

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560708

研究課題名(和文) 日常及び緊急時双方に適用可能な無暖房化に向けた住環境整備手法の構築

研究課題名(英文) Establishment of living environment preparation method for without heating applied to both daily life and emergency

研究代表者

菊田 弘輝(Kikuta, Koki)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：20431322

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：将来の無暖房化に向けて、戸建住宅や学校体育館を対象に、実測調査、アンケート調査、エネルギー調査、数値シミュレーション等を行った。その結果、再生可能エネルギー利用促進(例えば、太陽熱や薪)を図ったパッシブ換気住宅、教室棟で体育館を取り囲む「内包型」で設計した体育館、暖房機能の停止に備えた「高断熱型」で設計した体育館は重要な住環境整備手法として位置付けられることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Measurement, questionnaire and energy surveys, numerical simulation, and so on were performed at detached houses and school gymnasiums for without heating in the future. As a result, it was clarified that 1)-3) were positioned as important living environment preparation method: 1) passive ventilation house for promoting use of renewable energy, for example, solar heat and firewood, 2) gymnasium designed at school with gymnasium surrounded by classrooms, and 3) gymnasium designed by high thermal insulation in order to prepare for heating function stop.

研究分野：建築環境・設備、環境計画・設計

キーワード：無暖房化 暖房負荷 パッシブ換気 薪ストーブ エクセルギー 体育館内包型 気密測定 最低室温

1. 研究開始当初の背景

暖房需要が大きい北海道では北方型住宅の認定制度(1990年)以降、次世代省エネルギー基準相当(Q値1.6[W/m<sup>2</sup>・K]以下)の戸建住宅が建設され、近年の長期優良住宅先導事業(2008年~)による北方型住宅ECOへの発展に繋がっている。しかし、寒冷地・準寒冷地では防寒対策として本来必要な断熱・気密性能に満たない建物が新築・既存問わず数多く存在している。将来的な性能に係るボトムアップの促進とトップランナーの提唱を図っていく上で、快適性・省エネ性の向上に繋がるような無暖房化の取り組みは当然必要になる。それに関連して札幌市では2010年度から無暖房住宅を想定した独自の「札幌版次世代住宅基準」を策定するため、有識者と行政関係者が所要の検討を行っている。

そんな最中に東日本大震災が発生し、自宅や収容避難場所として指定される学校施設では数日間に亘って暖房が運転できない状況であったと言われている。また、国立教育政策研究所のプレス発表によると、ピーク時には622[校]の学校施設が収容避難場所となり、電気・水の確保や暖房設備の不足といった様々な課題が生じていたと報告している。そこで、従来の考え方に加え電源・燃料喪失時に対して安全性の向上に繋がるような無暖房化の取り組みが今後必要になる。

2. 研究の目的

本研究では寒冷地・準寒冷地の冬期において、日常及び緊急時双方に適用可能な無暖房化に向けた住環境整備手法を構築することを目的とし、実態把握に基づく数値解析を通じて最終的に無暖房化に効果的な環境配慮設計・運用方法を提案する。対象建物は日常及び緊急時双方を想定した新築の戸建住宅に加え今回新たに無暖房化が求められる既存の学校体育館とする。

3. 研究の方法

将来の無暖房化に向けて、戸建住宅や学校体育館を対象に、実測調査、アンケート調査、エネルギー調査、数値シミュレーション等を行った。具体的には、下記の実態把握に係る【1】~【3】及び数値解析に係る【4】~【6】について実施した。

【1】北方型の標準住宅モデルと現代型の生活スケジュールの作成

【2】体育館の無暖房化の検討で重要な在室人数と換気量等の定量化

【3】局所的気候特性と気候変動シナリオを考慮した各種気象データの活用

【4】多数室と多層モデルを想定した熱・空気・光環境の解析モデルの作成

【5】電源・燃料喪失時の各断熱・気密性能における室内環境の評価

【6】無暖房化に効果的な環境配慮設計・運用方法の提案

4. 研究成果

代表的な研究成果のみを紹介し、詳細は雑誌論文や学会発表を参照されたい。

(1) 戸建住宅

北方型の標準住宅モデルと現代型の生活スケジュールを作成した。モデル内の各断熱性能は北方型住宅ECO相当(Q値1.3[W/m<sup>2</sup>・K]以下)をベーシックレベルとするそれぞれの段階に合わせたスタンダードレベル・ハイレベル・トップランナーレベル(Q値0.6[W/m<sup>2</sup>・K]以下)を設定し、各気密性能も施工技術を踏まえ2~3段階で設定した。外界条件として従来の拡張アメダス気象データ(1990年代)以外に局所的気候特性と気候変動シナリオを考慮するため、マルチセンサー(2010年)と将来気象データ(2040年代)を活用した。以上より、それぞれの条件下で自然室温及び暖房負荷を算出し、今後の無暖房化に向けての基礎データを得た。

