¹⁰⁾およびLANDSAT衛星データ解析結果¹¹⁾より、23区全メッシュの街区パラメータ（表1参照）を整備した。整備したパラメータのうち「人工被覆面積率」に基づいてクラスター分析をおこない、全メッシュを人工、自然の2種類の被覆に分類した。次に、「土地建物用途」に基づいてクラスター分析をおこない、人工被覆を住宅、混合、事務所、工場の4種類の街区に分類した。最後に、分類された事務所街区（計108メッシュ）の中から幾何形状に関する4パラメータ「平均建物幅」「平均建物間距離」「平均建

表1 整備した街区パラメータ

| 項目 | パラメータ | 単位 |
|---------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 地形被覆 | 水面、緑地、裸地・草地、人工被覆の各面積率 | [m ² /m ²] |
| 土地建物用途 | 延床面積に占める事務所、商業その他、住宅、工場、道路、その他用途の各割合 | [m ² /m ²] |
| 建物構造 | 耐火造、準耐火造、防火造、木造の各割合 | [m ² /m ²] |
| 建物・街区形状 | 平均建物幅 | [m] |
| | 平均建物間距離 | [m] |
| | 平均建物高度 | [m] |
| | 建物高度の標準偏差 | [m] |

表2 事務所街区の幾何形状

| | 平均建物幅 | 平均建物間距離 | 平均建物高度 | 建物高度の標準偏差 | 天空率 | S/V比 |
|------------|-------|---------|--------|-----------|-------|-------|
| 単位 | [m] | [m] | [m] | [m] | [-] | [-] |
| 平均 | 17.36 | 19.33 | 22.54 | 16.03 | - | - |
| 標準偏差 | 8.82 | 27.39 | 8.57 | 9.73 | - | - |
| 最小 | 9.55 | 4.44 | 4.52 | 1.67 | - | - |
| 最大 | 51.78 | 180.55 | 61.33 | 64.40 | - | - |
| 5339-46301 | 14.50 | 11.95 | 21.38 | 14.73 | 0.482 | 0.323 |

*天空率：地表面から見上げた空の形態係数を表し、上空日射のうり、街区地表面まで到達する日射量の比率を支配するパラメータである。

**S/V比：街区建築物の外表面を容積で割った値であり、外気条件による空調負荷の大きさを支配するパラメータである。

表3 地表面の構成

| | 単位 | 人工被覆 | 植生 | 水面 |
|-----|-----|-------|-------|-------|
| 構成比 | [-] | 0.982 | 0.009 | 0.009 |

物高度」「建物高度の標準偏差」が最も全街区平均値に近い4次メッシュ番号5339-46301（千代田区九段北1丁目付近）の街区を抽出し、計算対象街区に選定した（表2参照）。

3.4 街区条件

4次メッシュ番号5339-46301の計算条件を以下に示す。

(1) 街区（幾何形状および地表面物性値）

街区の建物幅や高度、建物間距離は表2に示した。地表面構成はLANDSAT衛星データより緑被率を、東京都GISより水面率を算出し、残りを人工被覆とした（表3参照）。

(2) 建築物

標準的な事務所ビルとして「電中研モデルビル（新築・中規模）」¹²⁾を参照し、建築物の構造・物性および空調・在室スケジュールを決定した（壁体構造のみ「オフィス用標準問題」¹³⁾を参照）。空調熱源の構成比および定格COPは亀卦川らの推計¹⁴⁾に、排熱位置は国土交通省・環境省による調査¹⁵⁾に基づいた。空調熱源の実COPは、定格COPに対して内外温度差や部分負荷率（熱源方式ごとに異なる）を考慮した値となる。

機器・照明など内部発熱は、年間原単位は(社)日本ビルエ

エネルギー総合管理技術協会の実態調査^{16), 17)}を、月別時刻別配分率は(財)省エネルギーセンターの実態調査^{18), 19)}を参考にした。

整備したパラメータを表4および表5に示す。

(3) 自動車排熱

断面通過交通量が収録されたセンサデータ²⁰⁾を用いて幹線の交通量を、自動車走行量²¹⁾と幹線の交通量より細街路の交通量をそれぞれ求め、それらに熱量排出係数・車種別時刻別配分率を乗じて、平日/休日別時刻別自動車排熱量を算出した。国土交通省・環境省における手法¹⁵⁾を踏襲し、エアコン使用時の燃費低下も考慮した。パラメータを表4, 5に示す。

