



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	燃料電池・水素・再生可能エネルギー利用技術を導入した寒冷都市次世代エネルギーシステムに関する研究 -エネルギー有効利用システムを導入した戸建て住宅の環境工学的診断-
Author(s)	近藤, 亮太; 後藤, 隆一郎; 濱田, 靖弘 他
Description	第13回衛生工学シンポジウム (平成17年11月17日 (木) -18日 (金) 北海道大学クラーク会館) . 一般セッション . 4 建築 都市エネルギー利用 . 4-7
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 13, 139-142
Issue Date	2005-11-16
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/1351
Type	departmental bulletin paper
File Information	4-7_p139-142.pdf



4-7 燃料電池・水素・再生可能エネルギー利用技術を導入した寒冷都市次世代エネルギーシステムに関する研究 —エネルギー有効利用システムを導入した戸建て住宅の環境工学的診断—

- 近藤 亮太 (北海道大学) 後藤隆一郎 (北海道大学) 濱田 靖弘 (北海道大学)
窪田 英樹 (北海道大学) 中村 真人 (北海道大学) 桑原 浩平 (北海道大学)
落藤 澄 (北海道大学) 村瀬 光則 (北海道ガス)

はじめに

京都議定書により温室効果ガスの排出量を 2012 年までに 6%削減する必要性があり、温室効果ガスはエネルギー消費に伴い排出される。そして民生部門においてエネルギー消費量が増加しており、その内家庭部門においては、世帯数の増加等の社会状況の変化や、世帯における電化製品の普及、大型化・高機能化などのライフスタイルの変化により、2002 年現在で 1990 年に比べ 28.5%エネルギー消費が増加している。そういった背景の中、省エネルギー推進に向けて世界各国では環境評価手法が開発されており、日本では独自の評価手法として CASBEE¹⁾ などが開発され研究が進んでいる。本研究^{2), 3)}は、建築・都市の環境工学的診断に関する一連の研究の第 3 報であり戸建住宅に対し評価の基準となる評価の構築を目指し、家庭部門における省エネルギーを推進し、建物の性能と設備の性能、住宅のユーザーの環境への意識とが共存する環境共生型住宅の促進を目的としている。

1. 環境工学的診断の流れ

1.1 診断対象

本手法の診断対象は新規・既存を問わない戸建住宅とし、集合住宅も今後検討していく予定である。

1.2 診断方法

図-1 に環境工学的診断の流れを示す。診断の流れとして対象住宅の情報収集・部分診断・対象住宅への改善策の提案・総合診断という 4 つの段階を踏み診断を行う。

(1) 対象住宅の情報収集、対象住宅へヒアリング

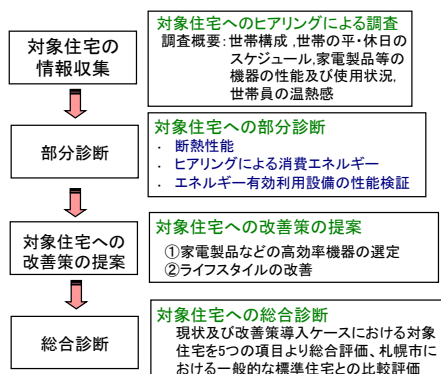


図-1 環境工学的診断の流れ

ングを実施することで、世帯構成、世帯の平・休日のスケジュール、家電製品等の機器の性能および使用状況、世帯員の温熱感を調査する。

(2) 対象住宅への部分診断

対象住宅へ断熱性能の評価、ヒアリングによる消費エネルギー、エネルギー有効利用設備の性能検証の 3 点を行う。断熱性能の評価は、汎用熱負荷計算ソフトを用いて対象住宅の断熱性能を次世代省エネルギー基準と比較すると共に、ヒアリングによって調査した家電等の機器の性能および使用状況から、家庭用消費エネルギーを推算する。次いで、エネルギー有効利用設備の性能検証として、運転実績の解析および将来性の検討を行う。

