

日射量および給湯負荷に応じた太陽熱利用電気温水器の運転方法に関する一検討

An Operational Strategy for Solar Water Heating System with Electrical Water Heater Considering Solar Radiation and Hot-Water Demand

内田 晃介*¹
Kosuke UCHIDA

千住 智信*²
Tomonobu SENJYU

與那 篤史*³
Atsushi YONA

浦崎 直光*⁴
Naomitsu URASAKI

Abstract

In this paper, the solar water heating system would be operated with optimal operation by using solar radiation forecasting. Furthermore the energy conservation of hot-water supply needs to be complied with hot-water supply demand. However, hot-water supply demand varies from houses. Thus, it is important to improve the precision of calculating method for hot-water supply demand in houses. In this paper, the hot-water supply demand is applied by Monte Carlo Simulation technique. The energy conservation, such as energy reduction, cost reduction and CO₂ reduction, when the proposed operation is executed. Simulation results show the effectiveness of the proposed operation by comparing the energy conservation effect.

キーワード: 太陽熱利用電気温水器, モンテカルロシミュレーション, 給湯負荷予測, 日射量予測

Key Words : Solar water heating system with electrical water heater, Monte Carlo simulation, Hot water demand forecasting, Solar radiation forecasting

1. はじめに

光熱費の基本料金を電気のみにすることができ、さらに安価な夜間電力を利用可能なことから全電化住宅が近年普及している。全電化住宅での給湯設備は電気温水器(EWH: Electrical Water Heater)または給湯用ヒートポンプ(HP: Heat Pump)に限られ、沖縄県における2010年度までのEWHおよびHPの累積設置台数はそれぞれ29,763台、5,995台であり、HPと比較してEWHが多数設置されている⁽¹⁾。この理由として、HPと比較してEWHのイニシャルコストが割安であること、快適な給湯システムとしての技術開発が早かったこと等が考えられる。しかしながら、EWHはHPと比較して熱変換効率が悪く、電力消費量が大きい。現在の沖縄県の発電形態は主に火力発電で構成されており、特にCO₂排出量が大きい石炭火力発電が大部分を占めている⁽²⁾。このため、EWHの普及拡大はCO₂排出量増加の加速を促すことが懸念される。また、東日本大震災以降、日本全国で原子力発電所の稼働停止が進み、火力発電所の稼働率が增大していることから、日本全体においても同様のことが言える。さらなる消費電力の削減がCO₂排出量削減に大きく貢献するといえる。また、家庭で消費されるエネルギーの大部分は給湯として消費されていることから⁽³⁾、給湯の消費エネルギー削減は家庭部門におけるCO₂排出量削減に非常に有効であると考えられる。

太陽熱利用給湯システムはエネルギー変換効率が高く、再生可能エネルギー利用機器の中でも設備コストが比較的安価であるため、コスト対効果の面でも有利である。日本は80年代初頭において、世界一の太陽熱利用給湯シ

テム導入量を達成したが、80年代後半以降においては中国等の急速な導入拡大とは対称的に普及停滞を繰り返している。この原因として、ガス・灯油給湯システムと比較して便利で快適なシステムとしては開発が遅れたこと等が報告されている⁽⁴⁾。このため、太陽熱利用給湯システムの有効性を明確にすることやさらなる有効利用方法の提案が重要となる。太陽熱利用給湯システムは、気象条件によって取得熱量が大きく影響を受けるためガス給湯器、EWH、HP等の補助熱源が必要である⁽⁵⁾。補助熱源の運用は省エネルギーに深い関連性があるため、快適で省エネルギーが達成できる給湯を実現するためには補助熱源の最適運用の開発が重要である。

本研究は、EWHが設置された全電化住宅に集熱器(SC: Solar Collector)とEWHを組み合わせた太陽熱利用電気温水器を導入した際の消費電力削減効果およびCO₂削減効果について検討を行う。EWHは、安価な夜間電力の有効活用が望まれるが、夜間電力を利用できる時間と給湯を行う時間は一致しない場合がある。そのため事前に夜間電力を用いて十分な温度まで沸上げる運転方法が一般的である。しかしながら、太陽エネルギーは日中のみ熱量が期待できるため、十分な日射量が得られる場合に事前に沸上げを行うと、EWHと日射量の両方によって過剰に加温されるため、必要以上に熱エネルギーが蓄えられることがある。これは熱損失の増加および集熱効率の低下を生じ、エネルギー浪費の原因となる。そこで、1日に得られる日射量予測データを用いることで適切な投入エネルギー量を決定し、経済的な運転を達成するための研究が行われている⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾。しかしながら、これらの研究は給湯負荷を一定としており、負荷に応じた運転が考えられていない。給湯負荷は個人や住宅規模によって異なるため、負荷特性の把握が困難である^(9,10)。そこで、本研究はモンテカルロシミュレーションを用いることで確率的に負荷特性を決定し、給湯負荷に応じた運転の有効性を検証する。さらに給湯負荷予測および日射量予測を利用した運転を組み合わせた運用方法の有効性を検証する。

