

# メタヒューリスティクスを用いた配電システムの運用形態構築 (III)

椎野 輝晋\*<sup>1</sup> 青木 秀憲\*<sup>2</sup>

## Distribution Network System Practical Configuration Structure Using Meta-Heuristics (III)

by

Terukuni SHIINO\*<sup>1</sup> and Hidenori AOKI\*<sup>2</sup>

(Received on September 14, 2010 and accepted on January 12, 2011)

### Abstract

This paper proposes a distribution network system of coordinated operation construction using meta-heuristics. Along with the increase in of power demands of recent years, power systems have become overly large and complicated. Hereby, new load entry is advances rapidly, it becomes impossible to correspond by existing system. As new load demands increase rapidly, it becomes impossible to meet the demands with existing systems. Namely, due restriction deviation and distribution loss is increased according to unassumed load distribution, it is expected for distribution system to become more complex. Therefore, ADC-Scheme (Advanced Distributed Cooperation Scheme) is proposed at the first stage, and applied to the distribution network expansion planning. At the second stage,  $\theta$ -domination strategy is applied to pareto optimum solution obtained by ADC-Scheme and abstraction of execution solution is done. At the third stage, optimal installation and power output of Distributed Generation (DG) are decided. At the fourth stage, the sending voltage profile based on the system is made. At the fifth stage, locational and hourly maximum output of a distributed generator is computed. These methods were applied to a sample system. As a result, an excellent solution was able to be obtained.

**Keywords:** Distribution loss, Distribution network expansion planning, Distributed generation, Sending voltage, Multi objective optimization, Meta heuristics

## 1. まえがき

配電システムにおける最近の電力網の構築では、電力需要の増大による負荷線路の切り替え、増設さらには温室効果ガスの削減を期待した再生可能エネルギーを利用した分散型電源(Distributed Generation : DG)の普及に基づいた研究が進められている<sup>(1),(2)</sup>。これらの研究は、系統拡張により系統構成に負荷変動や逆潮流を生じる程の出力となる分散型電源が系統に連系される場合などについて検討することになる。また、系統の電圧を適正に維持するには電圧を許容範囲に抑える送り出し電圧制御が必要となり、重要な解析事項となっている。これらを協調し、安定かつ確実に電力を供給するには、最も効率的な分散型電源の連系出力計画の立案が必要となる。

これまで、配電システムの効果的な運用形態を図るために配電系統拡張計画<sup>(3),(4)</sup>や送り出し電圧決定手法<sup>(5),(6)</sup>、分散型電源の連系容量算出<sup>(1),(2)</sup>に関する研究が精力的に行われている。配電系統拡張計画は電圧上下限值、配電線の電力潮流容量などの系統構成上の制約を満足しつつ、系統コストの最小化を図ることから複

雑かつ膨大な組合せ最適化問題となる。送り出し電圧決定手法は電圧目標値の誤差が最小となる送り出し電圧を決定する問題を組合せ最適化問題として捉えたものである。一方、分散型電源の連系容量算出はDGの各連系箇所における出力可能容量を算出する問題である。これらの問題はいずれも独立したテーマとして研究され、それぞれ効果的な成果が報告されている<sup>(1)~(6)</sup>。しかし、配電システムは将来、さらに複雑化してくるものと予測されている。上述したような運用者側における問題点を解決するためには、配電システムにおける拡張計画からDGの連系容量算出までの一連の運用形態に効率よく対処できる電力供給システムを開発する必要がある。

そこで本論文では、配電系統拡張計画・分散型電源配置問題・送り出し電圧決定・分散型電源の連系容量算出までの問題を有機的に結合し、柔軟な構成を目的とする多段階法による配電システムの運用形態構築法を提案する。

提案手法を69母線放射状配電システムに適用し、その効果と有用性について検証する。

## 2. 配電システムの運用形態構築概要

本論文で提案する運用形態構築方法は5段階に問

\* 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

題を解き、検証を行っている。本章では、各段階における概要を記述する。

まず、第一段階では配電系統拡張計画を実施する。これを解く手法として、近年では多目的メタヒューリスティックス (Multi Objective Meta-heuristics : MOMH) <sup>(7),(8)</sup> が多く適用されている。MOMH は、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm : GA) による探索から目的関数間にあるトレード・オフを考慮したパレート解集合を導出し、可視化できる手法である。その際、パレート解集合の精度、均一な分散さらに各目的関数における最適解の幅広さが重要な評価基準<sup>(9)</sup>となる。しかし、従来の MOMH では解の幅広さの保証がないことが指摘されている。そのため、これを向上させる手法として DC-Scheme (Distributed Cooperation Scheme for Multi objective Optimization) を改良した ADC-Scheme (Advanced DC-Scheme) を提案する。この手法を配電系統拡張計画に適用し、これまでより探索性能の向上が期待できる手法として探索を実行している。

第二段階では、第一段階により得られたパレート解集合を効率よく活用するために各解に優先順位を設け、運用者側により有益な系統構成を提示するために  $\theta$ -domination 戦略<sup>(10)</sup> が適用されている。これにより目的関数相互にメリットのある実行解を抽出できる。

