

課題情報シート

テーマ名	燃料電池エコカーの製作 —燃料電池の特性測定・評価—				
担当指導員名	川守田 聡	実施年度	24 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	制御技術科		
課題の区分	総合制作実習課題	学生数	1	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】

昨年までは、燃料電池そのものの電気的特性を考慮せずにモータを駆動させていました。そのため、燃料電池の特性を十分にできていませんでした。

今回、その特性を明らかにするとともに、燃料電池の性能が最も効率よく動作する電圧・電流等を解析することができました。また、燃料電池を数年使用したため、その一部セルが劣化し燃料電池全体の能力を低下させていることも明らかにすることができました。

劣化セルを取り除くことにより、燃料電池全体の能力が向上することを確認しました。更に、今までは1台の燃料電池をエネルギー源としていましたが、2台をうまく組み合わせることにより、システム全体の能力を向上させることができることも明らかにすることができました。

製作を通して燃料電池の性質を明らかにし、温度・湿度などの弱点をいかに改善するかの実験もできました。

【訓練（指導）のポイント】

燃料電池の電気的特性を測定することにより、燃料電池の基本特性を理解することができました。さらに、温度特性などを測定することにより、燃料電池の持つ性能変化についても解りました。劣化セルの除去作業では、燃料電池を分解することにより、内部構造を目で見るだけでなく、高分子膜の劣化に対する考察をすることができました。実際に専門書の写真でしか見ることができないものを直接見ることができ、学生の理解を深めることができました。

測定を通して、燃料電池が温度・湿度に対して弱いことが体験でき、また、その回避方法も検討することができ、学生にあらゆる面で興味を持たせて習得させることができました。

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/>

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。

制御技術科 一戸 貞仁
指導教員 川守田 聡

1. はじめに

東北職業能力開発大学校青森校ではWEM大会に毎年参加している。WEM大会とはワールドエコムーブ大会のことで、鉛蓄電池や燃料電池を搭載した電気自動車の競技である。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のいかなるエネルギー源も搭載してはならないこととしている。

2012年5月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、タイヤのパンクもあり上位入賞を逃し、6位と7位であった。

これまでは、ボディ、タイヤなどの機械的機構部の改善が行われたきたが、搭載している燃料電池の電気的特性が明らかにされていなかった。

今回、大会で使用している燃料電池の電気的特性を明らかにしたので報告する。

2. 燃料電池とは

燃料電池は化学的エネルギーを電気エネルギーに変換する装置である。燃料電池に水素と酸素を流入させると、電気と水が生じるものである。また、二酸化炭素や環境汚染物質が発生することがないので非常に環境に優しいクリーンなエネルギー源である。

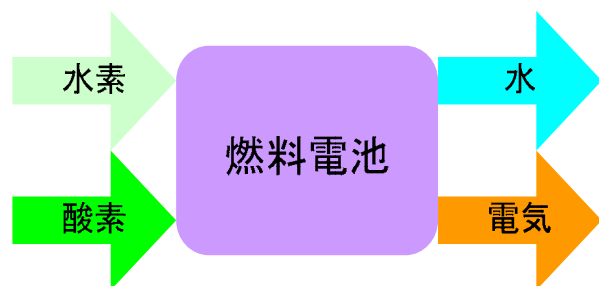


図1. 燃料電池の入力と出力

燃料電池の反応を式で表すと次のようになる。

$$\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{電気エネルギー}$$
 燃料電池の反応は燃料極に水素分子が当たる

と水素分子がイオン化する。水素イオンは電解質を通り、電子は負荷を通る。酸素極まで通過した水素イオンと電子が酸素極で酸素と結合することにより、酸素極から水が発生する。燃料極で水素分子から離れた電子が負荷を通過して酸素極に流れることにより、負荷で電気を消費する仕組みとなっている。

