

電気二重層キャパシタとの組み合わせによる 鉛電池の性能改善の可能性

—簡易型バッテリーキャパシタモジュール (BCM) について—

Possibility of Performance Improvement of Lead Acid Batteries
by Incorporating Double-layer Capacitors
--On Prototype Model of Battery Capacitor Module--

坂本 光 *
Hikaru Sakamoto

古川 淳 *
Jun Furukawa

Abstract

In order to meet with the evolving demands of very-high-rate charge & discharge capability, growingly considered are synergetic combinations of lead acid battery and double-layer capacitor, so-called BCM (Battery Capacitor Module), where capacitor can work for high-rate short time period while lead acid battery can play a role of energy reservoir. In case of modern automotive power train, power-assist and regenerative braking are essential for fuel-economy-conscious power source therein. In case of IT, current interruption must be perfectly preventable through backup power systems.

In this report a simple BCM was assembled to evaluate and to demonstrate its characteristics, showing that regenerative charging was enhanced substantially.

1. はじめに

鉛電池は、各種の性能改善が進みその経済性とあいまって自動車及び産業用途に確固たる地位を築いている。しかし近年、例えば低排出ガスや低燃費を目的としたアイドルストップや始動アシスト、制動エネルギー回生といった新しい機能が重要となりつつある自動車用電池においては、極めて高い充放電性能を要求される。ここで、鉛電池と他の電池、並びに電気二重層キャパシタ（以下、キャパシタという）の特徴の比較を図1に示す。この図から鉛電池の経済性、エネルギー特性とキャパシタのパワー特性との組み合わせ効果が期待される。このような観点から鉛電池とキャパシタを組み合わせたBCM (Battery Capacitor Module) で新しい要求に応えようとする試みが、従来の12V電源や新たな36V電源で行われている^{1)~4)}。これらは主に、スイッチング回路で鉛電池とキャパシタを切り替え、始動アシストや制動エネルギー回生のような短時間の充放電はキャパシタでまかない、アイドルストップのような比較的長い時間の放電は鉛電池でまかなうと

いうものである。

本報では、最も単純なBCMである鉛電池とキャパシタとの並列接続について充放電特性を試験し、特性を支配する要因や有用性を明らかにしたので報告する。

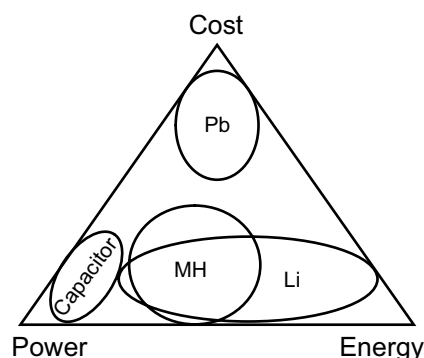


図1 電池、キャパシタの特徴
Fig.1 Characterization of Batteries and Capacitor

2. 試験サンプル

鉛電池は、容量が各々 4Ah・7Ah・14Ah・16Ah・19Ah の5種類の12V-VRLA電池を用いた。またキャパシタは、静電容量1300F、定格電圧2.5Vの

* MV チーム

セルを6個直列に接続し、静電容量 211F、定格電圧 15V のキャパシタモジュールとした。このキャパシタモジュールには各セルの電圧を調整するバランス回路を設けた。簡易型 BCM (以下、BCM という) は上記 12V-VRLA 電池と 15V キャパシタモジュールを単純に並列接続することで構成した。

なお、これらの試験は 25℃ で行い、また特に断りのない場合は容量 19Ah の電池を用いた。この場合、キャパシタの容量は電池の約 1/20 となった。

3. 結果及び考察

3.1 キャパシタの特性

3.1.1 キャパシタの充放電特性

本報で用いた電気二重層キャパシタは、小さな抵抗とキャパシタの集合体と考えられ、従来の電解コンデンサなどと異なり充放電の初期に秒単位の過渡的な電圧変化が現れるなど、電池と類似した挙動を示すことが知られている。一例としてキャパシタと VRLA 電池の放電カーブを図 2 に示す。

