

ワンチップマイコン搭載型無線モジュールを用いた「情報システム」を理解するための熱中症予防システムの開発

篠崎 健一*・高藤 清美**

Development of a heat stroke prevention system for understanding
“information systems” based on a wireless module
with a one-chip microcomputer

Kenichi SHINOZAKI * and Kiyomi TAKATO **

抄 録

高等学校学習指導要領 情報編で示している「第6節 情報システムのプログラミング」の中では、情報システムのプログラミングに関する知識と技術を身に付け、課題を発見し解決する力を養うことを重視している。

そこで、本研究では、社会的問題の一つである「熱中症対策」に焦点を絞り、外出者の位置情報や周辺の気象状況を自動的に記録し、暑さ指数等を視覚的に確認しながら、注意喚起・危険度を通知できる「情報システム」を模倣した教材を開発した。本編では、その機能・仕組み及び試行実践の教育的結果を報告する。

キーワード：情報システム、情報教育、工業教育、プログラミング、ESP32

1. はじめに

生徒がよく利用する SNS やオンラインゲームは、表面上は違って見えるが、どちらも実体は「情報システム」であり、「コンピュータを中心とする情報を処理する機器と、情報を伝達するネットワークを組合わせて、様々なサービスや機器を提供するシステム」と定義している¹⁾。

このように、情報システムとは、単独で動作す

るもので無く、他の要素と有機的な繋がりを持ち、協調してより良い目標を目指す、重要な要素である。

文部科学省 高等学校学習指導要領 情報編で示している「第6節 情報システムのプログラミング」の中では、情報システムのプログラミングに関する知識と技術を身に付け、課題を発見し解決する力を養うことを重視している。

これらを踏まえ、高等学校では、情報システム

* 茨城県立土浦工業高等学校、Ibaraki Prefectural Tsuchiura Technical High School

** 日本国際学園大学 経営情報学部、Japan International University

を日々利用する生徒たちに、その仕組みを理解させるためのプログラミング教育を実施してきたが、その中核となるソフトウェアやサーバ、情報機器の動作を見ることは困難なため、授業の中で情報システムを理解させることは容易ではなかった。

そこで、国近らは、ソフトウェア開発のサイクルを繰り返すことで、情報システムに関するプログラミングについての動機づけに有意性がみられた²⁾。間近らは、情報システムの仕組みを理解させるために、プログラミングの導入についてドリル、そして情報システムの構築ではJavaScriptとPHPを連携して、授業実践することで、情報システムに関するプログラミングの役割と学ぶ意義を理解させることができたと報告している³⁾。これらの研究は、いずれも情報システムの対象を限定せずに一般性のある方法論のプログラミング教育に焦点を充ててきた。

しかし、文部科学省が示す、学習指導要領「高等学校学習指導要領解説（情報編）の「情報Ⅱ」では、情報科で行うプログラミングのQ&Aの中で、その具体例として、「高齢者の状況を見守るために異常があれば遠く離れた子供の携帯情報端末にメッセージを届けるシステムを通して、状況を見守るためのセンサ部分、異常かどうかを判断する部分、携帯情報端末にメッセージを届ける部分などのモジュールに分割すること、これを統合してシステムとして稼働させるなど」などと指摘している。

これに対し、最近の社会的課題として気候変動の問題がある。その中で生活する人の身体への影響も大きく、暑熱障害による急性循環器疾患のリスクが年々高まっている⁴⁾。これより、夏場の工事現場や工場室内における勤務、高齢者の徘徊問題、朝のジョギングや日中の買い物など、あらゆる場面において、熱中症被害の危険が潜んでいる。例えば、建設現場における作業員の身体情報を遠隔監視しながら、注意喚起を促すシステム^{5),6)}や学校管理では、生徒の身の安全を守る監視システム⁷⁾など、身近

なものがインターネットに接続し、健康管理を行う情報システムが徐々に普及してきた。

このように、実用されている情報システムは、多くのものにセンサーが内蔵されて、収集したデータや情報を無線通信技術などでネットワークを通してクラウドに送り、サーバ側で、付加価値の高い情報やサービスを提供している。こうすることで、様々な社会的課題の解決に繋げている。

そこで、本研究では、社会的問題の一つである「熱中症対策」に焦点を絞り、人間の行動支援を目的として、外出者の位置情報や周辺の気象状況を自動的に記録し、暑さ指数等を視覚的に確認しながら、緊急時には、本人やそのご家族に、注意喚起・危険度を通知できる情報システムを模倣した教材を開発した。

