

# ZigBee モジュールを用いた ワイヤレスレスポンスアナライザの試作

## Study on wireless response analyzer using ZigBee modules

○中村 好智, 細川 靖, 工藤 隆男

○Yoshitomo Nakamura, Yasushi Hosokawa, Takao Kudoh

八戸工業高等専門学校 機械・電気システム工学専攻 (電気系)

Hachinohe National College of Technology

キーワード：無線(wireless), レスポンスアナライザ(response analyzer), 分析(classwork analyze)

連絡先：〒 039-1192 青森県八戸市田面木字上野平 16-1 八戸工業高等専門学校

機械・電気システム工学専攻 (電気系) 工藤隆男研究室

Tel.: 0178-27-7279, Fax.: 0178-27-7279, E-mail: tkudoh-e@hachinohe-ct.ac.jp

### 1. 緒言

専門導入教育の可否がその後の成績を左右しがちであることから、品質管理手法に基づく「実験・授業・小テスト・診断と個別指導」を1サイクルとする電気基礎教育を提案し行なっている。学習テーマ毎に授業・実験を行った後、マークカードを用いた小テストにより、学生の理解度を把握している。また、実験を併用する場合の方が、授業だけの場合に比較し、小テストの得点が高い傾向にある事から、理解度を向上させるためには、実験に参加させる事が重要と思われる<sup>[1]</sup>。しかし、グループ実験の場合、実験に参加しない学生がいる事から、全員に実験をさせる環境が望まれる。他の改善すべき点として、授業後に行なっている小テストの分析方法では分析結果を授業にフィードバックするまで一週間程度の遅れがあり、タイムリーな補足を出来ていないのが現状である。そこでこのタイムラグを解消する必要がある。

そこで、授業参加を促し、リアルタイムな分析と学生個々の理解度の把握を可能とするシステムとして、レスポンスアナライザ (以下 RA) がある。RA は、学生の解答を入力する子機と、子機からの解答データを収集解析する親機から構成される。商用製品として「リアルタイムレスポンスアナライザ」, 「Socratec」, 「Interwrite Response」, 「オーディエンス・レスポンス・システム」等がある。

しかし、いずれも解答が選択肢に制約されており、電圧などの実験データを直接入力する機能を備えておらず、実験データそのものを利用した教育法に使用できない。また、現状においては実験データを直接入力可能な RA は見当たらない。

そこで筆者らは、多肢選択式の子機に電圧入力機能を付加した RA の試作に着手した。ここでは一般教室や実験教室においての使用を想定し、配線制約がない

無線方式を用いることにした。本報では、その初期段階として試作した無線モジュールを用いた RA について、通信などの評価を含めて報告する。

### 2. 備えるべき機能

RA を授業で使用する際のシステムを図 1 に示す。

RA は教員が持つ「親機」と学生が 1 人 1 台持つ「子機」により構成される。教員は黒板やプロジェクター等で学生に問題を提示する。学生は子機を利用し自身の解答や実験データを親機に送信する。親機は学生人数分のデータを受け取り、集計し、解答状況や総得点、実験データの分布図など、プロジェクターを利用し学生に提示する。以上の利用形態に必要な機能について述べる。

#### 2.1 無線通信

教室や実験室などにおける使用を想定していることから配線制約の無い無線方式を用いる。子機と親機の無線通信距離は十数 m 程度必要であると見込まれる。

#### 2.2 多肢選択式の解答入力

学生は解答番号を選択・入力し、自身が選択した解

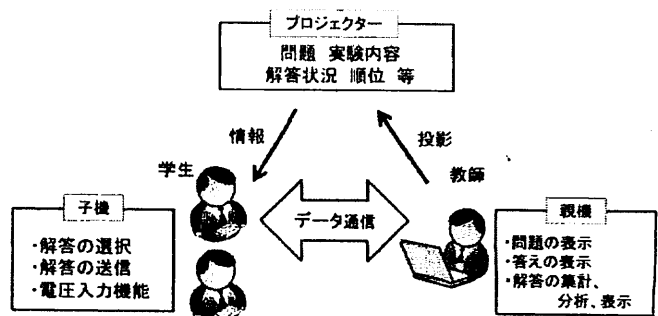


図 1 RA システム構成

答番号を確認してから、親機に送信する必要がある。これらのことから、解答番号を選択するための入力機能、解答番号を確認するためのディスプレイ機能、そして親機に送信する機能が必要になる。

