

2020 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：2020 年度
課題番号：20202011
研究課題名（和文）：一定風と自然風の実測結果に基づく変動風が温熱快適性に与える影響に関する研究
研究課題名（英文）：Effect of constant wind and fluctuating wind based on measured natural wind on thermal comfort
研究代表者：森上伸也（もりかみしんや）
交付決定額（当該年度）：350,000 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

通風環境における温熱快適性を評価する上で、自然風の変動特性を考慮することは重要である。本研究室で実施した研究^{1),2)}や、佐藤ら³⁾をはじめとする自然風の測定データに基づく変動風の実験結果によると、一定風環境の温冷感よりも変動風環境の温冷感の方が低い値となることが分かっている。また、Tanabe ら⁴⁾の研究においても、サイン波や矩形波の変動風における温冷感は一一定風における温冷感よりも、涼しい側となる結果が得られている。実験ケースや被験者数および被験者の属性が限られているため、さらにデータを蓄積し、定量的な評価が必要である。

本報では先行研究に追加して新たに実測した乱れの強さの異なる自然風波形を用いた擬似自然風環境において主観申告実験を行った。

2. 研究の方法

2.1 実験条件

通風利用が想定される暑熱環境において被験者実験を行い、種々の変動風が温熱快適性に与える影響を調査した。実験は東京工芸大学風工学研究センター2階にある通風型人工気候室で行った。表1に実験条件を示す。気温は30°Cおよび32°Cの2パターンとした。放射温度は断熱性能が高い住宅を想定して気温と同じとした。相対湿度は気流による汗の蒸発を促せるよう50%とした。平均風速は”大”の1.06m/s、”中”の0.53m/s、”小”の0.26m/sの3パターンとした。乱れの強さは0.36で温度差換気のような条件を想定している。既往研究における乱れの強さは0.70である。また変動風の結果と比較するため、一定風の条件も同様の平均風速とした。風速の変動波形は通風利用建物⁵⁾の実測から得られた自然風の波形とする。被験者の姿勢は住宅における休息時を想定して、代謝量が64.02W/m²(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(0.2clo)程度とした。実験は順応後30分経過ごとに風速パターンを変化させた。被験者は男子大学生5名で実施した。

図1に被験者実験の流れを示す。被験者は入室後、指定の衣服に着替えてもらい、30分ほど各ケースのパターン1の環境に順応させた。皮膚温センサー等を貼付した後、30分経過ごとに風速の設定を変更し、全部で3パターンを実施する。測定中は申告装置等を使用し、任意の時刻で申告をしてもらう。またすべてのケースを測定した後、全体を通して各パターンの温熱快適性に関するアンケートを

回答してもらった。

図2に設定風速の時刻歴波形を示す。風速”小”の0分から30分間の波形は2020年1月22日にシドニー大学のIEQ Laboratoryで測定した自然風の波形⁵⁾である。データはサーミスタ風速計で測定したスカラー値を使用した。”中”と”大”の波形は”小”の風速データを2倍および4倍して作成した。

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	PMV
30-NV	1	30	30	50	0.26	変動風 実測値 2019/1/22 15:30-16:00 @Sydney Uni.	0.36	0.46
	2				0.53			-0.10
	3				1.06			-0.54
32-NV	1	32	32	50	0.26	-	-	1.36
	2				0.53			0.75
	3				1.06			0.28
30-CT	1	30	30	50	0.26	一定	-	0.46
	2				0.53			-0.10
	3				1.06			-0.54
32-CT	1	32	32	50	0.26	-	-	1.36
	2				0.53			0.75
	3				1.06			0.28

