高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム(FRIENDS)の 最適系統構成決定手法

正 員 奈 良 宏 一 (茨城大学)
正 員 三 島 裕 樹 (茨城大学)
正 員 田 口 晃 (東電ソフトウェア)

Determination Method for Optimal Network Configuration of Flexible, Reliable and Intelligent Electrical Energy Delivery System (FRIENDS)

Koichi Nara, Member, Yuji Mishima, Member, Ibaraki University, Akira Taguchi, Member, Toden Software Inc.

In recent years, many dispersed generators such as solar cells, fuel cells and micro-gas-turbines etc. have a tendency to be installed in demand side. These generators are connected to distribution systems through power electronics facilities. It is well known that protection and control of distribution systems will become difficult if many dispersed generators are installed in demand side. Therefore, several ideas or concepts have been proposed in world wide to cope with the situation. The authors also have proposed a new concept of power delivery system named FRIENDS (*Flexible, Reliable and Intelligent Electrical ENergy Delivery System*) where power electronic facilities and dispersed generators are effectively utilized. In this paper, the optimal network configuration method of FRIENDS is proposed. The problem is formulated as a mixed integer programming problem and solved by using tabu search algorithm and sensitivity analysis. Several numerical results are shown to demonstrate the validity of the method.

キーワード：配電システム、FRIENDS、系統設備計画、分散型電源、タブー探索

1. まえがき

近年、太陽光発電や燃料電池などの分散型電源が配電系統に少なからず導入される傾向にあり、また、ナトリウム硫黄(NAS)電池や他の二次電池などの電力貯蔵設備も配電系統に分散配置されつつある⁽¹⁾。また、最近では、マイクロガスタービンがビルなどのコ・ジェネレーションシステムとして注目されている⁽²⁾。これらの設備の多くは、通常、インバータを介して交流配電系統に接続される。他の分散型電源も含め、このような分散型電源が配電系統に多数設備されるようになれば、配電系統の保護や制御が複雑化し、配電系統運用に混乱も生じかねない。このような背景から、近年、これらの設備の有効利用を考慮した新しい電力流通システムの提案が国内外でなされてきている。たとえば、Custom Power や Custom Power Park⁽³⁾⁽⁴⁾、あるいは、需要地系統⁽⁵⁾などである。著者らも、そのような新しい概念として、「高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム(*Flexible, Reliable and Intelligent Electrical ENergy Delivery System: FRIENDS*)」を提案してきている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。FRIENDS では、上記の分散型設備の受け口としてさまざまなパワーエレクトロ

ニクス機器からなる電力改質センター(Quality Control Center: QCC)を需要端に設備することを一つの特徴にしている。

本論文では、供給信頼性の観点からみた FRIENDS の最適系統構成手法について提案する。FRIENDS では、QCC に設備される静止型開閉器の操作によって柔軟かつ高速に系統構成を変更可能なことを目標にしているが、本論文では、系統事故時においても、無停電で負荷に電力を供給可能なことを条件に、コスト最小の系統構成を見いだす手法について提案する。実際の計画にあたっては、運用コストや事故発生確率などを考慮して、さらにきめ細かい検討をしたうえで設備計画を行う必要があるが、複雑になりすぎるため、まず、ここでは、単に事故時にも供給を維持するという観点のみからの最適化を対象としている。一般に、系統設備計画問題は利用可能な設備の最適運用問題を内包するため、組合せ最適化問題が二重に存在する複雑な問題となる。そのため、本論文では、最適設備計画の探索過程とその設備を用いた最適運用問題の双方に、比較的短時間で精度の良い近似解の発見を期待できるタブー探索⁽⁸⁾を入れ子構造にして適用している。さらに、感度計算を用いた

近傍解の絞り込みを導入し、タブー探索の計算効率向上を図っている。

以下、本論文では、第2章で FRIENDS の概要を説明し、第3章で問題ならびに解法について記述する。第4章では、提案手法を例題系統に適用した数値例を示し、手法の有効性を検証している。

