

令和 2 年 6 月 18 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07876

研究課題名(和文) 暖冷房運転が生活者に与えるストレスの数値化と木炭による最適省エネ居住空間の提案

研究課題名(英文) Numericalization of stress given to people by air-conditioning operation and proposal of optimum energy saving living space by charcoal

研究代表者

中井 毅尚 (Takahisa, Nakai)

三重大学・生物資源学研究科・教授

研究者番号：90314616

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：我々が「快適」と感じる室内温度を保つためには、厳冬や猛暑の季節だけでなく、一年を通じて暖冷房を行う必要がある。暖冷房は家庭における使用エネルギーの約3分の1を占めており、管理・効率化は省エネ化における重要課題である。  
本課題では、集合住宅の小屋裏(天井裏)空間に木炭を敷設することにより、夏期と冬期の両期間においてエアコンの省エネ効果が明確に現れた上に、被験者がその空間に短期滞在することにおけるストレス値の上昇は、夏期と冬期の両期間において統計的に認められなかった。天井裏に何も敷設していない部屋では冬期においてストレス値が明確に上昇したことから、木炭敷設の有用性が証明された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生活者(被験者)各人の「正常値(コントロール)」を医学的に設定し、その上で血液検査によるストレスの数値化を行ったため、従来研究より被験者に与える温熱環境の影響を、医学面・住環境工学面の両面から客観的に判断できた。

建材としてこれまで認知されていなかった木炭の熱特性を明らかにしつつ、新省エネ建材として使用可能であることを証明した。また、木炭を小屋裏(天井裏)に敷設することにより省エネにつながる上に、被験者の医学的根拠に基づくストレス値の増加が認められないことを実証した。

研究成果の概要(英文)：In order to maintain a comfortable room temperature, it is necessary to perform heating and cooling throughout the year as well as in the severe winter and hot seasons. About one-third of the energy used at home is heating and cooling, and management and efficiency are key issues in energy conservation.

In this study, we clarified the energy-saving effect of air conditioners both in summer and winter by laying charcoal in the attic (ceiling) space of an apartment house. And the stress levels of subjects who stayed in the space for a short period of time did not increase statistically in both summer and winter. The utility of laying charcoal was also proved by the fact that in the room with nothing laid on the ceiling, the stress level obviously increases in winter.

研究分野：木質科学

キーワード：木炭 省エネ ストレス 住環境

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

近年、省エネ化・長寿命化を目指した我が国の政策により住宅の断熱・気密化が進み、生活者の住まいに対する満足度は格段に向上している。一方で、我々が「快適」と感じる 20～26℃の室内温度を保つためには、厳冬や猛暑の季節だけでなく、一年を通じて暖冷房を行う必要がある。暖冷房は家庭における使用エネルギーの約 3 分の 1 を占めており、管理・効率化は省エネ化における重要課題である。しかしながら、生活者の健康維持に必要な居住環境の快適性と省エネとの両立は容易ではない。

### 2. 研究の目的

本課題では、前述の快適性・健康維持・省エネ促進の相互関係並立を実現するために、木造平屋戸建住宅、および鉄筋コンクリート造集合住宅で暖冷房運転を行ったときの、生活者の医学的根拠に基づくストレス値の評価や、温熱環境測定などを通年にわたり連続測定を行い、最適な居住空間の提案を行った。なお、測定は夏期および冬期に行った。対象には 3 階建て鉄筋コンクリート造集合住宅の角部屋でない 1 階の 2 部屋を用いた。この集合住宅の小屋裏（天井裏）空間には、「何も敷設しない（コントロール）」、「木炭敷設」の 2 条件を設定し、被験者は青年期の成人男性とした。

### 3. 研究の方法

#### 使用した木炭の熱特性

##### ◎熱伝導率

表面温度に差のある物体の温度差により生じる静止した流体内の熱移動のしやすさを示した値である。物体の厚さを  $x$  [m]、その物体に生じる表面温度差を  $t$  [K]、として面積  $A$  [m<sup>2</sup>] に 1 秒間に  $Q$  [J] の熱量が移動するときの熱伝導率  $\lambda$  [W/(m・K)] は次式、

$$\lambda = \frac{Q}{A \frac{t}{x}}$$

で表される。

本実験は、熱伝導率測定装置（HC-072、英弘精機㈱、図. 1）を用いて木炭の熱伝導率を測定した。高温板温度を 35℃、低温板温度を 5℃ に設定した。この場合、熱板面積は 20 cm<sup>2</sup>、固定条件は 10 kg/m<sup>2</sup> (soft) と 250 kg/m<sup>2</sup> (hard) とした。

