

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560729

研究課題名(和文) 節電要請下の住宅における室内環境の維持向上と省エネルギーの両立に関する研究

研究課題名(英文) Investigation on satisfying both energy conservation and indoor air environment of dwellings under the condition of power saving

研究代表者

田島 昌樹 (TAJIMA, Masaki)

高知工科大学・工学部・准教授

研究者番号：90391680

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、節電要請下のとくに乳幼児や高齢者等の室内環境のコントロールが容易でない居住者が居住する住宅を含む多数の住宅を対象として実測およびアンケート調査により現状把握と課題抽出を行い、健康性、室内閉居およびエネルギー消費量についての改善の提案に資するデータの蓄積と省エネ改修の効果検証を行い、また一般向け、設計者向け啓発資料の検討を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, investigation of educational materials for the general and engineers has been handled, by using measured data aiming at satisfying both energy conservation and indoor air environment of dwellings under the condition of power saving. The real measurements were handled at multiple dwellings including being lived by babies or aged persons who were considered as not controlling indoor air environment. Moreover, a questioner investigation on energy use was executed.

研究分野：建築設備、建築環境工学

キーワード：節電 省エネルギー 室内環境 乳幼児 高齢者

1. 研究開始当初の背景

今般の電力不足により、電力会社等によって一般住宅にも夏期・冬期に「節電」の要請がなされており、近年は夏においてエアコンを使用しなかったことなどが原因である熱中症が多く発生している。電力不足が続くと考えられるこの数年間は、このような不適切な住宅設備の使用/不使用が原因となる健康被害が懸念され、とくに室内環境を自由にコントロールすることが困難な乳幼児や高齢者に影響が大きいと考えられることから、室内環境や住宅設備の専門家でない一般向けに室内環境の向上と省エネルギーの両立に資する対策方法などの啓発を行うことが急務となっている。

2. 研究の目的

本研究は多数の住宅における実測および寒冷地(北海道電力管内を想定)、温暖地(東京電力管内を想定)、蒸暑地域(四国電力管内を想定)を対象としたアンケートによる室内環境(空気環境および温熱環境)や暖冷房・空調設備を中心とした現状の住宅設備の使用実態把握を行い、室内環境の向上と省エネルギーの両立に資する居住者および設計者を対象とした対策方法のとりまとめと啓発資料の作成を目的として実施した。

3. 研究の方法

(1) 実測による現状および課題の把握：実測対象住宅を選定し、健康性、室内環境およびエネルギー消費実態をとりまとめる。

(2) アンケート調査による現状および課題の把握：実測対象住宅を中心としたアンケートを行い、特にエネルギー消費量について取りまとめる。

(3) 対策・改善方法の提案と効果の検証：省エネルギー改修による改善方法の提案を行い、実測やシミュレーションに基づいて、室内環境、エネルギー消費量について検証する。

(4) 室内環境の向上と省エネルギーの両立にかかる提案：室内環境の向上(健康性の向上を含む)と省エネルギーの両立を行うための具体的な技術や生活方法などについて、上記課題の結果をもとに啓発資料の検討を行う

4. 研究成果

(1) 住宅を対象とした室内環境とエネルギー消費量の実態調査

調査の目的

住宅の室内環境やエネルギー消費量は気候風土や居住者の属性及び設備の使用方法、住宅性能によって異なるため、その地域や居住者の属性及び設備の使用方法、住宅性能による室内環境とエネルギー消費量を把握しておく必要がある。本調査は、全国を対象として実住宅の室内環境と換気、暖冷房にかかるエネルギー消費量を把握するとともに、そ

の地域特性や居住者の属性及び設備の使用方法、住宅性能による特徴を明らかにすることを目的として実施した。

調査概要

本調査では実住宅での換気性状を推定できるCO₂濃度の測定とともに、関連する室内環境を実測によって調査することに加え、電力消費量やガス消費量などのデータを収集し、住宅の1次エネルギー消費量の分析を行った。