2. 高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム (FRIENDS)の概要⁽⁶⁾⁽⁷⁾

FRIENDS とは、設備故障時や設備補修時などの設備停止時にも柔軟かつ迅速に系統構成を変え、必要な需要家には無停電で電気エネルギーを供給可能であり、しかも需要家が任意の電気の質を自ら選択して利用できる、いわゆる多品質電力供給が実現可能な新しい概念の電気エネルギー流通システムである。FRIENDS では、さらに、需要家側の小規模分散型電源や電力貯蔵設備を有効に利用した電気エネルギー流通制御や需要家側制御による環境負荷低減効果も期待できる。このような機能を実現するために、需要家の近くに複数の高圧配電線から受電するとともに、その内部に分散型電源や電力貯蔵装置を設備するような電力改質センター(QCC)と呼ばれる新しい設備を配置している。QCC では、需要家に多様な質の電力を送り出すほか、静止型開閉器を駆使して高圧側・低圧側配電線の柔軟な接続変更を可能としている。QCC は、多品質電力供給の他に、知的制御能力を駆使した系統制御・操作・保護などの機能を担い、また各種情報サービスのための情報処理・交換センターとしての役割も担っている。

FRIENDS の概念は、従来国内外で個別に検討されてきた配電システムの自動化、近代化に関する研究を統合し、さらにシステムに高柔軟性・高信頼性を持たせたところに特徴がある新しい概念であり、

- (1) 必要に応じて系統構成を自由に換え得る柔軟性、
- (2) 無停電で、かつ需要家が自ら電力の質を選択できる多品質電力供給、
- (3) 分散型電源・電力貯蔵設備並びに需要家側制御による環境負荷低減、

図1. FRIENDS の概念

Fig. 1. General concept of FRIENDS

などをパワーエレクトロニクスと高度情報処理技術を駆使して実現しようとするものである。

FRIENDS の簡単な概念図を図1に示す。図1からわかるように、FRIENDS では、QCC が高圧配電線のネットワークと通信ネットワークで結ばれており、個別の需要家はQCC から直接電力の供給を受けることになる。QCC の内部構成については、さまざまな案が考えられるが、具体的には文献⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾に詳しい。

3. FRIENDS ネットワークの最適系統構成決定問題

3.1 問題の定義

問題は、図2のように、各電力改質センターへ設備可能な分散型電源の容量(離散値)と電力改質センター間を接続する高圧配電線増設候補があらかじめ与えられているものと仮定した場合に、多重事故時においてもすべての電力改質センターに無停電で電力供給できるような最小の設備コストの線路設備位置と分散型電源の設備位置と容量を決定する設備計画問題である。なお、一般に、設備計画問題はあらゆる負荷状態を考慮してなされなければならないが、以下の定式化ではいわゆるピーク負荷状態に対処可能な設備計画を対象としている。また、分散型電源としては燃料電池を仮定している。一方、風力発電や太陽光発電などの周期の早い出力変動は、QCC に設備される電力貯蔵装置がこれを吸収可能なものと仮定して特別の考慮はしていない。

図2. 問題の説明

Fig.2. Explanation of the problem.

3.2 問題の定式化

この問題は以下のように定式化できる。

<目的関数>

$$\text{Min. } Z = \sum_{n=1}^{ND} (a_n X_n + b_n Y N_n) + \sum_{m=1}^{BR} c_m Y L_m \quad (1)$$

<制約条件式>

分散型電源容量制約

$$X_n \in \{0, x_n^1, x_n^2, \dots, x_n^d, \dots, x_n^D\} \quad (n=1, \dots, ND) \quad (2)$$

線路容量制約

$$P_m \leq P_m^r \leq \bar{P}_m \quad (m=1, \dots, BR) \quad (r=1, \dots, R) \quad (3)$$

ただし、

ND: 総負荷ノード(QCC)数、BR: 総線路候補数、 X_n : n 番目の QCC に設備される分散型電源の容量、 x_n^d : d 番目の種

類の分散型電源の容量、 D ：分散型電源の容量の種類数、 $YN_n: X_n$ が値を持つとき 1、持たないとき 0 となる 0-1 変数、 YL_m ：線路 m が設備されているとき 1、設備されていないとき 0 となる 0-1 変数、 R ：考慮する運用ケース (含、事故ケース) 数、 P_m ： r 番目の運用ケース時の線路 m の潮流、 $\overline{P}_m, \underline{P}_m$ ：線路 m の線路容量上下限值、 a_n ： n 番目の QCC の分散型電源の単位容量あたりのコスト、 b_n ： n 番目の QCC に設備される分散型電源の設備固定費、 c_m ：線路 m の設備コスト

