

令和元年5月21日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06606

研究課題名(和文) 北方圏を対象とした超高性能パッシブ換気住宅の開発

研究課題名(英文) Development of high performance passive ventilation house for the northern region

研究代表者

菊田 弘輝(Kikuta, Koki)

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：20431322

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：北方圏を対象とした超高性能パッシブ換気住宅の開発に際し、超高性能パッシブ換気住宅の基本性能と居住環境の評価、パッシブ換気・全室暖房用の設計ツールの構築、太陽熱・バイオマス熱利用型に適した建築・設備仕様及びコミュニティ暖房の検討、を主な研究項目とした。具体的には、実証実験では基礎データの収集とともに居住者への温冷感申告チェック、浮遊真菌濃度測定を行い、パッシブ換気特有の空気循環及び全室暖房の特性を解明した。一方、数値シミュレーションでは太陽熱・バイオマス熱利用型に適した超高性能パッシブ換気住宅(群)を多面的に検討し、地域や世帯構成に応じて住宅単体とその集合体それぞれの効果を推定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では主にパッシブ換気住宅の高度化に着目し、これは北海道に限らず近隣の極東ロシアや中国北部に対しても大きなインパクトを与えることになる。特に超高性能化は低温未利用エネルギーの活用と直結し、再生可能エネルギーの利用価値を一層向上させることになる。更に欧米諸国に比べて低いとされる断熱水準の底上げを後押しし、北方圏を対象としたネット・ゼロ・エネルギー・ハウスや無暖冷房住宅の開発に役立つと考えられ、独創的かつ意義のある研究と言える。

研究成果の概要(英文)：The following three points were the main research items in the development of high performance passive ventilation house for the northern region: 1) evaluation of basic performance and living environment in this house, 2) construction of the design tool for passive ventilation and whole-room heating, 3) examination of building and equipment specifications and community heating suitable for solar and biomass heat utilization types. Specifically, in the demonstration experiment, we collected the basic data, checked the thermal comfort and measured the indoor air quality. The characteristics of air circulation and whole-room heating peculiar to passive ventilation were clarified. On the other hand, in the numerical simulation, we examined the high performance passive ventilation house and house group suitable for solar and biomass heat utilization types in various ways. The effects of single house and its assembly were estimated according to the area and household composition.

研究分野：建築環境・設備、環境計画・設計

キーワード：パッシブ換気、デマンド換気、太陽熱集熱装置、室内空気質、給気予熱、一次エネルギー消費量、コミュニティ暖房システム、木質バイオマス

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

北方圏に位置する北海道(1・2地域)では時代の変遷とともに住宅の高断熱・高气密化が着実に進み、居室内から寒さを取り除き、全室暖房を基本とした住まい方が定着している。北海道住宅新聞によると、省エネ実現への優先順位(a.創エネ, b.暖房費削減, c.高断熱化, d.高効率設備, e.見える化, f.節電・節約)を各会社に尋ねた結果、3.11東日本大震災以降、4年連続でc.高断熱化(2012年63%→2015年79%)が首位を維持している。その上、各会社で必要と考える断熱性能の問いに対し、Q1.0相当(2012年20%→2015年34%)が増加し、現在では高性能グラスウール16K相当で外壁200mm断熱が標準となりつつある。

このように住宅の断熱・気密性能が高まるにつれて、基礎断熱が広く普及している北海道では床下空間を室内とみなし、換気と暖房を一体化したパッシブ換気・床下暖房システムを標準で採用している会社が、全体の10%を超えるまでに至っている。ちなみにパッシブ換気とは、建物内外の温度差すなわち室内の温かく軽い空気の浮力を主な動力とする自然対流式の計画換気を意味し、常時機械換気や成り行き換気とは一線を画している。