(3) 対象住宅への改善策の提案

家電製品などの高効率機器の選定および使い方などに関する改善策の提案を行う。

(4) 対象住宅への総合診断

現状および改善策導入ケースにおける対象住宅をエネルギー、コスト、建物環境・室内環境、環境負荷、ユーザーの環境への意識の 5 つの項目より総合評価する。比較対象は札幌市における一般的な戸建住宅として、基準住宅を 3 得点として評価を行う。改善導入ケースでは現状との比較も実施する。また基準住宅における各用途の燃料源は、暖房に灯油と電気、給湯に灯油、厨房に都市ガス、照明その他に電気と設定する。

2. 対象住宅概要

表-1 に対象住宅の概要を示す。一般住宅 0 邸は世帯員は 5 名で、有職者は 2 名である。1 階、2 階の

表-1 対象住宅概要

名称	一般住宅0邸	一般住宅1邸	一般住宅2邸	次世代省エネルギー基準 (1 地域)
所在地	札幌市北区	札幌市豊平区	札幌市豊平区	
世帯員数	4	5	6	
家族構成	(1)	61歳 男性	52歳 男性	37歳 男性
	(2)	61歳 女性	49歳 女性	35歳 女性
	(3)	35歳 女性	19歳 女性	9歳 女性
	(4)	31歳 女性	16歳 女性	7歳 女性
	(5)		8歳 男性	4歳 女性
	(6)			2歳 男性
建築概要	建築年	2003年9月	1992年9月	1997年9月
	構造	構造:1F-FRC, 2・3F-木造	木造	木造
	延床面積	288.15m ² (屋上:183.81m ²)	200.23m ²	151.70m ²
設備	暖房	地中熱ヒートポンプ	温水暖房 (ガス)	温水暖房 (ガス)
	冷房	アイスシッター	なし	なし
	給湯	CO ₂ 冷媒HP式電気給湯器	燃料電池+ガス給湯器	燃料電池+ガス給湯器
	台所	電気調理器	ガス調理器	ガス調理器
	換気方式	強制給排気(熱交換型)	局所換気(熱交換型)	強制給排気(熱交換型)
熱損失係数 (W/m ² ·K)	1.83	1.84	1.52	1.6
年間暖房負荷 (MJ/m ² ·年) (GJ/年)	236(44.39)	245(48.14)	241(36.58)	390

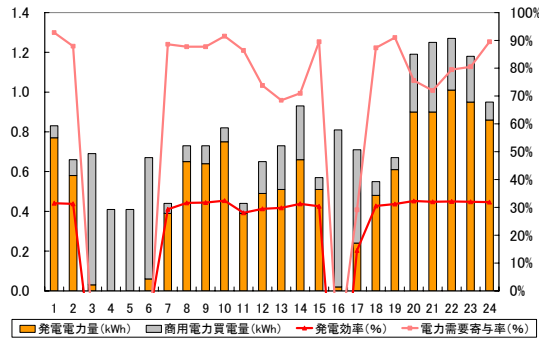


図-2 代表日の燃料電池発電運転実績(2004/8/4)

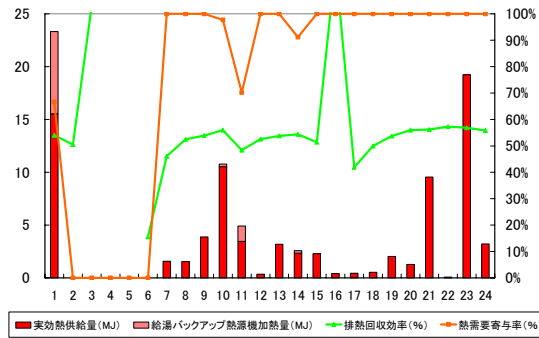


図-3 代表日の燃料電池排熱回収運転実績(2004/8/4)

