

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：33919

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350071

研究課題名(和文) トイレでの排泄行為時における温熱環境が人体に及ぼす生理的・心理的影響

研究課題名(英文) Effect of thermal environment while using a toilet on human physiological and psychological responses

研究代表者

石井 仁 (ISHII, JIN)

名城大学・理工学部・准教授

研究者番号：70321479

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：トイレは脱衣室や浴室と同様にヒートショックが発生しやすい場所である。本研究は冬季および夏季のトイレでの排泄の際に温風・送風機器の使用により人体生理・心理反応を改善する効果を被験者実験により明らかにした。冬季の温風機器の使用が怒責時の血圧上昇を抑制する効果の否定はできないが明確に示すことができなかった。冬季の温風機器、夏季の送風機器の使用がトイレ滞在中の温冷感、熱的快適感を改善する効果があることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：A toilet causes a household accident like a cardiac disease as well as a bathroom. This study aims to assess improvement of human physiological and psychological responses while using a toilet in which a fan heater device is operated in winter and a fan device in summer through a series of subjective experiments. It was not found out clearly that blood pressure rise caused by defecation was suppressed, when a fan heater device is operated in winter. It was found out clearly that thermal comfort while using a toilet was improved, when a fan heater is operated in winter and fan is operated in summer.

研究分野：建築環境工学

キーワード：温熱環境 トイレ 血圧 温冷感 熱的快適感

## 1. 研究開始当初の背景

日本の既存住宅は断熱性能に劣り全館暖冷房が行われていないものが圧倒的に多い。そのような住宅では暖冷房を行う居室と行わない非居室の温度差は冬季や夏季に大きくなる。家庭内事故において、居室から非居室へ移動した際に起こる急激な温度差、いわゆるヒートショックに起因した虚血性心疾患や脳血管障害などが発症する件数は特に高齢者に多い。

このような家庭内事故を未然に防ぐために、非居室である洗面・脱衣室や浴室の冬季の温熱環境が人体に及ぼす影響に着目した先行研究は数多く報告されている。しかし入浴と同様に脱衣行為を伴い、かつ排泄行為により生理的負荷が増加する非居室であるトイレの温熱環境に着目した研究は少ない。

既存住宅の断熱性能を向上させることは中長期的視点からは必要な施策であるが、現時点で断熱性能の劣る住宅でのヒートショックに起因する家庭内事故を減らすためには対症療法的な対策、即ち排泄に際して一時的な温熱環境の改善による人体の生理的負荷軽減策も必要である。

## 2. 研究の目的

本研究は、トイレでの排泄に際して夏季の送風機器および冬季の温風機器の使用が人体の生理・心理反応を改善する効果を被験者実験により解明することを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 実験概要

実験は2015年1月31日～2月26日(以下、2015年冬期)、2015年7月31日～8月5日(以下、夏期)2016年1月30日～2月29日(以下、2016年冬期)の3期間、大同大学の人工気候室(内法W4.3m×D3.6m×H2.3m)にて実施した。人工気候室内にトイレ(内法W1.2m×D1.5m×H1.8m)を製作し、市販の洋風便器(Panasonic:CH1101UZ)を設置した。温風・送風機器としてセラミックファンヒーター(dyson:HOT+COOL AM05)を用いた。図1にトイレ内観を示す。

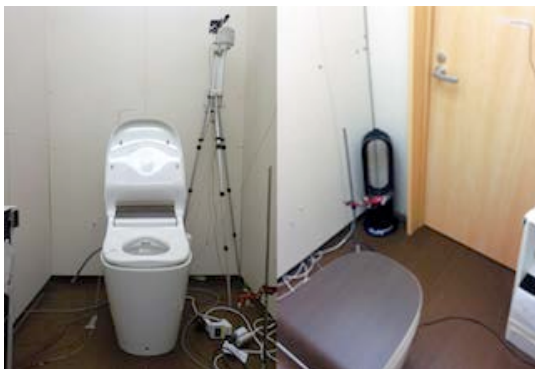


図1 トイレ内観

### (2) 被験者

2015年冬期は男性8名女性3名、2015年夏期は男性9名女性11名、2016年冬期は男性6名女性9名を被験者として採用した。被

験者には実験終了後、適切な報酬が支払われた。着衣は男女ともに、冬期はスウェット上下・半袖Tシャツ・下着・靴下に、夏期は半袖シャツ・ショートパンツ・下着・靴下に統一した。着衣熱抵抗は冬期0.86clo、夏期0.34cloと推定した。

