

# 負荷投入時の電気二重層キャパシタの応答性 に関する基礎的検討

学生員 田島 大輔\* 学生員 佐藤 逸人\*  
学生員 平田 優心\* 正員 大坪 昌久\*  
正員 本田 親久\* 正員 本部 光幸\*\*

## Basic Concerning of Response of Electric Double Layer Capacitor in Load Changes

Daisuke Tashima\*, Student Member, Hayato Satou\*, Student Member, Yushin Hirata\*, Student Member,  
Masahisa Otsubo\*, Member, Chikahisa Honda\*, Member, Mitsuyuki Honbu\*\*, Member

Fuel Cell (FC) that works under the influence of chemical changes can not respond rapidly to sudden load changes. To overcome it, one normal method is to enlarge the capacity of FC, which results in the efficiency decreasing. As another effective method, an electric power storage device is used. Therefore, Electric Double Layer Capacitor (EDLC) that is not influenced by chemical reactions is paid attention. The purpose of this research is to overcome the problem of the load change by using the EDLC connected to the FC. The authors examined the load changes in two kinds of power supply modes. In one case, the power was supplied by FC only, while in another case, FC and EDLC connected in parallel were used for power supply. The results obtained from the comparison between two cases show that the output power of FC can be reduced by using EDLC. As a result, the power supply mode of the parallel connection of FC and EDLC can effectively solve the problem of load change.

キーワード：電気二重層キャパシタ，固体高分子形燃料電池，内部抵抗，応答性

**Keywords:** electric double layer capacitor, polymer electrolyte fuel cell, internal resistance, response

### 1. はじめに

燃料電池（以下 FC：Fuel Cell）は、酸素と水素を化学反応させ、直接電気を発生させる装置である。排出するのは水（ $H_2O$ ）のみであり、窒素酸化物（ $NO_x$ ）、硫黄酸化物（ $SO_x$ ）、二酸化炭素（ $CO_2$ ）の排出がない等、環境特性に優れている。また、発電と共に発生する熱を利用することができるなど高効率なエネルギーシステムとして、ホテルや病院、オフィスなど大規模な施設で分散型電源システムとしての導入が進められている<sup>(1)</sup>。また、FCは低振動や低騒音で、コンパクトにユニット化されており、設置場所の自由度が高く、建設工事が容易で工期も短く済むなどのメリットもある。将来的に小型化が進展すれば、家庭用の電源、熱

源や自動車用等の駆動用電源、離島や山間地での分散型電源として、利用の多様化も期待されている。さらに、近年著しく研究発展を遂げる電力貯蔵デバイスである電気二重層キャパシタ（以下 EDLC：Electric Double Layer Capacitor）を組み合わせることによって、電気機器の始動時の急峻な電力を EDLC で補償し、FC の定格電力を抑え、設備費を抑えることが可能であることも報告されている。これまで沢田らにより、MATLAB/Simulink を用いて、負荷電力パターンを変化させた時の FC と EDLC の供給電力のシミュレーションは報告されており<sup>(2)~(4)</sup>、FC の容量 1 kW において 700 Wh 程度の EDLC を組み合わせることが最適であることが報告されている<sup>(5)</sup>。しかし、実験的に FC、EDLC によるハイブリッド電源を用い、EDLC の内部抵抗を変化させた時の応答特性を確認したデータは示されていない。筆者らはこれまで、実験的に FC と EDLC のハイブリッドシステムについて、インバータを介さない直流負荷での供給電力の比較やインバータを介した交流負荷での静電容量・内部抵抗が異なる EDLC の応答性について、比較検討を行ってきた<sup>(6)~(8)</sup>。また、同様な研究例が国内外で報告されている<sup>(9)~(12)</sup>が<sup>3</sup>、内部抵抗に対する供給電力や応答性に関する内

\* 宮崎大学工学部電気電子工学科  
〒889-2155 宮崎市学園木花台西 1-1  
University of Miyazaki

1-1, Gakuenkibanadai-Nishi, Miyazaki 889-2155  
\*\* 国立鹿児島工業高等専門学校電気電子工学科  
〒899-5193 霧島市隼人町真孝 1460-1  
Kagoshima National College of Technology  
1460-1, Shinko, Hyato-cho, Kirishima 889-5193