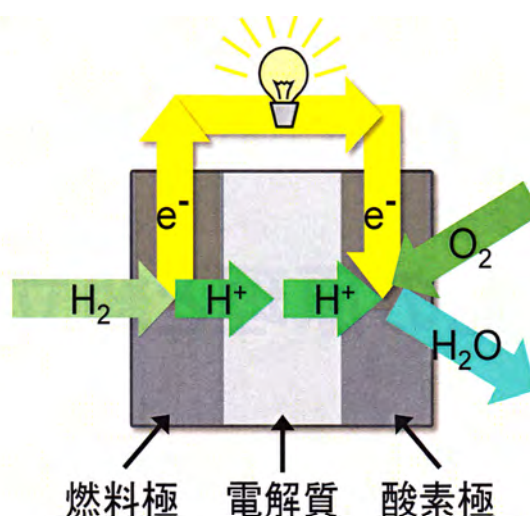
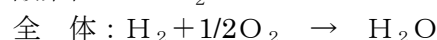
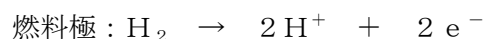


図2. 燃料電池の反応



燃料電池は生成・排出されるのは水だけであり、騒音・振動を発生しないクリーンな発電装置である。さらに、火力発電では燃料→熱→仕事→電気という行程を経て電気エネルギーを得るため効率が30%程度であるのに対し、燃料電池は燃料→電気エネルギーを得るため、理論効率は83%と非常に高い発電効率を持っているという特徴がある。

電池とは「化学変化、温度差、光などの作用によって電極間に電位差を生じさせる装置」である。電池は化学電池と物理電池の2つに分かれ、化学電池は①一次電池 ②二次電池 ③燃料電池 の3つに分かれる。一次電池とは使いきりの電池のことで、一度放電して容量を失うと廃棄して新しいものと取り替えなければならない電池のことでマンガン乾電池、リチウム電

池などである。二次電池とは使い切りではなく充放電の繰り返しができて再使用可能な電池のことである。一度放電したものに外部電源より逆方向の直流を与えて充電すると、再び容量を回復して繰り返し使用できる。鉛蓄電池、リチウムイオン二次電池などがある。燃料電池は化学変化を利用して電気を取り出すという点では一次電池・二次電池と同じであるが、燃料を供給し続けることで電気を連続的に取り出すことが可能である。

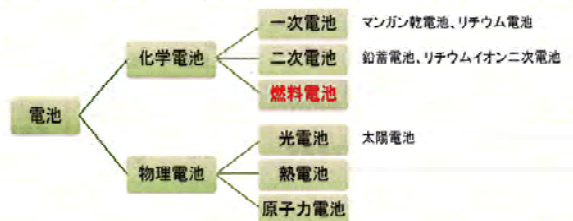


図3. 電池の種類

燃料電池には、主に①アルカリ電解質形 ②りん酸形 ③溶融炭酸塩形 ④固体高分子形 ⑤個体酸化物形の5種類がある。自動車や携帯機器用としては常温から100℃付近で運転し、起動が早く、高出力密度が得られ小型・軽量化が可能である固体高分子形燃料電池（PEFC）が使用される。今回競技に使用している燃料電池HFC-1275（大同メタル工業製）も固体高分子形である。

表1. 燃料電池の種類

	アルカリ電解質形	りん酸形	溶融炭酸塩形	固体酸化物形	固体高分子形
電解質	水酸化カリウム	りん酸	炭酸リチウム 炭酸ナトリウム	安定化ジルコニア	イオン交換膜
イオン伝導種	OH ⁻	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻	H ⁺
作動温度	室温-150℃	190-200℃	600-700℃	800-1000℃	室温-100℃
燃料	純水素	水素	水素 一酸化炭素	水素 一酸化炭素	水素
発電出力	数kW~ 数十kW	数十kW~ 数百kW	~数百MW	数kW~ 数十MW	数W~ 数十kW
用途	宇宙船等 特殊用途	定置発電	定置発電	家庭電源 定置発電	家庭電源 携帯端末 自動車