他に屋根裏も居住空間としている。暖房には都市ガス式温水暖房、給湯には固体高分子形燃料電池およびバックアップ用のボイラを利用している。また融雪には都市ガスボイラを用いている。一般住宅G邸は1997年3月に建てられた2階建ての住宅で世帯員は6名、有職者は1名である。設備は燃料電池を導入していないこと以外はO邸と同じとなっている。それぞれの住宅の断熱性能は、熱損失係数は1.84、1.52と次世代省エネルギー基準と比較すると同等以上の値であり、年間暖房負荷は単位面積あたりで245MJ、241MJと次世代省エネルギー基準値である390MJを大幅に上回った。

3. エネルギー有効利用設備の性能検証

3.1 固体高分子形燃料電池コージェネレーションシステムの性能検証

一般住宅O邸に導入されている固体高分子形燃料電池は仕様としては発電出力が1kWで最小300Wまで11段階にわたり負荷追従が可能であり、発電効率・排熱回収効率がHHV基準でそれぞれ32%、50%、貯湯槽容量が200Lで、運転方法として、DSS運転(Daily Start & Stop)、また商用電源との系統連携を行っており、逆潮も可能である。寒冷地における燃料電池の省エネルギー効果をも高めるべく運転スケジュールの最適化を検討した。

表-2 固体高分子形燃料電池期間日平均運転実績

対象世帯 時期	一般住宅O邸			年間総合
	冬期	中間期	夏期	
発電日数 [日/月]	25	22	31	300
運転時間 [h/日]	19.1	17.3	18.1	18.4
発電時間 [h/日]	17.0	14.4	15.6	15.9
実効発電電力量 [kWh/日]	12.1	10.1	10.5	3353
発電効率 [HHV]	29.4%	28.1%	28.5%	28.8%
電力需要寄与率	54.4%	56.3%	60.2%	55.9%
排熱回収量 [MJ/日]	73.6	62.2	69.5	20831
排熱回収効率 [HHV]	49.7%	48.2%	52.4%	49.8%
実効熱供給量 [MJ/日]	56.9	50.6	61.3	16798
熱需要寄与率(給湯)	59.3%	64.8%	82.4%	64.8%
一次換算成績係数	1.15	1.13	1.19	1.15
一次エネルギー削減率	22.8%	20.8%	26.6%	22.8%
CO ₂ 排出削減率	37.1%	35.2%	39.2%	36.9%
コスト削減量[円/月]	4575	3467	4363	50042

表-3 地中熱ヒートポンプ式暖房および

CO₂冷媒HP式電気給湯機期間日平均運転実績

対象世帯 設備 時期	K邸				
	地中熱HP式暖房 1年目	地中熱HP式暖房 2年目	CO ₂ 冷媒HP式電気給湯器 暖房期	CO ₂ 冷媒HP式電気給湯器 中間期	CO ₂ 冷媒HP式電気給湯器 冷房期
HP稼働時間 [h/日]	19.8	19.6	8.7	8.0	6.7
居間温度 [°C]	23.1	22.9	-	-	-
居間湿度 [%RH]	50.1	49.1	-	-	-
建物側送水温度(送り/返り) [°C]	43.2/40.7	47.6/44.9	-	-	-
建物供給熱量 [MJ/日]	138.1	164.1	-	-	-
地盤側送水温度(送り/返り) [°C]	3.4/4.7	2.4/3.7	-	-	-
地盤採熱量 [MJ/日]	100.9	108.1	-	-	-
平均給湯温度 [°C]	-	-	50.5	51.3	53.1
給湯量 [L/日]	-	-	277.6	268.9	252.2
給湯熱量 [MJ/日]	-	-	51.9	47.9	40.1
電力消費量[MJ/日]	HP 44.8	55.3	50.7	37.0	29.2
	搬送 11.6	14.8	-	-	-
COP	3.19	2.97	-	-	-
SCOP	2.52	2.34	1.19	1.29	1.38
一次換算成績係数	0.93	0.86	0.44	0.48	0.51
一次エネルギー削減量 [GJ/年]	16.11 (31.9%)	-	-4.64 (-13.2%)	-	-
CO ₂ 排出量削減量 [kg-CO ₂ /年]	1579 (47.7%)	-	495 (20.1%)	-	-
コスト削減量 [円/年]	3811 (5.2%)	-	-25417 (-45.7%)	-	-

