



Title	ローエネルギーハウスにおける運転実績とその評価
Author(s)	濱田, 靖弘; 落藤, 澄; 中村, 真人 他
Description	第6回衛生工学シンポジウム (平成10年11月5日 (木) -6日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 2 モデリング・評価 . P2-4
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 6, 43-48
Issue Date	1998-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7319
Type	departmental bulletin paper
File Information	6-2-4_p43-48.pdf



2-4

ローエネルギーハウスにおける運転実績とその評価

濱田靖弘, 落藤 澄, 中村真人, 安孫子雅史, 本間貴大, ○土師範子 (北海道大学)
山崎将吾 (竹中工務店)

1. はじめに

1997年3月にローエネルギーハウスを建設した。本研究は科学技術振興事業団の戦略的基礎研究推進事業における「環境低負荷型の社会システム」研究領域(研究統括:慶應義塾大学 茅 陽一教授)の公募研究プロジェクト「自立型都市をめざした都市代謝システムの開発」(研究代表者:東京農工大学 柏木孝夫教授)に参加して行っており,北海道大学と北海学園大学の11名から成る研究グループ(グループリーダー:北海道大学 落藤 澄教授)によって遂行されている。

2. ローエネルギーハウスの建設

2.1 実験住宅の概要

積雪地における実証実験のため北海道大学大学院工学研究科敷地内にローエネルギーハウスが1996年10月に着工され,1997年3月末に竣工した。写真-1,表-1にそれぞれローエネルギーハウスの外観,住宅仕様を示す。建築面積は,全国の戸建注文住宅の平均に近い64m²である。建物は総地下方式とし,地下部はRC造とした。地下室の約半分は地上に出ており,地下室外壁には,地下部が厚さ100mm,地上部に露出している部分は,厚さ150mmの発泡ポリスチレン板で外断熱を施した。1,2階合計の床面積は128m²,地下室を含めた延床面積は192m²である。本住宅は,断熱パネル工法により建設された高断熱・高气密住宅である。壁,屋根に使用した断熱材は,発泡ポリスチレン板であり,厚さは236mmである。暖房負荷の低減を目的として南面の窓面積はできるだけ大きくとり(面積約21m²),アルゴンガスを封入したLow-Eペアガラス(熱貫流率:1.38W/(m²・℃))を使用している。南面の窓の上部には日除けオーニングを設け,冷房実験開始日(1997年7月13日)から9月12日まで使用した。また,室内には電動カーテンを設置し,設定時刻(1997年6月1日~11月5日:開5:00・閉19:00,11月6日~1998年1月19日:開6:00・閉16:00,1月20日~4月29日:開6:00・閉17:00,4月30日~5月31日:開4:30・閉18:30)に合わせて自動的に開閉を行った。

2.2 設備システムの概要

図-1にローエネルギーハウスに導入した設備システムの概要を示す。暖冷房・給湯設備としては,太陽(ソーラーコレクター),大地(垂直埋設管・水平埋設管)のエネルギーおよび生活排熱(排気熱回収パネル)の活用を考慮している。電気設備については,南側屋根面に太陽電池,および住宅西側に発電容量0.6kWの風力発電機を設置している。

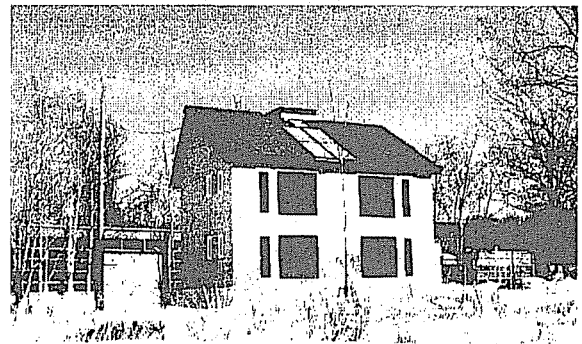


写真-1 ローエネルギーハウスの外観

表-1 住宅仕様

建築年	1997年	
工法	断熱パネル工法	
階数	総2階建ておよび地下室	
延床面積	192m ² (地下室を含む)	
断熱・開口部の仕様	外壁 屋根	発泡ポリスチレン板:236mm
	地下壁	発泡ポリスチレン板:100mm
	窓(南面)	Low-Eペアガラス:21m ² (アルゴンガス封入)
換気方式	居室:自然換気 台所・便所・浴室:強制排気	
熱損失係数	0.97W/(m ² ・℃)	

