

長距離配電線で太陽光発電の連系により電圧安定限界に至った場合の影響

長距離配電線における送電可能電力の限界

Impact on long-distance distribution lines when the voltage stability limit is reached due to interconnection of solar power generators
Limit on the power that can be transmitted via long distance distribution lines

(エネルギー応用研究所 ネットワークG 配電T)

(Distribution Team, Network Group, Energy Application Research and Development Center)

長距離配電線に大容量の太陽光発電群が連系した場合、逆潮流で送電可能電力の限界「電圧安定限界」に達する可能性がある。しかし、電圧安定限界に達した場合の事象や影響についての知見が無いことから実験等を実施し、電圧安定限界に至ると太陽光発電が連系できないこと等を確認した。

When a large capacity of solar power generators are connected to long-distance distribution lines, the "voltage stability limit," which is the maximum power that can be transmitted, may be reached due to reverse power flow. However, since little is known about the phenomenon and its impact when the voltage stability limit is reached, tests and experiments were carried out. We confirmed that solar power generation cannot be interconnected more when the voltage stability limit is reached.

1 背景・目的

特別高圧系統では、長距離送電線で大電力を送電した場合に、受電端電圧が異常に低下する「電圧不安定現象」が発生することや、送電電力には距離（線路リアクタンス）に反比例した限界「電圧安定限界」があることが既知の事実となっている。一方、従来の配電系統では大電力を長距離送電するケースが少なく、電圧安定限界まで達し問題が発生することが無かった。

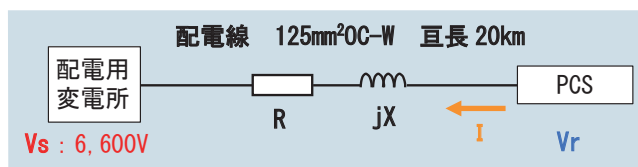
FIT導入後、山間部などの長距離配電線の末端付近に、配電線の許容電流に近い大容量の高・低圧太陽光発電設備が連系されるケースが増加しており、近い将来、一部の配電線で太陽光発電からの逆潮流により電圧安定限界に至ることが懸念されている。しかし、逆潮流によって電圧安定限界に至った場合に発生する事象やその影響が分かっておらず、現状では配電系統の電圧安定限界を防ぐためのシステムが構築されていない。

そこで、電圧安定限界の理論検討を行うとともに低圧系統で太陽光発電用PCS（パワーコンディショナ）を用いた実験を行い、電圧安定限界に至った場合に発生する事象とその影響を確認した。

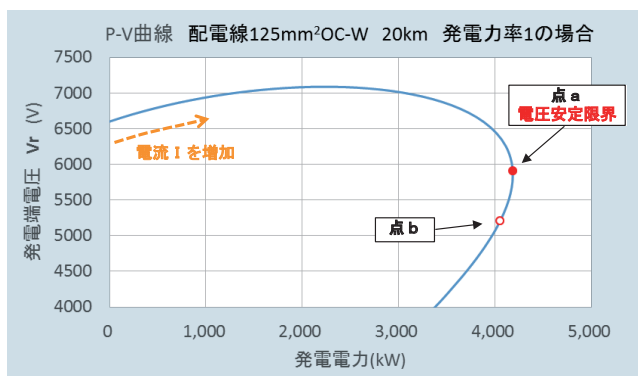
2 配電線の逆潮流による電圧安定限界について

第1図に示す巨長20kmの長距離配電線の末端にPCSが連系し、PCSの出力電流を増加させていった場合の発電電力と発電端電圧 V_r の関係（P-V曲線）を第2図に示す。ここでは当社で使用している最も太径の架空電線125mm²OC-Wのインピーダンスを用い、PCSの発電電力率を1、配電用変電所の電圧 V_s は一定（6,600V）とした場合のケースを示す。