### (3) 実験条件

2期の冬期の実験では、人工気候室内の設定気温を10℃・20℃の2条件、温風機器on・offの2条件とし、それらを組み合わせた4条件とした。また人工気候室内の相対湿度は50%とした。前室の設定気温は20℃とし相対湿度は成り行きとした。暖房便座は2015年冬期の実験では使用せず、2016年冬期の実験では使用した。以下、実験条件は人工気候室内の設定気温と温風運転を組み合わせ「20℃温風on」、「20℃温風off」、「10℃温風on」、「10℃温風off」と表記する。

夏期の実験では、人工気候室内の設定気温を27℃・33℃の2条件、送風機器on・offの2条件とし、それらを組み合わせた4条件とした。また人工気候室内の相対湿度は50%とした。前室の設定気温は27℃とし相対湿度は成り行きとした。以下、実験条件は人工気候室内の設定気温と送風運転を組み合わせ「27℃送風on」、「27℃送風off」、「33℃送風on」、「33℃送風off」と表記する。

### (4) 実験手順

被験者は、はじめ前室に椅座安静で滞在し30分間経過後に血圧と脈拍の測定および心理申告を行った。その後、被験者は人工気候室内のトイレに入室し下衣を脱いで便座に着座し10分間滞在した。この間に被験者には約30秒間怒責を行わせて、これを模擬排便とした。トイレ滞在中の着座直後、怒責終了時、退室直前のタイミングで血圧と脈拍の測定および心理申告を被験者に指示した。トイレ滞在10分後に再び前室に移動して、移動直後ならびに前室10分間滞在後に血圧と脈拍の測定ならびに心理申告を行った。

### (5) 測定項目

温熱環境の測定では前室およびトイレの乾球温度および湿球温度はアスマン通風乾湿計(柴田科学)を用いた。トイレ内の壁面および床表面温度は0.2mmφT型熱電対を用いた。前室のグローブ温度はベルノン式グローブサーモメータ(柴田科学)を用いた。ファンヒーターの吹出し温度は0.2mmφT型熱電対、吹出し風速は熱式風速計(日本カノマックス:0965-03)を用いた。これらをデータロガー(GRAPHTEC:GL800)にて10秒間隔で自動測定した。

生理反応の測定では皮膚温および耳内温はサーミスタ温度計(順に日機装サーモ:ITP082-24、ITP020-27)を用いた。皮膚温および耳内温はデータロガー(日機装サーモ:N543)にて10秒間隔で自動測定した。血圧ならびに脈拍は手首式血圧計(日本精密測器:WSK-1021J)を用い、被験者自身が測定した。

心理反応として、温冷感、接触温冷感、熱

的快適感を7段階尺度にて測定した。熱的受容度、気流感は二者択一的方式とした。

#### 4. 研究成果

##### (1) 生理反応の改善効果

##### ① 収縮期血圧

図2に2015年冬期における収縮期血圧の変動を平均と標準偏差で示す。怒責終了時の収縮期血圧は、すべての条件で上昇した。10℃温風 on と 20℃温風 off 条件は怒責終了時の収縮期血圧には、ほとんど差が認められない。対応のある2要因(実験条件, 実験手順)の分散分析の結果, 実験条件の主効果は有意であるとは言えなかったが ( $F(3, 27)=2.05, n.s.$ ), 実験手順の主効果は有意であった ( $F(3, 27)=40.62, p<0.01$ )。ボンフェローニの方法による多重比較により, 怒責終了時に収縮期血圧が有意に高くなることは認められた。温風が怒責時の収縮期血圧の上昇を抑制する効果は明確には認められなかった。

