

電気二重層キャパシタに貢献する粉体プロセスの最新動向 New Trends of Powder Process Contributing to Electric Double Layer Capacitor Technology

近藤 直幸
Naoyuki KONDO

ホソカワミクロン株式会社 粉体システム事業本部 営業統括部 大阪技術部 課長
Section Leader, Osaka Engineering Group, Engineering Dept., Powder Processing System Division, Hosokawa Micron Corp.

Abstract

In latest years, from the viewpoint of promotion of use of the oil alternative energy and the prevention of global warming measures with the CO₂, the need of the electric car or the low-emissions vehicles such as hybrid cars is strongly demanded and the new use development of the electric double layer capacitor with the superior characteristic which the batteries do not have, is accelerating it. The improvement of performance of the active carbon which is electrode materials is advanced by the high capacity of electric double layer capacitor.

It goes without saying that it is necessary to improve the characteristic of capacitor and the reliability by the improvement of the cell structure. We connected it in series, which has become indispensable to obtain the high efficiency of the whole system including the neighboring circuit's high reliability.

We introduce the latest trend of the recent capacitor market situation and the related powder processes and technology.

1. はじめに

近年、石油代替エネルギーの利用促進、CO₂による地球温暖化防止対策等の観点から、電気自動車あるいはハイブリッド自動車などの低公害車の必要性が強く叫ばれ、電池にない優れた特徴を持った電気二重層キャパシタの新しい用途展開が加速しつつある。電気二重層キャパシタ (Electric Double Layer Capacitor, 以下、EDLC) は、活性炭を含む電極と、電解液により形成される電気二重層を利用したエネルギーの貯蔵デバイスであり、充放電の機構は単純な吸脱着に基づく。したがって、ニッケル水素二次電池やリチウムイオン二次電池など、充放電の機構が電気化学反応に基づく二次電池と比較すると、EDLC は、(1) 急速充放電が可能、(2) 広い温度範囲での使用が可能、(3)

長寿命といった特長を有している。しかし従来のEDLCは、エネルギー密度が低いという欠点を有しているため、主に携帯電話やPCなど、小型のメモリーバック電源としての用途が主流であった。しかし最近になってEDLC用活性炭の改良が進み、EDLCのエネルギー密度が向上した結果、自動車の電子制御機器のバックアップ電源など、より大型の用途にも使用されるようになってきた。さらに、ハイブリッド車、燃料電池車のアシスト電源として、大型のEDLCの開発が行われており、今後、大きな市場への発展が期待されている。本報では、その市場動向と、EDLC製造に必要な粉体技術について紹介する。

2. EDLC の用途と市場動向

EDLC は、電気を蓄えられる量を示す静電容量 (Farad, F) の大きさにより、中容量 (1~100F) と大容量 (100F 以上) に大別できる。又、構造から分類するとシリンダ型 (巻回型) と数千 F の積層型に分類できる。シリンダ型は、自動車や電力貯蔵などに採用されている。積層型は、大容量対応などカスタマイズが比較的容易で、瞬時電圧低下補償装置、UPS などに採用されている。また低抵抗製品は車載用や建設機械など向けに適している。エネルギー密度の比較的大きい製品は、瞬時電圧低下補償装置、UPS、無人搬送車などで電池を置き換えるという使い方での需要が見込まれている。2012 年からは、自動車のアイドリングストップ後の再起動用での本格採用により、市場は拡大傾向となっている。

2.1 市場規模の推移と予測

図 1 に市場に関するデータを示した。日系メーカーが多く参入していることや、そのほとんどが日本国内に生産拠点を有していることが影響し、2012 年の生産数量ベースでは日本が全体の 40% 以上を占める。次いで、中国 (約 2 割)、韓国 (約 1 割強) となっている。2013 年もほぼ同様の傾向を示している。日本市場では、中容量タイプの需要が多く、自動車向け (ブレーキやエアバッグバックアップ電源向け、モータ駆動のアシスト、車載用タコグラフ、UPS など) へ多く供給されている。海外では中容量タイプ、風力発電 (ブレーク向け電源やピッチコントロール) や建設機械エレベータ、自動車 (減速エネルギー回生システム向け) などで大容量タイプも積極的に採用が進んでいる。従って、実際に EDLC をアプリケーションに

