

戸建て住宅の温熱環境シミュレーションにおける入 カインターフェースと計算前処理

野村, 幸司
九州大学大学院総合理工学研究科環境エネルギー工学専攻

林, 徹夫
九州大学大学院総合理工学研究科環境エネルギー工学専攻

小島, 昌一
九州大学大学院総合理工学研究科環境エネルギー工学専攻

<https://doi.org/10.15017/16642>

出版情報：九州大学大学院総合理工学報告. 23 (3), pp.295-301, 2001-12. 九州大学大学院総合理工学
府
バージョン：
権利関係：



戸建て住宅の温熱環境シミュレーションにおける 入力インターフェースと計算前処理

野村 幸司*1,†・林 徹夫*1・小島 昌一*1

(平成13年10月31日 受理)

Input User Interface and Preparations for Calculation of Thermal Performance Simulation Program for Detached Houses

Kouji NOMURA, Tetsuo HAYASHI, Shoichi KOJIMA

†E-mail of corresponding author: nomura@hrmbox.eee.kyushu-u.ac.jp

Thermal performance simulation programs for detached houses are developed in all over the world for the purpose of estimating the energy consumption and the thermal environment, but the user interface to input building conditions was not useful because of its character based interface. The new graphical user interface, which is more useful than character user interface, uses mouse for drawing floor plan and to select conditions. At the calculating the temperatures and air flow volumes, simulation program needs the data of relation among calculation points, which leads from original floor data.

Key words: *Thermal Performance Simulation, Input User Interface, GUI, Preparation*

1. 結 言

戸建て住宅の温熱環境や消費エネルギーなどの熱性能を把握するために、数値計算を用いた温熱環境シミュレーションが開発されている¹⁾²⁾³⁾。詳細なシミュレーション結果を得るには、対象とする住宅の構成の詳細な記述を必要とする。従来、この入力データの記述はキャラクターベースによる方法、極端に言えば数字の羅列による方法が主であり、シミュレーションプログラムの細部にわたる知識を必要としていた。一方、省エネルギー、二酸化炭素排出量の削減、室内温熱環境の向上などの観点から、住宅の温熱環境シミュレーションは居住者あるいは設計者による評価ツールとしての利用が高まるものと考えられる。そのためには、簡易な方法による高精度のデータ入力システムの開発が不可欠である。筆者等はGUI(Graphical User Interface)を用いた簡易CADを入力方法とし、その入力結果から温熱環境シミュレーションに必要なデータを作成、さらに実行に移す一連のシステムを整備しつつあり、その一部についてここに報告する。

2. 温熱環境シミュレーション

温熱環境シミュレーションは室内温湿度、壁表面温度、換気量等を数値計算により求めるものであり、これにより温熱環境や消費エネルギーを評価することができる。Fig.1に温熱環境シミュレーション全体の概念図を示す。対象建物の条件を入力インターフェースを使用して入力し、計算前処理を施した後、温熱環境シミュレーションを行う。このときの計算の前提条件として

- ・ 建物を室に区分し、各室は直方体とする。
- ・ 各室では壁面を東西南北の壁・床・天井の6方位に区分する。
- ・ 各方位の壁面をさらに構成材料、壁面の違いなどにより部位に区分する。
- ・ 部位では1次元熱伝導を仮定し、部位内の温度分布はないものとする。
- ・ 各室の空気温度は一律であり、室内空気に伝わる熱は瞬時に拡散するものとする。

以上の条件から、室内部位表面、屋外部位表面および室内空気の熱収支を式(1)、(2)、(3)、(4)で表現する。ここで式(1)の第三および第四項は長波および短波放射の項である。放射の計算は式(4)に示す方位単位の吸収係数を用いて行い、放射率や日射吸収率と