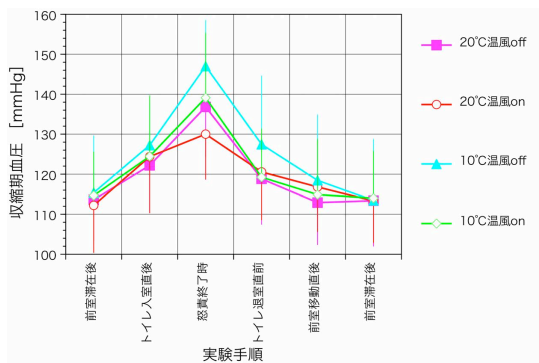


図2 収縮期血圧の変動(2015年冬期)

図3に2016年冬期における収縮期血圧の変動を平均と標準偏差で示す。怒責終了時の収縮期血圧は、すべての条件で上昇し10℃条件は温風の有無による差がほとんど認められない。対応のある2要因(実験条件, 実験手順)の分散分析の結果, 実験条件および実験手順の主効果は有意であり(順に  $F(3, 39)=3.67, p<0.01$ ,  $F(1.7, 22.6)=21.97, p<0.01$ ), 有為な交互作用も認められた ( $F(9, 117)=2.830, p<0.01$ )。単純主効果の検定結果から怒責終了時において実験条件の単純主効果は有意水準 0.05 では差は認められなかった ( $F(3, 39)=2.39, p<0.10$ )。しかし温風と暖房便座による怒責時の収縮期血

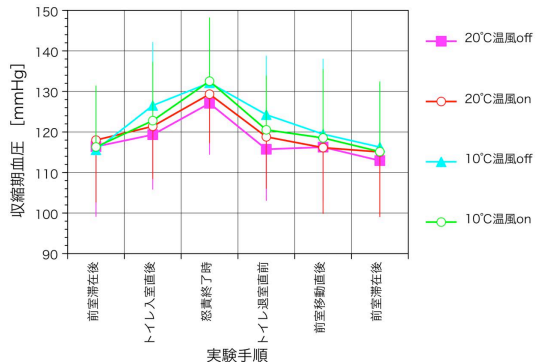


図3 収縮期血圧の変動(2016年冬期)

圧上昇を抑制する効果については更に検証が必要である。

暖房便座の効果を検討するために混合計画の2要因(暖房便座, 実験手順)の分散分析を行った。表1に結果を示す。すべての実験条件において実験手順の主効果は有意であった。また10℃温風 off および20℃温風 off ならびに20℃温風 on では有意な交互作用も認められた。暖房便座による単純主効果の検定を行なったところ, 有意水準 0.05 では差は認められないが, 暖房便座が怒責終了時の収縮期血圧上昇を抑制する効果については更に検証が必要である。

表1 分散分析の結果(冬期実験比較)

実験条件	主効果		交互作用	単純主効果 暖房便座(怒責)
	暖房便座	実験手順		
10℃温風off	$F(1,22)=0.43$	$F(3,66)=30.89^{**}$	$F(3,66)=3.22^*$	$F(1,22)=3.65 \uparrow$
10℃温風on	$F(1,22)=0.26$	$F(1,9,42)=41.80^{**}$	$F(1,9,42)=1.27$	
20℃温風off	$F(1,22)=0.76$	$F(3,66)=29.70^{**}$	$F(3,66)=3.63^*$	$F(1,22)=3.97 \uparrow$
20℃温風on	$F(1,22)=0.97$	$F(3,66)=25.32^{**}$	$F(3,66)=2.88^*$	$F(1,22)=0.22$

\*\*: $p<0.01$ , \*: $p<0.05$ , †: $p<0.10$

図4に夏期における収縮期血圧の変動を平均と標準偏差で示す。怒責終了時の収縮期血圧は、すべての条件で上昇し、27℃送風 on 条件が最も高くなった。27℃送風 off と33℃送風 on 条件は怒責終了時の収縮期血圧には、ほとんど差が認められない。対応のある2要因(実験条件, 実験手順)の分散分析の結果, 実験条件および実験手順の主効果は有意であった(順に  $F(3, 57)=3.126, p<0.05$ ,  $F(2, 3, 43.0)=34.61, p<0.01$ )。ボンフェローニの方法による多重比較により, 27℃送風 on 条件での収縮期血圧は33℃送風 on 条件よりも有意に高いことが認められた。また怒責終了時に収縮期血圧が有意に高くなることも認められた。

