



Title	高断熱・高気密住宅の室内環境と暖房エネルギー消費量に関する実態調査：札幌市内の北方型住宅を対象として
Author(s)	菊田, 弘輝; Kikuta, Kouki; 吉田, 卓生 他
Citation	日本建築学会環境系論文集, 76(659), 17-24 https://doi.org/10.3130/aije.76.17
Issue Date	2011-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/50453
Rights	日本建築学会
Type	journal article
File Information	AIJ.659.17-24.pdf



高断熱・高気密住宅の室内環境と暖房エネルギー消費量に関する実態調査

- 札幌市内の北方型住宅を対象として -

ACTUAL CONDITION SURVEY ON INDOOR ENVIRONMENT AND HEATING ENERGY CONSUMPTION FOR HIGHLY INSULATED AND AIRTIGHT HOUSES

- A study at northern regional houses in Sapporo -

菊田 弘輝*, 吉田 卓生**, 永沼 純一***, 羽山 広文****

絵内 正道*****, 阿部 佑平*****

Koki KIKUTA, Takao YOSHIDA, Junichi NAGANUMA,
Hirofumi HAYAMA, Masamichi ENAI and Yuhei ABE

Mainly in Hokkaido, Q1 housing or housing for heating free and cooling free etc. have been advocated, which contributes to popularization of highly insulated and airtight houses. The aim of this study is to reveal the actual conditions on air convection or whole-room heating that contributes to creating a comfortable indoor environment and heating energy consumption at northern regional houses in Sapporo. Although we plan to aim at the housing performance such as Passive houses in Germany or Minergy houses in Switzerland etc. in the future, in order to attempt to raise the level of housing performance in stages in Japan, we mainly subject northern regional houses that have heat loss coefficient of around 1.0 W/m² K and equivalent leakage area of 0.5 cm²/m² or less.

Keywords: *Highly insulated and airtight house, Air convection, Whole-room heating, Heating energy consumption*

高断熱・高気密住宅, 空気循環, 全室暖房, 暖房エネルギー消費量

1. はじめに

次世代省エネルギー基準への全面改正から10年余りが経過し、今後も住宅関連分野の環境配慮への取り組みは重要である。近年の動向として、2009年6月に「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」が施行され、住宅事業^{注1)}や住宅版エコポイント等が実施されている。現在、北海道では「北方型住宅ECO^{注2)}」が認定され、次世代省エネルギー基準を上回るQ値1.3[W/m²・K]以下(換気による熱回収無)、C値1.0[cm²/m²]以下、暖房エネルギー消費量の把握が認定時の必須基準となる。また、北海道内を中心にQ1住宅^{注3)}や無暖冷房住宅^{注4)}等が提唱され、高断熱・高気密住宅の普及に役立っている。

これまでに寒冷地や準寒冷地における住宅の実態調査に関する既往研究は数多く、東北地方の吉野・長谷川らの研究^{1),2)}、長野市の山下らの研究³⁾、新潟市の赤林・坂口らの研究⁴⁾、北陸地方の垂水らの研究⁵⁾等が挙げられる。また「住宅内のエネルギー消費に関する全国的調査研究」⁶⁾では温湿度や空調・給湯等のエネルギー消費が調査され、それらの関連文献⁷⁾は多数発表されている。

本研究の目的は、次世代省エネルギー基準のI地域に属する高断熱・高気密住宅の室内環境と暖房エネルギー消費量に関する実態調査として、札幌市内に建設された基礎断熱を施した床下空間を有する北方型住宅を対象に、快適な室内環境の形成に寄与する空気循環及び全室暖房の実態に加え、暖房エネルギー消費量の実態をそれぞれ明らかにすることである。将来的にはドイツのパッシブハウスやスイスのミネルギーハウス等の住宅性能を目指す予定であるが、国内の住宅性能の段階的な底上げを図るために、全室暖房を前提としたQ値1.0[W/m²・K]前後(換気による熱回収無)、C値0.5[cm²/m²]以下の北方型住宅を主に対象とする。

2. 調査概要

2.1 対象住宅

対象住宅の概要を表1に示す。対象住宅は2008~2009年に建設された北方型住宅のS邸・T邸・K邸(札幌市)の3件とする。家族構成は2人であり、T邸のみ2009年11月から1人で生活している。基礎断熱を

* 北海道大学大学院工学研究院 助教・博士(工学)

** 北海道大学大学院工学研究科 修士課程

*** 北海道大学大学院工学院 修士課程

**** 北海道大学大学院工学研究院 教授・博士(工学)

***** 北海道大学 名誉教授・工博

***** 北海道電力株

Assist. Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

Graduate Student, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ.

Graduate Student, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ.

Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

Prof. Emeritus, Hokkaido Univ., Dr. Eng.

Hokkaido Electric Power Co., Inc.

施した床下空間^{8),9)}は居室と同様に室内として位置付けられ、T邸・K邸の相当床面積並びに室容積はS邸の1.5倍以上に相当する。設計Q値は1.0[W/m²・K]前後で計画され、高性能の断熱仕様・開口部仕様が構成されている。また、暖房及び換気設備^{10)~13)}に関して、S邸・K邸の床下に蓄熱暖房器¹⁴⁾、T邸の各階に床下ヒーター¹⁵⁾が設置され、床下給気用にS邸・T邸にアースチューブ(ET)、K邸に給気ダクト・ボックスが設置されている。

具体的には、壁面通気口を有するS邸では第3種換気が採用され、換気経路は「ET(3点)→床下→ふかし壁→壁面通気口→居室→排気口(4点)」の暖気を供給する『上昇経路』と「居室→リターンガラリ→床下」の空気を循環する『リターン経路』が計画され、空気循環しながら全室暖房が行われている。

スキップフロアを有するT邸ではハイブリッド換気が採用され、換気経路は「ET(2点)→床下→ガラリ・通気壁→居室→排気口(2点)」の暖気を供給する『パッシブ経路』と「ET(1点)→熱交換換気装置→空調ダクト→ガラリ→居室→排気口(4点)」の空気を供給する『アクティブ経路』が計画され、温度制御しながら全室暖房が行われている。

太陽光発電を有するK邸ではパッシブ換気が採用され、換気経路は「給気ダクト・ボックス→床下→ガラリ・通気壁→居室(吹抜)→排気口(2点)」の暖気を供給する『上昇経路』と「居室(階段)→リターンガラリ→床下」の空気を循環する『リターン経路』が計画され、空気循環しながら全室暖房が行われている。

