

躯体蓄熱空調システムの有効性に関する研究 (その2) 計算プログラム NETS のいくつかの特徴

正会員 ○ 奥山博康 (清水建設株式会社)
正会員 中村卓司 (清水建設株式会社)

正会員 川島 実 (清水建設株式会社)

1. はじめに

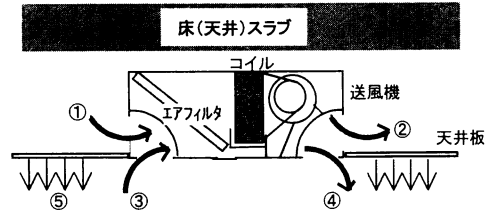
建築伝熱・換気のシステム・シミュレーション・プログラム NETS の一つの特長として、計算モデルの構造やパラメータの変化をモード変化と呼び、これをスケジュールや状態フィードバック制御によって実施できることが上げられる。また他にも各種のフィードバック制御が可能である。本論では4つの運転モードを持つ躯体蓄熱天井カセットエアコンの性能予測を適用事例として、こうした機能について報告する。

2. 天カセ躯体蓄熱方式

従来の躯体蓄熱方式はダクト設備を必要としたり、中空スラブ等の特別な建物を前提としたりして適用の範囲が比較的に限られている。一方、現状の多くの建物で普及しているのはパッケージエアコンであり、とりわけ天井カセットエアコンの普及には著しいものがある。従って天カセで躯体蓄熱ができれば、電力負荷平準化の社会的効果も大きいと考えられる。さらに設備更新時にも手軽に適用できる利点がある。

図1には、天カセの空気吸い込み側と吹き出し側に流れの切り替えダンパを設け、蓄熱モード、温存モード（普通の冷暖房状態）、放熱モードと放射冷暖房モードの4つのモードがとれる工夫をした一例を示す。放射冷暖房モードとは室内への吹き出しを天井板を経由させることにより行い、天井板自体も冷却・加熱することで放射効果を期待するものである。

この方式の場合の主なモードの変化は、天



①→②:蓄熱モード, ③→④:蓄熱温存モード(通常冷暖房)
①→④:放熱モード, ③→②→⑤:放射冷暖房モード

図1 躯体蓄熱・放射冷暖房の天井カセットエアコン 運転4モード

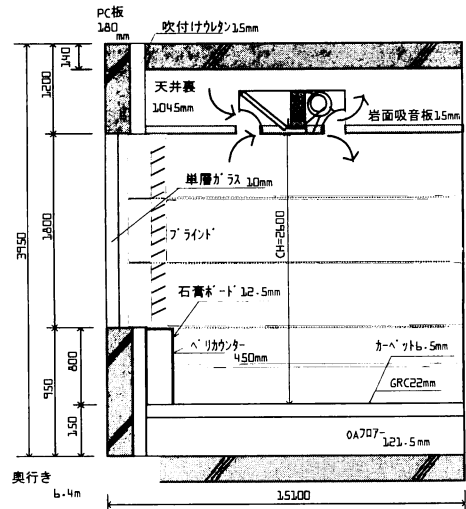


図2 天井カセットエアコンを設置した事務所ビル

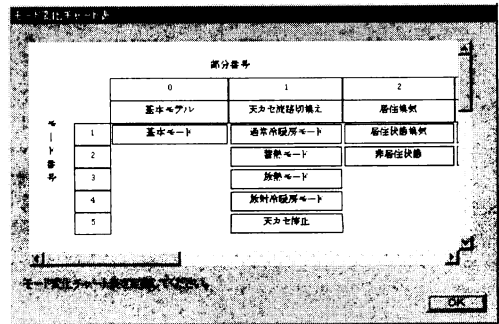


図3 モード変化チャート表

Study on heating / cooling system using building structure thermal storage
Part 2 Mode change modeling function in computer program NETS

OKUYAMA Hiroyasu et al.

