

燃料電池を活用した 計測アプリケーション実習教材の検討

— 発電・計測装置の製作と計測プログラムの作成・評価 —

雇用・能力開発機構佐賀センター 電気・電子系 山口 修
四国職業能力開発大学校 生産情報システム技術科 川上 拓也

1. はじめに

専門課程の実習訓練においても、ものづくりを意識したカリキュラム内容および教材の開発が求められるようになってきた。

計測・制御分野の実習訓練の課題は業務アプリケーションの延長上にあるため、ものづくりの実習訓練をしたという印象がきわめて低い⁵⁾。実習訓練では業務アプリケーションを教材として活用する傾向があり、ものづくりを支援する計測用アプリケーションについての教材は少ないのが現状である⁵⁾。ものづくりを取り入れた実習訓練を行うことで、教材に基づく訓練の指導方法によっては学生個々の能力養成が高まり、学生を生産現場に送り出す場合の品質保証になり得る。近年、燃料電池は乾電池と比べ性能面でも優れているのが特徴で、環境問題や省エネルギーの対策面から実用化が注目されている³⁾。そこで、教材として燃料電池を利用した技術文献に着目して、昇圧型DC/DCコンバータを用いた発電・負荷計測装置（以下発電・負荷装置と称す）の製作では発電対象としてケミックス社製の燃料電池（PEM-004DM）を用いた^{1) 2)}。

計測技術や制御技術は、目的に沿ったプログラムを作成することで操作性や機能を高めることができる。このため、幅広い自動計測技術や機械などの制御技術に利用されている。ここでは、燃料電池の出力電圧の計測および推移をグラフにより可視化できるオブジェクト指向のプログラムを2種類開発し

た。これらを使用して燃料電池を活用した計測アプリケーション実習教材の検討を行ったので報告する。

2. 概要

発電・負荷装置に取り付ける各パートの製作では、各種装置の説明、仕様、製作状況と計測プログラムの開発ではプログラムの説明、処理手順、動作手順、評価方法等を明らかにし、発電・負荷装置の製作とExcel VBAおよびVB.NET（以下Visual Basic.NETと称す）プログラムの作成とデータの測定、評価を試行した。

3. 装置の製作について

発電・負荷装置の製作ではAMラジオキット、昇圧型DC/DCコンバータ2機、燃料電池2機を製作した。AMラジオはバーアンテナ仕様で動作を確認した。昇圧型DC/DCコンバータは電圧値の昇圧を制御するために2種類を製作した。燃料電池の製作では固体高分子形を採用した。

3.1 AMラジオキットの製作

表3-1にワンダーキット社製のAMラジオキット（YO-76）の仕様、図3-1にAMラジオキットの製作風景、図3-2にAMラジオの完成図を示す。

表3-1 AMラジオキットの仕様

項目	内容
電源電圧	標準DC3V(2.3~3.4V 可) [単3×2電池ボックス]
動作時電流	平均 約30mA(DC3V時)
受信周波数	約535~1605kHz AM(Amplitude Modulation)方式
アンテナ	バーアンテナ
同調	LC(バーアンテナ+バリコン)
出力	スピーカ
電池ボックス	80×125×32(mm)
基盤サイズ	69×87×25(mm)