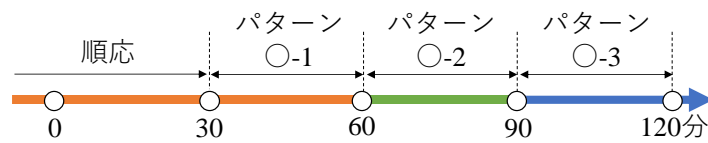


図1 被験者実験の流れ

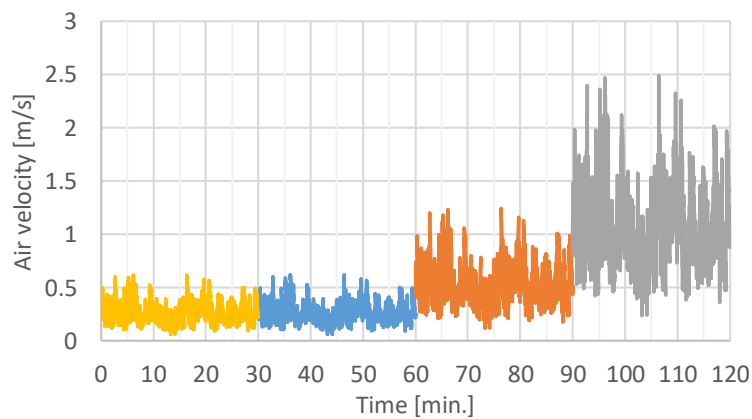


図2 設定風速の時刻歴波形

2.2 測定機器と測定点

表 2 に測定項目および測定機器を示す。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および床と天井各 1 点に 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 1 分間隔で測定した。風速は超音波風速計を被験者から 1000mm 前方、床上高さ 1100mm に配置して 1 秒間隔で測定した。皮膚温および熱流は面積重み付け 7 点法に対応する 7 部位(前額、胴、背中、前腕、手の甲、大腿、足の甲)に熱流センサー Z2015-01 を貼付して 1 秒間隔で測定した。体重減少量は被験者を体重計の上に乘せて 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自作した主観申告装置を操作させ、1 秒間隔で測定した。実験終了時に 3 パターンの比較を行い、総合的な温熱快適性について回答してもらった。

表 2 測定項目

分類	測定項目	測定機器	メーカー等	記録間隔	測定位置
物理量	室内温湿度	温度：サーミスタ 湿度：高分子膜抵抗 (おんどり)	T&D	1分	被験者前方 床上1100[mm]
	壁面温度	T型熱電対	江藤電機	1秒	壁、床、天井の各1点、計5点
	グローブ温度	グローブ球50mm	京都電子	1秒	被験者前方 床上1100 [mm]
	風速	超音波式 三次元風速計	カイジヨウ	1秒	被験者前方 床上1100 [mm]
生理量	皮膚温 熱流量	人体熱流センサー Z2015-01	日置電機	1秒	7点 前額、胴、背中、前腕、 手の甲、大腿、足の甲
	皮膚温	サーモカメラ	-		
	体重減少量	マルチ台秤	ザルトリウス	1秒	全身
心理量	温冷感	主観申告装置 (スライド抵抗器)	自作	1秒	全身
	涼暖感				
	快適感				
	気持ちよさ評価				
	気流感				
総合評価	アンケート		終了後		