容は示されていない。

家庭で使用される機器は、起動後のわずかな時間だが定格電力を上回る電力を必要とする。そのため、FCの定格電力は、そのことを考慮し設定しなければならない。さらに、FCは化学反応を伴い発電する原理であるため、急峻な負荷変動が要する電力に対し、追従しきれないという欠点がある。その対策として、FCの定格出力電力を上げる方法が考えられるが、単位時間当たりの出力電力の応答速度に限界がある。さらに、定格出力電力を上げることによって、低負荷時には、過剰なエネルギー損失が生じ、システム全体の効率が低下する。そこで、FCを主電源としたときの負荷変動対策として、FCが系統に接続されている場合は、不足電力を系統から供給することができる。しかし、離島や山間地などでは系統電源が来ていない所もあり、分散型電源としてFCを設置する場合、単純にFCの定格出力を上げる方法ではなく、電力貯蔵装置であるEDLCを組み合わせることで使用することにより、負荷投入時の突入電力に対してFCから供給しなければならない電力の不足を補償し、システム全体の供給の信頼性を確保する。その結果、FCの定格出力を大きくする方法に比べて、インニシャルコストの削減を図ることができる。また、EDLCは、サイクル寿命が長い、メンテナンスフリーという特徴を持つので経済的である。FCの余剰電力は、EDLCの充電に使うことでランニングコストを削減することも可能である。

本論文では、家庭用のFCとして導入が期待される固体高分子形燃料電池を主電源とし、負荷変動補償用としてEDLCを用いた回路を作製し、EDLCの内部抵抗変化時のEDLCの供給電力の応答性について検討を行った。

## 2. 家庭で使用される電気機器の電力-時間特性

**〈2・1〉 実験方法** 実験には、家電機器で一般に使用されるエアコン (DAIKIN製, ARC402A3)、洗濯機 (SANYO製, ASW-42S3)、電子レンジ (SANYO製, EMO-CH3)、掃除機 (三菱製, TC-T3J)、2種類の白熱電球 (定格電圧100V, 消費電力100Wと定格電圧100V, 消費電力300W)を用いた。交流電流の測定には、日置電機製のクランプ電流計 (9010-10)を用い、交流電圧波形記録には、横河電機製のオシロスコープ (DL1640)を用いた。

実験方法として、家庭内で使用される機器の負荷投入時の出力電力の時間特性を調べ、実際にFCとEDLCをそれぞれ単独の電源として運転し、負荷投入時の供給電力を調べた。次に、負荷投入時にFCで生じた供給電力の不足を補うためにEDLCを組み合わせることで実験を行った。その時のEDLCの供給電力の測定を行い、EDLCの内部抵抗を変化させた時の負荷への供給電力の応答性について調べた。

**〈2・2〉 実験結果** 図1に、エアコン暖房使用時の起動電力の時間特性を示す。エアコンの起動電力において、暖房使用時のみにおいて顕著に負荷変動が現れたため、暖房使用時のデータのみを示す。図1からエアコンの最大電力は、定格出力電力の約3倍の3500Wに達し、起動から0.3s後

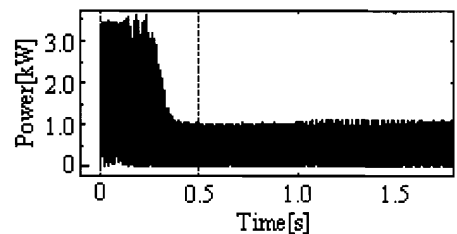


図1 エアコン暖房使用時の起動電力の時間特性  
Fig. 1. Starting power under air conditioner heating.

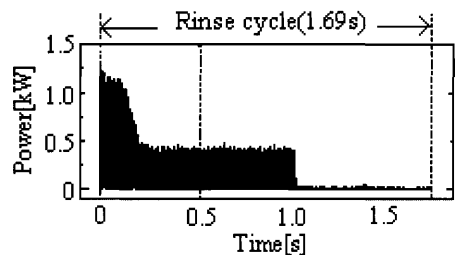


図2 洗濯すすぎ時の起動電力の時間特性  
Fig. 2. Starting power under washing.

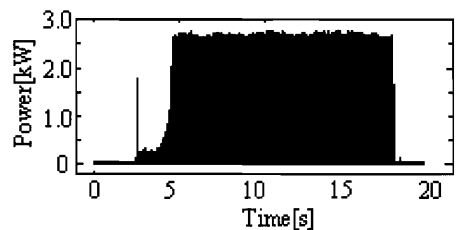


図3 電子レンジの起動電力の時間特性  
Fig. 3. Starting power of microwave.

に電力は安定することが分かった。また、室内温度が設定温度に達するまで、緩やかに供給電力は上昇することが分かった。次に、洗濯機の出力電力であるが、洗濯機の動作として、洗濯→排水→注水→濯ぎ→排水を繰り返す、その後、脱水を行うが、負荷変動が頻繁に生じている濯ぎ時の電力に注目した。図2に、濯ぎ時の出力電力の時間特性の1周期を示す。洗濯機の濯ぎ時間の1周期とは、洗濯槽を回転させ、一度停止して逆回転が再び始まるまでの時間を示し、図中において濯ぎサイクル (Rinse cycle) と表示した。濯ぎサイクルの時間は1.69sであり、立ち上がり時に負荷変動が発生していることを確認した。また、最大電力は、定格出力電力の約3倍の1200Wに達し、0.25s後に電力は安定することが分かった。図3に、電子レンジの起動電力の時間特性を示す。実験で使用した設定は、電子レンジ強 (2段切り替えの強のスイッチで約1200W)である。他に様々な設定で試したところ、出力電力波形に違いは見られなかった。また、図3から、これまでの波形と違い、起動してから2.5秒後に急激な出力電力の上昇が見られる。その電力は、0.5秒間で250Wから2700Wまで上昇しその後、約15秒間で2700Wの電力を必要としている。この結果から、起動時の最大電力だけではなく、約15秒間の出力