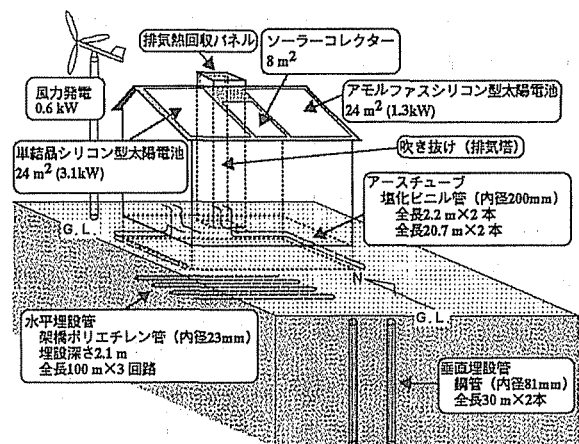


図-1 ローエネルギーハウスの導入設備システム

(1) 暖冷房システム

図-2 に暖冷房設備システムの概要を示す。暖房方式には、土壤熱源ヒートポンプ (Ground Source Heat Pump : GSHP) を採用した。熱源としては、垂直埋設管 (鋼管井戸型) を 2 本敷設した。暖房用ヒートポンプは、定格時消費電力が 0.82kW であり、冷媒は代替フロン R134a を使用している。暖房用温水側には、蓄熱槽を設置している。暖房方式には、床暖房と床置き式パネル暖房を採用しており、床暖房のみ、パネル暖房のみ、併用の 3 通りの運転が可能である。2 階床には約 21℃ の融点を有する潜熱蓄熱材を敷設した。

冷房は、冷凍サイクルを使用しない自然エネルギー利用型とし、垂直埋設管により地下の冷熱を住宅内に導入し、床冷房を行う。

(2) 給湯・蓄熱システム

図-3 に給湯・蓄熱設備システムの概要を示す。給湯は、太陽熱と排気熱回収の併用システムを採用した。ソーラーコレクターは平板型集熱器であり、8m² 設置した。補助加熱のための排気熱回収ヒートポンプの定格時消費電力は約 0.4kW であり、蒸発器は、排気塔頂部の北面に位置するがらりの外側に設置した。ソーラーコレクターを給湯に使用しない場合には、水平埋設管および垂直埋設管を用いた長期蓄熱に利用するものとしている。

(3) 太陽光発電システム

表-2 に太陽光発電システムの仕様を示す。南側の屋根勾配は約 31° である。比較実験のため、特性の異なる 2 種類の太陽電池を敷設している。西側には、単結晶シリコン型太陽電池を 24m² (発電容量 3.1kW)、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を 24m² (発電容量 1.3kW) 設置し、商用電源との系統連系システムとした。

3. 実験概要

3.1 実験計画

(1) 暖冷房

暖房期間は 1997 年 11 月 5 日から 1998 年 4 月 30 日までとし、室内気温が 18℃ を下回った場合に 1, 2 階床への送水を行った。ヒートポンプの運転条件としては、温水側蓄熱槽内の水温が設定値 (1997 年 11 月 5 日~1998 年 1 月 30 日および 3 月 3 日~4 月 30 日 : 30℃, 1998 年 1 月 31 日~3 月 2 日 : 35℃) を下回った場合に運転を行うものとした。また、冷房に関しては、2 階床のみに送水を行い、室内気温 26℃ を設定値とした制御運転 (1997 年 7 月 13 日~7 月 15 日), 9 時~13 時までの 4 時間間欠運転 (1997 年 7 月 22 日~7 月 24 日), 連続運転 (1997 年 7 月 25 日~8 月 12 日) の 3 通りの実験を行った。