このような「情報システム」について社会的な事例を取り上げて学習できる制御教材に関する論文は他には見当たらなかった。

そこで、本編では、本教材の機能や仕組み及び試行実践の結果を報告する。

2. 熱中症予防システム

本教材は、無線モジュールであるESP-WROOM-32を制御装置として適用した学習教材である。

本機能は、(1) 熱中症予測・警告、(2) 忘れ物防止・通知、(3) 移動物体・確認の3機能で構成した。

(1)の選定理由は、熱中症には様々な症状がある。そのため、頭痛や倦怠感を感じている場合、熱中症の初期症状に気づきづらい。(2)は、我々が外出するとき、気候によっては熱中症や脱水症の予防策として飲料水（水分補給）等を持参する。(3)については、位置情報を得るためであり、この3機能は不可欠だと判断した。

2.1 開発環境

教材の開発にあたり、公立学校では、教育

助成金は減少傾向にあり十分な資金を確保して教材開発に使用できる予算の確保は難しい。そこで、本研究では、予算を出来るだけ掛けずに、学校に眠る開発環境、電子部品等を有効活用して開発することにした(表1)。

表1 開発環境

ハードウェア	ESP-WROOM-32 ・ 温湿度気圧センサ (BME280) ・ GPSモジュール (GT-U7) ・ 心拍センサ (Pulse Sensor Amped) ・ Groveシリアルカメラ ・ 圧電アクチュエーター ・ 圧力センサ (FSR402) ・ ホールセンサ (ANMBEST_JPM117)
ソフトウェア	・ Arduino IDE ・ Arduino Core for ESP32 ・ Kotlin (Java) ・ Android Studio ・ Open Weather Map

2.2 熱中症予測・警告機能

本機能は、ウォーキングをしたり、外出する時に、体に取り付けるタイプの計測装置である(図1)。

装置には、GPS、心拍センサ、湿度センサが装着されており、各センサ類から周囲の気象情報を読み取り、温度・湿度から熱中症危険度の指標である WBGT を求め、危険度ごとの警告を装着者やその家族にメールで位置情報を通知するというものである。

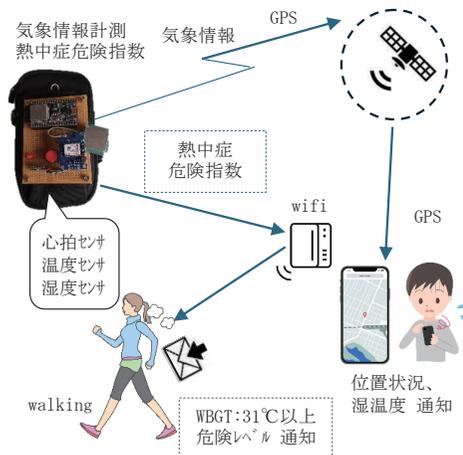


図1 機能概要

2.2.1 ハードウェア構成

本教材(図2)には、センサ類の他に動作確認用の赤色 LED が1個と、入力用のタクトスイッチが搭載されている。また、移動することを前提としているため、アームバンドに取り付けるタイプとした。

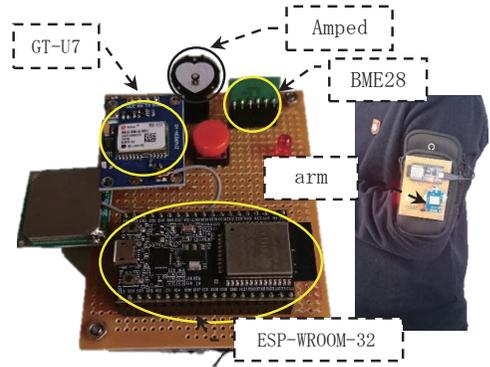


図2 ハードウェア外観

2.2.2 使用電子部品

ESP-WROOM-32とは、Espressif Systems社が開発したWi-FiとBluetoothを内蔵する低コスト、低消費電力なマイクロコントローラを搭載した小型の無線モジュールであり、中心的な役割を行う装置である。

