

2021 年度第 2 回 日本産業衛生学会 温熱環境研究会

2021 年 9 月 11 日（土）13：30～17：00 オンライン形式（Zoom）

プログラム

13：30～13：35 開会の挨拶

代表世話人 クボタ 加部 勇

13：35～13：40 議事進行の説明

労働安全衛生総合研究所 齊藤 宏之 先生

13：40～14：30 一般口演

座長 和歌山県立医大 森岡 郁晴 先生

演題 1 屋外 WBGT 実測値と気象官署データの比較

○田中 里穂¹⁾、永野 千景¹⁾、嶋崎 優¹⁾、前田 妃¹⁾、堀江 正知¹⁾

1) 産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学研究室

演題 2 WBGT 計を用いた調理職場における暑熱リスクの評価

○嶋崎 優¹⁾、永野 千景¹⁾、田中 里穂¹⁾、前田 妃¹⁾、堀江 正知¹⁾

1) 産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学研究室

14：30～14：40 休憩

14：40～16：55 シンポジウム「防護服の熱中症リスクについて-JIS Z8504(WBGT)改正の概要」

座長 クボタ 加部 勇 先生

1. 暑熱環境評価における衣服補正の導入とその経緯と変更点

齊藤 宏之 先生（労働安全衛生総合研究所）

2. CAVに影響する着衣、環境要因に関して

薩本 弥生 先生（横浜国立大学）

3. 防護服の素材、試験方法、規格など周辺情報の紹介 - 素材の製法から、国際規格の比較まで

熊谷 慎介 先生（アゼアス）

16：55～17：00 閉会の辞

代表世話人 クボタ 加部 勇

【世話人】

伊藤武彦（岡山大）、井奈波良一（岐阜大）、川波祥子（産業医大）、齊藤宏之（安衛研）

澤田晋一（東京福祉大）、永野千景（産業医大）、堀江正知（産業医大）、

宮下和久（和歌山県立医大）、森岡郁晴（和歌山県立医大）、加部勇（クボタ）

屋外WBGT実測値と気象官署データの比較

○田中 里穂¹⁾、永野 千景¹⁾、嶋崎 優¹⁾、前田 妃¹⁾、堀江 正知¹⁾

1) 産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学研究室

1. 背景・目的

近年、日本では熱中症が多発していることから、作業現場における暑熱環境リスクの評価として WBGT 計の活用が広まりつつある。厚生労働省による「STOP！熱中症クールワークキャンペーン」では、JIS 規格に適合した WBGT 指数計を職場で準備することが求められているが、現状として気温と相対湿度しか測定できていない職場も多く見られる。WBGT 値を実測できない場合、最寄りのアメダス地点における WBGT 予測値や実況推定値を参考にすることが代替案の1つとして挙げられるが、このような気象官署データと実測値の差異は明らかでない。そこで本研究では、実測値と気象官署データの比較を行い、さらに気象官署データに距離や環境の条件を加味することで作業環境における WBGT の推定が可能かどうかを検証する。

2. 方法

2021 年 5 月から 9 月にかけて、全国 6 カ所の事業所（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 401F、JIS B 7922 クラス 1.5）を用いて WBGT、気温、湿球温度、黒球温度の測定を行った。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 回繰り返した。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。

3. 結果

屋外・日向の条件では、WBGT 実測値とアメダスの実況推定値はほぼ一致していたが、外気温が上がる時間帯は乖離が多くみられた。屋外・日陰の条件では、WBGT・黒球温度の実況推定値よりも数時間遅れて実測値の上昇が見られ、また屋外・日向条件と比べると実測値が実況推定値よりも低くなる傾向が見られた。屋内・熱源なしの条件では、実測値は比較的一定に保たれており、他の条件と比較して実測値と実況推定値の差が大きかった。屋内・熱源ありの条件では、加熱炉等の熱源からの放射熱の影響を受け、WBGT・黒球温度の実測値は昼夜問わず高値のまま推移していた。

