

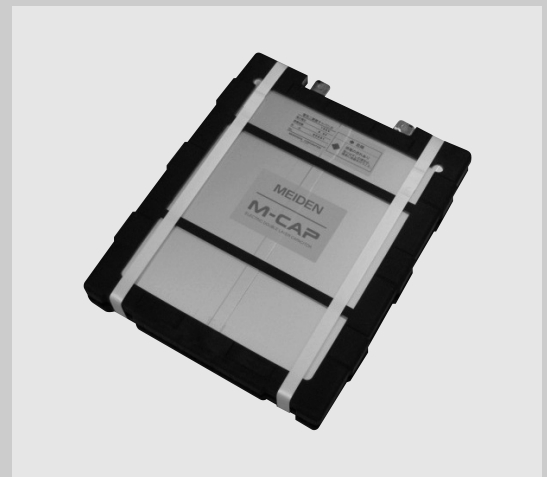
# キャパシタの技術動向と製品

🔊 電気二重層キャパシタ，材料技術，内部抵抗低減，瞬時電圧低下対策，CO<sub>2</sub>削減

\*堀越 論 Ron Horikoshi      \*伊藤裕通 Hiromichi Ito  
\*渡邊裕之 Hiroyuki Watanabe    \*大場裕規 Yasunori Oba

## 概要

電気二重層キャパシタ <sup>エムキャップ</sup>M-CAPは，化学反応を伴わない蓄電デバイスであり，二次電池と比較して内部抵抗が小さく，短時間に大電流を入出力することが可能である。また，繰り返し充放電を行っても蓄電容量の減少が少ないといった特長がある。このような特長を生かして，瞬時電圧低下（瞬低）補償装置，電気鉄道の回生吸収，電源バックアップ用途などに長寿命な蓄電体として適用している。当社はM-CAPの性能を向上させることにより，瞬低補償装置 <sup>メイボス</sup>Meiposs-MCPへ適用させる必要数の低減を図り，設置面積の低減に取り組んだ。



電気二重層キャパシタ M-CAP

## 1. ま え が き

半導体・精密機器などの高品質，高付加価値ラインの増加，ハイテク工場の建設に伴い，瞬時電圧低下（瞬低）による生産機器への影響が大きな問題となっている。

それらの対策として瞬低補償装置が多く用いられている。こうした装置の蓄電部にはコンデンサや鉛蓄電池などが用いられているが，近年，鉛蓄電池に比べて保守メンテナンスが不要で，充放電サイクル寿命が長く，短時間で大電流の入出力が可能な電気二重層キャパシタの適用が急速に進んでいる。

また，従来は瞬低対策として工場内に小規模の火力発電所を設け，安定した電源を確保することもあったが，近年では原油価格の高騰から発電コストが見合わず，瞬低補償装置に切り替えるケー

スが多い。自家発電から瞬低補償装置に切り替えることで，CO<sub>2</sub>削減につながり環境問題に貢献することができる。

このような状況から，電気二重層キャパシタ <sup>エムキャップ</sup>(M-CAP)を用いた電気二重層キャパシタ式瞬低補償装置 <sup>メイボス</sup>(Meiposs-MCP)の一層のお客様満足度向上を図るため，M-CAPの性能を向上させ，構成数量低減によるMeiposs-MCPの蓄電部省スペース化に取り組んでいる。

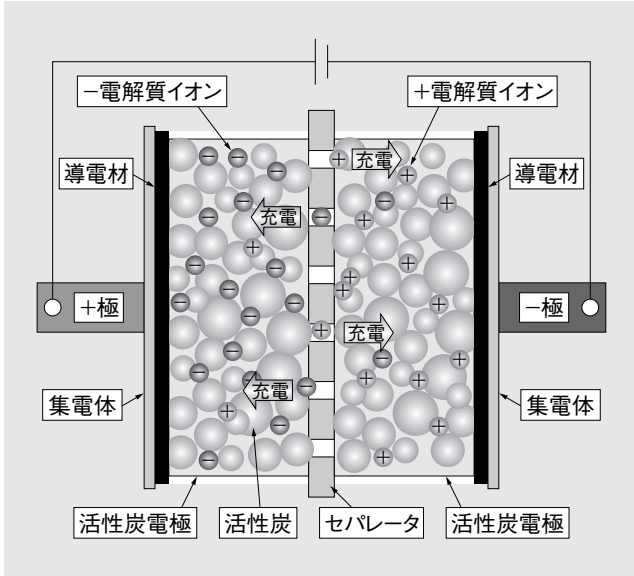
本稿では，M-CAPの性能向上に関する技術とMeiposs-MCPのM-CAP構成数量低減についての取り組みを紹介する。

