

# 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6：大空間の温熱環境評価への適用)

正会員 奥山 博康(清水建設(株)技術研究所)

正会員 ○益子 智久(日本検査コンサルタント(株))

## 1 はじめに

大空間の熱的設計上の問題は非等温流の流体力学的数値解析法によって全てが解決できるわけではない。なぜならば、実際の状況は、総合的モデル化が必要になってくるのに対し、そうした分析的方法では対応が難しいからである。すなわち、1つの大空間内に限定しただけでも膨大な計算量になるうえに、実際の状況は、多数室的であり、外気との自然換気もあり、また冷暖房換気装置をモデル化に含める必要があったり、あるいは建築物そのものの伝熱も考慮しなければならなかったりする。こうした事情から、もし流体力学的数値解析モデルをマイクロモデル、換気計算のモデルをマクロモデルと呼ぶならば、有用となるのは両者の融合モデルであろう。大空間内の気流はマイクロモデルで、室と室あるいは空間と機械換気ダクト系をつなぐ全体構成にはマクロモデルを用いるのが適切だからである。そこで、本モデリング法がこうした融合モデル化の枠組みを与える可能性について大空間温度分布予測の具体例を通して考えてみる。

## 2 計算法

熱回路網と換気回路網のモデリング法と解法の概要は既報 [1][2][3][4][5] 等に述べた通りである。本熱回路網モデルで定めた拡張熱コンダクタンスにより、伝導だけでなく空気の流れによるものも含めて、あらゆる伝熱形態が統一的に一つのパラメータで表現され、ま

た回路網の完全システム記述により、どのような空間次元や形態であろうと同じ数学モデルで一般的に表わされる。そして時間積分法には無条件安定な方法を用いているため、気流分布によりどのような伝熱系の数学的構造になろうとも確実に正解が得られる。

一方、本換気回路網モデルについては最も単純なデータ構造をもちながら、いかなる換気系の形態であっても、また機械換気ダクト系と建築換気系が複合していても、一般的に適用できる。室と室のつながりを表す複雑な多次元配列データも必要としないし、グラフ理論などの難解な理論も必要としない。そして換気回路網の圧力に関する非線型連立方程式の解法には安定な修正ニュートンラプソン法 [3] を工夫しており実用性がある。すなわち本換気回路網モデルではこの絶対的な計算安定性により、大空間内を大まかに区切っても確実に正しい解が得られる長所がある。

伝熱系と流体系は相互影響を持つ。伝熱系モデルによって求められる空気温度から空気密度が決定され、浮力による空気流動の原因となる。逆に流体系モデルによって求められる流量から拡張熱コンダクタンスが決定され、伝熱系モデルのパラメータとなる。こうした両者の節点系での変数やパラメータの受渡しは、両者の節点番号の対応関係を与えることによって単純なアルゴリズムでシステムティック [5] に行える。以上のようなことが本モデリング法と解法が大空間の温度分布予測に実用的に使える可能性を示している。

---

Development of Computer Simulation Program by The Network Model for Building  
Thermal Environment Evaluation (Part6:An Application for the Evaluation of a Building with  
Glass Covered Large Space)

MASUKU Tomohisa et al.

### 3 建物概要

大空間のアトリウムを持つ某建設会社の建物概観を図1に示す。2つの高層の事務棟の間に挟まれたこのアトリウムは細長い蒲鉾状のガラス温室になっており、アトリウムの底辺は19.2m×96.0mで高さは28.25mである。通常は通り抜ける空間であるが、時折イベントが催されるので、アトリウム空間底辺部ではある程度の熱的快適性が得られなければならない。夏期には日射の影響が強くなる出ることが予想されるが、低層部での冷風吹き出しによって冷房し、間に合わなければ屋根部の開口を開いて自然換気をしたり、ガラス屋根内側のシェードで日射を遮る。冬期には温風吹き出しと、床暖房を必要に応じて行う。

### 4 計算モデル

数学モデルは前述したように、如何なる形状の対象物をも既に記述した一般モデルになっているので、計算モデルを構成する作業は単にパラメータや条件を与えるだけで済む。こうしたモデルデータファイルをパソコンで容易にジェネレートするためのツールも開発している。

さて計算対象物の大空間と設備システムの概要図を長辺方向と短辺方向の断面として各々図2と3に示す。図表示の簡単のため、床暖房と空調器温水コイル用の熱源は同一とした。アトリウム内を点線で示すように72個のセルに分割したモデルとする。

図4には熱回路網のモデルを示す。このモデルは電気回路に似た表示をするが、かつて行われたように実物の電気回路やアナコンを用いて解を得るのではなく、ディジコンを用いて答えを求める以上、この図表示は解法そのものには全く寄与しない。従って図中の記号は電気の分野とは必ずしも一致しない約束ごとである。例えば流体の流れによる拡張熱コンダクタンスはダイオードのような記号を用いて表現する。計算モデルの図表示の最大で唯一の利益はモデル構造の直感的把握を容易

