

WBGT 早見表の数式化 ～マイコンを用いた簡易 WBGT 計の試作～

1. はじめに

近年、夏季の高温化に伴い、工場や作業現場、試験室などにおける熱中症対策の重要性が高まっています。熱中症リスクの指標として広く利用されているものに WBGT（暑さ指数）があります。WBGT は日本生気象学会などが公開している早見表¹⁾によって簡単に求めることができますが、温度や湿度が変化するたびに表を参照する必要があります。

そこで今回は、WBGT 早見表の値を数式として近似し、マイコンで計測した温度と湿度から数式を使って自動計算する簡易 WBGT 計を試作しました。

2. WBGT とは

WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) は「暑さ指数」とも呼ばれ、熱中症予防のために用いられる指標で、気温、湿度、放射熱（日射など）、風の影響を考慮して算出されます。正式な WBGT 測定には専用のセンサが必要ですが、室内においては、温度と湿度から WBGT を近似的に求める早見表¹⁾も利用されています。この早見表を用いることにより、例えば、室温 30°C、湿度 50%における WBGT は 26°Cなどと求めることができます。

早見表は便利ですが、マイコンで利用するためには計算式として表現した方が扱いやすくなります。

3. 早見表の数式化

マイコンでは早見表をそのまま保持することも可能ですが、計算式として表現できればメモリ使用量を削減でき、温度や湿度が表にない値であっても WBGT を算出することができます。そこで、文献¹⁾の早見表の値を CSV データ化し、Python を用いて近似式を求めました。近似式は次の 2 次式としました。

$$\text{WBGT} = aT + bR_H + cR_H + dT^2 + eR_H^2 + f \quad (1)$$

ここに

T : 気温 (°C)

R_H : 相対湿度 (%)

で、 $a \sim f$ は求める係数です。計算の結果、次の近似式が得られました。

$$\text{WBGT} = 0.647T + 0.0331R_H + 0.00367TR_H + 0.000673T^2 + 0.000024R_H^2 - 1.402 \quad (2)$$

式(2)から算出した WBGT と、文献¹⁾の早見表との誤差を評価しました。その結果

RMSE : 0.294°C

最大誤差 : 1.333°C

平均誤差 : 0.0°C

となりました。

また、表 1 に、早見表と式(2)から得られた WBGT を比較した結果を示しました。いずれの気温、湿度においても早見表との差は 1°C未満であり、良好に近似できていることが分かります。これらの結果と、使用した温湿度センサの測定誤差（温度±0.1° C，湿度±1.5%）を考慮すると、式(2)を早見表の代わりに用いることは問題なさそうです。

表 1 早見表と式(2)による WBGT の比較結果

気温 (°C)	湿度 (%)	WBGT (°C)	
		早見表	式(2)
30	50	26	25.8
33	60	30	30.0
35	70	33	33.5

次に、得られた近似式(2)をマイコンに実装して WBGT 計を作成します。

5. マイコンを用いた簡易 WBGT 計

式(2)を M5Go というマイコンに実装し、M5Go に接続した環境センサ (M5Stack 用温湿度気圧センサユニット Ver.4) で測定した温度・湿度から WBGT を計算するプログラムを作成しました。

ここで、今回使用した M5Go は、ESP32 を搭載したマイコンで

- ・カラーLCD を搭載
- ・リチウムイオンバッテリーを内蔵
- ・Wi-Fi および Bluetooth 通信に対応
- ・センサ類を Grove コネクタで簡単に接続可能

といった特徴があります。通常、マイコンで計測システムを構築する場合は、表示器や電源回路を個別に用意する必要がありますが、M5Go は表示器やバッテリーを搭載しており、センサを接続するだけで比較的容易に計測システムを構築できます。今回使用した環境センサも Grove コネクタというコネクタを介して M5Go と接続でき、はんだ付けは不要です。

今回、作成したプログラムでは

- ・環境センサから温度と湿度を取得
- ・近似式により WBGT を計算

- ・LCDへ温度、湿度、WBGTを表示

という処理を行っています。作成した簡易 WBGT 計は M5Go の内蔵バッテリーで動作するため、試験室や作業現場などへ持ち運んで利用することも可能です。作成した簡易 WBGT 計を図 1 に示します。画面には、温度、湿度、WBGTを表示しています。M5Goと各種センサはM5GOIoTスターターキットという名前で販売されており、価格は令和8年6月1日現在で14,000円ほどです（購入先により価格は異なります。）。

なお、今回の試作では、熱中症警戒レベルや作業可否の判定は表示していません。その理由は、熱中症リスクは WBGT だけでは決まらず、作業内容、作業時間、暑熱順化の状況、着衣条件、年齢や体調などの影響も受けるためです。そのため、本試作機は環境状態を把握するための参考情報として WBGT 値を表示することを目的としています。

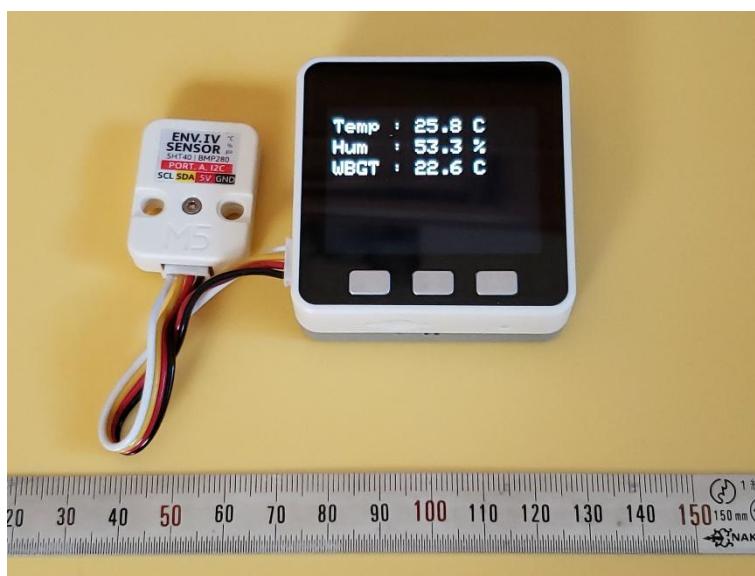


図1 試作した簡易 WBGT 計

6. おわりに

今回は、WBGT 早見表の値を近似式として表現し、M5Go を用いた簡易 WBGT 計を試作しました。比較的安価な機材で温度と湿度を測定し、WBGT を自動計算できることを確認するとともに、表形式のデータを数式化してマイコンに組み込み実装する方法を体験することができました。

また、本試作を通して、温湿度センサによる計測、Python によるデータ解析、マイコンへの実装という一連の流れを比較的容易に実現できることが分かりました。

今回使用したプログラムは数十行程度であり、マイコン初心者でも比較的容易に実装できます。また、本試作を応用することで、温湿度データの記録やネットワーク経由での監視などへ発展させることも可能です。

近年、IoT や DX への関心が高まっていますが、その第一歩として、このような身近なセンサを活用した計測システムの試作は有効な方法の一つと考えられます。今回紹介した手法は熱中症

対策に限らず、温湿度や振動、照度などの各種センサを用いた環境モニタリングや IoT システムの試作にも応用できます。興味のある方は、ぜひ挑戦してみてくださいはいかがでしょうか。

参考文献

- 1) 日本生気象学会、日常生活における熱中症予防指針 Ver.3 確定版、<https://seikishou.jp/cms/wp-content/files/news/shishin.pdf>

問い合わせ：新潟県工業技術総合研究所
技術統括センター 斎藤 雄治
TEL：025-247-1320