4. ヒートアイランドおよび省エネルギー対策の評価

4.1 評価対策ケース

本稿では、平成16年に発表されたヒートアイランド対策大綱²⁾を参考に、次の対策を評価対象とした。

代表的なヒートアイランド対策として、建築被覆表面の湿潤化と高アルベド化が挙げられる。本稿では、外壁面の湿潤化は光触媒コーティングを導入技術として対象部位ごとに屋上(Case A1)、側壁(A2)、全面(A3, A1+A2)、外

表4 建築物および自動車排熱の設定

| パラメータ | 単位 | 値 |
|------------|------|--|
| (側壁)窓面積率 | [-] | 0.331 |
| 空調床面積率 | [-] | 0.708 |
| 空調設定温度 | [°C] | (冷房)26.0 (暖房)22.0 |
| 空調運転期間 | | (冷房)5月1日~10月31日 (暖房)12月1日~3月31日 |
| 空調熱源の構成 | | (冷房)空冷ビルマルチ: 100% (暖房)空冷ビルマルチ: 100% |
| 空調による燃費低下率 | [-] | 20% |
| 自動車の空調運転期間 | | (冷房)6月1日~9月30日 (暖房)12月1日~3月31日 |

壁面の高アルベド化は高反射塗料を導入技術として屋上(B1)、側壁(B2)、全面(B3, B1+B2)を検討した。ただし、冬季における気温低下を防ぐため、夏季のみ光触媒コーティングされた壁面に散水して湿潤化させる設定とした。さらに、人工排熱源を移動する対策である空調排熱の高所配置(C1)、系外排出(C2)も検討した。

省エネルギー対策としては、建築物対象として外壁の高断熱化(D1)、内部発熱機器の高効率化(E1)、空調熱源の高効率化(E2)を、自動車対象は総合的に自動車の省エネルギー(F1)として検討した。各省エネルギー対策の設定水準

表5 評価対象とした対策の設定

| Case | 対策 | パラメータ | 単位 | 無対策時 | 対策時 | 備考 | |
|------|------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|---|---------------------|
| (A) | 外壁面の湿潤化 (光触媒コーティング) | 潜熱輸送に対するコンダクタンス | [mm/s] | 0 | 水面相当 | 導入期間: 5月1日~10月31日 (導入期間外は無対策時と同じ物性値) | |
| A1 | | 屋上 | (屋上)導入面積割合 | [-] | 0 | 0.5 | |
| A2 | | 側壁 | (側壁)導入面積割合 | [-] | 0 | 0.3345 | 対策値: 窓面積を除く 50% |
| A3 | | 全面 | - | | | | A1+A2 |
| (B) | 外壁面の高アルベド化 (高反射塗料) | アルベド | [-] | 0.2 | 0.8 | | |
| | | 射出率 | [-] | 0.9 | (同左) | | |
| B1 | | 屋上 | (屋上)導入面積割合 | [-] | 0 | 1 | |
| B2 | | 側壁 | (側壁)導入面積割合 | [-] | 0 | 0.5 | |
| B3 | 全面 | - | | | | B1+B2 | |
| C1 | 空調排熱源の高所配置化 | | | | 屋上 | | |
| C2 | ヒートシンク (地中熱源ヒートポンプ) | 空調排熱源の位置 | | 各階 | 大気中に放出せず | 地中ではなく、大気-建築物-地中の熱収支の系外に排出されると考える。 | |
| D1 | 外壁の高断熱化 (断熱材) | (屋上)熱抵抗 | [m ² K/W] | 1.21 | 2.56 | スチレン発泡板(押出)25→75[mm] | |
| | | (屋上)熱容量 | [J/m ² K] | 0.414×10 ⁶ | 0.416×10 ⁶ | | |
| | | (側壁)熱抵抗 | [m ² K/W] | 0.30 | 2.25 | スチレン発泡板(フロン発泡)0→50[mm] | |
| | | (側壁)熱容量 | [J/m ² K] | 0.358×10 ⁶ | 0.360×10 ⁶ | | |
| | | (窓面)日射総合透過率 | [-] | 0.47 | 0.31 | | |
| E1 | 内部発熱機器の高効率化 | (発熱機器)発熱量 | [W/floor-m ²] | 12.5 | 10 | 左記は最大値(平日昼間) 対策値: -20%(無対策時比) | |
| | | (照明)発熱量 | [W/floor-m ²] | 25 | 20 | | |
| | | (人体)発熱量 | [W/floor-m ²] | 7.67+4.03 | (同左) | | 顕熱+潜熱, 左記は最大値(平日昼間) |
| E2 | 空調熱源の高効率化 | (冷房)平均定格 COP | [-] | 2.58 | 3.58 | 対策値: +100%(COP) | |
| | | (暖房)平均定格 COP | [-] | 2.64 | 3.64 | | |
| F1 | 自動車の省エネルギー | 自動車排熱量 | [W/road-m ²] | 38.2+1.9 | 22.9+1.1 | 顕熱+潜熱, 左記はエアコン使用時の最大値 (夏季平日 18時), 対策値: -40%(無対策時比) | |
| AX | 総合対策(湿潤化) | - | | | | A3+D1+E1+E2+F1 | |
| BX | 総合対策(高アルベド化) | - | | | | B3+D1+E1+E2+F1 | |

