

風力発電機非常停止電源用キャパシタの開発

🔌 電気二重層キャパシタ，省力化，ライフサイクル，地球環境，風力，クリーンエネルギー

* 堀越 論 Ron Horikoshi ** 野瀬勝利 Katsutoshi Nose *** 水野 祥 Sho Mizuno

概 要

風力発電機のピッチ制御システムは、落雷などで外部グリッドが切断された場合、安全に風車を停止させるため外部電源に頼らずにブレードピッチ角を停止位置まで動かす非常用電源を備えている。

MEICAPは、電気二重層キャパシタの特長である長期保管、繰り返し充放電を行っても寿命への影響が少ないといった長所を持っている。近年、その特長を生かしてピッチ制御システムの非常用電源として適用が進んでいる。当社では風力発電機に適用する上で、安全性と信頼性をより向上させたMEICAP 600S3形を開発した。今後、国内外のピッチシステムメーカーへ本MEICAPを提供し、標準システムに採用していただくことで世界的な事業展開を図っていく。



風力発電機

1. ま え が き

電気二重層キャパシタ（EDLC：Electric Double Layer Capacitor）^{メイキャップ} MEICAPは、物理吸着現象によって電気エネルギーを貯蔵するため、二次電池と異なり充放電を繰り返しても寿命への影響が少なく、保守を行う上で定期的な充電作業が不要という特長を持っている。近年その特長を生かして電動式ピッチ制御システムの非常用電源として適用が進んできた。

本稿では、風力発電機ピッチ制御システム用に新規開発したMEICAPの基本構成、特長及び適用事例を紹介する。

2. 風力発電の世界動向

低炭素社会・地球温暖化防止を目指し、太陽光発電・風力発電などの再生可能エネルギーの活用

が世界中で進んでいる。風力発電については、風車の大容量化、ウインドファーム全体の規模拡大が進み、陸上から洋上へ設置場所の拡大が進展している。こうした背景から風力発電機の保守メンテナンスについては、更なる省力化が求められてきている。この中で風力発電機ピッチ制御システムの非常用電源について、鉛蓄電池から期待寿命が長く交換頻度が大幅に低減できるキャパシタへの置き換えが進んでいる。また、ピッチ制御システムは、装置の特性上ブレードピッチモータと共に回転するハブ内に設置されている。ハブ内は非常に狭く作業性の悪い環境である。よって蓄電体の省スペース化・軽量化は、作業品質向上、それに伴う信頼性確保という効果を生み出すため、欧州メーカーをはじめ世界各国でキャパシタ採用の動きが活発になっている。

*キャパシタ事業開発部 **開発統括部 ***材料技術研究所



3. EDLCの導入メリット

ピッチ制御システムは、ブレードを動作させるピッチモータ駆動電圧として通常200V以上の電圧が必要である。鉛蓄電池の場合、標準12Vの電池を直列に複数個接続する必要があり、取り扱い性や電気接続の作業性に問題がある。また、鉛蓄電池は、性能低下により3年前後で交換が必要になり交換費用も大きな負担になっている。

MEICAPは長寿命、単体で高電圧であることから風力発電機ピッチ制御システムの電源に適用することで、従来から使用されている鉛蓄電池や他社製品のキャパシタに対して以下の導入メリットが得られる。

- (1) システムの軽量化、省スペース化
- (2) 蓄電体メンテナンス頻度の低減
- (3) ライフサイクルコストの低減

4. 風力用MEICAP 600S3形概要

ピッチ制御システム用MEICAP 600S3形は、従来機種（600S1形）をベースとして開発を行った。第1表に74セル構成である600S3-74Cの基本性能を、第1図にMEICAP外観を示す。

バイポーラ多積層構造は従来機種と同様であるが、風力発電機への適用で想定される過酷な環境下で使用されることを考慮し、安全性・信頼性・耐久性能を強化したものである。600S3形は、ピッチ制御システムの非常用電源として従来から適用されている鉛蓄電池代替をねらったものであ

