

間欠暖房条件でのエネルギー消費と温冷感に関する実験的研究

—冬期の住宅を想定した人工気候室内実験家屋における実験—

1993141 大石 健二 1993160 加藤 綾樹 1993440 森反 優貴

指導教員 成田 健一

1. 研究背景と目的 暖房環境のエネルギー消費と温冷感に関する過去の研究は、ほとんどが、室温等に時間的な変化を持たない連続暖房を対象としている。しかしながら、寒冷地を除くほとんどの地域では冬期でも間欠的な空調が主であり、実態に即した暖房環境の評価のためには、暖房開始時からの過渡期における快適性やエネルギー消費等の変化を探る必要がある。本実験研究では間欠暖房時の室内環境に関し、暖房開始時から終了時にかけてエネルギー消費と室内温度分布、人体の温熱感覚がどのように変化するかを、暖房方式の違いと共に調べることを目的とした。

2. 実験概要 本実験では、連続暖房時の必要出力を求め、起床後と帰宅後の暖房開始時を評価する間欠暖房実験を行った。使用した暖房機器はエアコン・パネルヒーター・床暖房の3種類(以下、エアコン:AC、パネルヒーター:PH、床暖房:FH)で、室内温度分布とエネルギー消費量、被験者の温熱感覚の評価を行った。

2-1. 実験施設 実験は(独法)建築研究所にある人工気候室内の2階建実大実験家屋の1階LV室(図1)で行った。実験家屋は室内外温度差、気密性および各室の機械換気量を自由に設定できる。実験環境の計測は、空気温度、エネルギー消費量など表1に示す9項目に関して行った。

2-2. 実験条件

1) 連続暖房実験 それぞれの暖房方式(AC, PH, FH)で、間欠暖房運転時の目標となる快適な温度設定を模索した。実験ケースを表2に示す。各条件下に被験者を30分間曝露し、申告結果から、暖房環境の評価を行なった。

2) 間欠暖房実験 連続暖房実験から得られた人体の快適性を維持する出力で、起床後と帰宅後の在室想定時間帯(起床後の場合2時間、帰宅後の場合4時間)の暖房環境評価を行った。被験者の申告は変化が顕著と考えられる暖房開始後2時間のみを測定し、実験開始後1時間は5分毎、残りの1時間は15分毎に記入させた。なお、帰宅後を想定した場合は、入室前に実大実験家屋の周りの外気条件下を15分間歩かせた。設定外気温は八王子の標準気象データから1月の時刻別年平均値を用い、24時間周期定常(図2)をプログラム設定した。

2-3. 被験者の概要とアンケート申告 被験者は健康な男性3名(平均年齢22.3歳、平均身長177.3cm、平均体重64.3kg、平均体表面積1.75㎡)で行った。実験において被験者の状態は椅座安静とし、読書程度の作業を許した(想定代謝量:1.0met)。アンケートを行った項目は、全身の温冷感・乾湿感・気流感・快適感で図3の尺度を用いて