*潜熱輸送に対するコンダクタンス: 水蒸気乱流輸送に対する抵抗をコンダクタンスで表現した指標。値が大きいほど蒸発しやすくなる。

(表5参照)は現行のトップランナー規制の2倍程度とした^{3), 22)}。

総合対策としてA3+D1+E1+E2+F1を組み合わせたケース(総合対策(湿潤化)(AX))とB3+D1+E1+E2+F1を組み合わせたケース(総合対策(高アルベド化)(BX))も評価対象に加えた。

各対策のモデル上の設定値を表5に示す。光触媒コーティング導入時に必要となる揚水ポンプの動力や、ヒートポンプの地中熱源化による効率向上や地中温度上昇は考慮しない。モデル上での各対策の効果は表5に示す項目がすべてである。

4.2 年間の気温変化・エネルギー消費増減の同時評価

無対策ケース(Case 0)および4.1節で挙げた各対策、計15ケースについて計算条件を整備し、CM-BEMを用いてシミュレーションをおこない、熱環境およびエネルギー消費量に関して年間における変化を算出した。

そのうち、夏季の熱環境および年間エネルギー消費量に関するグラフを示す(図2, 3参照)。事務所街区は、昼間人口の方が夜間人口より多く、昼間の熱環境が問題視されるため、熱環境の指標として昼間30℃以上延べ時間数を用いた。

なお、本稿で、気温・比湿とは地上1.5[m]の気温・比湿を指す。また、エネルギー消費量とは電力とガスを合算した2次エネルギー消費量(自動車を含まない)を指す。すなわち、空調・コンセント電力・照明の合計エネルギー消費量である。

(1) 夏季の熱環境

無対策ケース(Case 0)では、昼間30℃以上延べ時間数は554[h]と計算された。本稿冒頭で参照した環境省の報

告¹⁾によると、近年の昼間30℃超延べ時間数は、400[h]を付近に上下200[h]程度の幅があり、2003年が比較的暑かったこと、また街区内の気温はAMeDAS気温より高温であること⁷⁾を考慮すると妥当な値であるといえる。

ヒートアイランド対策を導入した場合、昼間30℃以上延べ時間数は、湿潤化(A3)では69[h]、高アルベド化(B3)では60[h]、ヒートシンク(C2)では38[h]の削減がなされる結果となった。街区気温を冒頭で述べたヒートアイランド現象が顕著となる以前の1980年の水準に戻すには約150[h]程度の削減が必要であると考えられる。いずれの対策も単独ではヒートアイランド現象の解決に結びつかないが、一定の気温緩和効果を有することが示された。

