



Title	ローエネルギーハウスにおける設備システムの解析
Author(s)	中村, 真人; 濱田, 靖弘; 山崎, 将吾 他
Description	第5回衛生工学シンポジウム (平成9年11月6日 (木) -7日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 1 計画・展望 . P1-8
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 5, 35-40
Issue Date	1997-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7700
Type	departmental bulletin paper
File Information	5-1-8_p35-40.pdf



1-8 ローエネルギーハウスにおける設備システムの解析

中村真人, 濱田靖弘, 山崎将吾, 安孫子雅史, 本間貴大, 落藤 澄 (北海道大学)

1 はじめに

本研究室では、北海道大学工学部敷地内に建設したローエネルギーハウスにおける設備システムの中で太陽光発電システム、太陽熱給湯システム、土壌熱源ヒートポンプシステムを取り上げ、システム特性を解析するとともに、それらについての資源性・環境性・経済性に関する評価を行う。また、ローエネルギーハウスにおける年間エネルギーフロー及びエクセルギーフローを示し、その有効性について基礎的な検討を行うものである。

2 ローエネルギーハウスにおける太陽光発電システムの解析

2.1 計算条件 北海道大学工学部敷地内にローエネルギーハウスを建設し、南側屋根面には要素技術の比較実験も行うことを目的として、特性の異なる2種類の太陽電池を設置した。図1に電気設備システムの系統図を示す。傾斜角31°の南側屋根面の西側に単結晶シリコン型太陽電池、東側には屋根材一体型横葺きタイプの3層アモルファスシリコン型太陽電池をそれぞれ約25m²ずつ設置し、商用電源との系統連系システムとした。

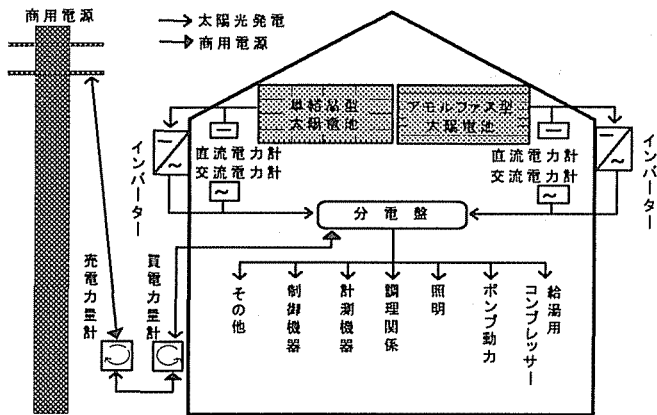


図1 電気設備システム系統図

解析に用いた太陽電池の出力特性式¹⁾および諸条件の設定値を以下に示す。なお日射量は著者等による1992年から1995年の太陽エネルギー測定データの平均値を使用した。

$$P = a \cdot P_{in} \cdot A \cdot \eta \cdot |1 - c \cdot (25 - (T_{air} + 0.03 \cdot P_{in}))| \quad \eta_s = a \cdot \eta \cdot |1 - c \cdot (25 - (T_{air} + 0.03 \cdot P_{in}))|$$

P : 出力[V]	P_{in} : 日射量[w/m ²]	a : 電力損失 (0.85)[-]	η_s : システム効率[%]	η : 標準時の変換効率[%]
c : 温度係数 (結晶 -0.5[%/°C])	アモルファス -0.3[%/°C])		A : モジュール面積[m ²]	T_{air} : 外気温[°C]

— 単結晶 —				
設置面積 : 南面 25[m ²]	設置角度 : 31°	標準時変換効率 : 12[%]	温度係数 : -0.5[%/°C]	電力損失 : 0.85[-]

— アモルファス —				
設置面積 : 南面 25[m ²]	設置角度 : 31°	標準時変換効率 : 8[%]	温度係数 : -0.3[%/°C]	電力損失 : 0.85[-]