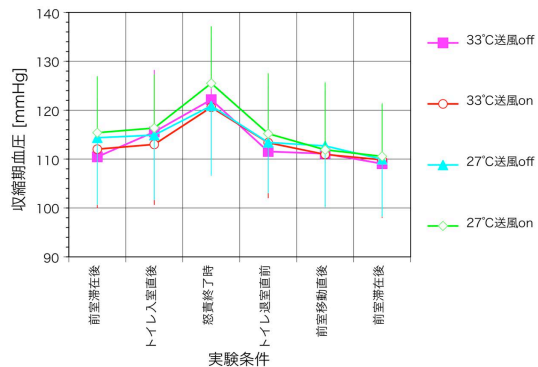


図4 収縮期血圧の変動(夏期)

##### ② 拡張期血圧

図5に2015年冬期における拡張期血圧の変動を平均と標準偏差で示す。怒責終了時の拡張期血圧は、すべての条件で上昇し10℃条件は温風の有無によらず20℃条件よりも高くなり, 20℃温風 on 条件が上昇の程度が最も低い結果となった。対応のある2要因(実験条件, 実験手順)の分散分析の結果, 実験条件の主効果は有意でなかったが ( $F(3, 27)=1.894, n.s.$ ), 実験手順の主効果は有意であった ( $F(3, 27)=22.20, p<0.01$ )。ボンフェローニの方法による多重比較により, 拡張期血圧は怒責終了時に有意に高くなる

ことは認められた。しかし、温風が怒責時の拡張期血圧の上昇を抑制する効果は認められなかった。

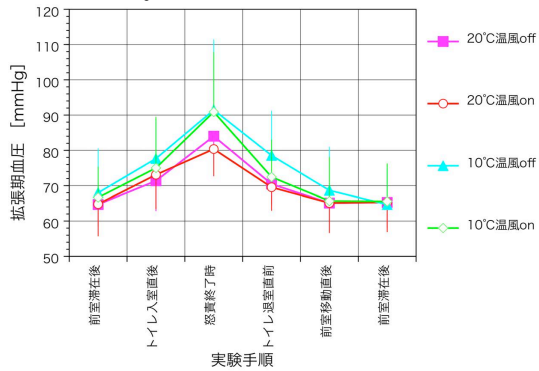


図5 拡張期血圧の変動(2015年冬期)

図6に2016年冬期における拡張期血圧の変動を平均と標準偏差で示す。怒責終了時の拡張期血圧は、すべての条件で上昇し20°C温風 off 条件が昇圧の程度が最も低い結果となった。対応のある2要因(実験条件, 実験手順)の分散分析の結果, 実験条件および実験手順の主効果は有意であった(順に  $F(3, 39)=2.924, p<0.05, F(3, 39)=40.53, p<0.01$ )。各水準に対してボンフェローニの方法による多重比較を行ったところ, 拡張期血圧は怒責終了時に有意に高くなることは認められたが, 実験条件については水準間に有意差は認められなかった。

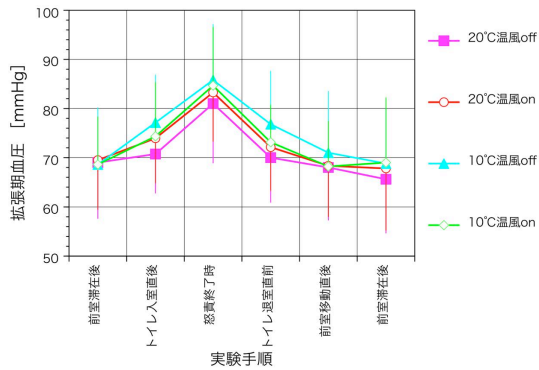


図6 拡張期血圧の変動(2016年冬期)

図7に夏期における拡張期血圧の変動を平均と標準偏差で示す。怒責終了時の拡張期血圧は、すべての条件で上昇し27°C送風 on 条件が昇圧の程度が最も高い結果となった。対応のある2要因(実験条件, 実験手順)の分散分析の結果, 実験条件および実験手順の主効果は有意であった(順に  $F(3, 39)=44.60, p<0.01, F(1.5, 19.3)=2.20, n.s.$ )。また有意な交互作用も認められた( $F(4.4, 57.8)=14.36, p<0.01$ )。トイレ滞在中, 実験条件間で単純主効果は有意となった(順に  $F(3, 39)=49.50, p<0.01, F(3, 39)=27.29, p<0.01, F(1.9, 24.3)=39.65, p<0.01$ )。ボンフェローニの方法による多重比較により, 10°C温風 on は10°C温風 off より有意に評価平均が高いことが認められた。温風機器と暖