一方、省エネルギー対策の導入は、高断熱化(D1)は1[h]増、内部発熱機器の高効率化(E1)が2[h]減、空調熱源の高効率化(E2)が4[h]減、自動車の省エネルギー(F1)が14[h]減と計算され、自動車の省エネルギーを除き、それらの導入はほとんどヒートアイランド緩和に寄与しないことがわかった。内部発熱を削減するような省エネルギー対策のみではヒートアイランド緩和を実現するのは難しいといえる。

ヒートアイランド対策と省エネルギー対策とを組み合わせた総合対策では、総合対策(湿潤化)(AX)が82[h]減、総合対策(高アルベド化)(BX)が73[h]減と10%超の昼間30℃以上延べ時間数を削減できることが示された。総合対策による気温低減効果は、どちらも多くを湿潤化や高アルベド化に負うが、ヒートアイランド対策単独での導入時に比べ10[h]以上削減時間数が増大しており、各種省エネルギー対策も大々的に導入すると、ヒートアイランド対策による気温低減を後押しできると考えられた。

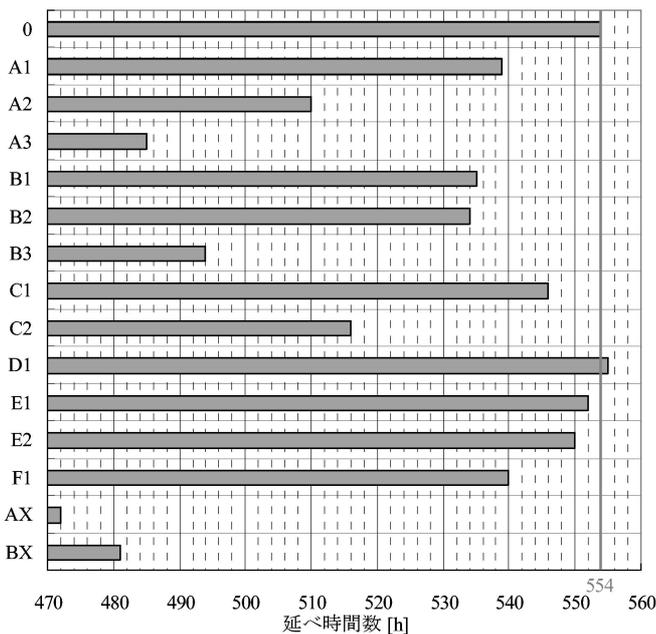


図2 昼間30℃以上延べ時間数

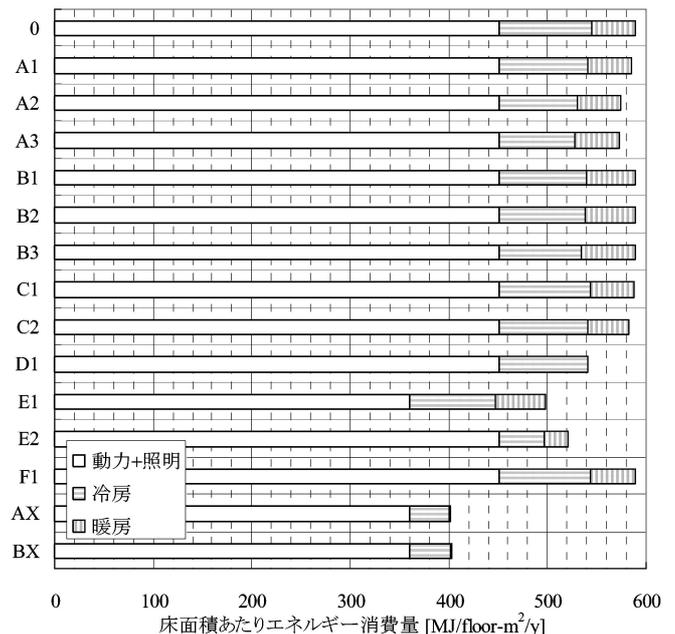


図3 年間エネルギー消費量

(2) 年間エネルギー消費量

地球温暖化に影響する年間エネルギー消費量は、無対策ケース(0)では、589[MJ/floor-m²/y]と計算された。その内訳はコンセント電力+照明が450、冷房が94、暖房が45[MJ/floor-m²/y]である。既往の統計²³⁾によると、事務所ビルの床面積あたりエネルギー消費量は、動力ほか482、冷房130、暖房101[MJ/floor-m²/y](1985-2001年度、母集団平均)である。地域の違い(東京と全国)および本稿が降水時間を除いた集計であることを考慮すると、無対策ケースの設定は平均的な事務所街区を表現する計算条件であると考えられた。

省エネルギー対策を導入した場合、高断熱化(D1)は8.1%減、内部発熱機器の高効率化(E1)は15.6%減、空調熱源の高効率化(E2)は11.6%減のエネルギー消費量(無対策ケース比)と計算され、当然ながら各種対策は省エネルギーに確実に寄与することが示された。