### 2.3 親機の機能

親機は複数の子機から送信されるデータを受け集計、分析、結果表示を行う必要がある。また、親機の操作は教師が授業中に行うので、操作性を考慮し、通信設定を容易に変更可能などのシステム管理機能も必要になる。

### 2.4 電圧入力

物理量（温度、圧力など）はセンサーにより電圧に変換し、子機に入力することにより測定を行う。様々な実験で使用可能にするためにセンサーの種類や測定条件、測定範囲に応じた感度調整機能が必要になる。

## 3. 試作システム

試作の条件は以下とする。①通信距離が教室内で十分に扱える程度の距離であること。②複数の信号を同時に受信して対応できること。③メンテナンス性を考え、省電力であること。④持ち運びが容易であること。

### 3.1 通信形態

通信方式は ZigBee, bluetooth, 無線 LAN などがある。条件①②はどの方式も要件を満たすが、無線 LAN はほかの二つの通信方式に比べ消費電力が 25 倍から 140 倍あり、電源も DC12V を必要とする機器が多くコンセントがある環境でないと導入が難しい。また、bluetooth モジュールと ZigBee モジュールはモジュール自体小さく、消費電力も少ないので要件③④を満たす。しかし、bluetooth モジュールは ZigBee モジュールに比べ消費電力が 2 倍もある。以上のことから、ZigBee モジュールを使用する。

ZigBee モジュールは通信形態の変更のしやすさからベストテクノロジー社の「ZIG-100B(BTX025)」を使用した。ZigBee 通信は様々な通信形態を構成することが可能であるが、ここでは複数同時通信を可能にする N:N の接続形態「Broadcasting」を利用した。接続形態「Broadcasting」を用いると ZigBee 方式の電波であれば無差別に受信してしまうので、子機と親機の通信データには認証コードを含めた。

データ収集はポーリング方式を利用した。

通信データ構成は認証コード、子機 ID、解答番号と必要最低限の情報で構成した。また、これらはデータの処理のしやすさから全て ASCII コードでデータを作成したので、通信データの大きさは 6[byte]となった。

通信条件は通信速度 9600[bps]、パリティビット無し、ストップビットを 1 とした。

### 3.2 子機

#### 3.2.1 実装した機能

試作した子機を図 2 に示す。多肢選択式の解答入力を実現するために 4 個の選択肢用スイッチと、1 個のデー

タ送信用スイッチを取り付けた。また、LED によりどのスイッチが押されたかを学生に知らせる機能と、解答データが送信されたか確認できる機能を持たせた。送信の確認には送信用 LED（赤と青の 2 色 LED）を利用して、送信成功ならば選択箇所 LED の点灯と送信用 LED の紫色の点灯後に、両者 LED を消灯させる。失敗ならば、全 LED を 0.5 秒間点灯させて、消灯させる事にした。

解答には以下二つのモードを実装した。

#### (1) 一問一答モード

一問一答モードは、問題が提示される毎に学生は答える、という主に授業の演習を想定したモードである。

#### (2) 小テストモード

小テストモードは小テスト等、複数問へのまとまった解答が必要な場合に使用する。複数解答し、送信ボタンにより解答データを複数解答分送信する。また、送信する前に LED による問題番号の表示と対応した解答番号の表示をするので、解答を間違えたまま送信する事を防止している。この機能により、即座に小テストの結果を提示することが可能である。また教師側としても、即座に正答率の低い問題に解説の時間を割くことが出来、授業時間をより有効に活用できる。

#### 3.2.2 ハードウェア構成

子機は電池、制御 IC、入力スイッチ、LED、通信機器で構成した。

入力として異なる 5 色のタクトスイッチを使用し、スイッチの状態を表す為に、それぞれのスイッチに対応した 5 つの LED を取り付けた。

電源は 6P 型乾電池を使用し、通信には ZigBee モジュールを使用した。制御 IC には ZigBee モジュールからの信号を読み取るための通信機能 (rs232c) や AD 変換を備え、かつ I/O の数が妥当な PIC16F88 を使用した。

