

平成 26 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：H25 ～ H27 [平成 27 年度も研究継続]

課題番号：133009

研究課題名（和文）：在室者の覚醒状態および生産性を向上させる省エネ型室内環境制御法に関する研究

研究課題名（英文）：Study on energy-saving indoor climate control with improving occupants' arousal and productivity

研究代表者：後藤伴延

交付決定額（当該年度）：430,000 円

1. 研究の目的

近年、地球環境負荷の低減および省エネルギー・節電の観点から、空調設定温度の緩和が求められてきている。しかしながら、オフィスにおいてそのような空調温度の緩和を行った場合には、執務者の快適性が低下するのみならず、生産性をも低下させてしまう可能性が高い。例えば、申請者は覚醒状態に注目した研究を近年行っており、作業に適した覚醒状態を維持するためには、室温を高くすべきでないことを実験により示している¹⁾。一方で、室温の変動は、在室者の覚醒状態を改善して作業効率を向上させる可能性があり、省エネ・節電の方向性とも合致すると考えられる。

そこで本研究では、在室者の覚醒状態および生産性を向上させる省エネ型空調制御法の開発を目指して、室温の変動が在室者の覚醒状態および作業効率に影響を及ぼすか否か、また、影響を及ぼすとすれば、どのような変動が覚醒状態や作業効率にとって望ましいのかを明らかにする。加えて、室温に比べて可変性や制御性の高い環境要素である風速に関しても、覚醒状態および生産性への影響と効果的な利用方法を明らかにする。

2. 研究の方法

①室温の上昇・下降と覚醒状態

室温の変動には様々なバリエーションが考えられ、その全てを検討することは不可能である。ただし、室温変動は全て、室温の上昇と下降の組み合わせや繰り返しであるから、室温変動を上昇局面および下降局面に分解して考え、それぞれが単独で覚醒状態に及ぼす影響を、被験者実験によって検討した。

なお、この検討については平成 25 年度より開始しており、室温の上昇・下降を特徴づける変動幅と時間変化率をそれぞれ 3℃、0.2℃/min とした実験を既に行っている。平成 26 年度においては、室温の変動幅と時間変化率をそれぞれ 6℃、0.15 または 0.3℃/min に変更し、改めて実験を行った。

覚醒状態の評価には、日本語版覚醒度尺度²⁾ (Japanese UWIST Mood Adjective Check List: JUMACL, 表 1) を用いた被験者による主観評価と、皮膚コンダクタンス水準 (Skin Conductance Level: SCL) による客観評価を用いた。JUMACL とは覚醒度を「エネルギー覚醒 (EA)」と「緊張覚醒 (TA)」の二つの評価軸で評価する手法であり、SCL とは皮膚電気活動の一種で、心拍などとともにより自律神経の覚醒度の指標として用いられている。

表 1 日本語版覚醒度尺度 (JUMACL)

あなたの現在の気分や感情はいかがですか？											
あてはまる数字を○で囲んでください。											
(1.あてはまる 2.ややあてはまる 3.ややあてはまらない 4.あてはまらない)											
ゆったりしている	1	2	3	4	気がすまない	1	2	3	4		
生き生きしている	1	2	3	4	穏やかである	1	2	3	4		
エネルギーギッシュである	1	2	3	4	落ち着いている	1	2	3	4		
リラックスしている	1	2	3	4	頭の働きが鈍い	1	2	3	4		
ピリピリしている	1	2	3	4	不安である	1	2	3	4		
頭がぼんやりしている	1	2	3	4	元気がある	1	2	3	4		
やる気がある	1	2	3	4	無気力である	1	2	3	4		
冷静である	1	2	3	4	平静でない	1	2	3	4		
緊張している	1	2	3	4	活動的である	1	2	3	4		
活気がない	1	2	3	4	びくびくしている	1	2	3	4		

実験は2014年10月9日から31日の10:00～12:40と15:00～17:40の時間帯に、東北大学の環境工学実験室内の人工気候室(図1)で行った。被験者は大学生及び大学院生18名とし、全6ケースの実験に参加した。被験者には着衣の指定を行い、概ね0.68 cloとした。サーカディアンリズムに配慮し、それぞれの被験者が参加する実験は全て同時間帯とした。

実験条件を表2に示す。Case 1, Case 2は23℃及び29℃一定条件とし、それ以外の4ケースは室温変動条件とした。昨年度は25℃と28℃の間を15分間で変動させていたのに対し、本年度は室温の変動幅と時間変化率を変更し、23℃と29℃の間を20分間または40分間で変動させることとした。