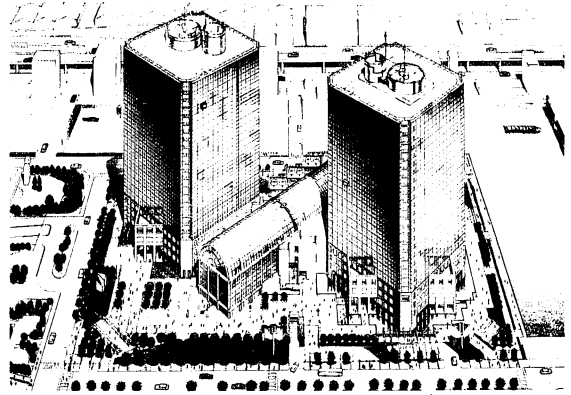


図1 建物の全体的鳥観図

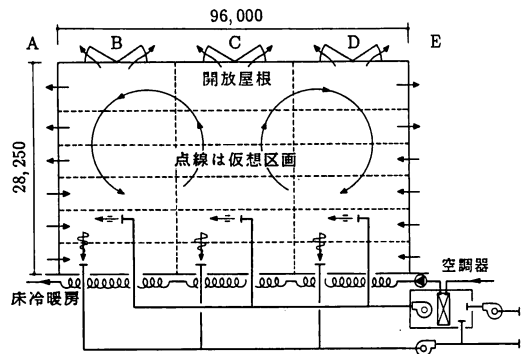


図2 長辺方向で東向き断面の概要図

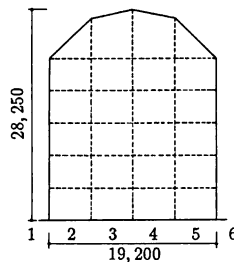


図3 短辺方向で北向き断面の概要図

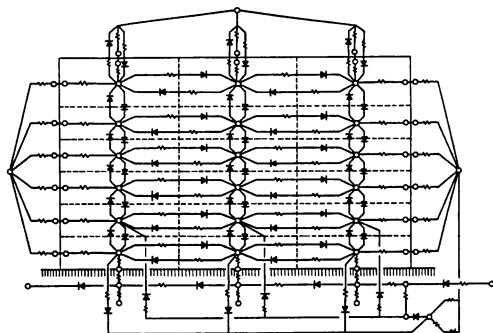


図4 熱回路網モデル

にすることである。大空間内の空気の流れによる拡張熱コンダクタンスは換気回路網の解から自動的につくられる。床暖の温水流れ方向や、温水コイル内での流れ方向では熱交換プロセスを模擬するために実際には図よりもたくさんの節点がある。熱回路網の総節点数は243である。

図5には換気回路網のモデルを示す。図の表し方は既報[3]の通りである。エアダクトの分岐点には全圧セルができることに注意する。全圧節点数82、通気路数315である。

ガラス面の日射量透過率、吸収率そのものの計算は入射角余弦のべき級数を用いる動的負荷計算で用いられる通常の方法を用いた。しかし他の建物(隣接する事務棟)の影の影響やガラス面透過後に室内の受熱面が移動することなどをシミュレートするサブルーチンはまだ開発していないので、安全側になる固定的時刻の状況を用いた。

## 5 計算結果

冬期、床暖房だけをしている場合の結果を図6と7に示す。空間内の空気の流れの向きは矢印で、またその太さで風量を表わす。床暖房で暖まった空気が床の中央部から立ち上がりガラスの屋根や側壁で冷やされて下降する自然対流がシミュレートされている。温度分布は濃淡で示す。床暖では上下方向均一になる傾向が見られる。

夏期、床面に当たる日射熱は床冷却で除去し、大空間の下層部を冷気吹き出しで冷房する。上層部の熱気は少し開口をあけて逃がす。計算結果は図8と9に示すが、上下方向に著しい温度差がつくられ、全空間の冷却に比べ、下層部だけの冷却で冷房負荷の軽減が出来ることを示している。

## 6 考察

本報ではマクロモデルだけで当問題にアプローチしてみた。従ってこのモデルで用いた、大空間内の仮想パーティションの通気抵抗は暫

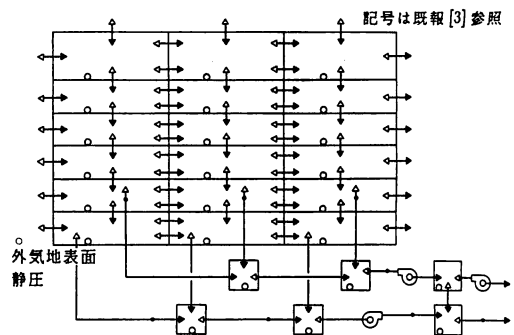


図5 換気回路網モデル

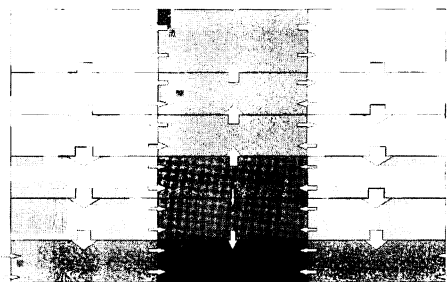


図6 冬期床暖房状態(5の断面の6方向)