#### 3.2.3 動作

子機でデータを作成し、親機から信号要求がある場合のみ、データ送信を行う。

step 1 選択肢を決定したら「スイッチ入力」により選択肢の番号データを「制御 IC」に伝える。

step 2 「制御 IC」は「スイッチ入力」からの信号を元に選択肢の番号に対応した「LED」を点灯させる。「制御 IC」は「スイッチ入力」の送信ボタンが押

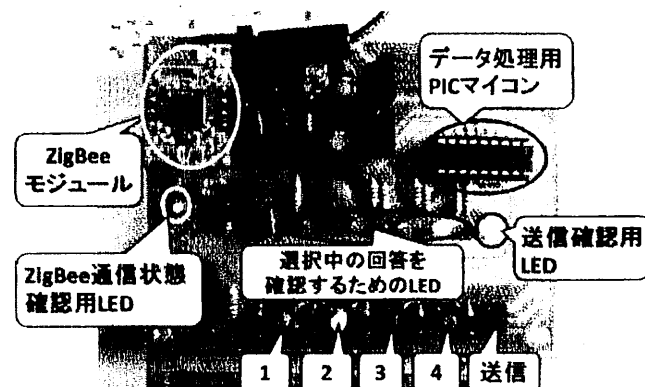


図 2 試作した子機

されたことを確認したら次の step 3 に移る。

step 3 「制御 IC」は送信要求信号が確認されるまで一定時間待つ。確認されたら step4 に移り、されないなら、全ての LED を点滅させ、送信エラーであることを利用者に伝える。

step 4 「制御 IC」は親機からの送信要求信号の ID と、受信した子機の ID を比較する。等しいなら、生成した送信信号を「信号変換部」を介して「ZigBee モジュール」に信号を渡し親機へ送信する。

### 3.3 親機

#### 3.3.1 実装した機能

問題提示、子機からのデータ入力、分析、結果表示の各機能を、Microsoft Excel を用いて実装した。但し、既存の機能だけではデータ集計、分析などの繰り返し作業を手動で行わなければならない、教師の負担が大きくなる事から、Visual Basic For Application (VBA) を用いて機能拡張を行った。また、作成した各機能に素早くアクセス出来るようにするため、シート毎に機能を振り分けた。これによりタブの選択をすることで、場面に合わせた機能を選択可能にした。

#### 3.3.2 受信の仕組み

親機はポーリング方式によって各子機からのデータを収集する。解答の受付を開始すると、親機は全ての子機に対して子機 ID 順に送信要求信号を送る。そして、ID に対応した子機からの解答データを受信し、受信した時間と共にセルに記録をする。

#### 3.3.3 問題提示画面

学生は 図 3 の問題提示画面の上部に表示される問題に対し、適切な解答を問題左下にある 4 つの選択肢から 1 つ選択する。選択肢の右側には、この問題に解答した人数の合計と、解答を受け付けてからの経過時間が表示される。

また、教師は下部にある操作パネルにより解答の受付、締切り、現在の順位の発表の操作を容易に行うことが可能である。

問題を作成するためには、教師が問題番号・問題文・選択肢を問題提示画面に入力する。採点の為に設定画面に正答番号を入力すれば良い。

また解答人数の表示機能により、教師は授業の参加人数の把握を行い、もし未解答者がいる場合、注意を促すことが出来る。

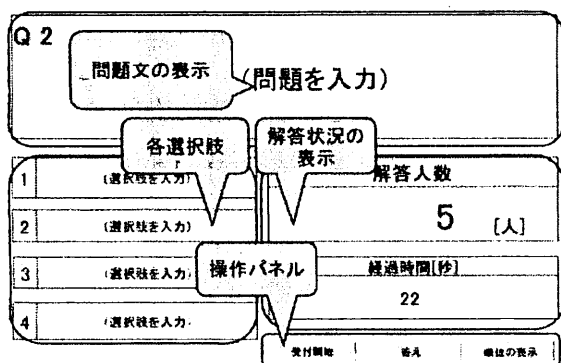


図 3 作成した問題提示画面

#### 3.3.4 結果表示画面

生徒が自分の今までの解答状況や、クラスでの自分の順位を把握できるようにするため、図 4 のような結果表示画面を作成した。行方向には問題番号の順番に、列方向には正解数の多い順番に並べ替えて表示している。また、正解箇所のセルを黄色に、未解答の箇所のセルを水色に網かけを行なった。

#### 3.3.5 分析画面

教師が生徒の理解度把握を容易に行えるように図 5 に示す分析画面を作成した。解答人数の表示と SP 表<sup>[2]</sup>、<sup>[3]</sup>による分析機能を実装した。

