東海大学紀要工学部
vol.53,No1,2013,pp.21-28

SVR・SVCの最適配置を考慮した協調動作に関する研究

小林　孝成[*1]　青木　秀憲[*2]

Cooperative Work of the SVR and SVC Considering Optimal Placement

by

Takanari KOBAYASHI[*1] and Hidenori AOKI[*2]

(Received on March 25, 2013 and accepted on May 16, 2013)

Abstract

This paper proposes a new approach to performing Voltage Control using the Step Voltage Regulator (SVR) and the Static Var Compensator (SVC)　for voltage fluctuations due to distributed generators (DG). In this case, the characteristic advantage of the SVR is a genetic algorithm (GA), while SVC is the fluctuation rate, to explore the most effective device placement and operating coordination. Therefore, it is necessary to solve problems such as the upper and lower limits of voltage at each node, and the line capacity. In addition, considering that the load and output of DG changes, it is important to solve more than one of these problems. As to solving these complex operating conditions of the distribution power system, a newly proposed method is applied.

Keywords: Step Voltage Regulator, Static Var Compensator, Optimal Placement, Cooperative Work

1. まえがき

近年，電力業界の流れとしてエネルギー問題や環境保護等の観点から電力系統に太陽光発電や風力発電といった自然エネルギーを利用した分散型電源(DG)の導入が急速に進められている。

配電系統では配電用変電所から送り出された電力を需要家までの一方向の潮流を想定している。しかし，系統容量の小さな配電系統にDGが過剰に連系された場合，末端側で消費しきれなかった電力の余剰分が，逆潮流となり系統電圧を上昇させることや，出力が気象や天候に左右されやすく出力が安定しない，事故等による開閉列等の要因により急激な電圧変動を発生する可能性が指摘されている。これらの現象は電力品質の1つである電圧規定値の逸脱を伴うため，系統電圧を維持・管理する運用者側にとって重要な課題となっている。

これまで，本問題に関する研究は配電用自動電圧調整器(SVR)や静止型無効電力補償装置(SVC)等の電圧調整器を用い，任意の時間帯に対してその制御や最適配置箇所などについていくつかの報告[1)~6)]がなされているが，これら機器の最適配置を考慮した協調動作を検討しているものはないと考える。

そのため本稿では，事故等による電圧規定値の信頼性を向上するため，DGによる急激な電圧変動に対し，SVRとSVCの効果的な最適配置箇所を探索[7)]した上で，両機器の協調動作により必要な制御が行われる手法を提案し，良好な結果が得られたので報告する。

*1　工学研究科電気電子システム工学専攻修士課程
*2　工学部電気電子工学科教授

2. 問題の定式化

2.1　系統モデルの構成

本稿で取り扱うモデル系統は次のように仮定されている。

(1)　各ノード(母線)の負荷および消費(有効・無効)電力は既知である。
(2)　DGの設置個所および出力電力は既知である。
(3)　DGの力率は1.0であり，一定ベース運転であるDGおよび出力の変動する太陽光発電システムが存在するものとする。
(4)　各区間の線路は抵抗とリアクタンスのみが存在し，その値は既知である。キャパシタンス(対地静電容量)は微小の値となるため無視できる。
(5)　SVRおよびSVCは全ての区間に配置可能である。

2.2　評価関数と適応度

本稿におけるSVR・SVC最適配置探索に関しては，以下に示す式(1)のような評価関数を用いている。第1項は，電圧基準値(電圧の上限と下限の中間電圧)に電圧を近づけるため電圧整定性の維持を，第2項は各ノードにおける電圧および電流逸脱の回避を目的とした式である。適応度$f_0(I_i)$は式(2)に示すように評価関数J_iの逆数とする。すなわち，電圧基準値からの偏差が小さいほど，良好な系統運用状態であることを意味する。

$$J_i = \sum_{t=1}^{q}\left(W_1\sum_{j=1}^{ll}(V_{jt}-V_{ref})^2 + W_2\sum_{k=1}^{mm}g(V,I)\right) \cdots\cdots(1)$$

$$f_o(I_i) = 1/J_i \cdots\cdots(2)$$

ここで，q:考慮する時間断面数，W_1，W_2：重み係数，ll：ノード数，V_{jt}：ノードj,時間断面tにおける電圧，V_{ref}：電圧基準値，mm：考慮する負荷状態数，$g(V,I)$：電圧・電流制約逸脱量の絶対値。

2.3　制約条件

SVR および SVC が設置されたフィーダでは，電圧プロフィールの変化に伴い，線路潮流も大きく変化する。しかし，電線や変圧器など電力系統内において使用されている機器の多くは物理的な限界や安全性の観点から予め，上限値や下限値などの制約がある。そこで，本稿では系統運用にあたり次のような制約条件を設定する。

① 電圧上下限制約

$$V_{\min} \le V_{nt} \le V_{\max} \quad \cdots\cdots (3)$$

② 線路電流上限制約

$$|I_m| \le I_m^{\max} \quad \cdots\cdots (4)$$

③ SVR タップ上下限制約

$$T_{\min} \le T_j \le T_{\max} \quad \cdots\cdots (5)$$

④ SVR 動作時限

$$T_R \ge SVR_t \quad \cdots\cdots (6)$$

⑤ SVC 動作時限

$$T_C \ge SVC_t \quad \cdots\cdots (7)$$

⑥ SVC 出力制約

$$|SVC_{ot}| \le |SVC_{\max}| \quad \cdots\cdots (8)$$

ここで，V_{nt}：ノード n，時間 t における電圧，V_{max}・V_{min}：電圧上下限値，I_m：区間 m の電流値，I_m^{max}：区間 m の線路電流定格，T_{min}・T_{max}：SVR タップ上下限位置，T_j：j 個目の SVR タップ位置，T_R，T_C：SVR・SVC の動作までに要する時間，$SVRt$・$SVCt$：SVR・SVC の動作時限，SVC_{ot}：時間断面 t における SVC 出力，SVC_{max}：SVC の最大出力。

