

労災疾病臨床研究事業費補助金

熱中症予防対策におけるウェアラブルセンサーの活用と  
効果的な熱中症予防法の検証

(180801-01)

2018-2020年度 総合研究報告書

研究代表者 丸山 崇

令和3年(2021)年3月

# 目次

## I. 総合研究報告

1. 熱中症予防対策におけるウェアラブルセンサーの活用と効果的な熱中症予防法の検証  
丸山崇、倉岡宏之、江口泰正、山田晋平、黒坂知絵、八谷百合子、上田陽一、東敏昭  
----- 1

## II. 分担研究報告

1. 企業における熱中症対策の現状と先進事例調査  
丸山崇、山田晋平、黒坂知絵、八谷百合子、上田陽一、東敏昭  
----- 8
2. 熱中症予防対策におけるウェアラブルセンサーの活用に関する調査  
丸山崇、山田晋平、黒坂知絵、八谷百合子、上田陽一、東敏昭  
----- 17
3. 暑熱環境下運動負荷時の生体データ変化検討<第1報>  
丸山崇、倉岡宏之、江口泰正、山田晋平、黒坂知絵、八谷百合子、上田陽一、東敏昭  
----- 56
4. 暑熱環境下運動負荷時の生体データ変化の検討<第2報>  
丸山崇、倉岡宏之、江口泰正、山田晋平、黒坂知絵、八谷百合子、上田陽一、東敏昭  
----- 68
5. 腕時計型ウェアラブルセンサーによる暑熱環境下での身体負荷推測  
八谷百合子、丸山崇、山田晋平、黒坂知絵、上田陽一、東敏昭  
----- 81
6. シャツ型ウェアラブルセンサーによる暑熱環境下での身体負荷推測  
山田晋平、丸山崇、黒坂知絵、八谷百合子、上田陽一、東敏昭  
----- 92

7. シャツ型ウェアラブルデバイスによる暑熱作業リスク評価の検証 黒坂知絵、丸山崇、倉岡宏之、江口泰正、山田晋平、八谷百合子、上田陽一、東敏昭	----- 124
8. 腕時計型ウェアラブルセンサーによる熱中症予防（現場実証） 八谷百合子、丸山崇、倉岡宏之、江口泰正、山田晋平、黒坂知絵、上田陽一、東敏昭	----- 147
9. シャツ型ウェアラブルセンサーによる熱中症予防（現場実例報告） 山田晋平、丸山崇、倉岡宏之、江口泰正、黒坂知絵、八谷百合子、上田陽一、東敏昭	----- 164
10. シャツ型ウェアラブルセンサーによる熱中症予防（現場実例報告） 倉岡宏之、丸山崇、江口泰正、山田晋平、黒坂知絵、八谷百合子、上田陽一、東敏昭	----- 168
Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧	----- 173

## 熱中症予防対策におけるウェアラブルセンサーの活用と効果的な熱中症予防法の検証

研究代表者：丸山 崇（産業医科大学 医学部 第1生理学）  
分担研究者：山田晋平（産業医科大学 産業保健学部 安全衛生マネジメント学）  
倉岡宏之（産業医科大学 産業保健学部 安全衛生マネジメント学）  
黒坂知絵（産業医科大学 産業保健学部 人間情報科学）  
江口泰正（産業医科大学 産業保健学部 人間情報科学）  
八谷百合子（産業医科大学 産業保健学部 産業・地域看護学）  
上田陽一（産業医科大学 医学部 第1生理学）  
東敏昭（一般財団法人 西日本産業衛生会/産業医科大学名誉教授）

### <研究要旨>

#### 研究の背景：

熱中症は暑熱環境下で働く労働者に生命の危機をおよぼすこともある疾病であり、労働災害防止の観点からも、予防すべき重要な課題の一つである。業務上疾病としての熱中症発症者数(死亡数)は、平成27年464(29)人、平成28年462(12)人、平成29年544(14)人となっており、特に、平成30年は休業4日以上業務上疾病者の数は1,178人で内28人が死亡災害と倍増した。また、最新報告では平成31年/令和元年790(26)人（厚生労働省「業務上疾病発生状況等調査」）となっており、労働災害における熱中症の発生は減っていない。熱中症予防対策として、作業時間の短縮や定期的な休憩などの作業管理、空調の導入などの作業環境管理、普段からの体調管理の呼びかけなどの健康管理、労働衛生教育による熱中症対策の啓蒙等が行われてきているが、気候変動による猛暑の影響もあり、死亡災害も後を絶たない状況である。各企業において様々な対策がなされ、熱中症予防対策が講じられているが、詳細な現場の実態は把握されておらず、先進的な対策や効果的な対策の情報も広く共有されていない状況である。

また、近年、ウェアラブルセンサーを用いて心拍や体動などの生体情報をセンシングしインターネットを通じ、そのデータを労働者の健康管理に活用するInternet of Things(IoT)技術が多く開発されている。このIoT技術が、暑熱環境下の身体状況を評価し体調変化を早期に捉え、熱中症予防に利用できる可能性も示唆されている。一部の企業ではこのウェアラブルセンサー（IoT技術）を用いて熱中症対策が行われていることも知られているが、有効な熱中症予防対策として十分な認識はされていない。

#### 研究目的：

労働現場での熱中症対策の実態を把握するため、「労働現場で行われている熱中症対策の現状調査」および「先進的な熱中症対策の抽出」が本研究課題の1つ目の目的である。次に、先進事例の中で、近年利用が進んでいる、「ウェアラブルセンサーによる体調変化予測システムが、熱中症予防に有用であるかの検証」を行



うことが2つ目の目的である。3つ目の目的は、「ウェアラブルセンサーによる体調変化予測システムが、実際の労働現場において、熱中症予防に有用であるか検証を行うこと」である。これら一連の研究において、ウェアラブルセンサーによる熱中症対策をはじめとした、先進的な熱中症対策が、多くの労働現場に展開されることで熱中症による労働災害を防止することが本研究課題の目的である。

#### 方法及び結果の概要：

2018年度は、日本国内の事業所（1460カ所）に、郵送によるアンケート調査を行い、287事業所より回答を得た（回答率19.7%）。質問項目は、作業員に対する熱中症予防対策に関する事項、熱中症リスクの高い作業や作業環境に関する事項、管理体制に関する事項、先進事例・特色ある熱中症対策に関する事項、熱中症対策全般に関する事項であった。この調査により、休憩や水分・塩分の補給、日頃からの体調管理、熱中症予防に関する教育などの対策が通常の安全衛生活動として行われている現状が把握できた。また、設備改善や熱中症対策用品の導入など積極的な対策が行われている現状が把握できた。一方で、補水量や補水タイミング、休憩（作業中止）タイミングなどは、各事業所で取り組みに差異があり、今後、具体的な方策が示される必要があると考えられた。企業における熱中症対策の現状が把握出来るとともに、IoT技術を用いた熱中症対策に取り組む事業所が、10事例抽出できた。また、これらの企業のヒアリング調査によって、ウェアラブルセンサー（IoT機器）導入の効果や課題なども把握出来た。

2019年度は、前年度の調査で先進事例として抽出されたウェアラブル機器の中から、発売元企業の協力が得られたウェアラブル機器3機種（腕時計型1機種、シャツ型2機種）を用いて、産業医科大学人工気候室において、被験者の協力のもと、暑熱環境下での運動負荷試験を行い「熱中症対策に用いられるウェアラブルセンサーの実証実験」を行った。その結果、いずれのウェアラブル機器も熱中症予防に一定の有用性を示し、熱中症予防対策の一つとなり得ることが示された。

2020年度は、人工気候室実験で、有用性の示されたウェアラブルセンサーを用いて、実際の暑熱環境の労働現場において、作業員にセンサーを装着しモニタリングする現場実験を行った。個人要因（主観的な疲労感など）や環境要因（WBGTなど）より熱中症リスクを見積もり、ウェアラブルセンサーにより推定されたリスク評価との関連性などを検討した。また、現場実証に加え、暑熱環境下において作業員にウェアラブルセンサーを装着した際の、現場実例と使用効果について調査を行った。その結果、暑熱環境の労働現場においてもウェアラブルセンサーによるアラーム通知システムは、熱中症リスクを妥当に評価しており、適時に作業員に対処行動を促すことで、熱中症防止に有用であることが示された。

#### まとめ総括：

ウェアラブルセンサーから得られる生体データをリアルタイムに分析し、体調変化や身体負荷のリスク評価をおこなうことで、事前に危険性を知らせる通知システムが、熱中症予防に一定の効果があることが本研究により示された。これまでのWBGTを指標とした作業環境管理や、補水、休憩、体調管理などの熱中症予防対策に加えて、ウェアラブルセンサーによる熱中症予防も、効果的な個人対策の一つとして推奨される。このような先進的な熱中症予防対策の現場導入が進めば、熱中症による労働災害による死傷者数の低減に寄与するものと考えられる。また、暑熱環境では、熱中症に至らないまでも、判断力が低下し様々なヒューマンエラーが発生しやすい状況となる。有効な熱中症対策によりヒューマンエラーを防止し様々な労働災害防止にも貢献すると考えられる。

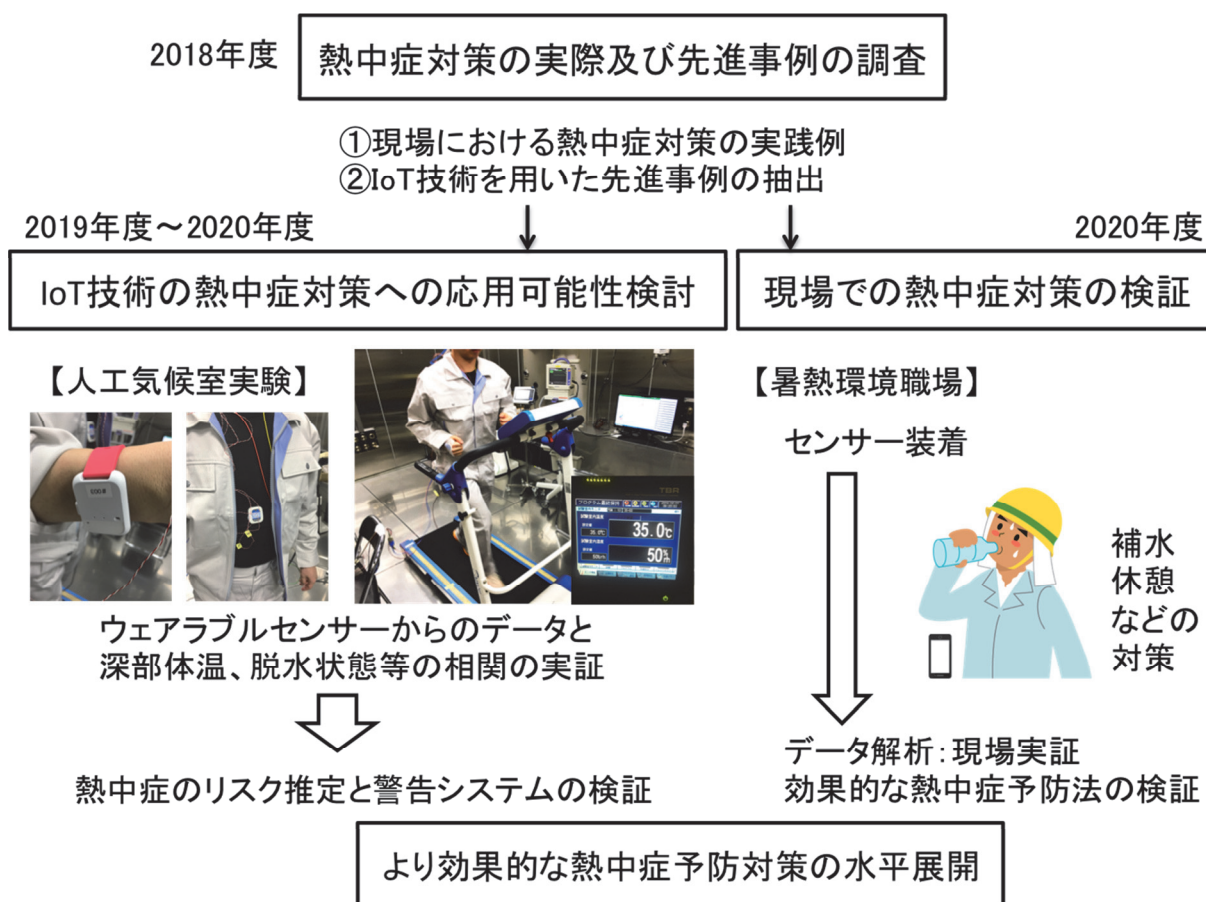
ウェアラブルセンサーの特徴として、個人毎のモニタリングが出来るという利点があり、止むを得ず高温

暑熱環境下で作業せざるをえない労働者の管理や一人作業で目の届かない作業現場の労働者の管理に、特に役に立つと考えられる。また、その日の体調により熱中症リスクが変動するが、同じ個人のデータを毎日連続でモニタリングすることによって、個人の体調不良を早く検知し熱中症予防に繋げることが出来るため、熱中症の個人毎のリスク評価と事前防止対策が可能になると考えられる。これらの個人毎のリスク評価は、特に重症化する熱中症を予防することに繋がり、死亡災害を予防する一つの有効な手段となる可能性がある。

加えて、これらのウェアラブルセンサーから得られる労働現場での作業者のデータを分析することで、作業要因、環境要因の影響の程度が推測出来るとともに、これまで行われていた熱中症対策の検証も可能となるなど、より効果的な熱中症予防の労働衛生管理に貢献できる可能性がある。

熱中症は学童や高齢者の発生が多いことも知られており、労災防止対策として検証された本研究課題での知見が、教育現場や高齢者医療においても有用になることが考えられる。

<実施概要図>



## 分担研究者

山田晋平（産業医科大学産業保健学部安全衛生マネジメント学）

倉岡宏之（産業医科大学産業保健学部安全衛生マネジメント学）

黒坂知絵（産業医科大学産業保健学部人間情報科学）

江口泰正（産業医科大学産業保健学部人間情報科学）

八谷百合子（産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学）

上田陽一（産業医科大学医学部第1生理学）

東敏昭（一般財団法人西日本産業衛生会/産業医科大学名誉教授）

## A. 研究の背景および目的

熱中症は暑熱環境下で働く労働者に生命の危機をおよぼすこともある病態であり、労働災害防止の観点からも、予防すべき重要な課題の一つである。これまで、補水や休憩などの労働衛生管理や労働衛生教育による予防法の啓蒙等が行われてきているが、死亡災害も後を絶たない状況である。

近年、心拍や体動などの生体情報をセンシングするIoT技術（ウェアラブルセンサー）が多く開発されており、暑熱環境下の身体状況を評価し熱中症予防に利用できる可能性も示唆されている。一部の企業ではこのIoT技術を用いて熱中症対策を行っていることも知られているが、その効果は十分に検証されていない。

当研究課題では、暑熱環境の労働現場を持つ事業所に対し「①労働現場における熱中症対策の実際及び先進事例の調査」を行い、効果的な熱中症対策の抽出とIoT技術などを用いた先進的な熱中症予防対策の抽出を行った。

次に、産業医科大学人工気候室において、被験者の協力のもと、暑熱環境下での運動負荷試験を

行い熱中症対策に有効と考えられるIoT技術を用いて「②熱中症対策に用いられるウェアラブルセンサーの実証実験」を行った。ウェアラブルセンサーによりモニター出来る生体データから推測される体調変化や身体負荷などのリスク評価と、熱中症の指標となる深部体温、脱水指標、自覚症状などのデータと相関を検証し、ウェアラブルセンサーの有効性や得られるデータからの熱中症リスクの推定の可能性を検討した。

また、これらのウェアラブルセンサーを暑熱環境下で作業する労働者に装着していただき、実際の現場で使用した際の、生体指標等を継続測定する中で、「③ウェアラブルセンサーを用いた熱中症対策の現場実証」を行った。

これら一連の研究において、効果的な熱中症対策を明らかにし、多くの労働現場に展開することで熱中症による労働災害を防止することが本研究課題の目的である。

## B. 研究方法

### ①労働現場における熱中症対策の実際及び先進事例の調査（2018年度）

総務省事業所データからランダムに選定し抽出された日本国内の事業所（1460カ所）に、郵送によるアンケート調査を行った。調査期間は、2018年8月～9月末日で、回答者は、事業所内安全衛生担当者とした。作業者に対する熱中症予防対策に関する事項、熱中症リスクの高い作業や作業環境に関する事項、管理体制に関する事項、先進事例・特色ある熱中症対策に関する事項、熱中症対策全般に関する事項に関しての質問を行った。また、協力の得られた事業所に対し、現地インタビュー調査を行い、ウェアラブルセンサー等を使用した対策の先進事例を調査した。

### ②熱中症対策に用いられるウェアラブルセンサーの実証実験（2019～2020年度）

先進事例調査で現場活用が行なわれていることが確認され、発売元の協力が得られたウェアラブルセンサー3機種に関して、評価が行われた。実験は、産業医科大学人工気候室において、低リスク（注意レベル：気温25℃湿度50%WBGT22℃）および、高リスク（嚴重警戒レベル：気温35℃湿度50%WBGT30℃）の2条件で、トレッドミルにて80W（きつい肉体労働レベル）相当の運動負荷を18分×2回行う実験を行った。運動負荷実験の間、各ウェアラブルセンサーを装着し、体調変化を評価するとともに、深部体温や心拍、自覚的運動強度（ボルグスケール）、負荷前後の体重、採血・採尿検査等を行ない、熱中症リスクが適切に評価できているか検証を行った。

### ③ウェアラブルセンサーを用いた熱中症対策の現場実証（2020年度）

人工気候室で検証した腕時計型ウェアラブルセンサーを用いて、研究協力会社（A社、B社）の協力のもと暑熱環境下での現場実証を行った。腕時計型ウェアラブルセンサーを装着し、作業時のWBGT（℃）、問診票による疲労度・温熱感覚・熱性適性、と同時に腕時計型ウェアラブルセンサーによるパルス数（脈波）及び温度・湿度と作業時間の計測から出力した身体（カラダ）熱環境レベル・身体負荷レベル・熱ストレスレベルを計測し、WBGT（℃）及び問診票によるHeat Strain状態と腕時計型ウェアラブルセンサーによる異常検出閾値の結果を比較検討した。また、高層ビルの建設現場において、約100名超を対象にウェアラブルデバイスによる熱中症対策が行われている現場実例を調査した。さらに、シャツ型ウェアラブルセンサーを用いてBLEルータを用いたスマホレスシステムの現場導入実例を調査した。

尚、当研究課題における調査・実験は、産業医科大学倫理委員会の承認を受け実施された。

## C. 研究結果

### ①労働現場における熱中症対策の実績及び先進事例の調査」（2018年度）

調査票送付先1460事業所のうち287事業所より回答を得た（回答率19.7%）。現場での熱中症対策として、補水の励行（88.2%）、スポーツドリンクや経口補水液など補水飲料の指導（86.6%）、塩分摂取の指導（85.8%）、熱中症の教育（80.4%）、発症時の対策（85.0%）は多くの事業所で行われており、一方、補水量についての指導（43.9%）、作業短縮・中止（42.2%）など、具体的な指導は出来ていない実態が分かった。また、文書化されたマニュアルを作成している事業所は32.8%であり、体系的な対策が不十分な可能性も示唆された。特色のある熱中症対策としては、空調服やクールベスト、冷却スプレーなどの熱中症対策用品を用いている事業所が62.4%あり、一定の効果があったという回答がみられた。また、ウェアラブルセンサーなどIoT機器を用いた対策を導入している事業所が10件（3.5%）あった。

### ②熱中症対策に用いられるウェアラブルセンサーの実証実験（2019～2020年度）

2019年度は成人健康男性12人（年齢21～42）、2020年度は成人健康男性7人（年齢21～31）の被験者に協力頂き、低リスク環境（注意レベル、気温25℃湿度50% WBGT22℃）及び高リスク環境（嚴重警戒レベル、気温35℃湿度50% WBGT30℃）の2条件での運動負荷実験が行われ、生体データが計測された。また、同時に腕時計型及びシャツ型のウェアラブル機器3機種による生体データ計測と暑熱環境による生体影響の評価が行われ、熱中症リスクの予測が可能であるか検討された。（詳細は分担研究報告にて後述）

### ③ウェアラブルセンサーを用いた熱中症対策の現場実証（2020年度）

腕時計型ウェアラブルセンサーを用いて、合計



14名に被験者として協力を頂き、各社の作業現場において、各被験者が7日間作業した際の、生体データや主観的な疲労度等および環境データが得られた。これらのデータより、ウェアラブルセンサーによりHeat Strain状態の推定が可能であったか検討が行われた。また、現場実例報告に関しては、現場でのシステム導入の実際や利点、改善が必要な点などに関して整理された。（詳細は分担研究報告にて後述）

#### D. 考察

2018年度の労働現場における熱中症対策の実際及び先進事例の調査からは、多くの事業所で休憩や水分・塩分の補給、日頃からの体調管理、熱中症予防に関する教育などの対策が通常の安全衛生活動として行われている現状が把握できた。先進事例としては、空調服などの熱中症対策用品を導入している事業所が多かった。また、この調査から、ウェアラブルセンサーによる熱中症予防対策を導入している事業所があることがわかり、その課題等も抽出できたことから、2019年度以降のウェアラブルセンサーによる熱中症予防法の検証の研究に繋げていくことができた。

2019年度から2020年度にかけての、人工気候室でのウェアラブルセンサーの実証実験に関しては、腕時計型ウェアラブルセンサー（富士通社製）による暑熱環境下での身体負荷推測では、Heat Strain（暑熱ストレイン、熱緊張）状態の指標と腕時計型ウェアラブルセンサーによりモニターする身体（カラダ）熱環境レベル、身体負荷レベルレベル、熱ストレスレベルとの相関を検証できた。

シャツ型ウェアラブルセンサー（クラボウ社製）による暑熱環境下での身体負荷推測では、暑熱負荷がない（熱中症程リスク環境）実験条件においても、ウェアラブルデバイスは運動負荷に応じた暑熱作業リスクの増加を示し、暑熱負荷の高い条件においては、

ウェアラブルデバイスの評価結果は、直腸温、心拍数、ボルグスケールの評価結果と良い一致が見られ、妥当な判定ができていると考えられた。

シャツ型ウェアラブルセンサー（ミツフジ社製）の検証では、非常に高い精度で心拍数が計測できており、計測誤差の少ない高率群では、暑熱リスク通知は高い確率で検出された。Heat Strain状態の検出率も高く、妥当な検出が可能であるといえる。

2020年度に行った、ウェアラブルセンサーを用いた熱中症対策の現場実証では、暑熱環境の労働現場において、作業者にセンサーを装着しモニタリングする現場実験を行った。環境要因（当日の天候やWBGTなど）とウェアラブルセンサーにより得られたリスク評価との関係の検証を行い、暑熱環境下作業現場での熱中症予防に一定の効果があることが示された。現場実例の調査においては、ウェアラブルセンサーによるリスク評価に基づいた指示により、熱中症の予防行動がとられ、結果的に熱中症を回避できると推察された。

#### E. 結論

- ・ 企業に対する調査票調査によって、熱中症対策の現状が把握され、先進事例としては、空調服などの熱中症対策用品やウェアラブルセンサーを用いた先進的な熱中症予防対策が導入されている事例が抽出され、一定の効果があることが示唆された。
- ・ 人工気候室における、暑熱環境下運動負荷試験によって、ウェアラブルセンサーは、熱中症リスクが高まった状態を妥当に検出することが出来ると考えられた。
- ・ ウェアラブルセンサーは、実際の作業現場においても熱中症リスクの予測や予防行動を促すためのシステムとして有効であると考えられる。

## F. 健康危険情報

なし

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

- 丸山崇、山田晋平、黒坂知絵、八谷百合子、上田陽一、東敏昭「企業における熱中症対策の現状と先進事例」健康管理：第67巻8号 p2-10 2020年

### 2. 学会発表

- Takashi Maruyama, Current and advanced measures against heat stroke in Japanese workplaces. (oral&poster) The 29th China Korea Japan Conference on Occupational Health(2019年4月22～23日、中国南京市)
- 八谷百合子、熱中症防止のためのAI技術を用いた深部体温推定の試み(口演)第92回日本産業衛生学会(2019年5月22～25日、名古屋)
- 丸山崇、企業における熱中症対策の現状と先進事例調査(口演)第92回日本産業衛生学会(2019年5月22～25日、名古屋)

- Chie Kurosaka, Poincare plot indexes of heart rate variability: Pattern II responses and mental workload Human-Computer Interaction (HCI) International 2019 (2019年7月26～31日、フロリダ州オーランド)
- 八谷百合子、AI技術を用いた深部体温推定の試み(ポスター)第54回全国大学保健管理研究集会(2019年10月9日、札幌)
- 八谷百合子、Kerasを用いた熱中症防止のための深部体温推定の試み(口演)八谷百合子、日本産業衛生学会産業保健AI研究会第1回研究集会(2019年12月1日、東京)

## H. 知的財産権の出願・登録状況

### 1. 特許取得

- 特許出願準備中「AI技術を用いた熱中症発症防止のための深部体温推定装置および方法並びにプログラム」

### 2. 実用新案登録

なし

### 3. その他

なし

## 企業における熱中症対策の現状と先進事例調査

研究代表者：丸山 崇 産業医科大学 医学部 第1生理学 准教授

### 研究要旨：

熱中症は暑熱環境において労働などの身体活動を行うことにより、脱水や電解質の喪失、深部体温の上昇などの身体影響が引き起こされ、時に生命の危機に至ることもある病態である。業務上疾病としての熱中症の発症者数(死亡数)は、平成27年464(29)人、平成28年462(12)人、平成29年544(14)人（厚生労働省「業務上疾病発生状況等調査」）となっており、特に、暑熱環境で作業する労働者は発症リスクが高く、毎年、死亡災害も発生している。熱中症は労働者の労働災害防止の観点からも、対策が必要な重要課題である。これまで、労働現場での熱中症予防対策としては、定期的な休憩や水分・塩分の補給、日頃からの体調管理、熱中症予防に関する教育などの労働衛生管理による対策が行なわれてきたが、具体的な対策内容や課題は、広く共有されていない。また、空調服やクールベストなどの熱中症対策製品の普及やIoT技術を使ったウェアラブルセンサーなどの先進的な対策が行なわれていることも知られているが、その実態は把握出来ていない。本年度、我々は「労働現場で行われている熱中症対策の現状調査」および「先進的な熱中症対策の抽出」を目的に調査票による調査を行った。

今回の調査では、調査票送付先1460事業所のうち287事業所より回答を得た（回答率19.7%）。現場での熱中症対策として、補水の励行（88.2%）、スポーツドリンクや経口補水液など補水飲料の指導（86.6%）、塩分摂取の指導（85.8%）、熱中症の教育（80.4%）、発症時の対策（85.0%）は多くの事業所で行われており、一方、補水量についての指導（43.9%）、作業短縮・中止（42.2%）など、具体的な指導は出来ていない実態が分かった。また、文書化されたマニュアルを作成している事業所は32.8%であり、体系的な対策が不十分な可能性も示唆された。特色のある熱中症対策としては、空調服やクールベスト、冷却スプレーなどの熱中症対策用品を用いている事業所が62.4%あり、一定の効果があったという回答がみられた。また、ウェアラブルセンサーなどIoT機器を用いた対策を導入している事業所が10件（3.5%）あった。

多くの事業所で休憩や水分・塩分の補給、日頃からの体調管理、熱中症予防に関する教育などの対策が通常の安全衛生活動として行われている現状が把握できた。また、設備改善や熱中症対策用品の導入など積極的な対策を行う事業所も多くあることがうかがえた。一方で、補水量や補水タイミング、休憩（作業中止）タイミングなどは、各事業所で取り組みに差異があり、今後、具体的な方策が示される必要があると考えられた。また、空調服などの熱中症対策用品については、主観的に有効であるとする事業所が多かったが、今後、効果的な導入法の検討が必要であると考えられる。今回の調査では、熱中症対策を進めるにあたっての課題も多く把握できたことで、今後の熱中症対策へ活かすことが出来る知見が集まったと考えられる。

## 分担研究者

山田晋平（産業医科大学産業保健学部安全衛生マネジメント学）

黒坂知絵（産業医科大学産業保健学部人間情報科学）

八谷百合子（産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学）

上田陽一（産業医科大学医学部第1生理学）

東敏昭（一般財団法人西日本産業衛生会/産業医科大学名誉教授）

## A. 研究目的

熱中症は労働者に生命の危機をおよぼすこともある病態であり、労働災害防止の観点からも、予防すべき重要な課題の一つである。2018年の夏は猛暑が続き、熱中症の患者数も増加したため、社会的な課題としても注目された。このような状況の下、より効果的な熱中症対策や先進的な熱中症対策の知見を集めるため、平成30年度労災疾病臨床研究事業費補助金により本調査が行われた。今回の調査では、1) 労働現場で行われている熱中症対策の現状調査及び2) 先進的な熱中症対策の抽出を目的にアンケート調査票による調査を行った。

## B. 研究方法

総務省事業所データからランダムに選定し抽出された日本国内の事業所（1460カ所）に、郵送によるアンケート調査を行った。調査期間は、2018年8月～9月末日で、回答者は、事業所内安全衛生担当者とした。質問項目は、作業員に対する熱中症予防対策に関する事項、熱中症リスクの高い作業や作業環境に関する事項、管理体制に関する事項、先進事例・特色ある熱中症対策に関する事項、熱中症対策全般に関する事項であった。

尚、本研究は産業医科大学倫理委員会での承認を得て実施された。

## C. 研究結果

送付先1460事業所のうち287事業所より回答を得た（回答率19.7%）。業種では、製造業が57%と最も多く、建設業、医療福祉業など多業種より回答を得た。各質問項目に対する回答内訳と回答詳細を別添資料1に示す。（参照：別添資料1）

## D. 考察

### 熱中症予防対策に関する事項

「水分補給の励行はしていますか？」の質問に対し、88.15%が「はい」と答え、約9割の事業所において、熱中症対策における水分補給の励行は一般的な指導となっていることが分かる。

「水分補給の励行はしていますか？」の質問に「はい」と回答した事業所の中で、「補水飲料の種類は指導していますか？」の質問に対し、86.56%が「はい」と回答した。水分補給の励行時に、多くの事業所で「補水飲料の種類」も指導していることが分かった。

指導している補水飲料の種類に関しては、38.31%が「スポーツドリンク」を指導しており、23.81%が「経口補水液」を指導していた。経口補水液は、糖分と塩分の割合を調整することにより、腸管での水分吸収の効率を良くしていることから、脱水症状の改善には効果が高いとされている。暑熱環境での脱水改善にも効果が高いと考えられるが、市販のスポーツドリンクに比べて、コストがかかることから、熱中症の症状出現時の緊急対策用として現場に置かれ、特別な使われ方をする場合が多いと考えられた。また16.88%が「水」の補水、12.55%が「お茶」の補水を指導していた。水やお茶のみの飲水が続いた場合は、体内の電解質濃度が低下し、熱中症の一つの病態である「熱けいれん」の発症リスクが高まると考えられる。コスト面の問題等もあり、水やお茶による補水しか出来ない場合もあるであろうと考えられるため、「水」「お茶」による補水が中心にな



る場合は、適度な電解質補給を同時に指導する必要がある。

「補水タイミングは指導していますか？」の問いに対しては、82.61%が「はい」と回答し、補水タイミングも同時に指導している事業所が多かった。タイミングとしては、「作業前」が23.37%、「休憩時」が14.07%、「こまめに」が11.81%であり、「作業後」8.79%、「口渇時」7.29%、「作業者の判断」3.02%、「大量発汗時」0.50%であり、熱中症リスクのある作業現場では、自覚症状を感じる前からの補水が励行されていることが伺えた。また、60分ごとや30分ごとなど時間を決めて定期的な補水を行っているケースも見られた。短時間に大量の発汗を伴う場合や口渇などの自覚症状をあまり感じない場合もあるため、作業前からの補水や定期的な補水が推奨されるが、作業現場でもこの考え方が通例として指導されていた。また、補水時は、一時的な小休憩も伴うことから連続作業による疲労軽減や体温上昇を軽減するためにも、こまめに定期的補水することは熱中症リスクを下げることに繋がると考えられる。

「補水量は指導していますか？」の質問に対しては、43.87%が「はい」と回答した。補水量に関しては、必要量が個人によって異なることや、現場状況によっても必要量が変わってくるなど、一定の指導が難しいことが考えられる。具体的な補水量としては、150～250mlが23.02%、コップ1杯が19.42%であり、作業前や各休憩時において、コップ1杯程度の補水は最低限行うように指導されていると考えられた。

「塩分摂取について指導していますか？」の質問に対しては、85.77%が「はい」と回答した。熱中症予防に塩分摂取が必要であるという知識は、一般に周知されていることが伺われる。実際の塩分摂取の方法としては、塩飴が49.55%と最も多かった。「熱中飴」など、熱中症対策用の飴が市販されていることなど、熱中症対策の一つのツールとして塩分入り

の飴が認識され、現場で広まっていることが考えられる。また、飴は個包装されていることなどから、衛生的にも現場で取り扱いが容易であることなどが考えられる。「電解質の入った飲み物」は15.43%であり、スポーツドリンクや経口補水液で補水を行っている場合は、電解質が含まれているため、特に他の方法による塩分や電解質摂取は行っていない場合も考えられる。「塩タブレット」も14.84%の回答があったが、これも熱中症対策の商品が市販されていることなどから、熱中症対策として事業所が購入し労働者に配布している場合などがあると考えられる。塩タブレットも容易に塩分摂取が出来る方法として、現場に導入しやすい対策用品であると考えられる。

「休憩の励行はしていますか？」に対し83.28%が「はい」と回答した。この中で「休憩のタイミングは指導していますか？」に対しては、81.59%が「はい」と回答した。具体的なタイミングについては、午前1回21.33%、午後1回19.94%であり、午前2回以上、午後2回以上に比べて多く、午前1回、午後1回の休憩が一般的なようであった。「環境温に応じて」は13.02%であり、事業所によっては、WBGT値などを参考に、連続作業の基準を決め、適度な休憩を取るよう作業管理を行っている事例もあった。休憩は、作業による身体負荷を軽減するためにも必要なものであり、定期的な休憩は熱中症予防において必要である。ただし、作業内容や作業場所などの状況によって、休憩が取れず、連続作業が続いてしまうこともある。また、作業者の自己判断に任せて休憩を取るよう指導する場合は、休憩を積極的に取れない場合があると考えられる。その場合は、現場監督者の判断で、管理として強制力を働かせながら休憩時間を確保する必要もあると考えられる。

「休憩場所の指導はしていますか？」に対しては、84.94%が「はい」と回答した。場所としては、「休憩所」「冷房設備のある休憩所」が併せて、52.39%であった。「日陰」は17.78%であり、作業現場の状

況により、休憩所までの移動が困難な場合などもあると考えられるが、日陰での休憩は、熱中症のリスク低減効果はあるものの、冷房設備がない場合は、体温低下の効果が少ないと考えられるため、より効果的な休憩方法が必要となる可能性がある。また、一部の回答に「車内」があった。休憩所が遠い場合などは、自動車の冷房を使用して、車内での休憩を指導している場合があり、各現場において工夫されていた。

「作業者の体調確認は行っていますか？」については、79.79%の事業所が「はい」と回答し、体調確認を行っていた。

「体調確認項目はありますか？」に対しては74.67%の事業所で、確認項目を設けて体調確認をおこなっていることが分かった。（主観的な）体調不良の有無の確認は11.88%であった。もっとも多かったのは、睡眠状況の17.73%で、その他に食事摂取(11.52%)、前日飲酒(10.99%)などの生活状況を確認する項目が見られた。自覚症状についての項目もあり、胃腸症状(下痢)(7.45%)、頭痛(7.45%)、嘔気(吐気)(6.56%)、発熱(5.14%)、風邪症状(3.37%)、めまい(2.48%)などの身体症状を確認する事業所もあることが分かった。現場監督者などが他覚的に顔色(4.79%)を確認して評価をしているという回答もあった。その他、回答に記載のあった項目としては、水分・塩分摂取(1.42%)、倦怠感(1.24%)、疲労状況(1.06%)、筋肉痛(こわばり)(0.89%)、発汗(0.71%)、服薬状況(0.53%)、血圧(0.53%)、立ち眩み(0.35%)、食欲(0.35%)、怪我(0.35%)、悪寒(0.35%)、腰痛(0.35%)、脱水症状(0.18%)、脱力感(0.18%)であった。

「体調確認のタイミングは決めていますか？」の問いに対しては、91.27%が「はい」と回答し、多くの事業所で、確認のタイミングを設定していることが分かった。タイミングとしては、始業前(39.57%)や朝礼時(13.10%)といった、朝のタイミングで体調

確認をおこなっている場合が多かった。また、暑熱作業などを行う前のタイミングで作業前(11.50%)や車両運行前(0.27%)など重要な作業の前に体調確認をおこなっている場合もあった。休憩時(20.05%)も回答が多く、朝のタイミングに加えて、休憩毎に体調確認をおこなっている場合も多いと思われた。作業中(2.41%)、業務中(0.81%)であり、一旦作業が始まると、体調確認は難しい状況もあるものと考えられる。終業時(8.56%)であり、終業時点での体調の確認が行われている現場もあった。

### 熱中症リスクの高い作業について

「貴事業所において熱中症リスクが高いと考えられる作業現場や作業職種の方はありますか？」の問いに、78.05%が「はい」と回答し、多くの事業所で熱中症の高リスク作業が存在し、対策を講じる必要があると考えられた。具体的な作業現場や職種に関する回答は、もっとも多かったのは、屋外作業であり、製造業においても、炉の周辺作業(42例)、熱源付近での作業(31例)に比べ、屋外作業(51例)、炎天下作業(19例)と回答した事業所が多く、屋外作業や炎天下作業が熱中症リスクが高いと認識されていることが分かった。また、運輸卸売業の他、専門技術・サービス業や教育・医療福祉などの業種でも回答されており、製造業や建設業に限らず熱中症予防対策が必要な作業が存在することが伺える。

「作業環境温等の評価をしていますか？」の問いに対しては、80.14%が「はい」と回答し、作業環境の評価が行われていることが分かった。具体的な評価指標としては、WBGT(37.44%)、温度(27.80%)、湿度(20.85%)が多く回答されており、実測値に基づく環境評価が行われていることが分かった。また、天気予報による予測(6.05%)、環境省情報(1.12%)、気象協会熱中症情報(0.45%)など公共に発信される情報を参考にしている例も見られた。

測定頻度としては、連続測定（26.02%）と最も多く、連続測定した上で、適宜測定値を参考にして熱中症予防に役立っている例が多いものと思われた。1日1回（11.79%）や始業前（9.35%）に関しては、1日1回の測定でも、その日の状況を大まかに推測できることから、朝の時点でその日の熱中症リスクを予測して事前に対策を講じている事業所もあると考えられた。

「熱中症リスクの高い現場近くに休憩所は設置されていますか？」に対しては、74.22%が「はい」と回答した。リスクの高い現場の近くに休憩所を設置する努力は各事業所において行われているものの、現場状況などの理由で、近くに休憩所を設置することが困難な場合もあると考えられた。

「空調設備（エアコン）はありますか？」に対しては、96.71%で「はい」と回答があり、ほとんどの休憩所には空調設備があり、体を冷やすことができる環境があることが分かった。エアコンの設定温度に関しては、28℃（22.86%）、26℃（16.43%）、25℃（12.14%）の順に多く、その他（10%）では、現場によって異なる、状況に応じて現場に任せている、といった回答も見られた。

「休憩所に熱中対策の設備があれば具体的に教えてください。」の質問では、冷蔵庫（30.80%）、扇風機（18.44%）、エアコン（14.10% 前述あり）、製氷機（8.89%）、スポットクーラー（7.38%）、冷水器（7.18%）、シャワー（2.82%）、自動販売機（2.60%）、冷凍庫（1.30%）、ミストシャワー（0.87%）の順となった。その他では、かき氷なども対策に使っている事業所も見られた。

「ここ数年のうちに熱中症予防のための設備改善は行われましたか？」に対しては、64.81%が「はい」と答えていた。多くの企業で熱中症対策は進めているものの、設備改善までは行っていない事業所もあると考えられる。具体的な設備改善の内容としては、空調設備の導入（40.70%）が最も多く、扇風機（フ

ァン）の設置（18.25%）、スポットクーラーの設置（15.44%）と続いた。扇風機は、クールファンやジェットファンといった、より効果の高いタイプの扇風機が導入されている例も見られた。設備改善としては、ひさしの設置や、輻射熱防止の壁設置などは見られたが、暑熱環境を改善するための作業場所全体の改善などはほとんど見られなかった。

## 管理体制について

「熱中症防止のために、作業時間の短縮や作業の中止を行うことがありますか？」の質問に対し、「はい」は42.16%であり、作業の短縮や中止までは行わない事業所の方が多かった。「作業中止（短縮）の基準を設けてますか？」の質問に対しては、「はい」は52.89%であり、具体的にはWBGTに応じてが44.16%、気温に応じてが15.58%であり、WBGT値が基準に用いられることが多いことが分かった。

<具体的な WBGT 値や環境温による中止基準の例>

- 天気予報で高温の予測が出ているときは作業時間を2時間→30分、1時間、1時間半に短縮
- WBGT30以上はライン停止または休憩
- 気温が33℃を超えた場合は休憩10分位/時
- WBGT値28℃以上のときは、1時間ごとに10分間休憩
- WBGT30超えの場合、炎天下作業中断又は作業時間短縮（休憩時間を長くする）
- 気温が33℃を超える場合は屋内待機する
- 予想最高気温が35℃を超える場合は室内仕事に移行
- 屋外作業WBGT32以上の場合 30分毎に休憩5～10分/回
- 一部の職場でWBGT31℃以上で作業中止
- 35℃以上で屋内作業に変更
- WBGT値30以上作業中止



- WBGT33℃以上で中止
- WBGT31 以上は休憩をこまめにする
- WBGT が「危険」を示す場合は1時間以上の連続作業を控え、5分程度の休憩をとる
- WBGT31 以上予報で作業責任者が、早出や中止や工事時期の変更（秋以降にする）などを判断
- 緑化作業については WBGT30℃以上の場合中止
- 33℃で注意喚起 35℃で作業制限
- 37℃超時に作業を1時間停止
- WBGT28℃以上の注意喚起、作業60分毎の給水タイム注意喚起
- 温度、湿度、黒球温度などより算出。  
（例）中等度作業、炉前、風を感じない。  
35℃40%→116分 35℃80%→21分
- WBGTにより5段階 30分～120分で休憩15分
- WBGT35℃以上30分以上の作業禁止
- 35℃↑の時は作業見送り（やむを得ない場合除く）
- WBGT34℃以上の場合1時間おきに休憩

これらの、具体的中止基準は、他の事業所で中止基準を作成する際の目安になることが考えられる。

「熱中症発症時の対策はおこなわれていますか？」の質問に対しては、85.02%が「はい」と回答した。

「現場に熱中症対策の救急備品は設置していますか？」に対しては、86.48%が「はい」と回答。備品内容としては、経口補水液（34.36%）、保冷剤（27.49%）、応急セット（13.27%）、氷（4.74%）、スポーツドリンク（4.03%）、水（2.61%）などが挙げられた。経口補水液が緊急時の補液として用いられていることや、熱中症発症時は、補液と身体の冷却が必要であることが周知されていることが伺える。熱中症患者搬送用の担架や身体冷却用に冷却タオル、うちわ、コールドスプレーなどを設置している例も

あった。また、事業所内に診療所がある場合は、医師の駐在時は、すぐに点滴による補液が出来るように、点滴セットを用意している例もあった。熱中症発症時は、早急な治療が必要になってくるため、事業所内の診療所で直ぐに処置が出来れば、熱中症患者の致死率を下げることに貢献できる可能性もあると考えられる。

「熱中症発症時のマニュアルはありますか？」の質問では、60.25%が「はい」と回答した。記載内容としては、初期対応方法（37.07%）、重症度確認方法（11.58%）、緊急連絡先（25.10%）、搬送基準（8.88%）であった。初期対応方法では、身体の冷却方法などを具体的に示す例などもあった。内容は、厚労省のマニュアルを参考にしているとした回答が複数あった他、教育時に説明されているとする回答も複数あった。

「医療機関受診の基準はありますか？」の質問に対しては、73.36%が「はい」と回答した。具体的には、症状がある時（26.30%）、症状が続く時（20.74%）、意識障害がある時（20.37%）、水分摂取不可能な時（12.96%）であった。何らかの症状がある場合は、すぐに医療機関を受診するような基準となっている事例の他、しばらく経過を見て状況が改善しない場合に医療機関を受診するような基準になっている事例などの違いが見られた。Ⅰ度又はⅡ度の熱中症で症状が改善しない場合。Ⅲ度熱中症の場合（救急搬送）など現場で重症度を判断した上で受診を検討する例もあった。また、事業所内に医師または保健師（看護師）などの医療スタッフがある場合は、何らかの症状があった場合は、すぐに専門スタッフに連絡し、医療専門スタッフが医療機関受診の要否を判断するとしている事業所も複数みられた。

「熱中症予防対策の教育は行っていますか？」の問いに対し、80.49%が「はい」と回答した。

「教育のタイミングは？」の質問に対しては、年1回が29.33%で最も多く、時期として、6月(13.78%)、5月(10.26%)、7月(8.50%)、8月(4.11%)の順に多かった。また、月1回(5.87%)、年2回(4.11%)、年3回(2.05%)と複数回実施している例も見られた。

「教育方法を具体的に教えてください」の質問に対しては、講習会(講演会・研修会)(28.41%)が最も多く、管理者からの伝達(18.11%)、チラシ(ポスター・パンフレット等)(19.22%)、安全衛生委員会(11.70%)、メール(5.85%)、e-ラーニング(2.51%)の回答が得られた。講演会、研修会などでは、一定の時間を費やし講師から直接話を聞くことで、教育効果は高いと考えられるが、チラシ、ポスター、メール等は啓蒙活動としては効果があると考えられるが、どの程度本人に伝わるかは受け取りかた次第となってしまう。管理者からの伝達では、管理者の伝えかたや技量によることも多く質が担保されない。E-ラーニングは、一定の教育効果があると考えられるが、コストがかかるなどの問題があると考えられる。より効率的な教育方法は今後も検討が必要であると考えられる。

「教育内容を具体的に教えてください。」という質問では、予防方法(34.82%)、対応方法(30.19%)、熱中症の症状(19.73%)などの内容が盛り込まれているようであった。

「文書化された熱中症マニュアル(対策指針)はありますか？」の質問に対しては、32.75%が「はい」と回答した。策定レベルは、全社レベル(46.39%)、事業所レベル(32.99%)、事業所レベル(32.99%)、部署部門レベル(12.37%)、現場レベル(4.12%)であった。文書化されたマニュアルを策定している事業所は、全体の3割程度に留まり、策定レベルとしては全社レベルが多いことから、全社的な対応マニュアル(対策指針)を策定している企業では、全

社的な取り組みとして熱中症対策が行われていることが伺われた。

「熱中症対策備品は導入していますか？」の質問に対しては、62.37%が「はい」と回答した。使用経験のある対策備品では、空調服(107例)、クールベスト(70例)、ネッククーラー(77)、冷却スプレー(57)、瞬間冷却剤(8)、ミストシャワー(37)、スポットクーラー(18)、ミスト扇風機(ミストファン)(6)、クーレット(7)の回答が複数回答として挙げられた。その他の少数回答の中にも、有用な情報が含まれていることから、別添資料1を参照されたい。

「特に、効果的だと感じる対策用品があれば教えてください」の質問に対しては、空調服が37.50%で最も多く、次いで、クールベスト(9.72%)、ミストシャワー(5.56%)、クーレット(4.86%)、スポットクーラー(4.17%)、ミスト扇風機(ミストファン)(0.69%)、冷却スプレー(3.47%)、瞬間冷却剤(1.39%)であった。あくまで個人の意見や安全担当者の主観的な見解であるが、空調服やクールベスト、クーレットといった体幹の温度上昇を抑制するための対策用品は一定の効果があるものと考えられる。

「これまで実施した熱中症対策で効果があったと感じた対策」については、多くの回答が寄せられ、大きく分類すると、

- 作業環境管理(空調等の設備改善、対策機器の導入等)
- 服(空調服、クールベスト)
- 休憩・水分補給
- 確認、声かけ
- 環境管理(WBGT、温度管理)
- 教育

に分類された。その他では、校内放送での呼びかけ強化や熱中症グッズにおいても有効とする回答もあった。これは、あくまで主観的感想であり、現場状況によっても有効性や使用利便性が異なってくると

思われるが、この回答の中からヒントを得ることはできるため、別添の結果資料はとても大切であると考えられる。

「熱中症対策を行う上で、困っていることがあれば教えて下さい。」の質問に対しては、

- 省エネ・環境問題
- 本人・自覚の問題
- 費用・予算・コストの問題
- 作業との兼ね合い・中止できない
- 個人要因・個別対応
- 判断の難しさ

に大きく分類される回答がみられた。

その他では、「熱中症」の定義があいまい、制限以上の飲み物を持っていかれる、経口補水液が入手困難であったなどの回答も見られた。

「今後、導入を検討している（導入したい）熱中症対策があれば教えて下さい」の質問に対しては、

- 空調、スポットクーラー（17件）
- ウェアラブルセンサー（IoT 機器）（15件）
- 空調服（9件）
- WBGT 測定による対策（5件）

といった回答があり、予算が許せば、空調設備の増設や空調服などを導入したいという意見が伺えた。

また、ウェアラブルセンサー（IoT 機器）に関して、効果は未知数であるものの、先進的な対策として注目を受けていることもあり、今後の導入を検討している企業があることが分かった。

「今後、熱中症対策を行う上で、必要な情報や必要とされる公的機関の支援などあれば教えて下さい。」の質問に対しては、熱中症対策を実施する際の、費用面での補助を求める意見や、効果的な予防方法や教育内容の情報資料を求める意見が見られた。また、コンサルタント派遣や熱中症対策に対する法的な措置など、さらに踏み込んだ対策を求める意見も見られた。少数意見にも、参考になる回答が多くあり、別添資料1に回答詳細を示した。

## D. 結論

猛暑により熱中症が社会的な問題になったこともあり、多くの事業所で熱中症対策が行われ、休憩や水分・塩分の補給、日頃からの体調管理、熱中症予防に関する教育などの対策が通常の安全衛生活動として行われている現状が把握できた。また、設備改善や熱中症対策用品の導入など積極的な対策が行われている現状が把握できた。一方で、補水量や补水タイミング、休憩（作業中止）タイミングなどは、各事業所で取り組みに差異があり、今後、具体的な方策が示される必要があると考えられた。また、空調服などの熱中症対策用品については、主観的に有効であるとする事業所が多かったが、今後、効果の検証や導入法の検討が必要であると考えられる。また、予防対策を行う上での経済的補助や必要な情報提供、対策をより促進させるための法整備などの必要性も示唆された。

## F. 健康危険情報

なし

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

- ・ 丸山崇、山田晋平、黒坂知絵、八谷百合子、上田陽一、東敏昭「企業における熱中症対策の現状と先進事例」健康管理：第67巻8号 p2-10 2020年

### 2. 学会発表

- ・ 丸山崇、山田晋平、黒坂知絵、八谷百合子、上田陽一、東敏昭  
企業における熱中症対策の現状と先進事例調査 第92回日本産業衛生学会、名古屋国際会議場（2019年5月）
- ・ Takashi Maruyama, Current and advanced measures against heat stroke in Japanese

workplaces. (oral&poster) The 29th China  
Korea Japan Conference on Occupational  
Health(2019年4月22～23日、中国南京市)

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

---

## 熱中症予防対策におけるウェアラブルセンサー（IoT 機器）活用に関する調査

研究代表者： 丸山 崇 産業医科大学 医学部 第1生理学 准教授

### 研究要旨：

近年、インターネット技術やセンサー技術の進歩もあり、ウェアラブルセンサーにより生体指標や環境指標を計測し、そのデータを元に、熱中症の危険性を推定し早期に警告を出すシステムなどが開発されている。このようなInternet of Things(IoT)技術を利用した先進的な熱中症対策は、メディアでも取り上げられ注目を集めており、実際に労働現場で使用されていることが知られている。しかし、その使用実態やこれらの技術がどの程度効果的な対策となりうるか、検証は不十分である。今回、我々は「熱中症予防対策におけるウェアラブルセンサー（IoT機器）活用の実態を調査する」ことを目的に本研究を実施した。

本年度、当研究事業で実施した、「労働現場における熱中症対策の実際及び先進事例の調査」による調査票を用いたアンケート調査において、「IoT機器（ウェアラブルセンサーやスマートフォンなど）を利用した熱中症予防システムを導入していますか？」の質問を行い、実際に労働現場において、熱中症対策にIoT機器（ウェアラブルセンサー）が使用されている事例を抽出した。その中で、10件（3.48%）の使用報告があり、この中で、7件（4製品）がウェアラブルセンサーによって生体指標を計測し、体調変化などの予測を元に熱中症対策に応用している事例であった。

これらIoT機器（ウェアラブルセンサー）導入実績のある事業所を訪問し、導入効果や課題についてヒアリング調査を行った。導入効果としては、導入現場では、熱中症症例は発生しなかった、予防行動に繋がった、個人毎の対策を立てやすくなった、効果的な休憩方法が見つかったなどの現場の声が聞かれ、一定の効果があったことが伺えた。また、通信が切れることがあった、アラームが多く鳴ることがあり、作業途中で対応できないことがあった、受信端末を持つ必要があり不便である、などの意見もあり課題も残る現場が把握できた。また、ウェアラブルセンサーの導入にあたり、費用対効果の面でこれ以上の導入が困難と考えている例も多くあった。現状では、暑熱環境で熱中症リスクの高い職場や個人毎に暑熱暴露量が異なり熱中症リスク評価が難しい作業現場などに限定した形で、優先的に導入する事例が多かった。今後は、価格面で低コスト化が進めば更に普及すると考えられる。

さらに、実際に労働現場において導入実績のある4製品について、開発業者へ調査を行った。予測に使われる生体指標としては、心拍パルス情報、加速度による体動の情報、衣服内や環境の温度情報などであり、各開発事業者において予測ロジックを開発し、本人や管理者への通知システムを構築していた。各開発事業者とも熱中症警告アラームを鳴らすロジックや通信システム等は、現状にとどまらず、常に改良を重ねており、年々、その精度や使いやすさは向上していた。今後、更なる機器改良が行われ、利便性に優れ、精度の高いIoT機器やシステムが構築されれば、労働現場での熱中症予防に繋がることが期待出来ると考えられた。



## 分担研究者

山田晋平（産業医科大学産業保健学部安全衛生マネジメント学）

黒坂知絵（産業医科大学産業保健学部人間情報科学）

八谷百合子（産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学）

上田陽一（産業医科大学医学部第1生理学）

東敏昭（一般財団法人西日本産業衛生会/産業医科大学名誉教授）

## A. 研究の背景および目的

熱中症は暑熱環境において労働などの身体活動を行うことにより、脱水や電解質の喪失、深部体温の上昇などの身体影響が引き起こされ、時に生命の危機に至ることもある病態である。暑熱環境の作業現場では、日々の体調管理、作業前の体調確認、飲水の励行、電解質の摂取、適切な休憩等の熱中症予防対策が行われてきたが、熱中症による労働災害は完全には防ぐことが出来ていない。近年、インターネット通信技術の発展やセンサー技術の発展に伴い、Internet of Things(IoT)技術を用いて、体調変化を推測し、熱中症予防に応用する機器の開発が進んできている。本年度の当事業で実施した調査研究、「労働現場における熱中症対策の実際及び先進事例の調査」による調査票を用いたアンケート調査においても、「IoT機器（ウェアラブルセンサーやスマートフォンなど）を利用した熱中症予防システムを導入していますか？」の問いに対し、「はい」と回答した事業所が10件（3.48%）あった。現場導入実績のある、この10件に対しヒアリング調査および製品調査を行い、現場で熱中症防止や体調不良の検出のために用いられているIoT機器やそのシステムの詳細、現場運用しての効果、運用にあたっての問題点等を抽出した。

## B. 研究方法

### a.調査票による調査

「労働現場における熱中症対策の実際及び先進事例の調査」による調査票において、「IoT機器（ウェアラブルセンサーやスマートフォンなど）を利用した熱中症予防システムを導入していますか？」に「はい」と回答した10事業所に対し、電話でのヒアリングを行った。また、その中で承諾の得られた事業所に対して、現場訪問し、安全衛生担当者やシステム導入の担当者に直接ヒアリング調査を行なった。さらに、生体情報をもとにした熱中症予防システムと考えられる機器に関しては、開発および販売を行う販売元の担当者に製品詳細をヒアリングし、所定のフォーマットに記入回答を依頼した。

### b.IoT機器導入事業所への現場調査

IoT機器（ウェアラブルセンサー）を熱中症対策に使用していると回答した事業所の中で、生体指標を用いた熱中症予防システムを導入している事業所に依頼し、承諾が得られた5事業所に訪問し、実際の機器の詳細や使用現場、使用しての感想等のヒアリングを実施した。

### c.ウェアラブルセンサー開発企業に対するインタビュー及び調査票調査

調査票調査において、現場での使用実績のある、生体指標を用いたウェアラブルセンサー（IoT機器）を開発・販売している企業に対し、ヒアリング調査及び調査票による調査を行った。

内容は、製品概要に加え、b.IoT機器導入事業所への現場調査で確認できた、使用実績を含め、調査票を完成させた。

## C. 研究結果

### a.調査票によるIoT機器（ウェアラブルセンサー）事例の抽出

「労働現場における熱中症対策の実際及び先進事例の調査」による調査票において、「IoT機器（ウェアラブルセンサーやスマートフォンなど）を利用した

熱中症予防システムを導入していますか？」に「はい」と回答した事業所は10件であった。この10件の業種は、7件が製造業、2件が建設業、1件が学術研究であった。

この中で、心拍パルス情報や加速度による身体活動などの生体情報をセンシングし体調変化や熱中症に関するリスク評価を行い、熱中症予防システムを構築している事例が7件あり、製品としては4製品が報告された。また、2件はWBGT等の環境状態を持続計測し、作業者に伝えることで熱中症予防行動を促すシステムであった。1件は、スマートフォンやメールを使用した安否確認システムを用いて、熱中症予防対策をおこなうシステムであった。

「IoT機器の使用場所は決めていますか？」の問いに対しては、

- ・空調設備の無い部屋
- ・屋外作業で使用
- ・土木現場2現場、建築2現場で試験的に導入
- ・屋外土木作業のみ
- ・製鋼暑熱職場で使用

の回答が見られた。

現場への導入にあたっては、部署を限定し、試験的に導入している事業所が多く、暑熱環境で熱中症リスクが高いと考えられる作業現場に優先的に導入されている状況であった。

「システム導入による効果はありましたか？」の問いに対しては、

- ・熱中症の予兆を検出できた。
- ・熱中症に対する各職員の意識向上につながった。
- ・常に現場および管理部門で状況がわかるため、必要時に現場への情報発信ができた。
- ・アラームにより、作業を中止することが出来た。
- ・WBGT値を指標に、注意することが出来た。

という、一定の導入効果がみられたという回答が得られた。

また、

- ・データが取得できることが確認できた。
- ・効果を検証中。
- ・実運用に向けてデータ取得を続けている。

という回答もあり、現状では試行段階であり、熱中症予防に効果的な使用が出来るかどうかは、今後の運用やデータ利用に期待している状況が伺えた。

「運用にあたっての問題点はありましたか？」の問いに対しては、

- ・もっとスマートで簡易な装置開発が必要
- ・熱中症リスクの判断としてはデータ解析等最適化する必要がある。
- ・費用対効果が悪い。
- ・アラーム多発。違検出。

という回答があった。装着のし易さなどを含めて、装置自体の問題や導入コストの問題、データ解析や熱中症リスク評価に基づくアラートの出し方の問題などが存在することが把握出来た。

<別添資料1 調査結果参照>

## b.IoT機器導入事業所への現場調査

IoT機器を熱中症予防や暑熱環境での体調管理に使用した実績のある5事業所（製造業4事業所、建設業1事業所）の現場訪問及び現場担当者へのヒアリング調査を行った。

### ①導入経緯について

- ・本社でIoT機器の導入が決まり、社内で実施事業所に選定された。
- ・前年に熱中症が複数発生し、熱中症対策が急務であったところ、新聞紙でIoT機器を使った熱中症予防の記事を見て、安全衛生担当者がメーカーに連絡を取った。
- ・安全衛生担当者が興味を持ち、複数製品の情報を集めた上で導入機器を選定した。
- ・センサー機器メーカーと共同開発を行いながら、現場実装を進めている。

## ②導入にあたっての現場の状況、現場からの意見

- ・使用方法を使用する社員に伝えるため、安全担当者が機器に習熟する必要があった。
- ・現場社員に説明会を開く必要があった。（説明は機器メーカーが担当してくれた。）
- ・暑熱環境で機器が破損するのではないかと不安があった。
- ・ほとんどの現場社員は、抵抗感なく受け入れてくれた。

## ③導入後の現場の状況、現場からの意見

（導入効果）

- ・これまで熱中症が発生していた現場で、IoT機器導入後は熱中症が発生していない。
- ・これまではきつくても時間になるまで休憩が取れなかった、アラーム警告が鳴った場合には休憩をとる必要があるため、休憩を取りやすい。
- ・効果的な休憩の取り方が分かった。（休憩時間をしっかり取ると、その後の警告が少なくなるなど）
- ・同じ暑熱作業現場でも、個人ごとの体調が異なるため、個人ごとの対策が出来るのが非常に良い。
- ・事務所内でも、現場の状況が分かるため、暑熱環境で作業する作業者の状況を理解しやすい。
- ・作業現場ごとの特徴が分かり、今後の対策を立てやすい。
- ・個人ごとに自分のデータを見直すことで、自覚的な体調変化を客観的に見て、休憩時間などを自分で調整しやすくなった。
- ・アラームは1現場で1日10件程度で、対応も確実に出来た。

（問題点）

- ・スマートホンなど受信端末を持つ必要があり、不便である。（既に会社から支給された電話（PHS）を一台携帯しているところに、もう一台持つ必要がある。）
- ・通信が切れることがある。
- ・アラームが多くなることもあり、作業途中で対応

できないことがある。

- ・センサー接触部分にアレルギー反応が起こる社員がいた。
- ・汗が多い場合は破損の危険性があるのでは無いかと不安になる。（実際に破損事例は無かった。）
- ・トイレに座る際などに誤動作が見られた。
- ・充電時にデバイスが熱を持つ。

## ④改善が期待される場所

- ・アラーム警告の精度の向上
- ・位置情報などの機能追加
- ・受信端末を軽量化または不要にする
- ・環境温度（WBGTなど）センサーやガスセンサーなども搭載して欲しい。

## ⑤その他、現場からの意見

- ・データ取得の意味でも、数年間は継続して使用したい。
- ・熱中症対策の意識向上のためにも導入効果はある。
- ・効果的な休憩方法などの熱中症対策を発見できる可能性がある。
- ・個人が自分のデータを見直すだけでも効果がある。
- ・シャツ型の場合は、多くの交換用シャツを渡す必要がある。
- ・熱中症リスクの非常に高い作業現場は、作業時間の短縮など、これまでに既に多くの対策が行われており、IoT機器を新たに使う意義は少ない。新たな作業現場、熱中症リスクが予想できない現場、一人作業が多い現場などでの使用に意義があると考えられる。
- ・多くの作業者に付けてもらいたいが、現状では費用が捻出出来ない。

## c.ウェアラブルセンサー開発企業に対するインタビュー及び調査票調査

「労働現場における熱中症対策の実践及び先進事例の調査」による調査票において抽出された、生体指標をセンシングする、現場導入の実績があるウェアラブルセンサー開発企業に対するインタビュー及び調査票調査

アラブルセンサー（IoT機器）は4機種であり、各メーカーへの調査によって別添資料2のウェアラブルセンサー（IoT機器）製品概要が作成された。

#### D. 考察

「労働現場における熱中症対策の実際及び先進事例の調査」による調査票において、IoT機器（ウェアラブルセンサーやスマートフォンなど）の利用経験のある事業所は10件であり、全体から見ると3.48%高い割合ではなく、まだまだ試行段階であると考えられる。しかし、導入に興味を持つ事業所は存在し、今後の広がりには期待できる。予測に使われる生体指標としては、心拍パルス情報、加速度による体動の情報、衣服内や環境の温度情報などであり、各開発事業者において予測ロジックを開発し、本人や管理者への通知システムを構築していた。

導入実績があった事業所の調査で聞かれた導入効果は、「IoT機器を導入した現場では熱中症が発生しなかった」ということである。これが、IoT機器による本当の効果であるか否かは今後の検討が必要であるが、データを本人がフィードバックして予防行動の促進に繋がるなど、総合的な作用によって熱中症が未然に防がれた可能性はある。今後の課題としては、アラーム警告の精度向上やスマートフォンなど受信端末の簡素化が大きな要点であると考えられる。また、導入にあたっては、費用の捻出も大きな課題であると考えられた。

#### E. 結論

ウェアラブルセンサー（IoT機器）を熱中症予防に用いる取り組みは、既に一部の事業所で実用され、一定の成果を上げていることが分かった。一方で、未だ発展段階であり、機器の簡易化、体調変化の予測精度向上などの課題を残している実情が把握できた。

#### F. 健康危険情報

なし

#### G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

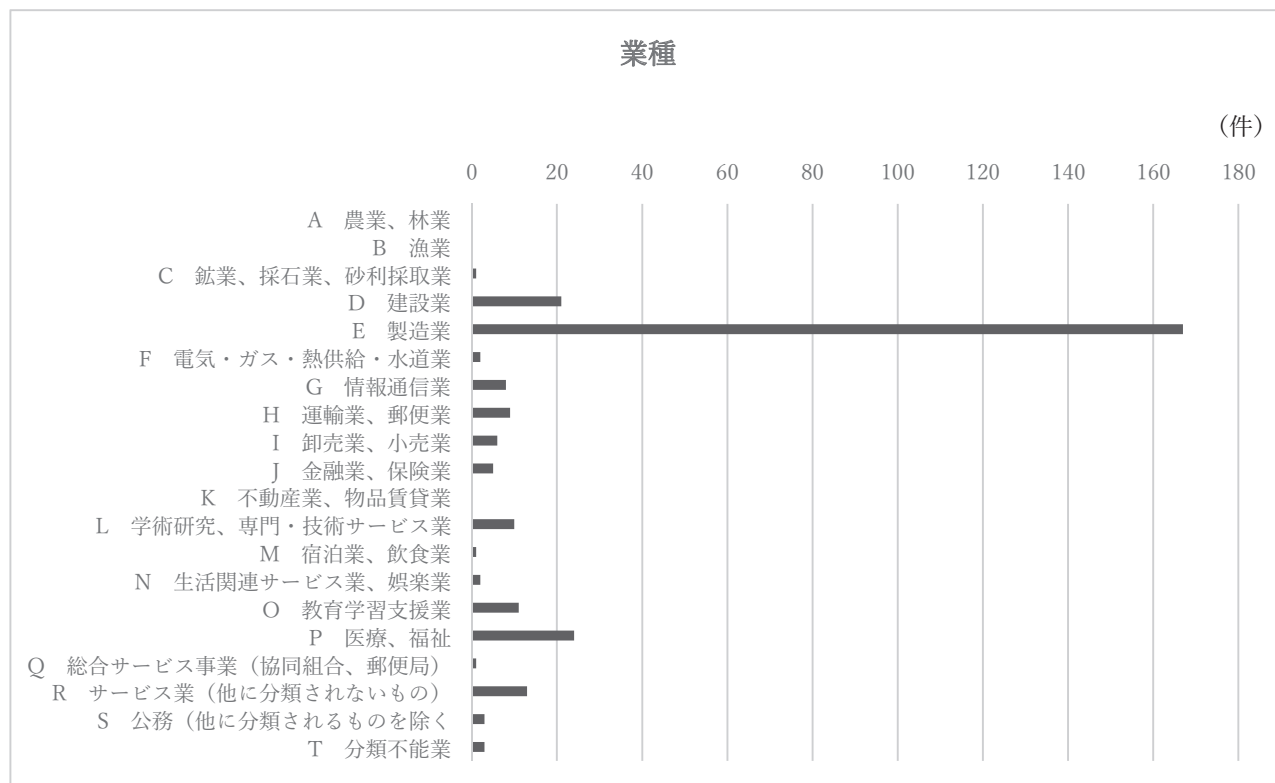
企業における熱中症対策の現状と先進事例調査[調査結果]

調査票回収件数:287 事業所(送付先 1460 事業所)

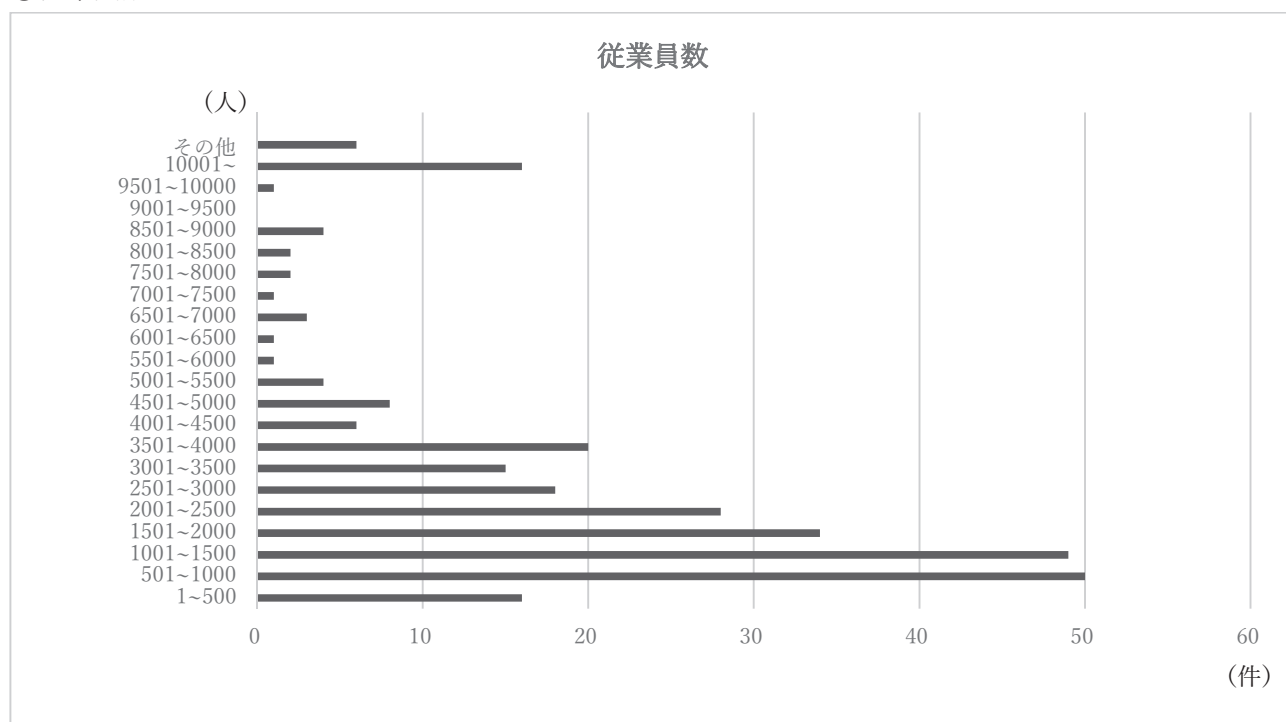
回答率:19.7%

回答企業属性:

①業種



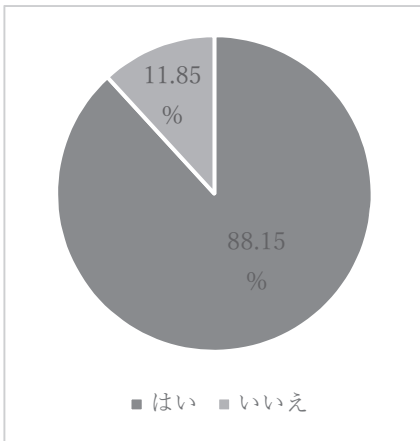
②従業員数



1 水分補給の励行はしていますか？

(はい) 253

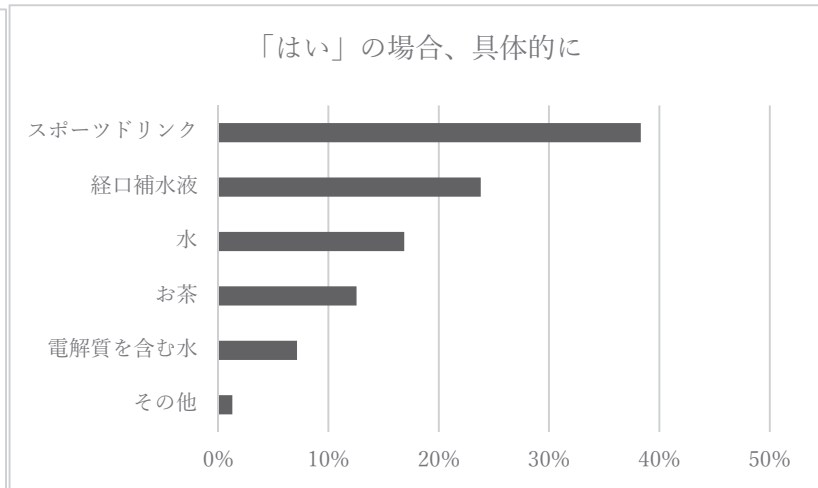
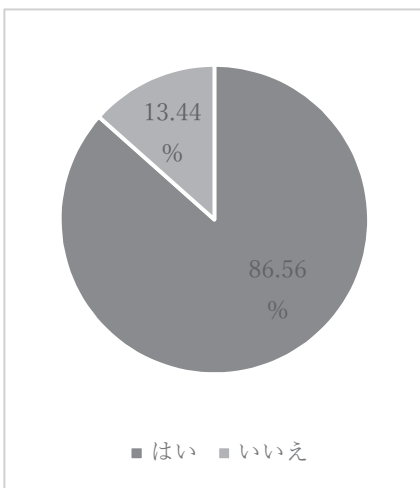
(いいえ) 34



1-1 補水飲料の種類は指導していますか？

(はい) 219

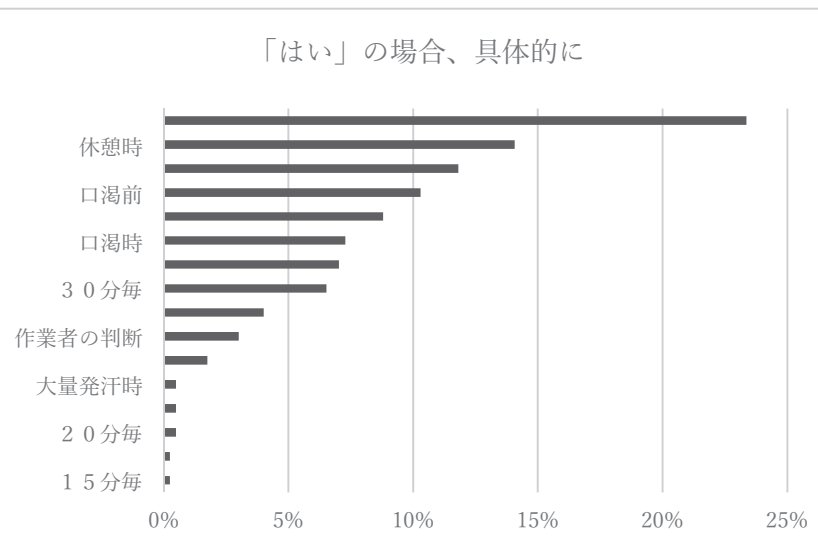
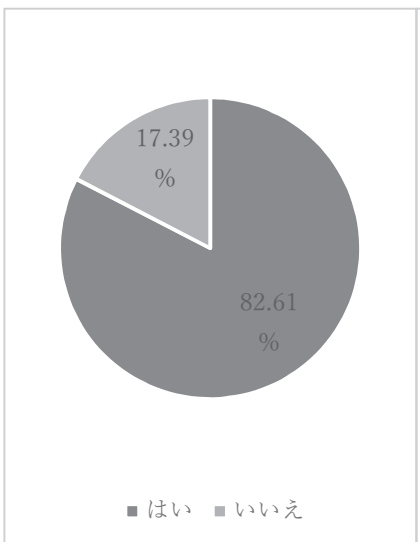
(いいえ) 34