*¹ 琉球大学理工学研究科大学院生
(〒 903-0129 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地)
e-mail:k118673@eve.u-ryukyu.ac.jp

*² 琉球大学工学部教授

*³ 琉球大学工学部助教

*⁴ 琉球大学工学部准教授
(原稿受付: 2012年7月27日)

2. 太陽熱利用電気温水器

本研究で対象とした太陽熱利用電気温水器の構成を図1に示す。EWHは市水から給水され、給水された水はポンプによってSCへ送られる。ポンプの動作は集熱器と貯湯槽間の循環流量を一定値とする循環方式と加熱水を貯湯槽に順次蓄積する非循環方式がある。前者は日没後に給湯する場合に適しており、後者と比較して一日の平均集熱効率が高くなるという特徴を有するが、循環流量を大きくするとポンプの消費電力が大きくなるという欠点がある。後者は日中に使用する場合に適しており、ポンプの消費電力は前者と比較して小さいが、一日の平均集熱効率は低下する⁽¹¹⁾。本研究では日没後に給湯することを想定しているため前者を適用する。貯湯槽に蓄えられた温水は、家庭へ給湯される。給湯する際の温度調整は市水と混合することによって行われる。安価な夜間電力の活用が経済的であるため、沸上げは夜間のみとする。夜間電力の適用時間範囲は午後11時から午前7時までの時間である。貯湯槽内の温水温度は通常、上部が暖かく、下部が冷たいというように位置により温度が異なるが、本研究ではシミュレーションを簡単化するために貯湯槽内の温度分布は一様なものとした。SCは平板型と想定し、戸建て住宅の屋上に方位を南向き、傾斜角度を30度に設置するものとした。ソーラー加熱は最大で35℃から90℃まで昇温される。

(1)~(10)式を用いて図2に示す太陽熱利用電気温水器の数式モデルを作成した。数式モデルはSC, EWH, 負荷の3つから構成され、図1のSCおよびEWHはそれぞれ細い破線と太い破線で囲まれた部分にあたる。

集熱量 $Q_{sc}[W]$ および集熱効率 $\eta_{sc}[\%]$ は次式で表される。

$$Q_{sc} = \{F_R(\tau\alpha)_e I_a - F_R U_L (T_h - T)\} S_{sc} n_{sc} \quad (1)$$

$$\eta_{sc} = \frac{Q_{sc}}{I_a S_{sc} n_{sc}} \times 100 \quad (2)$$

ここで、 F_R ：集熱器熱除去係数、 $(\tau\alpha)_e$ ：有効透過率吸収率積、 $I_a[W/m^2]$ ：集熱面全天日射量、 $U_L[W/m^2 \cdot K]$ ：集熱器統合熱損失係数、 $T_h[K]$ ：貯湯槽に蓄えられた温水温度、 $T[K]$ ：外気温度、 $S_{sc}[m^2/枚]$ ：パネル一枚あたりの集熱面積($S_{sc}=1.655m^2/枚$)、 $n_{sc}[枚]$ ：パネル枚数($n_{sc}=3枚$)である。(1)式における各種パラメータは $F_R(\tau\alpha)_e$ を0.77、 $F_R U_L$ を5.0 $W/m^2 \cdot K$ とした。図3はSCの集熱効率 η_{sc} と温度上昇率($x=(T_h-T)/I_a$)の関係を示しており、最大集熱効率は77%である^(12,13)。

水温の温度変化および動的特性は次式で表すことができる⁽¹⁴⁾。

$$Q_{sc} - Q_{il} + Q_{sw} - Q_{loss} + Q_e = c\rho V_w \beta \frac{dT_h}{dt} \quad (3)$$

$$Q_{il} = c\rho v_{il} \beta (T_h - T_\infty) \quad (4)$$

$$Q_{sw} = c\rho v_{sw} \beta (T_h - T_\infty) \quad (5)$$

$$v_{il} = v_{sw} = \frac{T_l - T_w}{T_h - T_w} v_l \quad (6)$$

$$Q_{loss} = (U_{st} + U_p)(T_h - T) \quad (7)$$

ここで、 $Q_{il}[W]$ ：給湯時に貯湯槽に蓄えられた温水が失う熱量、 $Q_{sw}[W]$ ：補給水の熱量、 $Q_{loss}[W]$ ：貯湯槽および配管に蓄えられた温水と外気温度の温度差により生じる熱貫流、 $Q_e[W]$ ：EWHから加えられる熱量、 $c[J/(kg \cdot K)]$ ：水の比熱($c=4.19 \times 10^3 J/(kg \cdot K)$)、 $\rho[kg/m^3]$ ：水の密度($\rho=975 kg/m^3$)、 $V_w[m^3]$ ：貯湯槽の貯湯容量、 $\beta[Wh/J]$ ：単位換算パラメータ($\beta=1/3600 Wh/J$)、 $T_h[K]$ ：貯湯槽に蓄えられた温水の温度、

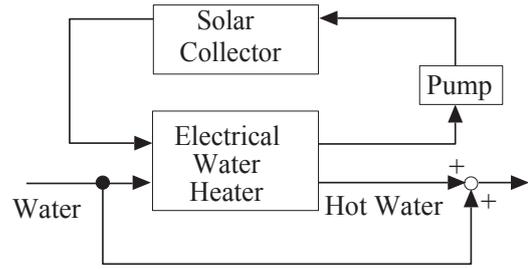


図1 太陽熱利用電気温水器
Fig. 1. Solar water heating system with EWH.