4. 考察

屋外・日向の作業環境では、最寄りのアメダス地点における WBGT をそのまま活用できる可能性が示唆された。屋外であっても日陰では WBGT 実測値が低くなっており、作業環境管理として簡易な屋根を設置するなどの対策が有効であることが確認できる。屋外・日陰の測定点では、WBGT 実況推定値と実測値の上昇に時間差が見られたが、これは屋外・日向の測定点に比べて建物が密集しているために、周囲の構造物に蓄積された熱からの放射による影響が考えられる。

屋内の作業環境は、空調設備の影響を受けるため、WBGT 予測値をそのまま参考にすることは難しいと思われた。また、熱源が近くにある屋内作業環境では、屋外の環境変化よりも熱源による影響を主に受けるため、日々の WBGT 予測値を参考にするよりも、熱源に応じた暑熱対策を行うことが重要である。今回の測定を通じて、作業場所によって WBGT 値が大きく異なることが確認されたことから、JIS 規格を満たした WBGT 計による測定がやはり好ましいと考えるが、屋外の作業環境であれば近隣の気象官署データを活用できる可能性があり、気象官署データから作業環境における WBGT をより正確に推定するために必要な因子を検証する必要がある。

WBGT計を用いた調理職場における暑熱リスクの評価

○嶋崎 優¹⁾、永野 千景¹⁾、田中 里穂¹⁾、前田 妃¹⁾、堀江 正知¹⁾

1) 産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学研究室

1. 背景と目的

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では、発熱源からの熱気を含む室内上昇気流に加え、作業員には保護衣の着用が義務づけられていることから、作業員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。

2. 方法

WBGT 計 (AD-5695DL, A&D) を用いて、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 2~5 日間 (24 時間、1 分毎)、WBGT 等を測定した。測定場所として、某医療機関における調理場のコンロ、配膳車、盛り付けコンベアー、熱風消毒保管庫、炊飯器等を選定した。スポットクーラーや換気扇付近では、純水ミスト発生器による気流測定と、放射温度計 (AD-5616, A&D) による表面温度の測定を行った。各測定場所における WBGT の比較、熱源や空調の有無による比較を行った。

3. 結果

作業場では全体空調、スポットクーラー、換気扇を導入していたが、消毒保管庫近くは測定箇所のうち最も WBGT が高く、WBGT が 30℃を超える時間帯も見られた。コンロや炊飯器の熱源近くでは、調理のピーク時間帯 (2~4 時、7~9 時、12~14 時) に WBGT が上昇する傾向が見られた。配膳車近くでは 6 時、12 時、17 時頃に WBGT が上昇する傾向が見られた。

調理場における気流測定では、スポットクーラーの気流が作業員に届いていない箇所が見られた。また、スポットクーラーと換気扇の位置に近い箇所では、換気扇周囲の気流の滞留が見られた。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、30℃近くを示した箇所も見られた。

4. 考察

調理職場では、WBGT が突発的に上昇する時間帯がみられ、熱源の稼働状況や作業内容が影響している可能性が考えられた。熱源が存在することに加えて、スポットクーラーや換気扇の近くでも気流が不十分なところや吹き出される気流が十分に冷却されていないところがあったことが、屋内でも WBGT が高くなっていた原因の一つと考えられた。暑熱リスクを低減するには、熱源の隔離や室内の気流確保などの対策が必要と考えた。

暑熱環境評価における衣服補正の導入とその経緯と変更点

○齊藤宏之（（独）労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所）

1. はじめに

WBGT（湿球黒球温度）は自然湿球，黒球，乾球の暑熱環境因子から算出される指標であり，簡便かつ効果的な指標であることから広く普及している。その一方で，人体の熱平衡式に基づく指標ではないため，身体活動による熱産生や，着衣状況については指標については別途補正する必要がある。WBGTにおける衣服の評価については，これまで様々な提案がなされてきたが，ISO 7243:2017および，翻訳 JIS である JIS Z8504:2021 に盛り込まれたものが最新となっており，厚生労働省の通達でも用いられている。本報告では，WBGTにおけるこれまでの衣服補正の経緯を確認するとともに，最新の衣服補正についての概要や今後の方向性について取り上げる。

