

戸建て住宅の太陽・大気熱活用システムの 投入エネルギーおよびCO₂排出量

INPUT ENERGY AND CO₂ EMISSION OF SOLAR/AIR HEAT UTILIZATION SYSTEM INSTALLED IN A RESIDENCE

見 目 喜 重^{* 1}
Yoshishige KEMMOKU

榎 原 建 樹^{* 1}
Tateki SAKAKIBARA

Abstract

Input energy to a solar/air heat utilization system is the sum of fuel energy and equipment energy. Using a simulation over a year, input energy, CO₂ emission and annual cost necessary for a private residence are calculated as a function of the total area of photovoltaic module and solar heat collector. Solar/air heat utilization systems are classified by utilization method of a heat pump: (1)solar/air heat heating type, (2)solar/air heat hot-water type, and (3)solar/air heat heating and hot-water type. These 3 type systems are compared with a conventional system and a solar system without the heat pump.

Simulation results show that, (1)input energy takes a minimum at a ratio of photovoltaic module to heat collector areas if the total area is constant, (2)when the total area is 20m², the solar/air heat heating type minimizes input energy and CO₂ emission, and (3)the solar system minimizes annual cost.

Key words : Photovoltaic system, Solar heat collector system, Heat pump system, Equipment energy, Fuel energy, Input energy, CO₂ emission

1. はじめに

国内の最終エネルギー消費の動向を消費部門別に見ると、1973年の第1次石油危機までは産業、民生、運輸の各部門ともエネルギー消費は大きく伸びてきた。1973年以降、産業部門は減少傾向に転じたが、民生および運輸部門は伸び続け、特に1986年以降は高い伸び率を呈している⁽¹⁾。一方、大気中のCO₂濃度の増大は世界のエネルギー消費の増大にほぼ比例している⁽²⁾。

民生部門におけるエネルギー消費やCO₂排出抑制のために、太陽エネルギー、大気熱・冷房排熱を利用する様々な形態のシステムが提案されている。筆者らも、これまでに太陽エネルギー・システムとヒートポンプ(HP)システムとを組み合わせた太陽・大気熱活

用システムのシミュレーションモデルを作成し、それを用いて戸建て住宅で消費される1次エネルギー量を検討してきた⁽³⁾⁽⁴⁾。しかしながら、その1次エネルギーには、システムで消費される燃料エネルギーは含まれてはいるが、システムの設置に要するエネルギー、すなわち、設備エネルギーは考慮されていない。

太陽電池は製造時に多量のエネルギーを消費するため、太陽光発電(PV)システムのエネルギー収支を検討する際には設備エネルギーを考慮しなければならない⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

こうしたことを背景に、本研究では、戸建て住宅に太陽・大気熱活用システムを導入することを想定し、燃料エネルギーと設備エネルギーとの和である投入エネルギーを計算する。また、投入エネルギーに伴って発生するCO₂の排出量を算定する。さらに、経済的な観点から、システムの年間経費を求める。

戸建て住宅に導入する太陽・大気熱活用システムにはHPの利用法によって様々なものがある。本論文で

* 原稿受付 平成6年9月12日

*1 会員、豊橋技術科学大学工学部

(〒441 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

は、HPを暖房のみ、給湯のみ、および暖房・給湯の両方に利用する3種類のシステムを取り挙げることとする。

2. 戸建て住宅のエネルギー負荷とシステム構成

2.1 戸建て住宅の概要

モデル住宅として、現在新築されている平均的な戸建て住宅、すなわち、1世帯4人家族用の床面積109m²、4LDKの総2階の住宅を取り挙げた。住宅の1階床部分は42mm厚、外壁・内壁および2階天井部分は50mm厚のグラスウールで断熱し、窓は通常の一重ガラス窓とした。この住宅の主な部分の熱貫流率を表1に示す。

表1 モデル住宅各部の熱貫流率

Part	Coefficient of over-all heat transmission [kcal/m ² ·h·K]
Floor	0.82
Outside and inside wall	0.69
Ceiling	0.69
Windowpane	5.50

2.2 エネルギー負荷

一般住宅におけるエネルギー負荷には、暖房負荷、冷房負荷、給湯負荷、電力負荷の4種類がある。これらのうち、暖房、冷房、給湯負荷は外気温や日射量などの気象条件や負荷の設定条件によって変化する。

