

(その4:倉庫の自然室温に関する適用事例)

正会員 奥山博康 (清水建設技術研究所)

正会員 〇益子智久 (日本検査コンサルタント)

1.はじめに 一般に倉庫は経済性の面から冷暖房装置を付けない場合が多いため、夏季には日射熱の影響により、室温が外気温よりはるかに高くなる可能性がある。そこで建築的手法によりその過熱を避けることが大切である。こうした倉庫を設計するためには窓の開け閉めと自然換気などの効果も考慮できる建物の伝熱解析が必要である。本論文では開発中の当シミュレーションプログラム<sup>3)</sup>の機能を説明するための例題として取り上げる。

2.夏季の過熱のしくみと対策 図1は自然室温になっている倉庫の熱の流れを模式化したものである。日射熱に起因する、室温を高める熱の流れは大きく分けて3つある。1つめは屋根面で吸収された熱が屋根裏と天井を通して来るものである。これは屋根裏の換気量に大きく影響を受ける。2つめは外壁で吸収されて壁体内伝導を経て来るものである。3つめはガラス窓を透過して室内の床や物品に吸収された後に室温に寄与するものである。また室温に対して加熱になるか冷却になるか一概に言えない熱の流れは2つほどある。1つは外気との換気による熱の流れであり、もう1つは室内物品や土間床及び地盤の蓄熱によるものである。なるべく自然室温を高めないための建築的手法としては、①各々の日射熱侵入経路を断熱する、②透過日射量を少なくするためにガラス面積を縮小する、③地盤や建物部材の蓄冷効果を利用する、あるいは④煙突効果や風圧による自然換気を利用して熱を除去する、等が考えられる。さらに⑤夜間に窓を開けて冷気を導入して蓄冷し、昼間は窓を閉めて外の熱気を遮断するなどの制御も考えられる。過度の断熱はかえって室内に熱をこもらせてしまうように、何れの対策も総合的で全体的な評価をしなければならない。

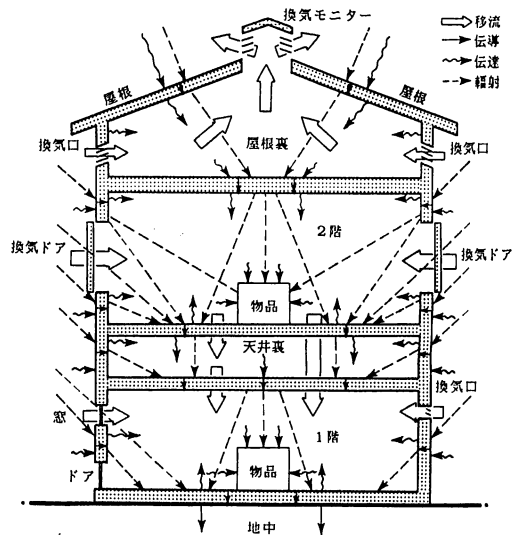


図1 夏季の倉庫の熱の流れ

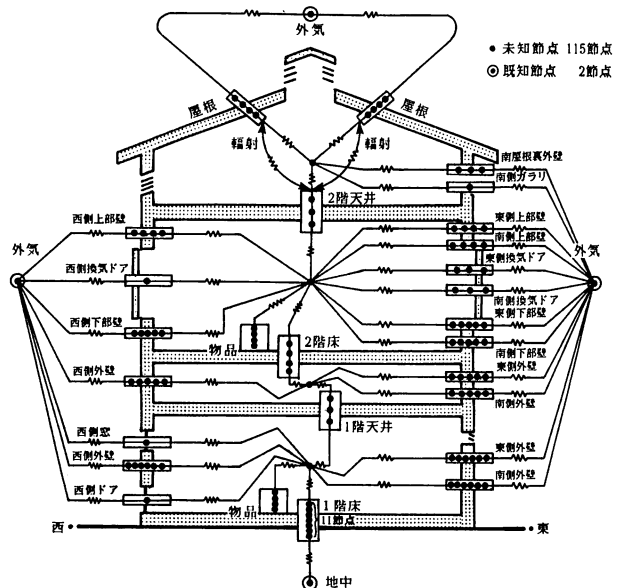


図2 熱回路網モデル

3. 計算モデル 上記のような総合的な熱の流れによる過熱のしくみを図2と図3のような熱回路網と換気回路網にモデル化できる。この倉庫は、断面図の垂直方向に長いコンクリート造2階建てで、屋根裏や1階天井裏があり、1階床はコンクリートの土間床としている。そして屋根、外壁、天井、床には断熱材を施している。屋根裏の換気を良くするために南北の妻壁にガラリを、屋根中央に換気モニター、東西軒下には換気口を設けている。2階の換気ドアは夜間の外気を導入できるとともに断熱性の良い構造にしている。1階には窓、換気口および物品搬入のためのドアがあり、1階と2階の間にはエレベータや階段があるため、空気の流れによって2階は1階の熱的影響を受ける。次に具体的なモデルを伝熱系、換気系、制御に分けて述べる。

