

機関番号：24403

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20560274

研究課題名（和文）

時空間を考慮した自然エネルギー利用のための電力システム構想

研究課題名（英文）

The electric power system concept for the exploitation of natural power sources in consideration of time and space

研究代表者

石亀 篤司 (ISHIGAME ATSUSHI)

大阪府立大学・工学研究科・教授

研究者番号：60212867

研究成果の概要（和文）：本研究は、太陽光、風力などの自然エネルギーを活用した分散電源の大量導入を促進するための新しい電力システム構想の提案とその解析・制御・評価技術についての基礎研究を行うことを目的とし、分散電源連系システムの特性解析の高度化について検討を行い、パワーマネジメント装置を備えた系統に優しい負荷であるセル・グリッドを提案することにより、エネルギーシステム構想具現化のための新たな一つの指針を示した。

研究成果の概要（英文）：This research aims at proposing the new electric power system concept for promoting the extensive introduction of a distributed power supply which utilized natural power sources, such as photovoltaic and wind power generation, and for performing basic research about the proposed system for analysis, control and evaluation technology.

The advancement of the characteristic analysis of interconnected distributed generation is considered, and also the Cell Grid which is coordinated load equipped with power management controller is proposed, and new concepts for the energy system embodiment is shown.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：自然エネルギー型分散電源、電力システム構想、次世代エネルギーシステム、独立成分分析、インテリジェント計測制御技術、メタヒューリスティクス、Particle Swarm Optimization、系統協調型負荷

1. 研究開始当初の背景

限りある地球資源の有効利用、温暖化に代表される環境破壊から地球を守るなどの次世代への人類共通の大きな課題から、従来の電力システムでの同期機発電方式と様相が異なる太陽光発電など、自然エネルギー活用型分散電源の導入拡大が必要となってきた。しかし、分散電源の導入拡大を行うには質の良い電気を維持し需要家に供給するためのクリアすべき多くの技術課題が残されている。これらの問題は、分散電源の多くがパワーエレクトロニクス機器での電力変換で系統に連系されており、従来型の同期機理論に基づく電力システムに依存してのみ運転が出来る電源であること、自然エネルギーを利用するので気象条件に左右され発電出力が安定しないこと、エネルギー密度が低いことなどに起因している。

本研究は、この課題を解決するため、自然エネルギーを活用した分散電源の大量導入を促進する新しい電力システム構想の提案とその解析・制御技術についての基礎研究を行うものである。

具体的には、分散電源の出力変動を抑制するためにエネルギー貯蔵装置を導入することを考える。この貯蔵装置はシステム的に見るとコスト高であるため、電気自動車の導入促進に着目し、自動車用電池を保管充電する燃料補給所とあわせたトータルエネルギー制御システムの構築を目指す。さらに、インテリジェント計測を行うためにシステム分析手法として独立成分分析を電力分野へ導入し、さらには大規模エネルギーシステム最適化のための数理解析手法のみでは困難が予想されるため、実システムへの適応が有望視されるメタヒューリスティック手法の適用検討と新たなアルゴリズムの開発を行う。

これまでに我々の研究グループでは、分散電源が大量導入される超分散環境を想定し、統計力学的手法の適用を考えるシステム的なアプローチを提案してきた。今回は、これまでの構想を実システムへの適用を目指したより現実的な方向へ向け、具体的な解析・制御手法、システム設計・計画を創出することを最大の目標としている。

既存の電力システムを改良しようとする方向での研究、例えば欧米でのマイクログリッド構想、日本でのフレンズ構想などの分散型電力ネットワークに関する研究が行われているが、分散電源の大量導入のためにエネルギー貯蔵装置、なかでも特に自動車用電池を用いたトータルエネルギーシステムを考慮し、既存の交流電力網との融合を試みた新たな電力システムの構築を目指した検討は、申請者らの知る限り見あたらない。

この構想をもとに電力システムの安定性・経済性・信頼性を確実なものとし、かつ地球環境に配慮したシステムを構築することは緊急を要し、次世代のエネルギーシステムのあり方を考える上で非常に重要である。

2. 研究の目的

本研究は、太陽光発電、風力発電、波力発電などの自然エネルギーを活用した分散電源の大量導入を促進するために、需要家に設置されるエネルギー貯蔵装置を有効に活用する新しい電力システム構想の提案とその解析・制御技術についての基礎研究を行うことを研究の目的としている。