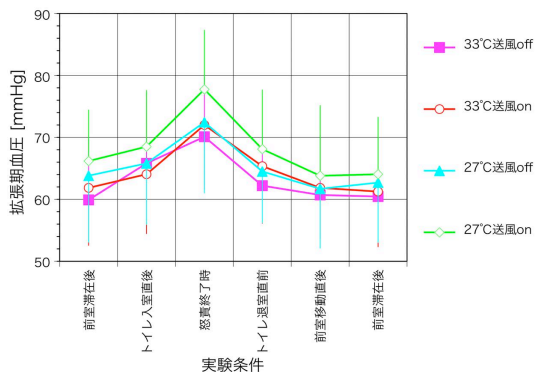


図7 拡張期血圧の変動(夏期)

果は有意であった(順に  $F(3, 57)=11.44, p<0.01, F(2.2, 42.6)=37.40, p<0.01$ )。各水準に対してボンフェローニの方法による多重比較を行ったところ, 27°C送風 on 条件での拡張期血圧は他の条件よりも有意に高いことが認められた。また怒責終了時に拡張期血圧が有意に高くなることも認められた。

(2) 心理反応の改善効果

①温冷感

図8に2015年冬期における温冷感の変動を平均と標準偏差で示す。10°C温風 off の評価はトイレ滞在中, 「寒い」と「涼しい」のカテゴリーの中間を推移した。10°C温風 on はトイレ入室直後「やや涼しい」付近に評価されたが時間経過とともに「暑くも寒くもない」付近へ評価は推移した。そしてトイレ退室直前の評価は20°C温風 off と20°C温風 on の間に位置した。対応のある2要因(実験条件, 実験手順)の分散分析の結果, 実験条件および実験手順の主効果は有意であり(順に  $F(3, 27)=14.25, p<0.01, F(3, 27)=3.54, p<0.05$ )。有為な交互作用も認められた( $F(3.5, 31.2)=12.38, p<0.01$ )。怒責終了時およびトイレ退室直前において実験条件間で単純主効果は有意となった(順に  $F(1.6, 14.6)=18.46, p<0.01, F(3, 27)=30.08, p<0.05$ )。ボンフェローニの方法による多重比較により, 10°C温風 on は10°C温風 off より有意に評価平均が高いことが認められた。温風機器の使用は冬季におけるトイレ滞在中の温冷感を改善する効果を期待できる。

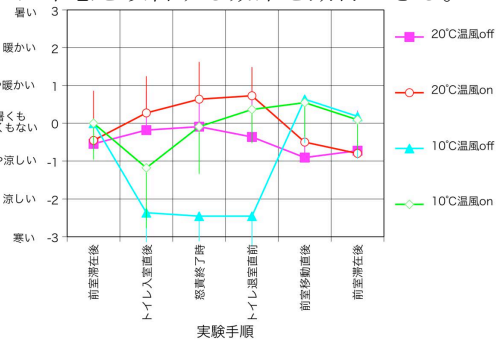


図8 温冷感の変動(2015冬期)

図9に2016年冬期における温冷感の変動を平均と標準偏差で示す。トイレ滞在中, 10°C温風 off は「寒い」と「涼しい」のカテゴリー間で推移し, 10°C温風 on は「やや涼しい」付近を推移した。対応のある2要因(実験条件, 実験手順)の分散分析の結果, 実験条件の主効果は有意であったが( $F(3, 39)=44.60, p<0.01$ )。実験手順の主効果は有意であるとは言えなかった( $F(1.5, 19.3)=2.20, n.s.$ )。また有意な交互作用も認められた( $F(4.4, 57.8)=14.36, p<0.01$ )。トイレ滞在中, 実験条件間で単純主効果は有意となった(順に  $F(3, 39)=49.50, p<0.01, F(3, 39)=27.29, p<0.01, F(1.9, 24.3)=39.65, p<0.01$ )。ボンフェローニの方法による多重比較により, 10°C温風 on は10°C温風 off より有意に評価平均が高いことが認められた。温風機器と暖