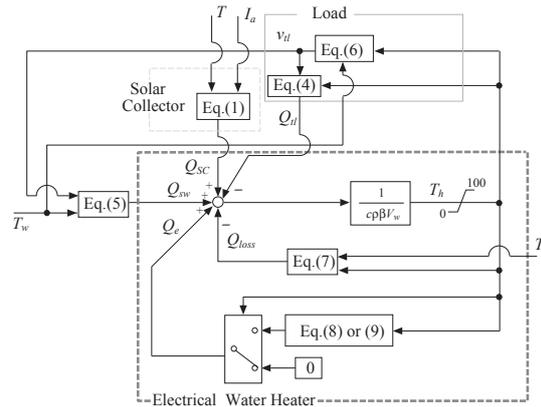


図2 太陽熱利用電気温水器の数式モデル
Fig. 2. Numerical model of solar water heating system with EWH.

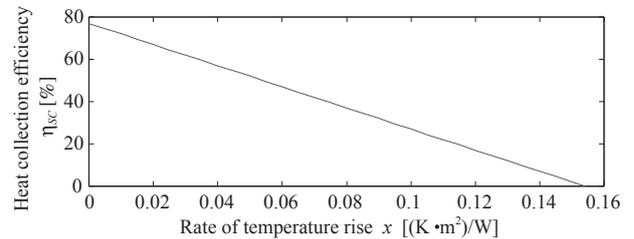


図3 集熱効率特性直線
Fig. 3. Heat collection efficiency of solar collector.

$t[h]$ ：時間、 $v_{il}[m^3/h]$ ：給湯の際に貯湯量、 $T_\infty[K]$ ：基準絶対温度($T_\infty=273K(0^\circ C)$)、 $T_l[K]$ ：給湯負荷の使用温度、 $v_l[m^3/h]$ ：給湯量、 $U_{st}[W/K]$ ：貯湯槽の熱通過率($U_{st}=2.87 W/K$)、 U_p ：配管の熱通過率($U_p=1.79 W/K$)を示す。熱通過率 U_{st} は、貯湯槽に蓄えられた温水温度 $T_h(0h)$ を361.8K(88.8℃)、外気温度 T を288K(15℃)一定、12時間放置後の貯湯槽に蓄えられた温水温度 $T_h(12h)$ を356K(83℃)とし、ニュートンの冷却の法則より導出した^(13,14)。配管は外径27mm、全長10mの金属管に厚さ30mmのグラスウールを断熱材として用いるものとした。また、給湯の際に貯湯槽から使用する温水の流量と貯湯槽に補給される水の流量は等しいものとした。

EWHによって沸上げるときに与えられる熱量 $Q_e[W]$ はEWHでの沸上げる貯湯槽の目標温水温度を $T_e[K]$ とすると次式によって与えられる。

$$Q_e = c\rho v_w \beta (T_e - T_h) \quad (8)$$

ここで、 $v_w[m^3/h]$ ：一時間で加熱する湯量である。日射量予測を利用した太陽熱利用給湯システムの運転の場合のEWHによって沸上げるときに与えられる熱量 $Q_e[W]$ は次式で求められる。 i は時刻であり、AM6時からPM6時の日

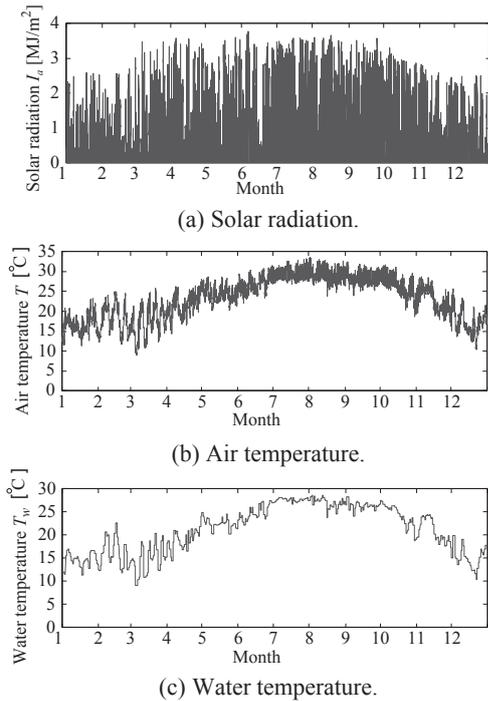


図4 沖縄県那覇市の一年間の気象データ
Fig. 4. Annual weather data in Naha.

