

動的熱負荷計算を用いた オフィスビルにおける CO₂ 排出削減策の評価

指導教官 石谷 久 教授・松橋 隆治 助教授

東京大学大学院工学系研究科地球システム工学専攻 開発工学研究室 井原 智彦*

平成 12 年 1 月 16 日

1 はじめに

近年、地球温暖化問題に伴い、CO₂ の削減が急務となっているが、本稿では民生部門を対象に CO₂ 排出削減策を分析する。具体的には、オフィスビルを対象に、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シミュレーションを行うことで、省エネルギー対策技術（太陽電池や断熱材など）を組み込んだときに、エネルギー消費量や CO₂ 排出量がどう変化するかを算出する。その結果より、それぞれの省エネ策がどのような形で CO₂ 排出量の削減につながるか、を分析する。

なお、本稿では、さまざまな省エネルギー策が施された国立環境研究所エコオフィス区域（つくば市）を計算対象のモデルとする。同区域で詳細な空調・気象データを計測しているのを利用して、シミュレーションする前に、実測値と計算値の比較によるシミュレーションモデルを検証する。計測データは 1997 年のもの（但し欠測日あり、計算対象期間から除外）を用いる。

2 シミュレーションモデルの概要

本稿で用い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。

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、後方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、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ていき、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 CO₂ 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++) を用いてモデルを自作した。

2.1 動的熱負荷計算部（モデル内）

熱負荷計算部は、よく利用されている応答係数法を用いた動的熱負荷計算 [1] をベースに構築する。但し、湿度無調整のため、顕熱のみ計算する。

2.1.1 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わけであるが、外気側で三角波形の温度変動（単位三角波温度励振）が生じたときの室内側への毎時刻の熱流応答（これも三角波）を表す応答係数と、外気の毎時刻の三角温度波を掛け合わせる（たたみ込み計算）ことによって、毎時刻の熱流応答が計算できる。これを応答係数法という。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。つまり、応答係数は、壁体を構成する各壁材の熱抵抗値および熱容量（いずれも長さ、熱伝導率、容積比熱より計算される）によって決まる。算出に必要な物性値は [2], [3] などをも参考にした。

なお、この室外～壁体～室内の応答係数を貫流応答係数と呼び、室内～壁体～室内の応答係数は吸熱応答係数と呼ぶ。

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、重み係数をたたみ込んで、実際に室温上昇の原因となる熱負荷が計算される。

2.1.2 熱負荷

以下を考慮。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のことである。前小節参照。壁体オブジェクトおよびガラス窓オブジェクトが関係。

透過日射熱負荷 日射に起因。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 [4, 5] 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。念のため、理論日射 [4] を計算しておき、上限を設けておく。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。ガラス窓が関係。

人体による熱負荷 人体発熱に起因。作業強度ごとに単位人体の発熱が決まっているので、それ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。人体が関係。

発熱器具による熱負荷 器具発熱に起因。器具の表面温度ごとに重み係数が設定されているので、器具発熱量と顕熱・潜熱の割合より熱取得を算出、さらに重み係数でたたみ込んで熱負荷を算出する。発熱器具が関係。

照明による熱負荷 照明発熱に起因。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 [6] より照明発熱量を算出、重み係数でたたみ込んで熱負荷を算出する。照明が関係。

隙間風による熱負荷 隙間風による熱負荷。室内外の気圧差 [5] および風速、そして隙間の隙間定数と隙間の長さより、隙間風量が求まる。そして、室内外の温湿度差と風量より熱負荷を算出する。隙間が関係。

換気による熱負荷 換気による熱負荷。本モデルでは換気も熱負荷の 1 つとして扱う。換気スケジュールより換気風量を決定、熱負荷を求める。換気扇が関係。

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。具体的には、換気熱負荷に全熱交換器の顕熱交換率・エンタルピー交換率を乗じて、除去熱量を算出する。全熱交換器が関係。

2.1.3 除去熱量

ファンコイルによる除去熱量 上記の熱負荷および後述の蓄熱負荷の合計からファンコイル以外による除去熱量を引いた値を、ファンコイルによる除去熱量とする。検証の節でも説明する。

