

太陽熱床暖房・給湯住宅USHのシミュレーションによる性能評価

Simulation Study on The Single Family House USH Provided with Solar Floor and Hot Water Heating System

盧 炫佑^{*1}
Hyunwoo ROH

宇田川光弘^{*2}
Mitsuhiko UDAGAWA

Abstract

In this study, the indoor thermal environment and energy consumption of a two storied single family house USH with the solar floor and DHW heating system was simulated using the simulation tool throughout a winter season. Both hourly and seasonal variation of the room thermal environment and the operation of the system components could be well simulated, while the simulated electric energy consumption was slightly smaller than the measured data. Using the simulation tool, the effect of the solar floor and DHW heating system was also validated.

キーワード：太陽熱暖房，太陽熱給湯，床暖房，シミュレーション，エネルギー消費量

Key Words : Solar heating, Solar hot water heating, Floor heating, Simulation, Energy consumption

1. はじめに

住宅のエネルギー消費量低減と負荷の平準化の観点から太陽エネルギーの利用は大変重要と思われる。シミュレーションは太陽エネルギー利用システムの性能評価方法として有効である。本研究では、太陽熱床暖房・給湯システムを設置した実際の戸建住宅の冬季の室内熱環境およびエネルギー性能について実測データに基づきシミュレーションを行いシミュレーション手法を検証するとともに、シミュレーションにより太陽熱床暖房住宅の性能を評価する。住宅の多数室の建築部分と設備システム部分を一体化して建物全体のエネルギー・シミュレーションを行う。

なお、本研究の一部は発表済みであるが⁽¹⁾⁽²⁾、本論文ではより詳しく検討した結果を詳細に述べる。

2. 建築概要

シミュレーションに用いた住宅は図1に示すように東京都渋谷区、都心に近い住宅地に建つ戸建住宅であり、ここではUSH^{(3)~(6)}と呼ぶ。図1と図2に示すように鉄骨構造、

外壁は軽量発泡コンクリートパネルの2階建、延べ床面積は164m²である。居間上部は吹き抜けになっており、空間的に2階に繋がっている。

建物は図3に示すように、外壁は59mmのフェノールフォーム、天井は200mmのロックウールとした高断熱住宅である。1階床の断熱は、床暖房を行う居間(L)、食堂(D)、書斎(S)の床とそれ以外の木床部分とも100mmのフォームポリスチレンである。ガラスは全て複層ガラスであり、ガラス種類は1階の居間と厨房(K)のみLow-eガラスであり、その他は通常の透明ガラスである。居間、食堂、寝室など居室(L, D, S, J, PR, J2, CB, MB)の窓には全て断熱戸を内側に取り付け窓の断熱を十分に行なった。断熱戸は合板製で断熱材は40mm厚の発泡ポリスチレンである。居間上部の吹抜の高窓にはロール式断熱カーテンを使用した。

太陽熱暖房システムは図4に示したように居間、食堂、書斎の300mm厚のコンクリート床を温水で加熱する蓄熱式床暖房方式であり、居間と食堂には太陽熱床暖房システムに加え空気熱源ヒートポンプのルームエアコンを使用している。また、2階の子供室(CB)にもルームエアコンを使用している。外部から供給されるエネルギーは電気のみで、ガスは使用していない全電化住宅である。

3. 太陽熱床暖房・給湯システム

USHの太陽熱床暖房・給湯システムは図4に示すように

*1 (株)システム環境研究所 (〒166-0003 杉並区高円寺南3-47-8-208)
e-mail : roh@serl.co.jp

*2 工学院大学建築学科教授
(原稿受付: 2001年11月5日)

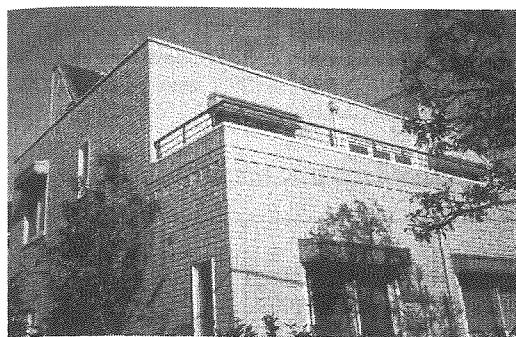


Fig.1 Outside of USH.

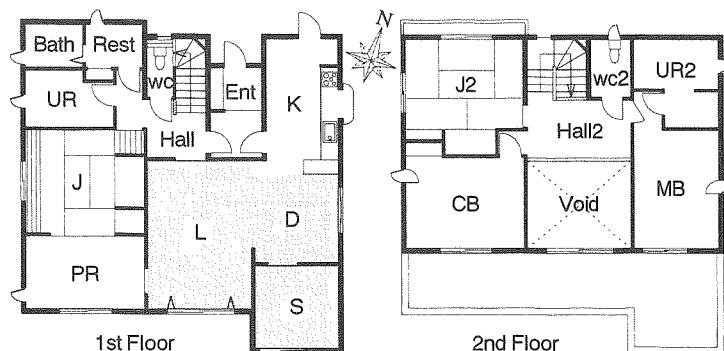


Fig.2 Floor plan of USH.

Roof	ALC 75mm Air space RW ^{*1} 200mm GB ^{*2} 12mm
2nd floor	Wood 32mm ALC 100mm Air space GB 12mm
2nd floor(J2)	Tatami 60mm Wood 20mm ALC 100mm Air space GB 12mm

1st floor	Wood 32mm FPS ^{*3} 100mm Air space RC 60mm Soil
1st floor(J)	Tatami 60mm Wood 20mm FPS 100mm Air space RC 60mm Soil

1st floor(L,D,S)	Wood 32mm RC 300mm(RC200mm+Pipe+RC100mm) FPS 100mm RC 117mm Soil
------------------	--

Exterior wall	LRC 57mm Air space FNL ^{*4} 58mm GB 12mm
Partition wall	GB 12mm Air space GB 12mm

*1 Rock wool
*2 Gypsum board
*3 Foam polystyrene
*4 Phenolic foam

Fig.3 Details of roof, floors, walls.