そこでまず、分散電源が大量導入された場合のシステムの挙動解析とシステム中の分散電源の状態を把握するための状態推定手法の確立を行う。大規模システムとなるため状態把握には多数の計測器が必要となるが、測定機器総数の大幅な低減と測定精度向上のため独立成分分析を用いた新たな計測システムの設計を行う。

次に、分散電源を電力貯蔵装置と組み合わせる用いるのであるが、それぞれの分散電源と使用状況に応じた最適な機器の選択、また本研究の特色である蓄電池を用いた場合の最適エネルギーシステムの設計を行う。具体的には、各家庭あるいはエネルギーステーションでの蓄電池充電形態の提案や充電容量の検討、家庭用パワーコンディショナを利用した変換器の制御方法、機器劣化・寿命特性やコスト・利便性・安全性を考慮したシステム設計の提案などを考えることである。

これまでの分散電源に関する検討では、既

存の電力システムに与える影響が少ない状況を設定しており、適用される解析手法もミクロ的なダイナミクスに着目した従来型の手法となっている。これに対し本研究では、電力システム内での多数の分散電源とエネルギー貯蔵装置を用いた交流電力網との相互補完型の融合をはかる超分散環境を想定し、さらに自動車用電池などを蓄電池として用いる新たなシステムの提案を行うことを目指しており、以下のような特色・独創的な点を持っている。

- (1) 極めて多くの分散電源を電力システムに連系するという、これまでとは全く異なる超分散環境を想定しシステムのマクロモデル化に適する統計力学的手法の適用を考えていること。
- (2) 分散電源の大量導入のために電力貯蔵装置を備え、電圧・周波数調整、高調波抑制機能を有するエネルギーマネジメントセンターの役目を果たす家庭内でのセルグリッドを提案すること。
- (3) 分散電源単体であるシステム構成要素側からの視点と、上位概念となる大量の分散電源が導入された電力システム側からの視点を融合させた総合的なアプローチを目指していること。

3. 研究の方法

自然エネルギーを活用した分散電源の大量導入を促進するための新しい電力システムを構想するために、以下の項目について検討を行う。

(1) 分散電源・電力貯蔵装置のモデル化

電力システム解析で用いるための太陽光、風力、波力などの分散電源モデルを構成する。さらに蓄電池などのエネルギー貯蔵装置のモデル化も行う。構成された各モデルの有効性を既存のシミュレーションソフトである MATLAB などを用いて検証する。

(2) 系統協調型負荷を作り出す分散電源系統連系システムのモデル化

- ① エネルギーマネジメントセンター設計
- ② 通信情報ネットワーク形態の設計
- ③ 系統協調型負荷を作り出すセルグリッド負荷システムの構築

(3) 分散電源連系システムの独立成分分析を用いた状態推定などのインテリジェント計測技術開発

限られたセンサ情報から分散電源出力等を精度良く把握する手法を、独立成分分析を利用して開発する。

上記のモデル化、状態推定手法を基に、新たな電力システムとしての自律分散的運用・制御の可能性評価、信頼性・経済性等の評価を行う。

(4) セルグリッドを含む分散電源連系システムの最適化

大規模複雑な電力システムを最適化するためのメタヒューリスティック手法の開発を行う。さらに開発手法を応用して、セルグリッドのシステム構成の最適化、蓄電池容量や運用方式の最適化ならびに系統との情報伝達形態の最適化について検討を行う。

(5) 分散電源連系システムにおけるセルグリッドの特性解析と自律分散制御

① セルグリッドへの系統指令による供給予備力運転モード解析

② セルグリッドの自律分散制御による安定度向上運用

(6) セルグリッドを含む新たな電力システムの評価

マクロ的な観点からの電力システムの信頼性・経済性・安定性の評価を行う。具体的にはさまざまな運用条件を設定し、信頼性評価として電力不足確率、機器故障の波及確率、経済性としてシステム全体の燃料費、停電コストなどを評価基準として、既存の大容量集中電源を主体とする交流系統との比較を数値シミュレーションに基づいて行う。

最後に、これまでの研究成果を総合的に踏まえた上で、「次世代トータルエネルギーシステムの将来構想」に関する検討を行う。

4. 研究成果

本研究は、太陽光、風力などの自然エネルギーを活用した分散電源の大量導入を促進するための新しい電力システム構想の提案とその解析・制御・評価技術についての基礎研究を行うことを目的としており、分散電源連系システムの特性解析・制御系設計の高度化と新たな電力システム構想の具現化などについて検討を行った。

