



Title	住宅の改修および新築による省エネルギーに関する実測と評価
Author(s)	濱田, 靖弘; 窪田, 英樹; 中村, 真人 他
Description	第9回衛生工学シンポジウム (平成13年11月1日 (木) -2日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 1 建築環境とエネルギー利用 . P1-3
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 9, 13-16
Issue Date	2001-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7135">https://hdl.handle.net/2115/7135</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	9-1-3_p13-16.pdf



### 1-3 住宅の改修および新築による省エネルギーに関する実測と評価

濱田 靖弘 (北海道大学)  
中村 真人 (北海道大学)  
○松尾佐和子 (ダイダン)  
落藤 澄 (北海道大学)  
広松 淳 (日伸テクノ)

窪田 英樹 (北海道大学)  
伊藤 健 (北海道大学)  
横山真太郎 (北海道大学)  
柴田 和夫 (日伸テクノ)

#### はじめに

本研究は、エネルギー自律型の建築・都市、即ち太陽・大気・大地の3つの自然エネルギー、未利用エネルギーおよび自然界の蓄熱サイクルを徹底的に活用した個別分散化の環境低負荷型の建築・都市を目指して、住宅を取り上げ、住まい手による改修・新築の側面から見た自律化への“道程”を分析することによって、自律型に向けた省エネルギー・環境保全に配慮した住宅の展開を図ることを目的としたものである。まず、寒冷都市の建築におけるエネルギー消費のうち、住宅の占める割合、およびストック住宅と新築戸数の推移を整理・分析するとともに、住宅のエネルギー自律化への設計・評価過程を提示し、エネルギー診断、省エネルギー・自然エネルギー利用のあり方について検討する。次いで、札幌市および岩見沢市における設備改修、新築の事例についてこの方法を適用し、実施前後におけるエネルギー消費量、環境負荷排出量の推移の調査を行う。

#### 1. 住宅におけるエネルギー自律化への設計・評価過程

図-1 に北海道における戸建て住宅戸数の推移<sup>1)</sup>を示す。新築住宅は、年間6~9万戸で安定した推移を示している。一方、ストック住宅は、30年間で約1.7倍となり、1997年の時点で210万戸に達し

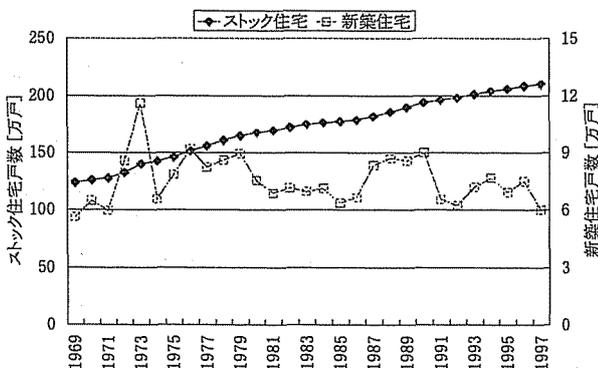


図-1 北海道における戸建て住宅戸数の推移

ている。全国規模では、2050年までに住宅の新築工事は激減し、ほとんどが改修工事になると推定されており<sup>2)</sup>、北海道においても、今後、同様の傾向になることが予測される。また、図-2 に示すように、札幌市における民生用エネルギー需要量(二次換算)<sup>3)</sup>の61%は、住宅によって占められていることから、断熱・気密性能の高い住宅の展開だけではなく、ストック住宅の改修を中心に据えた対策が急務となっていると言える。

図-3 に建築設備における ESCO 事業<sup>4)</sup>を参考に作成した住宅のエネルギー自律化への設計・評価過程を示す。設計・評価過程は図に示すような七段階から構成される。本研究における1~3段階の具体的な内容を以下に示す。

- 1) 対象住宅の調査
  - a) 札幌市とその近郊の11世帯<sup>5)</sup>
  - b) 札幌市厚別区の設定改修住宅および岩見沢市の新築住宅

#### 2) エネルギー診断

エネルギー診断の一例として、図-4 に1)の a)における11世帯の中から江別市の戸建て住宅(延床面積111m<sup>2</sup>、世帯人数4人)の診断結果を示す。診断書は以下の六章から成っている。

