

配電システムの電圧制御シミュレーション

■ 尾崎 卓也
Takuya Ozaki

■ 茂木 規行
Noriyuki Motegi

■ 宮本 卓也
Takuya Miyamoto

1 はじめに

地球環境問題や省エネルギーに対する意識の高まりを背景に、再生可能エネルギーを利用した分散型電源の普及拡大の取り組みがなされ、特に、太陽光発電は、固定価格買取制度等により、大量導入が進んでいる。

配電システムへの太陽光発電の大量導入により、さまざまなシステム安定上の問題が発生するが、特に電圧変動については、比較的早期に顕在化する課題であると考えられている。

東光高岳では、配電システムの電圧適正化に関する検討や製品開発を進めており、それらに必要なシミュレーション技術にも取り組んでいる。シミュレーションを行うには、まず、その環境を構築する必要があり、また、その妥当性についても確認しておく必要がある。

本稿では、今回検討したシミュレーションの概要とその妥当性の検証結果を述べ、電圧変動が急峻な場合の電圧制御シミュレーションの一例について紹介する。

2 電圧調整機器・太陽光発電モジュール

電圧制御シミュレーションのツールには PSCAD/EMTDC^{注1)} を使用した。しかし、このツールには負荷時タップ切換変圧器 (LRT)、ステップ式電圧調整器 (SVR) 等の電圧調整機器や、太陽光発電等を模擬するモジュール^{注2)} が用意されていないため、新たに設計・製作した。以下に、それらモジュールの概要を示す。

2.1 LRT モジュール, SVR モジュール

LRT モジュールおよび SVR モジュールは、電圧調整機器を設置した箇所の電圧・電流情報を用い、ある地点の電圧が設定した電圧 (基準電圧) の管理値内となるようにタップ制御を行う機能を有している。

LRT モジュールは、あらかじめ設定された送出し電圧特性 ($I-V_S$) から、電流 I に応じて基準電圧 V_S を決定し、LRT 二次側の電圧 V が V_S になるようにタップ制御を行うもので、そのモジュールの構成を **図 1** に示す。**図 1** のタップ制御では、 V と V_S との差 (%) が不感帯 F_U (%) を超えた場合にその超過分を時間積分し、その積分値が動作時限 T (%・s) 以上になったときにタップ切換 (変圧比の変更) を行うようにしている。なお、動作時間 t は次式で表される。

$$t = \frac{T}{|(V - V_S) / V_S| \times 100 - |F_U|} \text{ (s)} \dots\dots\dots (1)$$

SVR モジュールは、電圧を管理したい目標地点 (負荷中心点) の電圧 V_{LDC} を、電流 I とあらかじめ設定された線路インピーダンス (%R, %X) から推定し、その地点の電圧 V_{LDC} が基準電圧 V_S となるようにタップ制御を行うもので、そのモジュールの構成を **図 2** に示す。**図 2** のタップ制御は前記 LRT の機能と同様である。また、動作特性の式は前記 LRT と同様で、**式 (1)** の V が V_{LDC} となる。

