

労災疾病臨床研究事業費補助金

屋内作業に適した職場における熱中症予防方法等に
関する研究

(210601-01)

令和3～4年度 総合研究報告書

研究代表者 堀江正知

令和5年(2023年)3月

目次

I 総合研究報告

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| 屋内作業に適した職場における熱中症予防方法等に関する研究..... | 1 |
| | 研究代表者 堀江 正知 |

II 分担研究報告

| | |
|---|---------------------------------|
| 1 屋内の熱中症事例に関する文献調査..... | 10 |
| | 研究協力者 嶋崎 優、前田 妃 |
| 2 熱中症による労働災害が休業4日以上となる要因の検討..... | 50 |
| | 研究協力者 前田 妃 |
| 3 食品製造業と倉庫業における熱中症予防対策の実態についての質問紙調査..... | 67 |
| | 研究協力者 田島 慶一 |
| 4 研究所の工場等におけるWBGT測定..... | 103 |
| | 研究協力者 田島 慶一 |
| 5 WBGT計等を用いた調理職場における暑熱リスクの評価..... | 124 |
| | 研究協力者 嶋崎 優 |
| 6 食品製造業・倉庫業の屋内作業場におけるWBGT測定による暑熱リスクの評価..... | 132 |
| | 研究協力者 藤原 みさ 研究分担者 永野 千景 |
| 7 IoTシステムによる熱中症リスク低減の有効性についての研究..... | 148 |
| | 研究分担者 宮内 博幸 |
| 8 屋内作業場における暑熱環境下作業時の個人測定と身体冷却装置の効果検証..... | 223 |
| | 研究分担者 丸山 崇 |
| 9 屋内・屋外暑熱職場における暑熱データ実測値と気象官署データの比較..... | 242 |
| | 研究分担者 真船 浩介 研究協力者 田中 里穂 嶋崎 優 |
| 10 屋内作業における熱中症予防対策の提案..... | 322 |
| | 研究分担者 永野 千景 研究協力者 嶋崎 優 |

| | |
|-------------------------|-----|
| III 研究成果の刊行に関する一覧表..... | 327 |
|-------------------------|-----|

研究代表者

堀江 正知 産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学

研究分担者

宮内 博幸 産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学

丸山 崇 産業医科大学 医学部 第一生理学

真船 浩介 産業医科大学 産業生態科学研究所 産業精神保健学

永野 千景 産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学

研究協力者

嶋崎 優 産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学

前田 妃 産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学

田島 慶一 産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学

I 総合研究報告

屋内作業に適した職場における熱中症予防方法等に関する研究

研究代表者 堀江 正知

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学 教授

研究要旨

本研究は、屋内作業場において、発熱源等の熱中症のリスク要因を分析し、屋内暑熱職場での WBGT の推定式を作成して検証し、屋内作業場の特性に応じて実現可能な熱中症予防対策を提案することを目的とした。全国 6 事業所で屋内・屋外、日向・日陰、地面条件等の異なる場所で 4～5 週間にわたり WBGT を測定し、近接した建物壁の輻射熱が影響すること、WBGT の変化は日陰ではアメダス地点よりも遅れること、日の入り前でも夕方以降は屋内のほうが屋外よりも WBGT が高い場合があること等を明らかにした。最寄りのアメダス地点での値を使用して WBGT の推定式を作成したが、空調や熱源の有無により影響を受ける屋内では実測が望ましいことが分かった。屋内における熱中症の予防対策に関する文献を検索して、体系的に整理した要約を作成した。休業 4 日未満の熱中症データ解析結果から、熱中症による労働災害の総数は休業 4 日以上死傷者数の約 10 倍であること、6 月下旬から 8 月中旬までが熱中症のリスクが高いこと、40 歳以上では屋外作業で WBGT が弱い相関を認めることが分かった。食品製造職場や調理場における実態調査では、鉄板、コンロ、ジェットオーブン、フライヤー、二重釜、平釜、スパボイル、IH 調理器、炊飯器、ラップをかける装置（ラッパー）が熱源であることが分かった。WBGT は調理機器稼働してからやや遅れて上昇し、稼働終了後は緩やかに低下する傾向を認めた。事務室等の WBGT 連続測定でもアメダス地点での変化より位相が遅れることや日射により天井やシャッターの表面温度が上昇して屋内の温熱環境に影響を与えることが分かった。食品製造業 62 事業所、倉庫業 1,011 事業所が回答した質問紙調査の結果でも、フライヤー、食洗器、オーブン、エアーコンプレッサー等が発熱源であることが分かった。WBGT の実測は食品製造業と倉庫業でそれぞれ 14.0%と 19.5%にとどまり、熱中症予防管理者の選任はそれぞれ 3.4%と 9.1%であることが分かった。モバイルネットワークを利用した IoT 技術による気温と相対湿度の自動リアルタイム測定が高温リスクの評価に有用であった。屋内での粉体加工作業やリネン室作業での WBGT や生体指標の連続計測は高温リスクの評価に有用であった。氷水循環による水冷ベストは主観的な暑さレベルや直腸温の上昇抑制に有用である可能性が示唆された。これらの結果に基づき屋内作業における熱中症予防対策を提案した。置換換気や大型扇風機の導入、窓から差し込む直射日光の遮断、気流の確保、熱源からの隔離の確保、作業者が空調温度を調整できる仕組みの導入、スポットクーラーや送風機付き作業服の導入、水冷ベストの使用、着替えの時間を考慮した休憩時間の確保、軽く腰掛けることができるような座面の高い椅子を設置、立位作業用マットの使用、下肢を延ばして休憩するようなスペースの確保、外国人労働者へのリスクコミュニケーションの工夫等を提言した。

宮内 博幸

産業医科大学 産業保健学部

作業環境計測制御学 教授

丸山 崇

産業医科大学 医学部 第一生理学

准教授

真船 浩介

産業医科大学 産業生態科学研究所

産業精神保健学 講師

永野 千景

産業医科大学 産業生態科学研究所

産業保健管理学 講師

A. 研究目的

業務上疾病としての熱中症は屋内でも多数発生しており、屋内作業場における熱中症のリスク要因を整理して小規模事業所等においても実効性が期待できる対策を検討する必要がある。

本研究は、屋内作業場における温熱条件を客観的に把握して、発熱源等の熱中症のリスク要因を分析し、屋内暑熱職場での WBGT の推定式を作成して検証し、屋内作業場の特性に応じて実現可能な熱中症予防対策を提案することを目的とした。

第1年度（令和3年度）は、屋内作業場における暑熱な職場や作業の実態を把握し、先行研究の知見を整理し、WBGT を屋内外で実測して最寄りのアメダス測定点と比較することを目的とした。

第2年度（令和4年度）は、最寄りのアメダス地点における気象データから推定した WBGT の推定値が使用できる条件について、屋内・屋外や発熱源の有無等の条件から評価すること、実際に熱中症を発症した事例について環境要因と個人要因の特徴を検討すること、調理場等の食品製造業と倉庫業におけ

る熱中症のリスクや対策について詳細に調査すること、調理場等においても実装可能な熱中症対策を探究すること、そして、職場特性に応じた職場環境改善、作業方法改善、保冷用品利用のうち実現可能な職場改善対策（発熱源の除去、輻射の遮断、熱風の排出、作業の遠隔化、人的密集の緩和、局所冷却設備・冷却用保護具の活用、送風機の活用等）を提案することを目的に研究を実施した。

B. 研究方法

2021～22年度に次の9研究を実施した。

①「屋内の熱中症事例に関する文献調査」では、PubMed をデータベースとして、環境要因の検索語には屋内、調理場、倉庫などの16用語、結果指標の検索語には熱中症、体温上昇、意識障害などの19用語を選択して、環境要因と結果指標の検索語を組み合わせ、人を対象とした日本語・英語の文献を2012年1月31日～2022年1月31日の期間で抽出して、体系的に整理した。

②「熱中症による労働災害が休業4日以上となる要因の検討」では、2016～2020年に全国で発生した熱中症で休業4日以上であった事例及び死亡した3,944事例に関するデータを厚生労働省労働基準局安全衛生部労働衛生課から取得するとともに、2019～2021年に福岡労働局が調査した熱中症で休業4日未満であった事例に関するデータを取得した。福岡県の屋外で9～18時に発生したと考えられる995の事例について、労働基準監督署に最寄りの気象官署における発生日時の観測結果を、気象庁及び環境省のサイトから取得して突合し、福岡労働局のデータで休業4日未満および休業4日以上の死傷事例に認められる特徴を分析し、環境指標（気温、相対湿度、平均風速、黒

球温、WBGT)と被災者の年齢を説明変数として休業4日以上の死傷を目的変数とする回帰分析を行った。

③「食品製造業と倉庫業における熱中症予防対策の実態についての質問紙調査」では、食品製造業として(一社)日本即席食品工業協会(60社)、日本スープ協会(12社)、(公社)日本給食サービス協会(212社)、(一社)日本パン工業会(20社)の計304社、倉庫業として(一社)日本倉庫協会の3,401社を対象に、2022年11月上旬に、職場における空調、作業着、保護具、作業に伴う身体的負荷、熱中症対策等を尋ねる質問紙調査を、郵送又はウェブ上で回答する方法で実施し、2023年1月4日までに得た回答を集計した。

④「研究所の工場等におけるWBGT測定」では、2022年7月～9月に、いずれも熱源のない事務室及び模擬工場の内部においてWBGTの実測値を連続測定し、最寄りのアメダス地点のデータと比較した。

⑤「WBGT計等を用いた調理職場における暑熱リスクの評価」では、2021年度は、梅雨期間中、梅雨明け後～8月上旬、8月中旬以降の3期間に各2～5日間、医療機関の調理場、食堂、リネン室、介護福祉施設等で、WBGT計、赤外線温度計、気流計を用いて、気温、調理機器・設備の表面温度、調理場上部空間の温度、相対湿度、WBGT、風速、気流等の温熱指標を連続測定した。2022年度は、7月にスーパーマーケットの調理場4か所でWBGTを測定し、作業時間、熱源の種類、空調稼働時間、身体作業強度、服装、保護具を聴取した。8月に、コンビニ弁当の惣菜を調理する大規模な食品製造工場で、熱源付近、加熱調理室、盛り付け室でWBGT計を24時間連続

でデータ収集した。熱源付近では、放射温度計によって表面温度を測定した。最寄りのアメダス地点における温熱測定値を取得した。熱中症リスクと対策について聞き取り調査も行った。

⑥「食品製造業・倉庫業の屋内作業場におけるWBGT測定による暑熱リスクの評価」では、2021年度に、食品製造業、倉庫業、介護福祉業の屋内作業場で、梅雨期間中、梅雨明け後から8月上旬、8月中旬以降の3期間に、WBGT計を用いた環境測定を実施し、暑熱環境の実態を把握した。

⑦「IoTシステムによる熱中症リスク低減の有効性についての研究」では、2022年1～10月に、鋳物製造作業場、造船作業場、厨房作業場等において、IoT技術を活用することで職場の気温と相対湿度を自動的にリアルタイムで一元管理できる方法の効果を検討した。計測データはWi-Fiでなくモバイルネットワーク(セルラー回線)で通信管理するシステムを用い、クラウドに記録するIoTシステムは室内温湿度自動記録・監視システムを使用した。

⑧「屋内作業場における暑熱環境下作業時の個人測定と身体冷却装置の効果検証」では、医療施設の調理場に従事する男性4名、屋内で粉体加工作業に従事する男性4名、リネン室での洗濯及びアイロン等のクリーニング作業に従事する女性3名、屋内厨房での調理や洗浄の作業等に従事する女性2人を対象に、ポータブル温熱計によるWBGTのほか、心拍数と胸部体表温を連続的に計測した。主観的作業負荷、主観的暑熱負荷等も調査した。また、気温35℃で湿度50%に設定した人工気候室において、男性2名を対象に、80Wの運動を負荷して、直腸温、心電図、自覚的運動負荷等を測定した。同一被験

者に、作業着のみ着用、作業着及び冷却ベスト着用の2条件での実験を別日に実施した。

⑨「屋内・屋外暑熱職場における暑熱データ実測値と気象官署データの比較」では、2021年5～10月に北海道室蘭市、群馬県太田市、神奈川県横浜市、大阪府堺市、福岡県北九州市の合計6事業所において、梅雨期間中、梅雨明け後・盆前、8月中旬以降に、事業所の屋内外の屋内・屋外、日向・日陰、地面条件等が異なる4カ所の測定地点で、WBGT計を用いて約1週間にわたるWBGT、気温、湿球温、黒球温の連続測定を4～5週間繰り返して測定し、最寄りのアメダス地点における気象データを取得して比較して、職場等の条件別にアメダス地点のデータから屋内の実測値を推定する式を作成し、その結果として得られた推定値と実測値を比較して検討した。

以上の結果に基づき、労働衛生コンサルタント（労働衛生工学）及び屋内空調設備専門家とともに、職場環境改善、作業方法改善、保冷用品利用等の観点から、発熱源の種類、熱上昇気流の存在、人的密集の有無その他の温熱条件に応じて屋内の職場において実施可能な職場改善策を探索して、「屋内作業における暑熱リスクの実態と熱中症予防対策の提案」を取りまとめた。

C. 研究結果

各研究では次の結果を得た。

①「屋内の熱中症事例に関する文献調査」では、抽出された600文献の要旨を2名ずつで抄読し、両者が屋内作業場の暑熱対策に反映可能とした34文献のうち有用と判断した7文献について、作業環境、作業時間、冷却用保護具等の熱中症予防対策に関する知見を整理して体系的に要約した。

②「熱中症による労働災害が休業4日以上となる要因の検討」では、休業4日未満の事例数は、休業4日以上の死傷事例数の約9倍発生していることが分かった。また、梅雨入りの6月下旬から8月中旬までが熱中症の発症及び重症化のリスクが高い時期であることが推察された。男性と高齢者が休業4日以上となるリスクであった。40歳未満では環境指標との相関を認めなかったが、40歳以上の屋外作業ではWBGT ($p=0.0164$, $R^2=0.0547$)のみ弱い相関を認めることが分かった。

③「食品製造業と倉庫業における熱中症予防対策の実態についての質問紙調査」では、食品製造業での発熱源にフライヤー、食洗器、オーブン等があり、倉庫業での発熱源にエアコンプレッサー、モーター、炉等があることが分かった。食品製造業では室内の空調が普及していた。両業種でスポットクーラーと扇風機が使用されていた。WBGTの測定は食品製造業で14.0%、倉庫業で19.5%であった。食事時間以外の休憩の頻度は2時間に1回が最も多かった。熱中症予防管理者の選任は食品製造業で3.4%、倉庫業で9.1%に留まった。

「STOP! 熱中症クールワークキャンペーン」を知っている事業所は、食品製造業で20.3%、倉庫業で39.4%であり、「環境省熱中症予防情報サイト」や「熱中症警戒アラート」の認知割合のほうが高かった。

④「研究所の工場等におけるWBGT測定」では、屋内のWBGTは、午前中にアメダス地点より遅れて上昇するが、15～17時頃に逆にアメダス地点より高くなり、日の入りから日の出までは高い傾向を認めた。降雨時のWBGT低下も屋内では遅れる傾向を認めた。西向きのシャッターの表面温度は16時頃に著明に上昇した。金属製の天井やシャッターは、スレート製の壁や床と比

べて、表面温度の変動が激しかった。

⑤「WBGT 計等を用いた調理職場における暑熱リスクの評価」では、医療機関の調理場、食堂、リネン室、介護福祉施設等では、調理器具のほか、食器洗浄機、配膳車、アイロン、熱湯の配管等が熱源となって WBGT が上昇すること、調理や洗浄等の作業において水蒸気への曝露があること、スポットクーラーや全体換気等の風向や温度調節に課題があることが分かった。スーパーマーケットの調理場では、鉄板、コンロ、IH 調理器、炊飯器、フライヤー、オーブン、惣菜製品にラップをかける装置（ラッパー）が発熱源であることが分かった。高温対策として、空調、スポットクーラー、換気扇が作業時間中は稼働していた。作業前の体温測定が実施され、救急処置訓練、緊急連絡網の作成、水筒を置く場所の確保等が行われていたが、熱中症予防管理者は選任されていなかった。大規模な食品製造工場では、最寄りのアメダス地点での WBGT の上昇よりも遅れて従業員の出勤や熱源の稼働に連動して WBGT が上昇した。オーブンや釜の稼働より少し遅れて WBGT が緩やかに上昇する傾向を認めた。熱湯洗浄の時間帯に WBGT が突発的に上昇した。機器の稼働終了後もしばらく WBGT が上昇した状態が続く傾向が見られた。熱中症対策として、天井からの吊り下げ式エアコン、柱型エアコン、スポットクーラー、扇風機、作業エリアの冷水器、作業前と作業中の体調確認が実施され、1日3回の WBGT の測定と記録が行われていた。

⑥「食品製造業・倉庫業の屋内作業場における WBGT 測定による暑熱リスクの評価」では、業種によって、熱源、全体空調や風通しの有無、作業着や保護具、身体作

業強度等の熱中症リスクが異なっていた。介護福祉業では、調理場での調理作業や浴場での介助作業等が最重要のリスクと推測された。

⑦「IoT システムによる熱中症リスク低減の有効性についての研究」では、クラウドサービスを使用してリアルタイムで観察し自動的に記録し、スマホや PC の画面にて全てのデータを確認できた。給食施設作業場では、厨房内配膳室と厨房内のスープやケトルの調理位置、厨房外の食堂における気温が 30℃以上に達していることを確認した。造船作業場では、一部の屋外作業場や造船中の船舶内部は気温が 40℃を越えることを確認した。鋳物製造作業場では、焼成作業場の炉前、焼成作業場の成型機前の気温が 40℃を越えることを確認した。設定値を越えた状態が続いた場合はメールでアラートを通知するシステムが提案された。

⑧「屋内作業場における暑熱環境下作業時の個人測定と身体冷却装置の効果検証」では、粉体加工作業では WBGT が 30℃を超える場所や心拍数が 140bpm を超える負荷の高い作業を確認し、クリーニング作業では、アイロンプレス作業での暑熱負荷や作業負荷が高いことを確認した。調理作業でのポータブルファンの使用は明らかな負荷軽減は認めなかった。アイロンプレス作業では水冷ベストの使用によって主観的な暑さレベルや負荷レベルを低減する効果を認めた。また、人工気候室での実験結果からは、運動前の直腸温を基準とした温度変化で冷却ベスト着用条件の方が 0.09～0.15℃低く、運動負荷のない休憩時間において冷却ベスト着用時に心拍数の低下が大きい傾向を認めた。

⑨「屋内・屋外暑熱職場における暑熱データ実測値と気象官署データの比較」では、屋

外建物脇コンクリート条件で晴天の午後アメダス地点よりもやや遅れて黒球温度と WBGT が上昇する傾向を認めた。屋外日陰土条件では、日中はアメダス地点の値よりも遅れて黒球温度と WBGT が上昇し、夜間は逆に黒球温度と WBGT がアメダス地点の値よりも高い傾向を認めた。屋内でも夕方以降は日の入り前でも屋外よりも WBGT が上昇する場合があった。屋内で熱源なしの条件では、実測値がアメダス地点の値よりも少し遅れて上昇し、夕方から夜間にかけて実測値の方が高くなる傾向を認めた。実測したデータを用いて、適時条件（実測と同時刻のアメダス地点の値を用いたもの）とラグ条件（実測より1時間前のアメダス地点の値を用いたもの）の2種類に分けて WBGT の推定式を求めたところ、決定係数は、適時条件では全測定場所で $R^2=0.829$ 、屋外で $R^2=0.959$ 、屋内で $R^2=0.772$ であった。ラグ条件でもほとんど同じであった。屋内での実測値の予測精度は屋外よりも低く、空調や熱源の有無により R^2 にばらつきが生じる結果となった。

これらの結果に基づく「屋内作業における熱中症予防対策の提案」では、検討段階で、食品製造業では窯の近傍は暑熱リスクが高いこと、害虫や埃への対策、温水の使用などが課題となるなど作業環境管理及び作業管理の点から熱中症予防と食品衛生の両立が困難という課題があること、倉庫業では天井の高さ、作業者の配置、作業負荷の変動制という課題があることが指摘された。そのうえで、作業環境管理（WBGT の低減や休憩場所の整備等）作業管理（作業時間の短縮、暑熱順化、水分及び塩分の摂取、服装の改善、作業中の巡視等）、健康管理（健康診断結果に基づく対応や日常の健康状態の確認等）、労働衛生教育、救急処置に関して屋内作業場でも

実施可能な事項を整理した。施設や設備の対策が可能であれば、置換換気方式を導入することが WBGT を低減させるうえで有効であることが指摘された。そして、壁や天井の蓄熱によって屋内では屋外と比べて気温や WBGT の変化が緩徐で夕方以降は屋外よりも暑くなる傾向があることを理解して作業計画を立てること、食品製造業では鉄板、コンロ、ジェットオーブン、フライヤー、二重釜、平釜、スパボイル、IH 調理器、炊飯器、惣菜製品にラップをかける装置（ラッパー）が熱源になることを理解すること、倉庫業では、エアーコンプレッサー、モーター、炉が熱源になることを理解すること、熱源がある屋内では WBGT を実測すること、モバイルネットワークを使用した IoT システムによる高温リスクの測定を検討すること、WBGT の低減策として作業者が設定温度を調整できるエアコンの設置、置換換気設備の導入、大型扇風機の導入、窓から差し込む直射日光の遮断、気流の確保、熱源からの隔離の確保、着替えの時間も考慮した休憩時間の確保、軽く腰掛けることができるような座面の高い椅子を設置、立位作業用マットの使用、作業服の見直し等を検討すること、作業場や作業の特性に合わせてスポットクーラーや送風機付き作業服の導入を検討すること、ファン付き作業服が着用できない職場では冷水循環型の冷却ベストの使用を検討すること、高年齢労働者への配慮を行うこと、外国人労働者への配慮を行うこと、小規模事業所を含めて熱中症予防管理者の選任や労働衛生行政部署から発出された文書を一層普及させること等を提案した。

D. 考察

①「屋内の熱中症事例に関する文献調査」では、屋内において熱中症のリスクを低減するための対策を検討した研究報告が少ないことが示唆された。

②「熱中症による労働災害が休業4日以上となる要因の検討」では、福岡労働局の調査から推察すると、毎年、全国において休業4日未満の熱中症が数千件以上発生しており、環境要因は高年齢になるほど大きく影響することが推察された。

③「食品製造業と倉庫業における熱中症予防対策の実態についての質問紙調査」では、倉庫業のほうが WBGT を実測している割合や行政指導の内容を認識している割合が大きかったものの、いずれの業種においても一層の普及が必要と考えた。

④「研究所の工場等における WBGT 測定」では、午前中にアメダス地点より遅れて上昇し、夕方からは逆にアメダス地点より高くなることを想定して、屋内における熱中症対策を推進することが重要と考えた。日射が差し込む場所や金属製の天井やシャッターに囲まれた場所では、特に注意が必要と考えた。

⑤「WBGT 計等を用いた調理職場における暑熱リスクの評価」では、調理機器の稼働や作業の開始よりもやや遅れて作業環境が暑くなることや熱源の稼働が終了した後も暑さが持続することなどへの注意が必要と考えた。また、提案として、熱源稼働状況に応じて作業者が空調温度を自由に調整できる仕組み、屋外環境温の調査や作業員への掲示、着替えの時間も考慮した休憩時間の確保、軽く腰掛けることができるような座面の高い椅子を設置、立位作業用マットの使用、外国人労働者へのリスクコミュニケーションの工夫などがあると考えた。

⑥「食品製造業・倉庫業の屋内作業場における WBGT 測定による暑熱リスクの評価」では、調理場、リネン室、介護福祉施設、倉庫等の屋内作業場における WBGT の低減対策として、置換換気方式の導入は WBGT の低減に効果的と考えた。調理場では HACCP に沿った衛生管理が求める滅菌設備との両立が重要で、冷却ベストの使用等が提案できると考えた。倉庫等では、建物の屋根や壁面からの輻射による影響を考慮すること、雇用形態や労働者の多様性を考慮する必要があると考えた。

⑦「IoT システムによる熱中症リスク低減の有効性についての研究」では、IoT 技術を活用して現場における温熱条件を遠隔で把握することが可能で、高リスクな職場を検出することができたことから、広く普及させることが可能と考えられた。また、温熱条件を把握するための作業員の業務量を軽減することができることから少人数の作業場においても導入が検討できると考えた。

⑧「屋内作業場における暑熱環境下作業時の個人測定と身体冷却装置の効果検証」では、水冷ベストの使用が主観的な暑さレベルや負荷レベルを低減する効果とともに体温や心拍数を低減する効果がある可能性が示唆された。

⑨「屋内・屋外暑熱職場における暑熱データ実測値と気象官署データの比較」では、屋内では空調や熱源の有無、屋外では温められた建物やコンクリートの存在等が推定値と実測値のばらつきを生じる原因と考えた。推定式利用が有用であると考えられた条件は、屋外日向コンクリート条件、屋外日陰芝生条件、屋外日陰土条件、屋外日陰コンクリート条件の午前中から日中と考えた。そして、夜間や発熱源がある場合は、事業所で WBGT を実測することが不可欠と考えた。

E. 結論

本研究では、全国6事業所での4～5週間にわたるWBGT等の測定結果から、近接した建物壁からの輻射熱が影響すること、日陰ではアメダス地点よりも黒球温度とWBGTが遅れること、夕方以降は日の入り前でも屋内のほうが屋外よりもWBGTが高い場合があること等が明らかになった。アメダス地点での値から作成した推定式は空調や熱源の有無により影響を受ける屋内では実測が望ましいことが分かった。屋内における熱中症の予防対策に関する文献を体系的に整理した要約を作成した。休業4日未満の事例を含む熱中症の総数は休業4日以上の死傷事例数の約10倍であること、6月下旬から8月中旬までは重症化のリスクが高いこと、40歳以上ではWBGTと有意な相関があることが分かった。そして、食品製造業62事業所、倉庫業1,011事業所が回答した質問紙調査の結果から、食品製造業では調理器具や食洗器等、倉庫業ではエアコンプレッサー、モーター、炉が発熱源であることが分かった。WBGTを測定していた事業場はそれぞれ14.0%と19.5%で、熱中症予防管理者の選任はそれぞれ3.4%と9.1%と低調であることが分かった。食品製造職場では調理器具の稼働からやや遅れてWBGTが緩やかに上昇する傾向や稼働終了後もしばらくWBGTが上昇した状態が続く傾向があることが分かった。IoT技術を活用して、モバイルネットワークにより、気温と相対湿度を自動的にリアルタイムで遠隔管理できる方法がリスクの評価に有用であることが確認できた。WBGTの日内変動は、事務室等の室内ではアメダス地点よりも位相が遅れることや金属製の天井やシャッターは日射によって表面温度が上昇して屋内の温熱環境に影響を与えること等が分かった。

氷水循環による水冷ベストの使用により、直腸温の変化や主観的な暑さ等が低減される傾向を認めた。これらの結果に基づいて、

「屋内作業における熱中症予防対策の提案」をまとめ、屋内では屋外と比べて気温やWBGTの変化が緩徐で夕方以降は屋外よりも暑くなる傾向があることを理解して作業計画を立てること、食品製造業や倉庫業の熱源を理解すること、熱源がある屋内ではWBGTを実測すること、モバイルネットワークを使用したIoTシステムによる高温リスクの測定を検討すること、WBGTの低減策として作業者が設定温度を調整できるエアコンの設置、置換換気設備の導入、窓から差し込む直射日光の遮断、気流の確保、熱源からの隔離の確保、着替えの時間も考慮した休憩時間の確保、軽く腰掛けることができるような座面の高い椅子を設置、立位作業用マットの使用、作業服の見直し等を検討すること、作業場や作業の特性に合わせてスポットクーラーや送風機付き作業服の導入を検討すること、ファン付き作業服が着用できない職場では冷水循環型の冷却ベストの使用を検討すること、高年齢労働者への配慮を行うこと、外国人労働者への配慮を行うこと、小規模事業所を含めて熱中症予防管理者の選任や労働衛生行政部署から発出された文書を一層普及させること等を提案した。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

(各章に記載)

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

I. 引用文献
(各章に記載)

II 分担研究報告

1 屋内の熱中症事例に関する文献調査

研究協力者 嶋崎 優、前田 妃

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学 産業医学修練医

研究要旨

屋内の熱中症事例に関する文献を収集して体系的に整理し、熱中症対策として利用できるようにすることを目的として、医学論文データベースを検索し屋内の熱中症事例に関する文献 34 編を体系的に収集した。暑熱対策として、作業環境管理、作業管理、健康管理、労働衛生教育の 4 つに分類し、いずれかに該当し、かつ、「暑熱対策として反映可能である」と考えた文献 7 編を抽出して、その内容を要約した。屋内作業場における熱中症対策についての文献数は少なく、屋内作業場での暑熱リスク、さらには熱中症対策に対する認知が十分ではないことが推察された。屋外作業場だけでなく、調理場や倉庫など、熱中症のリスクが高い屋内作業場における熱中症対策が今後の課題であることが示唆され、科学的根拠に基づいた熱中症対策の質の向上が期待される。

A. 研究目的

熱中症は、軽症例を含めると業務上疾病で最多の疾病である。2017 年からの 4 年間で休業 4 日以上 の被災者は合計 4,071 人（うち死亡者 109 人）に達している。このうち、製造業 805 人（うち死亡者 17 人）、運送業 561 人（うち死亡者 7 人）、商業 387 人（うち死亡者 8 人）など屋内での発生例が少なくない。しかし、労働災害補償に関する統計は、発熱源、熱上昇気流、服装、人的密集など熱中症を発生させた原因の観点から分類されておらず、屋内の暑熱職場における熱中症の高リスク要因が十分に整理されていない。

本研究では、屋内環境における熱中症事例や対策に関する先行文献を体系的に集約することで熱中症予防対策に利用可能な科学的知見を整理し、その質の向上を図ることを目的とした。

B. 研究方法

表 1 に示すとおり、環境要因（A）の検索語として、屋内、調理場、倉庫などの 16 ワード、結果指標（B）の検索語として、熱中症、体温上昇、意識障害などの 19 ワードを選択した。A と B の検索語を組み合わせで文献検索データベース PubMed にて人を対象とする研究かつ日本語・英語の文献に限定して検索し、過去 10 年間（2012 年 1 月 31 日～2022 年 1 月 31 日）の文献数を抽出した。さらに研究協力者 2 名が抽出した文献の要旨を 1 文献につき、2 名で抄読し、「屋内作業場の暑熱対策に反映可能か」を判別し、いずれも「可能」と判断した文献を抽出したのち、資料 1 の形式で要約した。両者のいずれかが「可能ではない」と判断した文献は除外した。また、Letter は検索時に、Review 論文は判別時に除外した。

C. 研究結果

2022 年 1 月 31 日時点において、前述の

検索語を用いて検索したところ、結果指標 (B) の「heat」と環境要因 (A) のすべてを or で組み合わせた場合、文献数が 7,123 と膨大であったため、除外した。環境要因 (A) の「linen room」、「cooking area」は文献数が 0 であったため、除外した。環境要因 (A) の「production」、「manufacturing」は文献数が多かったため、予備指標として「occupational health」を AND に加えて再度検索を行った。その結果を表 2 に示す。環境要因 (A) のうち、「production」と結果指標 (B) に関連する文献が 8,105 と最も多かった。

環境要因 (A) のうち、「heat exposure」、「nursing home」、と、結果指標 (B) に関連する文献がそれぞれ 418、234 と最多であった。

また、結果指標 (B) において、「hot temperature」、「headache」と環境要因 (A) に関連する文献がそれぞれ 223、122 と最も多かった。

暑熱環境および熱中症関連に特化した 1,275 文献のうち、重複を除く 600 文献の要旨を抄読したところ、研究者協力者 2 名ともに「屋内作業場の暑熱対策に反映可能」と判断した文献数は 34 であった。屋内作業場の暑熱対策として、作業環境管理、作業管理、健康管理、労働衛生教育の 4 つに分類し、いずれか該当するものを選択して分類した (資料 2)。「屋内作業場の暑熱対策に反映可能ではない」が、「熱中症リスクについて有用である」と両者が判断した文献数は 61 であった。2 名のうちいずれかが「可能ではない」と判断した 505 文献は削除した。抽出した 34 文献を資料 1 に示す書式を用いて要約することとした。要約の段階で屋外作業場に関するもの、Review 論文

等で「可能ではない」と判断したものは除外し、残った 7 文献を要約したものの概要を資料 2 に、要約した文書を資料 3 に示す。

D. 考察

屋内作業場における熱中症対策についての文献数は少なく、屋内作業場での暑熱リスク、さらには熱中症対策に対する認知が十分ではないことが推察された。屋外作業場だけでなく、調理場や倉庫など、熱中症のリスクが高い屋内作業場における熱中症対策が今後の課題であることが示唆された。

E. 結論

調理場や倉庫などの熱中症リスクが高い屋内作業場における暑熱対策について言及した 7 文献を、作業環境管理、作業管理、健康管理、労働衛生教育の 4 つに分類して要約した。これらを利用可能な知見として加工し、科学的根拠に基づいた熱中症対策の質の向上が期待される。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

I. 引用文献

なし

表 1 屋内の熱中症事例に関する文献検索に使用した検索語

| |
|---------------------|
| A 環境要因（屋内の暑熱職場、業種等） |
| indoor |
| kitchen |
| linen room |
| laundry |
| cafeteria |
| cooking area |
| Warehouse |
| Warehousing |
| nursing home |
| care home |
| bathroom |
| food production |
| food manufacturing |
| production |
| manufacturing |
| heat exposure |

| |
|------------------------------|
| B 結果指標（熱中症、熱中症に伴う症状等） |
| heat |
| heat stroke |
| heat stress disorder |
| heat-related illnesses |
| heat exhaustion |
| heat cramp |
| Increase in body temperature |
| hot temperature |
| extreme temperature |
| temperature rise |
| dehydration |
| disorientation |
| confusion |
| syncope |
| headache |
| nausea |
| vomit |
| vertigo |
| dizziness |

表 2 屋内の熱中症事例に関する文献検索結果

A 環境要因 x B 結果指標

| | heat stroke | heat stress disorder | heat-related illnesses | heat exhaustion | heat cramp | Increase in body temperature | hot temperature | extreme temperature | temperature rise |
|-------------------------------------|-------------|----------------------|------------------------|-----------------|------------|------------------------------|-----------------|---------------------|------------------|
| indoor | 6 | 0 | 3 | 0 | 0 | 62 | 138 | 3 | 3 |
| kitchen | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 12 | 0 | 0 |
| laundry | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| cafeteria | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Warehouse | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| Warehousing | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| nursing home | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 6 | 5 | 0 | 0 |
| care home | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| bathroom | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| food production | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 | 1 |
| food manufacturing | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 0 | 0 |
| production x occupational health | 2 | 0 | 2 | 5 | 0 | 4 | 9 | 0 | 0 |
| manufacturing x occupational health | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| heat exposure | 26 | 1 | 38 | 13 | 1 | 95 | 362 | 6 | 4 |
| 上記のすべてを or で組み合わせた場合 | 8 | 0 | 5 | 5 | 0 | 82 | 223 | 3 | 4 |

(続き) 表 2 屋内の熱中症事例に関する文献検索結果

A 環境要因 x B 結果指標 (続き)

| | dehydration | disorientation | confusion | syncope | headache | nausea | vomit | vertigo | dizziness | B検索語 すべてをorで 組み合わせた 場合 |
|---|-------------|----------------|-----------|---------|----------|--------|-------|---------|-----------|---------------------------------|
| indoor | 20 | 14 | 18 | 3 | 87 | 15 | 13 | 3 | 23 | 340 |
| kitchen | 0 | 3 | 4 | 3 | 7 | 6 | 15 | 1 | 3 | 47 |
| laundry | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 18 | 0 | 0 | 22 |
| cafeteria | 1 | 2 | 4 | 0 | 2 | 2 | 3 | 0 | 1 | 13 |
| Warehouse | 3 | 2 | 2 | 3 | 9 | 5 | 3 | 0 | 4 | 27 |
| Warehousing | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| nursing home | 50 | 123 | 128 | 10 | 7 | 17 | 11 | 8 | 14 | 234 |
| care home | 17 | 26 | 23 | 1 | 1 | 3 | 3 | 0 | 0 | 49 |
| bathroom | 4 | 4 | 7 | 3 | 7 | 5 | 12 | 0 | 2 | 37 |
| food production | 2 | 1 | 5 | 0 | 1 | 2 | 7 | 0 | 2 | 34 |
| food manufacturing | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| production x occupational health | 1 | 0 | 9 | 0 | 35 | 8 | 8 | 1 | 8 | 117 |
| manufacturing x occupational health | 0 | 0 | 2 | 0 | 5 | 1 | 0 | 0 | 1 | 16 |
| heat exposure | 31 | 3 | 3 | 4 | 8 | 4 | 2 | 1 | 6 | 418 |
| 上記のすべてを orで組み合わせ た場合 | 97 | 14 | 100 | 23 | 122 | 65 | 6 | 14 | 42 | 1275 |

文献要約

1 出典

- (1) 著者
- (2) 題目（邦題）
- (3) 雑誌
- (4) キーワード

2 研究目的と仮説

- (1) 目的
- (2) 仮説
- (3) 背景・意義

3 研究デザイン

- (1) 研究デザイン（以下より選択、複数選択可）

観察研究

分析的研究

横断研究

縦断研究

コホート（前向き）研究

症例対象研究（後向き）研究

記述的研究

症例報告

介入研究

ランダム化比較試験

非ランダム化比較試験

- (2) 研究対象者

① 調査国（対象者が在住している国）

② 業種・職種

③ 対象者数（記載があれば性別も）

④ 年代（平均年齢の記載で可）

⑤ 特定の疾病

⑥ その他

4 測定方法

- (1) 環境要因 ※脚注) の検索語 A から該当するものがあれば記載
- (2) 結果指標 ※脚注) の検索語 B から該当するものがあれば記載
- (3) 交絡要因

5 統計解析

使用した統計手法

6 結果

7 考察

- (1) 結果の解釈
- (2) 誤差
 - ①系統誤差
 - a. 選択バイアス：
情報バイアス：
 - b. 交絡バイアス（測定誤差など）：
 - ②その他の問題点・疑問点
(要約者が気づいた疑問点も含め、本文内の記載の有無を問わず記載すること)

8 文献内における重要な図表

(文献内の図表のうち、引用・転載した方がよいと思う図表を1つ以上、2つ以内で選択して下さい。文献内に図表のない場合は「図表なし」としてください。)

9 論文の総合評価 主要な結論

※注) 検索語

A 環境要因 (屋内の暑熱職場、業種等)

indoor/kitchen/laundry/cafeteria/Warehouse/Warehousing/nursing home/care home/bathroom/food production/foodmanufacturing/production/manufacturing /heat exposure

B 結果指標 (熱中症、熱中症に伴う症状等)

Heat/heat stroke/heat stress disorder/heat-related illnesses/heat exhaustion /heat cramp/increase in body temperature/hot temperature/extreme temperature /temperature rise/dehydration/disorientation/confusion/syncope/headache/ nausea/vomit/vertigo/dizziness

資料2 文献要約の概要

| 著者名 (年) | タイトル | 対策分類 | 概要 |
|--|---|-----------------------------------|---|
| Hao X, Guo C, Lin Y, Wang H, Liu H. (2016) | Analysis of heat stress and the indoor climate control requirements for movable refuge chambers. | 作業環境管理 | PHS モデルを用いて可動式避難室の内部環境の設計基準の上限を解析したところ、上限として気温 32°C、相対湿度 70%が推奨された。 |
| Chen R, Sung W, Chang H, Chi Y. (2022) | Applying outdoor environment to develop health, comfort, and energy saving in the office in hot-humid climate. | 作業環境管理 | オフィスの温熱環境調査と空調システム導入による改善効果の検証では、温度が適正であっても、多湿や換気の悪さにより作業者が不快に感じる事が分かった。人の密集状況や電子機器の使用によって空間内の二酸化炭素濃度にも差が生じるため、常に均一な環境を維持できるような空調システム導入が望ましい。 |
| Matsuzuki H, Haruyama Y, Muto T, Aikawa K, Ito A, Katamoto S. (2013) | Workers' load and job-related stress after a reform and work system change in a hospital kitchen in japan. | 作業環境管理 | 病院厨房にてリフォームと作業システム変更後、気温は低下したが身体負荷や職業関連ストレスは増加した。 |
| Zheng G, Li K, Bu W, Wang Y. (2019) | The effects of indoor high temperature on circadian rhythms of human work | ◎作業管理 作業環境管理 | 室内高温環境下における作業効率の変化と概日リズムの影響について |
| I. Ramos-Jiménez A, Hernández-Torres RP, Wall-Medrano A, et al. (2014) | Gender- and hydration-associated differences in the physiological response to spinning. | 作業管理 | バイク運動における生理的反応に対する性差と水分補給の関連性。水分補給を伴わない運動では、男女ともに体温、平均血圧、心拍数の数値が高く、脱水が身体的ストレスを誘発させる。発汗による定役喪失を防ぐために十分な量の水分補給を行うことで、男女ともに身体的ストレスの予防に繋がる。スポーツ選手は、競技参加前に自身の脱水率を評価することが有用である。 |
| Chicas R, Xiuhtecutli N, Elon L, et al. (2021) | Cooling Interventions Among Agricultural Workers | 作業管理 | 農業従事者における冷却バンダナと冷却ベストの効果の観察。冷却バンダナの着用は核心温の上昇を予防する可能性が示唆された。 |
| Xiang J, Hansen A, Pisaniello D, Bi P. (2015) | Perceptions of Workplace Heat Exposure and Controls among Occupational Hygienists and Relevant Specialists in Australia | ◎作業環境管理 作業管理 健康管理 労働衛生教育 | オーストラリアのオキュペーショナルハイジにストと関連専門家における、職場の暑熱曝露と管理に関する認識のインタビュー調査 |

文献要約 1

1 出典

(1) 著者

Hao X, Guo C, Lin Y, Wang H, Liu H.

(2) 題目 (邦題)

Analysis of heat stress and the indoor climate control requirements for movable refuge chambers

(3) 雑誌

Int J Environ Res Public Health. 2016;13(5). Accessed May 18, 2022. doi: 10.3390/ijerph13050518.

(4) キーワード

movable refuge chamber, heat stress, PHS model, thermal environment, ergonomics

2 研究目的と仮説 (1) 目的

PHS モデルを用いて、可動式避難室に閉じ込められた鉱山労働者が受ける熱ストレスを定量的に調査し、避難室内の耐熱環境を維持するための温度と湿度の上限を決定する。

(2) 仮説

記載なし

(3) 背景・意義

炭鉱事故は世界各地で発生しており、炭鉱事故による死亡率を下げるために、可動式避難室が開発された。避難室は、炭鉱事故におけるガス、粉塵爆発、火災、石炭ガスの爆発物、高温ガス、有害ガスから鉱山労働者を保護する機能に加え、十分な空気と食料、水分、耐熱性の環境が必要とされる。

避難室の基本的な条件として、呼吸可能な空気の確保が挙げられる。空気洗浄剤を用いて、避難所の閉鎖空間における二酸化炭素と一酸化炭素の浄化性について調査が行われている。心理的な問題も避難室の設計時に考慮すべき要素であり、20名の避難所内の生体反応と身体的ストレスを分析したところ、現在の避難所基準の見直しが必要であることが示唆された。また、内部の暑熱環境のコントロールも課題である。可動式避難室内は高温多湿になりやすく、死亡や負傷に繋がる可能性がある。しかし、可動式避難室における熱ストレスの定量的な解析に関する文献はほとんどない。

PHS モデルは、暑い作業環境に対して人体が発現する核心温と発汗量を予測する方法である。ISO7933 に準拠し、直腸温の最大許容温度は 38℃、最大水分損失は体重の 5%とした。

3 研究デザイン (1) 観察研究

分析的研究

横断研究

(2) 研究対象者

①調査国

中国

②業種・職種

炭鉱業

③対象者数

PHS モデルに基づくシミュレーションのため、被験者なし

④その他

身長 180 cm、体重 75 kg の標準的な被験者（暑熱順化はしていないが、自由に飲水ができるものとした）を想定し、安静時の代謝率は 60-70W/m²、暑熱条件下では心拍数の増加や発汗により 5-10W/m² の増加を想定した。

4 測定方法 PHS モデルを用いて、可動式避難室に閉じ込められた鉱山労働者が受ける熱ストレスを定量的に測定する。

(1) 環境要因

なし

(2) 結果指標

increase in body temperature, dehydration

(3) 交絡要因

なし

5 統計解析

・使用した統計手法

記載なし

6 結果

中国の可動式避難室の初期設定基準とされている避難室内気温 35℃、相対湿度 80%、避難室外気温 55 度の条件下では、曝露時間 51 分目には直腸温が 38℃に達し、さらに高温環境下にさらされると限界温度（38℃）を超え、熱中症が引き起こされる可能性がある。

曝露時間とともに水分喪失は増加し、324 分目で最大許容水分損失量に達した。体重 75 kg の場合、最大許容水分損失量は 3750g であり、体重の 5%に相当する。それ以上の曝露は深刻な脱水をもたらす可能性があった。

直腸温と水分減少の熱負荷基準を同時に満たすには、最大許容曝露時間は 51 分であった。

気温が 30℃を超えると、避難室内には厳しい熱ストレスがかかる。

避難室外気温の上昇に伴い、曝露限界時間が短くなる。

7 考察

(1) 結果の解釈

避難室設計の温湿度基準は、通常の勤務時間内に閉じ込められた労働者がケガをすることなく安全に生存できる上限値であるべきである。

避難室内の温熱環境は気温 32 度、相対湿度 70%でコントロールすることが推奨される。

(2) 誤差

①系統誤差

a. 選択バイアス：なし

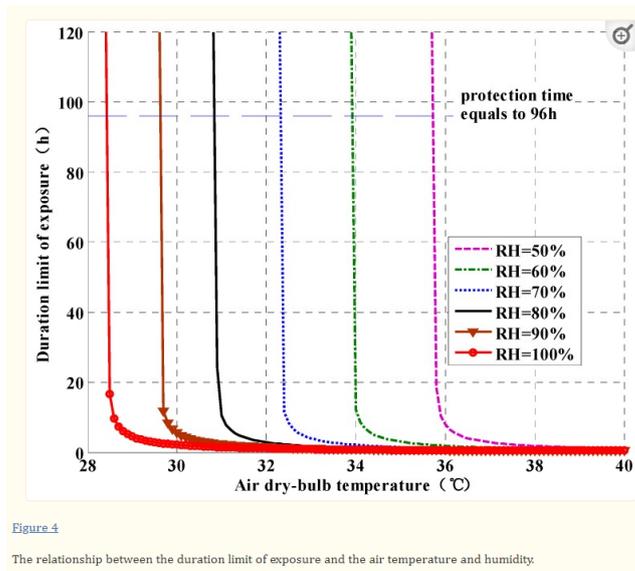
情報バイアス：なし

b. 交絡バイアス（測定誤差など）：なし

②その他の問題点・疑問点

なし

8 文献内における重要な図表



9 論文の総合評価 主要な結論

避難室内の気温が 30°Cを超えると熱ストレスが大きくなり、適切な空調対策が必要である。避難室内の温度上昇に影響を与える主な要因は蓄熱であった。避難室の外気温度と壁の断熱材が避難室内の耐熱性に与える影響についても検討し、避難室外の気温が高い場合、断熱性の高い壁が有効であることが分かった。避難室内の熱ストレスは、気温と湿度が 2 大要因である。可動式避難室の内部環境の設計基準として、空気温度 32°C、相対湿度 70%を推奨する。

文献要約 2

1 出典

(1) 著者

Chen R, Sung W, Chang H, Chi Y.

(2) 題目 (邦題)

Applying outdoor environment to develop health, comfort, and energy saving in the office in hot-humid climate.

(高温多湿のオフィスにおける健康・快適・省エネを実現する屋外環境の整備について)

(3) 雑誌

ScientificWorldJournal. 2013;2013.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3842067/>. Accessed May 16, 2022. doi: 10.1155/2013/367283.

(4) キーワード

なし

2 研究目的と仮説

(1) 目的

室内環境温度、相対湿度、二酸化炭素濃度、気流速を分析・評価し、エネルギー消費量を削減しながら健康で快適なオフィス室内環境モデルを確立する

(2) 仮説

記載なし

(3) 背景・意義

台湾のような高温多湿の気候では、空調利用などのエネルギー消費量が多い。

米国暖房冷凍空調学会では、夏季は環境温度 24.4℃、冬季は 21.7℃を推奨している。

ISO7730 では相対湿度 30~70%を推奨している。WHO では、室内の二酸化炭素濃度を 1000ppm 以下に維持することを推奨している。

ISO7730 規格では、最も快適な温熱環境を作るためには、平均風速 0~1m/s、瞬間風速 0.15m/s 以下、湿度 50%であることを推奨している。

台中市にあるオフィスビルで実施。台中の平均気温は 12.5~29.0℃、8月の最高気温は 34.3℃、最低気温は 24.5℃、年平均の相対湿度は 64~77%であった。

3 研究デザイン

(1) 研究デザイン

記述的研究

症例報告

(2) 研究対象者

①調査国

台湾

②業種・職種

オフィスワーカー

4 測定方法

省エネ型スマート外気空調ボックス (MAU) を組み込んだオフィス空間の温熱快適性レベルをモニタリングした。

オフィスで働く人々へアンケート調査を実施した。

地上 6 階、地下 2 階の 8 階建ての建物のうち、4 階で測定実施。空調システムは CAV 方式 (ダクト内の風量が増減しても決められた風量を流す。供給空気温度は空間の熱負荷に応じて調整される)

室内環境を改善するため、VAV の空調システムを導入した。

駐車場や車道や植え込みの植物の位置など、建物の換気口の適切な位置を検討した。

省エネ改善のため、①インバーターと冷水エアコンの設置、②室内空気交換率の向上と不快感の軽減のため、24 の出力を持つ 3 つの PAH を設置、③冷水エアコン、冷却塔、圧縮機のエネルギー消費を監視し、システムのエネルギー効率を制御して省エネ効率を高めるための BEMS(ビル・エネルギー管理システム) の導入をおこなった。

(1) 環境要因

indoor

(2) 結果指標

hot temperature/extreme temperature/temperature rise

(3) 交絡要因

なし

5 統計解析

・使用した統計手法

記載なし

6 結果

夏季の測定値では、二酸化炭素濃度が 910~1200ppm と基準値より高く、特に 9:30~14:00 と 17:00 に高かった。冬季は 170~639ppm。室内の二酸化炭素濃度の推移は、オフィス内の人の流れに関係していた。

夏季の平均風速は 0.01m/s、冬季は 0.05m/s であった。夏季の気流速の低さと二酸化炭素濃度の高さは、換気不良が原因であると考えられた。

体の症状に関するアンケート調査では、有効回答者（もともとアレルギーや風邪症状のある人、睡眠時間 6 時間未満の人、夜勤勤務者を除いたもの。26～58 歳）の 30.8%が夏季に週 2 日以上の頻度で炭酸ガス濃度に関連する症状（頭痛、息苦しさ、めまい、記憶力低下、注意力低下、耳鳴り、倦怠感、眠気、胸のつかえなど）を 2 つ以上呈していた。冬季に 2 つ以上の症状があった人は有効回答者の 23.4%であった。オフィスの換気不良を改善する必要性が考えられた。

空気環境に関するアンケート調査では、ほとんどのオフィスワーカーが室内換気に不満を持っており、改善を望んでいることが分かった。冬季の室内気流は夏季よりも早く、空気室は基準をクリアしており、温度や換気量の調整、新鮮な空気の流入を増やすことで改善できる可能性があることが分かった。

省エネシステム導入後、室内温度は約 21.2～23.8℃であり、ASHRAE が提案する ET24.4℃より 0.6～3.2℃低くなっていた。人の多い就業時間中は空調使用頻度が高く、設定温度も低くなっていた。人の出入りが緩やかな場合や、部屋の中の人が少ない場合、室内温度は相対的に低くなった。冬季の測定温度は 19.7～21.5℃で、ASHRAE が提案する ET21.7℃に近い温度となった。したがって、測定環境は快適な温度になっていた。

二酸化炭素濃度については、出入り口やコピー機の付近など、区画によって人の流れや電子機器の頻回な使用により濃度にばらつきがあることが分かった。人の流れが少なく、外に植物が植えられている区画 4、7 は二酸化炭素濃度も低く、区画 4、7 の外気をエアインターチェンジャーで室内に循環させることとした。

ASHRAE 規格を用いて快適度範囲を想定し、室内温度、湿度、熱的快適性を解析した結果、夏季の測定期間の 32%が標準快適領域に達し、残りの不快な状態は過度な湿度によって引き起こされてきたことが分かった。新たな空調システムにより湿度を改善し、95%が標準快適領域に到達した。

省エネシステム導入により、年間 244936kWh の省エネが可能であることが分かった。

7 考察

(1) 結果の解釈

室内温度が快適温度範囲より低い場合でも、気流速が低く換気が悪いと二酸化炭素濃度が高くなり、不快に感じやすくなる。その他の要因として、室内の匂い、狭いスペース、過剰な電子機器により不快感を訴える労働者もいた。

台湾の気候は湿度が高く蒸し暑いため、温度は快適な範囲内であっても、湿度により不快に感じる事が分かった。気流速の強さも快適さの感覚に影響を与えた。

インバーター付水冷式空調機の設置により、省エネルギー化が図れることが分かった。さらに、BEMS（ビルエネルギー管理システム）により、冷水空調機、冷却塔、コンプレッサーの消費電力を監視することでエネルギー効率を制御し、省エネ効率を向上させることができる。

(2) 誤差

①系統誤差

a. 選択バイアス：なし

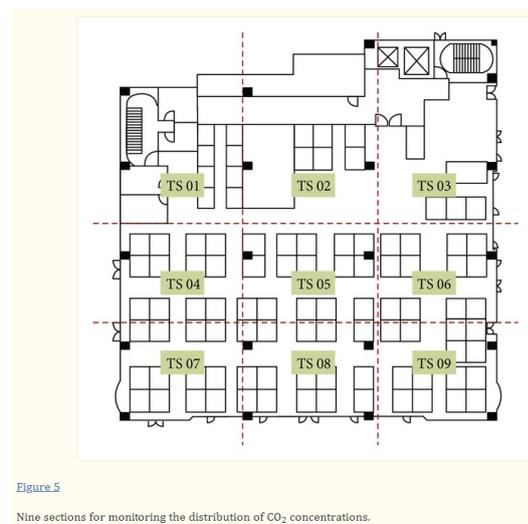
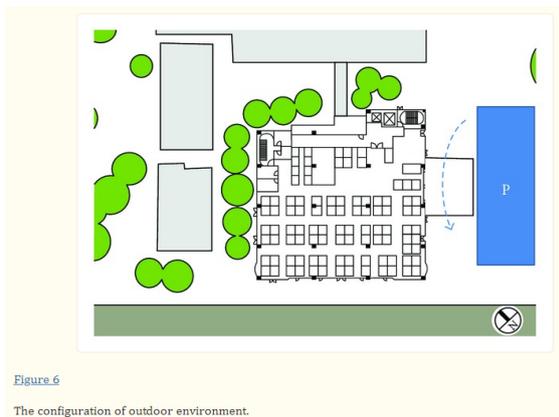
情報バイアス：なし

b. 交絡バイアス（測定誤差など）：なし

②その他の問題点・疑問点

なし

8 文献内における重要な図表



9 論文の総合評価 主要な結論

室内環境をモニタリングし、温度が適正であっても、多湿や換気の悪さにより作業者が不快に感じる事が分かった。人の密集状況や電子機器の使用によって空間内の二酸化炭素濃度にも差が生じるため、常に均一な環境を維持できるような空調システム導入が望ましい。また、空調利用によるエネルギーの省力化については、ビルエネルギーマネジメントシステムの活躍が期待される。

文献要約 3

1 出典

(1) 著者

Matsuzuki H, Haruyama Y, Muto T, Aikawa K, Ito A, Katamoto S.

(2) 題目 (邦題)

Workers' load and job-related stress after a reform and work system change in a hospital kitchen in japan.

(日本における病院の厨房のリフォーム後および作業システム変更後の作業者の負荷と仕事関連ストレス)

(3) 雑誌

Environ Health Prev Med. 2013;18(2):171-176. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3590319/>. Accessed May 12, 2022. doi: 10.1007/s12199-012-0291-9.

(4) キーワード

Workplace environment, Workload, Job-related stress, Work system, Kitchen

2 研究目的と仮説

(1) 目的

病院の厨房における職場環境や勤務体制の変更後に、労働者の作業負荷や職務関連ストレスに変化があったかどうかを検討すること

(2) 仮説

記載なし

(3) 背景・意義

厨房の職場環境は厳しいとされるものが多いが、厨房の改革や作業システムの変更を行う場合、それが厨房の作業や環境にどのような影響を与えるかという問題が生じる。

3 研究デザイン

(1) 研究デザイン

観察研究

縦断研究

コホート (前向き) 研究

(2) 研究対象者

①調査国

日本

②業種・職種

食品製造業

③対象者数

男性 7～8 名（作業負荷）

45～53 名（仕事上のストレス）

④年代

身体的作業量の比較：中央値 41.2 歳（改変前）、42.9 歳（改変後）

4 測定方法

(1) 環境要因

kitchen

(2) 結果指標

作業負荷：改革前後の作業時間、水分喪失、心拍数、活動量（METs）

仕事上のストレス：職業性ストレス簡易調査票（自己申告式の匿名質問票）

(3) 交絡要因

記載なし

5 統計解析

・使用した統計手法

被験者の特性：カイ二乗検定

気温、湿度、年齢、身長、体重、体格指数（BMI）、水分損失、心拍数、メッツ：
student の対応のない t 検定

仕事上のストレス：男性と女性に分け、Mann-Whitney U 検定

6 結果

食事時間当たりの生産量、一日当たりの従業員数、男性従業員比率はほぼ変わらなかった。改変により厨房のスペースが 18%増加し、作業動線が延長され、エアコンが 32 台導入された。

ワゴンが新型になり重さが 3.2 倍（63.5→265 kg）になり、運用は男性従業員に限定された。専門的な調理作業が減り、コンベアによる食器洗浄やワゴンを使った作業が増えた。改変後の厨房の気温は（改変後の外気温の方が改変前より高かったものの）5.6℃程度低下した。

厨房と屋外の湿度は改変後上昇していた。

被験者の年齢、身長、体重、BMI は改革前と改革後では有意な差は見られなかった。

被験者の水分損失は減少し、改革後の心拍数と METs は改革前と比較して有意に増加した。

仕事上のストレスの変化には男女間で差があり、男性では仕事上のストレスの総得点が上昇した。

職場性ストレス簡易調査票の点数は男女ともに優位に改善された。

7 考察

(1) 結果の解釈

改革は、厨房内にエアコンを設置し、気温を大幅に改善したこと、食中毒事故防止のために保温・保冷ワゴンを導入し、作業システムを変更したこと、その結果、男性作業者の心拍数、METs、主観的業務ストレスが増加したことから構成されている。

作業負荷については、家庭での調理（2.0 METs）、食器洗い（2.3 METs）、食器運搬での活動量（2.5 METs）である。本研究の作業員は、重くて大きなワゴン进行操作し、広い厨房や病院内を移動するため、家庭での活動量よりもMETsが高くなった。時間的なプレッシャーが知覚的な仕事量と心拍数を増加させることが報告されている。

男性労働者は中高年の正社員であり、長年同じ職場で働いてきた彼らは、ワゴン操作や食器洗いなどの専門外の仕事に従事することになり、仕事に関するストレスが増加した。男性労働者の量的過負荷、職務統制、職務適性に対する主観的評価に影響を与えた可能性がある。

(2) 誤差

① 系統誤差

- a. 選択バイアス：改革前と改革後の2年の間に退職者や新規採用者がいたため、調査対象者が全く同じでなかったため、個人ではなく集団の変化を比較する必要があった。

情報バイアス：アンケートが匿名であったため、制度変更による個人内変化を明らかにすることが困難であった。

- b. 交絡バイアス（測定誤差など）：エアコン導入、作業システムの改変というように変数が複数となった。

② その他の問題点・疑問点

事例研究であるため、結果をすべての厨房改革に一般化できず、改修や勤務体制変更の効果を評価するためには、さらなる研究が必要である

仕事量の測定は一度だけであり、再現性には疑問が残る。

エアコン導入と作業システムの改変という2つの変数があるため、改革前後の評価が難しい。

8 文献内における重要な図表

なし

9 論文の総合評価 主要な結論

エアコン導入により厨房内の環境改善が行われた。大型で重量の大きい保冷・保温ワゴンの導入により男性作業者の身体的負担が増加した。作業システムの改善により、従来の作業内容からの変更に伴う男性作業者の仕事に関するストレスが上昇した。

文献要約 4

1 出典

(1) 著者

Zheng G, Li K, Bu W, Wang Y.

(2) 題目 (邦題)

The effects of indoor high temperature on circadian rhythms of human work efficiency.
(室内高温がヒトの作業能率のサーカディアンリズムに及ぼす影響について)

(3) 雑誌

Int J Environ Res Public Health. 2019;16(5).<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6427146/>. Accessed May 12, 2022. doi: 10.3390/ijerph16050759.

(4) キーワード

indoor high temperature, work efficiency, circadian rhythm, cosinor method, response time

2 研究目的と仮説

(1) 目的

概日リズムによるパフォーマンスの低下を予測し、人的要因による事故を最小化する。身体能力の評価には反応時間、主観的感觉、握力を採用した。生理学的パラメータと能力パラメータの間の固有の関係を分析し、能力指標の直接測定に代わるより簡便な方法を模索する。

①作業現場での能力指標の直接測定に代わる方法を模索する。

②暑い室内環境における人間の能力を総合的に評価する方法を開発する。

③人的要因に起因する事故を最小限に抑えるために、パフォーマンス低下を事前に予測する。

(2) 仮説

記載なし

(3) 背景・意義

チャンバー内で 40℃、45℃をシミュレートし、暑熱順化のない 10 名の男性を選択。20 分毎に握力、知覚、指の柔軟性、反応時間、知能テストを行ったところ、20 分経過時に握力は 3.2%低下し、最小知覚力は 4.36 倍に増加。45 分経過時に握力は 12%低下し、最小知覚力は 2.89 倍に増加。反応速度は初期に加速し、時間と共に低下し、メンタルテスト時間は短縮され、エラー率は増加した。

22、24、26、29、32℃の環境をシミュレートし、36 名の被験者を 2 群に分け、一方の群は暑熱環境に曝露させ、もう一方の群は 26℃の環境下で記憶タイピング課題を施行した。温度と作業効率の関係は、U 字型曲線の傾向を示した。

先行研究では、主に高温が人間の作業効率に及ぼす影響や、概日リズムと脳の認知機能との関係に焦点が当てられている。しかし、人間の作業効率の概日リズムに及ぼす高温の影響に関

する研究は一般的でない。作業現場での能力指標の測定は難しく、能力指標に代わる方法を模索する研究も少ない。

3 研究デザイン

(1) 研究デザイン

介入研究

非ランダム化比較試験

(2) 研究対象者

①調査国

中国

②対象者数

10名の大学生（男性5名、女性5名）

③年代

大学生

④特定の疾病

なし、熱順化なし

4 測定方法

2017年7～8月に保定市の非冷房住宅の最上階で実施。温度条件は28、32、36、38℃、各温度条件の最短感覚は4日で、各温度条件を実験日とした。4つの温度条件は全て晴天の日が選ばれた。

作業効率の評価のため、反応時間、正確率、握力、作業意欲を採用した。反応時間と正確率はストループ色彩単語テスト（SCWT）と数字検査課題（NIT）により測定した。体能力の評価には握力を用いた。さらに、労働意欲の自己評価アンケートと身体生理指標（収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数、直腸温、鼓膜温、額温）も測定した。

数字検査課題（NIT）：コンピュータの画面上に10行の数字（各行には2つの5桁の数字が含まれている）が表示され、被験者は、異なる数字が並んでいる唯一の行を見つけ、できるだけ早くボタンを押すように指示された。反応時間と正確さを測定。

ストループ色彩単語テスト（SCWT）：コンピュータ画面の中央に黒「赤」、緑「緑」等のランダムな色の単語が表示され、被験者は、その単語の色と意味が一致しているかどうかを判断し、「T」または「F」のボタンを押すように指示された。

握力：各試験において、電子式握力計で被験者の瞬時握力値を2回測定し、その平均値を試験結果とした

作業意欲、温熱快適性、温熱間隔：アンケート調査。被験者の作業意欲は7段階で評価し、「+3」が最も高い意欲、「-3」が最も低い意欲を表している[28]。同様に、熱的快適性と熱的感覚のレベルも、それぞれ5段階と9段階に分けられた。そして、「+2」は非常に快適、「+4」は非常に暑いことを表す。

被験者は 8:30 に集合し、30 分安静休息、9:00 に実験開始。SCWT、NIT、作業意欲アンケート調査を 1 時間おきに連続 24 時間実施した。また、握力、温熱快適性、温熱感覚、生理的パラメータ（鼓膜温、直腸温、額温、心拍数、収縮期血圧、拡張期血圧）を 1 時間ごとに 24 時間連続で測定した。測定期間中、日中は、被験者は家の中で静かに過ごすか、軽い精神活動（読書や勉強など）をしてもらい、夜間は、短い睡眠をとってもらった。

夜間には測定の合間に仮眠を十分にとったこと、各温度条件の間の最小間隔は 4 日であり、短期の睡眠不足は概日リズムにほとんど影響を及ぼさなかった。

環境ストレスが作業効率に及ぼす影響を説明するため、覚醒度を導入した。（覚醒度と作業効率の間には逆 U 字の関係がある。作業効率が最も高くなるのは、覚醒度が中等度の時である。寒さと暑さが覚醒に影響をもたらす。適度な温度は神経系への感覚入力が多く、暖かさも覚醒を低下させる。）

(1) 環境要因

indoor

(2) 結果指標

反応時間、正確率、握力、作業意欲、労働意欲の自己評価アンケートと身体生理指標（収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数、直腸温、鼓膜温、額温）

(3) 交絡要因

気温が作業効率の概日リズムに及ぼす影響のみを調査しているため、相対湿度の影響は考慮されていない。

5 統計解析

・使用した統計手法

コサインナー解析、T 検定、スピアマン順位相関係数

6 結果

SCWT と NIT における被験者の反応時間、握力、作業意欲はいずれも 4 つの温度条件下で概日リズムを示したが ($p < 0.05$)、SCWT と NIT における正確率は有意な概日リズムを示さなかった ($p > 0.05$)。

SCWT の応答時間については、38°C の中央値が 28°C、32°C、36°C の中央値より有意に大きかった ($p < 0.05$)。また、各温度間の振幅と尖頭値には有意差はなく ($p > 0.05$)、SCWT の応答時間は 21 時から 01 時の間に最大となった。NIT の応答時間については、38°C の中央値が 28°C、32°C、36°C の中央値より有意に大きかった ($p < 0.05$)。また、各温度間の振幅と尖頭値には有意な差は見られなかった ($p > 0.05$)。NIT の最大応答時間は 21:00 から 03:00 の間に現れ、SCWT も同様であった。

握力については、被験者の中央値は温度の上昇に伴い減少した。36°C での中央値は 28°C での中央値より有意に小さく ($p < 0.05$)、38°C での中央値は 28°C および 32°C での中央値より有意に

小さかった ($p < 0.05$)。38℃の振幅は36℃の振幅より小さかった。最大握力は15:00から18:00の間に出現した。

作業意欲については、気温の上昇に伴い中央値が減少した。そして、38℃の中央値は、28℃や32℃の中央値より有意に小さかった ($p < 0.05$)。38℃の振幅は、28℃の振幅より有意に小さかった ($p < 0.05$)。作業意欲の最大値は、14:00から20:00の間に発生した。

SCWTとNITにおいて、環境温度は正確率に有意な影響を与えた。SCWTでは、28℃と32℃、28℃と36℃の間に有意な差がある。NITでは、28℃と38℃、36℃と38℃の間に有意な差がある。

SCWTでは、応答時間は鼓膜温(28℃、36℃条件)、額温(全条件)と負の相関があり、正確率は生理指標と相関がない。

NITでは、応答時間は拡張期血圧(28℃、32℃、36℃)と正の相関、鼓膜温(28℃、32℃、36℃)と額温(32℃、36℃、38℃)と負の相関、正確率は心拍数(28℃、32℃)、収縮期血圧(28℃、32℃、38℃)と相関があった。

握力については、すべての温度条件において、直腸温、拡張期血圧、収縮期血圧と有意な正の相関があった。

作業意欲については、すべての温度条件下で直腸温、鼓膜温と有意な相関があった。

7 考察

(1) 結果の解釈

高温環境による作業効率の低下は、反応時間の延長、体力の低下、作業意欲の低下に反映された。高温環境は、人体の協調性と反応能力の低下をもたらし、その結果、安全でない行動の発生を引き起こした。

本研究では、SCWTとNITにおいて、鼓膜温と額温はともに応答時間と負の相関を示し、額温は36℃と38℃でも応答時間と有意な負の相関を示した。額温の概日リズムは通常、体幹温度の変動と平行な関係を示した。したがって、額温は個人のパフォーマンスレベルを評価するための予測因子として考えることができる。作業現場で能力指標を測定することは困難であるため、額温は能力指標の直接測定に代わる方法として検討することができる。

(2) 誤差

① 系統誤差

- a. 選択バイアス：本研究の室内温度は動的であり、定常環境が概日リズムに及ぼす影響については考慮していないため、今後検討する必要がある。

情報バイアス：なし

- b. 交絡バイアス(測定誤差など)：被験者は全員大学生であり、異なる職種の被験者を採用することが求められる。

② その他の問題点・疑問点

なし

8 文献内における重要な図表

なし

9 論文の総合評価 主要な結論

4つの温度条件下で、被験者の反応時間、握力、作業意欲は概日リズムを示したが、正確率には有意な概日リズムが見られなかった。T検定により正確率と環境温度との関係を分析した結果、SCWTとNITにおいて、環境温度は正確率に有意な影響を与えることが示された。

拡張期血圧はNITの応答時間に、収縮期血圧はNITの正確率に相関していた。鼓膜温と額温はいずれも応答時間と有意に負の相関を示した。このことから、額温は個人のパフォーマンスレベルを評価するための予測因子として考慮できる可能性が示唆された。

SCWTにおける応答時間の中央値は、温度の上昇に伴い増加し、両者の関係はU字型曲線の変化傾向を示していた。また、38℃の中央値は、28℃、32℃、36℃の中央値より有意に大きかった。SCWTにおける応答時間の最大値は、21:00から01:00の間に発生した。

NITにおける応答時間の中央値は温度の上昇とともに増加し、両者の関係もU字型曲線の変化傾向を示した。さらに、38℃の中央値は、28℃、32℃、36℃の中央値より有意に大きかった。NITにおける応答時間の最大値は21:00から03:00の間に出現した。

高温が握力の概日リズムに及ぼす影響は、中央値と振幅の減少に反映された。そして、最大握力は15:00から18:00の間に出現した。

作業意欲の中央値は温度の上昇とともに減少し、38℃での中央値は28℃や32℃での中央値より有意に小さかった。また、最大値は14:00から20:00の間に発生した。

本研究は、室内高温環境下における人間の作業効率の変化について、定量的かつ基礎的なデータを提供することができる。ただし、被験者は大学生であるため、高齢者ではなく若年者に限定された結果である。また、サーカディアンリズムを応用することで、作業者の低パフォーマンスを事前に予測することができ、事故の発生を抑制することができる。

文献要約 5

1 出典

(1) 著者

Ramos-Jiménez A, Hernández-Torres RP, Wall-Medrano A, et al.

(2) 題目 (邦題)

Gender- and hydration- associated differences in the physiological response to spinning
(スピニングに対する生理学的反応の性差および水分補給に関する差異)

(3) 雑誌

Nutr Hosp. 2014;29(3):644-651. Accessed May 16, 2022. doi:10.3305/nh.2014.29.3.7017.

(4) キーワード

Gender differences, Hydration, Physical exercise, Sports nutrition

2 研究目的と仮説

(1) 目的

屋内運動時の水分補給の有無による男女間の生理的差異を明らかにする

(2) 仮説

記載なし

(3) 背景・意義

男女のスポーツ選手を対象とした研究の多くは屋外での脱水が運動パフォーマンスに及ぼす影響を評価しており、屋内スポーツを行う選手に関する報告はほとんど存在しない。屋内スポーツは一般的に風通しの悪く、風を通さない服装で行われる場合もあるため、脱水の問題は屋外より深刻になる可能性がある。

3 研究デザイン

(1) 研究デザイン

介入研究

非ランダム化比較試験

(2) 研究対象者

①調査国

メキシコ

②業種・職種

アマチュアのスピニングスポーツ選手

③対象者数

全体 21 名 (男性 12 名、女性 9 名)

④年代

男性 30.0±6.2 歳、女性 24.1±4.5 歳

4 測定方法

運動中の室内環境は温度 23°C、相対湿度 23%、気圧 659mmHg、換気はなし。

参加者は運動の 3~5 時間前に朝食を自由に摂取した。

1 セッション 90 分間の連続運動を 3 セッション実施した。

最初のセッションは水分摂取なし。最初のセッションで減少した体重をもとに、参加者が脱水を防ぐために必要な水分量を計算した。2、3 セッション目からは 15 分の運動毎に必要な水分量を 6 等分した量の水分補給を行った。

3 回の運動セッションの間隔は男性で 2 週間、女性で 3 ヶ月空け、女性は各運動セッションが月経の卵胞期にあたるようプロトコルが設定された。

(1) 環境要因

記載なし

(2) 結果指標

体温、心拍数、血圧、平均血圧、修正ボルグスケールによる主観的運動強度

(3) 交絡要因

記載なし

5 統計解析

・使用した統計手法

Student の t 検定、Sidak 検定、Levene 検定

6 結果

水分補給の有無による身体的パフォーマンス（エルゴメーターの走行距離、抵抗）に有意差は認められなかった。

体温、平均血圧、心拍数の上昇は、水分補給のない運動セッションの方が水分補給のあるものよりも高かった。

運動中、男性は女性より体温 ($p < 0.01$) と平均血圧 ($p < 0.01$) が高かったが、心拍数は同程度だった。

水分補給のない運動では、性別に関係なく全ての生理的パラメータを増加させた。体温については男性で有意差が認められた ($p < 0.05$) が、血圧と心拍数について男女差は認められなかった。

7 考察

(1) 結果の解釈

運動時に水分補給の機会が奪われると身体的ストレスが増加する。

脱水は身体的パフォーマンスには影響を及ぼさないが、身体的ストレスを増加させる。

換気のある条件下では男性よりも女性の方が滞留や蒸発による熱の損失が大きくなると考えられるが、換気なしの条件では男女差は認められない。

体温について、以下の回帰式を考案した。体温 = $34.3 + 0.25$ 年齢 (歳) + 0.01 心拍数 (bpm) - 0.12 Δ 体重 (kg) + 2.4 エルゴメーターにかかる抵抗 (N)

極端な気象条件下 (気温 35°C以上、相対湿度 50%以上) では脱水と体温は相加効果を発揮し、末梢血管抵抗と心拍数の増加、収縮期容量、心拍出量、平均血圧の低下により身体的パフォーマンスは著しく低下するが、本研究の室内条件 (23°C、相対湿度 23%) では、身体能力に影響がなかった。

(2) 誤差

①系統誤差

a. 選択バイアス : なし

情報バイアス : なし

b. 交絡バイアス (測定誤差など) : なし

②その他の問題点・疑問点

なし

8 文献内における重要な図表

なし

9 論文の総合評価 主要な結論

水分補給を伴わない運動では、男女ともに体温、平均血圧、心拍数の数値が高く、脱水が身体的ストレスを誘発させる。発汗による定役喪失を防ぐために十分な量の水分補給を行うことで、男女ともに身体的ストレスの予防に繋がる。スポーツ選手は、競技参加前に自身の脱水率を評価することが有用である。

文献要約 6

1 出典

(1) 著者

Chicas R, Xiuhtecutli N, Elon L, et al.

(2) 題目 (邦題)

Cooling Interventions Among Agricultural Workers (農業従事者における冷却装具の介入)

(3) 雑誌

Workplace Health Saf. 2021;69(7):315-322. Accessed May 10, 2022.

doi:10.1177/2165079920976524.

(4) キーワード

agricultural workers; cooling interventions; heat stress; heat-related illness; core body temperature

2 研究目的と仮説

(1) 目的

各国の農業、建設業、観光業に従事する労働者の熱生理反応と労働生産性に及ぼす職業性熱ストレス (以下、OH ストレス) の影響を調査すること。また、上記の産業部門で働く労働者が経験する OH ストレスを軽減するために、様々な費用対効果の高い暑熱対策を検討すること。

(2) 仮説

作業中の冷却装置の使用は、核心温 (以下、 T_c) の上昇を抑制し、自己申告の HRI 症状を減少させる。

(3) 背景・意義

農業従事者は、直射日光の当たる屋外や湿度の高い環境下で激しい労働を行っており、労働者を熱関連疾患 (以下、HRI) のリスクが高い。米国労働統計局は、農業は最も危険な産業の一つであると報告しており、HRI 死亡に関する疫学的研究によると、農業従事者の熱関連死亡リスクは一般労働者集団の 35 倍であった。

環境熱や労作熱にさらされた結果、体温調節の代償限界を超える T_c の上昇につながる。 T_c が 38°C を超えると熱中症になる可能性があり、NIOSH と米国産業衛生専門家会議

(ACGIH) は、激しい作業に長時間さらされる場合 (2 時間以上)、 T_c が 38°C を超えないようにすることを推奨している。現在、農業従事者を HRI 症状から、または T_c 閾値 38°C を超えることから保護するための冷却介入に関するフィールドベースの米国での研究はない。

3 研究デザイン

(1) 研究デザイン

介入研究

ランダム化比較試験

(2) 研究対象者

①調査国

アメリカ フロリダ州

②業種・職種

農業（主な作業環境は、シダ栽培園 42%、苗床 41%、畑作 12%、景観 6%）

③対象者数

84 人（女性 66%）の農業従事者

④年代

平均年齢 42 歳（SD=9 歳）

⑤その他

少なくとも過去 4 週間、農業に従事していた。

労働者のうち、妊娠中、1 型糖尿病患者は除外した。

4 測定方法

(a) 対照グループ（介入なし）、普段着、(b) 冷却バンダナのみ、(c) 冷却ベストのみ、(d) 冷却バンダナと冷却ベストの両方に分類し、それぞれ観察前と観察後にアンケート調査を実施した。

T_c は観察日の前日の晩に錠剤センサを飲み込んで測定を行った。

(1) 環境要因

heat-exposure

(2) 結果指標

Heat, heat-related illness, heat stroke, heat exhaustion

(3) 交絡要因

なし

5 統計解析

ロジスティック回帰分析：SAS バージョン 9.4 ソフトウェア（Cary, NC, USA）を使用した。結果変数は T_c 及び介入作業試験中に経験した自己申告の HRI 症状、連続変数は平均値±標準偏差（SD）または中央値四分位範囲（IQR）としてまとめた。

5 つの交絡因子（BMI、勤務時間、米国農業従事年数、暑さ指数、勤務時間中の中等度から強度の身体活動）を単一共変量モデルで評価した。

6 結果

研究対象者の平均 BMI は 31 (SD = 7) 、平均農業従事年数は 17 (SD = 9 年) 、労働時間の中央値は 7 時 40 時間であった。参加者がさらされた最大平均暑さ指数は 88 ° F であった。

介入方法と対象人数は、(a) 対照グループ、普段着 (17 名)、(b) 冷却バンダナのみ (20 人)、(c) 冷却ベストのみ (20 人)、(d) 冷却バンダナと冷却ベストの両方 (21 人) であり、84 人中 78 人が研究を完遂した。

1 日あたり費やした中等度以上の活動量では、介入群間の差はなかった。

HRI 症状を報告しなかった研究対象者の割合は、(d) 両方グループが最も高く (80%) 、次いで (b) バンダナグループ (68%) 、(c) ベストグループ (60%) であり、(a) 対照グループ (40%) であった。

T_c 38°C の超過に関する観察では、(b) バンダナグループ 38%、(a) 対照グループ 46%、(d) 両方グループ 53%、(c) ベストグループ 60% であった。38.0°C を超えた時間の中央値は、(b) バンダナグループで 23 分 (IQR = [16, 32]) であった。38.0°C 以上の滞在時間中央値は、(a) 対照グループ 26 分 [13, 188]、(d) 両方グループ 32 分 [21, 78] であり、(c) ベストグループは 53 分と最も長かった [13, 188]。

HRI 症状のうち、(a) 対照グループと比較して、(d) 両方グループでは、1 つ以上の症状を持つ確率が 80% 減少した (OR = 0.2, 90% CI = [0.1, 0.8])

対照群と比較して、(b) バンダナグループは T_c が 38.0°C を超えるオッズが低く (OR = 0.7, 90% CI = [0.2, 3.1]) 、(c) ベストグループは 38.0°C を超えるオッズが高かった (OR = 1.8, 90% CI = [0.4, 7.9]) 。(d) 両方グループは、(a) 対照グループと差がなかった (OR = 1.3, 90% CI = [0.3, 5.6]) BMI、農業に従事した年数、労働時間、および中程度から活発な運動は、推定値に影響を与えなかった。

7 考察

(1) 結果の解釈

(b) バンダナグループが他の群と比較して、T_c 38.0°C を超えにくい結果であったが、技術的な問題でファイルを損失し、統計的に有意ではなかった。バンダナは軽量で、体の動きをほとんど制限することなく着用可能である。あらゆる動きを必要とする農業従事者にとって、暑熱対策道具を使用する際の快適さは非常に重要である。解剖学的に、頸部は大きな血管があるため熱の除去に最適であり、38.0°C を超える研究対象者が少なかった可能性がある。

先行研究で建設業の作業員が休憩時間や作業中に冷却ベストを使用した研究では、熱ストレスを緩和するのに有効であるという知見が示されているが、今回の研究では (c) ベストグループが熱ストレスを緩和させたという結果は得られなかった。作業中にベストを使用した場合、80% が T_c 38°C を超え、さらに 3 つ以上の HRI 症状を感じたと報告した唯一のグループであった。要因としては、先行研究は 2 時間に限って冷却ベストを着用していたことに対して、本研究の研究対象者には勤務時間全体で冷却ベストを着用させており、定期的な休憩時間に使用するのがより実用的で効果的である可能性がある。また、解剖学的に、頸部は静脈が大きく脂肪組織が少ない

のに対し、胴体部は静脈が小さく脂肪組織が多いため、衣服の上から着用する冷却ベストが作業者の体温を維持する効果を制限する可能性がある。さらに、作業員の体重が5ポンド増えることで、作業中の生理的な負担が大きくなる可能性がある。

先行研究の唐辛子採り作業者を対象とした研究では、チャンバーでの作業中に2つの冷却装置を装着した者は、直腸温が38°C以上になることはなかった。本研究では、(d)冷却ベストとバンドナの使用は、作業中にHRI症状を経験しなかったと報告する研究対象者が最も多いグループであるにもかかわらず、 T_{re} が38.0°Cを超えることに対する予防効果がなかった。先行研究と本研究の違いは、研究対象者は平均8時間現場で働いたのに対し、唐辛子収穫者は人工気候室内で120分間、休憩を挟んで作業を観察した点であり、1日の労働時間を調整すると、組み合わせグループは、HRI症状の経験に対して意味のある効果を示した。

HRIは、早期発見と適切な予防対策によって予防可能な疾患であり、産業保健業者は、HRIの予防と熱関連死亡の軽減に関する産業の発展と訓練において重要な役割を果たすことができる。HRIに対する予防策は、農業労働者が経験する長期間の熱曝露の後に発症する基礎疾患による合併症の可能性を低下させ、これらの脆弱な集団にも影響を及ぼす長期の農業労働に伴う他の健康障害のリスクを減少させることができる。

(2) 誤差

①系統誤差

- a. 選択バイアス：記載なし
情報バイアス：記載なし
- b. 交絡バイアス（測定誤差など）：記載なし

②その他の問題点・疑問点本研究はサンプル数が小さく、主に技術的な問題で T_{re} 観察ファイルが失われたため、分析段階でさらに小さくなった。また、(a)対照群は、研究辞退者があり、研究対象者が減少した。

フロリダ州中部および南部の農業従事者の便宜的なサンプルが、介入群または対照群にランダムに割り当てられており、研究の外的妥当性を制限する可能性がある。

今後、冷却バンドナの使用やその他の冷却装具の着用が熱関連疾患の罹患および死亡のリスクを低減させるかどうかを判断するためには、より大きなサンプルサイズと効果の検出が可能な研究が必要である。

8 文献内における重要な図表

Table 2.

Heat-related illness symptoms and core body temperature among agricultural workers by cooling intervention groups

| Cooling Intervention | >=1 HRI symptom | | Core body temperature | | |
|----------------------|--------------------|---------|-----------------------|----------|------------------|
| | Total Participants | % n | Total Participants | > 38.0°C | Minutes > 38.0°C |
| | N | % n | N | % (n) | Median [Q1, Q3] |
| Control | 15 | 53% (8) | 13 | 46% (6) | 26 [1, 66] |
| Bandana | 19 | 32% (6) | 16 | 38% (6) | 23 [16, 32] |
| Vest | 20 | 40% (8) | 15 | 60% (9) | 53 [13, 188] |
| Combination | 20 | 20% (4) | 17 | 53% (9) | 32 [21, 78] |

Note. Sample sizes are smaller than the full cohort due primarily to loss of core body temperature files to technical issues.

Table 3.

The effect of cooling interventions among agricultural workers on the self-report of one or more heat-related symptoms during the workday, n=74

| Cooling Intervention (ref=No intervention) | Unadjusted | Adjusted for single covariate | | | | |
|--|----------------|-------------------------------|----------------|-----------------------------|----------------------|----------------------------|
| | OR [90%CI] | BMI | Heat Index Max | Years worked in agriculture | Hours worked per day | Moderate-vigorous activity |
| Bandana | 0.4 [0.2, 1.3] | 0.4 [0.2, 1.4] | 0.4 [0.1, 1.5] | 0.4 [0.1, 1.4] | 0.4 [0.1, 1.2] | 0.7 [0.2, 2.4] |
| Vest | 0.6 [0.2, 1.8] | 0.5 [0.2, 1.8] | 0.5 [0.2, 1.7] | 0.5 [0.2, 1.7] | 0.4 [0.1, 1.5] | 0.8 [0.2, 2.8] |
| Combination | 0.2 [0.1, 0.8] | 0.2 [0.1, 0.7] | 0.3 [0.1, 1.0] | 0.2 [0.1, 0.8] | 0.2 [0.1, 0.7] | 0.3 [0.1, 1.2] |

Note. OR= odds ratio; CI= confidence interval. The outcome is "during the workday, participant self-reported one or more heatrelated symptom, yes/no". Odds ratios <1 suggest a protective effect of the intervention.

Table 2.

Heat-related illness symptoms and core body temperature among agricultural workers by cooling intervention groups

| Cooling Intervention | >=1 HRI symptom | | Core body temperature | | |
|----------------------|--------------------|---------|-----------------------|----------|------------------|
| | Total Participants | % n | Total Participants | > 38.0°C | Minutes > 38.0°C |
| | N | % n | N | % (n) | Median [Q1, Q3] |
| Control | 15 | 53% (8) | 13 | 46% (6) | 26 [1, 66] |
| Bandana | 19 | 32% (6) | 16 | 38% (6) | 23 [16, 32] |
| Vest | 20 | 40% (8) | 15 | 60% (9) | 53 [13, 188] |
| Combination | 20 | 20% (4) | 17 | 53% (9) | 32 [21, 78] |

Note. Sample sizes are smaller than the full cohort due primarily to loss of core body temperature files to technical issues.

Table 3.

The effect of cooling interventions among agricultural workers on the self-report of one or more heat-related symptoms during the workday, n=74

| | Unadjusted | Adjusted for single covariate | | | | |
|---|-------------------|-------------------------------|----------------|-----------------------------|----------------------|----------------------------|
| | | BMI | Heat Index Max | Years worked in agriculture | Hours worked per day | Moderate-vigorous activity |
| Cooling Intervention (ref=No intervention) | OR [90%CI] | | | | | |
| Bandana | 0.4 [0.2, 1.3] | 0.4 [0.2,1.4] | 0.4 [0.1, 1.5] | 0.4 [0.1, 1.4] | 0.4 [0.1, 1.2] | 0.7 [0.2, 2.4] |
| Vest | 0.6 [0.2, 1.8] | 0.5 [0.2, 1.8] | 0.5 [0.2, 1.7] | 0.5 [0.2, 1.7] | 0.4 [0.1, 1.5] | 0.8 [0.2, 2.8] |
| Combination | 0.2 [0.1, 0.8] | 0.2 [0.1, 0.7] | 0.3 [0.1, 1.0] | 0.2 [0.1, 0.8] | 0.2 [0.1, 0.7] | 0.3 [0.1, 1.2] |

Note. OR= odds ratio; CI= confidence interval. The outcome is "during the workday, participant self-reported one or more heatrelated symptom, yes/no". Odds ratios <1 suggest a protective effect of the intervention.

Table 3.

The effect of cooling interventions among agricultural workers on the self-report of one or more heat-related symptoms during the workday, n=74

| | Unadjusted | Adjusted for single covariate | | | | |
|---|-------------------|-------------------------------|----------------|-----------------------------|----------------------|----------------------------|
| | | BMI | Heat Index Max | Years worked in agriculture | Hours worked per day | Moderate-vigorous activity |
| Cooling Intervention (ref=No intervention) | OR [90%CI] | | | | | |
| Bandana | 0.4 [0.2, 1.3] | 0.4 [0.2,1.4] | 0.4 [0.1, 1.5] | 0.4 [0.1, 1.4] | 0.4 [0.1, 1.2] | 0.7 [0.2, 2.4] |
| Vest | 0.6 [0.2, 1.8] | 0.5 [0.2, 1.8] | 0.5 [0.2, 1.7] | 0.5 [0.2, 1.7] | 0.4 [0.1, 1.5] | 0.8 [0.2, 2.8] |
| Combination | 0.2 [0.1, 0.8] | 0.2 [0.1, 0.7] | 0.3 [0.1, 1.0] | 0.2 [0.1, 0.8] | 0.2 [0.1, 0.7] | 0.3 [0.1, 1.2] |

Note. OR= odds ratio; CI= confidence interval. The outcome is "during the workday, participant self-reported one or more heatrelated symptom, yes/no". Odds ratios <1 suggest a protective effect of the intervention.

Table 3.

The effect of cooling interventions among agricultural workers on the self-report of one or more heat-related symptoms during the workday, n=74

| | Unadjusted | Adjusted for single covariate | | | | |
|---|-------------------|-------------------------------|----------------|-----------------------------|----------------------|----------------------------|
| | | BMI | Heat Index Max | Years worked in agriculture | Hours worked per day | Moderate-vigorous activity |
| Cooling Intervention (ref=No intervention) | OR [90%CI] | | | | | |
| Bandana | 0.4 [0.2, 1.3] | 0.4 [0.2,1.4] | 0.4 [0.1, 1.5] | 0.4 [0.1, 1.4] | 0.4 [0.1, 1.2] | 0.7 [0.2, 2.4] |
| Vest | 0.6 [0.2, 1.8] | 0.5 [0.2, 1.8] | 0.5 [0.2, 1.7] | 0.5 [0.2, 1.7] | 0.4 [0.1, 1.5] | 0.8 [0.2, 2.8] |
| Combination | 0.2 [0.1, 0.8] | 0.2 [0.1, 0.7] | 0.3 [0.1, 1.0] | 0.2 [0.1, 0.8] | 0.2 [0.1, 0.7] | 0.3 [0.1, 1.2] |

Note. OR= odds ratio; CI= confidence interval. The outcome is "during the workday, participant self-reported one or more heatrelated symptom, yes/no". Odds ratios <1 suggest a protective effect of the intervention.

9 論文の総合評価 主要な結論

本研究では、暑熱環境で働く農業労働者が冷却バンダナを使用することで、 T_{re} 38.0°Cを超えないように保護する可能性があることがわかった。今後、冷却バンダナの使用やその他の冷却用装具の着用と熱関連疾患の罹患および死亡のリスク低減の関連性を検討するためには、より大きなサンプルサイズと効果の検出が可能な研究が必要である。

文献要約 7

1 出典

(1) 著者

Xiang J, Hansen A, Pisaniello D, Bi P.

(2) 題目 (邦題)

Perceptions of Workplace Heat Exposure and Controls among Occupational Hygienists and Relevant Specialists in Australia (オーストラリアのオキュペーショナルハイジニストと関連専門家による職場における暑熱への曝露とコントロールに関する認識)

(3) 雑誌

PLoS One. 2015;10(8). Accessed May 17, 2022. doi: 10.1371/journal.pone.0135040.

(4) キーワード

記載なし

2 研究目的と仮説

(1) 目的

オーストラリアのオキュペーショナルハイジニストおよび関連専門家における、暑熱関連の健康と安全に関する問題に対する認識と、現在および将来の暑熱対策に関する見解を明らかにすること。

(2) 背景・意義

オーストラリアの平均気温は、ここ数十年の気候と比較すると、2070年までに1.0~5.0°C上昇し、熱波の発生数は2050年までに3倍になると予測されており、気候変動による熱ストレスが職業環境において増加する可能性と、その生産性損失への影響の可能性が近年取り上げられている。平均気温の上昇と猛暑の期間の増加により、2070年までに、オーストラリアの屋外での肉体労働者が熱中症にかかるリスクが中~高度であることが示されており、その結果午後の作業時間が大幅に減少し、暑熱に関連する病気や怪我が増加する可能性がある。

職場における効果的な熱ストレス管理には、政府機関、労働安全衛生(OH&S)サービスプロバイダー、雇用者、労働組合、労働者など、さまざまな関係者との総合的な取り組みと協力が必要であり、様々なレベルのOH&S関係者が、職場の熱中症リスクをどのように捉えているのか、より深く理解することが重要である。労働安全衛生の専門家(インダストリアルハイジニストなど)は、環境上の危険を認識、評価、コントロールすることにより、労働者の健康と安全を守る最前線に存在する。専門家として熱ストレスのトレーニング、モニタリング、評価、管理において中心的かつ重要な役割を担っています。専門家として、熱ストレスのトレーニング、モニタリング、評価、管理で中心的かつ重要な役割を果たし、雇用者に暑熱対策の勧告を行う。

3 研究デザイン

(1) 研究デザイン

横断研究

(2) 研究対象者

①調査国

オーストラリア（大半オーストラリア州、次いでニューサウスウェールズ州、ビクトリア州、南オーストラリア州、クイーンズランド州）

②業種・職種

AIOH 会議組織委員会の会議登録者（プロフェッショナルハイジニストおよび関連産業専門家）371人中180人（48.5%）、オキュペーショナルハイジニスト89名（49.4%）、労働コンサルタント（26.7%）、OH&S サービスを提供する企業のスタッフ（21.1%）、職場の OH&S マネージャー（2.8%）

4 測定方法

2012年12月1日から5日までアデレードで開催された第30回オーストラリア産業衛生学会（AIOH）年次大会・展示会期間中に、横断的な自記式調査を行った。内容は主に以下の3つである。

現在の職場の酷暑と気候変動に対する懸念と意識を測定するために、5段階のリッカート尺度による質問を3つ行った。

参加者の暑熱ストレス管理経験や企業の温暖化対策について調査するため、8つの具体的な質問項目を設けた。

現在の暑さ対策と適応障壁を理解するために、参加者に、回答者が担当する作業場における猛暑時の対策について、職場の熱ストレス予防のための潜在的な障壁について、オーストラリアの職場で熱に関連した病気や怪我の予防のための推奨事項や提案（自由回答）について質問した。

(1) 環境要因

heat exposure

(2) 結果指標

Heat, heat-related illnesses (incident(s))

(3) 交絡要因

なし

5 統計解析

・使用した統計手法

データ分析：Microsoft Excel 2010 に入力し、Stata v12.0 (Stata Corp LP, College Station, Texas)を使用した。

記述的分析：変数頻度の計算

カイ二乗検定：を用い、暑熱への関心、満足度、暑熱対策への姿勢の相関を調査し、オキュペーショナルハイジニストと他の専門家との暑熱への関心の違いを比較

6 結果

研究対象者 180 人中、オキュペーショナルハイジニスト 89 名 (49.4%)、労働コンサルタント (26.7%)、OH&S サービスを提供する企業のスタッフ (21.1%)、職場の OH&S マネージャー (2.8%) であった。オキュペーショナルハイジニストの 35 人 (39.3%) がインダストリアルハイジニストであった。

参加者の約 90%が「暑さによる危険の増加」について、中程度以上の懸念を抱いている (Table2)。研究対象者のほぼ 3 分の 2 は、気候の変化による猛暑が、将来暑熱管理において課題となる可能性があると考えている。現在職場で行われている暑熱対策について、半数の参加者が「満足」「とても満足」と回答した。一方、19.4%は「満足していない」結果であった。気候変動により増加すると思われる熱ストレスに対する懸念や姿勢、現在の暑熱対策に対する満足度について、オキュペーショナルハイジニストとその他の専門家と間に有意な差は見られなかった。

68.9%の研究対象者が、現在、自分の職場や担当する職場に暑熱対策プランや熱ストレス対策があると回答した。産業分野別では、62.1%が鉱業、次いで製造業 (25.0%)、電気・ガス・水道 (8.9%)、建設 (8.1%) および防衛 (3.2%) であった。

研究対象者の 9 割が「暑い時期に労働者が暑さを心配しているのを聞いたことがある」と回答しており、そのうち「いつも」7.4%、「よく」36.8%、「ときどき」44.2%であった。過去 5 年間に熱中症や熱傷の調査をしたことがあると回答した人は約半数 (52.8%) であった。

約 61%の回答者が、職場における熱中症対策の教育を強化する必要があることに同意している。一方、約 3 分の 1 は反対意見であり、85.3%が「トレーニングは概ね適切である」と考え、14.8%が「深刻な問題ではない」と考えている。トレーニングポイントとしては、「水分補給の維持、セルフペーシング、暑熱順化、熱中症の初期症状」、「個人保護具が人体の熱バランス維持に与える影響」「暑さのリスク要因 (例：持病、ライフスタイル、体力レベル)」「暑い季節になる前の年次トレーニング」という回答があった。

暑さに関する規制を強化する必要があるかという質問に対しては、半数以上が「はい」、36.7%が「いいえ」、11.7%が「わからない」と回答した。否定的な回答をした人の中で、多くは「暑熱対策はもう十分だと思う」、11.1%が「深刻な問題ではない」という意見であった。

ほとんどの回答者 (81.7%) が、今後予想される猛暑に対応するために活動する組織を知らないことがわかった。また、猛暑の影響を軽減するための工夫をしている企業を知らない人が 73.3%もいた。熱中症予防の推奨事項を変更するつもりとの回答者は 26.1%にとどまった。一方、52.8%の回答者は、経営者や企業への提言は変更したくないと回答した。

オーストラリアの職場で現在採用されている暑熱曝露の影響を軽減する予防策としては、「冷たい飲料水の提供」が最も多く、「熱ストレス関連のトレーニング」(76.1%)、「中央冷却シ

システムまたは空調」(70.0%)であった。また、41.7%の人が「極端に気温が高いときは作業を中止する」ことを推奨していた。

暑熱対策・適応の障壁として最も多く挙げられたのは、「意識不足」(68%)であり、次いで「研修不足」(56.1%)、「管理職のコミットメント不足」(52.2%)、「熱ストレス防止プログラムの遵守・実施が低い」(40.0%)、「工学的装置を導入するための財源がない」(37.2%)、「熱に関する具体的な指針・ガイドラインがない」(37.2%)と続いた。

暑熱への不安を抱えている回答者は、暑熱に関する教育や規制の強化を支持し、さらに経営陣や企業への提言も変更する傾向が強い。また、現在の暑熱対策に満足していない人は、暑熱対策教育や規制の強化をより強く望んでいる傾向が見られた。しかし、現在の暑熱対策に満足している人と満足していない人では、暑熱対策に対するアドバイスの程度について、差は見られなかった。

7 考察

(1) 結果の解釈

大多数のオキュペーションナルハイジニストおよび関連専門家が、職場の暑熱曝露に懸念を抱いていることが明らかになった。ほぼすべての回答者が、暑い時期の熱曝露に関する労働者の懸念をよく聞いており、オーストラリアの職場で熱曝露により労働者の熱的快適性が損なわれていることが示された。暑熱曝露に対する労働者の生理的反応を調査した先行研究でも、地上鉱山労働者の70%近くが水分不足であることや、毛刈り職人、大工、鉄道線路保守作業員の間で、気温が37°Cを超えたときの熱疲労を生じたなどの報告がなされており、今回の調査でも、回答者の半数以上が猛暑時に発生した怪我や事故について調査した経験があり、深刻な熱中症が発生していることを裏付けている。このことから、オーストラリアの職場で現在採用されている暑熱対策が、熱に関連する病気や怪我から弱い立場の労働者を十分かつ効果的に保護できていない可能性を示唆している。管理統制、教育訓練、個人の行動調整、暑熱予防対策の策定といった側面から関連する措置を講じる必要がある。

熟練したOH&S専門家のほとんどが、熱ストレスの影響を軽減するための措置を講じている企業を知らなかったため、調査代表者の見解では、オーストラリアの職場は、より温暖な気候になる可能性に対して十分な備えがなされていない。これは、現在の暑熱への曝露はすでに危険なレベルにあり、既存の職場は労働者の健康を保護するための設備が整っていないという定性的調査の結果と一致している。

農業者や林業者、特に季節労働者や出稼ぎ労働者は、熱中症や怪我をするリスクが高いという報告がある。これらの業種では、通常、オキュペーションナルハイジニストや関連専門家は雇用されていない。オーストラリアには、農場労働者不足、比較的高い時間給、及びワーキングホリデービザ(サブクラス416、417)の提供により、季節労働者及び移民農民が多く存在しており、農業労働者、特に移民や季節的な農業労働者は、最もサービスが行き届いておらず、研究されていない職業集団の一つである。したがって、より多くの暑熱対策プログラムがこの暑さに脆弱な集団に向けられるべきである。

今回の結果で約半数の人が現在の暑熱対策に満足していないことが明らかになり、現在の暑熱対策や施策のバージョンアップが必要であることが示唆された。オーストラリアでは、労働者を酷暑から守るための暑熱対策が義務付けられているが、現状では曖昧な点が多く、実施や効果の妨げになる可能性がある。調査結果では、冷えた飲み水の提供は、最も一般的な暑熱対策であり、これは国のモデル規範（職場環境と施設の管理）でも求められているが、すべての職場でこれが利用できるわけではない。非政府機関（AIOH など）や労働組合（CFMEU）が熱ストレス管理に関するガイドラインを作成しているが、義務的ではないため、遵守率が低い。

オーストラリアの CFMEU では、「気温が 37°C を超えたら、空調の効いた場所でない限り、すべての作業を中止する」としているが、本研究では、回答者の 40% だけが、気温が非常に高いときの予防策として「屋外作業の停止」を選択した。救急隊員（消防など）や公共施設のメンテナンススタッフなど、業務の性質上、どうしても猛暑にさらされる労働者がいる。このような場合 気性の良い個人用保護具を開発したり、冷却ベストを着用したりするなどの代替技術の導入やリアルタイムのモニタリングが解決策となる可能性がある。

オキュペーションナルハイジニストやその他の関連専門家の多くが、暑熱対策の主な障壁は意識の低さであると考えている。また、トレーニングや管理者のコミットメントの欠如、熱中症予防ポリシーの遵守と実行の低さ、財源不足などが考えられ、これらは米国での過去の熱中症研究でも指摘されている。さらに、フライイン・フライアウト（FIFO）勤務体制の増加も、暑熱順化の課題となる可能性がある。西オーストラリア州の採掘場の約 49% が FIFO 方式で操業している。

もし 労働者が涼しい地域から猛暑の地域へ飛行機で移動する場合、暑熱に順応していない可能性があり、暑さの影響を受けやすくなる。

(2) 誤差

① 系統誤差

a. 選択バイアス

サンプリングの枠組みが会議の参加者に限定されている。

情報バイアス

記載なし

b. 交絡バイアス（測定誤差など）

記載なし

② その他の問題点・疑問点

サンプル数が比較的少ないため、結果の一般化には注意が必要である。

この見解は、オーストラリア国内のすべてのオキュペーションナルハイジニストを代表するものと見なすことはできないが、AIOH との協議により、オーストラリアのシニアオキュペーションナルハイジニストの多くが、本調査に参加した。したがって、本研究の結果は、基本的には、職場の暑熱曝露に関するオーストラリアのオキュペーションナルハイジニストや関連専門家の意見の大部分を表している可能性がある。

今後の研究について、以下が必要と考える。(1)かなりの割合の産業衛生士や関連専門家が、現在の暑熱対策に満足していない理由を探る、(2) 労働者、雇用者、政策立案者、関係者が職場での暑熱曝露のリスクをどう認識しているかを調べる、(3) 暑さに脆弱な職業における現在の熱ストレスレベルの測定と気温変動の傾向を明らかにし、職場での暑熱曝露についてより確かな根拠となる情報を提供する。また、本調査の自由記述式質問の結果は、本調査を補足するものであるが、暑熱リスクに関する認識をさらに追及するためには、より詳細な定性調査が必要である。

8 文献内における重要な図表

Table 3
Comparison of heat concern, attitudes toward climate change related heat challenge, and satisfaction level of heat prevention measures by occupation and area (Chi-square test).

| | Heat concern | | | Future heat stress challenge | | | Satisfaction of heat prevention measures | | |
|-------------------|--------------|----|---------|------------------------------|----|---------|--|----|---------|
| | Yes | No | p-value | Yes | No | p-value | Yes | No | p-value |
| Occupation | | | | | | | | | |
| Hygienists | 63 | 26 | 0.246 | 58 | 31 | 0.963 | 48 | 42 | 0.297 |
| Non-Hygienists | 57 | 34 | | 59 | 32 | | 41 | 49 | |
| Area | | | | | | | | | |
| WA and Qld* | 43 | 20 | 0.740 | 36 | 27 | 0.105 | 36 | 27 | 0.130 |
| Other States | 77 | 40 | | 81 | 36 | | 53 | 64 | |

[Open in a separate window](#)

*WA and Qld: Western Australia and Queensland.

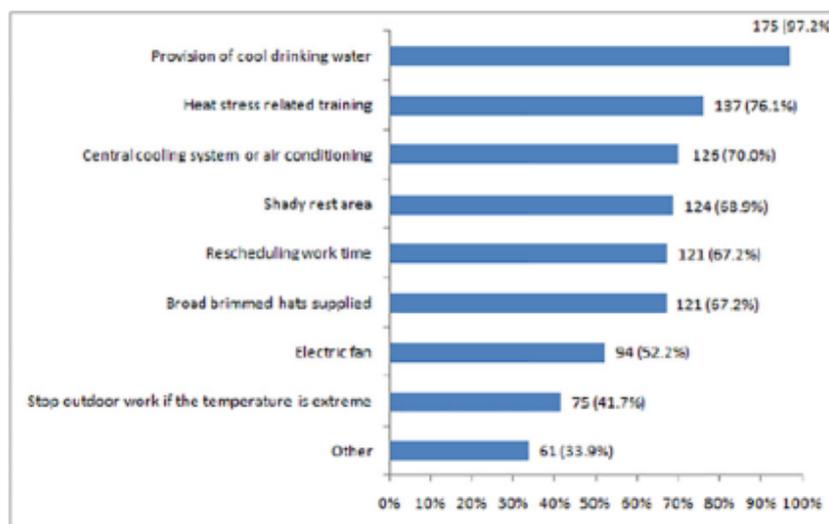


Fig 1. Heat-related preventive measures currently adopted in the workplace.

doi:10.1371/journal.pone.0135040.g001

9 論文の総合評価 主要な結論

オーストラリアのオキュペーションナルハイジニストやその他の専門家は、熱ストレスに対する懸念を示したが、企業や経営者に対して暑熱対策を改善する強い意志は示さなかったことから、職場の暑熱対策は不十分である可能性がある。

研究対象者が認識している暑熱対策の障壁は、意識具足、トレーニング不足、管理者のコミットメント不足、ポリシーの遵守率の低さであった。現在の暑熱対策に満足していない研究対象者の割合が高いことから、オーストラリアの職場における暑熱対策の更なる発展が望まれる。

2 熱中症による労働災害が休業4日以上となる要因の検討

研究協力者 前田 妃

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学 産業医学修練医

研究要旨

2016年から2020年の全国における熱中症による休業4日以上又は死亡の労働災害事例および2019年から2020年の全国における熱中症による休業4日以上又は死亡の労働災害事例ならびに福岡県労働局が調査した休業4日未満の労働災害事例に関するデータを取得し、各事例に最寄りの気象官署における環境指標を調査して突合せた。熱中症の重症化リスクとして、6月下旬から8月中旬までの時期であること、40歳以上で屋外作業ではWBGTが高値となること、男性であること、さらに高年齢であることが挙げられた。

A. 研究目的

近年、気候変動の影響により日本を含め世界的に年平均気温は上昇し、夏季を中心に熱中症の発生が相次いでいる。職場においても多数の熱中症患者が発生し、重症化して死亡にいたる例も少なくない。しかし、労働災害補償に関する統計は、発熱源、熱上昇気流、服装、人的密集など熱中症を発生させた原因の観点から分類されておらず、暑熱職場における熱中症の高リスク要因が十分に整理されていない。業務上の災害により労働者が熱中症で休業4日以上もしくは死亡した事例は、労働安全衛生法施行規則第97条に基づき、労働者死傷病報告（様式23号）に被災状況について詳細に記入して報告しなければならない。一方、休業4日未満の事例では、様式第24号に、ある一定期間ごとに発生した労働災害を取りまとめて記入して報告する仕様となっている。このとき、休業4日未満の事例については疾病別の統計は作成されていない。そこで、熱中症労働災害について休業日数別の発生割合及び重症化リスクを明らかにするとともに、休業4日以上（死亡事例を含む）の事例と気象情報との関連性

について検討した。

B. 研究方法

1 休業4日以上事例調査

2016～2020年に全国で発生した熱中症による休業4日以上事例及び死亡事例に関するデータを厚生労働省労働基準局安全衛生部労働衛生課から取得した。

2 休業4日未満事例調査

2019年から2021年にかけて福岡労働局が休業4日未満の熱中症事例について調査したデータを取得した。入手できた情報は、発生日時と場所（屋内／屋外を含む）、事業所の業種、年齢、生年月日、性別、所轄労働基準監督署の名称であった。休業日数については入手できなかった。

3 気象条件データの突合

熱中症の事例が報告された労働基準監督署に最寄りの気象官署における発生時点の観測結果について、気象庁が公開している「過去の気象データ検索」¹⁾及び環境省が公開している「熱中症予防情報サイト」²⁾で調査

して突合せた。

4 休業日数に影響する要因の分析

(1) 休業 14 日以上及び死亡事例について

前述の「1 休業 4 日以上的事例調査」のデータを用いて、発生時に重症であった熱中症の事例であるほど休業日数が長くなると仮定して、休業日数が 14 日以上（死亡事例を含む）の事例に認められる特徴を分析した。発生月、発生時刻、被災者の性・年代、業種、最寄りの気象官署における環境指標等を比較した。また、環境指標（気温、相対湿度、平均風速、黒球温、WBGT）と被災者の年齢を説明変数、休業 14 日の事例を目的変数とする分析を行った。

(2) 福岡県関連における熱中症の労働災害事例調査について

前述の「1 休業 4 日以上的事例調査」及び「2 休業 4 日未満の事例調査」のデータを用いて、外気温や WBGT が高温であるほど休業 4 日以上熱中症事例が発生しやすいと仮定して、2019～2020 年に発生した福岡県関連の休業 4 日未満および休業 4 日以上（死亡事例を含む）の事例に認められる特徴を分析した。なお、福岡県関連とは、2016～2020 年に全国で発生した熱中症による休業 4 日以上事例及び死亡の事例に関するデータのうち福岡県労働局管轄内で発生したもの、および 2019 年から 2021 年にかけて福岡労働局が休業 4 日未満の熱中症事例について調査したデータのうち災害発生場所が福岡県内のものをいう。発生月、被災者の性・年代、業種、最寄りの気象官署における環境指標等を比較した。また、環境指標（気温、相対湿度、平均風速、黒球温、WBGT）と被災者の年齢を説明変数、休業 4 日の事例を目的変数とする回帰分析を行った。ただし、

突合せた気象官署の測定データと合わせて解析するために、福岡県外で発生した事例および屋内作業が想定される業種、夜間勤務帯（18 時～翌 9 時）で発生した事例の合計 655 件を除外した。

C. 研究結果

1 全国における休業 4 日以上事例調査について

2016～2020 年の全国における熱中症による労働災害の被災者数は、休業 0～3 日であったものは不明であるが、休業 4～7 日未満が 1,303 人、休業 7～14 日未満が 1,533 人、14 日以上が 1,008 人、死亡が 100 人で、合計 3,944 人であった（図 1）。

性・年代別の被災者数は、男性が 3,265 人（82.8%）、女性が 679 人（17.2%）で、年齢は 15～87 歳まで分布し、40 歳未満が 1,172 人（29.7%）、40 歳代が 928 人（23.5%）、50 歳代が 953（24.2%）、60 歳代以上が 891 人（22.6%）あった（表 1）。

被災者のうち休業 14 日以上であった割合は、男性が 953/3,265 人（29.2%）、女性が 155/679 人（22.8%）であり、40 歳未満が 243/1,172 人（20.7%）、40 歳代が 246/928 人（26.5%）、50 歳代が 290/953 人（30.4%）、60 歳代以上が 329/891 人（36.9%）であり、高年齢者ほど明らかに増加する傾向を認めた（表 1、2、図 2）。

2018～2020 年は梅雨明けから 8 月中旬まで非常に暑く、熱中症による労働災害の被災者数も増加した（表 3）。特に記録的な猛暑となった 2018 年は、被災者数も記録的に多かった。発生時期を細かくみると、毎年、5 月下旬から熱中症の重症例が発生するようになり、全国的に梅雨入りする 6 月下旬に被災者数が増加した。梅雨明けを迎える 7 月中旬

以降にはさらに増加し、8月上旬は休業14日以上であった割合が30%を超えていた(図7)。そして、全国的に盆休みの時期である8月中旬になると被災者数が減少する傾向を認めた。

発生時刻別にみると、11時台と15時台にピークを認めた(図4)。9～12時台が1,310人(33.2%)、13～17時台が2,074人(52.8%)であった。休業14日以上であった割合も同様に、11時台と15時台にピークを認めた。

各事例の発生地点に最寄りの気象官署における気象条件で分類した結果、WBGT25℃未満が447人、25℃以上が842人、28℃以上が1,633人、31℃以上が905人、33℃以上が104人であった。被災者のうち休業14日以上であった割合は、WBGT25℃未満が109/447人(24.4%)、25℃以上が219/842人(26.0%)、28℃以上が468/1,633人(28.7%)、31℃以上が274/905人(30.3%)、33℃以上が35/104人(33.7%)であり、WBGTが高くなるほど増加する傾向を認めた(図5)。

業種別では、建設業が852人(20.9%)、製造業が519人(20.5%)、運輸交通業が522人(13.2%)、商業361人(9.1%)、警備業328人(8.3%)、清掃・と畜業272人であった(表6)。建築工事業と土木工事業に大別すると、建築工事業が513人、土木工事業が265人と、建築工事業の事例数は土木工事業の約2倍で、かつ、休業日数の長い事例の割合が大きかった(図6)。

熱中症による労働災害で休業14日以上または死亡の事例数を目的変数とし、気象条件や個人要因を説明変数とした多重ロジスティック回帰分析を行った結果、被災者の年齢($p<0.0001$)、性別($p=0.0044$)、気温($p=0.7950$)、風速($p=0.7868$)、相対湿度

($p=0.5469$)、黒球温($p=0.6618$)、WBGT($p=0.5538$)であった。また、屋外作業が想定される建設業の種別(表6)に限定して、上記と同様の説明変数で多重ロジスティック回帰分析を行ったところ、年齢($p=0.0059$)、性別($p=0.5708$)、気温($p=0.1953$)、風速($p=0.2511$)、相対湿度($p=0.2682$)、黒球温($p=0.4443$)、WBGT($p=0.2263$)であり、有意差がみられたのは年齢($p=0.0059$)のみであった。

2 福岡県関連における熱中症の労働災害事例調査

2019～2020年の福岡県内で発生した熱中症による労働災害の被災者数は、休業0～3日が469人、休業4～7日未満が20人、休業7～14日未満が20人、14日以上が15人、死亡が2人で、合計526人であった(図8)。なお、福岡県関連とは、2016～2020年に全国で発生した熱中症による休業4日以上的事例及び死亡の事例に関するデータのうち福岡県労働局管轄内で発生したもの、および2019年から2021年にかけて福岡労働局が休業4日未満の熱中症事例について調査したデータのうち災害発生場所が福岡県内のものをいう。

性・年代別の被災者数は、男性が474人(90.1%)、女性が52人(9.9%)で、年齢は16～79歳まで分布し、40歳未満が244人(46.4%)、40歳以上が282人(53.6%)あった(表7)。

被災者のうち休業4日以上(死亡事例を含む)であった割合は、40歳未満が22/244人(9.0%)、40歳以上が35/282人(12.4%)であり、40歳以上のほうが休業4日以上的事例が多く、かつ60歳以上の高齢者ほど増加する傾向を認めた(表8、図9)。

2019～2020年の熱中症労働災害発生月ごとのデータを示す(表9)。全国的に梅雨入りする6月から被災者数が増加した。梅雨明けを迎える7月中旬以降にはさらに増加し、8月中旬がピークであった。8月下旬になると被災者数が減少する傾向を認めた(図10)。

各事例の発生地点に最寄りの気象官署における気象条件で分類した結果、WBGT25℃未満が48人、25℃以上が122人、28℃以上が207人、31℃以上が134人、33℃以上が15人であった。被災者のうち休業4日以上であった割合は、WBGT25℃未満が5/48人(10.4%)、25℃以上が13/122人(10.7%)、28℃以上が23/207人(11.1%)、31℃以上が14/134人(10.4%)、33℃以上が2/15人(13.3%)であった(図11)。

業種別では、全体の被災者数は製造業が185人(35.1%)、建設業が147人(27.9%)、貨物取扱業が66人(24.7%)、商業44人(8.4%)、の順で多かった(表5)。休業日数4日以上的事例の割合が大きかった業種は、接客娯楽業3/3人(100.0%)、運輸交通業9/13人(69.2%)、派遣業7/12人(58.3%)であり、全体の被災者数の多さとは異なる結果であった。

福岡県内で発生した熱中症による労働災害で休業4日以上(死亡事例を含む)を目的変数、気象条件を説明変数とし、年齢を40歳で層化して単変量回帰分析を行った。ただし、屋内作業が想定される業種、夜間勤務帯(18時～翌9時)で発生した事例の合計655件を除外した194件で分析した。屋内作業が想定される業種とは、ここでは製造業、運輸交通業、貨物取扱業、農業(林業を除く)、商業、通信業、教育・研究業、保健衛生業、接客・娯楽行、清掃・と畜業、官公署、派遣業とした。40歳未満では、気温($p=0.7037$ 、 R^2

$=0.0029$)、風速($p=0.6107$ 、 $R^2=0.0092$)、相対湿度($p=0.5251$ 、 $R^2=0.0072$)、黒球温($p=0.8289$ 、 $R^2=0.0009$)、WBGT($p=0.9976$ 、 $R^2<0.0001$)、40歳以上では、気温($p=0.1505$ 、 $R^2=0.0174$)、風速($p=0.2880$ 、 $R^2=0.0088$)、相対湿度($p=0.5992$ 、 $R^2=0.0022$)、黒球温($p=0.2191$ 、 $R^2=0.0125$)、WBGT($p=0.0164$ 、 $R^2=0.0547$)、であり、有意差がみられたのは40歳以上の層のWBGT($p=0.0164$ 、 $R^2=0.0547$)のみであった。

D. 考察

2019～2020年の福岡県内で発生した熱中症による休業4日以上の労働災害を分析した結果、休業4日未満の事例が約90%を占めており、休業4日未満の熱中症による労働災害は、休業4日以上(死亡事例を含む)の事例の約9倍に上る可能性が示唆された。今後、休業4日以上又は死亡の事例が発生した場合は、その背景には非常に多くの軽度の熱中症が発生していることが推察され、それらを含めて暑熱対策に取り組むことが必要であると考えらる。

暦年の比較からは、わが国の梅雨や夏期における気象条件の変化に応じて熱中症による労働災害の事案数や休業日数の長さが変化していることが推察された。梅雨入りする6月下旬から盆休み前の8月中旬までは、休業4日未満の被災者数も休業4日以上(死亡事例を含む)の被災者数も増加することから、熱中症の発症および重症化のリスクが高い時期であることが示唆された。また、福岡県内で発生した事例かつ屋外作業が想定される業種、日中勤務帯(9時～翌9時)で発生した40歳以上の被災者事例に限定したところ、気象官署で測定している環境指標のうち休業4日以上(死亡事例を含む)と相関を示

したものは、WBGTであった。運動時の発汗量は40歳から徐々に減少をはじめため、40歳未満の若年層と比べて、環境影響を受けやすいと考えられる。環境指標の中でも、気温や相対湿度、輻射熱から算出されるWBGTが、事業所の環境をもっとも的確に反映するため、発汗量が減少しはじめる40歳からは、WBGTが上昇するほど、熱中症が重症化しやすいことが推察された。また、全国で発生した熱中症労災事例において、休業14日以上（死亡事例を含む）と最も関連を示したのは年齢であり、環境指標としてはWBGTであった。この結果より、屋外作業場では気温や湿度だけではなく、WBGTを測定もしくは算出して、または気象官省が発表する最寄りのWBGTの測定データを利用して、その値を加味した暑熱対策を実施することで、40歳以上、特に高齢者における熱中症の重症化予防できる可能性が示唆された。気象官省の環境指標は屋外で測定されているため、輻射熱や熱源などの影響を受けやすい屋内作業場の実測データとは誤差が生じる可能性があるため、屋内作業場のWBGTを精密に測定することで、屋外と同様に熱中症の重症化予防対策に寄与することが推察された。

重症化の割合が高い業種は接客娯楽業や運輸交通業などであり、被災者数と重症化は必ずしも一致しない傾向がみられた。とくに屋内作業が想定される業種に多くみられ、これは屋外作業における熱中症リスクと対策の認知が広まりつつあること、暑熱順化の形成が進んでいる一方、屋内作業では熱中症リスクに対する認識の広まりが不十分であり、暑熱対策が確立されていない可能性や、暑熱順化に至っていない事例がより多く含まれていた可能性が推察された。

全国の熱中症労働災害事例において、性・

年代別の被災者数からは、就業人口に男性が占める割合が大きいことや高年齢化が進行していることを考慮しても、各年代で男性の割合が圧倒的に大きいことから男性のほうが女性よりも高リスクであると推察された。また、退職者が増加するはずの60歳代以降の休業4日以上（死亡事例を含む）の事例数が若年者よりも多く、高年齢であるほど熱中症の重症化リスクが高い可能性が示唆された。

E. 結論

2019～2020年の福岡県内で発生した熱中症による休業4日以上の労働災害を分析した結果、休業4日未満の事例が約90%を占めており、休業4日以上（死亡事例を含む）の事例の約9倍であった。熱中症の重症化リスクとして、6月下旬から8月中旬までであること、男性であること、高年齢であることや、40歳以上で屋外作業ではWBGTが高値となることが要因の一つであることが示唆された。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

I. 引用文献

- 1 気象庁：過去の気象データ検索
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

2 環境省：熱中症予防情報サイト

https://www.wbgt.env.go.jp/wbgt_data.php

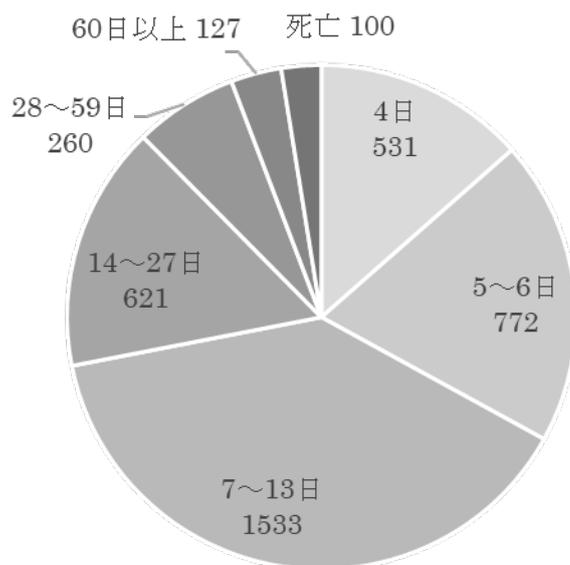


図1 全国の熱中症事案、休業日数別

表1 全国の熱中症事案、被災者の性、休業日数別

| 性別 | 年 | | | | | 休業日数 | | 合計 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|
| | 2016年 | 2017年 | 2018年 | 2019年 | 2020年 | 14日未満 | 14日以上／死亡 | |
| 男性 | 397 | 469 | 945 | 681 | 773 | 2,312 | 953 (29.2%) | 3,265 |
| 女性 | 65 | 75 | 231 | 148 | 160 | 524 | 155 (22.8%) | 679 |
| 合計 | 462 | 544 | 1,176 | 829 | 933 | 2,836 | 1,108 (28.1%) | 3,944 |

表2 全国の熱中症事案、被災者の年代、休業日数

| 年代 | 年 | | | | | 休業日数 | | 合計 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| | 2016年 | 2017年 | 2018年 | 2019年 | 2020年 | 14日未満 | 14日以上／死亡 | |
| 10歳代 | 8 | 13 | 23 | 18 | 24 | 68 | 18 (20.9%) | 86 |
| 20歳代 | 64 | 71 | 161 | 110 | 103 | 411 | 98 (19.3%) | 509 |
| 30歳代 | 68 | 83 | 178 | 113 | 135 | 450 | 127 (22.0%) | 577 |
| 40歳代 | 106 | 143 | 267 | 196 | 216 | 682 | 246 (26.5%) | 928 |
| 50歳代 | 113 | 129 | 282 | 209 | 220 | 663 | 290 (30.4%) | 953 |
| 60歳代 | 83 | 80 | 208 | 129 | 168 | 438 | 230 (34.4%) | 668 |
| 70歳代 | 20 | 25 | 57 | 54 | 67 | 124 | 99 (44.4%) | 223 |
| 合計 | 462 | 544 | 1,176 | 829 | 933 | 2,836 | 1,108 | 3,944 |

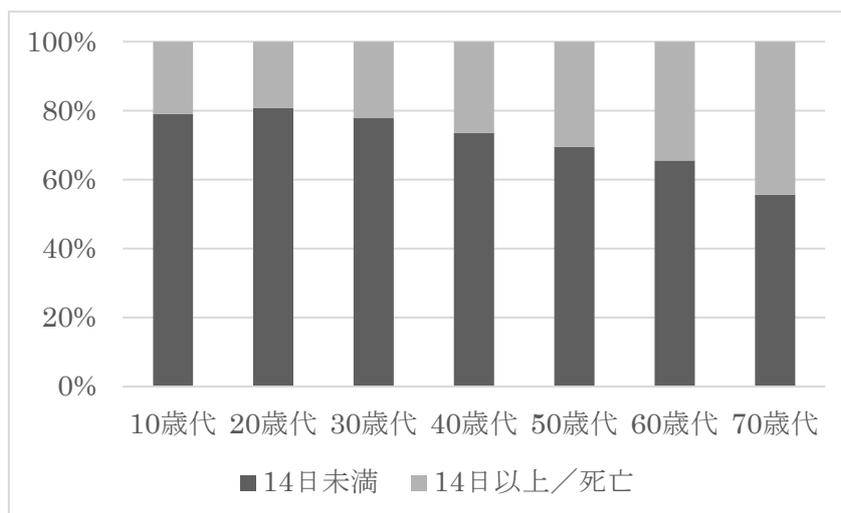


図2 全国の熱中症事案、被災者の年代、休業日数別

表3 全国の熱中症事案、発生時期、発生年、休業日数別

| 月・旬 | 年 | | | | | 休業日数 | | 合計 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|
| | 2016年 | 2017年 | 2018年 | 2019年 | 2020年 | 14日未満 | 14日以上/死亡 | |
| 1月 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 2月 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 3月 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| 4月 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 4 | 2 | 6 |
| 5月上旬 | 1 | 3 | 2 | 1 | 4 | 7 | 4 | 11 |
| 5月中旬 | 1 | 3 | 8 | 5 | 6 | 17 | 6 (26.1%) | 23 |
| 5月下旬 | 9 | 11 | 5 | 23 | 6 | 39 | 15 (27.8%) | 54 |
| 6月上旬 | 7 | 6 | 5 | 13 | 25 | 42 | 14 (25.0%) | 56 |
| 6月中旬 | 12 | 4 | 11 | 14 | 27 | 49 | 19 (27.9%) | 68 |
| 6月下旬 | 12 | 15 | 44 | 17 | 32 | 81 | 39 (32.5%) | 120 |
| 7月上旬 | 66 | 66 | 87 | 15 | 21 | 188 | 67 (26.3%) | 255 |
| 7月中旬 | 45 | 101 | 360 | 25 | 22 | 395 | 158 (28.6%) | 553 |
| 7月下旬 | 49 | 97 | 250 | 188 | 68 | 460 | 192 (29.4%) | 652 |
| 8月上旬 | 96 | 77 | 182 | 298 | 120 | 514 | 259 (33.5%) | 773 |
| 8月中旬 | 72 | 40 | 35 | 79 | 342 | 423 | 145 (25.5%) | 568 |
| 8月下旬 | 50 | 105 | 147 | 44 | 169 | 404 | 111 (21.6%) | 515 |
| 9月上旬 | 24 | 5 | 18 | 65 | 72 | 137 | 47 (25.5%) | 184 |
| 9月中旬 | 5 | 5 | 12 | 29 | 8 | 42 | 17 (28.8%) | 59 |
| 9月下旬 | 8 | 3 | 1 | 5 | 3 | 13 | 7 | 20 |
| 10月 | 3 | 1 | 2 | 6 | 4 | 12 | 4 | 16 |
| 11月 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 3 | 1 | 4 |
| 12月 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 |
| 合計 | 462 | 544 | 1,176 | 829 | 933 | 2,836 | 1,108 (28.1%) | 3,944 |

注) 上旬：各月 1～10 日、中旬：各月 11～20 日、下旬：各月 21 日以降

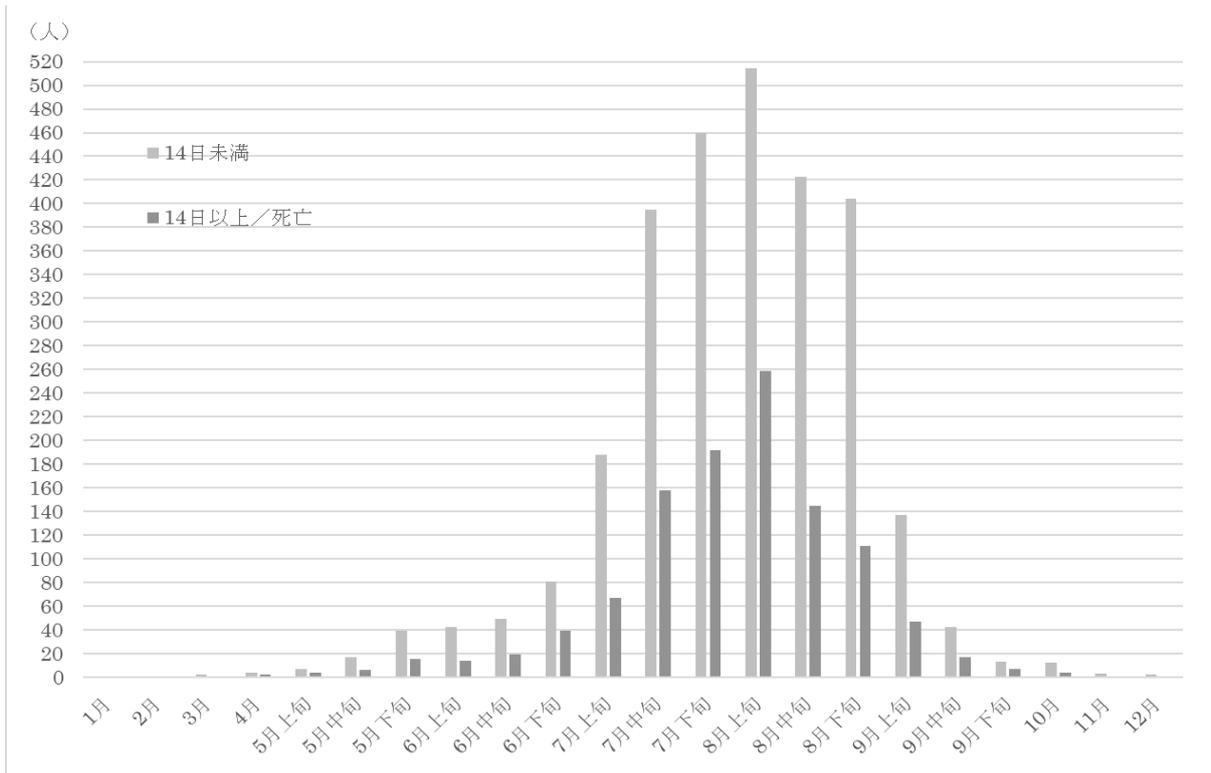


図3 全国の熱中症事案、発生時刻、休業日数別

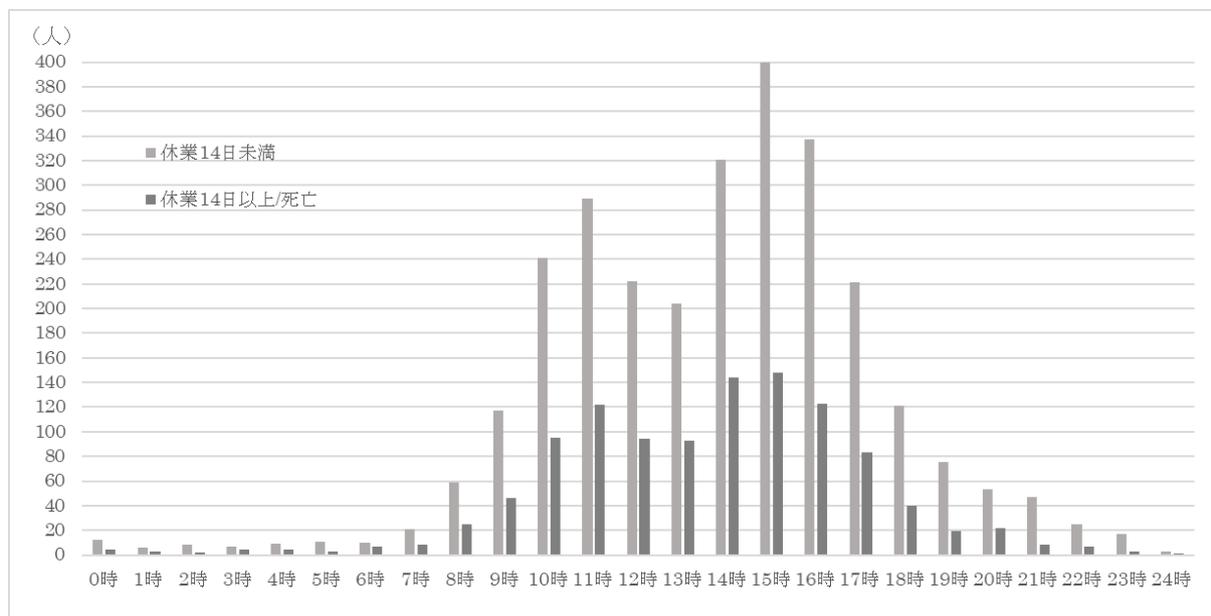


図4 全国の熱中症事案、発生時刻、休業日数別

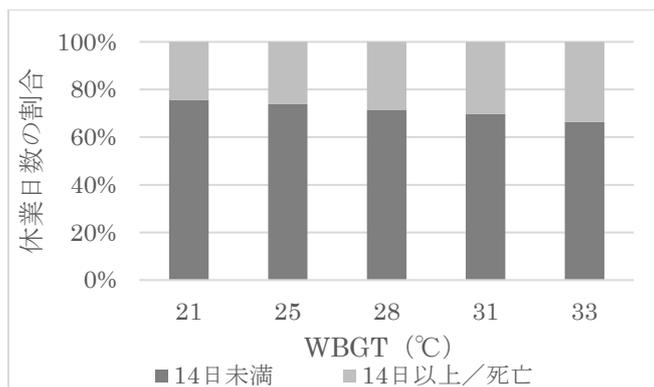


表4 全国の熱中症事案、発生場所に最寄りの気象官署における環境条件、発生年、休業日数別

| 環境条件 | 年 | | | | | 休業日数 | | 合計 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|
| | 2016年 | 2017年 | 2018年 | 2019年 | 2020年 | 14日未満 | 14日以上/死亡 | |
| 気温 (°C) | | | | | | | | |
| 26 | 143 | 115 | 159 | 158 | 173 | 553 | 195 (26.1%) | 748 |
| 28 | 95 | 98 | 159 | 147 | 134 | 467 | 166 (26.2%) | 633 |
| 30 | 112 | 152 | 263 | 180 | 217 | 663 | 261 (28.2%) | 924 |
| 32 | 76 | 134 | 309 | 192 | 231 | 648 | 294 (31.2%) | 942 |
| 34 | 36 | 45 | 286 | 152 | 178 | 505 | 192 (27.5%) | 697 |
| 相対湿度 (%) | | | | | | | | |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| 20 | 3 | 6 | 4 | 5 | 4 | 19 | 3 (13.6%) | 22 |
| 30 | 12 | 9 | 45 | 11 | 19 | 71 | 25 (26.0%) | 96 |
| 40 | 33 | 36 | 163 | 56 | 101 | 276 | 113 (29.0%) | 389 |
| 50 | 119 | 138 | 309 | 187 | 239 | 728 | 264 (26.6%) | 992 |
| 60 | 125 | 169 | 361 | 265 | 280 | 831 | 369 (30.8%) | 1200 |
| 70 | 82 | 119 | 192 | 189 | 178 | 547 | 213 (28.0%) | 760 |
| 80 | 45 | 46 | 76 | 89 | 75 | 256 | 75 (22.7%) | 331 |
| 90 | 43 | 21 | 26 | 25 | 37 | 107 | 45 (29.6%) | 152 |
| 平均風速 (m/s) | | | | | | | | |
| 0.0 | 2 | 8 | 10 | 9 | 8 | 25 | 12 (32.4%) | 37 |
| 0.5 | 29 | 21 | 29 | 31 | 37 | 111 | 36 (24.5%) | 147 |
| 1.0 | 113 | 92 | 229 | 183 | 177 | 582 | 212 (26.7%) | 794 |
| 2.0 | 124 | 137 | 293 | 241 | 251 | 728 | 318 (30.4%) | 1046 |
| 3.0 | 84 | 130 | 279 | 184 | 235 | 651 | 261 (28.6%) | 912 |
| 4.0 | 68 | 99 | 157 | 100 | 119 | 396 | 147 (27.1%) | 543 |
| 5.0 | 20 | 36 | 91 | 47 | 61 | 187 | 68 (26.7%) | 255 |
| 6.0 | 15 | 15 | 53 | 22 | 24 | 93 | 36 (27.9%) | 129 |
| 7.0 | 7 | 6 | 35 | 12 | 20 | 62 | 18 (22.5%) | 80 |
| 黒球温 (°C) * | | | | | | | | |
| 15 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 9 | 1 | 10 |
| 20 | 14 | 12 | 16 | 13 | 28 | 61 | 22 (26.5%) | 83 |
| 25 | 64 | 54 | 112 | 80 | 68 | 279 | 97 (25.8%) | 376 |
| 30 | 59 | 54 | 99 | 90 | 75 | 281 | 97 (25.7%) | 378 |
| 35 | 57 | 85 | 104 | 86 | 93 | 304 | 120 (28.3%) | 424 |
| 40 | 101 | 102 | 206 | 162 | 189 | 555 | 205 (27.0%) | 760 |
| 45 | 141 | 203 | 441 | 310 | 366 | 1034 | 428 (29.3%) | 1462 |
| 50 | 21 | 33 | 172 | 86 | 106 | 288 | 131 (31.3%) | 419 |
| 55 | 0 | 0 | 18 | 0 | 1 | 15 | 4 (21.1%) | 19 |
| WBGT (°C) * | | | | | | | | |
| 21 | 88 | 77 | 95 | 87 | 100 | 338 | 109 (24.4%) | 447 |
| 25 | 140 | 128 | 229 | 166 | 179 | 623 | 219 (26.0%) | 842 |
| 28 | 190 | 223 | 507 | 326 | 387 | 1165 | 468 (28.7%) | 1633 |
| 31 | 38 | 112 | 308 | 211 | 236 | 631 | 274 (30.3%) | 905 |
| 33 | 3 | 4 | 32 | 38 | 27 | 69 | 35 (33.7%) | 104 |
| 合計 | 459 | 544 | 1,171 | 828 | 929 | 2,836 | 1,108 (28.1%) | 3,944 |