第1表 MEICAP 600S3-74C仕様

従来機種と比較すると定格電圧と静電容量が向上しており、エネルギー密度が高くなった。

形式	600S3-74C (開発品)	600S1-70C	600U1-70C
定格電圧(連続)	170V	160V	160V
最大電圧(ピーク)	185V	175V	175V
静電容量	4.7F	4.5F	2.8F
内部抵抗(25℃)	0.78Ω	0.58Ω	0.34Ω
直流抵抗(25℃)	0.34Ω	0.29Ω	0.24Ω
最大電流(非連続)	100A	100A	100A
質量	5.9kg	5.7kg	5.3kg
寸法 (突起除く)	W	266mm	266mm
	L	316mm	316mm
	D	46mm	43mm
使用温度範囲	-25~+60℃	-25~+60℃	-25~+60℃

り、小形UPSの鉛蓄電池代替としても新たな市場展開が期待できる。

5. 安全性の強化

MEICAP 600S3形は、電解液溶媒の組成変更を行い、引火性・発火性が極めて低く、燃焼しにくい電解液を採用した。第2表に電解液の諸性能比較を示す。

燃焼性を低減させた電解液に変更したことにより、充電器故障時の過充電、ヒータ故障時の異常加熱などシステム側で不具合が生じた場合でも、MEICAPが重大な故障に至ることが無くなり、安全性を大きく向上させた。また、電解液溶媒の変更により国連危険物輸送勧告における引火性液体の該当から除外され、航空輸送において何らかの規制を受けることなく、一般貨物として輸送することが可能になった。また、MEICAP外装を専用の金属ケースで覆うことにより、外部からの衝撃、接触に対しての耐久性、取り扱い性を大きく向上させている。第2図に金属ケース付きMEICAP外観を示す。



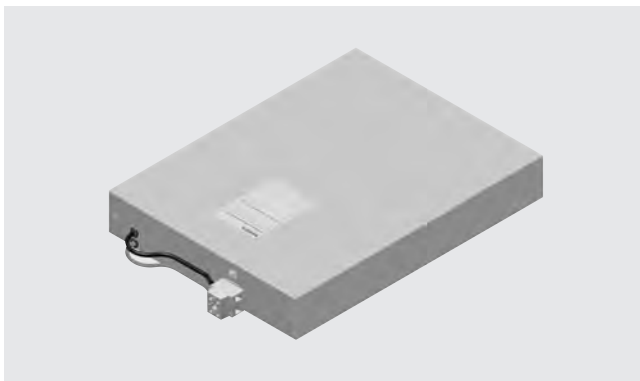
第1図 電気二重キャパシタ MEICAP

風力用600S3形は従来の600形と同様の形状であるが、標準で74セル構成とした。

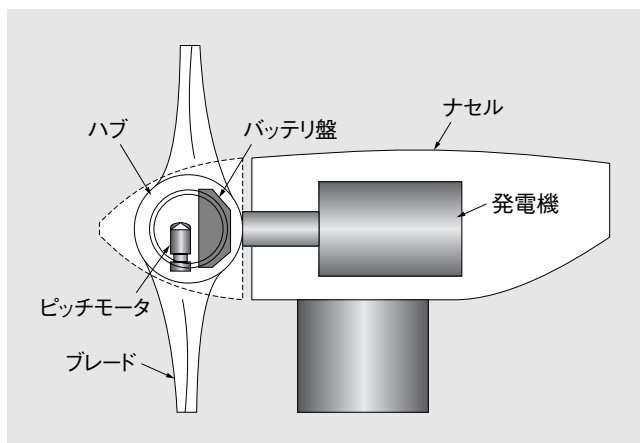
第2表 電解液の諸性能比較

600S3で使用している電解液は、沸点・引火点温度が高く輸送に関する規制を受けなくなった。

	600S3形電解液	600S1形電解液
沸点温度	約240℃	約120℃
引火点温度	約130℃	約40℃
凝固点温度	約-45℃	約-45℃
輸送に関する規制・区分	無し	クラス3引火性液体 パッケージグループII



