

電動車用 高性能金属化フィルムコンデンサ

High-Functioning Metalized Film Capacitor for Electric Vehicles

竹岡 宏 樹*

Hiroki Takeoka

電動車用途のフィルムコンデンサには、高い耐湿性能が要求されている。フィルムコンデンサの耐湿性能を向上させる技術として、アルミの蒸着電極にマグネシウムを添加する蒸着電極を開発した。マグネシウムの水との高い反応性を活かし、蒸着電極の劣化を抑制し、フィルムコンデンサの高耐湿化を達成した。

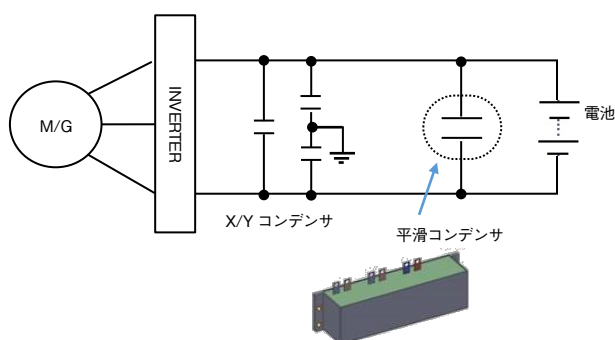
A high level of moisture resistance is required for film capacitors used in electric vehicles. In order to improve moisture resistance, we have developed a technology to add magnesium to aluminum vapor-deposited electrodes. By utilizing the high reactivity of magnesium with water, we have been able to suppress the deterioration of aluminum, thereby improving the moisture resistance of film capacitors.

1. 電動車のインバータとフィルムコンデンサ

近年、環境意識の高まりから、電気自動車やハイブリッド自動車など、二酸化炭素の排出が少ない電動車の需要が増大している。これらの車両は、モーター単独、もしくはエンジンとの併用で走行する。モーターの制御は、インバータシステムが担っており、このインバータには、フィルムコンデンサが欠かすことのできないデバイスとなっている[1][2]。

第1図にハイブリッド自動車に搭載されているインバータシステムの模式図とコンデンサの外観例を示す。インバータシステムには、数種類のフィルムコンデンサが搭載されているが、本稿では、主に平滑コンデンサ（以下、コンデンサと称す）について説明する。

コンデンサは、電池とパワーモジュールの間に設置され、システム電圧の安定化、ノイズ除去の役割を担っている。



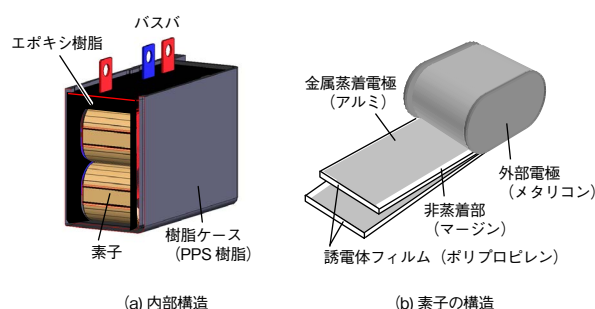
第1図 インバータ回路の模式図と平滑コンデンサの外観例

Fig. 1 Schematic image s of the inverter system and external appearance of smoothing capacitor

2. 特性向上に向けた取り組み

2.1 電動車用フィルムコンデンサの構造

電動車用のフィルムコンデンサの内部構造（断面図）を第2図（a）に示す。所定の容量に合わせて、いくつかのコンデンサ素子をバスバで並列接続し、これを樹脂ケースに入れてエポキシ樹脂で封止した構造となっている。コンデンサ素子の構造を第2図（b）に示す。コンデンサ素子は、誘電体フィルムの上に真空蒸着で電極を形成した金属化フィルムを2枚重ねて巻回した構造となっている。蒸着電極の厚さは、20 nm程度と非常に薄いため、水分により容易に劣化してしまう。そのためエポキシ樹脂封止による水分の侵入防止が必須となっている。車載向けでは、85 °C 85 %r.h.の高い耐湿性能が求められており、パッケージングによる耐湿性向上に加え、素子自身の耐湿性向上が必要となっている。



第2図 コンデンサの内部構造と素子の構造

Fig. 2 Internal structure of capacitor assembly and structure of capacitor element

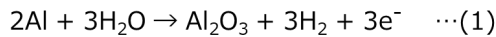
* パナソニック インダストリー株式会社
デバイスソリューション事業部

Device Solutions Business Div., Panasonic Industry Co., Ltd.