C: Calorimeter
T: Thermometer

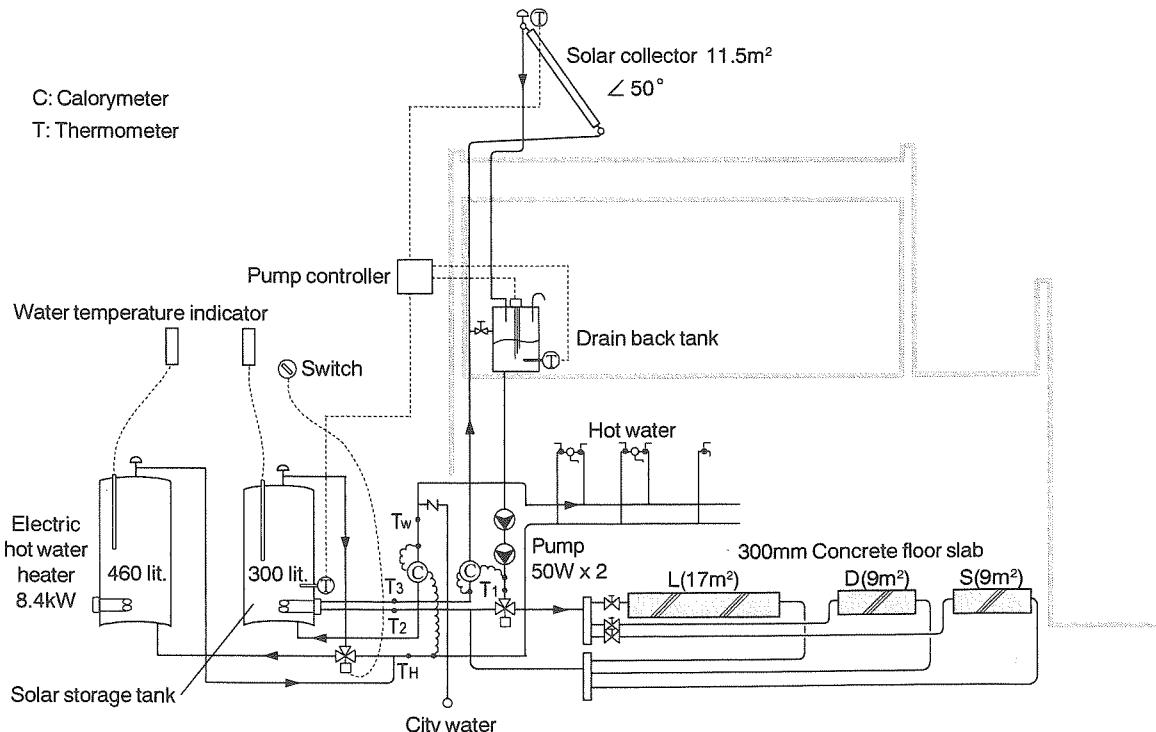


Fig.4 Solar floor heating and domestic hot water heating system of USH.

集熱器で集熱された温水がサージタンクを経由して居間、食堂、書斎の厚さ300mmのコンクリート床を加熱後、蓄熱槽を加熱し集熱器に戻るシステムである。蓄熱槽は給湯専用で、暖房用の蓄熱槽は無く暖房用の蓄熱はコンクリートの床のみで行う。床暖房の面積は3室合計で35m²である。

集熱器は選択吸収膜集熱板に白板ガラス1枚の平板集熱器で6ユニット全集熱面積11.5m²であり、傾斜角は50°である。集熱器は屋上に設置しており、集熱器方位は建物正面と同じで正南から東へ18°振れている。このシステムの機器仕様は表1に示した。なお、給湯用補助熱源は第

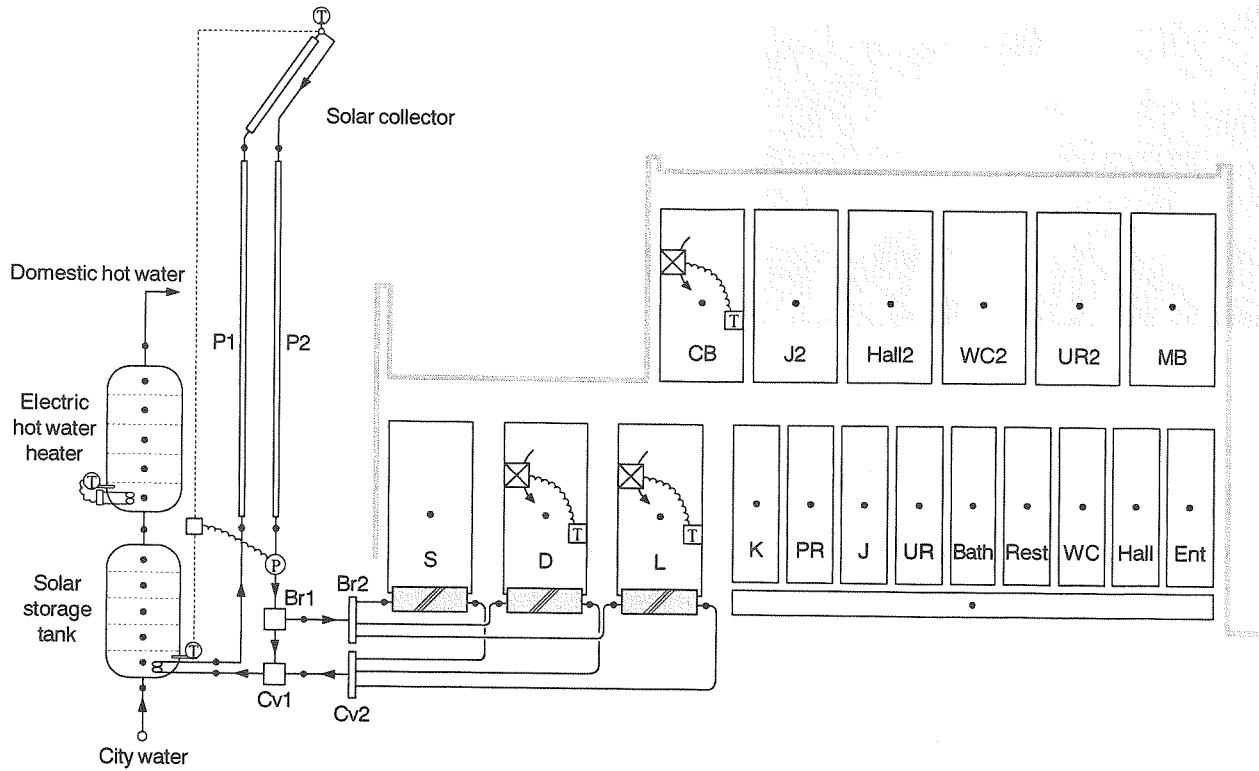


Fig.5 Simulation model of solar floor heating, domestic hot water heating system and rooms.

