

マルチエージェントによる自律分散型電圧制御に関する研究

石田 雅人*・永田 武**

(平成22年10月28日受付)

An Autonomous Distributed Voltage Control Method by using Multi-agent Approach

Masato Ishida and Takeshi Nagata

(Received Oct. 28, 2010)

Abstract

This paper introduced a method to maintain system voltage within the optimal range and prevent voltage instability phenomena before they occur employing multiple agents. The proposed system divided the traditional method to control voltage and reactive power into two sub problems, “voltage control” to adjust the secondary bus voltage of substations, and “reactive power control” to adjust the primary bus voltage. In the proposed system, the two kind of agents employed performed their respective roles well. The voltage control adjusts the secondary voltage in own substation and the primary voltage of same voltage class. In addition, in order to equalize the primary bus voltage among different substations, each substation adjusts the reactive power.

In order to verify the performance of the proposed method, it has been applied to the model network system. The results confirm that our proposed method is able to control violent fluctuations in load.

Key Words: Multi-agent system, distributed system, voltage control, reactive power control, power system

1. はじめに

環境省の「低炭素社会づくり行動計画」によれば、日本における太陽光発電の導入量を2009年と比較して2020年に10倍、2030年には40倍にすることを目標としている。このことから今後、大量に導入されると考えられる再生可能エネルギーに対していかに安定的かつ経済的に運用させるかが課題となり、電圧分布の管理が今後重要になると考えられている。

現状の電圧分布の管理では、通常、調相設備の運用をタイムスケジュールで行い、変圧器タップの制御は送電端変電所(通降変電所)で行われている。したがって、末端で

電圧の障害は、送電端の電圧目標を変更して対応している。しかしながら、太陽光発電などの分散電源の増加により送電端から末端までの電圧分布が一様でなくなると、このような制御が困難になる可能性がある。

これまでも、電圧・無効電力制御について数多くの研究が実施されている。これらの研究はシステムの構成方法から2種類に分類される。一つは数理計画法やメタヒューリスティックなどを用いて最適化問題として調相設備や負荷時タップ切替変圧器のタップ操作を解く方法である集中型システム⁽¹⁾⁻⁽⁸⁾である。もう一つは隣接する変電所のデータを局所的に交換することで自律的な制御を行う分散型システム⁽⁹⁾⁻⁽¹⁷⁾である。

* 広島工業大学工学系研究科情報システム科学専攻

** 広島工業大学情報学部情報工学科

今後、この分野の研究はコスト低減や電力品質の維持の目的として、これまで以上に高度な制御や協調的な制御が要求されることから、情報がある程度集約し、全体的な意思決定をする集中型システムの考え方が必要となってくると考えられる。しかしながら、電力市場自由化から今後は、分散電源の増加が考えられる。分散電源の導入などによる頻繁な系統構成の変更は集中型システムでは難しい。また分散型システムも局所的に制御を行うため、再生可能エネルギーなど出力が安定しない分散電源等の導入により、系統内での電圧のばらつきが発生すると制御に問題が生じる可能性がある。

そこで本研究では、集中型システムと分散型システムの両方の長所を持ち、短所を補完する「自律分散型システム」を提案する。これまでに著者らは、電圧・無効電力制御を変電所二次母線電圧の適正化を図る「電圧制御」部分問題と、変電所の一次母線電圧の適正化を図る「無効電力制御」部分問題に分離して実現しようとする新しい方式を提案している。本研究は、この両者を組み合わせることにより、柔軟で効率的な電圧・無効電力制御を実現する方式を提案する。