ローエネルギーハウスにおける消費電力量の予測には、4人家族を想定し、NHK『国民生活時間調査』に基づいて空気調和・衛生工学会により作成されたモデル²⁾を使用した。また、ローエネルギーハウスは全電化住宅を前提としており、既報³⁾による暖冷房運転および後述の給湯運転において消費される電力量(ヒートポンプ、熱媒搬送ポンプ)も考慮に加えている。(エネルギー消費量原単位の設定については既報⁴⁾を参照)

2.2 計算結果と考察

図2に月別システム効率、図3に消費電力量、太陽光発電量、および太陽光発電依存の月変動を示す。日射量・外気温がともに高い夏が最もシステム効率が低く、単結晶で9.74%、アモルファスで6.63%が最低値となった。単結晶の変動に比べてアモルファスの変動は極小さいものであるが、今回の計算ではアモルファスに特有の熱回復現象は考慮していない。発電量が消費電

力量を上回るのは 5 月～8 月までの 4 ヶ月間であり、年間の太陽光発電量は約 16.1GJ となった。年間の消費電力量は約 19.9GJ であり、年平均太陽光発電依存率は約 0.81 となった。

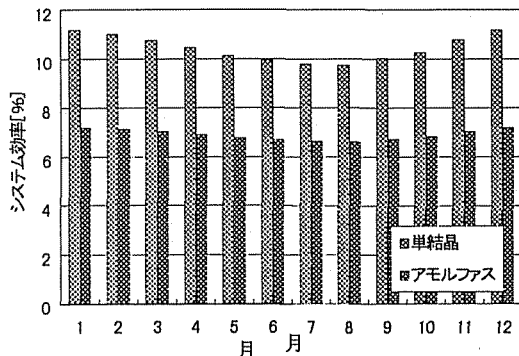


図 2 月別システム効率

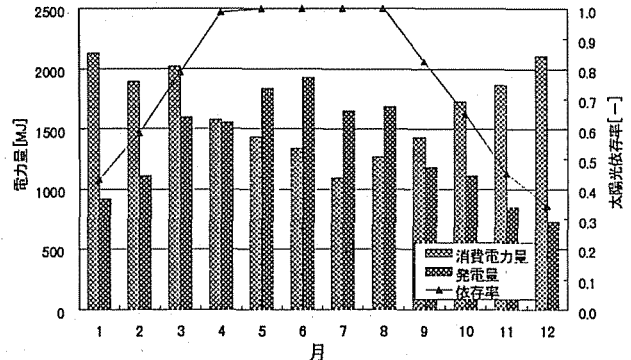


図 3 月積算消費電力量・発電量・太陽光発電依存率

3 ローエネルギーハウスにおける太陽熱給湯システムの解析

3.1 計算条件 図 4 にローエネルギーハウスにおける給湯設備システムの系統図を示す。給湯は太陽熱と排気熱回収の併用システムを採用した。以下に解析に用いた計算式⁵⁾と諸条件の設定値を示す。

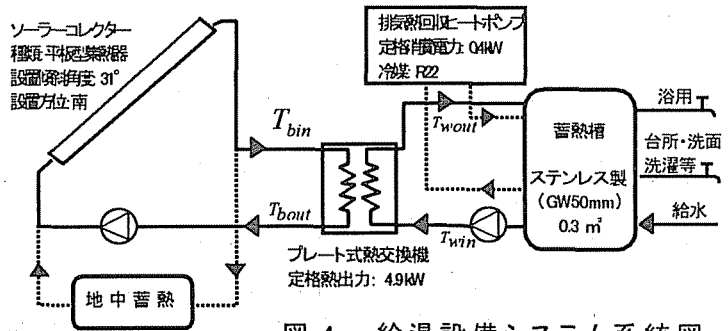


図 4 給湯設備システム系統図

$$\eta = -\frac{3.8767}{P_{in}}(T_{bout} - T_{air}) + \frac{5}{6} \quad q = \eta \cdot P_{in} \cdot A \quad T_{bin} = T_{bout} + q / (C_{pb} \cdot G)$$

$$\eta_T = \frac{T_{bin} - T_{bout}}{T_{bin} - T_{win}} (=0.8) \quad T_{bout} = (1 - \eta_T) \cdot T_{bin} + \eta_T \cdot T_{win} \quad T_{wout} = T_{win} + \eta_T \cdot q \cdot \Delta t / (C_{pw} \cdot V)$$