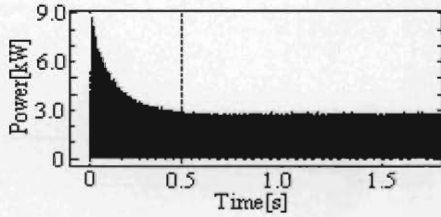


図4 掃除機の起動電力の時間特性

Fig. 4. Starting power of vacuum cleaner.

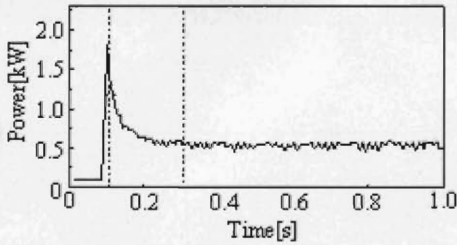


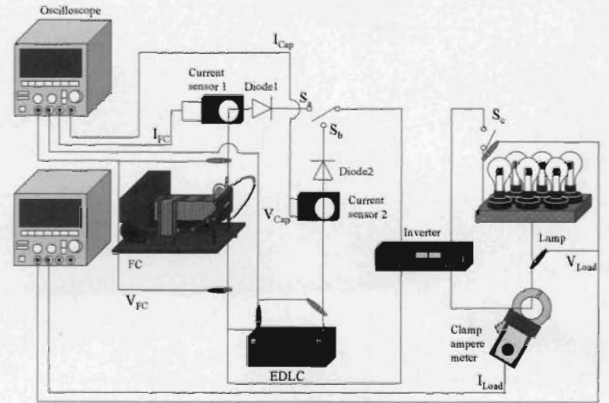
図5 白熱電球の起動電力の時間特性

Fig. 5. Starting power of lamp.

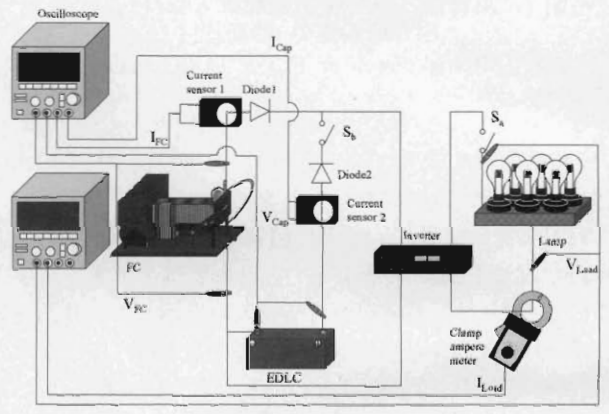
電力による電力量が大きいことが分かった。電子レンジの場合、起動時から約15s間に必要な電力量は、約11.3Wh必要であることが分かった。図4に、掃除機の出力電力の時間特性を示す。図4から掃除機の最大電力は、定格出力電力の約3倍の8900Wに達し、起動から0.45s後に安定することが分かった。図5に白熱電球の出力電力の時間特性を示す。白熱電球の場合も同様、立ち上がり出力電力1700Wまで達し、急峻な負荷変動が見られた。これらの結果をまとめると、家電製品の場合、負荷投入時の出力電力が定格電力の3倍になる場合が多いことが分かった。そこで基礎特性を調べる実験の負荷として、電力の負荷変動が一番激しく、立ち上がりが早い白熱電球を用いる事とした。負荷変動が過酷となる白熱電球を用いることで、その他の電子機器の負荷変動にも対応できるものと考えられる。

### 3. 負荷投入時のFCとEDLCの出力電力の時間特性

〈3・1〉 実験方法 実験には、(株)BALLARD製の固体高分子形燃料電池であるNexaパワーモジュールを用いた。定格電圧26V、出力電圧範囲22~50V、定格出力1200W、セル枚数47枚である。また、EDLCには(株)Power Systems製、定格電圧54.0V、静電容量65F、最大電流550A、内部抵抗36.0mΩのキャパシタモジュール(PMLF54-65)、インバータには(株)アジア電子工業製のDC/ACインバータ(ZA1000-30-100S10A)を用いた。構成として、単独運転しているFC又はEDLC、あるいは並列運転しているFCとEDLCを、同期運転を行っている2台のインバータに接続し、インバータから負荷へ一括して電力を供給した。直流側の電流センサには、ユー・アール・ディー製のサーボ式直流電流センサ(HCS-20-SC-A-5)を用いた。図6(a)にFC又はEDLC、図6(b)にFC+EDLCに対する負荷の



(a) FC or EDLC only



(b) FC+EDLC

図6 実験回路

Fig. 6. Experimental circuit.

