電気二重層キャパシタの技術動向

古 賀 淳 史*

日本ケミコン株式会社 研究開発本部 第三製品開発部 ☎ 993-8511 山形県長井市幸町 1-1

(2019 年 7 月 31 日受付；2019 年 8 月 6 日掲載決定)

Technology Trend of Electric Double Layer Capacitor

Atsushi KOGA*

Nippon Chemi-Con Corporation, 1-1, Saiwai-cho, Nagai, Yamagata 993-8511

(Received July 31, 2019 ; Accepted August 6, 2019)

Electric double layer capacitor is used for various applications because of its unique characteristics, such as high reliability, less environmentally-load and high rate capability. The present paper describes a basic principle, constitution, characteristics, applications and future prospects of electric double layer capacitor.

KEYWORDS : electric double layer capacitor, DLAPTM, Nippon Chemi-Con

1. は じ め に

近年地球温暖化などの環境問題，東日本大震災及び原発事故に伴う電力供給問題や資源枯渇問題を受けてエネルギーの有効活用，省エネルギー化の動きが活発になっており，これらの動きに相まって蓄電デバイスの重要性が高まっている。その中でも電気二重層キャパシタは高い信頼性，低環境負荷，入出力特性の高さなどの特徴を持ち，様々なアプリケーションに適用されている。本稿では電気二重層キャパシタの基本原理，構成や特徴，応用事例，日本ケミコンでの取り組みについて述べる。

2. 電気二重層キャパシタ概要

2.1 電気二重層キャパシタの動作原理

電気二重層キャパシタは電極表面と電解液との界面に生じる電気二重層を利用し，電荷を蓄える蓄電デバイスである。充放電時に正極表面にマイナスイオンが，負極表面にプラスイオンが物理的に吸脱着する (Fig. 1)。その際に電極と電解質イオンとの間に化学反応を伴わないため，充放電速度が速く，かつ繰り返し充放電による劣化が少なく長寿命である特徴をもつ。またそのような蓄

Fig. 1. (color online). Illustration of electric double layer capacitor.

電原理をもつため，定電流での充放電時には電圧が直線的に変動する挙動を示し，電圧と蓄電量が比例する (Fig. 2)。

2.2 電気二重層キャパシタの基本構成と形状

電気二重層キャパシタの基本的な構成は，正負電極がセパレーターを介して対向し，電極，セパレーターには電解液が含まれている (Fig. 3)。これら電極素子には電

* E-mail : koga@y.nippon.chemi-con.co.jp

Fig. 2. (color online). Charge-Discharge curves of EDLC.

Fig. 3. (color online). Configuration of cylindrical type.

極を巻回させた円筒型、短冊状の電極を積層させた積層型がある。また電極素子は外装により外気と遮断され密閉される。外装材には金属缶（円筒缶、角型缶、コインタイプ）、ラミネートフィルムなどがある（Fig. 4）。

Fig. 4. (color online). Configuration of EDLC cells.

2.3 電気二重層キャパシタの構成材料

(1) 電極材料

電気二重層に蓄えられる電荷量 Q は式（1）によって表される。

$$Q = CV \quad (1)$$

電荷量は静電容量 C と印加電圧 V に比例する。また静電容量は式（2）によって表される。

$$C = \epsilon S/d \quad (2)$$

静電容量は誘電体の誘電率 ϵ と電極表面積 S に比例し電極間距離 d （ここでは電気二重層厚み）に反比例する。このことから電気二重層キャパシタの電極材料は表面積が大きいことが求められ、実際には活性炭（表面積：約 $2000 \text{ m}^2/\text{g}$ ）が電極材料として用いられる。活性炭の原材料としては椰子がら、フェノール樹脂、石炭などの炭素前駆体を炭化したものが用いられる。これらの炭化物を高温で水蒸気やアルカリと反応させて微細孔をつくることにより非常に大きな比表面積を持たせる。これらの微細孔の大きさ、量は電気二重層キャパシタの容量、内部抵抗、温度特性を決定する重要な因子であるため、電気二重層キャパシタの用途によりこれらの値を設計する必要がある。これらの活性炭を主材料とし、導電性付与のためのカーボン系導電助剤やポリテトラフルオロエチレン、ポリフッ化ビニリデン、エラストマー系などの接着剤を混合しアルミニウム箔に担持させたものを正負極電極として用いる。