GT-U7とは、高感度、低消費電力であり非常に高いトラッキング感度を有したGPSモジュールである。動作電圧が3V~5Vのため本システムでは5Vを電源に使用した。

GT-U7からの出力はシリアル通信を使用しているため、ESP32が持つ3つのUARTの一つであるUART2を利用した。

Ampedとは、光学式の心拍センサであり血流の流れを光の反射量から血中のヘモグロビン量の変化から求めることで、脈拍値を計測する。本機能では、熱中症になると脈拍数が増えることから、緊急時の判断方法とした。この値をメールにて通知する。

BME280とは、単体で温度・湿度・気圧の3種類の環境情報を取得可能なセンサである。本機能では入力信号が少なく済むためI2C通信を採用した。

2.2.3 ソフトウェア構成

熱中症の予測の方法は、WBGTを用いた。WBGTとは、熱中症を予防することを目的とし、米国で提案された指標である。単位は摂氏(℃)であり、気温、湿度、日射・輻射熱の3要素を取り入れ、『蒸し暑さ』を1つの単位で総合的に表したものである。人体と外気との熱収支に着目し、人が受ける暑熱環境による熱ストレスの評価の批評であり、WBGTを温度指標に採用し、温度指標を4段階に分類している(表2)。

WBGTでは、自然湿球温度と黒球温度を測定し、さらに屋外で太陽照射のある場合は、乾球温度を測定し、それぞれの測定値を基に計算を行う。自然湿球温度とは、強制通風することなく、輻射熱を防ぐための球部の囲いをしない環境に置かれた濡れガーゼで覆った温度計が示す値である。黒球温度とは、(1)直径が150mmであること(2)平均放射率が0.95(つや消し黒色球)であること(3)厚さが出来るだけ薄いこと、この3つの特性を持つ中空黒球の中心に位置する温度計が示す値である。乾球温度とは、周囲の通風を妨げない状態で、輻射熱による影響を受けないように球部を囲って測定された乾球温度計が示す値のことである。

表2 ISO WBGT

暑さ指数(WBGT)	レベル
31℃以上	危険
28～31℃	嚴重警戒
25～28℃	警戒
25℃未満	注意

表3 日本気象学会 日常生活に関する指数

気温	暑さ指数(WBGT)	レベル
35℃以上	31℃以上:	運動は原則中止
31～35℃	28～31℃:	嚴重注意 (激しい運動は中止)
28～31℃	25～28℃	警戒 (積極的に休憩)
24～28℃	21～25℃	注意 (積極的に水分補給)
24℃未満	21℃未満	ほぼ安全 (適宜水分補給)

算出式は、屋外の場合、

$$WBGT=0.7* 湿球温度 +0.2* 黒球温度 +0.1* 乾球温度 \dots \dots (a)$$

としている。

そこで、日本気象学会の「日常生活に関する指針」の運動時における指針を基準に、5段階評価を採用することにした(表3)。熱中症危険度を測定する際、①湿度、②日射・輻射など周辺の熱環境、③気温の3つのデータを測定する必要があるが、一般的なセンサでは、②の日射・輻射などの周辺の熱環境を測定することができないため、日本気象学会から示されている近似式である、

$$WBGT= (湿度 -20) * ((気温 -40) ^2 * (-0.00025) +0.185) +11/15* (気温 -25) +17.8 \dots \dots (b)$$

以上の算出式(b)を適用し、制御プログラムを作成した。BME280で計測後、この近似式を用いてWBGTへ変換し、5段階の熱中症危険度で表示する。

メール送信は、システム起動時やタクトスイッチを押した時に、熱中症の危険度を通知する。メール送信はESP32のHTTPSクライアントライブラリを利用して、SMTPで送信するという流れである(図3)。



図3 メール通知結果(危険度通知)

2.3 忘れ物防止・通知機能

我々が、外出するとき、熱中症や脱水症の予防として飲料水（水分補給）を持参したり、また、感染症防止のためマスク等を持参する。そこで、忘れ物を防止・予防するための機能を作成した（図4）。