固体高分子形燃料電池の構造は図4のようになっている。高分子電解質膜は水素イオンを通しやすく電子を通さない性質がある。触媒は水素分子のイオン化を促進させる働きをする。セパレーターはガスの通路となる溝付きのプレートである。1枚のセルを単セルといい、理論起電力は1.23[V]で、単セルを数個から100個直列に接続したものをスタックという。

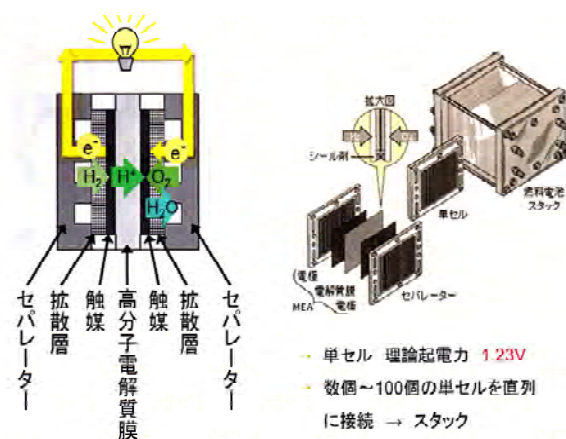


図4. 固体高分子形燃料電池の構造

3. 燃料電池の電気的特性

昨年まで競技で使用した燃料電池を「燃料電池A」、未使用の燃料電池を「燃料電池B」と呼ぶこととする。図5に燃料電池Bの外観を示す。



図5. 燃料電池Bの外観

図6に燃料電池の電流-電圧特性、電流-電力特性を測定するための測定図を示す。

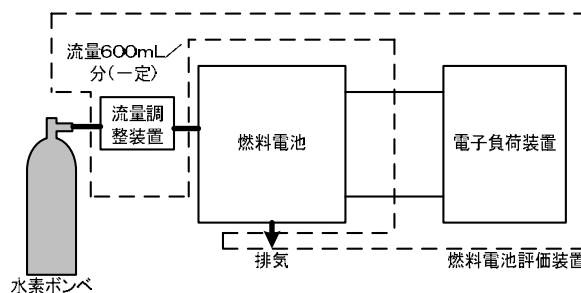


図6. 燃料電池の電流-電圧・電力特性測定図

測定には青森県産業技術センターが所有する「燃料電池評価装置」を使用した。

図7に燃料電池Aの電流-電圧特性、電流-電力特性を示す。

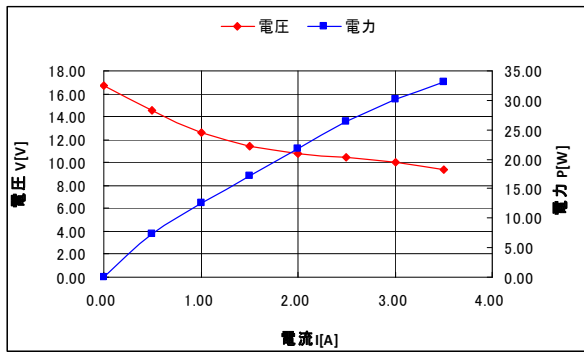


図7. 燃料電池Aの電流－電圧・電力特性

図7より、水素流量600 [mL/min]、室温20 [°C]、ファン電圧12 [V]の測定条件で電圧 $V = 9.43$ [V]、電流 $I = 3.5$ [A]で最大電力 $P = 33$ [W]となった。開放電圧 V_0 は16.7 [V]である。3枚のセルの劣化が確認できた。1枚あたり約-0.35 [V]のマイナス電圧を発生し、3枚で約-1 [V]のマイナス電圧である。負荷電流が4 [A]以上になると水素が足りないことにより、不安定な動作となった。メーカーが提示している定格は水素流量1100 [mL/min]で85 [W]である。