表1 対象住宅の概要

名称	S邸	T邸	K邸
外観			
所在地	札幌市中央区	札幌市手稲区	札幌市清田区
竣工年月	2008年6月	2008年8月	2009年1月
家族構成	夫婦2人	母娘2人	夫婦2人
実質床面積	104.34[m ²] (2階:53.00[m ²], 1階:51.34[m ²])	136.2[m ²] (2階:64.6[m ²], 1階:71.6[m ²])	135.2[m ²] (2階:60.9[m ²], 1階:74.3[m ²])
相当床面積	113.87[m ²] (床下:室容積/2.6[m ²] 加算)	171.8[m ²] (床下:室容積/2.6[m ²] 加算)	175.8[m ²] (床下:室容積/2.6[m ²], ロフト:6.55[m ²]加算)
室容積	262.84[m ³] (2階:128.42[m ³], 1階:109.64[m ³], 床下:24.78[m ³])	448.4[m ³] (2階:183.6[m ³], 1階:172.3[m ³], 床下:92.5[m ³])	521.13[m ³] (吹抜:32.41[m ³], 2階:211.93[m ³], 1階:188.14[m ³], 床下:88.65[m ³])
設計Q値	1.17[W/m ² ・K] (換気による熱回収無)	1.07[W/m ² ・K] (換気による熱回収無) 0.71[W/m ² ・K] (換気による熱回収有)	1.11[W/m ² ・K] (換気による熱回収無)
実測C値	0.11cm ² /m ²	0.41cm ² /m ²	0.21cm ² /m ²
断熱仕様	土間:FP板 50[mm] 基礎:FP板 75[mm]+ 断熱型枠 65[mm](両面) スカート断熱FP板 50[mm] 外壁:RWブローイング 265[mm] 屋根:RWブローイング 450[mm]	土間:XPS 100[mm] 基礎:XPS 200[mm]	土間:FP板 30[mm] 基礎:FP板 100[mm]
開口部仕様	窓ガラス:Low-Eペア 窓サッシ:断熱樹脂サッシ	窓ガラス:ArLow-Eペア, ArLow-Eトリプル (南・西面一部:ペア+ブラインド +トリプル, 他面:ペア) 窓サッシ:断熱樹脂サッシ	窓ガラス:Low-Eトリプル 窓サッシ:断熱樹脂サッシ
供給エネルギー	電力(暖房・給湯・その他)	電力(その他) +ガス(暖房・給湯)	電力(暖房・給湯・その他)
暖房設備	蓄熱式電気暖房器 (床下:3.15[kW/台]×3[台], 1階:2[kW/台]×1[台])	潜熱回収型ガス給湯暖房機 (各階床下ヒーター: 計17.4[kW])	蓄熱式電気暖房器 (床下:2.2[kW/台]×10[台])
換気設備	第3種	パッシブ+第1種	パッシブ+(第3種)
特徴	床下給気 (ET有:3[本]) 壁面通気口 高層マンションが隣接する	床下給気 (ET有:2[本]+1[本]) スキップフロア 庇(南・西面一部) 隣棟間隔が狭い	床下給気 (ET無:給気ダクト・ボックス) 吹抜(1~2階) 太陽光発電(計3.672[kW]) 隣棟間隔が広い

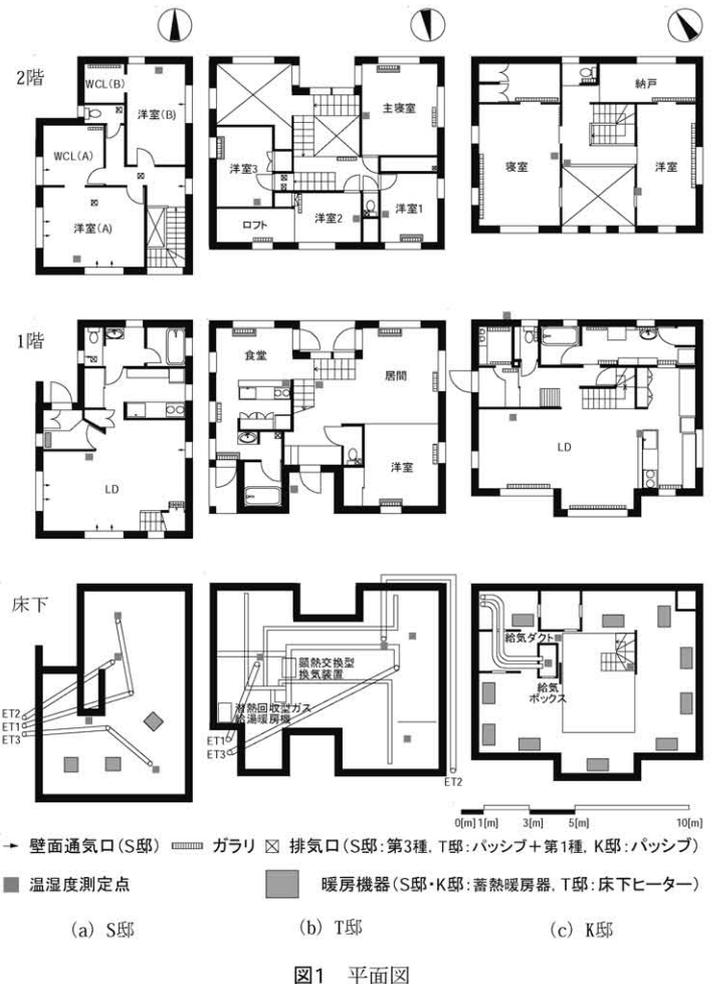
2.2 測定項目

平面図を図1, 測定項目を表2に示す。尚, 平面図には通気口・ガラリ・排気口・暖房機器の位置及び室名・温湿度測定点を示す。空気環境の測定項目は換気回数に係る総換気量及び空気循環に係る室間換気量とし、既往研究¹⁰⁾に基づいて実施した。温熱環境の測定項目は温湿度、暖房エネルギー消費量の測定項目は電力消費量及びガス消費量とし、1時間間隔で測定した。空気環境以外の温熱環境と暖房エネルギー消費量の調査対象期間は2009年8月~2010年4月の9ヵ月間とする。

3. 空気循環の実態

3.1 測定方法・算定方法

CO₂をトレーサガスとして用い、瞬時一様拡散を前提条件とし、一定供給法で恒常系の換気量測定を行った。吹抜(K邸のみ)→2階→1階→床下の順にそれぞれ各階からCO₂を0.1または0.2[m³/h]を一定時間供給した。室平均濃度を得るために、供給されたCO₂を拡散促進用ファン(常時稼働)で攪拌し、各階からサンプリングを行った。サンプリングは3分間隔で屋外→床下→1階→2階→吹抜(K邸のみ)の順に行われ、測定された濃度は直線補完により同時刻データに校正されている。算定法は微分法とし、換気量収支とガスの物質収支の常微分方程式を連立させることで室間換気量が導かれ、床下からCO₂を供給した際の屋外及び2階で測定された濃度よりザイデル式を解くことで総換気量が別途導かれる。