室内環境の測定手法および分析概要

測定は本研究の期間以外から測定している物件も含め、2010年6月から2014年1月にかけて行った。対象住宅の概要を表1に示す。また室内環境の評価には建築物衛生法の衛生管理基準値を用いた。分析結果の各図において灰色で着色した部分は衛生管理基準値内を表し、夏期の分析にはWBGT^{[1][2]}を採用し、熱ストレスの評価を、熱に循環していない人の中程度の作業のWBGT値26で行った。なお多くの住宅でグローブ温度と空気温度を測定したところ、ほとんどの時間で両者の値に差がみられなかったため、グローブ温度が測定されていない場合は、空気温度を使用してWBGTを求めた。

表1 実測対象住宅の概要

住宅	地域区分	形態	構造	築年数
A邸*	1	戸建	木造	5年
B邸*	1	戸建	木造	約40年
C邸*	1	集合	RC造	12年
D邸*	5	戸建	木造	1年
E邸	6	戸建	木造	1年
F邸**	6	戸建	木造	1年
G邸	6	戸建	木造	8年
H邸*	6	集合	RC造	16年
I邸	6	戸建	木造	約50年
J邸	6	戸建	木造	37年
K邸	6	戸建	木造	約30年
L邸*	7	集合	RC造	15年
M邸*	7	集合	RC造	18年
N邸**	7	戸建	木造	40年

*:乳幼児、**:高齢者が居住している住宅

エネルギー消費量の調査手法および分析概要

エネルギー消費量の調査は2012年1月から2015年1月にかけて行い、分析には同年の相互比較を目的としてデータが充実している2013年の1年間のデータを使用した。対象住宅のエネルギーの使用形態を表2に示す。1次エネルギーへの換算は、省エネルギー基準等で採用されている換算係数^[3]を用い分析することで用途別エネルギー消費量の推計を行った。なお調理に関しては自立循環型住宅への設計ガイドライン^[3]による推定方法のエネルギー基準値を採用した。暖房、冷房は春と秋の中間期の電力消費量を基準にし、春から秋までの超過分を冷房、秋から春までの超過分を暖房とした。給湯と照明他電力については、既往の研究^[4]による、対象住宅と同様の地域区分のエネルギー消費量割合と乗じて推計を行った。

表2 対象住宅のエネルギーの使用形態

住宅	地域	暖房	冷房	給湯	調理	築年数
----	----	----	----	----	----	-----

	区分					
A邸*	1	電力	なし	電力	電力	5年
B邸	1	薪	なし	灯油	ガス	約40年
M邸*	7	電力	電力	ガス	ガス	18年
N邸**	7	電力	電力	ガス	ガス	40年
O邸	2	灯油	なし	電力	ガス	18年
P邸	4	電力	電力	電力	ガス	25年
Q邸*	6	電力	電力	電力	電力	2年
R邸	7	電力	電力	電力	電力	8年
S邸	7	電力	電力	ガス	ガス	27年
T邸	7	電力	電力	ガス	ガス	35年
U邸	7	電力	電力	電力	電力	28年

*:乳幼児、**:高齢者が居住している住宅

1. ハッチング部分の住宅は室内環境の測定も行った
2. M邸のみ集合住宅

室内環境の測定結果

-1 夏期の測定結果

図1、図2に冷房使用時のリビングの空気温度、相対湿度を示す。1地域の住宅は冷房設備を導入していなかったため、空気温度、相対湿度ともに最大値と最小値の差が大きく、また全ての住宅において乳幼児が居住しているため温度変化に注意が必要な結果となった。J邸、M邸では空気温度の基準内割合が5%以下となり、J邸では冷房をほとんど使用しない習慣と、築年数が37年であることから断熱性能が低いことが原因だと考えられる。M邸の空気温度が高いことについては、居住者の省エネルギー意識によるものだと確認された。冷房の使用/不利用が不明なI邸、K邸、N邸では空気温度、相対湿度ともに基準を上回る傾向があり、室内での熱中症を防ぐためにも冷房の使用が望まれる。

図5、図6に冷房使用時のリビングの空気温度、相対湿度を地域区別に示す。なお冷房の使用/不利用が不明な住宅のデータは含んでいない。7地域では空気温度の基準内割合が27%となり、相対湿度は最大値が80%を超えていることから他の地域と比較して、室内においても高温で多湿な地域であることが示唆される結果となった。