2.1.4 蓄熱負荷

蓄熱応答係数 [7]（室の吸熱応答係数 [1], 除去熱量の重み係数 [8] とともに）とは、室内に単位三角波温度励振が生じたとき、ファンコイルを除く室の各熱負荷・除去熱量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、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と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の値であり、吸収した熱量は応答しないものとする（次の時刻以降の係数はゼロとする）。室内熱容量に関しては、熱容量を単位温度で除した値を温度励振時の係数、その負の値を励振の次の時刻の値とし（つまり次の時刻に全て応答する）、さらに以降はゼロとする。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ことで、室全体の蓄熱応答係数が算出される。そして、蓄熱負荷は、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。

2.1.5 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 $\Delta T(n)$ は, 次の式で計算される. なお, 蓄熱応答係数を $r_s(j) = \{r_s(0), r_s(1), r_s(2), \dots, r_s(n)\}$ とする.

$$\Delta T(n) = \frac{L(n) + S(n) - E(n)}{r_s(0)} \quad (2.1)$$

しかし, $L(n), E(n), S(n)$ はそれぞれ, 実際には $L(n, T(n)), E(n, T(n)), S(n, T(n))$ であり, $T(n)$ を含んでいるので, すぐには解けない. そこで, $\Delta T(n)$ に関して収束計算 (反復計算 [9]) をおこない, $\Delta T(n) = 0$ となった時点で計算をやめ, その時点の温度を時点 n における室温 $T(n)$ とする.

2.2 エネルギー需給計算部 (モデル内)

エネルギー計算は, 全て熱量単位でおこなう (熱損失を考慮する必要のある蓄熱槽を除いて, 流量・風量や温湿度は一切考慮しない).

2.2.1 エネルギー供給機器

以下を考慮. なお, COP や変換効率など各変数は, 実際の計測データより算出した実測値を用いる.

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. そして, 実際の冷水供給を, 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, 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.

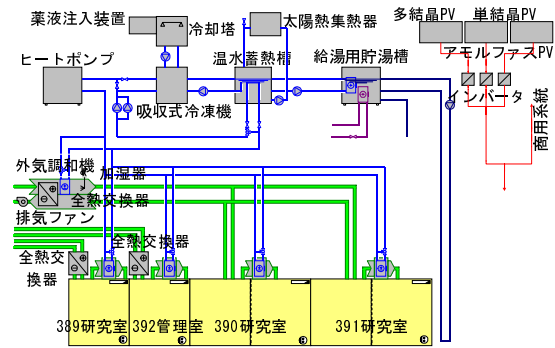


図 2.1 エコオフィスの空調設備系統図

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 処理風量の熱負荷に応じて, 電力需要を算出する.

ファンコイル/ファン/ポンプ 処理する冷温水量もしくは風量の熱量に応じて, 電力需要量を算出する. 但し, 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.

2.2.2 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 2.1 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, 残った場合には, 必要な分だけ熱量を空調システムに送る. また, エネルギー需要が発生した際, なるべく自然エネルギーでまかなうようにする. 但し, 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値に達したら, ポンプの運転を取りやめる.

表 3.1 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

表 3.2 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" 国立環境研究所 研究本館 III 3 階の一部
床面積	288.35[m ²]（うち居室面積 241.4[m ²]）
断熱仕様	壁 硬質ウレタン断熱材 50[mm] 窓 5[mm] 複層サッシ
空調設定条件	約 22.5-26.0[°C]・湿度は無設定

表 3.3 エコオフィスのエネルギー機器

設備	主な能力（実測値）
多結晶 PV	変換効率 10.2%, 面積 46.33[m ²]
単結晶 PV	変換効率 11.2%, 面積 45.68[m ²]
アモルファス PV	変換効率 3.58%, 面積 103.32[m ²]
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 ²]
吸収式冷凍機	COP 0.532
温水蓄熱槽	熱損失係数 0.00594[kcal/L・°C] 容量 8000[L]
全熱交換器 1 （外調機）	エンタルピー・温度交換率 0.78 処理風量 900[m ³]
全熱交換器 2 （換気扇）	エンタルピー 0.66/0.75, 温度 0.81/0.81 処理風量 120[m ³]
全熱交換器 3 （換気扇）	エンタルピー 0.61/0.57, 温度 0.75/0.75 処理風量 150[m ³]
ヒートポンプ	COP 2.06/3.24
ボイラー	効率 0.8（都市ガス使用、蒸気供給）