*黒球温及び WBGT は 13 件で最寄りの気象官署における測定値が欠損している。

表5 全国の熱中症事案、業種、発生年、休業日数別

| 業種 | 年 | | | | | 休業日数 | | 合計 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|
| | 2016年 | 2017年 | 2018年 | 2019年 | 2020年 | 14日未満 | 14日以上/死亡 | |
| 農林業 | 23 | 26 | 37 | 26 | 20 | 92 | 40 (30.3%) | 132 |
| 畜産・水産業 | 3 | 4 | 13 | 8 | 7 | 25 | 10 (28.6%) | 35 |
| 鉱業 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | 2 | 2 | 4 |
| 建設業 | 109 | 141 | 238 | 153 | 211 | 593 | 259 (30.4%) | 852 |
| 製造業 | 97 | 114 | 221 | 184 | 193 | 613 | 196 (24.2%) | 809 |
| 運輸交通業 | 47 | 83 | 164 | 102 | 126 | 397 | 125 (23.9%) | 522 |
| 貨物取扱業 | 19 | 13 | 22 | 16 | 13 | 64 | 19 (22.9%) | 83 |
| 通信業 | 2 | 5 | 15 | 11 | 12 | 41 | 4 (8.9%) | 45 |
| 清掃・と畜業 | 37 | 32 | 81 | 61 | 61 | 192 | 80 (29.4%) | 272 |
| 商業 | 37 | 41 | 118 | 87 | 78 | 259 | 102 (28.3%) | 361 |
| 金融・広告業 | 0 | 2 | 8 | 1 | 1 | 10 | 2 (16.7%) | 12 |
| 教育・研究業 | 4 | 3 | 9 | 4 | 6 | 21 | 5 (19.2%) | 26 |
| 保健衛生業 | 6 | 12 | 18 | 11 | 21 | 48 | 20 (29.4%) | 68 |
| 接客娯楽業 | 21 | 18 | 65 | 47 | 43 | 134 | 60 (30.9%) | 194 |
| 映画・演劇業 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| 警備業 | 28 | 37 | 110 | 73 | 80 | 201 | 127 (38.7%) | 328 |
| 派遣業 | 15 | 0 | 13 | 9 | 12 | 33 | 16 (39.7%) | 49 |
| その他の事業 | 14 | 12 | 42 | 35 | 45 | 110 | 38 (25.7%) | 148 |
| 官公署 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 |
| 合計 | 462 | 544 | 1,176 | 829 | 933 | 2,836 | 1,108 (28.1%) | 3,944 |

表6 全国の熱中症事案、建設業の詳細種別、発生年、休業日数別

| 建設業 | 年 | | | | | 休業日数 | | 合計 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-----|
| | 2016年 | 2017年 | 2018年 | 2019年 | 2020年 | 14日未満 | 14日以上/死亡 | |
| 鉄骨・鉄筋コンクリート造 | | | | | | | | |
| 家屋建築工事業 | 20 | 36 | 46 | 22 | 43 | 124 | 43 (25.7%) | 167 |
| 木造家屋建築工事業 | 16 | 12 | 26 | 20 | 27 | 68 | 33 (32.7%) | 101 |
| 建築設備工事業 | 1 | 4 | 11 | 6 | 7 | 19 | 10 (34.5%) | 29 |
| 機械器具設置工事業 | 5 | 5 | 11 | 4 | 7 | 24 | 8 (25.0%) | 32 |
| 電気通信工事業 | 4 | 4 | 18 | 7 | 9 | 33 | 9 (21.4%) | 42 |
| その他の建築工事業 | 18 | 26 | 36 | 31 | 31 | 94 | 48 (33.8%) | 142 |
| 上下水道工事業 | 3 | 2 | 4 | 2 | 7 | 12 | 6 | 18 |
| 道路建設工事業 | 13 | 7 | 16 | 13 | 15 | 44 | 20 (31.3%) | 64 |
| 鉄道軌道建設工事業 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 6 | 0 | 6 |
| トンネル建設工事業 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3 | 0 (0.0%) | 3 |
| 土地整理土木工事業 | 1 | 4 | 4 | 7 | 8 | 18 | 6 (25.0%) | 24 |
| 橋梁建設工事業 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 5 | 1 (16.7%) | 6 |
| 河川土木工事業 | 0 | 2 | 5 | 3 | 1 | 9 | 2 | 11 |
| 港湾海岸工事業 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 3 | 0 | 3 |
| 砂防工事業 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 | 0 (0.0%) | 3 |
| その他の土木工事業 | 18 | 22 | 33 | 20 | 34 | 85 | 42 (33.1%) | 127 |
| その他の建設業 | 9 | 12 | 20 | 16 | 17 | 43 | 31 (41.9%) | 74 |
| 建設業合計 | 109 | 141 | 238 | 153 | 211 | 593 | 259 (30.4%) | 852 |

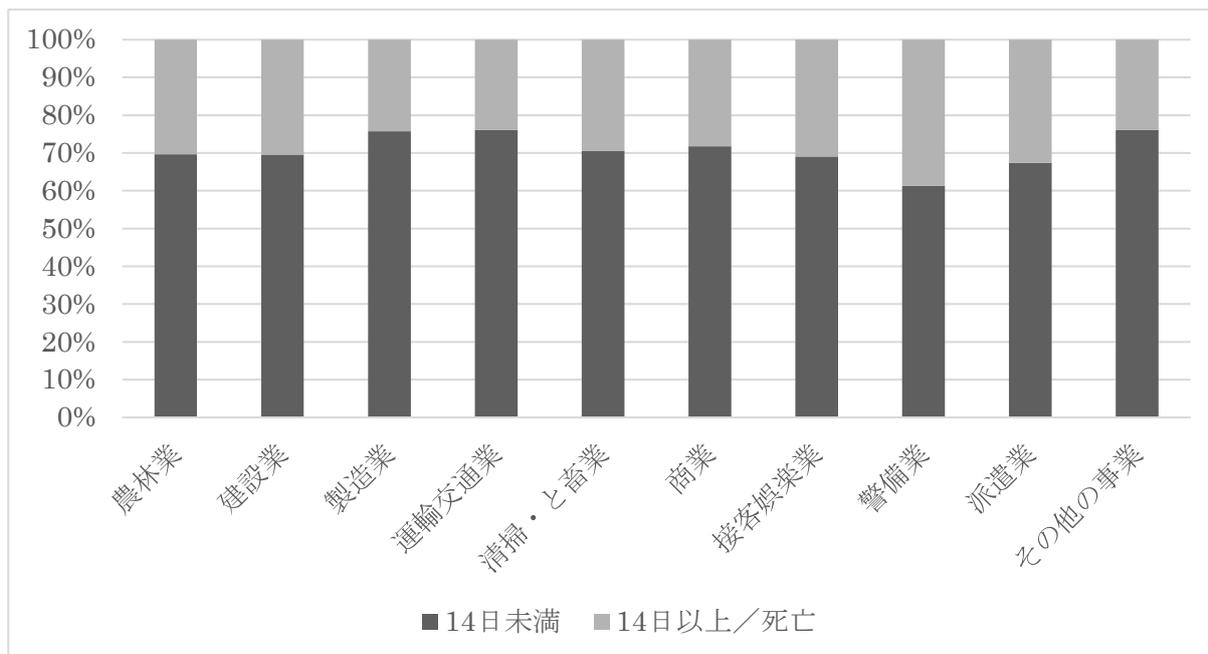


図6 全国の熱中症事案、業種別、休業日数別

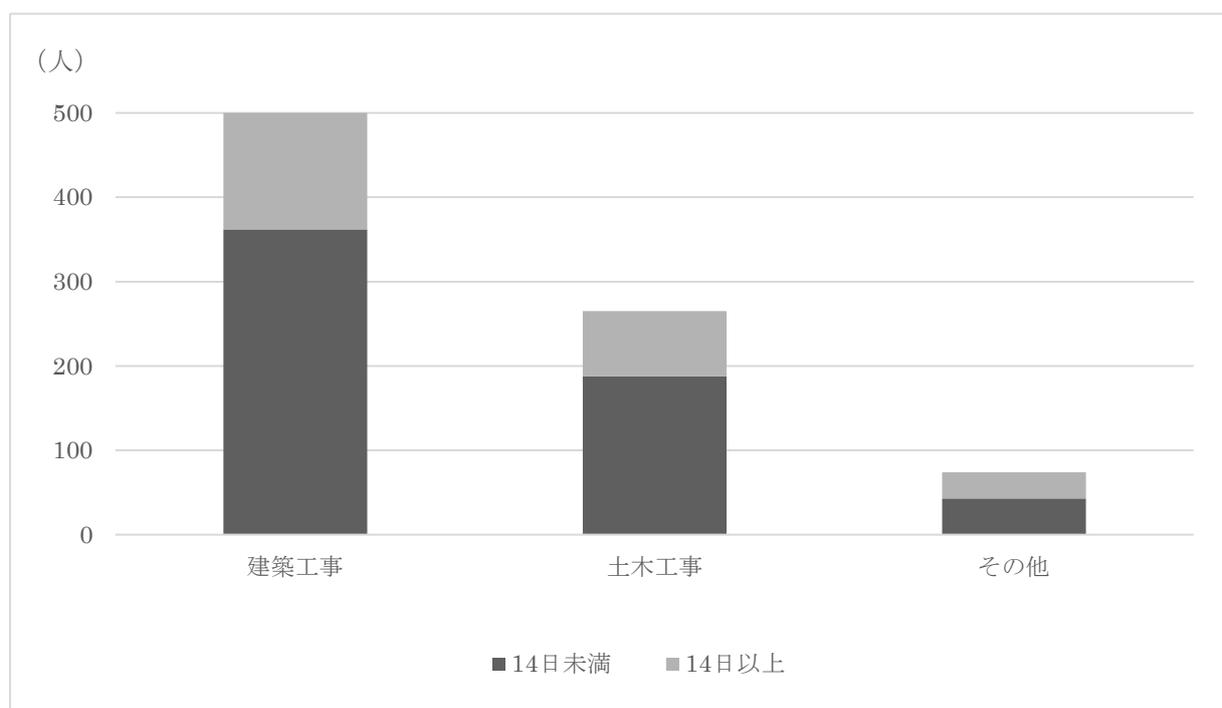


図7 全国の熱中症事案、建設業の種類別、休業日数、死亡別

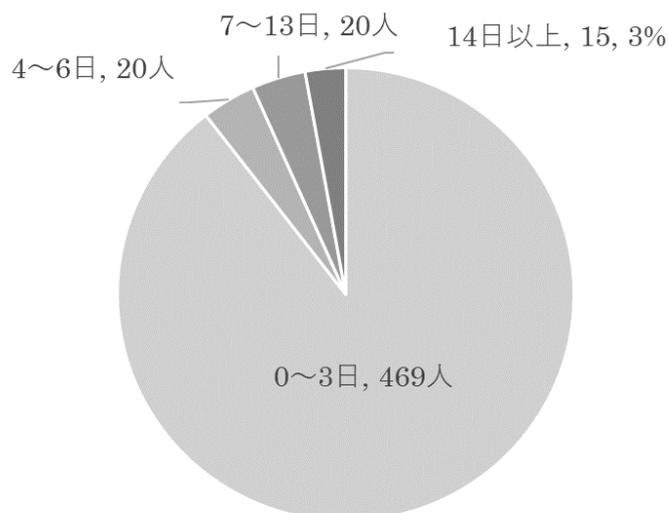


図8 福岡県関連の熱中症事案、休業日数別

表7 福岡県関連の熱中症事案、被災者の性、休業日数別

| 性別 | 年 | | 休業日数 | | 合計 |
|----|-------|-------|------|------------|-----|
| | 2019年 | 2020年 | 4日未満 | 4日以上／死亡 | |
| 男性 | 235 | 239 | 425 | 49 (10.3%) | 474 |
| 女性 | 23 | 29 | 44 | 8 (15.4%) | 52 |
| 合計 | 258 | 268 | 469 | 57 | 526 |

注) () 内は各項目の災害発生数のうち、休業日数4日以上／死亡の割合を示したものである。

表8 福岡県関連の熱中症事案、被災者の年代、休業日数別

| 年代 | 年 | | 休業日数 | | 合計 |
|------|-------|-------|------|------------|-----|
| | 2019年 | 2020年 | 4日未満 | 4日以上／死亡 | |
| 10歳代 | 12 | 12 | 21 | 3 (12.5%) | 24 |
| 20歳代 | 63 | 63 | 116 | 10 (7.9%) | 126 |
| 30歳代 | 48 | 46 | 85 | 9 (9.6%) | 94 |
| 40歳代 | 50 | 67 | 106 | 11 (9.4%) | 117 |
| 50歳代 | 41 | 43 | 79 | 5 (6.0%) | 84 |
| 60歳代 | 34 | 30 | 48 | 16 (25.0%) | 64 |
| 70歳代 | 10 | 7 | 14 | 3 (17.6%) | 17 |
| 合計 | 258 | 268 | 469 | 57 | 526 |

注) () 内は各項目の災害発生数のうち、休業日数4日以上／死亡の割合を示したものである。

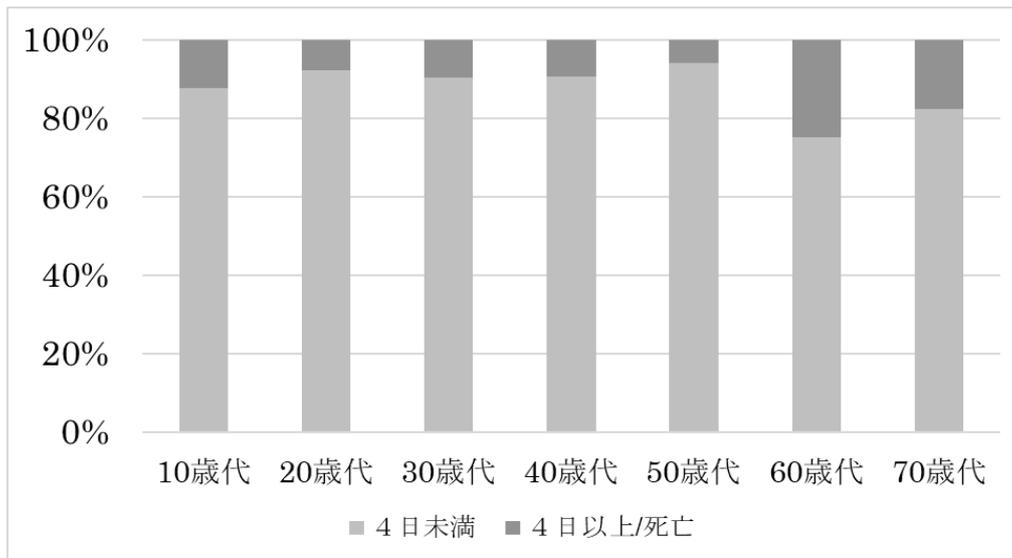


図9 福岡県関連の熱中症事案、被災者の年代、休業日数別

表9 福岡県関連の熱中症事案、発生時期、発生年、休業日数別

| 月・旬 | 年 | | 休業日数 | | | 合計 |
|------|-------|-------|------|---------|---------|-----|
| | 2019年 | 2020年 | 4日未満 | 4日以上/死亡 | (%) | |
| 4月 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| 5月上旬 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| 5月中旬 | 1 | 1 | 2 | 0 | (0.0%) | 2 |
| 5月下旬 | 5 | 0 | 5 | 0 | (0.0%) | 5 |
| 6月上旬 | 8 | 9 | 16 | 1 | (5.9%) | 17 |
| 6月中旬 | 12 | 4 | 15 | 1 | (6.3%) | 16 |
| 6月下旬 | 7 | 6 | 11 | 2 | (15.4%) | 13 |
| 7月上旬 | 9 | 3 | 11 | 1 | (8.3%) | 12 |
| 7月中旬 | 10 | 10 | 18 | 2 | (10.0%) | 20 |
| 7月下旬 | 45 | 37 | 75 | 7 | (8.5%) | 82 |
| 8月上旬 | 63 | 26 | 78 | 11 | (12.4%) | 89 |
| 8月中旬 | 18 | 100 | 103 | 15 | (12.7%) | 118 |
| 8月下旬 | 23 | 50 | 67 | 6 | (8.2%) | 73 |
| 9月上旬 | 37 | 16 | 46 | 7 | (13.2%) | 53 |
| 9月中旬 | 14 | 3 | 14 | 3 | (17.6%) | 17 |
| 9月下旬 | 2 | 2 | 4 | 0 | (0.0%) | 4 |
| 10月 | 4 | 1 | 4 | 1 | (20.0%) | 5 |
| 合計 | 258 | 268 | 469 | 57 | (10.8%) | 526 |

注) 上旬：各月 1～10 日、中旬：各月 11～20 日、下旬：各月 21 日以降

() 内は各項目の災害発生数のうち、休業日数 4 日以上/死亡の割合を示したものである。

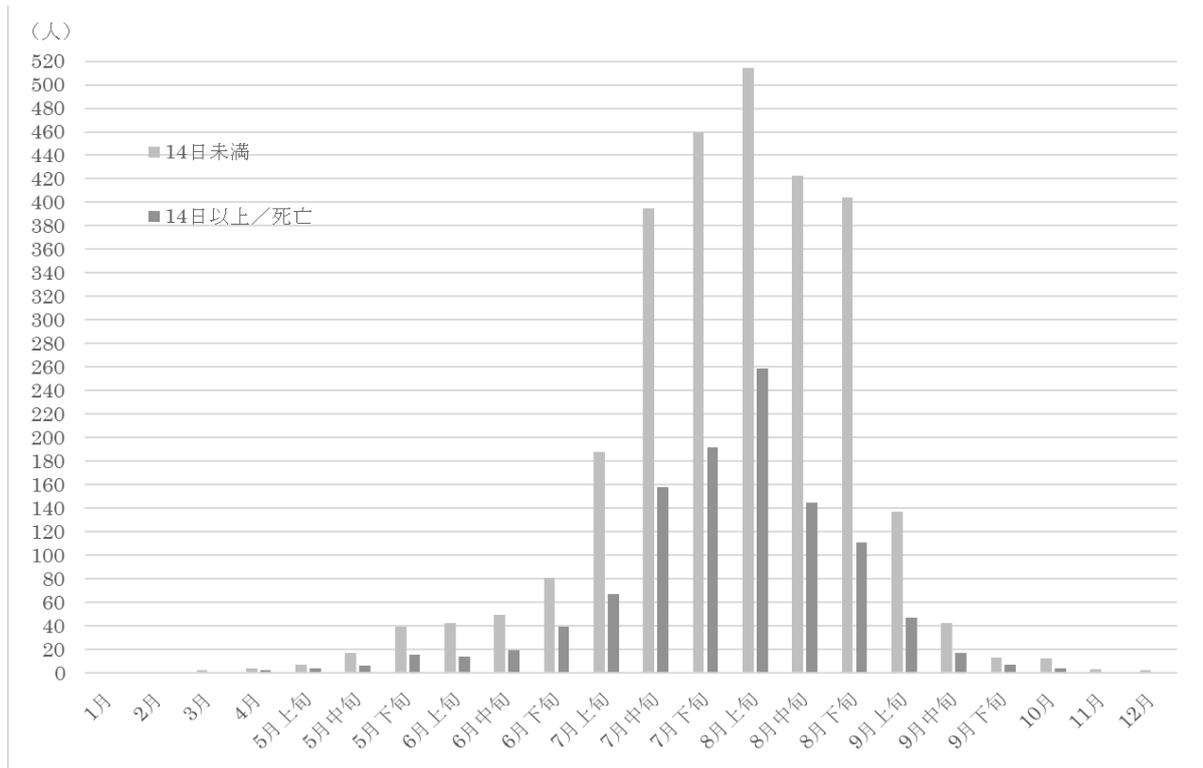


図 10 福岡県関連の熱中症事案、発生時刻、休業日数別

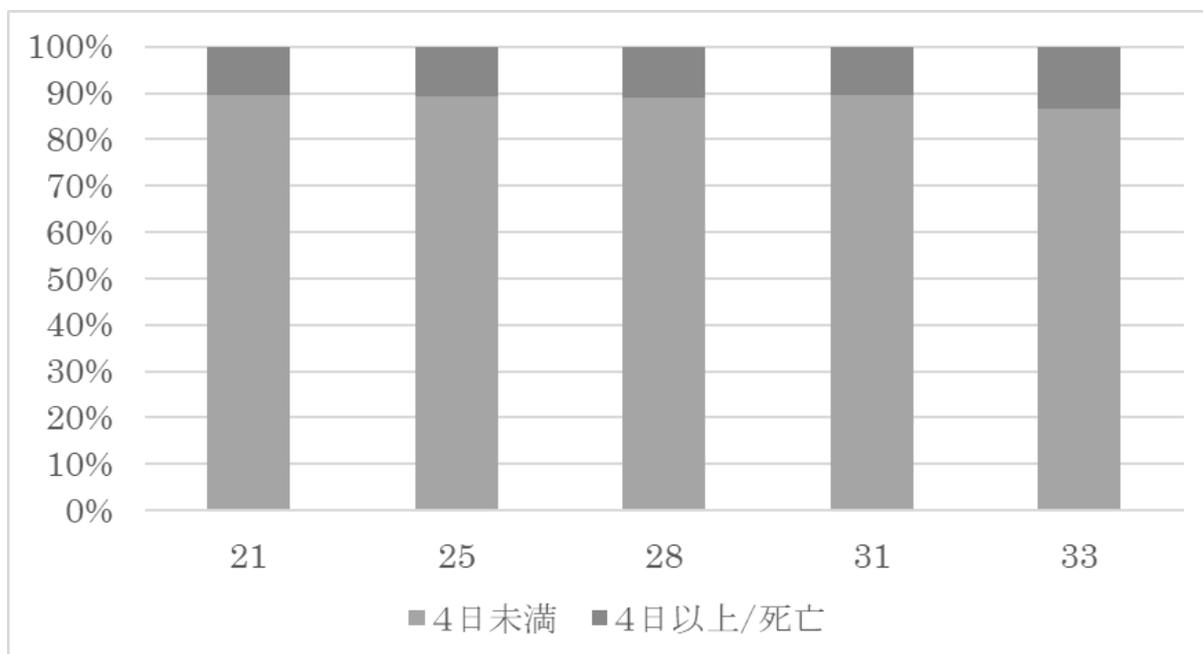


図 11 福岡県関連の熱中症事案、最寄りの気象官署における WBGT、休業日数別

表 10 福岡県関連の熱中症事案、最寄りの気象官署における環境条件、発生年、休業日数別

| 環境条件 | 年 | | 休業日数 | | | 合計 |
|------------|-------|-------|------|---------|---------|-----|
| | 2019年 | 2020年 | 4日未満 | 4日以上／死亡 | (割合) | |
| 気温 (°C) | | | | | | |
| 26 | 72 | 40 | 103 | 9 | (8.0%) | 112 |
| 28 | 36 | 39 | 64 | 11 | (14.7%) | 75 |
| 30 | 69 | 63 | 122 | 10 | (7.6%) | 132 |
| 32 | 58 | 81 | 117 | 22 | (15.8%) | 139 |
| 34 | 23 | 45 | 63 | 5 | (7.4%) | 68 |
| 相対湿度 (%) | | | | | | |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| 20 | 2 | 0 | 2 | 0 | (0.0%) | 2 |
| 30 | 1 | 2 | 3 | 0 | (0.0%) | 3 |
| 40 | 10 | 23 | 29 | 4 | (12.1%) | 33 |
| 50 | 49 | 60 | 97 | 12 | (11.0%) | 109 |
| 60 | 87 | 74 | 140 | 21 | (13.0%) | 161 |
| 70 | 62 | 67 | 115 | 14 | (10.9%) | 129 |
| 80 | 34 | 25 | 54 | 5 | (8.5%) | 59 |
| 90 | 13 | 17 | 29 | 1 | (3.3%) | 30 |
| 平均風速 (m/s) | | | | | | |
| 0.0 | 1 | 2 | 3 | 0 | (0.0%) | 3 |
| 0.5 | 13 | 8 | 18 | 3 | (14.3%) | 21 |
| 1.0 | 70 | 53 | 112 | 11 | (8.9%) | 123 |
| 2.0 | 82 | 92 | 159 | 15 | (8.6%) | 174 |
| 3.0 | 46 | 61 | 93 | 14 | (13.1%) | 107 |
| 4.0 | 33 | 30 | 53 | 10 | (15.9%) | 63 |
| 5.0 | 10 | 19 | 26 | 3 | (10.3%) | 29 |
| 6.0 | 3 | 1 | 3 | 1 | (25.0%) | 4 |
| 7.0 | 0 | 2 | 2 | 0 | (0.0%) | 2 |
| 黒球温 (°C) | | | | | | |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| 20 | 11 | 7 | 16 | 2 | (11.1%) | 18 |
| 25 | 32 | 24 | 48 | 8 | (14.3%) | 56 |
| 30 | 25 | 25 | 44 | 6 | (12.0%) | 50 |
| 35 | 36 | 23 | 54 | 5 | (8.5%) | 59 |
| 40 | 38 | 45 | 75 | 8 | (9.6%) | 83 |
| 45 | 96 | 106 | 180 | 22 | (10.9%) | 202 |
| 50 | 20 | 38 | 52 | 6 | (10.3%) | 58 |
| WBGT (°C) | | | | | | |
| 21 | 33 | 15 | 43 | 5 | (10.4%) | 48 |
| 25 | 67 | 55 | 109 | 13 | (10.7%) | 122 |
| 28 | 99 | 108 | 184 | 23 | (11.1%) | 207 |
| 31 | 56 | 78 | 120 | 14 | (10.4%) | 134 |
| 33 | 3 | 12 | 13 | 2 | (13.3%) | 15 |
| 合計 | 258 | 268 | 0 | 469 | 57 | 526 |

注) () 内は各項目の災害発生数のうち、休業日数4日以上／死亡の割合を示したものである。

表 11 福岡県関連の熱中症事案、業種、発生年、休業日数別

| 環境条件 | 年 | | 休業日数 | | 合計 |
|--------|-------|-------|------|---------|-----|
| | 2019年 | 2020年 | 4日未満 | 4日以上／死亡 | |
| 農林業 | 7 | 3 | 9 | 1 | 10 |
| 畜産・水産業 | 1 | 2 | 3 | 0 | 3 |
| 鉱業 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 建設業 | 67 | 80 | 135 | 12 | 147 |
| 製造業 | 83 | 102 | 174 | 11 | 185 |
| 運輸交通業 | 9 | 4 | 4 | 9 | 13 |
| 貨物取扱業 | 36 | 30 | 63 | 3 | 66 |
| 通信業 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 清掃・と畜業 | 6 | 9 | 10 | 5 | 15 |
| 商業 | 23 | 21 | 39 | 5 | 44 |
| 金融・広告業 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 教育・研究業 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 |
| 保健衛生業 | 6 | 7 | 12 | 1 | 13 |
| 接客娯楽業 | 1 | 2 | 0 | 3 | 3 |
| 映画・演劇業 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 警備業 | 10 | 1 | 11 | 0 | 11 |
| 派遣業 | 7 | 5 | 5 | 7 | 12 |
| その他の事業 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 官公署 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 合計 | 258 | 268 | 469 | 57 | 526 |

3 食品製造業と倉庫業における熱中症予防対策の実態についての質問紙調査

研究協力者 田島 慶一

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学 産業医学修練医

研究要旨

食品製造業（304社）と倉庫業（3,401社）の屋内事業所を対象に、事業所で実施されている熱中症対策を把握するためにアンケート調査を実施した。調査内容は事業所の概要、空調の有無、作業着の種類、保護具の種類、作業に伴う身体的負荷、熱中症対策とした。実際に事業所で実施されている熱中症対策は少なく、熱中症予防対策の更なる周知と各事業所の熱中症予防対策の運用努力が必要であることが明らかとなった。

A. 研究目的

職場における熱中症は2017年からの3年間で休業4日以上被災者は合計2,618人（うち死亡者67人）に達している。このうち、製造業519人（うち食品製造業99人）、商業246人（うち倉庫業21人）、保健衛生業41人、飲食店32人など屋内での発生例が少なくない。熱中症予防対策について、大規模事業所の屋内作業場では空調設備等の積極的に推進しているところも多いが、小規模事業所や発熱源の存在する作業場では不十分などところも散見される。熱中症予防対策に関して行政通達等により具体的な対策が示されており、各業種の良好事例も多く紹介されているが、実際に事業所でどの程度熱中症予防対策が実施されているのか把握までできていない。そこで本研究は屋内事業所における熱中症予防対策の実態を把握することを目的として質問紙調査を実施した。

B. 研究方法

1 質問紙の作成

「職場における熱中症予防基本対策要綱（令和3年4月20日付け基発0420第3号）」を参考に熱中症予防対策の実態に関する

質問紙を作成した（資料1、2）。質問項目は、①事業所の概要、②空調について、③作業着について、④保護具について、⑤作業に伴う身体的負荷について、⑥事業所での熱中症対策について、に分類した。回答者の負担を軽減するため、選択式の回答を中心とした。回答に要する時間は10～15分程度と見込んでいる。

2 調査対象

調査対象は、食品製造業と倉庫業の事業所とした。食品製造業として一般社団法人日本即席食品工業協会（60社）、日本スープ協会（12社）、公益社団法人日本給食サービス協会（212社）、一般社団法人日本パン工業会（20社）の合計304社（2022年8月1日時点）、倉庫業として一般社団法人日本倉庫協会の3,401社（2022年5月16日時点）を選択した。回答者は各事業所の安全衛生担当者とした。回答形式は、送付した質問票に記入するか、Web上で入力することとした。2022年11月上旬に質問紙を送付し、2023年1月4日までの回答を集計した。

3 集計

選択式の設問については選択肢ごとの割合を求め、記述式の設問については記載内容を研究者が吟味した上で分類した。

C. 研究結果

1 食品製造業

(1) 事業所概要

62 事業所から回答を得た。夏季の屋内の暑熱職場を有する事業所はうち 59 社であった (図 1-1)。以降の回答結果は屋内の暑熱職場を有すると回答した 59 の事業所のみについて絞った。最も暑い屋内職場が暑くなっている原因として考えられるものは、「熱を発する設備があるため」が 98.3%と最も多く (図 1-2)、「熱を発する設備」としては「フライヤー (74.1%)」、「食洗器 (65.5%)」、「オーブン(58.6%)」など様々な設備が挙げられた (図 1-3)。事業所の規模としては「50 人未満」の小規模事業所が 52.5%と最も多かった (図 1-4)。

(2) 空調

最も暑い屋内職場に室内全体の空調 (冷房・クーラー) を持つ事業所は 70.2%を占めていた (図 1-5)。最も暑い屋内職場の空調の設定温度は 25℃が 22.2%と最も多かった (図 1-6)。最も暑い屋内職場に作業用者のスポットクーラーを設置している事業所は 64.4% (図 1-7)、作業用者の扇風機を設置している事業所は 67.8%を占めていた (図 1-8)。

(3) 作業着

「最も暑い屋内職場で使用する作業着 (保護具を装着していない状態) に相当する衣服」は、「食品衛生白衣 (通気性が比較的良いもの)」が 44.1%と最も多かった (図 1-9)。

(4) 保護具

「最も暑い屋内職場で一人の作業者が装着している保護具」は、「作業帽・頭巾」が 98.3%、「衛生マスク (不織布、布など)」が 96.6%と多かった (図 1-10)。

(5) 作業に伴う身体的負荷

「最も暑い屋内職場における身体的負荷が最も大きい作業の強度」は、「【中等度】歩く程度の強さ、立ち作業、軽量なに荷車を押したり引いたりする」が 55.9%と最も多かった (図 1-11)。

(6) 熱中症対策

「現在、行っている熱中症対策」は「作業前の体調確認(81.4%)」、「室内全体の空調の設置 (67.8%)」、「扇風機の設置 (67.8%)」などが多かった (図 1-12)。室温を測定している事業所は 84.7% (図 1-13)、WBGT (暑さ指数) を測定している事業所は 14.0% (図 1-14)、WBGT に応じて連続作業時間を短縮している事業所は 12.5%であった (図 1-15)。「連続作業時間の短縮」以外に WBGT に応じた対策は「Web 動画による定点観察、職長による定点巡回、職場内声掛け運動等」を実施しているという回答を 1 事業所から得た (表 1)。

昼休みなどの食事時間以外に休憩時間を確保している事業所は 77.6% (図 1-16) であった。「昼休みなどの食事時間以外の休憩の頻度」は「2 時間に 1 回」が 54.8%と最も多く (図 1-17)、「昼休みなどの食事時間以外の休憩の時間」は「5 分」が 34.1%と最も多かった (図 1-18)。

「熱中症予防管理者」を選任している事業所は 3.4% (図 1-19)、「STOP!熱中症 クールワークキャンペーン」を知っている事業所は 20.3% (図 1-20)、「環境省熱中症予防情報サイト」を知っている事業所は

37.3% (図 1-21)、「環境省の「熱中症警戒アラート」」を知っている事業所は 74.5%であった (図 1-22)。

2 倉庫業について

(1) 事業所概要

1,011 事業所から回答を得た。夏季の屋内の暑熱職場を有する事業所は 845 社であった (図 2-1)。以降の回答結果は屋内の暑熱職場を有すると回答した 845 の事業所のみで絞った。最も暑い屋内職場が暑くなっている原因として考えられるものは「外が暑い」が 90.0%と最も多く (図 2-2)、「熱を発する設備」としては「エアコンプレッサー」、「モーター」、「炉」など様々な設備が挙げられた (表 2-1)。事業所の規模としては「50 人未満」の小規模事業所が 71.4%と最も多かった (図 2-3)。

(2) 空調

最も暑い屋内職場に室内全体の空調 (冷房・クーラー) を持つ事業所は 33.5%を占めていた (図 2-4)。最も暑い屋内職場の空調の設定温度は 25°C が 22.3%と最も多かった (図 2-5)。最も暑い屋内職場に作業用スポットクーラーを設置している事業所は 68.6% (図 2-6)、作業用扇風機を設置している事業所は 79.3%を占めていた (図 2-7)。

(3) 作業着

「最も暑い屋内職場で使用する作業着 (保護具を装着していない状態) に相当する衣服」は「半そで作業着と長ズボンに相当する衣服 (夏用の軽装の作業着)」が 57.2%と最も多かった (図 2-8)。

(4) 保護具

「最も暑い屋内職場で一人の作業着が装着している保護具」は、「安全靴」が 85.7%、「ヘルメット」が 85%と多かった (図 2-9)。

(5) 作業に伴う身体的負荷

「最も暑い屋内職場における身体的負荷が最も大きい作業の強度」は、「【中等度】歩く程度の強さ、立ち作業、軽量なに荷車を押したり引いたりする」が 49.3%と最も多かった (図 2-10)。

(6) 熱中症対策

「現在、行っている熱中症対策」は「扇風機の設置 (78.1%)」、「塩分の支給 (75%)」、「作業前の体調確認 (62.4%)」などが多かった (図 2-11)。その他の熱中症対策としては「クールベストの使用」、「トイレの回数確認」、「パワースーツの使用」など様々な対策が実施されていた (表 2-2)。室温を測定している事業所は 64.3% (図 2-12)、WBGT (暑さ指数) を測定している事業所は 19.5% (図 2-13)、WBGT に応じて連続作業時間を短縮している事業所は 60.8%であった (図 2-14)。「連続作業時間の短縮」以外に WBGT に応じた対策として「WBGT28°C以上で午前・午後に水分補給・体温冷却の為の暑熱対策休憩を 5 分程度確保している」、「ファン付作業服等着用を目安として WBGT を利用、WBGT に応じた休憩時間を増やす対策」などが挙げられた (表 2-3)。

昼休みなどの食事時間以外に休憩時間を確保している事業所は 92.6% (図 2-15) であった。昼休みなどの食事時間以外の休憩の頻度は「2 時間に 1 回」が 59.2%と最も多く (図 2-16)、昼休みなどの食事時間以外の休憩の時間は「15 分」が 45.1%と多かった (図 2-17)。

「熱中症予防管理者」を選任している事業所は 9.1% (図 2-18)、「STOP!熱中症 クールワークキャンペーン」を知っている事業所は 39.4% (図 2-19)、「環境省熱中症予防情報サイト」を知っている事業所は 60.5% (図 2-

20)、「環境省の「熱中症警戒アラート」」を知っている事業所は 78.7%であった(図 2-21)。

D. 考察

事業所によっては、WBGT 計を活用した熱中症対策の実施や熱中症予防管理者の選任がなされていたが、厚生労働省から推奨されている熱中症対策を実施できている事業所は決して多くはなかった。また、「熱中症警戒アラート」を認識している事業所は比較的多かったが、「環境省熱中症予防情報サイト」、「STOP!熱中症 クールワークキャンペーン」を認識している事業所は少なく、厚生労働省から通達される熱中症対策啓発資料などが十分行き届いていない可能性がある。小規模事業所などへも熱中症対策に関する啓発の周知徹底と事業所の運用努力が必要と考えた。周知に際してはメディアや SNS 等も上手く活用するなどして、これまで以上に情報を拡散していく手段を取ることで、熱中症リスクを事業所全体で低減させていくことが望まれる。

E. 結論

食品製造業、倉庫業の屋内事業所における熱中症予防対策の実態を把握した。熱中症リスク低減のために各事業所における更なる熱中症予防対策の推進が必要であり、そのためにもより多くの事業所に熱中症予防対策に関する情報が周知される取り組みが求められる。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

第 96 回日本産業衛生学会、2023 年 5 月 10～12 日、栃木

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

I. 引用文献

職場における熱中症予防基本対策要綱(令和 3 年 4 月 20 日付け基発 0420 第 3 号)

食品業における熱中症対策アンケート

1 事業所の概要

① 夏季に汗をかくような暑い屋内職場がありますか。 (はい ・ いいえ)

→「**いいえ**」の場合でも、以下の質問には貴事業所のうち、最も暑い屋内職場についてご回答ください。

② 「最も暑い屋内職場」が暑くなっている原因として考えられるものすべてに○をつけてください。

- () 外が暑いため () 風通しが悪いため
 () 日光が差し込むため () 人が密集しているため
 () 身体的負荷の高い作業であるため(重い物を運ぶなど)
 () 作業服の通気性が悪いため
 () 熱を発生する設備があるため
 →該当する設備すべてに○を付けてください
 () 食洗器 () 炊飯器 () ガスコンロ () 配膳車
 () フライヤー () 回転鍋 () 蒸し器(スチーマー) () オープン
 () ボイラー () ミキサー () ふるい機 () 乾燥機
 () スープケトル、スープジャー(汁物用) () その他()
 () その他:()

③ 事業所で働く人は何人ですか(パート・アルバイトを含む)。あてはまるもの1つに○をつけてください。

- () 50人未満 () 50人以上100人未満 () 100人以上300人未満
 () 300人以上1000人未満 () 1000人以上

2 空調について

① 室内全体の空調(冷房・クーラー)がありますか。 (はい ・ いいえ ・ わからない)

→「はい」の場合、空調(冷房・クーラー)の設定温度を回答してください。

() °C ・ わからない)

② 作業者にスポットクーラーはありますか。 (はい ・ いいえ ・ わからない)

③ 作業者に扇風機はありますか。 (はい ・ いいえ ・ わからない)

3 作業着について

通常、使用する作業着(保護具を装着していない状態)として、最も近いもの1つに○をつけてください。

※作業者によって使用する作業着が異なる場合は、「大多数の作業者が使用する作業着」を選んでください。

- () 半そで作業着と長ズボンに相当する衣服(夏用の軽装の作業着)
 () 長そで作業着と長ズボンに相当する衣服(夏用の作業着)
 () 長そで作業着と長ズボンに相当し通気性の悪い衣服(汗が蒸発しにくい衣服・冬用相当の衣服など)
 () 食品衛生白衣(通気性が比較的良いもの)
 () 食品衛生白衣(通気性が比較的悪いもの)
 () その他()

4 保護具について

通常、一人の作業者が装着している保護具として、あてはまるものすべてに○をつけてください。

※作業者によって使用する保護具が異なる場合は、「最も汗をかく」または「熱中症リスクが高いと考えられる」作業者が装着している保護具を選んでください。

- () 衛生マスク(不織布、布など) () 作業帽・頭巾 () ヘルメット
 () 長手袋 () 短手袋 () エプロン・前掛け () 厨房シューズ () 長靴
 () 耳栓 () イヤーマフ () その他()

5 作業に伴う身体的負荷について

身体的負荷が最も大きい作業の強度として、最も近いもの1つに○をつけてください。

- () 【軽度】：座った状態での作業・乗り物の運転
- () 【中等度】：歩く程度の強さ、立ち作業、軽量の荷車を押したり引いたりする
- () 【高度】：速足で歩く程度の強さ、重いものを持つ、重い荷車を押したり引いたりする
- () 【極めて高度】：走る、会話しながらでは不可能な作業

以下の質問は暑熱職場のみではなく、事業所全体について回答してください。

6 事業所での熱中症対策について

① 以下のうち、現在行っている熱中症対策すべてに○をつけてください。

- () 発熱源からの熱を遮ることができる遮へい物の設置
- () 天井から排気する換気扇の設置
- () 発熱源からの熱気を排気する装置の設置
- () 建物への散水
- () 足を伸ばして横になれる広さのある涼しい休憩場所の設置
- () 体温の測定
- () 体重の測定
- () 心拍数の測定
- () ファン付き作業服の使用
- () 携帯型のファン（扇風機）の使用
- () 冷水器の設置
- () 飲料水の支給
- () 塩分の支給
- () 水分摂取の確認
- () 計画的な暑熱順化期間の設定
- () 作業前の体調確認
- () 作業中の巡視と声かけ
- () 持病のある労働者への就業上の配慮
- () 熱中症教育（熱中症の症状・予防方法・救急処置・事例）
- () 熱中症の発症に備えた緊急連絡網の作成と周知
- () その他（)

② 事業所内の室温を測定していますか。 (はい ・ いいえ ・ わからない)

③ 事業所内の WBGT（暑さ指数）を測定していますか。 (はい ・ いいえ ・ わからない)

③で「はい」と答えた方

→WBGT 値に応じて連続作業時間を短縮していますか。 (はい ・ いいえ ・ わからない)

→「連続作業時間の短縮」以外に WBGT 値に応じた対策を実施していれば、その対策を教えてください。

[]

④ 昼休みなどの食事時間以外に休憩時間を確保していますか。 (はい ・ いいえ ・ わからない)

④で「はい」と答えた方

→休憩時間の頻度として最も近いものに○をつけてください。

() 30分に1回 () 1時間に1回 () 2時間に1回 () 3時間に1回

→休憩時間の長さとして最も近いものに○をつけてください。

() 5分 () 10分 () 15分 () 20分 () 20分以上

⑤ 「熱中症予防管理者」を選任していますか。 (はい ・ いいえ ・ わからない)

⑥ 「STOP!熱中症 クールワークキャンペーン」を知っていますか。 (はい ・ いいえ)

⑦ 「環境省熱中症予防情報サイト」を知っていますか。 (はい ・ いいえ)

⑧ 環境省の「熱中症警戒アラート」を知っていますか。 (はい ・ いいえ)

倉庫業における熱中症対策アンケート

1 事業所の概要

① 夏季に汗をかくような暑い屋内職場がありますか。 (はい ・ いいえ)

→ 「いいえ」の場合でも、以下の質問には貴事業所のうち、最も暑い屋内職場についてご回答ください。

② 「最も暑い屋内職場」が暑くなっている原因として考えられるものすべてに○をつけてください。

- () 外が暑いため () 風通しが悪いため
 () 日光が差し込むため () 人が密集しているため
 () 身体的負荷の高い作業であるため (重い物を運ぶなど)
 () 作業服の通気性が悪いため
 () 熱を発する設備があるため
 →設備の名称をご記載ください (複数回答可)
 ()
 () その他：()

③事業所で働く人は何人ですか (パート・アルバイトを含む)。あてはまるもの1つに○をつけてください。

- () 50人未満 () 50人以上 100人未満 () 100人以上 300人未満
 () 300人以上 1000人未満 () 1000人以上

2 空調について

①室内全体の空調 (冷房・クーラー) がありますか。 (はい ・ いいえ ・ わからない)

→ 「はい」の場合、空調 (冷房・クーラー) の設定温度を回答してください。

(°C ・ わからない)

②作業用にスポットクーラーはありますか。 (はい ・ いいえ ・ わからない)

③作業用に扇風機はありますか。 (はい ・ いいえ ・ わからない)

3 作業着について

通常、使用する作業着 (保護具を装着していない状態) として、最も近いもの1つに○をつけてください。

※作業者によって使用する作業着が異なる場合は、「大多数の作業者が使用する作業着」を選んでください。

- () 半そで作業着と長ズボンに相当する衣服 (夏用の軽装の作業着)
 () 長そで作業着と長ズボンに相当する衣服 (夏用の作業着)
 () 長そで作業着と長ズボンに相当する通気性の悪い衣服 (汗が蒸発しにくい衣服・冬用相当の衣服など)
 () その他 ()

4 保護具について

通常、一人の作業者が装着している保護具として、あてはまるものすべてに○をつけてください。

※作業者によって使用する保護具が異なる場合は、「最も汗をかく」または「熱中症リスクが高いと考えられる」作業者が装着している保護具を選んでください。

- () 防じんマスク () 防毒マスク () 衛生マスク (不織布、布など)
 () 作業帽 () ヘルメット () 長手袋
 () 短手袋 () エプロン・前掛け () 安全靴
 () 耳栓 () イヤーマフ () 墜落制止用器具 (ハーネス・安全帯)
 () その他：()

5 作業に伴う身体的負荷について

身体的負荷が最も大きい作業の強度として、最も近いもの1つに○をつけてください。

- () 【軽度】：座った状態での作業・乗り物の運転
- () 【中等度】：歩く程度の強さ、立ち作業、軽量の荷車を押したり引いたりする
- () 【高度】：速足で歩く程度の強さ、重いものを持つ、重い荷車を押したり引いたりする
- () 【極めて高度】：走る、会話しながらでは不可能な作業

以下の質問は暑熱職場のみではなく、事業所全体について回答してください。

6 事業所での熱中症対策について

① 以下のうち、現在行っている熱中症対策すべてに○をつけてください。

- () 発熱源からの熱を遮ることができる遮へい物の設置
- () 天井から排気する換気扇の設置
- () 発熱源からの熱気を排気する装置の設置
- () 建物への散水
- () 足を伸ばして横になれる広さのある涼しい休憩場所の設置
- () 体温の測定
- () 体重の測定
- () 心拍数の測定
- () ファン付き作業服の使用
- () 携帯型のファン（扇風機）の使用
- () 冷水器の設置
- () 飲料水の支給
- () 塩分の支給
- () 水分摂取の確認
- () 計画的な暑熱順化期間の設定
- () 作業前の体調確認
- () 作業中の巡視と声かけ
- () 持病のある労働者への就業上の配慮
- () 熱中症教育（熱中症の症状・予防方法・救急処置・事例）
- () 熱中症の発症に備えた緊急連絡網の作成と周知
- () その他（)

② 事業所内の室温を測定していますか。 (はい ・ いいえ ・ わからない)

③ 事業所内の WBGT（暑さ指数）を測定していますか。 (はい ・ いいえ ・ わからない)

③で「はい」と答えた方

→WBGT 値に応じて連続作業時間を短縮していますか。 (はい ・ いいえ ・ わからない)

→「連続作業時間の短縮」以外に WBGT 値に応じた対策を実施していれば、その対策を教えてください。

[]

④ 昼休みなどの食事時間以外に休憩時間を確保していますか。 (はい ・ いいえ ・ わからない)

④で「はい」と答えた方

→休憩時間の頻度として最も近いものに○をつけてください。

() 30分に1回 () 1時間に1回 () 2時間に1回 () 3時間に1回

→休憩時間の長さとして最も近いものに○をつけてください。

() 5分 () 10分 () 15分 () 20分 () 20分以上

⑤ 「熱中症予防管理者」を選任していますか。 (はい ・ いいえ ・ わからない)

⑥ 「STOP!熱中症 クールワークキャンペーン」を知っていますか。 (はい ・ いいえ)

⑦ 「環境省熱中症予防情報サイト」を知っていますか。 (はい ・ いいえ)

⑧ 環境省の「熱中症警戒アラート」を知っていますか。 (はい ・ いいえ)

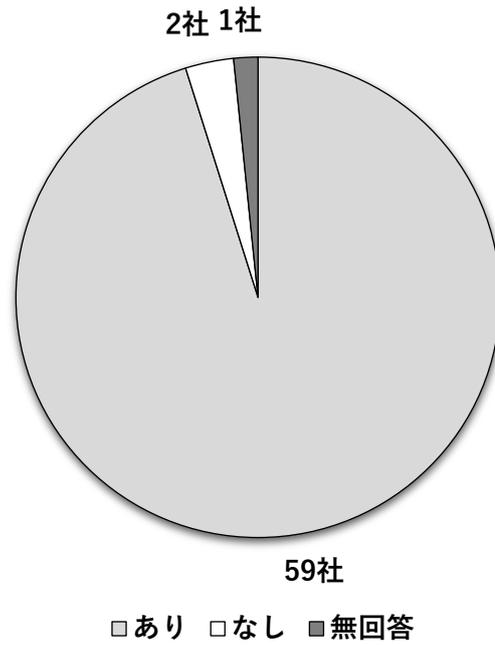


図 1-1 夏季の屋内の暑熱職場（食品製造業、N=62）

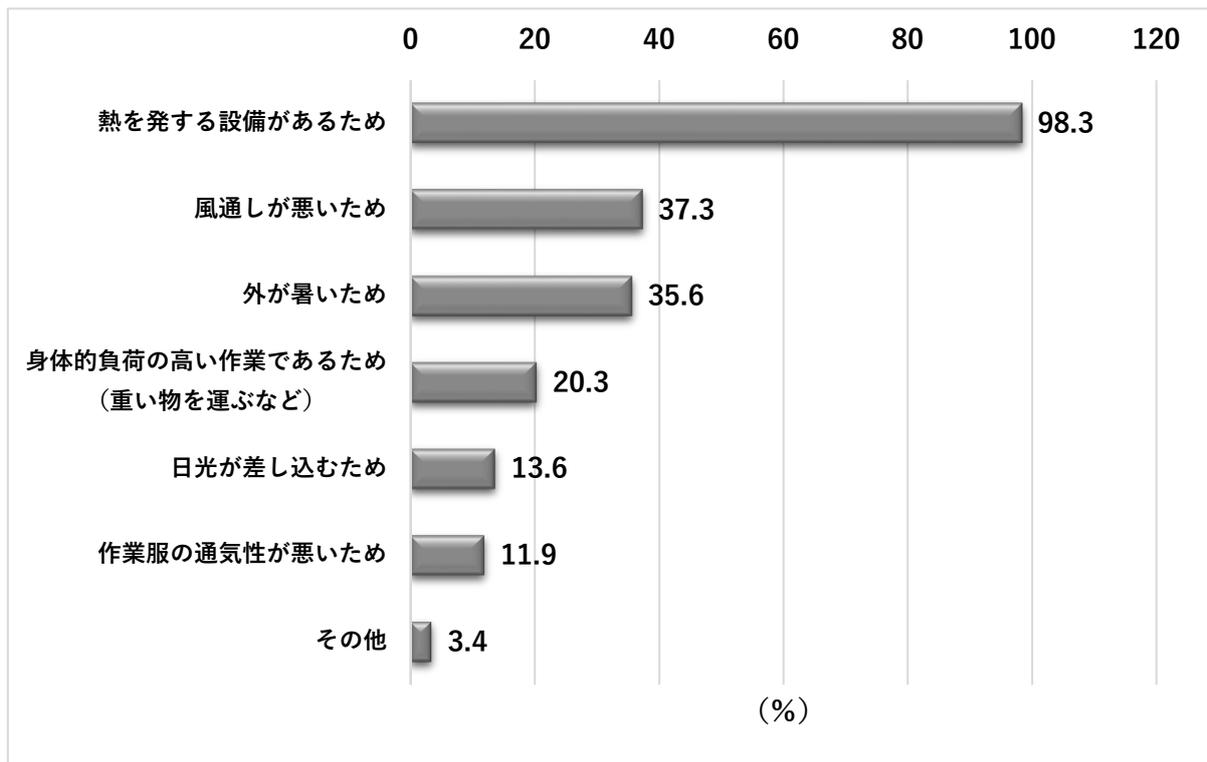


図 1-2 最も暑い屋内職場が暑くなっている原因として考えられるもの（食品製造業、N=59）

※「その他」の回答内容：「エアコン設備のない所が多いため」、「空調機がないため」

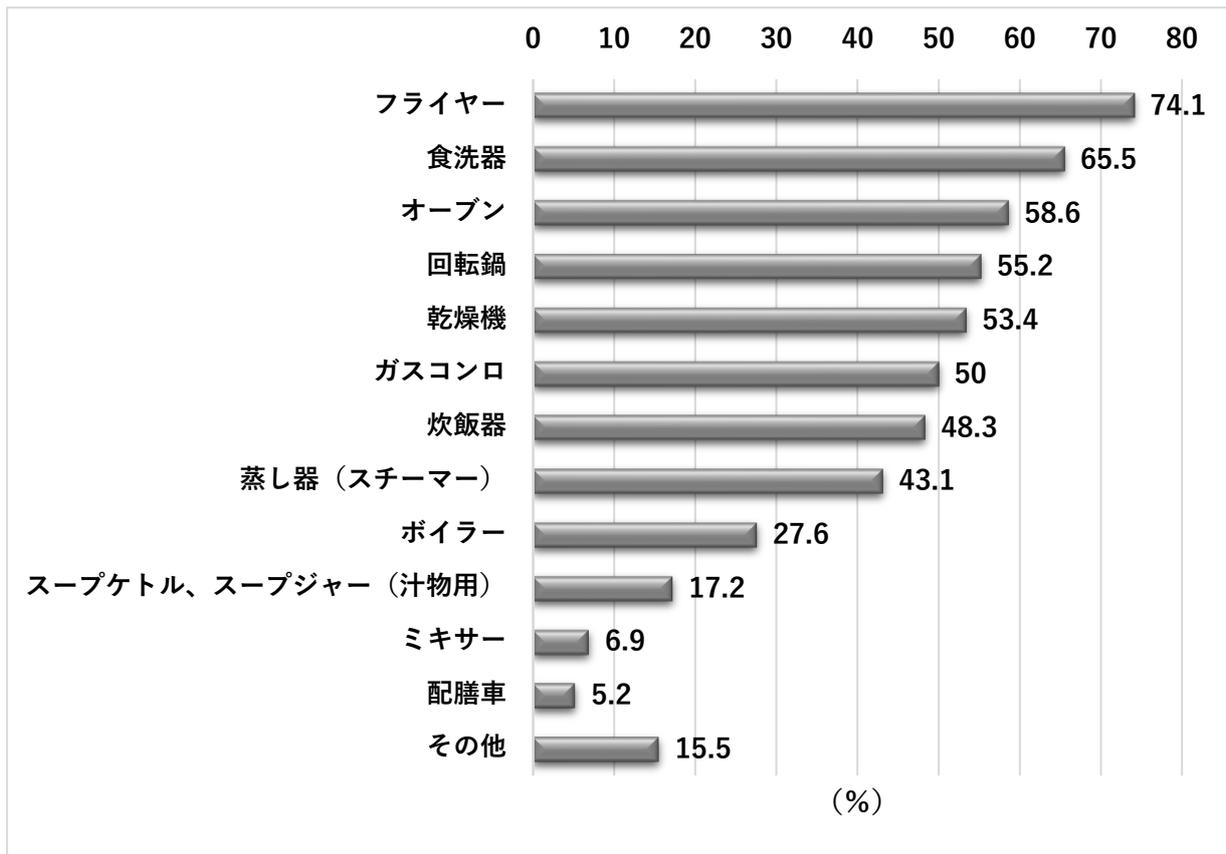


図 1-3 最も暑い屋内職場が暑くなっている原因として考えられる「熱を発する設備」
(食品製造業、N=58)

※「その他」の回答内容：「ガスバーナー」、「加熱式ニーダー」、「回転釜」、「殺菌装置」、「蒸気釜」、「食器乾燥機」、「大型の洗浄機」、「第一種圧力容器等」、「熱湯ボイル釜」

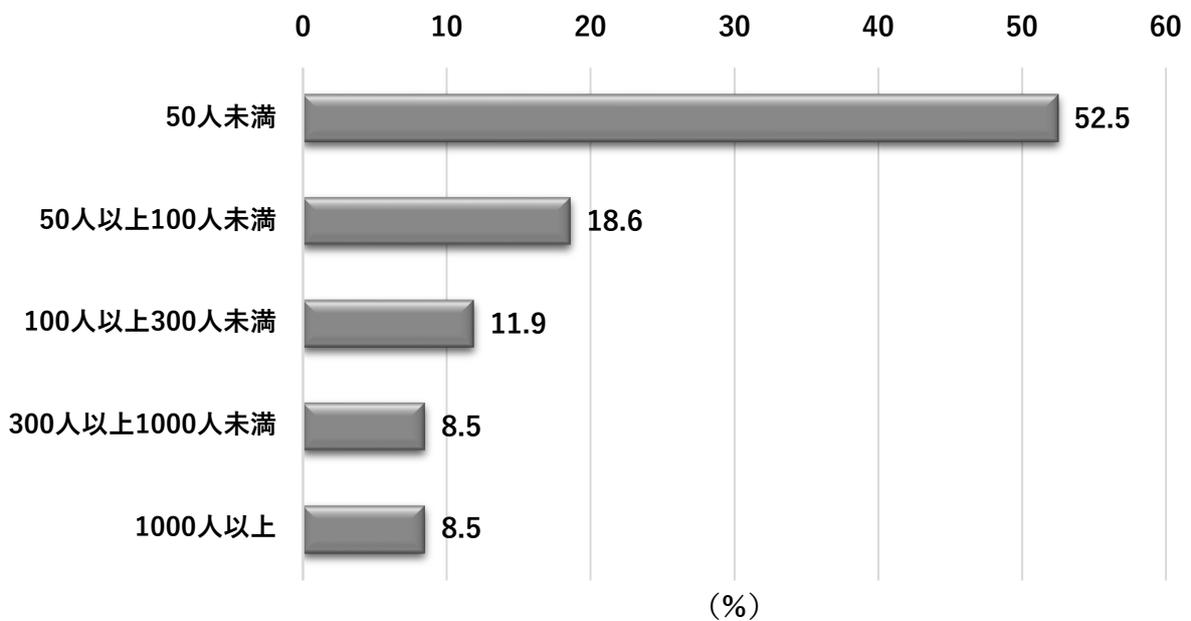
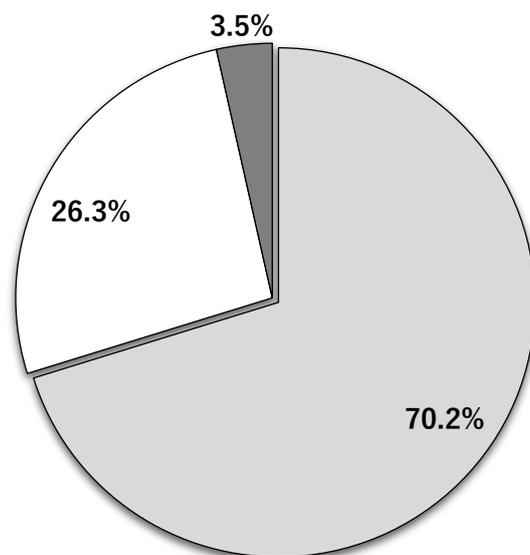


図 1-4 事業所の社員の人数 (食品製造業、N=59)



□あり □なし ■わからない

図 1-5 最も暑い屋内職場の冷房・クーラーなど室内全体の空調（食品製造業、N=57）

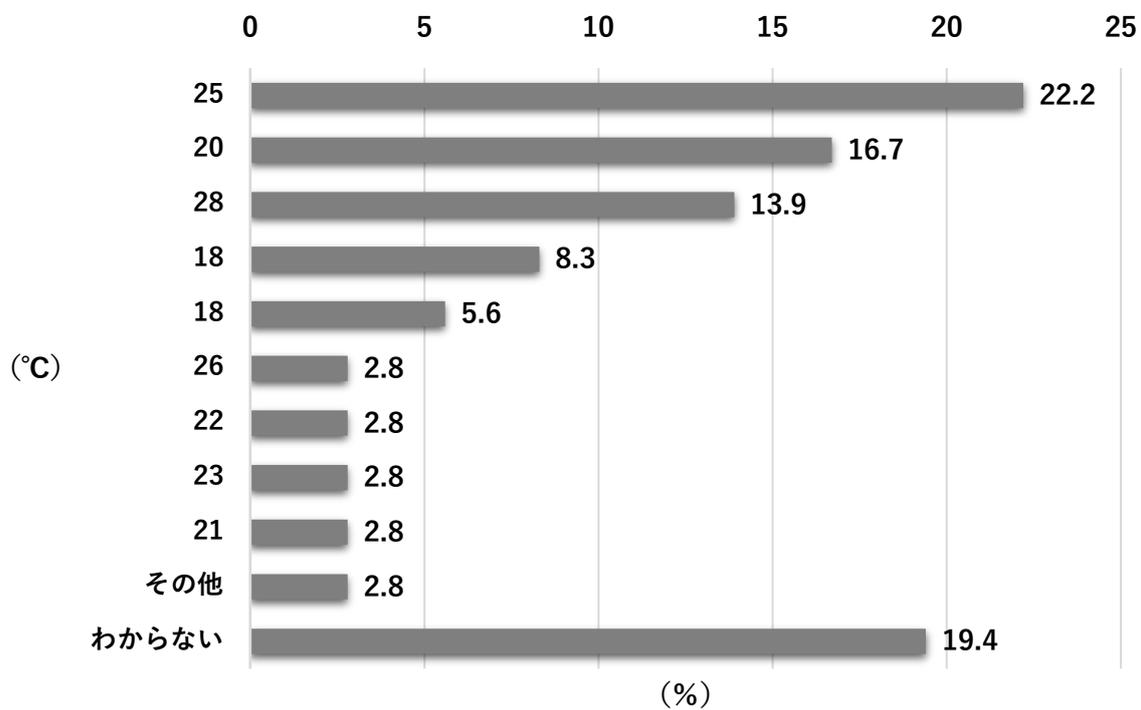
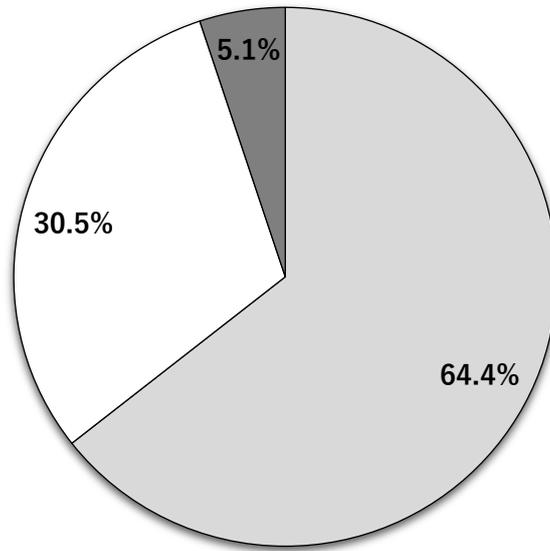


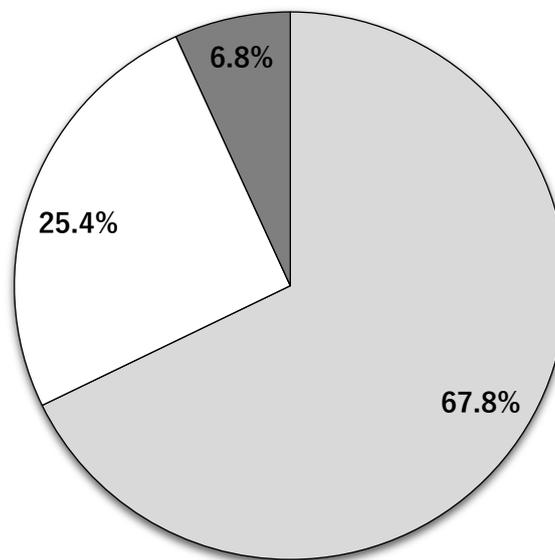
図 1-6 最も暑い屋内職場の空調の設定温度（食品製造業、N=36）

※「その他」の回答内容：26±2°C



□あり □なし ■わからない

図 1-7 最も暑い屋内職場の作業者用のスポットクーラー（食品製造業、N=59）



□あり □なし ■わからない

図 1-8 最も暑い屋内職場の作業者用の扇風機（食品製造業、N=59）

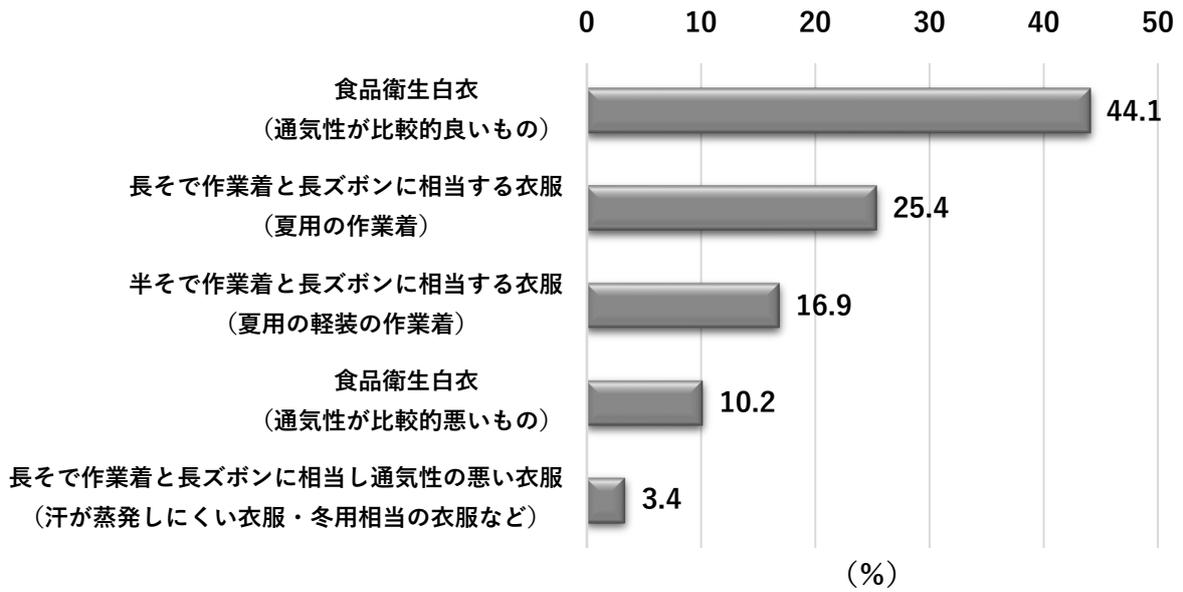


図 1-9 最も暑い屋内職場で使用する作業着（保護具を装着していない状態）に相当する衣服（食品製造業、N=59）

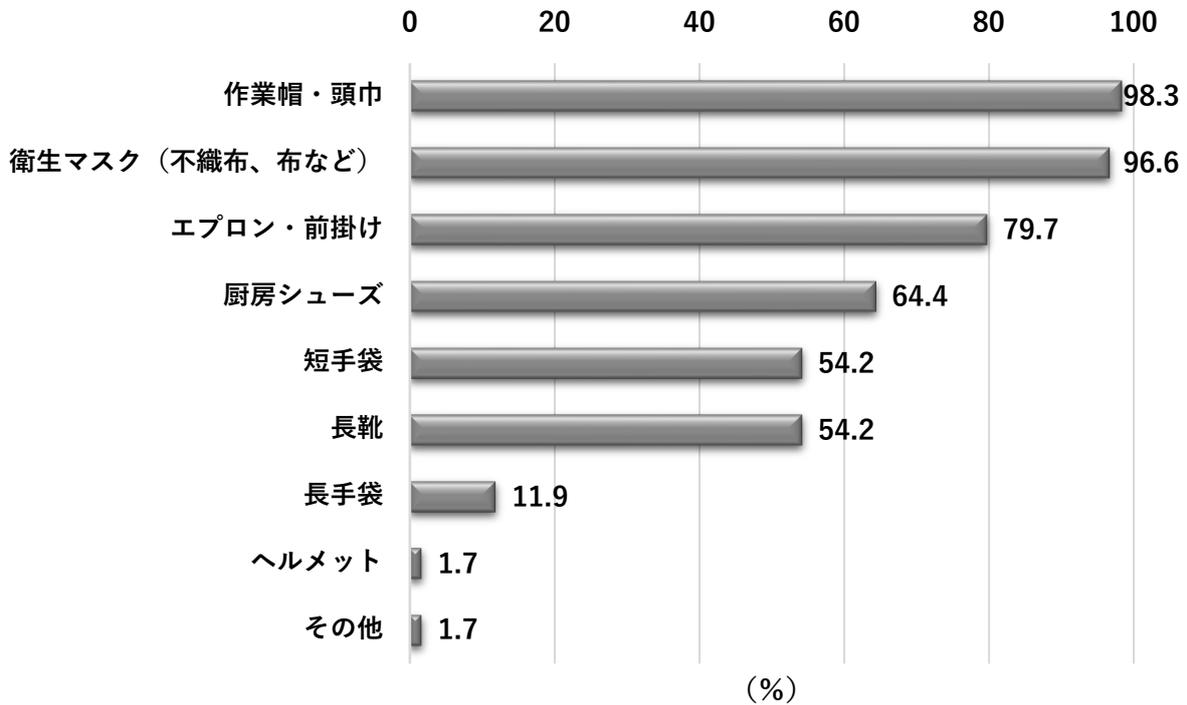


図 1-10 最も暑い屋内職場で一人の作業着者が装着している保護具（食品製造業、N=59）

※「その他」の回答内容：インナーヘルメット

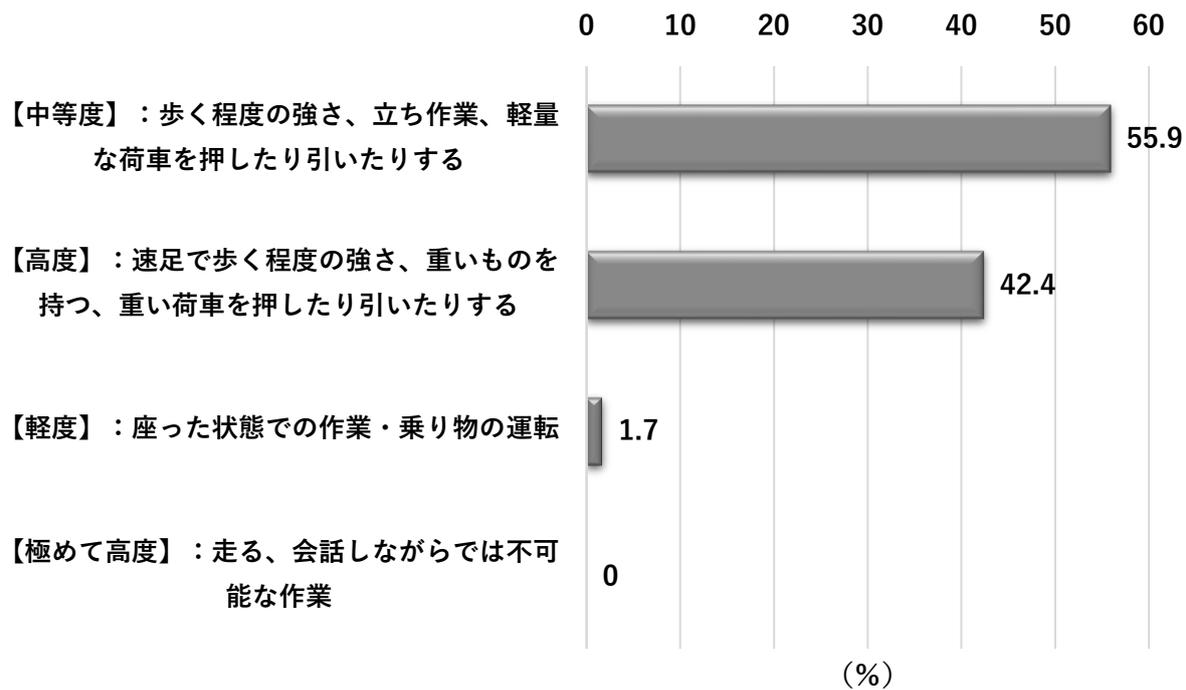


図 1-11 最も暑い屋内職場における身体的負荷が最も大きい作業の強度（食品製造業、N=59）

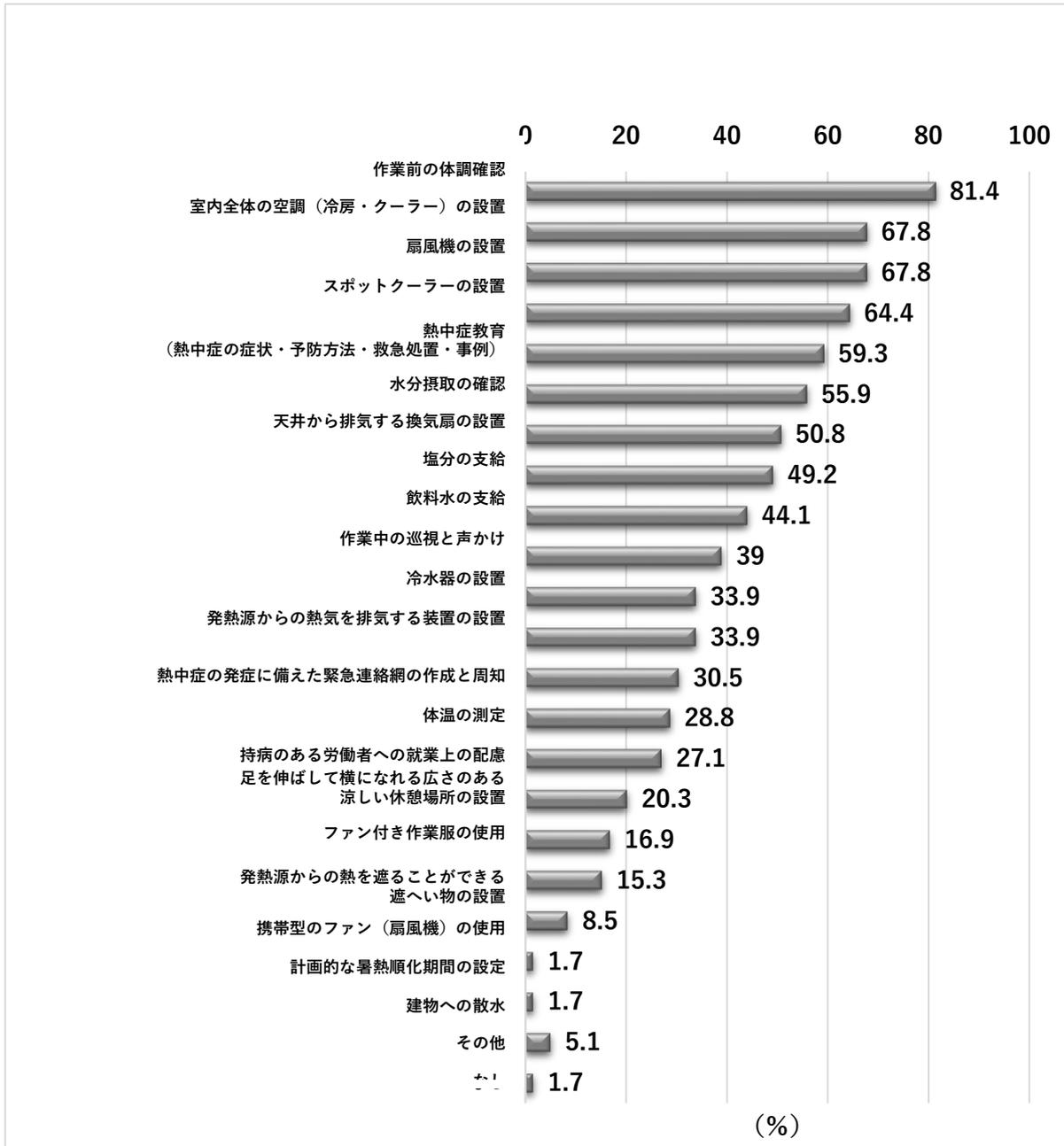


図 1-12 現在、行っている熱中症対策（食品製造業、N=59）

※「その他」の回答内容：「その日の湿度・気温等を考慮して休憩回数を増やす」、「環境測定（定位置調査）」、「涼しい場所の設置」

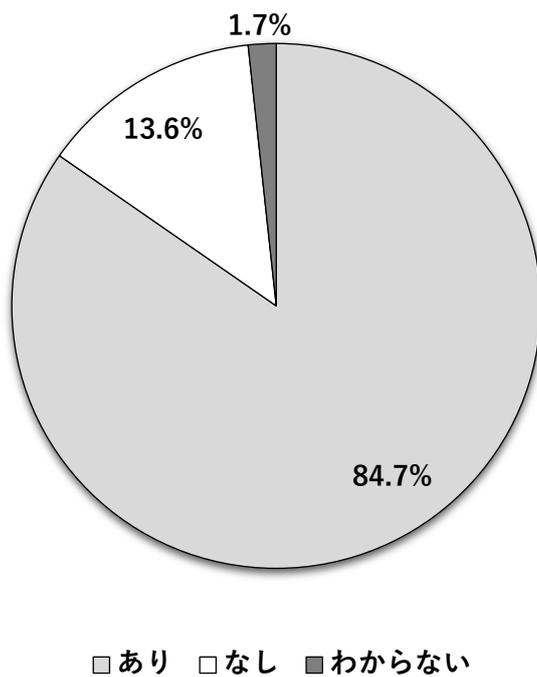


図 1-13 事業所内の室温の測定（食品製造業、N=59）

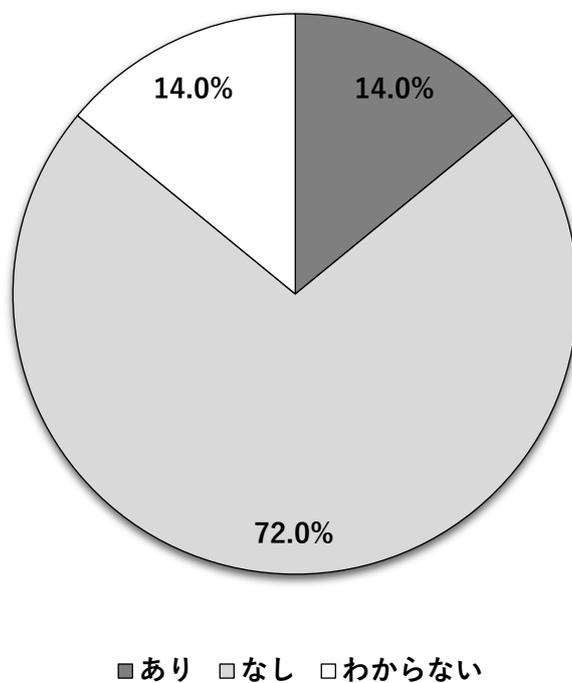
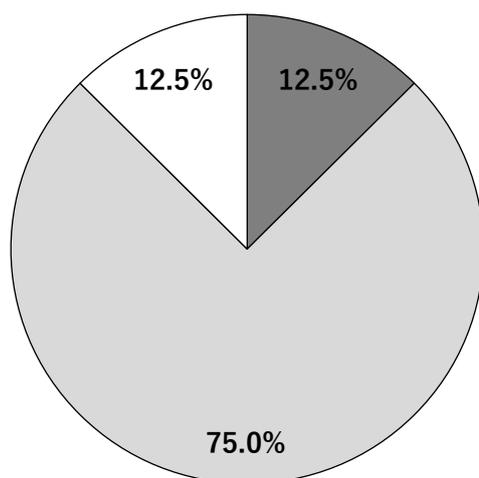


図 1-14 事業所内の WBGT（暑さ指数）の測定（食品製造業、N=57）

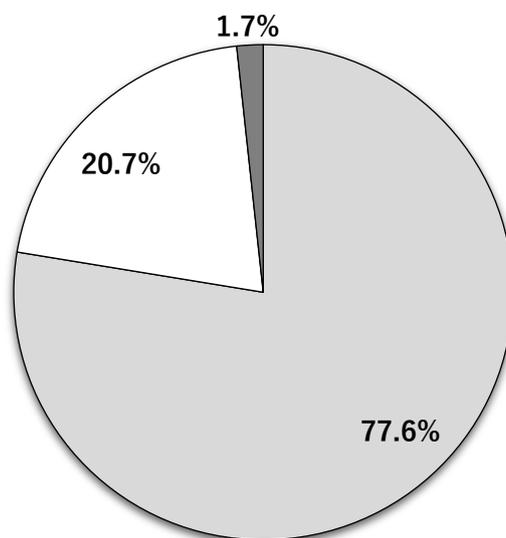


■あり □なし □わからない

図 1-15 WBGT に応じた連続作業時間の短縮の実施（食品製造業、N=8）

表 1 「連続作業時間の短縮」以外の WBGT に応じた対策（N=1）

| 「連続作業時間の短縮」以外の WBGT に応じた対策 | |
|------------------------------|---|
| WEB 動画定点観察、職長定点巡回、職場内声掛け運動 等 | 1 |



□あり □なし ■わからない

図 1-16 昼休みなどの食事時間以外の休憩（食品製造業、N=58）

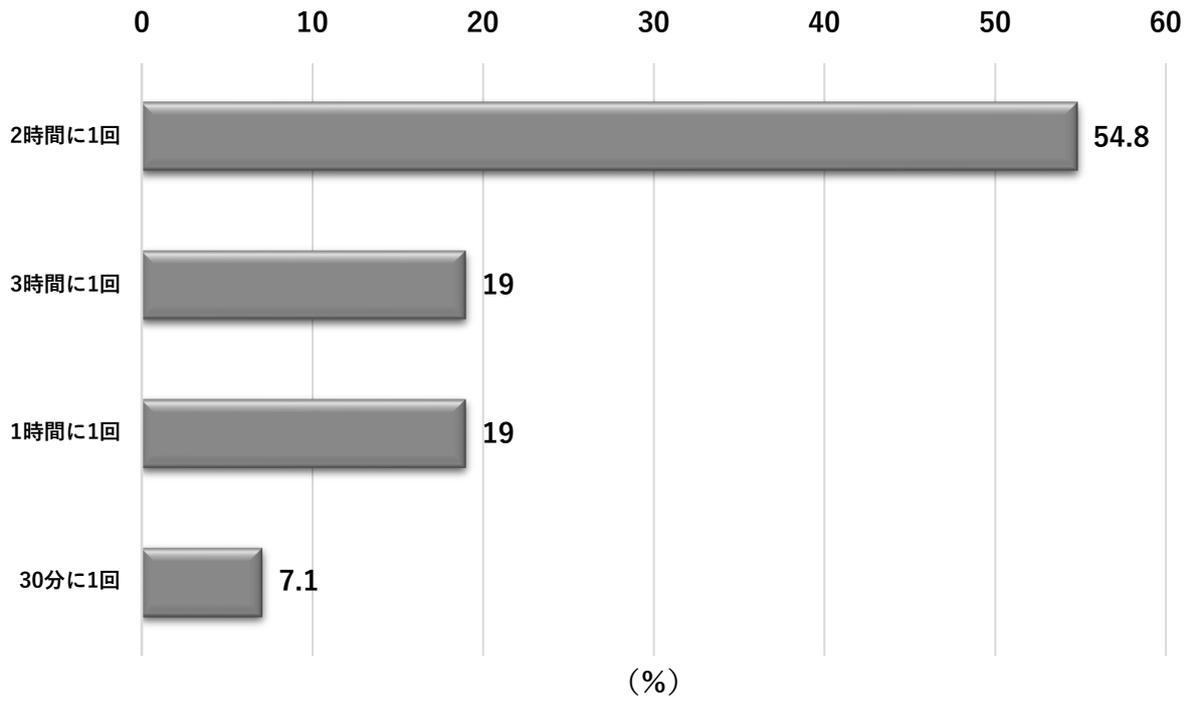


図 1-17 昼休みなどの食事時間以外の休憩の頻度（食品製造業、N=45）

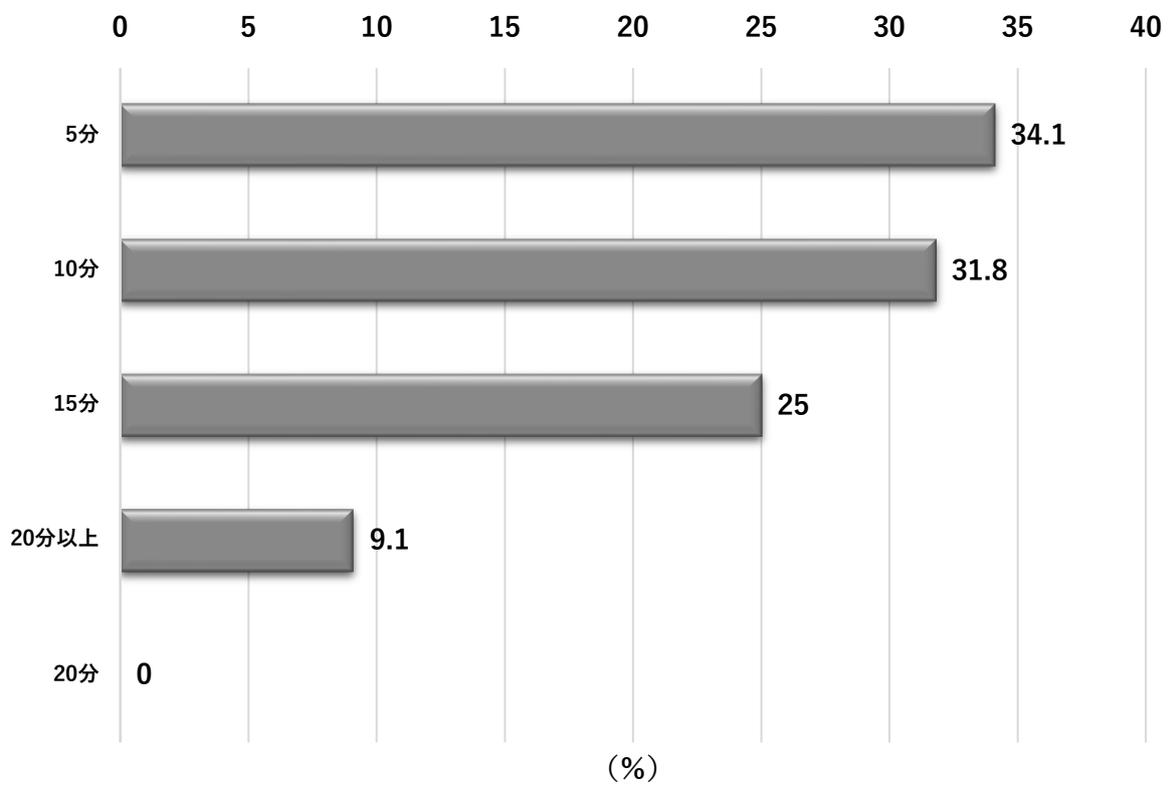


図 1-18 昼休みなどの食事時間以外の休憩の時間（食品製造業、N=45）

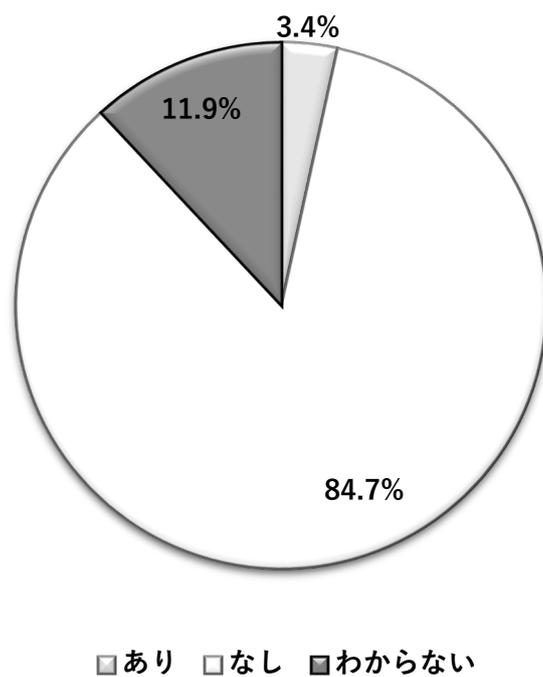


図 1-19 熱中症予防管理者の選任（食品製造業、N=59）

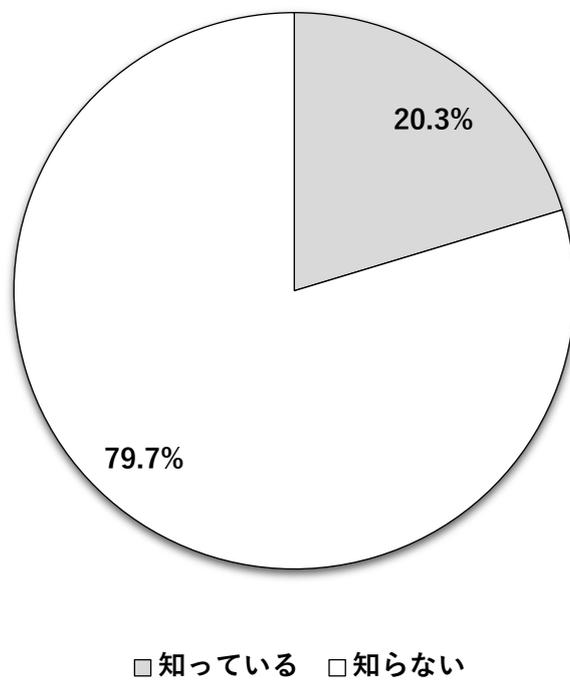
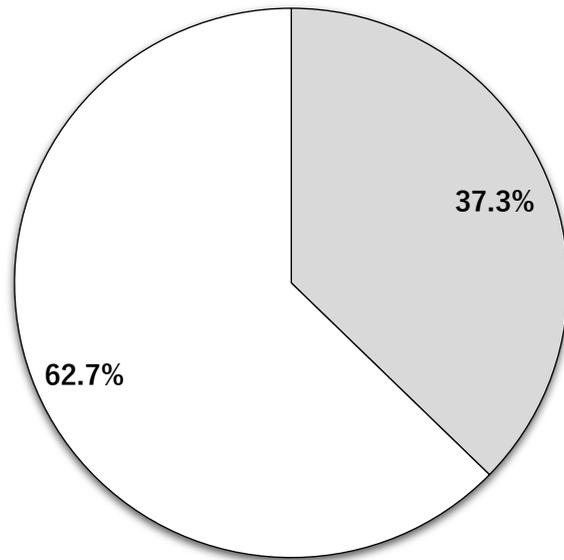
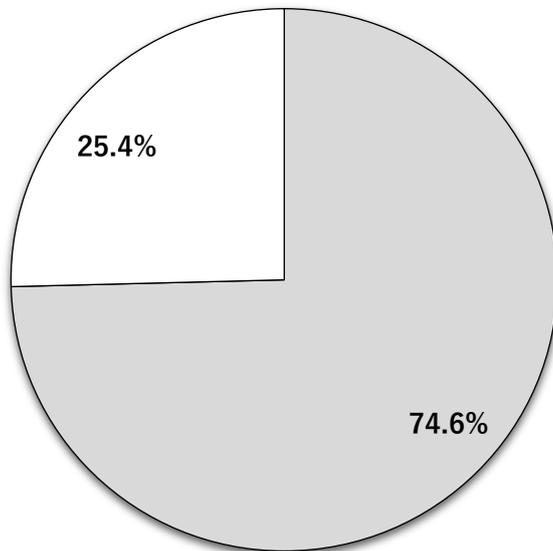


図 1-20 「STOP!熱中症 クールワークキャンペーン」について（食品製造業、N=59）



□ 知っている □ 知らない

図 1-21 「環境省熱中症予防情報サイト」について（食品製造業、N=59）



□ 知っている □ 知らない

図 1-22 環境省の「熱中症警戒アラート」について（食品製造業、N=59）

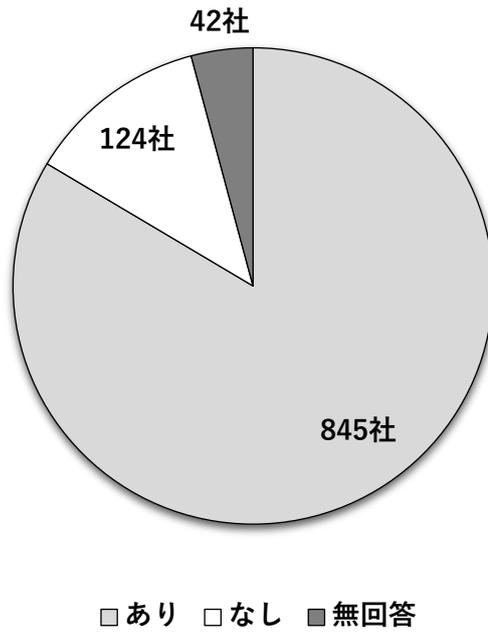


図 2-1 夏季の屋内の暑熱職場（倉庫業、N=1,011）

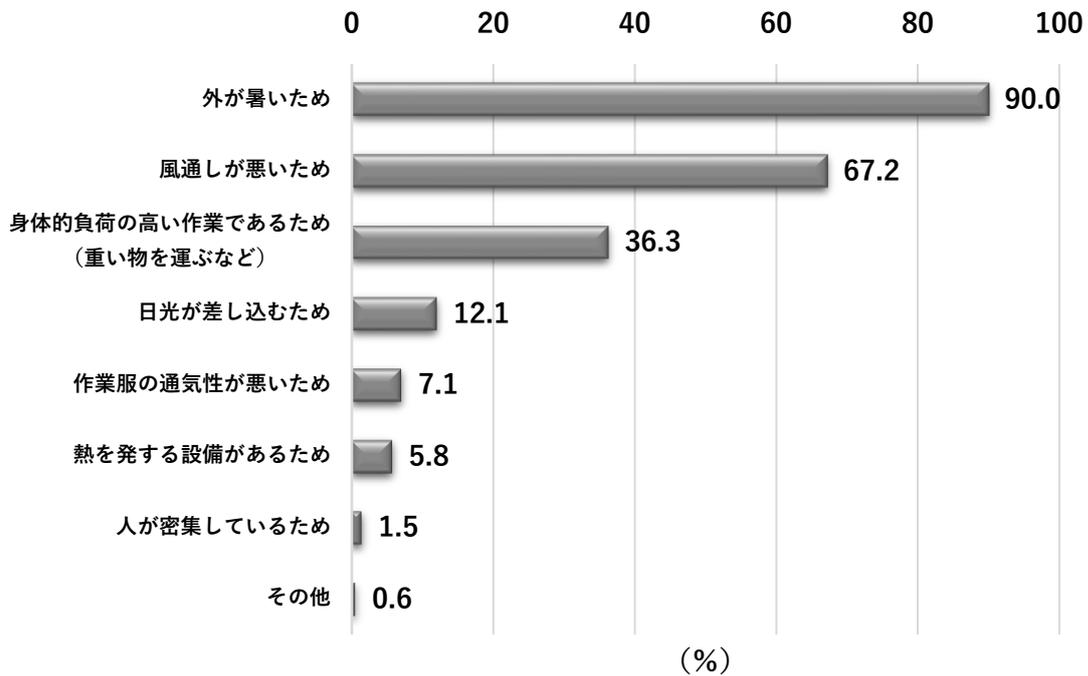


図 2-2 最も暑い屋内職場が暑くなっている原因として考えられるもの（倉庫業）（N=841）

※「その他」の回答内容：「ピッキング作業のため」、「空調がないため」、「高所のため」、
「倉庫なのでエアコンの冷気が行き渡らない」、「建屋の二階のため」

表 2-1 最も暑い屋内職場が暑くなっている原因として考えられる「熱を発する設備」
(倉庫業、N=34、複数回答)

| 熱を発する設備 |
|--------------------------|
| 「梱包ライン・梱包機」 |
| 「機械・製造設備全般」 |
| 「フォークリフト」 |
| 「ブロアモーター」 |
| 「搬送設備」 |
| 「PC」 |
| 「モーター」 |
| 「天井からの熱」 |
| 「天井照明」 |
| 「トラック」 |
| 「操作室（設備による熱）」 |
| 「サイロ下・上」 |
| 「アルミをプレスする設備」 |
| 「エアーコンプレッサー」 |
| 「シュリンク機」 |
| 「染色機」 |
| 「サンプルカッター」 |
| 「ピッキングライン（DPS、ワライムシステム）」 |
| 「大豆撰別機」 |
| 「塗装乾燥炉」 |
| 「壁材が鋼板」 |
| 「海上コンテナ（輸出入用）」 |
| 「乾燥機・乾燥設備」 |
| 「精練整理用の設備機械」 |
| 「屋根（鋼板やスレート）」 |
| 「鉄骨造」 |
| 「蒸留塔」 |
| 「薬剤槽」 |
| 「熱風発生機」 |
| 「破碎機」 |
| 「冷凍機」 |
| 「炉」 |

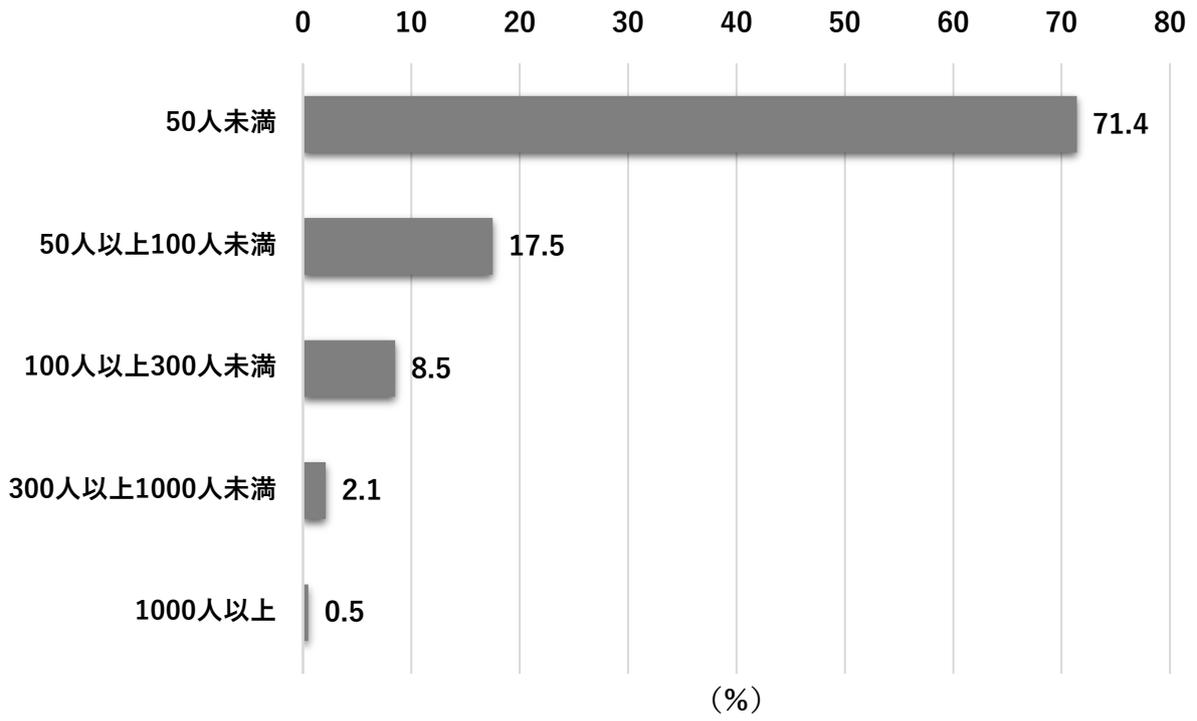


図 2-3 事業所の社員の人数（倉庫業、N=845）

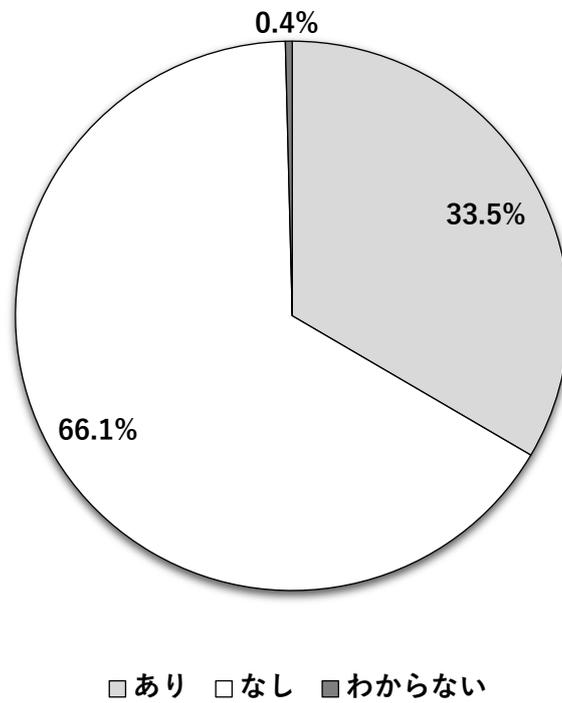


図 2-4 最も暑い屋内職場の冷房・クーラーといった室内全体の空調（倉庫業、N=837）

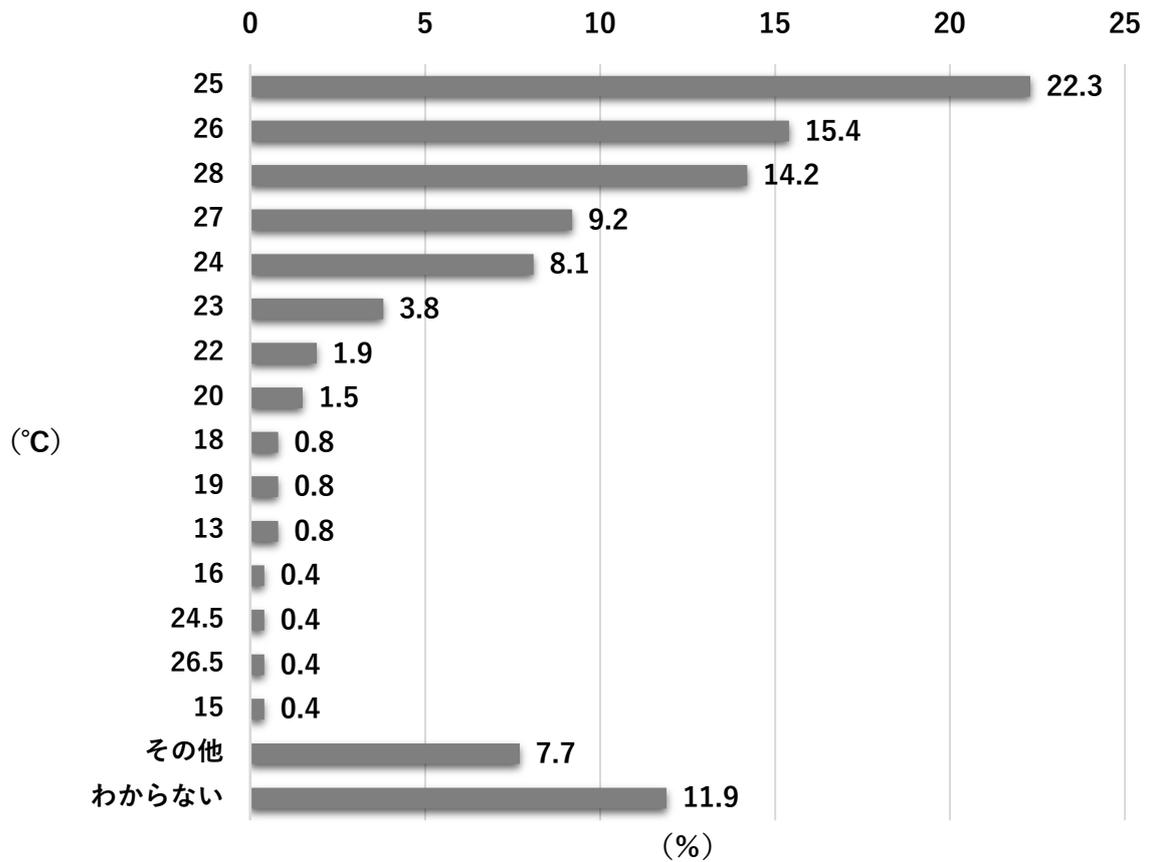
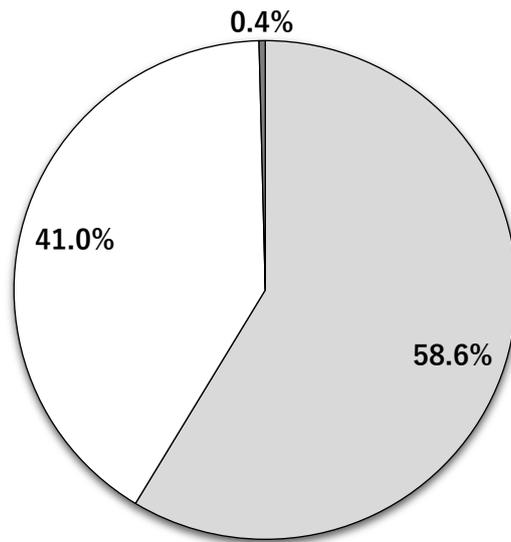


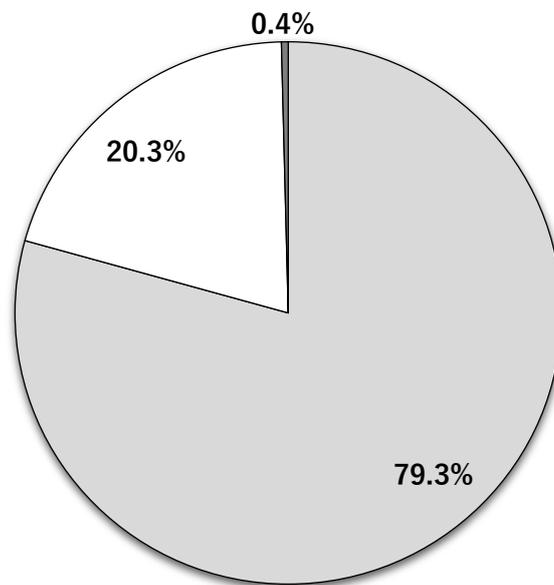
図 2-5 最も暑い屋内職場の空調の設定温度（倉庫業、N=260）

※「その他」の回答内容：「14～25℃」、「20～28℃」、「22～24℃」、「24～25℃」、「24～26℃」、「24～28℃」、「25～28℃」、「25 又は 26℃」、「26～27℃」、「26～28℃」、「27～28℃」、「20℃以下」、「下限なし」



□あり □なし ■わからない

図 2-6 最も暑い屋内職場の作業者用のスポットクーラー（倉庫業、N=840）



□あり □なし ■わからない

図 2-7 最も暑い屋内職場の作業者用の扇風機（倉庫業、N=832）

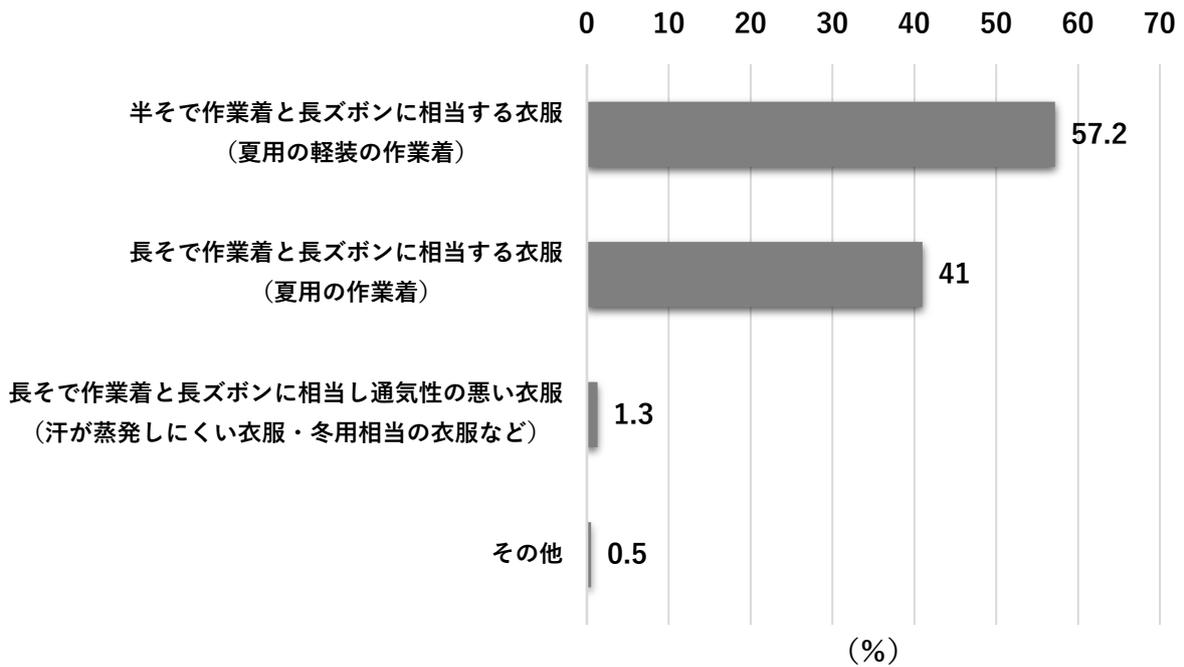


図 2-8 最も暑い屋内職場で使用する作業着（保護具を装着していない状態）に相当する衣服（倉庫業、N=842）※その他の回答内容：「薄手の長袖作業着と通年使用の長ズボン」

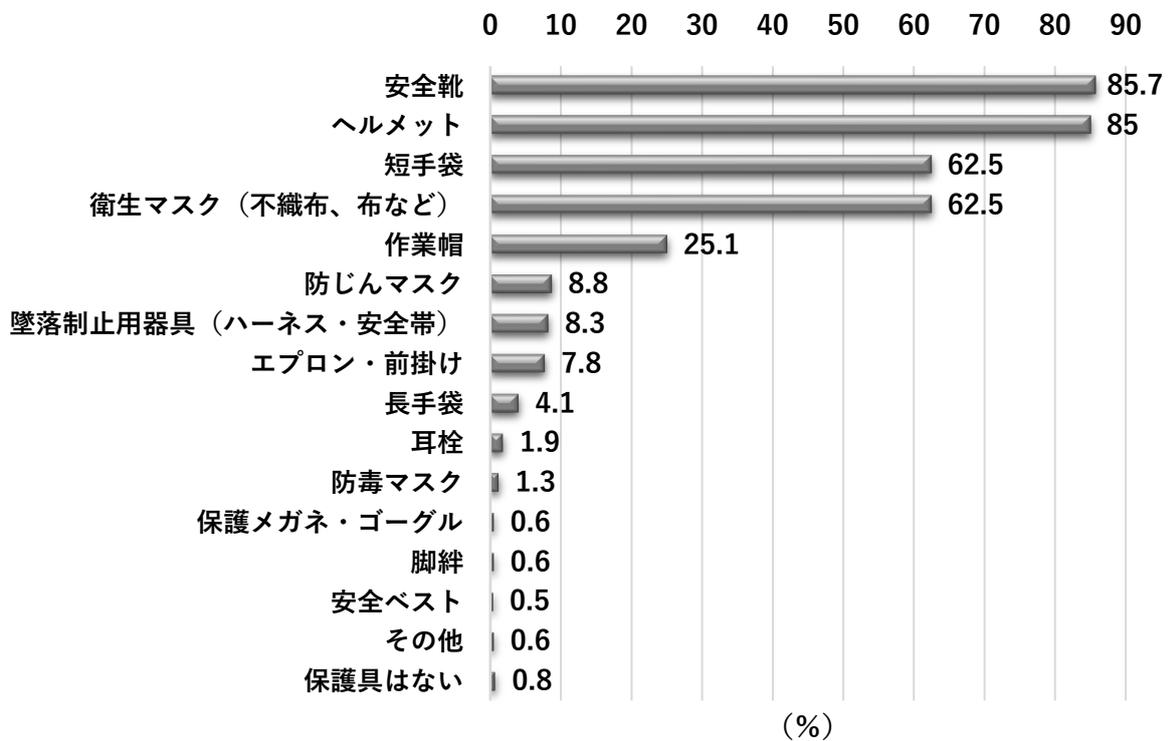


図 2-9 最も暑い屋内職場で一人の作業者が装着している保護具（倉庫業、N=845）

※「その他」の回答内容：「スパッツ」、「タイベック・合羽」、「バンドナ」、「ヤッケ」、
「足カバー」

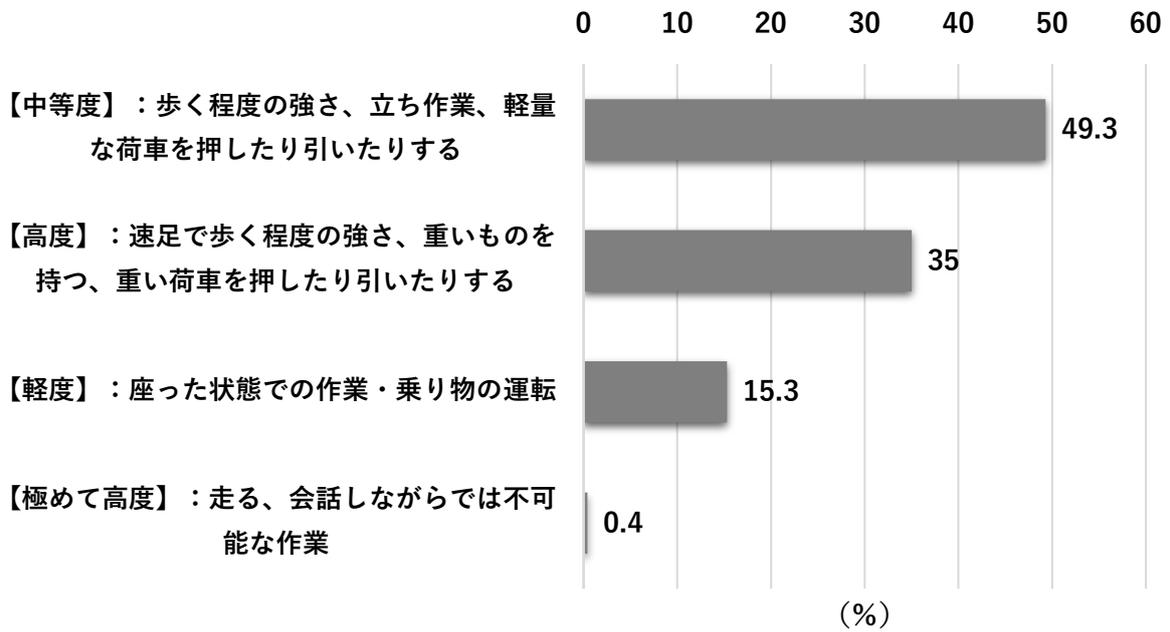


図 2-10 最も暑い屋内職場における身体的負荷が最も大きい作業の強度（倉庫業、N=834）

以下のうち、現在行っている熱中症対策のすべてを選んでください。

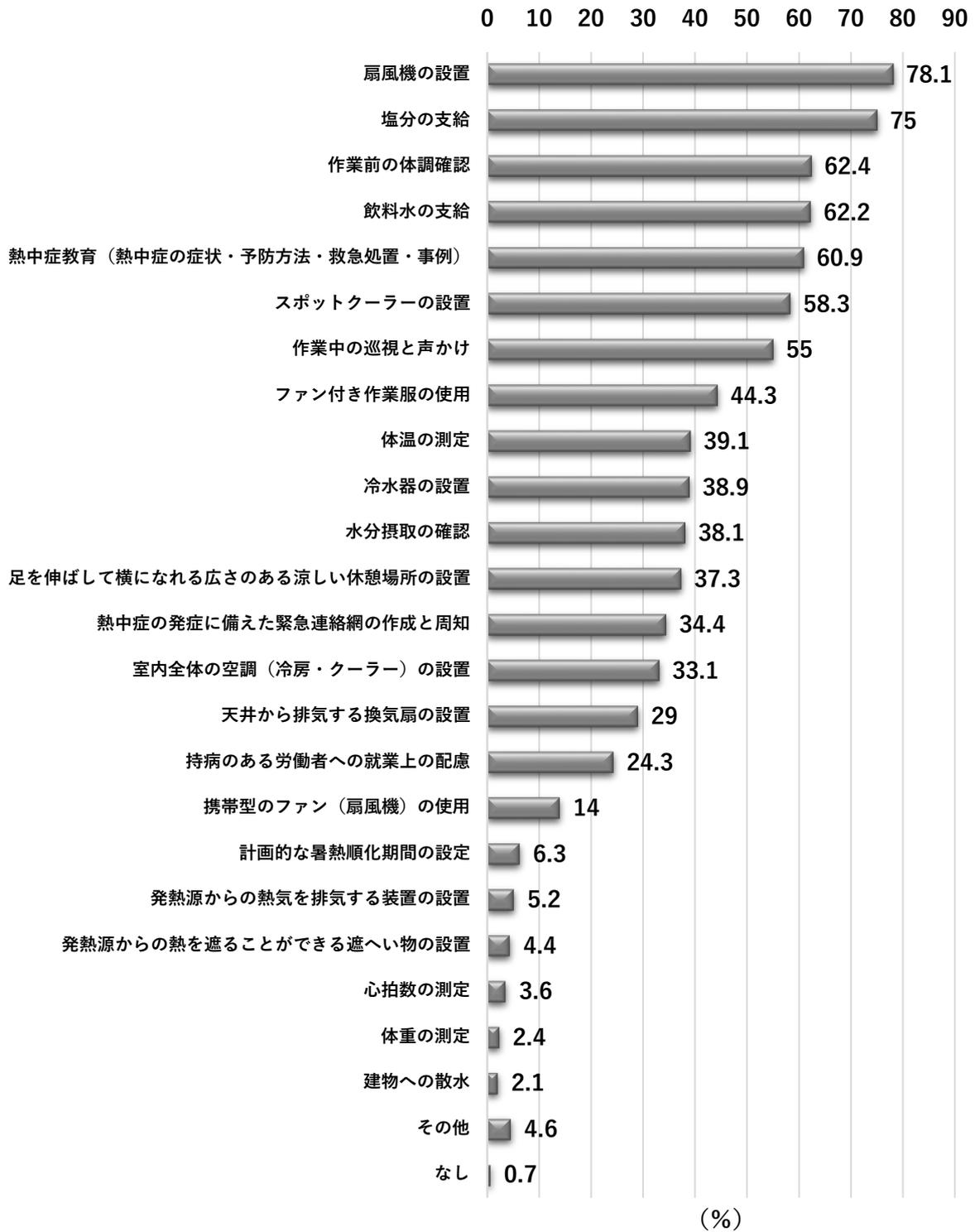
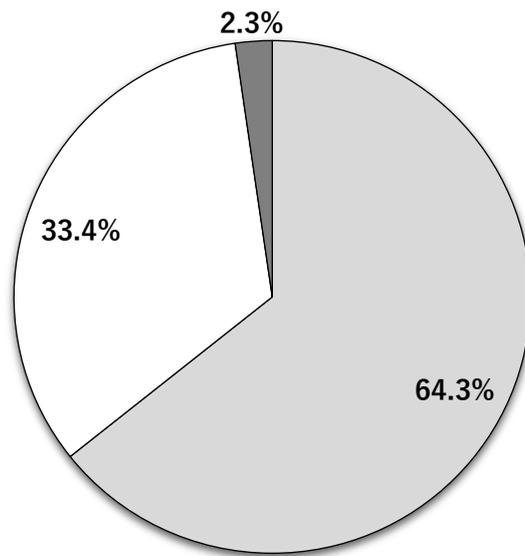


図 2-11 現在、行っている熱中症対策（倉庫業、N=845）

表 2-2 その他の熱中症対策（倉庫業、N=39、複数回答）

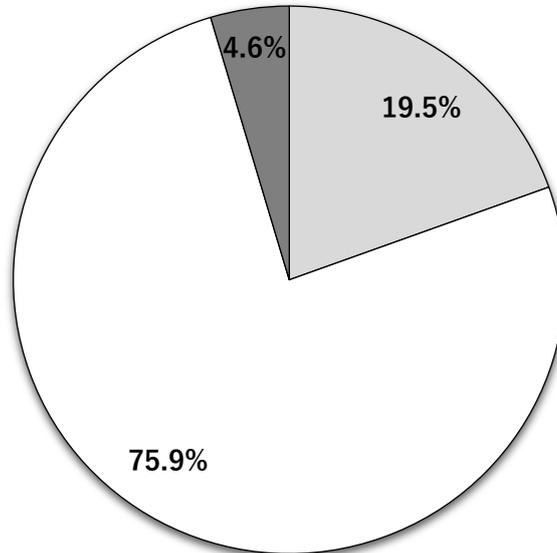
その他の熱中症対策

- 「製氷器の設置」
- 「冷蔵庫の設置」
- 「救急用品の設置」
- 「保冷機具の支給」
- 「保冷剤（ネックリング）などの配布」
- 「冷却機能を備えた用具の使用」
- 「WBGT 表と温湿計の設置」
- 「アイスベスト、冷水の用意、計画的休息」
- 「クールベストの使用」
- 「冷却剤使用アイスベストの使用、一部パワースーツの使用」
- 「保冷枕・経口補水液の常備、冷感・吸汗速乾素材の作業服の支給」
- 「アルコールチェック、熱中症応急キットの設置」
- 「水冷式送風機の設置（コンテナ作業時）」
- 「シーリングファンの設置」
- 「自販機の設置、風通しの良い休憩場所へのベンチの設置」
- 「トイレの回数確認」
- 「フォークリフトの扇風機の設置」
- 「屋上に太陽光発電設備の設置と大型のファンの設置」
- 「涼しい休憩室の設置」
- 「効率の良い作業と休憩」
- 「作業場の温度・湿度の把握」
- 「自主的な水分・塩分の補給」
- 「室内（倉庫）の温度表示」
- 「小まめな給水休憩を作業中も積極的にとる」
- 「倉庫用大型扇風機 5 台の設置」
- 「断熱材屋根の設備」
- 「天井の断熱（二重折屋根）」
- 「天井取付け大型ファン」
- 「熱中症対策ウォッチの着用」
- 「安全衛生緊急連絡網の周知」
- 「保冷剤の配布（首に当てる、ヘルメットに入れるなど）」
- 「WBGT に沿った作業手順書の作成と作業指示」
- 「冷房設備を備えたクールダウンルームの設置」
- 「危険な温度になったら休憩をこまめに取るようにする指示」 「1 業務に 3 名体制により作業員の状況を把握できるようにしている」
- 「クーラーを設置した休憩所と事務所での適度な休息時間の確保」
- 「就業規則に定められた休憩時間以外の時間の休憩の認可」



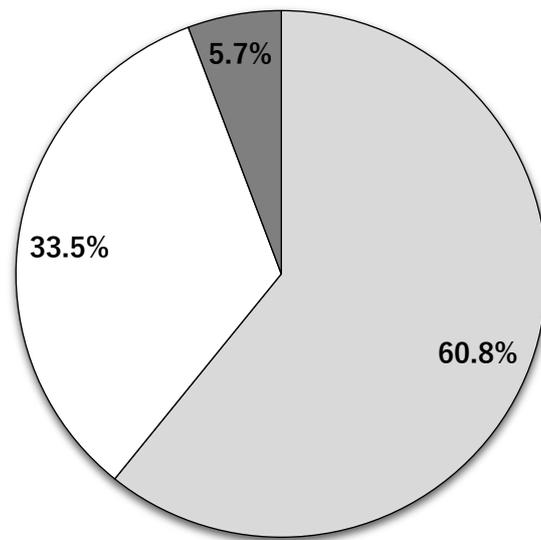
□あり □なし ■わからない

図 2-12 事業所内の室温の測定（倉庫業、N=841）



□あり □なし ■わからない

図 2-13 事業所内の WBGT（暑さ指数）の測定（倉庫業、N=827）



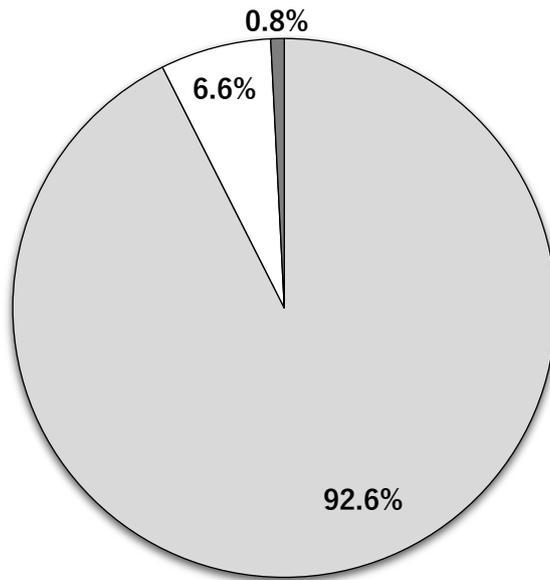
□あり □なし ■わからない

図 2-14 WBGT に応じた連続作業時間の短縮の実施（倉庫業、N=158）

表 2-3 「連続作業時間の短縮」以外に WBGT に応じた対策（倉庫業、N=27）

「連続作業時間の短縮」以外に WBGT に応じた対策

- 「WBGT28℃以上の場合の午前・午後に水分補給・体温冷却の為の暑熱対策休憩の確保（5分程度）」
 - 「WBGT 高値の場合、定時以外でも 5～10 分間隔で 1 口ずつでも水分補給をさせる内容の朝礼指示と現場リーダーの指示」
 - 「WBGT が 28℃を越えそうなタイミングには(原則)作業を行わない」
 - 「ファン付作業服等着用が目安として WBGT の利用、WBGT に応じた休憩時間を増やす対策の実施」
 - 「暑さ指数による警告」
 - 「一時的な作業の停止・始業終業時間の変更」
 - 「作業の中断と 1 分～2 分の水分補給と小休憩の実施」
 - 「アラート設定と連絡体制」
 - 「アラーム発生時の作業の中止と休憩室での休憩」
 - 「熱中症リスクの値に近づいた場合に警告が鳴るアラームの設定」
 - 「休憩回数を増やす」
 - 「休憩時間を多めに取る」
 - 「現場ごとの責任者による休憩時間の設定（臨時の休憩）と休憩時間以外の飲水タイムの確保」
 - 「水分摂取の時間・休憩の確保」
 - 「数値の把握とこまめな水分・塩分の摂取及び適切な休憩取得の徹底」
 - 「注意喚起のビラの作成〔熱中症の予防について重症化しない為の対応・熱中症予防に適した水分、暑熱順化など〕」
 - 「常に暑い職場にいないよう涼しい作業場での仕事も行う」
 - 「都度、人員を交代しての対応」
 - 「暑さに対して体感できておらずわかっていないとダメなので声かけと水分をとらせるようアナウンスを行う」
 - 「猛暑時は疲労回復と睡眠確保の為に残業がないように管理者は心がけている」
 - 「その都度声かけを行っているが時間の制限等は設けていない」
 - 「体調チェックシートセルフチェックなどの活用」
 - 「効率化による作業時間の短縮と集荷時間短縮による拘束時間の短縮」
 - 「空調機の温度設定変更」
 - 「塩分・水分補給」
 - 「夏季のみ時間内に休憩を別で設定している」
-



□あり □なし ■わからない

図 2-15 昼休みなどの食事時間以外の休憩（倉庫業、N=844）

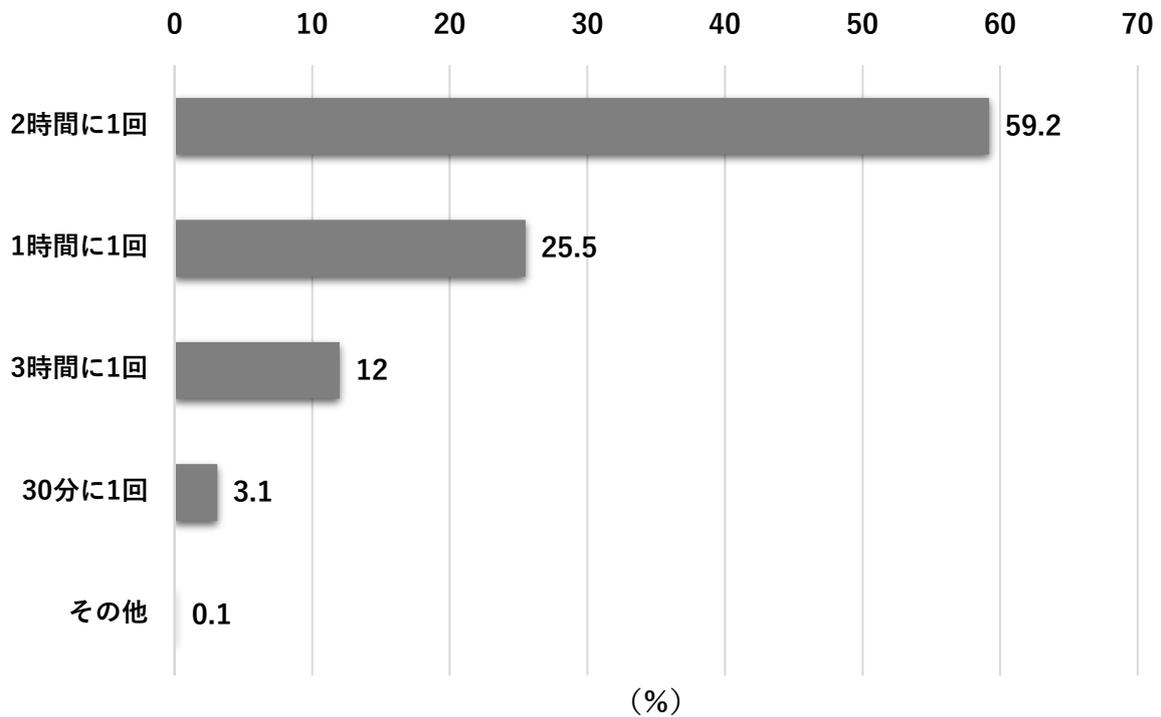


図 2-16 昼休みなどの食事時間以外の休憩の頻度（倉庫業、N=775）

※「その他」の回答内容：「午後に1回」

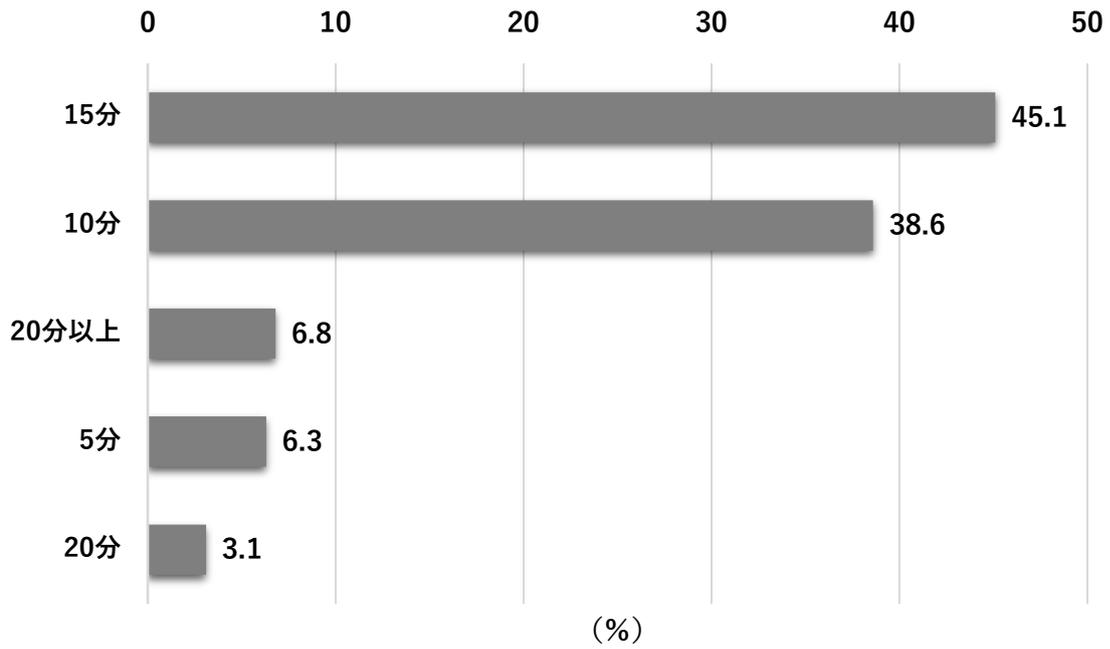


図 2-17 昼休みなどの食事時間以外の休憩の時間（倉庫業、N=762）

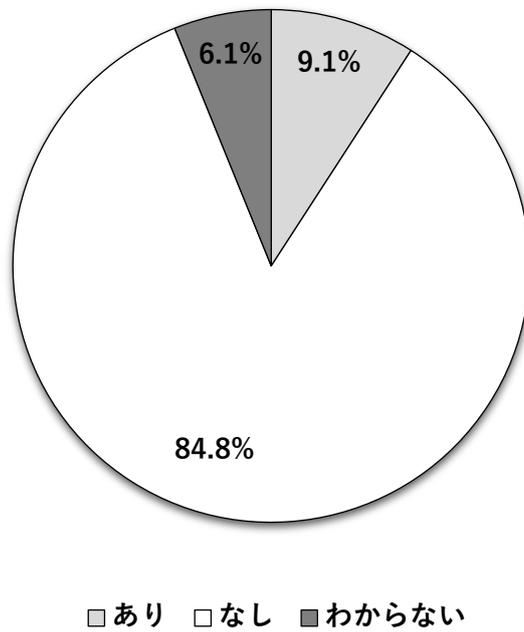
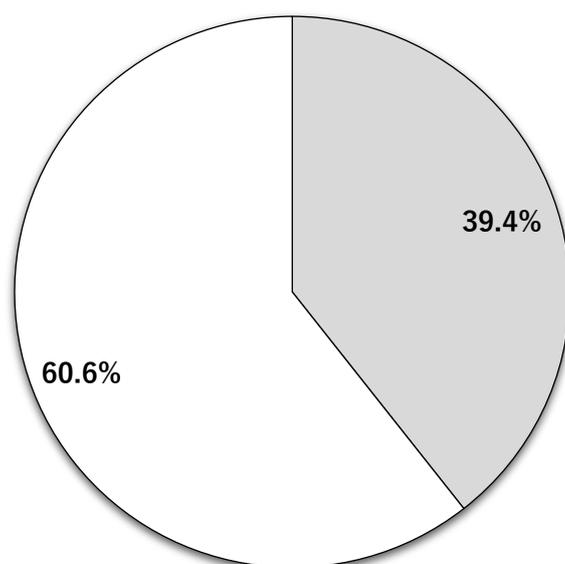
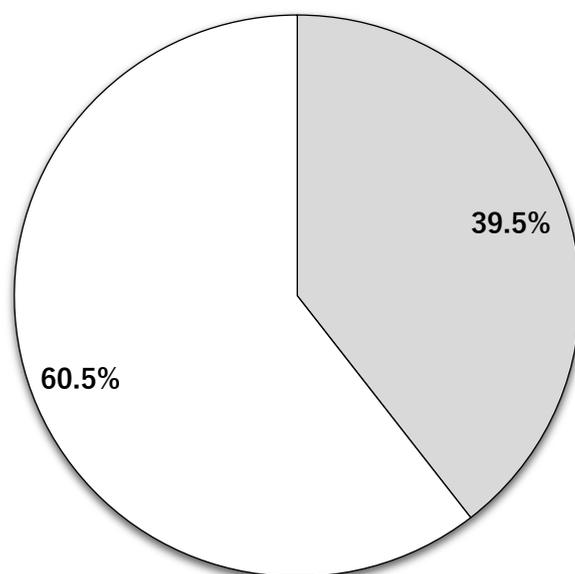


図 2-18 「熱中症予防管理者」の選任（倉庫業、N=836）



□はい □いいえ

図 2-19 「STOP!熱中症 クールワークキャンペーン」について（倉庫業、N=843）



□はい □いいえ

図 2-20 「環境省熱中症予防情報サイト」について（倉庫業、N=841）

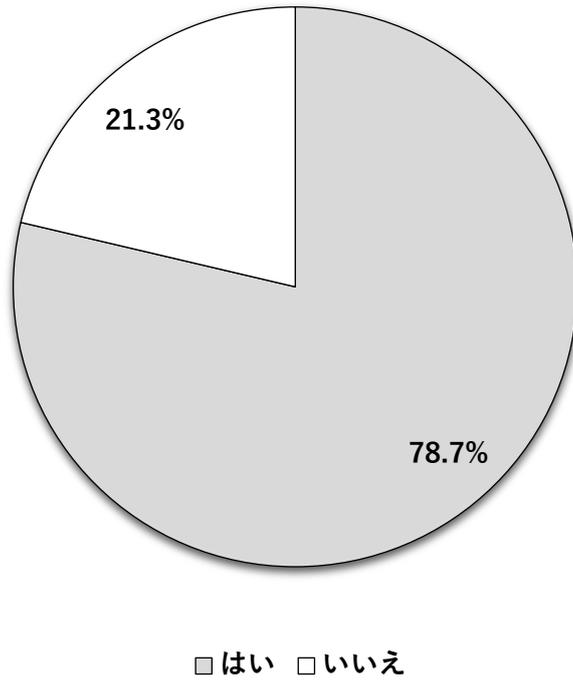


図 2-21 環境省の「熱中症警戒アラート」について（倉庫業、N=842）

4 研究所の工場等における WBGT 測定

研究協力者 田島 慶一

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学 産業医学修練医

研究要旨

熱中症を予防する上で、暑熱リスク評価として WBGT を把握することが重要であるが、実際に WBGT 測定を行っている作業現場は少ない。WBGT 測定を行わない場合は最寄りの気象官署データ（アメダス値）を参考とすることも職場の暑熱リスク評価の方法の一つとなりうるが、実際の職場の暑熱リスクとアメダス値の差異は明らかではない。そのため、本学における実測値を収集し、最寄りのアメダス値と比較することで職場でのアメダス値の活用方法と熱中症リスク低減対策を検討することを目的として、本学の工場棟において WBGT 計を用いて屋外・屋内暑熱職場の測定を行い、温熱条件を客観的に把握した。また工場棟の壁や床の表面温度を測定することで WBGT 実測値への影響の有無を確認する目的で本学の工場棟の壁・床・天井の放射温度の実測値の測定を行った。得られた実測値をアメダス値と比較することで、屋外・屋内暑熱職場の温熱環境変化の特徴が明らかになった。