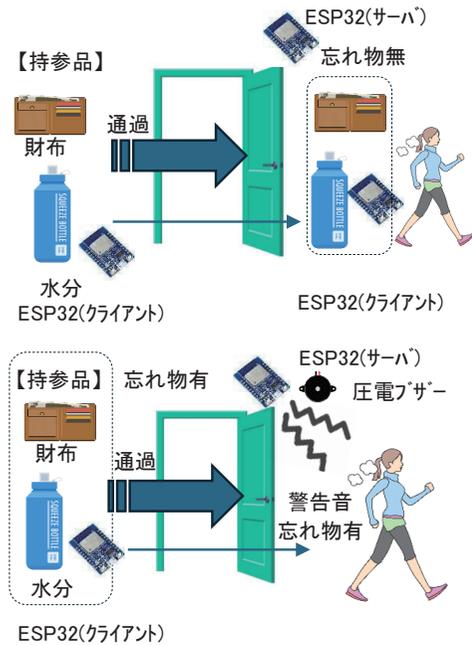


図4 機能概要

2.3.1 ハードウェア構成

本機能の特徴は、無線モジュール ESP32 を 2 つ用意し、1 つの ESP32 をサーバ用、もう 1 つはクライアント用と位置付け、常時、Bluetooth で相互通信しながら、互いの存在を確認するという仕組みである。

2.3.2 クライアント側 ESP32

クライアント側には、圧力センサによって重さを取得する。この圧力センサ上に重量がかかっているか、いないかを常時、サーバ側へ送信する（図5）。

ESP32 は、市販の小箱に格納して、左側の空きエリアに持参するものを置く。すると、その下に、圧力センサを置いているので、重量を感

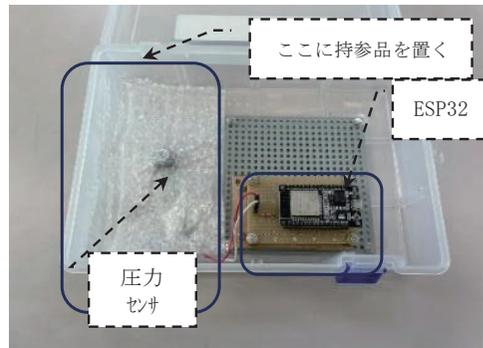


図5 クライアント側 ESP32

知する。なお、組み込んだ圧力センサは、電流を流して帰ってきた値を読み取り情報を得るようにした。回線自体は容易で、GND と VCC に接続するだけでよい。クライアント側では、ESP32 の基板に取り付けた圧力センサの上に、持参品を置く。その場合、もし、何か持参品が置いてあれば、その重さを、随時、サーバ側に通信する。これより、圧力センサ上に、何か置いてあれば「1」、そうでなければ「0」として、動作する制御プログラムを搭載した。

2.3.3 サーバ側 ESP32（開閉口・固定型）

サーバ側の ESP32 は、扉の上部に設置し、磁気センサを接続することで、扉に取り付けたネオジム磁石を感知することで扉の開閉の判断を行う（図6）。具体的には、扉が閉じている時には磁石がホールセンサに接近し、磁気を感知す

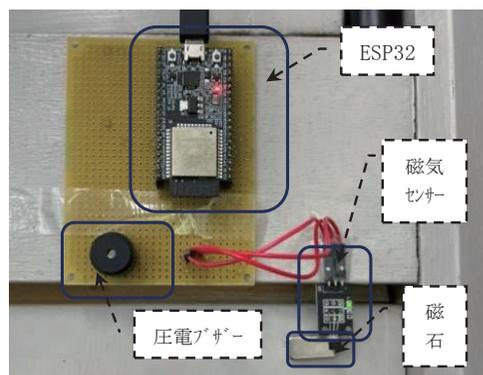


図6 サーバ側 ESP32 の外観

る。逆に、扉が開くと磁石がセンサから離れ磁気を感知できなくなる。この原理を利用して、扉の開閉を判断するようにした。サーバ側で感知する扉の開閉の状態とクライアント側で感知する重さをもとに、扉が開いていれば、サーバ側の圧電ブザーが警告音を鳴らして、忘れ物を通知する。電圧ブザーは、GNDとVCCに接続し音を出力し、磁気センサはGNDとVCC、Signal部分に接続し、電流値を読み取って情報を得ている。

2.3.4 サーバ側 ESP32 (CS 型)

外出時にはクライアント側 ESP32 (図5)を携帯するが、もう片方のサーバ側 ESP32 (M5Stack)を開閉口に固定せずに、クライアント側同様に移動型として持参することで互いに、人間と同時に ESP32も移動することになる(図7)。この性質を利用して、もし互いの通信が途切れた場合は、忘れ物有、通信できていれば

