



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	積雪寒冷地におけるエネルギー自立化住宅に関する研究：太陽・大気・大地の複合利用設備の導入効果
Author(s)	落藤, 澄; 長野, 克則; 持田, 徹 他
Description	第4回衛生工学シンポジウム（平成8年11月7日（木）-8日（金） 北海道大学学術交流会館） . 3 計画展望、モデリング . P3-9
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 4, 137-142
Issue Date	1996-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7839
Type	departmental bulletin paper
File Information	4-3-9_p137-142.pdf



3 - 9

積雪寒冷地におけるエネルギー自立化住宅に関する研究
—太陽・大気・大地の複合利用設備の導入効果—

落藤 澄, 長野克則, 持田 徹, 横山真太郎, 中村真人, 嶋倉一實 (北海道大学)
中村卓司 (清水建設 (株))
濱田靖弘, 久光宏信, 山中宏之, ○山崎将吾, 藤田佳子 (北海道大学)

1. はじめに

自然エネルギーや生活排熱のリサイクルを利用した住宅におけるエネルギー自給の試みについては、従来から多くの研究あるいは実施例があるものの、その設計手法やデータの蓄積が体系的に成されているとは言えず、一般への普及段階には達していない。本研究は、人間の最小の生活基盤である独立住宅におけるエネルギーシステムの将来のあり方について検討を行うものであり、積雪寒冷地のエネルギー自立化住宅を目指したローエネルギーハウスの設計手法を構築するとともに、北海道大学工学部敷地内における実験住宅の建設計画とその経過について報告を行う。

2. エネルギー自立化住宅とは

住宅で消費する各種エネルギーを最小化するローエネルギーハウスの建設は、エネルギー自立化住宅の第一歩である。大地のエネルギーに着目することにより、年間のサイクルを考慮した新しいエネルギーシステムの構築が可能であると考えられる。住宅内における電力負荷は、太陽光発電システムにより賄い、電力生産の過不足は商用電源との双方型のネットワーク利用により対応する。また、暖冷房、給湯は、駆動力として電気を利用し、自然エネルギー及び生活排熱を最大限に活用し、長短期サイクルの蓄熱を利用することによって、究極の省エネルギーを達成することを目標としている。

2.1 設計フロー

図-1にローエネルギーハウスの計画手順を示す。まず、諸条件の設定を行い、パッシブな省エネルギー効果について検討する。建設地点の外界気象条件、地下熱環境等のデータベースを利用して、利用可能な自然エネルギーの選定とその賦存量の評価を行うとともに、長短期蓄熱の媒体としての大地の熱性状、容量を算定する。次に、暖冷房負荷の計算を行い、消費エネルギー量の設定と建設のための初期投資の算定を行う。パッシブ手法で賄いきれない負荷については、太陽熱給湯システム、土壌熱源ヒートポンプ暖冷房システム等の適正導入規模の検討を行い、アクティブ手法導入のための設備系の初期投資を算定する。さらに、年間エネルギー消費量のシミュレーションを行い、初期投資償却年数、1次エネルギー削減効果、環境排出抑制効果等の指標より、計画の採否を判断する。