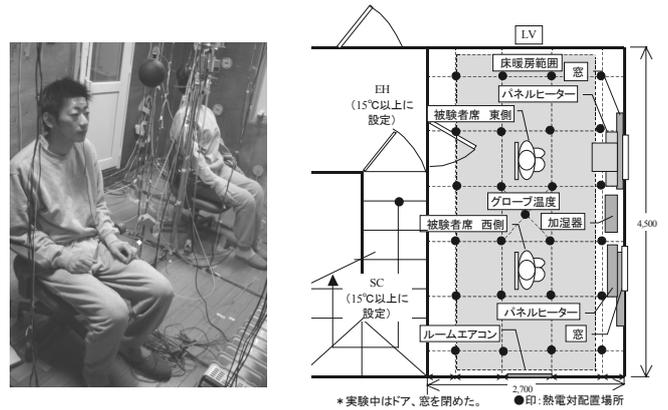


図1 実大実験家屋1階LV室平面配置図

表1 実験環境の測定内容

測定項目	測定位置	測定器	
熱環境	空気温度	175点(垂直面7箇所×水平面25箇所)	T型熱電対
	グローブ温度	室中央に1点	グローブ温度計
	壁面温度	5点(各壁面1点、窓面1点)	T型熱電対
	相対湿度	室中央に1点	湿度センサー
エネルギー	消費電力	AC:消費電力とCOP PH:消費電力	電力計
	投入熱量	FH:入口・出口の流水温度および流量	流量計・カロリメーター
被験者	皮膚表面温度	各部位6点	T型熱電対
サーマルマネキン	皮膚表面温度	各部位16点	サーマルマネキン
	発熱量	各部位16点	

*すべて1分毎にデータロガーを用いて測定した

表2 実験ケース

実験ケース	暖房方式	設定条件	相当除面積 [cm ² /m ²]	室外設定温度 [°C]	室内温度 [°C]	換気量 [m ³ /h]	相対湿度 [%RH]	断熱性能	温水流量 [m ³ /h]	
A1	AC	設定温度	2.0	5.0	15.0以上となるように設定	40	40	次世代省エネ基準1地域相当	1.6	
A2		設定温度								22°C~28°C
A3		設定出力								400W~900W
A4		設定出力								400W~900W
A5	PH	設定出力	2.0	5.0	15.0以上となるように設定	40	40	次世代省エネ基準1地域相当	1.6	
A6		設定出力								400W~900W
A7		設定出力								400W~900W
A8	FH	設定温度	2.0	5.0	15.0以上となるように設定	40	40	次世代省エネ基準1地域相当	1.6	
A9		設定温度								50°C~65°C
B1	AC	設定温度	2.0	5.0	15.0以上となるように設定	40	40	次世代省エネ基準1地域相当	1.6	
B2	PH	設定出力								600W
B3	FH	設定出力								55°C

Aシリーズ:連続暖房実験 Bシリーズ:間欠暖房実験

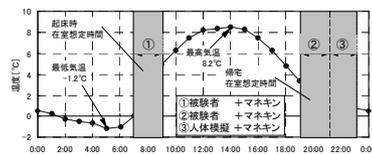


図2 設定外気温度条件

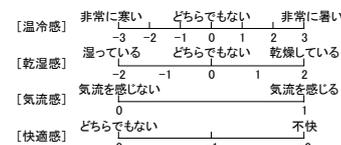


図3 アンケートを用いた申告値

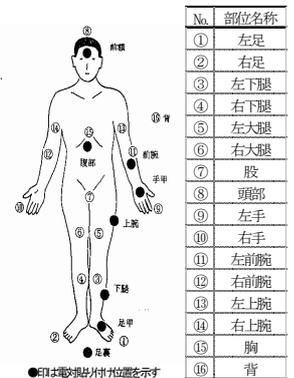


図4 皮膚温測定位置と部位表

1993160 加藤 綾樹 1993440 森反 優貴 1993141 大石 健二

申告してもらった。なお、温冷感と気流感については図4に示す部位別 16 箇所の申告も記録させた。皮膚表面温度は、図4の 8 箇所を 1 分間隔で測定した。着衣形態は自宅での安静時に標準と考えられる服装(上下スウェット・長袖Tシャツ・Tシャツ・トランクス・靴下・スリッパ)に統一した。

2-4.サーマルマネキンを用いた評価 実験ではサーマルマネキンを用い、室内環境が人体に与える影響を機械的に測定した。マネキンは人体の熱収支を模擬するもので、体深部温度が 36.4℃になるように、各部位の熱流をコントロールし、皮膚温などを測定することができる。マネキンは成人女性形状で、16 部位に分割されている。本実験では、各実験ケースでの皮膚表面温度変化、熱損失を 1 分毎に測定した。マネキンは、椅座とし、連続暖房実験、間欠暖房実験の両実験で被験者の隣に設置した。なお、マネキンの着衣は被験者と同一で、マネキンを用いた着衣熱抵抗の測定を行った結果、1.09clo であった。

