

## 研究論文

# オフィスの実測値を用いた動的熱負荷モデルによる CO<sub>2</sub>排出削減策の評価

Evaluation of CO<sub>2</sub> Reduction Measures Using Dynamic Heat  
Load Model Based on Observed Data at the Office Building

井原 智彦\*・石谷 久\*\*・松橋 隆治\*\*\*\*・吉田 好邦\*\*\*  
Tomohiko Ihara Hisashi Ishitani Ryuji Matsuhashi Yoshikuni Yoshida

六川 修一\*\*\*\*・近藤 美則\*\*\*\*\*・樋口 修二\*\*\*\*\*  
Shuichi Rokugawa Yoshinori Kondo Shuji Higuchi

(原稿受付日2000年7月14日, 受理日2000年10月6日)

## Abstract

In recent years, CO<sub>2</sub> emissions by commercial sector have greatly increased. In this paper, based on long-term measurement at the office building ("Eco-Office" located at the National Institute for Environmental Studies in Tsukuba), we have confirmed the validity of dynamic heat load model with response factor. Response factor is a well-known method of computing dynamic heat load in office buildings. However, calculation results of this method have not yet verified by the data of long-term measurement.

The heat extraction calculated in this model was compared with the observed one. With this modeling, coefficients of determination in February and September were 0.77 and 0.76, respectively.

Based on the above results and our developed model, we simulated energy supply and demand of office buildings. First, we examined the effectiveness of energy-saving measures installed in "Eco-Office". We found that the use of photovoltaics reduced the CO<sub>2</sub> emissions by 54.4%. In addition, solar collector was estimated to reduce the CO<sub>2</sub> emissions by 15.4%, insulation by 8.1%, double sash by 0.5%, total heat exchanger by 5.0%, and in total by 78.5%, respectively.

Next, we estimated characteristics of the energy-saving technologies. Changing the quantity of inside heat load, we assessed the influences on CO<sub>2</sub> emissions, by sensitivity analysis. The CO<sub>2</sub> reduction effect by insulation was found to become not to be small with the increase in inside heat load.

## 1. はじめに

地球温暖化への関心の高まりに伴い, 近年, 特に民生部門や運輸部門でもCO<sub>2</sub>排出を削減しようという動きがある。中でも, オフィスビルのCO<sub>2</sub>排出は民生部門の中で大きなウェイトを占める。オフィスビルに対して動的熱負荷計算<sup>1)</sup>をおこない, さらに空調シミュレーションを組み合わせ, エネルギー消費量を推定することは広くおこなわれており, その代表例がHASP/ACSSである。しかし, 動的熱負荷計算に関しては, そのモデルの精度の問題も指摘

されており, これに答えるべく, 都内のビルを対象に実測値との検証をおこなった例<sup>2)</sup>や, 模型を作成し実験した例<sup>3)</sup>も見られる。後者によると, 条件を整備すればかなりの精度で熱負荷が算出される。しかし, これらはいずれも短期間, かつ, 実験的な条件の下でおこなわれたものであり, 実際の建築物に対してどのように熱負荷モデルを構築すればよいかは言及していない。

これらを踏まえ, 実際に居住者が存在する国立環境研究所エコオフィス区域(つくば市)において, 詳細な空調・気象データが長期にわたって計測されているのを利用し, 実測値とモデルから得られる計算値との比較を通して, 動的熱負荷モデルの構築・検証をおこなう。

そして, 本稿では, 同区域にさまざまな省エネルギー対策(太陽電池の設置や断熱材の導入など)が施されていることに着目し, 上記で検証される動的熱負荷モデルにエネルギー需給計算部を追加したモデルを用いて, エネルギー需給シミュレーションをおこなって, 各省エネ策によるエネルギー消費量やCO<sub>2</sub>排出量を算出する。さらに, その結果より, 各対策技術のCO<sub>2</sub>排出削減特性について分析する。

\*東京大学大学院工学系研究科地球システム工学専攻

\*\* 〃 〃 〃 教授

\*\*\* 〃 〃 〃 助手

\*\*\*\* 〃 〃 〃 助教授

\*\*\*\*\* 〃 新領域創成科学研究科環境学専攻助教授

〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1

\*\*\*\*\* 国立環境研究所 地域環境研究グループ主任研究員

〒305-0053 茨城県つくば市小野川16-2

\*\*\*\*\* 新菱冷熱工業㈱工事事業部設計部設計二課主査

〒160-8510 東京都新宿区四谷2-4

## 2. シミュレーションモデルの概要

本稿で構築・使用するシミュレーションモデルは、除去熱量を求める非定常熱負荷計算と、二次エネルギー消費量を求めるエネルギー需給計算とを組み合わせ、1時間ずつ交互に動かすものである。ただし、これはモデル完成後の状態である。本稿の作業の流れとしては、まず前者の構築・検証をおこない、続いて後者を構築する。最後に両者を連携させてシミュレーションをおこなってCO<sub>2</sub>排出量を算出し、本稿の趣旨であるCO<sub>2</sub>排出削減策の評価をおこなう。以下に、完成後のモデルの詳細を説明する。