特性を調べる実験回路を示す。まず、図6(a)の回路を使用し、FCとEDLCをそれぞれ単独で運転した。負荷には、定格500Wの白熱電球を使用した。実験方法として、FC、EDLCの切り替えを $S_a$ 、 $S_b$ で行い、無負荷状態からスイッチ $S_c$ を入れ、FCまたはEDLCから白熱電球に電力を供給した。次に、図6(b)の実験回路を使用し、FCのみの電源とFCとEDLCを併用した電源の負荷投入時の出力電力の比較を行った。負荷電力600Wまでは安定であるが、負荷電力700Wになると、負荷投入時にはFCの定格出力以上の電力が必要となり、FCの出力電力が不安定になるため、FCの負荷投入時の出力限界は600Wと仮定した。FCの出力不足分をEDLCで補償するため、負荷には消費電力700Wの白熱電球を使用した。図6(b)において、無負荷状態からスイッチ $S_a$ とスイッチ $S_b$ を同時に入れ、FCとEDLCから負荷に電力を供給した。また、作製した可変抵抗回路を用い、EDLCと直列接続したものをEDLCとし、EDLCの内部抵抗変化における負荷投入時のEDLCの応答性について調べた。可変抵抗回路は10mΩの抵抗器が10個並列に接続してあり、その並列数をスイッチにより切り替えることで、1~10mΩの範囲で模擬内部抵抗を変化させ、EDLC本来の内部抵抗36mΩに加えた。これらの実験から、FCのみの場合の出力電力、EDLCのみの場合の出力電力、FC

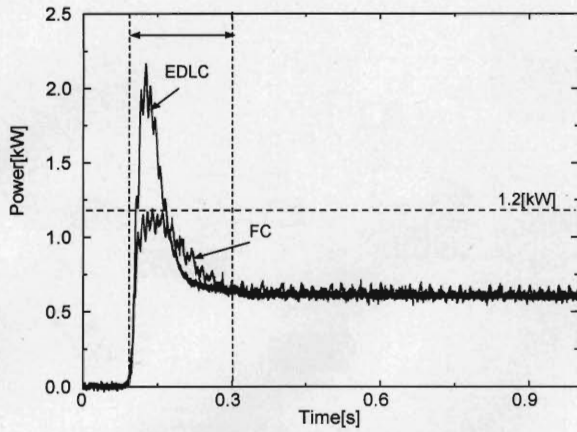


図7 消費電力 500 W の負荷投入時の FC 又は EDLC の電力-時間特性

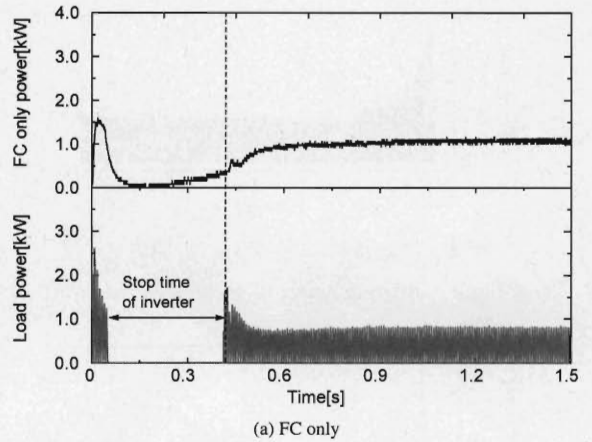
Fig.7. Electric power of FC or EDLC under load change (500 W).

と EDLC のハイブリッドの場合の出力電力及び負荷の出力電力の時間特性の測定を行った。

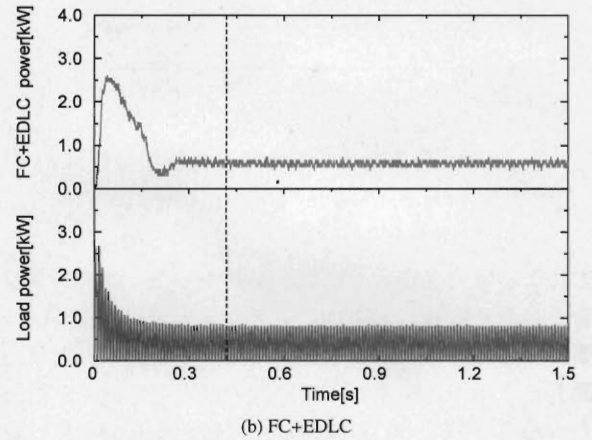
〈3・2〉 実験結果 図7に消費電力 500 W の負荷投入時の FC 又は EDLC の出力電力の時間特性を示す。図7において、0.1s 付近の破線が負荷投入時を示しており、負荷投入時の EDLC からの最大供給電力が 2.3 kW、FC からの最大供給電力が 1.2 kW であることから、EDLC からの最大供給電力が約 2 倍大きく、EDLC が FC よりも負荷投入直後の急峻な電力供給の面で優れていることが確認できた。インバータを介さない直流負荷での EDLC と FC の負荷投入直後の電力供給の応答時間についてもすでに報告されており、EDLC の電力供給の応答時間が FC と比較して 13 ms 速いことが分かっている。