一方、ヒートアイランド対策導入によるエネルギー消費の増減は、高アルベド化(B3)では0.1%増、夏季のみに気温低下をもたらすように設定した湿潤化(A3)で2.8%減、ヒートシンク(C2)も1.1%減となった。このことから平均的な事務所街区においては高アルベド化による冷房需要減は暖房需要増によって相殺されるが、エネルギー消費増までには至らないといえた。また、業務分野において現時点から10%オーダーの省エネルギーが目標とされていること²⁾から、湿潤化およびヒートシンクは、主要な省エネルギー対策に比べると削減量は小さいものの、省エネルギー対策としても位置づけられることが示された。

総合対策では、総合対策(湿潤化)(AX)は31.9%減、総合対策(高アルベド化)(BX)は31.7%減とそれぞれ大幅にエ

ネルギー消費量が削減できることが示された。

(3) その他

上記より、湿潤化(A3)は省エネルギー対策としても位置づけられるヒートアイランド対策と考えられたが、夏季の気温を低下させる一方で、湿度を上昇させる。湿度の指標として8月の平均比湿(湿潤空气中に含まれる水蒸気重量)を用いると、湿潤化(A1, A2, A3)のみが比湿を上昇させた(図4参照)。比湿の上昇幅は0.518[g/kg]であり、湿度の上昇は不快指数の上昇を招くため、歩行者の温熱環境に悪影響をもたらす可能性があると考えられた。

また、高アルベド化のような通年にわたり気温を低減させるヒートアイランド対策は、冬季においても気温を低減させる。実際に、昼間5[°C]以下延べ時間数として定量化した結果が図5である。冬日出現日数の代替指標とするためには閾値として0[°C]を用いるべきであるが、近年の東京における冬日は年間で数日にとどまっているため、東京の1月と2月の平均気温に相当する5[°C]を閾値に設定した。昼間5[°C]以下延べ時間数は、高アルベド化(B3)では123[h]増となるだけでなく、省エネルギー対策である空調熱源の高効率化(E2)では40[h]増、自動車の省エネルギー(F1)でも30[h]増と寒さをもたらすことが示された。一方、ヒートシンク(C2)は昼間5[°C]以下延べ時間数114[h]減、高断熱化(D1)も86[h]減が見込まれ、これらの対策は冬季においては大きく気温を上昇させると考えられた。

5. おわりに

都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデル(CM-BEM)の通年計算化をおこない、これまで夏季平日のみであった数値シミュレーションを通年でおこなえるよう改良した。