(2) 給湯

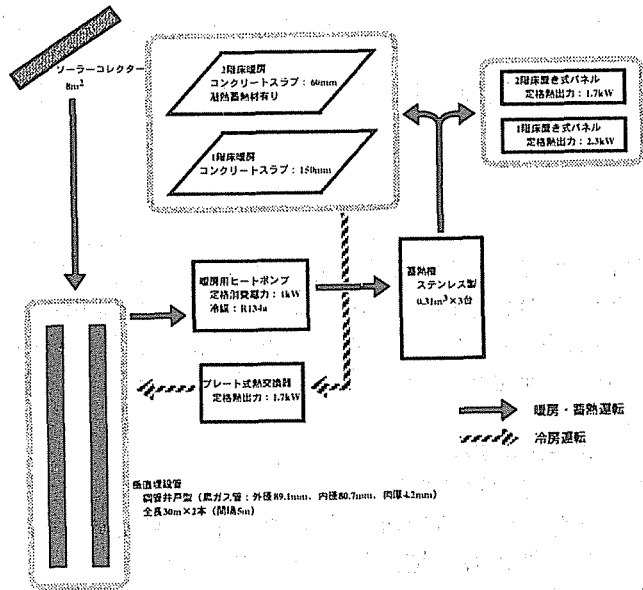


図-2 暖冷房設備システムの概要

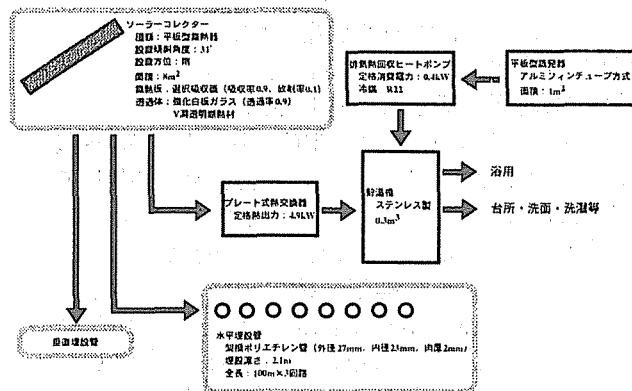


図-3 給湯・蓄熱設備システムの概要

表-2 太陽光発電システムの仕様

太陽電池		
種別	単結晶シリコン (屋根置き型)	3層アモルファスシリコン (建材一体型)
アレイ設置傾斜角度	31°	31°
アレイ設置方位	南	南
モジュール枚数	24 枚 (8 直列 3 並列)	54 枚 (18 直列 3 並列)
面積	24m ²	24m ²
最大出力	3.1kW	1.3kW
変換効率	13%	8%
インバーター		
定格出力	3kW	3kW
電力変換効率	94%	92%
電気方式	単相 2 線式 (単相 3 線式配電線に連系)	

[但し特性値は、AM-1.5, 1kW/m², 25℃の条件に対応]

ソーラーコレクターの集熱特性の把握を目的として、1997年6月7日から7月2日までの26日間は、排気熱回収ヒートポンプは使用せず、貯湯槽内の水温が設定温度(45℃)に到達しない場合も補助加温は行わなかった。7月3日から、排気熱回収ヒートポンプ併用運転を開始した。ソーラーコレクターの運転制御は、日射量、および集熱温度と貯湯槽内水温の差によっている。貯湯槽内の水温の検知は、1日に2回行い、正午の水温が30℃以下の場合、午後6時の水温が45℃以下の場合に、排気熱回収ヒートポンプの運転を開始するものと設定した。また、給湯利用に関しては、初年度は日中の利用は特に行わず、午前3時から4時の間に自動的に排湯・給水を行った。

(3) 太陽光発電

太陽光発電については、1997年6月1日より実測を開始し、2種類の太陽電池の発電特性、光電変換効率について検討を行った。系統連系における発電量と消費電力量の収支に関しては、初年度は居住者なしで実験を行っており、ヒートポンプ、暖冷房および給湯のための熱媒搬送、換気、制御系の消費電力量には実測値を使用し、照明他および調理については、空気調和・衛生工学会空気調和設備委員会の予測プログラム¹⁾により算出した4人家族の電力消費パターンを適用するものとした。

3. 2 測定方法

測定システムは、3種類のデータロガーとそれらを統合的に処理するパーソナルコンピュータによって構成され、住宅東側の観測室内に設置されている。測定項目は、温湿度・日射量・流量・電力量等を含め総計で約230項目におよんでいる。測定データは、5分間毎に記録しているが、昼光、風速、発電量に関しては、測定間隔を30秒として整理を行っている。