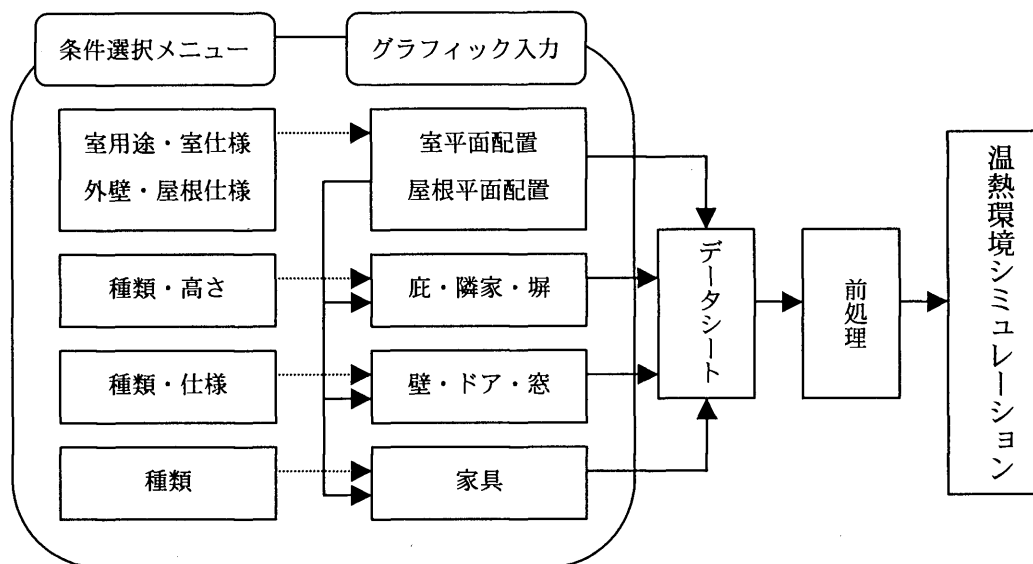


Fig.1 System Flow of Thermal Performance Simulation Program

面積に応じて各部位に配分する。このことにより室内相互放射を考慮している。

2.1 入力インターフェース

入力インターフェースには温熱環境シミュレーションに必要な設定条件を、簡単で分かりやすく入力できることが要求される。このため建物の諸条件入力はマウスを用いた描画で行うことが望ましい。条件の設定には選択メニューにより行う。詳細を以下に述べる。

2.2 室および屋根の配置と設定

室および屋根の配置はグリッド上のマウスによるドラッグ・アンド・ドロップによる矩形描画で行い、位置と寸法を決定する。室の大きさや位置は決定後も任意に変更できる。通常の建築用CAD描画においては、壁に厚みを持たせるが、ここでは厚みを無視している。数値計算の前処理を目的とするためであり、入力も簡単となる。室および屋根の描画後に壁体構成条件の設定を行う。Fig.2は描画した室とその設定状況である。マウスポインタで室を指示し、設定画面のプルダウンメニューで設定を行う(Fig.3)。メニューでは下記の設定が可能である。

- ドア・窓の種類設定
- 日射遮蔽物の種類設定
- 家具の種類設定

設定内容をTable 1に示す。

3. 計算前処理

壁を例にして、シミュレーションが必要とする各種の設定条件をTable 2に、Fig.4に入力終了後の建物データ出力結果を示す。

$$\begin{aligned} & \alpha_{is,M,n}(T_{i,n} - T_{j,n}) + (B_o T_{o,n} - B_j T_{j,n} + D_{j,n}) \\ & + \epsilon_{j,n} \left\{ \left(\sum_{m=1}^6 \frac{\epsilon_{m,n} S_m \beta_{m,M,n}}{SE_{M,n}} \right) \sigma T_{m,n}^4 - \sigma T_{j,n}^4 \right. \\ & \left. + \frac{HU_{L,n} \beta_{m=5,M,n} + IL_{L,n} \beta_{m=6,M,n}}{SE_{M,n}} \right\} \\ & + a_{i,j} \left\{ \sum_{m=1}^6 \sum_{w=1}^W \left(\frac{TDN_{m,w,M,n}}{S_M} + \frac{TDS_{m,w,n} \gamma_{m,M,n}}{SA_{M,n}} \right) \right. \\ & \left. + \sum_{m=1}^6 \frac{TDN_{m,w,n} \rho_{m,n} \gamma_{m',M,n}}{SA_{M,n}} \right\} + \frac{IL_{S,n} \gamma_{m=6,M,n}}{SA_{M,n}} \} = 0 \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \alpha_{os,M,n}(T_{oa,n} - T_{j,n}) + (B_o T_{o,n} - B_j T_{j,n} + D_{j,n}) \\ & + \epsilon_{j,n} \{ FA_j H_n + \epsilon_g (1 - F_j) \sigma T_{oa,n}^4 - \sigma T_{j,n}^4 \} \\ & + a_{j,n} \{ R_{j,n} DN_n \cos \theta_{j,n} + F_j DS_n \\ & + (1 - F_j) \rho_g GS_n \} = 0 \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RQ_{i,n} \frac{T_{i,n} - T_{i,n-1}}{\Delta t} &= \sum_{m=1}^6 \alpha_{is,m,n} \sum_{j=1}^{J_m} S_j (T_{j,n} - T_{i,n}) \\ & + \sum_{u=1}^U C_{oa,n} G_{oa,n} (T_{oa,n} - T_{i,n}) + \sum_{v=1}^V C_{i',n} G_{i',n} (T_{i',n} - T_{i,n}) \\ & + HU_{c,n} + IL_{c,n} + EQ_{c,n} + HL_n \quad (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_m &= \sum_{j=1}^{J_m} \frac{\epsilon_j S_j}{S_m}, \quad S_m = \sum_{j=1}^{J_m} S_j, \\ T_m &= \sum_{j=1}^{J_m} T_j, \quad a_m = \sum_{j=1}^{J_m} \frac{a_j S_j}{S_m} \quad (4) \end{aligned}$$