採用するといった面で見ると、特に中国やヨーロッパ等は日本より進んでいた。しかし、2012 年に国内でも日本ケミコンが MAZDA の「ATENZA」の減速エネルギー回生システム向けに EDLC の供給を開始した。従って今後、国内市場でも大容量タイプの採用が増加し、これにより市場は順調に拡大するものとみられる。

2.2 自動車用 EDLC

出力密度が高い特性を生かして、ガソリン車及びディーゼル車向けのアイドリングストップ後の再起動用電源として需要が拡大している。これは充電電池だけではスタータモータに電気が使われるため、電装系やカーナビ用の電圧が不足し、停止してしまう危惧があるためである。

また、ガソリン/ディーゼル車でも HEV (ハイブリッド電気自動車) に近い燃費を実現させることができるといったメリットがあり、電動自動車の乗用車のメインバッテリーとして使用されている。

電動自動車用では、容量が小さいためメインバッテリーには向かないが、現在メインバッテリーとしての採用が拡大しているリチウムイオン二次電池は出力密度が低く、また急速充電による劣化を起こす可能性がある。EDLC は、そのようなメインバッテリーの弱点を補完し、バッテリーの負荷を低減させる緩衝材として使用することが検討されている。

表 1 と図 2 に車載用の EDLC 搭載員数と搭載車別市場構成を示した。現在、電動自動車向けには採用実績はなく、2020 年前後から採用が始まるとみられる。中でも、燃費効率の向上が限界に近づく HEV への搭載が有望とみられる。またリチウムイオン二次電池の大容量化と充放電エネルギー効率の向上を同時に図る

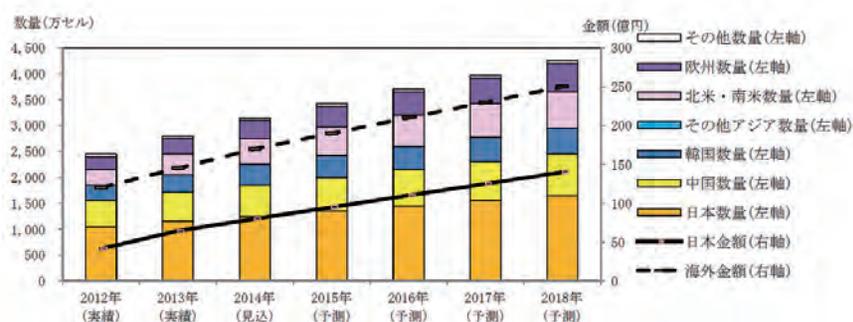


図 1 市場規模推移・予測

Fig. 1 Estimation of market trend

表 1 対象車種別搭載員数

Table 1 Equipped number of EDLC by vehicle type

【凡例】◎:量産車に搭載 ☆:一部搭載・開発中 -:可能性無し

対象車種	HEV		PHEV		EV	FCV
	マイルドHEV	ストロングHEV	パラレルPHEV	EREV		
搭載状況	☆	☆	☆	☆	☆	☆
搭載員数	1台	1台	1台	1台	1台	1台

※搭載員数は完成車1台あたり

単位:千円

搭載車種	2012年実績		2015年予測			2020年予測			2025年予測		
	販売数量	構成比	販売数量	伸長率	構成比	販売数量	伸長率	構成比	販売数量	伸長率	構成比
HEV	0	-	0	-	-	120,000	-	100.0%	564,000	470.0%	94.0%
PHEV	0	-	0	-	-	0	-	0.0%	12,000	-	2.0%
EV	0	-	0	-	-	0	-	0.0%	12,000	-	2.0%
FCV	0	-	0	-	-	0	-	0.0%	12,000	-	2.0%
合計	0	-	0	-	-	120,000	-	100.0%	600,000	500.0%	100.0%