Table.1 Equipment details of this system.

Solar collector*	Flat plate with single glazing and selective absorber, 11.5 m ²
Solar storage tank	300 liters
Electric hot water heater	460 liters, 8.4kW Heat loss coefficient : 4.0W/K

*Tilted angle 50 degrees, faced to south almost

2深夜電力利用の深夜電力電気温水器であり、暖房用は前述のとおり居間(L), 食堂(D), 子供室(CB)に設置したヒートポンプエアコンである。

4. シミュレーション方法

シミュレーションには建築環境・エネルギー・システムの汎用シミュレーションプログラムである EESLISM^{(7)~(10)}を使用して、USHの冬季の室内熱環境およびエネルギー性能についてシミュレーションを行った。室の計算モデルでは、壁、窓などの室構成部材の熱収支式と室内空気の熱収支式を基に室内空気の総合的な熱収支式を用いている。設備システムの計算モデルでは、集熱器、配管は定常計算モデルを使用し、蓄熱槽、電気温水器は完全混合槽列モデルを使用した。

図5に示すように、暖房を行う4室(L, D, S, CB)を含む18室と床下1室の計19室の建物部分と太陽熱床暖房・給湯システムの設備部分とを一体としてモデル化した。図

2, 図3に示すような建物の形状、熱的仕様に関するデータおよび集熱器、床パネル、蓄熱槽、電気温水器、配管などのシステム機器要素、熱媒用配管系統を入力、熱媒流量を設定する。各時刻においてこれらのシステム構成要素についての熱収支式で構成される連立方程式を解いて機器出入口温度を毎時求めていく。また、室の計算については、毎時の室温、壁体表面温度、壁体内部温度が求められる。

太陽熱床暖房・給湯システムは、実際には集熱器集熱板温度と蓄熱槽下部水温との差温により蓄熱ポンプが作動するが、シミュレーションでは集熱ポンプが蓄熱槽最下部の水温と集熱器相当外気温度との差温によるものとした。これは、ポンプ停止時には集熱器相当外気温度が集熱板温度に一致するので、このようにモデル化した。なお、差温が15°C以上のときに運転されるとした。床暖房の加熱もこの条件のときに行われる。ルームエアコンによる暖房は居間(L), 食堂(D), 子供室(CB)のみであるので、シミュレーションにおいても他の部屋は暖房しないこととした。

図6に示すように居間(L)と食堂(D)のルームエアコン運転スケジュールは6~24時、子供室(CB)は6~7時と20~24時で、この設定は平日、土曜、日曜問わず同様のパターンを用い、室内作用温度が設定温度20°Cを超えた場合は暖房は停止し自然室温を計算することにした。

照明、機器による発熱は実測データから16.65kWh/日となるよう時間単位のスケジュールを図7のとおり作成した。各室の在室人数は実使用状況に基づき3人家族を想定し、図8のような時間単位スケジュールを作成した。ま

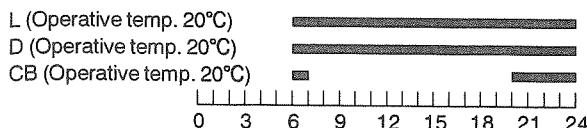


Fig.6 Daily schedules of space heating operation.

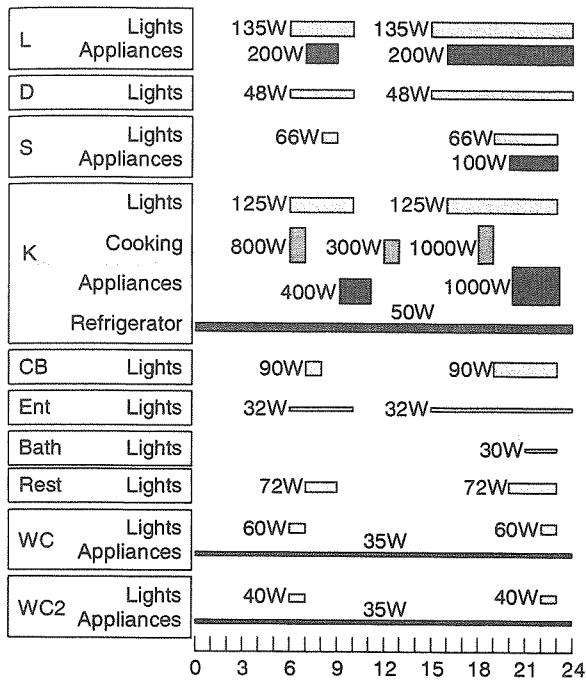


Fig.7 Daily schedules of internal heat sources.

た、図9にも示したが、建物の換気回数は0.5回/hと仮定した。さらに厨房(K)は朝、昼、晩の調理時間帯に強制換気を行うことにした。

給湯は300lの太陽熱蓄熱槽と補助熱源である460lの深夜電力利用電気温水器により行われる。給湯量は図16に示す10年間の測定結果に基づき給湯熱量500kWh/月、平均給湯温度70°C、平均給水温度7.3°Cから求め230l/日とした。なお、図10に示すような時間単位の給湯スケジュールを用いたが、給湯温度は制御していないとし、1~6時の深夜5時間に定格容量8.4kWの電気温水器で、沸上温度を80°Cで加熱することとした。

計算時間間隔は通常建築エネルギーシステムシミュレーションで用いられる1時間とした。シミュレーションを行った期間は1997年12月~1998年3月であり、気象データは東京の気象庁観測値を使用した。

5. シミュレーション値と測定値の比較

5.1 代表日のシミュレーション結果

図11~図13に代表日とした1998年1月10日~11日の毎時シミュレーション結果を示した。図13には日射量、外気温および室温の測定結果も示した。1月10日は晴天日

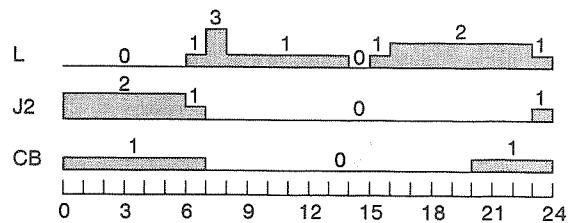


Fig.8 Daily schedules of occupants.