2. WBGT における衣服補正の歴史的経緯

(1) 米国産業衛生専門家会議(ACGIH)- TLV

ACGIH-TLV に衣類補正が初めて導入されたのは 1990 年である(Ver.1)。その後，1991～1998 年 (Ver.2)，1999 年 (Ver.3)，2000～2006 年 (Ver.4)，2007 年～現在 (Ver.5) と，確認できているだけでも数回に渡って内容の変更が行われている。バージョンによって補正值が大幅に異なるため，参照する際には注意が必要である。ACGIH-TLV における現行版の衣服補正值を表 1 に示す。なお，この表は厚生労働省の旧通達にて用いられていたものである。

表 1：Clothing Adjustment Factors for Some Clothing Ensembles (ACGIH-TLV 2020)

Clothing Type	Addition to WBGT [°C]
Work clothes (long sleeve shirt and pants)	0
Cloth (woven material) coveralls	0
Double layer woven clothing	3
SMS polypropylene coveralls	0.5
Polyolefin coveralls	1
Limited-use vapor-barrier coveralls	11

(2) 英国標準規格(BS)

BS7963:2000 にて個人防護服の熱負荷について規定している。BS7963 の特徴は，代謝率の増加分として定義している点，ならびに呼吸用保護具の補正值を示している点である（表 2）。

表 2：Estimated increases in metabolic rate due to wearing PPE (BS7963:2000)

PPE item	Increase in metabolic rate due to wearing PPE ($W \cdot m^{-2}$)				
	Resting	Low	Moderate	High	Very High
Safety shoes/short boots	0	5	10	15	20
Safety boots (long)	0	10	20	30	40
Respirator (low/moderate performance, e.g. P1, P2)	5	10	20	30	40
Respirator (high performance, e.g. P3)	5	20	40	60	80
Self-contained breathing apparatus	10	30	60	95	125
Light, water vapour permeable chemical coverall (e.g. disposable)	5	10	20	30	40
Chemical protective water vapour impermeable ensemble (e.g. PVC) with hood, gloves and boots	10	25	50	80	100
Highly insulating water vapour semi-permeable ensemble (e.g. firefighters' gear consisting of helmet, tunic, over trousers, gloves and boots)	15	35	75	115	155

(3) ISO ならびに JIS

- ISO 7243:1989 (JIS Z8504:1999) では「着用衣服が標準的な作業着 [通気性があり水蒸気を通す衣服，保温性 $I_{cl}=0.6Cl_{cl}$] でない場合には，基準値は衣服の特殊性と当該環境によって修正しなければならない」，「一般に水蒸気を通さないような衣服の場合には，基準値を下げる（厳

しくする）必要がある。また一方では、熱を反射する衣服の場合には基準値を上げる（ゆるくする）こともある。」「修正を行うことが困難である場合、つまり標準的な作業着から明らかに異なる特殊な衣服の組み合わせのときには、専門家に相談することが望ましい」と記されているのみで、具体的な修正方法等の記載はなかった。

- ・ ISO 7243:2017 (JIS Z8504:2021) において、「着衣補正值 (CAV)」が定義され、衣服の影響を加味した「有効 WBGT (WBGT_{eff})」を用いて熱ストレスの評価を行うことと規定された。着衣補正值 (CAVs) は附属書 F として 10 段階の数値が示された。JIS Z8504:2021 における着衣補正值を表 3 に示す。なお、CAV が直接わからない組み合わせの着衣については、ISO 9920 を参考に類似の熱特性を持つ衣服によって推定して良いこと、ならびに CAV が決定できない組み合わせの着衣についてはこの規格は使用せず、ISO7933 を用いた熱ストレスの詳細な分析を行う必要があると記されている。

表 3：異なる組合せ着衣の WBGT CAVs (°C-WBGT, JIS Z8504:2021)

組合わせ	コメント	CAV
作業服	織物製作業服で、基準となる組合せ着衣である。	0
つなぎ服	表面加工された綿を含む織物製	0
単層の SMS 不織布製のつなぎ服	SMS はポリプロピレンから不織布を製造する汎用的な手法である。	0
単層のポリオレフィン不織布製つなぎ服	ポリエチレンから特殊な方法で製造される布地	2
織物の衣服を二重に着用した場合	通常、作業服の上につなぎ服を着た状態。	3
つなぎ服の上に長袖ロング丈の不透湿性エプロンを着用した場合	巻付型エプロンの形状は化学薬剤の漏れから身体の前 面及び側面を保護するように設計されている。	4
フードなしの単層の不透湿つなぎ服	実際の効果は環境湿度に影響され、多くの場合、影響 はもっと小さくなる。	10
フードつき単層の不透湿つなぎ服	実際の効果は環境湿度に影響され、多くの場合、影響 はもっと小さくなる。	11
服の上に着たフードなし不透湿性のつなぎ服	—	12
フード	着衣組合せの種類やフードの素材を問わず、フード 付きの着衣を着用する場合。フードなしの組合せ着衣 の CAV に加算される。	+1

