

暖房機器の違いが全身温冷感へ与える影響に関する実験的研究

- 戸建住宅における住空間の快適性確保に関する研究 -

(株)ポラス暮らし科学研究所 ○野田将樹 日大生産工 松井 勇
(株)ポラス暮らし科学研究所 松本泰輔

1 まえがき

住宅外皮は、地球温暖化問題を背景とした国家施策としての高気密・高断熱化の推進により、シェルターとしての基本性能が年々向上している。そのため、住まい手の新築戸建住宅に寄せる快適な温熱環境での心地よい新生活への期待も大きくなってきている。近年の住宅暖房分野では、住まい手に対して様々な暖房提案がなされている。

2 既往の研究

温熱環境に対する住まい手の反応を単純化された温熱指標で評価しようという試みは過去に多く行われているが、建築学、気象学、心理学、生理学、医学、衛生学など、それぞれの分野における興味や必要性で推進されており、あまりにも広い評価範囲が価値判断を困難にしているように思われる。筆者らは、各種暖房機器についての環境評価¹⁾、住まい手の立場を想定した心理量ならびに生理量評価²⁾³⁾⁴⁾に関する知見を蓄積してきている。本報では、今一度、ここまでに蓄積してきた知見について整理した結果について報告する。

3 本研究の範囲

暖房方式の違いによる体感効果への影響を検討するにあたり、実験計画の過程と重要と思われる前提条件を以下に示す。

- 1)対象とした暖房機器は温水式床暖房、エアコン、石油ファンヒーターの3種とした。
- 2)実験は 2005/10/03~2005/10/07 の期間で行った。
- 3)実験に供した住宅外皮の断熱水準は、IV地域 1990 年基準(性能表示エネルギー対策等級 3 等級)相当を有するものとした。

4 実験概要

4-1 実験室

実験には、写真 1 に示す東京ガス(株)千住テクノステーション内にある人工環境室内に再現した天井高 2400mm の 8 畳実験室を使用した。

4-2 実験室の温湿度設定

実験開始前の実験室温湿度は室温 9°C、相対湿度 50%RH に制御した。外気温は 5°C、相対湿度 70%RH を、室内暖房運転時の実験室の目標室温には 22°Cを設定し、室内の湿度は成り行きとした。室温制御に関しては、検討対象とした 3 種の暖房機器のマイコン制御に依存した。

5 結果および考察

5-1 室温変動

各暖房機器の室温制御状況を図 1 に示す。室温上昇が最も早いのはエアコン、次いで



写真 1 実験場所

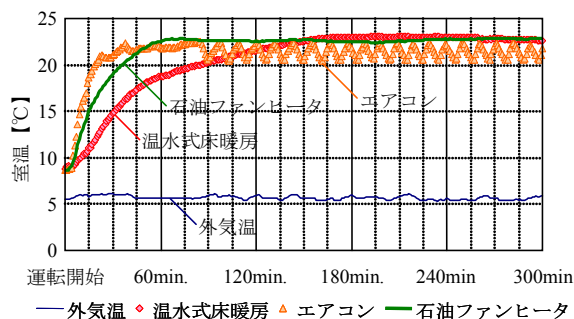


図 1 室温制御状況

Evaluation of Various Heating Apparatus for Thermal Comfort
- Research on Realization of Comfortable Habitation Space -

Masaki NODA, Isamu MATSUI and Taisuke MATSUMOTO

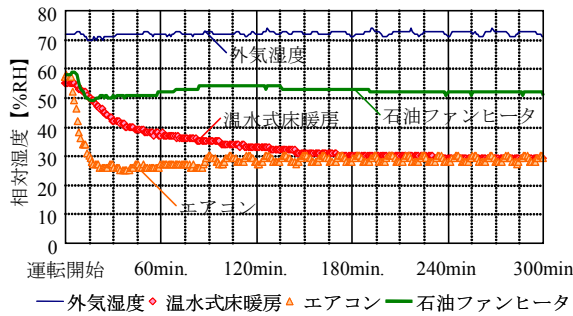


図2 相対湿度変動

石油ファンヒータ，温水式床暖房となっている。設定温度とした室温 22℃に達するまでの時間は温水式床暖房で2時間10分，エアコンで35分，石油ファンヒータで55分となっている。また，室内が定常になったと思われる3時間後以降では，エアコンの室温が上下に大きく変動している。

