

低風速に対応する風力発電用蓄電装置の検討

The Review of the Charge Controller for Wind Power Generation in Low Wind Speed Condition

神谷 達夫

Tatsuo Kamitani

要旨

本論文は、小規模風力発電における発電量向上のための回路方式を実験的に検討した。実験の結果、蓄電素子として電気二重層コンデンサ(EDLC)を用いることにより、従来から用いられている蓄電池を用いた回路に比べ、低風速で発電電力を蓄えることができた。また、MPPT(Max Peak Power Tracking)回路の付加により、同一発電条件での蓄電量を増加させることができた。

キーワード: 風力発電、蓄電、MPPT 回路、電気二重層コンデンサ

Keywords: wind power generation, charge control, Max Peak Power Tracking circuit, electric double-layer capacitor

1. はじめに

近年、再生可能エネルギーに対する関心の高まっている。その理由は、化石燃料や原子力の使用に対する懸念が高まっているからである。化石燃料の使用には、二酸化炭素の排出量増加に伴う地球温暖化や資源の枯渇の問題があり、原子力発電には、事故による信用の低下の問題がある。しかし、人間が快適に生活するためには、エネルギーを必要とし、従来のエネルギーの代替となるエネルギー源を用意する必要がある。そして、その代替エネルギー源として注目されているのが再生可能エネルギーである。

再生可能エネルギーは、太陽・地球物理学的・生物学的な源に由来し、自然界の作用によってエネルギーとして取り出す以上の速度で補充されるエネルギーである。再生可能エネルギーの利用において、現在想定されているエネルギー源は、太陽光、風力、波力・潮力、流水・潮汐、地熱、バイオマ

ス等である。

近年、小規模な再生可能エネルギーによる発電において最も普及しているのは、太陽光発電である。ただ、太陽光以外の小規模な再生可能エネルギーによる発電は、技術的な問題で広く普及していない。

本論文は、小規模な風力発電により、電力を取り出すことを目的としている。この発電によって得られた電力は、電灯線が敷設されていない山間地や災害時の補助的な電源として想定されている。

再生可能エネルギー源として有望な風力ではあるが、風力は気候条件により一定しないという欠点がある。この欠点を補うため、風力発電と蓄電を組み合わせることが考えられている。

しかし、一般的な風力発電で用いる蓄電素子には、2次電池が用いられることが多く、蓄電するためには、2次電池の公称電圧以上の電圧を必要とする。例えば、現在、小規模な風力発電機に最も用いられている鉛蓄電池は、1セルあたり2.0[V]の公称電圧であり、発電機の出力電圧が少なくともこの電圧以上でなければ蓄電することができない。一般的に、鉛蓄電池は、1セルあたり2.3[V]程度で充電される。このため、風車が回転していても、低回転であれば、発電機が充電に必要な電圧を発生できず、充電することができない。したがって、風車が低回転の場合は、風力によって回転した風車の回転エネルギーを有効に活用することができていない。

低回転の風車からエネルギーを取り出すには、大別して次の2通りの方法が考えられる。

風車に接続された発電機からの電圧を昇圧する

低電圧でも蓄電可能な蓄電素子を用いる

まず、の方法であるが、交流発電機を用いる場合はトランスによる昇圧が考えられる。また、直流発電機や、交流発電機においても、DC-DCコンバータによる昇圧が考えられる。しかし、DC-DCコンバータを用いた昇圧では、DC-DCコンバータの損失により発電効率が低下する。また、交流発電機とトランスを組合わせた場合は、発電機が低回転になると、発電された交流の周波数が下がり、大型のトランスが必要となったり、損失が増加し、発電効率が低下するという問題点がある。

本論文では、上記のように昇圧による発電効率の低下を防ぐために、の低電圧でも蓄電可能な素子を用いることとした。本研究で用いた蓄電素子は、2次電池でない蓄電素子として現在普及が進みつつある電気二重層キャパシタ(EDLC)である。

EDLCは、二次電池と異なり、電極での化学反応によって電気エネルギーを蓄えるのではなく、イオン分子が電荷を蓄える。さらに、蓄電の原理が化学反応ではないので、充放電の電圧は一定ではなく、コンデンサのように端子間電圧が充電によって変化する。また、EDLCの一種であるリチウムイオンキャパシタでは劣化を避けるために使用可能な最低電圧が規定されているが、通常のEDLCには使用可能な最低電圧の指定は無い。したがって、本研究で想定している小型風力発電の蓄電用途には、EDLCが適していると考えられる。