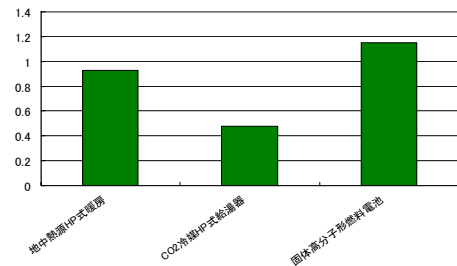


図-4 エネルギー有効利用設備別の一次換算成績係数比較

固体高分子形燃料電池の代表日2004年8月4日における運転特性を図-2に発電関連を、図-3に排熱回収関連を表示する。このように時刻別の電力負荷が0.5kWhを超えると燃料電池が稼働して発電を行う。6月までは深夜においても電力負荷が大きくなると発電を行うといった非効率な運転をしていたが7月以降はスケジュール運転を導入し深夜2時に運転を停止し夜間における運転は行わないよう制御している。また貯湯槽に熱が溜まりきってしまうと自動的に燃料電池の運転が停止するようになっているので、給湯負荷が増加する夕方以降に運転が停止しないように、15時にいったん運転を停止して16時より運転を再開し無駄な停止をなくし連続運転を行えるようにした。この日における発電効率は30%前後であり、発電と同時に排熱回収の効率も50~60%となっていた。また熱需要寄

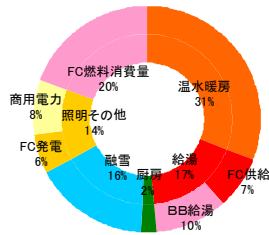


図-5 一般住宅O邸における家庭用エネルギー消費内訳

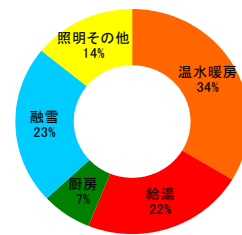


図-7 一般住宅G邸における家庭用エネルギー消費内訳

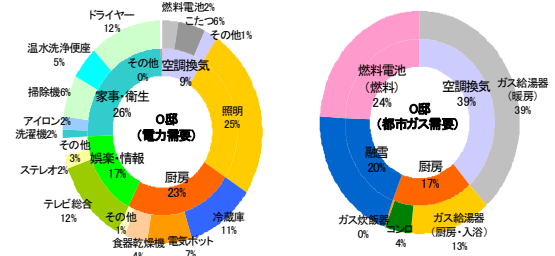


図-6 一般住宅O邸における電力需要・都市ガス需要率は100%程度と給湯負荷をほぼ全て賅っており十分な性能を発揮している。

表-2に燃料電池の期間日平均における運転実績を表示する。年間で300日運転し、発電効率、排熱回収効率はHHV基準でそれぞれ約29%、約50%と仕様と匹敵する性能を発揮した。また燃料電池によって対象住宅における電力需要の56%を賅い、同様に給湯需要の65%を賅うことが出来た。燃料電池を導入する以前の対象住宅と比較すると、一次エネルギー削減率は23%、CO₂排出量削減率は37%、またコストに至っては年間50000円もの削減効果が得られる事がわかった。

表-3には、他の住宅で現在モニタリング中である地中熱源ヒートポンプ式暖房システムおよびCO₂冷媒HP式電気給湯器の期間日平均の運転実績を表示した。そして一次換算成績係数をそれぞれ比較すると、図-4のように、現状では燃料電池コージェネレーションシステムにおける性能が最も優位にある事がわかった。

4. 家庭用エネルギー消費の推算

図-5に一般住宅O邸における家庭用エネルギー消費内訳を示す。家庭内のエネルギー消費を大分別すると、31%が暖房に消費され、燃料電池により給湯において17の内7%、照明その他の電力では14%のうち6%を賅っている。総消費量は一次エネルギー換算で204GJと標準値である121GJに比べ非常に大きな値であった。

