

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 20 日現在

機関番号：14602

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009 ～ 2012

課題番号：21240067

研究課題名（和文） 省エネルギーと個人の適応能力に配慮した住まいの最適空調環境に関する研究

研究課題名（英文） Study on optimal air conditioning environment in consideration of energy saving and individual resident's ability to adapt on thermal environment

研究代表者：磯田 則生（ISODA NORIO）

奈良女子大学 名誉教授

研究者番号：60016871

研究成果の概要（和文）：

省エネルギーと個人の適応能力に着目し、住居の最適空調環境を明らかにするため、一連の温熱環境実測調査と空気環境調査、人工気候室での環境適応実験と空気質実験を行った。その結果、冬期のトイレや浴室環境の劣悪さ、環境共生住宅や半地室の快適性や断熱改修の高齢者の健康生活への効果を示した。又、空気環境の悪化の懸念と臭気環境の制御の重要性が明らかになった。さらに、省エネルギーを意識すると、夏期の快適温度が1℃上昇することや、寒さに弱い被験者や高齢者の温熱的特性について示した。

研究成果の概要（英文）：

In order to clarify the optimal air-conditioning environment of a dwelling paying attention to energy saving and the ability to adapt of an individual, the measurement survey about a series of thermal environments and air quality environments of the houses was carried out. A series of adaptation-to-environment experiments and a experiment of air quality in the climate chamber were conducted.

As a result, the thermal environment of the toilet and bathroom were low and poor in the winter in living environment, and the possibility of health impairment was suggested. The thermal environment of the eco-house and the half-basement was maintained more comfortably than other dwellings. Elderly people's healthy life has been maintained to some extent by carrying out heat insulation repair. On the other hand, we were anxious about aggravation of air environment. Moreover, the importance of control of order environment became clear. Furthermore, thermal comforts rose 1℃ in the summer when conscious of energy saving. We showed thermal adaptation properties of the elderly person and subjects who were poor at cold.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	17,200,000	5,160,000	22,360,000
2010年度	9,000,000	2,700,000	11,700,000
2011年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
総計	28,800,000	8,640,000	37,440,000

研究分野：住環境学、建築環境工学

科研費の分科・細目：生活科学・生活科学一般

キーワード：住環境

1. 研究開始当初の背景

住環境に対する温熱環境については、欧米では、ASHRAE やISO 等で温熱的快適性に関する研究は多数あり、様々な基準が提案されている。欧米では夏期にそれほど高温多湿にならないため、欧米（特に北欧）が中心のISO では、室温20℃~26℃程度を推奨しているが、日本の夏期の高温高湿気候地域の環境に全く対応できない。さらに、これらは全て平均的な青年男子のデータから提案された基準であり、80%の者が満足されるという快適範囲が明示されているだけである。最も配慮すべき弱者の高齢者基準についても欧米では暖房基準が多く、暑熱環境や冷房使用環境に関するものは見あたらない。日本のように冷房と暖房を使用する住居内で、多様な居住者のQOL の向上を考えた場合、個人差に配慮した環境を提案する必要がある。また、省エネルギーの観点も重視する必要があり、気密性や空気環境をも含む空調環境の形成を考える必要がある。

2. 研究の目的

まず、実際の居住環境における温熱環境と空気環境を総合的に計測し、住環境の実態の把握を行う必要がある。特に居室だけでなく、温熱バリアフリーに関わる、トイレや浴室、廊下などの様々な空間も含めて実態を把握し、それらの環境が及ぼす居住者への生活行動、生理的反応、心理的反応への影響を検討する。より実際の居住環境の評価ができるように、個人差や季節差を踏まえた生理的・心理的反応の把握を行い、温熱環境の快適範囲を検討する。さらに、温熱環境の評価のみでなく、気密性を追求すると悪化が懸念される空気環境に関しても、計測をおこない適正な空調環境の形成のための評価を行う。そこで、一連の実測調査と実験室実験を実施した。調査では、温熱環境の実態を明らかにし、居住者の温熱評価や適応能力を評価した。実験では人間の適応能力に注目した生理心理反応を計測して、温熱的快適性を計測した。