※2015年、2020年、2025年の伸長率欄は前掲年からの伸長率

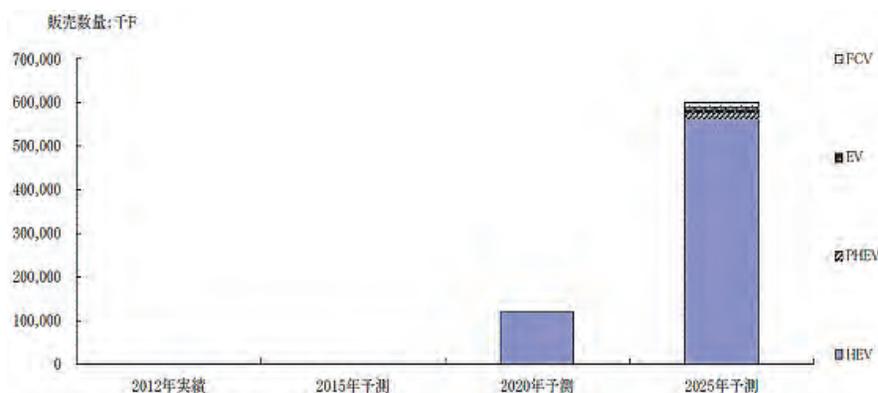


図 2 搭載車別市場構成推移・予測

Fig. 2 Estimation of market trend of ELDC by vehicle type

ことは難しく、この点においてEV、PHEVにおける電気二重層キャパシタの採用可能性がある。採用時期としてはHEVよりも少し遅れて2025年前後になるとみられる。図3にw/w市場規模推移を示した。

トヨタと日産は、燃料電池ハイブリッド車のハイブリッド制御技術において、補助電源として2次電池を採用し、ホンダはキャパシタを採用している。これは燃費改善に注目するか、レスポンスを重視するかで補助電源に要求するスペックが違う事による。

トヨタが燃料電池車に2次電池を採用した理由は、燃料電池を効率の良い特定の出力範囲での運転に限定することで、車両のエネルギー効率を向上させようと考えたためである。発進時や制動時には補助電源からの電流供給が必要であるが、2次電池はキャパシタと

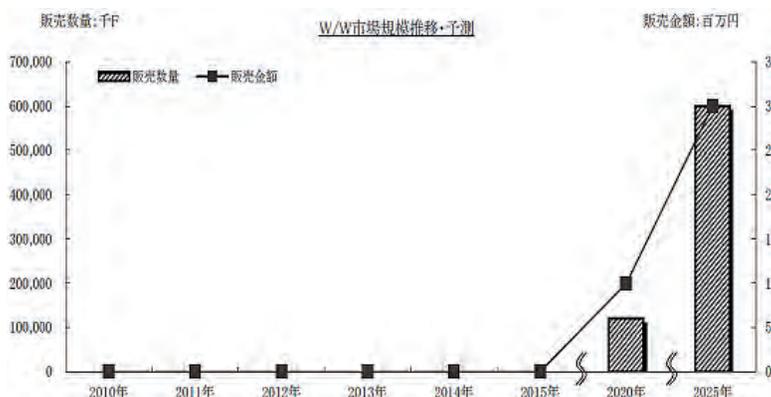
比べて電力の入出力を制御しやすい。この特性を利用すると、2次電池の電力で走行用モータを駆動させ、車速が上がった段階で燃料電池を稼働するといった細かな制御が可能となり燃料電池の燃費改善に有効である。

一方、ホンダはキャパシタが二次電池よりも出力密度が高いことを利用して、レスポンスの高い走りを志向している。キャパシタは2次電池と比べて内部抵抗が低く、発進時や加速時に燃料電池を駆動させるとともにキャパシタからのエネルギーも使うことにより、レスポンスが高くなる。巡航状態や緩やかな加速時には燃料電池だけで駆動することにより、EDLCの電流密度の問題を回避している、

単位:千円、百万円

摘要/年次	実績			見込	予測			
	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2020年	2025年
販売数量	0	0	0	0	0	0	120,000	600,000
前年比	-	-	-	-	-	-	-	500.0%
販売金額	0	0	0	0	0	0	100	300
前年比	-	-	-	-	-	-	-	300.0%

※2020年、2025年の前年比欄は前掲年からの伸長率



現状(～2013年)	短期予測(～2015年)	中長期予測(～2025年)
①ガソリン車/ディーゼル車にはアイドリングストップ及び回生用として一部採用されているが、電動自動車への採用はみられない。	①2015年までに販売される電動自動車は既にスペックが固まっていることから、採用される可能性は極めて低いとみられる。 ②一方、ガソリン/ディーゼル車向けでは、環境意識の高い国内や欧州向け車種を中心に拡大するものと予測される。	①世界各地で排ガス規制が強化されるのに伴い、電動自動車においても新たな対策として電気二重層キャパシタが注目され、採用が進む見通しである。