次に、図8に消費電力 700 W の負荷投入時の出力電力の時間特性の結果を示す。図8(a)から、FC だけでは、0.5s 間電力が途切れていることが確認できた。この原因として、用いたインバータの入力動作電圧が 18 V~26 V であり、負荷投入時の FC の出力電圧が 18 V 以下になったため、インバータの制御回路が動作し、負荷側への電力供給が途切れたためであると考えられる。その後は FC の電力が回復していることが分かるが、負荷側への電力供給が途切れた 0.5s 間に白熱電球のちらつきが生じたことを確認した。また、インバータが停止、すなわち負荷電力=0 になっている期間にも FC は何らかの電力を出力している。この電力でインバータ内の平滑キャパシタを充電することになる。

次に、図8(b)に示すように FC + EDLC においては、負荷の電力が安定し、ちらつきは生じなかった。また、表1に、負荷変動発生から定常状態に達するまでの 0.5s 間の電力量を計算した結果を示す。その結果、FC のみの電源に比べて FC と EDLC を組み合わせた電源のほうが 93.5 Wh 多く供給できることが分かった。これらの結果から、EDLC を用いることで、負荷投入時にも安定した電力を供給できることが分かった。図8(a)の負荷投入後 0.1s で FC の電力が 0 W になった原因として、FC に供給していた水素が



(a) FC only



(b) FC+EDLC

図8 消費電力 700 W の負荷投入時の電力-時間特性

Fig. 8. Electric power under load change (700 W).

表1 負荷投入時の電力量

Table 1. Cumulative electric energy under load change.

	Electric energy (Wh)
FC Only	38.7
FC+EDLC	132.2

すが、瞬間的に FC の定格出力を超える変動が起きたことによって、消費量が供給量を上回り、水素が欠乏したためであると考えられる。しかし、その後、負荷の電力が FC の定格電力以内に収まるため、ガスの供給量は充分になり、FC は安定したものと考えられる。

次に、消費電力 700 W の負荷投入時に FC と EDLC の電力構成について調べた。図9に負荷投入時の FC と EDLC の電力構成を示す。FC と EDLC の電力はインバータ入力側(直流部)で測定した値である。図9から、FC より EDLC の電力の方が大きいことが分かる。また、表2に示すように、負荷投入直後の EDLC の電力量は 77.4% であるのに対して、FC の電力量は 22.6% となり、負荷投入直後の EDLC からの供給電力量が大きいことが分かった。これは、FC の発電は化学反応によるが、EDLC の場合は、電解質イオンの電極表面への吸脱着のみで行われるため、急速充放電・



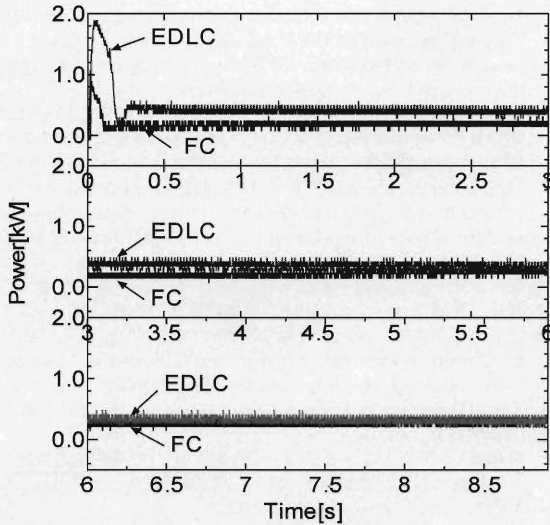


図9 負荷投入時のFCとEDLCの電力構成  
Fig.9. Electric power of FC and EDLC under load change.

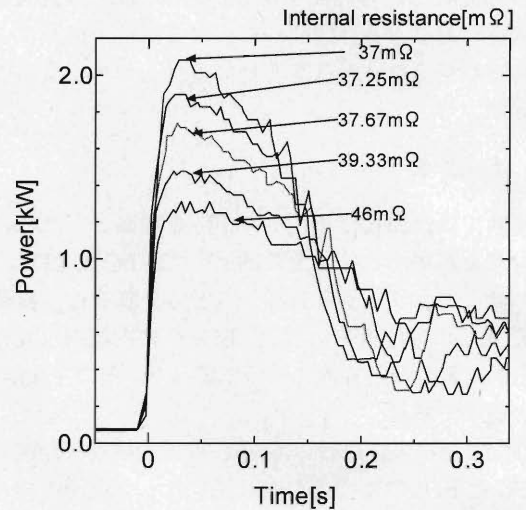


図10 負荷投入時のEDLCの出力電力の時間特性  
Fig.10. Output power of EDLC under load change.