2.4　SVR のモデル化

SVR は，配電線の電圧変動に対し，昇降圧信号をタップ切換え器に送り，変圧器のタップを切換えることにより電圧調節を行うが，機器の耐久性を考慮しタップ切換え回数を抑制するために，数十秒～数分の動作時限が設定されている。このため，急激な負荷変動に即座に対応することは難しく，緩やかな日負荷的な変動に対して用いられる。SVR の概略図を Fig.1 に示す。また，本稿では設置される SVR を次のようにモデル化する。すなわち，タップ付きの理想変圧器として取り扱う。SVR の変圧比および二次側電圧は次のように表される。

$$\alpha_i = 0.95 + S\beta \quad \cdots\cdots (9)$$

$$V_{(n+1)t} = \alpha_i V_{nt} \quad \cdots\cdots (10)$$

ここで，α_i：SVR$_i$ の変圧比，S：変圧比のきざみ幅，β：タップ位置，V_{nt}，$V_{(n+1)t}$：1 次，2 次側の電圧。

本稿で用いる SVR は，タップが 9 つありそのきざみ幅は 1.25%とする。Table 1 にタップ位置とタップ比の関係を示す。このきざみ幅とは，タップ 1 つあたりの変動比率のことであり，タップ 4 を 100%としている。タップ 4 を基準にタップ比を変化させ，入力電圧に対して 95%～105%の出力電圧の降圧・昇圧が可能であることを示す。

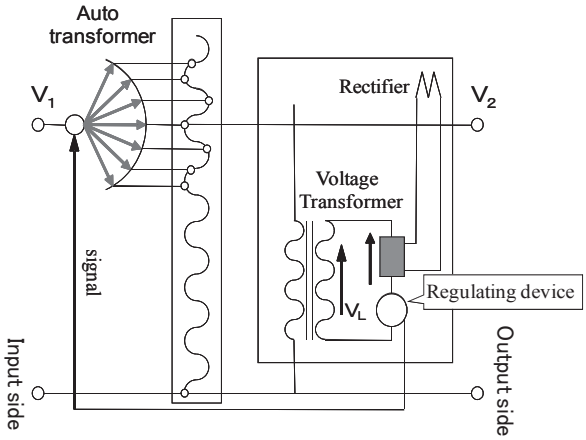

Fig. 1　Structure of Step Voltage Regulator

Table 1　Tap position and tap rate.

Tap position	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Tap rate	95	96.25	97.5	98.75	100	101.25	102.5	103.75	105

2.5　SVC のモデル化

SVC は，Fig.2 に示すようにリアクトルやコンデンサの電流をサイリスタで制御することにより高速で無効電力の発生を行う装置である。リアクトルの電流を制御した場合は遅相，コンデンサの場合は進相となる。SVC は SVR の有接点制御とは異なり，サイリスタをもちいた無接点制御であるため，機器の摩耗や切替え回数を考慮する必要がない。そのため，連続的かつ高速な無効電力の出力を発生することができる。

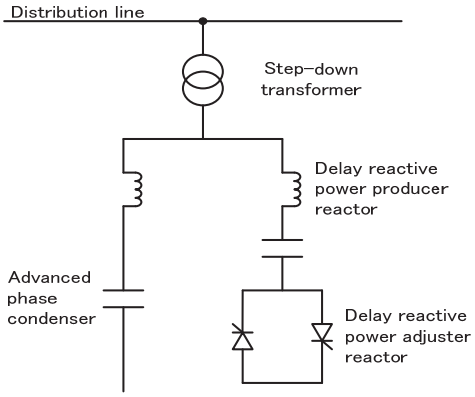

Fig. 2　Structure of Static Var Compensator

3. 提案手法

3.1　SVR・SVC 最適配置探索アルゴリズム

配電系統内の運用状態は，設置される電圧制御機器や，その整定値によって決定される。しかし，近年の電力業界の流れは DG の連系や電力需要の増大による負荷変動など，電力潮流が今まで以上に複雑に変化し，それに伴い電圧も時々刻々と変動することになる。

そのため,本稿では常に変化し続ける電力潮流に対し，SVR と SVC 両機器の効果的な最適配置を探索し，協調制御を行う。しかしながら，SVR と SVC では機器の特性から動作時限が異なるため，本研究ではそれぞれに機器の最適配置を探索している。

(1) SVR 最適配置

系統内に設置される SVR とそのタップ比は,その運用状態に応じて協調的な運用形態となるように決定されなければならない。しかし，負荷の状態は常に変化し，系統電圧も変動することになる。つまり，設置された SVR の協調的な動作だけでなく，全ての時間断面を同時に満足できる運用状態を求める必要がある。その際，考慮する時間断面数や母線数が増加することによって，SVR の最適配置箇所およびタップ整定値は膨大な組み合わせ最適化問題となる。そのため，全ての組み合わせを施行した結果による厳密な解を得ることが不可能である。そこで，厳密解を得ることを諦め，効率的に準最適解を求めるために，大規模な解空間の中から効率良く準最適解を探索し，最適解に近い解を早期に得るために，遺伝的アルゴリズム(GA)を用いる。さらに，本稿では広域探索を得意とする GA に近傍探索の概念を導入し，探索能力の向上を図っている。Fig.3 に SVR 配置箇所およびタップ比探索のアルゴリズムの詳細を示す。