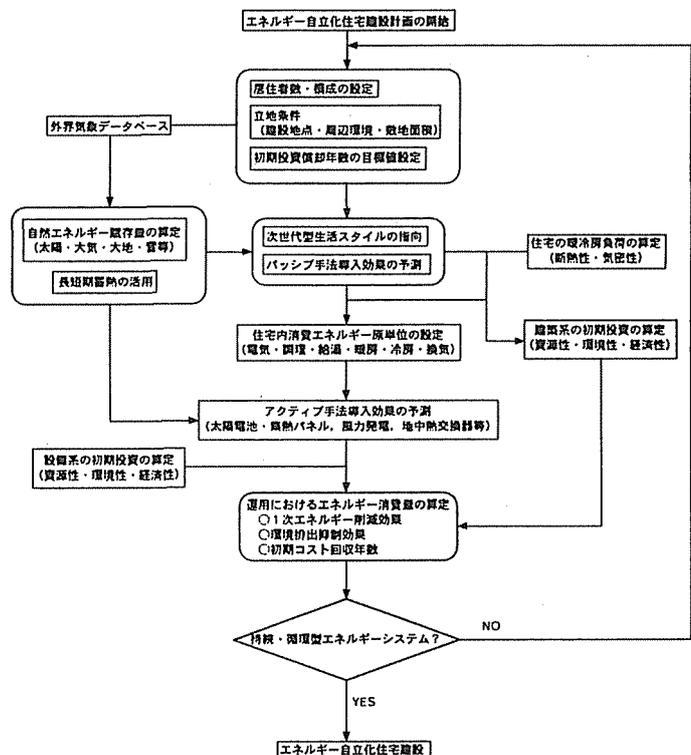


図-1 エネルギー自立化住宅の計画フロー

2. 2 導入手法

表-1にエネルギー自立化住宅における導入手法の概要を示す。太陽エネルギーの活用については、暖房のためのパッシブ手法、太陽電池・太陽熱集熱器利用のアクティブ手法があるが、気象条件や住宅の形態により利用条件が左右される。また、風力発電も検討の対象とする。暖冷房については、パッシブ手法、生活排熱利用と土壌への季節間蓄熱の活用について検討する。

図-2、図-3に暖房と冷房の設備システムの概念図を示す。暖房においては、南面開口部よりのダイレクトゲイン、躯体への蓄熱（潜熱蓄熱材の導入を含む）及び生活排熱を積極的に利用するとともに、地下室、垂直埋設管により大地の蓄熱効果を利用する。換気のための導入外気はアースチューブによって予熱を行う。冷房においては、冷凍サイクルを使用しない自然エネルギー利用型システムとし、夏期の余剰冷房排熱を、大地に長期蓄熱する。換気のための導入外気はアースチューブによって予冷を行う。

表-1 エネルギー自立化住宅における導入手法の概要

消費エネルギー分類	環境負荷低減手法	エネルギー	年間サイクル	手法・システム	コンセプト
照明・動力	省エネ家電機器 自然採光	太陽 大気（風） 商用電源		太陽光発電 風力発電 系統連系	屋根面等へ設置した太陽電池・風力発電装置により、住宅の電力消費を賅うと同時に、系統連系を採用する。調理は、電力のみを使用するものとする。
調理					
給湯	型節水型シャワー	太陽 大気 生活排熱		太陽熱集熱器 ヒートポンプ熱回収（生活排水・冷蔵庫、食品保冷室）	太陽熱給湯システムを採用し、補助熱源は、生活排水・冷蔵庫とする。
暖房	断熱・気密 開口部の調節 躯体熱容量の向上	太陽 土壌 生活排熱	土壌への季節間蓄熱 （土壌温熱の利用）	パッシブ暖房（PCM含む） ヒートチューブ ヒートポンプ熱回収（生活排水・土壌）	ダイレクトゲイン等のパッシブ手法、生活排熱のリサイクル、土壌の季節的エネルギー循環の利用により暖房負荷を賅う。
冷房		大気 土壌 雪	土壌への季節間蓄熱 （土壌冷熱の利用）	クールチューブ 自然循環型冷房（土壌）	自然通風、土壌の季節的エネルギー循環の利用により冷房負荷を賅う。
換気	通風計画	大気 土壌	土壌への季節間蓄熱	自然換気	適切な通風経路を確保した自然換気とするが、土壌熱を利用した外気予熱（冷）を行う。