最近の配電系統拡張計画では、電力自由化や環境問題対策などにより配電系統には多数の DG を積極的に導入する傾向にある。このため潮流の不確実性が懸念され、これに関する研究が進められている。これら DG の設置は、配電損失の低減や変電所負荷削減などの利点を望めるが、一方では逆潮流現象や出力変動などが生じ、電力品質を悪化する要因となっている。そのため、DG を任意の系統に導入したときの配電系統拡張計画について研究が報告されている。しかしながら、運用者側としては今後、想定される負荷と任意に設定した箇所に導入する DG に対するこれまでのような系統拡張計画ではなく、構成された系統箇所すべてに DG の設置候補が存在する系統拡張計画を実現する必要があるものと考えられる。その際、どの程度の出力を持つ DG の参入が最も効率良い系統運用を実現できるかについて検証することも重要な検討課題になるものと思われる。

第三段階では、上述した事項を考慮して第二段階によって抽出された実行解による系統構成に対し、配電損失が最小となるような DG の最適配置箇所及びその出力値の決定を行っている。

配電線の送り出し電圧は、通常配電用変電所における変圧器タップの切り替えにより離散的に制御されている。逆潮流が発生する程の出力を有する DG が配電線に連系されると、配電線各地点の電圧を許容範囲以内に収めるような送り出し電圧のプロファイルの決定が複雑化し、適正電圧の維持が困難となることが指摘されている<sup>(3)</sup>。また、系統構成の切替、増設による負荷の変更は、電圧変動を起こす要因となることから電圧余裕を確保することも重要となる。

第四段階では、第二、三段階で再構成された系統に上述した事項にも対処することが可能となる送り出し電圧プロファイルの作成を、配電用変圧器がもつ 21 のタップを 1 段階ずつ全て切り替え、各時間における最適なタップ位置を選定する Step by Step 方式を実行し、送り出し電圧プロファイルの作成を行っている。

前述したように、環境負荷低減や電力自由化の観点から様々な DG が普及し、配電系統に連系される DG の量も年々増加傾向にある。そのため DG 管理者や系統運用者にとって、地点別・時間別に各 DG の出力可能量を把握しておくことは、配電系統の無理のない運用や CO2 削減の面からも効果的である<sup>(5)</sup>。そこで、第五段階では分散型電源の地点別時間別連系可能容量最大値を算出する。

### 3. 配電システムの運用形態構築方法

#### (3・1) 配電系統拡張計画

本論文では第一段階として、予想される系統変化後の電力潮流に対して、最適な系統を新たに構成する配電系統拡張計画を行っている。配電系統拡張計画は既存の系統に加え、拡張予定の系統候補を考慮し、系統コスト及び配電損失を制約値内で最小化する問題である。系統を再構成するにあたり、新規設備の拡張候補は非常に多く、その中から最適な配電系統構成を決定する多目的組み合わせ最適化問題となる。以下は配電系統拡張計画の目的関数を定式化したものである。

目的関数：

$$f = [f1, f2] \rightarrow \text{Minimize}$$

$$f1 = g(V, I) + \text{Loss} + l \dots \dots \dots (1)$$

$$f2 = g(V, I) + \text{Cost} + l \dots \dots \dots (2)$$

制約条件：

- ・電圧上下限制約

$$V_{\text{lower}, n} \leq V_n \leq V_{\text{upper}, n} \dots \dots \dots (3)$$

- ・線路電流制約

$$|I_j| \leq I_j^{\text{uppre}} \dots \dots \dots (4)$$

- ・放射状制約

- ・電力供給制約

但し、Loss : 配電損失、Cost : ブランチの設置・除去コスト、g : 電圧上下限規定値制約逸脱量、線路電流制約逸脱量の 2 乗和、l : 系統に含まれる閉路数、 $V_{\text{upper}, n}$ 、 $V_{\text{lower}, n}$  : ノード n の電圧上下限値制約、 $V_n$  : ノード n の電圧値、 $I_j^{\text{uppre}}$  : ブランチ j の線路電流容量、 $I_j$  : ブランチ j の線路電流

#### (3・1・1) パレート最適解の定義

多目的最適化問題における解は複数もしくは無限個の集合として存在する。そのため、パレート最適性を満足する解 (パレート最適解) を求めることが重要な概念として挙げられている。パレート最適解は、多目的最適化問題における解の優越領域により定義される。多目的最適化問題における解の優越関係を以下に記述する。但し、全ての目的の最適化は最小化であると仮定する。