* “/”は、前が冷房時の値、後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より。

*** 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。

2.3 運用段階における CO₂ 排出量算出

以上のシミュレーションモデルより、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、それぞれに CO₂ 原単位を乗じることで、CO₂ 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検証

シミュレーションモデルの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。

3.1 入力データ

エコオフィスでは、さまざまなデータを計測し、30 秒ごとにディスクに保存している。データの測定項目を表 3.1 に掲げる。同時に、エコオフィスの建築概要（表 3.2）、主なエネルギー機器の能力（実測値）（表 3.3）も示す。

3.2 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動かす。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除去熱量（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。

但し、シミュレーションモデルの入力値として、上記で説明する実測データ以外に、在室人数や自然換気量が必要である。そこで、在室人数は調査によって推定した。また、自然換気量に関しては、空調スケ

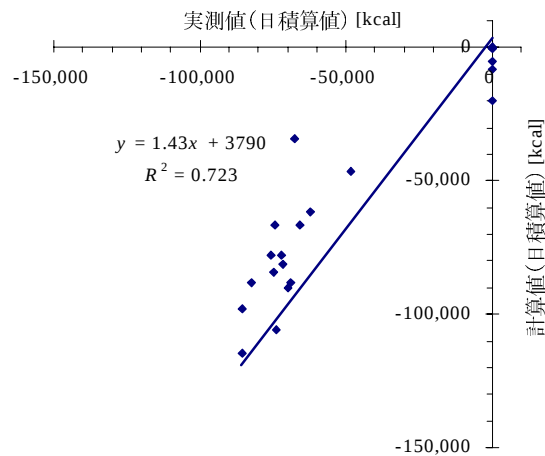


図 3.1 シミュレーション結果と実測値との比較（2 月）

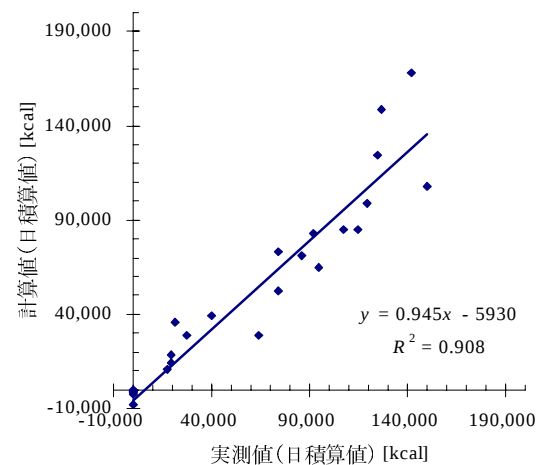


図 3.2 シミュレーション結果と実測値との比較（9 月）

ジュール外は窓を開けることで温度調整をおこなっているという情報を居住者から得たので、モデルもそのように調整してシミュレーションする。ただし、エコオフィスでは、機械的な空調制御の一環として自然換気を用いているわけではないので、これを空調制御の 1 項目に組み込むのは疑問符が付く。そのため、次節の省エネシミュレーションでは、自然換気を考慮しない。

3.3 検証結果

モデルより算出される除去熱量（日積算値）と、実測された除去熱量（日積算値）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 月を取り上げた（8 月を取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事による）。結果を図 3.1 および図 3.2 に掲げる。算出された除去熱量が、実測除去熱量と比較してある程度ずれる原因には、未測定項目の存在（および推定時の誤差）、実測除去熱量算出時の誤差（出入口より離れた水温計を使用）、潜熱の無視（ファンコイルおよび熱負荷計算モデル）、実際の空調効率（天井から冷温風を吹き出し、特に温風は室に行きわたりにくく外へ逃げがち）、外気および隣接空間との熱の出入り（ドアの開閉）などが考えられる。

そして、回帰式の傾きが 1 を上回ってしまうことに関しては、以下のように考えられる。このモデルでは、ファンコイルユニットのコイルにおける損失を考えておらず、かつ、熱量をすべて顕熱除去熱量として

いるので、理論的には、1 より小さくなるはずである。しかし、それに反する結果となる。これは、実測値は居室空間（4 室）のみの空調をおこなっているときの値であるのに対し、計算ではさらに廊下および DPS、ES などの非空調空間をも空調空間としているために、除去熱量が過大に計算されているためと考えられる。