- 第1章 建物概要
- 第2章 年間エネルギー消費量

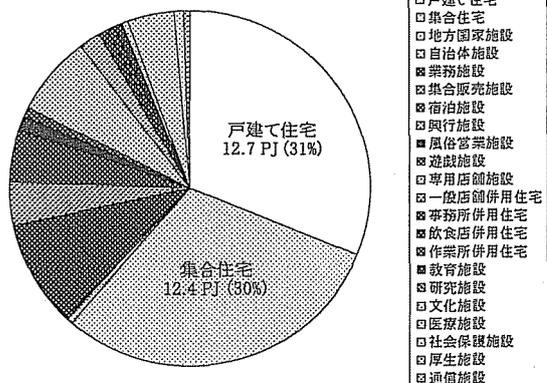


図-2 札幌市における民生用エネルギー需要量(二次換算)の内訳

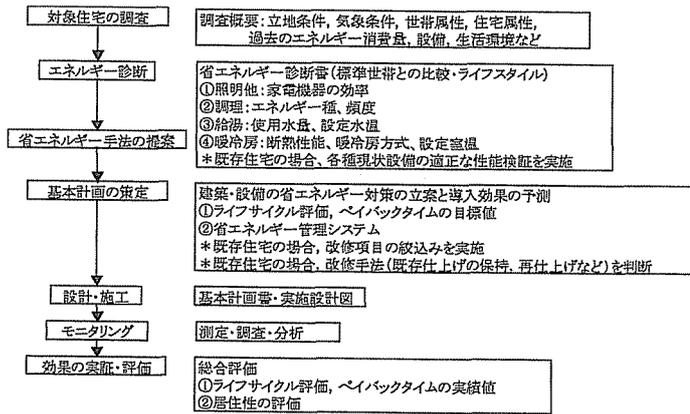


図-3 住宅のエネルギー自律化への設計・評価過程

表-1 各種省エネルギー・自然エネルギー利用手法の導入効果

建蔽的 (パッシブ) 手法	暖冷房	高断熱・高気密化による熱負荷の低減	従来型住宅に対する暖冷房負荷削減率 49.2%	
	蓄熱	開口部断熱	躯体および地下室の熱容量利用	自然換気量 23~230 m <sup>3</sup> /h
設備的 (アクティブ) 手法	換気	内外温度差による自然換気方式	アースチューブ	アースチューブ予冷効果 4~15°C 予熱効果 12~14°C
		太陽光発電(単結晶シリコン型)	太陽光発電(多結晶シリコン型)	年間発電変換効率 10%
	電力	太陽光発電(アモルファスシリコン型)	年間発電変換効率 5%	
		風力発電	起動風速 3.5 m/s	
	給湯	ソーラーコレクタ (平板型太陽熱集熱器)	年間集熱効率 40%	
		排気熱回収ヒートポンプ	年間COP 2.6	
	電力給湯	太陽エネルギー利用 ハイブリッドコレクタ	年間発電変換効率 単結晶シリコン型 10% 多結晶シリコン型 8%	
		燃料電池	年間集熱効率 20%	
	暖房	地盤熱源ヒートポンプ (垂直埋設管)	発電効率 27.1~29.4% 排気熱回収率 36.1%	
		冷房	地盤冷熱の直接利用 (垂直埋設管)	38.4 W/m(期間COP 4.2, 期間SCOP 2.8)
蓄熱	地下水槽	暖房時一次エネルギー削減率 30%	16.4 W/m(期間SCOP 6.5)	
		(水槽容積20 m <sup>3</sup> , ソーラーコル15 m <sup>2</sup> )		

<B邸>

1. 建物概要

所在地	江別市
省エネルギー地域区分	1 地域
竣工年	1995年
延床面積	111.0 m <sup>2</sup>
住宅仕様	バニル(鉄筋造), 高断熱・高気密仕様
熱損失係数	1.86
設備仕様	暖房 灯油セントラル, 全館・連続運転 給湯 灯油ボイラ 厨房 電気(ノロゲンヒーター)

