

住宅の室内環境計測・総合評価システムの開発研究（梗概）

尾島俊雄 齋藤忠義
森山正和 西岡哲平

目次

序	温熱環境総合評価システム開発の目的
第1章	室内温熱環境の計測と評価
1-1	計測する環境指標と計測方法
1-2	環境指標と評価基準
第2章	年間暖房用エネルギー量の算出
2-1	時刻別暖房エネルギー量の算出
2-2	冬期外気条件のパターン分類
第3章	住宅及び設備システムの性能評価
3-1	室内温熱環境と関連する住宅の性能項目
3-2	暖房時の室内環境シミュレーション
(1)	室温シミュレーション
(2)	湿度シミュレーション
(3)	空気清浄度シミュレーション
(4)	外気条件データ
第4章	総合評価システムとその応用
4-1	総合評価システムの概要
(1)	システムのハード構成
(2)	システムのソフトウェア
4-2	総合評価システムの応用
(1)	東京地方の住宅における室内環境計測と評価
(2)	木造戸建無断熱住宅における室内環境改善対策の検討
4-3	結び

序. 温熱環境総合評価システム開発の目的

本研究は住宅の温熱環境及び、暖房エネルギーの経済性について、現場において必要データを計測・処理して、それらと密接に関連する住宅の各性能項目について客観的な評価を行い、さらにそこでみ出された問題点について居住者との対話によって、適当な解決策を探索するためのパソコンを利用した計測・評価システムの開発に関するものである。ここで評価の対象とする項目とは、次に挙げる①～⑤の5つである。

①～③は各々室内の温度・湿度・気流など温熱環境の基本要素であり、④も厳密には温熱環境要素ではないが、①～③と関連が深いので含めて検討する事とした。これらに暖房エネルギーの経済性を加えた5つの項目につ

て評価する。

- ①室内温度に関する要素（気温・壁体内表面温度など）
- ②室内湿度に関する要素（相対湿度・結露など）
- ③室内気流に関する要素（気流速度など）
- ④室内空気清浄度に関する要素（CO₂濃度など）
- ⑤暖房エネルギーの経済性（年間エネルギー消費量、暖房費用など）

住宅において、上記の温熱環境指標及び暖冷房経済性の総合評価を行う目的は住宅本体及びその設備システムの具えるべき温熱的性能に基準を与えるためであり、より具体的に言えば既存の住宅で温熱環境の計測を行う事によって、その温熱性能を推定し、必要に応じて適切な改善策を提示する事である。

それらの手法が確立し、現場において実施出来る簡便な評価システムが開発されれば、住宅の温熱性能のレベル向上に欠く事の出来ないツールになるばかりでなく、居住者により科学的な室内環境に関する認識とそれに関連する住宅性能の知識を持って載くと言う効果も大きい。

以上の事から、本研究では「評価」という概念には単に温度・湿度などの「環境指標」を「計測」して、ある「基準」によって、各々の計測項目に点数を付けるという事ばかりでなく、計測された温度・湿度・気流・空気清浄度に関する問題点が、住宅システムの性能項目のうちの何が原因となり、どのような対策を講じればよいかという事を現場で迅速に見付け出すシステムの開発を目的としている。以上の流れを図0-1の全体フローチャートに示す。

これらのシステムのうち温熱環境指標の計測システムについては、われわれが既に提案している「建検箱」(参考文献0-1参照)をベースとし、各環境指標の評価・各性能項目のチェック・改善対策の検討といった一連の機能を付加するために、16ビット・パソコン(PC9801M)を中心とするコンピュータ支援型システムとした。又、このシステムの各ステップで必要なシミュレーションプログラムやデータ・ベースを開発するとともに、各ステップの評価作業が居住者と専門家(評価作業主体)との対話によってスムーズに実行されるよう、データ入力・評価結果出力プログラムも使い易いものにするよう工夫し

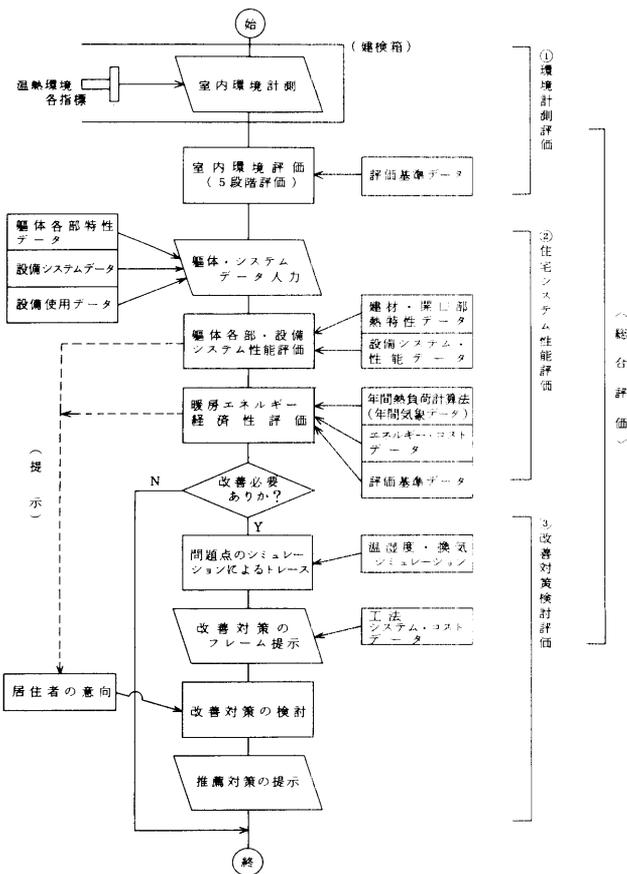


図0-1 温熱環境総合評価システムの全体フローチャート

た。

以上のように本研究における住宅の温熱環境総合評価とは「計測」→「評価」→「対策の検討」→「対策の決定」という一連のプロセスを全て含む概念であり、これらの作業を、現場である住宅内にシステムを持ち込んで、30分ないし1時間で完了する事を目標とした。

第1章 室内温熱環境の計測と評価

1-1 計測する環境指標と計測方法

前述した4つの温熱環境要素(室内温度・湿度・気流・空気清浄度)の室内温熱環境場における相互の関連性と、住宅の人間系(居住者)、建築系(躯体・家具など)に対する温熱的インパクトの性質などの概念をまとめたものが、図1-1である。室内温度に関しては乾球温度・室内温度・ふく射エネルギー量の3つの要素を考える。

ふく射エネルギー量は厳密には温度ではないが、乾球温度・室内表面温度と密接に関連し、日射や照明などの短波ふく射エネルギーを含めた概念であり、温熱環境要素として極めて重要である。湿度に関する要素としては体感温度に関して重要と考えられる相対湿度と躯体や家具の耐久性に大きな影響を与える結露に着目する事とした。

これらの指標は当然の事ながら絶対湿度・含水率と室

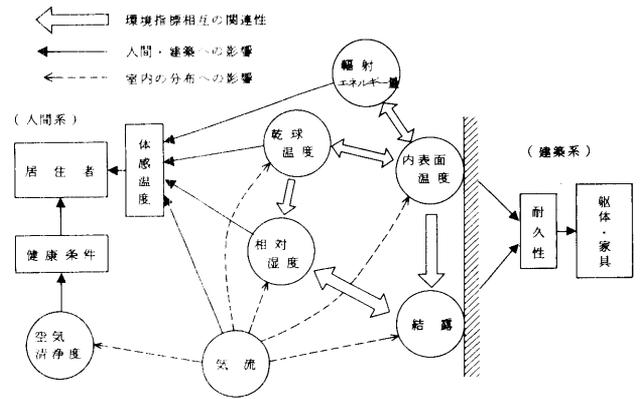


図1-1 室内温熱環境指標と人間・建築系との関連図

温・表面温度の従属変数という性格を持っている。気流は、ふく射エネルギー量以外の全ての環境指標の室内における分布を大きく左右する要素であり、乾球温度・ふく射エネルギー量・相対湿度・気流の各々が居住者の体感温度を決定する。空気清浄度は居住者の健康条件に直接影響を与える事は言うまでもない。前述した室内環境計測システム・建検箱の計測項目のうち今回の開発研究では現場でのオンライン処理に適さないガス濃度や騒音、照度などの計測は省く事とした。(表1-1参照)