また図-6に電力需要と都市ガス需要の詳細な解析結果を表示した。図より照明部門は25%と大き

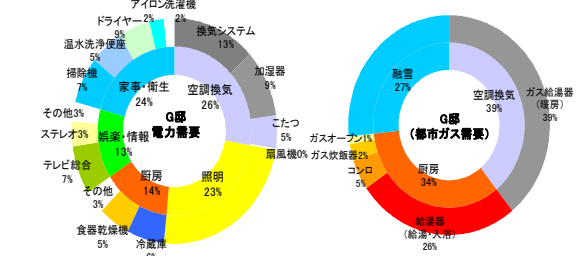


図-8 一般住宅G邸における電力需要・都市ガス需要いが、これは81歳の高齢者が平休日ともに在宅傾向にある事と、深夜二時頃まで居間を利用している事が多い事が原因として考えられる。また厨房部門では2台ある冷蔵庫と毎日24時間保温状態で使用している電気ポットがそれぞれ11%、7%と大きい。また都市ガス需要はガス給湯器による温水暖房が39%と大半を占め、厨房は17%、燃料電池用の燃料は24%消費していた。全体として本手法における電力需要・都市ガス需要の予測値は21.8GJ、45.5GJであり、2004年度のO邸における実測値は27.3GJ、45.4GJであった。

同様に一般住宅G邸における家庭用消費エネルギーの解析結果を図-7、図-8に示す。図-7より全体の内、温水暖房に34%、給湯に22%消費しており融雪が23%比較的大きくなっている。総消費量は一次エネルギー換算で135GJと標準値より大きい。融雪を除けば、比較的標準値に近い値であった。図-8より電力需要では空調換気では24時間運転の換気システムが13%、加湿器が9%と大きく、照明は23%と大きいがこの原因としては白熱灯が多いという事があげられる。都市ガス需要においては暖房が39%であり、世帯数が6名と多いため、給湯が26%と大きくなっている。本手法における電力需要・都市ガス需要の予測値は19.8GJ、120GJであり、2003年度のO邸における実測値は15.3GJ、110GJであった。

5. 対象住宅への改善策の提案

改善策は高効率機器の選定と、家電機器の使い方等のライフスタイルの改善から検討した。O邸における改善策を図-9に、G邸に関しては図-10に表示する。O邸において削減量の多い項目は、照明では電球

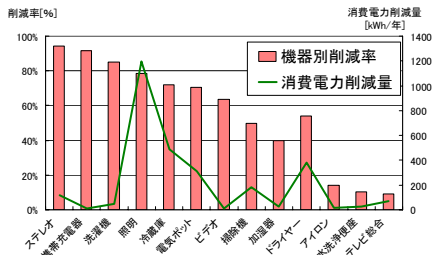


図-9 一般住宅0邸の改善策導入ケースにおける機器別削減率電力削減量の推定

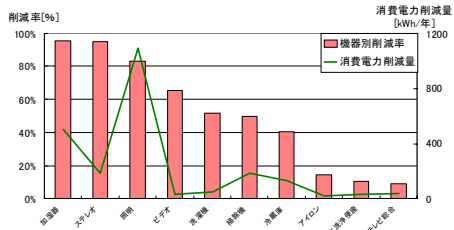


図-10 一般住宅G邸の改善策導入ケースにおける機器別削減率電力削減量の推定

型蛍光灯を導入、照明時間の削減を行うことで削減量として1200kWhが試算される。また冷蔵庫は現状の2台を最新の大容量の冷蔵庫1台を導入する事で490kWhを、電気ポットは毎日24時間保温状態であったものを1日の湯沸し回数2回、保温時間を2時間と改善すると310kWhの電力消費量の削減を見込める。また待機電力の削減への配慮によりステレオや携帯電話の充電器などで高い削減率が期待される。この結果、現状と改善想定時における年間の電力総消費量と都市ガス需要はそれぞれ6066kWh、172GJから3097kWh、151GJへと約49%、約12%と高い削減効果が試算された。