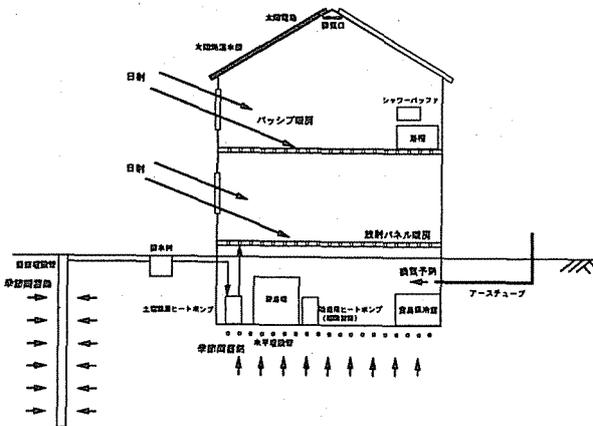


図-2 設備システムの概念図（暖房）

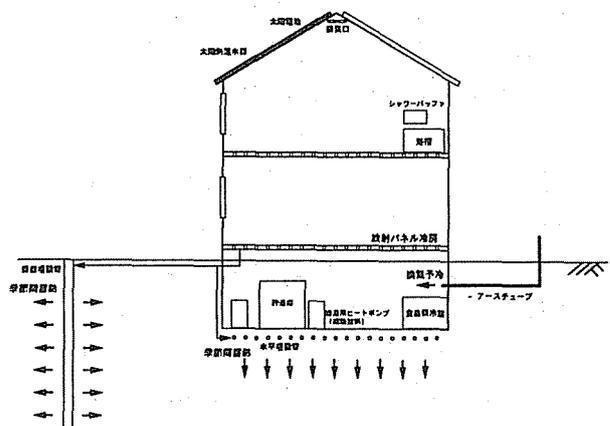


図-3 設備システムの概念図（冷房）

3. 自然エネルギー賦存量の算定

3.1 太陽エネルギー

著者等¹⁾は、札幌における日射量の測定をIDMP（国際屋光プログラム）に基づき、1991年より行っている。表-2に1991～1994年の各方位面別・傾斜角別の年積算日射量の平均値を示す。傾斜角0°と90°の値は実測値であり、15°～75°の値は、直散分離モデルにより推定した。南面の傾斜角30°における年積算日射量は、1303kWh/(m²・a)であり、これは日本の平均的家庭が1年間に消費する電力量の約1/3～1/2である。他の方位角については、西・東面は南面の約9%減、北面は約33%減となっている。

3.2 大気・大地のエネルギー

1994年秋に、札幌市中央区に深さ20m規模の土壌温度測定基地を設置し、測定を開始した²⁾。表-3に一年目の測定結果を示す。外気温が0℃を下回る冬期間においても地表面温度は0℃以上を維持しており、これは積雪による地下の保温効果であると言える。1月における深さ1m、2mの温度は、それぞれ4.2、7.8℃であり、地下室、水平型地中熱交換器、アースチューブ換気の省エネルギー効果が期待できる。深さ10m地点は、本測定基地における不圧地下水位であり、温度の年間変動は極めて小さく、年平均値（不易層温度）は約10.4℃であった。

表-2 札幌における各方位面別・傾斜角別の年積算日射量
(測定期間:1991～1994年)

方位	南	西・東	北
傾斜角0°	1240	1240	1240
傾斜角15°	1291	1218	1072
傾斜角30°	1303	1174	897
傾斜角45°	1270	1111	743
傾斜角60°	1192	1032	612
傾斜角75°	1078	943	513
傾斜角90°	933	849	444

単位[kWh/m²・a]

表-3 外気温、風速、土壌温度の測定結果

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均	
外気温(°C)	-3.5	-2.8	0.5	6.8	12.9	15.4	21.1	20.8	16.7	12.4	4.1	-1.9	8.5	
風速(m/s)	2.8	2.4	2.7	3.4	3.2	2.8	2.3	2.2	2.4	2.2	2.7	2.4	2.6	
土壌温度(°C)	0m	0.2	0.0	0.9	7.3	14.0	18.1	22.5	22.0	17.7	12.5	4.2	0.8	10.0
	1m	4.2	3.2	2.6	4.5	9.5	13.2	16.5	19.2	18.4	15.1	10.1	6.0	10.2
	2m	7.8	6.5	5.6	5.4	7.5	10.0	12.3	15.3	16.2	14.9	12.5	9.8	10.3
	5m	11.4	10.8	10.2	9.6	9.1	9.1	9.2	9.8	10.6	11.3	11.5	11.7	10.4
	10m	10.6	10.6	10.6	10.7	10.6	10.5	10.2	10.1	10.1	10.2	10.2	10.4	10.4