1-2 環境評価指標と評価基準

(1) 評価指標の選択

前項で述べた各計測項目から室内の温熱環境を評価する指標として表1-2に示す12項目(㉔~㉑)を選んだ。

12項目のうち、室内温度に関する指標は3項目(㉔~㉖)、湿度及び気流、体感温度に関する指標は各々1項目ずつ(㉗, ㉘, ㉙)、室内温度の分布に関する指標は6項目(㉚~㉟)である。

(2) 評価指標の評価基準

前項で選定した12項目の環境評価指標を環境工学の専門家でない住宅の居住者の理解を容易にするため、各々の項目について次のように1~5点の5段階評価の形式をとる事が考えられる。

1点……(劣る。法的基準、快適条件を大巾に下回っている。)

2点……(やや劣る。法的基準、快適条件をやや下回っている。)

3点……(可。法的基準をクリアしている。)

4点……(良好。望ましい状態)

5点……(優秀。理想的な状態)

以上の5段階のうち、3点が法的基準や従来から提案されている快適条件をほぼ満足するレベルに相当しており、その上下に2段階の階層を設定する事になる。

又、各環境評価指標の快適条件に関する従来の研究や法的基準などを検討して、㉔~㉟の12の温熱環境評価指標の5段階評価基準を表1-2のように設定した。

表 1-1 室内環境の計測方法

		計測センサー	室内分布の測定法	動的特性の測定法	測定 点数	備 考
室内 温度	乾球温度 θ_a (°C)	C-C熱電対	中心垂直分布3点	2回 { 定常暖房時 暖房停止後10分 }	3	垂直分布 $\left. \begin{array}{l} \text{上} \{ \text{天井下} 0.2\text{m} \\ \text{中} \{ \text{床上} 1.2\text{m} \\ \text{下} \{ \text{床} 上 0.2\text{m} \} \end{array} \right\}$
	内表面温度 θ_s (°C)	赤外線放射温度計	室内各部を任意に 測定	1回 (定常暖房時)	任意	
	グローブ温度 θ_g (°C)	8 in グローブ+ C-C熱電対	室内中心 (床上1.2m)	2回 { 定常暖房時 暖房停止後10分 }	1	
湿度	湿球温度 θ_w (°C)	送風装置+ C-C熱電対	"	"	1	
	(結露)	—	—	—	—	簡便な計測は困難。 計算・シミュレーションにより推定
気流速度 V (m/s)		アネモサーモメータ	室内中心 (床上1.2m)	2回 { 定常暖房時 暖房停止後10分 }	1	
(空気清浄度)		—	—	—	—	結露と同じ理由により、計算・シ ミュレーションにより推定。
そ の 他	室内表面熱流 q_s (Kcal/m ² , h)	小型熱流板	外壁内表面の代表 点を任意に測定	2回 { 定常暖房時 暖房停止後10分 }	1	
	外部表面温度 θ_s (°C)	赤外線放射温度計	外部表面の代表点 を任意に測定	1回 (定常暖房時)	任意	
	外気乾球温度 θ_a (°C)	C-C熱電対	代表点 1点	"	1	
	外気湿球温度 θ_w (°C)	送風装置+ C-C熱電対	"	"	1	

表 1-2 室内温熱指標の評価基準(案)(5段階)(夏:6~8月, 冬:12~2月, 中間:3~5月・9~11月)

評価指標	条件	5点(優秀)	4点(良好)	3点(可)	2点(やや劣る)	1点(劣る)
㉑ 乾球温度 θ_a (°C)	夏	24~25	25~26, 23~24	26~28, 21~23	28~32, 17~21	32以上, 21以下
	中間	22~23	23~24, 21~22	24~26, 19~21	26~30, 15~19	30以上, 15以下
	冬	20~21	21~22, 19~20	22~24, 17~19	24~27, 14~17	27以上, 14以下
㉒ 平均内表面温度MRT (°C)	夏	24~25	25~26, 23~24	26~28, 21~23	28~32, 17~21	32以上, 21以下
	中間	22~23	23~24, 21~22	24~26, 19~21	26~30, 15~19	30以上, 15以下
	冬	20~21	21~22, 19~20	22~24, 17~19	24~28, 13~17	28以上, 13以下
㉓ グローブ温度 θ_g (°C)	夏	24~25	25~26, 23~24	26~28, 21~23	28~32, 17~21	32以上, 21以下
	中間	22~23	23~24, 21~22	24~26, 19~21	26~30, 15~19	30以上, 15以下
	冬	20~21	21~22, 19~20	22~24, 17~19	24~28, 13~17	28以上, 13以下
㉔ 相対湿度 ϕ_a (%)	—	50~55	55~60, 45~50	60~68, 35~45	68~80, 25~35	80以上, 25以下
㉕ 気流速度 V(m/s)	冬	0.2~0.3	0.3~0.4, 0.1~0.2	0.4~0.5, 0.1以下	0.5~1.0	1.0以上
	その他	0.2~0.3	0.3~0.4, 0.15~0.2	0.4~0.5, 0.1~0.15	0.5~1.0, 0.1以下	1.0以上
㉖ 有効温度 θ_e (°C)	夏	21.5~22.5	22.5~23.5, 19.5~21.5	23.5~24.5, 18.5~19.5	24.5~25.5, 17.5~18.5	25.5以上, 17.5以上
	中間	19.5~21.5	21.5~22.5, 18.5~19.5	22.5~23.5, 17.5~18.5	23.5~24.5, 16.5~17.5	24.5以上, 16.5以上
	冬	18.5~19.5	19.5~20.5, 17.5~18.5	20.5~21.5, 16.5~17.5	21.5~22.5, 15.5~16.5	22.5以上, 15.5以上
㉗ $ \theta_a - \theta_a' $ (°C)	—	0.75以下	0.75~0.2	2.0~4.5	4.5~9.5	9.5以上
㉘* $\frac{\theta_a' - \theta_a}{\theta_a - t_a}$	—	0.10以下	0.10~0.12	0.12~0.13	0.13~0.16	0.16以上
㉙* $\frac{\theta_a - \theta_a''}{\theta_a - t_a}$	—	0.10以下	0.10~0.13	0.13~0.17	0.17~0.24	0.24以上
㉚* $\frac{\theta_a' - \theta_a''}{\theta_a - t_a}$	—	0.20以下	0.20~0.25	0.25~0.30	0.30~0.40	0.40以上
㉛ $\theta_g - \theta_a$ (°C)	—	-0.25~0.40	-0.8~-0.25, 0.40~1.0	-1.5~-1.8, 1.0~2.0	-3.0~-1.5, 2.0~5.0	-3.0以下, 5.0以上
㉜ MRT - θ_a (°C)	—	-0.5~0.75	-1.5~-0.5, 0.75~2.0	-3.0~-1.5, 2.0~4.5	-6.0~-3.0, 4.5~9.5	-6.0以下, 9.5以上

* θ_a' : 天井下0.2m室温, θ_a'' : 床上0.2m室温

第2章 年間暖房用エネルギー量の算出

2-1 時刻別暖房エネルギー消費量の算出

マイクロコンピュータによる年間エネルギー消費量の計算には従来から拡張デグリーデー法などによる簡易負荷計算法が開発され、特に設計時点における住宅の省エネルギー性の推定などに使用されているが、本研究のような既存の住宅の室内におけるエネルギー量の推定には時刻別エネルギー消費量の計算データが重要となる。実際の住宅の室内の暖房実施時刻は各戸において実に変動が大きく、地域・室用途（居間・寝室などの区分）など毎に標準パターンを仮定するやり方では実際の住宅の個々の室内のエネルギー消費量の推定精度は充分期待出来ないからである。