実験スケジュールを図2に示す。被験者は、外気温による体の冷えの影響を除くため、入室前に3分間の踏み台昇降運動を行った。その後、実験室に入室し、20分の数独作業を6回行った。室温変動を伴う条件では、数独作業3回目または4回目に20分または40分かけて室温を変動させた。各作業の前後には覚醒に関するアンケートを実施した。その他、体調や疲労、環境満足度に関するアンケートなどを、図2に示す通り実施した。

表2 実験条件

	室温	備考
Case 1	23℃一定	換気量: 30 m ³ /h・人 照度: 200 lx 湿度: 成り行き 風速: 0.15 m/s
Case 2	29℃一定	
Case 3	23℃→29℃ 20分で上昇	
Case 4	23℃→29℃ 40分で上昇	
Case 5	29℃→23℃ 20分で下降	
Case 6	29℃→23℃ 40分で下降	

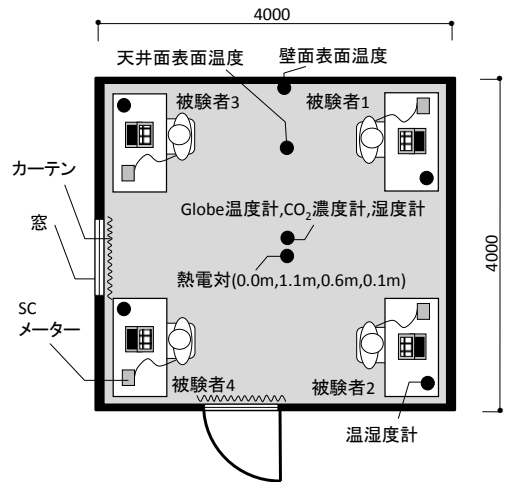


図1 実験室

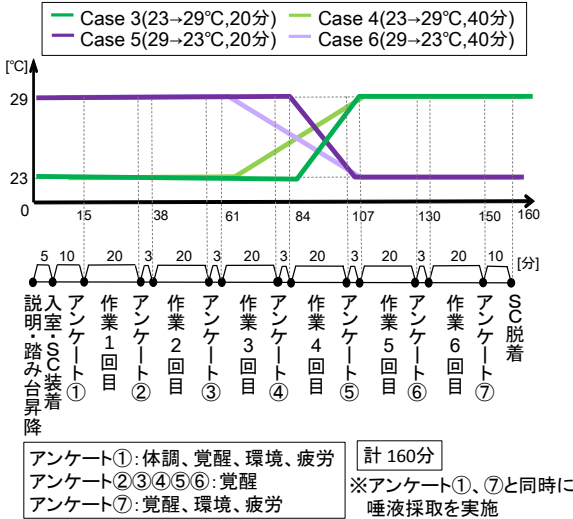


図2 実験スケジュール

②風速の上昇・下降と覚醒状態

室温に比べて変動幅・変化率ともに自由度の高い環境要素である風速について、室温と同様に上昇と下降に分解して考え、それぞれが単独で覚醒状態に及ぼす影響を、被験者実験によって検討した。

実験は2014年8月20日から9月16日の10:00～12:15と14:00～16:15の時間帯に、東京工芸大学の人工気候室(図3)で行った。被験者は大学生10名とし、全5ケースの実験に参加した。被験者には着衣の指定を行い、概ね0.7 cloとした。サーカディアンリズムに配慮し、それぞれの被験者が参加する実験は全て同時間帯とした。

実験条件を表3に示す。Case 1, Case 2は25℃及び28℃で0.15 m/s, Case 3は28℃で0.5 m/sの風速一定条件とした。非定常条件として、実験開始時は0.15 m/sで実験中に0.5 m/sへ風速が上昇するCase 4, 実験開始時は0.5 m/sで実験中に0.15 m/sへ風速が下降するCase 5を設定した。

実験スケジュールを図4に示す。被験者は入室後、30分の環境順応時間を過ごした後、20分の数独作業を4セット行った。風速変動を伴う条件では、数独作業3回目の終了3分前に風

速をステップ変化させた。各作業の前後には覚醒に関するアンケートを実施した。その他、体調や疲労、環境満足度に関するアンケートなどを、図 4 に示す通り実施した。

表 3 実験条件

	室温	風速	備考
Case 1	25℃	0.15 m/s	換気量：30～35 m ³ /h・人 照度：750 lx 湿度：50%
Case 2	28℃	0.15 m/s	
Case 3	28℃	0.5 m/s	
Case 4	28℃	0.15 m/s→ 0.5 m/s	
Case 5	28℃	0.5 m/s→ 0.15 m/s	