以上を考慮すると、本稿で用いるモデルは妥当なものであることが検証されたといえる。

4 シミュレーション

前節で検証されたモデルを用いて、シミュレーションし、さまざまな省エネルギー対策の CO₂ 排出量の削減効果を算出する。

エコオフィスには、表 4.1 に示す 5 種類の省エネルギー対策が施されているが、これらについて CO₂ 排出量の削減効果を算出する。まず、どの省エネルギー対策も施されていない場合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 CO₂ 排出量を算出する（以下、「無対策」ケースと呼ぶ）。次に、5 つの省エネルギー対策が施されたケース（「エコオフィス」）および各省エネルギー対策が単独導入されたケースを計算することで、省エネルギー対策導入による CO₂ 排出量の削減効果を分析する。

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、エネルギー供給を図 4.1 に示す。コンセント消費電力を除けば、現状のエコオ

表 4.1 エコオフィスに導入されている省エネルギー対策

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
窓の断熱化	複層サッシ・二重窓
全熱交換器	全熱交換器

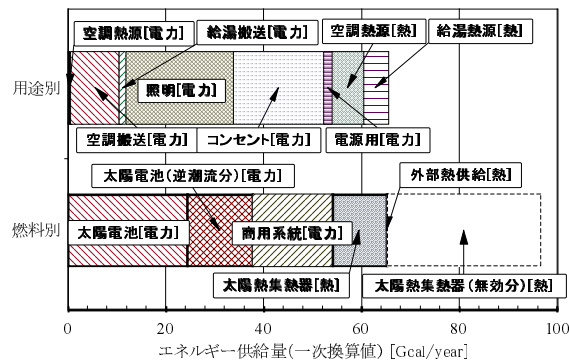


図 4.1 現状のエネルギー供給（用途別・燃料別）

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 CO₂ 排出削減量

次に、各省エネ策導入による CO₂ を算出した。まず、エネルギー供給削減量を時刻別に算出した（図 4.2）。なお、燃料別 CO₂ 排出原単位として、表 4.2 を用いた。次に、各省エネ策導入による CO₂ を算出した（図 4.3）。