そこで、時刻別エネルギー消費量の計算には3章で述べる時刻毎の非定常熱負荷計算法による事とした。しかし、期間熱負荷をこのような方法で計算すれば、3章で述べるような1中心室に重点を置いた簡易計算法であっても、ばう大な計算時間が必要となる。(暖房の場合11～4月の計算はPC-9801Mで1時間前後)

そこで、例えば暖房の場合11～4月の181日のデータを気象特性から何種類かパターンに分け、その代表日について24時間の計算を順に行い、各々の代表日の熱負荷計算値と各々のパターンを構成する日数との積を求め、それらの積の合計を期間熱負荷とする方法を考えた。この方法によってパターン分類数を極力少なくすれば、計算を大巾に短縮させる事が可能である。(1)式参照)

$$LHa = \sum_{i=1}^M LHdi \cdot Npi / 10^3 \dots\dots\dots (1)$$

LHa：年間暖房負荷 (Mcal/a)，M：パターン数 (2～181)，LHdi：i番目パターン代表日暖房負荷 (Kcal/d)，Npi：i番目パターン構成日数

2-2 冬期外気条件のパターン分類

本研究では3章でも述べるようにエネルギー消費量の評価を一応暖房のみに限定しているため、冬期の外気条件のパターン化を行った。

暖房顕熱負荷の計算上、最も重要な外気条件データは外気温度と日射量である。そこで、まず11～4月の外気温度と全天日射量の各々24時間データを別々に主成分分析し、第1主成分の寄与率と主成分得点を求めた。HASP計算用標準気象データから東京と日本海側の富山について同様の分析を行った所、2地点とも気温については第1主成分の寄与率が87～88%であり、24時間(24次元)のデータを第1成分得点(1次元)データで代表させても原データの情報量はさほど損われないと判断出来る。

又、日射量については第1主成分の寄与率が73%前後でやや小さいが、気温第1主成分得点と日射量第1主成分得点の2次元空間によって各日の外気条件の特長が、かなり良く表わされるものと考えた。図2-1～2が、その散布図で各点は11～4月の各日を表わしており、左側に位置する程「暖かい日」である事を表し、上方に位置する程「良く晴れた日」である事を表わしている。

次にこれらの2次元空間において各点のクラスタ分析を行い各日のパターン分けを行う。パターン分けは2からサンプル数まで任意のグループに行う事が可能であるが、1で述べた計算時間の短縮を目的とするためには、なるべく少ないパターン分類によって十分な計算精度を得たい所である。(図2-1～2は東京、富山の冬期各日を上述の気象特性によって各々4個のパターンに分類した場合の各クラスターの範囲を示している。)

そこで、床面積26.5㎡の木造2階建住宅をモデルとして、窓方位・暖房スケジュールなどの組み合わせによる10ヶのバリエーション(窓方位2水準×暖房スケジュール5水準)について精算法(181日全ての計算値)と(1)式による簡易計算法による計算値との比較を行った。

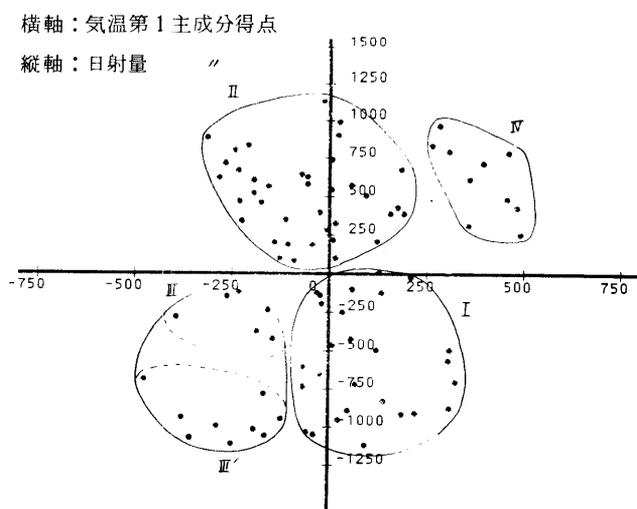


図2-1 気温・日射量主成分得点による各日の散布図 (東京11月～4月)

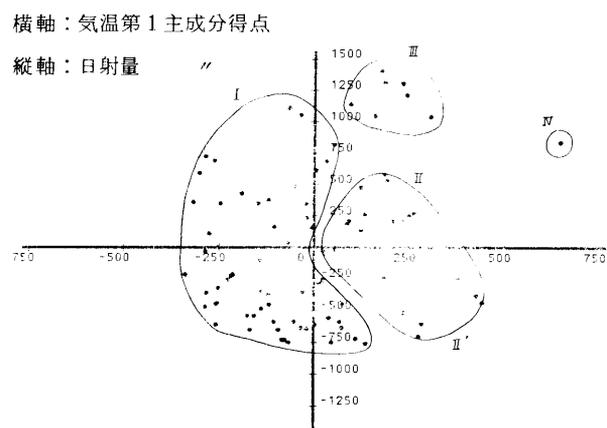


図2-2 気温・日射量主成分得点による各日の散布図 (富山11月～4月)

図2-3~4に各々、東京及び富山の計算結果の比較を示す。

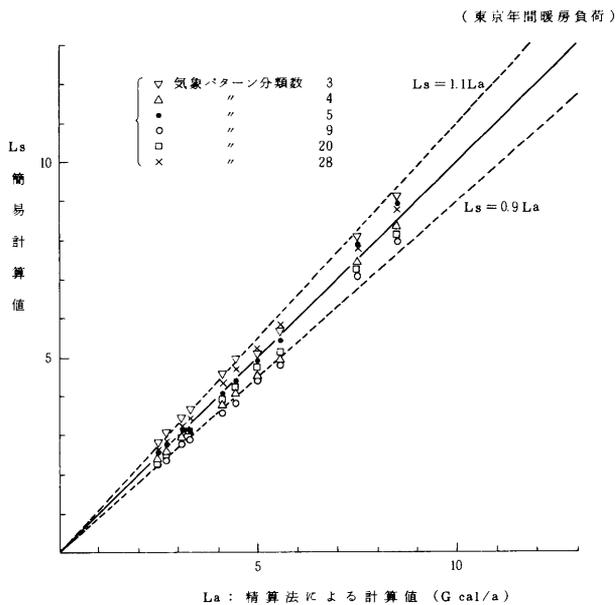


図2-3 代表日抽出による簡易負荷計算法の計算精度 (東京年間暖房負荷)

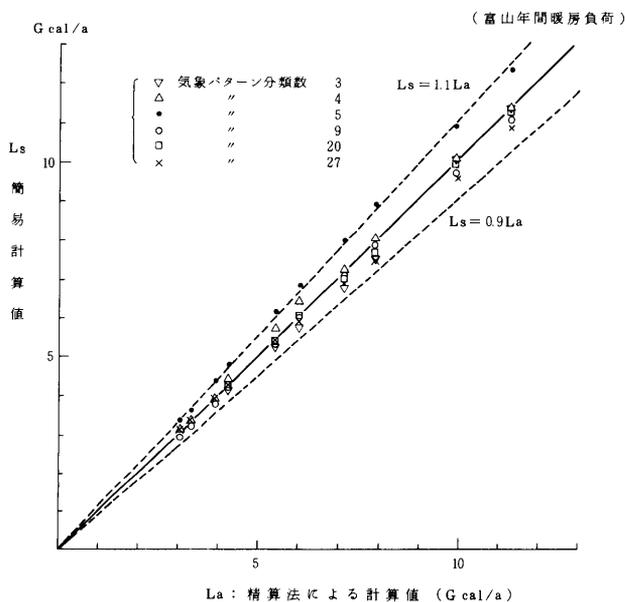


図2-4 代表日抽出による簡易負荷計算法の計算精度 (富山年間暖房負荷)

東京の場合、181日を3個のパターンに分けた場合と9個のパターンに分けた場合を除けば、簡易計算法の計算結果は精算法に対して±10%の範囲に入っている事が判る。又、181日を5個のパターンに分けた場合の平均誤差率は約2.1%と非常に精度が高い事が判った。富山では20個のパターンに分けた場合平均誤差率0.8%と最も精度が高い事が判ったが、4個のパターン分けでも2.2%で、十分な精度が得られる事が判った。図2-1~2のパターン分けは以上の4~5個のパターン分けを示して