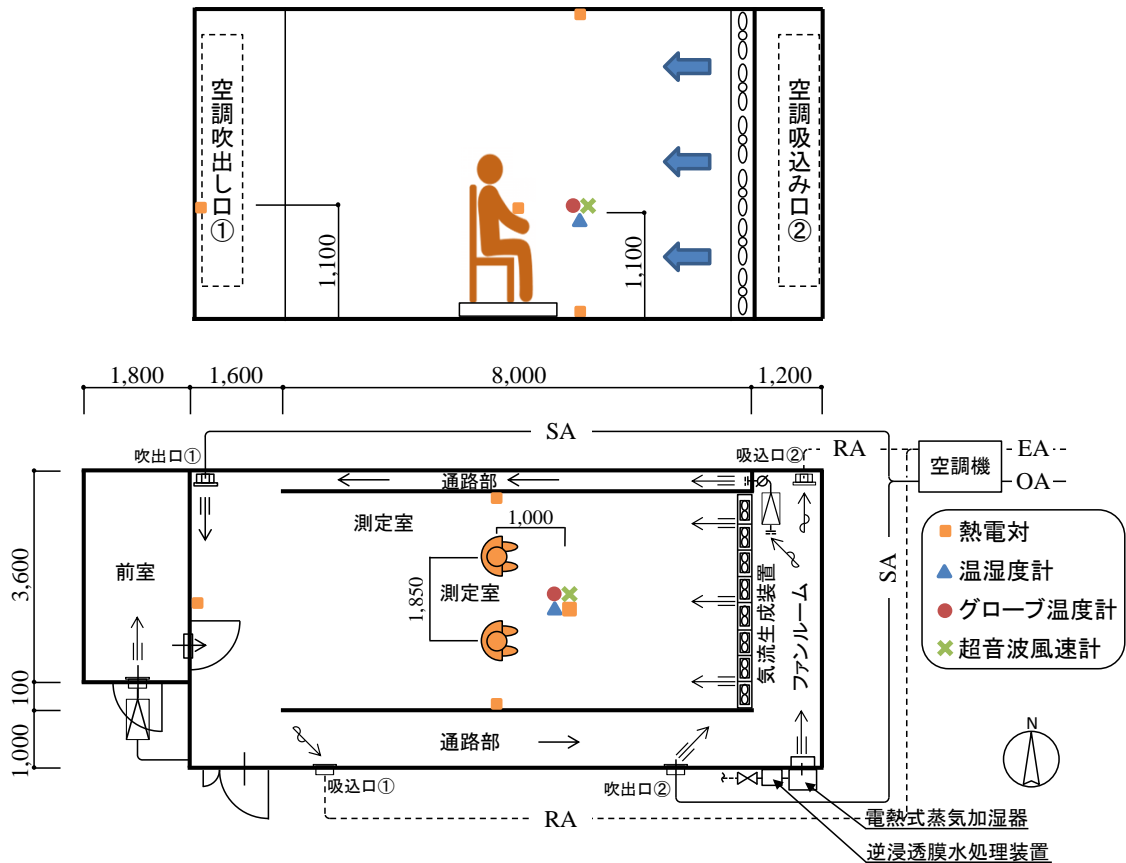


図3 測定機器と被験者の配置

図3に測定機器と被験者の配置を示す。壁面温度は被験者の左右と後方の壁面にT型熱電対を床上1100mmに貼付した。天井面と床面は被験者から1000mm前方で測定した。温湿度計とグローブ温度計および超音波風速計は被験者から1000mm前方、床上高さ1100mmに配置した。被験者は室中央付近に同時に2名を気流に正対する向きで配置した。

図4に主観申告スケールを示す。被験者は7段階で示された申告スケールを基に無段階で評価した。気持よさ評価は”非常に気持ち悪い”から”非常に気持ちよい”の7段階とした。

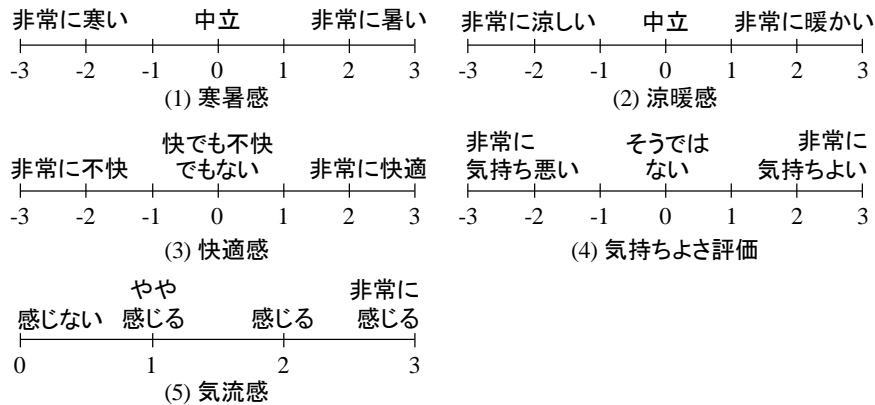


図4 主観申告スケール

3. 研究成果

3.1 気温と風速の時刻歴波形

図5にケース30-NV(変動風)とケース30-CT(一定風)における気温と風速の時刻歴波形を示す。ケース30-NVにおける気温の90分間平均値は30.0°Cで、風速の平均値はパターン1が0.20m/s、パターン2が0.47m/s、パターン3が0.99m/sであった。ケース30-CTにおける気温の90分間平均値は29.6°Cで、風速の平均値はパターン1が0.18m/s、パターン2が0.48m/s、パターン3が1.02m/sであった。概ね実験条件を再現できていたといえる。