3.2 総換気量・空間換気量

総換気量を表3, 空間換気量を図2に示す。換気量測定は2008年10月～2010年1月に亘って換気方式や内外温度差(ΔT)を変更して2回ずつ実施した。S邸・K邸では空気循環の実態として『リターン経路』が機能しているか, T邸では換気バランスの実態として『パッシブ経路』が確保されているかについて検証した。

S邸では換気装置を「強モード」の状態にて測定した結果, 3ヵ月程度に排気口フィルターが徐々に塵や埃で汚れていき, 中間期に比べて冬期の総換気量は若干低下していたが, 換気回数は概ね0.50[回/h]であった。その際の空間換気量は床下⇄2階で150[m³/h]前後, 1階⇄床下で約40[m³/h]を示し, 『リターン経路』は一部で機能していた。

T邸では熱交換換気装置を「低速モード」の状態にて測定した結果, 総換気量は熱交換換気装置の諸元値(102.0[m³/h])だけ増加し, パッシブ換気に比べてハイブリッド換気の総換気量は271.1[m³/h](=168.4+102.0)まで増加していたが, 換気回数は0.6[回/h]で

あった。その際の給排気量は屋外⇄1階及び屋外⇄2階で同様に諸元値だけ増加し, 『パッシブ経路』は十分に確保されていた。

K邸ではパッシブ換気の状態にて測定した結果, 総換気量はΔTの平方根(√)に比例し, 中間期に比べて冬期の総換気量は118.5[m³/h](=89.8×√(21.5/11.6))まで増加していたが, 換気回数は約0.20[回/h]であった。その際の空間換気量は1階⇄床下及び床下⇄2階で総換気量の約5倍に相当する450[m³/h]前後, 2階⇄床下で約100[m³/h]を示し, 『リターン経路』は全体で機能していた。

ガラリ廻りの熱画像(K邸)を写真1に示す。吹抜下の1階南面ガラリ周辺の温度分布は真下にある蓄熱暖房器により直接加温されて20:00の時点で19[°C]になり, 上向きの空気流れが形成されていた。逆に階段下の1階リターンガラリ周辺の温度分布は真下にある給気ボックスにより直接冷却されず1:00の時点で15[°C]になり, 下向きの空気流れが形成されていた。従って, 単一トレーサガスを用いた換気量測定による空間換気量とサーモカメラ撮影による熱画像を通じて空気循環の実態が確認された。

表2 測定項目

名称	S邸	T邸	K邸
総換気量 (一定供給法, 風量計: コーナー札幌製)	第3種:4点 (1階トイレ, 洋室(A), ホール, 2階トイレ)	パッシブ:2点 (排気口×2点) +第1種:4点 (ユーティリティ, 1階トイレ, 主寝室, 2階トイレ)	パッシブ:2点 (給気口×2点)
空間換気量 (一定供給法: コーナー札幌製)	2008年10月3日 (中間期) 2009年1月9日 (冬期)	2009年2月16日 (パッシブ) 2009年2月17日 (パッシブ+第1種)	2009年10月22日 (中間期) 2010年1月14日 (冬期)
温湿度 (温湿度計:T&D製)	2階:2点(洋室(A), 洋室(B)) 1階:1点(LD) 床下:4点(LD下, ET1, ET2, ET3) 屋外:1点(気象台)	2階:4点(主寝室, 洋室1, 洋室2, 洋室3) 1階:2点(食堂, 居間) 床下:4点(居間下, 洋室下, ET1, ET2) 屋外:1点(北側玄関口)	2階:3点(寝室, ホール, 洋室) 1階:2点(LD, 台所) 床下:3点(階段下, 玄関下, 給気ボックス) 屋外:1点(北側駐車場)
電力消費量 (ロガー:HIOKI製)	○(給湯・暖房・ その他)	○(その他)	○(給湯・暖房・ 太陽光発電・その他)
ガス消費量 (ロガー:金門製作所製)	-	○(給湯・暖房)	-

表3 総換気量

名称	S邸		T邸		K邸	
実施日	2008年 10月3日	2009年 1月9日	2009年 2月16日	2009年 2月17日	2009年 10月22日	2010年 1月14日
換気方式	第3種 換気	第3種 換気	パッシブ 換気	ハイブリッド 換気	パッシブ 換気	パッシブ 換気
外気温 [°C]	14.1	1.9	-6.3	-6.2	4.6	-5.0
内外温度差 (ΔT)[deg]	7.5	17.7	24.5	23.1	11.6	21.5
外部風速 [m/s](風向)	4.9 (南南東)	4.9 (南南東)	0.8 (西南西)	1.1 (西北西)	1.5 (南南東)	1.6 (南西)
総換気量 [m ³ /h]	135.4	127.2	168.4	271.1	89.8	118.5
換気回数 [回/h]	0.52	0.48	0.38	0.60	0.17	0.23
リターンガラリ 面積[cm ²]	2階:2200 1階:1320				2階:0 1階:5580	
備考	外気温・外部風速:札幌管区気象台データ 内外温度差:各階室容積の加重平均, 灰色表示:主な変更					