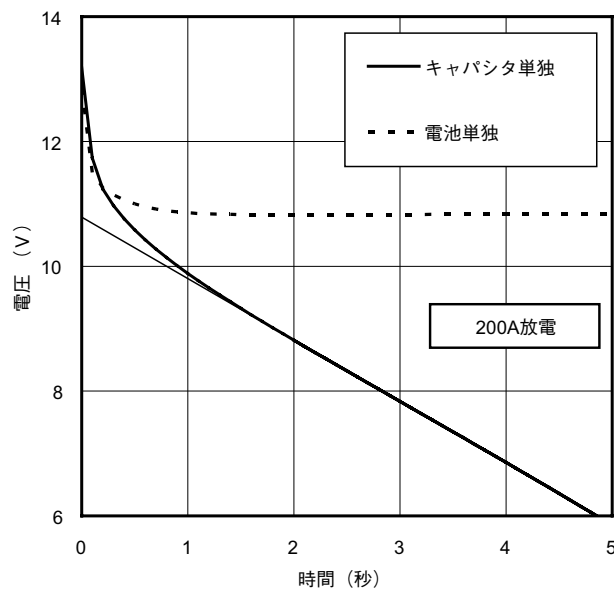


図 2 キャパシタの放電特性
Fig.2 Discharge Behavior of Capacitor

3.1.2 キャパシタの直流内部抵抗

本報の簡易 BCM はキャパシタと VRLA 電池を単純に並列接続しているため、BCM の性能はオーム則に従い、キャパシタと VRLA 電池の直流内部

抵抗に依存すると考えられた。そこでまず、キャパシタの直流内部抵抗を測定した。直流内部抵抗は過渡期以降の安定した電圧傾斜から外挿した Y 切片と開路電圧との差から求めた。ここでは、充電 13mΩ、放電は 12mΩ の測定値が得られた。

3.2 BCM の充放電挙動

3.2.1 BCM の直流内部抵抗

VRLA 電池及び BCM の直流内部抵抗は、JEVS D713 (2002)、「ハイブリッド電気自動車用密閉形ニッケル-水素電池の出力密度及び入力密度試験方法」を参考に、放電及び充電の 10 秒目電圧を電流を変えて測定し、電流に対する電圧プロットの傾きから求めた。SOC (State Of Charge) 70%での測定結果を図 3 に示す。充電では、BCM の直流内部抵抗は電池単独と比較してかなり低く、特に容量の小さな電池との組み合わせで顕著であった。しかし、放電では BCM の効果は小さい。BCM の性能はキャパシタと電池の直流内部抵抗の差に関係してようである。

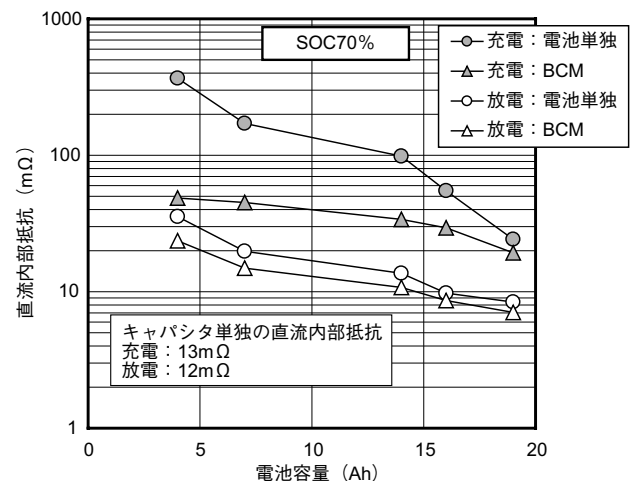


図 3 電池容量と直流内部抵抗の関係
Fig.3 Relationship between Battery Capacity and DC Resistance

3.2.2 直流内部抵抗の経時変化

前項で求めた BCM の直流内部抵抗値は、キャパシタと電池の測定値にオーム則を当てはめた場合とは大きく異なった。そこで、直流内部抵抗と充放電時間の関係を調べた。結果を図 4 に示す。充放電とも 0.5 秒目の値は測定値と計算値が接近していたが、

時間の経過とともに差が広がり、計算値よりも大きい電池単独の値に近づく傾向を示した。以上の理由を調べるため、次に BCM の放電、充電中の電圧並びに電流挙動を調べた。

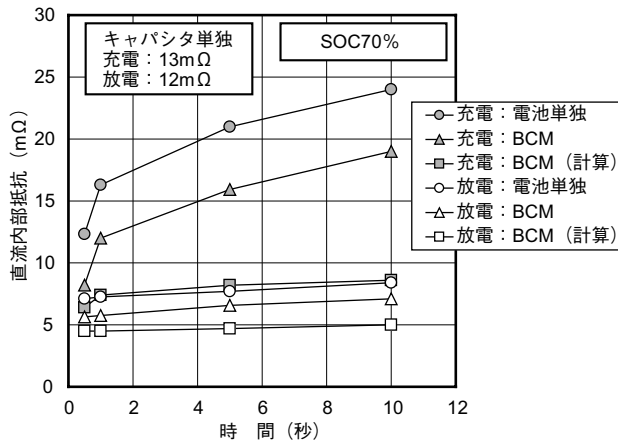


図4 直流内部抵抗の時間変化
Fig.4 Relationship between Time and DC Resistance

3.2.3 放電時の電圧・電流挙動

放電は SOC70%、200A で行った。BCM の電圧挙動を図5、電流挙動を図6に示す。キャパシタは電池のようにプラトー状の高い放電電圧を持たないため(図2)、BCM の電圧挙動は電池電圧の制約を受ける。そのため、電圧は放電開始から0.5秒以内で最も大きく変化し、キャパシタの放電電流も電圧変化が最大であるこの間にピークを示し、その後電池電圧の変化が小さくなるのに伴い漸減した。