(2) セパレーター

電気二重層キャパシタのセパレーターの役割は正負極間の絶縁、電解液の保持である。材質としてはポリプロピレン等の樹脂系やセルローズ等の紙系のものが用いられる。一般的にはセル製造時の乾燥条件などを考慮して紙系セパレーターが用いられることが多い。またセパレーターの厚みや密度は電気二重層キャパシタの容量、抵抗に影響を及ぼすため、これらの値を最適化し、用途に応じて使用している。

(3) 電解液

電気二重層キャパシタの電解液には、溶媒に電解質を溶解させたものが用いられ、溶媒の種類により水系、非水系とに分けられる。水系電解液の代表例としては硫酸水溶液があげられる。硫酸水溶液は電気伝導率が高いため電気二重層キャパシタの内部抵抗を低くできる。ただし水の電気分解電圧が低いためセルとしての定格電圧が低くなってしまう（約 1 V ）デメリットがある。一方非水系電解液の代表例としては四級アンモニウム塩をプロピレンカーボネート等の有機溶媒に溶解したものがあげ

られる。非水系電解液は電気伝導率が低いため、水系と比較すると内部抵抗が高くなるが、電気分解電圧は高くなるため、セルの定格電圧を高くできる（2.5～3.0 V 程度）メリットがある。電気二重層キャパシタに蓄えられるエネルギーは電圧の2乗に比例するため、高エネルギーが要求される用途では非水系電解液が用いられることが多い。日本ケミコンでは様々なサイズの電気二重層キャパシタ（DLCAPTM）を製造しているが、いずれも非水系電解液を用いている。

3. 電気二重層キャパシタの応用事例

1, 2 節で述べた通り、電気二重層キャパシタは高い信頼性、低環境負荷、入出力特性の高さ、優れた寿命性能などの特徴を持っている。今節ではこのような特徴を活かした電気二重層キャパシタの応用事例について述べる。

3.1 電力貯蔵

太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーは発電時に CO₂ を発生させず、資源枯渇の問題もないことから新しいエネルギーとして注目されている。しかしながらこれらのエネルギーは天候や時間帯により出力が大きく変動してしまう課題があり、蓄電装置と組み合わせ使用されることが多い。電気二重層キャパシタは微弱的な電流でも充電可能で、低温特性にも優れているため寒冷地でも設置可能であり、再生可能エネルギーとの相性が良い。また長寿命であるため部品交換が困難な用途や設置場所において、交換頻度の低減やメンテナンスフリーを目的に採用されている。具体的には自発光式道路鋲¹⁾や太陽光発電式 LED 街路灯、交通情報収集端末などの採用例がある。また近年太陽光発電マイクログリッドシステムの蓄電媒体として電気二重層キャパシタを採用する試みもでてきている²⁾。

3.2 エネルギー回生

エネルギー回生システムは車両などが減速する際に生じるエネルギーを蓄電デバイスに回収し、再利用するシステムである。従来熱エネルギーとして廃棄していたエネルギーを再利用することにより燃費向上効果が見込める。2012 年に発売された ATENZA（マツダ株式会社）に世界初となる電気二重層キャパシタを採用した自動車用減速エネルギー回生システム“i-ELOOP”が搭載された。このシステムは減速時に発生する回生エネルギーを電気エネルギーとして電気二重層キャパシタに蓄電し、蓄えられたエネルギーは、DC/DC コンバーターを介して、アイドリングストップ時の電装系電力として利用される。このことにより回生エネルギー分の発電燃料を削減することが可能となり『加減速が頻繁にある状況では

10% 程度の燃費向上が見込まれる。』³⁾とされている。

このシステムの蓄電デバイスとして電気二重層キャパシタが採用された主な理由は以下の通りである。

- (1) 入出力特性が高く、大電流の充放電が可能
- (2) サイクル寿命が長く、大電流充放電での劣化が少ない
- (3) 適応環境温度範囲が広く、高温雰囲気での使用が可能
- (4) 環境負荷物質を含まず、安全性が高い