目的関数 ((1 式)) は系統全体の設備コストの最小化である。

(1) 式の第 1 項は、設備固定費用も考慮した分散型電源の総設備コストを表しており、第 2 項は、線路の総設備コストを表している。制約条件は、各ノードにおける分散型電源の設備制約と各線路の線路容量制約である。なお、(2) 式は n 番目の QCC における分散型電源の定格出力を $\{0, x_n^1, x_n^2, \dots, x_n^D\}$ の中から一つだけ選ばなければならないことを表している。もちろん、潮流方程式は制約条件として課されているが、上式では省略している。また、電圧違反に関しては、分散型電源の有効・無効出力の変化で調整可能と仮定して簡単化のため除いてあるが、必要であれば容易に追加可能である。

3.3 問題の考察

まず、事故線路をしゃ断した後、事故後系統において過負荷を許してすべての負荷に電力供給を行うことを考える。このとき、分離系統が存在する場合も考慮して、すべてのノードを容量ゼロのダミー線路でスラック母線に接続可能としており、分離系統が発生した場合には、この線路を用いて分離系統に電力を供給する。ここで発生した過負荷は線路の追加、または、分散型電源を設備することにより解消できる。つまり、事故時の運用問題を、事故時に過負荷を許容してすべての負荷 (QCC) に電力供給を行ったときに発生した過負荷を解消する過負荷解消問題として取り扱い、過負荷を解消するために必要な設備が不足する場合には増設するという設備計画問題を解いて解を求め得る。そこで、前節で定式化した問題の目的関数を以下のように変更する。なお、以下の定式化で、設備コストが等しい系統構成が複数存在する場合には、線路余裕量が大きい系統構成を優先するものとしている。

<系統に過負荷が存在する場合の目的関数>

$$\text{Min. } \alpha \left(\sum_{n=1}^{ND} (a_n X_n + b_n YN_n) + \sum_{m=1}^{BR} c_m YL_m \right) + \beta \sum_{r=1}^R Oover, \quad (4)$$

<系統に過負荷が存在しない場合の目的関数>

$$\text{Min. } \gamma \left(\sum_{n=1}^{ND} (a_n X_n + b_n YN_n) + \sum_{m=1}^{BR} c_m YL_m \right) + \delta \sum_{r=1}^R Oflow, \quad (5)$$

ただし、

$Oover_r$ ：事故ケース r における最適運用時の過負荷量の総和、 $Oflow_r$ ：事故ケース r における最適運用時の各線路の潮流の和、 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ ：重み係数 ($\alpha < \beta, \gamma > \delta$)

(4) 式は、設備コストと過負荷量の重み付け和の最小化

であり、また、(5) 式は、設備コストと線路の {制限値 - 余裕量} の和の最小化、すなわち、線路余裕量最大化である。

以上の考察から (2) 式の制約下で過負荷が存在するときには (4) 式を、過負荷が存在しないときには (5) 式を目的関数とする設備計画問題を解けば (1) ~ (3) 式の問題が解けることが分かる。

3.4 問題の解法

<3.4.1> 解法の概要

定式化から分かるように、本問題は、 n 番目の QCC における分散型電源の設備の有無を表す YN_n ならびに線路 m の有無を表す YL_m の二種類の 0-1 変数と、設備されている分散型電源の設備容量を表す離散値 X_n の値を決定する組合せ最適化問題となる。QCC の総数を ND 、総線路数を BR 、分散型電源の容量は 0 から x_n^D までの $D+1$ 種類の離散値をとるものとする、組合せの総数は $2^{BR} \times (D+1)^{ND}$ 通りとなる。このすべての組合せについて目的関数値を計算すれば最適解が得られるが、モデルの規模が大きくなるとこの組合せ数も増大し、実用的な時間内で解を得るのは困難になる。そこで、本論文では、問題の解法にタブー探索を適用して近似解を得ている。本解法の概略フローチャートを図 3 に示す。

図 3. 解法の概略フローチャート

Fig.3. General flowchart of solution method.