図7に冷房使用時のリビングのWBGTを示す。WBGTが26以上の範囲を赤枠で囲み、住宅名称下部の数値はWBGTが26以上となった割合を示す。1地域でもWBGTの最大値は26付近となった。5・6地域であるD邸、E邸、F邸、G邸、H邸は26を超えることはなく、築年数が20年以内であることが共通している。冷房の使用/不利用が不明な住宅では3Qが26を上回り、7地域では全住宅とも最大値が26を超える結果となった。

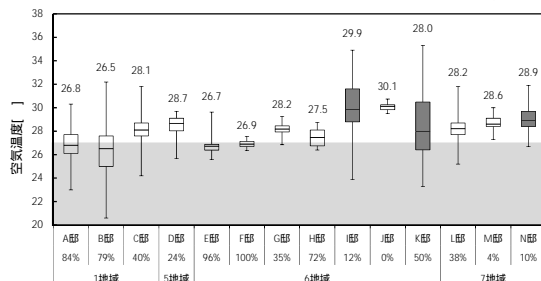


図1 冷房使用時のリビングの空気温度(夏期)
冷房の使用/不利用が不明な住宅は全データを使用し

箱髷図を灰色に着色

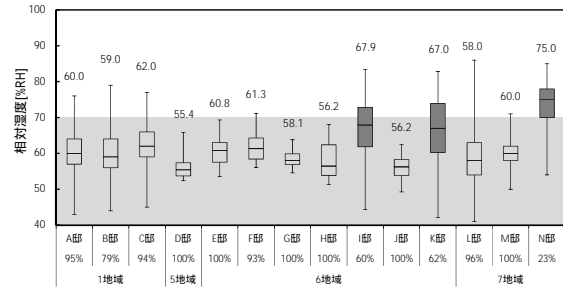


図2 冷房使用時のリビングの相対湿度(夏期)
冷房の使用/不利用が不明な住宅は全データを使用し
箱髷図を灰色に着色

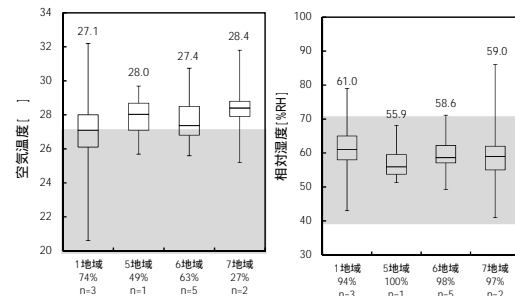


図3 冷房使用時の空気温度 図4 冷房使用時の相対湿度(リビング・地域区別・夏期)

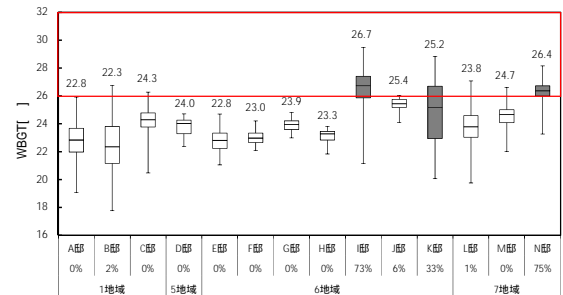


図5 冷房使用時のリビングのWBGT(夏期)
冷房の使用/不利用が不明な住宅は全データを使用し
箱髷図を灰色に着色し、住宅名称下部の数値はWBGT値
26以上の割合を示す

-2 冬期の測定結果

図6、図7に暖房使用時のリビングの空気温度、相対湿度を示す。A邸は全館暖房であるのに対し、B邸は間歇暖房であるため、同じ1地域でも温度の最大値と最小値の差に違いが見られた。D邸はホットカーペット、J邸は床暖房を使用しており、床が暖かいため暖房使用時でも空気温度が低く、基準内割合が10%を下回ったと考えられる。またI邸、J邸、N邸は築年数が30年以上であり断熱性能が低いいため、空気温度の3Qが基準を下回ったと考えられる。D邸、I邸、J邸、N邸の相対湿度の基準内割合は50%以上となり、これは空気温度が低い傾向にあったためである。E邸、F邸、H邸の相対湿度の基準内割合は10%程度となり、1地域であるA邸、B邸は3Qが基準を下回る結果となった。