4. 実験結果と考察

4. 1 土壌熱による暖冷房と室内気温

(1) 冷房実験

図-4に4時間間欠冷房運転時(1997年7月24日)における水平面全天日射量、外気温および室内温湿度の変動を示す。水平面全天日射量については、実験住宅付近に設置されている国際昼光測定基地²⁾における測定値(時刻別平均値)を用いた。全天日射量の最大値が800W/m²を越える晴天日であり、日中(9:00~17:00)の平均外気温は29.0℃、最高値は30.6℃を記録した。これに対して、日中の平均室温は1階が26.0℃、2階が28.1℃と外気温より低く、良好な冷房効果が得られていると考えられる。

表-3に各冷房実験における代表日の運転実績を示す。室温制御運転、4時間間欠運転、連続運転で、平均土壌放熱率(単位時間・単位埋設管長さ当たりの放熱量)はそれぞれ20.9, 30.3, 18.1W/m、日積算放熱量はそれぞれ37.4, 26.2, 93.7MJであった。また、SCOP [=冷熱取得量/搬送動力]は、それぞれの運転において7.0, 9.1, 5.4となっており、4時間間欠運転時に最も高い値を示した。これらの値は、アメリカ合衆国の環境保護庁(Environmental Protection Agency: EPA)とエネルギー省(Department of Energy: DOE)による省エネルギー政策「Energy Star Residential Heating and Cooling Program」³⁾におけるSCOPの基準値である3.8を大きく上回っている。

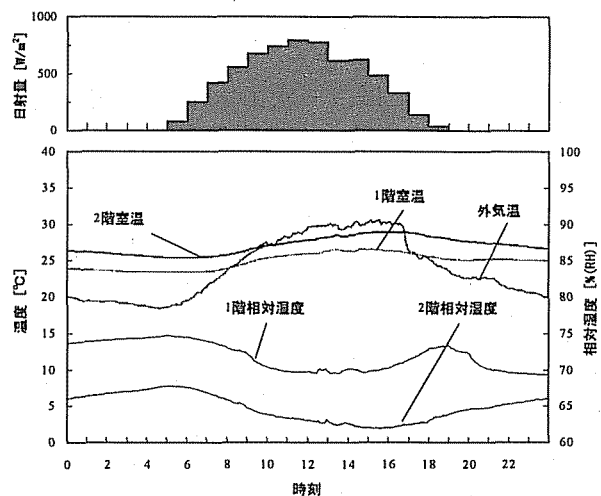


図-4 外界気象および室内温湿度の変動(4時間間欠冷房)

表-3 代表日における冷房運転実績

代表日			7月15日		7月24日		7月28日	
外気温 [°C]	平均	最高	22.4	28.6	23.9	30.6	24.9	29.2
		最低		18.6		18.4		22.7
1階室温 [°C]	平均	最高	23.4	26.6	24.9	26.6	24.2	26.6
		最低		22.2		23.4		22.8
2階室温 [°C]	平均	最高	25.5	27.7	27.1	28.9	25.8	28.1
		最低		24.3		25.4		24.1
平均不凍液温度 [°C]			15.3		15.6		16.0	
平均土壌放熱率 [W/m]			20.9		30.3		18.1	
日積算冷熱取得 [MJ/d]			37.4		26.2		93.7	
冷房時間 [h]			8.3		4.0		24.0	
SCOP [ND]			7.0		9.1		5.4	

(2) 暖房実験

表-4 に暖房期間における運転実績を示す。垂直埋設管における送り・返り平均不凍液温度は 2.1℃、平均土壌採熱率（単位時間・単位埋設管長さ当たりの採熱量）は 40.8W/m であった。また、 COP [=ヒートポンプ熱出力/圧縮機消費電力量]、 $SCOP$ [=ヒートポンプ熱出力 / (圧縮機消費電力量+搬送動力)] は、それぞれ 4.0、3.1 であり、 COP は、低温水床暖房の採用により非常に高い値を示しているものの、搬送動力を含めた $SCOP$ は COP に対して 23%程度低下している。本住宅における期間積算暖房負荷は 20.9GJ であった。図-5 に暖房期間全体における GSHP の COP と次式より計算される一次エネルギー削減率 $(F_i - F_g)/F_i$ の関係を示す。

$$\frac{F_i - F_g}{F_i} = 1 - \eta_b e \left(1 + \frac{E_p}{E_H} \right) \frac{1}{COP}$$

