

# 分散型電源の系統連系技術

## Engineering Solutions for Distributed Resources of Power Systems

渡辺 雅浩 Masahiro Watanabe    中村 知治 Tomoharu Nakamura  
 大野 康則 Yasunori Ôno        島村 秀彦 Hidehiko Shimamura

**電力品質解析支援システム**

- 分散型電源出力 > 負荷
- 電圧の上昇 (上限の逸脱)
- 分散型電源出力の急変
- 電圧の急変

電力品質解析支援システム - 例題 S&D

SVR情報

1次側ノード	タイプ選択
● #005	<input type="radio"/> 一般型 <input type="radio"/> 双方向型
● #006	<input type="radio"/> 逆送固定型

容量: 3000 kVA 閉じる

動作時間特性: 80 秒・%

タップ電圧: 1次 6600 V, 2次 6600 V

逆送時固定タップ: 6600 V

基準電圧整定値: 110.0 V, 108.0 V

不感電整定値 ±: 2.0 %, 1.5 %

LDC 整定値: 入力 R 0 %, 3 %

ノード選択: X 0 %, 6 %

計算結果

2次側通過電流値 (→)	A
目標点電圧計算値	V
警告:	無し

負荷情報

重負荷	軽負荷
負荷容量: 160.00	60.000 kW
力率: 98.000	97.000 %
進み	進み
遅れ	遅れ
需要率: 100.00 %	

配電線情報

線種	長さ
1 架線240	470 m
2 無し	0 m
3 無し	0 m
4 無し	0 m
5 無し	0 m

柱上変圧器タップ: 6600 V

電圧降下	重負荷	軽負荷
・柱上変圧器	2.0	1.0 V
・低圧本線	3.0	1.5 V
・引込み線	3.0	1.5 V

注: 略語説明 SVR (Step Voltage Regulator), G (Generator)

### 電力品質解析支援システムの概要

分散型電源の系統連系時には、系統の電圧上昇や電圧変動などの影響を評価し、必要な対策を検討する必要がある。電力品質解析支援システムを用いることで、分散型電源の系統連系時の電力品質 (電圧変動・フリッカ値など) の影響が把握でき、改善策検討の効率化・高度化が可能となる。

環境負荷の軽減や効率的なエネルギー利用の実現に向けて、自然エネルギーやコージェネレーションシステムへの関心が高まっており、今後、その導入が加速していくものと予想される。一方、このような分散型電源の系統連系には、電力供給や電力品質に影響を与えないための対策を実施することが重要となる。

東京電力株式会社と日立製作所は、配電系統の電力品質を維持し、健全性を確保するための対策を検

討することができるシミュレーションソフトウェア「電力品質解析支援システム」を共同で開発した。

分散型電源を導入する際には、経済性、有効・無効電力の最適な制御などが課題となる。日立製作所は、分散型電源の的確な運用システムを試作し、リアルタイムシミュレータと組み合わせて有効性を検証した結果、予測に基づく発電機の有効・無効電力の最適な制御が行えることを確認した。

## 1 はじめに

近年の地球温暖化防止、エネルギーの高効率利用の観

点から、自然エネルギーやコージェネレーションへの関心が高まっている。さらに、RPS法 (電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法) の施行により、新エネルギー電源の導入加速が予想される。一方、分散型電源の系統連

系は、電力系統の供給信頼度や電力品質に影響を与えるため、事前にその程度を把握し、必要な対策を実施することが重要となる。そのため、東京電力株式会社と日立製作所は、配電系統の電力品質の維持、健全性の確保を図るための対策検討が可能な「電力品質解析支援システム」を開発した。

また、分散型電源を導入する需要家には、経済性、コージェネレーションシステムの熱電併給、有効・無効電力の最適な制御が課題となる。日立製作所は、分散型電源の最適な運用システムを試作し、リアルタイムシミュレータと組み合わせてその有効性を検証した。

ここでは、「電力品質解析支援システム」の概要について、マイクログリッドへの展開も含めて述べる。

## 2 電力品質解析支援システムの概要

「電力品質解析支援システム」の主な機能を表1に示す。各機能について以下に述べる<sup>1)</sup>。

### 2.1 系統状態の模擬

解析の準備として、初期系統の作成が必要となることから、配電変電所、線路、発電機、SVR(Step Voltage Regulator)、調相設備などの各種要素モデルを用意して系統の描画を行い、ダイアログボックスで各種設定データの選択・入力を行う。