(1)実測調査1：環境共生住宅における温熱環境と空気環境実態調査

自然環境を残して計画された奈良市内の住宅地を対象に、継続的な住環境実測調査を行うことにより、住環境形成において残存する自然環境が及ぼす影響について明らかにする。環境意識が高い居住者と予想される、比較的新しい環境共生住宅や伝統的民家で、温熱環境と空気環境の実測調査を実施し、省エネルギーを意識した住宅での温熱環境の実態を把

握し、環境評価を行った。さらに、被験者の日常生活における温熱的適応や日常生活行為での特徴的な行動や適応を明らかにし、居住環境として評価をし、問題点を抽出した。

(2)実測調査2：一般住宅におけるトイレや廊下などを含む居住空間の温熱環境実態調査

建築時期等の異なる一戸建て住宅で、居間と寝室というような居室だけでなく生活空間全てを含む温熱環境の実測調査とその居住者の温熱的な快適性評価を行い、各種の温熱環境の快適指標との比較を行い、実際の住宅での温熱的快適範囲を抽出した。

(3)実測調査3：東北地方における断熱改修による高齢者生活への影響に関する実態調査

住宅の断熱改修については、実住宅や実験住宅での実測調査により省エネルギー性などの観点からその効果が検証されているが、居住者の生活行動や健康を含めた評価には至っていない。住宅への内窓設置等による窓の断熱改修が、室内の温熱環境や熱的快適性、高齢者の生活行動や健康状態にどのような影響を及ぼすかを温熱環境の実測調査、睡眠評価、歩行テスト、アンケート調査により検討した。

(4)実験1：省エネルギー意識と温熱的快適性と個人差

快適性を損なわず、省エネルギーを考慮した温熱環境を検討するため、実空間や人工気候室において、被験者に気温と気流を調節してもらい実験を行い、それぞれの快適性を検討し、省エネルギー意識を考慮した室内温熱環境の調節を検討する事を目的とした。

(5)実験2：温熱的快適性の個人差、年代差、季節差に関する温熱的適応能力実験

実際の生活上よく起こる空調の起動時を想定した室温上昇・下降時に、高齢者や温熱弱者の温熱的快適性に関して、どの程度の差があるか検討した。また温熱環境適応能力の違い等を検討し、個人個人の最適室温を導き出す可能性について検討を行った。

(6)におい環境の実測調査と実験

これまで測定されてこなかった住宅のLDKのにおいの臭気濃度を測定し、生活空間のにおいのレベルを把握した。変動のあるLDKのにおいのレベルのうち、最低レベルと考えらえる敢えてにおいを発生させていない状態のにおいのレベルを把握するとともに、臭気評価における居住者とパネルのにおい感覚の差異を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1)実測調査1：環境共生住宅における温熱環境と空気環境実態調査

測定対象・期間：自然環境を残して計画された奈良市内の住宅地に建つ10戸で、居間を対象室として新築当時から開始し、2012年以降も継続して測定している。2009年以降はトイレや脱衣室なども計測した。半地下空間の計測は、同様の建て方の伝統的民家である吉野建（懸造り）の温熱環境測定を行い比較検討した（2011年1～2月、2011年5～7月）。測定項目：室温（h:0.1m、0.6m、1.1m）、グローブ温度（h:0.6m）、湿度（h:0.6m）、床温、外気温（住宅地内百葉箱）を10分または60分間隔で連続測定を行った。

空気環境計測：夏期の低室温による相対湿度上昇に伴う空気環境の変化を確認するため、自然共生住宅地における真菌濃度の季節変動と除湿による濃度変化を実測により確認した（2010年8月～2011年7月）。真菌濃度は、空中浮遊菌（RCS air sampler with Ager-Strips SDX）と付着菌（Sabouraud agar with chloramphenicol, 25cm²）を季節ごとに採取し、96時間培養の後、コロニー数をカウントして菌種の同定を行った。