房便座の使用は冬季におけるトイレ滞在時の温冷感を改善する効果が期待できる。

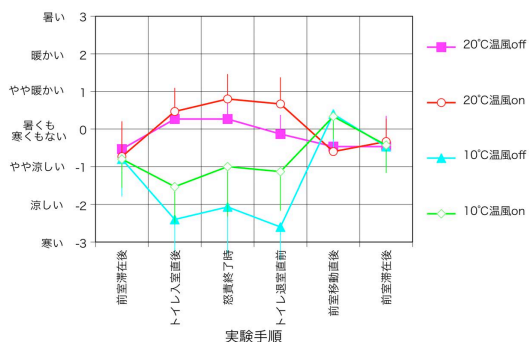


図9 温冷感の変動(2016 冬期)

暖房便座の効果を検討するために混合計画の2要因(暖房便座, 実験手順)の分散分析を行った。表2に結果を示す。10°C温風 off では暖房便座の主効果は有意であるとは言えず, よって暖房便座のみでは冬期におけるトイレ滞在時の温冷感を改善することは期待できない。10°C温風 on では暖房便座の主効果に有意な差が認められ, 暖房便座を使用した場合, 評価平均が有意に低くなることが明らかとなった。この結果については更に検証が必要である。また, すべての実験条件において実験手順の主効果は有意であった。

表2 分散分析の結果(冬期実験比較)

実験条件	主効果		交互作用
	暖房便座	実験手順	
10°C温風off	F(1,22)=0.84	F(1.6,36.1)=36.51**	F(1.6,36.1)=2.34
10°C温風on	F(1,22)=5.00*	F(3,66)=7.02**	F(3,66)=1.71
20°C温風off	F(1,22)=2.80	F(2.3,51.1)=6.73**	F(2.3,51.1)=0.66
20°C温風on	F(1,22)=0.00	F(2.1,45.6)=27.89**	F(2.1,45.6)=0.46

\*\*、p<0.01、\*、p<0.05

図10に夏期における温冷感の変動を平均と標準偏差で示す。トイレ滞在中, 33°C送風 off は「暖かい」付近を推移し, 33°C送風 on は「やや暖かい」付近を推移した。対応のある2要因(実験条件, 実験手順)の分散分析の結果, 実験条件および実験手順の主効果は有意であり(順に F(2.1, 39.4)=67.51, p<0.01, F(2.0, 38.4)=22.04, p<0.01), 有為な交互作用も認められた(F(9, 171)=26.82, p<0.01)。トイレ滞在中, 実験条件間で単純主効果は有意となった(順に F(3, 57)=49.15, p<0.01, F(3, 57)=67.94, p<0.01, F(2.2, 41.6)=65.34, p<0.01)。ボンフェローニの方法による多重比較により, トイレ退室直前において33°C送風 off は33°C送風 on より有意に評価平均が

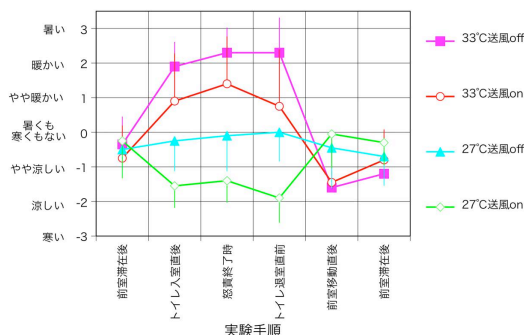


図10 温冷感の変動(夏期)