測定期間: 1994年11月～1995年10月
*: 札幌管区気象台による測定値

4. アクティブ手法の導入効果

4.1 太陽光発電システム

図-4に太陽光発電システムの概念図を示す。太陽電池により生成する直流電流をインバーターにより交流に変換し、家庭内の電力負荷を賄う。太陽エネルギーが豊富に得られる時期においては、余剰電力をネットワークに供給し、生成電力が不足した場合には、逆にネットワークより電力供給を受ける。表-4に、3.1の日射量測定値を用いて算出した南面傾斜角30°における各種太陽電池の月別日平均発電量の予測値を示す。各太陽電池の光変換効率は、年間を通じて一定と仮定し、単結晶型、多結晶型、アモルファス型で、それぞれ10.5%、9%、6%として算出している。一年を通じて5月が最も発電量が多く、単結晶型で544Wh/(m²・d)である。年平均発電量は、単結晶型、多結晶型、アモルファス型で、それぞれ374、321、214Wh/(m²・d)であった。年間3MWhを太陽電池によって賄うとした場合に必要となるセル面積は、単結晶型、多結晶型、アモルファス型で、それぞれ、約22、26、38m²という結果となった。

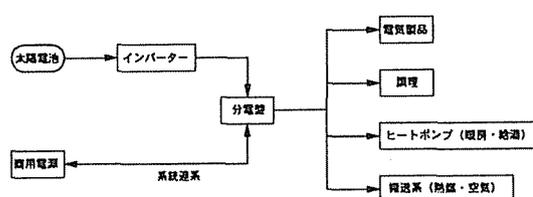


図-4 太陽光発電システムの概念図

表-4 南面傾斜角30度における各種太陽電池の月別日平均発電量

	単結晶型	多結晶型	アモルファス型
1月	235	201	134
2月	290	249	166
3月	419	359	239
4月	462	396	264
5月	544	466	311
6月	518	444	296
7月	507	435	290
8月	464	397	265
9月	376	323	215
10月	304	260	173
11月	199	171	114
12月	174	149	99
平均	374	321	214

単位[Wh/m²・d]

4. 2 太陽熱給湯システム

図-5に太陽熱給湯システムの概念図を示す。冬期間の凍結防止のため、熱媒に不凍液を用いる強制循環型間接集熱開放システムを採用する。それほど高温を必要としない厨房、洗濯、洗面等は太陽エネルギーのみで賄うものとし、太陽エネルギーが不足する冬期の浴用については、生活排熱・大気・大地を熱源としたヒートポンプによって補助加熱する。図-6に、南面傾斜角30°に真空ガラス管型、平板型太陽熱温水コレクターを10m²設置した場合の集熱量の年間変動を示す。1日の集熱開始温度は水道水温度とし、給湯温度は45℃、貯湯槽容量は500ℓとした。図中、余剰集熱量は、45℃達成後の集熱量であり、地下蓄熱が可能である。貯湯槽内温度が45℃に到達しない場合には、浴用の300ℓのみ補助加熱を行うものとした。その際の必要熱量が図中の不足熱量で示されている。最も効率の良い真空ガラス管型においても、12月には平均で約8kWh/dの不足が生じている。不足熱量の年平均値は、真空ガラス管型で980kWh、平板型（断熱材あり）で1390kWhとなった。真空ガラス管型の製造コストは、平板型の約4倍であり、高々45℃程度の温水を得ることが目的であれば、平板型でも十分であると言える。夏期に発生する余剰熱量の長期地下蓄熱の効果については、今後、詳細なシミュレーションを行う予定である。

4. 3 土壌熱源ヒートポンプ

暖冷房システム

1993年12月10日から1995年9月30日までの約2年間にわたり、暖冷房のための地下熱利用の有効性を実証するための採熱・放熱試験を行った³。実験には3種類の垂直型地中熱交換器を使用しており、形状は鋼管井戸型、U字管型、ダブルU字管型で、いずれも深さ30m規模である。図-7、図-8にそれぞれヒートポンプ暖房時の採熱率、パンプ冷房時の放熱率を示す。これらの実験により、鋼管井戸型の場合には、暖房