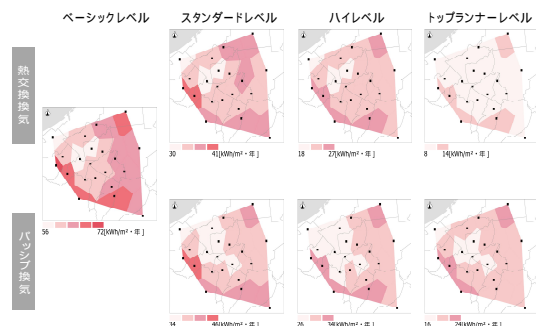


図1 住宅熱負荷マップ (南向き, 20[ ]設定)

それらを参考に、高性能なパッシブ換気住宅を対象とした薪ストーブ利用時の室内環境調査を行い、一次エネルギー削減効果と従来の床下暖房ではない薪ストーブにおける室内温熱・空気環境の実態を検証した。また、実測調査と数値シミュレーションを基に、パッシブ換気住宅の床下空間を用いた太陽熱利用の効果を示した。

表1 設置費用対効果

	札幌	旭川	深川	室蘭	函館	帯広	北見	釧路
SL	3.0	3.1	4.1	2.9	2.6	2.1	3.6	2.2
HL	4.0	4.1	5.3	3.9	3.3	2.8	4.7	2.9
TL								

設置費用回収年数 :15年以下、:15~20年、:20年以上

表の値 = 住宅性能向上による暖房負荷削減量

太陽熱集熱装置による暖房負荷削減量

例) 札幌 SLからHL: SLでの太陽熱集熱装置による削減量の3.0倍

HLからTL: HLでの太陽熱集熱装置による削減量の4.0倍

一方、室内環境調査を継続し、新たにエネルギー収支とエクセルギー収支による評価を行い、温熱環境の形成の実態をより詳細に解明した。主に薪ストーブのエクセルギー消費過程、断熱性能と入出力・消費エクセルギー

一の関係を明らかにした。

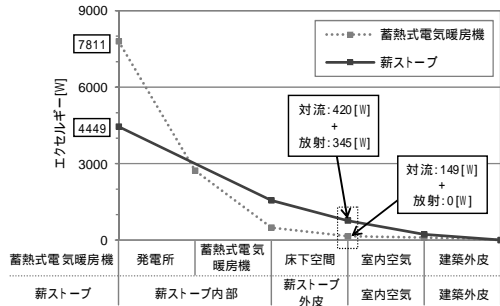


図2 エクセルギー消費過程の比較

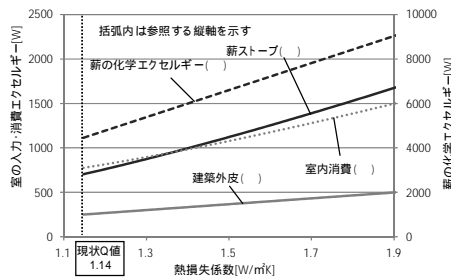


図3 断熱性能と入出力・消費エクセルギーの関係

(2) 学校体育館

アンケート・エネルギー調査と大規模空間の気密測定を実施し、体育館の無暖房化の検討で重要な在室人数と換気量等を定量化した。従来の住宅気密測定器における送風機を最大4台まで同時に制御し、大規模空間や隙間の多い住宅で測定できるように工夫した。以上より、フィールド調査で得られた結果を基に、ESP-r による数値シミュレーションを実施し、主に総相当隙間面積の影響、人体発熱の影響、窓面断熱補強の効果、非常用暖房設備の効果を明らかにした。

表2 総相当隙間面積 (1980年代)