1-2 補水タイミングは指導していますか？

(はい) 209

(いいえ) 44

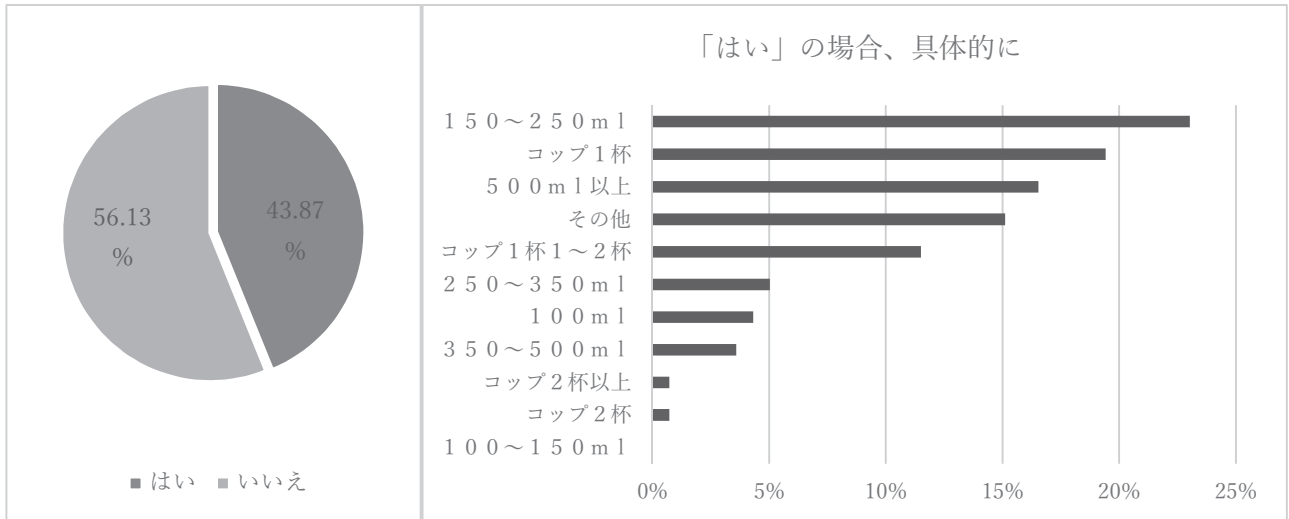




1-3 補水量は指導していますか？

(はい) 111

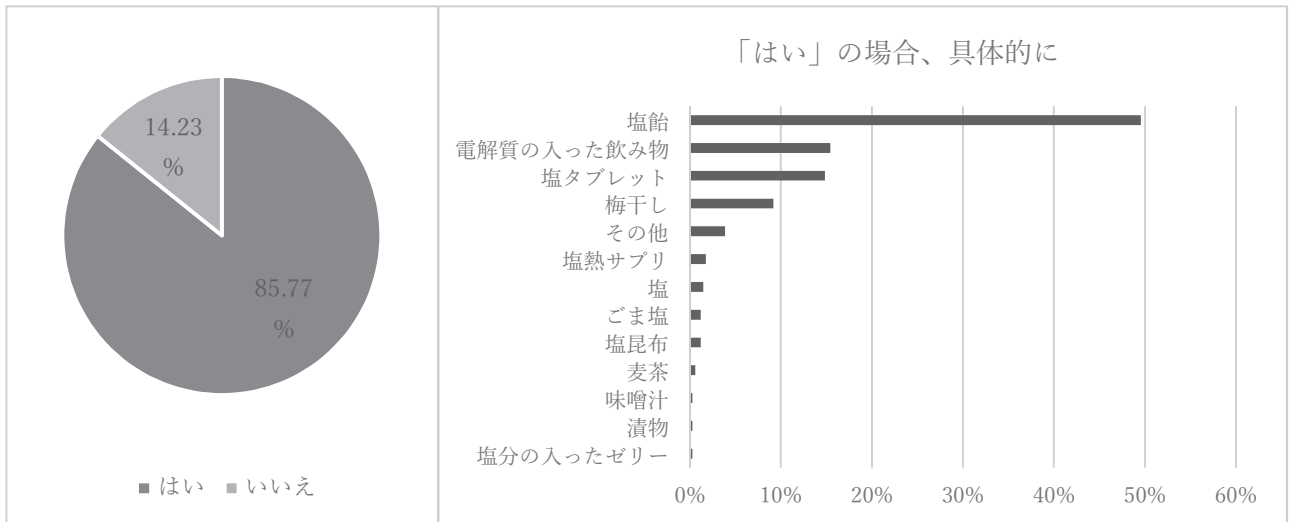
(いいえ) 142



1-4 塩分摂取について指導していますか？

(はい) 217

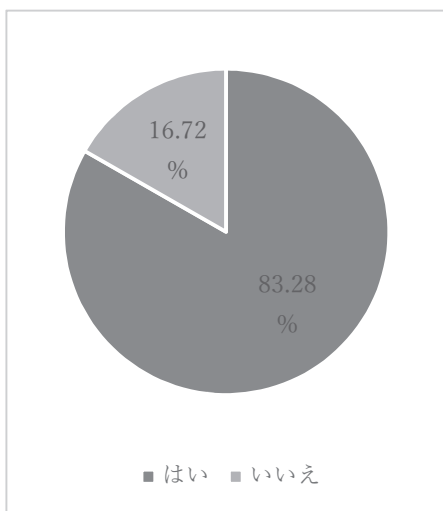
(いいえ) 36



2 休憩の励行はしていますか？

(はい) 239

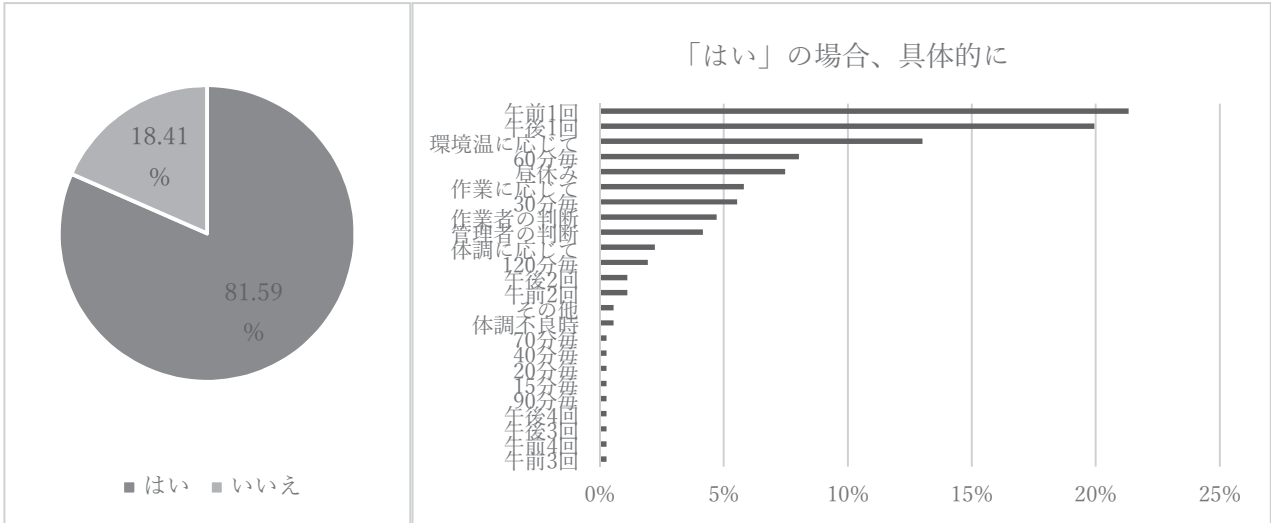
(いいえ) 48



2-1 休憩のタイミングは指導していますか？

(はい) 195

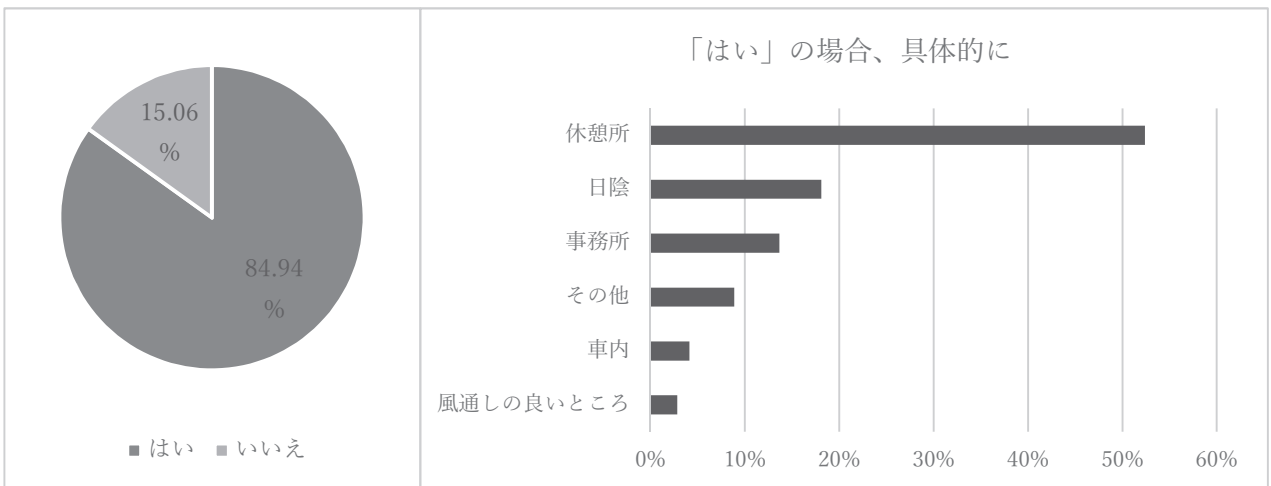
(いいえ) 44



2-2 休憩場所は指導していますか？

(はい) 203

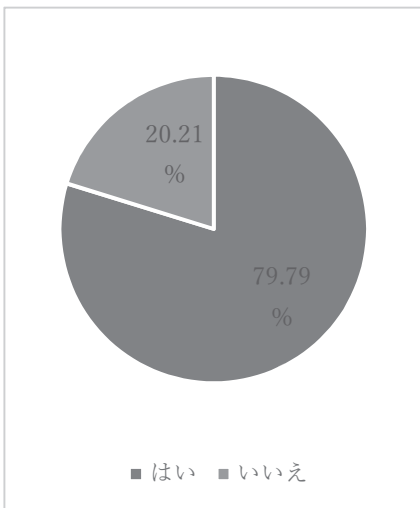
(いいえ) 36



3 作業者の体調確認は行っていますか？

(はい) 229

(いいえ) 58

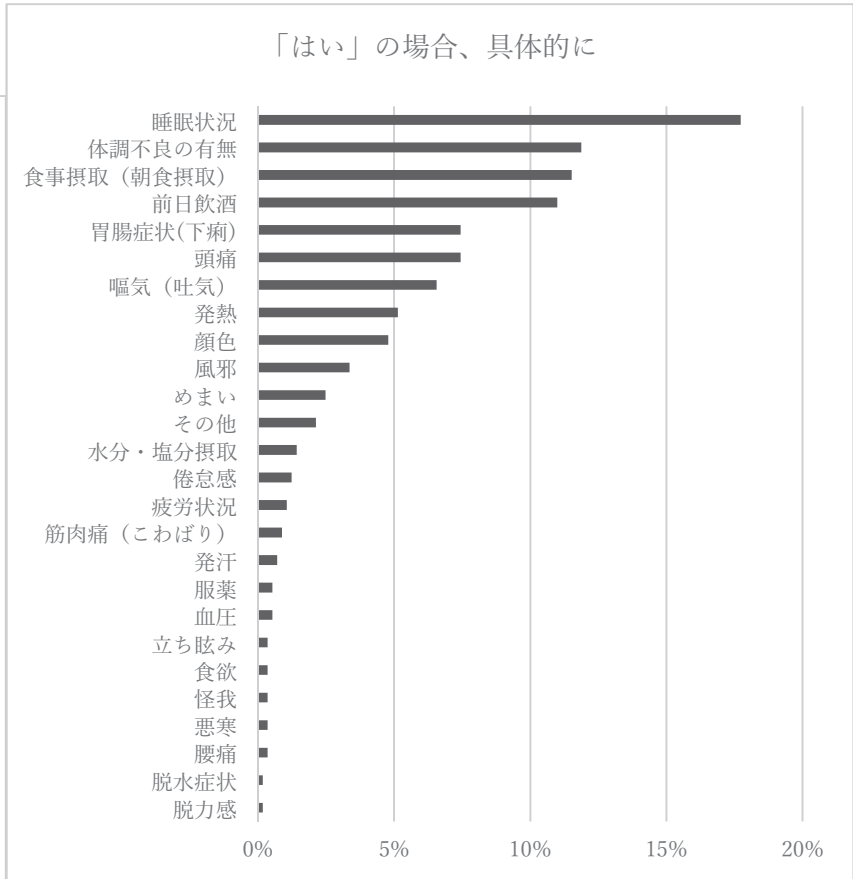
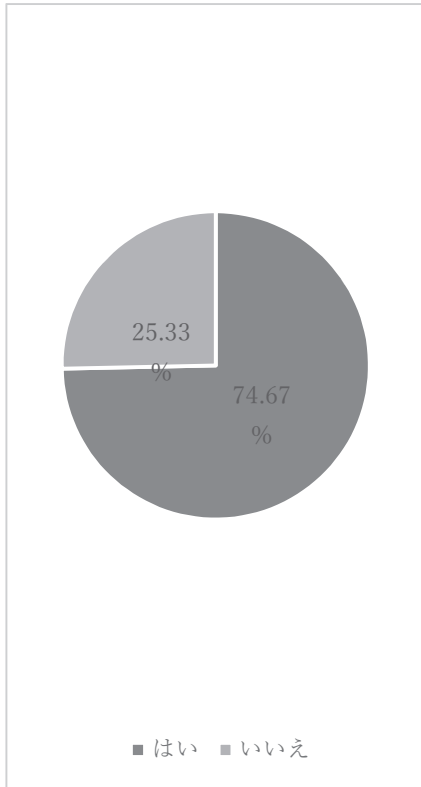




3-1 体調確認項目はありますか？

(はい) 171

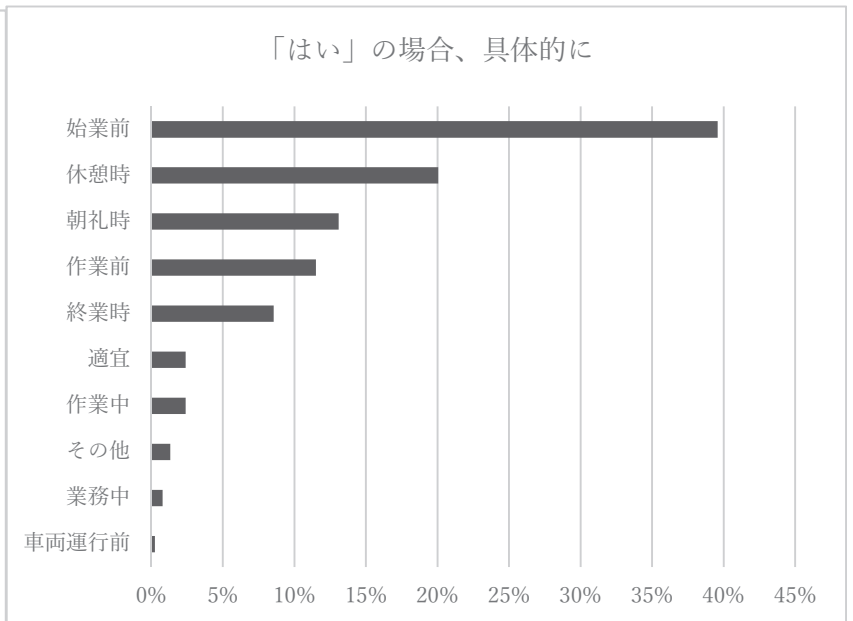
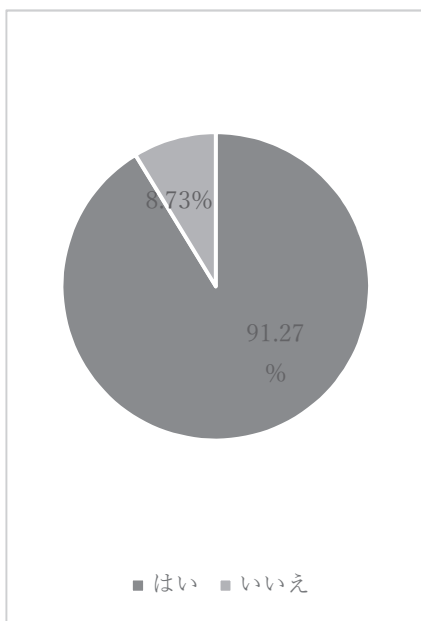
(いいえ) 58



3-2 体調確認のタイミングは決めていますか？

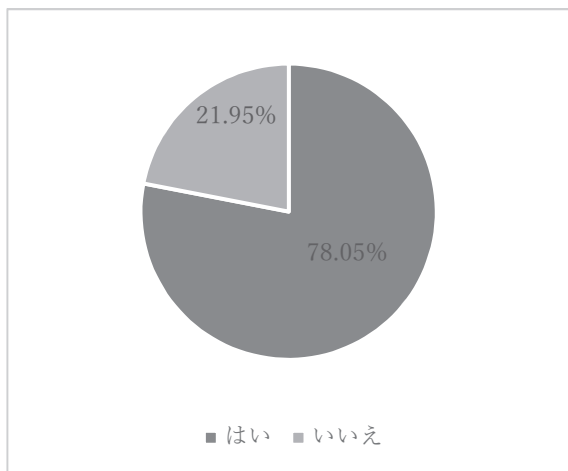
(はい) 209

(いいえ) 20



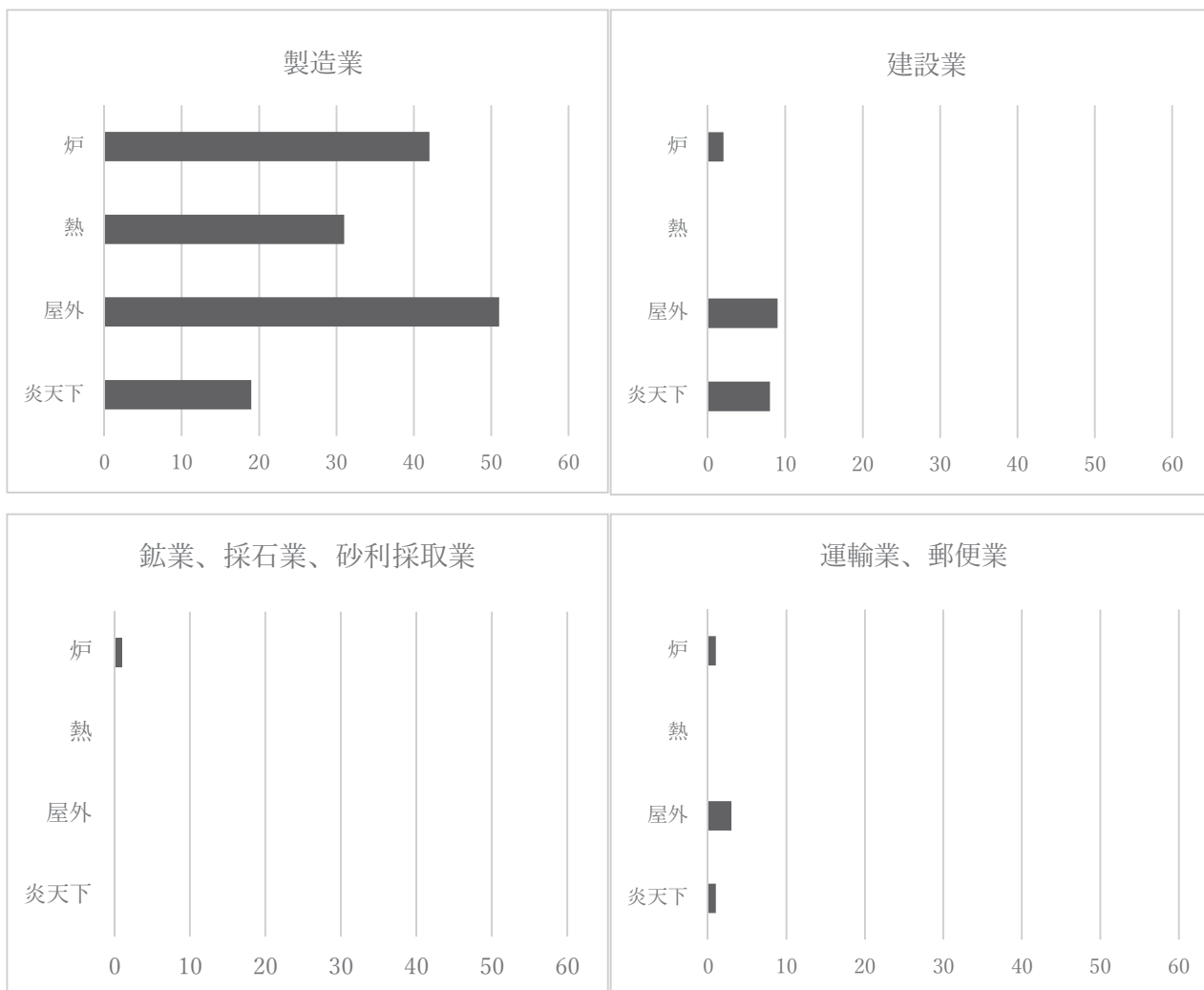
4 貴事業場において熱中症リスクが高いと考えられる作業現場や作業職種の方はいますか？

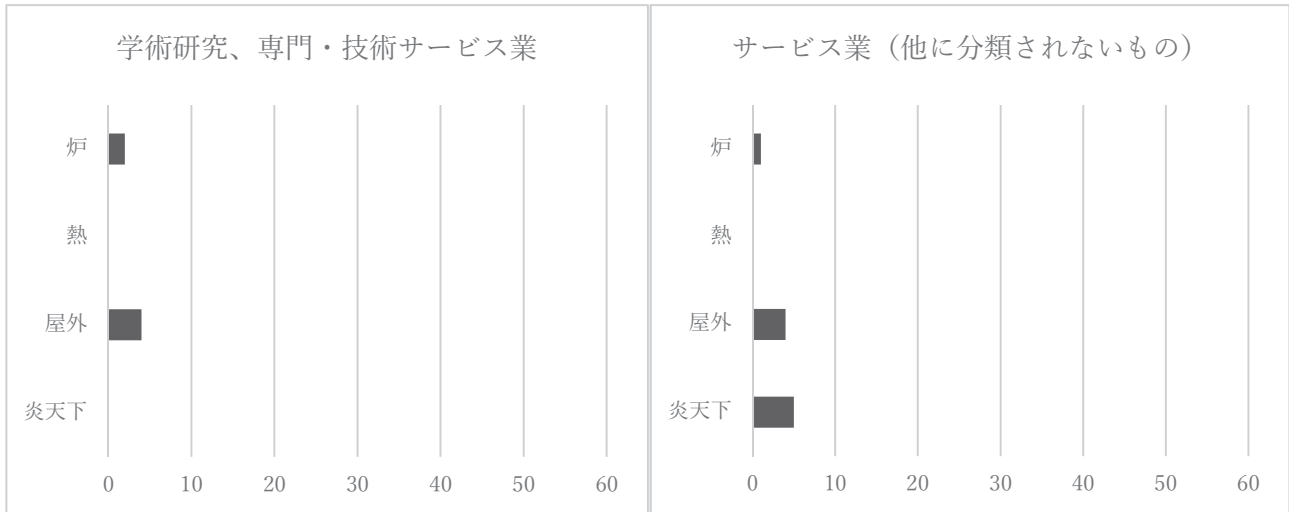
(はい) 224 (いいえ) 63



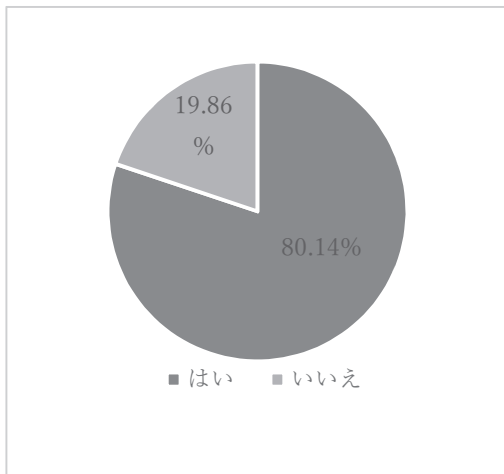
4-1 具体的に、リスクの高い作業現場や職種を全てご記入下さい。

\*回答内容は、高炉作業（炉）・熱処理作業（熱）・屋外での作業（屋外）・炎天下での作業（炎天下）の4つに大きく分類された。

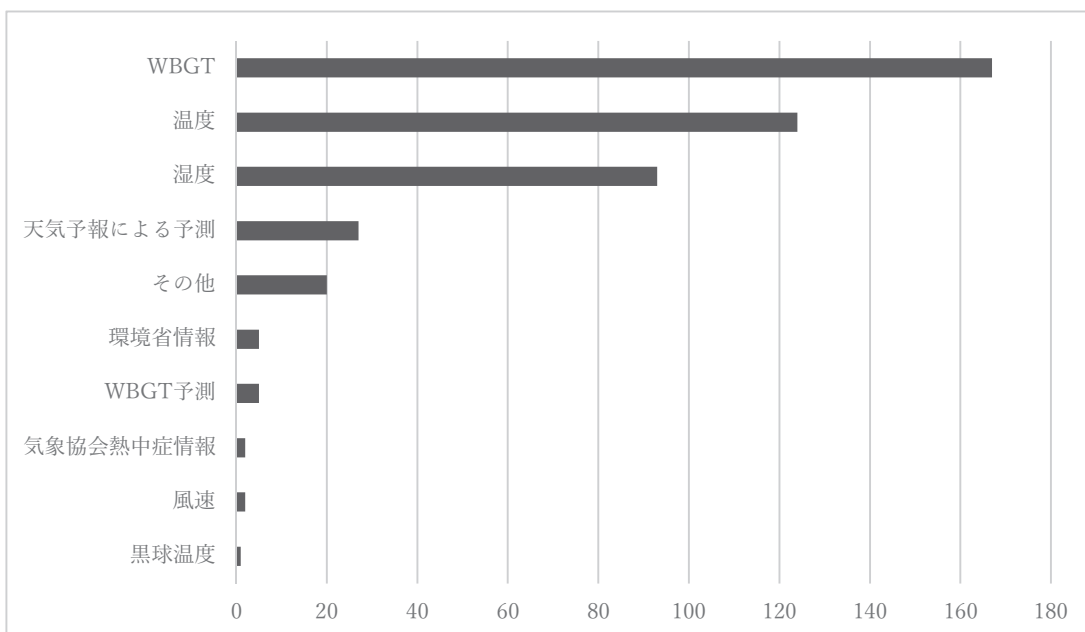




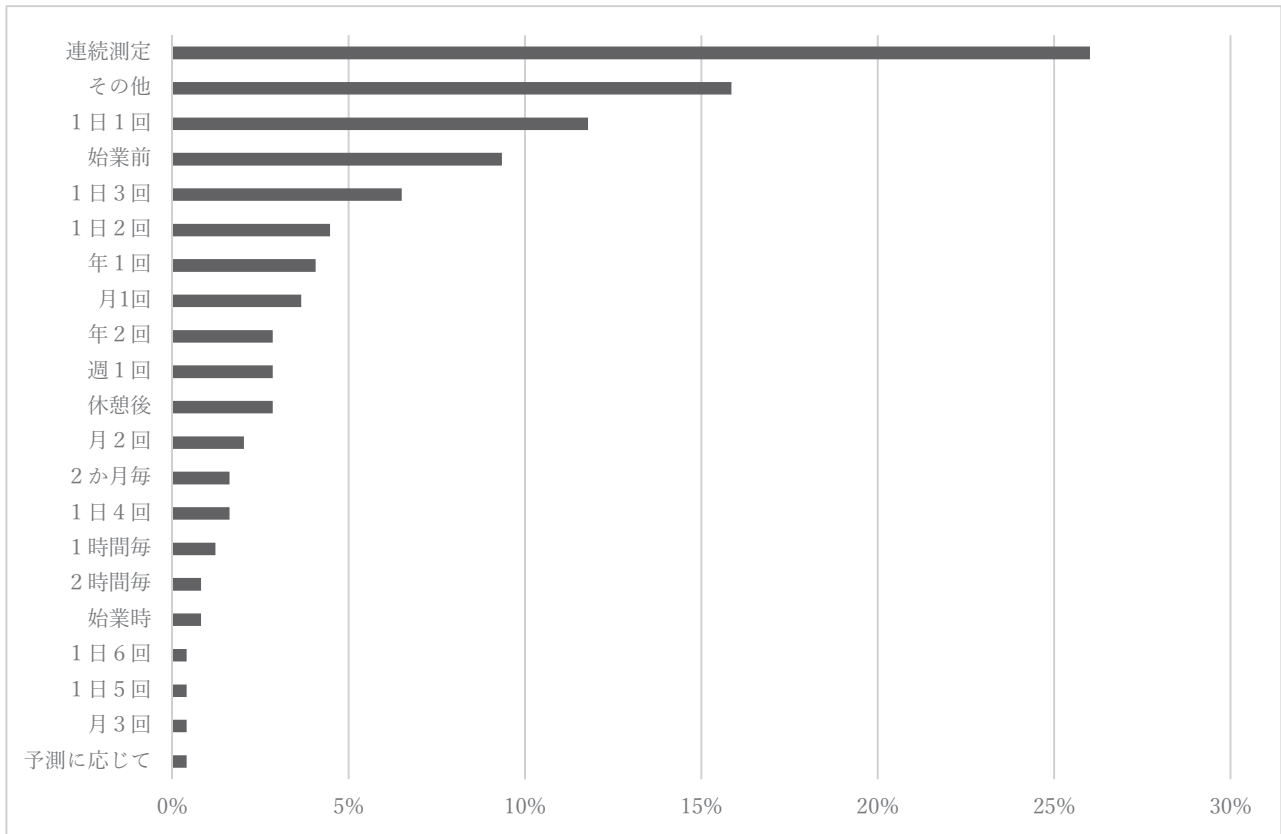
5 作業環境温等の評価をしていますか？ (はい) 230 (いいえ) 57



5-1 具体的な評価指数は何ですか？

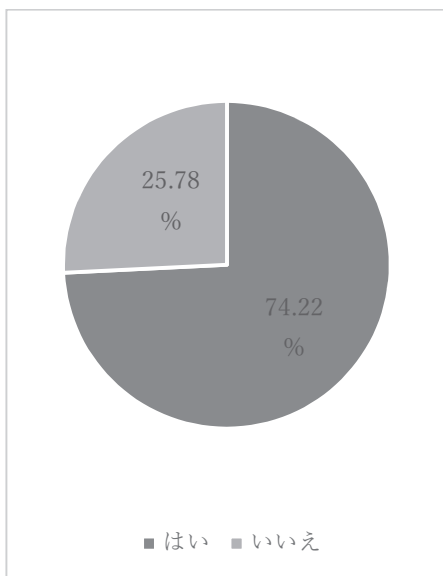


5-2 測定頻度は？



6 熱中症リスクの高い現場近くに休憩所は設置されていますか？

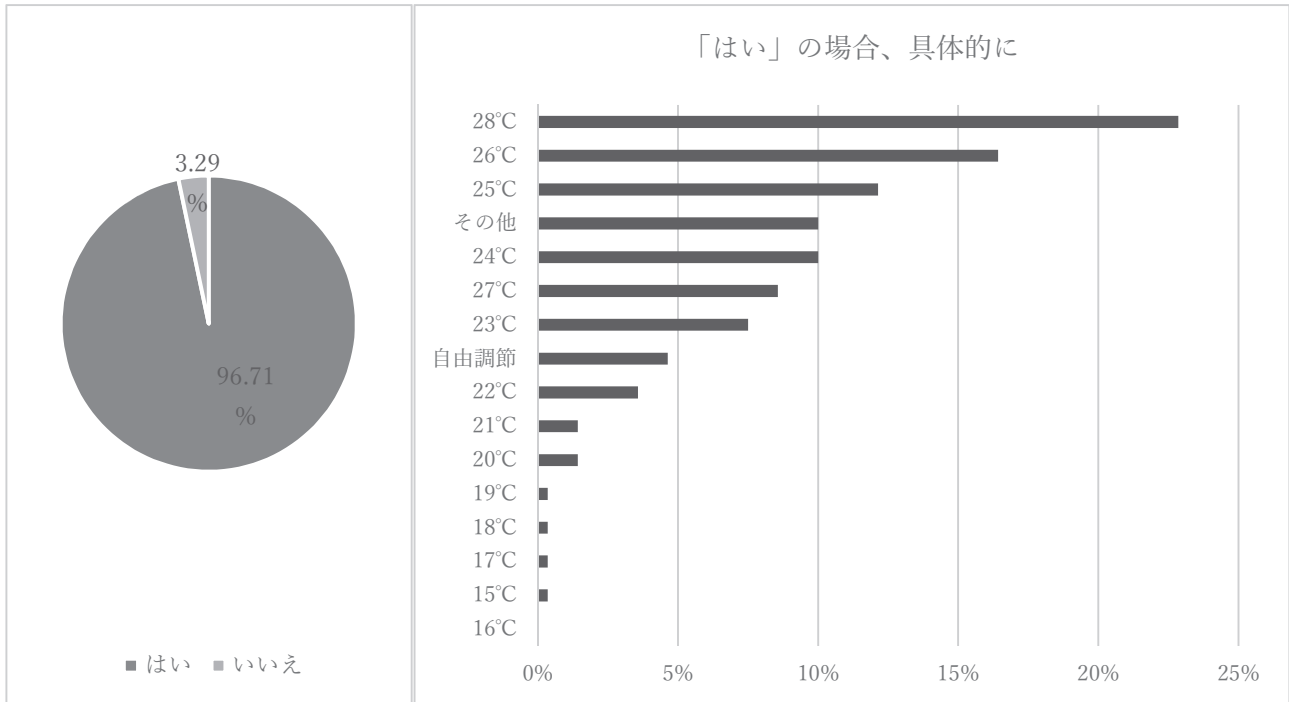
(はい) 213 (いいえ) 74



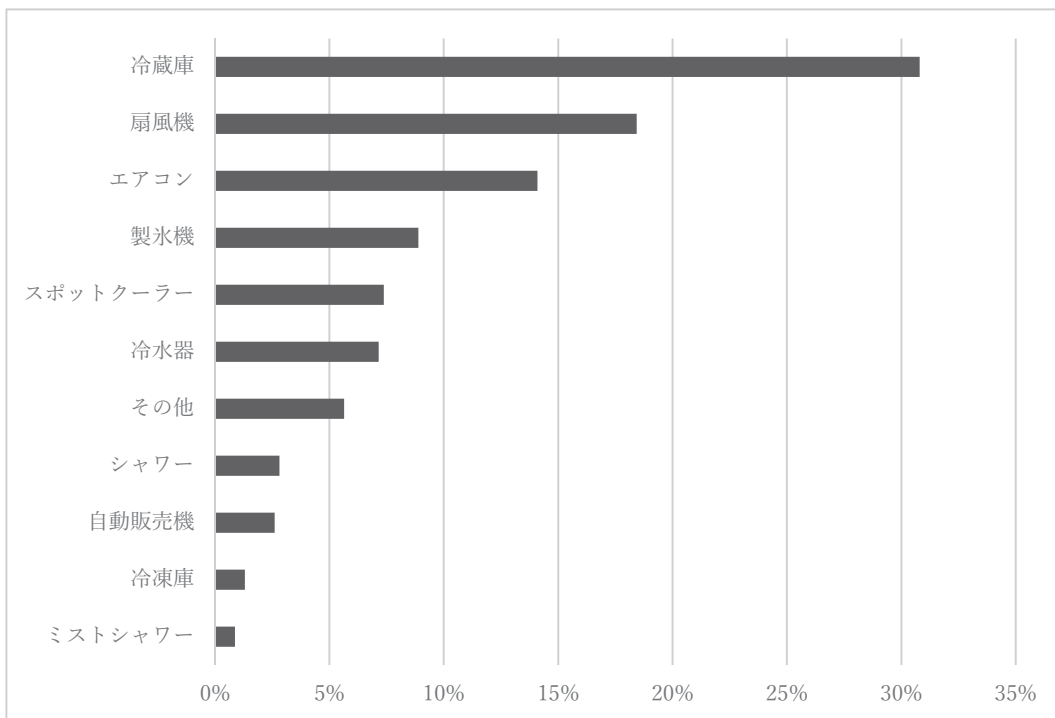
6-1 空調設備（エアコン）はありますか？

（はい）206

（いいえ）7

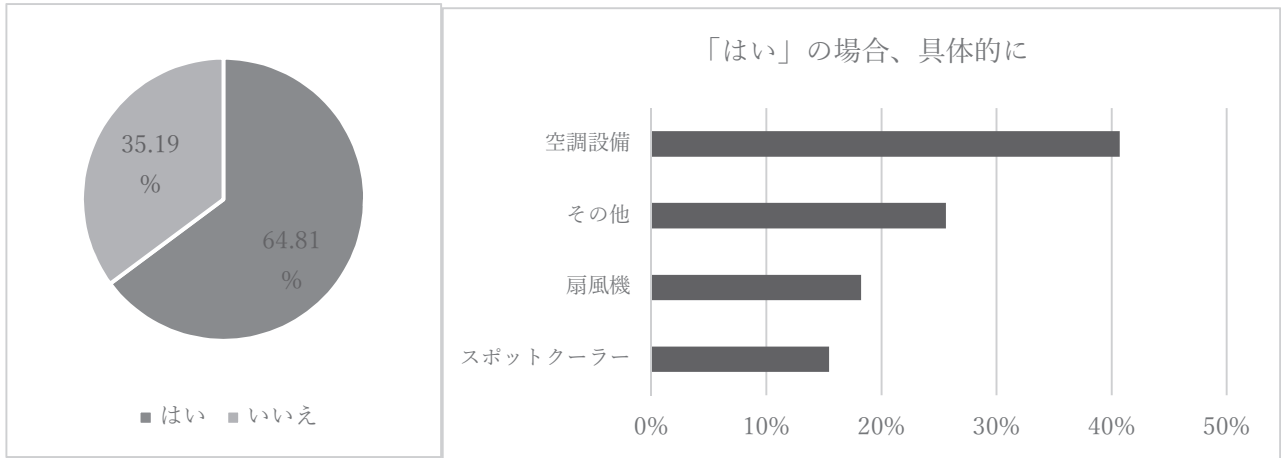


6-2 休憩所に熱中症対策の設備があれば具体的に教えてください。



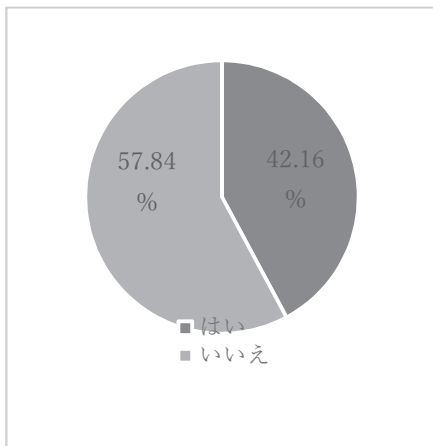
7 ここ数年のうちに、熱中症予防のための設備改善が行われましたか？

(はい) 186 (いいえ) 101



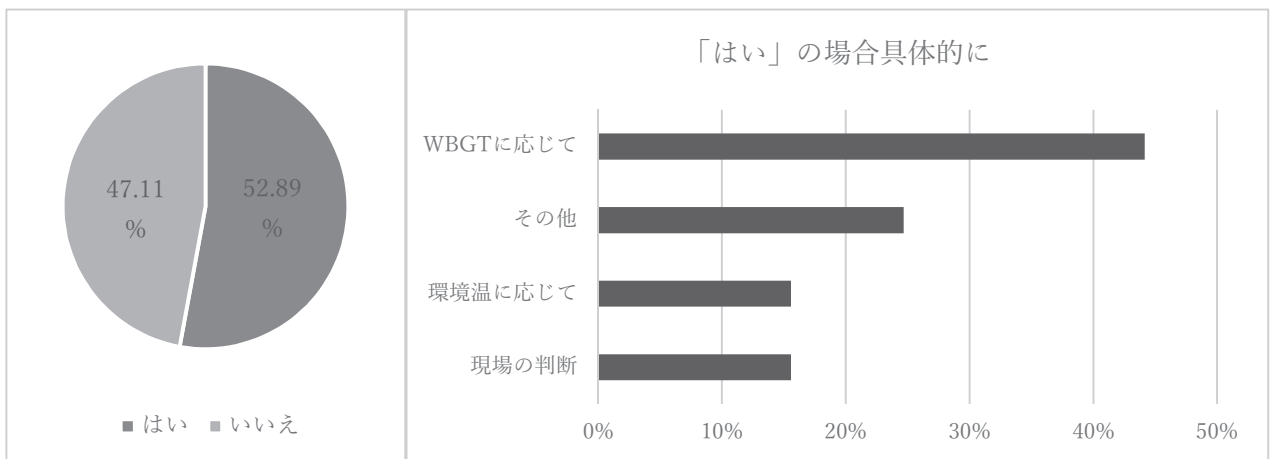
8 熱中症防止のために、作業時間の短縮や作業中止の処置を行うことがありますか？

(はい) 121 (いいえ) 166



8-1 作業中止（短縮）基準を設けていますか？

(はい) 64 (いいえ) 57

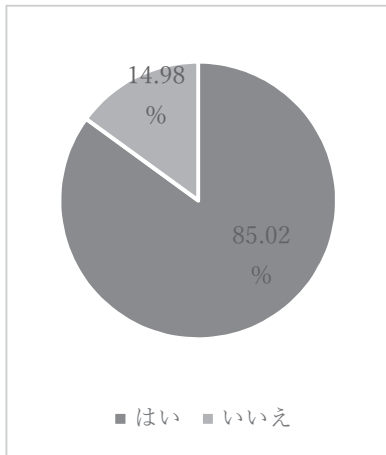


9

熱中症発症時の対策は行われていますか？

(はい) 244

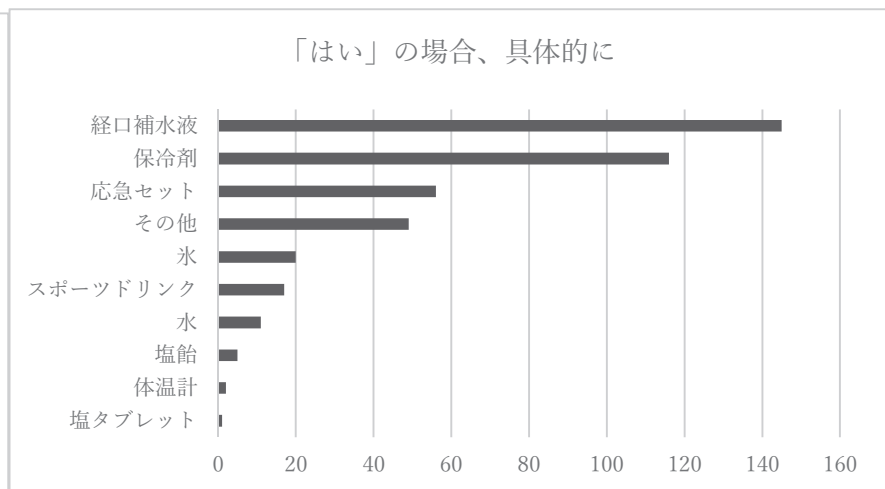
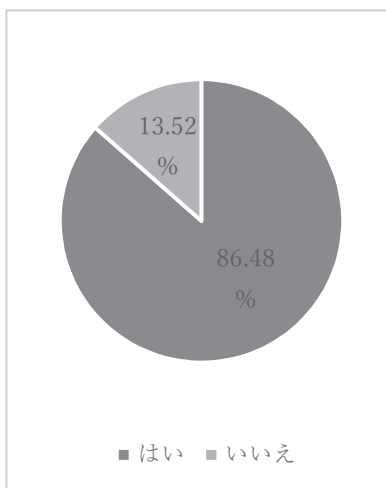
(いいえ) 43



9-1 現場に熱中症対策の救急備品は設置していますか？

(はい) 211

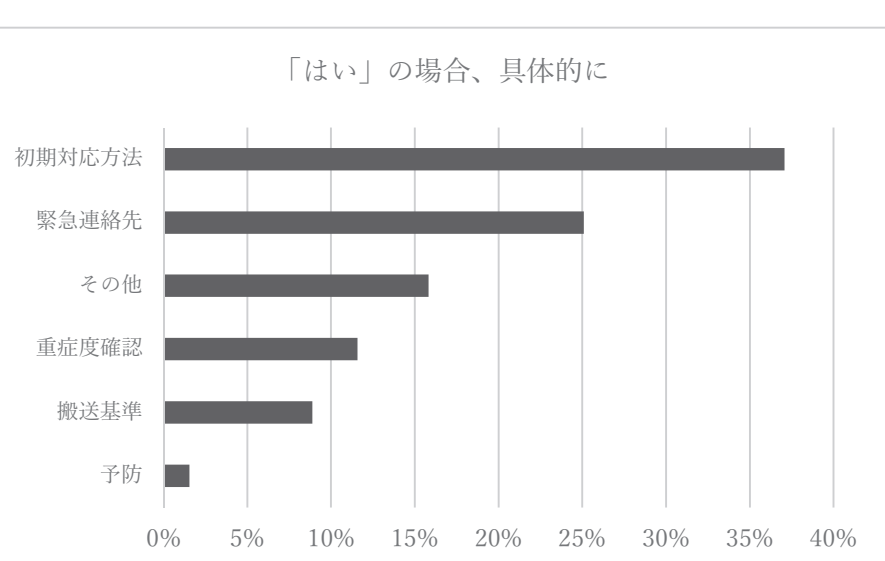
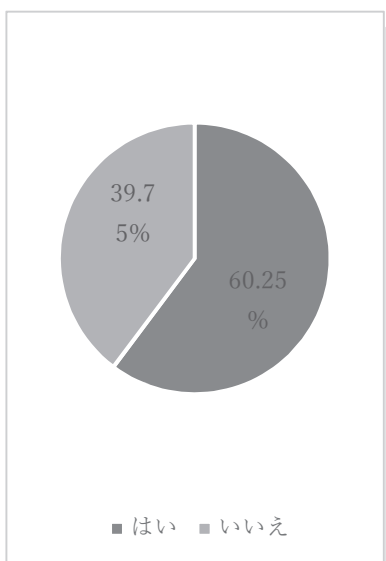
(いいえ) 33



9-2 熱中症発症時マニュアルはありますか？

(はい) 147

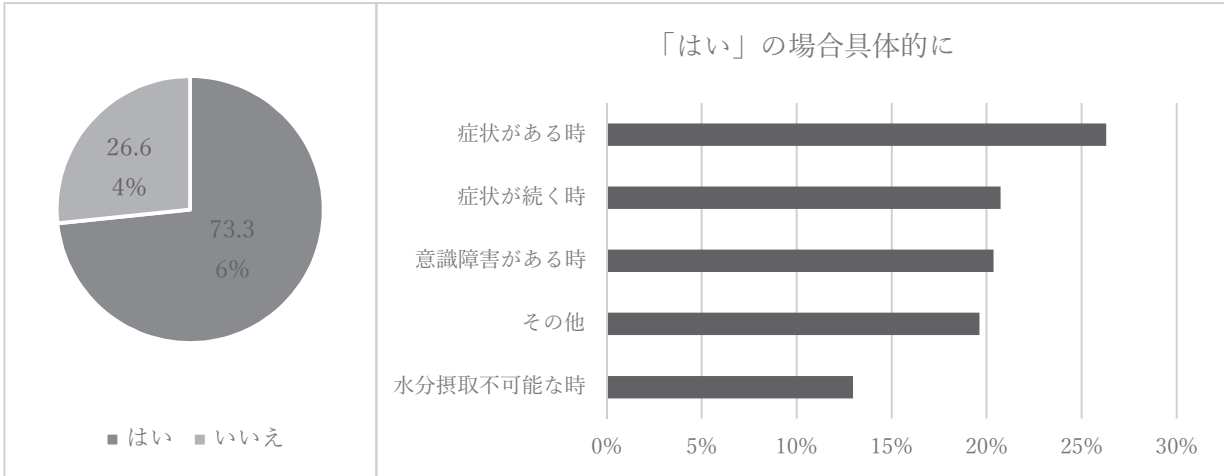
(いいえ) 97



9-3 医療機関受診の基準はありますか？

(はい) 179

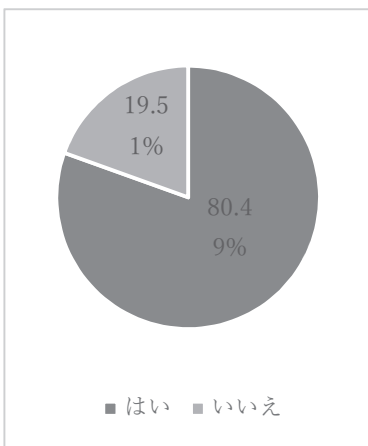
(いいえ) 65



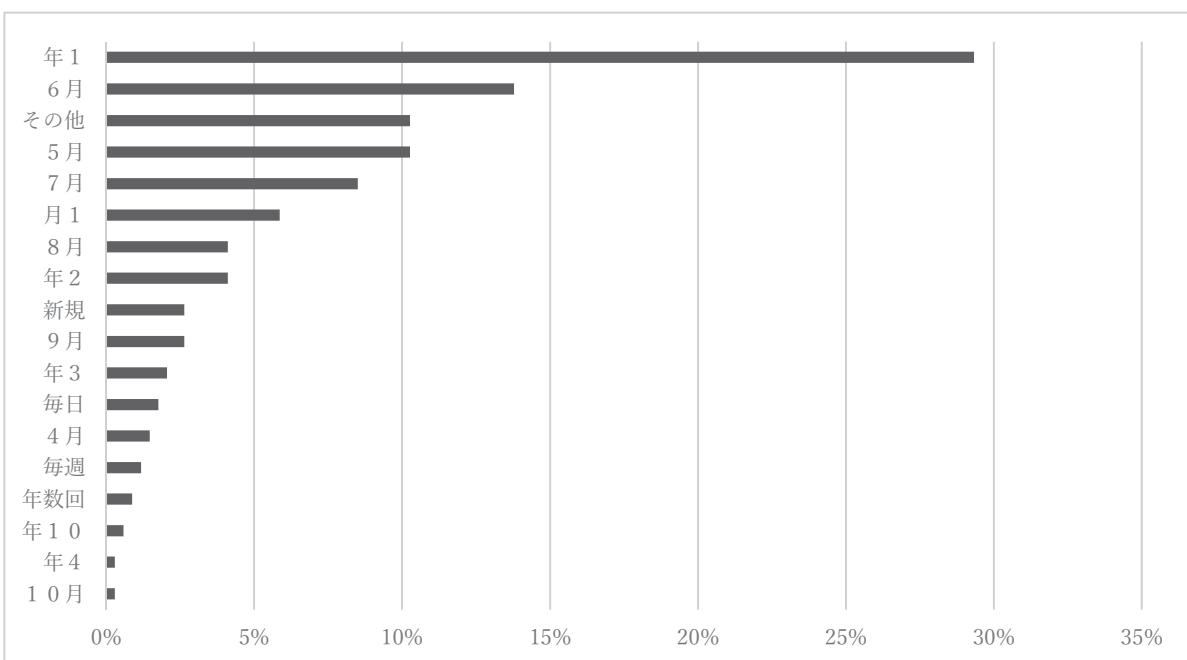
10 熱中症予防対策の教育は行っていますか？

(はい) 231

(いいえ) 56

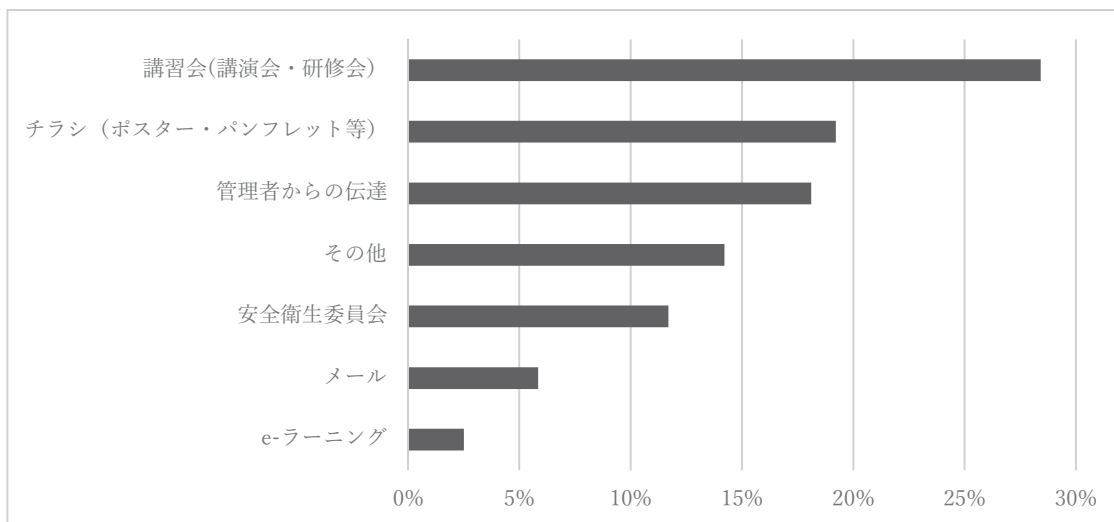


10-1 教育のタイミングは？

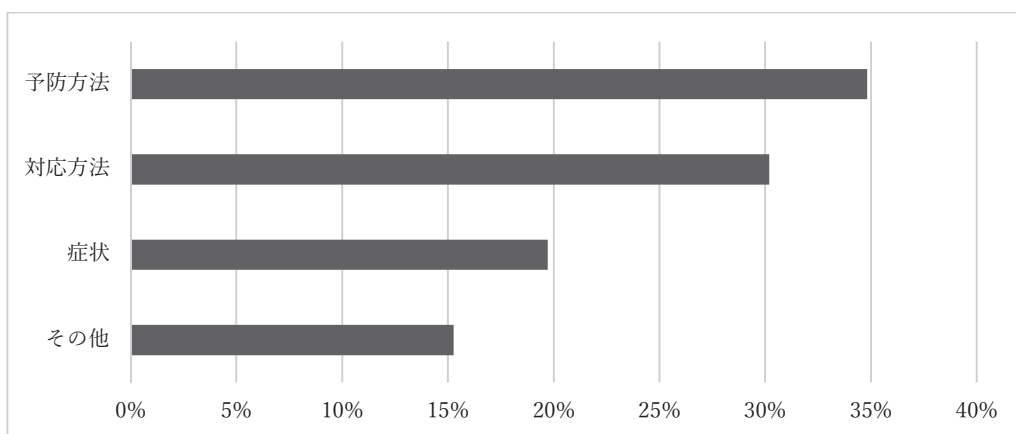




10-2 教育方法を具体的に教えてください。

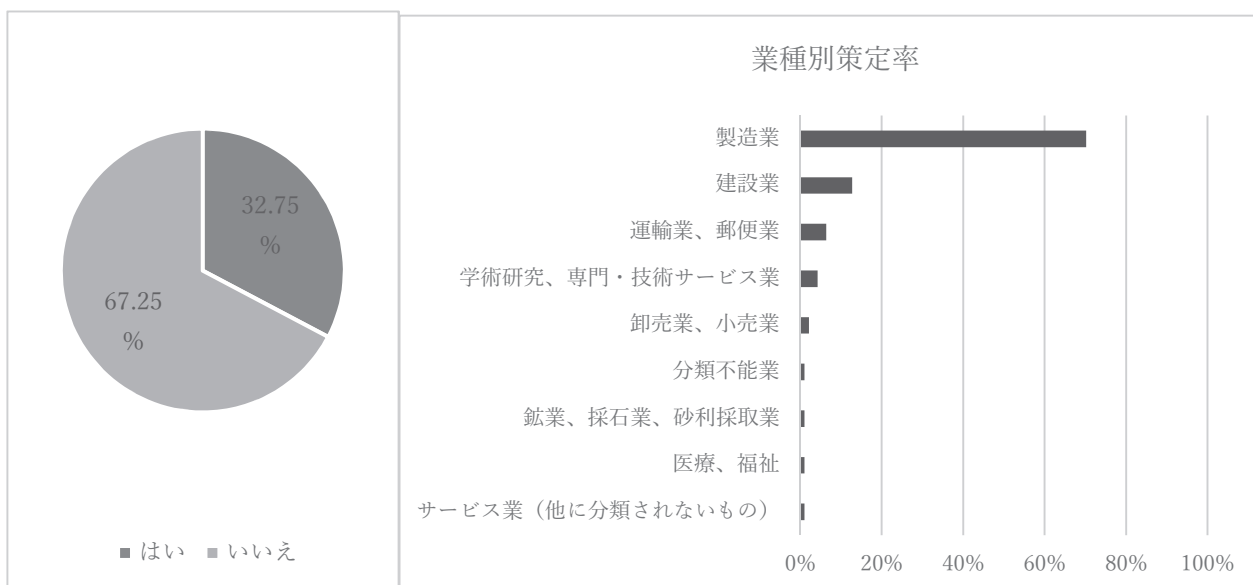


10-3 教育内容を具体的に教えてください。

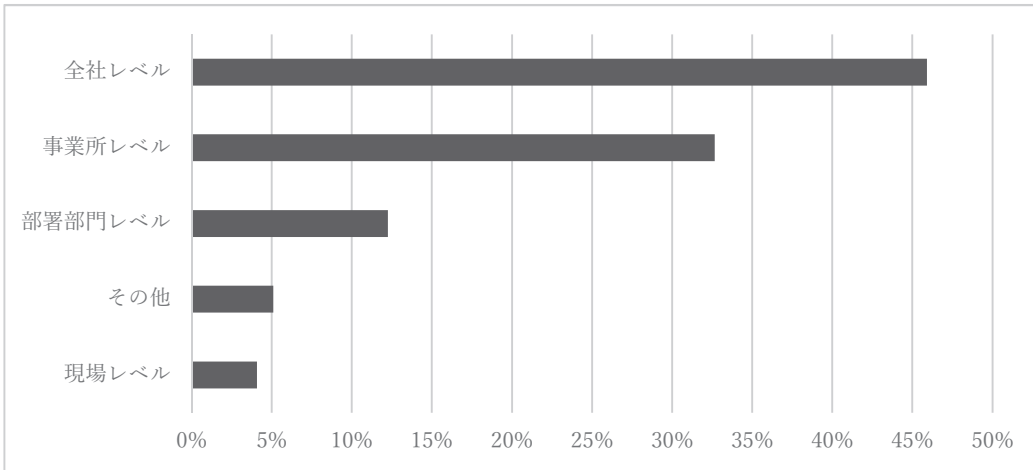


11 文書化された熱中症マニュアルはありますか？

(はい) 94 (いいえ) 193

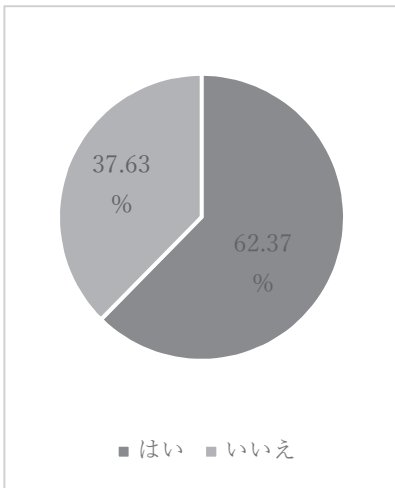


1 1 - 1 マニュアルの策定レベルは？

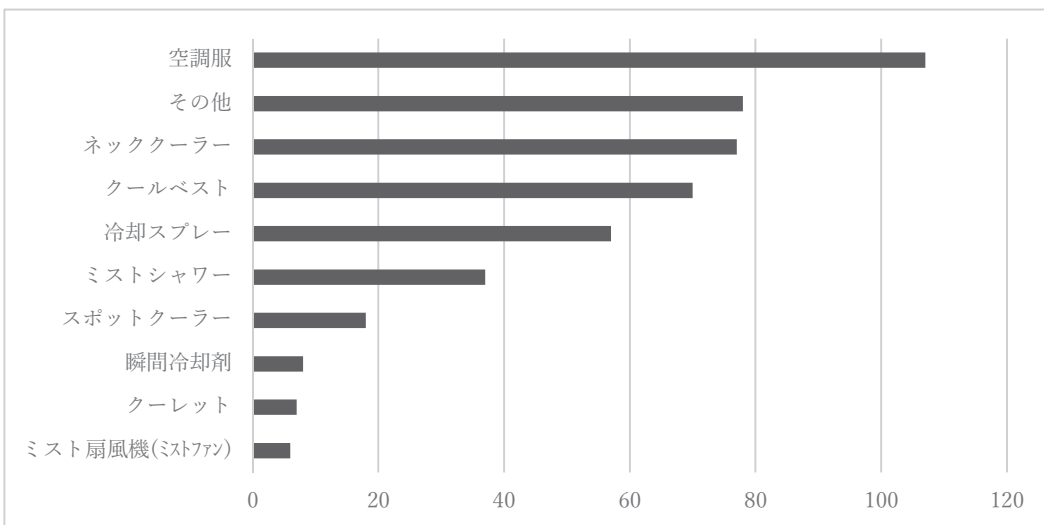


1 2 熱中症対策用品は導入していますか？

(はい) 179 (いいえ) 108



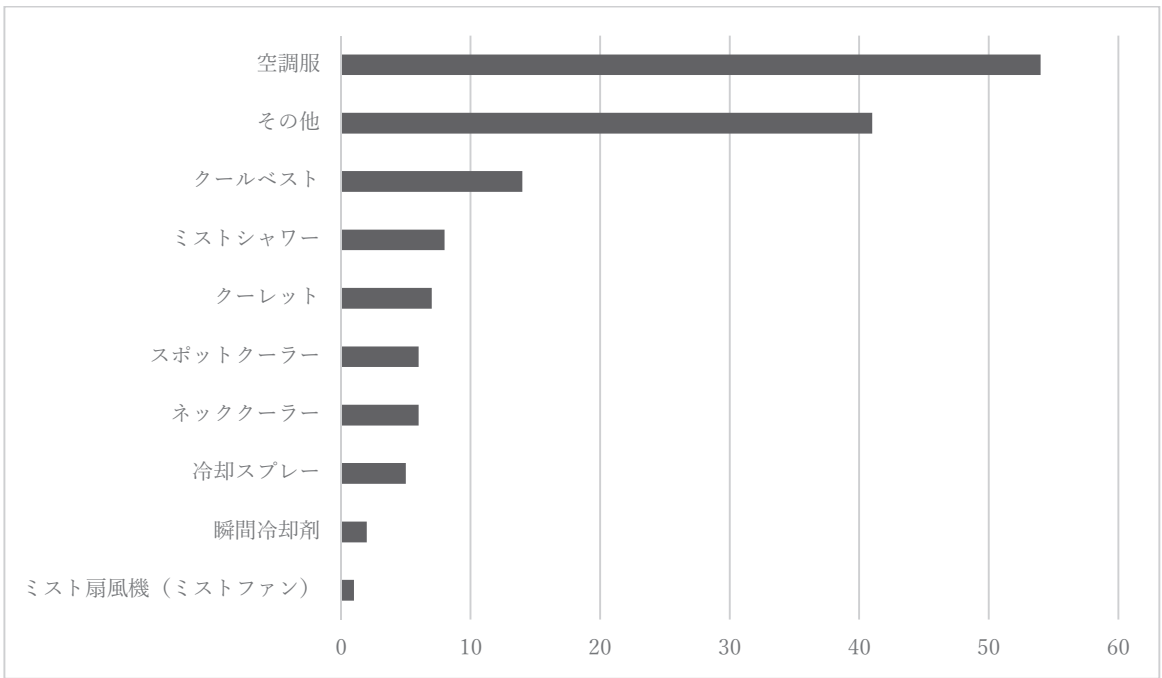
1 2 - 1 使用経験のある対策用品を全て教えてください。



<その他の回答>

OS-1/ウォーターサーバー/霧吹き/サンネット/遮熱塗装ヘルメット/清涼ファン/冷却剤/冷却タオル/クーラーボックス/クールシート/ジェットファン/スポーツドリンク/ヘルメットの日よけ/保冷剤/経口補水液/ドライアイスベスト/瞬間冷却剤/ミスト扇風機（ミストファン）/クーレット/塩飴（塩分チャージの飴・塩中あめ・塩熱飴）/WBGT 値計/アイシングキャップ/アイススラリ/アイスノン/アイスバッテリー/アクエリアス/汗とりパット/頭回りグッズ/頭用保冷剤/頭を冷やすシート/アンダーシャツ/飲料水/うちわ/エアーシート/エアコン/大型ファン/気化式涼風機/気化熱式ファン/吸水性速乾性通気性の良い新素材作業服/クーラー帽子/クールインナー/クールタオル/クールヘッド/クールマフラー/クーレックス/首用コールドバンド/車用ターフ/減塩みそ汁の撤回/工業用扇風機/後頭部等の日よけ/サーキュレーター/サーモガードシステム/塩タブレット/塩熱サプリ/遮熱ヘルメット/ジャンボクーラー/職服のデザイン変更/水冷扇/すずしん帽/製氷機/扇風機/送排風機（人体ファン）/速乾性作業服/速乾性シャツ/体温計/垂れ布/通気性・吸水性の良い作業服/通気性向上型ヘルメット/漬物/デジタル温湿度計/テント/熱中症アラーム/熱中症温度計/熱中症指数系/熱中ゼリー/ひえひえリラックス/日よけネット/ファン付ベスト/フォーク用ミスト発生器/ヘルメット/ヘルメット送風機/ヘルメット用クーラー/帽子/ボルトテックスチューブ/保冷用のペットボトル/マジクール/水/ミストシャワー付き扇風機/ミストスプレー/麦わら帽/メッシュ入り作業服/メッシュの防止/冷却ウォーター/冷却シート/冷却ジェル/冷却スーツ/冷却服/冷却用のユアホース/冷茶/冷凍庫/冷風機/空調入バス/空調付きスーパーハウス

12-2 特に、効果的だと感じる対策用品があれば教えてください。

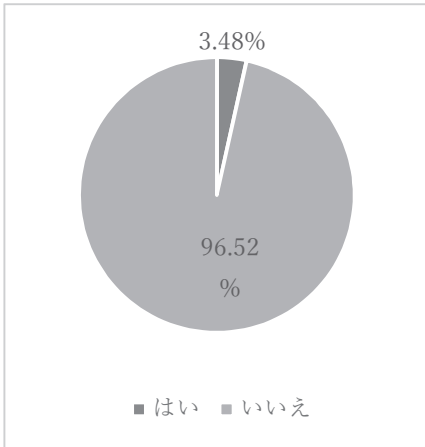


1 3 IoT 機器(ウェアラブルセンサーやスマホなど)を利用した熱中症予防システムは導入して

ますか？

(はい) 10

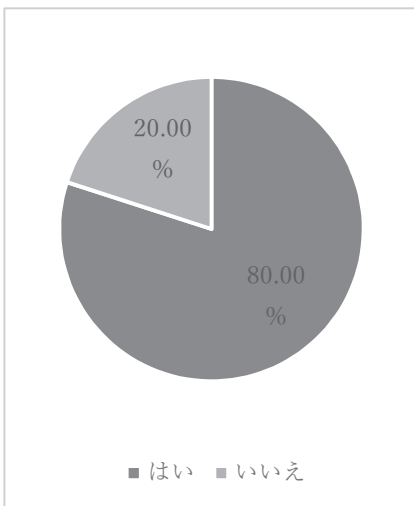
(いいえ) 277



1 3 - 2 使用場所は決めていますか？

(はい) 8

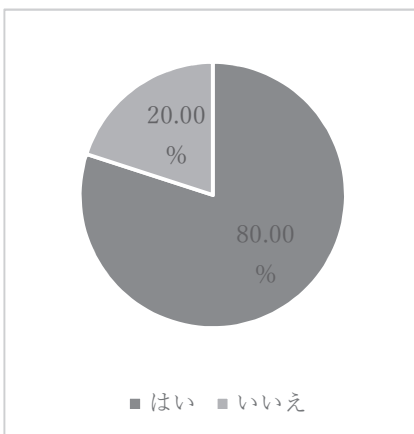
(いいえ) 4

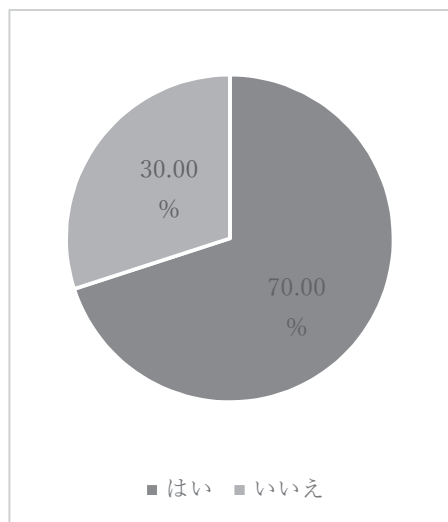


1 3 - 3 システム導入による効果はありましたか？

(はい) 8

(いいえ) 2





## 14 その他、御社独自の熱中症対策があれば是非教えてください。

- ・ 単独作業の禁止（各作業場では必ず複数人で作業を行う）
- ・ 熱中症対策車両の導入（エアコンを装備し休憩室として利用できる車両、OS-1等を常備、大型現場に導入）
- ・ 清涼飲料水ワンコイン販売。のぼり設置。塩熱サプリ・粉末ポカリを個人へ支給。長袖の薄手シャツ導入
- ・ 水分摂取量回数種類のチェック管理記録に加え、排尿回数も同様に管理→午前中に排尿がなければ午後は×。今年はお社前起床時の水分摂取も管理→午前中の早いタイミングの発症が多い（午前中は2/3以上）。新人・スポット作業員等、経験の少ないものを要配慮者と認定し重厚な管理を実施
- ・ 温度が〇℃以上で工場の屋根に散水
- ・ 猛暑日は1.5時間毎に給水するよう携帯電話にメール送信している
- ・ 暑熱順化ウォーキング、熱中症パトロール、eラーニング、キーワード策定、動画作成、給水所作成
- ・ 熱中症注意喚起放送、毎週月曜日・最高気温が猛暑日予想日実施
- ・ 工場内で熱中症発生マップを作成、発生曜日、時間、年齢、既往歴等、詳細に分析し、細かに注意を促す
- ・ 尿の色と脱水度について、トイレにポスターを貼っている
- ・ 現場作業員へ冷たいおしぼりを休憩時に配布
- ・ WBGT測定器（身に着けるタイプ）購入し危険エリアの人に貸し出す
- ・ 熱中症情報の全社周知（インターネットの社内掲示板に下記の情報を掲示する）
  - 本日の熱中症（WBGT値・予防情報）、熱中症の救急搬送者数、熱中症対策動画
- ・ 場内一斉放送による注意喚起（WBGT予報と実況値を熱中症予防サイトで確認し、
- ・ 嚴重警戒レベル・危険レベルで、水分補給・休憩の前倒し e t cを一斉放送している。

### 作業環境管理（空調等の設備改善、対策機器の導入等）に関するもの（55件）

- 空調対策・空調改善・空調の整備（エアコン） 24件
- スポットクーラー 12件

<回答記述例>

- エリア区画し、冷風を送気する方策
- 屋根の二重化で建屋内の温度をさげる
- 水冷式扇風機の設置
- 屋根の耐熱塗装
- 排熱設備（チラー）の屋外移設
- 気化熱式ファン

### 服（空調服、クールベスト）に関するもの（19件）

- 空調服・クールベスト 13件

<回答記述例>

- 作業員の体温を下げる工夫（空調服、クールベスト）"
- 冷却用ユアホース
- ミニ扇風機付き空調服
- 空調服（クールファンブルゾン）とアイスバッテリーの共用

### 休憩または補水に関するもの（46件）

- スポーツ飲料・経口補水液 15件

<回答記述例>

- 必ず定期的に休憩を取らせること+水分・塩分補給。無視した人が必ずなっている。
- ワンコインドリンク販売
- 水分不足は自覚症状がないため早目に水分補給するという周知
- 対策で用意した経口補水ゼリータイプはドリンクタイプより飲みやすく、体調回復に有効でした
- こまめな給水と休息
- 安全衛生委員会等で熱中症対策として水分だけでなく塩分補給の重要性を訴えかけたことが少なからず予防に繋がったと思う
- ウォーターサーバーおよび塩の配置

### 確認、声かけに関するもの（9件）

- 体調管理・体調確認 (8件)

<回答記述例>

- 熱中症が発生しやすい時期より早い時期の啓発（5月）休憩時間に職長が作業者の体調確認、補水指導を行う。
- 作業前に作業者と言葉を交わし、体調をチェックする
- 上長が始業前に体調を確認し、悪い人には帰って休んでもらうようにした事です
- 朝礼等で体調不良は申告する様徹底している



- 健康チェック表の導入（重症者が減った）

### 環境管理（WBGT,温度）に関するもの（12件）

- 環境管理（WBGT、温度）（10件）

<回答記述例>

- ・ 朝礼時に必ず WBGT 値の確認を行い、熱中症注意喚起を毎日行う。現場の巡視（午前午後郭回）
- ・ WBGT 値による管理基準（連続作業時間と休憩時間）
- ・ WBGT 導入による定量的な管理
- ・ WBGT 計の設置または携帯し、WBGT 値に基づく連続作業時間、休憩時間の設定と指導

### 教育に関するもの（25件）

- 教育・繰り返しの教育（22件）

<回答記述例>

- ・ 休憩、睡眠、水分補給等の教育。
- ・ 教育による意識付けが一番だと思います。  
現場の管理職の研修
- ・ 初期症状の教育

### その他

<回答記述例>

- 連続作業時間の制限等。会社でルールを定め、各職場で周知の徹底しておくことは予防につながっていると感じている。
- 症状がでたらすぐに病院に行くことを徹底中
- 気象庁からの高温注意報が発令された場合に構内放送を流し、注意喚起を行った。
- 休日の過ごし方。睡眠等の体調管理
- 社内放送での注意呼びかけ
- 暑さに対する抵抗力には個人差があり、大体同じ従業員が熱中症にかかりやすいため、個人的に指導管理、
- 作業内容を変更して対応している。体調不良時に申し出ができない雰囲気を作らないこと。

16 熱中症対策を行う上で、困っていることがあれば教えて下さい。
----------------------------------

### 省エネ・環境に関するもの（5件）

<回答記述例>

- ・ 省エネ対策と兼ね合い
- ・ 地球温暖化
- ・ 外気の最高気温が高くなっている点
- ・ 作業場の高温。環境温の評価（計測）
- ・ 酷暑日の増加に伴う真夏平均気温上昇への対応

### 本人・自覚に関するもの（22件）

<回答記述例>

- ・ 本人が我慢、無理してしまい上司になかなか報告しない
- ・ 期間社員が多く、教育を行っているが”他人事”ととらえられている感がある
- ・ 迷惑をかけるからと我慢する作業員がまだいる
- ・ 寝不足、深酒、朝食の未摂取等による体調不良にたいしての熱中症対策をどのように指導していくのか。
- ・ 本人が無理して作業し、重症化している。
- ・ 作業員の自己管理不足

### 費用・予算・コストに関するもの（28件）

<回答記述例>

- ・ 恒久対策する上で費用がかかる。
- ・ 空調服は効果大だが高価なため会社等の補助が必要。
- ・ 設備面を対策したいが予算の都合ですぐには実施できない事
- ・ 設備投資を行う場合の費用対効果の算出

### 作業との兼ね合い・作業中止に関するもの（34件）

<回答記述例>

- ・ WBGT 値が高い場合でも作業を中止できないことがある
- ・ 作業中止は大規模プラントの停止にもつながるためなかなか一斉に作業中止をすることが出来ない。
- ・ 屋外の作業で日陰がない作業場の対応ができない事
- ・ 休憩を取らせたいが、生産計画上前隔が不規則になりがち

### 個人要因・個別対応に関するもの（25件）

<回答記述例>

- ・ 糖尿病や高血圧のものに対してスポーツドリンク
- ・ 作業環境管理、作業管理はほぼ対策済みなので、労働者自身の健康管理が重要であるが、病気などの情報が正しく伝わらない。
- ・ 作業員個人により体感する温度が違ってくるので個々人に合わせた熱中症対策をすすめていくことに困っている
- ・ 高血圧や糖尿病等の疾患をもつ方の水分摂取量が難しい。説明していてもスポーツドリンクでも塩タブレットでの摂取に難色を示す方がいる。
- ・ 本人が既往症を隠して働いていた場合、適切な配置や予防ができない
- ・ 体調不良を報告せずに作業して熱中症になる例が多い。既往歴の把握も完全にはできない。
- ・ 請負社員がメインの為、直接関与することができない

### 現場での判断に関するもの（6件）

<回答記述例>

- ・ どこまで軽傷を運ぶか、医療機関に送ってよいか
- ・ 具合が悪くなった者を素人判断で様子見させることがある。
- ・ どの程度水分を取ればいいのか具体的な数字が出しにくい

## その他

<回答記述例>

- ・ 「熱中症」の定義があいまい
- ・ 制限以上の飲み物を持っていかれる
- ・ 外国人向けを充実してほしい
- ・ 喫煙者が休憩時間に十分なクールダウンができない（受動喫煙対応）。
- ・ 涼しい日が続いたあとの熱順化対応の定量的なルール化（指揮がほしい）。
- ・ 深部体温を把握する。低下させる具体的な方法
- ・ WBGT の作業中止基準（公的、科学的）が欲しい。
- ・ 作業開始前の効果的な体調チェック方法を知りたい。
- ・ 体調の見極めと緊急時の対応。
- ・ WBGT で 31℃以上の場合にはクラブ活動や授業など禁止にしたいが抵抗があり難しい
- ・ 黒球式熱中症指数計は常時鳴り続けてしまう"
- ・ 今年は OS-1 が品薄になりドキドキした
- ・ 熱中症に対する会社の基準や考え方が甘い
- ・ 今までの対策が昨年くらいから不十分になってきた（暑くなりすぎ?）

17 今後、導入を検討している（導入したい）熱中症対策があれば教えて下さい。
--

- 空調、スポットクーラー（17件）
  - ドレンレススポットエアコン
- ウェアラブルセンサー（IoT 機器）を用いた対策（15件）
- 空調服（9件）
  - フルハーネス対応型空調服の導入（現場標準化）
  - 防爆タイプの空調服があれば導入を検討したい
- WBGT 測定による対策（5件）
  - WBGT、温度が一目でわかる電光掲示板
  - WBGT 値と作業強度に応じた休憩を規則化にすること。

（その他）

- ・ 暑熱職場へのミストシャワーの設置
- ・ シャワー室。
- ・ 製氷機の導入
- ・ 現状の対策のブラッシュアップを検討
- ・ 建屋の遮熱対策
- ・ 気流を利用しての、建屋排気と熱源の水冷化
- ・ GHP(空調) の増強、建屋の見直し
- ・ 休憩時間(回数)増の検討
- ・ エリアに熱塀を抑える塗料
- ・ 一時休憩所の設置
- ・ アイスベスト等活用
- ・ 大型天井の設置、工場建屋内での部分空調

- ・ サマータイム導入を熱中症対策の観点で考えるべき。
- ・ ネットクーラーの改善
- ・ トイレに脱水兆候（尿の色等）を掲示する
- ・ 輻射熱を抑えたガス機器や IH コンロの導入


18 今後、熱中症対策を行う上で、必要な情報や必要とされる公的機関の支援などがあれば教え

て下さい。

- ・ 熱中症対策食品等の補助対策品・設置等を導入する際の補助
- ・ 熱中症に関わる教育資料
- ・ "熱中症シンポジウムの回数を多くしてもらいたい。（医師の専門的な見識を聞きたい）
- ・ 一度熱中症に患った方の作業復帰の方法。
- ・ 病気による熱中症へのかかりやすさ（一般的に腎臓病はかなり厳しい）"
- ・ WBGT の基準を決め超えた場合の作業中止と、それに伴う工期延伸の規定
- ・ 空調服の購入の補助（高齢化が進んでおり、特に必要）。
- ・ 夏期期間の工程の確保。1日8時間労働→6時間程度（実際にも作業能率は低下している）
- ・ 設備投資に対する補助金支援
- ・ "気象庁などの長期予報でしょうか。あらかじめ暑くなるのが具体的にわかっているならば対策が事前にとりやすいです。
- ・ 今年みたいに暑くてもより快適にすごせる方法。
- ・ 英語版が必要です。
- ・ 地域（市・町）防災局との連携など
- ・ 熱中症対策への法的処置
- ・ 他企業で大きな効果があった具体的な対策・取り組みについて
- ・ 軽度の熱中症で気軽に処置してくれる医療機関
- ・ 熱中症対策グッズの情報を色々いただきたい
- ・ 今年の気象予報（例年に比べた気温予想による熱中症注意度の連絡）
- ・ 最新予防対策商品の紹介
- ・ 職種別対策事例の簡易閲覧ができれば参考にしたい
- ・ 他社先進的な事例の公開
- ・ 個人の意識による所もあるので CM など個人への意識付け
- ・ 設備投資にかかる費用の助成
- ・ "熱中症対策の作業環境管理に対して助成金を出すこと。最も有効なのは作業環境管理だが収益との兼ね合いを考えざるをえない。
- ・ 企業としては、高額投資を要する。作業管理部は二の足を踏むのが現状"
- ・ "他社の先行事例や効果の高い対策（ハード・ソフト）を公表してほしい。
- ・ これから益々と暑くなると思うのでメーカーと共同で効果的な保護具を開発してほしい"
- ・ どのような対策を実施すれば許容基準値を超えても作業がどの程度継続可能になるのかの評価、E v i d e n c e が欲しい

- ・ WBGT+作業強度に応じた発汗量に関するデータ、Evidenceが欲しい"
- ・ その年の暑さ予想、最新の暑熱対策グッズ
- ・ "特に今年は社会的にも熱中症が問題となったため、メディアが注目していたが
- ・ 学生の時からもっと知識をつけていた方がいいのではと思う。(学校教育)"
- ・ 定期的な情報発信(有効な対策の紹介、他社での取り組みなど)
- ・ 中小企業だけでなく大企業への補助金
- ・ コンサルタントの紹介または派遣
- ・ 連続作業時間をWBGTに応じて制限する等、法令で決めれば無理しなくなると思います。
- ・ 人や環境に配慮した機器導入に対する補助
- ・ 医療機関における医師の適切な判断。(時期を迎えると何でも熱中症と判断されがち
- ・ 低コストでの設備導入
- ・ 高齢化社会に向かって年々熱中症患者は増加すると思われるので国として真剣に取り組んでほしい

現場導入製品①

製品名 (商品名)	安全管理支援ソリューション (FUJITSU IoT Solution 安全管理支援ソリューション)
製造元 (開発元)	富士通株式会社 〒211-0053 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1-1
製品概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 温湿度の情報に加えて活動の状況やパルス数を元に暑熱による身体への負荷を熱ストレスレベルとして指標化。あらかじめ設定したレベルになると、作業用スマートホンにアラーム警告を配信すると同時に、管理者にもアラームを配信し、作業者の状態を通知。</li> <li>・ センサー取得データの一部は、スマートホンにて閲覧可能。</li> <li>・ 熱ストレス以外に転倒・転落の検知や身体負荷を推定可能。</li> </ul>
機器について (外観写真含)	 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ リストバンド型（着衣型）センサー。</li> <li>・ 近赤外光によるパルス計測。</li> <li>・ スマートホン経由でデータ送信</li> </ul>
センシング項目 (生体指標、環境指標等)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ パルス（脈波）</li> <li>・ 体動（加速度センサー）</li> <li>・ 温湿度</li> </ul>
警告方法 (リスク判定項目等)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 作業用スマートホン周辺の温湿度とパルスから暑熱による身体への負荷を判定。</li> <li>・ リスクを3段階で表示。</li> <li>・ リスクがあらかじめ設定したレベルになった際には、スマートホンにアラーム警告（呼び出し音、バイブレーション）を鳴らす。</li> <li>・ 転倒を感知した場合にも、アラーム警告を鳴らす。</li> </ul>
通信方法 (ネットワークシステム)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ウェアラブルデバイス-スマートホン間：Bluetooth(通信距離 10m)</li> <li>・ スマートホン-サーバー間（モバイル回線）</li> <li>・ データサーバーは、富士通クラウドを利用</li> </ul>