今、解空間  $R^n$  に存在する 2 つの解  $x^1, x^2 \in R^n$  を考え

る。この時、解の優越関係は

$$f_i(x^1) \leq f_i(x^2) (\forall i=1, \dots, j) \dots\dots\dots(5)$$

の時、 $x^1$  は  $x^2$  に優越する。

$$f_i(x^1) < f_i(x^2) (\exists i=1, \dots, j) \dots\dots\dots(6)$$

の時、 $x^1$  は  $x^2$  に強い意味で優越する。

但し、 $j$  は考慮される目的関数の数を表す。

この優越の定義より、 $x^1$  が  $x^2$  に優越しているならば、 $x^2$  より  $x^1$  のほうが良い解であると判断される。

〈3・1・2〉 ADC-Scheme

MOMHによって得られるパレート解集合は、精度、均一な分散、幅広さに優れていることが重要な評価基準となる。しかし、一般的なMOMHにおいては、解の精度、均一な分散を向上させるためのメカニズムは組み込まれているものの、幅広さを向上するメカニズムが組み込まれていないことが指摘されている<sup>(9)</sup>。この問題に対処するために、DC-Scheme<sup>(9)</sup>が提案されている。DC-Schemeは探索する各個体群をGAによって実行したものであるが、本問題では放射状制約が強い制約条件となるため、解探索時にブランチ数を一定に保つことのできる禁探探索法(Tabu Search : TS)が有効であると考えられる。従って本節では、DC-Schemeに対してTSが適用可能であるADC-Schemeを提案し、配電系統拡張計画に適用する。ADC-Schemeでは以下のような操作が実行される。

・分散スキーム

パレート解集合の幅広さには、各目的における最適解が重要であるため、ADC-Schemeでは全ての目的の最適化を実行するMOMH個体群、各目的のみの最適化を行うSOMH(Single Objective Meta-heuristics : SOMH)個体群を設け、これらの個体群が並列して探索を行うものである。本論文で取り扱う配電系統拡張計画は2目的を最適化するため、1つのMOMH個体群と2つのSOMH個体群が存在することになる。そして、SOMH個体群ではTS、MOMH個体群ではControlled NSGA-II( Controlled Elitist Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II )<sup>(8)</sup>が適用され、TSの導入がこれまでよりも探索性能の向上を期待できるものとなっている。

・協調探索

ADC-Schemeでは各個体群では探索できない領域をお互いに共有するために、最良解の交換が行われる。具体的にはFig.1に示すようにまず、MOMH個体群で全個体Nに対してControlled NSGA-IIが適用される。そして、各目的においてパレート端となる最良解(制約満足解)をSOMH個体群に移動し、TSの初期解としてこれを実行する。次に、TSにより遷移した解が初期解よりも優れているならば、一定世代毎にControlled NSGA-IIの下位ランク解との入れ替えを実施する。また、TSの操作で遷移初期解を用いる理由は、初期状態依存性をもつTSに対してより効率的な探索を実現するためである。

・パレートアーカイブ

ADC-Schemeでは探索途中に得られた非劣解を失わないためにMOMH個体群が有するパレートアーカ

イブの他に、全個体群によって探索された解を保存するもう一つのパレートアーカイブが設けられている。これにより非劣解を失うことのない探索が実行されている。

・局所探索

ADC-Schemeでは最終的にパレートアーカイブに保存されている解に対して局所探索を行い、解集合を出力する。これにより、より高精度な解集合を得ることが期待される。

以上の概念図をFig.1に示す。

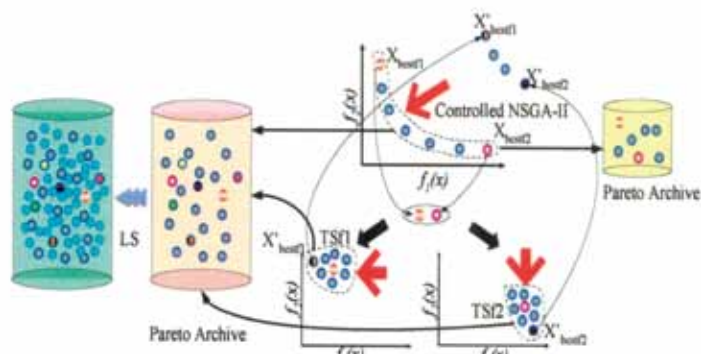


Fig.1. Concept of ADC-Scheme

〈3・2〉  $\theta$ -domination 戦略

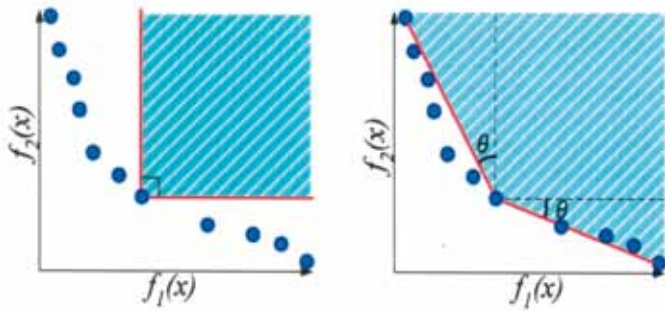
一般的なMOMHでは、その解はパレート解集合として求められ、この解集合の中から運用者により選好解を決定することになる。このため、MOMHにおいて幅広い解集合を得ることは解の選択肢を広げるための重要な要素となる。しかし、解の選好基準が曖昧な場合、運用者はすべてのパレート解を比較・検討する必要が生じ、比較作業が非常に困難となることがある<sup>(10)</sup>。そのため、パレート解集合の中から選好解の候補として少数の解を運用者に提示することが望まれている。すなわち、意思決定者が容易に選択可能となるように、パレート解集合にある解にそれぞれ優先順位を設け、これを可視的に判断できることが必要となる。