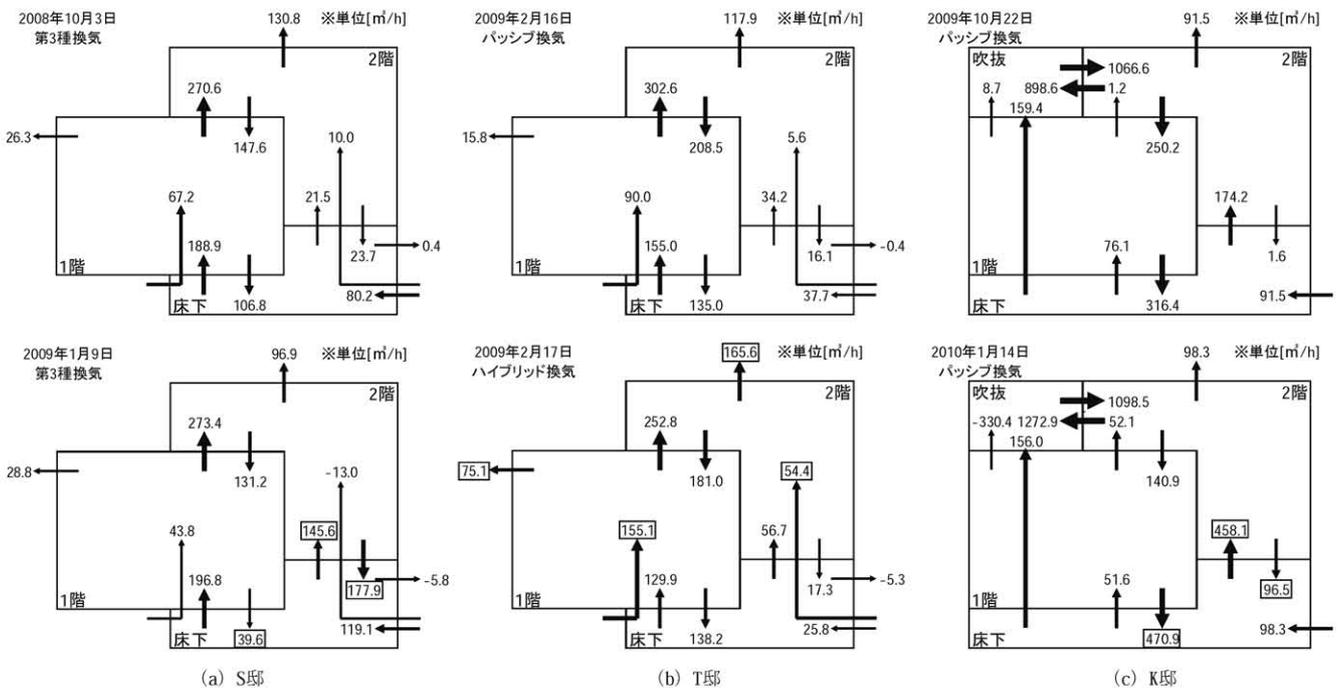


図2 空間換気量

4. 全室暖房の実態

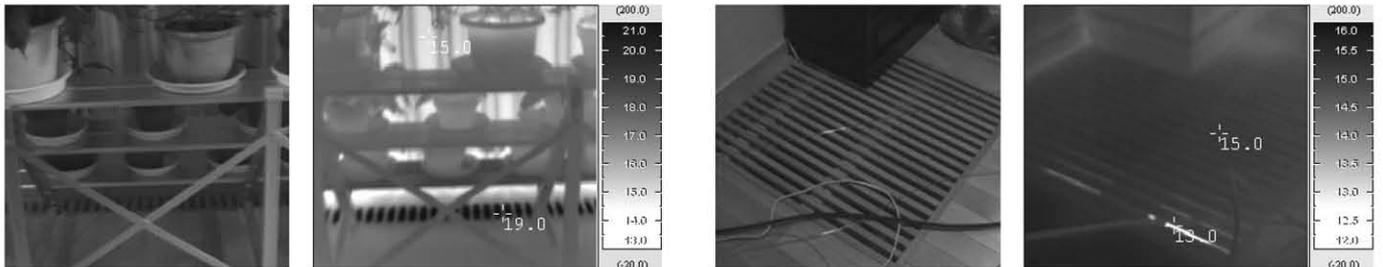
4.1 調査対象期間（2009年8月～2010年4月）の温度特性

調査対象期間の室温変動を図3、各月の温度特性を図4に示す。外気温が日々変動を繰り返す中で、夏期から冬期に掛けて室温は20～25[°C]の範囲で常時安定していた。それらを箱髣図の形で各月並びに各階で整理した結果、時間的溫度むらに相当するAve±σは非常に小さく抑えられ、優れた断熱・気密性能が十分に発揮された。T邸では最低室温が暖房開始月の10月中旬に約16[°C]、暖房終了月の4月下旬に約19[°C]を示し、他の月に比べてやや低かったが、平均室温は常時20[°C]以上で維持されていた。一方、K邸では最低室温が10月と1月に15[°C]以下を示したが、これは換気量測定に伴う窓開放が要因であると考えられる。更にS邸・K邸では蓄熱暖房器から放熱された

熱はふかし壁・壁面通気口・ガラリ・通気壁等を介して直接居室へ供給され、居室に比べて床下は20[°C]前後の低い温度域であった。

4.2 暖房期間（2009年10月～2010年4月）の温度特性

暖房期間の室温が18[°C]未満になった比率を表4、内外温度差と室温標準偏差の関係を図5に示す。絵内による室温の限界指標¹⁾に準拠して18[°C]未満で整理した結果、高層マンションが隣接するS邸では非活動時（23:00～7:00）に2階が度々18[°C]未満になり、2月に比率は13[%]になった。それらは活動時（7:00～23:00）にほぼ改善され、室温標準偏差は外気温に関連する内外温度差に左右されることなく、日射量に関連する日照時間が長くても1[°C]程度に収まっていた。隣棟間隔が狭いT邸では暖房開始月の10月に比率は8[%]前後になったが、それ以降は限界指標に到達することなく、室温標準偏差



(a) 1階南面ガラリ (2010年1月14日20:00, レンジ13.0~21.0[°C])

(b) 1階リターンガラリ (2010年1月15日1:00, レンジ12.0~16.0[°C])

写真1 ガラリ廻りの熱画像 (K邸)

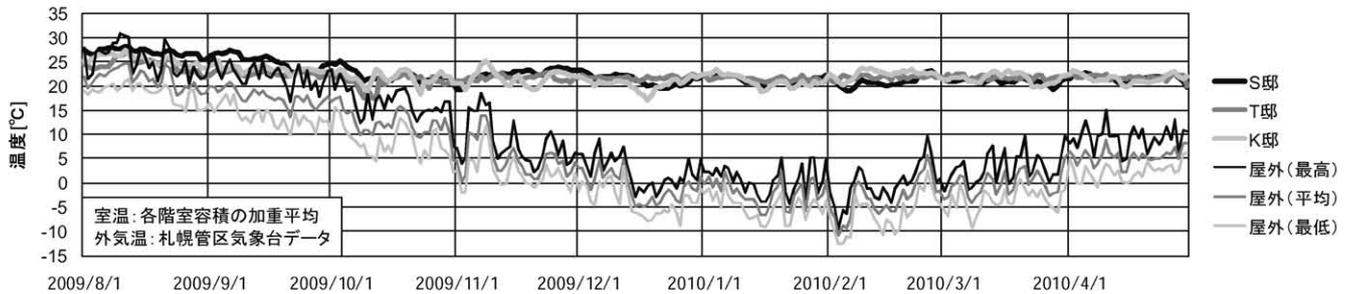
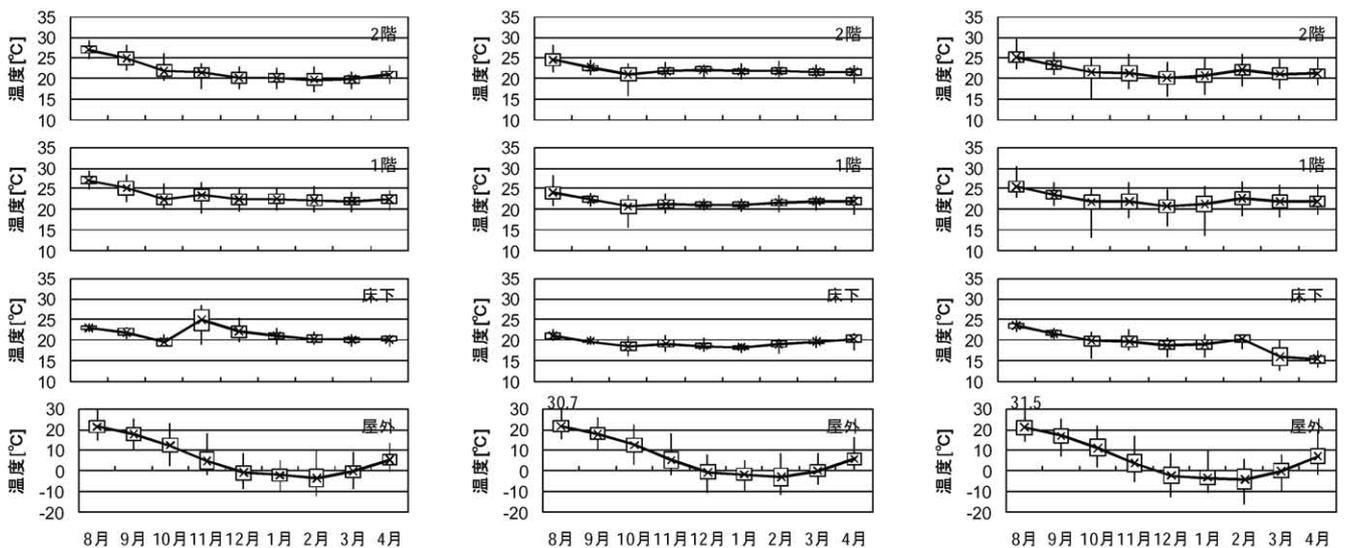