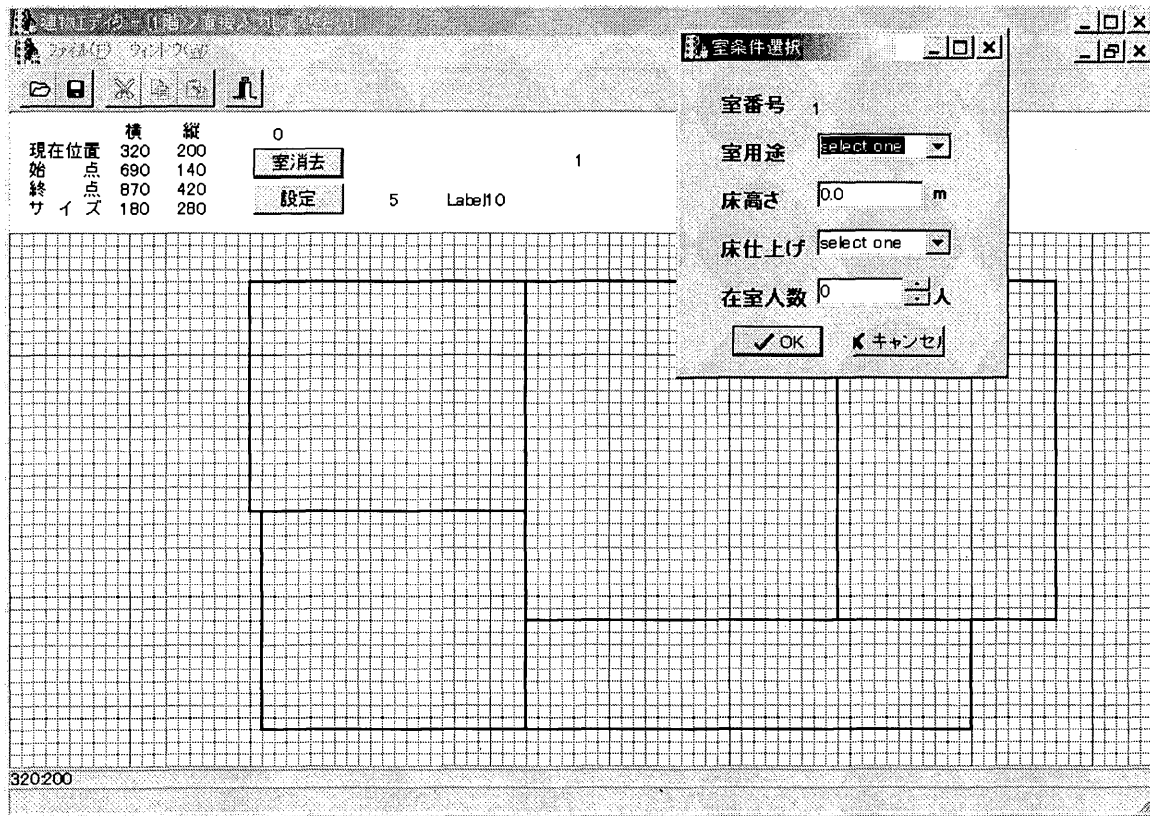


Fig.2 Graphical User Interface

Table 1 Selection of Elements

メニュー項目	選択項目
室用途	居間、台所、寝室、洗面・トイレ 浴室、廊下、玄関、応接、他
床仕様	フローリング、絨毯、畳、他
屋根仕様	材質、色、方位、勾配、流れ方向
窓種類	サッシ種別、内側状況、外側状況
ドア種類	木製、鉄製、ふすま、障子、開口
日射遮へい物	塀、隣接建物、手すり、高さ

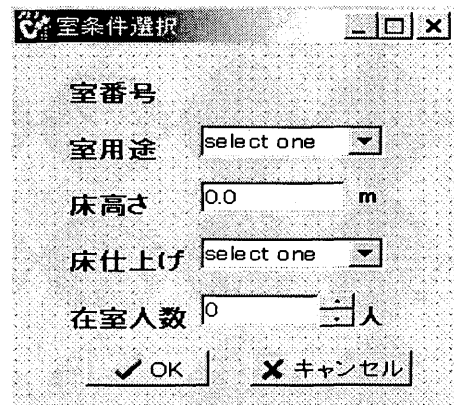


Fig.3 Set Up Menu for Room

3.1 部位の分割と内外壁の判定

室は6(東西南北・床・天井)方位の壁で構成されると思われる。しかし、実際には各方位毎に窓やドアを含む複数の部位に分かれている。そこで室の座標データと窓・ドアの座標データから、方位毎の部位数を判定する。Fig.5に示す住宅モデルを用い、入力データを数値計算に使用可能な形式に変換する手法を説明する。このモデルは1階建て、単純な窓およびドアを設けた。判定には室・窓・ドアの開始および終了座標データを用いる。この時、各々の座標を別々に格納した配列を参照して判定を行うと、部

位の所属方位や方位の構成部位数の判定が複雑になるため、以下の手順を用いた。

- ①Fig.6のように室・窓・ドアの開始および終了点を2元配列にプロットし、'+'印として記憶させる。