(2)実測調査2：一般住宅におけるトイレや廊下などを含む居住空間の温熱環境実態調査

測定対象・期間：京都南部、奈良市、大阪市の1戸建て住宅11戸（築200年以上の断熱材非使用の農村住宅～築2年の24時間中央冷暖房集中管理の住宅メーカー2x4住宅まで様々）を対象に、夏期、秋期、冬期のうち7日間連続計測した。対象室は、各戸6箇所（①居間・②寝室・③トイレ・④台所・⑤浴室の脱衣場・⑥廊下）とした。

測地項目：各室1点で床上約100cm程度の位置で5分間隔で測定した。居住者評価として、最も長時間滞在する居住者（女性平均年齢47±6.2歳）に各部屋、場所に入室したときの温冷感・快適感等を自己申告させた。

(3)実測調査3：東北地方における断熱改修による高齢者生活への影響に関する実態調査

調査対象・期間：山形県山形市を中心とした寒冷地域において、要支援・軽度の要介護認定を受けた高齢者が居住する住宅脱衣室、浴室等の窓改修を行う予定の住居を公募した。測定項目：部屋の気温、湿度を小型温湿度計で測定・記録した。高齢者にはアクチグラフを携帯してもらい睡眠を計測するとともに、体力については歩行テスト（Timed up & Go Test）を実施した。高齢者の寝室や居間の温度に対する感覚や満足感、空気の渇き湿りの程度と満足感、においの知覚・強度と満足感などの主観申告を居住者である高齢者と家族

に聞き取り、もしくは、アンケート調査への記入を依頼した。

(4)実験1：省エネルギー意識と温熱的快適性と個人差

椅座安静状態で着衣と気温および気流調節を組み合わせた実験を実施した。着衣は0.2cloと0.3cloとし、気温32℃下で30分間、暑くも寒くもない様に自由に気温および気流を調節する実験と29℃～33℃の3条件下に30分間曝露した後に気流を調節する実験を実施した。被験者は健康な女子大学生、暑がり5名、寒がり7名とした。計測項目は皮膚温、心拍数、血圧、主観申告等である。

(5)実験2：温熱的快適性の個人差、年代差、季節差に関する温熱的適応能力実験

人工気候室にて、室温が上昇・下降する条件下に、好みの気温の異なる被験者や高齢者群を曝露し、生理心理反応を計測し、被験者群で特徴があるか検討した。被験者は青年女子21名を、予め選択気温実験を行いそのうち、高温群、中温群、低温群の3群に分類し各7名、計21名を室温低下実験に採用した。中温群では、冬期においても同様の実験をおこなった。また、夏期実験に平均年齢73才の高齢者女性10名と青年群と比較した。測定項目は皮膚温、体温、心拍数、血圧、主観申告、温冷覚閾値等である。

(6)におい環境の実測調査と実験

調査対象をLDK一体型の住宅とし、合計21件を選定した。1件につき2回調査を行った。調査内容は、居住者によって採取された臭気試料を用いたパネルと居住者の嗅覚測定であった。嗅覚測定項目は、臭気濃度、臭気強度、快・不快度であった。臭気濃度は三点比較式臭い袋法で測定された。

4. 研究成果

(1)実測調査1：環境共生住宅における温熱環境と空気環境実態調査

①環境共生住宅は一般住宅に比べ、夏期はエアコンの使用頻度が低く、通風や地下室等を利用した防暑行為がみられ、より環境に適応したエネルギーを使用しない住まい方をしていった。住宅地外気温も樹木の日射遮蔽効果により、奈良地方気象台データより低かった。②冬期は、日射を利用したソーラー設備等を利用し、床暖房等を利用していた。断熱性の高い住宅では外気の影響を受けにくく、地階においてその傾向はより顕著に示された。③自然共生住宅地、吉野建ともに地階は外気の影響が小さく、気候緩和効果による省エネが期待でき、夏期は冷房を使用しない生活が可能であった。冬期は地下部の気密・断熱