表2 負荷投入直後と負荷電力安定後のFC、EDLCの電力量

Table 2. Cumulative electric energy of FC and EDLC under load change and state of stability.

		Electric energy (Wh)	Percentage (%)
Load change (0~0.2s)	FC	7.69	22.6
	EDLC	26.3	77.4
State of stability (8.0~9.0s)	FC	2236	42.4
	EDLC	3034	57.6

大電流充放電が可能であり、負荷投入時においてFCの補償として、負荷に電力を供給することが出来たものと考えられる。

最後に、負荷投入時のEDLCの内部抵抗が応答性に与える影響について調べた。図10に負荷投入時のEDLCの出力電力の時間特性を示す。また、図11に負荷投入直後のEDLCの最大電力を示す。図11から、EDLCの最大電力はわずかに数mΩの内部抵抗の低減によって大幅に増加していることが分かった。ところで、EDLCは比較的長い時間での動作では直流電源として見なすことができ、この場合、オームの法則により供給電力は内部抵抗増加に対して線形的に減少する。しかし、図11ではEDLCの最大電力は内部抵抗変化に対して非線形的に減少している。特に内部抵抗が小さい範囲(図11では40mΩ以下)では内部抵抗増加と共に、供給電力が急激に減少し、内部抵抗が40mΩ以上ではほぼ一定になっている。これはEDLCの短時間の動作を定量的に把握する場合、単に直流電圧源として見なすことはできないことを示している。また、図12に負荷投

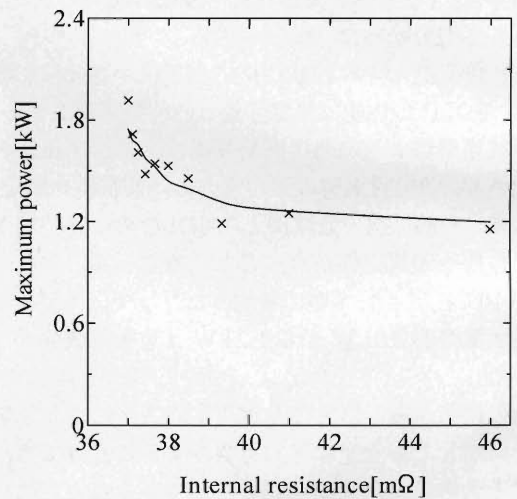


図11 負荷投入時のEDLCの最大電力  
Fig.11. Maximum power of EDLC under load change.

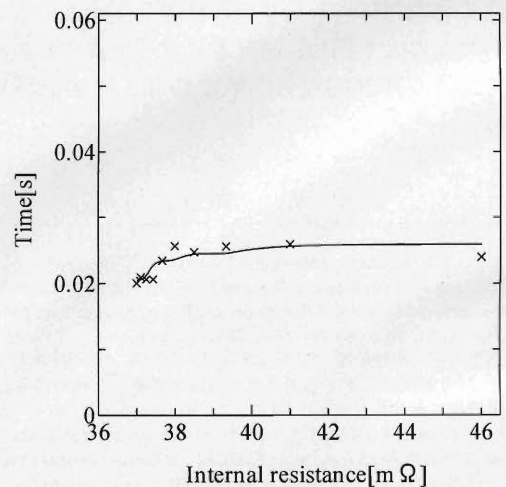


図12 負荷投入時のEDLCの応答時間  
Fig.12. Response time of EDLC under load change.

入時の EDLC の応答時間を示す。応答時間とは最大電力までの到達時間である。同図から、内部抵抗の低減によって応答時間が早くなり、負荷変動に追従しやすくなることが分かった。

#### 4. まとめ

本実験では、EDLC を用いて FC を電源とした時の負荷変動対策を解決することを目的として、FC と EDLC を組み合わせたハイブリッド電源システムを構成し、負荷に対する EDLC の即応性の確認と、EDLC の内部抵抗変化時における供給電力の応答性について調べた。その主な結果は、以下の通りである。

(1) 負荷投入時において、FC のみで構成した電源の場合と FC と EDLC で構成したハイブリッド電源の場合の出力電力の時間特性を測定し比較を行った。その結果、定格消費電力 700 W の負荷 (白熱電球) 投入時、投入から 0.5 s の間に供給される電力量が、FC と EDLC を組み合わせた電源の場合、FC のみの電源に比べ 93.5 Wh (約 3.4 倍) 多くなることが分かった。