3-1 熱回路網モデル 図2にモデルを示す。集中定数化するための方法として、壁体内部では1次元の有限要素法を、室の空気や物品では検査体積法を用いて熱容量  $m_{ij}$  や熱コンダクタンス  $c_{ij}$  の伝熱系システムパラメータを作成した。図2において箱状のものがコンポーネントと呼ぶものであるが、それぞれ内部では部分節点番号(local node number)によりパラメータが計算され、コンポーネント間の接続情報が与えられて全体システムが決まった後に全体節点番号(global node number)によるパラメータにリナンバリングされる。これらは自動的に行われる。長波長放射伝熱については簡単のため、表面間の温度差が最も著しくなると考えられる屋根裏の上下方向だけについて考慮

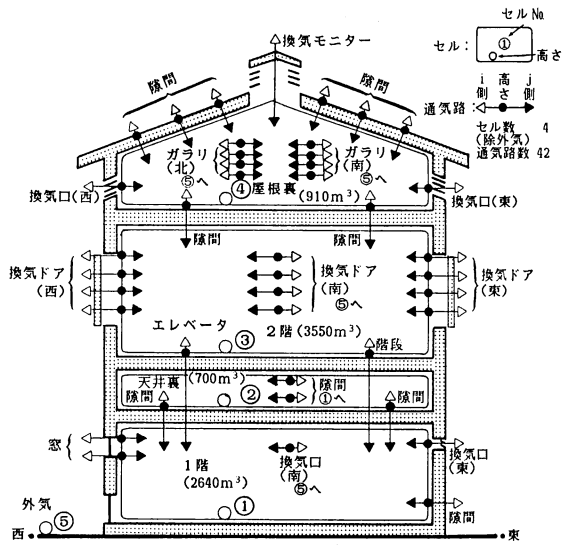


図3 換気回路網モデル

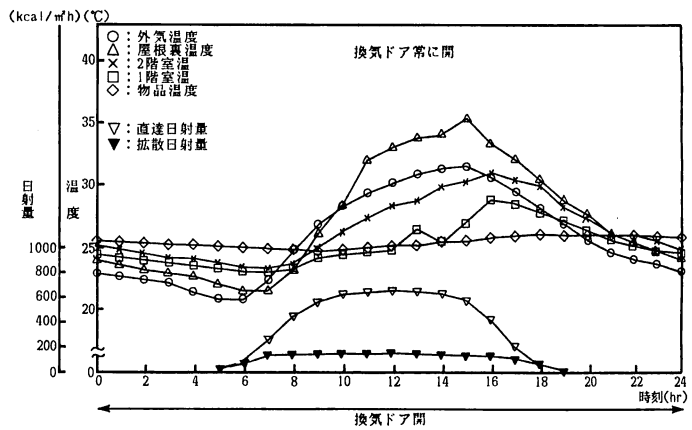


図4 温度変化(ケース1)

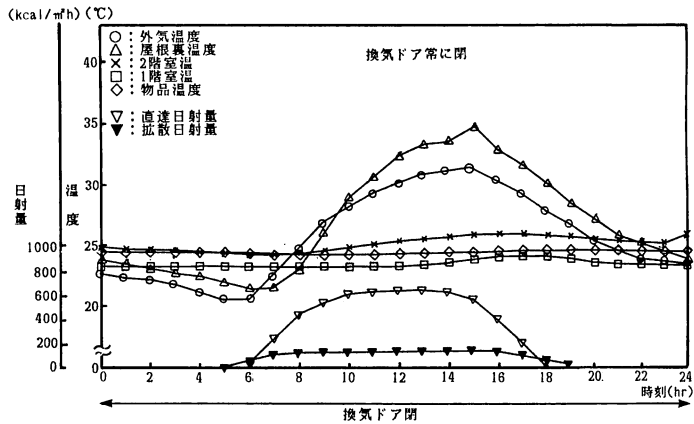


図5 温度変化(ケース2)