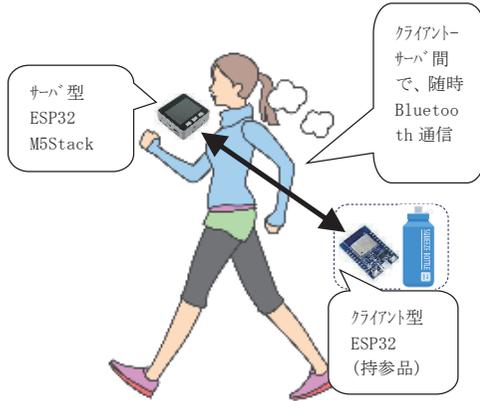


図7 サーバ側 ESP32 (CS 型)



図8 サーバ側 ESP32の装着

忘れ物無となる。忘れ物有となった場合、サーバ側の M5Stack から、音声データで忘れ物を警告するとともにメールにて通知する。M5Stackとは、液晶ディスプレイ、スピーカー、バッテリーなどを一体化した5cm×5cmの小型マイコンである。ESP32も搭載しているので、Wi-FiやBluetoothで通信することができる(図8)。

2.4 移動物体・確認機能

近年、高齢化に伴い、認知症患者やお年寄りの徘徊などが問題になっている。そこで、認知症患者などにも活用できるよう、装着者の位置と、周辺の画像を確認できる機能を作成した(図9)。この機能は、ESP32にカメラを接続して、サーバ側にアップロードすることで、どこか

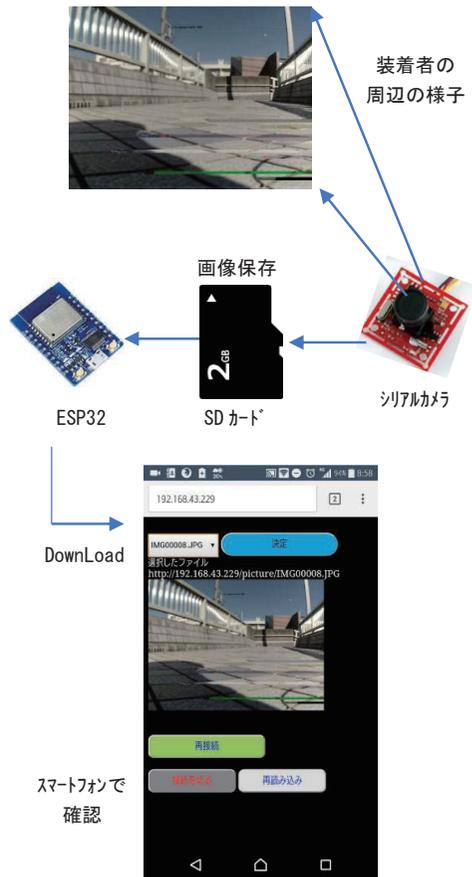


図9 移動物体確認(周辺画像の確認)

らでも画像を確認できるというものである。閲覧方法は、スマートフォンからブラウザを立ち上げ、URLにカメラのIPアドレス等を入力するだけである。装着者の位置情報はGPSモジュールから、随時、1分間隔で送信されている。また、タクトスイッチを押すことで、強制的に計測し、通知することもできる。位置情報は、Ambientを活用して地図上に表示し、時間、気温等もグラフ表示で見ることができる。さらに、事前に、家族の方のメールアドレスを登録しておけば、メールにてその位置情報を通知することもできる。

3. 実践結果

3.1 試行実践

今回の被調査者は、前任校である県立水戸工業高等学校 情報技術科3年40人を対象に、科目「実習」（3単位）の中で、令和4年5月から3週間（5月13日、20日、27日）、全9時間で、「熱中症を予防する情報システムを理解しよう」という題材で実施した（表4）。授業内容は、教材の体験とプログラムの作成である。授業形態は、本教材及び施設・設備及び教員の配置等の関係上、1クラス（40名）を2グループに分けて実施した（表5）。まず、4hに、本教材を

表4 試行実践 全体計画

週	時間	授業内容
1	1、2、3	本教材 全体概要 解説 熱中症予測・警告機能プログラミング (Arduino Core for ESP32)
2	4、5、6	忘れ物防止・通知機能プログラミング (Arduino Core for ESP32)
3	7、8、9	移動物体・確認機能プログラミング (Kotlin(Java)、Android Studio)