温度特性の測定を行った。図8に測定方法を示す。燃料電池Aのみを恒温槽に入れた。

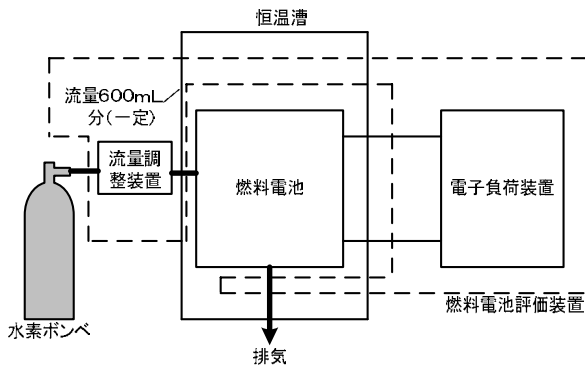


図8. 燃料電池Aの温度特性測定図

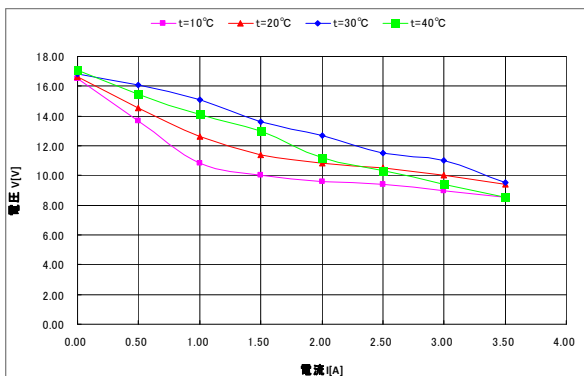


図9. 温度に対する電流－電圧特性

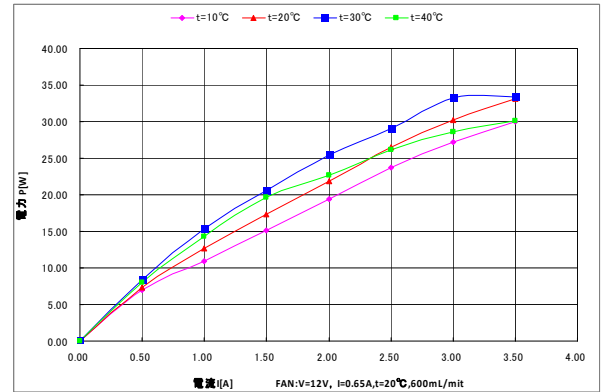


図10. 温度に対する電流－電力特性

図9に温度に対する電流－電圧特性、図10に温度に対する電流－電力特性を示す。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、温度に対する相対湿度が低くなり、燃料電池内部にある高分子膜が乾燥することにより、水素イオンが移動しにくくなり、化学反応が弱まり発電量が減少している。

空気量に対する発電量の測定を行った。ファンの電源電圧が9 [V]と12 [V]のときを比較した。図11に電流－電圧・電力特性を示す。

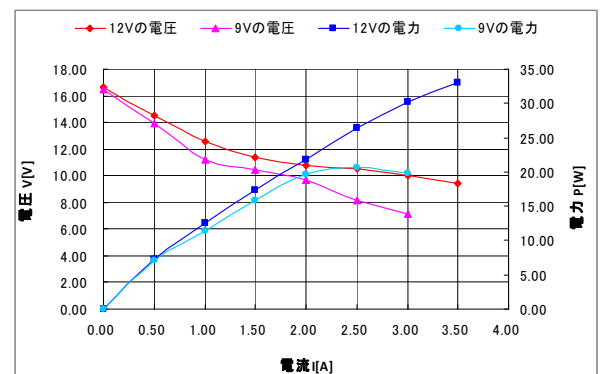


図11. 空気量に対する電流－電圧・電力特性

図11より、ファンの電源電圧が9 [V]では空気量が12 [V]に比べて少ないため、反応が鈍くなり発電量が少なくなることがわかる。負荷電流が2 [A]以上で変化の違いがはっきりとわかる。このときファンに流れる電流は0.65 [A]で消費電力が7.8 [W]である。燃料電池Bの電流－電圧・電力特性を示す。