- ②室毎に4方位(東西南北)の壁面について '+' を検索し、壁面分割数を決定する。具体的には室1北壁がA, B, Cの3部位に分けられる。こうして得られた部位の方位および所属室も同時に記憶する。
- ③分割部位について屋外に面するかを特定するため、他の部屋の外形との重なりを調べる。Fig.6では部

Table 2 Elements of Wall Data

	必要項目	主な使用目的
内壁	階数	所属階判定
	プラン中の行開始位置	開始点 X 座標
	プラン中の列開始位置	開始点 Y 座標
	プラン中の行終了位置	終了点 X 座標
	プラン中の列終了位置	終了点 Y 座標
	内壁の種類	熱物性値
	所属室番号	対流熱伝達
	方位	放射
	反対側の室番号	放射
	所属ドアの種類	熱物性
	所属ドア開始位置	面積
	所属ドア終了位置	面積
	反対側内壁番号	熱伝導
	反対側マトリクス番号	マトリクス作成
外壁	階数	所属階判定
	プラン中の行開始位置	開始点 X 座標
	プラン中の列開始位置	開始点 Y 座標
	プラン中の行終了位置	終了点 X 座標
	プラン中の列終了位置	終了点 Y 座標
	外壁の種類	熱物性値
	所属室番号	対流熱伝達
	方位	放射
	所属ドア・窓の種類	熱物性値
	所属ドア・窓の開始位置	面積
所属ドアの終了位置	面積	

位ABCが屋外に面し、部位Dの両側は室内であることが分かる。

④部位について窓座標およびドア座標と照合する。一致すれば窓もしくはドアとする。部位A, B, Cは窓およびドアについて参照する。これで部位Bが窓であることが判定される。この時A, Cを壁とみなし1部位とする。部位Dの開口については両側とも室内に面するためドアのみの照合でよい。