表5 試行実践（1回分）

時間	Aグループ	Bグループ
4h	各教材体験学習	プログラム作成学習
5h	プログラム作成学習	各教材体験学習
6h	自由選択学習	

直に体に装着して体験する授業（各教材体験学習と示す。）の後で、5hにプログラムを作成する授業（以下、プログラム作成学習と示す。）を行うAグループと、はじめに、プログラム作成学習を行った後、5hに各教材体験学習を行うBグループに分けて指導した。6hはそれぞれの進捗状況に応じて、学習内容を自由に選択させた。また、AグループとBグループの入替は隔週交替として実施した。

指導体制は、筆者と実習助手1人は、プログラム作成学習を担当し、その他教諭1名が、体験学習を担当した。プログラム作成学習では、2名1組とチームとなり、コミュニケーションを図りながら、プログラム作成、コンパイル、実行のサイクルを協働的に活動するという指導を展開した。

指導内容は、第1回目の実習（3時間分）では、熱中症予測・警告機能についてArduino Core for ESP32を用いてWBGTを算出し、結果を通知するプログラムの作成を行った。

次に、第2回目の実習（3時間分）では、第1回目と同様の指導体制、学習方法で、忘れ物防止・通知機能に関するプログラムの作成を行った。

第3回目の実習では、移動物体・確認機能ということで、サンプルプログラムとして、Javaで動作するKotlin、及び、Android Studioを用いたプログラムの作成に挑戦した。第1回目から第3回目の6hは、自由選択学習とした。自分たちのプログラムがどの様に動くか、また欠点はあるのか、改良するところはあるのかなど見極めるため活動とした。例えば、プログラムを改良する際には、スパイラルモデルの技法を行い機能拡張させていくという指導方法で行った。

スパイラルモデルとは、プログラム開発におけるシステム設計技法の1つであり、手直しが前提となっているモデルなので、途中で新たな課題が発生しても、慌てる手間は無い。ある程度のプログラムを作成した後、課題を取り入れながら徐々に機能を拡張していく技法である。スパイ

ラルモデルは、マネジメント技法であるOODAループの前身の考え方である。これより、生徒は、試行錯誤しながら、論理エラーを修正したり、プログラム作成の勘所などを養いながら、実践的経験を積んで行った。

3.2 理解度アンケート調査

生徒40名に、授業前と終了後の2回、8種類の質問に対し、1:「全く理解できない」、2:「少し理解できた」、3:「まあまあ理解できた」、4:「少し理解できた」、5:「良く理解できた」までの5段階(1～5)による自己評価を求めた。その質問内容は以下に記述する。

- Q1. 情報システムの意味・目的
- Q2. 情報システムの有効性及び活用事例
- Q3. 社会的課題と情報システムの関係性
- Q4. 熱中症の危険度の求め方
- Q5. 計測・制御プログラムの作り方
- Q6. 各種センサの特性と扱い方
- Q7. クライアントとサーバの違い
- Q8. 計測機器の製作方法

得点の高いほどその項目が重要となる(表6)。以上のような結果となった。

表6 理解度結果

理解度 質問内容	n=40(授業前)		n=40(授業後)		確率(p値)	t値
	平均	SD	平均	SD		
Q1	3.75	0.62249	4.35	0.47697	0.0040359	3.26917
Q2	3.2	1.01366	3.9	0.76811	0.0092577	2.8961
Q3	3.35	1.01366	4.4	0.8	0.0075734	2.98719
Q4	2.25	0.53619	3.25	0.43301	0.0000002	7.95822
Q5	3.1	1.41067	4.35	0.85294	0.0040880	3.26347
Q6	3.6	0.73485	3.8	0.92736	0.4469309	0.77664
Q7	3.05	0.80467	4.15	1.38834	0.0146693	2.68457
Q8	3.25	1.04283	3.55	0.66895	0.1625500	1.45297

3.3 本教材を用いた授業の統計的検定結果

今回、授業前と実施後に、(1)熱中症予測・警告機能、(2)忘れ物防止通知・固定型、(3)忘れ物防止通知・CS型、(4)移動物体・確認の4機能を活用した授業について、それぞ

れ「『情報システム』に関する学習内容に興味・関心及び学習の意欲の高揚があるか。」という質問をした。

その結果、クロス表にすると表7のような結果が得られた。この中で、「熱」は(1)、「固」は(2)、「C」は(3)、「移」は(4)についてであり、数値は回答数である。まず、開始前、実施後のいずれも「効果あり」と回答した生徒が40名であり、開始前に「効果あり」と回答し、実施後に「効果なし」と回答した生徒は13名であった。

