

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560254

研究課題名(和文) 新エネルギー発電に適した自律分散制御システムの構築

研究課題名(英文) Research on autonomous decentralized control for generation systems including renewable energy

研究代表者

田中 英一 (TANAKA EIICHI)

北海道大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号：10124538

研究成果の概要(和文)：風力、太陽光など自然エネルギーに基づく発電では、出力の不安定さが問題となり、他の発電設備や蓄電池等による対策が不可欠である。本研究では、これらの発電設備を含めた電力供給システムの最適な制御系の構築を目的として、有効電力の需給バランスを維持するための周波数制御系を見直すことにより分散型電源も制御に協力可能な枠組みについて検討を行い、その有効性を確認した。また、系統電圧を一定に維持するための制御系についても再検討を行い、従来型の設備と最新の設備の協調による制御方式を提案し、その有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：Renewable energy such as wind power and solar power generates electric power intermittently and therefore requires backup generation or batteries. This research aims to develop the optimal control system for electric power supply including renewable energy based generators. For that purpose, system frequency control which maintains the real power balance between supply and demand was reviewed. The authors proposed a framework for dispersed local generators to contribute toward the frequency control and verified it with computer simulations. System voltage control system to maintain the reactive power balance on each node was also reviewed. The cooperative control method of conventional equipment and up-to-date one was proposed and verified.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

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：新エネルギー、発電、自律分散、制御システム、周波数制御、電圧制御

1. 研究開始当初の背景

エネルギー資源の乏しい我が国において、電気エネルギーの安定供給は最重要課題の一つである。さらに、地球温暖化問題への対応も迫られており、再生可能エネルギー(自

然エネルギー)への期待が年々高まってきている。しかし、風力、太陽光など自然エネルギーを利用した発電は、出力が不安定であることから制御が難しく、将来、導入量が増加したときに問題となると予想されることか

ら、二次電池などの電力貯蔵装置と組み合わせられた運用など様々な検討が行われている。

一方、グローバル化にともなう規制緩和の流れの中で、電力の供給形態も、これまでの「安定供給を指向した規制の下での地域独占」から、「効率的な供給をめざす競争原理の導入」へと移行しつつある。このような状況のもとで、電力の供給形態は今後ますます多様化していくことが予想され、電力供給システム全体が従来とは大きく異なったもの、例えば、多数の小規模分散型電源と大規模集中型電源とが相互に補完しあうような形態が現実的と考えられる。

以上のような状況の下で、マイクログリッドと呼ばれる新しいエネルギー供給形態が、国内外において注目を集めている。これは、複数の分散型電源を所有する特定の地域において形成されるエネルギー供給システムで、従来型の電力供給システムとは限られた箇所接続されるが、可能な限り経済的で安定な運用を独自に行い、従来システムから独立した単独システムとしての運転も想定されている。我が国では、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)を中心としてモデル地域における実証試験が実施されており、諸外国においても、米国では再生可能エネルギーの普及や信頼性の向上を目的としたスマートグリッドの研究・開発が進められているほか、欧州でも再生可能エネルギーの普及促進を目的とした研究・開発が進められている。

2. 研究の目的

本研究では、前述のように大きく変化しつつある電力供給形態のもとで、難しくなることが予想される電力品質管理のための制御に着目し、基幹となる大規模集中電源と多数の小規模分散電源が互いに補完しあうような新たな電力品質管理制御システムの確立を目的としている。具体的には以下のとおりである。

(1) 電力品質の指標としての系統周波数と電圧に着目し、まず系統運用者の立場から、大規模電源を所有する発電事業者と分散電源を所有するマイクログリッドとが独自に最適な運用を行っている競争的環境下で、どのように電力品質を維持管理していくかという観点から検討を加え、新たな分散制御システムの枠組みについて検討する。その際、電力需要の変動に加えて、再生可能エネルギー電源の不確実性や電力市場をはじめとした様々な不確定要因が考えられることから、それらの影響を最小限にとどめるような制御特性を有するシステムづくりをめざす。

(2) 多数の分散型電源を所有するマイクログリッドが積極的に系統制御に参加するための条件、すなわち、ローカルな需要を満足

しつつ、系統全体の制御に貢献できるような環境を整えるための方策について検討する。

3. 研究の方法

様々な分散型電源が接続されたマイクログリッドと大規模電源を有する基幹系統で構成される近未来の電力供給システムを想定したうえで、以下の各項目に関して計算機による解析を行い、その有効性を確認する。