ここで、従来方式としては灯油ボイラー方式による床暖房を想定し、ボイラー効率を 0.75（高位発熱量基準）⁴⁾とした。ヒートポンプ消費電力に対する搬送用消費電力の比 E_p/E_H は、今回の実験条件である 0.24、および搬送系の高効率化を想定した 0.15、0.10 の 3 種類について計算した。図-5 においては、太陽光発電による電力の自給については加味していないが、今回の実験条件における一次エネルギー削減率は、0.337 であり、現状においても省エネルギー性は、極めて高いと考えられる。また、 $E_p/E_H=0.1$ 、 $COP=4.5$ を想定した場合には、一次エネルギー削減率は約 0.48 となり、システム性能の向上により、導入効果はさらに大きくなるものと予測される。

4. 2 太陽熱と排気熱回収による給湯

図-6 にソーラーコレクターの集熱効率特性線図を示す。横軸は集熱効率変数 $\Delta T/I$ であり、集熱面日射強度 I が 630W/m² 以上かつ 5 分間の変動が 50W/m² 以内で、ソーラーコレクター入口集熱媒体温度の変動が $\pm 0.5^\circ\text{C}/\text{min}$ 以内の測定値を採用した (JIS A 1425)。集熱効率の実測値にはばらつきが見られるものの、集熱効率変数が大きくなるに従い、効率が低下するソーラーコレクターの特性が現れている。集熱効率は、カタログ値⁵⁾に対して概ね 10~15%程度低い結果となった。7、9、10月の集熱効率変数は 0.06 以下に集中し、この時、集熱効率は、ほぼ 0.4~0.8 の範囲であった。また、日射強度が比較的安定であった 6、8 月は、集熱効率の値は分散する傾向にあった。

図-7 に給湯システムの年間エネルギーフローを示す。給湯用エネルギー（14GJ）に占める太陽熱および排気回収熱量の割合は、それぞれ 54.3%（7.6GJ）、27.9%（3.9GJ）であった。排気熱回収ヒートポンプの COP は 2.56 と、外気熱源ヒートポンプに対して比較的高い値である。

表-4 暖房期間における運転実績

平均ヒートポンプ稼働時間 [h/d]	12.5
平均外気温 [°C]	1.5
平均室温 [°C]	18.6
平均相対湿度 [% (RH)]	33.1
平均不凍液温度 [°C]	2.1
平均土壌採熱率 [W/m]	40.8
期間 COP [ND]	4.0
期間 $SCOP$ [ND]	3.1