SP 表とは学習診断や指導評価のために、生徒と問題の特性を視覚的に捉えやすく図評価したものである。作成方法として縦に生徒、横に問題を並べ、正解箇所には 1 を、不正箇所には 0 とした得点一覧表を作成する。そして、生徒の正解数の高い順番に上から並べ替え、さらに各問題の正答者が多い順番に左から並び替える。<sup>[2]</sup>これにより、問題は難易度順に並べ替えが行われるので、出題した設問は学生にとって適切かを判断することが出来る。また、表の下部には正解数の低い生徒、つまり理解不足の生徒が集まるので教師は個別指導の材料にすることが出来る。

#### 3.3.6 通信設定画面

通信の設定を行う。「config」タブを選択し、水色のセルに設定情報を記入する。

図 6 は通信設定が記述されたセルを拡大したものである。「出力 COM」には、ZigBee モジュールを接続した COM ポート番号を入力する。その他の設定は必要な場合だけ変更を行えば良い。

順位	ID:子機番号	正解数	1	2	3	4
1	2	2	0	0	1	1
2	3	1	0	1	0	0
3	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0

図 4 結果表示画面

問題番号	1	3	2	4	5
正解番号	1	1	2	2	1
正解人数[人]	2	2	1	1	0
正解率[%]	40	40	20	20	0

1	2	0	1	0	1	0
2	2	1	1	1	0	0
3	1	0	1	0	0	0
4	1	1	0	0	0	0

図 5 SP 表

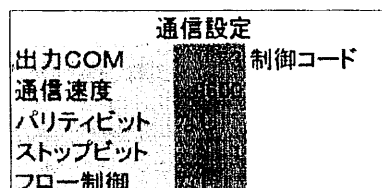


図 6 通信設定の画面

#### 4.1.1 実験方法

親機1台と子機を1台用意し、図7に示す黒板前の教卓の上に親機を設置した。教卓前から教室の反対側の壁までの空間を9分割したそれぞれの場所で、子機の角度を変更し、各10回送信を行った。教室は約40人の生徒が授業を行える規模とした。子機の角度を以下のように変えながら実験を行なった。子機を箱として見た場合に、図8のように面にアルファベットを定義する。面Aを調べたい場合、面Aを上にして、面Bを調べたい場合には面Bを上にして、子機を置く。面Aの初期位置は面Bを親機に向けた状態とした。面Bは基板裏面が親機に向くような位置を初期位置とした。

初期位置(0度)、90度、180度、270度と子機を時計回りに回転させ、各位置で10回送信を行なった。

#### 4.1.2 結果

グラフ1は教室の各位置における通信の成功率である。面Aを上にして0°、90°、180°、270°について、各10回の合計40回の測定を行なった。同様にB面も1ヶ所あたり40回の測定を行い、合計80回の測定を行なった。グラフ奥が教室の黒板側となる。グラフ1において1ヶ所を除き平均90%以上の成功率となった。

次に指向性の評価を行う。グラフ2は子機の各面を上にした場合の各向きにおける通信成功確率を示す。グラフ2から、面Aの場合では90°方向以外は通信の成功確率は平均90%となった。また、面Bは0°と180°回転させた位置の通信の成功確率が95%以上となった。面Bの0°と180°の場合、親機はモジュールの法線方向にあった。これによりモジュールの法線方向に指向特性があると考えられる。使用したZigBeeモジュールの取り付け位置を現在の子機の基板面に平行な取り付けから(面A)、垂直な取り付け(面B)に変更することで通信の成功確率が大きくなる事が分かった。