図3 調査対象期間の室温変動



(a) S邸

(b) T邸

(c) K邸

図4 調査対象期間の各月の温度特性

も常時安定していた。隣棟間隔が広いK邸では12月と1月の非活動時(23:00~7:00)に比率は10[%]台になったが、これは居住者による蓄熱暖房器の運転台数や蓄熱量(大・中・小の3段階)の変更に伴う室温低下が要因であると考えられる。具体的には、蓄熱暖房器の運転を5台(蓄熱量:大)から8台(蓄熱量:小)へ変更した12/16~12/17の朝方に加え、その後8台(蓄熱量:中)へ変更した直後の立ち上がり12/18~12/19の朝方に室温低下が生じていた。室温標準偏差は内外温度差かつ日照時間に左右されることなく、日照時間が長くても2[°C]程度に収まっていた。

4.3 最寒日(2/2~2/4)の時間的溫度特性

最寒日の室温変動を図6に示す。最も外気温が低かった2/3とその前後を最寒日とする。室温変動は常時安定していたが、その変動の傾向として高断熱や熱容量の効果により外気温や日射量のピークに対して2時間程度の遅れが生じていた。特に隣棟間隔が広く日射からの取得熱量が多いと予想されるK邸ではその時間遅れが顕著であった。更にS邸・K邸では蓄熱暖房器の特性を踏まえた理想的な室温変動を示し、最低となる睡眠時(4:00~5:00)から起床時(7:00~

8:00)に掛けて室温が徐々に回復していた。この最寒日の快適性を評価するために、代謝量1.1[met]・着衣量1.2[clo]・風速0.1[m/s]の条件でPMVを算出した。国際規格ISO-7730では快適域として $-0.5 \leq PMV \leq +0.5$ が推奨され、1階居住者のPMV=Ave±σはS邸では -0.05 ± 0.19 , T邸では -0.34 ± 0.21 , K邸では -0.01 ± 0.30 であり、快適な室内環境が形成されていた。

4.4 最寒日(2/2~2/4)の空間的溫度特性

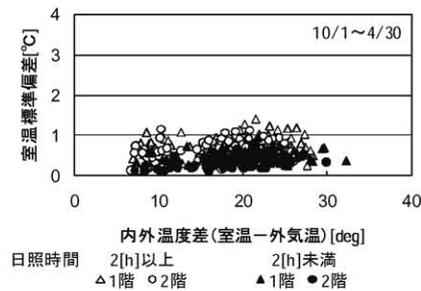
最寒日の室間温度差を表5に示す。S邸では1階に比べて2階は全体的に低い温度域であり、 $2 \leq \Delta T < 3$ の比率が最も大きく3[deg]以上となる垂直方向の空間的溫度むらが若干生じていた。ただし、南側に位置する洋室(A)と北側に位置する洋室(B)のΔTは小さく水平方向の空間的溫度むらは低減されていた。スキップフロアを有するT邸並びに吹抜を有するK邸では垂直かつ水平方向の空間的溫度むらは軽微であり、ΔT標準偏差も1[deg]以内に収まっていた。従って、優れた断熱・気密性能に加え、土間や家具等の熱容量により時間的・空間的溫度むらは非常に小さく抑えられ、20~22[°C]程度の全室暖房の実態が確認された。

表4 暖房期間の室温が18[°C]未満になった比率

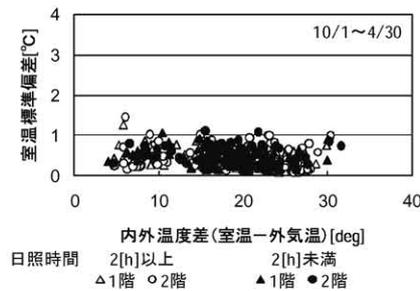
名称	S邸				T邸				K邸			
	1階		2階		1階		2階		1階		2階	
対象時間	7:00~23:00	23:00~7:00	7:00~23:00	23:00~7:00	7:00~23:00	23:00~7:00	7:00~23:00	23:00~7:00	7:00~23:00	23:00~7:00	7:00~23:00	23:00~7:00
10月	0%	0%	0%	0%	9%	8%	6%	2%	4%	2%	4%	4%
11月	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4%
12月	0%	0%	0%	5%	0%	0%	0%	2%	13%	6%	13%	
1月	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	1%	8%	1%	12%	
2月	0%	0%	3%	13%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3月	0%	0%	1%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	
4月	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
備考	比率:室温が18[°C]未満になった時間数/対象時間数×100 灰色表示:5%以上											