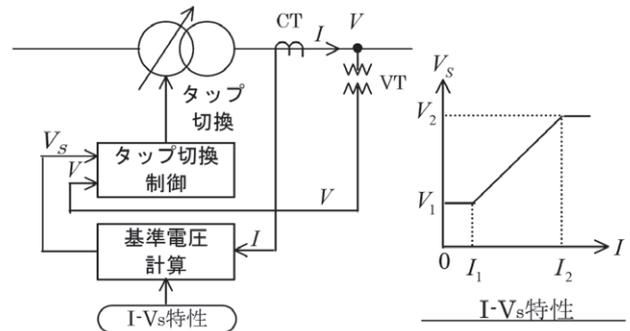


図 1 LRT モジュールの構成

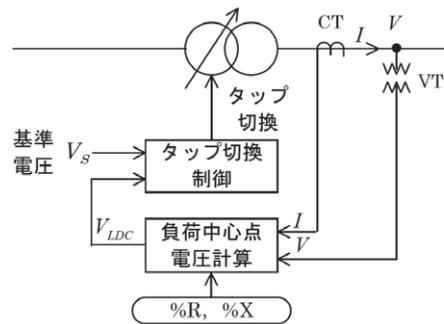


図 2 SVR モジュールの構成

2.2 太陽光発電モジュール

太陽光発電から系統側に有効電力 P 、無効電力 Q を供給するが、日射量によりそれらが変化することになる。このため、日変化する太陽光発電出力データ P_0 、 Q_0 を目標値としてシミュレーションができる太陽光発電モジュールを設計・製作した⁽¹⁾。なお、太陽光発電モジュールは系統側の電圧が変動しても目標値 P_0 、 Q_0 が供給できる定電力型とした。

そのモジュールの構成を **図 3** に示す。モジュールは、

振幅と位相を制御できる電源とリアクトル X から構成され、系統側と接続される。制御はモジュールの系統側接続点の電圧 V、電流 I を用いて、P、Q を計算し、それが目標値 P_0 、 Q_0 になるように電源の位相、振幅を調整できる方式とした。

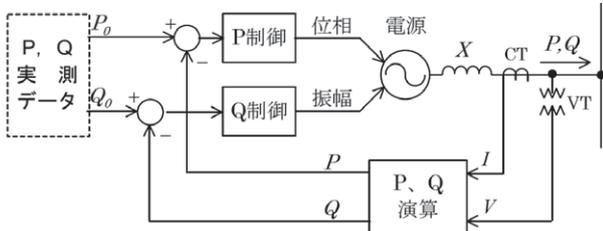


図3 太陽光発電モジュールの構成

3 シミュレーションの検証

前述の電圧調整機器モジュールおよび太陽光発電モジュールを用いて電圧制御シミュレーションを行い、その妥当性を確認するため、東光高岳小山事業所の配電ネットワーク実証試験場⁽²⁾における実測との比較を行った。

3.1 解析条件

シミュレーションの系統構成を図4に示す。これは実証試験場と同じ構成であり、LRT (模擬) の二次母線に配電線が2回線 (試験線 A, B) 引き出され、試験線 A の線路途中に SVR A を設け、その二次側に太陽光発電 1, 2 (PV1, PV2) が連系している。図4の RL1~RL4 は線路インピーダンスを示している。

電圧調整機器の整定を表1に示す。また、LRT 一次電圧を図5に、PV1 の発電出力 (有効電力 P、無効電力 Q) を図6に示す。これらは実証試験場で実測した日変化である。なお、PV2 の実測データは省略するが、発電出力およびその時間変化は図6の PV1 とほぼ同じである。

シミュレーションは、LRT 一次電圧に実測値の電圧を与え、太陽光発電モジュール 1, 2 に実測データの有効

電力・無効電力 (P_{01} , Q_{01} , P_{02} , Q_{02}) を与えて行った。

本稿では、LRT はロック^{注3)}し、SVR のみ使用した場合と、SVR をロックし、LRT のみ使用とした場合について述べる。

表1 電圧調整機器の整定

項目	LRT	SVR
基準電圧	I-V _s 特性	6.6 kV
不感帯幅	± 1 %	± 1 %
動作時限	40%・s	40%・s
その他	(I-V _s 特性) V ₁ = 6.6 kV, V ₂ = 6.72 kV I ₁ = 5 A, I ₂ = 10 A	(線路インピーダンス) %R = 24% * %X = 3% *

* RL3 の 1/3 相当の線路インピーダンスとなっている

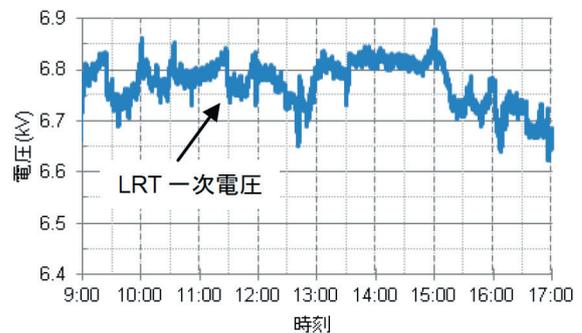


図5 LRT 一次電圧 (実証試験場実測データ)