図3 W/W市場規模推移
Fig. 3 Market trend of W/W

3. EDLCの原理と特徴

EDLCのCはキャパシタのことであり、コンデンサ(Condenser)、蓄電器とも呼ばれ、電気の導体に多量の電荷を蓄積させるデバイスであり、次世代エネルギー保存装置として期待されている。様々なタイプがあるが、EDLCは通常電子回路で使用されるコンデンサよりも大きな静電容量とエネルギー密度を持ち、通常のコンデンサと二次電池との中間的な性格を持っている。EDLCは電気二重層という界面現象を利用したキャパシタである。電気二重層とは、図4左に示したように、異なる2つの相(例えば固体電極と電解質溶液)が接触する界面において、極めて短い距離を隔てて正・負の電荷が対向して配列した状態をいう。この状態を正負両極で実現し、回路を構成したも

のが(図4右)EDLCの原理である。

EDLCは、正極、負極ともに活性炭を主たる構成要素とし、有機系や硫酸水溶液系の電解液を使用している。EDLCの長所・短所を表2に、二次電池との比較を表3に示した。EDLCの充放電の機構は、電解質イオンが溶液内を移動し、電極界面に吸脱着するだけであり(図5)、電気化学反応を伴う二次電池と異なり、充放電を繰り返しても電気化学反応による物質変化がなく、単純な物理現象のみが起こっているため性能劣化が極めて少ない。エネルギー密度は二次電池にかなわないが、この性質により、充放電サイクル特性、出力密度、急速充電特性は二次電池をしのいでおり、HEV及び親環境電気バス用電源などとして脚光を浴びている。

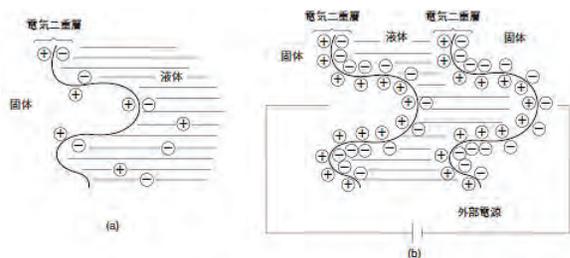


図4 EDLCの模式図
Fig. 4 Schematic figure of EDLC

表2 EDLCの長所と短所

Table 2 Advantage & disadvantage of EDLC

長所	短所
サイクル寿命が長い	エネルギー密度が低い
急速充放電が可能	電圧が低い
使用温度範囲が広い	コスト(制作)が高い
環境にやさしい	自然放電が多い
メンテナンスフリー	
残量計測がしやすい	

4. 電気二重層キャパシタとしての電極材料

EDLC (図6)の静電容量は、その電極材料の物性に大きく左右される。分極性電極として使用するための条件としては、

- 1) 大きな比表面積を持つ事
- 2) 嵩密度が大きい事
- 3) 化学的および電気化学的に不活性である事
- 4) 導電性があり、抵抗が低い事

などが挙げられる。活性炭はこれらの条件を満たしており、電気二重層キャパシタの分極性電極に適した材料と言える。表4および図7に、EDLC用に要求される活性炭の特性を示す。

表3 EDLCと二次電池の比較

Table 3 Comparison of EDLC and secondary battery

	キャパシタ		二次電池	
	アルミ電解コンデンサ	EDLC	ニッケル水素	リチウムイオン
作動電圧	0~450V	0~3V	12V	3.3~4.2V
充放電寿命	10万回以上	10万回以上	500~1000回	500~1000回
エネルギー密度	~0.2Wh/kg	1~3Wh/kg	80Wh/kg	120Wh/kg
出力密度	~30,000W/kg	~3,000W/kg	~200W/kg	~300W/kg
充電時間	数秒	数秒~数十分	数時間	数時間
充放電制御	不要	不要	必要	必要
使用温度	-40~105℃	-25~85℃	-20~80℃	-20~80℃
環境保全	問題なし	問題なし	問題なし	問題なし