本解法では、まず、与えられた初期解 (現在解) に対して、各事故ケースの運用問題を解くことによって、初期解の運用時における過負荷量を計算する。現在解に過負荷が存在する場合には、その過負荷を解消するように、設備を増設する近傍解を作成する。一方、現在解に過負荷が存在しない

い場合には、設備コストを低減するために設備を削除する近傍解を作成する。このとき、現在解から近傍解へのムーブ候補は多数存在し、これらのすべてを詳細に評価することは無意味な近傍解をも評価することになり時間的に無駄である。そこで、本解法では、設備を追加ならびに削除することによる過負荷量の変化に関する感度を用いて、いくつかの有効な近傍解に解の絞り込みを行っている。絞り込んだ近傍解について、運用問題を正確に解き目的関数値を計算して、最善の近傍解にムーブする。この後、現在解を更新するとともに、タブーリストを更新する。以上の操作を規定回数繰り返し、探索を終了する。タブー方向は、ムーブした操作の逆向きの操作である。例えば、ある設備の増設する解へムーブしたときは、その設備を削除する操作がタブー操作としてリストに格納される。また、アスピレーション基準は、現在までに探索された最もよい目的関数値としている。次節以降では、解と近傍解の定義、ならびに感度計算を用いた近傍解の絞り込み方法について説明する。

3.4.2 設備計画問題の解と近傍解の定義

いま、本問題の解を、各 QCC に設備されている分散型電源の種類番号と線路の有無を表す変数を要素とするベクトル、

$$u = [X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_j, \dots, X_n, 0, 0, 1, 0, \dots, YL_m, \dots, 1] \quad (6)$$

で表すと、近傍解を、現在の解から線路設置可能箇所の線路を増設または、削除した解、すなわち、

$$u_m = [X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_j, \dots, X_n, 0, 0, 1, 0, \dots, YL_m, \dots, 1] \quad (7)$$

あるいは、ノードに設備されている分散型電源の容量の種類を1段階上下させた解、

$$u_n = [X_1, X_2, \dots, X_i \pm 1, \dots, X_j, \dots, X_n, 0, 0, 1, 0, \dots, YL_m, \dots, 1] \quad (8)$$

として定義できる。なお、初期解で与えられた系統設備は既存設備であるので削除できないものと仮定している。

ただし、

u : 解ベクトル、 X_n : n 番目の QCC に設備されている分散型電源の種類を表す変数 (0 : 非設備、1, 2, 3, ... : 分散型電源の容量の種類)、 YL_m : 線路設置可能箇所 m の線路の有無を表す 0-1 変数、 YL_m : 線路 m の値を反転した解 (0 から 1、1 から 0)。

3.4.3 感度計算による近傍解の絞り込み

前項で定義した近傍の中には、明らかに目的関数値を改善するものもあり、すべての近傍について目的関数値を計算することは時間的に無駄が多い。そこで、本解法では、計算時間の短縮を図るために、感度計算を用いて以下の方法で近傍解を絞り込む。

(a) 現在解に過負荷線路が存在する場合

現在解に過負荷線路が存在する場合、過負荷を解消するために設備を追加する。すなわち、(9)式を用いて設備を追加することによって解消された過負荷量と追加する設備のコストとの比の大きいもの上位数個を近傍解として選択する。

$$\frac{(\text{設備追加による過負荷変化量})}{(\text{追加設備のコスト})} \quad (9)$$

設備を追加することによる過負荷の変化量は、以下の感度計算によって求めることができる。

(1) 線路を追加・削除したときの感度⁽¹¹⁾

線路 l を並列・解列した時の過負荷解消感度 H_l を (10) 式に示す。

$$H_l = \sum_{e=1}^{OLBR} g_e^l \quad (10)$$

ここで、

$$g_e^l = \begin{cases} P_e - P_e^l : P_e \geq \bar{P}_e, \text{ and } P_e^l \geq \bar{P}_e \\ P_e - \underline{P}_e : P_e \geq \bar{P}_e, \text{ and } \underline{P}_e \leq P_e^l \leq \bar{P}_e \\ \bar{P}_e - P_e^l : \underline{P}_e \leq P_e \leq \bar{P}_e, \text{ and } P_e^l \geq \bar{P}_e \\ 0 : \underline{P}_e \leq P_e, P_e^l \leq \bar{P}_e \\ P_e^l - P_e : \underline{P}_e \leq P_e \leq \bar{P}_e, \text{ and } P_e^l \leq \underline{P}_e \\ \underline{P}_e - P_e : P_e \leq \underline{P}_e, \text{ and } \underline{P}_e \leq P_e^l \leq \bar{P}_e \\ P_e^l - P_e : P_e \leq \underline{P}_e, \text{ and } P_e^l \leq \underline{P}_e \end{cases} \quad (11)$$

$$P_e^l = \frac{\theta_i^l - \theta_j^l}{x_e} \quad (12)$$

$$\theta^l = Z^l L \quad (13)$$

ただし、

OLBR : 使用線路数、 Z^l : 線路 l を並解列後のインピーダンス行列、 L : 並解列する直前の QCC 高圧母線への注入電力のベクトル、 θ_i^l (θ_j^l) : 線路 l の並解列後のノード i (j) の電圧位相角、 P_e^l : 線路 l の並解列後の線路 e の潮流、 x_e : 線路 e のリアクタンス、 $\bar{P}_e, \underline{P}_e$: 線路 e の容量上下限值