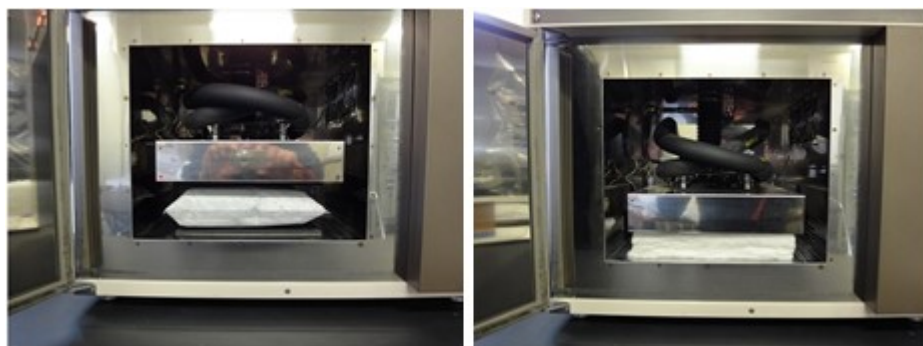


図. 1. 熱伝導率測定装置へのセッティング。

##### ◎熱貫流率

固体の隔壁に両側に異なる流体があってその隔壁を通して熱が伝わる現象を熱貫流と呼ぶ。これは片方の流体と隔壁表面との熱伝達、隔壁内の熱伝導、もう一方の隔壁表面と流体との熱

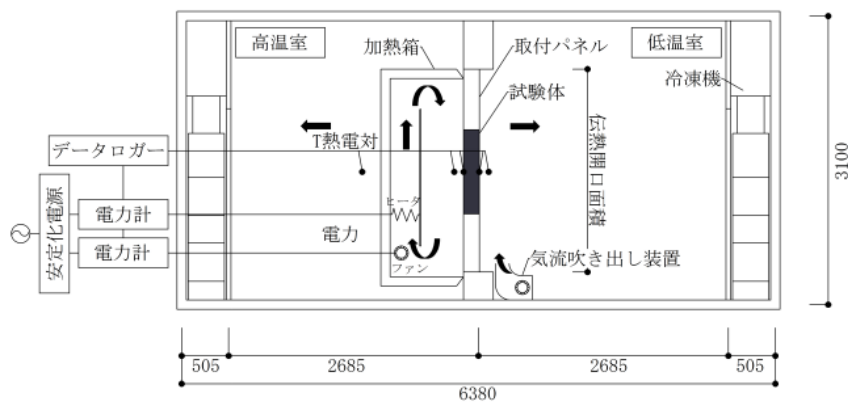
伝達の三つの要素からなっている。この熱貫流のしやすさを示す値を熱貫流率と呼ぶ。この値が小さいほど断熱性能が高くなる。熱貫流率を  $K$  [ W / (  $\text{m}^2 \cdot \text{K}$  ) ]、両各壁面の内側と外側の熱伝達をそれぞれ  $h_{in}$  [ W / (  $\text{m}^2 \cdot \text{K}$  ) ]、 $h_{ex}$  [ W / (  $\text{m}^2 \cdot \text{K}$  ) ]、厚さを  $b$  [ m ]、そして  $\lambda$  を熱伝導率 [ W / (  $\text{m} \cdot \text{K}$  ) ] とすることで熱貫流率は次式、

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_{in}} + \frac{b}{\lambda} + \frac{1}{h_{ex}}$$

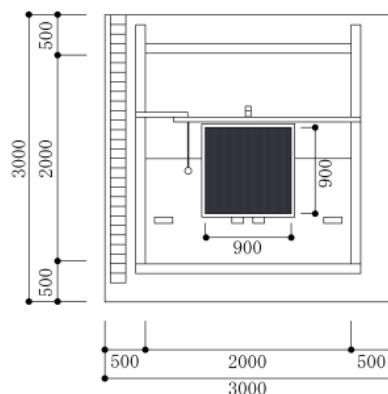
で表される。しかし住宅部材は外周部の熱の移動にて外部の風の影響を受けることにより熱伝達に影響を及ぼす。このように住宅部材や材料単体の表面温度の差から求められる熱伝導率よりも、むしろ部材周辺の空気との熱伝達を含めた伝熱が重要である為、周辺空気温度の差から求めた熱抵抗を評価の対象としている。よって本研究では熱貫流率は次式から求めることにした。