ここでは上記事項を行うために第二段階として、第一段階によって得られたパレート解集合に対して $\theta$ -domination 戦略を適用することで、各解の優先順位付けを行っている。これにより、運用者側がパレート解集合の中から容易に実行解を選択することが可能となる。

Fig.2はある解における優越領域を示している。通常、各解の優越領域は、それぞれ90度の広がりを持つことになる。このことから、通常の解の優越領域ではFig.2(a)に示すような斜線部内に存在しなければ、優越されることがないので、パレート最適解は不揃いな配置となる。そのため、これを利用した何らかの方法で各解に優先順位を付けることが可能となる。 $\theta$ -domination 戦略では、解の優越条件を緩和することによって、それが実行されている。

Fig.2(b)は、優越条件のために導入された角度パラ

メータ  $\theta$  を二次空間により示したものである。Fig.2 (a)にある優越領域の外側に角度  $\theta$  をとり、これによって与えられた領域を新たな優越条件として定義したものである。ここで、角度パラメータ  $\theta$  を、 $0 < \theta < \pi/2$  として優越条件を変化させ、優越される角度が最も大きな解ほど、良好な解になるものとする。



(a) Standard (b)  $\theta$ -domination  
Fig.2. Concept of  $\theta$ -domination

(3.3) 分散型電源最適配置問題

電力自由化や環境対策などに様々な DG が配電システム内に積極的に連系することが予想されている。そのため、DG 連系に関する研究が進められている。特に、逆潮流現象については系統内の電圧上昇を招く要因となることから、電力品質確保の必要性からその対策が検討されている。そのため第三段階では、第二段階によって再構築された系統に対して、配電損失が最小となる DG の最適配置箇所とその出力値を決定する。その際、ここでは分散型電源配置問題に対して GA, TS, PBIL (Population-Based Incremental Learning)<sup>(11)</sup> を適用し、比較を行う。

系統への DG の導入については、これまで行われていたように設定する任意の設置箇所について検討するのではなく、今後、如何なる箇所に、どの程度の出力を持つ DG が参入したとき、最も効果的な配電損失最小化が実現できるかについて探索することが重要なものとする。そのため、本論文では文献[12]と同様に、本手法を使用して直接 DG の設置箇所や運用を決めるためのものではなく、その系統に対して適切に DG の配置や運用をすることによって、どの程度まで配電損失を低減できるのかなどを検討するためのものである。

(3.3.1) 問題の定式化

式(7)は、分散型電源最適配置問題に用いた目的関数である。

目的関数：

$$F = g(V, I) + Loss \rightarrow \text{Minimize} \dots\dots\dots (7)$$

制約条件：

- ・ 電圧上下限制約
- ・ 線路電流制約

但し、 $F$ ：目的関数、 $g$ ：電圧上下限規定値制約逸脱量、線路電流制約逸脱量の 2 乗和、 $Loss$ ：配電損失

(3.3.2) PBIL

PBIL は GA の集団中に含まれる個体中の遺伝子分布を学習することで最適化を行う手法である。

以下に PBIL のアルゴリズムを示す。

- Step 1：確率ベクトル  $p_i$  を 0.5 に初期化。
- Step 2：確率  $p_i$  に基づいて  $N$  個の個体を生成。
- Step 3： $N$  個の個体を評価し、適応度順に並び替える。
- Step 4：上位  $M$  個の個体  $s_j$  に基づき、 $p_i$  を更新。
- Step 5：終了条件が満たされれば終了。それ以外なら Step 2 へ戻る。

ここで、 $p_i$  は  $i$  番目の遺伝子が 1 となる確立を示しており、解集団を用いた学習により  $p_i$  を求めることがアルゴリズムの目的となる。そのために、まず、確率  $p_i$  をもとにして、解集団  $s_j$  ( $j=1,2,\dots,N$ ) を生成する。そして、それぞれの解を評価後、解集団の中から優れたものを上位  $M$  個体取り出し、それぞれの解  $s_j$  について、字式により  $p_i$  を更新して学習を行う。

$$P_i = P_i \cdot (1.0 - LR) + (LR \cdot s_j^i) \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 $s_j^i$  は  $s_j$  の  $i$  番目の遺伝子、 $LR$  は学習の速度を決めるパラメータである。

