

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	住宅の冷房がエネルギー消費量と睡眠に与える影響に関する被験者実験
Title(English)	
著者(和文)	本多 英里, 伊香賀 俊治, 松岡 由紀子, 大平 昇, 浦田 麻衣, 海塩 渉
Authors(English)	Toshiharu Ikaga, Wataru Umishio
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, Vol. 84, , pp. 113-116
Citation(English)	, Vol. 84, , pp. 113-116
発行日 / Pub. date	2014, 2

## 住宅の冷房がエネルギー消費量と睡眠に与える影響に関する被験者実験

### 4. 環境工学-1. 環境心理・生理

冷房 エネルギー消費量 睡眠 被験者実験

準会員 本多 英里<sup>\*1</sup> 正会員 伊香賀俊治<sup>\*2</sup>  
正会員 松岡由紀子<sup>\*3</sup> // 大平 昇<sup>\*3</sup>  
// 浦田 麻衣<sup>\*4</sup> // 海塩 渉<sup>\*4</sup>

#### 1. 背景と目的

気候変動問題の深刻化に伴い、増加が著しい民生家庭部門におけるエネルギー消費量の削減が喫緊の課題となっている<sup>\*)1</sup>。これを受け、同部門では断熱改修や省エネ・創エネ設備の導入を行った環境性能の高い住宅が推進されている。しかし、断熱性能の向上や設備の導入などハード面の対策だけではエネルギー消費量の削減効果に限界があり、住まい方改善によるソフト面での対策が求められている<sup>\*)2</sup>。夏季においては冷房使用の抑制による対策の実践度が高い一方で、冷房を全く使用しない過度な節電行為は睡眠環境を悪化させ、睡眠障害の訴えを増加させる危険性が示唆されている<sup>\*)3</sup>。上記の通り、既往研究では冷房使用がエネルギー消費量、睡眠へ及ぼす影響の個別の検討に留まっており、適切な冷房使用の方法が不明瞭となっている。そこで本研究では、夏季の冷房使用がエネルギー消費量と睡眠へ与える影響の包括的な検証を目的として、被験者実験を行った。

#### 2. 被験者実験

##### 2.1 実験の概要

夏季の冷房使用がエネルギー消費量及び睡眠時の生理・心理に与える影響を検証するため、被験者実験を行った。実験は、神奈川県に所在する、断熱水準が H11 年基準<sup>\*)1</sup>を満たす集合住宅<sup>\*)2</sup>のモデルルームにて実施した。期間は、2013 年 8 月 2~5 日 (A 日程)、8 月 9~12 日 (B 日程) の 2 回に分けて行った。被験者は、非喫煙者、かつ BMI 値<sup>\*)3</sup>により標準的な体型と判断された 20~22 歳の男子学生 8 名とした。被験者は A, B いずれかの日程に参加し、各日程 4 名ずつとした。

##### 2.2 実験ケース

睡眠時のケース設定は、実生活における居住者の行動を模擬し、冷房設定温度に関する全国アンケート結果の最頻値である 26℃設定 (Case. I) <sup>\*)4</sup>、省エネ推進のために政府が推奨している 28℃設定 (Case. II) <sup>\*)5</sup>、冷房を使用しない自然通風 (Case. III) の計 3 ケースとした (表 1)。着衣は半袖と半ズボンとし、寝具は綿シーツをかけた敷布団とタオルケットに統一し、寝具の使い方に関する制約は設けなかった。また、順序効果を除去するため、A 日程と B 日程ではケースの順番を変えて実験を行った。ケース設定と各日程の外気条件を表 2 に示す。