第2図 金属ケース付きMEICAP
 風力発電機内の設置環境に対応するために、金属外装ケースで覆うことで堅ろう性と安全性を向上させている。



第3図 風力発電機構造図
 風車先端のハブにはブレードが取り付けられ、発電時にはピッチモータ・バッテリー盤と共に回転する。

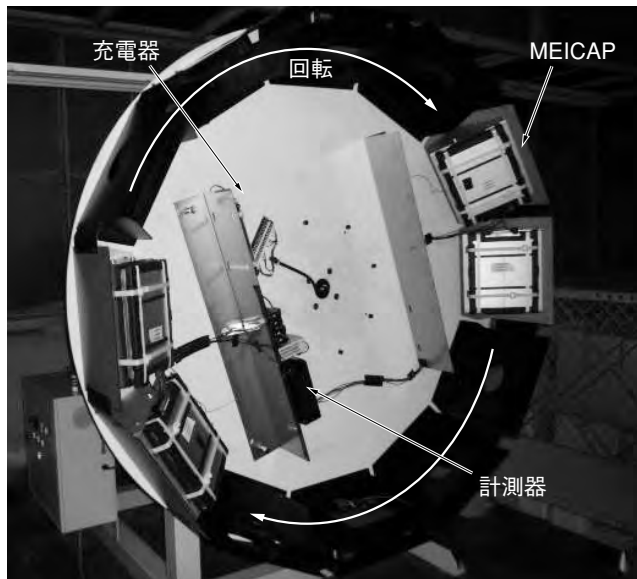
6. 回転体への適用

ピッチ制御システムの非常用電源は、要求される機能から非常時に確実に通電できるようにピッチモータの近傍に設置する必要がある。ほとんどの風車では、ブレード、ピッチモータと共に発電時に回転するハブ内に設置されている。第3図に風力発電機構造図を示す。

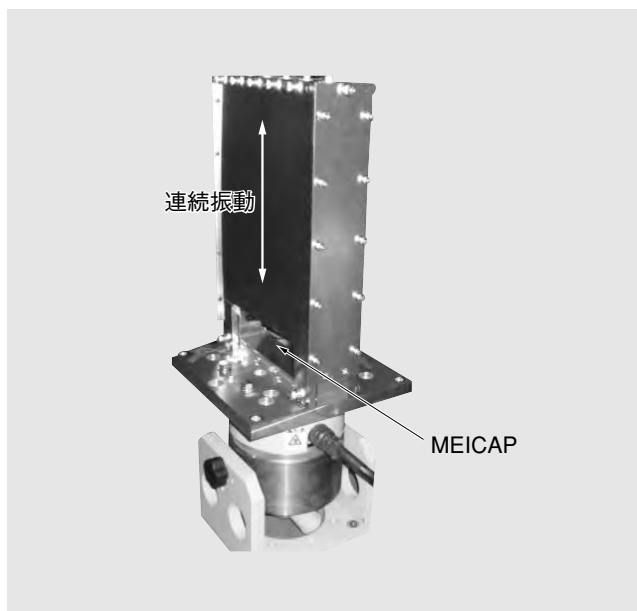
ハブ内に設置される場合、風車稼働時には常に回転状態となるため、各種の耐久確認試験を実施している。

6.1 回転シミュレーション試験

第4図にハブの回転状態を模擬する試験装置外観を示す。本装置は、実際の風力発電機のハブ径とほぼ同じ大きさであり、MEICAPを充電状態で回転させることができる。本装置により様々な設置状態、回転状態で電圧分担及び性能に問題が生じることがないか確認を行った。



第4図 回転シミュレーション装置
 ハブの回転を模擬する装置を社内で製作。実風車を使用せずに各種試験を行うことを可能とした。



第5図 振動試験装置
 回転による振動耐性を確認するために専用の振動試験装置を導入。30日間以上の長期連続試験を行っている。

6.2 長期振動試験

ハブ内で回転する場合、引力と遠心力が常に作用することになり、風車稼働中は繰り返し振動が作用し続ける状態となる。風車の最大発電時の回転数を考えると、ハブ内に設置したMEICAPには風車の発電稼働率100%で1億回の振動が付加されることになる。そこで第5図に示した振動試験装置にMEICAPを取り付け、30日以上時間で1億回以上の振動を与えることで、特性に異常が生じないか確認を行った。

7. 実風車でのフィールド試験

MEICAPを適用した実風車でのフィールド試験実施状況について以下に示す。

7.1 試験概要

2009年6月から現在に至るまで、秋田県三種町の八竜ウインドファームで実証試験を継続して行っている。第6図にファーム全体図を示す。試験は17基ある風力発電機の内、2基で行っている。

7.2 試験詳細

第7図にピッチ制御システムの単線結線図を示す。ハブ内にはスリップリングを介して商用電源が接続されており通常運転時は、商用電源でピッチモータを駆動させ、ブレード角度をコントロールしている。

送電線の切断、落雷による機器の破損が起き外部からの電源供給が断れた場合、風車を安全に停止させるためにMEICAPのエネルギーでピッチモータを駆動させ、ブレードが風を受けない位置まで動作させる。この際、ピッチモータとMEICAPはダイレクトに接続されることになる。