カセの流れ切り替えダンパの開閉に対応するものであるが、これは換気回路網モデルの流路の開閉で模擬できる。さらに居室の換気が昼夜で変化するが、送風機の発停で模擬し、夜間は隙間風の自然換気状態となる。

モデル作成プログラム NETSGEN においては、まず図 3 のようなモード変化チャート表を定義する。これはモデル構成要素の部分集合を横の欄にとり、縦の欄には各部分でのモードを定義したものである。次に表内の各セルをクリックすれば、そのモードのモデル図を編集する画面になる。様々なモードのモデルの編集をする場合には、ユーザーが最初に作成したモデルを基本モデルと呼び、これに対して違ってくるモデル要素だけを編集する。モード変化においては、モデル要素が持つパラメータ変化はあっても、モデル要素の発生や消滅は無いものとする。そこで基本モデルの天カセ廻りについては、4 モード全ての流れの流路は設けておき、ダンパが閉まって流れない流路の面積は 0 にすることで、各モードを定義する。モード変化は、部分ごとに独立して、スケジュールまたはフィードバック制御を行うことができる。

3. モード変化

一般論としてのモード変化を説明する。仮にモデル全体でモードを定義するとモードの数は膨大になる可能性がある。そこで部分ごとのモードという考え方を導入した。概念図を図 4 に示す。ここに部分とは必ずしも空間的な部分を意味するわけではなく、正確にはモデル構成要素の全体集合における部分集合を意味する。アルゴリズムとしてのモードは、表 1 のように部分番号とそのモード番号で管理される。モード番号はフィードバック制御における操作量の一つにもなる。

4. フィードバック制御

NETS は、状態値を感知して、線形計算ある

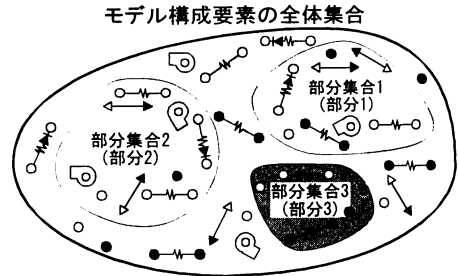


図 4 モード変化における部分の意味

表 1 部分のモード状況 (例)

部分番号	0	1	2	3	4	5	6
モード番号	1	1	3	1	1	2	1

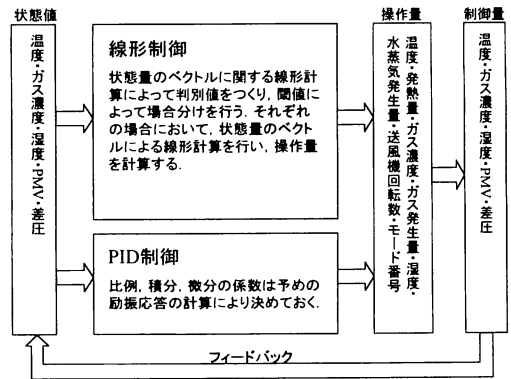


図 5 フィードバック制御

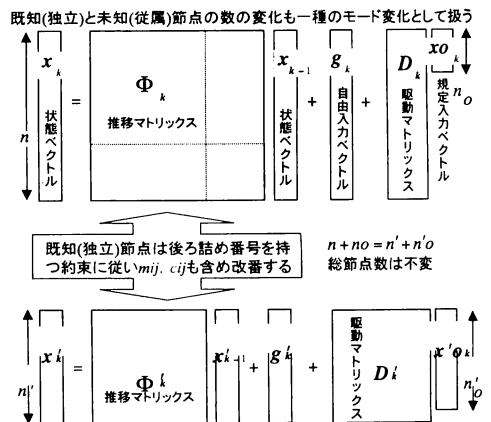


図 6 室温拘束による熱負荷計算の場合

いはPID制御則によって操作量を計算し、制御量を目標値にするフィードバック制御機能を持つ。図5に示すように、感知量、操作量と制御量には様々なものが指定できる。線形制御においては、感知量と閾値による場合分けと、各種の状態ベクトルに関する線形計算等で操作量が計算される。PID制御の効用は、それ自体の模擬だけでなく、操作量と制御量の関係が複雑な場合や、計算機シミュレーション故に、状態感知から制御操作の実施まで時間積分間隔の遅れがあるため発生する振動などの不具合を解消することにもある。