した。外壁表面や窓ガラスでは日射の吸収や透過の計算のために幾何学的なデータを与える。

3-2 換気回路網モデル 換気系は図3のように、全圧を静圧として床面に持つセルと通気路の集まりとしてモデル化される。<sup>2)</sup>これら床面の圧力を節点値とした全圧節点系を換気回路網と呼んでいる。1、2階のほか屋根裏および1階天井裏も1つの室と考え、外気を除き4つのセルとした。通気路は、換気口や窓等により各室と外気を結ぶもののほか、1、2階の間の階段、エレベータなどを通しての室間通風、さらに屋根や天井等では隙間風も考慮した。また2階の換気ドアのように、断面が高さ方向に長い開口は分割して各々を通気路とした。さらに外気に面した通気路においては風圧係数を与えることにより外気風の影響を考慮した。換気回路網の計算結果である風量は拡張熱コンダクタンスとして熱回路網のパラメータになる。熱回路網の計算結果である室温は空気密度として換気回路網への与条件となる。時間積分間隔(1hr)の遅れを許して、これらの連成をとっている。

3-3 制御のモデル 換気ドアの開閉は計算上、換気モデルの通気路の面積や抵抗係数の変化として扱われる。開いている状態をモード1と定義すれば、閉じているのはモード2となる。このモード番号の制御をスケジュールまたはフィードバックで行うことが出来る。スケジュール制御とは時間を追ってのモード番号が予め決められて

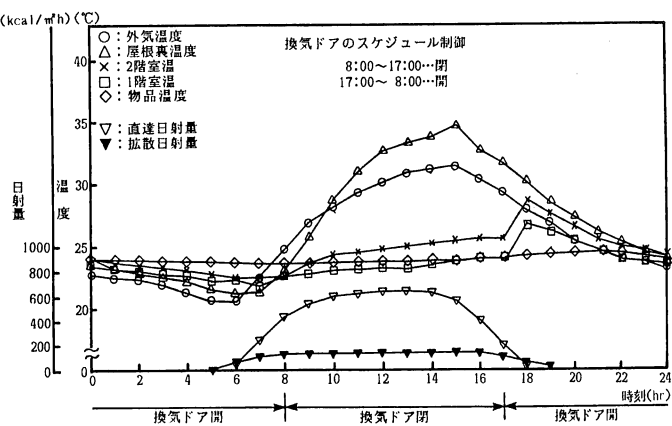


図6 温度変化(ケース3)

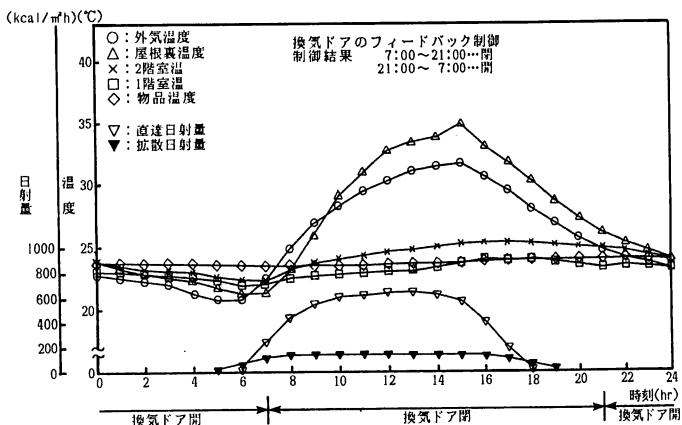


図7 温度変化(ケース4)

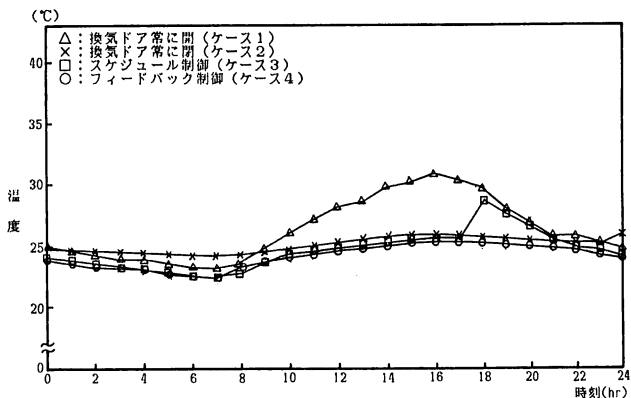


図8 2階室温についての比較

いる方法であり、フィードバック制御とは温度や圧力の状態ベクトルから線形計算と判別によりモード番号を算出しながらシミュレーションを進めていく方法である。従って後者の場合はその線形計算のためのマトリクス要素や判別の数値をデータ入力することになる。