本提案方式の特徴を以下に示す。

- (1) 変電所や配電用変電所に対応する「変電所エージェント (SSAgent)」と、送電線に対応した仮想的な「送電線エージェント (LineAgent)」の2種類のエージェントを配置する。この2種類のエージェントが協調することで適切な制御を行う。
- (2) 本方式は、まず「電圧制御」として送電端変電所のタップ操作により二次母線電圧を制御することで同一電圧階級の電圧を一律に制御する。次に、「無効電力制御」として連系する変電所間の無効電力を融通することにより一次母線電圧の適正化とその電圧分布平滑化を行う。
- (3) 「無効電力制御」には「運用目標電圧幅」を使用する。この指標は下流の変電所の一次母線電圧を許容電圧上下限範囲 (V^{\max} , V^{\min}) に収めるために上流変電所が守らなければならない幅であり、負荷の状況に応じて適応的に変化する値である。したがって、送電端の電圧目標が電力システムの状況に応じて自動的に調整されることになる。
- (4) 「電圧制御」と「無効電力制御」を協調させるために、送電端変電所のタップ操作に、下流の LineAgent から通知される「統合運用目標電圧幅」を使用する。この指標は、下流の変電所や配電用変電所の一次母線を規定値以内に制約するために送電端変電所の二次母線電圧が実現すべき電圧の目標電圧幅である。
- (5) 安全性の高い制御を実施するために、その操作の実行前に操作後に生じる電圧への影響を推定する機能を待たせている。この機能は、制御実施の意思決定をした変電

所の LineAgent から上流の送電端変電所まで無効電力の変化を伝搬する前進計算と、逆に電圧の変化を下流に伝搬する後進計算から実現される。

- (6) LineAgent は、送電線に連系する変電所と配電用変電所の情報を集約し、「無効電力制御」を管理する。この方法により、同時制御によるハンチング防止も実現している。

本提案システムを、ワークステーション上に Java 言語を用いて構築し、実システムをベースとしたモデルシステムに適用し、計算機シミュレーションを行った。その結果、従来方式と比較して良好な制御性能が確認された。

2. 提案する電圧・無効電力協調制御

本論文の提案方式は、多回線と送電線分岐に対応した系統を対象とし、従来の電圧・無効電力制御を変電所二次母線電圧の適正化を図る「電圧制御」と、その二次母線から送電される変電所の一次母線電圧の適正化を図る「無効電力制御」の二つの部分問題に分離して、それらを協調することで適切な制御を行おうとするものである。

図1の簡単な電力システムを用いて、提案方式の基本的な考え方を説明する。本提案方式は、同図の電圧制御サブネットワーク (V1) ~ (V4) を対象とした LRT による二次母線電圧制御と、無効電力制御サブネットワーク (H1) ~ (H2) を対象とした調相設備による一次母線電圧制御とに分離するのが特徴である。すなわち、上流変電所の LRT を制御することで下流変電所の電圧を一律に制御する機能と、下流変電所の調相設備を制御することで連系変電所の一次母線電圧の平滑化と適正化を図るという機能の2つを交互に利用することにより電圧・無効電力制御を実現するものである。前者が電圧制御サブネットワークを対象とした“電圧制御部分問題”，後者が無効電力制御サブネットワークを対象とする“無効電力制御部分問題”に対応している。両者の部分問題に対して如何に協調した制御を実現するかが重要である。

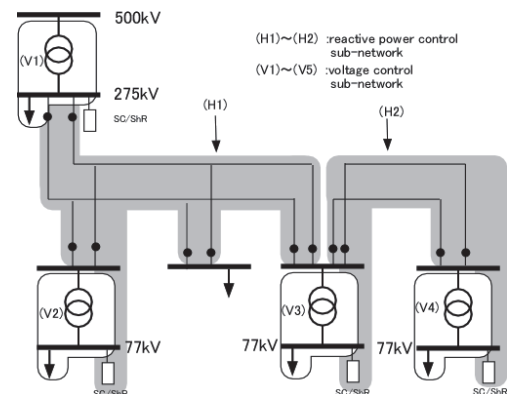


図1 簡単な電力システム
Fig. 1 Simple power system network

3. マルチエージェントによる電圧・無効電力協調制御方式

ここでは、前章で述べた電圧・無効電力制御をマルチエージェントにより実現する方法について説明する。本提案方式では変電所二次母線電圧の制御の意思決定は *SSAgent* が行い、一次母線電圧制御の意思決定は *LineAgent* が行う。以下、各エージェントの機能と動作について説明する。

3.1 変電所エージェント (*SSAgent*)

SSAgent は変電所に実装され、制御を行うエージェントである。変電所の制御機器には二次母線電圧の制御を行う LRT と一次母線電圧の制御を行う SC/ShR が存在する。図2に *SSAgent* の状態遷移図を示し、以下でその内容について説明する。