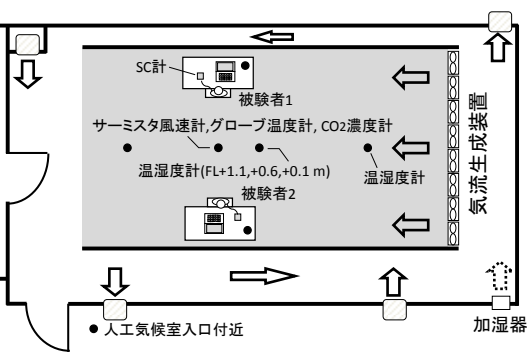


図 3 実験室

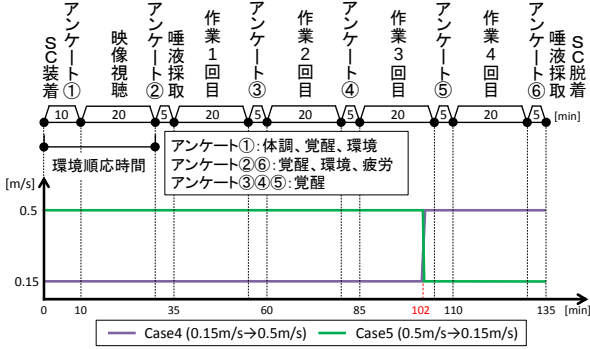


図 4 実験スケジュール

3. 研究成果

①室温の上昇・下降と覚醒状態

EA および TA の結果を、上昇条件と下降条件に分けて図 5 と図 6 に示す。比較のため、それぞれの図には定常条件の 2 ケースの結果も合わせて記載した。なお、定常条件間については有意差の表記を省略したが、23℃一定の Case 1 では 29℃一定の Case 2 よりも EA が高く推移し、TA は低くなる様子が確認された。EA、TA とともに実験の後半で差が明確でなくなる傾向があるものの、定常条件における全体的な傾向は既往実験¹⁾と一致していた。

室温を上昇させたケースでは、時間変化率の大きい Case 3 で EA が室温変動直後に 23℃一定の Case 1 よりも高くなる様子がみられた。また、変化率の小さい Case 4 では、同じ上昇条件であるにも関わらず、変動前に比べて変動後に EA が低くなった。一方 TA は、Case 3・4 とともに、室温変動後に Case 1 よりも低く推移する様子が見られた。

室温を下降させたケースでは、Case 5・6 とともに室温変動後に EA が高くなる様子が見られた。特に、変化率の小さい Case 6 では、Case 1 よりも高くなる様子がみられた。一方、TA は Case 5・6 とともに、室温変動後に Case 1 よりも低く推移した。

前年度の実験では、室温を 25℃から 28℃へ 15 分間で上昇させた条件において、TA が 25℃一定条件に比べて低くなる様子が観察されている。これは、本報における Case 3・4 の傾向とも一致する。また、既報において室温を 28℃から 25℃へ下降させた条件では、EA が上昇する様子が観察されており、これは本報の Case 5・6 の傾向とも一致している。なお、上述したように、本実験では室温変動によるこれ以外の EA・TA への影響も観察されており、室温変動幅を大きくした影響が表れたものと考えられる。

②風速の上昇・下降と覚醒状態

EA および TA の結果を図 7 と図 8 に示す。静穏環境下での定常条件における全体的な傾向は、既往実験¹⁾、室温の上昇・下降の実験と同様であって、25℃の Case 1 では 28℃の Case 2 よりも EA が高く推移し、TA は低くなる傾向が確認された。

実験開始から 100 分までの条件がともに 28℃・0.15 m/s である Case 2 と Case 4 を比較すると、Case 4 の方が 130 分時点での TA が低下しており、これは暑熱ストレスの減少が影響したものと推察される。一方、実験開始から 100 分までの条件がともに 28℃・0.5 m/s である Case 3 と Case 5 を比較すると、同じ条件であるはずの 100 分までの EA が大きく異なっており、その原因も不明なため、風速変動による影響を考察することが困難である。ただし、TA の結果をみると、Case 5 の風速を低下させた直後で TA が大きく上昇しており、これは暑熱ストレスの増加