表5 最寒日の室間温度差

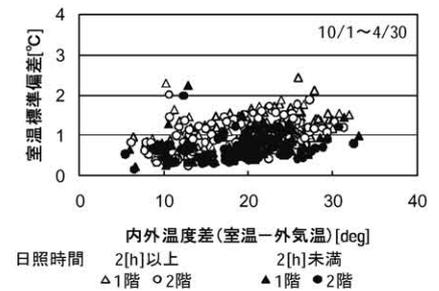
名称	S邸		T邸			K邸		
	1階-2階	洋室(A)-洋室(B)	1階-2階	居間-食堂	主寝室-洋室3	1階-2階	LD-台所	寝室-ホール
$-4 \leq \Delta t < -3$	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
$-3 \leq \Delta t < -2$	0%	0%	1%	0%	11%	0%	0%	0%
$-2 \leq \Delta t < -1$	0%	0%	47%	0%	51%	0%	0%	0%
$-1 \leq \Delta t < 0$	0%	13%	42%	97%	36%	0%	1%	90%
$0 \leq \Delta t < 1$	0%	74%	10%	3%	1%	96%	99%	10%
$1 \leq \Delta t < 2$	11%	14%	0%	0%	0%	4%	0%	0%
$2 \leq \Delta t < 3$	83%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
$3 \leq \Delta t < 4$	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ΔT標準偏差	0.35 [deg]	0.41 [deg]	0.55 [deg]	0.16 [deg]	0.64 [deg]	0.31 [deg]	0.24 [deg]	0.23 [deg]
備考	灰色表示:15%以上							



(a) S邸

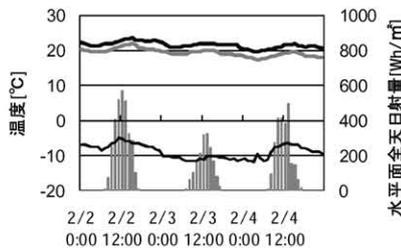


(b) T邸

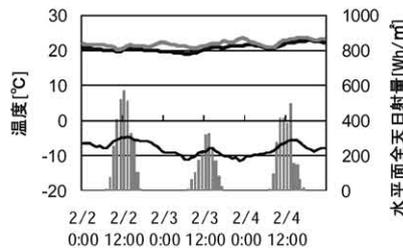


(c) K邸

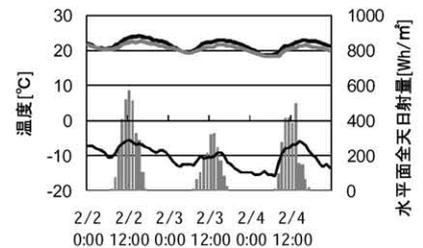
図5 暖房期間の内外温度差と室温標準偏差の関係



(a) S邸



(b) T邸



(c) K邸

図6 最寒日の室温変動

5. 暖房エネルギー消費量の実態

5.1 暖房エネルギー消費量の推移

月間エネルギー消費量と使用率を図7に示す。全体のエネルギー消費量から暖房を除いた分は給湯、照明・コンセントに相当する^(注7)。尚、使用率として夜間電力使用率(=夜間電力/(昼間電力+夜間電力)×100)、暖房使用率(=暖房/(暖房+給湯+照明・コンセント)×100)、ガス使用率(=ガス/(電力+ガス)×100)の3つを示す。暖房エネルギー消費量は一般的に暖房を開始する10月から徐々に増加し、1月に最大となるエネルギー消費パターンを示した。蓄熱式電気暖房器により全室暖房が行われていたS邸・K邸の場合、夜間電力使用率はピークで85[%]以上、暖房使用率は70~80[%]であった。一方、潜熱回収型ガス給湯暖房機により全室暖房が行われていたT邸の場合、ガス使用率はピークで90[%]以上、暖房使用率は80[%]以上であった。

最寒日の電力消費量を図8、取得熱量(K邸)を図9に示す。10台の蓄熱暖房器に対して8台(蓄熱量:中または大)で運転した場合、全体の電力消費量に占める暖房の比率は夜間で90[%]前後に達していた。また、最も外気温が低く日射量が比較的少なかった2/3の場合、

居室の暖房熱源として寄与する全体の取得熱量に占める暖房以外(日射・人体・機器)の比率は31[%]になり、その内日射からの取得熱量(日射熱取得率:0.47)が半分程度(日射:15.7[kWh/day]、人体:3.6[kWh/day]、機器:16.1[kWh/day])を占めていた。

5.2 暖房エネルギー消費量の比較

内外温度差と暖房エネルギー消費量の関係を図10に示す。尚、内外温度差は各階室容積の加重平均、暖房エネルギー消費量は単位床面積当たりを示す。両者の間で強い正の相関($R^2=0.9$ 以上)を示し、内外温度差が1[°C]変化すると暖房エネルギー消費量は約1[W/m²]増減し、実測Q値は設計Q値と同様に1.0[W/m²·K]前後であった。自然温度差^(注9)はS邸・K邸に比べてT邸では2.9[deg]で比較的小さかったが、これは居住者が1人少ないことによる人体・機器かつ隣棟間隔が狭いことによる日射からの取得熱量の過少が要因であると考えられる。

灯油換算による年間暖房エネルギー消費量を図11、暖房による年間CO₂排出量を図12に示す。二次エネルギー換算値^(注8)を用いて全国的調査研究北海道地区(戸建木造)及び北海道無暖冷房住宅研究会(目標値)を含めて比較すると、T邸では前述の要因で示したように

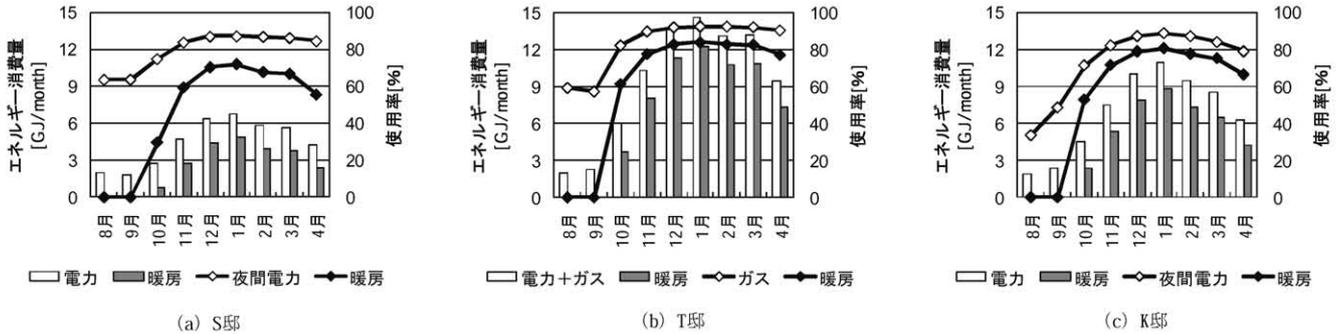


図7 月間エネルギー消費量と使用率

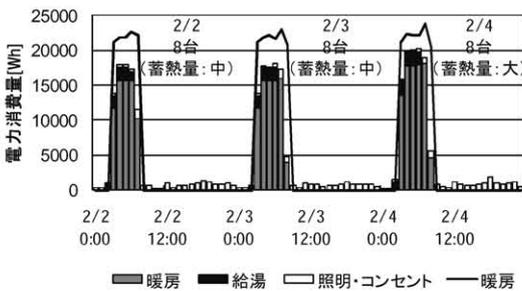


図8 最寒日の電力消費量 (K邸)