5. 室温拘束の熱負荷計算

従来の熱負荷計算法では、空調時間帯には与条件の室温になるとしている。NETSでも同様な計算が可能である。ただし空調時間帯であっても、熱負荷がユーザー定義の装置出力範囲を超えれば自然室温となる。これは、空調の予熱・予冷時に装置容量を超えた場合や、夏季に冷房だけ行う状態で、何らかの原因で室温が暖房を要求している場合でも、自然室温になることを意味している。NETSの数学モデルでは、空調時間帯の室温の様子に既知(独立)温度の節点は、後ろ詰めの番号を持つ約束があるので、自然室温状態と空調状態の節点番号は異なってくる。この節点番号変更は全節点に及び、 c_{ij} や m_{ij} のシステムパラメータの添え字番号も変更される。つまり状態方程式のサイズも内容も変更される。図6にはこうした状態方程式の構造的な変化を説明する。なおこうした温度拘束は室温の節点に限らず任意の節点で行うことが可能である。

6. 躯体蓄熱天カセの適用事例

事例検討の事務所建物の断面図は図2に示す。NETSGENの画面として熱回路網モデルを図7に、換気回路網モデルを図8に示す。内部発熱や空調スケジュールは表2に示す。夏季冷房期間において10日間程の助走期間の後、

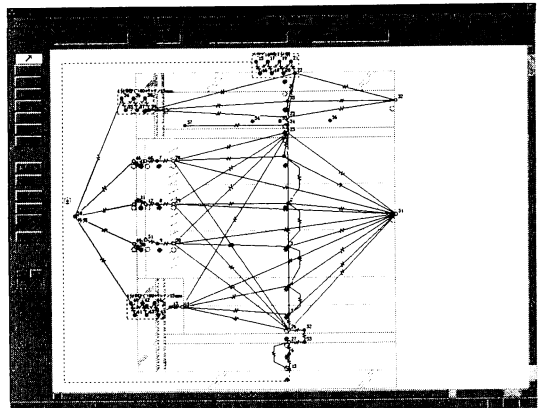


図7 熱回路網モデルの作成

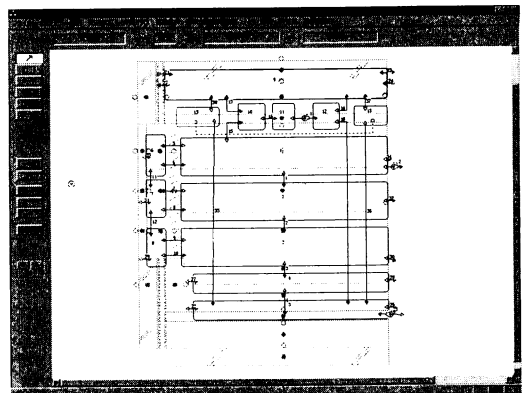


図8 換気回路網モデルの作成

表2 計算条件

- ・在室者: 0.1人/m²
- ・人体発熱: 70W/人
- ・機器発熱: 17W/m²
- ・照明発熱: 23W/m²
- 天井裏30%, 室内20%, 床表面50%
- 12:00~13:00まで内部発熱50%
- ・外気導入量: 5m³/h・m²
- ・空調スケジュール
- 蓄熱時間: 22:00~ 8:00
- 予冷時間: 8:00~ 9:00
- 空調時間: 9:00~20:00
- 停止 : 20:00~22:00

3日間の運転状況を、外気温、天井裏温度、床上1.1mでの気温とPMV、運転モード、内部発熱について図9に示す。これは夜間蓄熱時に天井裏を目標18℃に、空調時はPMVを目標0に制御した場合のものである。これら3日間のコイルでの除去熱流を図10に示す。夜間蓄熱の目標温度を23℃にした場合も含めて、熱負荷を集計し、ピークカット率や蓄熱損失の評価指標を計算してまとめたのが表3である。ピークカット率は、18℃目標で蓄冷した場合で27%から30%程度、23℃目標の場合で7%程度になる。蓄熱損失はそれぞれ対応して約4%と2%である。