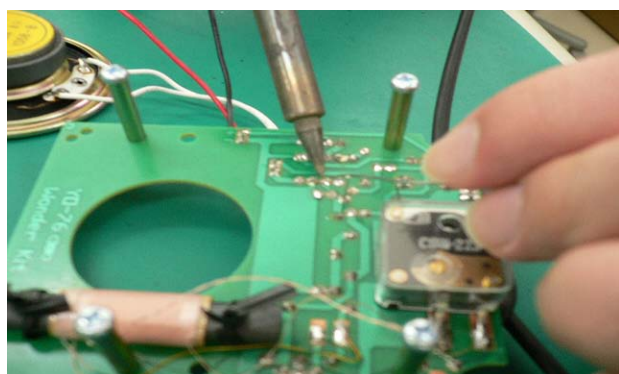


図3-1 AMラジオキットの製作風景



図3-2 AMラジオの完成図

3.2 DC/DCコンバータの製作

燃料電池の出力電圧は、セル当たり0.3~0.7Vと低い。このため、DC/DCコンバータを用いて電子機器を使用できるようにした。

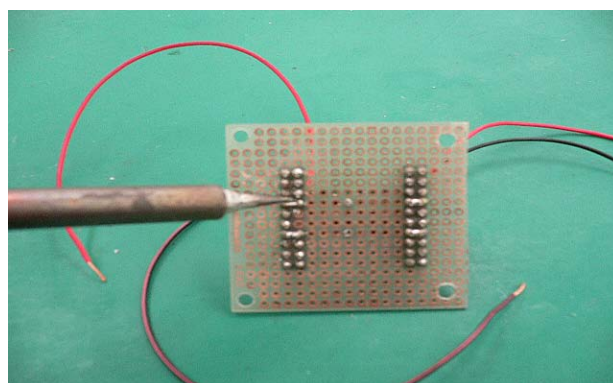


図3-3 DC/DCコンバータの製作風景

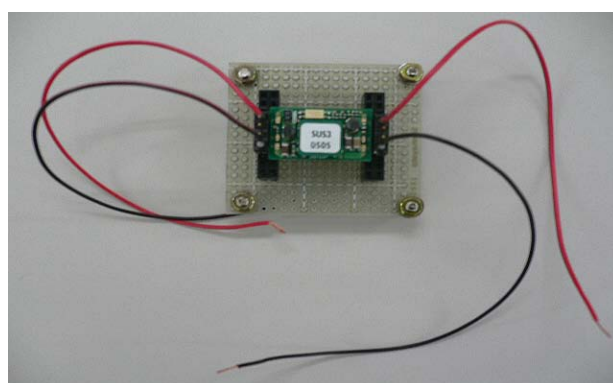


図3-4 DC/DCコンバータの完成図

1) DC/DCコンバータの製作

図3-3にコーセル社製の3V→5V変換型DC/DCコンバータ (SUS30505) の製作, 図3-4にDC/DCコンバータの完成図を示す。

2) 昇圧型DC/DCコンバータの製作

表3-2に創造科学社製の昇圧型DC/DCコンバータ (TL499A) の仕様, 図3-5に昇圧DC/DCコンバータの製作, 図3-6に昇圧型DC/DCコンバータの完成図を示す。

表3-2 昇圧型DC/DCコンバータの仕様

項目	内容
入力電圧範囲	DC1.1~10V
出力電圧範囲	最大15.5V (VRで可変)
最大出力電流	1.5V入力(15V/15mA)、3V(15V/55mA)

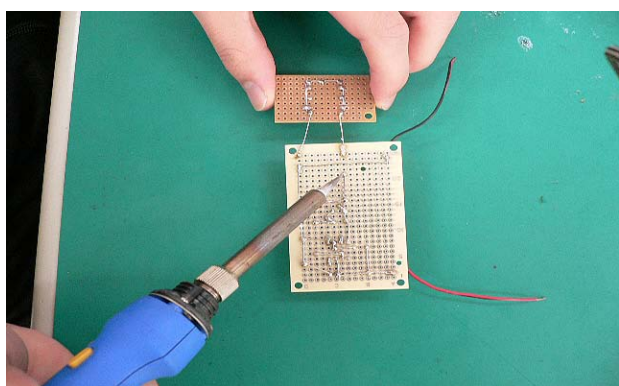


図3-5 昇圧型DC/DCコンバータの製作風景

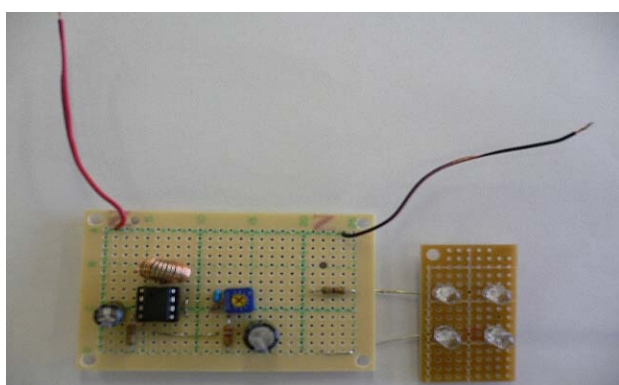


図3-6 昇圧型DC/DCコンバータの完成図

3.3 燃料電池の製作

燃料電池とは、水素と酸素を化学反応させて水を発生する際に電気エネルギーを取り出す装置である⁴⁾。発電・計測装置では固体高分子形の燃料電池を採用し、燃料にはメタノールを使用する。