モデル住宅の冷暖房時間は、リビングは7時から23時まで、居室の2部屋は7時から9時までと17時から23時までとした。また、冷房は設定温度を27°C、期間を6月から9月までの4ヶ月、暖房は設定温度を20°C、期間を11月から3月までの5ヶ月とした。給湯は主に入浴に使われるものとし、その出湯時を毎日19時、出湯量を500l、給湯温度を50°Cとした。

このような負荷設定を行い、愛知県豊橋市の1987年の気象条件下でモデル住宅を建てたこととして、年間のエネルギー負荷を計算した。暖房負荷や冷房負荷の計算は、熱の流れを等価電気回路に置き換えて解析を行う方法⁽⁸⁾⁽⁹⁾を用いた。なお、冷暖房負荷を計算する際には、除湿は無視することとして、潜熱負荷は含めなかった⁽³⁾。冷房負荷は室内から奪い取らなければならぬ熱量である。その結果を表2に示す⁽³⁾。表2の電力負荷には空調に必要な電力量は含まれていない。

表2 戸建て住宅の年間エネルギー消費

Type of load	Consumption [Mcal]	Remarks
Heating	7,973	Set temp.:20 °C
Cooling	1,088	Set temp.:27 °C
Hot-water	6,054	Set temp.:50 °C
Electric	2,432	= 2,742 kWh

2.3 システム構成

上記のエネルギー負荷に対するエネルギー供給源として、石油、ガス、系統電力、太陽熱、PV電力、大気熱、冷房排熱を考える。これらの供給源からエネルギー供給を行う機器として、現在普及しているものや将来的に普及するとされる機器を取り挙げ⁽¹⁰⁾、従来型システム、太陽エネルギー・システム、太陽・大気熱活用システムを構築する。太陽・大気熱活用システムには、HPの利用方法により、HPを暖房のみに利用する太陽・大気熱暖房型システム、給湯のみに利用する太陽・大気熱給湯型システム、および暖房と給湯の両方に利用する太陽・大気熱暖房給湯型システムの3種類がある。これらの各システムで使用するシステム機器を表3に示す。

例として、太陽・大気熱暖房給湯型システムのエネ

表3 各システムで使用する機器

Type of system	Energy supply equipment	
Conventional system	Oil fan heater, Gas heater, Air conditioner	
Solar/oil heating system	Oil fan heater, Gas heater, Air conditioner, Photovoltaic module, Solar collector, Heat storage tank	
Solar/air heat utilization system	Heating Hot-water	Heat pump air conditioner, Gas heater, Photovoltaic module, Solar collector, Heat storage tank Oil fan heater, Heat pump water heater, Air conditioner, Photovoltaic module, Solar collector, Heat storage tank
	Heating + hot-water	Heat pump air conditioner, Heat pump water heater, Photovoltaic module, Solar collector, Heat storage tank,

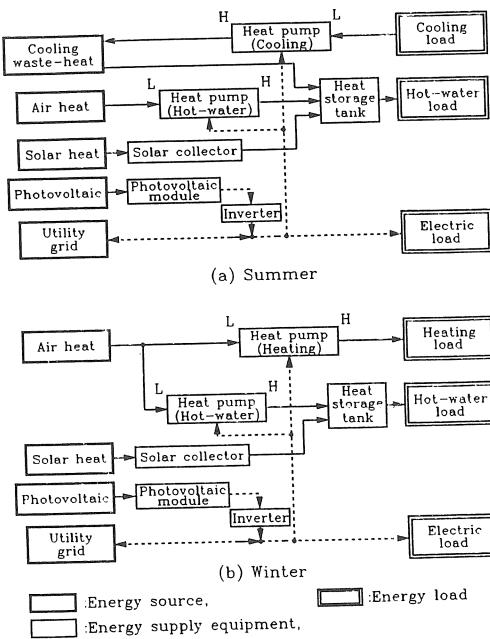


図1 太陽・大気熱暖房給湯型システムのエネルギー・フロー

ルギーフローを図1に示す。同図(a)は夏季、(b)は冬季で、図中の実線は熱エネルギーの流れを、破線は電力エネルギーの流れを表している。図中でHP機器の両側の記号“L”はHPの低熱源側を、“H”は高熱源側を表している。