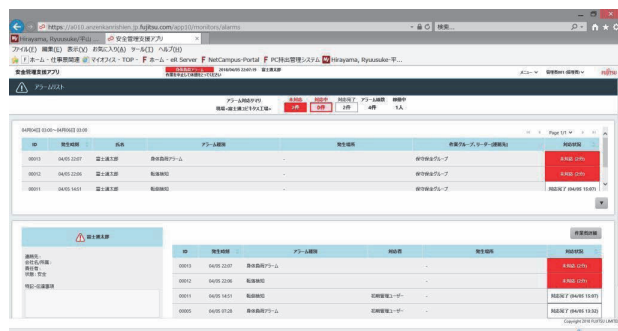


個人画面  
管理画面



(個人画面 (スマホ))

- ・ 熱ストレスの警告アラートが確認可能。
- ・ 温湿度、パルス状況の確認
- ・ アラートへの対応の記録画面



(管理画面 (PC))

- ・ 管理者が現場及び事務所で監視 (PC、タブレット)
- ・ 作業員全員の状態の一覧
- ・ アラート警告の発生者は赤字で表示
- ・ 対応記録の記入画面

使用実績  
(現場事例)

2018年7月～9月の使用実績の一部

製造業 (樹脂製造: 屋内暑熱作業現場): 50台導入

製造業 (鉄鋼業: 屋内暑熱作業現場): のべ58人

製造業 (鉄鋼業: 屋外作業現場): 約30人

など

\* 2018年は概算でのべ1000人の使用実績。

\* 熱ストレスのアラートが出た場合は、休憩や水分補給を実施。また、管理者にもアラートが配信され、管理者が体調確認を行った。

\* 熱中症は発生していない。

\* 機器不良は発生していない。

\* 個人データが閲覧可能で、個人の体調管理に役立った。

\* データを分析することで、職場の特徴が把握でき、熱中症予防対策に

役立てることが出来た。

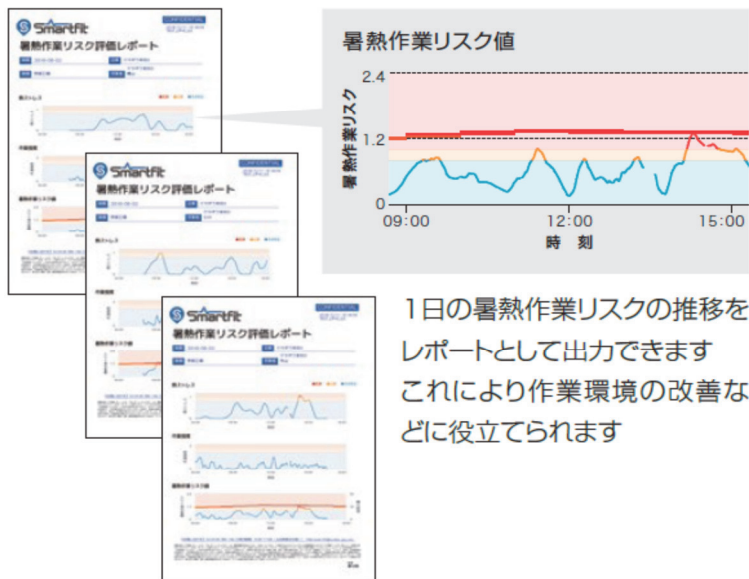


先進事例調査：ウェアラブルセンサー（IoT 機器）詳細

現場導入製品②

<p>製品名 (商品名)</p>	<p>暑熱環境下での作業リスク管理システム (Smartfit for work)</p>
<p>製造元 (開発元)</p>	<p>倉敷紡績株式会社(クラボウ) 〒541-8581 大阪府中央区久太郎町 2-4-31</p>
<p>製品概要</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 生体情報（心拍、温度、加速度）と気象情報などを解析・評価し、「暑熱作業リスク」や「体調変化」「転倒転落」などの情報をリアルタイムに作業員や管理者にアラート通知することでリスク管理をサポートするシステム。</li> <li>・ リスク状態やデータは、スマートフォンや PC で閲覧可能。</li> <li>・ 産学の共創により開発などを進めている (クラボウ・大阪大学・信州大学・日本気象協会・ユニオンツール・KDDI、セックなど)</li> </ul>
<p>機器について (外観写真含)</p>	<div data-bbox="363 857 762 1160" data-label="Image"> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ウェアラブルデバイス スマート衣料(シャツ型)(Smartfit：専用シャツ+専用センサ)</li> <li>・ 一人一台のスマートフォン(作業員)を携帯</li> </ul>
<p>センシング項目 (生体指標、環境指標等)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ センシング：心拍・温度（衣服内の温度）・加速度</li> <li>・ 連携情報：気象情報(日本気象協会より)</li> <li>・ 指標             <ol style="list-style-type: none"> <li>① 熱ストレス(衣服内の温度、気象情報)と作業強度(加速度、心拍)を用いて暑熱作業リスクを評価</li> <li>② 心拍指数と体力指数を用いて体調変化を評価。機械学習(AI)機能で個々に適した評価可能。体調管理にも役立つ。</li> <li>③ 加速度を用いて、転倒転落の状態を検知。</li> </ol> </li> </ul>
<p>警告方法 (リスク判定項目等)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 暑熱作業リスクは3段階で表示。</li> <li>・ リスクが高まった際には、スマートフォン(表示・音・バイブレーション)と PC(表示)にアラート通知。</li> <li>・ 体調変化の情報や転倒転落の状態を検知した場合にも、アラート通知(表</li> </ul>

	<p>示・音、バイブレーションなど)あり</p>
<p>通信方法 (ネットワークシステム)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ウェアラブルデバイス～スマートフォン Bluetooth(通信距離約 10m)</li> <li>スマートフォン～サーバー (4G 通信)</li> <li>データサーバーは、クラウドサーバー</li> </ul>
<p>個人画面 管理画面</p>	<div data-bbox="363 521 1074 842" data-label="Image"> </div> <p>(個人画面 (スマートフォン))</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>当日の暑熱作業リスク推移が確認可能</li> <li>現在の暑熱作業リスクレベルが確認可能</li> <li>現在の体調変化のレベルが確認可能</li> <li>アラート通知の表示画面(例)</li> </ul> <div data-bbox="363 1328 1155 1704" data-label="Image"> </div> <p>(管理画面 (PC))</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>管理者が現場及び事務所内で監視 (PC、タブレット)</li> <li>作業員全員の暑熱作業リスク評価と体調評価の一覧を確認可能</li> <li>アラート通知の該当は赤字で表示</li> <li>暑熱作業リスクの個別状態(個別の熱ストレスと作業強度のレベル)が、散布図表示にて確認可能</li> </ul>



(レポート出力機能)

- ・ 個別の暑熱作業リスクレポートなど

使用実績  
(現場実例)

建設業・製造業・警備業・運送業・  
産業廃棄物処理業・施設管理メンテナンス業・  
小売業など

2018年6月～2019年1月

これまで20社以上の使用実績

- \* 当システムの利用者において、熱中症発症者は報告されていない。
- \* 熱中症予防だけでなく、体調不良者の早期発見にも役立ったという事例あり。
- \* 現在、データ集積が進んでおり、今後、さらに評価精度が向上することが見込まれる。



(2018.10 緑十字展の展示パネルより)

現場導入製品③

<p>製品名 (商品名)</p>	<p>暑熱環境下での体調管理システム (hamon)</p>
<p>製造元 (開発元)</p>	<p>ミツフジ (株) 〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2 丁目 2-3</p>
<p>製品概要</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 着衣型センサーから得られた、心臓の電氣的活動データより、連続時間時系列データにおける周波領域のパワーと高周波領域のパワーと RRI に関する他の統計量を観察することにより、異常を検知する（熱中症リスクに関するアラートを出す）。</li> <li>・ データは、スマートホン及びパソコン（web 画面）で確認できる。</li> <li>・ 熱中症以外の、ストレスや眠気の有無等の評価メニューも提供。</li> </ul>
<p>機器について (外観写真含)</p>	<div data-bbox="459 824 975 1196" data-label="Image"> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 衣服型ウェアラブルデバイス</li> <li>・ トランスミッタ（電気信号の受信、計算、送信）</li> <li>・ 独自開発の銀メッキ導電性繊維を使った電極により、心臓の電氣的活動（R 波）を計測。</li> <li>・ スマートホン（データ表示、アラート機能）</li> </ul>
<p>センシング項目 (生体指標、環境指標等)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 心拍パルス（加速度センサーも内臓）</li> </ul>
<p>警告方法 (リスク判定項目等)</p>	<p>熱負荷による体調変化を判定し、リスクありと判定された場合にアラート警告が発信される。</p> <p>*測定した RRI のデータの “meanNN”、“SDNN “、” LFnun “、” HFnun “、“ LF/HF “の 5 次元確率から求められた確率モデルに基づき、Hotelling の T2 法による異常検知（異常度）を計算。この異常度（マハラノビス距離）</p>



	<p>と LF/HF の値に基づいて熱中症アラート算出。</p> <p>*測定メンバー同士でアラートを表示するモード（スマートホン）で情報を相互共有、また web 画面での表示および管理者へのメール配信が可能。</p>
<p>通信方法 (ネットワークシステム)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ウェアラブルデバイス-スマートホン：Bluetooth(通信距離 10m)</li> <li>スマートホン-サーバー（4G 通信）</li> <li>データサーバーは、クラウドサーバ</li> </ul>
<p>個人画面 管理画面</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <p>(個人画面 (スマホ))</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>現在の心拍数、ストレス指数、体調アラート、眠気アラートを表示</li> <li>直近 30 分間の RRI 分布、設定期間中の心拍履歴を表示</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>アラート通知履歴の表示</li> <li>警告アラート通知</li> </ul> <p>(管理画面 (PC))</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>情報共有メンバーの状態を表示 (心拍、ストレス指数、体調及び眠気の状態を表示)</li> <li>アラート警告を発生者の欄に履歴表示 (赤枠)</li> <li>情報共有メンバーのトレンド (過去履歴) を閲覧可能</li> </ul> 

使用実績  
(現場実例)

建設業：5社

製造業：5社

運輸業：3社


官公庁他：3件



具体的に熱中症を発症する事例はなかったが、作業状況と測定結果との突合せ（検証）を実施。熱中症のリスク判断には、新たなアルゴリズム開発も進めている。



先進事例調査：ウェアラブルセンサー（IoT 機器）詳細

現場導入製品④

製品名 (商品名)	未定（熱中症予兆診断システム装置）
製造元 (開発元)	① 株式会社アドテックス 〒370-1201 群馬県高崎市倉賀野町 2454 番地 1 ② 東洋紡株式会社 〒530-8230 大阪府大阪市北区堂島浜 2-2-8 東洋紡ビル
製品概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ RSA（心拍呼吸変動）の解析により、熱中症リスクを判定。熱中症リスクが高くなると、作業者にアラーム警告を鳴らすとともに、管理者にアラーム配信。</li> <li>・ データは、スマートホンにて閲覧可能。</li> <li>・ 熱中症以外の疲労度の評価もオプションで搭載可能。</li> </ul>
機器について (外観写真含)	 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Tシャツ型（着衣型）センサー。</li> <li>・ 一人一台のスマートホンを携帯</li> </ul>
センシング項目 (生体指標、環境指標等)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 心拍パルス</li> <li>・ 呼吸数</li> </ul>
警告方法 (リスク判定項目等)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ リアルタイムに測定結果を示し、リスクを3段階で表示、個人スマホで警告（バイブ／アラーム）と同時に管理監督者のスマホにもアラームを表示。</li> </ul>
通信方法 (ネットワークシステム)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Tシャツ型センサー→BTで個人スマホ</li> <li>・ 個人スマホから管理監督者スマホは一般通信</li> </ul>
個人画面 管理画面	<p>未定（開発中）</p> <p>（個人画面（スマホ））</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 現在の熱中症リスクが確認可能。</li> <li>・ 警告アラート通知</li> </ul>

	<p>(管理画面 (PC))</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 管理者がスマホで確認</li> <li>・ 作業者全員の熱中症リスクの一覧</li> <li>・ アラート警告の発生者は赤字で表示</li> </ul>
<p>使用実績 (現場実例)</p>	<p>鉄鋼業：10人</p> <p>2016年-2018年に実証実験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 暑熱作業で装置をつけて作業し、表面温度、鼓膜温度とRSAの相関を分析</li> <li>* 装着時間は30分</li> <li>* 併せて装置の小型化を推進</li> <li>* 期間中の熱中症発症者はいなかった。</li> </ul> <p>2016 (後ろにバック)                      2018 (ポシェットにタブレット。ほぼ目立たない)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>

## 暑熱環境下運動負荷時の生体データ変化検討<第1報>

研究代表者：丸山 崇 産業医科大学 医学部 第1生理学 准教授

### 研究要旨：

熱中症は、時に生命に関わることもある病態であり、効果的な熱中症予防法を見出し、暑熱労働現場で働く労働者の労働衛生管理に役立てることが求められている。これまでも、日々の体調管理、作業前の体調確認、飲水の励行、電解質の摂取、適切な休憩等の熱中症予防対策が行われており、最近では、インターネット通信技術の発展やセンサー技術の発展に伴い、Internet of Things (IoT) 技術を用いて、体調変化を推測し、熱中症予防に応用出来るウェアラブル機器の開発が進んできている。これら熱中症予防対策の実効性を検証するために、人工的に暑熱環境を作り、被験者に運動負荷を与えた際の生体データを計測することによって、熱中症リスクの予測が可能であるか、また熱中症リスクを低下させることに繋がるかどうかのエビデンスが得られるものと考えられる。まずここでは、暑熱環境下での運動負荷実験を行ない、その際の生体データの変化を検討することによって、熱中症リスク評価に用いる実験モデルの確立について検証した。

実験は、成人健康男性12名に被験者として協力を頂き、産業医科大学人工気候室において、各被験者がそれぞれ<条件1>気温35℃、湿度50%、<条件2>気温25℃、湿度50%の2つの環境条件で、トレッドミルによる運動負荷実験をおこなった。運動負荷前から、心電図、深部体温（直腸温）、血圧、脈派等を持続測定し、暑熱運動負荷の前後において、脱水の指標となる精密体重測定や採血・採尿検査を行ない、生体データの変化を検討した。尚、被験者の安全を考慮し、深部体温が38.5℃を超えた時や頭痛、嘔気など何らかの身体症状が出現した際には運動負荷を中止する基準を設けて実施した。

気温 35℃湿度 50%の環境条件において、10/11 例で深部体温は 38.5℃に達し、また全例で心拍数が（180-年齢）まで増加した。また、体重による脱水評価に関しても平均で体重の 1.75%の減少が見られ、アメリカ産業衛生専門家会議（ACGIH）が示す、Heat Strain（暑熱ストレイン）の状態を再現出来ていることを確認した。また、血液及び尿検査では、25℃条件においては、血中アルドステロン、血中 HANP、尿中アクアポリン2 で有意な変化が認められ、35℃条件においては、血中総蛋白(TP)、血中アルブミン(A1b)、血中中性脂肪(TG)、血中 Na(ナトリウム)、血中 Cl(クロール)、血中 K(カリウム)、血中浸透圧、血中抗利尿ホルモン(AVP)、血中 HANP、尿中アクアポリン2 において有意な変化が認められた。ヘマトクリットや尿酸など一般的な脱水評価の指標では有意な差は認められなかったにもかかわらず、血中総蛋白(TP)、血中アルブミン(A1b)、ペプチドホルモン等において変化が見られていることから、暑熱環境での身体負荷による変化を早期に反映する生理指標として重要な知見を得ることが出来た。また、この実験において、熱中症症状を呈する被験者は認めなかった。

今回用いた人工気候室での暑熱環境下運動負荷実験は、熱負荷や脱水による生体の変化を安全に再現することが可能であり、この実験モデルを用いて、ウェアラブルデバイスなどによる熱中症リスクの予測や予防対策の有効性を検証する実験が可能となると考えられた。



## 分担研究者

山田晋平（産業医科大学産業保健学部安全衛生マネジメント学）

黒坂知絵（産業医科大学産業保健学部人間情報科学）

八谷百合子（産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学）

上田陽一（産業医科大学医学部第1生理学）

東敏昭（一般財団法人西日本産業衛生会/産業医科大学名誉教授）

## A. 研究の背景および目的

熱中症は暑熱環境において労働などの身体活動を行うことにより、脱水や電解質の喪失、深部体温の上昇などの身体影響が引き起こされ、時に生命の危機に至ることもある病態である。暑熱環境の作業現場では、日々の体調管理、作業前の体調確認、飲水の励行、電解質の摂取、適切な休憩等の熱中症予防対策が行われており、最近では、インターネット通信技術の発展やセンサー技術の発展に伴い、Internet of Things (IoT) 技術を用いて、体調変化を推測し、熱中症予防に応用するウェアラブル機器の開発が進んできている。これらの予防策の効果を検討するためには、ほぼ同じ条件の下に暑熱環境で熱ストレスを身体に孵化した際の身体変化を測定しながら、各対策の効果を実証することが必要になってくる。

今回、我々は人工的に暑熱環境を作ることの出来る実験室環境で運動負荷をかけることにより、熱ストレスに対する身体反応を計測し、熱中症予防対策の検証に資する実験系の妥当性を検討した。

## B. 研究方法

### a. 暑熱環境における運動負荷実験

被験者は健康成人男性とした。産業医科大学人工気候室（エスペック）において、＜条件1＞気温 35℃、湿度 50%（暑熱環境）、＜条件2＞気温 25℃、湿度

50%の2条件で、同一被験者がそれぞれ別の日程で実験を行った。各条件における実験スケジュールは、6分間の安静+18分間運動負荷+12分安静+18分間運動負荷+12分安静とした。運動負荷の強度は、時速 7km（きつい労力：80w 相当）とし、事前に最大酸素摂取量（V02max）を測定し 70%V02max 以下になるように設定した。

### b. 測定項目

[測定①、測定②、測定③]

（運動負荷前後の休憩時間で測定）

- ・体重、体組成、覚醒度、自覚的運動強度
- ・血液検査、尿検査

[持続生体指標測定④]

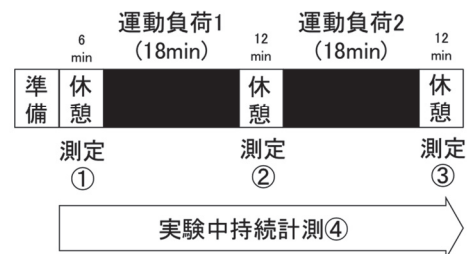
深部体温（直腸温/カプセル体温計）

血圧、心拍、脈波、血中酸素濃度

皮膚温、ボルグスケール（自覚的運動強度）

環境測定：WBGT 等

<人工気候室環境：気温35℃/25℃、湿度50%>



### c. 中止基準

深部体温が 38.5 度を超える/痙攣が起きる/激しい頭痛/めまい/嘔気嘔吐/目の前が暗くなる/意識障害が出現した場合には、即時実験を中止することとした。

### c. 分析

深部体温に関しては、計測不良のあった1例（被験者2）を除外した。統計解析には JMP バージョン 11.0（SAS Institute Inc.）を使用し、有意水準は 5%とした。

尚、当実験は、産業医科大学倫理委員会の承認を受



け実施された。

## C. 研究結果

### 実験対象者

成人健康男性：12人（年齢21～42）×2条件

〈環境条件1〉低リスク（注意レベル、気温25℃湿度50% WBGT22℃）

〈環境条件2〉高リスク（厳重警戒レベル、気温35℃湿度50% WBGT30℃）

〈運動負荷〉トレッドミル80W（きつい肉体労働レベル）18分×2回

### a. 心拍、深部体温、自覚症状の変化

トレッドミルによる運動負荷により、心拍数、深部体温、ボルグスケールは、いずれも値が上昇した。心拍数は、運動負荷と同時に上昇し、個人毎の最高心拍数の平均は、25℃条件でベースライン平均の76.1/minと比べ、約109.1%の上昇、35℃条件でベースライン平均の82.8/minと比べ、約106.8%の上昇を認めた。また、運動負荷後の安静期間に心拍数の低下を認めるものの、ベースラインに比べ、運動負荷間インターバルの安静時間において25℃条件で平均値101.9/minで33.9%、35℃条件で平均値117.1/minで41.4%、運動負荷終了後の安静時間においては25℃条件で平均値104.9/minで37.7%、35℃条件で平均値128.4/minで55.0%の心拍上昇を認めた。熱負荷の指標である、(180-年齢)を超えた被験者は、25℃条件で7/12例(58.3%)、35℃条件で12/12例(100%)であった。

直腸温による深部体温測定は、被験者1名について測定不可能であったため、11例の測定となった。深部体温は、運動開始後軽度低下を認める事例もあったが、運動負荷とともに徐々に上昇し、運動負荷間インターバルの安静時にもほとんど低下せず、運動負荷終了まで上昇傾向を認めた。深部体温が38.5℃に達した際には、速やかに運動負荷を中止し、安静に移行した。被験者毎の深部体温の平均は、25℃条

件でベースラインの37.1℃と比べ、約0.7℃の上昇、35℃条件でベースラインの37.1℃と比べ、約1.4℃の上昇を認めた。個人毎に観察した際に、気温25℃条件では、深部体温38℃を超えた事例は9/11例(81.8%)、深部体温38.5℃を超えた事例は4/11例(36.3%)であった。気温35℃条件では、深部体温38℃を超えた事例は11/11例(100%)、深部体温38.5℃を超えた事例は10/11例(90.9%)であった。ボルグスケール（自覚的運動強度）は、20段階で評価され、19/20を超えた際には速やかに運動負荷を中止し、安静に移行した。運動負荷をかけると徐々に自覚的運動強度は上昇し、安静時には低下するという傾向が見られた。

25℃条件において、前半の運動負荷で平均14まで上昇、後半の運動負荷で平均14.2まで上昇が認められた。35℃条件においては、前半の運動負荷で平均13.5まで上昇、後半の運動負荷で平均14.8まで上昇が認められた。自覚的に17（かなりきつい）のレベルを超えた事例は、25℃条件において3/12例(25.0%)、35℃条件において5/12例(41.0%)であった。

### b. 体重変化

精密体重計を用いて、運動負荷（安静時間含む）前後の体重測定を行い、脱水の指標とした。

平均体重は、25℃条件において運動負荷前63.12kg±2.1、運動負荷後62.44±2.053であり、体重差平均は0.68kg(体重比1.08%)であった。35℃条件においては運動負荷前63.48kg±2.16、運動負荷後62.37±2.08であり、体重差平均は1.11kg(体重比1.75%)であった。体重の1.5%以上の体重減少を認めた事例は、25℃条件において1/12(8.3%)、35℃条件において8/12(66.7%)であった。

### c. 血液・尿データ

運動負荷の前後において、採血及び採尿検査を行った。尚、運動負荷の前後において、補水は行ってい

ない。

25℃条件において有意な増減が見られた項目は、血中アルドステロン、血中 HANP、尿中アアポリン 2 (クレアチニン換算値) であり、35℃条件において有意な増減が見られた項目は、血中総蛋白(TP)、血中アルブミン(A1b)、血中中性脂肪(TG)、血中 Na (ナトリウム)、血中 Cl (クロール)、血中 K (カリウム)、血中浸透圧、血中抗利尿ホルモン(AVP)、血中 HANP、尿中アアポリン 2 (クレアチニン換算値) であった。

#### D. 考察

今回、人工気候室において、2つの異なる温度環境の下、運動負荷を行ない、生体データを測定することで、暑熱環境が生体に及ぼす影響を評価した。

アメリカ産業衛生専門家会議 (ACGIH) は、熱中症に至る前の Heat Strain (暑熱ストレイン、熱緊張) の状態の基準として、

- ①深部体温が38.5℃を超える場合 (暑熱順化出来ない場合や高齢者は38.0℃を超える場合)
  - ②体重変化が体重の1.5%を超えて減少している場合
  - ③脈拍 (心拍数) が、3分以上継続して (180-年齢) を超える場合
- を示している。

これに、自覚症状として、強い疲労感、頭痛、めまい、嘔気などの訴えがある場合を加えて、熱中症のリスクが高くなる Heat Strain (暑熱ストレイン) の状態と考えることが出来る。当実験では、自覚症状に関してボルグスケール (自覚的運動強度) を用いて評価した。今回の実験では、25℃条件では、8/12 事例 (約67%) で Heat Strain の状態となり、35℃条件では、10/10 全例 Heat Strain の状態に至ったことが確認出来た。しかし、深部体温や心拍数、自覚的運動強度は上昇したものの、痙攣が起きる/激しい頭痛/めまい/嘔気嘔吐/目の前が暗くなる/意識障害等の重篤な症状を呈する被験者は認めなかった。今回の実験モデルは、暑熱環境で運動負荷をかけた際に、熱中症リスクが高くなる Heat Strain (暑熱ストレイン)

の状態を安全に作り出すための負荷やタイムスケジュールとして適切であったと言える。この実験モデルにおいて、ウェアラブル機器によるデータ取得を同時に行ない、暑熱環境下の熱ストレスの影響を評価するアプリケーションが、適切にリスク評価出来ているかの相関を検討することにより、各ウェアラブル機器及び評価システムの有用性を検証することができると考えられた。

今回の実験で、深部体温や心拍数、ボルグスケールに関して、ベースラインの個人差が大きいことも観察された。本来は、ベースライン測定や定常時のデータを元に個人特性に合わせた解析が行われることが理想であり、今後はテーラーメイドのシステムも導入されてくると考えられるが、運動負荷がかかった場合の変化はどの被験者においてもほぼ同様に認められたため、一律の評価方法でも熱中症予防に対する一定の評価の有用性はあると考えられる。

血液及び尿検査から得られたデータの解析では、25℃条件では、血中アルドステロン、血中 HANP、尿中アアポリン 2 などのペプチドホルモンのみ有意な変化を認めた。35℃条件では、これに加え総蛋白、アルブミン、血漿浸透圧などの指標において有意な変化を認めた。ペプチドホルモンは測定は容易ではないが、熱ストレスや脱水の影響を早期に見つけるには良い検査項目であることが考えられる。また、一般に脱水の指標となる血液検査項目は、マトクリット、尿素窒素/クレアチニン比、尿酸値などが知られているが、今回の研究結果では暑熱環境での運動負荷による有意な変化は示していない。平均体重変化では、35℃条件において、体重の1.5%以上の減少を認めており、脱水は進んでいると考えられるが、血液データには反映されていないことが示唆された。また、熱中症重症度の指標となる肝機能などは有意な変化を見せておらず、今回の実験モデルでは、過度の熱負荷や脱水が加わった際の熱中症の状態を再現するレベルではなかったとが考えられる。

## E. 結論

- ・ 熱中症リスクを評価するための実験モデルとして、人工気候室において暑熱環境下での運動負荷実験を行った。
- ・ 気温35℃湿度50%の環境条件において、Heat Strain (暑熱ストレイン) の状態を再現出来た。
- ・ 血液及び尿検査で熱負荷や脱水による変化を観察することが出来た。
- ・ この実験モデルを用いて、ウェアラブルデバイスなどによる熱中症リスクの予測や予防対策の有効性を検証する実験が可能となると考えられた。

## F. 健康危険情報

なし

## G. 研究発表

1. 論文発表  
なし
2. 学会発表  
なし

## H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得  
なし
  2. 実用新案登録  
なし
  3. その他  
なし
-

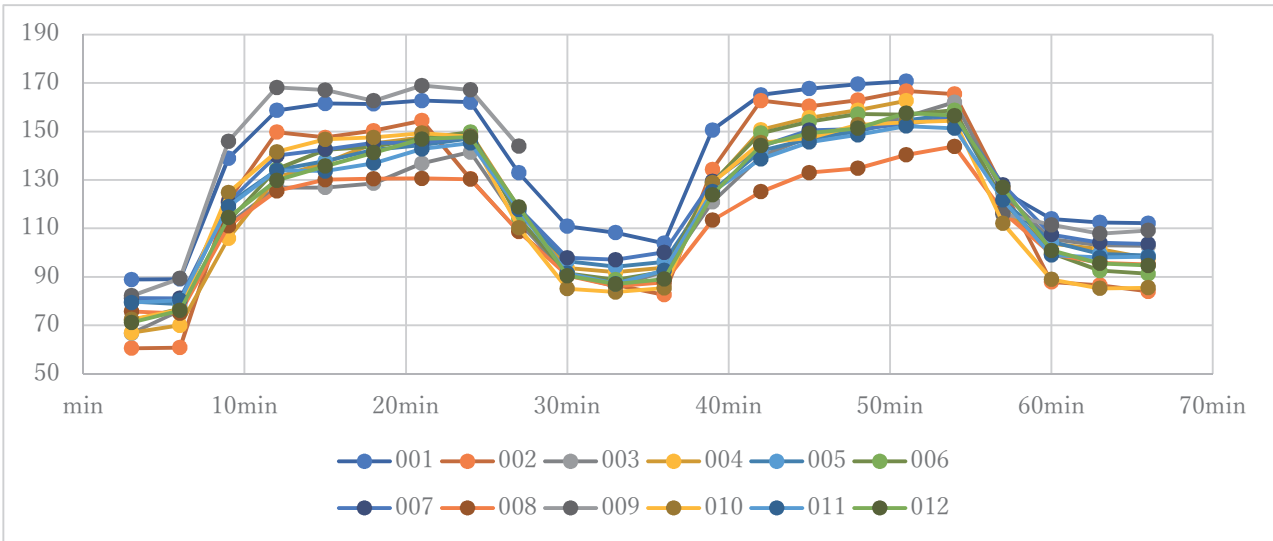
## 暑熱環境での運動負荷実験

## ＜被験者身体特性＞

被験者No.	環境条件	実験日	性別	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)
R-001	気温 25℃、湿度 50%	2019/9/27	男	23	176.5	74.6
	気温 35℃、湿度 50%	2019/9/30				
R-002	気温 25℃、湿度 50%	2019/10/7	男	24	172	75.3
	気温 35℃、湿度 50%	2019/10/8				
R-003	気温 25℃、湿度 50%	2019/10/29	男	22	180	59.5
	気温 35℃、湿度 50%	2019/12/17				
R-004	気温 25℃、湿度 50%	2019/12/24	男	42	165	61.6
	気温 35℃、湿度 50%	2019/11/15				
R-005	気温 25℃、湿度 50%	2019/11/21	男	22	178	65.7
	気温 35℃、湿度 50%	2019/12/4				
R-006	気温 25℃、湿度 50%	2019/12/2	男	27	168	58.8
	気温 35℃、湿度 50%	2019/12/13				
R-007	気温 25℃、湿度 50%	2019/12/2	男	25	160	52.8
	気温 35℃、湿度 50%	2019/12/6				
R-008	気温 25℃、湿度 50%	2019/12/3	男	24	178	61
	気温 35℃、湿度 50%	2019/12/6				
R-009	気温 25℃、湿度 50%	2019/12/9	男	22	177	63
	気温 35℃、湿度 50%	2019/12/11				
R-010	気温 25℃、湿度 50%	2019/12/9	男	22	175	70.6
	気温 35℃、湿度 50%	2019/12/13				
R-011	気温 25℃、湿度 50%	2019/12/11	男	21	171	59.6
	気温 35℃、湿度 50%	2019/12/18				
R-012	気温 25℃、湿度 50%	2019/12/12	男	21	169	54.3
	気温 35℃、湿度 50%	2019/12/19				

# 心拍数

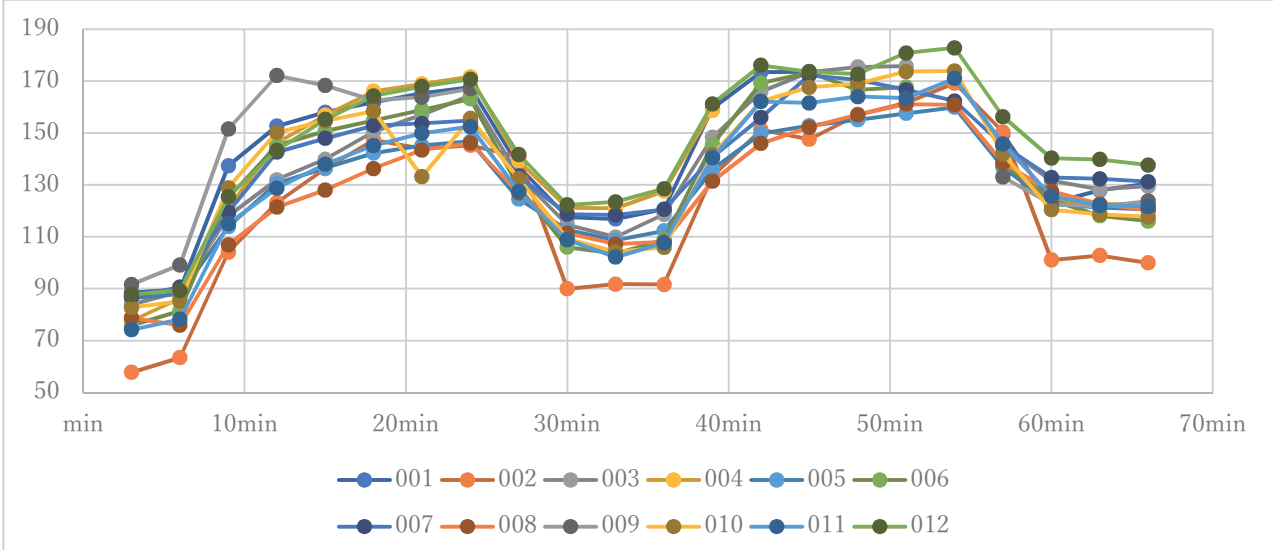
<気温 25°C湿度 50% 条件>



>(180-年齢) : 赤色表示

作業前安静	トランプミル1												休務												トランプミル2												作業後安静										
	3min	6min	9min	12min	15min	18min	21min	24min	27min	30min	33min	36min	39min	42min	45min	48min	51min	54min	57min	60min	63min	66min																									
001(23)	88.8668720	89.6700035	138.8786721	158.8987238	167.8700000	170.8700000	162.8700000	152.8668721	110.8700049	108.8726723	109.8833376	150.8933401	151.0936733	167.7000022	169.5486733	170.7177723	154.5000000	128.8500004	118.8200041	112.8433384	112.8200061	110.8700049	108.8726723	109.8833376	150.8933401	151.0936733	167.7000022	169.5486733	170.7177723	154.5000000	128.8500004	118.8200041	112.8433384	112.8200061	110.8700049	108.8726723	109.8833376	150.8933401	151.0936733	167.7000022	169.5486733	170.7177723	154.5000000	128.8500004	118.8200041	112.8433384	112.8200061

<気温 35°C湿度 50% 条件>

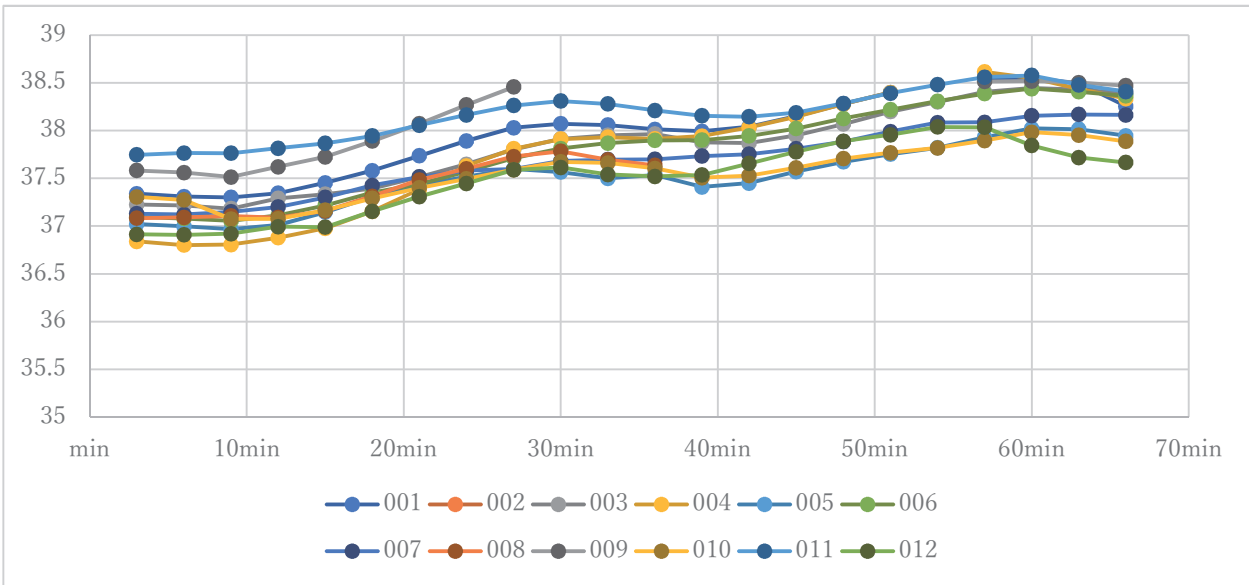


>(180-年齢) : 赤色表示

作業前安静	トランプミル1												休務												トランプミル2												作業後安静										
	3min	6min	9min	12min	15min	18min	21min	24min	27min	30min	33min	36min	39min	42min	45min	48min	51min	54min	57min	60min	63min	66min																									
001(23)	88.8668720	89.6700035	138.8786721	158.8987238	167.8700000	170.8700000	162.8700000	152.8668721	110.8700049	108.8726723	109.8833376	150.8933401	151.0936733	167.7000022	169.5486733	170.7177723	154.5000000	128.8500004	118.8200041	112.8433384	112.8200061	110.8700049	108.8726723	109.8833376	150.8933401	151.0936733	167.7000022	169.5486733	170.7177723	154.5000000	128.8500004	118.8200041	112.8433384	112.8200061	110.8700049	108.8726723	109.8833376	150.8933401	151.0936733	167.7000022	169.5486733	170.7177723	154.5000000	128.8500004	118.8200041	112.8433384	112.8200061

深部体温（直腸温）

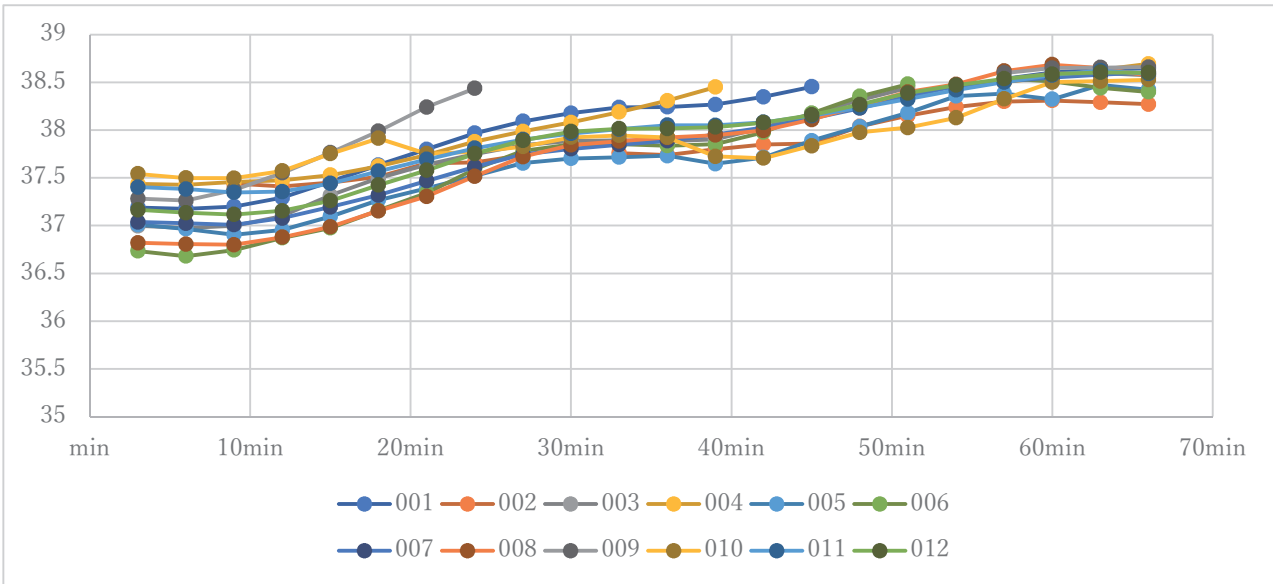
<気温 25°C湿度 50% 条件>



>38.0°C : 黄色表示 >38.5°C : 赤色表示

	作業前安静		トレッドミル1								休憩								トレッドミル2								作業後安静	
	3min	6min	9min	12min	15min	18min	21min	24min	27min	30min	33min	36min	39min	42min	45min	48min	51min	54min	57min	60min	63min	66min						
001	37.3388736	37.3088748	37.3005549	37.3433327	37.4533327	37.5794433	37.7355545	37.8166559	38.0299899	38.0711097	38.0577767	38.0133379	37.9833321	38.0388878	38.1499988	38.2788840	38.3888275	38.4494947	38.4494947	38.4494947	38.4494947	38.4494947	38.4494947					
002	37.2249898	37.2166559	37.1827774	37.2911105	37.3338874	37.3977717	37.5144437	37.6477723	37.8033325	37.9144433	37.9511105	37.9633172	37.8744435	37.8688770	37.9433324	38.0633326	38.1833326	38.2994437	38.4049494	38.4477719	38.4283322	38.3963343	38.3633343					
004	36.8244435	36.8005549	36.8081107	36.8777717	36.9781105	37.1338874	37.2822212	37.5311103	37.8099904	37.9110992	37.9111091	37.8138880	37.8422211	38.0333324	38.1444433	38.2722216	38.3769159	38.4638870	38.5463326	38.5463326	38.4444356	38.3249986	38.2149986					
005	37.0109919	36.9866574	36.9722137	37.0717769	37.1455444	37.2266594	37.3172218	37.5888861	37.8494432	37.9355548	37.9099984	37.8458880	37.8099984	37.8458880	37.9705547	38.0716653	38.1752771	38.1844321	37.9999982	38.0233326	38.0138892	37.9449980	37.8449980					
006	37.0944434	37.0788838	37.0533285	37.1111098	37.2166559	37.3488819	37.4388813	37.5705547	37.7116659	37.8116658	37.8688821	37.8668473	37.8999989	37.9438881	38.0216668	38.1296653	38.2188818	38.3083324	38.3811009	38.4383326	38.4066495	38.3827768	38.3527768					
007	37.1300043	37.1216659	37.1488878	37.1969949	37.3005549	37.4266628	37.5149896	37.6789908	37.9272074	37.8811101	37.6886628	37.6994424	37.7333321	37.7533328	37.8099925	37.8827767	37.8883326	38.0833322	38.0833322	38.0833322	38.0833322	38.0833322	38.0833322					
008	37.0822215	37.0916657	37.1055555	37.0899989	37.1583282	37.3122213	37.4833295	37.6005546	37.9277706	37.7827715	37.6944423	37.6355542	35.9955546	33.0394436	32.7855548	32.8377703	31.9999915	31.9033322	33.5883326	35.1181102	35.5872216	35.6249982	35.6249982					
009	37.5811102	37.5394433	37.5327788	37.6199980	37.7244324	38.0711102	38.2802259	38.4572214																				
010	37.3049984	37.2727785	37.0733324	37.0554474	37.1655468	37.2911078	37.4005471	37.4944436	37.5905459	37.6716656	37.6605425	37.8033325	37.9072215	37.9722216	38.0554439	38.1061005	38.1683329	38.1888813	37.8949918	37.8949918	37.8949918	37.8949918	37.8949918					
011	37.7486652	37.6844372	37.7633323	37.8155548	37.8661102	37.9444434	38.0588827	38.1833324	38.2922214	38.3088708	38.2788848	38.2099983	38.1544432	38.1449985	38.1872212	38.2838876	38.3805544	38.4805542	38.5833323	38.6177768	38.4777342	38.4088763	38.4088763					
012	36.9133199	36.9083198	36.9184437	36.9038822	36.9883324	37.1549942	37.3084437	37.4468872	37.5884432	37.6138875	37.5399943	37.5199982	37.5349989	37.6511055	37.7722147	37.8883258	37.9549980	38.0377716	38.0338876	37.8438888	37.7183325	37.6648922	37.6648922					

<気温 35°C湿度 50% 条件>

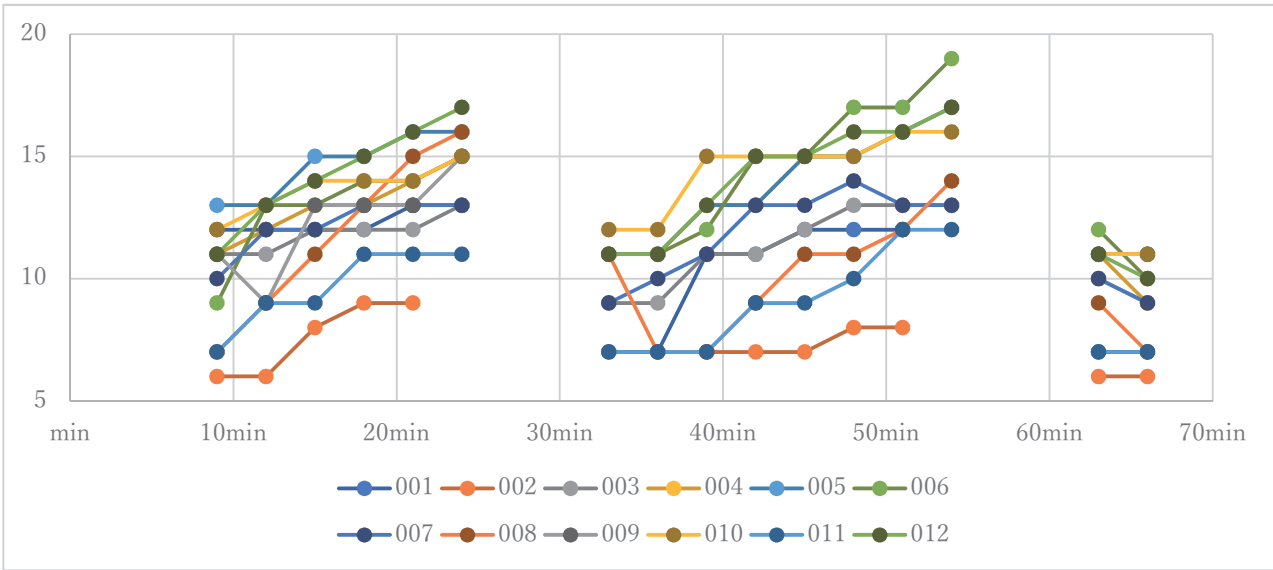


>38.0°C : 黄色表示 >38.5°C : 赤色表示

	作業前安静		トレッドミル1								休憩								トレッドミル2								作業後安静	
	3min	6min	9min	12min	15min	18min	21min	24min	27min	30min	33min	36min	39min	42min	45min	48min	51min	54min	57min	60min	63min	66min						
001	37.1899947	37.1666562	37.1999986	37.2927765	37.4805547	37.6344433	37.7977775	37.9677704	38.0911102	38.1766562	38.2372288	38.2422208	38.2877724	38.3472216	38.4528500	38.5222216	38.5833324	38.6444432	38.6444432	38.6444432	38.6444432	38.6444432	38.6444432					
002	36.9866617	36.9755594	36.9984437	37.0972213	37.3149947	37.4972212	37.6366556	37.7499978	37.8416656	37.8881096	37.8944428	37.8827768	37.8027763	38.0255545	38.1722215	38.3149985	38.4433346	38.5833324	38.5844434	38.5833324	38.5716652	38.5716652	38.5716652					
004	37.4366628	37.4272123	37.5283206	37.4749947	37.6222078	37.7372119	37.8788878	37.9855541	38.0769988	38.1883324	38.3072215	38.4505542							38.0166554	38.5722131	38.6316655	38.6927740	38.6927740					
005	37.0099917	36.9844321	36.9049957	36.8927765	37.0961103	37.2666556	37.3884437	37.5211103	37.7022224	37.7155541	37.7316657	37.6466657	37.7122216	37.8077769	38.0355542	38.1744437	38.3366653	38.3866653	38.3922209	38.3227701	38.4733323	38.4233324	38.4233324					
006	36.7244436	36.8055512	36.7444427	36.7055524	36.7949975	37.1572216	37.5411104	37.5811098	37.7805545	37.8483327	37.8522218	37.8388869	37.8516655	37.8772218	38.1744437	38.3527727	38.4799987	38.5838888	38.5105509	38.4111091	38.3994437	38.3994437	38.3994437					
007	37.0299945	37.0244394	37.0083298	37.0777723	37.1844438	37.3183327	37.4872213	37.6183322	37.7438880	37.8033325	37.8486658	37.8827269	37.9538873	38.0265946	38.1199989	38.2288878	38.3549912	38.4579998	38.5394437	38.5988794	38.6033327	38.6033327	38.6033327					
008	36.8188873	36.8091879	36.7888888	36.7722143	36.8877707	37.1549989	37.2049985	37.3169989	37.4205549	37.8433321	37.8388878	37.8216652	37.9472218	37.9555542	38.1099987	38.2544436	38.3977769	38.4778891	38.6177769	38.6349986	38.6055467	38.5899984	38.5899984					
009	37.2822211	37.2616619	37.3733398	37.5516658	37.7822165	37.8666551	38.2411107	38.4266649											38.5922059	38.5922059	38.5922059	38.5922059	38.5922059					
010	37.5416660	37.4983324	37.4372214	37.5722176	37.7533256	37.9133263	37.9272717	37.9716662	37.8272207	37.8238883	37.9498877	37.9233327	37.7244496	37.7055547	37.6355546	37.6761102	38.0061104	38.1283256	38.2555544	38.5027768	38.5116691	38.5773713	38.5773713					
011	37.4033319	37.3816661	37.3472201	37.3561108	37.4505494	37.5677798	37.6927776	37.8099904	37.9644493	38.0084492	38.0505547	38.0484456	38.0811111	38.1499987	38.2349913	38.3238881	38.4194434	38.5016654	38.5016654	38.5749988	38.6233371	38.5905518	38.5905518					
012	37.1638878	37.1338880	37.1166559	37.1544495	37.2599938	37.4244493	37.5777769	37.7527771	37.8927768	38.0388798	38.0144435	38.0166684	38.0316682	37.8777768	38.2866556	38.3883327	38.4699985	38.5372216	38.5848888	38.6038882	38.6166559	38.6166559	38.6166559					

ボルグスケール（自覚的運動強度）

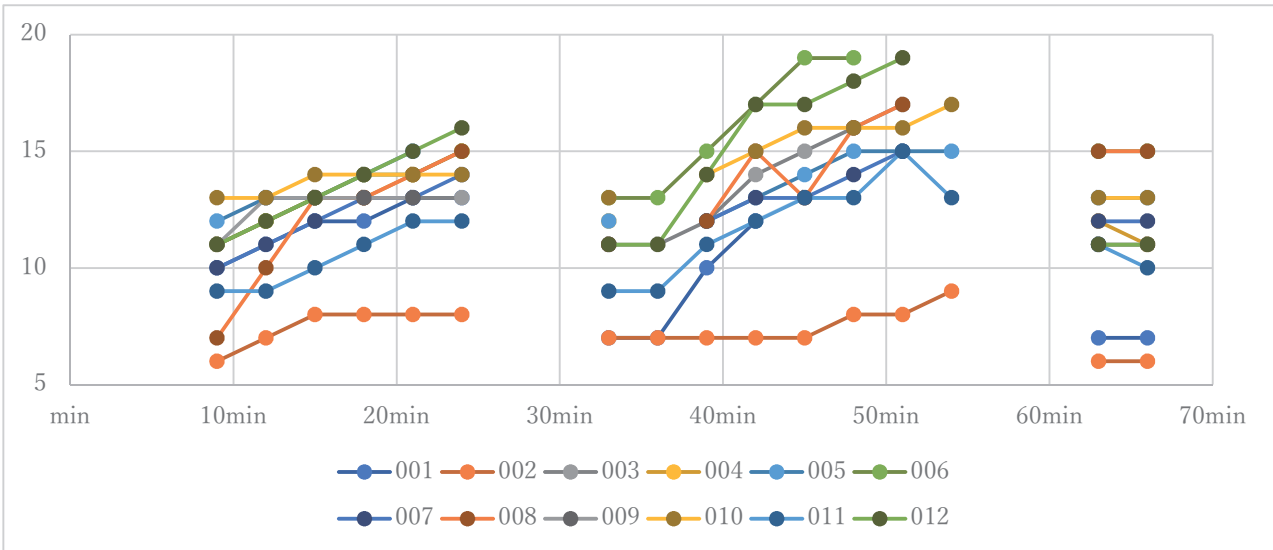
<気温 25℃湿度 50% 条件>



>17/20 : 赤色表示

	作業前安静		トレッドミル1				休憩				トレッドミル2				作業後安静									
	3min	6min	9min	12min	15min	18min	21min	24min	27min	30min	33min	36min	39min	42min	45min	48min	51min	54min	57min	60min	63min	66min		
001			10	12	12	12	13	13					11	11	12	12	13	13					7	7
002			6	6	8	8	9	9					7	7	7	7	8	8					6	6
003			11	11	12	12	12	13					9	9	11	11	12	13	13				10	9
004			11	12	13	13	14	15					11	11	13	13	15	15					11	9
005			13	13	15	15	16	16					11	11	13	13	15	15	16	16			11	11
006			9	13	13	14	14	15					11	11	12	15	15	16	16	16	16	16	12	16
007			10	12	12	13	13	13					9	10	11	13	13	14	15	15	16	16	10	9
008			7	9	11	13	15	16					11	7	7	9	11	11	12	14			9	7
009			11	9	13	13	13	15															11	11
010			12	13	14	14	14	15					12	12	15	15	15	16	16	16	16	11	11	
011			7	9	9	11	11	11					7	7	7	9	9	10	12	12			7	7
012			11	13	14	15	16	16					11	11	13	15	15	16	16	16	16	11	10	

<気温 35℃湿度 50% 条件>



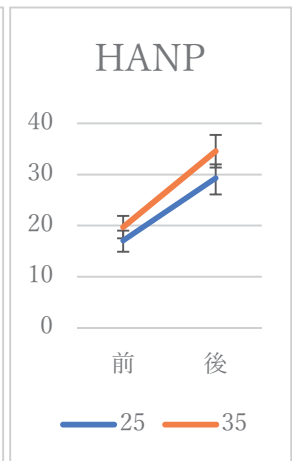
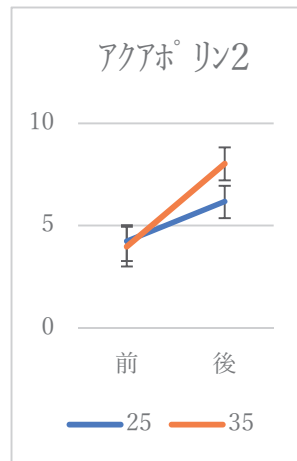
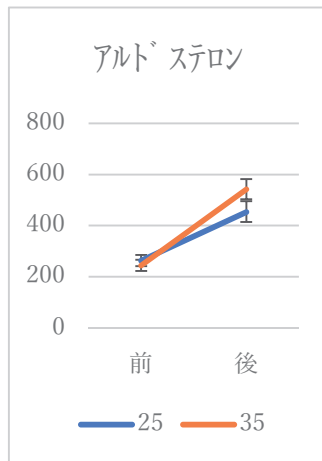
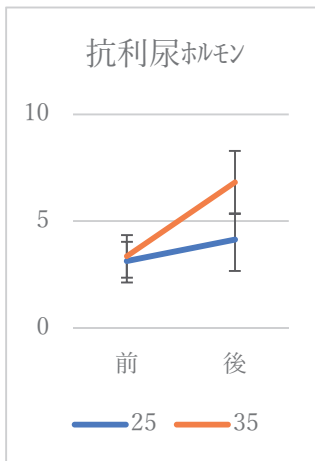
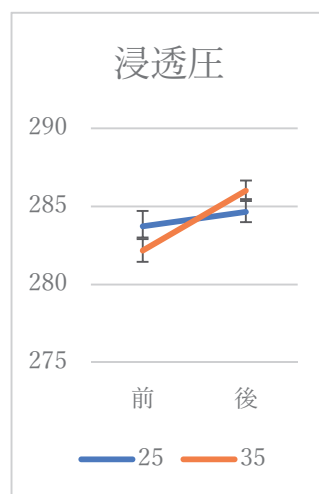
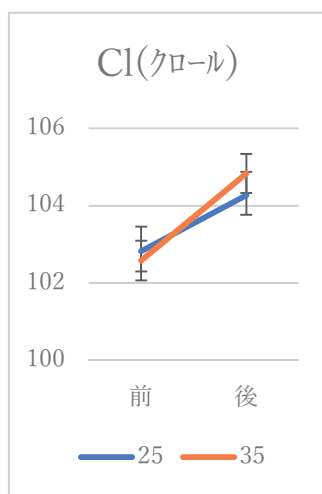
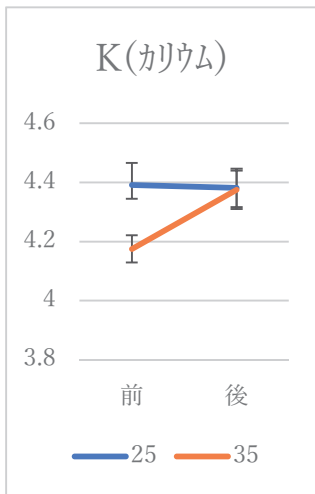
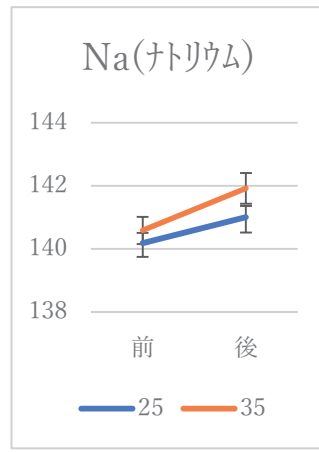
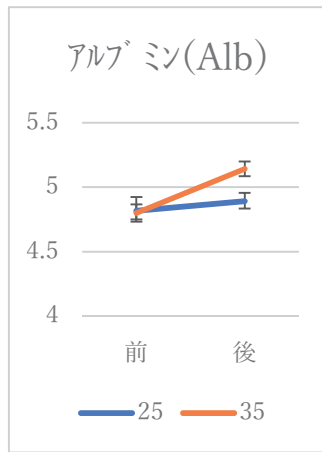
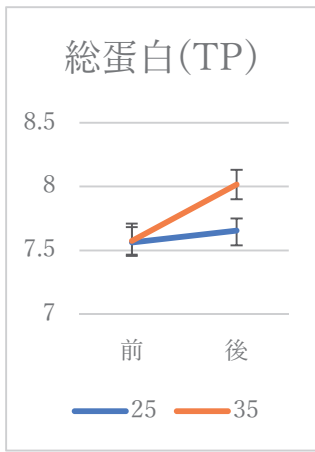
>17/20 : 赤色表示

	作業前安静		トレッドミル1				休憩				トレッドミル2				作業後安静									
	3min	6min	9min	12min	15min	18min	21min	24min	27min	30min	33min	36min	39min	42min	45min	48min	51min	54min	57min	60min	63min	66min		
001			10	11	12	12	13	13					10	12									7	7
002			6	7	8	8	8	8					7	7	7	7	8	8	8	8	8	6	6	
003			11	12	13	13	13	13					11	11	12	14	15	16	16	16	16	11	11	
004			11	12	13	13	14	15					12										12	13
005			12	13	13	14	15	15					12	13	14	15	15	15	15	15	15	13	13	
006			11	12	13	14	14	15					13	13	15	17	17	18	18	18	18	15	15	
007			10	11	12	13	13	14					12	13	13	14	15	15	15	15	15	12	12	
008			7	10	13	13	14	15					11			12	15	13	16	17			15	15
009			11	13	13	13	13	13															11	11
010			13	13	14	14	14	14					13	14	15	16	16	16	16	16	16	11	11	
011			9	9	10	11	12	12					9	11	12	13	13	15	15	15	15	11	10	
012			11	12	13	14	15	16					11	11	14	17	17	18	18	18	18	11	11	



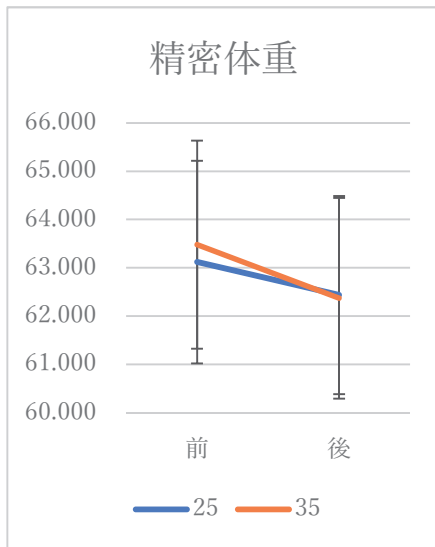
1 血液・尿検査の前後比較

	25°C					35°C						
	Pre		Post		pre vs post	Pre		Post		pre vs post		
	Mean	±SEM	Mean	±SEM	p-value	Mean	±SEM	Mean	±SEM	p-value		
総蛋白(TP)	7.56	0.15	7.65	0.09	0.59	7.58	0.11	8.02	0.11	**	0.01	
HDL-コレステロール	61.73	2.37	63.27	2.74	0.70	60.92	2.86	66.00	2.79		0.18	
LDL-コレステロール	105.82	9.30	107.18	9.23	0.92	96.75	8.57	103.83	9.83		0.58	
アルブミン(Alb)	4.82	0.11	4.89	0.07	0.51	4.80	0.07	5.14	0.06	**	0.00	
総ビリルビン(T-Bil)	0.85	0.11	0.86	0.11	0.90	0.78	0.12	0.79	0.08		0.95	
中性脂肪(TG)	90.27	8.31	66.00	6.64	0.22	116.17	21.95	74.17	9.86	*	0.03	
総コレステロール(T-Cho)	180.45	8.61	181.73	8.66	0.92	172.92	7.87	182.50	9.33		0.43	
尿素窒素(UN)	15.01	0.89	15.77	0.96	0.60	13.71	1.02	14.81	1.05		0.43	
クレアチニン	0.86	0.03	0.90	0.03	0.33	0.84	0.03	0.91	0.03		0.09	
尿酸(UA)	5.80	0.39	6.05	0.41	0.66	5.78	0.36	6.30	0.37		0.34	
Na(ナトリウム)	140.18	0.33	141.00	0.36	0.18	140.58	0.43	141.92	0.48	*	0.02	
Cl(クロール)	102.82	0.64	104.27	0.60	0.08	102.58	0.51	104.83	0.51	*	0.01	
K(カリウム)	4.39	0.07	4.38	0.06	0.92	4.18	0.05	4.38	0.07	*	0.03	
AST(GOT)	20.91	1.69	21.64	1.71	0.70	19.17	0.84	21.25	0.82		0.25	
ALT(GPT)	17.45	1.68	17.82	1.68	0.88	15.50	1.56	16.75	1.57		0.58	
LD(LDH)	170.64	8.34	176.64	8.29	0.59	171.42	6.84	190.25	7.46		0.09	
アルカリホスファターゼ(ALP)	227.55	17.61	219.09	14.79	0.89	223.00	13.90	222.50	11.88		0.41	
γ-GTP	18.18	1.33	18.45	1.06	0.89	18.33	1.43	19.83	1.35		0.41	
コリンエステラーゼ(CHE)	323.91	16.36	326.36	17.17	0.92	322.42	17.06	340.42	19.41		0.46	
浸透圧	283.73	0.97	284.64	0.82	0.43	282.17	0.73	286.00	0.65	**	0.00	
白血球数(WBC)	5436.36	388.07	5700.00	391.73	0.59	5283.33	227.91	5608.33	338.10		0.49	
赤血球数(RBC)	518.09	6.05	519.55	6.66	0.90	513.33	9.29	527.33	8.35		0.20	
血色素量(Hb)	15.76	0.18	15.81	0.17	0.87	15.62	0.21	16.08	0.20		0.09	
ヘマトクリット(HT)	46.81	0.50	46.55	0.48	0.77	46.71	0.70	47.55	0.67		0.32	
MCV	90.39	0.82	89.65	0.80	0.36	91.07	0.71	90.23	0.77		0.12	
MCH	30.44	0.25	30.45	0.28	0.98	30.46	0.26	30.52	0.23		0.87	
MCHC	33.67	0.20	33.95	0.19	0.37	33.46	0.23	33.82	0.23		0.24	
血小板数	27.48	0.91	28.48	0.84	0.46	26.95	0.97	29.24	0.98		0.08	
グルコース	94.00	2.29	90.00	3.27	0.36	91.08	4.15	97.67	1.61		0.12	
乳酸	11.15	1.82	11.16	1.23	0.99	11.18	1.37	13.77	1.59		0.23	
抗利尿ホルモン(AVP)	3.13	0.90	4.14	1.23	0.56	3.35	1.00	6.82	1.48	*	0.04	
コルチゾール	11.78	0.44	8.92	1.39	0.11	12.66	1.04	13.81	1.62		0.50	
アルドステロン	262.91	22.60	453.55	41.85	**	0.00	244.42	21.80	542.50	39.29	**	<.0001
クレアチニン	185.79	49.29	244.35	40.52	0.31	120.61	27.15	194.77	40.74		0.20	
Na(ナトリウム)	107.92	19.38	122.50	14.97	0.53	100.67	16.02	101.67	14.70		0.97	
Cl(クロール)	116.67	19.37	161.25	17.61	0.10	116.42	19.50	135.67	18.37		0.47	
K(カリウム)	44.49	8.49	89.14	17.43	0.87	417.12	380.80	65.25	12.29		0.20	
尿中浸透圧	707.58	91.67	833.17	66.01	0.30	578.08	95.11	629.17	83.19		0.67	
アリアポリン2濃度	8.73	2.71	14.82	3.04	0.05	6.03	2.18	16.25	3.94		0.02	
アリアポリン2クレアチニン換算値	4.24	0.78	6.18	0.76	*	0.04	3.97	0.97	8.02	**	0.00	
HANP	17.08	1.94	29.25	2.72	**	0.00	19.70	2.19	34.56	**	0.00	



2 精密体重の前後比較（推定脱水量）

体重(kg)	25℃					35℃				
	Pre		Post		%Δ	Pre		Post		%Δ
	Mean	±SEM	Mean	±SEM		Mean	±SEM	Mean	±SEM	
	63.119	2.097	62.437	2.053	1.080	63.480	2.155	62.370	2.081	1.750



## 暑熱環境下運動負荷時の生体データ変化の検討<第2報>

研究代表者：丸山 崇 産業医科大学 医学部 第1生理学 准教授

### 研究要旨：

熱中症は、暑熱環境下での活動による脱水や深部体温の上昇が原因で起こる病態と考えられるが、暑熱環境の活動により、生体がどのような反応を起こすのか、不明な点も多い。そのため、熱中症の病態を生理学的に検討することは、熱中症の初期症状の発見や効果的な予防のために大事な知見となると考えられる。昨年度より継続している、人工気候室における運動負荷実験において、血液などの生体データについて評価を行い、暑熱環境下での運動負荷による生体影響の検討をおこなった。昨年度、既に報告済みである12人の被験者データに新たに7人のデータを追加し、暑熱環境下での運動負荷を行なった際の生体への影響を検討した。

実験は、成人健康男性19名に被験者として協力を頂き、産業医科大学人工気候室において、各被験者がそれぞれ<条件1>気温35℃、湿度50%、<条件2>気温25℃、湿度50%の2つの環境条件で、トレッドミルによる運動負荷実験をおこなった。運動負荷前から、心電図、深部体温（直腸温）、血圧、脈派等を持続測定し、暑熱運動負荷の前後において、脱水の指標となる精密体重測定や採血・採尿検査を行ない、生体データの変化を検討した。尚、被験者の安全を考慮し、深部体温が38.5℃を超えた時や頭痛、嘔気など何らかの身体症状が出現した際には運動負荷を中止する基準を設けて実施した。

気温 35℃湿度 50%の環境条件において、15/18 例で深部体温は 38.5℃に達し、また 17/19 で心拍数が（180-年齢）に達した。また、体重による脱水評価に関しても平均で体重の 1.655%の減少が見られ、19 例全例でアメリカ産業衛生専門家会議（ACGIH）が示す、Heat Strain（暑熱ストレイン）の状態となっていた。また、血液及び尿検査では、25℃条件においては、血中アルドステロン、血中 HANP、尿中 K(カリウム)で有意な変化が認められ、35℃条件においては、血中総蛋白(TP)、血中アルブミン(A1b)、血中中性脂肪(TG)、クレアチニン、血中 Na(ナトリウム)、血中 Cl(クロール)、LD(LDH)、血中浸透圧、血色素量(Hb)、血小板数、血中抗利尿ホルモン(AVP)、アルドステロン、尿中カリウム、血中 HANP、尿中アアポリン2において有意な変化が認められた。ヘマトクリットや尿酸など一般的な脱水評価の指標では有意な差は認められなかったにもかかわらず、血中総蛋白(TP)、血中アルブミン(A1b)、ペプチドホルモン等において変化が見られていることから、暑熱環境での身体負荷による変化を早期に反映する生理指標として重要な知見を得ることが出来た。

今回用いた人工気候室での暑熱環境下運動負荷実験により、熱負荷や脱水による生体の変化を再現することが出来た。熱中症のリスクが高まった状態である Heat Strain（暑熱ストレイン）の状態が早期に発見できれば、早期の対応によって脂肪などの重大災害を避けることが可能となる。そのための指標として、今回の実験の結果が参考になることを期待したい。

## 分担研究者

山田晋平（産業医科大学産業保健学部安全衛生マネジメント学）

倉岡宏之（産業医科大学産業保健学部安全衛生マネジメント学）

黒坂知絵（産業医科大学産業保健学部人間情報科学）

江口泰正（産業医科大学産業保健学部人間情報科学）

八谷百合子（産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学）

上田陽一（産業医科大学医学部第1生理学）

東敏昭（一般財団法人西日本産業衛生会/産業医科大学名誉教授）

## A. 研究の背景および目的

人工的に暑熱環境を作ることの出来る人工気候室において、暑熱環境および通常環境の2条件を設定し、運動負荷実験を行う際に測定した生体指標について解析することにより、熱中症初期段階の生体影響について検討する。

尚、当実験は、産業医科大学倫理委員会の承認を受け実施された。

## B. 研究方法

### a. 暑熱環境における運動負荷実験

被験者は健康成人男性とした。産業医科大学人工気候室（エスペック）において、＜条件1＞気温35℃、湿度50%（暑熱環境）、＜条件2＞気温25℃、湿度50%の2条件で、同一被験者がそれぞれ別の日程で実験を行った。各条件における実験スケジュールは、6分間の安静+18分間運動負荷+12分安静+18分間運動負荷+12分安静とした。運動負荷の強度は、時速7km（きつい労力：80w相当）とし、事前に最大酸素摂取量（VO<sub>2</sub>max）を測定し70%VO<sub>2</sub>max以下になるように設定した。

### b. 測定項目

[測定①、測定②、測定③]

（運動負荷前後の休憩時間で測定）

- ・ 体重、体組成、覚醒度、自覚的運動強度
- ・ 血液検査、尿検査

[持続生体指標測定④]

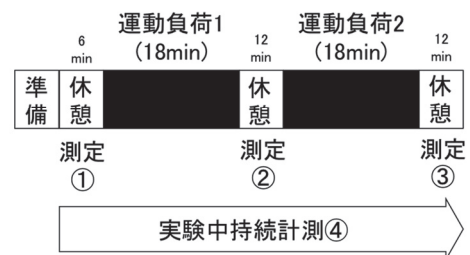
深部体温（直腸温）

血圧、心拍、脈波、血中酸素濃度

皮膚温、ボルグスケール（自覚的運動強度）

環境測定：WBGT等

＜人工気候室環境：気温35℃/25℃、湿度50%＞



### c. 中止基準

深部体温 38.5℃以上/痙攣が起きる/激しい頭痛/めまい/嘔気嘔吐/目の前が暗くなる/意識障害が出現した場合には、即時実験を中止することとした。

### c. 分析

深部体温測定や血液検査が不完全である被験者に関しては、解析から除外した。統計解析には JMP バージョン 15.0 (SAS Institute Inc.) を使用し、有意水準は5%とした。

## C. 研究結果

### 実験対象者

成人健康男性：19人（年齢21～42）×2条件

＜環境条件1＞低リスク（注意レベル、気温25℃湿度50% WBGT22℃）

＜環境条件2＞高リスク（厳重警戒レベル、気温35℃湿度50% WBGT30℃）

＜運動負荷＞トレッドミル 80W（きつい肉体労働レベル）18分×2回

#### a. 心拍、深部体温、自覚症状の変化

トレッドミルによる運動負荷により、心拍数、深部体温、ボルグスケールは、いずれも運動負荷とともに値が上昇した。(別添資料)

心拍数の平均は、25℃条件の際に、運動負荷前休憩1(ベースライン):76.5/min、運動負荷1:139.9/min、休憩2:101.1/min、運動負荷2:148.0/min、休憩3:104.7/minであり、35℃条件の際に、運動負荷前休憩1(ベースライン):82.7/min、運動負荷1:145.4/min、休憩2:117.7/min、運動負荷2:160.6/min、休憩3:128.3/minであった。運動負荷時は、25℃条件でベースライン平均の76.5/minと比べ、約72.0/minの上昇、35℃条件でベースライン平均の82.7/minと比べ、約78.0/minの上昇を認めた。熱負荷の一指標である、(180-年齢)を超えた被験者は、25℃条件で11/19例、35℃条件で17/19例であった。

深部体温は、運動負荷とともに徐々に上昇し、運動負荷間インターバルの安静時には上昇率が低下するものの、運動負荷終了まで上昇傾向を認めた。深部体温が38.5℃に達した際には、速やかに運動負荷を中止し、安静に移行した。気温25℃条件で、深部体温38℃を超えた事例は14/18例、深部体温38.5℃を超えた事例は6/18例であった。気温35℃条件では、深部体温38℃を超えた事例は18/18例、深部体温38.5℃を超えた事例は15/18例であった。運動負荷前のベースラインでの深部体温の差が25℃条件においては36.83-37.74、35℃条件においては36.73-37.54とばらつきがあり、個人差があることが考えられた。

ボルグスケール(自覚的運動強度)は、20段階で評価され、19/20を超えた際には速やかに運動負荷を中止し、安静に移行した。運動負荷をかけると徐々に自覚的運動強度は上昇し、安静時には低下するという傾向が見られた。25℃条件において、前半の運動負荷で平均13.72ま

で上昇、後半の運動負荷で平均14.26まで上昇が認められた。35℃条件においては、前半の運動負荷で平均13.35まで上昇、後半の運動負荷で平均14.5まで上昇が認められた。自覚的に17(かなりきつい)のレベルを超えた事例は、25℃条件において4/19例、35℃条件において8/19例であった。ボルグスケールに関しても、ベースラインの範囲が25℃、35℃それぞれにおいて6-13と、個人差が認められた。

#### b. 体重変化

精密体重計を用いて、運動負荷(安静時間含む)前後の体重測定を行い、脱水の指標とした。

平均体重は、25℃条件において運動負荷前62.750kg、運動負荷後62.119kgであり、体重差平均は0.631kg(体重比1.006%)であった。35℃条件においては運動負荷前62.888kg、運動負荷後61.847kgであり、体重差平均は1.048kg(体重比1.655%)であった。体重の1.5%以上の体重減少を認めた事例は、25℃条件において1/19、35℃条件において11/19例であった。

#### c. 血液・尿データ

運動負荷の前後において、採血及び採尿検査を行った。尚、運動負荷の前後において、補水は行っていない。

25℃条件において有意な増減が見られた項目は、血中アルブミン、血中HANP、尿中K(カリウム)35℃条件において有意な増減が見られた項目は、血中総蛋白(TP)、血中アルブミン(A1b)、血中中性脂肪(TG)、クレアチニン、血中Na(ナトリウム)、血中Cl(クロール)、LD(LDH)、血中浸透圧、血色素量(Hb)、血小板数、血中抗利尿ホルモン(AVP)、アルブミン、尿中カリウム、血中HANP、尿中アミノ酸2であった。

#### D. 考察

今回、昨年度に引き続き、人工気候室において、2つの異なる温度環境の下、運動負荷を行ない、生



体データを測定することで、暑熱環境が生体に及ぼす影響を評価した。

被験者数が増え、解析対象のデータ数が増えたが、暑熱環境における運動負荷という条件において、全体的な傾向はこれまでと同様であり、休憩や運動負荷に対し生体反応に大きな違いがないことが分かった。ただし、深部体温や心拍数、ボルグスケールに関して、ベースラインの個人差が大きいことは、一連のデータ測定から観察されており、個人毎にリスク予測をすることが必要になると考えられる。ただし、変化量に関しては、暑熱条件や運動負荷の強度に対して大きな変化は認めないため、個人毎のベースラインと環境条件などが把握されれば、心拍などの生体指標を計測することで、リスク予測が出来る可能性があると考えられた。

アメリカ産業衛生専門家会議 (ACGIH) は、熱中症に至る前のHeat Strain (暑熱ストレイン、熱緊張) の状態の基準には、深部体温、心拍数、脱水、自覚症状が示されているが、作業中に測定評価可能な指標は、心拍数や自覚症状であり、今後、このような測定可能なデータから、熱中症リスク予測をする技術の開発が望まれる。

血液及び尿検査から得られたデータの解析では、25℃条件では、血中アルドステロン、血中HANPといった、血压反応性のホルモンが有意な変化を認めた。35℃条件では、これに加え総蛋白、アルブミン、血漿浸透圧、抗利尿ホルモン、尿中アクアポリンなど脱水の指標において有意な変化を認めた。それぞれの指標の変化は、熱ストレスに対する反応だけでなく、運動によるもの、脱水によるもの、血压変化に伴うものなど様々な要因が考えられる。より熱ストレスに特徴的な変化指標が同定出来れば、今後の熱中症予防や熱中症の重症度診断にも有用であると考えられる。

また、脱水は一つの重要な指標であり、夏期に暑熱環境下の作業に従事する労働者は、作業前後や日々

の体重測定をすることが推奨されると考えられた。

## E. 結論

- ・ 熱中症リスクを評価するための実験モデルとして、人工気候室において暑熱環境下での運動負荷実験を行った。
- ・ 個人差はあるが、暑熱環境での運動負荷に対して、ほぼ同様の生体反応が観察できた。
- ・ 血液及び尿検査では、熱ストレスに特徴的な指標となる候補指標が検討できた。
- ・ 生体指標の変化を早期に捉えて、熱中症予防を促すウェアラブルデバイスなどによる熱中症防止システムの開発が求められている。