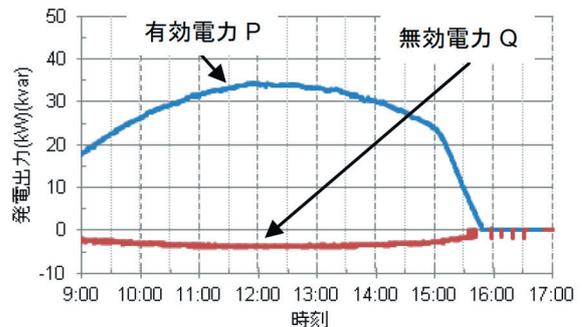


図6 太陽光発電出力 (実証試験場実測データ)

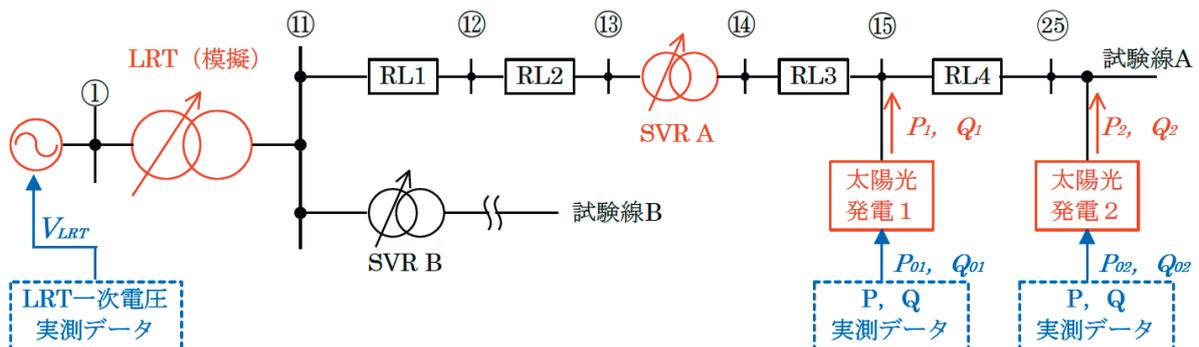


図4 シミュレーションの系統構成

3.2 解析結果

はじめに、LRTはロックし、SVRのみ使用した場合の実測とシミュレーション結果を図7に示す。ここでは、SVR Aのタップ動作と太陽光発電の接続点(図4の⑮)の電圧を示す。図7からタップ動作、接続点の

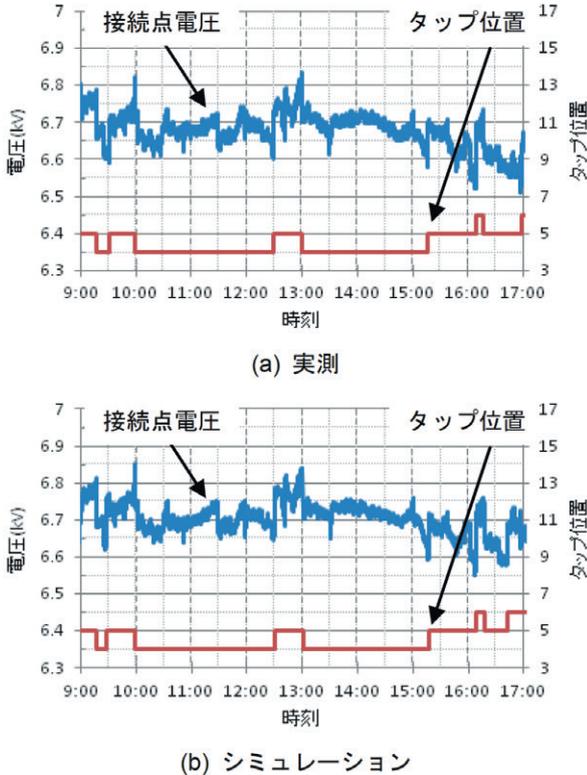


図7 検証結果 (LRT ロック, SVR A 使用時)