まず、前者に対象オフィスビルの外気・空調条件などを入力して、除去熱量（室から取り去るべき熱量）を算出する。そして、後者でその除去熱量をまかなうのに必要な分だけ空調機器を稼働させ、同時に給湯や照明・コンセント電力のエネルギー消費量（実測値）、自然エネルギーによるエネルギー供給量も考慮することで、外部系統からのエネルギー供給量を算出する。これを毎時刻計算し、計算対象期間（初期値影響を排除するため、始めの2週間は助走期間とする）の外部系統からのエネルギー供給量の合計値を、無対策ケースにおけるエネルギー供給量と比較することで、エネルギー供給削減量、さらにCO<sub>2</sub>排出削減量を算出する。なお、計算対象を具体的に設定し、検証をおこなう関係上、さまざまな式や変数を自由に設定する必要がある。そこで、オブジェクト指向言語（C++）を用いた評価モデルを開発した。

また、計測データは、1997年1～12月の値（但し欠測日あり、計算対象期間から除外）を用いた。

### 2.1 動的熱負荷計算部（モデル内）

熱負荷計算部は、応答係数法を用いた動的熱負荷計算<sup>1)</sup>をベースに構築する。ただし、実際のエコオフィスでは湿度無調整のため、顕熱のみ計算する。

#### (1) 応答係数法

応答係数法では、壁体への熱流を、単位時間ごとの三角波の合計として捉える。その熱流は時間遅れを持って室内に流入するが、外気側で三角波形の温度変動が生じたときの室内側への毎時刻の熱流応答を表す応答係数 $r_t(j)$ と、外気の毎時刻の三角温度波 $\Delta T_{out}(j)$ を掛け合わせる（たたみ込み計算）ことによって、時点 $n$ の熱流応答 $G(n)$ が計算できる。なお、応答係数は、温度と熱流に関するFourierの熱伝導方程式を、壁体の境界条件を設定して解くと算出される。

$$G(n) = \sum_{j=0}^n \Delta T_{out}(n-j) r_t(j) \dots\dots\dots (2.1)$$

以上で、室内への熱流応答である熱取得が求まるが、熱

取得が、実際に室温上昇をもたらすまで、さらに時間遅れが生じる。熱取得に、重み係数 $w(j)$ をたたみ込んで、実際に室温上昇の原因となる、時点 $n$ の熱負荷 $L(n)$ が計算される。

$$L(n) = \sum_{j=0}^n G(n-j) w(j) \dots\dots\dots (2.2)$$

#### (2) 熱負荷

熱負荷として、以下を考慮する。熱負荷の種類ごとに記述するが、実際の計算は、熱負荷部位オブジェクトごとにおこなう。

貫流熱負荷 室外と室内の温度差から生じる熱負荷（前小節参照）。壁体およびガラス窓が関係する。

透過日射熱負荷 これは、日射に起因する。日時より算出された太陽高度を用いて、水平面全天日射量をIEAの方法<sup>4, 5)</sup>で、水平面天空日射量と法線面直達日射量とに直散分離する。なお、理論日射<sup>4)</sup>を計算し、これを上限とする。両日射量より、任意面に対する直達・天空日射量が計算できるが、これにガラス窓の日射に対する熱取得率を乗じて、熱取得を求める。さらに透過日射重み係数をたたみ込んで、熱負荷を求める。

人体による熱負荷 作業強度ごとの単位人体発熱量に在室人数を乗じて熱取得を求める。さらに人体用重み係数をたたみ込むと熱負荷となる。

発熱器具による熱負荷 発熱器具（主に電気器具）の表面温度に応じて重み係数を設定する<sup>1)</sup>。器具発熱量と顕熱・潜熱の割合より熱取得を算出し、さらに重み係数でたたみ込んで熱負荷を算出する。

照明による熱負荷 照明種類ごとに重み係数が設定されているので、照明電力および安定器<sup>6)</sup>より照明発熱量を算出し、重み係数でたたみ込んで熱負荷を算出する。

隙間風による熱負荷 室内外の気圧差<sup>5)</sup>および風速、そして隙間定数と隙間長より、隙間風量を求める。そして、室内外の温度差と風量より熱負荷を算出する。