## F. 健康危険情報

なし

## G. 研究発表

1. 論文発表  
なし
2. 学会発表  
なし

## H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得  
なし
  2. 実用新案登録  
なし
  3. その他  
なし
-



## 暑熱環境での運動負荷実験（追加データ7例）

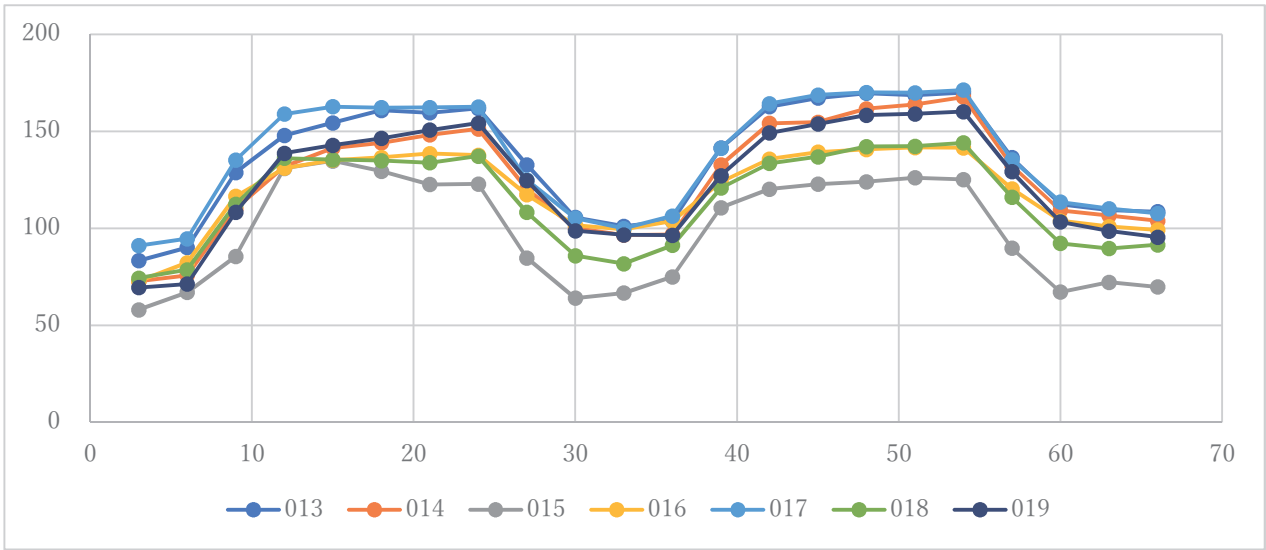
## ＜被験者身体特性＞

被験者No.	環境条件	実験日	性別	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)
R-013	気温 25℃、湿度 50%	2020/9/29	男	21	181.6	67.7
	気温 35℃、湿度 50%	2020/10/7				
R-014	気温 25℃、湿度 50%	2020/10/2	男	22	168	66.6
	気温 35℃、湿度 50%	2020/10/6				
R-015	気温 25℃、湿度 50%	2020/10/13	男	21	163	55.5
	気温 35℃、湿度 50%	2020/10/20				
R-016	気温 25℃、湿度 50%	2020/10/27	男	21	168.2	53.5
	気温 35℃、湿度 50%	2020/11/11				
R-017	気温 25℃、湿度 50%	2020/11/9	男	22	169	63.4
	気温 35℃、湿度 50%	2020/11/16				
R-018	気温 25℃、湿度 50%	2020/12/11	男	22	172	61.1
	気温 35℃、湿度 50%	2020/12/18				
R-019	気温 25℃、湿度 50%	2020/12/1	男	31	173	66.7
	気温 35℃、湿度 50%	2020/12/7				

## 暑熱環境での運動負荷実験（追加データ 7例）

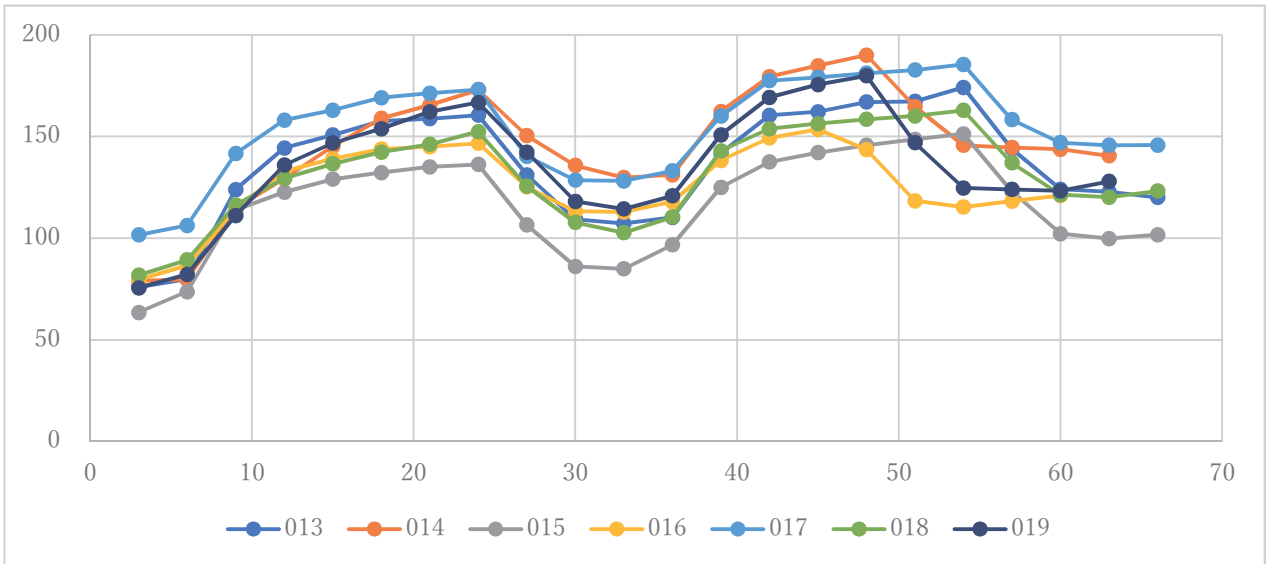
### 心拍数

〈気温 25℃湿度 50% 条件〉



	作業前安静		トレッドミル1								休憩				トレッドミル2						作業後安静			
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66		
013	83.36	90.10	128.82	147.82	154.33	160.79	159.60	161.80	132.72	105.65	101.05	103.72	141.43	162.68	167.12	169.62	168.65	169.84	136.51	112.28	109.42	108.57		
014	72.75	75.74	110.17	131.76	141.41	144.07	148.18	151.22	120.34	100.11	96.53	96.86	132.71	154.09	154.67	161.66	163.74	167.63	132.23	109.27	106.63	103.90		
015	58.01	67.04	85.52	130.92	134.73	129.48	122.63	122.86	84.75	64.06	66.66	74.98	110.69	120.19	122.76	123.98	126.07	125.17	89.76	67.16	72.17	69.83		
016	72.76	82.24	116.50	131.05	135.16	136.51	138.53	137.72	117.36	101.69	99.40	103.70	123.86	135.73	139.29	140.69	141.68	141.50	120.40	103.89	100.92	99.16		
017	91.08	94.65	135.15	158.89	162.68	162.17	162.30	162.65	124.91	105.26	99.89	106.36	141.32	164.30	168.72	170.04	169.87	171.26	135.38	113.58	110.12	107.71		
018	74.38	78.69	112.47	136.11	135.38	134.86	133.79	137.20	108.25	85.92	81.76	91.29	120.80	133.46	136.85	142.16	142.33	144.02	116.06	92.26	89.63	91.50		
019	69.46	71.29	108.25	138.72	142.83	146.34	150.66	154.18	124.68	98.74	96.63	96.47	127.18	149.17	153.77	158.36	158.97	160.11	129.20	103.31	98.63	95.50		

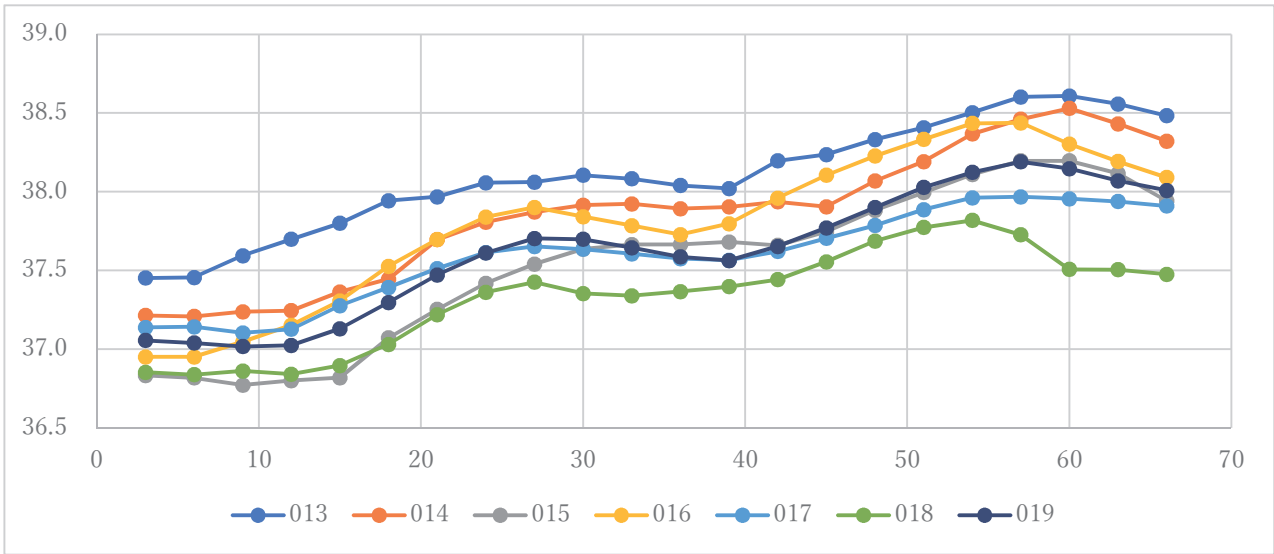
〈気温 35℃湿度 50% 条件〉



	作業前安静		トレッドミル1								休憩				トレッドミル2						作業後安静			
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66		
013	75.95	79.80	123.87	144.32	150.72	157.59	158.73	160.47	131.12	109.36	107.20	110.22	141.69	160.39	162.17	166.97	167.23	174.08	143.93	124.03	122.77	120.04		
014	79.03	79.76	114.62	129.23	145.14	156.94	165.43	172.89	150.41	135.79	129.76	131.11	162.26	179.47	184.83	189.99	164.68	145.69	144.56	143.75	140.48			
015	63.45	73.69	113.77	122.59	128.97	132.19	135.08	136.24	106.47	86.07	84.92	96.74	124.99	137.48	142.08	145.65	148.59	151.29	122.96	102.12	99.83	101.71		
016	79.51	86.61	114.27	132.92	139.02	143.81	144.94	146.60	125.23	113.21	112.88	117.93	138.17	149.27	153.50	143.52	118.41	115.33	118.21	120.99				
017	101.60	106.25	141.60	158.01	162.91	169.05	171.27	173.06	140.28	128.53	128.12	133.07	160.04	177.47	179.07	181.10	182.68	185.41	158.25	146.95	145.71	145.77		
018	81.75	89.36	116.35	129.44	136.55	142.31	146.19	152.37	125.50	107.73	102.73	110.39	142.91	153.80	156.30	158.45	160.10	162.82	137.02	121.38	120.11	123.14		
019	75.56	82.15	111.16	135.94	146.76	153.80	162.17	166.69	142.31	118.06	114.39	120.79	150.16	169.24	175.49	179.85	146.93	124.65	123.96	123.27	127.93			

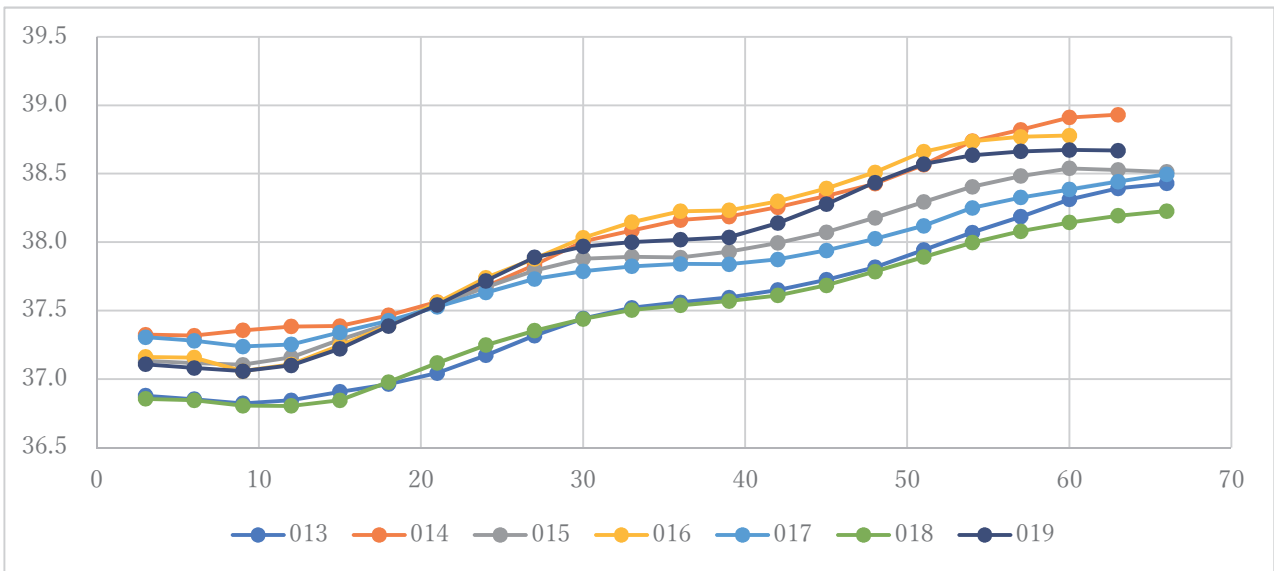
深部体温（直腸温）

〈気温 25℃湿度 50% 条件〉



	作業前安静			トレッドミル1						休憩						トレッドミル2						作業後安静		
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66		
013	37.45	37.45	37.59	37.70	37.80	37.94	37.97	38.06	38.06	38.10	38.08	38.04	38.02	38.20	38.24	38.33	38.41	38.50	38.60	38.61	38.56	38.48		
014	37.21	37.21	37.24	37.24	37.36	37.44	37.70	37.81	37.87	37.91	37.92	37.89	37.90	37.94	37.90	38.07	38.19	38.37	38.46	38.53	38.43	38.32		
015	36.83	36.82	36.77	36.80	36.82	37.07	37.25	37.42	37.54	37.64	37.66	37.66	37.68	37.66	37.75	37.88	37.99	38.11	38.20	38.20	38.12	37.94		
016	36.95	36.95	37.05	37.15	37.31	37.53	37.70	37.84	37.90	37.84	37.78	37.73	37.80	37.96	38.10	38.23	38.33	38.43	38.44	38.30	38.19	38.09		
017	37.14	37.14	37.10	37.13	37.28	37.39	37.51	37.61	37.65	37.63	37.61	37.57	37.56	37.62	37.70	37.79	37.89	37.96	37.97	37.96	37.94	37.91		
018	36.85	36.84	36.86	36.84	36.90	37.03	37.22	37.36	37.42	37.35	37.34	37.37	37.40	37.44	37.55	37.69	37.77	37.82	37.73	37.51	37.50	37.48		
019	37.05	37.04	37.02	37.02	37.13	37.30	37.47	37.61	37.70	37.70	37.64	37.59	37.56	37.65	37.77	37.90	38.03	38.12	38.19	38.15	38.07	38.01		

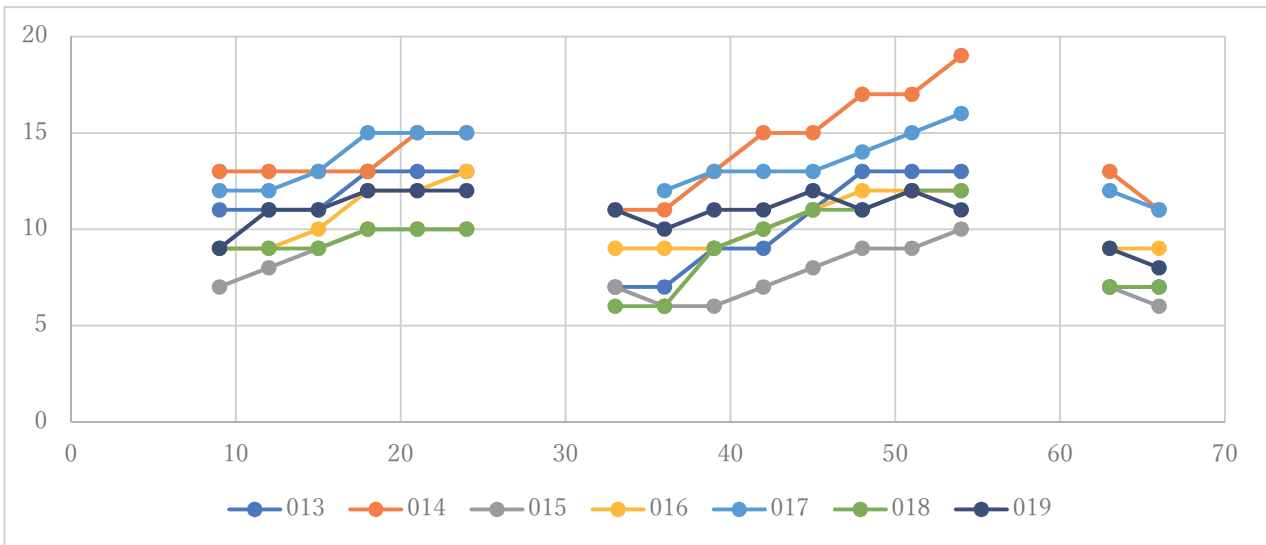
〈気温 35℃湿度 50% 条件〉



	作業前安静			トレッドミル1						休憩						トレッドミル2						作業後安静		
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66		
013	36.88	36.85	36.82	36.84	36.91	36.96	37.04	37.17	37.32	37.44	37.52	37.56	37.59	37.65	37.73	37.82	37.94	38.07	38.19	38.31	38.39	38.43		
014	37.32	37.32	37.36	37.38	37.39	37.47	37.56	37.67	37.83	38.01	38.08	38.16	38.19	38.25	38.34	38.43	38.56	38.74	38.82	38.91	38.93	38.93		
015	37.13	37.12	37.10	37.16	37.29	37.40	37.54	37.67	37.79	37.88	37.89	37.89	37.93	37.99	38.07	38.18	38.29	38.40	38.48	38.54	38.53	38.51		
016	37.16	37.16	37.06	37.11	37.24	37.39	37.56	37.74	37.88	38.03	38.15	38.23	38.23	38.30	38.39	38.51	38.66	38.74	38.77	38.78				
017	37.31	37.28	37.24	37.25	37.34	37.43	37.53	37.63	37.73	37.79	37.82	37.84	37.84	37.87	37.94	38.02	38.12	38.25	38.33	38.38	38.44	38.50		
018	36.86	36.85	36.80	36.80	36.85	36.98	37.12	37.25	37.35	37.44	37.50	37.54	37.57	37.61	37.68	37.78	37.89	38.00	38.08	38.14	38.19	38.23		
019	37.11	37.08	37.06	37.10	37.22	37.39	37.54	37.72	37.89	37.97	38.00	38.02	38.04	38.14	38.28	38.43	38.57	38.63	38.66	38.67	38.67			

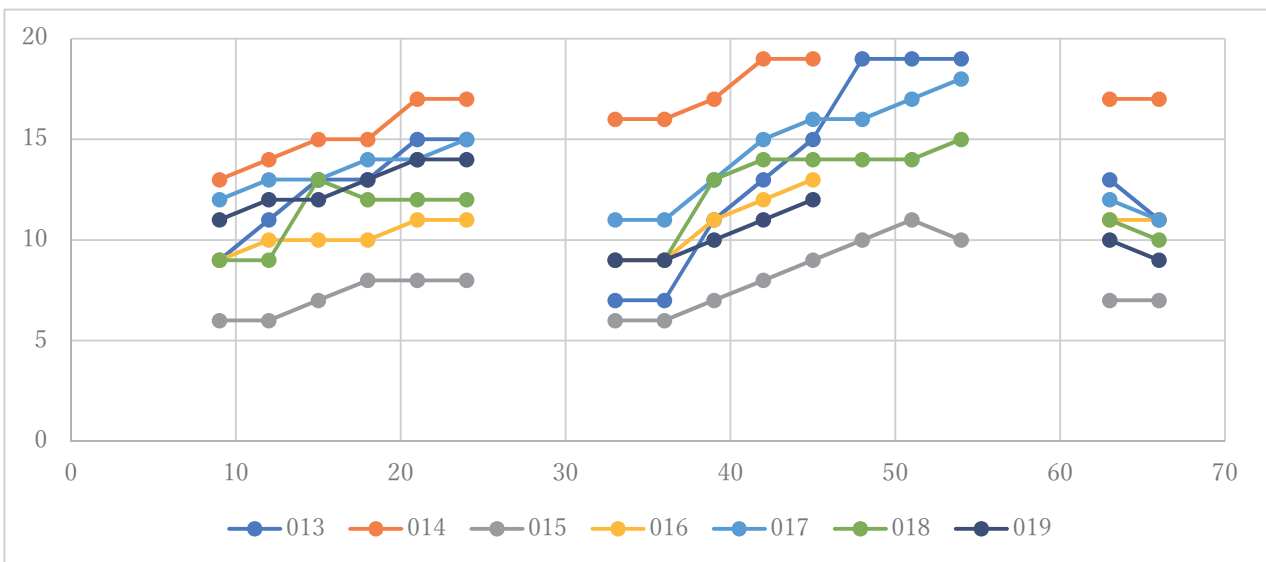
ボルグスケール（自覚的運動強度）

〈気温 25℃湿度 50% 条件〉



	作業前安静		トレッドミル1							休憩						トレッドミル2						作業後安静		
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66		
013			11	11	11	13	13	13			7	7	9	9	11	13	13	13				7	7	
014			13	13	13	13	15	15			11	11	13	15	15	17	17	19				13	11	
015			7	8	9	10	10	10			7	6	6	7	8	9	9	10				7	6	
016			9	9	10	12	12	13			9	9	9	10	11	12	12	12				9	9	
017			12	12	13	15	15	15				12	13	13	13	14	15	16				12	11	
018			9	9	9	10	10	10			6	6	9	10	11	11	12	12				7	7	
019			9	11	11	12	12	12			11	10	11	11	12	11	12	11				9	8	

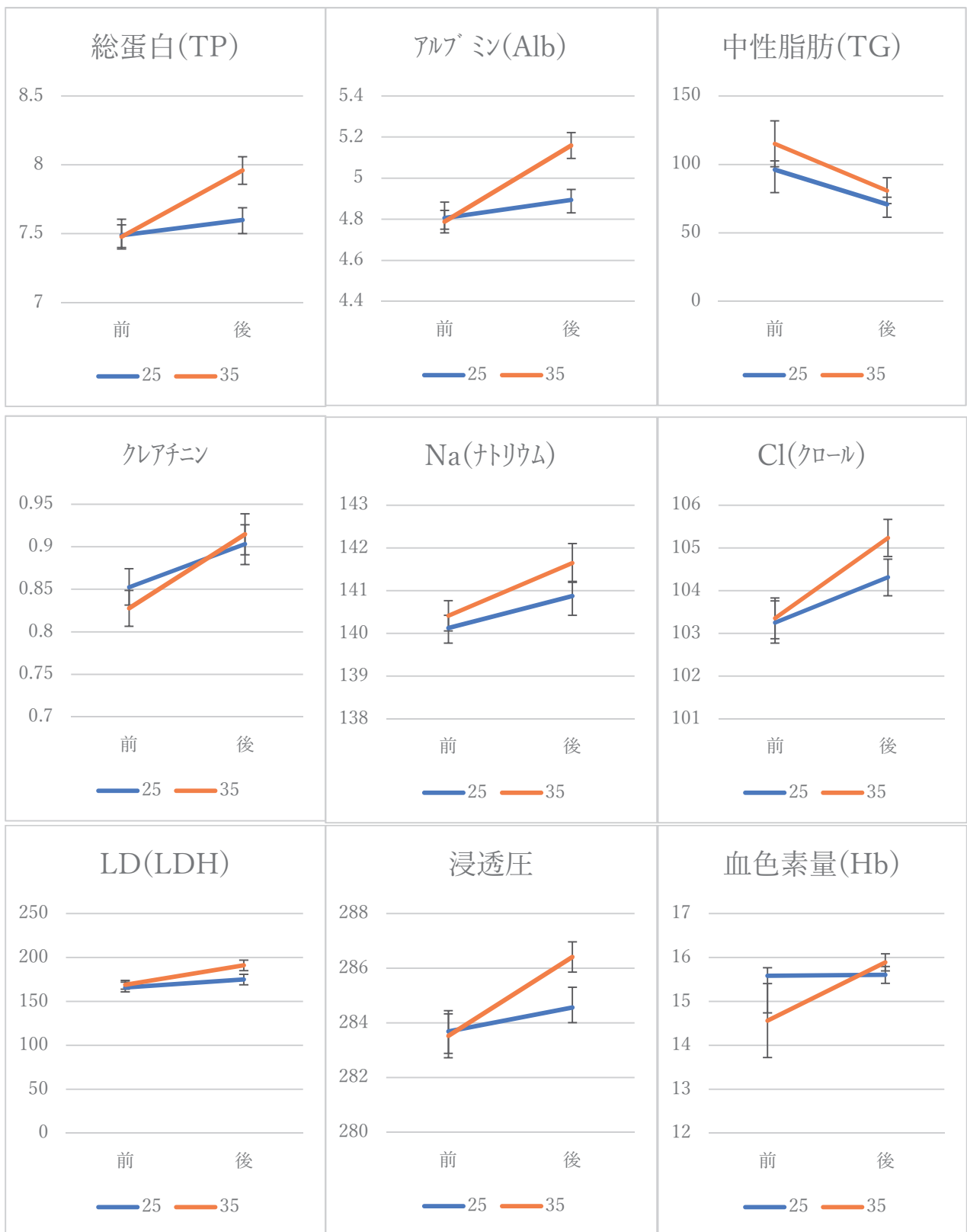
〈気温 35℃湿度 50% 条件〉

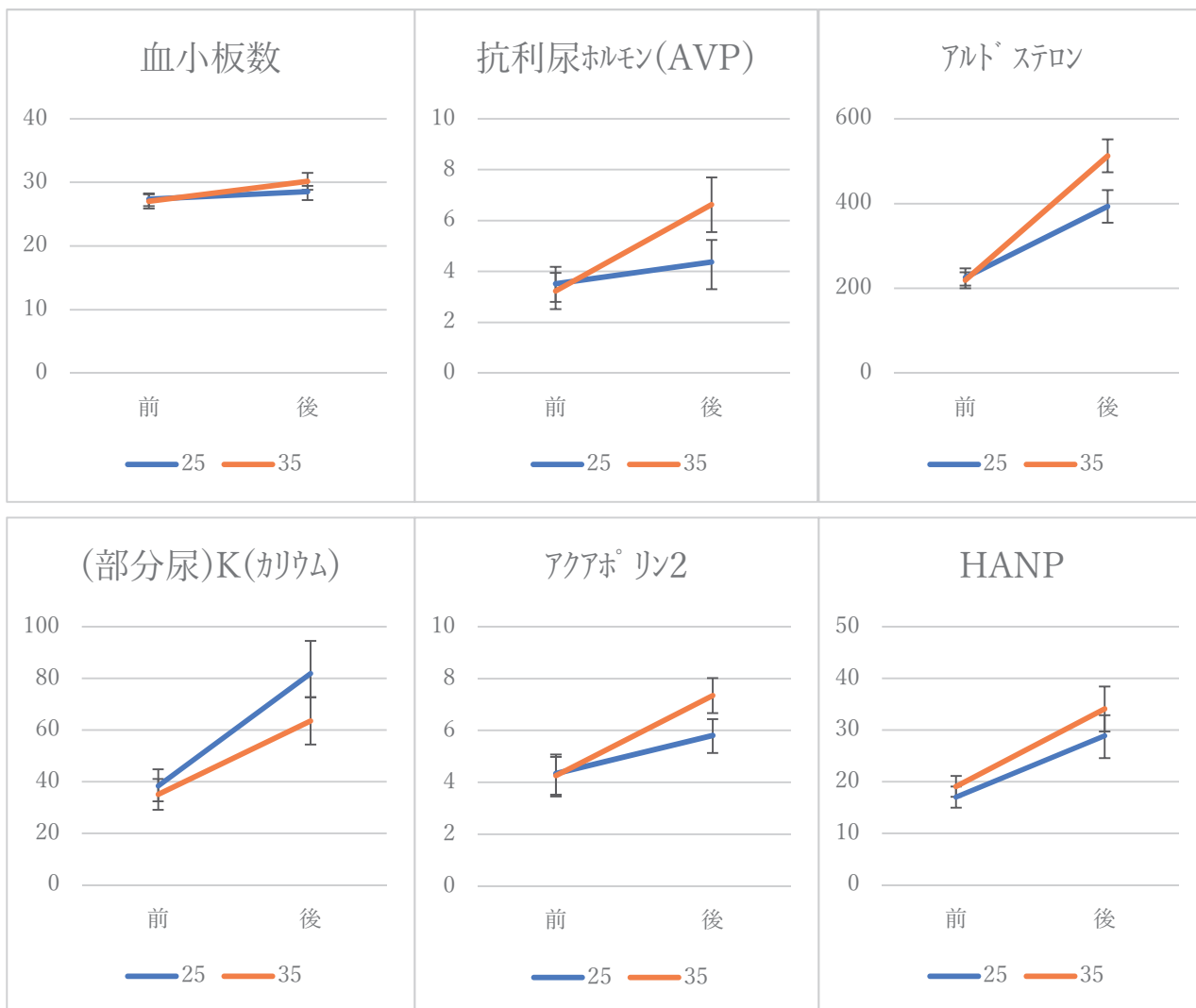


	作業前安静		トレッドミル1							休憩						トレッドミル2						作業後安静		
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66		
013			9	11	13	13	15	15			7	7	11	13	15	19	19	19				13	11	
014			13	14	15	15	17	17			16	16	17	19	19							17	17	
015			6	6	7	8	8	8			6	6	7	8	9	10	11	10				7	7	
016			9	10	10	10	11	11			9	9	11	12	13							11	11	
017			12	13	13	14	14	15			11	11	13	15	16	16	17	18				12	11	
018			9	9	13	12	12	12			9	9	13	14	14	14	14	15				11	10	
019			11	12	12	13	14	14			9	9	10	11	12							10	9	

1 血液・尿検査の前後比較

	25°C					35°C				
	Pre		Post		pre vs post p-value	Pre		Post		pre vs post p-value
	Mean	±SEM	Mean	±SEM		Mean	±SEM	Mean	±SEM	
総蛋白(TP)	7.49	0.12	7.60	0.09	0.43	7.48	0.09	7.96	0.10	<0.01 **
HDL-コレステロール	58.56	2.12	60.00	2.34	0.66	58.59	2.25	63.53	2.26	0.12
LDL-コレステロール	100.13	6.96	101.94	6.86	0.86	94.65	6.43	102.29	7.32	0.43
アルブミン(Alb)	4.81	0.08	4.89	0.05	0.33	4.79	0.05	5.16	0.06	<0.01 **
総ビリルビン(T-Bil)	0.79	0.08	0.78	0.08	0.92	0.72	0.09	0.75	0.07	0.84
中性脂肪(TG)	96.13	6.43	70.94	5.17	0.11	115.06	16.74	80.82	9.41	0.02 *
総コレステロール(T-Cho)	171.88	7.11	173.38	7.07	0.88	168.47	6.58	179.12	7.52	0.28
尿素窒素(UN)	13.94	0.74	14.59	0.81	0.56	13.35	0.74	14.36	0.77	0.35
クレアチニン	0.85	0.02	0.90	0.02	0.12	0.83	0.02	0.91	0.02	<0.01 **
尿酸(UA)	5.94	0.36	6.18	0.39	0.64	5.89	0.31	6.44	0.35	0.26
Na(ナトリウム)	140.13	0.30	140.88	0.34	0.16	140.41	0.35	141.65	0.45	0.02 *
Cl(クロール)	103.25	0.51	104.31	0.43	0.12	103.35	0.48	105.24	0.43	<0.01 **
K(カリウム)	4.31	0.06	4.36	0.05	0.53	4.20	0.05	4.35	0.06	0.05
AST(GOT)	20.81	1.39	21.81	1.49	0.66	20.35	1.22	22.88	1.69	0.22
ALT(GPT)	21.06	2.98	21.50	3.03	0.92	19.18	2.69	20.94	2.99	0.67
LD(LDH)	165.81	6.09	174.94	6.00	0.27	168.82	5.04	191.00	5.92	<0.01 **
アルカリホスファターゼ(ALP)	224.19	15.08	215.75	13.02	0.66	221.53	12.85	223.82	11.71	0.90
γ-GTP	20.06	2.16	20.44	2.13	0.91	20.29	2.30	22.29	2.92	0.55
コリンエステラーゼ(ChE)	324.13	13.84	327.00	14.81	0.90	323.76	16.05	343.71	18.46	0.37
浸透圧	283.69	0.76	284.56	0.74	0.40	283.53	0.80	286.41	0.56	<0.01 **
白血球数(WBC)	5412.50	319.88	5550.00	308.49	0.74	5311.76	228.63	5688.24	268.28	0.34
赤血球数(RBC)	514.88	5.79	515.81	5.95	0.92	505.59	8.03	523.06	7.06	0.07
血色素量(Hb)	15.58	0.18	15.61	0.19	0.97	14.56	0.84	15.89	0.19	0.04 *
ヘマトリカット(Ht)	46.19	0.53	45.97	0.48	0.79	45.64	0.68	46.78	0.63	0.17
MCV	89.71	0.80	89.18	0.79	0.63	90.33	0.71	89.47	0.74	0.42
MCH	30.28	0.27	30.27	0.30	0.99	30.36	0.29	30.41	0.25	0.90
MCHC	33.73	0.15	33.94	0.15	0.39	33.62	0.20	33.98	0.18	0.14
血小板数	27.36	0.90	28.56	0.91	0.45	27.02	1.11	30.16	1.35	0.04 *
グルコース	94.13	2.71	90.88	2.36	0.43	95.29	3.83	98.65	2.17	0.40
乳酸	11.16	1.28	11.17	0.96	0.99	11.65	1.09	13.66	1.17	0.21
抗利尿ホルモン(AVP)	3.52	0.66	4.38	0.87	0.49	3.23	0.72	6.62	1.08	<0.01 **
コルチゾール	11.46	0.43	9.11	1.10	0.13	11.34	0.94	13.84	1.50	0.10
アルドステロン	225.88	21.51	393.63	38.42	<0.01 **	219.35	18.84	512.59	38.93	<0.01 **
クレアチニン	183.96	37.04	248.18	29.04	0.15	140.81	25.50	204.26	32.79	0.16
Na(ナトリウム)	120.71	17.17	138.59	12.94	0.42	115.76	16.51	115.71	15.16	0.99
Cl(クロール)	124.00	16.61	172.88	15.03	0.05	132.41	18.37	152.59	17.38	0.40
K(カリウム)	38.29	6.53	81.88	12.57	<0.01 **	35.09	5.98	63.45	9.13	0.03 *
尿中浸透圧	702.94	75.86	838.35	47.48	0.19	639.71	85.61	684.59	76.08	0.66
アアホリン2クレアチニン換算値	4.34	0.64	5.80	0.63	0.05	4.26	0.81	7.35	0.67	<0.01 **
HANP	17.00	2.04	28.91	3.97	0.01 *	19.07	2.03	34.06	4.37	<0.01 **

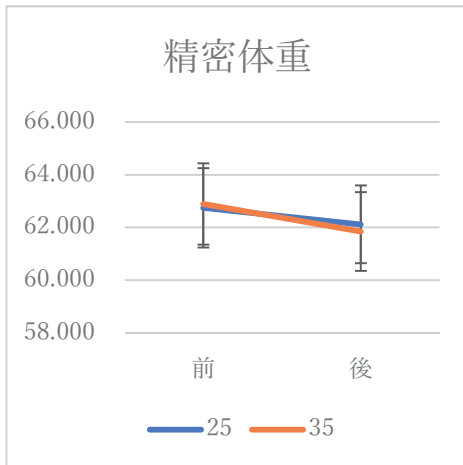




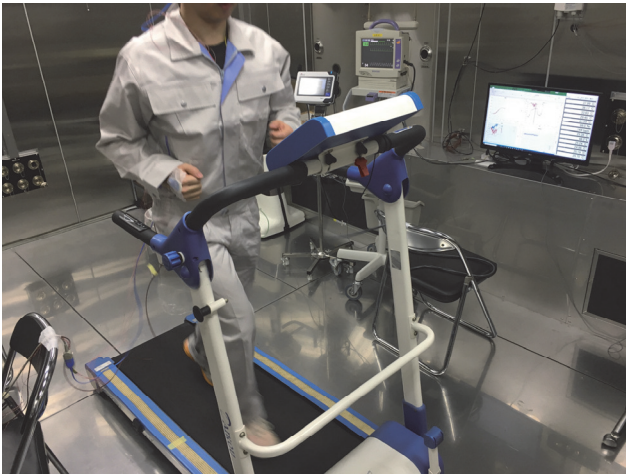


## 2 精密体重の前後比較 (推定脱水量)

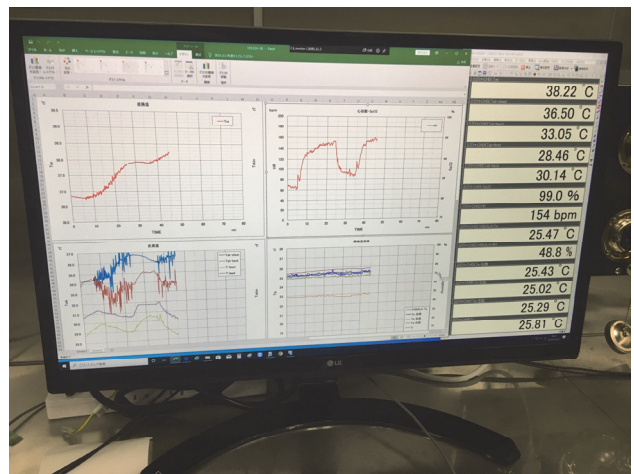
体重 (kg)	25°C					35°C				
	Pre		Post		% Δ	Pre		Post		% Δ
	Mean	±SEM	Mean	±SEM		Mean	±SEM	Mean	±SEM	
	62.750	1.507	62.119	1.478	1.006	62.888	1.544	61.847	1.498	1.655



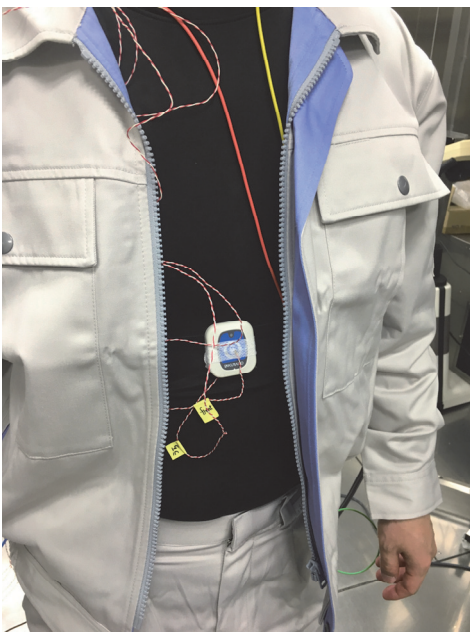
〈参考資料1〉 産業医科大学人工気候室における実験写真



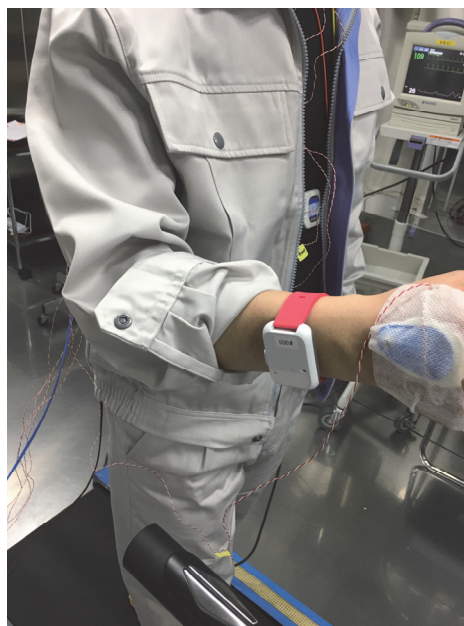
トレッドミルによる運動負荷



深部体温（直腸温）、心拍等の連続測定



シャツ型ウェアラブル機器の装着



腕時計型ウェアラブル機器の装着

## 腕時計型ウェアラブルセンサーによる暑熱環境下での身体負荷推測

分担研究者： 八谷 百合子 産業医科大学 産業保健学部 産業・地域看護学 准教授

### 研究要旨：

熱中症は暑熱環境下で働く労働者に生命の危機をおよぼすこともある病態であり、労働災害防止の観点からも、予防すべき重要な課題の一つである。これまで、補水や休憩などの労働衛生管理や労働衛生教育による予防法の啓蒙等が行われてきているが、死亡災害も後を絶たない状況である。

近年、心拍や体動などの生体情報をセンシングしインターネットを通じ、そのデータを活用するIoT技術が多く開発されており、暑熱環境下の身体状況を評価し熱中症予防に利用できる可能性も示唆されている。一部の企業ではこのIoT技術を用いて熱中症対策を行っていることも知られているが、その効果は十分に検証されていない。

本年度、我々は産業医科大学人工気候室において、被験者の協力のもと暑熱環境下での運動負荷試験を行い、熱中症対策に有効と考えられるIoT技術を用いた「腕時計型ウェアラブルセンサーによる暑熱環境下での身体負荷推測」を行った。人工気候室で測定したアメリカ産業衛生専門家会議（ACGIH）が示すHeat Strain（熱緊張）状態の指標となる深部体温、心拍数、自覚症状を示すボルグスケールなどのデータと腕時計型ウェアラブルセンサーによりモニターする身体（カラダ）熱環境レベル、身体負荷レベル、熱ストレスレベルとの相関を検証し、腕時計型ウェアラブルセンサーの有効性や得られるデータからの熱中症リスクの推定の可能性を検討した。

実験は、成人健康男性12名（24.6±5.6歳）に被験者として協力を頂き、産業医科大学人工気候室において、各被験者がそれぞれ<環境条件1>低リスク（注意レベル、人工気候室内の温度25℃、湿度50%、WBGT22℃）、<環境条件2>高リスク（嚴重警戒レベル、人工気候室内の温度35℃、湿度50%、WBGT30℃）の2条件で、トレッドミルによる運動負荷実験を行った。運動負荷は、1実験においてトレッドミル80W（きつい肉体労働レベル）18分を2回ずつ行い、測定項目は、運動負荷前から、人工気候室内で深部体温、心拍数、ボルグスケールなどを持続測定し、同時に腕時計型ウェアラブルセンサーにより、パルス数（脈波）、体動（加速度センサー）、温度・湿度、作業時間の計測による、身体（カラダ）熱環境レベル、身体負荷レベル、熱ストレスレベルを推定し比較検討した。尚、被験者の安全を考慮し、深部体温が38.5℃を超えた時や頭痛、吐き気など何らかの身体症状が出現した際には運動負荷を中止する基準を設けて実施した。

その結果、合計44回（（被験者12名×環境条件2パターン×運動負荷2回）－中止4回）中、人工気候室内で測定した深部体温などの結果からHeat Strain（熱緊張）状態だったのは32回（対合計、72.7%）であった。このHeat Strain（熱緊張）状態だった32回中、腕時計型ウェアラブルセンサーが身体負荷アラームなどを検出するための検出レベル以上と判定したのは、24回（対Heat Strain（熱緊張）状態、75.0%）であり、腕時計型ウェアラブルセンサーは、Heat Strain（熱緊張）状態をとらえており、効果的な熱中症対策の機器と推察された。

今回用いた人工気候室での暑熱環境下運動負荷実験において、腕時計型ウェアラブルセンサーが熱中症リスクの予測や予防対策の機器として推定可能であるとの見解を得た。実際の作業現場においても熱中症リスクの予測や予防対策の機器として有効と期待される。

## 分担研究者

丸山崇（産業医科大学医学部第1生理学）  
山田晋平（産業医科大学産業保健学部安全衛生マネジメント学）  
黒坂知絵（産業医科大学産業保健学部人間情報科学）  
上田陽一（産業医科大学医学部第1生理学）  
東敏昭（一般財団法人西日本産業衛生会/産業医科大学名誉教授）

### A. 研究目的

熱中症は暑熱環境下で働く労働者に生命の危機をおよぼすこともある病態であり、労働災害防止の観点からも、予防すべき重要な課題の一つである。これまで、作業現場では水や休憩などの労働衛生管理や労働衛生教育による予防法の啓蒙等が行われてきているが、死亡災害も後を絶たない状況である。

近年、心拍や体動などの生体情報をセンシングしインターネットを通じ、そのデータを活用するIoT技術が多く開発されており、暑熱環境下の身体状況を評価し熱中症予防に利用できる可能性も示唆されている。一部の企業ではこのIoT技術を用いて熱中症対策を行っていることも知られているが、その効果は十分に検証されていない。

当研究課題では、2018年度に、「①労働現場における熱中症対策の実際及び先進事例の調査」を行い、効果的な熱中症対策の抽出とIoT技術などを用いた先進的な熱中症予防対策の検索を行った。この調査により、企業における熱中症対策の現状が把握出来るとともに、IoT技術を用いた熱中症対策に取り組む事業所が、10事例抽出できた。また、これらの企業のヒアリング調査によって、IoT機器導入の効果や課題なども把握出来た。

そこで、2019年度は、産業医科大学人工気候室において、被験者の協力のもと、暑熱環境下での運動負荷試験を行い熱中症対策に有効と考えられるIoT技術を用いて「腕時計型ウェアラブルセンサーによ

る暑熱環境下での身体負荷推測」を行った。人工気候室で測定したアメリカ産業衛生専門家会議（ACGIH）が示すHeat Strain（熱緊張）状態の指標となる深部体温、心拍数、自覚症状を示すボルグスケールなどのデータと腕時計型ウェアラブルセンサーによりモニターする身体（カラダ）熱環境レベル、身体負荷レベル、熱ストレスレベルとの相関を検証し、腕時計型ウェアラブルセンサーの有効性や得られるデータからの熱中症リスクの推定の可能性を検討した。

腕時計型ウェアラブルセンサーが熱中症リスクの予測や予防対策の機器として推定可能であるか検討することで、効果的な熱中症対策を明らかにし、多くの労働現場に展開することで熱中症による労働災害を防止することが本研究課題の目的である。

### B. 研究方法

#### a. 暑熱環境における運動負荷実験

環境条件を表1に、測定項目を表2に実験スケジュールを図1に示す。被験者は健康成人男性とした。産業医科大学人工気候室において、環境条件1と環境条件2の2条件で、同一被験者がそれぞれ別の日程で実験を行った。運動負荷の強度は、時速7km（きつい労力：80W相当）とし、事前に最大酸素摂取量（VO<sub>2</sub>max）を測定し70%VO<sub>2</sub>max以下になるように設定した。腕時計型ウェアラブルセンサーは、左手首に装着させた。被験者：健康成人男性12名（24.6±5.6歳）

環境条件：表1を参照

測定項目：表2、表3を参照

実験スケジュール：図1を参照

ウェアラブルセンサー：腕時計型ウェアラブルセンサー



表 1 環境条件

	環境条件1	環境条件2
リスクレベル	低リスク 注意レベル	高リスク 嚴重警戒レベル
室温 (°C)	25	35
湿度 (%)	50	50
WBGT (°C)	22	30
運動負荷 (W)	80	80

表 2 測定項目

番号	項目	サンプリング
①	年齢	—
②	ボルグスケール	3分毎
③	深部体温 心拍数	10秒毎
④	腕時計型ウェアラブルセンサー	60秒毎

表 3 ボルグスケール

ポイント	内容
6	
7	非常に楽である
8	
9	かなり楽である
10	
11	楽である
12	
13	ややきつい
14	
15	きつい
16	
17	かなりきつい
18	
19	非常にきつい
20	

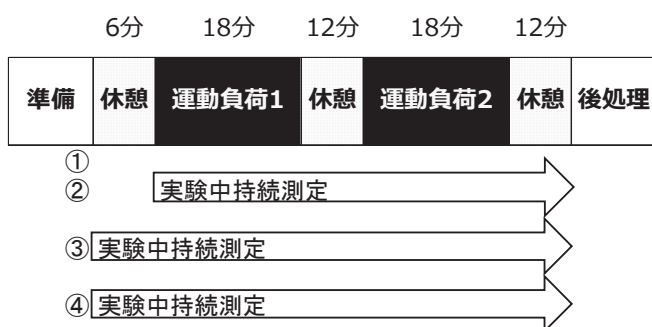


図 1 実験スケジュールと測定項目

b. 中止基準

中止基準：深部体温が 38.5°Cを超える/痙攣が起きる/激しい頭痛/激しいめまい/嘔気嘔吐/目の前が暗くなる/意識障害/本人の申し出

C. 腕時計型ウェアラブルセンサー

a. 製品名 (商品名)

安全管理支援ソリューション

(FUJITSU IoT Solution 安全管理支援ソリューション)

b. 製造元 (開発元)

富士通株式会社、〒211-0053 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1-1

c. 製品概要

[安全管理支援ソリューションとは]

バイタルセンシングバンドを装着した人のセンシングデータを富士通独自のアルゴリズムにて解析し、熱ストレスアラーム、身体(カラダ)熱環境アラーム、身体負荷アラーム、異常高温アラーム、転倒転落アラームなどの異常を監督者に通知する。装着者の状態や現場を遠隔地からでもリアルタイムに把握することで、適切な指示や迅速な対応が可能である。

[安全管理支援ソリューションの特徴]

- ・作業員一人ひとりの状態を監督者のスマートフォンに通知することができる。
- ・バイタルセンシングバンド装着者の状態を一人ひとり解析し、装着者に適切な指示を行うことが可能である。
- ・簡単な初期設定を行えば、バイタルセンシングバンドを腕時計の様に装着するだけで装着者の負担、邪魔にならない。

d. 機器について (外観写真含)

[バイタルセンシングバンド]

表



裏(皮触接触面)



図2 バイタルセンシングバンド

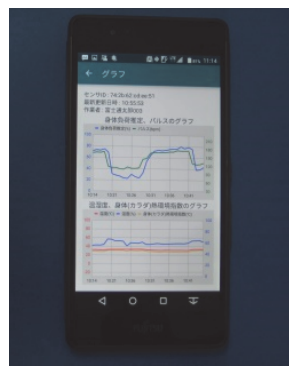
- ・バイタルセンシングバンドを手首に装着する。
- ・近赤外光によるパルス計測を行う。
- ・作業者周辺の温度と湿度を計測する
- ・スマートフォン経由でデータ送信を行う。

[安全管理支援アプリを搭載したスマートフォン]

アクセス画面



パルス数、温度湿度画面



アラーム画面



図3 スマートフォン画面

・温度と湿度、作業者の身体負荷、パルス数状況をグラフで確認できる。

・熱ストレスアラームなどの警告アラームが確認可能である。

e. センシング項目 (生体指標、環境指標等)

- ・パルス数 (脈波)
- ・体動 (加速度センサー)
- ・温度・湿度
- ・作業時間

d. 警告方法 (リスク判定項目等)

- ・アラームの種類は7種類である (表4)。
- ・作業者周辺の温湿度とパルスから暑熱による身体への負荷を判定する (表5)。
- ・リスクを危険、注意、平常の3段階で表示する。
- ・リスクがあらかじめ設定したレベルになった際には、スマートフォンにアラーム警告 (呼び出し音、バイブレーション) を鳴らす。
- ・転倒を感知した場合にも、アラーム警告を鳴らす。

表4 アラーム種別とその内容

アラーム種別	内容	バイタルセンシングバンド	ロケーションバッジ
熱ストレスアラーム	温度、湿度、パルスから算出・推定した熱ストレスレベルが一定以上に達した場合に発生する	●	
身体(カラダ)熱環境アラーム	温度、湿度から推定した身体熱環境レベルが一定以上に達した場合に発生する	●	
身体負荷アラーム	パルス数から算出・推定した身体負荷レベルが一定以上に達した場合に発生する	●	
異常高温アラーム	一定以上の温度を超えた場合に発生する	●	
転倒アラーム	高さの変化や衝撃等から転倒の状態を検出した後、一定時間立ち上がらない/歩かない場合に発生する	●	●
転落アラーム	高さの変化、無重力状態、衝撃等から転落状態を検出した後、一定時間立ち上がらない/歩かない場合に発生する	●	●
ジオフェンスアラーム	事前に設定したエリアに出入りした場合に発生する	●	●
通知ボタン1	ロケーションバッジのボタン1が押下された場合に発生する		●
通知ボタン2	ロケーションバッジのボタン2が押下された場合に発生する		●

表5 バイタルデータのレベル推定とサマリ表示

アラーム種別	レベル推定	サマリ表示	
身体負荷レベル	危険	危険	
	注意	注意	
	安全(やや注意)	平常	
	ほぼ安全	平常	
	安全	平常	
身体(カラダ)熱環境レベル	危険	危険	
	注意	注意	
	安全(やや注意)	平常	
	ほぼ安全	平常	
	安全	平常	
熱ストレスレベル	危険	危険	
	注意	注意	
	ほぼ安全	平常	
	安全	平常	

・身体(カラダ)熱環境アラーム

身体(カラダ)熱環境アラームは、身体(カラダ)熱環境レベル「危険」(表6)がしばらく継続された場合にアラームを通知する。

身体(カラダ)熱環境レベル推定は、温湿度に対する身体(カラダ)熱環境指数を「危険」「注意」「安全(やや注意)」「ほぼ安全」「安全」の5段階に分けて推定する(機能説明書には、下記の表に安全の欄がなかったので記載していない)。

表6 身体(カラダ)熱環境レベル

身体(カラダ)熱環境レベル	身体(カラダ)熱環境指数	レベルの意味
危険	31℃	運動は原則中止
注意	28℃~31℃	厳重警戒(激しい運動は中止)
安全(やや注意)	25℃~28℃	警戒(積極的に休憩)
ほぼ安全	21℃~25℃	注意(継続的に水分補給)

・身体負荷アラーム

身体負荷アラームは、身体負荷レベル「危険」(表7)がしばらく継続された場合にアラームを通知する。身体負荷レベル推定は、カルボーネン法などの指標を基に、パルス数から算出した活動による身体負荷を推定する。

身体負荷レベル推定は、「危険」「注意」「安全(やや注意)」「ほぼ安全」「安全」の5段階に分けて推定する。安静時パルス数に対する平均パルス数の割合を変更することでアラーム発生レベルを変更できる。

表7 身体負荷レベル

身体負荷レベル		カルボーネン法	
項目	強度(0.1%)	自覚度	表示
危険	1000	もうだめ	20
	929	非常にきつい	19
	858		18
	786		17
	715	かなりきつい	16
	643		15
注意	572	きつい	14
安全(やや注意)	500	ややきつい	13
ほぼ安全	429		12
	357		11
安全(やや注意)	266	楽に感じる	10
	214	かなり楽に感じる	9
	143		8
	71		7
	0	非常に楽に感じる	6

・熱ストレスアラーム

熱ストレスアラームは、熱ストレスレベル「危険度(高)」(表8)がしばらく継続された場合にアラームを通知する。

熱ストレスレベル推定は、身体(カラダ)熱指数と気温、温湿度の関係を基に、温湿度にパルス数を加えて算出している。

熱ストレス状態を「危険」「注意」「ほぼ安全」「安全」の4段階に分けて推定する。時間、パルス数、身体(カラダ)熱環境レベルの組み合わせでアラーム発生レベルを変更できる(表9)。



表 8 熱ストレスレベル

熱ストレスレベル	説明
危険	・120秒間の平均心拍数が150bpmを超えている ・身体(カラダ)熱環境指数31℃以上
注意	・120秒間の平均心拍数が安静時脈拍数の160%を超えている ・身体(カラダ)熱環境指数31℃以上
ほぼ安全	・120秒間の平均心拍数が安静時脈拍数の120%を超えている ・身体(カラダ)熱環境指数31℃以上
安全	「危険」「注意」「ほぼ安全」の条件を全て満たさない

表 9 アラーム設定値

アラーム種別	サマリ表示	項目	単位	具体例(デフォルト)	説明
身体負荷レベル	危険	安静時パルス数に対する平均パルス数の割合	0.1%	643	1~1000の整数値を入力
	注意	安静時パルス数に対する平均パルス数の割合	0.1%	572	1~1000の整数値を入力
	安全(やや注意)	安静時パルス数に対する平均パルス数の割合	0.1%	500	1~1000の整数値を入力
	ほぼ安全	安静時パルス数に対する平均パルス数の割合	0.1%	375	1~1000の整数値を入力
身体(カラダ)熱環境レベル	危険	身体熱環境指数	℃	31	15~44の整数値を入力
	注意	身体熱環境指数	℃	28	15~44の整数値を入力
	安全(やや注意)	身体熱環境指数	℃	25	15~44の整数値を入力
	ほぼ安全	身体熱環境指数	℃	21	15~44の整数値を入力
熱ストレスレベル	危険	時間	秒間	120	100~180の整数値
		平均パルス数	bpm	150	32~255の整数値
		暑さ指数	℃	31	15~44の整数値
	注意	時間	秒間	120	100~180の整数値
		安静時パルス数に対する平均パルス数の割合	bpm	160	100~255の整数値
		暑さ指数	℃	31	15~44の整数値
	ほぼ安全	時間	秒間	120	100~180の整数値
		安静時パルス数に対する平均パルス数の割合	bpm	120	100~255の整数値
		暑さ指数	℃	31	15~44の整数値

・アラーム設定値

「閾値パターン管理」画面にて、設定変更が可能な項目およびその入力値である。

e. 通信方法 (ネットワークシステム)

- ・ウェアラブルデバイス - スマートフォン間: Bluetooth(通信距離 10m)
- ・スマートフォン - サーバー間 (モバイル回線)
- ・データサーバーは、富士通クラウドを利用

f. 個人画面、管理画面

[個人画面 (スマートフォン)]

- ・熱ストレスの警告アラームが確認可能
- ・温度・湿度、パルス状況の確認
- ・アラームへの対応の記録画面



図 4 個人画面 (スマートフォン)

[管理画面 (PC)]

- ・管理者が現場及び事務所内で監視 (PC、タブレット)
- ・作業者全員の状態の一覧を表示
- ・アラーム警告の発生者は赤字で表示
- ・対応記録の記入画面を表示

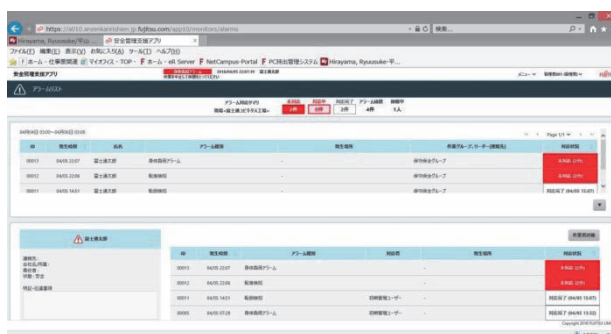


図 5 管理画面 (PC)

D. 研究結果

a. 深部体温もしくは心拍数もしくはボルグスケールの結果による Heat Strain 該当と腕時計型ウェアラブルセンサーの検出閾値以上との比較

深部体温もしくは心拍数もしくはボルグスケールの結果による Heat Strain 該当と腕時計型ウェアラブルセンサーの検出閾値以上との比較の結果を示す (表 10)。

人工気候室において測定した深部体温が 38.5℃以

上もしくは心拍数が（180-被験者の年齢）bpm 以上もしくはボルグスケールが 17 ポイント以上になった場合、アメリカ産業衛生専門家会議（ACGIH）が示す Heat Strain（熱緊張）状態と判断した。

Heat Strain に該当したのは、環境条件 1（室温 25℃、湿度 50%、WBGT22℃）について、運動負荷 1 回目の全 12 回の内 5 回、運動負荷 2 回目全 11 回（中止の 1 回は除外）の内 8 回であった。また、環境条件 2（室温 35℃、湿度 50%、WBGT30℃）について、Heat Strain に該当したのは、運動負荷 1 回目の全 11 回（測定不能の 1 回は除外）の内 9 回、運動負荷 2 回目の全 10 回（測定不能および中止の 2 回は除外）の内 10 回であった。Heat Strain に該当したのは合計 32 回であり、全測定数 44 回に対しての 72.7%であった。

これに対し、腕時計型ウェアラブルセンサーが身体負荷アラームなどを検出するためのアラーム検出レベル以上と判定した基準は、身体（カラダ）熱環境アラームが 5 ポイント以上もしくは身体負荷レベルが 5 ポイント以上もしくは熱ストレスレベルが 4 ポイント以上であった。

アラーム検出レベルと該当したのは、環境条件 1（室温 25℃、湿度 50%、WBGT22℃）について、運動負荷 1 回目の全 12 回の内 4 回、運動負荷 2 回目全 11 回（中止の 1 回は除外）の内 6 回であった。また、環境条件 2（室温 35℃、湿度 50%、WBGT30℃）について、Heat Strain に該当したのは、運動負荷 1 回目の全 11 回（測定不能の 1 回は除外）の内 11 回、運動負荷 2 回目の全 10 回（測定不能および中止の 2 回は除外）の内 9 回であった。合計 30 回であり、全測定数 44 回に対しての 68.2%であった。

また、人工気候室の深部体温、心拍数、ボルグスケールより Heat Strain（熱緊張）状態と判断した合計 32 回の内、腕時計型ウェアラブルセンサーが身体負荷アラームなどを検出するための検出レベル以上と判定したのは、環境条件 1（室温 25℃、湿度 50%、

WBGT22℃）の運動負荷 1 回目は 2 回（全 5 回中）、運動負荷 2 回目は 4 回（全 8 回中）、環境条件 2（室温 35℃、湿度 50%、WBGT30℃）の運動負荷 1 回目は 9 回（全 9 回中）、運動負荷 2 回目は 9 回（全 10 回中）、合計 24 回であり、Heat Strain（熱緊張）状態の全 32 回に対しての 75.0%であった。

人工気候室において測定した深部体温が 38.5℃以上もしくは心拍数が（180-被験者の年齢）bpm 以上もしくはボルグスケールが 17 ポイント以上と判定し、Heat Strain（熱緊張）状態と判断した結果と腕時計型ウェアラブルセンサーが検出レベル以上と判定した結果を図 6～11 に示す。

## E. 考察

今回、人工気候室において、2つの異なる温度環境下、運動負荷を行い、暑熱環境における生体データを測定すると同時に、腕時計型ウェアラブルセンサーによる身体負荷推測結果と比較した。

アメリカ産業衛生専門家会議（ACGIH）が示す Heat Strain（熱緊張）状態の指標となる深部体温、心拍数、ボルグスケールなどのデータと腕時計型ウェアラブルセンサーによりモニターする身体（カラダ）熱環境レベル、身体負荷レベル、熱ストレスレベルとの関連を検証するために、被験者 12 名毎の環境条件 1（室温 25℃、湿度 50%、WBGT22℃）、環境条件 2（室温 35℃、湿度 50%、WBGT30℃）の運動負荷 1 回目、運動負荷 2 回目について比較した。

Heat Strain に該当した回数は合計 32 回であり、全測定数 44 回に対しての 72.7%であった。

この Heat Strain に該当した回数は合計 32 回に対し、腕時計型ウェアラブルセンサーのアラーム検出レベルは合計 24 回であったが、特に環境条件 2（室温 35℃、湿度 50%、WBGT30℃）の運動負荷 1 回目は Heat Strain に該当した回数全 9 回中 9 回（対 Heat Strain 状態、100%）、運動負荷全 2 回目は Heat Strain に該当した回数全 10 回中 9 回（対 Heat

Strain 状態、90%) であり、Heat Strain 状態を推測していると考えられる。労働者が働く上でより厳しい暑熱環境を考えると、腕時計型ウェアラブルセンサーを用いて環境条件 2 (室温 35℃、湿度 50%、WBGT30℃) で Heat Strain 状態を 90~100%推測できたことは腕時計型ウェアラブルセンサーおよび評価システムが妥当といえる。

また、Heat Strain (熱緊張) 状態の指標の1つである自覚症状のボルグスケールで17ポイント以上となったのは、環境条件2 (室温35℃、湿度50%、WBGT30℃) の運動負荷2回目において5回であった。いずれも深部体温と心拍数がHeat Strain (熱緊張) 状態に該当しており、言い換えれば自覚症状で17ポイントの「かなりきつい」と訴えた場合は、Heat Strain (熱緊張) 状態であると考えられる。

以上より、腕時計型ウェアラブルセンサーは、Heat Strain (熱緊張) 状態をとらえており、効果的な熱中症対策の機器と推察された。

今回用いた人工気候室での暑熱環境下運動負荷実験において、腕時計型ウェアラブルセンサーが熱中症リスクの予測や予防対策の機器として推定可能であるとの見解を得た。実際の作業現場においても熱中症リスクの予測や予防対策の機器として有効と期待される

## F. 結論

・腕時計型ウェアラブルセンサーが熱中症のリスクの予測や予防対策の機器として推定可能であるか検証を行った。

・人工気候室において、アメリカ産業衛生専門家会議(ACGIH)が示す Heat Strain (熱緊張) 状態の指標となる深部体温、心拍数、自覚症状を示すボルグスケールなどのデータと腕時計型ウェアラブルセンサーによりモニターする身体 (カラダ) 熱環境レベル、身体負荷レベル、熱ストレスレベルとの相関を検証できた。

・その結果、腕時計型ウェアラブルセンサーは、Heat Strain (熱緊張) 状態をとらえており、効果的な熱中症対策の機器と推察された。実際の作業現場においても熱中症リスクの予測や予防対策の機器として有効と期待される。

## F. 健康危険情報

なし

## G. 研究発表

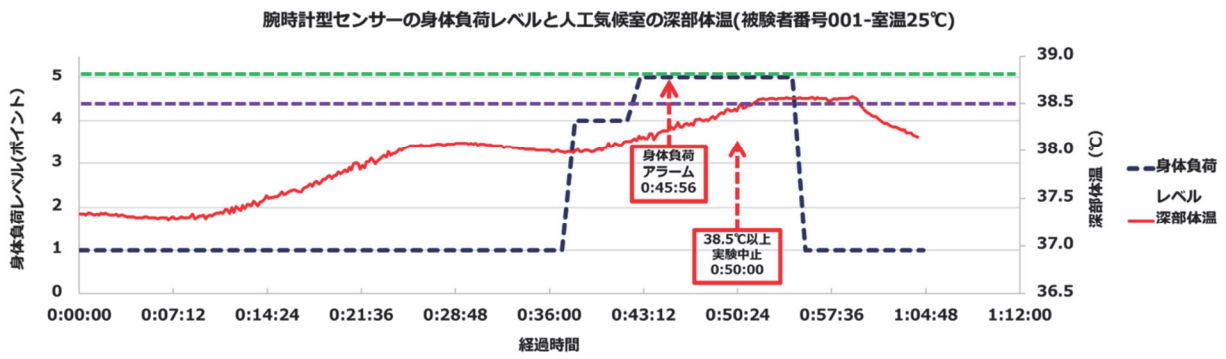
1. 論文発表  
なし
2. 学会発表  
なし

## H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得  
・特許出願準備中「AI技術を用いた熱中症発症防止のための深部体温推定装置および方法並びにプログラム」
2. 実用新案登録  
なし
3. その他  
なし

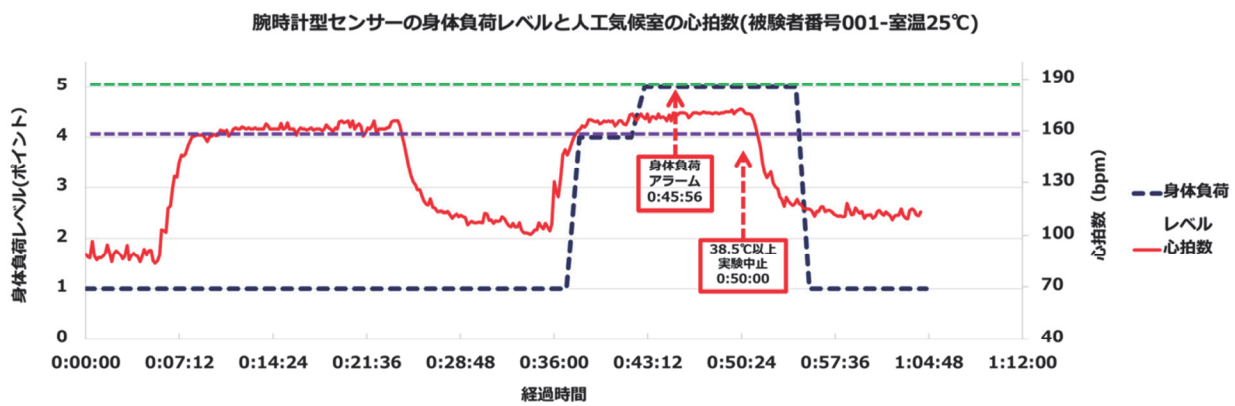
表 10. 深部体温もしくは心拍数もしくはボルグスケールの結果による Heat Strain 該当と腕時計型ウェアラブルセンサーの検出閾値以上との比較

○：有り ×：無し ー：中止、測定できず					深部体温もしくは心拍数もしくはボルグスケールの結果による Heat Strain該当と腕時計型ウェアラブルセンサーの検出閾値以上との比較			
					運動負荷1回目		運動負荷2回目	
					人工気候室	腕時計型ウェアラブル センサー	人工気候室	腕時計型ウェアラブル センサー
					Heat Strain該当 深部体温 $\geq 38.5^{\circ}\text{C}$ or 心拍数 $\geq (180-\text{年齢})$ or ボルグスケール $\geq 17$	身体（カラダ）熱環境 アラーム $\geq 5$ ポイント or 身体負荷レベル $\geq 5$ ポイント or 熱ストレス $\geq 4$ ポイント	Heat Strain該当 深部体温 $\geq 38.5^{\circ}\text{C}$ or 心拍数 $\geq (180-\text{年齢})$ or ボルグスケール $\geq 17$	身体（カラダ）熱環境 アラーム $\geq 5$ ポイント or 身体負荷レベル $\geq 5$ ポイント or 熱ストレス $\geq 4$ ポイント
室温	湿度	被験者番号	年齢	180-年齢	該当	検出	該当	検出
25℃	50%	R-001	23	157	○	×	○	○
		R-002	24	156	○	×	○	×
		R-003	22	158	×	×	○	○
		R-004	42	138	○	○	○	○
		R-005	22	158	×	○	○	×
		R-006	27	153	×	×	○	×
		R-007	25	155	×	×	○	×
		R-008	24	156	×	○	×	○
		R-009	22	158	○	×	—	—
		R-010	22	158	×	×	×	×
		R-011	22	158	×	×	○	○
		R-012	21	159	○	○	×	○
35℃	50%	R-001	23	157	○	○	○	×
		R-002	24	156	—	—	—	—
		R-003	22	158	○	○	○	○
		R-004	42	138	○	○	○	○
		R-005	22	158	×	○	○	○
		R-006	27	153	○	○	○	○
		R-007	25	155	○	○	○	○
		R-008	24	156	○	○	○	○
		R-009	22	158	○	○	—	—
		R-010	22	158	○	○	○	○
		R-011	22	158	×	○	○	○
		R-012	21	159	○	○	○	○



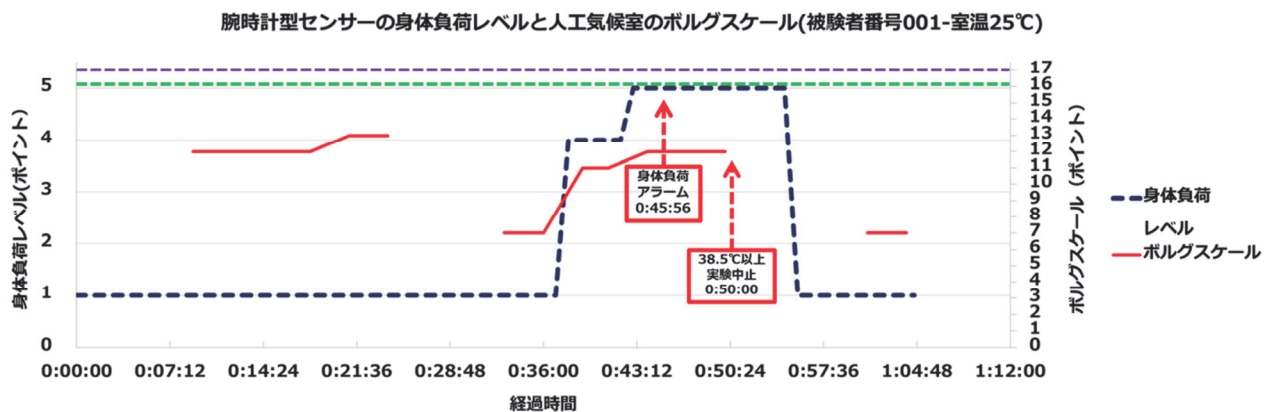
緑の点線：身体負荷レベルの閾値、紫の点線：深部体温の閾値

図 6. 腕時計型センサーの身体負荷レベルと人工気候室の深部体温との比較 (001、25°C)



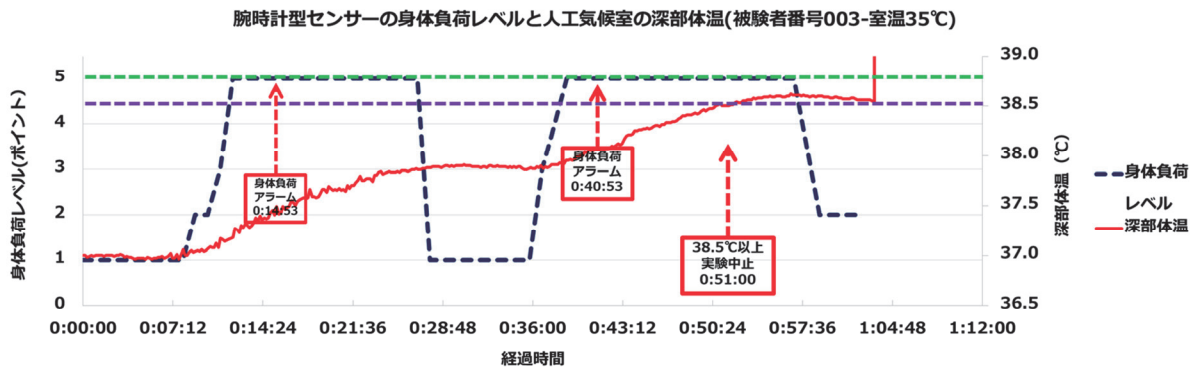
緑の点線：身体負荷レベルの閾値、紫の点線：心拍数の閾値

図 7. 腕時計型センサーの身体負荷レベルと人工気候室の心拍数との比較 (001、25°C)



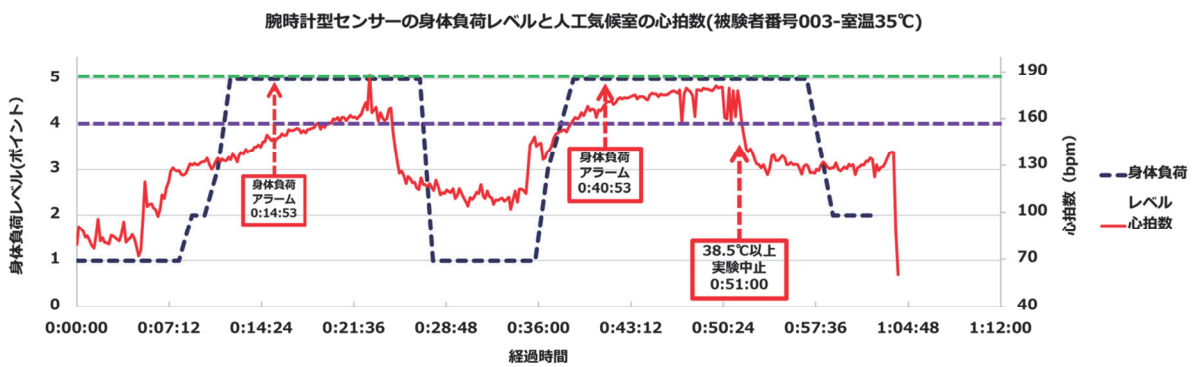
緑の点線：身体負荷レベルの閾値、紫の点線：ボルグスケールの閾値

図 8. 腕時計型センサーの身体負荷レベルと人工気候室のボルグスケールとの比較 (001、25°C)



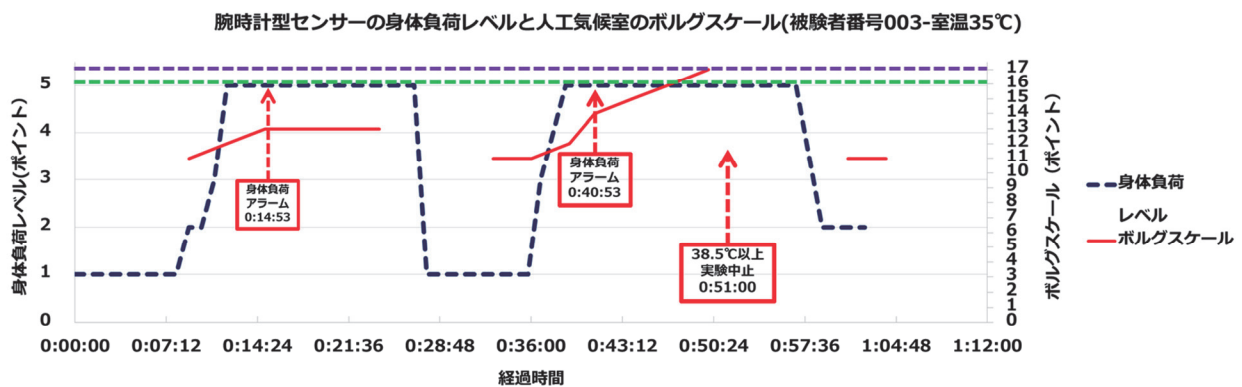
緑の点線：身体負荷レベルの閾値、紫の点線：深部体温の閾値

図9. 腕時計型センサーの身体負荷レベルと人工気候室の深部体温との比較 (003、35°C)



緑の点線：身体負荷レベルの閾値、紫の点線：心拍数の閾値

図10. 腕時計型センサーの身体負荷レベルと人工気候室の心拍数との比較 (003、35°C)



緑の点線：身体負荷レベルの閾値、紫の点線：ボルグスケールの閾値

図11. 腕時計型センサーの身体負荷レベルと人工気候室のボルグスケールとの比較 (003、35°C)



## シャツ型センサーを有するウェアラブルデバイスによる暑熱作業リスク評価の妥当性の検証

研究分担者： 山田 晋平 産業医科大学 産業保健学部 安全衛生マネジメント学 講師

### 研究要旨：

本研究は、従来の許容基準の範囲 (ISO7243:2017) を超えた高い熱負荷条件において、実験参加者が感じる負担とウェアラブルデバイスの評価結果の一致性を確認することを目的として実施した。産業医科大学人工気候室において、実験参加者 (成人健康男性12名) を対象に実験を行った。各実験参加者がそれぞれ〈条件1〉室温25℃、湿度50%、〈条件2〉室温35℃、湿度50%の2つの環境条件で、トレッドミルによる運動負荷実験を行った。運動負荷前から、心電図、深部体温 (直腸温)、体表面温度 (胸部、手背部)、血圧、脈波などを持続測定し、運動負荷の前後において、脱水の指標となる精密体重測定や採血・採尿を行い、生体データの変化を検討した。また運動負荷中は、主観的な運動強度 (ボルグスケール) を評価させた。これらの測定と並行して、シャツ型センサーを有するウェアラブルデバイスを用いて、RR間隔 (心拍数を算出)、加速度 (作業強度を算出)、衣服内温度 (ウェアラブルデバイス内の温度) の計測を行った。またウェアラブルデバイスによる衣服内温度を評価するために、ウェアラブルデバイスの前面と背面に温度センサーを貼り付け、温度を測定した。ウェアラブルデバイスは、Smartfit for work (倉敷紡績株式会社) を用いた。このウェアラブルデバイスでは、ISO7243:2017の熱負荷の許容範囲を危険側に外れると予想される場合に「危険」、「注意」などと表示し、注意を促している。

本研究では、直腸温38.5℃以上を基準として、高熱負担の状態を判断した。条件1と条件2の負荷 (環境と運動による負荷) の状態において、負担 (直腸温で評価) と、ウェアラブルデバイスが「危険」と評価した状態との一致性を検証した。

〈条件1〉は、従来の基準 (ISO7243, ACGIH TLV) においては熱負荷がほぼない状態であるが、実験では運動負荷により、直腸温、心拍数、ボルグスケールが高値を示した。この条件においても、ウェアラブルデバイスが評価した暑熱作業リスクは増加し、「危険」の判断基準に近づいた。とはいえ、「危険」、「注意」と判定された例は、10例中3例であった。熱負荷がほぼない状態であるため、従来の基準では判定が難しい条件と考えられる。