Fig.3 に示すように、PBIL で用いられる確率モデルでは確率変数間の相互依存性が存在せず、独立に学習が進められる。

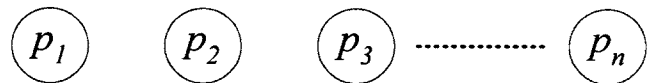


Fig.3. Concept of PBIL

(3.4) 送り出し電圧プロフィールの作成

第二、第三段階によって系統構成や負荷の分布等に変化を生じることになる。そのため、電力品質を管理する種々の機器では、既存の使用ができなくなり、新たな設備機器の整定値や制御用プロフィールの変更が求められることになる。特に電圧については、線路の増設による負荷変動や DG 連系によって大きな変化が生じることになる。これには、想定される電力需要に対して送り出し電圧を適切に決定し、規定値からの余裕度を可能な限り増加する操作により対処する必要がある。また、このような電圧の設定は、配電システムに発生する想定外の重負荷や、DG の大量な導入によって生じる逆潮流に対しても、効果的な操作となる。

そのため第四段階では、第三段階によって構築された系統に対して、送り出し電圧プロフィールの作成を行っている。具体的には、21 タップ<sup>(3)</sup>をもつ配電用変圧器をもとに、各時間断面毎にタップを 1~21 まで 1 段階ずつ切り替る Step by Syep 方式により、式(9)、(10) が各時間において最小となる最適なタップ位置を決定し、送り出し電圧の作成を行っている。そして、DG を連系しない場合と DG 導入時の逆潮流による電圧上昇を考慮する値から、その電圧幅を求めている。すなわち、いずれの場合にも対応可能となる電圧幅が算出されている。次式は、このときの目的関数である。



目的関数：

- ・ DG を連系しない場合

$$F = \sum_{i=0}^N \sum_{t=0}^T (V_{ref} - V_{in})^2 \rightarrow \text{Minimize} \dots\dots\dots (9)$$

- ・ 電圧上昇に対する場合

$$F = \sum_{i=0}^N \sum_{t=0}^T (V_{lower} - V_{in})^2 \rightarrow \text{Minimize} \dots\dots\dots (10)$$

制約条件：

- ・ 電圧上下限制約
- ・ 線路電流制約

但し,  $F$ : 目的関数,  $N$ : 配電用変圧器タップ,  $T$ : 考慮する時間数,  $V_{ref}$ : 基準電圧値,  $V_{lower}$ : 下限電圧値,  $V_{in}$ : 時間  $t$  においてタップ  $i$  を使用時の母線電圧

(3・5) 分散型電源地点別時間別連系可能容量算出  
 3・3 節にも記述したように, 近年では地球環境問題や電力自由化に伴い DG が普及し, 配電系統に連系される DG も年々増加傾向にあり, 今後も益々配電系統に連系することが予想される。このような状況下において, 系統運用者側は各時間毎に DG の出力をどの程度まで受け入れられるのかを把握しておくことが系統運用の面からも重要であると考えられる。そこで本論文では第五段階として, これまでに構成された配電系統や作成された送り出し電圧を基にし, 地点別時間別の分散型電源連系可能容量の算出を Step by Step 方式により行う。以下にこの時の目的関数を示す。

目的関数：

$$F = PDG_{in} \rightarrow \text{Maximize} \dots\dots\dots (11)$$

制約条件：

- ・ 電圧上下限制約
- ・ 線路電流制約
- ・ 逆潮流制約

但し,  $PDG_{in}$ : ノード  $n$  における時間  $t$  の GD 出力

### 4. シミュレーション条件

Fig.4 は, 適用した配電系統モデルである。送り出し電圧 6864[V], タップ比 1.0, 更に線路定数が全て既知である 69 母線放射状配電系統に 22 箇所の新規負荷を想定し, そのブランチ候補を示したものである。本論文では, まず既存系統総負荷 3802[kW] (配電

損失 169.22[kW]) に対して新規負荷挿入により, 総負荷が 5267[kW]となった場合について, 第一段階では ADC-Scheme を第二段階では  $\theta$ -domination 戦略を適用し, 系統を再構築する。次に, 第三段階ではこの系統構成に対する DG 設置箇所とその出力値を決定している。これまでの系統に対し, 第四段階では送り出し電圧プロファイルの作成を行っている。最後に第五段階では, 分散型電源の地点別時間別連系可能容量が求められている。

### 5. シミュレーション結果

Fig.5 は本手法となる ADC-Scheme, 幅広さを向上させる手法として開発された DC-Scheme, さらに Controlled NSGA-II 単体動作時から得られたそれぞれのパレート解集合に対する Spread, Cover Rate, RNI を算出したものである。Spread では Controlled NSGA-II と比較して解の幅広さを考慮した ADC-Scheme と DC-Scheme が改善され, 特に ADC-Scheme が最も良好な広がりを示すことがわかる。Cover Rate では, DC-Scheme が他の手法に比べて均一性において劣っていることがわかる。これは DC-Scheme では, 幅広いパレート解集合の導出を可能とするが, 目的探索を GA で行うため実行可能領域から解が破壊され, 解にバラツキを生じ, Cover Rate が低下したと思われる。これに対して ADC-Scheme では, DC-Scheme, Controlled NSGA-II よりも均一性のある解が効果的に得られていることがわかる。これは ADC-Scheme では TS により GA で探索できない領域まで探索を可能にしているためと考える。