①エージェント識別子検索 この状態はエージェント起動時に一度だけ実行され、自変電所が連系する *LineAgent* のエージェント識別子 (AID: AgentIdentifier) を検索する。なお *LineAgent* では *SSAgent* から送信された情報から AID を得ることができるのでこの状態は存在しない。

②電気量収集 *SSAgent* は、定周期でこの状態に遷移してくる。つまり、この状態が各ステップ (時間断面) における最初の状態である。ここで変電所内および連系する送電線の開閉器状態と系統への連系状態を確認し、センサから現在の電気量を読み込む。

③二次母線電圧制御意思決定 この状態では、変電所二次母線電圧制御の意思決定および制御を行う。意思決定には統合運用目標電圧幅を用い、二次母線電圧がこの幅から逸脱した場合に制御を行う。

④送受電端情報作成 ここでは、②で収集した電気量等の情報から送受電端情報メッセージを作成し、送信リストに格納する。

⑤メッセージ送信 各 *SSAgent* は、送信リストに格納されている④、⑦で作成された他エージェントへのメッセージの全てを送信する。

⑥メッセージ受信 ここで他エージェントから送られてくるメッセージの受信処理を行う。メッセージを受信した後は、⑦へ遷移する。ただし、一定時間メッセージを受信できない場合は⑧へ遷移する。

⑦メッセージ処理 ここでは⑥で受信したメッセージに応じて7種類の処理を行う。以下で *LineAgent* から受信したメッセージ名とそれぞれの処理について説明する。

a) 送受電端情報受信完了メッセージ このメッセージは④のメッセージの返答に対応する。自所の下流 *LineAgent* が存在しない場合に限り、上流 *LineAgent* に送信する制御確認情報メッセージを作成し、送信リ

ストに格納する。

b) 制御確認情報メッセージ このメッセージを受信すると、全ての下流 *LineAgent* から制御確認情報を受信した際の処理を行う。まず、自所の各母線に接続する全ての下流 *LineAgent* から送られてきた自所の母線に対しての運用目標電圧幅の合成を行う。具体的にはそれぞれの運用目標電圧幅の上下限値のより中心値を自所の母線に対する運用目標電圧幅とする。そしてその母線が二次母線である場合はその値を「統合運用目標電圧幅」とする。次に下流変電所の一次母線電圧で制御が必要とされているかを確認する。制御を必要とするのは一次母線電圧が運用目標電圧幅を逸脱した場合と、変電所間の電位差が $\pm 2\%$ を逸脱した場合である。複数の変電所で違反している場合は優先順位(1. 運用目標電圧違反, 2. 電位差違反: 下流優先)に従い、制御対象変電所を決定する。上流に *LineAgent* が存在すれば、制御確認情報メッセージを作成し、送信リストに格納する。存在しない場合は制御を必要としている変電所が存在すればその変電所が連系する *LineAgent* に送信する制御機器探索開始指令メッセージを作成し、送信リストに格納する。

c) 応援要求メッセージ このメッセージを受信すると、*LineAgent* が他 *LineAgent* へ応援を要請する場合の透過処理を行う。透過対象が存在する場合は要請する *LineAgent* に向け、応援要求メッセージを作成し、透過対象が存在しない場合は送信元 *LineAgent* への応援要求返答 (応援不可) メッセージを作成し、それぞれ送信リストに格納する。

d) 応援要求返答メッセージ このメッセージは c) に対応し、c) で送信した応援要求に対する返信メッセージの処理を行う。c) で送信した全ての *LineAgent* からの返信を待ち、複数の *LineAgent* が応援可能ならば、送電線のインピーダンスを比較し、最も近隣の *LineAgent* の情報を追加した応援要求返答 (応援可) メッセージを作成する。応援可能な *LineAgent* が見つからなかった場合には応援要求返答 (応援不可) メッセージを作成し、それぞれを送信リストに格納する。

e) 制御指令メッセージ このメッセージを受信すると、一次母線電圧制御を行った際の影響を推定する処理を開始する。まず、*LineAgent* に指示された調相設備の制御量および電圧、負荷などのデータを使用し、変電所内での潮流計算を行う。その結果で一次母線への流入電力を推定できるのでその結果を自所が連系する *LineAgent* への前進計算メッセージに入れ、送信リストに格納する。