しかし、小型の風力発電機として普及している市販製品は、2次電池 - 特に鉛蓄電池 - を採用している製品が多く、EDLCを蓄電素子とした小型風力発電機は見かけない。また、EDLCを蓄電素子とした小規模風力発電に関する研究も見かけない。そこで、本研究では、小規模風力発電に適した

EDLC 充電回路を実験的に検討した。

実験の結果、低風速でも EDLC に蓄電できることが確認できた。また、蓄電池に発電機からの電力量を最適化するための MPPT(Max Peak Power Tracking)回路を用いた場合、発電時間の短縮することが確認できた。

2. 風力発電機の負荷特性

2.1 風力発電機の出力電力最大点

風力発電機に用いられる発電機では、発電機に接続された負荷抵抗が大きく、発電機からの出力電流が小さい場合、発電機的能力が有効に利用されていない状態となり、発電量が少なくなる。一方、発電機から出力される電流が最適な値より大きくなると、発電機の出力電圧の降下により取り出せる電力が低下する。したがって、風力発電機には、発電電力が最大となる出力電圧がある。

このような特性を持つ風力発電機において、常に最大電力となる出力電圧で動作させることができれば、その発電機の本来持っている性能を引き出すことができる。このため、本研究では、実際の風力発電機で最適値となる負荷条件を測定によって求めた。

2.2 風力発電機の負荷特性の測定

本研究では、市販されている風力発電機の負荷特性を実験により測定した。実験用の風力発電機には、VM 社製の Aerogen2(EARJ-2K)を用いた(図 1)。Aerogen2 の主な仕様を表 1 に示す。



図 1 実験に試用した風車(LVM 社製 Aerogen2)

表 1 Aerogen2 の主な仕様

項目	仕様
定格風速	10.5[m/s]
定格出力	20[W]
発電開始風速	2.5[m/s]
ブレード直径	580[mm]
ブレード枚数	5 枚
ブレード材質	ポリプロピレン
全長	500[mm]
本体質量	5[kg]
耐風強度	40[m/s]
耐風速制御	失速制御
発電機	永久磁石単相交流発電機

測定時の風の発生には、電動ファン(タイカツ製 HC-500)を用いた。この電動ファンを風車と対面させ、風車に風をあてた(図 2)。風車にあてる風の風速は、風速計で測定した。実験に用いた風速は、7.5[m/s] , 5.6[m/s] , 4.3[m/s]である。



図 2 実験に用いた電動ファンと風車

この実験では、風力発電機の負荷に可変抵抗器を用いた。この可変抵抗器の抵抗値を変化させることにより、発電機の負荷を変化させた。各風速における、出力電圧に対する負荷で消費された電力は、図3のようになった。