### 4.2 複数通信 (ポーリング方式)

#### 4.2.1 評価内容

子機13台にはあらかじめ解答をセットし、ポーリング方式によって通信が行われるか確認した。親機と、13台の子機を用意し、通信距離は1mとした。



図7 教室の場所の番号定義

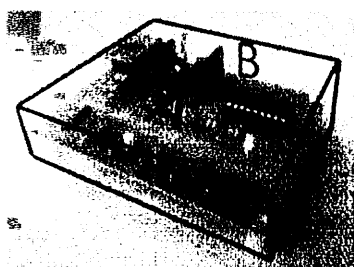


図8 面のアルファベット定義

#### 4.2.2 結果

子機で生成した信号(子機識別ID, 解答番号)を受信することが出来た。転送時間については最大に約1.5秒の遅れがあった。

この事から、ZigBeeモジュールを用いて、複数人数の場合でも使用可能であることを確認した。

### 4.3 出席確認機能

#### 4.3.1 評価内容

子機からの信号により、ソフトウェア側で出席確認の機能が正常に動作するか検証を行った。親機と13台の子機を用意し、通信距離は1m程度とした。

#### 4.3.2 結果

13台の子機それぞれを識別し、子機のID毎に電源が入ったことを親機から確認することが出来た。

### 4.4 子機の操作性の評価

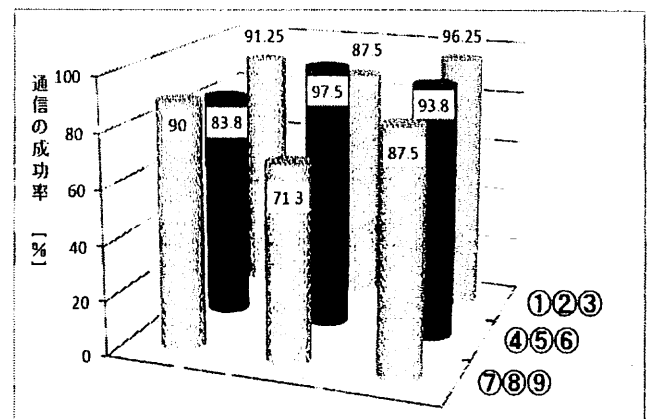
#### 4.4.1 評価方法

11人の被験者に子機を配布し、用意した問題に解答後、成績を表示した。これに関するアンケート調査を行なった。

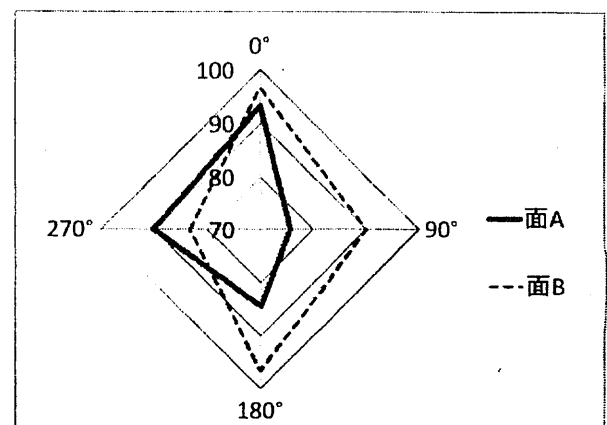
#### 4.4.2 結果

各評価項目について5段階で評価をした。グラフ3は各評価項目の平均値を示している。アンケートの内容は以下の7項目とした。

- 問題画面の見やすさ (5:見やすい)
- ボタンの押しやすさ (5:押しやすい)



グラフ1 各位置における通信の成功率



グラフ2 各面を上にした場合の各向きの通信成功率[%]

(LEDの点灯表示について)

- c. 選択番号の表示 (5:わかりやすい)
- d. 送信状況の表示 (5:わかりやすい)
- (結果表示画面について)
- e. 順位表示は分かりやすいか(5:わかりやすい)
- f. 自分の正解数表示は分かりやすいか(5:わかりやすい)
- g. 間違い箇所は分かりやすいか(5:わかりやすい)

集計結果から問題画面について見やすい、と答えた人が多く、このことから授業で使用しても問題ないと考えられる。

ボタンの押しやすさは人により意見が別れたので、意見をさらに集め、押しにくいと考えられる原因を探る必要がある。

LEDによる選択した番号やデータの送信状況の表示のわかりやすさ、という質問に対しては、選択した問題番号はわかりやすかったが、送信状況をもう少し詳しく知りたい、という意見があった。特に解答を直して送信したあとの状況、例えば、正しく親機に送信されたか、訂正後の選択番号の表示などを知ることが出来る機能の追加を求める意見があった。

結果表示画面の評価は分かりにくい、という意見が多かった。改善案としては以下の意見があった。

- ・結果表示画面は、多くの情報が有りすぎて分かりにくかったので、情報を絞って見たらどうか。
- ・正解箇所を黄色に、誤答を無色から赤にする。未解答箇所は白のままの方が分かりやすいのでは。
- ・順位、正解数、子機IDのそれぞれの数字の字体を変えることにより見やすくなるのでは。