(1) 新しい電力供給システムにおける品質管理制御機能のモデル化：従来の電力供給システムでは、電力品質の維持管理は、一般電力事業者が系統全体を監視しながら所有する発電設備を用いて実施しているが、新しい電力供給システムでは、一般電気事業者所有の大型電源だけではなく、マイクログリッド内に多数存在する分散型電源も協調して行えるような制御の仕組みが望ましいと考えられる。そのためには、分散型電源を系統制御に協力させるための基本的な枠組みについて詳細に検討しておく必要がある。本研究では、まず、それぞれの発電設備、送電設備、需要設備等を適切に表現したモデルを作成する。その際、すべての電力品質を同時に考慮したモデルを作成することが望ましいが、モデルが複雑になりすぎて現実的ではないと考えられることから、対象とする電力品質別のモデルを作成する。具体的には、収集したデータや関連資料の分析結果に基づいて、使用目的に合った解析モデルを作成し、シミュレーションによりその妥当性を検証する。

(2) 大規模電源と分散型電源の協調による系統周波数制御方式の開発：(1)で作成されたモデルに基づいて、まず電力品質の一つである系統周波数を基準値に維持するための制御系について検討する。系統周波数制御では、系統全体の有効電力に関する需給バランスを維持することが要求されるが、はじめに理想的な状態として系統運用者の立場から、大型電源と小型分散電源とが協調して系統周波数を維持する集中制御方式に関して検討する。この集中制御方式では、制御に必要な情報はすべて利用可能と考えて、システム全体で最適な制御系を構築する。(3)で検討する分散制御方式の比較対象となる。

(3) 大規模電源と分散型電源による分散制御方式の開発：(2)の集中制御方式は、分散型電源の数に比例して多くの情報のやり取りが必要であることから、そのままでは実現が難しいと考えられる。この問題に対処するために、各参加者が入手可能な情報に基づいて独自の判断で制御を行う分散制御方式の実現をめざす。具体的には、同時同量制約下におけるPPSの発電機運用方法の一つとして

周波数制御に貢献するための手法について検討する。まず、新規参入発電事業者を対象として系統周波数制御への貢献の可能性について検討を行った後に、対象をマイクログリッドに拡張することで、より現実的な制御方式の開発をめざす。

(4) 基幹系統と分散型電源の協調による電圧制御方式の開発：系統周波数と同様に重要な電力品質の指標である系統電圧について、マイクログリッドや新規参入事業者を制御に協力させるための枠組みについて検討する。電圧制御は局所性が強いことから、制御効果の範囲は限定されるが、一般に電圧維持能力が弱いと考えられる需要家近傍での貢献が可能であることから、多数の分散型電源が導入された状態では電源群全体で見た効果は大きいと考えられる。本研究では、配電系統において、分散型電源を従来型のLDC方式等と協調させるための手法について検討する。

(5) 分散制御方式の安定性に関する検討：分散制御方式では、ローカル系の安定性が保たれたとしても、全系の安定性が保証されない可能性が存在する。さらに、需要の変動に加えて、自然エネルギー発電に特有の様々な不確定要因が考えられることから、安定性の維持が特に難しくなるものと思われる。そこで系統の安定度向上対策として、本研究グループで検討を行ってきているデジタル加速度制御の適用について検討する。具体的には、様々な不確定要因に対してロバストな制御系を構築するためにデジタル加速度制御と他の手法を組み合わせたあらたな制御方式の可能性について検討する。

(6) 分散型電源の電力品質制御への誘導策に関する検討：マイクログリッドや新規参入発電事業者が積極的に系統制御に参加するための仕組みについて検討する。具体的には、報奨金制度等の導入により、ローカルの需要を満足しつつ、系統全体の制御に協力できるような環境を整えるための方策について検討する。

4. 研究成果

(1) 新エネルギー発電設備のうち出力変動の大きい風力発電および太陽光発電のモデル化を行った。風力に関しては、過去の風速データより求めた1分間隔の風力値に、Kaimalモデルで作成した1秒ごとの変動値を加えることで、実際の風力変動の模擬が可能であることを確認した。太陽光についても、移動平均法を用いて気象庁1分値データからの復元方法について検討した。さらに、高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム

(FRIENDS)に関しても、連系運用と自立運用のシームレスな切り替えを可能とするための検討に必要なモデル化を行い、妥当性を検証した。

(2) (1)で作成した解析モデルを用いて、新エネルギー発電設備が系統に多数導入された場合を想定し、有効電力需給バランスの指標である系統周波数に与える影響を調べ、さらに系統周波数を公称値に維持するために必要な系統側の調整容量と分散電源側の調整容量との関係を調べた。また、FRIENDSモデルにおいて、連系運用—自立運用間のシームレスな切り替え方式として、インバータによる位相制御の有効性を確認した。

(3) (2)と同様に、新エネルギー発電設備が系統電圧に与える影響を調べた。さらに、分散型電源と配電系統電圧制御装置との協調による配電系統電圧適正化制御に関する検討を行い、ローカル情報に基づく新たな制御手法の有効性を確認した。また、FRIENDSにおいて、連系運用と自立運用との間のシームレスな切り替え方式として、インバータによる電圧制御の有効性を確認した。

(4) 従来型電力用コンデンサとパワエレ技術を利用した静止型無効電力補償装置(STATCOM)の協調制御による電圧変動対策手法についても検討を行った。風力発電出力の予測値を用いることにより、STATCOMの容量を抑えつつ、コンデンサバンクの制御動作回数を抑制できる見通しが得られた。

(5) 新エネルギー発電設備として風力発電を想定し、同期発電機のデジタル加速度制御とPI制御を組み合わせたカスケード制御方式に関する検討を行い、過渡安定度向上効果を確認した。

(6) 分散型電源を所有する新規参入発電事業者が系統制御に積極的に参加し、協力するための一方策として、報奨金制度に基づく自律分散型負荷周波数制御に関して検討した。具体的には、系統運用者が分散型電源の所有者に報奨金を提示し、分散電源所有者は報奨金単価と周波数偏差に関する情報から各自の貢献電力量を求め、応札する手法を開発した。モデルシステムを用いたシミュレーションでは、提案手法によって周波数偏差が抑制されており、有効性が確認された。

(7) 太陽光発電が大量連系された場合を想定し、系統側の火力発電機起動停止計画に与える影響を制御およびコストの両面から評価した。具体的には、ガバナフリーおよび負荷周波数制御の調整容量をパラメータとし

て、太陽光発電の大量連系にともなう周波数制御に必要な調整力が発電機起動停止計画に与える影響を評価した。その結果、予想される太陽光発電出力および負荷の変動幅（標準偏差）によって起動される発電機の台数が異なり、経済性に影響を及ぼすことが確かめられた。

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 8 件）

- ①横井健司、原 亮一、北 裕幸、一瀬雅哉、二見基生、出力可制御分散型電源と蓄電池の協調制御による風力発電の出力変動緩和、電気学会論文誌 B（電力・エネルギー部門誌）、査読有、Vol. 130, No. 12, 2010, pp. 1049-1057
- ②川筋貴博、原 亮一、北 裕幸、太陽光発電の大量連系を考慮した発電機起動停止計画とコスト評価、電気学会研究会資料（電力技術・電力系統技術合同研究会）、査読無、PE-10-103/PSE-10-102、2010、pp. 99-104
- ③大坪史典、原 亮一、北 裕幸、ノード電圧情報に基づく LRT による配電系統電圧適正化手法の性能評価、電気学会研究会資料（電力技術・電力系統技術合同研究会）、査読無、PE-09-88/PSE-09-96、2009、pp. 31-36
- ④福田和樹、原 亮一、北 裕幸、舟橋俊久、FRIENDS のシームレスな自立/連系運用を可能にする複数インバータ群の制御手法に関する研究、電気学会研究会資料（電力技術・電力系統技術合同研究会）査読無、PE-09-116/PSE-09-124、2009、pp. 65-70
- ⑤横井健司、原 亮一、北 裕幸、一瀬雅哉、二見基生、応答遅れを有する出力可制御分散型電源による風力発電の出力変動緩和制御と経済性評価、電気学会研究会資料（電力技術・電力系統技術合同研究会）、査読無、PE-09-169/PSE-09-177、2009、pp. 55-60
- ⑥Ryoichi Hara, Hiroyuki Kita, Customer automation function of FRINEDS, Proc. of International Conference on Electrical Engineering (ICEE) 2009, 査読有, I9FP0606, 2009, CD-ROM
- ⑦Kenji Yokoi, Ryoichi Hara, Hiroyuki Kita, Masaya Ichinose, Motoo Futami, Suppression of Fluctuation in Wind Power Generation Output by Controlling Distributed Generator, Proc. of International Conference on Electrical Engineering (ICEE) 2009, 査読有, I9FP0099, 2009, CD-ROM