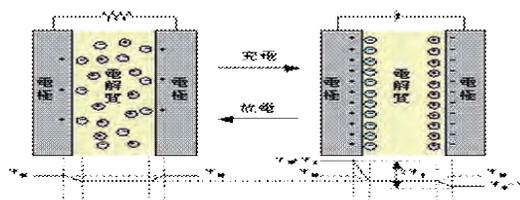


図5 EDLCの充放電機構
Fig. 5 Schematic figure of Charge-Discharge mechanism of EDLC

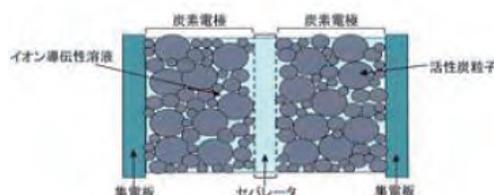


図6 EDLCの構造
Fig. 6 Structure of EDLC

EDLC電極として使用するためには、電気化学的安全性及びできるだけ高い容量特性を確保することが必要であり、活性炭の最尖端活性化(Activation)技術及び、活性化に使用されるアルカリを除去するための洗浄技術が必要である。

活性炭の表面には細孔と呼ばれる多くの孔が形成されており(図7右)、電気二重層キャパシタを充電すると、細孔内に電解質イオンが侵入し、活性炭表面に吸着する。放電の際には脱着が起これイオンは外部に出ていく。従って、活性炭の細孔構造、すなわち比表面積、細孔径分布、細孔容積等が静電容量に大きく影響することが予想される。

一方、炭素材料である活性炭の細孔表面は純粋な炭

表4 EDLC用活性炭およびEDLCの特性
Table 4 Specification of the EDLC and activated carbon for EDLC

粉体特性		
比表面積	(m ² /g)	1,000~2,000
平均細孔径	(nm)	1.85~2.10
固めかさ密度	(g/cm ³)	0.55~0.90
平均粒子径	(μm)	2~30
不純物濃度		
カリウム	(ppm)	100 ≧
鉄	(ppm)	100 ≧
表面官能基数	(mmol/g)	0.5 ≧
EDLC容量特性		
静電容量	(F/g)	30~42
体積当たり静電容量	(F/cm ³)	23~30

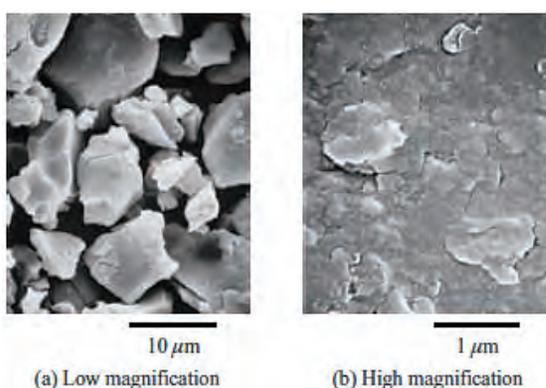


図7 EDLC用活性炭の形状
Fig. 7 Morphology of activated carbon for EDLC

素であるはずだが、実際にはさまざまな表面酸化物が形成されている。細孔内表面は結晶子のプリズム面が露出した部分と基底面の露出した部分からなり、反応性の高いエッジ炭素は、賦活中や賦活後の熱処理などの際に酸素と容易に反応し、表面酸化物を形成する。この量によってイオンの吸着量が左右され、放電容量に影響すると考えられる。酸性表面酸化物量が少ない活性炭を用いれば、特性変化の少ない信頼性の高いEDLCが得られる。この為には賦活と呼ばれる工程において、表面酸化物量を酸化・還元処理によりコントロールすることが重要である。

5. EDLCに対する当社の粉体プロセス技術

EDLCの電極材料製造に必要な粉体プロセス及び当社の粉体機器製品を紹介する。図8に電極材料の製造工程を紹介する。括弧内に対応する粉体機器を示した。当社の粉体機器装置を太字にて示す。