η : 集熱効率 [-]	η_T : 温度効率 [-] (=0.8)	q : 集熱量 [W]	P_{in} : 日射量 [W/m ²]
C_{pb} : 不凍液比熱 [J/(m ³ ·°C)] (=4.006×10 ⁶)	C_{pw} : 水比熱 [J/(m ³ ·°C)] (=4.1868×10 ⁶)		
V : 貯湯槽容量 [m ³] (=0.3)	A : 集熱器面積 [m ²] (=8)	G : 不凍液流量 [m ³ /s] (=2.0×10 ⁻⁴)	
Δt : 時間ステップ [s] (=10)	T_{air} : 外気温 [°C]	T_w : 貯湯槽内温度 [°C]	T_b : 不凍液温度 [°C]

給湯温度は 45°C で、集熱終了時に 45°C に達していない場合には排気熱回収ヒートポンプにより補助加熱を行うものとした。また、貯湯槽内の水温が日中に 45°C に達した場合には貯湯槽の加熱を終了し、地中蓄熱を行うものと想定して蓄熱温度は簡易的に 30°C 一定と与えた。なお蓄熱槽内の水温解析は時間ステップ 10s として行い、今回は蓄熱槽内の温度成層は考慮していない。

3.2 計算結果と考察 図 5 に太陽熱集熱器を 8 m² 設置した場合の 1 日の蓄熱量・補助加熱量・依存率の月変動を示す。5 月から 8 月はほぼ太陽熱のみで給湯負荷が賄えかつ土壌への蓄熱も行えるが、逆に 1 月・2 月・11 月・12 月はすべての日において補助加熱が必要となった。年間の蓄熱量は約 3.8GJ、補助加熱量は約 4.2GJ、太陽熱依

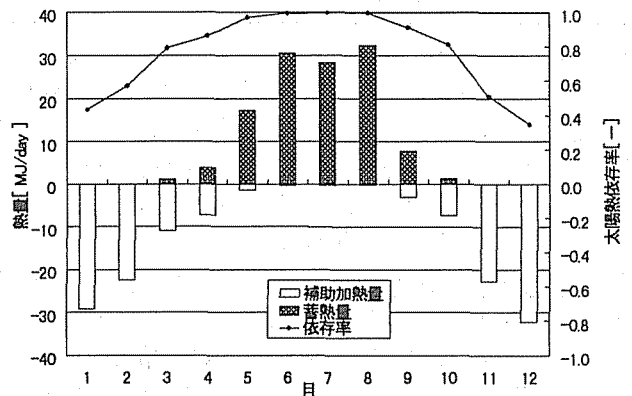


図 5 蓄熱量・補助加熱量・依存率の月変動

存率は約 0.74 となった。

図 6 に面積比（集熱器面積／延床面積 196 m²）による太陽熱依存率（太陽熱利用量／給湯負荷）および太陽熱利用率（太陽熱利用量／全集熱量）の変動を示す。太陽熱依存率と太陽熱利用率の曲線は、面積比 0.05 前後で交わる。これは設置面積に換算して約 10 m²に相当しており、今回ローエネルギーハウスに導入した 8 m²に近い結果が得られた。今後は太陽熱給湯量および前述の太陽光発電量とともに、ローエネルギーハウスにおける実測値との比較・検討を行っていく予定である。

