

課題情報シート

テーマ名 :	燃料電池エコカーの製作 (その2) - 自動計測システムの構築 -				
担当指導員名 :	川守田 聡	実施年度 :	25 年度		
施設名 :	東北職業能力開発大学校附属青森職業能力開発短期大学校				
課程名 :	専門課程	訓練科名 :	電気エネルギー制御科		
課題の区分 :	総合制作実習課題	学生数 :	2	時間 :	12 単位 (216h)

課題制作・開発のポイント

【開発 (制作) のポイント】

センサ回路の製作では、例えば、電流を計測するためにホール IC を使用しています。ホール IC は電流が 0 (磁界が 0) の状態で 1 V 程度の出力電圧が発生しています。この出力電圧をどのように処理するという問題点があり、授業だけでは学べない事項が発生します。これをハード上あるいはソフト上で処理するテクニックがポイントとなります。

また、燃料電池は片電源でありますので、センサ回路も片電源で動作する回路にする工夫も必要となります。

さまざまな制約をどのようにして乗り切るかを達成することもポイントとなります。

【訓練 (指導) のポイント】

電気エネルギー制御科では 2 年次の 5 期にマイコンによるプログラミング実習があります。この授業で得た技術を実際にエコカーに応用することで、マイコンプログラミングに対する理解を深めることができます。また、センサ回路を製作することで、2 年次の専門学科で習得するセンサ工学についても理解を深めることができます。さらに、電子回路についても理解を深めることができます。専門課程で習得した技能・技術をフルに生かせる研究テーマです。

また、エコカーの製作においては、機械関係、電気関係、情報関係の内容が詰まっており、専門課程における総合制作実習において、他科との連携をとることにより、応用課程と同様なワーキンググループ方式を導入することができます。

課題に関する問い合わせ先

施設名 : 東北職業能力開発大学校附属青森職業能力開発短期大学校
住所 : 〒037-0002 青森県五所川原市大字飯詰字狐野 171-2
電話番号 : 0173-37-3201 (代表)
施設 Web アドレス : <http://www3.jeed.or.jp/aomori/college.html>

課題制作・開発の「予稿」および「テーマ設定シート」

次のページ以降に、本課題の「予稿」および「テーマ設定シート」を掲載しています。

燃料電池エコカーの製作

青森職業能力開発短期大学校
指導教員 川守田聡

1. はじめに

毎年5月4日、5日、秋田県大潟村ソーラー・スポーツラインにおいてWEM大会が行われ青森校も参加している。WEM大会とはワールドエコノムーブ大会のことで、鉛蓄電池や燃料電池を使った電気自動車の競技である。4日は予選、5日は本選である。

燃料電池部門では支給された水素ポンペをエネルギー源とし、2時間以内でどれだけの走行距離であったかを競うものである。支給された水素ポンペ以外いかなるエネルギー源も搭載してはならないこととなっている。

青森校では燃料電池は競技指定になっている、大同メタル工業製 HFC-1275™ を使用している。平成24年度は使用している燃料電池の電気的特性（電流－電圧特性、電流－電力特性、温度特性）がどのようなものかわかっていなかったため、これを明らかにした。さらに、2つの燃料電池の最も効率の良い使い方を考案した。

平成25年5月の大会に参加したが、競技結果は4位であった。2つの燃料電池の最も効率の良い使い方をして競技に臨んだが思うようにモータから駆動力が出力されず、速度がかなり遅い状態であった。

今回の研究はモータからの駆動力が小さかった原因を解明し、改善させることを目的とする。

改善項目としては、①低温度対策、②湿度対策、③電気系統の見直し（DC/DCコンバータの特性測定、保護回路の特性測定、モータの動作確認（モータの選定）、充電用コンデンサの必要性の検証）が上げられる。その他、競技中の燃料電池の動作を検証するためにマイコンを使った自動計測システムの製作（時間・電圧・電流・電力・温度）、ファンの回転数制御回路の製作、回生エネルギーシステムの製作等を行う。