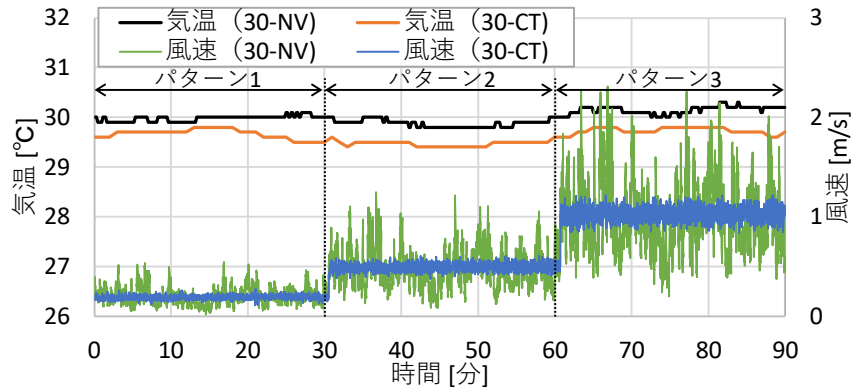


図5 ケース30-NVと30-CTの気温と風速の時刻歴波形

3.2 放熱量と皮膚温および主観申告の時刻歴波形

図6にケース32-NVとケース32-CTにおける放熱量の時刻歴波形を示す。放熱量は日置電機社製の熱流センサ(Z2015-01)で測定した。ケース32-NVの放熱量はケース32-CTに比べてやや高くなる傾向を示した。これは皮膚温の差、変動風における風速の速いときの放熱量の増加により一定風よりも放熱量が大きくなること、ならびに発汗による潜熱の差が原因であると考えられる。

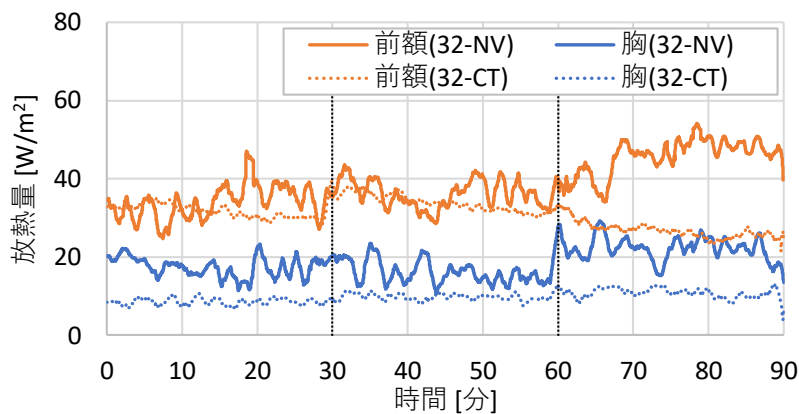


図6 ケース32-NVとケース32-CTにおける放熱量の時刻歴波形

図7にケース 32-NV とケース 32-CT における皮膚温の時刻歴波形を示す。ケース 32-NV およびケース 32-CT における皮膚温の変動は同様の傾向を示したが、ケース 32-CT における前額の温度がやや低い値を示した。これは前額が着衣に覆われておらず、胸よりも蒸発による放熱量が大きくなり皮膚温が低下したと考えられる。