以上より部位の所属室、数および種類が決定される。ここで、計算用データ作成のCAD入力は壁の厚みがないことが座標参照の点で有利であることが分かる。

```

{ 2}・・・建物階数
{ 0.00}・・・建物概要: 方位の振れ
{ 14}・・・建物の所在する都府県
{ 3}・・・外装色: 外壁
{ 2}・・・外装色: 屋根
{ 0.50}・・・1階床高さ(m)
{ 2.90}・・・天井
{ 3.20}・・・2階床
{ 5.60}・・・天井
{ 0.00}・・・3階床
{ 0.00}・・・天井
{ 5.90}・・・屋根
{i, j, k, n}・・・部屋、窓、ドア、屋根の個数
{階, x1, y1, x2, y2, 用途, 床仕様}・・・室 1
:
{階, x1, y1, x2, y2, 種別, 内側, 外側,
スケジュール, 窓高, FL.+}・・・窓 1
:
{階, x1, y1, x2, y2, 種別, ドア高}・・・ドア 1
:
{階, x1, y1, x2, y2, 方位, 勾配}・・・屋根 1
:
    
```

Fig.4 Data Output

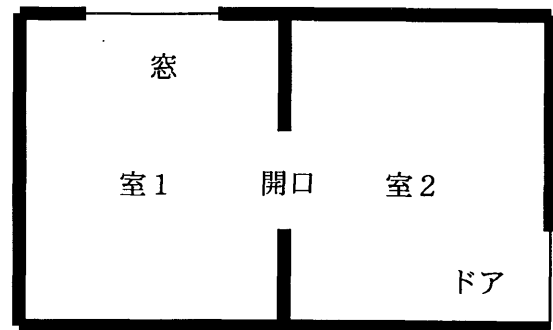


Fig.5 Model House

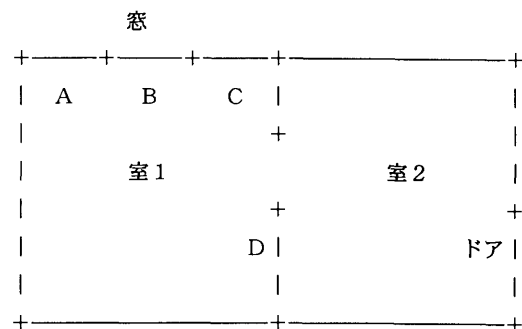


Fig.6 Room and Wall Structure

3.2 壁・窓・ドアの対向部位判定

各室、各壁面の部位が判明し、部位番号が設定されると、計算に必要な相対的位置関係を設定することが出来る。具体的には熱伝導における表裏の位置にある壁面である。始点終点座標が重なる部位を検索し、対向壁面として設定する。

3.3 窓・ドアおよび室の関連判定

式(2)において室内空気温度を計算するとき、各室間の換気量が必要となる⁴⁾。開口もしくは窓・ドアの隙間によって連結される相手室の情報が必要であり、部位の所属室と、その対向壁面の所属室により設定できる。また、それ以外に壁と床、壁と天井、壁と基礎、壁と屋根の接合部の隙間換気口の影響も考慮する必要がある。座標データより室の周囲長さを算出し決定する。

3.4 前処理用関連データ

Fig.5の建物例に対してFig.7に示す部位および室の通し番号を付ける。室間には開口を有し、外壁は窓・ドアが存在する。簡便のため床および天井は無視し、ドア・窓を含めた壁面で18部位、2室である。このときの室内部位および屋外部位における相互関係をTable 3および4に示す。

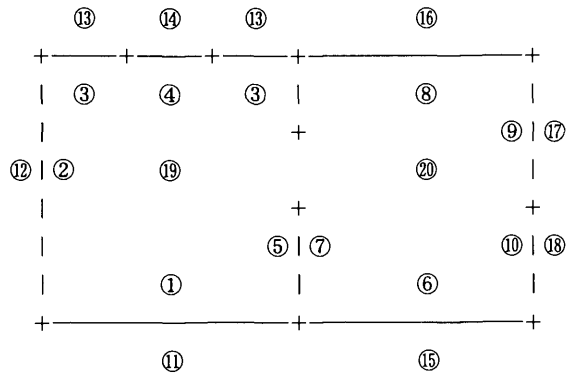


Fig.7 Element Serial Numbers

Table 3 Inner Walls Correlation

部位	反対側部位	所属室	反対側室	方位
1	11	19	20	南
2	12	19	20	西
3	13	19	20	北
4	14	19	20	北
5	7	19	20	東
6	15	20	19	南
7	5	20	19	西
8	16	20	19	北
9	17	20	19	東
10	18	20	19	東