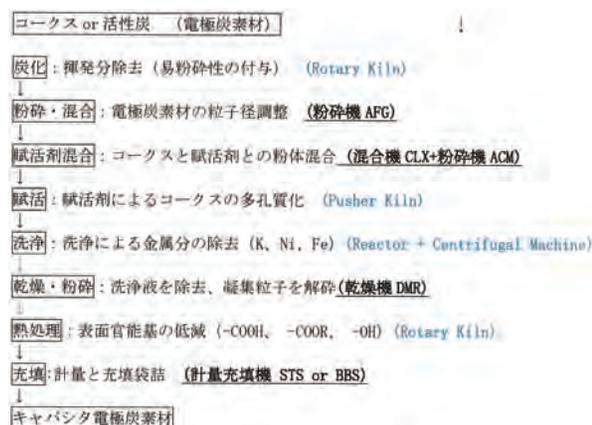


図8 EDLC用電極材料製造工程
Fig. 8 Manufacturing process for EDLC

以下に当社の要素技術と、装置を紹介する。

5.1 電極炭素材の粒子径調整：流動層式対向型ジェットミル AFG

当社の流動層式対向型ジェットミル AFG (図9)が採用されている。AFGは、高速気流によって粒子を加速し、対向衝突させることによってシングルマイクロンオーダーへ粉碎する装置である。粉碎された原料や未粉碎品は装置に内蔵された高性能の遠心力型気流式分級機によって分級され、要求粒子径に満たない粒子は再び粉碎部へと戻される。ノズル風量と分級回転速度の変更により、数μmから数百μmまでの広範囲の超微粉碎に用いられる装置である。AFGの特長は下記の通りである。

- 低いエネルギー消費
- シャープな分級性能 (揃った粒径をもつ粉碎品が得られる)
- 優れた耐摩耗性とコンタミネーションの低減 (セラミックス部品での製作が可能)
- シンプルな構造
- 分級精度を保持したスケールアップ (マルチホイールロータの採用)

AFGが採用されている理由は以下のとおりである。炭化工程の後の微粉碎 (10 μm程度) 工程に用いる。炭化工程前の原料としてメソ系炭素材料 (石炭系、石油系) やヤシ殻系炭素材料 (活性炭) が使用されるが、各原料によって粉体特性 (硬度或いは密度) が異なる。粉体特性の違いは製品粒子径分布に大きな影響を及ぼす。しかしこのジェットミルでは、優れた粉碎性能と高精度の分級機構が組み合わせられているため、



図9 流動層式対向型ジェットミル AFG
Fig. 9 Fluidized-bed opposed jet mill AFG



図10 サイクロミックス CLX
Fig. 10 Cyclomix CLX

全ての原料に対して、粉体特性に左右されることなく、目標とする粒子径の製品を容易に得ることができる。さらに目標粒子径に対してシャープな粒子径分布を持つ製品が得られるため、賦活工程でのアルカリ (KOH) との均一な反応が可能となる。

5.2 混合技術：サイクロミックス CLX / ACM パルペライザ

5.2.1 サイクロミックス CLX

サイクロミックス CLX は高速せん断型のバッチ式混合機である。逆円錐型ケーシングの内部 (図 10) には、上部より駆動されるロータが取り付けられており、その先端にはパドルが取り付けられている。原料は高速回転するパドルによって、ケーシングの壁面方向に移動し、壁面に沿って回転する。この時、ケーシング形状が逆円錐型であるため、原料は壁面に沿って上昇し、回転円速度もさらに大きくなる。ロータ上部からカバーのドームに達した原料は減速し、ロータ中心部をケーシング下部に向かって下降する。CLX ではこのように粉体に上昇・下降・加速・減速といった運動を繰り返し与え、これらの運動による強力な摩擦力と大きなせん断力によって迅速な精密混合を可能にする。またロータ最上部にはナイフブレードが取り付けられており、最も周速度の大きい部分で原料に衝撃を与える。この衝撃力も精密な混合において重要な役割を果たす。このような複雑な機構の相互作用により必要な混合度にすばやく到達する事が出来る。CLX の特長は以下の通りである。

a. 迅速な精密混合

- b. 製品排出が容易 (下部排出)
- c. 熱効率が低い (ケーシングジャケットとの組合)
- d. 軸封部 (シール) 部のトラブルが無い (駆動が上部にある)