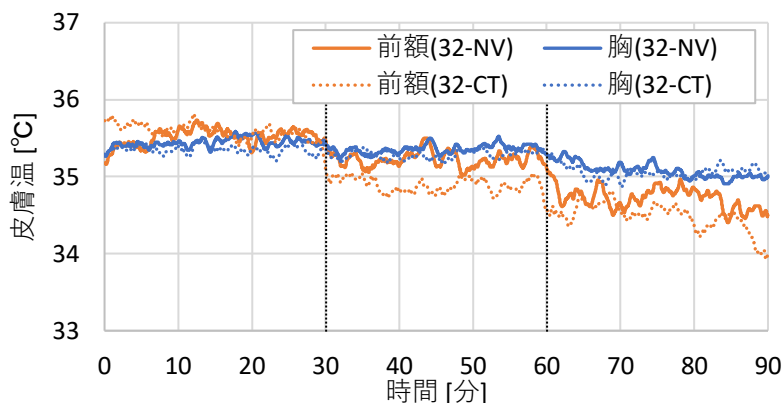


図7 ケース 32-NV とケース 32-CT における皮膚温の時刻歴波形

図8にケース 32-NV と 32-CT における寒暑感と快適感の時刻歴波形を示す。ケース 32-NV における寒暑感および快適感にはケース 32-CT に比べて変動しており、平均風速が速いほど顕著であった。またケース 32-NV における寒暑感と快適感にはケース 32-CT の寒暑感と快適感に比べて暑い側または不快側で推移する傾向を示した。

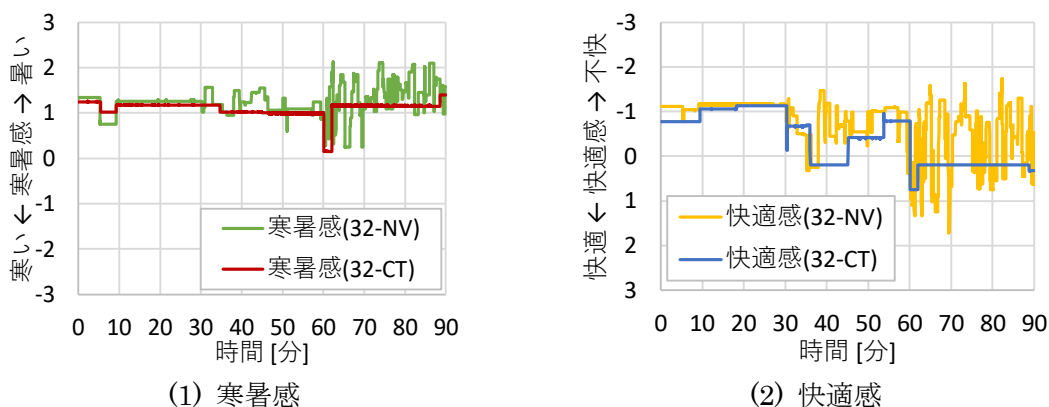


図8 ケース 32-NV と 32-CT における寒暑感と快適感の時刻歴波形

3.3 皮膚温および主観申告の平均値

図9にすべてのケースにおける皮膚温の平均値を示す。各ケースの皮膚温は平均風速が高くなると低下する傾向を示した。各パターンの変動風と一定風の間には有意差は得られなかったが、気温 30°C の皮膚温は変動風の方が低かった。一方で気温 32°C では一定風の方がやや低い値であった。したがって

気温と風速の変動の組み合わせが皮膚温に影響を及ぼす可能性があるといえる。

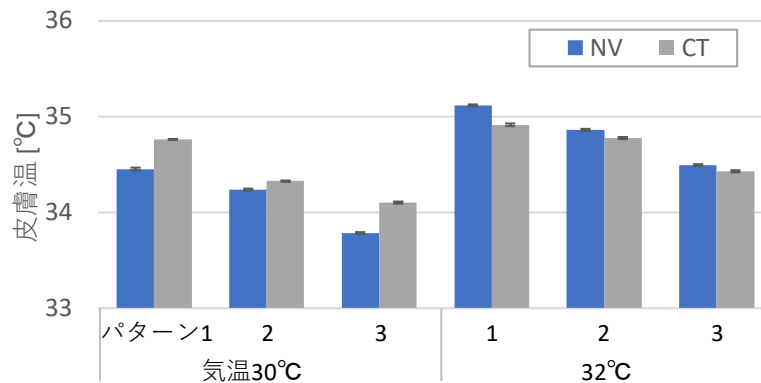


図9 すべてのケースにおける皮膚温の平均値

図10にすべてのケースにおける寒暑感の平均値を示す。各パターンの変動風と一定風の間には有意差は得られなかったが、気温30°Cではすべてのパターンで変動風の方が涼しい側の申告であった一方、気温32°Cでは一定風の方が涼しい側の申告となった。図11にすべてのケースにおける快適感の平均値を示す。寒暑感と同様に変動気流によって快適感が異なる傾向を示した。