図8、図9に暖房使用時のリビングの空気

温度と相対湿度を地域区分別に示す。なお、暖房の使用/不使用が不明な N 邸のデータは含んでいない。相対湿度の基準内割合は 1 地域で 15%、6 地域では 36%となった。

図 10 に築年数が 30 年以上の住宅の深夜(0 時~6 時)の寝室の空気温度とトイレの空気温度の関係を示す。10 以下でヒートショック等の障害が発生しやすいとし、この範囲を赤枠で囲んだ。1 地域の B 邸はトイレの空気温度がほとんど常に 10 を下回っており、寝室が 20 のとき温度差は 10 近くある。7 地域の N 邸でも空気温度の最小値と最大値の差は 10 近くあり、高齢者が居住しているため特に健康上の注意が必要である。またトイレの空気温度が寝室の空気温度を上回っていることがあるが、これは温水便座の使用によるものである。どの住宅も温度の範囲が大きく、築年数が高いため断熱性能が低いことが要因だと考えられる。

図 11 に暖房使用時のリビングの二酸化炭素濃度を示す。H 邸では測定期間中にほぼ在宅していたため、I 邸では 24 時間換気設備がなく、石油ファンヒーターを使用していたことが大きく基準を超えた要因である。

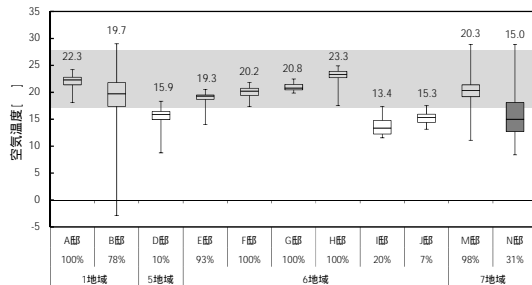


図 6 暖房使用時のリビングの空気温度(冬期)
N 邸は冷房の使用/不使用が不明なため全データを使用し箱髷図を灰色に着色

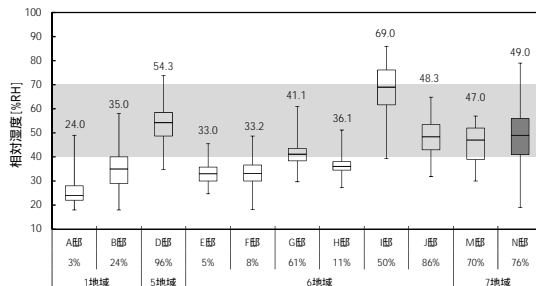


図 7 暖房使用時のリビングの相対湿度(冬期)
N 邸は冷房の使用/不使用が不明なため全データを使用し箱髷図を灰色に着色

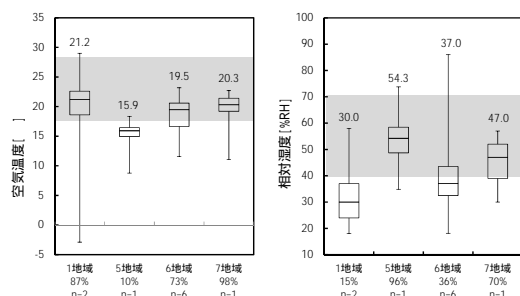


図 8 暖房使用時の空気温度 図 9 暖房使用時の相対湿度(リビング・地域区分別・冬期)

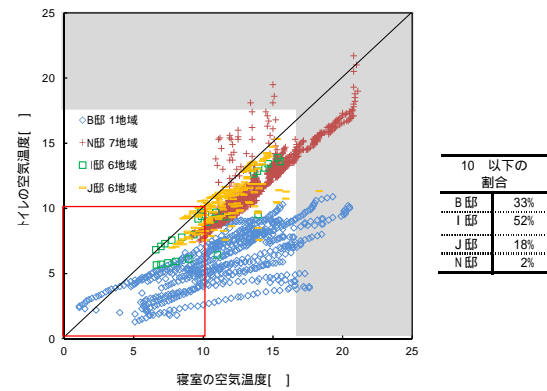


図 10 深夜(0 時~6 時)の寝室の空気温度とトイレの空気温度(築年数が 30 年以上の住宅・冬期)

