ノート

二次電池とキャパシタの蓄電デバイス用充電回路の開発

阿部　淑人[*]　本多　章作[*]　木嶋　祐太[*]　大野　宏[**]　五十嵐　晃[***]

Development of a Charging and Discharging Circuit Utilizing Storage Batteries and Super Capacitors

ABE Yoshito[*], HONDA Shosaku[*], Kijima Yuta[*], OHNO Hiroshi[**]and IKARASHI Akira[***]

1. 緒　　言

風力発電システムや太陽光発電システムあるいはマイクロ水力発電システムなどの自然エネルギー発電機器の必要性が高まっている[1) 2) 3)]，一方で，自然エネルギー発電機器は発電量が安定せず，充電システムを併用した場合に二次電池の寿命を著しく縮めてしまうという課題を持っているため，ピークカットを行って充電する方式など発電量すべてを蓄電できないという非効率さがある。また，鉛蓄電池やリチウムイオン電池などの二次電池は，内部抵抗が大きいため急な大電流需要に対応できないという欠点がある。

これらの課題を解決するために，充放電の繰り返しによる劣化が少なく，内部抵抗が極めて小さい電気二重層キャパシタ（スーパーキャパシタ）を充放電回路に付与することで，充電ピーク電流をバッファし，瞬時的な大電流放電需要にも耐えるというメリットを与えることができると考えられている。そこで，本研究では電気二重層キャパシタを用いた充電回路を開発しその効果を確認することを目的とした。

2. 周辺技術

2.1 主な充電池[4)]の種類と課題

2.1.1 リチウムイオン電池

リチウムイオン電池は，体積あたりのエネルギー密度が現時点では，250Wh/L～360Wh/L 重量あたりのエネルギー密度が 100Wh/kg～250Wh/kg と高いため，可搬機器用のバッテリーや電気自動車駆動用のバッテリーとして用いられる。メモリー効果が比較的少なく継ぎ足し充電が可能であり，自己放電特性もニッケル水素電池と比べ優れている。充放電を正確に制御しないと発火や爆発の危険がある。単一セルあたりの電圧はおよそ 3.6V～3.7V 程度である。充放電可能サイクル数は，およそ 1000 回程度である。住宅用やビル用などの大容量をまかなうには極めて高価であるという難点がある。

2.1.2 ニッケル水素電池

ニッケル水素電池は，主に乾電池の代わりに利用される二次電池で，大電流の放電特性がリチウムイオン電池に比べて優れているという特徴がある。単一セルあたりの電圧が約 1.2V であるため 1.5V の乾電池の公称電圧を前提とした機器は動作しないことがある。充放電可能サイクル数は 500 回～1500 回程度である。

2.1.3 鉛畜電池

鉛蓄電池は，自動車の電装用などに用いられる二次電池で，負極に鉛，正極に二酸化鉛，電化液に希硫酸を用いている。体積あたりあるいは重量あたりのエネルギー密度が現時点では，60Wh/L～75Wh/L および 30Wh/kg～40Wh/kg と低く，リチウムイオン電池に比べて 4 倍程度の体積・重量を必要とする欠点がある。比較的安価で広く普及していることが一番のメリットと言える。単一セルあたりの電圧は約 2.1V である。充放電可能サイクル数は 500 回～800 回程度で

*　下越技術支援センター
**　企画管理室
***　研究開発センター

ある。常に満充電で使用することが望ましい。

2.1.4　ナトリウム硫黄電池

ナトリウム硫黄（NaS）電池は，負極にナトリウム，正極に硫黄，電解質にβ－アルミナを用いた高温動作型二次電池である。大規模の電力貯蔵用に用いられる。鉛蓄電池の 3 倍程度のエネルギー密度があり,コストも鉛蓄電池の 1/2 程度に削減できる見込みがある。将来的には次世代電気自動車用や系統連系円滑化用，家庭用などへの展開が期待されている。300℃程度の高温状態に維持する必要があるためヒーター用の電力供給を要する。

2.1.5　電気二重層キャパシタ

電気二重層キャパシタは，いわゆるコンデンサーと呼ばれる受動電子部品の一種で，現状でも数千ファラドの超大容量品がある。一般の蓄電池に比べると内部抵抗が非常に小さいため極めて大電流の充放電ができるという特徴があり，10 万サイクル以上の充放電が可能である。発電機側の電圧電流変動を吸収したり，負荷側の突入電流を供給したりという機能を付与できる。充放電の端子電圧特性をプロットした場合に二次電池のようなプラトー領域が無い。体積や面積あたりのエネルギー密度がリチウムイオン電池等よりも低く 2Wh/L～10Wh/L 程度に留まるため主電池としての利用は困難である。

2.2　充放電回路とその周辺回路

充放電回路は，発電機の発生した電力を蓄電池に蓄え,負荷側が必要とする電力を供給する。電力の需要と供給のアンバランスを緩和するバッファとして機能する。

蓄電池は交流を貯めることができないために，発電や負荷が交流であるとしても一旦は直流に変換する必要がある。その為の装置が AC-DC コンバータ（交流から直流への変換）および，DC-DC コンバータ（直流同士の電圧変換），DC-AC インバータ（直流から交流への変換）という変換器である。本研究では，発電も負荷も直流のシステムとしたため，直流電圧を変換する DC-DC コンバータ技術を活用した。

充放電の制御回路は，畜電池の種類によって異なる充放電の条件に合わせて電流や電圧を制御する。過充電や過放電の無いようにしないと蓄電池の寿命を短縮してしまうなどの制約があるが，すでに確立されこなれた充放電方法があり，市販されている装置をここでは利用することとした。太陽光パネルや風力発電機の出力変動が大きいことが二次電池の寿命を短縮してしまうことと、その出力電圧が低い場合に充電ができないことに対応するために電気二重層キャパシタを用いた安定化回路を充電回路の前段に装備することとした。また負荷装置の瞬時大電流要求に耐えられるように電気二重層キャパシタの出力を直接負荷装置に出力するスイッチ回路を装備することとした。