表 1 実験ケース

Case. I	冷房 26℃設定 連続運転
Case. II	冷房 28℃設定 連続運転
Case. III	自然通風

表 2 実験日程とケース設定

実施日	A 日程				B 日程			
	8/2	8/3	8/4	8/5	8/9	8/10	8/11	8/12
Case	II	I	III	III	II	I		
天気	曇	晴一時曇	曇後晴	薄曇時々晴	曇	曇一時晴		
気温 [°C]	23.7±0.3	24.6±0.6	26.2±0.6	28.1±0.8	29.1±0.8	29.3±0.7		
湿度 [%]	79.1±1.0	84.6±5.8	86.0±2.7	84.8±3.2	82.0±6.1	68.2±4.1		

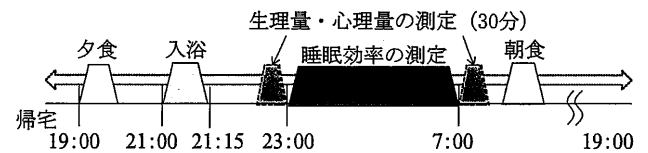


図 1 実験スケジュール

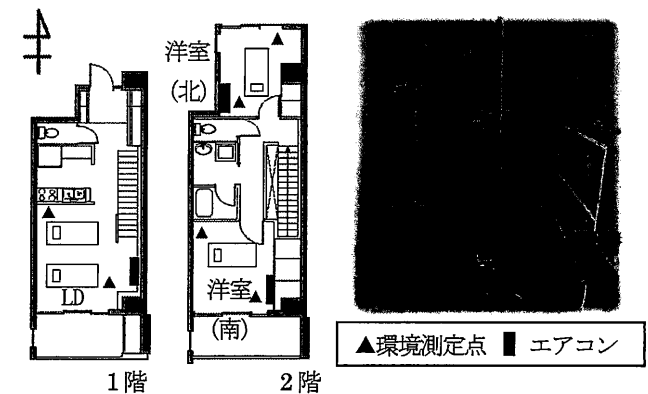


図 2 モデルルームの平面図と環境測定点の様子

##### 2.3 実験スケジュール

1 日の実験スケジュールを図 1 に示す。被験者は 19 時までにモデルルームに帰宅し、夕食を済ませた後、21 時から 22 時の間に 1 人 15 分間を上限として入浴した。その後、23 時から 7 時まで睡眠状態の測定を行った。睡眠時間は 8 時間とし<sup>\*)4</sup>、就寝前と起床時に生理量・心理量、物理環境の測定を実施した。また、実験期間中の日中は激しい運動、飲酒、昼寝等の規制を行った。

##### 2.4 実験場所

実験場所の平面図を図 2 に示す。メゾネットタイプの集合住宅で、4 階建の 1, 2 階の部屋を使用した。各部屋に設置されているエアコンは、COP が 3.23~4.49 の省エネ型であった。

## 2.5 測定項目

### 2.5.1 物理環境

物理環境の測定項目を表 3 に示す。室内の温湿度は 0.1m と 1.1m、グローブ温度、風速は 0.1m の高さで 1 分間隔の連続測定を行った。照度、騒音、CO<sub>2</sub> 濃度は 0.1m の高さで就寝前と起床時に測定した。上記の測定は、被験者が睡眠をとった各部屋 2 点の環境測定点にて実施した (図 2)。環境測定点は、冷房の気流の直接当たる点、当たらない点の 2 点とした。また屋外の温湿度についても、1.1m の高さで 1 分間隔の連続測定を行った。

### 2.5.2 生理量

生理量の測定項目を表 4 に示す。睡眠状態は、枕元に睡眠計を設置し測定した。本実験で使用した睡眠計は、電波センサにより測定した被験者の体動から睡眠・覚醒の状態を判定し、睡眠の質を評価するものである。本睡眠計から、睡眠効率<sup>5)</sup>や中途覚醒時間と回数等の測定を行った。加えて、就寝前と起床時に鼓膜温、10 分間の脳波測定、ストレスの指標となる唾液アミラーゼ活性の測定を実施した。さらに、実験期間中は心電計を装着し、自律神経<sup>6)</sup>や体表面温度の 24 時間連続測定を行った。