こうした中、住宅の断熱・気密に係る施工技術や製品品質が確実に進歩し、Q0.7前後の断熱性能も少しずつ現実味を帯びてきている。これは熱交換型第一種換気の場合、札幌版次世代住宅基準のトップランナーQ0.5に相当する。事実、外壁300~400mm断熱+再生可能エネルギーや高効率設備を利用することで、北方圏におけるネット・ゼロ・エネルギー住宅(ZEH)を目指す動きも徐々にみられる。

### 2. 研究の目的

本研究では高断熱・高气密住宅の更なる発展を目指し、北方圏を対象とした健康性かつ安全性に優れた熱損失係数Q0.6~0.8相当(外皮平均熱貫流率UA0.15以下)の超高性能パッシブ換気住宅を開発することを目的とする。その中で、超高性能化に伴う自然温度差の増大、室温温度分布の均一性、暖冷房負荷の低減がパッシブ換気住宅全般に与える効果や影響を定量的に明らかにし、新たに再生可能エネルギー(主に太陽熱、外気冷熱、地中熱、バイオマス熱)の利用促進に繋がるようなパッシブ換気住宅の高度化を実現する。

### 3. 研究の方法

北方圏を対象とした超高性能パッシブ換気住宅の開発に際し、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1~3の研究項目について実施した。

研究1: 超高性能パッシブ換気住宅の基本性能と居住環境の評価

研究2: パッシブ換気・全室暖房用の設計ツールの構築

研究3: 太陽熱・バイオマス熱利用型に適した建築・設備仕様及びコミュニティ暖房の検討

### 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) 研究1: 超高性能パッシブ換気住宅の基本性能と居住環境の評価

太陽熱集熱装置での給気予熱、湿度感知型換気口でのデマンド換気を導入した超高性能パッシブ換気住宅の実態調査を行い、それらの効果を定量的に評価した。室内環境評価では温湿度とCO2濃度、室内空気質、省エネルギー評価では給気予熱による効果を確認し、換気システムの比較も行った。また、アンケート調査ではロジスティック回帰分析を用いて「快適」と「不快でない」の境界を確認した。

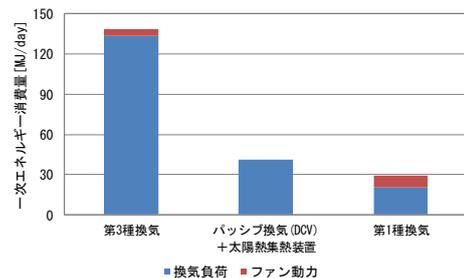


図1 換気システム比較

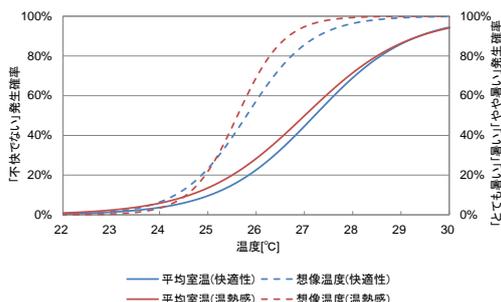


図2 快適性と温熱感の発生確率(夏期)

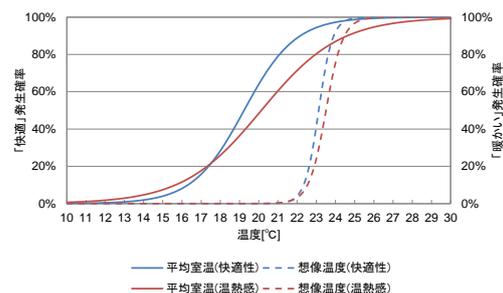


図3 快適性と温熱感の発生確率(冬期)

研究2に関連し、本開発の成果である「高性能住宅を対象にしたパッシブ換気量と室温の数値解析プログラム」を用いて、工務店が設計したパッシブ換気住宅の実測調査を行った。対象住宅のパッシブ換気の床下給気としては、アースチューブではなく、給気用ダクト2本を利用する方式に加え、南西と北西の外壁に設置した太陽熱集熱装置2台を利用する方式が併用されている。そこで、実測の際に幾つかの床下給気方式を実験的に試行し、室内空気質と給気予熱効果の両面から総合的に判断した。標準的な住宅規模において、パッシブ換気の給気口として太陽熱集熱装置2台の床下給気方式を推奨する結果が示された。