5-2 湿度変動

室内相対湿度の変動を図2に示す。

温水式床暖房ならびにエアコンについては，室温の上昇に伴い相対湿度は低下し，定常と思われる3時間後以降の相対湿度は30%RHとなっている。これに対して，石油ファンヒータは実験開始より，常時，相対湿度50%RHで安定している。

図3に室内絶対湿度の変動を示す。

石油ファンヒータでは，燃料の燃焼に伴い水分の発生が認められる。1時間後以降は9g/kg(DA)前後で推移しているが，これは，窓面に結露が生じることによって室内が除湿されているためである。

5-3 上下温度分布

各暖房機器を運転させてからの60分ごとの上下温度分布の推移を図4に示す。

床上100mmから1100mmの温度較差は温水式床暖房で0.4℃，エアコンで2.2℃，石油FHで3.0℃となっている。ISO7730には3.0℃以内という推奨範囲があるが，各暖房機とも，その範囲は超えていないようである。

5-4 床面温度変動

床表面温度の変動を図5に示す。

床表面温度は全身温冷感への影響が比較的大きい³⁾。その床表面温度は，温水式床暖房で30℃，エアコン，石油ファンヒータでは20℃となっており，温水式床暖房とは10℃の較差が存在している。

エアコンと石油ファンヒータでは，エアコンの方が床表面温度の上昇が早く，石油ファンヒータ

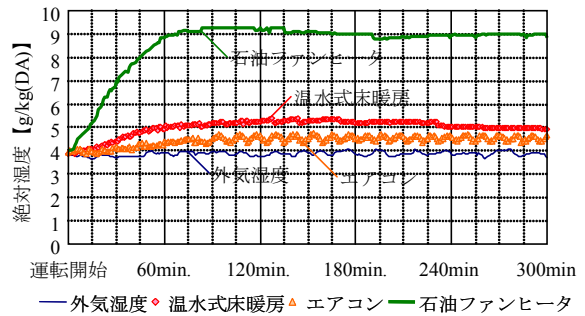


図3 絶対湿度変動

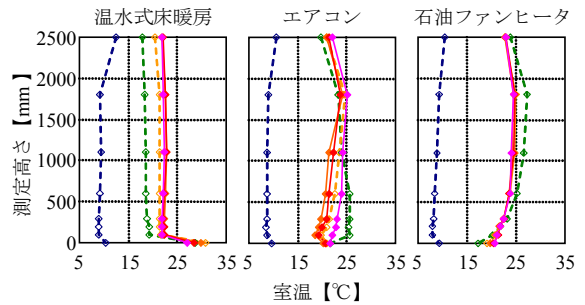


図4 上下温度分布

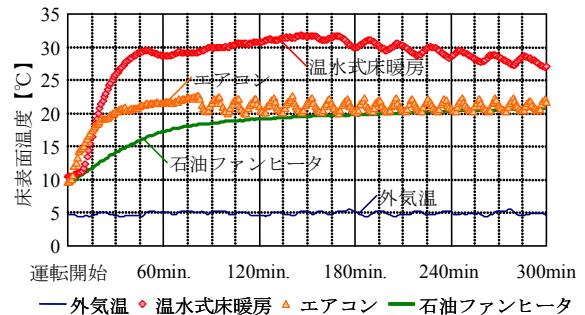


図5 床表面温度変動

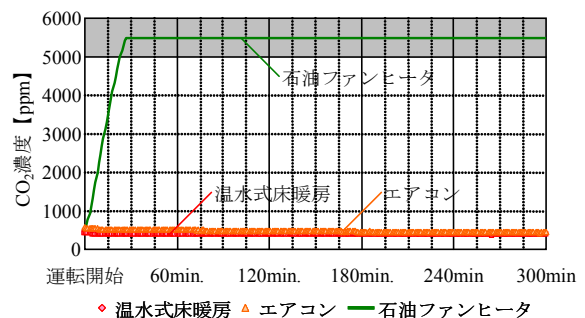


図6 CO₂濃度変動

ンヒータでは床表面温度が20℃に達するまでに120分を要している。

5-5 CO₂濃度変動

CO₂濃度の変動を図6に示す。

温水式床暖房，エアコン暖房時のCO₂濃度の変動はなく，運転開始から常に500ppm前後を推移している。これに対して石油ファンヒータでは，暖房運転を開始してから急激にCO₂濃度が上昇し，30分後には測器の測定限

界である 5500ppm を超えている。この濃度水準は、建築基準法施行令・第 129 条の 2 の 6 に示されている基準値 1000ppm を大きく超えるものである。なお、同時に測定した石油ファンヒータの CO 濃度に関しては、温水式床暖房ならびにエアコンの CO 濃度との較差が小さいことを確認している。