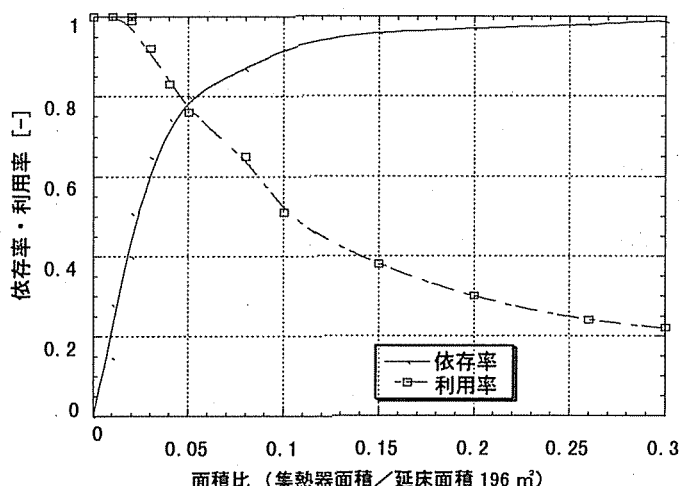


図 6 面積比による太陽熱依存率・利用率の変動

4 ローエネルギーハウスにおける設備システムの回収年数

ローエネルギーハウスにおける設備システムの資源性・環境性・経済性に関する評価として、エネルギー消費量・二酸化炭素排出量・コストに着目し、それぞれの初期投入量と運用時における節約量から、回収年数を算出した。ただしコストに関しては金利などを考慮しない単純回収年数である。

表 1 建設原単位

		エネルギー消費量	二酸化炭素排出量	コスト
太陽光発電システム	単結晶型太陽電池	1800[MJ/m ²] ¹⁾	22.0[kg-C/m ²] ²⁾	62,500[円/m ²]
	アモルファス型太陽電池	360[MJ/m ²] ¹⁾	4.4[kg-C/m ²] ²⁾	62,500[円/m ²]
太陽熱給湯システム	平板型集熱器	1110[MJ/m ²] ²⁾	22.9[kg-C/m ²] ²⁾	50,000[円/m ²] ²⁾
	貯湯槽	3470[MJ/基] ²⁾	81.8[kg-C/基] ²⁾	450,000[円/基] ²⁾
土壌熱源ヒートポンプシステム	地上設備	3920[MJ/基] ⁴⁾	62.2[kg-C/基] ⁵⁾	300,000[円/基] ⁶⁾
	地中熱交換器	268.6[MJ/m] ⁴⁾	3.4[kg-C/m] ⁵⁾	600[円/m] ⁷⁾
	掘削	27.6[MJ/m] ⁸⁾	0.9[kg-C/m] ⁹⁾	7,800[円/m] ⁹⁾

表 2 運用原単位

	エネルギー換算値	二酸化炭素排出量	コスト
電力	9.42[MJ/kWh] ⁴⁾	0.12[kg-C/kWh] ⁵⁾	24.35[円/kWh] ⁶⁾
都市ガス	41.86[MJ/m ³] ⁴⁾	0.78[kg-C/m ³] ⁵⁾	144.8[円/m ³] ⁶⁾

表 1 に太陽光発電システム、太陽熱給湯システム、土壌熱源ヒートポンプシステム

のエネルギー消費量・二酸化炭素排出量・コストに関する建設原単位を示す。太陽電池のコストは市場調査によるものである。これらの建設原単位を利用し、各設備システムのエネルギー消費量・二酸化炭素排出量・コストについての初期投入量を算出する。

表 2 に運用原単位として、電力・都市ガスのエネルギー換算値、二酸化炭素排出量、コストを示す。各設備システムの運用時におけるエネルギー消費量・二酸化炭素排出量・コストは、これらの運用原単位を用いて算出する。

4.1 太陽光発電システム 表 3 にローエネルギー実験ハウスにおける太陽光発電システムの概要を示す。太陽電池には単結晶型及びアモルファス型をそれぞれ 24 m²設置し、発電量は 16.2GJ/y である。

表 4 に太陽光発電システムのエネルギー消費量・二酸化炭素排出量・コストについての回収年数を示す。エネルギー消費量・二酸化炭素排出量ともに回収年数は 2 年であり、資源性・環境性に関して非常に有効である。コストについては現

表 3 太陽光発電システムの概要

規模	発電量
単結晶型太陽電池 24[m ²] アモルファス型太陽電池 24[m ²]	16.2[GJ/y]