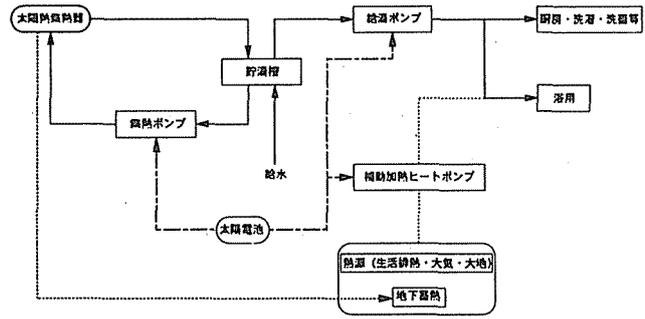
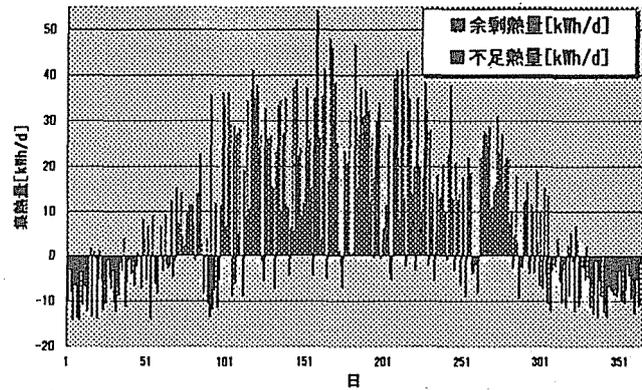
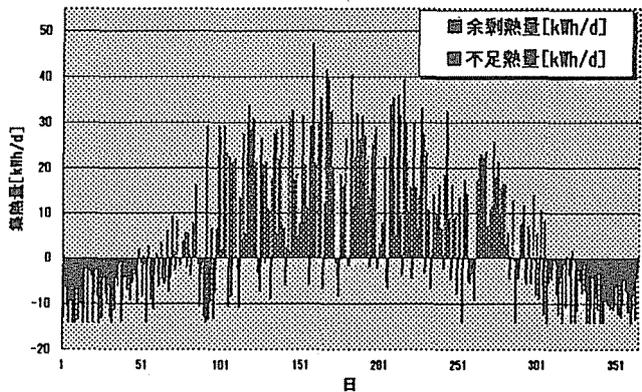


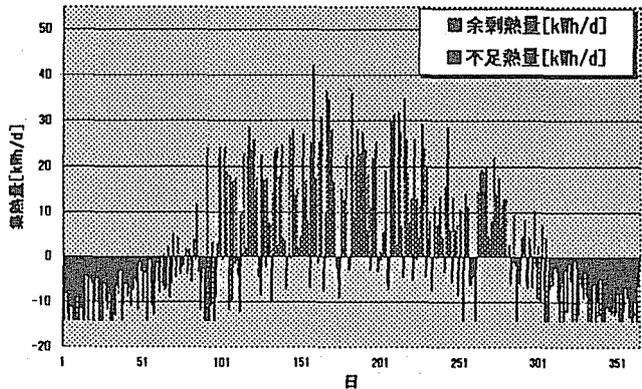
図-5 太陽熱給湯システムの概念図



(a)真空循環型



(b)平板型（強化白板ガラス3mm 及びV溝透明断熱材）



(c)平板型（強化ガラス3mm）

図-6 太陽熱集熱器10m²による集熱量の年間推移（南面、傾斜角30度）

のための採熱量原単位として約35W/m, 冷房のための放熱量原単位として約18W/mを得た。

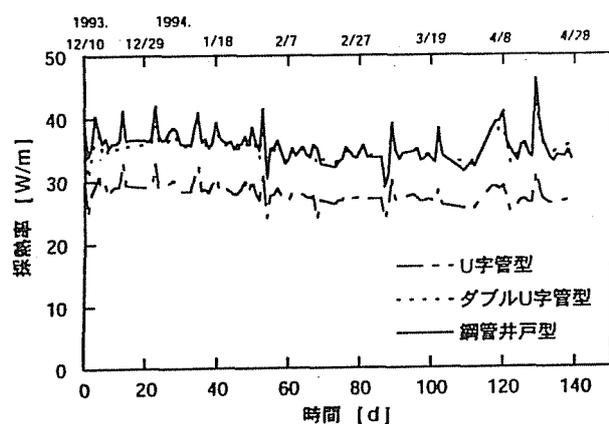


図-7 採熱率の経時変化 (ヒートポンプ暖房時)