性能による違いはあるが、上層階との差により気候緩和効果が確認された。(図1)
 ④室内空中浮遊菌濃度は春に低く秋に高く変動し、換気による外気の影響が大きかったが、概ね I/O 比は1以下であった。担子菌類は室内に侵入しても成長しないが、**aspergillus** は地階における I/O 比が高く、付着菌からの検出頻度も高いことからこの環境における寡占種であった。除湿により空中浮遊菌濃度は減少するが、付着菌に顕著な変化はなく季節変動も小さかった。設置された生活財により空気が滞留しやすい床付近の壁の濃度が年間を通じて高く、寡占種の占める割合も高かった。

住宅の半地下部は気候緩和性能が高く、除湿、維持管理により特定の寡占種の増大に配慮することで、省エネルギー効果の高い住空間として評価できると考えられた。

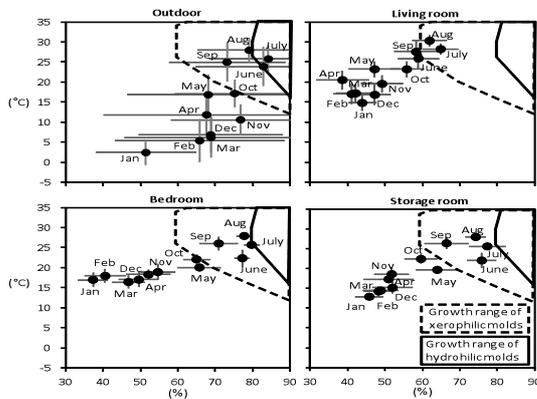


図1 環境共生住宅における各室の温湿度の年間変化

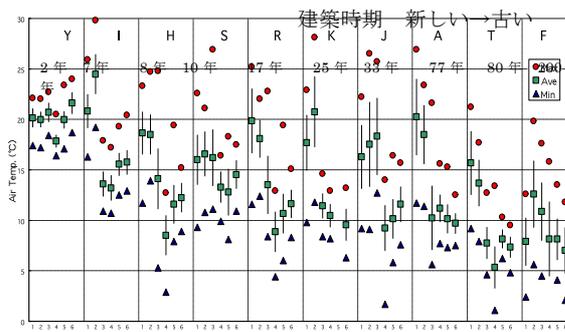


図2 冬期における在室時の各住居の部屋毎の平均室温

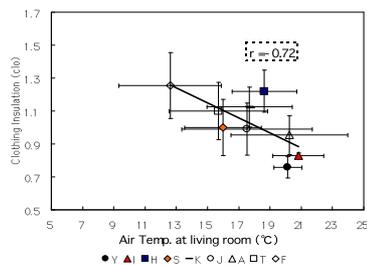


図3 冬期における居住者毎の居間の室温と着衣量の関係

(2) 実測調査2：一般住宅におけるトイレや廊下などを含む居住空間の温熱環境実態調査

①夏期は 26℃～30℃程度であり、どの部屋・場所でも概ね 28℃以上では快適側の申告は得られなかった。

②冬期は、各部屋の室温の平均値は 5～25℃と分布範囲は広く、築年が古く断熱材が使用されていない住宅では室温は低かった。さらにトイレや脱衣室は低いため、居間等の室温との差が大きく、ヒートショックなどの健康被害が懸念された。(図2)

③居間の室温が低いと着衣量が多いという相関関係が認められ、着衣で寒冷環境に対応していた。(図3) 暖房室居間では 18℃前後で快適、非暖房室トイレでは 14℃前後でも快適と申告しており、トイレ、脱衣場において、居住者は低温度を許容し、特に断熱材非使用住宅において居住者はより低温環境下を容認していた。健康性やヒートショックの懸念を考えると、これらの低温での容認は特に高齢者では相応しくないと考えられ、低温で居住している場合は、省エネルギーを考慮すると暖房より住宅の温熱性能の改善が求められる。