換気による熱負荷 本モデルでは換気も熱負荷として扱う。換気スケジュールより換気風量を決定し、熱負荷を求める。

なお、換気扇に全熱交換器を設置している場合は、全熱交換器による熱交換を考慮する。換気熱負荷に全熱交換器の顕熱交換率を乗じて、除去熱量を算出する。

#### (3) 除去熱量

上記の熱負荷 $L(n)$ および後述の蓄熱負荷 $S(n)$ の合計値が、空調機による除去熱量 $E(n)$ である（第3節参照）。

$$E(n) = L(n) + S(n) \dots\dots\dots (2.3)$$

#### (4) 蓄熱負荷

室内に単位三角波温度励振が生じたとき、室の各熱負荷部位は熱量を吸収するが、吸収後、吸収した熱は時間遅れをもって室内側へ逆流する。蓄熱応答係数<sup>7)</sup> (室の吸熱応答係数<sup>1)</sup>、除去熱量の重み係数<sup>8)</sup>とも呼ばれる) とは、この熱流応答を表す係数である。

壁体の場合は、吸熱応答係数に壁体面積を乗じることで蓄熱応答係数が計算される。ガラス窓は熱貫流率、隙間・換気は風量に単位空気熱容量を乗じた値が、それぞれ温度励振発生時の係数 (蓄熱応答係数) の値であり、吸収した熱量は応答しない。室内熱容量は、熱容量を単位温度で除した値を温度励振時の係数とし、次時刻に全て応答し、以降はゼロとする。その他の部位は、室温が変動しても熱量を吸収しないと考える。

上記を全て合計すると、室全体の蓄熱応答係数 $r_s(j)$ が算出される。蓄熱負荷 $S(n)$ は、室内の温度三角波に蓄熱応答係数をたたみ込むことで算出する。

$$S(n) = \sum_{j=0}^n \Delta T_{\text{room}}(n-j)r_s(j) \dots\dots\dots(2.4)$$

(5) 室温

以上で説明した熱負荷 $L(n)$ 、除去熱量 $E(n)$ 、蓄熱負荷 $S(n)$ より、時点 $n$ における室温変位 $\Delta T_{\text{room}}(n)$ は、次の式で計算される。なお、蓄熱応答係数を $r_s(j)$ とする。

$$\Delta T_{\text{room}}(n) = \frac{L(n) + S(n) - E(n)}{r_s(0)} \dots\dots(2.5)$$

2.2 エネルギー需給計算部 (モデル内)

エネルギー計算は、熱損失を考慮する蓄熱槽を除き、すべて流入・流出・保有熱量の平衡式でおこなう。

(1) エネルギー供給機器

エネルギー供給機器として、以下を考慮する。  
温水吸収式冷凍機 上流からの温水供給可能量を取得し、冷水供給能力を算出する。次に、要求された冷水供給を、

冷水供給能力の範囲内で、COPで除して、上流への温水需要を求める。同時に、補助電源の電力需要を冷水供給量より算出する。

冷却塔 連結している冷凍機の冷水供給量に応じて、電力需要を算出する。

空気熱源ヒートポンプ 冷温水需要をCOPで除して、電力負荷を求める。COPは温水/冷水供給で異なる。

水蓄熱槽 毎時刻、保有熱量に、上流からの温水供給 (もしくは蒸気供給) を加え、下流への温水供給を減じる。そして、更新された保有熱量より水温を計算、水温と周囲温度との差に、熱損失係数および保有水量を乗じて、熱損失量を求め、保有熱量より減じる。

太陽熱集熱器 法線面直達日射量・水平面天空日射量より、集熱面への日射量を求め、それに集熱効率および集熱面積を乗じて、温水供給量を算出する。

太陽電池 法線面直達日射量・水平面天空日射量より、セル面への日射量を求め、それに変換効率およびセル面積を乗じて、電力供給 (直流) を算出する。

インバータ 直流電力に変換効率を乗じて、交流電力に変換する。同時に、処理した直流電力に応じて、制御に要する電力需要を算出する。

全熱交換器 処理する換気熱負荷に機器効率を乗じて電力需要を算出する。

ファンコイル/ファン/ポンプ 処理する冷温水もしくは送風の熱量に応じて、電力需要量を算出する。ただし、冷却塔～冷凍機のポンプのみ、冷凍機の製造・供給する冷水熱量に応じて電力需要量を算出する。

(2) エネルギー供給システムの運転方法

実際のエコオフィスの空調設備システムを図1に掲載する。実際と同じく、温水蓄熱槽の保有熱量は給湯システムを優先し、次に空調システムとする。また、自然エネルギーによる供給を優先する。ただし、太陽熱集熱器に関しては、温水蓄熱槽へのポンプ動力を節約するため、蓄熱槽の保有熱量が一定