表1 電力品質解析支援システムの主な機能

分散型電源の連系時を含む、配電系統の電力品質に関する各種解析機能を用意し、対策検討の効率化を図った。

機能	内容
系統情報管理	●系統図作成・編集・表示、線種データ登録
電圧変動計算	●SVRタップ自動制御、SVC電圧一定、力率一定制御模擬 ●スポット負荷データの自動生成、負荷電圧特性の考慮 ●負荷変動解析
短絡保護協調計算	●分散型電源連系時の短絡容量変化、もらい事故・分流効果を考慮した保護協調解析 ●過電流検出機能付き開閉器の設置個所検討支援
保護リレー整定値計算	●分散型電源の連系に必要な保護リレー整定値の自動算出
瞬時電圧低下・フリッカ計算(特殊負荷計算)	●誘導発電機、特殊負荷(クレーン、レントゲン、圧延機など)について、系統連系時の瞬時電圧低下、出力変動によるフリッカ電圧指標 $\Delta V_{10}$ を算出
不平衡解消計算(三相不平衡解析)	●電圧不平衡を解消するために必要となる負荷移動量を、不平衡潮流計算と最適化計算を用いて算出
風力発電機解析	●システムに装備された発電機パワーカーブ、風況データを利用して、系統連系時の電圧変動、フリッカ電圧指標を計算
系統図・計算結果出力	●系統図自動トリミング印刷、潮流計算結果のグラフ表示・印刷

注：略語説明 SVC(Static Var Compensator)

### 2.2 電圧変動計算

配電系統の電圧が規定範囲内となるかを把握するための解析機能を設けた。主な特徴は次のとおりである。

- (1) SVRタップの自動制御・初期状態計算機能
- (2) SVCによる電圧一定・力率一定制御機能
- (3) 負荷、発電機出力急変時の電圧分布計算機能

電圧分布は、SVR、SVC(Static Var Compensator)の制御ロジック、柱上変圧器タップなどを考慮し、潮流計算を繰り返すことによって自動的に計算される。定常状態の電圧分布計算に加えて、発電機や負荷の急変時に発生する、SVRタップ変化を含めた電圧分布の履歴は、高圧および低圧換算値でグラフ表示される。解析設定ダイアログと各計算結果の画面例を図1に示す。分散型電源連系時や大規模負荷の接続時に電圧が適正範囲を逸脱する場合は、柱上変圧器タップ、線種、SVR設置点の変更やSVCの設置などの対策検討を支援することができる。

### 2.3 短絡保護協調計算

分散電源の系統連系を考慮した短絡保護協調計算機能として、(1) 高圧需要家短絡事故時の短絡電流計算、(2) 同一バンク他系統の配電変電所至近端三相短絡時における連系配電線過電流リレー(OCR)の不要動作解析(もらい事故)、(3) 自家用発電機連系配電線末端二相短絡時における連系配電線のOCRの不動作解析(分流効果)、(4) 各整定値計算を行う保護リレー整定値計算、(5) 発電機の連系状態を考慮した過電流検出機能付き開閉器の設置個所の検討支援などの機能を設けた。

### 2.4 瞬時電圧低下とフリッカ計算

誘導電動機の始動電流などによって発生する電圧低下や、周期的な負荷変動がもとで照明のちらつきなどが引き起こされるフリッカ現象の影響を解析、評価する機能を備えた。瞬時電圧変動を引き起こす負荷として、誘導電動機、クレー