3. 実験結果と考察

3-1.連続暖房実験の結果 図5に暖房運転の設定と、温熱感覚の申告結果および PMV を示す。連続暖房時に温冷感が中立となったのは、AC の場合:設定温度 24℃、PH の場合:出力 600W、FH の場合:流水温度 55℃であった。PMVと申告が共に0に近い値が最も快適性が高い。図6に暖房機器別に室内の上下温度分布を示す。快適性が高い場合のグローブ温度はすべての暖房方式で 24℃付近となった。図7に室内への投入熱量と消費熱量を比較した結果を示す。AC はヒートポンプの効果もあり、消費電力が少なく床暖房と比べて 1/4 程度の熱量で中立な温冷感が得られた。また、図 8 は人体を写した放射カメラの画像である。頭部については温度差が見られないが、足甲については FH が一番暖かく、AC との平均温度差は 3.2℃ある。

3-2.間欠暖房実験の結果 連続暖房実験の結果から、暖房機器ごとに最も快適だった運転設定で間欠暖房運転を行った。図9は暖房機器ごとに、グローブ温度・温冷感・消費エネルギーの経時変化を示している。3 種類の暖房機器の中で AC の温度の立ち上がりが早く、FH と PH は立ち上がりが遅い。AC は、室の上層部の室温は高いが下層部は低い。FH は室内空気温度の分布が均一であるが、暖房開始2時間後でも十分な室温に達しておらず申告値も低い。エネルギー消費では AC の消費熱量が、暖房開始時に高く、室内温度の立ち上がりを早めていると考えられる。