通常は、PCSが出力電流 I を増加させると発電電力が増加していくが、P-V曲線上の電圧安定限界（点a）を超えると、出力電流 I を増やすほど発電電力が低下する事象が発生する。この理由は、出力電流 I を増やすと発電端



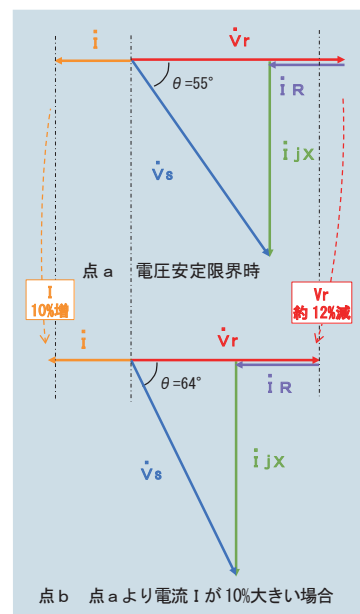
第1図 検討ケース



第2図 発電電力と発電端電圧の関係(P-V曲線)

電圧 V_r が大きく減少してしまうためである。第3図のベクトル図を用いて詳しく説明する。電圧安定限界時（点a）では、線路リアクタンスに生じる電圧 (IjX) が非常に大きく、 V_r と V_s の位相差 θ が 55° と大きくなる。

その状態からさらに出力電流 I を10%増加させると（第3図 点b）、位相差 θ が 64° にまで拡大し、 V_r が約12%減少する。 I の増加分（10%）より V_r の減少分（約12%）の方が大きくなるため、点bでは点aより発電電力 $(V_r \times I)$ が約3%減少する。



第3図 ベクトル図

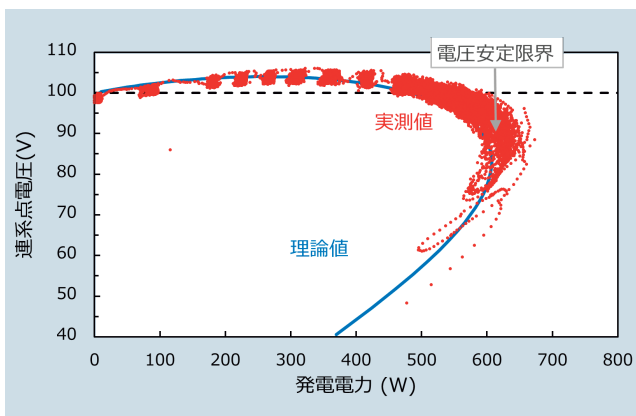
この様に、電圧安定限界を超えた点では、出力電流を増やすと発電電力が減少してしまう。即ち、配電線に連系したPCSの発電可能電力には理論上の限界（電圧安定限界）がある。