Table 4 Outer Walls Correlation

部位	反対側部位	所属室	方位
11	1	19	南
12	2	19	西
13	3	19	北
14	4	19	北
15	6	20	南
16	8	20	北
17	9	20	東
18	10	20	東

4. マトリクスの作成

4.1 必要配列数の考察

計算を行うためのマトリクスを作成する。式(1),(2),(3)を連立させて解くことにより室内空気温度と壁面温度が得られる。但し、表面温度の4乗項の含む非線形連立方程式である。配列の記憶量低減と計算の実行速度向上から、式(1),(2),(3)を以下のように変形する。

$$(\alpha_{is,M,n} + B_j)T_{j,n} - B_o T_{o,n} - \alpha_{is,M,n} \cdot T_{i,n} = \epsilon_{j,n} \left\{ \left(\sum_{m=1}^6 \frac{\epsilon_{m,n} S_m \beta_{m,M,n}}{SE_{M,n}} \right) \sigma T_{m,n}^4 - \sigma T_{j,n}^4 + \frac{HU_{L,n} \beta_{m=5,M,n} + IL_{L,n} \beta_{m=6,M,n}}{SE_{M,n}} \right\} + a_{i,j} \left\{ \sum_{m=1}^6 \sum_{w=1}^W \left(\frac{TDN_{m,w,M,n}}{S_M} + \frac{TDS_{m,w,n} \gamma_{m,M,n}}{SA_{M,n}} \right) + \sum_{m=1}^6 \frac{TDN_{m,w,m',n} \rho_{m',n} \gamma_{m',M,n}}{SA_{M,n}} + \frac{IL_{S,n} \gamma_{m=6,M,n}}{SA_{M,n}} \right\} + D_{j,n} \tag{5}$$

$$(\alpha_{os,M,n} + B_j)T_{j,n} - B_o T_{o,n} - \alpha_{os,M,n} T_{oa,n} = + \epsilon_{j,n} \{ FA_j H_n + \epsilon_g (1 - F_j) \sigma T_{oa,n}^4 \} + a_{j,n} \{ R_{j,n} DN_n \cos \theta_{j,n} + F_j DS_n + (1 - F_j) \rho_g GS_n \} + D_{j,n} - \epsilon_{j,n} \cdot \sigma T_{j,n}^4 \tag{6}$$

$$\left(\frac{RQ_{i,n}}{\Delta t} \sum_{m=1}^6 \alpha_{is,m,n} + \sum_{j=1}^{J_m} S_j + \sum_{u=1}^U C_{oa,n} G_{oa,n} + \sum_{v=1}^V C_{i',n} G_{i',n} \right) T_{i,n} - \sum_{m=1}^6 \alpha_{is,m,n} \sum_{j=1}^{J_m} S_j \cdot T_{j,n} - \sum_{v=1}^V C_{i',n} G_{i',n} \cdot T_{i',n} = \frac{RQ_{i,n}}{\Delta t} \cdot T_{i,n-1} + \sum_{u=1}^U C_{oa,n} G_{oa,n} \cdot T_{oa,n} + HU_{c,n} + IL_{c,n} + EQ_{c,n} + HL_n \tag{7}$$