高い熱負荷がある〈条件2〉では、全実験参加者において強い負担がみられた。ウェアラブルデバイスの評価結果も、全例で「危険」と判定された。従来の許容基準を超えた熱負荷条件では、実験参加者が大きな負担を感じる事が確かめられた。以上の結果から、本研究で検討したウェアラブルデバイスは、環境の熱負荷の有無にかかわらず、暑熱作業リスクが適切に評価できていると考えられる。近年の国内の猛暑では、ISO7243 や ACGIH の TLV の許容範囲を守ることが困難になっているが、そのような環境においてもウェアラブルデバイスを援用したリスク評価には有用性があると考えられる。



## 分担研究者

山田晋平(産業医科大学産業保健学部安全衛生マネジメント学)

黒坂知絵(産業医科大学産業保健学部人間情報科学)

八谷百合子(産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学)

上田陽一(産業医科大学医学部第1生理学)

東敏昭(一般財団法人西日本産業衛生会/産業医科大学名誉教授)

## A. 研究目的

労働災害としての熱中症によって、毎年 20 名ほどが死亡しており、その予防は重要な課題である。また近年、健康管理のツールとして脈拍数や活動量などが計測できるウェアラブルデバイスが普及し始めている。ウェアラブルデバイスの中には、暑熱環境における運動のリスク評価が行える機種も販売されており、熱中症の予防に活用できると考えられる。しかし、ウェアラブルデバイスで計測できる指標は限られており、熱中症において重要な指標である深部体温を測定している製品はない。またウェアラブルデバイスはその特性上、測定部位が制限されるとともに小型化と測定に伴う負担(皮膚とセンサーとの接触面の処理、センサーの固定など)の軽減が求められるため、実験装置での計測に比べて測定精度が劣る場合があると考えられる。

本研究では、人工気候室にて設定した暑熱環境下において、トレッドミルによる運動負荷を掛けた際の生理指標(深部体温(直腸温)、心拍数)や主観的な運動強度と、ウェアラブルデバイスによるリスク評価との比較を行い、暑熱環境下での労働におけるリスク評価にウェアラブルデバイスを活用できるか検討することを目的とする。

## B. 研究方法

産業医科大学の人工気候室において、実験参加者(成人健康男性 12 名、 $24.6 \pm 5.8$  歳)を対象に実験を行った。各実験参加者がそれぞれ〈条件 1〉室温 25℃、湿度 50%、〈条件 2〉室温 35℃、湿度 50%の 2 つの環境条件で、トレッドミル(80W)による運動負荷実験を行った。実験は、作業前安静(6 分)、トレッドミルでの運動負荷(以下、トレッドミル 1)(18 分)、休憩(12 分)、トレッドミルでの運動負

荷(以下、トレッドミル 2)(18 分)、作業後安静(12 分)の順で行った。条件 1 は、湿球黒球温度(Wet-bulb Globe temperature: 以下、WBGT)が 22℃程度であり、従来の暑熱労働環境の基準にてらせばこの環境は考慮すべき熱負荷がない条件である。一方、条件 2 は、WBGT が 30℃程度の熱負荷に相当し、低代謝の運動強度であっても、深部体温が上昇する条件である。

実験中は、心電図、直腸温、体表面温度(胸部、手背部)、脈波、動脈血酸素飽和度を持続測定した。また 3 分毎に左腕より収縮期血圧と拡張期血圧の測定を行った。運動負荷の前後において、精密体重測定(発汗量の推定のため)と、採血・採尿を行った。また運動負荷中は、3 分毎に主観的な運動強度をボルグスケールを用いて評価させた。心電図は無線式心電計(BSM-2401、日本光電工業株式会社)にてサンプリングレート 1000Hz で計測を行い、深部体温と体表面温度は熱電対を用いた温度センサーにて、10 秒間隔で記録した。

これらの測定と並行して、ウェアラブルデバイスを用いて、RR 間隔、加速度、衣服内温度(ウェアラブルデバイス内の温度)の測定を行った。またウェアラブルデバイスによる衣服内温度を評価するために、ウェアラブルデバイスの正面と背面に熱電対を用いた温度センサーを貼り付け、温度を測定した。本研究では、Smartfit for work(倉敷紡績株式会社)のウェアラブルデバイスを用いた(図 1)。このデバイスではシャツの内側に貼り付けられた電極より心電波形を導出している。導出された心電波形はシャツの前面に装着されたデバイスにて RR 間



図 1 シャツ型ウェアラブルデバイス

隔に変換された後、Bluetooth でスマートフォンに送信される。このデバイスは作業強度の評価のための加速度センサーと衣服内温度の測定のための温度センサーが内蔵されており、これらのデータも併せて送信される。また、オプションでウェアラブルデバイスとは別に温湿度の測定ユニットが用意されており、作業環境の温度と湿度が測定できる(屋外での利用の場合は、気象情報とスマートフォンの位置情報から導出した温湿度データで代用することが可能)。これらのデータを基に、このウェアラブルデバイスでは、独自の暑熱作業ストレス指標を用いてリスクを評価している。加えて、この指標の閾値を設定し、ISO7243:2017 の熱負荷の許容範囲を危険側に外れると予想される場合に「危険」、「注意」などを表示し、注意を促している。これらの測定データとリスク評価の結果は、30 秒間隔で出力される。リスク評価については、過去 10 分間の平均値が出力される。本研究ではウェアラブルデバイスのプログラム内でのみ使用される 30 秒ごとに判定される暫定的なリスク評価の提供を受けており、その評価を用いて検討を行っている。

人工気候室の実験装置での測定値とウェアラブルデバイスによる測定値は、3 分毎に測定・評価している指標(血圧、ボルグスケール)と対応させるために 3 分毎に中央値を算出した。本稿では各種測定項目の中から、直腸温、ウェアラブルデバイスの正面と背面の温度、無線式心電計にて測定した心電図より算出した心拍数、ボルグスケールを選定して解析を行った。ウェアラブルデバイスから出力される項目については、衣服内温度、心拍数(RR 間隔より算出)、作業強度、暑熱作業リスク、暑熱作業リスクレベルを選定した。これらも 3 分毎に中央値を算出した。よって実験結果は 3 分ごとのブロック(作業前安静\_1, 2、トレッドミル1\_1~6、休憩\_1~4、トレッドミル 2\_1~6、作業後安静\_1~4)に分けて検討した。

暑熱作業の負担は直腸温を用いて評価した。直腸温の評価基準は、国際標準機構(ISO)<sup>1)2)</sup>や米国政府労働衛生専門家会議(ACGIH)<sup>3)</sup>にて提示されている。この条件を参考にして、本研究独自の高負担状態の評価基準を直腸温 38.5℃と定めた。また、高負担の評価基準に達しないまでもリスクが高いと考えられる基準を参考基準として 38.0℃に設定した。これらを高負担の基準として、ウェアラブルデバイスによって暑熱作業リスクレ

ベルが「危険」と評価された状態との一致性を検証した。

ウェアラブルデバイスが参考にしていない熱負荷の許容基準(ISO7243:2017)と本研究で想定している高負担の基準が異なることに留意すべきである。本研究の目的は、高い熱負荷条件におけるウェアラブルデバイスの判定結果と、直腸温より評価される熱負担との一致性の検証である。本研究の実験条件は、ISO7243:2017 において想定されていないものであるため、ウェアラブルデバイスの ISO7243:2017 への準拠を検証するものではない。また、ISO7243:2017 では 1 時間当たりの平均値を用いることが推奨されており、本研究のような 3 分毎の評価は想定されていない。ウェアラブルデバイスの評価と直腸温を用いて評価する負担との一致の評価については、実験中に直腸温 38.5℃と定めた評価基準に達した時点から前後 3 ブロック(達したブロックを含めて 7 ブロック、時間にして 21 分間)に、ウェアラブルデバイスが「危険」と判定した場合に「一致」と判定した。一方で、ウェアラブルデバイスが「危険」と判定した時点から前後 3 ブロック(7 ブロック: 21 分間)に、直腸温 38.0℃と定めた参考基準を示す負担が見られた場合に、「一致」と判定した。以後、評価基準(直腸温 38.5℃)に達した状態と「危険」が一致したかの判定を〈一致判定 1〉とする。また、「危険」と判定した状態において参考基準(直腸温 38.0℃)に達していたかの判定を〈一致判定 2〉とする。

実験参加者の安全を考慮し、深部体温が 38.5℃を超えた場合には、直ちに作業後安静に移行した。頭痛、嘔気など何らかの身体症状が出現した場合は実験を中止することとした。

本研究は産業医科大学倫理委員会での承認を得て実施された。また、本報告に関して、開示すべき利益相反関連事項はない。

尚、実験参加者 02 は直腸温の測定を行っていない。

## C. 研究結果

条件 1 の実験参加者 08 と条件 2 の実験参加者 10 の直腸温のデータに一部欠損があった(図 9、23)。そのため一致判定の対象から除外した。

深部体温が 38.5℃を超えた実験参加者は 13 名となった(図 2、5、10、12、14、16、17、19、20、21、22、24、25)。なお、38.5℃を超えた場合は、直ちに作業後安静

に移行したためプロットが途絶えているが時間的には連続している。

#### 条件 1(室温 25℃、湿度 50%)における結果

条件 1 において、直腸温が評価基準である 38.5℃を超えたのは、実験参加者 01、04、09、11 の 4 名であった(図 2、5、10、12)。ただし、実験参加者 04、09、11 については直腸温が 38.5℃に達した時点で運動負荷を中止したために 3 分毎に算出した中央値においては 38.5℃に達していない(図 5、10、12)。

暑熱作業リスクは、実験参加者 02 のみ「危険」に達していた(図 3)。暑熱作業リスクは、すべての実験参加者において、運動負荷に対応した上昇がみられ、0.5 以上の上昇が見られた。「注意」の基準である 0.8 に達したのは 3 名(実験参加者 03、05、10)、そのうち「危険」の基準である 1.0 にも達したのは 1 名(実験参加者 02)であった(図 3)。

一致判定 1 は、直腸温が 38.5℃を超えた 4 名の実験参加者が対象となる。一致は 1 名(実験参加者 09)であった。一致判定 2 は、「危険」に達した実験参加者 02 は直腸温を測定していないので検討できなかった。

#### 条件 2(室温 35℃、湿度 50%)における結果

条件 2 において、直腸温が評価基準である 38.5℃を超えたのは、実験参加者 01、03、04、06、07、08、09、11、12 の 9 名であった(図 14、16、17、19、20、21、22、24、25)。ただし、実験参加者 01、04、07、09 については直腸温が 38.5℃に達した時点で運動負荷を中止したために 3 分毎に算出した中央値においては 38.5℃に達していない(図 14、17、20、22)。「注意」と「危険」は全実験参加者において達していた(図 14~25)。

一致判定 1 は、直腸温が 38.5℃を超えた 9 名の実験参加者すべてにおいて一致した。一致判定 2 は、直腸温の測定を行っていない実験参加者 02 と直腸温のデータ欠損があった実験参加者 10 は検討の対象から除いた。残り 10 名における一致判定 2 において一致が確認されたのは 6 名であった(図 14、16、17、22、24、25)

### D. 考察

#### 条件 1(室温 25℃、湿度 50%)における考察

条件 1 では、評価基準との、一致性は高くなかった(4 例中 1 例)。条件 1 は、従来の基準(ISO7243, ACGIH TLV)において、暑熱負荷はほぼないと考えられる。それにもかかわらず、直腸温の上昇が生じた原因は、高強度の運動負荷による体内での熱産生である。20 分程度で深部体温が 1℃上昇するような高強度作業は通常の労働環境では想定されていないため、現状のウェアラブルデバイスでは十分に対応できていないと考えられる。実験参加者間での直腸温や心拍数の差が大きかったため、暑熱順化の有無や運動習慣の有無の違いがあったと考えられる。そのため、共通の基準を用いて体内の熱産生を評価することは難しいと考えられる。今回用いたウェアラブルデバイスでは、AI 機能により個人毎の運動時心拍数の特性が学習され、個人差を考慮した運動・作業強度の推定が実現されている。今後、そのような機能を改良することで、条件 1 のような環境でも暑熱作業リスクの推定精度が改善できるかもしれない。

#### 条件 2(室温 35℃、湿度 50%)における考察

条件 2 では、一致判定 1 においてウェアラブルデバイスと実験参加者の負担評価が全例において一致した。一致判定 2 においては、10 名中 6 名が一致した。残り 4 名についても実験中に参考基準に達していた。一致判定 2 は、ウェアラブルデバイスが「危険」と判定した時点から前後 3 ブロック(7 ブロック: 21 分間)に、直腸温 38.0℃と定めた参考基準を示す負担が見られた場合を一致と判定している。また、ウェアラブルデバイスが参考に行っている ISO7243:2017 では 1 時間当たりの平均値を用いることが推奨されている。この点を鑑みると、ウェアラブルデバイスは参考としている基準が想定している時間分解能においては全例で一致している。

これらの結果から、ウェアラブルデバイスによる暑熱作業リスクレベルの評価は適切であると考えられる。暑熱労働環境の基準については、ISO7243:2017、あるいは ACGIH の TLV が参考にされることが多い。これらの基準はいわゆる許容基準であり、労働者が毎日の労働において許容できる範囲として定められている。暑熱労働環境での許容基準は、深部体温 38℃の状態を容易に維持できる条件範囲に定められている。今回用いたウェアラブルデバイスについては、ISO7243:2017 を参考



にして、「危険」の判定基準が定められていると説明されている。条件2の実験結果を踏まえれば、ISO7243:2017の基準に適切に対応していると考えられる。これまで、深部体温が38°Cを超えることが想定される暑熱労働環境においては、深部体温(直腸温、鼓膜温など)や心拍数などの生理指標を作業中に計測し、深部体温が38.5°Cを超えたと想定される場合に、作業を中止することが推奨されてきた。近年国内では、夏季の猛暑日の日数が増加傾向にあり、WBGT指標に基づく従来の基準(ISO7243:2017)では対応できないような過酷な暑熱環境で働く実状が見られる。そのような環境においても作業者の安全を見守るためには、よりリスクが高いと考えられる環境において、信頼のおけるリスク評価法が必要である。今後さらなる検証が必要であるが、そのようなリスク評価機器として、ウェアラブルデバイスが有用であることが、今回の結果から示唆された。

## E. 結論

本研究では、従来の許容基準の範囲(深部体温38°C以下を想定 [ISO7243:2017])を超えるような暑熱負荷条件において、ウェアラブルデバイスを用いて評価される暑熱作業リスクの有用性を検証した。実験参加者の暑熱負担の評価のために直腸温、心拍数、ボルグスケールを評価指標として、ウェアラブルデバイスの評価結果との一致性を検証した。暑熱負荷がない(暑くない)実験条件においても、ウェアラブルデバイスは運動負荷に応じた暑熱作業リスクの増加を示した。しかし、想定外の使用条件のため、危険と判定される領域の一致性は高くなかった。暑熱負荷の高い条件においては、ウェアラブルデバイスの評価結果は、直腸温、心拍数、ボルグスケールの評価結果と良い一致が見られ、妥当な判定ができていると考えられる。

## F. 参考文献

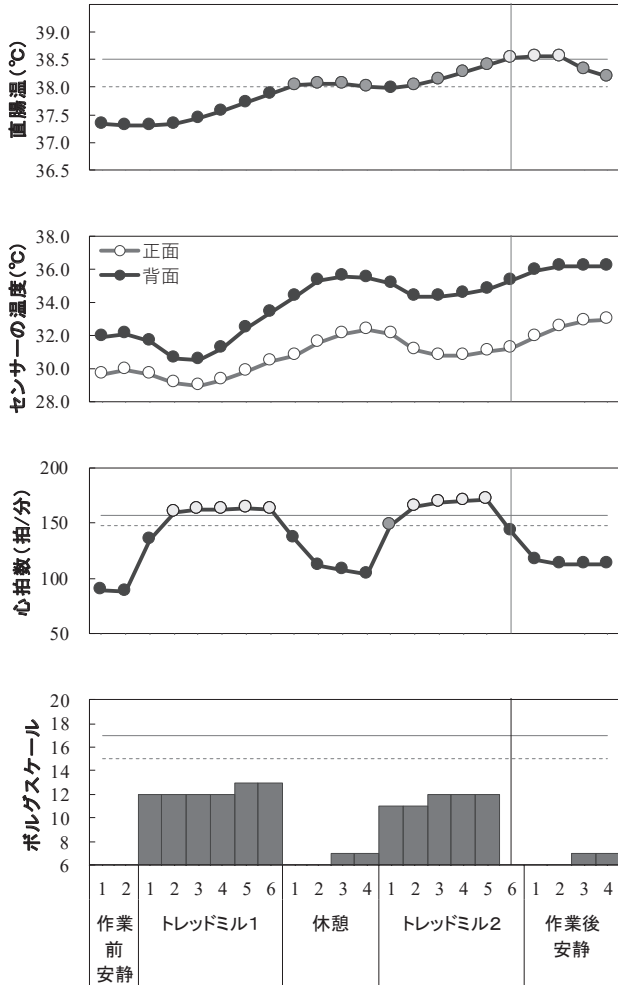
1. ISO8996 ISO 9886 (2004) Ergonomics of the thermal environment : Evaluation of thermal strain by physiological measurements. Geneva
2. ISO10551 (1995) Ergonomics of the thermal environment: Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment

scales. Geneva.

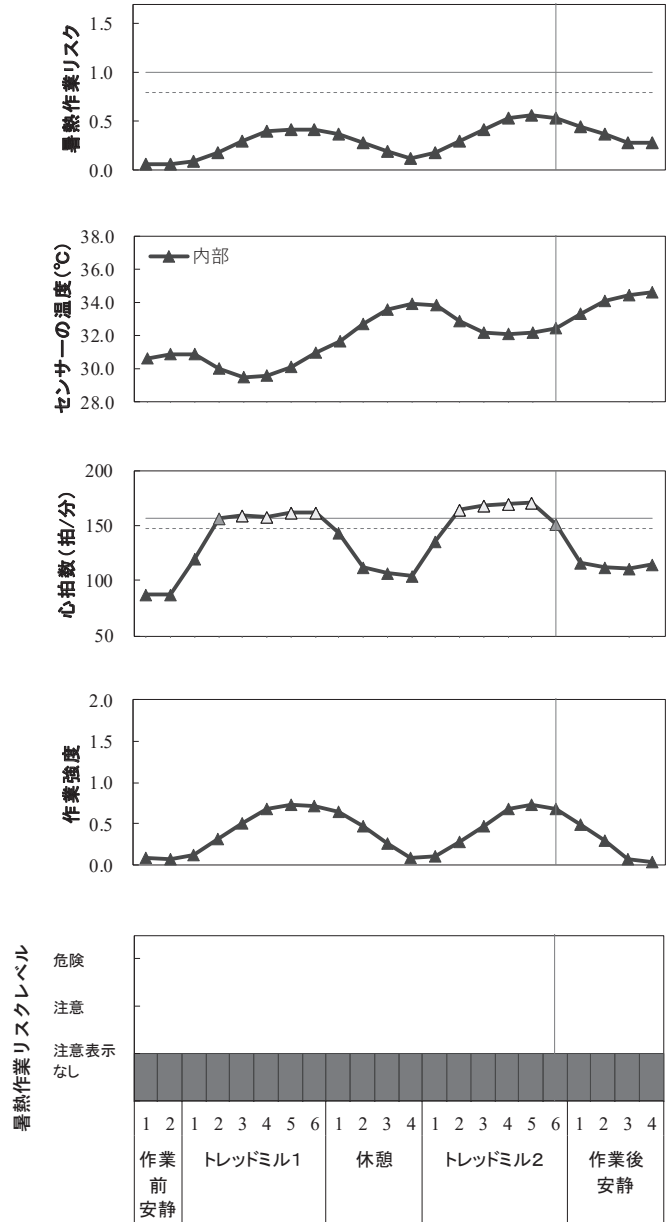
3. ACGIH (2012) Heat Stress and Strain TLV@ ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Cincinnati.

実験参加者01: 室温25°C, 湿度50%

人工気候室の測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温  $38.5^{\circ}\text{C} \leq \circ$   
 $38.0^{\circ}\text{C} \leq \bullet < 38.5^{\circ}\text{C}$   
 $\bullet < 38.0^{\circ}\text{C}$

心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \circ$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

ボルグ  
 スケール  $17 \leq \square$   
 $15 \leq \text{grey} < 17$   
 $\text{black} < 15$

暑熱作業  
 リスク  $1.0 \leq \triangle$   
 $0.8 \leq \blacktriangle < 1.0$   
 $\blacktriangle < 0.8$

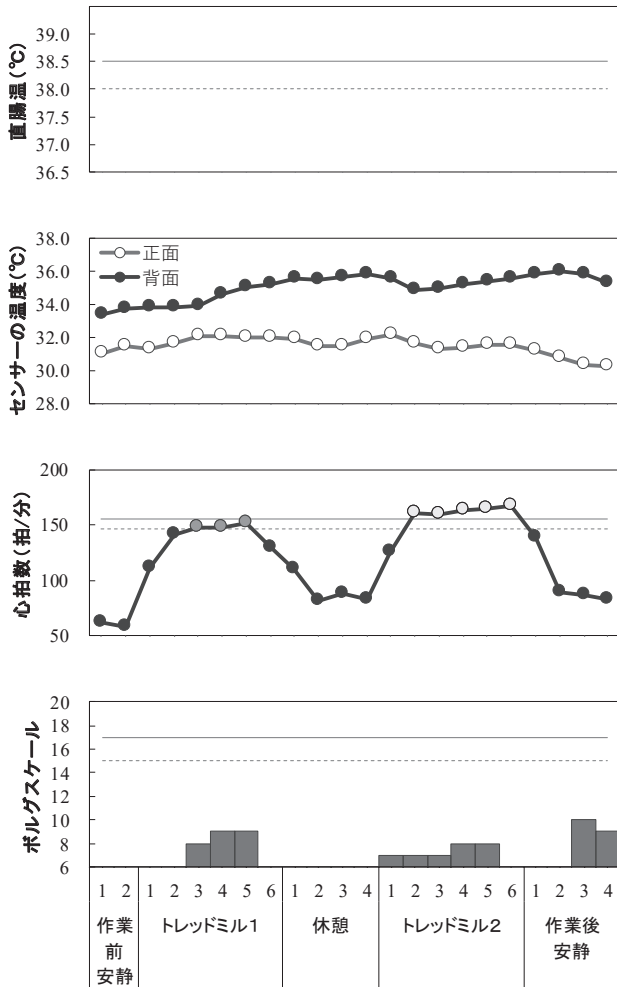
心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \triangle$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

暑熱作業  
 リスクレベル  $\square$  危険  
 $\text{grey}$  注意  
 $\text{black}$  注意表示なし

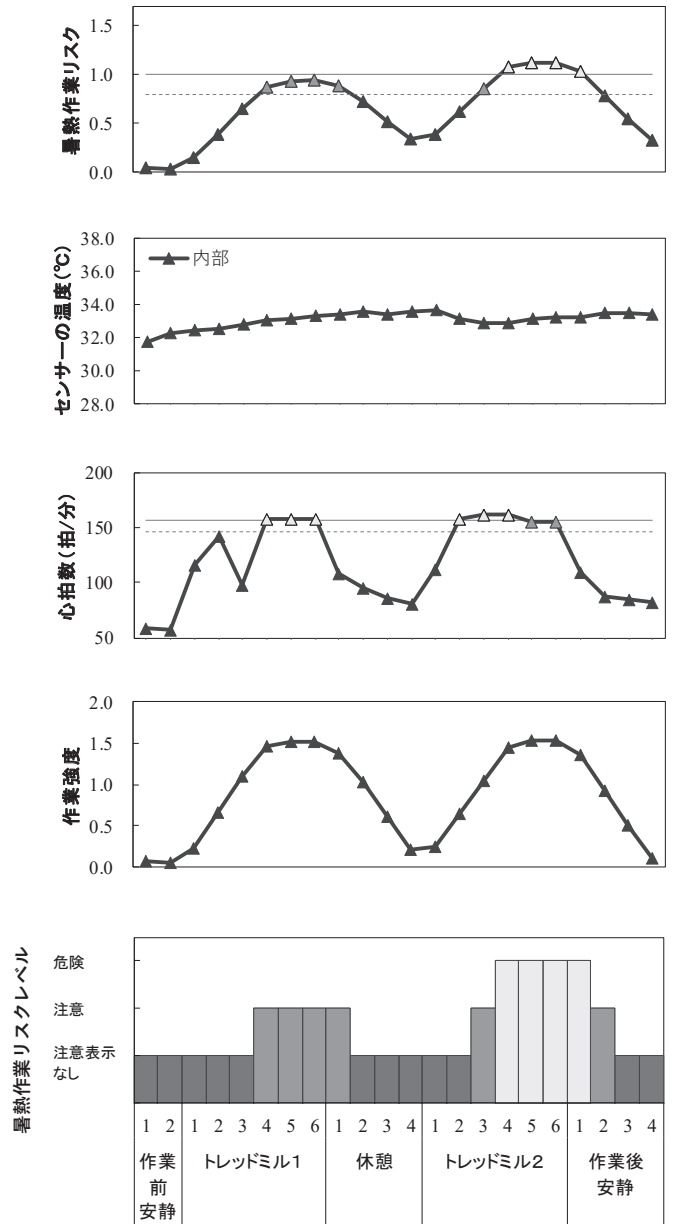
図2 条件1における実験参加者01の各種測定データ

実験参加者02: 室温25°C, 湿度50%

人工気候室の測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温  $38.5^{\circ}\text{C} \leq \circ$   
 $38.0^{\circ}\text{C} \leq \bullet < 38.5^{\circ}\text{C}$   
 $\bullet < 38.0^{\circ}\text{C}$

心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \circ$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

ボルグ  
 スケール  $17 \leq \square$   
 $15 \leq \square < 17$   
 $\square < 15$

暑熱作業  
 リスク  $1.0 \leq \triangle$   
 $0.8 \leq \blacktriangle < 1.0$   
 $\blacktriangle < 0.8$

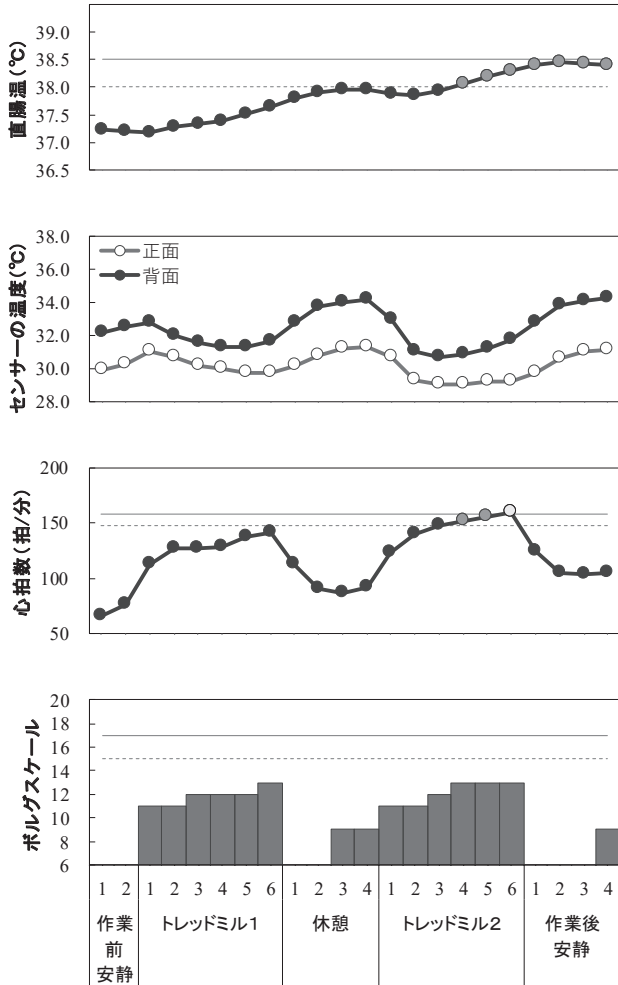
心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \triangle$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

暑熱作業  
 リスクレベル  $\square$  危険  
 $\square$  注意  
 $\square$  注意表示なし

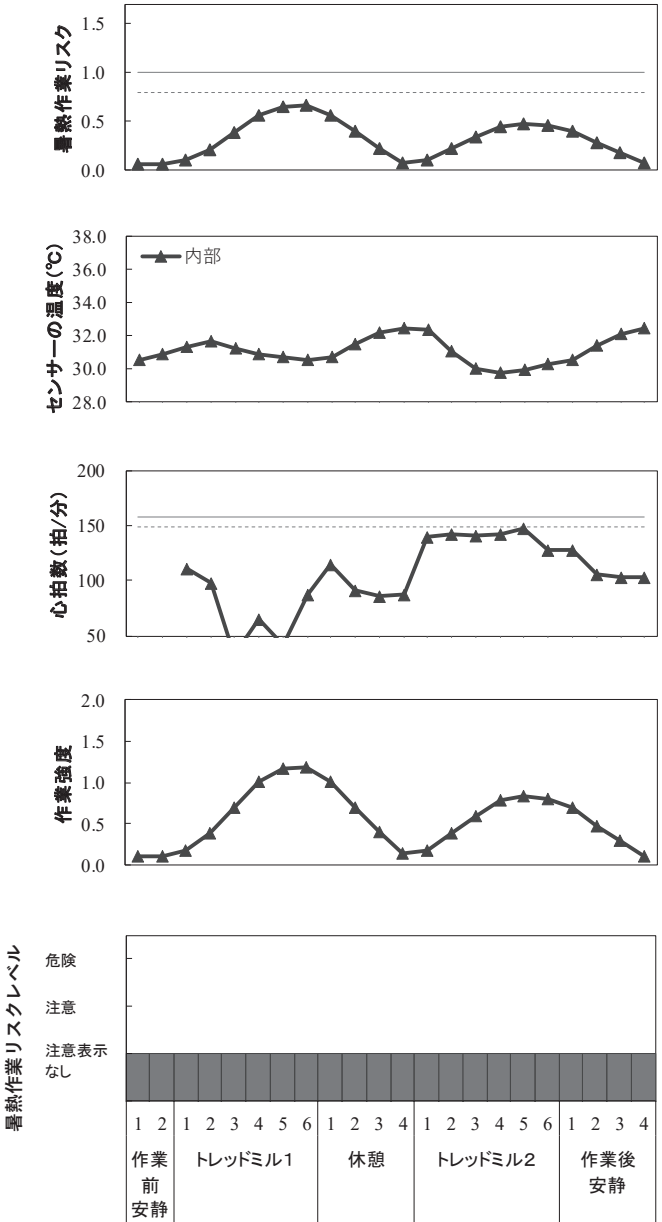
図3 条件1における実験参加者02の各種測定データ

実験参加者03: 室温25°C, 湿度50%

人工気候室での測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温  $38.5^{\circ}\text{C} \leq \bigcirc$   
 $38.0^{\circ}\text{C} \leq \bullet < 38.5^{\circ}\text{C}$   
 $\bullet < 38.0^{\circ}\text{C}$

心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分} \leq \bigcirc$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{ 拍/分} \leq \bullet < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$   
 $\bullet < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$

ボルグ  
 スケール  $17 \leq \square$   
 $15 \leq \text{■} < 17$   
 $\text{■} < 15$

暑熱作業  
 リスク  $1.0 \leq \triangle$   
 $0.8 \leq \blacktriangle < 1.0$   
 $\blacktriangle < 0.8$

心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分} \leq \triangle$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{ 拍/分} \leq \blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$   
 $\blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$

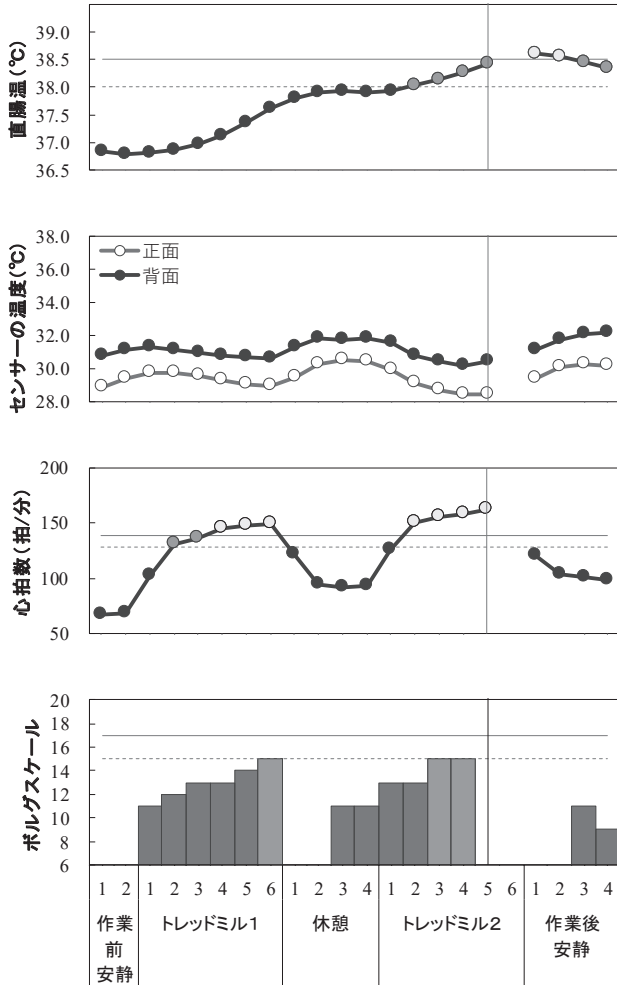
暑熱作業  
 リスクレベル  $\square$  危険  
 $\text{■}$  注意  
 $\text{■}$  注意表示なし

図4 条件1における実験参加者03の各種測定データ

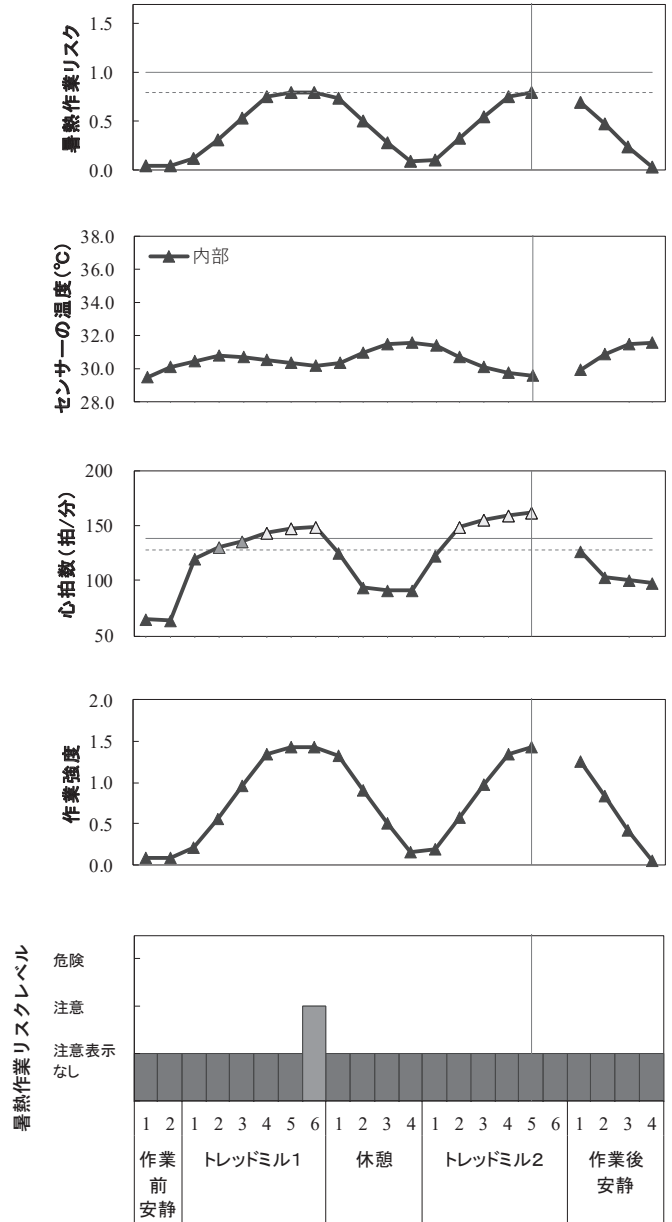


実験参加者04: 室温25°C, 湿度50%

人工気候室での測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温  $38.5^{\circ}\text{C} \leq \circ$   
 $38.0^{\circ}\text{C} \leq \bullet < 38.5^{\circ}\text{C}$   
 $\bullet < 38.0^{\circ}\text{C}$

心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \circ$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

ボルグ  
 スケール  $17 \leq \square$   
 $15 \leq \text{■} < 17$   
 $\text{■} < 15$

暑熱作業  
 リスク  $1.0 \leq \triangle$   
 $0.8 \leq \blacktriangle < 1.0$   
 $\blacktriangle < 0.8$

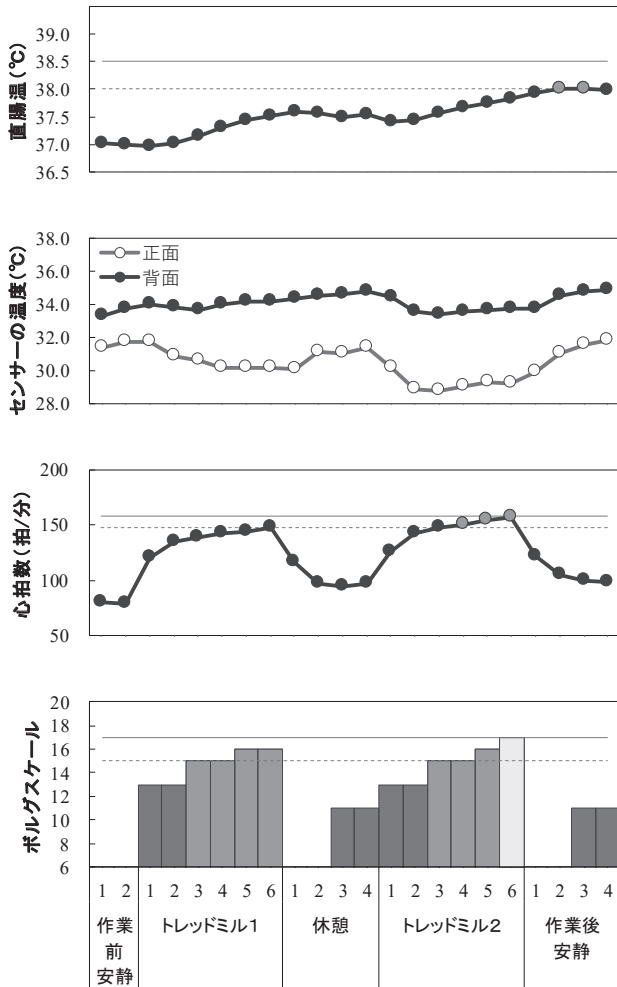
心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \triangle$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

暑熱作業  
 リスクレベル  $\square$  危険  
 $\text{■}$  注意  
 $\text{■}$  注意表示なし

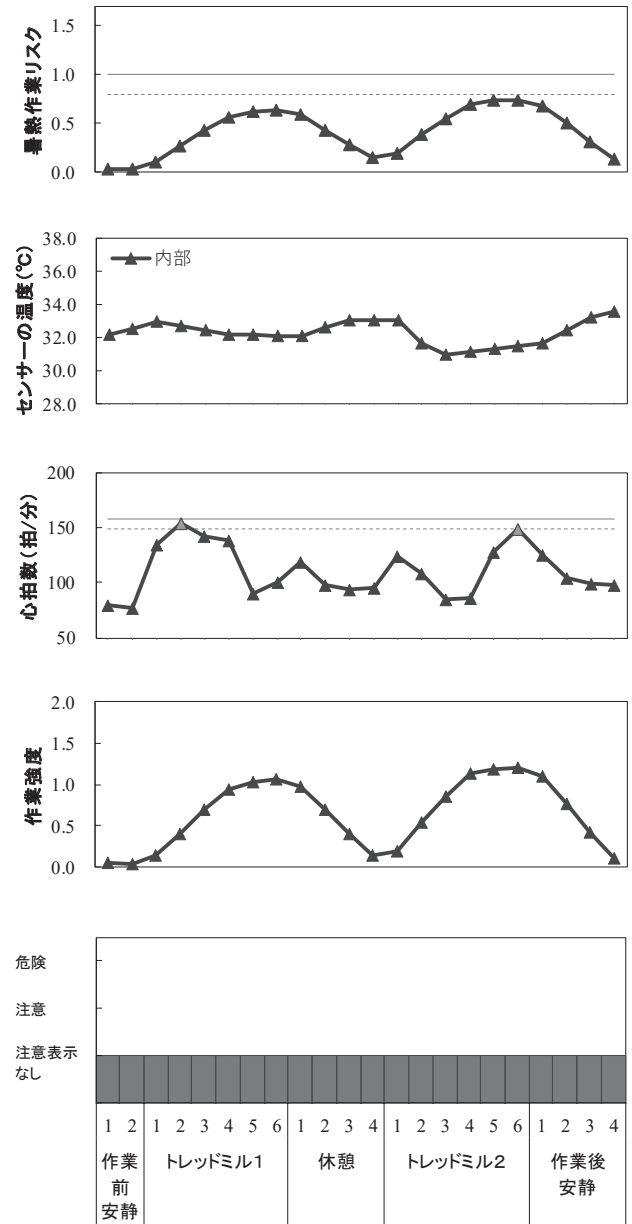
図5 条件1における実験参加者04の各種測定データ

実験参加者05: 室温25°C, 湿度50%

人工気候室での測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温 38.5°C ≤ ○  
38.0°C ≤ ● < 38.5°C  
● < 38.0°C

心拍数 (180-年齢) 拍/分 ≤ ○  
(180-年齢-10) 拍/分 ≤ ● < (180-年齢) 拍/分  
● < (180-年齢) 拍/分

ボルグスケール 17 ≤ □  
15 ≤ ■ < 17  
■ < 15

暑熱作業リスク 1.0 ≤ △  
0.8 ≤ ▲ < 1.0  
▲ < 0.8

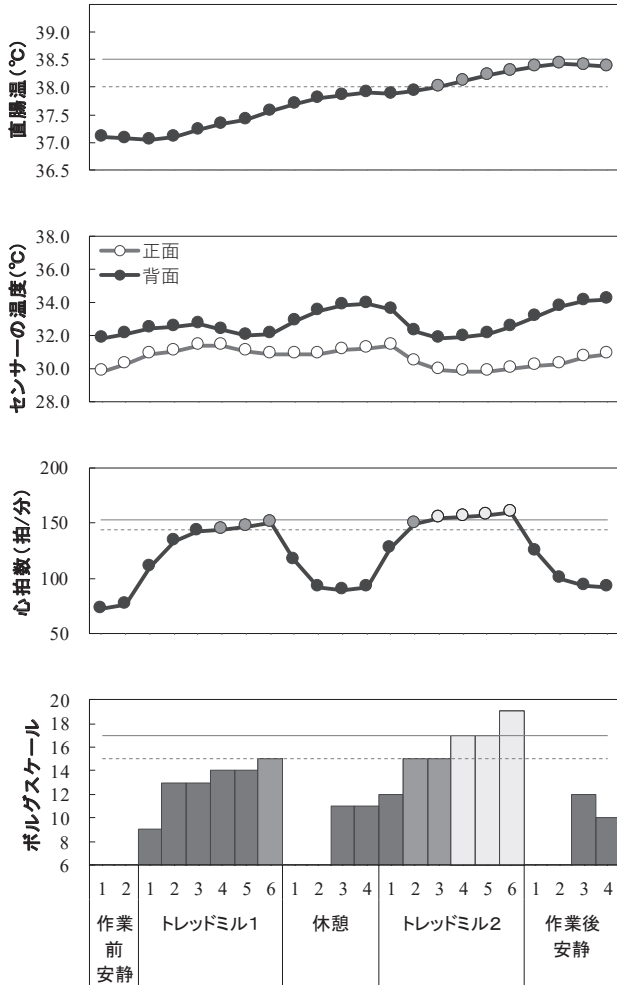
心拍数 (180-年齢) 拍/分 ≤ △  
(180-年齢-10) 拍/分 ≤ ▲ < (180-年齢) 拍/分  
▲ < (180-年齢) 拍/分

暑熱作業リスクレベル □ 危険  
■ 注意  
■ 注意表示なし

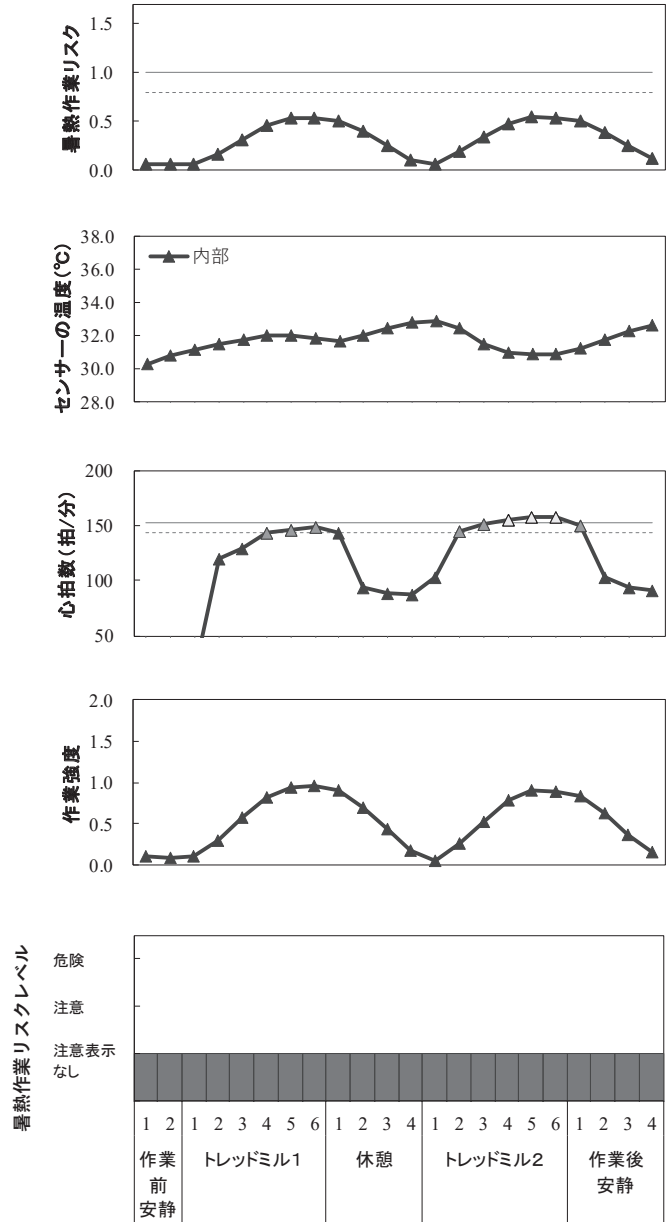
図6 条件1における実験参加者05の各種測定データ

実験参加者06: 室温25°C, 湿度50%

人工気候室での測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温  $38.5^{\circ}\text{C} \leq \circ$   
 $38.0^{\circ}\text{C} \leq \bullet < 38.5^{\circ}\text{C}$   
 $\bullet < 38.0^{\circ}\text{C}$

心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \circ$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

ボルグ  
 スケール  $17 \leq \square$   
 $15 \leq \text{■} < 17$   
 $\text{■} < 15$

暑熱作業  
 リスク  $1.0 \leq \triangle$   
 $0.8 \leq \blacktriangle < 1.0$   
 $\blacktriangle < 0.8$

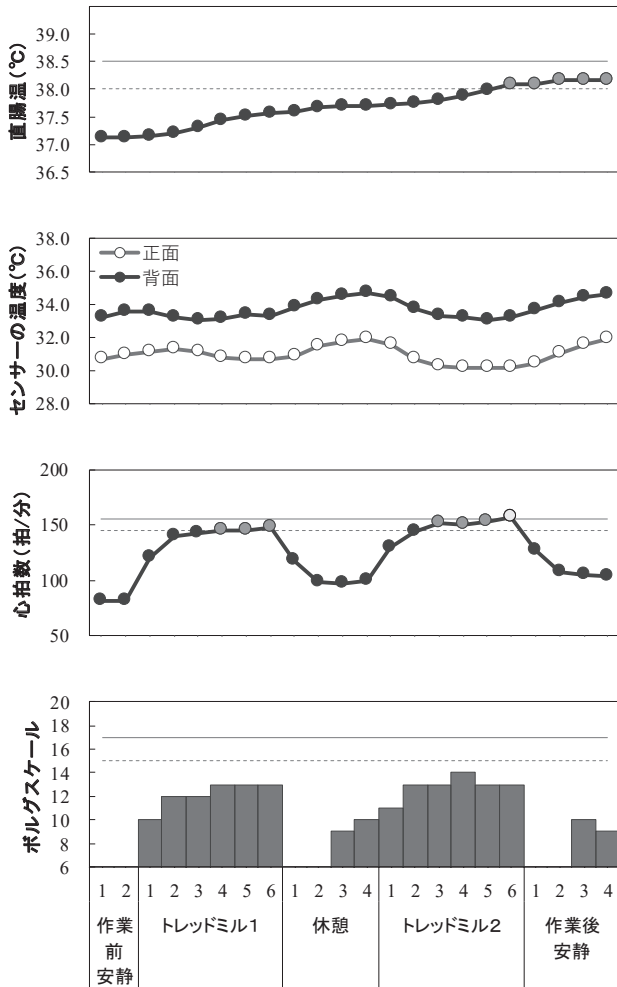
心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \triangle$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

暑熱作業  
 リスクレベル  $\square$  危険  
 $\text{■}$  注意  
 $\text{■}$  注意表示なし

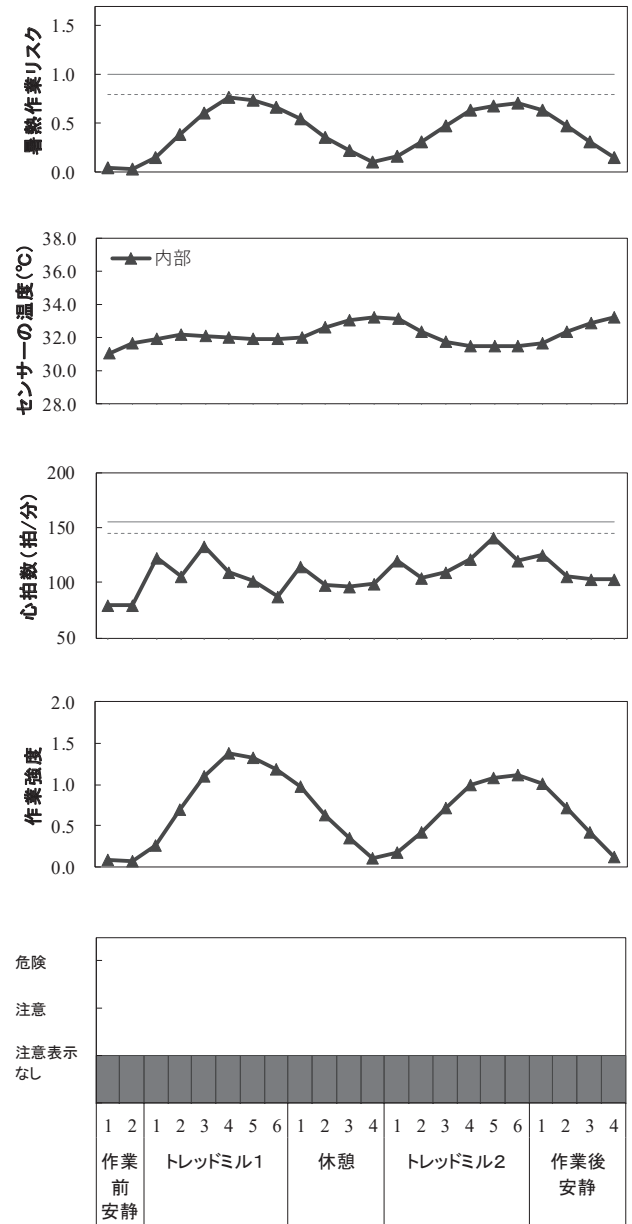
図7 条件1における実験参加者06の各種測定データ

実験参加者07: 室温25°C, 湿度50%

人工気候室での測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温  $38.5^{\circ}\text{C} \leq \bigcirc$   
 $38.0^{\circ}\text{C} \leq \bullet < 38.5^{\circ}\text{C}$   
 $\bullet < 38.0^{\circ}\text{C}$

心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分} \leq \bigcirc$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{ 拍/分} \leq \bullet < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$   
 $\bullet < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$

ボルグ  
 スケール  $17 \leq \square$   
 $15 \leq \text{■} < 17$   
 $\text{■} < 15$

暑熱作業  
 リスク  $1.0 \leq \triangle$   
 $0.8 \leq \blacktriangle < 1.0$   
 $\blacktriangle < 0.8$

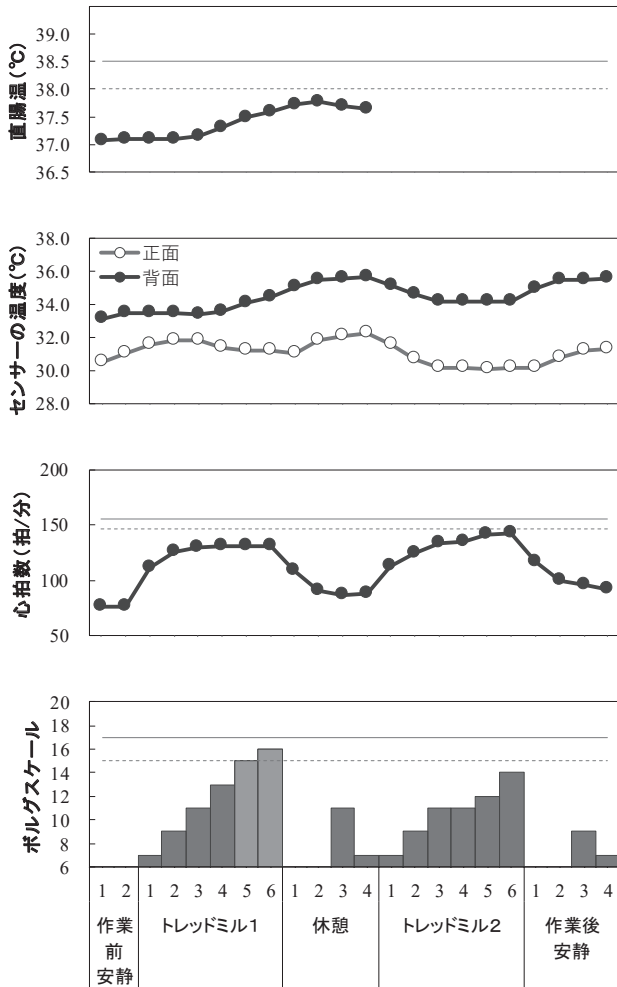
心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分} \leq \triangle$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{ 拍/分} \leq \blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$   
 $\blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$

暑熱作業  
 リスクレベル  $\square$  危険  
 $\text{■}$  注意  
 $\text{■}$  注意表示なし

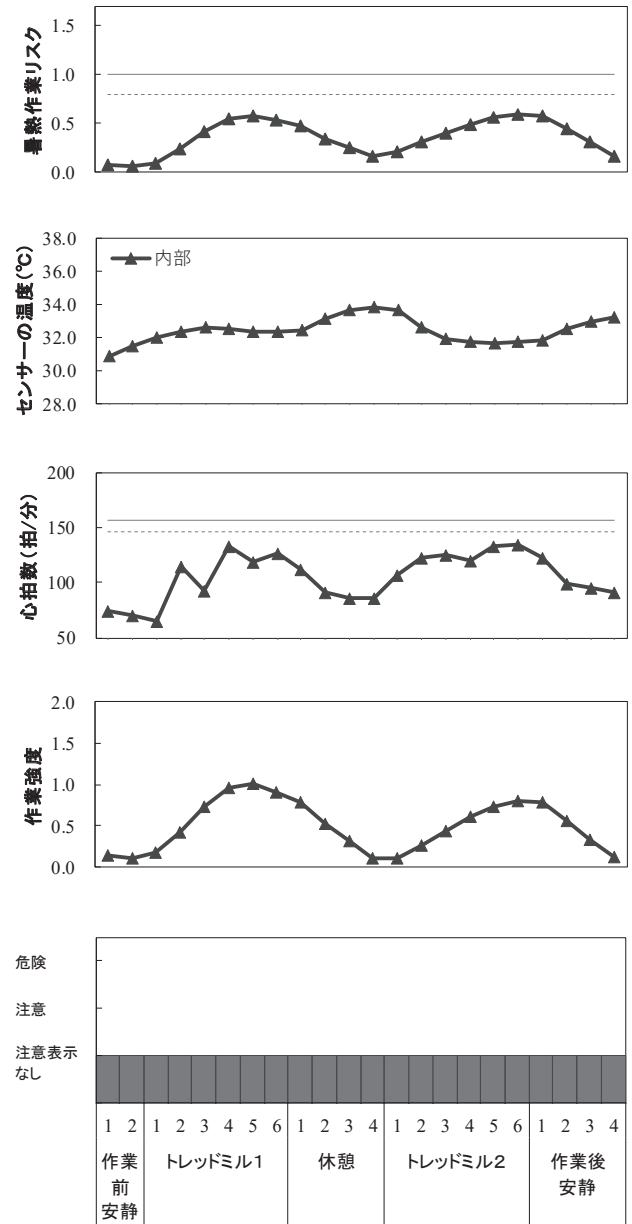
図 8 条件 1 における実験参加者 07 の各種測定データ

実験参加者08: 室温25°C, 湿度50%

人工気候室での測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温  
 $38.5^{\circ}\text{C} \leq \circ$   
 $38.0^{\circ}\text{C} \leq \bullet < 38.5^{\circ}\text{C}$   
 $\bullet < 38.0^{\circ}\text{C}$

心拍数  
 $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \circ$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

ボルグ  
 スケール  
 $17 \leq \square$   
 $15 \leq \square < 17$   
 $\square < 15$

暑熱作業  
 リスク  
 $1.0 \leq \triangle$   
 $0.8 \leq \blacktriangle < 1.0$   
 $\blacktriangle < 0.8$

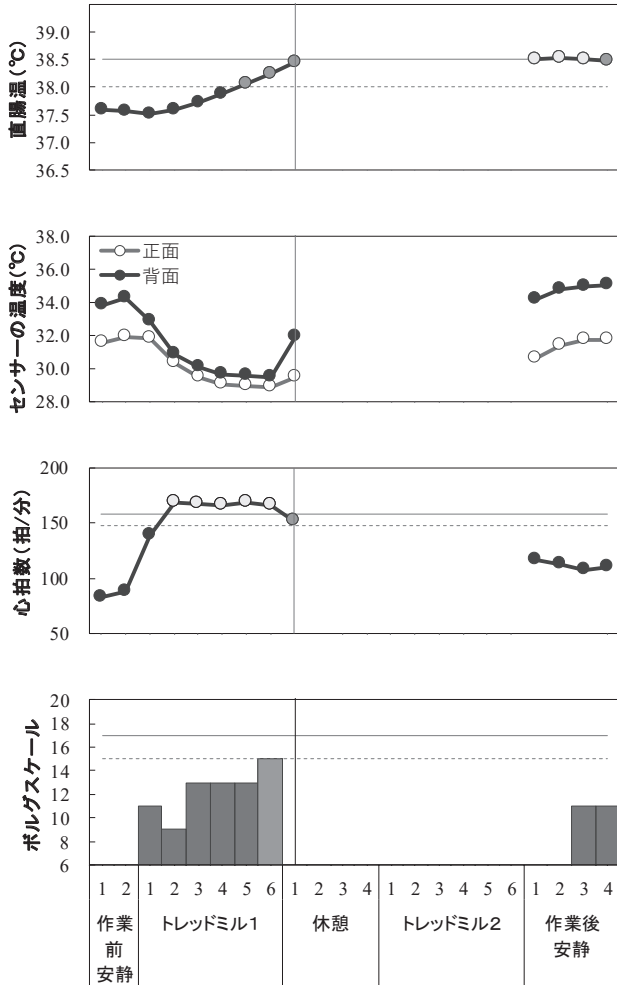
心拍数  
 $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \triangle$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

暑熱作業  
 リスクレベル  
 $\square$  危険  
 $\square$  注意  
 $\square$  注意表示なし

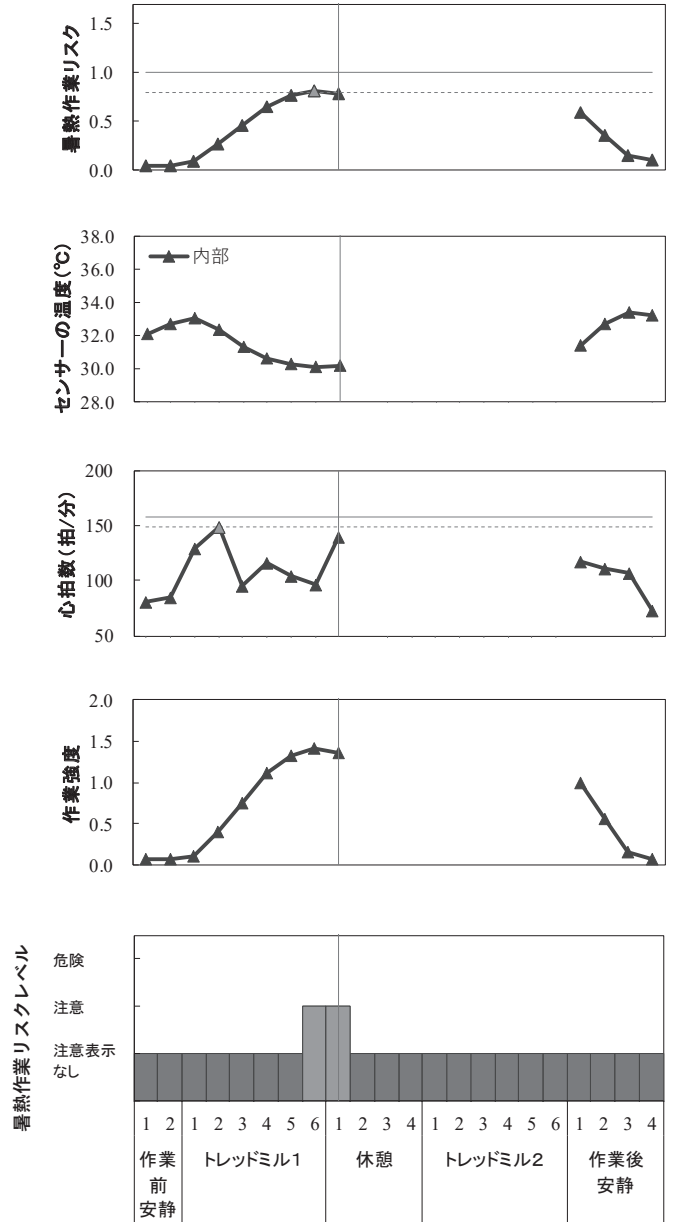
図9 条件1における実験参加者08の各種測定データ

実験参加者09: 室温25°C, 湿度50%

人工気候室での測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温 38.5°C ≤ ○  
38.0°C ≤ ● < 38.5°C  
● < 38.0°C

心拍数 (180-年齢) 拍/分 ≤ ○  
(180-年齢-10) 拍/分 ≤ ● < (180-年齢) 拍/分  
● < (180-年齢) 拍/分

ボルグスケール 17 ≤ □  
15 ≤ ▨ < 17  
▩ < 15

暑熱作業リスク 1.0 ≤ △  
0.8 ≤ ▲ < 1.0  
▲ < 0.8

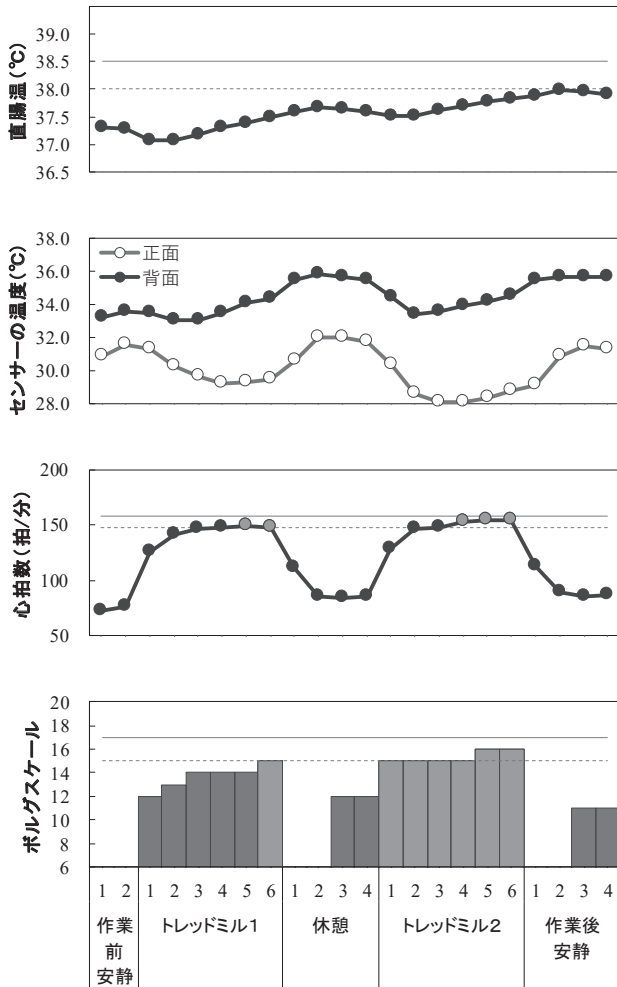
心拍数 (180-年齢) 拍/分 ≤ △  
(180-年齢-10) 拍/分 ≤ ▲ < (180-年齢) 拍/分  
▲ < (180-年齢) 拍/分

暑熱作業リスクレベル □ 危険  
▨ 注意  
▩ 注意表示なし

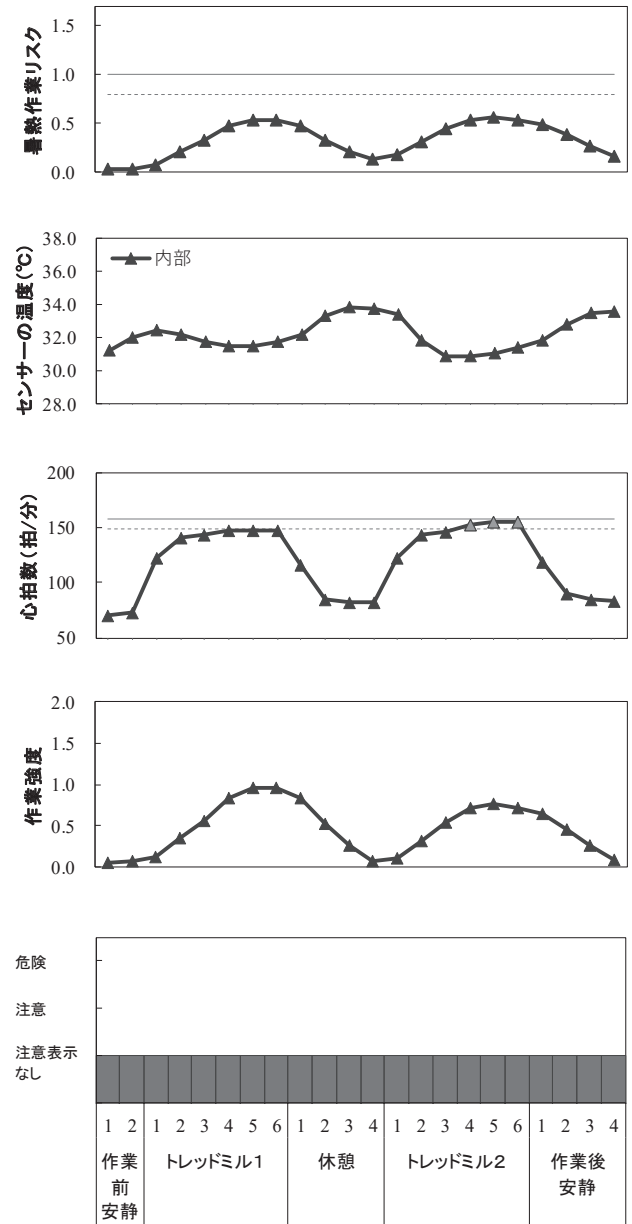
図 10 条件 1 における実験参加者 09 の各種測定データ

実験参加者10: 室温25°C, 湿度50%

人工気候室での測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温  $38.5^{\circ}\text{C} \leq \bigcirc$   
 $38.0^{\circ}\text{C} \leq \bullet < 38.5^{\circ}\text{C}$   
 $\bullet < 38.0^{\circ}\text{C}$

心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分} \leq \bigcirc$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{ 拍/分} \leq \bullet < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$   
 $\bullet < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$

ボルグスケール  $17 \leq \square$   
 $15 \leq \text{■} < 17$   
 $\text{■} < 15$

暑熱作業リスク  $1.0 \leq \triangle$   
 $0.8 \leq \blacktriangle < 1.0$   
 $\blacktriangle < 0.8$

心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分} \leq \triangle$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{ 拍/分} \leq \blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$   
 $\blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$

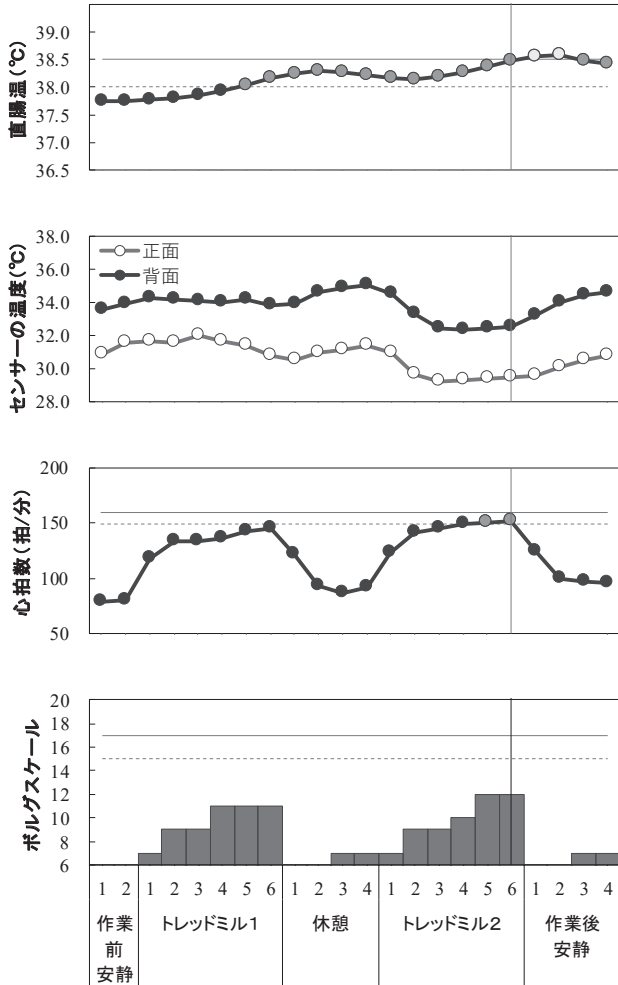
暑熱作業リスクレベル  $\square$  危険  
 $\text{■}$  注意  
 $\text{■}$  注意表示なし

図 11 条件 1 における実験参加者 10 の各種測定データ

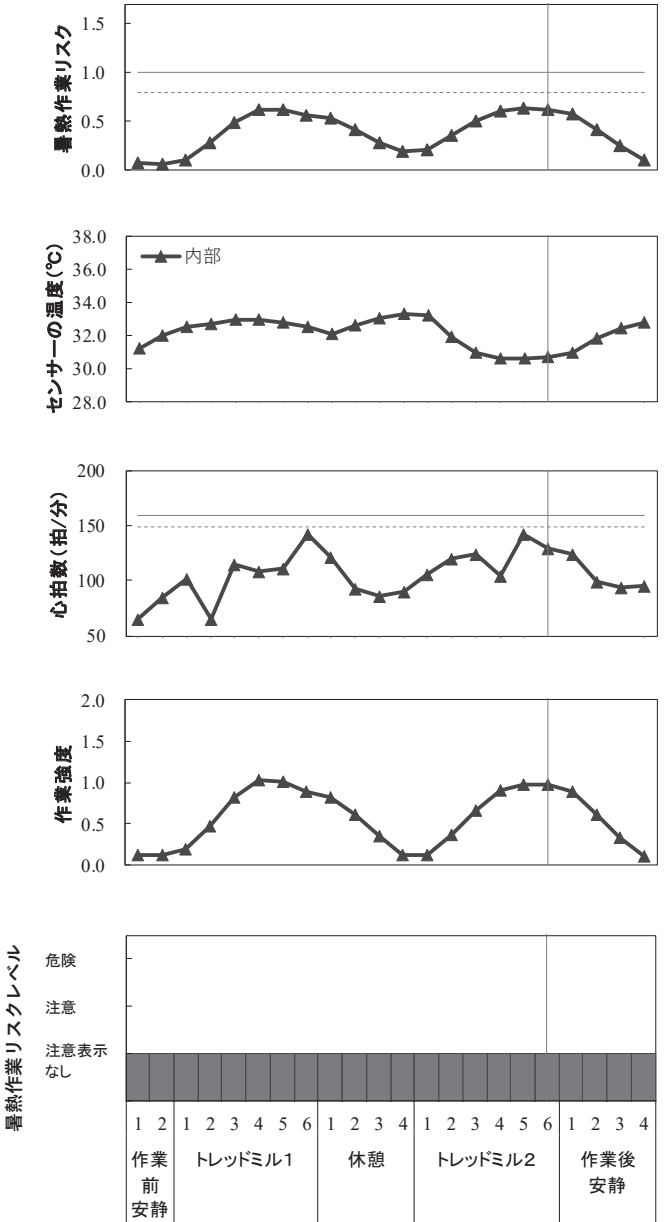


実験参加者11: 室温25°C, 湿度50%

人工気候室の測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温  
 $38.5^{\circ}\text{C} \leq \bigcirc$   
 $38.0^{\circ}\text{C} \leq \bullet < 38.5^{\circ}\text{C}$   
 $\bullet < 38.0^{\circ}\text{C}$

心拍数  
 $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \bigcirc$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

ボルグ  
 スケール  
 $17 \leq \square$   
 $15 \leq \text{■} < 17$   
 $\text{■} < 15$

暑熱作業  
 リスク  
 $1.0 \leq \triangle$   
 $0.8 \leq \blacktriangle < 1.0$   
 $\blacktriangle < 0.8$

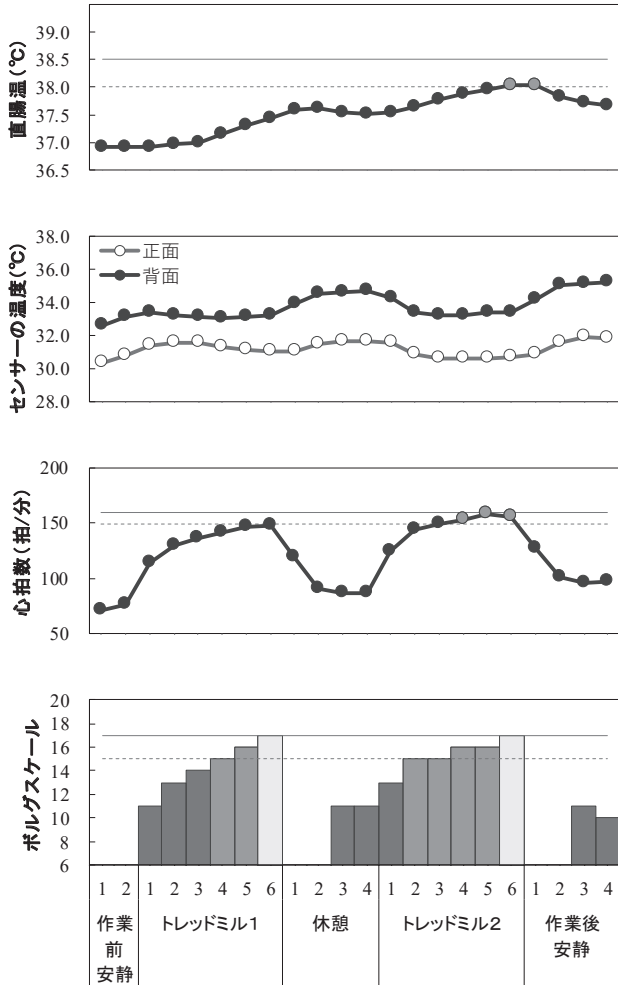
心拍数  
 $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \triangle$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

暑熱作業  
 リスクレベル  
 $\square$  危険  
 $\text{■}$  注意  
 $\text{■}$  注意表示なし

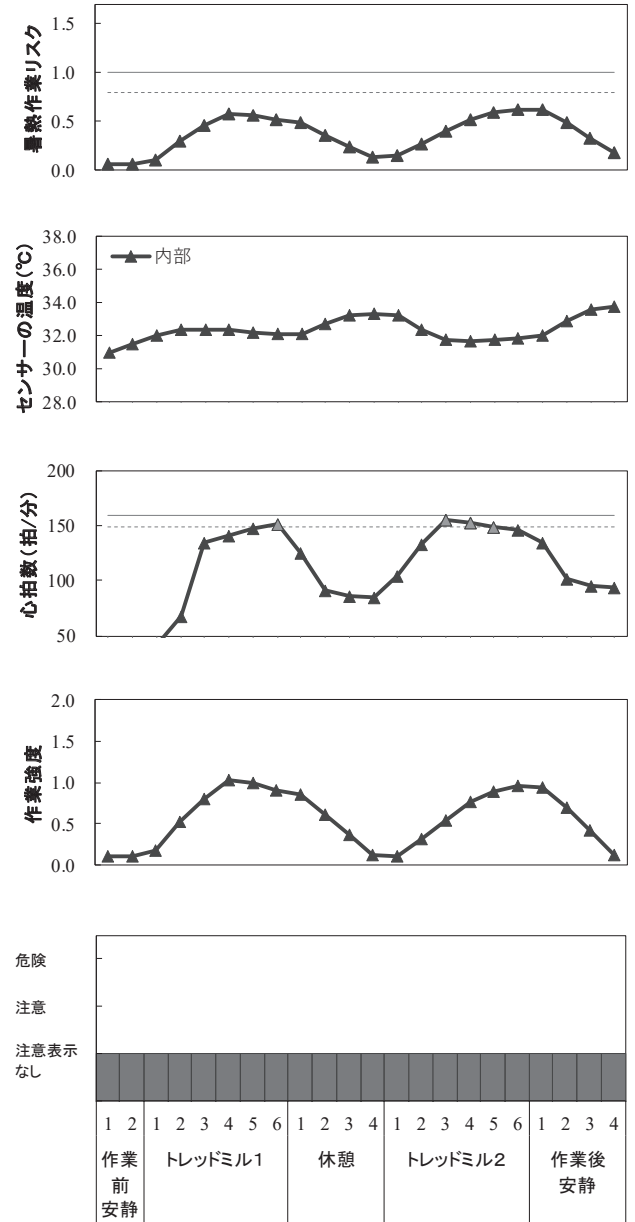
図 12 条件 1 における実験参加者 11 の各種測定データ

実験参加者12: 室温25°C, 湿度50%

人工気候室の測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温  $38.5^{\circ}\text{C} \leq \bigcirc$   
 $38.0^{\circ}\text{C} \leq \bullet < 38.5^{\circ}\text{C}$   
 $\bullet < 38.0^{\circ}\text{C}$

心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \bigcirc$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

ボルグスケール  $17 \leq \square$   
 $15 \leq \blacksquare < 17$   
 $\blacksquare < 15$

暑熱作業リスク  $1.0 \leq \triangle$   
 $0.8 \leq \blacktriangle < 1.0$   
 $\blacktriangle < 0.8$