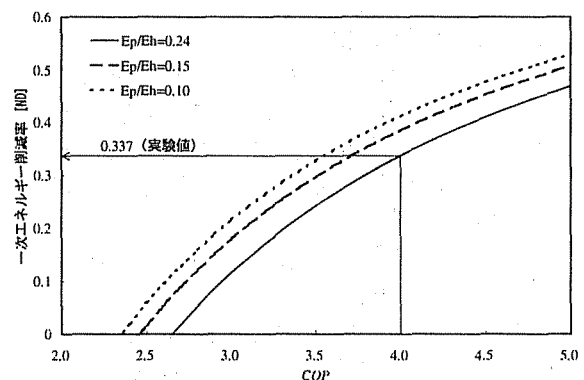


図-5 GSHP の COP と一次エネルギー削減率の関係

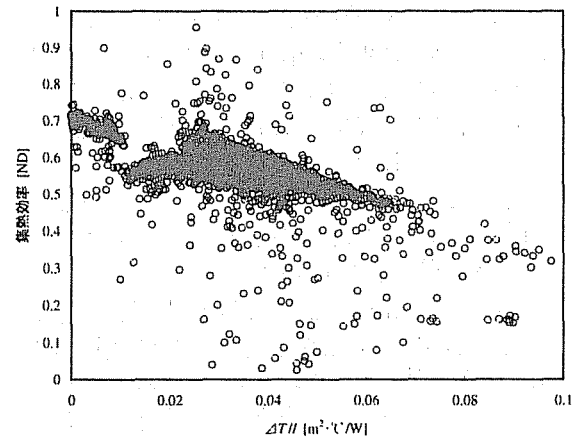


図-6 ソーラーコレクターの集熱効率特性線図

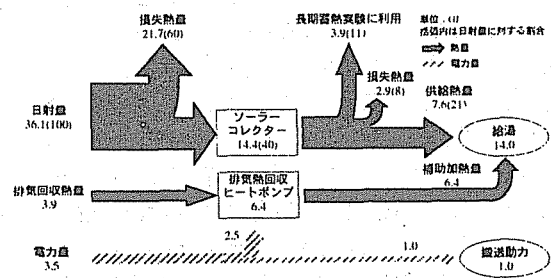


図-7 給湯システムの年間エネルギーフロー

ヒートポンプおよび搬送系による年積算消費電力量の一次エネルギー換算値は 10.0GJ であり、灯油ボイラー方式（ボイラー効率：0.75⁴⁾）による給湯システムと比較した場合の一次エネルギー削減率は、0.47 と高い値であった。しかし、年積算集熱面日射量（36.1GJ）に対して給湯に利用された太陽熱は 21%と低く、長期蓄熱実験に利用した熱量を考慮しても 32%という結果となった。この原因としては、冬期間の積雪の影響（年積算集熱面日射量に対するパネル面積雪時の日射量の割合：約 13%）、排気熱回収ヒートポンプの運転方法等が挙げられる。これらに対策を講じることにより、ソーラーコレクターの稼働率をさらに向上させることは可能であると考えられる。

4. 3 太陽光発電

図-8 に月平均日積算の総交流発電量（単結晶シリコン型とアモルファスシリコン型の合計値）、発電利用量（総発電量のうち 3. 1 (3) による住宅内負荷に直接利用された電力量）、逆潮流・購入電力量、太陽光寄与率および太陽光利用率の月変動を示す。ここで、寄与率と利用率の定義は、図の上部に示している。単結晶シリコン型太陽電池の年間の光電変換効率率は 0.10、アモルファスシリコン型については 0.05 であった。逆潮流を考慮した場合の太陽光寄与率は、5 月が最も大きく 1.40 であったが、冬期間はソーラーコレクターと同様に積雪の影響を受けており、寄与率は非常に小さい値となっている。いずれの太陽電池においても、おおむね 1997 年 12 月上旬から翌年 2 月中旬までパネル面が積雪に覆われていたが、この期間のパネル面日射量は、年積算値の 11%程度である。年積算発電量は 13.9GJ、太陽光利用率は 0.47 であった。また年間の太陽光寄与率は、逆潮流なしでは 0.25、逆潮流を考慮した場合は 0.54 となった。