(3) 実測調査3：東北地方における断熱改修による高齢者生活への影響に関する実態調査

①外気温は概ね日中に 5℃程度まで上昇し夜間は-7℃程度まで低下した。トイレの気温は1日を通して 3～7℃程度で大きな差はなく、外気温に追従して変動したと見られる。比較した期間を通して、外気温は同程度か改修後の方が低い傾向があるのに対して、暖房のないトイレの気温は同程度か改修後がやや高く、暖房器具を使用する寝室および居間の気温は同程度となっていた。暖房の使用頻度や設定温度は変わらないか、むしろ低くなったという回答であったことから、窓の断熱改修によって室内の温熱環境が改善され、暖房の効率も良くなったと考えられる。(図4)

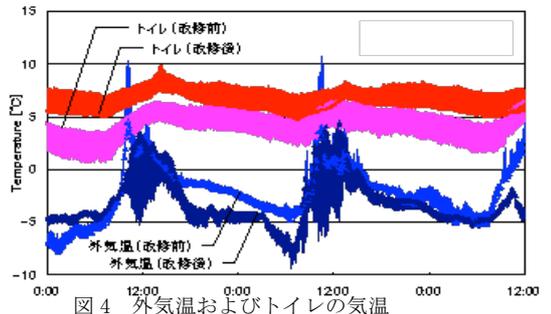


図4 外気温およびトイレの気温

② 室温と外気温との差について、暖房や日射の影響が少ない夜 21 時から翌朝 6 時までの平均値を住宅ごとに求め(表1)、改修前後で差があるか t 検定(有意水準 5%)を行ったところ、トイレと寝室については改修前

後の平均値に有意な差が見られたが、居間については見られなかった。暖房のないトイレや夜間の寝室については、窓改修により断熱性能が向上したことが示された。

③自立歩行が不可能な1名を除く7名の歩行テストの結果を個人データならびに平均値で図5に示す。結果の平均(SD)は、内窓設置前では25秒(14秒)、内窓設置後21秒(12秒)で、内窓設置後は内窓設置前に比べて有意に速くなっていた(P<.05)。(図5)

表1 夜間(21時~6時)の外気温および室温の平均値

	A	B	C	D	E	F	G	H	平均	
外気温	前	-3.45	-2.86	-2.71	-4.67	-2.91	-3.86	-3.88	-2.99	-3.42
	後	-4.69	-4.24	-3.35	-4.61	-4.02	-5.18	-5.30	-3.05	-4.30
トイレ	前	4.17	4.18	3.28	5.44	2.83	5.17	10.10	6.09	5.16
	後	5.26	3.61	6.39	5.91	2.38	5.55	10.24	6.22	5.69
寝室	前	6.14	5.60	10.25	7.54	4.08	4.57	10.12	9.00	7.16
	後	6.08	4.65	11.44	8.79	5.16	4.84	11.72	10.18	7.86
居間	前	20.59	12.36	11.34	13.03	13.75	12.69	11.37	10.17	13.16
	後	16.05	11.86	12.62	14.26	13.86	12.99	12.64	11.39	13.21

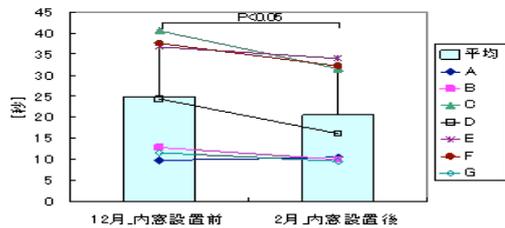


図5 歩行テスト(Timed Up & Go Test)の結果

④以上、寒冷地の高齢者が居住する実住宅において、内窓設置等による窓の断熱改修を行う前後に実測調査を行った結果、冬季において外気温の影響が小さくなり、室内温熱環境が改善されることが分かった。とくに、非暖房室であるトイレや夜間の寝室において効果が大きく、居住者の快適感や健康に良い影響を及ぼすと考えられる。高齢者の活動量や睡眠に大きな変化は認められなかったが、歩行テストの結果からは、窓の断熱改修後に高齢者の歩行速度が有意に速くなったことが示された。この体力が維持されたという結果は、トイレや脱衣室などの非暖房室での温度低下が抑えられたことと関係があるかどうかは、研究方法を含めて今後検討すべきである。