7.3 MEICAPの仕様

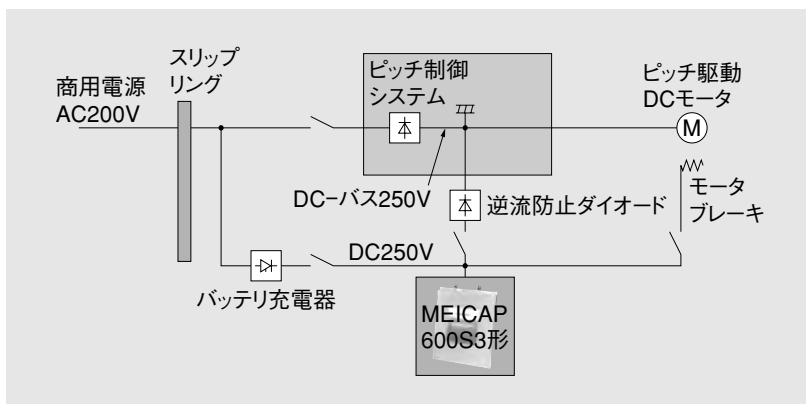
試験では風車各ブレードの3軸共に、既設の鉛蓄電池を取り外し、そのままMEICAPに置き換えている。第3表に本システムで使用したMEICAPの仕様を示す。システムの電圧に適合させるため、積層セル数を58として2直列構成とすることで250Vに対応させた。第8図に既設の鉛蓄電池とMEICAPに置き換えた状態のバッテリー収納盤を示す。蓄電体をMEICAPへ置き換えることで、鉛蓄電池の場合質量が26kgであったが、19kgに低減させることができた。

7.4 試験結果

第9図に発電状態から非常停止を行い、ピッチモータをブレード停止位置まで駆動させた場合のキャパシタ電圧と電流を軸ごとに示した。各軸の負荷の差異により駆動時間と電流が異なるが、停止動作は12秒以内に完了し、MEICAPでの動作に問題無いことを



第6図 八竜ウインドファーム全体図
八竜ウインドファームは1.5MW級風力発電機MD-77を17基設置。2基の風力発電機でMEICAPの適用試験を行っている。

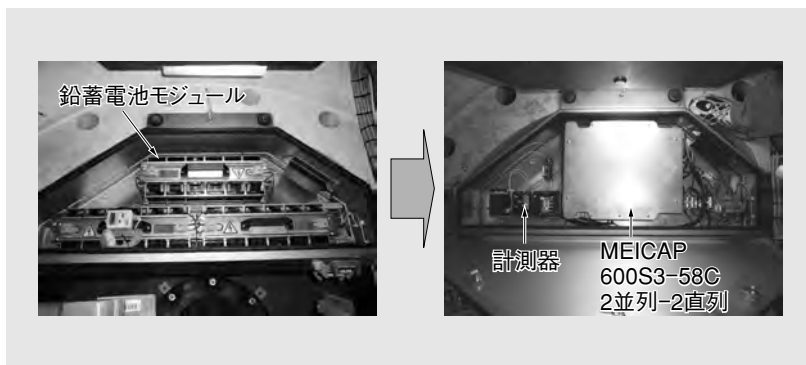


第7図 ピッチ制御システムの単線結線図
システムには通常スリップリングを介して電源が供給されている。外部電源が喪失した場合、MEICAPがピッチモータにダイレクト接続されブレードを停止位置まで動かす。