f) 前進計算メッセージ 下流 *LineAgent* から受信した自所の推定流出電力を用いて推定計算を行い、その結

果から推定流入電力を上流 *LineAgent* への前進計算メッセージに入れ、送信リストに格納する。

g) 後進計算メッセージ このメッセージを受信すると、前進計算メッセージの送信元をたどって推定電圧を通知する処理を行う。送信元の変電所までこのメッセージが戻ってきた時は上流での電圧違反が発生していないことなので調相設備の制御を行う。送信元ではない場合はさらに下流の *LineAgent* へのメッセージを作成、送信リストに格納する。

⑧待機 この状態に移移するという事は一定時間メッセージを受信しなかったため、そのステップでの処理を終了したとみなし、②へ移移するまで待機する。

なお送信するメッセージの内容は表1に示す。

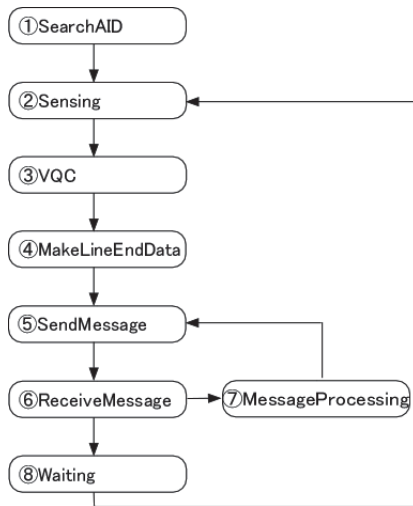


図2 SSAgent 状態遷移図
Fig. 2 State transition for SSAgent

表1 SSAgent 送信メッセージ
Table 1 Send Message of SSAgent

メッセージ名	メッセージ内容
送受電端情報	自変電所の潮流方向, 電気量, SC/ShRの制御可否情報
制御確認情報	自所に下流 <i>LineAgent</i> が存在しなければ, 空。存在すれば, 自所の運用目標電圧幅および下流での制御の要否
制御器探索開始指令	制御を必要としている変電所一次母線ノード番号
応援要求	連系 <i>LineAgent</i> から受信した応援要求メッセージ
応援要求返答	連系 <i>LineAgent</i> から受信した応援要求メッセージ
前進計算	制御対象変電所一次母線ノード番号, 制御方法, 自所の推定流入電力, 自エージェント識別子など
後進計算	前進計算メッセージの内容と自所で連系する母線の推定電圧

3.2 送電線エージェント (*LineAgent*)

LineAgent は、送電線の管理を行うエージェントで、接

続されている変電所の *SSAgent* から情報を収集し、それを元に調相設備操作の意思決定を行う。図3に *LineAgent* の状態遷移図を示し、各処理の説明を行う。

①メッセージ受信 ここでは、他のエージェントから送られてくるメッセージの受信処理を行う。

②メッセージ処理状態 *LineAgent* が受信したメッセージに応じた処理を行う。*LineAgent* が受信するメッセージは8種類存在する。以下で受信するメッセージ名と各処理について述べる。

a) 送受電端情報メッセージ この処理は各ステップでの最初の処理を行う。まず、開閉器の ON/OFF 状態を考慮した潮流計算を行い、現状の電圧と電力を計算する。そして潮流方向を判断し、送受電端情報メッセージの送信元の *SSAgent* への送受電端情報受信完了メッセージを作成し、送信リストに格納する。

b) 制御確認情報メッセージ このメッセージを受信すると、運用目標電圧幅の算出と制御の要否を判定する。運用目標電圧幅は下流から上流に向かって計算される値である。算出方法としては、送電線で接続されたノード（母線または分岐点）間の電位差を計算する。そしてその電位差を下流側の運用目標電圧幅の初期値の上限値と下限値にそれぞれ加える。この値と初期値を比較し、下限値はより大きい方の値を、上限値はより小さい方の値をそれぞれ上流側の運用目標電圧幅とする。この計算を送電線に連系するすべてのノード間で行い、全てのノードに対する運用目標電圧幅を計算する。制御の要否については各ノードの電圧が先ほど求めた運用目標電圧幅から逸脱しているかと、各ノードの電位差が許容範囲を逸脱していないかを判断し、上流 *SSAgent* へ送信する制御確認情報メッセージを作成し、送信リストに格納する。