夏季の冷房排熱はHPで回収して給湯負荷に供給する。ここで、冷房排熱の回収は蓄熱槽温度が50°Cに達するまで行う。冷房排熱が多い場合、その回収が太陽熱の利用を妨げることもある。しかし、太陽熱の集熱量が給湯負荷よりも少ない場合には、冷房排熱の回収が有効となる。そのため、年間を通してトータルの化石エネルギー消費の削減には、このような運転は効果的である。

冬季には、大気熱はHP給湯器を介して給湯負荷へ、HP暖房機を介して暖房負荷に供給する。

3. 投入エネルギー

3.1 システムへの投入エネルギー

システム全体で必要とするエネルギーには、燃料エネルギー E_f と、システム機器の製作に要する設備エネルギー E_e がある。これらの1次エネルギーレベルでの和が、投入エネルギー E である。すなわち、

$$E = E_f + E_e \quad (1)$$

3.2 燃料エネルギー

燃料エネルギー E_f は、以下のように表現できる。

$$E_f = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 E_{i,j}, \quad E_{i,j} = \frac{1}{k_{i,j}} S_{i,j} \quad (2)$$

ここで、

$E_{i,j}$: 供給源*i*から負荷*j*へ供給する1次エネルギー

$k_{i,j}$: 供給源*i*から負荷*j*へエネルギーを供給する際の効率

$S_{i,j}$: 供給源*i*から負荷*j*へ供給するエネルギー

i = エネルギー供給源の種類 (1:石油、2:ガス、3:系統電力)

j = 負荷形態の種類 (1:暖房、2:冷房、3:給湯、4:電力)

この $S_{i,j}$ の計算には、年間シミュレーションを用いた⁽³⁾。シミュレーションでは、まず、システム規模や冷暖房の運転スケジュールを入力し、年間の気象データを読み込む。次に、冷暖房の運転時間中の1時間ごとの冷暖房負荷、給湯負荷を計算し、これに必要な供給エネルギーを求める。続いて、太陽熱集熱量・太陽光発電量を求め、蓄熱槽と各部屋の温度および系統電力を計算する。こうした計算を年間を通して行い、各エネルギー供給源からの供給量を求める。

計算を行うにあたって、冷暖房負荷、蓄熱槽および集熱器などの熱の流れに関しては、熱系統における熱流・温度・熱抵抗を、電気回路における電流・電圧・電気抵抗に対応付け、その熱系統と等価な電気回路を用いて計算した⁽⁸⁾⁽⁹⁾。その際、熱抵抗は、表1のような各部の熱貫流率から計算した。また、石油ファンヒーターの効率は95%、ガス給湯器の効率は75%とした。太陽電池の変換効率は10%とし、出力の計算には文献(11)のモデル式を用いた。HPの成績係数は文献(12)を参考にした文献(3)のモデル式から計算した。なお、HPで給湯を行うシステムでは、系統からの購入電力を常に一定にさせる目的で、「一定加熱運用法」⁽³⁾⁽⁹⁾を用いた。

3.3 設備エネルギー

設備エネルギーは、主に、素材エネルギー、製造エネルギー、輸送エネルギーの3つに分けられる。

素材エネルギーは、素材重量とその素材のエネルギー原単位との積和をとる積み上げ法⁽⁵⁾⁽¹²⁾により求めた。各設備の製造エネルギーを求ることは難しく、文献に載っていない場合には、素材エネルギーの30%と仮定した。輸送エネルギーは、製品重量に輸送時の

表4 太陽熱集熱器および蓄熱槽の素材重量

Material	Solar collector	Heat storage tank
Stainless steel	9.7 kg	42.1 kg
Copper	3.1	0
Aluminium	3.1	1.1
Glass	17.4	0
Rubber	0	7.3
Lumber	1.1	0
Styrene foam	0.7	2.5
Total weight	35.1	53.3

表5 システム機器の設備エネルギー

Equipment	Equipment size	Equipment energy [Mcal/y]	Durable periods [y]
Oil fan heater	10,000 kcal/h	393.7	10
Gas heater	20,000 kcal/h	228.1	10
Air conditioner	9.4 kW	217.7	10
Photovoltaic module	1 kWp (10 m ²)	1,532.2	20
Solar collector	1 m ²	13.3	20
Heat storage tank	0.5 m ³	138.0	10
Heat pump air conditioner	Cool. 9.4 kW Heat. 13.3 kW	217.7	10
Heat pump water heater	1,500 kcal/h	109.7	10