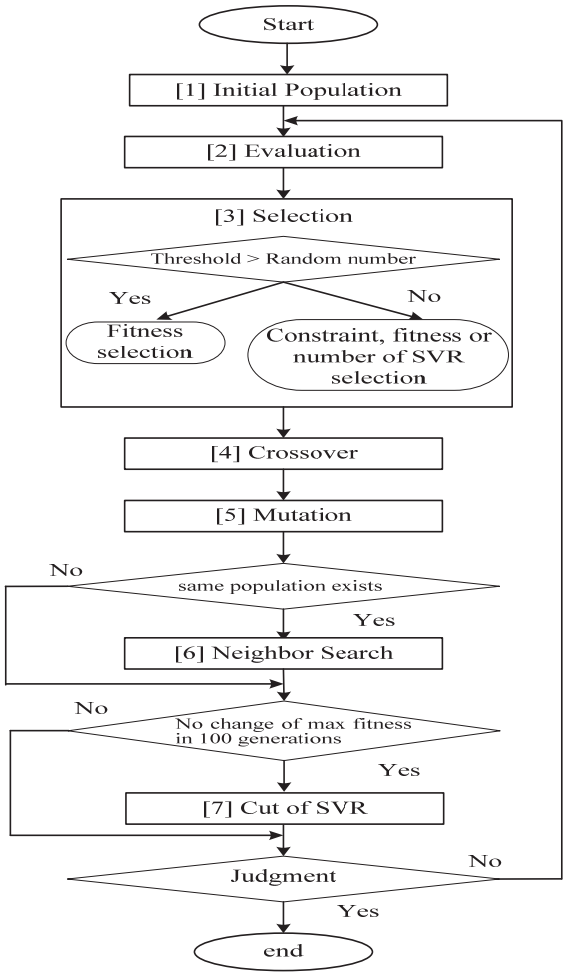

Fig. 3　Flow Chart of Algorithm

(a)コーディング

任意の時間断面に対して，GA を適用する際の SVR 設置箇所およびタップ比のコーディングを Fig.4 に示す。設置箇所に関しては，遺伝子座番号とモデル系統の区間番号を対応させ，SVR を設置している場合は 1，設置していない場合は 0 として表現する。また，タップ比は各区間に設け同時に表現する。しかし，1 日の負荷は一定ではないので，複数の時間を考慮し負荷状態ごとに最適制御を行う必要がある。そのため，Fig.5 は複数の時間を考慮したタップ比のコーディングの様子を示している。

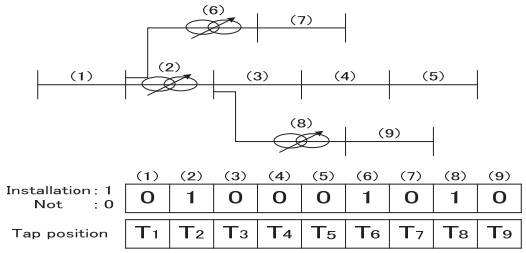

Fig. 4　Example of Coding

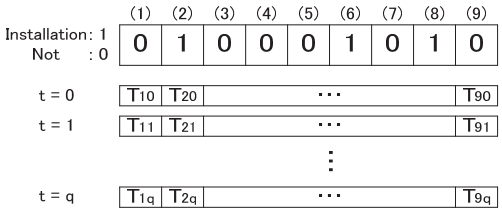

Fig. 5　Represent of Individual

(b)初期生物集団の生成

通常の GA は初期生物集団をランダムに生成するものが多いが，本問題において，初期生物集団をランダムに生成した場合，制約を満足する個体を作成することが非常に困難となる。そのため本手法では効率化のため，初期生物集団の生成に改良を行っている。具体的にはまず，一様乱数を用いランダムに SVR のタップ位置を決定する。次に，この SVR を Fig.6 に示すように最初の設置箇所から順にすべての箇所（1,2, ···,n）に設置し，最も効果的な設置箇所を探索する。ここで，最も効果的な設置箇所の探索方法として時間毎における系統内の電圧規定値逸脱箇所を探索し，その総数が最も少なくなる設置箇所を効果的な設置箇所とする。また，SVR が設置されても系統内の電圧規定値逸脱が解消されない場合は，SVR を 1 台増加し同様の操作を繰り返すことで新たな SVR の効果的な設置箇所を探索する。このような探索を制約逸脱が解消されるまで繰り返す。しかし，日負荷曲線を考慮する場合，探索範囲が膨大になりすぎるため，SVR を全線路に設置しても制約を満足する可能性は極めて低い。そのため，SVR が全線路設置状態で制約を満足しない場合でも，個体として採用する。他の生成する個体についても同様な探索を実行し，初期生物集団を構成することになる。以下に初期生物集団生成のアルゴリズムについて示す。

Step 1: 時間毎における系統内の電圧規定値逸脱箇所を探索する。

Step 2: 上限への電圧規定値逸脱が多い場合には低いタップ位置（0～3）をランダムに，下限への電圧規定値逸脱が多い場合には，高いタップ位置（5～8）をランダムに作成し，SVRのタップ位置を決定する。但し，上限下限逸脱が等しい場合にはタップ位置0～8をランダムに決定する。