低いことが明らかとなった。ゆえに送風機器の使用は夏季におけるトイレ滞在中の温冷感を改善させる効果が期待できる。

## ②熱的快適感

図11に2015年冬期における熱的快適感の変動を平均と標準偏差で示す。10°C温風 off 条件の評価はトイレ滞在中「やや不快」付近を推移した。10°C温風 on はトイレ入室直後「やや不快」の評価であったが, 時間経過とともに「どちらでもない」の評価へと推移しトイレ退室直前には20°C温風 off とほぼ等しい評価となった。対応のある2要因(実験条件, 実験手順)の分散分析の結果, 実験条件および実験手順の主効果は有意であり(順に F(1.5, 13.5)=7.41, p<0.05, F(1.5, 13.8)=11.60, p<0.01), 有為な交互作用も認められた(F(9, 81)=5.63, p<0.01)。トイレ滞在中, 実験条件間で単純主効果は有意となった(順に F(3, 27)=8.96, p<0.01, F(3, 27)=5.53, p<0.01, F(3, 27)=7.70, p<0.01)。ボンフェローニの方法による多重比較により, トイレ退室直前において10°C温風 on は10°C温風 off より有意に評価平均が高いことが明らかとなった。ゆえに温風機器の使用は冬季における熱的快適感をトイレ滞在中に改善させる効果が期待できる。

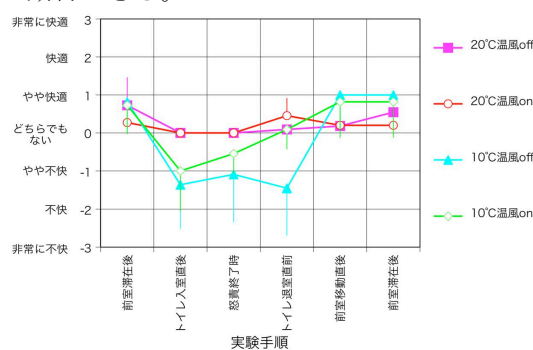


図11 熱的快適感の変動(2015 冬期)

図12に2016年冬期における熱的快適感の変動を平均と標準偏差で示す。10°C温風 off の評価はトイレ滞在中, 「やや不快」から「不快」付近へ推移した。10°C温風 on の評価はトイレ滞在中, 「どちらでもない」と「やや不快」のカテゴリーの中間を推移した。対応のある2要因(実験条件, 実験手順)の分散分析の結果, 実験条件の主効果は有意であったが(F(1.6, 20.9)=33.22, p<0.01), 実験手順の主効果は有意であるとは言えなかった(F(3, 39)=2.05, n. s.)。また有為な交互作用も認められた(F(2.8, 36.9)=10.74, p<0.01)。トイレ滞在中, 実験条件間で単純主効果は有意となった(順に F(1.7, 21.7)=26.33, p<0.01, F(1.7, 12.9)=18.94, p<0.01, F(1.7, 21.8)=34.43, p<0.01)。ボンフェローニの方法による多重比較により, トイレ退室直前において10°C温風 on は10°C温風 off より有意に評価平均が高いことが明らかとなった。ゆえに温風機器と暖房便座の使用は冬季における熱的快適感をトイレ滞在中に改善させる効果が期待できる。

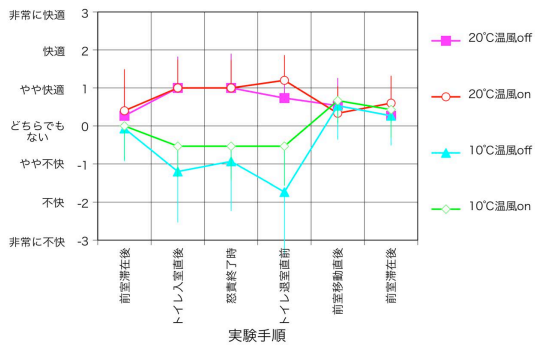


図 12 熱的快適感の変動(2016 冬期)

暖房便座の効果を検討するために混合計画の 2 要因(暖房便座, 実験手順)の分散分析を行った。表 3 に結果を示す。10℃温風 off, 10℃温風 on では暖房便座の単純主効果は有意であるとは言えず, よって暖房便座のみでは冬季におけるトイレ滞在時の熱的快適感を改善することは期待できない。20℃温風 off では暖房便座の単純主効果, 20℃温風 on では暖房便座の主効果に有意差が認められ, 暖房便座が熱的快適感を改善することが明らかとなった。

表 3 分散分析の結果(冬期実験比較)