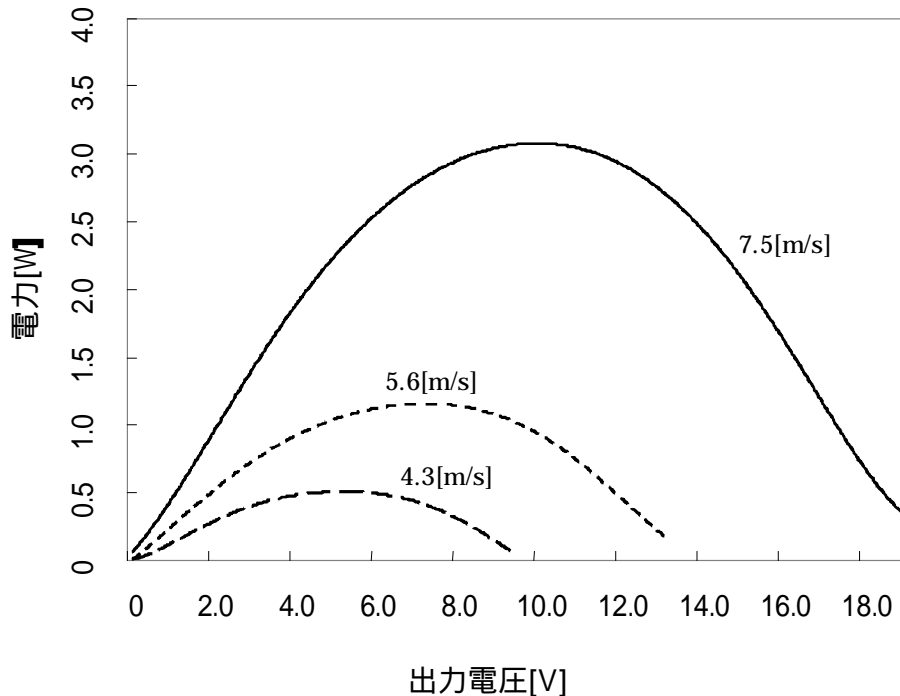


図3 風力発電機の負荷特性⁽¹⁾

図3から、風力発電機から出力される電力が最大となる出力電圧は、風速によって異なることが分かる。つまり、風力発電機から出力される電力が最大になる出力電圧の条件は、風速によって異なり、取り出せる電力を最大にするためには、その電圧になるような負荷条件とする必要のあることが分かる。したがって、最大電力となる条件を維持するには、最適な負荷条件となるように制御する必要がある。

3. 風力発電用蓄電システムにおける MPPT 回路

3.1 蓄電システムの概要

本研究では、風力発電された電力を蓄電するために、EDLCを用いた。EDLCは2次電池と異なり、固定された動作電圧が存在しない。EDLCはコンデンサと同じように充電されるに従って、端子間電圧が上昇する。また、通常のEDLCには、蓄電できる最大電圧の制限はあるが、最低の電圧に対する制限は無い。したがって、EDLCを用いることにより、風力発電機が2次電池に充電可能とな

るような高い電圧を発生できない場合にも蓄電することができる。ただし、EDLC は充電されていない時は端子間電圧が 0[V]付近になるため、EDLC を直接接続すると風力発電機の出力電圧が下がり、前章で述べたように、発電効率が低下する。これを防ぐために、本研究の発電システムでは、発電機と EDLC の間に MPPT(Max Peak Power Tracking)回路を接続した(図 4)。



図 4 風力発電システムの構成



図 5 実験に用いた EDLC

表 2 実験に用いた EDLC の主な仕様

メーカー	NESSCAP
静電容量	600[F](-10%,+20%)
定格電圧	2.7[V]
定格電流	151.2[A]
最大電流	594.7[A]
内部抵抗	0.6[mΩ]
質量	350[g]
動作温度範囲	-40 ~ 60[℃]
サイクル寿命	50 万回

3.2 MPPT 回路概要

本研究で用いた MPPT 回路は、山登り法で EDLC に対する充電電圧を制御する。電圧の制御には、チョップパ回路を用いている。チョップパ回路は、制御用マイクロコンピュータによって制御されている。制御用マイクロコンピュータは、EDLC の端子間電圧と EDLC の充電電流を測定し、その結果を基にチョップパ回路のデューティ比を制御する(図 6)。

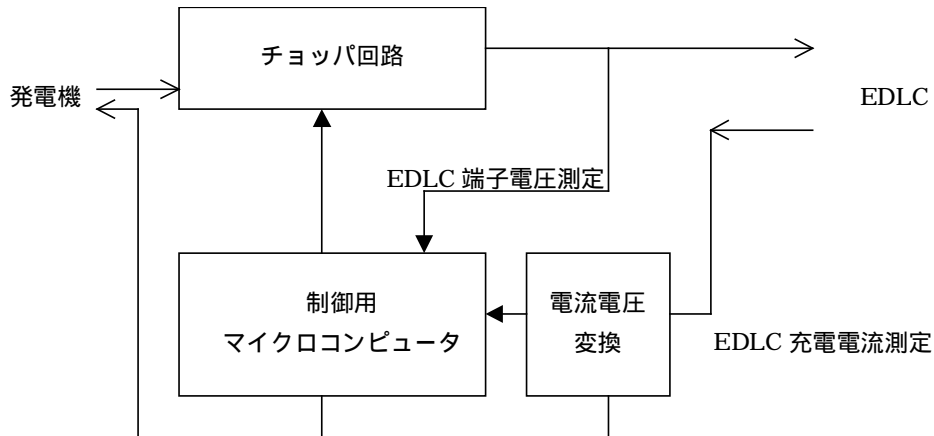


図 6 MPPT 回路のブロック図

3.3 MPPT 回路の動作

本研究で使用した MPPT 回路は、充電時の電圧と電流から充電されている電力を計測し、その計測結果により、次のチョップパ動作のデューティ比を決定する。チョップパ回路は、デューティ比を大きくすると充電電流が大きくなるように設定されている。その他、MPPT 回路の動作には、EDLC の充電電流が過大とならないようにするための保護動作や、EDLC が満充電となった時の停止動作も含まれている。EDLC の上限電圧を超えての充電した場合、EDLC の劣化や破壊が考えられるため、過充電保護制御により、EDLC が上限電圧を超えないように制御している。