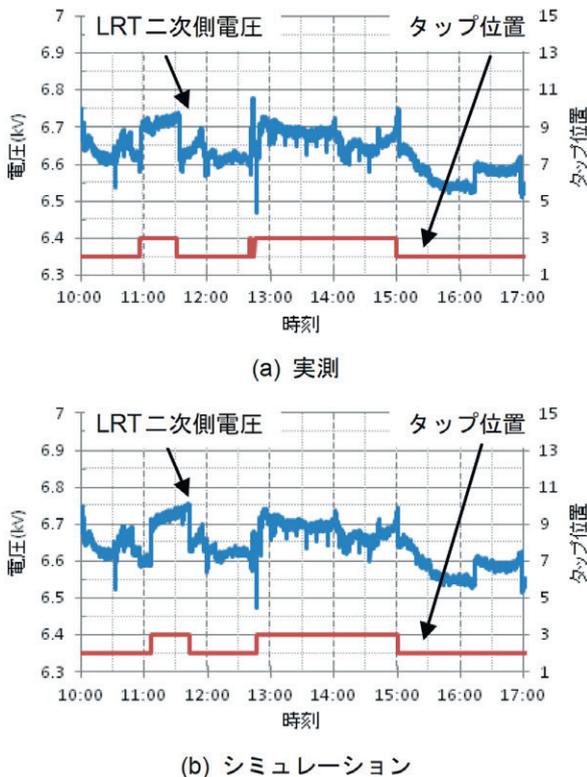


図8 検証結果 (SVR A ロック, LRT 使用時)

電圧ともにおおむね一致していることがわかる。また、接続点の電圧が基準電圧 6.6 kV よりも高くなっているのは負荷中心点が RL3 の途中に設定されているためである。

次に、SVR Aをロックし、LRTのみ使用とした場合の実測とシミュレーション結果を図8に示す。ここでは、LRTのタップ動作とLRT二次側(図4の⑪)の電圧を示す。図8から、タップ動作、LRT二次側の電圧ともにおおむね一致していることがわかる。なお、急峻な電圧変動において若干相違する箇所があるが、これは実器の電圧調整機器の特性等によるものと考えられる。

また紙面上省略しているが、そのほかの計測箇所の電圧についても実測と解析でおおむね一致していることを確認している。

以上から、シミュレーションの妥当性を確認することができたと考える。

4 電圧制御シミュレーション

電圧変動が急峻な場合の電圧制御シミュレーションを行った。線路の電圧変動と電圧調整機器のタップ動作について、一例を紹介する。

4.1 系統条件

実証試験場では太陽光発電出力が最大 100 kW であり、急峻で大きな電圧変動を得られない。このため、シミュレーション上で急峻な電圧変動を模擬し、電圧制御シミュレーションを行った。

系統構成は図4と同様であるが、線路インピーダンスおよび太陽光発電出力を変更し、シミュレーションを行った。電圧調整機器の動作時限の相違による影響を比較するため、SVR Aの整定は表2に示すように2通りとした。なお、LRTをロックとした。太陽光発電1, 2(PV1, PV2)の発電出力は実測データに係数を乗じて増加させたものを用い、それを図9に示す。

4.2 解析結果

SVR Aのタップ動作と太陽光発電の接続点(図4の⑮)の電圧をシミュレーションにより確認した。図10

表2 電圧調整機器 (SVR A) の整定

項目	整定 A	整定 B
基準電圧	6.6 kV	6.6 kV
不感帯幅	± 1 %	± 1 %
動作時限	40% · s	10% · s
線路インピーダンス	%R = 6% %X = 13%	%R = 6% %X = 13%

(a) に整定 A (青線), 図 10 (b) に整定 B (緑線) のシミュレーション結果を示す。

図 10 (a) と図 10 (b) の比較から, 動作時限を小さくすることで, 計測点の電圧が管理値内に収まりやすくなることわかる。しかし, 一時的な電圧変動に対してもタップ動作が発生するため, タップ動作回数が増加する傾向が確認されており, 最適な制御の整定方法等について, 更なる検討が必要である。