5-6 在室者の皮膚温度分布

各種暖房機器を 5 時間運転させた後の各実験室に入室させた被験者を撮影した熱画像を図 7 に示す。なお、石油ファンヒータに関しては、健康障害を懸念し、入室 10 分前に 1 度換気を行っている。

被験者熱画像では、温水式床暖房の場合のみ異なった様相を示している。室内の環境要素として、エアコンまたは石油ファンヒータと温水式床暖房で大きく異なるのは床表面温度のみであり、床表面温度が全身の血行動態へ大きな影響を与えることを示唆している。

5-7 温冷感申告

被験者には、実験室在室中に全身温冷感についての心象も申告させている。

自由回答とした申告結果では、温水式床暖房については「全身が暖まった」・「のぼせた感がある」といった表現が、エアコンについては「足元が冷えて、少し肌寒かった」、石油ファンヒータについては「エアコンより暖かい」・「暖まっている感を 1 番感じた」といった表現がなされている。

申告結果から、当該被験者に惹起された温覚の強さは温水式床暖房、石油ファンヒータ、エアコンの順であったと思われる。被験者実験前に換気を行い、実験室の室温を強制的に下げた石油ファンヒータであるが、被験者の全身温冷感についての心象は悪くない。これには、特異的に温度受容器に影響する温度以外の因子としての CO₂ の影響があるものと思われる。CO₂ 濃度の上昇は冷線維活動性の減少と温線維活動性の増加が報告されている⁵⁾。石油ファンヒータの暖房開始と同時に上昇する CO₂ 濃度が当該被験者の温冷感心理に影響したものと考える。

6 足裏局所加熱が全身温冷感へ及ぼす影響

6-1 実験概要

当該被験者については、別途、官能検査も実施している。実験は、写真 2 に示す(株)ポラス暮し科学研究所内の人工環境実験室に再



図 7 被験者熱画像



写真 2 実験場所

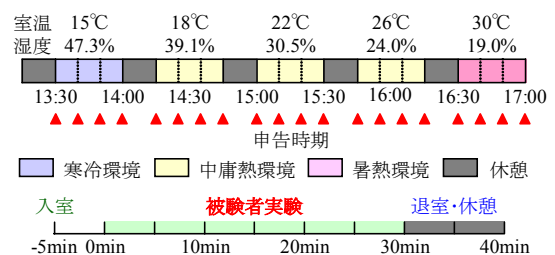


図 8 実験室の温湿度条件および実験手順

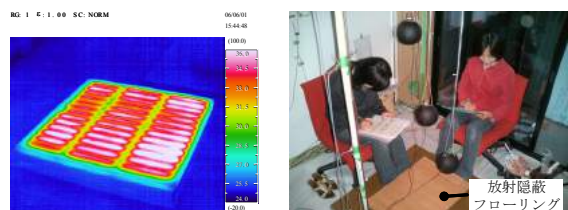


写真 3 実験床と実験床の設置状況

現した 4 畳半実験室を使用した。当該被験者には、図 8 に示すように、段階的に室温 15°C、18°C、22°C、26°C、30°C と変化させた実験室において、計 30 分の入室時間中、入室直後、10 分後、20 分後、30 分後の 4 回の温冷感申告をさせた。申告は、Ramanathan の人体外殻層温度測定 4 点法測定部位である下腿・大腿・胸部・上腕の部位別温冷感、足裏の接触温冷感ならびに全身温冷感について行うものとした。実験に際しては、写真 3 に示す実験床(910mm × 910mm 総厚 120mm)を作成した。当該実験床は、実験室中央に配置し、放射による人体影響を軽減するために、裏面をアルミニウム

テープで養生したフローリングを 100mm の高さをもって実験床の上に設置した。なお、足裏を加熱するときの床表面温度は 29℃一定とした。

6-2 結果および考察

室温と全身温冷感の関係を図 9 に示す。

各室温とも足裏を加熱しない場合に比して、足裏を加熱する場合の方が全身温冷感はより暖かい側で評価されている。前項の実験で設定した室温 22℃の時の当該被験者の全身温冷感足裏を加熱しない場合で「0.中立」、足裏を加熱する場合で「+1.やや暖かい」となっている。

全身温冷感を目的変数、Ramanathan の人体外殻層温度測定 4 点法測定部位である下腿・大腿・胸部・上腕の部位別温冷感を説明変数として、回帰統計を行った結果を表 1 に示す。