表1 給気口設定

PHAZE	床下給気口	SW南西	SW北西	番号	測定日
I	2	-	-	①2--	10/18 - 10/24 11/23 - 11/27
		小	小	②2小小	10/12 - 10/16
		中	中	③2中中	10/4 - 10/10
		大	-	④2大-	10/26 - 11/1 11/29 - 12/4
	1	大	-	⑤1大-	11/9 - 11/13 16/6 - 12/11
II	0	中	中	⑥0中中	11/3 - 11/13 12/20 - 12/25
		大	-	⑦0大-	11/15 - 11/21

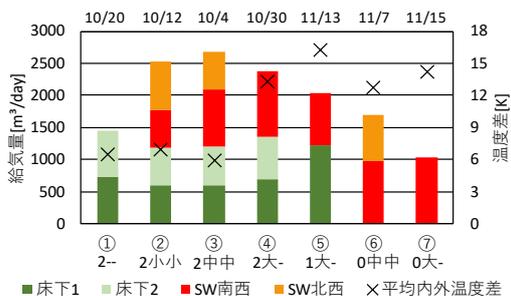


図4 給気量

表2 推奨給気方式

番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
番号	2-	2少	2中中	2大-	1大-	0中中	0大-
空気質	○	○	○	○	○	○	×
熱効果	-	×	△	△	○	◎	-
推奨					○	◎	

(2) 研究2：パッシブ換気・全室暖房用の設計ツールの構築

2階建て、平屋建てのそれぞれに対応した「高性能住宅を対象にしたパッシブ換気量と室温の数値解析プログラム」を開発した。実際に使用することになる地域に根差した工務店や設計事務所の関係者の要望をヒアリングし、現状及び今後の課題について検討した。その後、バージョンアップを行い、太陽熱集熱装置、湿度感知型換気口、床下エアコン等をモデル化し、プログラムに関する変更を行った。また、入力の手軽さや出力の見やすさに十分に配慮し、入出力操作に関する変更を行った。

一方、研究2に関連し、本開発の成果である「高性能住宅を対象にしたパッシブ換気量と室温の数値解析プログラム」を用いて、太陽熱集熱装置での給気予熱、湿度感知型換気口でのデマンド換気を導入した超高性能パッシブ換気住宅の数値シミュレーションを行い、それらの効果を定量的に評価した。BISに記載されているモデルを利用し、現省エネルギー基準（断熱レベル2）、札幌版次世代住宅基準のスタンダードレベル（断熱レベル3）、トップランナー（断熱レベル4）に相当する断熱レベルにおいて、諸条件のもと室温、基準環境に対する換気量増減率、換気負荷、換気負荷削減率の解析を行った。その結果、太陽熱集熱装置とデマンド換気の導入により、外皮負荷の小さい高性能住宅において、室温の上昇は最も大きかった。また、他の断熱レベルと比較して少ない換気量の中で、換気量増減率は大きく変化したことから、空気循環が活発に行われたと判断でき、更なるパッシブ換気住宅の高度化を図れることを確認した。