製作した燃料電池の膜電極接合体 (MEA) は極性があり、極性を間違えると発電しない。燃料が充填されると発電した電圧は約0.5Vとなるが、0.4V以

表3-3 燃料電池の仕様

項目	内容
種類	固体高分子形 (PEFC・PEM)
電解質	固体高分子膜
燃料	メタノール水溶液
酸化剤	空気
動作温度	常温～80℃
出力	約0.01W～0.05W
外形寸法	約46×46×30 (mm)

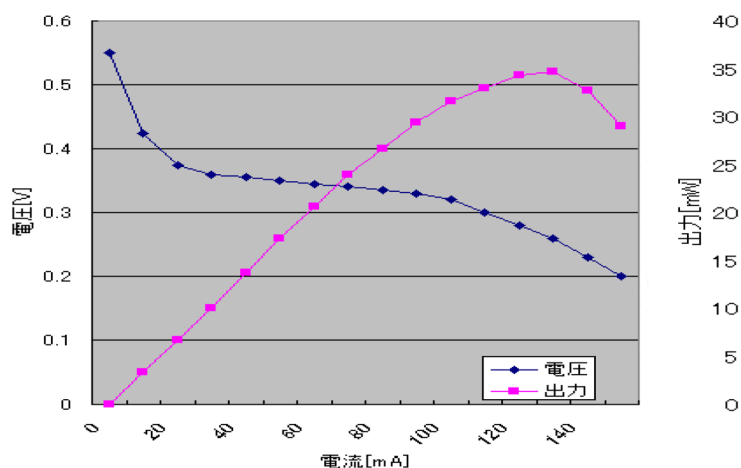


図3-7 燃料電池の電流－電圧特性

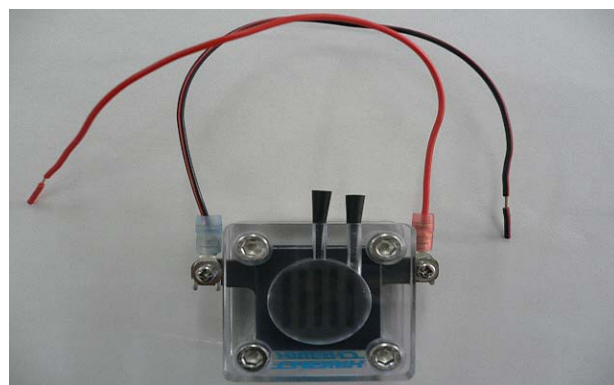


図3-8 燃料電池の完成図

下で負荷をONにすると電極や高分子電解質膜が壊れる可能性がある。表3-3に燃料電池 (PEM-004DM) の仕様、図3-7に燃料電池の電流－電圧特性、図3-8に燃料電池の完成図を示す。

特性では電流値が低いと電圧値の方が高く、逆に電流値が高いと出力の値の方が高くなる傾向がある。燃料電池の極性は赤い線のプラス極が空気極、黒い線のマイナス極が燃料極となる。

4. 試作測定プログラムのアルゴリズム検討

4.1 ExcelVBAプログラムの作成

発電・計測装置で発生した電圧はタートル工業社製のUSB型電圧測定ユニット (TUSB-S01VM VMD01) で測定した。図4-1にUSB型電圧測定ユニットの外観を示す。表4-1にUSB型電圧測定ユニットの仕様を示す。USB型電圧測定ユニットを採用した理由として、信号ケーブルとパソコンをつな



図4-1 USB型電圧測定ユニットの外観

表4-1 USB型電圧測定ユニットの仕様

項目	内容
インターフェース	USB 2.0
最大入力電圧	DC ± 10 V
許容入力範囲	DC ± 20 V
変換分解能	0.31 mV
測定誤差	± 0.1 %
測定タイミング*	10 msec ~
動作温度範囲	5 ~ 45 °C
消費電流	約 100 mA