2. 低温度対策

図1に燃料電池A（出力40[W]）の温度特性測定回路接続図を示す。恒温槽の中に燃料電池Aのみを入れた。水素流量は600[mL/min]、室温20[°C]、加湿度37[%]、ファン電圧12[V]、ファン電流0.65[A]である。図2に燃料電池Aの温度に対する電流－電圧特性を示す。

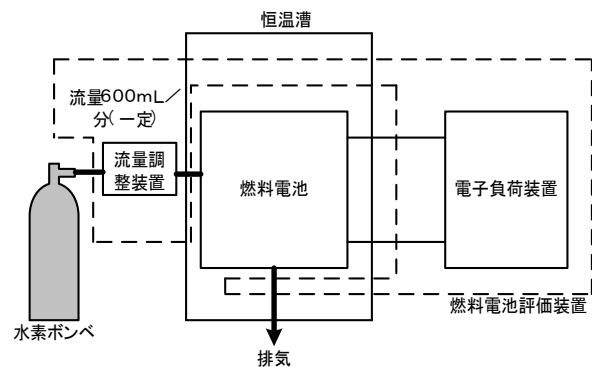


図1. 燃料電池Aの温度特性測定回路接続図

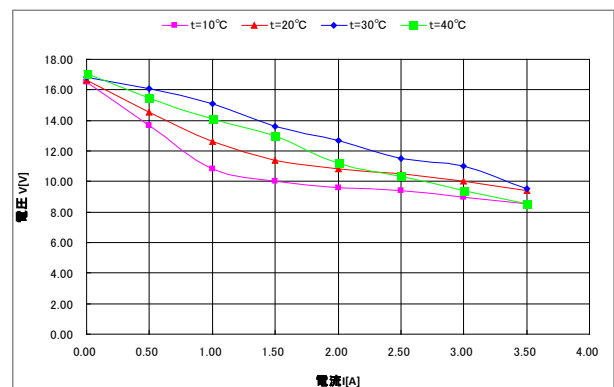


図2. 燃料電池Aの温度に対する電流－電圧特性

周囲温度が10[°C]のとき、温度が低いため、水素と酸素の化学反応が鈍くなり、発電量が少なくなっている。20[°C]、30[°C]と周囲温度が上昇するにつれて化学反応が活発になり、発電量が増加していることがわかる。40[°C]

になると燃料電池内部の発熱温度に周囲温度が加算され、温度に対する湿度が低くなり、燃料電池内部にある高分子膜が乾燥することにより、水素のイオン化が低下し、化学反応が弱まり発電量が減少していることがわかる。このことから、燃料電池を使用する場合、周囲温度の低下により燃料電池の発電量が減少することから、燃料電池を温める必要がある。WEM大会の周囲温度は約 15 [°C] であったため、低温度に対する保護が必要になる。

図 3 に燃料電池の保護箱による温度上昇の原理を示す。燃料電池は空気と水素ガスにより電気と水を発生する。その場合、酸素と水素の化学反応により燃料電池内部に熱が発生する。この発生した熱を正帰還させることにより、燃料電池保護箱内部の温度を徐々に上昇させる。ただし、新しい空気が必要であるため空気の取り込みも行う。

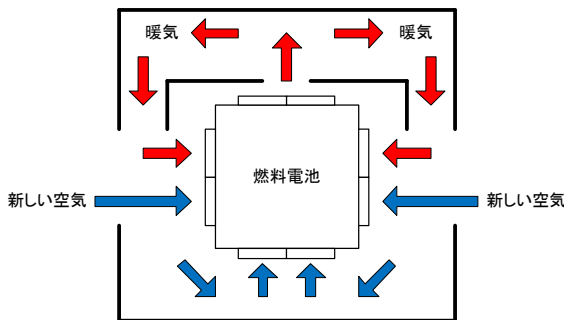


図 3. 燃料電池の保護箱による温度上昇の原理

燃料電池保護箱は空気取り入れ用の穴が開いていて、保護箱内に空気取り込み用ファンが 12 個、水蒸気排出用ファンが 4 個付いている。ファンが付いているが、放熱としてのファンは無いので、空気の循環は内部のみとなっている。