2. 年間エネルギー消費量

用途	熱源	エネルギー消費量	CO <sub>2</sub> 排出量	標準世帯エネルギー消費量
暖房	灯油	59.4 [GJ], 1,594 [L]	1,125 [kg-CO <sub>2</sub> ]	52.6
給湯	灯油	19.9 [GJ], 534 [L]	377 [kg-CO <sub>2</sub> ]	23.9
照明他	電力	16.0 [GJ], 4,443 [kWh]	619 [kg-CO <sub>2</sub> ]	11.4
厨房	電力	2.0 [GJ], 555 [kWh]	77 [kg-CO <sub>2</sub> ]	5.9
合計		97.3 [GJ]	2,197 [kg-CO <sub>2</sub> ]	93.8 [GJ]

3. 床面積あたり 年間エネルギー消費量

	B邸	標準世帯
灯油	714.4	622.0
電力	162.2	92.7
ガス	-	48.0
合計	876.6	762.7 [MJ/(m <sup>2</sup> ・年)]

4. 機器別エネルギー消費量

43.6 MJ/日

5. 省エネルギー化対策

- ・浴槽にふたを使用する
- ・冷蔵庫・冷凍庫の詰めすぎに注意する
- ・テレビの主電源を切る心がけをする
- ・照明をこまめに消す配慮をする

6. 備考

照明では居間で、全体の5割程度を占めている。使わない電化製品のコンセントを抜く配慮はなされているため、待機時電力は10%に抑えられている。

図-4 省エネルギー診断書例

- 第3章 単位床面積あたりの年間エネルギー消費量
- 第4章 機器別エネルギー消費量
- 第5章 省エネルギー化対策
- 第6章 備考

なお、ここでは標準世帯として、筆者らの研究室における1992年の調査結果<sup>6)</sup>を用いた。

3) 省エネルギー手法の提案

筆者らの研究室では、北海道大学構内にエネルギー自律型の実験用建て住宅を建設し、各種省エネルギーおよび再生可能エネルギー利用手法の有効性を明らかにしてきた<sup>6)</sup>。表-1に運転実

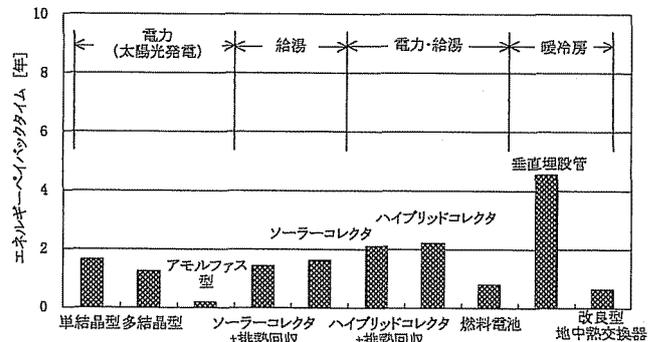


図-5 エネルギーペイバックタイムの比較

績に基づく各種導入手法の性能評価を示す。また、図-5に各種要素技術のエネルギーペイバックタイムを示す。いずれの手法においても、ペイバックタイムは10年以内であり、高い省エネルギー効果が得られている。ここでは、これらの結果を踏まえて、導入手法の絞込みと導入効果の予想を行い、世帯主に提案していくことになる。

2. 基本計画の策定および設計・施工

ここでは、1.における1)のb)に示すように、2000年に暖房・給湯設備の改修を実施した札幌市内の住宅(S邸)と、岩見沢市の新築住宅(I邸)の事例を取り上げた。表-2に対象世帯の概要を示す。2000年10月まで灯油式の床暖房と給湯を採用していたS邸では、同年11月より地盤熱源ヒートポンプシステムを導入している。温水床暖房には、既存の配管を用いており、熱源機器の変更のみを行った。暖房および給湯のための2台のボイラの使用を中止し、これらをヒートポンプで賄うものとした。また、I邸では、地盤熱源ヒートポンプを用いた床下放熱器による暖房を採用している。住宅の熱損失係数は、いずれも次世代省エネルギー基準(1.60 W/(m<sup>2</sup>・K))を満たしている。図-6、図-7にそれぞれS邸(1999