表 4 太陽光発電システムの回収年数

	エネルギー消費量	二酸化炭素排出量	コスト
初期投入量	51.8 [GJ]	633.6[kg-C]	300 [万円]
運用時節約量	42.4 [GJ/y]	540.0 [kg-C/y]	11 [万円/y]
回収年数	2 [年]	2 [年]	28 [年]

状では 28 年となったが、国による普及促進政策が益々拡大しており、コストの低減は今後加速度的に進むことが予測される。

4.2 太陽熱給湯システム 表5にローエネルギー実験ハウスにおける太陽熱給湯システムの概要を示す。平板型集熱器は 8 m²、貯湯槽は 300l であり、年間集熱量の予測値は 18.7GJ/y である。

表 5 太陽熱給湯システムの概要

規模	集熱量
平板型集熱器 8[m ²] 貯湯槽 300[l]	18.7[GJ/y]

表6に太陽熱給湯システムのエネルギー消費量・二酸化炭素排出量・コストについての回収年数を示す。運用時における節約量は都市ガスとの比較によるものである。エネルギー消費量・二酸化炭素排出量ともに回収年数は1年であり、資源性・環境性に関して非常に有効なシステムであるといえる。コストについては14年と回収までにやや年数を要するのが現状であり、経済性に関しての改善策が必要であると考えられる。

表 6 太陽熱給湯システムの回収年数

	エネルギー消費量	二酸化炭素排出量	コスト
初期投入量	12.5 [GJ]	274 [kg-C]	85 [万円]
運用時節約量	18.7 [GJ/y]	350 [kg-C/y]	6.5 [万円/y]
回収年数	1 [年]	1 [年]	14 [年]

4.3 土壌熱源ヒートポンプシステム

表7にローエネルギー実験ハウスにおける土壌熱源ヒートポンプシステムの概要を示す。口径 80A、30m の鋼管井戸を 2 本設置し、SPF(Seasonal Performance Factor)は文献¹⁵⁾より引用した。また、暖冷房負荷は既報³⁾による熱負荷計算によった。

表 7 土壌熱源ヒートポンプシステムの概要

規模	SPF	負荷
鋼管井戸 30[m]×2[本]	暖房時 3.0 冷房時 3.4	暖房負荷 15.6 [GJ/y] 冷房負荷 1.1 [GJ/y]

比較対象は空気熱源ヒートポンプ (SPF:暖房時 1.7, 冷房時 2.6) とし、これに対する初期投入増加量と運用時における節約量から、エネルギー消費量・二酸化炭素排出量・コストについての回収年数を求めた結果を表8に示す。エネルギー消費量・二酸化炭素排出量ともに回収年数は2年であり、資源性・環境性に関して非常に有効なシステムであるといえる。コストについては現状では18年という結果になったが、要因の一つとして掘削コストが高いことが挙げられる。

表 8 土壌熱源ヒートポンプシステムの回収年数

		エネルギー消費量	二酸化炭素排出量	コスト
初期投入時	空気熱源	3.9 [GJ]	62.2 [kg-C]	30 [万円]
	土壌熱源	21.7 [GJ]	320.2 [kg-C]	80.4 [万円]
初期投入増加量		17.8 [GJ]	258.0 [kg-C]	50.4 [万円]
運用時	空気熱源	25.1 [GJ/y]	319.7 [kg-C/y]	6.5 [万円/y]
	土壌熱源	14.5 [GJ/y]	184.1 [kg-C/y]	3.7 [万円/y]
運用時節約量		10.6 [GJ/y]	135.6 [kg-C/y]	2.8 [万円/y]
回収年数		2 [年]	2 [年]	18 [年]

しかし、海外における比較的コストが安価な簡易掘削法（地中熱交換器を地盤に直接圧入又は打ち込む方法）の導入による、コスト低減の可能性はあると考えられる。

次に土壌熱源ヒートポンプシステムの耐用年数を地上設備が 10 年、地下設備が 20 年と考えた場合の年間設備コストによる比較を行った結果を表9に示す。ここで年間設備コストとは、初期投入時のコストを耐用年数で除したものと運用時のコストとの和である。空気熱源ヒートポンプは 95,000 円/y、土壌熱源ヒートポンプは 92,200 円/y である。これより現状においても土壌熱源ヒートポンプの方が若干有利であるといえるが、年間設備コストをさらに小さくするためには、掘削コストの低減・設備の耐久性の向上などが期待される。