すなわち、放電開始直後は電池とキャパシタの電圧特性が類似しているため(図2)、BCM の直流内部抵抗はオーム則から求めた値と近い値を示したと考えられる。しかし、電池電圧の変化が少ないプラトー領域では、電池電圧の変化がキャパシタの放電電流を制限するためオーム則からのずれが生じたと考えられる。

なお、放電から休止に入ると、電池の復極に伴い電池がキャパシタを充電する現象が見られた。

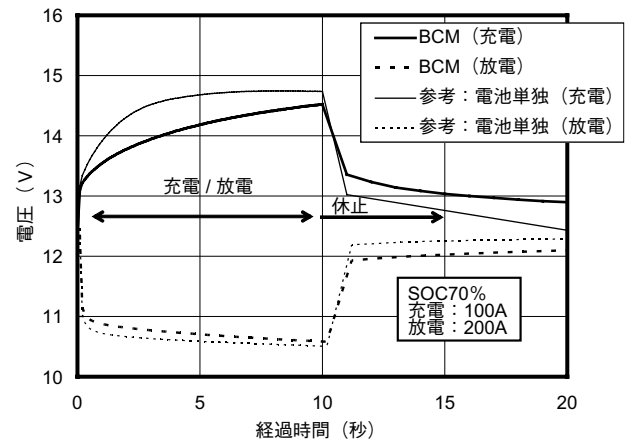


図5 充放電電圧挙動
Fig.5 Charge and Discharge Voltage Behavior

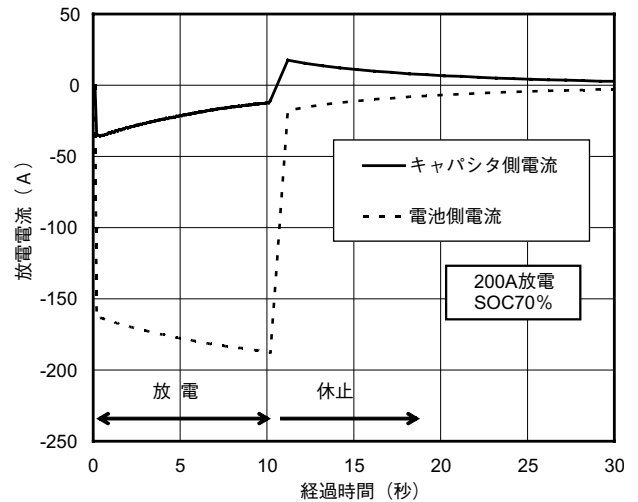


図6 放電電流挙動
Fig.6 Discharge current behavior

3.2.4 充電時の電圧・電流挙動

充電は、SOC70%、最大電流100A、最大電圧15Vの定電流・定電圧条件で行った。BCM の電圧挙動を図5、電流挙動を図7に示す。この場合も放電の場合と同様、充電開始直後を除き、BCM は電池電圧の制約を受けるため、直流内部抵抗は電池の値に向かってずれが生じると考えられる。

なお、充電から休止に入ると、放電の場合とは逆にキャパシタが電池を充電する現象が見られた。

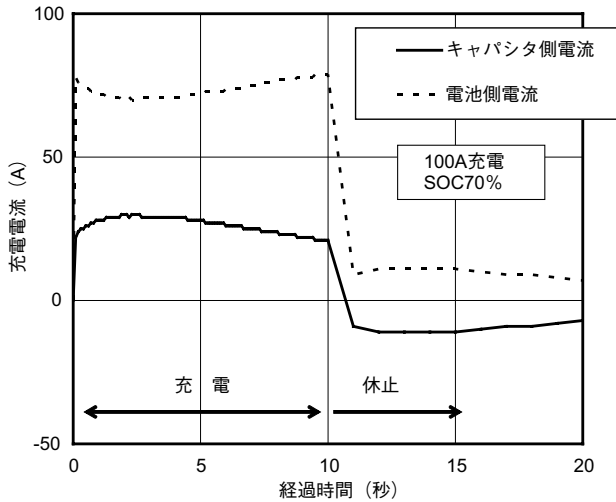


図7 充電電流挙動
Fig.7 Charge Current Behavior

3.3 BCMの充放電特性

以上のようにBCMの特性は電池の電圧特性に制約されることが分った。そこで、電池の電圧特性に影響の大きい、電池のSOCを変化させてBCMの充放電特性を調べた。また、BCMにキャパシタをもう1モジュール並列に接続し、キャパシタの直流内部抵抗を半分（容量は2倍）にした場合の充放電特性の改善効果を調べた。