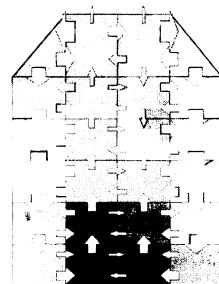


図7 冬期床暖房状態(Dの断面のC方向)

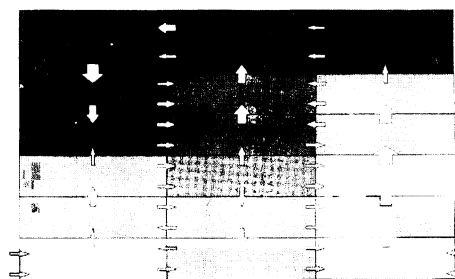


図8 夏期冷房状態(5の断面の6方向)

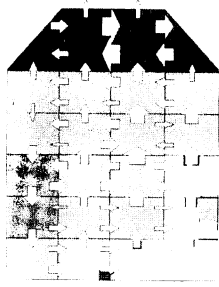


図9 夏期冷房状態 (Dの断面のC方向)

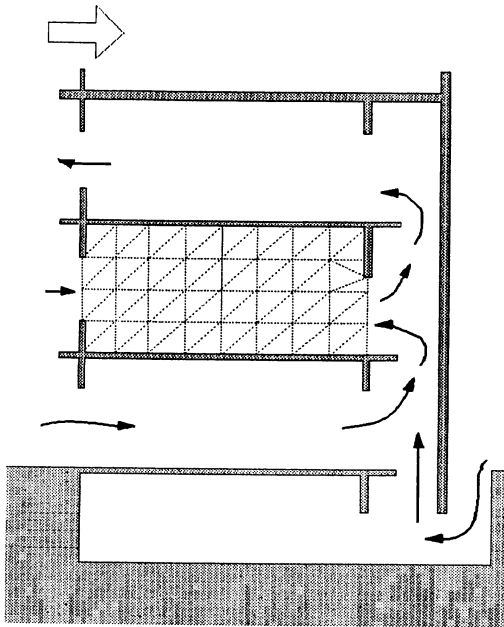


図10 ミクロとマクロの融合モデル

定値である。しかしマクロモデルの通気抵抗というパラメータは、マイクロモデルの空気粘性というパラメータから演繹できる可能性がある。マイクロモデルは微分型でマクロモデルは積分型のモデルと見なせるから、空間内での平均流的な流線が想定されるならば、これに沿って積分することによりベルヌーイ型の式が得られ、このことはとりもなおさず流管に沿った通気抵抗が得られることを意味するからである。ただし、こうしたマイクロモデルの空間積分を数値的に逐一行なうのでは、最初から全空間領域をマイクロモデルだけでシミュレートすると計算量として大差がなくなっ

てしまう。そこで予め様々な条件下での通気抵抗をマイクロモデルで求めて、何等かの経験則を得ておくことが考えられる。

図10には、マイクロモデルとマクロモデルの融合の単純な例を示す。例えば、二階の室内空間の温度分布や気流分布を知りたい場合でも、建物全体の煙突効果が働くことから、その空間だけ独立してシミュレートすることは出来ない。こうした場合には、その室は有限要素法などのマイクロモデルでモデル化するとしても、それ以外の系はマクロモデルで簡略かできよう。融合した全体の熱回路網モデルは既報[6]の理論で得られる。流体系は圧力に関する節点系としてマクロモデルが包括できる。

## 7 まとめ

本換気回路網モデルをマクロモデル、数値流体解析モデルをマイクロモデルとしたとき、両者の融合モデリングを本換気回路網の枠組みで実現できる可能性があることを、大空間の温度分布予測を具体例にとり示した。

(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", 早稲田大学, 建築環境工学, 博士号学位論文, 1987年12月, (印刷広報版: 清水建設研究報告別冊第26号, 1989年6月)

[2] 奥山博康: "熱回路網によるシミュレーションの理論と応用", 空気調和衛生工学会学術論文集, 1983年10月, p.541

[3] 奥山博康: "換気回路網のモデル化法とその非線型連立方程式の解法", 空気調和衛生工学会学術講演会講演論文集, 1989年10月, p.729

[4] 奥山博康, 藤井晴行: "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: プログラム体系と適用事例)", 空気調和衛生工学会学術論文集, 1985年9月, p.213, 以降同主題, その2, 1985年9月, p.217, その3, p.221, その4, 1988年9月, その5, 1989年9月, p.737

[5] 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

[6] 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

(謝辞)

この論文をまとめるにあたり、当社のNS特別プロジェクト設計室の中村氏に図面の提供をしていただきました。また計算結果図形出力は設計本部を中心に開発されたプログラムを使わせていただきました。協力いただいた矢川氏、神山氏らに感謝します。