

配電系統に接続された負荷がPVの発電限界電力に与える影響

Effect of load connected to distribution system on power limit of PV generation.

長距離配電線の電圧安定限界について

長距離配電線の末端に、大容量PV群を連系する場合、逆潮流で電圧安定限界に至り、PV群が頻繁に解列することなどが懸念される。そのため、近年は電圧安定限界を考慮した配電線の供給検討を実施しているが、逆潮流下における電圧安定限界の知見が未だ十分ではないため、今回、負荷接続の影響について検討を行った。

執筆者

電力技術研究所

電力品質グループ

中津井 紳司



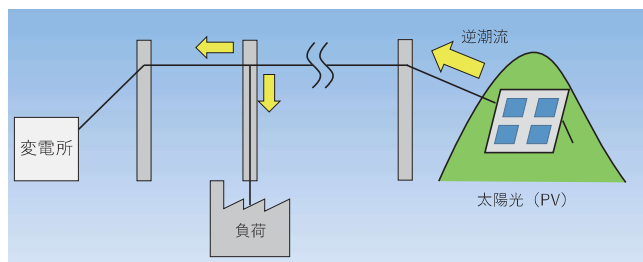
1 配電系統における電圧安定限界の検討の必要性

大電力を長距離送電する際には、電線の許容電流や電圧の制約条件を満たしつつ、距離（線路リアクタンス）に反比例した送電容量の限界（電圧安定限界）以内の運用とする必要がある。そのため、特別高圧系統では、従来から系統運用上の制約条件の一つとして電圧安定限界を考慮してきた。

配電系統においても理論的には同様であるが、大電力を必要とする市街地などへ供給する配電線の巨長は比較的短く、長距離配電線となる山間部などでは負荷が小さいために、従来は電圧安定限界を考慮する必要性がなかった。しかし、FIT法施行以降に、山間部などを供給する長距離配電線に大容量PV（Photovoltaic:太陽光発電）群が設置されるケースが出てきた。そのため配電系統において、PV群からの逆潮流による電圧安定限界制約を考慮する必要性が生じてきた。

これまで、単純な系統（分岐のない線路の末端にPVを1箇所連系）をベースに電圧安定限界の考察や実験を行い、大容量PVの発電率が発電電力の限界（以下、発電限界電力という。）に大きく影響を与えることなど、多くの知見を得てきた。しかし、現実の配電系統は樹枝状に分岐し、多くの負荷やPV等が複数個所に分散している等、複雑な形態となっているため、実際の接続検討申請において上記知見だけでは十分な対応がとれない。

そこで次ステップとして、今回は第1図に示すような、大容量PVの連系された長距離配電線の途中に負荷を接続した場合に、負荷が発電限界電力に与える影響について検討を行った。

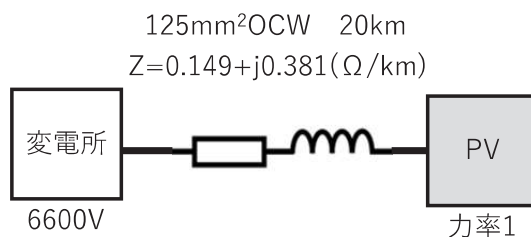


第1図 線路途中に負荷が接続された配電システムイメージ

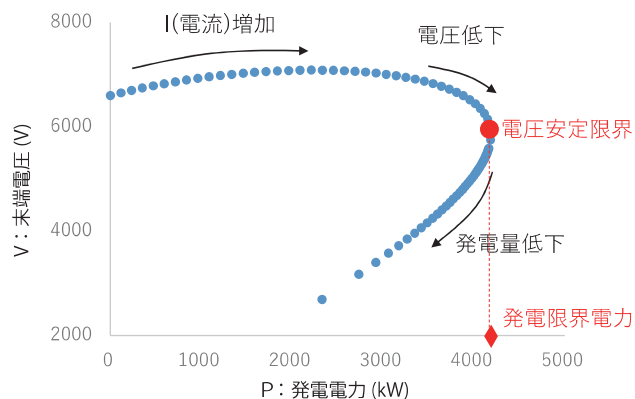
2 大容量PVからの逆潮流による電圧安定限界に関する評価

第2図のような長距離配電線モデルの末端にPVを連系した回路で、逆潮流による電圧安定限界を確認した。シミュレーションの結果を第3図に示す。PVの発電電力Iを徐々に増加させながら末端電圧Vと発電電力Pの変化を確認した。PVからの逆潮流で、Pの小さな領域では末端電圧が上昇する。更にIを増やすと、Vが降下し始めて、電圧安定限界を境にIの増加をVの減少が上回り、PVがIを増加させてもPを上昇させることができなくなる。

模擬配電線を用いた同様の実験では、電圧安定限界に近づくにつれて、電圧が不安定となり、PCS（太陽光発電用インバータ）が発電停止する事象を確認した。これらの検証において、逆潮流でも負荷の場合と同様に電圧安定限界が存在し、発電限界電力以上の発電ができないことを確認した。