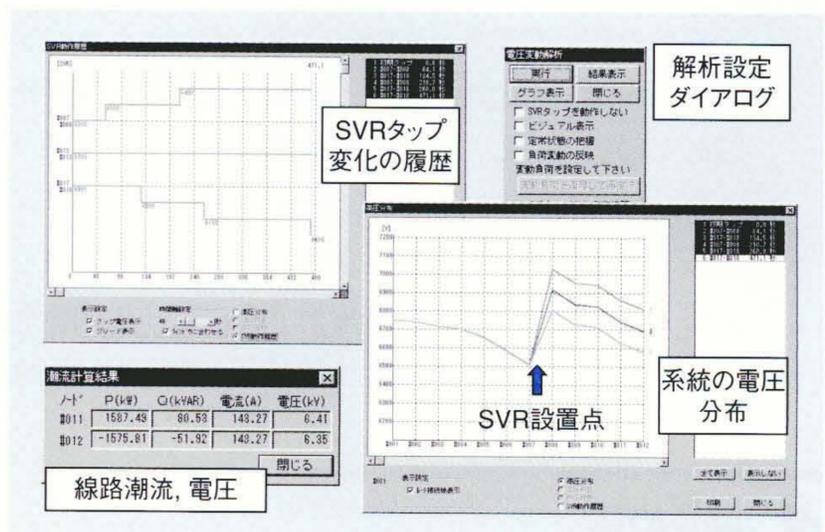


図1 電圧変動解析結果の画面例

SVRタップ履歴、線路潮流と電圧、および系統の電圧分布の計算結果を、数値とグラフで把握することができる。

ン、レントゲン、圧延機モデルを用意し、負荷の始動前後の電圧を計算することによって瞬時電圧低下を把握する。フリッカを引き起こす負荷として、抵抗溶接機、コンプレッサ、アーク炉などの負荷モデルを用意し、フリッカ負荷の出力変動量と、ちらつき視感度係数から電圧フリッカ値( $\Delta V_{10}$ )を算出する。これらの値を評価することにより、対策の可否を検討することができる。

## 2.5 不平衡解消計算

単相負荷、配電線インピーダンスのアンバランスなどで生じる不平衡電圧が拡大すると、三相電動機の加熱などの障害に至るおそれがあり、負荷接続相の切換などで対策をとる必要がある。このシステムでは、不平衡潮流計算で得られる感度係数を用いて最適化問題を解くことにより、不平衡を解消するために必要となる負荷移動量を求める機能を設けた。

## 2.6 風力発電機解析計算

風力発電機を配電系統に連系する場合は、併入時の突入電流による瞬時電圧低下や、風力変動による電圧変動の影響を把握しておく必要がある。このシステムでは以下の解析を可能としている。

- (1) 併入時および風力変動時の瞬時電圧変動計算
- (2) タワー シャドウ エフェクト現象、風力変動に起因する電圧フリッカ指標( $\Delta V_{10}$ )計算
- (3) 風力機出力変動による同一フィーダのSVRタップ動作回数の推定