(2) 負荷投入時の EDLC の内部抵抗が与える影響においては、EDLC の性能は静電容量と内部抵抗で決まるため、可変抵抗回路により内部抵抗を模擬し、36~46 mΩ の範囲で変化させ、負荷投入時の出力電力の時間特性を測定した。その結果、内部抵抗の低減により EDLC の応答時間が短くなり、負荷への追従性が良いことを確認した。また、内部抵抗が 10% 程度とわずかに増加しただけで、負荷投入時の供給最大電力が 2.0 kW から 1.2 kW と急激に減少することが分かった。

以上の結果から、EDLC を併用することにより急峻な負荷変動に対しても安定に電力を供給することができ、負荷投入時を含めた負荷変動問題を解消できることが明らかになった。

#### 謝辞

本研究は宮崎大学農・工連携大型研究プロジェクト「農林畜産廃棄物利用による地域資源循環システムの構築」により行われたことを記し、関係者に謝意を表する。

(平成 18 年 9 月 26 日受付, 平成 19 年 5 月 29 日再受付)

## 文 献

(1) Y. Zoka, K. Koeda, S. Kawauchi, H. Sasaki, N. Yorino, and K. Kawahara: "An Optimal Operation and Capacity Planning with an Efficient Coordination between Distributed Generators and Energy Storage Systems", *J. IEIE Jnp*, Vol.24, No.10, pp.796-803 (2004) (in Japanese)  
造賀芳文・小枝一彦・河内清次・佐々木博司・餘利野直人・川原耕治:「分散電源と電力貯蔵装置の強調を考慮した最適運用および最適設置容量計画」, 電気設備学誌, 24, 10, pp.796-803 (2004)

(2) M. Shinohara, T. Monai, I. Takano, H. Nishikawa, and Y. Sawada: "A study on a Home Power Supply using Fuel Cell and Electric Double Layer Capacitor", 14th National Convention Record IEE Japan—Industry Applications Society—, No.63, pp.341-342 (2002) (in Japanese)  
篠原正俊・毛内俊晴・鷹野一朗・西川尚男・沢田芳夫:「燃料電池・電気二重層キャパシタを用いた家庭用電源に関する検討」, 平成 14 年電気学会産業応用部門大会, No.63, pp.341-342 (2002)

(3) M. Shinohara, S. Sukemori, I. Takano, H. Nishikawa, and Y. Sawada: "A study on Capacitor of FC-EDLC based on a survey result of Electric Power Load for Home", Proc. of the 15th Annual Conference of Power & Energy, IEE Japan, pp.187-188 (2003) (in Japanese)  
篠原正俊・助森慎吾・鷹野一朗・西川尚男・沢田芳夫:「一般家庭用電力負荷の実測結果に基づく FC・EDLC の容量に関する考察」, 平成 15 年電気学会電力・エネルギー部門大会, pp.187-188 (2003)

(4) M. Shinohara, T. Monai, I. Takano, H. Nishikawa, and Y. Sawada: "A study on Autonomous Operation of Home Power Supply System Using Fuel Cell and Electric Double Layer Capacitor", The Papers of Technical Meeting on FTE, IEE Japan, TFE-03-10, pp.51-57 (2003) (in Japanese)  
篠原正俊・毛内俊晴・鷹野一朗・西川尚男・沢田芳夫:「燃料電池・電気二重層キャパシタを用いた家庭用電源の自律的運用に関する検討」, 電気学会新エネルギー環境研資, TFE-03-10, pp.51-57 (2003)

(5) S. Sukemori, R. Kurihara, T. Sugawara, and H. Nishikawa: "Estimation for a home electric power load pattern and EDLC capacity", Proc. of the 16th Annual Conference of Power & Energy, IEE Japan, No.439, pp.49-1-49-2 (2004) (in Japanese)  
助森慎吾・栗原 壘・菅原俊一・西川尚男:「家庭用電力負荷パターンの推定と電気二重層容量の値」, 平成 16 年電気学会電力エネルギー部門大会, No.439, pp.49-1-49-2 (2004)

(6) Y. Hirata, K. Shibata, D. Tashima, T. Bouno, M. Otsubo, and C. Honda: "Measures of load change of domestic fuel cell using electric double layer capacitor", 2005 National Convention Record IEE Japan, No.7-047, p.66 (2005) (in Japanese)  
平田優心・柴田耕一郎・田島大輔・房野俊夫・大坪昌久・本田親久:「電気二重層キャパシタを用いた家庭用燃料電池の負荷変動対策」, 平成 17 年電気学会全国大会, No.7-047, p.66 (2005)

(7) Y. Hirata, K. Shibata, D. Tashima, T. Bouno, M. Otsubo, and C. Honda: "Measurement of Load change measures for Home Fuel Cell using Electric Double Layer Capacitor", EXPO World Conference Wind Energy, Renewable Energy, Fuel Cell & Exhibition, No.5009 (2005)