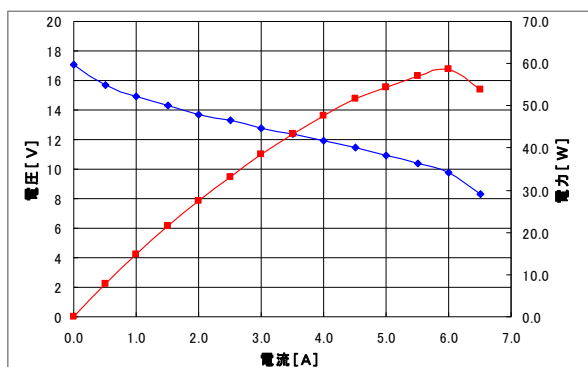


図 1 2. 燃料電池 B の電流－電圧・電力特性

図 1 2 より、電圧 $V = 9.8$ [V]、電流 $I = 6$ [A] で最大電力 58.8 [W] となった。開放電圧 $V_o = 17.1$ [V] である。この燃料電池はあまり使用されていないので、劣化の度合いが少ないことがわかった。

ここで、競技大会用水素ポンベの流量がどのくらいの量なのかの測定を行った。図 1 3 に測定図を示す。

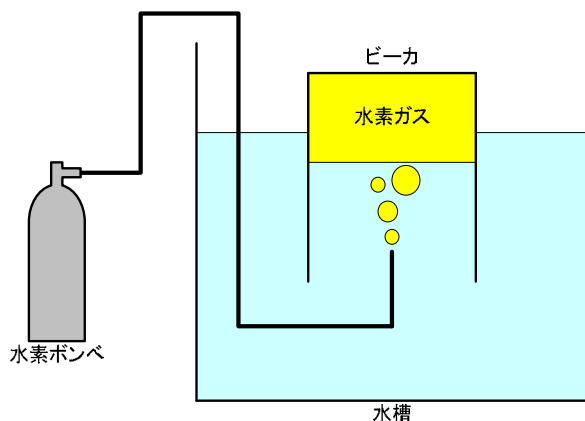


図 1 3. 競技用ポンベの流量測定図

水の中にビーカーを逆さに入れて、ビーカー容量 500 [mL] に水素量が達する時間を測定した。水素ポンベには予め燃料電池を接続した状態でレギュレータが 0.07 [MPa] になるようにレギュレータの流量調整ツマミを調整した。

これより、 500 [mL] の水素が溜まるのに 8 秒という結果が得られた。1 分間 (60 秒) では 3750 [mL/min] になる。ただし、水素ポンベは長時間使用すると水素の気化のため回りから熱を吸収するので次第に冷たくなり、水素の流れがだんだん少なくなってくる。よって、競技用水素ポンベの最大流量は 3750 [mL/min] という結果が得られた。

燃料電池 HFC-1275 に付いている空気送風ファンはセパレータが空気を 4 方向から取り入れる構造となっているため、燃料電池に向かって空気が流れるように内向きに取り付けられている。

競技用ポンベは長時間使用するとポンベ自身が冷え水素の流れが悪くなる。そのため、水素ポンベを暖めることが必要になる。そこで、燃料電池内で発生する熱を水素ポンベに作用させることにより、水素ポンベの冷却を防ぐようにするために、水素ポンベを燃料電池の上部に置き、上部にあるファンを内向きから外向きにした。ファンの一部が内向きから外向きになることにより、セパレータ内に入り込む空気量が少なくなり、燃料電池の発電特性を劣化させる可能性がある。ファンの一部を内向きから外向きにすることにより、燃料電池の発電特性がどの程度低下するかを測定した。図 1 4 にファンすべてが内向きの場合と上部ファンだけを外向きにした場合の電流－電圧・電力特性を示す。測定条件は①室温 29°C ②水素流量 650 [mL/min] ③ファン電圧 12 [V] である。