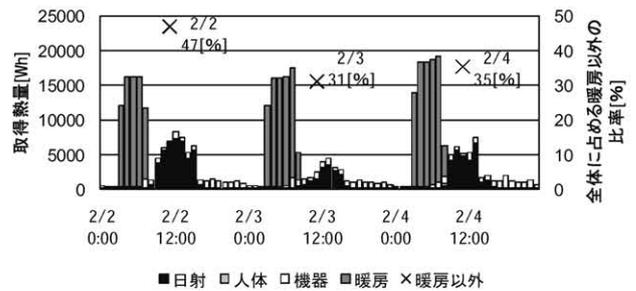
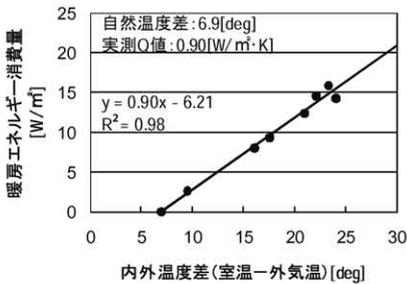
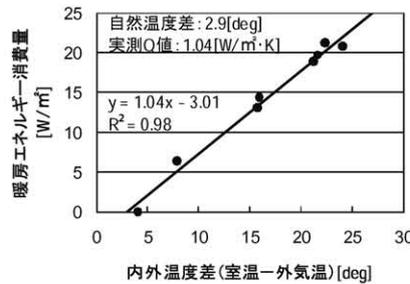


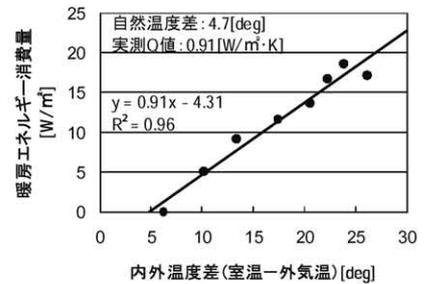
図9 最寒日の取得熱量 (K邸)



(a) S邸



(b) T邸



(c) K邸

図10 内外温度差と暖房エネルギー消費量の関係

居室の暖房熱源として寄与する人体・機器・日射からの取得熱量の過少により結果的に年間暖房エネルギー消費量は10[L/m²・year]以上となった。逆にS邸・T邸では戸建木造の75[%]前後及び目標値の約2倍に相当する6.0[L/m²・year]前後となった。それに対して排出係数^{注9)}を用いて比較すると、暖房エネルギー消費量が多かったT邸では年間CO₂排出量は約3300[kg-CO₂/year] (約20[kg-CO₂/m²・year])で最も少なかった。一方、K邸では約6900[kg-CO₂/year]で最も多かったが、単位床面積当たりの場合、S邸に比べて同程度でT邸に比べて2倍程度であった。従って、このように同じ全室暖房を前提としたQ値1.0[W/m²・K]前後の北方型住宅の中でも、灯油またはCO₂ベースで大きく異なる暖房エネルギー消費量の実態が確認された。

6. まとめ

札幌市内に建設された基礎断熱を施した床下空間を有する北方型住宅を対象に、快適な室内環境の形成に寄与する空気循環及び全室暖房の実態に加え、暖房エネルギー消費量の実態をそれぞれ明らかにした。以下に得られた成果を簡潔にまとめる。

- 1) 単一トレーサガスを用いた換気量測定による空間換気量とサーモカメラ撮影による熱画像を通じて空気循環の実態が確認され、K邸では空間換気量は1階⇒床下及び床下⇒2階で総換気量の約5倍に相当する450[m³/h]前後を示し、S邸では『リターン経路』が一部で機能し、T邸では『パッシブ経路』が十分に確保されていた。
- 2) 優れた断熱・気密性能に加え、土間や家具等の熱容量により時間的・空間的温度むらは非常に小さく抑えられ、20～22[°C]程度の全室暖房の実態が確認され、室温が18[°C]未満になった比率をはじめ、室温標準偏差・PMV・空間温度差等の温度特性を示した。
- 3) 全体のエネルギー消費量に占める暖房利用率は蓄熱式電気暖房器では70～80[%]、潜熱回収型ガス給湯暖房機では80[%]以上であった。一方、最寒日のK邸では居室の暖房熱源として寄与する全体に占める日射・人体・機器からの取得熱量の比率は31[%]になった。

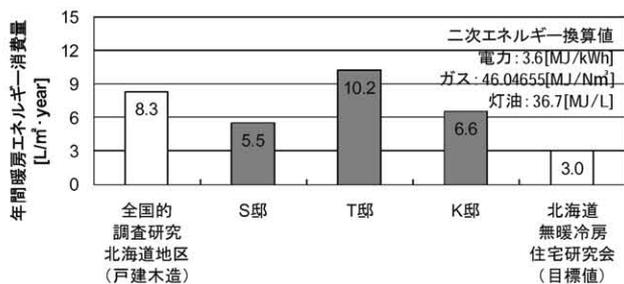


図11 灯油換算による年間暖房エネルギー消費量

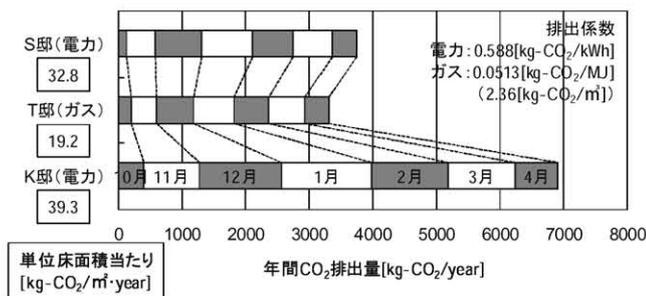


図12 暖房による年間CO₂排出量

4) 同じ全室暖房を前提としたQ値1.0[W/m²・K]前後の北方型住宅の中でも、灯油またはCO₂ベースで大きく異なる暖房エネルギー消費量の実態が確認され、T邸では10[L/m²・year]以上、S邸・T邸では6.0[L/m²・year]前後となった。

謝辞

本研究の一部は、財団法人トステム建材産業振興財団、第17回(平成20年度)助成「寒冷地における高断熱・高気密パッシブ換気住宅の性能評価」(申請者:菊田弘輝)により行った。また、居住者の方々、福島明氏(北方建築総合研究所)、鏡原薫氏(㈱大洋建設)、森成世氏(㈱テーエム企画)、高杉昇氏(はるす工房)、NPO法人パッシブシステム研究会、佐藤芳郎氏(大平洋建業㈱)、天谷一男氏(㈱拓建築設計事務所)、プロジェクトC、菊地洋氏(コーナー札幌㈱)には多大なご協力を頂いた。記して感謝する。