建物名	I小学校	A小学校
測定日	12/2/20	12/2/27
室温, 外気温 (t <sub>i</sub> , t <sub>e</sub> )	[ ]	13.0, -1.4
外部風速 (v)	[m/s]	3.4
隙間特性値 (n)	[ - ] (無次元)	1.70
通気率 (a)	[m³/(h·Pa <sup>1/n</sup> )]	1050.5
総相当隙間面積 (A)	[cm²]	2886
備考	xy共分散 (S <sub>xy</sub> ), x標準偏差 (S <sub>x</sub> ), 空気密度 ( )	

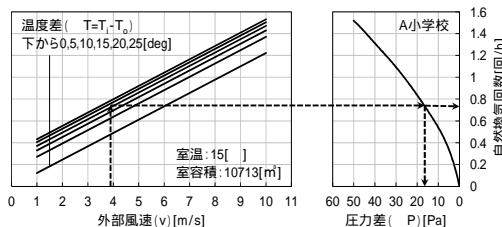


図4 自然換気回数 (1980年代)

また、無暖房化に向けた抜本的対策として、後者と体育館を一体的に建築した体育館内包型小学校に着目した。エネルギー消費特性や温熱環境の実態を把握し、実測結果やアンケート結果から内包型の有意性や課題点を整理した。

その後、無暖房化に効果的な環境配慮設計・運用方法の提案に向けて、教室棟で体育館を取り囲む「内包型」で設計した体育館(K校)に加え、新たに暖房機能の停止に備えた「高断熱型」で設計した体育館(H校)の実証実験を行った。H校の設計条件は、無暖房の状況(人体発熱のみ考慮)で外気温-10[ ]以上(内外温度差20[ ]以上)となっている。その上で、物理的・心理的双方の影響に基づく室内環境の評価、他校及び旧校舎の暖房エネルギー消費量との比較を行い、無暖房化の可能性が示唆された。一方、最初の気密測定(1980年代竣工, S造)に準拠する形で、再度気密測定(2010年代竣工, SRC造)を行った結果、総相当隙間面積は1000[cm²]、漏気回数は約0.4[回/h]であることが定量化された。

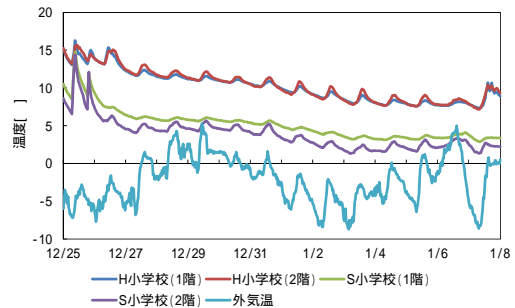


図5 年末年始の温度変動

表3 総相当隙間面積 (2010年代)

建物名	H小学校	S小学校
測定日	14/10/23	14/8/8
室温, 外気温 (t <sub>i</sub> , t <sub>e</sub> )	[ ]	17.8, 9.1
外部風速 (v)	[m/s]	1.0
隙間特性値 (n)	[ - ] (無次元)	1.22
通気率 (a)	[m³/(h·Pa <sup>1/n</sup> )]	176.0
総相当隙間面積 (A)	[cm²]	805
備考	xy共分散 (S <sub>xy</sub> ), x標準偏差 (S <sub>x</sub> ), 空気密度 ( )	

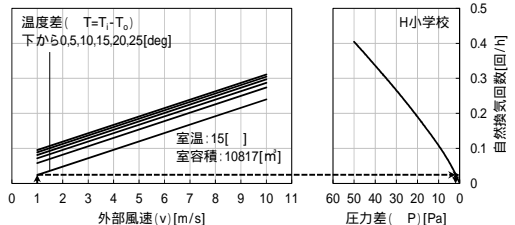


図6 自然換気回数 (2010年代)

(3) 将来の無暖房化に向けて

無暖房化の条件は確保すべき最低室温によるため、戸建住宅では18~20[ ]を想定する。また、学校体育館では以前実施したアンケート調査によると、「日常活動時と緊急避

難時で確保すべき最低室温」の設問に対して緊急避難時の行動が食事や睡眠である以上、「日常活動時(15[ ]以上) < 緊急避難時(20[ ]以上)」という興味深い結果が確認されている。