(4) 厚生労働省通達等

- ・ 平成 21 年 6 月 19 日基発第 06190001 号「職場における熱中症の予防について」にて、ACGIH-TLV の着衣補正值表が採用された。以降、「STOP！熱中症 クールワークキャンペーン」（平成 29 年度～令和 2 年度）や、「職場における熱中症予防対策マニュアル」でも採用。
- ・ 令和 3 年 4 月 20 日基発 0420 第 3 号「職場における熱中症予防基本対策要項の策定について」にて、JIS Z8504:2021 の着衣補正值表に置き換えられた。「STOP!熱中症 クールワークキャンペーン」ならびに「職場における熱中症対策マニュアル」については令和 3 年度版より採用。

3. 今後の展開

ISO 7243:2017 および JIS Z8504:2021 にて着衣補正值が示され、厚労省通達等でも用いられたことから、今後はこれが標準となっていくと思われるが、補正值については今後の研究結果によっては修正される可能性がある点、ならびに着衣の組み合わせについての具体的な例を示すことが必要と考えられる。

CAVに影響する着衣、環境要因に関して

○薩本弥生（横浜国立大学）

1. はじめに

暑熱環境での熱ストレスには環境の温湿度や輻射や人体の活動量や着衣量が影響することは周知のことである。労働現場の中には、液体、蒸気、熱、炎、化学物質、有毒ガスなど外部の有害物質から従事者を守るために気密性、密着性が高い防護服を着用することが必須である場合がある。ここで防護服に最も重要なのは防護機能性であるが、熱ストレスが大きすぎると着用者の生理的、精神的な負荷が増加し、作業効率が下がり、極端な合、重大な事故が生じる可能性もあるので着用者の快適性は作業能率や健康面を考える上で大事な要素である。着衣の熱ストレスを評価する指標として CAV

(Clothing Adjustment Value) が ISO7243 の中で提案され、JIS にも採用された。熱ストレスに最も左右する着衣素材の特性は、蒸発熱抵抗と熱抵抗であり、これらは主に着衣素材の物性と構造によって規定される。そこで CAV 値の算出方法や各種着衣における着衣の蒸発熱抵抗と CAV の関係、環境湿度や、代謝率、着衣の構造の影響について紹介する。さらに関連する医療用防護服に関する被験者実験やマネキンでの評価結果についても紹介する。

2. CAV に関する研究紹介

CAV に関連する論文として主に Bernard らの一連の研究^{1)~5)}や Kenny⁶⁾らの研究がある。ここでは Bernard 氏所属の University of South Florida (USF)の最近の研究 1)~5)を主に取り上げる。

2.1 CAV の算出方法

人の体温は中世温度域においては代謝も体温も一定で保たれることから、5 分毎に疑似安静を保ちつつ、温度あるいは湿度を上昇させ、体温の上昇し始める WBGTcrit. を決定する。Kenny ら⁶⁾は乾性放熱が無視できる環境温度 36℃で実験を行った。式(1)の体熱方程式で臨界条件では S が 0 になるため、熱平衡になった後、2 つの異なる条件で実験を行い (①環境温 Te を固定して環境水蒸気圧 Pa を 5 分ごとに 1Torr 上昇、②Pa 固定で Te を 5 分に 1℃上昇)、その連立方程式で算出した。USF のグループは湿度一定で Te を 5 分に 1℃上昇させる条件で実験を重ね、蓄積したデータから統計的に CAV を求めている。なお、記号の意味はここでは省略する。

$$\frac{(P_{sk}-P_a)}{R_{et}} = (M - W) + (C + E)_{res} + (T_{db} - T_{sk})/I_t \cdot S \cdots \cdots (1)$$