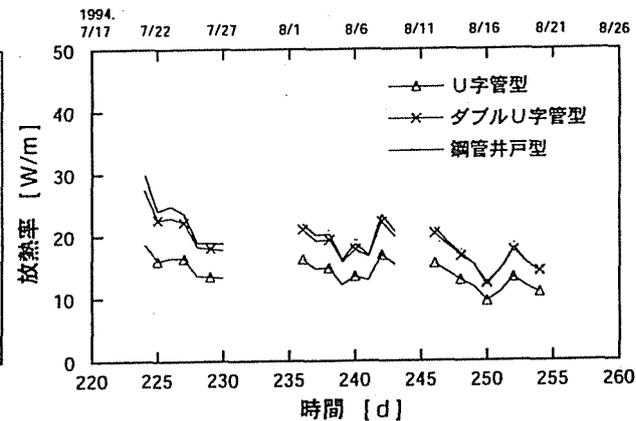


図-8 放熱率の経時変化 (パッシブ冷房時)

5. エネルギー自立化住宅の建設計画

5.1 エネルギー消費原単位の設定

表-5に札幌における戸建住宅のエネルギー消費量⁴を示す。世帯当たりの年間総エネルギー消費量は約28.5MWhであり、そのうち、灯油消費量は約81.2%を占めている。用途別に見ると、暖房用エネルギー消費量が約68.5%であり、建物の断熱性能の向上とパッシブ手法の積極的導入による暖房負荷の軽減が、省エネルギーに最も効果的であると言える。このような現状を踏まえて、本研究では、用途別エネルギー消費量の目標値を表-6のように設定した。まず、暖房負荷を従来型住宅の約1/4である5000kWhまで低減させることを目標とし、太陽電池駆動型土壌熱源ヒートポンプシステムにより、負荷を賄うものとする。また、調理は節電型調理器の使用を前提とし、従来型住宅の1/2である600kWhに抑えることとする。照明・動力は、従来並みの数値目標を掲げているが、これは、アクティブ手法の導入による熱媒搬送動力の増分としての1000kWhを含んでおり、省エネ家電製品の導入、省エネルギー型生活スタイルの検討により、目標値を達成するものとする。給湯については、今回は、従来並の数値を与えているが、これについては、熱的、質的な給湯リサイクルシステムの構築が必要であり、今後の検討課題としている。世帯当たりの年間総エネルギー消費量は13.6MWhであり、従来型住宅の半分以下となっている。電気消費量の5900kWhは太陽光発電、風力発電の自然エネルギー利用と商用電源により賄うものとする。

表-5 用途別エネルギー消費量 (従来型住宅)

	単位 [kWh/(世帯・a)]					
	照明・動力	調理	給湯	暖房	冷房	計 [kWh/a]
灯油	0	0	3916	19236	0	23152
電気	2820	10	315	165	6	3316
都市ガス	0	602	377	43	0	1022
LPG	0	634	245	1	0	880
その他 (自然エネルギー含む)	0	0	48	78	0	126
計 [kWh/a]	2820	1246	4901	19523	6	28496

* 北海道電力(株)総合研究所
調査期間: 平成元年6月~平成2年5月

表-6 用途別エネルギー消費量 (エネルギー自立化住宅)

	単位 [kWh/(世帯・a)]					
	照明・動力	調理	給湯	暖房	冷房	計 [kWh/a]
灯油	0	0	0	0	0	0
電気 (太陽電池)	2800	600	700	1800	0	5900
都市ガス	0	0	0	0	0	0
LPG	0	0	0	0	0	0
その他 (自然エネルギー含む)	0	0	3800	3400	500	7700
計 [kWh/a]	2800	600	4500	5200	500	13600

5.2 建設計画

図-9に実験住宅の平面図を示す。住宅は、総地下室を有する木造2階建てとし、建築面積は約77m², 延床面積は約196m²である。工法は、2×4工法であり、断熱材一体型外壁材・屋根材には、省資源・省エネルギー型で、かつ工期が短く、低コスト

が期待できる断熱材サンドイッチパネルを用いる。実験住宅の仕様を表-7に示す。断熱材はポリスチレンフォームを使用し、外壁に対して235mm、屋根に対して400mmとする。南面には、約20m²の窓（ダブルLOW-Eガラス）を設ける。また、住宅の熱容量の向上を図るため、地下室はRC造とし、1階床には、厚さ150mmのスラブを設け、スラブ内に20℃前後で相変化する潜熱蓄熱材を埋め込む。

南面傾斜角30°の屋根には多結晶シリコン太陽電池を60m²設置する。3.1及び4.1より、年間約7MWhの発電が期待される。これは、表-6の電気消費量を充分満足する値である。