観測数 40 と少ないサンプルではあるが、当該被験者の全身温冷感への影響度(t)は下腿で最も高く、他の部位と比して全身温冷感への影響度が非常に大きい。前項の被験者熱画像では、温水式床暖房での下腿の皮膚温度も有意に高く、当該被験者の温冷感の心象は概ね下腿の温冷感によって決定されていることが予想される。自由回答方式で申告された温水式床暖房での「のぼせた感」であるが、全身が暖かいと感じ、血管拡張といった放熱局面に生理反応が移行してもなお足裏では吸熱、手や顔の放熱機構のみでは十分な放熱量が確保できなかったためと考える。

7 まとめ

本研究の結果を以下に要約する。

- 1) 温水式床暖房居室は、上下に室温較差がなく、全身温冷感への影響が比較的大きい床表面温度も他の暖房機器に比して 10℃程度高い。
- 2) 同じ室温 22℃でも温水式床暖房は、他の暖房機器に比して、被験者の下肢皮膚温度を有意に上昇させる。
- 3) 石油ファンヒータは、被験者に惹起させる温覚は強いが、CO₂ の特異的な作用による見かけのみ温覚である可能性もある。
- 4) 足裏加熱によって、被験者の全身温冷感より暖かい側で評価される。
- 5) 下腿の温冷感は、全身温冷感へ強く影響する。

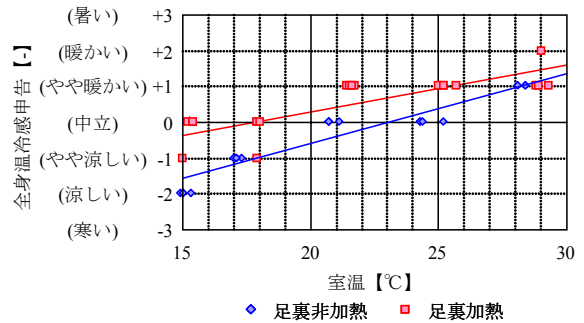


図 9 室温と全身温冷感との関係

表 1 全身温冷感についての回帰統計結果

| 回帰統計 | | 【備考】被験者概要 | |
|-------------------|-------|-----------|-----------------|
| 重相関R | 0.969 | 年齢/性別 | 25歳/女性 |
| 重決定R ² | 0.938 | 身長/体重 | 152cm/48.0kg |
| 補正R ² | 0.931 | 想定代謝量/着衣量 | 1.0Met/0.944clo |
| 標準誤差 | 0.268 | 足裏非加熱実験日 | 2006年7月12日 |
| 観測数 | 40 | 足裏加熱実験日 | 2006年8月2日 |

| | 係数 | 標準誤差 | t(影響度) | P-値 | 下限95% | 上限95% |
|----|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 切片 | 0.103 | 0.061 | 1.694 | 0.099 | -0.020 | 0.277 |
| 下腿 | 0.890 | 0.090 | 9.889 | 0.000 | 0.707 | 1.073 |
| 大腿 | 0.065 | 0.285 | 0.229 | 0.820 | -0.514 | 0.654 |
| 胸部 | 0.057 | 0.322 | 0.179 | 0.859 | -0.596 | 0.711 |
| 上腕 | -0.072 | 0.101 | -0.715 | 0.479 | -0.277 | 0.133 |

なお、本論文は 2006 年度日本建築学会大会へ投稿した論文¹⁾に、追加・修正を行ってまとめたものである。

【参考文献】

- 1) 松本泰輔, 暖房時の人体生理応答に関する実証的研究, 日本建築学会大会(関東) 学術講演梗概集, pp.509-510, 2006 年
- 2) 松本泰輔, 松井勇, 足裏局所加熱が全身の血行動態および温冷感に及ぼす影響に関する実験的研究 -実験室の温湿度設定にステップ変動を与えた場合について-, 日本建築学会環境系論文集 No.621, pp.17-22, 2007 年
- 3) 松本泰輔, 松井勇, 足裏加熱が皮膚温度と皮膚熱流に及ぼす影響に関する実験的研究, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.445-448, 2008 年
- 4) 松本泰輔, 松井勇, 周壁加熱時の足裏加熱が温冷感に及ぼす影響に関する実験的研究 -実験室の温湿度設定にステップ変動を与えた場合について-, 日本建築学会環境系論文集 No.628, pp.721-725, 2008 年
- 5) 中山昭雄, 温熱生理学, 理工学社, pp.223, 1981 年