3.　考案システム

図 1 には太陽光パネル(発電機)と鉛蓄電池，電気二重層キャパシタ，負荷装置からなる充放電回路網を示している。接続 1 は鉛蓄電池と電気二重層キャパシタを並列に接続することで余剰の電力を蓄え，過大な負荷に対応することができるようになっている。しかしこの接続では発電機の出力変動による蓄電池の寿命短縮を抑えることができない。そこで接続 2 では鉛蓄電池の充電回路の前段に電気二重層キャパシタ回路を設け，昇圧チョッパ回路を用いて安定化することでその課題を解決した。また負荷装置への電力供給元を鉛蓄電池と電気二重層キャパシタの双方から選択的に接続することができるようにし，過大な電流要求にも堪えられるようにした。充電回路の周辺回路を開発するに当たっては，PIC と呼ばれるマイクロコントローラを使用した。AD コンバータで電圧を計測し，PIO で FET（電界効果トランジスタ）をスイッチすることで電気二重層キャパシタを用いた回路を断続制御した。

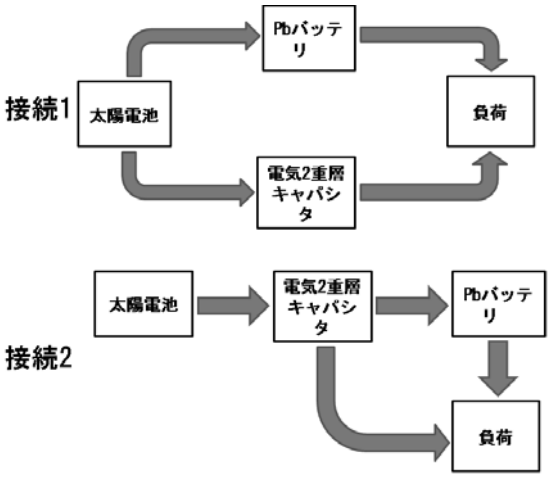

図 1　考案回路構成

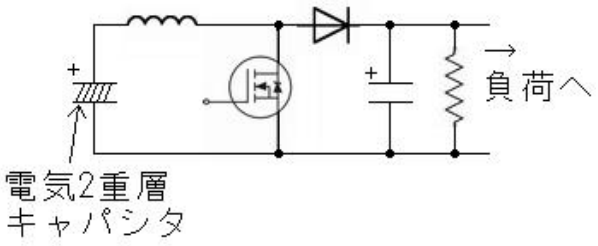

図 2　昇圧チョッパ回路例

図 2 には，昇圧チョッパ回路例を示す。この回路により電気二重層キャパシタの充電量によらずほぼ 12V の出力が得られるようになった。

表 1 に示した条件で接続 2 のシステムの動作検証を行った。その結果を図 3 に示す。

太陽光パネル（PV）の出力電圧（破線）が 5V 程度から 14V 程度まで変動する状態でもキャパシタに蓄電し昇圧することで出力電圧（実線）をほぼ 12V 一定に保つことができた。

表 1　システム検証条件

パラメータ	条件
天候・日照方角	曇り・西陽
接続形態	直並列接続
負荷装置	DC12V LED ランプ
初期状態	無負荷，Pb バッテリーの出力 On，キャパシタ出力 Off
電圧測定部位	PV 出力部，キャパシタ部，負荷部の 3 箇所

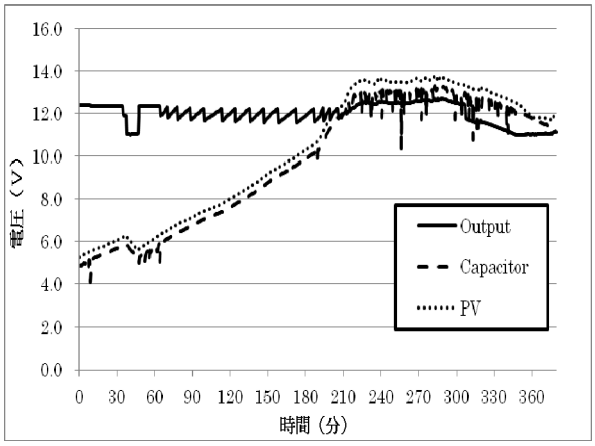

図 3　システム検証結果

4.　結　　言

（1）　自然エネルギー発電機器は出力変動が大きいためそれに対応する充電回路の開発を行った。電気二重層キャパシタを活用しマイクロコントローラを用いたスイッチ回路，昇圧回路によって課題を解決することができた。考案したシステムの効果を検証実験によって確かめることができた。

（2）　今後は，CO_2 排出削減や電力事情の改善などの目的で自然エネルギー発電機器が増加すると考えられるためより複雑なシステム，つまり複数の発電装置と複数の負荷装置 [5] からなるようなシステムへの対応が必要となると考えられる。

参考文献

1）甲斐，藤本，“太陽光・風力発電と系統連系技術”，オーム社，平成 22 年 10 月.
2）仁田ほか，“パワーエレクトロニクスハンドブック”，オーム社，平成 22 年 7 月.
3）八坂ほか，“電気エネルギー工学 - 発電から送配電まで”, 森北出版, 平成 20 年 5 月.
4）辰巳ほか，“電池革新が拓く次世代電源”，エヌティーエス，平成 18 年 2 月.
5）岩谷編，“エコデバイス革命―パワーデバイス・照明用 LED/EL 各社の最新動向”，産業タイムズ 社，平成 22 年 3 月.