表-2 対象世帯の概要

	改修住宅(S邸)		新築住宅(I邸)	
	実施前	実施後	実施前	実施後
所在地	札幌市厚別区		岩見沢市	
世帯員数	4人		3人	
有職者数	2人		1人	
床面積	119.88 m <sup>2</sup>	43.74 m <sup>2</sup>	—	164.77 m <sup>2</sup>
建築年	1982年	—	—	2000年
住宅種別	木造2階建て	集合住宅	—	木造2階建て
暖房	灯油ボイラ	地盤熱源ヒートポンプ	灯油ストーブ	地盤熱源ヒートポンプ
	—	温水式床暖房	—	床下放熱器
給湯	灯油ボイラ	地盤熱源ヒートポンプ	ガスボイラ	電気温水器
換気	局所換気	—	局所換気	セントラル換気(熱交換器)
熱損失係数	1.40 W/(m <sup>2</sup> ·K)	—	—	1.24 W/(m <sup>2</sup> ·K)
融雪	ロードヒーティング(灯油ボイラ)	—	—	なし

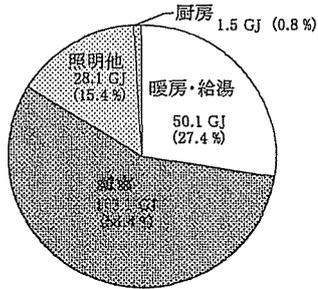


図-6 年間用途別エネルギー消費量の内訳 (S邸: 182.8 GJ)

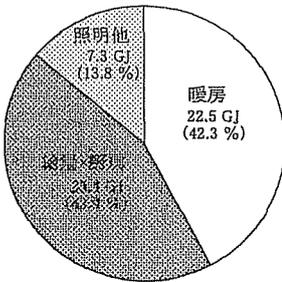


図-7 年間用途別エネルギー消費量の内訳 (I邸: 53.1 GJ)

年4月～2000年3月)およびI邸(1999年11月～2000年10月)における実施以前の年間用途別エネルギー消費量を示す。S邸では、暖房・給湯と融雪の消費量(灯油)が全体の83.8%を占めている。一方、I邸では暖房(灯油)と給湯・厨房(LPG)の占める割合が同程度となっている。図-8にS邸における実施後の暖房・給湯システムの系統図を示す。垂直型地中熱交換器として鋼管井戸型(黒ガス管: 外径89.1mm, 内径80.7mm, 肉厚4.2mm)を採用し、深さ82.6m, 直径110mmの掘削孔に2本敷設した。ヒートポンプの冷媒にはR290を採用している。地盤側不凍液(エチレングリコール水溶液 30wt%)温度0°C, 建物側温水温度50°Cの場合の電力消費量, 成績係数はそれぞれ2.3kW, 3.1である<sup>7)</sup>。温水側には暖房用蓄熱槽(200L)と給湯用貯湯槽(400L)を設けている。I邸については、暖房のみに地盤熱源ヒートポンプを採用しており, 地中熱交換器は深さ76.5mの鋼管井戸型を2本敷設している。また, ヒートポンプの仕様はS邸と同等とした。