(2) 分散型電源の出力調整に関する感度⁽¹²⁾

二つの QCC n_1, n_2 に設備されている分散型電源を単位量出力調整(n_1 増、 n_2 減)したときの感度 C_n を (14) 式に示す。

$$C_n = \sum_{e=1}^{OLBR} (a_{en_1} - a_{en_2}) d_e \quad (14)$$

$$a_{en_k} = \frac{X_{in_k} - X_{jn_k}}{x_e} \quad (15)$$

ただし、

C_n : QCC n_1, n_2 に設備されている分散型電源を単位量出力調整したときの過負荷解消量、OLBR : 過負荷線路数、 a_{en_k} : QCC n_k に設備されている分散型電源を単位量出力調整したときの過負荷解消効果指数、 d_e : 線路 e の潮流の方向に関する係数、 X_{in_k} : インピーダンス行列の $i-n_k$ 要素

(b) 現在解に過負荷が存在しない場合

一方、現在解に過負荷線路が存在しない場合は、設備コスト低減のために設備を削除する。すなわち、(16)式を用いて削除する設備のコストと系統全体の線路余裕量との積の大きいもの上位数個を近傍解として選択する。

$$(\text{削除する設備のコスト}) \times (\text{削除後の線路余裕量}) \quad (16)$$

設備削除後の線路余裕量は、(10)式または(14)式から同様に求めることができる。

ここで、選択できる近傍解の数が少ない場合には、設備を削除することによって過負荷が発生するものも近傍解として選択する。すなわち、(17)式を用いて系統全体の過負荷発生量と削除後の設備コストとの比の小さいものから近傍解を選択する。

$$\frac{(\text{削除後の過負荷発生量})}{(\text{削除する設備のコスト})} \quad (17)$$

3.5 運用問題とその解法

〈3.5.1〉 問題の定式化

一般に、設備を効率よく運用すれば設備費を低減できるため、設備計画問題を解くためには設備された線路の使用・不使用や設備された分散型電源の出力を決定する運用問題を解かなければならない。本論文での運用問題は、図3から分かるように、線路の設備位置、ならびに、分散型電源の容量が決まっていると仮定した場合に、総過負荷量が最小となるような各分散型電源の出力、ならびに各線路の使用・不使用を決定する最適化問題になる。なお、過負荷がない場合には、線路余裕量を最大化している。

運用問題は、以下のように定式化される。

〈目的関数〉

$$\text{Min.} \sum_{m \in \text{OBR}} P_{\text{flow}_m}(x, Y) \quad (18)$$

$$P_{\text{flow}_m} = \begin{cases} P_m - \bar{P}_m : P_m \geq 0 \\ \bar{P}_m - P_m : P_m \leq 0 \end{cases} \quad (19)$$

〈制約条件〉

$$0 \leq x_i \leq x_i^d \quad (20)$$

$$Y_m \in \{0, 1\} \quad (21)$$

ただし、

x_i : QCC i に接続される分散型電源の出力、 x_i^d : QCC i に接続される分散電源の容量、 Y_m : 線路 m の状態を表す変数、 P_m : 線路 m の潮流、 $\bar{P}_m$: 線路 m の線路容量上下限値(ただし、 $\bar{P}_m \leq 0$)

〈3.5.2〉 解法のアルゴリズム

運用問題の解法アルゴリズムの概略フローチャートを図4に示す。図4では、まず、設備計画問題のタブー探索における一回前の繰返しの最終の運用状態を初期解(現在解)とする。現在解に過負荷線路が存在する場合には、設備計画問題(〈3.4.2〉節)と同様に感度計算を行い、過負荷を解消するように近傍解を絞り込む。一方、現在解に過負荷線路がない場合には、同様に線路余裕量を大きくするような近傍解だけを絞り込む。次に、絞り込まれたすべての近傍解について詳細計算をすることによって目的関数値を計算する。最善の近傍解へムーブし、現在解ならびにタブーリストを更新する。以上の操作を規定回数繰返し、探索を終了する。なお、タブーリストの構成方法ならびにアスピレーション基準は、3.4節と同様である。

図4. 運用問題の解法の概略フローチャート

Fig. 4. The general flowchart of the operational problem.