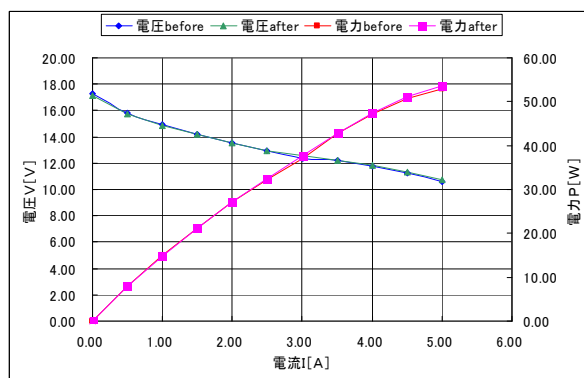


図 1 4. ファン風向きの違いによる特性

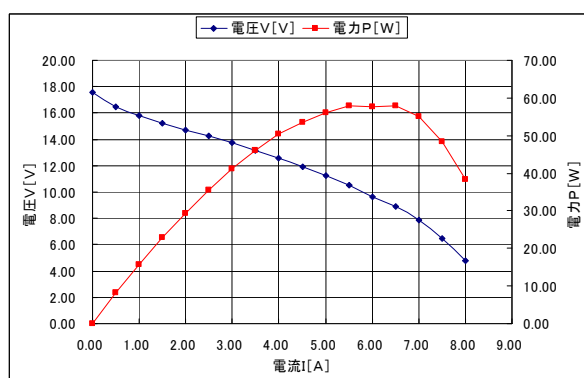


図 1 5. 競技用ポンベによる電流－電圧・電力特性

図 1 4 より電圧、電力ともにほとんど差がないことがわかった。これより、燃料電池上部の

ファンを外向きにし、その上に燃料電池を搭載することとした。

燃料電池評価装置では最大水素流量が650 [mL/min] である。競技用ポンベの最大水素流量は3750 [mL/min] であるので、競技用ポンベを使用することによる燃料電池の電気的特性の違いを測定した。図15に競技用ポンベ2本を使用した場合の電流-電圧・電力特性を示す。評価対象は燃料電池Bとした。

図12と図15を比較すると電流6 [A] で最大電力60 [W] で同じであるが、競技用ポンベでは水素流量が多いため、最大8 [A] まで電流が流せることがわかる。

4. 劣化セルの除去

燃料電池Aに3枚の劣化セルがあることが分かり、この3枚の劣化セルを取り除くこととした。図16に劣化セルを取り除く作業風景を示す。図17に示すように、劣化セルから沢山の粉塵が出てきた。これはレース等で使用することにより外から砂などのゴミが入り込んだことによる。さらに触媒の匂いを嗅ぐと酢酸のような酸っぱい匂いがし、高分子膜が分解していることが確認できた。



図16. 劣化セル除去作業風景



図17. 劣化セルから出てきた粉塵

劣化セルは燃料電池の出力電極のプラス側から1番目、2番目、19番目の3枚である。構造の対称性から20番目の4枚を取り除いた。劣化セルを取り除いた燃料電池Aの電流-電圧・電力特性を再度測定した。図18に電流-電圧・電力特性を示す。

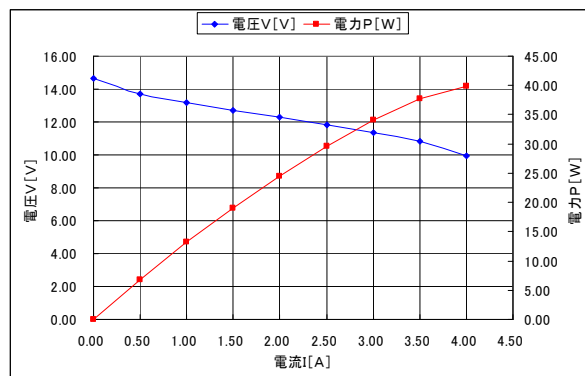


図18. 劣化セル除去後の電流-電圧・電力特性

図18を見ると、電流4 [A] で最大電力39.8 [W] となった。図6に示す除去前の特性と図18の除去後の特性を比較すると、除去前より約7 [W] の性能向上が認められた。

