

科学研究費助成事業 研究成果報告書



令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号： 5 5 5 0 3

研究種目： 奨励研究

研究期間： 2020 ~ 2020

課題番号： 2 0 H 0 0 8 6 9

研究課題名 熱中症に関する安全教育の教材としての暑熱環境測定・警告システムの開発

研究代表者

安立 隆陽 (ADACHI, Takahiro)

徳山工業高等専門学校・教育研究支援センター・技術職員

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 290,000 円

研究成果の概要：本研究では気温・湿度・WBGT値を測定・記録するとともにWBGT値に応じて段階的に熱中症のリスクを示す警告灯を点灯させる装置を製作した。これを用いて高専の実習工場での実習において熱中症に関する安全教育を行い、教育効果を検証した。当初計画は夏季の実習において警告表示に応じた熱中症対策の実践と座学を行う予定だったが、新型コロナウイルス感染症の影響により夏季の実習が冬季に変更になったため、夏季の測定データを用いた座学を行った。警告表示による効果と座学の効果を分離した検証は不十分だったものの、安全教育の前後で行った熱中症に関する知識調査では工場での作業特性をふまえた知識の増加がみられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高専の卒業生は製造業や建設業に就職する人数が多く、同時に、これらの業種は熱中症のリスクが特に高い業種である。そのため、学生に対する安全教育の中で熱中症に関する教育を行うことは、技術者を育成する高専教育として労働災害の防止やリスク管理のできる技術者を育てる点で社会的意義がある。本研究の成果では、高専の1年生の時点では熱中症に関する知識はあるものの工場での作業特性をふまえた熱中症の要因や対策についての知識は不足していることを示した。そして、安全教育を通してこれらの知識が増加することにつながった。

研究分野： 計測工学

キーワード： 熱中症 安全教育 高専教育 工場実習

1. 研究の目的

本研究の目的は、高専の工場実習における熱中症に関する安全教育に利用できる教材として WBGT 値の測定および熱中症リスクの警告を行う装置を開発するとともに、本装置を利用した熱中症に関する安全教育の教育効果を検証することである。

この装置は温度、湿度を測定し WBGT 値を推定する。長期間の計測的な測定にあたり測定者の負担を軽減するために、これらを自動で測定・記録できる機能を持たせる。そして、工場内や屋外のように装置が遠方にある場合にも視認性の良い警告表示機能を搭載する。

また、熱中症を含む労働災害の防止には適切な知識と客観的な指標に基づくリスク管理が重要であることから、座学により熱中症に関する知識教育を行うとともに、工場実習中にこの装置を利用し、警告段階に応じた熱中症対策を学生に実践させ、客観的指標に基づくリスク管理を体験させる。そして、年間を通じた工場実習の前後で熱中症に関する知識のテストや意識調査を行うことで教育効果を検証する。

以上のように、温度・湿度・WBGT 値の自動測定及び記録を行い、熱中症リスクの警告を行う装置を開発すること、ならびに、この装置を用いた安全教育を行い、高専の工場実習における熱中症に関する安全教育のための教材としての効果を検証することが本研究の目的である。

2. 研究成果

(1) 測定装置の構成と動作

測定装置は Arduino Uno R3 を使って制御しており、一定時間ごとに温湿度センサ（SHT31 使用高精度温湿度センサモジュールキット、秋月電子通商）の温度および湿度の測定値を取得する。そして、取得した温度と湿度から WBGT 値を推定し、WBGT 値に応じて警告用 LED を点灯させる。同時に、測定した温度および湿度ならびに推定した WBGT 値は、測定開始からの経過時間とともにマイクロ SD カードに記録される。記録されるデータは txt 形式で保存され、データ容量は測定 1 回あたり数値のみで約 50 バイト、項目名等の説明を含む場合は測定 1 回あたり約 100 バイトであるためデータ量は少なく、長期間の測定が可能である。

また、WBGT 値の推定にあたっては、環境省の熱中症予防情報サイト[1]で使用されている小野ら（2014）[2]の式を利用した。この式は、

$$\begin{aligned} \text{WBGT} = & 0.735 \times Ta + 0.0374 \times RH + 0.00292 \times Ta \times RH \\ & + 7.619 \times SR - 4.557 \times SR^2 - 0.0572 \times WS - 4.064 \end{aligned} \quad (1)$$

となっており、Ta は気温（℃）、RH は相対湿度（%）、SR は全天日射量（kW/m²）、WS は平均風速（m/s）である。ここで、本研究では本校の実習工場内において測定を行うことから、測定場所が屋内となるため SR=0 とし、本校の実習工場は立地的に風の通りが悪いことから WS=0 とし、測定した温度と湿度から WBGT 値を推定した。

そして、推定した WBGT 値にもとづき警告灯として点灯させる LED は、点灯段階を 4 段階とした。閾値は環境省と厚生労働省が利用している熱中症予防指針[3]にもとづいて設定し、WBGT 値が 25 未満（注意：緑色点灯）、25 以上-28 未満（警戒：黄色点灯）、28 以上-31 未満（厳重警戒：赤色点灯）、31 以上（危険：赤色点滅）とした。

(2) 学生への安全教育の実施

当初の計画では、夏季の工場実習において作業中に熱中症対策の実践を行い、同時に座学として厚生労働省の資料にもとづいて工場作業における熱中症の要因と対策方法についての説明を行う予定であった。しかし、新型コロナウイルス感染症の影響により登校制限・授業変更が行われたことから、実施時期が 10 月から 12 月となった。10 月以降の実習工場内の WBGT 値は常に 25 未満となったため、座学の中で夏季の実習工場内の測定結果を示しながら安全教育を行うこととした。