## 2. 電気二重層キャパシタ概要

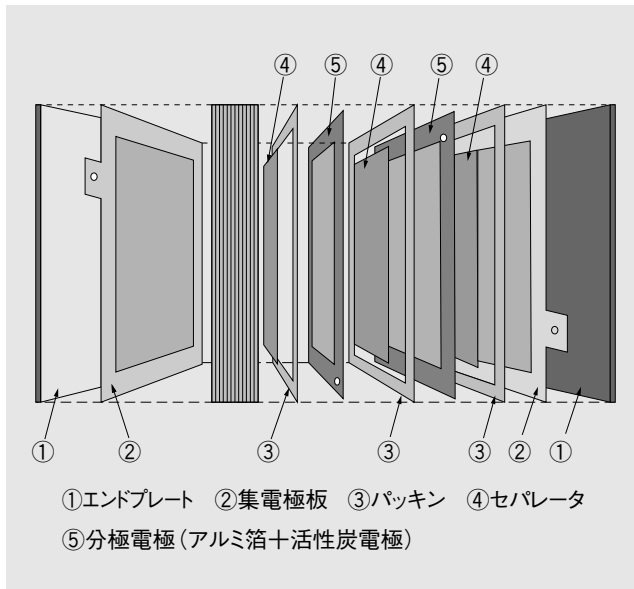
### 2.1 キャパシタの動作原理

電気二重層キャパシタの主な構成材料は，分離したイオンを吸着し静電容量を発現する正負極二つ

\*基盤技術研究所 キャパシタ開発部



第1図 キャパシタ動作原理図



第2図 バイポーラ積層形キャパシタ構造概略図

の電極，その電極を物理的に遮断するセパレータ，電極にイオンを供給する電解液である。第1図で示すように，充放電時には電解液中のアニオン，カチオンを正極・負極表面に吸着，脱離させて電気を蓄えることを原理としている。

そのほかに電気を外部に取り出す集電極，集電極間を絶縁するパッキンなどから構成される。

## 2.2 バイポーラ形キャパシタ

第2図にバイポーラ形キャパシタの構造概略図を示す。バイポーラ形キャパシタは，イオンが通過可能なセパレータを平板状の活性炭電極・集電極ではさんだ積層セルをパッキンなどのシール材を介して複数積み重ねた構造である。両端面の集