エネルギー原単位 (0.69 Mcal/km·t)⁽⁵⁾ と全輸送距離 (750 km)⁽¹²⁾との積とした。

このような方法によって太陽電池などの設備エネルギーはすでに計算されている⁽⁵⁾⁽⁶⁾が、太陽熱集熱器や蓄熱槽の設備エネルギーの値は見あたらない。そこで、メーカーからの資料をもとに計算した。表4に計算対象とした太陽熱集熱器（集熱器面積 2m²）および蓄熱槽（容量 0.37m³）に使用されている素材の重量を示す。これらの値から上述の方法により設備エネルギーを計算した。

表5に耐用年数を考慮して求めた各機器の年当たり設備エネルギーを示す。太陽電池と集熱器を除いた機器の定格は、本システムで採用した定格を示している。

4. CO₂排出量

4.1 システムのCO₂排出量

太陽・大気熱活用システムから排出されるCO₂には、燃料消費に伴うものと、システム機器の設備エネルギーに伴うものとの二つがある。これら両者の和が、システムのCO₂排出量となる。本論文では、以下の方法によって、これら両者の値を求めた。

4.2 燃料消費に伴うCO₂排出量

システムの燃料消費に伴うCO₂排出量C_fは、どのような化石エネルギーを燃料とするかによって変わってくる。石炭、石油、ガスについては、燃料の炭素重量比と発熱量とからCO₂排出原単位を求めた。系統電力のCO₂排出原単位については、現在の発電構成に基づき求めた。それらの結果を表6に示す。

表6のCO₂排出原単位と(2)式からシステムの運転に伴うCO₂排出量 C_fは(3)式のように表せる。

$$C_f = \sum_{i=1}^3 u_i \left(\sum_{j=1}^4 E_{ij} \right) \quad (3)$$

ここで

u_i：エネルギー供給源 i のCO₂排出原単位

表6 エネルギー源のCO₂排出原単位

Energy source	Carbon weight ratio	Average heat value [kcal/kg]	CO ₂ emission rate [kg/Mcal]
Coal	0.70	6,200	0.414
Oil	0.93	9,250	0.369
Gas	0.75	13,000	0.212
Electric			0.399 kg/kWh

4.3 設備エネルギーに伴うCO₂排出量

システム機器の設備時に排出するCO₂の量C_eは、設備エネルギーと同様に、使用素材、製造、輸送に伴うものに分けられる。

使用素材に伴うCO₂排出量は、文献(5)に示されている素材のエネルギー原単位と、表6に示すエネルギー源のCO₂排出原単位との積をとり、まず、素材ごとのCO₂排出原単位を求めておき、それらの値と素材の使用量との積和を求めた。製造に伴うCO₂排出量は、製造エネルギーとエネルギー源のCO₂排出原単位の平均値 0.365kg/Mcalとの積とした。輸送に伴うCO₂排出量は、輸送エネルギーと石油のCO₂排出原単位との積とした。

これら3つの値の和が設備エネルギーに伴うCO₂排

表7 設備エネルギーに伴う年当たりCO₂排出量

Equipment	CO ₂ emission [kg/y]
Oil fan heater	147.7
Gas heater	85.4
Air conditioner	69.8
Photovoltaic module	287.3
Solar collector	4.2
Heat storage tank	49.9
Heat pump air conditioner	69.8
Heat pump water heater	35.2

出量となる。表7に表5のシステム機器に関して算定した結果を示す。

5. シミュレーション結果

5.1 投入エネルギーが最小となる太陽電池 / 集熱器面積比

戸建て住宅において太陽エネルギーを活用するシステムを構築する際、太陽電池と集熱器との合計設置面積には限界があるため、太陽電池と集熱器との面積の比をどのようにしたときに投入エネルギーが最小になるかが問題になる。そこで、全設置面積 A を一定として、太陽電池面積 A_p と集熱器面積 A_s の比（太陽電池 / 集熱器面積比）を変えて投入エネルギーを計算した。