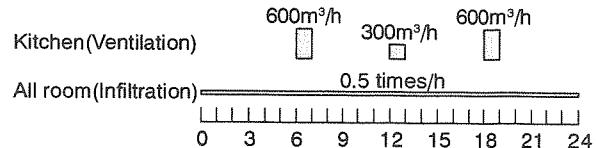


Fig.9 Daily schedules of Ventilation and Infiltration.

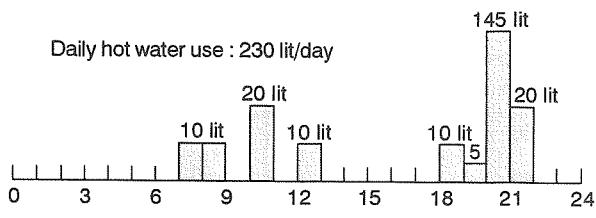
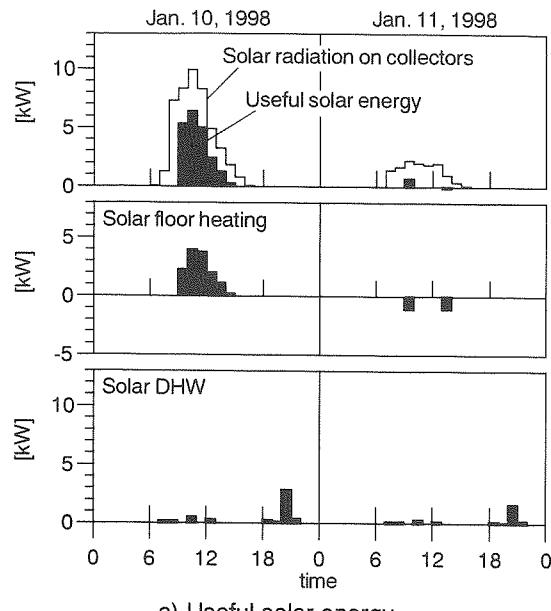


Fig.10 Daily schedules of hot water use.

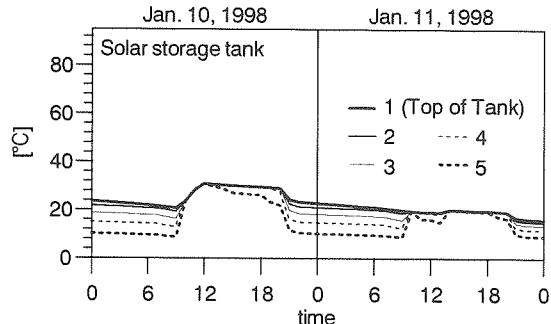
であり、11日は曇天日である。

図11、図12は、太陽熱システムの運転状況と太陽熱による床暖房とともにエアコンによる暖房も行われている居間(L)の室温、暖房供給熱量の時間変動を示している。図11a)に示したように晴天日であった1月10日には9~15時に暖房熱供給が行われているが、曇天日であった1月11日には太陽熱による暖房熱供給はなかった。太陽熱システムを集熱器と蓄熱槽の温度差で制御しているため、曇天日には蓄熱暖房用の床が冷却されてしまうことも稀に起こるが、図11、図12でもそのような状態も再現されている。図11b)と図11c)には蓄熱槽と電気温水器の槽内水温の時間変動を示した。蓄熱槽水温は日中の集熱時に槽最下部の熱交換器によって加熱される方式であるため槽全体が完全混合となって加熱されることとした。深夜電力電気温水器は夜間1~6時に電気ヒーターにより加熱するため夜間の槽内温度は均一である。図12に示したように晴天日であった1月10日には暖房の立ち上がり時にエアコンによる暖房であるが、9~15時に太陽熱による床暖房で賄われており、15~16時には床スラブの蓄熱効果によりエアコンによる暖房なしで設定温度に達している。曇天日であった1月11日はエアコンによる暖房時間帯である6~24時に常にエアコンによる暖房に依存している。

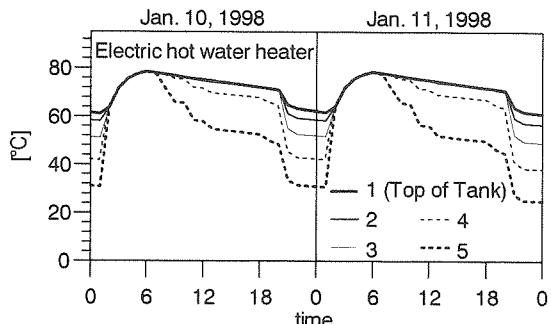
図13は室温変動を示している。図13から室温について実測値とシミュレーション値の比較ができる。期間性能評価を目的とし、毎日同じ生活パターンを想定したシミュレーション設定条件を考慮すれば、測定値との差は少しあ



a) Useful solar energy.



b) Hot water temperature in solar storage tank.



c) Hot water temperature in electric hot water heater.

Fig. 11 Hourly variations of simulation results.

るもの、時間変動はよく再現できている。しかしながら、厨房(K)、寝室(J2)、子供室(CB)について違いが見られる。厨房(K)の挙動の違いは代表日の実使用状況がシミュレーションで想定した調理中の強制換気スケジュールのとおりではなかったためと考えられる。また、2階寝室(J2)については、シミュレーションでは2階寝室のドアを開と想定したが、実際には代表日にドアが閉であったためと推測される。子供室(CB)についても晴天日であった1月10日の日中の差がやや大きいが、窓面のブラインドの状態がシミュレーションの設定と異なったためと思われる。

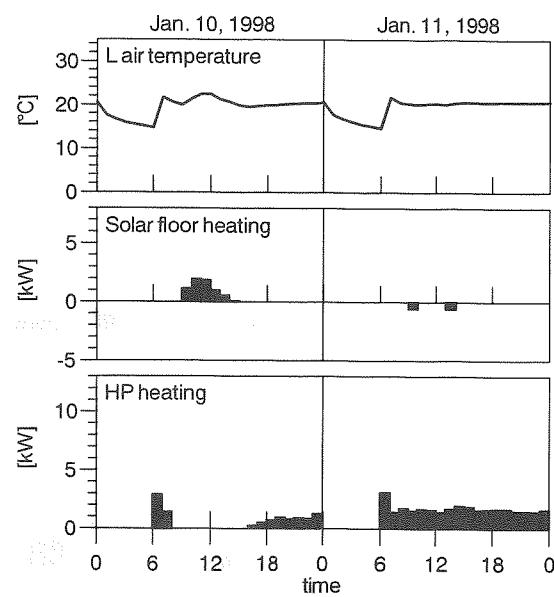


Fig. 12 Air temperature and heating loads of living room.