いる。各パターンの代表日は各クラスター (I~IV) の重心に最も近い日を抽出した。(東京の場合、IVのクラスターの重心に近い日がないため、このクラスターを2つに分離して5個のクラスターに分けている。)

表2-1~2各代表日の気象データの概要を示す。

以上によって、精算法では1時間前後かかる計算が2分以内で行えるようになった。

表2-1 各パターンの代表日とそれに属する日数 (11~4月東京)

	代表日の特性値							日数
	月日	平均気温	最高気温	最高高度	最低気温	最低高度	全日射量	
① パターンI	11/19	11.0°C	17.1°C	5.6°C	2,114 Kcal/d	503 Kcal/h	54	
② パターンII	12/13	7.1°C	12.1°C	1.5°C	5,196 Kcal/d	833 Kcal/h	76	
③ パターンIII	1/6	1.6°C	4.1°C	-1.0°C	1,431 Kcal/d	375 Kcal/h	12	
④ パターンIII'	1/8	5.4°C	8.5°C	3.5°C	894 Kcal/d	196 Kcal/h	19	
⑤ パターンIV	4/26	16.9°C	22.3°C	8.9°C	6,297 Kcal/d	686 Kcal/h	20	

表2-2 各パターンの代表日とそれに属する日数 (11~4月富山)

	代表日の特性値							日数
	月日	平均気温	最高気温	最高高度	最低気温	最低高度	全日射量	
① パターンI	1/14	1.0°C	3.0°C	-1.5°C	1,558 Kcal/d	291 Kcal/h	121	
② パターンII	4/10	9.0°C	9.6°C	7.7°C	990 Kcal/d	165 Kcal/h	45	
③ パターンIII	4/14	9.7°C	11.3°C	6.8°C	580 Kcal/d	75 Kcal/h	14	
④ パターンIV	4/26	12.0°C	15.9°C	9.5°C	1,340 Kcal/d	265 Kcal/h	1	

第3章 住宅及び設備システムの性能評価

3-1 室内温熱環境と関連する住宅の性能項目

検討したい住宅の評価対象室内の温熱環境を計測し、1章で述べた評価基準によって12項目の環境評価指標 (表1-2(a)~(1)) の5段階評価を行う。

その結果、何らかの問題が見い出された場合 (a)~(1) の評価指標の中に2点以下の評価がある場合。)又は、居住者から室内環境に関する不満が指摘された場合、それに対する対策を立案するため、その原因を究明しなければならない。

そこで、先ず住宅躯体各部の温熱性能と暖房設備を中心とする住宅設備の仕様性能を評価する必要が出てくる。以下、住宅躯体各部の温熱性能と住宅設備システム性能の2つを合せて住宅システム性能と呼ぶ事とする。

住宅システムの性能の各項目について各々グレードの

評価を行う事はそれ自体重要な課題であるが、住宅の立地条件や規模などによって異なった判断基準が必要なものや、簡単な計測では評価が困難なものもある。又、個々の性能について事細かに評価する事より、それらの住宅システムが実現している室内環境に対しどれだけ影響を与えているかの方が大切である。又、それが判れば、問題点の解決に到る対策も立てやすくなる。そこで、これまで述べた室内温熱環境の各指標と各性能項目の関係を総合的に把握するために室内の温熱シミュレーションを行いながら問題点の検討、改善対策の提示を行うものとする。ただし、今回の研究においては従来からのシミュレーション手法では夏の開口部の開閉による外気冷却効果の予測精度があまり期待出来ないため、このようなシミュレーションによる検討は冬期暖房時に限定して行う事とした。

3-2 暖房時の室内環境シミュレーション

(1) 室温シミュレーション

本研究のような室内環境の評価を行おうとする場合、室温のシミュレーションは少なくとも毎正時の非定常熱流計算法を用いなければならないし、暖房のない隣室の室温を全て未知数として扱う隣室温計算も不可欠である。特に、隣室温計等を厳密に行うためには、住宅全体にわたる詳細な計算用データの入力を行う必要があり、計算時間もぼう大なものになる。16ビットマイコンによって作業を進め、全ての評価作業を1時間前後に終了するためには、1回のシミュレーションを5分以内に終了させなければならない。よって、シミュレーションにおいては検討する室内1室に重点を置き他の隣室については極力簡略化する事が必要である。又、計算を実施する日数も、1冬の代表日を抽出して最小限とした。検討する室(以下中心室と称する)の室温方程式は(1)式で示すように、応答係数法による毎正時の非定常熱流計算式である、(1)式を毎時の中心室の室温について解いたものが、(2)式である。

$$\sum_{j=0}^{\infty} (\sum A_i \cdot Y_{i,j} \cdot TE_{i,n-j} + \sum A'_i \cdot Y'_{i,j} \cdot TR'_{i,j}) - \sum_{j=0}^{\infty} WZ_j \cdot TR_{n-j} + \sum_{j=0}^{\infty} W_j \cdot I_{n-j} + (KG_n + 0.3 QA_n) \cdot (TA_n - TR_n) + HG_n - CF \cdot (TR_n - TR_{n-1}) = 0 \quad \dots\dots (1)$$

$$TR_n = \frac{1}{WZ_0 + KG + 0.3 QA + CF} \left\{ \sum_{j=0}^{\infty} (\sum A_i \cdot Y_{i,j} \cdot TE_{i,n-j} + \sum A'_i \cdot Y'_{i,j} \cdot TR'_{i,j} + W_j \cdot I_{n-j}) - \sum_{j=1}^{\infty} WZ_j \cdot TR_{n-j} + (KG + 0.3 QA) \cdot TA_n + HG_n + CF \cdot TR_n \right\} \quad \dots\dots (2)$$

TR_n : n時の室温, $TE_{i,n}$: n時の各外壁相当外気温度, TR'_n : n時の各隣室室温, TA_n : n時の外気温度(以上 $^{\circ}C$), A_i, A'_i : 外壁及び間仕切面積 (m^2), y_{ij}, y'_{ij} : 外壁及び間仕切応答係数 ($Kcal/m^2 \cdot ^{\circ}C \cdot h$), WZ_j, W_j : 壁体吸熱 ($Kcal/^{\circ}C \cdot h$) 及び日射熱負荷重み係数, KG : 熱取得係数 ($Kcal/^{\circ}C \cdot h$), QA_n : n時のすき間風量 (m^3/h), HG_n : 内部発熱量(暖房器具発熱量を含む) ($Kcal/h$), CF : 家具等熱容量 ($Kcal/^{\circ}C$), I_n : n時の日射取得量 ($Kcal/h$)

これに対して、中心室に面する各隣室は(3)式で示すように定常熱流計算法により計算を行った。

$$\sum A_i \cdot KW_i (TE_i - TR') + \sum A'_i \cdot KW'_i (TR''_i - TR') + (KG + 0.3 QA) (TA - TR') + \sum I_i = 0 \quad \dots\dots (3)$$

$$TR' = \frac{\sum A_i KW_i \cdot TE_i + \sum A'_i \cdot KW'_i \cdot TR''_i + \sum I_i + (KG + 0.3 QA) \cdot TA}{\sum A_i \cdot KW_i + \sum A'_i \cdot KW'_i + KG + 0.3 QA} \quad \dots\dots (4)$$

(2) 湿度シミュレーション

室内の湿度シミュレーションには(5)式のような絶対湿度に関する微分方程式を基本式として用いる。又、実際には1次差分化し、毎時の室内絶対湿度XRは(6)式のように表わされる。

$$r \cdot QA (XA - XR) + XG = r VR \frac{dXR}{dt} \quad \dots\dots (5)$$

$$XR = \left\{ \frac{rQA(XA + XA') + (XG + XG')}{r VR} \left(\frac{QA}{VR} - \frac{2}{4t} \right) XR' + \left(\frac{QA}{VR} + \frac{2}{4t} \right) \right\} \quad \dots\dots (6)$$