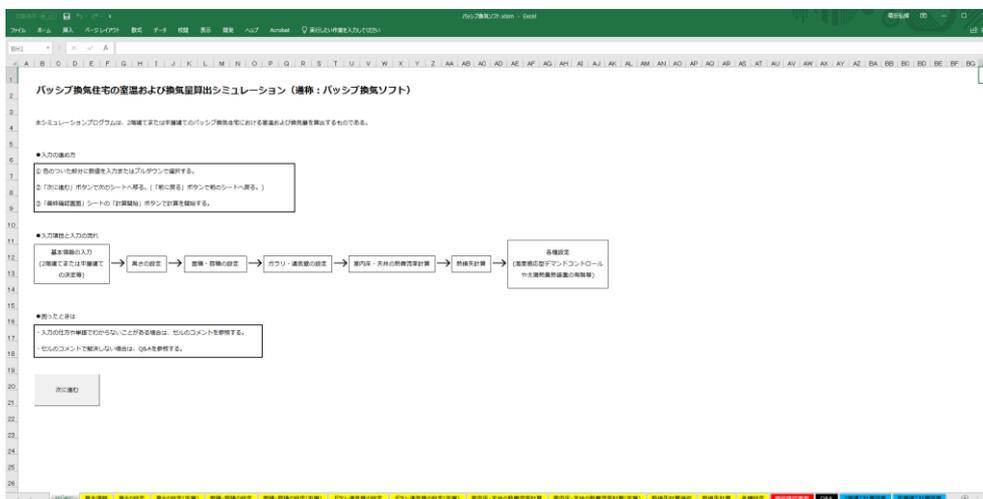


図5 パッシブ換気ソフト（シート：はじめに）

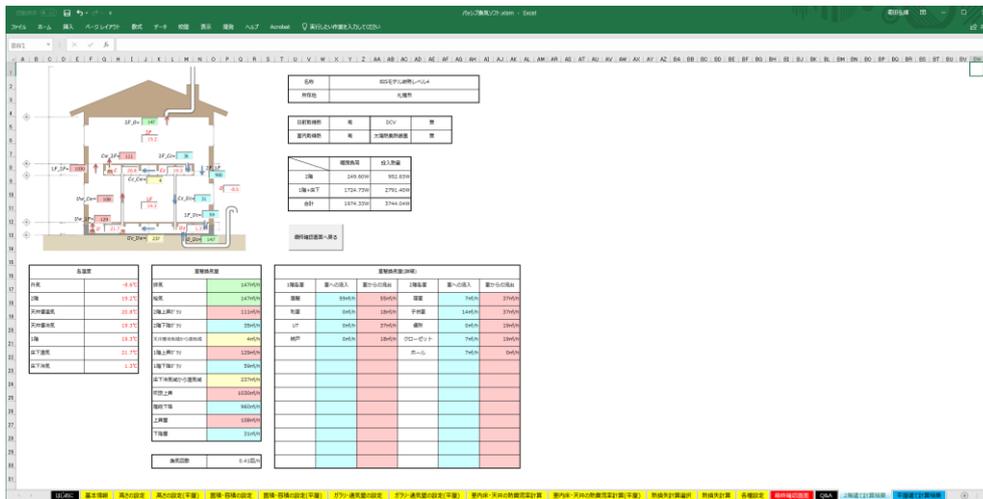


図6 パッシブ換気ソフト（シート：2階建て計算結果）

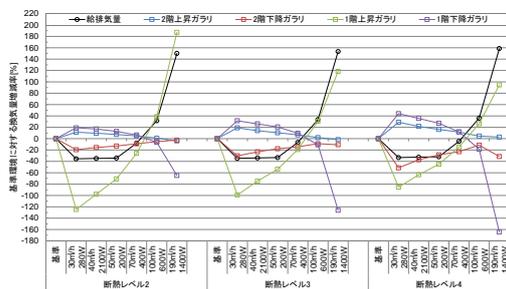


図7 太陽熱集熱装置導入

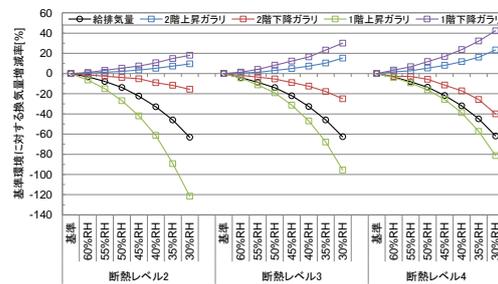


図8 デマンド換気導入

(3) 研究3：太陽熱・バイオマス熱利用型に適した建築・設備仕様及びコミュニティ暖房の検討

数十件の世帯がコンパクトな熱源を共有して暖房を行うシステムを「コミュニティ暖房システム」と定義し、高性能パッシブ換気住宅を含む住宅群を対象として、木質バイオマスを導入した際のシステム検証を行った。その際に、住宅の断熱性能や地域を構成する各世帯の生活パターンを考慮して地域の熱需要を作成した。これにより、需要サイドと供給サイドの両面からの検証を可能とし、特に、地域の世帯構成やコミュニティサイズがシステム効率に与える影響を明らかにした。

また、高性能パッシブ換気住宅を含む住宅群のみのシステムでは、朝晩の熱需要が突出して大きくなり、平準化率の向上が困難であった。そこで、日中に熱需要が大きくなる小学校をモデル（計4ケース＝断熱仕様2ケース×暖房使用時間2ケース）の中に組み込むことで、平準化率やシステム効率の更なる向上を図ると共に、本システムに与える影響を明らかにした。