5.2 期間性能についての測定値との比較

図14には1998年1月の日積算日射量、日平均外気温、日平均室温、住宅全体の電力消費量の日変動を示した。日平均室温は測定値とシミュレーション値がほぼ一致している。2階寝室(J2)の室温においてシミュレーション結果が測定値より少し高くなっているが、その他暖房室およびその隣室の室温はほぼ同じである。

住宅全体の電力消費量も日変動はほぼ一致しているが、シミュレーション結果がやや少ない結果となっている。なお、1月1日～3日の3日間の測定値は欠測である。シミュレーションのエアコンの暖房用電力はCOP=2.0と仮定して推定した。電力消費量は照明、家電機器、調理、ルームエアコンによる暖房などの常用電力と給湯用電気温水器の深夜電力とを分けて示した。USHは全電化住宅であるため、これが住宅全体のエネルギー消費量である。常用電力は最大で33%の違いが見られる日もあるが、全体としてよく一致した。常用電力シミュレーション値のうちルームエアコン以外の電力消費量は、図7から日積算値を求めたものであり、実測値の日平均値に基づくものである。ルームエアコンについては、文献(3)での検討を参考に期間平均COP=2.0を用いて電力消費量を計算した。深夜電力についてはシミュレーション値がやや小さい結果となった。これはシミュレーション期間中の給湯熱量が欠測であったため、図16に示すように1985年12月～1995年3月の10年間の月平均値を用いて給湯熱量500kWh/月として給湯流量を想定したが、給湯熱量の実使用量がシミュレーション設定より多かったからであると推測される。

図15～図18には月積算値および平均月積算値を示した。図15には1997年12月～1998年3月の集熱量の測定値とシミュレーション結果との比較を示した。シミュレーション結果が14%少ないが、月変動はほぼ同様であった。図16には給湯熱量の比較を示したが、シミュレーション

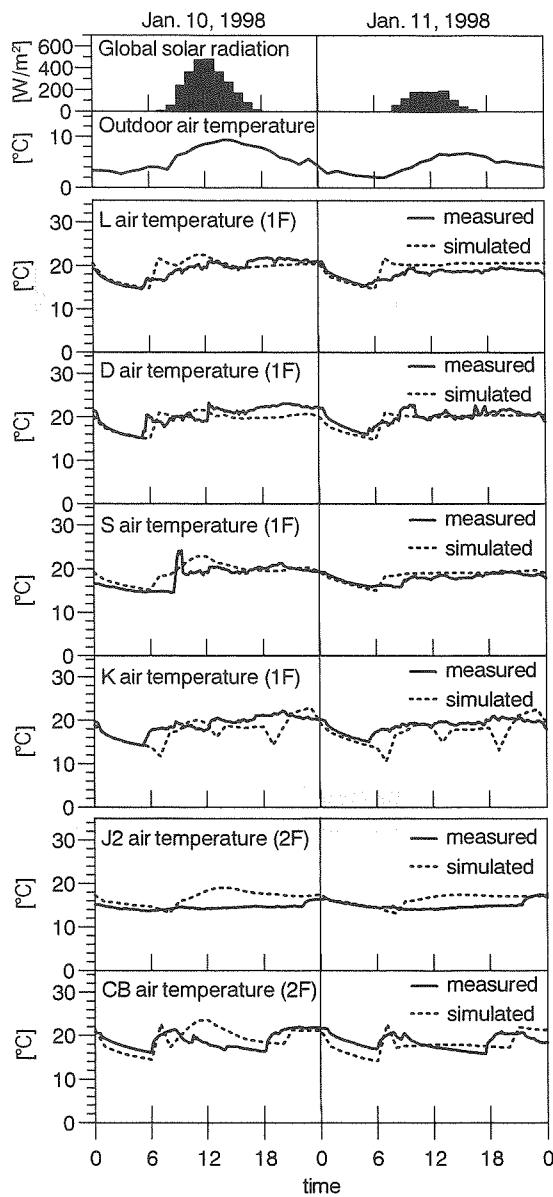


Fig.13 Hourly variations of solar radiation and temperatures.

期間中の測定値が欠測しており、1985年12月～1995年の10年間に渡って測定した結果の平均値とシミュレーション結果と比較した。図17には暖房熱量のシミュレーション結果を示した。太陽熱床暖房熱量は月ごとにほぼ同様である。補助熱源であるルームエアコンによる暖房熱量は外気温の低い1998年1月が最も多くなっているが、平均月積算値では太陽熱床暖房が390kWh/月、エアコン暖房が440kWh/月となった。シミュレーション期間中の月平均外気温は12月が9.2°C、1月が5.4°C、2月が7.2°C、3月が10.1であり、水平面全天日射量は12月が2.0kWh/m²日、1月が2.2kWh/m²日、2月が2.8kWh/m²日、3月が3.8kWh/m²日であった。図18には住宅全体の電力消費量の比較を示した。図14に示した日積算電力消費量の日変動と同様にシミュレーション結果が測定値より11%少なかった。