Step 3: Step 2で作成したSVRを線路1から線路nまで1箇所ずつ移動させながら設置していく。

Step 4: 全ての設置箇所の中で最も電圧逸脱の少ない箇所をStep 2で作成したSVRの最も効果的な配置箇所として決定する。

Step 5: Step 4の状態で制約を満足しているならば，次の個体を生成し，制約を満足していなければ，Step 1へ戻り，もう1台のSVRを作成する（台数の増加）。

Step 6: 全ての箇所にSVRが設置されても制約満足しない場合はその状態で個体として採用する。

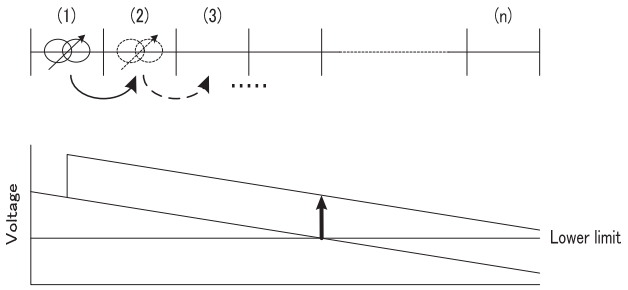

Fig. 6　Judgment of Placement

(c)評価

式(1)，(2)に基づき，電圧・電流の規定値逸脱に加え，電圧基準値からの偏差を一つの目的関数として各個体の評価を行う。

(d)選択

(b)で生成した集団を基に，遺伝的操作に用いる親個体を選択する。

本稿では，式(1)の評価関数に含まれる電圧基準値からの偏差のみでなく，可能な限りコストが掛からないよう最低限の設備投資で対策をとるようにするという観点から，SVRの設置台数も考慮し，二つの評価基準について考慮している。そこで本手法では，トーナメント戦略を用いて親個体からの優れた子個体の選択を行う。

本手法では個体選択時に，ある一定の閾値 t(t<1)を設け，一様乱数初期値によって決定された値が閾値以上ならば制約満足の有無，適応度および，SVRの設置台数で解を選択し，閾値未満ならば制約満足の有無に関係なく，適応度のみで解を選択する。また，本手法ではこの閾値を0.5としている。これをすることにより，電圧基準値からの偏差および，SVR設置台数を同時に最適化できるアルゴリズムとなる。具体的には，以下に示すような定義を満足するとき，個体 i は個体 j より優れていることとする。

閾値以上

- 個体 i は制約満足しており，個体 j は制約逸脱している場合
- 個体 i，j 共に制約逸脱しており，かつ個体 i が個体 j よりも適応度が優れている場合
- 個体 i，j 共に制約満足しており，かつ個体 i が個体 j よりもSVR設置台数が少ない場合

閾値未満

- 個体 i が個体 j よりも適応度が優れている場合

(e)交叉

(a)に記述したように，本問題はSVR設置箇所に関しては0か1の変数をとるバイナリー表現であるが，SVRのタップは変数を0～8とする実数離散値表現である。このような実数値で表現された遺伝子に対し，バイナリー用に作られた交叉を使用すると，交叉によって変化する領域が大きすぎるため，スキーマが保存・進化されない可能性がある。また，実数ベクトルをビットストリングに変換した後，一様交叉などで子個体を生成し，実数値ベクトルに逆変換しても，この過程において変数間依存性などの情報が失われるため，最適化における性能は低い水準に留まる。そこで本手法にけるSVRタップの交叉においてはランダムに選択された親個体の遺伝子座値の間の一様乱数をとり，子個体としている。SVRタップ部の交叉例をFig.7に示す。なお，SVR設置部の交叉には通常の二点交叉を採用している。

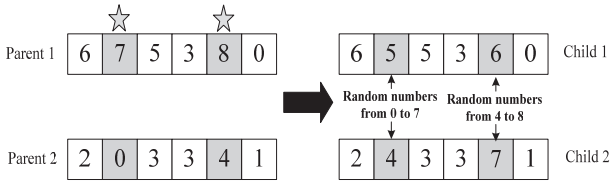

Fig. 7　Example of Crossover

(f)突然変異

本手法では，交叉によって得られた優秀な個体を破壊しないため，最上位の個体をエリート解とし，突然変異の対象外として保存している。なお，突然変異は，設置箇所に関しては対立遺伝子へ置き換え，タップ比は乱数によりランダムに決定している。通常，実数値を扱ったGAは突然変異などの補助的手段を用いないが，本手法においては(e)で実行される交叉だけでは解が局所解へと陥る可能性があるため，突然変異を実行している。

(g)近傍探索

本手法では，GAの得意とする大域的探索に近傍探索を導入することにより，さらなる効率的な解探索を図っている。また本手法では，Fig.8に示すように現在設置されているSVR設置箇所に隣接する箇所，およびSVRの上下のタップ位置を定義し探索する。さらに，現在設置されているSVRの台数を1台ずつ削減した状態のパラメータを生成する。この近傍探索を用いることで，近傍の良質な解を生物集団に取り入れると同時に，同一個体の削除が実現できるため，生物集団内の解の多様性を維持することができ，解の精度の向上が期待できる。