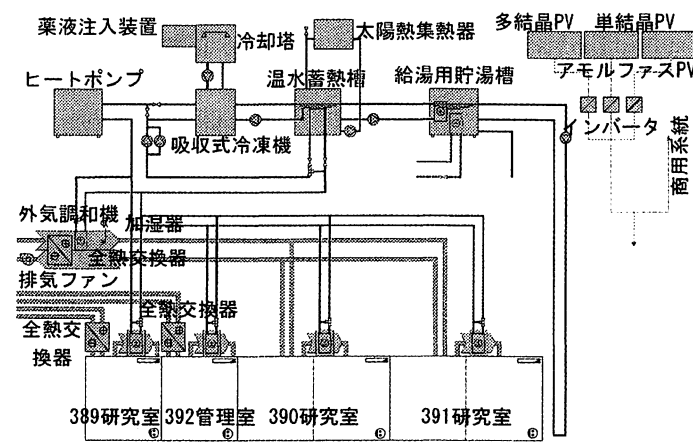


図1 エコオフィスの空調設備系統図

値に達したら、ポンプの運転を取りやめる。

2.3 運用段階におけるCO<sub>2</sub>排出量算出

以上のシミュレーションモデルにより運用段階におけるエネルギー消費量（電力・ガス）を計算する。そして、CO<sub>2</sub>原単位を乗じることで、CO<sub>2</sub>排出量を算出する。ライフサイクルの観点からは生産段階や廃棄段階なども考慮する必要があるが、これは今後の課題としたい。

3. シミュレーションモデルの構築・検証

3.1 動的熱負荷計算部

計算結果と実測値とを比較することによって、モデルの精度の検証をおこなった。

(1) 入力データ

エコオフィス（表1、表2）では、表3に列挙したデータを計測し、30秒ごとにディスクに保存している。このデータを用いて計算する。

(2) 検証手法

一連の実測データを入力し、実測室温を満たすように、ファンコイルによる除去熱量を調整しながら、シミュレーションモデルを走らせる。算出されたファンコイルによる

除去熱量と、実測のファンコイルによる冷熱供給量（コイルを通過する冷温水の出入口水温差と流量より算出）とを比較することで、モデルの妥当性を検証する。

ただし、実際のファンコイルによる冷熱供給量は、応答係数法上の室からの除去熱量 $E(n)$ とは一致しない。これは、コイルの熱交換率が100%ではない、また、応答係数法では室を均一温度としているが、現実のエコオフィスでは天井に送風口が存在し、冷温風が室全体に均等にゆきわたらないためである。特に、暖房の場合はそれが顕著である。また、冷房時は同時に除湿がおこなわれるが、モデルでは顕熱のみ計算しているため一致しない。しかし、ファンコイルの実測値は全熱なので、除去熱量の潜熱部分も考慮する必要がある。これらを踏まえ、冷房時は0.90、暖房時は0.86という空調係数を設定し、冷熱供給量にこれに乗じた値を室からの除去熱量とした。

一方、未計測項目である在室人数や自然換気量なども入力値として必要である。そこで、次のように取り扱った。在室人数は、現場調査に基づき平日・休日の時刻別スケジュールを作成、それを用いた。自然換気量は、空調スケジュール外は窓を開けている現実を踏まえ、モデルでは実測室温（検証時での設定室温）に室温が変化するまで自然換気がおこなわれるようにした。なお、機械的な空調制御の一環としての自然換気ではないので、次節のシミュレーションでは、自然換気を考慮しない。さらに、室内の家具などを含んだ熱容量を正確に求めるのは困難であるため、空間容積に対して一律に0.0276 [MJ/m<sup>3</sup>K] をかけた値を室内熱容量とした。なお、空調係数および室内熱容量は、実測値との誤差が最小になるように設定した。

(3) 検証結果

モデルより算出される除去熱量と、実測された除去熱量とを比較した。なお、計算期間としては、空調条件が対照的な2月と9月を採り上げた（8月を採り上げなかったのは、欠測日存在のため、十分に長い計算期間を設けられなかったためである）。結果を図2および図3に示す。

表1 エコオフィスの建築概要

| 項目     | 詳細                                                    |
|--------|-------------------------------------------------------|
| 位置     | 北緯36°3'52"・東経140°7'22"<br>国立環境研究所 研究本館III 3階の一部       |
| 床面積    | 288.35[m <sup>2</sup> ]（うち居室面積241.4[m <sup>2</sup> ]） |
| 断熱仕様   | 壁 硬質ウレタン断熱材 50[mm]<br>窓 5[mm]複層サッシ                    |
| 空調設定条件 | 約22.5-26.0[℃]・湿度は無設定                                  |