2.2 防護着衣の特性と CAV および CAV への相対湿度や代謝の影響

各種防護服着用時の熱ストレス評価のため、被験者実験が行われ、WBGTcrit. を決定し、CAV を算出した。さらに CAV への相対湿度の影響¹⁾や代謝²⁾の影響に関する研究がおこなわれた。比較された着衣は以下の条件である。

着衣 5 条件： 作業業服、綿つなぎ服、防塵つなぎ服 (Tyvek1424®)、

透湿防水つなぎ服 (Nexgen®)、不透湿つなぎ服 (Tychem QC®)

実験①¹⁾：着衣 5 条件と湿度の影響 (環境湿度：20%,50%,70%RH の 3 条件)、代謝 160W/m²で維持

実験②²⁾：代謝の影響を検討(軽い運動、中位の運動、重い運動で 115, 175, 250W/m²で比較

2.3 着衣の蒸発熱抵抗と CAV の関係

発汗マネキンによる安静時の蒸発熱抵抗 $R_{e,Ts}$ と被験者実験の動作時の見かけの蒸発熱抵抗： $R_{e,Ta}$ (ISO9920 記載)を算出し、CAV と $R_{e,Ts}$ 、 $R_{e,Ta}$ の関係を明らかにし、 $R_{e,Ts}$ から CAV を予測できるかを検証した。

2.4 二層防護服や陰圧呼吸器の有無が蒸発熱抵抗と CAV に及ぼす影響³⁾

実際の労働環境により近い環境として防護服の重ね着の効果と呼吸器の有無の効果明らかにするため、以下の 5 条件で比較した。①作業服、②TAP*¹エプロン*²+布製つなぎ+呼吸器、③織物つなぎ+パンツ*²+TAP エプロン*²+呼吸器、④防護つなぎ*²、⑤防護つなぎ*²呼吸器無。

※1：TAP（Toxicological Agent Protective）

※2：Tychem® F®製）

3. 結果

3.1 環境の相対湿度の影響

図 1 に各着衣の結果を示す。不透湿つなぎ服（TychemQC）のみ相対湿度により WBGTcrit. が影響を受けた。相対湿度が低いほど WBGTcrit. が低くなる傾向がみられた（図 1 参考）。

3.2 代謝率の影響

着衣と代謝レベルが WBGTcrit. に及ぼす効果を分散分析し、代謝により有意差があったが、着衣間および交互作用では差がなかった。図 2 から作業服、綿つなぎ服、粉塵防護服（Tyvek1427）が重なり、有意差がないことが視覚的に裏付けられた。代謝率が高くなると、各着衣の WBGTcrit. は減少することが明らかである。CAV は作業服を基準とした着衣の $\Delta WBGT_{crit}$ になる。TychemQC 以外は図 2 の傾きが一定なので代謝による影響を受けないことが明らかとなった。

3.3 着衣による CAV の比較

不織布つなぎ服の CAV を表 1 に示す。これまでのデータを元に統計的に算出した CAV は ACGIH に採用された値と USF の過去の研究データと一致していた。不織布衣類の熱ストレス指標として再現性が確認された。

3.4 蒸発熱抵抗と CAV の関係

図 3 に被験者実験で得られた見かけの蒸発熱抵抗 $R_{e,Ta}$ と CAV の関係を示す。対数関係が示され、見かけ蒸発熱抵抗が大きくなるほど、CAV が大きくなることが明らかとなった。一方、発汗マネキンで計測した蒸発熱抵抗 $R_{e,Ts}$ と CAV の関係は分布が偏っているため、 $R_{e,Ts}$ から CAV を予測できるかに関してはさらにデータの蓄積と検証が必要であることが明らかとなった。不透湿防護服で顕著に見かけ蒸発熱抵抗 $R_{e,Ts}$ が大きくなり、重労働で代謝が上がるほど見かけ蒸発熱抵抗 $R_{e,Ts}$ が小さくなった。これは代謝量をあげるためにトレッドミルでの運動を課しているが、その走行速度があがるためにポンピング効果による相対風速による抵抗の低減する効果が効いていることが考えられる。なお、発汗マネキンが環境と等温条件でない場合、着衣のみかけ蒸発放熱は重量法で求める真の蒸発放熱だけでなく濡れによる伝導や凝縮放熱などヒートパイプ効果が含まれることが Havenith らにより指摘されている⁷⁾（図 4 参照）。

