

# 複数の分散電源を考慮した配電系統における自律的電圧制御方式の研究

餘利野 直人 造賀 芳文 犬山 伸顕\* 小林 美奈 (広島大学) 杉原 弘章 (中国電力)

## 1. はじめに

従来の配電系統では上位系統から下位系統へと電力を供給してきた。しかし、近年の規制緩和や新規事業者参入、分散電源などの導入により、そのシステムが大きく変わりつつある。これにより下位母線からの電力供給に対応する保護方式の問題、自然エネルギー等の分散電源や電力貯蔵装置および調相設備の設置や制御の問題、特に多数の分散電源が設置された時の電圧制御が問題となっている。これらの諸問題に対し、本研究ではローカル系統内で分散電源、電力貯蔵装置等を組み合わせ自律的に制御・運用を行う自律型小規模ネットワークの構築を目標とした電圧制御方を検討してきた。<sup>(1)</sup> また、自律型小規模ネットワークを構築する為には、耐故障性や系統変化への対応などにおける柔軟性、制御器が自律的に観測・制御を行うことが重要であると考えられるため、自律的システムに適していると考えられているマルチエージェントシステムを用いることを前提としている。本稿では、文献(2)で確立された電圧制御方式において様々な状況下における制御性能を検討する為、モデル系統に分散電源を複数連系した場合及び、分散電源の起動停止におけるシミュレーションを行い、その有効性を検討する。

## 2. 自律型小規模ネットワーク

本研究は現状の配電系統に順次、分散電源、電力貯蔵装置等が追加設置されていく状況下で、将来的に自律型システムに漸変していくことを想定している。これは分散電源と負荷を持つ小規模系統で一定エリアにおいて、複数の分散型電源・電力貯蔵装置等を組み合わせ制御・運用を行う電力ネットワークシステムである。これは自律したエネルギー供給が可能であり、上位系統等で故障が発生した場合でも、ネットワークの重要負荷に電力供給が可能である。「マイクログリッド」など他で研究されているシステムと考え方は類似しているが、現状の配電システムをベースとしている点が異なる。

## 3. 制御方式

### (3.1) マルチエージェントシステム

本稿では先に挙げた制御問題に対してネットワーク上の多種の制御器が自律的に制御することが重要であると考え、自律的制御に適していると考えられるマルチエージェントを用いている。マルチエージェントではエージェント間の協調が重要であり、各エージェント間の通信が必要となる。そこで本研究では、エージェントの情報を共通して知覚できる黑板モデルを用いてエージェントが協調して問題を解決するような枠組を考える。黑板モデルとは、複数のエージェントから参照可能な共通のメモリ(黑板)を介して情報交換を行うもので、各エージェントは解くべき問題やその処理結果などの書込みや読出しを非同期に行って、各自が独立に処理を進めていくモデルである。

### (3.2) 提案制御システム

本研究では、系統全体を監視する上位エージェントと電圧制御を行う制御器エージェント(以下ではエージェントと呼ぶ)と考えている。上位エージェントは、系統構成の変

更、分散電源の追加離脱などを監視し、そのときだけにエージェントに対しその情報と、それに対する制御指針を知らせる役割を持つ。各エージェントは機能別に入出力、知識、準最適化部に分けた。以下にエージェントの各機能の説明について述べる。

- ・ 入出力部 エージェント自身が取得可能な情報と、黑板より他のエージェント情報を知覚する。準最適部より求められた制御指令を出したり、求められたデータを黑板に書き込んだりすることも担当する。
- ・ 知識部 入出力部が取得した情報と、準最適部により求められた情報を保持する。
- ・ 準最適部 入出力、知識部の情報をもとに後に述べる準最適化計算を行う。

### (3.3) 制御規範

本稿では、既発表の指標 $S$ に基づく制御方を提案する。指標 $S$ を用いれば対象ネットワーク全体の電圧違反量とタップ機器の切替回数を最小化できる<sup>(1)</sup>。以下に指標 $S$ を用いた制御方式(準最適制御方式)を示す。この制御方式は平衡領域として電圧不感帯 $\varepsilon$ を考慮している。