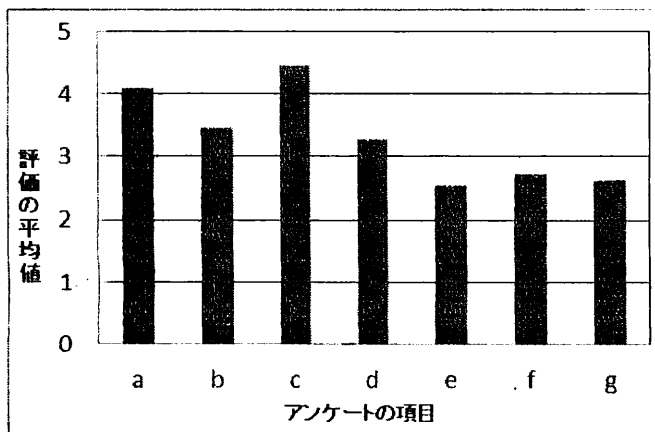
他にも、送信ボタンを押してから送信が完了されるまで少し長いと感じる、という意見もあった。

## 5. 結果と課題

### 5.1 結果

通信実験から教室程度の規模ならどの場所からでも通信可能であることを確認できた。さらに ZigBee モジュールの指向性を改良に盛り込めば通信の成功確率が上がると予想される。

また、アンケート結果から、子機に関しては解答状況をわかりやすくすること、訂正した問題番号の把握機能を追加する必要がある。親機に関しては、結果表示画面を見やすく改良する必要がある。



グラフ 3 システムについてのアンケート結果

## 5.2 課題

### 5.2.1. 子機

通信の信頼度の向上や、センサー機能や情報表示、そして実用化に向けて、次の事为目标に子機を改善する。

#### A ZigBee モジュールの取り付け位置の変更

今回の指向性の実験から ZigBee モジュールは現在、基板の面に対して平行に取り付けているが、垂直な取り付けに変更した方が、通信の成功確率を上げることが出来る。

#### B LED から LCD 液晶への変更

送信前に解答を容易に確認する事を可能にするために、LCDを用いる。更に、センサーで取り込んだ値も表示出来るので、個人で実験データをまとめる事が可能になる。

#### C 再送信要求信号の実装

教室における通信実験では子機としては送信完了をしたが、親機が受け取って居ないことがあり、通信の成功確率が低い事例もあった。これを解決するために、親機が子機に対して送信要求をし、それに対して信号が返って来なかった場合に、再送信の信号を送信し、解答データをより確実に収集できる機能を実装する。

#### D スイッチからテンキー入力に変更

スイッチ入力からテンキー入力に移行することで、選択問題の選択肢の幅が広がるばかりでなく、直接数値入力が可能になるので、計算結果の数値入力にも応用出来る。また後述する子機の ID と学生番号の自動的な関連付を可能にする。

### 5.2.2. 親機

センサー機能に対応したデータ処理と、学生にわかりやすい画面表示、実用に向けて以下の改良をする。

#### A 結果表示画面の改良

結果表示画面が分かりにくい、という意見を受けて、まずは正解不正解箇所の色や表示の変更、字体の変更を行い、複数人から意見を求め、実用的なレイアウトにする。

#### B センサーデータ入力への対応

現在のソフトウェアではセンサーの情報を受け取る機能を実装していない。よってセンサーの値を統計的に処理するなどの新しい授業形態に必要な機能を追加する。

#### C 子機の ID と学生番号のヒモ付

現在、子機 ID と学生番号のヒモ付は、子機に貼り付けてあるシールに、学生が名前と学生番号を記入する。授業終了後、教師が子機を回収し、子機の ID と学生番号を手動入力によりヒモ付をする。

教師のこの手間を解消するために、4ボタン入力からテンキー入力に切り替える。授業の最初で学生は自分の学生番号を入力することにより、ソフトウェア側で ID とのヒモ付が可能になる。

## 6. まとめ

ZigBee モジュールを用いて RA を試作し、一般教室において使用可能であることを確認できた。

残されている課題はアナログ入力機能など、項目 5.0 において述べた機能の実装、及び、全員の学生実

験の実験データを用い、その中から法則を確認するなどの授業と実験を強く関連付けた教育方法の開発である。

本研究の一部は科研費(課題番号=24650574)を受けて行なっているものであることをここに記し、関係者各位に謝意を表す。

#### 参考文献

- [1] 工藤隆男, 松橋信明, 根来健夫, 釜谷博行:「実験・授業・小テスト・診断と個別指導」が1サイクルの電気基礎教育について, 高専教育, 第16号, 1993
- [2] 教育情報科学研究会:”教育情報科学 3. 教育とデータ分析 データ解析と評価”, 第一法規出版, pp.95-99(1988年)
- [3] 佐藤 隆博:教育情報工学の応用 - 教材開発とテスト設計, コロナ社, 1991
- [4] 櫻木 嘉典:Excel を用いた計測制御入門, 電気書院, 2010