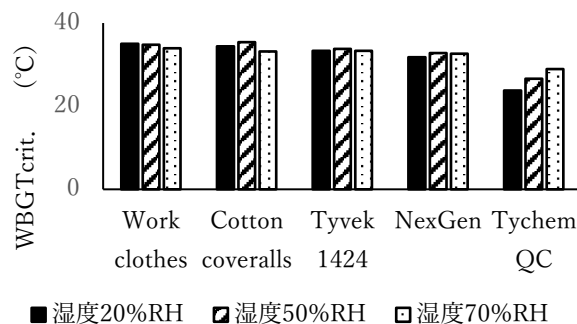


図 1 WBGTcrit. に環境湿度と着衣が及ぼす影響¹⁾

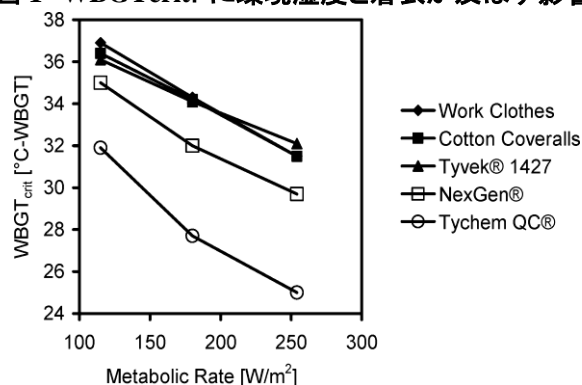


図 2 WBGTcrit. に代謝が及ぼす影響²⁾

表 1 CAV（①従来の研究のデータ、②ACGIH 採用の CAV、③リスク確率から算出した ΔTLV 、④ ΔTLV の作業服との差⁵⁾

組合せ着衣	CAV※1 USF	CAV※2 ACGIH	ΔTLV at $LN_{odd}=0$	作業服と の差
繊維物つなぎ	0	0	6.1	0
粉塵防護	0.7	1	5.6	0.5
透湿防水	2.2		4.2	2.0
不透湿平均	7.7		-0.8	6.9
不透湿 20%	11.4	11	-4.4	10.6
不透湿 50%	7.8		-0.4	6.5
不透湿 70%	5.4		1.2	5.0

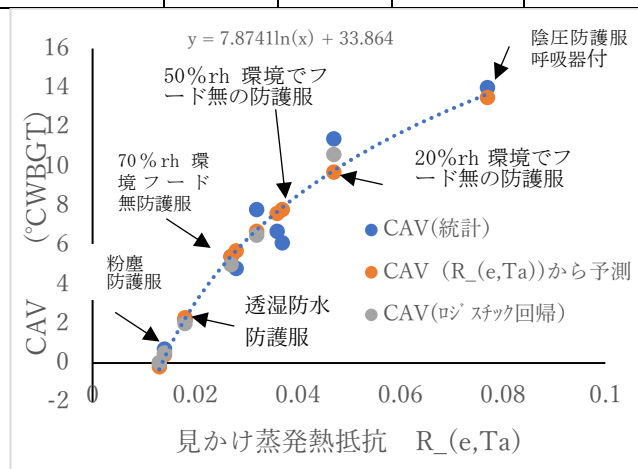


図 3 見かけ蒸発熱抵抗と CAV の関係³⁾

3.5 重ね着や陰圧呼吸器が CAV に及ぼす影響

二層以上の重ね着をした防護服の見かけの蒸発熱抵抗と WBGTcrit および CAV の関係を図 5 に示す。エプロン、エプロン+パンツ、防護つなぎの順に見かけ蒸発熱抵抗 Re_{Ta} が大きくなり、それと比例して WBGTcrit が低下した。呼吸器の有無による差はほとんどなく、呼吸器は熱ストレスに寄与していないと示唆された。