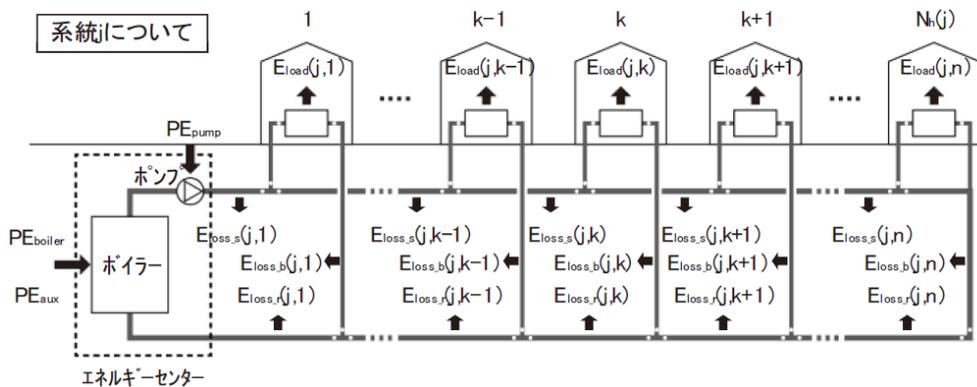


図9 コミュニティ暖房のモデル概念図

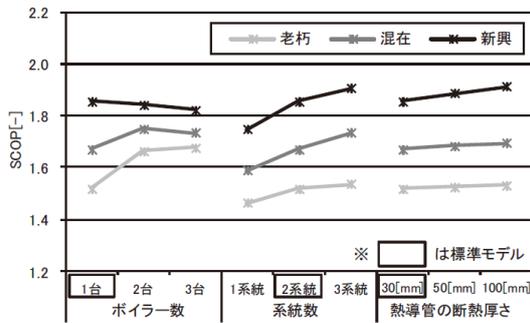


図 10 各種省エネ方策の効果

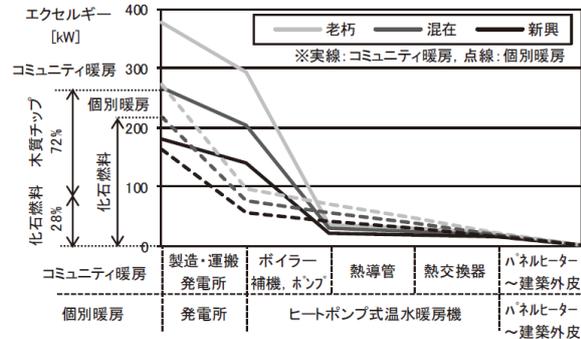


図 11 エクセルギー消費過程の比較

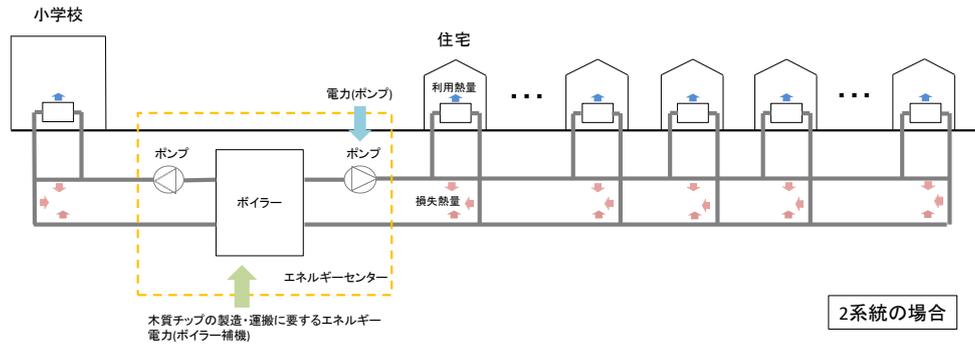


図 12 コミュニティ暖房のモデル概念図 (小学校組込み)

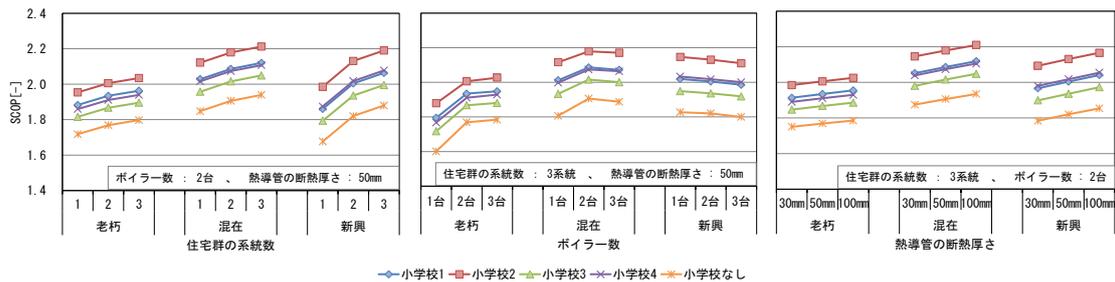


図 13 各種省エネ方策の効果 (小学校組込み)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

- (1) 松尾悠佑、菊田弘輝、斉藤雅也、羽山広文、高性能パッシブ換気住宅における木質バイオマスを用いたコミュニティ暖房システムの検討、日本建築学会環境系論文集、査読有、Vol. 82 No. 731、2017、pp. 67-76  
<http://doi.org/10.3130/aije.82.67>

〔学会発表〕 (計 20 件)