近傍探索は GA の主要オペレータによって生成された個体中において,同一の個体が存在する場合に実行する。近傍解の中で最も高い適応度を持った個体とこれまでのアルゴリズムにおいて生成された同一個体の入れ替えを実施する。また，同一個体がその生物集団内に複数個存在する場合には，近傍解内で適応度の高い順に，順次同一個体と入れ替える操作が実施される。Fig.9 に近傍探索実施例を示す。図中に示した Same individual A,B,C が同一個体集団に当たる。A の近傍解が図中の Neighborhood solution で示される適応度があった場合，同一個体 2 個分を上位近傍解(0.52,0.49)と入れ替える。

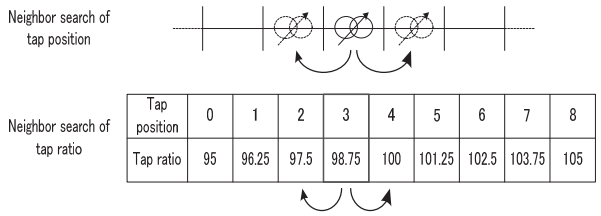

Fig. 8　Neighborhood Example of Placement and Tap Ratio

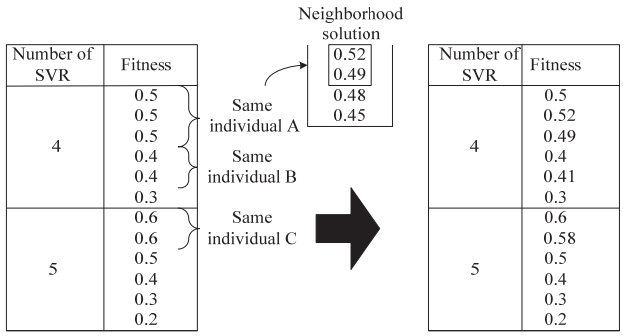

Fig. 9　Example of Neighbor Search

(h)SVR の削減

GA の探索では，ある一定の世代数を超えると解が収束しはじめる。評価項目に SVR コストが入っていないため，最少台数の探索をせずに解が収束してしまうことがある。そこで，100 世代間の間，エリート解が同一の適応度である場合にはエリート解以外の個体に対して，SVR を 1 台削減する。この操作の実行を行うことで，最少台数の探索を実行させる。

(i)終了条件判定

終了条件を満たしていれば次のステップへ移行し，満たしていなければ満たすまで(c)~(h)の動作を繰り返す。ここでの終了条件は世代数となっており，設定された世代まで探索が終了した時点で終了条件は満たされる。

(2)SVC 最適配置

次に，SVC は応答速度の速さを活かすため，待機状態もしくは出力に余裕を持った状態が望ましい。そこで，緩慢な電圧変動に対する SVC の動作を回避するために電圧変動率と許容値を求め，1 日の中で急激な電圧変動の最も多い箇所および補償を必要とする箇所に SVC を設置する。

電圧変動率は電圧変動の基準電圧に対する変動分を表している。そのため，電圧変動率 ε は負荷中心点電圧を V_{Lt}，基準電圧を V_{st} とすると式(11),として与えられる。

$$\varepsilon = \frac{V_{Lt} - V_{st}}{V_{st}} \times 100\ (\%) \quad \cdots\cdots(11)$$

$$\frac{|V_{Lt} - V_{st}|}{V_{st}} \times 100 \geq V_e \quad \cdots\cdots(12)$$

ここで，負荷中心点とは SVR および SVC が系統電圧を補償する際に基準とする母線を意味している。また，基準電圧 V_{st} は SVC の緩慢な電圧変動への補償を回避するために，Fig.10 に示す算出シーケンスによって求められる。V_{st} は変動値基準時間 ΔT 前の負荷中心点における電圧値の T_0 秒間の平均値とする。

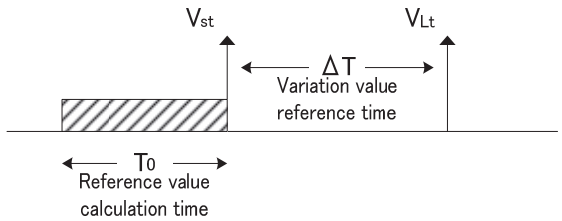

Fig. 10　Calculation Sequences for Reference Voltage

3.2　協調動作アルゴリズム

(1)電圧制御機器の補償分担

電圧制御機器の協調動作を実現し，小容量で最大の補償効果を得るためには，各機器の特性を考慮し役割分担を明確に定める必要がある。

SVR は変圧器タップを切替えることで電圧の補償を行う。タップの切替えは機械的な接点により行われるため，不感帯と呼ばれる数十秒～数分の動作時限を持つ。そのため，急激な電圧変動には対応することのできない機器である。

SVC は系統に並列接続されたリアクトルやコンデンサに流れる電流をサイリスタでオン・オフ制御することにより高速に無効電力の発生を行う装置である。サイリスタによる無接点制御を行っているため，応答速度が非常に早く，連続的な制御が可能である。

このような電圧制御機器の特性の違いを考慮し，以下のような補償分担を行わせる。

・SVR の補償分担：緩慢な電圧変動に対する補償

・SVC の補償分担：急激な電圧変動に対する補償

(2)電圧変動補償

以上の補償分担を考慮した制御を実現するために，式(11),(12)の電圧変動率とその許容値の概念を適用する。

この ε が，任意に定めた許容値 V_e を超えたとき，急激な電圧変動とみなし，SVC による高速な補償を行う。なお，ε が正のときは誘導性無効電力出力による電圧下げ補償を，負のときは容量性無効電力出力による電圧上げ補償を行うことになる。