第2図 長距離配電線モデル

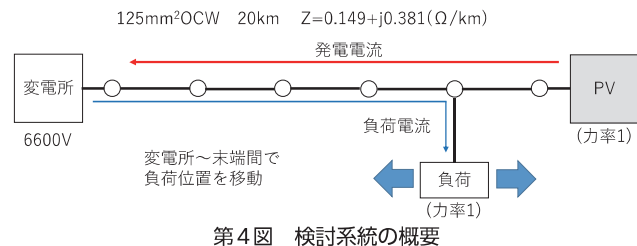


第3図 逆潮流における電圧安定限界

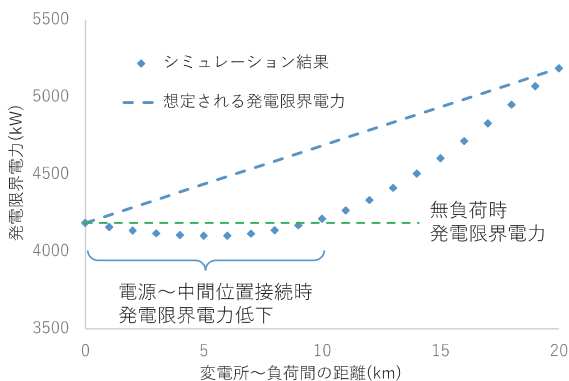
3 逆潮流発生時に負荷が発電限界電力に与える影響の評価

負荷が発電限界電力に与える影響を確認するために、線路途中に負荷を接続した場合の発電限界電力の変化をシミュレーションおよび実験で確認した。検討に用いたシステムの概要を第4図に示す。一定容量の負荷を接続した状態で、徐々にPVの発電電力を増加させ、シミュレーションでは解無しとなる時、実験ではPCSが発電停止する時の発電電力を発電限界電力とした。また、負荷の接続位置を変更して同様の作業を繰り返し、接続位置と発電限界電力の関係を確認した。一例として、負荷1000kWの場合のシミュレーション結果を第5図に示す。

変電所とPVの間に負荷が接続されると、負荷に発電電流の一部が流入するため、負荷接続位置から変電所間に流れる逆潮流が減少し、PV容量を負荷容量分減少させた場合の電流分布に近くなると推測された。その影響で、第5図の破線の様に接続位置が末端に近いほど発電限界電力が増えると想像していた。しかし第5図の様に、負荷の接続位置によっては、無負荷時よりも発電限界電力が低下した。これは実験でも同じ傾向であった。

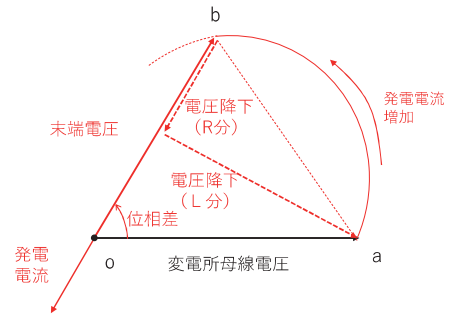


第4図 検討システムの概要



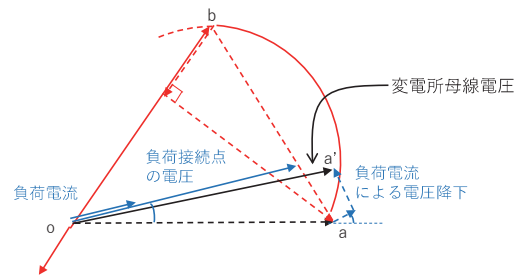
第5図 負荷接続位置と発電限界電力の関係性

この原因についてベクトル図を用いて解析した。まず末端PVのみの配電線における電流および電圧のベクトル図を第6図に示す。末端電圧(ob)に、配電線路インピーダンスと逆潮流で発生する電圧降下を加えると(ba)、変電所の母線電圧(oa)となる。また、 $\triangle oab$ の面積 S は、末端電圧 V ×線路リアクタンス分の電圧降下 $\times 1/2$ で求まる。一方で、線路リアクタンス分の電圧降下は、発電電流 I ×リアクタンス L (定数)で求まる。ここで、PVの発電電力 P は、発電電流 I ×末端電圧 V で求まることから、 $\triangle oab$ の面積($S=L \times V \times I \times 1/2$)はPVの発電電力($P=V \times I$)と比例関係にある。



第6図 電流-電圧ベクトル図（無負荷）

発電電流を増加させていくと、 $\triangle oab$ の面積が最大となる点がある。この地点が、PVの発電限界電力であることが、過去の研究で明らかとなっている。次に負荷を接続した場合のベクトル図を第7図に示す。第6図と同様の発電電流による電圧降下に加え(ba)、更に負荷電流による電圧降下を加えた先が母線電圧(oa')となる。第7図において、母線電圧を基準と比較すると、負荷が変電所に近い場合は $\triangle oab$ の辺 oa が第6図より短くなることで三角形の面積も小さくなることから、無負荷の場合に比べ発電限界電力が低下することが説明できる。なお辺 oa の長さは、負荷の接続地点による負荷電流と末端電圧の位相差の変化で主に決まり、この影響で第5図の様に非線形な関係性になる。



第7図 電流-電圧ベクトル図（負荷有）

上記検討で判明した事項は以下のとおりである。

- ① 負荷が発電限界電力に与える影響は、負荷の接続位置により異なり、接続位置と発電限界電力が非線形な関係性となる。
- ② ①は、負荷電流と末端電圧の位相差が大きく影響している。
- ③ 接続位置が電源に近い場合、負荷を接続することで発電限界電力が低下する場合がある。

なお、③の結果から、元々電圧安定限界に近い配電線では、変電所付近で負荷を増やす場合にも電圧安定限界に達しないか検討を行う必要があると言える。

4 今後の展望

山間地などへのPV連系量は増加しており、今後も電圧安定限界を考慮すべき配電線数や供給検討数が増加していくと想定される。最終的には、電圧安定限界に関する系統解析技術力の向上と、事業場で簡易かつ高信頼度の供給検討や系統運用を行えるシステムの構築を目指し、実務に即した課題に取り組んでいく。