表 4.2 燃料別 CO₂ 排出原単位

燃料	年平均	昼間	夜間
電力 [g-CO ₂ /kWh] ¹	406	431	333
都市ガス [g-CO ₂ /Mcal] ²	260		

¹ 電力の日負荷曲線および各発電形式の CO₂ 原単位より作成。

² 出典: (財) 日本エネルギー経済研究所 定例研究報告会資料

すると、導入されている省エネルギー対策では、太陽電池や断熱材による CO₂ 排出削減効果が大いことが分かった。

そして、原単位を平均で見た場合と昼夜別に見た場合とを比べると、いずれも昼夜別の方が、CO₂ 排出削減量が大きくなっている。特に太陽電池と太陽熱シ

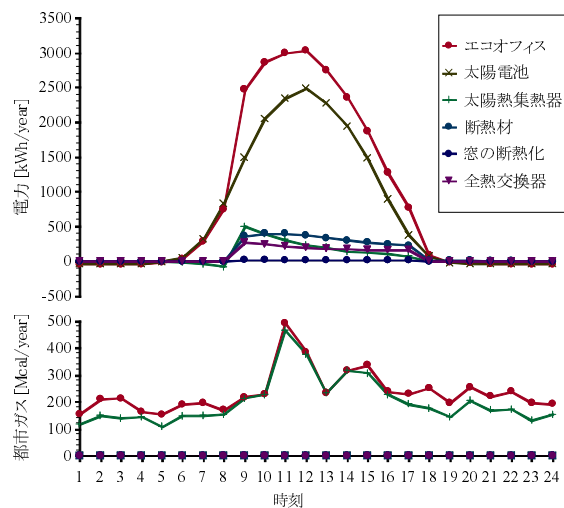


図 4.2 省エネ対策導入によるエネルギー供給削減量

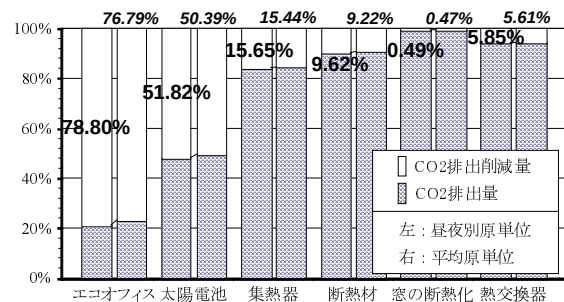


図 4.3 CO₂ 排出削減量

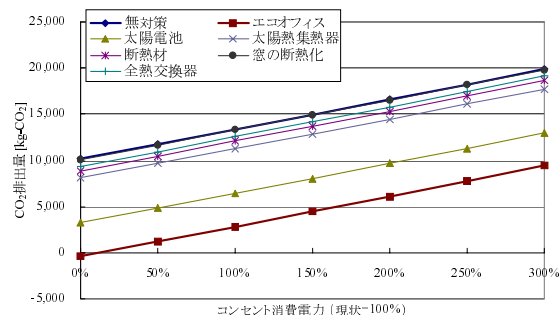


図 4.4 消費電力を変化させたときの CO₂ 排出量の変化

ステムでその差が大きく現れた。これは自然エネルギー供給が昼間おこなわれることと、空調需要が昼間に発生することに関する。以上から今回対象とした省エネルギー対策はいずれも昼間型であることが分かる。

4.3 内部発熱の大小による CO₂ 排出削減効果の変化

次に、内部発熱の大きさを変化させ、導入している省エネルギー対策の CO₂ 排出削減効果にどのような変化が生じるか、を感度分析によって調べてみた。

まず、オフィスビルにおける内部発熱（内部条件による熱負荷）としては、前述したように、人体による熱負荷、照明による熱負荷、そして器具発熱による熱負荷が挙げられる。このうち、人体および照明は、どのオフィスビルでもさほどその量が変化しないが、器具発熱に関しては、近年の OA 化進展に伴い、ビルごとに大きな違いが見られると考えられる。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ることで、内部発熱条件の変化とした。今回は、実測の場合と比べて、0%–300%（50%刻み）の場合について、影響を調べる。結果を図 4.4 に示す。

図 4.4 を見ると分かるように、内部発熱が増加すると、CO₂ 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 CO₂ 排出削減量は、ほとんど変化していない。

一般に、断熱材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、省エネルギー対策としては不利になるといわれている。このことは、窓の断熱化なども同じことがいえるはずである。しかし、図 4.4 を見る限り、そうではない。どうしてだろうか？ そ

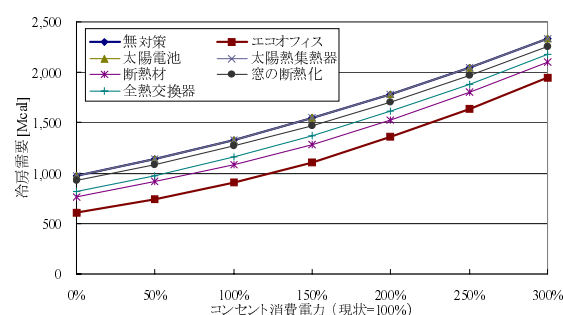


図 4.5 消費電力を変化させたときの冷房需要の変化

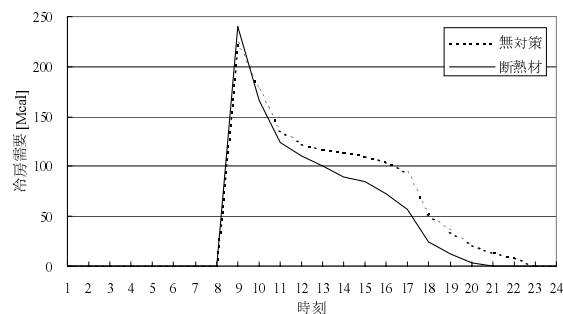


図 4.6 断熱材を導入したときの時刻別冷房需要

ここで、内部発熱量と冷房需要の関係を図 4.5 に示す。

上記から分かることは、内部発熱が増加しても断熱材が不利に働くことはない、ということである。それは、断熱材は、夜間に内部発熱をため込んでしまうため、空調開始直後には不利に働き余分に冷房しなければならないが、室が冷えてくると有利に働くという特性を持っているためである（図 4.6）。この余分な冷房運転は、内部発熱が大きくなるほど大きくなる。また、これは断熱材だけではなく窓の断熱化や全熱交換器においても同じ現象が見られ、エコオフィス全体ではより大きな値を示す。