表 9 年間設備コストによる比較

	耐用年数 [年]	年間設備コスト [円/y]
空気熱源ヒートポンプ	10 ²⁾	95,000
土壌熱源ヒートポンプ	地上設備: 10 地下設備: 20	92,200

5 ローエネルギーハウスにおける年間エネルギーフローに関する基礎的検討

表 10, 11, 12 に従来型住宅¹⁶⁾、高断熱住宅、ローエネルギーハウス⁴⁾における用途別エネルギー消費量を示す。高断熱住宅については照明・動力、調理、給湯に関しては従来型住宅の設定値、暖冷房に関してはローエネルギーハウスの設定値を使用した。また従来型住宅、高断熱住宅では空気熱源ヒートポンプによる暖冷房を行うものとした。

これらに基づいて作成した各住宅における年間エネルギーフロー及びエクセルギーフローを図7, 8, 9に示す。エクセルギーの算出に際して、環境温度は298[K]とした。

これらのエネルギー・エクセルギーフローから年間1次エネルギー・エクセルギー消費量を求め、1次エネルギー効率及び1次エクセルギー効率を求めた結果を表13, 図10に示す。商用電源の発電効率は0.382とした。ローエネルギーハウスにおける1次エネルギー効率は0.86、1次エクセルギー効率は0.53であり、従来型住宅や高断熱住宅に比べ非常に効率が高く有効であるといえる。

図11にローエネルギーハウスにおけるエネルギー消費量の内訳を示す。太陽光発電、太陽熱集熱、地下熱、生活排熱を含めた自然エネルギー依存率は0.9であり、太陽光発電、太陽熱集熱、地下熱の構成比はそれぞれ34.2%、25.2%、26.0%である。延床面積当たりの年間購入エネルギー量は $23.8\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{y})$ であり、ドイツ($7.2\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{y})$)、イギリス($46.8\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{y})$)の実施例に匹敵する性能を示していると予測される。

表10 従来型住宅における用途別エネルギー消費量

単位: [GJ/y]						
	照明・動力	調理	給湯	暖房	冷房	合計
灯油	0.0	0.0	17.6	0.0	0.0	17.6
商用電源	10.1	0.0	0.0	41.4	0.0	51.5
都市ガス	0.0	4.7	0.0	0.0	0.0	4.7
大気	0.0	0.0	0.0	28.8	0.0	28.8
合計	10.1	4.7	17.6	70.2	0	102.6

表11 高断熱住宅における用途別エネルギー消費量

単位: [GJ/y]						
	照明・動力	調理	給湯	暖房	冷房	合計
灯油	0.0	0.0	17.6	0.0	0.0	17.6
商用電源	10.1	0.0	0.0	9.2	0.4	19.7
都市ガス	0.0	4.7	0.0	0.0	0.0	4.7
大気	0.0	0.0	0.0	6.4	0.7	7.1
合計	10.1	4.7	17.6	15.6	1.1	49.1

表12 ローエネルギーハウスにおける用途別エネルギー消費量

単位: [GJ/y]						
	照明・動力	調理	給湯	暖房	冷房	合計
商用電源	3.2	0.7	0.4	0.4	0.0	4.7
太陽光発電	8.6	1.8	1.8	4.0	0.0	16.2
太陽熱集熱	0.0	0.0	11.9	0.0	0.0	11.9
地下熱	0.0	0.0	0.0	11.2	1.1	12.3
生活排熱	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	2.2
合計	11.8	2.5	16.3	15.6	1.1	47.3

