

全国を対象とした住宅の室内環境およびエネルギー消費量の事例調査

高知工科大学 システム工学群

建築・都市デザイン専攻 建築環境研究室

1150087 多田 のぞみ

指導教員 田島 昌樹

住宅 室内環境 エネルギー消費量 WBGT 温度 湿度

1. 研究目的

日本における二酸化炭素排出量は、産業部門が減少傾向にあるのに対して家庭部門は年々増加傾向にあり、全排出量の16%を占める^[1]。特に節電が要請されている状況において、住宅分野での省エネルギー対策は不可欠となっている。省エネルギーの観点から、一般的な生活様式と一定水準の室内環境を想定し住宅の省エネルギー基準の改正や自立循環型住宅の普及が図られている。しかし、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嗜好性、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嗜好性、住宅性能による室内環境とエネルギー消費を把握しておく必要がある。本研究は、全国を対象として実住宅の室内環境と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嗜好性、住宅性能による特性を明らかにすることを目的としている。

2. 研究概要

本研究では実住宅での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。

2.1 室内環境の測定手法および分析概要

測定は2010年6月から2014年1月にかけて行い、対象住宅の概要を表1に示す。地域区分は住宅の省エネルギー基準による暖房日地域区分を用いた。主にリビング、寝室、トイレの空気温度・相対湿度(測定器、RTR-53A)と二酸化炭素濃度(測定器、KNS-CO₂S)を測定した。分析期間を表2に示し、分析は夏期・冬期に分けて行った。分析結果に箱髭図を使用しており、図1に凡例を示す。また日本では、住宅の室内環境に関する基準がないため、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、基準値を表3に示す。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す。

また夏期の分析にはWBGTを採用した。WBGTとは湿球黒球温度(Wet Bulb Globe Temperature)と呼ばれ、暑熱環境下の熱ストレスを評価する指数である^[2]。本研究では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。WBGT値は湿球温度・グローブ温度より式[1]で求められる。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。

$$WBGT = 0.7t_{nwb} + 0.3t_g \quad [1]$$

ただし

WBGT : WBGT 指数[°C]

t_g : グローブ温度[°C]

t_{nwb} : 湿球温度 [°C]

表1 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

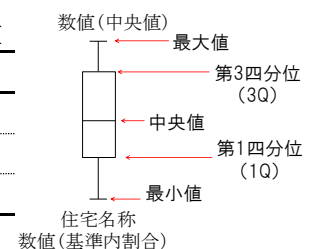
*:乳幼児、**:高齢者が居住している住宅

表2 分析期間

住宅	夏期・温度湿度	冬期・温度湿度	二酸化炭素濃度
A邸	2013/8/1~8/31	2013/1/5~1/31	2013/1/5~1/31
B邸	2012/8/28~8/31 2013/8/1~8/11	2013/1/1~1/31 2014/1/4~1/19	2013/1/1~1/31 2014/1/4~1/19
C邸	2012/8/20~8/31	なし	なし
D邸	2011/9/1~9/24	2010/12/18~2011/1/7	2010/12/18~2011/1/17
E邸	2011/8/1~8/31	2011/2/11~2/28	2011/3/12~4/7
F邸	2011/8/1~8/31	2011/2/1~2/28	2011/3/12~3/27
G邸	2010/8/1~8/31	2011/2/1~2/28	2011/4/3~5/3
H邸	2011/8/14~8/31	2011/2/11~2/13	2011/2/11~2/14
I邸	2011/9/2~9/19	2011/2/15~2/19	2011/2/14~2/20
J邸	2011/8/1~8/31	2011/2/1~2/28	なし
K邸	2011/8/13~8/26	なし	なし
L邸	2013/8/2~9/26	なし	なし
M邸	2013/7/24~8/2	2013/2/10~2/27	2013/2/10~2/27
N邸	2012/8/23~8/31	2013/2/10~2/28	なし