CLX は、粉体同士の混合はもとより、その高いせん断力を活かして、液体の添加と混合及び液体のコーティングに対しても優れた性能を発揮できるため、EDLC 電極材料に関しては、粉碎工程の後、賦活工程前の溶剤によるコーティング工程に用いることができる。CLX は、炭素材料に均一に溶剤をコーティングできるため、賦活工程におけるアルカリ (水酸化カリウム KOH) の過剰な溶融を防止することが可能であり、優れた製品品質を得ることができる。

5.2.2 ACM パルペライザ

気流分級機を内蔵した衝撃式微粉碎機 (図 11) であり、目的粒子径に達した粒子は素早く機外に取り出される。これにより原料は過粉碎される事なく、効率的な粉碎が行われ、シャープな粒子径分布の製品が得られる。内蔵されている分級ロータ回転速度を変化させる事により容易に粒子径を調整できる。製品粒子径としては数 μm から数百 μm までの幅広く対応できる。ACM パルペライザの特長は以下の通りである。

- a. 幅広い製品粒子径が容易に得られる
- b. 簡易分解・洗浄性が容易
- c. 優れた耐摩耗性とコンタミネーションが低減できる (セラミックス部品にて製作可能)

ACM パルペライザ内では粉体が激しく運動しており、複数種類の粉体を供給すると、衝突混合しながら粉碎される。また EDLC 電極材料の混合工程におい

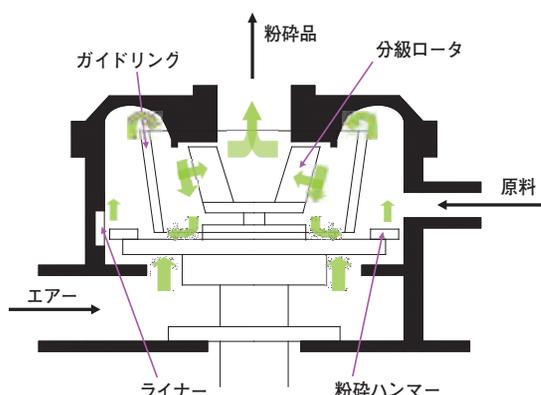


図 11 セラミックス仕様 ACM パルベライザ ACM-HC の構造
 Fig. 11 ACM Pulverzier, model HC (Ceramics model)

では強塩基である KOH と炭素材料を混合することが必要であるが、通常の混合機だと混合力が弱く、またバッチ式混合機では長い滞留時間が必要であり、KOH の溶融による装置ダメージが大きい。ACM パルベライザでは機内滞留時間も短いため、KOH の溶融が抑制でき、装置に与えるダメージが小さい。さらに閉回路プロセスにすることにより、KOH 粉体の吸湿状態も容易に制御管理できる。以上のことから ACM パルベライザは粉碎機であるが、粉碎工程後、賦活工程前の混合 (KOH の添加及び粉碎) 工程に使用されている。

5.3 乾燥 (粉碎) 技術：ドライマイスタ DMR

粉碎分級機内蔵の高性能気流乾燥機であり、微粉乾燥製品を瞬時に連続的に得ることができる。このため

鉱物・食品・顔料・金属酸化物など幅広い原料の乾燥に最適である。またスラリーや付着性の強い原料にも対応可能な乾燥機である。

図 12 に DMR の構造と概観を示した。下部に粉碎部、上部に分級部を備え、フィード口から供給された原料は、粉碎部の分散ロータにおいて微細な粒に分散及び粉碎が行われ、同時に流入してくる熱気流と激しく接触する事によって急激な熱交換が行われる。所定の粒子径・含水率以下になった粒子は、本体上部の分級ロータにより、気流と共に通過して製品となる。希望する含水率以上 (凝集した粗大な粒子) の粒子は、再び本体下部の粉碎部に戻され、粉碎・乾燥される。製品粒子径は分級ロータ回転速度によって調整可能である。DMR の特長は以下の通りである。