射量データを用いて $Q_e[W]$ を算出するものとする。

$$Q_e = c\rho V_w \beta (T_e - T_h) - \sum_{i=6}^{18} (Q_{sc} - Q_{loss}) \quad (9)$$

太陽熱利用給湯システムによって消費される電力 $P_e[W]$ は次式で与えられる。

$$P_e = \frac{Q_e}{\eta_e} \times 100 + P_p \quad (10)$$

ここで、 $\eta_e[\%]$: EWHの熱変換効率(=90%), $P_p[W]$: ポンプの消費電力である。本研究では貯湯容量が $0.37m^3$, 定格出力 $4.4kW$ のEWHを想定する。また、ポンプの定格電力は $70W$, 年間の消費電力量は $129kWh$ 一定とした^(15,16)。電力を使用した際に発生した CO_2 排出量 $E_{co2}[kg-CO_2]$ および電気料金 $C_{we}[\text{円}]$ は次式で求められる。

$$E_{co2} = W_e A_{co2} \quad (11)$$

$$C_{we} = W_e C_u \quad (12)$$

ここで、 $W_e[kWh]$: 太陽熱利用電気温水器によって消費される電力量, $C_u[\text{円}/kWh]$: 電気料金単価, $A_{co2}[kg-CO_2/kWh]$: CO_2 排出原単位である。電気料金プランとして全電化住宅向け料金プランを用いる⁽¹⁷⁾。全電化向け料金プランを適用するには①電灯または小型機器を使用する需要で、それらの総容量が $50kW$ 未満であること, ② $1kW$ 以上の夜間蓄熱型機器を使用し、昼間時間以外への時間帯への負荷移動が可能であることが求められる。沖縄県の電力の大部分は石炭火力発電によって供給されるため、 $A_{co2} = 0.9562kg-CO_2/kWh$ とした⁽¹⁸⁾。

3. 気象データ

本研究では沖縄県那覇市の気象データを基にシミュレーションを行う。沖縄県那覇市は北緯 26.13° , 東経 127.41° で、亜熱帯地域に属しており、年間を通して温暖な気候である。また、年間の平均日全天日射量が $13.9MJ/(m^2 \cdot \text{day})$ と豊富な日射量が得られる。シミュレーションに用いた2005年沖縄県那覇市の年間の気象データを図4に示す⁽¹⁹⁾。

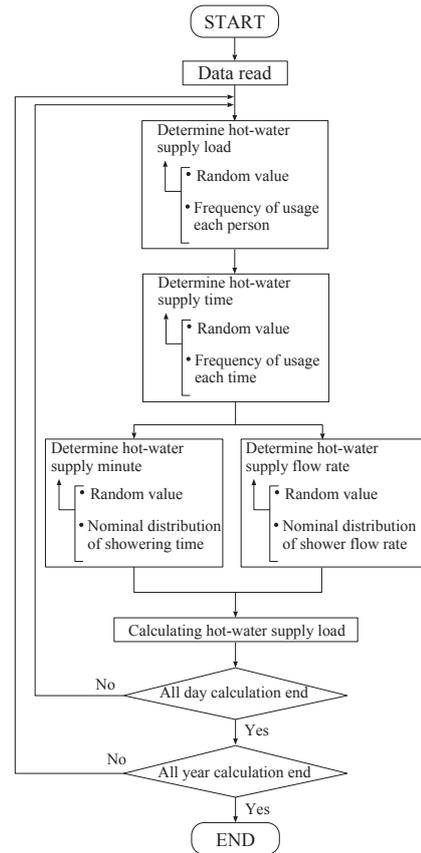


図5 給湯負荷算定のアルゴリズム
Fig. 5. Algorithm for calculation of hot-water supply.

表2. シャワー使用頻度
Table 2. Frequency of shower usage each person.

Person	A	B	C	D
Summer [times/day]	0.903	0.871	0.935	0.839
Others [times/day]	0.953	0.961	0.941	0.869

ここで、全天日射量(図4(a))は一時間積算値, 外気温度(図4(b))は一時間平均値である。また、各一日の最低外気温度をその日一日の市水温度(図4(c))として用いた。

4. モンテカルロシミュレーション

本研究で用いた給湯負荷算定のアルゴリズムを図5に示す。沖縄県における一般家庭の主な給湯利用方法はシャワーであることから、給湯の使用用途はシャワーのみとする。各時間帯におけるシャワー使用頻度(図6)、シャワー使用時間の正規確率密度分布(図7)、シャワー流量の正規確率密度分布(図8)、1日のシャワー使用頻度(表2)を基に、給湯がランダムに発生するものとして、モンテカルロ法を用いて各時間帯(1時間毎)の給湯負荷算定を行う⁽²⁰⁾。ここで、図5~7および表2の給湯負荷算定モデルは、沖縄県の標準的な4人世帯住宅を想定し、各住人の負荷を個別にA~Dとして定義している。また、給湯需要は気温の影響を受けるため、夏期(5/1~10/31)と他期(1/1~4/30, 11/1~12/31)の2期に分類し、各季節に応じて需要分布が変化するものとした。モンテカルロシミュレーションは試行回数が多い程精度が上がることから、本研究ではシミュレーションに使用したコンピュータの限界試行回数である1年間のシミュレーションを500回(計算実行時間: 1時間)行うものとした。