が影響したものと推察される。そして、この時点では同じ室温・風速であるはずの Case 2 と比較しても TA が高いことから、風速変動により一時的であれ定常レベル以上に覚醒状態が悪化することがあると考えられる。

暑熱ストレスとして近いレベルにある Case 1 と Case 3 を比較すると、Case 3 の方が Case 1 よりも実験後半において EA が低くなり、また、130 分時点での TA が高くなる様子がみられている。さらに、暑熱レベルのより高い Case 2 と比較しても、Case 3 の覚醒状態は実験終盤においてむしろ悪化していることから、風速 0.5 m/s の一定時間以上の暴露は覚醒状態に悪影響を及ぼすものと考えられる。

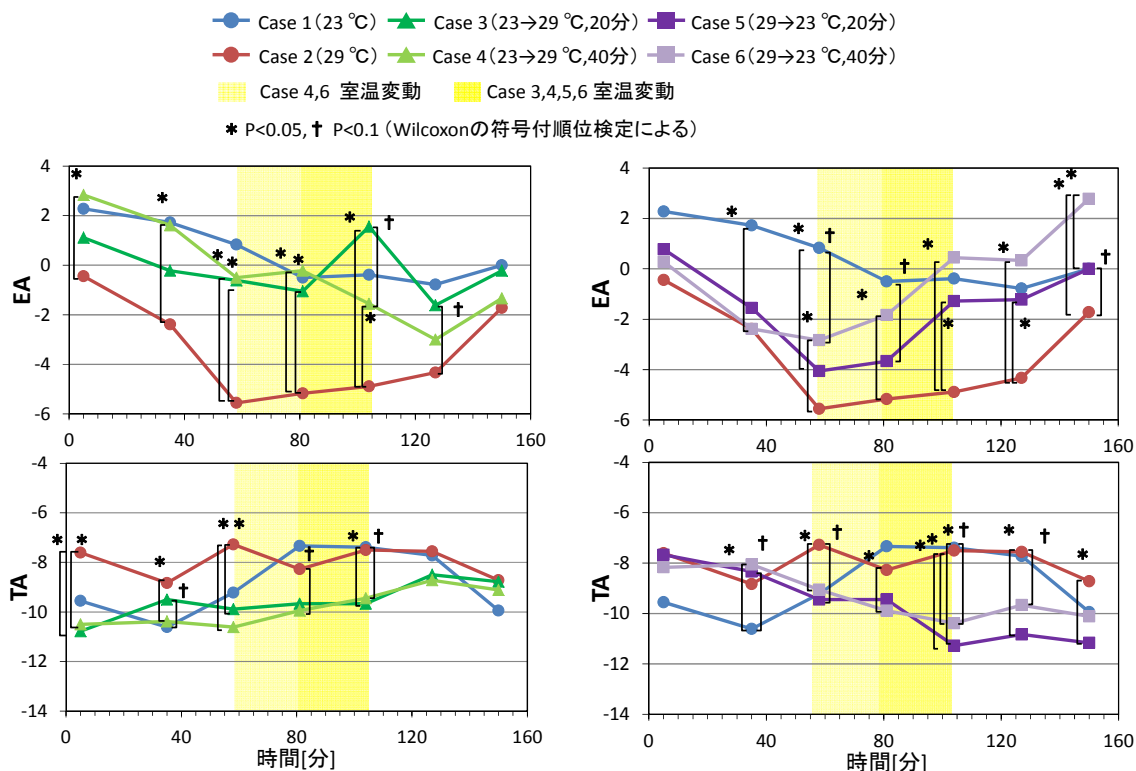


図5 Case 1, 2, 3, 4 における EA・TA の経時変化

図6 Case 1, 2, 5, 6 における EA・TA の経時変化

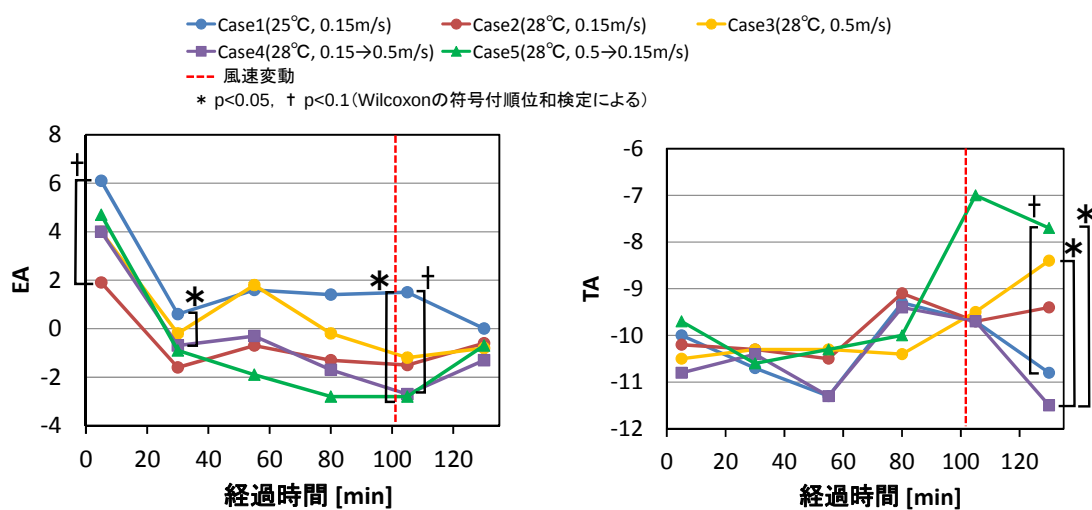


図7 EA の経時変化

図8 TA の経時変化

以上より、本年度の成果は次の通りである。

- 室温を上昇・下降させることは、室温一定条件に比べ緊張覚醒（TA）を低下させる効果があり、その上昇が急である場合や、下降が緩やかな場合には、更にエネルギー覚醒（EA）を上昇させる効果もあることが明らかになった。
- 風速を上昇・下降させることにより、覚醒状態に変化は生じるものの、定常条件に比べて覚醒状態が改善される様子はみられなかった。また、風速 0.5m/s の一定時間以上の暴露は EA の低下と TA の上昇を招き、覚醒状態に悪影響を及ぼすことが推察された。

なお、2015 年 2 月 11 日に東北大学にて「在室者の覚醒状態および生産性を向上させる省エネ型環境制御法に関する研究集会」を開催し、本研究の成果報告を行った。この研究集会では、他にも生産性の向上と省エネルギーとの両立の問題や、非定常環境に関連する研究発表が行われた。21 名の参加者があり、活発な議論がなされた。