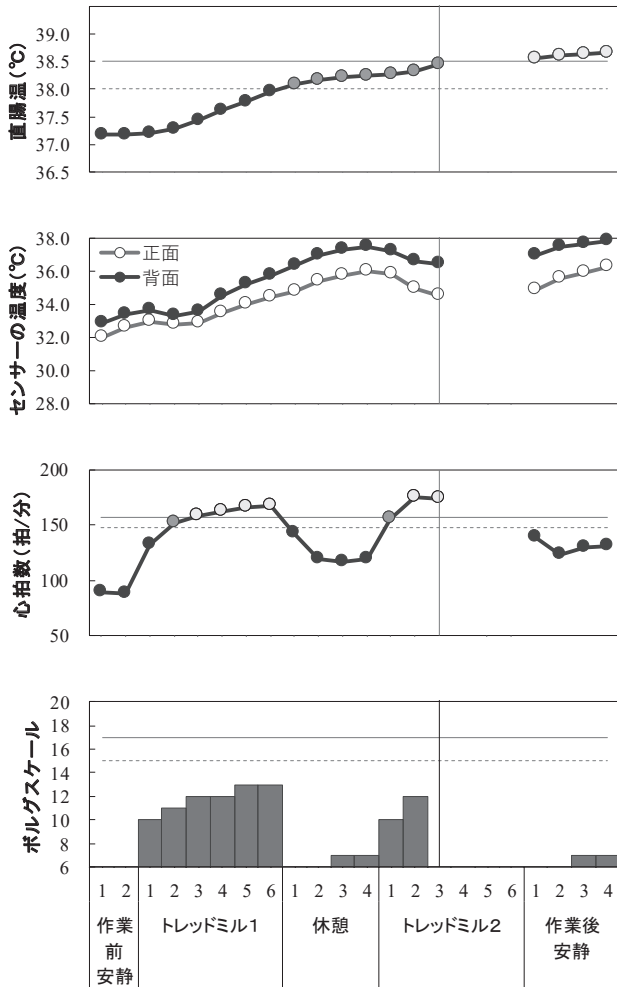
心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \triangle$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

暑熱作業リスクレベル  $\square$  危険  
 $\blacksquare$  注意  
 $\blacksquare$  注意表示なし

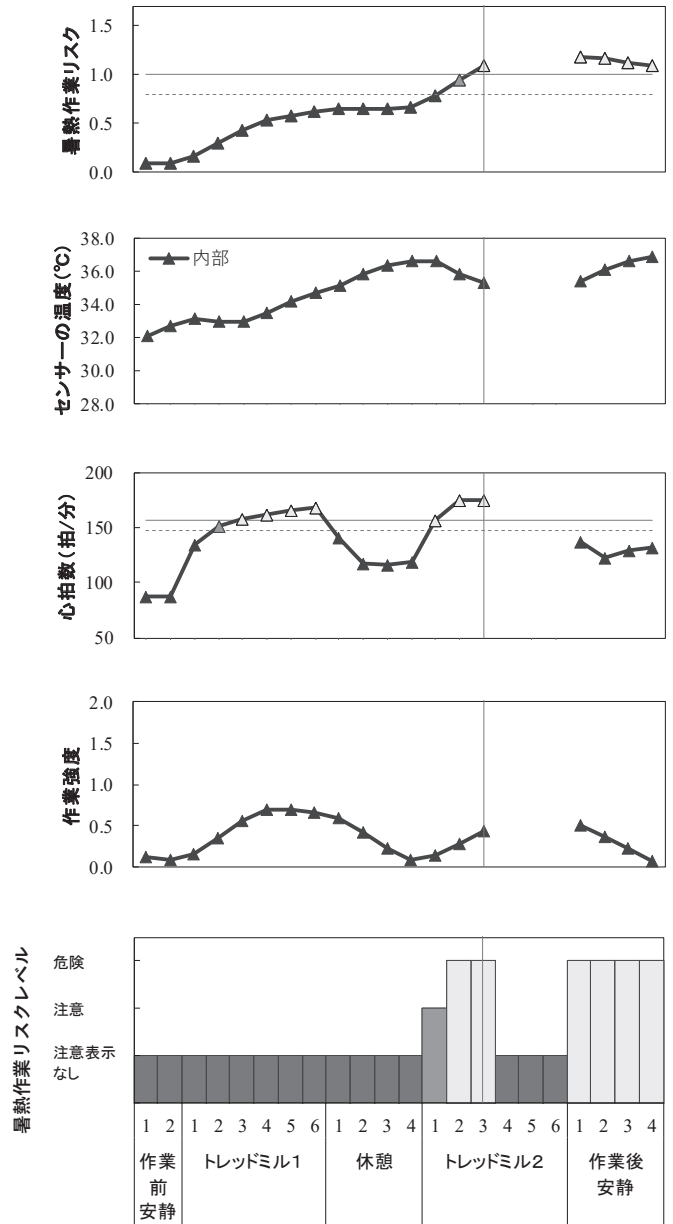
図 13 条件 1 における実験参加者 12 の各種測定データ

実験参加者01: 室温35°C, 湿度50%

人工気候室での測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温 38.5°C ≤ ○  
 38.0°C ≤ ● < 38.5°C  
 ● < 38.0°C

心拍数 (180-年齢) 拍/分 ≤ ○  
 (180-年齢-10) 拍/分 ≤ ● < (180-年齢) 拍/分  
 ● < (180-年齢) 拍/分

ボルグスケール 17 ≤ □  
 15 ≤ ▨ < 17  
 ▩ < 15

暑熱作業リスク 1.0 ≤ △  
 リスク 0.8 ≤ ▲ < 1.0  
 ▲ < 0.8

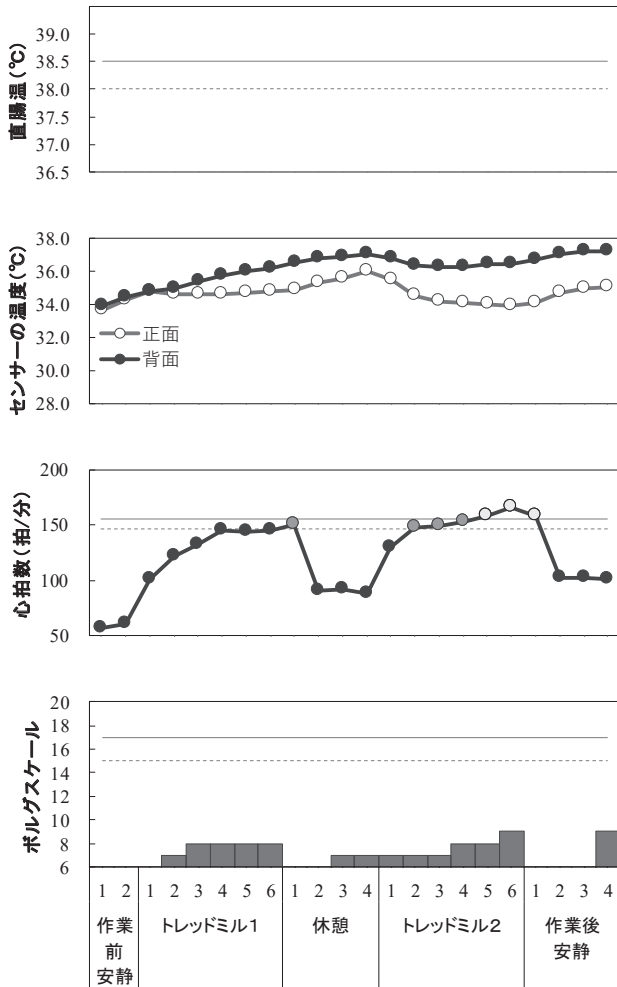
心拍数 (180-年齢) 拍/分 ≤ △  
 (180-年齢-10) 拍/分 ≤ ▲ < (180-年齢) 拍/分  
 ▲ < (180-年齢) 拍/分

暑熱作業リスクレベル □ 危険  
 ▨ 注意  
 ▩ 注意表示なし

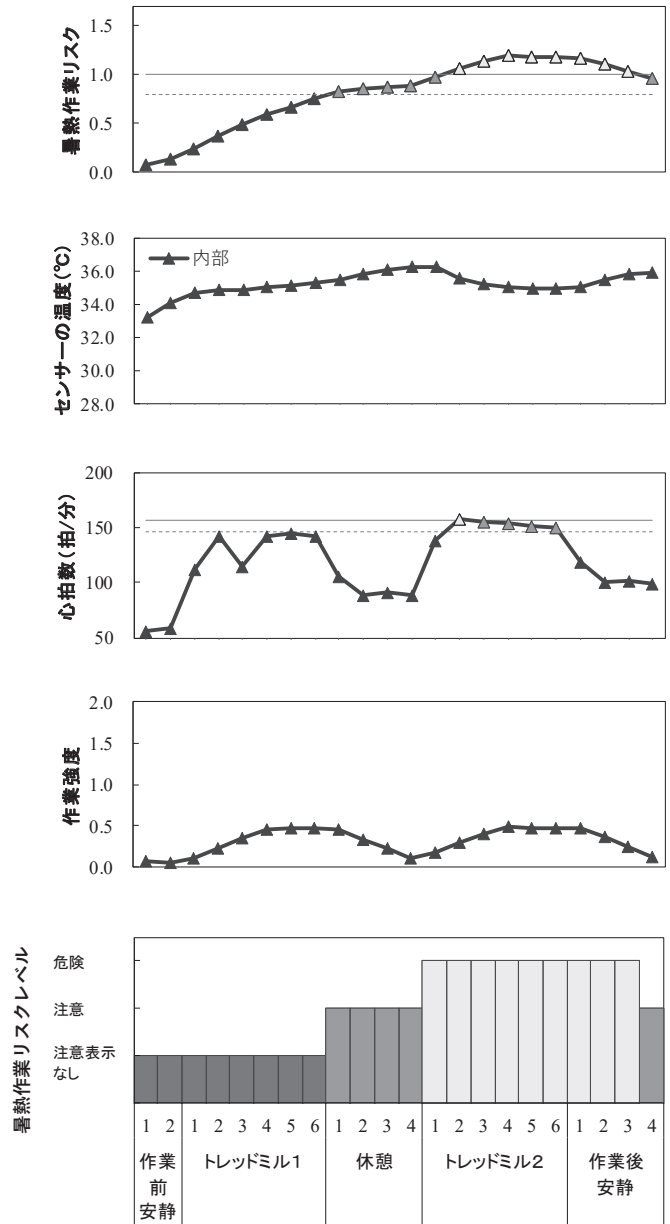
図 14 条件 2 における実験参加者 01 の各種測定データ

実験参加者02: 室温35°C, 湿度50%

人工気候室の測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温  
 $38.5^{\circ}\text{C} \leq \bigcirc$   
 $38.0^{\circ}\text{C} \leq \bullet < 38.5^{\circ}\text{C}$   
 $\bullet < 38.0^{\circ}\text{C}$

心拍数  
 $(180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分} \leq \bigcirc$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{ 拍/分} \leq \bullet < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$   
 $\bullet < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$

ボルグ  
 スケール  
 $17 \leq \square$   
 $15 \leq \text{■} < 17$   
 $\text{■} < 15$

暑熱作業  
 リスク  
 $1.0 \leq \triangle$   
 $0.8 \leq \blacktriangle < 1.0$   
 $\blacktriangle < 0.8$

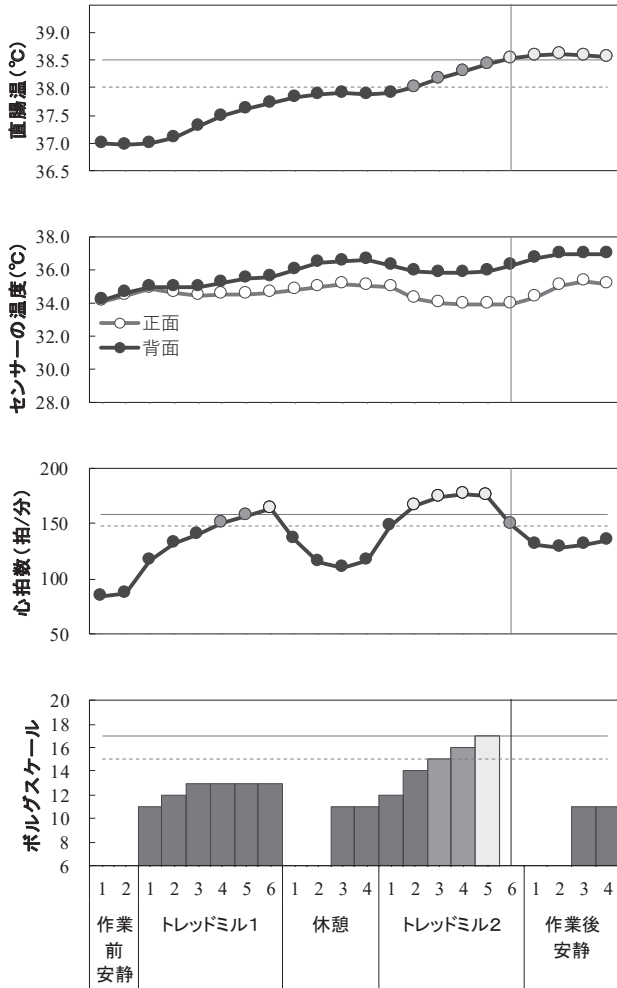
心拍数  
 $(180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分} \leq \triangle$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{ 拍/分} \leq \blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$   
 $\blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$

暑熱作業  
 リスクレベル  
 $\square$  危険  
 $\text{■}$  注意  
 $\text{■}$  注意表示なし

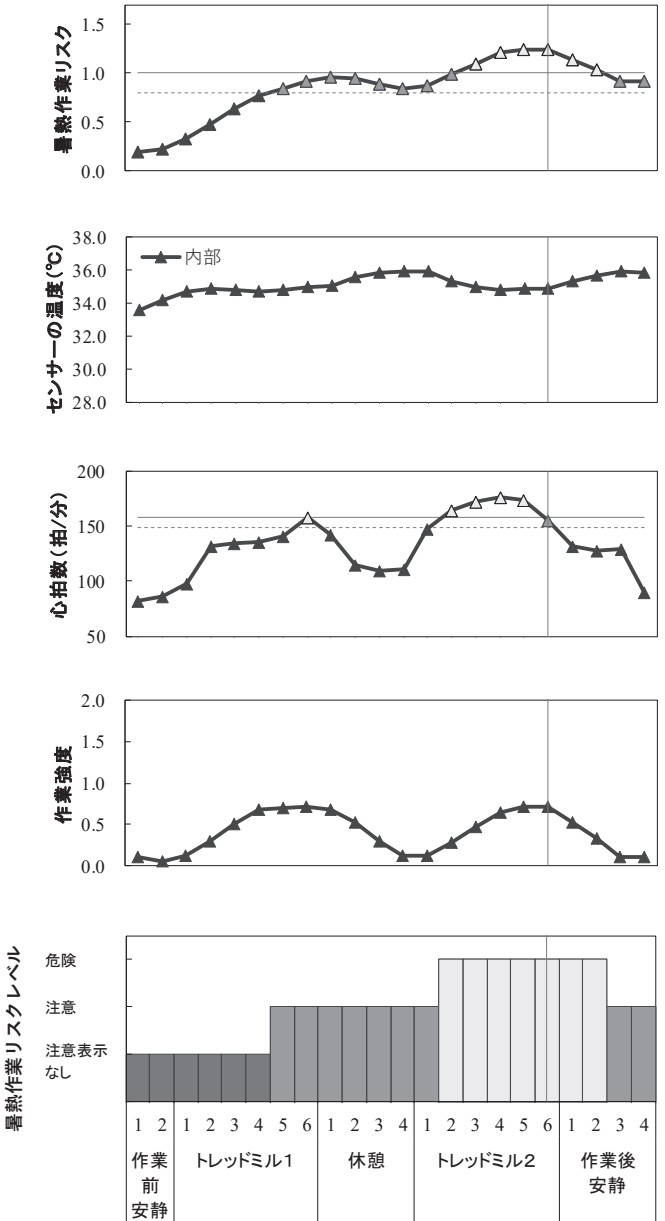
図 15 条件 2 における実験参加者 02 の各種測定データ

実験参加者03: 室温35°C, 湿度50%

人工気候室の測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温  $38.5^{\circ}\text{C} \leq \bigcirc$   
 $38.0^{\circ}\text{C} \leq \bullet < 38.5^{\circ}\text{C}$   
 $\bullet < 38.0^{\circ}\text{C}$

心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \bigcirc$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

ボルグ  
 スケール  $17 \leq \square$   
 $15 \leq \text{■} < 17$   
 $\text{■} < 15$

暑熱作業  
 リスク  $1.0 \leq \triangle$   
 $0.8 \leq \blacktriangle < 1.0$   
 $\blacktriangle < 0.8$

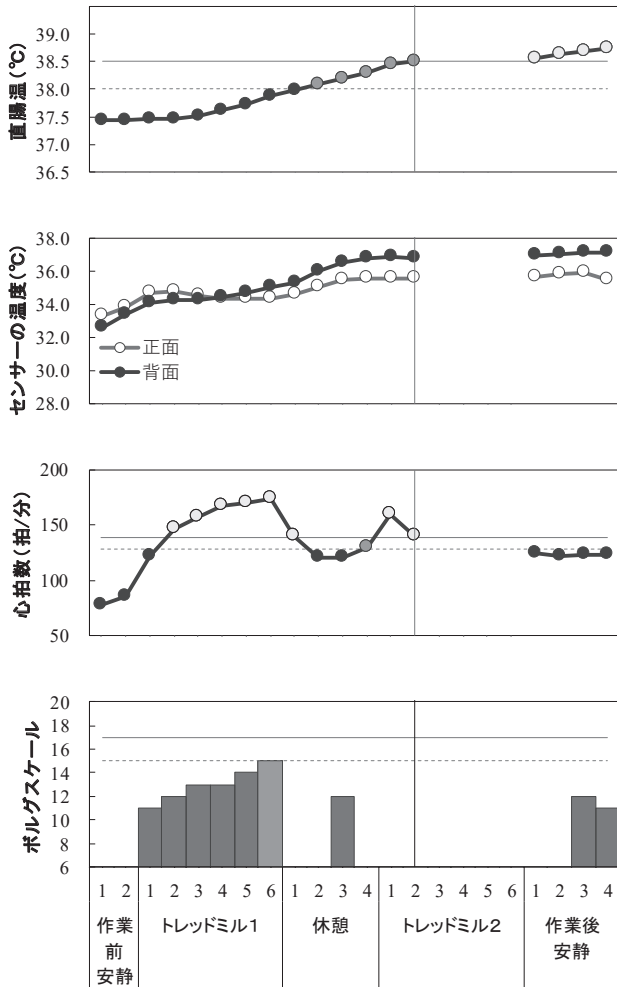
心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \triangle$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

暑熱作業  
 リスクレベル  $\square$  危険  
 $\text{■}$  注意  
 $\text{■}$  注意表示なし

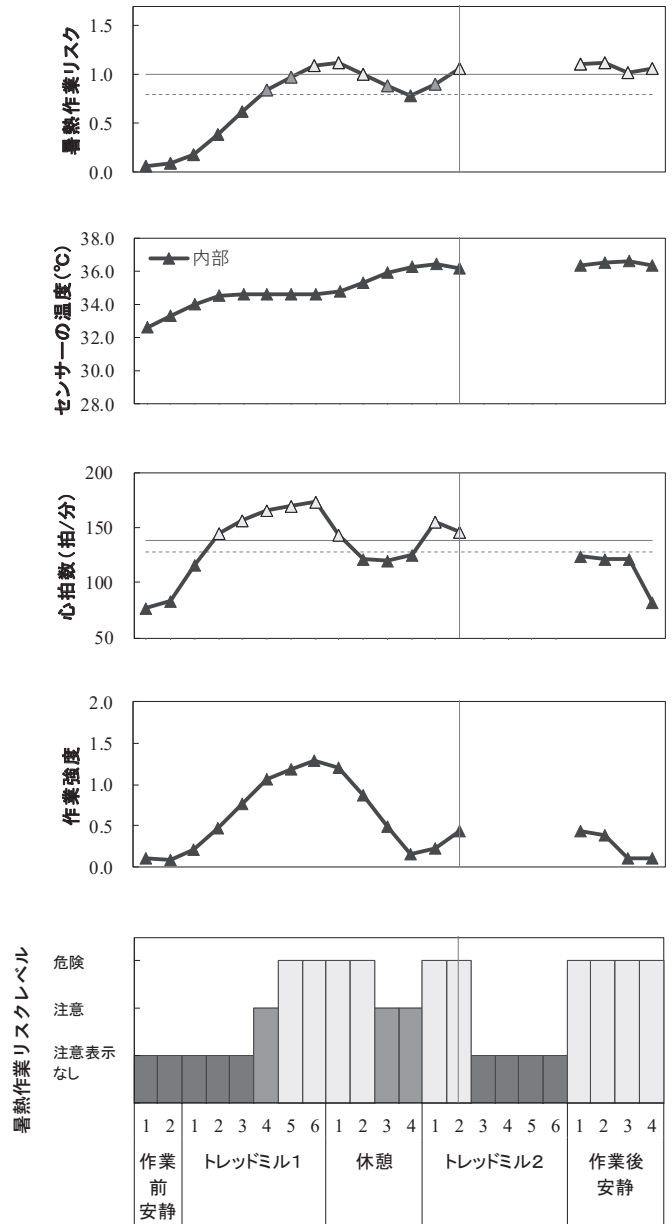
図 16 条件 2 における実験参加者 03 の各種測定データ

実験参加者04: 室温35°C, 湿度50%

人工気候室の測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温 38.5°C ≤ ○  
38.0°C ≤ ● < 38.5°C  
● < 38.0°C

心拍数 (180-年齢) 拍/分 ≤ ○  
(180-年齢-10) 拍/分 ≤ ● < (180-年齢) 拍/分  
● < (180-年齢) 拍/分

ボルグスケール 17 ≤ □  
15 ≤ ■ < 17  
■ < 15

暑熱作業リスク 1.0 ≤ △  
0.8 ≤ ▲ < 1.0  
▲ < 0.8

心拍数 (180-年齢) 拍/分 ≤ △  
(180-年齢-10) 拍/分 ≤ ▲ < (180-年齢) 拍/分  
▲ < (180-年齢) 拍/分

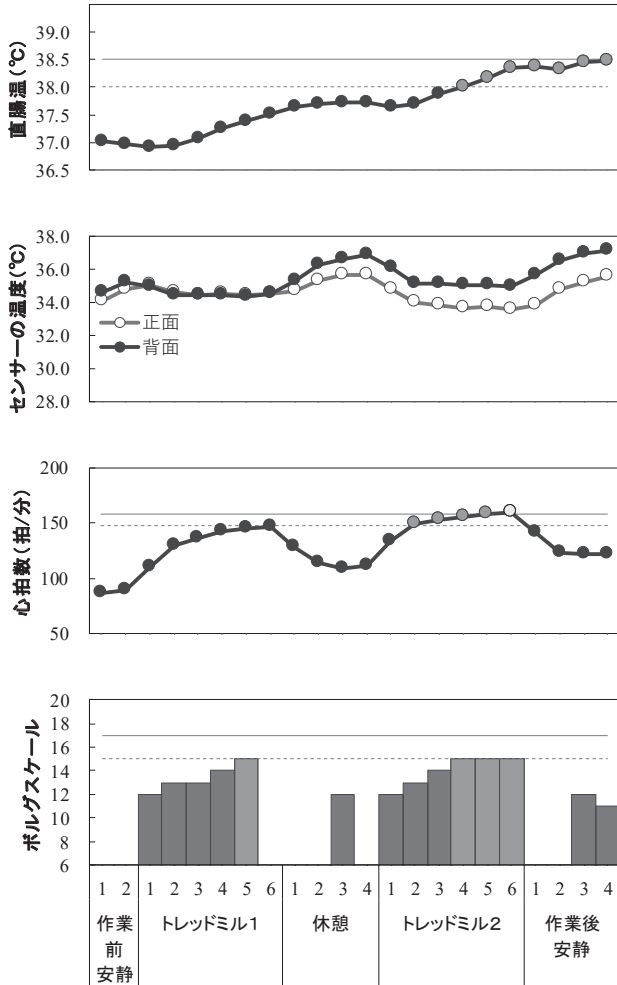
暑熱作業リスクレベル □ 危険  
■ 注意  
■ 注意表示なし

図 17 条件 2 における実験参加者 04 の各種測定データ

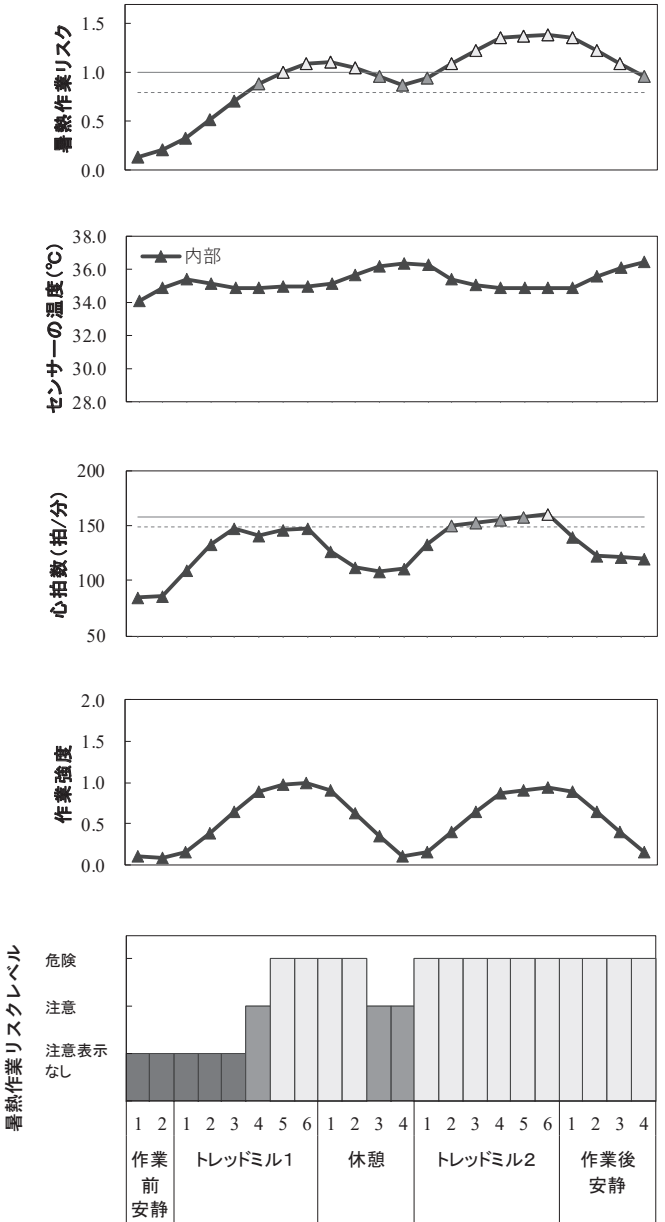


実験参加者05: 室温35°C, 湿度50%

人工気候室の測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温 38.5°C ≤ ○  
38.0°C ≤ ● < 38.5°C  
● < 38.0°C

心拍数 (180-年齢) 拍/分 ≤ ○  
(180-年齢-10) 拍/分 ≤ ● < (180-年齢) 拍/分  
● < (180-年齢) 拍/分

ボルグスケール 17 ≤ □  
15 ≤ ▨ < 17  
■ < 15

暑熱作業リスク 1.0 ≤ △  
0.8 ≤ ▲ < 1.0  
▲ < 0.8

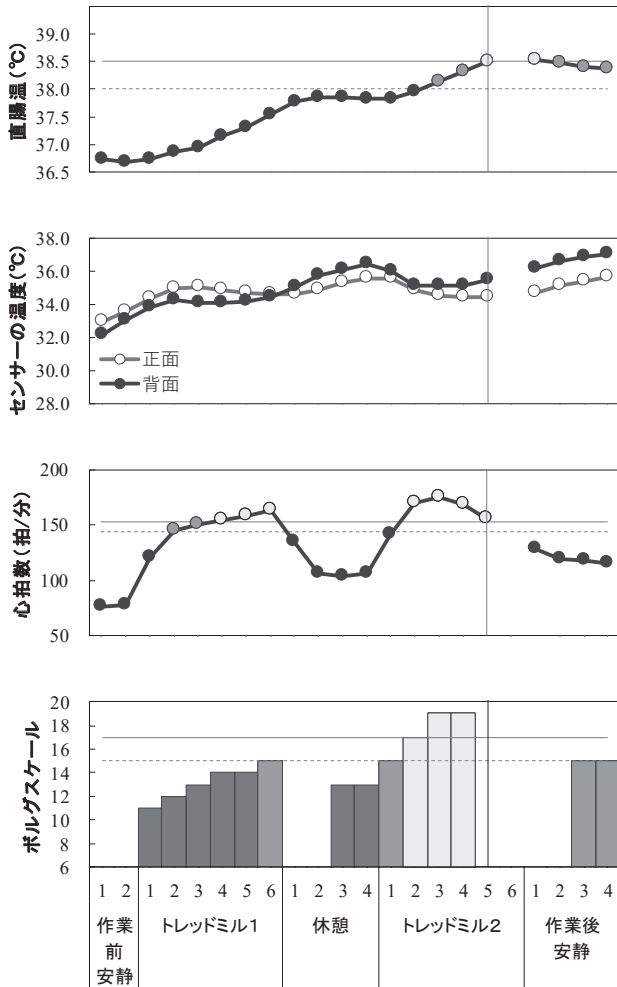
心拍数 (180-年齢) 拍/分 ≤ △  
(180-年齢-10) 拍/分 ≤ ▲ < (180-年齢) 拍/分  
▲ < (180-年齢) 拍/分

暑熱作業リスクレベル □ 危険  
▨ 注意  
■ 注意表示なし

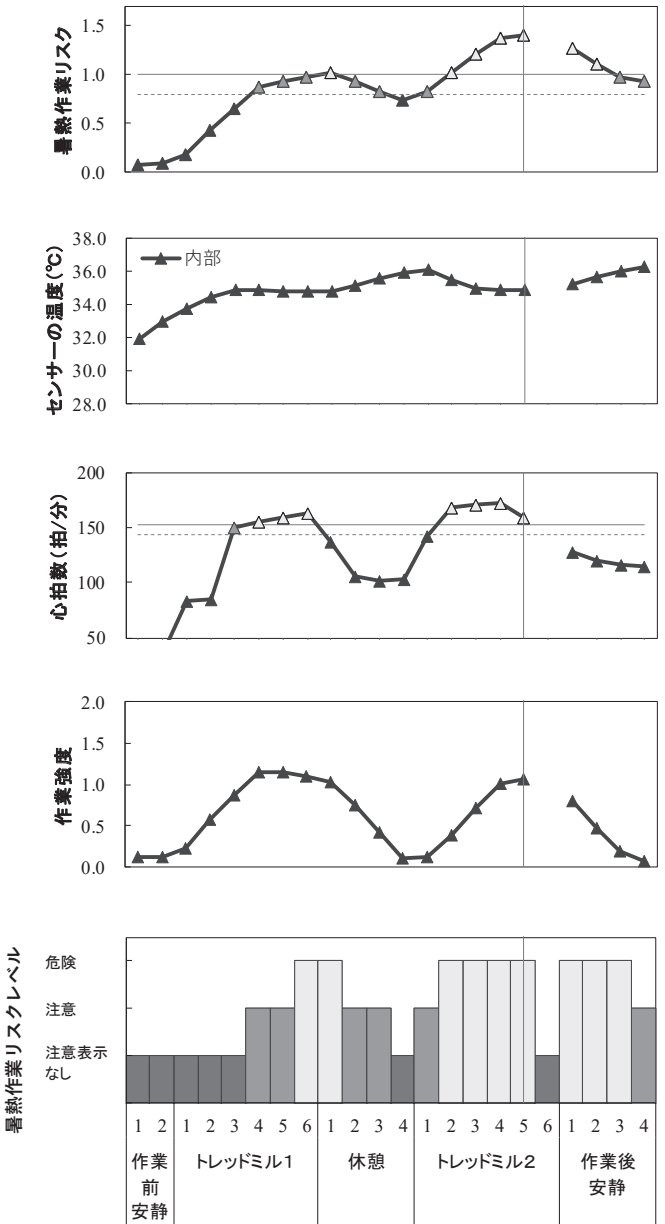
図 18 条件 2 における実験参加者 05 の各種測定データ

実験参加者06: 室温35°C, 湿度50%

人工気候室での測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温 38.5°C ≤ ○  
38.0°C ≤ ● < 38.5°C  
● < 38.0°C

心拍数 (180-年齢) 拍/分 ≤ ○  
(180-年齢-10) 拍/分 ≤ ● < (180-年齢) 拍/分  
● < (180-年齢) 拍/分

ボルグスケール 17 ≤ □  
15 ≤ ■ < 17  
■ < 15

暑熱作業リスク 1.0 ≤ △  
0.8 ≤ ▲ < 1.0  
▲ < 0.8

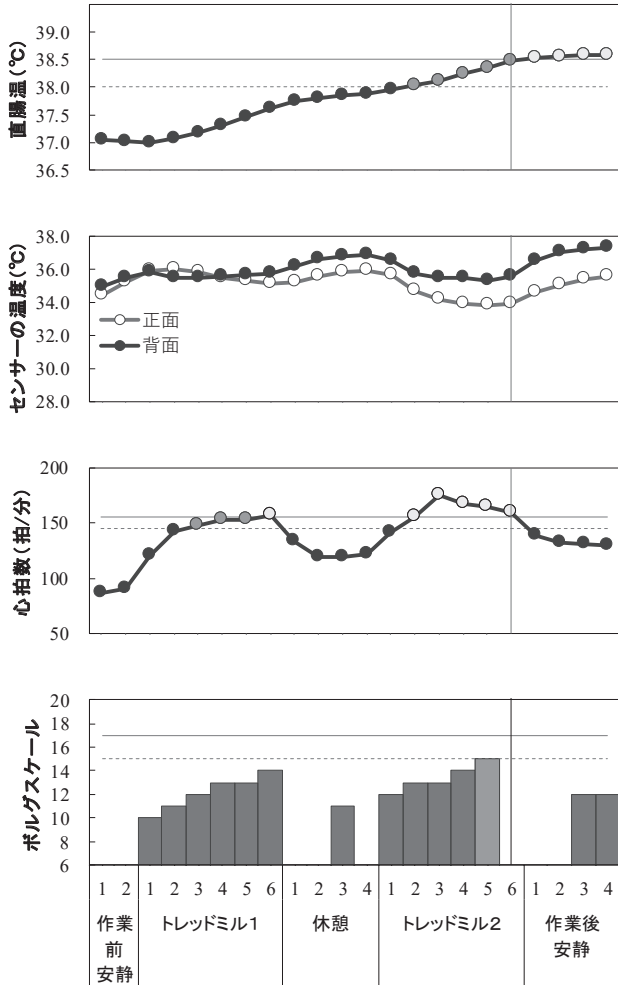
心拍数 (180-年齢) 拍/分 ≤ △  
(180-年齢-10) 拍/分 ≤ ▲ < (180-年齢) 拍/分  
▲ < (180-年齢) 拍/分

暑熱作業リスクレベル □ 危険  
■ 注意  
■ 注意表示なし

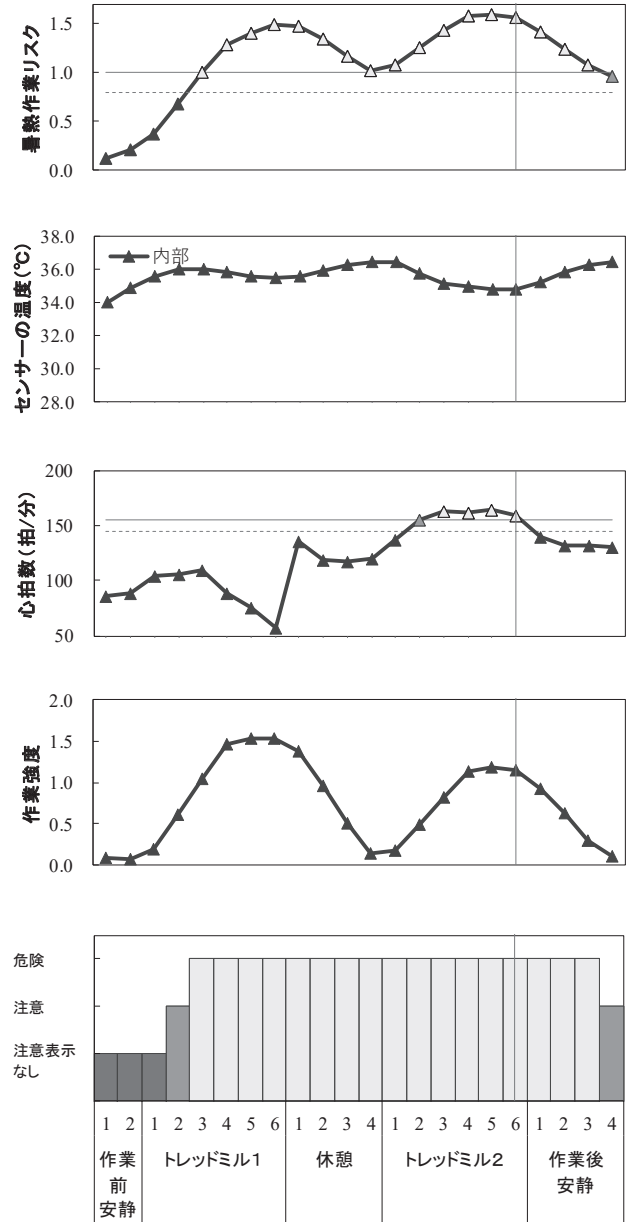
図 19 条件 2 における実験参加者 06 の各種測定データ

実験参加者07: 室温35°C, 湿度50%

人工気候室での測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温  $38.5^{\circ}\text{C} \leq \bigcirc$   
 $38.0^{\circ}\text{C} \leq \bullet < 38.5^{\circ}\text{C}$   
 $\bullet < 38.0^{\circ}\text{C}$

心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分} \leq \bigcirc$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{ 拍/分} \leq \bullet < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$   
 $\bullet < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$

ボルグ  
 スケール  $17 \leq \square$   
 $15 \leq \square < 17$   
 $\square < 15$

暑熱作業  
 リスク  $1.0 \leq \triangle$   
 $0.8 \leq \blacktriangle < 1.0$   
 $\blacktriangle < 0.8$

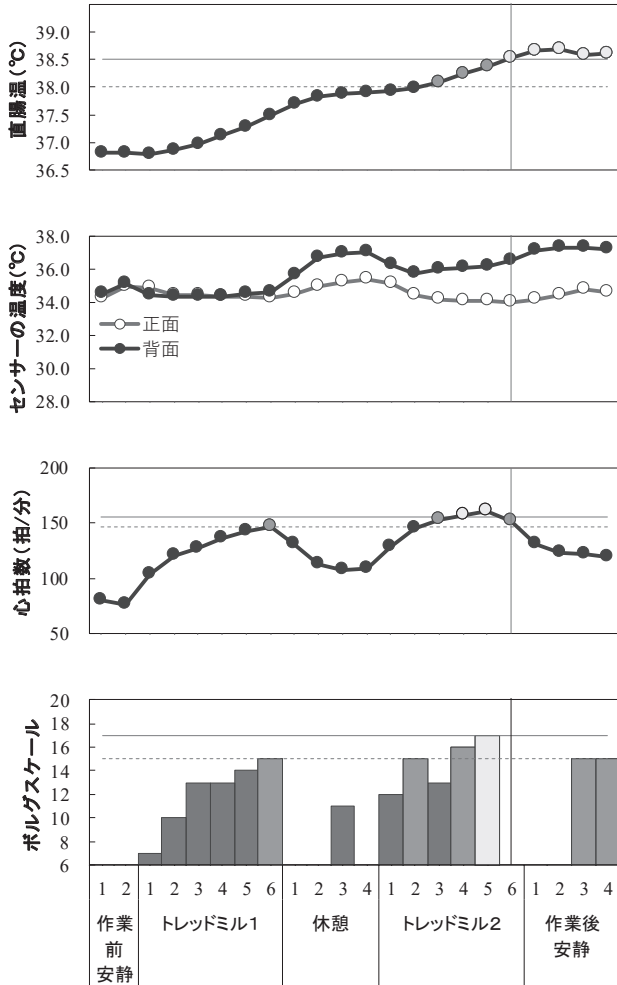
心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分} \leq \triangle$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{ 拍/分} \leq \blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$   
 $\blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{ 拍/分}$

暑熱作業  
 リスクレベル  $\square$  危険  
 $\square$  注意  
 $\square$  注意表示なし

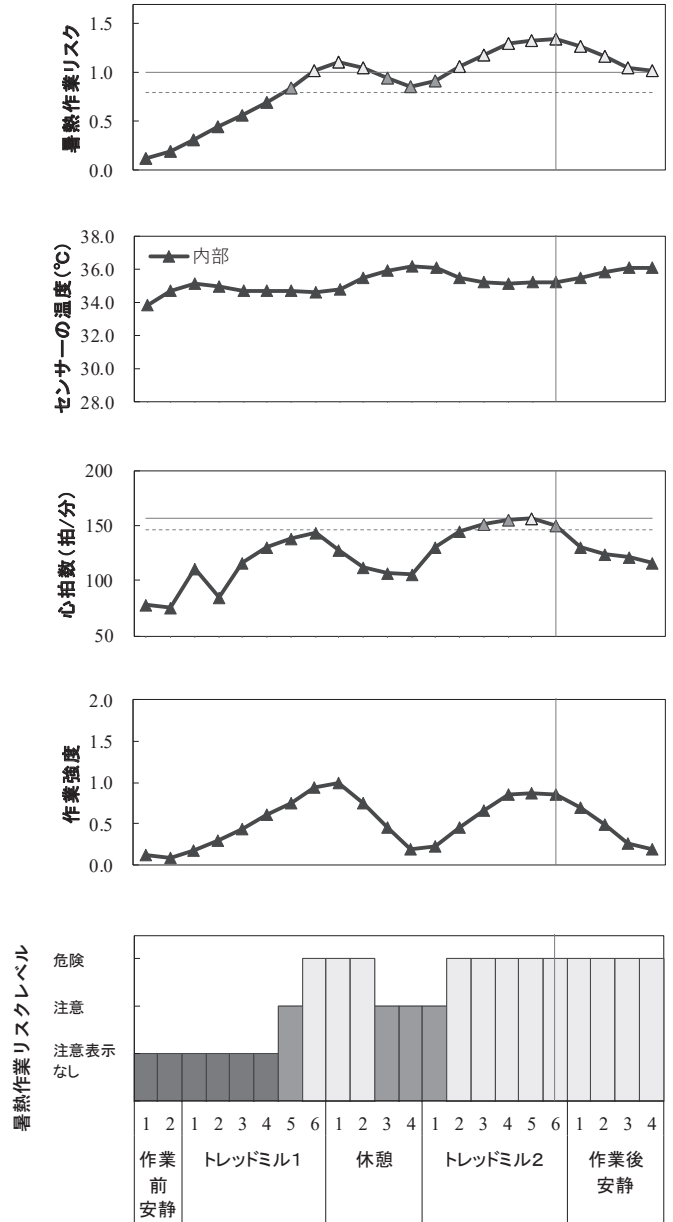
図 20 条件 2 における実験参加者 07 の各種測定データ

実験参加者08: 室温35°C, 湿度50%

人工気候室での測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温  $38.5^{\circ}\text{C} \leq \circ$   
 $38.0^{\circ}\text{C} \leq \bullet < 38.5^{\circ}\text{C}$   
 $\bullet < 38.0^{\circ}\text{C}$

心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \circ$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

ボルグ  
 スケール  $17 \leq \square$   
 $15 \leq \blacksquare < 17$   
 $\blacksquare < 15$

暑熱作業  
 リスク  $1.0 \leq \triangle$   
 $0.8 \leq \blacktriangle < 1.0$   
 $\blacktriangle < 0.8$

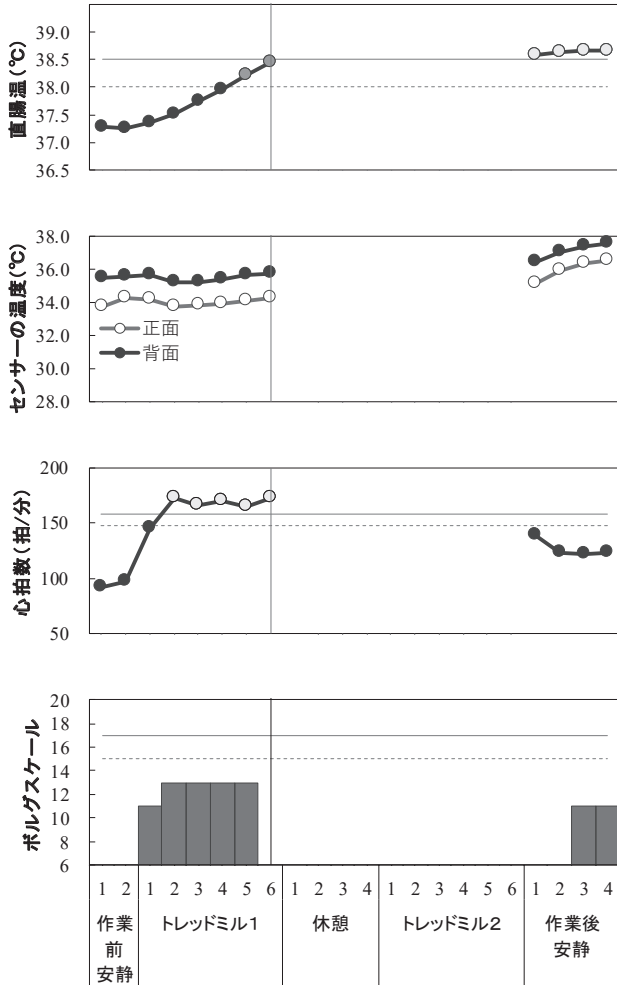
心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \triangle$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

暑熱作業  
 リスクレベル  $\square$  危険  
 $\blacksquare$  注意  
 $\blacksquare$  注意表示なし

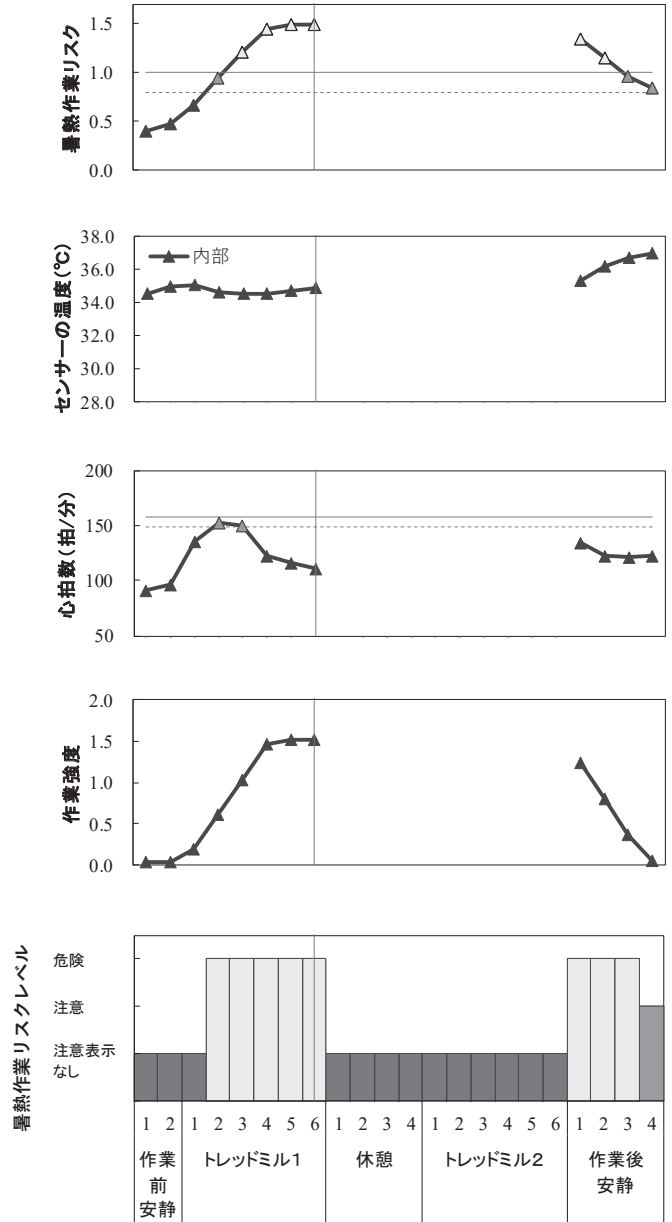
図 21 条件 2 における実験参加者 08 の各種測定データ

実験参加者09: 室温35°C, 湿度50%

人工気候室での測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温  $38.5^{\circ}\text{C} \leq \circ$   
 $38.0^{\circ}\text{C} \leq \bullet < 38.5^{\circ}\text{C}$   
 $\bullet < 38.0^{\circ}\text{C}$

心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \circ$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

ボルグ  
 スケール  $17 \leq \square$   
 $15 \leq \text{■} < 17$   
 $\text{■} < 15$

暑熱作業  
 リスク  $1.0 \leq \triangle$   
 $0.8 \leq \blacktriangle < 1.0$   
 $\blacktriangle < 0.8$

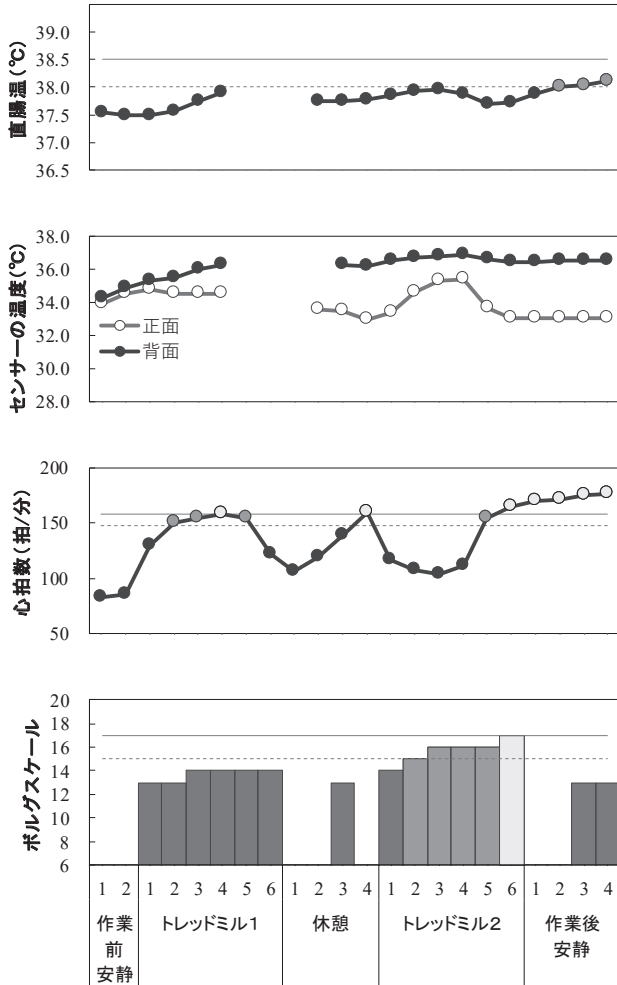
心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \triangle$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

暑熱作業  
 リスクレベル  $\square$  危険  
 $\text{■}$  注意  
 $\text{■}$  注意表示なし

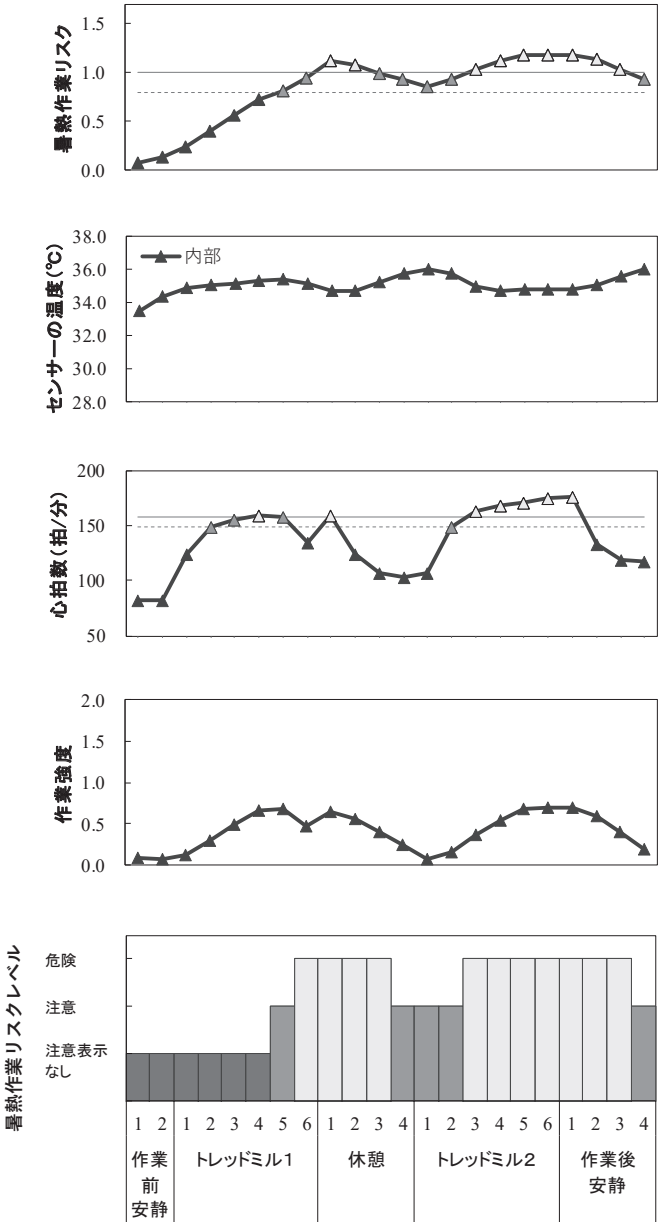
図 22 条件 2 における実験参加者 09 の各種測定データ

実験参加者10: 室温35°C, 湿度50%

人工気候室の測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温  $38.5^{\circ}\text{C} \leq \circ$   
 $38.0^{\circ}\text{C} \leq \bullet < 38.5^{\circ}\text{C}$   
 $\bullet < 38.0^{\circ}\text{C}$

心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \circ$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

ボルグスケール  $17 \leq \square$   
 $15 \leq \text{■} < 17$   
 $\text{■} < 15$

暑熱作業リスク  $1.0 \leq \triangle$   
 リスク  $0.8 \leq \blacktriangle < 1.0$   
 $\blacktriangle < 0.8$

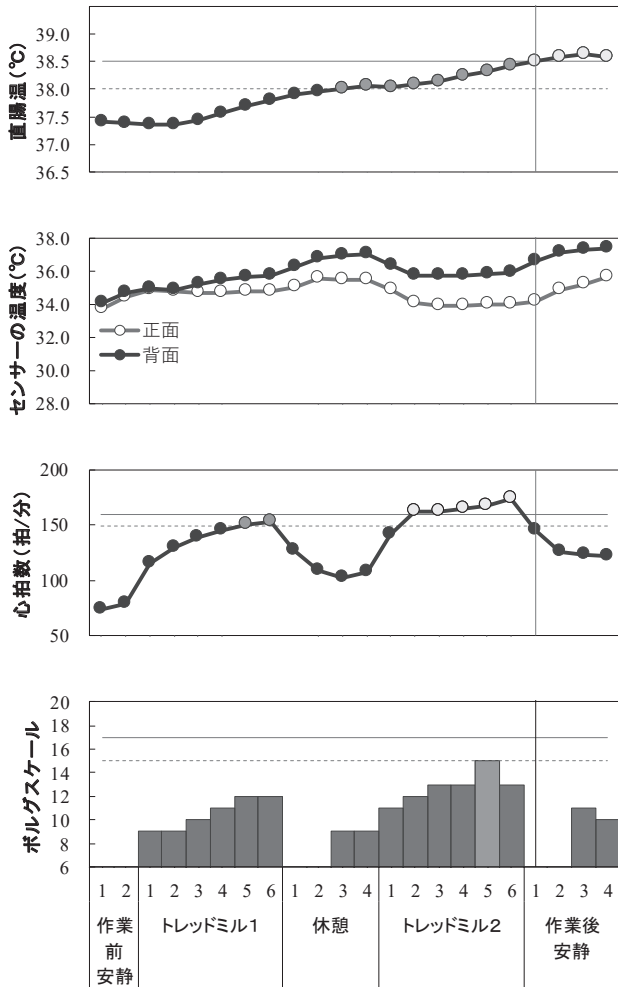
心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \triangle$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

暑熱作業リスクレベル  $\square$  危険  
 $\text{■}$  注意  
 $\text{■}$  注意表示なし

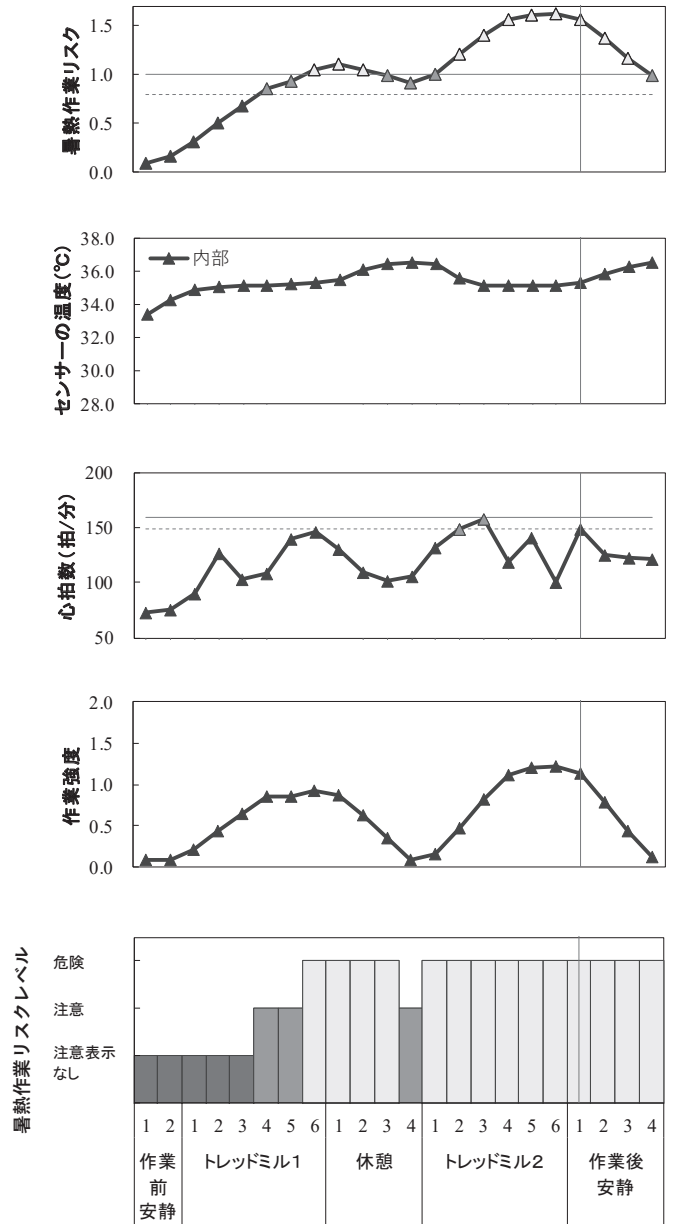
図 23 条件 2 における実験参加者 10 の各種測定データ

実験参加者11: 室温35°C, 湿度50%

人工気候室での測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温  $38.5^{\circ}\text{C} \leq \circ$   
 $38.0^{\circ}\text{C} \leq \bullet < 38.5^{\circ}\text{C}$   
 $\bullet < 38.0^{\circ}\text{C}$

心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \circ$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

ボルグ  
 スケール  $17 \leq \square$   
 $15 \leq \text{gray} < 17$   
 $\text{dark gray} < 15$

暑熱作業  
 リスク  $1.0 \leq \triangle$   
 $0.8 \leq \blacktriangle < 1.0$   
 $\blacktriangle < 0.8$

心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \triangle$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

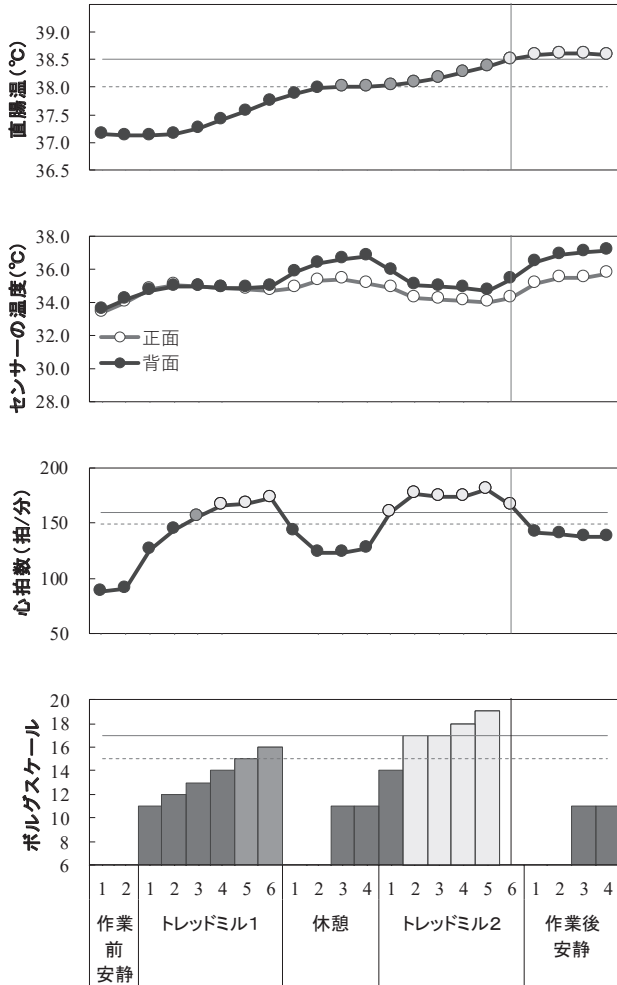
暑熱作業  
 リスクレベル  $\square$  危険  
 $\text{gray}$  注意  
 $\text{dark gray}$  注意表示なし

図 24 条件 2 における実験参加者 11 の各種測定データ

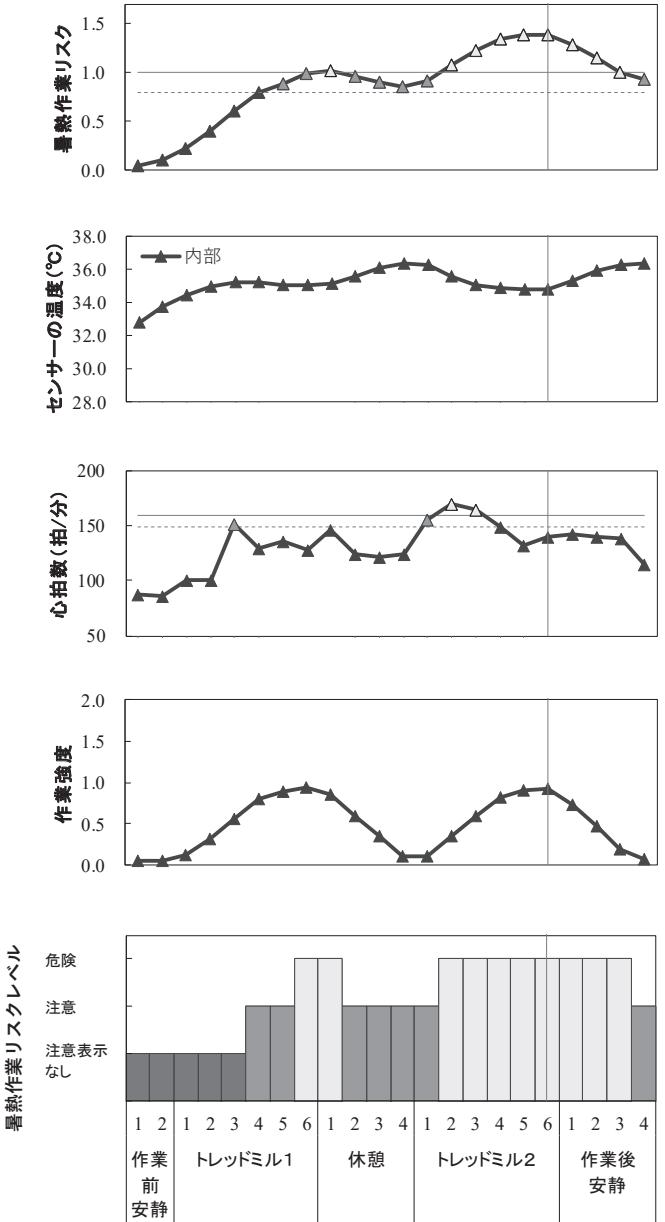


実験参加者12: 室温35°C, 湿度50%

人工気候室での測定機器での測定値



ウェアラブルデバイスでの測定値



直腸温  $38.5^{\circ}\text{C} \leq \circ$   
 $38.0^{\circ}\text{C} \leq \bullet < 38.5^{\circ}\text{C}$   
 $\bullet < 38.0^{\circ}\text{C}$

心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \circ$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\bullet < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$


ボルグ  
 スケール  $17 \leq \square$   
 $15 \leq \text{■} < 17$   
 $\text{■} < 15$

暑熱作業  
 リスク  $1.0 \leq \triangle$   
 $0.8 \leq \blacktriangle < 1.0$   
 $\blacktriangle < 0.8$

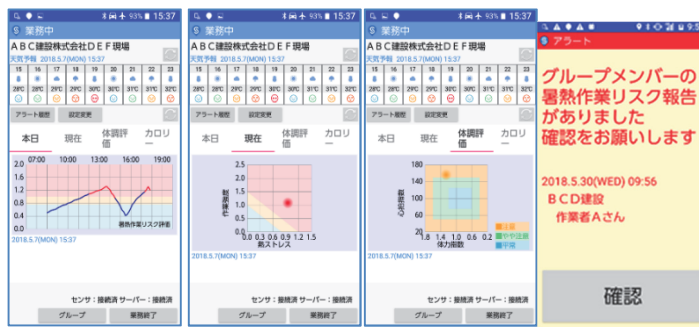
心拍数  $(180 - \text{年齢}) \text{拍/分} \leq \triangle$   
 $(180 - \text{年齢} - 10) \text{拍/分} \leq \blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$   
 $\blacktriangle < (180 - \text{年齢}) \text{拍/分}$

暑熱作業  
 リスクレベル  $\square$  危険  
 $\text{■}$  注意  
 $\text{■}$  注意表示なし

図 25 条件 2 における実験参加者 12 の各種測定データ

製品名 (商品名)	暑熱環境下での作業リスク管理システム (Smartfit for work)
製造元 (開発元)	倉敷紡績株式会社(クラブウ) 〒541-8581 大阪市中央区久太郎町 2-4-31
製品概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 生体情報（心拍、温度、加速度）と気象情報などを解析・評価し、「暑熱環境下での作業熱中症リスク」「体調変化」「転倒転落」などの情報をリアルタイムに作業員や管理者にアラート通知することでリスク管理をサポートするシステム。</li> <li>・ リスク状態やデータは、スマートフォンやPCで閲覧可能。</li> <li>・ 産学での共創により開発などを進めている (クラブウ・大阪大学・信州大学・日本気象協会・ユニオンツール・KDDI、セックなど)</li> </ul>
機器について (外観写真含)	 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ シャツ型センサー (Smartfit：専用シャツ+専用デバイス)</li> <li>・ 一人一台のスマートフォンを携帯</li> </ul>
センシング項目 (生体指標、環境指標等)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ センシング：心拍・温度（衣服内温度）・加速度</li> <li>・ 連携情報：気象情報(日本気象協会より)</li> <li>・ 指標：熱ストレス（衣服内の温度、気象情報） 作業強度（加速度センサー、心拍） などを用いて暑熱作業リスクを評価</li> <li>・ AI 機能を用いて、個々の体調変化を評価し、体調管理に役立てる。</li> <li>・ 加速度を用いて、転倒転落を感知。</li> </ul>
警告方法 (リスク判定項目等)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ リスクを3段階で表示。</li> <li>・ リスクが高まった際には、スマートフォンにアラーム警告（表示・呼び出し音・バイブレーション）を鳴らす。(管理者のPCにもアラート表示)</li> <li>・ 転倒転落状態を感知した場合にも、アラーム警告を鳴らす。</li> </ul>
通信方法 (ネットワークシステム)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ウェアラブルデバイス～スマートフォン Bluetooth(通信距離10m)</li> <li>・ スマートホン～サーバー (4G 通信)</li> <li>・ データサーバーは、クラウドサーバー</li> </ul>

個人画面  
管理画面



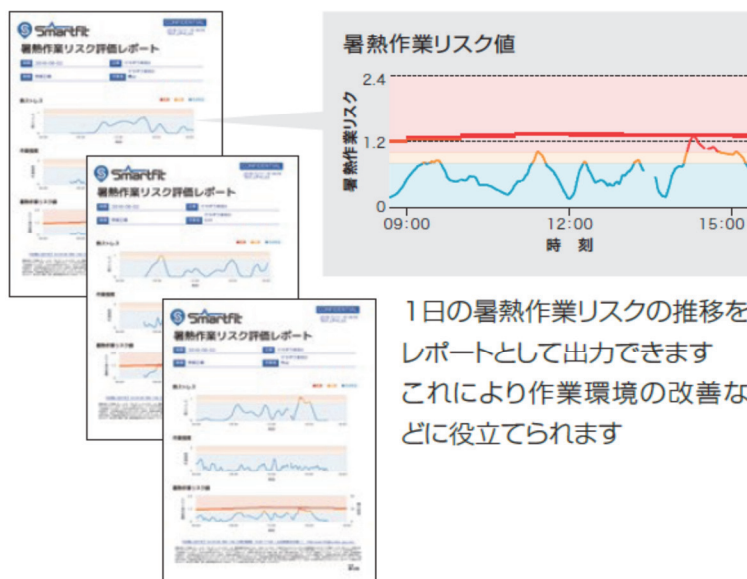
(個人画面 (スマホ))

- 当日の暑熱作業リスク推移が確認可能
- 現在の暑熱作業リスクレベルが確認可能
- 体調等の当日のレベルが確認可能
- 警告アラート通知画面



(管理画面 (PC))

- 管理者が現場及び事務所内で監視 (PC、タブレット)
- 作業者全員の暑熱作業リスク評価、体調評価の一覧
- アラート警告の発生者は赤字で表示
- 暑熱作業リスクの個別状態が、散布図表示にて確認可能



(レポート出力機能)

- 個別の暑熱作業リスクレポートなど

使用実績  
(現場実例)

建設業・製造業・警備業・運送業・  
産業廃棄物処理業・施設管理メンテナンス業・  
小売業など

2018年7月～2019年1月

これまで延べ7000人以上の使用実績

- \* 当システム使用現場において、熱中症発症者は報告されていない。
- \* 熱中症予防だけでなく、体調不良者の早期発見にも役立ったという事例あり。
- \* 現在、データ集積が進んでおり、今後、さらに評価精度が向上することが見込まれる。



(2018.10 緑十字展の展示パネルより)

## シャツ型ウェアラブルデバイスによる暑熱作業リスク評価の検証

研究分担者： 黒坂 知絵 産業医科大学 産業保健学部 人間情報科学 講師

### 研究要旨：

熱中症は、重症化すると生命の危機にもたらず病態であり、64歳以下では運動中や屋外での作業中に発症する事例が多く割合を占める。したがって、企業や学校では、熱中症に関する教育や休憩時間の見直しなど積極的な対策に取り組んでいるものの、地球温暖化をはじめとする環境の影響もあり、ただちに改善することは困難である。このような状況の中、近年では、生体情報をセンシングするデバイスが多く開発され、リアルタイムに身体の状態を評価する試みが始まっている。小型センサを組み込んだウェアラブルデバイスは、行動制限が少なく、毎日装着することが可能であることから、熱中症対策や労働災害防止、高齢者の見守りなど、幅広い分野での活用が期待されている。

本研究課題では、2018年に労働現場における熱中症対策の実態についてアンケート調査を実施し、2019年には、運動負荷実験による腕時計型とシャツ型のウェアラブルデバイスの検証結果を報告した。本稿では、昨年とは異なったシャツ型ウェアラブルデバイスについて、昨年度と同様の運動負荷実験を実施し、Heat Strain 検出やアプリの信頼性について検討した。

実験参加者（成人男性7名）を対象に、人工気候室にてトレッドミルでの運動負荷実験を行った。実験環境は、＜条件1＞低リスク（注意レベル、気温25度、湿度50%、WBGT22℃）、＜条件2＞高リスク（厳重警戒レベル、気温35℃、湿度50%、WBGT30℃）である。実験手順は、運動前に安静時のベースライン計測後、18分間のトレッドミル（時速7km、80W相当）と24分間の休憩を2回繰り返した。実験中は、心電図、深部体温（直腸温）、体表面温度を連続的に計測し、3分毎に自覚的運動強度（ボルグスケール）を収集した。同時に、ウェアラブルデバイスを用いて心拍データを計測し、心拍データから推定される暑熱リスク、眠気、体調、ストレスの値を記録した。

暑熱リスクを評価指標は、ISO9886：2004 および米国政府労働衛生専門家会議 ACGIH を参考に、直腸温と心拍数の閾値を定義し、人工気候室とウェアラブルデバイスでの心拍数一致率の高い群（高率群）と低い群（低率群）でウェアラブルデバイスの各通知の調査を行った。更に、ボルグスケールスコアを加え、心拍数、深部体温の3つのうちいずれかが閾値を超えた「Heat Strain 状態」と暑熱リスク通知との関連を検討した。

結果、全体的にウェアラブルデバイスでは非常に高い精度で心拍数が計測できており、計測誤差の少ない高率群では、深部体温が閾値を超えた場合の暑熱リスク通知は極めて高い確率で検出された。Heat Strain 状態の検出率も高く、妥当な検出が可能であるといえる。一方で、暑熱リスク以外の体調変化やストレスについては検出率が低く、改善が必要であると考えられた。

心拍数計測や暑熱リスクのためのアルゴリズムは妥当であると考えられ、計測位置や電極との密着などを改良し心拍数計測の精度を上げることで、検出率向上が十分に期待できるといえる。また、心拍数だけではなく、他の生体量を用いた多角的なアルゴリズムを構築することで、更によりアプリになることが期待できる。



## 分担研究者

丸山崇(産業医科大学医学部第1生理学)

江口泰正(産業医科大学産業保健学部人間情報科学)

山田晋平(産業医科大学産業保健学部安全衛生マネジメント学)

倉岡宏幸(産業医科大学産業保健学部安全衛生マネジメント学)

八谷百合子(産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学)

上田陽一(産業医科大学医学部第1生理学)

東敏昭(一般財団法人西日本産業衛生会/産業医科大学名誉教授)

## A. 研究の背景および目的

熱中症は、暑熱環境下において、体内の水分や塩分の均衡が喪失したり、体温調整機能が破綻することで発症し、重症化すると生命の危機をもたらす病態である。熱中症患者数においては、屋内での発症が最も多い高齢者に対し、64歳以下では運動中や屋外での作業中が多くを占める。したがって、企業や学校では、熱中症に関する教育や戸外の連続作業時間の見直しなど、積極的な対策に取り組んでいるものの、ヒートアイランドの影響もあり、ただちに改善することは困難である。このような状況の中、近年では、心拍や体動などの生体情報をセンシングするデバイスが多く開発され、ネットワークを介してリアルタイムに身体の状況を評価する試みが始まっている。小型センサを組み込んだウェアラブルデバイスは、スポーツや作業などの行動制限が少なく、毎日装着することが可能である。この特長を活かし、日々の体調管理や高齢者の見守り支援、熱中症対策や労働災害防止における活用など、幅広い分野での活用が期待されている。本研究課題では、2018年に労働現場における熱中症対策の実態についてアンケート調査

を実施し、2019年には、運動負荷実験による腕時計型とシャツ型のウェアラブルデバイスの検証結果を報告した。本稿では、昨年とは異なったシャツ型ウェアラブルデバイスについて、同様の運動負荷実験を実施し、Heat Strain 検出やアプリの信頼性について検討したので報告する。

## B. 実験手順

男性参加者(mean±SD:22.9±3.36歳)7名を対象に、産業医科大学人工気候室において、トレッドミルでの運動負荷実験を行った。実験環境は、低リスク(注意レベル、気温25度、湿度50%、WBGT22°C)と、高リスク(厳重警戒レベル、気温35°C、湿度50%、WBGT30°C)の2条件とし、すべての参加者が日を改めて各条件を1回ずつ遂行した。実験手順は、休憩1(Rst1)6分、トレッドミル(Tre1)18分、休憩2(Rst2)12分、トレッドミル(Tre2)18分、休憩3(Rst3)12分である。トレッドミルは、時速7km(80W相当、きつい肉体労働レベル)の運動負荷に設定した。

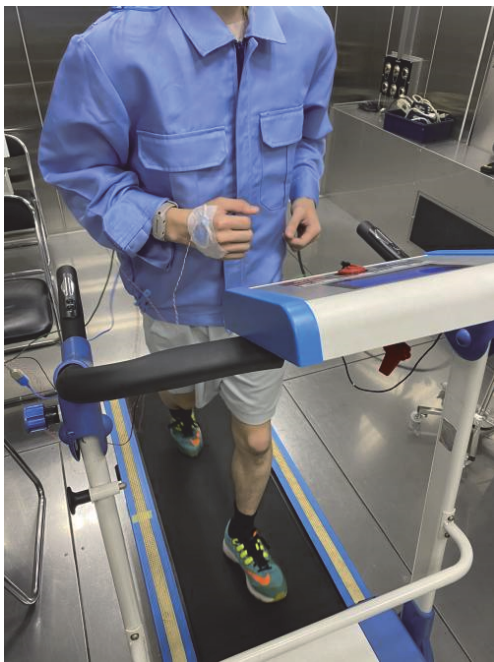
実験中は、心電図、深部体温(直腸温)、体表面温度(胸部、掌、センサ表面、センサ裏面)を連続的に計測し、心電図は無線式心電計(BSM-2401、日本光電工業株式会社)で1.5kHzのサンプリング周期でコンピュータに記録した。深部体温と体表面温度は熱電対で計測し、10秒間隔で記録した。また、3分毎に自覚的運動強度(ボルグスケール)を収集した、休憩開始時には反応時間検査(Psychomotor Vigilance Task:PVT)を実施した。

同時に、ウェアラブルデバイスを用いて心拍データを計測し、心拍データから推定される暑熱リスク、眠気、体調、ストレスの値を記録した。ウェアラブルデバイスには、ミツフジ株式会社のhamonを用いた。

なお、本実験では、深部体温が38.5°Cを超えた場合や参加者が体調不良を訴えた場合は実験を中止した。



(1) ウェアラブルデバイスの着用



(2) 運動負荷中

図 1 実験中の様子

### C. ウェアラブルデバイス

製品名: hamon

製造元: ミツフジ株式会社(京都府)

製品概要:

普段着感覚で身に付けられるウェアラブルウェア(図 2)で、シャツ型電極から計測された電気信号をスマートフォンやクラウドに送信するためのトランスミッターを介し、心拍データを取得する。スマートフォンに送信されたデータは解析され、心拍データ、指標/アラート情報がアプリ上に表示される。また、クラウドに送信されたデータは Web アプリで参照が可能であ

り、企業の管理者による遠隔モニタリングに利用できる。さらに、クラウドに送信されたデータは、蓄積し分析されることにより、ストレス、体調、暑熱リスク、眠気、または転倒など、新しいアルゴリズム開発のために活用され、産業分野やスポーツ領域まで幅広い活用が期待される。



図 2 ウェアラブルデバイス

利用者への通知:

アプリのダッシュボード画面で、ストレス・体調・眠気・暑熱リスクの 4 項目について状態が表示される(図 3)。通知設定により、アラートを通知させることも可能である。また、グラフ画面では、ストレス、暑熱リスク、心拍数の 3 項目について、設定期間の測定記録が一覧表示される。



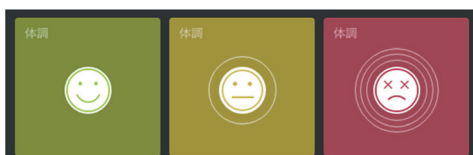
図 3 アプリ ダッシュボード画面



ダッシュボード画面表示項目：

- ・ 体調[3段階]

良好(緑色) 注意(黄色) 警告(赤色)



- ・ ストレス[3段階, 最高値 100]

良好(緑色) 注意(黄色) 警告(赤色)



- ・ 暑熱リスク[3段階]

正常(緑色) 注意(黄色) 警告(赤色)



- ・ 眠気[2段階]

眠気なし(緑色) 眠気あり(赤色)



収集データ：

シャツ型電極で計測された心拍情報は Bluetooth でスマートフォンに送信され、1 拍間隔で記録される。同時にクラウドにも送信され管理者用データとして蓄積される。

体調と眠気は、心拍データから算出された RRI の周波数解析により自律神経バランスを算出し、各値の推移を監視することによりそれらの変化を検知し、約 1 分間隔で状態を更新する。ストレスは、心拍変動の周波数解析である LF/HF を約 10 分間隔で統計的手法を用いてストレス値に換算して表示する。暑熱リスクは、心拍データのポアンカレプロット解析から深部体温の推定を行い、基準値に達した場合に、注意

もしくは警告のアラートが通知される。トランスミッター内には加速度センサも搭載されており、前後左右上下の 3 軸について加速度も計測可能であり、姿勢判別や転倒検知などの開発も進められている。ただし、本報告では検討しないため加速度データについては省略する。

#### D. 解析方法

暑熱リスクを評価するための生体量として、ISO9886:2004 では、核心部体温(直腸温、食道温、腹腔内温、鼓膜温、外耳道温、尿温)、皮膚温度(局所部位、複数部位平均値)、心拍数、体重減少量の 4 つが示されている<sup>1)</sup>。米国政府労働衛生専門家会議 ACGIH では、作業時における直腸温の限界値は、暑熱順化者では 38.5℃、未順化者では 38.0℃と定義している。また、心拍数については、180 - (年齢) bpm が持続する場合や、作業強度がピークに達した後 1 分後の心拍数が 120bpm 以上で回復しない場合は作業を中止するよう勧告している。本報告では、人工気候室で計測された心拍数と深部体温がこれらの条件に達した時と、ボルグスケールスコアが高値となった時について、ウェアラブルデバイスの各種通知状況を解析した。

ウェアラブルデバイスで計測された心拍数は、人工気候室のサンプリング間隔に合わせてデータを整理した。その後、全試行を 3 分毎に分けて平均心拍数を算出し、被験者毎に比較した。なお、本報告において、安静や運動負荷の手順をフェーズ、3 分間の解析データをブロックとする。各ブロックにおいて、人工気候室とウェアラブルデバイスの差が 10bpm 以内(約 10%)の回数を検出し、一致率を算出した。ACGIH の基準値を参考に、180 - (年齢) を閾値とし、ウェアラブルデバイスの各種通知の有無を調査した。なお、ウェアラブルデバイスの通知は心拍数を元に判定されていることから、一致率の高い群(高率群)と

低い群(低率群)に分けて検討した。

深部体温については、人工気候室の実測値においてブロック毎の平均値を算出した。ACGIH の基準値を参考に、38.0℃を深部体温の閾値とし、高率群・低率群別に、ウェアラブルデバイスの暑熱リスク通知の有無を調査した。

ボルグスケールスコアは、15 で「かなりきつい」、17 で「非常にきつい」と評価されるため、閾値を 15 とした。

最後に、心拍数、深部体温、ボルグスケールのいずれかが閾値を超えたブロックを「Heat Strain 状態」と定義し、暑熱リスク通知との関連を検討した。

なお、人工気候室で計測された生体量・主観評価とウェアラブルデバイスからの通知の関係において、本報告では、表1のように、閾値と通知の有無の組合せで「正しい判定」「検出」「未検出」「誤検出」と定義した。また、必要に応じて統計解析を行い、条件間の傾向や問題点の把握と原因について考察を行った。

表 1 通知判定の定義

	閾値以上	閾値未満
通知あり	検出	誤検出
通知なし	未検出	正しい判定

## E. 結果と考察

各参加者の生体量および主観評価の時系列変化を、図6～図19に示す。14例中、3例は、いずれも2回目のトレッドミル(Tre2)中に深部体温が38.5℃に達したため実験を中止し、直ちに座位で休息させた。体調不良を訴えた参加者はいなかったため、座位のまま、可能な範囲で、生体量、ボルグスケール、PVTの計測を継続した。

### ・ 心拍数と各種通知

人工気候室で計測された心拍数を図6～図19 a. に、ウェアラブルデバイスでの心拍数をb. に示す。グ

ラフ内に各参加者の年齢から算出した閾値および実験中止後の計測結果も示した。なお、心拍数の一致率の算出は、実験中止までのデータを対象とした。一致率は全体的に高く(表2)、精度よく計測ができているが、フェーズ別の平均一致率をみると、計測前半では計測値が安定せず誤差が大きくなる傾向が見られた(図4)。特に、14例中7例で、計測開始直後の安静時(Rst1)に、心拍数の閾値を超えて記録されている点は、注意が必要である(表2 ※)。ここで、Rst1から正しく計測されており全体の一致率が80%以上の7例を高率群(表2 グレー)、それ以外の試行を低率群とした。

時間経過に伴って心拍数の一致率が上昇していることから、計測誤差の原因のひとつとして電極の密着度があげられる。計測開始直後は体動や呼吸の影響で皮膚に密着していない電極が、運動中の発汗によって計測部位に固定されることで、精度の高い計測ができるようになったと推測できる。解決策として事前に保湿クリームなどで電極を肌に密着させる工夫も効果的かもしれない。また、計測不能区間の情報通知や補間アルゴリズムなどについては検討の余地があると考えられる。

表 2 人工気候室とウェアラブルデバイスにおける心拍数の一致率

	条件 1 室温 25℃	条件 2 室温 35℃
S01	<b>86.4%</b>	<b>81.8%</b>
S02	<b>90.9%</b>	68.8% ※
S03	18.2% ※	<b>100.0%</b>
S04	81.8% ※	<b>100.0%</b>
S05	81.8% ※	<b>81.8%</b>
S06	40.9%	4.5% ※
S07	<b>95.5%</b>	40.0% ※

グレーの7試行を高率群とする

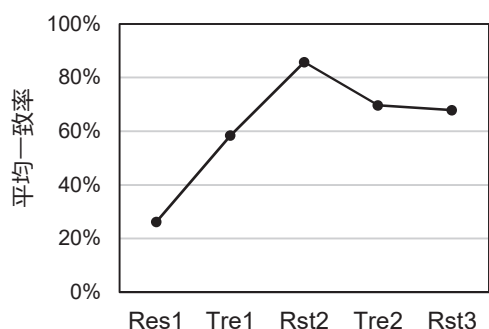


図4 心拍数のフェーズ別平均一致率

全参加者において、心拍数が閾値を超えたブロック数は、条件 1=25 回 (15.5%)、条件 2=32 回 (22.7%)であり、室温の高い条件 2の方が心拍数は上昇する傾向にあった。ウェアラブルデバイスからの暑熱リスク、体調変化、ストレス通知の判定割合を(表 3~5)に示す。暑熱リスクは高率群で 17.2%検出されているものの、誤検出率も高く、心拍数の閾値に関係なく暑熱リスクが多く通知されていることがわかる。ここで、hamon では暑熱リスクの判定には深部体温を利用している、詳しくは次節で述べる。体調およびストレスについては、正しく検出ができていたとは言い難い結果であった。参加者別に観察すると、条件 1-S02・S04・S07、条件 2-S05 では、安静から運動負荷への移行時に通知がされていることから精神的な変動とも考えられるが、座位から立位への体位変動を捉えている可能性も否定できない。

表 3 心拍数と暑熱リスク通知 ()内はブロック数

	高率群 (151)	低率群 (152)
正しい判定	39.7%	37.5%
検出	17.2%	11.8%
未検出	6.6%	6.6%
誤検出	36.4%	44.1%

表 4 心拍数と体調通知 ()内はブロック数

	高率群 (149)	低率群 (147)
正しい判定	67.6%	81.0%
検出	0.0%	3.4%
未検出	24.1%	15.6%
誤検出	8.3%	0.0%

表 5 心拍数とストレス通知 ()内はブロック数

	高率群 (149)	低率群 (147)
正しい判定	63.1%	74.5%
検出	1.3%	2.1%
未検出	22.8%	17.2%
誤検出	12.8%	6.2%

#### ・ 深部体温と暑熱リスク

人工気候室で計測された深部体温を図 6~図 19 c. に示し、図中に通知された暑熱リスクを書き加えた。14 例中、12 例で実験中に深部体温が 38.0°Cを超え、5 例は 38.5°C以上となった。5 例のうち、3 例は中止、2 例は最後の安静時(Rst3)に体温が達したため、最後まで計測を実施した。なお、閾値を超えなかった 2 例はいずれも条件 1での試行であった。暑熱リスクは、13 例で「注意」が通知され、うち 5 例については、「警告」レベルに進んだ。計測中に暑熱リスクが通知されなかった 1 例(条件 2-S06)は心拍データが計測できていなかった(心拍数一致率 4.5%)。

深部体温が閾値以上で暑熱リスクが通知された検出率は、高率群=94.8%(55/58)、低率群=76.9%(30/39)と高かった。しかし、深部体温が 38°Cに満たない場合の誤検出は、高率群=28.0%(26/93)、低率群=48.7%(55/113)であり、低率群の誤検出は高値であった。心拍数一致率の群別における暑熱リスクの通知割合を表 6 に示す。高率群においては、80%以上のブロックで正しい通知(検出+正しい判定)が行われていることは非常に興味深い。また、危険な状態を放置してしまう「未検出」の割合が極めて低く、暑熱リスク管理システムとして高く評価できる結果であるといえる。

表 6 深部体温と暑熱リスク通知 ()内はブロック数

	高率群 (151)	低率群 (152)
正しい判定	44.4%	38.2%
検出	36.4%	19.7%
未検出	2.0%	5.9%
誤検出	17.2%	36.2%

心拍数一致率と暑熱リスク判定の割合の相関係数を表 7 に示す。心拍数一致率と検出率、未検出率との間に有意な相関が認められた。心拍数の計測誤差を小さくすることで、検出率は高くなり、未検出率は低くなる可能性がある。また、個々の試行を観察すると、計測開始直後の安静時(Rst1)に閾値以上の心拍数が記録されている試行では暑熱リスクが多く通知されているため、安定した心拍数計測に対する改善検討が望まれる。

表 7 心拍数一致率と通知割合の関係 (深部体温)

判定の割合	r	
正しい判定	-0.200	n.s.
検出	0.572	<.05
未検出	-0.504	<.05
誤検出	-0.114	n.s.