燃料電池保護箱の表面温度は伝熱工学により次の式によって求められる。

$$Q=1.86S_{eq1} \Delta T^{1.25} + \varepsilon \sigma S (T^4 - T_{\infty}^4)$$

ここで、 Q :全放熱量 [W]、 S_{eq1} は等価表面積で、上面、側面、下面の面積をそれぞれ S_{top} 、 S_{side} 、 S_{bottom} とすれば、

$$S_{eq1} = 4/3S_{top} + S_{side} + 2/3S_{bottom}$$

S : 筐体表面積 $S_{eq1} = S_{top} + S_{side} + S_{bottom}$

σ : ステファン・ボルツマン定数 5.67×10^{-8} [W/m²・K⁴]

T : 筐体表面温度 [K]、 T_{∞} : 室内温度 [K]

ΔT : 温度差 $= T - T_{\infty}$ [K]、 ε : 筐体表面の放射率

図 4 に筐体の外観を示す。高さ 200 [mm]、幅 230 [mm]、奥行き 240 [mm]、筐体表面の放射率 $\varepsilon = 0.5$ としている。

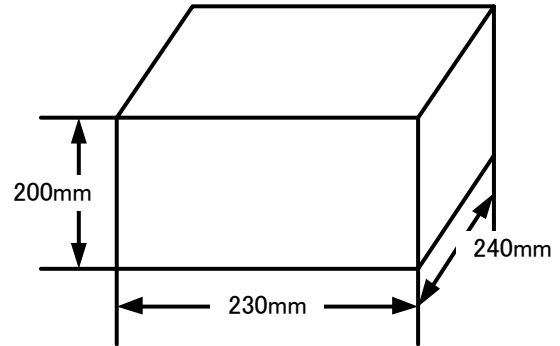


図 4. 燃料電池保護箱の外観

計算により、 $\Delta T = 27$ [°C] が見込まれる。燃料電池保護箱の内部の温度は下式によって求められる。

$$Q = 1.78S_{eq2} \Delta T_m^{1.25}$$

$$S_{eq2} = S_{top} + S_{side} + 1/2S_{bottom}$$

ここで、 ΔT_m : 筐体内部の空気の温度上昇 [K] 計算により、 $\Delta T_m = 47.43$ [°C] が見込まれる。

表 1 に周囲温度 18 [°C] の場合の筐体表面温度と内部の温度の測定値を示す。

表 1. 筐体の温度上昇特性

時間 (分)	筐体表面の温度上昇 [°C]				筐体内部の空気の温度上昇 [°C]			
	上面	側面	下面	平均	上部	中部	下部	平均
0	19.3	18.6	13.8	17.2	18.7	17.4	15.1	17.1
30	39.2	43.5	37.7	40.1	51.7	46.7	49.7	49.4
60	43.2	47.7	44.1	45.0	57.0	51.3	55.0	54.4
90	44.5	50.0	47.7	47.4	58.5	52.6	57.0	56.0
120	44.2	50.1	49.0	47.8	58.9	55.5	57.6	57.3
実測 値	24.9	31.5	35.2	30.5	40.2	38.1	42.5	40.3
理論 値				27.0				47.4

表1より、理論値と実測値がほぼ10度以内の誤差の中に入っている（伝熱工学では理論値と実測値は10度以内の誤差であれば理論通りと考える）ので、この筐体で十分に燃料電池を温めることができることがわかった。図5に燃料電池保護箱の温度測定の様子を示す。燃料電池保護箱は3 [mm] 厚のアクリル板を使用した。熱源には燃料電池B（出力60 [W]）の発電量と同じ消費電力の60W電球を使用した。温度測定には熱電対を用いたデジタル温度計（HOZAN : DT-510）を使用した。