注

- 注1) 事業名称は平成20年度「超長期住宅先導的モデル事業」、平成21年度「長期優良住宅先導的モデル事業」、平成22年度「長期優良住宅先導事業」である。
- 注2) 上記事業に採択されたプロジェクトの1つであり、従来の北方型住宅ではQ値1.6[W/m²・K]以下(換気による熱回収無)、C値2.0[cm²/m]以下が認定時の必須基準となる。
- 注3) 新木造住宅技術研究協議会のQ1.0プロジェクト
- 注4) 北海道無暖冷房住宅研究会の「3-0-3運動」等
- 注5) 蓄熱式電気暖房器は運転台数や蓄熱量(大・中・小の3段階)の調整が可能である。
- 注6) 潜熱回収型ガス給湯暖房機(給湯効率:最大95[%]、暖房効率:最大89[%])で生成された温水は暖房用として55～80[°C](7段階)で制御され、配管接続で各階の床下ヒーターに温水が供給される。
- 注7) エネルギー消費量の一部が欠測した場合、各月の電力使用量及びガス使用量の明細に基づいて8月と9月の平均値をベースに10～4月でそれを越えた分を暖房エネルギー消費量と仮定した。
- 注8) 電力及び灯油は㈱住環境計画研究所編の「家庭用エネルギーハンドブック(2009年版)」, ガスは北海道ガス㈱ホームページから引用した。
- 注9) 電力は環境省公表の「平成20年度の電気事業者別実排出係数・調整後排出係数等」, ガスは北海道ガス㈱ホームページから引用した。

本研究に関連した既発表文献(一部)

- *1) 阿部佑平, 菊田弘輝, 羽山広文, 絵内正道, 吉田卓生: 寒冷地における高断熱・高気密住宅の温熱・空気環境に関する研究 その1 冬期における温熱環境の把握, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.1227-1230, 2009.9
- *2) 吉田卓生, 菊田弘輝, 羽山広文, 絵内正道, 阿部佑平: 高断熱・高気密パッシブ換気住宅の室内環境の検証 その5 冬期実測に基づく温熱環境・換気性状の検証, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.2231-2234, 2009.9
- *3) 永沼純一, 菊田弘輝, 羽山広文, 吉田卓生, 阿部佑平: 積雪寒冷地における太陽光発電システムを有する高断熱・高気密住宅の性能評価 その4 パッシブ換気住宅における室内空気循環の把握, 日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学II, pp.749-750, 2010.9

参考文献

- 1) 長谷川兼一, 吉野博, 松本真一: 東北地方における断熱気密住宅のエネルギー消費量 - 暖房用を中心とした実態調査と数値計算 -, 日本建築学会計画系論文集, No.557, pp.49-56, 2002.7
- 2) 謝静超, 吉野博, 菅原華子, 三田村輝章, 長谷川兼一, 源城かほり, 千葉智成: 東北地方の住宅9戸における2年間にわたるエネルギー消費量等の詳細分析, 日本建築学会環境系論文集, No.618, pp.17-22, 2007.8
- 3) 丹羽悠介, 正村順子, 岩井一博, 高木直樹, 長谷川兼一, 山下恭弘: 長野市を中心とした断熱気密住宅のエネルギー消費量の実態 - 暖房用エネルギー消費量を中心として -, 日本建築学会計画系論文集, No.565, pp.61-66, 2003.3

- 4) 坂口淳, 赤林伸一, 山口一: 新潟市に建設された住宅における室内温熱環境とエネルギー消費量に関する実測調査 全電化・高気密・高断熱住宅を対象として, 日本建築学会計画系論文集, No.543, pp.33-39, 2001.5
- 5) 西村仁, 池田真樹, 藤村知春, 垂水弘夫: 北陸の次世代省エネルギー基準全電化住宅を対象とした温熱環境と暖冷房用エネルギー消費に関する実態調査, 日本建築学会環境系論文集, No.582, pp.37-44, 2004.8
- 6) 村上周三ら: 平成13~15年度「住宅内のエネルギー消費に関する全国的調査研究」報告書, 社団法人日本建築学会, 2002~2004.3
- 7) 羽山広文ら: 住宅内室温分布の要因分析とその評価方法に関する研究 その1~3, 日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学II, pp.103-108, 2008.9
- 8) 福島明, 宮浦睦明, 絵内正道, 土井聰: 基礎断熱した床下空間を冷外気の予熱給気を利用した自然給気方式の実験的検討 寒冷地のパッシブ換気に関する研究 その1, 日本建築学会計画系論文集, No.498, pp.51-56, 1997.8
- 9) 福島明, 絵内正道, 宮浦睦明, 本間義規: 基礎断熱した床下空間を利用したパッシブ換気・暖房方式の実住宅への適用 寒冷地のパッシブ換気に関する研究 その2, 日本建築学会計画系論文集, No.532, pp.51-56, 2000.6
- 10) 絵内正道: 高断熱高気密住宅の暖房設備設計法, 財団法人北海道建築指導センター, 2010.7
- 11) 北海道建設部住宅局建築指導課, 北海道立北方建築総合研究所編集: 新しい北方型住宅のつくり方ー北方型住宅 技術解説書ー改訂版, 財団法人北海道建築指導センター, 2009.1
- 12) 絵内正道ら: 床下暖房システムマニュアル, 北海道住宅環境協議会, 2001.9
- 13) 北海道立北方建築総合研究所監修: パッシブ換気システム設計・施工マニュアル, 財団法人北海道建築指導センター, 1999.3
- 14) 菊田弘輝, 阿部佑平, 絵内正道, 羽山広文, 白石洋平: 単一トレーサガス法に基づく多数室換気量測定手法の検討, 空気調和・衛生工学会論文集, No.149, pp.23-32, 2009.8
- 15) 絵内正道, サデギアンタギ: 北海道無暖冷房住宅に向けた試み, 日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学II, pp.99-100, 2008.9
- 16) 藤原陽三, 絵内正道, 鈴木憲三, 羽山広文: 北海道の高断熱・高気密住宅におけるセントラル暖房システムの運転実態に関する調査, 日本建築学会環境系論文集, No.628, pp.767-774, 2008.6
- 17) 福島明, 池田裕雅, 立松宏一ら: 新しい北方型住宅に関する研究 第1~3, 日本建築学会北海道支部研究報告集 No.83, pp.389-394 & pp.299-302, 2010.7

(2010年7月8日原稿受理, 2010年10月13日採用決定)