# 3 分散型電源における最適運用手法の検討<sup>2)</sup>

## 3.1 需要家データに基づく予測と最適運用

需要家のエネルギーシステム(図2参照)では、分散型電源で需要変動に合わせて起動・停止や出力制御を行う場合、制御指令への追従に時間を要するものがある。このような時

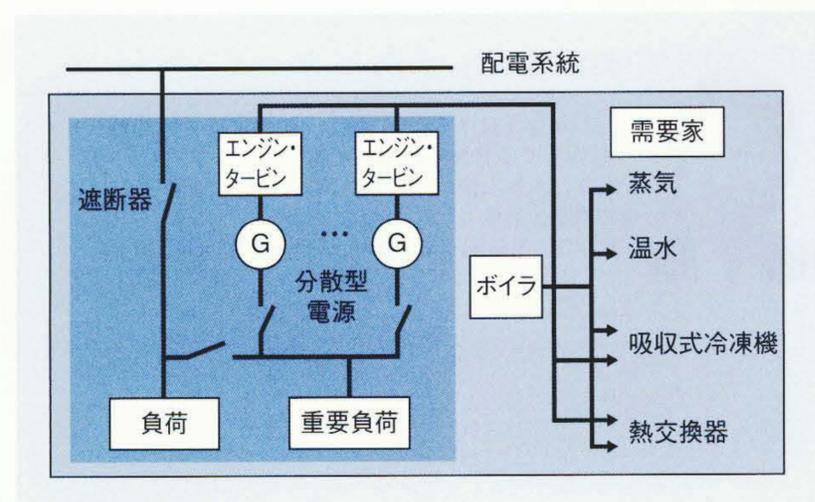


図2 需要家のエネルギーシステムの例

複数の分散型電源によって電力と熱を供給する。おのおのの需要に応じて運転台数、出力を調整することにより、最適な運転が可能となる。

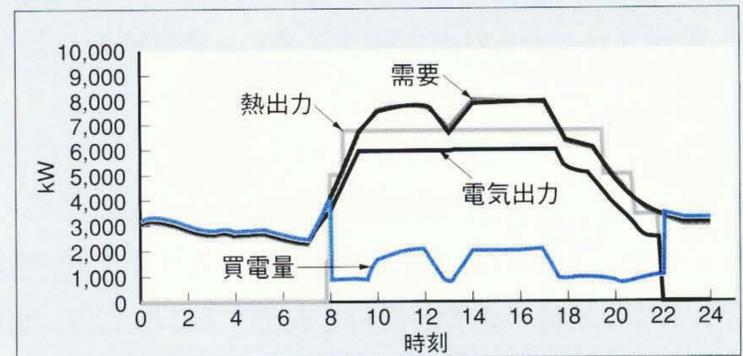


図3 最適運転パターン例

数分ごとに最適となる分散型電源の運転台数・出力を決定し、コスト最小運転を行う。

間を解消すれば、機器をいっそう効率的に運用することができる。予測最適制御では、モニタリングした電力需要をリアルタイムで処理し、分散型電源などの制御に必要な至近(数分後)の需要を予測する。予測にはニューラルネットワーク法を用いた。需要予測の元になるデータには、至近過去と現在の需要、気温、曜日などの情報を用いる。

次に、図2に示す電力利用(ハッチング)部の最適化問題を考える。買電電力量、契約電力・従量電力料金からエネルギーバランス、需給条件、ユーティリティ消費量などを定式化する。このとき、電力供給コストを最小とするための目的関数を導出し、数値計算で解くことにより、発電量を決定する。予測最適制御を行った場合の発電機出力、買電量の時間変化の例を図3に示す。数分ごとに最適となる分散型電源の運転台数・出力を決定し、コストが最小となる運転を行っている。

## 3.2 分散型電源最適運用システム

予測最適制御を適用し、実際に分散型電源を制御する装置を試作した。この実験装置の外観を図4に示す。この装置は、(1) 需要予測と最適化計算機能を持つ監視サーバ、(2) 監視サーバからの信号に基づいて分散型電源を制御する発

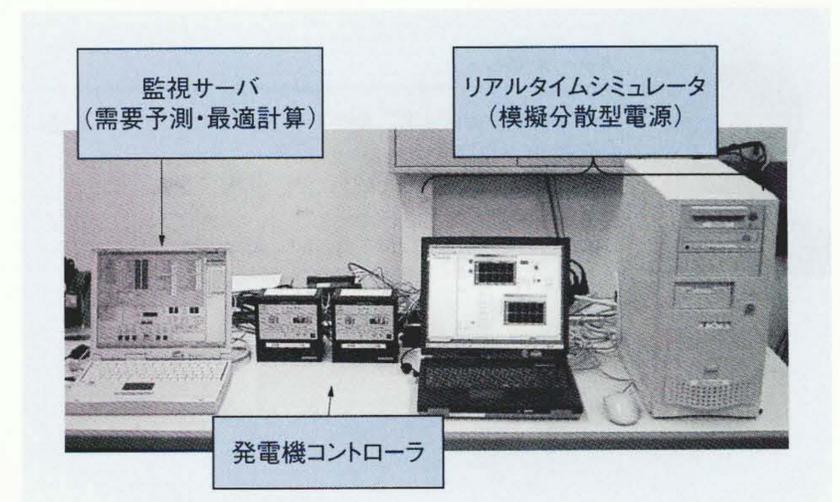


図4 分散型電源最適運用システムの実験装置

発電機の模擬はリアルタイムシミュレータで、需要予測と最適運転制御は監視サーバで、発電機制御はコントローラでそれぞれ行う。

電機コントローラ、および(3)機能検証用に発電機の動作を模擬するリアルタイムシミュレータから構成されている。実験により、監視サーバからの出力指令に従い、発電機の有効・無効電力が制御できることを確認した。