A. 研究目的

熱中症は、軽症例を含めると業務上疾病で最多の疾病である。熱中症を予防する上で、職場の暑熱環境を実際に測定し、リスク評価することは重要である。高温ストレスに関して、作業環境測定基準の告示は気温、相対湿度、黒球温度の測定を規定している一方で、国際的な熱中症予防の指標であり行政指導もされている WBGT の測定が徹底されていない。環境省が WBGT の予測値と現在の推計値（実況推定値）を公表しており、その活用が推奨されているが、現場で実測した WBGT とは一定の差があると推測する。また、各事業所で測定された暑熱環境データを広く収集する仕組みは現時点で存在しておらず、それらのデータは測定した事業所でのみ活用されている現状がある。

そこで、本研究では、夏季の屋内・屋外における暑熱データ実測値として WBGT と放射温度を収集し、熱中症予防対策につながるような特徴を探索すること及び実測値を最寄りの気

象官署データ（以下、アメダス値）と比較し、アメダス値を屋内暑熱職場で活用する際の留意すべき事項を提案する。

B. 研究方法

2022年7月1日～7月12日、8月1日～8月12日、9月1日～9月12日の期間に産業医科大学の工場棟で、据え置き型の WBGT 計（鶴賀電機社 401F、JIS B 7922 クラス 1.5）を用いて WBGT の測定を行った。測定間隔は約1分である。最寄りのアメダス地点から約4kmの距離に位置する。測定箇所として工場棟の2階の制御室（以下、屋内2階）、1階の多目的模擬工場のシャッター付近（以下、屋内1階）、工場棟傍の日中は日光が当たる屋外（以下、屋外日向）、工場棟横の建物に囲まれた日陰の場所（以下、屋外日陰）を選択した。屋内2階はおよそ550cm×350cm×250cm、屋内1階はおよそ1200cm×620cm×700cmの広さである。測定期間中は工場棟の人の出入りはほとんど

どなく、空調稼働もなかった。約1週間ごとに測定器の電池交換とデータ収集を行った。降水による機器の故障を避けるため、台風などの大雨時には測定を中断した。

気象官署データのうち、WBGT（実況推定値）は環境省の熱中症予防情報サイト「全国の暑さ指数（WBGT）」

(https://www.wbgt.env.go.jp/record_data.php) から、その他は気象庁「過去の気象データ・ダウンロード」

(<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/>) から得た。

また2022年7月11日、8月8日、9月8日に工場棟の①屋内2階の天井と壁（①-a 屋内2階 天井、①-b 屋内2階 壁）、②屋内1階の天井、壁、シャッター（②-a 屋内1階 天井、②-b 屋内1階 壁、②-c 屋内1階 シャッター）の放射温度をレーザーマーカ付き放射温度計AD-5616(AND)を用いて測定した。9月8日は床の放射温度の測定も追加実施した（①-c 屋内2階 床、②-4 屋内1階 床）。測定時刻は9時、12時、13時、14時、15時、16時、17時、18時、19時である。

C. 研究結果

1 WBGT 測定結果

各測定地点の詳細を図1、図2、図3に示す。測定期間中の各測定地点及び環境省のWBGTの推移を比較したグラフを図4-1~12に示す。気象庁のデータより日照が認められた時間を黒色の帯で、降雨が認められた時間帯を灰色の帯で示した。黒色に該当する時間は1時間あたりの日照時間が0.0時間を超え且つ1.0時間以下であり、常に日照が認められていたわけではないため、1時間の中で一部日照がない時間も含まれている。黒色・灰色以外の時間帯は日照がなく且つ降雨もない時間帯であった。

(1) ①屋内2階の傾向

①屋内2階のWBGTは日の出後の7時又は8時頃からアメダス値より低くなりはじめ、日の入り前の15時~17時に逆転し高くなっていった。WBGTのピークに着目すると、①屋内2階のWBGTは日の入りの2時間前から日の入り直前の時間帯で最も高くなるが多かった。

(2) ②屋内1階の傾向

②屋内1階のWBGTは日の出後の6時又は7時頃から右肩上がりに上がりはじめるが、アメダス値がその値を超えてより高くなっていった。15時から17時の時間帯からアメダス値は下がっていくことが多いのに対して、②屋内1階のWBGTは上がっていき、アメダス値より高くなるが多かった。②屋内1階のWBGTのピークは①屋内1階のWBGTよりやや早い時間に見られることが多く、日の入りより2~3時間前の時間帯が多かった。

(3) ③屋外日向の傾向

③屋外日向のWBGTはアメダス値と同程度の値を示しながら推移していた。ただし、日の入りから日の出の日中の時間帯は③屋外日向のWBGTがアメダス値より1~2℃高く示すことも多く、日の出から日の入りまでの夜間の時間帯の方が両者はより一致していた。降雨時は両者が近い値で推移する日もあれば、1~3℃差がある時間帯も見られた。③屋外日向のWBGTのピークとなる時間は日によってばらつきが多く見られた。

(4) ④屋外日陰の傾向

④屋外日陰のWBGTはアメダス値と比較して日中は低く、夜間は高く推移することが多く見られた。④屋外日陰のWBGTのピークは16時に見られることが多かった。

(5) 各所の比較

日の出の時刻からのWBGTの上がり方を比

較するとアメダス値、③屋外日向、④屋外日陰の WBGT はほぼ日の出直後から上がりはじめたが、②屋内 1 階の WBGT は日の出直後～1 時間後に上がりはじめ、①屋内 2 階の WBGT は日の出から 3～4 時間経過後に上がりはじめる傾向が見られ、ずれが生じていた。特に③屋外日向と環境省の WBGT は他と比較して急激に上がりやすい傾向が見られた。

夜間の WBGT は、①屋内 2 階が最も高く、続いて②屋内 1 階又は④屋外日陰が高く日によって異なっており、最も低いのは③屋外日向及びアメダス値となっていた。9 月 3 日の夜間は②屋内 1 階の WBGT が最も低くなっていた。いずれも夜間は朝にかけて徐々に低下傾向になることが多く見られた。

降雨時は、いずれの WBGT も低くなる傾向があり、特にアメダス値、③屋外日向、④屋外日陰は①屋内 2 階、②屋内 1 階と比較して顕著に低下しやすかった。アメダス値と③屋外日向の WBGT は下がる時間がずれることがしばしば見られ、③屋外日向と④屋外日陰の WBGT が下がる時間が同じであることが多かった。

2 放射温度測定結果

工場棟の放射温度の測定箇所を図 5 に示す。各放射温度と工場棟の WBGT を比較したグラフを図 6-1～3 に示す。屋内の同じ部屋で測定した放射温度と WBGT を比較すると放射温度は常にその部屋の WBGT より数℃以上高い値を示しながら推移していた。いずれの日もシャッターの放射温度が 16 時に著明に上昇していた。屋内 2 階の天井と壁と床の放射温度は近い値で推移していることが多かったが、屋内 1 階はシャッターと天井の放射温度の変動が激しく、壁と床の放射温度はそれに比べると近かった。屋内 1 階の壁と床も 16 時に上昇を認めて

いた。

D. 考察

屋内で空調がない環境温度は最寄りのアメダス値と一致しにくいいため、アメダス値をそのまま活用することは実際の環境温度に即した熱中症対応とは異なってしまうと考えられる。特に夜間は屋内の WBGT がアメダス値より 3℃ほど高いこともあるため、熱中症リスクには屋内の方が注意を要する。日中に関しては夕方にも最も暑くなる可能性があるため、特にその時間帯の熱中症の発生には注意すべきである。屋内の場合、環境温度は午前中にアメダス値よりもやや遅れて上昇し、午後遅れて下降しやすく、これは建物の壁や屋根によって外気温の上昇の影響がすぐには伝わりにくいこと、夕方から夜にかけて外気温が下がっていく際にも放射冷却が遮られやすいことが可能性として考えられる。降雨時に屋内の環境温度が屋外に比べてゆっくり下がることも同様に壁や屋根で隔てられていることで外気温の低下が屋内に伝わるのに時間を要していることが考えられる。

屋内の環境温度は、その空間の広さや壁・天井、床の材質、建物構造などによっても変化するが、屋内の熱中症対策に関しては特に夜間は天井・壁・床の材質は放熱しやすいものを選択すること、窓やドアを開けることで通気させることが望ましいと考えられる。ただし、放熱しやすいと考えられる金属製の構造物は、日中は日光の暴露による温度上昇が生じ、熱源として屋内に熱が伝わりやすくなると考えられるため、日中はカーテンや日よけを活用すること、熱源になるやすい金属製の構造物から距離を取れる構造にしておくこと・熱源の近くで作業しないことに努めるべきである。

屋外の日向環境下の環境温度の推測には最

寄りのアメダス値を実測値として活用できる可能性があると考えられた。ただし、日中は推計値より数℃高い場合もあることから熱中症リスクは推計値より高く見積もる必要性もあることに留意すべきである。また、屋外の特定の場所とアメダス地点からの距離によって、多少の温度・時間のずれが生じてしまうことが推測された。

屋外でも日陰の場所の環境温度では、日中はアメダス値より低くなり、夜間は高くなりやすく、アメダス値とは異なってくる。日中は日陰の方が涼しいため、日陰を設けることが望ましく、夜間は建物で作られていた日陰では建物により放射冷却が妨げられるため、建物などの物体から離れることでより涼しく感じやすいと考えられる。

7月は8月ほどの温度上昇はなかったが、熱中症警戒アラートの基準域の「危険」に該当する日もあったため、7月前からの暑熱順化が必要不可欠と考えられた。9月に入ると気温が低下する日も出てくるが、気温が急に低下した日には、屋内の方が前日の熱を留めている可能性があるため、屋内の方が暑い時間帯も生じやすい。また9月はWBGTの推移が7月8月と比較して全体的に変動的な動きを示すことが多かったため、急な温度変化には注意を要し熱中症対策を怠らないことが肝要となる。

壁、天井、床の放射温度は特定の箇所のみ測定であったため、測定箇所を変えると異なる結果が出る可能性があることに留意が必要である。特にシャッターの放射温度の上昇とともに屋内1階のWBGTも変動していることが多く見られたが、日光に曝露されたシャッターが熱源となり、近くに設置したWBGT計も温度上昇の影響を受けていたと考えられる。このことから熱源から遠い他の箇所の測定値は異なることが予想される。屋内1階の壁と床もシャ

ッター及びWBGT計付近の箇所を測定したため、同時間に高くなったことが考えられる。屋内1階の屋根に関しては日光の曝露の影響で放射温度が高めに推移していたが、WBGT計との距離が6~7mほどあるため、熱源としてWBGT計に影響していたかは明らかではない。一般的な厚みのあるモルタル性や石膏ボード性の天井の壁であれば、屋内の温度に大きな差は生じず、外の熱を遮断する役割があると考えられるが、日光の暴露により金属製の構造物は熱源となりやすいため、距離を取ることや日光に、ばく露されない工夫が必要である。

E. 結論

本研究結果より、建物に囲まれていない屋外の条件における環境温度の推測には、最寄りの気象官署地点におけるWBGT推計値（実況推定値）を職場でも活用できると考えられた。その際、夜間の方がより精度は高く、日中はWBGT推計値を1~2℃高めに見積もるとより安全である。夏季の屋外は急激に熱くなりやすいため、日陰の場所を確保することが熱中症対策に重要である。

空調のない屋内の環境温度の推測にアメダス値をそのまま活用することは温度差があり、あまり一致しないため、正確な把握にはWBGT計を設置し熱中症リスクを評価しておくことが望ましいことが示唆された。また、屋内は日光の影響で思わぬ熱源が生じている可能性があるため、熱源となっているものを把握し、日よけの活用や熱源から距離をとることが熱中症対策として有用である。

今後の環境測定では熱源の有無を確認した上でWBGT測定箇所を定めるとより必要な条件のデータが得られると考えられる。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

I. 引用文献

なし



図1 工場棟の概略図

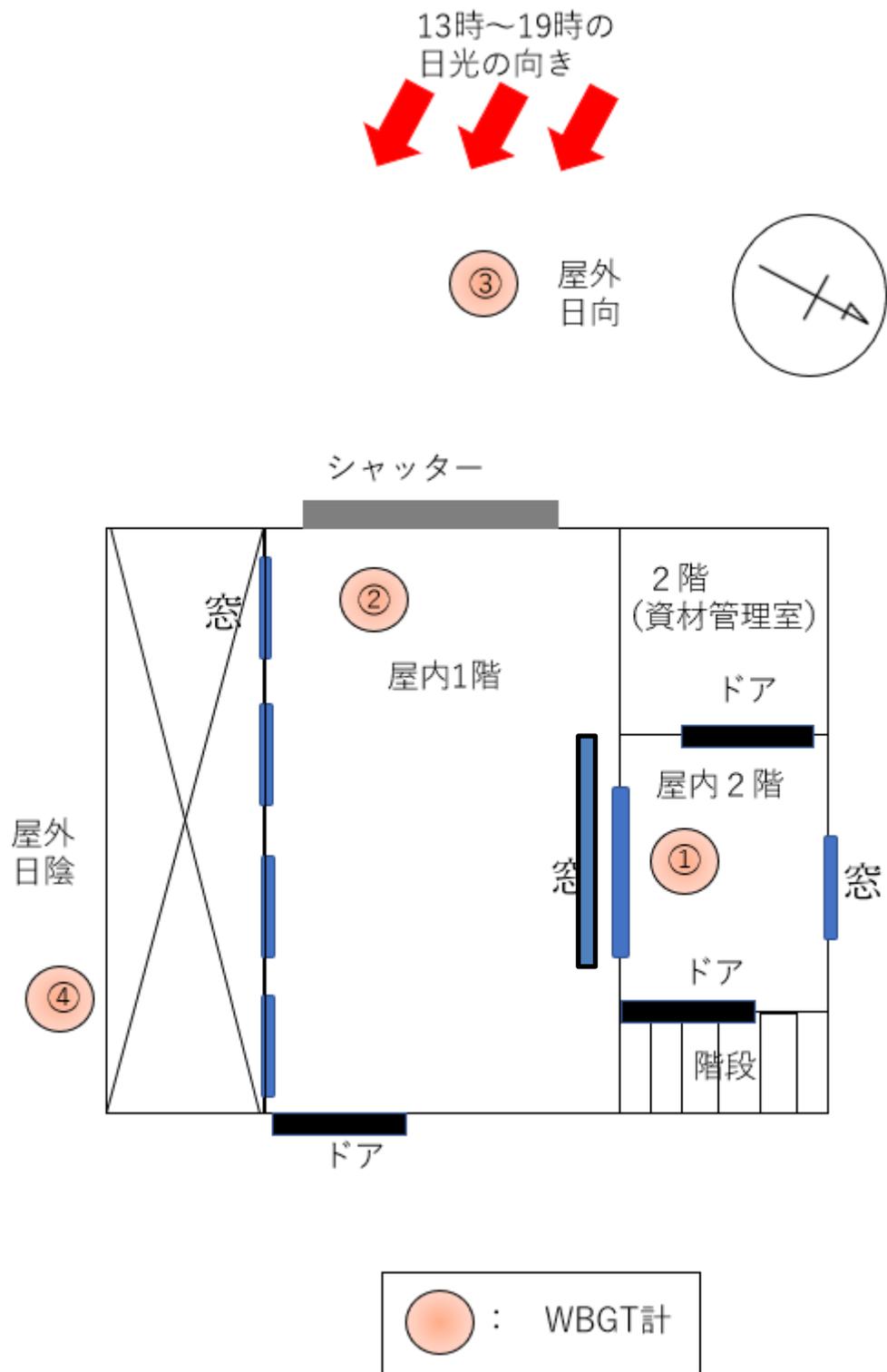
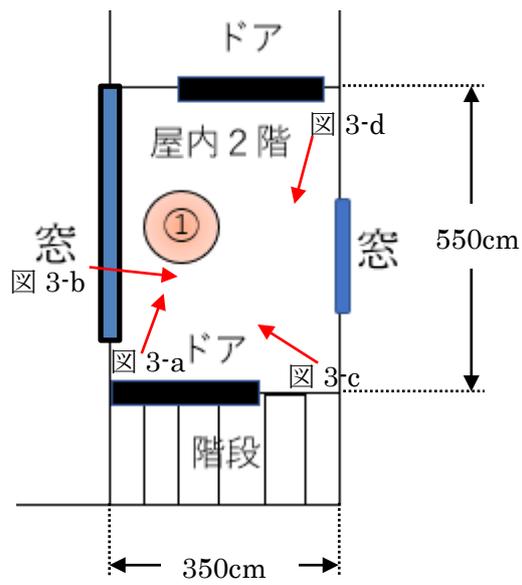


図2 WBGT計の設置箇所

① 屋内 2 階



↑ : 写真撮影時の向き

- ・ 部屋の高さ : 約 250cm
- ・ 石膏ボード性の天井、壁
- ・ 布製のカーペット



[図 3-a]



[図 3-b]



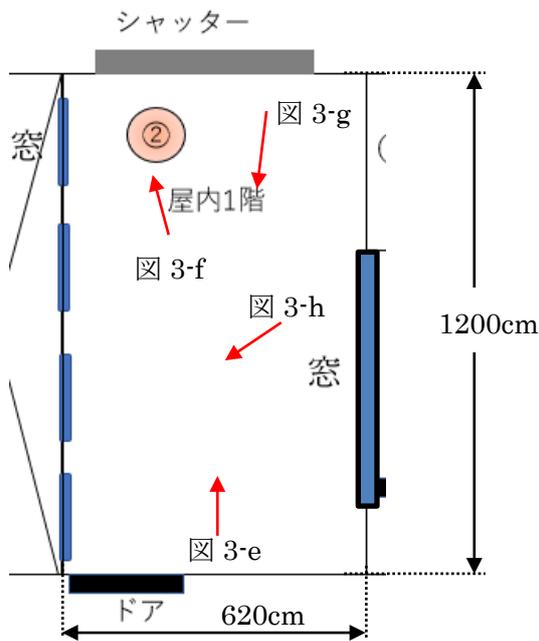
[図 3-c]



[図 3-d]

図 3 測定箇所の詳細

② 屋内1階



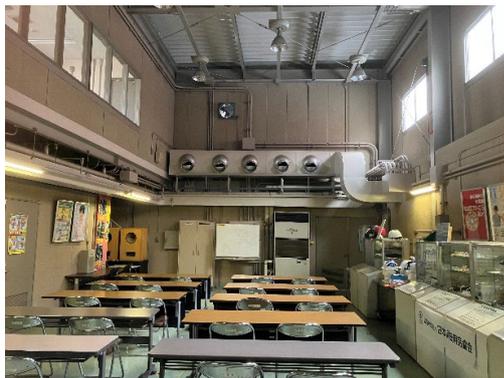
- ・ 部屋の高さ：約 700cm
- ・ 窓の高さ：上部約 610cm、下部 440cm
- ・ 石膏ボード性の壁
- ・ 鉄製の屋根
- ・ コンクリート性の床



[図 3-e]



[図 3-f]



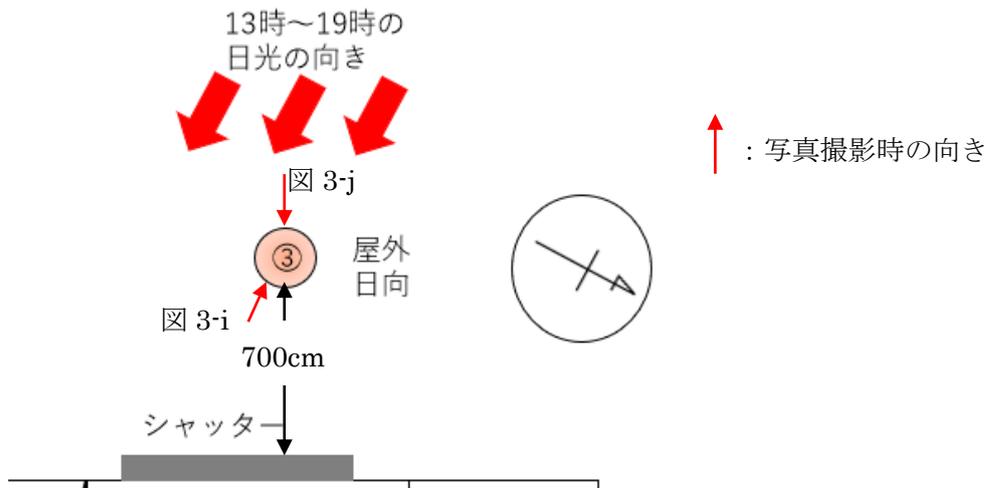
[図 3-g]



[図 3-h]

図 3 測定箇所の詳細 (続き)

③ 屋外日向



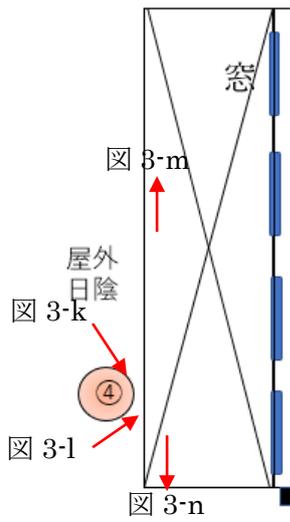
[図 3-i]



[図 3-j]

図 3 測定箇所の詳細 (続き)

④ 屋外日陰



↑ : 写真撮影時の向き

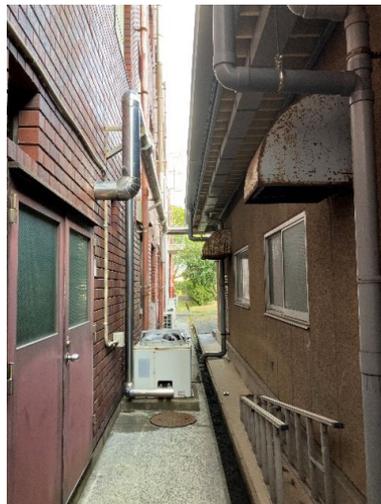
- 建物に挟まれている箇所
- 2~3人分通れる程度のスペース



[図 3-k]



[図 3-l]



[図 3-m]



[図 3-n]

図 3 測定箇所の詳細 (続き)

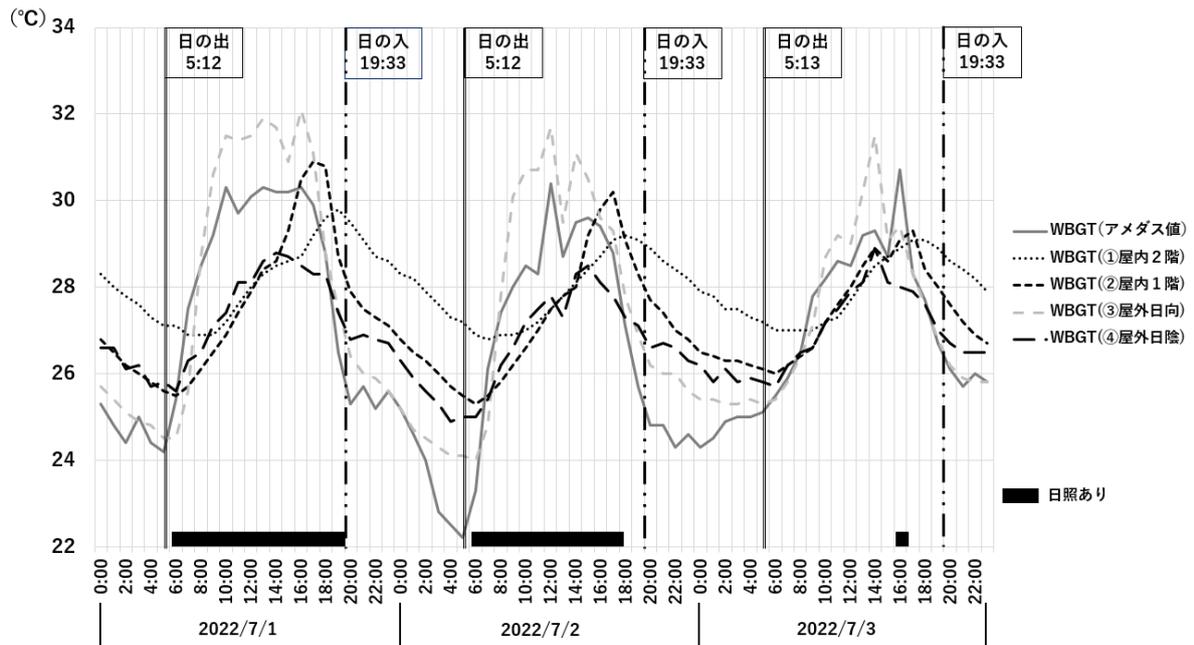


図 4-1 WBGT の比較 (2022/7/1~2022/7/3)

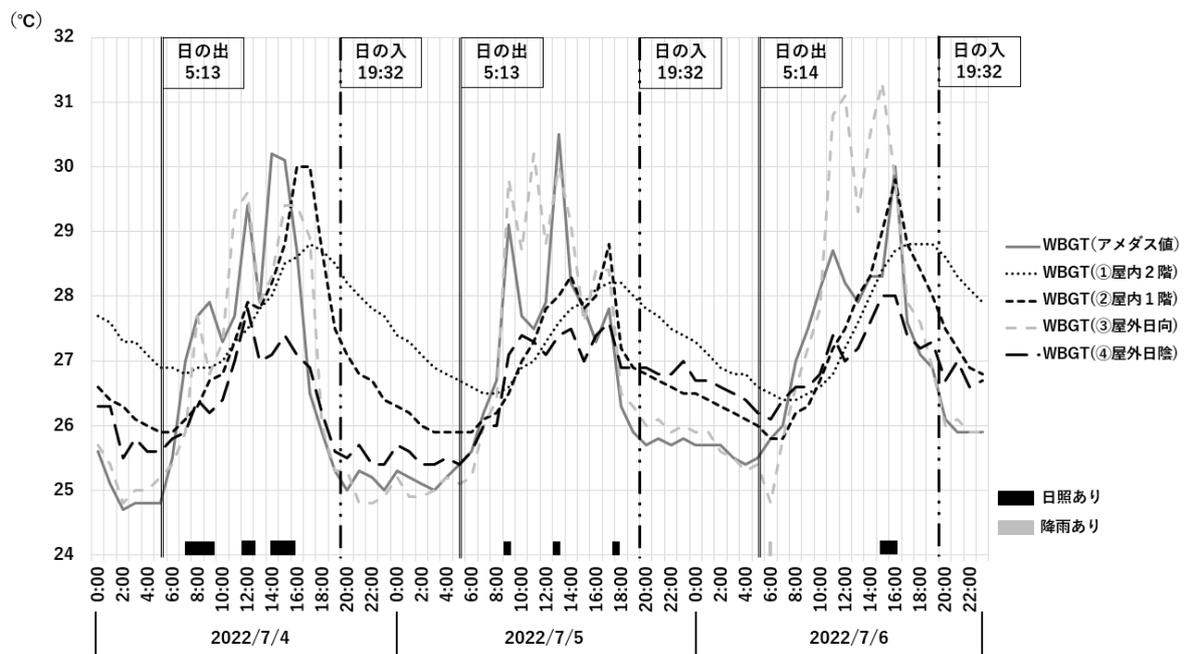


図 4-2 WBGT の比較 (2022/7/4~2022/7/6)

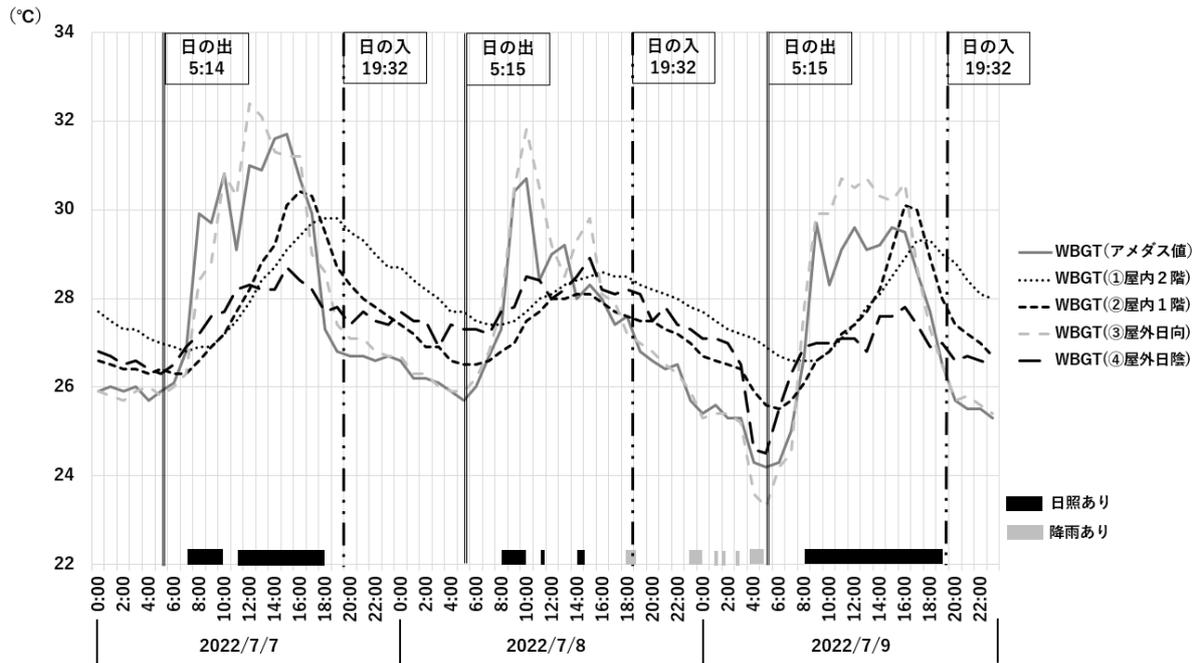


図 4-3 WBGT の比較 (2022/7/7~2022/7/9)

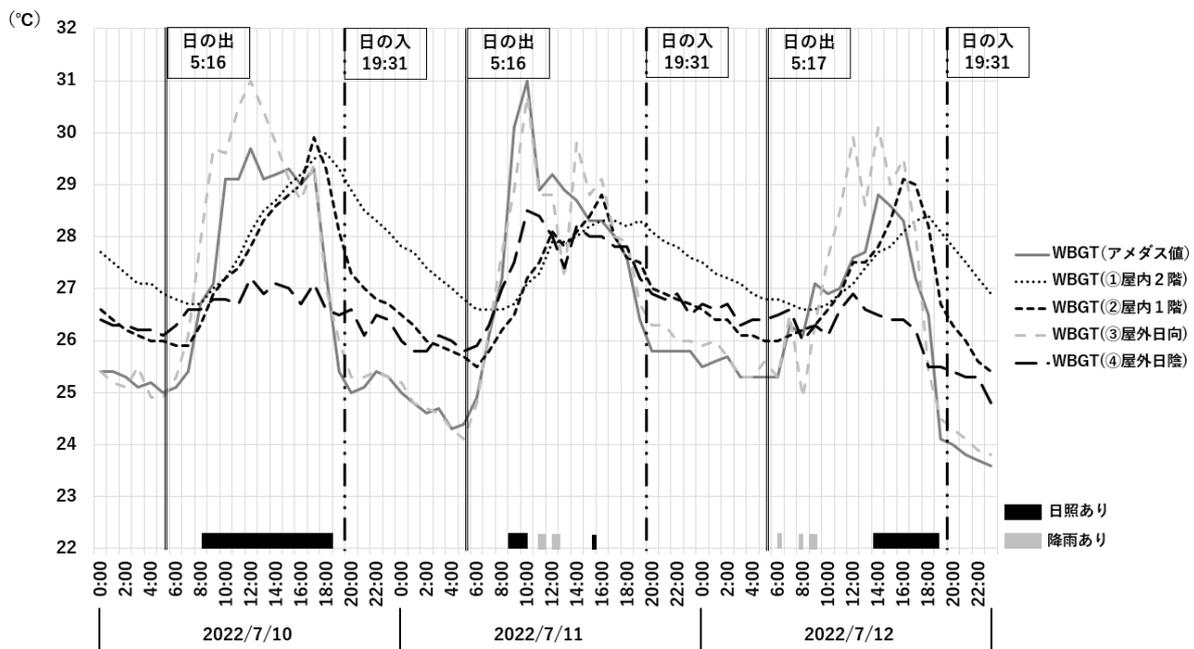


図 4-4 WBGT の比較 (2022/7/10~2022/7/12)

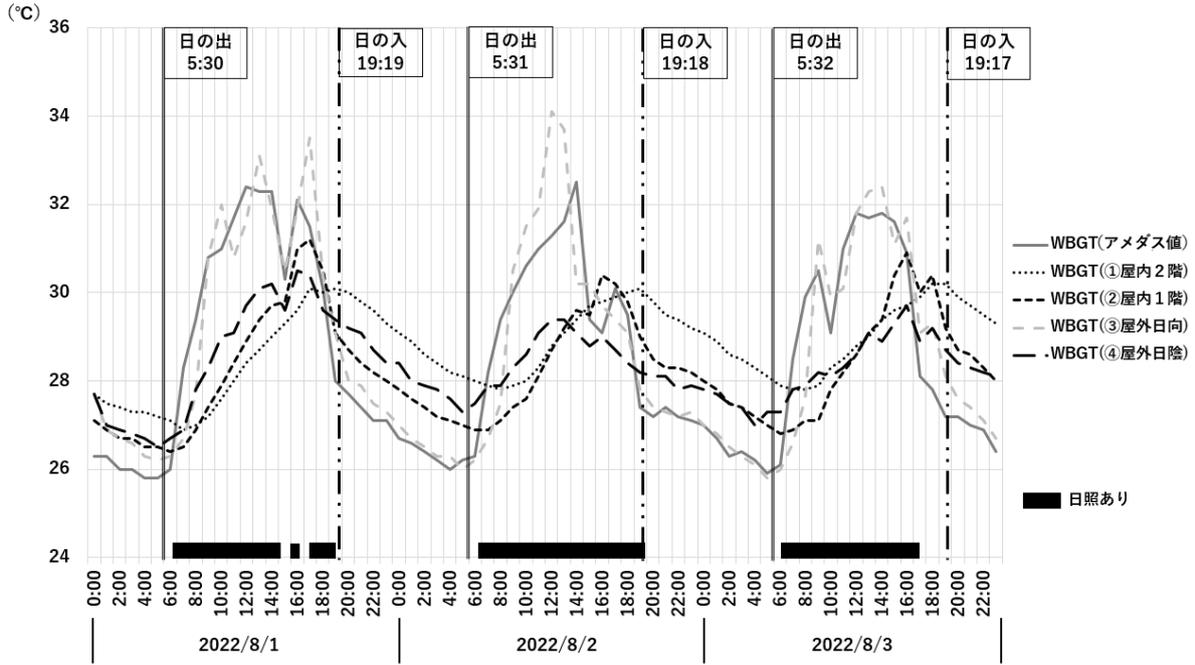


図 4-5 WBGT の比較 (2022/8/1~2022/8/3)

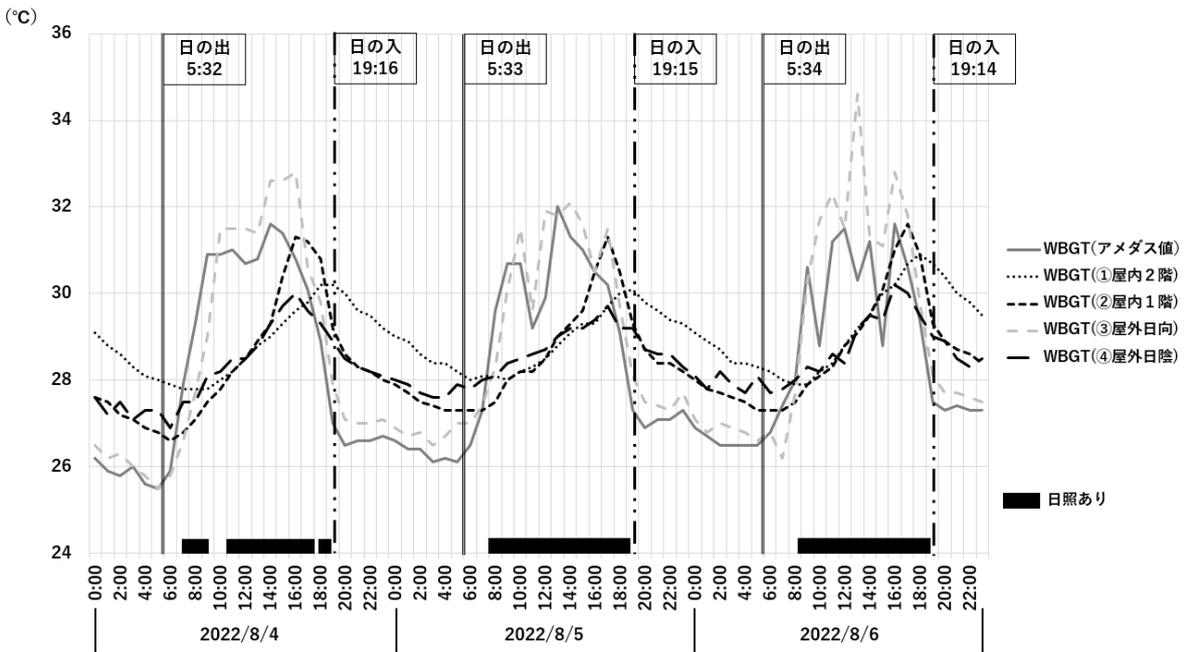


図 4-6 WBGT の比較 (2022/8/4~2022/8/6)

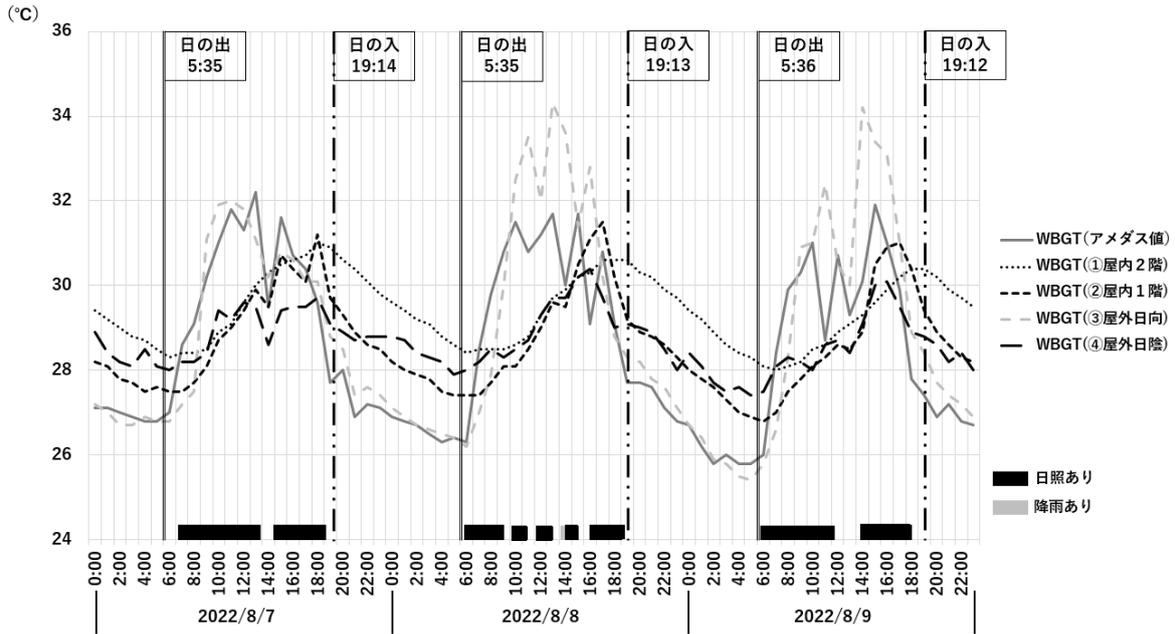


図 4-7 WBGT の比較 (2022/8/7~2022/8/9)

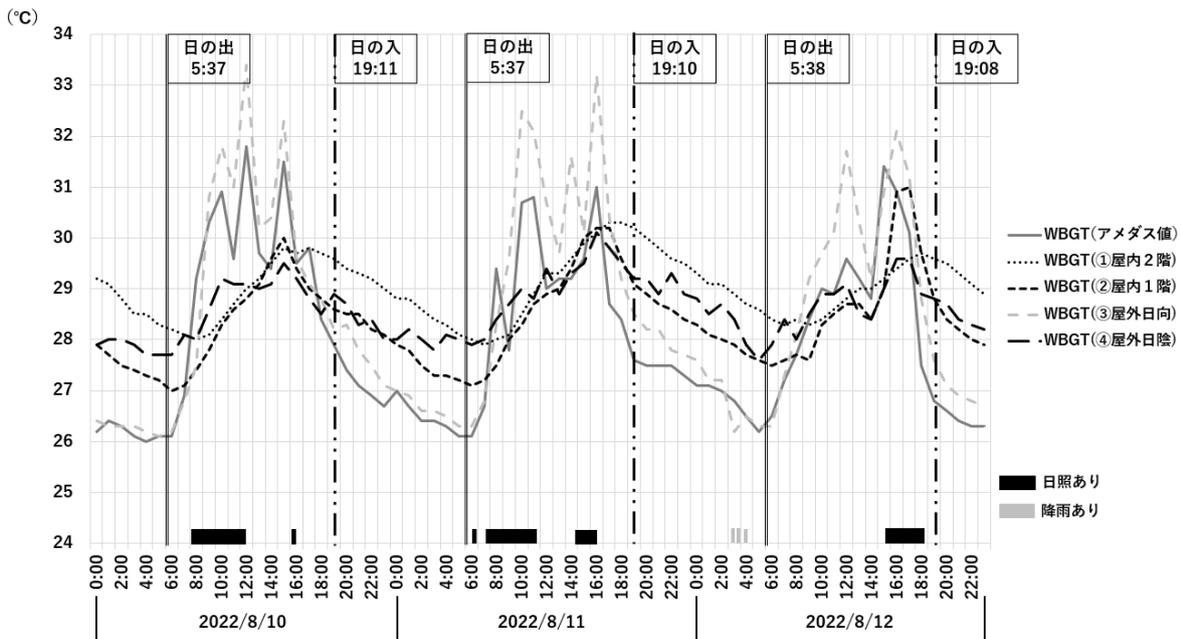


図 4-8 WBGT の比較 (2022/8/10~2022/8/12)

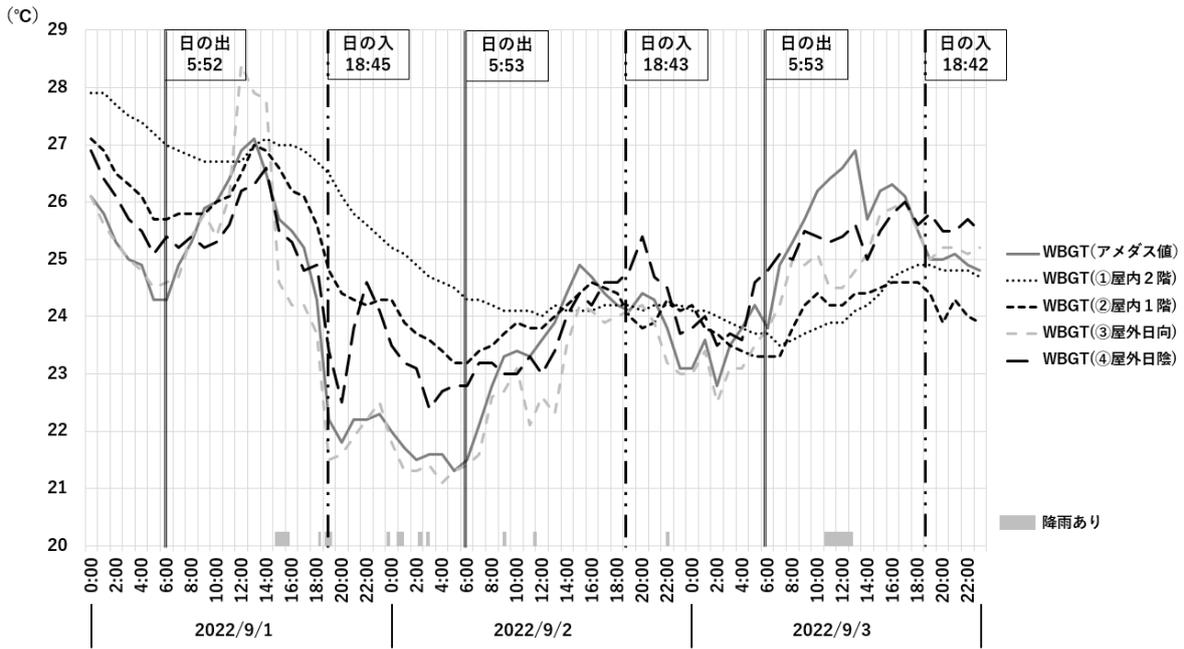


図 4-9 WBGT の比較 (2022/9/1~2022/9/3)

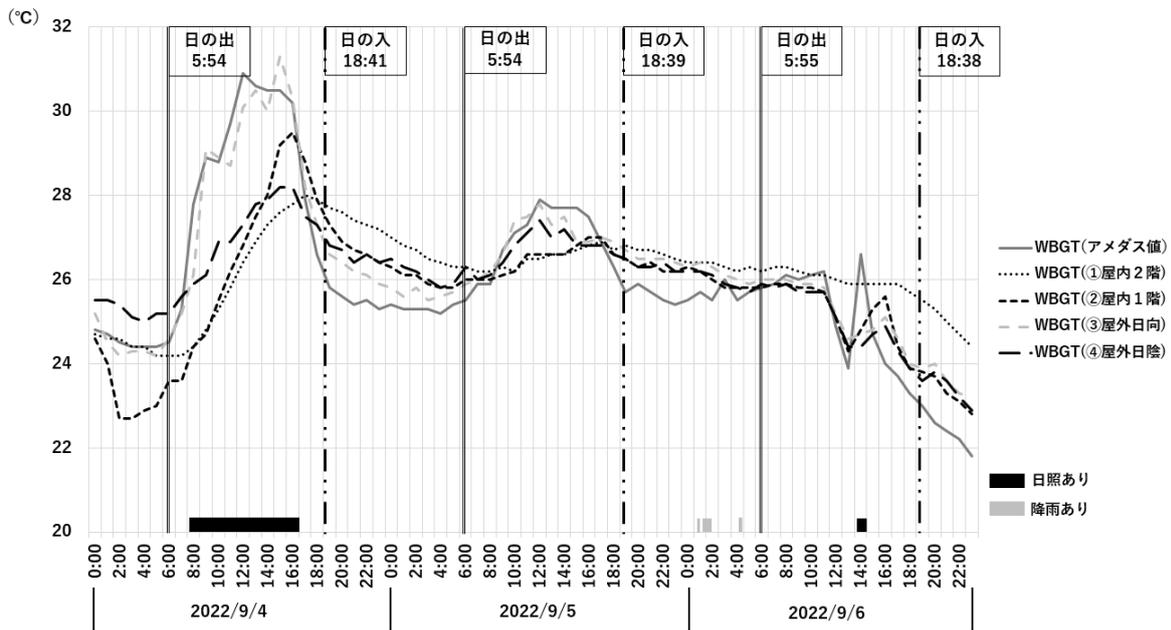


図 4-10 WBGT の比較 (2022/9/4~2022/9/6)

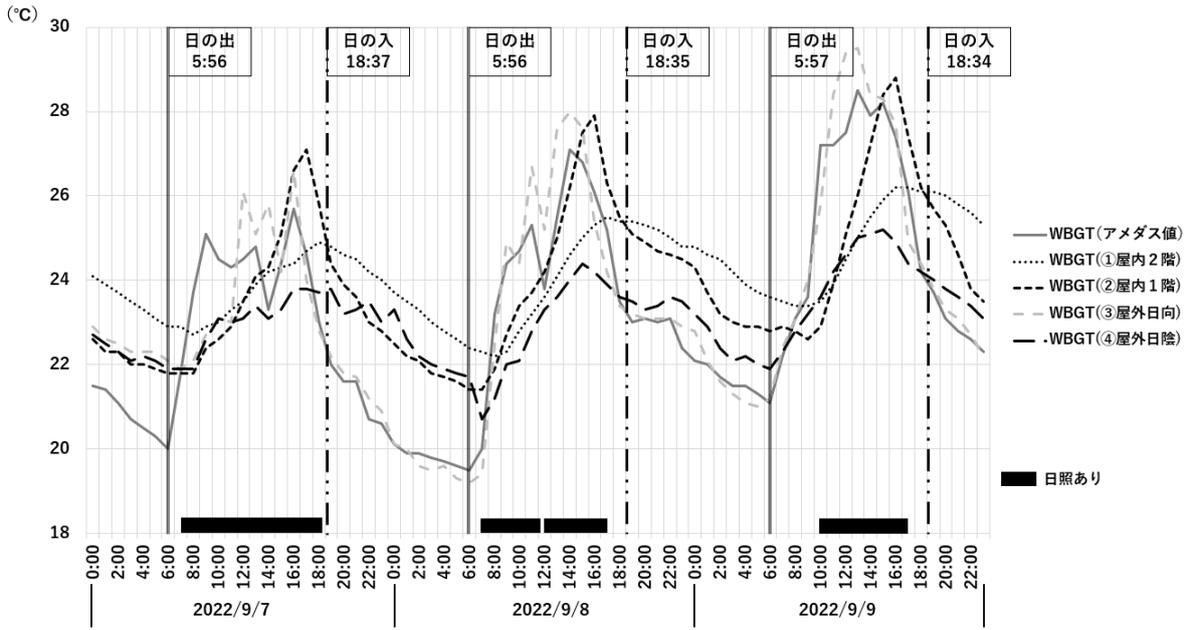


図 4-11 WBGT の比較 (2022/9/7~2022/9/9)

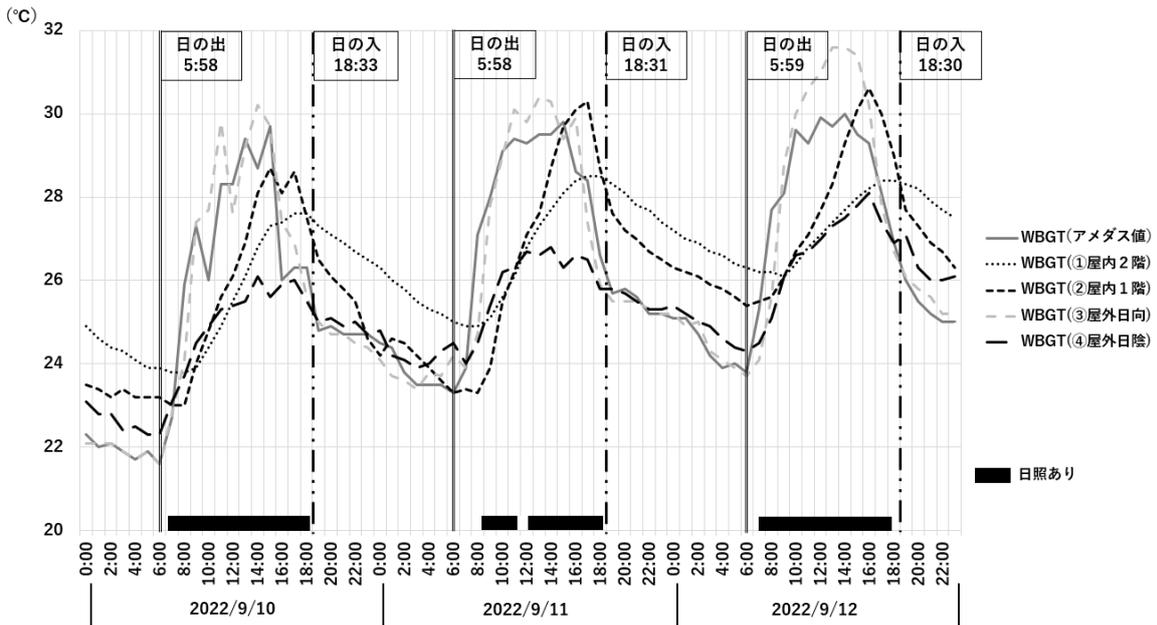


図 4-12 WBGT の比較 (2022/9/10~2022/9/12)

①-a 屋内 2 階 天井



・屋内 1 階と同じ鉄製の屋根の内側に石膏ボード性の天井が設置されている箇所を測定した。

①-b 屋内 2 階 壁



・石膏ボード性の壁を測定した。

①-c 屋内 2 階 床



・敷いてあったカーペットを測定した。

図 5 放射温度の測定箇所

②-a 屋内1階 天井



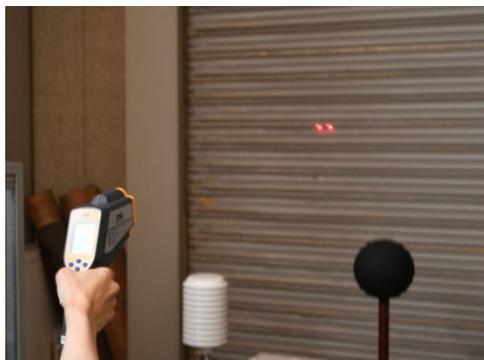
- ・波状の金属製の屋根を測定した。

②-b 屋内1階 壁



- ・南側のシャッター付近のモルタル性の壁の放射温度を測定した。

②-c 屋内1階 シャッター



- ・金属製のシャッターを測定した。
- ・太陽の傾きとともに午後はシャッターの下部から徐々に日光に暴露される面積が増えていった。
- ・午後は日光に暴露されている箇所を測定した。

②-d 屋内1階 床



- ・コンクリート製の床を測定した。

図5 放射温度の測定箇所（続き）

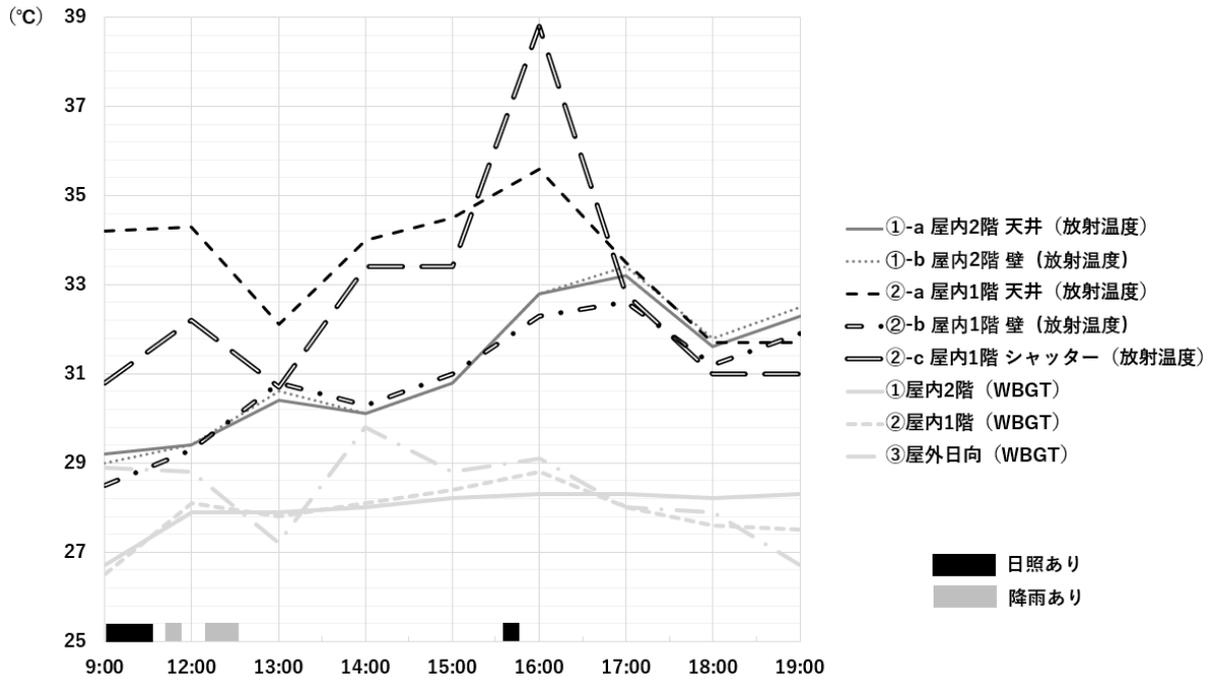


図 6-1 7月11日の放射温度と WBGT の比較

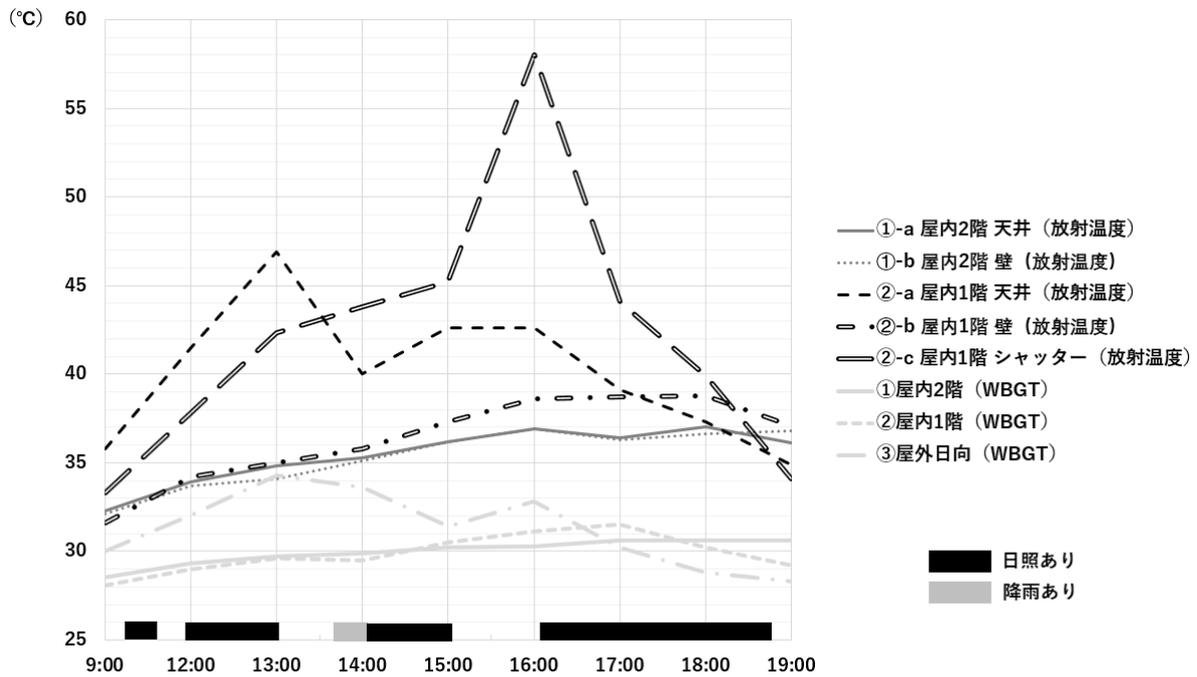


図 6-2 8月8日の放射温度と WBGT の比較

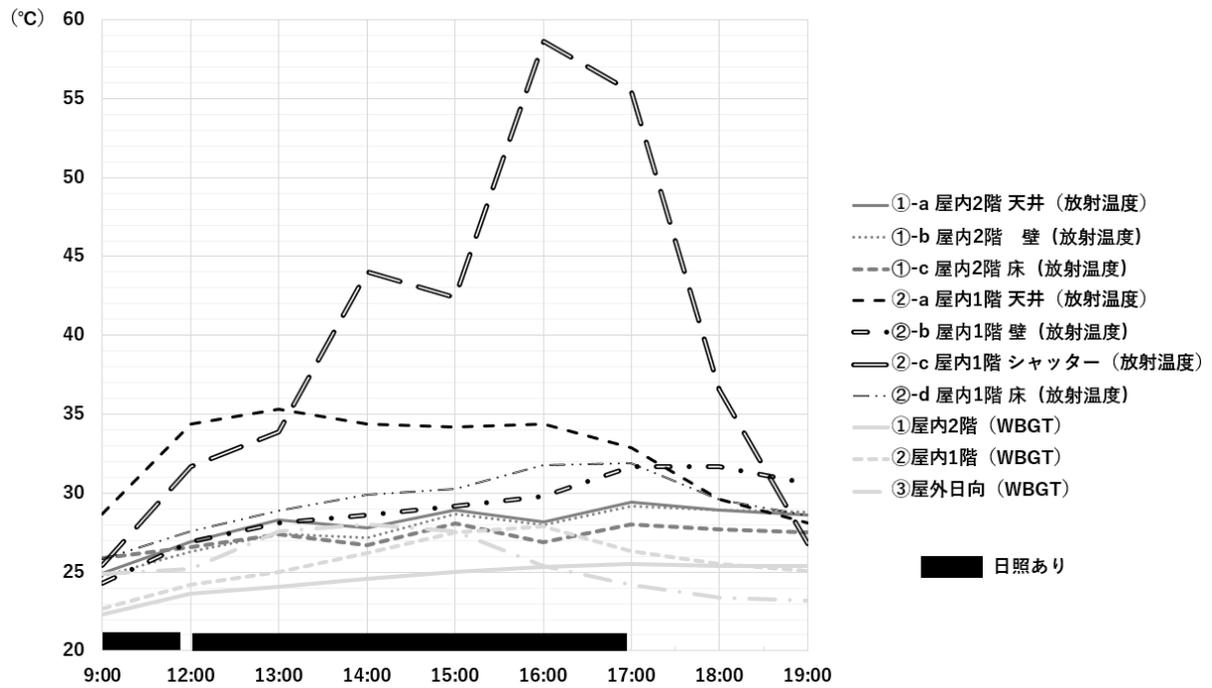


図 6-3 9月8日の放射温度と WBGT の比較

5 WBGT 計等を用いた調理職場における暑熱リスクの評価

研究協力者 嶋崎 優

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学 産業医学修練医

研究要旨

屋内暑熱職場にて温熱環境調査を行い、熱中症の高リスク要因を分析して温熱環境の実態を把握した。具体的には、第1年度には医療機関における調理場にて梅雨期間中、梅雨明け後・盆前、8月中旬以降の3期間、第2年度には食品製造業の総菜調理場にて8月に9日間、気温、機器表面温、相対湿度、WBGT、風速、気流等の温熱指標を実施した。2年度分の測定を通して評価した暑熱リスクと対策について検討を行った。調理職場などの屋内の暑熱職場では、屋外とは異なり、熱源の稼働状況や人の密集に影響して WBGT が変動する傾向があることがわかった。よって、作業環境管理だけでなく、作業管理、健康管理、労働衛生教育、救急処置など、作業場の特性に合わせた熱中症対策が必要と考える。

A. 研究目的

熱中症は屋外だけでなく、屋内環境での発生例が少なくない。屋内環境においては、熱源近くの環境や高温多湿と考えられる環境にて多く発生している。これらに該当する調理職場のうち、集団給食施設では、HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) に基づく衛生管理が行われている。調理工程の中で洗浄や殺菌は頻回に行われており、大量の水が使用される。発熱源からの熱気を含む室内上昇気流に加え、作業には保護衣の着用が義務づけられていることから、作業への熱ストレスはかなり高いことが推定される。本研究では、調理職場における温熱条件を客観的に把握し、発熱源や気流等の暑熱リスクを評価することを目的とする。

B. 研究方法

1 第1年度

- (1) 測定期間：2021年6～9月のうち、①梅雨期間、②梅雨明け・盆前、③8月中旬以降の3期間で各5日間
- (2) 測定場所：某医療機関における調理場

(図1)。1食あたり約450人分を調理しており、空調は全体空調、独立空調、スポットクーラー、換気扇が使用されている。

(3) 熱源の種類：コンロ、フライヤー、二重釜、炊飯器、食器洗浄機、熱風消毒保管庫、電気保管庫、配膳車

(4) 使用機器：WBGT計 (AD-5695DL, A&D)、純水ミスト発生器、放射温度計 (AD-5616, A&D)、赤外線サーモグラフィカメラ (日本アビオニクス株, R450Pro)

(5) 測定項目：気温、相対湿度、WBGT、気流、表面温度。各測定箇所における WBGT を用い、測定箇所から4km地点に位置する地域気象観測所における観測値 (以下、アメダス値) との比較や、熱源や空調の有無による比較を行った。

2 第2年度

- (1) 測定期間：2022年8月4日午前9時～8月12日午前9時
- (2) 測定場所：コンビニ弁当の惣菜調理工場 (図2)。周辺の4都道府県にあるコンビニ約1200店舗に向けて、1日に計4万～4万

5000食を提供している。

(3) 熱源の種類：ジェットオーブン、フライヤー、二重釜、平釜、スパボイル

(4) 使用機器：WBGT計（AD-5695DL, A&D）、放射温度計（AD-5616, A&D）

(5) 測定項目：気温、相対湿度、WBGT、気流、表面温度。各測定箇所におけるWBGTを用い、測定箇所から9.37km地点に位置する地域気象観測所における観測値（以下、アメダス値）との比較や、熱源や空調の有無による比較を行った。また、測定とともに、工場内で実施されていた熱中症対策や熱中症リスク（服装調査・作業強度・作業時間）についても聞き取り調査を行った。

C. 研究結果

消毒保管庫の付近など、最も高い地点ではWBGTが30℃を超え厳重警戒レベルに達した箇所も見られた。一方で、エアコンやスポットクーラーなどの空調設備が数多く設置されており、これらが上手く機能している事業所では、最も高い地点でもWBGTは27℃程度の警戒レベルに留まった箇所も見られた。WBGTの日内変動を見ると、外気温とはあまり関連性が認められず、熱源の稼働状況や人の密集に合わせて変動していることが認められた。

気流測定では、スポットクーラーの気流が作業者に届いていない箇所が見られた（図3）。また、スポットクーラーと換気扇の位置が近い箇所では、換気扇周囲の気流の滞留が見られた（図6-2）。スポットクーラーの吹き出し口の表面温度を放射温度計で測定したところ、大半の吹き出し口では気流が24～26℃程度に冷却されていたが、一部で30℃近くを示した箇所も見られた（図4）。

D. 考察

本研究を通して考察した暑熱リスクとその対策について以下に記載する。

1 適切な気流の確保

本研究では、スポットクーラーが設置されているものの、作業員までスポットクーラーの気流が十分に届いていない例が見られた。スポットクーラーは、本来作業員の体温上昇の防止のために使用されるものであるため、設置個所の見直しが必要であると考えた。また、スポットクーラーと換気扇が近接している箇所では気流の滞留が見られた点や、一部のスポットクーラーでは気流の冷却が不十分であった箇所も見られた点からも、配管の見直しが必要であると考えた。

2 排水方式の見直し

調理場の排水方式は、床下にピットを設置し、シンクや回転鍋から直接ピットに排水するドライ方式と、床に設けた排水溝に間接的に排水するウェット方式がある（図5）。ウェット方式は床の排水溝より蒸気が上がり、作業区域の温度や湿度が上昇する特徴がある。もしウェット方式が採用されている事業所であれば、排水方式をドライ方式へ転換することも作業環境改善策の一つであると考えた。

3 熱源からの隔離

コンロで食品を加熱する、鍋にお湯を沸かす、釜で食品を炒める等の調理の工程上、対策が難しい箇所が大半であるが、可動式の熱源であれば作業員から隔離することが可能であると考えた。可動式の熱源の具体例として、本研究で測定を行った某医療機関の調理場における配膳車を挙げる。配膳車は配膳準備の時間帯に1か所に集められ、稼働を開始する（図6）。配膳車内は保冷・保温機能が備わっているが、放射温度計で測定した配膳車の表面温度は42℃程度であり、一部の熱が外気に漏れ出ている可能

性が示唆された。これにより配膳車付近の WBGT が一過性に上昇したと考えられた。配膳車の待機エリアを作業場から遠ざけるなどの対策が必要であると考えた。

4 作業服の見直しについて

電動ファン付き作業服の使用が一般的であるが、調理職場では、衛生面の観点から作業服に制限がある場合が多い。そのため、洗濯が可能であること、袖口部分に絞りがついていることなどの条件を満たした電動ファン付き作業服の導入が期待される。

5 熱源稼働状況に応じた空調の調節

今回測定を実施した 2 か所の調理場について、どちらも屋内の測定箇所の WBGT はアメダス値とは連動せず、熱源の稼働や人の密集等の要因に連動していたことが明らかになった。また、熱源付近の地点の測定結果より、WBGT は熱源の稼働時間帯から少し遅れて緩やかに上昇し、稼働終了後もしばらくは高い状態が続く傾向が見られたため、熱源稼働終了後も引き続き熱中症への注意が必要である。具体的な対策としては、熱源稼働状況に応じて作業者が空調温度を自由に調整できる仕組みがあれば望ましいと考えられた。また、日内変動は屋外と連動はしないものの、外気温が高い日には屋内環境音も高値となるため、屋外環境温の調査や作業員への掲示など、屋外の暑熱状況を把握しておくことも有用であると考えられた。

6 コミュニケーションの取りづらさ

技能実習生などの外国人労働者を多く雇用している事業所の場合、日本語はある程度話せるものの、体調不良時などに意思疎通に齟齬が生じる可能性がある。対策として、体調確認の際に Face Rating Scale (FRS) など把握しやすいスケールを用いる、頻回に使用するフレー

ズについては翻訳語が付いた掲示をしておく、シフト内に通訳のできるスタッフを配置しておくことなどが考えられる。

7 衣服の着脱のしづらさ

調理場における作業員は、衛生面の観点から、長袖作業服、エプロン、手袋、アームカバー、衛生キャップなどの皮膚を覆う作業服を身に着けており、床が水で濡れていることから長靴を着用していることが多い。また、調理場エリアに移動する際には、異物混入防止のため、手指洗浄、粘着テープによる衣服の清掃、エアシャワーなどの入念な対策を余儀なくされる。休憩室は調理場エリアとは直接繋がっていないレイアウトとなっている場合が多く、一旦調理場エリアを離れて休憩を取る場合、エプロン、手袋、アームカバー、長靴などを脱ぎ、再び調理場エリアに戻る際には、再度異物混入対策を実施する必要がある。これらの一連の工程を煩わしく感じる作業員が、衣服を着脱しなくて済むように休憩を取らずに調理室エリアに滞在し続けてしまう可能性がある。対策として、調理室エリアに冷水器を設置してこまめな水分補給をしやすいことや、着替えの時間も考慮した休憩時間を確保することが重要と考えられる。

8 連続する立ち作業

食品の洗浄・下準備・調理・盛り付けなどのほとんどの作業は立ち作業で行われていることが多い。特に工場などの盛り付け作業はライン上を流れる容器に決まった惣菜を盛り付けていく作業であり、迅速な動作が繰り返されるため、自分のペースで作業をすることが難しい。対策として、作業をローテートして同じ動作が長時間続かないように調整する、立位作業用のマットを使用する、軽く腰掛けることができるような座面の高い椅子を設置する、定

期的にラインを止めて休憩時間を設けることなどが考えられる。

なし

E. 結論

調理職場などの屋内の暑熱職場では、屋外とは異なり、熱源の稼働状況や人の密集に影響して WBGT が変動する傾向がみられる。作業環境管理だけでなく、作業管理、健康管理、労働衛生教育、救急処置など、作業場の特性に合わせた熱中症対策が必要となる。

G. 研究発表

なし

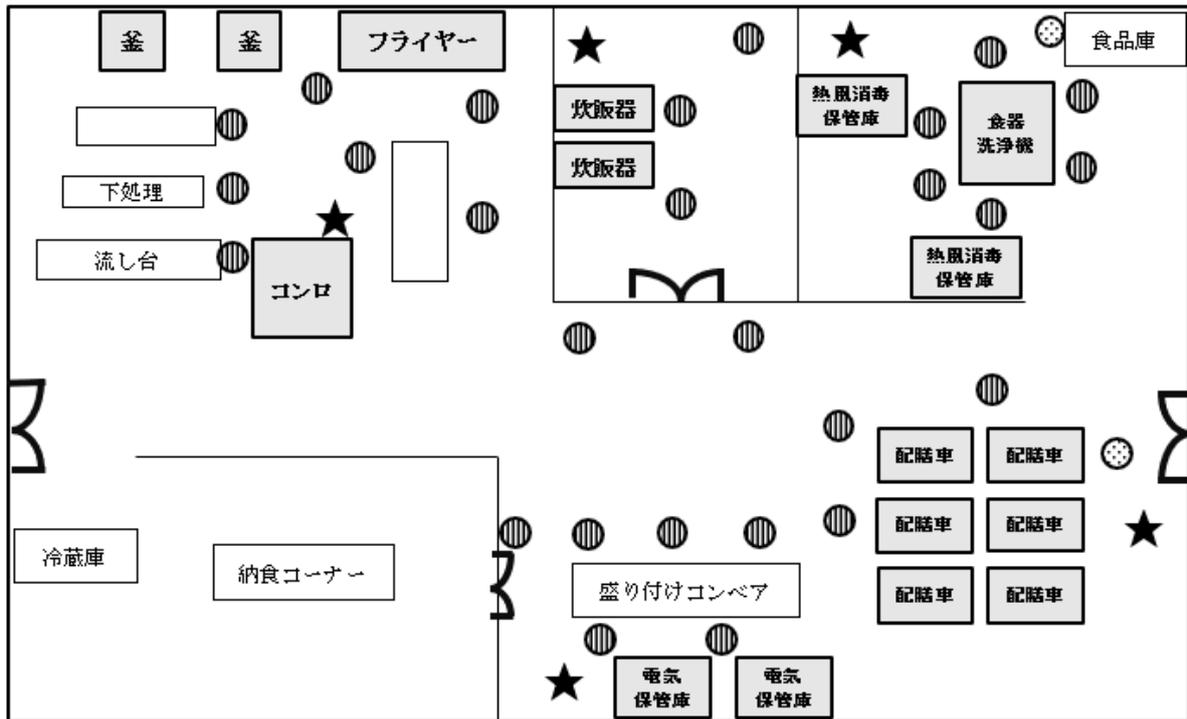
H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

I. 引用文献

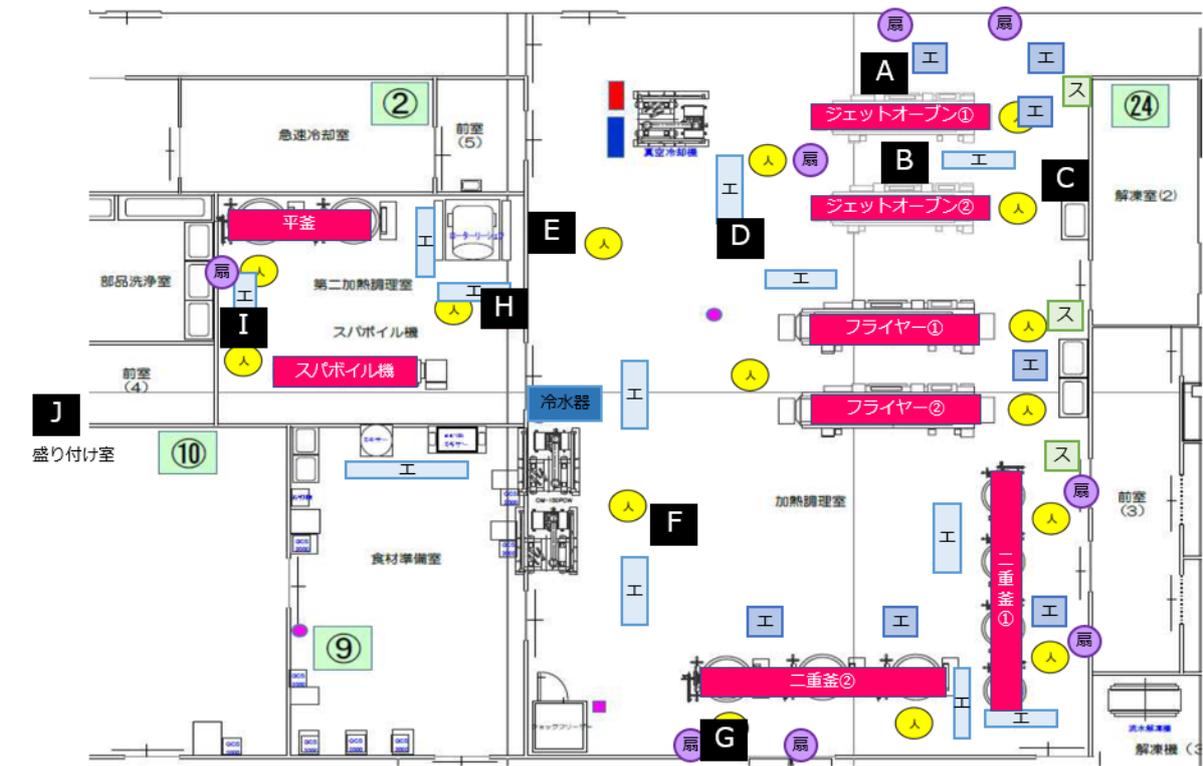
なし

F. 健康危険情報



- ★ : 測定箇所
- : 熱源
- : スポットクーラー
- ⊙ : スポットクーラー (7/29より増設)

図1 某医療機関の調理場の見取り図



- 扇風機
- スポットクーラー
- 吊り下げ式エアコン
- WGBT計
- 柱型エアコン
- 熱源

図2 総菜工場の工場内の見取り図

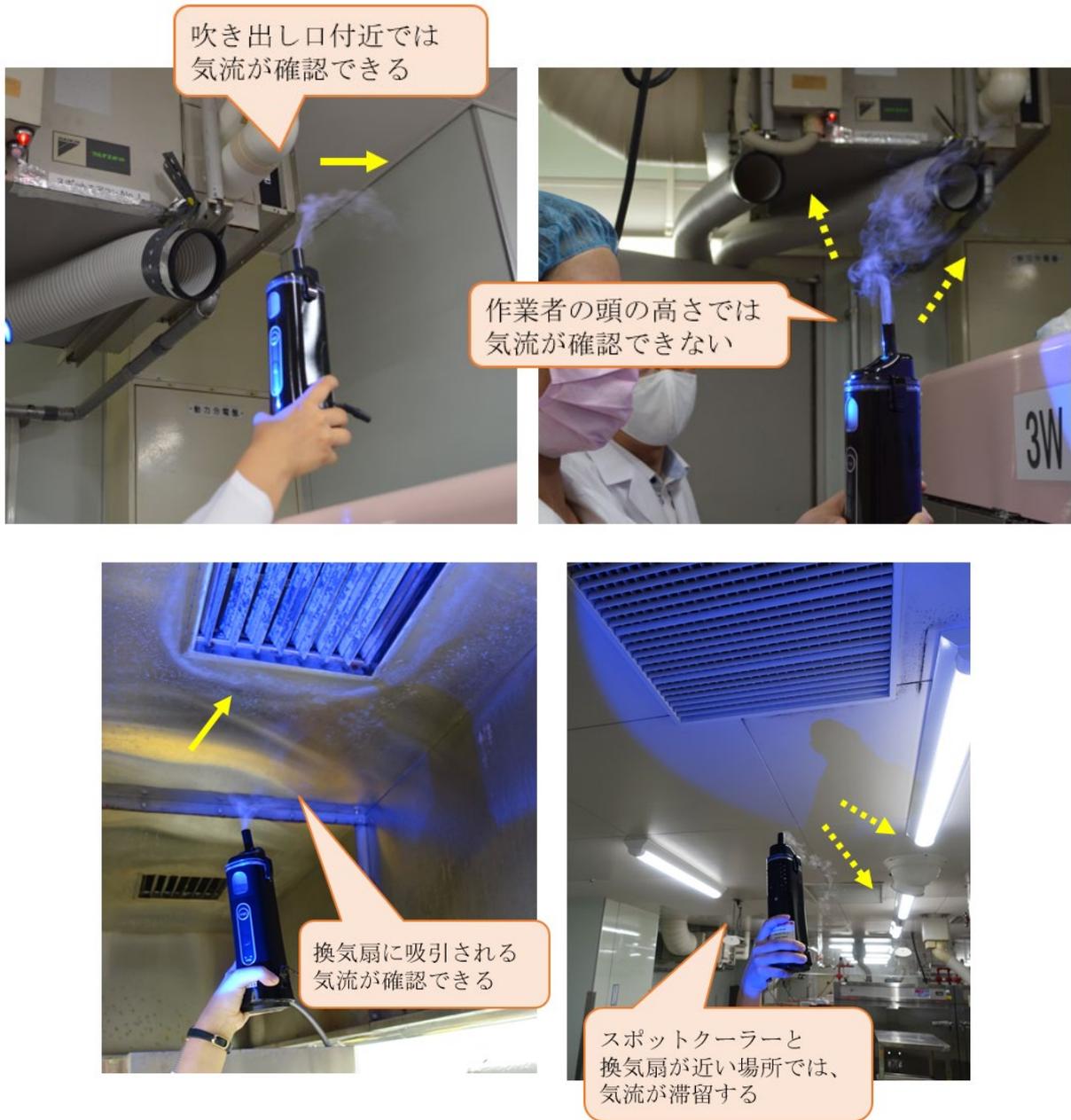
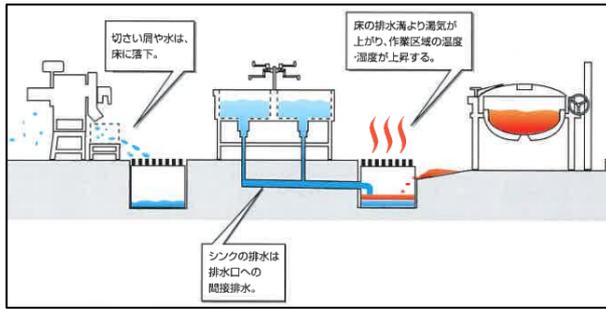


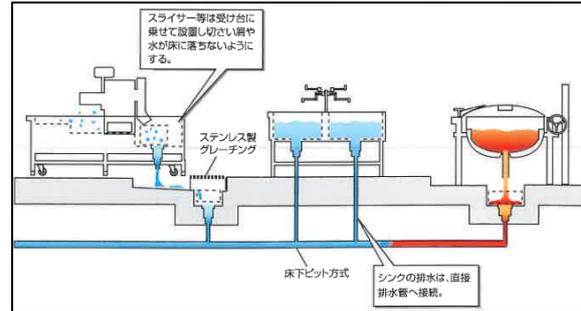
図3 気流測定の様子



図4 スポットクーラー吹き出し口付近の表面温度測定の様子



ウェット方式



ドライ方式

図5 排水方式



図6 配膳準備時に配膳車が集められている様子

6 食品製造業・倉庫業の屋内作業場における WBGT 測定による暑熱リスクの評価

研究協力者 藤原 みさ

産業医科大学 産業医実務研修センター 産業医学修練医

研究分担者 永野 千景

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学 講師

研究要旨

職場における熱中症は屋外作業だけでなく屋内作業においても多く報告されているが、業種によって熱源や全体空調・風通しの有無、作業着や保護具の着用状況、身体作業強度といった熱中症のリスク因子は大きく異なる。また、これまで屋内作業場を対象に環境測定を実施した研究は乏しく、その暑熱環境の実態は明らかでない。そこで、複数の業種の屋内作業場における暑熱環境の実態を把握することを目的として、梅雨、梅雨明け後～8月上旬、8月中旬以降の3期間、WBGT計を用いた環境測定を実施した。その結果、ほとんどの事業所で熱源や空調の有無によらず身体作業強度に応じた WBGT の基準を超える時間帯が多く発生しており、屋内作業場においても屋外作業場と同様に積極的な熱中症予防対策が望ましいと考えた。

A. 研究目的

本研究は、屋内作業場において環境測定を行い、暑熱環境の実態を把握することを目的とする。

がある事業場の場合は可能な限り熱源に近い場所へ設置した。

B. 研究方法

1 対象作業場

食品製造業2事業所、倉庫業1事業所、飲食料品小売業の4か所の惣菜調理場において環境測定を行った。

3 最寄りの気象官署（アメダス地点）との比較

各作業場における実測値と最寄りの気象官署（アメダス地点）において測定された黒球温度・WBGT計を比較した。

2 期間

2021年夏季（5～9月）及び2022年夏季（7月）

4 作業状況の聴取

測定作業場の作業着、保護具、身体作業強度を聴取し、衣服による WBGT の補正值、身体作業強度に応じた WBGT 基準値を推定した。

(1) 作業着

作業着は引用文献1に基づき、以下の通り IL1～4 に分類し、衣服による WBGT の補正值を検討した。

3 測定方法

WBGT計（AD-5695DL, A&D社製）を用いて黒球温度・相対湿度・WBGTの連続測定を行った。WBGT計は三脚を用いて床上50～150cmの高さに固定した。設置場所は作業に支障を与えない場所とした。熱源

IL1：Tシャツと短パンに相当する衣服

IL2：半袖作業着と薄手の長ズボンに相当する衣服

IL3：長袖上着と厚手の長ズボンに相当する衣服

IL4：化学防護服に相当する衣服

(2) 身体作業強度

身体作業強度引用文献 2 を参照し、ML1～4 に分類し、これらに応じた WBGT 基準値を検討した。

ML1：座作業

ML2：歩行程度の作業

ML3：速歩程度の作業

ML4：会話をしながらでは不可能な作業

C. 研究結果

測定対象作業場の概要と環境測定結果及び各事業所の実測値と最寄りのアメダス地点における気象官署データ（以下、アメダス値）の測定値とを比較した結果を以下に示す。

1 事業所概要

(1) 事業所 1

①事業所概要

産業用電子機器の製造・製品の保管（倉庫業）

②測定作業場

資材納入・製品の保管
（熱源なし・空調なし）

③階層

1 階建て建物の 1 階

④稼働

24 時間

⑤外気の交通

シャッターを通じてあり

⑥作業着：IL2

衣服による WBGT 補正值：0

⑦保護具

作業帽、静電手袋

⑧身体作業強度：ML3

⑨身体作業強度に応じた WBGT の基準値（暑熱順化者）：28

(2) 事業所 2

① 事業所概要

麺類の製造・加工

② 測定作業場

調理釜による惣菜調理
（熱源あり・空調あり）

③ 階層

1 階建て建物の 1 階

④ 稼働

24 時間（熱源使用は断続的）

⑤ 外気の交通

なし

⑥ 作業着：IL3

フードあり

⑦ 衣服による WBGT 補正值：1

⑧ 保護具

なし

⑨ 身体作業強度：ML3～4

⑩ 身体作業強度に応じた WBGT の基準値（暑熱順化者）：25

(3) 事業所 3

① 事業所概要

弁当製造

② 測定作業場：調理釜による惣菜調理

（熱源あり・空調あり）

③ 階層

3 階建て建物の 2 階

④ 稼働

7：00～15：00、20：00～7：00（熱源使用は断続的）

⑤ 外気の交通

なし

⑥ 作業着：IL3

フードあり

⑦ 衣服による WBGT 補正值：1

- ⑧ 保護具
なし
- ⑨ 身体作業強度：ML3～4
- ⑩ 身体作業強度に応じた WBGT の基準値
(暑熱順化者)：25
- (4) 事業所 4
- ① 事業所概要
飲食料品小売業、いわゆるスーパーマ
ーケット
- ② 測定作業場
惣菜調理場 (熱源あり・空調あり)
- ③ 階層
1 階建て建物の 1 階
- ④ 稼働
8:00～21:00
- ⑤ 外気の交通
ほとんどなし
- ⑥ 作業着：IL3
長そで長ズボンであるが厚手ではない
(図 4-1)
- ⑦ 保護具
衛生 (不織布) マスク、エプロン (前
掛け)、衛生帽、ヘアネット、ゴム手袋
(短)、アームカバー、かかとがなく、滑
りにくい靴 (清掃の際は長靴)
- ⑧ 身体作業強度：ML2～3
- ⑨ 身体作業強度に応じた WBGT の基準値
(暑熱順化者)：28

2 環境測定結果

(1) 事業所 1

2 地点で測定を行った。測定地点の位置関
係を図 1-1 に示す。

①測定地点 1

黒球温度、WBGT とともに、実測値は
外気温の変化に応じてなだらかに上下し
た。また、日中は実測値のピークがアメダ
ス値のピークと比較してやや遅れていた。

夜間について、黒球温度は実測値の方が高
くなっていたが、WBGT はアメダス地点の
方が高くなっていた (図 1-2)。

WBGT の実測値は概ね同等で推移し、身
体作業強度の基準値以下で推移した (衣服
による WBGT 補正值：0)。

②測定地点 2

黒球温度、WBGT とともに、実測値は
外気温の変化に応じてなだらかに上下し
た。また、日中は実測値のピークがアメダ
ス値のピークと比較して同等～やや遅れて
いた。夜間について、黒球温度は実測値の
方が高くなっていたが、WBGT はアメダス
地点の方が高くなっていた (図 1-3)。シャ
ッターや扉を通じて外気の交通が盛んで、
屋外との距離が近い測定地点であったが、
WBGT の実測値は屋外 (アメダス地点) よ
り約 3～4℃低下していた。

WBGT の実測値は概ね同等で推移し、身
体作業強度の基準値以下で推移した (衣服
による WBGT 補正值：0)。

測定地点 1 と測定地点 2 とでは黒球温
度、WBGT とともにほぼ一致し、測定地点の
違いによる差は見られなかった。

(2) 事業所 2

測定地点付近の状況を図 2-1 に示す。調
理釜という熱源の影響により黒球温度、
WBGT とともに小刻みな変動はあるものの、
大きくは外気温の変化に応じて上下した。
また、日中は実測値のピークがアメダス値
のピークよりやや遅れ、夜間はアメダス値
より高くなる傾向が見られた (図 2-2)。衣
服による補正值 (+1℃) を考慮すると、身
体作業強度に応じた基準を上回る結果とな
った。

(3) 事業所 3

調理釜という熱源の影響により黒球温
度、WBGT とともに小刻みな変動はあるもの

の、大きくは外気温の変化に応じて上下した。また、夜間はアメダス値より高くなる傾向が見られた（図 3）。衣服による補正值（+1℃）を考慮せずとも、全期間身体作業強度に応じた基準を上回る結果となった。

（4）事業所 4

作業場 A～D の配置図と環境指標の推移を図 4-2～9 に示す。

飲食料品小売業の惣菜調理場にて環境測定を実施したが、最寄りのアメダス地点における WBGT が 26℃を超える夏季の暑い日であったにも関わらず、ほとんどの測定点における WBGT は 26℃未満であった。

作業時間中における WBGT はアメダス地点におけるものと同じ動きを示しておらず、3-5℃の差が生じていた。作業場における各環境指標は昼食前や夕食前といった、惣菜食品を製造するために熱源となる調理設備が最も稼働している時間帯にピークを示していた。特に揚げ物を製造するフライヤーの付近では WBGT が高くなっていた。

空調が効いている時間帯と停止している時間における各環境指標を比較すると、ほとんどの測定点で空調稼働時の方が各指標は下がっており、空調によって暑熱リスクを低下させることができていた。空調が停止している時間帯では各測定点とアメダス地点との差が小さくなっていた。

D. 考察

熱源や空調の有無、作業着や身体作業強度等が異なる複数の屋内事業所において環境測定を行った。衣服による WBGT の補正值を考慮すると身体作業強度に応じた WBGT の基準を超える時間帯が多く発生しており、屋内作業場においても積極的な熱中症予防対策の重要性が示された。事業所 2 と事業所 3 については、熱源である調理釜からやや離

れた場所での測定となっていることから、調理釜から発せられる熱や蒸気の影響を十分反映できておらず、作業員周囲の WBGT はより高い可能性がある。

熱源や空調の有無によらず、事業所 2、事業所 3 の WBGT に共通して見られた傾向が 2 つある。1 点目は日中のピークがアメダス地点のピークよりもやや遅れていたこと、2 点目は夜間の WBGT がアメダス地点よりも高くなっていたことである。1 点目については外環境により建物の屋根や壁が温められることによる輻射熱の影響が、2 点目については建物の壁や屋根により放射冷却が妨げられる影響が考えられる。一般的に気温のピークは 14 時頃とされているが、屋内はそれに 1 時間程度遅れてピークを迎えていた。これらの傾向は建物の材質や風通しの有無、日当たり等の違いによっても変化する可能性がある。多くの場合、熱中症予防に関する注意は日中に払われ、外気温が最も低くなる夜間は疎かになることから、特に夜間の WBGT が外環境よりも高くなる場合がある点については今後周知すべきであると考えられる。

本研究の限界として、測定した事業所数が少なく、また、作業場の規模、空調や風通しの有無といった要因が事業所により大きく異なることから、各業種で得られた結果が一般化できると限らないこと、熱源のある事業所を測定したが、推定される熱源の温度が事業所によって大きく異なり、どの程度の熱源の場合に外環境の変化と無関係な値の変動となるかを明確にできないことがあげられる。

比較的面積が小さい多様な熱源の存在する作業場で作業中の暑熱リスクを評価するにはアメダス値ではなく、各熱源の傍で稼働中に実測することが望ましい。食品製造業の熱源としてはフライヤーが最も暑熱リスク

が高いので注意が必要である。

作業者の服装は食品衛生や切創防止を目的に皮膚表面の露出が少なかった。また、休憩時間も着替えることなく、同じ服装で休憩をしていることが予測できた。作業の身体負荷は高度ではなかったが、女性や高齢者が多く、熱中症リスクとなる基礎疾患や服薬歴を有する者が含まれるのではないかと考える。熱中症対策に関して、関心はあるものの、行政通達は周知されておらず、実施が推奨される具体的な方策について知識が不足しているものと考えられる。

E. 結論

屋内作業場における温熱環境の実態を把握することを目的に環境測定を行い、暑熱環境の実態を把握した。熱源や空調の有無によらず身体作業強度に応じた WBGT の基準を超える時間帯が多く発生しており、屋内作業場においても屋外作業場と同様に積極的な熱中症予防対策が求められる。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

I. 引用文献

- 1 衛生管理者のためのリスクアセスメント. 中央労働災害防止協会. 2016
- 2 職場における熱中症予防対策マニュアル. 職場における熱中症予防対策マニュアル作成委員会. 厚生労働省. 2020

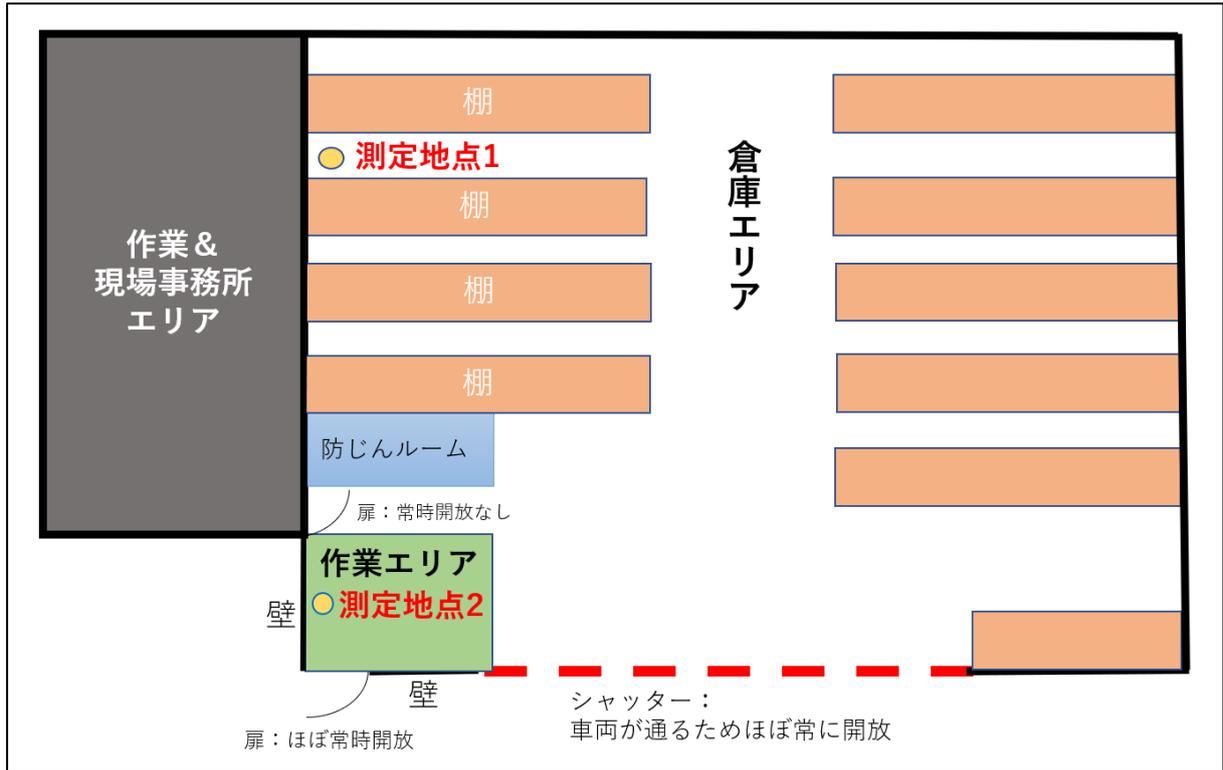


図 1-1 事業所 1 測定地点

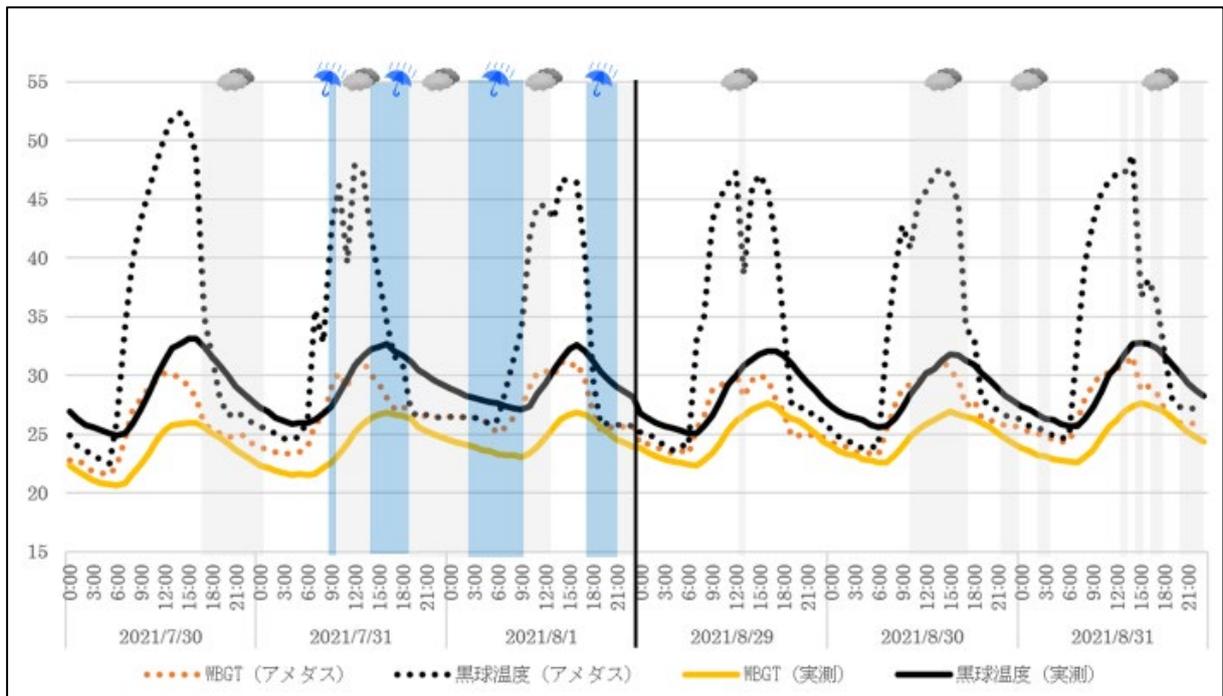


図 1-2 事業所 1 測定地点 1 の黒球温度と WBGT（最寄りのアメダス地点との比較）

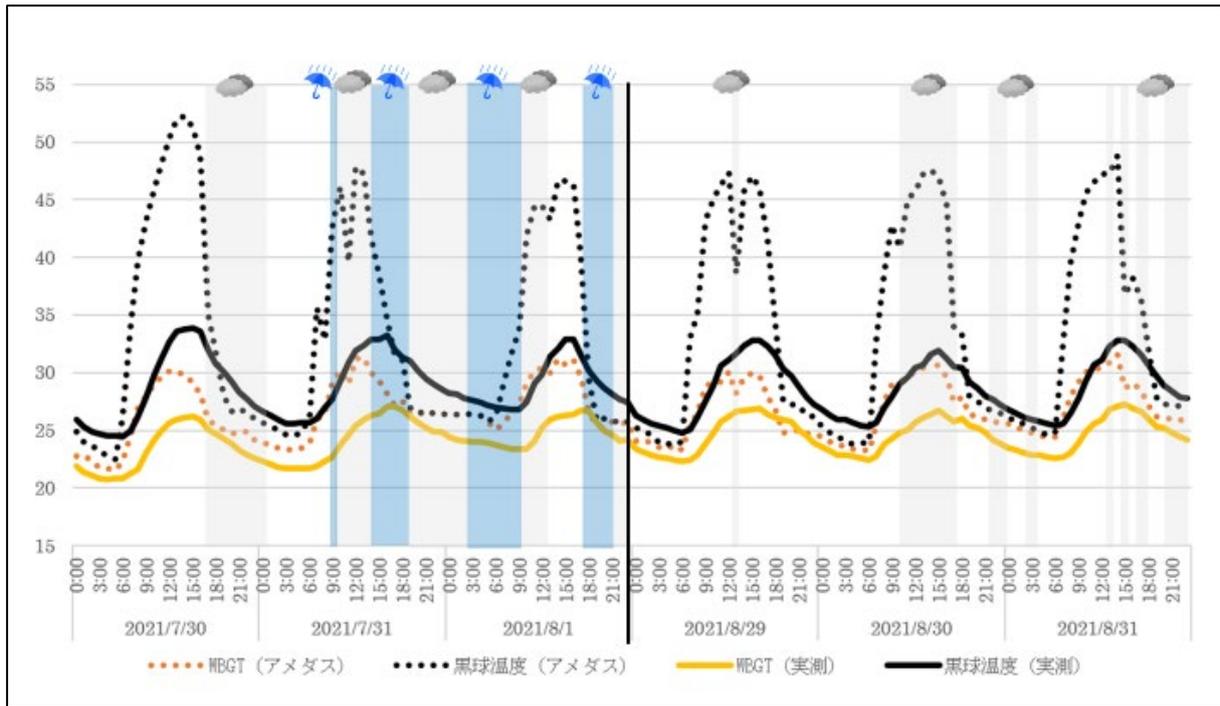


図 1-3 事業所 1 測定地点 2 の黒球温度と WBGT（最寄りのアメダス地点との比較）



図 2-1 事業所 2 の測定地点周囲

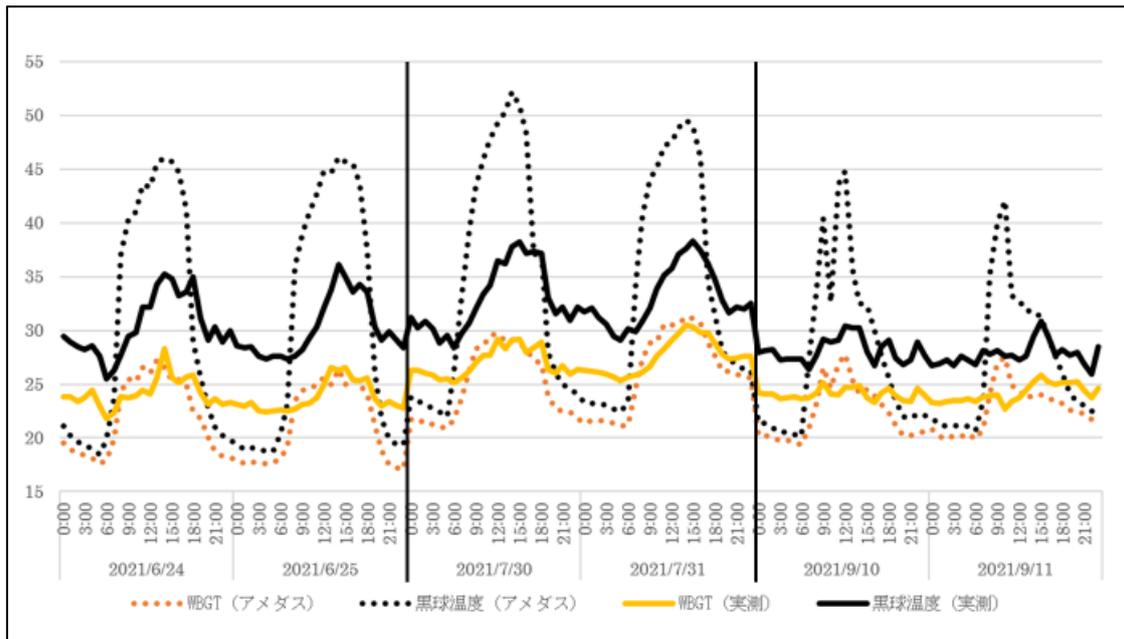


図 2-2 事業所 2 の黒球温度と WBGT（最寄りのアメダス地点との比較）
 ※最寄りのアメダス地点に天気の記載が無かったため、降雨の有無のみ記載している



图 3-1 事業所 3 測定地点周围

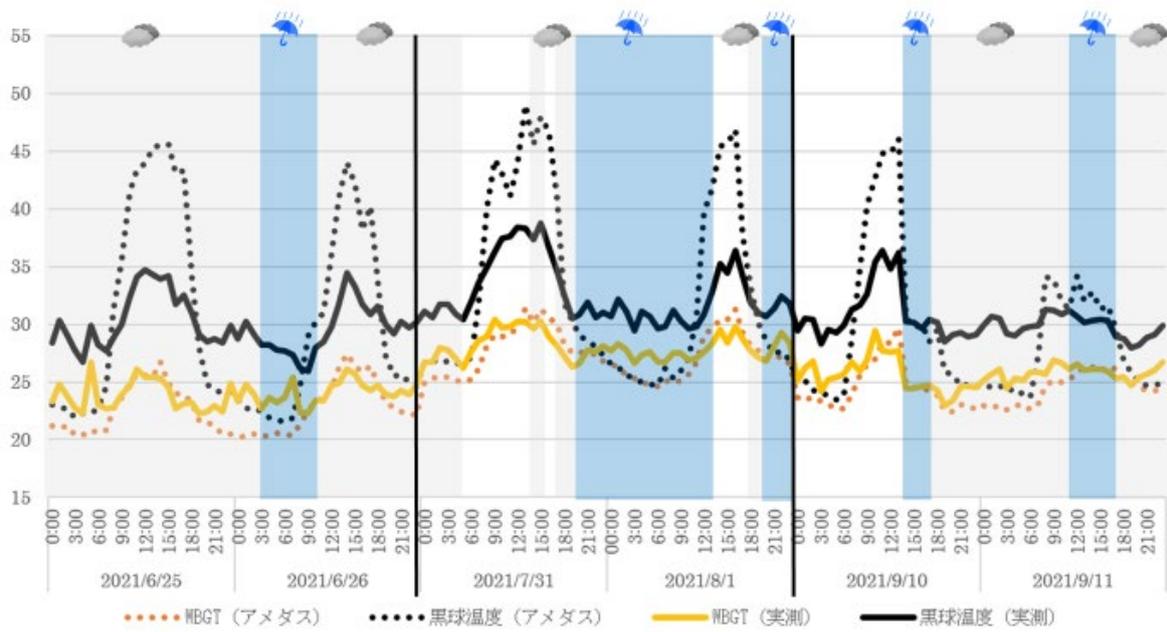


図 3-2 事業所 3 の黒球温度と WBGT（最寄りのアメダス地点との比較）

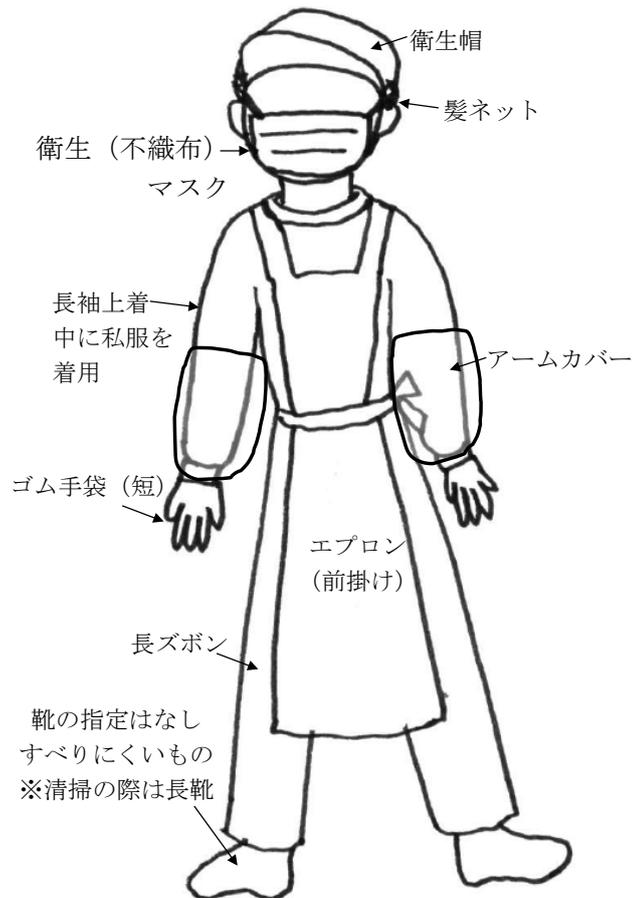


図 4-1 調理作業者の服装、保護具

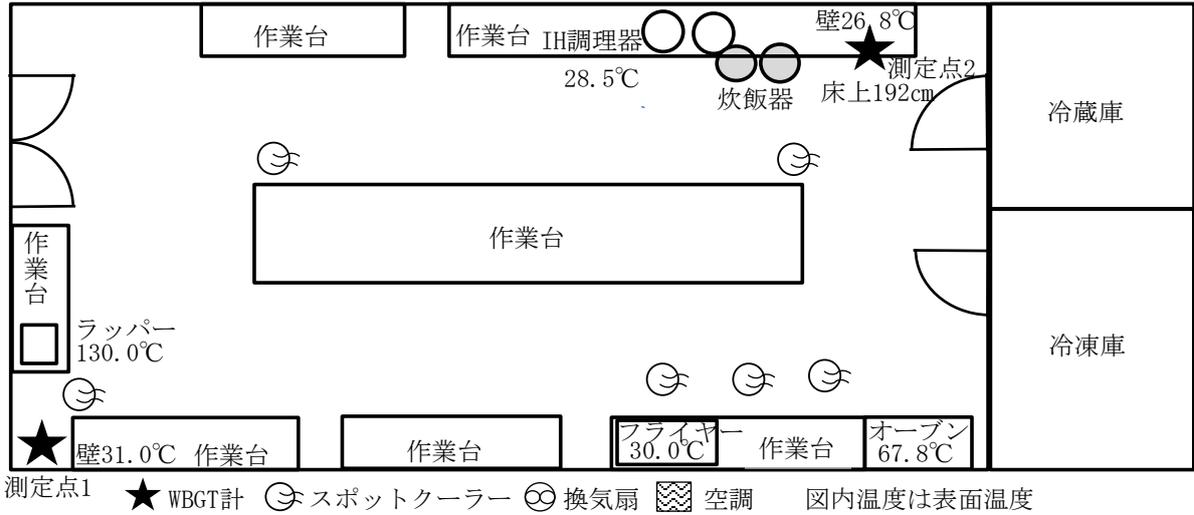


図 4-2 作業場 A 調理場の配置図

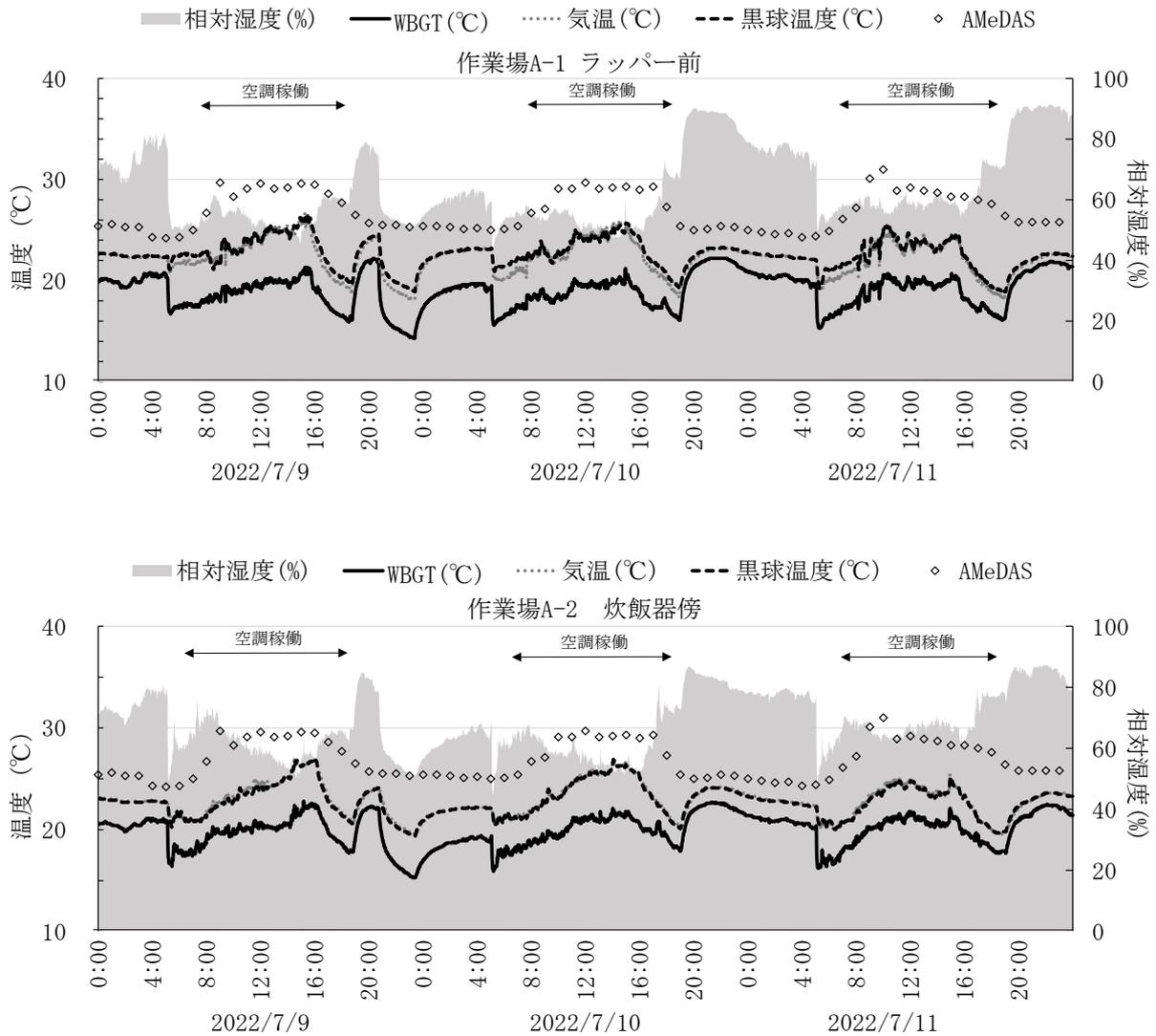


図 4-3 作業場 A 環境測定結果

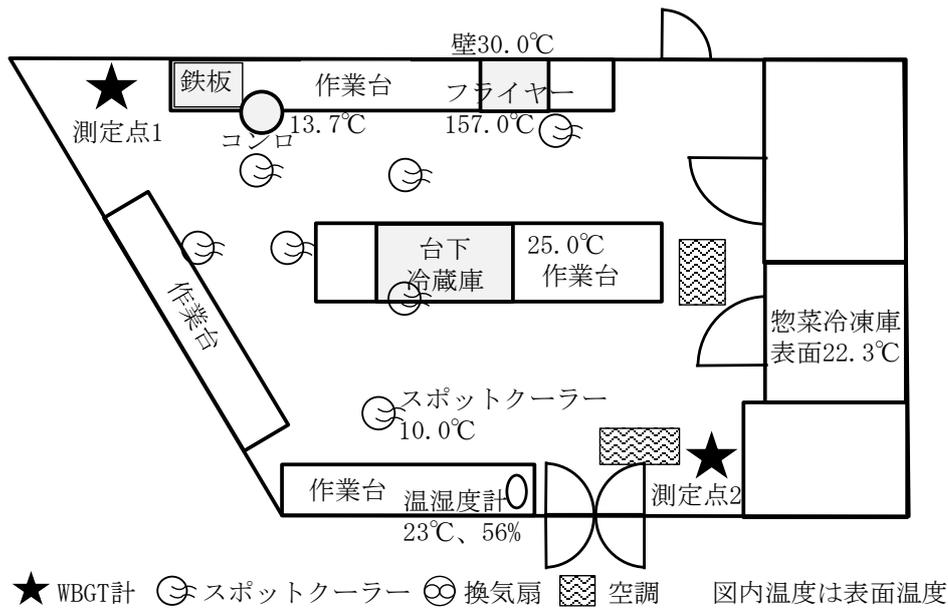


図 4-4 作業場 B 調理場の配置図

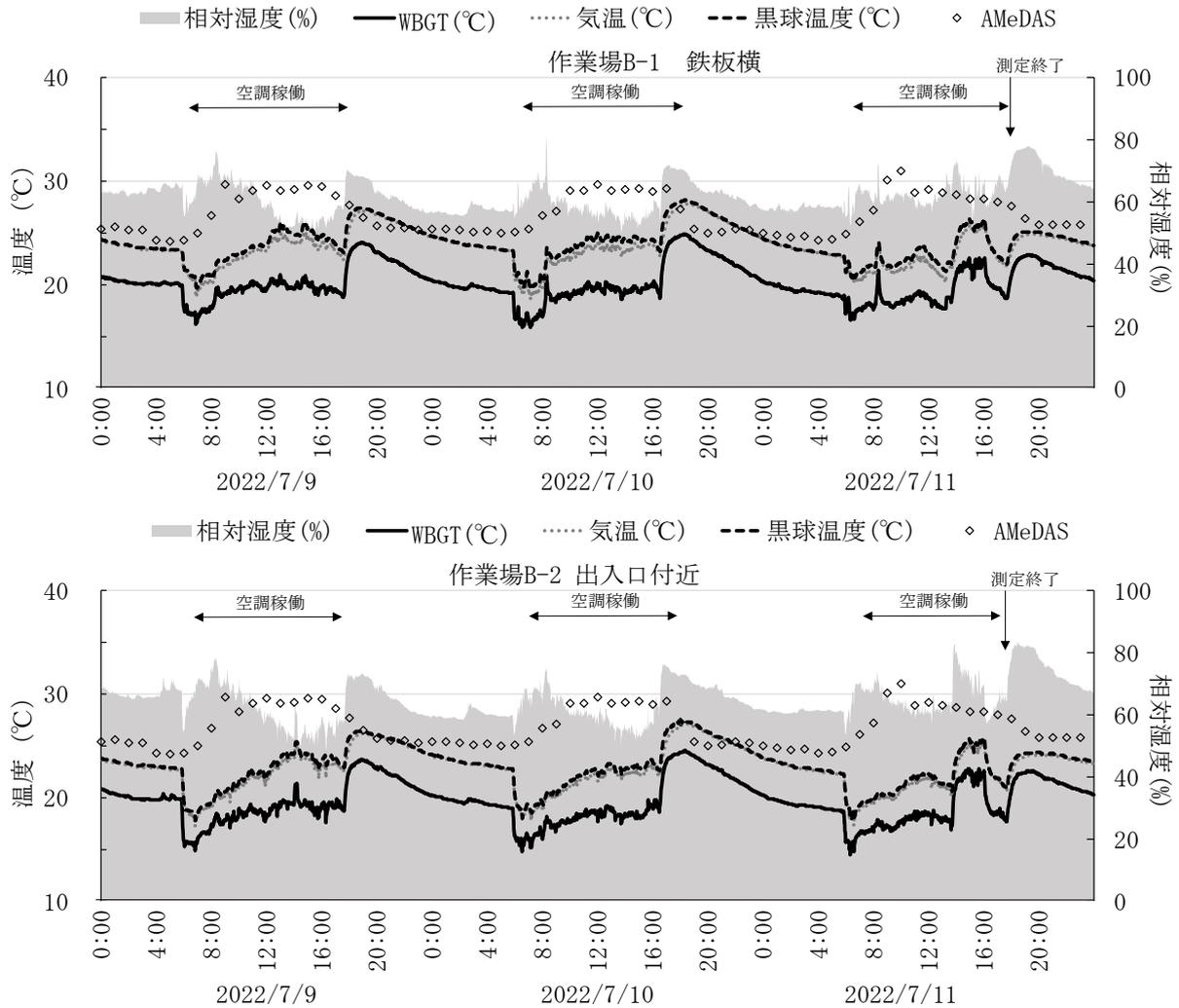


図 4-5 作業場 B 環境測定結果

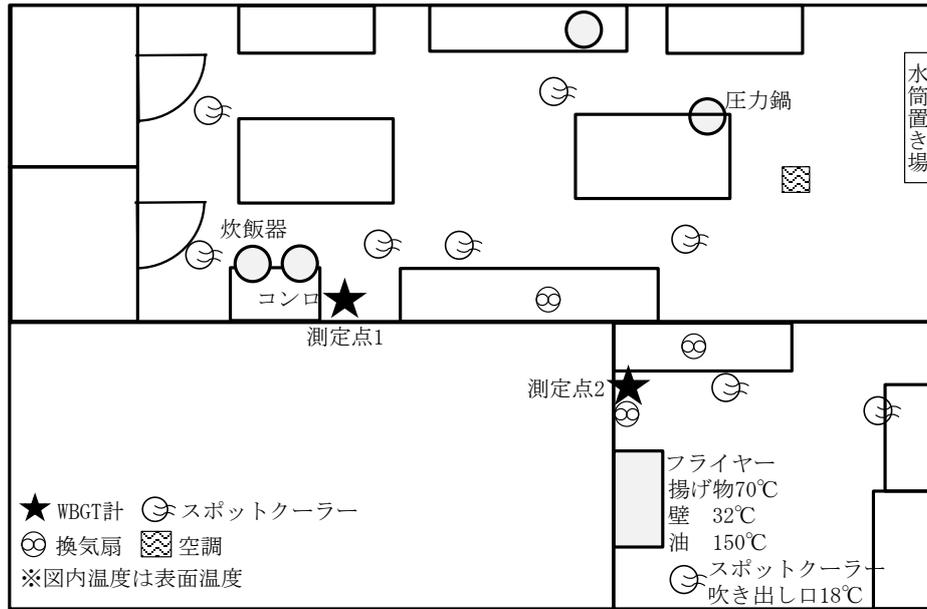


図 4-6 作業場 C 調理場の配置図

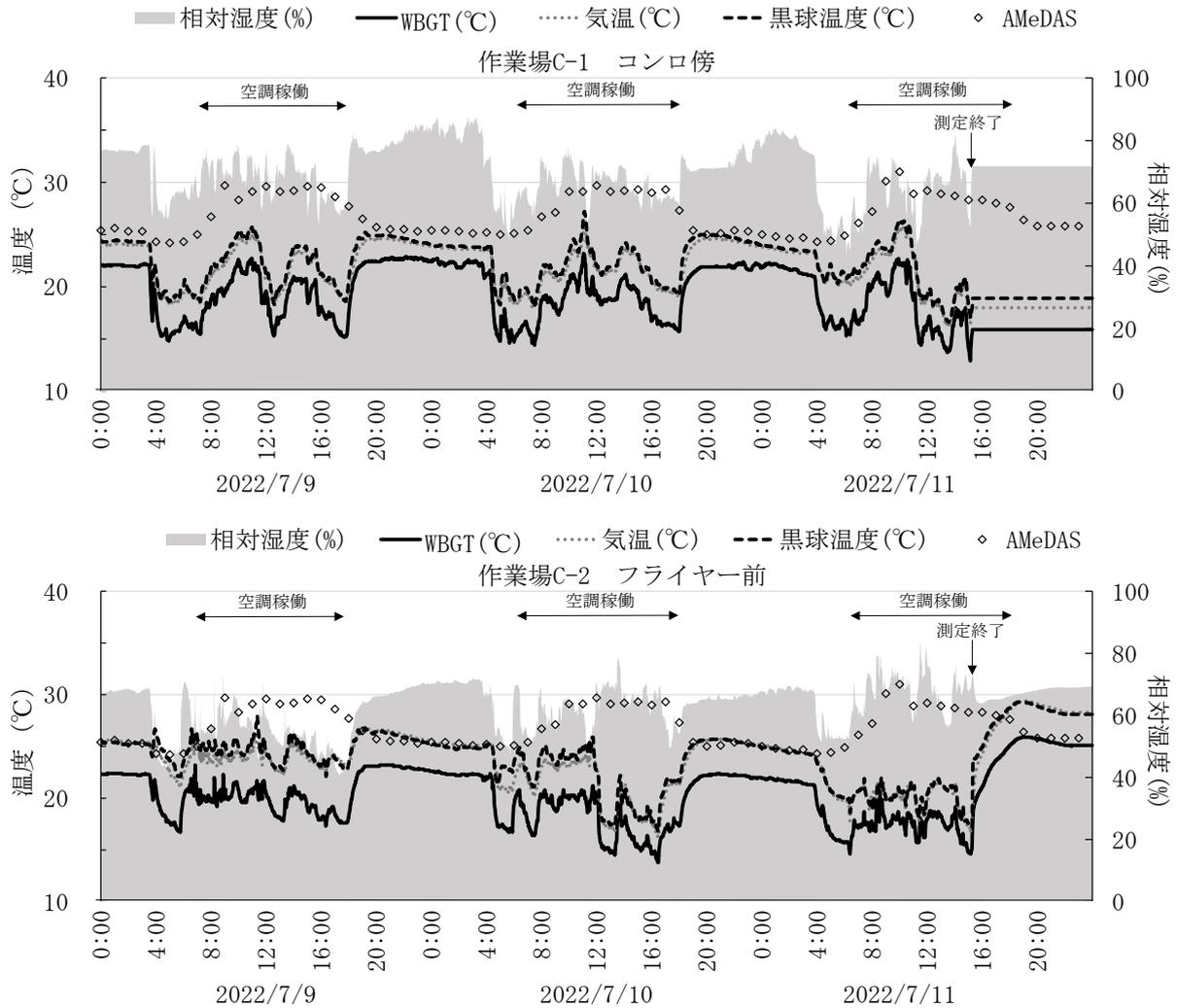


図 4-7 作業場 C 環境測定結果

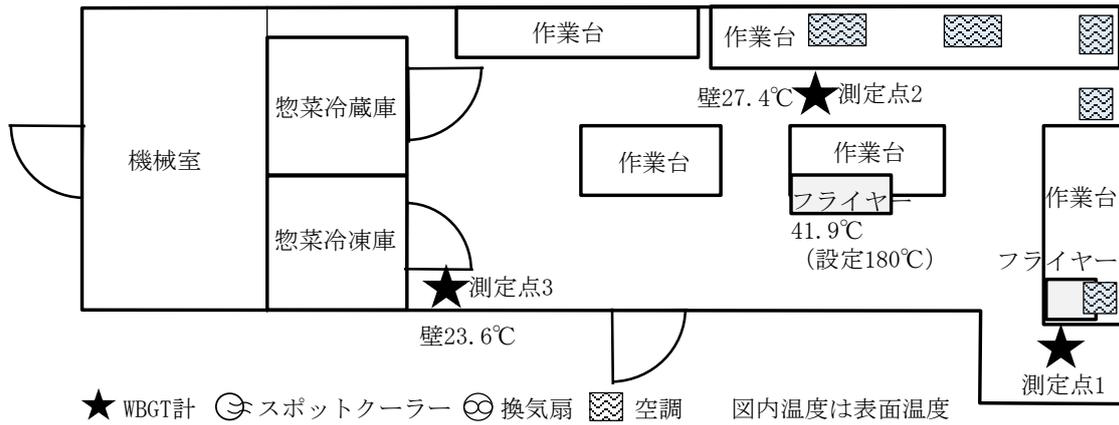


図 4-8 作業場 D 調理場の配置図

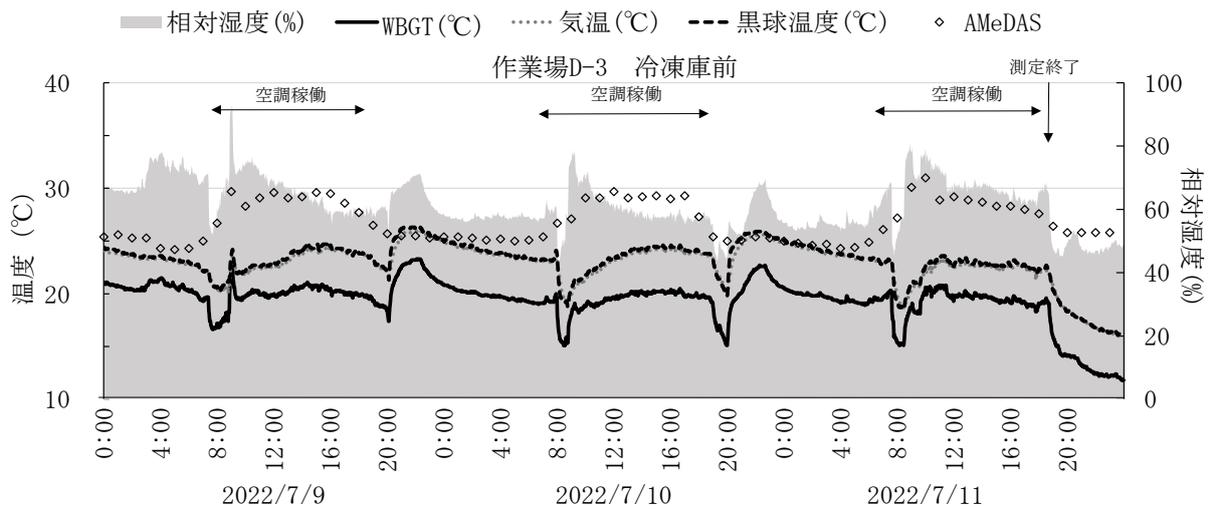
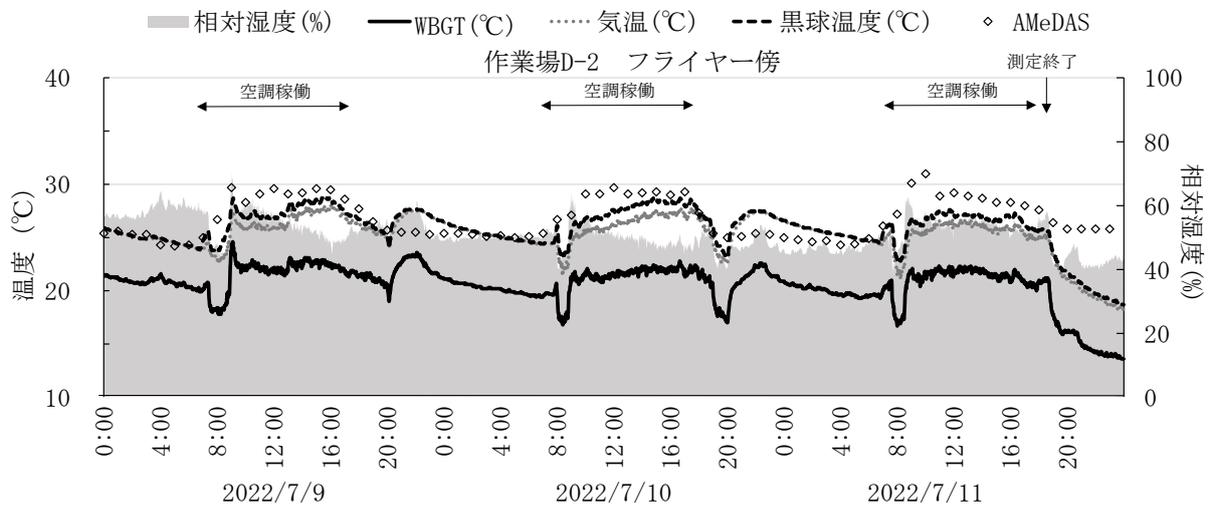
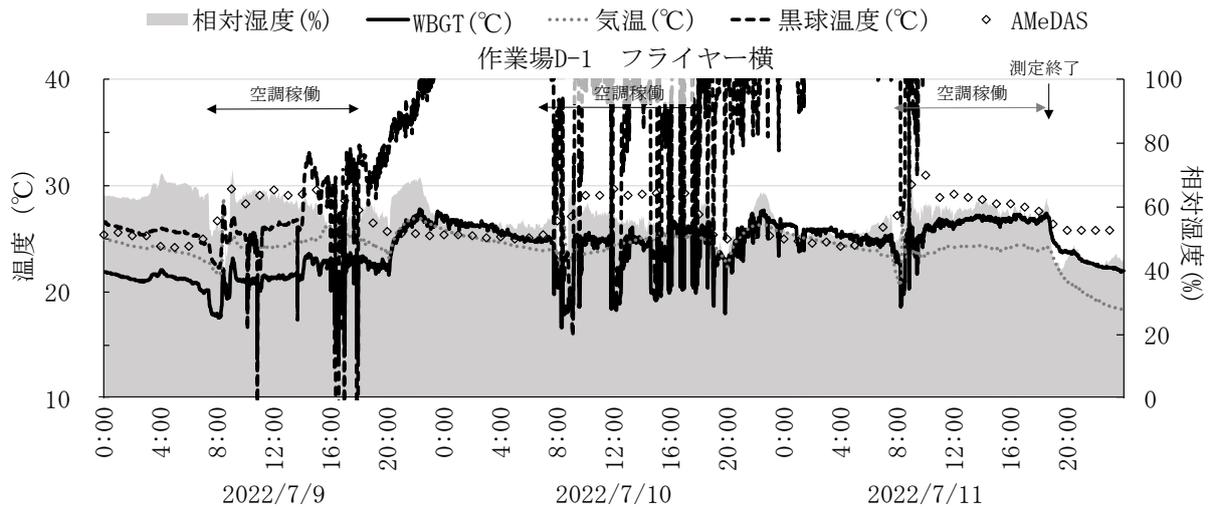


図 4-9 作業場 D 環境測定結果

7 IoTシステムによる熱中症リスク低減の有効性についての研究

研究分担者 宮内 博幸

産業医科大学 産業保健学部 作業環境計測制御学 教授

研究要旨

昨今の全国的な夏季の高温は熱中症のリスクを増大させている。気象庁のデータでは夏季のみならず、9月の平均気温が高い日が全国各地で40%以上とされている。今後は9月にも熱中症が多発することが懸念される。作業場の気温、輻射熱条件等の調整が難しい鋳物製造作業や造船作業のほか、第三次産業である倉庫業、清掃業、調理場などにおいても熱中症が多く発生しており、高リスク要因を特定し低減化させることは必須といえる。一方、小規模の事業場では十分な知識と人材が不足しており、予防活動は停滞状態と言える。そこで第2年度目である本年は、作業環境測定基準で告示されている現場の気温、相対湿度について、IoT技術を活用することで人手を介さず、かつ、リアルタイムで一元管理できる方法の効果について検討した。計測機器は、計測データをモバイルネットワーク（セルラー回線）によりインターネットへ接続して管理できるRS-BTEVS1（ラトックシステム株式会社）を用いた。また、クラウドに記録するIoTシステムは、室内温湿度自動記録・監視システム（ハピクロ社製）を使用した。この方法はインターネットが使用できる場所であれば世界中のどこにいてもデータを見ることができ、リアルタイムで管理することが可能である。特に夏季において暑熱障害リスクが高くなると推測される鋳物製造作業場、造船作業場、厨房作業場等に計測機を設置して検討を行った。その結果、夏季における給食施設作業場の厨房内配膳室と厨房内のスプーン・ケトル調理位置、厨房外食堂における気温の最大値は30℃以上に達していることが確認された。造船作業場における一部の屋外作業場や造船中の船舶内部では最大値が40℃を越えた。鋳物製造作業場でも焼成作業場（炉前）、焼成作業場（成型機前）の気温最大値は40℃を越えた。これらの作業場では季節変化により外気温度が上昇し、室内気温が許容できる値を超える以前に、適切な改善を要すると判断された。Wi-Fiでなく、セルラー回線を使用することで、安定して計測することが確認された。IoT技術を活用することで作業者の業務量軽減にもなり、少人数の作業場においても広く普及させることが可能と思われた。

A. 研究目的

屋内の暑熱職場における熱中症の高リスク要因を特定して対策を講ずることは重要である。しかし、製造業の内、鋳物製造作業や造船作業等は作業場内に発熱源がある、日射による建物からの発熱があることより、作業場の暑熱調整や管理が難しく熱中症リスクを抱えている。一方、非製造業である飲食店、倉庫業、リネン業、介護福

祉業等等でも熱中症が発生している。これらは総じて人材不足であり、十分な予防マネジメントが確立していないのが現状である。また、小規模事業場では専門職の関与が難しく、予防活動を担っている衛生管理者や衛生推進者等も、他の業務と兼務のため十分な予防活動をする時間が不足しているのが現状である。一方、建物管理の分野では、各種センサや監視装置、制御装置を

含めた管理システムである BEMS (Building and Energy Management System)において IoT 化が進んでいる¹⁾。また、冷蔵保存時における温度監視として IoT を活用した管理方法が実用化されている²⁾。本研究ではこれらの方法を参考に、まずは作業環境測定基準で告示されている気温、相対湿度について IoT 技術を活用し、人手をとられずにリアルタイムで一元管理できる方法の効果について検討した。検討対象は夏季に暑熱障害リスクの高くなると予測される病院給食施設作業場、造船作業場、鋳物製造作業場とした。

B. 研究方法

1 使用機器

気温、相対湿度をリアルタイムで計測できる機器として RS-BTEVS1 (ラトックシステム株式会社) を用いた。この計測機は、高さ 76 mm×幅 76 mm×奥行 36 mm、重量約 120 g (本体のみ) である。電源として 5 V、1 A (Micro-USB ポートより供給) を用いる。センサーの温度計測可能な範囲は 5~60°C、精度は±0.2°C である。相対湿度の計測可能な範囲は 0~100%、精度は±3.5% (20-80°C ±2%) である。特徴は計測データをインターネットへ無線接続して管理することである。このインターネットへ無線接続する方法として、一般的にモバイルネットワーク (セルラー回線) や Wi-Fi が用いられるが、本装置はセルラー回線を使用している。Wi-Fi は規格上屋内でも 100 m 以上の距離でも使用可能とされているが、障害物がある場合は無線 LAN での使用範囲は狭くなる。高性能の業務用ルーターを使用しても障害物のない空間にて最大 100 m 程度とされている。また、Wi-Fi の電波を安定稼働させるために多くのデバ

イスを使用すると、電波干渉などのリスクが増えると言われている。対してセルラー回線の場合、アンテナを立てることで殆どの地域で 4G が利用である。さらにインターネットが使用できる場所であれば世界中のどこにいてもデータを見ることができ、リアルタイムで管理することが可能である。また、安定した接続が維持される場合は消費電力がより小さくなる。

セキュリティにおいて、Wi-Fi はルーターを介してインターネットへ繋ぐため、ハッキングやクラッキングされるリスクがある。一方、セルラー回線は漏洩リスクが低い。また、本装置はクラウドにより 5 分間隔で 24 時間の室内温湿度を自動的に記録し、同時に計測値はリアルタイムでスマホや PC の画面にて全データを一目で確認することが可能である (図 1)。

Bluetooth を使用する方法も検討されているが、Power Class によっては距離が離れるとペアリングが切れる。また、通信対応にはスマホ本体等の通信機器を要する。

RS-BTEVS1 はデータをクラウドに記録させ、いつでも記録データが取り出せる。この記録 IoT システムは、室内温湿度自動記録・監視システム (ハピクロ社) を使用した (図 2)。また、あらかじめ上限となる温湿度値を設定し、この値を越えた状態が続いた場合は、指定したアドレスに自動的にメールでアラートを通知させる。熱中症のリスクが高くなる前に対応が可能となる。

2 計測時期

計測は令和 3 年 12 月 (連続 4~16 日間) および令和 4 年 1 月 から 10 月までの期間とした。

3 計測対象作業場所

計測対象作業場所として夏季に室温が上昇し、暑熱障害リスクが高くなると推測される作業場として以下を対象とした。

病院給食施設作業場は、屋外、a 厨房内配膳室、b 厨房内（スープ・ケトル）、c 厨房内定点①、d 厨房内定点②、e 厨房外食堂、f 厨房外事務室、g 厨房外休憩室①、h 厨房外休憩室②の合計 9 箇所を測定対象とした。