(4)実験1：省エネルギー意識と温熱的快適性と個人差

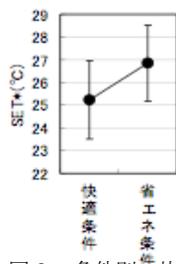


図6 条件別の快適範囲

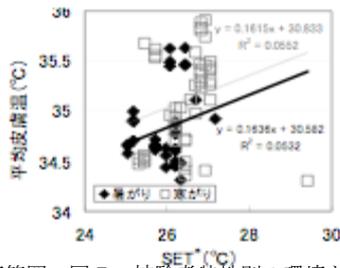


図7 被験者特性別の環境と平均皮膚温の関係

①薄着の方が扇風機の風を上手く調節することで気温は高くてもSET*で約1°C低い環境と

なった。(図6)

②寒がりには薄着で約30°Cと気温が高くても気流調節で暑くも寒くもない状態となり、暑がりより着衣および気流調節が効果的にできており、気流対応の可能性が確認された。(図7)

(5)実験2：温熱的快適性の個人差、年代差、季節差に関する温熱的適応能力実験

①夏期の冷房による室温低下により、主観的申告は、選択気温による低温群・中温群で気温の低下につれて「快適」側に申告していたが、高温群では「不快」側に申告していた。気温の低下に伴い皮膚温も低下した。皮膚温の群別の差は小さかったが、中温群に比べ低温群ではより低い皮膚温で温熱的中性申告が、高温群ではより高い皮膚温で温熱的中性申告が得られた。温熱特性の異なる被験者群の生理心理反応には違いが認められた。

②冬期は末梢部の皮膚温の上昇が遅く、気温の上昇に比べて遅れが認められた。温冷感申告などは気温の上昇下降暖かい環境を快適と感じる傾向に季節差が認められた。

③高齢者は青年に比べ皮膚温躯幹部が低く、末梢部では差が無かった。高齢者は気温が60分で低下する条件の時に皮膚温がそれほど低下していない場合でも「寒い」と感じ、気温変化に対して過大評価する傾向が認められ、温冷覚閾値でも、感覚の鈍化がみられた。

④温熱弱者と認められる寒がりの傾向がある高温群や高齢者では、特に心理的に環境変動に対して適切に評価出来ず、より不快側に感じていた。その結果、実生活でも過冷房・過暖房気味に室温調整する可能性が示唆された。

(6)におい環境の実測調査と実験

①今回測定したLDKのにおいのレベルは、パネルの評価によると、臭気濃度10~320であり、平均値は63であった。日本建築学会の臭気規準では、臭気濃度10程度となっており、LDKの測定値は基準を大きく超えた。臭気強度は平均で2.6であり、認知閾値以上であった。快・不快度の平均値は-0.73で不快に評価された。

②居住者の臭気強度は、平均値が2.7であり、パネルの評価とほぼ同じであった。快・不快度も平均値が-0.73であり、パネルと同じく不快に評価された。

③居住者の自宅におけるLDKのにおい評価では、無臭との回答が多くみられるが、そのLDKの採取試料に対するにおい評価では、臭気強度の平均値が2.6であった。自宅でのにおい評価で無臭が多くなったのは、居住者のにおいへの順応と自宅は無臭であるという先入観による心理的影響が主な要因であると考えられる。

④採取試料に関しては、パネルと同様の評価をしていることから、順応していない帰宅時

などにはおおいをはっきりと感じ、不快に感じることがあると考えられる。住宅のLDKにおいておおいの管理が必要であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

(1)Ayako Yasuoka, Hiroko Kubo, Kazuyo Tsuzuki, Norio Isoda, Interindividual differences in thermal comfort and the responses to skin cooling in young women, Journal of Thermal Biology, 有り37,(2012), 65-71

〔学会発表〕(計57件)