ぐだけで正確な電圧値を高性能で測定、記録できる大容量のデータロガーで、入力回路絶縁方式によりどんな場所でも測定が可能である。また、ドライバや開発用ユーティリティが付属されているためカスタマイズによりユーザレベルでのアプリケーションの開発ができるなど利便性の良さがあげられる⁷⁾。ここでは測定データをExcelSheetにまとめ、csvファイルとして保存するようにした。さらに、作成したcsvファイルをxlsファイルに変換して測定データを表示し、グラフを作成および表示した。

1) 処理手順

図4-2にExcelVBAプログラムの処理手順についてのフローチャートを示す。

2) グラフ作成および表示のアルゴリズム

- ① 測定データであるcsvファイルは拡張子のxlsファイルに変更する。
- ② 別のExcelから「ツール→マクロ→Graphsheet」

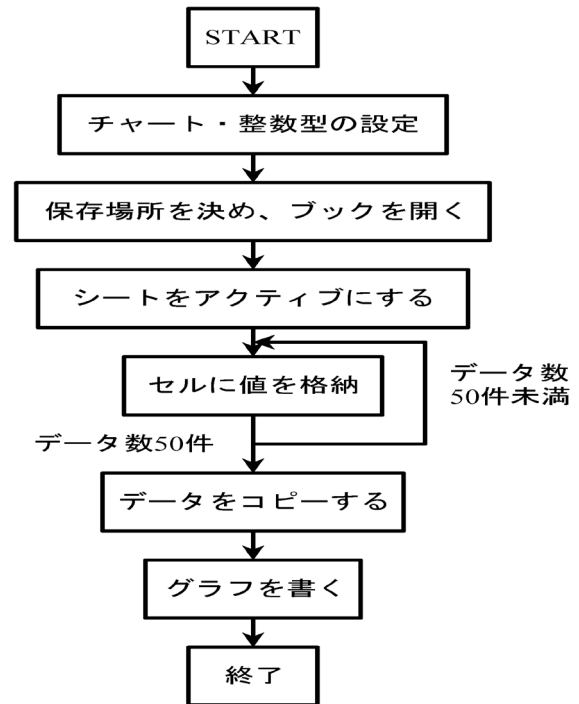


図4-2 ExcelVBAプログラムのフローチャート

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	絶縁型電圧測定ユニット						ID0	ID1	ID2	ID3
2	測定日	#####					1	2.201843		
3	メモ1	測定結果					2	9.03E-02		
4	メモ2	#####					3	0.160828		
5	メモ3	水曜					4	8.36E-02		
6	メモ4	12:00					5	0.149231		
7	メモ5						6	7.05E-02		
8	測定間隔	1000					7	0.174255		
9	データ平均無し						8	6.44E-02		
10	電圧の種類						9	9.12E-02		
11	電流						10	5.55E-02		
12	測定データ						11	0.159819		
13	データ数	178					12	7.26E-02		
14	ID0	ID1	ID2	ID3			13	0.169373		
15	2.201843						14	0.153198		
16	9.03E-02						15	0.127256		
17	0.160828						16	0.206909		
18	8.36E-02						17	0.325928		
19	0.149231						18	0.315857		
20	7.05E-02						19	0.19989		
21	0.174255						20	0.37282		
22	6.44E-02						21	0.426025		
23	9.12E-02						22	0.36377		
24	5.55E-02						23	0.516663		
25	0.159819						24	0.529175		
26	7.26E-02						25	0.528565		
27	0.169373						26	0.544434		
28	0.153198						27	0.708923		
29	0.127256						28	1.155396		
30	0.206909						29	1.413879		
31	0.325928						30	1.259766		
32	0.315857						31	1.282043		