3.3.1 放電特性

BCMの放電特性を図8に示す。キャパシタが1並列の場合は低いSOCでも効果は小さかったが、キャパシタを2並列にすると全てのSOCで電圧の向上が見られた。

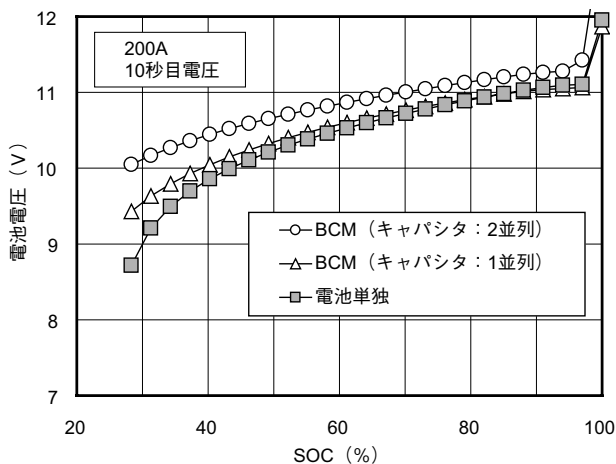


図8 SOCと放電電圧の関係
Fig.8 Relationship between SOC and Discharge Voltage

3.3.2 充電特性

試験は3.2.4項と同じ条件で行い、100Aで10秒間充電できた場合（充電電気量：0.28Ah）を充電効率100%とした。結果を図9に示す。充電特性は、キャパシタが1並列の場合でも大きな改善効果が得られ、2並列ではSOC100%でも40%の効率が得られた。これは充電電気量に対するキャパシタ容量の割合が高くなったためである。

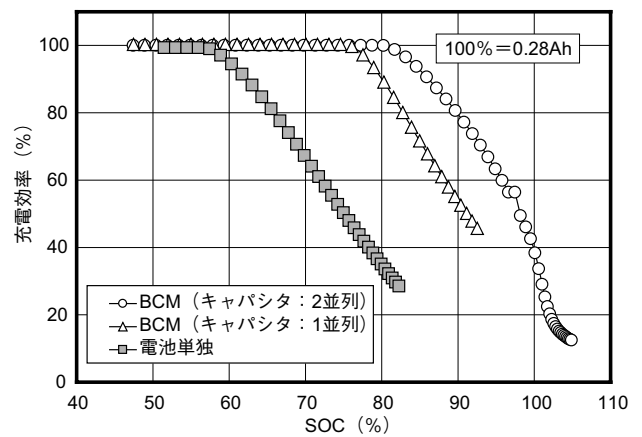


図9 SOCと充電効率の関係
Fig.9 Relationship between SOC and charge efficiency

4. まとめ

- 1)簡易BCMでは、充電特性の大幅な向上が認められた。これはキャパシタ単独の充電特性が電池単独のそれよりも優れているためと考えられた。
- 2)簡易BCMの放電特性への寄与は、キャパシタ単独の放電特性が律速となり、電池容量が小さい場合や低SOC領域に限定された。
- 3)簡易BCMの充放電特性は、0.5秒以内の充電開始直後はキャパシタと電池の直流内部抵抗が支配したが、それ以降は電池電圧がキャパシタを制約し、電池の直流内部抵抗の影響が大きくなった。

このように、簡易BCMでも充電特性への寄与が大きいため、今後キャパシタの内部抵抗が低減されれば、更なる特性の改善が期待される。

報文

電気二重層キャパシタとの組み合わせによる鉛電池の性能改善の可能性
—簡易型バッテリーキャパシタモジュール (BCM) について—

謝辞

本報の実験に当たり電気二重層キャパシタモジュールを提供いただいた、旭硝子株式会社 新事業・技術企画室の平塚和也氏、池田克治氏に心から感謝致します。

(参考文献)

- 1) R. Knorr, H. M. Graf, P. Skotzek, 1st Advanced Automotive Battery Conf., February 2001, Las Vegas
- 2) G. Lugert, R. Knorr, H. M. Graf, 2nd Advanced Automotive Battery Conf., February 2002, Las Vegas
- 3) H. M. Graf, 3rd Advanced Automotive Battery Conf., June 2003, Nice
- 4) D. Sebillé, MIT Consortium, March 2003, Dearborn