(3) 熱中症に関する知識調査

安全教育の前後において、学生の熱中症に関する知識調査を行った。調査項目を表 1、表 2 に示す。調査対象は本校の機械電気工学科の 1 年次生であり、事前調査の回答人数は 46 人、事後調査の回答人数は 36 人である。回答人数が違う理由は、実習は 5 班 5 ショップに分かれて順番に実施しており筆者の担当するショップ内で安全教育を実施したが、授業計画の都合から 4 班が終了した時点で事後調査を行うこととなり、1 班分の事後調査ができなかったためである。

事前調査では、問 1 の回答では熱中症について聞いたことがある学生が 9 割以上、問 3 の回答では小学校または中学校で習ったことのある学生が全体の 7 割という結果であった。一方で、問 2 の回答では WBGT 値について 8 割以上の学生が知らなかった。また、問 3, 4, 5, 6 の回答から、気温や直射日光に言及した学生が多いこと、かつ、小中学校以外では部活やスポーツクラブで

教わったという回答が多くみられたこと、更に、服装についての言及がなかったことから、服装が軽装となる屋外での運動における熱中症について学んだ学生が多いと思われる。そこで、座学では次の4点を重視して説明を行った。

- ・熱中症の要因として環境（気温、湿度、日射・輻射熱、風）・肉体的負荷・服装・個人要因（睡眠不足、朝食を抜くなど）があること。
- ・WBGT 値が熱中症リスクの客観的な指標として役立つこと。
- ・工場での作業は室内、かつ、作業服や保護具を重ね着するという特性があることから直射日光や風の影響は小さく、服装の影響が大きいこと。
- ・気温が低い場合でも湿度が高いときは熱中症になりやすいこと。

最後に、各班に安全教育を実施した後1か月から3か月経過後に一斉に事後調査を行った。事後調査では、湿度に言及する学生が増え、服装についても作業服や保護具の重ね着について言及した学生が全体の半分以上となった。問1において1番をつけたショップは溶接が最も多く、この理由として服装のほかに溶接時の熱を挙げた学生もいた。一方で、5番を付けた人数が最も多いのは電子工作だったが、次点がフライス盤となった。厚生労働省の資料では作業内容によるもののフライス盤は比較的高い代謝率となっているため齟齬が生じている。フライス盤に5番をつけた理由として、座っていたため楽だったことが書かれており、実習ではフライス盤の台数が学生9人に対して2台しかないため座って待つ時間が長くなったことが齟齬の原因と考えられる。安全教育を通じて学生の知識の向上が見られた一方で、フライス盤のように企業の現場における作業実態と実習における状況が異なるものについては座学によりフォローを行う必要があることがわかった。また、今回は夏季の実習ができなかったことから、座学の効果と警告装置の効果を分離して検証することが不十分であった。警告の有無で水を飲む回数などの熱中症対策の行動に違いがあるか検証することが今後の課題である。

表1 知識調査の項目（事前調査・選択肢および自由記述）

問1	「熱中症」という名前を聞いたことがありますか？ ☐ ない ☐ ある
問2	熱中症に関連して「WBGT 値」という名前を聞いたことがありますか？ ☐ ない ☐ ある
問3	熱中症の症状、予防方法、対処方法について習ったり調べたりしたことがありますか？該当するものをすべてチェックしてください。 ☐ 学校で習ったことがある （いつ習いましたか： ☐ 小学校 ☐ 中学校 ☐ 高専 ☐ その他（ ）） ☐ 学校以外で習ったことがある（どこで習いましたか： ） ☐ 自分で調べたことがある（どうやって調べましたか： ） ☐ 人に聞いたことがある（誰に聞きましたか： ） ☐ その他（ ）
問4	どんなときに熱中症になりやすいか、知っていることがあれば書いてください。
問5	熱中症の予防方法について、知っていることがあれば書いてください。
問6	熱中症になったときの応急処置や対処方法について知っていることがあれば書いてください。

表2 知識調査の項目（事後調査・選択肢および自由記述）

問1	実習のショップの中で、熱中症になりやすいと思う順に1～5の番号を書いてください。1：熱中症になりやすい（危険だと思う者）、5：熱中症になりにくいもの（安全だと思うもの） （ ）旋盤 （ ）フライス盤 （ ）溶接 （ ）手仕上げ （ ）電子工作
問2	問1で1番をつけたショップについて、熱中症になりやすいと思った理由（危険だと思った理由）を教えてください。
問3	問1で5番をつけたショップについて、熱中症になりにくいと思った理由（安全だと思った理由）を教えてください。
問4	どんなときに熱中症になりやすいか、知っていることがあれば教えてください。

参考文献

- [1] 環境省熱中症予防情報サイト（<https://www.wbgt.env.go.jp/>）
- [2] 小野雅司，登内道彦：通常観測気象要素を用いた WBGT（湿球黒球温度）の推定，日本生気象学会，50(4)，147-157，2014.
- [3] 日本生気象学会：日常生活における熱中症予防指針 Ver.3，2014.
（<http://seikishou.jp/content/files/news/shishin.pdf>）

主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1．発表者名 安立隆陽
2．発表標題 実習工場での授業における熱中症に関する安全教育の実施
3．学会等名 総合技術研究会2021東北大学
4．発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

研究組織（研究協力者）

氏名	ローマ字氏名
----	--------