(3)協調動作アルゴリズムの流れ

Fig.11 は本研究における協調動作アルゴリズムの流れを，Fig.12 は本手法の電圧補償のイメージを示したものである。通常の運用状態に対し，何らかの要因により任

意に定めた電圧変動率を超える電圧変動が発生した場合，SVC による高速な補償が行われる。そして，SVC は次の逸脱に対応するため，逸脱が長期にわたる場合は，補償責務を徐々に SVR へ移行する操作を行う。補償責務の移行は，SVR の動作時限ごとに行われ，SVC は SVR の 1 タップ分に相当する出力を段階的に減少させ，最終的には SVR のみによる補償とし，SVC を待機状態にする。

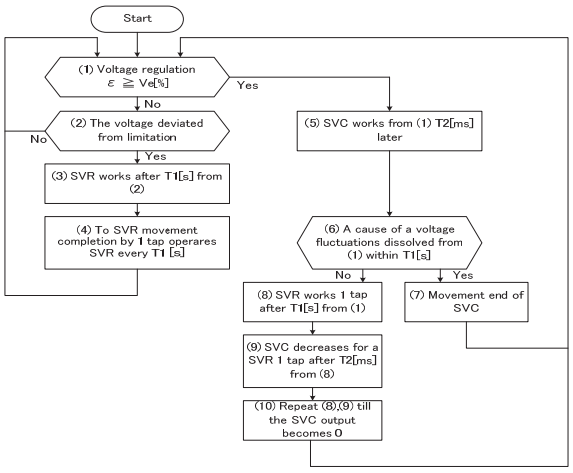

Fig. 11　Flow Chart of Proposed Method

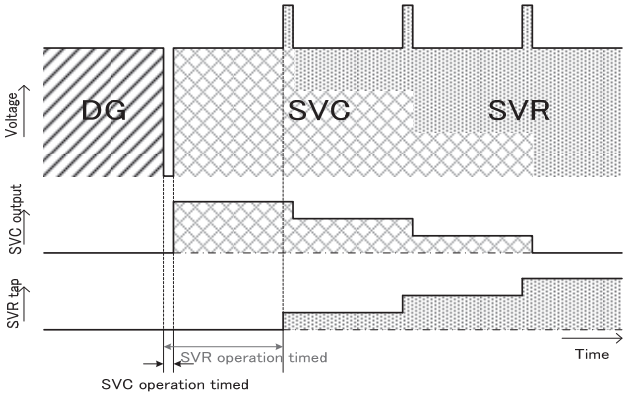

Fig. 12　Voltage Compensation by SVR and SVC

4. シミュレーション

4.1　シミュレーションモデル

本稿では，Fig.13 に示す 32 母線放射状配電系統モデルを用いてシミュレーションを実施する。この配電系統モデルでは，配電用変電所である母線 0 番を除いた，いずれの母線においても負荷が接続されている。この負荷は，図中の枠で囲まれた地区をそれぞれ住宅地区(母線番号 1~5,22~32)，商業地区(母線 6~17)，工業地区(母線 18~21)として各々の運用状態を設定している。なお，$f1$~$f4$ はそれぞれ主フィーダおよび分岐フィーダを表し，DG1~DG5 は分散型電源をそれぞれ表している。但し DG1,DG2(900kW,400kW) は出力一定のベース運転，DG3~DG5(500kW,1000kW,1000kW)は日射強度に比例する太陽光発電システムとし，Fig.14 はその太陽光発電の出力変動を示したものである。

Fig.15,Fig.16 は各地区の消費電力の割合および力率の時間毎の変動を示したものである。Fig.15 の曲線は，地区ごとに 15 時を 1.0 として，それに対する各負荷の割合を示したものである。また，Fig.16 の曲線は，住宅地区では 1 日を通して遅れ力率，商業地区では 9:00~22:00 が遅れ力率，それ以外は力率改善用コンデンサの影響等による進み力率，工業地区では 9:00~19:00 が遅れ力率，それ以外の時間帯を進み力率として設定している。

Fig.17 は初期状態の母線電圧値を，1 日を通して表したものである。各地区における負荷の状態によってそれぞれの母線が異なる電圧特性を示すことがわかる。これらを SVR および SVC により最適化を図る前の初期運転状態とする。