表3 建築物衛生法の衛生管理基準値

測定項目	衛生管理基準値
温度	17 - 28°C
相対湿度	40 - 70 %RH
二酸化炭素濃度	1,000 ppm



2.2 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4に、調査の主な項目を表5に示す。1次エネルギーへの換算は、自立循環型住宅への設計ガイドラインの換算係数^[3]を用いた。

これら結果を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。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5 エネルギー調査の主な項目

住宅概要		エネルギー消費
・建設地	・暖房設備	・電力消費量
・築年数	・冷房設備	・ガス消費量
・世帯人数(※)	・給湯設備	・灯油消費量
・延床面積	・調理設備	・水消費量
・暖房面積	・照明設備	・太陽光発電量
・冷房面積	・家電	・検針日

※乳幼児・高齢者の有無

3. 室内環境の測定結果

3.1 夏期の測定結果

図2、図3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/不使用が不明な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4、図5に冷房使用時のリビングの空気温度、相対湿度を地域区分別に示す。なお冷房の使用/不使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6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/不使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。

表4 対象住宅のエネルギーの使用形態

住宅	地域区分	暖房	冷房	給湯	調理	築年数
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 [#]高知県

※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

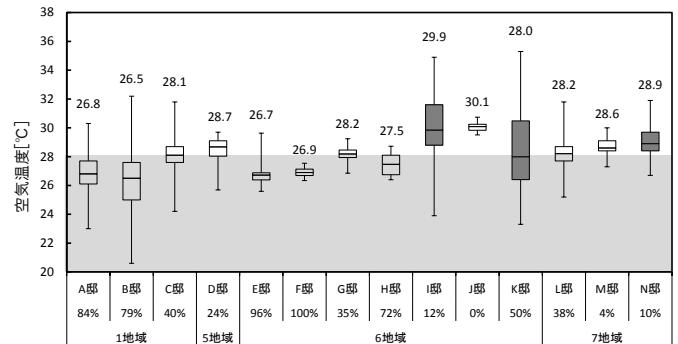


図2 冷房使用時のリビングの空気温度(夏期)

※冷房の使用/不使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

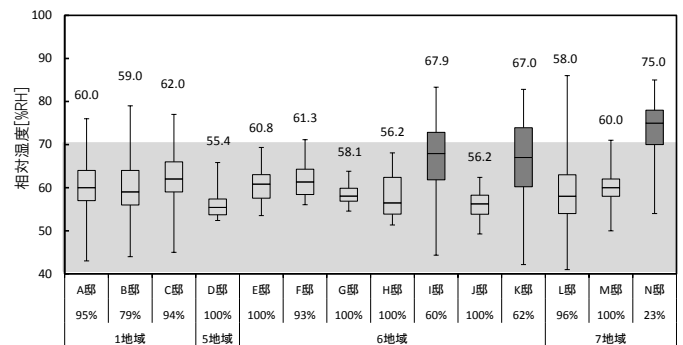


図3 冷房使用時のリビングの相対湿度(夏期)

※冷房の使用/不使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

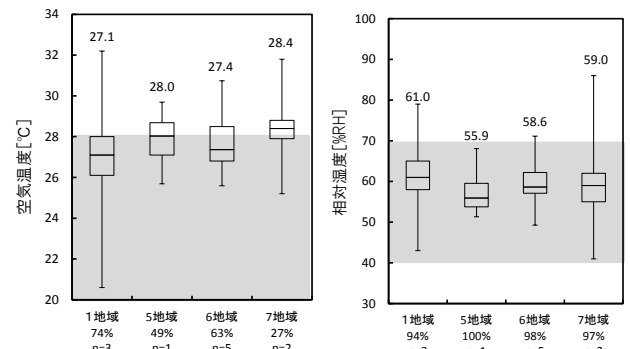


図4 冷房使用時の空気温度

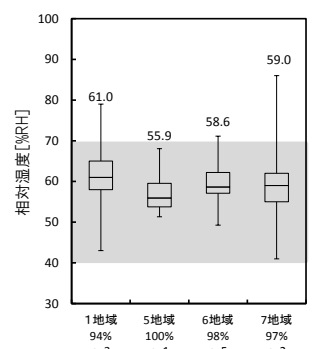


図5 冷房使用時の相対湿度

(リビング・地域区分別・夏期)