電極にリード線を取り付けければ内部で直列接続となり，(単セル耐電圧)×(積層数)だけの耐電圧を持つことになる。

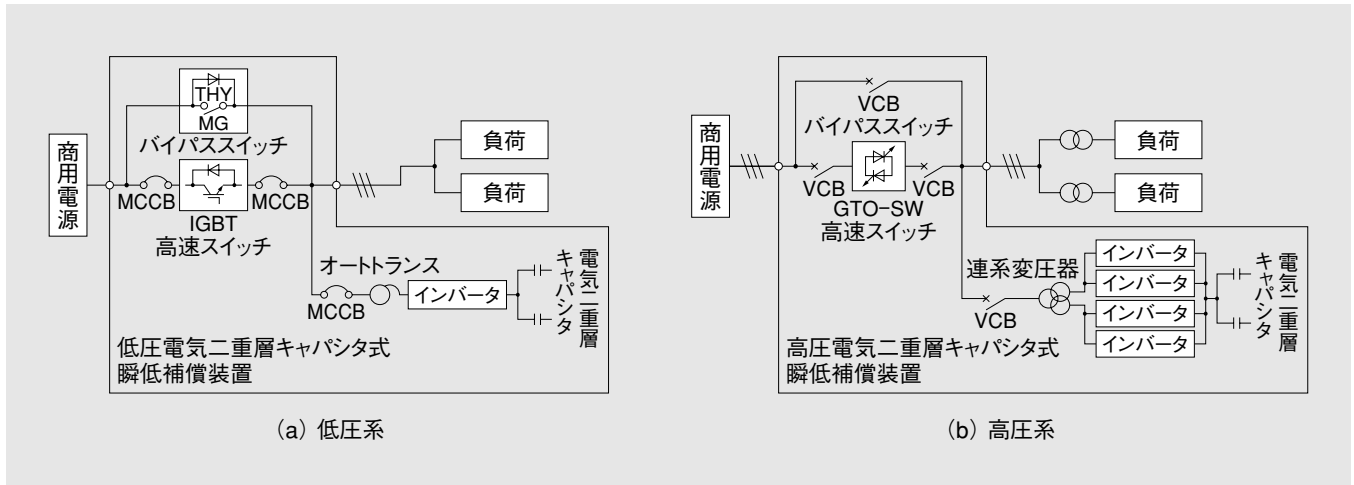
## 2.3 M-CAPの特長

M-CAPは大容量・高電圧の産業機器用途に適用するため，バイポーラ形を採用した。M-CAPの特長として，活性炭電極・集電極の外周部には内部の電解質が漏れ出さないように，額縁状のパッキンでシールを行っていることが挙げられる。このパッキンは同時に積層間での絶縁も兼ねている。組み立てを行う際には，必要な耐電圧分のセルをパッキンと交互に積み重ね(単セル耐電圧2.5V程度)，最後にエンドプレートで締め付けることにより密閉構造を保っている。M-CAPは，一般的な巻き取り方式を用いた同一容量のキャパシタと比較して，高電圧を得ようとする場合，直列接続するケーブルが不要であるため，システムを組む際の抵抗増加を大幅に抑えることができる。瞬低補償装置などに適用した場合，1~2秒程度の短時間で大出力を要求される。蓄電体に蓄えられたエネルギーを効率よく短時間で放電させるには抵抗によるIR損を抑える必要があり，蓄電体数量を低減させるには内部抵抗を低減させることが重要である。また，M-CAPは高耐電圧，且つコンパクトに設計されていることから，装置の設置面積を抑えるにも有効である。

## 3. Meiposs-MCPの概要

### 3.1 装置仕様

第3図にMeiposs-MCPの回路構成図を，第1表に装置の仕様を示す。本装置は，常時商用給電方式のため常時は高速スイッチ部から負荷へ給電している。系統で瞬低が発生した場合，高速で瞬低を検出して負荷を系統から切り離し，インバータより負荷へ電力を給電する。この切り替え動作を高速で行うため，瞬低時の負荷への影響を低減している。更に蓄電部にM-CAPを適用したことで，系統電源が瞬低発生後に定常になった時に，M-CAPへ急速な充電が可能のため，繰り返し瞬低が発生しても補償動作が可能である。低圧系と高圧系との差異は，高速スイッチ部の動作である。高速スイッチ部は，瞬低発生時に系統電源から負荷を高速に切り離す必要があるために，自己遮断可



第3図 Meiposs-MCP回路構成図

第1表 Meiposs-MCPの仕様

項目	仕様	
	低圧系	高圧系
容量	50~200kVA	500~10,000kVA
方式	常時商用給電、無瞬断切り替え	
補償時間	1s~	1s~
負荷力率	1.0	
効率	97%以上	98%以上
入力電圧	三相3線200V±10% (210/220V)	三相3線6600V±10% (3300V:5000kVAまで 対応)
電源周波数	50/60Hz±5%	50/60Hz±2%
出力電圧	三相3線200V (入力電圧と同じ)	三相3線6600V (入力電圧と同じ)
電圧精度	±5%	
周波数精度	商用周波数±0.1%以下	
電圧不平衡	±5%以下 (30%負荷不平衡時)	
切り替え時間	2ms以下	
冷却方式	強制風冷	強制冷却, エアコン
温度	0~40°C (室内) -10~40°C	
湿度	35~85%	

能な半導体素子を適用している。系統電圧から素子の耐圧が決まるために、低圧系はIGBT素子を適用し、高圧系ではGTO素子を適用した。低圧系では、GTO素子と比較してIGBT素子の短時間電流耐量が小さいため、負荷側で突入電流が発生した場合にバイパススイッチ部からの給電に切り替え、負荷電流が定常となってから高速スイッチ部からの給電に戻す動作を行っている。