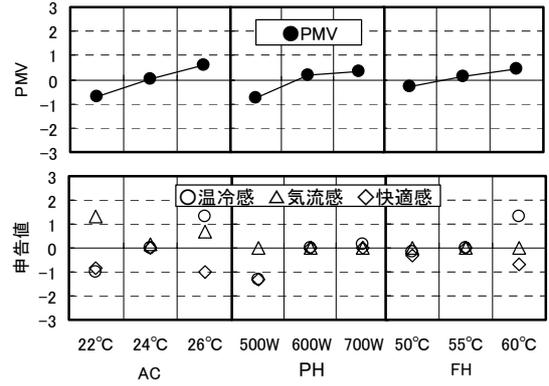


図5 アンケート申告の結果および PMV

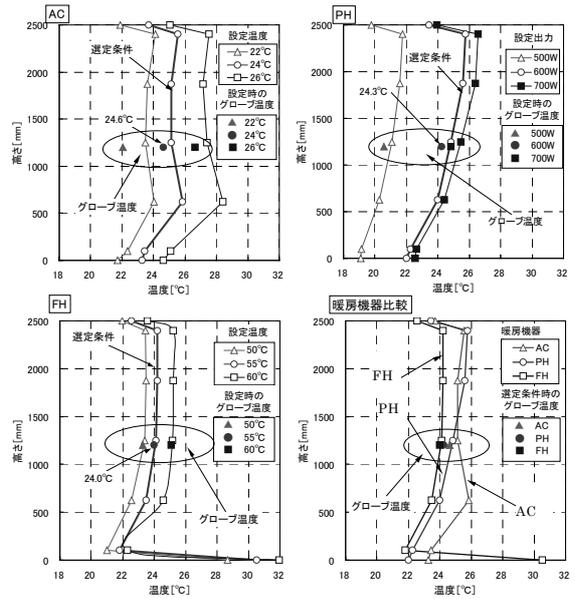


図6 連続暖房運転時の室内上下温度分布

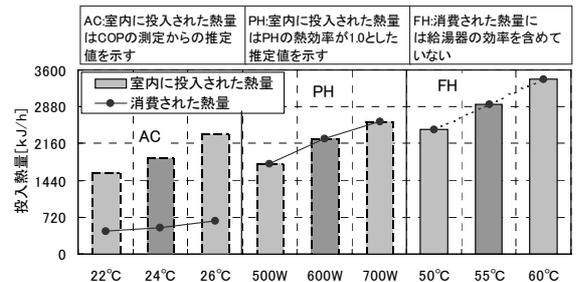


図7 投入熱量と消費熱量

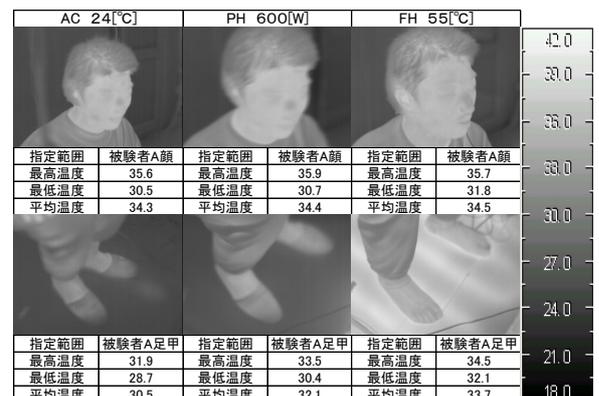


図8 放射カメラを用いた人体表面温度計測

1993440 森反 優貴 1993141 大石 健二 1993160 加藤 綾樹

床暖房も暖房開始時には消費熱量が大きいですが、室温の上昇を考えれば、さらに高い温度での初期運転が必要と言える。図 10 は暖房機器別に室内上下温度分布の 2 時間毎の変化を示している。AC は、床上 600mm より高い部分の温度上昇が早いですが、足元付近の温度は暖まりにくいことが分かる。図 11 は被験者 A とマネキンの下腿部皮膚表面温度の経時変化を連続暖房条件と比較したものである。マネキンの皮膚温度は、室温の上昇に等しい変化を示している。一方人体の場合、室温の立ち上がりが十分でないため PH, FH の暖房で下腿部の皮膚温度が低下し続けている。連続暖房では PH, FH の場合に AC と比べて下腿部の皮膚温度が高く、足元が暖められていたことを鑑みれば、PH や FH による間欠暖房の初期状態では、生理的な反応が追いつかず、皮膚温度の低下を生じている。

4. まとめ 本研究から得られた各暖房機器の特徴を表 3 にまとめる。AC は室内温度の立ち上がりが早く、すぐに暖をとることに適しているが、室内の上下温度分布や放射カメラの画像による測定の結果、足元付近が寒くなる傾向が見られた。一方 PH や FH は、連続暖房時に上下温度分布も少なく、足元付近も十分に温められているが、暖房開始時の室の温度上昇が遅く、間欠暖房の場合、暖房初期の加熱量を大きくするなどの考慮が必要である。エネルギー消費の観点からは、COP と直接空気を暖めていることの効果で、AC が最も効率的である。しかしながら、連続暖房運転時でも足元が十分には暖まらず、気流を感じるなど不快になる要素も含んでいる。以上より連続暖房時では FH と PH が適し、間欠暖房時では AC が適することが分かった。連続暖房時と間欠暖房時とは評価が違い、運転モードを考慮した使用者の判断(例えば部分的に暖めるのか、室全体を暖めるのか)が大切になるであろう。