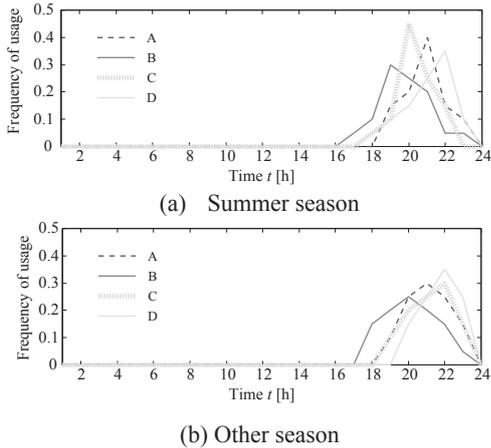


図6 各時間帯におけるシャワー使用頻度
Fig. 6. Frequency of shower usage each time.

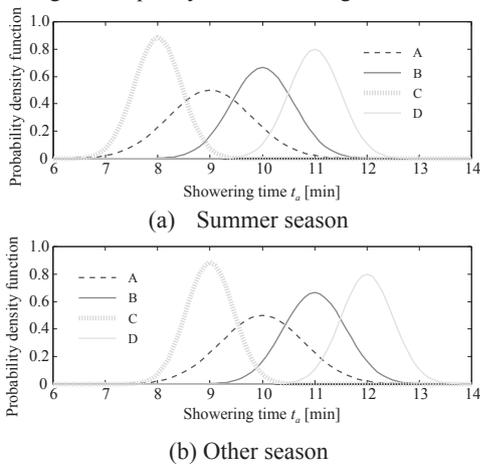


図7 シャワー使用時間の正規確率密度分布
Fig. 7. Normal distribution of showering time.

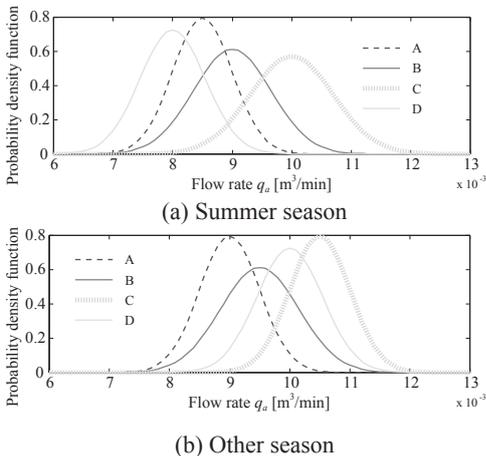


図8 シャワー流量の正規確率密度分布
Fig. 8. Normal distribution of shower flow rate.

5. 日射量および給湯需要に応じた運転方法

本研究は次の4つの運転モードを基に1年間のシミュレーションを行う。各運転モードで用いる日射量予測データおよび給湯負荷予測データに誤差は含まないものとする。なお予測誤差についてはシミュレーション結果において後述する。

- 運転モードI：従来手法
AM7時までに、貯湯槽の温水温度を目標温水温度90℃まで沸上げる。

表3. 給湯量に応じた貯湯槽の目標温水温度
Table 3. Design hot-water temperature.

Hot-water demand [m ³]	Design hot-water temperature [°C]
$V_l = 0$	Non
$0 < V_l \leq 0.08$	$T_e = 70$
$0.08 < V_l \leq 0.16$	$T_e = 75$
$0.16 < V_l \leq 0.24$	$T_e = 80$
$0.24 < V_l \leq 0.32$	$T_e = 85$
$0.32 < V_l$	$T_e = 90$

- 運転モードII：日射量に応じた運転方法
AM6時の貯湯槽の温水温度にAM6時からPM6時までの予測された日射量データを加え、目標温水温度90℃まで上昇させる熱量をAM7時までには与える。
- 運転モードIII：給湯量に応じた運転方法
AM7時までには、給湯負荷予測データから表3に示す目標タンク内温水温度まで沸上げる。表3に示す貯湯槽の目標温水温度は各日の最大給湯需要を十分に賄えるように設定した。
- 運転モードIV：日射量と給湯量に応じた運転方法
AM6時のタンク内温水温度にAM6時からPM6時までの予測した日射量データを加え、表3に示す貯湯槽の目標温水温度まで上昇させる熱量をAM7時までには与える。