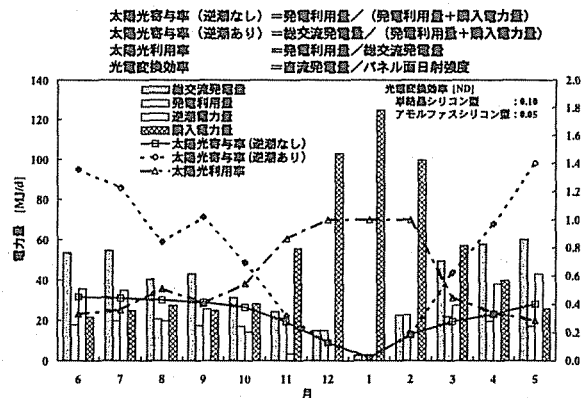


図-8 太陽光発電の運転実績

4. 4 年間エネルギー収支

表-5 にローエネルギーハウスにおける年間エネルギー利用量を示す。表中の搬送は暖冷房および給湯における熱媒搬送動力、制御は各種設備システムを作動させるための制御機器に用いられる電力量である。ただし、4. 2において長期蓄熱実験に利用した太陽熱と搬送動力については、今回は評価対象に加えていない。本研究においては、商用電源の利用量の合計値は、各用途の総計から太陽光発電による逆潮流分を差し引くことによって算出した。ローエネルギーハウスにおける年間の電力利用量の合計値は 25.61GJ であり、そのうちの 54%を占める 13.86GJ が太陽光発電により賄われる。年間総エネルギー利用量は 57.7GJ であった。エネルギー利用の構成割合は、商用電源、自然エネルギー、生活排熱で、それぞれ 20%、73%（太陽光発電：24%、太陽熱集熱：13%、土壤熱：36%）、7%であり、土壤熱利用の効果が非常に大きい結果となっているのが特徴である。札幌における従来型住宅の年間二次エネルギー消費量の合計値（93.8GJ）に対して、ローエネルギーハウスの年間購入電力量は 12.5%と非常に小さくなっているものの、逆潮流への依存度が大きく、今後は、暖冷房・給湯のための熱媒搬送系の高効率化等を含めた省電力化の方策について検討していく必要があると考えられる。

表-5 年間エネルギー利用量の内訳

	照明他	調理	給湯	暖房	冷房	搬送	制御	逆潮流	計[GJ/a]
商用電源	6.85	0.99	2.50	6.04	0.00	2.06	0.71	-7.40	11.75
太陽光発電	3.19	1.38	0.00	0.00	0.00	1.41	0.48	+7.40	13.86
太陽熱集熱	0.00	0.00	7.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.55
土壤熱	0.00	0.00	0.00	19.22	1.47	0.00	0.00	0.00	20.69
生活排熱	0.00	0.00	3.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.85
計[GJ/a]	10.04	2.37	13.90	25.26	1.47	3.47	1.19	0.00	57.70

表-6 住宅性能と設備構成の各種設定条件

住宅	住宅性能	設備構成				
		電力	調理	給湯	暖房	冷房
A	従来型	商用電源	ガス方式	灯油式	灯油式	なし
B	従来型	商用電源	ガス方式	太陽熱+排熱回収	灯油式	なし
C	従来型	太陽光発電(3.1kW)	ガス方式	太陽熱+排熱回収	灯油式	なし
D	従来型	太陽光発電(4.4kW)	電気方式	太陽熱+排熱回収	土壌熱源ヒートポンプ	なし
E	高断熱化+窓面積大	商用電源	ガス方式	灯油式	灯油式	クーラー
F	高断熱化+窓面積大	商用電源	ガス方式	太陽熱+排熱回収	灯油式	クーラー
G	高断熱化+窓面積大	太陽光発電(3.1kW)	ガス方式	太陽熱+排熱回収	灯油式	クーラー
H	高断熱化+窓面積大	太陽光発電(4.4kW)	電気方式	太陽熱+排熱回収	土壌熱源ヒートポンプ	土壌冷熱利用

図-9 に表-6 の各種設定条件における年間一次エネルギー消費量の比較を示す。住宅性能は、モデル A~D は従来型の断熱仕様とし、モデル E~H はローエネルギーハウスと同等の性能とした。設備構成に関しては、今回導入した設備システムとの従来方式の組み合わせであり、モデル H がローエネルギーハウスに相当する。ただし、電気設備については、モデル C, G には単結晶シリコン型太陽電池 24m² (発電容量 3.1kW) の発電量の実測値を適用し、モデル D, H には、アモルファスシリコン型太陽電池の発電量を加えた値を用いている。また、モデル E~G の高断熱住宅の冷房はクーラー (COP : 2.6⁶⁾) を利用するものとした。給湯、電気、暖冷房設備を自然エネルギー利用型に置換していくに従い、一次エネルギー消費量の削減効果は大きくなっているが、設備構成の等しいモデル D と H を比較すると、建物の断熱性能の相違により、一次エネルギー消費量および二酸化炭素排出量に大きな差が見られる。モデル A (従来型住宅) の値を 100%とした場合、高断熱化、窓からの太陽熱 (モデル E) により 82%、さらに太陽熱給湯の採用 (モデル F) により、72%まで低下している。また、太陽熱給湯と太陽光発電の両者を導入した場合 (モデル G) には、49%となる。モデル H (ローエネルギーハウス) の年間一次エネルギー消費量は 33.5GJ であり、従来型住宅と比較した場合の一次エネルギー削減率は 71%となった。