表2に負荷電流2 [A] 時での劣化セル除去後の燃料電池Aの各セルの電圧を示す。

表2. 燃料電池Aの各セルの出力電圧

セル番号	除去前[V]	除去後[V]
1	-0.268	除去
2	-0.228	除去
3	0.642	0.778
4	0.678	0.781
5	0.667	0.708
6	0.657	0.644
7	0.732	0.746
8	0.731	0.754
9	0.742	0.740
10	0.716	0.708
11	0.705	0.628
12	0.673	0.638
13	0.701	0.732
14	0.668	0.711
15	0.478	0.628
16	0.593	0.671
17	0.507	0.707
18	0.468	0.668
19	-0.332	除去
20	0.586	除去

劣化セル除去後、各セルは適切な電圧を発生していることが確認できた。

5. 2台の燃料電池の接続

燃料電池がAとBの2台使用することにより、燃料電池をどのように接続するかを検討した。2台の燃料電池の接続には①水素パイプが直列接続で、電圧が直列接続 ②水素パイプが並列接続で、電圧が直列接続 ③水素パイプが直列接続で、電圧が並列接続 ④水素パイプが並列接続で、電圧が並列接続 の4パターンと、⑤2台をそれぞれ別々に使用する方法である。図19に4パターンの接続方法を示す。

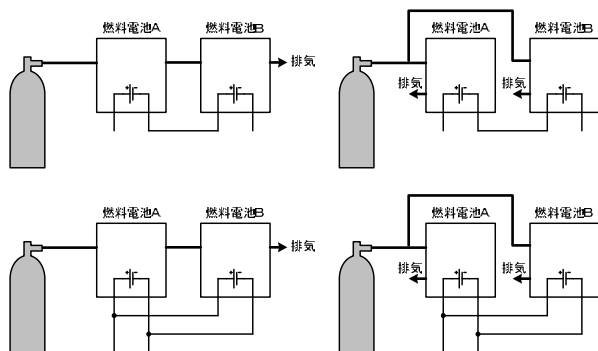


図19. 2台の燃料電池の接続法

図20に水素パイプが直列接続、電圧が直列接続の電流-電圧・電力特性を、図20に水素パイプが並列接続、電圧が直列接続の電流-電圧・電力特性を示す。

図20、図21を見ると、水素パイプが直列接続、電圧が直列接続の方が、電流5[A]まで流すことができ、さらに4[A]における最大電力が、水素パイプが直列接続、電圧が直列接続では86.6[W]、水素パイプが並列接続・電圧が直列接続では83.32[W]で、水素パイプが直列接続、電圧が直列接続の方が特性が良いことがわかる。

水素パイプが直列接続、電圧が並列接続、水素パイプが並列接続、電圧が並列接続では、2台の燃料電池の開放電圧が燃料電池Aで14.48[V]、燃料電池Bで16.95[V]と違うため、負荷を接続していない状態でも水素を消費し、電流が燃料電池Bから燃料電池Aに流れることが確認できた。これにより、無負荷状態でも電力の消費があることから、電圧の並列接続はエネルギーの無駄な消費が発生し、好ましくないことがわかった。