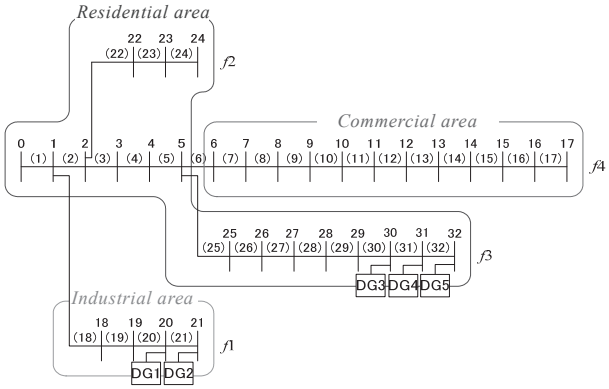

Fig. 13　32 Node Distribution System Model

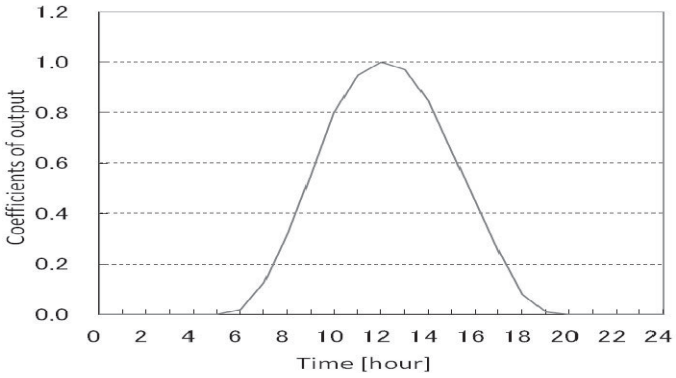

Fig. 14　Change Output of Photovolt

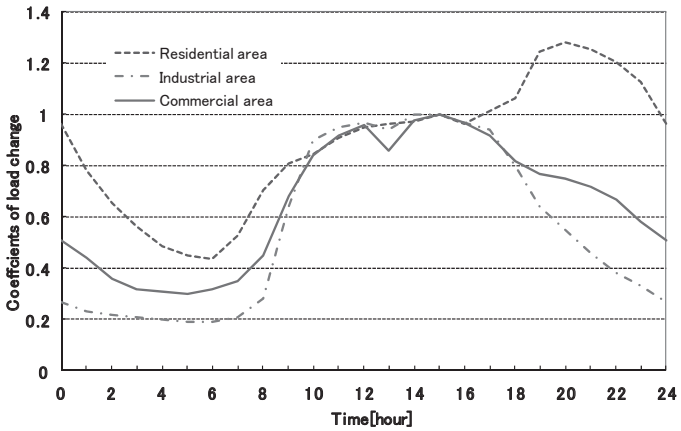

Fig. 15　Load Curve at Each Area

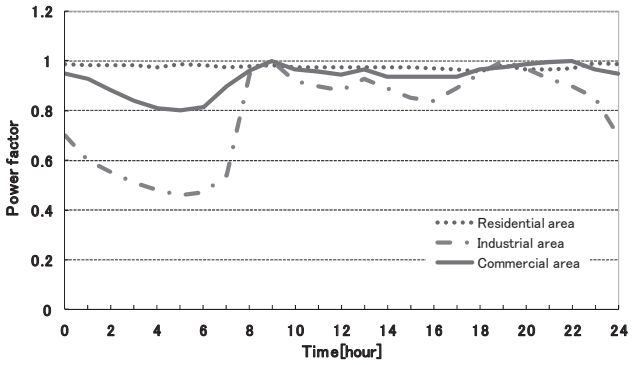

Fig. 16　Power Factor Curve at Each Area

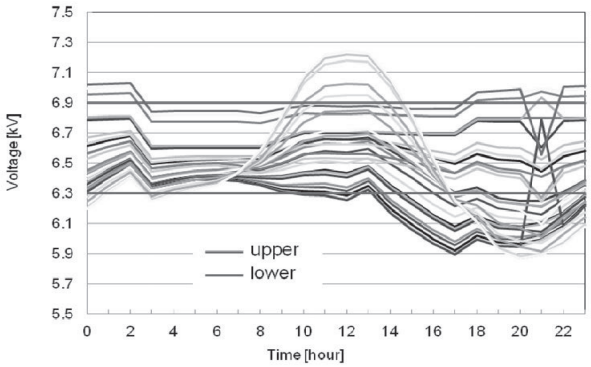

Fig. 17　Voltage Profile by Initial Condition

4.2　シミュレーション条件

Fig.18 に示すモデル系統を用いてシミュレーションを行う。系統の運用状態は 4.1 と同じ条件とし，本手法 3.1 の最適配置探索により導き出された SVR と SVC の最適配置箇所が示されている。SVR を(5),(8),(19),(27),(30)の 5 箇所に配置し，SVC(容量 500kVA)を(28)に配置した。

本稿では，系統電圧の急激な電圧変動の要因として，通常の運用状態に対し，DG5(1000kW)を任意の時間に解列および再導入させ，提案手法により制御を行う。その際の，各機器の動作時限は変動した瞬間から SVR が 10 秒，SVC が 1 秒を要するとする。

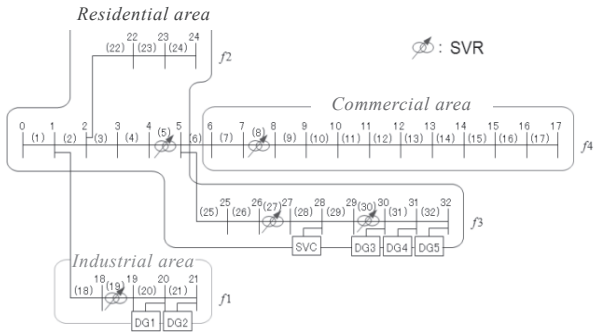

Fig. 18　Optimal Placement of SVR and SVC

4.3　シミュレーション結果

Fig.19 に SVR・SVC の協調動作による電圧制御の末端母線(32)の電圧変動を示す。DG5 を 100 秒時に解列，200 秒時に再導入させ，それに伴い発生した急激な電圧変動に対して，瞬時に SVC が電圧補償を行うことで電圧逸脱の回避ができる結果が得られた。

さらに，SVC による高速な電圧補償から 10 秒後に SVR のタップを操作し，基準電圧へ近づけるように安定した電圧制御状態に戻すことができている。同時に，SVC の出力を減少させ待機状態にすることで，最終的に SVC の出力を 0 にし，SVR のタップ切替えだけで制御できる結果となった。そのことから SVC は次の急激な出力変動への対処が可能になっている。