具体的には、新たな電力供給形態であるス

スマートグリッドに注目し、その調査・分析に基づく新たな電力システム構想についての検討から、需要家での自律分散制御を行うセルグリッド構想を立ち上げ、階層構造を考慮したインテリジェント計測、システム最適化についての開発を行った。

まず、システム解析高度化のためのインテリジェント計測として、限られたセンサ情報から分散電源出力等を精度良く把握する手法を、独立成分分析 (ICA) を利用して開発した。提案手法では、有効・無効電力潮流を観測し、変換器の力率条件などを用いて時空間解析することで系統に存在する分散電源の出力を推定している。ICA の電力分野への適用は類を見ないものであり、不確実性をもつ分散電源の解析・制御を行うために、その精度向上と適用範囲の拡張を目指してさらに検討を進めていく予定である。

次に、システム最適化手法の高度化として、メタヒューリスティクスに基づく最適化手法に着目し、突然変異や階層構造システムなどの自然界の摂理を組み込んだ新たなアルゴリズムの提案を行い、探索性能の向上などを達成し成果を得ている。

さらに、系統末端での太陽光発電などの変動出力と負荷との協調制御を行うパワーマネジメント装置を備えた「セルグリッド」を提案し、系統に優しい負荷を実現する制御・運用方策について検討を行った。セルグリッドは最小単位の電力システムと位置づけられ、負荷内での発電と消費を制御する装置である。このセルグリッドの概念を具体化し、電力システム制御との協調を実現するための制御・解析手法を開発することを通じてトータルエネルギーシステムの構築を目指した。

その結果、少量の蓄電池を配備したセルグリッドを系統に対して、需要家の要求も考慮した上位系統からの信号に忠実であるような運転モードを実現することにより、系統の供給予備力として組み込むこと、過渡応答に対して、負荷特性をある程度自在に操作できるため、安定度や信頼度の向上に貢献できること、同期機の同期化力に類似した特性を持たせることができるので、系統の安定性の向上に貢献できることなどの可能性を示唆した。このようなセルグリッドの制御・運用方策は類を見ない提案であり、次世代エネルギーシステムの構築に大きく寄与するもの

と考えている。しかし、半導体素子を用いる変換器では最大電流に制限があること、直流側のエネルギーは同期機の慣性エネルギーに比して大きいとはいえないことなどの解決すべき問題も多々あり、詳細シミュレーションによる検討、ハードを構成しての実験などを今後手がけて行きたい。

これらの研究成果は、電気学会論文誌で研究論文を発表し、国際会議、電気関係学会連合大会において講演発表を行っている。

以下に研究成果の学術雑誌論文、講演発表論文を示し、研究成果のまとめに代える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ①長谷川嗣人、石亀篤司、安田恵一郎、Particle 密度に基づく多目的 Particle Swarm Optimization、電気学会 論文誌 C、査読有、130 巻、2010、1207-1212
- ②木下聡子、石亀篤司、安田恵一郎、階層構造を考慮した Particle Swarm Optimization、電気学会 論文誌 C、査読有、130 巻、2010、100-107
- ③中川直哉、石亀篤司、安田恵一郎、速度制御を取り入れた Particle Swarm Optimization、電気学会 論文誌 C、査読有、129 巻、2009、1331-1338

[学会発表] (計5件)

- ①A. Ishigame、Particle Swarm Optimization with Hierarchical Structure、World Automation Congress、2010.9.21、Kobe, Japan
- ②長谷川嗣人、石亀篤司、安田恵一郎、Particle 密度に基づく多目的 Particle Swarm Optimization、進化計算シンポジウム、2009年12月19日、沖縄
- ③木下聡子、石亀篤司、階層構造を考慮した Particle Swarm Optimization、電気関係学会関西支部連合講演会、2009年11月7日、大阪大学 吹田キャンパス
- ④N. Nakagawa, A. Ishigame、Particle Swarm Optimization with Convergence Control、International Symposium on Sustainable Energy、2008.12.10、Meiji University、Japan

- ⑤木下聡子, 石亀篤司、階層構造を考慮した Particle Swarm Optimization、電気関係学会 関西支部連合講演会、2008 年 11 月 8 日、京都工芸繊維大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石亀 篤司 (ISHIGAME ATSUSHI)
大阪府立大学・工学研究科・教授
研究者番号：60212867