図2に、全設置面積を 20m^2 とした場合の太陽・大気熱暖房型システムの計算結果を示す。燃料エネルギーは面積比 $40/60$ で最小となる。一方、設備エネルギーは、面積比 $0/100$ で最小となる。結果として、これら両者の和である投入エネルギーは、面積比 $20/80$ で最小となる。

このように、種々のシステムおよび種々の全設置面積について投入エネルギーが最小となる太陽電池 / 集熱器面積比を求めることができる。この結果を表8に示す。集熱器は太陽電池に比べて変換効率が高く、また設備エネルギーが小さいため、どのシステムの場合も全設置面積が小さい段階では集熱器だけが設置される。しかし、ある集熱器面積を上限として、それ以上は太陽電池が設置されるようになる。太陽・大気熱給湯型システムでは、「一定加熱運用法」により夜間から蓄熱槽を加熱するため、翌日の太陽熱が給湯に十分に活かされない。そのため、他のシステムに比べて全設置面積がより小さい段階から太陽電池が設置されるようになる。

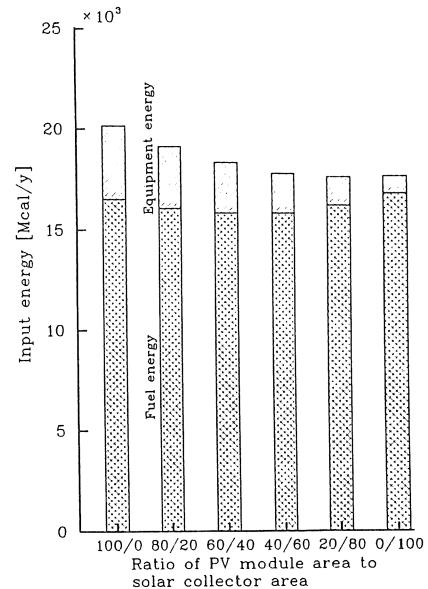


図2 戸建て住宅に太陽・大気熱暖房型システムを設置したときの投入エネルギー（太陽電池・集熱器全設置面積： 20m^2 ）

表8 投入エネルギーが最小となる太陽電池 / 集熱器面積比

Installed area [m ²]	Solar/oil heating system	Solar/air heat utilization system		
		Air heat heating type	Air heat hot-water type	Air heat heating & hot-water type
5	0/100	0/100	0/100	0/100
10	0/100	0/100	40/60	0/100
15	0/100	0/100	60/40	40/60
20	20/80	20/80	60/40	60/40
30	40/60	40/60	80/20	60/40

5.2 投入エネルギー

表8の各項に対応する投入エネルギーの値をプロットすると図3になる。縦軸の値は、従来型システムの投入エネルギー $24,800\text{Mcal}/y$ （燃料エネルギー $23,950$ + 設備エネルギー 850 ）を 100% とした。

全設置面積 0m^2 は、太陽エネルギー利用が無い場合を示しており、太陽エネルギー・システムの場合は従来型システムを、太陽・大気熱活用システムの場合はHPだけを用いる大気熱活用システムを意味している。

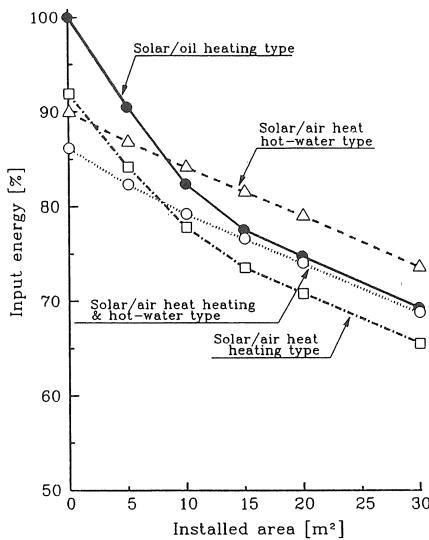


図3 種々のタイプの太陽・大気熱活用システムの投入エネルギー

HPを利用するだけでも投入エネルギーを7~14%削減できることが分かる。

いずれのシステムに関しても、全設置面積の増大に伴って投入エネルギーは減少している。特に、太陽エネルギー・システムや太陽・大気熱暖房型の投入エネルギーの減少割合が大きい。10m²以上では太陽・大気熱暖房型の投入エネルギーが最も小さい。従来型と比較して、設置面積10m²で22%、30m²で35%の投入エネルギーが削減できる。