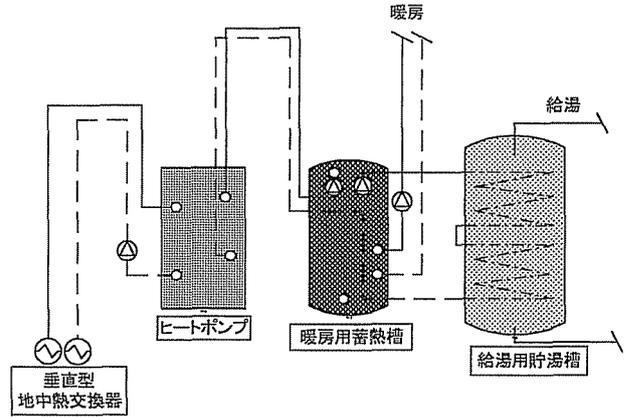


図-8 暖房・給湯システムの系統図

表-3 暖房・給湯システムの運転実績

	S邸	I邸
平均日積算ヒートポンプ稼働時間	19.8	17.2
平均居間温度 [°C]	22.7	23.0
平均居間湿度 [%RH]	23.8	41.2
地盤側平均不凍液温度 [°C]	送り	0.6
	返り	2.7
平均垂直埋設管採熱率 [W/m]	16.3	24.5
平均日積算地盤採熱量 [MJ/日]	195.6	220.2
暖房側平均不凍液温度 [°C]	送り	43.1
	返り	38.8
給湯側平均不凍液温度 [°C]	送り	44.1
	返り	38.8
平均給湯温度 [°C]	44.1	—
平均日積算給湯量 [L]	245.6	—
平均日積算蓄熱槽加熱量 [MJ/日]	—	295.2
平均日積算暖房熱量 [MJ/日]	218.2	265.0
平均日積算貯湯槽加熱量 [MJ/日]	58.5	—
平均日積算給湯熱量 [MJ/日]	34.9	—
平均日積算ヒートポンプ電力消費量 [MJ/日]	113.4	116.2
平均日積算搬送ポンプ電力消費量 [MJ/日]	11.0	18.0
$COP_1 [= (Q_H + Q_D) / E_h]$	—	2.93
$COP_2 [= (Q_H' + Q_D) / E_h]$	2.82	2.63
$COP_3 [= (Q_H + Q_D') / E_h]$	2.58	2.63
$SCOP_1 [= (Q_H' + Q_D') / (E_h + E_p)]$	2.32	2.23
$SCOP_2 [= (Q_H + Q_D') / (E_h + E_p + E_t)]$	2.03	1.97

### 3. モニタリングおよび効果の実証・評価

表-3に暖房・給湯システムの運転実績(S邸:2000年11月13日～2001年5月16日, I邸:2000年11月24日～2001年3月20日)を示す。いずれの世帯においても, 地盤側からの不凍液返り温度は2.5°C前後, 温度差2.3°C前後であり, 良好な運転が行われている。S邸におけるヒートポンプ熱出力は, 暖房, 給湯で, それぞれ218.2MJ/日(79%), 58.5MJ/日(21%), I邸では295.2MJ/日であった。成績係数に関してはCOPおよびSCOPによる評価を行った( $Q_H$ :蓄熱槽加熱量,  $Q_H'$ :暖房熱量,  $Q_D$ :貯湯槽加熱量,  $Q_D'$ :給湯熱量,  $E_h$ :ヒートポンプ電力消費量,  $E_p$ :搬送・制御系電力消費量,  $E_t$ :変圧器電力消費量)。ただし, I邸の値は, 給湯系が含まれていない( $Q_D=0, Q_D'=0$ )。ヒートポンプ単体の成績係数を示すI邸のCOP<sub>1</sub>は2.93であり, カタログ値とほぼ同等の性能が得られているが, 温水温度(50°C以上)を低く設定することによって更に向上するものと考えられる(35°Cの場合はCOP<sub>1</sub>=4.2)。

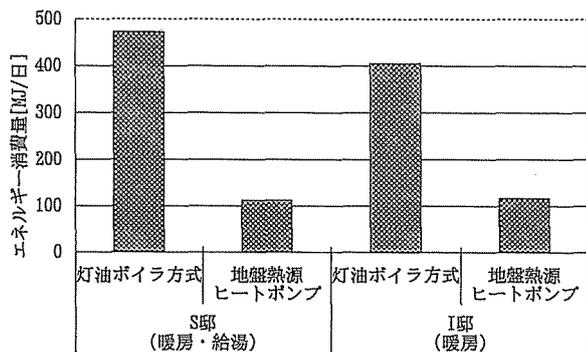


図-9 エネルギー消費量の比較

図-9 に灯油ボイラ方式とのエネルギー消費量の比較を示す。削減率は、S邸、I邸で、それぞれ76%、71%であった。

図-10 にI邸におけるシステム成績係数 (SCOP) 低下の各種要因の内訳を示す。蓄熱槽・配管における熱損失が57%と大きな割合を占めている。したがって、厳冬期以外には、蓄熱槽を介さずに温水を直接供給することが対策の1つとして考えられる。搬送系については、特に地盤側のポンプ動力が大きくなっているが、現在の循環流量が30 L/minであることから、小型化が可能であると言える。また、変圧器損失 (三相200 V→三相400 V) も12%を占めており、これについては、日本向けの仕様の開発が求められる。