また ADC-Scheme は局所探索法を導入しているため RNI においても最も良好な値を得ている。結果として, 提案手法である ADC-Scheme は, 解集合の幅広さ, 精度, および均一性の探索性能をこれまでの手法より向上できることがわかる。

第二段階では, ADC-Scheme によって得られたパレート解集合に対して  $\theta$ -domination 戦略を適用し, 各解に優先順位付けを実行し, これによる優先順位 1 位の解が選択されることになる。Fig.6 はこの実行解に

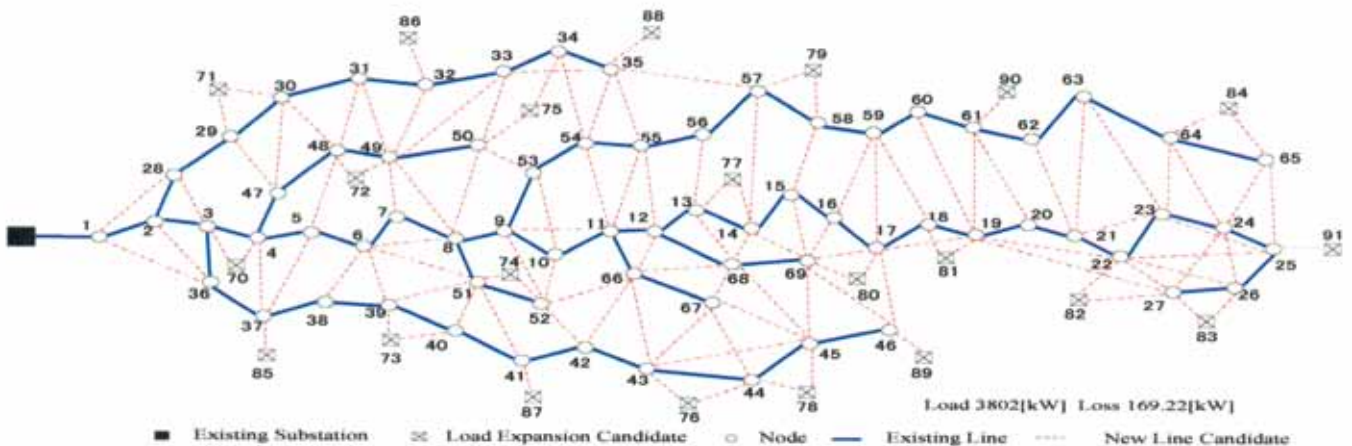


Fig.4. Existing system

より再構築した配電系統である。22 箇所の新規負荷に線路が増設され、8 箇所で線路の切替が実施されたことがわかる。そして、既存の系統負荷 3802[kW]、損失 169.22[kW]に対して、新規負荷挿入により負荷が 5267[kW] (約 38.5%増加) に増加したにもかかわらず、損失を 172.67[kW] (約 2%の増加) に抑えられる配電系統を構成することになる。

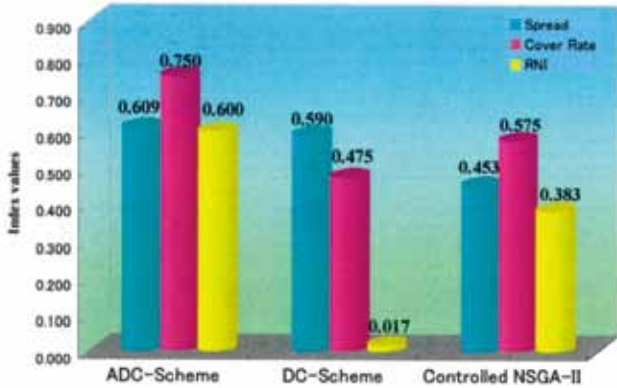


Fig.5. Spread, Cover Rate, RNI

第三段階では、第二段階で構築した配電系統に対して配電損失が最小となる DG の最適配置箇所とその出力値を求めた。GA・TS・PBIL によって求められた式(7)にある目的関数の値を Table.1 に示す。これより PBIL による探索が最も効果的であることが確認された。PBIL による探索では 21 箇所に DG が連系され、配電損失を 21.82[kW]まで減少させることを可能にした。また、このときの系統構成を Fig.7 に示す。

第四段階では、第三段階の結果に基づいて時間毎の送り出し電圧を求めたものである。Fig.8 は、DG を連系しない場合と DG の連系を考慮した状態のときの送り出し電圧値を示したものである。これによる電圧幅から、DG 一斉解列や電圧変動にも柔軟に対処できる運用形態が構築できているものとする。

第五段階では分散型電源の時間別地点別連系可能容量の算出を行った。Fig.9 には DG を考慮しない状態と逆潮流を考慮した送り出し電圧プロファイルによる分散型電源地点別時間別連系可能容量を示す。これを運用者や DG 連系者に提示することによって、効率的な運用を期待することができる。