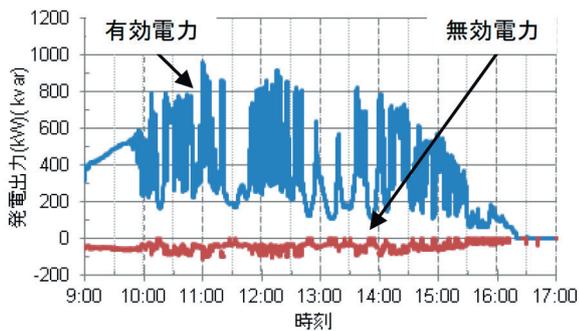
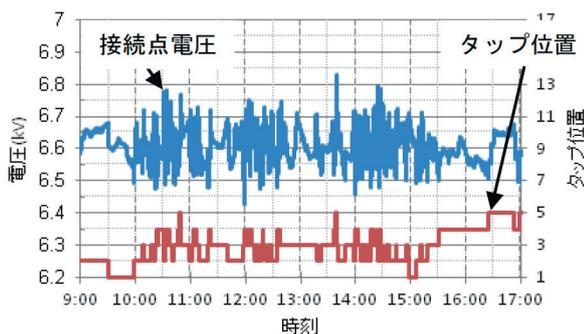
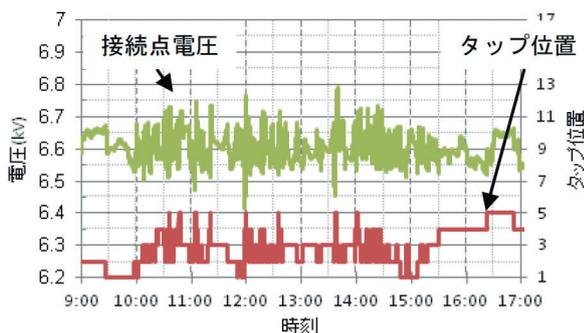


図 9 太陽光発電出力 (PV1 ≒ PV2)



(a) 整定 A (動作時限 40%・s)



(b) 整定 B (動作時限 10%・s)

図 10 電圧制御シミュレーション

ジュールを設計・製作してシミュレーションの環境を構築するとともに, それらを用いたシミュレーションの妥当性が確認できた。

今後, 本シミュレーション技術を活用して実規模での配電システムの電圧適正化や各電圧調整機器間の協調制御等に関する検討に取り組んでいく所存である。

参考文献

- (1) 甲斐隆章, 藤本敏朗:「太陽光・風力発電と系統連系技術」, pp.42-45 (2010), オーム社
- (2) 茂木他:「配電システムの電圧適正化に向けた取組み」, 東光高岳技報, No.2 (2015)

語句説明

注 1) PSCAD / EMTDC: 電力系統過渡解析シミュレータの一つ。強力な GUI である PSCAD と, EMTDC と同じ理論にもとづいて開発された解析プログラム EMTDC から構成されている。

注 2) モジュール: ハードウェアやソフトウェアにおける, ひとまとまりの機能・要素のことである。ソフトウェアでは, ある機能を実現するプログラムの集合体を示す場合に用いる。

注 3) ロック: LRT, SVR などの電圧調整機器のタップをある位置に固定した状態。



尾崎 卓也

技術開発本部
技術研究所 解析・試験技術グループ 所属
解析技術の研究に従事



茂木 規行

技術開発本部
技術研究所 次世代系統技術グループ 所属
次世代配電ネットワークに関する研究・開発に従事



宮本 卓也

技術開発本部
技術研究所 次世代系統技術グループ 所属
次世代配電ネットワークに関する研究・開発に従事

5 おわりに

本稿では, 今回検討したシミュレーションの概要とその妥当性の検証結果を述べ, 電圧変動が急峻な場合の電圧制御シミュレーションの一例について紹介した。

今回の取り組みで, 電圧調整機器および太陽光発電モ