図4-3 測定データの表示

電圧測定結果

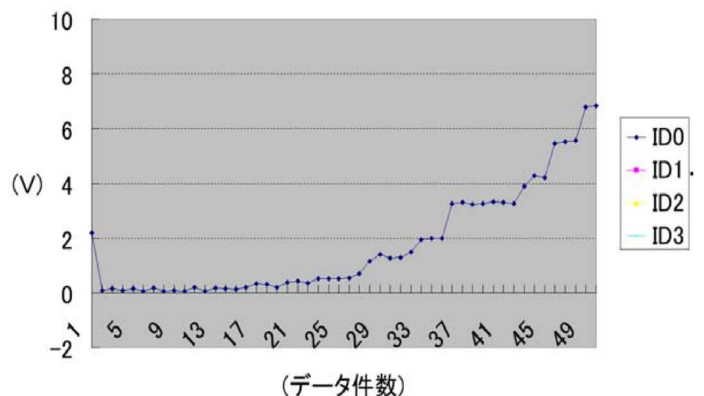


図4-4 測定データのグラフによる可視化

でプログラム実行する。

- ③ 実行後，図4-3のExcelSheetが表示される。
- ④ 「sheet1」横の「Graph1」をクリックすると図4-4のグラフが表示される。

図4-3に測定データの表示，図4-4に測定データのグラフによる可視化を示す。

3) 評価

ExcelVBAプログラムでは，測定データを登録したファイルを読み込みグラフ作成および表示をするが，操作面で改善の必要性があった。測定データの読み込み件数は当初50件であったが，マニュアル設定にてデータの読み込み件数を任意に変更できるようにした。図4-5にUSB型電圧測定ユニットの試行状況を示す。



図4-5 USB型電圧測定ユニットの試行

4.2 VB.NETプログラムの作成

ExcelVBAとは違い直接データを読み込みながらグラフを作成する。発電・計測装置を使い測定されたデータをExcelSheetに書き込み，グラフを作成および表示する。図4-7にVB.NETプログラム測定の様子，図4-8に測定データの表示，図4-9に測定結果のグラフによる可視化を示す。

