

平成 30 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：室内環境
 研究期間：平成 30 年度
 課題番号：152005
 研究課題名（和文）：自然通風環境における気持ちよさ評価モデルに関する研究
 研究課題名（英文）：Study on evaluation model of pleasant sensation under the cross-ventilated environment

 研究代表者：森上伸也

 交付決定額（当該年度）：230,000 円

※ページ数の制限はありません。

※成果等の説明に図表を使用させていただいて構いません。（カラーも可）

※提出して頂いた成果報告書をホームページでの公開を予定しております。

1. 研究の目的

近い将来、小規模な住宅部門においても省エネルギー基準への適合の義務化が実施されると考えられる。この課題を解決するために設計者はパッシブデザインを取り入れた省エネルギー建築の設計が必要不可欠となっている。昔ながらに日本の夏期における住宅では、通風や打ち水を利用して暑い夏を省エネルギーかつ快適に過ごしてきた。しかし、パッシブデザインの設計手法は設計者の知識や経験および現場の状況によって善し悪しが決まってしまう。そこで本研究では通風環境における温熱快適性を拠り所にして、通風時の室内温熱環境の設計指針について検討を行うこととした。

自然通風環境を再現したアクティブ制御マルチファン通風型人工気候室（以下、通風型人工気候室）で主観申告実験を行い、自然風が気持ちよさ評価に与える影響を明らかにする。本研究では擬似自然風環境における主観申告実験を行い、得られた温熱快適性の結果を拠り所にして、通風時に快適な温熱環境について検討することを目的とした。

2. 研究の方法

2.1 擬似自然通風環境における実験条件

自然通風環境における温熱快適性および人体温熱生理反応を測定し、設計指針の検討を行うために被験者実験を行った。表 1 に実験条件を示す。気温は通風利用が想定される 28°C、30°C、32°C の 3 パターンとした。相対湿度は初夏で気流による汗の蒸発を促せるような 50%とした。風速の変動波形は通風利用建物の実測から得られた自然風の波形（平均風速は 0.72m/s）とした。風速の乱れの強さを統一するために、風速の実測値に倍数をかけ、平均風速が 0.18m/s、0.36m/s、0.72m/s の 3 パターンの擬似自然風とした。被験者の姿勢は、住宅における休息時を想定して、代謝率が 1.1met を想定した椅子座とし、着衣量は、下着、T シャツ、ハーフパンツの夏服程度 (0.4clo 想定)とした。

表 1 実験条件

ケース	パターン	気温 [°C]	放射温度 [°C]	相対湿度 [%]	平均風速 [m/s]	風速の変動波形	風速の乱れの強さ [-]	SET*				
1	28-1	28	28	50	0.18	自然風実測値	0.70	26.7				
	28-2				0.36			25.2				
	28-3				0.72			24.0				
2	30-1	30	30		0.18			自然風実測値	0.70	28.8		
	30-2				0.36					27.3		
	30-3				0.72					26.0		
3	32-1	32	32		0.18					自然風実測値	0.70	31.0
	32-2				0.36							29.3
	32-3				0.72							28.1

図1に実験の流れを示す。被験者は入室後に指定の衣服に着替え、環境に順応するために平均風速が小さい条件で30分程度待機した。その後、被験者に皮膚温センサー等を貼付し、通風型人工気候室の測定室中央付近の椅子に座ってもらった。実験は30分経過ごとに風速パターンを変化させ、1ケース90分間で3パターンを実施した。

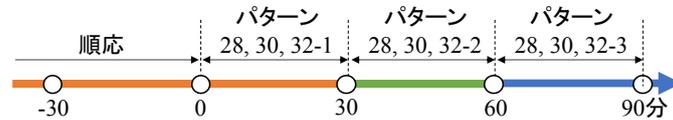


図2 実験の流れ

2.2 通風型人工気候室と測定項目

図2に通風型人工気候室における測定機器と被験者の配置を示す。実験は2018年8月29日から31日までの3日間に東京工芸大学の通風型人工気候室で行った。被験者は正面から風がくるように1名を配置した。室内温湿度は小型温湿度計おんどりを用いて1分間隔で測定した。壁面温度は被験者左右と後ろの壁面にT型熱電対を貼付し、1分間隔で測定した。グローブ温度はグローブ球とT型熱電対を用いて2秒間隔で測定した。風速は超音波風速計を被験者から1000mm風上側の床上高さ1100mmに配置して0.05秒間隔で測定した。皮膚温は平均皮膚温を算出するため、面積重み付け7点法に対応する7部位(前額、胸、背中、前腕、手の甲、大腿、足の甲)にT型熱電対およびサーミスタ皮膚温計を装着して1秒間隔で測定した。実験中の心理量はスライド抵抗器で作成した主観申告装置を操作させ、1秒間隔で測定した。