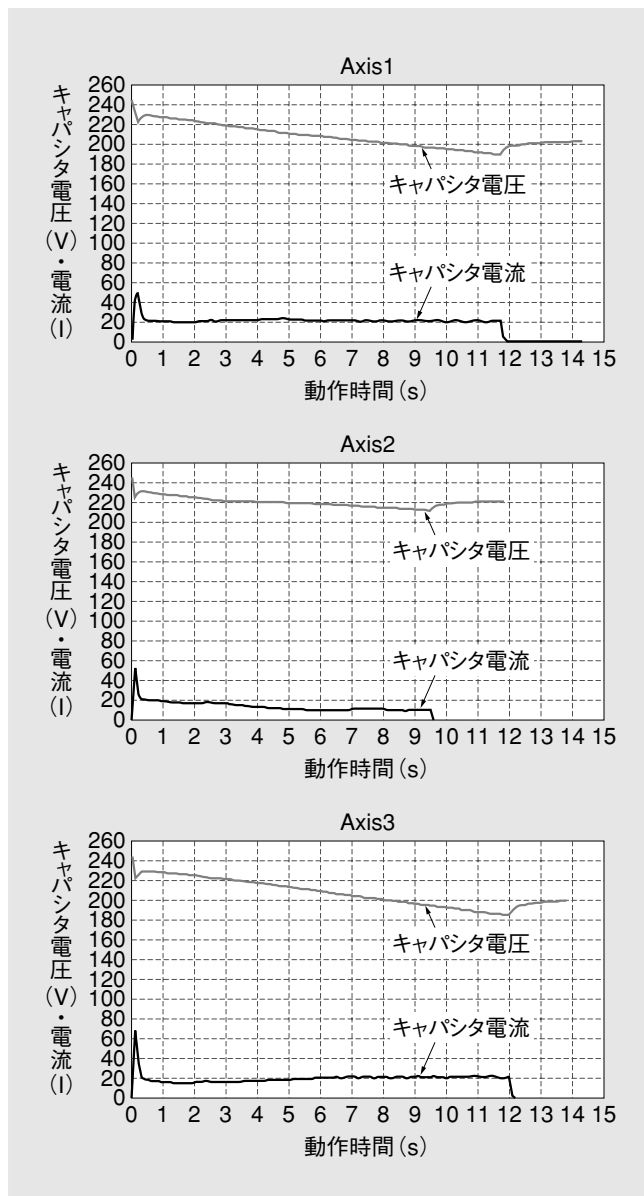
第3表 フィールド試験適用キャパシタ仕様

キャパシタ電圧は、風車システムのバッテリーチャージャ電圧に合わせて250Vとしており、58積層のMEICAPを2直列-2並列接続とした。

キャパシタ形式	600S3-58C
キャパシタ接続構成	2並列-2直列
充電最大電圧	250V
静電容量	5.8F
内部抵抗	0.61Ω



第8図 MEICAPの設置状態
既設の鉛蓄電池を撤去し、バッテリー盤にMEICAPを設置した。



第9図 ピッチモータ駆動時のキャパシタ放電データ
ブレードをピッチモータで停止位置まで駆動している時のキャパシタ電圧・電流を示す。

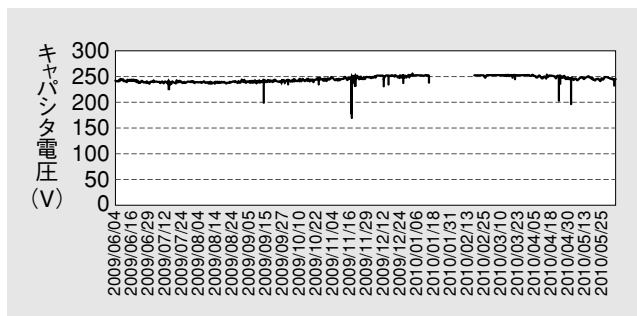
確認した。

第10図に試験開始から1年間のEDLC電圧と温度について代表する1軸の状態を示す。EDLC電圧が時々大きく低下しているが、この電圧低下はピッチモータを駆動させたことによる放電動作によるものである。

本試験でのブレードピッチ動作について、MEICAPは非常用電源として有効に機能しており、ピッチ制御システムとの適合性には問題無いことが確認できた。

8. 今後の方向性

MEICAPの風力発電機ピッチ制御システムへの



第10図 長期フィールド試験データ
試験開始時から1年間のキャパシタ電圧を示す。

適用については、海外においても標準的に使用されることを目指し、国内のほか欧州などのピッチシステムメーカーへの採用について取り組んでいく。また、フィールド試験などで得られた知見を基に、風力発電機ピッチシステムへの適合性を更に向上させる開発に取り込んでいく。

9. む す び

当社は、風力発電機の風力発電事業・保守メンテナンス事業・代理店販売業などの豊富な経験によって培われた技術、知見に基づいた「ものづくり」を通じて、風力業界の発展に貢献していくことを目指す。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



堀越 論 Ron Horikoshi
電気二重層キャパシタの開発に従事



野瀬勝利 Katsutoshi Nose
電気二重層キャパシタの開発に従事



水野 祥 Sho Mizuno
電気二重層キャパシタの開発に従事