1) 処理手順

図4-6にVB.NETプログラムのフローチャートを示す。

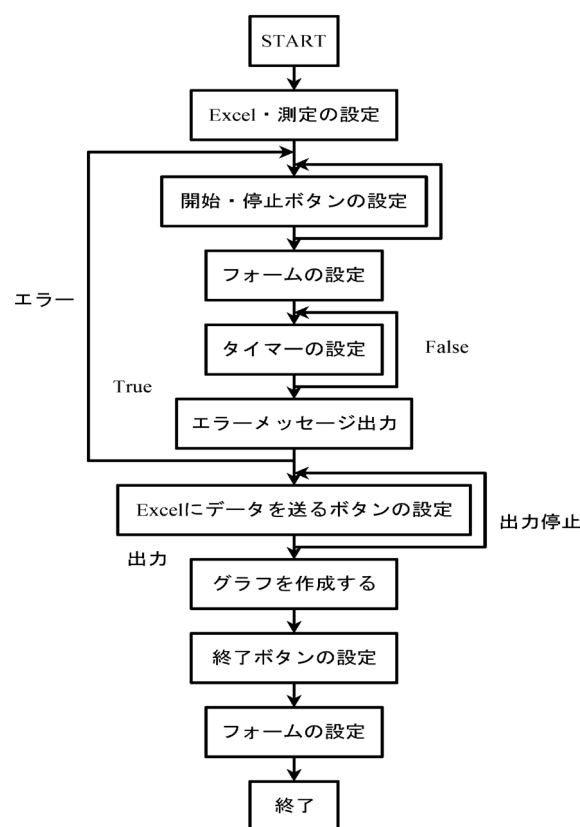


図4-6 VB.NETプログラムのフローチャート

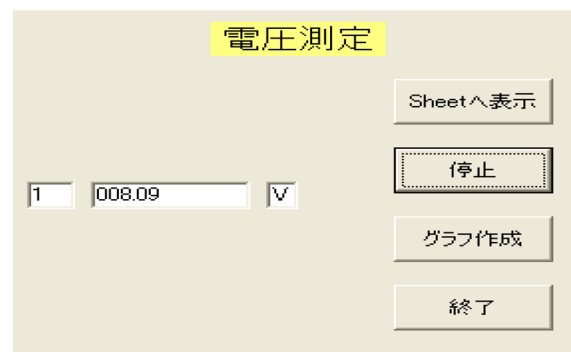


図4-7 VB.NETプログラムの測定画面

	A	B	C	D	E
1	秒数	ID0	単位	データ項目	合計
2	1	7.78	✓		30
3	2	7.78	✓		
4	3	7.75	✓		
5	4	7.65	✓		
6	5	7.43	✓		
7	6	7.32	✓		
8	7	7.18	✓		
9	8	7.03	✓		
10	9	6.93	✓		
11	10	6.65	✓		
12	11	5.58	✓		
13	12	4.49	✓		
14	13	3.61	✓		
15	14	3.49	✓		
16	15	3.39	✓		
17	16	3.28	✓		
18	17	3.13	✓		
19	18	1.35	✓		
20	19	0.11	✓		
21	20	0.13	✓		
22	21	0.64	✓		
23	22	2.73	✓		
24	23	4.25	✓		
25	24	6.5	✓		
26	25	8.11	✓		
27	26	9.24	✓		
28	27	1.0	✓		
29	28	1.0	✓		
30	29	1.0	✓		
31	30	9.87	✓		

図4-8 測定データの表示

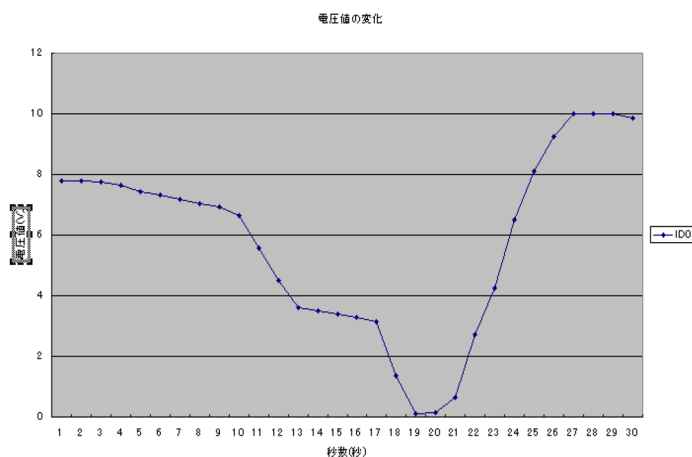


図4-9 測定データのグラフによる可視化

秒数	IDO	単位	データ項目	合計
1	1.32	V		12
2	1.42	V		
3	1.62	V		
4	3.29	V		
5	4.76	V		
6	6.07	V		
7	5.79	V		
8	5.35	V		
9	5.21	V		
10	5.01	V		
11	6.61	V		
12	7.87	V		
13		V		

図4-10 測定データの表示不具合

2) グラフ作成および表示のアルゴリズム

- ① 図4-7において「Sheetへ表示」ボタンを押すと、図4-8のExcelSheetを表示する。「Sheetへ表示」ボタンを押さない段階で「終了」以外のボタンを押すとエラーが発生する。
- ② 図4-7の「開始」ボタンを押すと測定を始め、図4-8では秒数、データ、単位、データ項目合計数がExcelSheetに書き込まれる。その直後から「停止」ボタンを押すと処理が停止できる。
- ③ 「グラフ」を押すとグラフを作成、表示する。

3) 評価

VB.NETプログラムでは、測定データを表示する前に秒数および単位表示がされるという問題があった。図4-10に測定データを表示する際の不具合を示す。

5. 発電・計測装置の製作と計測プログラムの評価

製作したAM受信機、昇圧回路、燃料電池、USB型電圧測定ユニット、中継器、プラスチック板、アルミ薄型ボックスを用いて発電・計測装置を製作した。また、試作プログラムを用いてデータ測定、グラフ作成および表示などの評価と運用の確認ができた。

5.1 発電・計測装置の製作について

本装置は出力電圧が0.5V程度となる燃料電池を用いて昇圧型DC/DCコンバータを通して出力電圧を上げることで、約2.3V電源のAMラジオを鳴らし、USB型電圧測定ユニットで電圧の測定ができる。