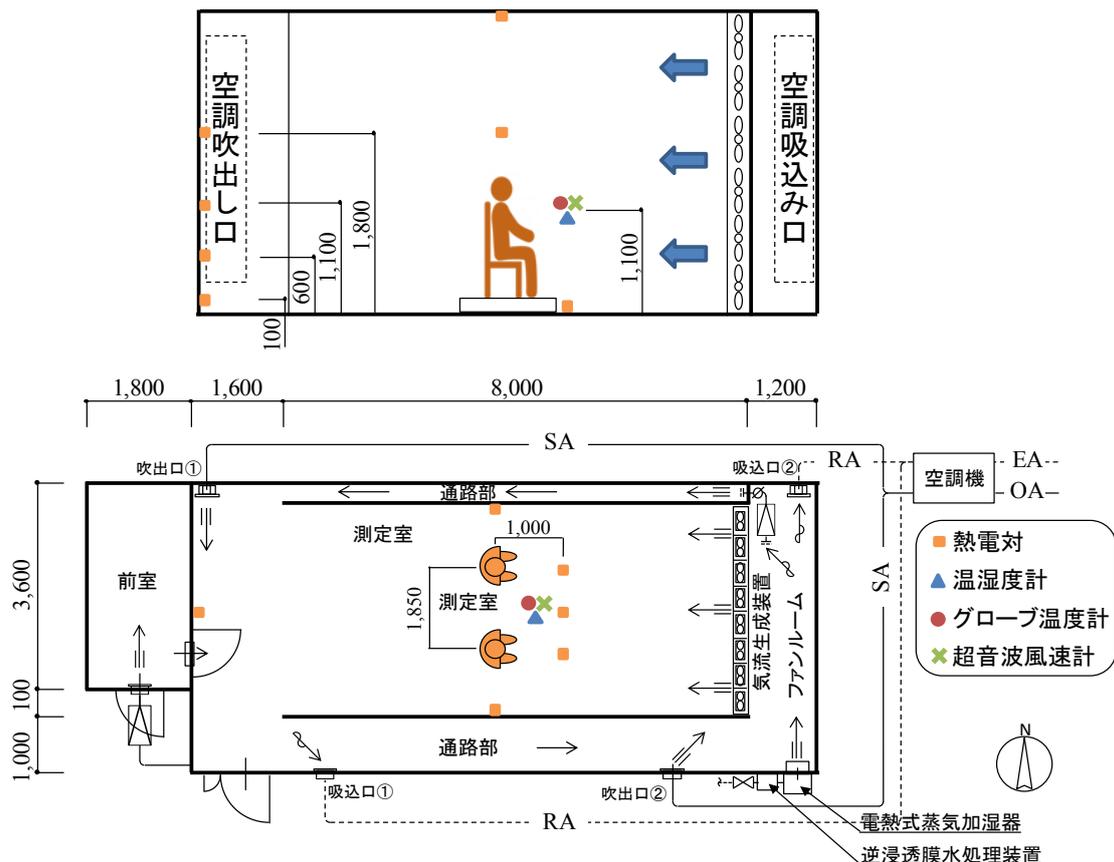


図2 通風型人工気候室における測定機器と被験者の配置

図3に主観申告スケールを示す。寒暑感、涼暖感、快適感は空気調和・衛生工学会が提案する7段階スケールを参考にした。被験者には全身の心理量について任意の時刻で申告させた。

測定中は申告装置を使用し、7段階スケールをもとにスライド抵抗器によるレバーを無段階で操作させることで申告させた。申告装置はデータロガーに接続し、電圧に変換されることで心理量の経時変化を測定した。

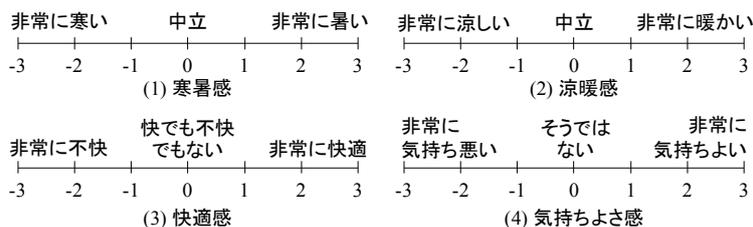


図3 主観申告スケール

2.3 被験者の概要

表2に被験者の概要を示す。被験者はBMI指数が19.1kg/m²から22.7kg/m²で、サンプル数を多くするために性別によるスクリーニングはせず、20代女子学生1名および男子学生3名の計4名で実施した。被験者AとCはすべてのケースを実施した。