c) 制御機器探索開始指令メッセージ このメッセージを受信すると一次母線電圧制御を行う変電所の決定を行う。制御を行う変電所の決定方法としてはまず、電圧異常の発生した変電所で自律制御が可能かを判断する。出来なければ、連系変電所内で応援可能な変電所が存在するかを確認する。連系変電所内に応援可能な変電所が見つからなければ自送電線に接続する *SSAgent* へ送信する他の *LineAgent* への応援要求メッセージを作成し、送信リストに格納する。この応援要求はまず、下流の *LineAgent* に向けて送信する。

d) 応援要求メッセージ このメッセージを受信すると自送電線に接続されている変電所が応援制御可能かを判断し、応援可能なら送信してきた *SSAgent* への応援要求返答メッセージを作成する。応援可能な変電所が存在しなかった場合はさらに他の *SSAgent* に応援要求

メッセージを作成し、送信リストに格納する。

e) 応援要求返答メッセージ まず、応援要求は接続されている全ての変電所に向けて行われているため、全ての変電所からの応援要求返答メッセージを待つ。そして応援可能な変電所が複数見つかった場合は、その中から最もインピーダンスが小さいもの（最も近隣）を選択する。制御を必要としているが他の *LineAgent* の場合は応援要求メッセージを送ってきた *SSAgent* への応援要求返答メッセージを作成する。制御を必要とする *LineAgent* が自身の場合は制御を行う変電所に制御指令メッセージを作成し、送信リストに格納する。応援可能な変電所が見つからなかった場合は、制御タイプを確認し、応援（下流）であった場合は制御タイプを応援（上流）に切り替えて上流への応援要求メッセージを作成し、送信リストに格納する。

f) 前進計算メッセージ ここでは、下流の変電所への推定流出電力が送られてくるため、それを用いて自送電線内での潮流計算を行う。その結果から送電線への流入電力を推定できるので、上流 *SSAgent* への前進計算メッセージを作成し、送信リストに格納する。

g) 後進計算メッセージ このメッセージを受信すると上流変電所の母線電圧が送られてくるのでそれを用いて自送電線内での潮流計算を行う。その結果、送電線に接続された変電所の推定母線電圧が許容電圧上下限範囲を逸脱していなければ前進計算の送信元への後進計算メッセージを作成する。逸脱が存在すれば、制御が必要な *LineAgent* への推定結果不可メッセージを作成し、送信リストに格納する。

h) 推定結果不可メッセージ このメッセージを受信するということは、後進計算の結果、違反が起こり、制御ができないということである。なので、まず制御タイプが自律制御であった場合は c) と同様に応援可能な変電所を探す処理を行う。制御タイプが応援（下流）であったなら上流への応援要求を作成し、送信リストに格納する。制御タイプが応援（上流）であるなら、応援制御ができる変電所が存在しないということなので、このステップでの制御をあきらめて次のステップの開始を待つ。

③メッセージ送信状態 ここでは送信リストに格納されている他のエージェントへの送信メッセージを全て送信する処理を行う。

表2に *LineAgent* が送信するメッセージの内容を示す。

4. シミュレーション

4.1 シミュレーション条件

本シミュレーションの目的は、同一電圧階級の電圧が許容電圧上下限範囲を逸脱することなく、この範囲内に収め

ることと、一次母線電圧分布を平滑にすることである。

本システムの動作を確認するために、図1に示すモデルシステムを使用して計算機シミュレーションを行った。同図に示すように、モデルシステムは、S変電所(500/275kV)を基点変電所とし、A, C, D変電所(275/77kV)とB変電所(275kV)の5つの変電所から構成されるものとした。またA, C, D, S変電所にはLRTとSC/ShRを設置してある。負荷データを図4に示す。一日分(1分間1制御で1440step)実システムでのデータを参考により厳しい負荷を与えている。本シミュレーションでは、許容電圧上下限範囲($V_{min} \sim V_{max}$)を0.95~1.05pu、電位差の許容値を基準電圧の $\pm 2\%$ とした。実施したシミュレーションの中から、紙面の都合により1つのケースについて説明する。