フードによる CAV の増加は 1 で素材の抵抗ではなくつつなぎ服とつながっていることで空気の流動が生じにくくなることに寄与すると考えられた。

4. 考 察

防護服は外部の刺激として防護する対象により密閉度や通気性、透湿性に関する特性が異なる。本発表で取り上げた防護服は粉塵、防水、生物・化学物質からの防護目的の不織布つつなぎ服でデザインは同一で被覆面積が大きく密閉度が大きいものを中心に評価した。その範囲では臨界となる WBGTcrit は透湿性が小さいものほど値が低くなり、逆に着衣の熱ストレス指標である CAV (Clothing Adjustment Value) は透湿性が小さいほど大きくなった。すなわち、CAV は素材の蒸発熱抵抗と相関が高かった。発汗マネキンによる安静時の蒸発熱抵抗 Re_{Ts} から CAV を予測できるかを検証したところ、静的な蒸発熱抵抗は差が小さく、 $0.015\text{kPa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ 以下の抵抗が比較的低い素材では予測可能であるが、それ以上に拡張するにはさらなるデータの蓄積が必要である。被験者実験による見かけの蒸発熱抵抗は CAV と相関が高かった。運動による蒸発熱抵抗の現象には運動による着衣の濡れによる熱伝導や凝縮などの影響があると考えられる。織物つつなぎと粉塵防護服は比較対象である作業服と WBGTcrit は差が小さく、CAV は 0.5 とみなされた。透湿防水防護服の CAV が 2、不透湿防護服では環境の相対湿度が影響し、低湿で CAV が大きくなる傾向がみられた。最大で 10.6 であった。

講演会では内田氏らの感染防護服着用時の生理・心理反応に関する研究結果⁸⁾も紹介し、通気性・透湿性が着用者にどのような影響を与えるかを快適性の観点から示す予定である。

参考文献

- 1) WBGT Clothing Adjustments for Four Clothing Ensembles Under Three Relative Humidity Levels, T. E. Bernard ; C. L. Luecke ; S. K. Schwartz ; K. S. Kirkland ; C. D. Ashley , a College of Public Health, University of South Florida, J. Occupational and Environmental Hygiene ,251(2005)
- 2) WBGT clothing adjustment factors for four clothing ensembles and the effects of metabolic demands. Bernard, T.E., V. Caravello, S.W. Schwartz, and C.D. Ashley J. *Occup. Environ. Hyg.* 5(1):1-5 (2008).
- 3) Heat Stress Evaluation of Two-layer Chemical Demilitarization Ensembles with a Full Face negative pressure respirator, O.M. Fletcher, R. Guerrina, C.D. Ashley, T.E. Bernard, Industrial health, 52,304-312(2014)
- 4) Prediction of WBGT-based clothing adjustment values from evaporative resistance, T.E. Bernard, et al Industrial Health , 2017, 55,549-554(2017)
- 5) Heat stress risk profiles for three non-woven coveralls, X.P. Garzon-Villalba, Y. Wu, C.D. Ashley, T.E. Bernard, J. Occu. Env. Hygiene, 1581,80-85(2018)
- 6) Simultaneous derivation of clothing -specific heat exchange coefficients, W.L. Kenney, D. J. Mikita, G. Havenith, S.M. Puhl, P. Crosby, Official J. American College of Sports Medicine,283-289(1993).
- 7) Apparent latent heat of evaporation from clothing: attenuation and “heat pipe” effects , G. Havenith et al , J. Appl. Physiol. 104,142-149(2008)
- 8) 感染防護服着用時の生理・心理反応に関する研究, 内田 幸子, 小柴 朋子, 傳法谷 郁乃, 田辺 文憲, 荒川 創一, 森本 美智子繊維製品消費科学 62(1), 44-53(2021)