図19に1997年12月～1998年3月の4ヶ月間の測定期

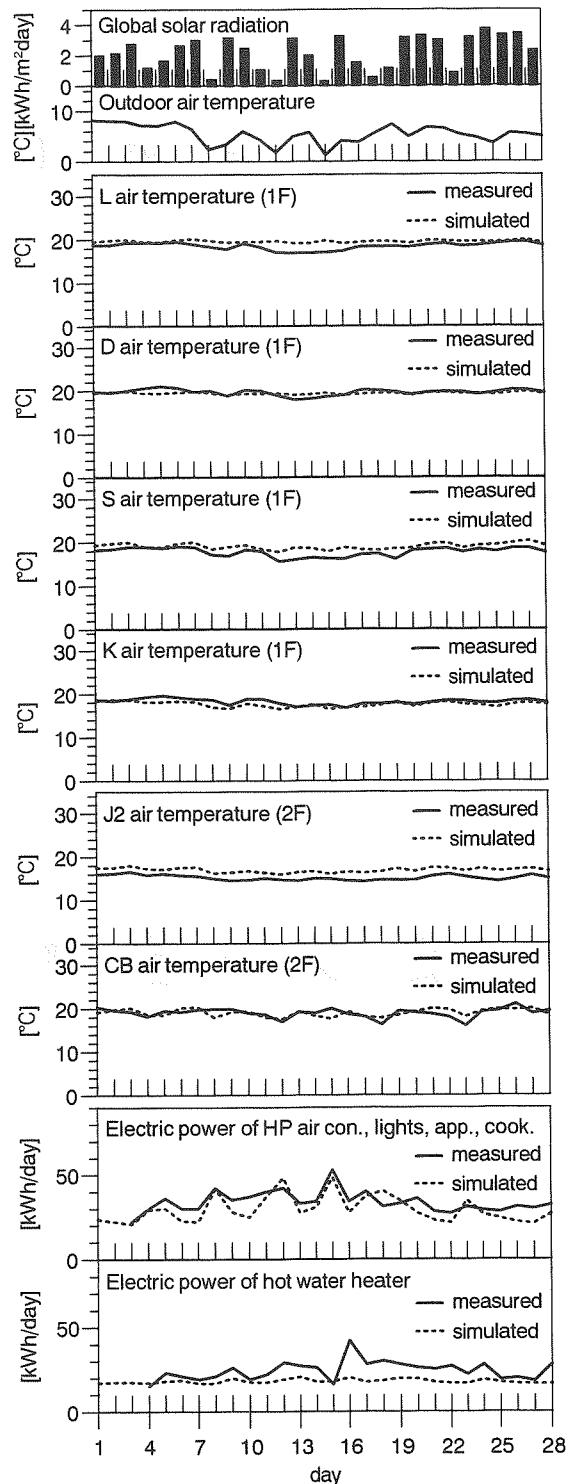


Fig.14 Daily variations of solar radiation and average temperatures in January 1998.

間エネルギー消費量とシミュレーション結果とを示した。図19a)から期間の常用電力、深夜電力の合計で5.6MWhであり、全電化住宅であるので、これがこの住宅の冬期4ヶ月の全エネルギー消費量である。給湯用深夜電力が2.4MWh、エアコンの暖房用電力が1.2MWh、照明、家電機器、調理などの通常電力が2.0MWhである。シミュレーション結果は、通常電力は測定値と同じく2.0MWhであるが、エ

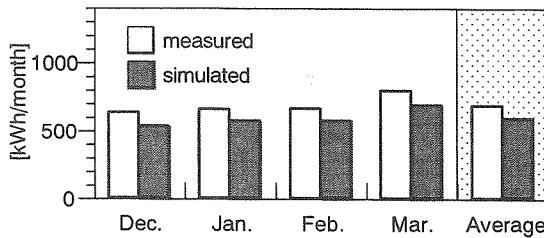


Fig.15 Monthly comparison of useful solar energy.
(From December 1997 to March 1998)

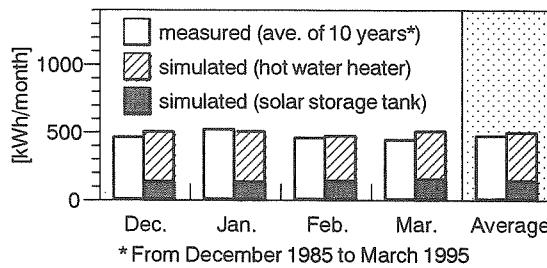


Fig.16 Monthly comparison of DHW.
(From December 1997 to March 1998)

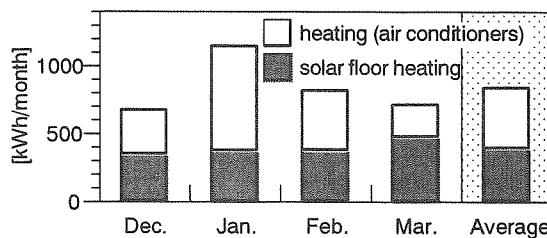


Fig.17 Monthly heating loads of simulation results.
(From December 1997 to March 1998)

アコンの暖房用電力が0.9MWh、給湯用深夜電力が2.1MWhであり、合計で5.0MWhであり、期間エネルギー消費量は測定値より11%少なかった。その主な理由は、給湯量と暖房負荷に関わる隙間風、換気、暖房時間などのシミュレーション設定値が実際より少なく設定されたことなどと考えられる。図19b)に図4の系統図に示したカロリーメーターで計測した有効集熱量の期間積算値とシミュレーション結果を示した。測定値が2.7MWh、計算値が2.4MWhでシミュレーション結果が若干少ない結果となった。

6. 太陽熱床暖房の効果の検討

6.1 太陽熱暖房の効果

太陽熱暖房の効果を検討するため、図5に示したシミュレーションモデルの太陽熱床暖房を行わず太陽熱給湯のみを行うことに変更してシミュレーション行った。太陽熱床暖房を行うUSHと比較して太陽熱床暖房なし(SDHW)による室内熱環境および暖房・給湯熱量、エネルギー消費量について検討した。図20に居間の室内熱環境および暖房負荷

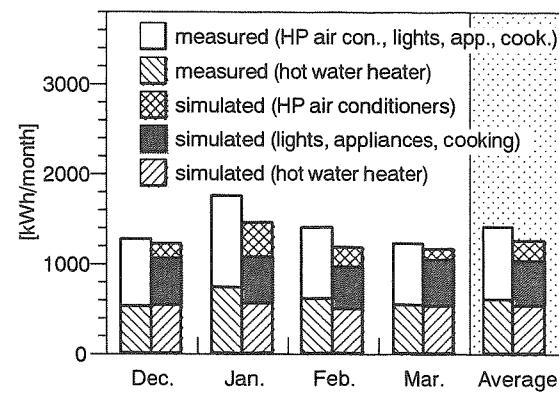


Fig.18 Monthly comparison of electric power.
(From December 1997 to March 1998)