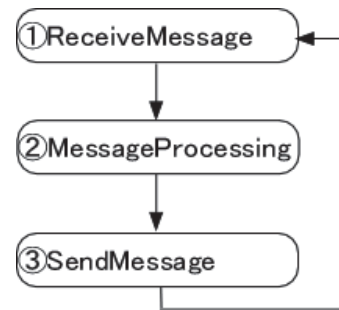


図3 *LineAgent* 状態遷移図
Fig.3 State transition for *LineAgent*

表2 *LineAgent* 送信メッセージ
Table 2 Send Message of *LineAgent*

メッセージ名	メッセージ内容
送受電端情報 受信完了	空
制御確認情報	送信先 <i>SSAgent</i> の母線に対する運用目標電圧幅、送電線の制御の要否
制御指令	空
応援要求	制御を必要とする変電所の一次母線ノード番号、自エージェントの識別子、制御タイプ、制御方法
応援要求返答	応援可能変電所のインピーダンス、応援可能変電所のエージェント識別子・制御機器ノード番号
前進計算	<i>SSAgent</i> から受信した内容と送電線への流入電力
後進計算	<i>SSAgent</i> から受信した内容と送信先変電所母線推定電圧
推定結果不可	空

4.2 ケーススタディ

図5に本提案方式によるS変電所の二次母線電圧の制御結果および統合運用目標電圧幅を示す。同図のUpper Target Voltage, Lower Target Voltageは統合運用目標電圧幅を示している。このケースでは基点変電所であるS変電所で、より制御が行われやすくするため、0.985~1.015

の範囲に運用目標電圧幅を設定している。この幅により、S変電所の二次母線電圧がより柔軟に制御されていることが分かる。

図6に従来方式(VQC)の各変電所の一次母線電圧の制御結果、図7に提案方式による各変電所の一次母線電圧の制御結果を示す。上記の図において、縦軸は電圧(p.u.)、横軸は時間(min)である。図6~7から従来方式より提案方式のほうが各変電所間の電圧がより中心に近く、電位差も少ないことが分かる。また、表3に各変電所での従来方式と提案方式の制御回数の比較結果を示す。同表より制御機器の制御回数が、従来方式に比べ減少していることが分かる。これは提案方式がLRTで自変電所の下流の電圧を一律に制御するため、SC/ShRの制御回数が、従来方式に比べて大きく減少しているためである。