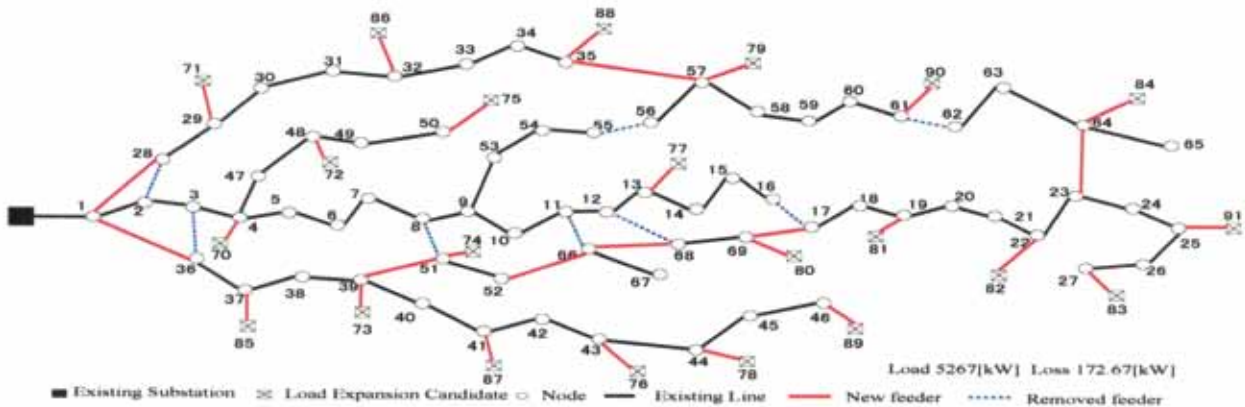


Fig.6. Multi optimal system

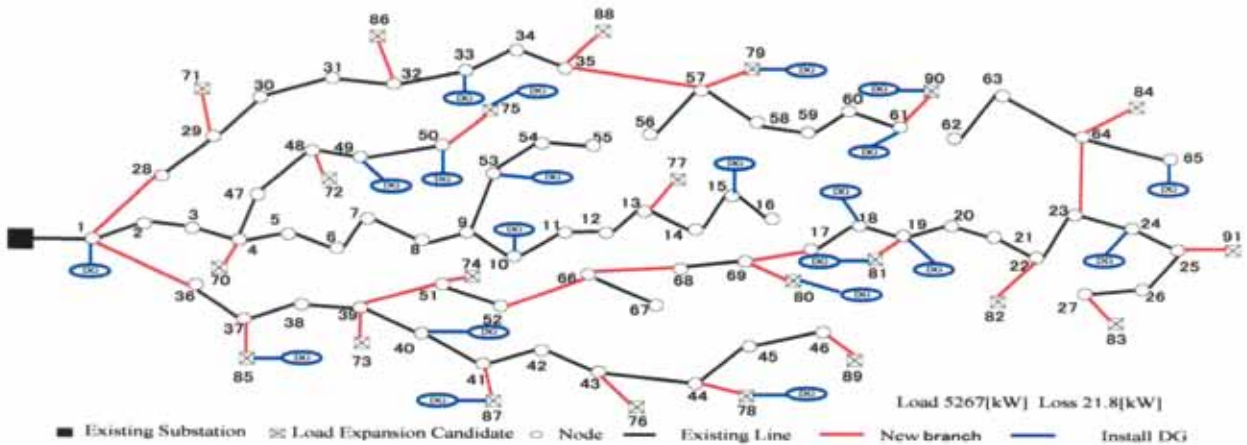


Fig.7. After the installation DG

Table.1 Compare of each method

	GA	TS	PBIL
Value of target function	2.38.E-03	2.23.E-03	2.18.E-03

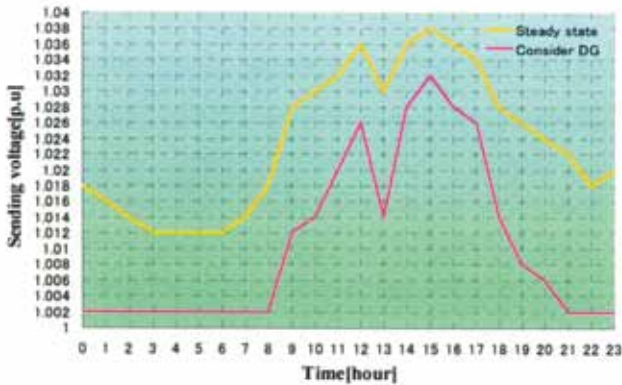


Fig.8. Profile of sending voltage

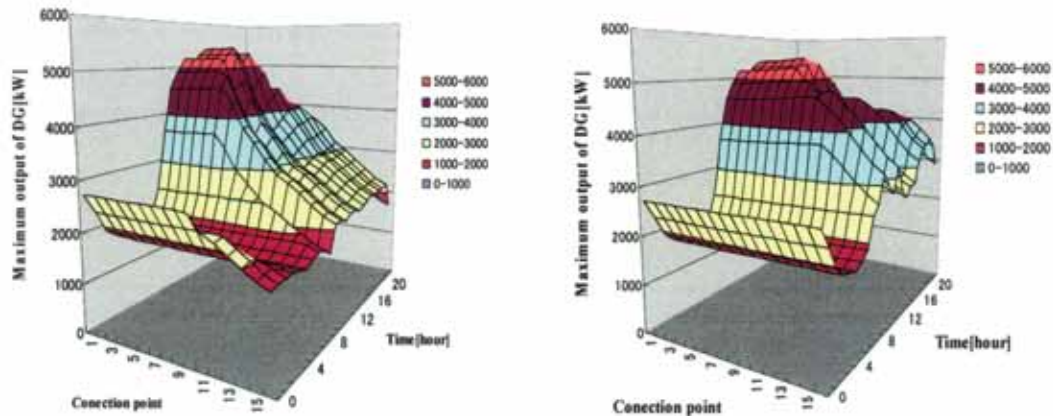


Fig.9. Locational and hourly maximum output of DG

87.4%削減することができた。

- (4) 第四段階では、第三段階までの配電系統に時間毎の負荷の変動や電圧変動に対しても適切な運用形態を維持するために DG を連系しない場合とこれを連系した場合の両方から効果的な送り出し電圧プロフィールを算出している。
- (5) 分散型電源の地点別時間別の連系可能容量を算出することで、無理のない運用が期待できる。今後は、問題規模の拡大を行う予定である。

## 6. まとめ

本論文は、配電系統における運用形態を効率よく対処するために、新規負荷の参入から DG の連系を考慮した新たな配電系統の構築を行う方法として検討したものである。結果として以下のことが明らかとなった。

- (1) 提案した ADC-Scheme は、DC-Scheme, Controlled NSGA-II と比較し、Spread(0.609)・Cover Rate(0.75)・RNI(0.6)と高精度な解集合を得ることのできる効果的な手法であることが確認された。
- (2)  $\theta$ -domination 戦略によって抽出された解は負荷が約 38.5%増加にも関わらず、損失の増加を約 2%に抑えることのできる効果的な手法である。
- (3) 二段階までの手法により再構築された配電系統に対して第三段階では系統箇所全ての DG 設置候補から最適な配置箇所を選択でき、拡張後の配電損失 172.67[kW]に対し、損失を 21.82[kW]と約

## 文 献

- (1) 林泰弘・松木純也・花井悠二・細川慎平・小林直樹：「分散型電源の地点別時間別連系可能最大出力の算定」, 電学論 B, Vol.126, No10, pp.1023-1031(2006)
- (2) 窪田善之・元治 崇：「分散型電源連系可能容量の電力密度モデルによる解析的検討」, 電学論 B, Vol.125, No5, pp.475-484(2005)
- (3) V. Miranda, J.V. Ranito and L.M. Proenca "Genetic Algorithm in Optimal Multistage Distribution Network Planning", IEEE Trans. Power Syst., Vol.9, No.4, pp.1927-1933(1994-11)