$$\text{熱貫流率} = \frac{\text{熱流}}{\text{屋内付近温度} - \text{屋外付近温度}}$$

本実験は、人工気象装置ツインチャンバー (MIT-645-1、(株)マルイ、図.2) を用いて行った。この装置は2室タイプとなっており、屋外環境室と屋内環境室に別れ、それぞれの部屋の間で試験体を設置する。それにより日射量、風量、屋内・屋外側のそれぞれ異なる温湿度環境を設定できる。また、加熱箱と記録装置を設置することで、JIS A 4710「建具の断熱性能試験」を実施することができるようになっている。本実験では冬季を想定し、屋外側は  $0^{\circ}\text{C}$ 、屋内側は  $20^{\circ}\text{C} \cdot 60\% \text{R.H.}$  に設定した。試験体の表面温度は白金測温抵抗体 (山里産業株)、付近温度は T 型熱電対 (T-HVVF、(株)福電)、熱流は熱流計 (低熱流用センサ、京都電子工業株) で測定した。



(a) 断面図。



(b) 屋外試験体側展開図。

単位 : mm

図.2. 使用したツインチャンバーの概要。

なお、供試試験体は、枠組みが木材でその一面に石膏ボードを配した内部に木炭を配して熱貫流率を測定した。木炭は 45 cm<sup>2</sup> 角の不織布の袋に 15L 入れ、6 袋/m<sup>2</sup>を目途とした。

### ストレス値および温熱環境の評価

被験者（一度に 2 人、計 9 人）はインフォームド・コンセントを事前に済ませた上で臨床試験を開始し、各部屋で睡眠時以外座った状態で 34 時間（23：30 就寝、6：30 起床；7 時間睡眠、23：30～9：30～9：30）過ごした（臨床試験は各被験者に対して各部屋（図.3）1 回計 2 回実施）。また、被験者の服装は、夏期：靴下を履かず、下着・T シャツ・短パンを着た。冬期：靴下を履いた上で、下着・ヒートテック上下・スウェット上下を着た。なお、起床時はマットレスの上に座位で、就寝時は夏期：タオルケット、冬期：毛布と羽毛布団をかけ仰臥位とした。エアコンは夏期：冷房 27℃自動連続運転設定（就寝時のみ off）、冬期：暖房 20℃自動連続運転設定（就寝時のみ off）とした。



図. 3. 臨床試験を行った室内

被験者の食事の時間は、被験者全員同一とし、食事の内容と量は、被験者間で差異があっても構わないが、2 回の臨床試験で全て同一とした。また、被験者の生体時計を整えるため、臨床試験約 2 週間前より、起床・就寝時間と食事の時間を統一し、激しい運動は禁止した。さらに、臨床試験 3 日前よりアルコールとカプサイシン摂取は控えた。なお、各被験者の生体時計のチェックは直腸温度の概日リズムより行い、それが整わない場合は被験者の概日リズムの調整期間を延長した。被験者の概日リズムを整えた上で、自律神経活動指標の連続測定を行った。また、実験開始直後と終了直前の 2 回、看護師によって被験者の左肘内側で血液サンプル（約 15ml）を静脈から採取し、一般生化学的検査（血球数、Ht、蛋白質、浸透圧、電解質、血糖、脂質など）、およびストレス関連ホルモン（副腎皮質刺激ホルモン（ACTH）、抗利尿ホルモン（バゾプレッシン）、コルチゾール、アドレナリン、ノルアドレナリンなど）を検査し、数値化表示した。

上述の生体指標の測定に加え、被験者は皮膚表面温度（8 個所：前額、左耳後ろ、胸部、左前膊内、左手甲背、腹部、大腿内、足甲背）と結腸温の連続測定を行った。また、各被験者に対して臨床試験中、主観申告（VAS の 0～100 段階評価）を定期的に行い、上述の生体指標との

比較・検討を行った。なお、上記測定と並行して温度・湿度などの環境測定も継続的に行った。

#### 4. 研究成果

##### 使用した木炭の熱特性

###### ◎熱伝導率

木炭の熱伝導率 ( $W/m \cdot K$ ) は  $0.101$  (soft)  $\cdot 0.079$  (hard) であった。参考までに、本装置で測定したグラスウールの熱伝導率 ( $W/m \cdot K$ ) は  $0.035$  (soft)  $\cdot 0.030$  (hard) であった。