燃料電池の出力が低いため、燃料電池2個を直列接続することで出力（W）を上げるようにした。昇

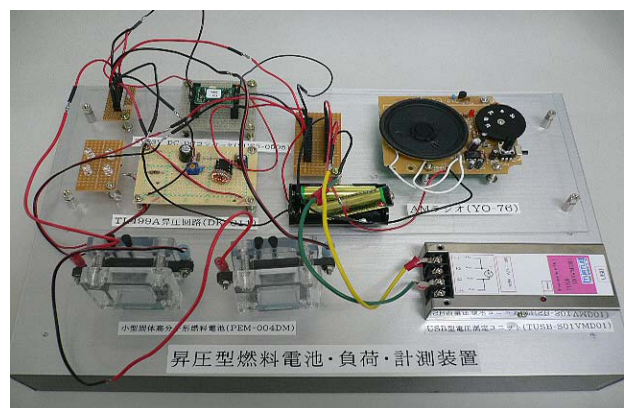


図5-1 発電・計測装置の完成図

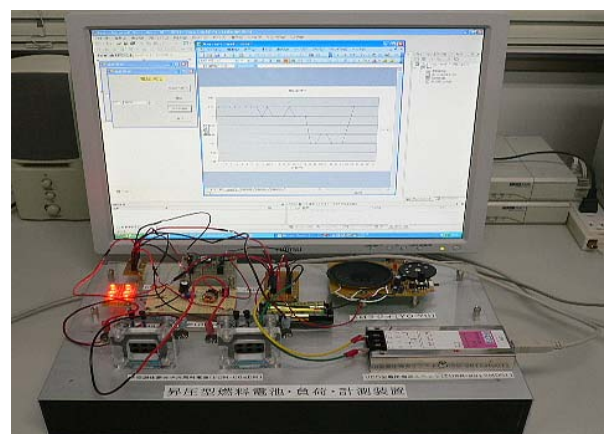


図5-2 発電・計測装置の試行

圧型DC/DCコンバータの入力電圧が仕様内であれば、図5-2のようにLEDが点灯する。USB型電圧測定ユニットが点灯すれば測定が開始される。図5-1に発電・計測装置の完成図、図5-2に発電・計測装置の試行を示す。

5.2 計測プログラムの評価

1) ExcelVBAプログラムの評価

発電・計測装置からのデータ測定とグラフ作成および表示ができることを確認した。ExcelSheetの作成、データの測定やグラフ作成および表示など試作プログラムと同様の結果が確認できた。図5-3に測定データのグラフによる可視化を示す。