### 3.2 Meiposs-MCPへのM-CAP適用

M-CAPは従来の瞬低補償装置に用いられてきた鉛蓄電池と比較して、以下の特長がある。

- (1) サイクル寿命が長い
- (2) 化学反応による劣化が少ない

- (3) 低温時でも蓄電容量変化が少ない
- (4) 重金属を一切含まず、回収規制がない

M-CAPは長期使用時の性能変化が極めて少ないことから15年間交換が不要で、ランニングコスト面で極めて有利な装置が構成できる。

1000kVA装置で、瞬低補償時間1秒の場合に適用するM-CAPの構成例を説明する。M-CAPは160V、4.5Fの性能であり、これを11並列とした構成を1モジュール(160V、49.5F)とする。更に、このモジュールを5並列4直列として構成し、M-CAP蓄電部は電圧640V、容量は62Fとなる。

M-CAPの構成数量は、静電容量・内部抵抗で決まるが、低温時・長期使用時には性能変化が起きるため、あらかじめ長期間の特性試験を実施し、得られたデータを基に設計している。

## 4. M-CAP低抵抗化の取り組み

### 4.1 M-CAPへの要求性能

前述の通りM-CAPをMeiposs-MCPなどに適用する場合、静電容量・内部抵抗でその構成数が決定される。よってこれらの性能を向上させることで構成数量を減らすことができる。

Meiposs-MCPは、補償時間(放電時間)が1~2秒の製品が主である。M-CAPには蓄電しているエネルギーをこのような短時間で有効に出力できる能力が必要であるため、前述の通り内部抵抗の低減が特に望まれる。

### 4.2 内部抵抗低減効果

第4図にM-CAPの放電特性を示す。M-CAP(最大電圧160V、静電容量4.5F、内部抵抗0.58Ω)

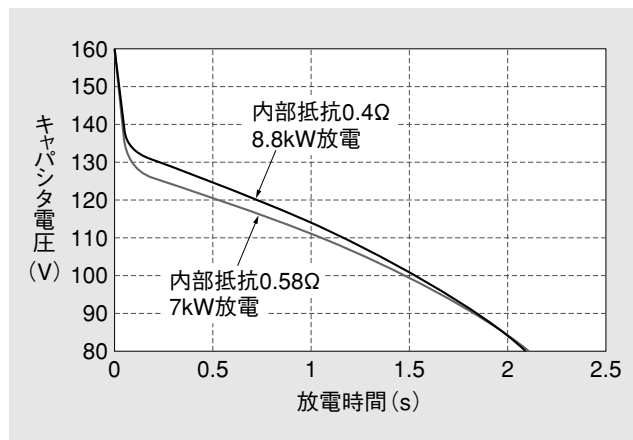


を満充電の160Vから7kW一定出力で放電させた場合、電圧が1/2である80Vまで到達するのに約2秒を要し、14kWsのエネルギーが得られる。ここで、内部抵抗を仮に30%減である0.4Ωにした場合の放電特性を推定して示した。放電初期のIRドロップが大幅に減少し、20%増の出力8.8kWで放電させた場合でも同等の放電時間が確保でき、17.6kWsのエネルギーが得られる。これはM-CAPの内部抵抗を30%低減すれば、構成数量を20%削減しても同等の放電エネルギーが得られることを意味する。このようなことから、抵抗低減したM-CAPをMeiposs-MCPに適用した際には、設置面積の低減に寄与することができる。