### 2.5.3 心理量

室内環境満足度や疲労感、睡眠内省に関してアンケート調査を実施した (表 5)。室内環境満足度は、就寝前と起床時に温熱、光、音、空気質環境について 4 段階の評価を行った。体調、疲労感は就寝前に調査し、疲労感は自覚症状調べ<sup>7)</sup>を用いて頭痛、だるさといった 32 症状を問うた。睡眠内省は、起床時に OSA 睡眠調査票 MA 版<sup>8)</sup>を用いて調査した。

## 3. 実験結果

### 3.1 物理環境の測定結果

環境要素の中で睡眠へ影響を及ぼすとされる温熱、光、音環境に関して<sup>8)</sup>、各ケースの測定結果を示す (表 6)。光、音環境についてケース間に有意な差は確認されなかった。従って、以降の分析では温熱環境に着目することとする。温熱環境の指標には温湿度、風速、放射の影響を考慮した体感温度である SET\*を用いて評価を行った。温湿度、風速、放射温度は実測値を採用し、着衣量及び代謝量は標準状態における 0.6clo、58.2W/m<sup>2</sup><sup>9)</sup>とした。睡眠時間中 (23 時～7 時) の平均 SET\*<sup>8)</sup>は、Case I では 24.9°C、Case II では 27.4°C、Case III では 30.4°Cであった。

### 3.2 エネルギー消費量の測定結果

睡眠時間中の冷房使用によるエネルギー消費量 (23 時～7 時の積算値<sup>10)</sup>) をケース毎に示す (図 3<sup>11)</sup>)。Case I では 0.18[kWh/日/m<sup>2</sup>]、Case II では 0.09[kWh/日/m<sup>2</sup>]となり、本実験において、設定温度を 26°C から 28°C へ 2°C 上げることによるエネルギー消費量削減効果は 0.09[kWh/日/m<sup>2</sup>]となった。

表 3 物理環境の測定項目

測定項目		測定機器	測定方法
屋外	温度/湿度	ワイヤレスデータロガー (RTR-503)	1 分間隔の連続測定
	温度/湿度		
室内	グローブ温度	グローブ球 (080340-150)	
	風速	クリモマスター風速計 (Model6533)	
	照度	照度計 (T-10)	
	騒音	普通騒音計 (NL-21)	
	CO <sub>2</sub> 濃度	IAQ モニター (Model2211)	
			就寝前 起床時に 測定

表 4 生理量の測定項目

測定項目	測定機器
睡眠効率 等	睡眠計 (HSL-102-M)
鼓膜温	耳式体温計けんおんくん (MC-510)
脳波	脳波測定機 (alphatec-IV)
唾液アミラーゼ	唾液アミラーゼモニター
自律神経	多機能ワイヤレスホルタ記録器 (CarPod)
体表面温度	

表 5 アンケート調査の概要

調査のタイミング		評価項目	指標や質問形式
就寝前	起床時		
○	○	室内環境満足度	温熱・光・音・空気質に対して 4 段階評価
○	×	体調	4 段階評価
○	×	疲労感	自覚症状調べ (頭痛、だるさ等の 32 症状)
×	○	睡眠内省	OSA 睡眠調査票

表 6 物理環境の測定結果 (平均値±標準偏差)

		Case. I	Case. II	Case. III
睡眠中の平均室温 [°C]		24.9±0.5	26.7±0.7	28.3±1.0
睡眠中の平均湿度 [%]		71.6±4.1	74.9±2.5	78.2±1.0
標準状態の SET* [°C]		24.9±0.9	27.4±1.4	30.4±1.4
睡眠状態の SET* <sup>8)</sup> [°C]		21.5±0.9	23.7±1.1	26.1±1.1
照度 [lx]	就寝前	130±68	136±55	140±66
	起床時	249±75	222±97	250±87
騒音 [dB]	就寝前	37.9±2.1	37.5±1.5	39.5±1.2
	起床時	37.6±1.8	37.4±1.3	39.7±1.3