6. シミュレーション結果

運転モードI-IVの1年間の消費電力分布を図9(a)-12(a)に、電気料金分布を図9(b)-12(b)に、CO₂排出量分布を図9(c)-12(c)に、エネルギー削減率分布を図10(d)-12(d)に示す。ここで、各図の縦軸は頻度(百分率)、横軸はそれぞれ、年間の消費電力、電気料金、CO₂排出量、エネルギー削減率を意味する。エネルギー削減率は運転モードIと比較したものであり、(運転モードIの年間消費電力-運転モードII-IVまたはEWHのみの消費電力)/運転モードIの年間消費電力で算出される。運転モードI-IVで運転した太陽熱電気温水器とEWHのみの1年間の平均省エネルギー効果を表4にまとめる。ここでEWHのみの運転は運転モードIと同じものとした。EWHのみのシステムの平均年間電気料金と運転モードIでの太陽熱利用電気温水器の平均年間電気料金を比較するだけでも、半額以上のコスト削減を達成していることが確認できた。運転モードIは毎日沸きあげるためのエネルギーを消費しているため、太陽熱電気温水器の4つの運転モードの中でもっともエネルギー消費が大きいことが確認できる。運転モードII, IVを適用することで消費電力を大きく削減できることがわかる。この理由として、図4の沖縄県の気象データからわかるように沖縄県は5~10月の期間は豊富な日射が得られかつ温暖な気候であるため、5~10月の期間はほぼ太陽エネルギーのみでの給湯が可能であり、日射量予測によるEWHの運転停止によるエネルギー削減が効果的に機能している。表4から運転モードIIIは年間で平均3,600円程度のコスト削減を達成することが確認できる。耐用年数を20年と考えれば、72,000円程度のコスト削減を達成することができ、家庭の経済負担軽減に貢献できると考えられる。運転モードIVを適用することで、運転モードIと比較してほぼ半分のエネルギーが削減できることがわかる。また、大幅な消費電力削減から、運転モードIVは住宅における電気料金の低コスト化に十分貢献できるといえる。次に、運転モードII, IIIについてのシミュレーション結果をそれぞれ比較すると、運転モードIIのエネルギー削減効果が高い。この結果より運

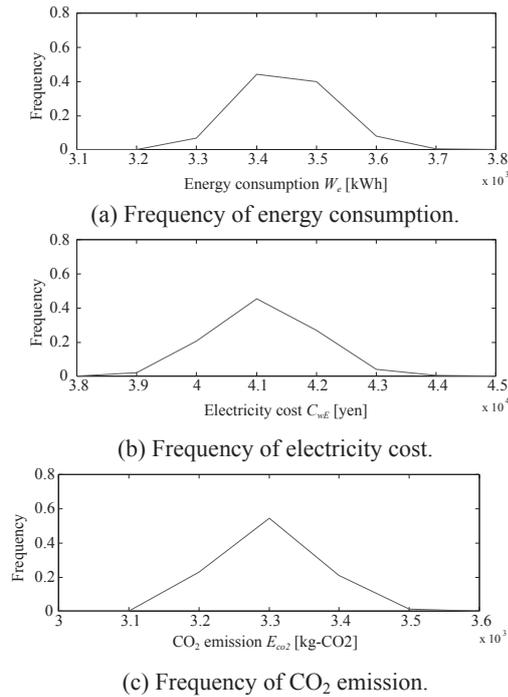


図9 運転モードIのシミュレーション結果
Fig. 9. Simulation result of operation Mode I.

表4. 平均省エネルギー効果
Table 4. Average energy conservation.

	Mode I	Mode II	Mode III	Mode IV
W_e	3.45	1.49	3.14	1.43
C_m	0	1.96	0.32	2.02
C_{we}	41.1	18.7	37.5	17.9
C_c	0	22.4	3.62	23.2
E_{co2}	3.30	1.43	3.00	1.37
C_{co2}	0	1.87	0.30	1.93
R_e	0	56.7	9.14	58.6

W_e [MWh]: 消費電力, C_m [MWh]: 削減電力, C_{we} [千円]: 電気料金, C_c [千円]: 削減コスト, E_{co2} [t-CO₂]: CO₂排出量, C_{co2} [t-CO₂]: CO₂削減量, R_e [%]: エネルギー削減率

転モードIVにおいて日射量予測が重要な役割を担っていると考えられる。しかしながら、日射量予測データや給湯負荷予測データには通常誤差が含まれる。このため、実際に予測データを利用した運転方法はシミュレーション結果であるエネルギー削減効果よりは小さくなると考えられる。従って提案手法を実際に適用するためには予測誤差による影響の検証および予測誤差に対応した運転方法の開発が必要である。上記の結果から本提案手法においては特に日射量予測データの誤差に対応する運転方法の開発が重要であると考えられる。また、本研究ではシミュレーションを単純化するために貯湯槽内の温度分布は一様なものとした。しかしながら、実際の貯湯槽では上部に加温された温水を貯めるのが一般的であり、底部の低温水が集熱器に送られることで集熱効率が高くなる。提案手法に貯湯槽内の温度分布を考慮した運転方法を適用することでシステム効率の向上が考えられる。