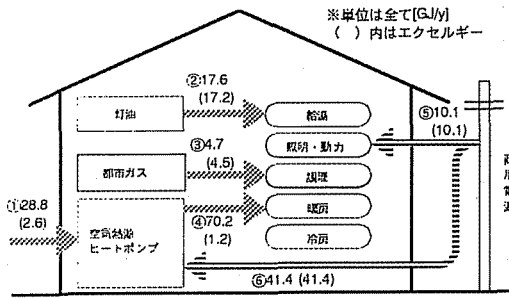


図7 従来型住宅の年間エネルギーフロー及びエクセルギーフロー

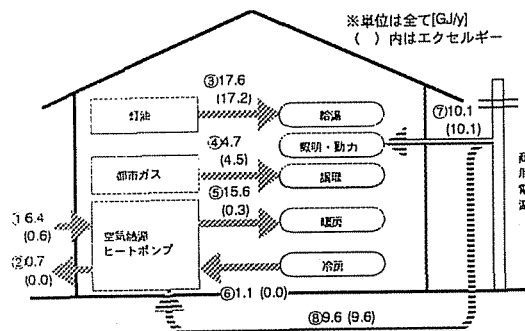


図8 高断熱住宅の年間エネルギーフロー及びエクセルギーフロー

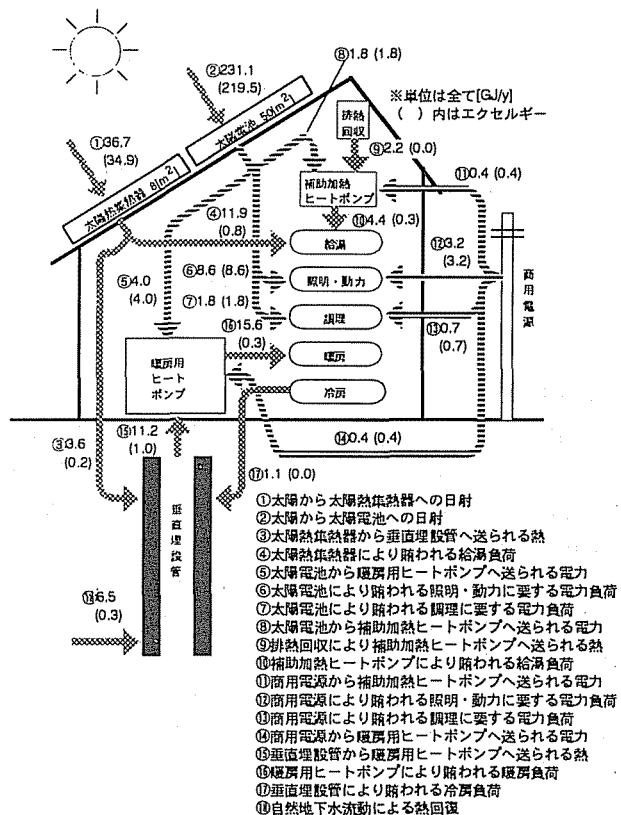


図9 ローエネルギーハウスの年間エネルギーフロー及びエクセルギーフロー

表13 各住宅における1次エネルギー効率及び1次エクセルギー効率

検討対象	年間エネルギー負荷 [GJ/y]	年間1次エネルギー消費量 [GJ/y]	1次エネルギー効率 [-]	年間エクセルギー負荷 [GJ/y]	年間1次エクセルギー消費量 [GJ/y]	1次エクセルギー効率 [-]
従来型住宅	102.6	185.9	0.55	33.0	152.4	0.22
高断熱住宅	49.1	81.0	0.61	32.1	71.3	0.45
ローエネルギーハウス	47.3	54.9	0.86	15.7	29.7	0.53