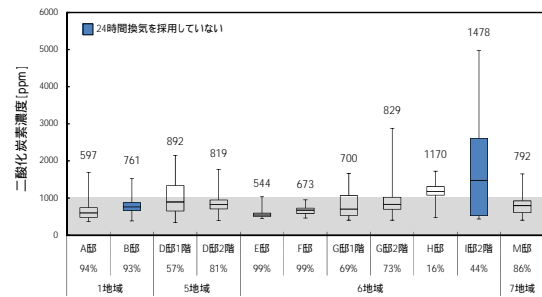


図 11 暖房使用時のリビングの二酸化炭素濃度(冬期)

エネルギー消費量の調査結果

図 12 に年間 1 次エネルギー消費量を示す。1 地域から 7 地域に南下するほど全体的にエネルギー消費量が減少する傾向にある。M 邸は集合住宅であり、消費量が少ない結果となった。これら結果は床面積や空調面積や住宅の属性による評価を行った。

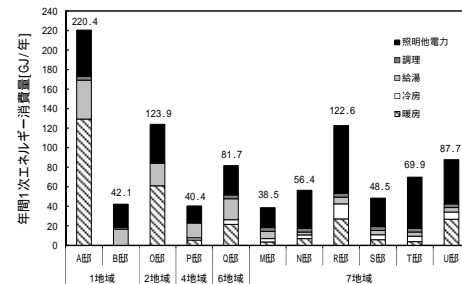


図 12 年間 1 次エネルギー消費量(エネルギー用途別)

B 邸は暖房に薪を使用しておりデータに含んでいない

まとめ

乳幼児や老人が暮らす住宅を含む多数の住宅において室内環境とエネルギー消費量の調査を行った。双方の調査を行った住宅について結果を示す。A 邸、B 邸ではエネルギー消費量が多く、空気温度は良好であったが冬期の相対湿度が低い結果となった。M 邸、N 邸はエネルギー消費量は少なく、M 邸は夏期の空気温度が高い結果となり、N 邸では夏期

は熱中症、冬期はヒートショックが懸念される結果となった。

室内環境の調査では、断熱性能が低い住宅で夏期・冬期ともに温度の範囲が大きく、同じ住宅内でも 10 以上の温度差が見られた。このような室内環境に、乳幼児や高齢者がさらされている結果となった。夏期は室内での熱中症を防ぐためにも冷房の使用が望まれること、冬期では暖房器具の種類や換気設備が室内環境に大きく左右している結果を得た。

(3) 省エネ改修を実施した住宅の性能検証 性能検証の目的

実測による室内環境の現状把握を行った住宅のうち、築 40 年以上経過している北海道の住宅において、暖房室と非暖房室の温度差、暖房室の暖房運転・停止による温度変動の大きさ等の課題が明らかとなった。前節ではそのような住宅の 1 階部分を断熱改修したときの効果を予測したが、本節では、その結果を参考に一部改善を行い、その効果を検証した。

対象住宅概要

図 13 に対象住宅の平面と温湿度測定点を示す。



図 13 対象住宅の平面と測定点

改善の効果

a. 換気

図 14 に 2012 年～2014 年の各年 10 月の居間の二酸化炭素濃度の頻度分布を示す。改善前の 2012 年はピークが 1100ppm であったが、外気導入口の設置後の 2013 年以降は、ピークは 700～800ppm に改善した。

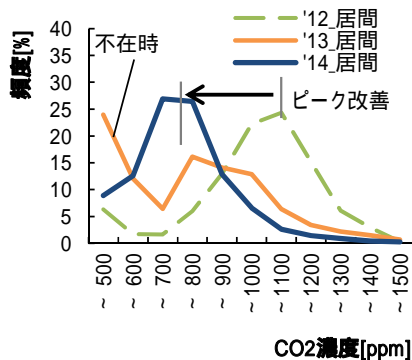
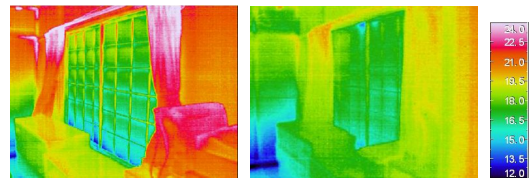