式(5),(6),(7)の左辺に含まれる温度を未知数、右辺に含まれる温度は既知数として連立方程式を解く。つまり、右辺に含まれる4乗項は、一旦、既知とし

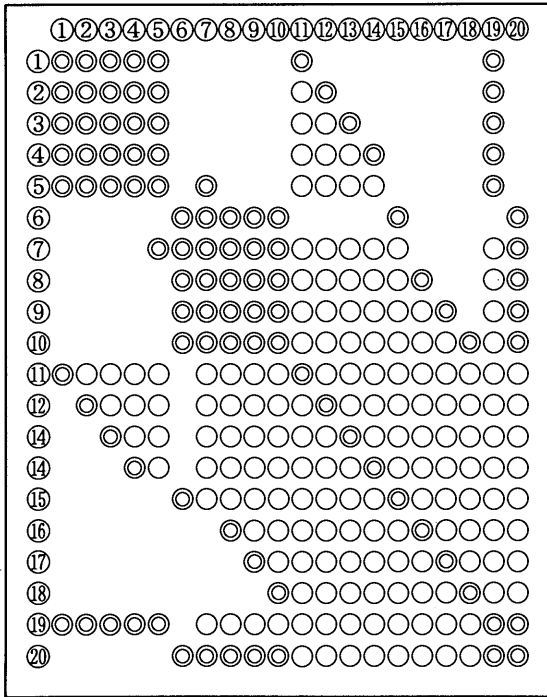


Fig. 8 Elements of Linear Formation Procedure

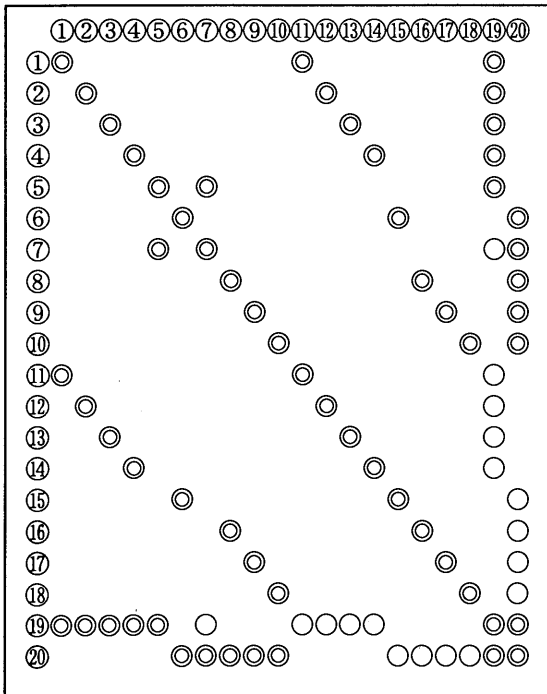


Fig. 9 Elements of Iteration Procedure

て計算し、左辺の計算結果の温度で順次置き換える収束計算とする。連立一次方程式の解法はクラウト法(三角分解)である。左辺の係数は変化しないとする、前進分解は一回でよく、右辺の計算と交代代入を繰り返し行えばよい。温度の4乗項の計算としては、線形化して処理する方法が一般的である。この場合式(1)、(2)、(3)の左辺に室内全ての部位の温度が現れることになり計算量が増大する。Fig.7に示す建物により、4乗項の線形化と収束計算の各々に必要な配列の記憶領域を比較する。Fig.8に線形化、Fig.9

に収束計算に必要な配列要素を示す。図中の白一重丸はウェーブフロント進行に伴って現れる非0マトリクス要素である。4乗項の収束計算の方が必要配列数は圧倒的に少ない。また同じ収束計算においてもマトリクス作成に際する部位の番号順については注意が必要である。番号の付け方によって必要な配列数が違って来る。部位番号をFig.10の順番にした場合のマトリクス要素をFig.11に示す。室内部位表面温度、屋外部位表面温度、室内空気温度の順で作成したマトリクスでの非0要素が18であるのに対して、逆順では98と大幅に増大する。