- (4) 森啓之・飯村吉典：「2層近傍タブサーチによる分散電源を考慮した配電系統拡張計画」, 電学論 B, Vol.123, No.10, pp.1142-1148(2003)
- (5) 林泰弘・松木純也・鈴木良治・武藤英司：「分散型電源が連系された配電系統における最適送出し電圧の決定手法」, 電学論 B, Vol.125, No.9, pp.846-854(2005)
- (6) 林泰弘・川崎章司・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, No19, pp.41-51(2007)
- (7) K. Hara, K. Ikeda, I. Ono, and S. Kobayashi "Hybridization of Genetic Algorithm and Local Search in Multi-objective Function Optimization, Recommendation of GA then LS", Proc. of GECCO 2006, Vol.1, pp.667-674, Seattle Washington, USA (2006-7)
- (8) K. Deb and T. Goble "Controlled Elitist Non-dominated Sorting Genetic Algorithm for Better Convergence" Proceeding of the

First International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization, pp.42-50(2001)

- (9) 廣安知之・三木光範・奥田環・渡辺真也:「多目的最適化のための分散協力型スキーム」, 同志社大学理工学研究報告, Vol. 114 (MPS-42), pp.1-4 (2002)
- (10) 廣安知之・三木光範・金美和・渡邊真也・奥田環・上浦二郎:「 $\alpha$ -domination 戦略による非劣解集合からの解抽出法」, 情報処理学会第 65 回全国大会講演論文集, Vol.1, pp.231-232 (2002)
- (11) Shumeet Baluja. Population-based incremental learning: A method for integrating genetic search based function optimization and competitive learning. Technical Report CMU-CS-94-163, Carnegie Mellon University, (1994)
- (12) 奈良宏一・林泰弘・テンビン・池田一成・芦沢友雄:「配電損失最小化を目的とした分散型電源の最適配置」, 電学論 B, Vol.120, No.5, pp.672-677(2000)