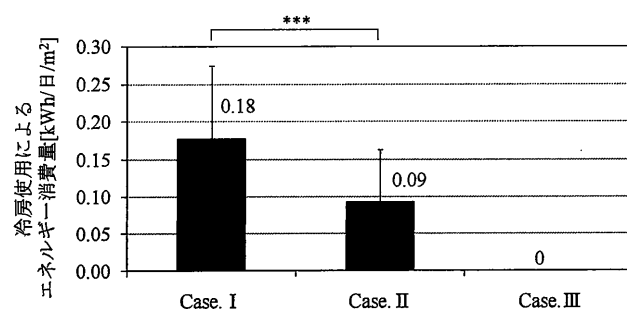


図 3 実験ケース別のエネルギー消費量

### 3.3 睡眠の客観指標と主観指標の対応

睡眠は主観的な評価も重要な指標であることから<sup>10)</sup>、測定した客観指標について、主観指標との対応を検証した。本分析では、良質な睡眠に必要とされる「寝つきの良さ」「中途覚醒時間の短さ」「目覚めの良さ」の総合的な指標として扱われている<sup>11)</sup>睡眠効率を客観的な評価指標として扱った。また、睡眠効率は個人差の非常に大きい指標であるため、各ケースの睡眠効率から、各被験者の睡眠効率の平均値を引き、個人差を排除した上で評価を行った。睡眠の質に関する主観指標として、OSA 睡眠調査票の「入眠と睡眠維持」の因子を採用した<sup>12)</sup>。その結果、両者の間に有意な相関が確認され、睡眠効率の向上は主観的な睡眠の質向上に寄与することが示唆された(図4)。

### 3.4 室内温熱環境と睡眠効率の関係

#### 3.4.1 暑さへの敏感度が睡眠効率へ与える影響

暑さへの敏感度の設問<sup>13)</sup>に対し、「非常に敏感」「やや敏感」と回答した被験者を暑がり群、「どちらでもない」とした被験者を非暑がり群に分類し、実験期間中の平均した睡眠効率を比較した(図5<sup>11)</sup>)。暑がり群は非暑がり群と比較して、7.8%睡眠効率が低かった。

#### 3.4.2 室内温熱環境が睡眠効率へ与える影響

睡眠効率が低い暑がり群について、各ケースの平均 SET\*と睡眠効率を図6<sup>11)</sup>に示す。その結果、平均 SET\*が27.4℃となった Case. II において睡眠効率が最も高くなる傾向が確認された。また、Case. II と Case. III を比較すると Case. III において有意に睡眠効率が低下しており、Case. I についても睡眠効率が低下する傾向が見られたことから、過度な冷房使用による低い SET\*と冷房を使用しないことによる高い SET\*は、共に睡眠へ悪影響を及ぼし、睡眠に適切な SET\*が存在することが示唆された。

#### 3.4.3 過度な冷房使用が睡眠へ与える影響

平均 SET\*27.4℃の Case. II と比較して、睡眠効率の低下が確認された平均 SET\*24.9℃の Case. I について温熱環境満足度から考察を行う。就寝前と起床時に実施した温熱環境満足度に関するアンケート調査結果をケース毎に示す(図7)。就寝前の回答では Case. I における不満の割合が最も低く 12.5%に抑えられていた。しかし、就寝前後の回答の変化に着目すると、Case. II と Case. III では顕著な差が見られないのに対し、Case. I では起床時の温熱環境を不満と感じる割合が75%まで増加していた。不満増加の要因を検討すべく、就寝前後における鼓膜温の測定結果を図8<sup>11)</sup>に示す。就寝前ではケース間に差が確認されないのに対し、起床時は Case. I では鼓膜温が低下していた。20代の椅座位の安静状態における鼓膜温が36~37.5℃であることから<sup>12)</sup>、過度な冷房使用による冷えが温熱環境満足度を低下させ、睡眠効率の低下に影響したと考えられる。