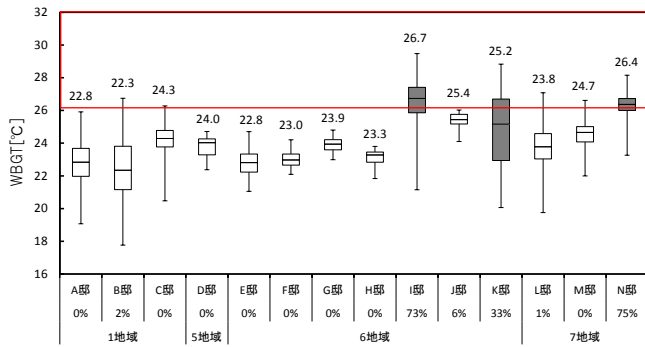


図6 冷房使用時のリビングのWBGT (夏期)

※冷房の使用/不使用が不明な住宅は全データを使用し箱髭図を灰色に着色し、住宅名称下部の数値はWBGT 値26℃以上の割合を示す

3.2 冬期の測定結果

図7、図8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9、図10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11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12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。B邸は薪ストーブを使用しており24時間換気設備はないが、基準内割合が93%と二酸化炭素濃度が高くなることはほとんどない結果となった。薪ストーブから排気される空気を補う形で、室内へ外気が給気されることから換気が十分に行われていると考えられる。

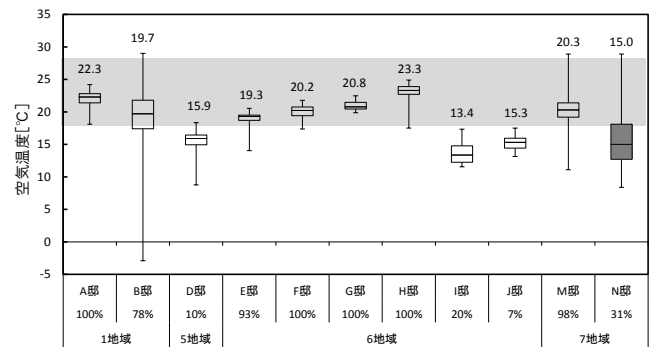


図7 暖房使用時のリビングの空気温度(冬期)

※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髭図を灰色に着色

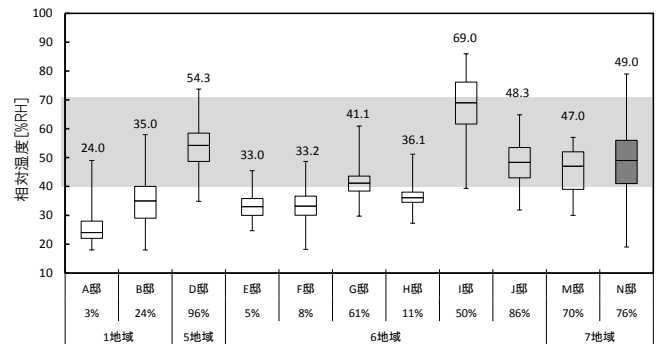


図8 暖房使用時のリビングの相対湿度(冬期)

※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髭図を灰色に着色

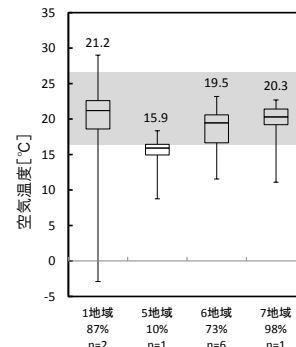


図9 暖房使用時の空気温度

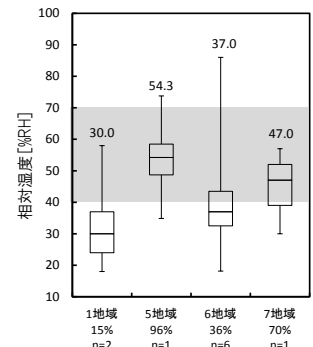


図10 暖房使用時の相対湿度 (リビング・地域区分別・冬期)