造船業作業場は、i 屋内溶接作業場①、j 屋内溶接作業場②、k 屋内作業場①、l 屋内溶接作業場③、m 屋外作業場①、n 屋外作業場②、o 敷地外作業場 p 屋外作業場②、q 製造船舶内作業場、r 屋内作業場②の合計 10 箇所を対象とした。

鋳物製造作業場は、s 加工作業場①、t 焼成作業場（炉前）、u 加工作業場②、v 加工作業場③、w 焼成作業場（成型機前）、x 加工作業場④、y 製品検品作業場①、z 製品検品作業場②の合計 8 箇所を対象とした。

これらの各場所の作業員位置付近へ、装置各 1 台ずつ設置し、リアルタイムの経時的な温湿度変化を計測した。

C. 研究結果

各測定位置における温湿度計測値の変化を図 3 に示した。図 a から図 h は病院給食施設作業場の測定結果、図 i から図 r は造船作業場、図 s から図 z は鋳物製造作業場である。気温と相対湿度の計測値を示した。また、対象とした 3 つの作業場の所在する地域における外気温湿度変化図も示した。さらに月ごとの全計測値の算術平均値、最大値、最小値を表 1 に示した。

病院給食施設作業場における 12 月の測定結果を図 3 の a から h に示した。a-d は厨房内位置、e から h は厨房外位置での測定結果

である。12 月の測定結果より、a 厨房内配膳室の気温は 6 時 30 分、11 時 00 分と 16 時 30 分ころを中心に 30℃近くまで上昇していた。この時間に配膳車を配膳室内にて加温することも原因と推定された。また、b 厨房内のスープ・ケトル調理位置では 6 時 00 分、11 時 00 分、12 時 30 分、17 時 30 分ころに 30℃付近までの上昇傾向が認められた。スープ・ケトル調理時の放熱の影響と考えられた。その他の厨房内測定である c、d では、ほぼ 23℃前後の一定温度に保たれていることが確認された。a、b における当該作業時は重点的な管理を行い、季節の変化により外気温度が上昇し、室内気温が許容できる値を超える以前に適切な改善を要すると判断された。また、厨房外である e 食堂、g 休憩室①、h 休憩室②については現在の気象条件下にて 23℃前後の良好な環境であることが確認された。

a~h の 1 月~5 月の外気温最大値は 14℃~30℃に対して、6 月~10 月は 30℃~35℃で、特に a 厨房内配膳室の最大値は、1 月~5 月で約 30℃~32℃、7 月~10 月は約 34℃~37℃と厨房内配膳室は夏季以外でも高値であった。b 厨房内のスープ・ケトル調理位置の最大値は、1 月の約 25℃に対して、8 月~10 月は約 31℃~34℃にとなった。e 厨房外食堂の最大値は 1 月~5 月が約 27℃~29℃であり、その後の 7 月~10 月は約 30℃~33℃であった。f 厨房外事務室の最大値は 1 月~5 月が約 25℃~26℃で、その後の 7 月~10 月でも約 26℃~29℃程度であった。

a 厨房内配膳室では、配膳車を配膳室内にて加温する作業が行われており、気温の上昇時刻と加温作業時刻がほぼ一致した。

厨房内のスープ・ケトル調理時には当該位置よりも放熱が続いており、特に 8 月~10 月

の作業時には約31℃～34℃と高値に達した。

配膳室内は空調設備にて一定温度（25℃）に保たれるように設定されているものの、室内の一部では発熱源からの影響を受け、当該位置の気度が上昇したと言えた。

e 厨房外食堂には空調設備があるものの、外気温の影響を受けやすく、7月～10月の最高温度は約30℃を超えた。f 厨房外事務室は他の作業場と隔離されており、空調時に外気温の変化を受け難く、月の違いによる気温の変化が比較的少なかった。

厨房内の a 配膳室、b スープ・ケトル位置における作業時は、暑熱対策について特に重点的な管理を行い、季節の変化により外気温度が上昇して室内気温が許容できる値を超える前に、適切な気温へ下げる確実な対策が必要と判断された。また、厨房外である e 食堂においても、6月以降では最大気温が30℃を超えており、外気温の変化を観察し、こまめな室内温度調整が必要と言えた。

造船作業場 i～r の7月～9月の外気温最大値は30℃～36℃であった。一方、7月～9月の屋外作業場②では最大値として40℃を越え、敷地外作業場においても最大値は40℃を越えた。これら屋外にての作業時は、加熱した金属設備などの影響もあり、事前の十分な暑熱対策が必要と言えた。また、造船中の船舶内部作業場にて8月、9月の最大値は40℃を越えた。鉄製の屋内作業場で通風が難しいことを考慮し、事前の作業時間短縮も含めた総合的な暑熱対策が必要と言えた。

鋳物製造作業場 s～z の外気温は7月～10月が約30℃～36℃であつたのに対して t 焼成作業場（炉前）は8月～10月、w 焼成作業場（成型機前）は8月に、気温の最大値が40℃を越えた。

D. 考察

本検討結果より、冬季である12月の外気温10℃前後の冬場でも病院給食施設作業場の加熱調理を行う厨房内においては30℃近く気温が上昇することを、その他の作業においても作業場から離れた位置にてリアルタイムで把握することができ、的確に障害リスク予防に繋げることの可能性が示唆された。また、12月の休憩室では23℃前後の気温にて良好に管理されていることが把握できた。

1～5月は空調設定温度が25℃であっても最高温度は30℃を、7月、8月の最高温度は35℃を越えた。

造船作業場の7月～9月の屋外作業場では最大値として40℃を越えた。また、鋳物製造作業場では、外気温が7月～10月で約30℃～36℃であったものの、屋内では40℃を越えた。

以上より、各作業場から離れた位置にても、リアルタイムで温湿度を把握すること、経時的なデータを解析することで、今後の温湿度の変化を予測し、暑熱障害リスクに応じた予防管理が容易と思われた。また、人手を介さずにIoT技術を活用することで、作業者の業務量軽減にもつながり、少人数の作業場においても広く普及させることが可能と思われた。ただし、さらに多くの業種、作業場について検証を行い、確実な有効性を確認する必要がある。

E. 結論

IoT技術を活用することで、外気温のみでは予測が難しい、各作業場条件による暑熱障害リスクに応じた遠隔管理が容易になると推測された。また、人手を介さないため、作業者の業務量軽減にもつながり、少人数の作

業場においても広く普及させることが可能と思われた。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

I. 引用文献

1 松浦大介、楊 鎮浩、鈴木宏和: IoT を利

用した簡易 BEMS の開発と空調設備の制御方法に関する研究 (第1報)IoT センサの開発と環境測定 ID: I-6, 空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集 2020; 9 :21-24

2 José Ramírez-Faz, Luis Manuel Fernández-Ahumada, Elvira Fernández-Ahumada, Rafael López-Luque: Monitoring of Temperature in Retail Refrigerated Cabinets Applying IoT Over Open-Source Hardware and Software. Sensors (Basel) 2020; 20(3) 846:1-18



図 1 表示される画面

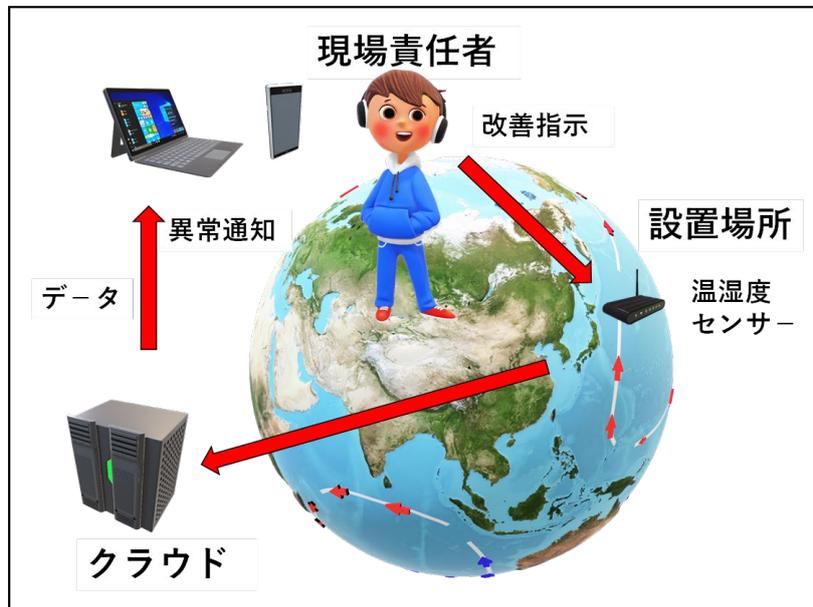
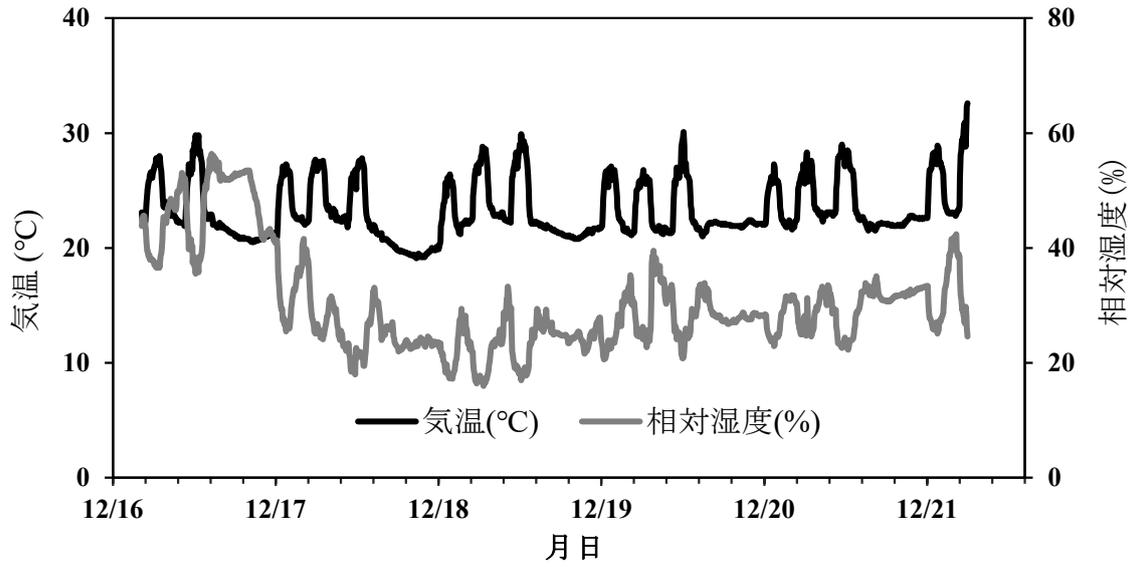
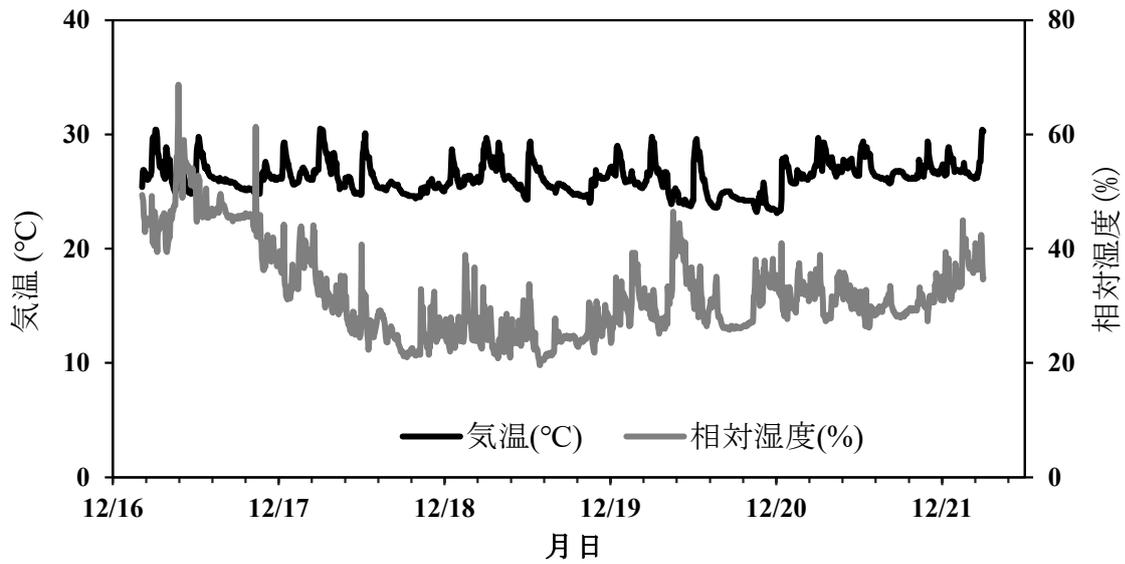