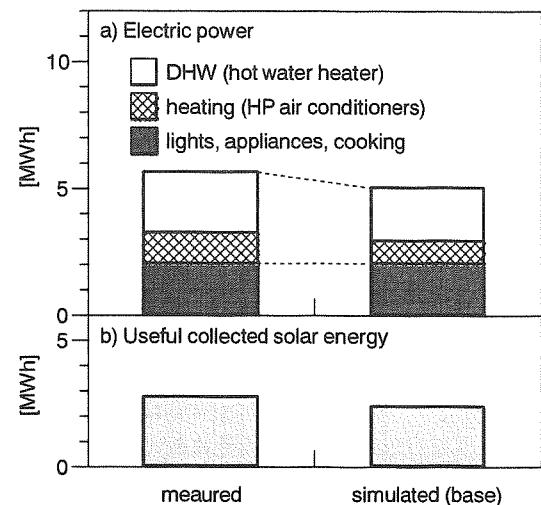


Fig.19 Comparison of measured and simulated results.
(From December 1997 to March 1998)

の時間変動、図22に住宅全体の4ヶ月積算暖房・給湯熱量、図23に期間エネルギー消費量の比較を示した。図20に示したように居間の室内熱環境においてUSHの床暖房ありがエアコンの運転時間帯には床暖房の放射暖房効果により床暖房なしより室温が少し低くても同様の室内熱環境を保つことが可能である。夜間には蓄熱式床暖房の蓄熱効果で室温が少し高く室内熱環境が改善される結果となった。エアコンによる暖房熱量においては床暖房ありが床暖房なしに比べ晴天日の1月10日と曇天日の1月11日ともに少なくなっている。太陽熱集熱量がない曇天日の1月11日においては蓄熱効果の影響と考えられる。太陽熱利用の蓄熱式床暖房により、晴天日はもちろん曇天日にもエアコンによる暖房負荷の削減および平準化にかなり有効であることがわかる。また、太陽熱床暖房なしに比べUSHは暖房の立ち上がり時のピーク負荷が晴天日と曇天日ともに20%削減となった。図22に示したように1997年12月～1998年3月の4ヶ月間の積算暖房・給湯熱量の合計は床暖房ありの5.3MWhに対し、床暖房なしの場合は4.8MWhと少なくなっている。その理由はUSHの床暖房ありの蓄熱効率48

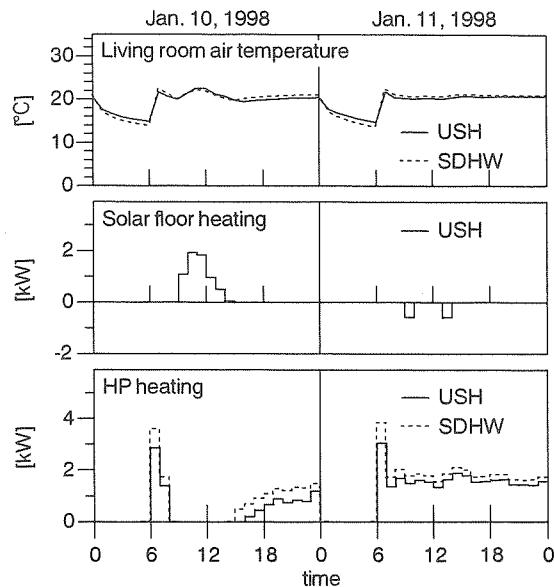


Fig.20 Hourly variation of a case study.
(changed no solar floor heating)

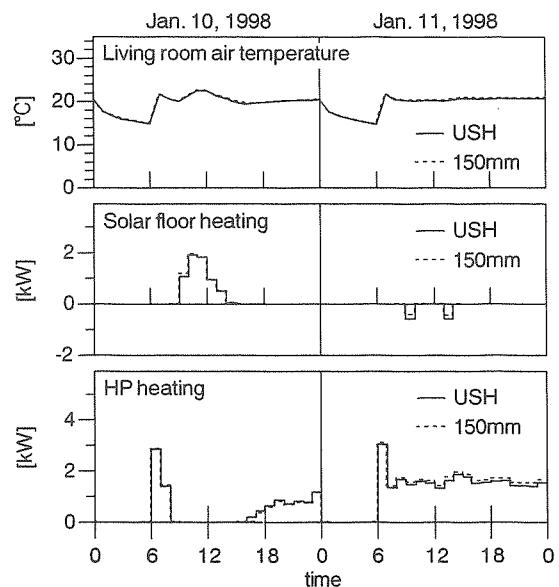


Fig.21 Hourly variation of a case study.
(changed 150mm concrete floor slab)

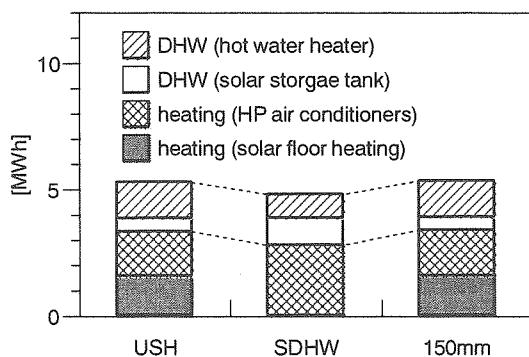


Fig.22 Comparison of heat loads.
(From December 1997 to March 1998)

%に比べて、床暖房なしは蓄熱効率が33%のためである。図23に示した期間エネルギー消費量は床暖房なしの場合も既存の太陽熱床暖房・給湯と同じく5.0MWhであった。これは太陽熱利用を前提とした比較であるため、太陽熱床暖房なしの場合、エアコンによる暖房エネルギー消費量は増加するが、給湯の太陽熱依存率が高くなり給湯用の電気温水器のエネルギー消費量が減少するからである。太陽熱床暖房なしで太陽熱給湯のみの暖房用エネルギー消費量は太陽熱システムを採用していない一般住宅の暖房用エネルギー消費量と同様であると想定することができる。そのため、暖房用エネルギー消費量のみに着目するとUSHは一般住宅の暖房用エネルギー消費量の36%を削減することができる。

6.2 床厚による影響の検討

USHでは太陽熱床暖房で熱容量を大きくするため300mmのコンクリート床としたが、通常の土間床程度の厚さである150mmとした場合の性能について検討した。このため図5に示したシミュレーションモデルのコンクリート床のみ