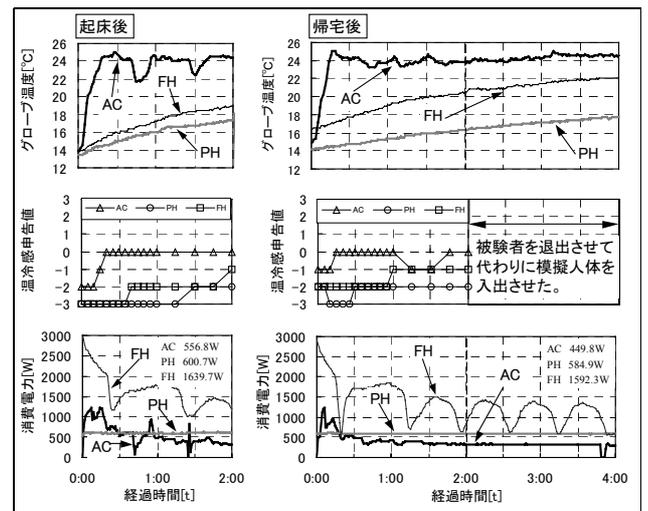


図9 グローブ温度・温冷感・消費エネルギーの経時変化

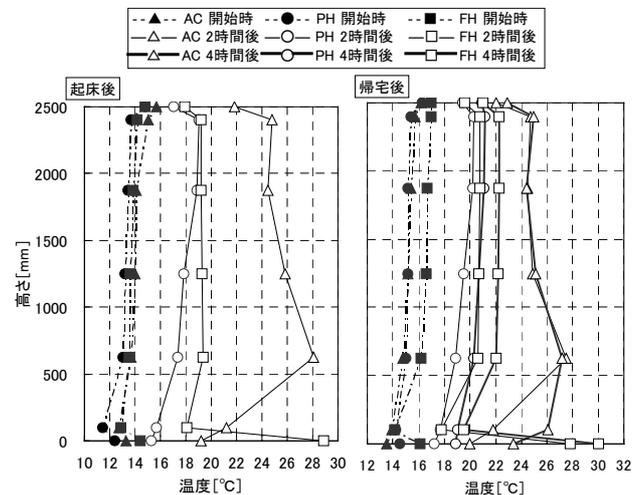


図10 暖房機器別2時間毎の室内上下温度分布

表3 暖房機器の特徴

暖房機器	設定条件	連続暖房時の消費熱量[W]	間欠暖房時の平均消費電力[W]	温熱感覚	中立的な温冷感が得られるまでにかけた時間	室内の温度変化がかかった時間
AC	設定温度 24°C	218.0	起床後2h: 566.8 帰宅後4h: 381.5	上下温度差を生じやすく、気流もあり、足元が寒くなる	約30分	約15分
PH	設定出力 600W	625.5	起床後2h: 600.8 帰宅後4h: 585.0	上下温度差が少なく、全身で均一な温冷感が得られる	約2時間以上 (暖房開始時に高出力での運転が必要)	約10時間
FH	流水温度 55°C	812.9	起床後2h: 1639.8 帰宅後4h: 1692.4	上下温度差が少なく、全身で均一な温冷感が得られる	約2時間以上 (暖房開始時に高出力での運転が必要)	約5時間

※欠点と思われる所は灰色で示す

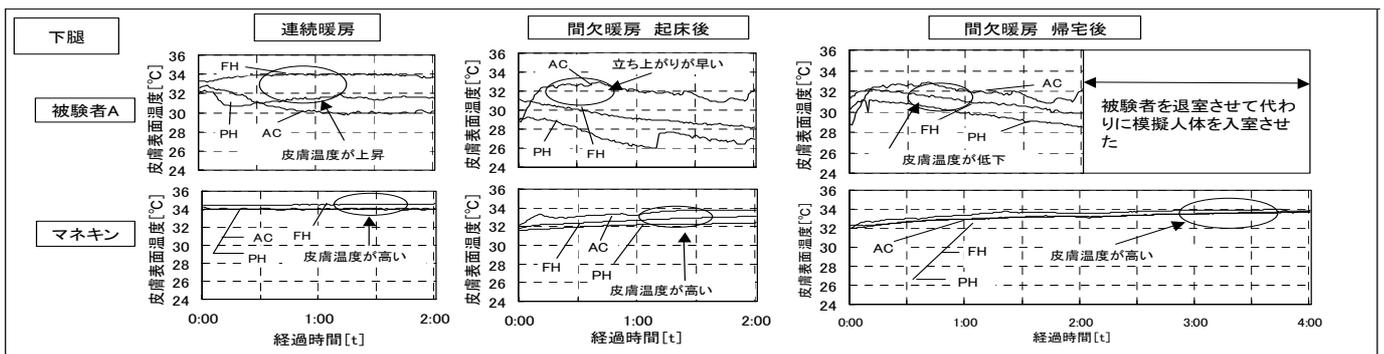


図11 被験者 A とサーマルマネキンの下腿部皮膚表面温度の経時変化