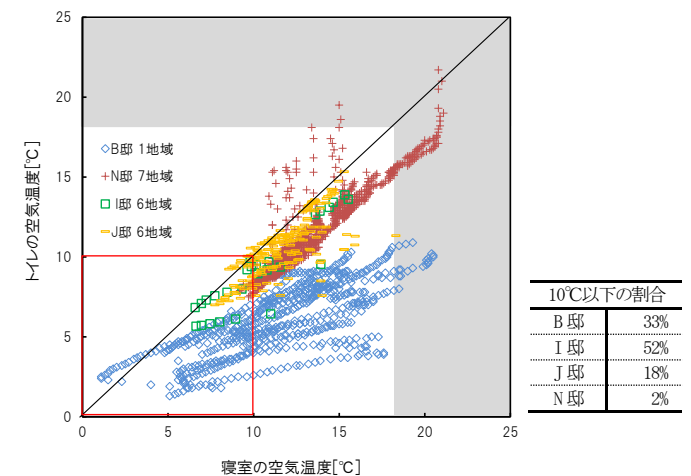


図11 深夜(0時~6時)の寝室の空気温度とトイレの空気温度 (築年数が30年以上の住宅・冬期)

4. エネルギー消費量の調査結果

図 13 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。

また年間 1 次エネルギー消費量を用途別に推計した。A 邸、O 邸は暖房が全エネルギー消費量の過半を占めている。給湯は 1～6 地域で 2 割以上であったのに対し、7 地域では 1 割程度となった。7 地域では照明他電力が全エネルギー消費量の過半を占める結果となった。なお本研究の範囲では、オール電化の住宅でエネルギー消費量が大きい傾向がみられた。

図 14 に暖房面積あたりの年間 1 次エネルギー消費量を示す。A 邸は年間 1 次エネルギー消費量が大きく、他の住宅と大きな差があったが暖房面積で除すと、他の住宅との差は小さくなった。B 邸は暖房用エネルギー消費量をデータに含んでいないにもかかわらず、同じ 1 地域の A 邸との差がみられなかった。S 邸、T 邸は延床面積で除したため、他の住宅と比較して値が小さい。

図 15 に、本研究で取得した高知の戸建住宅における年間 1 次エネルギー消費量を含め、既往の研究^[7]と合わせて、地域別戸建住宅における年間 1 次エネルギーを示す。なお、オール電化の住宅は給湯と照明他電力を本研究で取得した 7 地域の住宅での割合で推計しているため、データに含めていない。

5. まとめ

本研究は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大きく、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。

1 次エネルギー消費量の調査では各地域のデータが取得でき、既往の研究^[7]との比較ができた。7 地域では照明他電力の割合が高くなったため、この用途でのエネルギー消費量の削減が省エネルギーを図る上での課題であると示唆された。

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オヒス：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 Z8504¹⁹⁹⁹ 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] 一戸優実: 住宅密集地に建設された二世帯住宅におけるエネルギー消費量に関する評価(その 3) 対象住宅を中心とした室内環境に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 2012 年 9 月, p1321-1324 [6] JIA 環境行動委員会: JIA 環境データシート 2006, 2013 年 2 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 蒸暑地版, 2010 年 10 月 [8] 三浦秀一: 全国における住宅の用途別エネルギー消費と地域特性に関する研究, 日本建築学会計画系論文集 第 510 号, 1998 年 8 月, p77-83