図 7 は、MPPT 制御の動作を示すフローチャートである。EDLC 端子間電圧と充電電流の測定から充電電力を計算し、その結果からチョップパ回路のデューティ比を変化させ、充電電流を制御することにより、最大充電電力となる点を山登り法により捜し出している。

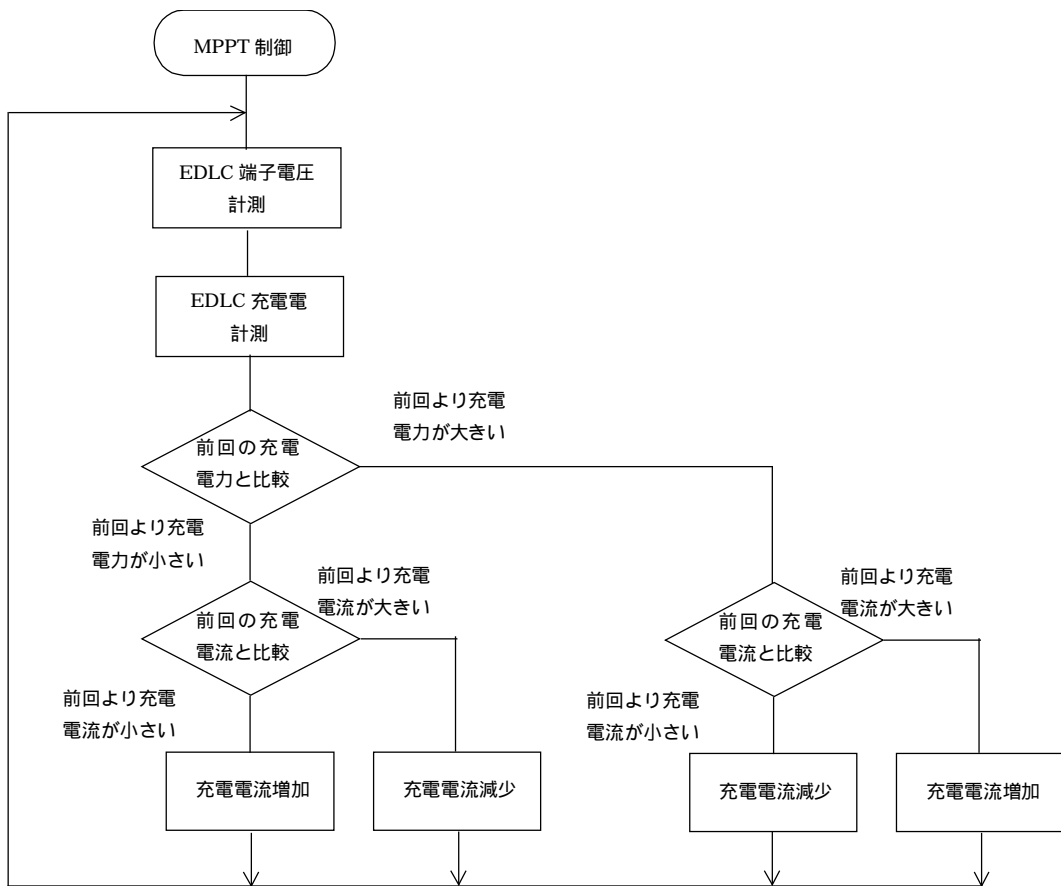


図 7 MPPT 制御

4. 蓄電実験

4.1 実験方法

本研究の蓄電実験では、電動ファンを用いて風速 [2.5m/s]の風を風力発電機に当て EDLC に充電した。風力発電機とファンは対面させて設置する(図 2)。風速 [2.5m/s]は、実験に用いた風力発電機の発電開始風速、すなわち、発電可能な最低の風速である(表 1)。

本研究の実験では、充電時に山登り法の MPPT 制御を行う場合と、無制御で充電する場合を比較した。ただし、無制御の場合でも、過充電保護制御と過電流保護制御動作の機能は有効である。また、使用した EDLC の定格電圧は 2.7[V]であるが、機器の不具合等で過充電になることを防ぐため、デイレティングを大きくし、本実験では、EDLC の端子間電圧を 0.4 [V]で制限している。