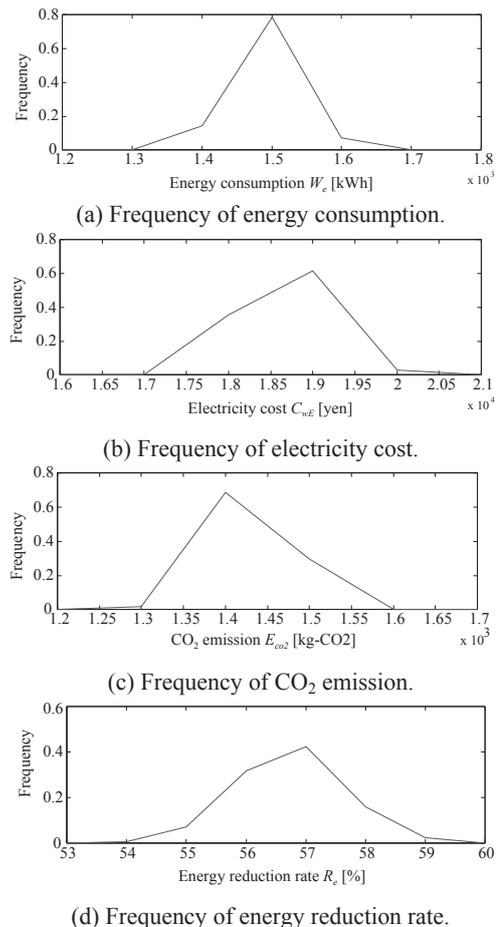


図10 運転モードIIのシミュレーション結果
Fig. 10. Simulation result of operation Mode II.

7. むすび

本報告は日射量と給湯量に応じた最適運転方法に対する太陽熱利用電気温水器の省エネルギー効果をモンテカルロシミュレーションによって検証を行った。太陽熱利用電気温水器を沖縄県の標準的な4人家族が居住する全電化住宅に導入する場合を想定し、年間における消費電力、電気料金、CO₂排出量等を算出し評価した。これらの評価によって、太陽熱利用電気温水器の日射量と給湯量に応じた運転方法の有効性が確認された。シミュレーションに用いた日射量予測データや給湯負荷予測データには通常誤差が含まれる。従って提案手法を実際に適用するためには予測誤差に対応した運転手法の開発が今後の研究課題となる。また、沖縄県のような温暖な地域では熱変換効率の高いHPの有効性が考えられる。さらに、省エネルギーに関する意識の高まりや政府や市町村からの助成金等の普及促進政策により家庭へのHP導入が進むことが予想されるため、HPを補助熱源として用いる太陽熱利用ヒートポンプシステムの検討を今後行う予定である。

謝辞

本研究の一部は、公益財団法人LIXIL住生活財団(旧公益財団法人トステム建材産業振興財団)の支援を受けて行われた。ここに関係者各位に感謝の意を表す。

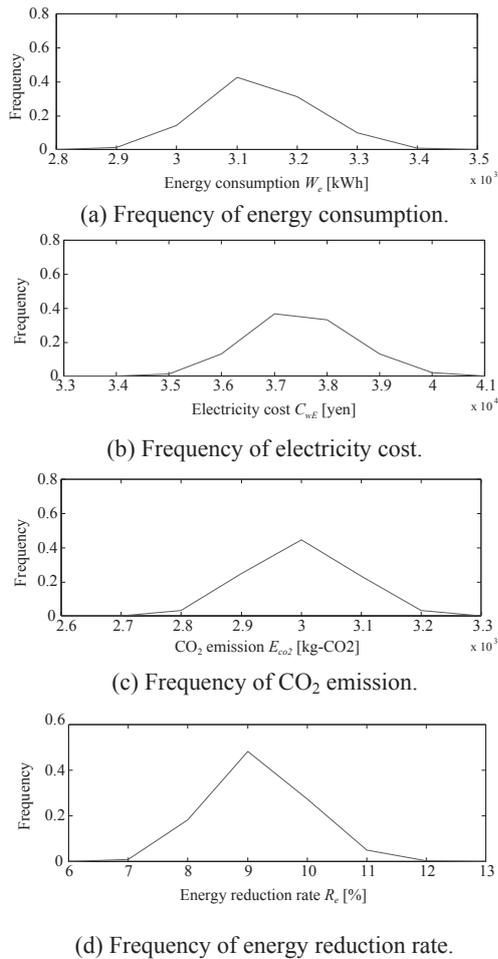


図11 運転モードIIIのシミュレーション結果
Fig. 11. Simulation result of operation Mode III.