・ ボルグスケール

3分毎のボルグスケールのスコアを図 6～図 19 e. に示す。全参加者において、ボルグスケールが閾値を超えた(参加者数、ブロック数)は、条件 1=(2名、12回(10.8%))、条件 2=(4名、25回(24.0%))であり、条件 2の方が多かった。そのうち、スコアが 17(かなりきつい)を超えた数は、条件 1=(1名、3回)、条件 2=(2名、13回)であった。

・ Heat Strain と暑熱リスク

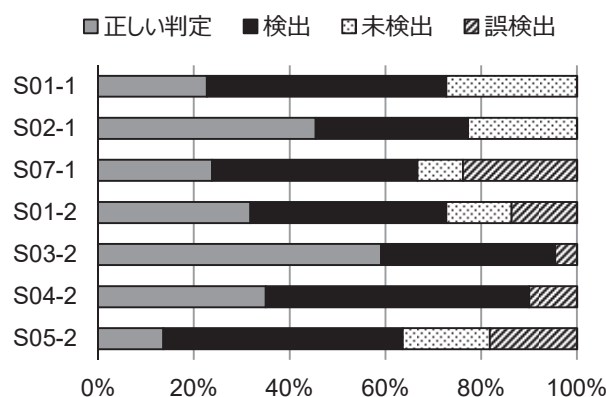
Heat Strain 状態で暑熱リスクが通知された検出率は、高率群=76.7%(66/86)、低率群=71.7%(43/60)であった。深部体温のみの判定に比べて検出率が低下したのは、心拍数やボルグスケールスコアが加わったことで、検出すべきブロック数が増加したためである。Heat Strain と暑熱リスクの判定割合を表 8 に、参加者毎の詳細を図 5 に示す。深部体温のみを用いた判定(表 6)に比べて未検出の割合は上がってしまうものの、高率群の検出率は 40%を超え、通知の必要はない誤検出は低く、妥当な検出ができていと

いえる。

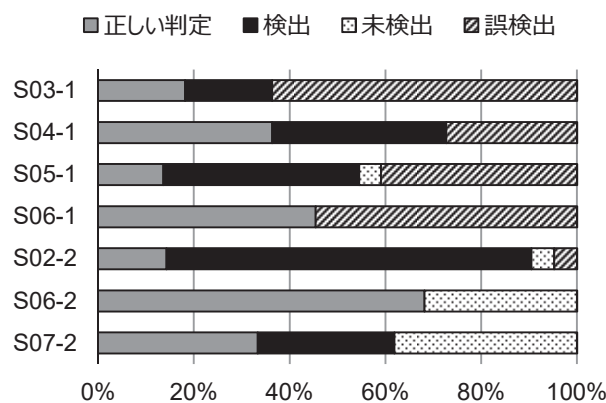
$\chi^2$  検定の結果、心拍数一致率の高低群と判定割合には有意な関係が認められた(p<.001)。残差分析では、「検出」の割合は高率群で有意に高く、「誤検出」の割合は低率群で有意に高かった。

表 8 Heat Strain と暑熱リスク通知 ( )内はブロック数

	高率群(151)	低率群(152)
正しい判定	33.1%	32.9%
検出	43.7%	28.3%
未検出	13.2%	11.2%
誤検出	9.9%	27.6%



(1) 高率群



(2) 低率群

図 5 各参加者の暑熱リスク判定割合

心拍数一致率と暑熱リスク判定の割合の相関係数を表 9 に示す。心拍数一致率と検出率との間に有意な相関が認められた。



表 9 心拍数一致率と通知割合の関係 (Heat Strain)

判定の割合	r	
正しい判定	-0.236	n.s.
検出	0.691	<.01
未検出	-0.289	n.s.
誤検出	-0.298	n.s.

## F. 結論

hamon では、計測開始時の検討は必要であるものの心拍数は非常に高い精度で計測できていた。心拍数はすべての通知に関与しており、正確な計測ができていた高率群では、深部体温が閾値を超えた場合の暑熱リスク通知は 94.8%と極めて高い確率で検出された。各検出状態の割合をみると、深部体温を基準とした暑熱リスクについては、危険状態を放置してしまう未検出率が極めて低く(2.2%)、安全性が最優先とされる暑熱リスク検知システムとして高く評価できるといえる。深部体温だけではなく、心拍数やボルグスケールを含めた Heat Strain 状態の検出率も 70%を超えており、妥当な検出が可能であるといえる。Heat Strain 状態との関連では、誤検出率も低くなることを確認できた。

体調変化やストレスは検出できているとはいえない結果であった。また、条件 1-S01、条件 2-S06・S07 では眠気が通知されているが、本研究のような運動負荷実験においては適切な通知とはいえない。体調変化・眠気・ストレスの通知は、心拍情報の周波数解析を元に算出されている。RRI 周波数解析は、その周波数帯域により、交感神経活動と副交感神経活動を示すといわれており<sup>2)</sup>、近年、ストレス状態を判定するアプリに利用される傾向にある。これらの先行研究の多くは、デスクワークや仰臥位から起立への姿勢変化時<sup>3)</sup>の生理計測で検証された知見である。運動後の回復を検討した研究<sup>4)</sup>はあるが、本研究のような運動負荷時に適用できるかどうかは慎重に検討しなければならないと考える。

本報告で用いたようなアプリでは、生体計測から通知に至るまでの経緯がブラックボックス化されており、ユーザは判定基準やそのアルゴリズムを知ることができないケースが多い。また、ウェアラブルデバイスの場合、ユーザの装着により計測部位のズレや体動の影響を受けやすいため、計測ができない区間をなくすことは不可能である。ユーザや健康管理者に誤った情報が通知されるリスクも十分に考慮し、計測不可区間の通知方法なども検討する必要があると考える。

hamon の心拍数計測や暑熱リスクのためのアルゴリズムは妥当であると考えられ、計測位置や電極との密着などを改良し心拍数計測の精度を上げることで、検出率向上が十分に期待できる。また、暑熱リスク判定として、深部体温は未検出率、心拍数は誤検出率の減少に寄与する可能性があり、複数の生体量を用いた多角的なアルゴリズムを構築することで、更により良いアプリになるものと考えられる。

## G. 健康危険情報

なし

## H. 研究発表

### 1. 論文発表

なし

### 2. 学会発表

なし

## I. 知的財産権の出願・登録状況

### 1. 特許取得

なし

### 2. 実用新案登録

なし

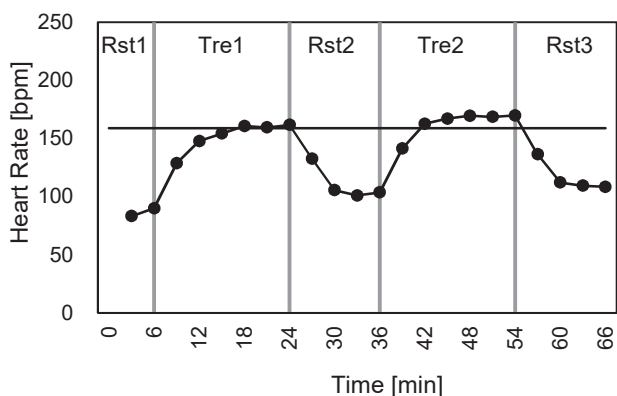
### 3. その他

なし

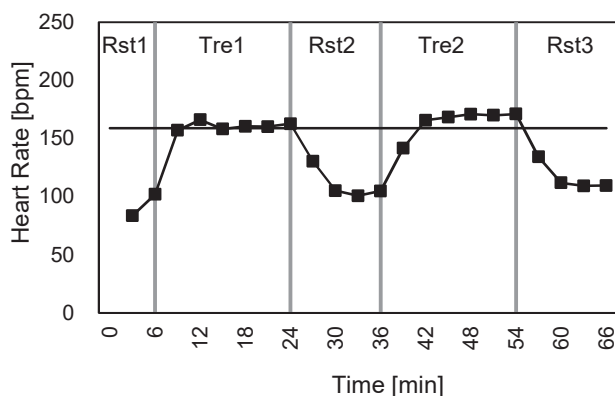
## 参考文献

- 1) ISO9886, Ergonomics — Evaluation of thermal strain by physiological measurements.
- 2) Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology: Heart rate variability — Standards of measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use—, *European Heart J*, 17, 354-381, 1996.
- 3) Pagani M. et al.: Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *American Heart Association*. 59(2), 178-193, 1986.
- 4) Castrillón C.I.M. et al., High-Intensity Intermittent Exercise and Autonomic Modulation: Effects of Different Volume Sessions, *International Journal of Sports Medicine*, 38(6), 468-472, 2016.

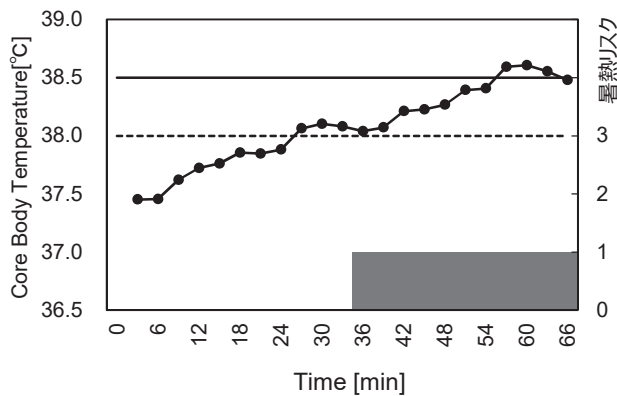
実験参加者 01: 室温 25°C, 湿度 50%, 21 歳



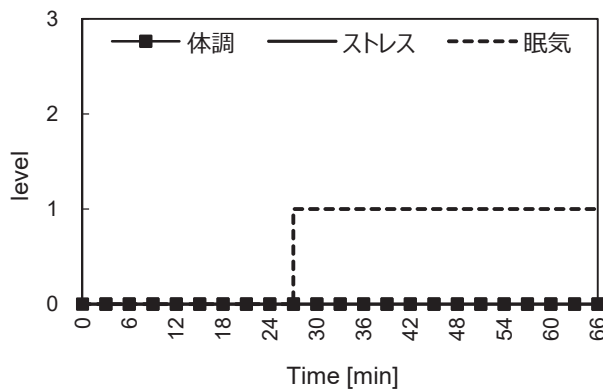
a. 心拍数(人工気候室)



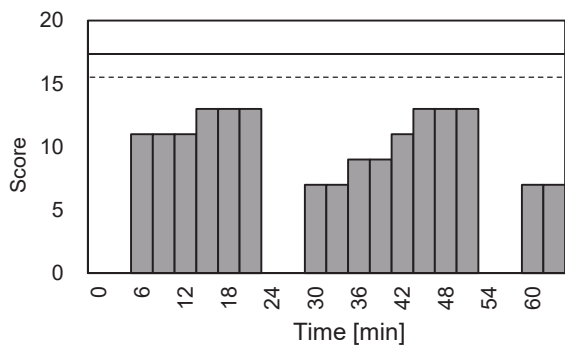
b. 心拍数(ウェアラブルデバイス)



c. 深部体温(人工気候室)と暑熱リスク



d. ウェアラブルデバイスの各種アラート

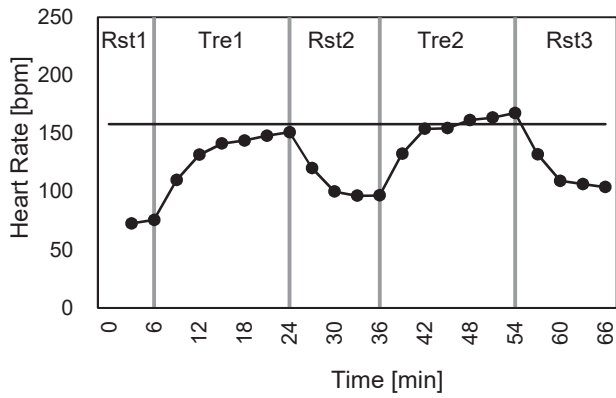


e. ボルグスケール(人工気候室)

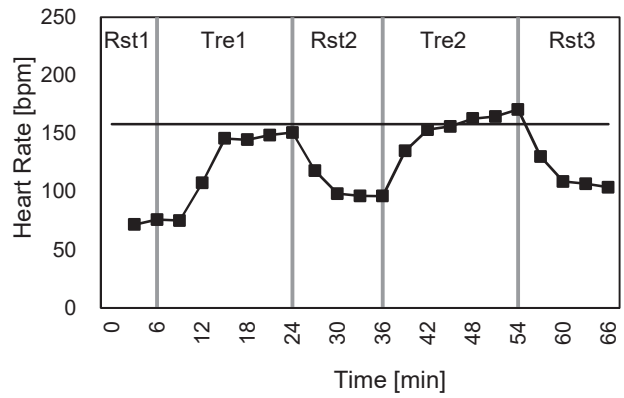
図 6 条件 1 における実験参加者 01 の測定データ



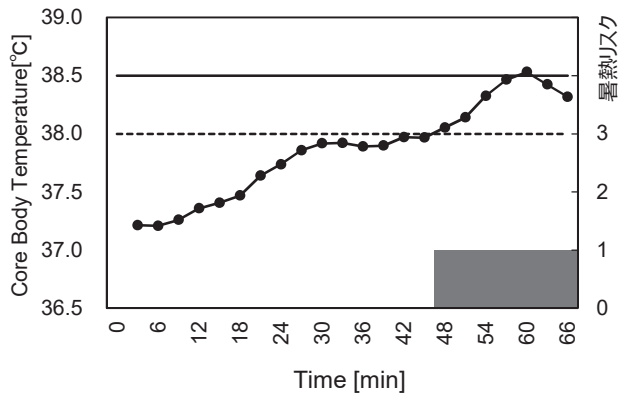
実験参加者 02: 室温 25°C, 湿度 50%, 22 歳



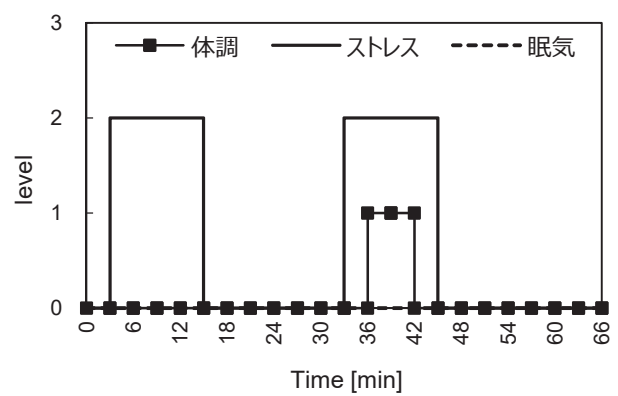
a. 心拍数(人工気候室)



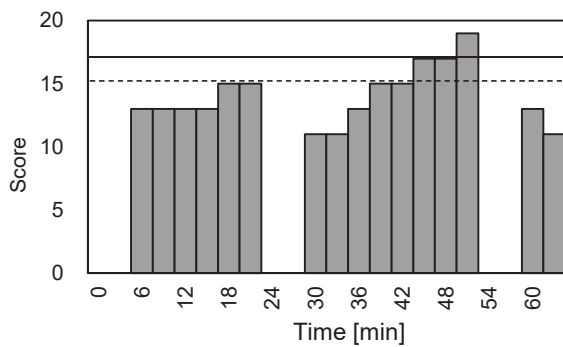
b. 心拍数(ウェアラブルデバイス)



c. 深部体温(人工気候室)と暑熱リスク



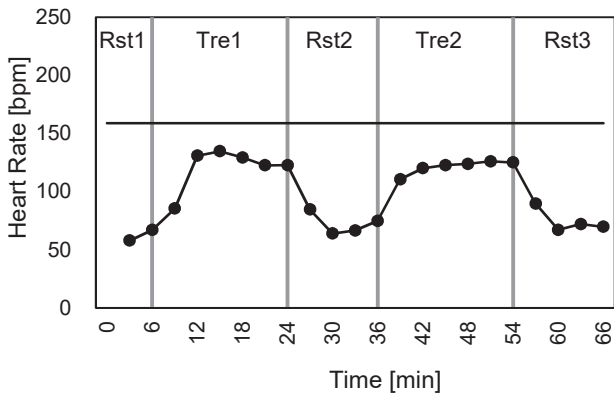
d. ウェアラブルデバイスの各種アラート



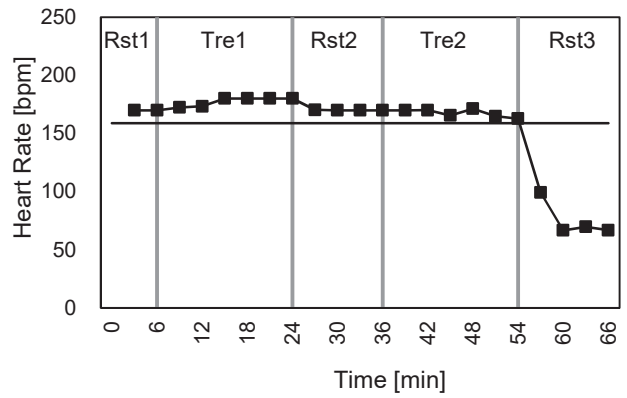
e. ボルグスケール(人工気候室)

図 7 条件 1 における実験参加者 02 の測定データ

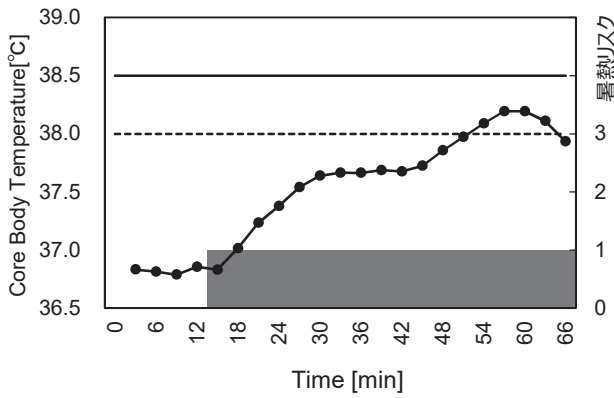
実験参加者 03: 室温 25°C, 湿度 50%, 21 歳



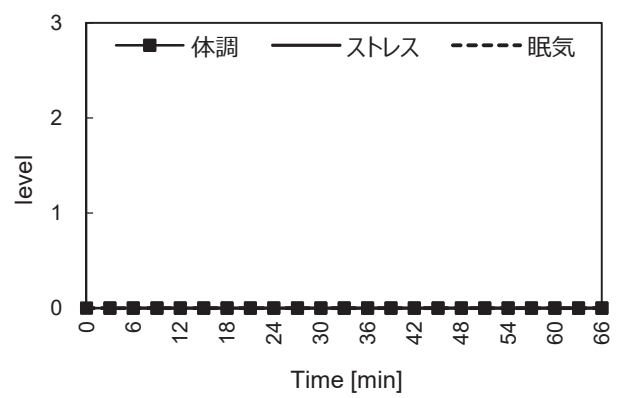
a. 心拍数(人工気候室)



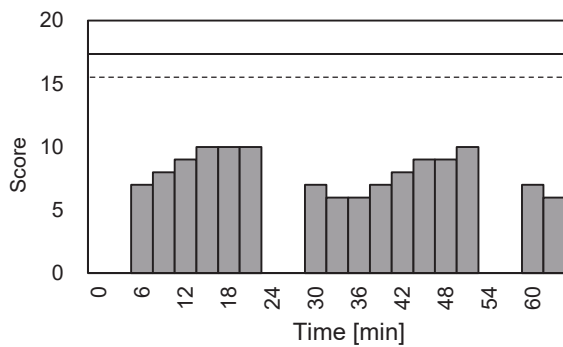
b. 心拍数(ウェアラブルデバイス)



c. 深部体温(人工気候室)と暑熱リスク



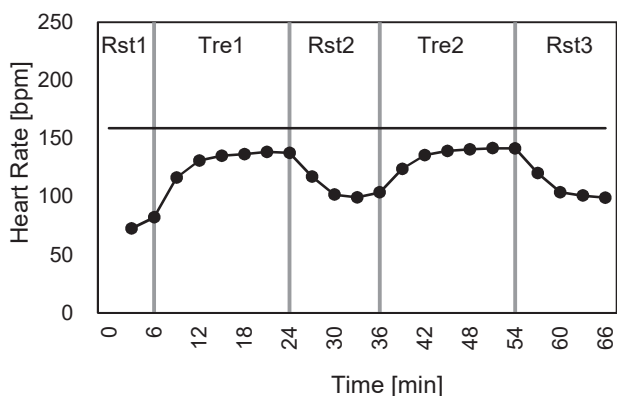
d. ウェアラブルデバイスの各種アラート



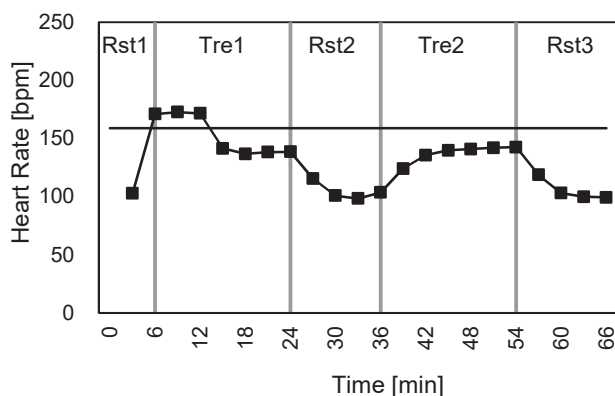
e. ボルグスケール(人工気候室)

図 8 条件 1 における実験参加者 03 の測定データ

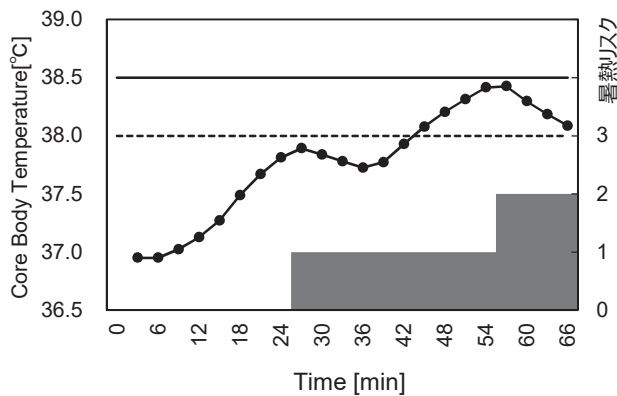
実験参加者 04: 室温 25°C, 湿度 50%, 21 歳



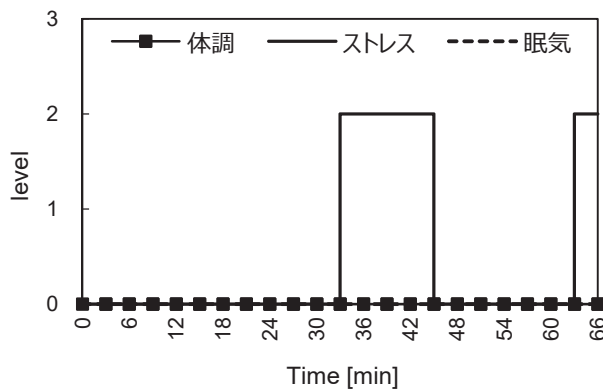
a. 心拍数(人工気候室)



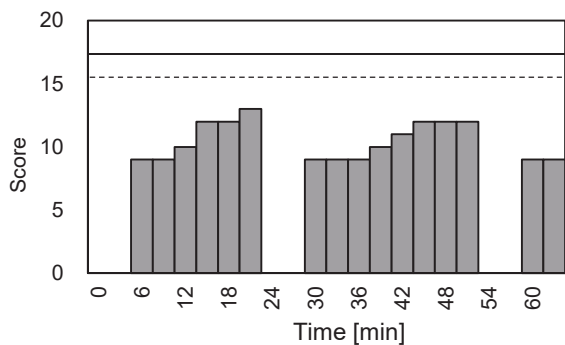
b. 心拍数(ウェアラブルデバイス)



c. 深部体温(人工気候室)と暑熱リスク



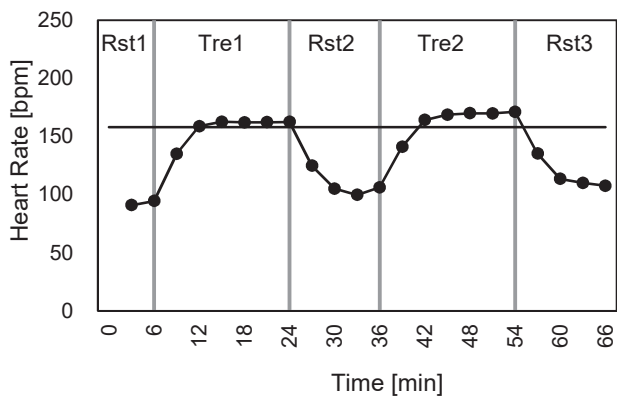
d. ウェアラブルデバイスの各種アラート



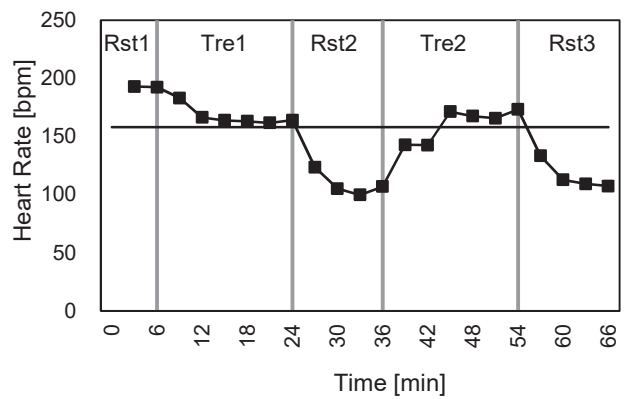
e. ボルグスケール(人工気候室)

図 9 条件 1 における実験参加者 04 の測定データ

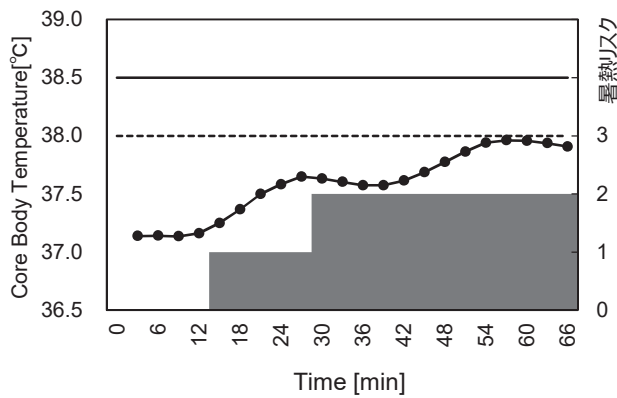
実験参加者 05: 室温 25°C, 湿度 50%, 22 歳



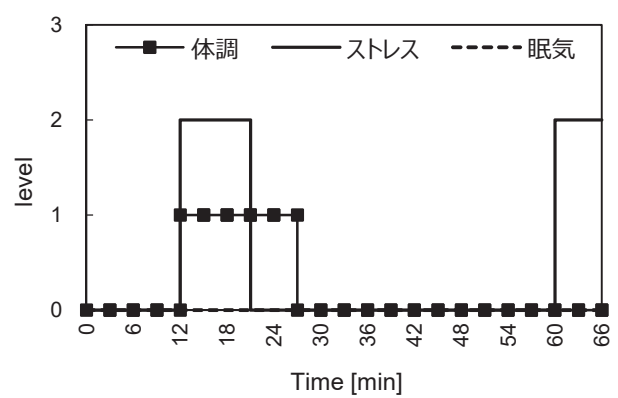
a. 心拍数(人工気候室)



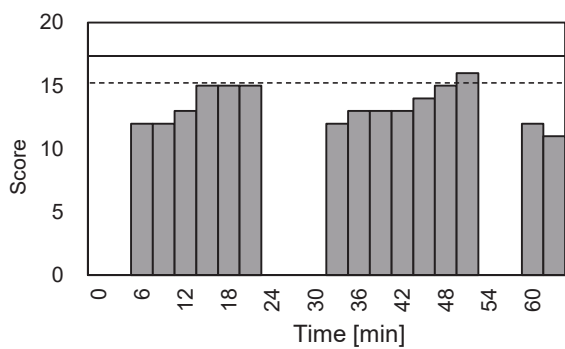
b. 心拍数(ウェアラブルデバイス)



c. 深部体温(人工気候室)と暑熱リスク



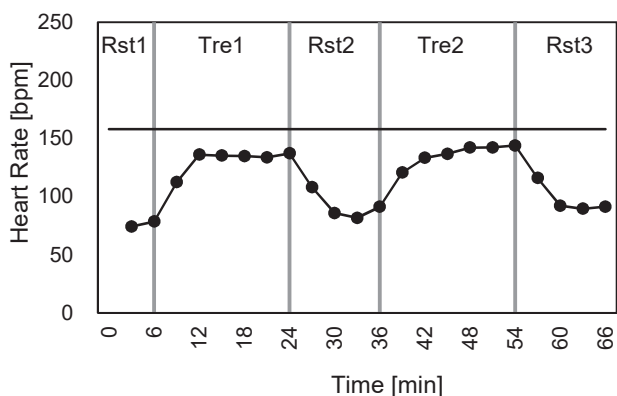
d. ウェアラブルデバイスの各種アラート



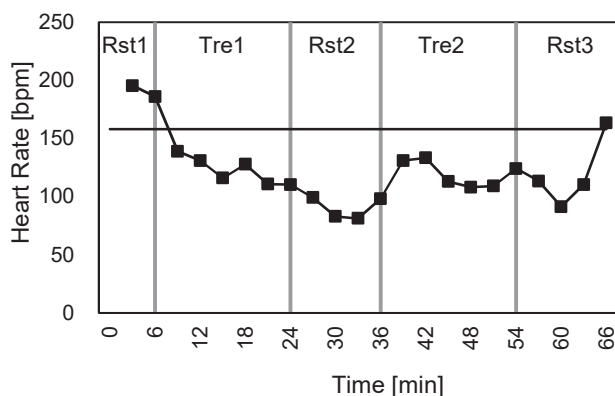
e. ボルグスケール(人工気候室)

図 10 条件 1 における実験参加者 05 の測定データ

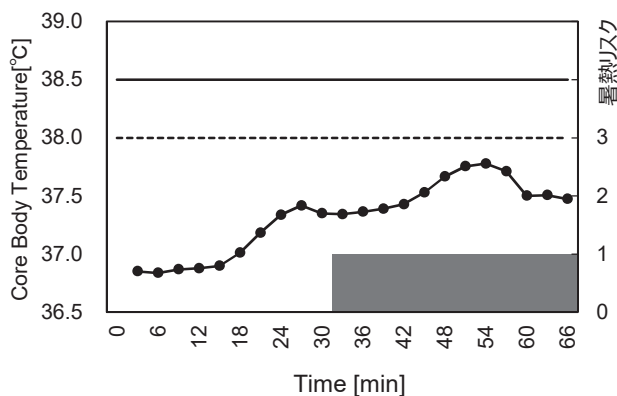
実験参加者 06: 室温 25°C, 湿度 50%, 22 歳



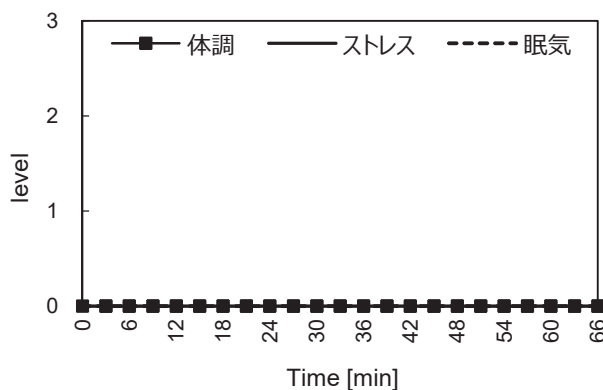
a. 心拍数(人工気候室)



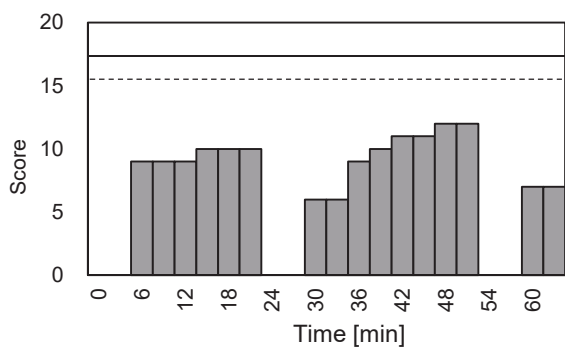
b. 心拍数(ウェアラブルデバイス)



c. 深部体温(人工気候室)と暑熱リスク



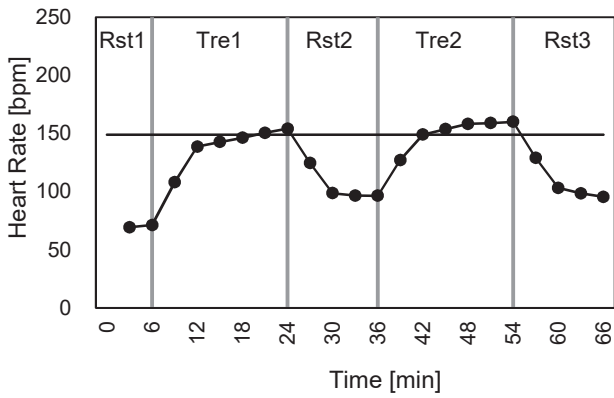
d. ウェアラブルデバイスの各種アラート



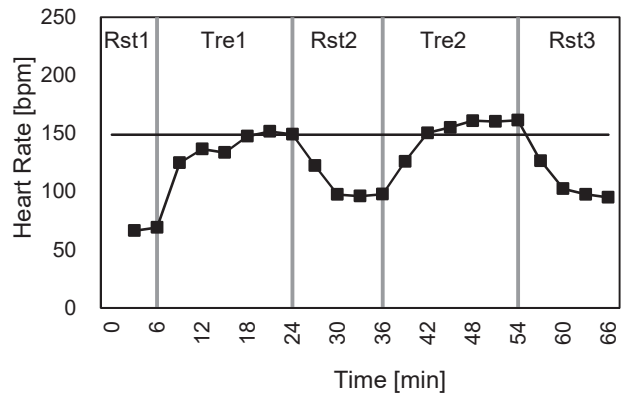
e. ボルグスケール(人工気候室)

図 11 条件 1 における実験参加者 06 の測定データ

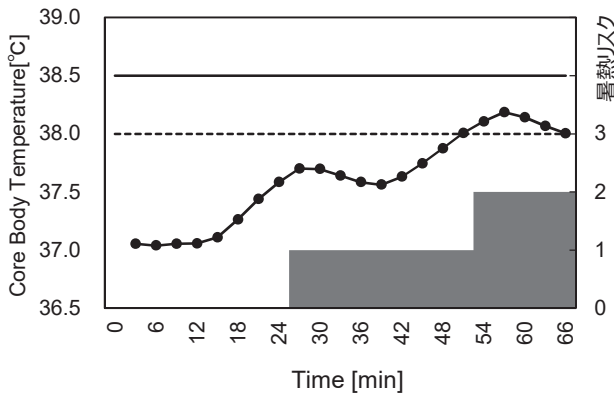
実験参加者 07: 室温 25°C, 湿度 50%, 31 歳



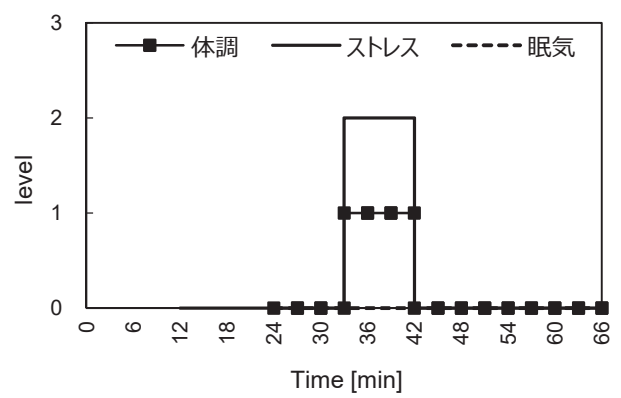
a. 心拍数(人工気候室)



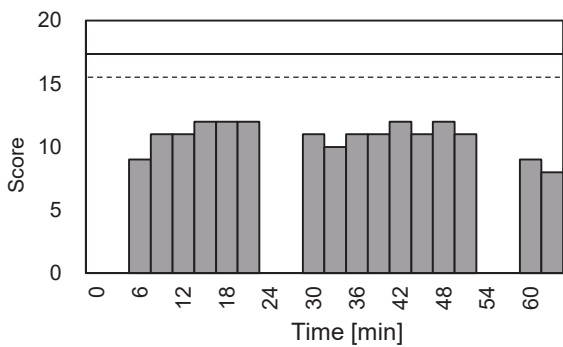
b. 心拍数(ウェアラブルデバイス)



c. 深部体温(人工気候室)と暑熱リスク



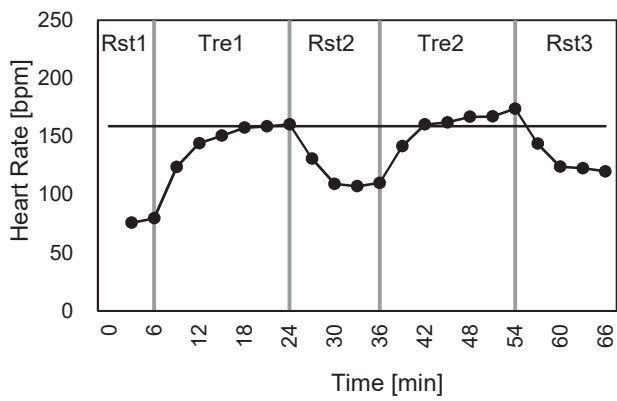
d. ウェアラブルデバイスの各種アラート



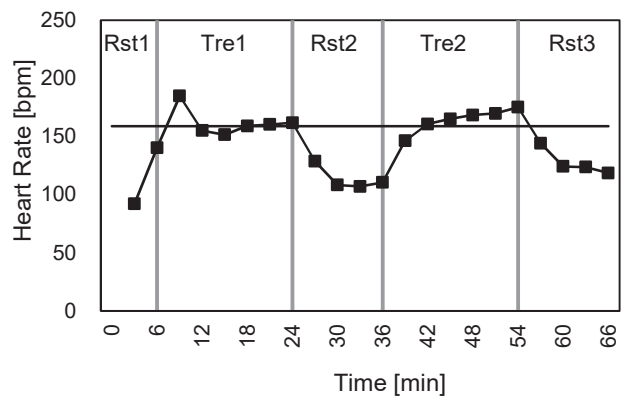
e. ボルグスケール(人工気候室)

図 12 条件 1 における実験参加者 07 の測定データ

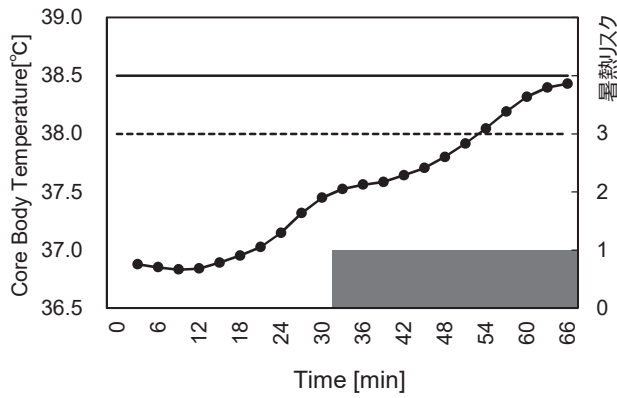
実験参加者 01: 室温 35°C, 湿度 50%, 21 歳



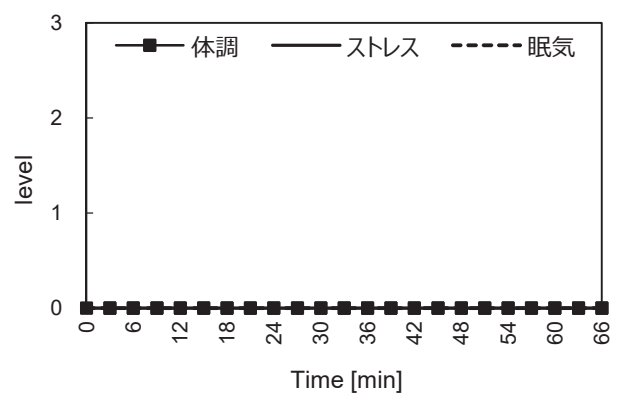
a. 心拍数(人工気候室)



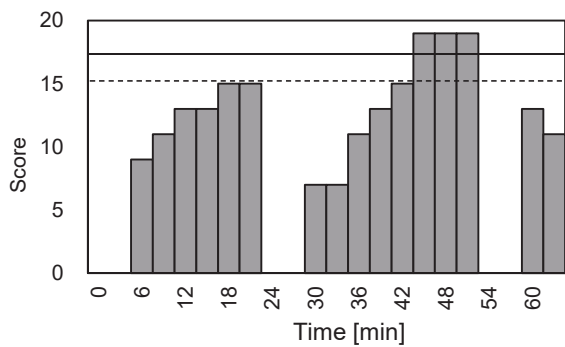
b. 心拍数(ウェアラブルデバイス)



c. 深部体温(人工気候室)と暑熱リスク



d. ウェアラブルデバイスの各種アラート

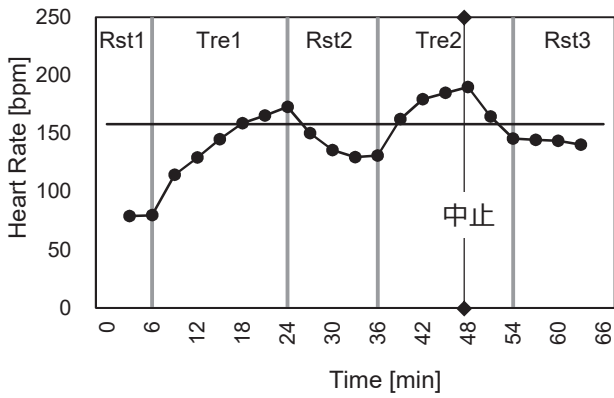


e. ボルグスケール(人工気候室)

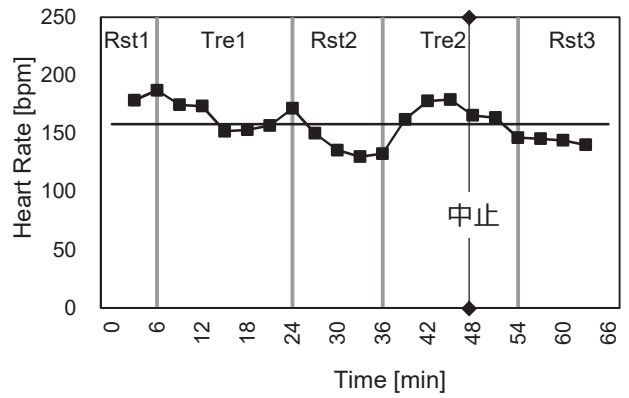
図 13 条件 2 における実験参加者 01 の測定データ



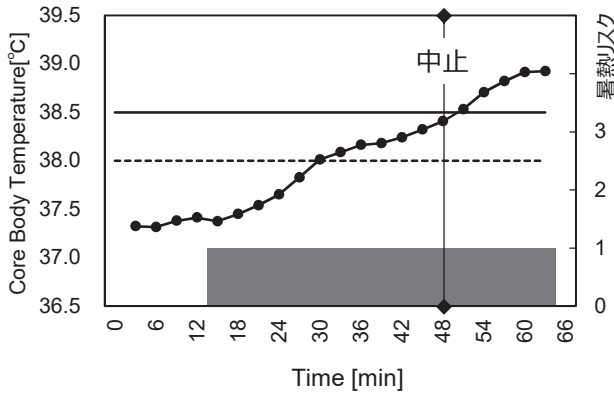
実験参加者 02: 室温 35°C, 湿度 50%, 22 歳



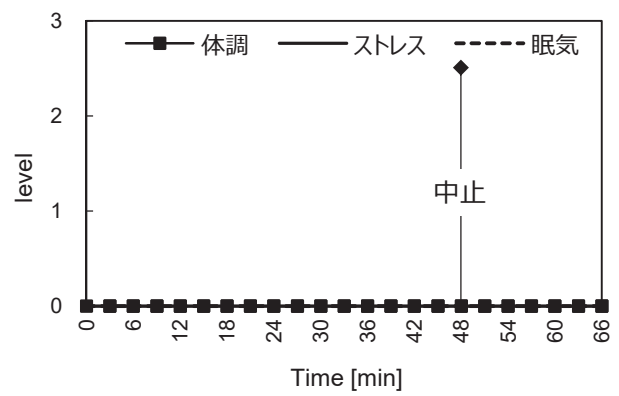
a. 心拍数(人工気候室)



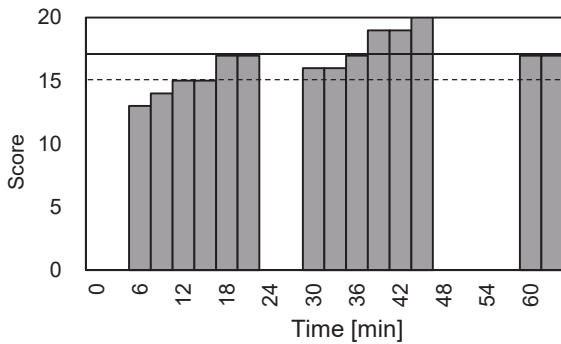
b. 心拍数(ウェアラブルデバイス)



c. 深部体温(人工気候室)と暑熱リスク



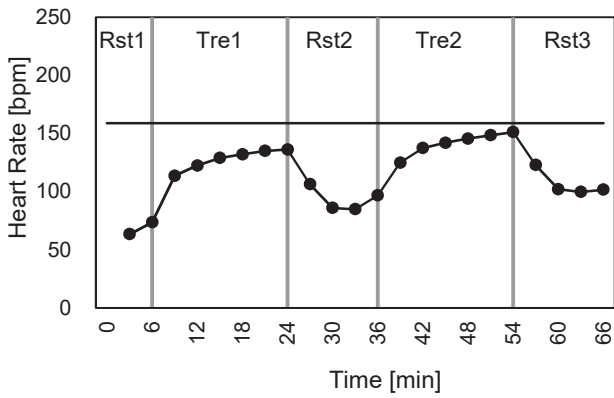
d. ウェアラブルデバイスの各種アラート



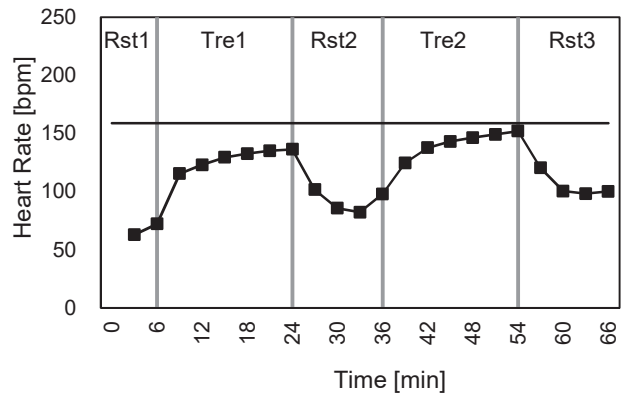
e. ボルグスケール(人工気候室)

図 14 条件 2 における実験参加者 02 の測定データ

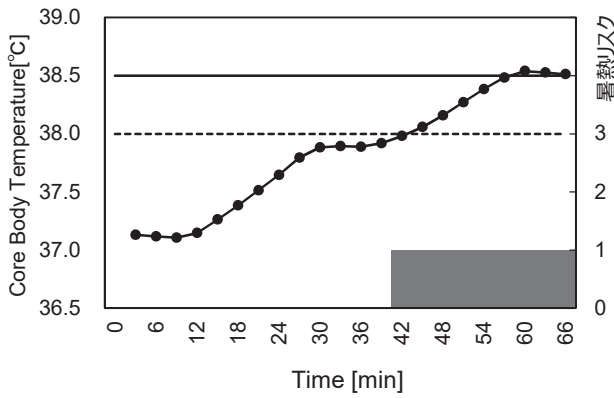
実験参加者 03: 室温 35°C, 湿度 50%, 21 歳



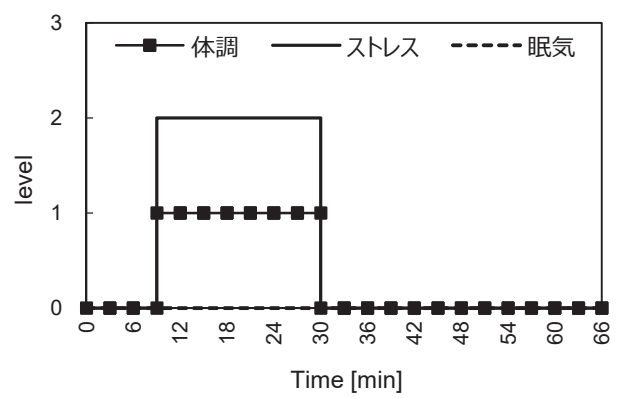
a. 心拍数(人工気候室)



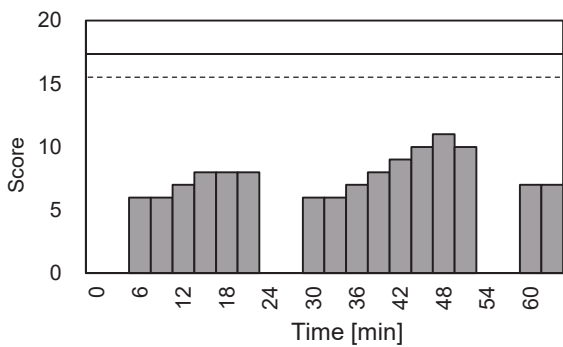
b. 心拍数(ウェアラブルデバイス)



c. 深部体温(人工気候室)と暑熱リスク



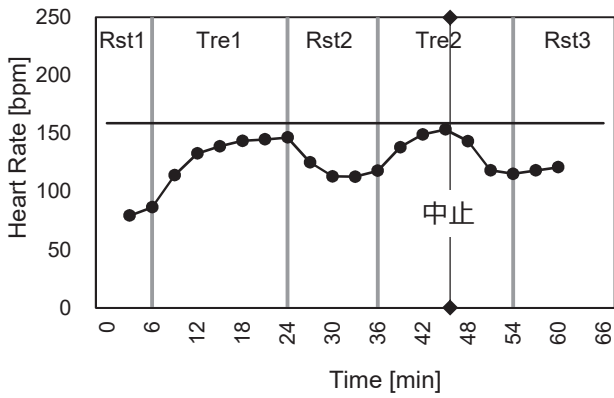
d. ウェアラブルデバイスの各種アラート



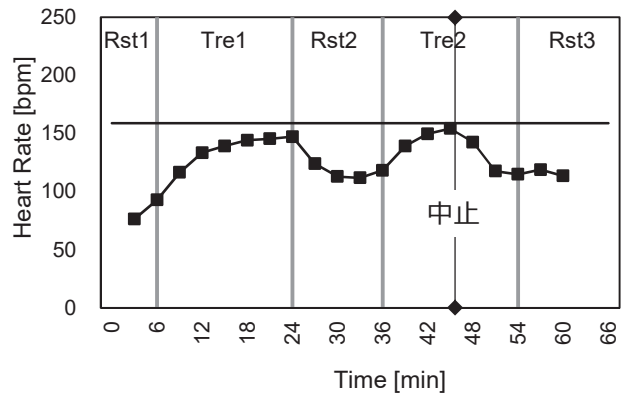
e. ボルグスケール(人工気候室)

図 15 条件 2 における実験参加者 03 の測定データ

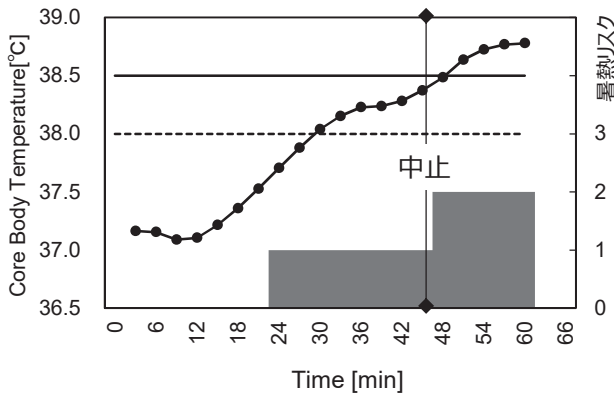
実験参加者 04: 室温 35°C, 湿度 50%, 21 歳



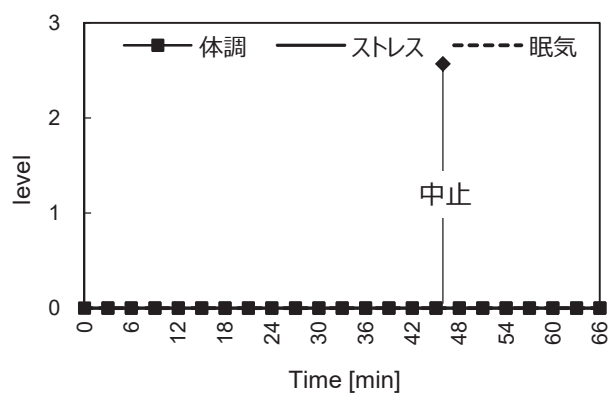
a. 心拍数(人工気候室)



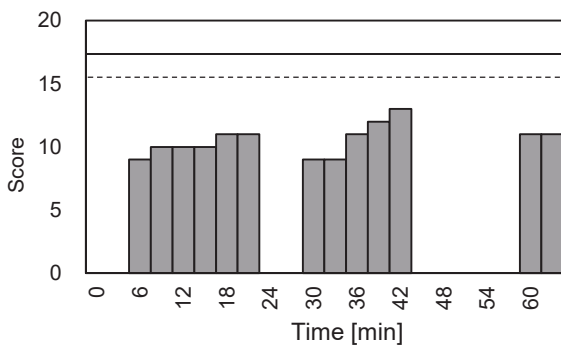
b. 心拍数(ウェアラブルデバイス)



c. 深部体温(人工気候室)と暑熱リスク



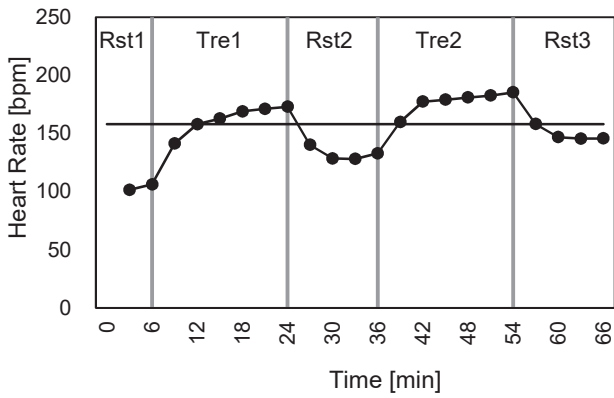
d. ウェアラブルデバイスの各種アラート



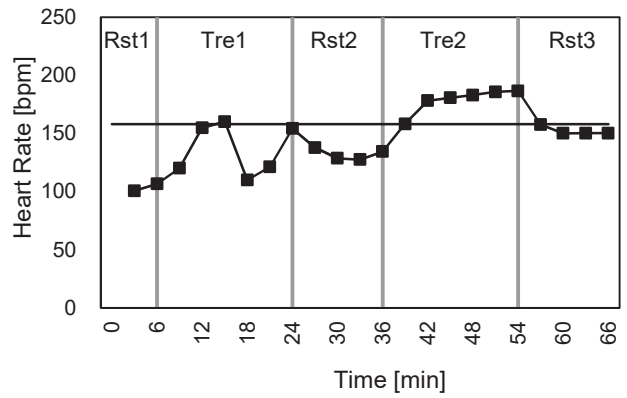
e. ボルグスケール(人工気候室)

図 16 条件 2 における実験参加者 04 の測定データ

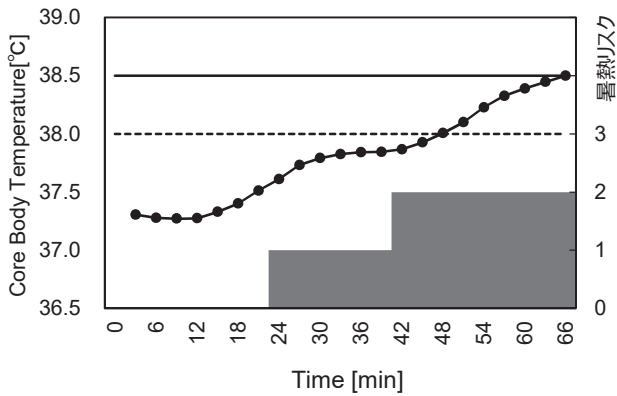
実験参加者 05: 室温 35°C, 湿度 50%, 22 歳



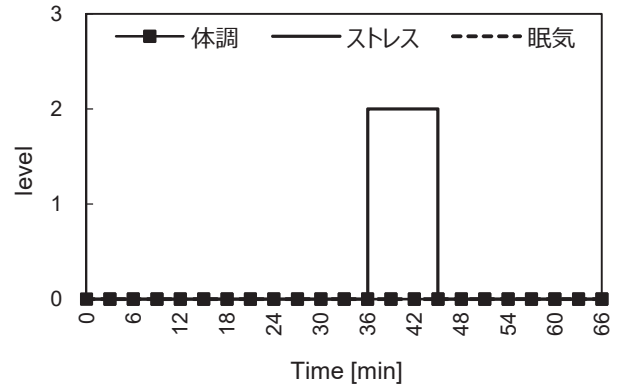
a. 心拍数(人工気候室)



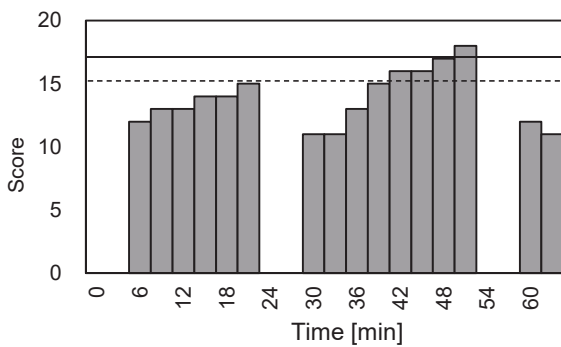
b. 心拍数(ウェアラブルデバイス)



c. 深部体温(人工気候室)と暑熱リスク



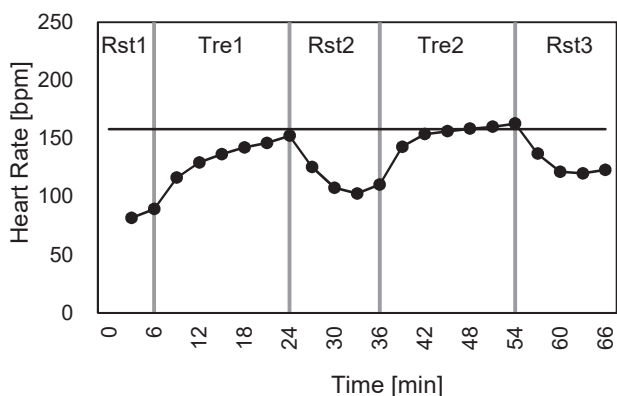
d. ウェアラブルデバイスの各種アラート



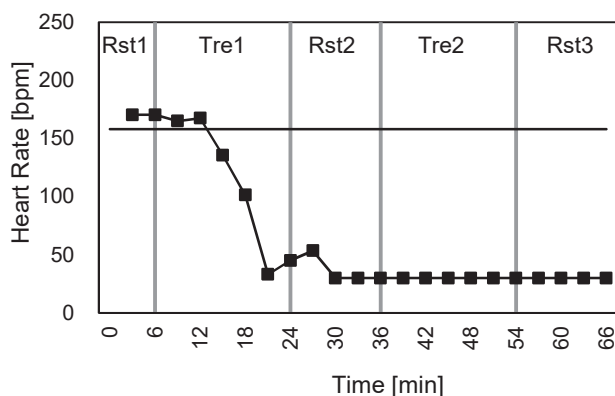
e. ボルグスケール(人工気候室)

図 17 条件 2 における実験参加者 05 の測定データ

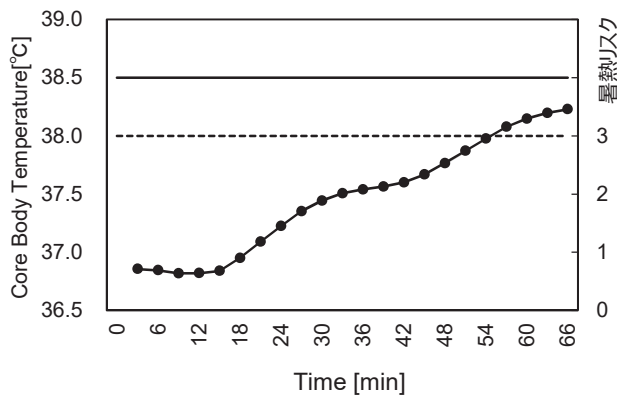
実験参加者 06: 室温 35°C, 湿度 50%, 22 歳



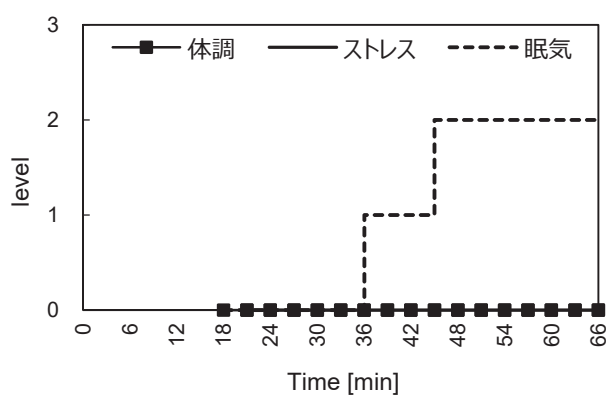
a. 心拍数(人工気候室)



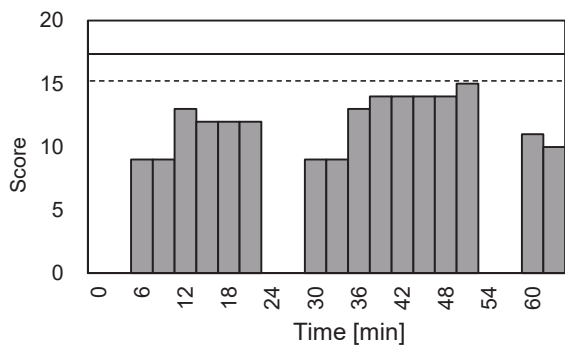
b. 心拍数(ウェアラブルデバイス)



c. 深部体温(人工気候室)と暑熱リスク



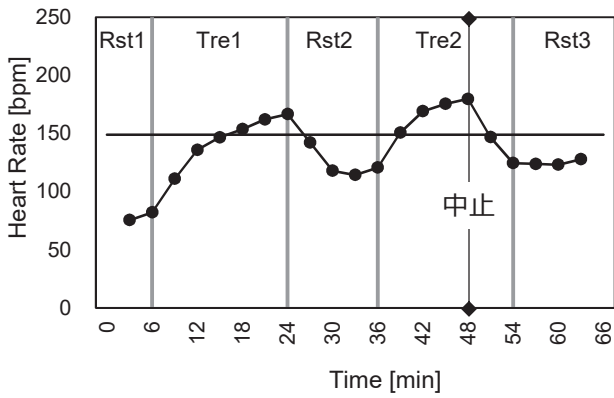
d. ウェアラブルデバイスの各種アラート



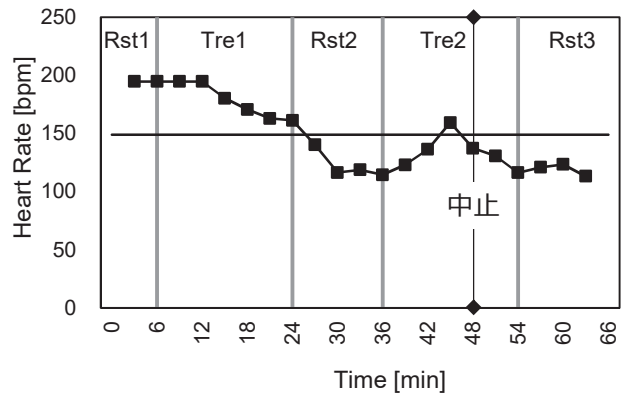
e. ボルグスケール(人工気候室)

図 18 条件 2 における実験参加者 06 の測定データ

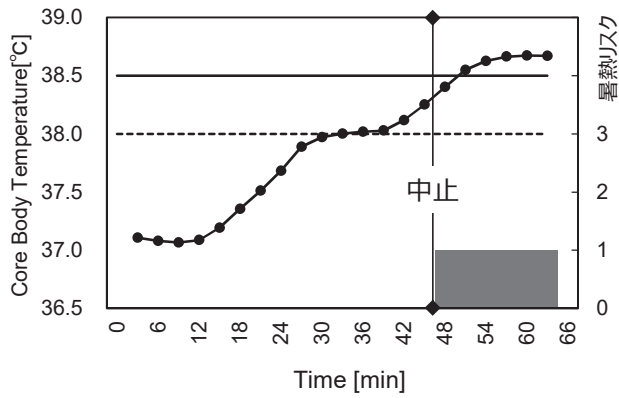
実験参加者 07: 室温 35°C, 湿度 50%, 31 歳



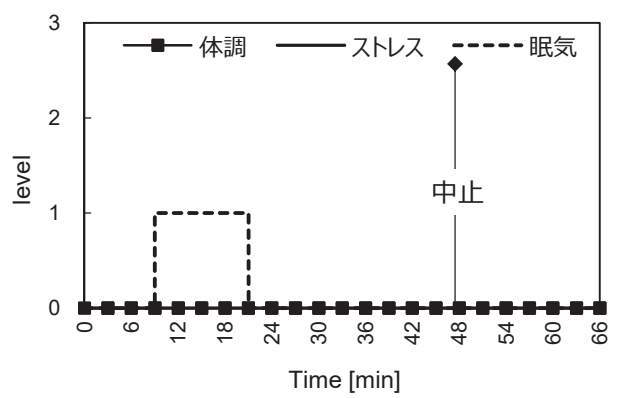
a. 心拍数(人工気候室)



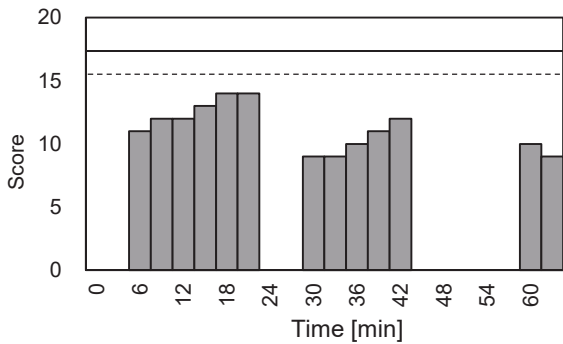
b. 心拍数(ウェアラブルデバイス)



c. 深部体温(人工気候室)と暑熱リスク



d. ウェアラブルデバイスの各種アラート



e. ボルグスケール(人工気候室)

図 19 条件 2 における実験参加者 07 の測定データ

## 腕時計型ウェアラブルセンサーによる熱中症予防（現場実証）

分担研究者： 八谷 百合子 産業医科大学 産業保健学部 産業・地域看護学 准教授

### 研究要旨：

熱中症は暑熱環境下で働く労働者に生命の危機をおよぼすこともある病態であり、労働災害防止の観点からも、予防すべき重要な課題の一つである。これまで、補水や休憩などの労働衛生管理や労働衛生教育による予防法の啓蒙等が行われてきているが、死亡災害も後を絶たない状況である。

近年、心拍や体動などの生体情報をセンシングしインターネットを通じ、そのデータを活用するIoT技術が多く開発されており、暑熱環境下の身体状況を評価し熱中症予防に利用できる可能性も示唆されている。一部の企業ではこのIoT技術を用いて熱中症対策を行っていることも知られているが、その効果は十分に検証されていない。

2019（令和元）年度、我々は産業医科大学人工気候室において、暑熱環境下での運動負荷試験を行い、熱中症対策に有効と考えられるIoT技術を用いた「腕時計型ウェアラブルセンサーによる暑熱環境下での身体負荷推測」を行った。アメリカ産業衛生専門家会議（ACGIH）が示すHeat Strain（熱緊張）状態の指標となる深部体温、心拍数、自覚症状を示すボルグスケールなどのデータと腕時計型ウェアラブルセンサーによりモニターする身体（カラダ）熱環境レベル、身体負荷レベル、熱ストレスレベルとの相関を検証した。その結果、腕時計型ウェアラブルセンサーは、Heat Strain状態をとらえており、効果的な熱中症対策の機器と推察された。

本年度2020（令和2）年度、我々は実際の労働現場において、2019年度に人工気候室で検証した腕時計型ウェアラブルセンサーを使い、研究協力会社（A社・B社）の協力のもと暑熱環境下での現場実証を行った。実験は、A社の成人健康男性7名（74.0±4.3歳）とB社の成人健康男性7名（36.3±6.5歳）の合計14名の被験者に各社の作業現場において7日間、腕時計型ウェアラブルセンサーを装着し普段の作業を行った。測定項目は、熱中症計によるWBGT（℃）、Heat Strain状態を推測する1つの指標として自覚症状を示す問診票による疲労度・温熱感覚・熱性適性、腕時計型ウェアラブルセンサーによるパルス数及び温度・湿度と作業時間の計測から出力した身体（カラダ）熱環境レベル・身体負荷レベル・熱ストレスレベルであった。WBGT及び問診票から熱中症高リスク状態を判断し、腕時計型ウェアラブルセンサーによる異常検出閾値の結果と比較検討した。