XA, XR : 外気及び室内絶対湿度 (g/kg), XG : 室内水蒸気発生量 (g/h), VR : 室気積 (m^3), QA : すき間風量 (m^3/h), γ : 空気比重量 (kg/m^3), XA', XR' , XG' : 各1時間前値

ここで問題となるのは、すき間風量QAと水蒸気発生量XGである。すき間風QAについては(3)で述べる。水蒸気発生量XGの室内における発生源は

- ①開放型ストーブなどの暖房器具
- ②人体
- ③厨房器具
- ④その他(洗たく物、雨具など)

などが考えられる。暖房器具からの水蒸気発生量については各燃料の燃焼データから算出し、人体からの水蒸気発生については $0.05kg/人 \cdot h$ として計算する事とした。又、これらの湿度計算には壁体の透湿や吸放湿については考慮に入れていない。

(3) 空気清浄度シミュレーション

室内の空気清浄度を評価するにあたって、最も一般的な汚染物質としてCO₂を考える。室内のCO₂濃度は(7)式で表わされ、実際には湿分の場合と同様(8)式のような1次差分式を用いて計算する事とした。

$$rQA(Ca-Cr)+Cg=rVR \frac{dCr}{dt} \dots\dots\dots (7)$$

$$Cr = \left\{ \frac{rQA(Ca+Ca')+Cg+Cg'}{rVR} \left(\frac{QA}{VR} - \frac{2}{dt} \right) Cr' \right\} / \left(\frac{QA}{VR} + \frac{2}{dt} \right) \dots\dots\dots (8)$$

Ca, Cr: 外気及び室内CO₂濃度(ppm), Cg: 室内CO₂発生量(mg/h), Ca', Cr', Cg': 各1時間前値

ここで、外気CO₂濃度Caは300ppm(一定)とし、室内CO₂発生源として、暖房器具と人体(29.5g/h・人)を考える。すき間風量QAについては3つのグレードに住宅の気密性能を予め分類し、各々について表3-1のような換気量を仮定する事とした。

(4) 外気条件データ

厳冬期の室内環境をシミュレーションにより再現、評価するため、各地域の1~2月のa. 温暖日, b. 平均日, c. 寒冷日の3つについて基準日を定め各々のデータによるシミュレーションを行う。各基準日は第2章で行った標準気象データの主成分分析結果を利用し、1~2月の各日の中から、気温の24時間データの第1主成分得点の最大日をa, 平均日をb, 最小日をcの各々基準日とする事とした。(表3-2参照)

非定常熱流計算では、ある日の計算を正しく行うために何日か溯った計算が必要であるが、検討を行った結果、木造住宅では24時間溯れば安定した結果が得られる事が判ったので、c→b→aの順に同じ日を2回くり返す

表3-1 気密性能のグレード別換気量 (Δp=0.3mmAq時)

	高气密住宅	平均	低気密住宅
相当開口面積 (cm ² /m ²)	2.24	5.3	12.5
すき間風量 (m ³ /h・m ²)	1.40	3.31	7.81
換気回数*(回/h)	0.56	1.32	3.12

* 天井高2.5mとする。

表3-2 室内環境シミュレーション用外気条件 (1~2月東京)

	月日	気温(°C)			日射量	
		平均	最高	最低	全日(Kcal/d)	最大(Kcal/h)
温暖日	1/4	3.3	6.5	0.9	2,982	789
平均日	1/14	1.0	3.0	-1.5	1,558	291
寒冷日	2/13	0.0	2.4	-2.7	2,826	560

から6日間計算し、各代表日の2日目の結果を評価の対象とする。

第4章 総合評価システムとその応用

4-1 総合評価システムの概要

(1) システムのハード構成

本研究で開発した評価システムのうち、計測システム及びコンピュータからなるハードウェアの構成を図4-1に示す。

データ計測器は当処建検箱を使用する予定であったが、パソコンとのインタフェース増設が予算の都合で行えなかったため、通常のデータ・ロガー(計測点数30点, 英弘精機MP100)で代用し, RS232Cによって, パソコンへデータ転送を行う事とした。

センサは原則として全てデータロガーを介したオンライン入力としたが, アネモ・サーモメータ(室内風速)と赤外線放射温度計(表面温度)はメータの読みを測定者が直接コンピュータのキーボードからキーインする事とした。

これらの計測データは一担全て, フロッピー・ディスクのランダムアクセス・ファイルに記録される。

その後各ステップの評価, 検討は各々のプログラムによって進められ, その処理結果はCRT画面(カラー表示)とプリンターに出力される。(図4-3~6参照)

(2) システムのソフトウェア

総合評価の流れの中で図4-2に示すような大きく分けて4つのメインプログラムと6つのデータ・ベースが必要となる。

これらのうち現場の作業の過程で最も手間がかかるのが, 後半の暖房エネルギー計算や室内環境シミュレーションを行うための評価対象室及びその周辺の室内外の熱特性, 住宅設備, 使用状況などに関するデータの入力作業である。

これらのデータ入力は精度の良い検討を行おうとする場合, 簡略化はかなり難しく, 予め図面などを参考にし

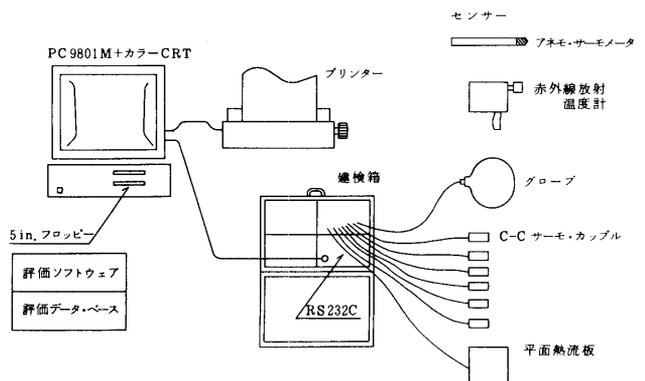


図4-1 16bit パソコンを中心とするシステムのハード構成

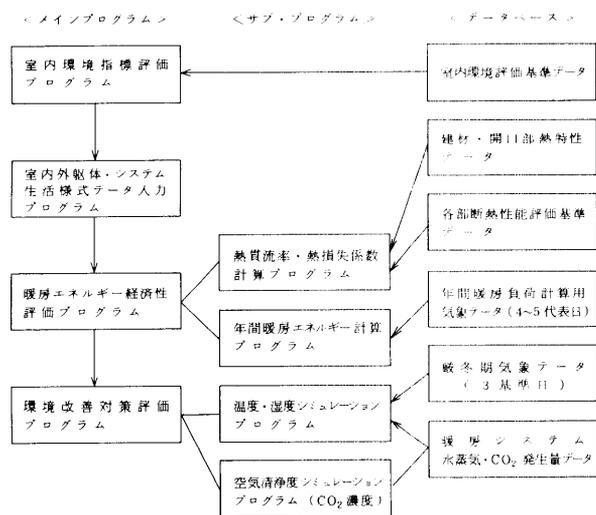


図4-2 評価システムのソフトウェアとデータベース

て入力作業を行っておき、現場で細部のデータを補足的に入力するような方法をとらなければ、迅速な評価作業に支障をきたす事になりかねない。これは最後に述べるように今後の課題である。

それらに対して、年間暖房エネルギー計算プログラムやシミュレーションプログラムは第2章、第3章で既に述べたような外気条件の統計処理によって、計算時間は通常の木造の場合、各プログラムとも1室2分以内であり、評価作業を迅速に行うという目的は十分に達せられた。

4-2 総合評価システムの応用

(1) 東京地方の住宅における室内環境計測と評価

総合評価システムを使用して実際の住宅の室内環境を計測・評価を行うため、昭和60年3月に東京地方の住宅において室内環境の計測を行った。

計測を行った住宅は表4-1に示す4住宅6室で、木造2戸(断熱施工あり及び無断熱各1戸)、RC集合住宅2戸である。

計測は昼間(14:00頃)及び夜間(21:00~23:00)