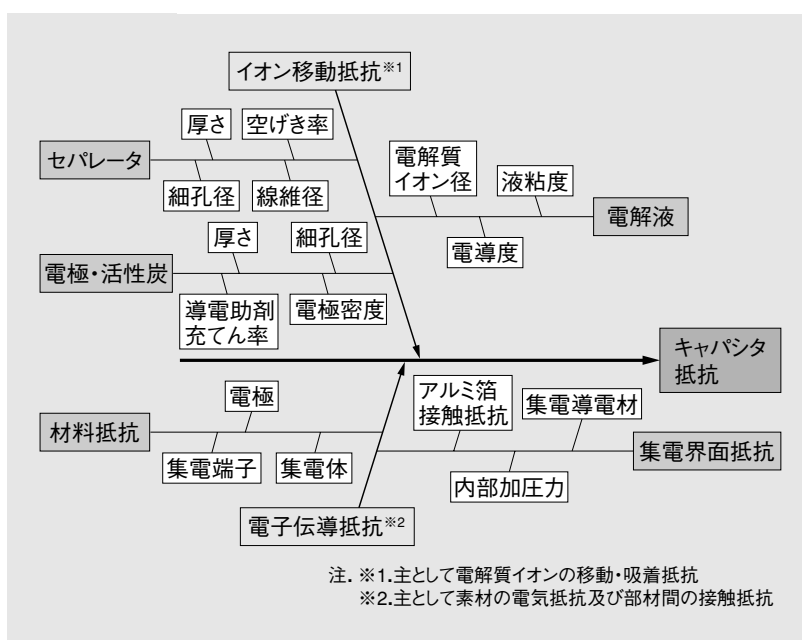
### 5. M-CAPの低抵抗化技術

第5図にキャパシタの内部抵抗についての特性要因図を示す。キャパシタの内部抵抗は、主に電解質イオンの移動・吸脱着に起因する拡散抵抗と、素材の電気抵抗、及び接触抵抗に起因する直流抵抗に分けることができる。但し、抵抗成分の比率としては拡散抵抗が大きな割合を占めており、拡散抵抗に関わる電極・セパレータ・電解液の抵抗低減が大きな課題となっている。

M-CAPは、活性炭をPTFEなどのバイндаで結着させ、シート状に成形した電極（第6図）を使用している。活性炭は出発原料である炭素の表面積を大きくする賦活処理を行うことで得られる。賦活処理は、水蒸気やカリウムなどを用いて高温処理を行うことによって、炭素表面にちみつな穴を開け、イオン吸着する面積を得ることで、大きな静電容量を得ている。但し、賦活方法・条件により穴の大きさ深さは大きく異なってくる。これらの要因が電極内部でのイオン移動に影響する。一般的には、賦活処理を長くすることで炭素表面には大きな穴が開き、電解質イオンが移動しやすくなることから、抵抗が下がる傾向にある。但し、活性炭表面に大きな穴が開きすぎると、シート状に成形する際、電極内部には活性炭が充てんできない空間が多く残り、電極密度の低下から静電容量を減少させてしまう。



第4図 M-CAPの放電特性



第5図 抵抗の特性要因図



第6図 シート状電極

このように電極による低抵抗化は静電容量とのトレードオフになることが多く、必要なスペックに合わせて活性炭の賦活深度と成形条件の最適化が重要である。当社では、内部抵抗と静電容量の

バランスを考慮した、最適な表面状態を持つ活性炭の選定を行い、成形条件を最適化することで内部抵抗を低減させた。

## 6. 低抵抗新形M-CAP

### 6.1 新形M-CAPの仕様

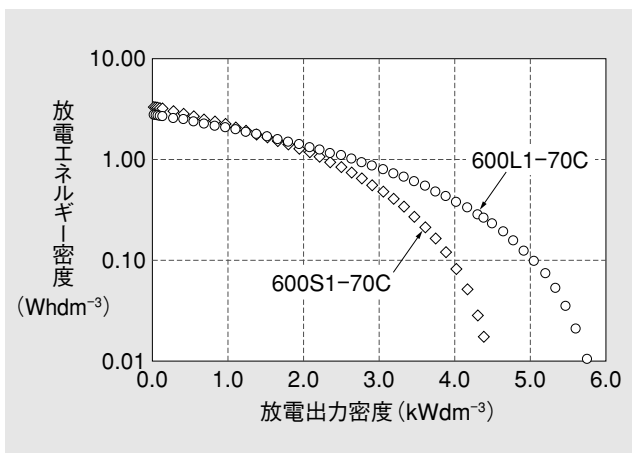
第2表に新形M-CAP(600L1-70C)の仕様を示す。内部抵抗は25℃時0.45Ωで、従来M-CAPと比較して23%低減した。これにより、Meiposs-MCP適用時には構成数量の削減が期待できる。

### 6.2 出力密度-エネルギー密度特性比較

第7図に放電出力に対して1/2電圧に至るまでに得られる放電エネルギー量の関係を、新形M-CAP(600L1-70C)と従来形M-CAP(600S1-70C)で比較して示す。本図では、蓄電体の体積を考慮した密度特性として示している。プロットが右方向に伸びていけば出力重視用途に、上方に伸びていけば蓄電エネルギー量重視用途に向いている。新形M-CAPでは、内部抵抗が低減した効果により出力密度がより大きく取れるようになり、プロットが右方向に伸びた。このような比較を行うことでキャパシタのみならず、他の蓄電体とも比較を行うことができる。

第2表 新形M-CAP仕様

形式名	600L1-70C
最大電圧	160V
静電容量	3.7F
内部抵抗(at 25℃)	0.45Ω
直流抵抗	0.23Ω
質量	5.7kg
外形寸法	316×266×43mm