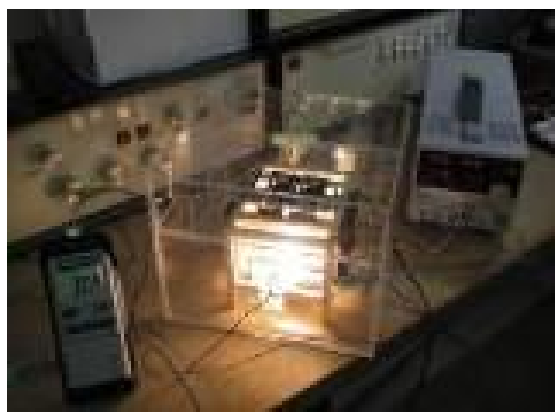


図5. 燃料電池保護箱の温度測定の様子

3. 湿度対策

燃料電池の内部にある高分子膜は乾燥すると水素のイオン化が低下し、化学反応が弱まり発電量が減少する。そのため、高分子膜は常時適度な湿り気を帯びている状態が良い。

しかし、1年間を通して燃料電池を使用するのは競技大会が近い1ヶ月前くらいだけである。そのため、冬季の乾燥した空気の中で保存されるため高分子膜が乾燥しきってしまう。競技中も高分子膜を適度な湿度に保つために、燃料電池に流入する水素ガスに水蒸気を混ぜることにより乾燥を改善することができる。

今回はアズワンTM製、ガス洗浄瓶（広口タイプ）250mLを使用した。図6にバブリング容器を示す。バブリング容器は水素ガス圧力0.07 [MPa]に耐えることが確認できた。さらに、図7に示すようにバブリング容器を接続コネクタまで浸す水の中に2分間浸し、ガス漏れを起こさないか確認を行った。その結果、2個の接続コネク

タとチューブ間、フタと容器の間、フタとチューブの接続点からのガス漏れはなかった。



図6. バブリング容器の外観



図7. バブリング容器のガス漏れ試験

4. 自動計測システムの製作

自動計測システムでは①時間、②燃料電池の出力電圧、③燃料電池の出力電流、④燃料電池の出力電力、⑤燃料電池の内部温度の5つを測定できるようにした。

自動計測システムの構成は、電圧計測回路、電流計測回路、温度計測回路から発せられる信号をマイコンに送り、マイコン内部でプログラムにより、時間、電圧、電流、電力、温度の5つのデータを一旦マイコンに搭載されているEEPROMに送り記録し、その後、パソコンからEEPROMに記録されているデータを読み出すシステムである。

時間の計測はソフトウェアタイマを使用した。これは FOR 文を使用した二重ループによりタイムラグを発生させるもので、ソフトウェアタイマ関数 DelayMs(100)とすると 100 [ms] のタイムラグとなる。

燃料電池の出力電圧計測は次のように行った。

図 8 に示すように、燃料電池を 2 台直列に接続した場合の開放電圧は 34 [V] である。燃料電池が発生する電圧は抵抗 R_1 、 R_2 によって分圧し、マイコンに 5 [V] の電圧が入力されたとき、34 [V] となるようにプログラムで算出するようにした。分圧抵抗にできるだけ電流が流れないように高抵抗を使用した。抵抗 $R_1=750$ [k Ω]、 $R_2=130$ [k Ω] である。