各時点 $t$ で  $|u_k(t)| > \varepsilon_k$  であり、

また  $s_k(u_e(t)) > \alpha_0$  タップの下げ指令

$s_k(u_e(t)) < -\alpha_0$  タップの上げ指令

となるタップ $k$ を動作させる。ただし閾値として $\alpha_0$ を用いているが、これは系統内で唯一である。この制御方式は、各エージェントが $S_k$ の閾値に基づいて独自に制御を行う方式で、自律分散制御方式として構築が可能である。

### (3.4) マルチエージェントシステムを用いた制御方式

指標 $S$ をエージェントが自律的に求める場合、任意のタップ $k$ に対して指標 $S$ は

$$s_k = [u_1 \ \dots \ u_n] \begin{bmatrix} m_1 & & \\ & \ddots & \\ & & m_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial v_1}{\partial n_k} & \dots & \frac{\partial v_k}{\partial n_k} & \dots & \frac{\partial v_n}{\partial n_k} \end{bmatrix}^T r_k \quad (1)$$

$$= \mathbf{u}(t)^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{A}_k \cdot r_k$$

となる。ここで重み行列 $M$ とタップの変化幅 $r_k$ を既知とすると、エージェントが必要な情報は全タップの制御母線電圧偏差 $\mathbf{u}$ と電圧/タップ感度列 $\mathbf{A}_k$ である。電圧偏差については黑板を介して情報を得ることができ、エージェントの準最適部でタップ感度列 $\mathbf{A}_k$ の計算を行う。

### (3.5) バックアップ制御法

指標 $S_k$ による制御システムにおいてタップ感度列 $\mathbf{A}_k$ の算出は系統内の膨大な情報と複雑な計算を必要とするため、系統情報のデータの信頼性が欠ける場合などで制御性の低下が考えられる。そこで、今までの研究の観測結果より、以下の式で電圧/タップ感度を近似することができる<sup>(1)</sup>。

$$\begin{cases} \frac{\partial v_i}{\partial n_k} \cong \frac{\partial v_{pk}}{\partial n_k} & \forall i \in U_k \\ \frac{\partial v_i}{\partial n_k} \cong \frac{\partial v_{qk}}{\partial n_k} & \forall i \in L_k \\ \frac{\partial v_i}{\partial n_k} \cong 0 & \forall i \in N_k \cup M_k \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial V_{pk}}{\partial n_k} = 0 \\ \frac{\partial V_{qk}}{\partial n_k} = 1 \end{cases} \quad (3)$$

エージェント  $k$  はこれらに加えてタップを理想変圧器と見なしたときの特性(3)式を知識とし、電圧/タップ感度列  $A_k$  を系統情報から与えられる行列として作成する方法を保持する。これにより、準最適制御計算における電圧タップ感度列の算出に必要な過程と情報を大幅に削減することが出来る。この電圧タップ感度列算出による指標  $s_k$  に基づく制御方法をバックアップ制御法と呼ぶ。

#### 4. 分散電源

##### (4.1) 分散電源導入

分散型電源とは、比較的小容量の電源を電力需要地に分散配置する電源である。分散電源導入時の問題点として、系統で負荷変化以外でも電圧変化が起こるため、タップが変化したときの各母線電圧への影響が従来までと異なることがあげられる。これにより、文献(1)で用いた制御方式に新たな知識が必要となる。本研究で導入した分散電源は、常時供給力として期待されるものを想定し、常時定格出力で運転され、電圧制御がなされているものとする。バックアップ制御法において、分散電源が連系された場合、電圧タップ感度列算出において以下を知識部に格納し対処する。