実験条件	主効果		交互作用	単純主効果 (暖房便座) F(1,22)		
	暖房便座	実験手順		入室	怒責	退室
10℃温風off	F(1,22)=0.00	F(1,8,38.9)=37.40**	F(1,8,38.9)=3.97**	0.79	0.7	0.00
10℃温風on	F(1,22)=0.32	F(2,0,44.5)=13.59**	F(2,0,44.5)=1.55**	1.49	0.05	2.51
20℃温風off	F(1,22)=3.32†	F(3,66)=0.32	F(3,66)=9.06**	8.76**	8.70**	2.59
20℃温風on	F(1,22)=4.94*	F(2,0,42.9)=1.62	F(2,0,42.9)=1.41			

\*\* : p<0.01, \* : p<0.05, † : p<0.10

図 13 に夏期における熱的快適感の変動を平均と標準偏差で示す。トイレ滞在中, 33℃送風 off は「やや不快」付近を推移し, 33℃送風 on は「どちらでもない」と「やや不快」のカテゴリーの中間を推移した。対応のある 2 要因(実験条件, 実験手順)の分散分析の結果, 実験条件および実験手順の主効果は有意であり(順に  $F(3, 57)=14.59, p<0.01$ ,  $F(1, 8, 34.7)=44.60, p<0.01$ ), 有為な交互作用も認められた( $F(5, 0, 95.4)=8.01, p<0.01$ )。トイレ滞在中, 実験条件間で単純主効果は有意となった(順に  $F(3, 57)=9.55, p<0.01$ ,  $F(3, 57)=15.40, p<0.01$ ,  $F(3, 57)=16.20, p<0.01$ )。ボンフェローニの方法による多重比較により, トイレ退室直前において 33℃送風 off は 33℃送風 on より有意に評価平均が低いことが明らかとなった。ゆえに送風機器は夏季における熱的快適感をトイレ滞在中に改善させる効果が期待できる。

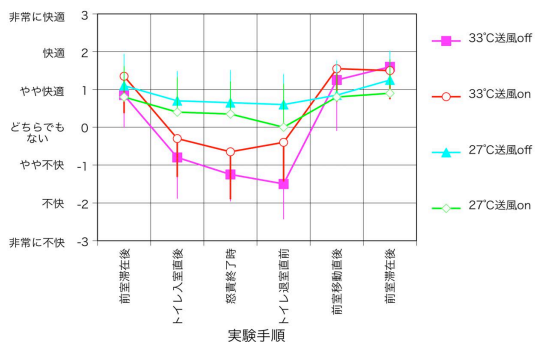


図 13 熱的快適感の変動(夏期)

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 石井仁: 冬期のトイレ使用時における局所暖房が人体生理・心理反応に及ぼす影響, 名城大学理工学部研究報告, 査読なし, 第 57 号, 2017, pp.13-18

[学会発表] (計 4 件)

- ① 石井仁, 渡邊慎一: 高温環境における排便行為が人体の生理・心理反応に及ぼす影響, 日本生気象学会, 2016 年 11 月 6 日, 北海道大学 (北海道・札幌市)
- ② Jin Ishii, Shinichi Watanabe: Effect of using a local heating device in a cold toilet on thermal comfort in winter, Indoor Air 2016, 2016 年 7 月 7 日, Ghent (Belgium)
- ③ 東畑瑠音, 石井仁, 渡邊慎一, 平野里奈: 冬期におけるトイレ内温熱環境が人体の心理反応に及ぼす影響, 第 39 回人間-生活環境系シンポジウム, 2015 年 11 月 20 日, 産業技術総合研究所 (東京・江東区)
- ④ 石井仁, 渡邊慎一, 東畑瑠音, 平野里奈: 冬期におけるトイレ内温熱環境が人体の生理反応に及ぼす影響, 第 39 回人間-生活環境系シンポジウム, 2015 年 11 月 20 日, 産業技術総合研究所 (東京・江東区)
- ⑤ Jin Ishii, Shinichi Watanabe: Field Survey on Thermal Environment in Toilet in Japanese House during Summer, Indoor Air 2014, 2014 年 7 月 8 日, Hong Kong (China)
- [図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)  
○取得状況 (計 0 件)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

石井 仁 (ISHII, Jin)  
名城大学・理工学部・准教授  
研究者番号: 70321479

(2) 研究分担者

渡邊 慎一 (WATANABE, Shinishi)  
大同大学・工学部・教授  
研究者番号: 00340175