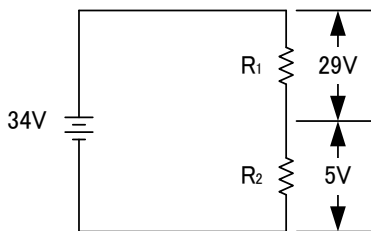


図 8. 電圧計測

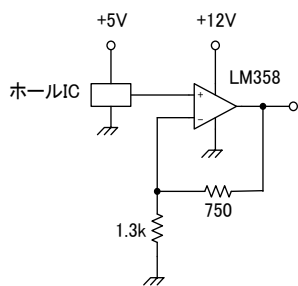


図 9. 電流計測回路の回路図

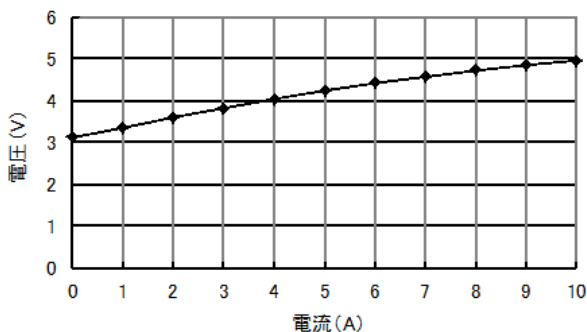


図 10. 電流計測回路の特性

燃料電池から出力される出力電流計測は松下電器 TM 社製ホール IC (リニア出力) DN835 を

使用した電流計測回路で行う。電流が流れる電線の周囲に発生する磁界をホール IC で検出するものである。

磁界が 0 (電流が 0 [A]) でホール IC から 3 [V] の電圧が出力されるので、プログラム上で 3 [V] 分の値を減算している。

図 9 に電流計測回路の回路図を、図 10 に電流計測回路の特性を示す。

燃料電池の内部温度を測定するために、K 型熱電対を用いた温度測定回路を製作した。K 型熱電対が発生する微小電圧を専用 IC であるアナログデバイゼス社製の AD595 を使って増幅させた。+5 [V] 単電源で動作させると 0 [°C] ~ 300 [°C] の測定を行うことができる。LM385 を使用した非反転増幅回路で 100 [°C] で 5 [V] になるように調整した。図 11 に回路図を、図 12 に特性を示す。

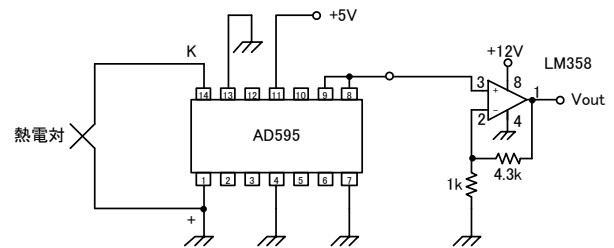


図 11. 温度測定回路の回路図

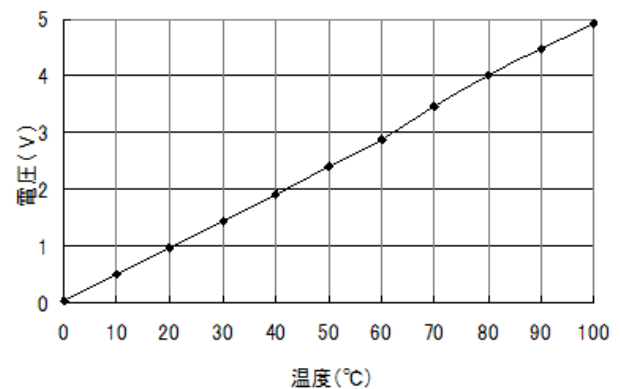


図 12. 温度測定回路の特性

電力の計測はプログラム上で測定した電圧と電流の積によって算出している。

時間、電圧、電流、電力、温度、の計測に使用するマイコンは H8/3069F を使用した。A・D コンバータはスキャンモードを使用している。

マイコンに搭載されている EEPROM に記録

されたデータをSCI機能を使用してRS-232Cシリアルケーブルを通してマイコンからパソコンにデータを転送する。パソコン側ではパソコンのシリアルインターフェースの「COMポート」を使用し、Visual Basic®6.0(以下VB)に標準で組み込まれた機能であるコミュニケーションコントロール (MSComm) を用いてマイコンから送られてくるデータを受信しVBによって作成されたformにデータを表示する。さらに受信したデータをVBに組み込まれているグラフィック機能のMSChartコントロールを使用することにより、棒グラフで発電電圧、電流、電力、温度をパソコン画面に表示することができる。