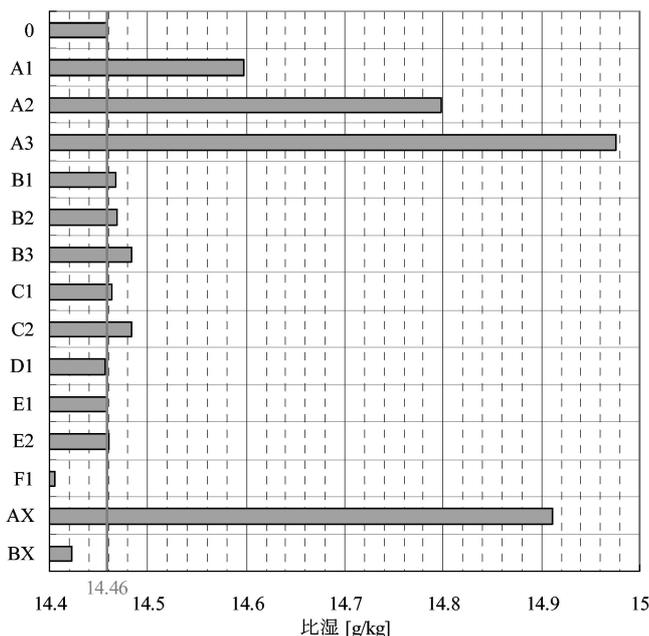


図4 8月の平均比湿

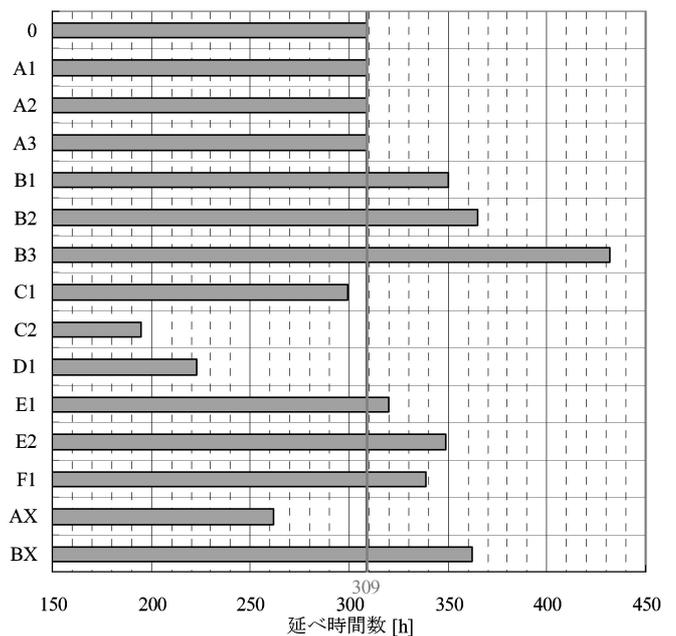


図5 昼間5[°C]以下延べ時間数

その結果、昼間30[°C]以上や5[°C]以下の延べ時間数や年間エネルギー消費量が計算可能となり、ヒートアイランドへの影響と地球温暖化への影響とを同時に評価できるようになった。

改良したCM-BEMを用い、東京の事務所街区に対して各種ヒートアイランド対策および省エネルギー対策を導入した場合の通年での温熱環境（気温および比湿）ならびにエネルギー消費量を計算、対策がもたらす各種の導入効果を解析した。

CM-BEMの計算結果より、主要なヒートアイランド対策として挙げられる湿潤化や高アルbedo化の導入は昼間30[°C]以上延べ時間数を60[h]以上削減できることがわかった。ヒートシンクによる気温低減効果も十分期待できることがわかった。年間エネルギー消費量の観点では、高アルbedo化は平均的な事務所街区では冷房需要減と暖房需要増がほぼ相殺するため悪影響はないと考えられた。また、湿潤化やヒートシンクに関しては、それぞれ3%、1%程度の削減が見込めた。

同様に、省エネルギー対策についても評価した。各種の省エネルギー対策は現状のトップランナーの2倍程度の省エネルギーを図ったとしても、気温には影響せず、主要なヒートアイランド対策としては位置づけられないことがわかった。

今後は、同じ事務所街区群の中での街区間での対策導入効果のばらつきや住宅街区での導入効果について評価していくとともに、ヒートアイランド緩和および地球温暖化抑制の双方につながる現実的な対策導入手法について検討を進める。