- a. 少ない機内付着

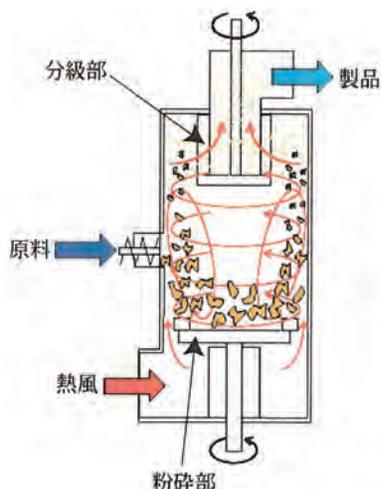


図 12 DMR の構造と外観
 Fig. 12 Schematic figure of DMR and outlook of DMR

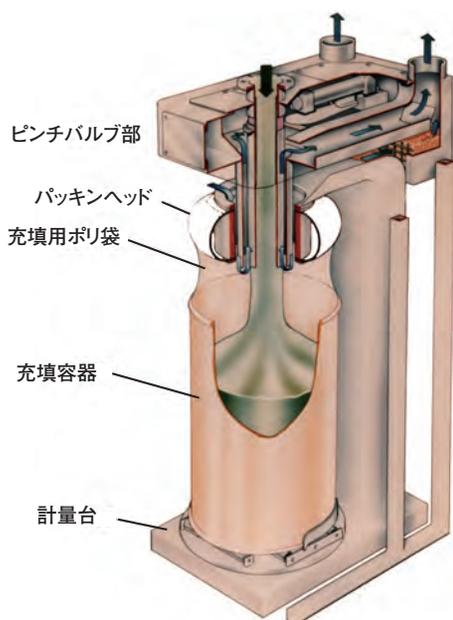


図 13 STS/BBS 構造
Fig. 13 Schematic figure of STS/BBS

- b. 高いエネルギー効率
- c. 設置スペースが小さい(熱交換性能が高く、同能力であればスプレードライヤ設置スペースの半分)
- d. 溶剤・スラリー・強付着性原料の乾燥が可能
- e. 製品の粒子径・湿分調整が容易

EDLC 材料に関しては、賦活・中和洗浄工程の後の乾燥(粒子径調整含)工程に用いられている。特に、洗浄工程時の洗浄が不十分(強付着性状態)においても、乾燥が容易にできることと、分級機構を備えているため粉体粒子径及び湿分調整が容易に行なえるために、使用されている。

5.4 計量充填技術：ストット計量充填装置 STS/BBS

図 13 に示した装置であり、膨張パッキンヘッドを始め、優れた各種機能により、様々な袋や容器へ粉体の充填計量を無発塵で行い、しかも抜群の計量精度、作業性を実現している。あらゆる粉粒体を扱う分

野で充填作業及びその作業環境の改善に使用される。様々な充填形態(紙袋・ドラム及びフレコンバック)に対応可能である。STS/BBS の特長は以下の通りである。

- a. 様々な充填形態(紙袋・ドラム及びフレコンバック)に対応可能
- b. 発塵が無くクリーンな作業環境の実現(膨張パッキンヘッドによる)
- c. 高い計量精度の実現(ピンチバルブ式微量供給機構)
- d. コンパクトな構造
- e. 各種応用システムの構築が可能

キャパシタ電極材料に関しては、膨張パッキンヘッドによる外部からのコンタミの防止、作業の半自動化による工数の削減、無発塵による作業環境の改善等の特長を活かし、熱処理工程の後の計量充填工程に用いられている。

6. おわりに

電気二重層キャパシタの高容量化に向け、電極材料である活性炭の性能改良が進められているが、最大の課題はエネルギー密度の向上である。先に述べた新しい用途に適用していくためには、少なくとも現状の2~5倍のエネルギー密度(10Wh/kg以上)が必要である。これらの要求に対し、新材料の開発、セル構造の改良等によりキャパシタ単体での特性および信頼性を向上させていく必要があるのは言うまでもないが、直列接続、周辺回路等の問題を含めたシステム全体の効率化、高信頼性化が不可欠である。当社としては、このような課題に対し、これまで蓄積された当社粉体技術を蓄電デバイス市場へ提供して行き、常にこれを意識しながら社会に貢献する事が必要と考える。

電気二重層キャパシタは電池にない特性を持った新しい蓄電デバイスである。エネルギー密度向上という大きな課題はあるものの、環境という追い風に乗って、新たな用途が広がっていくことを期待したい。

参考文献

1. 富士キメラ総研 2次電池資料(2014)
2. FDK 電気二重層キャパシタの現状と将来 - 技術情報(2014)
3. JFE 電気二重層キャパシタ(EDLC)用高容量活性炭 - 製品技術紹介(2005)