4.結果 シミュレーションは4ケース行った。それらは換気ドアについて1日中常に開いている状態(ケース1、図4)、閉じている状態(ケース2、図5)、スケジュール制御(ケース3、図6)さらにフィードバック制御した場合(ケース4、図7)である。ケース1が最も室温が高く日変化が大きい。ケース2は室温も低く日変化も小さい。ケース3は不適切なスケジュール制御のため外気温がまだ高いうちに換気ドアが開いてしまい室温の急上昇が起きている。これに対しフィードバック制御をしたケース4は室温がなめらかに制御されている。図8は4ケースの室温を比較したものであるが、フィードバック制御(ケース4)は常に換気ドアを閉めている場合よりも平均1℃ぐらい室温が低く、全体的室温も4ケースの中でフィードバック制御が最も低い。図9と10はケース1について、室温が上昇過程にある14時の熱流分布と換気風量分布を示した。2階の天井は十分に断熱し屋根裏の換気も良好なので、天井からの熱流よりも、はるかに外気との換気による熱流が大きく室温上昇に影響を与えている。東側の壁からは午前中に受熱した日射熱が僅かに侵出して来ている。この時の風向は西南西で風速は3.6m/sであるが、換気風量分布はこれらの影響を受け、2階と屋根裏のどちらも、西側と南側から風が入り東側や換気モニターへ抜けていく傾向が見られる。

5.まとめ 倉庫の自然室温を建築的手法により制御する問題を取り上げ、換気回路網との連成をした熱回路網のモデルを用い、窓の開け閉めをスケジュールあるいはフィードバック制御した場合等のシミュレーションを行った例を示した。その結果、屋根裏と室内の自然換気の熱的効果をよく検討することができ、窓の開閉によって夜間の冷気を蓄冷し屋の熱気を遮ることによって最も室温を低く保てる事が数値シミュレーションによって示すことができた。

<参考文献> 1)奥山博康、「熱回路網の概念による各種の集中定数化法の統一」空気調和衛生工学会学術論文集、1986年10月、p.277 / 2)奥山博康、「熱と換気の回路網数値解析」、日本建築学会・第17回熱シンポジウムテキスト「大空間建築の熱環境設計」、1987年、8月、p.77 / 3)奥山、他「回路網モデルによる建築環境シミュレーションプログラムの開発(その1~その3)」、空気調和衛生工学会学術論文集、1985年9月、P.213, P.217, P.221

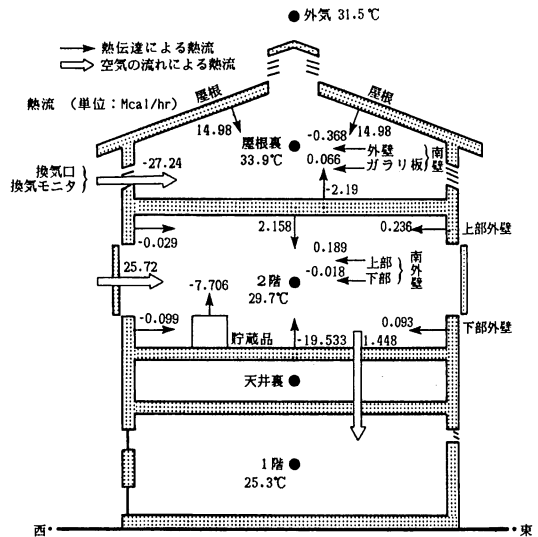


図9 ケース1に於ける14時の熱流分布

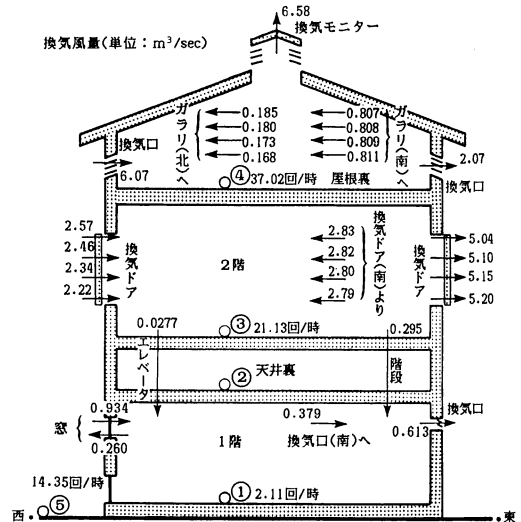


図10 ケース1に於ける14時の換気風量分布