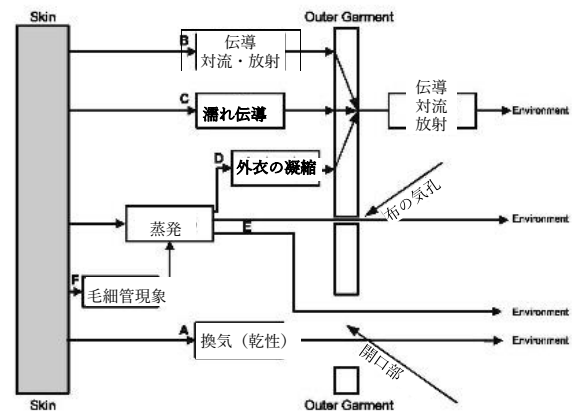


図 4 皮膚が濡れた時の熱移動の経路の模式図⁷⁾

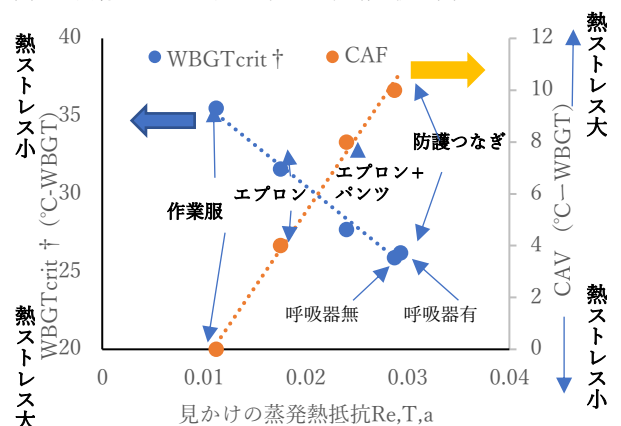


図 5 二層防護服の見かけ蒸発熱抵抗と WBGTcrit と CAV⁹⁾

防護服の素材、試験方法、規格など周辺情報の紹介

素材の製法から、国際規格の比較まで

○熊谷慎介（アゼアス株式会社）

1. はじめに

防護服は製造業、電気業、プラント補修工事など様々な労働現場で使用されている。昨今の COVID-19 感染対策においても、毎日のようにガウンやつなぎ服を着用した医療従事者の姿が報道されている。防護服の着用目的は、有害性のある物質がもたらす健康へのリスクを低減させることである一方、密閉性の高さは快適性を損なうため、夏季等の暑熱環境では特に注意が必要である。厚生労働省より発行されているクールワークキャンペーン（令和 3 年 4 月 30 日改正）では、衣類の組み合わせに応じて WBGT 値に加えるべき補正值として、JIS Z 8504 の附属書 F（以下附属書 F）が引用されている。

この附属書 F には、作業服から、ポリオレフィン不織布製のつなぎ服や、不透湿つなぎ服などの組み合わせと、着衣補正值（以下 CAV）が例示されているが、ユーザーが入手できる製品との対応関係が見えにくいため、本発表にてその関係を探りたい。当社は 1970 年代から不織布製防護服の事業を行っており、これまで得た情報から、附属書 F に関連のある、防護服に使用される素材のバリエーション、透湿性などの試験方法などを紹介したい。

2. 方 法

附属書 F には不織布の種類について言及があり、また海外文献の中に CAV の報告がある。それらの中で使われている用語から、市場に流通している防護服の種類との関連を検討する。

3. 結 果

附属書 F に記載の「SMS 製」、「ポリオレフィン製の不織布」、「単層の不透湿つなぎ服」に使用されている布について、素材の拡大図や透湿性能の評価方法などを調査した。着用時の暑熱ストレスを左右する要因の一つとして、布がどの程度水蒸気を通させるかという透湿性が挙げられるため、透湿性に関する 3 種類の評価方法を紹介した。また防護服の規格は、海外の規格を翻訳、修正したものが多いため、海外の資料の中で使われている用語とその背景情報を紹介した。

4. 考 察

ISO7243 の表記には、「Vapour-barrier coveralls」という用語が使われているが、近い表現に「NFPA1991 Standard on Vapor-Protective Ensembles for Hazardous Materials Emergencies」（NFPA：全米防火協会）がある。NFPA1991 のような化学防護服には、液体浸透や水蒸気の通過からの防護というレベルから、さらに厳しい分子レベルの物質の通過を測定する透過試験が課される。そのため参考情報として耐透過性試験について紹介した。

暑熱環境での作業性を向上させるには、透湿性、通気性、軽さ、動きやすさの点を向上させることが求められるが、現状ではそれらの機能は防護性能とトレードオフの関係にある。供給者として、クールワークキャンペーンなどの通達が正しく運用されるよう、防護服の機能や特徴を正しく伝えるよう努めたい。