図13にマイコン液晶画面の表示を、図14にVBで制作した測定画面を示す。



図13. マイコン液晶表示

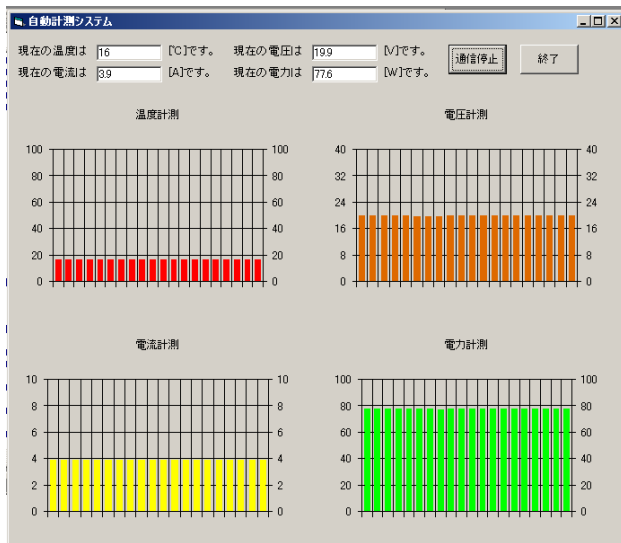


図14. VBの測定画面

5. おわりに

今年度の研究では、①低温度対策、②湿度対策、③自動計測システムの3点しか研究できなかった。③の自動計測システムでは、計測したデータをEEPROMに書き込み、それを読みだすところまではできなかった。また、センサ回路とマイコンの車体への搭載も残っている。ただし、自動計測システムの製作ができたため燃料電池を可動した場合の発電量や内部温度が測定でき、電気系統の見直しに使用することができる(この場合は、EEPROMにデータを送らずに、直接パソコンにデータを送る)。

今後引き続き、

- ①自動計測システムの製作
- ②電気系統の見直し
- ③充電用コンデンサの必要の検証
- ④ファンの回転数制御回路の製作
- ⑤回生エネルギーシステムの製作

等を行う。

④と⑤に関しては電子回路による制御は難しいように思われるが、マイコンで制御すれば可能となる。

今後の発展的な課題としてはマイコンによる燃料電池の計測ができることから、大変難しいテーマとなるかもしれないが、マイコンによるモータの制御ができるのではないかと考えることができる。

本格的な電気自動車の研究に発展できると考えられる。

参考文献

- (1)大須賀威彦、C言語による組込み制御入門講座、電波新聞社、2006年
- (2)横山直樹、C言語によるH8マイコンプログラミング入門、技術評論社、2006年
- (3)伊藤謹司・国峰尚樹、トラブルをさけるための電子機器の熱対策設計、日刊工業新聞社、2006年
- (4)西川兼康、図解伝熱工学の学び方、オーム社、1984年

課題実習「テーマ設定シート」

作成日： 8月 1日

科名：電気エネルギー制御科

教科の科目		実習テーマ名	
総合制作実習		燃料電池エコカーの製作	
担当教員		担当学生	
電気エネルギー制御科 川守田 聡			
課題実習の技能・技術習得目標			
燃料電池エコカーの製作を通して、設計、製作及び組立・調整技術、グループにおけるプロジェクト運営の総合的な実践力を身に付けるとともに、電気回路・電子回路の設計技術、配線技術を身に付けます。			
実習テーマの設定背景・取組目標			
実習テーマの設定背景			
燃料電池はエコカー等にも利用されていますが、本実習では、単に燃料電池エコカーを製作するだけでなく、燃料電池の原理・構造を理解し、燃料電池を制御する電子回路を開発するという付加機能を持たせることにより、「モノづくり」の面白さや発展性を理解するとともに、期限までに成果物を完成させることでスケジュール管理の重要性を認識します。			
実習テーマの特徴・概要			
昨年度まで、使用している燃料電池の電氣的諸特性を解析することができました。また、複数の燃料電池の使用法についての考察も行い、最適使用法を考案することができました。本年度はこの使用方法により、燃料電池エコカーの駆動回路、制御回路の製作を行います。また、マイコンによる燃料電池の発電電圧・電流・電力および内部温度の自動計測システムの開発を行います。			
No	取組目標		
①	燃料電池の動作原理および構造について理解します。		
②	駆動回路および制御回路の製作、動作確認、特性測定を行います。		
③	マイコンの基本プログラミングについて理解します。		
④	マイコンによる燃料電池の発電電圧・電流・電力および内部温度の自動測定システムの製作を行います。		
⑤	想定した動作が行われなかった場合には、問題を分析し、その問題の解決に取り組みます。		
⑥	総合動作確認を行い、特性の測定を行います。		
⑦	5S（整理、整頓、清掃、清潔、躰）の実現に努め、安全衛生活動を行います。		
⑧	報告書の作成、製作品の展示及び発表会を行います。		
⑨			
⑩			