表2 エコオフィスのエネルギー機器

| 設備              | 主要性能（実測値）                                                      |
|-----------------|----------------------------------------------------------------|
| 多結晶PV           | 変換効率10.2%, 面積46.33[m <sup>2</sup> ]                            |
| 単結晶PV           | 変換効率11.2%, 面積45.68[m <sup>2</sup> ]                            |
| アモルファスPV        | 変換効率3.58%, 面積103.32[m <sup>2</sup> ]                           |
| インバータ           | 変換効率86.1%                                                      |
| 太陽熱集熱器          | 集熱効率27.5%, 面積124.15[m <sup>2</sup> ]                           |
| 吸収式冷凍機          | COP 0.532                                                      |
| 温水蓄熱槽           | 熱損失係数0.249[MJ/m <sup>3</sup> ・K]<br>容量8.0[m <sup>3</sup> ]     |
| 全熱交換器1<br>（外調機） | エンタルピー・温度交換率0.78<br>処理風量900[m <sup>3</sup> ]                   |
| 全熱交換器2<br>（換気扇） | エンタルピー交換率0.66/0.75, 温度交換率0.81/0.81<br>処理風量120[m <sup>3</sup> ] |
| 全熱交換器3<br>（換気扇） | エンタルピー交換率0.61/0.57, 温度交換率0.75/0.75<br>処理風量150[m <sup>3</sup> ] |
| ヒートポンプ<br>ボイラー  | COP 2.06/3.24<br>効率 0.8（都市ガス使用、蒸気供給）                           |

\* “a/b”は、aが冷房時の値、bが暖房時の値である。  
\*\* ボイラーのみ推定値。全熱交換器のみ技術資料から採用。  
\*\*\* 平成5年着工・平成7年10月竣工の実験的な省エネ化施設なので、現在の技術水準とは異なる。

表3 エコオフィス計測データ

| 分類   | 測定項目                                                                                    |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 空気状態 | 日射量（2点）、温度（外気2・4室各5・太陽電池3点）、相対湿度（外気1・4室各1点）                                             |
| 電力供給 | 太陽電池（3種）の発電電圧・発電電流・交流発電電力、外部電力・逆流電力                                                     |
| 電力消費 | 太陽電池インバータ制御、冷却塔、全熱交換器、外調機、加湿器、吸収式冷凍機、ヒートポンプ、ファンコイルユニット、排気ファン、各種動力ポンプ、4室の照明・コンセントの合計、貯湯槽 |
| 水・蒸気 | 各機器の出入口水温・流量・外部蒸気供給量・温度                                                                 |
| スイッチ | 各機器および各機器群のスイッチの状態                                                                      |

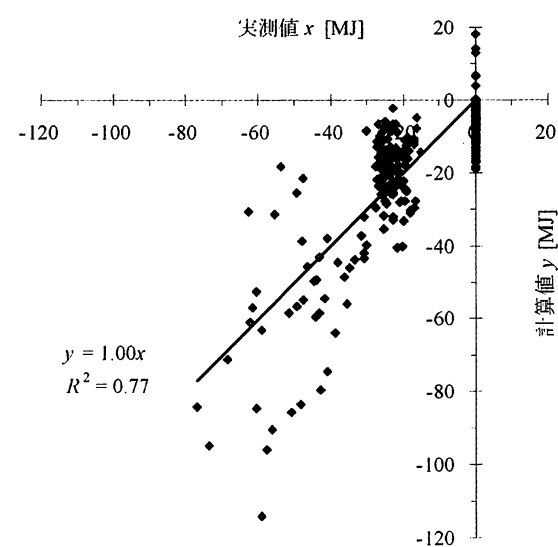


図2 シミュレーション結果と実測値との比較（2月）

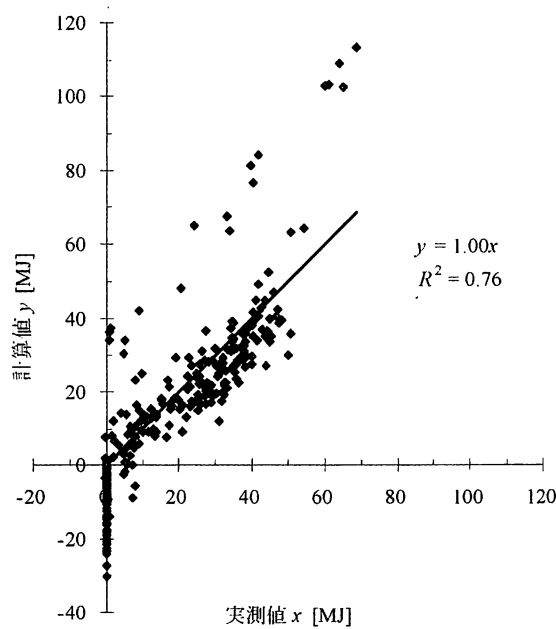


図3 シミュレーション結果と実測値との比較（9月）

2月では0.77，9月では0.76という，0.7超の決定係数が得られ，本モデルの妥当性が確認できた。

なお，計算値と実測値の不一致の原因としては，実測室温（4室の廊下側で計測）が必ずしも空間全体（4室＋廊下）の室温を代表していないこと，熱負荷体の熱容量・重み係数の誤差，潜熱計算の単純化などが考えられる。