次に，Table 2 に提案手法による 24 時間の電圧制御結果を示す。この結果から 10 時～14 時に DG5 を解列すると，SVC を設置しても制約内で電圧を制御することができなかった。その理由は，比較的大きな出力変動の場合，SVC の動作時限へ達するまでに電圧が逸脱してしまうことがあげられる。この結果から，15 時の DG 出力 650kW がこのモデル系統が耐えることのできる最大値であることが確認された。しかしながら，DG の出力が一気に 0 になるような電圧変動は制御しきれないものの，一般家庭が設置する太陽光発電 1 枚当たりの平均出力が 3~4kW であることを考慮すると，650kW という値は太陽光などの電圧変動には十分対応できるものと考える。しかしながら出力変動が大きい風力発電については更なる付帯設備を設置し，検討する必要があるものと思われる。

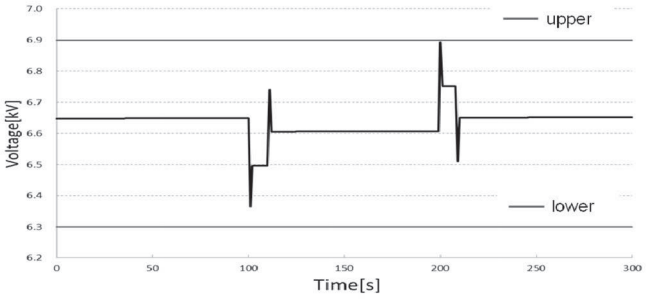

Fig. 19　Results of Voltage Control by Proposed Method (9h)

Table 2　24-hour Control Results

Time	SVC control ○or×	Amount of change[V]	Voltage of DG removed [kV]	Voltage of DG installed [kV]
0	○	0	6.611727	6.611727
1	○	0	6.559822	6.559822
2	○	0	6.562600	6.556474
3	○	0	6.581269	6.581269
4	○	0	6.625014	6.625014
5	○	0	6.575703	6.575703
6	○	12	6.591502	6.603534
7	○	73	6.529210	6.602549
8	○	177	6.405933	6.744959
9	○	285	6.364599	6.893022
10	×	380	6.289424	6.988193
11	×	430	6.215069	7.033344
12	×	450	6.224691	7.060412
13	×	430	6.221737	7.047998
14	×	405	6.249895	7.046877
15	○	330	6.323710	6.895750
16	○	250	6.351525	6.846621
17	○	155	6.426065	6.747852
18	○	52	6.549796	6.602606
19	○	7	6.584286	6.591337
20	○	0	6.613207	6.613207
21	○	0	6.563218	6.563218
22	○	0	6.627237	6.627237
23	○	0	6.545112	6.545112

5. まとめ

本稿では，DG の急速な普及により懸念されている配電系統の電圧規定値逸脱問題について，SVR と SVC を用い，電圧整定性の維持を検討した。

この問題に対処するため，SVR と SVC が最も効果的に動作することのできる最適配置を求めた上で，それぞれの機器の特徴を活かすための，動作時限を考慮した協調動作アルゴリズムを提案した。そして，DG の解列および導入に伴う急激な電圧変動の発生を想定し，その時にも安定した電力供給が可能であるか検討を行った。結果として，提案手法である最適配置探索も，両機器の協調動作も本問題に対して効果的な制御を行うことができ，制約内で電圧整定性を維持できることを明らかにした。

しかしながら，モデルとなる系統の容量を超えてしまう事故のような大きい電圧変動には対処することができなかった。シミュレーションにより 650kW という割と大きい出力変動までなら耐えることが確認できたが，信頼性の高いより安定した電力系統を実現するために，今後は，蓄電池による出力変動の平準化や，DG の開閉列を考慮した基準電圧の見直し，SVR タップ比の最適化などの検討を行い，さらなる電圧整定性の維持について検討する。また，最適配置に関しても各機器のモデル化をより厳密に行い，同時にお互いの特性を考慮した最適配置を探索するアルゴリズムを検討する予定である。

参考文献

1) 杉本淳司郎・横山隆一：「分散型電源導入時における電圧変動を考慮した SVR および SVC の協調配置手法」, 電学論 B, Vol.126, No.12, pp.1191-1198(2006)
2) 林泰弘・川﨑章司・松木純也・若尾真治・馬場旬平・北條昌秀・横山明彦・小林直樹・平井崇夫・生石光平：「分散型電源の導入拡大に対応した配電系統の協調運用形態」, 電学論 B, Vol.127, No1, pp.41-51(2007)
3) 窪田善之・元治崇：「SVR 設置系統における電力密度モデルによる分散型電源の連系可能容量の検討」, 電学論 B, Vol.126, No9, pp.878-886(2006)
4) 林泰弘：「分散型電源の導入拡大に対応した配電系統電圧制御の動向と展望」, 電学論 B, Vol.129, No4, pp.491-494(2009)
5) 椎野輝晋・森野忠・青木秀憲：「日負荷変動を考慮した SVR 最適配置」, 電気学会電力･エネルギー部門大会論文集 (CD-ROM), Vol.2009, Page.ROMBUNNO.151(2009.08.18)
6) 高橋尚之・藤本悠・林泰弘：「集中型不感帯制御方式を用いた SVC による動的電圧制御の実験的検証」, 平成 24 年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集 Vol.2012, ROMBUNNO.251(2012.9.12)
7) 大貫悟志・林田広和・道端郁夫・青木秀憲：「SVR と SVC の協調動作に関する研究」, 東海大学工学部紀要 Vol.48, No.1, 2008, pp.87-92