5.3 CO₂排出量

システム構成が決まると、投入エネルギーとともにCO₂排出量が求められる。その結果を図4に示す。従来型システムのCO₂排出量(6,360kg/y)を100%とした。CO₂排出量は、システムの運転にどのようなエネルギー源が使用されるかで大きく異なる。図4から、太陽エネルギー・システムや太陽・大気熱給湯型システムよりも、太陽・大気熱暖房型や太陽・大気熱暖房給湯型システムのCO₂排出量が大幅に減少していることが分かる。これは、負荷として最も大きい暖房負荷のエネルギー源が、太陽エネルギー・システムや太陽・大気熱給湯型システムでは石油のみであるのに対し、太陽・大気熱暖房型や太陽・大気熱暖房給湯型システムでは主として大気熱であるからである。太陽・大気熱暖房型では給湯の補助熱源としてガスを使用しているが、その量はごくわずかである。

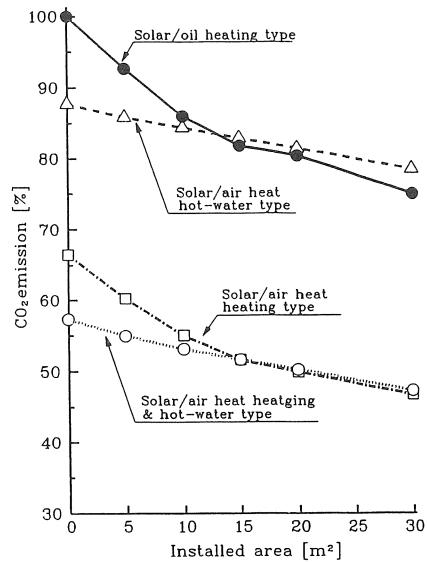


図4 種々のタイプの太陽・大気熱活用システムのCO₂排出量

図4から、太陽・大気熱暖房給湯型および太陽・大気熱暖房型システムのCO₂排出量は、従来型システムに比べて全設置面積20m²で48%削減できることが分かる。

5.4 年間経費

システムの年間経費Dは機器kの年間経費D_{ek}とエネルギー供給源iの年間燃料費D_{fi}との和である。

$$D = \sum_k D_{ek} + \sum_i D_{fi} \quad (4)$$

D_{ek}については、定価に年利5%を考慮した資本回収係数を乗じ、耐用年数の間、毎年一定額を支払うものとして、その値を算定した。ここで用いた各機器の年間経費はカタログの値を参考に算定した。その一例を

表9 各機器の年間経費

Equipment	Annual cost
Photovoltaic module	65,800 ¥/kWp
Solar collector	3,300 ¥/m ²
Heat storage tank	31,300 ¥/m ³
Gas heater	800 ¥/kcal·h
Oil fan heater	2,200 ¥/kcal·h
Heat pump	11,900 ¥/kcal·h
Air conditioner	9,300 ¥/kcal·h

6. まとめ

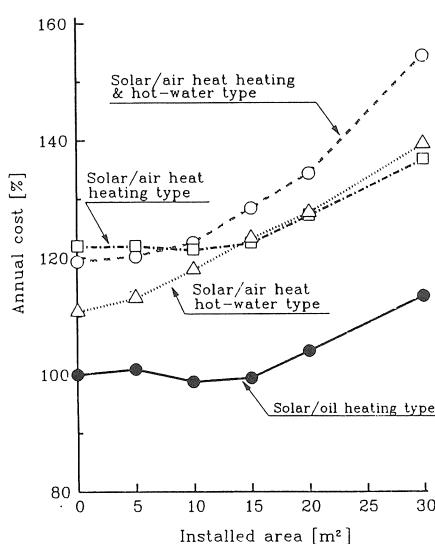


図5 種々のタイプの太陽・大気熱活用システムの年間コスト

表9に示す。

表9から各システムの年間経費を求めることができ、その結果を図5に示す。従来型システムの年間経費(33.8万円)を100%とした。同図から、大気熱利用が現状の価格設定では経済的に不利であることがわかる。この理由として、HP利用は、単位エネルギー当たりの価格が灯油やガスに比べて高い系統電力の使用を増大させることが挙げられる。