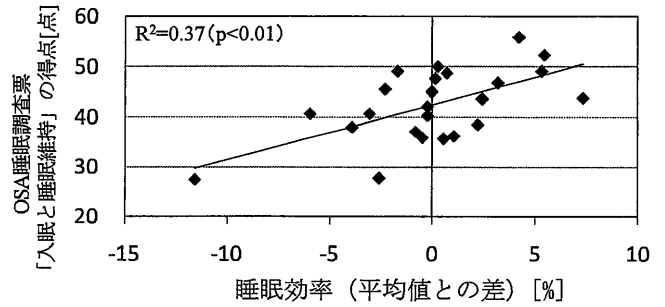


図4 主観評価による睡眠の質と睡眠効率の対応関係

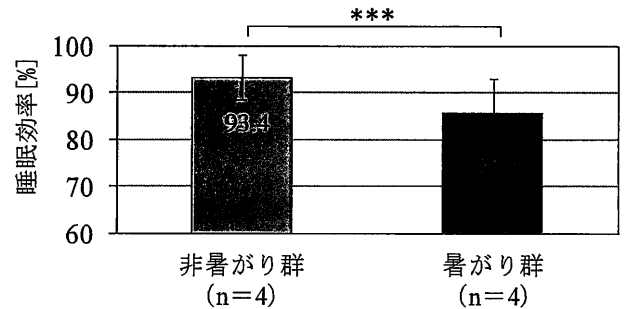


図5 暑さへの敏感度と睡眠効率の関係

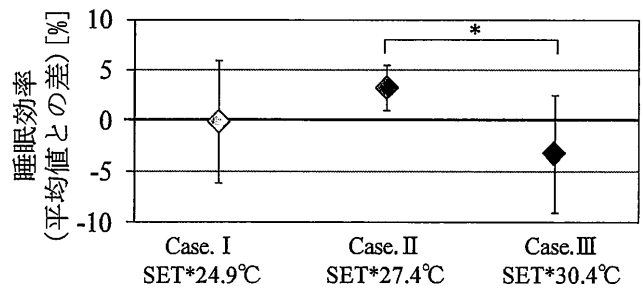


図6 実験ケース別の睡眠効率(暑がり群 n=4)