(1)Megumi Mitsuda, Norio Isoda, Hiroko Kubo, Survey on odors in house living-dining rooms with kitchens, World Congress, International Federation for Home Economics, 2012.07.16~7.21, Melbourne, Australia

(2)Michiyo Azuma, Hiroko Kubo, Norio Isoda, A case study on resident lifestyles in natural symbiotic environments: Actual lifestyle conditions and thermal environments in environmentally symbiotic houses in Nara, Japan, World Congress, International Federation for Home Economics, 2012.07.16~.21, Melbourne, Australia

(3)Ikuko Banba, Michiyo Azuma, Hiroko Kubo, Norio Isoda, A case study on resident lifestyles in natural symbiotic environments: Actual lifestyle conditions and thermal environments in environmentally symbiotic houses in Nara, Japan, World Congress, International Federation for Home Economics, 2012.07.16~7.21, Melbourne, Australia

(4)Nomi Sassa, Hiroko Kubo, Norio Isoda, The elderly human response under the established air temperature and their preferred air temperature, The fourth international conference on human-environment system ICES2011, P2-26, 2011.10.1-5, Sapporo

(5)Michiyo AZUMA, Ikuko BANBA, Hiroko KUBO, Norio ISODA, Nobuo HAMADA Field investigation of the indoor fungi and thermal environment - Seasonal change of fungal level in the environmental symbiotic type house, The fourth international conference on human-environment system ICES2011, P2-30, 2011.10.1-5, Sapporo

(6)Yuri Tanaka, Hiroko Kubo, Norio Isoda, Ayako Yasuoka, The physiological and psychological effects of decreases in room temperature on the human body in the winter and summer, The fourth international conference on human-environment system ICES2011, P2-25, 2011.10.1-5, Sapporo

(7)「自然共生住宅地における地下空間の温熱

環境および真菌の実測調査」：萬羽郁子・東実千代・磯田憲生・久保博子：日本建築学会2011年度大会学術講演梗概集 D-2, pp.667-668, 2011. 9. 7-9, 富山

(8)森郁恵, 都築和代, 坂本雄三, 高橋龍太郎, 鈴木大隆, 磯田憲生, 窓の断熱改修が住宅の温熱環境と高齢者の健康に及ぼす影響 その1 調査概要と室内温熱環境, 日本建築学会大会, 2011. 9. 7-9, 富山

(9)都築和代, 森郁恵, 坂本雄三, 高橋龍太郎, 鈴木大隆, 窓の断熱改修が住宅の温熱環境と高齢者の健康に及ぼす影響 その2 高齢者の健康への影響, 日本建築学会大会, 2011. 9. 7-9, 富山

〔図書〕(計1件)

(1)磯田憲生, 松井智子, 藤井佳代, 久保博子, 東実千代, 海青社, 「ハウスクリマ-住居気候を考える 2003-2009」Ⅲ-4 自然共生型住宅における温熱環境の実測調査, p. 175-180, 2010. 3

〔その他〕新聞報道3件、TV報道1件

6. 研究組織

(1)研究代表者

磯田 則生 (ISODA NORIO)

奈良女子大学・名誉教授

研究者番号：60016871

(2)研究分担者

久保 博子 (KUBO HIROKO)

奈良女子大学・生活環境科学系・准教授

研究者番号：90186437

都築 和代 (TSUZUKI KAZUYO)

独立行政法人産業技術総合研究所・ヒューマンライフテクノロジー研究部門・グループ長

研究者番号：70222221

東 実千代 (AZUMA MICHIO)

畿央大学・健康科学部・准教授

研究者番号：10314527

光田 恵 (MITSUDA MEGUMI)

大同大学・情報学部・教授

研究者番号：40308812

佐々 尚美 (SASSA NAOMI)

武庫川女子大学・生活環境学部・講師

研究者番号：50379525

萬羽 郁子 (BAMBA IKUKO)

近畿大学・医学部・助教

研究者番号：20465470

(3)連携研究者 なし

(4)研究協力者

安岡 絢子 (YASUOKA AYAKO)

(奈良女子大学・人間文化研究科・学生)