4.3 考察

今回のシミュレーションは、前述したように、実際の電力システムのデータを使用した。一次母線電圧を許容電圧上下限範囲に収めると共に電圧分布の平滑化を行うという所

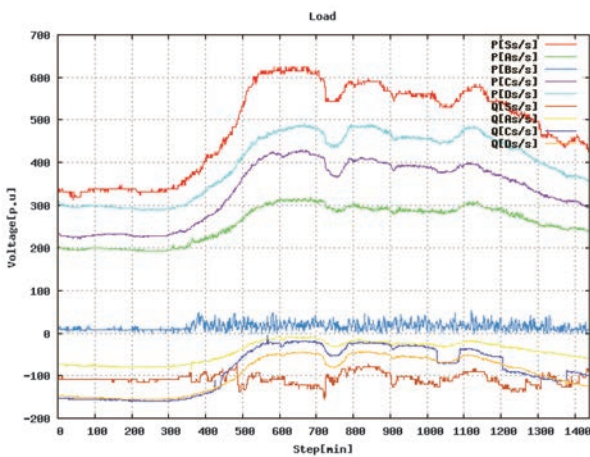


図4 負荷パターン
Fig. 4 Load pattern

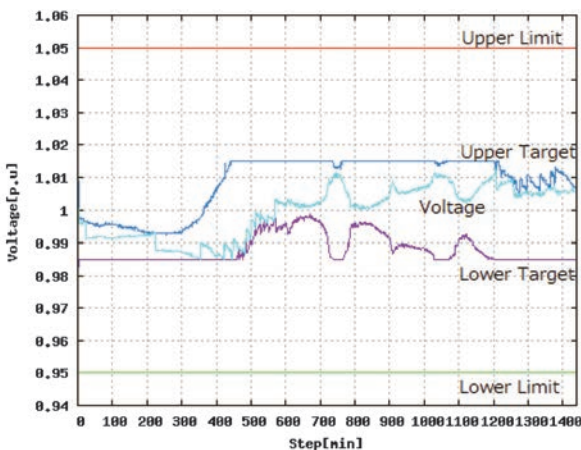


図5 S変電所二次母線電圧の制御結果
Fig. 5 Results of secondary bus voltage in substation S

期の目標を満足することができた。図5に示すようにS変電所の二次母線電圧において統合運用目標幅が、重負荷となるにつれて電圧降下が大きくなると、制御目標電圧の上下限値が上方向にシフトして昇圧制御が行われ易くなり、逆に軽負荷時は下方向にシフトして降圧制御が行われ易くなることが確認できた。また、電圧制御と無効電力制御の制御目的を明確に分けることにより、制御回数の軽減を行うことができた。

5. あとがき

本論文は、従来の電圧・無効電力制御の考え方に新しい考え方を導入したものである。すなわち、提案方式は従来の制御問題を、変電所の二次母線電圧の適正化を図る「電圧制御」と、その二次母線から送電される変電所の一次母線電圧の適正化を図る「無効電力制御」の部分問題に分離して考え、それぞれの制御目的を明確化し、それらを協調することにより、より柔軟な制御を実現しようとするものである。簡単なモデルシステムを用いた検討ではあるが、シミュ

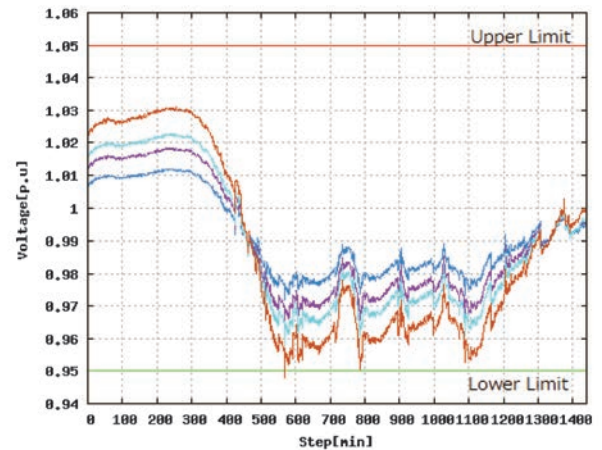


図6 A~D変電所一次母線電圧制御結果(従来方式)
Fig. 6 Results of primary bus voltage in substation A through D (Conventional method)

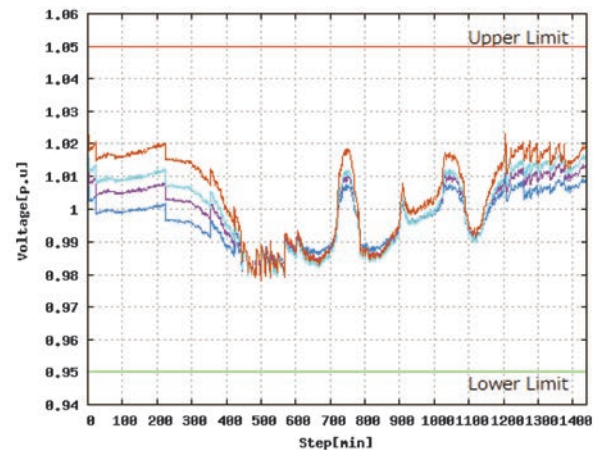


図7 A~D変電所一次母線電圧制御結果(提案方式)
Fig. 7 Results of primary bus voltage in substation A through D (Proposed method)

レーション結果から、提案方式は実系統を模擬した負荷変動の状況下で適切な制御を行えていることが確認できた。2種類のエージェントが各々の役割に従って行動し、同一電圧階級の電圧を適正に保ち、かつ無効電力制御によって各変電所の一次母線電圧の電圧分布の平滑化も達成できる可能性を示すことができたと考えられる。

今後の課題としては、各制御機器の容量を考慮した協調制御、多階層の系統への適用などのより高度な協調制御と実用レベルの検討が挙げられる。

表3 各変電所の制御回数 (C/P: 従来方式 / 提案方式)