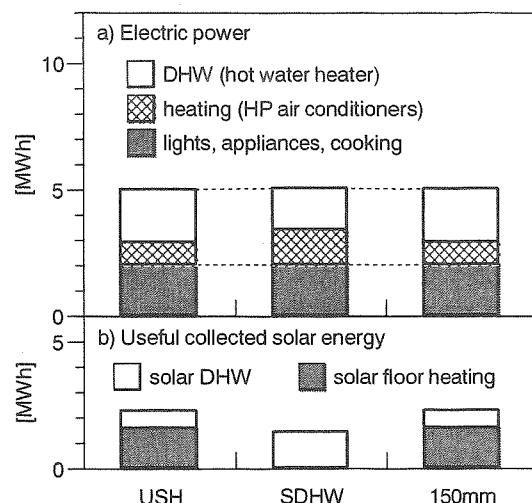


Fig.23 Comparison of energy consumption.
(From December 1997 to March 1998)

を150mmに変更してシミュレーションを行い床厚による室内熱環境および暖房・給湯熱量、エネルギー消費量について検討した。図21に居間の室内熱環境および暖房負荷の時間変動、図22に住宅全体の4ヶ月積算暖房・給湯熱量、図23に期間エネルギー消費量の比較を示した。図21に示したように居間の室内熱環境は全く同じである。晴天日の1月10日には床厚150mmの方がコンクリート床の熱容量が少ない分だけ室内への放熱が早いため太陽熱床暖房熱量がUSHの床厚300mmより若干多くエアコンによる暖房熱量が若干少ない。曇天日の1月11日は前日の晴天日に蓄えた分が多い床厚300mmが蓄熱効果が大きいため太陽熱床暖房による供給熱量がないにも関わらず床厚150mmよりエアコンによる暖房熱量が若干少なくなっている。図22に示したように1997年12月～1998年3月の4ヶ月間の積算暖房・給湯熱量の合計は両方とも同じく5.3MWhであり、その中太

陽熱による供給熱量は40%であった。その内訳は太陽熱床暖房1.6MWh、エアコン暖房1.8MWh、太陽熱給湯0.5MWh、電気温水器給湯1.4MWhである。図23に示した期間エネルギー消費量は床厚150mmの場合もUSHの太陽熱床暖房・給湯システムと同じく5.0MWhであり、USHおよび床厚150mmの集熱効率は48%となった。

7. 結論

実際居住状態にある住宅の太陽熱床暖房・給湯システムについて運転スケジュール、室使用スケジュールを含め、計算条件を詳細に設定してシミュレーションを行い室内熱環境およびエネルギー消費量を求めた。この結果、以下の結論を得た。

- 1) 建物を含むシステム全体のシミュレーションにより室内熱環境および太陽熱床暖房・給湯システムによる運転状況が概ね再現できた。また、建物全体の期間エネルギー消費量もほぼ再現できた。
- 2) しかしながら、ドアの開閉、厨房換気、ブラインドの使用、給湯利用など居住者の日々の生活スケジュールや室利用形態はシミュレーション条件と異なる場合もあったので、シミュレーションによるより完全な再現性の検証にはさらに詳細な条件設定も必要である。また、ルームエアコンのCOPの計算モデルについても検討の余地がある。
- 3) USHの太陽熱床暖房・給湯システムに比べ、太陽熱床暖房なしで太陽熱給湯のみのシステムを想定した場合、エアコンによる暖房用電力は増えるが、給湯用の深夜電力が減るため、全エネルギー消費量は太陽熱床暖房・給湯システムと同じであった。ただし、集熱効率は太陽熱給湯のみのシステムでは33%と小さくなかった。また、太陽熱利用システムを使用しない住宅の暖房エネルギー消費量と比較すると、USHでは太陽熱床暖房により36%削減できる。また、太陽熱暖房によるピーク暖房負荷の削減率は20%であった。
- 4) USHの太陽熱床暖房・給湯システムに比べ、暖房の立ち上がり時には床厚150mmが有利であるが、曇天日などの蓄熱効果が期待されるときには床厚300mmのUSHが有利であるため、150mm厚のコンクリート床とした床厚変更による影響はほぼ見られなかった。
- 5) ここでは冬期のみにおける太陽熱利用住宅の総合的なエネルギーシミュレーションについて検討したが、今後は夏期、中間期も含めて年間性能についても検討を行う予定である。

参考文献

- (1) 蘆炫佑・宇田川光弘、太陽熱床暖房・給湯住宅USHのシミュレーションによる性能評価、太陽／風力エネルギー講演論文集(2001), 100-100, 志度。
- (2) 蘆炫佑・宇田川光弘、EESLISMによる太陽熱暖房・給湯住宅のシミュレーション、太陽／風力エネルギー講演論文集(1997), 173-176, 豊橋。
- (3) 宇田川光弘、全電化ソーラーハウスUSHと12年、太陽エネルギー、24-2 (1998), 9-16.
- (4) 宇田川光弘、太陽熱床暖房・給湯住宅の長期性能、太陽／風力エネルギー講演論文集(1997), 177-180, 豊橋。
- (5) M.Udagawa, Energy Use and Thermal Comfort of a Single Family Solar House with Storage Type Floor Heating, Proceedings of ISES Solar World Congress (1987), 599-603, Hamburg, Germany.
- (6) 宇田川光弘、全電化ソーラーハウスUSHの運転実績、日本太陽エネルギー学会講演論文集(1986), 162-172.
- (7) 宇田川光弘・佐藤誠、EESLISM4.5による建築のエネルギーシステムシミュレーション、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1998), 729-732, 札幌。
- (8) 宇田川光弘、建築熱環境・エネルギー消費量の汎用シミュレーションモデル、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1993), 69-72, 大阪。
- (9) M.Udagawa, Application of a Generalized Energy Simulation Method using Heat Balance Model to Solar Thermal Systems, ASME Solar Engineering 1995 Vol.2 (1995), 1039-1046, Maui, Hawaii.
- (10) M.Udagawa, Simulation of Panel Cooling Systems with Linear Subsystem Model, ASHRAE Transaction Vol.99 Part 2 (1993), 534-547, Denver, Colorado.