太陽熱温水コレクターは平板型とし、10m²設置する。冬期間の凍結防止のため、不凍液間接集熱を行うものとする。4.2より、年間給湯負荷の70%はコレクターにより直接賄うことが可能であり、残りの30%はコレクターによる余剰集熱量の長短期的な地中蓄熱及び回収により賄うものとする。

地中熱交換器は、垂直型として深さ30m、80Aの鋼管井戸型を3本、水平型として深さ2.3m地点に20A架橋ポリエチレン管をピッチ20cmで設置する。暖房時間を2500h、冷房時間を700hとした場合の垂直型の暖房・冷房能力は、4.3より、それぞれ約8MWh、1MWhであり、表-6における暖冷房用必要自然エネルギー量を充分上回る数値である。

実験住宅は、北海道大学工学部敷地内に建設中であり、竣工は1996年12月初旬を予定している。

6. おわりに

本報では、積雪寒冷地におけるエネルギー自立化住宅の計画手順、導入手法について述べるとともに、利用可能な自然エネルギーの賦存量と、アクティブ手法の導入効果を数値的に示した。また、北海道大学工学部敷地内における実験住宅の建設について、その途中経過を報告した。

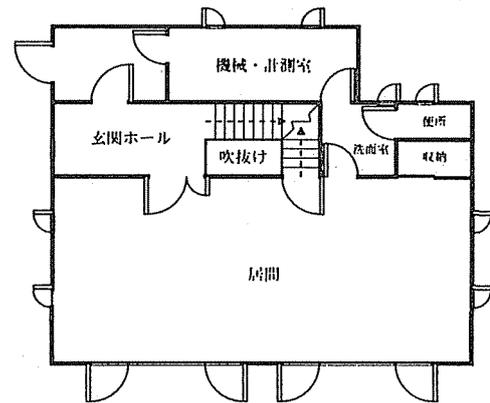
謝辞

本研究の遂行にあたっては、(株)藤原環境科学研究所の藤原陽三所長、北海道大学工学部建築工学科の荒谷登教授、絵内正道助教授、北海学園大学工学部建築学科の谷口博教授、佐々木博明教授の御協力を得ました。ここに謝意を表します。

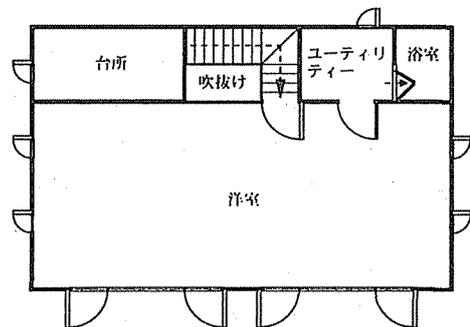
本研究の一部は平成7年度科学技術庁戦略的基礎研究推進事業研究領域“環境低負荷型の社会システム 自立型都市を目指した都市代謝システムの開発”(研究代表者:東京農工大学柏木孝夫教授)による。

参考文献

- 1) 落藤澄ら: 国際標準データ作成のための昼光と日射に関する測定および解析(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)
- 2) 落藤澄ら: 札幌における自然気候下の土壌温度の実測(第1~3報), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1995~1996)
- 3) 落藤澄ら: 垂直埋設U字管を用いた地中蓄熱型冷暖房システムの実験と解析, 空気調和・衛生工学会論文集, No.61(1996-4), pp.45~55
- 4) 土井總: 集合住宅における暖房エネルギー, 外断熱ニュース



1階平面図



2階平面図

図-9 実験住宅の平面図

表-7 実験住宅の仕様

	仕様
断熱性能	外壁 ポリスチレンフォーム235mm 屋根 ポリスチレンフォーム400mm
開口部	ダブルLOW-Eガラス3+12A+3mm (熱貫流率1.7W/(m ² ·K)) 日射遮蔽
蓄熱床	コンクリートスラブ150mm (PCM埋め込み)
太陽電池	多結晶 60m ² 南面傾斜角 30°
太陽熱温水コレクター	平板型(不凍液循環) 10m ² 貯湯容量 500ℓ
地中熱交換器	垂直埋設型 鋼管井戸(口径80A, 深さ30m) × 3本
	水平埋設型 架橋ポリエチレン管(口径20A, ピッチ20cm) 埋設深さ2.3m, 全長100m × 3回路