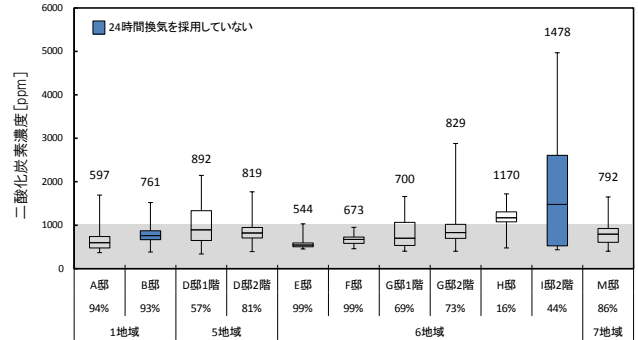


図 12 暖房使用時のリビングの二酸化炭素濃度 (冬期)

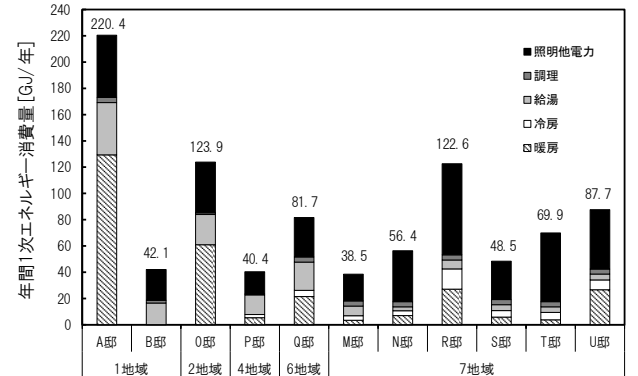


図 13 年間 1 次エネルギー消費量 (エネルギー用途別)
※B 邸は暖房に薪を使用しておりデータに含んでいない

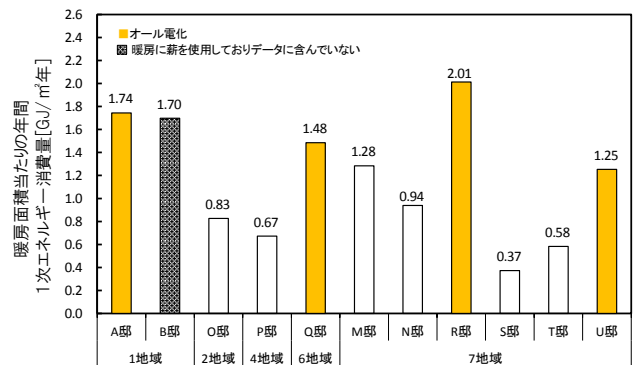


図 14 暖房面積あたりの年間 1 次エネルギー消費量
※S 邸、T 邸は延床面積で算出

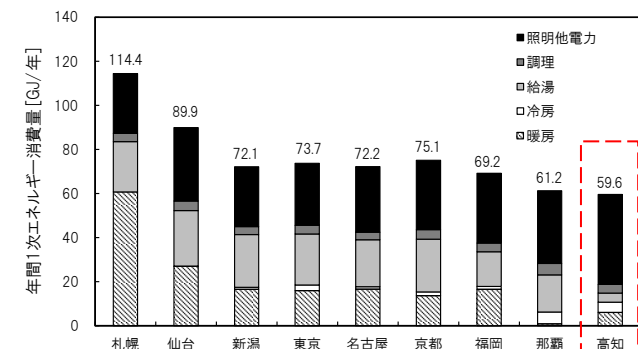


図 15 地域別戸建住宅における年間 1 次エネルギー消費量
(文献^[7]と本研究のデータを合わせた)

本論文に関係する既発表論文 (1) 佐々木歌南, 多田のぞみ, 廣田佳祐, 田島昌樹: 高知県における住宅の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, 日本建築学会四国支部, Vol. 14, 2014 年 5 月, p49-50 (2) 多田のぞみ, 佐々木歌南, 廣田佳祐, 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, 日本建築学会四国支部, Vol. 14, 2014 年 5 月, p51-52