これらを踏まえ、将来の無暖房化に向けて、【1】～【6】について実施した。その結果、再生可能エネルギー利用促進(例えば、太陽熱や薪)を図ったパッシブ換気住宅、教室棟で体育館を取り囲む「内包型」で設計した体育館、暖房機能の停止に備えた「高断熱型」で設計した体育館は重要な住環境整備手法として位置付けられることを明らかにした。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- (1) 尾身佳樹、菊田弘輝、酒田健、斉藤雅也、羽山広文、北方型住宅を対象とした夏期室内環境のエクセルギー評価、日本建築学会環境系論文集、No.696、pp.159-166、2014.2、査読有
- (2) 菊田弘輝、体育館の防寒対策と温熱環境の調査、建築設備と配管工事、No.692 (Vol.51 No.14)、pp.20-23、2013.12

〔学会発表〕(計25件)

- (1) 青柳志歩、菊田弘輝、羽山広文、森太郎、積雪寒冷地における学校体育館の質的向上に関する研究 その1 内包型小学校の調査分析、空気調和・衛生工学会北海道支部 第49回学術講演会、2015.3.10、北海道大学(北海道)
- (2) 松尾悠佑、菊田弘輝、斉藤雅也、羽山広文、森太郎、パッシブ換気住宅における薪ストーブ利用時のエクセルギー評価、空気調和・衛生工学会北海道支部 第49回学術講演会、2015.3.10、北海道大学(北海道)
- (3) 菊田弘輝、尾身佳樹、長谷川兼一、林基哉、パッシブ換気住宅における薪ストーブ利用時の室内環境調査、2014年度日本建築学会大会、2014.9.12～14、神戸大学(兵庫県)
- (4) 大泉翔平、菊田弘輝、羽山広文、森太郎、積雪寒冷地における体育館内包型小学校の環境性能評価、2014年度日本建築学会大会、2014.9.12～14、神戸大学(兵庫県)
- (5) 大泉翔平、菊田弘輝、羽山広文、森太郎、積雪寒冷地における体育館内包型小学校の環境性能評価、空気調和・衛生工学会北海道支部 第48回学術講演会、2014.3.11、北海道大学(北海道)
- (6) 徳田彩佳、菊田弘輝、羽山広文、森太郎、パッシブ換気住宅の床下空間を用いた太陽熱利用に関する研究、空気調和・衛生工学会北海道支部 第48回学術講演会、2014.3.11、北海道大学(北海道)
- (7) 菊田弘輝、尾身佳樹、長谷川兼一、林基哉、豪雪地帯のパッシブ換気住宅を対象

とした薪ストーブ利用時の室内環境調査、空気調和・衛生工学会北海道支部 第48回学術講演会、2014.3.11、北海道大学(北海道)

- (8) 徳田彩佳、菊田弘輝、羽山広文、森太郎、尾身佳樹、高断熱・高気密住宅の床下空間を用いた太陽熱利用に関する研究 その1 実測調査による温熱環境及び空気環境の実態把握、平成25年度空気調和・衛生工学会大会、2013.9.25～27、信州大学(長野県)
- (9) 大泉翔平、菊田弘輝、羽山広文、森太郎、積雪寒冷地における体育館の暖房利用実態及び防寒対策に関する研究 その3 避難訓練実測結果と体育館内包型小学校のエネルギー消費特性、平成25年度空気調和・衛生工学会大会、2013.9.25～27、信州大学(長野県)
- (10) 尾身佳樹、菊田弘輝、酒田健、斉藤雅也、羽山広文、北方型住宅を対象とした夏期室内環境の放射エクセルギー評価、2013年度日本建築学会大会、2013.8.30～9.1、北海道大学(北海道)
- (11) 大泉翔平、菊田弘輝、羽山広文、森太郎、札幌市内小学校の体育館における暖房利用実態及び防寒対策に関する研究 その3 エネルギー利用実態と室温実測調査結果、日本建築学会北海道支部 第86回研究発表会、2013.6.29、北海道工業大学(北海道)
- (12) 徳田彩佳、菊田弘輝、羽山広文、森太郎、尾身佳樹、高断熱・高気密住宅の床下空間を利用した暖房・換気システムに関する研究、日本建築学会北海道支部 第86回研究発表会、2013.6.29、北海道工業大学(北海道)
- (13) 尾身佳樹、菊田弘輝、斉藤雅也、羽山広文、森太郎、福嶋沙織、酒田健、北方型住宅を対象とした室内環境のエクセルギー評価、空気調和・衛生工学会北海道支部 第47回学術講演会、2013.3.13、北海道大学(北海道)
- (14) 尾身佳樹、菊田弘輝、羽山広文、森太郎、徳田彩佳、北方型住宅における内部環境を考慮した住宅性能の評価 その2 冬期における内部環境と室内環境の把握、2012年度日本建築学会大会、2012.9.12～14、名古屋大学(愛知県)
- (15) 徳田彩佳、菊田弘輝、羽山広文、森太郎、永沼純一、尾身佳樹、局地的気候特性を考慮した高断熱・高気密住宅の性能検証 その2 立地条件や暖房設定温度による熱負荷削減効果、2012年度日本建築学会大会、2012.9.12～14、名古屋大学(愛知県)
- (16) 永沼純一、菊田弘輝、羽山広文、森太郎、尾身佳樹、徳田彩佳、北海道における全室暖房を前提とした住宅性能別の暖房負荷削減効果 その2 自然室温及び暖房負荷、2012年度日本建築学会大会、