##### (4.2) 分散電源を考慮したタップ感度行列推定法

導入された分散電源に対して

$p_{dg}$  : 分散電源が設置されている母線番号

$O_{dg} = \{ \text{分散電源が設置されている母線 } p_{dg} \text{ より下位の母線番号の集合} \}$  とする。

母線  $p_{dg}$  より下位の任意の母線  $i$  では、上位のタップ変化の影響をほとんど受けない。この観測結果を式に表すと次式ようになる。

$$\begin{cases} \frac{\partial v_{p_{dg}}}{\partial n_k} = 0 \\ \frac{\partial v_i}{\partial n_k} \cong 0 & \forall i \in O_{dg} \end{cases} \quad (4)$$

この式をエージェント  $k$  の知識とし算出に用いる。

#### 5. シミュレーション

図1にシミュレーションに用いた57母線42タップモデル系統図を示す。分散電源を4,7,10番母線に連系し4つの電圧制御方式において分散電源を連系したモデル系統における電圧制御シミュレーション及び4番母線に分散電源を1機連系したときの分散電源の起動停止シミュレーションを行った。シミュレーション条件は時間刻みを3(min)とし、24(hour)間及び48(hour)とした。また、各母線の負荷は日負荷曲線を模擬し一律に与えた。シミュレーションに用いた電圧制御システムの名称と詳細を以下に記す。

- D90yリレー方式  
従来使用されている一般的なタップ制御方法の一つ、製定値(標準20(%))
- 平常時アルゴリズム  
毎時全電圧タップ感度要素を更新する。(2)
- バックアップ制御法1  
変圧器を理想化し電圧/タップ感度行列を構成する。(2)
- バックアップ制御法2  
平常時アルゴリズムで求められる電圧タップ感度行列の値を一定期間更新しない。

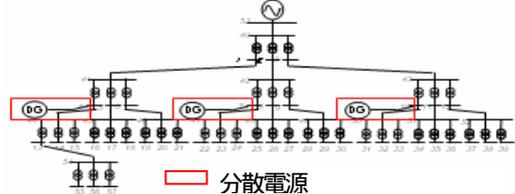


図1: 57母線42タップモデル系統図

提案法ではタップ感度列算出の計算過程と必要情報が大幅に削減されたにも拘らず十分な制御性能が得られていることが伺える。また、分散電源の起動停止問題に関しては起動/停止直後の電圧違反が目立つ結果となったが、これは時間刻みを3分としているためと考えられる。改善策として、起動/停止の直後は切替間隔を短くするなどが考えられる。

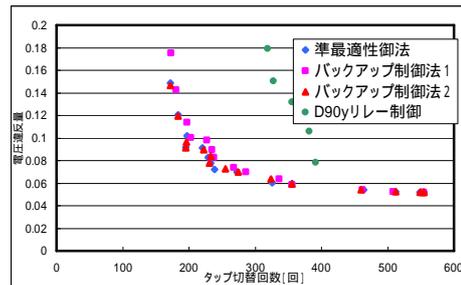


図2: 4つの制御法による制御性能比較

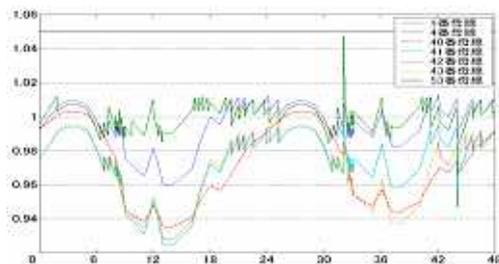


図3: バックアップ制御法1での起動/停止

#### 6. おわりに

本稿では、既発表のマルチエージェントを用いた制御方式に制御性能を保ち、より自律的電圧制御システムに適した電圧制御システムを提案し、様々な状況下で有効性を確認した。今後の課題として、系統の変化への対応、などの自律型小規模ネットワークに対する検討が挙げられる。

##### 参考文献

- (1) 餘利野直人, 造賀芳文, 甲斐雅行, 小林美奈, 杉原弘章: 「配電系統における自律的な電圧制御方式に関する一研究」電力技術研究会資料, 電気学会 2005,9 PE-05-54, PSE-05-61
- (2) 分散電源を考慮した配電系統における自律的電圧制御方式の一研究 6-780 P.132-133 (2007.3.15)