の2回行い、夜間は暖房実施中と暖房停止10分後の2回実施した。

表4-2に各住宅各室の夜間暖房時の各環境指標の計測値を示す。

測定日が3月中旬であったため外気温度は夜間でも6~9℃と高く室温、グローブ温度、MRTなどは、各室とも特に問題はなかった。

しかし、コンベクターやFFヒーターなど室内への水蒸気供給のない暖房器具を設置している例では加湿器を使用しない限り、相対湿度が低くなっている。

特に室温が20℃を越える室内では40%を下回り、好ましくない水準(評価2)にある事が判る。(戸建No.1の2階及び戸建No.2の1階)

これらの計測結果の中で最も顕著な事柄はRCの集合住宅と木造戸建住宅の間の垂直温度分布の特性及び、表には示していないが、暖房停止後の室温降下の度であった。

これは両者の断熱性能特に気密性能のちがい及び熱容量のちがいによる所が大きく、評価項目⑨~⑩の得点のはっきり分かれている。(RC集合は評価5に対して木造戸建は1)

次に木造戸建住宅について比較すれば、壁体・天井に50mmG.Wが施工されているNo.1と無断熱のNo.2とでは、評価項目⑪~⑬の得点に、はっきりとした差がみられる。No.2の各室では室温(中心部)とグローブ温度及びMRTとの差が大きく、室温が上昇しても壁体の表面温度が低い事が判る。(戸建No.1で⑪~⑬の評価が4~5であるのに対して、No.2では全て2となっている。)

以上から、木造戸建住宅の断熱材施工のないものが、他のタイプの住宅に比較して、評価得点2以下の項目が明らかに多い事が判る。(表4-2の評価欄中○印の項目)

無断熱の木造戸建No.2の2室のうちLD(1階)は平面の3面が間仕切壁とふす間戸によって隣室と接してお

表4-1 東京地方における住宅室内環境計測概要(60年3月)

構造形態	規模	対象室	室面積	断熱施工	暖房器具	暖房時間	加湿器	計測日時	備考	
戸建No.1	木造2階建	133.1㎡	L.D(1階)	13.2㎡	外壁のみ G.W50mm	ガスFFストーブ	10h	なし	60.3.9	
			書斎(2階)	16.5㎡	天井・外壁 G.W50mm	〃	4h	〃	60.3.9	
戸建No.2	〃	131.0㎡	L.D(1階)	19.8㎡	断熱施工なし	コンベクター	7h	〃	60.3.10	
			書斎(2階)	9.9㎡	〃	開放型ガスストーブ	10h	〃	60.3.10	
集合No.1	RC(9階建の6階)	3LDK	L.D	13.2㎡	外壁 G.W50mm	コンベクター	9h	超音波方式	60.3.12	光ヶ丘団地内
集合No.2	RC(9階建の9階)	〃	L.D	13.2㎡	〃	〃	12h	〃	60.3.12	〃

表4-2 各室内の環境指標測定結果と5段階評価

	集合No.1住宅6F		集合No.2住宅9F		戸建No.1 (1F LD)		戸建No.1 (2F書斎)		戸建No.2 (1F LD)		戸建No.2 (2F書斎)	
	測定値	評価	測定値	評価	測定値	評価	測定値	評価	測定値	評価	測定値	評価
① 乾球温度 θ_a (°C)	21.7	4	23.1	3	78.5	3	21.4	4	25.2	3	21.7	4
② 相対湿度 ϕ_a (%)	63.0	4	61.5	4	43.0	3	39.5	②	37.5	②	52.5	5
③ 気流 v (m/s)	0.05	3	0.05	3	0.1	4	0.05	3	0.2	5	0.05	3
④ グローブ温度 O.T (°C)	21.0	5	22.9	3	78.2	3	20.8	5	23.2	3	20.0	5
⑤ 有効温度 E.T (°C)	19.5	5	21.0	3	17.2	3	18.5	5	20.6	3	18.9	5
⑥ M R T (°C)	20.5	4	22.6	3	77.3	3	19.2	4	19.6	4	17.6	3
⑦ 垂直室温分布 $ \theta'_a - \theta_a $	0.4	5	0.1	5	0.9	4	0.2	5	0.2	5	1.8	4
⑧ " $\frac{\theta'_a - \theta_a}{\theta_a - \theta_o}$	0.03	5	0.01	5	0.07	5	0.01	5	0.01	5	0.11	4
⑨ " $\frac{\theta_a - \theta_a''}{\theta_a - \theta_o}$	0.02	5	0.08	5	0.35	①	0.33	①	0.33	①	0.32	①
⑩ " $\frac{\theta'_a - \theta_a''}{\theta_a - \theta_o}$	0.05	5	0.09	5	0.42	①	0.34	①	0.41	①	0.42	①
⑪ O.T - θ_a	-0.7	4	-0.2	5	-0.3	5	-0.6	4	-2.0	②	-1.7	②
⑫ MRT - θ_a	-1.2	4	-0.5	5	-1.2	4	-2.2	4	-5.6	②	-4.1	②
評価平均値	—	4.3	—	4.1	—	3.3	—	3.6	—	2.8	—	3.2
評価最低値	—	3	—	3	—	①	—	①	—	①	—	①
外気温度 θ_o (°C)	9.0	—	9.3	—	6.4	—	5.9	—	5.7	—	5.4	—

り、南面のみ7.64m²の窓（アルミ1重サッシ）という形態で、窓サッシの高断熱化・床面の断熱材施工によっても、あまり、熱性能の向上効果は期待出来ない事が判ったので、2階書斎について断熱化の検討を行ってみる事とする。

(2) 木造戸建無断熱住宅における室内環境改善対策の検討

木造戸建 No. 2 の2階書斎は室面積9.94m²の洋間で、天井の外南・東・西面を外界に接し、北面が廊下、床が1階洋間と接しており、隣設スペースのうち暖房実施室は1階洋間（19：00～22：00）のみである。よって、壁体の断熱施工なしでは特に早朝の室温降下が大きい事が予想される。

まず、各壁体のK値を算出する。外壁は内側プラスターボード、外側モルタル仕上げで、K値が2.13 (Kcal/°C・m²・h)で、省エネルギー法の告示で定められた東京地方

の基準値を大中に上回っている。同じように屋根（瓦ぶき）2.09 (Kcal/°C・m²・h)、床2.15 (Kcal/°C・m²・h)、間仕切2.31 (Kcal/°C・m²・h)と計算される。

又、窓は3mmガラス単枚で外側に通常の鉄製雨戸、内側に厚手カーテンを引いた場合のK値を計算した。

図4-3は各々の壁体のK値計算結果と基準による評価結果を示している。

前述したように窓以外の外壁のK値は基準値を大中に上回っている。(リストの右端は基準値を満足しているものがOK、下回るものにNOを出力している。)