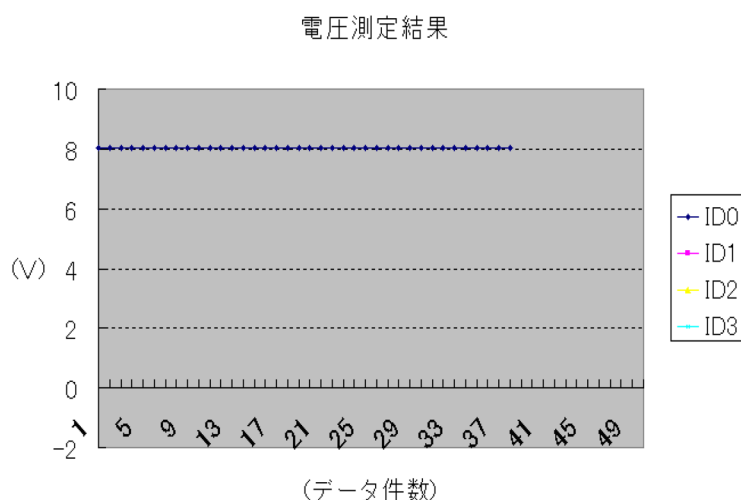


図5-3 測定データのグラフによる可視化

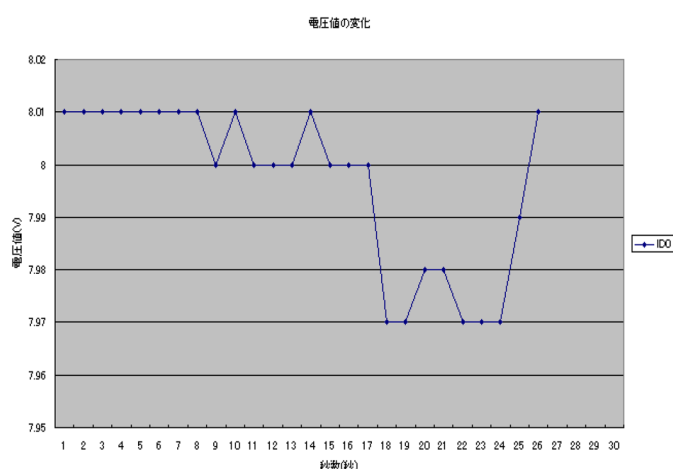


図5-4 測定データのグラフによる可視化

2) VB.NETプログラムの評価

発電・計測装置からのデータ測定とグラフ作成および表示ができることを確認した。ExcelSheetの作成、データの測定やグラフ作成および表示など試作プログラムと同様の結果が確認できた。図5-4に測定データのグラフによる可視化を示す。

6. 計測プログラムの課題

燃料電池から発生する電圧値には変化がないためデータを測定してもグラフの推移に変化は見られなかった。

ExcelVBAプログラムでは測定した値を直接Sheetに書き込むようにしていたが、測定データを登録しているcsvファイルを一端、Excelのxlsファイルに変換することで容易にグラフを作成および表示した。グラフのデータ項目数の傾き表示の改善やSheetに合わせたデータ項目数の表示では、グラフに表示されるデータ項目数をマニュアルにて設定できるようにした。VB.NETプログラムでは秒数、単位、データ項目合計数の処理にズレがあり改善を行った。

7. 実習教材としての今後の課題

出力電圧の高い燃料電池を使用し、負荷に応じて電圧値が測定できる機能を検討したい。また、ExcelSheetを全面に表示しないでグラフを作成および表示することを検討したい。さらに、xlsファイル作成の自動化や処理の高速化を図るため、中間ファイルであるcsvファイルの使用方法や図4-10で述べた測定データの表示不具合なども検討したい。

8. まとめ

発電・負荷装置とExcelVBAおよびVB.NETプログラムを用いてデータの測定、グラフの作成および表示ができる実習教材ができた⁶⁾。

ExcelVBAおよびVB.NETプログラムの作成では、仕様の見直しや課題検討、発電・負荷装置を製

作するために予想以上の時間を要し、作業工程の調整不足もあって完成が遅れてしまった。実習ではレビュー検討会も同時に進め工程遅れの調整を行う必要性を感じた。装置の製作では、配線ミスや部品の向きが逆などのミスもあった。設計図や手順を教材に表記することでミスを少なくしたい。半田づけや配線設計、配線作業ができたことは良い経験となった。

今後は、グラフ表示や操作性向上のための改良や機能を追加して計測プログラムを改善したい。また、異なる燃料電池の活用も検討してみたい。

本教材を用いて実際の実習訓練で試行する予定であるが、教材の見直しや教材を用いた指導方法の違いが習得度や満足度にどう影響するか⁵⁾といった訓練の評価についても検討していきたい。

<参考文献>

- 1) 技術評論社, 「自然エネルギーの活用にチャレンジ」, トランジスタ技術, P251～252, 2006/ 8
- 2) 技術評論社, 「自然エネルギーの活用にチャレンジ」, トランジスタ技術, P236～241, 2006/ 9
- 3) 秋元格・千葉三樹男・山本寛:『図解入門塾すぐわかる! 燃料電池の仕組み』, P16～21, 28, 29, 38, 39, 2001
- 4) 池田宏之助:『入門ビジュアルテクノロジー燃料電池のすべて』, P14, 15, 24, 25, 28, 29, 2001
- 5) 鳥谷部 太:「USBを活用したGUIアプリケーション実習教材の検討」, 四国職業能力開発大学校紀要, 第21号, P27, P31, 2009/12
- 6) 川上 拓也:平成19年度 専門課程 情報技術科 総合制作実習 概要集, 「発電・負荷装置の製作と計測プログラムの検討」, P1～4, 2009/ 3
- 7) ㈱タートル工業, <http://www.turtle-ind.co.jp/03products_info/catalogue/TUSBS01VM.pdf>, 計測制御用ツール, (参照 2010/ 1)

注. 「Excel VBA」, 「Visual Basic.NET」は米国マイクロソフト社の登録商標です。