図 2 室内温湿度自動記録・監視システムの概要

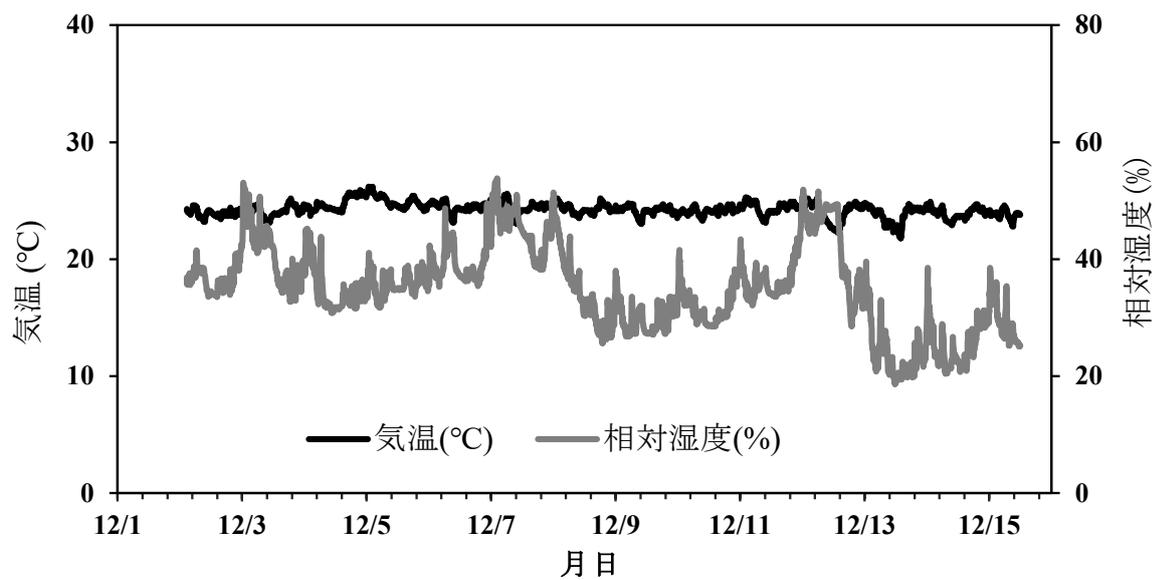
図3 各位置における温湿度計測



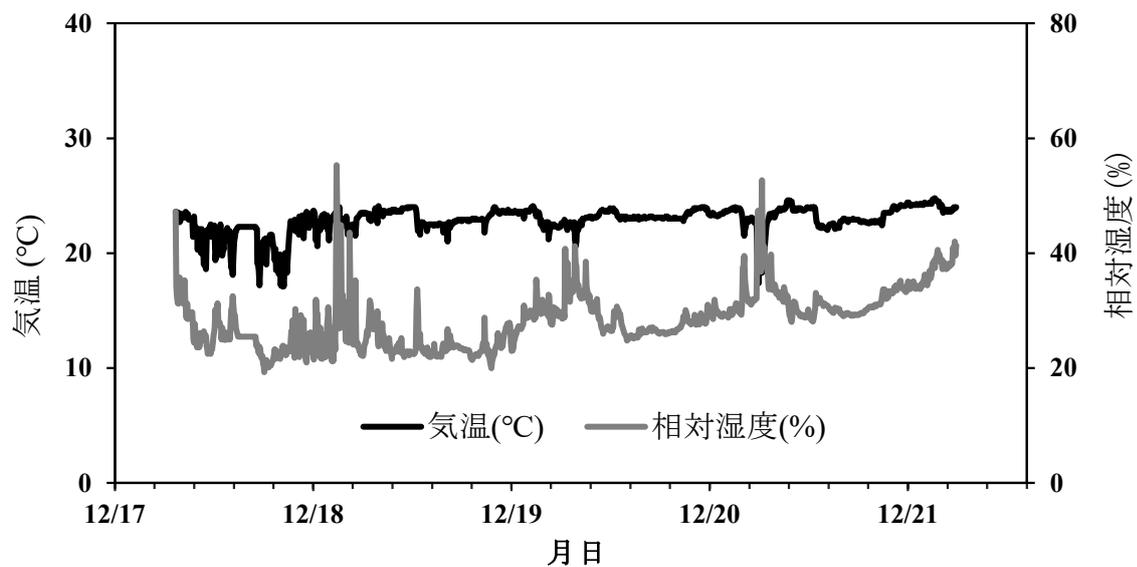
a 厨房内配膳室の温湿度変化図



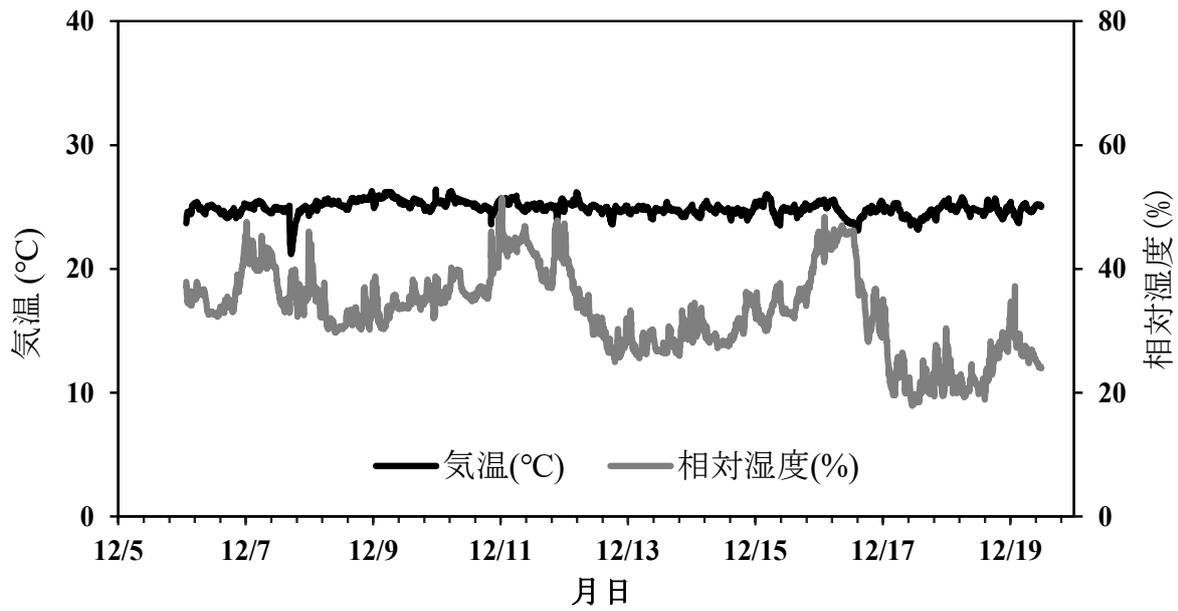
b 厨房内(スープ・ケトル)の温湿度変化図



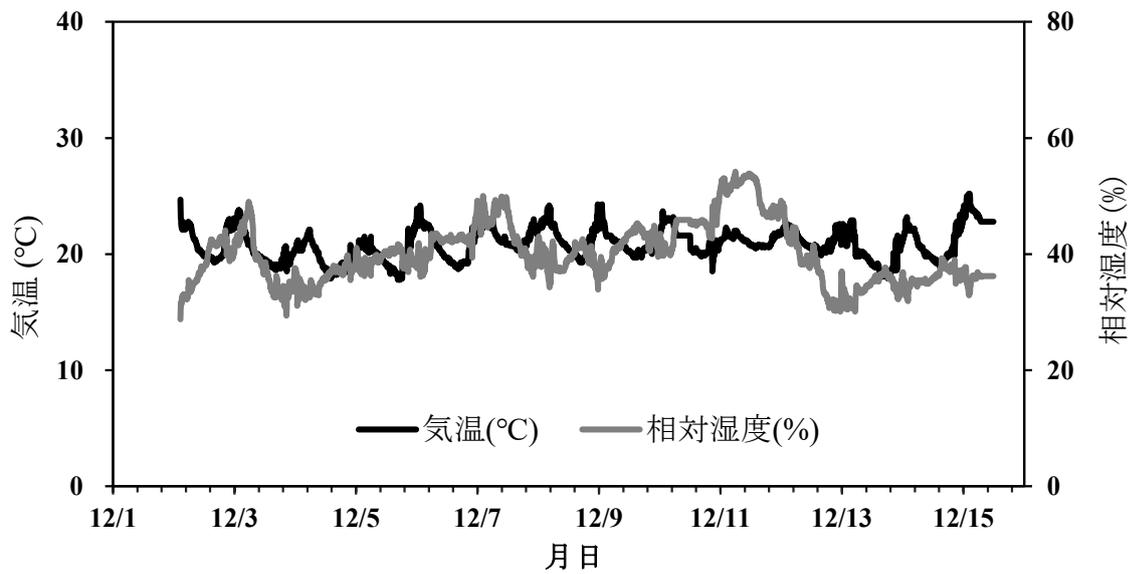
c 厨房内①の温湿度変化図



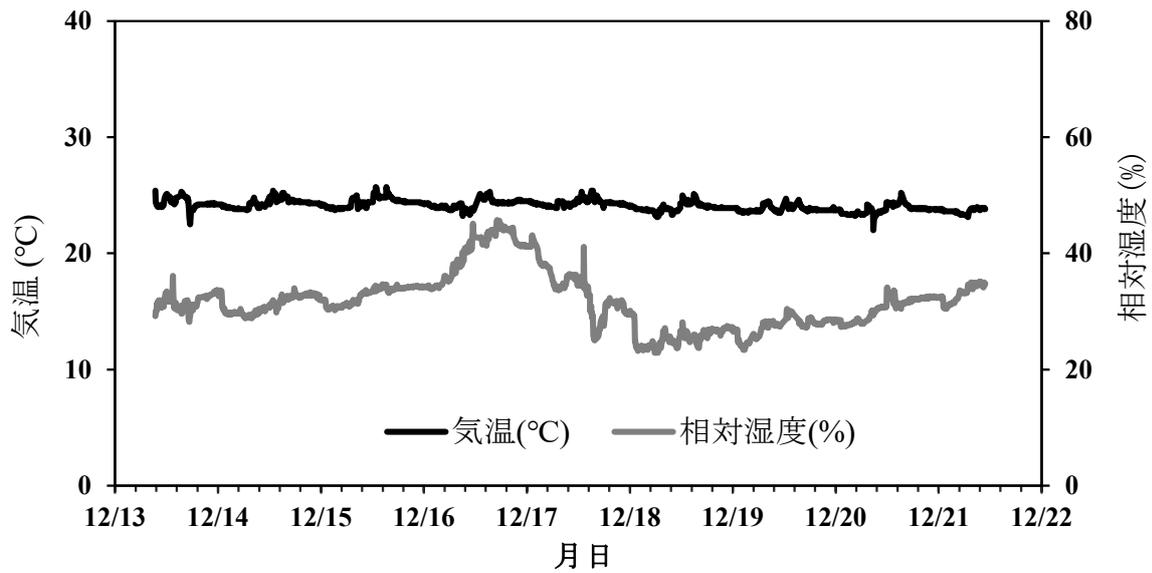
d 厨房内②の温湿度変化図



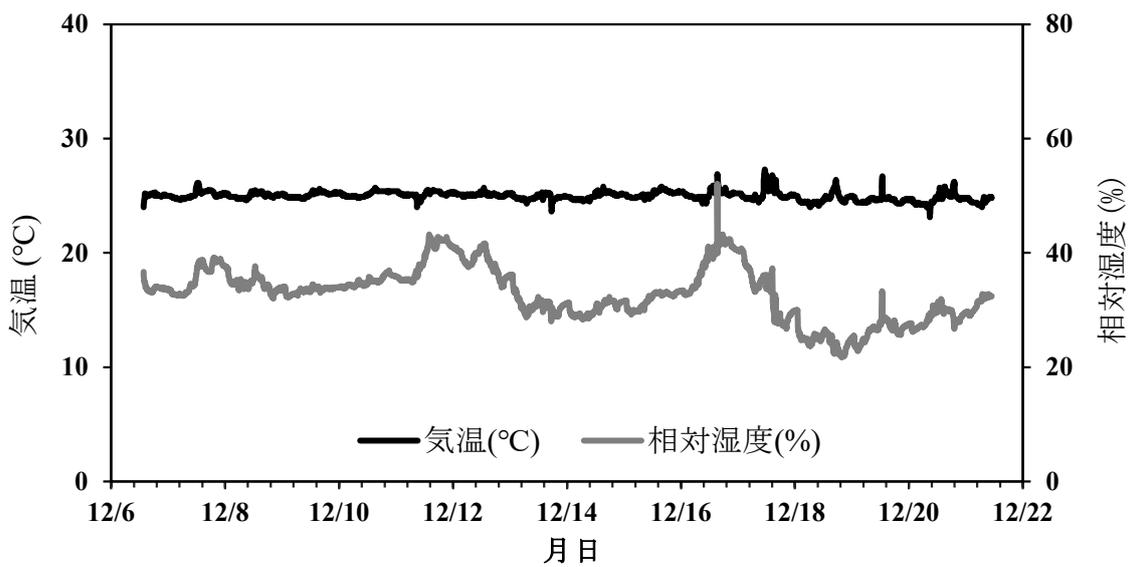
e 厨房外食堂の温湿度変化図



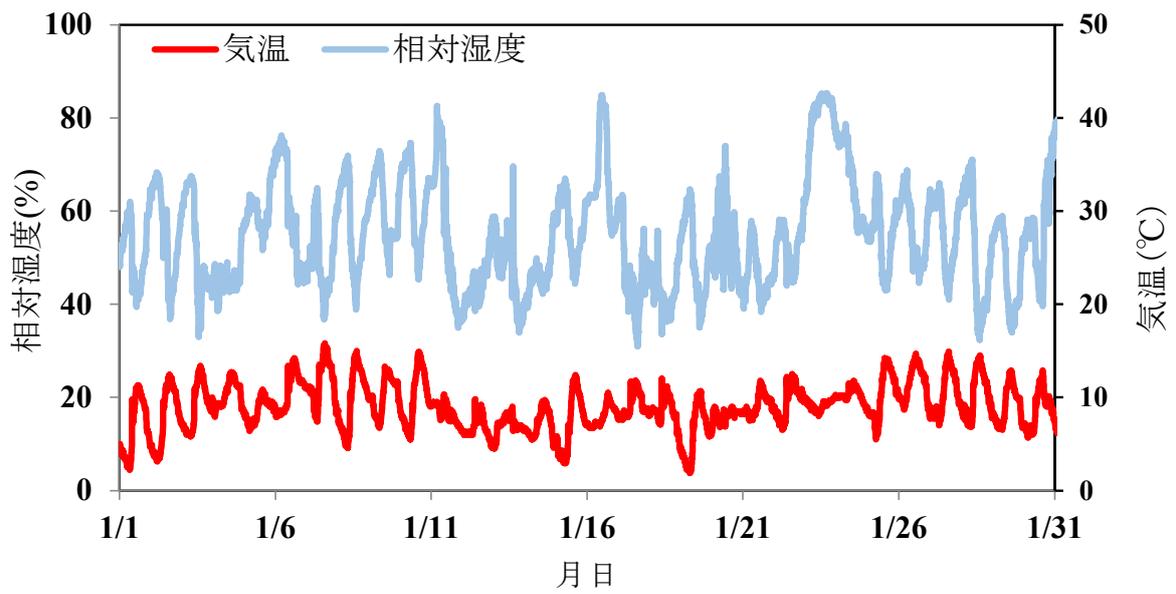
f 厨房外事務室の温湿度変化図



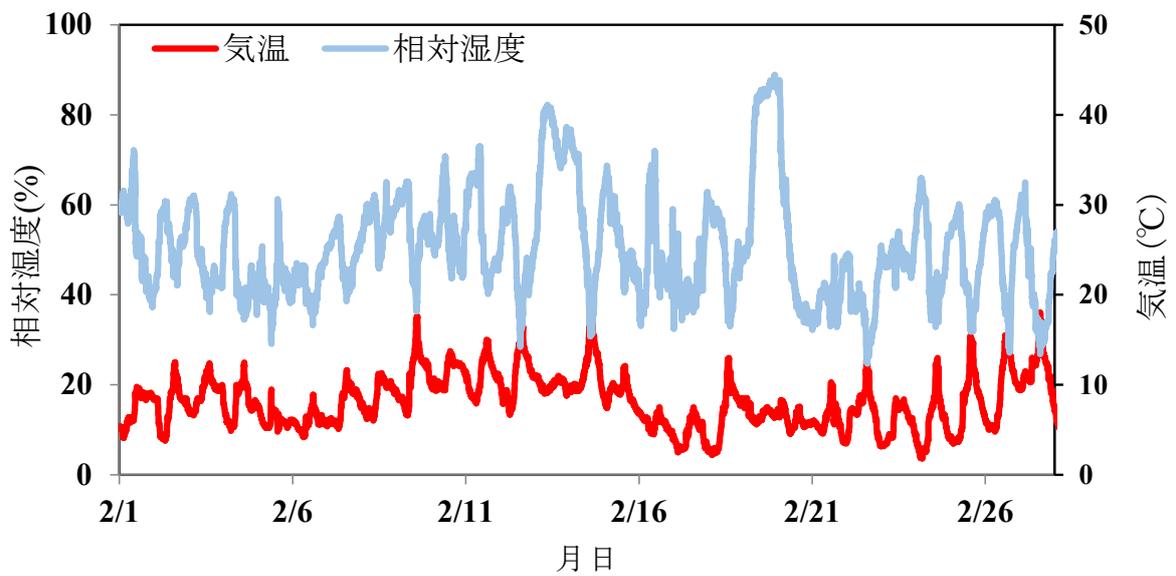
g 厨房外休憩室①の温湿度変化図



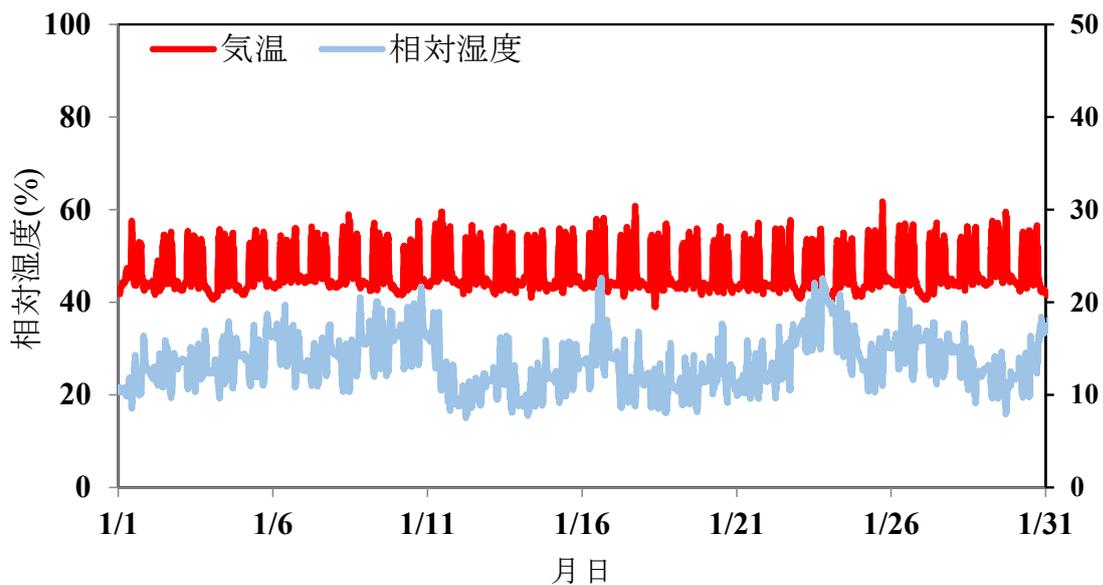
h 厨房外休憩室②の温湿度変化図



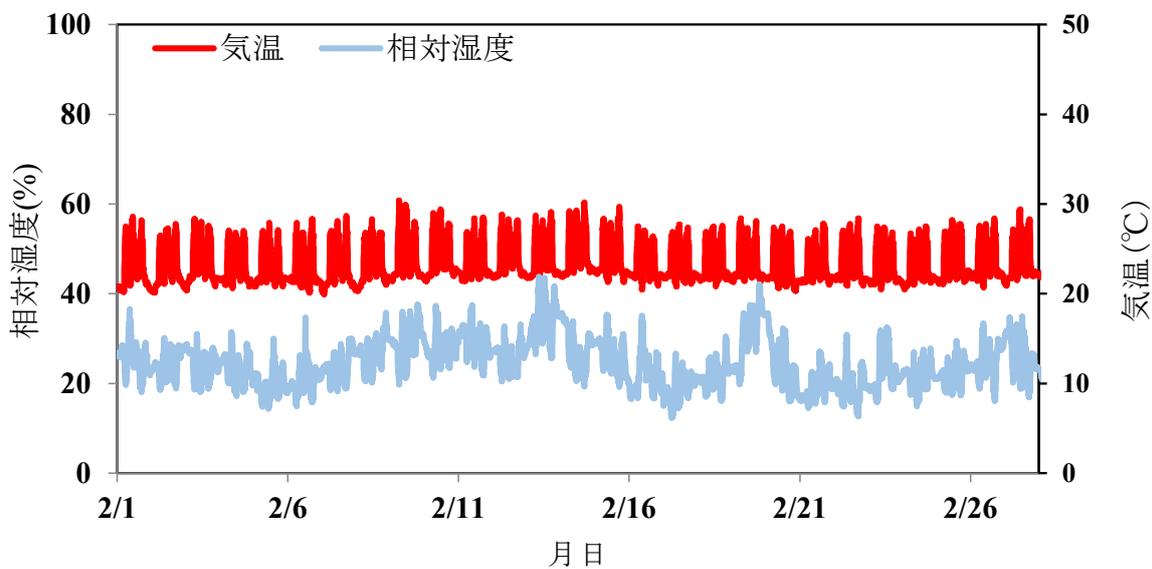
給食施設作業場（建屋外） 1月の温湿度変化図



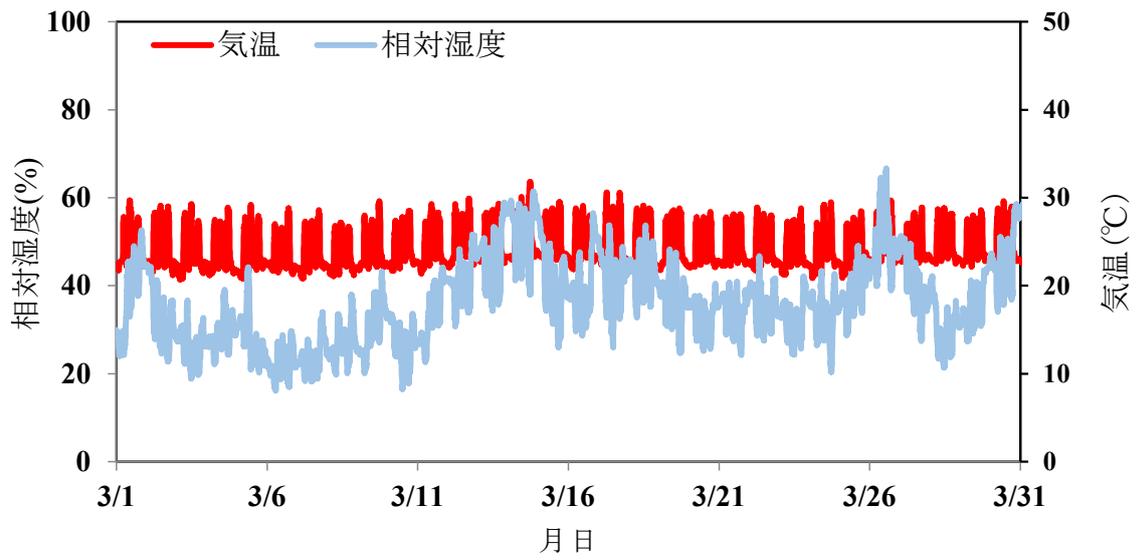
給食施設作業場（建屋外） 2月の温湿度変化図



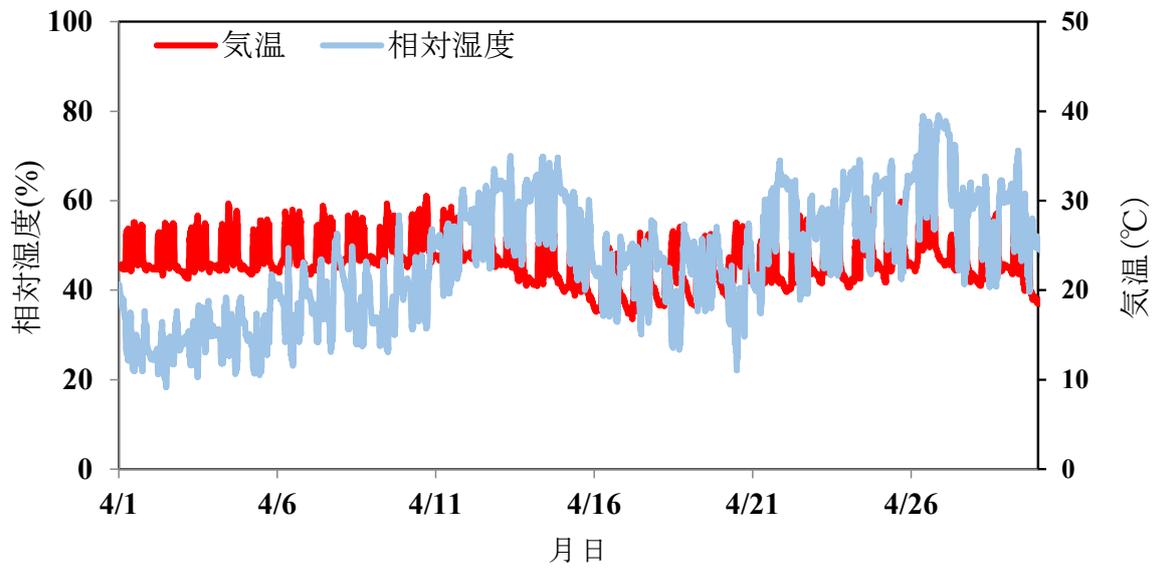
a 厨房内配膳室 1月の温湿度変化図



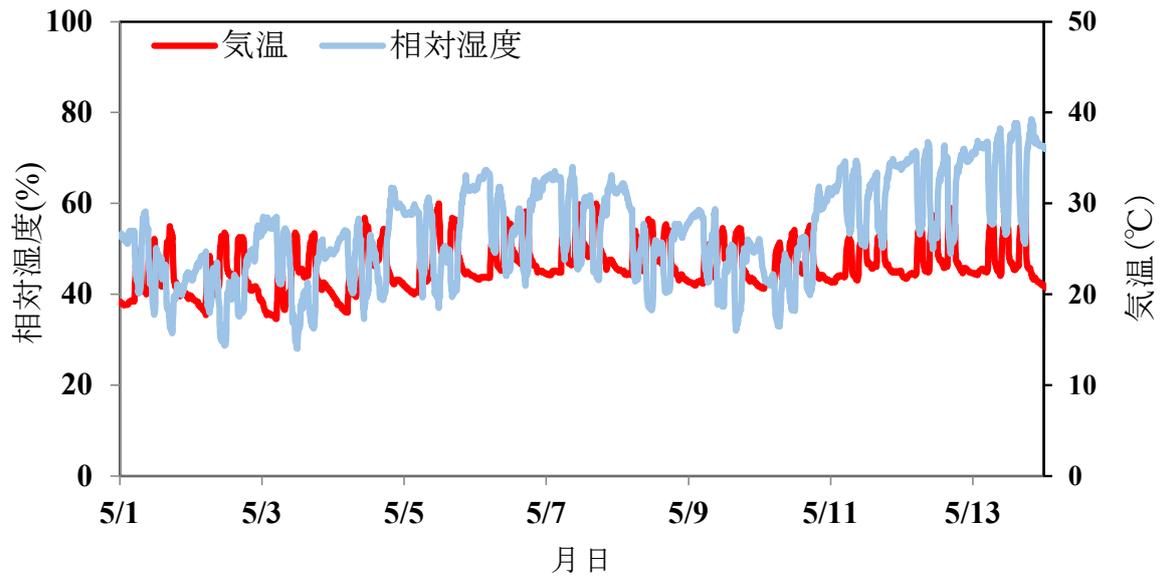
a 厨房内配膳室 2月の温湿度変化図



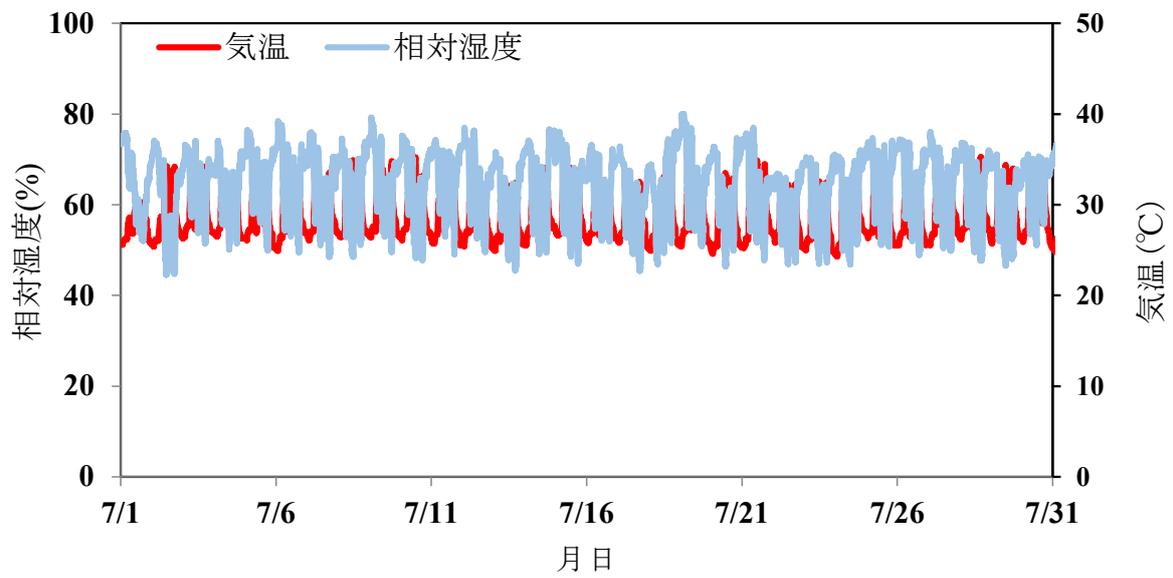
a 厨房内配膳室 3月の温湿度変化図



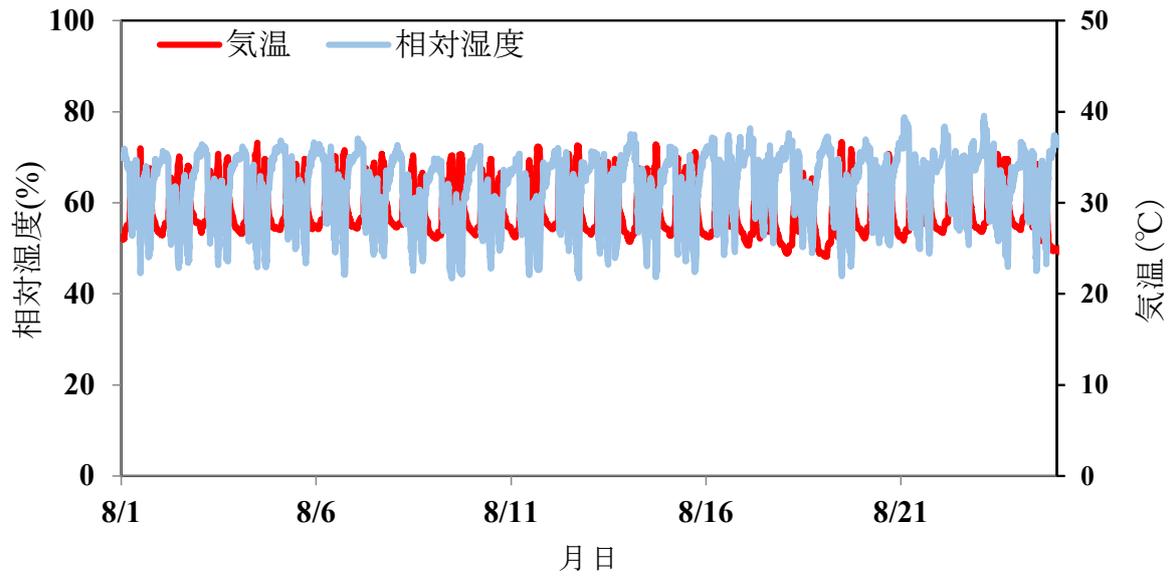
a 厨房内配膳室 4月の温湿度変化図



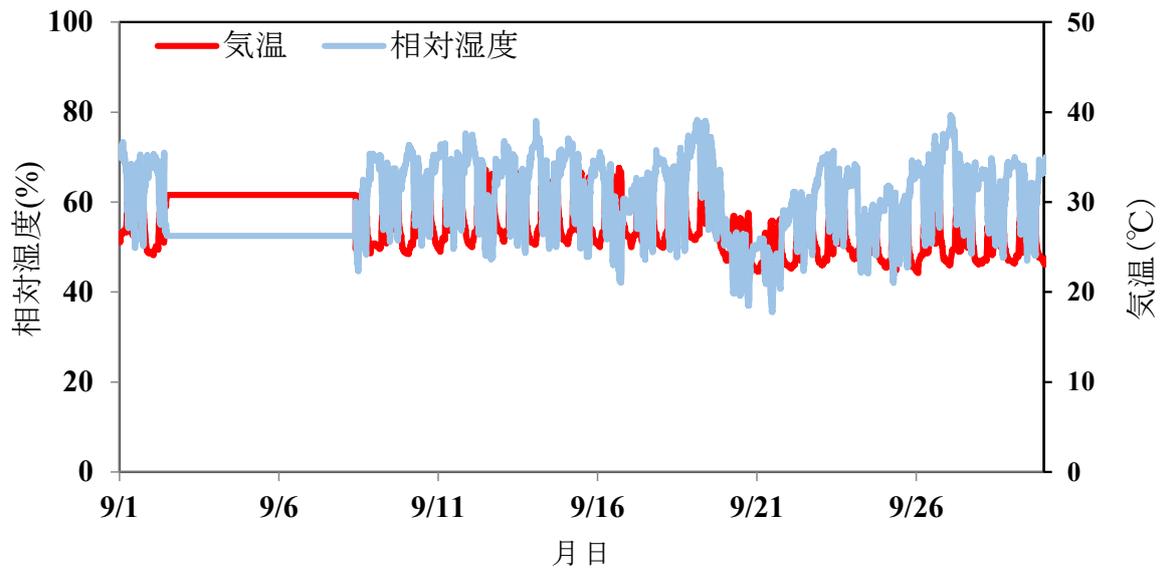
a 厨房内配膳室 5月の温湿度変化図



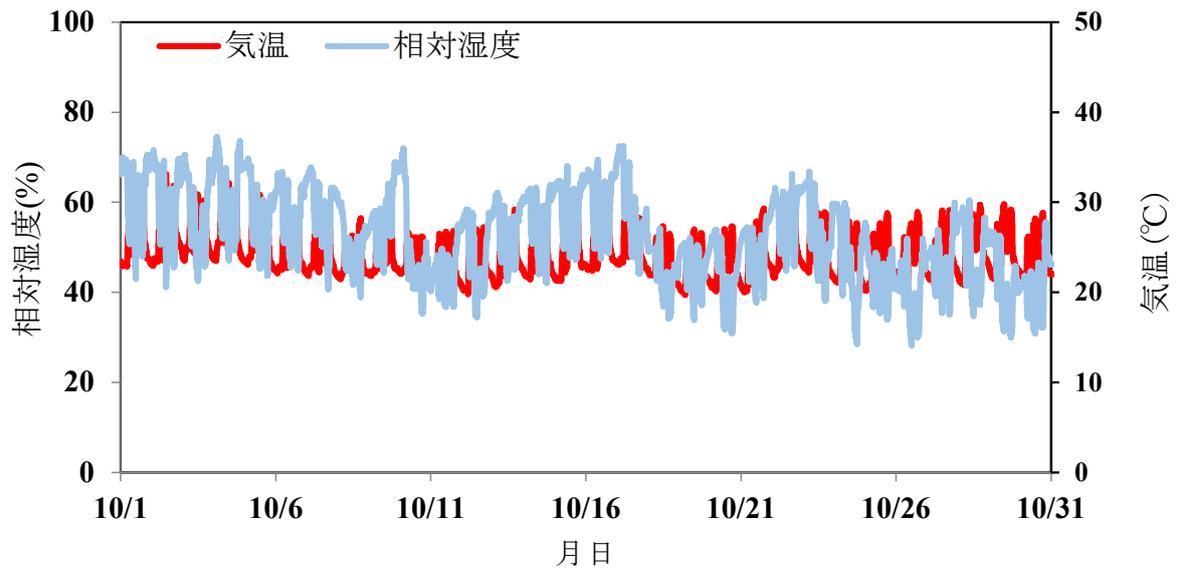
a 厨房内配膳室 7月の温湿度変化図



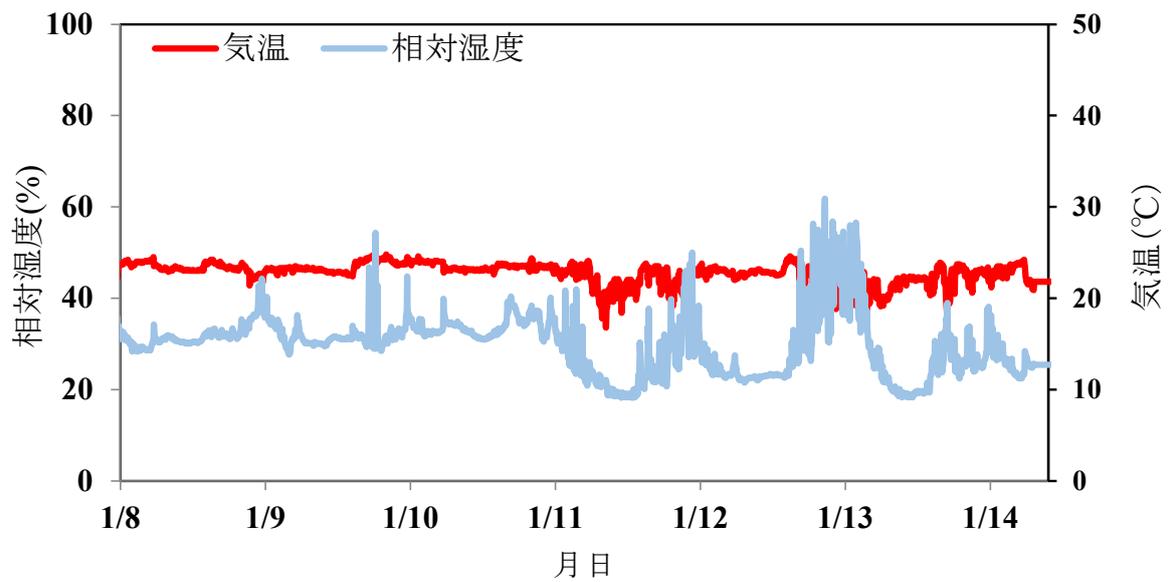
a 厨房内配膳室 8月の温湿度変化図



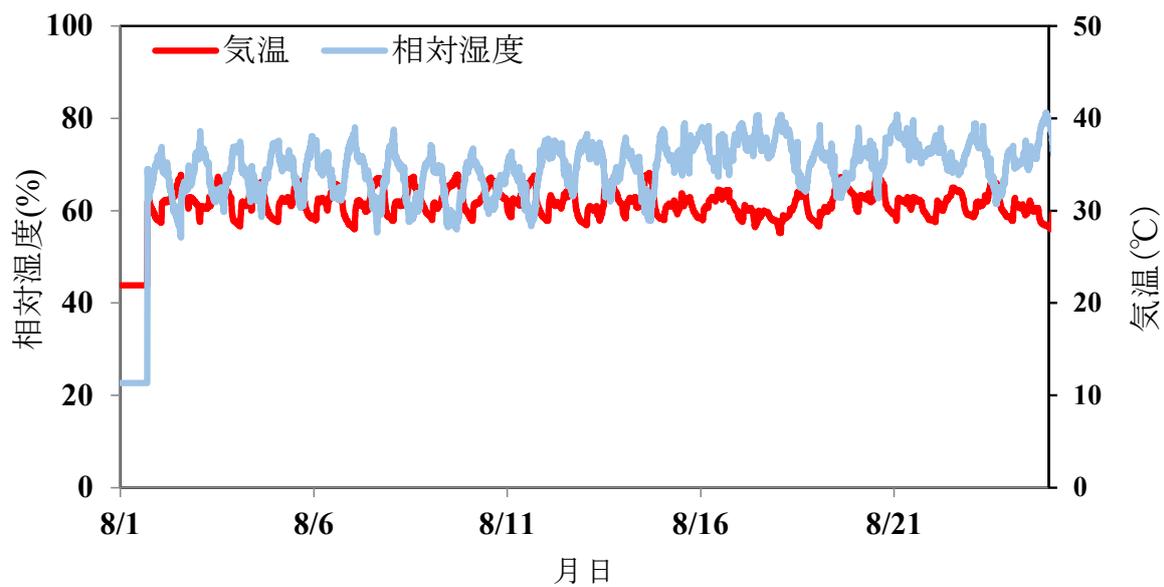
a 厨房内配膳室 9月の温湿度変化図



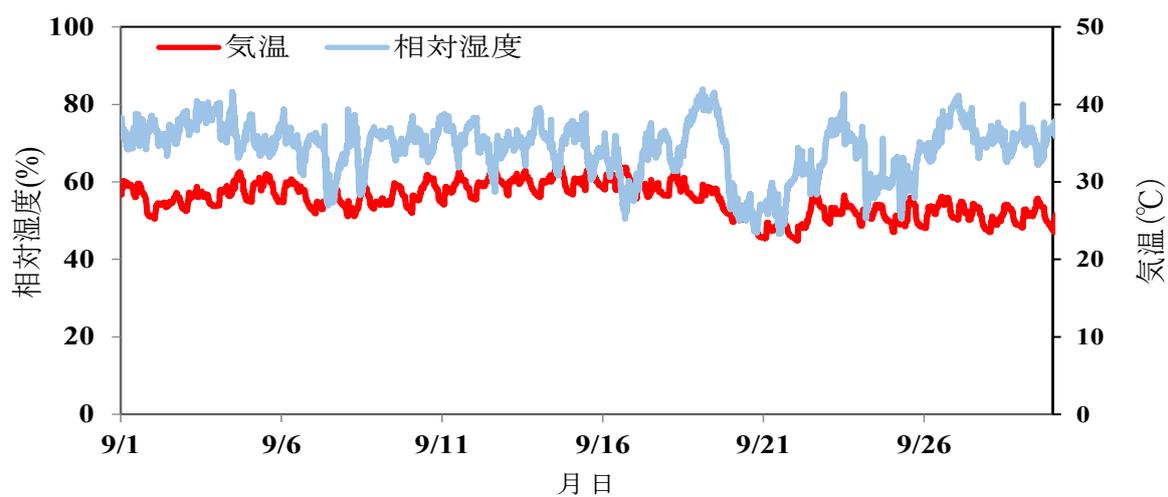
a 厨房内配膳室 10月の温湿度変化図



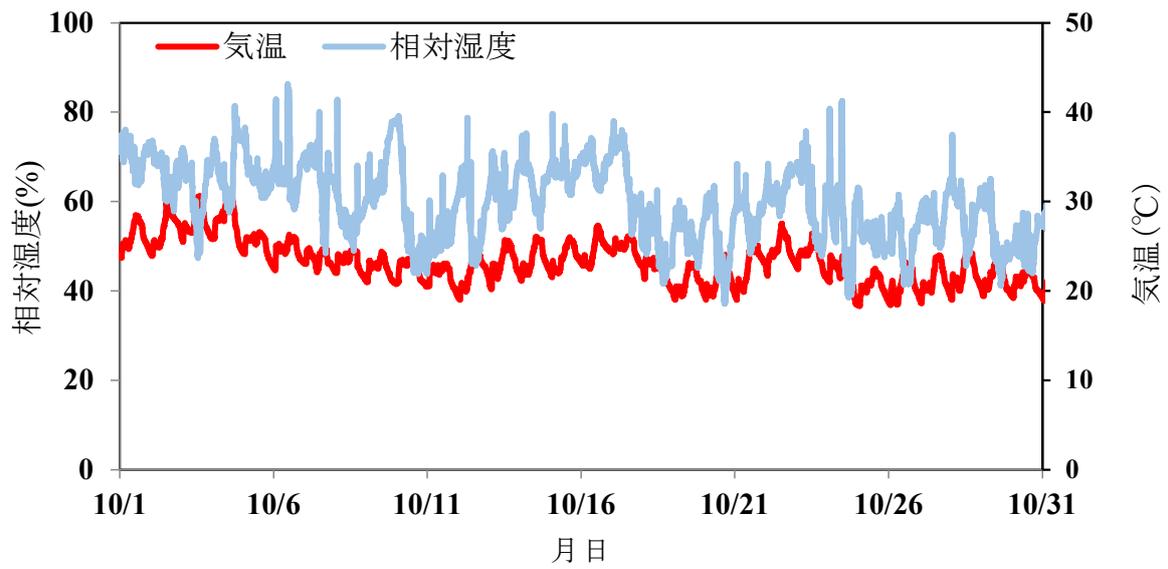
b 厨房内(スープ・ケトル) 1月の温湿度変化図



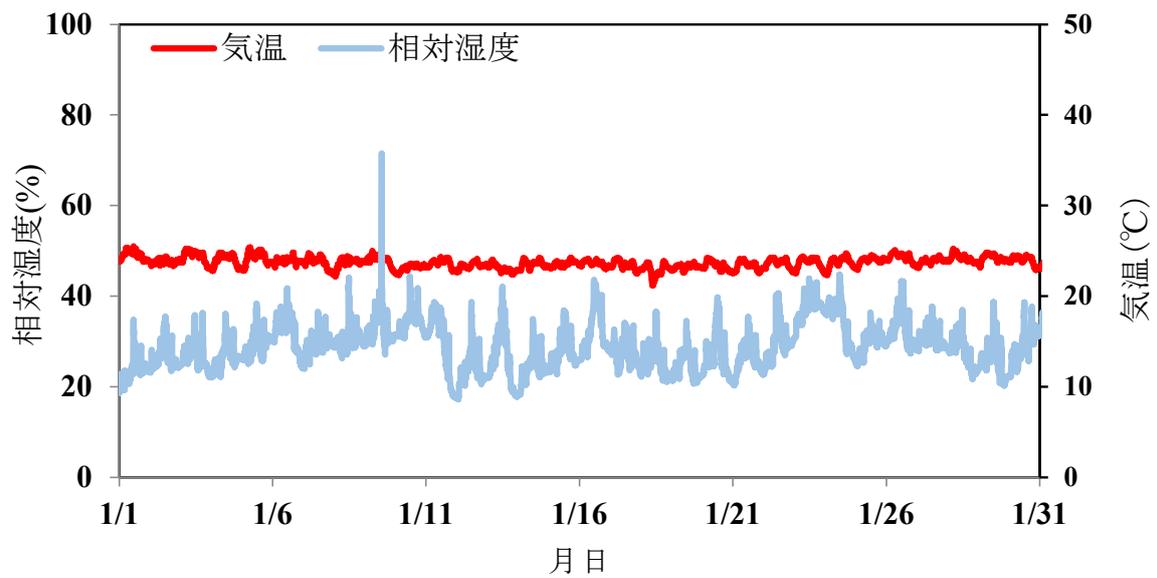
b 厨房内(スープ・ケトル) 8月の温湿度変化図



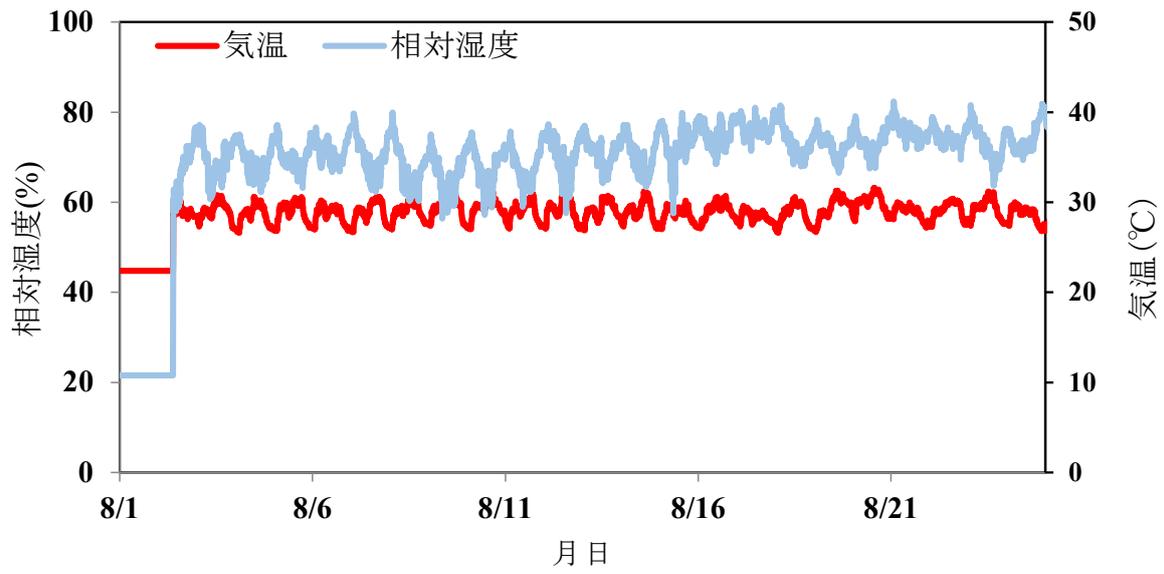
b 厨房内(スープ・ケトル) 9月の温湿度変化図



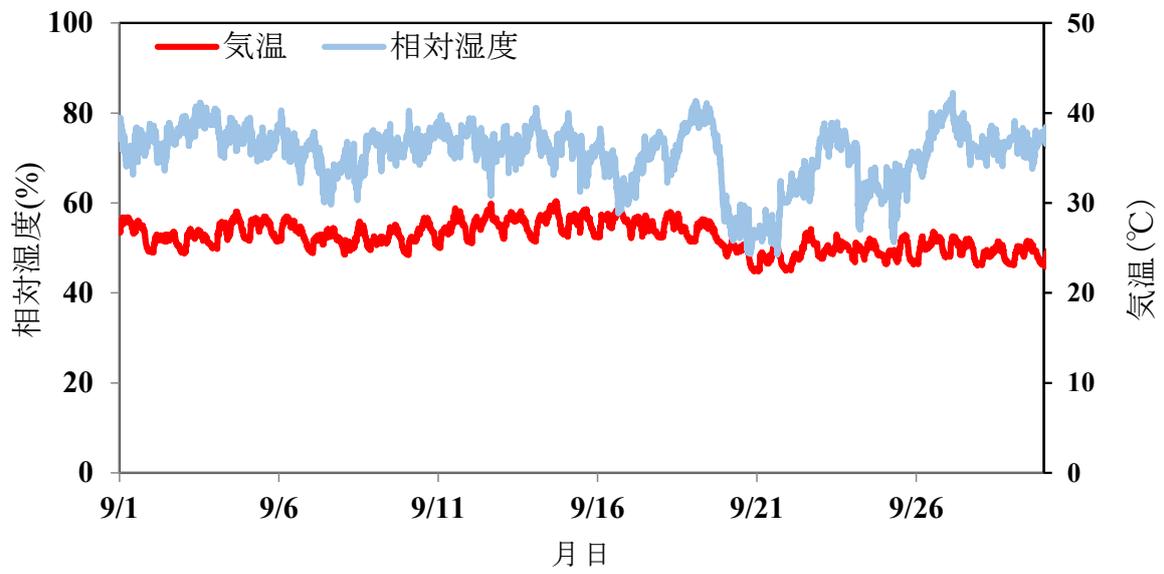
b 厨房内(スープ・ケトル)10月の温湿度変化図



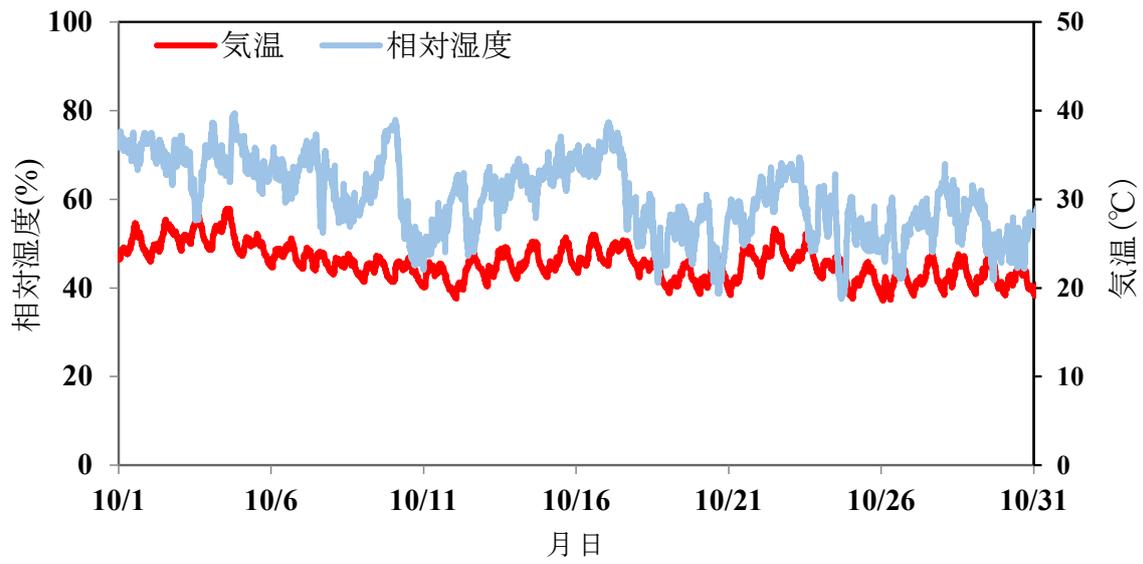
c 厨房内①1月の温湿度変化図



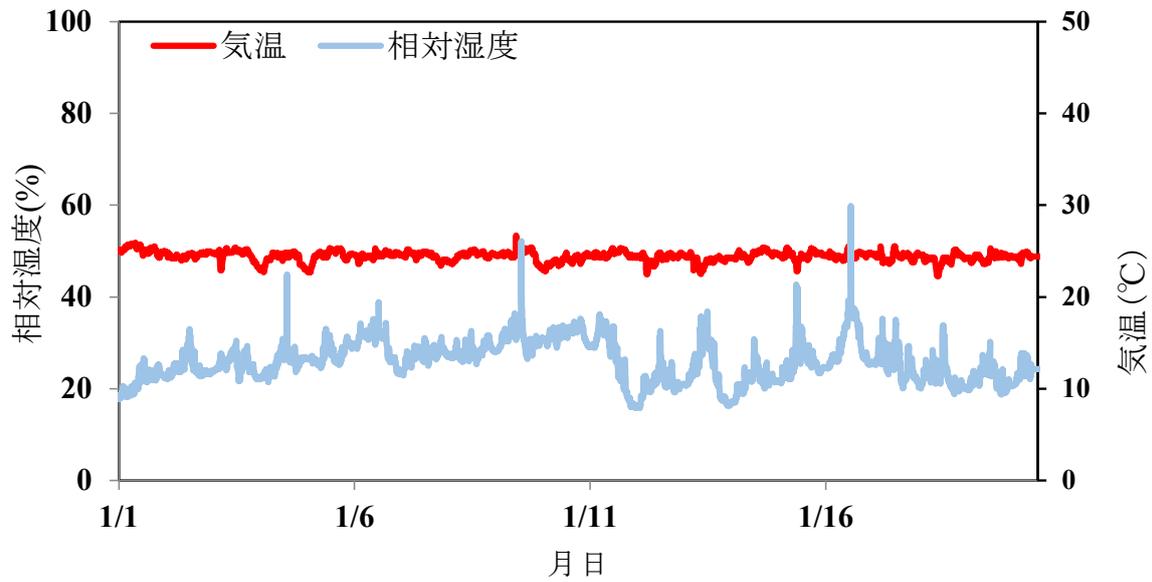
c 厨房内①8月の温湿度変化図



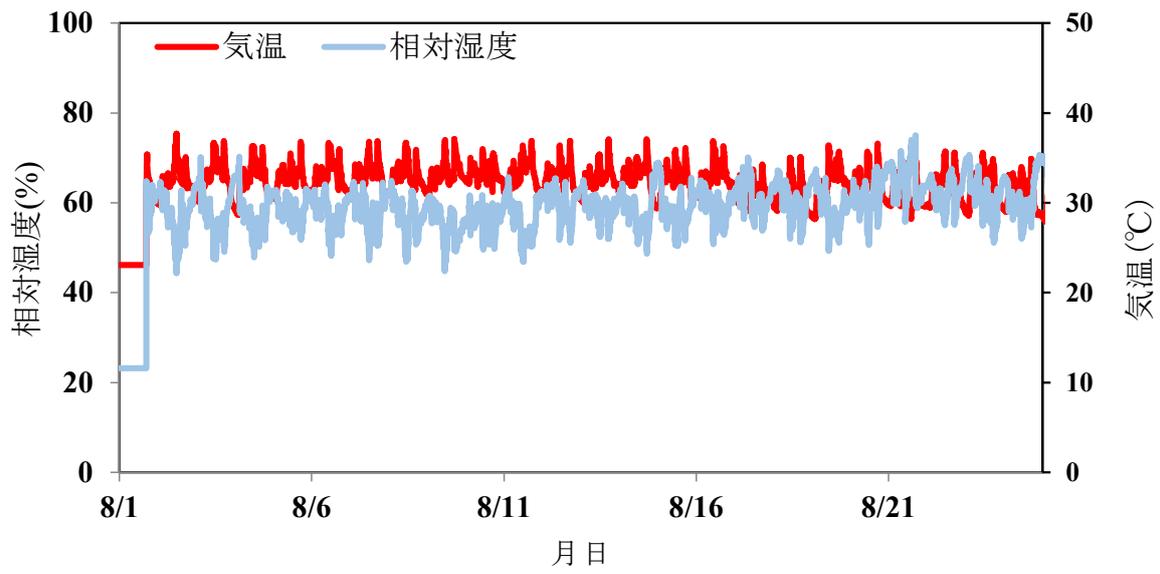
c 厨房内①9月の温湿度変化図



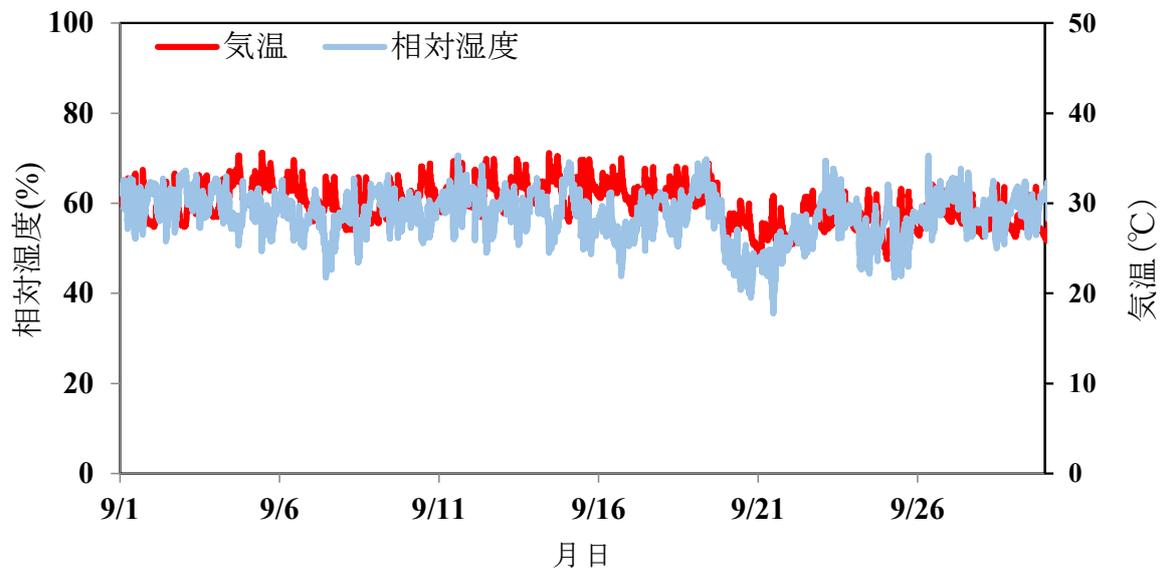
c 厨房内①10月の温湿度変化図



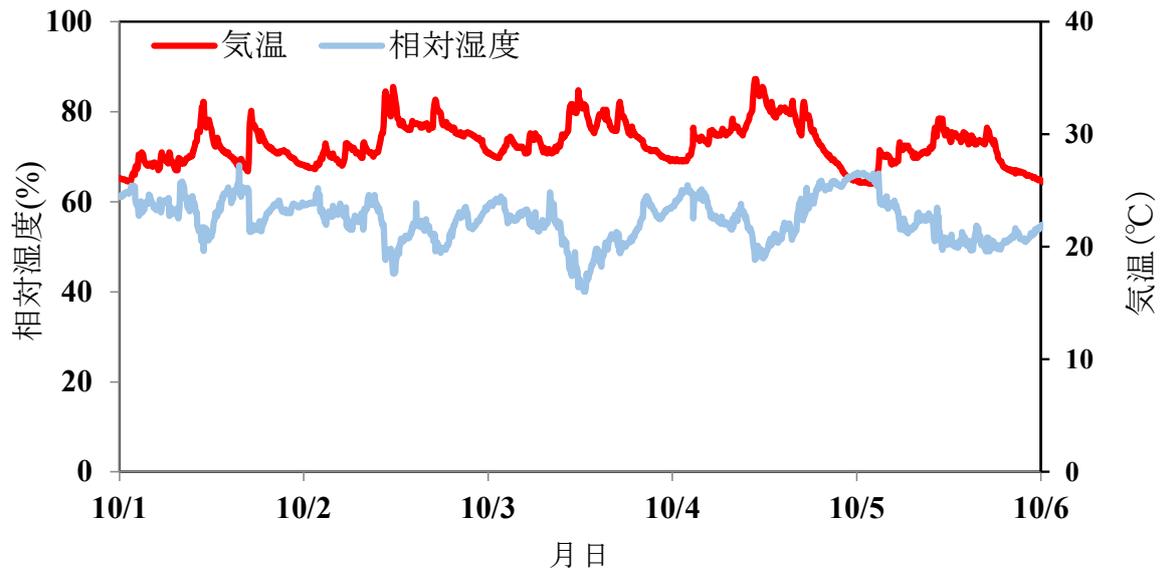
d 厨房内②1月の温湿度変化図



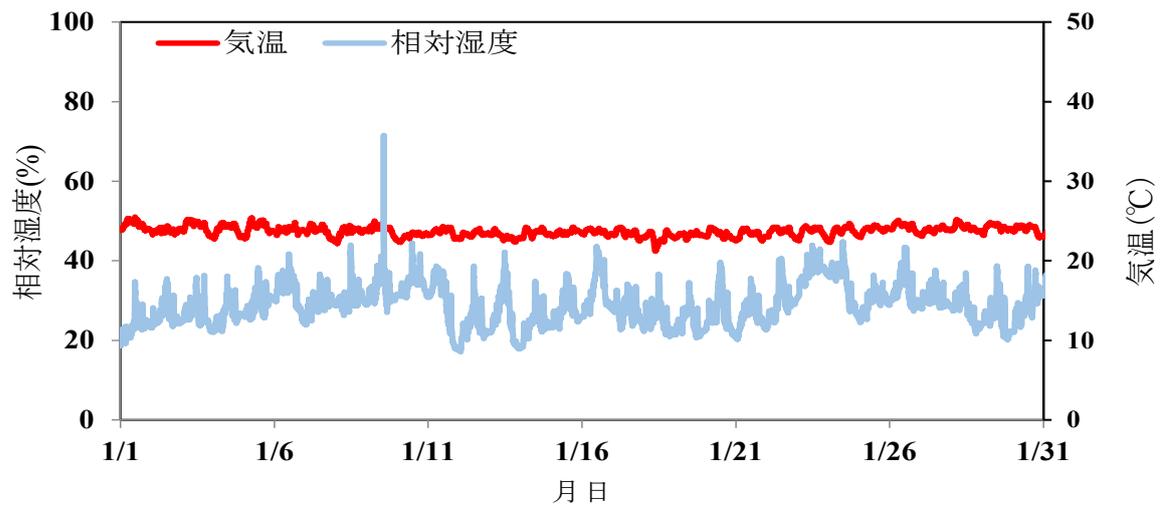
d 厨房内②8月の温湿度変化図



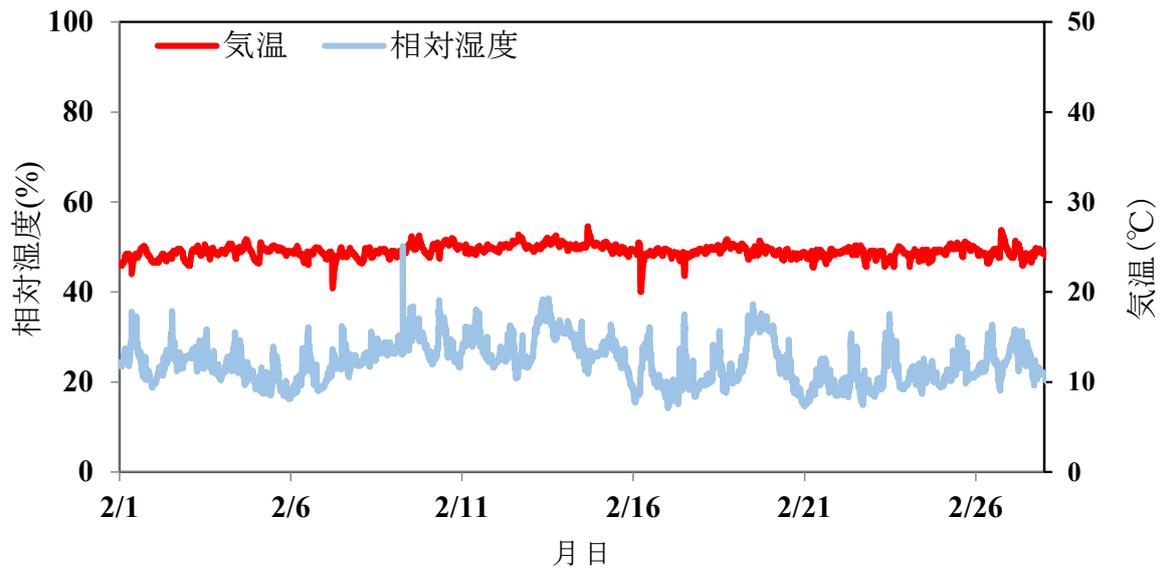
d 厨房内②9月の温湿度変化図



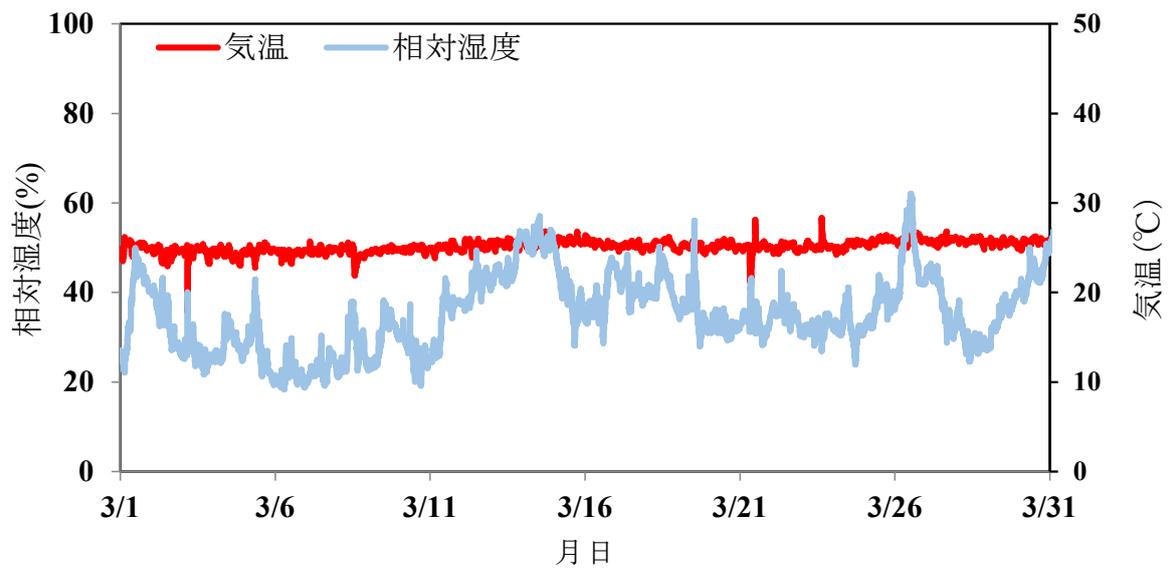
d 厨房内②10月の温湿度変化図



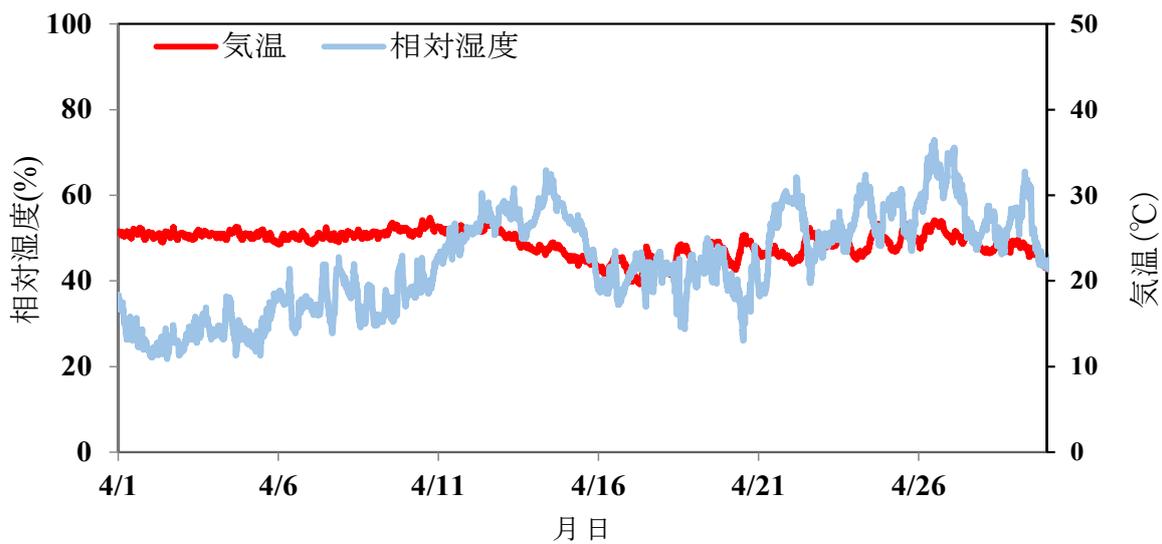
e 厨房外食堂1月の温湿度変化図



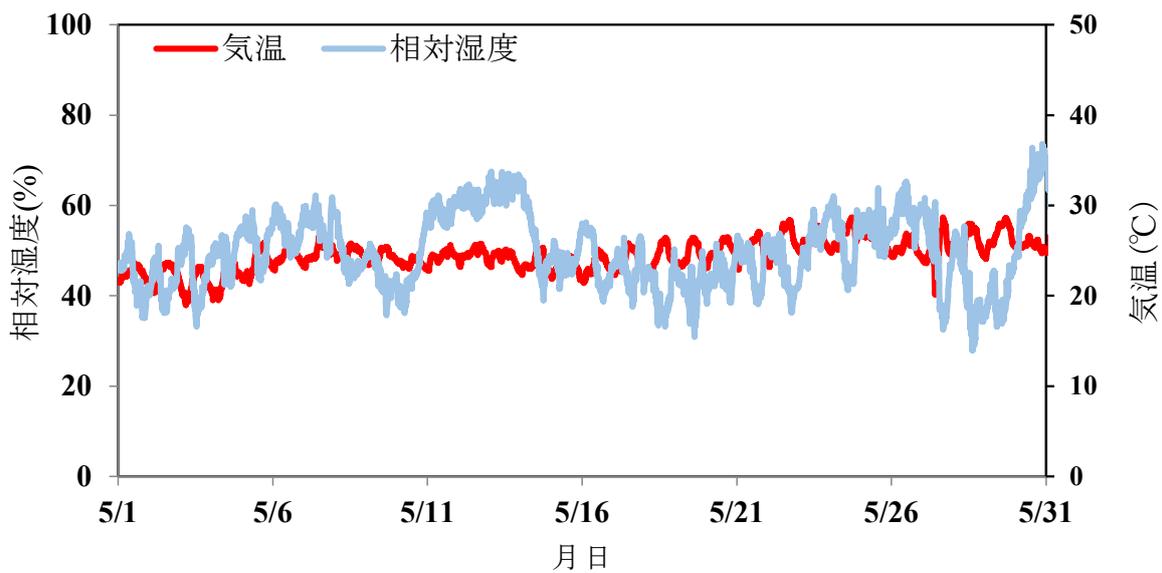
e 厨房外食堂 2 月の温湿度変化図



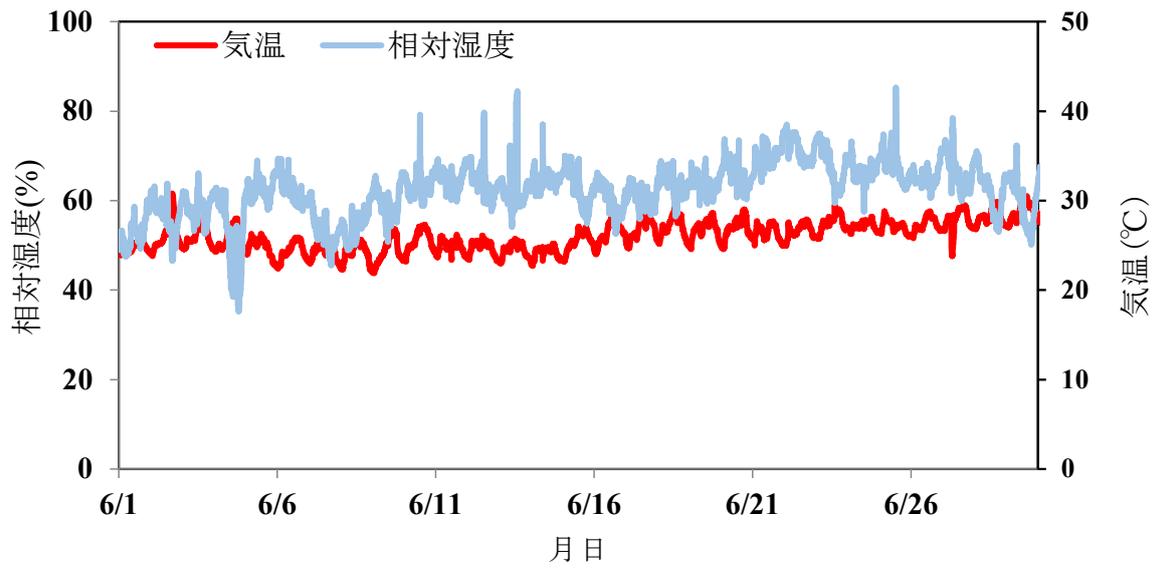
e 厨房外食堂 3 月の温湿度変化図



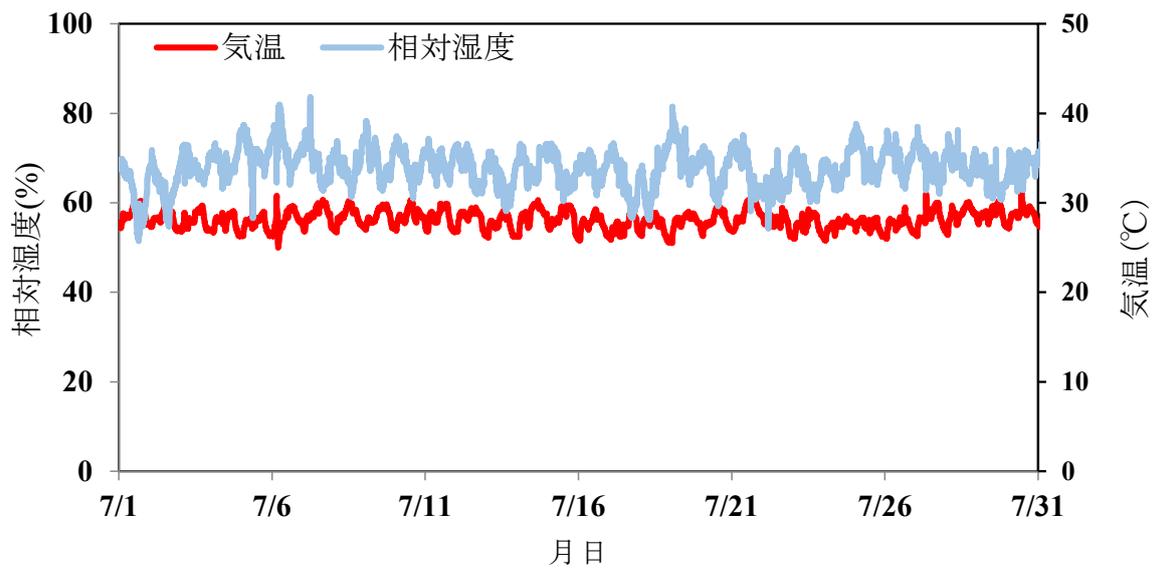
e 厨房外食堂 4月の温湿度変化図



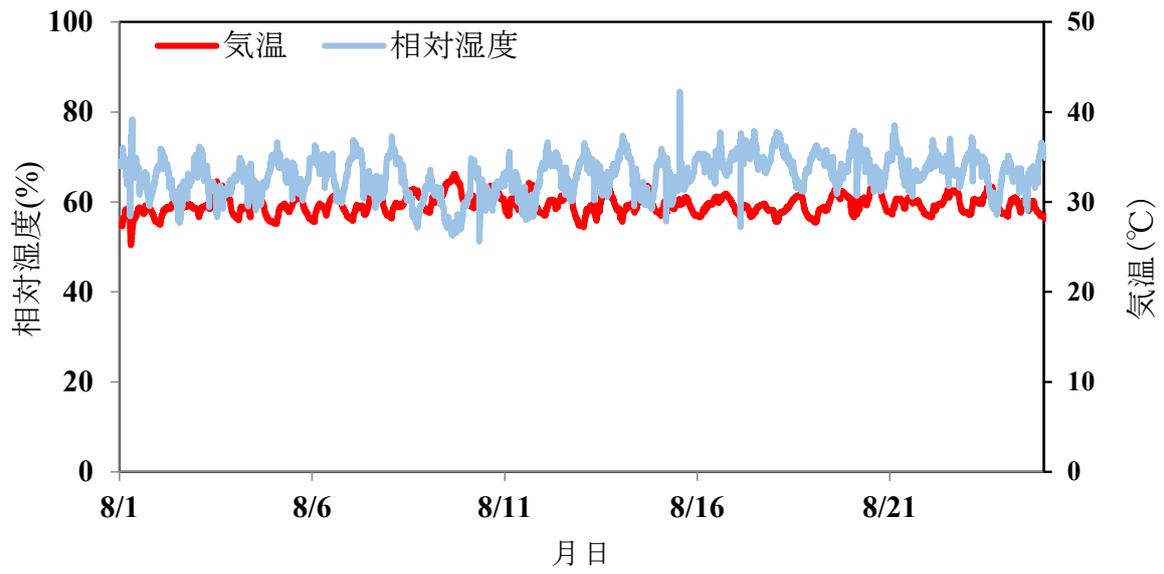
e 厨房外食堂 5月の温湿度変化図



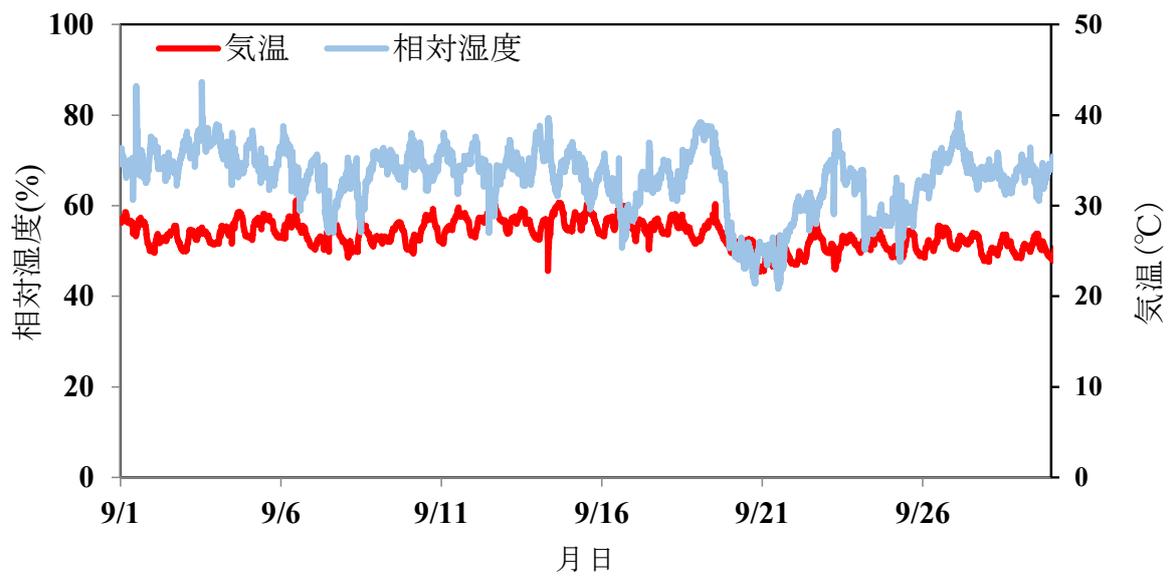
e 厨房外食堂 6月の温湿度変化図



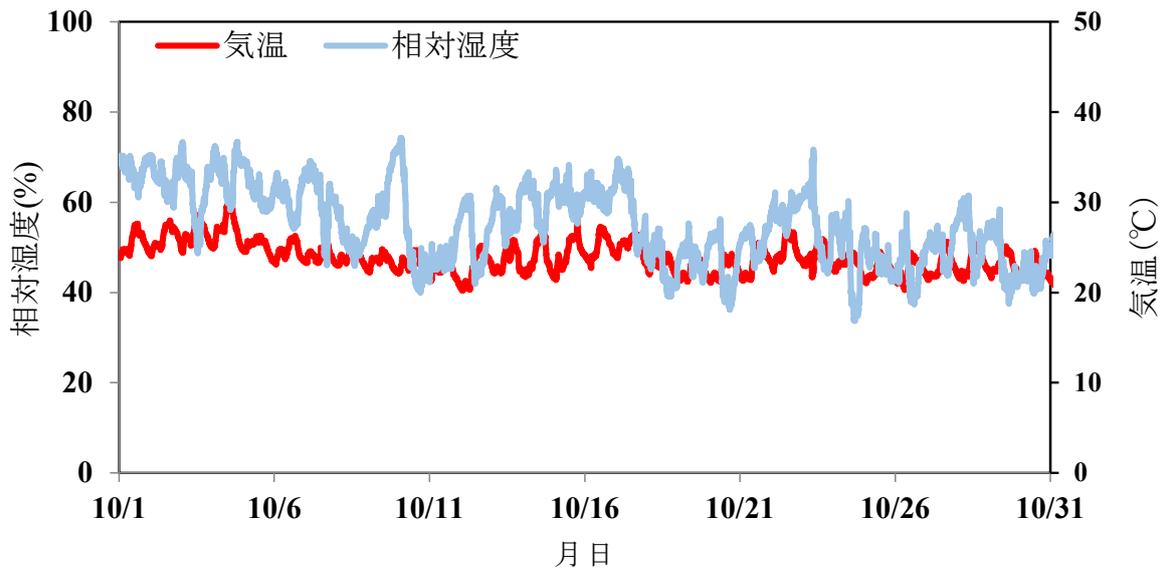
e 厨房外食堂 7月の温湿度変化図



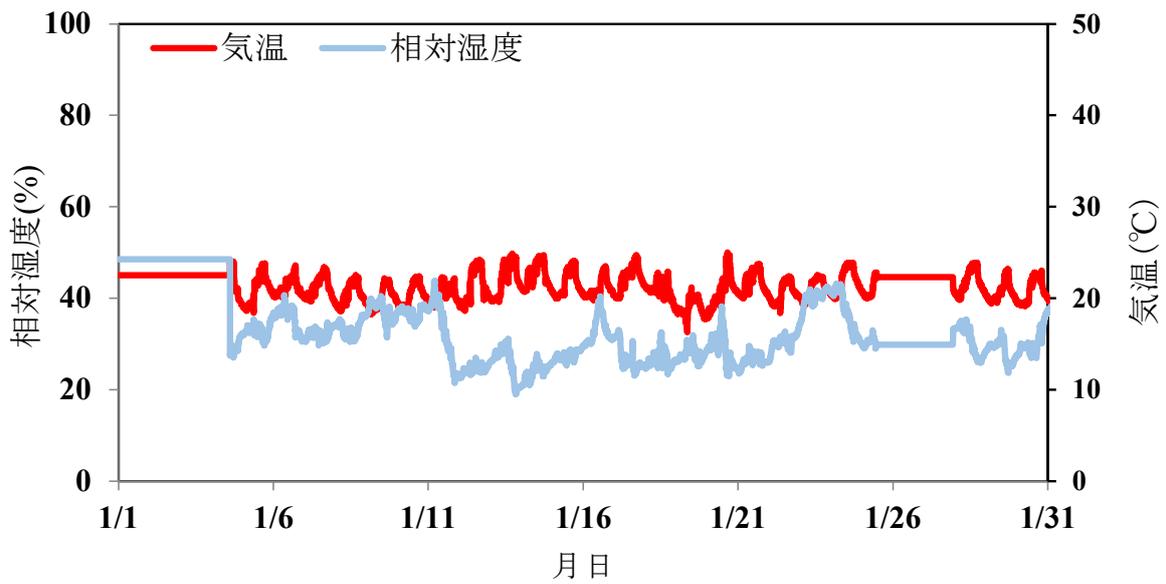
e 厨房外食堂 8月の温湿度変化図



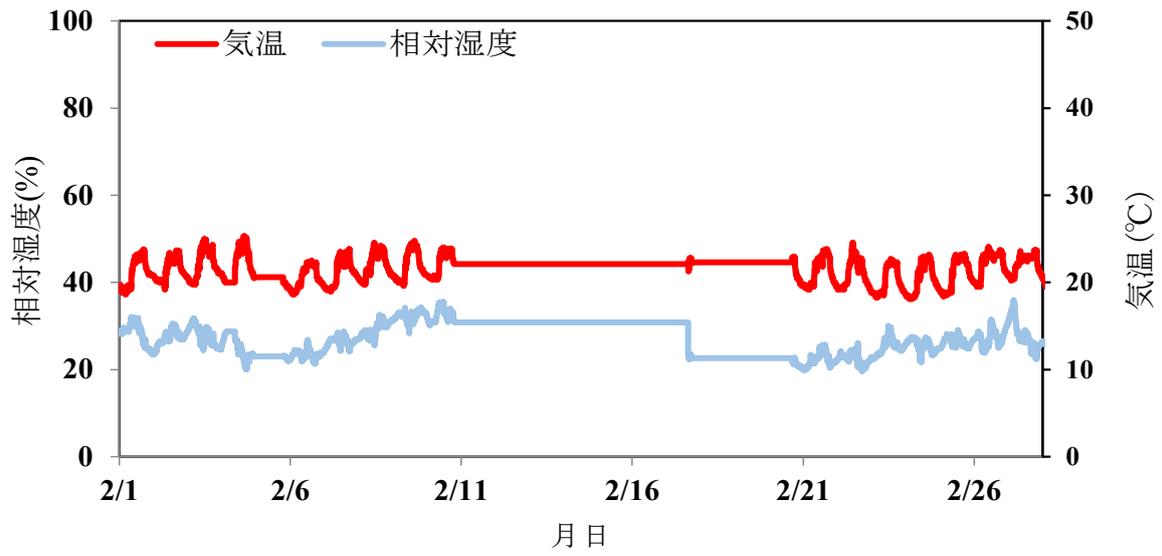
e 厨房外食堂 9月の温湿度変化図



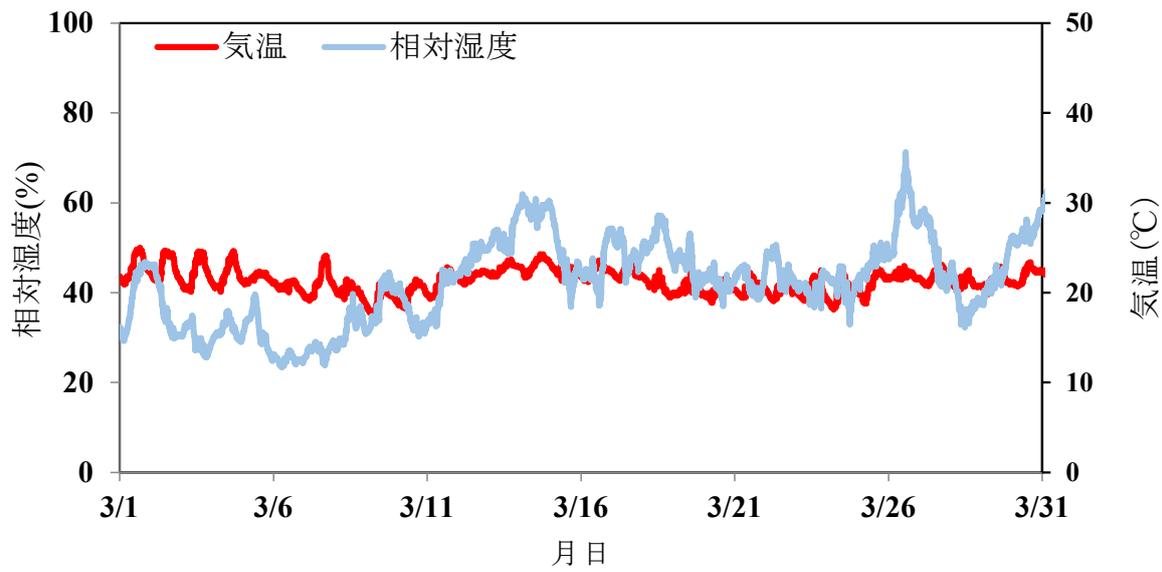
e 厨房外食堂 10月の温湿度変化図



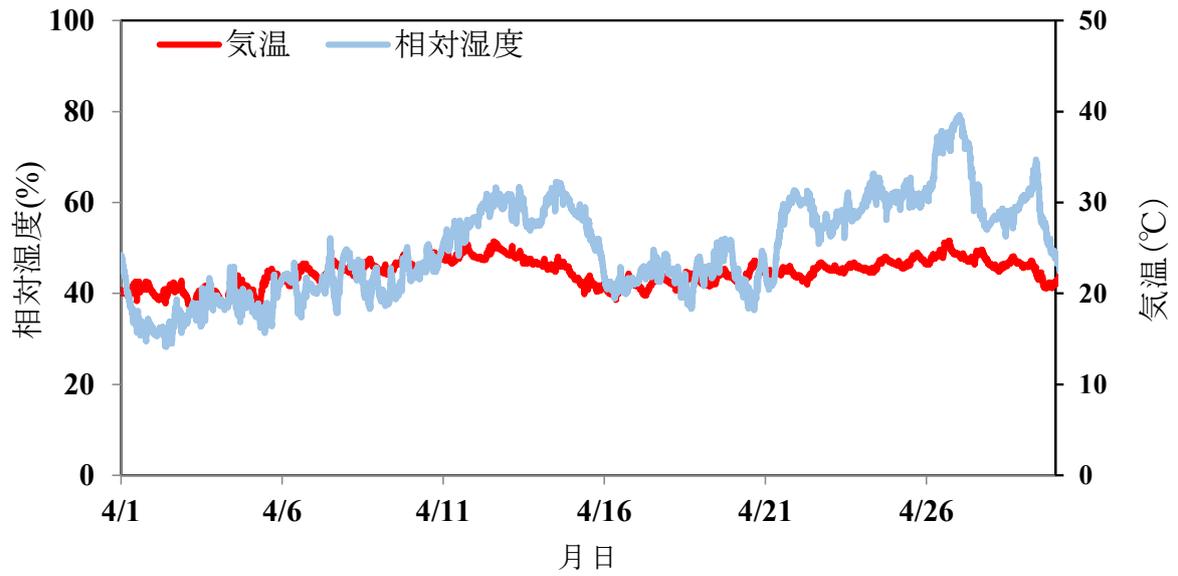
f 厨房外事務室 1月の温湿度変化図



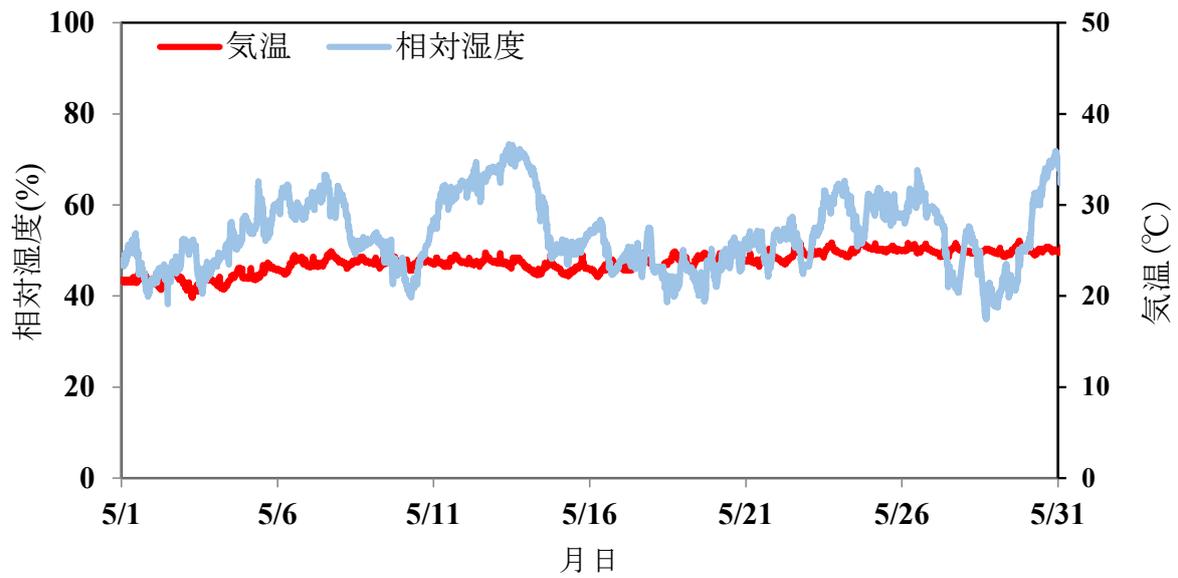
f 厨房外事務室 2 月の温湿度変化図



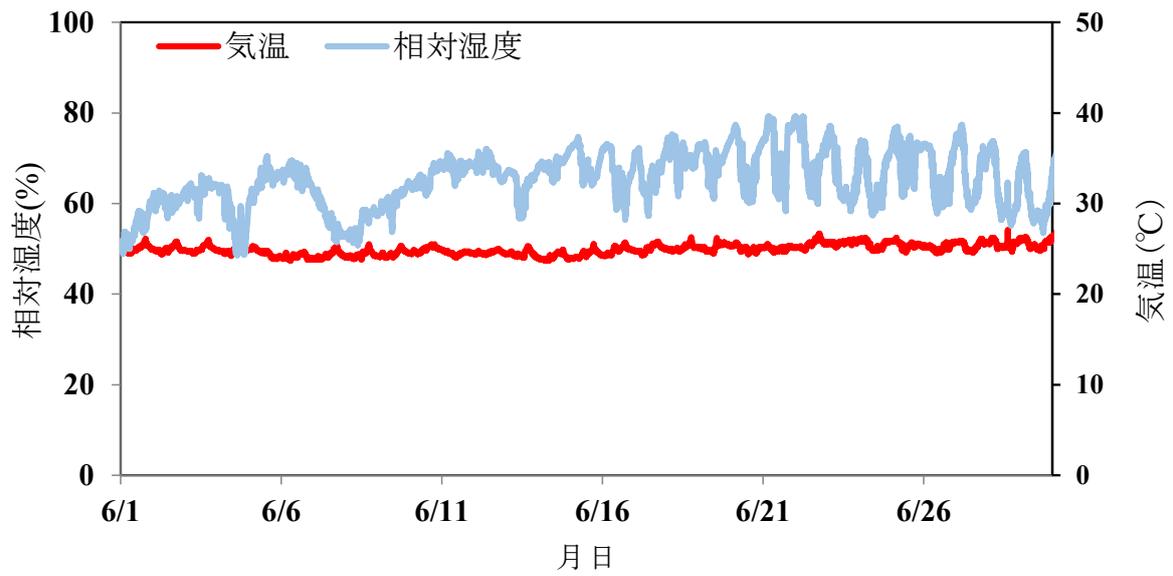
f 厨房外事務室 3 月の温湿度変化図



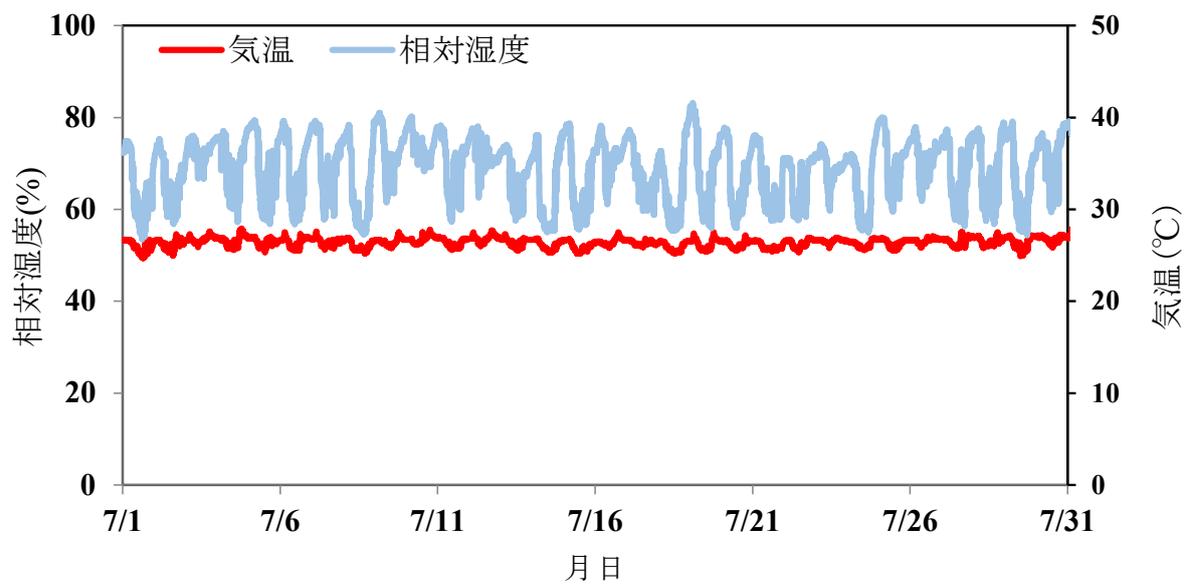
f 厨房外事務室 4月の温湿度変化図



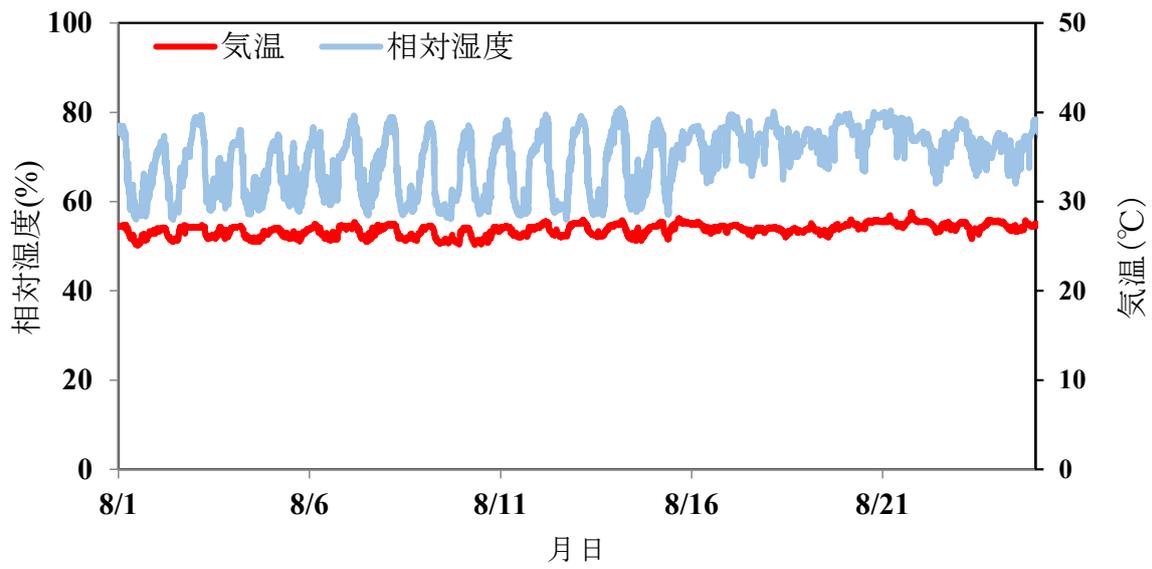
f 厨房外事務室 5月の温湿度変化図



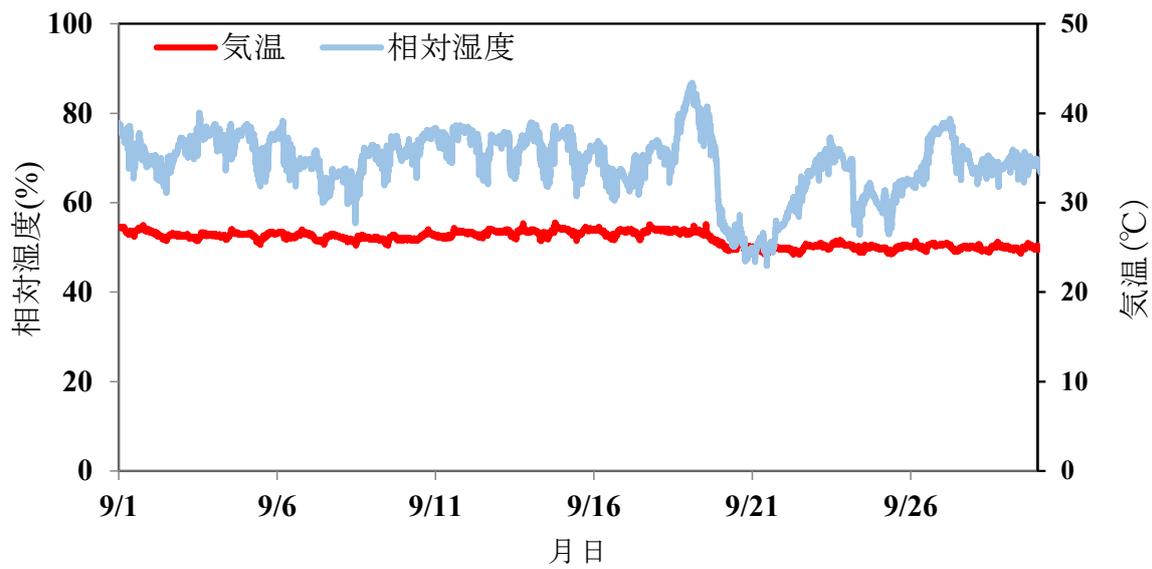
f 厨房外事務室 6月の温湿度変化図



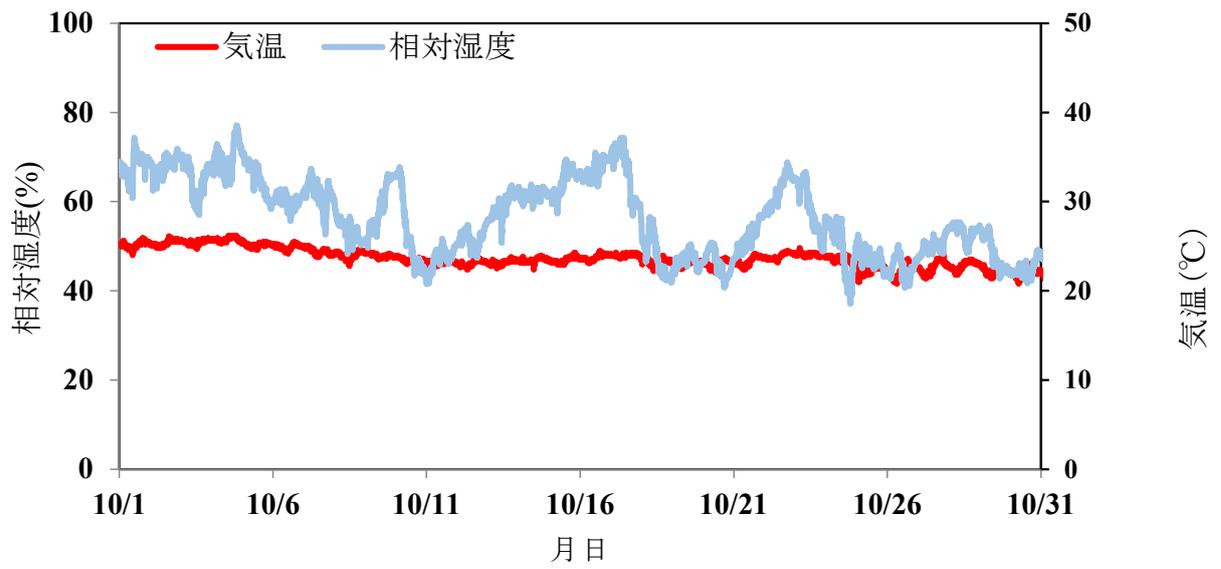
f 厨房外事務室 7月の温湿度変化図



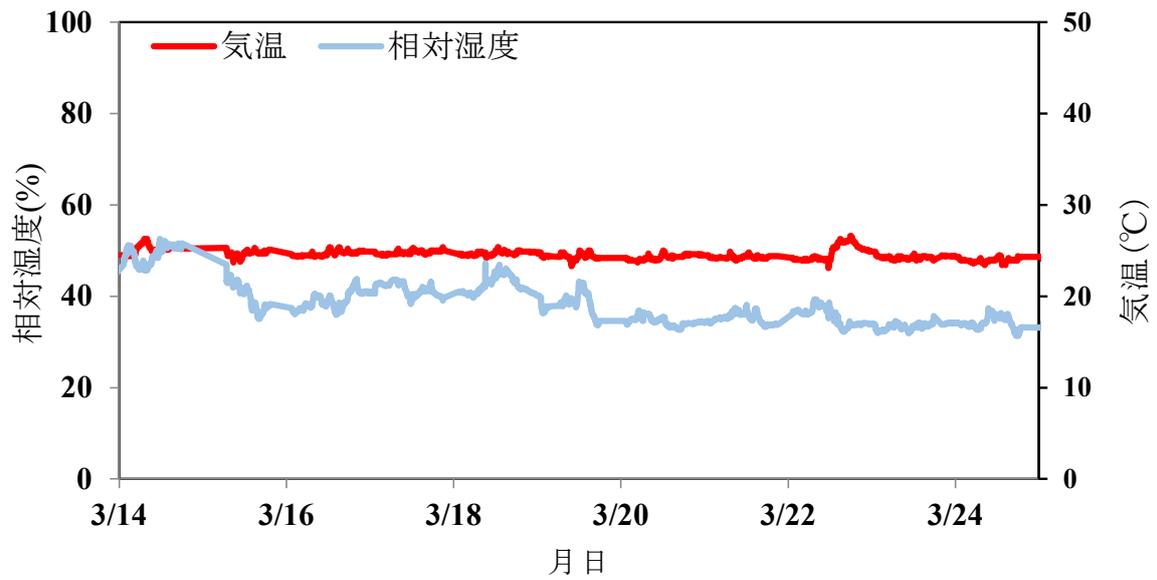
f 厨房外事務室 8月の温湿度変化図



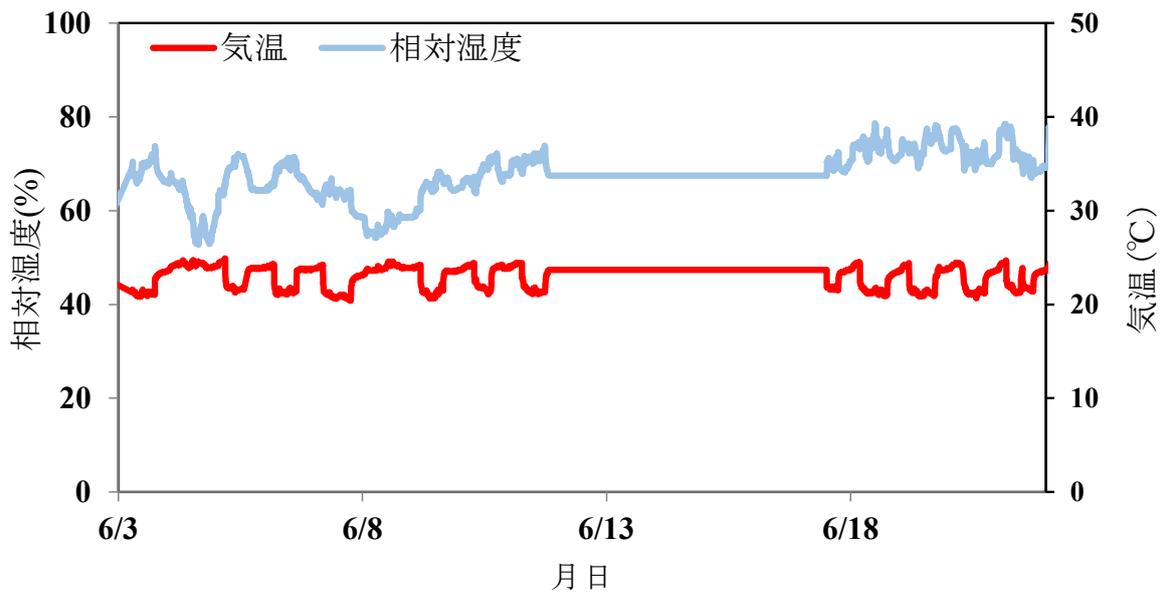
f 厨房外事務室 9月の温湿度変化図



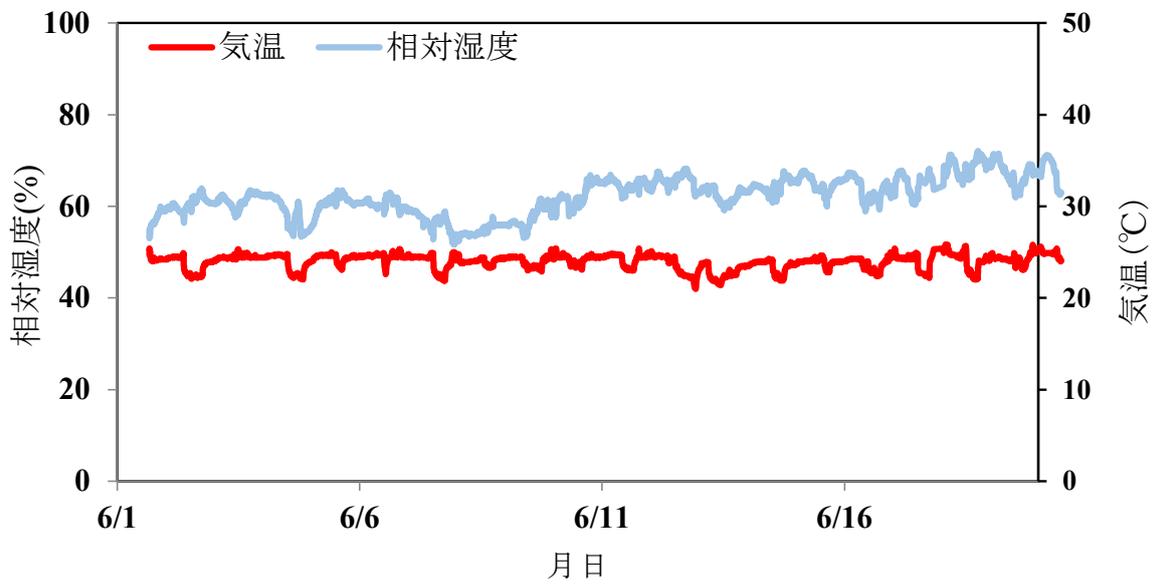
f 厨房外事務室 10 月の温湿度変化図



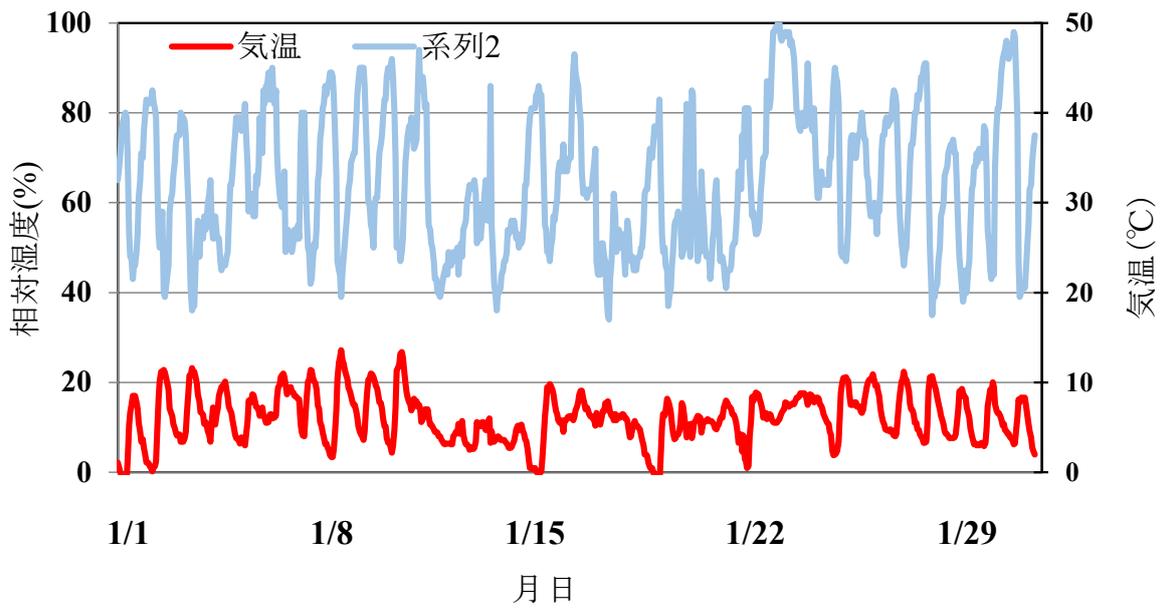
g 休憩室 3 月の温湿度変化図



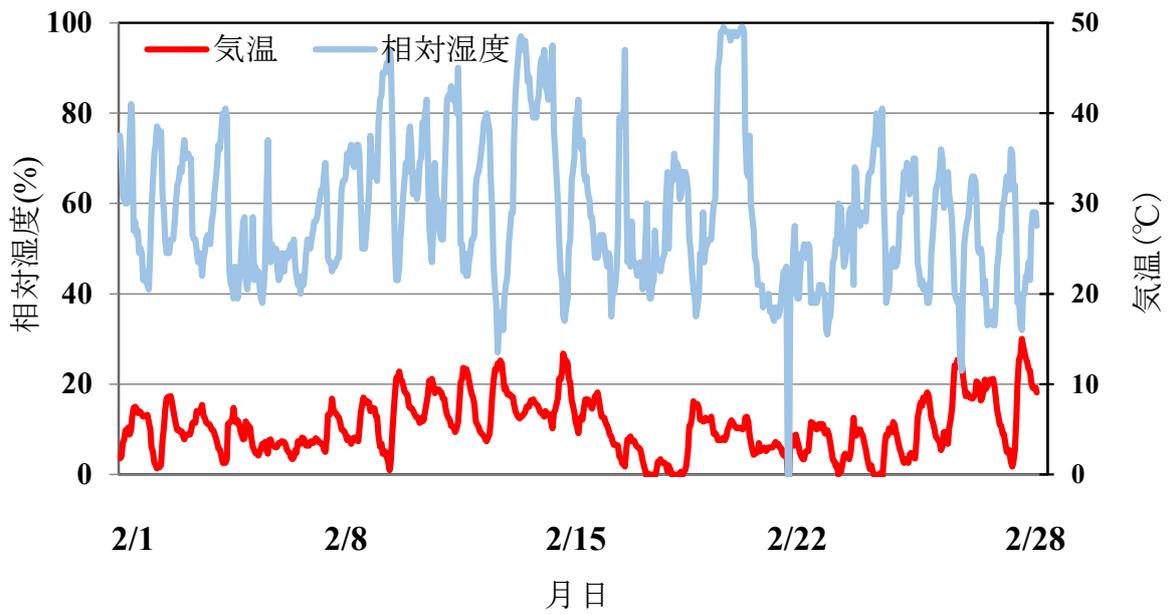
g 休憩室 6月の温湿度変化図



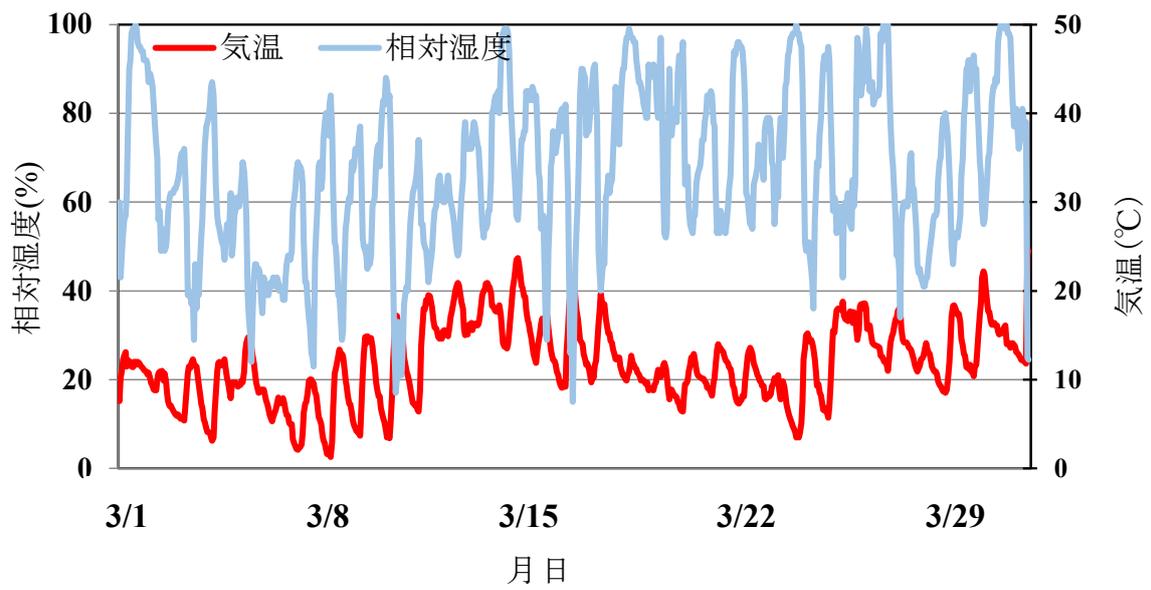
h 休憩室 6月の温湿度変化図



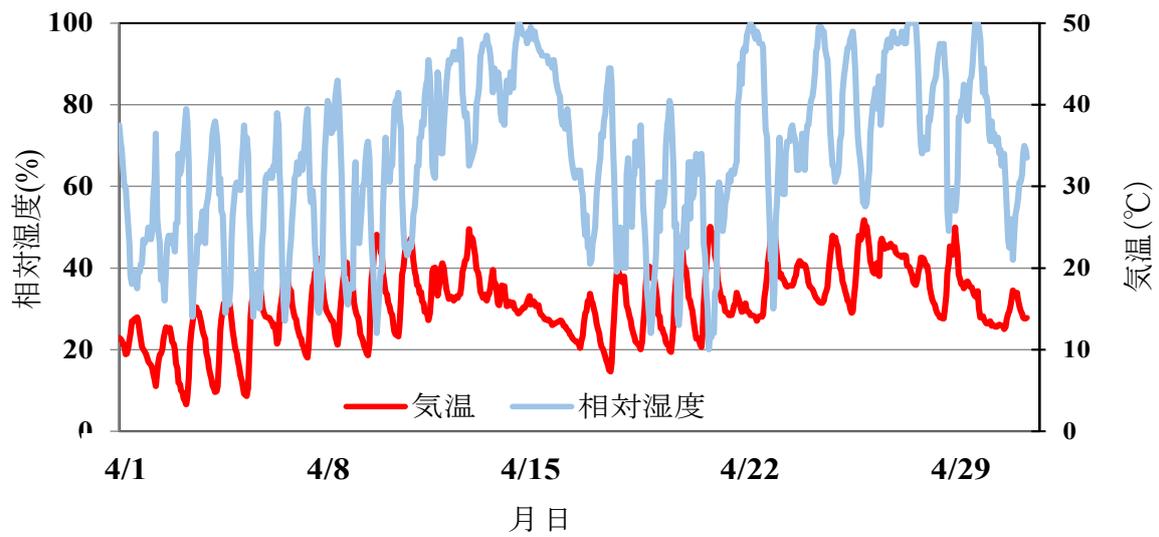
給食施設作業場地域（外気）1月の温湿度変化図



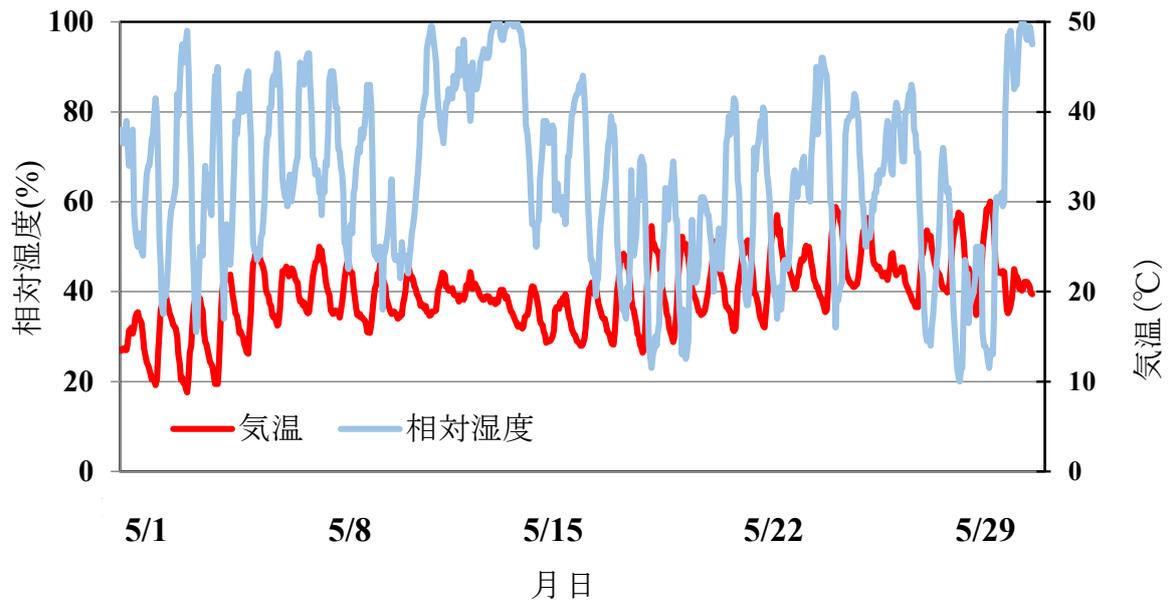
給食施設作業場地域（外気）2月の温湿度変化図



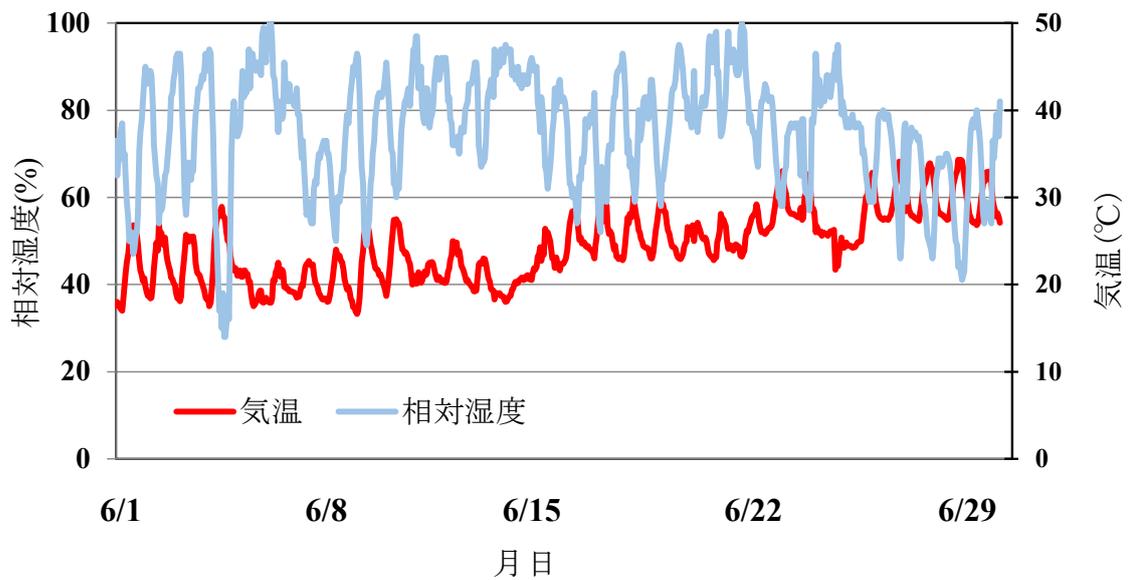
給食施設作業場地域（外気）3月の温湿度変化図



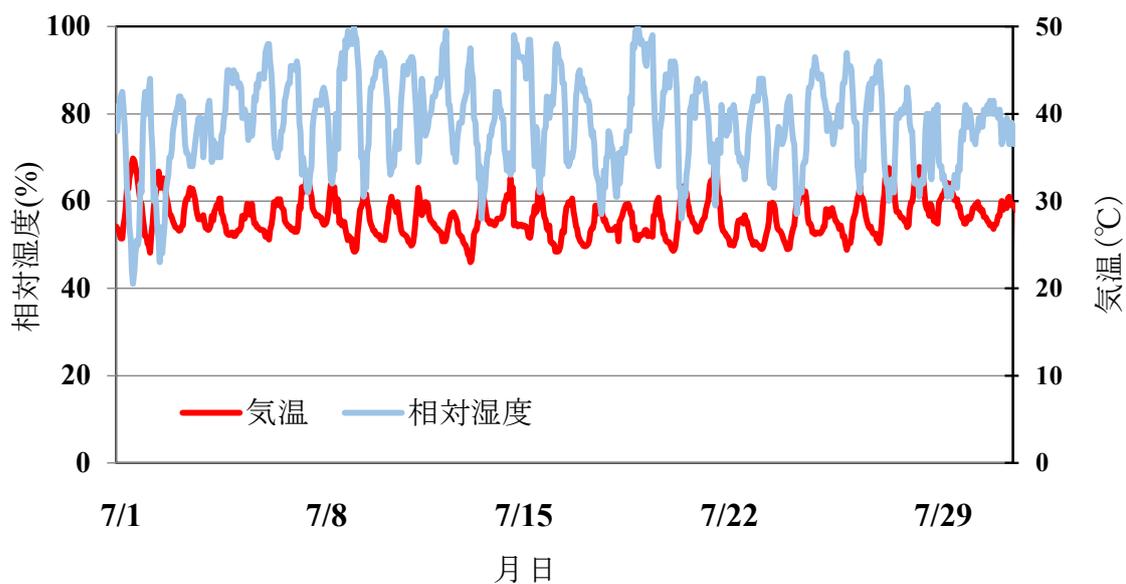
給食施設作業場地域（外気）4月の温湿度変化図



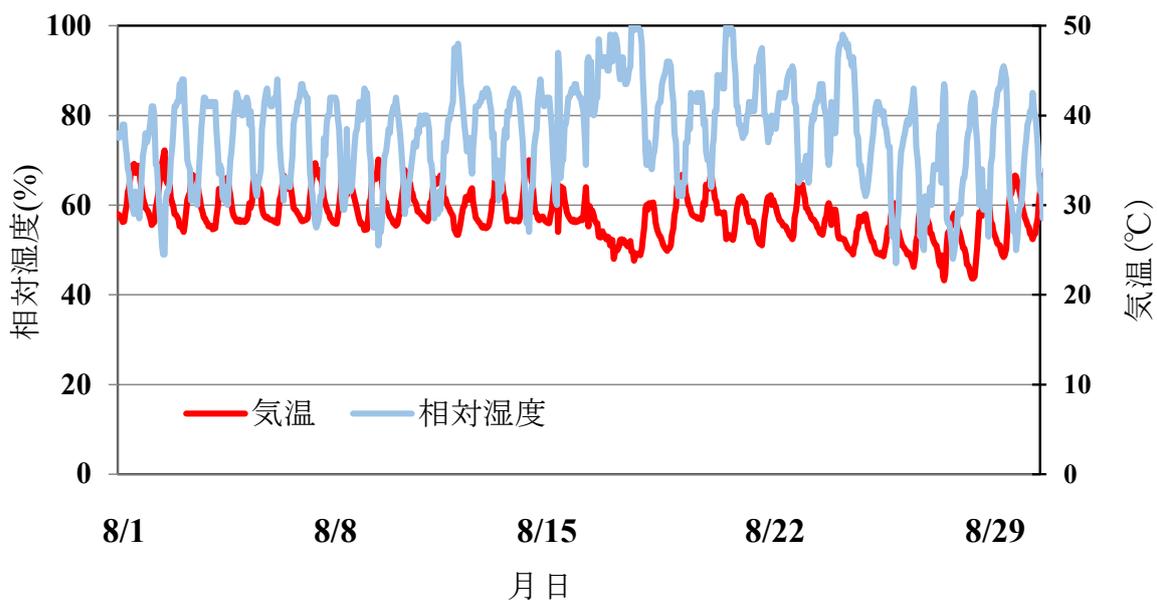
給食施設作業場地域（外気）5月の温湿度変化図



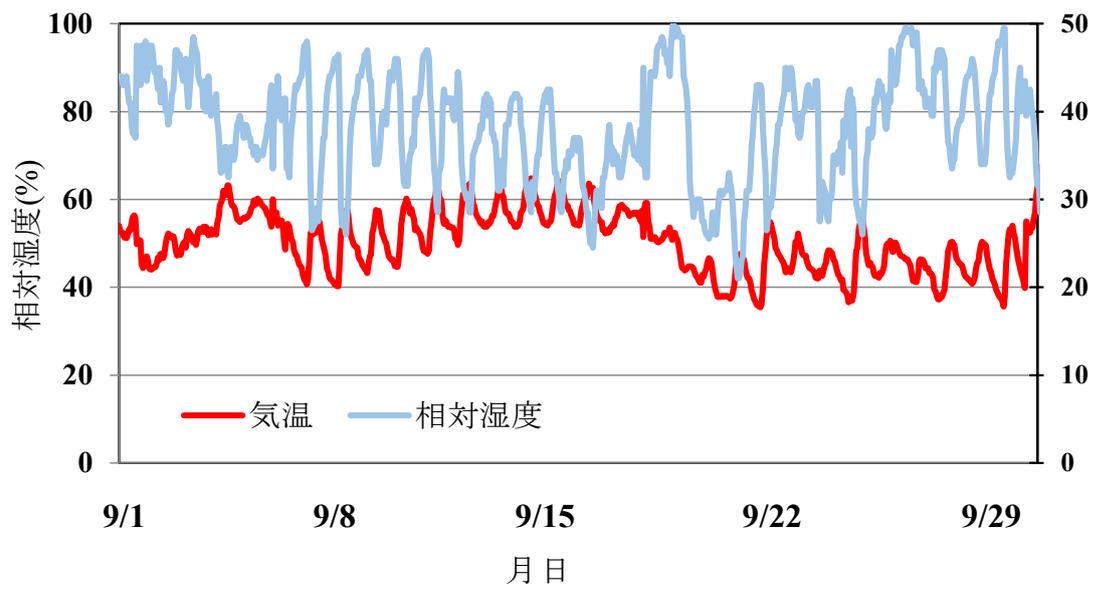
給食施設作業場地域（外気）6月の温湿度変化図



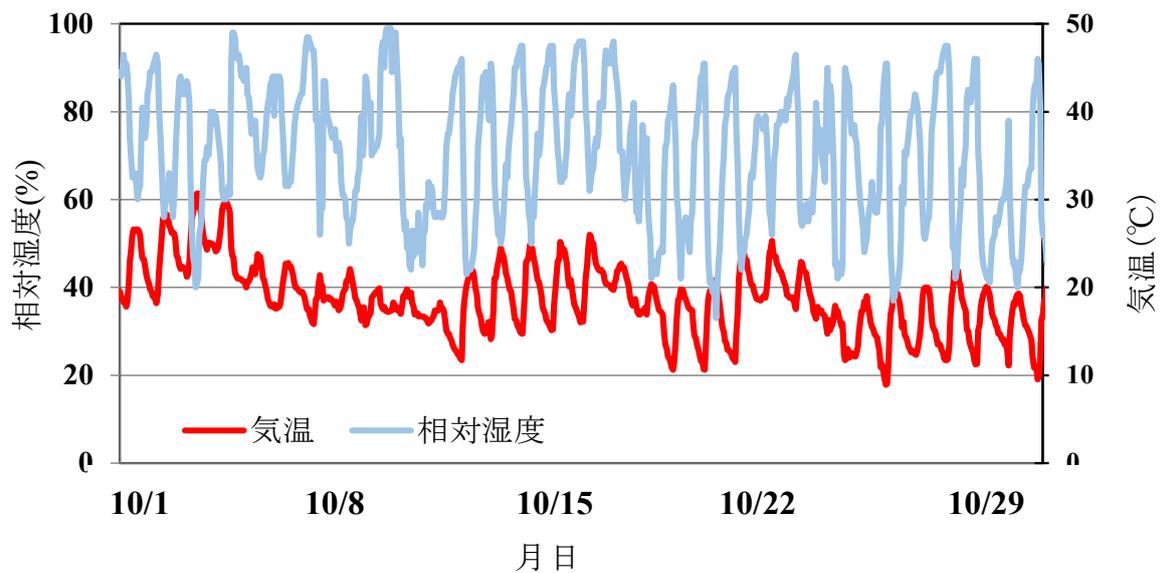
給食施設作業場地域（外気）7月の温湿度変化図



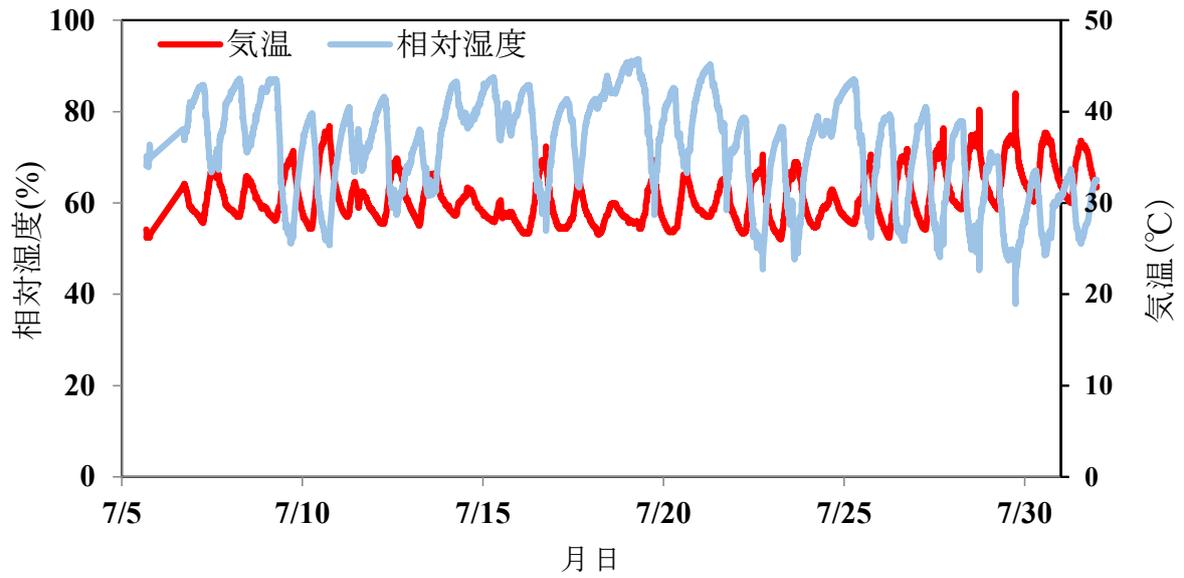
給食施設作業場地域（外気）8月の温湿度変化図



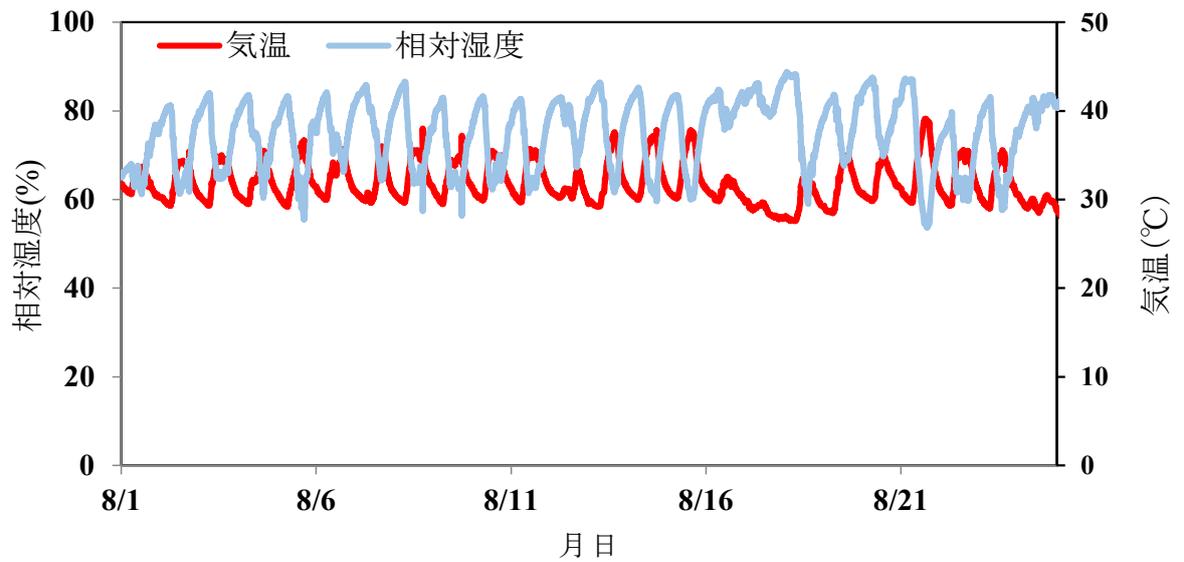
給食施設作業場地域（外気）9月の温湿度変化図



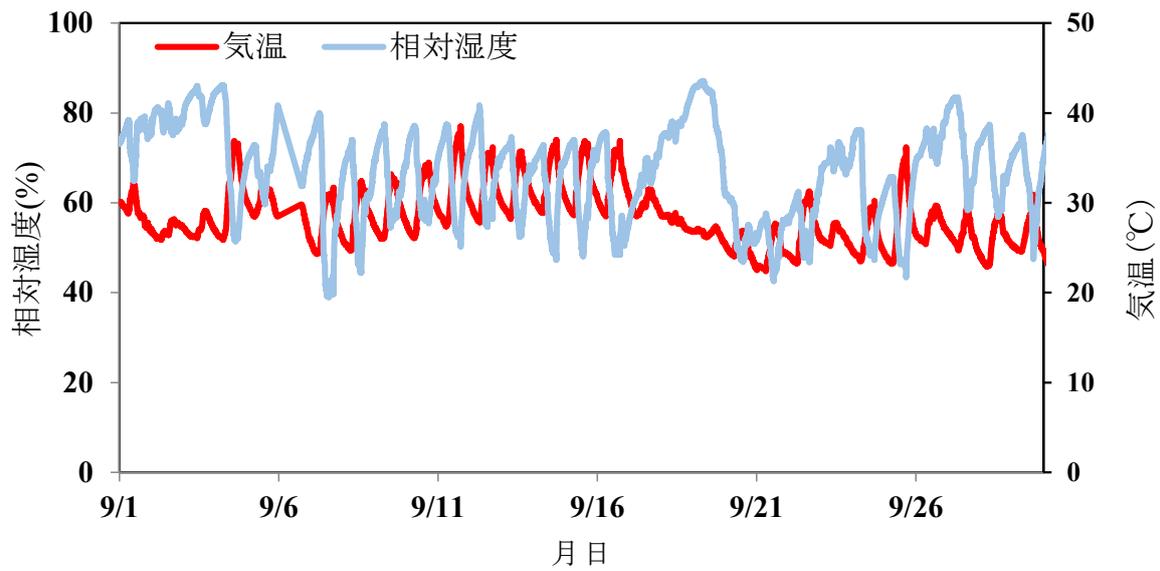
給食施設作業場地域（外気）10月の温湿度変化図



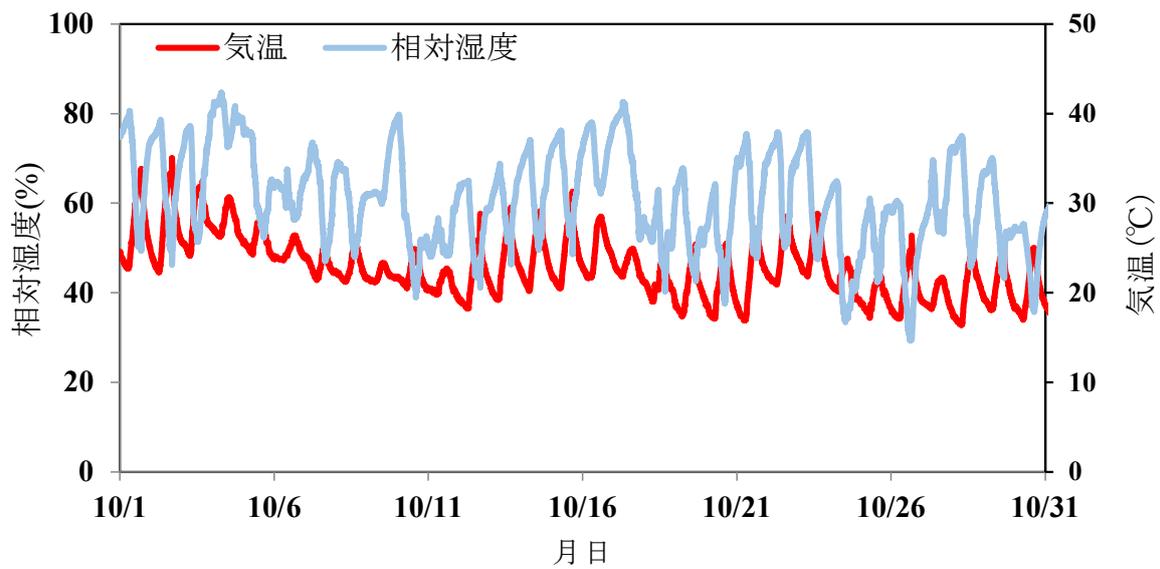
i 屋内溶接作業場①7月の温湿度変化図



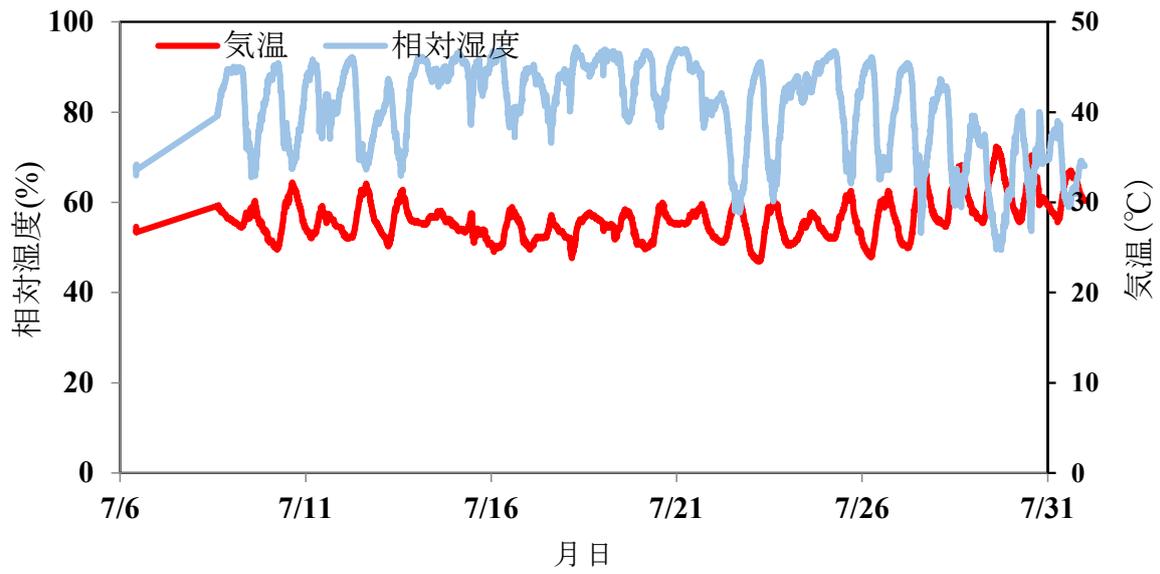
i 屋内溶接作業場①8月の温湿度変化図



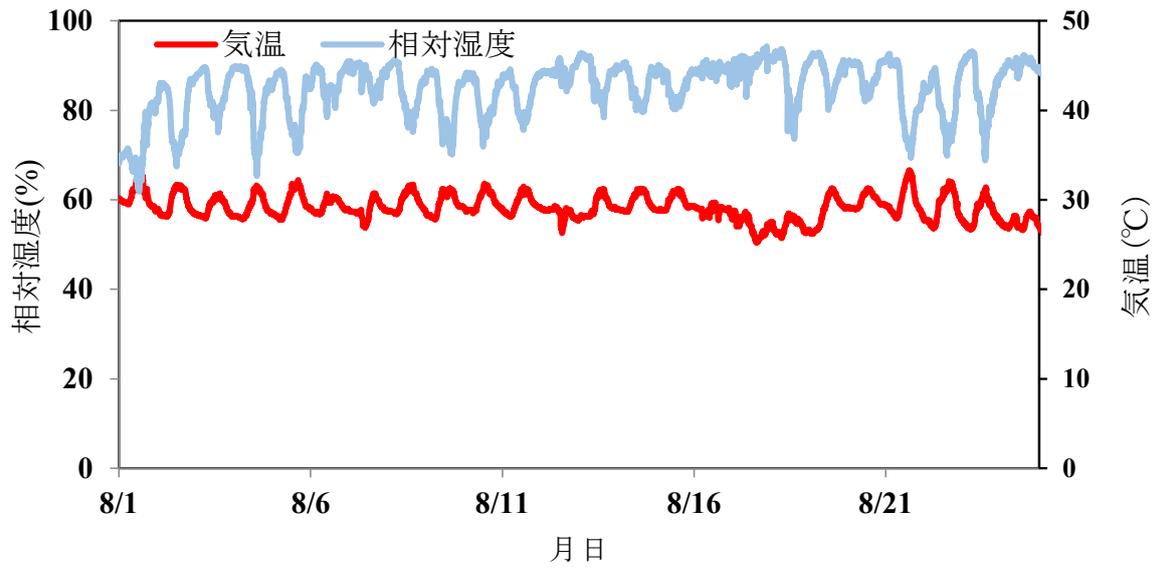
i 屋内溶接作業場①9月の温湿度変化図



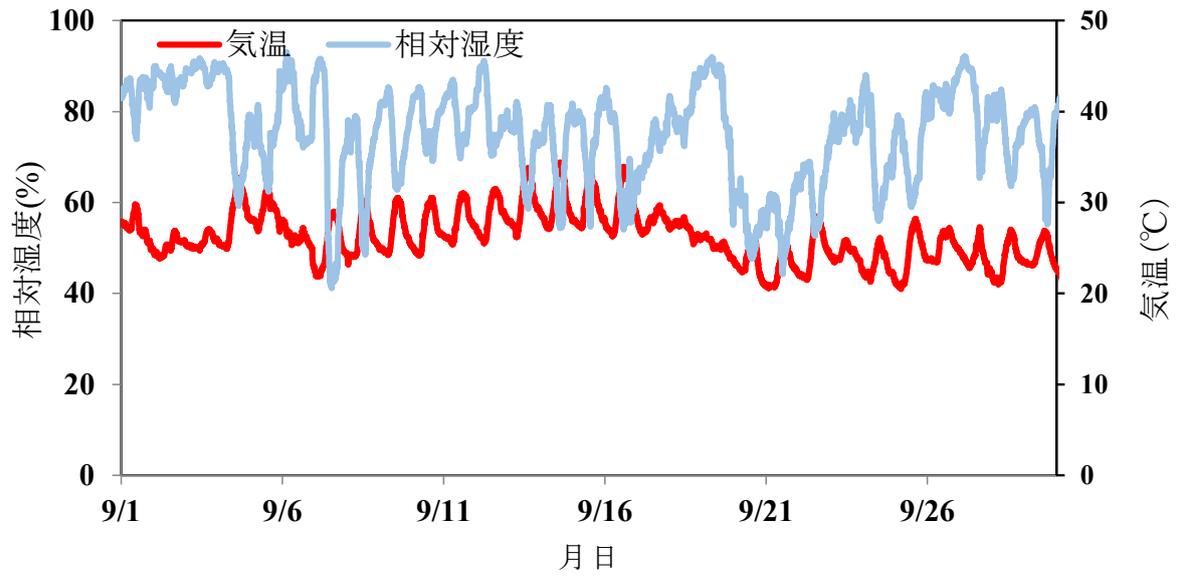
i 屋内溶接作業場①10月の温湿度変化図



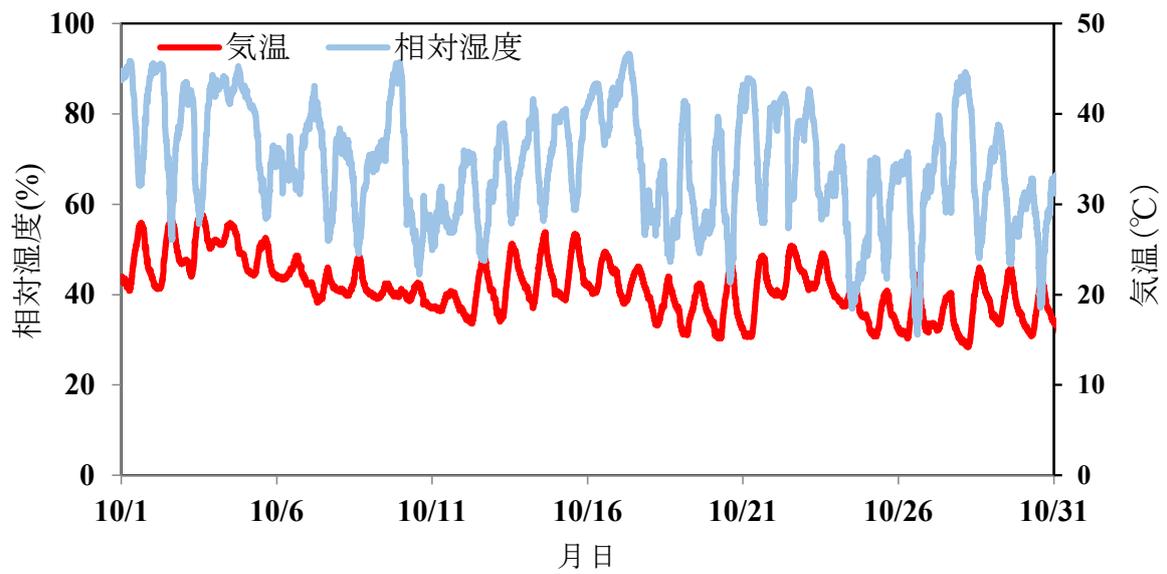
j 屋内溶接作業場②7月の温湿度変化図



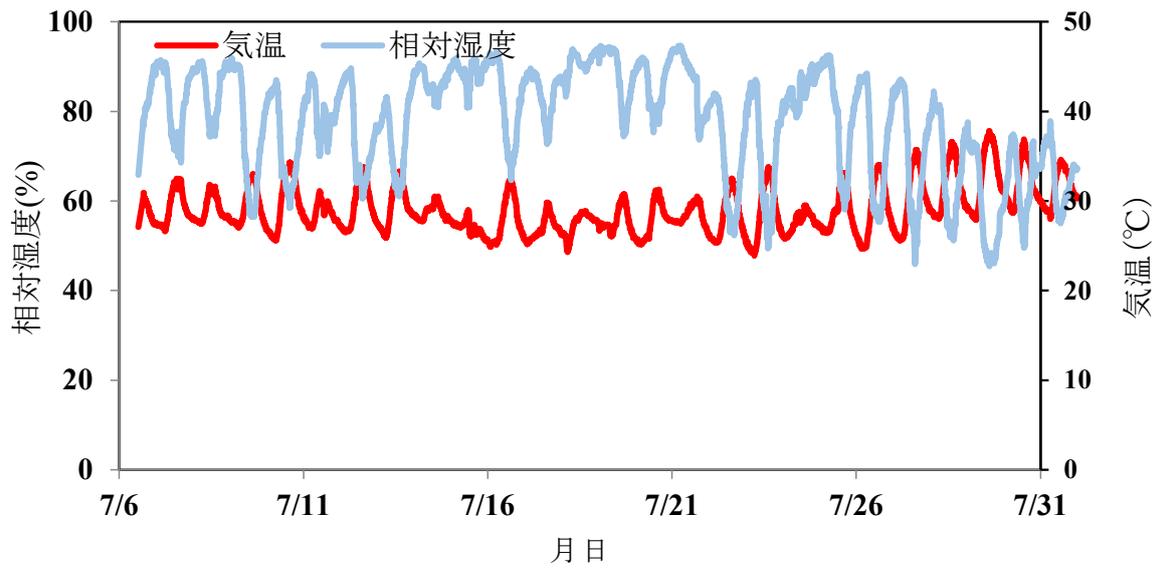
j 屋内溶接作業場②8月の温湿度変化図



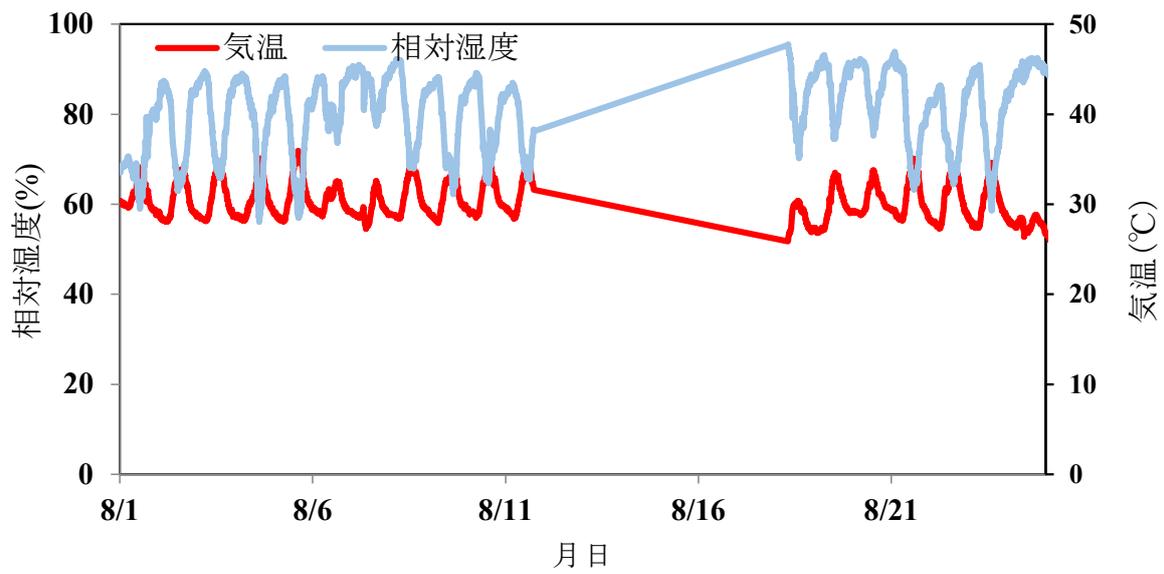
j 屋内溶接作業場②9月の温湿度変化図



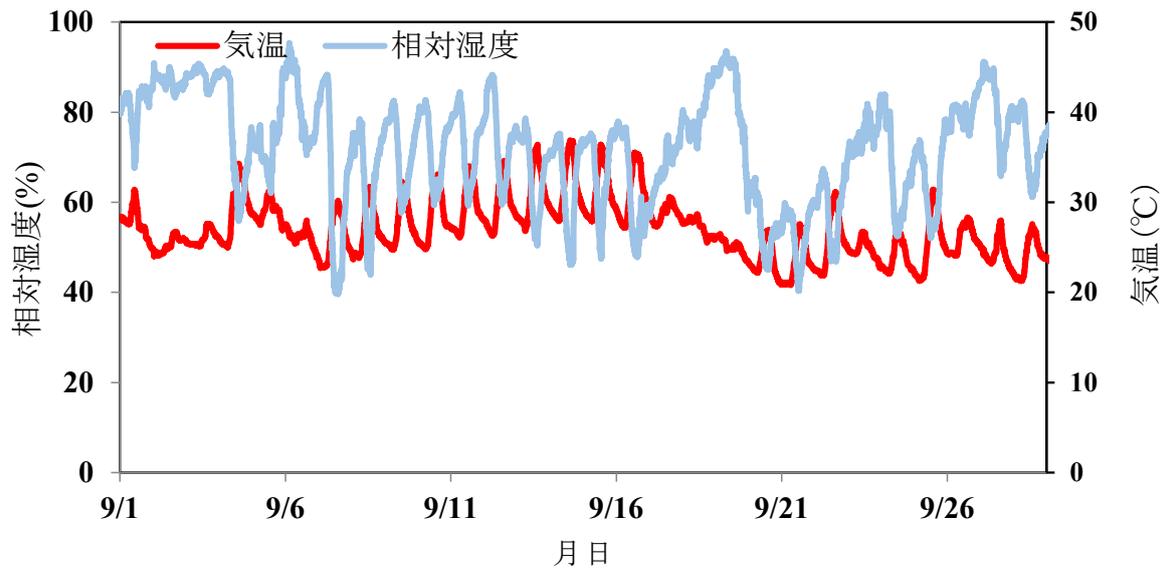
j 屋内溶接作業場②10月の温湿度変化図



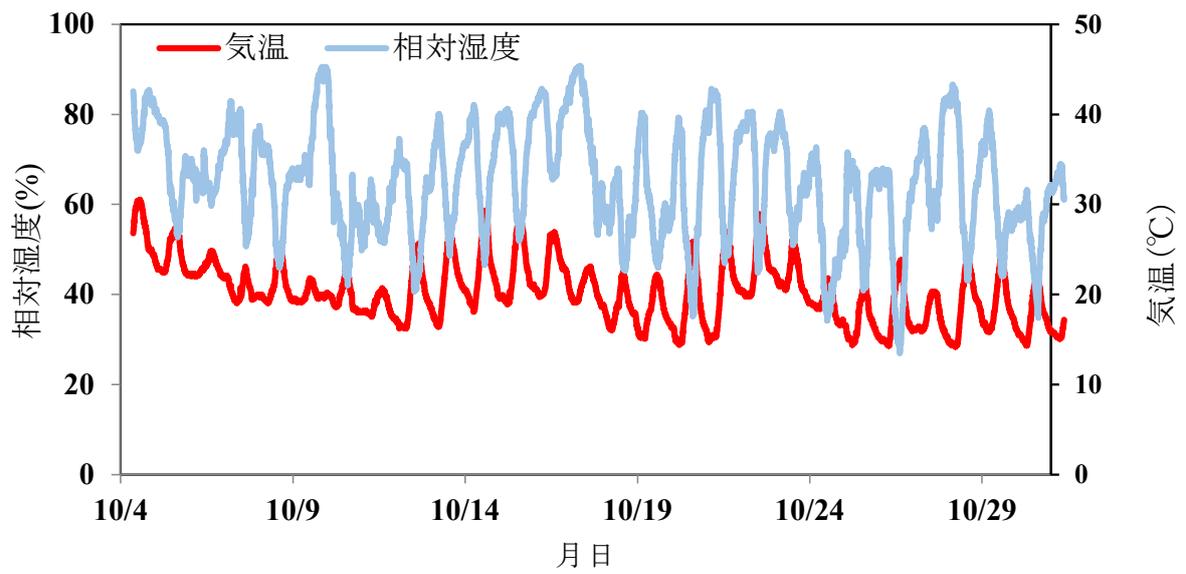
k 屋内作業場①7月の温湿度変化図



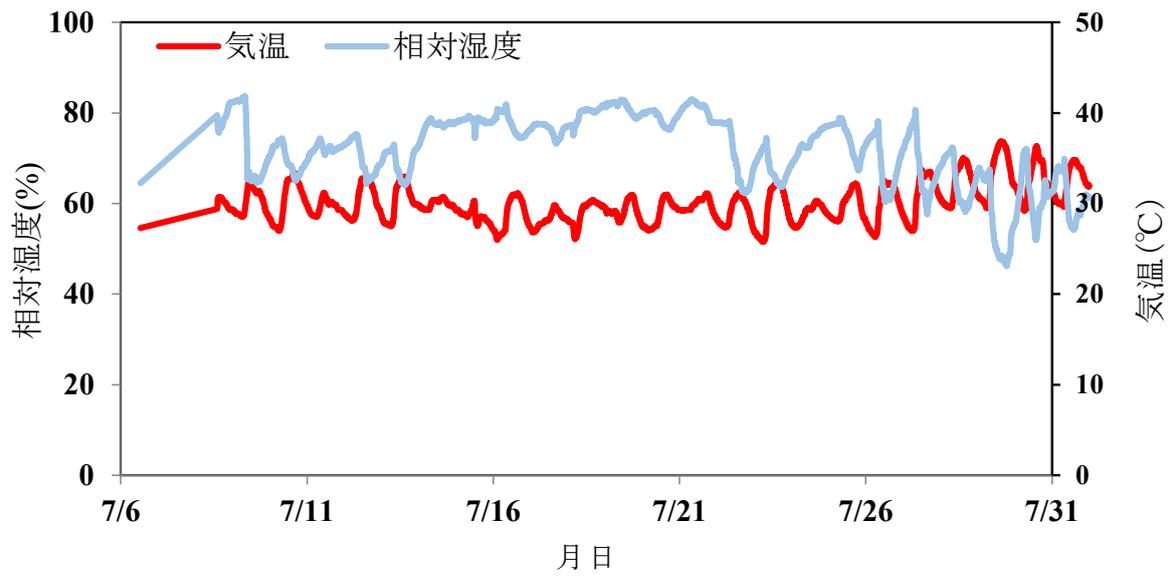
k 屋内作業場①8月の温湿度変化図



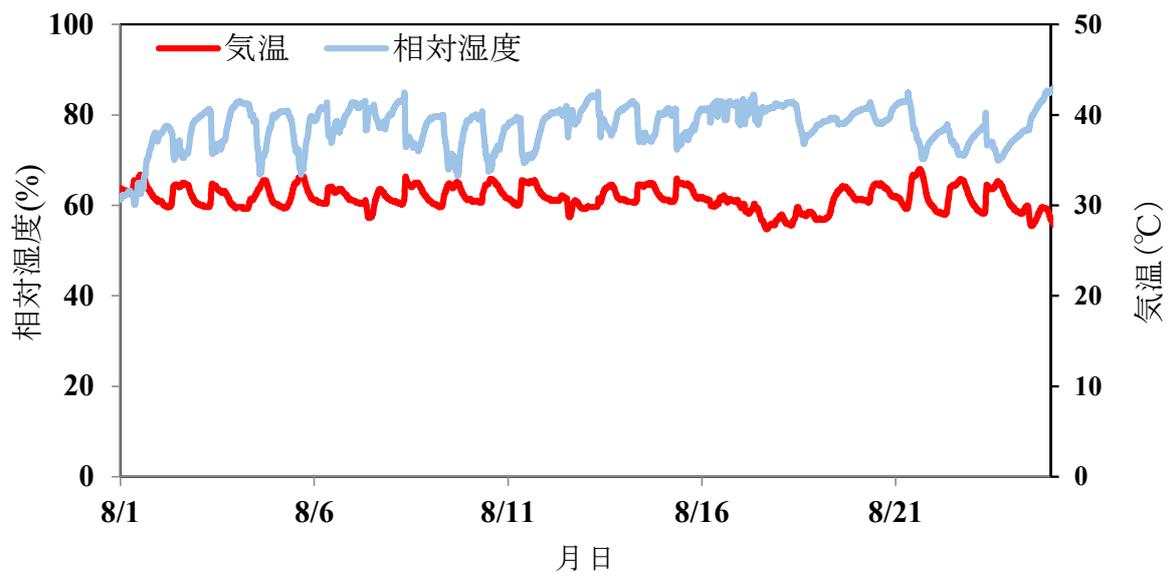
k 屋内作業場①9月の温湿度変化図



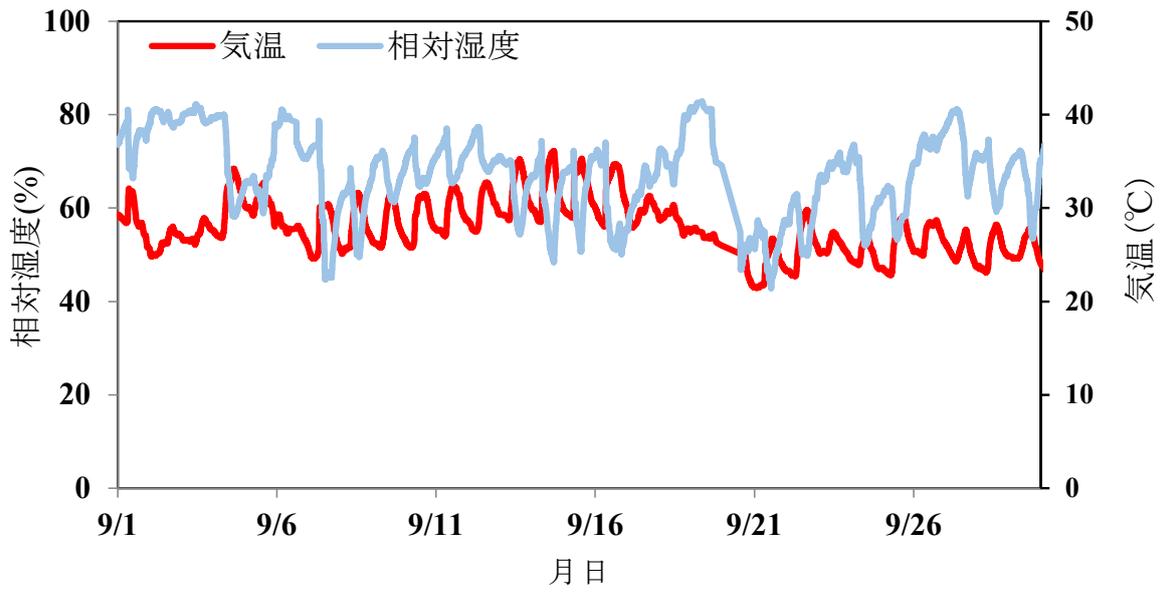
k 屋内作業場①10月の温湿度変化図



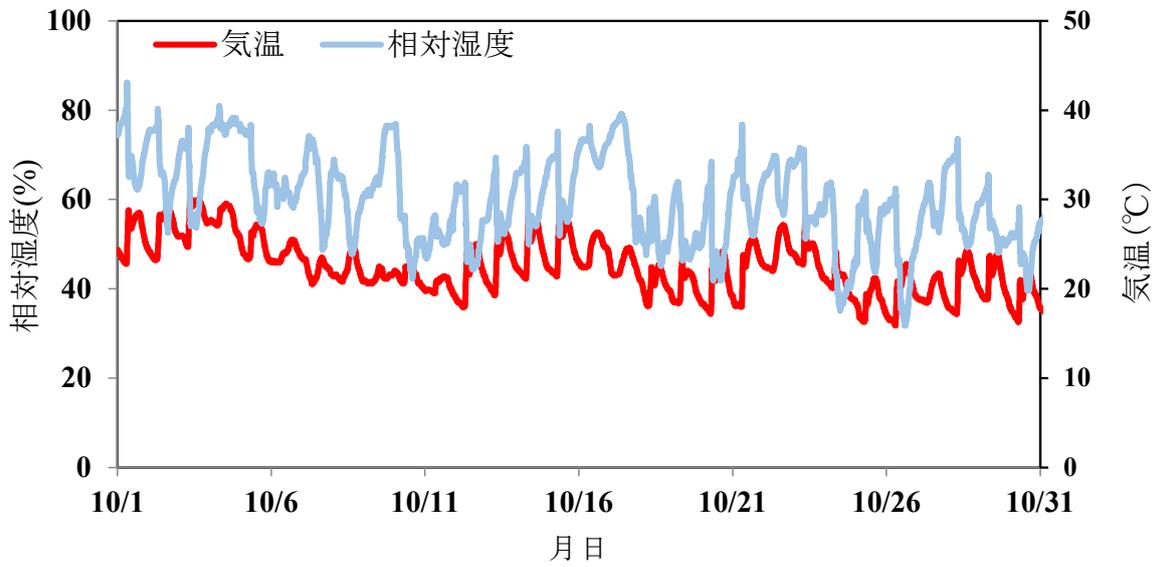
1 屋内容接作業場③ 7月の温湿度変化図



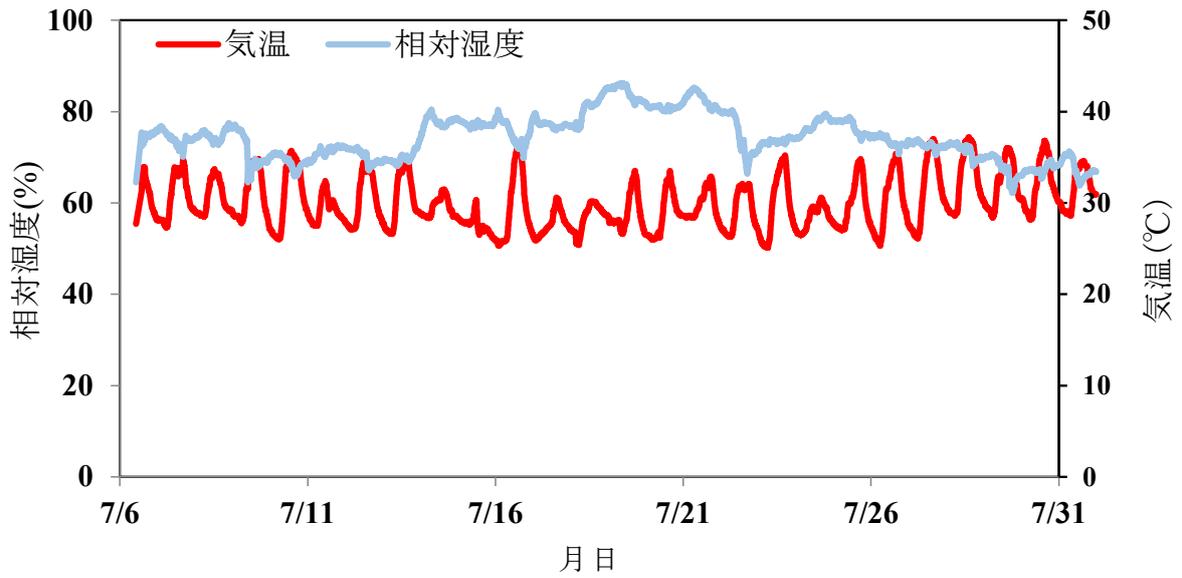
1 屋内容接作業場③ 8月の温湿度変化図



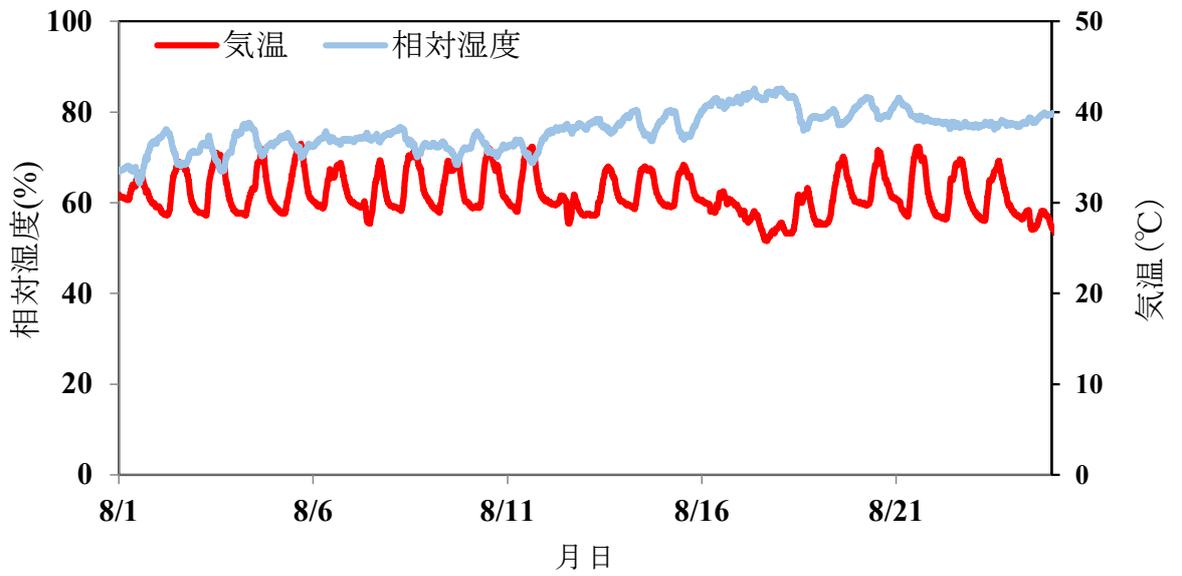
1 屋内溶接作業場③ 9月の温湿度変化図



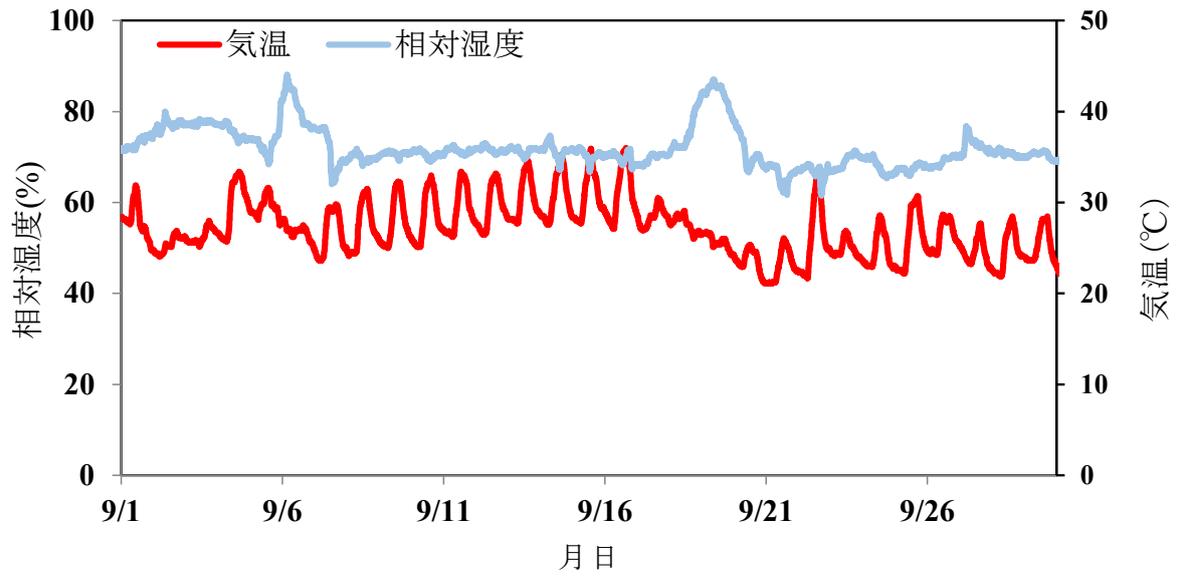
1 屋内溶接作業場③ 710月の温湿度変化図



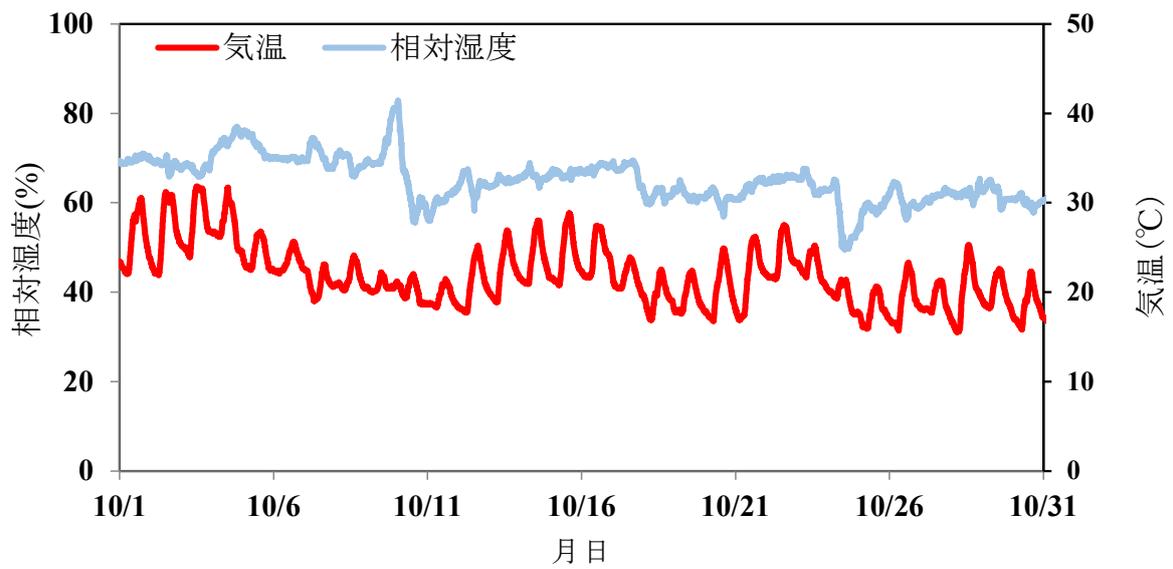
m 屋外作業場①7月の温湿度変化図



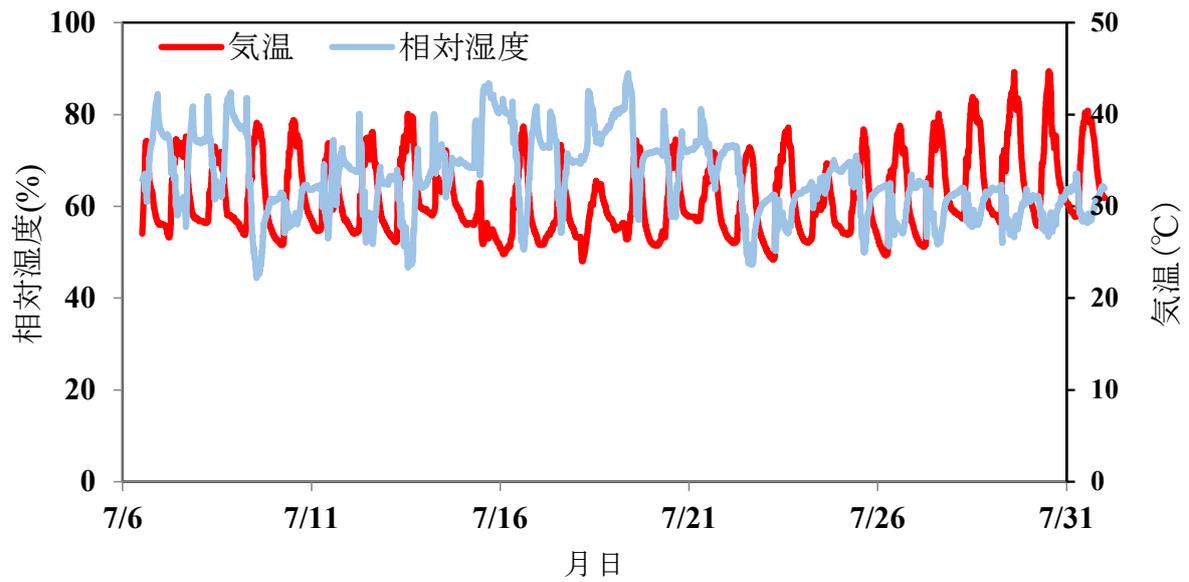
m 屋外作業場①8月の温湿度変化図



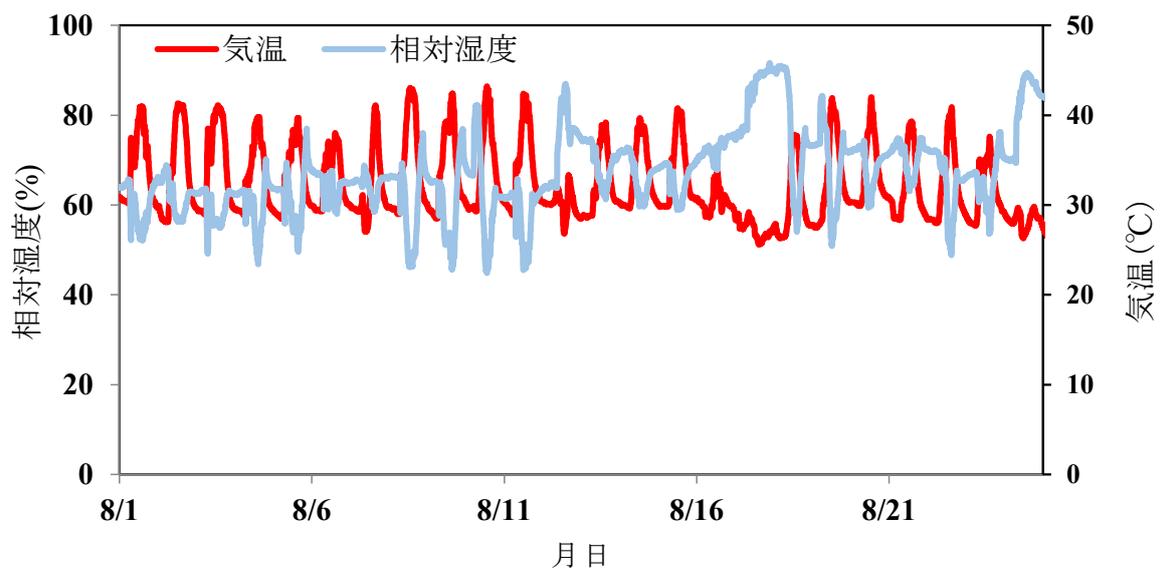
m 屋外作業場①9月の温湿度変化図



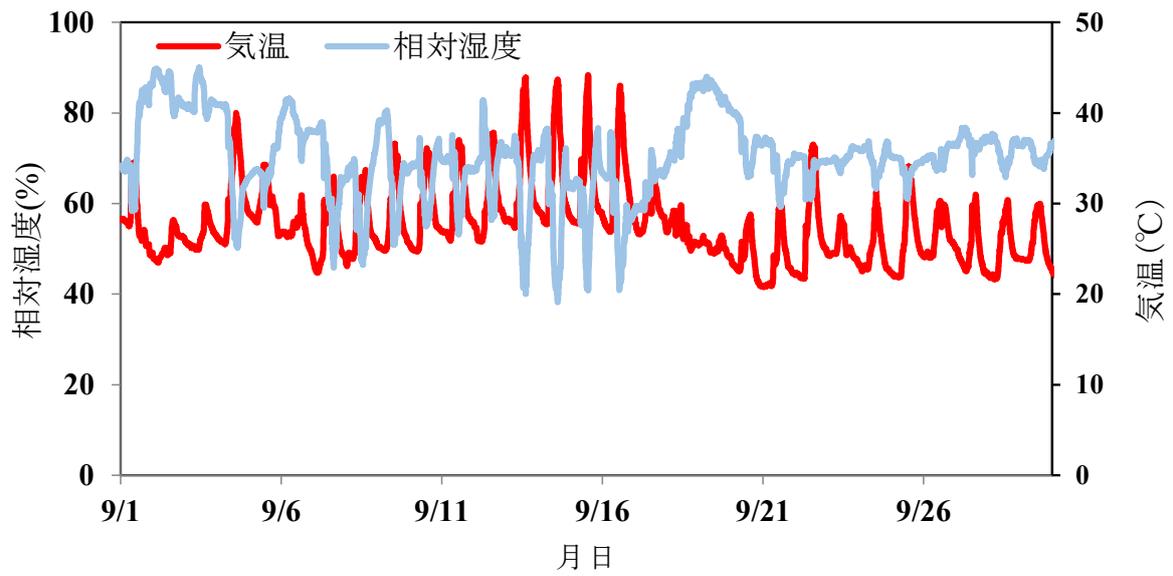
m 屋外作業場①10月の温湿度変化図



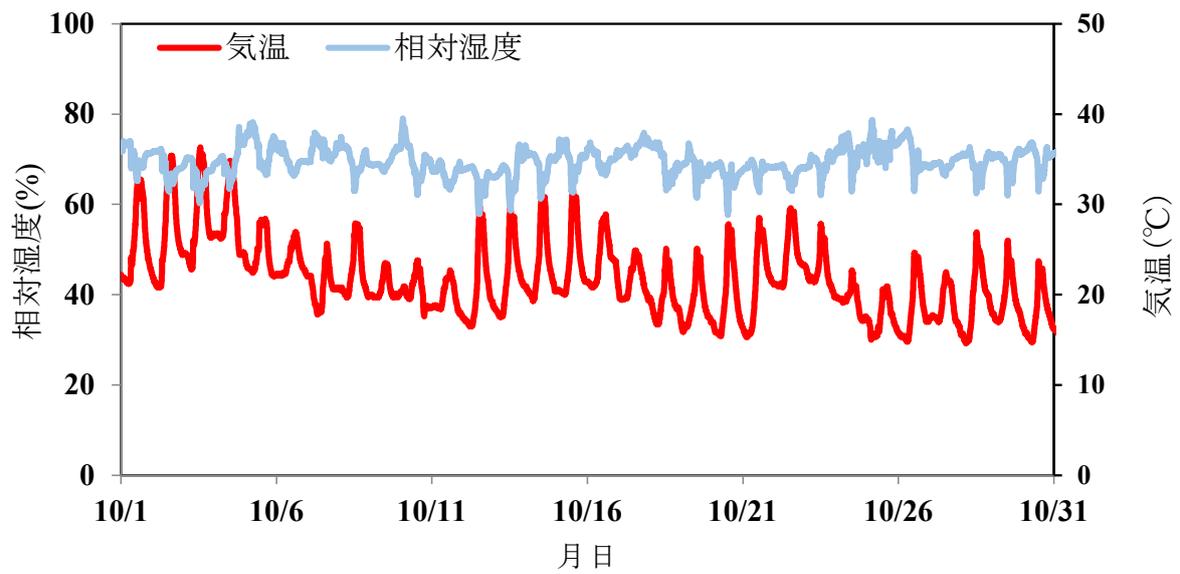
n 屋外作業場②7月の温湿度変化図



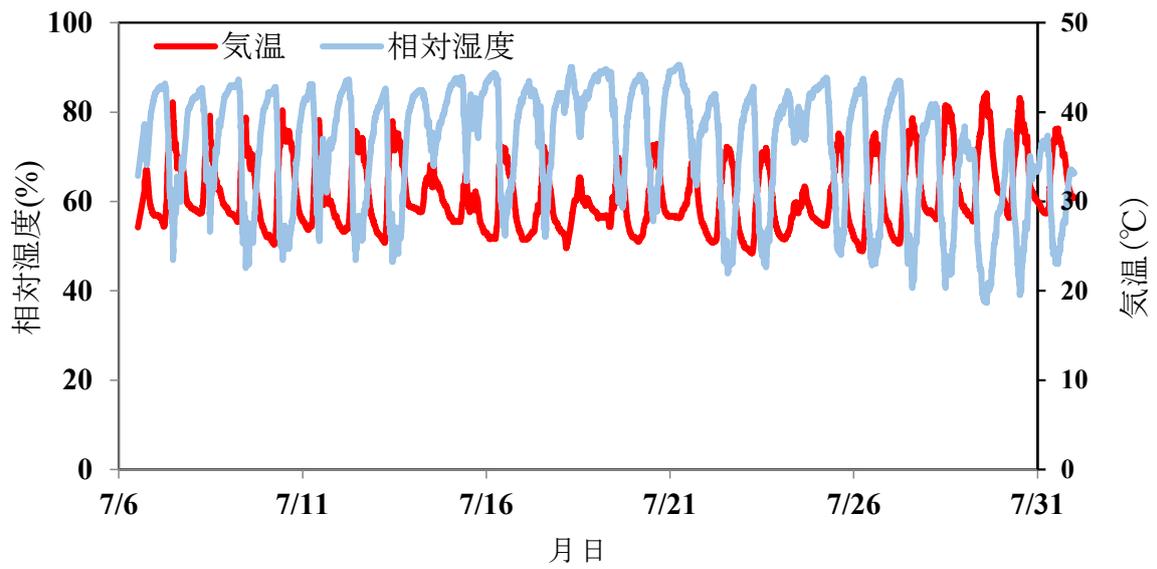
n 屋外作業場②8月の温湿度変化図



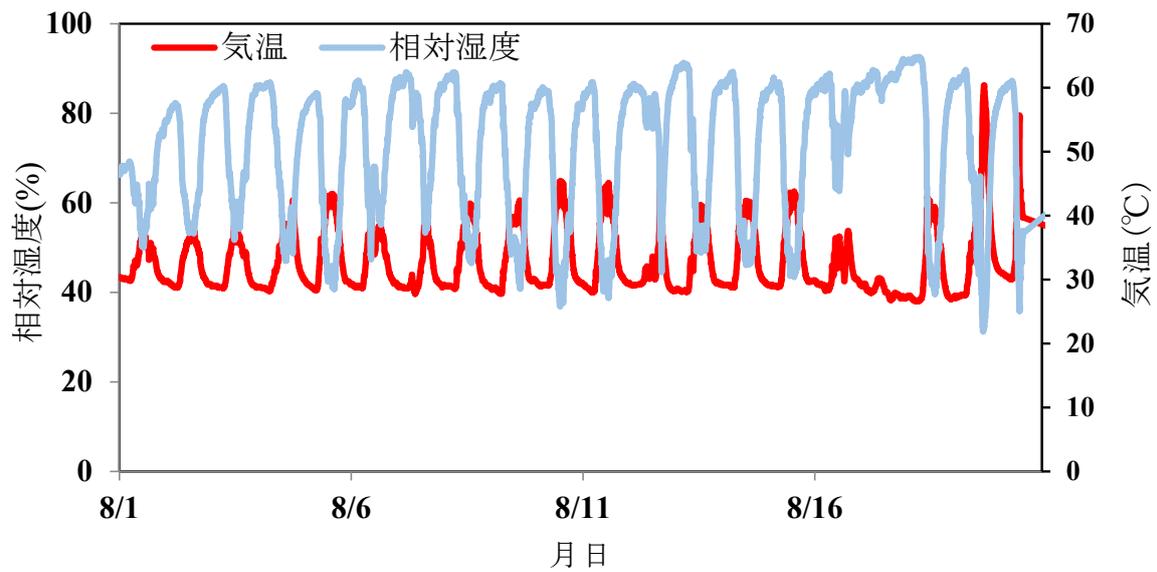
n 屋外作業場②9月の温湿度変化図



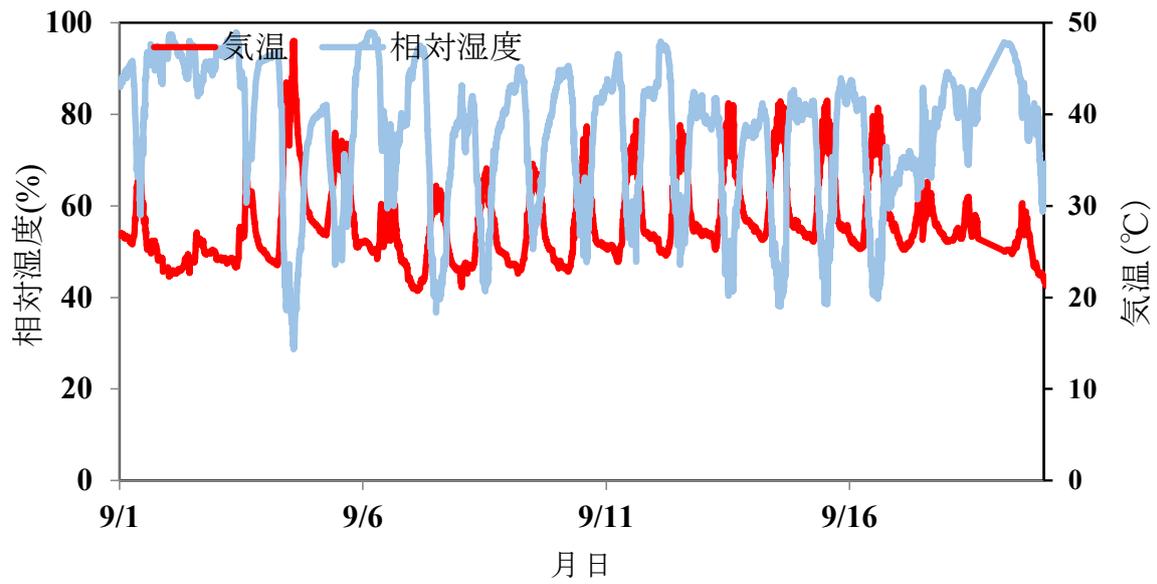
n 屋外作業場②10月の温湿度変化図



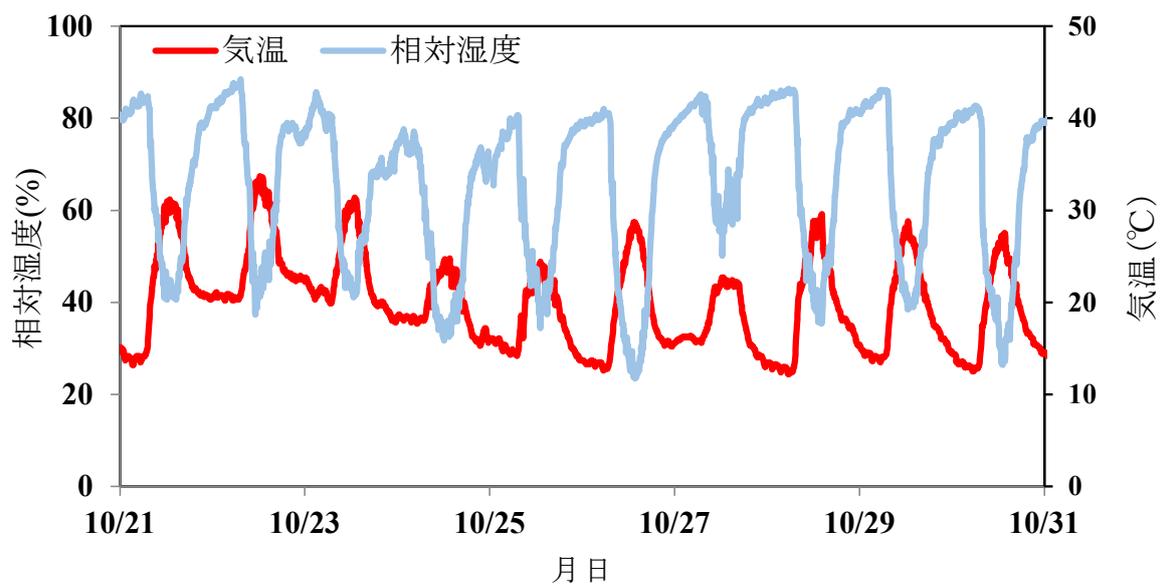
○ 敷地外作業場 7月の温湿度変化図



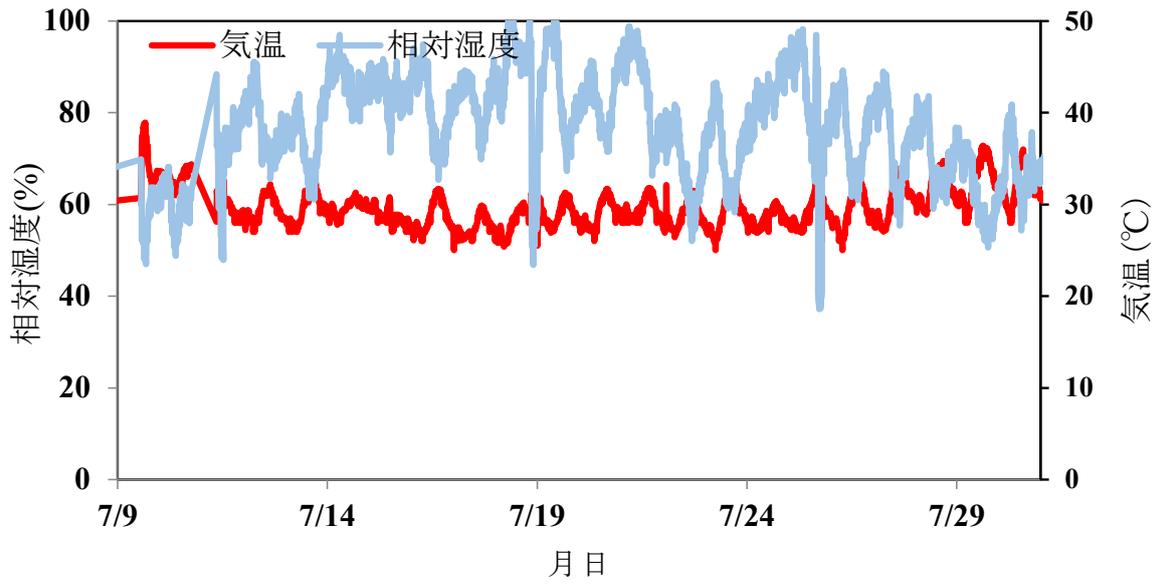
○ 敷地外作業場 8月の温湿度変化図



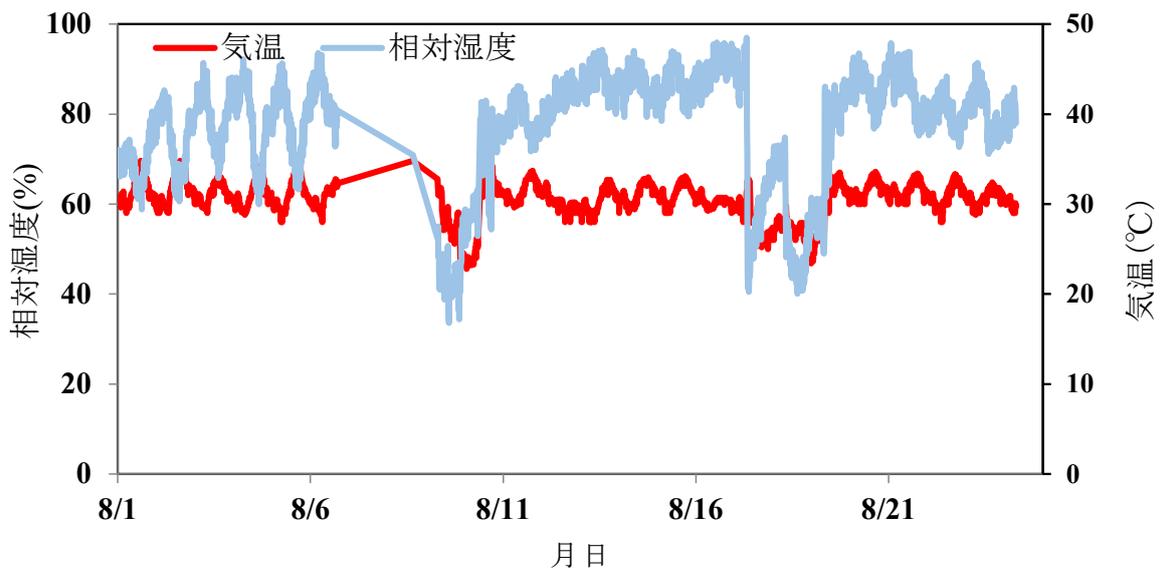
o 敷地外作業場 9月の温湿度変化図



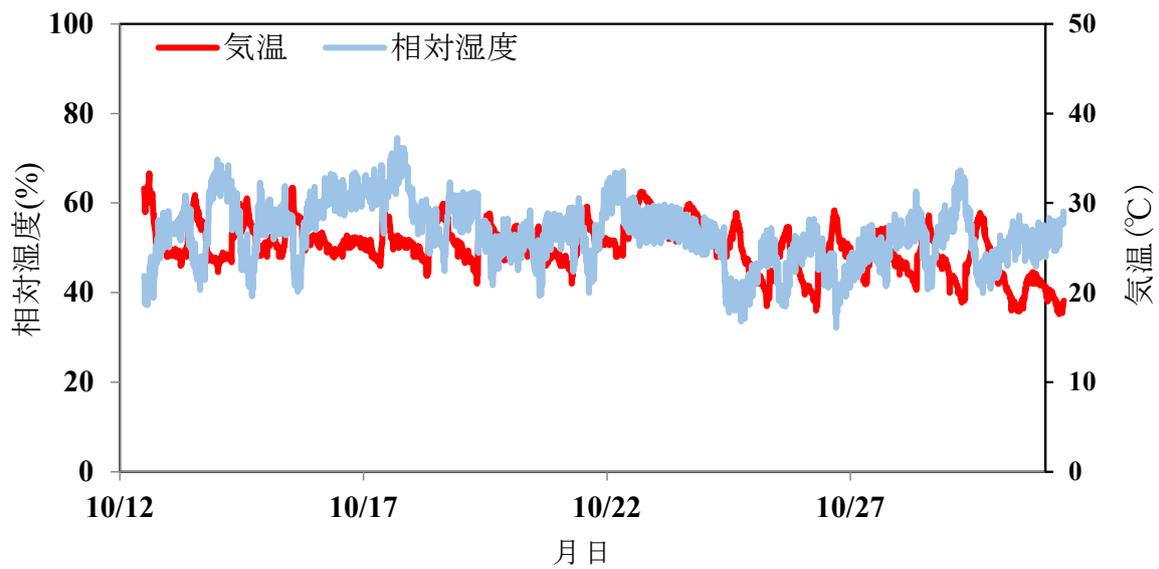
o 敷地外作業場 10月の温湿度変化図



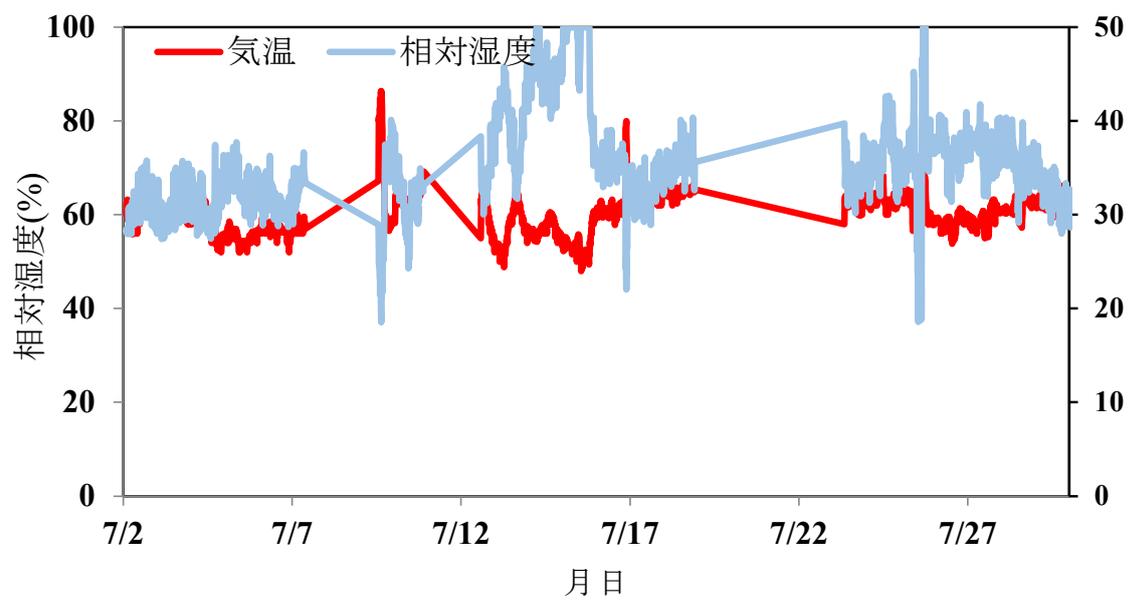
p 屋外作業場② 7月の温湿度変化図



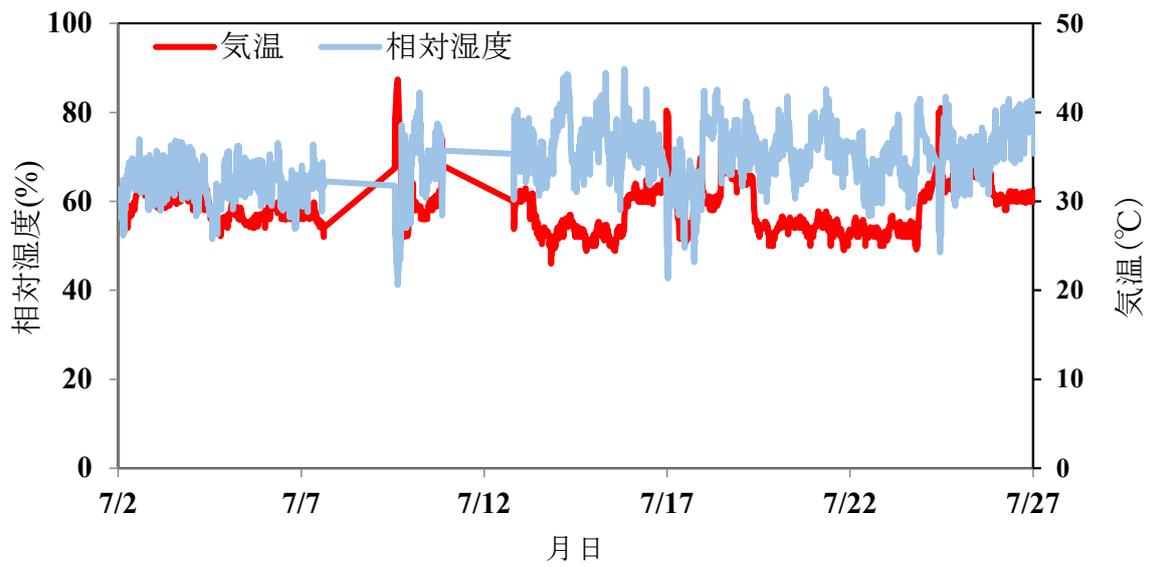
p 屋外作業場② 8月の温湿度変化図



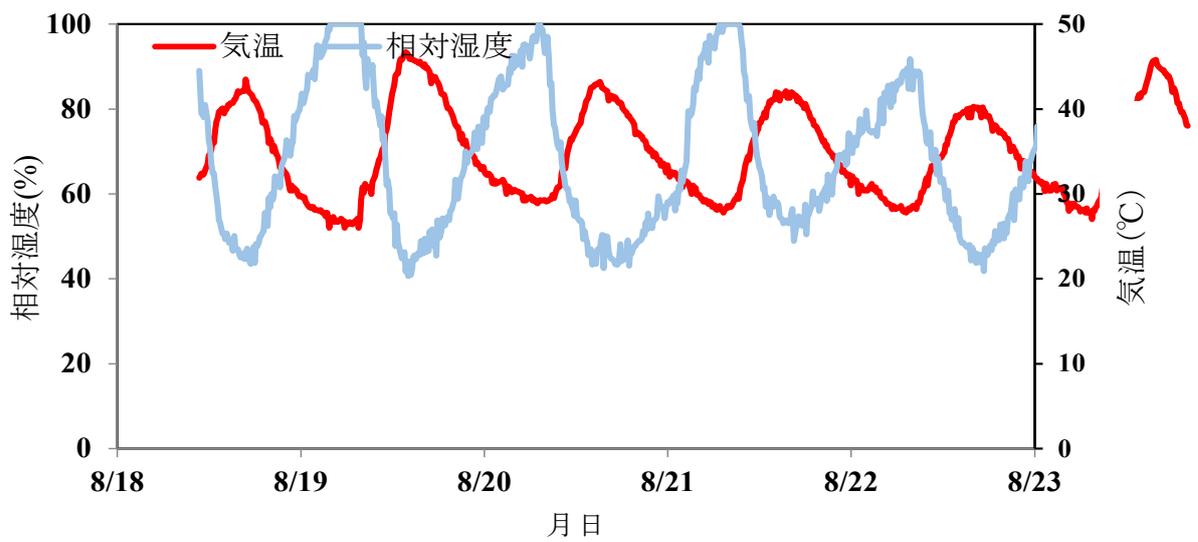
p 屋外作業場② 10月の温湿度変化図



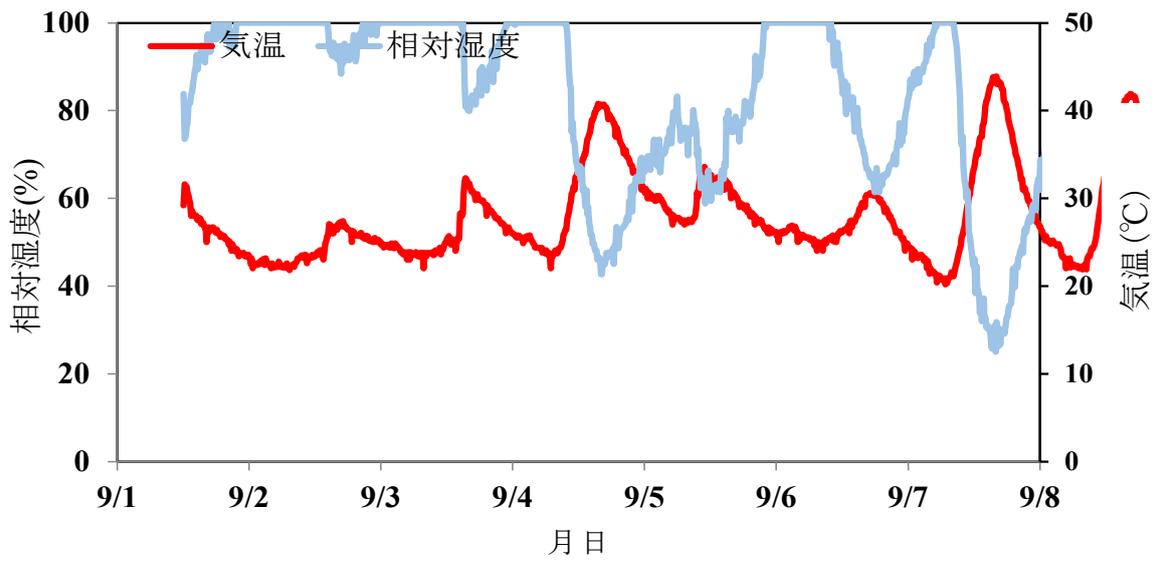
q 製造船舶内作業場 7月の温湿度変化図



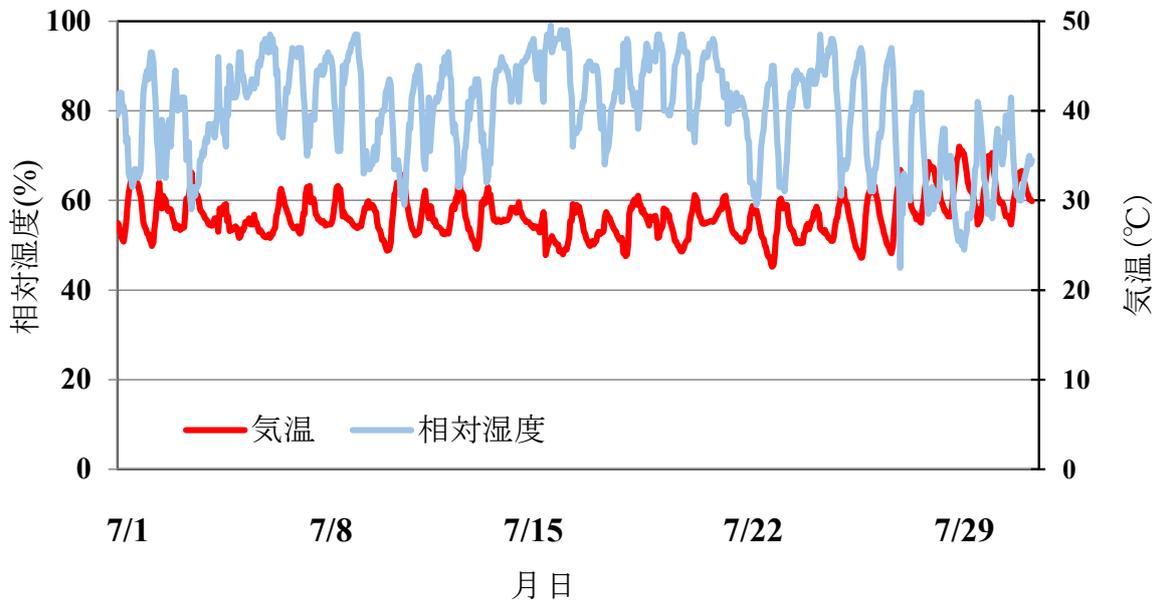
r 屋内作業場② 7月の温湿度変化図



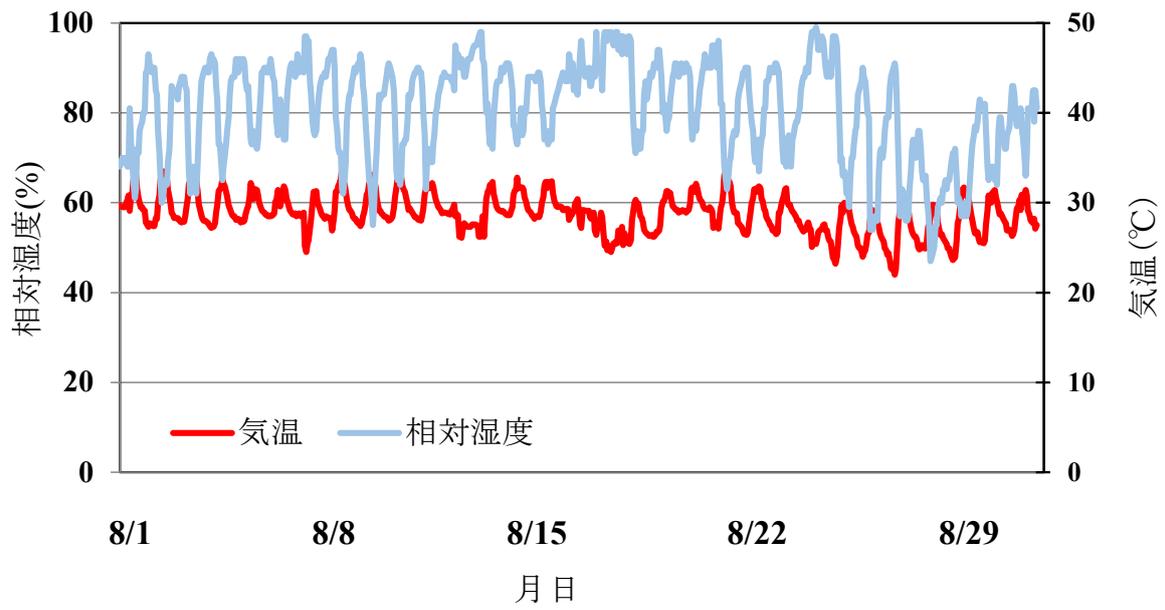
r 屋内作業場② 8月の温湿度変化図



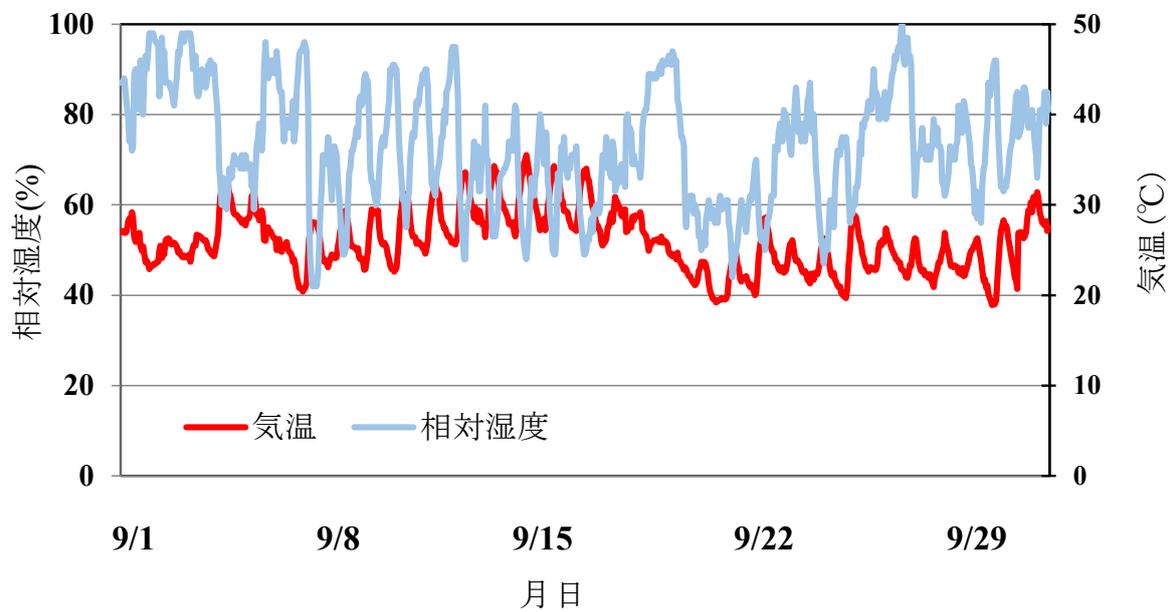
r 屋内作業場② 9月の温湿度変化図



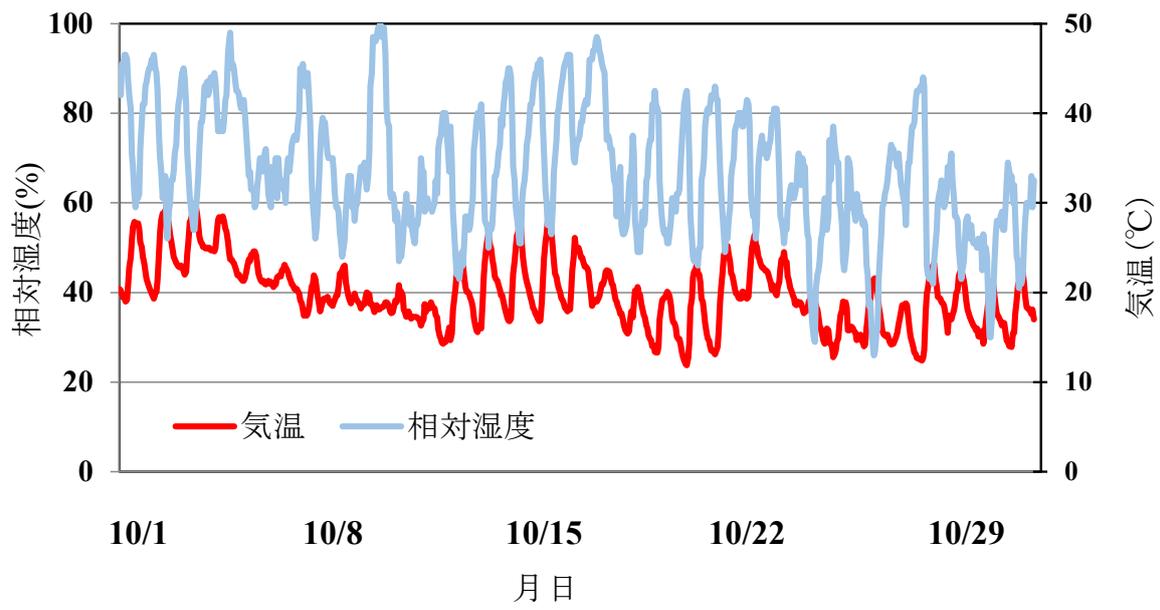
造船作業場地域 (外気) 7月の温湿度変化図



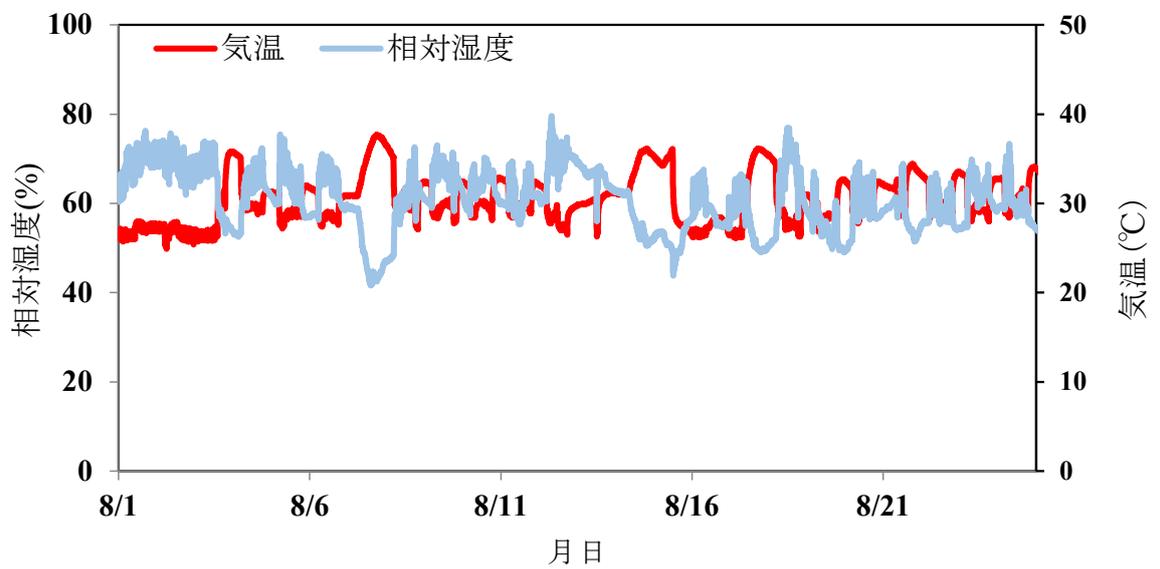
造船作業場地域（外気）8月の温湿度変化図



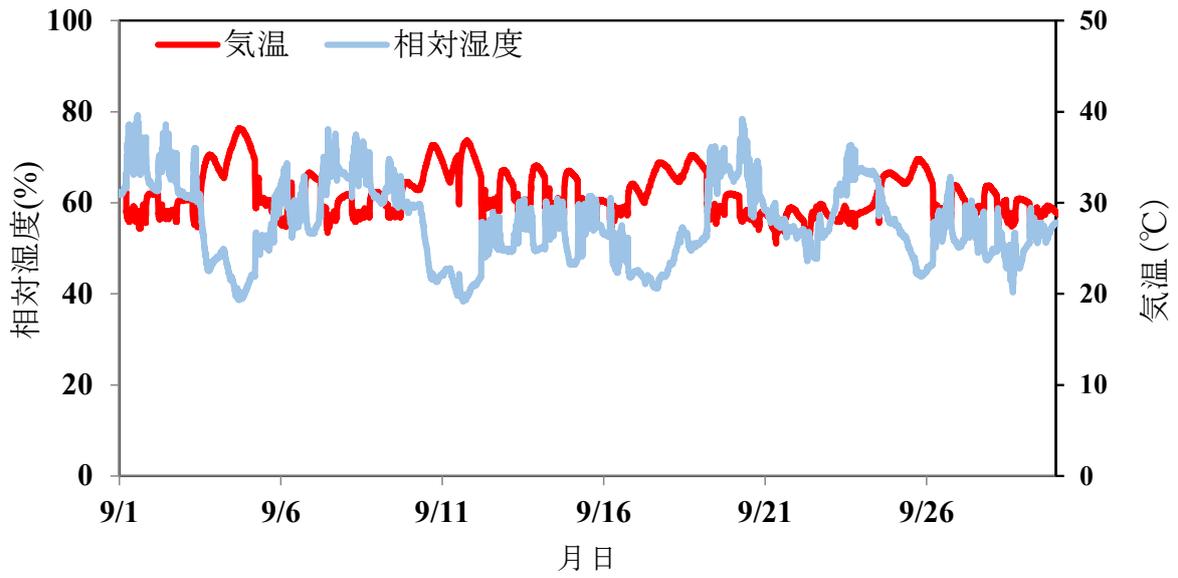
造船作業場地域（外気）9月の温湿度変化図



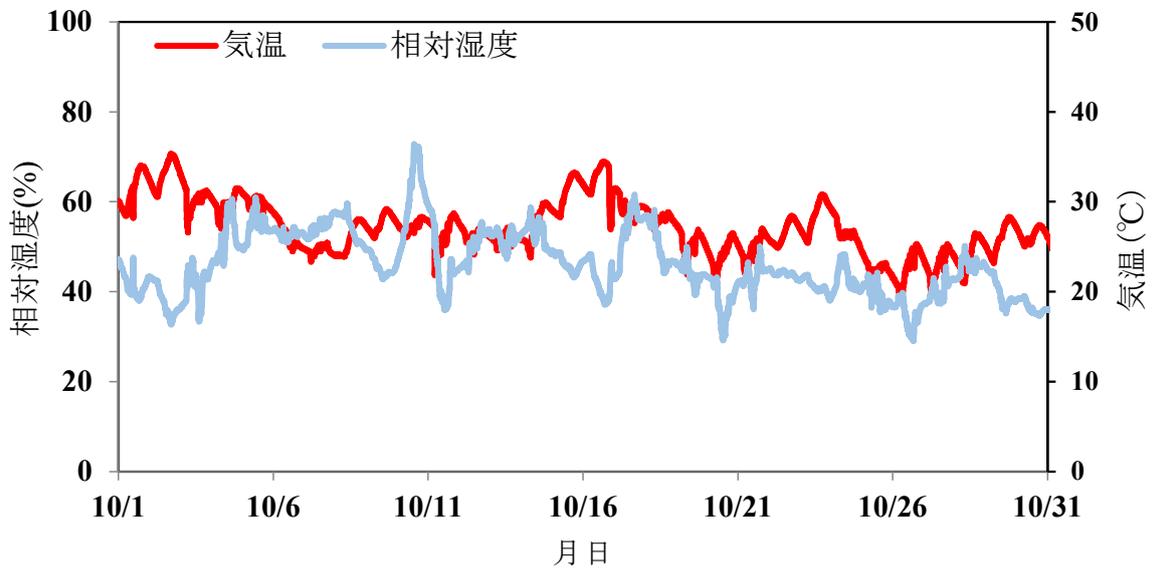
造船作業場地域（外気）10月の温湿度変化図



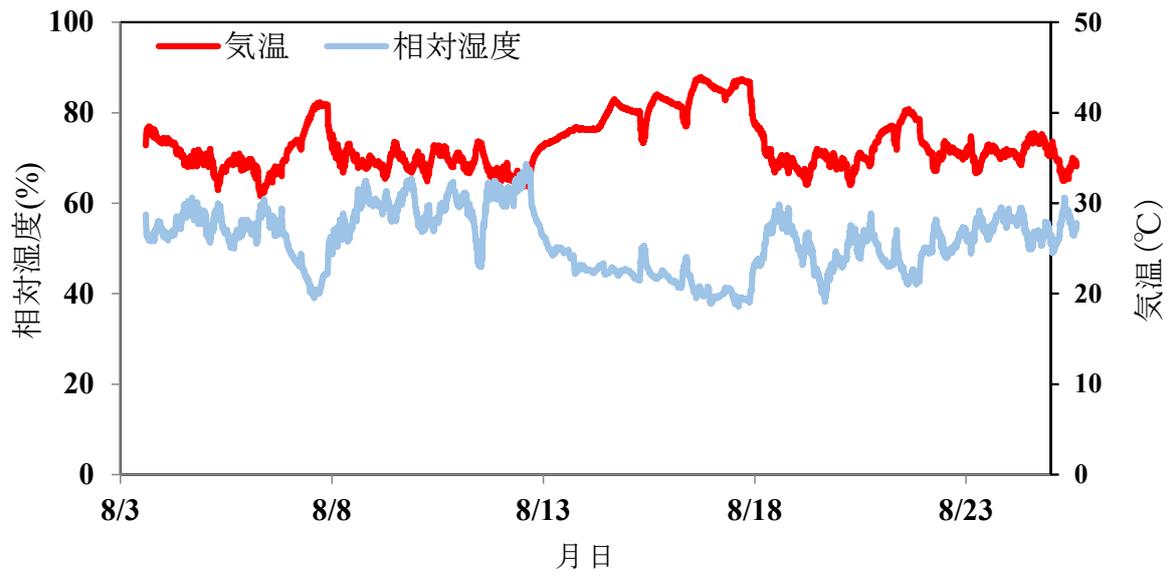
S加工作業場①8月の温湿度変化図



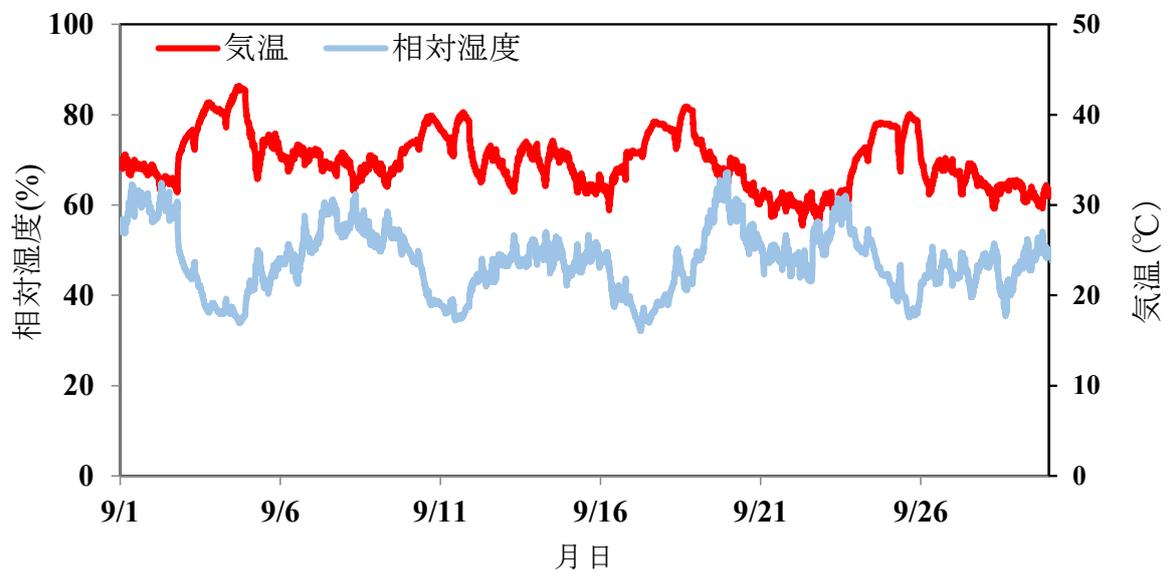
S 加工作業場①9月の温湿度変化図



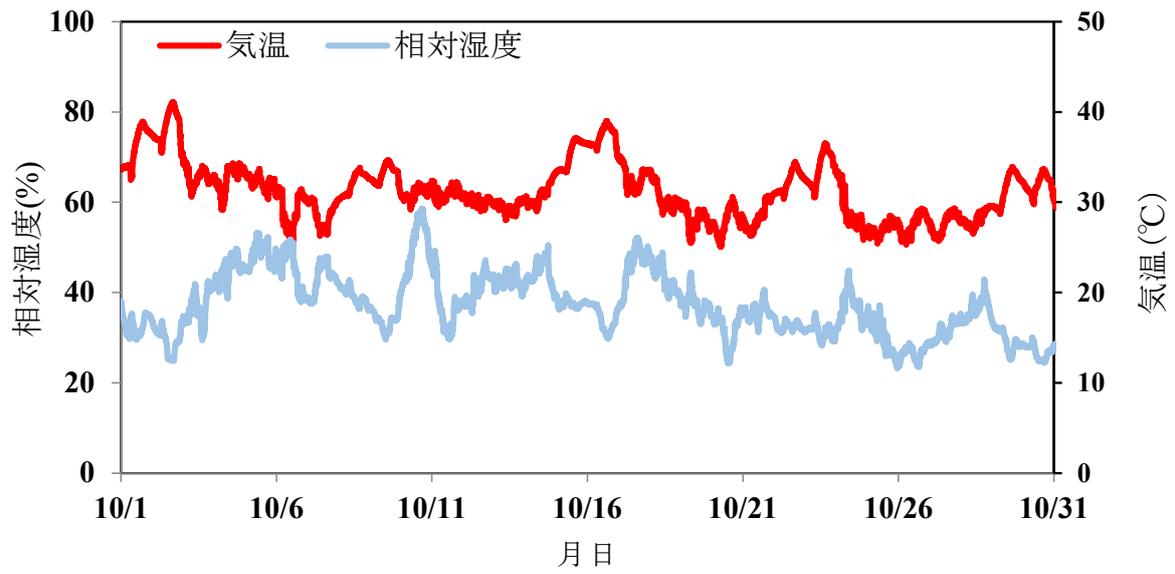
S 加工作業場①10月の温湿度変化図



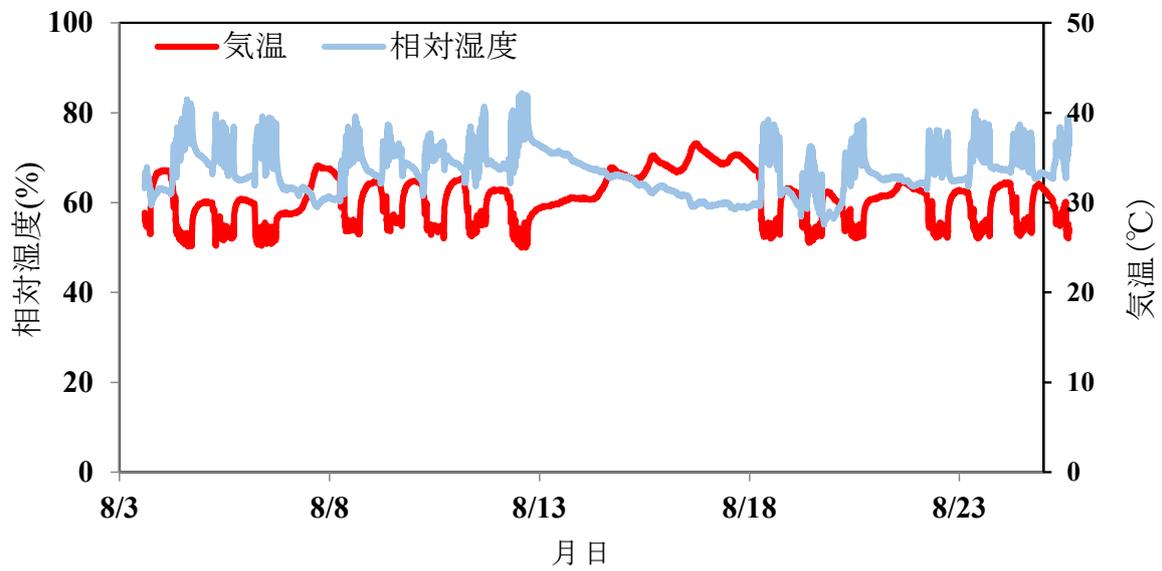
t 焼成作業場(炉前)8月の温湿度変化図



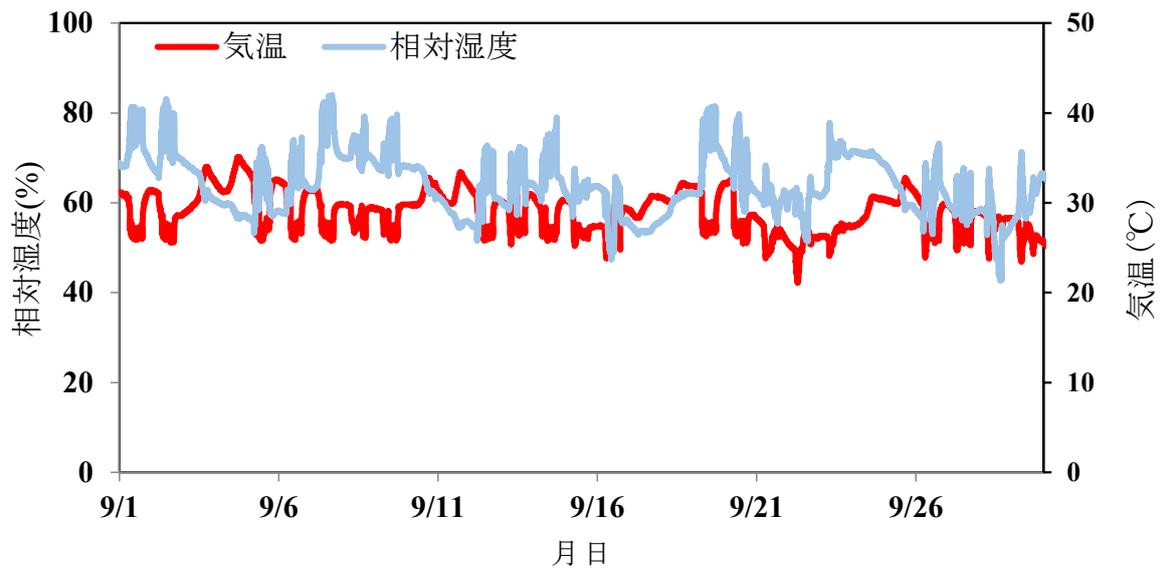
t 焼成作業場(炉前)9月の温湿度変化図



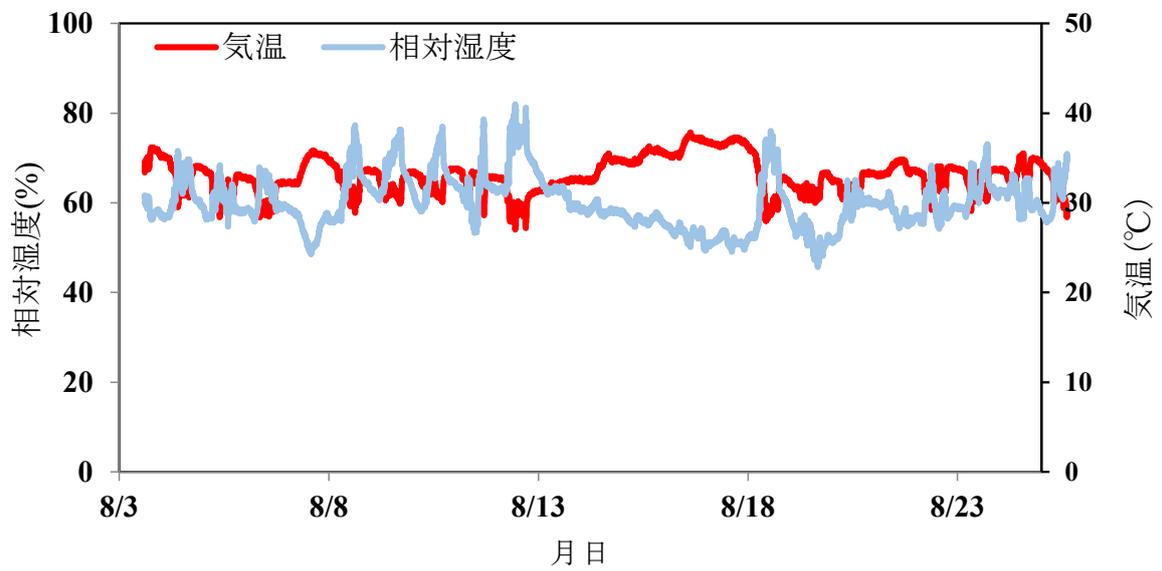
t 焼成作業場(炉前)10月の温湿度変化図



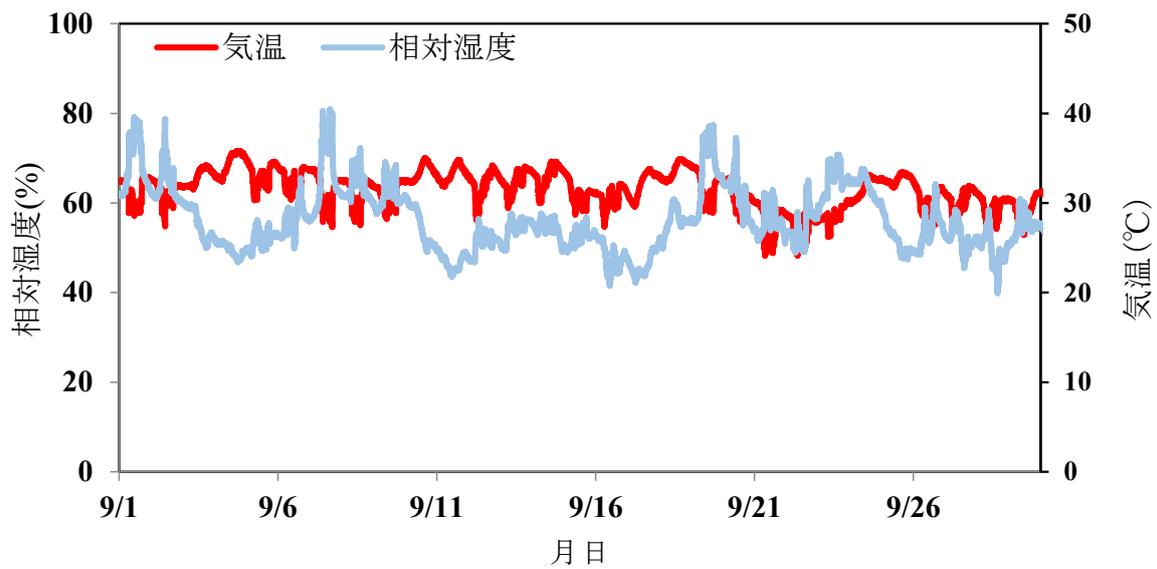
u 加工作業場②8月の温湿度変化図



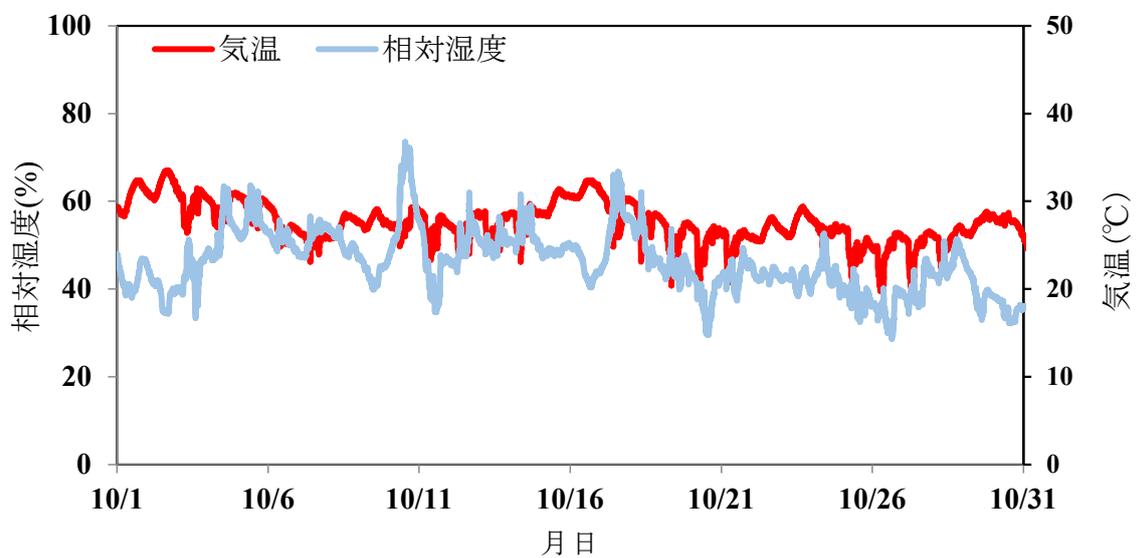
u 加工作業場②9月の温湿度変化図



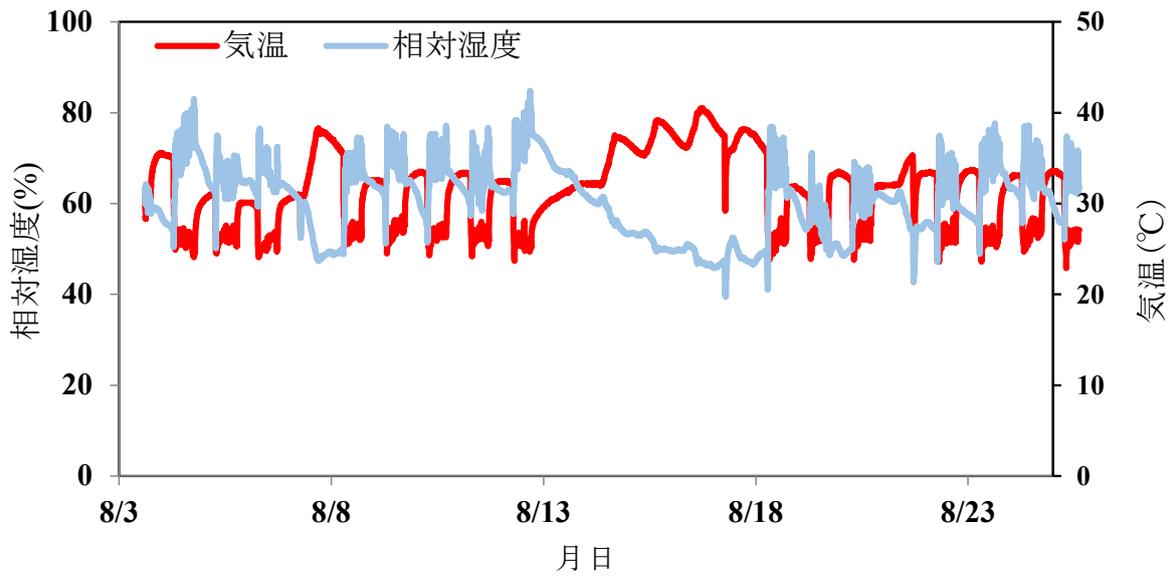
v 加工作業場③8月の温湿度変化図



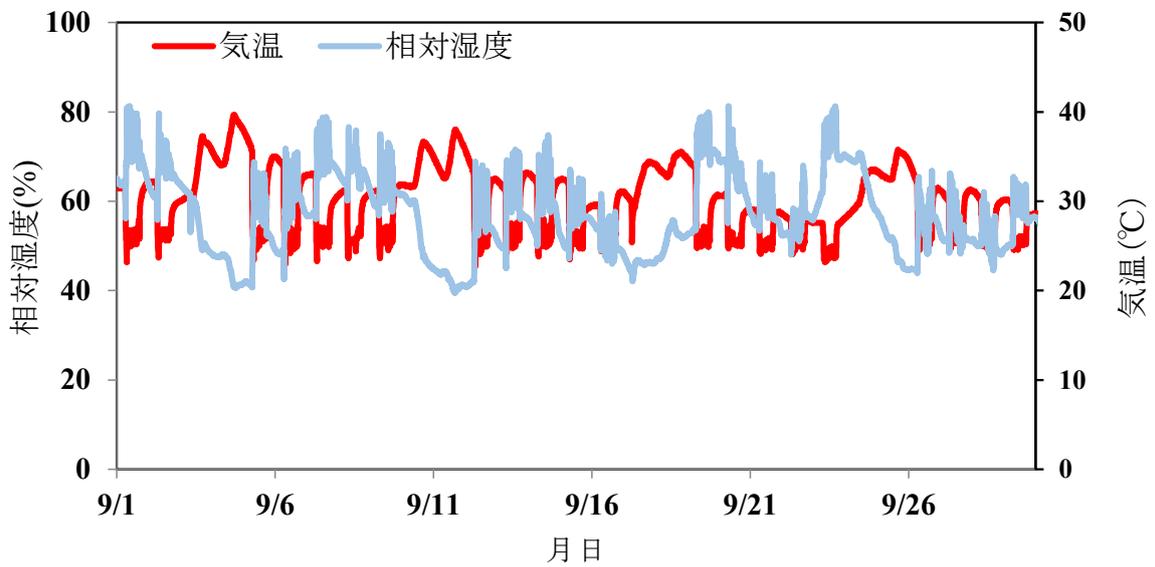
v 加工作業場③9月の温湿度変化図



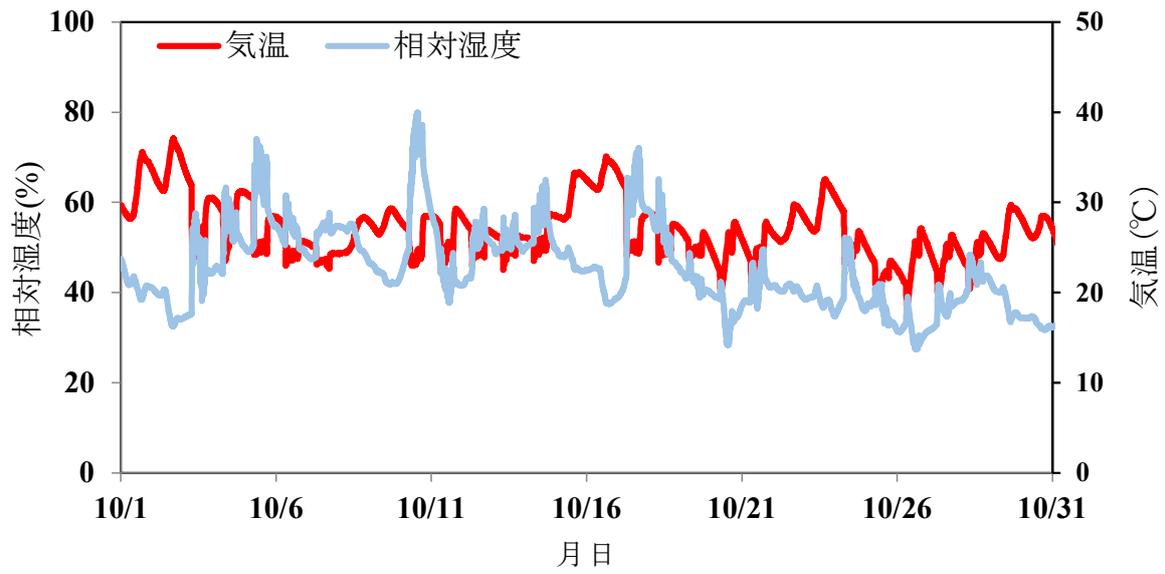
v 加工作業場③10月の温湿度変化図



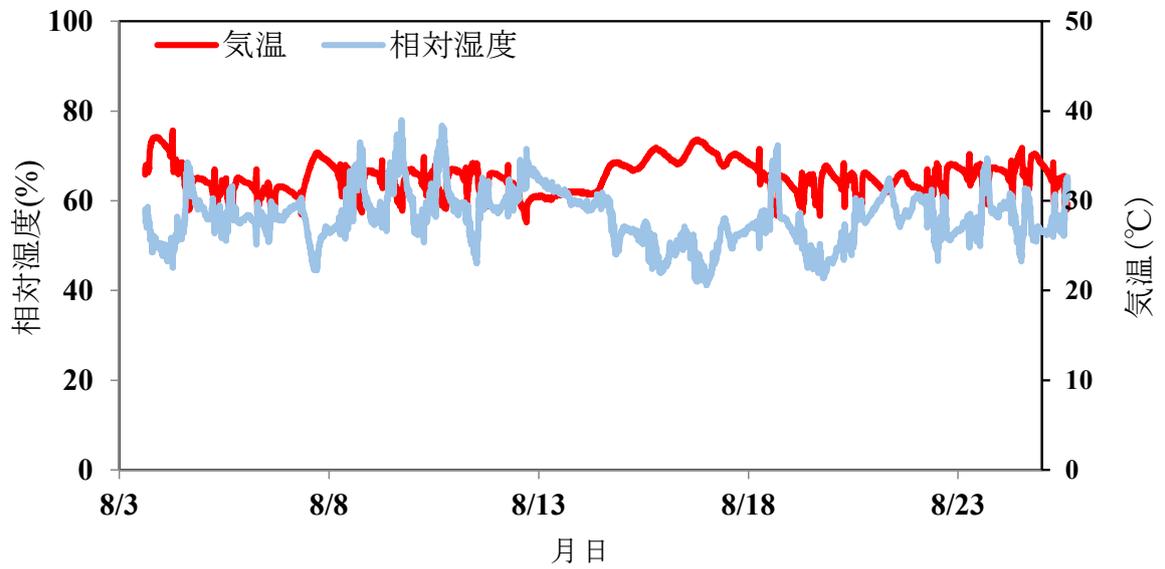
w 焼成作業場（成型機前）8月の温湿度変化図



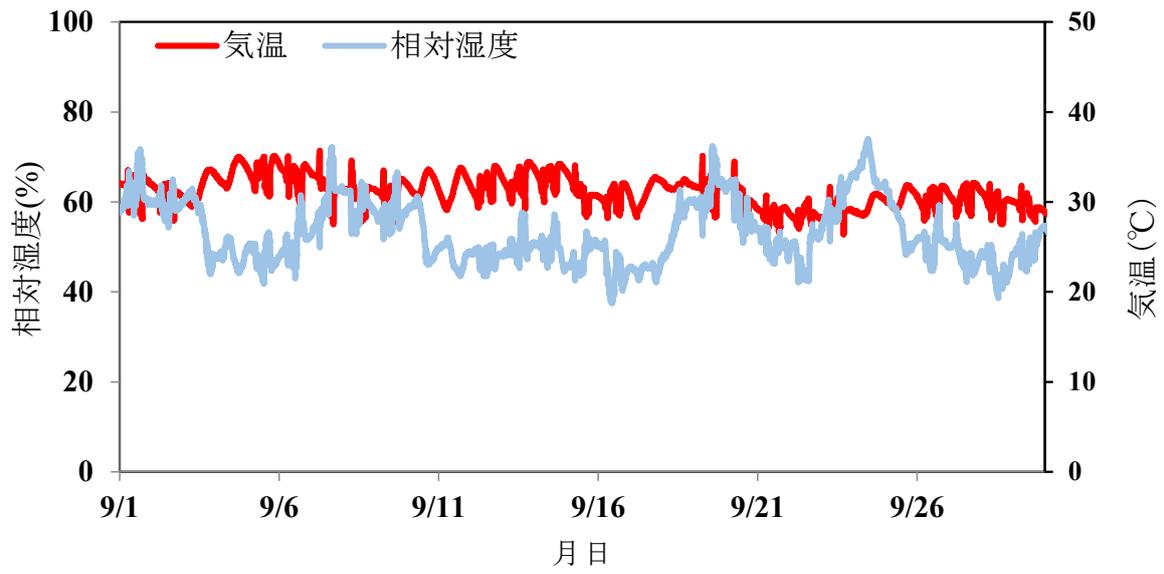
w 焼成作業場（成型機前）9月の温湿度変化図



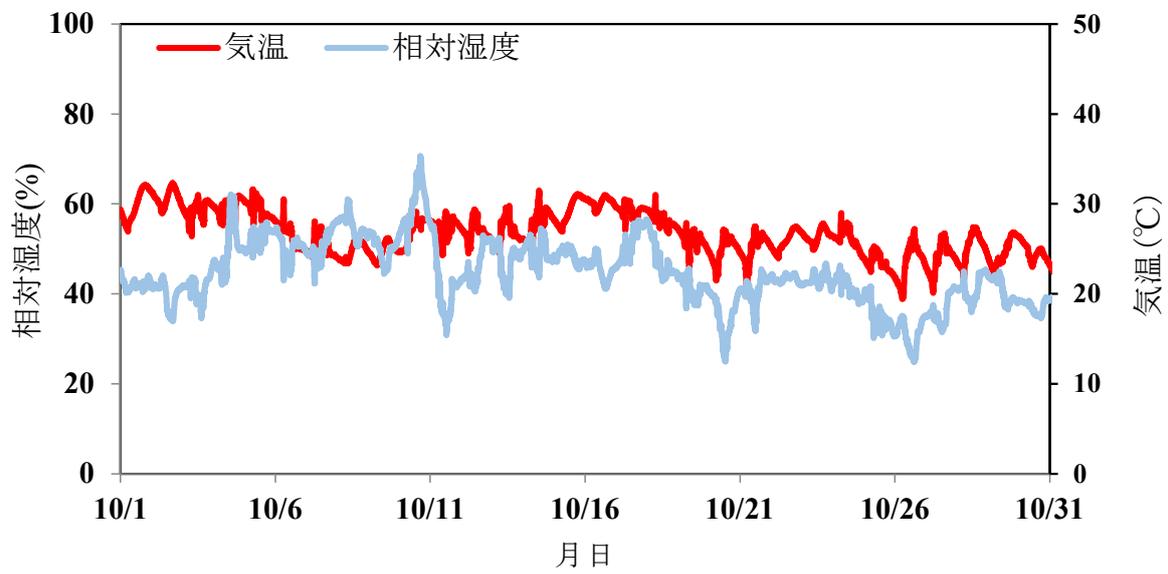
w 焼成作業場（成型機前）10月の温湿度変化図



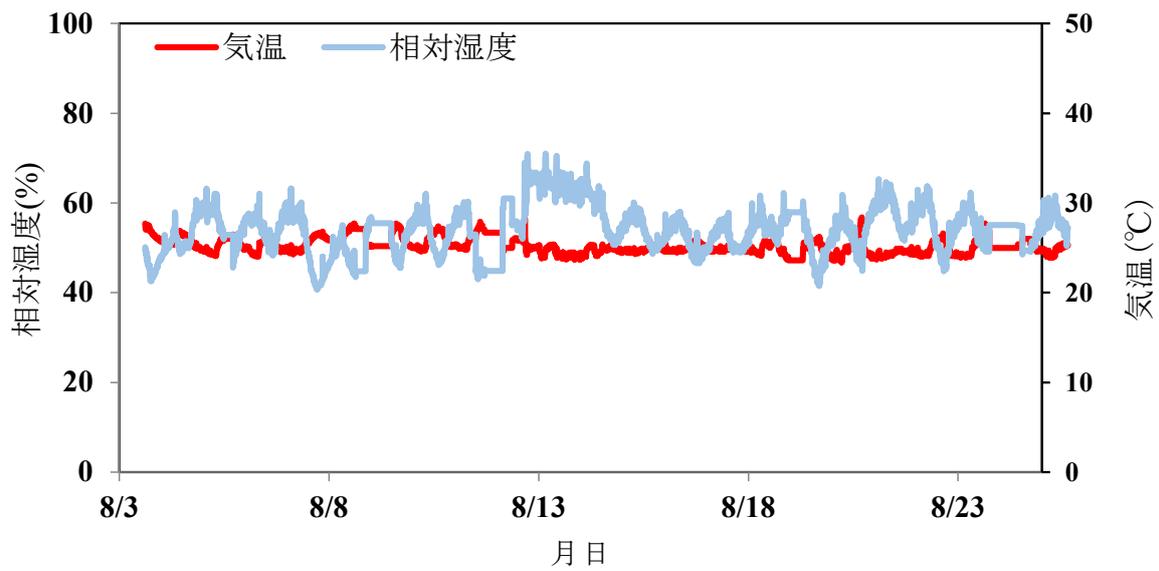
x 加工作業場④8月の温湿度変化図



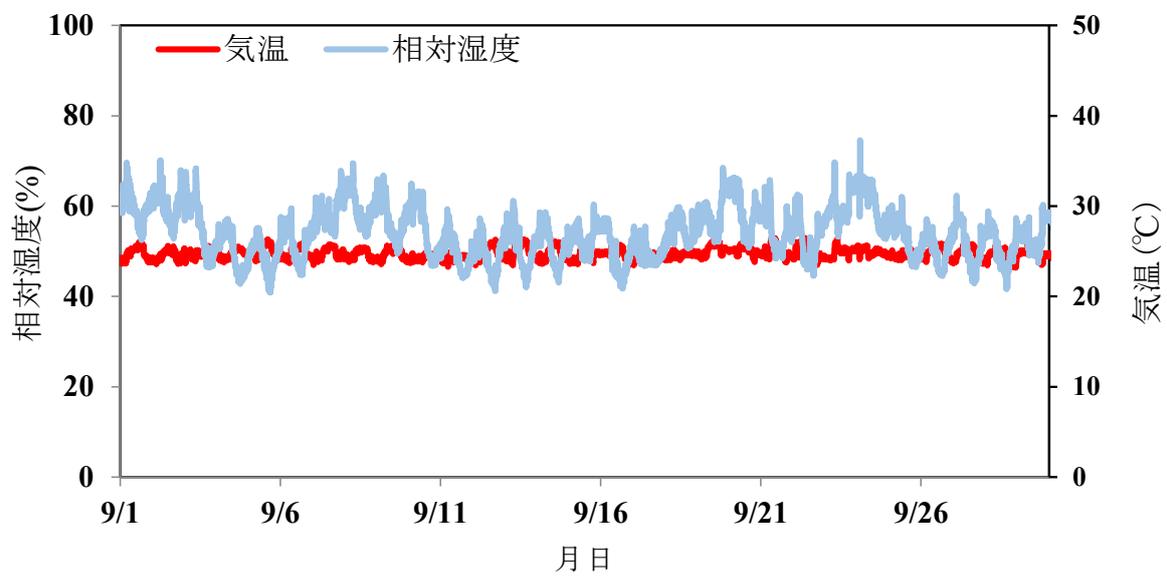
x 加工作業場④9月の温湿度変化図



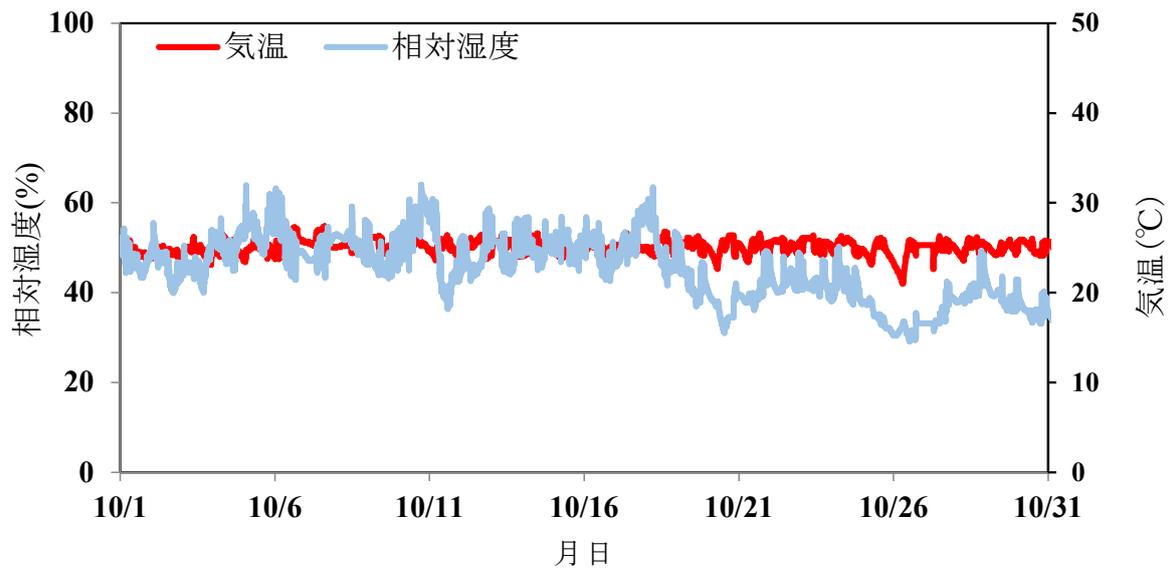
x 加工作業場④10月の温湿度変化図



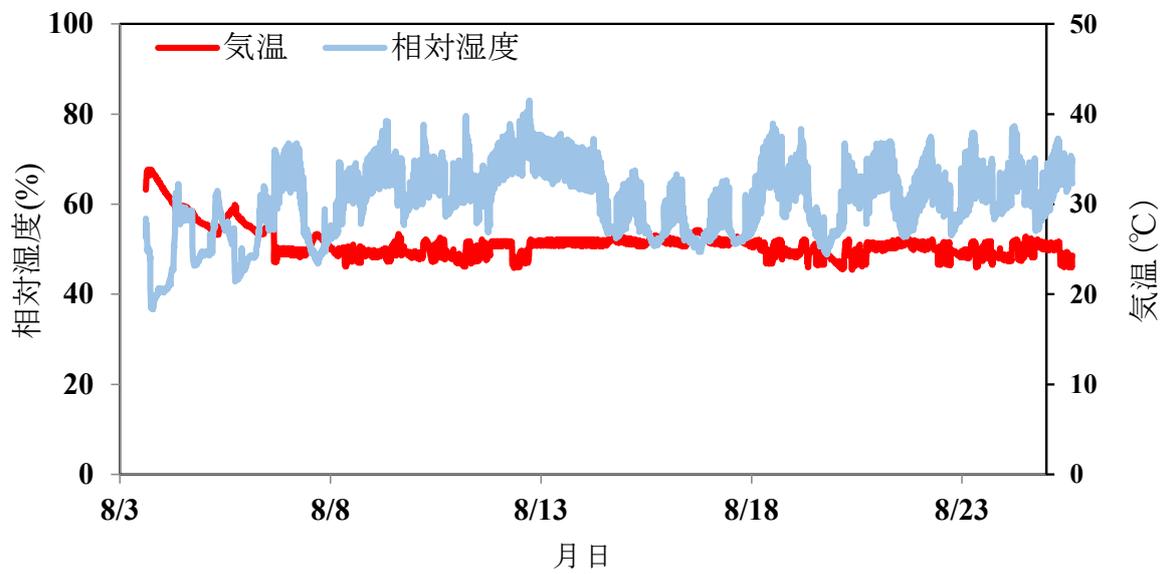
y 製品検品作業場①8月の温湿度変化図



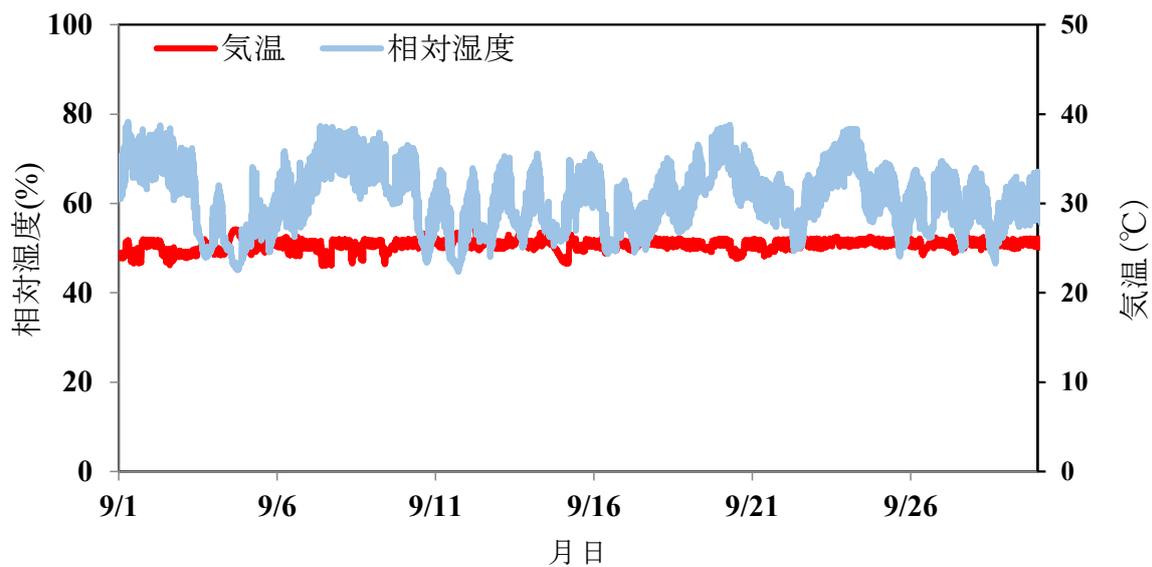
y 製品検品作業場①9月の温湿度変化図



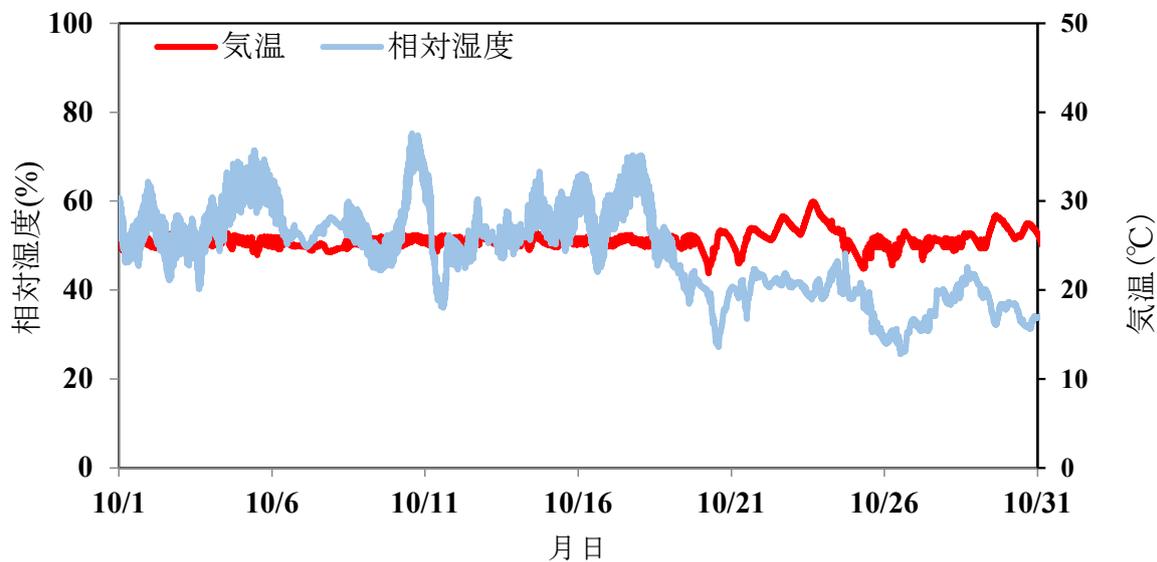
y 製品検品作業場①10月の温湿度変化図



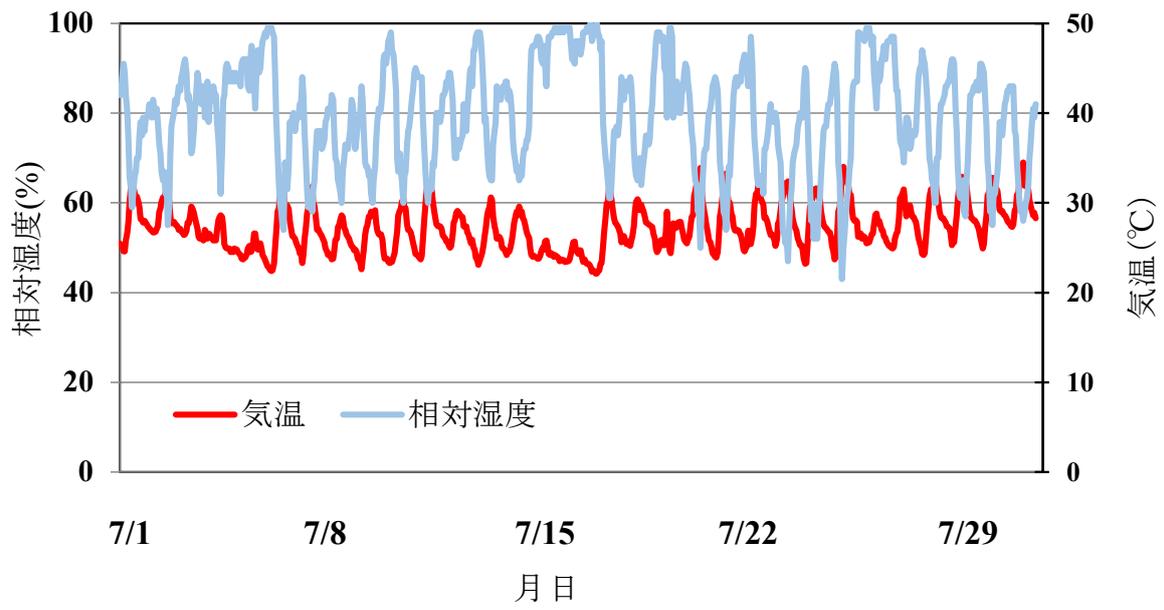
z 製品検品作業場②8月の温湿度変化図



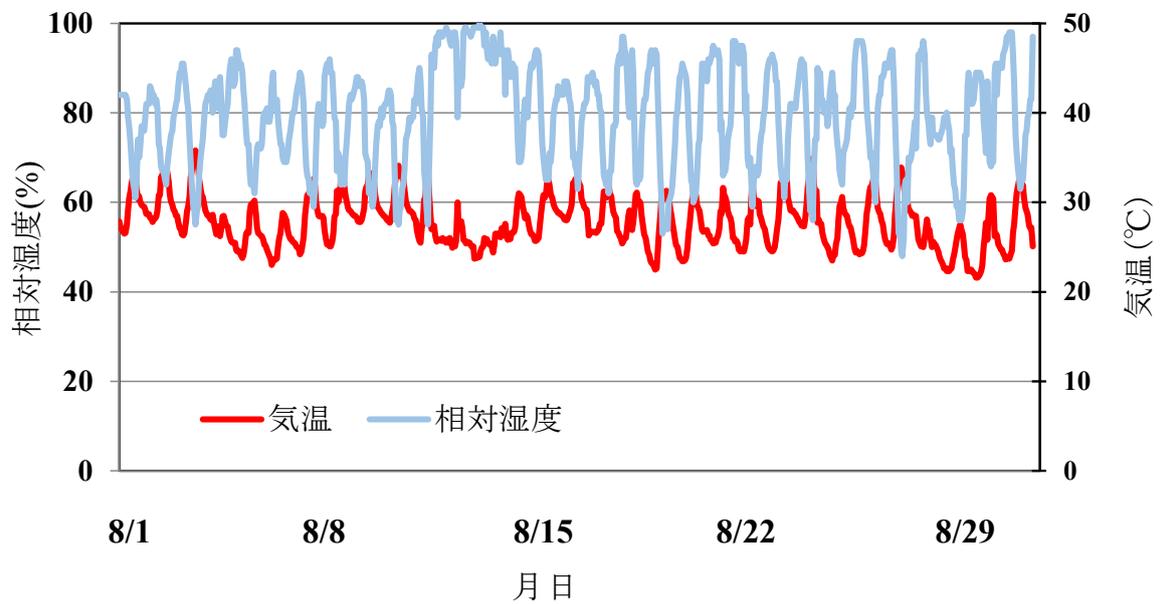
z 製品検品作業場②9月の温湿度変化図



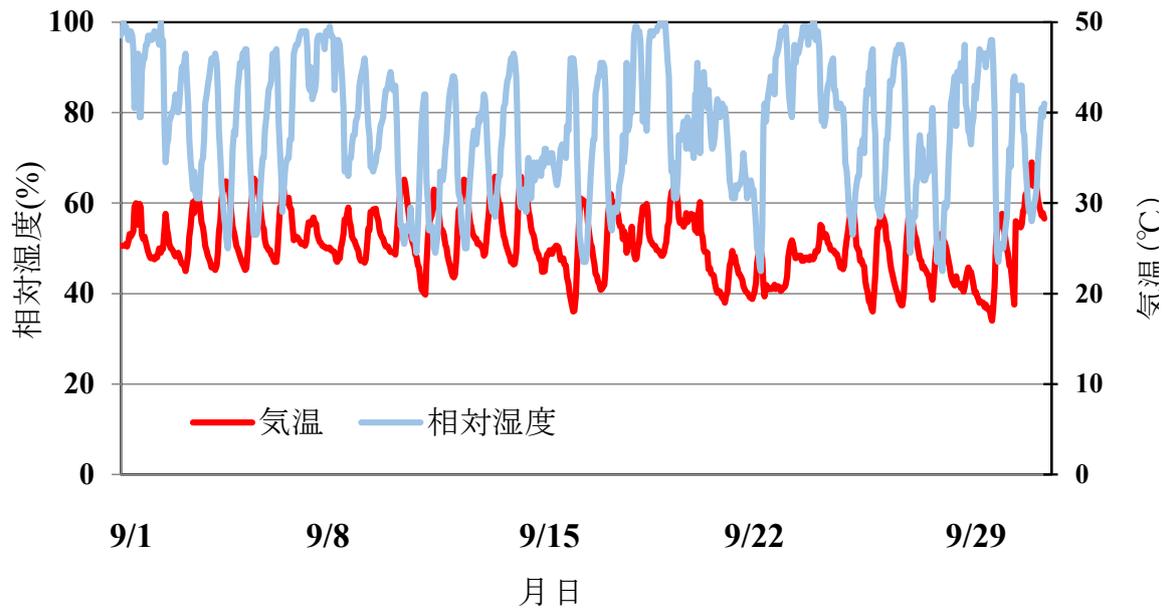
z 製品検品作業場②10月の温湿度変化図



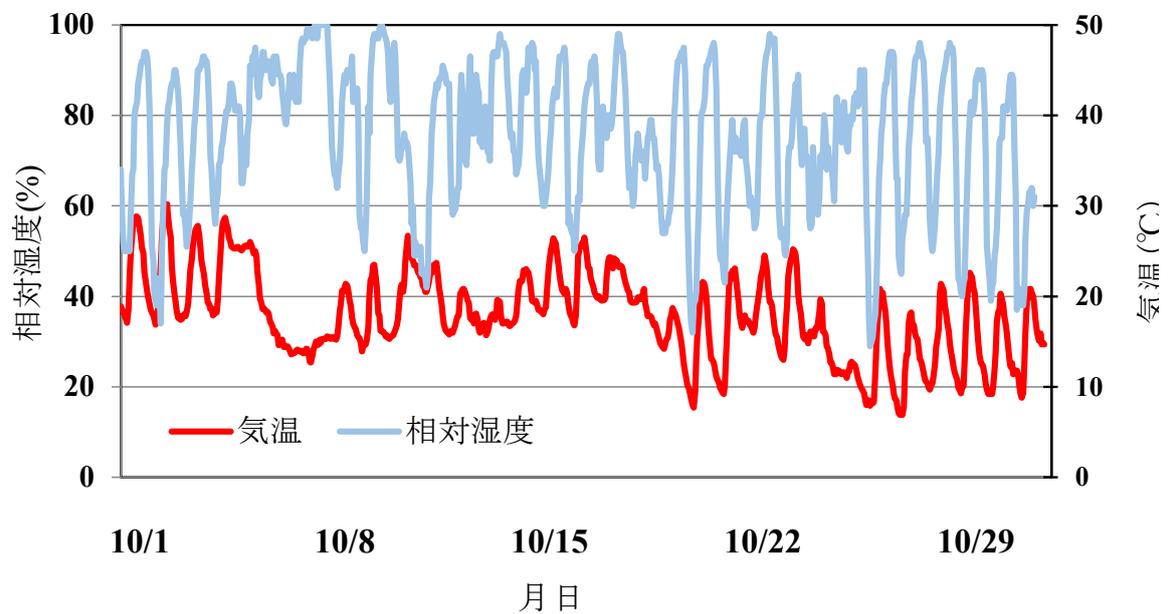
鋳物製造作業場地域（屋外）7月の温湿度変化図



鋳物製造作業場地域（屋外）8月の温湿度変化図



鋳物製造作業場地域（屋外）9月の温湿度変化図



鋳物製造作業場地域（屋外）10月の温湿度変化図

表1 各月の測定結果の平均値、最大値、最小値

| 測定場所 | | 気温 (°C) | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 |
|------|--------------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 屋外 | 平均値 | 9.0 | 8.2 | - | - | - | 26.0 | - | - | - | - |
| | | 最大値 | 15.8 | 19.2 | - | - | - | 30.5 | - | - | - | - |
| | | 最小値 | 1.9 | 1.8 | - | - | - | 23.1 | - | - | - | - |
| a | 厨房内配膳室 | 平均値 | 23.2 | 23.2 | 24.1 | 23.3 | 23.1 | - | 28.7 | 29.3 | 27.5 | 24.2 |
| | | 最大値 | 30.9 | 30.4 | 31.8 | 30.8 | 30.0 | - | 35.3 | 36.7 | 34.3 | 33.1 |
| | | 最小値 | 19.5 | 19.9 | 20.7 | 16.8 | 17.3 | - | 24.3 | 24.1 | 22.1 | 19.7 |
| b | 厨房内(スープ・ケトル) | 平均値 | 22.7 | - | - | - | - | - | - | 30.6 | 27.6 | 23.2 |
| | | 最大値 | 24.8 | - | - | - | - | - | - | 34.1 | 32.1 | 31.3 |
| | | 最小値 | 16.8 | - | - | - | - | - | - | 21.9 | 22.4 | 18.3 |
| c | 厨房内① | 平均値 | 23.7 | - | - | - | - | - | - | 28.6 | 26.1 | 22.8 |
| | | 最大値 | 25.5 | - | - | - | - | - | - | 31.6 | 30.2 | 28.9 |
| | | 最小値 | 21.2 | - | - | - | - | - | - | 22.4 | 22.4 | 18.6 |
| d | 厨房内② | 平均値 | 26.0 | - | - | - | - | - | - | 32.0 | 29.8 | 28.6 |
| | | 最大値 | 30.9 | - | - | - | - | - | - | 37.7 | 35.6 | 34.9 |
| | | 最小値 | 21.7 | - | - | - | - | - | - | 23.1 | 23.8 | 25.6 |
| e | 厨房外食堂 | 平均値 | 24.4 | 24.5 | 25.2 | 24.4 | 24.5 | 26.1 | 28.1 | 29.7 | 26.7 | 23.9 |
| | | 最大値 | 26.7 | 27.3 | 28.3 | 27.4 | 28.7 | 30.8 | 31.1 | 33.1 | 30.6 | 29.6 |
| | | 最小値 | 22.3 | 20.0 | 17.8 | 19.6 | 19.0 | 21.9 | 25.0 | 25.2 | 22.7 | 20.1 |
| f | 厨房外事務室 | 平均値 | 21.3 | 21.7 | 21.3 | 22.3 | 23.8 | 25.0 | 26.4 | 26.8 | 25.9 | 23.7 |
| | | 最大値 | 25.0 | 25.3 | 25.0 | 25.8 | 26.1 | 27.6 | 27.9 | 28.8 | 27.8 | 26.2 |
| | | 最小値 | 16.3 | 18.1 | 17.6 | 17.9 | 19.8 | 23.7 | 24.7 | 25.1 | 24.2 | 20.6 |
| g | 休憩室① | 平均値 | - | - | 24.5 | - | - | 23.2 | - | - | - | - |
| | | 最大値 | - | - | 26.6 | - | - | 24.9 | - | - | - | - |
| | | 最小値 | - | - | 23.1 | - | - | 20.4 | - | - | - | - |
| h | 休憩室② | 平均値 | - | - | - | - | - | 24.0 | - | - | - | - |
| | | 最大値 | - | - | - | - | - | 25.8 | - | - | - | - |
| | | 最小値 | - | - | - | - | - | 21.0 | - | - | - | - |
| 外気 | 平均値 | 6.0 | 5.4 | 11.8 | 15.7 | 19.9 | 24.2 | 28.1 | 29.0 | 25.2 | 18.7 | |
| | 最大値 | 13.6 | 15.0 | 23.7 | 25.9 | 30.0 | 34.3 | 34.9 | 36.1 | 33.3 | 30.7 | |
| | 最小値 | -1.3 | -1.0 | 1.3 | 3.3 | 8.8 | 16.6 | 18.4 | 18.4 | 17.7 | 8.9 | |