- 2012.9.12～14、名古屋大学（愛知県）
- (17) 菊田弘輝、永沼純一、羽山広文、森太郎、尾身佳樹、徳田彩佳、北海道における全室暖房を前提とした住宅性能別の暖房負荷削減効果 その1 住宅性能と日射取得モデル、2012年度 日本建築学会大会、2012.9.12～14、名古屋大学（愛知県）
- (18) 大泉翔平、菊田弘輝、羽山広文、森太郎、札幌市内小学校の体育館における暖房利用実態及び防寒対策に関する研究 その2 シミュレーションによる温熱環境の検証、2012年度 日本建築学会大会、2012.9.12～14、名古屋大学（愛知県）
- (19) 徳田彩佳、菊田弘輝、羽山広文、森太郎、尾身佳樹、高断熱・高気密住宅における局地的熱負荷特性 その2 暖房設定温度や暖房方法による熱負荷削減効果、平成24年度 空気調和・衛生工学会大会、2012.9.5～7、北海道大学（北海道）
- (20) 尾身佳樹、菊田弘輝、羽山広文、森太郎、徳田彩佳、北方型住宅における内部環境を考慮した室内環境と住宅性能の把握、平成24年度 空気調和・衛生工学会大会、2012.9.5～7、北海道大学（北海道）
- (21) 大泉翔平、菊田弘輝、羽山広文、森太郎、積雪寒冷地における体育館の暖房利用実態及び防寒対策に関する研究 その2 実測調査とシミュレーションによる温熱環境の検証、平成24年度 空気調和・衛生工学会大会、2012.9.5～7、北海道大学（北海道）
- (22) 大泉翔平、菊田弘輝、羽山広文、森太郎、札幌市内小学校の体育館における暖房利用実態及び防寒対策に関する研究 その1 アンケート調査による実態把握、日本建築学会北海道支部 第85回研究発表会、2012.6.30～7.1、北方建築総合研究所（北海道）
- (23) 菊田弘輝、菊地洋、大泉翔平、羽山広文、森太郎、大規模空間の気密測定による総相当隙間面積及びその信頼区間の算出、日本建築学会北海道支部 第85回研究発表会、2012.6.30～7.1、北方建築総合研究所（北海道）
- (24) 徳田彩佳、菊田弘輝、羽山広文、森太郎、永沼純一、尾身佳樹、局地的気候特性を考慮した高断熱・高気密住宅の性能検証 その1 住宅熱負荷マップの作成、日本建築学会北海道支部 第85回研究発表会、2012.6.30～7.1、北方建築総合研究所（北海道）
- (25) 尾身佳樹、菊田弘輝、羽山広文、森太郎、徳田彩佳、北方型住宅における内部環境を考慮した住宅性能の評価 その1 夏期・中間期における内部環境と室内環境の把握、日本建築学会北海道支部 第85回研究発表会、2012.6.30～7.1、北方建築総合研究所（北海道）

- (1) 研究代表者  
 菊田 弘輝 (KIKUTA KOKI)  
 北海道大学・大学院工学研究院・助教  
 研究者番号：20431322
- (2) 研究分担者  
 なし
- (3) 連携研究者  
 なし