### 3.3 マイクログリッド用の需給調整システム

特定地域の複数の新エネルギー電源や省エネルギーを組み合わせて、地域の需要と供給を調整することにより、商用システムへの負担を抑制しながら、電力や熱を供給するマイクログリッドの研究開発が始まっている。日立製作所は、前述した最適運用システムに遠隔制御技術を組み合わせて、マイクログリッド用の需給調整システムの開発を進めている。マイクログリッドの一例を図5に示す。このシステムにより、(1)新エネルギー電源、電力貯蔵、商用電力を組み合わせて、コストや環境負荷を最小化した最適運用、(2)電力・電力量モニタリングに基づく、追従性のよい電源・電力貯蔵装置制御が可能となる。

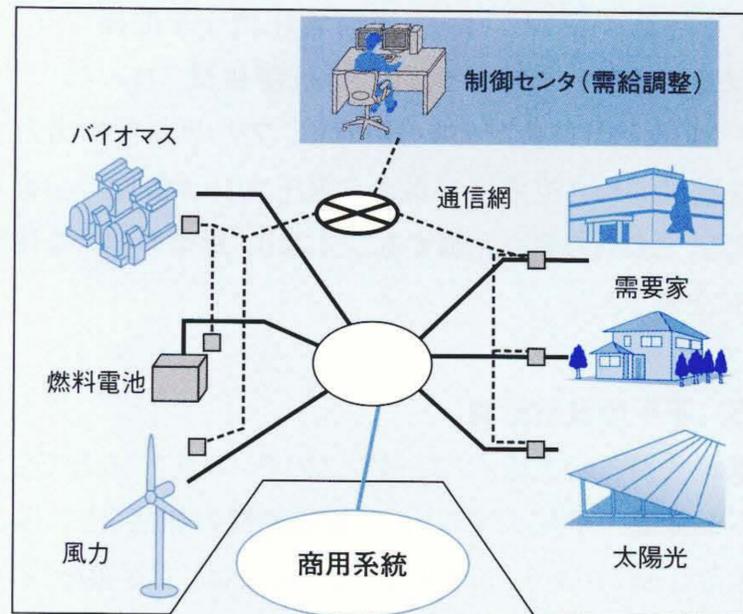


図5 マイクログリッドの構成例

ITの活用により、グリッド内で需給調整を行うことで、商用システムへの負担を軽減し、新エネルギーの導入を可能にする。

の利用拡大を支援するため、今後も、最適な運用・制御システムの開発を推進していく考えである。

終わりに、電力品質解析支援システムの開発では、東京電力株式会社の関係各位から多大なご指導とご協力をいただいた。ここに深く感謝する次第である。

#### 参考文献

- 1) 武藤, 外: 電力品質解析支援システムの開発(1), 平成13年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.274(2001)
- 2) 大野, 外: 需要家データに基づく予測制御を用いた分散型電源最適運用の検討, 平成15年電気学会全国大会, No.6-177(2003)

## 4 おわりに

ここでは、分散型電源の連系や各種負荷の影響で発生する電圧変動やフリッカ等の事前予測、電圧不平衡解消など、配電システムの電力品質維持支援機能を持つ「電力品質解析支援システム」と、需要予測技術と最適化技術から成る分散型電源の最適運用手法、および制御システムについて述べた。

日立製作所は、環境負荷の軽減に寄与する分散型電源

#### 執筆者紹介



##### 渡辺 雅浩

1991年日立製作所入社, 基礎研究所 環境エネルギーラボ所属  
現在, 配電システムの解析制御技術の研究に従事  
電気学会会員, IEEE会員  
E-mail: mwata @ rd. hitachi. co. jp



##### 大野 康則

1979年日立製作所入社, 電力・電機グループ 電力・電機開発研究所 送変電プロジェクト 所属  
現在, 分散型電源の運用制御技術の研究に従事  
電気学会会員  
E-mail: yasunori\_oono @ pis. hitachi. co. jp



##### 中村 知治

1978年日立製作所入社, 電力・電機グループ 電機システム事業部 電機ソリューション本部 所属  
現在, 配電システムに関連するソリューションの企画に従事  
電気学会会員, IEEE会員  
E-mail: tomoharu\_nakamura @ pis. hitachi. co. jp



##### 島村 秀彦

1983年日立製作所入社, 電力・電機グループ 電機システム事業部 受変制御生産本部 所属  
現在, 配電システムの制御システムの開発に従事  
電気学会会員  
E-mail: hidehiko\_shimamura @ pis. hitachi. co. jp