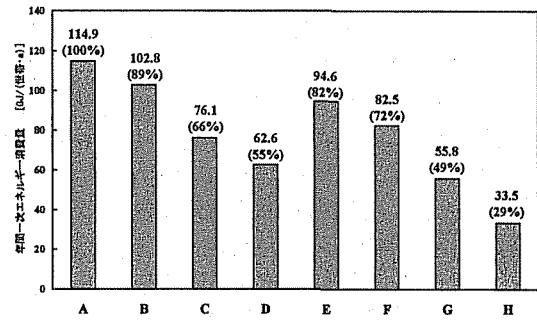


図-9 年間一次エネルギー消費量の比較

5. まとめ

- 1) 4 時間間欠冷房実験の SCOP は 9.1, 土壌熱源ヒートポンプ暖房の期間 COP は 4.0 であった。また、従来方式と比較した場合の暖房システムの一次エネルギー削減率は 0.337 であった。
- 2) ソーラーコレクターの年間の集熱効率は 0.40 であった。また、給湯用エネルギーに占める太陽熱および排気回収熱量の割合は、それぞれ 54.3%, 27.9%であった。
- 3) 単結晶シリコン型太陽電池の年間光電変換効率は 0.10, アモルファスシリコン型は 0.05 であった。年積算発電量は 13.9GJ であり、年間の太陽光寄与率 (逆潮あり) は 0.54 となった。
- 4) エネルギー利用の構成割合は、商用電源、自然エネルギー、生活排熱で、それぞれ 20%, 73% (太陽光発電 : 24%, 太陽熱集熱 : 13%, 土壌熱 : 36%), 7%であり、土壌熱利用の効果が非常に大きい結果となった。また、年間購入エネルギー量は、従来型住宅の 12.5%であった。
- 5) 年間一次エネルギー消費量は 33.5GJ であり、従来型住宅と比較した場合の一次エネルギー削減率は 71%となった。

【記号】

COP : 成績係数[ND], E_H : ヒートポンプ消費電力[W], E_s : 搬送用消費電力[W], e : 一次エネルギー換算係数[W/W], F_s : 土壌熱源ヒートポンプの一次エネルギー消費量[J], F_r : 従来方式の一次エネルギー消費量[J], I : 集熱面日射強度[W/m²], SCOP : システム成績係数[ND], ΔT : 集熱媒体温度と外気温の差[°C], η_s : ボイラー効率[ND]

【謝辞】

実験住宅の建設と評価にあたり、株式会社藤原環境科学研究所代表取締役の藤原陽三氏、清水建設株式会社技術研究所の中村卓司氏、新菱冷熱工業株式会社中央研究所の岡田勝行氏、勝田博氏、樋口修二氏、北海道電力株式会社総合研究所等に多大なご協力をいただきました。施工にあたっては、三井ホーム株式会社札幌支店、株式会社竹中工務店北海道支店にご尽力いただきとともに、システムの導入に関し、多くの会社にご協力をいただきました。ここに謝意を表します。本研究は、平成 7 年度科学技術振興事業団戦略的基礎研究推進事業における「環境低負荷型の社会システム」研究領域 (研究統括: 慶應義塾大学 茅 陽一教授) の公募研究「自立型都市をめざした都市代謝システムの開発」(研究代表者: 東京農工大学 柏木孝夫教授) による。

【参考文献】

- 1) 空気調和設備委員会住宅の消費エネルギー計算小委員会: 住宅のエネルギー計算用設定条件のモデル化(1996-10), 空気調和・衛生工学会
- 2) 中村真人・藤原 澄ら: 国際標準データ作成のための日光と日射の測定および解析 (第 1~6 報), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1992~1996)
- 3) 村越千春: 諸外国の省エネルギー政策, IBEC, No.106(1998-5), pp.62~65
- 4) 空気調和・衛生工学会: 空気調和・衛生工学便覧, 第 12 版 2(1995), pp.239~266
- 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(1994-8), pp.1~23
- 6) 藤原 澄: 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, (財)ヒートポンプ技術開発センター報告書(1996)