| 測定場所 | | 相対湿度(%) | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 |
|------|--------------|---------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| | 屋外 | 平均値 | 54.8 | 50.3 | - | - | - | 66.6 | - | - | - | - |
| | | 最大値 | 85.3 | 88.9 | - | - | - | 77.8 | - | - | - | - |
| | | 最小値 | 31.0 | 24.7 | - | - | - | 55.3 | - | - | - | - |
| a | 厨房内配膳室 | 平均値 | 26.9 | 24.4 | 36.3 | 46.4 | 53.6 | - | 64.4 | 63.2 | 59.6 | 52.2 |
| | | 最大値 | 45.3 | 43.8 | 66.7 | 79.1 | 78.5 | - | 80.0 | 79.1 | 79.3 | 74.5 |
| | | 最小値 | 15.0 | 12.3 | 16.1 | 18.3 | 28.0 | - | 44.5 | 43.4 | 35.5 | 28.1 |
| b | 厨房内(スープ・ケトル) | 平均値 | 29.1 | - | - | - | - | - | - | 68.3 | 68.6 | 59.5 |
| | | 最大値 | 61.8 | - | - | - | - | - | - | 81.3 | 84.0 | 86.3 |
| | | 最小値 | 18.2 | - | - | - | - | - | - | 22.7 | 46.5 | 37.1 |
| c | 厨房内① | 平均値 | 28.6 | - | - | - | - | - | - | 68.8 | 71.0 | 60.1 |
| | | 最大値 | 71.5 | - | - | - | - | - | - | 82.4 | 84.4 | 79.4 |
| | | 最小値 | 17.2 | - | - | - | - | - | - | 21.6 | 48.6 | 37.5 |
| d | 厨房内② | 平均値 | 29.2 | - | - | - | - | - | - | 58.2 | 57.3 | 56.0 |
| | | 最大値 | 56.1 | - | - | - | - | - | - | 75.0 | 70.6 | 68.1 |
| | | 最小値 | 18.0 | - | - | - | - | - | - | 23.2 | 35.5 | 40.0 |
| e | 厨房外食堂 | 平均値 | 25.8 | 24.2 | 35.2 | 44.0 | 49.9 | 62.4 | 67.9 | 66.0 | 66.1 | 54.9 |
| | | 最大値 | 59.8 | 50.2 | 62.1 | 72.9 | 85.4 | 85.3 | 83.7 | 84.5 | 87.3 | 74.3 |
| | | 最小値 | 15.8 | 14.2 | 18.3 | 21.7 | 27.9 | 35.2 | 51.4 | 51.2 | 41.7 | 33.7 |
| f | 厨房外事務室 | 平均値 | 32.8 | 27.1 | 42.7 | 49.7 | 53.8 | 65.3 | 69.1 | 69.6 | 69.0 | 56.4 |
| | | 最大値 | 48.5 | 35.9 | 71.3 | 79.2 | 73.4 | 79.3 | 83.2 | 80.8 | 86.8 | 77.1 |
| | | 最小値 | 19.0 | 19.7 | 23.4 | 28.2 | 34.9 | 48.5 | 53.5 | 56.0 | 45.9 | 37.2 |
| g | 休憩室① | 平均値 | - | - | 38.0 | - | - | 67.5 | - | - | - | - |
| | | 最大値 | - | - | 52.6 | - | - | 78.7 | - | - | - | - |
| | | 最小値 | - | - | 31.3 | - | - | 52.7 | - | - | - | - |
| h | 休憩室② | 平均値 | - | - | - | - | - | 62.2 | - | - | - | - |
| | | 最大値 | - | - | - | - | - | 72.1 | - | - | - | - |
| | | 最小値 | - | - | - | - | - | 51.7 | - | - | - | - |
| 外気 | 平均値 | 64.3 | 58.8 | 67.4 | 68.0 | 65.3 | 75.3 | 78.0 | 76.0 | 76.6 | 70.3 | |
| | 最大値 | 100.0 | 99.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.0 | |
| | 最小値 | 34.0 | 23.0 | 15.0 | 20.0 | 20.0 | 28.0 | 41.0 | 47.0 | 42.0 | 33.0 | |

| 測定場所 | | 気温 (°C) | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 |
|------|--------------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| i | 屋内溶接作業場① | 平均值 | 30.7 | 31.8 | 28.4 | 22.8 |
| | | 最大值 | 42.0 | 39.1 | 38.5 | 35.0 |
| | | 最小値 | 26.0 | 27.2 | 22.4 | 16.4 |
| j | 屋内溶接作業場② | 平均值 | 28.2 | 29.1 | 26.3 | 20.7 |
| | | 最大值 | 36.2 | 33.3 | 34.4 | 28.8 |
| | | 最小値 | 23.5 | 25.0 | 20.5 | 14.2 |
| k | 屋内作業場① | 平均值 | 29.1 | 30.2 | 27.0 | 20.3 |
| | | 最大值 | 37.8 | 35.9 | 36.9 | 30.5 |
| | | 最小値 | 23.9 | 25.1 | 20.8 | 14.2 |
| l | 屋内溶接作業場③ | 平均值 | 30.1 | 30.8 | 28.0 | 22.5 |
| | | 最大值 | 36.9 | 34.0 | 36.1 | 30.2 |
| | | 最小値 | 25.8 | 27.3 | 21.4 | 15.9 |
| m | 屋外作業場① | 平均值 | 30.0 | 30.9 | 27.1 | 21.8 |
| | | 最大值 | 37.2 | 36.5 | 36.0 | 31.8 |
| | | 最小値 | 25.1 | 25.8 | 21.1 | 15.5 |
| n | 屋外作業場② | 平均值 | 31.1 | 32.2 | 27.6 | 21.7 |
| | | 最大值 | 44.7 | 43.2 | 44.2 | 36.3 |
| | | 最小値 | 24.0 | 25.6 | 20.7 | 14.6 |
| o | 敷地外作業場 | 平均值 | 30.8 | 32.8 | 27.9 | 19.8 |
| | | 最大值 | 42.1 | 60.4 | 48.0 | 33.7 |
| | | 最小値 | 24.2 | 26.6 | 20.7 | 12.2 |
| p | 屋外作業場② | 平均值 | 29.8 | 30.5 | - | 25.1 |
| | | 最大值 | 38.9 | 34.8 | - | 33.3 |
| | | 最小値 | 25.0 | 22.8 | - | 17.6 |
| q | 製造船舶内作業場 | 平均值 | 29.3 | 35.1 | 28.1 | - |
| | | 最大值 | 39.8 | 46.7 | 43.9 | - |
| | | 最小値 | 24.0 | 26.0 | 20.2 | - |
| r | 屋内作業場② | 平均值 | 29.3 | 32.0 | - | - |
| | | 最大值 | 43.7 | 36.2 | - | - |
| | | 最小値 | 23.0 | 28.0 | - | - |
| | 造船作業場 屋外 | 平均值 | 28.2 | 28.7 | 26.0 | 19.8 |
| | | 最大值 | 36.0 | 33.7 | 35.5 | 29.9 |
| | | 最小値 | 22.6 | 22.0 | 18.9 | 11.9 |
| s | 加工作業場① | 平均值 | 27.2 | 30.3 | 31.0 | 27.1 |
| | | 最大值 | 33.7 | 37.7 | 38.2 | 35.3 |
| | | 最小値 | 22.5 | 24.9 | 25.5 | 19.1 |
| t | 焼成作業場 (炉前) | 平均值 | - | 36.5 | 34.7 | 31.2 |
| | | 最大值 | - | 43.9 | 43.2 | 41.1 |
| | | 最小値 | - | 30.8 | 27.7 | 25.1 |
| u | 加工作業場② | 平均值 | - | 30.4 | 28.9 | - |
| | | 最大值 | - | 36.6 | 35.1 | - |
| | | 最小値 | - | 25.0 | 21.1 | - |
| v | 加工作業場③ | 平均值 | - | 33.0 | 31.4 | 27.5 |
| | | 最大值 | - | 37.8 | 35.8 | 33.5 |
| | | 最小値 | - | 27.0 | 24.1 | 19.8 |
| w | 焼成作業場 (成型機前) | 平均值 | - | 31.4 | 30.0 | 27.0 |
| | | 最大值 | - | 40.5 | 39.7 | 37.1 |
| | | 最小値 | - | 22.9 | 22.7 | 18.5 |
| x | 加工作業場④ | 平均值 | - | 32.6 | 31.0 | 26.7 |
| | | 最大值 | - | 37.8 | 35.7 | 32.3 |
| | | 最小値 | - | 27.6 | 26.3 | 19.4 |
| y | 製品検品作業場① | 平均值 | - | 25.2 | 24.7 | 25.0 |
| | | 最大值 | - | 28.4 | 26.7 | 27.4 |
| | | 最小値 | - | 23.4 | 23.2 | 21.0 |
| z | 製品検品作業場② | 平均值 | - | 25.6 | 25.4 | 25.6 |
| | | 最大值 | - | 33.8 | 27.8 | 29.9 |
| | | 最小値 | - | 22.7 | 23 | 21.9 |
| | 鋳物清掃作業場 外気 | 平均值 | 27.2 | 27.8 | 25.3 | 17.9 |
| | | 最大值 | 34.5 | 35.8 | 32.9 | 30.2 |
| | | 最小値 | 22.1 | 21.6 | 17.0 | 6.9 |

| 測定場所 | | 相对湿度(%) | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 |
|------|--------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| i | 屋内溶接作業場① | 平均值 | 71.7 | 74.8 | 66.9 | 60.9 |
| | | 最大値 | 91.5 | 88.8 | 87.2 | 84.7 |
| | | 最小値 | 37.9 | 47.4 | 38.9 | 29.3 |
| j | 屋内溶接作業場② | 平均值 | 80.9 | 84.9 | 75.2 | 68.7 |
| | | 最大値 | 94.3 | 94.3 | 93.1 | 93.3 |
| | | 最小値 | 49.5 | 60.4 | 41.2 | 31.2 |
| k | 屋内作業場① | 平均值 | 77.9 | 80.6 | 71.9 | 65.1 |
| | | 最大値 | 94.6 | 95.5 | 95.3 | 90.8 |
| | | 最小値 | 45.4 | 53.9 | 39.6 | 26.9 |
| l | 屋内溶接作業場③ | 平均值 | 71.9 | 77.5 | 67.0 | 59.9 |
| | | 最大値 | 83.7 | 90.6 | 82.9 | 86.2 |
| | | 最小値 | 46.2 | 60.1 | 42.8 | 31.8 |
| m | 屋外作業場① | 平均值 | 74.4 | 76.1 | 71.8 | 65.1 |
| | | 最大値 | 86.2 | 85.2 | 88.1 | 82.8 |
| | | 最小値 | 62.2 | 64.3 | 61.5 | 49.6 |
| n | 屋外作業場② | 平均值 | 66.0 | 67.3 | 70.1 | 69.5 |
| | | 最大値 | 89.0 | 91.6 | 90.0 | 79.0 |
| | | 最小値 | 44.4 | 44.9 | 38.2 | 57.7 |
| o | 敷地外作業場 | 平均值 | 71.9 | 72.9 | 75.4 | 66.3 |
| | | 最大値 | 90.6 | 92.6 | 97.8 | 88.5 |
| | | 最小値 | 37.3 | 31.2 | 28.7 | 23.5 |
| p | 屋外作業場② | 平均值 | 76.3 | 77.5 | - | 53.1 |
| | | 最大値 | 100.0 | 97.0 | - | 74.5 |
| | | 最小値 | 37.2 | 33.6 | - | 32.2 |
| q | 製造船舶内作業場 | 平均值 | 68.0 | 67.0 | 81.1 | - |
| | | 最大値 | 88.6 | 100.0 | 100.0 | - |
| | | 最小値 | 43.0 | 32.9 | 25.0 | - |
| r | 屋内作業場② | 平均值 | 69.0 | 80.2 | - | - |
| | | 最大値 | 89.8 | 96.8 | - | - |
| | | 最小値 | 41.2 | 64.9 | - | - |
| | 造船作業場 屋外 | 平均值 | 79.9 | 80.8 | 73.1 | 67.1 |
| | | 最大値 | 99.0 | 99.0 | 100.0 | 100.0 |
| | | 最小値 | 45.0 | 47.0 | 42.0 | 26.0 |
| s | 加工作業場① | 平均值 | 68.1 | 60.8 | 55.7 | 45.9 |
| | | 最大値 | 83.2 | 79.6 | 79.3 | 72.8 |
| | | 最小値 | 51.7 | 41.6 | 38.4 | 29.0 |
| t | 焼成作業場 (炉前) | 平均值 | - | 51.7 | 47.6 | 37.1 |
| | | 最大値 | - | 68.7 | 67.3 | 58.6 |
| | | 最小値 | - | 37.2 | 32.1 | 23.3 |
| u | 加工作業場② | 平均值 | - | 67.1 | 64.1 | - |
| | | 最大値 | - | 84.3 | 83.9 | - |
| | | 最小値 | - | 55.2 | 42.7 | - |
| v | 加工作業場③ | 平均值 | - | 60.1 | 56.0 | 45.9 |
| | | 最大値 | - | 82.0 | 80.9 | 73.5 |
| | | 最小値 | - | 45.7 | 39.8 | 28.6 |
| w | 焼成作業場 (成型機前) | 平均值 | - | 61.0 | 56.9 | 44.9 |
| | | 最大値 | - | 84.8 | 81.3 | 79.9 |
| | | 最小値 | - | 39.4 | 39.5 | 27.4 |
| x | 加工作業場④ | 平均值 | - | 56.1 | 52.8 | 44.5 |
| | | 最大値 | - | 78.0 | 74.0 | 70.6 |
| | | 最小値 | - | 41.2 | 37.5 | 24.8 |
| y | 製品検品作業場① | 平均值 | - | 54.0 | 54.0 | 45.1 |
| | | 最大値 | - | 71.0 | 74.6 | 64.0 |
| | | 最小値 | - | 40.7 | 40.9 | 29.2 |
| z | 製品検品作業場② | 平均值 | - | 60.9 | 61.3 | 48.0 |
| | | 最大値 | - | 83.0 | 78.2 | 75.2 |
| | | 最小値 | - | 36.7 | 44.8 | 25.6 |
| | 鋳物清掃作業場 外気 | 平均值 | 79.5 | 79.8 | 77.0 | 75.5 |
| | | 最大値 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| | | 最小値 | 43.0 | 48.0 | 45.0 | 29.0 |

8 屋内作業場における暑熱環境下作業時の個人測定と身体冷却装置の効果検証

研究分担者 丸山 崇

産業医科大学 医学部 第1生理学 准教授

研究要旨

【目的】熱中症は時に生命の危機をおよぼすこともある病態であり、労働災害の観点からも予防すべき重要な課題の一つである。特に屋内作業場では、熱中症リスクが高くなることが知られており、効果的な熱中症予防対策が急がれる。熱中症リスクを評価する際に、定点測定とともに、空間的・時間的な作業環境の把握のため、ポータブルWBGT計等での個人測定が有用と考えられる。また、作業者の個人要因によって熱中症リスクは異なるため、環境要因のリスク評価に加え、心拍数などによる身体負荷の把握も一つの指標となる。また、主観的な暑熱レベル（暑さ）と作業負荷レベル（きつさ）の経時間的な記録も一つの指標となると考えられる。今回、熱中症リスクが高いと考えられる屋内作業場として、1年目に調理業（大学病院厨房）、2年目は調理業に加えて、製造業、クリーニング業の現場で働く作業者の個人計測を行い、作業環境及び個人の熱中症リスクの評価を試みた。また、熱中症予防対策として、身体冷却装置（ポータブルファン及び冷却ベスト）を使用した際の熱中症リスク低減効果を検証するため、同一作業者において身体冷却装置装着条件と装着なし条件の個人計測を行うとともに、人工気候室における暑熱環境において運動負荷をおこなった際の冷却ベストによる負荷軽減効果を検証した。

【方法】測定場所および測定対象者は、(1年目) 調理業（大学病院の厨房での調理作業）[対象者：男性3名]、(2年目) ①製造業（屋内粉体加工作業など）[対象者：男性4名]②クリーニング業（リネン室における洗濯およびアイロン作業など）[対象者：女性3名]③調理業（屋内厨房における調理・洗浄など）[対象者：女性2人]であり、作業時間内にポータブル温熱計によるWBGT計測、心電計による心拍計測、胸部体表温計測を連続的に行った。また、10段階の主観的作業負荷、主観的暑熱負荷、作業内容の記録も併せて行った。また、熱中症予防のための身体冷却装置として、ポータブルファン及び冷却ベストを用いて、同一被験者において装着あり/なしの2条件の計測を別日に行った。

また、人工気候室において健康な成人男性2名（21-23歳）の被験者に気温35℃、湿度50%の暑熱環境下で、エルゴメーターにより80Wの運動負荷を2回（18分×2回）加える実験をおこなった。同一被験者が、(A)作業着のみ着用(B)作業着+冷却ベスト着用の2条件の実験を別日に実施した。実験では、直腸温による深部体温測定その他、心電測定や自覚的運動負荷の測定を運動負荷前後も含め継続的に行った。

【結果】1年目の厨房における調理業での測定においては、作業内容を「調理」「配膳」「片付け（洗浄）」「休憩」に分けた場合、特に調理作業において、一時的にWBGTが30℃を超える作業があり、体表温、心拍数が上昇する傾向が見られ、自覚的にも暑熱負荷、作業負荷が増大していた。休憩時には、心拍数は低下し、身体負荷の低減が行われていた。各作業カテゴリでの比較では、調理作業が他の作業に比して有意に負荷が高かった。2年目の現場での測定では、粉体加工をする製造業現場において、WBGTが30℃を超える作業場所（点検準備）や心拍数が140bpmを超え

る負荷の高い作業（投入回収作業）が確認された。リネン室でのクリーニング作業では、アイロンプレス作業において、暑熱負荷や作業負荷が高いと考えられた。身体冷却装置の検証では、厨房においてポータブルファンを使用した際の計測では、各カテゴリでの比較において明らかな負荷軽減は認めなかった。水冷ベストを使用した際の測定では、心拍数など客観的な指標では明らかな効果は認められなかったが、リネン室でのプレス作業など負荷の高い作業において主観的な暑さレベルや負荷レベルを低減する効果が認められた。人工気候室における暑熱環境下運動負荷試験では、運動前の最低値（ベースライン）を基準にした温度変化（上昇量）を比較したところ、冷却ベスト着用条件の方が深部体温の上昇量が低かった。また、運動負荷の無い、休憩時間において、冷却ベスト着用時に心拍数の低下が大きい傾向が見られた。

【結語】可動式のポータブル WBGT 計や心電計による個人測定は熱中症リスクの高い作業（作業環境、作業内容）を抽出するために有用であり、熱中症リスクの高くなる作業に対し、優先的に対策を行うことで、暑熱ばく露や身体負荷を減らし、熱中症リスクを低減させることが出来ると考えられた。また、熱中症対策としての身体冷却装置は、検証には至っていないものの、負荷軽減効果を期待させる結果が示され、追加的対策としては有用性があると考えられた。

A. 研究目的

厚生労働省「業務上疾病発生状況等調査」によると、職場における熱中症による休業4日以上の死傷者数は2019年は790人（内死亡者数26人）、2020年は959人（内死亡者数22人）、2021年は561人（内死亡者数20人）であり、熱中症の予防は労働現場における重要な課題である。また、暑熱環境下において負荷の大きい作業を行う場合は、熱中症リスクが上がるため、特に注意が必要であり、熱中症による労働災害を予防するためには、暑熱環境下での作業環境の評価や身体負荷を把握し、負荷を低減するための対策を取ることが重要である。

熱中症リスクを評価する際に、環境要因の把握のため WBGT による作業環境測定が行われるが、特定の作業場所に留まらず移動しながら作業する場合や、一時的に非常に暑熱曝露の大きい場所での作業が必要になることもあり、定点測定とともに、空間的・時間的な作業環境の把握のため、作業者が携帯するポータブル WBGT 計での測定が有用と考えられる。また、作業者の個人要因によって熱中症リスクは異なるため、環境要因のリスク評価に加え、個人

要因として作業者への暑熱負荷の程度を把握することが必要である。

今回の研究の目的は、①熱中症リスクが高くなると考えられる屋内作業場において、暑熱環境での労働作業の作業環境および身体負荷を、可動式の計測器で個人計測し、暑熱ばく露や身体負荷の特徴を把握する②暑熱環境下で作業する際の熱中症予防対策として、身体冷却装置（ポータブルファン及び冷却ベスト）を使用した際の暑熱負荷低減効果を検証することとし、暑熱作業現場における被験者協力のもと測定実験をおこなった。

また、冷却ベストによる負荷軽減効果を検証するため、人工気候室において、暑熱環境下の運動負荷試験を行い、冷却ベスト着用あり/なしの各条件で生体測定データを比較検討した。

B. 研究方法

1 測定場所および測定対象者

（1年目）調理業（大学病院の厨房での調理作業）[対象者：男性3名]

（2年目）①製造業（屋内粉体加工作業など）[対象者：男性4名]②クリーニング業（リネン

室における洗濯およびアイロン作業など) [対象者: 女性 3 名]③調理業 (屋内厨房における調理・洗浄など) [対象者: 女性 2 人]

2 測定項目:

ポータブル温熱計による WBGT・温度・湿度計測[無線黒球式熱中症指数計(TANITA 社)], 心電計による心拍計測[MyBeat 心拍センサ(ユニオンツール)], 胸部体表温計測[T 型熱電対 LogStick]を用いて作業時間内(始業から終業までの間)連続的測定した。測定の概要と測定機器の装着の画像を(資料)に示す。各計測データの 1 分間の平均値を計測値とした。また、主観的作業負荷、主観的暑熱負荷、作業内容の記録も併せて行った。主観的作業負荷(作業のきつさ)、主観的暑熱負荷(作業時の暑さ)は 30 分毎に 10 段階で評価した。作業内容を 30 分毎に記録し、それぞれの作業現場において次のように作業分類を行い、最も時間を費やした作業を代表して記録した。

①クリーニング業(アイロン作業など)～「プレスアイロン作業」「たたみ作業」「休憩」

②製造業(屋内粉体加工作業)～「休憩」「事務・打合せ」「点検準備(巡回・サンプリング含む周辺作業)」「投入・回収作業(メイン作業)」

③調理業(屋内厨房における調理・洗浄など)～「調理」「配膳」「片付け(洗浄)」「休憩」

上記作業現場において、同一作業者に(A)作業服のみ(B)作業服+身体冷却装置着用の 2 条件で、それぞれ異なる作業日に測定を行なった。身体冷却装置は、1 年目はポータブルファン、2 年目は冷却ベストを使用した。

測定不良のあった計測データに関しては、解析対象から除外した。

データは 1 分毎の経時的データによる分析と 1 年目は 1 時間ごと、2 年目は 30 分ごとの作業カテゴリと各種測定値の平均を 1 つの測

定単位として、各測定カテゴリごとに測定値の比較を行った。各測定値の比較は JMP ver15.0 (SAS Institute Inc.)を用いて、主効果の有意性を一元配置分散分析を用いて確認し、各水準間の有意性の検定のために Tukey-Kramer 法の多重比較を行なった。また、身体冷却装置あり/なしの平均比較を行い、*p 値 <0.05 をもって有意差ありとした。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. 結果

1 1 年目: 調理業(大学病院厨房)での計測結果

測定データの経過観察では、調理作業において、一時的に WBGT が 30°C を超える作業があり、体表温、心拍数も上昇する傾向が見られ、自覚的にも暑熱負荷、作業負荷が増大していた。休憩時は、温湿度、WBGT が低下するとともに体表温や心拍数が低下し、身体負荷の低減が行われていた。

作業カテゴリによる比較では、調理作業において、WBGT と体表温では有意な高値を認めた。心拍数では、調理においてやや高い傾向が見られたが、有意差は認められなかった。自覚的負荷レベルでは、作業負荷において、調理が配膳と片付けに比べ有意に高かった。自覚的暑熱負荷に関しては、調理が高い傾向にあるものの、有意な差は認めなかった。

ポータブルファンを使用した際の計測では、体表温は低下する傾向にあったが、心拍はポータブルファン使用時の方が上昇している場合もあり、自覚的な作業負荷や暑熱負荷においても明らかな軽減は認めなかった。各カテゴリ毎のポータブルファン装着あり/なしでの平均比較では、全てのカテゴリにおいて有意な差は認められなかった。

2 2 年目: 製造業、クリーニング業、調理業で

の計測結果

各被験者の測定データの1分毎の経時的変化の観察において、①製造業（屋内粉体加工作業）での現場測定データでは、WBGT30°Cを超える作業が、定期的に出現し、心拍数140bpmを超える作業も確認された。作業カテゴリでは、点検準備作業時のWBGTが高く、自覚的な暑さレベルも高い傾向にあった。心拍数や自覚的作業負荷は、投入回収作業で高かった。通常作業服のみと冷却ベスト使用時の比較においては、有意な差は認めなかった。

クリーニング業（アイロン作業など）の作業現場における測定では、WBGTや暑熱負荷に加え、心拍数や自覚的作業負荷レベルもアイロンプレス作業が高い傾向にあった。作業服のみと冷却ベストの比較では、WBGT、体表温、心拍数の各項目で、いずれの作業カテゴリにおいても有意な差は認めなかったが、プレス作業においては、冷却ベスト着用時に自覚的な暑さレベル（ $p=0.0011$ ）と作業負荷レベル（ $p=0.0095$ ）が有意に低かった。

屋内厨房における調理業では、WBGTや心拍数では、有意な差は認められなかったが、配膳作業において、冷却ベスト着用時の自覚的な暑さレベルと負荷レベルが有意に低かった。

3 人工気候室での暑熱環境下運動負荷実験の結果

運動前（ベースライン）の深部体温や心拍数が被験者や測定日により異なっていたため、絶対値での比較は困難であったが、運動前の最低値（ベースライン）を基準にした温度変化（上昇量）を比較したところ、深部体温の上昇量は、被験者Aにおいて、0.88°C（作業着のみ）0.73°C（冷却ベスト着用）であり、被験者Bでは1.24°C（作業着のみ）1.15°C（冷却ベスト着用）であり、冷却ベスト着用条件の方が深部体温の上昇量が低かった。また、運動負荷の無い、休憩時

間において、冷却ベスト着用時に心拍数の低下が大きい傾向が見られた。

D. 考察

1 個人計測の有用性

個人計測により、1日を通しての暑熱負荷と作業負荷の状況を把握することが可能となった。一時的にWBGTや心拍が高くなる時間帯があり、この時の作業や作業場所を見つけ出すことで、暑熱負荷の高い作業を抽出することが可能となる。また、厨房の測定では、自覚的には片付け作業に比べ、配膳作業の作業負荷や暑熱負荷が高い傾向であったが、客観的なWBGTや体表温の計測値では、片付け作業より配膳作業の方が低いレベルとなっており、自覚的な評価と客観的な負荷レベルの評価で異なる傾向が見られた。このように、暑熱負荷が高く熱中症リスクの高い作業を抽出する目的や、自覚的には負荷を感じにくくても負荷の高い作業を見つけ出すためにも、個人計測による客観的な評価は有用であると考えられる。

暑熱負荷と身体負荷への対策

2年目で計測を実施した屋内粉体加工作業場では、「点検準備作業」時のWBGTや体表温、主観的暑さレベルが高かったことから、点検準備作業を行う作業環境において、暑熱ばく露が強いことが示された。また、「投入回収」作業では、心拍数や作業負荷レベルが高く、負荷の高い重労働作業であると考えられる。暑熱負荷に加えて、作業負荷が増加した際に熱中症リスクが高まると考えられるため、WBGTの高い作業環境においては、熱源対策などで暑熱ばく露を軽減する必要があるとともに、このような暑熱環境で作業負荷の大きな重量物作業等を行う場合には、重量の軽減や作業時間の短縮などの作業負荷軽減対策が必要と考えられる。

2 身体冷却装置の有用性

1年目に計測を実施した厨房作業場では、暑熱作業の環境改善がすぐには実施出来ないため、個人に対する負荷低減対策を検討した。その中で、ファンつき空調服が候補になったが、衛生面から現状の作業服を変更することが出来なかったため、ベルト装着式のポータブルファンを用いた対策を試行した。結果としては、ポータブルファンによる明らかな負荷軽減効果は確認されなかった。要因として、通常の空調服に比べ、気流が弱いこと、汗の気化熱による体温低下作用が低かったこと、作業環境全体の気温や湿度が高かったため、取り込む空気が温風になり、冷却効果が減弱したことなどが考えられる。

2年目の検証では、身体冷却装置として冷却ベストの検証をおこなった。作業現場における測定では、心拍数などの客観的指標において冷却ベストの有意な効果は示されなかった。しかし、クリーニングにおけるプレス作業など負荷の高い作業において、主観的な暑さレベルや負荷レベルが、冷却ベスト着用によって軽減されていることから、一定の有用性があると考えられた。

人工気候室での運動負荷実験では、ベースラインに対する深部体温と心拍数の変化量を比較すると、両被験者において深部体温の上昇量は冷却ベスト着用時に低下しており、心拍数に関しても運動負荷後の安静時の心拍数が、冷却ベスト着用時により低下する傾向が見られた。被験者数が少ないため、効果検証には至っていないが、冷却ベストによる深部体温や心拍数の低減効果があることが確認され、暑熱環境での運動負荷を軽減する可能性が示された。

また、運動負荷時の深部体温や心拍数の上昇率は冷却ベスト着用の有無にかかわらず、ほぼ同様であり、気温 35℃環境では運動を行わない休憩時でも深部体温は大きな低下が見られないため、個人用冷却装置のみに依存すること

なく、運動負荷の低減や環境温の低減といった根本的な暑熱対策が必要となると考えられた。

3 個人計測の限界

今回の個人測定では、体表温の計測で一部、ノイズが多く測定不良となったデータがあったが、WBGT と心拍数に関しては、概ね持続計測が可能であった。また、計測機器を身体に装着することで痒みなどの不快感を感じることもあり、作業に影響することもあるため注意が必要である。今後は作業現場においてより簡便に使用でき、ノイズの少ない正確な計測機器の開発も望まれる。

WBGT は暑熱ばく露を反映し、心拍数は暑熱ばく露に加え、身体の作業負荷を反映すると考えられ、WBGT の高くなる環境において、心拍数の増加するような負荷の高い作業をにおいて熱中症リスクが高くなることが考えられ、対策を急ぐ必要がある。このように環境要因と個人要因に基づいて、熱中症リスクの評価が可能になることなど、個人測定は熱中症対策において有用であると考えられた。

E. 結論

可動式のポータブル WBGT 計や心電計による個人測定は熱中症リスクの高い作業（作業環境、作業内容）を抽出するために有用であり、熱中症リスクの高くなる作業に対し、優先的に対策を行うことで、暑熱ばく露や身体負荷を減らし、熱中症リスクを低減させることが出来ると考えられた。また、熱中症対策としての身体冷却装置は、検証には至っていないものの、負荷軽減効果を期待させる結果が示され、追加的対策としては有用性があると考えられた。今後は、さらに多くの被験者で他の対策用品も含めた効果検討が必要である。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし



(資料) 測定の詳細

1 測定概要

(1) 測定場所および被験者

(1年目)

調理業 (大学病院厨房における調理・洗浄など) [対象者: 男性 3人]

(2年目)

①製造業 (屋内粉体加工作業など) [対象者: 男性 4名]

②クリーニング業 (リネン室での洗濯およびアイロン作業など) [対象者: 女性 3名]

③調理業 (大学病院厨房における調理・洗浄など) [対象者: 女性 2人]

(2) 測定項目

①温度、湿度、WBGT [無線黒球式熱中症指数計 (TANITA 社)]

②心拍数 [MyBeat 心拍センサ (ユニオンツール)]

③体表温 (T型熱電対 LogStick)

④作業内容記録

⑤自覚的作業負荷レベル (10段階)

⑥自覚的暑熱レベル (10段階)

2 作業着と測定機器の装着状況

(1) 調理業

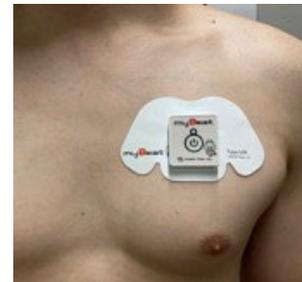
①大学病院厨房 (1年目)



WBGT 測定



心拍センサ



体表温測定



ポータブルファン

矢印 (⇄) は気流イメージ

②大学病院厨房（2年目）



冷却ベスト

(2) 屋内粉体加工作業（2年目）



(写真1)



(写真2)



(写真3)



* 作業着の下に冷却ベストを着用



(作業場の外観)

(3) リネン室：洗濯・クリーニング作業（2年目）

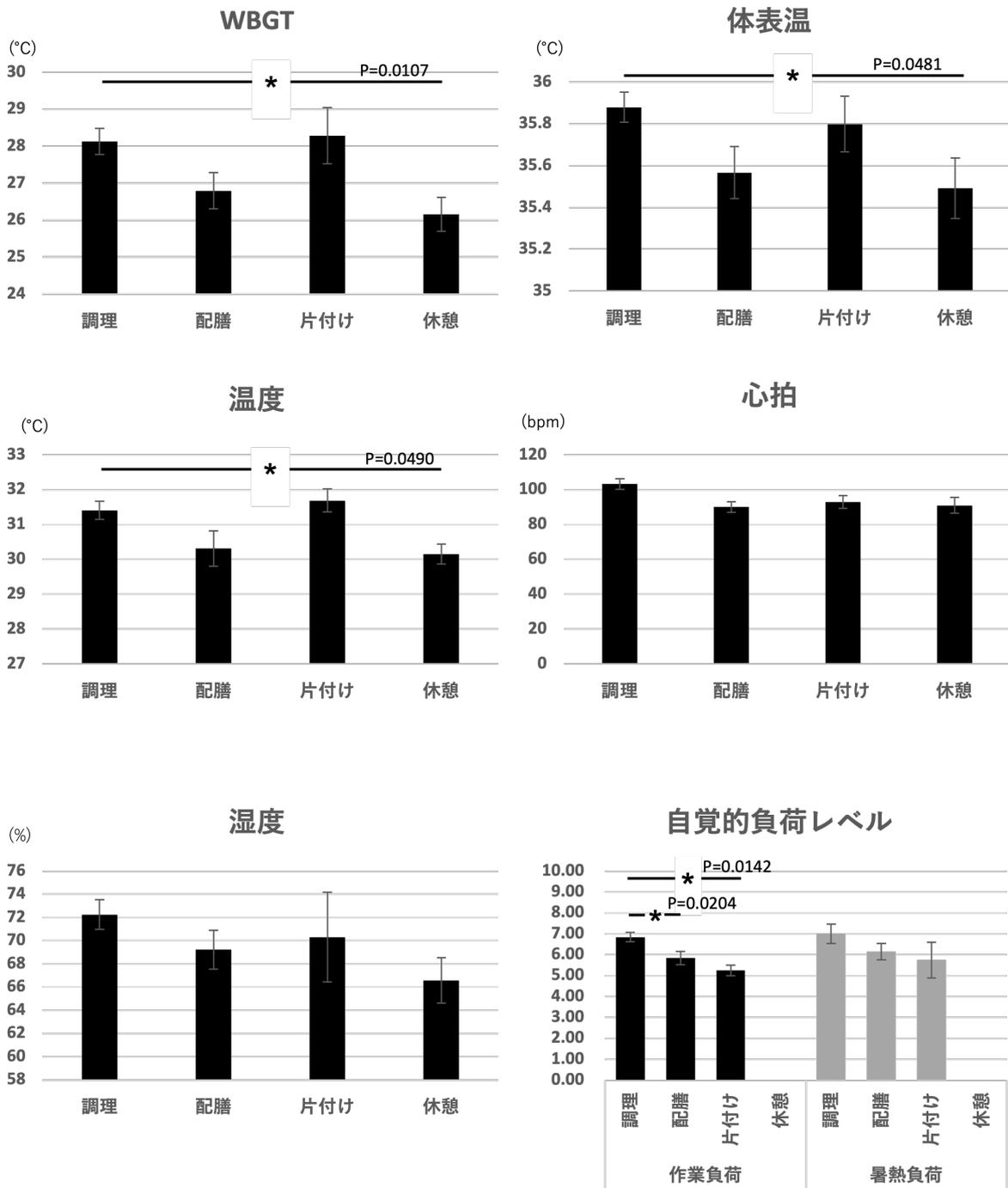


作業着と WBGT 計の装着

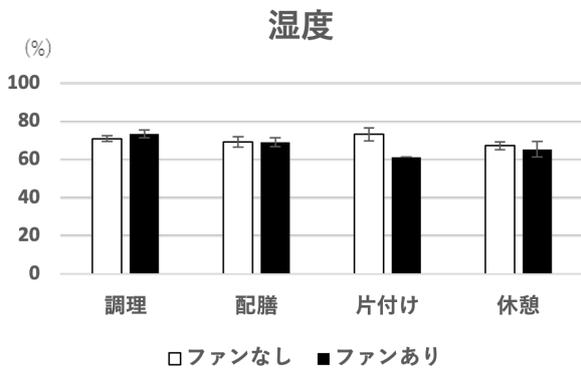
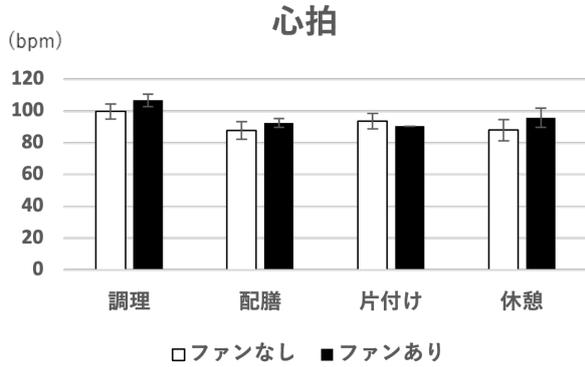
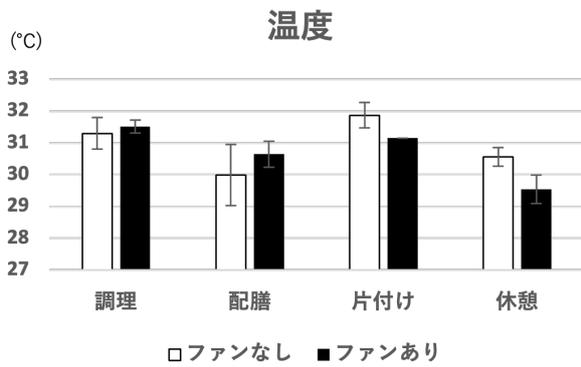
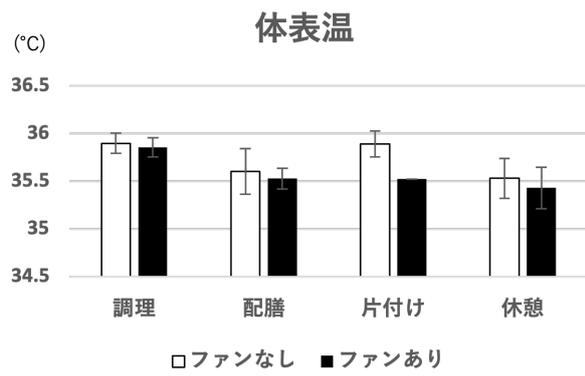
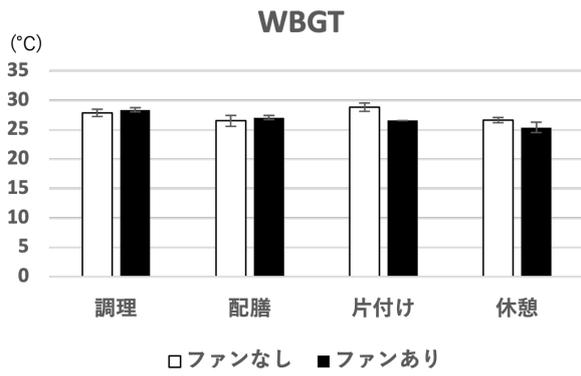


アイロンプレス作業

3 作業カテゴリ別の測定データ（1年目）



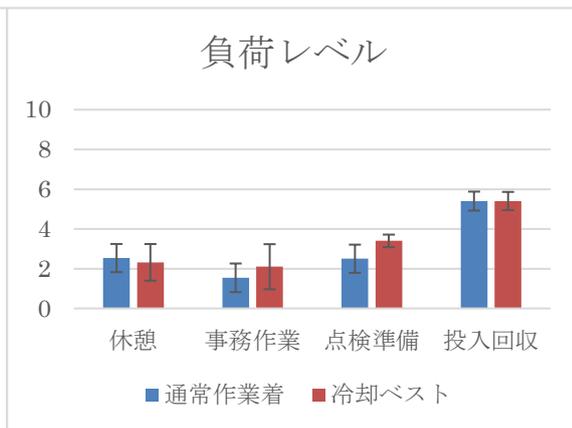
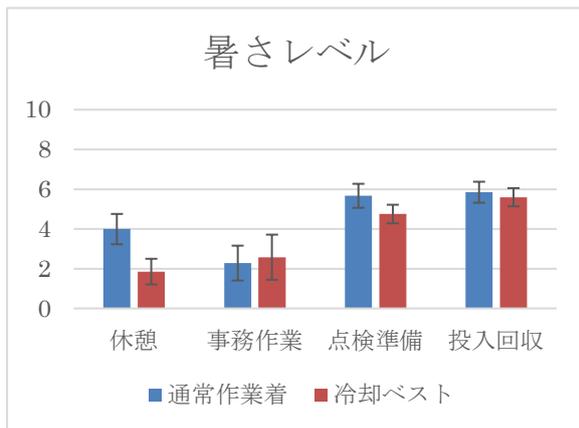
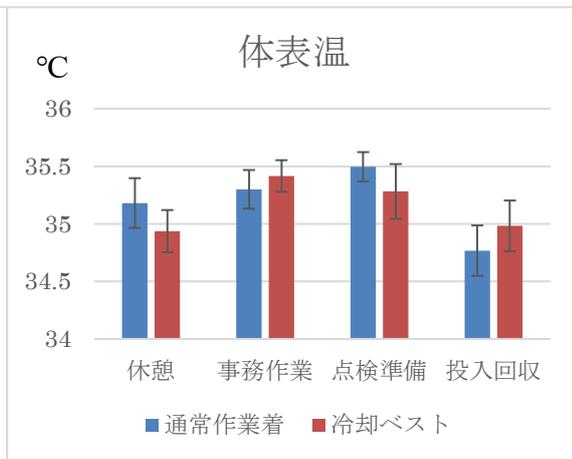
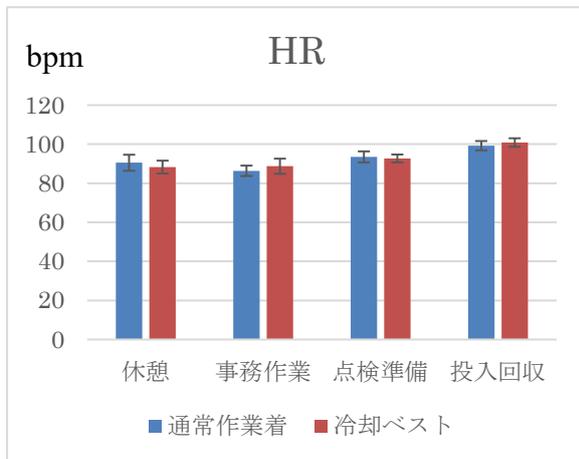
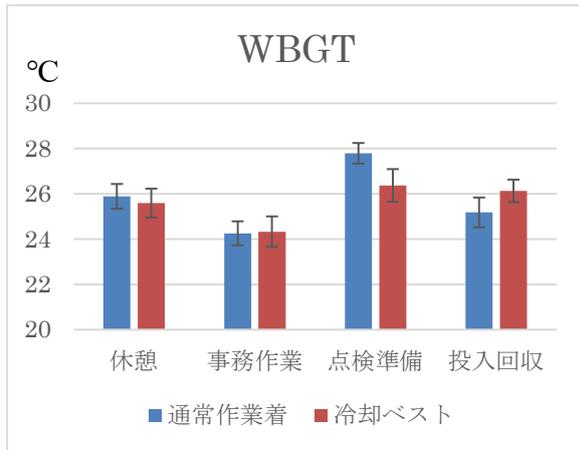
調理業（大学病院厨房）における作業カテゴリ別比較



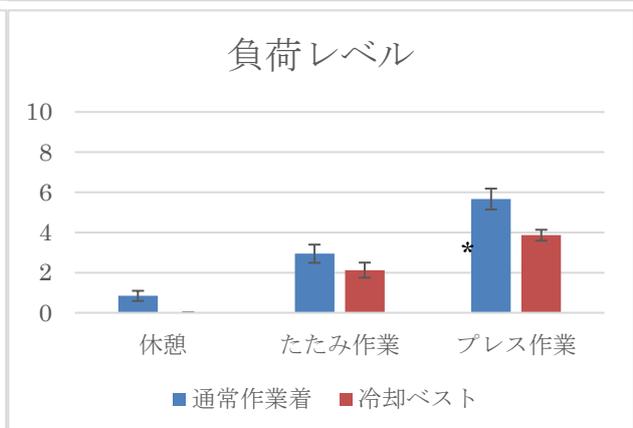
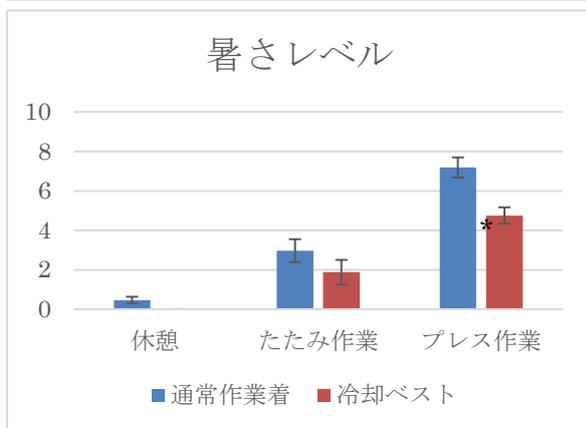
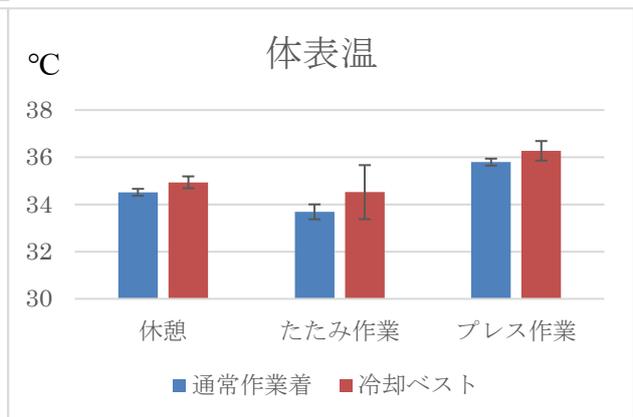
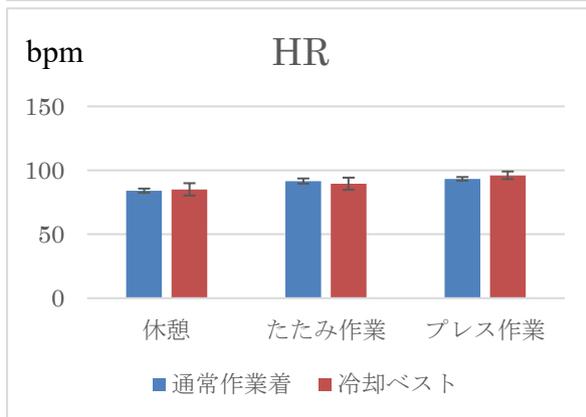
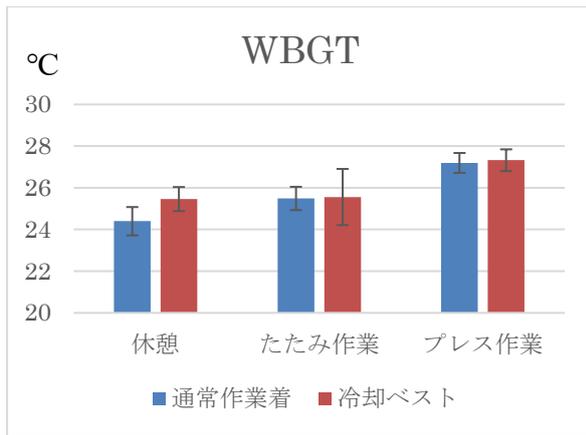
調理業（大学病院厨房）におけるポータブルファン装着あり／なしの比較

3 作業カテゴリ別の測定データ (2年目)

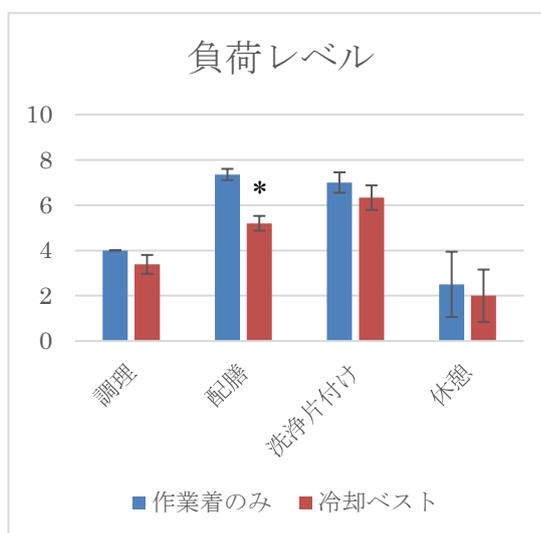
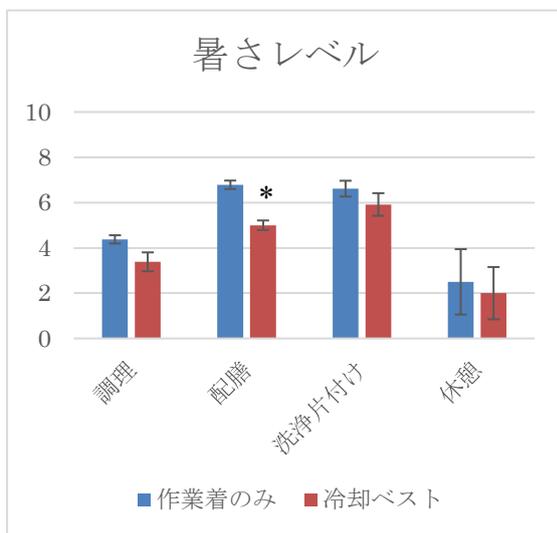
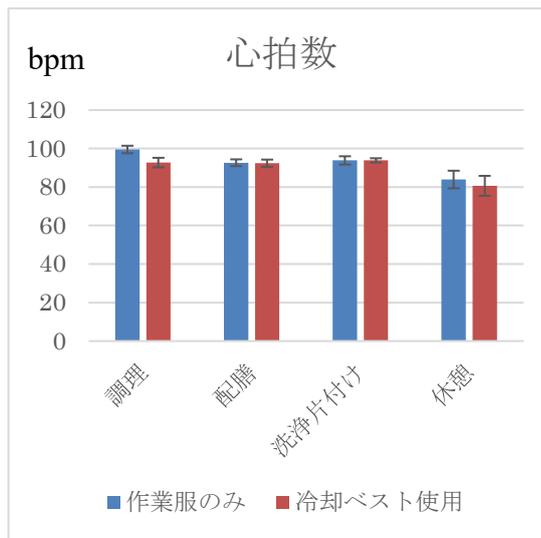
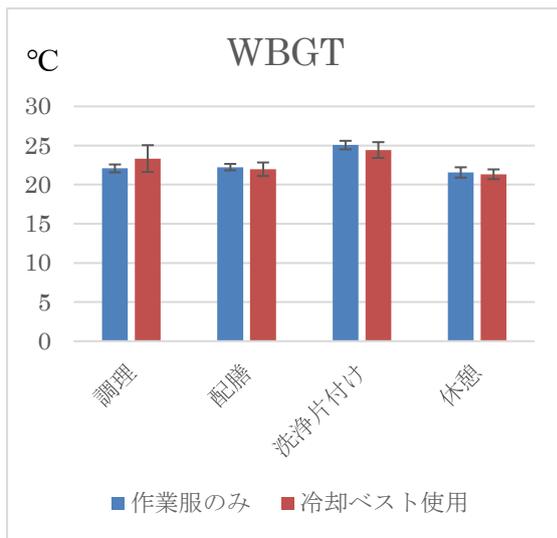
(1) 製造業 (屋内粉体加工作業)



(2) リネン室（洗濯・クリーニング作業）



(3) 調理業（厨房での調理作業など）

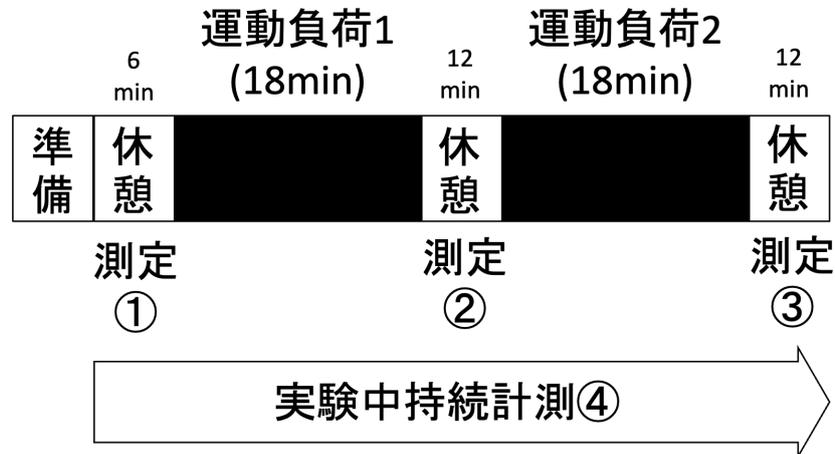


4 暑熱環境下運動負荷における冷却ベストの効果検証

(1) 被験者：2名（被験者A：21才男性、被験者B：23才男性）

(2) 実験方法

＜人工気候室環境：気温35℃、湿度50%＞



(3) 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

[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



写真1 水冷ベスト



写真2 作業着の内側に水冷ベスト着用



写真3 休憩・安静時



写真4 エルゴメーターによる運動負荷

(4) 測定結果

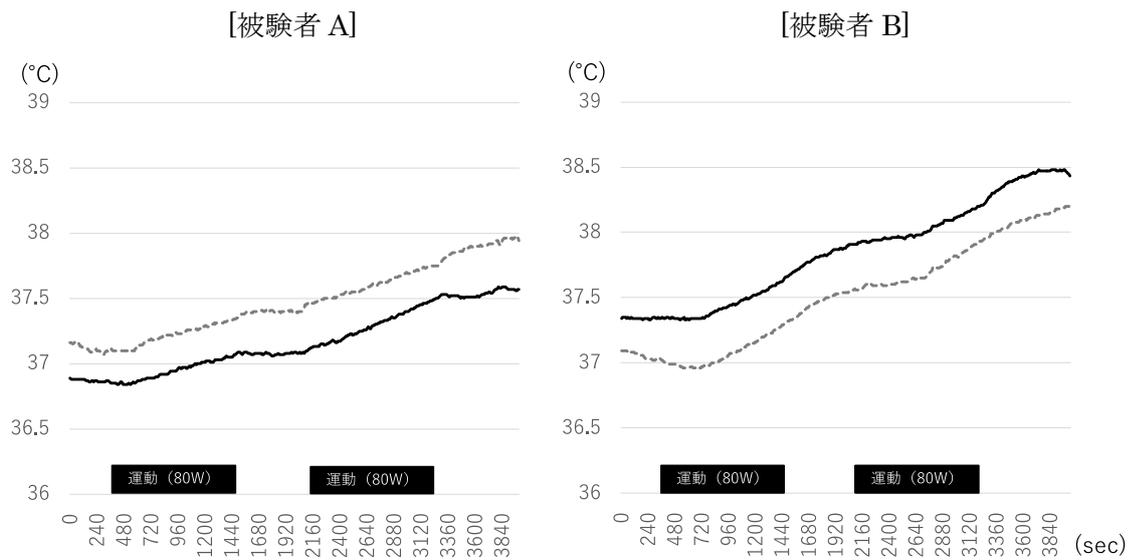


図 1a 深部体温 (直腸温)
 ----- 作業着のみ —— 冷却ベスト着用

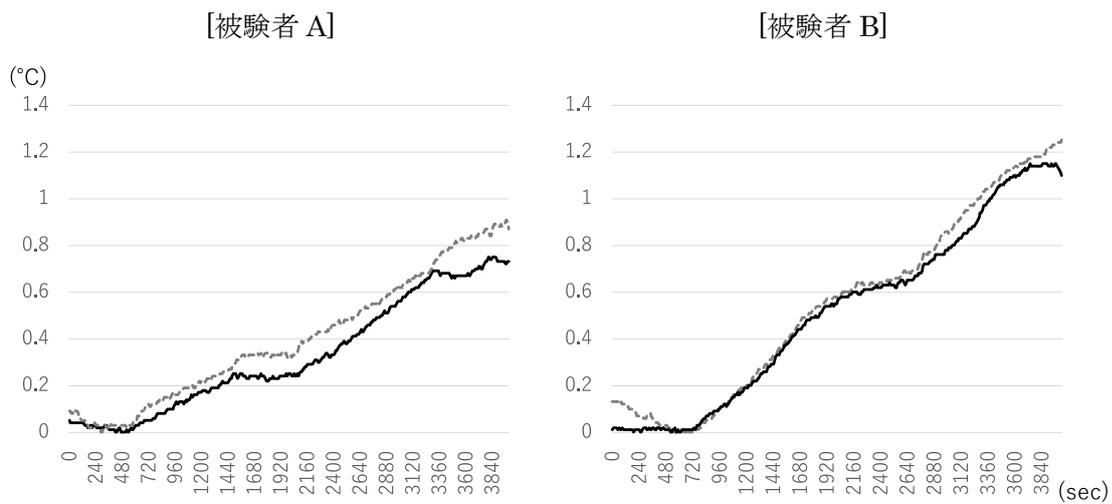


図 1b 深部体温変化量
 ----- 作業着のみ —— 冷却ベスト着用

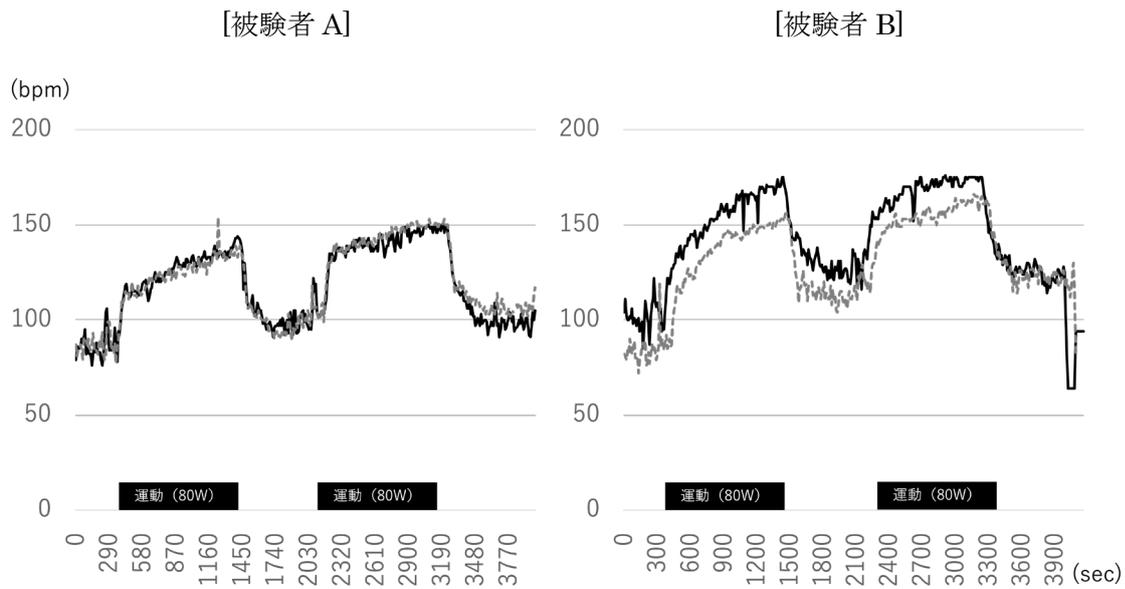


図 2a 心拍数

----- 作業着のみ —— 冷却ベスト着用

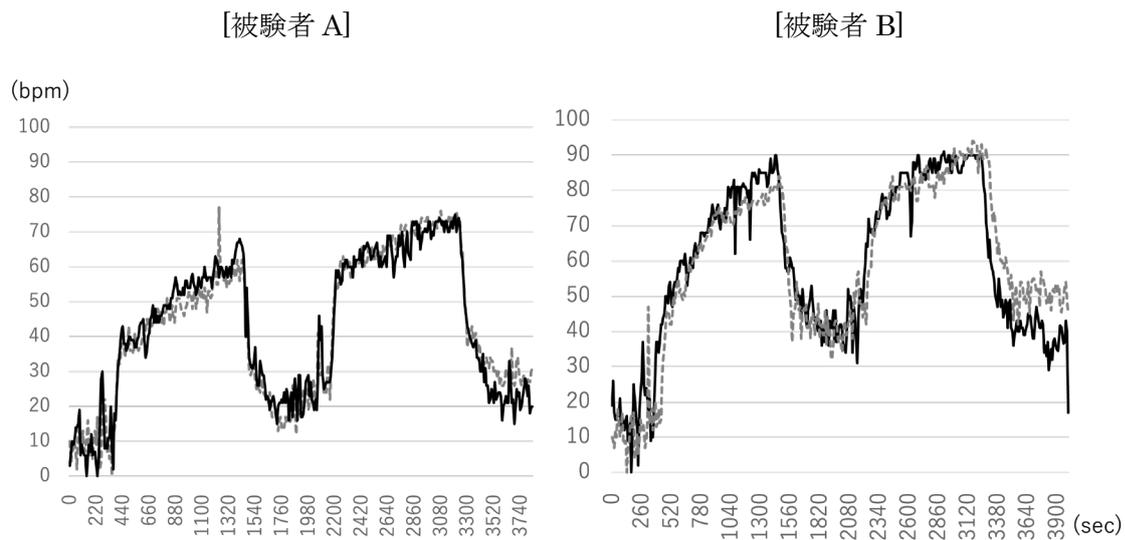


図 2b 心拍数変化量

----- 作業着のみ —— 冷却ベスト着用

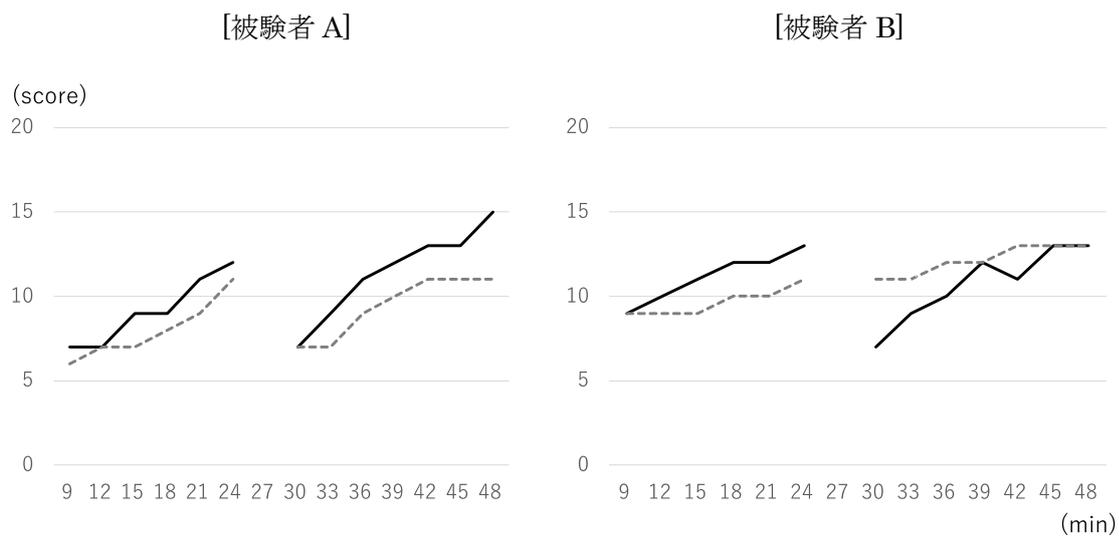


図3 ボルグスケール
 ----- 作業着のみ —— 冷却ベスト着用

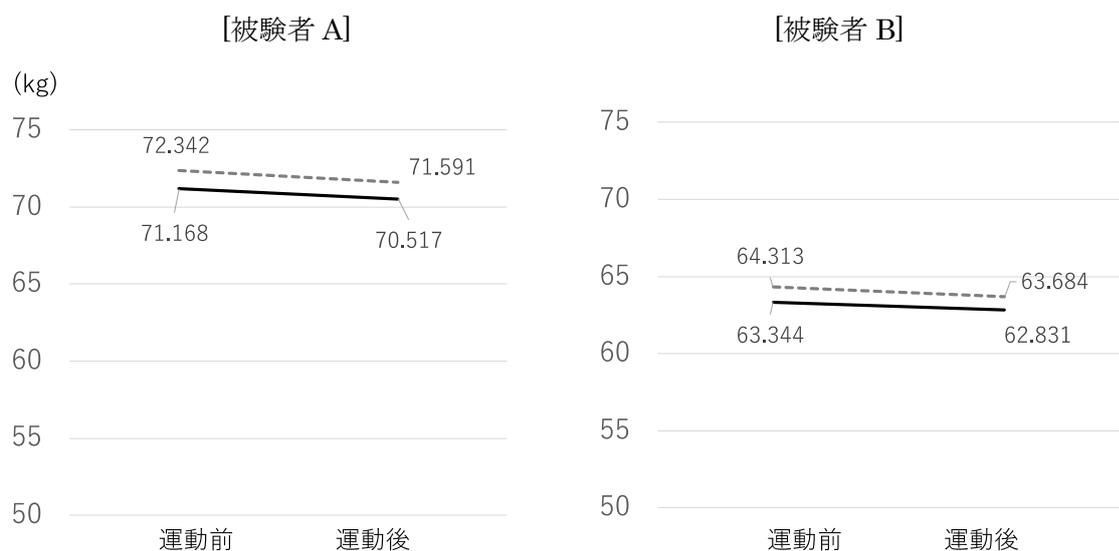


図4 体重変化
 ----- 作業着のみ —— 冷却ベスト着用

9 屋内・屋外暑熱職場における暑熱データ実測値と気象官署データの比較

研究分担者 真船 浩介

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業精神保健学

研究協力者 田中 里穂 嶋崎 優

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学

研究要旨

熱中症を予防する上で、暑熱リスク評価として WBGT を把握することが重要であるが、実際に WBGT 測定を行っている作業現場は少ない。そのため、事業所における実測値を収集し、最寄りの気象官署データ（アメダス値）と比較することで、最終的にアメダス地点の WBGT を屋内暑熱職場で利用できるように補正した WBGT 推定値を開発することを本研究の目的としている。第1年度は、全国6か所の事業所において WBGT 計を用いて屋外・屋内暑熱職場の測定を行い、実測値とアメダス値を比較し、屋外・屋内暑熱職場の温熱環境変化の特徴について検討した。第2年度は、第1年度に収集した実測値から WBGT を予測する推定式を開発し、各測定条件における実測値との比較を行い、推定式の有用性について検討した。研究結果より、屋外の午前中～日中の時間帯であれば推定式利用が有用であると考えられたが、測定箇所の近くに建物が存在する場所では、建物からの放射熱により WBGT が突発的に上昇する可能性があるため注意が必要である。夜間の時間帯は、推定式からは WBGT の予測にずれが生じる可能性があるため、事業所にて WBGT を実測することが望ましいと考えられる。一方で屋内では、熱源や空調などに影響を受ける可能性が高いため推定式利用が難しく、実測値はアメダス値とも異なり推移していたため、事業所にて随時 WBGT を実測して対策を講じることが望ましいと考えられる。

A. 研究目的

熱中症は、軽症例を含めると業務上疾病で最多の疾病である。熱中症を予防する上で、職場の暑熱環境を実際に測定し、リスク評価することは重要である。高温ストレスに関して、作業環境測定基準の告示は気温、相対湿度、黒球温度の測定を規定している一方で、国際的な熱中症予防の指標であり行政指導もされている WBGT の測定が徹底されていない。環境省が WBGT の予測値と現在の推計値（実況推定値）を公表しており、その活用が推奨されているが、特に発熱源のある屋内暑熱職場など、現場で実測した WBGT とは一定の差があると推測する。また、各事業所で測定された暑熱環境データを

広く収集する仕組みは現時点で存在しておらず、それらのデータは測定した事業所でのみ活用されている現状がある。

そこで、本研究では、屋内・屋外暑熱職場における暑熱データ実測値を収集し、熱中症予防対策につながるような特徴を探索すること及び実測値を最寄りの気象官署データ（以下、アメダス値）と比較し、屋内暑熱職場で活用できるように補正した WBGT 推定値を開発することを目的とする。

B. 研究方法

2021年5月から10月にかけて、全国6か所の事業所（北海道、群馬県、神奈川県、大阪

府各1カ所、福岡県2カ所)で、据え置き型のWBGT計(鶴賀電機社401F、JIS B 7922クラス1.5)を用いてWBGT、気温、湿球温、黒球温の測定を行った。測定間隔は約1分である。各事業所で、屋内/外、日向/日陰や地面等の条件が異なる測定地点を4カ所選び、それぞれ約1週間ずつ測定を行い、これを4~5回繰り返した。約1週間ごとに測定器の電池交換とデータ収集を行った。降水による機器の故障を避けるため、台風などの大雨時には測定を中断した。

気象官署データのうち、WBGT(実況推定値)と黒球温度は環境省の熱中症予防情報サイト「全国の暑さ指数(WBGT)」(https://www.wbgt.env.go.jp/record_data.php)から、その他は気象庁「過去の気象データ・ダウンロード」(<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/>)から得た。

C. 研究結果

1 各事業所における測定結果

各事業所における測定地点の環境条件を表1に示す。事業所間で環境条件に多少違いはあるが、いずれの事業所でも屋外と屋内の両方を測定した(図1)。

(1) 屋外日向芝生条件

6事業所全てで屋外日向芝生上での測定が行われた(図2-1~2-6)。晴天条件では、実測値とアメダス値は黒球温度・WBGTともに概ね一致したが、12~15時にかけて突発的に黒球温度やWBGTが低下する日も見られた。雨天条件では、実測値とアメダス値のWBGT・黒球温度ともに概ね一致する日もあれば、アメダス値の黒球温度が実測値よりも高く推移する日も見られた。

(2) 屋外日向コンクリート条件

屋外日向コンクリート条件では、大阪と福岡②の2事業所で測定が行われた。実測値とアメダス値は概ね一致しており、地面の材質による

差は明らかでなかった(図3-1~3-2)。雨天条件ではアメダス値の黒球温度が実測値よりも高い日が見られた。

(3) 屋外建物脇コンクリート条件

屋外建物脇コンクリート条件は、福岡②の測定地域のみで測定が行われており、建物の壁から約1mの距離で測定を行った。晴れた日の午後にアメダス値からやや遅れて黒球温度・WBGTが上昇する傾向が見られ、近接した建物壁からの放射熱の影響が示唆された(図4)。

(4) 屋外日陰芝生条件

屋外日陰芝生条件は群馬の事業所のみで測定が行われており、測定地点の一方には建物のシャッターが存在していた。午前中は黒球温度・WBGTともにアメダス値よりも低い傾向が見られた(図5)。

(5) 屋外日陰土条件

屋外日陰土条件は神奈川の事業所のみで測定が行われており、測定地点は木陰で覆われている環境であった。日中はアメダス値よりも遅れて黒球温度・WBGTが上昇し、夜間は黒球温度・WBGTともにアメダス値よりも高い傾向が見られた(図6)。測定値付近の木陰により放射冷却が遮られ、夜間の黒球温度・WBGTが高いまま推移したことが示唆された。

(6) 屋外日陰コンクリート条件】

屋外日陰コンクリート条件では、北海道と福岡①の2事業所で測定が行われた。黒球温度・WBGTともにアメダス値よりも実測値が低かった。直射日光が当たる時間帯に、黒球温度の実測値がスパイク状に上昇していた(図7-1~7-2)。

(7) 屋内熱源なし空調なし条件

屋内熱源なし空調なし条件では、北海道と神奈川の2事業所で測定が行われた。日中の黒球温度はアメダス値の方が高く、実測値はアメダス値よりも少し遅れて上昇する傾向が見られた。夜間については黒球温度・WBGTともに

実測値の方が高く、夜間は建物により放射冷却が遮られ工場内に熱が溜まりやすくなることが示唆された(図 8-1~8-2)。

(8) 屋内熱源なし空調あり条件

屋内熱源なし空調あり条件では、神奈川・大阪・福岡の3事業所で測定が行われた。大阪の事業所では10月14~15日のみシーリングファンが稼働された。日中の黒球温度はアメダス値の方が高く、夜間は黒球温度・WBGTともに実測値の方が高くなる傾向が見られた(図 9-1~9-3)。

(9) 屋内熱源あり空調なし条件

熱源の有無については、表面温度 40℃以上の条件で熱源ありと定義した。

屋内熱源あり空調なし条件では、大阪の1事業所のみで測定が行われた。黒球温度・WBGTの日内変動が小さく、夜間にはアメダス値よりも高くなる傾向が見られた(図 10)。

(10) 屋内熱源あり空調あり条件

屋内熱源あり空調あり条件では、北海道、群馬(2箇所)、福岡(2箇所)の事業所にて測定が行われた(図 11-1~11-3)。北海道の事業所にて、表面温度が150℃を超えるような大型の加熱炉に囲まれた環境では、実測値はほぼ一定であった(図 11-1)。群馬の事業所にて、表面温度が100℃程度の溶接エリアでは、日中の黒球温度はアメダス値の方が高く、夜間は黒球温度・WBGTともに実測値の方が高くなる傾向が見られた(図 11-2a)。同事業所の表面温度が70℃程度の焼き戻し炉、窒化炉エリアでは、黒球温度・WBGTの日内変動は小さく、WBGTはアメダス値よりも高い状態を推移していた(図 11-2b)。

福岡の事業所にて、トンネル窯から10m離れた環境では、屋内熱源なしと同様に、黒球温度は日中にはアメダス値の方が高く、夜間は実測値の方が高い傾向が見られた(図 11-3a、11-3b)。

2 WBGT 推定式

実測したデータを用いて、WBGTの推定式を求めるために統計解析を行った。適時条件(実測値とリアルタイムのアメダス値を用いたもの)とラグ条件(実測値と1時間前のアメダス値を用いたもの)の2種類に分けて解析を行った。

事業所の実測値とアメダス値のWBGTの単相関について解析した結果を以下に示す(図 12-1~12-2)。

WBGTの中間値については、適時条件において、全測定場所では実測値で23.1℃(SD=4.5)、アメダス値で22.1℃(SD=4.9)、屋外では実測値で22.6℃(SD=4.2)、アメダス値で22.5℃(SD=4.3)、屋内では実測値で23.6℃(SD=4.7)、アメダス値で21.6℃(SD=5.5)であった。特に屋内の実測値がアメダス値を上回る結果となった。実測値と1時間前のアメダス値を比較したラグ条件でも、屋内の実測値がアメダス値を上回る結果となった。

決定係数については、適時条件において、全測定場所では $R^2=0.829$ 、屋外では $R^2=0.959$ 、屋内では $R^2=0.772$ となった(図 12-1)。ラグ条件において、全測定場所では $R^2=0.821$ 、屋外では $R^2=0.939$ 、屋内では $R^2=0.773$ となり、適時・ラグ条件のいずれも屋内での実測値はアメダス値とのばらつきが大きく、予測精度は屋外よりも低くなる結果となった。

事業所での屋外実測WBGTを予測する重回帰モデルの偏回帰係数を求めた結果を以下に示す(図 13-1~13-2)。全時間帯における推定式の偏回帰係数の R^2 は、適時条件では $R^2=0.925$ 、ラグ条件では $R^2=0.889$ であり、 R^2 は1に近い値となった。事業所での屋内実測WBGTを予測する重回帰モデルの偏回帰係数を求めた結果を以下に示す(図 14-1~14-2)。

屋内においては、空調や熱源の有無により、 R^2 にばらつきが生じる結果となった。

3 WBGT 推定値との比較

屋外実測 WBGT を予測する重回帰モデルを用いて WBGT の推定値を求め、屋外の測定条件ごとに推定値と実測値・アメダス値と比較した結果を以下に示す（図 15～20）。

(1) 屋外日向芝生条件

日中の時間帯は、実測値と推定値（、アメダス値）は概ね一致した。夜間は推定値と実測値にばらつきがあり、推定値よりもアメダス値の方が実測値に近くなっている日も見られた。また、一部の時間帯において推定値が突発的に上昇し、実測値との乖離が見られた（図 15-1～15-6）。

(2) 屋外日向コンクリート条件

一部の時間帯において推定値が突発的に低下し、実測値との乖離が見られたが、その他の時間帯では推定値の方がアメダス値よりも実測値に近い値となった（図 16-1～16-2）。

(3) 屋外建物脇コンクリート条件

日中の時間帯においては、推定値よりもアメダス値の方が実測値に近い値となっていた。また、推定値が突発的に低下する時間帯も複数見られた（図 17）。

(4) 屋外日陰芝生条件

屋外建物脇コンクリート条件とは反対に、日中の時間帯においては、アメダス値よりも推定値の方が実測値に近い値となっていた（図 18）。

(5) 屋外日陰土条件

朝方～午前中の時間帯において、推定値の方がアメダス値よりも実測値に近い値となっていた（図 19）。

(6) 屋外日陰コンクリート条件

主に日中の時間帯において、推定値の方がアメダス値よりも実測値に近い値となっていた（図 20-1～20-2）。

D. 考察

事業所での実測 WBGT を予測する重回帰モデルの偏回帰係数の結果から、屋外においては特に適時条件での測定結果との関連が強く、推定式として使用できる水準にあると考えられた。また、ラグ条件でも R^2 が 1 に近い数値を示しており、用途に応じてラグ条件での推定式利用も可能と考えられる。

推定式より抽出した推定値と実測値を屋外の測定条件ごとに比較した考察を以下に示す。

屋外日向芝生条件では、日中の時間帯には推定値は実測値と概ね一致したが、夜間は推定値の方が実測値よりも高い値を示す傾向が見られた。このため、このような条件の事業所で推定式を運用する際には、日勤帯には推定式が有用であるが、夜勤帯には事業所にて WBGT を実測して対策を講じることが望ましいと考えられる。そもそもこの条件では晴天であればアメダス値と実測値が概ね一致して推移していたため、わざわざ推定式を利用する必要性は低いとも考えられる。

屋外日向コンクリート条件では、一部の時間帯において推定値と実測値との乖離が見られたが、日光の影響で WBGT が突発的に上昇する 9～12 時頃や朝方 WBGT が低下する 0～3 時頃においては、推定値はアメダス値よりも実測値に近い値を示していたことから、晴れた日の朝方～午前中においては推定式利用が有用であると考えられる。

屋外建物脇コンクリート条件では、推定値よりもアメダス値の方が実測値に近い値を示していたため、推定式の利用はあまり有用ではないと考えられる。先に述べた実測値とアメダス値の比較では、晴れた日の午後にアメダス値からやや遅れて黒球温度・WBGT が上昇する傾向が見られ、近接した建物壁からの放射熱の影響が示唆された。これを受け、1 時間後の推定

値をラグ条件とし、適時条件とラグ条件での推定値の制度の比較を行った結果を以下に示す

(図 21)。ラグ条件の方が適時条件よりも実測値に近くなる日もあれば、逆の結果を示す日も見られた。実測値のピーク時間帯についても、ラグ条件に重なる場合、適時条件に重なる場合など様々であり、ラグ条件を推定式に利用することはあまり有用性ではないと考えられる。

屋外日陰芝生条件、屋外日陰土条件、屋外日陰コンクリート条件では、午前中～日中の時間帯において、推定値の方がアメダス値よりも実測値に近い値を示していたため、この時間帯で推定式を利用することは有用と考えられる。

一方で屋内においては、時間帯によっては予測精度がわずかに上がる場合もあるが、推定式としての利用は難しいと考えられる。予測が難しい要因としては、熱源と空調によるものが挙げられる。熱源に関しては、事業所により加熱炉・溶接・トンネル釜など様々な種類や温度の熱源を使用しており、稼働時間や熱源からの距離によっても影響を受ける部分が多い。空調に関しては、そもそも空調が必要になる場所は暑熱環境であり、屋外環境とは大きく環境が異なることも考えられる。このため、屋内、特に熱源や空調を使用している職場では、アメダス値と実測値が大きく乖離する可能性が考えられるため、各々での WBGT を実測することが望ましいと考える。

推定値が突発的に上昇・低下している時間帯が見られた点については、雨天時など一部の時間帯で WBGT が実測できず、データが欠損していることによるアーチファクトの影響が示唆されたため、さらなるデータ収集により欠損を補正することで精度を上げていくことが今

後期待される。

E. 結論

日本全国の 6 事業所にて、あらゆる条件下で温熱環境測定を行い、実測値とアメダス値を比較し、アメダス値から WBGT 推定値を求める推定式の開発を行った。

本研究結果より、屋外の午前中～日中の時間帯であれば推定式利用が有用であると考えられた。ただし、今回の屋外建物脇コンクリート条件のように、測定箇所近くに建物が存在している場所では、建物からの放射熱により WBGT が突発的に上昇する可能性があるため、注意が必要である。夜間の時間帯は、推定式からは WBGT の予測にずれが生じる可能性があるため、事業所にて WBGT を実測することが望ましいと考えられる。

一方で屋内においては、熱源や空調などに影響を受ける可能性が高いため推定式利用が難しく、実測値はアメダス値とも異なり推移していたため、事業所にて随時 WBGT を実測して対策を講じることが望ましいと考えられる。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

I. 引用文献

なし

■各事業所における測定結果

表1 各事業所における測定地点の環境条件

| 測定地域 | | 北海道 | 神奈川 | 群馬 | 大阪 | 福岡① | 福岡② |
|-------------------------------|------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| 最寄りの環境省暑さ指数 (WBGT) 情報提供地点名 | | 室蘭 | 横浜 | 館林 | 堺 | 八幡 | 八幡 |
| 最寄り地点から事業所までの距離 | | 約1.3km | 約8.9km | 約13.8km | 約8.9km | 約3.3km | 約4.0km |
| 屋外 | 常時日向 | 芝生 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | コンクリート | | | | ○ | ○ |
| | 建物脇 | コンクリート | | | | | ○ |
| | | 芝生 | | | ○ | | |
| | 常時日陰 | 土 | | ○ | | | |
| | | コンクリート | ○ | | | | ○ |
| 屋内 | 熱源なし | 空調なし | ○ | ○ | | | |
| | | 空調あり | | ○ | | ○ | ○ |
| | 熱源あり | 空調なし | | | | ○ | |
| | | 空調あり | ○ | | ○×2 | | ○×2 |



図 1-a. 屋外日向芝生 (北海道)



図 1-b. 屋外日向コンクリート (福岡②)
※写真掲載不可



図 1-c. 屋外建物脇コンクリート (福岡②)

図 1-d. 屋外日陰芝生 (群馬)



図 1-e. 屋外日陰土 (神奈川)



図 1-f. 屋外日陰コンクリート (福岡①)



図 1-g. 屋内熱源なし (大阪)



※加熱炉の表面温度は約 150°C
図 1-h. 屋内熱源あり (北海道)

図 1 測定風景

【屋外日向芝生条件】

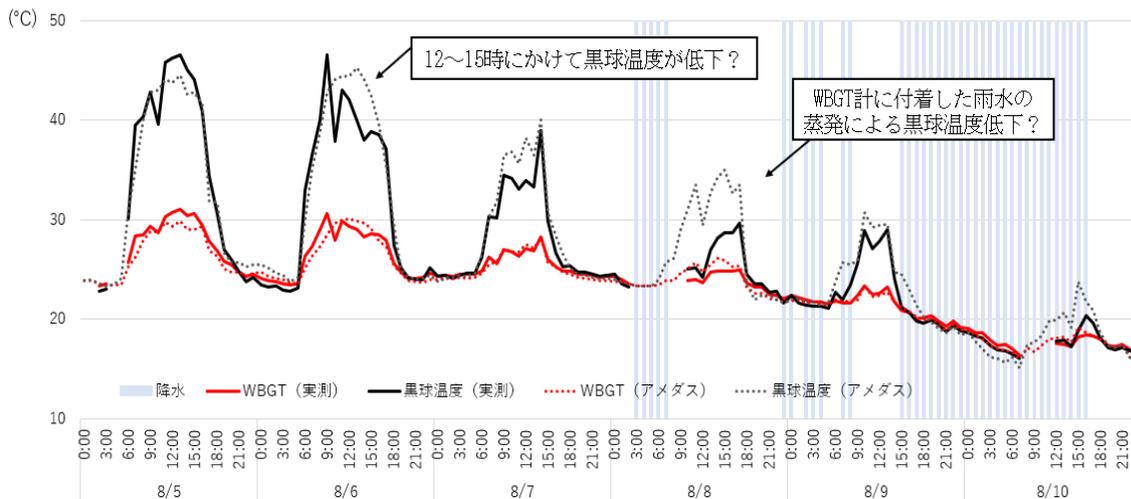
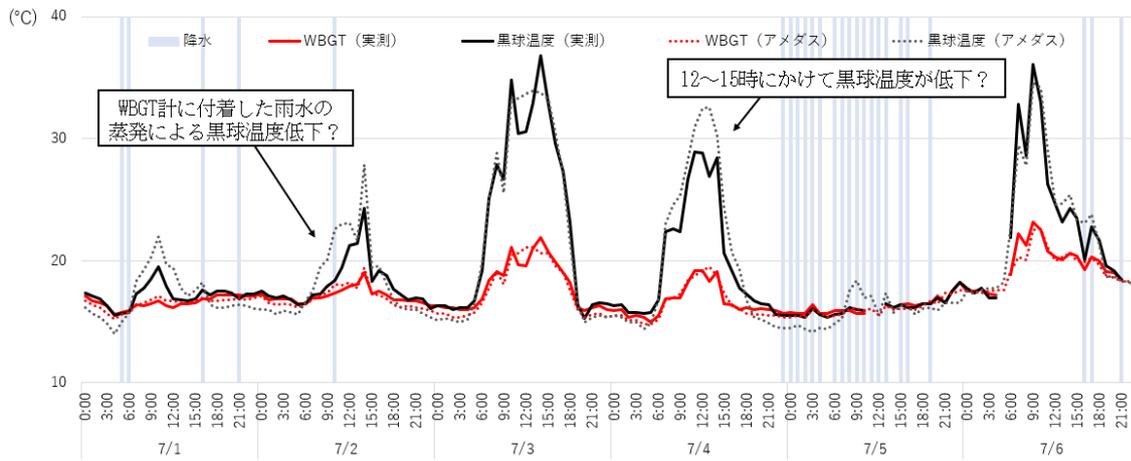
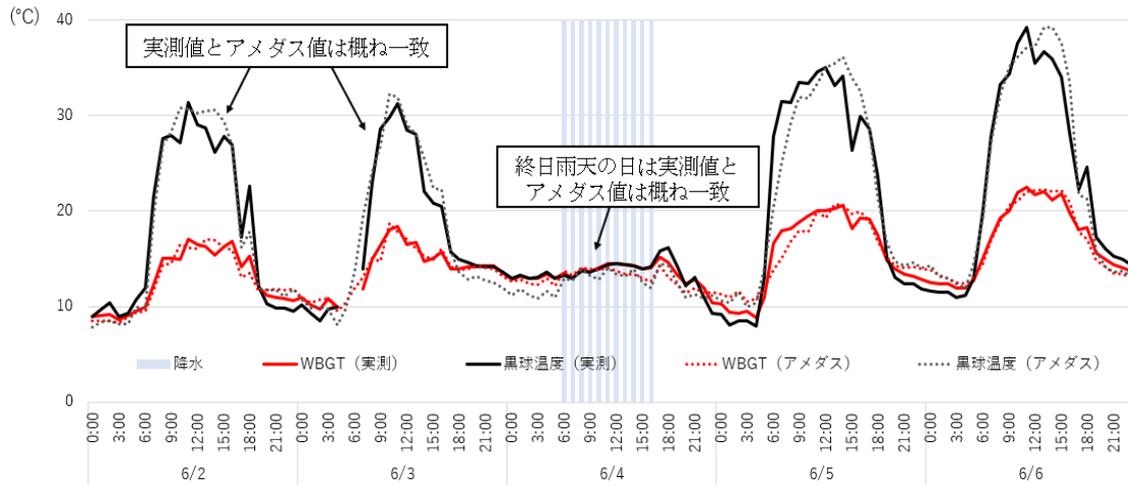
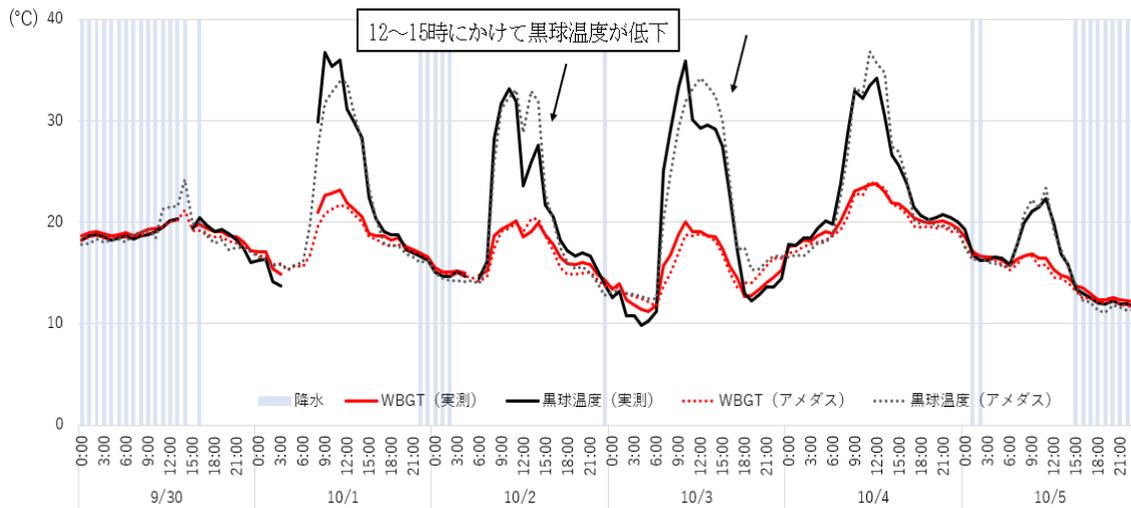
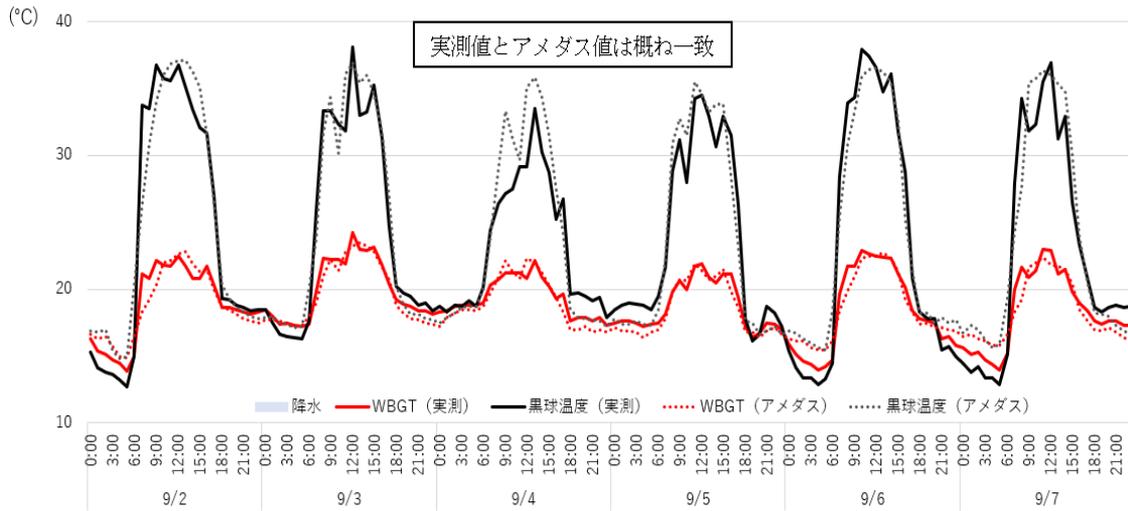


図 2-1 屋外日向芝生条件の実測値とアメダス値の比較 (北海道)



(続き) 図 2-1 屋外日向芝生条件の実測値とアメダス値の比較 (北海道)

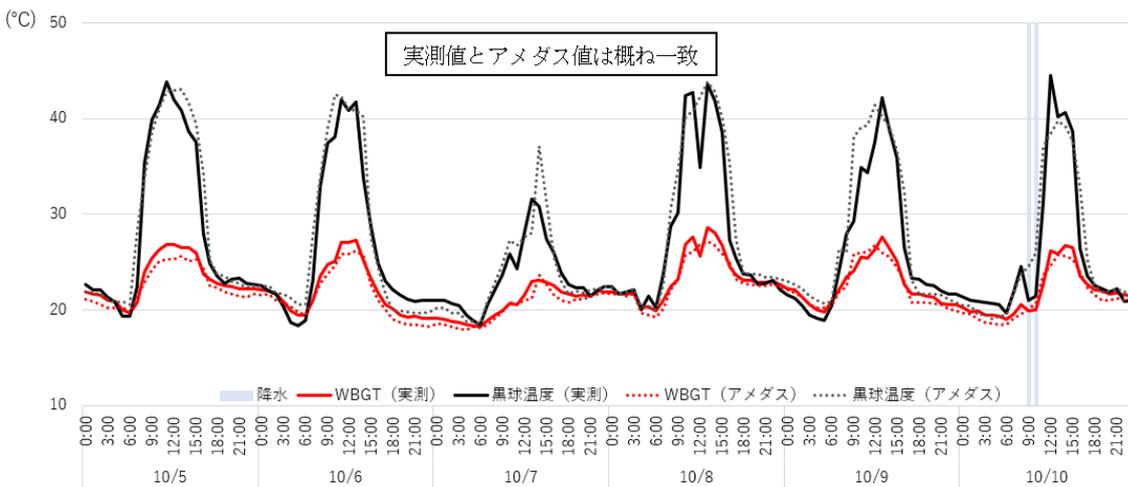
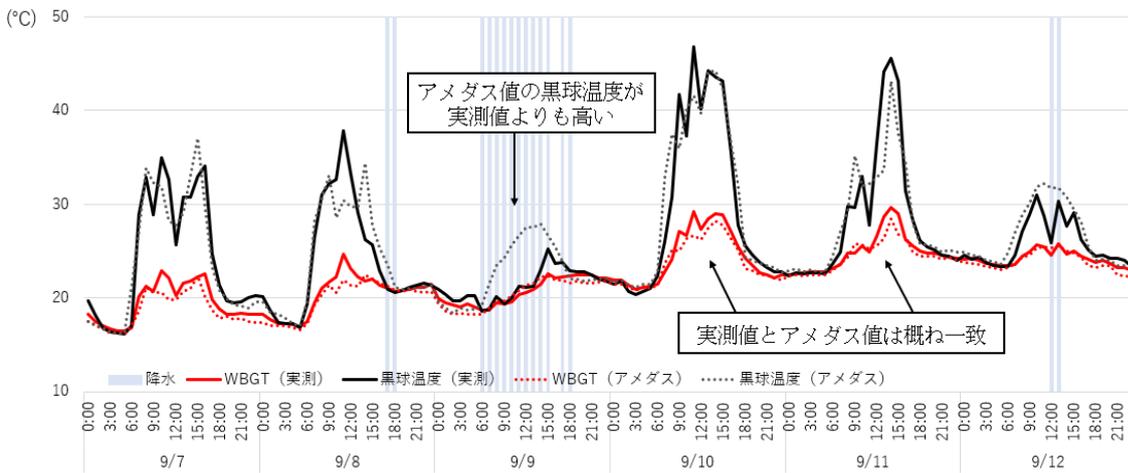
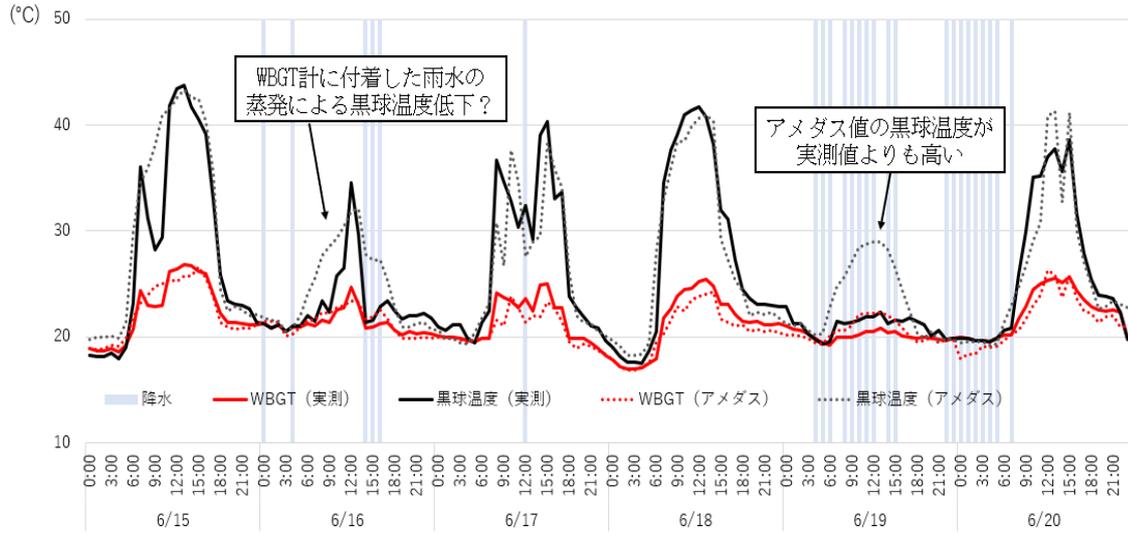


図 2-2 屋外日向芝生条件の実測値とアメダス値の比較 (神奈川)

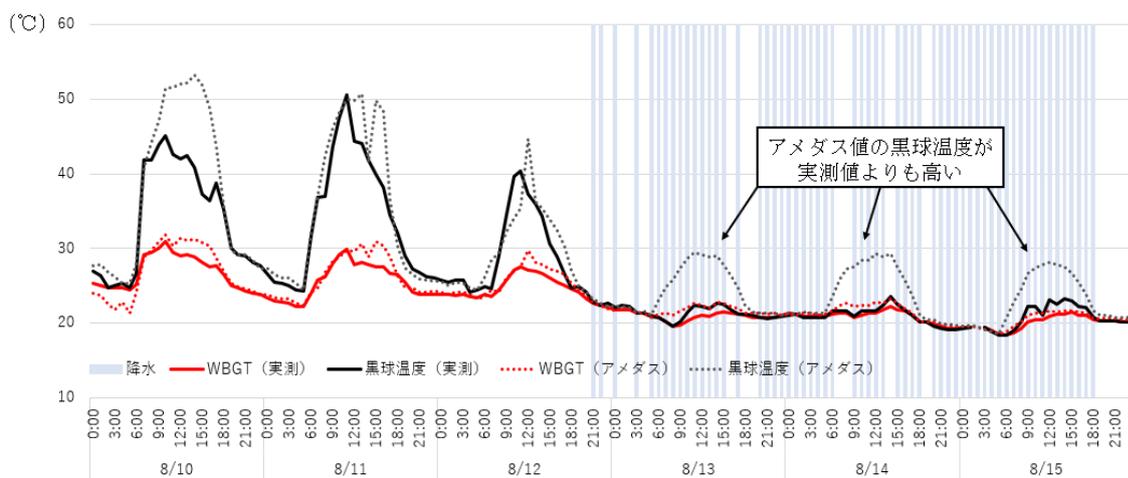
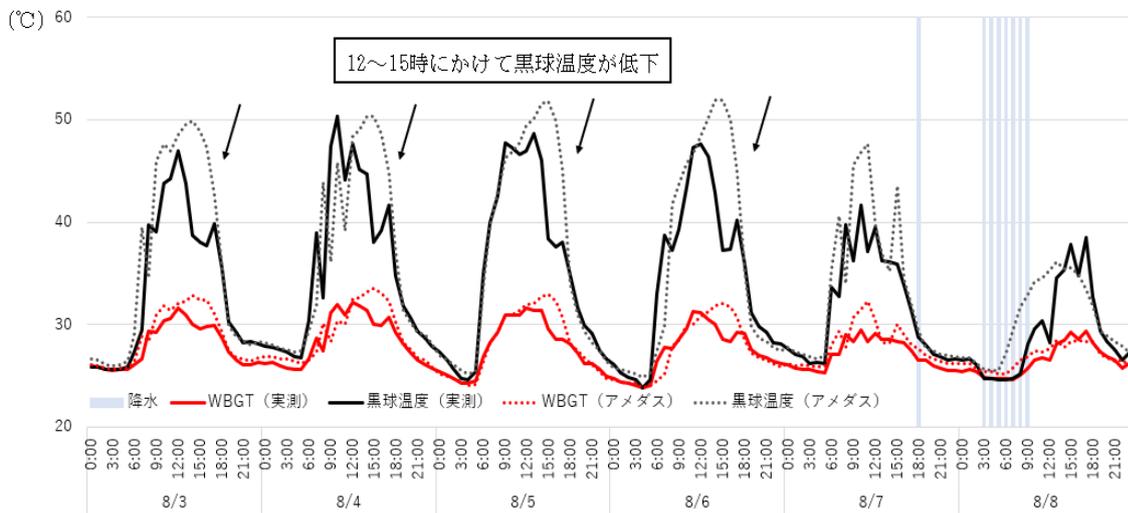
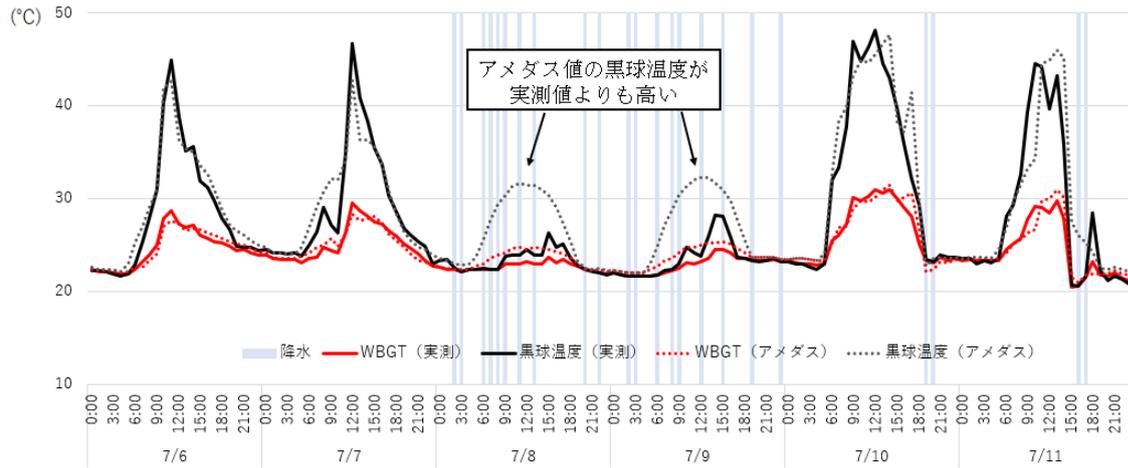
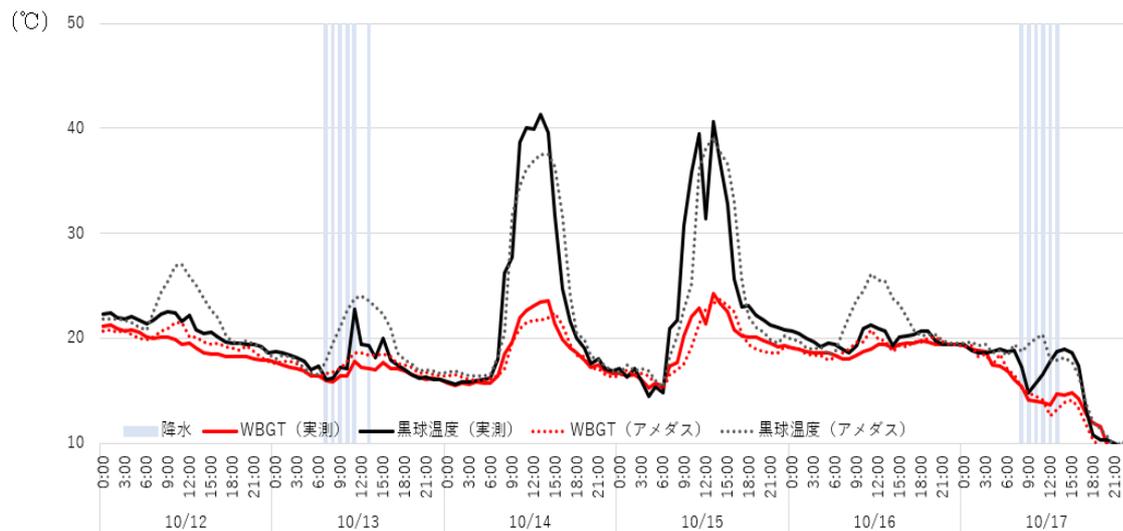


図 2-3 屋外日向条件の実測値とアメダス値の比較 (群馬)



(続き) 図 2-3 屋外日向条件の実測値とアメダス値の比較 (群馬)

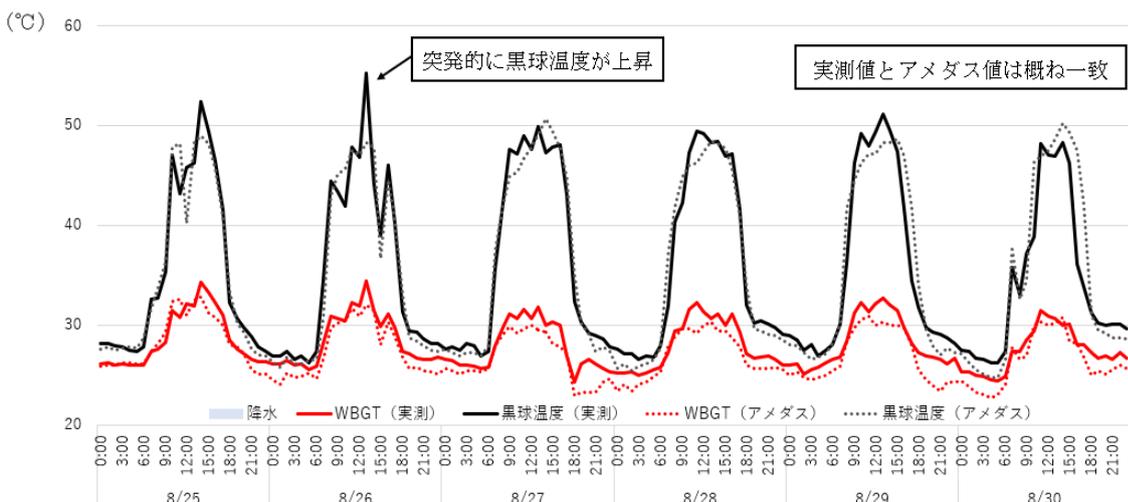
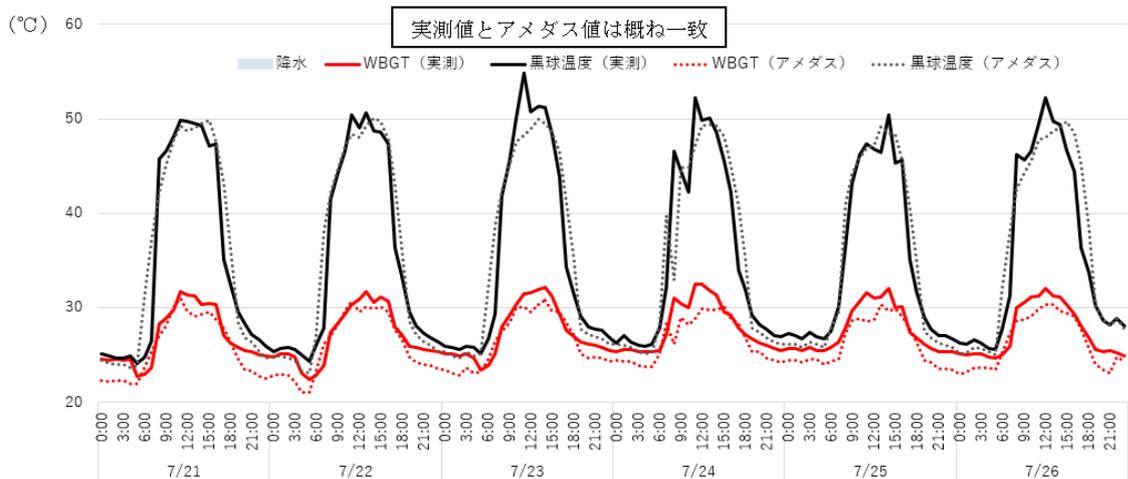
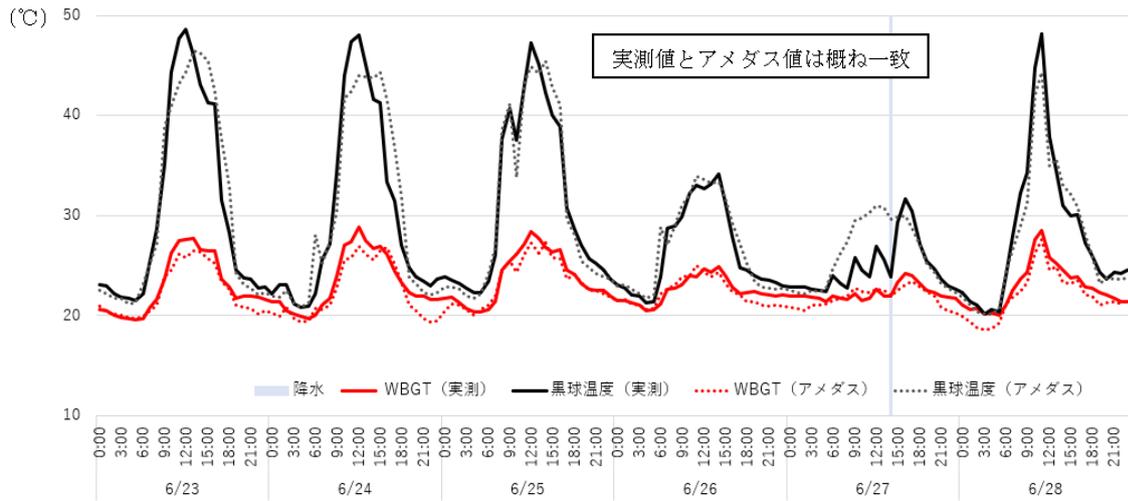
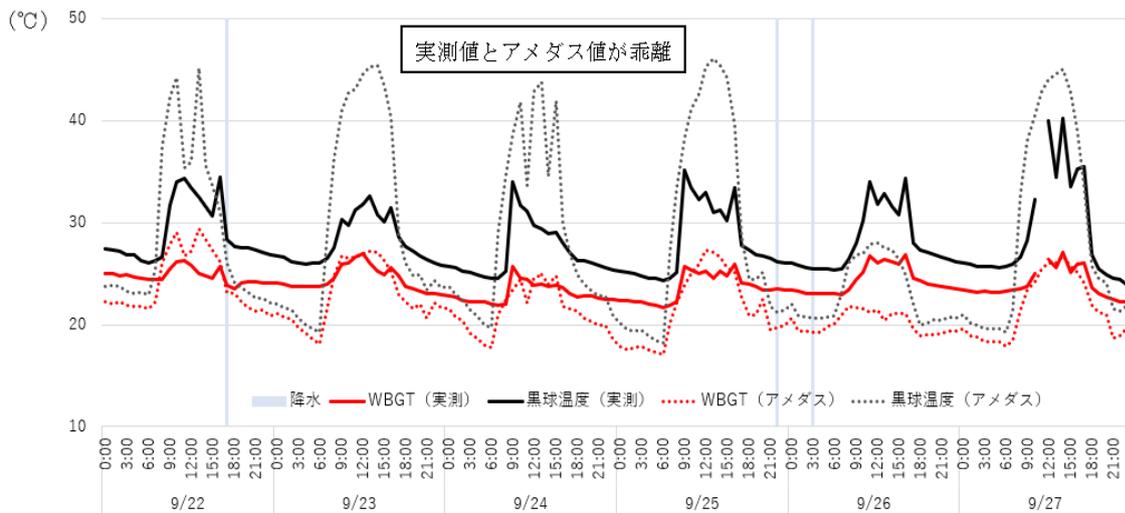


図 2-4 屋外日向条件の実測値とアメダス値の比較 (大阪)



(続き) 図 2-4 屋外日向条件の実測値とアメダス値の比較 (大阪)

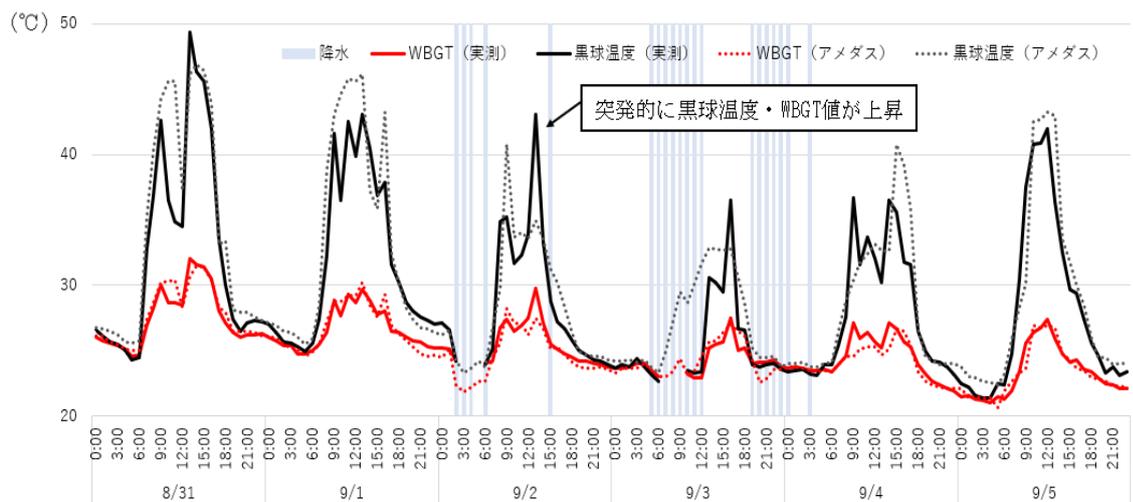
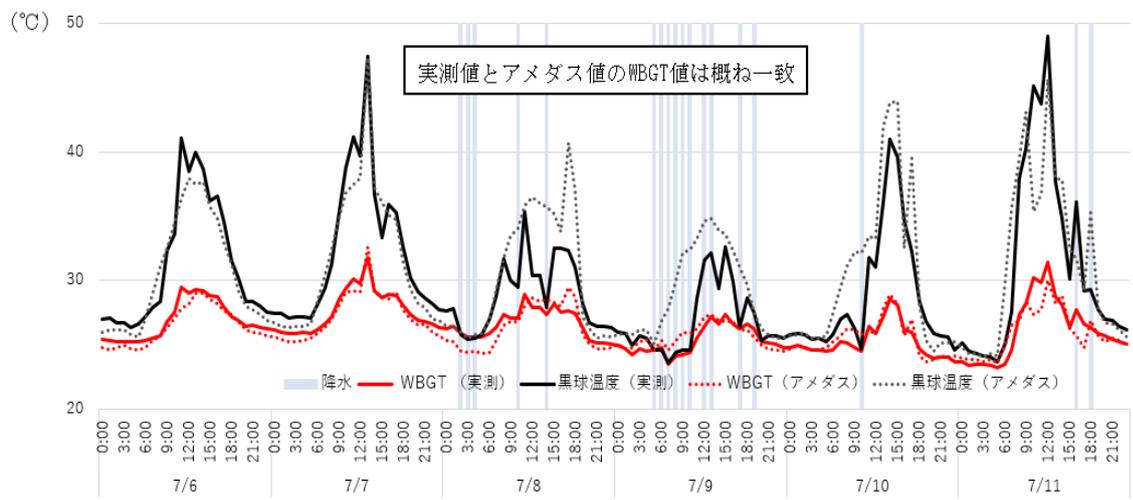
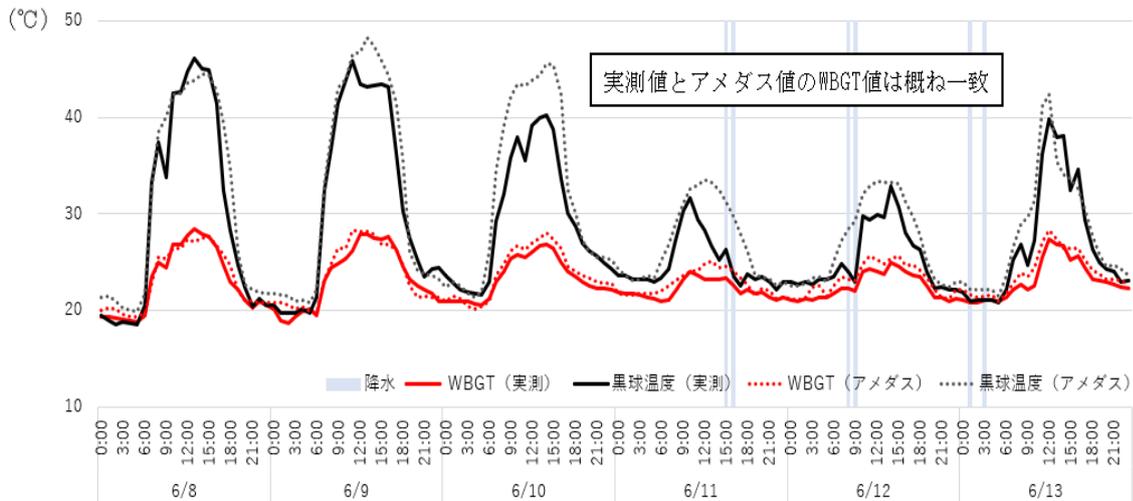
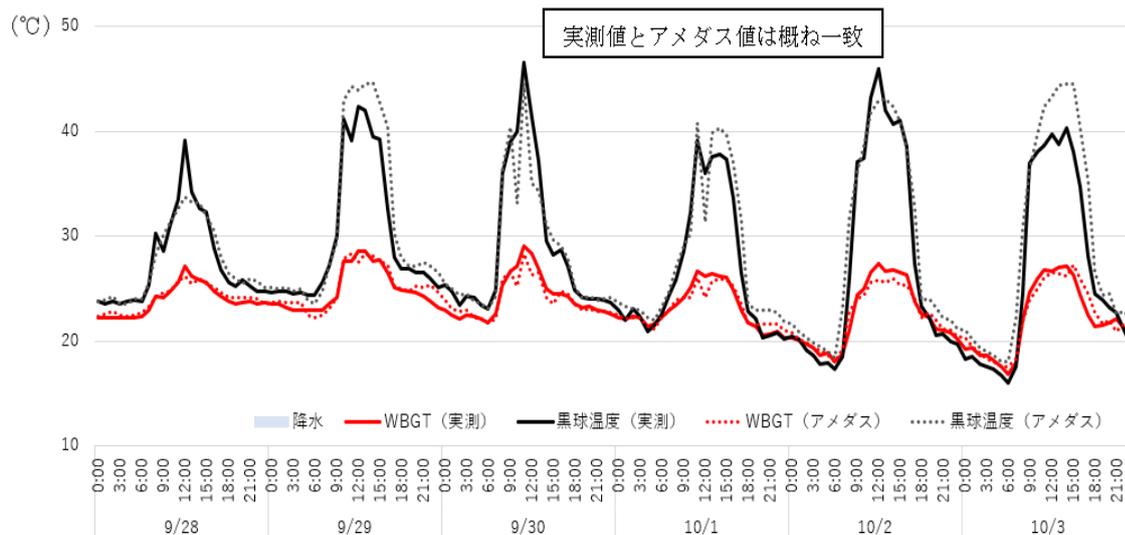


図 2-5 屋外日向条件の実測値とアメダス値の比較 (福岡①)



(続き) 図 2-5 屋外日向条件の実測値とアメダス値の比較 (福岡①)