3.2 エネルギー需給計算部

エネルギー需給計算部で使用する各機器のエネルギー入出力関係式（COPや変換効率など）は，実測値より回帰した数式を用いた（実測値との誤差が最小になるように設定した）。以下に，機器ごとの回帰方法を述べる。なお，冷温水および風量の熱量は，機器の出入口温度差に水量・流量および比熱を乗じることで算出した。

温水吸収式冷凍機 上流からの供給温水熱量と，製造され

た冷水熱量とを回帰して，供給温水熱量と製造冷水熱量との関係式を作成した。

冷却塔 連結している冷凍機の供給冷水熱量と消費電力とを回帰した。

空気熱源ヒートポンプ 製造された温水熱量と消費電力とを回帰し，暖房時のCOPを算出した。一方，冷房時のCOPも，同様に製造冷水熱量より算出した。

水蓄熱槽 上流からの流入熱量と下流への流出熱量および外気温度を用いて，蓄熱槽の保有熱量の熱損失式を作成，初期保有熱量と熱損失係数を決定した。ただし，保有熱量の推移が蓄熱槽水温と一致するようにした。

太陽熱集熱器 法線面直達日射量・水平面天空日射量より算出した集熱面への日射量と供給温水熱量とを回帰し，集熱効率を算出した。

太陽電池 セル面への日射量と供給電力とを回帰し，変換効率を算出した。

インバータ 入力直流電力と出力交流電力とを回帰して，変換効率を算出した。

全熱交換器 処理する換気熱負荷と消費電力とを回帰して，機器効率を算出した。

ファンコイル/ファン/ポンプ 処理する冷温水もしくは送風の熱量と機器の消費電力とを回帰して，動力効率を算出した。ただし，冷却塔～冷凍機のポンプのみ，冷凍機の製造・供給する冷水熱量を用いた。

4. シミュレーション

前節で検証された熱負荷シミュレーションに加えて，エネルギー需給シミュレーションもおこない，さまざまな省エネ策のCO<sub>2</sub>排出量の削減効果を算出する。

エコオフィスには，5種類の省エネ策（表4）が施されており，これらのCO<sub>2</sub>排出量の削減効果を算出する。まず，どの省エネ策も施されていない場合（「無対策」ケース）についてシミュレーションし，外部エネルギー供給量およびCO<sub>2</sub>排出量を算出する。次に，5つの省エネ策が施されたケース（「エコオフィス」）および各省エネ策が単独導入されたケースを計算することで，省エネ策導入によるCO<sub>2</sub>排出量の削減効果を分析する。

表4 エコオフィスに導入されている省エネ策

| 項目      | 詳細                                        |
|---------|-------------------------------------------|
| 太陽電池    | 太陽電池，インバータ                                |
| 太陽熱システム | 太陽熱集熱器，冷却塔，温水吸収式冷凍機（単効用），温水蓄熱槽，各機器間の動力ポンプ |
| 断熱材     | 断熱材                                       |
| 複層サッシ   | 複層サッシ                                     |
| 全熱交換器   | 全熱交換器                                     |

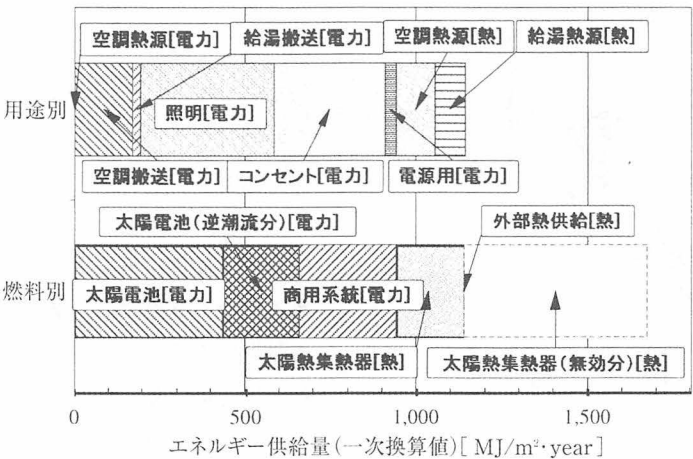


図4 現状のエネルギー供給(用途別・燃料別)