この結果から、4パターンの中で2台の燃料

電池の接続は水素パイプが直列接続・電圧が直列接続のときに最も良い特性が得られることがわかった。

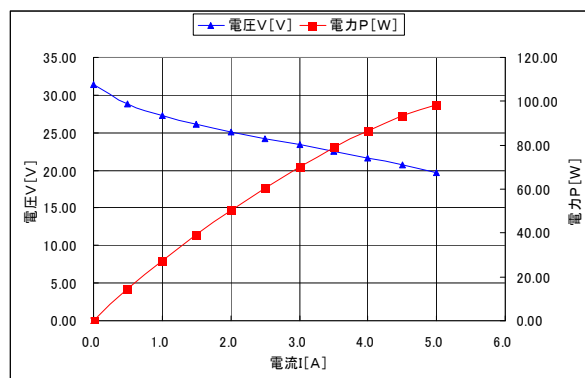


図20. 水素直列・電圧直列接続

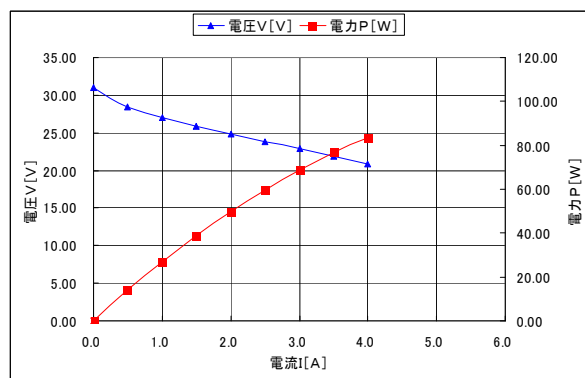


図21. 水素並列・電圧直列接続

燃料電池2台のうち1台をモータ駆動用、もう1台をファンやマイコン駆動用として使う方法もあるが、仮に燃料電池Aをファンやマイコン駆動に使用するとすれば、2台分のファンの消費電力は15.6[W]、マイコンの消費電力を5[W]としても合計20.6[W]となり、電力が余ることになる。これでは電力の使い方ももったいないので、残りの電力を駆動系に使いたい。その結果、燃料電池2台をそれぞれ個別に使う使い方は好ましくないと判断し、2台の燃料電池の使用法としては、水素パイプが直列、電圧が直列接続の接続で使うこととした。

6. おわりに

今回の研究を通して、今までブラックボックスだった燃料電池の電気的特性を示すことができ、当初の目標を達成することができた。

今後は2台の燃料電池を使って電力制御する電子回路の製作に入っていく。大変有意義な研究テーマであった。

課題実習「テーマ設定シート」

作成日： 8月27日

科名：制御技術科

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 ー燃料電池の特性測定・評価ー	
担当教員		担当学生	
○制御技術科 川守田聡		○一戸 貞仁	
課題実習の技能・技術習得目標			
<p>燃料電池エコカーの製作を通して、設計、製作及び組立・調整技術等の総合的な実践力を身に付けるとともに、燃料電池の諸特性の測定を通して、燃料電池の原理・構造等に関する技術・技能を身に付けます。</p>			
実習テーマの設定背景・取組目標			
実習テーマの設定背景			
<p>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・構造を理解し新たな燃料電池の使い方を検討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。</p>			
実習テーマの特徴・概要			
<p>現在、出来上がっている燃料電池エコカーに搭載された燃料電池はメーカーのものをそのまま使用しているが、燃料電池の諸特性に関するデータはなく、最適なものであるかわからない状態です。まず、既存の燃料電池の性能を調べながら動作原理や構造を理解します。それを元に燃料電池に改良を加えます。製作した燃料電池の組立・調整・動作試験を行います。また、完成後は各種性能評価試験を行い、報告書を作成します。</p>			
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	燃料電池の各種特性測定を行い、評価を行います。		
③	新たな燃料電池エコカーの開発に向けて製作を行います。		
④	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。		
⑤	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。		
⑥	材料、工具、機器及び部品等については、チェックリストを用いて厳密に管理します。		
⑦	報告書の作成、製作品の展示及び発表会を行います。		
⑧	実習の進捗状況や、発生した問題等については、単独、グループの場合にかかわらず、担当教員へ報告します。		
⑨			
⑩			