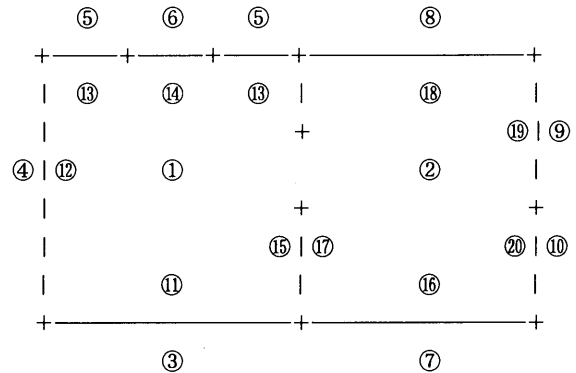


Fig. 10 Element Serial Numbers

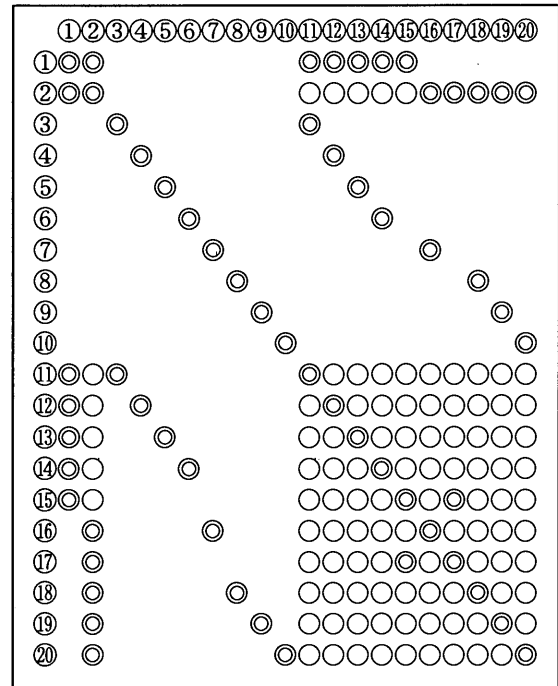


Fig. 11 Elements of Iteration Procedure

4.2 1次元配列

前節の結果で必要な要素を2次元配列に記憶させると、20×20の配列が必要であり、必要配列数が少ないメリットがない。そこで非0要素を1次元配列に記憶させることを考える。Fig.9のマトリクスについて1次元配列に記憶させる手順をTable 5に示す。

この関係から必要な計算要素が1次元行列の何番目の要素であるか特定できる。

Table 5 Single Dimension Array of Matrix Elements

1次元配列	行番号	列番号	対角要素位置	列数
1	1	1	2	3
2		11		
3		19		
4	2	2	4	3
5		12		
6		19		
:	:	:	:	:
19	7	5	20	4
:		:		
22		20		
:	:	:	:	:
32	11	1	33	3
33		11		
34		19		
:	:	:	:	:
68	20	6	78	11
:		:		
78		20		

5. 結 言

戸建て住宅の温熱環境シミュレーションにおけるデータ入力と計算前処理について述べた。より簡単に、より高速に多くの条件を考慮できるプログラムの研究開発を行っている。次回は床下・小屋裏および室内相互放射について報告する予定である。

記号

- AH: 大気放射量[W/m²]
- a: 日射吸収率
- B: 逐次状態遷移式の係数[W/m²K]
- C: 空気の比熱[J/kgK]
- D: 逐次状態遷移式の係数[W/m²K]

- DS: 水平面天空拡散日射[W/m²]
- EQ: 機器の発熱量[W]
- F: 天空率
- G: 換気風量[kg/s]
- GS: 水平面全天日射[W/m²]
- HL: 供給熱量[W]
- HU: 人体発熱[W]
- IL: 照明発熱[W]
- R: 日照面積率
- RQ: 室の熱容量[J/K]
- S: 面積[m²]
- T: 温度[K]
- TDN: 部位への窓透過直達日射[W]
- TDS: 窓透過拡散日射[W]
- α: 対流熱伝達率[W/m²]
- β: 長波吸収係数
- Δt: 計算時間間隔[sec]
- ε: 放射率
- θ: 直達日射入射角[deg.]
- σ: ステファン・ボルツマン定数

サフィクス

- c: 対流成分
- g: 地表面
- i: 当該室室内空気
- i': 隣室室内空気
- is: 室内表面
- j: 当該部位
- L: 長波成分
- M: 当該方位
- m, m': 方位
- n: 時間
- o: 壁面反対側部位
- oa: 外気
- os: 屋外部位
- s: 短波成分
- u: 外気と連結する換気口
- v: 隣室と連結する換気口
- w: 当該室の窓

参 考 文 献

- 1) 武田仁、他: VISUAL BASIC による LESCOM インプットデータの作成, 日本建築学会伝熱 WG シンポジウム資料(1998)
- 2) 奥山博康: 熱・換気回路網計算プログラム NETS, 日本建築学会伝熱 WG シンポジウム資料(1998)
- 3) 松本真一: オブジェクト指向言語 C++による動的熱負荷計算プログラム TASP++の作成, 日本建築学会伝熱 WG シンポジウム資料(1998)
- 4) 林徹夫: マイコンによる住宅の多数室室温変動・熱負荷計算システムの開発, 住宅総合研究財団研究年報 No.20(1992)