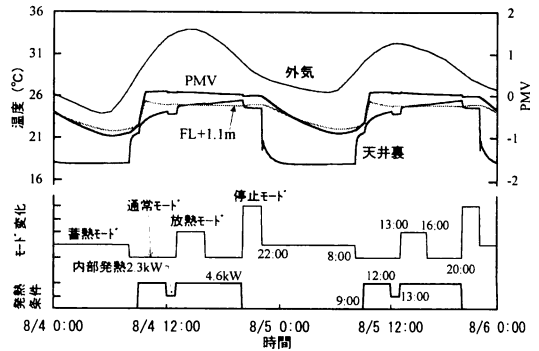


図9 モード変化と内部発熱条件及び、温度、PMV値の経時変化

7. まとめ

躯体蓄熱だけでなく、一般に省エネ上の工夫では、ダンパによる流れ経路の変化や、断熱パネルの開閉等の熱的構造の変化による熱流の巧みな制御を利用できる可能性が大きい。こうした問題に対しては、従来の熱負荷計算法では十分に対応できなかったが、NETSでは、モードの変化とフィードバック制御という機能により、こうした新規の工夫を自由にモデル化して検討するのに適していることが、本事例検討によっても示された。

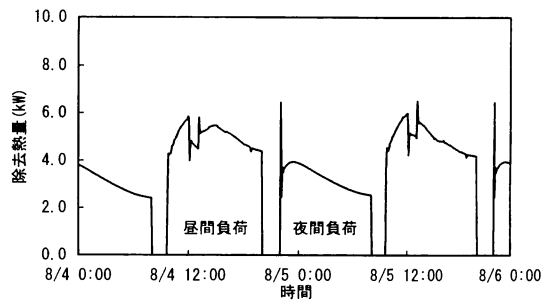


図10 コイルによる除去熱量の経時変化

表3 躯体蓄熱の効果指標計算結果

夜間蓄熱を行なった場合
(蓄熱時の制御温度Ⅰは18℃Ⅱは23℃、昼間は居住域のPMV値を0に制御)

	夜間負荷 A	昼間負荷 B	日負荷 C	13-16時負荷 D	蓄熱損失 G	ピークカット率 H
8月3日	113.1	153.4	266.6	51.3	4.1	30.3
I 8月4日	116.8	183.8	296.9	58.5	3.8	27.4
8月5日	116.8	183.4	300.2	57.5	4.4	27.7
8月3日	45.4	215.0	260.5	68.4	1.7	7.1
II 8月4日	45.3	245.0	290.3	75.4	1.5	6.5
8月5日	48.6	245.1	293.7	74.3	2.1	6.5

(蓄熱時の制御温度Ⅰは18℃Ⅱは23℃、昼間は居住域の室温を26℃に制御)

	夜間負荷 A	昼間負荷 B	日負荷 C	13-16時負荷 D	蓄熱損失 G	ピークカット率 H
8月3日	125.5	130.2	255.8	43.9	8.3	36.1
I 8月4日	125.4	160.1	285.4	50.9	7.4	32.5
8月5日	129.2	158.5	287.6	50.2	8.1	32.6
8月3日	62.3	183.9	246.2	60.3	4.3	12.2
II 8月4日	62.2	213.6	275.8	67.2	3.8	10.9
8月5日	65.5	212.2	277.7	66.3	4.3	10.9

蓄熱を行わない場合

	昼間の居住域のPMV値を0に制御 昼間負荷 E	日負荷 F	13-16時負荷 G	昼間の居住域の室温を26℃に制御 昼間負荷 E	日負荷 F	13-16時負荷 G
8月3日	256.0	256.0	73.6	236.1	236.1	68.6
8月4日	286.1	286.1	80.6	265.6	265.6	75.4
8月5日	287.7	287.7	79.5	266.1	266.1	74.5

- 蓄熱損失 : $G = (C - E) / E \times 100$
- ピークカット率 : $H = (F - D) / F \times 100$
- 日負荷 : $C = A + B$

<謝辞>

NETSの前後処理システム開発は、通商産業省「生活価値創造住宅開発プロジェクト」の補助を受け「環境調和住宅のエネルギー評価設計システム開発」として実施している。また当社の大西由哲氏には本論文作成に当って協力頂いた。ここに記して謝意を表する。

【参考文献】

- [1] 奥山博康, 建築物の熱回路網モデルに関する理論的研究, 博士号学位論文, 1987年12月
- [2] 奥山博康, 熱・換気回路網計算プログラム NETS, 建築学会伝熱WGシンポジウム(最近の建築伝熱シミュレーションと設計ツール), pp63-70, 1998年12月