###### ◎熱貫流率

内部に木炭を配した試験体の熱貫流率 ( $W/m^2 \cdot K$ ) は  $1.38$  であった。参考までに、本装置で測定したアクリル板 (10 mm)、および前述の木炭の代わりに内部に何も入れない場合とグラスウールを配した試験体の熱貫流率 ( $W/m^2 \cdot K$ ) は  $4.54$  (アクリル板)、および  $2.84$  (内部に何も入れない)  $\cdot 0.43$  (内部にグラスウールを入れる) であった。

##### ストレス値および温熱環境の評価

###### 【夏期】

木炭を住宅内の天井裏に敷設した場合の住環境の改善実績は以下の通りである。①夏期に木炭を敷設した部屋では、敷設していない部屋と比較すると、揮発性有機成分の量が2割程度に低減した、②夏期の消費電力は、木炭を敷設した部屋は、敷設していない部屋より15～25%の低減が認められた。

次に、木炭の敷設の有無によりストレスの差が現れるか否かの臨床試験の結果は以下の通りである。①木炭の敷設の有無による ACTH 値やコルチゾール値の試験開始直後と終了直前の差は統計的に認められなかった、②被験者のアンケート調査から、木炭を敷設している部屋では、温度感：やや暑さ、湿度感：やや湿っている、快適感：何も感じない、であった一方、木炭を敷設していない部屋では、温度感：何も感じない、湿度感：やや湿っている、快適感：何も感じない、であった。

###### 【冬期】

木炭を住宅内の天井裏に敷設した場合の住環境の改善実績は以下の通りである。①冬期の消費電力は、木炭を敷設した部屋は、敷設していない部屋より5～15%の低減が認められた。

次に、木炭の敷設の有無によりストレスの差が現れるか否かの臨床試験の結果は以下の通りである。①木炭の敷設の有無によるコルチゾール値の試験開始直後と終了直前の差は統計的に認められなかったが、より上位の ACTH 値は木炭を敷設していない部屋では統計的に有意な上昇が認められた ( $p < 0.05$ )、②被験者のアンケート調査から、木炭を敷設している部屋では、温度感：何も感じない or やや寒い、湿度感：何も感じない、快適感：何も感じない or やや快適、であった一方、木炭を敷設していない部屋では、温度感：やや寒い、湿度感：何も感じない、快適感：何も感じない、であった。

以上、夏期と冬期の結果より、天井裏に木炭を敷設することにより、夏期と冬期の両期間においてエアコンの省エネ効果が明確に現れた上に、被験者がその空間に短期滞在することにおけるストレス値の上昇は、夏期と冬期の両期間において統計的に認められなかった。何も敷設していない部屋では冬期においてストレス値が明確に上昇したことから、木炭敷設の有用性が証明された。また、天井裏に木炭を敷設することにより、居住空間の快適性・健康維持・省エネ促進の相互関係並立の実現にも近づいたと言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takahisa Nakai, Keisuke Toba, Ryuichi Iida, Tadashi Ohtani, Tomomitsu Asanuma, Jianbo Huang, Susumu Kawamura and Yuji Ishitobi	4. 巻 14
2. 論文標題 Comparison of Heating Indoor Environment between Existing Apartment Buildings in Winter Season - A Case Study in Izumo, Japan -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Forest Biomass Utilization Society	6. 最初と最後の頁 11-18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 T. Nakai, K. Toba, T. Ohtani, T. Asanuma, J. Huang and S. Kawamura
2. 発表標題 The power consumption of an electrical heater in apartment buildings during the winter in Izumo, Japan
3. 学会等名 IUMRS-ICAM2017（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中井 毅尚、鳥羽 景介、浅沼 友光、久野 守、石飛 裕司
2. 発表標題 炭入りすのこの開発と寝具への設置による調湿・断熱効果の評価
3. 学会等名 日本木材加工技術協会第35回年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中井 毅尚、鳥羽 景介、河村 進、内迫 貴幸、浅沼 友光、石飛 裕司
2. 発表標題 住宅内における結露発生の検証と木炭の敷設による抑制
3. 学会等名 第68回日本木材学会大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----