〈3.5.3〉 解と近傍解の定義

運用問題の解を、分散型電源の出力を表す変数 OX_i と線路の使用・不使用を表す変数 OYL_m を要素とするベクトル、

$$ou = [OX_1, OX_2, \dots, OX_i, \dots, OX_j, \dots, OX_n, 0, 0, 1, 0, \dots, OYL_m, \dots, 1] \quad (22)$$

で表し、近傍解を、現在の解から一本の線路の使用・不使用状態を変更した解、すなわち、

$$ou_m = [OX_1, OX_2, \dots, OX_i, \dots, OX_j, \dots, OX_n, 0, 0, 1, 0, \dots, \underline{OYL}_m, \dots, 1] \quad (23)$$

あるいは、二つの分散型電源の出力を、同量 (ΔP) づつ増加・減少した解、

$$ou_{ij} = [OX_1, OX_2, \dots, OX_i + \Delta P, \dots, OX_j - \Delta P, \dots, OX_n, 0, 0, 1, 0, \dots, OYL_m, \dots, 1] \quad (24)$$

と定義する。近傍解の総数は、線路の設備数を M_d 、分散型電源の設備数を ND_d とすると、 $(M_d + ND_d \cdot C_2)$ 個となる。ただし、上式で $\underline{OYL}_m$ は線路 m の値を反転したときの解 (0 から 1、1 から 0) を表している。(24)式の ΔP は、感度解析で選ばれた二つの電源について、需給バランスを保ちながら現在の感度を変更しない範囲で過負荷量を減少するように決定される最大の値である。すなわち、その電源を出力調整したとき、

- ・ 一つの線路の過負荷を解消可能な最小の出力調整量
- ・ 健全線路に過負荷を発生させない最大の出力調整量
- ・ 電源の出力調整限界の小さい方

のうち最も小さい値である。

4. 数値計算例

提案した手法の妥当性を検証するために電力改質センター数25、配電用変電所数4の例題システムに対して2ケースの数値計算を行った。いずれも図5に示すシステムを初期解として、ケース1は、線路の設備コストを一定の値20[$\text{\$}$]に設定し、ケース2は線路の設備コストをランダムな値に設定している⁽¹³⁾。タブー探索で用いる諸定数を表1に示し、計算で用いた各パラメータを表2に示している。計算結果を図6ならびに表3に示している。なお、両ケース共、事故ケースとしてすべての線路ならびに変圧器の二重事故までを考慮している。図6(b)の新設線路に付記された数字は、線路の設備コスト[$\text{\$}$]を表している。ここで[$\text{\$}$]は架空のコスト単位である。

図5. 例題システムの初期解

Fig.5. Initial structure connection of example system.

表1. タブー探索で用いる諸定数

Table 1. Constant values for the tabu search

	設備計画問題	運用問題
イタレーション回数	100	20
近傍解の絞り込み数	6	6
タブーレンジ	15	表2参照
目的関数の重み係数	$\alpha=1.0, \beta=10^6, \gamma=1.0, \delta=10^{-6}$	

表2. 計算で用いた各パラメータ

Table 2. Parameters for each case of examples

	ケース1	ケース2
線路の設備コスト[$\text{\$}$]	20	10~30
分散型電源の固定費[$\text{\$}$]	10	
分散型電源の単位容量あたりのコスト[$\text{\$}$]	50	
分散型電源の容量のタイプ[MW]	0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0	
運用問題のタブーレンジ	9	6

ただし、[$\text{\$}$]：架空コスト単位

(a) ケース1

(b) ケース2

○：電力改質センター 新設された配電線

図6. 計算結果

Fig.6. Calculation results.

表3. 計算結果

Table 3. Calculation results.