2.2 コンデンサの湿度劣化メカニズム

通常、フィルムコンデンサの電極材料には電気特性とコストの面からアルミが用いられる。

(1) 式に示す通り、アルミは電界下において、水が存在すると容易に酸化し酸化アルミとなる。酸化アルミは絶縁体であるため、電極として機能しなくなる。

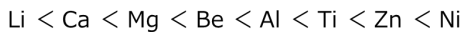


アルミが絶縁化すると、コンデンサの静電容量が減ることになるが、所定の静電容量値を下回ると、電気部品としての機能が果たせなくなる。アルミの酸化劣化を抑えることができれば、湿度に対して強いフィルムコンデンサが得られることになる。

2.3 アルミ蒸着電極の耐湿性向上

一般的には、電極の劣化を抑えるためには、電極材料の純度を高めることが有効と考えられている。フィルムコンデンサにおいても、アルミの純度を高めることを検討したが、満足する結果が得られなかった。そこで一般的な考えとは逆に、水との反応性の高い金属を添加することで、アルミよりも先に反応し、アルミの劣化を抑えられないか考えた。

金属の水に対する熱力学安定性の序列を下記に示す。



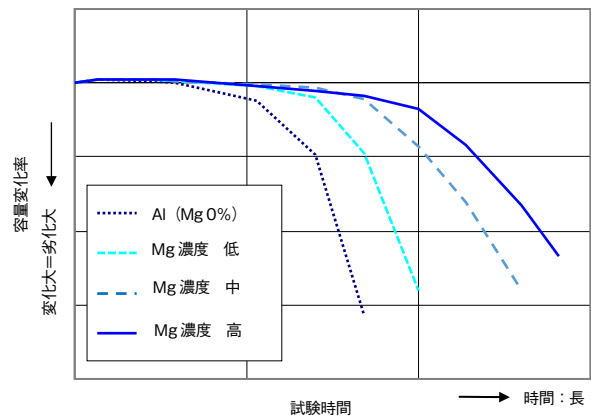
上記序列より、アルミよりも水との反応性が高いマグネシウムに着目し、アルミ-マグネシウム合金を蒸着電極としてコンデンサを試作し、その特性を確認した。その結果、耐湿性能の向上が認められた。また、蒸着電極のXPS (X線光電子分析) からアルミよりもマグネシウムが優先的に酸化していることがわかった。狙いどおりマグネシウムが水と優先して反応し、アルミの酸化による劣化を抑えるメカニズムにより、耐湿性能が向上したと考えられる。

2.4 アルミ-マグネシウム蒸着電極の最適化

マグネシウムは、電気抵抗がアルミの1.7倍大きいためコンデンサの電気特性とのバランス調整が必要であった。また、アルミとの相溶性も高くないため、蒸着膜中の分布にも検討が必要であった。マグネシウムの量や膜分布などの検討を行い、最適なアルミ-マグネシウム蒸着電極を開発した。

3. 効果

第3図に85℃85%r.h.の連続通電試験における容量変化率のグラフを示す。マグネシウムを添加することにより、アルミの劣化(絶縁化)が抑制されるため、経時的な容量変化が小さくなっていることがわかる。マグネシウムは少量の添加(Mg濃度 低)で、劣化時間を1.2倍程度まで高めることができ、また、その濃度が高いほど耐湿性が高くなることがわかった。



第3図 耐湿通電試験結果 (85℃85%r.h.-650VDC)

Fig. 3 Moisture resistance reliability test result (85°C85%r.h.-650VDC)

4. 動向と今後の展望

本開発技術により、コンデンサ素子の耐湿性を高めることができた。2030年カーボンニュートラルに向けて、電動車デバイスに求められる要求は益々厳しくなると考えられる。この技術を基に、さらなる車載用フィルムコンデンサの高機能化に貢献していきたい。

なお、本技術は特許化(特許第6074667号)しており、令和2年度全国発明表彰にて発明賞を受賞する等、外部から高い評価をいただいている。

参考文献

- [1] 竹岡宏樹, “HEV用小型・高耐電圧フィルムコンデンサ,” パナソニック技報 vol. 57, no. 3, pp. 51-55, 2011.
- [2] 平上克之 他, “パワーコンバータに用いられるフィルムコンデンサの最新技術動向,” 2019年電気学会産業応用部門大会講演論文集, 1-S1-5, 2019.