- ⑧福田和樹、原 亮一、北 裕幸、舟橋俊久、FRIENDS のシームレスな自立/連系運用を可能にするインバータ制御手法の検討、電気学会研究会資料（電力技術/電力系統技術/半導体電力変換合同研究会）、査読無、PE-09-05/PSE-09-13/SPC-09-47、2009、pp. 25-30

〔学会発表〕（計 11 件）

- ①金田慎一、原 亮一、田中英一、北 裕幸、報奨金制度に基づく自律分散型負荷周波数制御、平成 23 年電気学会全国大会、6-161、2011-3-16、大阪大学（豊中）
- ②似鳥 弘、原 亮一、北 裕幸、田中英一、遠山 篤、電圧変動抑制を目的とした STATCOM とコンデンサの風力発電予測に基づく協調制御に関する基礎検討、平成 22 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会、58、2010-10-24、北海学園大学（札幌）
- ③藤岡浩史、田中英一、原 亮一、北 裕幸、小規模電力系統における周波数に着目した太陽光発電導入量に関する検討、平成 22 年電気学会全国大会、6-088、2010-3-17、明治大学（東京都）
- ④安永章人、原 亮一、田中英一、北 裕幸、太陽光発電と風力発電のハイブリッド化による計画運転用蓄電池容量削減効果の評価、平成 22 年電気学会全国大会、6-092、2010-3-17、明治大学（東京都）
- ⑤川筋貴博、原 亮一、北 裕幸、田中英一、遠山 篤、太陽光発電の大量連系時の発電機起動停止計画とコスト評価、平成 22 年電気学会全国大会、6-095、2010-3-17、明治大学（東京都）
- ⑥福田和樹、原 亮一、北 裕幸、舟橋俊久、FRIENDS のシームレスな自立/連系運転を可能にする自立分散制御に関する研究—無効電力融通制御に関する検討—、平成 22 年電気学会全国大会、6-144、2010-3-17、明治大学（東京都）
- ⑦大坪史典、原 亮一、北 裕幸、配電系統におけるノード電圧情報を用いた LRT と蓄電池による協調的な電圧適正化、平成 22 年電気学会全国大会、6-147、2010-3-17、明治大学（東京都）
- ⑧横井健司、原 亮一、北 裕幸、一瀬雅哉、二見基生、出力可制御分散型電源と蓄電池による風力発電の出力変動緩和制御—蓄電池 kWh 容量の算定—、平成 22 年電気学会全国大会、6-156、2010-3-17、明治大学（東京都）
- ⑨川筋貴博、田中英一、原 亮一、北 裕幸、蓄電池を併設した風力発電設備の負荷周波数制御への影響を考慮したコスト評価、平成 21 年電気学会全国大会、6-118、2009-3-17、北海道大学（札幌）

- ⑩大坪史典、原 亮一、北 裕幸、ノード情報に基づくLRT制御を用いた配電系統電圧適正化に関する検討－他ノード電圧を用いた逸脱判定の検証－、平成21年電気学会全国大会、6-265、2009-3-17、北海道大学（札幌）
- ⑪金子道昭、遠山 篤、田中英一、原 亮一、北 裕幸、他2名、デジタル加速度制御の概念を用いた発電機制御－PI制御器を用いたカスケード制御－、平成20年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会、59、2008-10-25、東海大学札幌キャンパス（札幌）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 英一 (TANAKA EIICHI)
北海道大学・大学院情報科学研究科・助教
研究者番号：10124538

(2) 研究分担者

北 裕幸 (KITA HIROYUKI)
北海道大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号：30214779

原 亮一 (HARA RYOICHI)
北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授
研究者番号：80361872

遠山 篤 (TOYAMA ATSUSHI)
室蘭工業大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：60142783

(3) 連携研究者

なし