同様にG邸ここでは図-10より、加湿器では最新機を導入し省エネモードによる運転を行うことで約500kWhを、照明ではO邸と同様に電球型蛍光灯を導入により100kWhの電力消費量の削減が見込まれる。この結果、現状と改善想定時の電力需要および都市ガス需要はそれぞれ5498kWh、120GJから2989kWh、118GJとなり削減率が約45.6%、約2%という改善効果が試算された。

6. 対象住宅の総合評価

図-11、図-12に対象住宅である0邸、G邸それぞれの総合評価の結果を表示する。図より建物・室内環境の得点は高いがエネルギー消費が非常に大きいため、コスト、環境負荷の得点が連動して低くなっている。改善策導入ケースではユーザーの環境への意識を高めた場合においてはエネルギー消費量が削減されるため、コスト、環境負荷の得点も上昇する事が期待される。

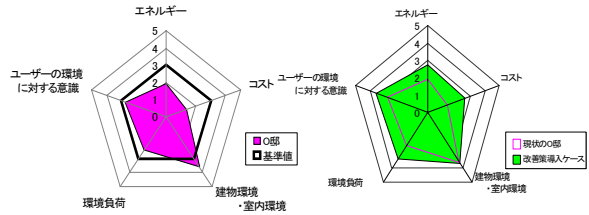


図-11 総合評価による現状および改善策導入ケースの一般住宅0邸の標準値との比較

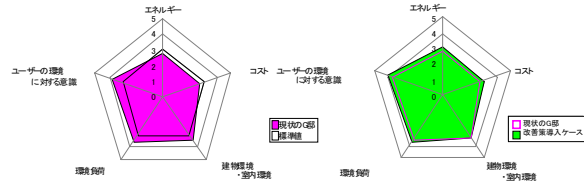


図-12 総合評価による現状および改善策導入ケースの一般住宅G邸の標準値との比較

同様に一般住宅G邸では、標準住宅と比較して環境に対する意識が高いためエネルギーなどその他の項目でも標準値を上回っている。改善策導入を想定した場合においてはさらに全体的に得点が上昇し、環境共生型住宅に向けて適応した住宅に近づく事が期待される。

まとめ

札幌市の戸建住宅を対象として、建築・設備性能とライフスタイルの観点から住宅評価を実施した。

- 1) 住宅の断熱性能の解析では、対象住宅が次世代省エネルギー基準と比較的近い水準であることを確認した。
- 2) 固体高分子形燃料電池コージェネレーションシステムの長期モニタリングを実施した結果、発電効率、排熱回収効率HHV基準でそれぞれ約29%、約50%であった。また一次換算成績係数を暖房・給湯用ヒートポンプと比較すると現状において最も環境性能が優位にあることを示した。
- 3) 対象世帯のライフスタイル、電気製品性能と使用実態を詳細に分析した。各種電気製品仕様とヒアリングに基づき使用時間を設定し解析した結果、実測値に近い値が得られた。
- 4) 対象住宅への改善策の検討を行い、現状と改善策導入を想定した場合において総合的に評価し、建築・設備性能とユーザーの環境意識が共存した環境共生型住宅に向けて望ましい住まい方の一考察を提示した。

参考文献

- 1) (財) 建築環境・省エネルギー機構：CASBEE MANUAL1 環境QCD認識ツール
- 2) 石渡 祐一郎：建築・都市の環境工学の発展への研究 (第1報) 診断方法と対象事例概要、空調調和・衛生工学会学術講演会論叢論文集2004. pp1903~1906
- 3) 鶴田 晶子ら：建築・都市の環境工学の発展への研究 (第2報) 事務所序列の診断結果、空調調和・衛生工学会学術講演会論叢論文集2004. pp1907~1910