- (1) 山本潤樹、菊田弘輝、パッシブ換気住宅の太陽熱集熱装置と床下給気方式に関する研究、2019 年度 日本建築学会大会、2019
- (2) 水野敬太、菊田弘輝、福家智大、羽山広文、森太郎、パッシブ換気住宅におけるデマンド換気と太陽熱集熱装置の導入効果、平成 30 年度 空気調和・衛生工学会大会、2018
- (3) 福家智大、菊田弘輝、絵内正道、水野敬太、羽山広文、森太郎、パッシブ換気住宅用シミュレーションプログラムの作成と感度解析、2018 年度 日本建築学会大会、2018
- (4) 福家智大、菊田弘輝、絵内正道、水野敬太、羽山広文、森太郎、高性能パッシブ換気住宅の高度化を図る設計手法に関する研究、空気調和・衛生工学会北海道支部 第 52 回学術講演会、2018
- (5) 水野敬太、菊田弘輝、福家智大、林基哉、金勲、デマンド換気を導入した超高性能パッシブ換気住宅の性能評価、平成 29 年度 空気調和・衛生工学会大会、2017
- (6) 水野敬太、菊田弘輝、福家智大、林基哉、金勲、デマンド換気を導入した超高性能パッシブ換気住宅の実態調査 その 3 省エネルギー評価、2017 年度 日本建築学会大会、2017
- (7) 福家智大、菊田弘輝、水野敬太、林基哉、金勲、デマンド換気を導入した超高性能パッシブ換気住宅の実態調査 その 2 室内環境評価、2017 年度 日本建築学会大会、2017