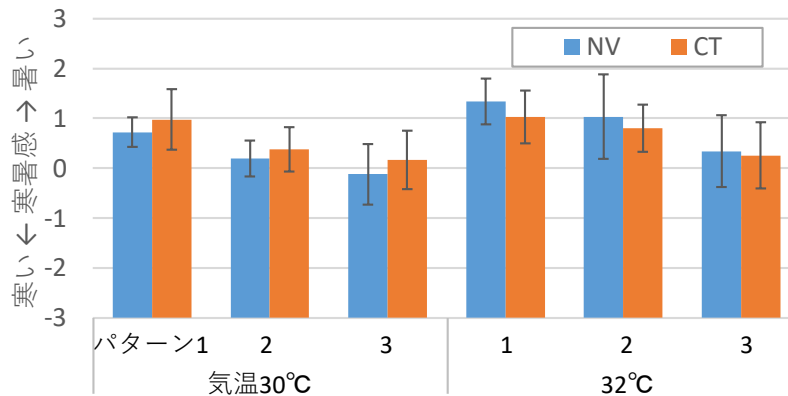


図10 すべてのケースにおける寒暑感の平均値

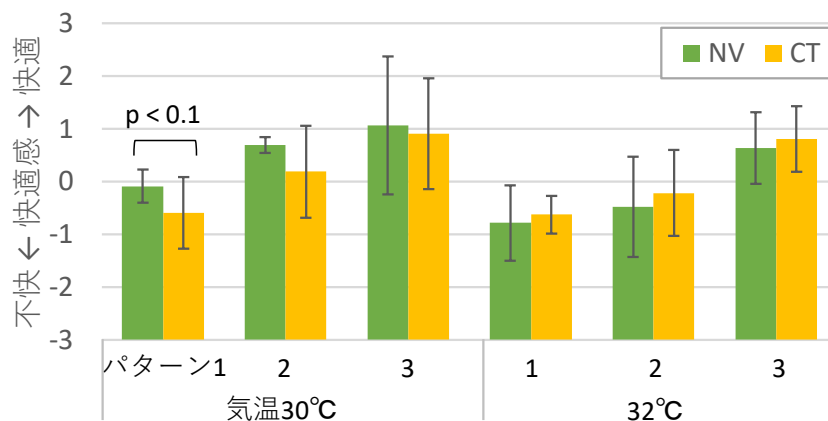


図 11 すべてのケースにおける快適感の平均値

図 12 に風速の乱れの強さと PMV の関係を示す。一定風と変動風の寒暑感を比較して涼しい側と暑い側になった条件で分類し、回帰式を算出した。先行研究は一定風の条件を行っていないため寒暑感が PMV よりも低かった条件と高かった条件で分類した。涼しい側の回帰式は下に凸となり、暑い側の回帰式は上に凸となった。PMV が高く、暑熱環境である場合は風速の乱れの強さが大きい通風のような風か、乱れの強さが小さい機械風のような風に涼しさを感じ、PMV が低い場合は乱れの強さが中程度の温度差換気のような風が涼しさを感じ、快適に感じると考えられる。一方で PMV が低い場合には一定風や乱れの強さが大きい風は寒く感じ不快となる。また PMV が高いときにそよそよとした風が来ても物足りなく、暑くて不快に感じると考えられる。