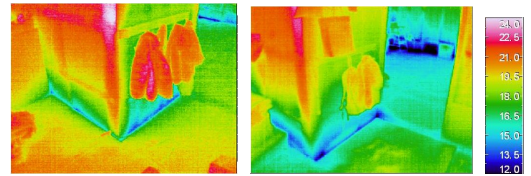
図 14 改善前後の居間の二酸化炭素濃度頻度分布

b. 断熱

図 15 に、改善前後の窓および間仕切壁の熱画像を示す。撮影日は間仕切りが 2013 年 1 月 24 日、その他は 2015 年 1 月 31 日である。2013 年は外気温度が 2、2015 年は -2 程度の時間の撮影であった。窓は、改善前は周辺の壁と窓の下枠あたりの温度差が大きい、改善後は壁との温度差が全体的に少なく、窓の下枠あたりの低温部分の面積も小さくなっている。間仕切壁は、改善後の方が寒冷な時期に撮影したため、床下の温度が低い影響で間仕切り壁下部は改善前より温度が低い、間仕切壁の上部は改善前よりも高くなっている。これは気流留めによる効果と考えられる。



寝室窓（改善前） 寝室窓（改善後）



階段と居間の間仕切（改善前）階段と居間の間仕切（改善後）

図 15 改善前後の熱画像

まとめ

築 40 年以上の木造 2 階建て住宅で行った改修とその効果を以下にまとめる。

- ・間仕切り壁の下部の気流留めを行った結果、間仕切り壁上部の表面温度は改修前より高い結果が得られた。二重窓の間に一時的に白い繊維系断熱材を入れた結果、窓の表面温度は周囲の壁に近づいた。改修部分の面の温度は上昇したが、部分的な改修では部屋の室温の改善までには至らなかった。

- ・階段吹抜けをビニルカーテンで閉じた場合、1 階の階段下空間（廊下）の温度と湿度が上昇した時に 2 階へ熱と湿気が流れるのを抑える効果が得られた。

(4) 啓発資料の概要

上記の検討に加え、節電に配慮しエネルギー消費量が少なくなるとされる暖冷房換気のエネルギー性能の検討⁷⁾⁸⁾、CFD に基づいた断熱改修による室内温熱環境改善と省エネルギーの効果、および温暖地と蒸暑地を対象とした新築住宅の設計図書の調査分析^{学会発表 4)5)9)10)}などの結果に基づいて、一般向けおよび技術者向けの啓発資料を検討した。

(5) まとめ

本研究では、節電要請下のとくに乳幼児や高齢者等の室内環境のコントロールが容易でない居住者が居住する住宅を含む多数の住宅を対象として実測およびアンケート調査により現状把握と課題抽出を行い、健康性、

室内環境およびエネルギー消費量についての改善の提案に資するデータの蓄積と省エネ改修の効果検証を行い、また一般向け、設計者向け啓発資料の検討を行った。

実測やアンケート調査の対象住宅では乳幼児や高齢者が冬期において、住戸内で大きな温度差や低い温度および低い湿度に晒されている事例、夏期においては熱中症の可能性のある室に起居している事例が確認されるなど室内環境にかかるデータの蓄積が行えた。また改修の効果について事例の実測やシミュレーションに基づいた室内環境と省エネルギー性能についての推計を行うことが出来た。またこれら結果は、国土交通省による自立循環型プロジェクトへの還元も行っている。