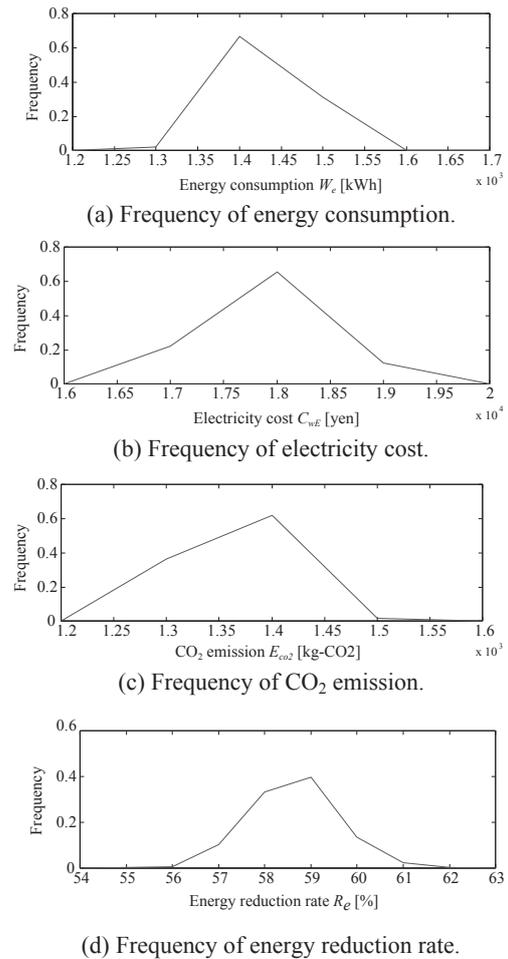


図12 運転モードIVのシミュレーション結果
Fig. 12. Simulation result of operation Mode IV.

参考文献

- 1) (株) 沖縄電力, 「環境行動レポート2011」
- 2) (株) 沖縄電力, 「平成23 年度供給計画の概要」
- 3) 経済産業省: 「エネルギー白書2008 年版」, 2008
- 4) 木村宰, 「太陽熱温水器の普及はなぜ停滞しているのか」, 研究報告書(電力中央研究所報告), 2008
- 5) 桶真一郎, 見目喜重, 滝川浩史, 榊原建樹, 「太陽光・熱/ コージェネシステムCO2 排出量に与えるシステム運転法の影響」, 電気学会論文誌- B, 125, 10, pp. 930-938(2005)
- 6) 見目喜重, 江渡信一, 中川重康, 可本映, 榊原建樹, 「数日先までの日射量を予測した太陽熱・電力ハイブリッド給湯システムの運用法」, 電気学会論文誌- B, 120, 6, pp. 831-837(2000-6)
- 7) K. Uchida, T. Senjyu, N. Urasaki and A. Yona “Installation Effect by Solar Heater System using Solar Radiation Forecasting”, IEEE Transmission & Distribution Conference in Asia 2009, CD-ROM (2009).
- 8) A. Yona and T. Senjyu, “One-Day-Ahead 24-Hours Thermal Energy Collection Forecasting Based on Time Series Analysis Technique for Solar Heat Energy Utilization System”, IEEE Transmission & Distribution Conference in Asia 2009, CD-ROM (2009).
- 9) 加藤丈佳, 日野紀良, 春日井志織, 鈴置保雄, 「温水需要の実測に基づく住宅用コージェネシステムの経済性評価」, 電気学会論文誌-B, 123, 12, pp. 1513-1521 (2003)
- 10) 高田宏, 村川三郎, 「モンテカルロシミュレーションによる集合住宅の給水・給湯負荷算定法に関する検討」, 日本建築学会環境系論文集, 578, pp. 39-45, (2004)
- 11) 平澤茂樹, 川南剛, 谷口昌弘, 大河祐樹, 中内俊作, 田中忠良, 「真空平板式沸騰集熱方式による90℃温水生成用の太陽熱コレクターの集熱特性に及ぼす運転制御の影響」, 太陽エネルギー, vol. 36, no. 4, pp. 75-81 (2010)
- 12) 鮎澤優輔, 黒澤剛志, 霜越俊明, 谷辰夫, 「CO2 排出量を指標とした電・熱複合供給システムの構成に関する研究」, 太陽エネルギー, vol. 35, no. 5, pp. 49-55 (2009)
- 13) (社) ソーラーシステム振興協会, 「太陽エネルギーの利用」, <http://www.ssda.or.jp>, 2011/10/31
- 14) 米津栄, 「機械工学概説」, 森北出版株式会社, pp.200-219, 2006
- 15) (株) 三菱電気, 「電気温水器の選び方」 <http://www.mitsubishielectric.co.jp>, 2011/10/31
- 16) 東京都環境局, 「新築住宅への太陽熱新技術等提案事業<採択システムの概要>」, pp. 1-41, 2011.
- 17) (株) 沖縄電力, 「Eeらいふ」 <http://www.okiden.co.jp/index.html>, 2011/10/31.
- 18) (財) 電力中央研究所, 「電力中央研究所ニュース338 号」, (2000)
- 19) (財) 気象業務支援センター, 「気象データベース・地上観測」, 2005
- 20) 佐野隆之, 近藤武士, 岩本静男, 鎌田元康, 「節水・節湯器具の評価に関する研究その5 節水型シャワー水栓2種による夏期・冬期被験者実験」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 425-426(2005-9)