4.1 現状のエコオフィスのエネルギー需給

計算結果として、まず、現在のエネルギー供給を図4に示す。コンセント消費電力を除けば、現状のエコオフィスは、エネルギーを自給していることが分かる。

4.2 省エネ策によるCO<sub>2</sub>排出削減量

次に、各省エネ策導入によるCO<sub>2</sub>を算出した。具体的には、各ケースごとにエネルギー供給削減量を時刻別に算出し、それに燃料別CO<sub>2</sub>原単位(表5)を乗じることで、年間のCO<sub>2</sub>排出量を求めた(図5)。

表5 燃料別CO<sub>2</sub>排出原単位

| 燃料                                        | 年平均 | 昼間  | 夜間   |
|-------------------------------------------|-----|-----|------|
| 電力 [g-CO <sub>2</sub> /MJ] <sup>1</sup>   | 113 | 120 | 92.5 |
| 都市ガス [g-CO <sub>2</sub> /MJ] <sup>2</sup> | 62  |     |      |

<sup>1</sup> 電力の日負荷曲線および各発電形式のCO<sub>2</sub>原単位より作成。  
<sup>2</sup> 文献<sup>9)</sup>より。

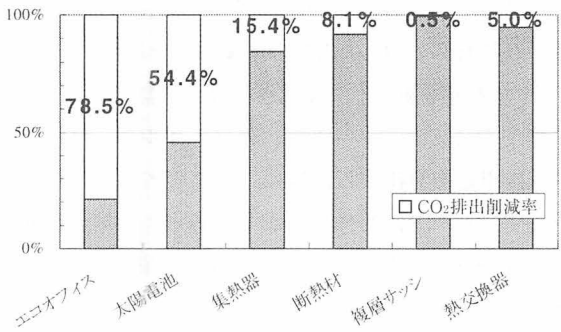


図5 CO<sub>2</sub>排出削減率

すると、エコオフィスでは、太陽電池のみ導入したケースは無対策ケースに比べて54.4%のCO<sub>2</sub>排出量を削減していたのを始め、太陽熱集熱器は15.4%、断熱材は8.1%、複層サッシは0.5%、全熱交換器は5.0%CO<sub>2</sub>排出量を削減していることがわかった。そして、5種類すべての省エネ策を導入した現状のエコオフィスは、78.5%ものCO<sub>2</sub>排出量を削減していることがわかった。

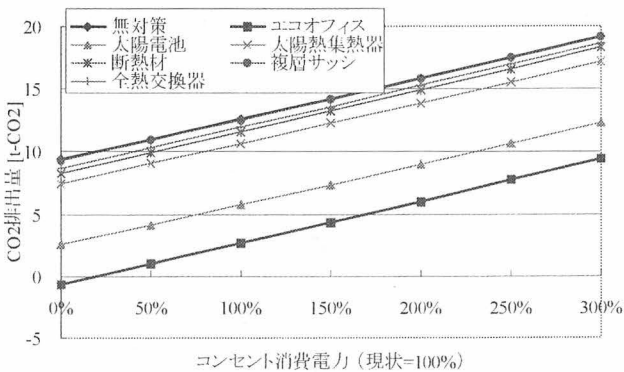


図6 消費電力を変化させたときのCO<sub>2</sub>排出量の変化

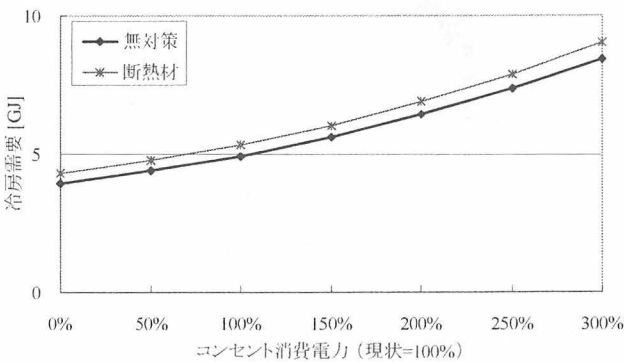


図7 消費電力を変化させたときの冷房需要の変化

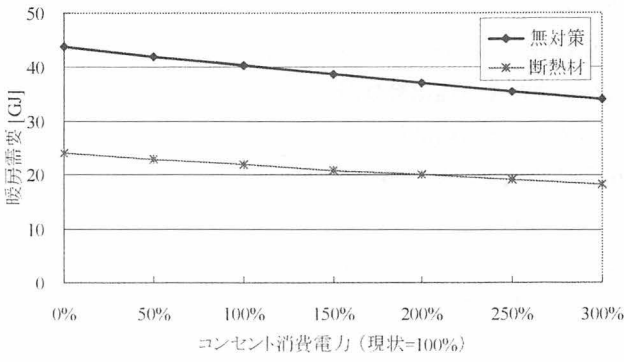


図8 消費電力を変化させたときの暖房需要の変化

### 4.3 内部発熱の大小によるCO<sub>2</sub>排出削減効果の変化

近年、OA化進展に伴い、内部発熱とりわけ器具発熱に関して、ビルごとに大きな違いが見られるようになってきている。そこで、器具発熱の発生源であるコンセント消費電力を変化させ、それが導入している省エネ策のCO<sub>2</sub>排出削減効果にどのような変化が生じるか、を現状の0% - 300%の値を入力することで調べた。