- (8) 菊田弘輝、福家智大、水野敬太、林基哉、金勲、デマンド換気を導入した超高性能パッシブ換気住宅の実態調査 その 1 調査概要と給気予熱評価、2017 年度 日本建築学会大会、2017
- (9) 青柳志歩、菊田弘輝、斉藤雅也、松尾悠佑、羽山広文、森太郎、学校建築を含む住宅群における木質バイオマスを用いたコミュニティ暖房システムの検討、2017 年度 日本建築学会大会、2017
- (10) 菊田弘輝、青柳志歩、斉藤雅也、松尾悠佑、羽山広文、森太郎、学校建築を含む住宅群を対象としたコミュニティ暖房の検討、日本建築学会北海道支部 第 90 回研究発表会、2017
- (11) 水野敬太、菊田弘輝、福家智大、林基哉、金勲、デマンド換気を導入した超高性能パッシブ換気住宅の評価、日本建築学会北海道支部 第 90 回研究発表会、2017
- (12) 青柳志歩、菊田弘輝、斉藤雅也、松尾悠佑、羽山広文、森太郎、学校建築を含む住宅群における木質バイオマスを用いたコミュニティ暖房システムの検討、空気調和・衛生工学会北海道支部 第 51 回学術講演会、2017
- (13) 水野敬太、菊田弘輝、福家智大、羽山広文、森太郎、積雪寒冷地におけるデマンド換気システムを導入したトップランナー住宅の実態調査 その 1 夏期・中間期の室内環境調査、空気調和・衛生工学会北海道支部 第 51 回学術講演会、2017
- (14) 福家智大、菊田弘輝、斉藤雅也、羽山広文、森太郎、寒冷地における超高性能パッシブ換気住宅に関する実態調査 その 2 冬期の室内環境評価、平成 28 年度 空気調和・衛生工学会大会、2016
- (15) 福家智大、菊田弘輝、斉藤雅也、松尾悠佑、羽山広文、森太郎、超高性能パッシブ換気住宅に関する実態調査 その 2 夏期・冬期の快適性評価、2016 年度 日本建築学会大会、2016
- (16) 菊田弘輝、福家智大、斉藤雅也、松尾悠佑、羽山広文、森太郎、超高性能パッシブ換気住宅に関する実態調査 その 1 夏期・冬期の室内環境評価、2016 年度 日本建築学会大会、2016
- (17) 松尾悠佑、菊田弘輝、青柳志歩、斉藤雅也、羽山広文、森太郎、世帯の生活パターンおよび住宅の断熱性能を考慮したコミュニティ暖房システムの検討 その 2 パラメータスタディによるシステム検証、2016 年度 日本建築学会大会、2016
- (18) 青柳志歩、菊田弘輝、松尾悠佑、斉藤雅也、羽山広文、森太郎、世帯の生活パターンおよび住宅の断熱性能を考慮したコミュニティ暖房システムの検討 その 1 地域の熱需要の想定と熱源・搬送システムのモデル化、2016 年度 日本建築学会大会、2016
- (19) 福家智大、菊田弘輝、斉藤雅也、松尾悠佑、羽山広文、森太郎、超高性能パッシブ換気住宅における夏期・冬期の快適性評価、日本建築学会北海道支部 第 89 回研究発表会、2016
- (20) 絵内正道、菊田弘輝、松尾悠佑、青柳志歩、福家智大、パッシブ換気住宅の空気移動量と空気温度の数値解析 第 1 報 2 階建て住宅を対象にした数値解析手法の基礎検討、日本建築学会北海道支部 第 89 回研究発表会、2016

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号 (8 桁)：

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。