一方、充電時の動作は、MPPT 回路の制御用マイクロコンピュータのプログラムの変更により、変更できる。

4.2 実験結果

実験では、EDLC は 0.4[V] までの充電となるように制御しているため、どちらの充電であっても 0.4[V] で充電が停止している(図 8)。

本研究の実験では、風力発電機の発電開始風速(風速 [2.5m/s])であっても充電可能であった。この実験結果から、鉛蓄電池のような 2 次電池であれば、充電には定格電圧より大きな電圧が必要となり、1[V]以下の電圧で充電できないが、蓄電素子に EDLC を用いているため、蓄電可能であることが分かる。

一方、充電時に山登り法による MPPT 制御をした場合、無制御の場合と比較して EDLC の端子間電圧 0.4[V]に充電されるまでの時間が 5 分 15 秒短縮された。したがって、この実験結果から、EDLC への充電に対しても MPPT 制御が有効であることが分かった。

本実験では、風速が一定しているため、充電電力が最適値となった段階で MPPT 制御の変化がほぼ停止するが、実際の風力発電では常に風速が変化する。風速が変化した場合は、MPPT 制御の最適値への変動時間が発電量に影響するため、今後は風速の変動を含めた MPPT 制御の最適化の検討が必要となる。

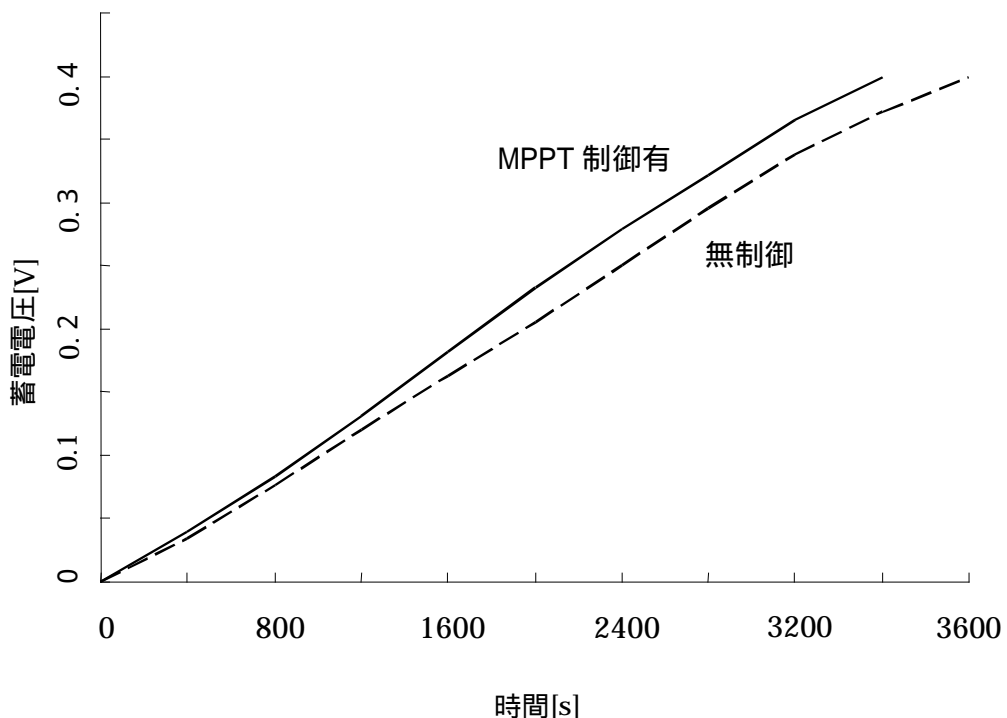


図 8 風力発電機で充電した時の EDLC 端子間電圧の変化

5. まとめ

本研究で検討した小規模風力発電システムは、一般的な小規模風力発電機の蓄電素子として用いられる二次電池を用いず、EDLC を蓄電素子として使用した。その結果、低風速時の低出力電圧によっても充電することができるようになった。

また、山登り法による MPPT 制御方法を用いることで、充電時間の短縮が実験結果より確認することができた。このことから、小規模風力発電装置における MPPT 回路に山登り法を用いることが有効であることが確認できた。

6. 謝辞

大阪電気通信大学工学部電子機械工学科の新免 克祥、田中 智大、村上 美和の3氏には、風車実験⁽¹⁾について多大なる協力をいただいたことに感謝する。

参考文献

- (1) 新免 克祥, 田中 智大, 村上 美和, 低風速に対応する風力発電用蓄電装置の開発, 大阪電気通信大学工学部電子機械工学科 卒業論文 (2014)