第7図 出力密度特性とエネルギー密度特性の関係

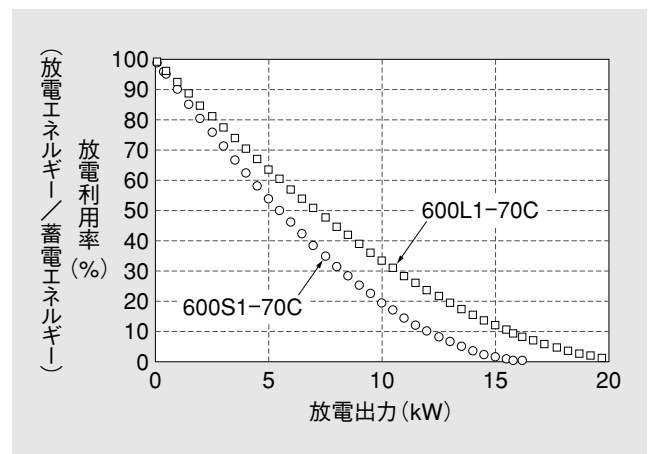
### 6.3 出力-放電効率比較

第8図に満充電時に蓄電しているエネルギー量に対して、各放電出力時に1/2電圧に至るまでに得られるエネルギー量の比率を、従来形M-CAPと比較して示す。放電出力が小さい場合は、放電電流が小さいために内部抵抗の影響が無視できることから、ほぼ100%蓄電エネルギーを取り出すことができる。

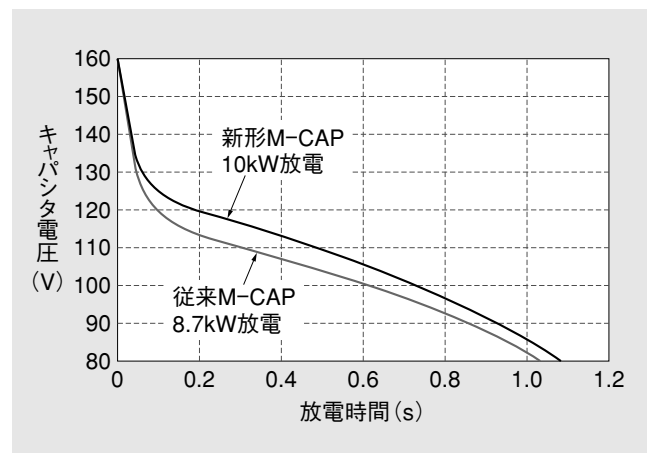
一方、1秒仕様の瞬低補償装置で必要となる5~10kWでの放電になると、内部抵抗の影響が大きく反映され放電効率に差が生じる。10kW放電時には、従来M-CAPで放電利用率20%しか得られない。新形M-CAPでは、内部抵抗によるIR損の影響が少なくなり34%の放電利用率が得られる。このように抵抗低減効果により蓄電エネルギーをより有効に利用できるようになった。

### 6.4 新形M-CAPの放電特性

第9図に新形M-CAPの放電特性を従来M-CAPと比較して示す。従来では定格電圧の1/2電圧まで



第8図 出力と放電効率の関係



第9図 新形M-CAPの放電特性

一定電力で1秒間放電させる場合、可能な出力値は8.7kWであった。新形M-CAPでは、内部抵抗低減による放電効率の向上から10kWでの出力が可能となり、M-CAP 1個当たりの出力を15%向上させることができた。Meiposs-MCP 1000kW-1秒補償の標準仕様機では、蓄電部に新形M-CAPを適用することで、出力性能向上効果により15%以上の必要数量低減が可能である。これにより瞬低装置の設置面積については、M-CAPの数量が低減することで省スペース化が期待できる。

## 7. む す び

キャパシタの性能向上開発は、主に内部抵抗低減と静電容量向上に二分される。今回は内部抵抗低減技術について紹介したが、静電容量の向上についても鋭意開発を行っている。こうした開発によるM-CAPの性能向上は、適用装置の設置面積低減に大きく貢献でき、更には新たなM-CAPの適用分野拡大に結びつくもの考える。

### 《執筆者紹介》



堀越 論 Ron Horikoshi  
蓄電デバイスの研究開発に従事



伊藤裕通 Hiromichi Ito  
蓄電デバイスの研究開発に従事



渡邊裕之 Hiroyuki Watanabe  
蓄電デバイスの研究開発に従事



大場裕規 Yasunori Oba  
蓄電デバイスの研究開発に従事