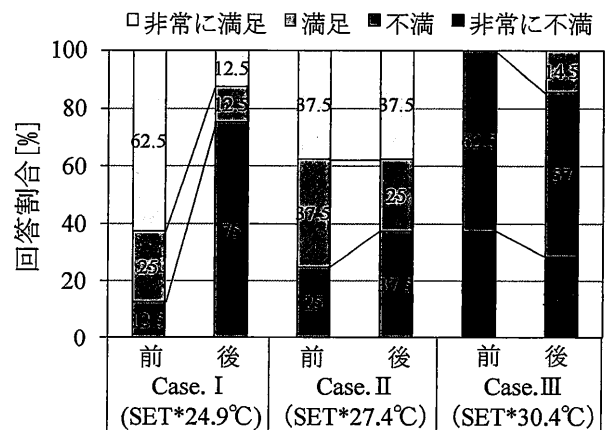


図7 就寝前後の温熱環境満足度

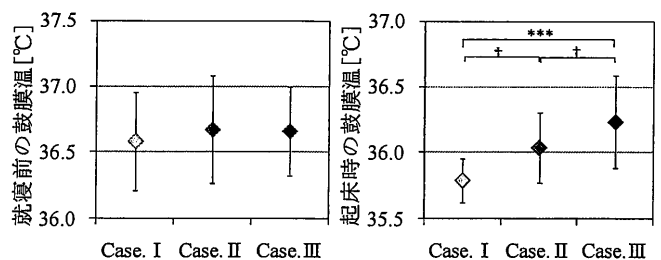


図8 実験ケース別の鼓膜温結果

### 3.4.4 冷房使用抑制が睡眠へ与える影響

図6において、平均SET\*30.4℃のCase.IIIは平均SET\*27.4℃のCase.IIと比較して睡眠効率の低下が確認された。この要因に関してSET\*の上昇が被験者の自律神経に与える影響から考察を行う。自律神経には緊張の指標とされる交感神経とリラックスの指標とされる副交感神経がある。睡眠中は副交感神経が優位に働くことで、疲労の回復に寄与するため、SET\*の上昇が副交感神経に与える影響を検証する。Case.IIIにおいて睡眠中の覚醒が多かった被験者1名を抽出し、5分ごとのSET\*と副交感神経の関係を図9に示す。その結果、SET\*の上昇に伴い副交感神経の働きが抑制されている傾向が確認され、SET\*の上昇はリラックスした質の良い睡眠を妨げる可能性が示唆された。

### 3.5 冷房使用がエネルギー消費量と睡眠へ与える影響

冷房使用がエネルギー消費量と睡眠効率に与える影響を標準状態の平均SET\*を指標として検証した。冷房使用によるエネルギー消費量と睡眠効率の関係を図10に示す。冷房を抑制する程、エネルギー消費量が削減される一方で、SET\*27.6℃を境に睡眠効率が低下する傾向が見られた。従って、省エネと良質な睡眠を両立するSET\*は睡眠効率が最大となる27.6℃からエネルギー消費量が0[kWh/日/m<sup>2</sup>]となる31.4℃の範囲であることが示唆された。

## 4. まとめ

夏季の冷房使用がエネルギー消費量及び睡眠時の生理・心理に及ぼす影響を定量的に検証することを目的として、被験者実験を行った。本実験により得られた知見を以下に示す。

(1) 冷房を8時間使用した本実験において、冷房の設定温度を26℃から28℃へ2℃上昇させることによるエネルギー消費量削減効果は0.09[kWh/日/m<sup>2</sup>]であった。

(2) 非暑がり群に比べ、暑がり群は温熱環境による影響を受けやすく、睡眠効率が7.8%低下した(p<0.01)。

(3) 平均SET\*が27.4℃であったCase.IIにおいて、睡眠効率が最も高くなる傾向が示された。Case.IIとCase.III(平均SET\*30.4℃)の比較では有意にCase.IIIにおいて睡眠効率の低下が確認され、Case.I(平均SET\*24.9℃)に関しても同様に低下する傾向が見られた。

(4) 過度な冷房使用は、起床時の鼓膜温の低下をもたらし、身体の冷えが起床時の温熱環境の不満足者割合を増加させた。一方、冷房使用の抑制によるSET\*の上昇は、睡眠中の副交感神経の働きを抑制する傾向が確認された。

(5) 本実験において省エネと良質な睡眠を両立する平均SET\*の範囲は27.6℃～31.4℃であることが示唆された。今後、本研究で示されたSET\*となる冷房使用方法について検証し、住まい方改善の手法を提示していく必要がある。