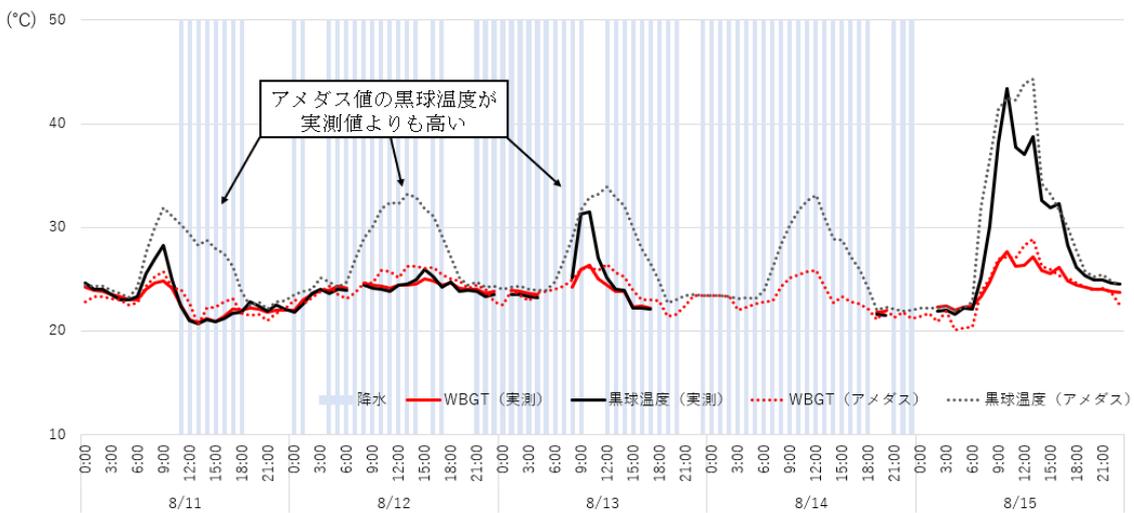
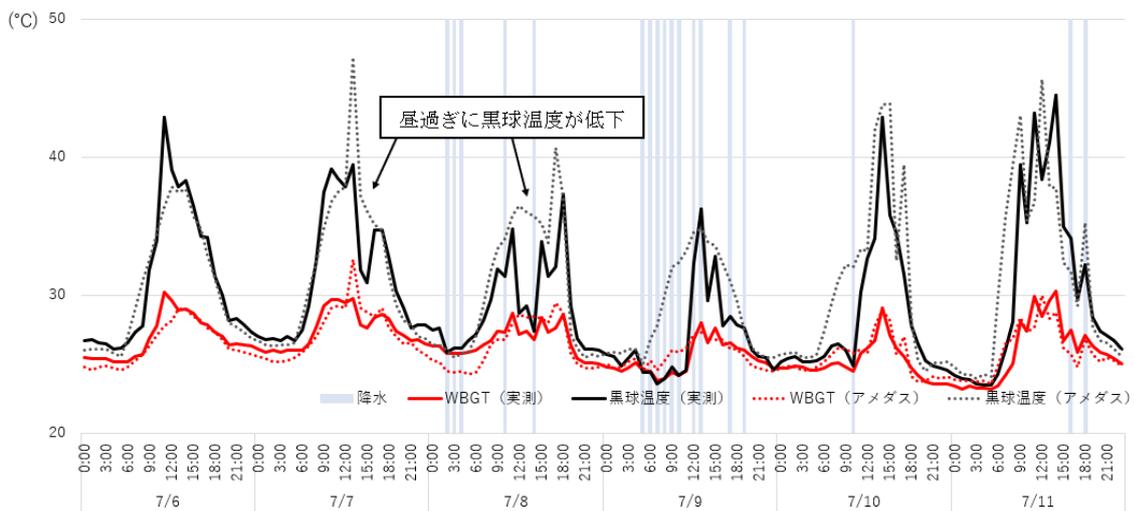
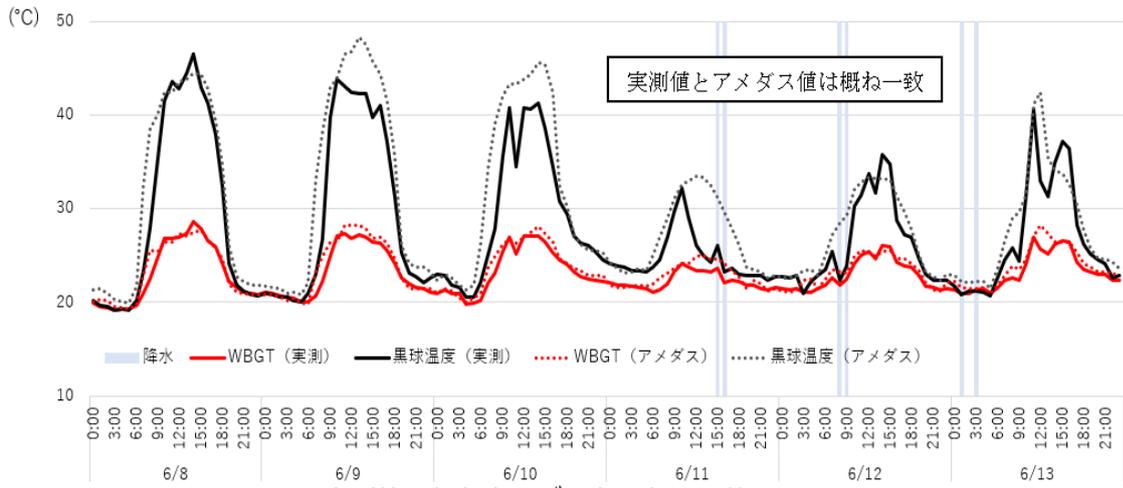
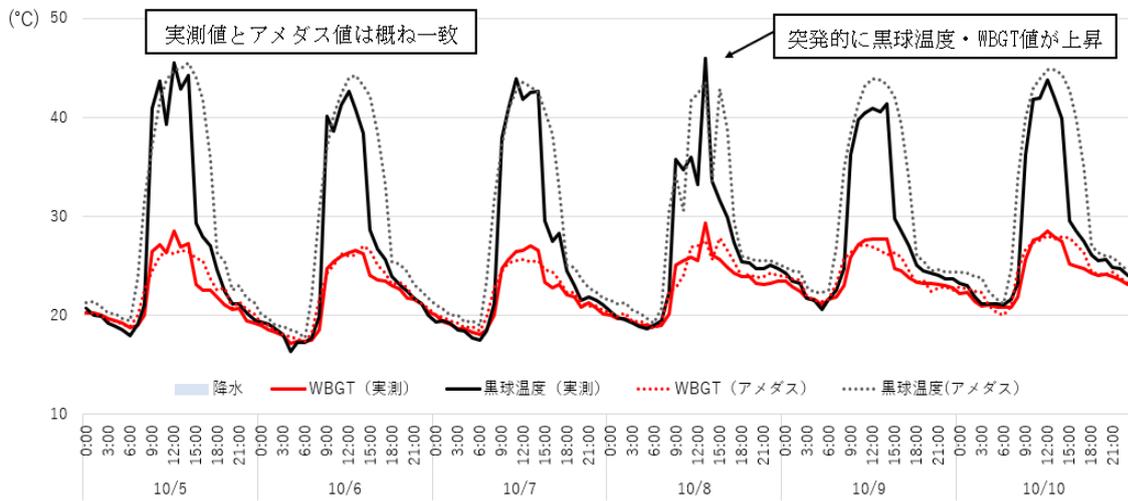
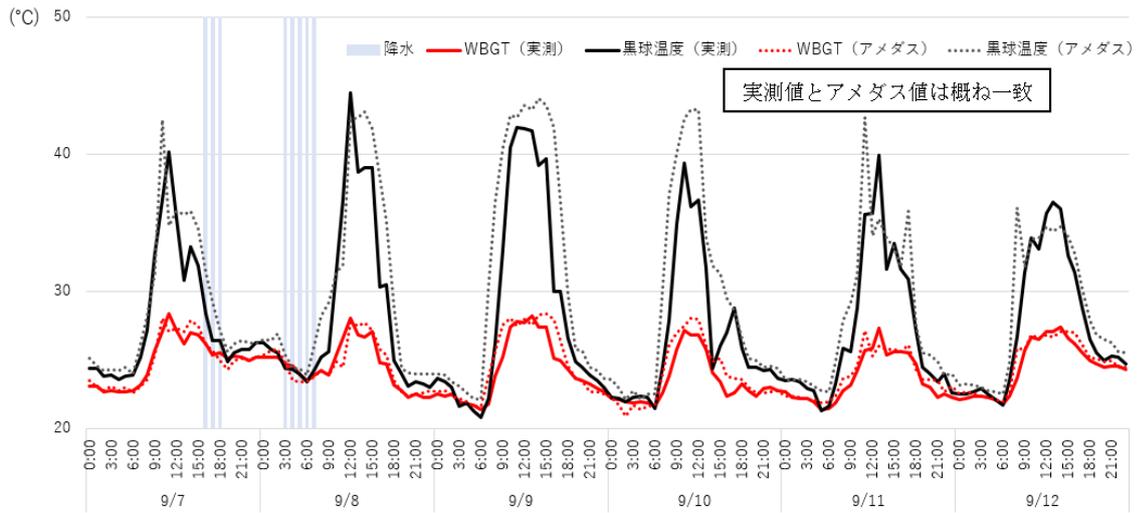


図 2-6 屋外日向条件の実測値とアメダス値の比較 (福岡②)



(続き) 図 2-6 屋外日向条件の実測値とアメダス値の比較 (福岡②)

【屋外日向コンクリート条件】

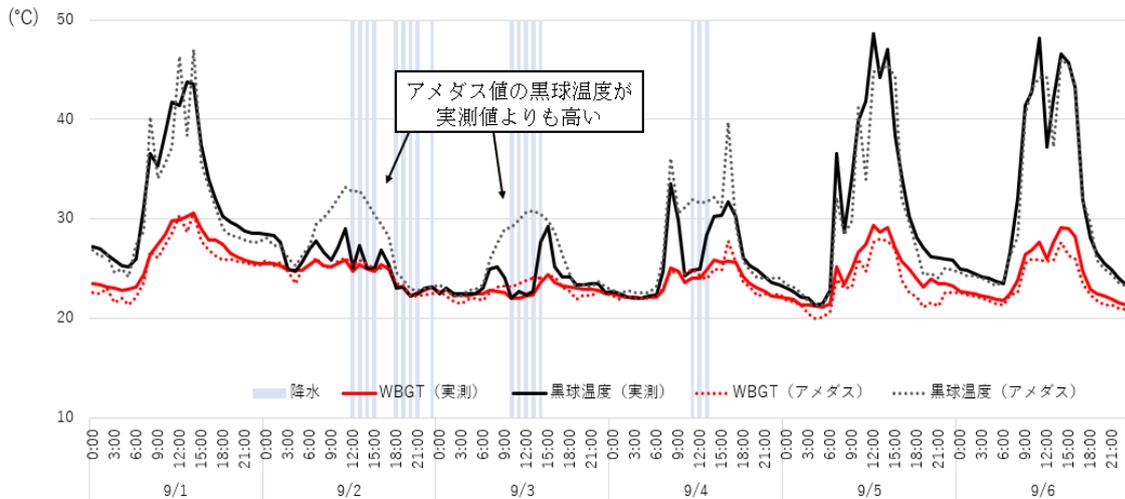
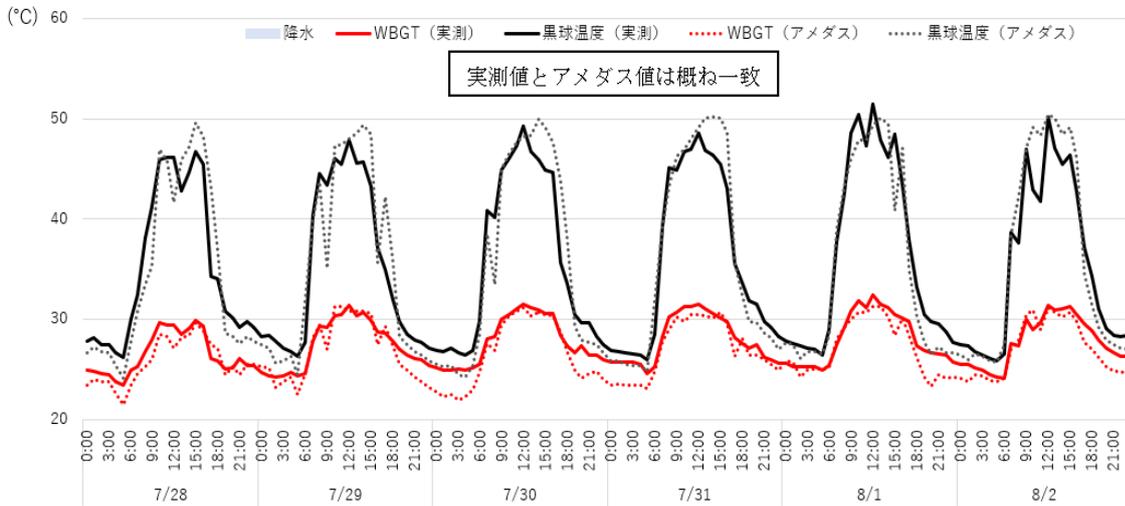
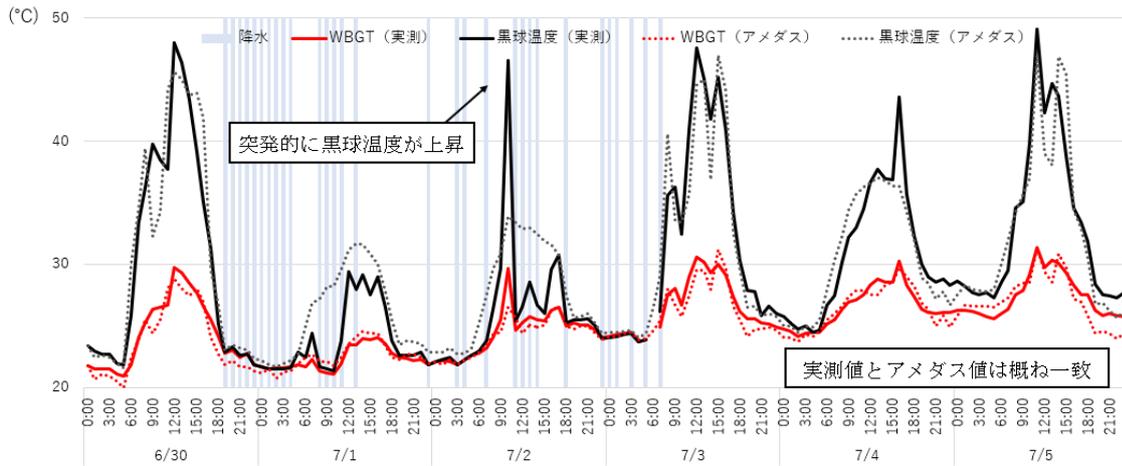
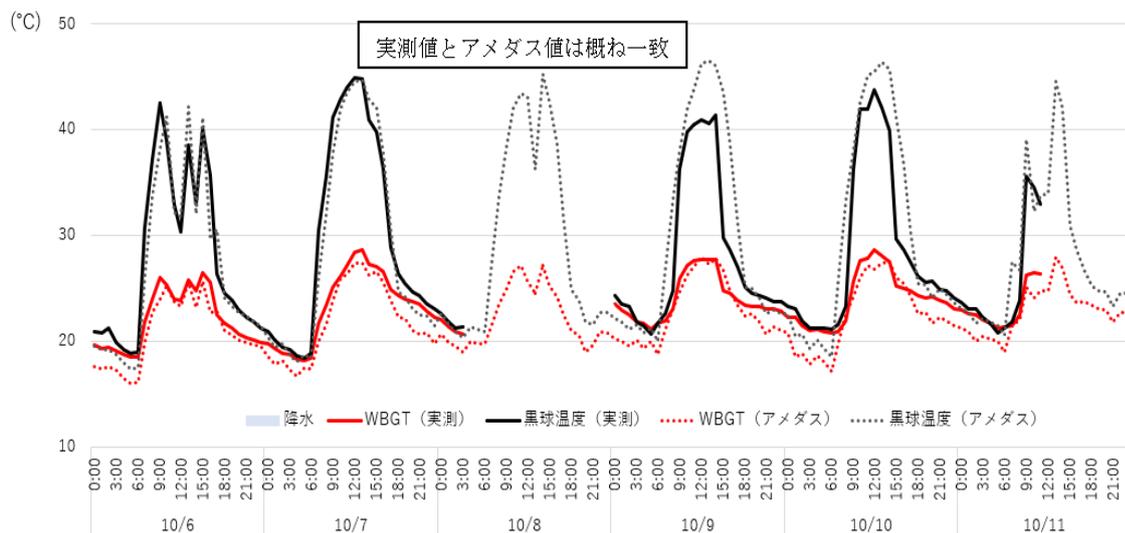
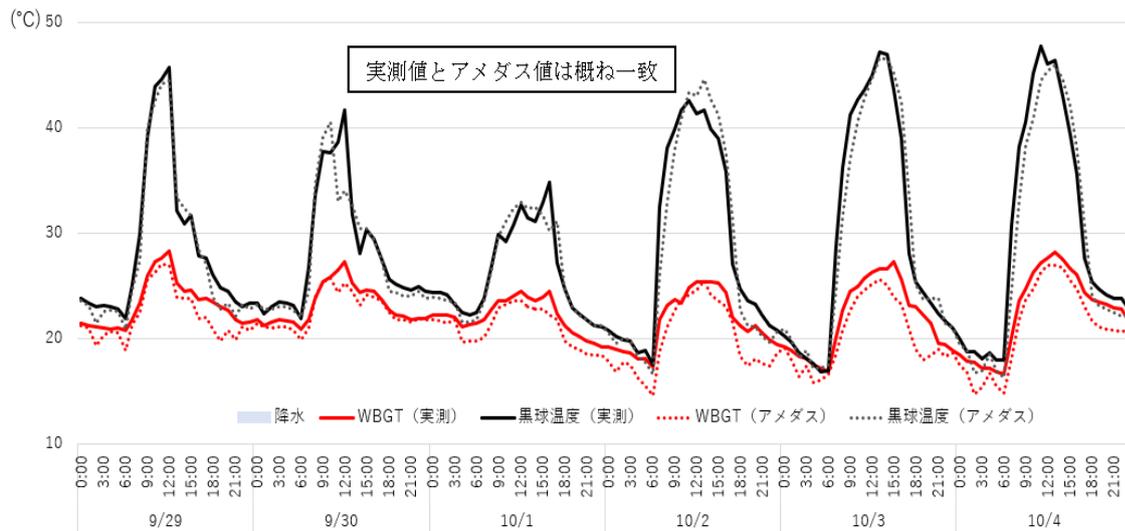


図 3-1 屋外日向コンクリート条件の実測値とアメダス値の比較 (大阪)



(続き) 図 3-1 屋外日向コンクリート条件の実測値とアメダス値の比較 (大阪)

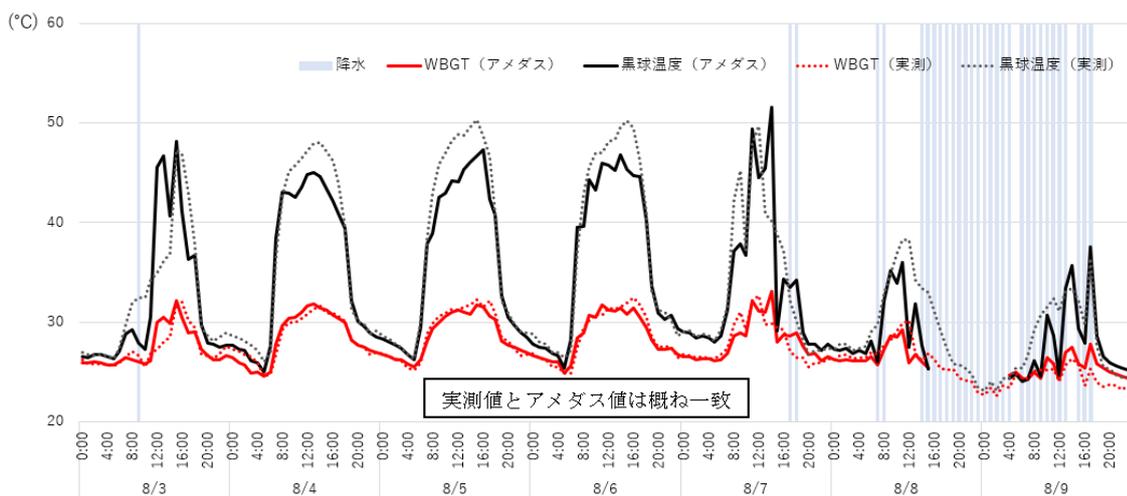
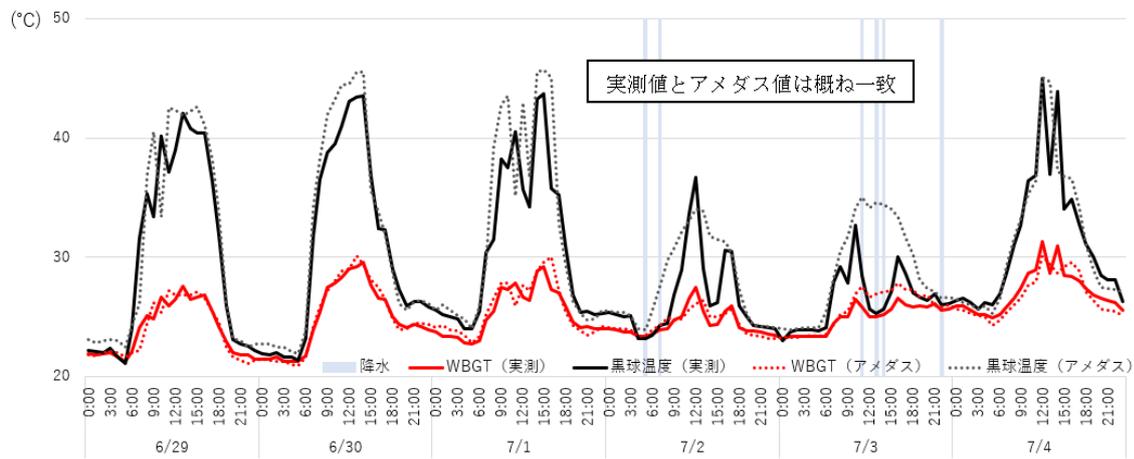
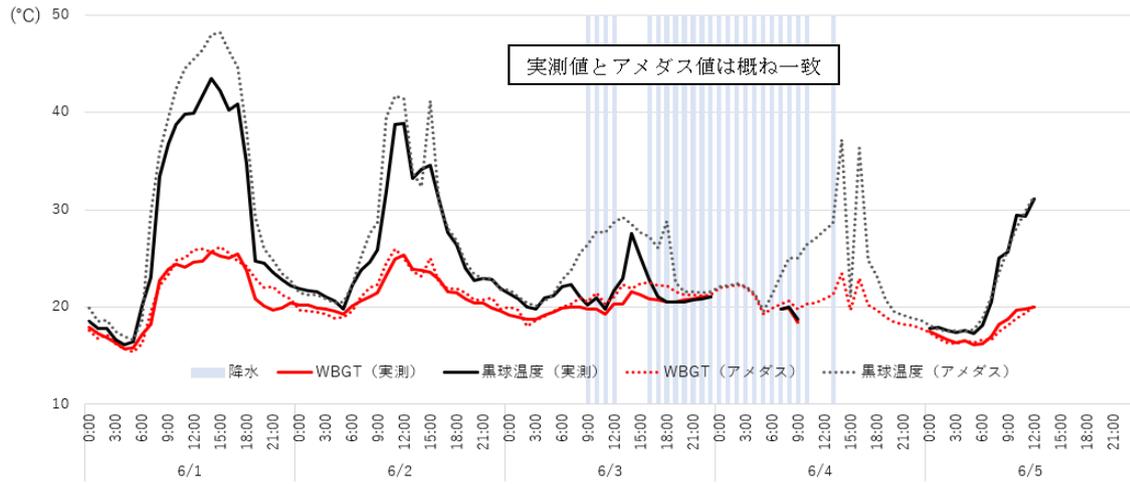
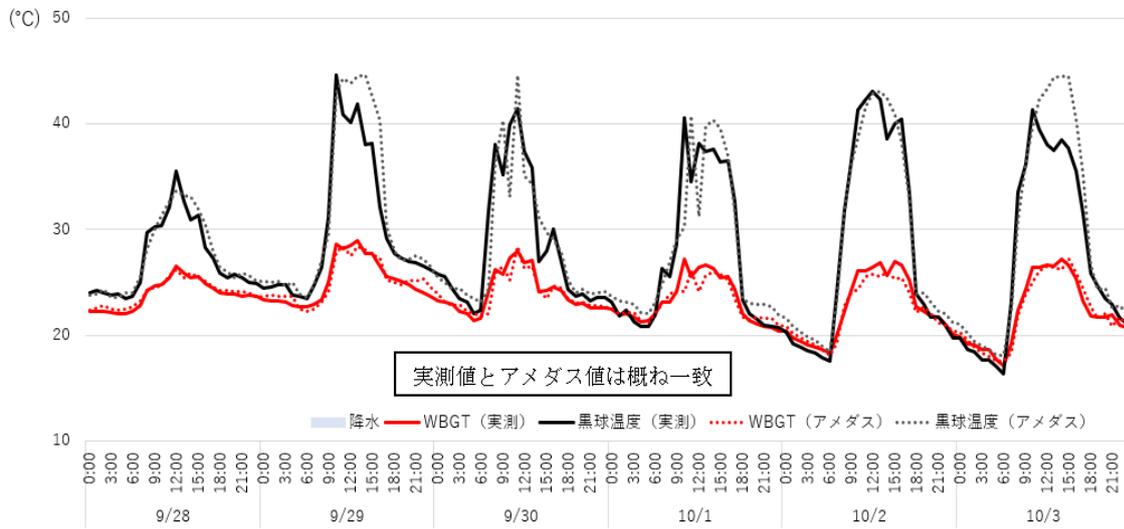
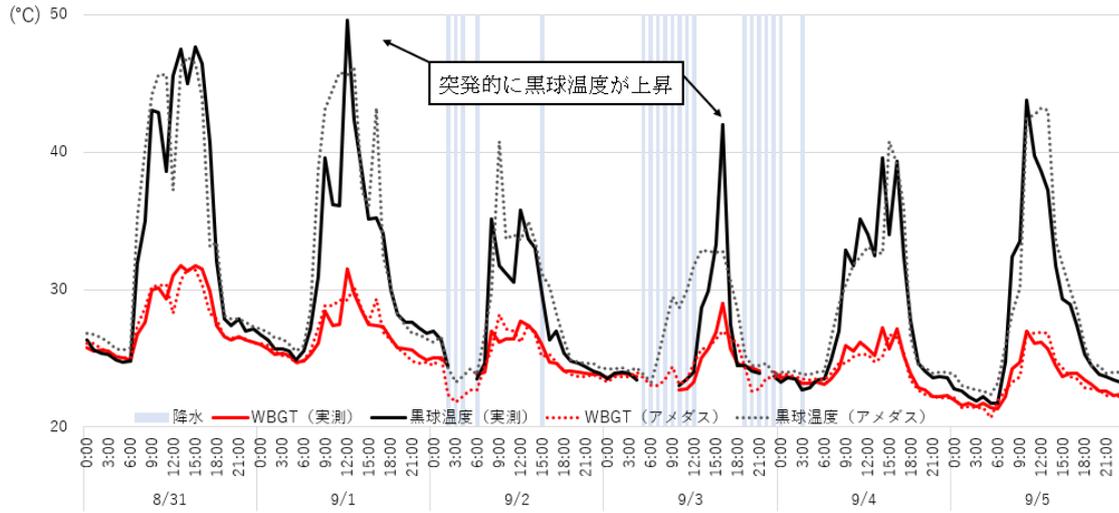


図 3-2 屋外日向コンクリート条件の実測値とアメダス値の比較 (福岡②)



(続き) 図 3-2 屋外日向コンクリート条件の実測値とアメダス値の比較 (福岡②)

【屋外建物脇コンクリート条件】

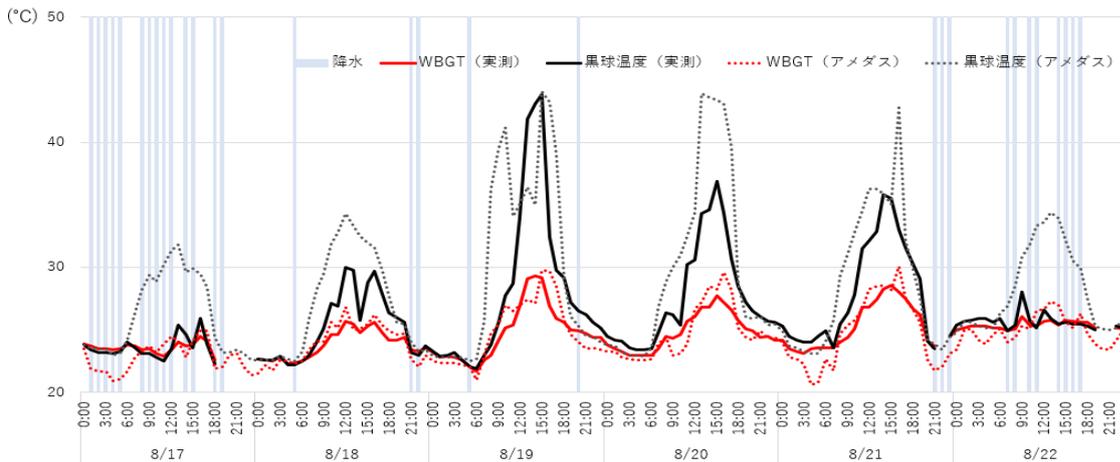
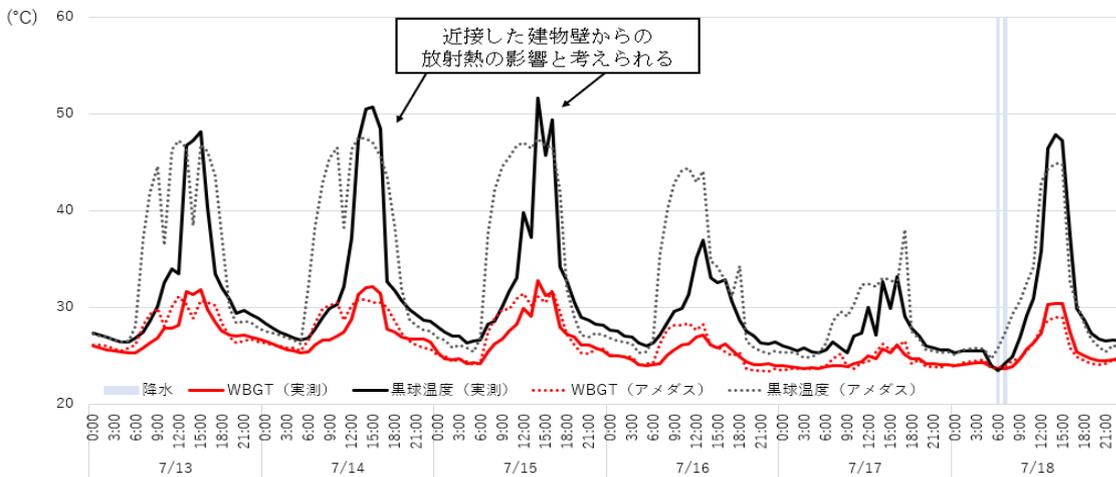
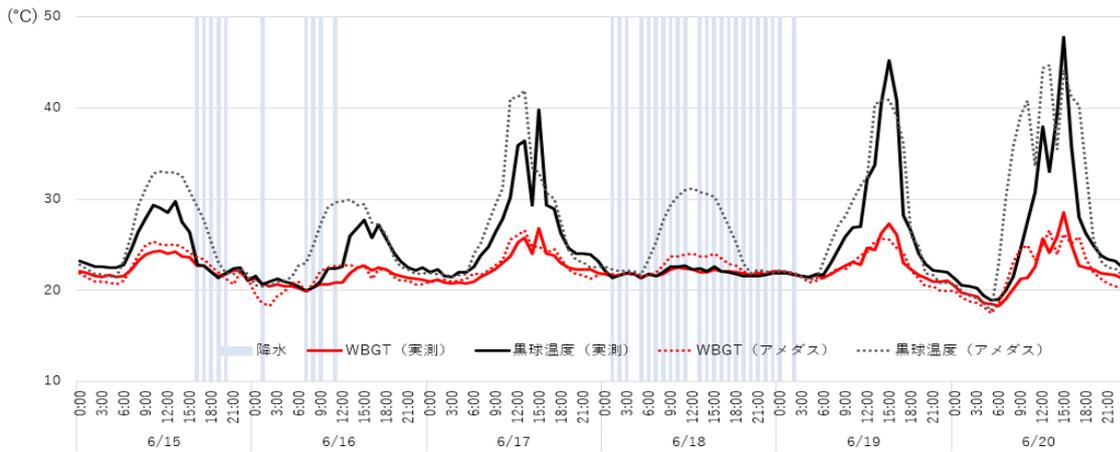
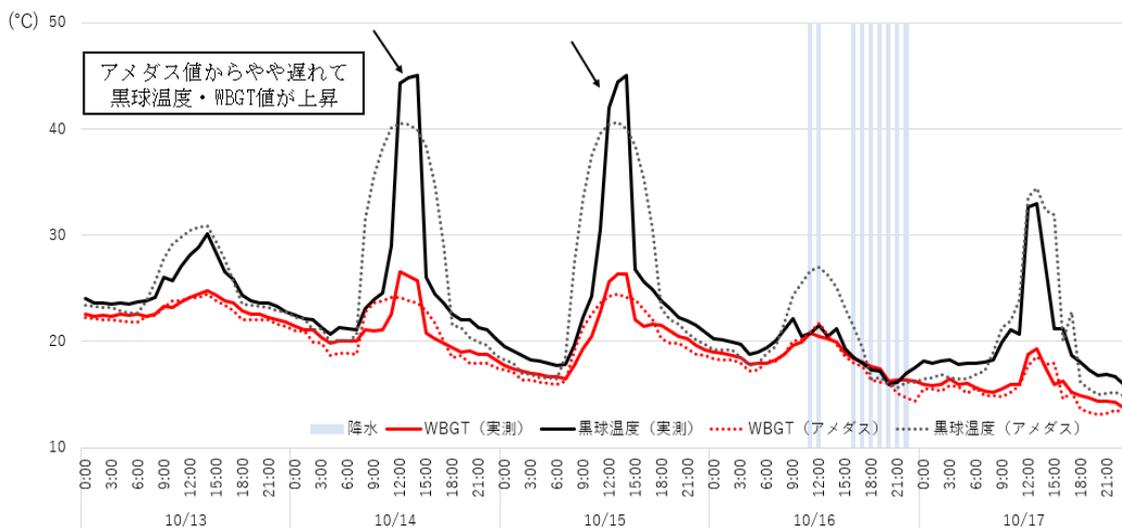
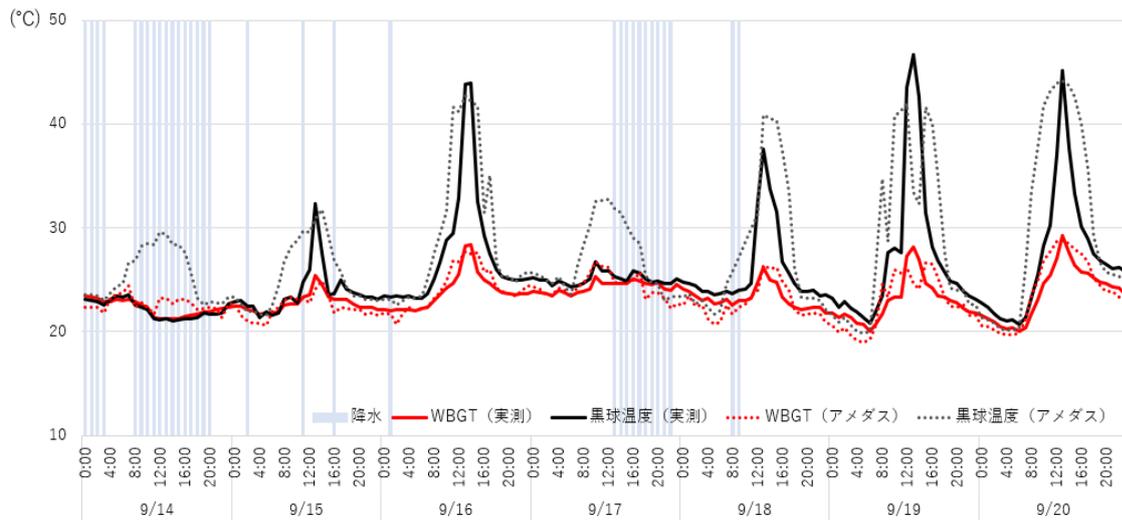


図4 屋外建物脇コンクリート条件の実測値とアメダス値の比較 (福岡②)



(続き) 図4 屋外建物脇コンクリート条件の実測値とアメダス値の比較 (福岡②)

【屋外日陰芝生条件】

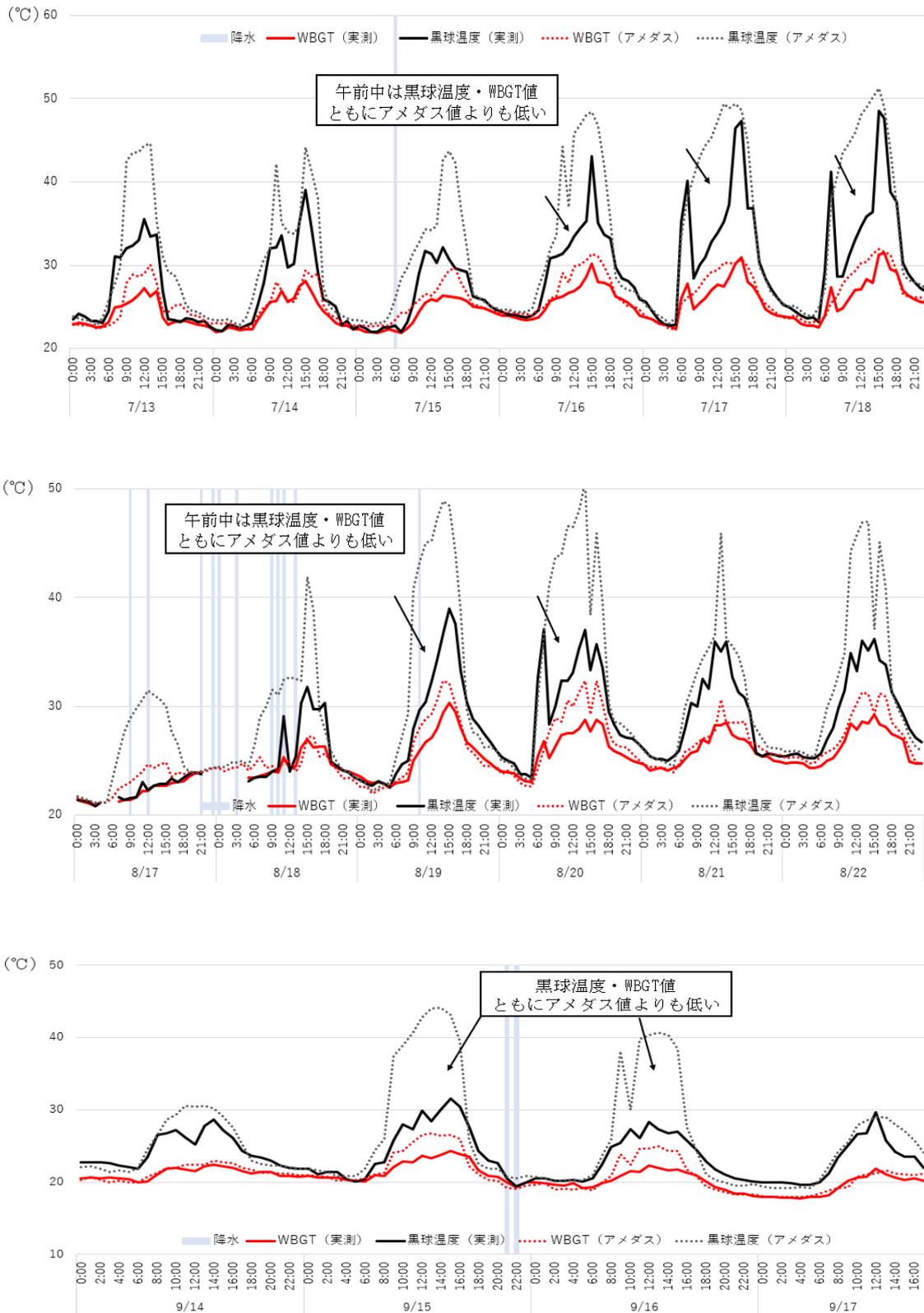


図 5 屋外日陰芝生条件の実測値とアメダス値の比較 (群馬)

【屋外日陰土条件】

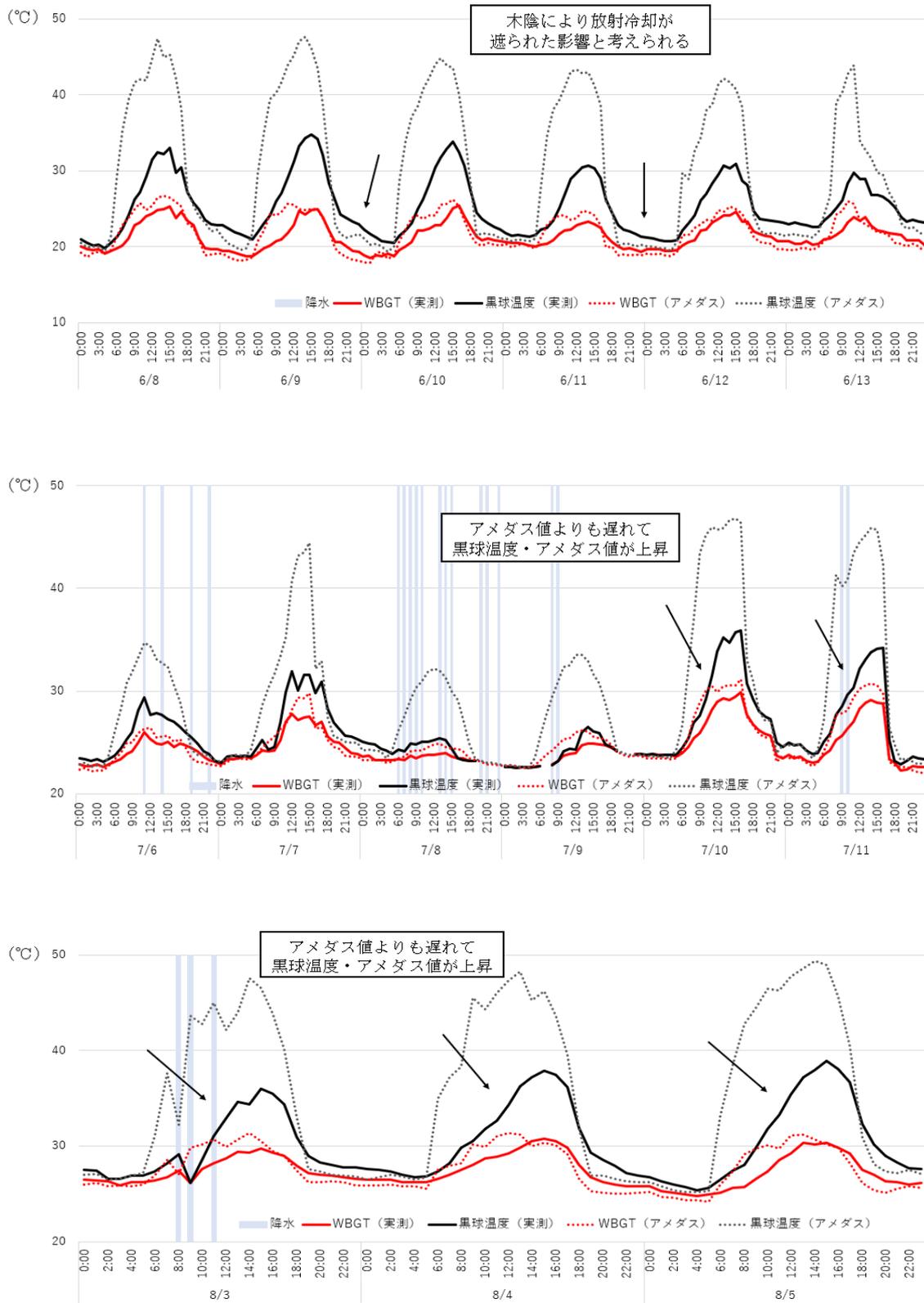
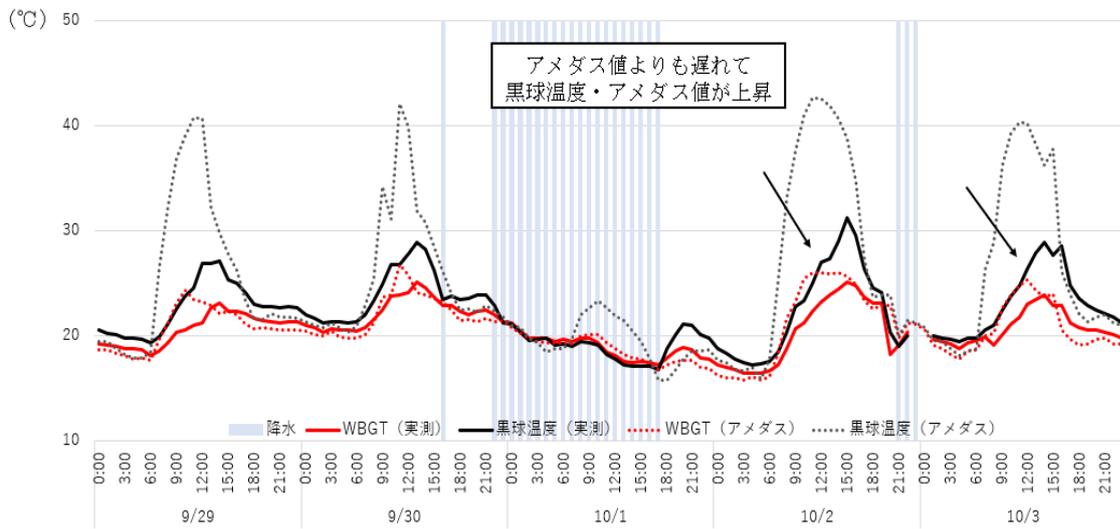
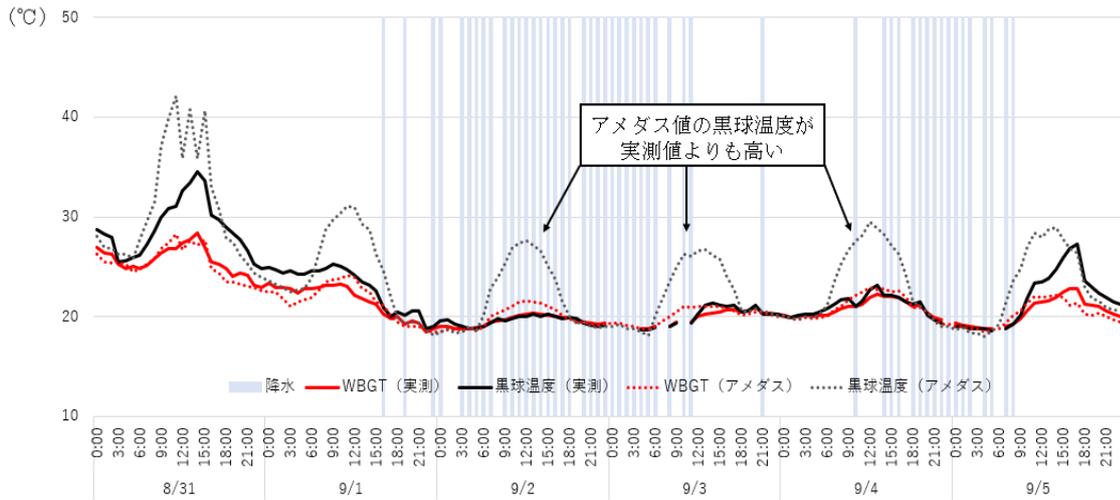


図 6 屋外日陰土条件の実測値とアメダス値の比較 (神奈川)



(続き) 図6 屋外日陰土条件の実測値とアメダス値の比較 (神奈川)

【屋外日陰コンクリート条件】

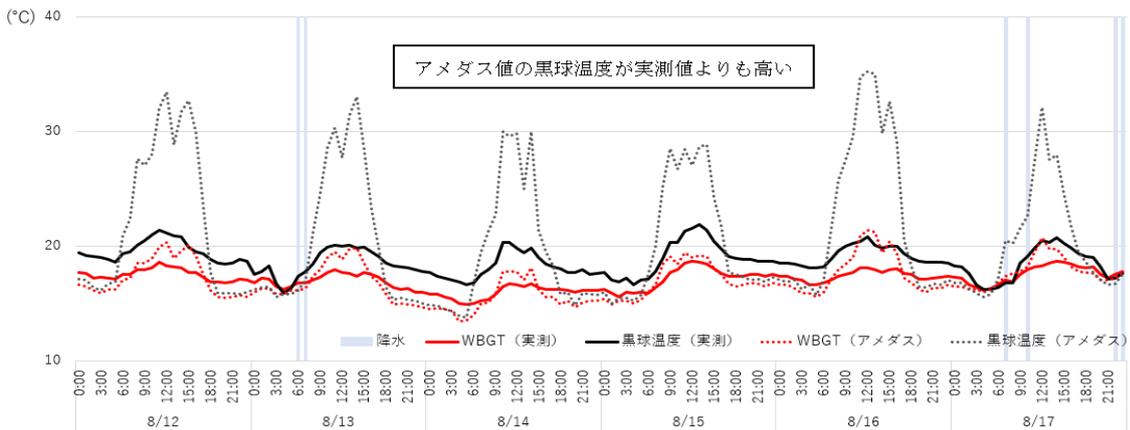
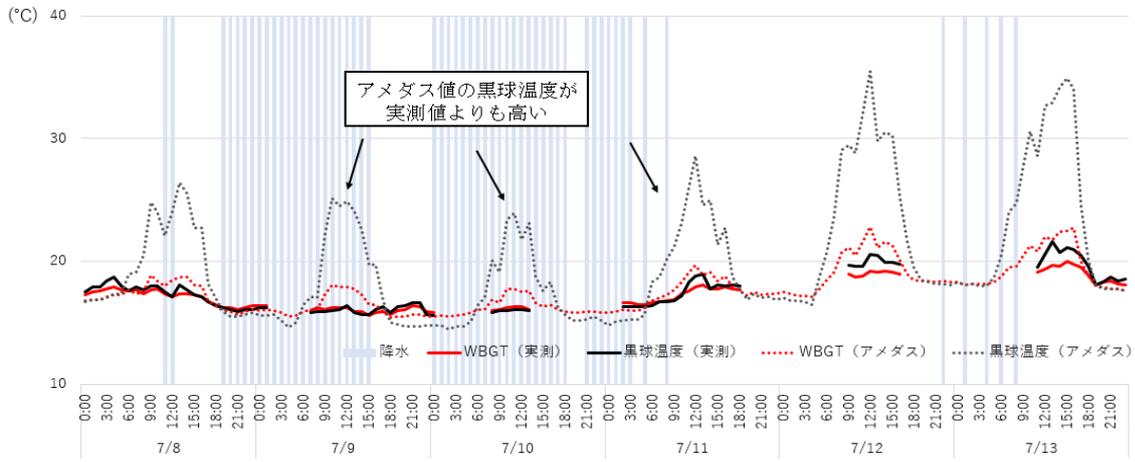
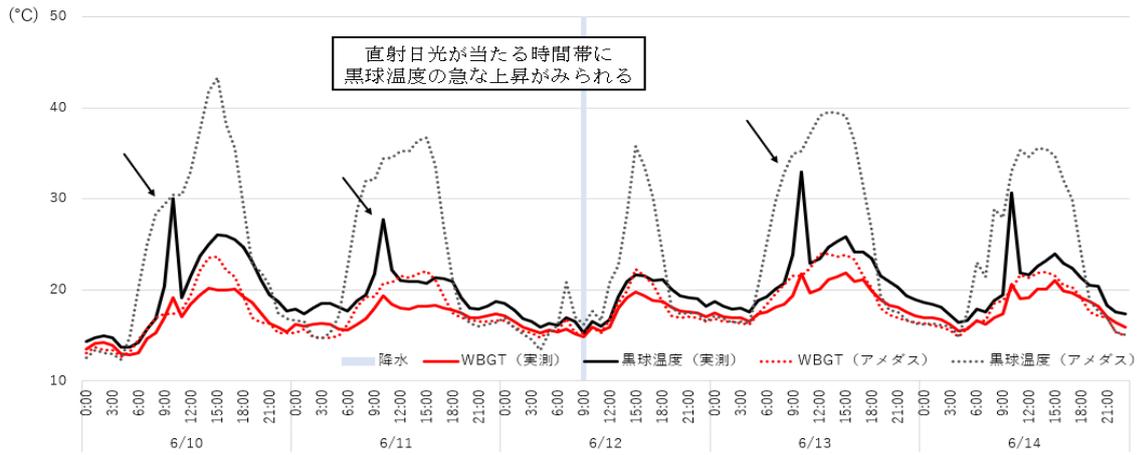
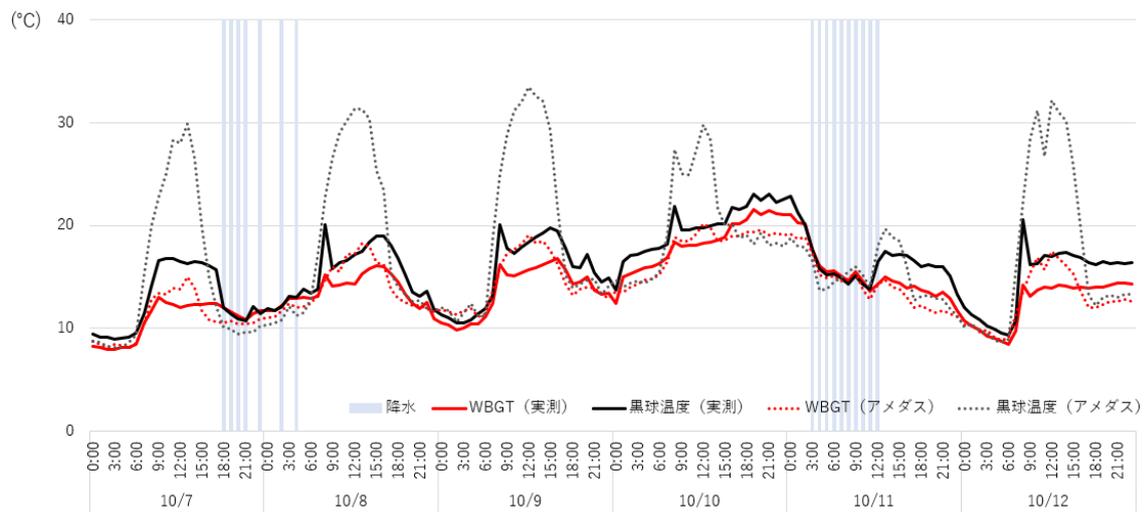
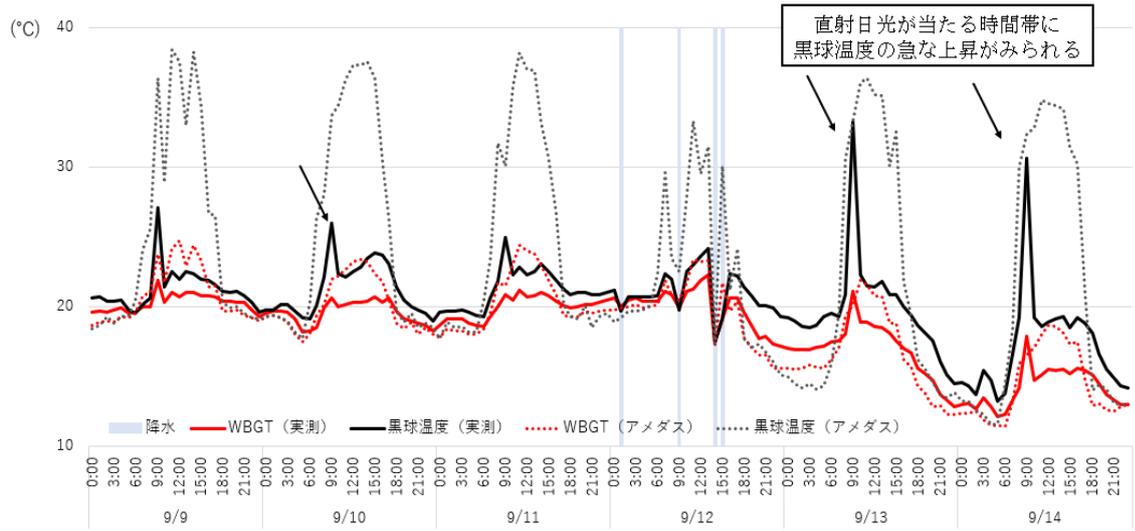


図 7-1 屋外日陰コンクリート条件の実測値とアメダス値の比較 (北海道)



(続き) 図 7-1 屋外日陰コンクリート条件の実測値とアメダス値の比較 (北海道)

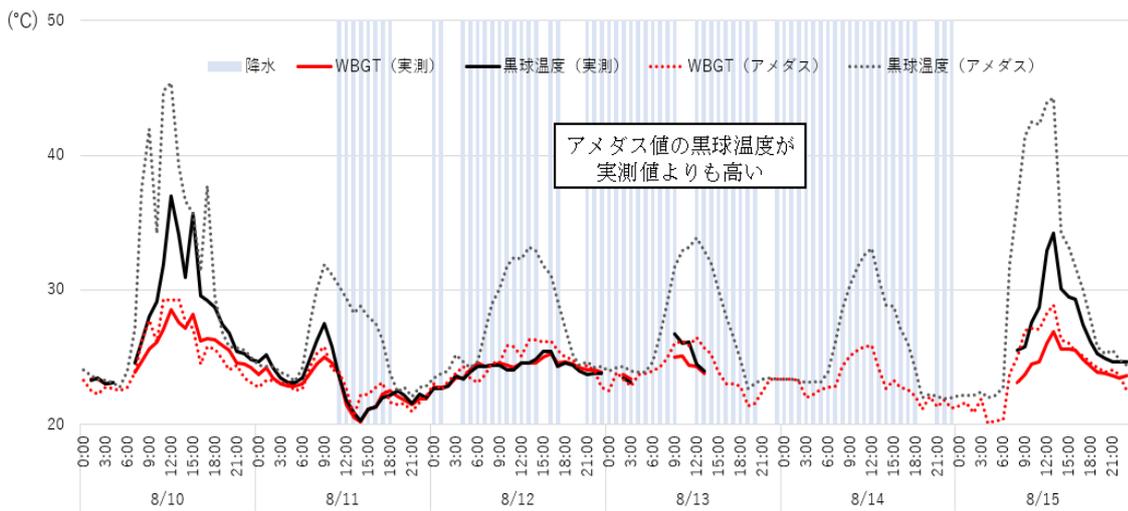
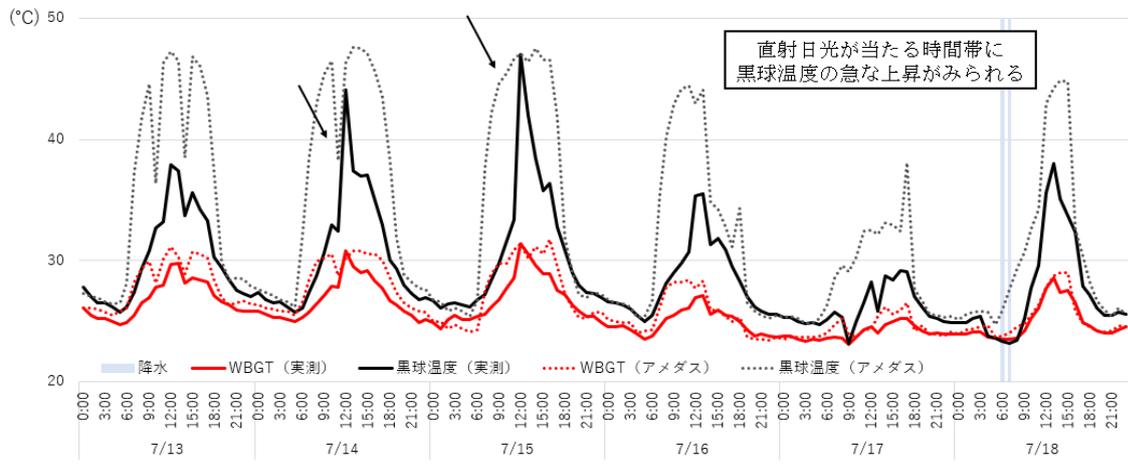
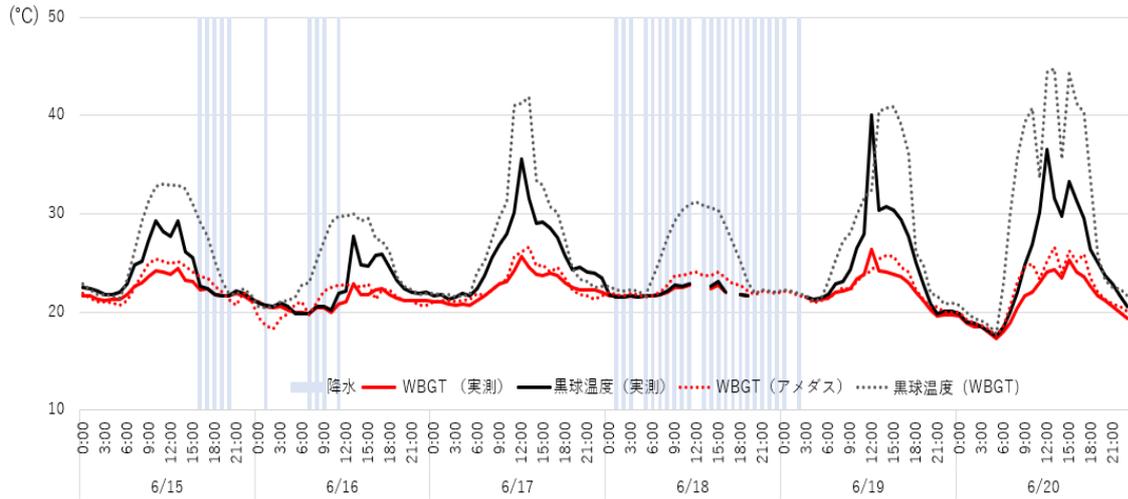
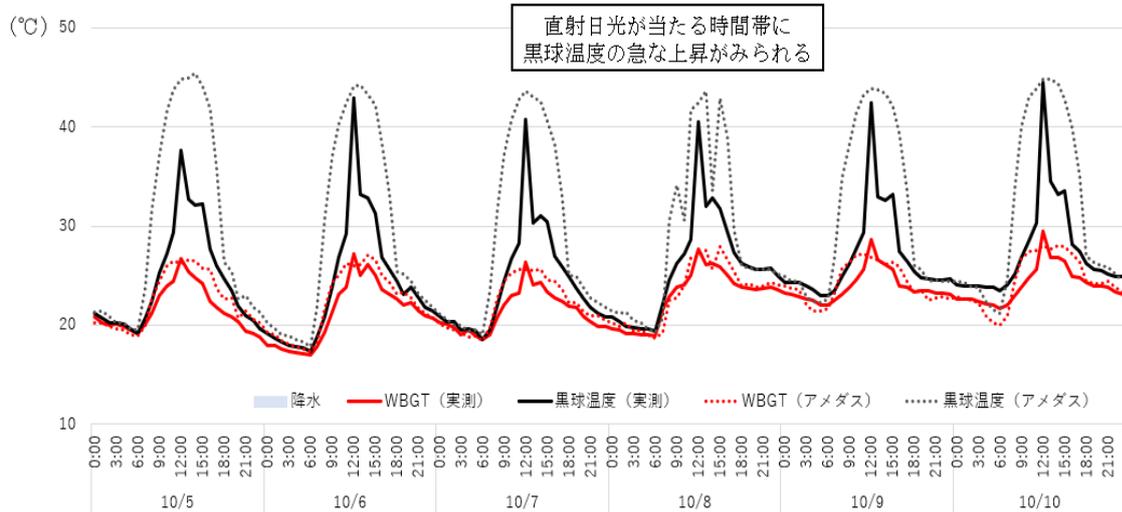
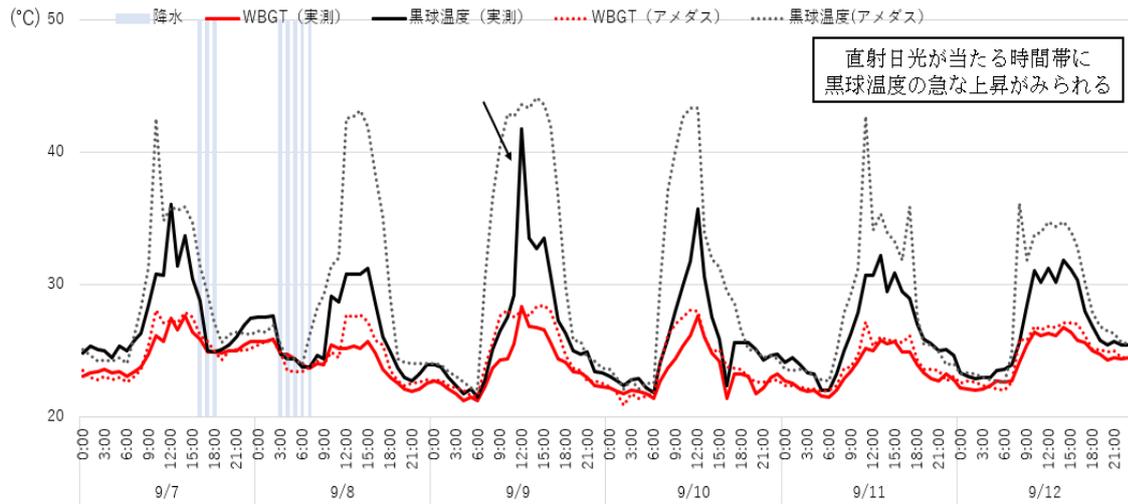


図 7-2 屋外日陰コンクリート条件の実測値とアメダス値の比較 (福岡①)



(続き) 図 7-2 屋外日陰コンクリート条件の実測値とアメダス値の比較 (福岡①)

【屋内熱源なし空調なし条件】

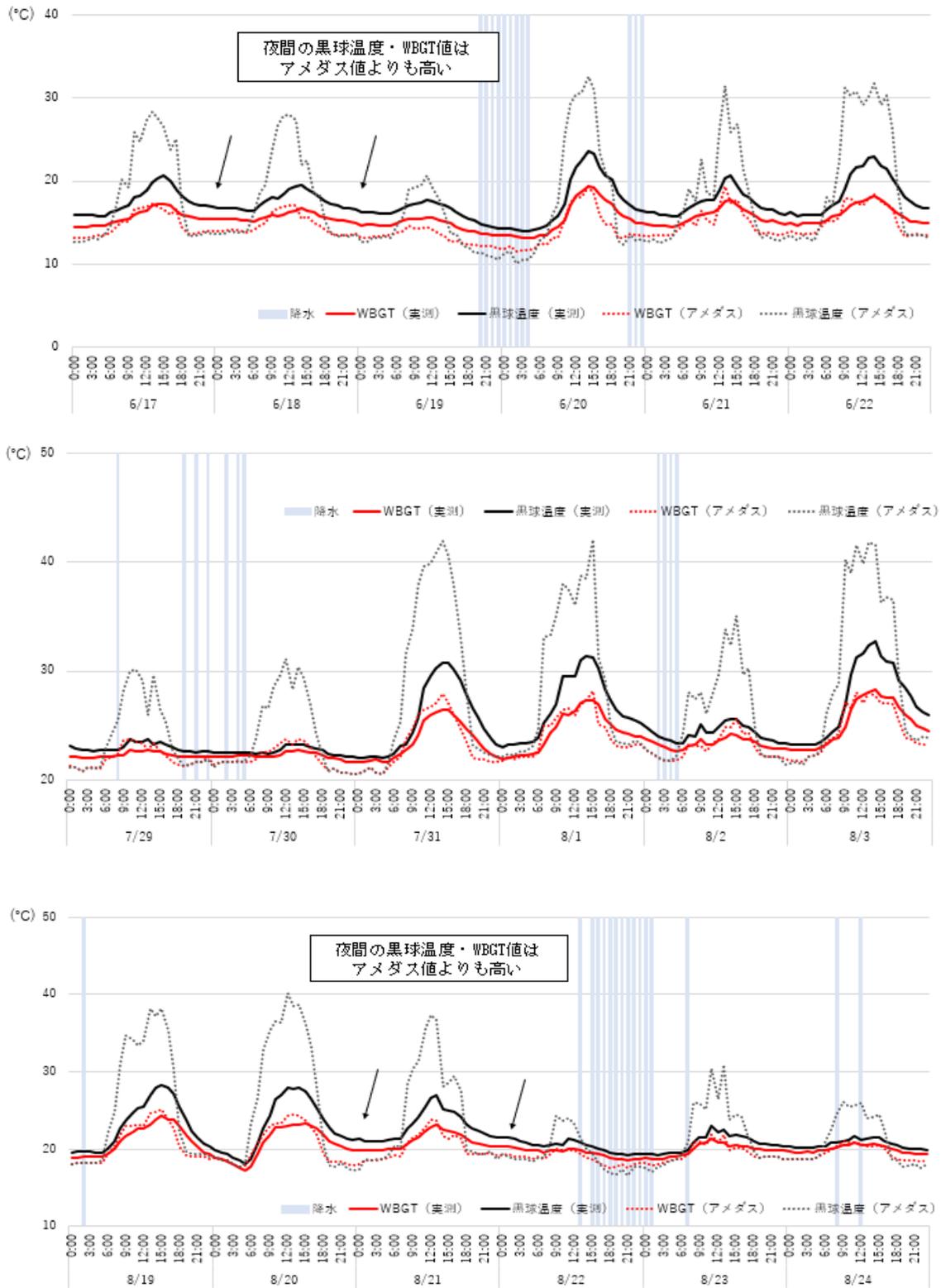
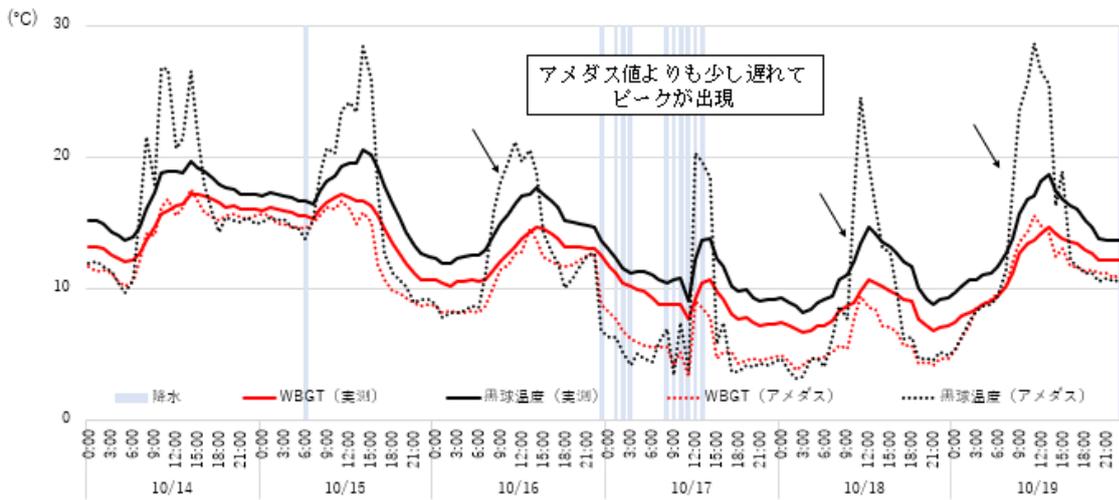
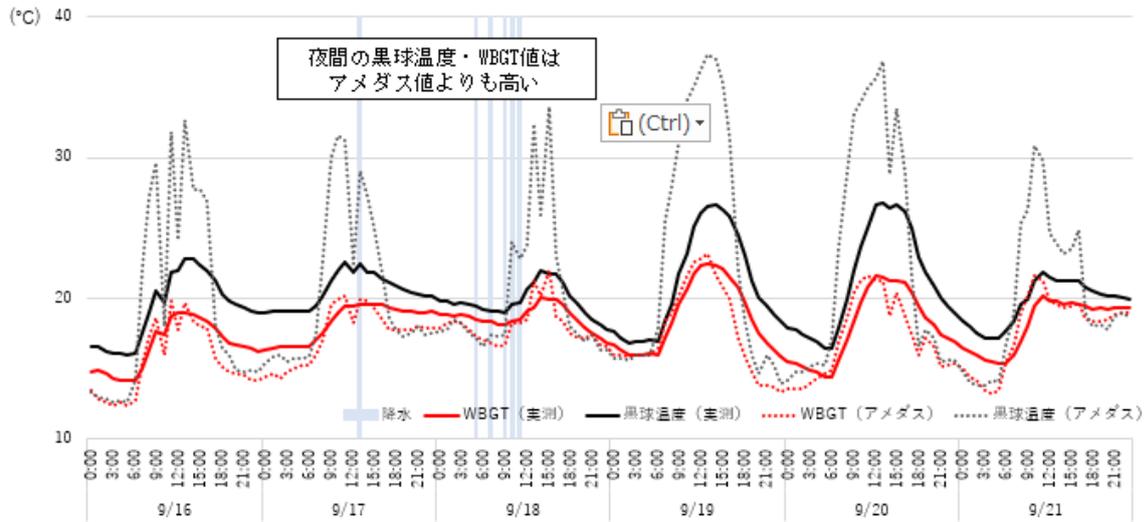


図 8-1 屋内熱源なし空調なし条件の実測値とアメダス値の比較（北海道）



(続き) 図 8-1 屋内熱源なし空調なし条件の実測値とアメダス値の比較 (北海道)

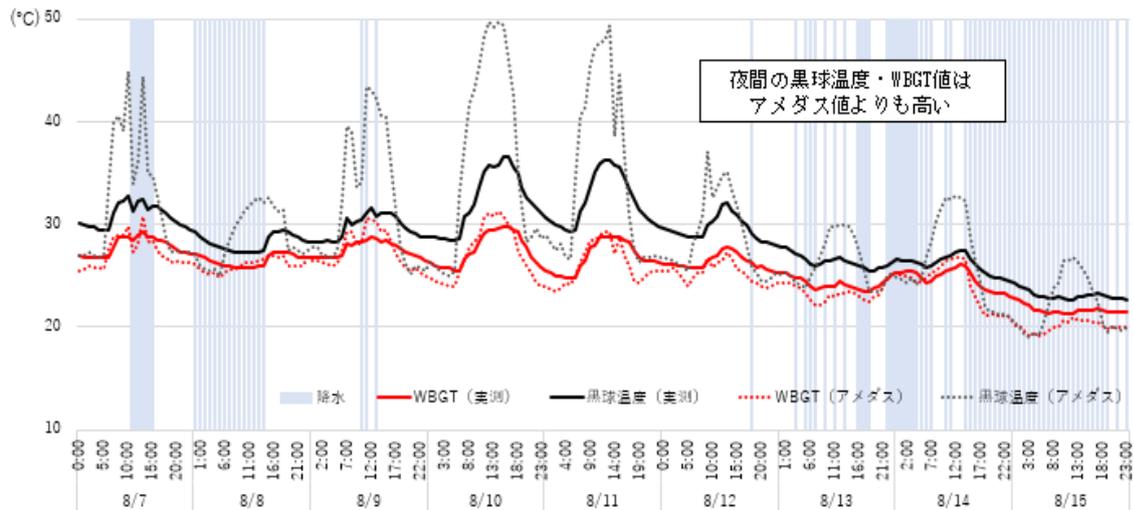
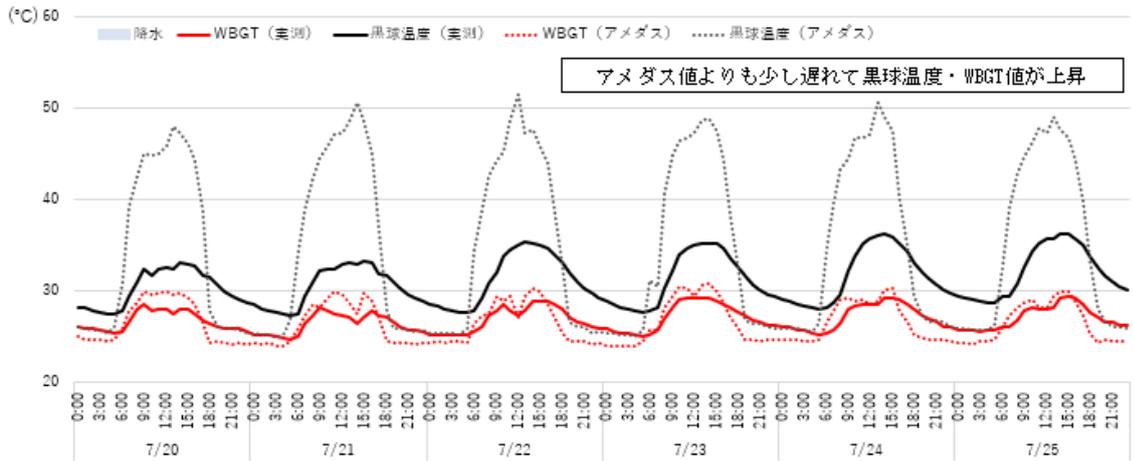
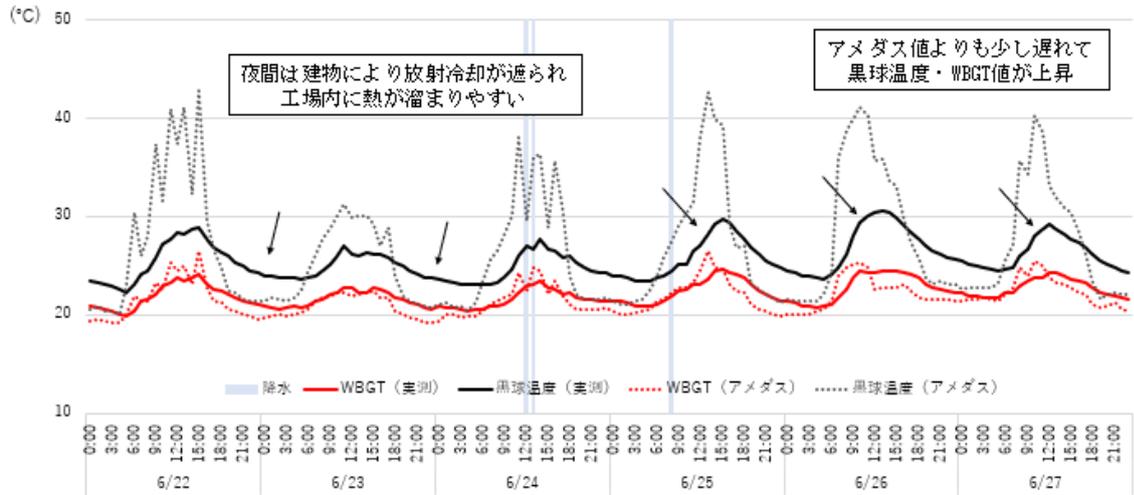
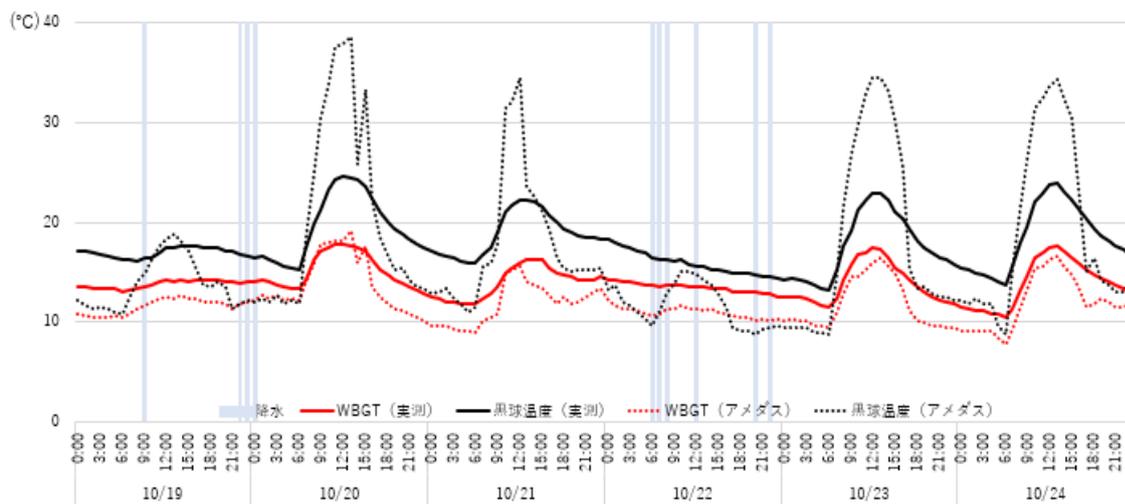
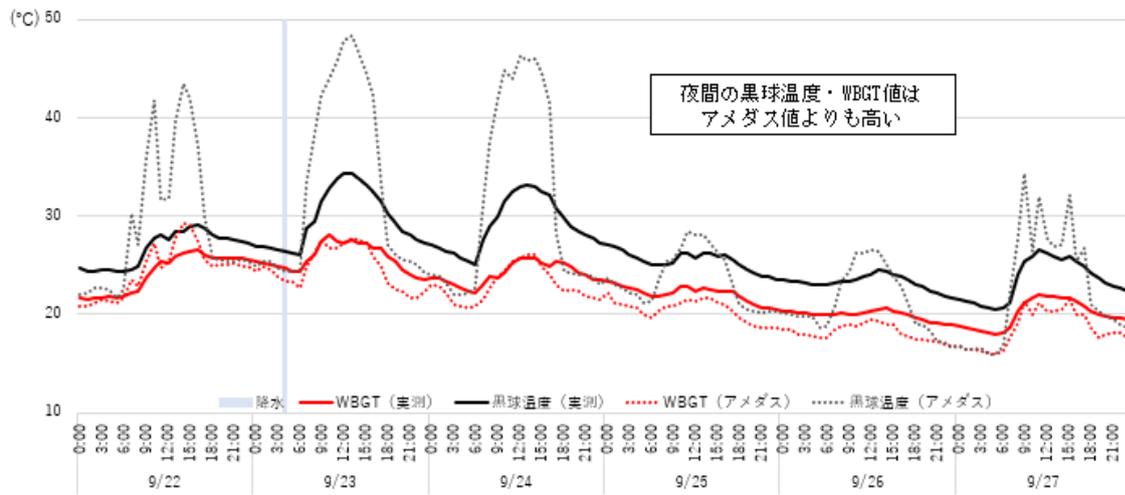


図 8-2 屋内熱源なし空調なし条件の実測値とアメダス値の比較 (神奈川)



(続き) 図 8-2 屋内熱源なし空調なし条件の実測値とアメダス値の比較 (神奈川)

【屋内熱源なし空調あり条件】

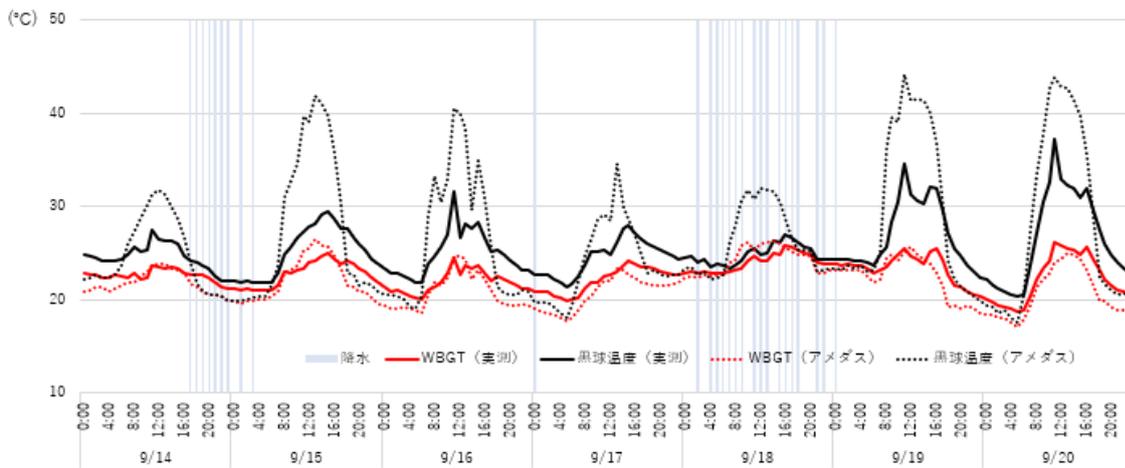
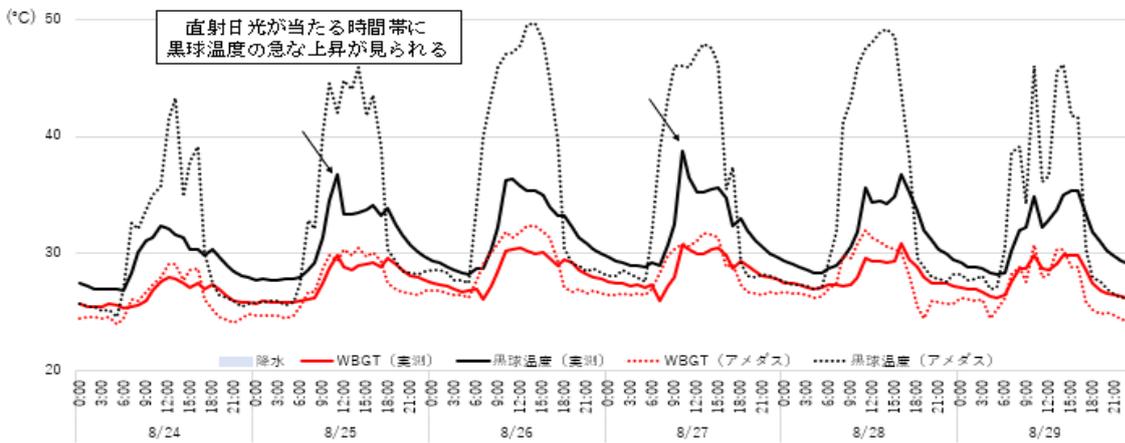
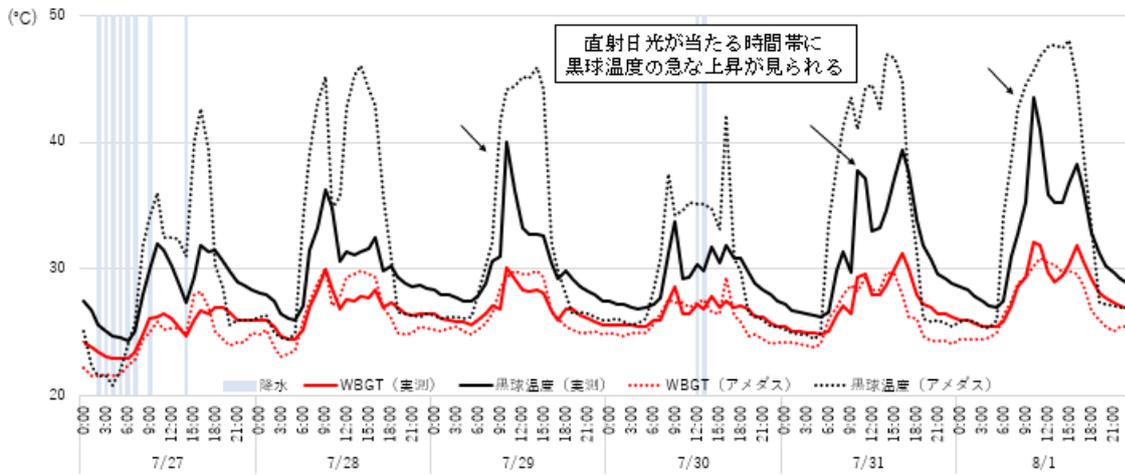
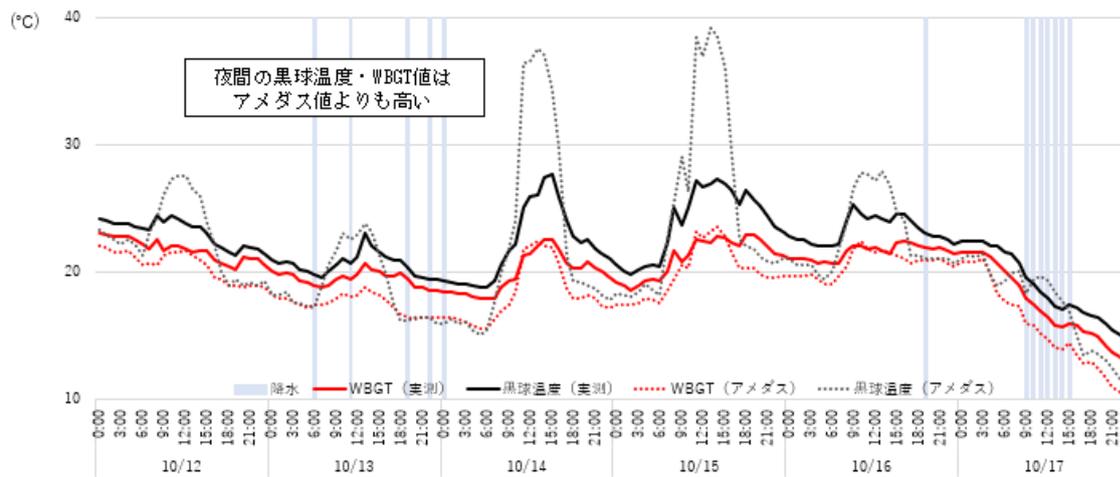


図 9-1 屋内熱源なし空調あり条件の実測値とアメダス値の比較 (神奈川)



(続き) 図 9-1 屋内熱源なし空調あり条件の実測値とアメダス値の比較 (神奈川)

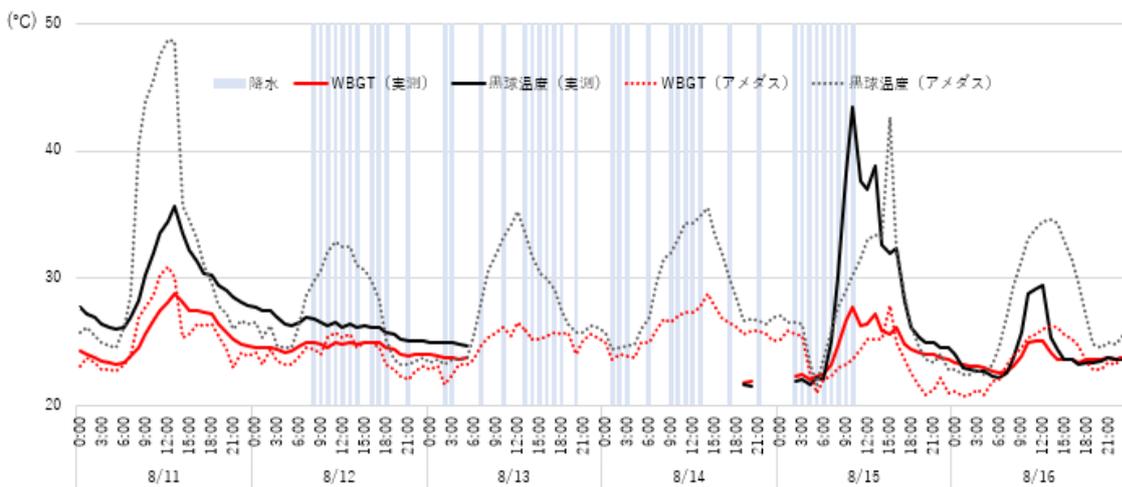
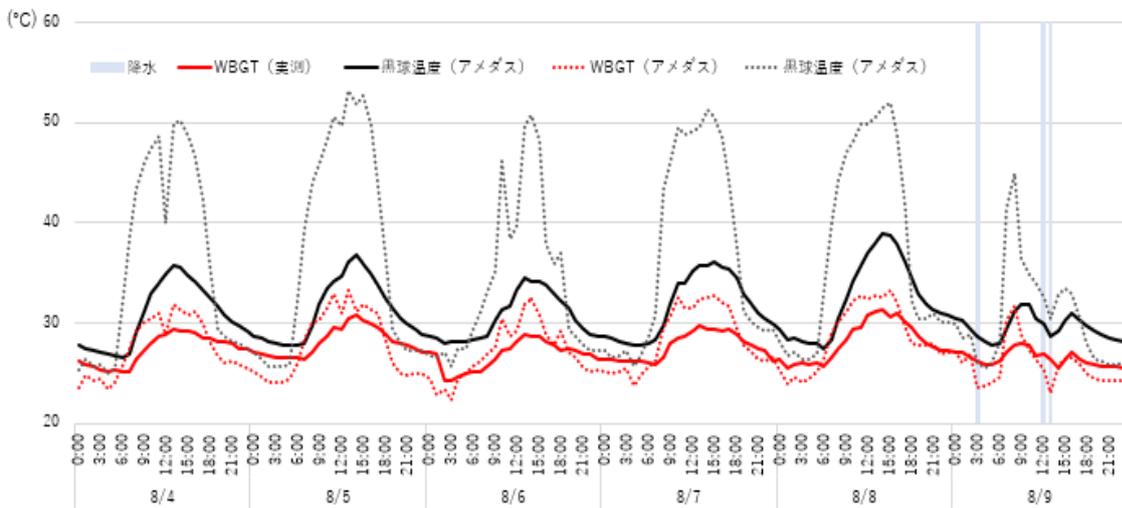
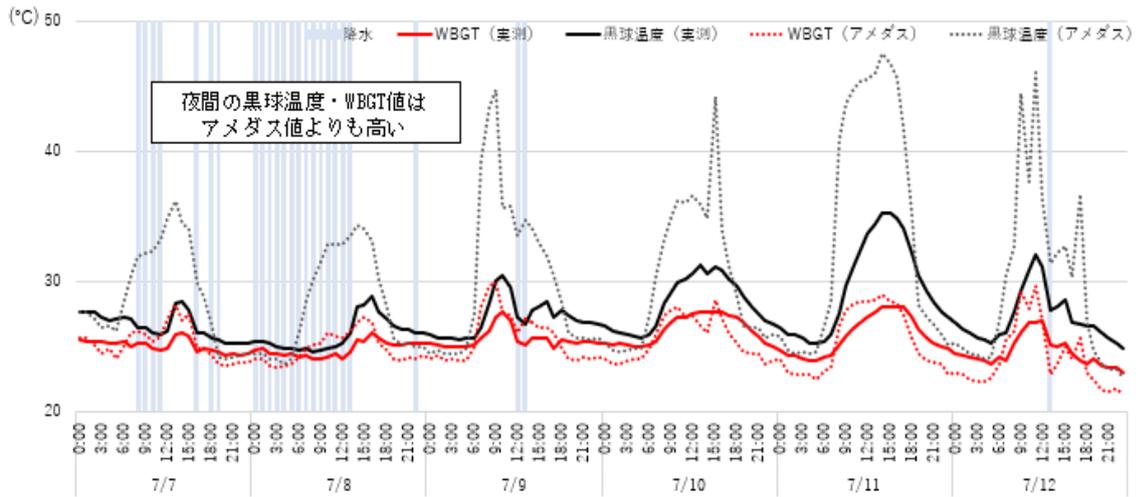
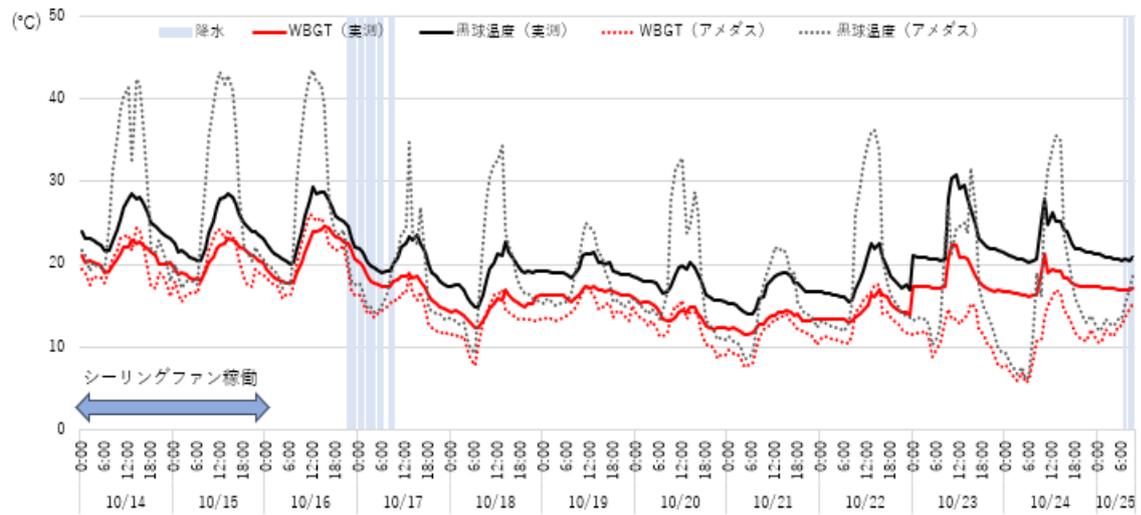
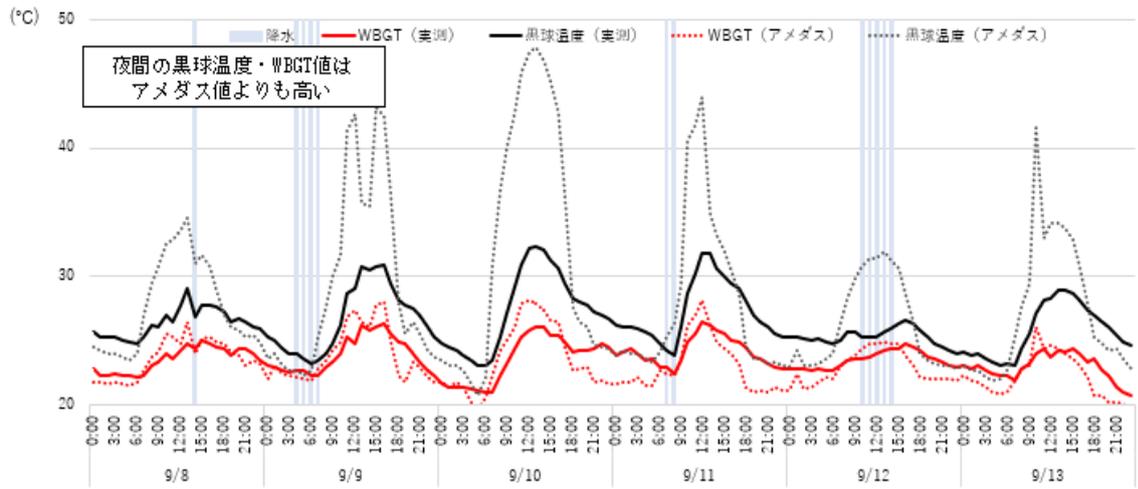


図 9-2 屋内熱源なし空調あり条件の実測値とアメダス値の比較 (大阪)



(続き) 図 9-2 屋内熱源なし空調あり条件の実測値とアメダス値の比較 (大阪)

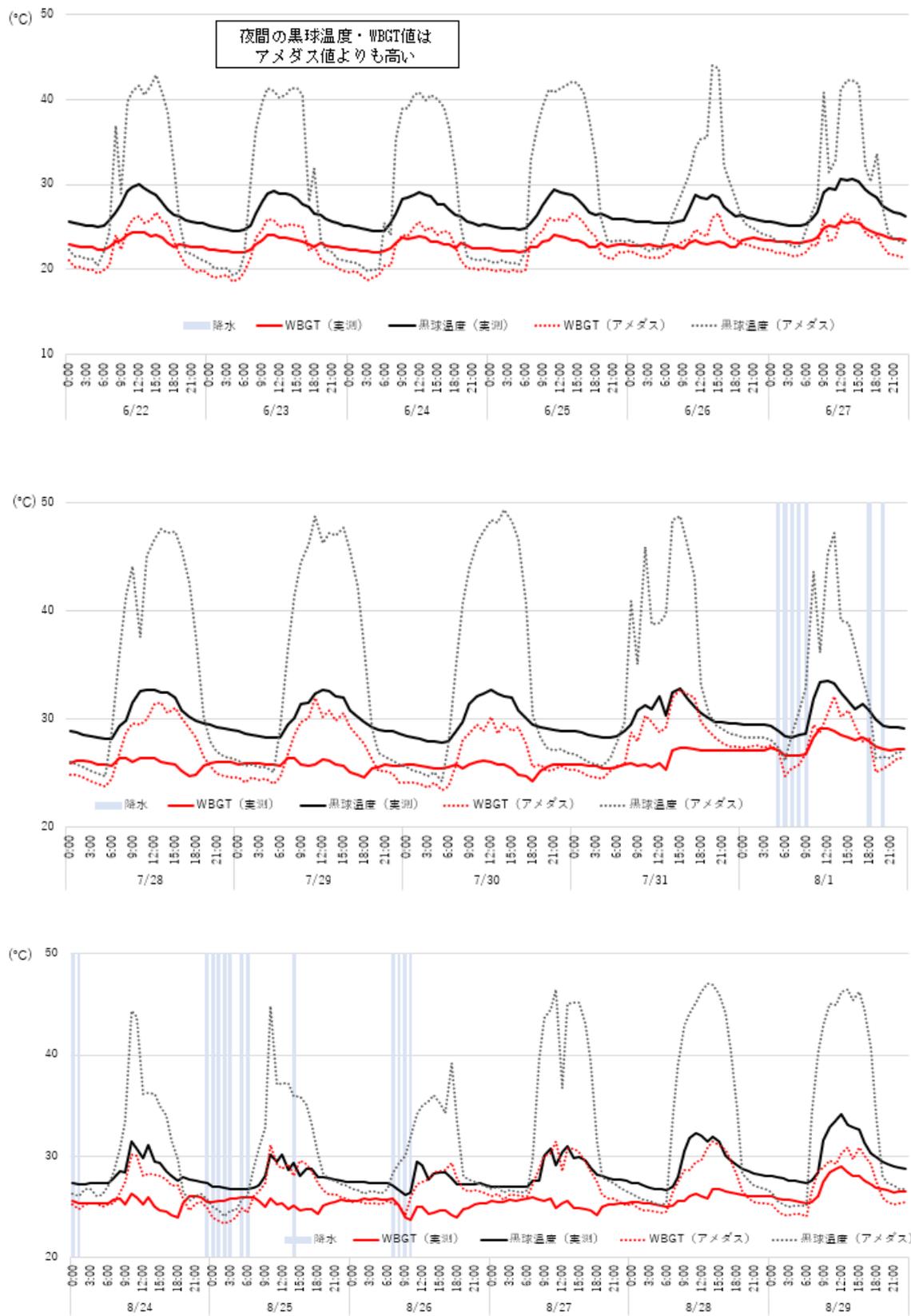
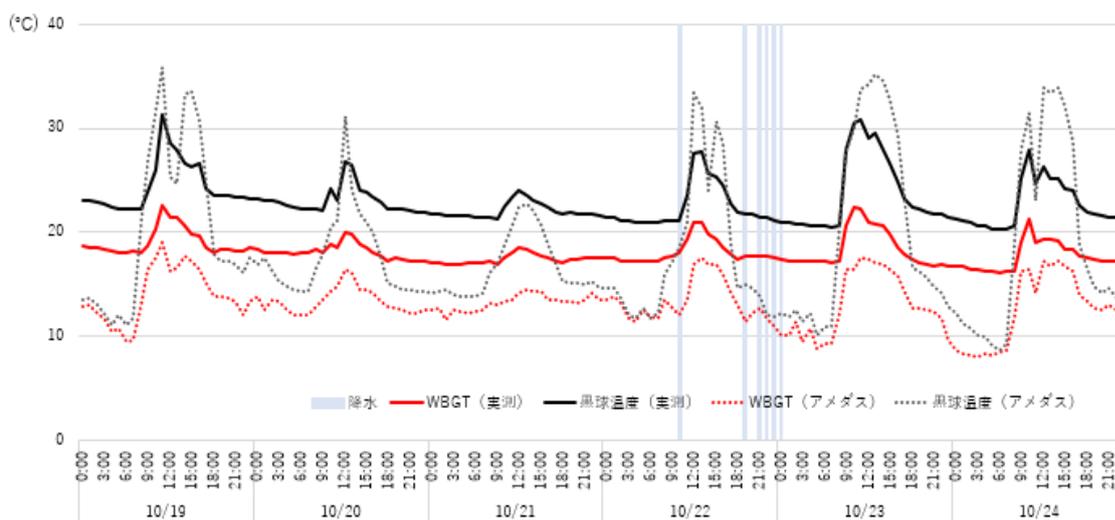
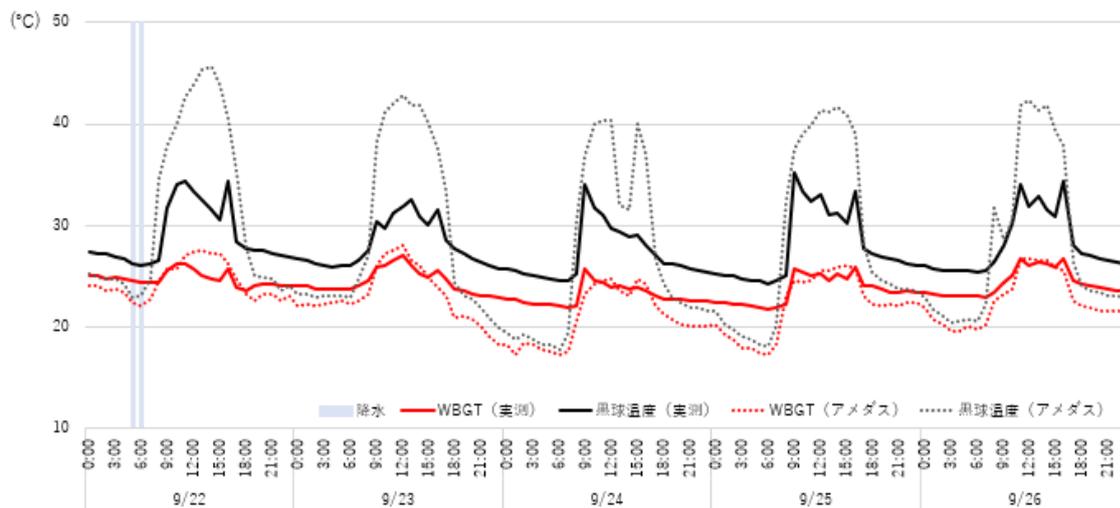


図 9-3 屋内熱源なし空調あり条件の実測値とアメダス値の比較 (福岡)



(続き) 図 9-3 屋内熱源なし空調あり条件の実測値とアメダス値の比較 (福岡)

【屋内熱源あり空調なし条件】

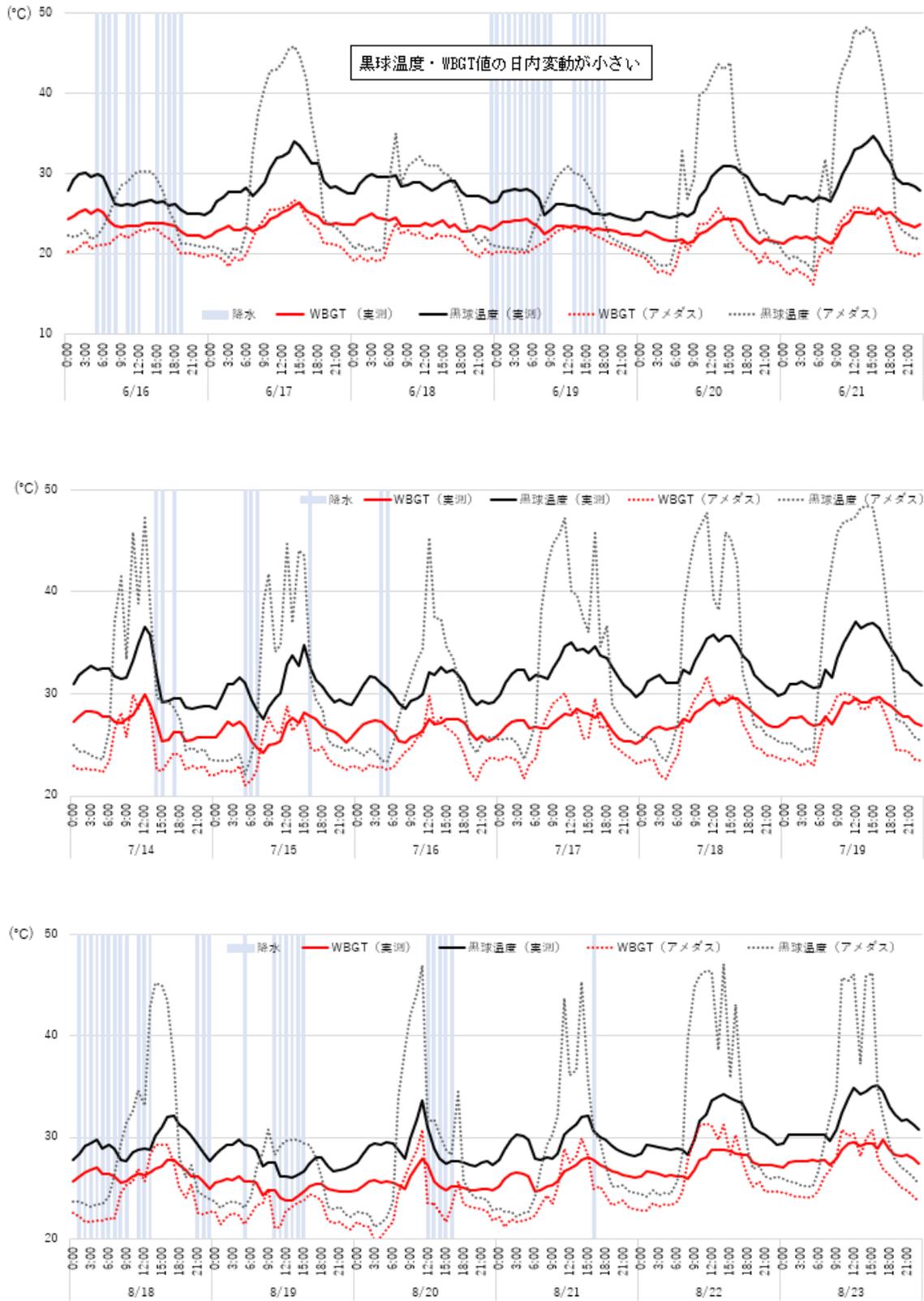
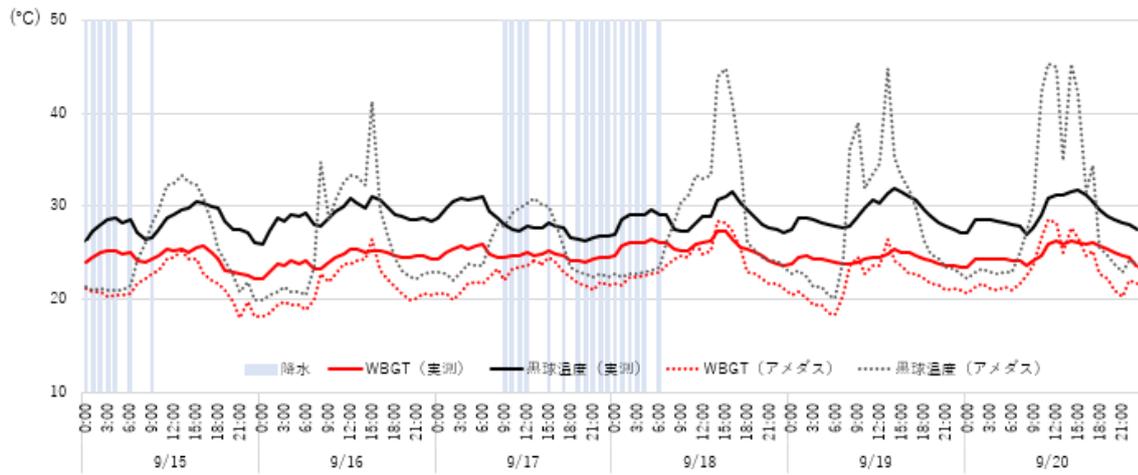


図 10 屋内熱源あり空調なし条件の実測値とアメダス値の比較 (大阪)



(続き) 図 10 屋内熱源あり空調なし条件の実測値とアメダス値の比較 (大阪)

【屋内熱源あり空調あり条件】

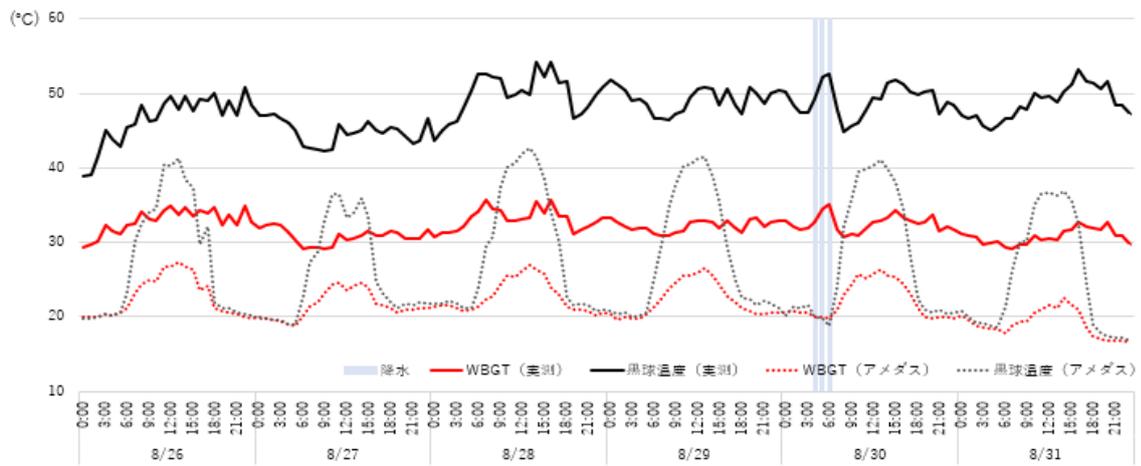
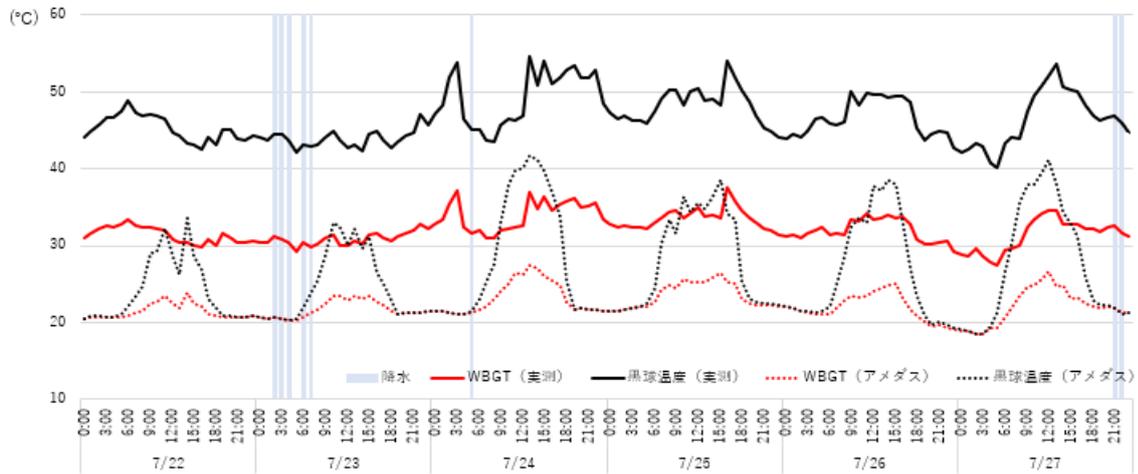
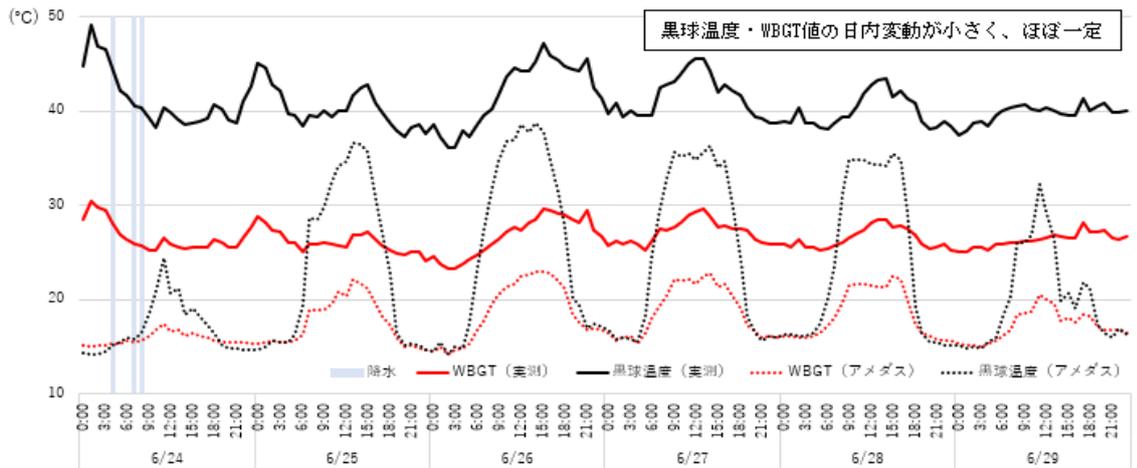
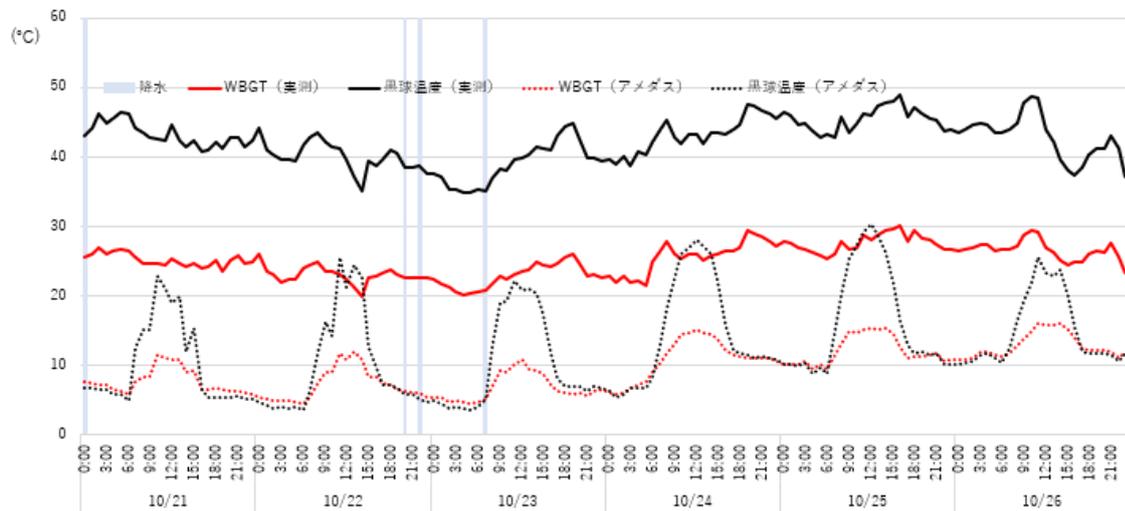
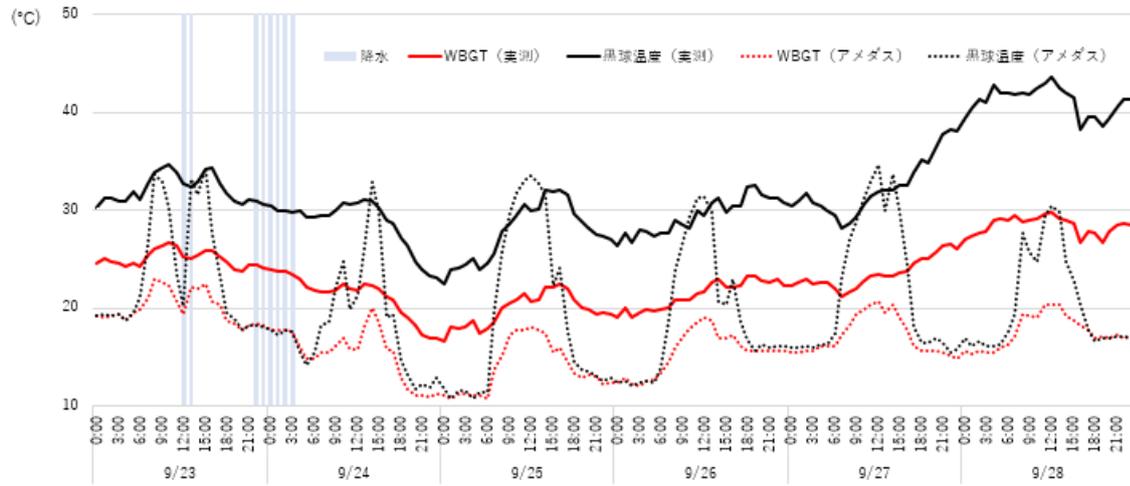


図 11-1 屋内熱源あり空調あり条件の実測値とアメダス値の比較 (北海道)



(続き) 図 11-1 屋内熱源あり空調あり条件の実測値とアメダス値の比較 (北海道)

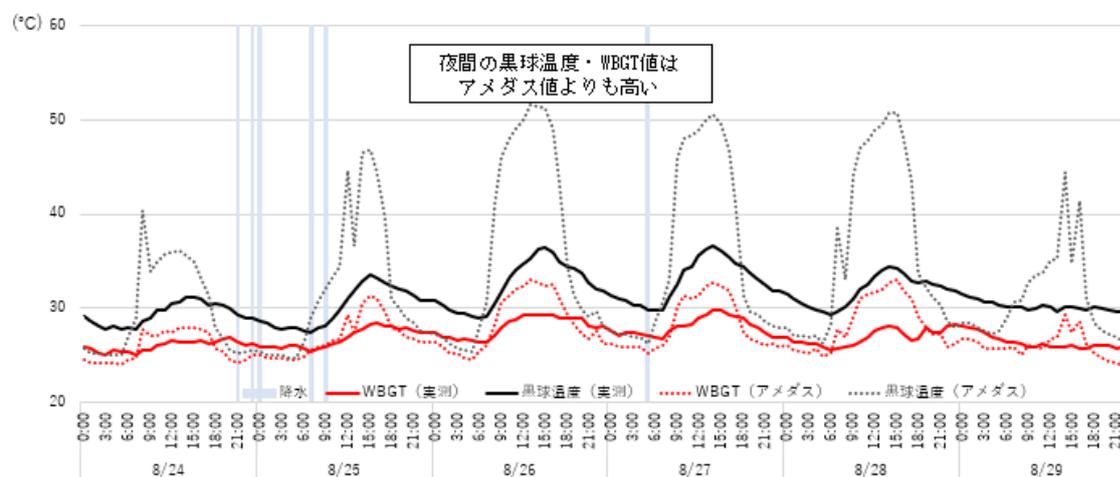
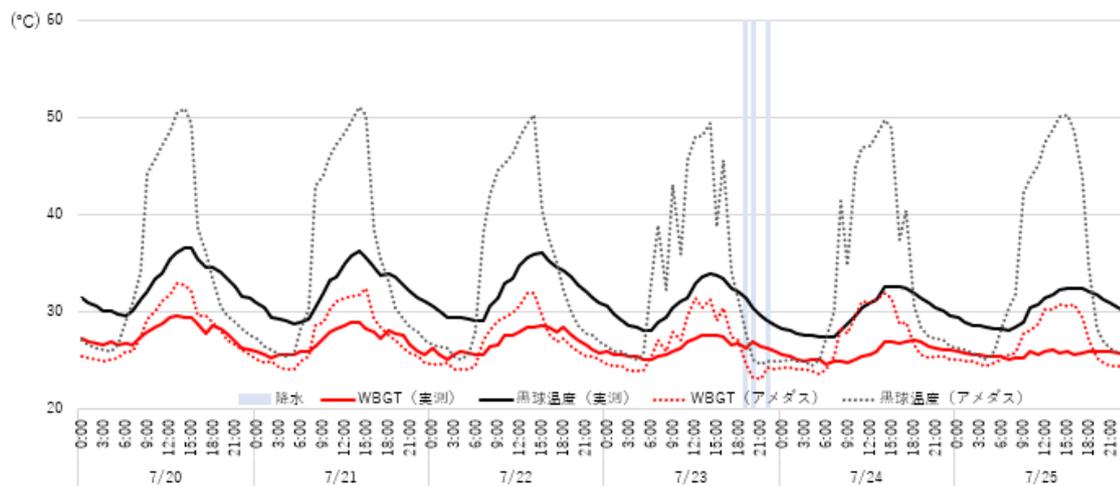


図 11-2a 屋内熱源あり空調あり条件の実測値とアメダス値の比較 (群馬)

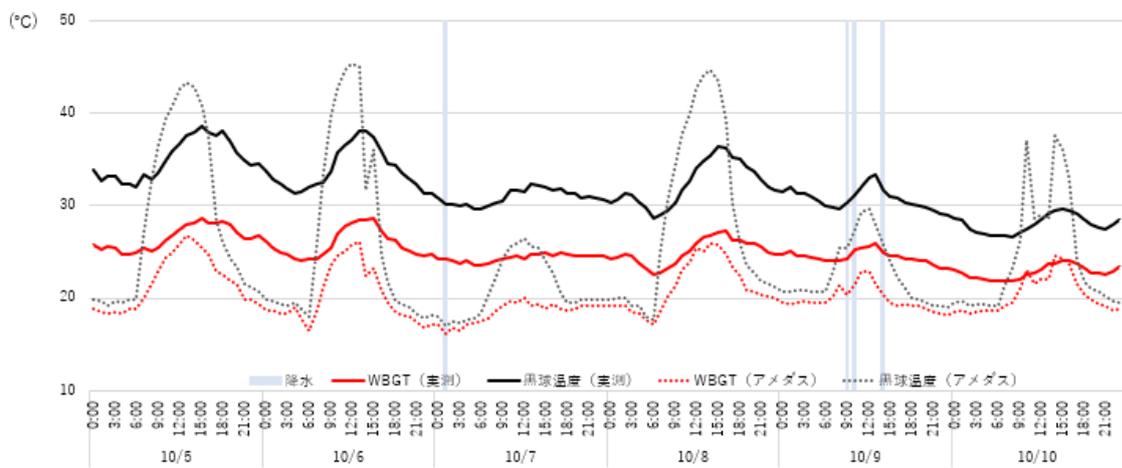
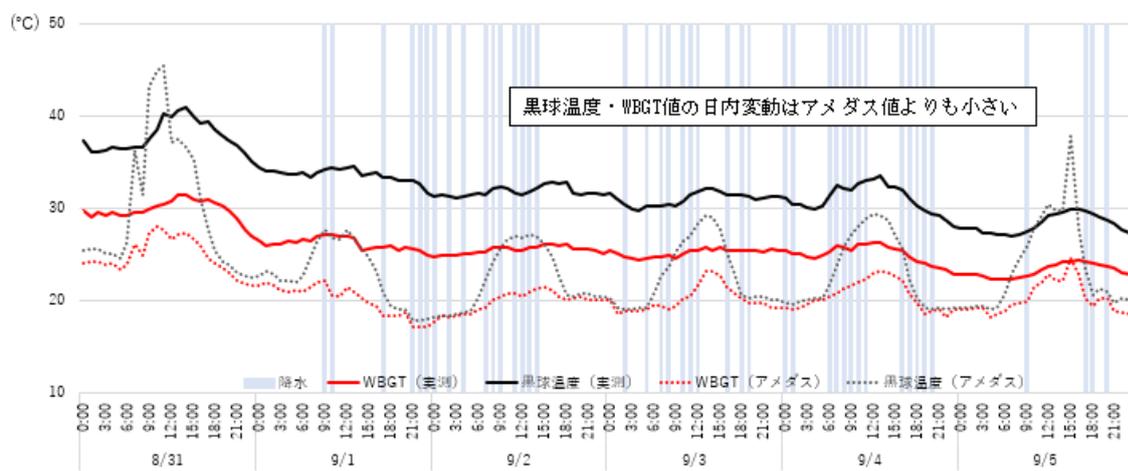
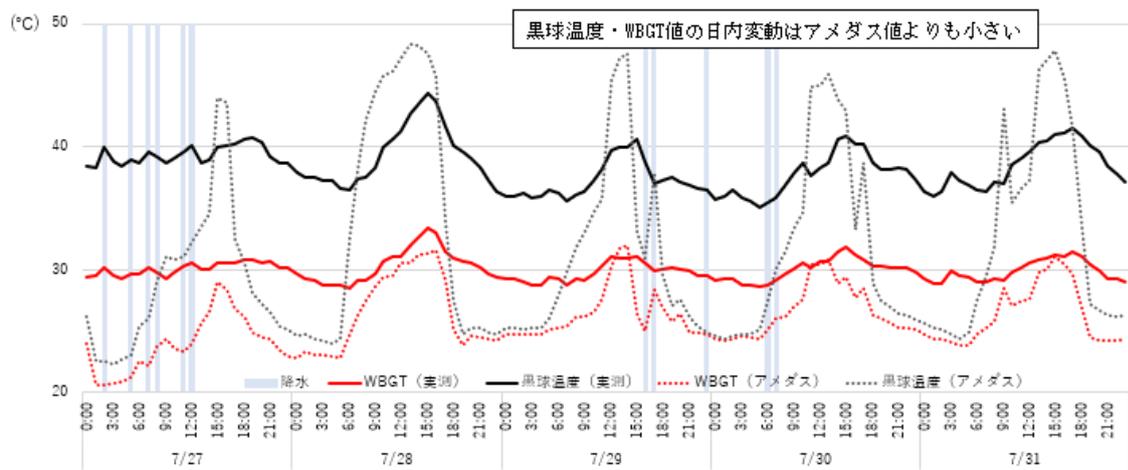


図 11-2b 屋内熱源あり空調あり条件の実測値とアメダス値の比較 (群馬)

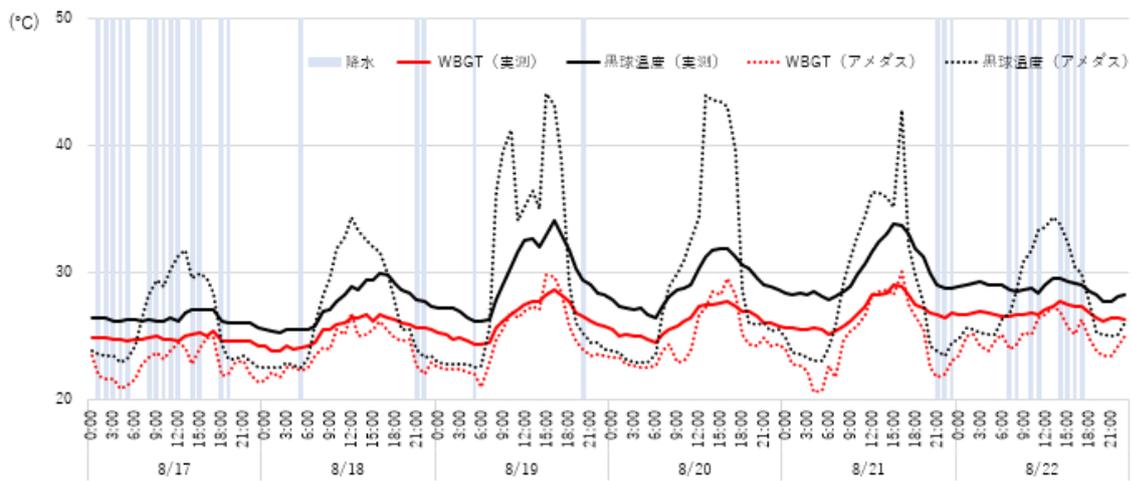
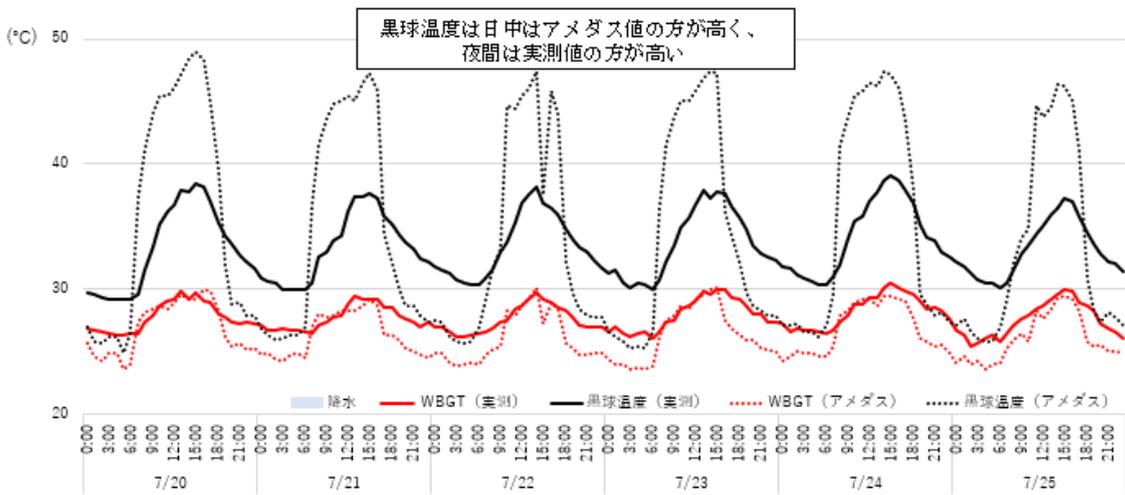
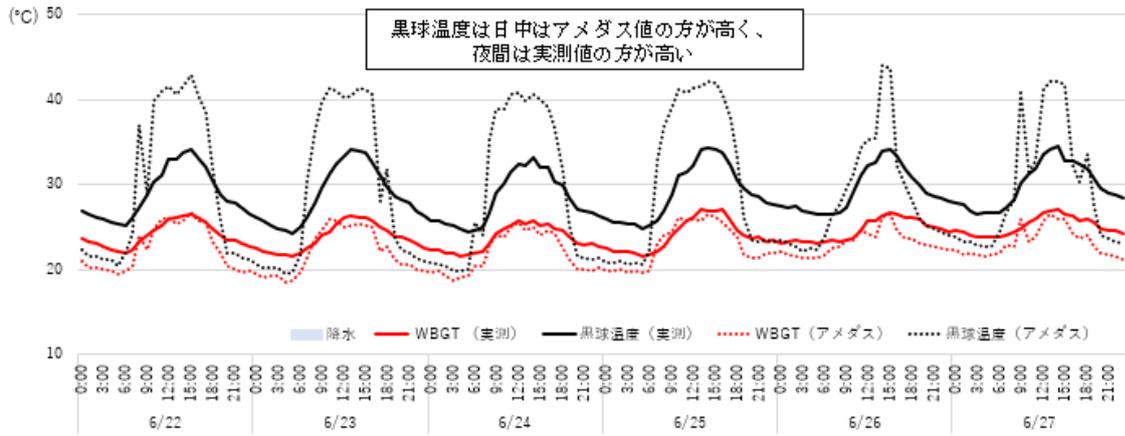
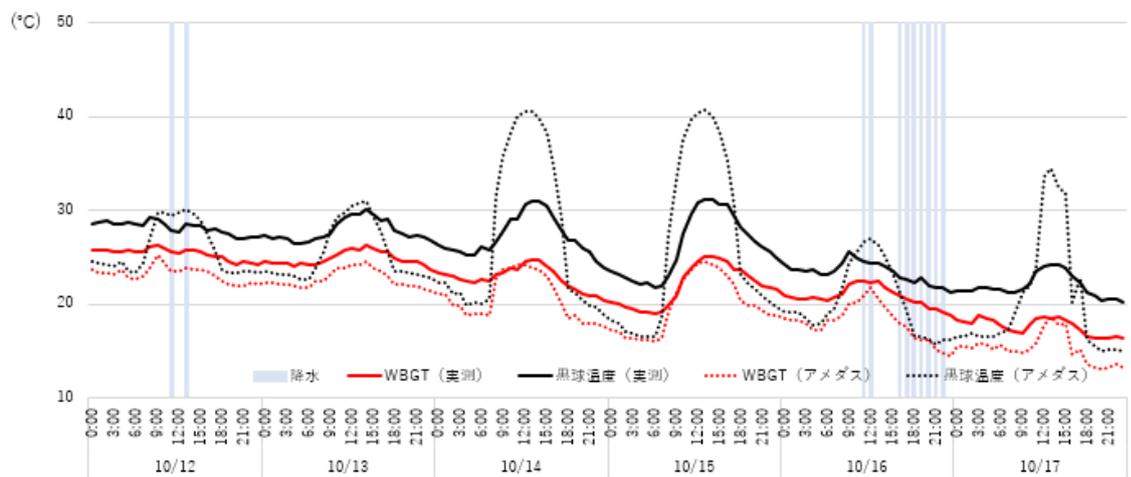
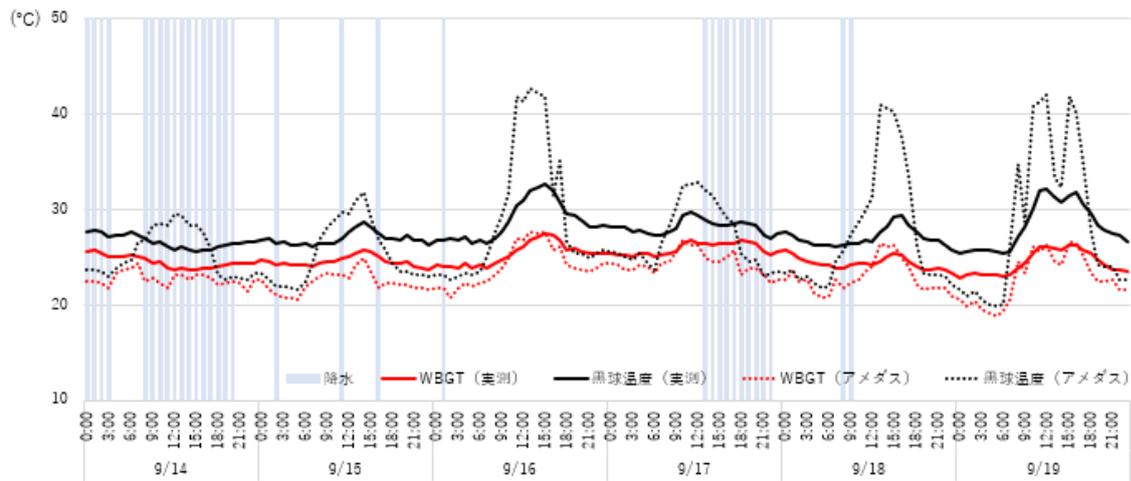


図 11-3a 屋内熱源あり空調あり条件の実測値とアメダス値の比較 (福岡)



(続き) 図 11-3a 屋内熱源あり空調あり条件の実測値とアメダス値の比較 (福岡)