Table 3 The number of control of each substation (C/P: conventional / proposed)

	LRT		SC/ShR		Total	
	C	P	C	P	C	P
S s/s	0	12	15	0	15	12
A s/s	3	8	4	0	7	8
C s/s	8	10	18	4	26	14
D s/s	11	10	6	10	17	20
Total	22	40	43	14	65	54

文 献

- (1) S. Civanlar and J. J. Grainger : "Volt/Var control on distribution systems with lateral branches using shunt capacitors and voltage regulators, part I the overall problems", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 1, pp. 3278-3290 (1985)
- (2) S. K. Chang, G. Marks, and K. Kato: "Optimal Real Time Voltage Control", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 5, No. 3, pp. 750-758 (1990)
- (3) N. I. Santoso and O. T. Tan: "Neural-net based real-time control of capacitors installed on distribution systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No. 1, pp. 266-272 (1990)
- (4) C. J. Bridenbaugh, D. A. DiMascio, R. D' Aquila : "Voltage Control Improvement Through Capacitor and Transformer Tap Optimization", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 7, No. 1, pp. 222-227 (1992)
- (5) Y. Y. Hsu and C. C. Yang : "A hybrid artificial neural network-dynamic programming approach for feeder capacitor scheduling", IEEE Trans. on Power Systems Vol. 9, No. 2, pp. 1069-1075 (1994)
- (6) H. Vu, P. Pruvolt, C. Launary, and Y. Harmand : "Improved voltage control on large-scale power system", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 11, No. 2, pp. 1295-1303 (1996)
- (7) J. E. Mendoza, D. A. Morales, R. A. Lopez, E. A. Lopez, J-C Vannier, and C. A. Coello : "Multiobjective Location of Automatic Voltage Regulators in a Radial Distribution Network Using a Macro Genetic Algorithm", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 22, No. 1, pp. 404-412 (2007)
- (8) Y. Liu and X. Qui : "Optimal reactive power and voltage control for radial distribution system", in Proc. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, pp 85-90 (2000)
- (9) J. J. Paserba, D. J. Leonard, N. W. Miller, S. T. Naumann, M. G. Lauby and F. P. Sener: "Coordination of a distribution level continuously controller compensation with existing substation equipment for long term VAR management", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No. 1, pp. 1034-1040 (1994)
- (10) S. Corsi, P. Marannino, N. Losignore, G. Moreschini, and G. Piccini : "Coordination between the reactive power scheduling function and the hierarchical voltage control of the EHV ENEL system", IEEE Trans. on Power Systems Vol. 10, No. 2, pp. 686-694 (1995)
- (11) N. Yorino, M. Daiyoshi, and M. Kitagawa: "Interaction among multiple controls in tap change under load transformers", IEEE Trans. on Power Systems Vol. 12, No. 2, pp. 430-436 (1997)
- (12) G. W. Kim and K. Y. Lee : "Coordination control of ULTC transformer and STATCOM based on an artificial neural network", IEEE Trans. on Power Systems Vol. 20, No. 2, pp. 580-586 (2005)
- (13) J-young Park, S. Nam, and J-keun Park : "Control of a ULTC Considering the Dispatch Schedule of Capacitors in a Distribution System", IEEE Trans. on Power Systems Vol. 22, No. 2, pp. 755-761 (2007)
- (14) M. E. Baran, and I. M. El-Markabi : "A Multiagent-Based Dispatching Scheme for Distributed Generators for Voltage Support on Distribution Feeders", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 22, No. 1, pp. 52-59 (2007)
- (15) T. Nagata, H. Saiki, M. Utatani, Y. Nakachi and R. Hatano : "A Multi-agent Cooperative Voltage and Reactive Power Control", IEEE Trans. PE, Vol. 128, No. 11, pp. 1313-1319 (2008)
- (16) T. Nagata, R. Hatano and H. Saiki : "A Multi-agent Based Distributed Reactive Power Control Method", IEEE Power & Engineering Society General Meeting, PES'09 (2009)
- (17) M. Ishida, T. Nagata, et. Al. : "A Distributed Autonomous Agent Approach to Power System Voltage Control", ICEE2010, PPO&C-05 (2010)