#### まとめ

- 1) 北海道の建築におけるエネルギー消費のうち住宅の占める割合、およびストック住宅と新築戸数の推移を示した。また、戸建て住宅におけるエネルギー自律化の流れを提示し、道内の13世帯を取り上げ、省エネルギー診断を行った。
- 2) 設備改修を実施した札幌市内の住宅と岩見沢市の新築住宅を対象として、省エネルギー効果の実証・評価を開始した。地盤熱源ヒートポンプによる採熱温度は2°C程度であり、良好な運転が行われているが、従来方式に対するエネルギー削減率は、設備改修住宅、新築住宅で、それぞれ75%、70%であった。
- 4) システム成績係数の低下の各種要因の内訳を算出した結果、蓄熱槽内の水温維持に多くのエネルギーを消費していることがわかった。また、搬送系の過大設計、変圧器損失など大きな要因となっているが、これらについては、比較的容易に改善が可能であると考えられる。

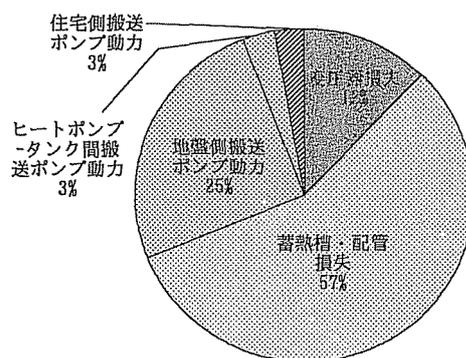


図-10 システム成績係数低下の各種要因の内訳 (I邸)

終わりに、本研究にご協力頂きました株式会社日伸テクノ代表取締役の柴田和夫氏、武部建設株式会社の岩崎清治氏、および各世帯の関係諸氏に深く感謝します。また、研究の遂行にあたり、日本ステイベル株式会社代表取締役の松本公之氏、平山竜三氏らに多大なご協力を頂きました。ここに謝意を表します。

本研究の一部は、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〔研究総括：茅陽一教授 (慶応義塾大学)〕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：柏木孝夫教授 (東京農工大学)〕によった。

#### 参考文献

- 1) 環境計画研究所：家庭用エネルギーハンドブック (1999年版) (1999-3), pp.85~142, 省エネルギーセンター
- 2) 伊香賀俊治・村上周三・加藤信介・白石靖幸：建築・都市の環境負荷評価に関する研究—我が国の建築関連CO<sub>2</sub>排出量の2050年までの予測—, 日本建築学会計画系論文集, 535 (2000-9), pp.53~58
- 3) 成田樹昭・落藤澄・横山真太郎・長野克則・中村真人・山縣洋一：札幌における低温都市排熱の利用に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, 59(1995-10), pp.49~59
- 4) 高瀬知章：省エネルギー改修とESCO事業, 空気調和・衛生工学, 74-7(2000-7), pp.43~49
- 5) 中村真人・落藤澄・濱田靖弘・村越千春・鶴崎敬大・横尾美雪・成田涼子・嶋原亮・長倉香織：北海道における家庭用エネルギー消費構造とその季時別変動の実態調査 (第1~2報), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 (1999~2000)
- 6) 濱田靖弘・落藤澄・長野克則・中村真人・横山真太郎・永坂茂之：自然エネルギーをハイブリッドに活用したエネルギー自律型住宅に関する研究 (第1~3報), 空気調和・衛生工学会論文集 (1999~2001)
- 7) Stiebel Eltron: W. rmepumpen-systeme planung und installation (Mar., 2000), pp.33~37