まず (1) に関して、減速の限られた時間内に多くのエネルギーを蓄えるには、大電流充電に対応できる高い充電受入れ性能（低内部抵抗）が必要である。電気二重層キャパシタは鉛蓄電池の 10 倍以上の充電受入れ性能を有し『i-ELOOP は可変電圧オルタネータとキャパシタを採用することで、従来比約 3 倍の減速エネルギーを回生する能力を得た』⁴⁾とされている。また大電流を扱う電気二重層キャパシタモジュールは、配線抵抗による電圧ドロップを避けるため、オルタネータ直近のエンジンルーム内に搭載されている。エンジンルーム内はアイドリング停車時等に 80℃ 以上の高温環境となる場合があり (2) (3) の特性が求められる。高温環境に対応していない二次電池では別途冷却装置の実装が必要となり、モジュールの大型化、コストアップが避けられないため、電気二重層キャパシタが採用された。また電気二重層キャパシタは Ni, Pb 等の重金属、及び有害物質をほとんど含まず安全性が高いことに加え、鉛蓄電池のようにモジュール回収が必須ではないため、回収コスト削減のメリットもある。

エネルギー回生用途では上記で紹介した自動車以外にもエレベーター、クレーン、電車、フォークリフト、建設重機など様々な用途で電気二重層キャパシタが採用され、燃費向上の一翼を担っている。

3.3 電力の安定化

電力系統への落雷等により瞬時的に電圧が低下する現象“瞬低”は工場の製造ライン停止や制御機器の誤作動を引き起こす。特に半導体や液晶パネル等を製造する高度な製造装置は瞬低の影響を受けやすく、それらの製造工場には瞬低対策として瞬低補償装置を導入するケースがある。瞬低補償装置は瞬低の際に蓄電デバイスより電力を出力し電圧低下を防ぐ装置で、蓄電デバイスには鉛蓄電池などの二次電池や電解コンデンサ、電気二重層キャパシタが用いられている。電気二重層キャパシタは入出力特性が高いため瞬低用途に適しており、また充放電による劣化も少ないためメンテナンス費用を抑えられる等のメリットがある。

3.4 バックアップ電源

近年自動車の電動化が急速に進んでいる。電気自動車はもちろんのことエンジン車においてもハンドル、ブレーキなどあらゆる機器が電気で制御され始めている。その一方で、事故や故障などによって鉛バッテリーやリチウムイオン電池などからの電力供給が断たれた場合、これらの機器は制御不能に陥ってしまう。このような非常事態に備え自動車にはバックアップ電源が備えられている車種もある。これらのバックアップ電源には非常時の確実な動作が求められるため、長期信頼性、あらゆる温度環境で動作できることが必須であり、これらの特徴を持った電気二重層キャパシタが採用されている。

バックアップ電源用途では上記で紹介した自動車用途以外にも災害対策用自動販売機、送電線故障監視装置などで電気二重層キャパシタが採用されている。

4. 日本ケミコンにおける取り組み

日本ケミコンでは電気二重層キャパシタ“DLCAP™”を2003年に量産開始して以来、製品ラインアップの拡充、性能改善のための研究開発を継続的に行ってきた。そのなかで2012年に上市したDXEシリーズは従来シリーズより内部抵抗を半分以下と大幅に低減し、また耐熱性、耐振動性も向上させたことにより、車載用途に採用され電気二重層キャパシタの生産数を飛躍的に伸ばすき

っかけとなった。またDXEシリーズでの技術的ブレイクスルーを基礎として更なる性能改善した製品も上市している。2015年には耐熱性能を改善した（従来70℃→85℃）DXGシリーズを、2019年には耐電圧を向上させた（従来2.5V→2.8V）DXFシリーズをそれぞれ上市した。また2018年には日本ケミコンとしては初の小型リードタイプDKAシリーズを上市し、ラインアップの拡充を行ってきた。現在も更なる性能改善、ラインアップ拡充を目指し、研究開発を継続して行っている。

日本ケミコンは『環境と人にやさしい技術への貢献』を企業理念として事業活動を行ってきた。今後も電気二重層キャパシタの研究開発、製造を通じ、環境と人にやさしい技術への貢献を果たしていきたい。

文 献

- 1) 西野 敦, 直井勝彦: “大容量キャパシタ技術と材料II” (シーエムシー出版, 2003).
- 2) NEDO ホームページ ニュースリリース (2010).
- 3) 高橋正好, 藤田弘輝, 鈴木正悟, 西田史彦: マツダ技報 減速エネルギー回生システム“i-ELOOP”のデバイス開発 (2012).
- 4) 小谷和也, 水落洋行, 久米章友, 湯原将光, 高木 宏, 中上信宏, 春名亮二, 田村和寛他: マツダ技報 減速エネルギー回生システム“i-ELOOP”制御技術の開発 (2012).