表2 被験者の概要

被験者	年齢層	性別	身長[m]	体重[kg]	BMI指数[kg/m ²]	被験ケース
A	20代学生	女性	1.55	46	19.1	全て
B			1.73	68	22.7	3
C		男性	1.73	58	19.4	全て
D			1.64	59	21.9	2, 3

3. 研究成果

3.1 気温と風速の時刻歴波形

図4にケース1における気温と風速の時刻歴波形を示す。気温の90分間平均値は27.8°Cで、標準偏差は0.2°Cであった。風速の平均値はパターン1が0.16m/s、パターン2が0.36m/s、パターン3が0.73m/sで、乱れの強さはパターン1が0.48、パターン2が0.49、パターン3が0.47であった。乱れの強さは想定よりも小さい値であった。これはファンの急加速が不足し、自然風における風速の突発的な上昇が再現できなかったことが要因であると考えられるが、概ね実験条件を再現できていたといえる。

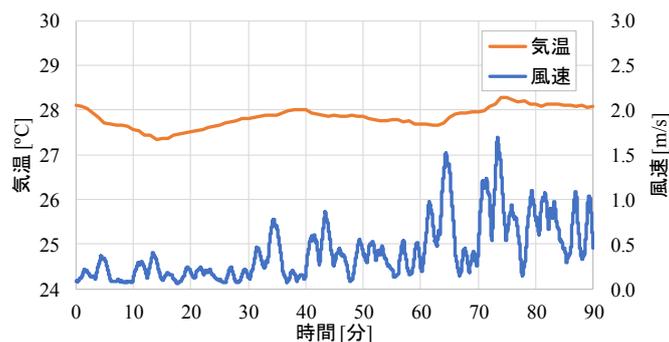


図4 ケース1における気温と風速の時刻歴波形

3.2 皮膚温の時刻歴波形

図5にケース1における被験者Cの皮膚温の時刻歴波形を示す。額と前腕の皮膚温は平均値が異なるものの、放熱量や熱容量が異なる部位であるにもかかわらず、皮膚温変動は同様の傾向を示した。平均風速の大きい60分以降の皮膚温は同様の変動傾向が特に顕著であった。額や前腕は空気に直接露出しており、風速変動によって皮膚温が変化しと考えられるが、被覆部の皮膚温に欠測が多く、比較できなかった。

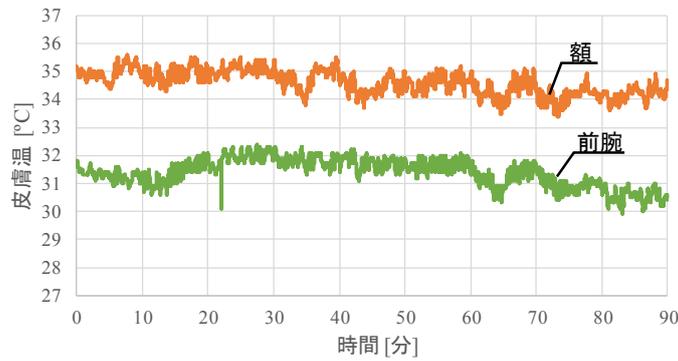


図5 ケース1における被験者Cの皮膚温の時刻歴波形

3.3 主観申告の結果

図6にケース1とケース3における被験者Cの気持ちよさ評価の時刻歴波形を示す。実験開始0分から30分の平均風速が0.18m/sの場合における気持ちよさ評価はケース1およびケース3ともに0に近い値を示した。平均風速が0.72m/sの60分以降において、ケース1では気持ち悪い側の申告が多く、ケース3では気持ちよい側の申告が多かった。室内気温が低く風速が速いような放熱量の多い場合に、気持ち悪い側の申告が生じると考えられる。