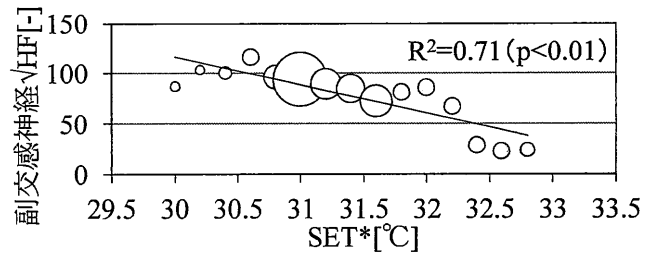


図9 SET\*と副交感神経の関係

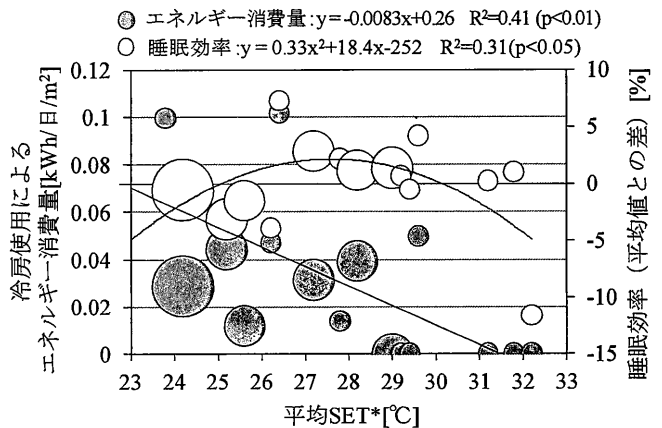


図10 エネルギー消費量と睡眠効率の関係

【謝辞】本研究は、東京ガス株式会社の委託研究「居住者の意識・生活行動がエネルギー消費量と健康へ与える影響の経済性評価に関する調査研究(研究代表者:伊香賀俊治)」として実施したものである。被験者実験にご協力頂いた皆様に心より謝意を表す。

【注】注1)国土交通省により制定された断熱性能基準を使用 注2)省エネ・創エネ・蓄エネ設備を導入した住宅 注3)BMI=(体重[kg]÷(身長[m]×身長[m]))が18.5以上25未満 注4)統計局より報告された20～24歳男性の平均睡眠時間から設定 注5)総就床時間中の睡眠状態と判定される時間の割合 注6)心拍の周期変動の周波数成分を測定し、低周波数・中周波数・高周波数に分け、交感神経、副交感神経を算出 注7)睡眠内省を評価する心理尺度 注8)枕元の高さ(0.1m)での測定結果の平均値 注9)着衣量を0.25[clo]、代謝量を40[W/m<sup>2</sup>]として算出 注10)待機電力を除いて算出した 注11)本論において\*\*\*p<0.01, \*\*p<0.05, \*p<0.10, †p<0.20とした 注12)睡眠効率の定義より、睡眠の質向上には「睡眠の維持」が重要であるため、「入眠と睡眠維持」因子を採用 注13)問「暑さに対して敏感ですか?」

【参考文献】文1)資源エネルギー庁「エネルギー白書2013 第2部国内の動向」、2013 文2)経済産業省「低炭素社会に向けた住まいと住まい方」の推進方策について 中間とりまとめ、2012.7 文3)玄地裕ら「居住環境における健康維持増進に関する研究 その10 外気温上昇が居住者の睡眠障害に及ぼす影響」日本建築学会大会学術講演梗概、2009 文4)DIMSDRIVE『エアコン』に関するアンケート、(最終閲覧2013年12月8日)<http://www.dims.ne.jp/timelyresearch> 文5)経済産業省 資源エネルギー庁「資源エネルギー政策、一般向け省エネ情報」(最終閲覧2013年12月8日)<http://www.enecho.meti.go.jp/policy/general/howto/airconditioning/index.html> 文6)総務省、統計局「平成23年社会生活基本調査 調査の結果 結果の概要」p7 文7)吉竹博、「改訂産業疲労-自覚症状からのアプローチ-」、労働科学研究所出版部、1993 文8)環境省、「ヒートアイランド対策の環境影響に関する調査業務報告書」、2009.2 文9)空調調和・衛生工学会「快適な温熱環境のメカニズム」、p.113-119、2006 文10)文部科学省、日本学術振興会、科学研究費助成事業「環境変化に伴う睡眠障害への看護ケアの開発、2001年度 研究成果報告書概要」、2001 文11)日本睡眠学会「初心者のための睡眠の基礎と臨床」p.1-8 文12)最新医学大辞典委員会編集、「最新医学大辞典」第3版、医歯薬出版株式会社、2005

\*1 慶應義塾大学理工学部 システムデザイン工学科

\*2 慶應義塾大学理工学部 教授 博(工学)

\*3 東京ガス株式会社

\*4 慶應義塾大学大学院 修士課程