年間経費が最も少ないのは太陽エネルギー・システムであり、特に集熱器のみが設置される全設置面積15m²までは年間経費は従来型システムとほとんど変わらない。すなわち、太陽熱集熱器のみが設置されるかぎりは、現状の価格設定でも経済的に成り立つことを意味している。全設置面積の増大に伴って年間経費が増大している部分は太陽電池の導入による設備費の増大によるものである。

全設置面積の増大に伴い投入エネルギーが減少するにもかかわらず年間経費が増大する理由としては、太陽電池の価格に、人件費、工場の設備費、さらには研究開発費などの占める割合が高く、結果的に価格が高くなることが影響していると考えられる。

太陽エネルギーおよび大気熱・冷房排熱を活用するシステムを戸建て住宅に導入することを想定し、システムの運転に必要な燃料エネルギーとシステムの設置に必要な設備エネルギーとの和である投入エネルギーをシミュレーションにより求めた。さらに、CO₂排出量および年間経費を算定した。

太陽・大気熱活用システムでは大気熱をどのような負荷に供給するかによって種々のタイプのシステム形態が考えられる。ここでは、大気熱を暖房負荷に供給する太陽・大気熱暖房型、給湯負荷に供給する太陽・大気熱給湯型、および暖房負荷と給湯負荷との両方に供給する太陽・大気熱暖房給湯型システムを取り挙げた。それらのシステムの投入エネルギー、CO₂排出量および年間経費を従来型システムと比較すると表10のようになる。ただし、太陽電池と集熱器との全設置面積の代表値として20m²を選んだ。表10から、投入エネルギーおよびCO₂排出量の観点から見ると、太陽・大気熱暖房型が最もよく、その次に太陽・大気熱暖房給湯型がよいことになる。年間経費の観点からは太陽エネルギー・システムが最もよいことになる。

表10 種々のタイプのシステムの投入エネルギー、CO₂排出量および年間経費

Type of system	Input energy	CO ₂ emission	Annual cost
Conventional type	100 %	100 %	100 %
Solar/oil heating type	74.8	80.4	104.1
Solar/air heat heating type	70.9	49.5	127.1
Solar/air heat hot-water type	79.0	81.4	127.6
Solar/air heat heating and hot-water type	74.0	50.2	134.4

文 献

- (1) 資源エネルギー庁：「エネルギー政策の歩みと展望」，p.51，通商産業調査会，1993
- (2) 太田時男：「エネルギー利用の現状と将来」，応用物理，Vol.63, No.8, p.755, 1994
- (3) 見目・榎原：「太陽・未利用エネルギー・システムの一般住宅への導入シミュレーション」，太陽エネルギー，Vol.20, No.4, pp.15-21, 1994

- (4) 見目：「太陽エネルギー・HPシステムによる一般住宅の省エネルギー効果」，平成5年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集（論文Ⅱ），pp.351-352, 1993
- (5) 内山, 山本：「発電プラントのエネルギー収支分析」，電力中央研究所報告, Y90015, 1991
- (6) W. Palz & H. Zibetta: "ENERGY PAY-BACK TIME OF PHOTOVOLTAIC MODULES", Int. J. Solar Energy, Vol.10, pp.211-216, 1991
- (7) 山田治夫：「冷凍および空気調和」，p.242, 緒賢堂, 1973
- (8) 柳原 他：「風力・太陽熱ハイブリッド利用暖房システムのシミュレーション」，電気学会論文誌B, Vol.105, No.9, pp.70-76, 1985
- (9) 見目 他：「福祉コミュニティに適した太陽光・熱／風力ハイブリッドシステムの運用とその規模」，太陽エネルギー, Vol.18, No.5, pp.39-45, 1992
- (10) 手塚 他：「都市におけるエネルギー代替の評価」，エネルギー資源, Vol.14, No.2, pp.27-33, 1993
- (11) 谷, 横内：「系統連携型太陽光発電システムの最適設計」，電気学会論文誌D, Vol.111, No.6, pp.475-481, 1991
- (12) K. Sagura & N. Nakahara : "THERMAL PERFORMANCE AND PRESSURE DROP OF ROCK BEDS WITH LARGE STORAGE MATERIALS", Solar Energy, Vol.47, No.3, pp.157-163, 1991
- (13) 科学技術庁資源調査会編：「衣・食・住のライフサイクルエネルギー」，大蔵省印刷局, 1979