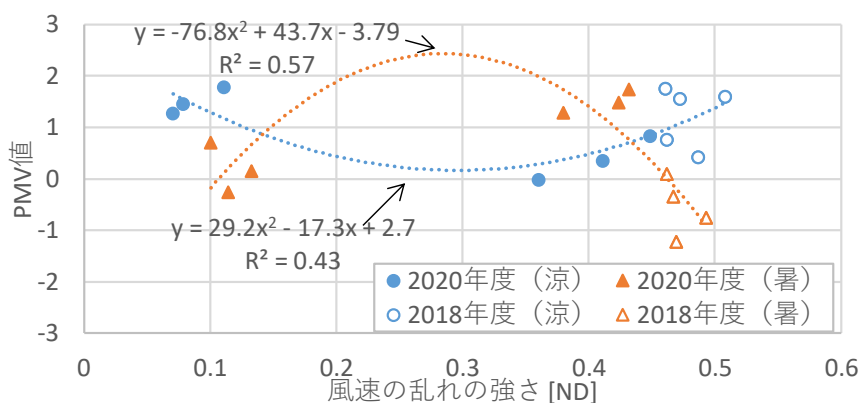


図 12 風速の乱れの強さと PMV の関係

4. まとめ

本報では擬似自然風環境で行った主観申告実験の結果より、寒暑感および温熱快適性について検討を行った。

- (1) 皮膚温の時間的変動は風速の変動波形によらず同様の傾向を示したが、放熱量は風速の変動の影響を受け、変化する傾向を示した。
- (2) 気温と風速の変動波形の組み合わせによって皮膚温、寒暑感および快適感に影響を及ぼす可能性がある。

- (3) 一定風と変動風の寒暑感を比較して涼しい側と暑い側になった条件で分類し、風速の乱れの強さと PMV の関係について検討した。

【参考文献】

- 1) 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ち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ちよさ評価について 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.607-608, 2019
- 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ちよさ評価に関する実験的研究 その 4 擬似自然風環境における寒暑感について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2020 (投稿中)
- 3) 佐藤英樹, 赤林伸一, 坂口淳, 桑原亮一: 通風時の室内における快適性評価手法に関する基礎的研究, 日本建築学会環境系論文集第 75 巻, 第 647 号, pp.59-66, 2010.1.
- 4) Shin-ichi Tanabe and Ken-ichi Kimura: Importance of air movement for thermal comfort under hot and humid conditions, Proceedings of the Second ASHRAE Far East Conference on Air Conditioning in Hot Climates, pp.95-103, January 1989
- 5) Shinya Morikami, Jing Xiong and Richard de Dear: Characteristics of air flow in climate chamber under natural cross-ventilated environment, National Symposium on Wind Engineering Proceedings 26, pp.38-44, 2020.

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)

- 1.
- 2.

[学会発表] (計 1 件)

1. 森上伸也、水谷国男、飯野由香利: 通風環境における気持ちよさ評価に関する実験的研究 その 5 風速の乱れの強さと温熱快適性の関係について、日本建築学会学術講演会 2021 年 (発表予定)
- 2.

[図書] (計 0 件)

- 1.
- 2.

[その他, 産業財産権, ホームページ等]

- 1.
- 2.

5. 研究組織

(1) 研究代表者

森上伸也

(2) 研究分担者

1. 水谷国男
2. 飯野由香利

6. 要約 (Abstract, 英文)

Research Theme:

Effect of constant wind and fluctuating wind based on measured natural wind on thermal comfort

Representative Researcher (Affiliation):

Shinya Morikami (National Institute of Technology, Toyota College)

Summary · Figures

In evaluating thermal comfort in a ventilated environment, it is important to consider the fluctuation characteristics of natural wind. In this study, the human subjective experiment was conducted in a natural wind environment using measured natural wind waveforms with different turbulence intensity.

- (1) The fluctuation of the skin temperature showed the same tendency regardless of the fluctuation waveform of the wind speed, however the heat flow from skin surface showed a tendency to be changed due to the influence of the fluctuation of the wind speed.
- (2) The combination of air temperature and wind fluctuation waveforms may affect skin temperature, thermal sensation and thermal comfort sensation.
- (3) The relationship between the turbulence intensity and PMV was compared in fluctuating wind condition and constant wind condition classified according to the conditions of cool side and hot side.