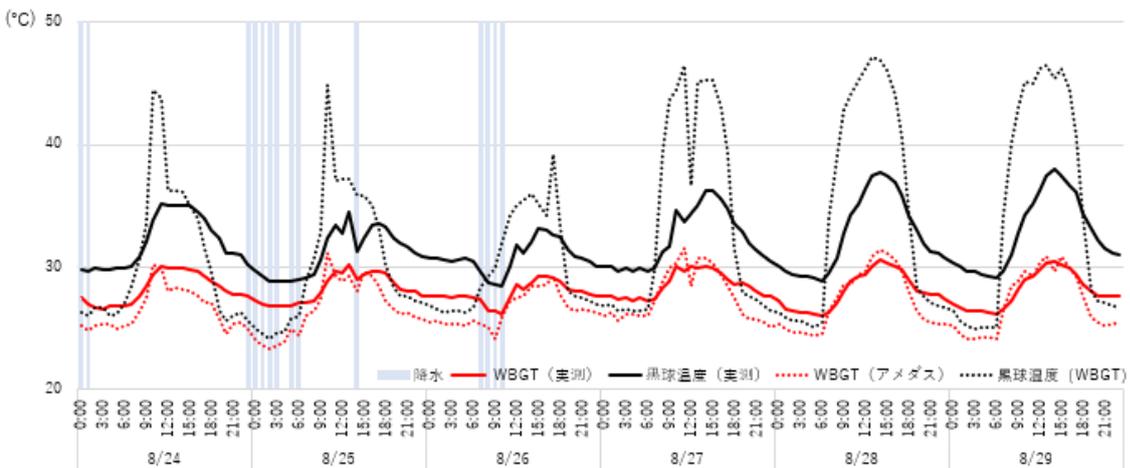
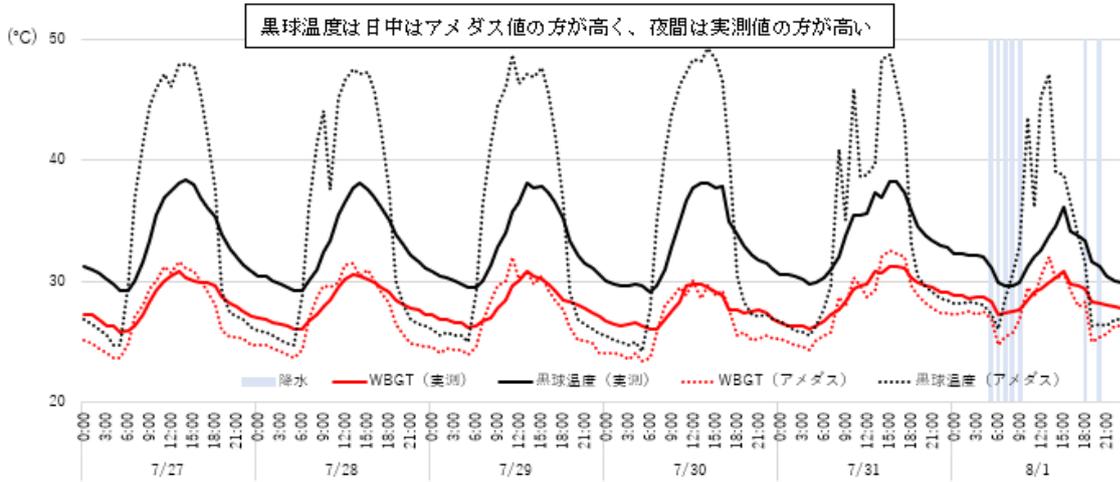
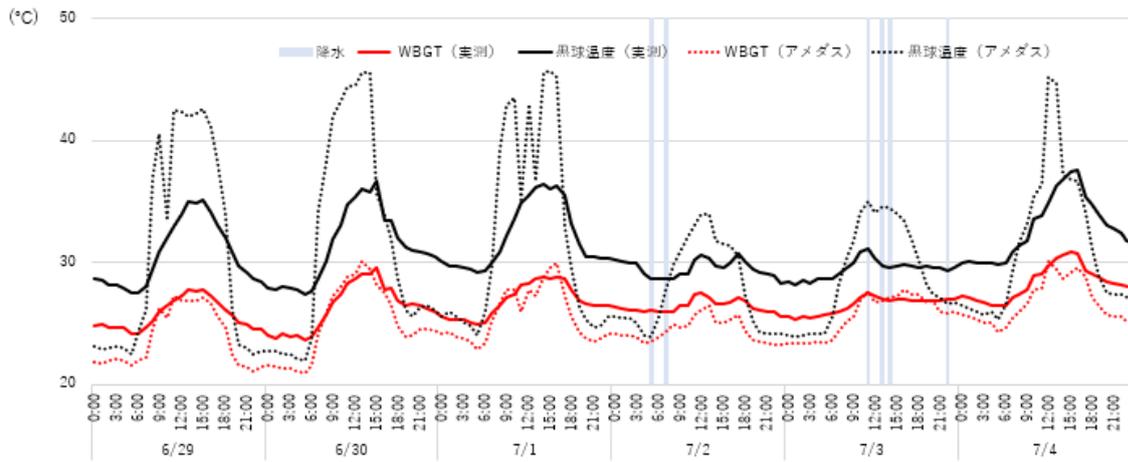
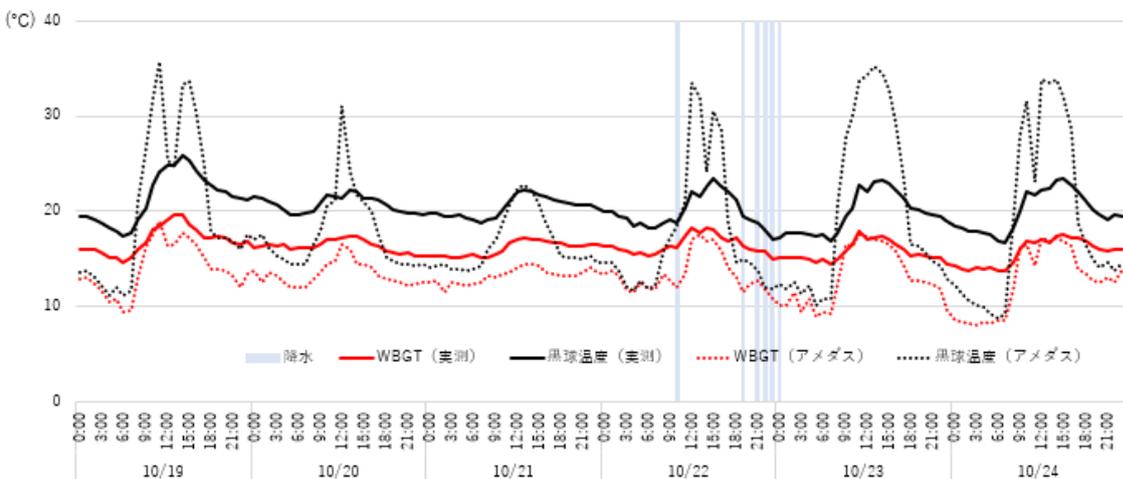
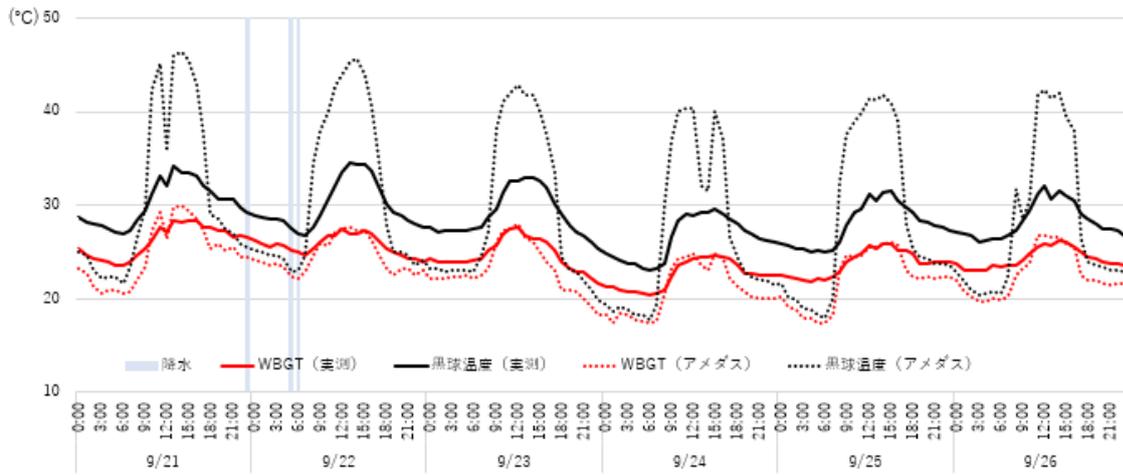
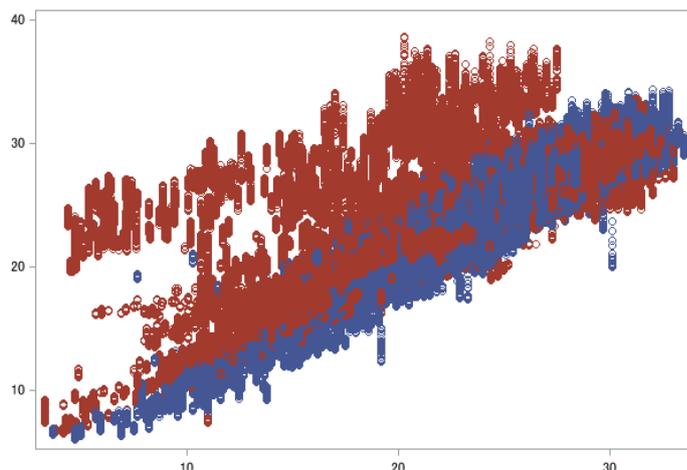


図 11-3b 屋内熱源あり空調あり条件の実測値とアメダス値の比較 (福岡)



(続き) 図 11-3b 屋内熱源あり空調あり条件の実測値とアメダス値の比較 (福岡)

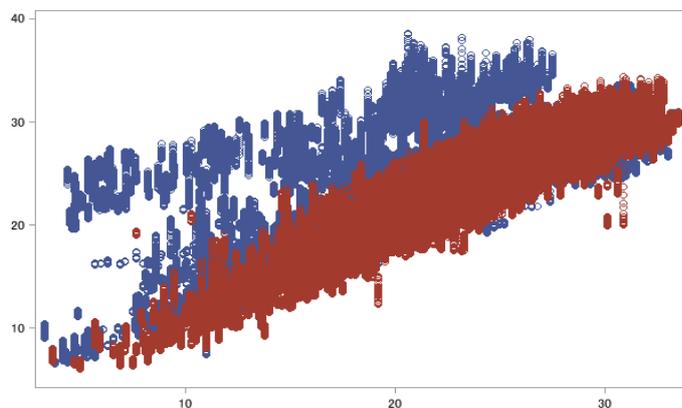
■ WBGT 推定式



WBGT
X=AMeDAS
Y=Workplace

| | Workplace | | AMeDAS | | <i>r</i> | <i>r</i> ² |
|-------------------|-----------|------------------------|----------|------------------------|----------|-----------------------|
| | <i>N</i> | <i>M</i> (<i>SD</i>) | <i>N</i> | <i>M</i> (<i>SD</i>) | | |
| <i>All</i> | 951670 | 23.1 (4.5) | 950251 | 22.1 (4.9) | .829 | |
| <i>Out (blue)</i> | 500936 | 22.6 (4.2) | 514536 | 22.5 (4.3) | .959 | 91.9% |
| <i>In (red)</i> | 450734 | 23.6 (4.7) | 435715 | 21.6 (5.5) | .772 | 59.6% |

図 12-1 屋外・屋内における事業所の実測値とアメダス値の単相関 (適時)



Lagged

| | Workplace | | AMeDAS | | <i>r</i> | <i>r</i> ² |
|------------------|-----------|------------------------|----------|------------------------|----------|-----------------------|
| | <i>N</i> | <i>M</i> (<i>SD</i>) | <i>N</i> | <i>M</i> (<i>SD</i>) | | |
| <i>All</i> | 951670 | 23.1 (4.5) | 910471 | 22.2 (4.9) | .821 | |
| <i>Out (red)</i> | 500936 | 22.6 (4.2) | 492996 | 22.6 (4.3) | .939 | 88.2% |
| <i>In (blue)</i> | 450734 | 23.6 (4.7) | 417475 | 21.7 (5.5) | .773 | 59.8% |

図 12-2 屋外・屋内における事業所の実測値とアメダス値の単相関 (1 時間後)

| 時刻 | AMeDAS | 実測条件 | | | | | Fit Index | |
|-------------|------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|----------------|--------|
| | WBGT ¹⁾ | 日射 ²⁾ | 芝生 ³⁾ | 土 ⁴⁾ | 降雨 ⁵⁾ | 切片 (95% CI) | R ² | BIC |
| 全体 | 0.918 (0.918, 0.919) | 0.723 (0.715, 0.731) | -0.319 (-0.327, -0.311) | -0.170 (-0.180, -0.160) | -0.230 (-0.204, -0.256) | 2.065 (2.034, 2.096) | 0.925 | 149211 |
| 8:00-13:00 | 0.963 (0.961, 0.965) | 1.547 (1.529, 1.565) | -0.318 (-0.336, -0.299) | -0.377 (-0.400, -0.354) | -0.640 (-0.714, -0.566) | 1.501 (1.448, 1.554) | 0.914 | 48036 |
| 13:00-18:00 | 0.928 (0.926, 0.930) | 0.899 (0.881, 0.916) | -0.387 (-0.405, -0.369) | 0.068 (0.046, 0.091) | -0.519 (-0.601, -0.437) | 1.733 (1.684, 1.781) | 0.920 | 39591 |
| 18:00-21:00 | 0.922 (0.920, 0.923) | 0.296 (0.282, 0.310) | -0.328 (-0.342, -0.314) | -0.182 (-0.200, -0.164) | -0.191 (-0.242, -0.141) | 2.234 (2.196, 2.272) | 0.9473 | 25179 |
| 21:00-8:00 | 0.942 (0.941, 0.944) | 0.251 (0.241, 0.262) | -0.200 (-0.211, -0.189) | -0.234 (-0.248, -0.220) | -0.224 (-0.254, -0.195) | 1.743 (1.714, 1.772) | 0.924 | 22169 |

- 1) 事業場最寄のAMeDAS測定点のWBGT推定値 (連続変数)
- 2) 日陰を0, 日向を1とするダミー変数
- 3) 測定点の地面がコンクリートの場合を0, 芝生の場合を1とするダミー変数
- 4) 測定点の地面がコンクリートの場合を0, 土の場合を1とするダミー変数
- 5) 湿度100%未満を降雨なしとして0, 湿度100%を降雨ありとして1とするダミー変数

図 13-1 事業所での屋外実測 WBGT を予測する重回帰モデルの偏回帰係数 (適時条件)

| 時刻 | AMeDAS | 実測条件 | | | | | Fit Index | |
|-------------|------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|----------------|--------|
| | WBGT ¹⁾ | 日射 ²⁾ | 芝生 ³⁾ | 土 ⁴⁾ | 降雨 ⁵⁾ | 切片 (95% CI) | R ² | BIC |
| 全体 | 0.897 (0.896, 0.898) | 0.794 (0.784, 0.803) | -0.362 (-0.372, -0.352) | -0.158 (-0.170, -0.146) | -0.353 (-0.386, -0.321) | 2.484 (2.445, 2.523) | 0.889 | 333282 |
| 8:00-13:00 | 0.925 (0.923, 0.928) | 1.635 (1.614, 1.656) | -0.395 (-0.417, -0.373) | -0.425 (-0.453, -0.398) | -1.100 (-1.187, -1.013) | 3.118 (3.058, 3.178) | 0.881 | 82342 |
| 13:00-18:00 | 0.933 (0.931, 0.935) | 0.874 (0.853, 0.894) | -0.391 (-0.412, -0.370) | 0.065 (0.038, 0.091) | -0.381 (-0.478, -0.284) | 1.282 (1.223, 1.342) | 0.888 | 75686 |
| 18:00-21:00 | 0.860 (0.859, 0.862) | 0.428 (0.411, 0.445) | -0.387 (-0.404, -0.369) | -0.092 (-0.113, -0.070) | -0.112 (-0.173, -0.052) | 3.153 (3.109, 3.198) | 0.9246 | 4566 |
| 21:00-8:00 | 0.935 (0.933, 0.936) | 0.297 (0.283, 0.310) | -0.216 (-0.230, -0.202) | -0.213 (-0.230, -0.195) | -0.347 (-0.383, -0.310) | 2.012 (1.976, 2.048) | 0.895 | 80229 |

- 1) 事業場最寄のAMeDAS測定点のWBGT推定値 (連続変数)
- 2) 日陰を0, 日向を1とするダミー変数
- 3) 測定点の地面がコンクリートの場合を0, 芝生の場合を1とするダミー変数
- 4) 測定点の地面がコンクリートの場合を0, 土の場合を1とするダミー変数
- 5) 湿度100%未満を降雨なしとして0, 湿度100%を降雨ありとして1とするダミー変数

図 13-2 事業所での屋外実測 WBGT を予測する重回帰モデルの偏回帰係数 (ラグ条件)

| 時刻 | 熱源 | 空調 | AMeDAS WBGT ¹⁾ | | Fit Index | |
|-------------|----|----|------------------------------|----------------------------|----------------|--------|
| | | | B (95% CI) | 切片 (95% CI) | R ² | BIC |
| 全体 | - | - | 0.877 (0.876 , 0.879) | 3.271 (3.249 , 3.292) | 0.967 | 10359 |
| | - | + | 0.663 (0.662 , 0.665) | 8.455 (8.423 , 8.487) | 0.872 | 82809 |
| | + | - | 0.482 (0.478 , 0.486) | 14.176 (14.074 , 14.278) | 0.581 | 12558 |
| | + | + | 0.449 (0.447 , 0.452) | 15.857 (15.794 , 15.919) | 0.353 | 433367 |
| 8:00-13:00 | - | - | 0.864 (0.862 , 0.866) | 3.026 (2.980 , 3.073) | 0.971 | 5637 |
| 13:00-18:00 | - | - | 0.852 (0.850 , 0.854) | 3.617 (3.570 , 3.664) | 0.970 | 4310 |
| 18:00-21:00 | - | - | 0.946 (0.944 , 0.947) | 2.627 (2.592 , 2.661) | 0.986 | 14621 |
| 21:00-8:00 | - | - | 0.904 (0.903 , 0.906) | 2.897 (2.866 , 2.927) | 0.970 | 8394 |
| 8:00-13:00 | - | + | 0.667 (0.664 , 0.671) | 7.883 (7.796 , 7.969) | 0.8445 | 22410 |
| 13:00-18:00 | - | + | 0.686 (0.683 , 0.689) | 7.363 (7.282 , 7.444) | 0.8691 | 18037 |
| 18:00-21:00 | - | + | 0.756 (0.753 , 0.759) | 6.890 (6.820 , 6.960) | 0.9121 | 6155 |
| 21:00-8:00 | - | + | 0.681 (0.679 , 0.683) | 8.421 (8.379 , 8.463) | 0.8976 | 17139 |
| 8:00-13:00 | + | - | 0.611 (0.604 , 0.618) | 10.002 (9.830 , 10.173) | 0.819 | 2443 |
| 13:00-18:00 | + | - | 0.639 (0.630 , 0.648) | 9.882 (9.659 , 10.105) | 0.743 | 823 |
| 18:00-21:00 | + | - | 0.816 (0.804 , 0.827) | 6.673 (6.419 , 6.927) | 0.779 | 2169 |
| 21:00-8:00 | + | - | 0.687 (0.678 , 0.697) | 10.298 (10.095 , 10.502) | 0.589 | 2361 |
| 8:00-13:00 | + | + | 0.483 (0.477 , 0.489) | 14.727 (14.575 , 14.880) | 0.370 | 87385 |
| 13:00-18:00 | + | + | 0.451 (0.445 , 0.457) | 15.788 (15.641 , 15.936) | 0.366 | 88919 |
| 18:00-21:00 | + | + | 0.433 (0.426 , 0.441) | 16.611 (16.446 , 16.776) | 0.290 | 74273 |
| 21:00-8:00 | + | + | 0.457 (0.453 , 0.462) | 15.715 (15.618 , 15.812) | 0.324 | 181600 |

1) 事業場最寄のAMeDAS測定点のWBGT推定値 (連続変数)

図 14-1 事業所での屋内実測 WBGT を予測する重回帰モデルの偏回帰係数 (適時条件)

| 時刻 | 熱源 | 空調 | AMeDAS WBGT ¹⁾ | | Fit Index | |
|-------------|----|----|------------------------------|----------------------------|----------------|--------|
| | | | B (95% CI) | 切片 (95% CI) | R ² | BIC |
| 全体 | - | - | 0.876 (0.875 , 0.877) | 3.292 (3.271 , 3.314) | 0.969 | 13239 |
| | - | + | 0.662 (0.660 , 0.663) | 8.475 (8.441 , 8.509) | 0.865 | 85978 |
| | + | - | 0.492 (0.488 , 0.497) | 13.889 (13.788 , 13.990) | 0.608 | 10230 |
| | + | + | 0.451 (0.448 , 0.454) | 15.819 (15.755 , 15.883) | 0.357 | 414543 |
| 8:00-13:00 | - | - | 0.841 (0.839 , 0.844) | 3.896 (3.848 , 3.943) | 0.967 | 3138 |
| 13:00-18:00 | - | - | 0.868 (0.866 , 0.870) | 2.953 (2.905 , 3.001) | 0.970 | 4686 |
| 18:00-21:00 | - | - | 0.925 (0.923 , 0.927) | 2.682 (2.645 , 2.719) | 0.984 | 12652 |
| 21:00-8:00 | - | - | 0.915 (0.913 , 0.917) | 2.803 (2.772 , 2.835) | 0.972 | 9935 |
| 8:00-13:00 | - | + | 0.637 (0.633 , 0.640) | 9.071 (8.986 , 9.157) | 0.8266 | 25271 |
| 13:00-18:00 | - | + | 0.700 (0.697 , 0.703) | 6.750 (6.667 , 6.833) | 0.8712 | 17617 |
| 18:00-21:00 | - | + | 0.729 (0.725 , 0.732) | 7.083 (7.010 , 7.156) | 0.9025 | 8336 |
| 21:00-8:00 | - | + | 0.695 (0.693 , 0.697) | 8.166 (8.121 , 8.211) | 0.896 | 16542 |
| 8:00-13:00 | + | - | 0.602 (0.595 , 0.609) | 10.581 (10.404 , 10.759) | 0.795 | 1562 |
| 13:00-18:00 | + | - | 0.615 (0.607 , 0.623) | 10.295 (10.080 , 10.510) | 0.748 | 960 |
| 18:00-21:00 | + | - | 0.719 (0.708 , 0.730) | 8.365 (8.098 , 8.632) | 0.725 | 899 |
| 21:00-8:00 | + | - | 0.776 (0.766 , 0.785) | 8.458 (8.255 , 8.662) | 0.667 | 528 |
| 8:00-13:00 | + | + | 0.485 (0.479 , 0.491) | 15.041 (14.899 , 15.184) | 0.389 | 86207 |
| 13:00-18:00 | + | + | 0.466 (0.460 , 0.472) | 15.270 (15.117 , 15.424) | 0.369 | 88779 |
| 18:00-21:00 | + | + | 0.410 (0.403 , 0.417) | 16.857 (16.694 , 17.019) | 0.284 | 74524 |
| 21:00-8:00 | + | + | 0.457 (0.452 , 0.462) | 15.750 (15.647 , 15.853) | 0.318 | 164294 |

1) 事業場最寄のAMeDAS測定点のWBGT推定値 (連続変数)

図 14-2 事業所での屋内実測 WBGT を予測する重回帰モデルの偏回帰係数 (ラグ条件)

■ WBGT 推定値との比較

【屋外日向芝生条件】

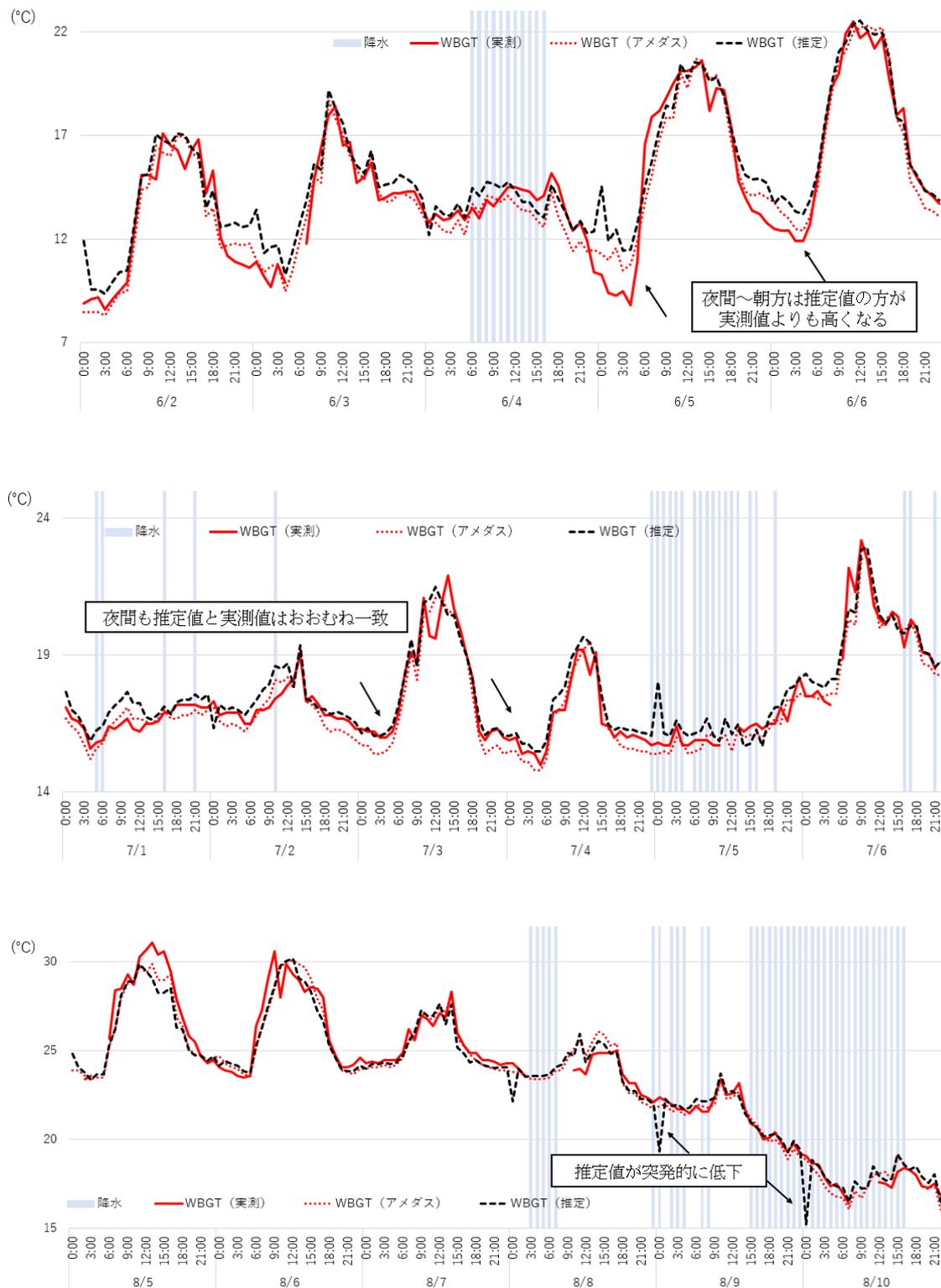
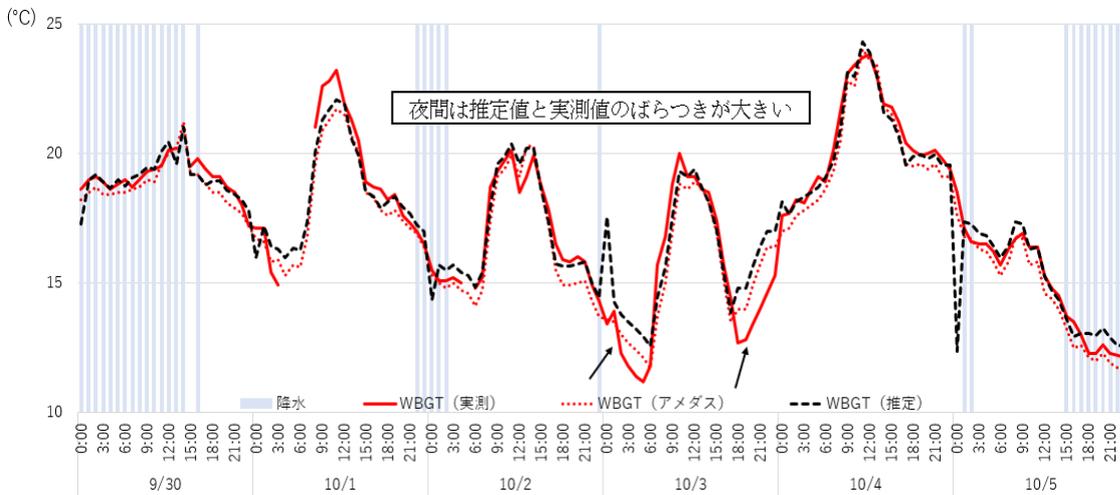
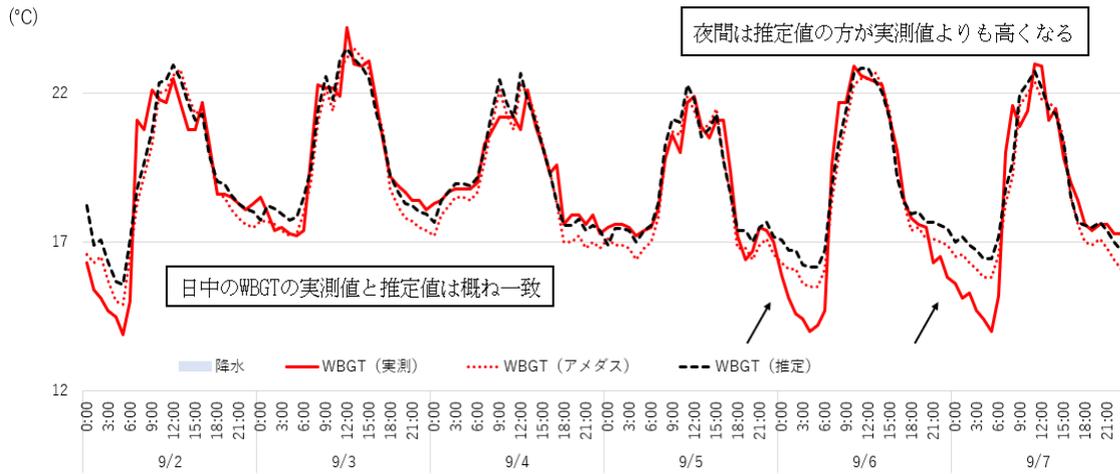


図 15-1 屋外日向芝生条件の WBGT 推定値との比較 (北海道)



(続き) 図 15-1 屋外日向芝生条件の WBGT 推定値との比較 (北海道)

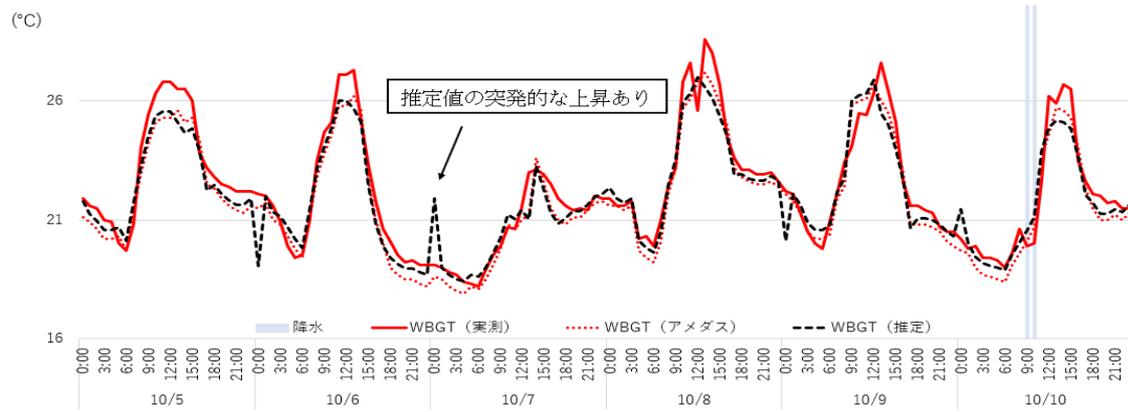
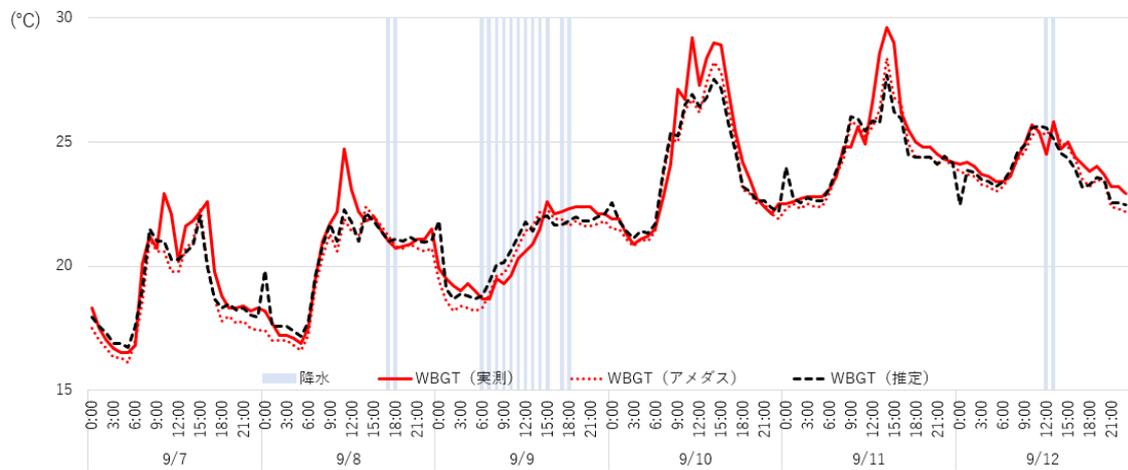
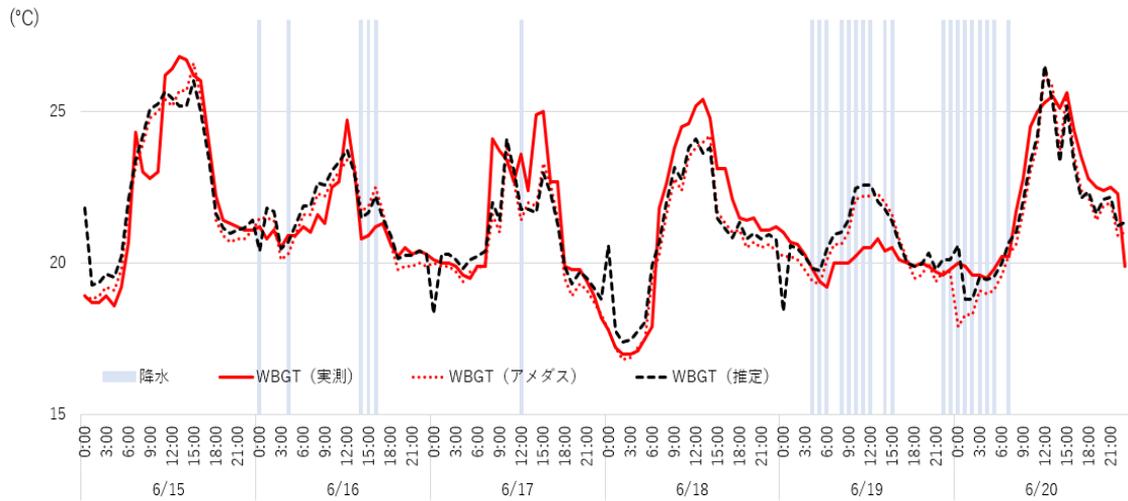


図 15-2 屋外日向芝生条件の WBGT 推定値との比較 (神奈川)

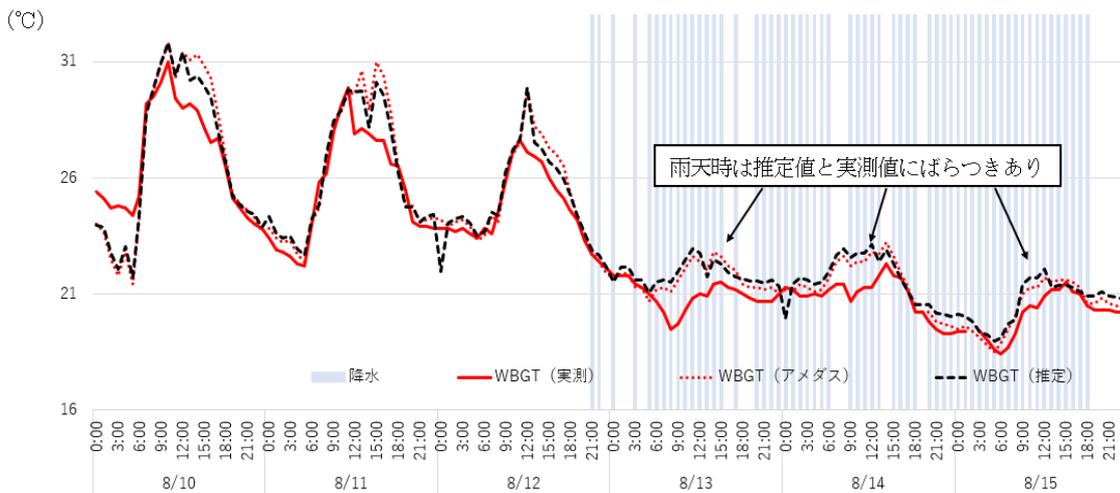
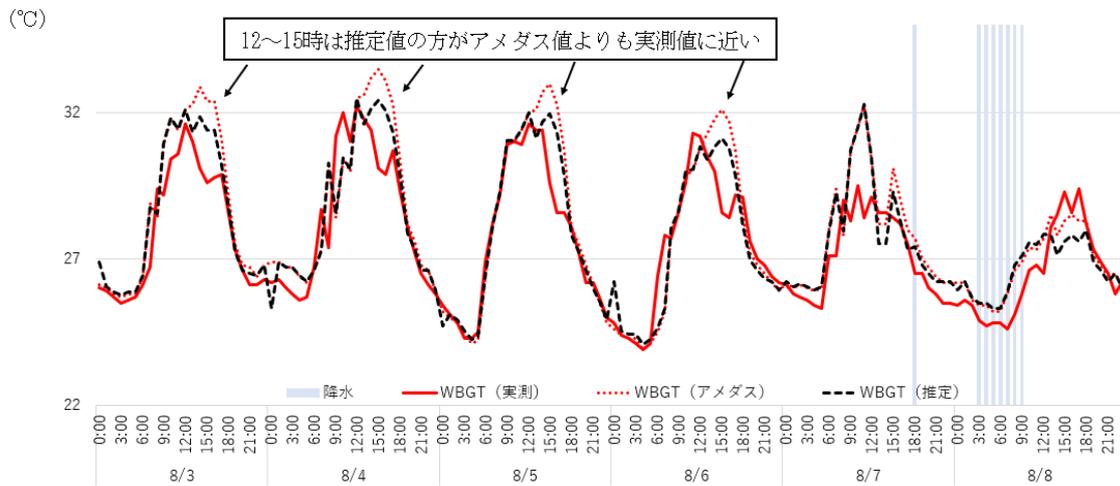
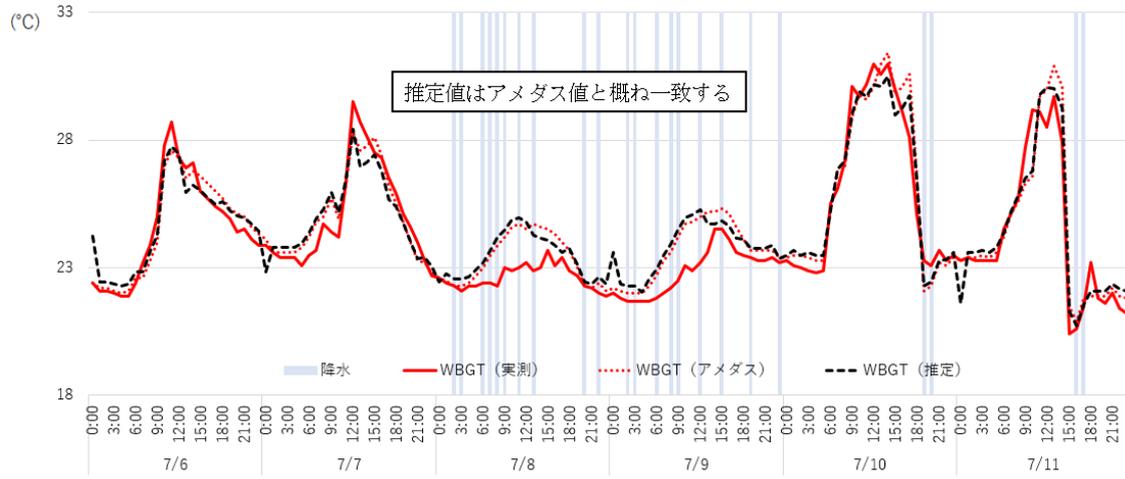
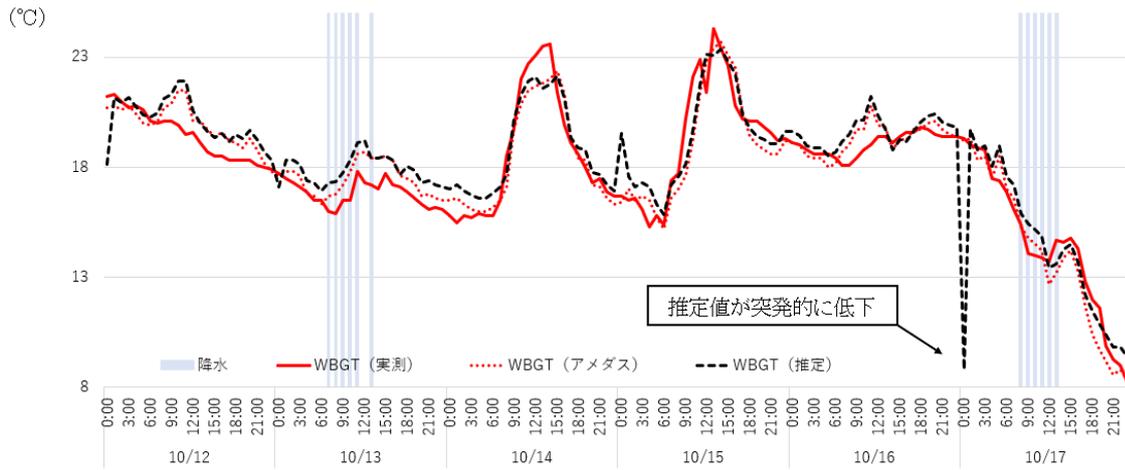


図 15-3 屋外日向条件の WBGT 推定値との比較 (群馬)



(続き) 図 15-3 屋外日向条件の WBGT 推定値との比較 (群馬)

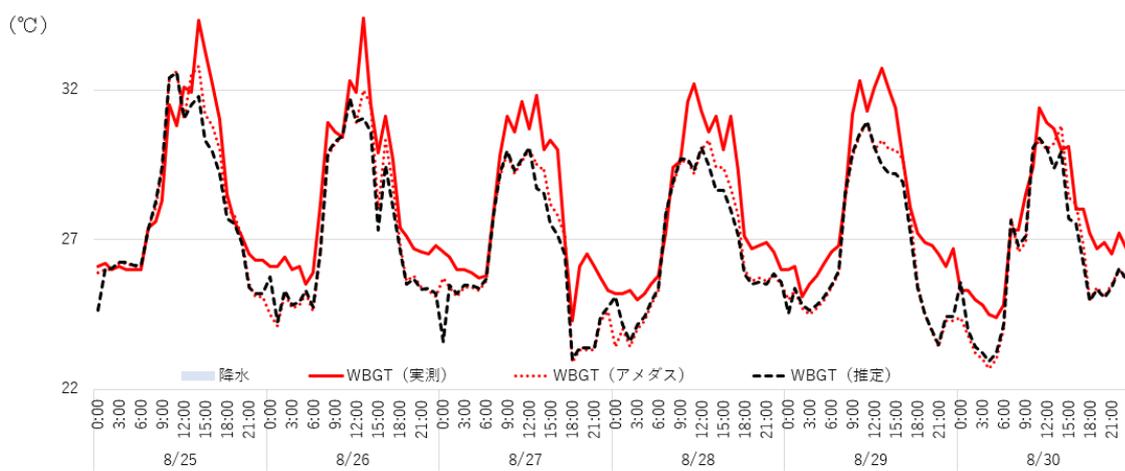
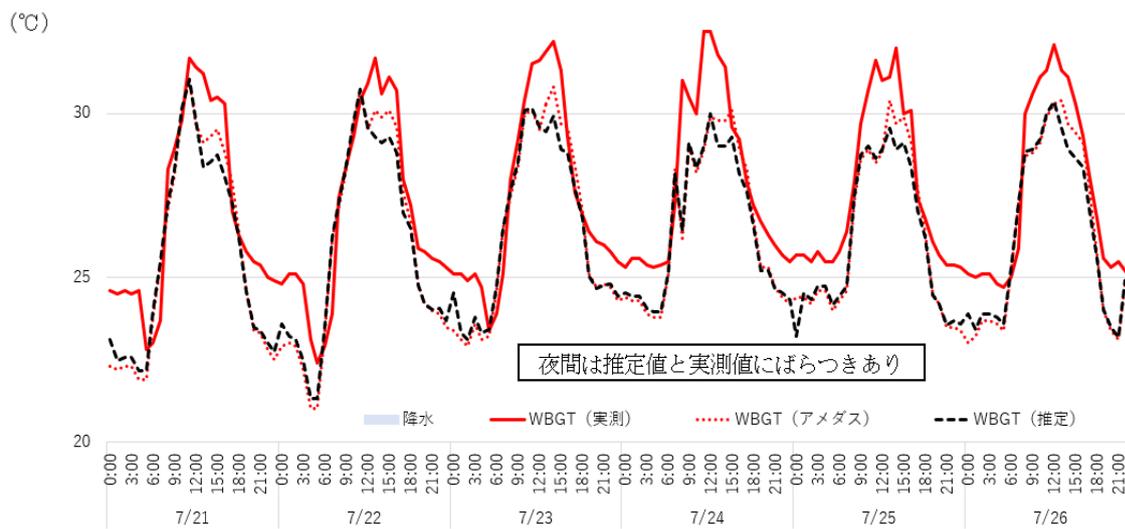
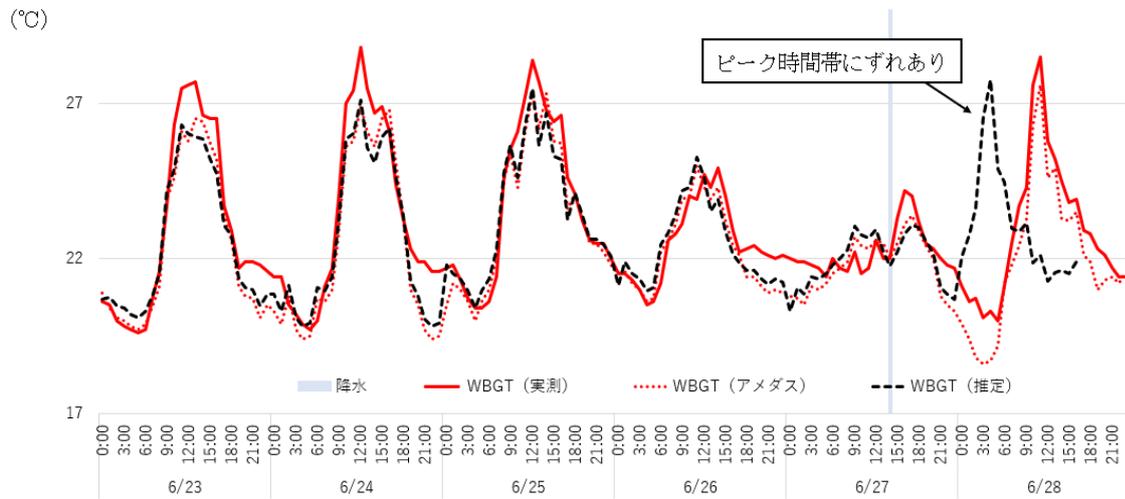
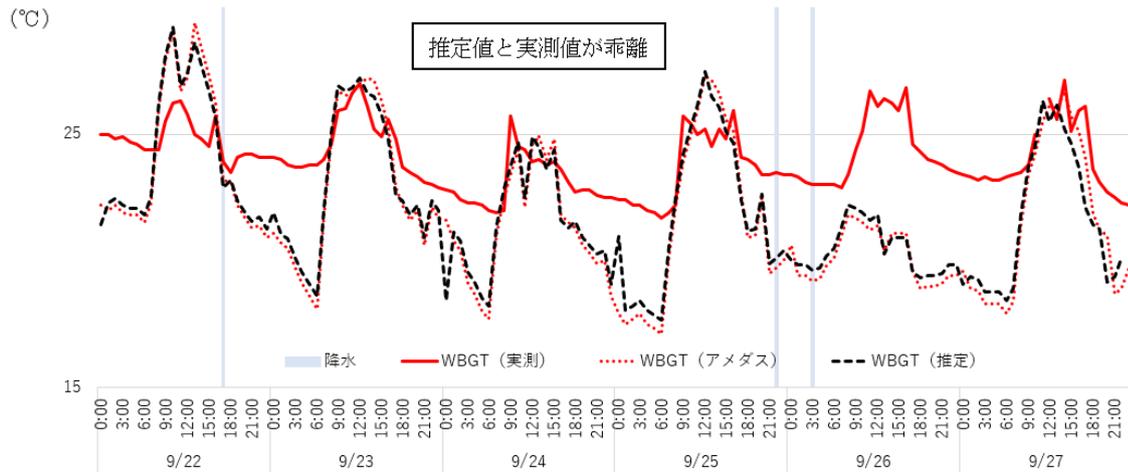


図 15-4 屋外日向条件の WBGT 推定値との比較 (大阪)



(続き) 図 15-4 屋外日向条件の WBGT 推定値との比較 (大阪)

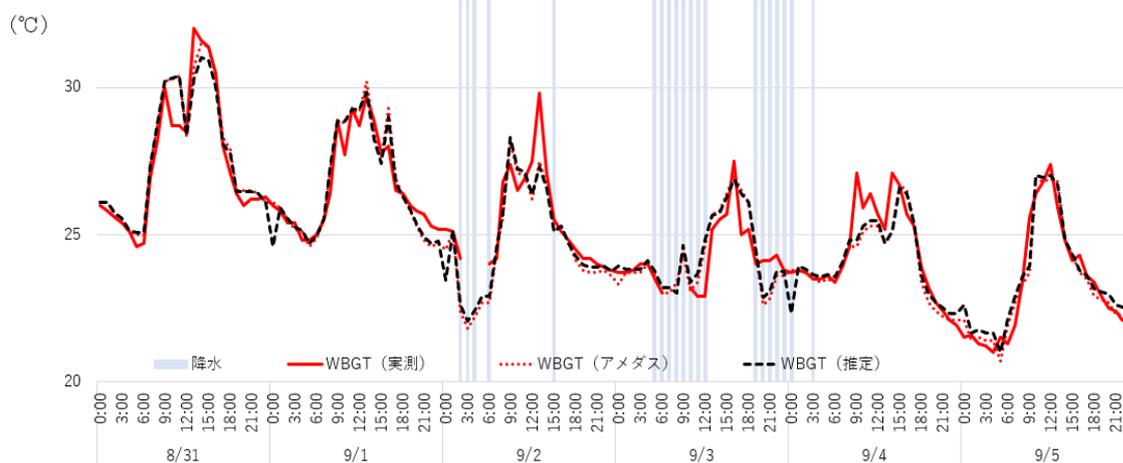
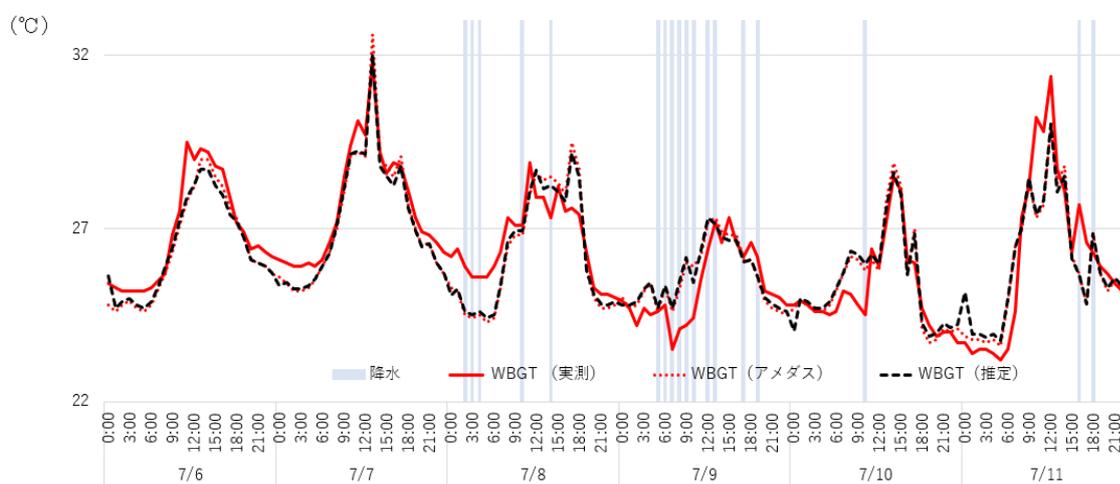
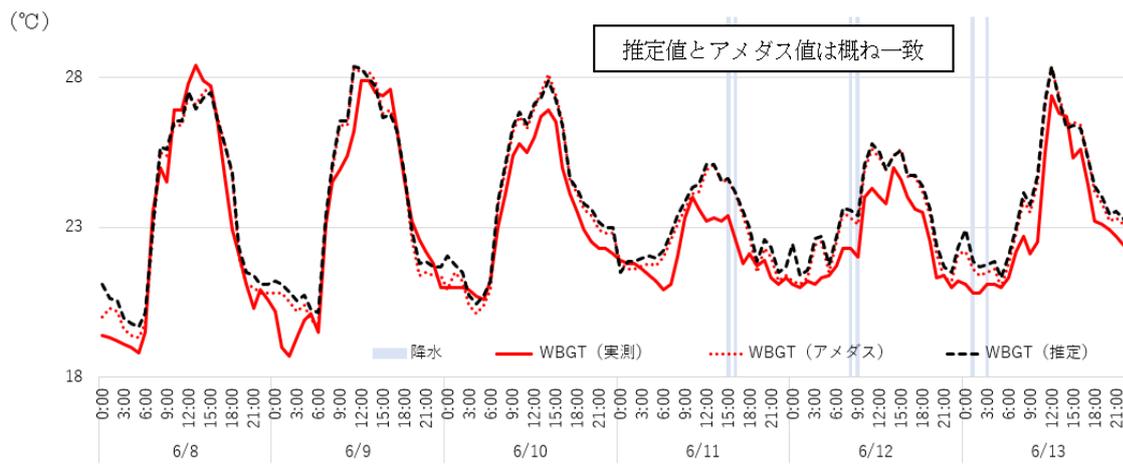
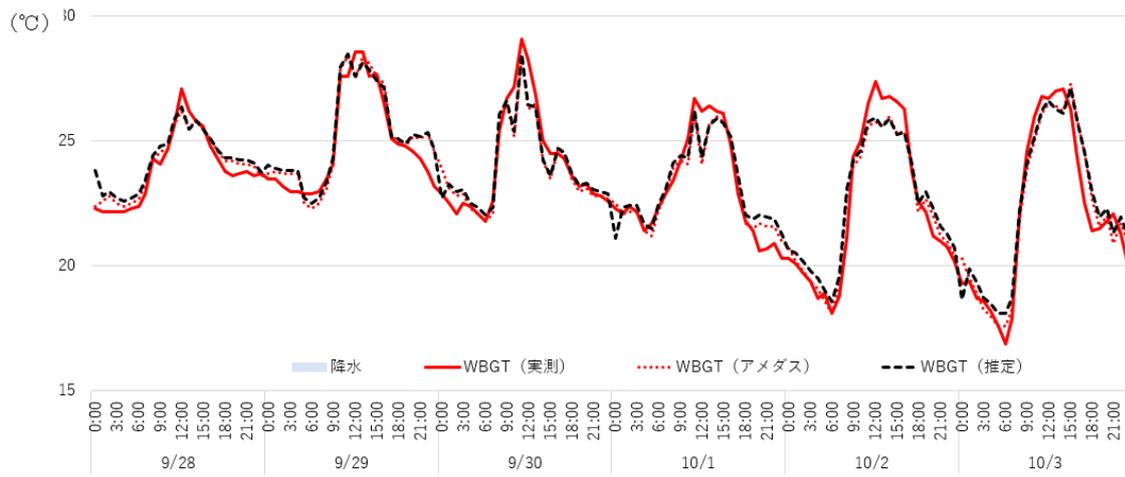


図 15-5 屋外日向条件の WBGT 推定値との比較 (福岡①)



(続き) 図 15-5 屋外日向条件の WBGT 推定値との比較 (福岡①)

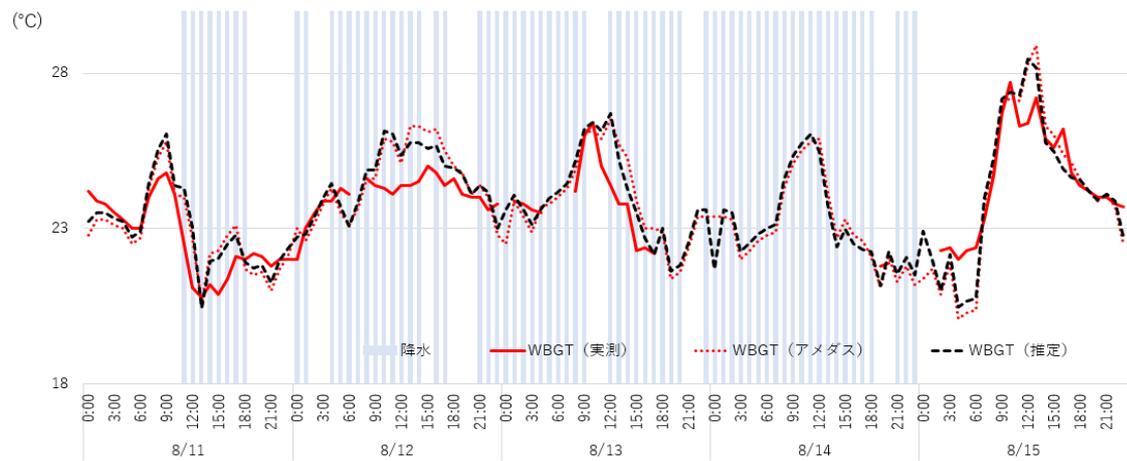
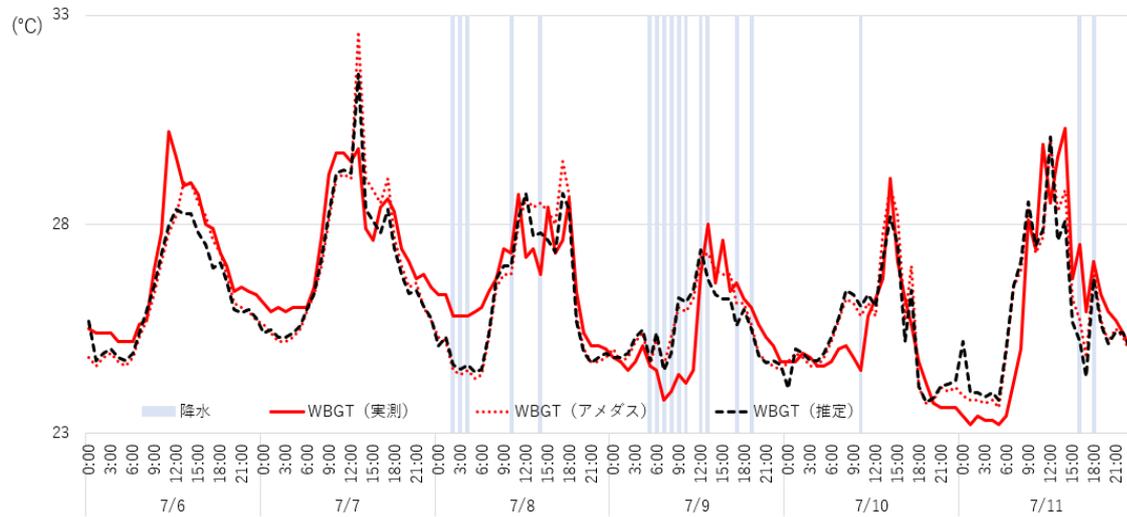
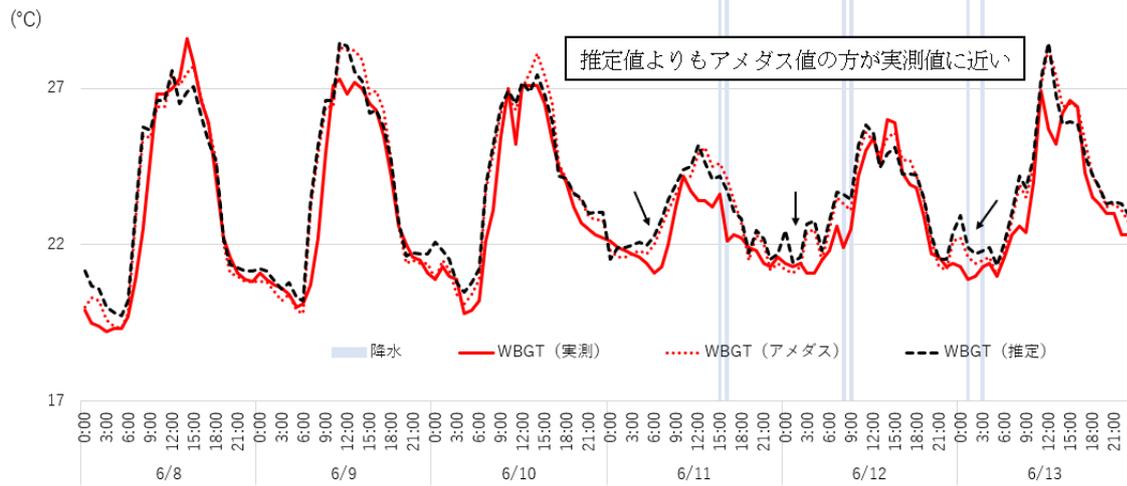
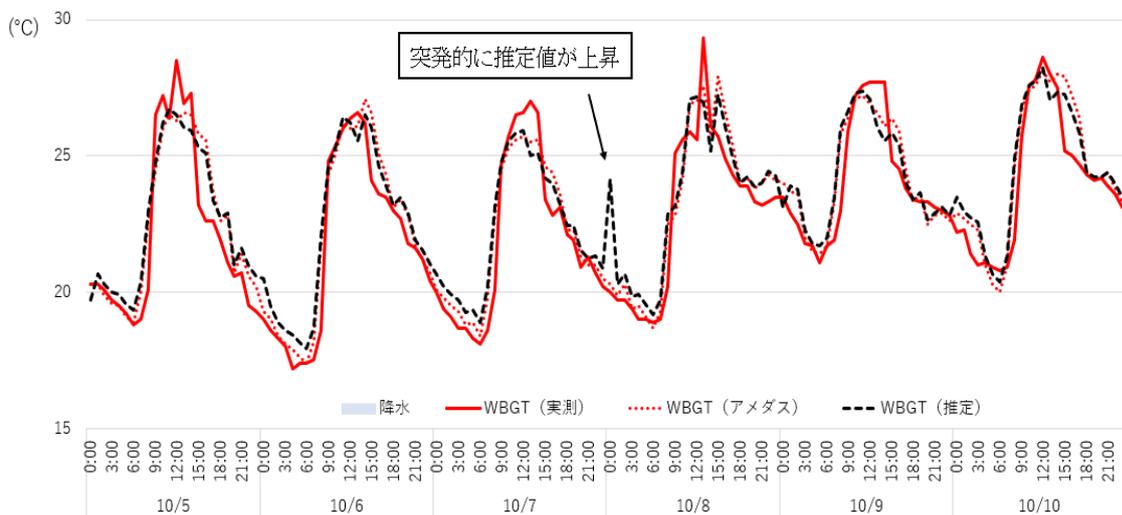
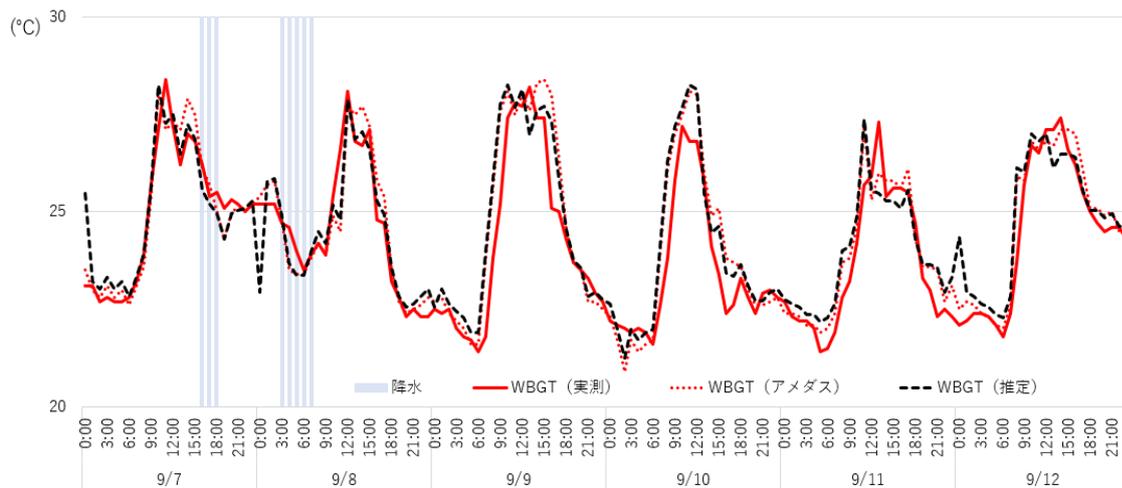


図 15-6 屋外日向条件の WBGT 推定値との比較 (福岡②)



(続き) 図 15-6 屋外日向条件の WBGT 推定値との比較 (福岡②)

【屋外日向コンクリート条件】

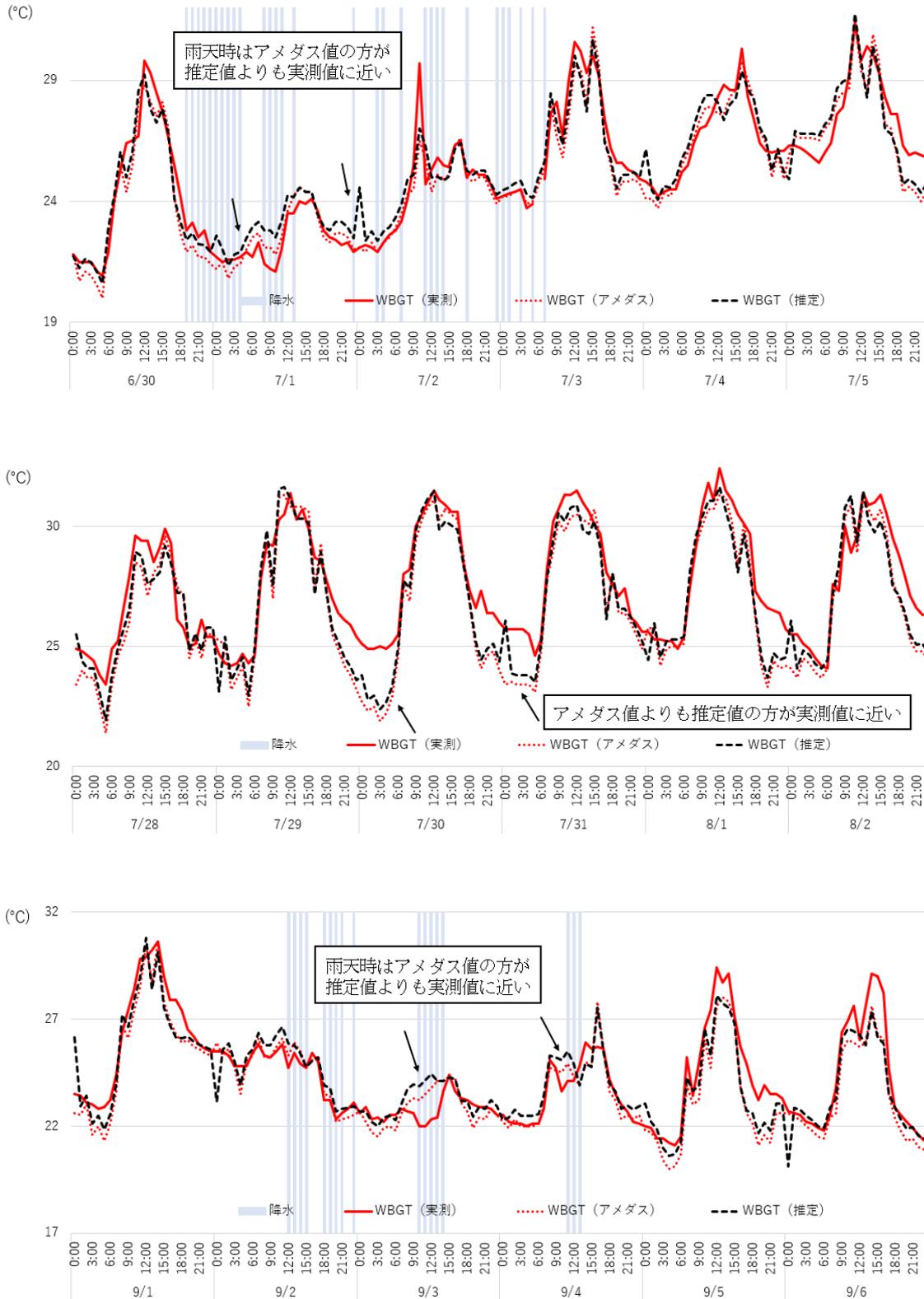
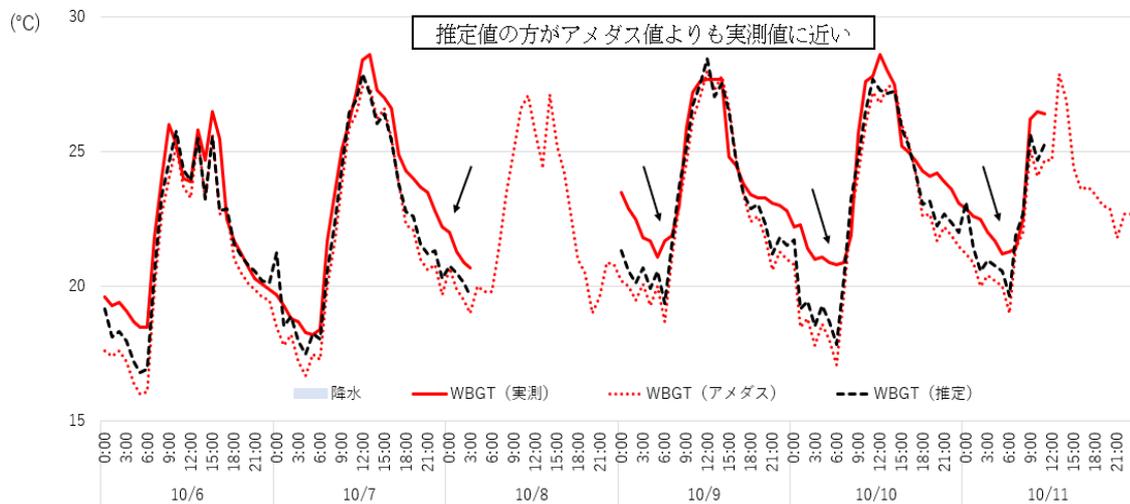
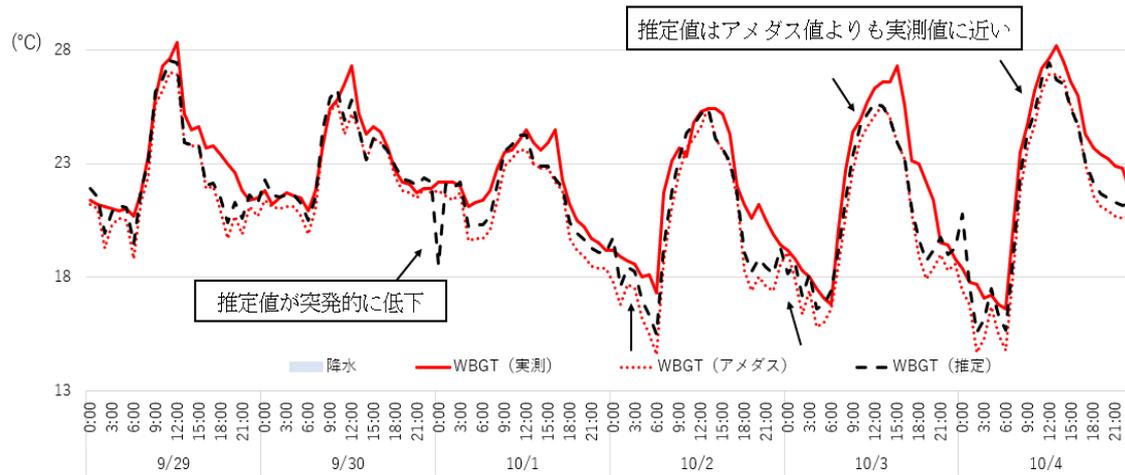


図 16-1 屋外日向コンクリート条件の WBGT 推定値との比較 (大阪)



(続き) 図 16-1 屋外日向コンクリート条件の WBGT 推定値との比較 (大阪)

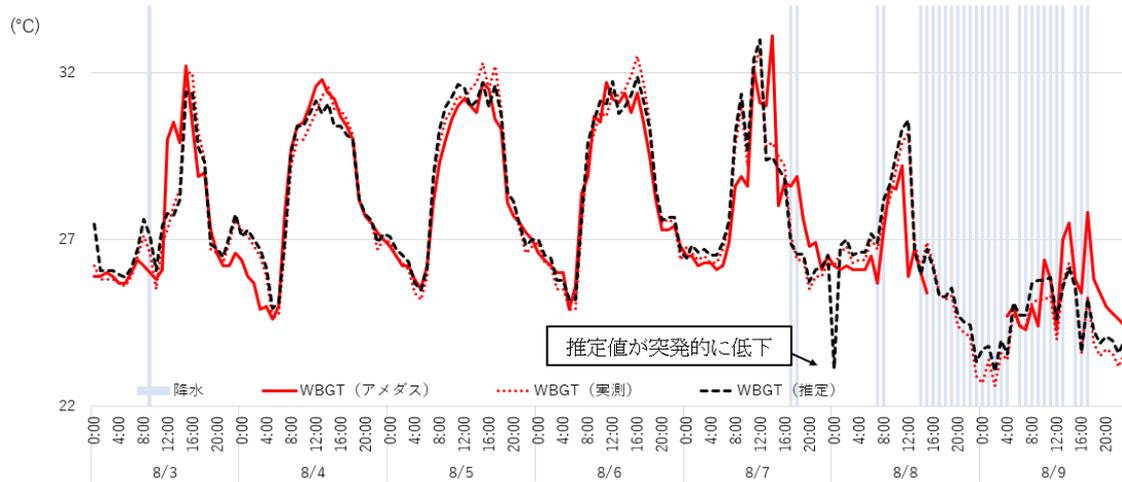
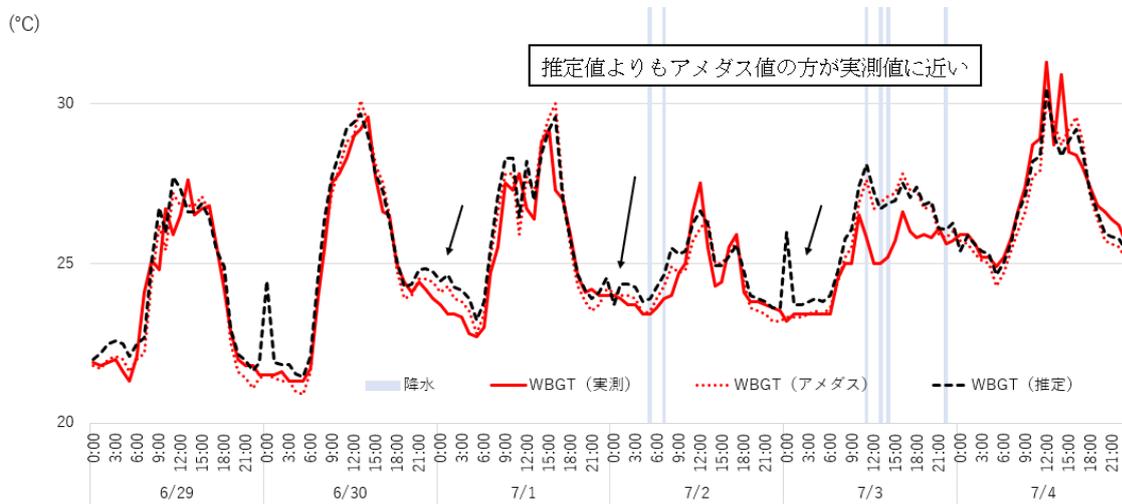
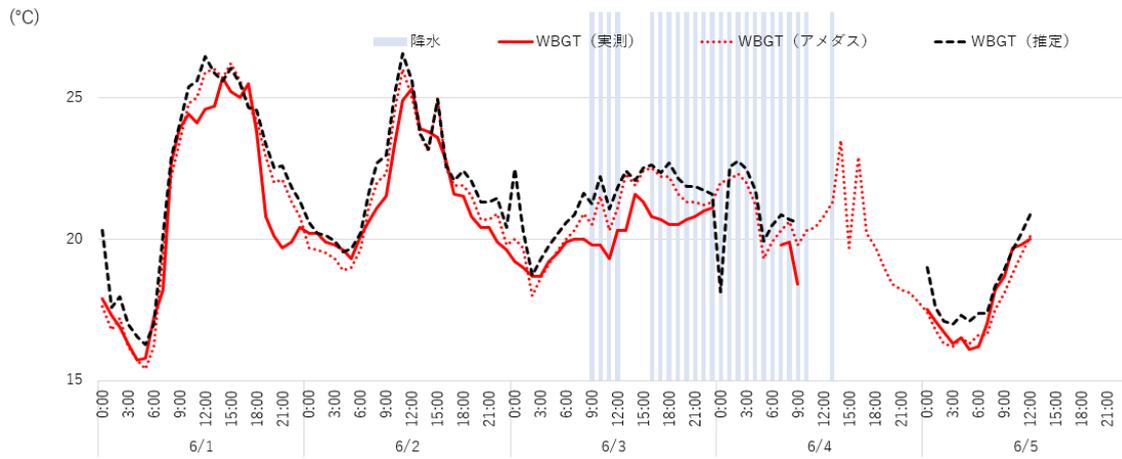
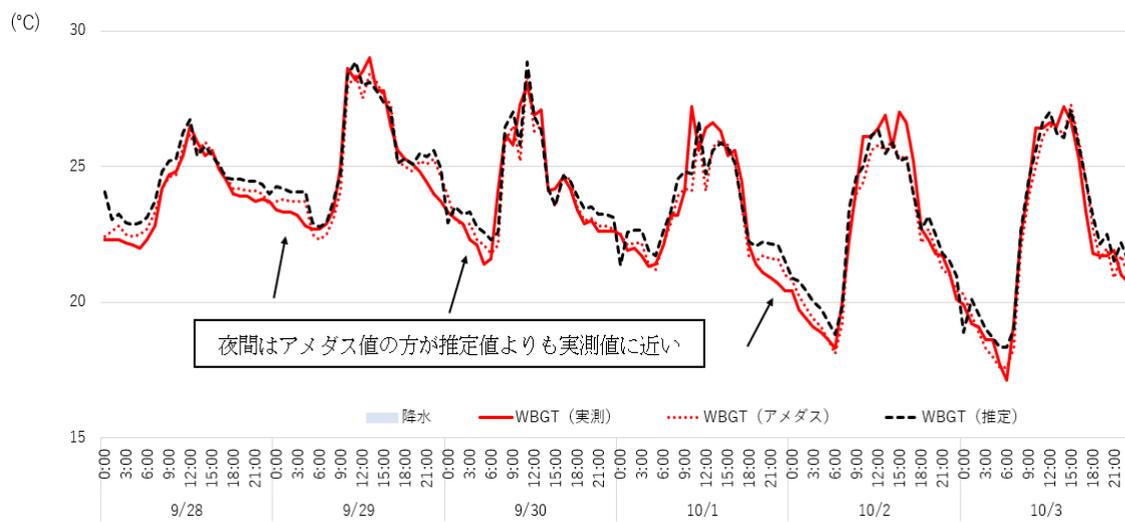
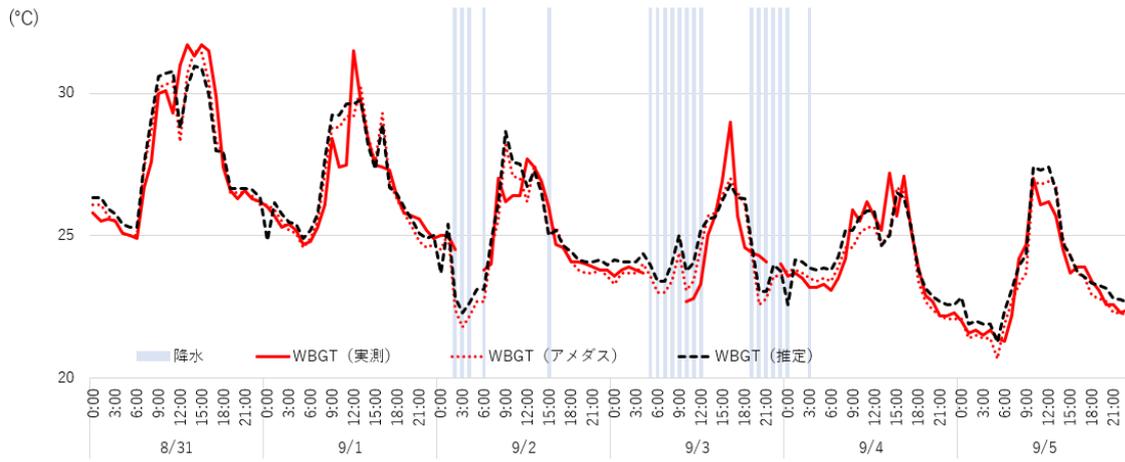


図 16-2 屋外日向コンクリート条件の WBGT 推定値との比較 (福岡②)



(続き) 図 16-2 屋外日向コンクリート条件の WBGT 推定値との比較 (福岡②)

【屋外建物脇コンクリート条件】

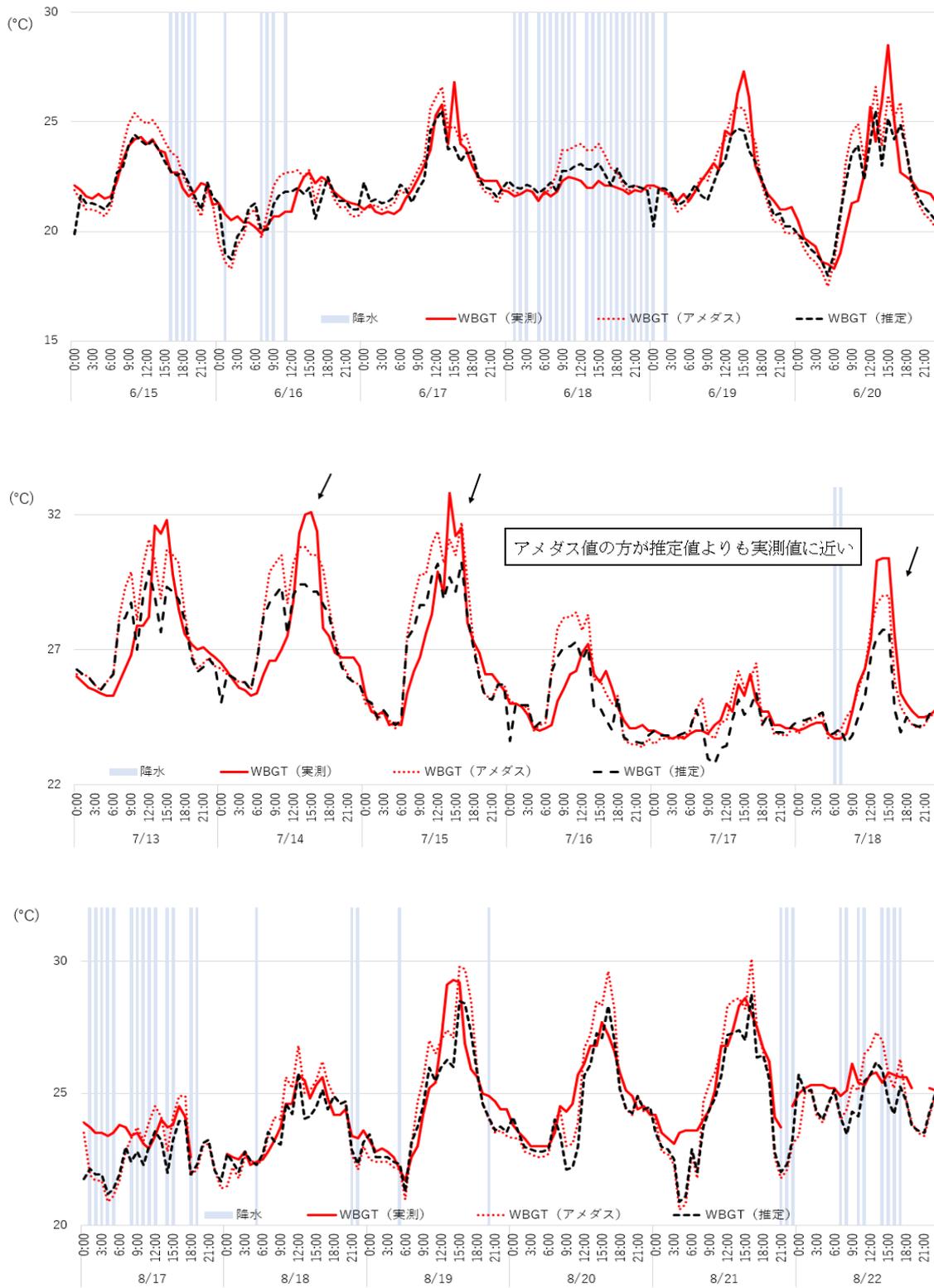
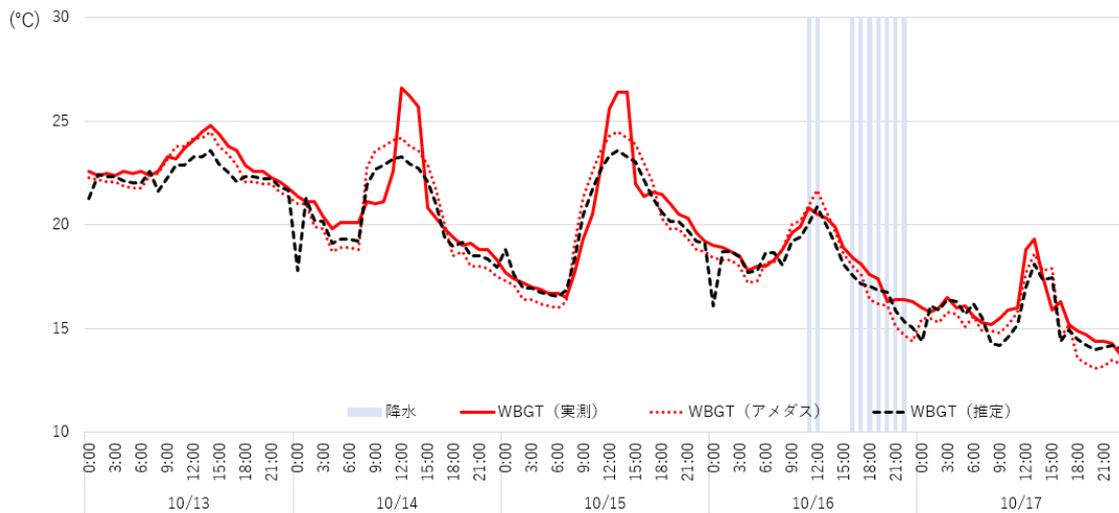
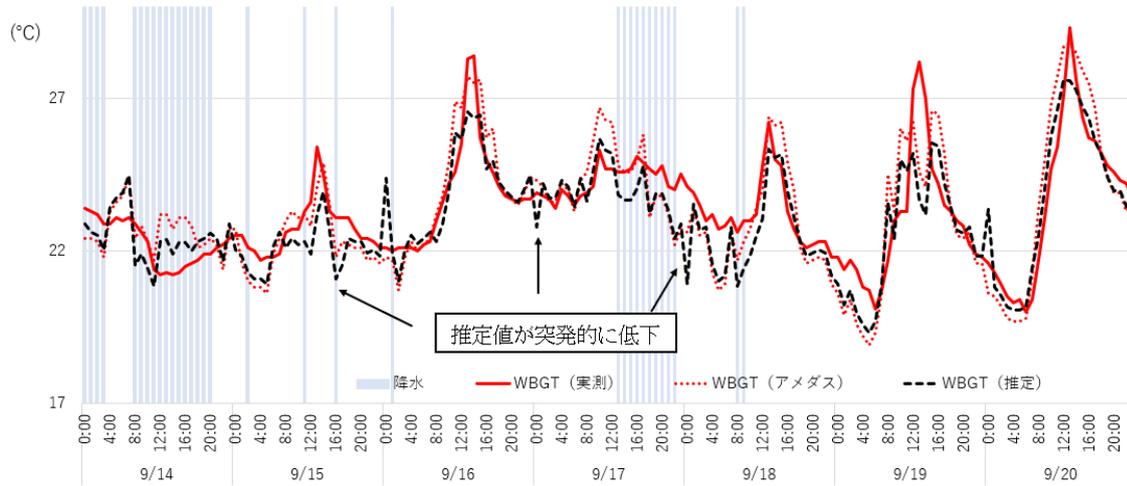


図 17 屋外建物脇コンクリート条件の WBGT 推定値との比較 (福岡②)



(続き) 図 17 屋外建物脇コンクリート条件の WBGT 推定値との比較 (福岡②)

【屋外日陰芝生条件】

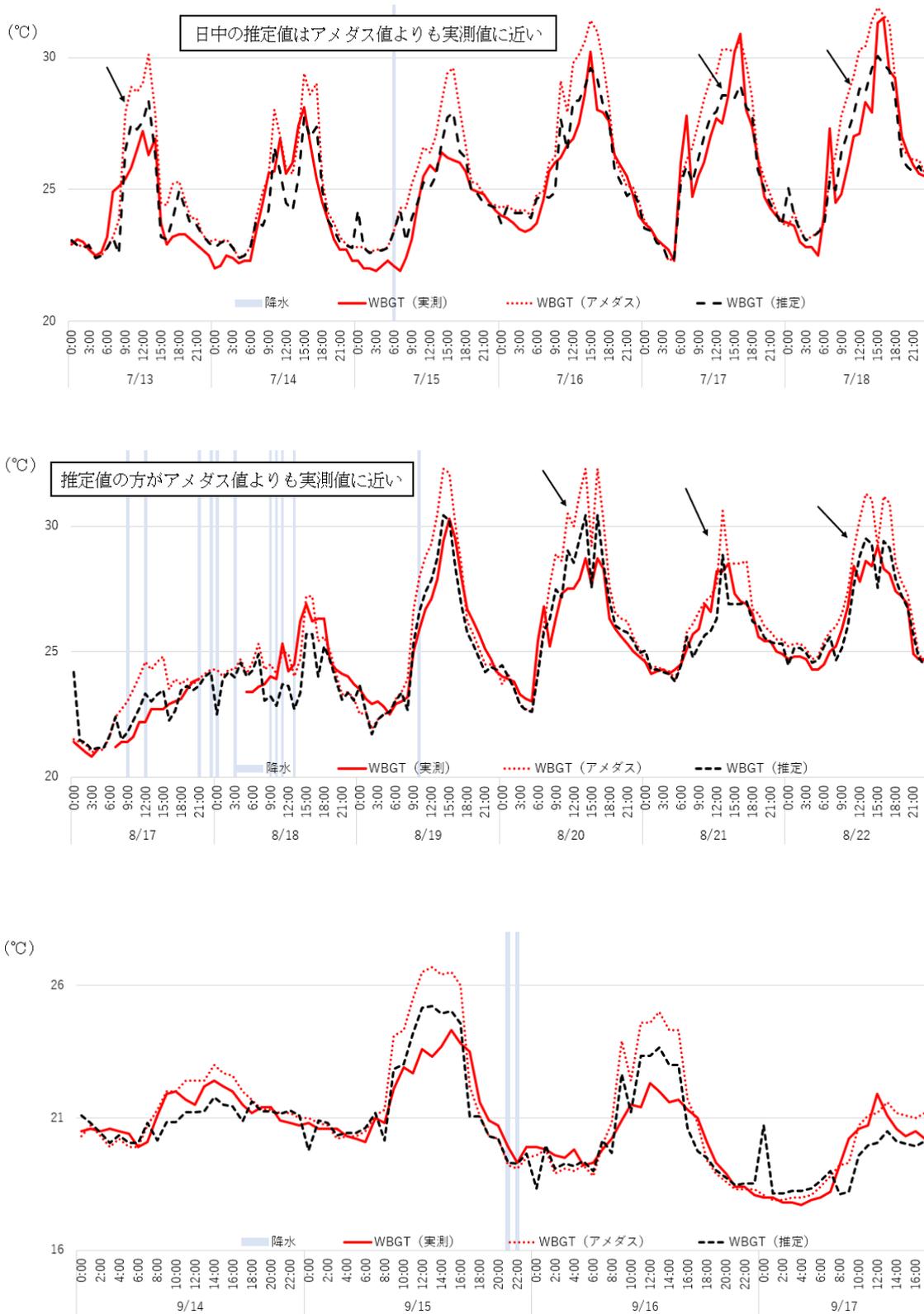


図 18 屋外日陰芝生条件の WBGT 推定値との比較 (群馬)

【屋外日陰土条件】

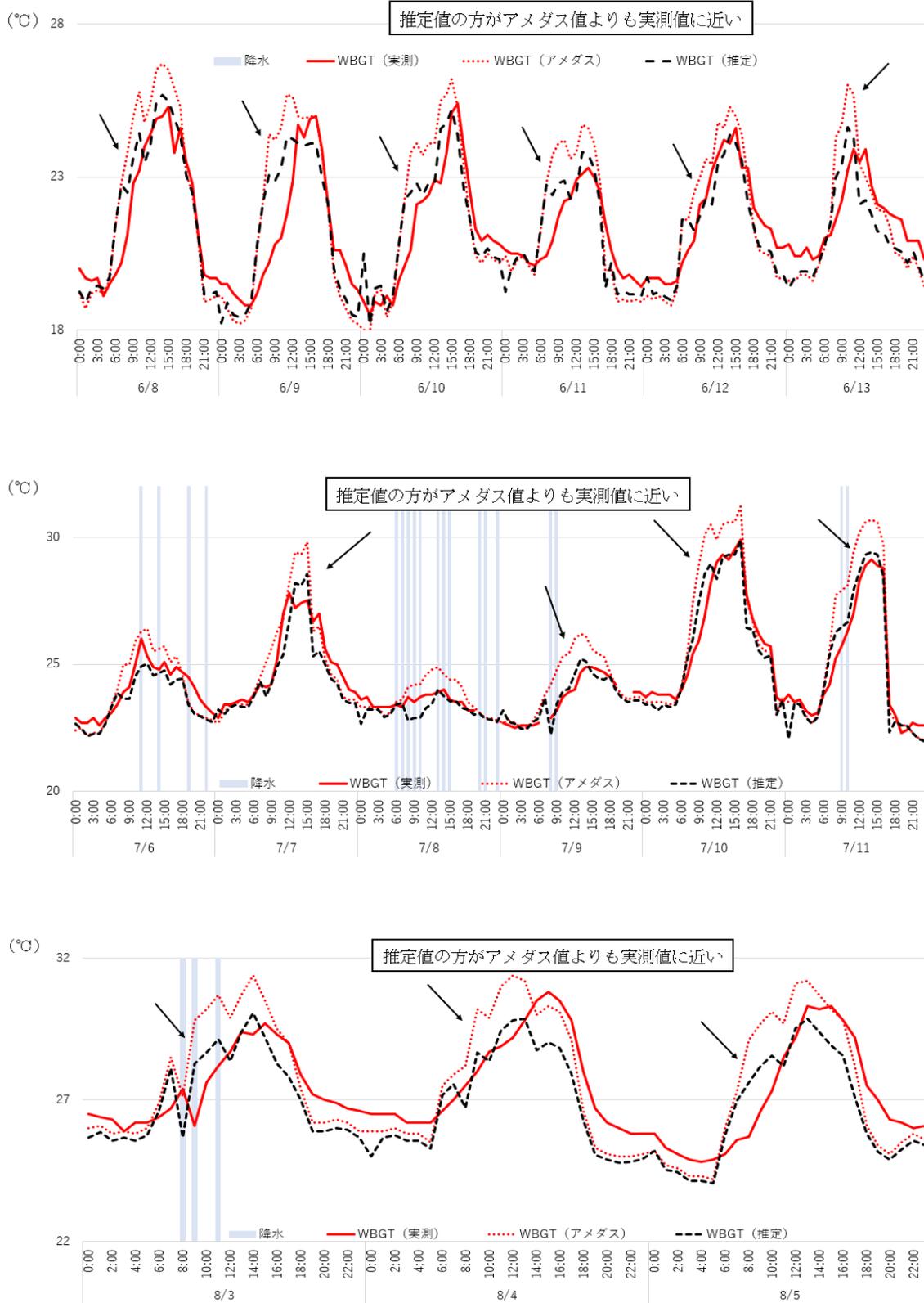
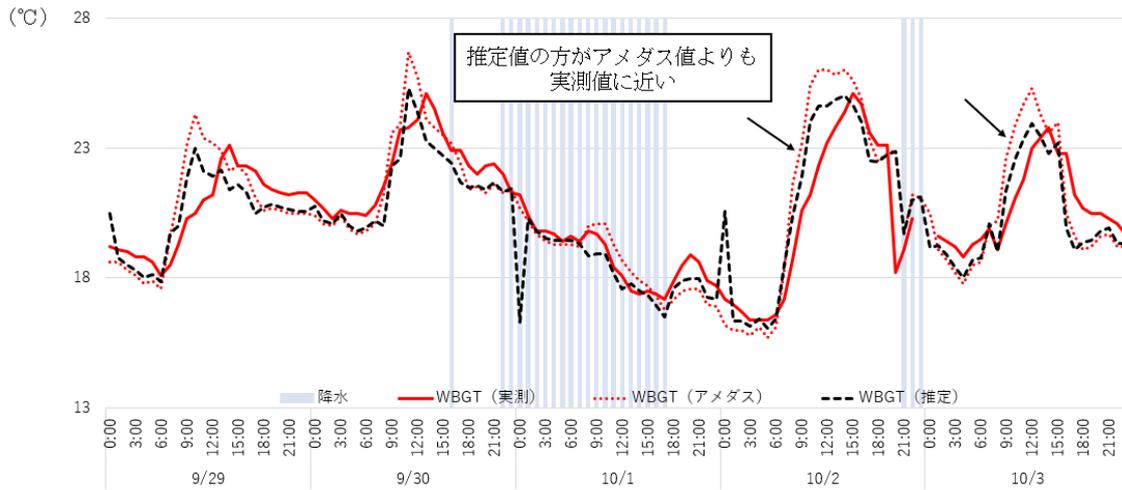
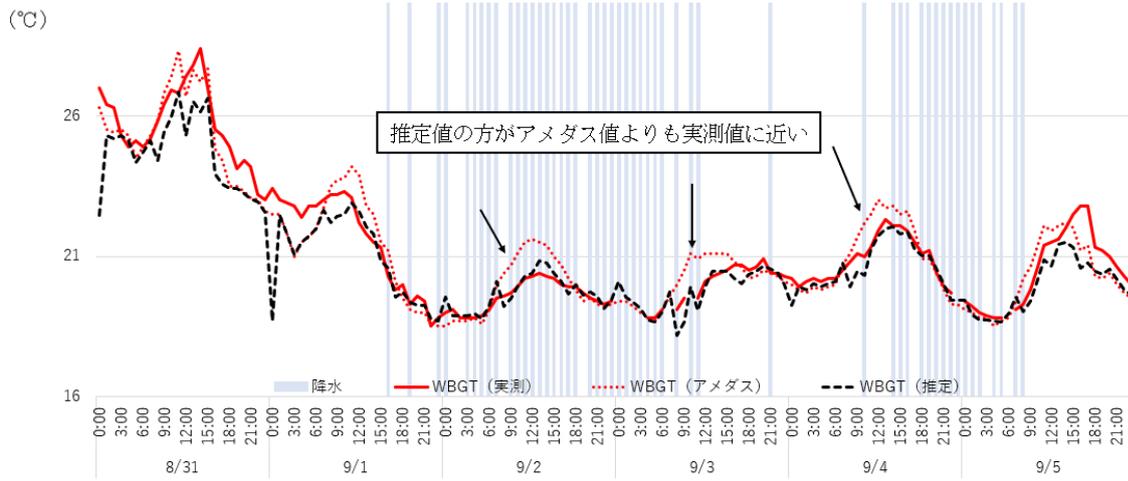


図 19 屋外日陰土条件の WBGT 推定値との比較 (神奈川)



(続き) 図 19 屋外日陰土条件の WBGT 推定値との比較 (神奈川)

【屋外日陰コンクリート条件】

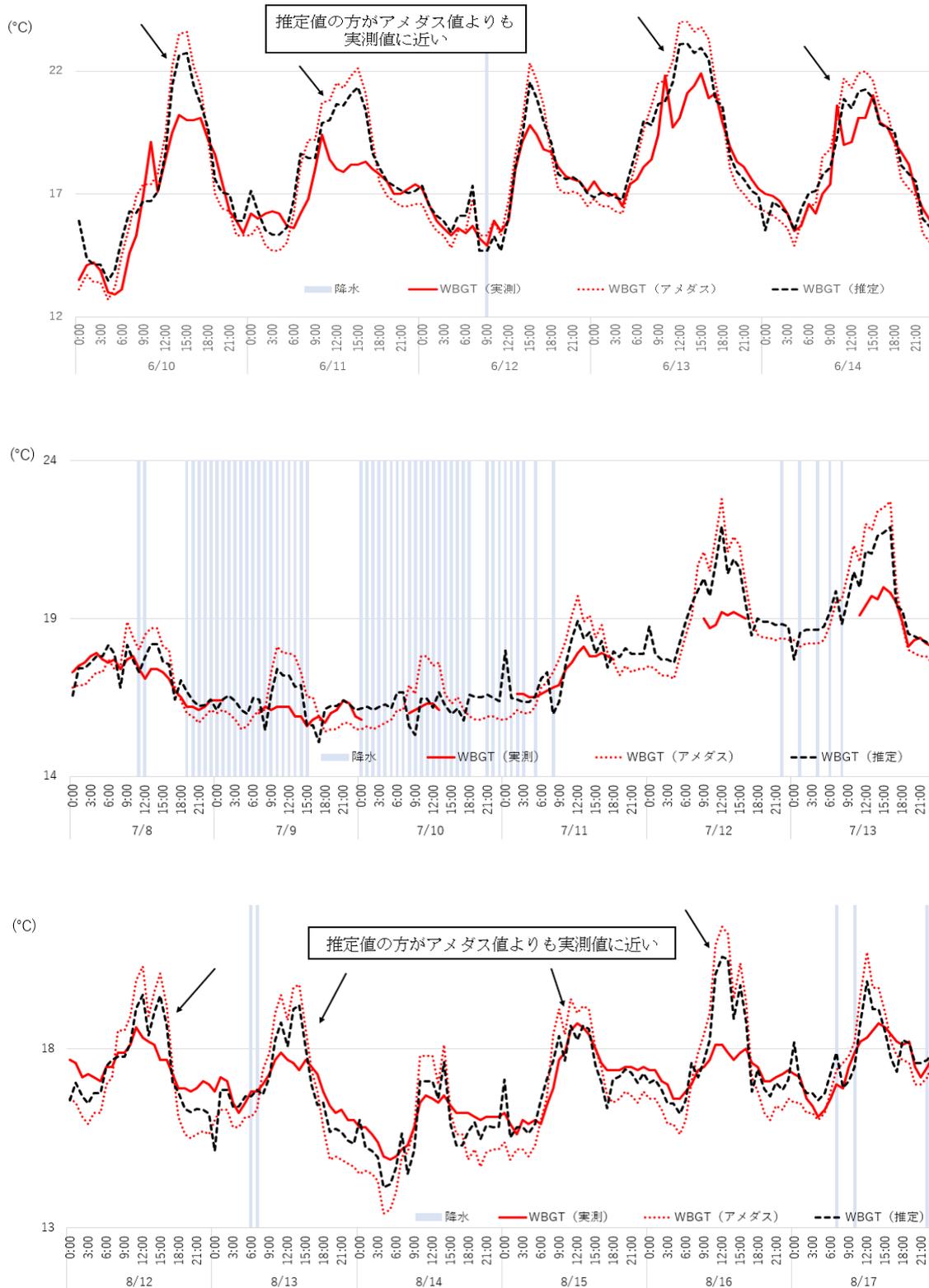
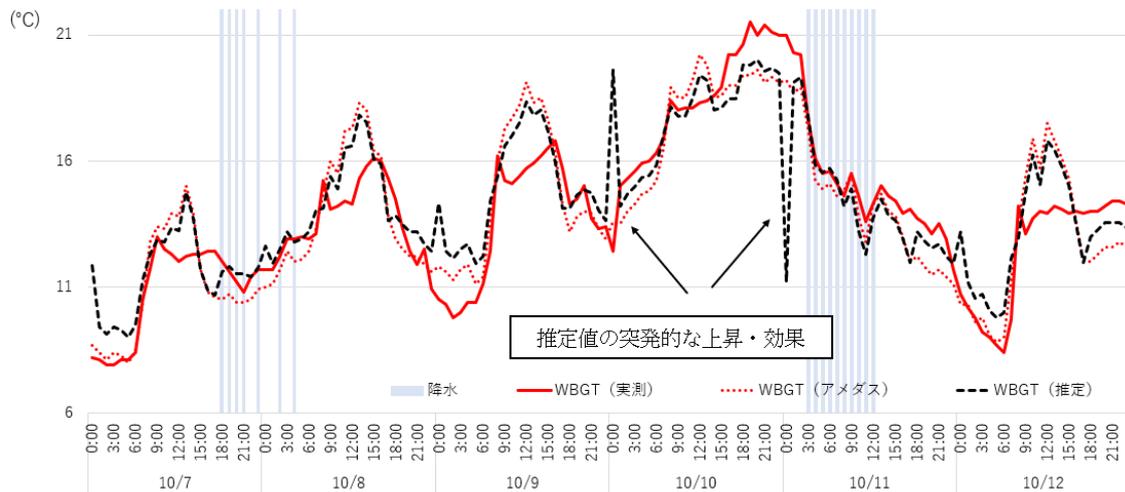
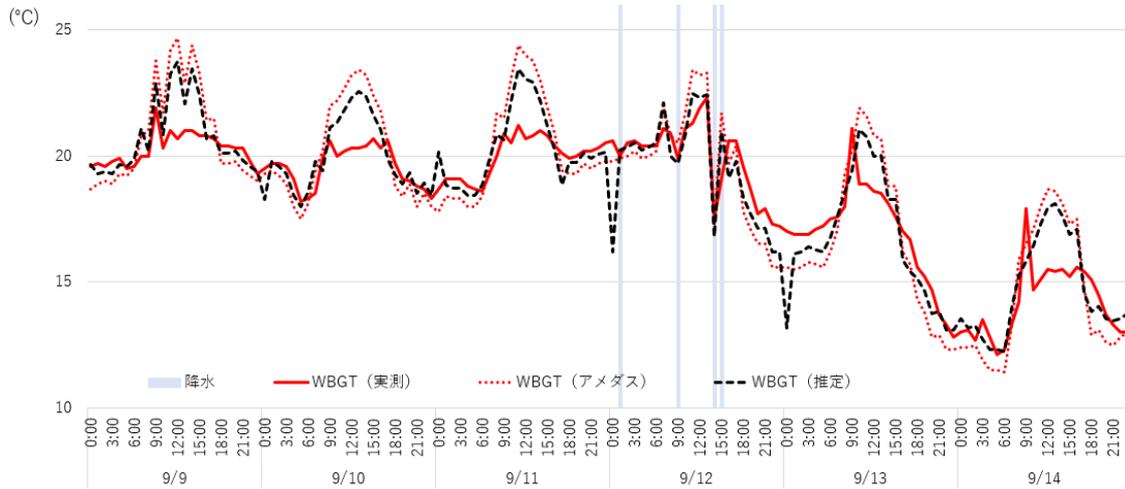


図 20-1 屋外日陰コンクリート条件の WBGT 推定値との比較 (北海道)



(続き) 図 20-1 屋外日陰コンクリート条件の WBGT 推定値との比較 (北海道)

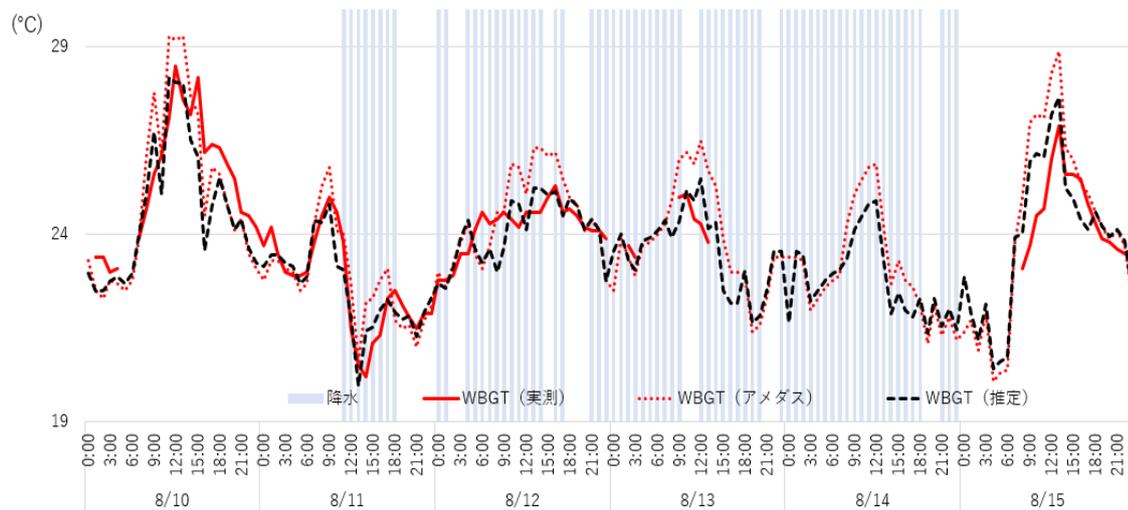
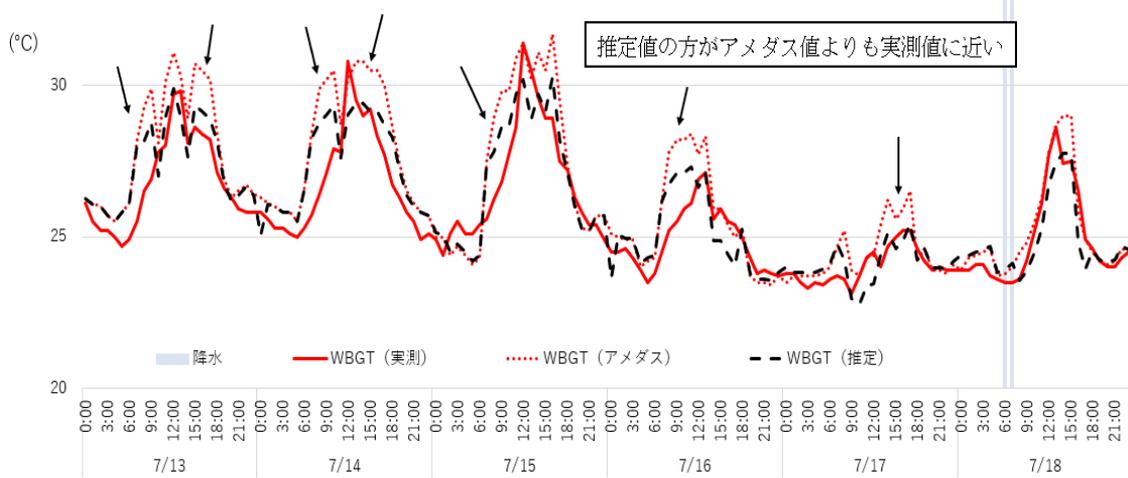
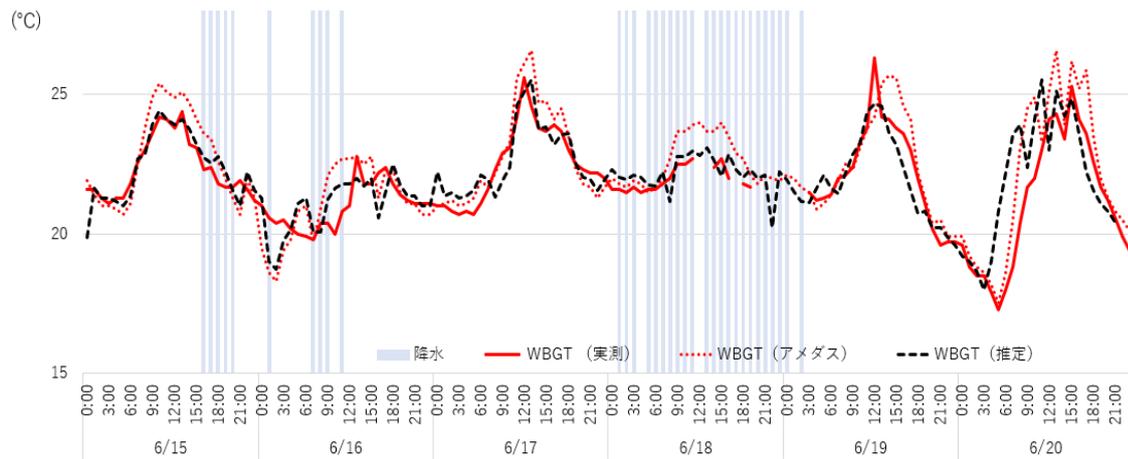
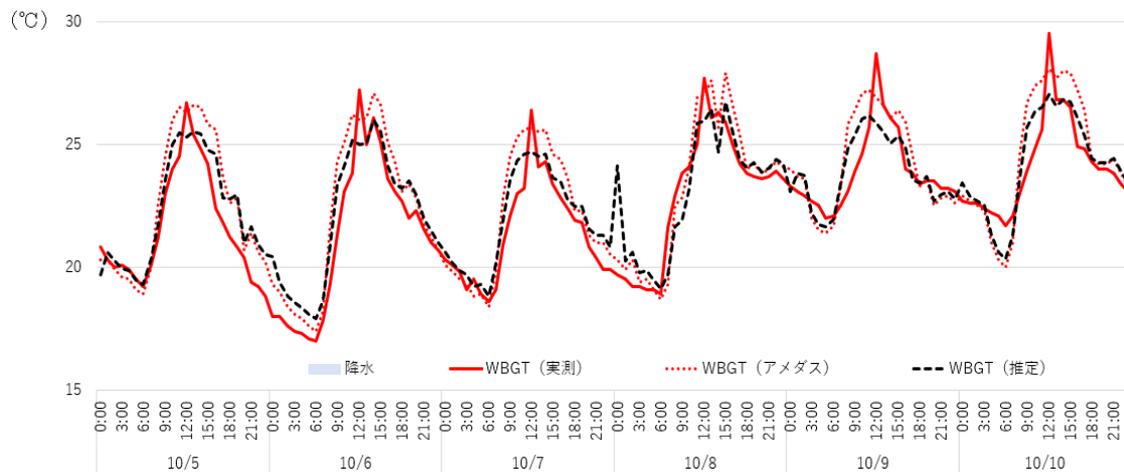
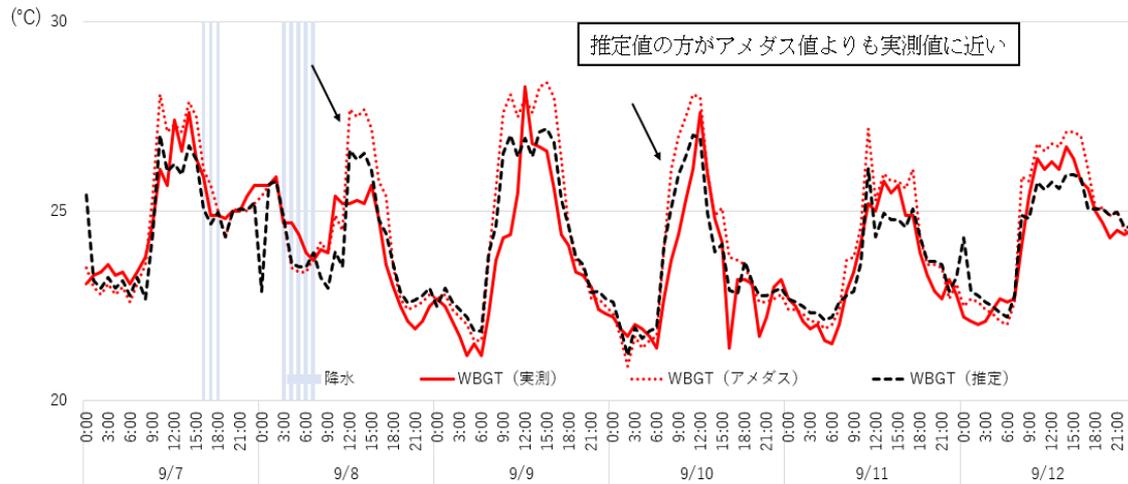


図 20-2 屋外日陰コンクリート条件の WBGT 推定値との比較 (福岡①)



(続き) 図 20-2 屋外日陰コンクリート条件の WBGT 推定値との比較 (福岡①)

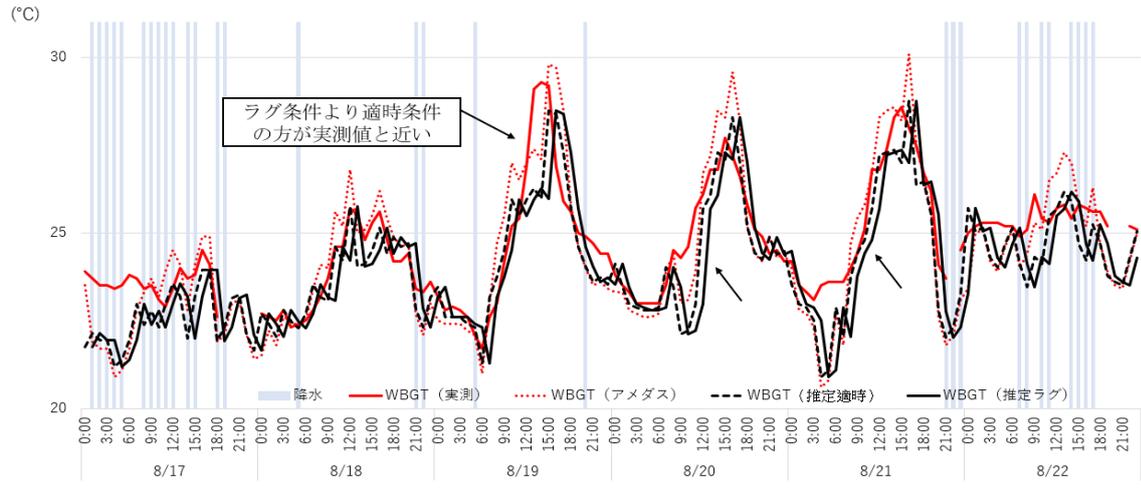
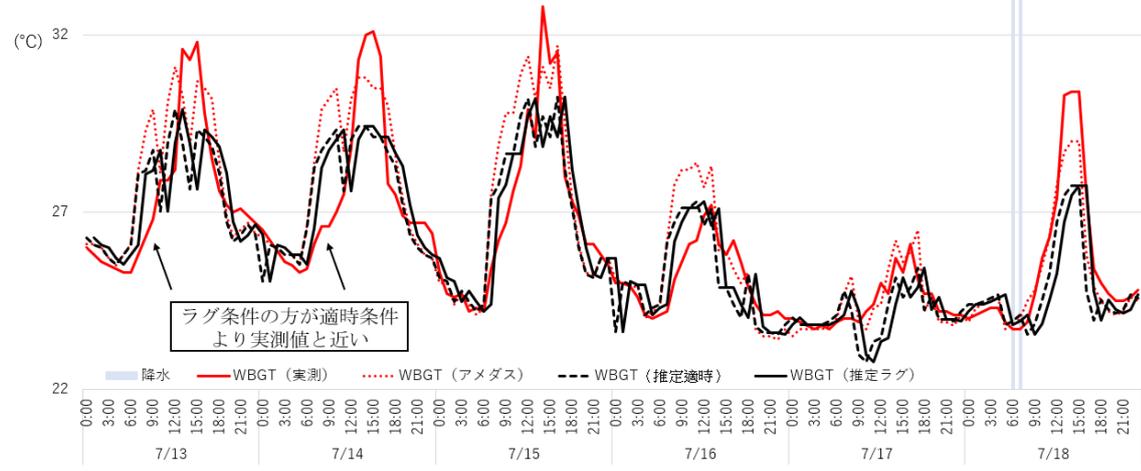
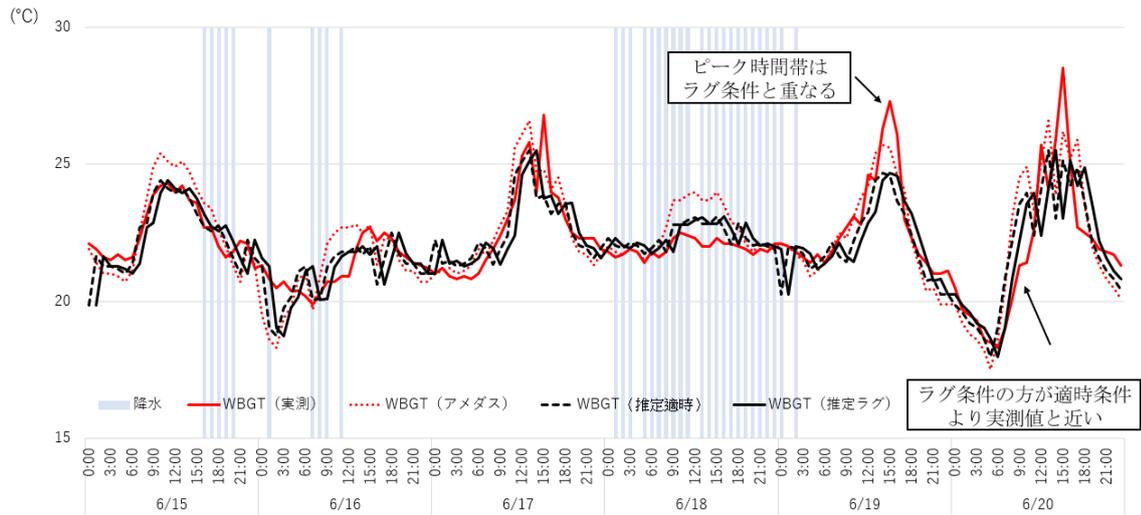
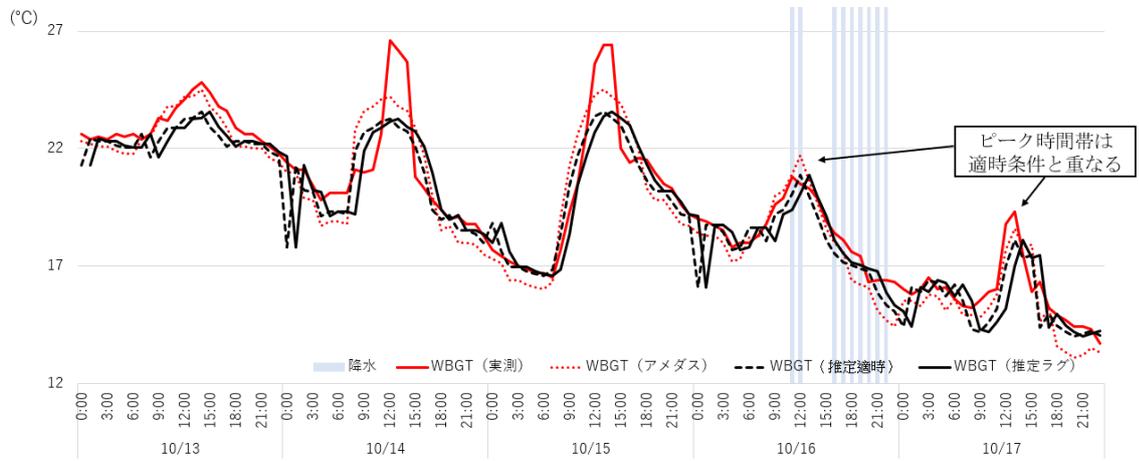
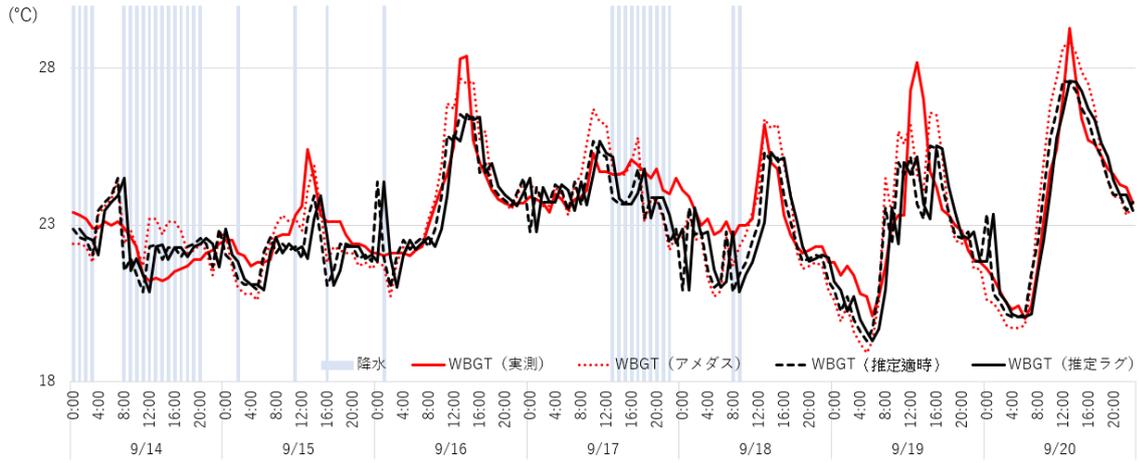


図 21 屋外建物脇コンクリート条件の適時・ラグ条件での推定値の比較 (福岡②)



(続き) 図 21 屋外建物脇コンクリート条件の適時・ラグ条件での推定値の比較 (福岡②)

10 屋内作業における熱中症予防対策の提案

研究分担者 永野 千景

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学 講師

研究協力者 嶋崎 優

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学 産業医学修練医

研究要旨

現在、日本の事業場における熱中症予防対策は、「職場における熱中症予防基本対策要綱（令和3年4月20日付け基発0420第3号、同年7月26日一部改正、以下、熱中症対策要綱）」に基づき実施されている。食品製造業や倉庫業における屋内作業場において、この要綱に記載の対策を実施する際に、課題となる事項を、実態調査結果を踏まえて抽出し、職場環境改善、作業方法改善、保冷用品利用などの観点から実現可能な職場改善策を検討した。検討に際しては屋内暑熱職場での職場改善の経験がある安全衛生の専門家に複数回にわたり、意見を聴取して助言を得た。食品製造業・倉庫業をはじめとする屋内作業場では、作業環境面や作業管理上の対策が困難なことが多く、また、雇用形態や事業場の規模、労働者の背景も多様であることから、これらの考慮が必要であると考えた。

A. 研究目的

現在、日本の事業場における熱中症予防対策は、「熱中症対策要綱」に基づき実施されているが、熱中症発生の多い建設業における屋外作業場や製造業における大規模工場を想定していると推測され、食品製造業や倉庫業における屋内作業場や小規模事業所では一部、実施が困難な可能性がある。

B. 研究方法

今回、研究班で実施した屋内作業場での調査結果を踏まえ、現行の「熱中症対策要綱」に記載の対策について、屋内作業場、特に食品製造業と倉庫業において実施することを想定した際に、考えられる課題を項目ごとに抽出し、考慮すべき注意点を検討した。

また、労働衛生コンサルタント及び空調設備、特に置換換気空調システムの専門技

術者に対し、研究班によりおこなった調査報告を行い、その内容に対する意見と情報を得た。

C. 研究結果

第1 WBGT（暑さ指数）の活用

1 WBGT等

質問紙による実態調査では、室温を測定している事業所は食品製造業84.7%、倉庫業は64.3%である一方、WBGT（暑さ指数）を測定している事業所は食品製造業19.5%、倉庫業14.0%と、WBGTを測定している作業場は室温に比べて少なかった。実際に屋内作業場における環境測定をおこなった結果、壁や天井の蓄熱によって屋内では屋外と比べて気温やWBGTの変化が緩徐で夕方以降は屋外よりも暑くなる傾向があることがわかった。よって、この傾向を理解して作業計画を立てる必要がある。

屋内作業場では基本的に日射がないが、食品製造業では多様な熱源が存在し、また、熱源付近とそれ以外では黒球温度に乖離があること、熱湯を多量に使用することが多く、湿度も上昇することが予想されるため、黒球温度や湿度が考慮された WBGT に基づいた対策が望ましい。倉庫業や製造業の物流作業場等では、半屋外であったり、窓からの日射があったりすることがあるため、黒球温度や風速を考慮する必要があるため、同様に WBGT の測定が望ましい。実測する際は WBGT 計算式①日射のない場合と②日射のある場合、いずれを採用すべきか、作業場ごとに検討する必要がある。

2 WBGT に係る留意事項

空調の設定温度は食品製造業でも倉庫業でも室温 25℃に設定していることが最も多かったが、設定温度が実測値、特に WBGT に基づいて設定されているかは不明である。特に食品製造業では湿度も高くなることから、できるだけ実測値に基づいて空調設定温度を調節できるようにすることが望ましい。

また、WBGT 基準値は「健康な労働（作業）者」を基準に、ばく露されてもほとんどの者が有害な影響を受けないレベルに相当するものとして設定されているが、食品製造業・倉庫業では、高齢労働者や女性労働者が多いことにも留意すべきであろう。

3 WBGT 基準値に基づく評価等

屋内作業場で実測した WBGT は気象官署データにおける WBGT と乖離があった。理由としては、食品製造業では、多様な熱源が存在することや周囲設備の素材といった測定点周囲の状況が WBGT に影響している

ことがあげられる。よって、熱源の存在するエリアで、使用状況に応じて WBGT を実測することが望ましい。食品製造業では鉄板、コンロ、ジェットオーブン、フライヤー、二重釜、平釜、スパボイル、IH 調理器、炊飯器、惣菜製品にラップをかける装置（ラッパー）が熱源になること、倉庫業では、エアーコンプレッサー、モーター、炉が熱源になることも理解しておかなければならない。また、食品製造業・倉庫業では作業者の行動範囲が広範囲にわたることも考慮すべきである。したがって、できるだけ多くの地点で WBGT を測定することや作業者の体温や心拍数といった生体指標あるいは携帯型 WBGT 計による作業者周囲環境の測定を行うことによって個人暑熱ばく露測定を行うことも一考に値する。

食品製造業では衛生エリアへの出入りが容易でないこと、倉庫業では作業エリアが広範囲にわたり、作業頻度の少ないエリアも存在することから、安全面や緊急措置対応も含めて、モバイルネットワークを使用した IoT システムによる高温リスクの測定を検討するのも対策の 1 つとしてあげられる。

第 2 熱中症予防対策

1 作業環境管理

(1) WBGT の低減等

WBGT 基準値を超え、又は超えるおそれのある作業場所（以下、高温多湿作業場所）においては、発熱体と労働者の間に熱を遮ることのできる遮へい物等を設けることが望ましいが、食品製造業では熱源と接近して作業することが多く、遮蔽物の設置は困難である。さらに、施設内の調理場などでは、施設の管理者から給食業務を委託

されており、空調設備やレイアウト変更等は施設管理者に権限があり、作業環境改善が困難なことがある。倉庫業も物流・資材管理を業務委託されている場合は同様である。作業場や作業の特性に合わせてスポットクーラーや作業者が設定温度を調整できるエアコンを設置すること、置換換気設備の導入、窓から差し込む直射日光の遮断、気流の確保、熱源からの隔離の確保などの対策を施設・設備の所有者や委託元と連携して検討すべきである。

屋外の高温多湿作業場所においては、直射日光並びに周囲の壁面及び地面からの照り返しを遮ることができる簡易な屋根等を設けることが推奨されているが、倉庫業に見られる半屋外の作業空間では、直射日光や照り返しが生じている箇所がないかを確認することを推奨する。

(2) 休憩場所の整備等

屋内作業場では、休憩所も屋内で、通風・冷房・除湿設備も設けやすい。ただし、食品製造業では、作業場を衛生エリアとして、休憩所と隔離させていることがあり、行き来する際に、着替えや消毒、手洗い等が都度、必要になることから、作業者が休憩所への移動を躊躇する可能性がある。着替えの時間も考慮した定期的な作業休止時間及び休憩時間を確保することに加えて、トイレの際や不調時に臨時的な休憩を申し出やすいようにする配慮が必要である。作業場に軽く腰掛けることができるような座面の高い椅子の設置、立位作業用マットの使用により作業負担を軽減することも重要である。

2 作業管理

(1) 作業時間の短縮等

実態調査によると、食品製造業は身体作業負担が大きい作業は比較的少ないようであるが、筋肉量の少ない女性作業や中高年齢作業の割合が多いことも考慮すべきである。倉庫業では約半数が中等度の作業負担であり、身体負担を加味した暑熱リスクの表が必要と考える。

食品製造業や倉庫業では、食事休憩時間以外に2時間に1回、5～15分の休憩時間を確保しているところが多かったが、暑熱リスクが大きくなる作業に合わせて取得できているかといった、注意も必要であろう。

(2) 暑熱順化

高温多湿作業場所において労働者を作業に従事させる場合、計画的に暑熱順化期間を設けることが望ましいとされているが、食品製造業・倉庫業においては、有期雇用やパートタイムといった非正規雇用の労働者が多く、各個人への注意喚起だけでは暑熱順化が不足する可能性がある。よって、入職時の教育や管理監督者による指導、社内ルールによって暑熱順化が推進される方策の検討が望ましい。

一般に、梅雨から夏季になる時期等、気温等が急に上昇した高温多湿作業場所で作業を行う場合に、暑熱順化していないことが熱中症発生の要因となるが、食品製造業では作業場に熱源があり、年間を通じて、ほぼ高温多湿であることから、暑熱順化していない新入職者に特に注意が必要である。

(3) 水分及び塩分の摂取

食品製造業では、食品への混入を防ぐため、飲食禁止にしていたり、飲料の持ち込みを禁止していたりして水分・塩分を摂取する機会が少ないことがある。また、衛生

上、衛生エリア内外の行き来が困難であり、トイレへの移動を回避するため、水分摂取を控えることがある。これに対し、衛生エリア内に飲水可能なエリアを定めたり、定期的な作業休止時間及び休憩時間を確保し、トイレ休憩を申し出やすいようにしたりすることも重要である。

食品製造業も倉庫業も非正規雇用が多く、また、中小規模の事業所が多いため、管理者が各個人の健康状況を把握困難なことがある。疾患や服薬状況によって脱水状態であっても自覚症状に乏しい場合があることに留意し、塩分等の摂取が制限される疾患を有する労働者については、主治医、産業医等に相談し、その内容を管理者に申し出やすくする工夫が必要である。

(4) 服装等

熱を吸収し、又は保熱しやすい服装は避け、透湿性及び通気性の良い服装を着用させること、これらの機能を持つ身体を冷却する服の着用も望ましいとされているが、食品製造業・倉庫業において作業服は洗濯しやすい綿やポリエステル製が多く、不透性の作業服と比較して、通気性が良いと考えられる。「表 1-2 衣類の組み合わせにより WBGT に加えるべき着衣補正值 (°C-WBGT)」においては、ほとんどが補正值 0 の作業服に該当していた。

保護具は食品製造業では頭髮を覆うための作業帽や頭巾と衛生マスクといった衛生保護具の使用が多かった。倉庫業では長袖作業服やヘルメット、安全靴の装着が義務付けられていることが多かった。いずれも素材による通気性の減弱はないが、頭部および皮膚露出面積が少ないことに配慮が必要である。

屋内作業場では直射日光へのばく露はな

いことが予測されるが、倉庫業では屋外との行き来や半屋外での作業もあるため、状況によって、通気性の良い帽子等の着用が推奨される。

また、作業場や作業の特性に合わせて、送風機付き作業服を導入すること、ファン付き作業服が着用できない職場では冷水循環型の冷却ベストを使用することも検討すべきである。

(5) 作業中の巡視

定期的な水分及び塩分の摂取及び労働者の健康状態確認、熱中症を疑わせる兆候が表れた場合における措置を目的として高温多湿作業場所での作業中は巡視を頻繁に行うことが推奨されている。食品製造業での衛生エリアや倉庫業での作業頻度が少ないエリアでは管理監督者の目が行き届かないことがあるため、漏れがないよう、計画的に巡視する必要がある。

3 健康管理

- (1) 健康診断結果に基づく対応等
- (2) 日常の健康管理等
- (3) 労働者の健康状態の確認

労働安全衛生法に基づく健康診断結果の結果、熱中症の発症に影響を与えるおそれのある疾患を治療中であつたり、関連する異常所見を認めたりした労働者については、事業者は、高温多湿作業場所における作業の可否、当該作業を行う場合の留意事項等について産業医、主治医等の意見を勘案し、必要に応じて、就業場所の変更、作業の転換等の適切な措置を講じなければならない。

食品製造業・倉庫業には 50 人未満の小規模事業場も多く、そのような事業場では産業医や衛生管理者等の専門職が選任されて

いない。「STOP!熱中症 クールワークキャンペーン」実施要綱において、事業者が衛生管理者、安全衛生推進者、衛生推進者又は熱中症予防管理者に、暑熱リスクの高い職場に従事する作業員に対して、健康管理業務や労働衛生教育を行わせることを推奨しており、小規模事業場では安全衛生推進者、衛生推進者あるいは熱中症予防管理者を選任し、これらの業務を行わせることが望ましい。これらの業種では非正規雇用の労働者が多く、勤続年数が短いことが多い。また、基礎疾患を有する可能性が高い高年齢労働者やコミュニケーションを取りにくい外国人労働者も存在する。いずれの労働者も主治医等から熱中症を予防するための対応が必要とされた場合や労働者が熱中症を予防するための対応が必要となる可能性があると判断した場合に、申し出やすいような工夫や雰囲気作り、作業開始前や作業中の巡視における声かけが推奨される。食品製造業における深夜業や倉庫業における一人作業でも健康状態の確認ができるように留意が必要である。

(4) 身体の状態の確認

休憩場所等で必要に応じて体温計、体重計等で体温、体重を測定することに加え、第1の3に記載の通り、作業中の体温や心拍数を測定することにより身体の状態を確認できるようにすることも有効である。

4 労働衛生教育

「熱中症警戒アラート」と比較して「STOP!熱中症 クールワークキャンペーン」や「熱中症予防管理者」はあまり周知されていなかった。食品製造業・倉庫業は50人未満の小規模事業場も多く、専門職が選任の義務がないため、安全衛生推進者や

衛生推進者または熱中症予防管理者を選任し、労働者を高温多湿作業場所において作業に従事させる際にあらかじめ必要な労働衛生教育を行わせることが望ましい。

5 救急処置

(1) 緊急連絡網の作成及び周知

(2) 救急措置

食品製造業・倉庫業においては非正規雇用の労働者も多いが、高温多湿作業場所において作業に従事させる場合には、労働者の熱中症の発症に備えた緊急連絡網や救急措置の方法について、これらの労働者にも漏れなく周知・教育する必要がある。

D. 考察

食品製造業・倉庫業をはじめとする屋内作業場では直射日光の影響を考慮する必要性が少なくなるが、作業環境面や作業管理上の対策が困難なことに加え、雇用形態や事業場の規模、労働者の背景も多様であることも考慮したうえでの対策を検討することが重要と考える。

E. 結論

「熱中症対策要綱」に記載の熱中症予防対策を食品製造業・倉庫業といった屋内作業場で実施する際には、作業場の特性に合わせた実施方法を検討すべきである。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

I. 引用文献

「職場における熱中症予防基本対策要綱
(令和3年4月20日付け基発0420第3号)」

III 研究成果の刊行に関する一覧表

学会発表

| 発表者氏名 | 演題名 | 発表学会名 | 発表年 |
|-------|---|---|---------------------|
| 嶋崎 優 | “Heat risk in hospital kitchen by measuring WBGT” | 33rd International Congress on Occupational Health, ICOH, in Melbourne-Rome global digital congress | 6-10 February, 2022 |
| 前田 妃 | 「休業 4 日以上の熱中症による労働災害に関する分析」 | 第 95 回日本産業衛生学会 (高知) | 2022 年 5 月 |
| 丸山 崇 | 「屋内作業場における暑熱環境下作業時の個人計測」 | 第 95 回日本産業衛生学会 (高知) | 2022 年 5 月 |
| 田中 里穂 | “Comparison of WBGT values directly measured and those estimated from data at the nearest AMeDAS point” | 33rd International Congress on Occupational Health, ICOH, in Melbourne-Rome global digital congress | 6-10 February, 2022 |
| 田島 慶一 | 「熱中症対策実態調査アンケート」 | 第 96 回日本産業衛生学会 (栃木) | 2023 年 5 月 |
| 宮内 博幸 | 「暑熱障害リスク低減対策における IoT システムの活用」 | 第 96 回日本産業衛生学会 (栃木) | 2023 年 5 月 |

屋内作業に適した職場における熱中症予防方法等に関する研究
(210601-01)

令和 3～4 年度 総合研究報告書

発行者 堀江正知

産業医科大学産業生態科学研究所産業保健管理学

令和 5 年 (2023 年) 3 月

不許複製