	ケース1	ケース2
設備コスト[$\text{\$}$] (最善の目的関数値)	220	177
計算時間[s]	3149	3122

図6(a)(b)から、ケース1では線路設備コストがすべて等しいため、余裕量が大きくなるような線路の増設が、ケース2では、線路余裕量が大きく、かつ線路設備コストが小さくなるような線路が増設されていることがわかる。ケース1、ケース2共に線路の二重事故まで考慮しているため、すべてのQCCに少なくとも3方向から線路が接続されていることに注意されたい。また、さらに、分散型電源については、この例題では線路増設に比べてコストが高いため、いずれのケースにおいても設備されていない。

5. あとがき

本論文では、高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム(FRIENDS)の供給信頼性からみた最適系統構成決定手法について提案し、その数値計算例を示した。実用的には、運用コストや事故発生確率などを考慮する必要があるため、今後、線路損失等の運用コスト、時間帯幅による負荷(発電)変動、事故発生確率などを順次考慮に加え、手法をさらに洗練されたものにしていく予定である。

なお、本研究の一部は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業「(JSPS-RFTF97P01002)」、文部省科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))「(09650307)」、ならびに同(基盤研究(A)(2))「(国 10044124)」の研究助成を受けて行われた。

(平成 11 年 12 月 7 日受付、平成 12 年 2 月 23 日再受付)

参考文献

- (1) 例えば、「特集：新エネルギー開発の現状と将来動向」、電気評論、Vol.82、No.11、pp.13-64(1997)
- (2) 例えば、東京電力(株)ホームページ：「マイクロガスタービン発電機の評価研究の開始について」(1999)
(<http://www.tepco.co.jp/corp-com/press/1999071502-j.html>)
- (3) N.Hingorani, "Overview of Custom Power Applications", *Technical Panel Session Paper of IEEE/PES SM'98*, San Diego, California, July(1998)
(<http://grouper.ieee.org/groups/1409/9807.html>)
- (4) J.P.Kessinger, "Advanced Power Electronics as an Enabler of Unbundled Power Quality Services", *Proc. of the NSF Conference on Unbundled Power Quality Services in the Power Industry*, pp.114-120, Key West, Florida, Jan.(1998)
- (5) 石川：「需要地系統の概念」、平成 11 年度電力中央研究所研究発表会—電力部門—予稿集、pp.103-106(1999)
- (6) 奈良、長谷川：「新しい柔軟な電気エネルギー流通システム」、電学論 B、Vo.117、No.1、pp.47-53
- (7) K.Tsuji, K.Nara, J.Hasegawa & T.Oyama, "Flexible, Reliable and Intelligent Electrical Energy Delivery System: Concepts and Perspective", *Proc. of 61st American Power Conference*, pp.504-511, Chicago, April (1999)
- (8) F.Glover, "Tabu Search", Kluwer Academic Pub.(1997)
- (9) 三島、北、長谷川：「高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム(FRIENDS)における電力改質センターの内部構成の一提案」、電学論 B、Vol.118、No.11、pp.1292-1301 (1998)
- (10) Y.Mishima, R.Hara, H.Kita, J.Hasegawa, K.Nara & T.Oyama, "Analysis of Quality Control Center in Flexible, Reliable and Intelligent Electrical Energy Delivery System (FRIENDS)", *Proc. of 13th Power Systems Computation Conference*, pp.1315-1321, Trondheim, June (1999)
- (11) 高橋：「電力システム工学」(昭 52)コロナ社
- (12) 鈴木、尾出：「電中研技術研究所報告」No.66032(昭 41)
- (13) K.Nara & J.Hasegawa, "Configuration of New Power Delivery System for Reliable Power Supply", *Proc. of IEEE/PES SM'99*, pp.248-253(1999)

奈良 宏一

(正員)1945 年 8 月 20 日生。1970 年 3 月北海道大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年 4 月三菱電機(株)入社。77 年 4 月北見工業大学、87 年 4 月広島大学工学部を経て 92 年 4 月より茨城大学工学部システム工学科教授、現在に至る。工学博士。主として、電力系統、配電系統の計画運用最適化に関する研究に従事。日本 OR 学会、情報処理学会、IEEE 各会員

三島 裕樹

(正員)1971 年 10 月 19 日生。1999 年 3 月北海道大学大学院工学研究科システム情報工学専攻博士後期課程修了。同年 4 月より茨城大学工学部システム工学科助手になり、現在に至る。博士(工学)。主として、電力系統、配電系統の計画・運用に関する研究に従事。日本 OR 学会会員。

田口 晃

(正員)1974 年 4 月 22 日生。1998 年 3 月茨城大学大学院理工学研究科システム工学専攻博士前期課程修了。同年 4 月(株)東電ソフトウェアに入社し、現在に至る。在学中、配電システムの計画・運用の最適化に関する研究に従事。