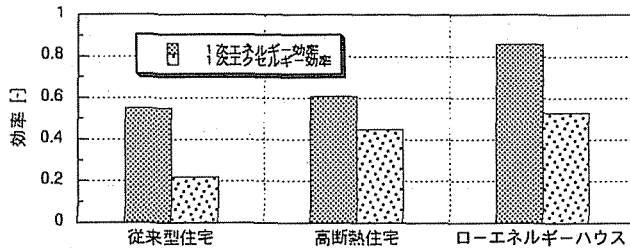


図10 各住宅における1次エネルギー効率及び1次エクセルギー効率

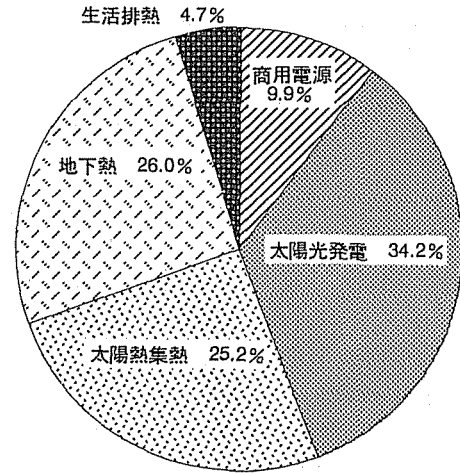


図11 ローエネルギーハウスにおけるエネルギー消費量の内訳

6 まとめ

- (1) ローエネルギーハウスにおける太陽光発電量の解析を行った。太陽電池面積 50 m^2 では年間発電量は約 16.1 GJ 、太陽光発電依存率は約 0.81 となった。
- (2) ローエネルギーハウスにおける太陽熱給湯量の解析を行った。集熱器面積 8 m^2 では年間蓄熱量は約 3.8 GJ 、補助加熱量は約 4.2 GJ 、太陽熱依存率は約 0.74 となった。
- (3) ローエネルギーハウスにおける設備システムの資源性・環境性に関する回収年数を算出した。各システムともエネルギー消費量・二酸化炭素排出量について2年以内という結果であった。
- (4) ローエネルギーハウスにおける設備システムの経済性に関する回収年数を算出した。太陽光発電システムは28年、太陽熱給湯システムは14年、土壌熱源ヒートポンプシステムは18年と厳しい結果となったが、国の普及促進政策等による今後のコストの低減が期待される。
- (5) ローエネルギーハウスにおける1次エネルギー効率は 0.86 、1次エクセルギー効率は 0.53 、自然エネルギー依存率は 0.90 であった。また床面積当たりの年間購入エネルギー消費量は $23.8 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{y})$ であった。

【参考文献】

- 1) 新田桂照ら：アモルファス太陽電池の温度特性の研究と建材一体型モジュールへの応用、電学論B、116-4(1996)、pp489-495
- 2) 空気調和設備委員会住宅の消費エネルギー計算法小委員会：住宅のエネルギー計算用設定条件のモデル化(1996)、空気調和・衛生工学会
- 3) 中村卓司ら：ローエネルギーハウスにおける暖冷房システムの検討、空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会論文集(1997)
- 4) 濱田靖弘ら：ローエネルギーハウスの設備計画、空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会論文集(1997)
- 5) 矢崎総業株式会社：矢崎ソーラーシステム設計施工マニュアル
- 6) 三洋電機株式会社：太陽電池と応用システムについて
- 7) 見目喜重・柳原建樹：戸建住宅の太陽・大気熱活用システムの投入エネルギーおよびCO₂排出量、太陽エネルギー、Vol. 21 No3, pp44-51
- 8) 矢崎総業株式会社：ソーラーコレクターカタログ
- 9) (社) 資源協会編：家庭生活のライフサイクルエネルギー
- 10) 橋本健一：建築設備の環境負荷評価、空気調和・衛生工学会、第70巻第2号、pp23-36
- 11) 地下熱利用委員会：ヒートポンプ熱源利用部会報告書、(1997)、空気調和・衛生工学会
- 12) (財) 経済調査会：積算資料、(1996-10)、p. 32
- 13) 鈴木道哉：産業連関表による建築物のエネルギー消費量と二酸化炭素排出量に関する研究、(1996-3)、博士論文
- 14) 酒井寛二：建築活動と地球環境・建築のライフサイクル環境負荷、理工図書、p. 140
- 15) 落藤登：IEA エネルギー貯蔵に関する活動内容とその周辺の最近の話題、(1996)、(財) ヒートポンプ技術開発センター講演資料
- 16) 西田和宏・赤尾清：札幌における家庭用エネルギー消費に関する実態調査。分析、日本建築学会北海道支部研究報告集、No67(1994-3)、pp. 649-650