さらに、開始前に「効果なし」と回答し、実施後に「効果あり」と回答した生徒は87名であり、開始前、実施後のどちらも「効果なし」と回答した生徒は11名であった。

表7 本教材の統計的検定結果(複数回答可)

前 後	効果あり					効果なし				
	熱	15	C	3	計	熱	20	C	15	計
効果あり	固	20	移	2	40	固	32	移	10	87
効果なし	熱	4	C	2	計	熱	2	C	3	計
	固	3	移	4	13	固	1	移	5	11

3.4 考察

本研究を考察してみると、「3.2 理解度アンケート調査」(表6)では、授業開始前と後の5段階評定の平均と標準偏差、並びに、t検定結果を示した。

ここでは、n=40なので、tは自由度39であり、1.685である。これより、8項目中、6項目で有意差が見られた。平均値は高得点ほど「理解できた」という意味である。

「3.3 本教材を用いた授業の統計的検定結果」(表7)では、「実践前後とでは、情報システムに関する学習内容に興味・関心及び学習の意欲の高揚が見られなかった」という帰無仮説を立て、有意水準0.05で χ^2 (カイ2乗)検定をしたが4.55となった。有意水準が0.05で、 χ^2 分布表より値を求めると約3.84が得られる。よって、 $\chi^2 > \lambda$ が成り立つから、帰無仮説を棄却できたが、「興味・関心及び学習の意欲の高揚が見られた」とは判断できなかった。その理

由は、開始前に効果ありと回答し、実施後に効果なしと回答した人数が13名、尚且つ、ともに効果なしと回答した人数が11名であった。

以上より、本教材は、コンピュータの持つ特徴であるプログラミングやネットワークを利用した「情報システム」を実際に生徒の目の前で見せることができた。

4. 結論

本教材を開発した結果として、授業内で問題なく活用することができたが、若干の微調整が必要であることが分かった。

具体的には、本教材の全体を制御する ESP-WROOM-32 の電源電圧は、2.2V ~ 3.3V 程度である。通常、新たな機能を拡張する場合、Arduino を用いることが多いが、Arduino の電源電圧は5V であるため、教材の発展性を検討すると選択の幅が狭くなってしまいう可能性がある。また Arduino の analogWrite 関数が使えないので対策を講じたい。

しかし、「2.1 開発環境」の採用理由や IoT 機能も充実しているため、ネットワークを活用した計測制御系の学習用教材としては有効であると判断できる。

教材を使用した結果では、「3.2 理解度アンケート調査」及び「3.3 本教材を用いた授業の統計的検定結果」の考察より、生徒に、日常生活で応用されている「情報システム」に興味を持たせることができるだけでなく、普通科高校の教科「情報」でも活用できる一考察である

と判断できる。

今後も新たな教材開発に向け、努力して行きたい。

参考文献

- 1) 川井 慧、情報 東京大学教養学部テキスト、東京大学出版会、2006.
- 2) 國近 秀信・赤川 啓行、対戦型ゲームを利用したソフトウェア開発演習を通じたプログラミングの動機づけの変化、情報処理学会論文誌 デジタルプラクティス、2023、Vol.4 No.2 36-45.
- 3) 間辺 広樹・長島 和平・長 慎也・並木 美太郎・兼宗 進、高等学校における複数言語によるプログラミング教育の提案、情報処理学会、2017、Vol.3 No.3 29-41.
- 4) 日本救急医学会、熱中症診療ガイドライン、2015、日本救急医学会.
- 5) 三機工業、建設施工現場向け IoT センサネットワークを開発-熱中症見守りシステムに適用-
<https://www.sanki.co.jp/news/release/article254.html>
- 6) 羽田 芳朗、山口 仁士、石橋 耀二、富田 健司：マルチ無線を用いた建物向けセンサネットワークの構築、東急建設技術研究所 No. 48
<https://www.tokyu-cnst.co.jp/technology/lab/report/pdf/>
- 7) NTT 西日本、児童・生徒を守る LoRaWAN™ を活用した「熱中症対策」トライアルについて
<https://www.ntt-west.co.jp/news/1907/190730a.htm>