<参考文献>

[1]独立行政法人国立環境研究所・温室効果ガスインベントリオフィス:温室効果ガス排出量・吸収量データ, <http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>, 2014年12月 [2]JIS Z8504:1999 人間工学-WBGT(湿球黒球温度)指数に基づく作業者の熱ストレスの評価-暑熱環境, 1999年 [3]国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所 監修:自立循環型住宅への設計ガイドライン準寒冷地版, 2012年7月 [4]澤地孝男ら:用途別エネルギー消費量原単位の算出と推定式の作成, 日本建築学会計画系論文集 第462号, 1994年8月, p41-48 [5]国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所 監修:自立循環型住宅への設計ガイドライン蒸暑地版, 2010年10月 [6]村田さやか:住宅用換気設備の換気負荷シミュレーションプログラムの開発 その2 隙間を含む住宅全体換気量の推定方法 日本建築学会四国支部研究報告集第14号, p67-68 2014年5月 [7]国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所 監修:自立循環型住宅への設計ガイドライン入門編, 2012年5月

5. 主な発表論文等

[学会発表](計13件)

- 1) 峰野悟 田島昌樹, 築50年の住宅における室内環境評価, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第13号, pp99-100, 2013.5, 高知工科大学
- 2) 佐々木歌南 廣田佳祐 多田のぞみ 田島昌樹, 高知県における住宅のエネルギー消費, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第14号, pp49-50, 2014.5, 高知工科大学
- 3) 多田のぞみ 廣田佳祐 佐々木歌南 田島昌樹, 高知県における住宅の室内環境調査, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第14号, pp51-52, 2014.5, 高知工科大学
- 4) 坂本友恵 土崎ゆい 田島昌樹, 四国を対象とした設計データの分析に基づく住宅の省エネルギー性能向上に関する検討 その1 設計データの分析, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第14号, pp53-54, 2014.5, 高知工科大学
- 5) 坂本友恵 土崎ゆい 田島昌樹, 四国を対象とした設計データの分析に基づく住宅の省エネルギー性能向上に関する検討 その2 推奨プランの提案, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第14号, pp55-56, 2014.5, 高

知工科大学

- 6) 村田さやか 峰野悟 田島昌樹, 住宅用換気設備の換気負荷シミュレーションプログラムの開発 その2 隙間を含む住宅全体換気量の推定方法, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第14号, pp67-68, 2014.5, 高知工科大学
- 7) 嶋田祐典 佐々木歌南 田島昌樹, 温暖地・蒸暑地における住宅用パッシブ技術の導入に関する検討 その1 研究概要と室内環境評価, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第15号, pp77-78, 2015.5, 高知工科大学
- 8) 嶋田祐典 佐々木歌南 田島昌樹, 温暖地・蒸暑地における住宅用パッシブ技術の導入に関する検討 その2 省エネルギー性能の評価, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第15号, pp79-80, 2015.5, 高知工科大学
- 9) 西森優里 坂本友恵 田島昌樹, 四国を対象とした設計データの分析に基づく住宅の省エネルギー性能向上に関する検討 その3 設計資料の分析, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第15号, pp87-89, 2015.5, 高知工科大学
- 10) 坂本友恵 西森優里 田島昌樹, 四国を対象とした設計データの分析に基づく住宅の省エネルギー性能向上に関する検討 その4 省エネルギー基準の自立循環型住宅への読替, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第15号, pp90-91, 2015.5, 高知工科大学
- 11) 望岡真優 多田のぞみ 田島昌樹, 全国を対象とした住宅の室内環境及びエネルギー消費量の事例調査 その1 室内環境の調査, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第15号, pp97-98, 2015.5, 高知工科大学
- 12) 多田のぞみ 望岡真優 田島昌樹, 全国を対象とした住宅の室内環境及びエネルギー消費量の事例調査 その2 エネルギー消費量の調査, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第15号, pp99-100, 2015.5, 高知工科大学
- 13) 峰野悟 村田さやか 田島昌樹, 住宅用換気設備の換気負荷シミュレーションプログラムの開発 その3 パッシブ換気装置を評価する機能の追加, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第15号, 高知工科大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田島 昌樹 (TAJIMA, Masaki)
高知工科大学・システム工学群・准教授
研究者番号: 90391680

(2) 研究分担者

村田さやか (MURATA, Sayaka)
地方独立行政法人北海道立総合研究機構・環境研究部環境グループ・研究主任
研究者番号: 00462341

堀祐治 (HORI, Yuji)
富山大学・芸術文化学部・准教授
研究者番号: 70432119