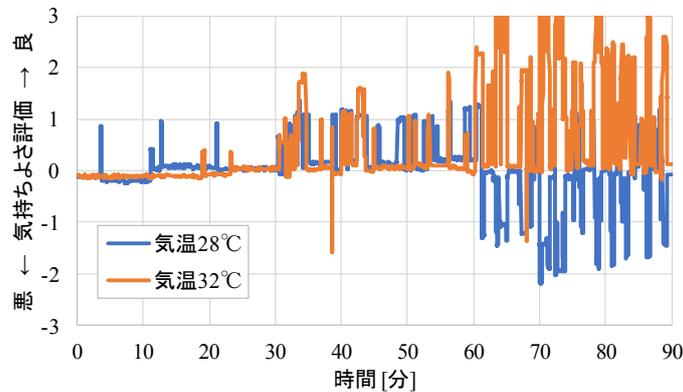


図6 ケース1とケース3における被験者Cの気持ちよさ評価の時刻歴波形

図7に全てのケースにおける快適感と気持ちよさ評価の平均値を示す。気温28°Cの場合において快適感および気持ちよさ評価が高かった条件は、平均風速が0.36m/sの条件であった。気温30°Cと32°Cの場合では、平均風速が0.72m/sの条件であった。一方で、平均風速が0.18m/sでは全ての気温で快適感と気持ちよさ評価の値が概ね0または負の値であったことから、平均風速が0.18m/s程度の自然風環境では高い快適性や気持ちよさは得られないと考えられる。

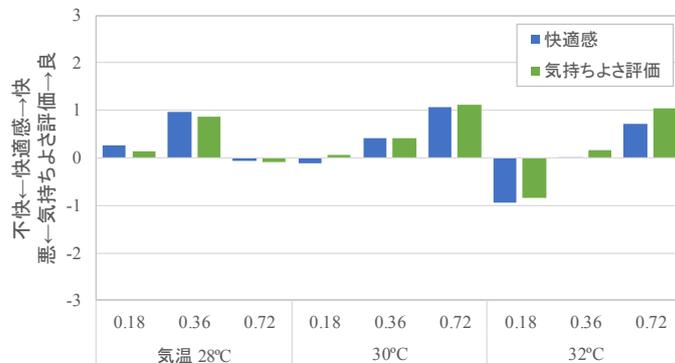


図7 全てのケースにおける快適感と気持ちよさ評価の平均値

表3に自然通風利用時の室内環境温度と平均風速の目安を示す。気持よさ評価の平均値を場合分けし、気温と平均風速の実験条件から自然通風利用を目的とした室内温熱環境の目安を検討した。気温 28℃ で通風を利用してもあまり気持よさ評価は得られないが、気温 30℃ および 32℃ では、平均風速が 0.72m/s 以上で設計できれば、自然風により気持よさが得られると考えられる。一方で、通風計画が不十分な場合や、外部風が弱い気象条件などによって人体にあたる平均風速が 0.18m/s 程度では、夏期の自然風によって気持よさが得られないといえる。今後はサンプル数の増加や実験条件の増加によって信頼性を高めていけば、通風利用のために開口面積や形状および配置の計画をする際の目安になると考えられる。

表3 自然通風利用時の室内環境温度と平均風速の目安

		設計平均風速[m/s]			評価基準
		0.18	0.36	0.72	
通風利用時の 想定環境温度 [°C]	28	△	○	○*	◎: 気持よさ評価が1.0以上 ○: 気持よさ評価が0.5以上1.0未満 △: 気持よさ評価が0以上0.5未満 ×: 気持よさ評価が0未満
	30	△	△	◎	
	32	×	△	◎	

* 設計段階では過剰でも利用者は窓を閉めることができるため”○”とした

以上のように得られた温熱快適性の結果を拠り所にして、通風時に快適な温熱環境について検討し、次の知見が得られた。

- (1) 額と前腕の皮膚温は平均値が異なるものの、皮膚温変動は同様の傾向を示した。風速の大きい 60 分以降は同様の変動傾向が特に顕著であった。
- (2) 擬似自然風環境における気持よさ評価は、室内気温が低く、風速が速いような放熱量の多い場合に気持悪い側の申告が生じることがわかった。
- (3) 本研究の実験条件の範囲では自然風の平均風速が 0.18m/s 程度では通風による快適性や気持よさは得られず、0.72m/s 程度以上が好ましいと考えられる。

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 3 件)

1. 村瀬太基、飯野由香利、森上伸也、水谷国男：暑熱環境における風速変動による気持良さ評価と快適感の相違、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.97～100、(2018年9月)
2. 森上伸也、水谷国男、飯野由香利、西室優作、村瀬太基：通風環境における気持よさ評価に関する実験的研究 その3 擬似自然風環境における気持よさ評価について、日本建築学会学術講演会大会(北陸)(2019年9月発表予定)
3. 西室優作、森上伸也、水谷国男、飯野由香利、村瀬太基：風速変動が温熱快適性におよぼす影響に関する研究 その2 風速の振幅を統一した変動風環境における被験者実験、日本建築学会学術講演会大会(北陸)(2019年9月発表予定)