一方、夜間の内部発熱を換気によって外気に放り出せば、この余分な冷房運転を減らすことができる。ゆえに、内部発熱が大きな建築物では、換気制御も重要な省エネ策であることが分かる。

5 おわりに

本稿では、エコオフィスを例に、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い、省エネルギー・CO₂ 排出量削減の効果のほどを算出した。

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 0.72, 9月 は 0.91 という決定係数から、妥当性が確認された。

次に、検証されたモデルを用いて、エネルギー需給量および CO₂ 排出量を算出した。結果、エコオフィスは、無対策ケースに比べて 57%もの CO₂ 排出量を削減していることが分かった。そして、内部発熱条件を変化してシミュレーションをおこなったところ、断熱材は内部発熱をため込むため空調開始直後には不利に働くが、全体としては有利に働くことがわかった。この欠点は換気制御によって取り除けるものであり、内部発熱の大きい建築物では、換気制御が重要な省エネ策の 1 つであることを示唆した。

今回は、既存の 5 つの省エネ策の運用段階について計算したが、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。

6 博士課程での研究構想

修士課程では、既存の、個々の省エネルギー対策技術を導入した場合について、その CO₂ 排出削減効果の評価をおこなった。しかし、今後も増大すると見られている、民生部門での CO₂ 排出量をさらに抑制するには、既存の技術だけでは不十分である。

博士課程では、今回示したような既存の省エネルギー対策技術ではなく、実際に考案されつつある省エネルギー対策技術について研究したい。現在のところ、自身はほとんど CO₂ を排出することなく建築物の CO₂ を削減できる、パッシブな技術を考えている。例えば、壁面緑化などである。

これら新技術に関しては、技術そのものの研究例も少ないので、技術そのものの研究ならびに評価をおこなったうえで、実際に建築物に導入した場合の CO₂ 排出削減効果について研究していきたいと考えている。そして、最終的には、民生部門における、より効果的な CO₂ 排出削減方策に関して提案したい。

参考文献

- [1] 松尾陽, 横山浩一, 石野久禰, 川元昭吾. 空調設備の動的熱負荷計算入門. (社)建築設備技術者協会, 第 1 版, 1970.

- [2] 国立天文台 (編). 理科年表 平成 6 年版 (机上版). 丸善, 1993.
- [3] (財)住宅・建築省エネルギー機構 (編). 建築物の省エネルギー基準と計算の手引. 改訂 1 版, 1993.
- [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. オーム社, 第 1 版, 1978.
- [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. 日本太陽エネルギー学会, 初版, 1985.
- [6] 橋口敬. 事務所建築の空調設備計画. 鹿島研究所出版会, 1968.
- [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 小委員会負荷計算法分科会. 電算機による動的空調負荷計算法. 空気調和・衛生工学, Vol. 46, No. 3, pp. 3-33, 1972.
- [9] 松尾陽, 横山浩一, 猪岡達夫. 空調システムのエネルギーシミュレーションプログラム 第 3 報サブシステムの諸機能. 空気調和・衛生工学会学術講演論文集 (宇都宮), pp. 433-436, 1985.
- [10] 井原智彦, 石谷久, 松橋隆治, 吉田好邦, 堂脇清志, 六川修一, 東麻衣子, 近藤美則, 樋口修二. 熱負荷推定モデルを利用した環境調和型オフィスビル設計の研究. 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, Vol. 15, pp. 489-494, 1999.
- [11] 井原智彦, 石谷久, 松橋隆治. 熱負荷計算を用いたオフィスビルにおける CO₂ 削減策の評価. Keio Economic Observatory Discussion Paper 36, 慶應義塾大学産業研究所, Jan 1999.
- [12] 井原智彦, 石谷久, 松橋隆治, 吉田好邦, 六川修一, 東麻衣子, 近藤美則, 樋口修二. オフィスビルの実測値に基づいた動的熱負荷および CO₂ 排出削減シミュレーション. 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, Vol. 16, pp. 33-38, 2000.