図6を見ると分かるように、内部発熱が増加すると、CO<sub>2</sub>排出量が増大している。そして、各省エネルギー対策技術のCO<sub>2</sub>排出削減量は、ほとんど変化していない。

一般に、断熱材や複層サッシなどは内部発熱が増大するにしたがって、熱を内部にため込んでしまい、冷房負荷を却って増大させてしまうため、省エネ策としては不利になるといわれている。しかし、図6を見る限り、それほどの変化は見られない。

そこで、内部発熱量と冷暖房需要の関係を図7・図8に示す。すると、冷房に限って見ても、それほど不利には働かないことがわかった。これは、夜間の熱をため込むという特性ばかりではなく、昼間の冷房による冷熱をため込むという特性も働くためと考えられる。

### 5. おわりに

本稿では、応答係数法を用いた動的熱負荷計算およびエネルギー需給計算をおこなってCO<sub>2</sub>排出量を算出するモデルを開発し、エコオフィス为例に、省エネルギー・CO<sub>2</sub>排出削減の効果を算出した。

まず、実測室温を入力して計算される除去熱量と、実測除去熱量とを比較することでモデルの妥当性を検証し、2月は0.77、9月は0.76という決定係数が得られた。

次に、検証された結果を踏まえて、エネルギー需給量お

よびCO<sub>2</sub>排出量を算出するシミュレーションプログラムを開発した。データを入力して計算した結果、エコオフィスは無対策ケースに比べて78.5%ものCO<sub>2</sub>排出量を削減していることが分かった。そして、内部熱負荷の大きさを変化してシミュレーションをおこなったところ、断熱材のCO<sub>2</sub>削減効果は、内部熱負荷の大きさにそれほど左右されないことがわかった。

本稿では、既存の5つの省エネ策の運用段階を取り扱ったが、他の省エネ策や生産段階・廃棄段階についても考慮する必要がある。シミュレーションモデルの精緻化とともに、これらの要素を踏まえて、分析を進めていく予定である。

### 参考文献

- 1) 松尾陽, 横山浩一, 石野久彌, 川元昭吾; 空調設備の動的熱負荷計算入門, (1970), (社)建築設備技術者協会, 第1版。
- 2) 松尾陽, 斎藤平蔵, 武田仁, 千田善孝; 空気調和の実測調査と理論計算 (1), 空気調和・衛生工学, 45-2 (1971), 1-7。
- 3) 松尾陽, 射場本忠彦, 井上隆, 美野二郎; 建築物におけるエネルギー・熱精算法のための実験的研究その1実験概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), D, (1978), 501-502。
- 4) 日本太陽エネルギー学会(編); 太陽エネルギーの基礎と応用, (1978), オーム社, 第1版。
- 5) 太陽エネルギー利用ハンドブック編集委員会(編); 太陽エネルギー利用ハンドブック, (1985), 日本太陽エネルギー学会, 初版。
- 6) 橋口敬; 事務所建築の空調設備計画, (1968), 鹿島研究所出版会。
- 7) 日本建築設備士協会; HASP/ACLD/8501解説, (1986)。
- 8) 空調設備基準委員会第2小委員会負荷計算分科会; 電算機による動的空調負荷計算法, 空気調和・衛生工学, 46-3 (1972), 3-33。
- 9) 田村至, 加賀城俊正, 桑原茂, 永田敬博, 吉岡朝之, 倉橋和宏, 石谷久; 都市ガス及びLNGのライフサイクルCO<sub>2</sub>分析, エネルギー・資源, 20-6 (1999), 68-75。

### 協賛行事ごあんない

### 第41回電気化学セミナー

## 「21世紀の燃料電池」について

〔主 催〕電気化学会関西支部

〔協 賛〕大阪科学技術センター, 近畿化学協会 他

〔日 時〕2001年7月18日(水)・19日(木)

〔場 所〕神戸大学百年記念館六甲ホール

(神戸市灘区六甲台町1-1 神大会館内,

TEL: 078-803-5294)

〔参加費〕協賛学協会会員 28,000円(テキスト代込)

〔申込方法〕下記ホームページから申込み下さい。

<http://cx2.cx.kobe-u.ac.jp/kansai/seminar41.html>

〔申込締切〕7月6日(金)

〔問合せ先〕電気化学会関西支部

〒667-8501 神戸市灘区六甲台町1-1

神戸大学工学部応用化学科内

TEL 078-803-6186 Fax 078-803-6205