[図書] (計 0 件)

[その他、産業財産権、ホームページ等] (計 2 件)

1. Yusaku Nishimuro: Study on the effect of the fluctuation of wind on thermal comfort and pleasant sensation, International Workshop on Wind Effects on Buildings and Urban Environment, 11 March 2019
2. Daiki Murase: Differences of thermal sensation and comfort sensation in air velocity fluctuation patterns in a hot and humid environment, International Workshop on Wind Effects on Buildings and Urban Environment, 11 March 2019

5. 研究組織

(1) 研究代表者

森上伸也：豊田工業高等専門学校 建築学科 准教授

(2) 研究分担者

1. 大場正昭：東京工芸大学 名誉教授

2. 水谷国男：東京工芸大学 工学部 建築学科 教授
3. 飯野由香利：新潟大学 人文社会科学系 教授
4. 後藤伴延：東北大学 大学院 工学研究科 都市建築学専攻 准教授
5. 塚本健二：佐藤工業株式会社 技術研究所 建築研究部 研究員
6. 村瀬太基：新潟大学 教育学部 4年生
7. 西室優作：豊田工業高等専門学校 建設工学専攻 2年生
8. 松岡理美：豊田工業高等専門学校 建設工学専攻 1年生

6. 要約(Abstract)

研究課題名：自然通風環境における気持ちよさ評価モデルに関する研究
 研究代表者名 (所属)：森上伸也 (豊田工業高等専門学校)
 内容・図

本研究では擬似自然風環境における主観申告実験を行い、得られた温熱快適性の結果を拠り所にして、通風時に快適な温熱環境について検討した。実験は気温 28°C、30°C、32°C の 3 パターンとし、平均風速 0.18m/s、0.36m/s、0.72m/s の 3 パターンの擬似自然風環境で行った。(図 1)

主観申告にはこれまでに筆者らが使用してきた気持ちよさ感を用いて評価を行った。

- (1) 額と前腕の皮膚温は平均値が異なるものの、皮膚温変動は同様の傾向を示した。風速の大きい 60 分以降は同様の変動傾向が特に顕著であった。
- (2) 擬似自然風環境における気持ちよさ評価は、室内気温が 28°C のように比較的低温、風速が速いような放熱量の多い場合に気持ち悪い側の申告が生じることがわかった。(図 2)
- (3) 本研究の実験条件の範囲では自然風の平均風速が 0.18m/s 程度では通風による快適性や気持ちよさは得られず、0.72m/s 程度以上が好ましいと考えられる。(表 3)

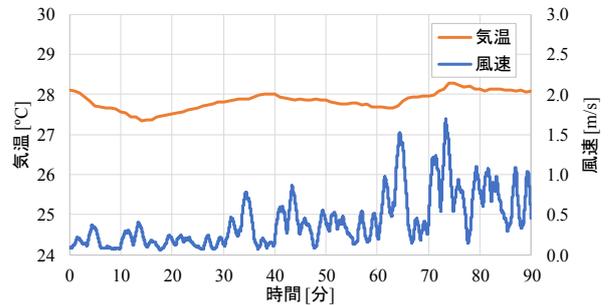


図 1 気温と風速の時刻歴波形

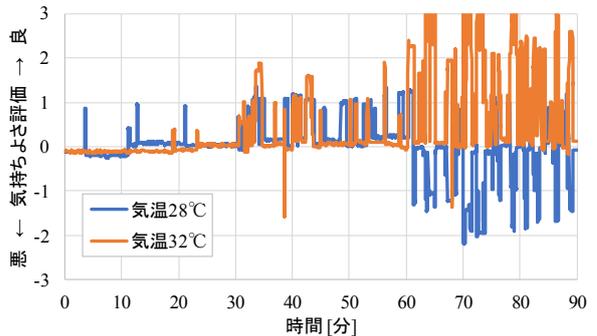


図 2 気温 28°C と 32°C のケースにおける気持ちよさ評価の時刻歴波形

表 3 自然通風利用時の室内環境温度と平均風速の目安

	設計平均風速[m/s]			評価基準
	0.18	0.36	0.72	
通風利用時の 想定環境温度 [°C]	28	△	○	○* ◎: 気持ちよさ評価が1.0以上 ○: 気持ちよさ評価が0.5以上1.0未満
	30	△	△	△: 気持ちよさ評価が0以上0.5未満
	32	×	△	◎ ×: 気持ちよさ評価が0未満