(8) K. Shibata, Y. Hirata, D. Tashima, M. Otsubo, C. Honda, and T. Bouno: "Measures of load change of domestic fuel cell using electric double layer capacitor (2)", Proc. of the 17th Annual Conference of Power & Energy, IEE Japan, No.239 (2005) (in Japanese)  
柴田耕一郎・平田優心・田島大輔・大坪昌久・本田親久・房野俊夫:「電気二重層キャパシタを用いた家庭用燃料電池の負荷変動対策 (2)」, 平成 17 年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.239 (2005)

(9) Y. Doi, M. Ishida, H. Aki, Y. Katagishi, and T. Taniguchi: "Demonstration of the Residential Fuel Cell Hybrid System with Electric Double Layer Capacitor", 2005 National Convention Record IEE Japan, No.7-018, p.27 (2005) (in Japanese)  
土井雄介・石田政義・安芸裕久・片岸行雄・谷口辰夫:「電気二重層キャパシタを用いた家庭用燃料電池ハイブリッドシステムの試作と動作確認」, 平成 18 年電気学会全国大会, No.7-018, p.27 (2006)

(10) S. Nakahara, D. Tanaka, M. Kobayashi, Y. Sawada, I. Takano, and H. Nishikawa: "Examination concerning cooperated operation in independent driving of hybrid dispersed power supply system that uses new energy with EDLC", 2005 National Convention Record IEE Japan, No.7-023, pp.34-35 (2005) (in Japanese)  
中原慎治・田中大輔・小林 幹・沢田芳夫・鷹野一朗・西川尚男:「新エネルギーを用いたハイブリッド分散電源システムの自律的運転における EDLC との協調運用に関する検討」, 平成 18 年電気学会全国大会, No.7-023, pp.34-35 (2006)

(11) L.P. Jarvis, T.B. Atwater, and P.J. Cygan: "Fuel cell/electrochemical capacitor hybrid for intermittent high power applications", *J. Power Sources*, Vol.79, No.1, pp.60-63 (1999)

(12) J.R. Meacham, F. Jabbari, J. Brouwer, J.L. Mauzey, and G.S. Samuelsen: "Analysis of stationary fuel cell dynamic ramping capabilities and ultra capacitor energy storage using high resolution demand data", *J. Power Sources*, Vol.156, No.2, pp.472-479 (2006)

田島大輔 (学生員) 1980 年 8 月 23 日生。2005 年 3 月宮崎大学大学院工学研究科電気電子工学専攻博士前期課程卒業。同年 4 月同大学大学院工学研究科物質エネルギー工学専攻博士後期課程に進学, 現在に至る。主として, 電気二重層キャパシタの開発や燃料電池と電気二重層キャパシタのハイブリッド利用に関する研究に従事。2005 年 IEEE 福岡支部学生研究奨励賞受賞。電気化学会, 静電気学会, 日本太陽エネルギー学会, 日本風力エネルギー協会, IEEE 会員。



佐藤逸人 (学生員) 1984年7月18日生。2007年3月宮崎大学工学部電気電子工学科卒業。同年4月同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻博士前期課程に進学、現在に至る。主として、燃料電池と電気二重層キャパシタのハイブリッド利用に関する研究に従事。



本田親久 (正員) 1943年2月12日生。1965年九州大学工学部電気工学科卒業。同年4月同大学助手、1989年同大学大学院総合研究科客員助教授を経て、1993年宮崎大学工学部電気電子工学科教授、現在に至る。主として、レーザ応用プラズマ計測の研究に従事。工学博士。



平田優心 (学生員) 1981年5月10日生。2004年3月宮崎大学工学部電気電子工学科卒業。同年4月同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻博士前期課程に進学、博士前期課程卒業後、2006年3月(株)九州電力に入社、現在に至る。主として、燃料電池と電気二重層キャパシタのハイブリッド利用に関する研究に従事。



本部光幸 (正員) 1947年10月3日生。1970年3月宮崎大学工学部電気工学科卒業。同年4月(株)日立製作所日立研究所入社、1998年6月同社自動車機器グループに転属、2003年3月同社退社、同年4月鹿児島工業高等専門学校電気電子工学科教授、現在に至る。パワーエレクトロニクス、特に、電力変換器、モータ制御に関する研究に従事、1983年IEEE IAS論文賞、1990年電気学会論文賞受賞。IEEE、パワーエレクトロニクス研究会会員。



大坪昌久 (正員) 1947年1月10日生。1970年宮崎大学工学部専攻科電気電子工学専攻修了。同年4月宮崎大学工学助手、現在同電気電子工学科教授。工学博士。放電と応用、電力工学に関する研究に従事。2002年第50回電気科学技術奨励賞(オーム技術賞)受賞。応用物理学会、静電気学会、IEEE会員。