謝辞 本研究は、(財)省エネルギーセンターの「平成16年度ヒートアイランド現象緩和に対する省エネ等の効果に関する調査」(委員長：松橋隆治・東京大学教授)の一環としておこなわれ、委員の先生方、省エネルギーセンターの方々に多大なる御協力を頂いた。関係各位に対し、深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 環境省 大都市ヒートアイランド実態解明検討調査委員会；平成12年度ヒートアイランド現象の実態解析と対策のあり方について 報告書（増補版），平成12年度環境省請負業務報告書，(2001)。
- 2) ヒートアイランド対策関係府省連絡会議；ヒートアイランド対策大綱，(2004)。
- 3) 地球温暖化対策推進本部；地球温暖化対策推進大綱（新たな地球温暖化対策推進大綱），(2002)。
- 4) 亀卦川幸浩，玄地裕，近藤裕昭，花木啓祐；街区構造に応じた高温化対策の導入が都市空調エネルギー需要に及ぼす影響，エネルギー・資源，23-3 (2002)，200-206。
- 5) 近藤裕昭，劉發華；1次元都市キャノピーモデルによる都市の熱環境に関する研究，大気環境学会誌，33-3 (1998)，179-192。
- 6) 玄地裕，東貴博，大橋唯太，亀卦川幸浩，稲葉敦；ヒートアイランド対策技術のライフサイクルアセスメント，第23回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集 (2004)，265-268。
- 7) 大橋唯太，玄地裕，亀卦川幸浩；東京都心の街区内気温の空間分布とその形成要因について，環境情報科学，17 (2003)，59-64。
- 8) 大橋唯太，平野勇二郎，玄地裕，近藤裕昭，亀卦川幸浩，吉門洋；都市気象・ビルエネルギー連成モデルを用いた事務所街区内気温の数値シミュレーション，水工学論文集，48 (2004)，133-138。
- 9) 玄地裕；都市ヒートアイランド現象における人工熱の影響評価とその対策，東京大学，平成10年度博士論文，(1999)。
- 10) 東京都；東京都都市計画地理情報システムデータベース 平成8年版，(1998)。
- 11) 亀卦川幸浩；熱環境と空調エネルギー需要の相互作用を考慮した都市高温化対策の評価，東京大学，平成13年度博士論文，(2001)。
- 12) 電力中央研究所 有識者会議第2研究グループ；事務所ビルの省エネルギー - 東京都区部における可能量と必要コストの評価 - ，電力中央研究所，(1998)。
- 13) 滝沢博；標準問題の提案（オフィス用標準問題），日本建築学会環境工学委員会熱分科会 第15回熱シンポジウム，(1985)。
- 14) 亀卦川幸浩，玄地裕，大橋唯太，近藤裕昭；電源・空調熱源システムの構成が夏季の都市熱環境に及ぼす影響，第19回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集，(2003)，69-74。
- 15) 国土交通省・環境省 ヒートアイランド現象における人工排熱に関する調査検討委員会；都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書，(2004)。
- 16) 日本ビルエネルギー総合管理技術協会；各種建物のエネルギー消費実態調査，(1976-1995)。
- 17) 日本ビルエネルギー総合管理技術協会；個別建物のエネルギー消費実態調査，(1992)。
- 18) 省エネルギーセンター ビルの省エネルギー対策検討委員会；平成13年度ビルの省エネルギー対策検討委員会 報告書，(2002)。
- 19) 省エネルギーセンター ビルの省エネルギー対策検討委員会；平成15年度ビルの省エネルギー対策検討委員会 報告書（ビルにおけるエネルギーの使用に係わる実態調査及び情報提供事業），(2004)。
- 20) 国土交通省道路局；全国道路交通情勢調査（平成13年3月），(2001)。
- 21) 国土交通省；自動車輸送統計年報。
- 22) 亀卦川幸浩；機器の省エネがもたらすヒートアイランドへの影響；省エネルギー，56-9 (2004)，33-38。
- 23) 柳美樹，小宮山涼一，今枝寿哉，伊藤浩吉；民生部門のエネルギー消費実態調査について - 17年間の推移とその特徴に関する考察 - ，第24回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集，(2005)，269-272。