換気回数3.12 (回/h)として、熱損失量と熱損失係数を計算すれば、各々73.9(Kcal/°C・h)、7.43(Kcal/°C・m²・h)となる。

この状態における、この室内の年間暖房負荷（11～4月）及び、時刻別平均負荷を求めたものを同図下部に示す。暖房時間は午前中3時間（7：00～9：00）と午後

```

= ショウタク NO.2 2F ショウイ =
-----
*** カク* k チ オビ* ネツソシ ヲシ ヒョウカ リスト ***
-----
* <カクハキタイ kチ > (kcal/°c,m^2,h)
<フイメイ> <カ*イキ クア*ン> <メンベキ> <k チ> <キ*シ*ユンチ> <ヒョウカ>
ア*ンシ*ヨウ * 0 * (9.94 m^2) 2.09 (0.8 ) no
カ*イキ SSE * 0 * (4.68 m^2) 2.13 (0.9 ) no
マ*ト SSE * 0 * (1.87 m^2) 2.65 (5.6 ) OK
カ*イキ WSW * 0 * (6.87 m^2) 2.13 (0.9 ) no
マ*ト WSW * 0 * (1.87 m^2) 2.65 (5.6 ) OK
カ*イキ ENE * 0 * (8.74 m^2) 2.13 (0.9 ) no
ユ カ * - * (9.94 m^2) 2.15 -- --
マ*シ*キリ NNW * - * (6.55 m^2) 2.31 -- --
-----
* <カンキ ガイスク > : 3.12 (カイ/h)
* <ネツ ソシツ リョウ > : 73.90 (kcal/ °c,h)
* <ネツ ソシツ ガイスク > : 7.43 (kcal/ °c,m^2,h)
-----
*** file TOK2 annual load calculation ***
-----
* <ネンカン タンホ*ウ フカ > : 3250.96 (mcal/a)
* <シ*コクハ*ツ タンホ*ウ フカ > (kcal/h)
-----
1 :00 * 0 13 :00 * 0
2 :00 * 0 14 :00 * 0
3 :00 * 0 15 :00 * 0
4 :00 * 0 16 :00 * 0
5 :00 * 0 17 :00 * 0
6 :00 * 0 18 :00 * 2367.43
7 :00 * 3753.7 19 :00 * 1560.63
8 :00 * 1584.74 20 :00 * 1494.35
9 :00 * 905.414 21 :00 * 1436.54
10 :00 * 0 22 :00 * 1505.65
11 :00 * 0 23 :00 * 1705.89
12 :00 * 0 24 :00 * 1746.55
-----

```

図 4-3 戸建住宅 NO2(無断熱)の現状エネルギー評価カルテ

```

= ショウタク NO.2 2F ショウイ = < タンネツ ガイセン*ユ >
-----
*** カク* k チ オビ* ネツソシ ヲシ ヒョウカ リスト ***
-----
* <カクハキタイ kチ > (kcal/°c,m^2,h)
<フイメイ> <カ*イキ クア*ン> <メンベキ> <k チ> <キ*シ*ユンチ> <ヒョウカ>
ア*ンシ*ヨウ * 0 * (9.94 m^2) .555 (0.8 ) OK
カ*イキ SSE * 0 * (4.68 m^2) .557 (0.9 ) OK
マ*ト SSE * 0 * (1.87 m^2) 1.75 (5.6 ) OK
カ*イキ WSW * 0 * (6.87 m^2) .557 (0.9 ) OK
マ*ト WSW * 0 * (1.87 m^2) 1.75 (5.6 ) OK
カ*イキ ENE * 0 * (8.74 m^2) .557 (0.9 ) OK
ユ カ * - * (9.94 m^2) 2.15 -- --
マ*シ*キリ NNW * - * (6.55 m^2) 2.31 -- --
-----
* <カンキ ガイスク > : 1.32 (カイ/h)
* <ネツ ソシツ リョウ > : 23.51 (kcal/ °c,h)
* <ネツ ソシツ ガイスク > : 2.69 (kcal/ °c,m^2,h)
-----
*** file TOK2A annual load calculation ***
-----
* <ネンカン タンホ*ウ フカ > : 1442.65 (mcal/a)
* <シ*コクハ*ツ タンホ*ウ フカ > (kcal/h)
-----
1 :00 * 0 13 :00 * 0
2 :00 * 0 14 :00 * 0
3 :00 * 0 15 :00 * 0
4 :00 * 0 16 :00 * 0
5 :00 * 0 17 :00 * 0
6 :00 * 0 18 :00 * 1361.43
7 :00 * 2710.08 19 :00 * 510.257
8 :00 * 628.83 20 :00 * 451.101
9 :00 * 230.721 21 :00 * 431.815
10 :00 * 0 22 :00 * 460.431
11 :00 * 0 23 :00 * 596.63
12 :00 * 0 24 :00 * 633.448
-----

```

図 4-4 戸建 NO2の断熱改良評価カルテ (50mmG.W+2重カーテン)

7時間(18:00~24:00)の計1日10時間で、暖房設定室温は20℃として計算している。

計算結果によれば、年間の暖房負荷は3250.96 (Mcal/a)で、時刻別には早朝7:00に3753.7 (Kcal/h)とピークになり、夕方暖房再開時の負荷が、2367.43 (Kcal/h)とこれについている事が判る。この室内の暖房器具(ガスストーブ)の容量は1800Kcal/hであるから、早朝は冬期間室温が上昇せず、夜間も暖房能力にさほど余裕がない事が判る。(図4-5 a参照)

次に1~2月の室内環境をシミュレーションによってトレースしてみる。

図4-5 bは室温のシミュレーション結果である。(一番上の線が温暖日、一番下が寒冷日、間が平均日である。)これによれば寒冷日においては早朝室温は0℃以下に低下し、暖房開始後3時間たっても室温は17℃(評価3の水準)に達しない。又、夜間は暖房中も室温は13℃(評価1の水準)より高くない事が判る。cは相対湿度の変化であるが、暖房停止後早朝まで主に上記の室温降下が原因となって、75%以上に上昇するが、暖房中はすき間のため、さほど高くなる事はない。

dはCO₂濃度の変化であるが、これもさほど高くない(ただし、通常CO₂怒限度といわれるレベルは1000ppmであるから、全く問題がないわけではない。)

次に、これらの問題点の改善対策として、天井・外壁に50mm厚グラスウール、開口部のカーテンを2重にした場合について、その効果を検討する。

この場合、図4-4に示すように天井・外壁のK値は0.56 (Kcal/°C・m²・h)前後、開口部1.75 (Kcal/°C・m²・h)で、基準を下まわる。又、換気回数を1.32回/hとすれば、熱損失量、熱損失係数とも、現状に比べて半分以下に減少する。

これによって年間暖房負荷も1442.65 (Mcal/a)となる。

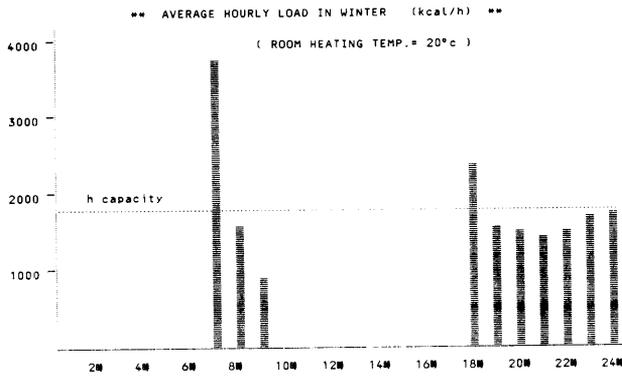
室内環境は図4-6のシミュレーション結果に示すように室温・相対湿度の特性が大巾に改善される事が判る。ただし、dに示すようにCO₂濃度は換気回数の減少によって増加し、ストーブの全出力時には10,000PPM(1.0%)に達する事が判る。この程度では人体に対して、直接害を与えるとは考えられないが、このような状態が長時間続く事は、好ましくない事は言うまでもない。

住宅の気密性能を向上させる場合、暖房器具による室内空気の汚染を考慮すれば開放型のストーブ類の設置には注意が必要である事が判る。

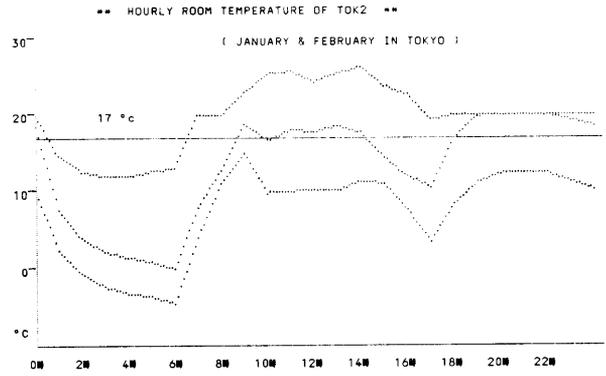
4-3 結び

パソコンを利用した住宅の室内環境総合評価システム開発のアウトラインを述べたが、紙面の関係で詳細なデータ・ベースや現場における入力作業についてあまり

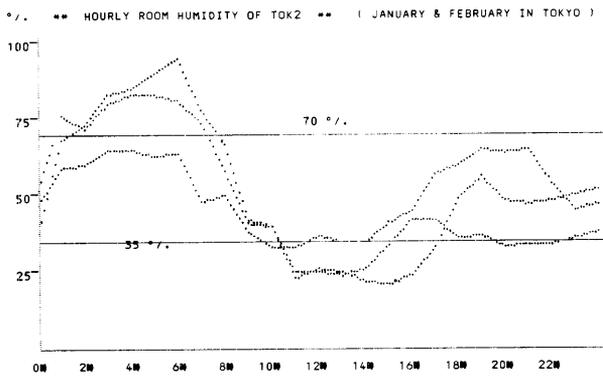
a. 時刻別暖房負荷 (11~4月の平均)