3 PCSを用いた電圧安定限界実験

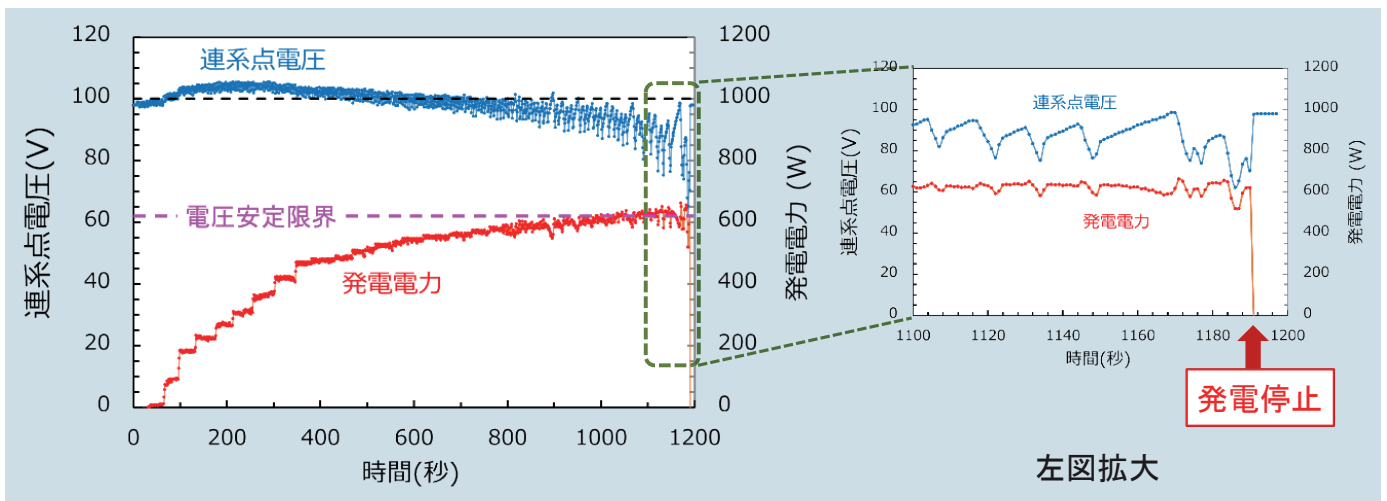
PCSによる逆潮流で理論上の電圧安定限界に至った場合、系統電圧およびPCSにどのような事象が発生するか確認するため、実験用の单相PCSを用いて実験を行った。

変電所に相当する電源装置（AC100V）に配電線を模擬したインピーダンス（ $4.6+j10\Omega$ ）を介して单相PCS（定格1kW）を連系した。PCSの直流側入力には太陽電池模擬電源装置を用い、直流側入力をゆっくりと電圧安定限界に至るまで上昇させ、PCSの連系点電圧（AC）や発電電力の変化を確認した。

実験結果を第4図および第5図に示す。0.1秒毎に抽出した実測データを実験系統のP-V曲線（理論値）上にプロットしたものが第4図である。実測値は概ねP-V曲線上を推移しており、電圧安定限界を超えたあたりから連系点電圧、発電電力ともに変動しながら急速に低下している。これは、PCSが定電力特性であることが影響している。



第4図 実験結果(P-V曲線 0.1秒サンプリング)



第5図 実験結果(連系点電圧および発電電力の時間推移 1秒サンプリング)

この結果から、PCSによる逆潮流で理論上の電圧安定限界に至った場合、理論値に沿って連系点電圧および発電電力が低下すること、また、連系点は電圧低下によりUVリレーの動作域に入る（通常PCSは発電停止する）ことを確認した。

第5図は連系点電圧および発電電力の時間推移を示している。用いた実験データは第4図と同一である。発電電力の増加に伴い、電圧変動が大きくなり電圧および発電電力が不安定になっている。最終的には連系点電圧の低下によりPCSが発電停止し、発電停止後は連系点電圧が電源電圧（AC100V）に復帰している。

特別高圧系統の過負荷により電圧安定限界に至った場合と異なり、PCSの逆潮流により電圧安定限界に至った場合は、連系点電圧の低下によりPCSが解列するため、電圧崩壊（系統全体の停電）には至らない。

4 電圧安定限界の影響と今後の課題

配電系統に電圧安定限界を超える容量の太陽光発電設備が連系された場合、停電は発生しないが、日射量の大きな時間帯にPCSが頻繁に解列することが想定される。PCSの解列は、発電事業者の収入減に直結するため何らかの対策を早急に行う必要がある。

配電線の送電可能容量を増大させる方法としては、無効電力の挿入などによる配電系統電圧の上昇と、配電線インピーダンスの低減がある。しかし、前者は電圧上限値の制約等があるため殆ど効果が見込めず、後者を長距離配電線で実施するためには、多大な費用と工事期間が必要となる。従って、電圧安定限界に至った後に対策を行うことは現実的には困難である。そのため、太陽光発電の連系申込時に連系量の制限もしくは供給設備の検討（複数配電線での分割供給等）を行い、電圧安定限界を未然に防止するためのシステムを早急に構築していく必要がある。



執筆者／岩月秀樹