その結果、A社は合計49回（被験者7名×7日間）中、WBGT（℃）及び問診票の結果から熱中症高リスク状態だったのは11回（対合計、22.4%）であった。この熱中症高リスク状態だった11回中、腕時計型ウェアラブルセンサーが身体負荷アラームなどを検出するための検出レベル以上と判定したのは、4回（対熱中症高リスク状態、36.4%）であり、熱中症高リスク状態ではなかった38回中、検出レベル以下と判定したのは、36回（対非熱中症高リスク状態、94.7%）であった。同様にB社は熱中症高リスク状態だったのは34回（対合計、69.4%）であった。この熱中症高リスク状態だった34回中、腕時計型ウェアラブルセンサーが検出レベル以上と判定したのは、27回（対熱中症高リスク状態、79.4%）であり、熱中症高リスク状態ではなかった15回中、検出レベル以下と判定したのは、8回（対非熱中症高リスク状態、53.3%）であった。腕時計型ウェアラブルセンサーは、熱中症高リスク状態をとらえており、作業現場においても効果的な熱中症対策の機器と推察された。今回用いた腕時計型ウェアラブルセンサーは、実際の作業現場においても熱中症リスクの予測や予防対策の機器として有効であるとの見解を得た。今後、実際の労働現場で広く活用されることが期待される。



## 分担研究者

丸山崇（産業医科大学医学部第1生理学）  
倉岡宏之（産業医科大学産業保健学部安全衛生マネジメント学）  
江口泰正（産業医科大学産業保健学部人間情報科学）  
山田晋平（産業医科大学産業保健学部安全衛生マネジメント学）  
黒坂知絵（産業医科大学産業保健学部人間情報科学）  
上田陽一（産業医科大学医学部第1生理学）  
東敏昭（一般財団法人西日本産業衛生会/産業医科大学名誉教授）

## 研究協力者

山本忍（産業医科大学産業保健学部作業環境計測制御学）

### A. 研究目的

熱中症は暑熱環境下で働く労働者に生命の危機をおよぼすこともある病態であり、労働災害防止の観点からも、予防すべき重要な課題の一つである。これまで、作業現場では水や休憩などの労働衛生管理や労働衛生教育による予防法の啓蒙等が行われてきているが、死亡災害も後を絶たない状況である。

近年、心拍や体動などの生体情報をセンシングしインターネットを通じ、そのデータを活用するIoT技術が多く開発されており、暑熱環境下の身体状況を評価し熱中症予防に利用できる可能性も示唆されている。一部の企業ではこのIoT技術を用いて熱中症対策を行っていることも知られているが、その効果は十分に検証されていない。

当研究課題では、2018（平成30）年度に、「①労働現場における熱中症対策の実際及び先進事例の調査」を行い、効果的な熱中症対策の抽出とIoT技術などを用いた先進的な熱中症予防対策の検索を行った。この調査により、企業における熱中症対策の現状が把握出来るとともに、IoT技術を用いた熱中症対策に取り組む事業所が、10事例抽出できた。また、

これらの企業のヒアリング調査によって、IoT機器導入の効果や課題なども把握出来た。

そこで、2019（令和元）年度は、産業医科大学人工気候室において、被験者の協力のもと、暑熱環境下での運動負荷試験を行い熱中症対策に有効と考えられるIoT技術を用いて「腕時計型ウェアラブルセンサーによる暑熱環境下での身体負荷推測」を行った。人工気候室で測定したアメリカ産業衛生専門家会議（ACGIH）が示すHeat Strain（熱緊張）状態の指標となる深部体温、心拍数、自覚症状を示すボルグスケールなどのデータと腕時計型ウェアラブルセンサーによりモニターする身体（カラダ）熱環境レベル、身体負荷レベル、熱ストレスレベルとの相関を検証し、腕時計型ウェアラブルセンサーの有効性や得られるデータからの熱中症リスクの推定の可能性を検討した。

その結果、合計44回（（被験者12名×環境条件2パターン×運動負荷2回）－中止4回）中、人工気候室内で測定した深部体温などの結果からHeat Strain（熱緊張）状態だったのは32回（対合計、72.7%）であった。このHeat Strain（熱緊張）状態だった32回中、腕時計型ウェアラブルセンサーが身体負荷アラームなどを検出するための検出レベル以上と判定したのは、24回（対Heat Strain（熱緊張）状態、75.0%）であり、腕時計型ウェアラブルセンサーは、Heat Strain（熱緊張）状態をとらえており、効果的な熱中症対策の機器と推察された。人工気候室での暑熱環境下運動負荷実験において、腕時計型ウェアラブルセンサーが熱中症リスクの予測や予防対策の機器として推定可能であるとの見解を得た。

そこで、本年2020年度我々は、実際の労働現場において、2019（令和元）年度に人工気候室で検証した腕時計型ウェアラブルセンサーが熱中症リスクの

予測や予防対策の機器として有効であるか検討した。腕時計型ウェアラブルセンサーが熱中症リスクの予測や予防対策の機器として推定可能であるか現場実証を行い、効果的な熱中症対策を明らかにし、多くの労働現場に展開することで熱中症による労働災害を防止することが本研究課題の目的である。

## B. 研究方法

### a. 暑熱環境における現場実証実験

研究協力会社2社（A社・B社）において現場実証実験を行った。研究協力会社別職場環境を表1に、被験者情報を表2に、測定項目を表3に、A社・B社の実験スケジュールを図1と図2に、A社・B社の問診票の閾値の区分を表4と表5に示す。

研究協力会社2社とも被験者は健康成人男性とした。A社の被験者は、8:00～17:30まで屋外駐車場の見回りをする労働者である（表1）。B社の被験者は、昼勤と夜勤の2交替勤務で電子材料の製造を行う労働者である（表1）。被験者の協力のもと暑熱環境下での現場実証を行った。

A社の被験者は、成人健康男性7名（平均年齢74.0±4.3歳、被験者記号：A-001～A-007）、各被験者とも昼勤（8:00～17:30）の勤務中に連続して7日間、延べ49回測定した（表2）。

B社の被験者は、成人健康男性7名（平均年齢36.3±6.5歳、被験者記号：B-001～B-007）、各被験者とも昼勤（勤務時間は8:30～17:30であるが超過勤務を実施した時を考慮し、昼勤は8:30～20:30と表現する）もしくは夜勤（勤務時間は20:30～5:30であるが超過勤務を実施した時を考慮し、夜勤は20:30～8:30と表現する）の勤務の内7日間、延べ49回測定した（表2）。

被験者合計14名に協力を頂き、各社の作業現場において、各被験者が7日間、腕時計型ウェアラブルセンサーを装着し、普段の作業を行った。

測定項目を表3に示す。熱中症計によるWBGT（℃）、

問診票による疲労度<sup>1)</sup>・温熱感覚<sup>2),3)</sup>・熱性適性<sup>4)</sup>（ポイント）、「腕時計型ウェアラブルセンサー」により、パルス数（脈波）、温度・湿度と作業時間の計測による身体（カラダ）熱環境レベル・身体負荷レベル・熱ストレスレベル（ポイント）を測定した。WBGTが高いかもしくは、問診票の閾値以上の場合を熱中症高リスク状態とし、腕時計型ウェアラブルセンサーの結果と比較検討した（表3）。

熱中症計は、カスタム株式会社の「データロガー熱中症指数計、型番：HI-2000SD」を使用し、WBGT（℃）を持続測定した。

問診票については、A社の被験者は、8:00～17:30まで1時間ごとに、疲労度・温熱感覚・熱性適性を全長14.0cmのアナログスケールに印を入れて記入した。B社の被験者は、昼勤は8:30～20:30まで1時間ごと、夜勤は20:30～8:30まで1時間ごとに疲労度・温熱感覚・熱性適性を全長14.5cmのアナログスケールに印を入れて記入した。

A社の被験者は、昼勤（8:00～17:30）の勤務中、腕時計型ウェアラブルセンサーを装着し、連続して身体（カラダ）熱環境レベル・身体負荷レベル・熱ストレスレベルを持続測定した（図1）。

B社の被験者は、昼勤（8:30～20:30）もしくは夜勤（20:30～8:30）の勤務中、腕時計型ウェアラブルセンサーを装着し、連続して身体（カラダ）熱環境レベル・身体負荷レベル・熱ストレスレベルを持続測定した（図2）。

表1 研究協力会社別職場環境

会社の記号	事業内容	作業場の屋内外区分	熱源近くでの作業の有無	交代制勤務の有無	実験期間
A	駐車場の見回り	屋外	無	無	9月28日～10月25日
B	電子材料の製造	屋内	有	有	12月8日～12月20日

表 2 被験者情報

会社の記号	被験者数(名)	被験者の平均年齢	各被験者の調査期間(日)	合計実験回数(回)
A	7	74.0±4.3歳[65-79歳]	7	49
B	7	36.3±6.5歳[22-43歳]	7	49

表 3 測定項目

測定機器等の種類	測定項目	単位
熱中症計	WBGT	℃
問診票	疲労度	ポイント
	温熱感覚	ポイント
	熱性適性	ポイント
腕時計型ウェアラブルセンサー	身体(カラダ)熱環境レベル	ポイント
	身体負荷レベル	ポイント
	熱ストレスレベル	ポイント

測定機器等の種類	測定項目	測定内容	月曜日	火曜日	水曜日	木曜日	金曜日	土曜日	日曜日
熱中症計	WBGT (屋外・屋内)	毎日8:00~17:30まで、熱中症指標計が自動的に測定し、SDカードに記録	○	○	○	○	○	○	○
問診票	疲労度 温熱感覚 熱性適性	毎日、8:00~17:30まで、問診票(疲労度・温熱感覚・熱性適性)の3種類	○	○	○	○	○	○	○
腕時計型ウェアラブルセンサー	身体(カラダ)熱環境レベル 身体負荷レベル 熱ストレスレベル	毎日、8:00~17:30まで、腕時計型ウェアラブルセンサーを手に装着し、専用スマートフォンを携帯	○	○	○	○	○	○	○

図 1 A社の実験スケジュール

測定機器等の種類	測定項目	測定内容	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
熱中症計	WBGT (屋内)	昼間は8:30~20:30まで、夜間は20:30~8:30まで、熱中症指標計が自動的に測定し、SDカードに記録	○	○	○	○	○	○	○
問診票	疲労度 温熱感覚 熱性適性	昼間は8:30~20:30まで、夜間は20:30~8:30まで、問診票(疲労度・温熱感覚・熱性適性)の3種類	○	○	○	○	○	○	○
腕時計型ウェアラブルセンサー	身体(カラダ)熱環境レベル 身体負荷レベル 熱ストレスレベル	昼間は8:30~20:30まで、夜間は20:30~8:30まで、腕時計型ウェアラブルセンサーを手に装着し、専用スマートフォンを携帯	○	○	○	○	○	○	○

図 2 B社の実験スケジュール

腕時計型ウェアラブルセンサーと比較する暑さ指数(WBGT)は、労働環境や運動環境の指針として有効であると認められ、ISO等で国際的に規格化されている。(公財)日本スポーツ協会では「熱中症予防運動指針」、日本生気象学会では「日常生活に関する指針」を公表しており、加えて環境省の「自分で出来る簡単熱中症危険度判定チャート」(図3)により、作業環境を考慮した基準値が示されている。労働環境では世界的にはISO7243、国内ではJIS Z 8504「WBGT(湿球黒球温度)指数に基づく作業者の熱ストレスの評価—暑熱環境」として規格化されている。

本実験は、図3よりA社については、WBGTによる熱中症高リスク状態に該当したと判断した基準は、28.0℃が2時間以上経過、B社は27℃が2時間以上経過とした。また、表4と表5より問診票による熱中症高リスク状態に該当したと判断した基準は、A社・B社とも疲労度 $\geq 0.68$ 、温熱感覚 $\geq 0.89$ 、熱性適性 $\geq 0.75$ とした。

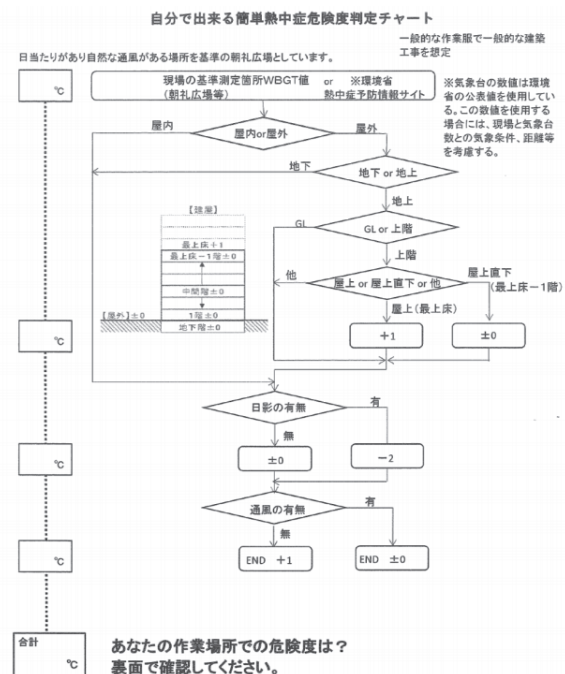


図 3 「自分で出来る簡単熱中症危険度判定チャート」(環境省ホームページより)

表 4 A 社の問診票の閾値の区分

問診票の種類	項目	全長14cmの線上に付与した主な言葉				熱中症高リスク状態とした閾値
		楽である	ややきつい	きつい	きつい	
疲労度	付与した言葉					
	実測値(cm)	5.5	7.5	9.5	9.5	9.5
	割合(実測値/全長)	0.39	0.54	0.68		0.68
温熱感覚	付与した言葉	普通	やや暖かい	暑い	暑い	
	実測値(cm)	7.5	9.0	12.5	12.5	12.5
	割合(実測値/全長)	0.54	0.64	0.89		0.89
熱性適性	付与した言葉	とても不快	不快	快適		
	実測値(cm)	3.5	7.0	14.0		
	割合(実測値/全長)	0.25	0.50	1.00		
	付与した言葉	とても不快	不快	快適	とても不快	
	全長-実測値(cm)*	10.5	7.0	0.0	10.5	10.5
	割合((全長-実測値)/全長)**	0.75	0.50	0.00		0.75

\*付与した言葉の意味から、閾値は、全長-実測値とした。

\*\*付与した言葉の意味から、閾値の割合は、(全長-実測値)/全長とした。

表 5 B 社の問診票の閾値の区分

問診票の種類	項目	全長14.5cmの線上に付与した主な言葉				熱中症高リスク状態とした閾値
		楽である	ややきつい	きつい	きつい	
疲労度	付与した言葉					
	実測値(cm)	5.7	7.8	9.8	9.8	9.8
	割合(実測値/全長)	0.39	0.54	0.68		0.68
温熱感覚	付与した言葉	普通	やや暖かい	暑い	暑い	
	実測値(cm)	7.8	9.3	12.9	12.9	12.9
	割合(実測値/全長)	0.54	0.64	0.89		0.89
熱性適性	付与した言葉	とても不快	不快	快適		
	実測値(cm)	3.6	7.3	14.5		
	割合(実測値/全長)	0.25	0.50	1.00		
	付与した言葉	とても不快	不快	快適	とても不快	
	全長-実測値(cm)*	10.9	7.3	0.0	10.9	10.9
	割合((全長-実測値)/全長)**	0.75	0.50	0.00		0.75

\*付与した言葉の意味から、閾値は、全長-実測値とした。

\*\*付与した言葉の意味から、閾値の割合は、(全長-実測値)/全長とした。

## C. 腕時計型ウェアラブルセンサー

### a. 製品名 (商品名)

COLMINA 安全管理支援

(FUJITSU Manufacturing Industry Solution

COLMINA 安全管理支援)

### b. 製造元 (開発元)

富士通株式会社、〒108-0075 東京都港区港南

1-2-70

### c. 製品概要

[COLMINA 安全管理支援とは]

バイタルセンシングバンドを装着した人のセンシングデータを富士通独自のアルゴリズムにて解析し、熱ストレスアラーム、身体(カラダ)熱環境アラーム、身体負荷アラーム、異常高温アラーム、転倒転落アラームなどの異常を監督者に通知する。装着者の状態や現場を遠隔地からでもリアルタイムに把握

することで、適切な指示や迅速な対応が可能である。

[COLMINA 安全管理支援]

- ・作業員一人ひとりの状態を監督者のスマートフォンに通知することができる。
- ・バイタルセンシングバンド装着者の状態を一人ひとり解析し、装着者に適切な指示を行うことが可能である。
- ・簡単な初期設定を行えば、バイタルセンシングバンドを腕時計の様に装着するだけで装着者の負担、邪魔にならない。

### d. 機器について (外観写真含)

[バイタルセンシングバンド]

- ・バイタルセンシングバンドを手首に装着する。
- ・近赤外光によるパルス計測を行う。
- ・作業員周辺の温度と湿度を計測する
- ・スマートフォン経由でデータ送信を行う。

表



裏(皮触接触面)



図 4 バイタルセンシングバンド

[安全管理支援アプリを搭載したスマートフォン]

- ・温度と湿度、作業員の身体負荷、パルス数状況をグラフで確認できる。
- ・熱ストレスアラームなどの警告アラームが確認可能である。



アクセス画面

パルス数、温度湿度画面

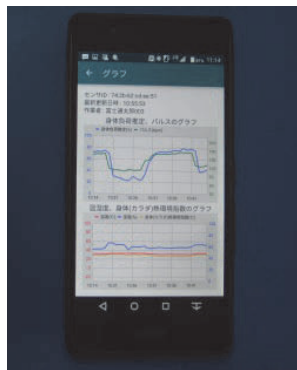


表 6 アラーム種別とその内容

アラーム種別	内容	バイタルセンシングバンド	ロケーションバッジ
熱ストレスアラーム	温度・湿度・パルスから算出・推定した熱ストレスレベルが一定以上に達した場合に発生する	●	
身体(カラダ)熱環境アラーム	温度・湿度から推定した身体熱環境レベルが一定以上に達した場合に発生する	●	
身体負荷アラーム	パルス数から算出・推定した身体負荷レベルが一定以上に達した場合に発生する	●	
異常高温アラーム	一定以上の温度を超えた場合に発生する	●	
転倒アラーム	高さの変化や衝撃等から転倒の状態を検出した後、一定時間立ち上がらない/歩かない場合に発生する	●	●
転落アラーム	高さの変化、無重力状態、衝撃等から転落状態を検出した後、一定時間立ち上がらない/歩かない場合に発生する	●	●
ジオフェンスアラーム	事前に設定したエリアに出入りした場合に発生する	●	●
通知ボタン1	ロケーションバッジのボタン1が押下された場合に発生する		●
通知ボタン2	ロケーションバッジのボタン2が押下された場合に発生する		●

アラーム画面



図 5 スマートフォン画面

表 7 バイタルデータのレベル推定とサマリ表示

アラーム種別	レベル推定	サマリ表示
身体負荷レベル	危険	危険
	注意	注意
	安全(やや注意)	平常
	ほぼ安全	平常
	安全	平常
身体(カラダ)熱環境レベル	危険	危険
	注意	注意
	安全(やや注意)	平常
	ほぼ安全	平常
	安全	平常
熱ストレスレベル	危険	危険
	注意	注意
	ほぼ安全	平常
	安全	平常

e. センシング項目 (生体指標、環境指標等)

- ・パルス数 (脈波)
- ・体動 (加速度センサー)
- ・温度・湿度
- ・作業時間

f. 警告方法 (リスク判定項目等)

- ・アラームの種類は 7 種類である (表 6)。
- ・作業者周辺の温湿度とパルスから暑熱による身体への負荷を判定する (表 7)。
- ・リスクを危険、注意、平常の 3 段階で表示する。
- ・リスクがあらかじめ設定したレベルになった際には、スマートフォンにアラーム警告(呼び出し音、バイブレーション)を鳴らす。
- ・転倒を感知した場合にも、アラーム警告を鳴らす。

・身体(カラダ)熱環境アラーム  
 身体(カラダ)熱環境アラームは、身体(カラダ)熱環境レベル「危険」(表 8) がしばらく継続された場合にアラームを通知する。  
 身体(カラダ)熱環境レベル推定は、温湿度に対する身体(カラダ)熱環境指数を「危険」「注意」「安全(やや注意)」「ほぼ安全」「安全」の 5 段階に分けて推定する(機能説明書には、下記の表に安全の欄がなかったので記載していない)。

表 8 身体（カラダ）熱環境レベル

身体(カラダ)熱環境レベル	身体(カラダ)熱環境指数	レベルの意味
危険	31℃	運動は原則中止
注意	28℃～31℃	厳重警戒(激しい運動は中止)
安全(やや注意)	25℃～28℃	警戒(積極的に休憩)
ほぼ安全	21℃～25℃	注意(継続的に水分補給)

・身体負荷アラーム

身体負荷アラームは、身体負荷レベル「危険」(表 9) がしばらく継続された場合にアラームを通知する。身体負荷レベル推定は、カルボーネン法などの指標を基に、パルス数から算出した活動による身体負荷を推定する。

身体負荷レベル推定は、「危険」「注意」「安全(やや注意)」「ほぼ安全」「安全」の 5 段階に分けて推定する。安静時パルス数に対する平均パルス数の割合を変更することでアラーム発生レベルを変更できる。

表 9 身体負荷レベル

身体負荷レベル		カルボーネン法	
項目	強度(0.1%)	自覚度	表示
危険	1000	もうだめ	20
	929	非常にきつい	19
	858		18
	786	かなりきつい	17
	715		16
注意	643	きつい	15
安全(やや注意)	572		14
ほぼ安全	500	ややきつい	13
	429		12
安全(やや注意)	357	楽に感じる	11
	266		10
	214	かなり楽に感じる	9
	143		8
	71		7
安全	0	非常に楽に感じる	6

・熱ストレスアラーム

熱ストレスアラームは、熱ストレスレベル「危険度(高)」(表 10) がしばらく継続された場合にアラームを通知する。

熱ストレスレベル推定は、身体(カラダ)熱指数と気温、温湿度の関係を基に、温湿度にパルス数を加えて算出している。

熱ストレス状態を「危険」「注意」「ほぼ安全」「安全」の 4 段階に分けて推定する。時間、パルス数、身体(カラダ)熱環境レベルの組み合わせでアラーム発生レベルを変更できる(表 11)。

表 10 熱ストレスレベル

熱ストレスレベル	説明
危険	・120秒間の平均心拍数が150bpmを超えている ・身体(カラダ)熱環境指数31℃以上
注意	・120秒間の平均心拍数が安静時脈拍数の160%を超えている ・身体(カラダ)熱環境指数31℃以上
ほぼ安全	・120秒間の平均心拍数が安静時脈拍数の120%を超えている ・身体(カラダ)熱環境指数31℃以上
安全	「危険」「注意」「ほぼ安全」の条件を全て満たさない

表 11 アラーム設定値

アラーム種別	サマリ表示	項目	単位	具体例(デフォルト)	説明
身体負荷レベル	危険	安静時パルス数に対する平均パルス数の割合	0.1%	643	1~1000の整数値を入力
	注意	安静時パルス数に対する平均パルス数の割合	0.1%	572	1~1000の整数値を入力
	安全(やや注意)	安静時パルス数に対する平均パルス数の割合	0.1%	500	1~1000の整数値を入力
	ほぼ安全	安静時パルス数に対する平均パルス数の割合	0.1%	375	1~1000の整数値を入力
身体(カラダ)熱環境レベル	危険	身体熱環境指数	℃	31	15~44の整数値を入力
	注意	身体熱環境指数	℃	28	15~44の整数値を入力
	安全(やや注意)	身体熱環境指数	℃	25	15~44の整数値を入力
	ほぼ安全	身体熱環境指数	℃	21	15~44の整数値を入力
熱ストレスレベル	危険	時間	秒間	120	100~180の整数値
		平均パルス数	bpm	150	32~255の整数値
		暑さ指数	℃	31	15~44の整数値
	注意	時間	秒間	120	100~180の整数値
		安静時パルス数に対する平均パルス数の割合	bpm	160	100~255の整数値
	ほぼ安全	暑さ指数	℃	31	15~44の整数値
		時間	秒間	120	100~180の整数値
		安静時パルス数に対する平均パルス数の割合	bpm	120	100~255の整数値
		暑さ指数	℃	31	15~44の整数値

・アラーム設定値

「閾値パターン管理」画面にて、設定変更が可能な項目およびその入力値である。

g. 通信方法 (ネットワークシステム)

- ・ウェアラブルデバイス - スマートフォン間: Bluetooth(通信距離 10m)
- ・スマートフォン - サーバー間 (モバイル回線)
- ・データサーバーは、富士通クラウドを利用

## h. 個人画面、管理画面

[個人画面（スマートフォン）]

- ・熱ストレスの警告アラームが確認可能
- ・温度・湿度、パルス状況の確認
- ・アラームへの対応の記録画面（図 6）



図 6 個人画面（スマートフォン）

[管理画面（PC）]

- ・管理者が現場及び事務所内で監視（PC、タブレット）
- ・作業者全員の状態の一覧を表示
- ・アラーム警告の発生者は赤字で表示
- ・対応記録の記入画面を表示（図 7）

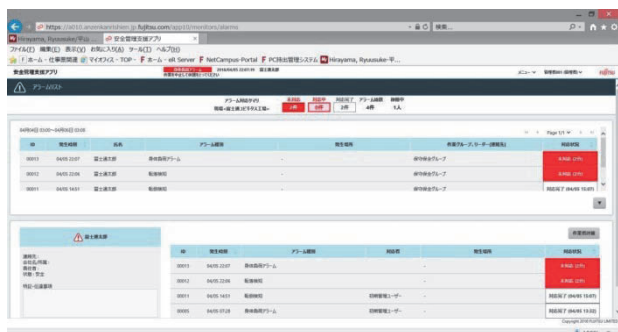


図 7 管理画面（PC）

## D. 熱中症計

熱中症計は、カスタム株式会社の「データロガー熱中症指数計、型番：HI-2000SD」を使用した（図 8）。「データロガー熱中症指数計」は、測定したデータを SD カードに自動的に記録し、そのデータを

Excel に保存した上で解析できる。サンプリング時間は、1、2、5、10、30、60、120、300、600、1800、3600 秒と設定できるが、本実験では、「腕時計型ウェアラブルセンサー」の心拍数の抽出時間に合わせて 60 秒とした。

A 社の実験では、2 台の「データロガー熱中症指数計」を使用した。1 台は、屋外の駐車場に設置した三脚に乗せ、地面から高さ 140cm の定点観測をした。もう 1 台は、休憩室内の高さ 70cm の事務机の上に設置し、定点観測をした。

B 社の実験時には、2 台の「データロガー熱中症指数計」を使用した。被験者は、熱源の近くで作業するため、2 台ともそれぞれの被験者から 2m 程度の作業に支障がない場所に置き、なるべく作業者の近くの WBGT が測定できるようにした。



図 8 データロガー熱中症指数計の外観  
(引用：カスタム株式会社ホームページより)

## E. 問診票

問診票は、疲労度・温熱感覚・熱性適性の 3 種類を使用した。

A 社の実験では、作業が昼勤のみのため、記入時間は、8:00、9:00、10:00、11:00、12:00、13:00、14:00、15:00、16:00、17:00 とし、毎日それぞれの項目に合計 10 回記入した。8:00、12:00、17:00 は、その時間にその場で必ず記入し、その他の時間は、作業に支



障がない場合は記入し、さかのぼって記入しても構わないとした（図 9～図 11）。

B 社の実験では、作業が昼勤のときは、記入時間は、8:30、9:00、10:00、11:00、12:00、13:00、14:00、15:00、16:00、17:30、18:00、19:00、20:00、20:30 とし、毎日それぞれの項目に合計 14 回記入した。なお、勤務時間は 8:30～17:30 であるが、超過勤務を実施した時を考慮し、20:30 まで準備した。記入は、退社するまでとした。8:30、12:00、17:30、20:30 は、その時間にその場で必ず記入し、その他の時間は、作業に支障がない場合は記入し、さかのぼって記入しても構わないとした。作業が夜勤のときは、記入時間は、20:30、21:00、22:00、23:00、0:00、1:00、2:00、3:00、4:00、5:00、6:00、7:00、8:00、8:30 とし、毎日それぞれの項目に合計 14 回記入した。なお、勤務時間は 20:30～5:30 であるが、超過勤務を実施した時を考慮し、8:30 まで準備した。記入は、退社するまでとした。20:30、0:00、5:30、8:30 は、その時間にその場で必ず記入し、その他の時間は、作業に支障がない場合は記入し、さかのぼって記入しても構わないとした（図 12～図 17）。

疲労度・温熱感覚・熱性適性については、A 社は全長 14cm のアナログスケールに、B 社は全長 14.5cm のアナログスケールに縦に線を入れて記入し、左端からの長さ（cm）を測定し、実測値をポイント値として求めた。評価する際には、ポイント値を全長で割り、割合を表示し判定に使用した。なお、熱性適性のみ、付与した言葉の性質上、ポイント値は、全長－測定値を実測値とした。なお、A 社は、ほぼ残業がないため、問診票記入の終了を 17:00 としたが、B 社は、残業があった場合も記入するために、昼勤の終了時間を 20:30、夜勤の終了時間を 8:00 とした。

問診票において、熱中症高リスク状態に該当すると判断した閾値を A 社は表 4 に、B 社は表 5 に示す。表 4 に示すように、A 社の問診票の全長は 14.0cm

であり、疲労度については、評価に使用する問診票の閾値の区分は、付与した言葉の「きつい」の位置である 9.5cm（割合は 0.68）とした。温熱感覚については、評価に使用する問診票の閾値の区分は、付与した言葉の「あつい」の位置である 12.5cm（割合は 0.89）とした。熱性適性については、評価に使用する問診票の閾値の区分は、付与した言葉の「とても不快」の位置である 10.5cm（割合は 0.75）とした。表 5 に示すように、B 社の問診票の全長は 14.5cm であり、同様にして疲労度は 9.8cm（割合は 0.68）、温熱感覚は 12.9cm（割合は 0.89）、熱性適性は、10.9cm（割合は 0.75）とした。

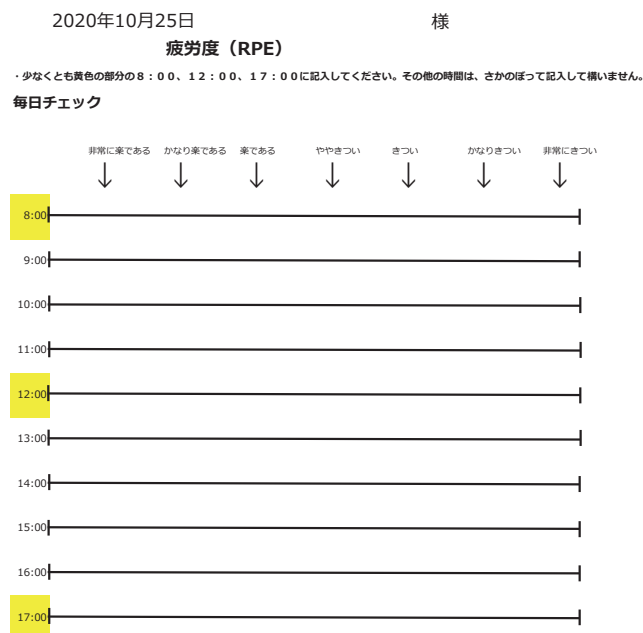


図 9 A 社の問診票（疲労度、昼勤のみ）

2020年10月25日

様

### 温熱感覚

・少なくとも黄色の部分の8:00、12:00、17:00に記入してください。その他の時間は、さかのぼって記入して構いません。

#### 毎日チェック

	とても寒い	寒い	涼しい	やや涼しい	普通	やや暖かい	暖かい	暑い	とても暑い
8:00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
9:00									
10:00									
11:00									
12:00									
13:00									
14:00									
15:00									
16:00									
17:00									

図 10 A 社の問診票（温熱感覚、昼勤のみ）

2020年10月25日

様

### 熱性適性（気温についての熱性適性）

・少なくとも黄色の部分の8:00、12:00、17:00に記入してください。その他の時間は、さかのぼって記入して構いません。

#### 毎日チェック

	非常に不快	とても不快	不快	やや不快	快適
8:00	↓	↓	↓	↓	↓
9:00					
10:00					
11:00					
12:00					
13:00					
14:00					
15:00					
16:00					
17:00					

図 11 A 社の問診票（熱性適性、昼勤のみ）

氏名：

昼勤用

施日：2020年12月15日

### 疲労度（RPE）

- ・勤務時間中の疲労度を記入して下さい。
- ・線上に縦線を入れてください。説明の文字の↓にこだわる必要はありません。
- ・少なくとも、黄色の部分の時間帯は、記入してください。その他の時間は、さかのぼって記入しても構いません。

	非常に楽である	かなり楽である	楽である	ややきつい	きつい	かなりきつい	非常にきつい
8:30	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
9:00							
10:00							
11:00							
12:00							
13:00							
14:00							
15:00							
16:00							
17:30							
18:00							
19:00							
20:00							
20:30							

図 12 B 社の問診票（疲労度、昼勤用）

氏名：

夜勤用

施日：2020年12月20日

### 疲労度（RPE）

- ・勤務時間中の疲労度を記入して下さい。
- ・線上に縦線を入れてください。説明の文字の↓にこだわる必要はありません。
- ・少なくとも、黄色の部分の時間帯は、記入してください。その他の時間は、さかのぼって記入しても構いません。

	非常に楽である	かなり楽である	楽である	ややきつい	きつい	かなりきつい	非常にきつい
20:30	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
21:00							
22:00							
23:00							
0:00							
1:00							
2:00							
3:00							
4:00							
5:30							
6:00							
7:00							
8:00							
8:30							

図 13 B 社の問診票（疲労度、夜勤用）

氏名： 昼勤用

施日： 2020年12月16日

温熱感覚

- ・勤務時間中の温熱感覚を記入して下さい。
- ・線上に縦線を入れてください。説明の文字の↓にこだわる必要はありません。
- ・少なくとも、黄色の部分の時間帯は、記入してください。その他の時間は、さかのぼって記入しても構いません。

	とても暑い	暑い	涼しい	やや涼しい	普通	やや暖かい	暖かい	暑い	とても暑い
8:30									
9:00									
10:00									
11:00									
12:00									
13:00									
14:00									
15:00									
16:00									
17:30									
18:00									
19:00									
20:00									
20:30									

図 14 B 社の問診票（温熱感覚、昼勤用）

氏名： 夜勤用

施日： 2020年12月20日

温熱感覚

- ・勤務時間中の温熱感覚を記入して下さい。
- ・線上に縦線を入れてください。説明の文字の↓にこだわる必要はありません。
- ・少なくとも、黄色の部分の時間帯は、記入してください。その他の時間は、さかのぼって記入しても構いません。

	とても暑い	暑い	涼しい	やや涼しい	普通	やや暖かい	暖かい	暑い	とても暑い
20:30									
21:00									
22:00									
23:00									
0:00									
1:00									
2:00									
3:00									
4:00									
5:30									
6:00									
7:00									
8:00									
8:30									

図 15 B 社の問診票（温熱感覚、夜勤用）

氏名： 昼勤用

実施日： 2020年12月15日

熱性適性（気温についての熱性適性）

- ・勤務時間中の熱性適性を記入して下さい。
- ・線上に縦線を入れてください。説明の文字の↓にこだわる必要はありません。
- ・少なくとも、黄色の部分の時間帯は、記入してください。その他の時間は、さかのぼって記入しても構いません。

	非常に不快	とても不快	不快	やや不快	快適
8:30					
9:00					
10:00					
11:00					
12:00					
13:00					
14:00					
15:00					
16:00					
17:30					
18:00					
19:00					
20:00					
20:30					

図 16 B 社の問診票（熱性適性、昼勤用）

氏名： 夜勤用

実施日： 2020年12月20日

熱性適性（気温についての熱性適性）

- ・勤務時間中の熱性適性を記入して下さい。
- ・線上に縦線を入れてください。説明の文字の↓にこだわる必要はありません。
- ・少なくとも、黄色の部分の時間帯は、記入してください。その他の時間は、さかのぼって記入しても構いません。

	非常に不快	とても不快	不快	やや不快	快適
20:30					
21:00					
22:00					
23:00					
0:00					
1:00					
2:00					
3:00					
4:00					
5:30					
6:00					
7:00					
8:00					
8:30					

図 17 B 社の問診票（熱性適性、夜勤用）

## F. 研究結果

### a. WBGT もしくは問診票の疲労度・温熱感覚・熱性適性の結果による熱中症高リスク状態と腕時計型ウェアラブルセンサーの身体（カラダ）熱環境レベル・身体負荷レベル・熱ストレスレベルの検出閾値以上との比較

WBGT、問診票（疲労度・温熱感覚・熱性適性）による熱中症高リスク状態と腕時計型ウェアラブルセンサーで検出レベル以上と判定した（身体（カラダ）熱環境レベル・身体負荷レベル・熱ストレスレベル）閾値以上との比較の結果を示す（表 12）。

現場で測定した WBGT が、A 社は 28.0℃以上もしくは問診票の疲労度 $\geq 0.68$ もしくは、温熱感覚 $\geq 0.89$ もしくは、熱性適性 $\geq 0.75$ の場合は、熱中症高リスク状態と判断した。

現場で測定した WBGT が、B 社は 27.0℃以上もしくは問診票の疲労度 $\geq 0.68$ もしくは、温熱感覚 $\geq 0.89$ もしくは、熱性適性 $\geq 0.75$ の場合は、熱中症高リスク状態と判断した。

これに対し、腕時計型ウェアラブルセンサーで身体（カラダ）熱環境レベルが 5 ポイント以上、もしくは、身体負荷レベルが 5 ポイント以上、もしくは、熱ストレスレベルが 4 ポイント以上は、異常を検出したと判断した。

A 社の結果を表 13 に示す。A 社（事業内容：屋外駐車場の見回り、屋外作業、昼勤のみ）について、熱中症高リスク状態に該当したのは、被験者 7 名、7 日間毎日連続測定した全 49 回の内の 11 回、熱中症高リスク状態に該当しなかったのは、全 49 回の内 38 回であった。

これに対し、腕時計型ウェアラブルセンサーが検出レベル以上と判定したのは、熱中症高リスク状態に該当した 11 回の内の 4 回であり、熱中症高リスク状態該当に対しての 36.4%であった。

また、腕時計型ウェアラブルセンサーが検出レベ

ル以下と判定したのは、熱中症高リスク状態に該当しなかった 38 回の内の 36 回であり、熱中症高リスク状態非該当に対しての 94.7%であった。

B 社の結果を表 14 に示す。B 社（事業内容：電子材料の製造、屋内作業、昼勤と夜勤）について、熱中症高リスク状態に該当したのは、被験者 7 名、7 日間毎日連続測定した全 49 回の内の 34 回、熱中症高リスク状態に該当しなかったのは、全 49 回の内 15 回であった。

これに対し、腕時計型ウェアラブルセンサーが検出レベル以上と判定したのは、熱中症高リスク状態に該当した 34 回の内の 27 回であり、熱中症高リスク状態該当に対しての 79.4%であった。

また、腕時計型ウェアラブルセンサーが検出レベル以下と判定したのは、熱中症高リスク状態に該当しなかった 15 回の内の 8 回であり、熱中症高リスク状態非該当に対しての 53.3%であった。

A 社および B 社において WBGT、問診票（疲労度・温熱感覚・熱性適性）による熱中症高リスク状態の結果と腕時計型ウェアラブルセンサーで検出レベル以上と判定する（身体（カラダ）熱環境レベル・身体負荷レベル・熱ストレスレベル）閾値以上かどうかを判定した代表的な結果をそれぞれ図 18、図 19 示す。

## G. 考察

今回、実際の労働現場において、2つの研究協力会社の異なる作業環境における、WBGT、問診票（疲労度・温熱感覚・熱性適性）による熱中症高リスク状態を測定すると同時に、腕時計型ウェアラブルセンサーによる（身体（カラダ）熱環境レベル・身体負荷レベル・熱ストレスレベル）を検出し比較した。

実際の労働現場では、アメリカ産業衛生専門家会議（ACGIH）が示す Heat Strain（熱緊張）状態の指標となる深部体温、心電図による心拍数、ボルグスケールなどのデータを測定しにくい状況であった。

そこで、熱中症計によるWBGT（℃）とHeat Strain状態を推測する1つの指標として自覚症状を示す問診票による疲労度・温熱感覚・熱性適性を測定し、熱中症高リスク状態を推定した。腕時計型ウェアラブルセンサーによりモニターする身体（カラダ）熱環境レベル、身体負荷レベル、熱ストレスレベルとの関連を検証するために、各社被験者は7名ずつ、それぞれ7日間の測定を行い、1社で49回、2社で合計で98回の実験結果を比較した。

A社の被験者は、屋外で駐車場の見回りをしており、夏季であれば、直射日光を浴び暑熱環境となるが、実験期間が9月28日～10月25日までであったことから、熱中症が起きにくい気候であった。そのため、熱中症高リスク状態に該当したのは、全49回の内の11回であり、これに対し、腕時計型ウェアラブルセンサーが検出レベル以上と判定したのは、熱中症高リスク状態に該当した11回の内の4回であり、熱中症高リスク状態該当に対しての36.4%であった。

これに対し、熱中症が起きにくい気候であったことから、熱中症高リスク状態に該当しなかった日は、全49回の内38回であった。

また、腕時計型ウェアラブルセンサーが検出レベル以下と判定したのは、熱中症高リスク状態に該当しなかった38回の内の36回であり、熱中症高リスク状態非該当に対しての94.7%であった。熱中症高リスク状態ではないことを的確にとらえていた。このことにより、腕時計型ウェアラブルセンサーの熱中症高リスク状態非該当の判定に対する信頼も感じられる。

B社の被験者は、電子材料を製造するために、換気を行い難い屋内で、熱源の近くで作業を行う。また、筋力を使う作業であり、体に対する負荷も大きく、水分補給も随時行われていた。また、交代制勤務であり、夜勤では深夜作業も行っている。十分な暑熱環境対策が行われているが、作業の性質上暑熱環境であった。

B社で熱中症高リスク状態に該当したのは、被験者7名、7日間毎日連続測定した全49回の内の34回であり、熱中症高リスク状態に該当しなかったのは、全49回の内15回であった。

これに対し、腕時計型ウェアラブルセンサーが検出レベル以上と判定したのは、熱中症高リスク状態に該当した34回の内の27回であり、熱中症高リスク状態該当に対しての79.4%であった。作業の性質上、腕時計型ウェアラブルセンサーは、防護服、汗、手洗い用の石鹸や水などの影響も受けたようであったが、モニターする身体（カラダ）熱環境レベル、身体負荷レベル、熱ストレスレベルは抽出されていた。腕時計型ウェアラブルセンサーは、防水・防塵の対応がなされ、手洗い等で水に濡れても問題はなく、水の直接噴流によっても有害な影響を受けないようにテストも実施されていた。

また、腕時計型ウェアラブルセンサーが検出レベル以下と判定したのは、熱中症高リスク状態に該当しなかった15回の内の8回であり、熱中症高リスク状態非該当に対しての53.3%であった。

A社およびB社においてWBGT、問診票（疲労度・温熱感覚・熱性適性）による熱中症高リスク状態の結果と腕時計型ウェアラブルセンサーで検出レベル以上と判定した（身体（カラダ）熱環境レベル・身体負荷レベル・熱ストレスレベル）閾値以上と判定した結果により、以下のことが推察された。

A社の実験結果から、腕時計型ウェアラブルセンサーは熱中症が起きにくい気候においては、少ない熱中症高リスク状態を検出することは、まだ改善の余地があるが、反対に非熱中症高リスク状態において、腕時計型ウェアラブルセンサーは検出レベル以下と判定し熱中症高リスク状態非該当と判断した割合が94.7%であったことは、腕時計型ウェアラブルセンサーの検出結果を信頼できると思われる。

B社の実験結果から、熱中症高リスク状態に該当した34回の内、腕時計型ウェアラブルセンサーが検出



レベル以上と判定したのは、27回であり、熱中症高リスク状態該当に対しての79.4%であったことから、実際の作業現場においても熱中症リスクの予測や予防対策の機器として有効であるとの見解を得た。日々労働の場面で使用する機器には、検出技術とともに、機器の堅牢さや使いやすさ（軽さ）なども重要な要素であると考えた。

加えて、表12のB社の結果から、同じ日時の同じ暑熱環境下で働いている労働者でも、腕時計型ウェアラブルセンサーで測定された個人のバイタルセンシングによって、個人毎の熱中症高リスク状態を推定し、それが問診票の疲労度・温熱感覚・熱性適性の結果と合致していることも散見された。熱中症計の活用も熱中症予防の観点から暑熱環境下で有効であるが、併せて腕時計型センシングバンドなどのIoT技術を使えば、年齢、体調などの影響を熱中症予防に反映させる可能性があるかと推察した。

## H. 結論

・腕時計型ウェアラブルセンサーが熱中症のリスクの予測や予防対策の機器として推定可能であるか、実際の労働現場で検証を行った。

・職場環境が違った2つの研究協力会社で、のべ98回実験を行った。

・熱中症高リスク状態をWBGTと問診票（疲労度・温熱感覚・熱性適性）より判定し、腕時計型ウェアラブルセンサーによりモニターする身体（カラダ）熱環境レベル、身体負荷レベル、熱ストレスレベルとの相関を検証できた。

・その結果、腕時計型ウェアラブルセンサーは、熱中症高リスク状態をとらえており、効果的な熱中症対策の機器と推察された。実際の作業現場においても熱中症リスクの予測や予防対策の機器として有効と推察される。

- 1) Borg.G., Perceived exertion as an indicator of somatic stress., Scand. J. Rehab. Med. 2:92-98,1970
- 2) Fanger, P. O, Calculation of thermal comfort , Introduction of a basic comfort equation , ASHRAE Transactions, 73-II : III4. I/III.4.20. ,1967
- 3) ISO-7730 : Moderate thermal environments-Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort,1984
- 4) GAGGE, A.P., STOLWIJK, J.A J., and HARDY, J.D.: Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. Environmental Research, 1 : 1-20, 1967

## I. 健康危険情報

なし

## J. 研究発表

1. 論文発表  
なし
2. 学会発表  
なし

## K. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得  
なし
2. 実用新案登録  
なし
3. その他  
なし

[引用文献]

---

表 12. WBGT もしくは問診票（疲労度・温熱感覚・熱性適性）のデータの結果による熱中症高リスク状態該当と腕時計型ウェアラブルセンサーの検出閾値以上との比較

会社別	被験者番号	通し番号	WBGTと問診票	腕時計型ウェアラブルセンサー
			A社 (WBGT $\geq$ 28 $^{\circ}$ Cで2時間継続) B社 (WBGT $\geq$ 27 $^{\circ}$ Cで2時間継続) or 疲労度 $\geq$ 0.68 or 温熱感覚 $\geq$ 0.89 or 熱性適性 $\geq$ 0.75	身体 (カラダ) 熱環境ストレス $\geq$ 5ポイント or 身体負荷レベル $\geq$ 5ポイント or 熱ストレス $\geq$ 4ポイント
				○ : 有り × : 無し
		1	×	×
		2	×	○
		3	○	×
	A-001	4	×	×
		5	○	×
		6	○	×
		7	○	×
		8	×	×
		9	×	○
	A-002	10	○	○
		11	○	○
		12	○	○
		13	○	×
		14	○	×
		15	×	×
		16	×	×
	A-003	17	×	×
		18	×	×
		19	×	×
		20	×	×
		21	×	×
		22	×	×
		23	×	×
	A-004	24	×	×
A社		25	×	×
		26	×	×
		27	×	×
		28	×	×
		29	×	×
		30	×	×
	A-005	31	×	×
		32	×	×
		33	×	×
		34	×	×
		35	○	○
		36	×	×
		37	×	×
	A-006	38	×	×
		39	×	×
		40	×	×
		41	×	×
		42	○	×
		43	×	×
		44	×	×
	A-007	45	×	×
		46	×	×
		47	×	×
		48	×	×
		49	×	×



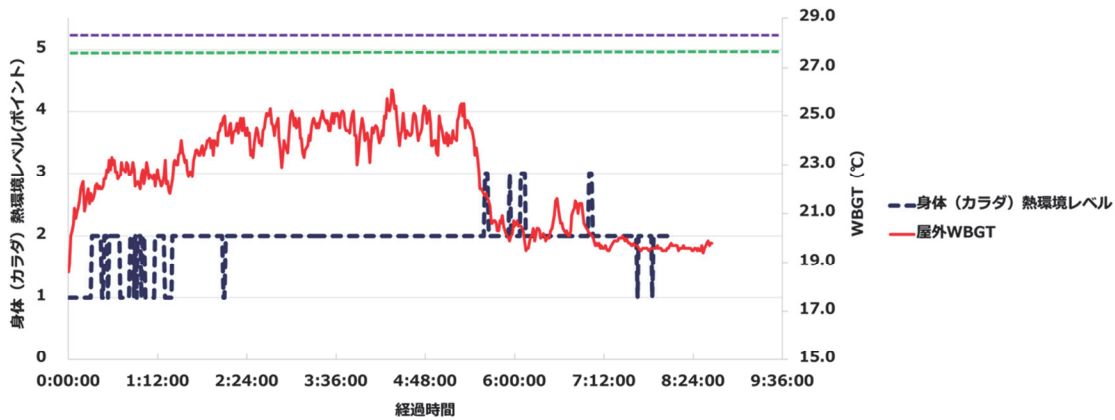
	50	○	○	
	51	○	○	
	52	○	○	
B-001	53	○	×	
	54	○	×	
	55	○	○	
	56	○	○	
	57	○	○	
	58	○	○	
	59	○	○	
B-002	60	○	○	
	61	○	×	
	62	○	○	
	63	○	×	
	64	○	○	
	65	○	○	
	66	○	○	
B-003	67	○	○	
	68	○	○	
	69	○	○	
	70	○	○	
	71	○	○	
	72	○	○	
	73	×	×	
B社	B-004	74	○	×
		75	○	×
		76	×	×
		77	×	○
	78	○	○	
	79	×	○	
	80	×	○	
B-005	81	○	○	
	82	○	○	
	83	×	×	
	84	×	×	
	85	×	○	
	86	×	○	
	87	×	○	
B-006	88	×	○	
	89	×	×	
	90	×	×	
	91	×	×	
	92	○	○	
	93	○	○	
	94	○	○	
B-007	95	○	○	
	96	○	○	
	97	×	×	
	98	○	×	

表 13. A 社の熱中症高リスク状態における腕時計型ウェアラブルセンサーの検出結果

		熱中症高リスク状態 (人)		
		+(該当)	-	計
腕時計型ウ エアラブル センサー	+(検出)	4	2	6
	-	7	36	43
	計	11	38	49

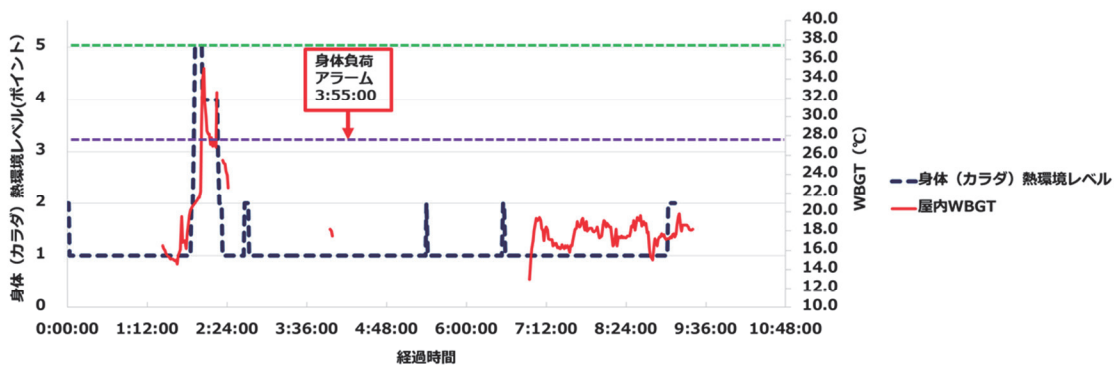
表 14. B 社の熱中症高リスク状態における腕時計型ウェアラブルセンサーの検出結果

		熱中症高リスク状態 (人)		
		+(該当)	-	計
腕時計型ウ	+(検出)	27	7	34
エアラブル	-	7	8	15
センサー	計	34	15	49



緑の点線：身体負荷レベルの閾値、紫の点線：WBGT の閾値

図 18 腕時計型ウェアラブルセンサーの身体(カラダ)熱環境レベルと熱中症計の屋外 WBGT の比較 (A 社、A-002)



緑の点線：身体負荷レベルの閾値、紫の点線：WBGT の閾値

図 19 腕時計型ウェアラブルセンサーの身体(カラダ)熱環境レベルと熱中症計の屋内 WBGT の比較 (B 社、B-004)

## ウェアラブルセンサーによる熱中症予防（現場実例報告）

研究分担者：山田 晋平 産業医科大学 産業保健学部 安全衛生マネジメント学 講師

研究要旨：現場におけるウェアラブルデバイスの導入の経緯や運用の実態、そして熱中症の対策における活用状況を、すでにウェアラブルデバイスを使用している企業の現場実例にて示すことを目的とする。

高層ビルの建設現場において、400名超の作業員の内、約100名超を対象にウェアラブルデバイスによる熱中症対策が行われている。建設業においては人手不足が問題となっており、省人化と作業員の体調と安全の管理の両立が課題となっている。導入したウェアラブルデバイスは、測定したデータをクラウドに送信して、解析・評価することで、情報を複数の端末で共有するシステムとなっており、課題の解決に繋がっていた。製造業の企業においてもウェアラブルデバイスによる熱中症対策が進められている。すでに、人、設備、管理、そして環境の対策を実践しているにも拘らず、重篤になる事例が発生しており、従業員一人一人の体調に着目した対策を取るためにウェアラブルデバイスを導入している。ビックデータとAI機能を組み合わせることで、従業員一人一人に対して平常範囲の設定する手法を用いることで普段の体調を考慮した熱中症対策の検討されている。

本報告では良好事例の紹介に留まるが、今後、現場での運用実績の蓄積に伴い、ウェアラブルセンサーによる熱中症予防の効果が検証されていくと考えられる。

## 分担研究者

丸山崇(産業医科大学医学部第1生理学)

倉岡宏幸(産業医科大学産業保健学部安全衛生マネジメント学)

黒坂知絵(産業医科大学産業保健学部人間情報科学)

江口泰正(産業医科大学産業保健学部人間情報科学)

八谷百合子(産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学)

上田陽一(産業医科大学医学部第1生理学)

東敏昭(一般財団法人西日本産業衛生会/産業医科大学名誉教授)

## A. 研究の背景

労働災害としての熱中症によって、毎年 20 名ほどが死亡しており、その予防は重要な課題である。また近年、健康管理のツールとして脈拍数や活動量などが計測できるウェアラブルデバイスが普及し始めている。ウェアラブルデバイスの中には、暑熱環境における運動のリスク評価が行える機種も販売されており、熱中症の予防に活用できると考えられる。しかし、ウェアラブルデバイスで計測できる指標は限られており、熱中症において重要な指標である深部体温を測定している製品はない。またウェアラブルデバイスはその特性上、測定部位が制限されるとともにセンサーの小型化が求められる。また、生理計測の専門知識や技能がなくてもセンサーを装着できることと、測定に際して手間や時間がかからないことも要求される。これらの制約のため、実験装置での計測に比べて測定精度が劣る場合があると考えられる。

昨年度(2019 年度)において、人工気候室にて設定した暑熱環境下でトレッドミルによる運動負荷を掛けた際の生理指標(深部体温(直腸温)、心拍数)および主観的な運動強度と、ウェアラブルデバイスによるリスク評価との比較を行い、暑熱環境下での労働におけるリスク評価にウェアラブルデバイスを活用できるか検討を行った。暑熱負荷がない(暑くない)実験条件において、実験に用いたウェアラブルデバイスは運動負荷に応じた暑熱作業リスクの増加を示し、暑熱負荷の高い条件においても、人工気候室の機器で測定した直腸温、心

拍数や、口頭で回答させたボルグスケール(主観的運動強度の評価指標)の評価結果と良い一致が見られ、妥当な判定ができていると考えられた。

## B. 研究の目的

昨年度の研究によって、ウェアラブルデバイスで暑熱環境における運動のリスク評価が行えることが確認されたが、これは人工気候室での実験室実験であり、労働の現場における検討は行っていない。そこで今年度(2020 年度)は、現場におけるウェアラブルデバイスの導入の経緯や運用の実態、そして熱中症の対策における活用状況を、すでにウェアラブルデバイスを使用している企業の現場実例にて示すことを目的とする。

## C. 現場実例

### 実例1 建設業

建設業は屋外での作業が多く、夏場の熱中症対策が課題となっている。また、建設業全体でIoTやICTの導入が進んでおり、その一環として作業員のバイタル管理にウェアラブルデバイスが導入されている。

オフィス、住宅、商業施設を含む複合施設が入る高層ビルの建設現場において、ウェアラブルデバイスを試行的に導入している事例を紹介する。ここで導入されているウェアラブルデバイスは、昨年度に人工気候室での実験で用いたシャツ型ウェアラブルセンサーを用いたデバイス(図1)ではなく、腕時計型デバイスである。シャツ型、腕時計型ともにSmartfit for work(倉敷紡績株式会社)と呼ばれる暑熱環境下での作業リスクや体調変化を捉えられるデバイスである。腕時計型もシャツ型と同一のアルゴリズムを用いて評価を行っている。400 名超の作業員の内、約100名超がウェアラブルデバイスを装着しており、主な対象は、直射日光を浴びながらの作業が発生する作業員である。

ウェアラブルデバイスの導入の動機は、熱中症の対策は熱中症になってからでは遅く、いかに防ぐかが問題となっている点と、複数の業種があるため一人一人の状態を捉える必要がある点に起因する。また建設業では人手不足が問題となっており、省人化と作業員の体調と安全の管理の両立が課題となっている。

作業員が装着しているウェアラブルデバイスで測定さ

れたデータは作業員が携帯しているスマートフォンを介



図1 シャツ型ウェアラブルデバイス

してクラウドに送信され、気象情報とともにクラウド上の独自アルゴリズムで解析・評価が行われる。解析・評価した結果は、リアルタイムで作業員の携帯しているスマートフォンや管理者が使用するパソコンなどに表示される。この現場では、現場事務所の壁に大型のモニタを設置してシステムの画面を表示することで、事務所内全員が現場の作業員の状態を把握できるようにしている(図2)。

暑熱作業リスクが高まると、作業員のスマートフォンと管理者のパソコンなどにアラートが通知される。通知があった際には管理者は、該当作業員の職長に電話などで連絡を取った上で、作業員本人にも連絡を取るといった運用を行っている。管理者は、対象となっている100名超の作業員の暑熱作業リスクを一画面で把握することができ、必要に応じて作業員ごとにリスクの推移を確認することができるシステムとなっている。仕事に集中しているなどの理由により本人が自覚していない場合でも管理者から連絡を行い対策を促せるようになっている。システム導入前は熱中症予防のための管理者側からの声掛けは一方的であったが、システム導入後は作業員の意識が変わり、声掛けに反応が返ってくるようになったとの報告がある。

## 実例2 製造業

製造業は屋内の作業が多いが、プレス、鋳造、運搬、



図2 事務所に設置された現場の作業員の状態を表示するモニタ

組み立てなど様々な工程があり、環境もそれぞれ異なる。連結で数十万規模の従業員がいる製造業の企業において、ウェアラブルデバイスを導入し、熱中症への対策だけでなく従業員の健康に対する取り組みがなされている。ここで導入されているウェアラブルデバイスは、昨年度に行った人工気候室での実験で用いたシャツ型ウェアラブルセンサーを用いたデバイスである(図1)。当該企業では、このウェアラブルデバイスを昨年度から一部で試験的に導入を進めており、そこで出てきた要望についてデバイスメーカーとやり取りをした上で、今年度は全社に展開して約120名を対象にウェアラブルデバイスでの測定を行っている。

ウェアラブルデバイスの導入の動機としては、熱中症の対策として、すでに、人、設備、管理、そして環境の対策を実践しているにも拘らず、重篤になる事例が発生しており、それらの場合において体調面に不安があるケースが確認されたことによる。従業員一人一人について、その日の体調だけでなく普段の体調もモニタリングすることで体調管理、健康推進を行い、熱中症の防止に繋げる意図でウェアラブルデバイスを導入している。

当該企業では、運用において従業員一人一人に注目している。また、体調が変化する時点を変化点と名付け、この変化点を管理することを目的としている。使用しているウェアラブルデバイスは、ビッグデータ化した個人の生体情報の解析とAI機能により、普段の体調の平常範囲を設定する機能を有している(この機能は、昨年度の実



験室実験では検討していない)。設定される平常範囲の閾値の精度は、ウェアラブルデバイスの装着期間が長くなるほど高まる。約120名を対象とした運用において、ウェアラブルデバイスのアラートに従って休憩を入れて、心拍と体調が落ち着いたから復帰させることで熱中症を防げたと考えられる事例が報告されている。また、本人が体調の悪化を自覚していない場面でアラートが鳴る場面があり、安全衛生の担当者は隠れた危険性に対する効果も実感していると報告している。従業員からは「仲間が守れる」との声が上がっており、熱中症対策への理解と共感を高まる事例も報告されている。昨年度の試験導入を経て、デバイスメーカーに要望した屋内と輻射熱への対応も進められており、製造業においても効果が期待できる状況となっている。以上の運用実績を踏まえて、当該企業の現場ではグループ企業への展開を期待する声も上がっている。

### 実例3 アラートの通知例

対象としているウェアラブルデバイスは、装着者の心拍数、加速度、衣服内温度、および環境の温湿度から、熱ストレスと作業強度を推定している。また、これらを組み合わせて暑熱作業リスクを評価して、アラートを通知する機能を有している。一例として、アラートの通知が発生した測定日(2020年8月22日)における暑熱作業リスクの推移と、その際の心拍数、温度の推移を示す(図3-5)。温度が高まり心拍数が上昇するにつれて暑熱作業リスクの評価値が上昇しているのが確認できた(図3-5)。アラートの通知は18:05と20:10に発生しており、暑熱作業リスクの評価値が高い状態が継続した場合に行われていた(図3-5)。

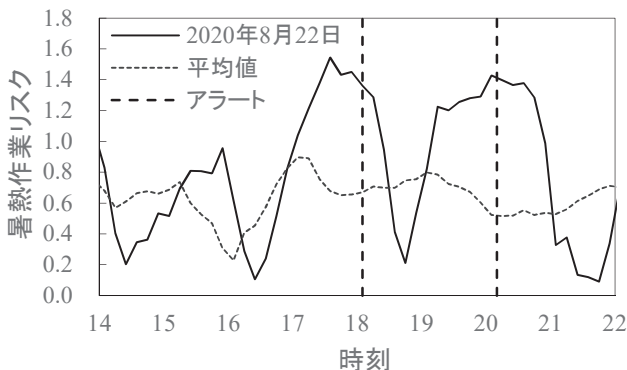


図3 暑熱作業リスクの推移



図4 心拍数の推移

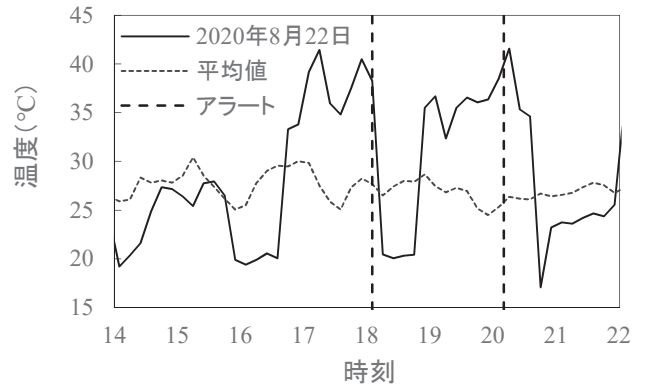


図5 温度の推移

## D. 結論

ウェアラブルセンサーによる熱中症予防について、建設業と製造業における現場事例を整理した。直射日光の影響を強く受ける建設業においても、様々な工程や環境が混在する製造業においてもウェアラブルデバイスによる熱中症対策は、すでに進められており複数の良好事例が確認された。「省人化と作業員の体調と安全の管理の両立」や「当日だけでなく普段の体調も管理し健康を推進することでの熱中症の予防」など、ウェアラブルデバイスの導入の動機は、企業ごとに異なっていた。しかし、クラウドを活用した情報を共有するシステムやビッグデータとAI機能を組み合わせて平常範囲の閾値を一人一人設定する手法を活用して、効果的な運用方法の検討が進められているのが確認された。

本報告では良好事例の紹介に留まるが、昨年度の研究により暑熱作業のリスクをウェアラブルデバイスで十分に評価できることは確認されており、今後、現場での運用実績の蓄積に伴い、ウェアラブルセンサーによる熱中症予防の効果が検証されていくと考えられる。

## シャツ型ウェアラブルデバイスによる暑熱作業リスク評価の検証

研究分担者： 倉岡 宏幸 産業医科大学 産業保健学部 安全衛生マネジメント学 助教

### 研究要旨：

本稿では、シャツ型ウェアラブルセンサーを用いたオンプレミス hamon システム(ミツフジ株式会社および前田建設工業株式会社による共同開発)の現場導入事例について報告する。本システムは、従来のスマホを用いた計測システムではなく、BLE ルータを用いたスマホレスシステムを使用しており、トランスミッターから直接 BLE ルータを経由してローカルサーバーに生体情報データを蓄積するものである。

2020年8月25日から9月5日にかけて、40～60歳代の男性作業員7名を対象に、シャツ型ウェアラブルデバイスを着用させ、検証実験を実施した。システム計測の時間帯は午前8時から午後5時とし、検証期間終了後に、シャツの着用感及び計測システムに関するアンケートを行った。シャツの着用感については、締め付け感、吸汗性及びシャツの形状について評価させた。計測システムに関するアンケートでは、測定状況、興味のある計測項目及び体調管理やモニターへの関心について調査した。

実験の結果、計測データ(心拍、ストレス値及び暑熱リスク)をほぼ安定して取得することができたが、ストレス値に関しては未演算が散見されている日もあり、システムの改善が必要とみられた。暑熱アラートについては、第2段階アラート(注意)が数回発信されたが、本人の体調不良の自覚症状はなく、アラート発信のタイミングの見直しが必要であることが示唆された。アンケートの結果では、シャツの締め付け感及び吸汗性の項目について、一部の参加者(2名)が不快感を示していた。センシングの安定性のためにはセンサー部の肌への密着性が求められ、着心地改善へのウェア設計とは相反するところではあるが、長時間着用することによる不快感の軽減などの改善が必要であると考えられた。

現場検証実験を通じて、計測データを安定して取得することができ、BLE ルータを用いたスマホレスシステムの安定稼働が確認できたが、シャツ型ウェアラブルデバイスの着用感(密着性)や参加者の運動強度による心拍数の測定精度への影響など引き続きのモニタリングが必要であることが示唆された。また、実験参加者の多くが体調管理やモニタリングに対する関心が低かったことから、熱中症に関する計測項目だけではなく、ユーザーの関心が高い項目(疲労や眠気)を追加した方が、本システムの導入増加につながる事が期待できる。



## 分担研究者

丸山崇(産業医科大学医学部第1生理学)

江口泰正(産業医科大学産業保健学部人間情報科学)

山田晋平(産業医科大学産業保健学部安全衛生マネジメント学)

黒坂知絵(産業医科大学産業保健学部人間情報科学)

八谷百合子(産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学)

上田陽一(産業医科大学医学部第1生理学)

東敏昭(一般財団法人西日本産業衛生会/産業医科大学名誉教授)

### A. はじめに

シャツ型ウェアラブルセンサーを用いたオンプレミス hamon システム(ミツフジ株式会社および前田建設工業株式会社による共同開発)の現場導入事例について紹介する。本システムは、従来のスマホを用いた計測システムではなく、BLE ルータを用いたスマホレスシステムを使用しており、トランスミッターから直接 BLE ルータを経由してローカルサーバーに生体情報データを蓄積するものである(図1)。

本稿では、オンプレ hamon システムを用いた現場検証実験について報告する。

### B. 実施状況

2020年8月25日から9月5日にかけて、横浜共立



鋼業株式会社(神奈川県横浜市泉区)の工場

図1 hamon スマホレスシステムの概要(mitsufujiのホームページ<sup>1)</sup>の図を参考)

敷地内にて、男性作業員7名(平均年齢:42.8±15.7歳)を対象に検証実験を行った(図2)。BLE ルータを工場内に設置し、計測データの管理スペースを食堂内に設置した(図3)。計測の時間帯は午前8時から午後5時とした。検証期間終了後には、シャツの着用感及び計測システムに関するアンケートを実施した。シャツの着用感については、締め付け感、吸汗性及びシャツの形状について評価させた。計測システム使用に関するアンケートでは、測定状況体調管理への意識・興味、興味のある計測項目及びモニターへの関心について調査した。各参加者の計測状況を表1に示した(○:データ取得完了, △:データ取得不可あり)。2名のデータについては、機材トラブルにより一部のデータを取得できなかったが、殆どの参加者で終日問題なくデータ取得を完了し、データ取得率は94.1%(48/51)であった。BLE ルータを用いたスマホレスのシステムでのデータ取得について良好な結果が得られた。



図2 計測場所(上:工場概観, 下:工場内)

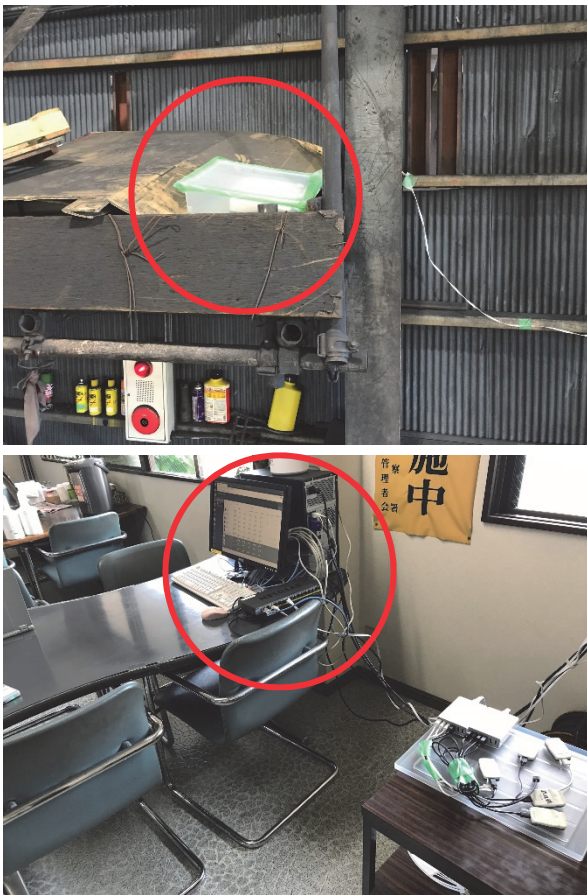


図3 計測システムの一部の例（上：BLE ルータ設置，下：管理用PC）

表1 各参加者の計測状況

日程	参加者						
	01	02	03	04	05	06	07
8/25		○		○		○	○
8/26	○	○	○	○	○	○	○
8/27	○			○		○	○
8/28		△					△
8/29				○		○	
8/30							
8/31	○	△	○		○		
9/1	○	○	○	○	○	○	○
9/2		○		○	○	○	○
9/3	○	○	○			○	
9/4	○	○	○	○	○	○	○
9/5	○	○		○	○	○	○

### C. 結果・考察

男性参加者1名の計測データを図4に示した。計測データ（心拍，ストレス値及び暑熱リスク）をほぼ安定して取得することができたが，ストレス値に関しては未演算が散見されている日もあり，システムの改善が必要とみられる。ストレス指標として，心拍変動性指標であるLF/HFが採用されているが，R-R間隔データの取得で欠損データが多いと，正しく演算することが困難であることから，ポアンカレプロットのような非線形解析手法から得られる指標を使用するのが望ましいことが推察された。暑熱アラートについては，第2段階アラート（注意）が数回発信されたが，本人の体調不良の自覚症状はなく，アラート発信のタイミングの見直しが必要であることが示唆された。

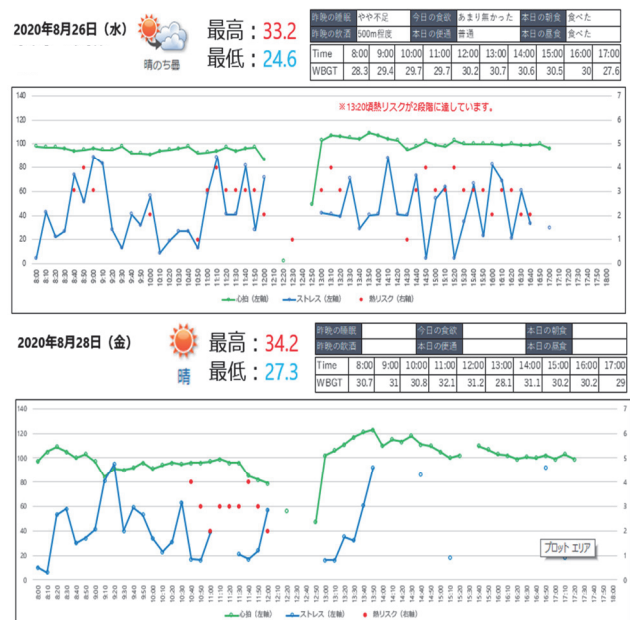


図4 実験参加者04の計測データ（上：欠損なし，下：欠損あり）

シャツの着用感に関するアンケートでは，内部電極やトランスミッターについては，特に気にならない意見が殆どであったが，締め付け感及び吸汗性の項目については，不快を示した参加者が2名（4名中）いた（図5-6）。センシングの安定性のためにはセンサー部の肌への密着性が求められ，着心地改善へのウェア設計とは相反するところではあるが，長時間着用することによる不快感の軽減などウェアにおいては更なる改善が必要であることが示唆された。計測システム使用に

関するアンケートでは、体調管理への意識が「前と変わらない」及び「必要ないと思った」と感じたのが4名(7名中)、モニタリングへの関心については「興味なし」と回答したのが3名(6名中)いた(図7-8)。今回検証したシステムでは、管理者側に生体情報に関するデータを送信することを目的としており、ユーザーへの直接的なフィードバックのメニューは用意されていない。ユーザーの積極的な参加を促すためには、暑熱アラーム受信時に音や振動などの刺激を提示するなどの工夫が必要と思われる。

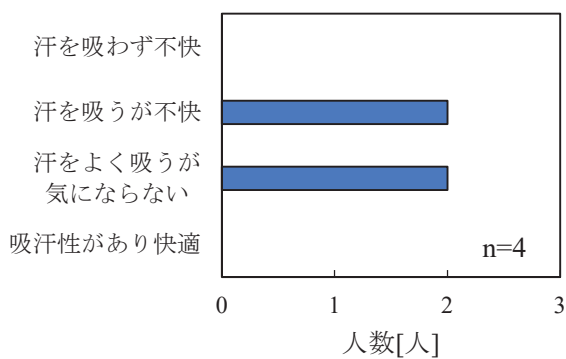


図5 シャツの着用感(吸汗性)に関する結果

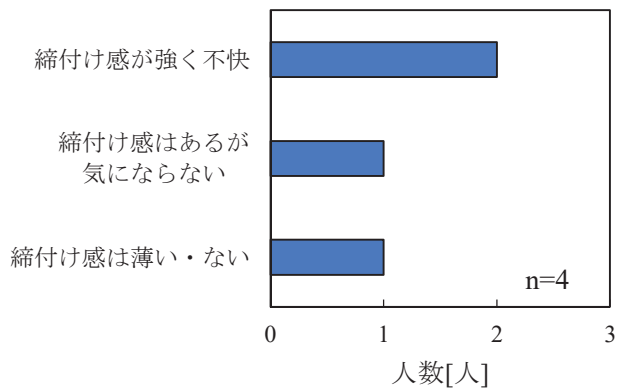


図6 シャツの着用感(締め付け感)に関する結果

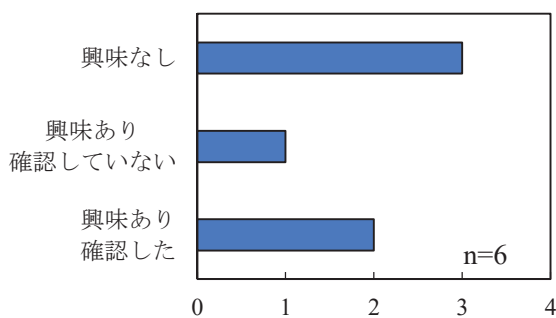


図7 体調管理への意識調査に関する結果

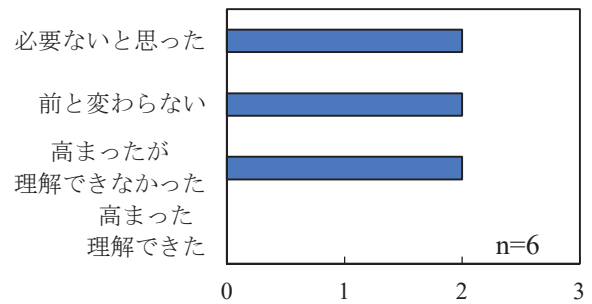


図8 モニタリングへの意識調査に関する結果

#### D. まとめ

hamon のスマホレスシステムを使用し、参加者7名の計測を実施した。全期間を通じて、計測データを安定して取得することができ、BLE ルータを用いたスマホレスシステムの安定稼働が確認できている。暑熱リスクを示すアラートは、測定から時間が経過した段階で多く発信される傾向があるものの、自覚症状がない場合でも発信される場合が見受けられた。「シャツ型ウェアラブルデバイスによる暑熱作業リスク評価の検証」による報告書の中で、本システムの暑熱リスクの検出精度は、心拍数の測定精度に影響されていることが示されており、シャツ型ウェアラブルデバイスの着用感(密着性)や参加者の運動強度による心拍数の測定精度への影響など引き続きのモニタリングが必要と思われる。シャツの着用感については改善が求められるが、前述のとおり生体計測データの測定精度を安定させるためには、体にフィットしたサイズを選定する必要があるため、シャツを着るのに抵抗があるユーザーには腕時計型センサーを用いたモニタリング等を視野に入れる必要があるかもしれない。また、参加者の多くが体調管理やモニタリングに対する興味が少なかったことから、熱中症に関する計測項目だけではなく、ユーザーの関心が高い項目(疲労や眠気)を追加した方が、本システムの導入増加につながることを推察された。

#### E. 参考文献

- 1) MITSUFUJI 株式会社. “サービス紹介”. <https://www.mitsufuji.co.jp/service/>, (参照 2021-1/29)

## F. 健康危険情報

なし

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

なし

### 2. 学会発表

なし

## H. 知的財産権の出願・登録状況

### 1. 特許取得

なし

### 2. 実用新案登録

なし

### 3. その他

なし



## II. 研究成果の刊行に関する一覧

### <邦文雑誌>

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
丸山崇、山田晋平、黒坂知絵、八谷百合子、上田陽一、東敏昭	「企業における熱中症対策の現状と先進事例」	健康管理	第 67 巻 8 号	p2-10	2020 年

### <学会発表>

発表者氏名	発表タイトル名	学会名	期間	開催場所
Takashi Maruyama,	Current and advanced measures against heat stroke in Japanese workplaces. (oral&poster)	The 29th China Korea Japan Conference on Occupational Health	(2019 年 4 月 22~23 日、中国南京市)	
八谷百合子、	熱中症防止のための AI 技術を用いた深部体温推定の試み (口演)	第 92 回日本産業衛生学会	(2019 年 5 月 22~25 日、名古屋)	
丸山崇、	企業における熱中症対策の現状と先進事例調査 (口演)	第 92 回日本産業衛生学会	(2019 年 5 月 22~25 日、名古屋)	
Chie Kurosaka,	Poincare plot indexes of heart rate variability: Pattern II responses and mental workload	Human-Computer Interaction (HCI) International 2019	(2019 年 7 月 26~31 日、フロリダ州オーランド)	
八谷百合子、	AI 技術を用いた深部体温推定の試み (ポスター)	第 54 回全国大学保健管理研究集会	(2019 年 10 月 9 日、札幌)	

労災疾病臨床研究事業費補助金  
2018年度-2020年度 総合研究報告書

熱中症予防対策におけるウェアラブルセンサーの活用と  
効果的な熱中症予防法の検証(180801-01)

令和3(2021)年3月

研究代表者 丸山 崇  
産業医科大学 医学部 第1生理学  
〒807-8555 北九州市八幡西区医生ヶ丘1-1