【参考文献】1) 平松 他：在室者の覚醒状態を媒介とした室温と作業効率の因果関係に関する被験者実験，日本建築学会大会，2014 年 9 月． 2) 白澤 他：記憶探索に及ぼすエネルギー覚醒の効果，基礎心理学研究，1999，17(2)，pp.93-99.

4. 主な発表論文等

- [1] 柳田祐里，平松美紀，後藤伴延，大場正昭，水谷国男，塚本健二，二ノ宮裕樹：室温の上昇・下降が在室者の覚醒状態に及ぼす影響に関する被験者実験，日本建築学会（近畿），2014 年 9 月，pp.485-486
- [2] 古川麻衣子，平松美紀，柳田祐里，後藤伴延：室温変動の時間変化率及び変動幅の違いが在室者の覚醒状態に及ぼす影響に関する被験者実験，空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会論文集，2015 年 3 月，pp.133-134
- [3] 古川麻衣子，柳田祐里，後藤伴延：室温変動の時間変化率及び変動幅の違いが在室者の覚醒状態に及ぼす影響，日本建築学会東北支部研究報告会，（2015 年 6 月発表予定）
- [4] 古川麻衣子，柳田祐里，後藤伴延，水谷国男，塚本健二：在室者の覚醒状態および作業効率を向上させる変動室温制御法に関する研究，その 2 室温の変動幅および時間変化率が覚醒状態へ及ぼす影響，日本建築学会大会（関東），（2015 年 9 月発表予定）

〔雑誌論文〕（計 0 件）

〔学会発表〕（計 4 件）

〔図書〕（計 0 件）

〔その他〕

在室者の覚醒状態および生産性を向上させる省エネ型環境制御法に関する研究集会（2015 年 2 月 11 日）

5. 研究組織

(1) 研究代表者

後藤伴延（東北大学・工学研究科・准教授）

(2) 研究分担者

水谷国男（東京工芸大学・風工学研究センター・教授）

塚本健二（東京工芸大学・風工学研究センター・特別研究員）

森上伸也（豊田工業高等専門学校・建築学科・助教）

平松美紀（東北大学大学院・工学研究科・大学院生）

柳田祐里（東北大学大学院・工学研究科・大学院生）

古川麻衣子（東北大学・工学部・大学生）