b. 室内温度変化 (1~2月) <温暖日, 平均日, 寒冷日>



c. 室内相対湿度の変化 (1~2月) <温暖日, 平均日, 寒冷日>



d. 室内CO₂濃度 (1~2月) <温暖日, 平均日, 寒冷日>

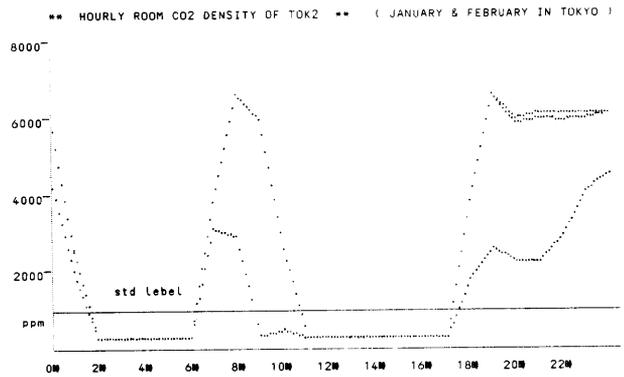
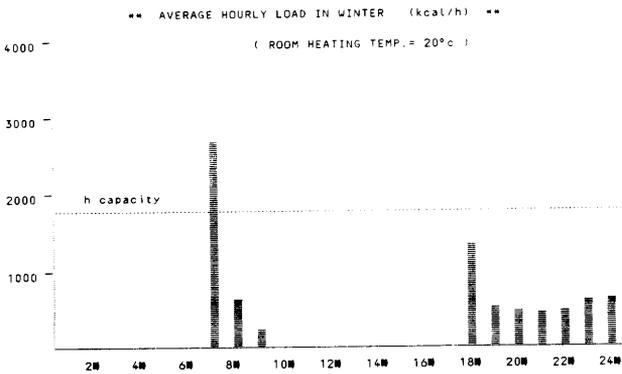
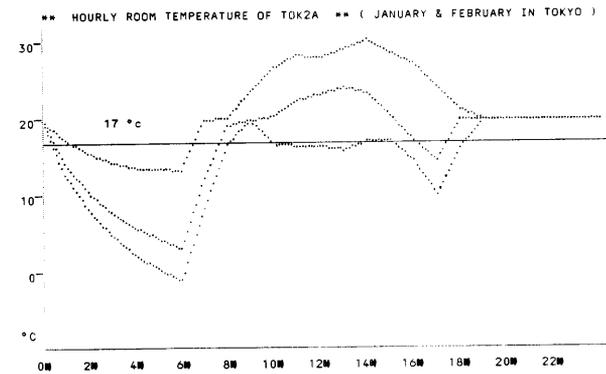


図4-5 戸建住宅 NO2 (2 F 書斎) の現状シミュレーション結果 (無断熱)

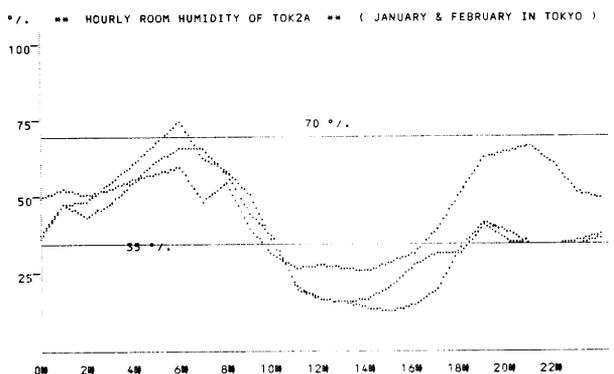
a. 時刻別暖房負荷 (11~4月の平均)



b. 室内温度変化 (1~2月) <温暖日, 平均日, 寒冷日>



c. 室内相対湿度の変化 (1~2月) <温暖日, 平均日, 寒冷日>



d. 室内CO₂濃度 (1~2月) <温暖日, 平均日, 寒冷日>

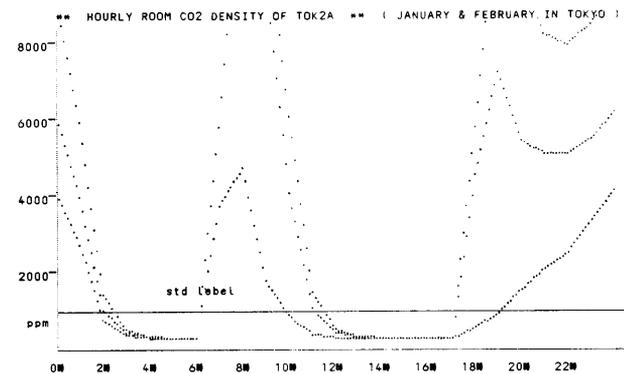


図4-6 戸建住宅 NO2 (2 F 書斎) の断熱改良後のシミュレーション結果

触れる事が出来なかった。

コンピュータによる建物の負荷計算や温熱シミュレータ手法については、これまで、研究が進められ基本的には出揃った感があるが、最も重要なファクターである室内外通気量や躯体の吸放湿特性などに関しては、この種の検討作業の精度に十分堪え得る手法は未だ開発されていない。

又、シミュレーションの準備ステップで多くの時間を必要とするのも、現場における評価作業のネックとなるだろう。入力すべきデータが多岐にわたると、応答係数の計算時間などのためである。今回の作業では OS に N88 ベーシック (インタプリタ) を使用したが、今後 MS-DOS コンパイラによるシステムとし、演算プロセッサを増設するなど計算速度の向上をはかってゆきたいと考えている。

今後の方向性として、コスト計算を含めた検討が行えるシステムの開発を行って行く予定である。

〈参考文献〉

- 0-1 尾島俊雄・住居空間の科学, 建築文化, 1978, 1月号~1979, 2月号
- 1-1 ASHRAE: Book of Foundimentals, 1978
- 1-2 渡辺 要・堀江 悟: 建築計画原論III, 丸善
- 2-1 建設省: 省エネルギー住宅システムの開発報告書, 1977~1982
- 2-2 住宅建築省エネルギー機構: 住宅省エネルギーハンドブック, 1984
- 2-3 日本住宅設備システム協会: LESCOM PART II標準プログラムの改良, 開発に関する報告書, 1985
- 2-4 尾島俊雄: 建築の光熱費, 1984, 丸善
- 2-5 パソコン統計解析ハンドブック, 1984, 共立出版
- 3-1 建設省: 住宅性能総合評価システムの開発報告書
- 3-2 建材試験センター: 住宅性能標準化のための調査研究報告書, 1984
- 3-3 住宅における環境性能の評価, 1983, 建築学会大会研究協議会パンフレット
- 3-4 大気汚染ハンドブック
- 3-5 吉野博ほか: 在来構法の木造戸建住宅における気密性能の実測と既往データとの比較, 1981, 建築学会東北支部研究報告集
- 3-6 村上周三・吉野博: 住宅の気密性能に関する研究, 1983建築学会論文報告集第325号
- 3-7 渡辺要: 建築計画原論 I, 丸善
- 3-8 木村健一: 建築設備基礎理論演習, 学献社
- 3-9 瀬沼勲: 室内環境学, 共立出版

〈研究組織〉

主 査	尾島 俊雄	早稲田大学理工学部教授
委 員	齋藤 忠義	国土館大学工学部助教授
	森山 正和	神戸大学工学部講師
	西岡 哲平	福井工業大学講師