

平成21年 5月28日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2007～2008

課題番号：19860035

研究課題名（和文）むだ時間を考慮した将来型配電システムの自律分散型制御方式の研究

研究課題名（英文） Autonomous Decentralized Control Method of Future Distribution Network considering Time-Delay

研究代表者

辻 隆男 (TSUJI TAKAO)

横浜国立大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：00432873

研究成果の概要：

化石燃料に頼らない持続可能なエネルギー社会を目指して、自然エネルギーを活用した分散型電源の導入が進んでいる。本研究では大量の分散型電源が導入された配電システムにおいて生じる「電圧管理問題」に焦点をあて、その解決のために「系統連系インバータ」の無効電力制御機能を活用することを提案している。具体的な運用制御方式として、自律分散型制御方式・集中制御方式をそれぞれ開発し、さらに需要家が制御に協力するための経済制度体系の提案も行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,250,000	0	1,250,000
2008年度	1,030,000	309,000	1,339,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,280,000	309,000	2,589,000

研究分野：電力系統工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・システム工学

キーワード：配電システム，分散型電源，自然エネルギー，系統連系インバータ，電圧分布制御，自律分散型制御，最適化計算，アンシラリーサービス

1. 研究開始当初の背景

(1) 化石燃料に頼らない持続可能なエネルギー社会の実現を目指すため、自然エネルギーを活用した分散型電源の配電システムへの導入が進んでいる。大量の分散型電源が連系された配電システムでは、逆潮流（需要家から電力系統側への電力の流れ）の発生に伴い電圧分布が複雑化し、適正化制御が困難な課題となる。この問題の解決を目指して、これまでに「系統連系インバータ」（分散型電源が配電システムに連系される際に用いられる）の無効電

力制御機能の活用を提案してきた。無効電力は配電システムの電圧と密接な関係にあるため、複数台の分散型電源において適切な無効電力制御を実施することにより、電圧分布を適正化できる可能性がある。しかし分散型電源が大量に導入されている場合、制御対象となる設備が非常に大量に存在することになり、効率的な運用制御の実施は容易ではない。したがって新たな運用制御手法の開発が必要である。

(2) 分散型電源は一般に需要家保有の設備であることが多いため、その無効電力制御を活用することは、需要家に制御協力を依頼することを意味する。しかし分散型電源の有効電力出力がインバータ容量と等しい場合、無効電力制御の実現のためには有効電力出力を低下させて、空き容量を設ける必要があるため、経済的に不利益が生じる。したがって需要家が配電系統の電圧維持制御に協力するためには、何らかの経済的インセンティブが付与されることが重要となる。

2. 研究の目的

(1) 運用制御手法の検討

大量の分散型電源の効率的な運用制御手法として、「自律分散型制御方式」と「集中型電圧分布制御方式」の検討を行う。

①自律分散型制御方式

各分散型電源に人間のような知性を有する「エージェントプログラム」を常駐させ、これにより分散型電源が自律的に意思決定できる仕組みを構築する(図1)。エージェントはローカルな情報のみから自らの制御行動を判断し、高速な電圧適正化を目的とする。分散的に配置された複数の分散型電源が独立して制御を実施する場合、情報通信時間等に起因した「むだ時間」の発生により、エージェント間の協調動作がうまく機能しなくなる問題が懸念される。そこで自律分散型制御検討の目的として、「むだ時間の影響を評価する」ならびに「むだ時間の影響を抑制して適切な協調動作を行う手法を検討する」の2点を目指すものとする。

各分散型電源にエージェントプログラムを導入

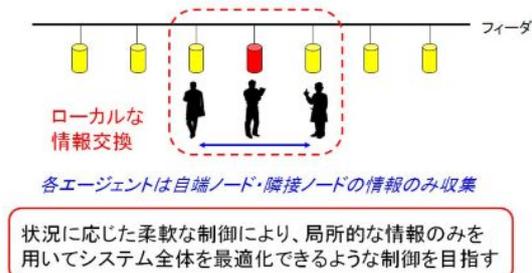


図1 エージェントの概念

②集中型制御方式

分散型電源群の最も効率的な運用制御方法は、システム全体の情報を一箇所に収集して、効率性を表す指標を最適化する計算によって導出することができる。図2に、情報を収集して、最適化計算を実施し、得られた最適な制御行動を各分散型電源に伝送する概念を示す。この場合、情報収集ならびに最適化計算に時間を要するため、リアルタイムの

制御は困難であり、分散型電源群にある制御目標値を与えた後の過渡状態を適切に制御することは困難となる。そこで分散型電源の動特性を考慮した場合の、適切な制御指令値の与え方を検討する。

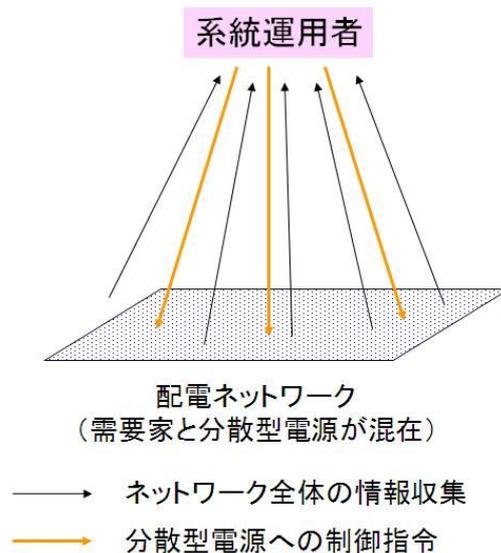


図2 集中制御のイメージ

(2) 経済制度の検討

分散型電源を所有する需要家に、電圧制御に貢献したことに対する適切なインセンティブを与える経済制度の開発を目指す。

3. 研究の方法

(1) 運用制御手法の検討

① 自律分散型制御方式

まずはじめに、自律分散型の基本制御方式として、「電圧参照方式」、「無効電力削減方式」、「無効電力協調方式」という3つのPI制御を組み合わせる方式を開発した。各制御方式は非常に単純な原理となっており、それぞれ「逸脱した電圧を戻すように無効電力を制御する」、「近隣の電圧が適正值であれば、余剰の無効電力を減少させる」、「近隣に分散型電源の無効電力制御容量が足りなければ、応援の無効電力制御を実施する」という論理を有する。この3方式を適切に組み合わせることで、非常に柔軟な自律分散型電圧制御が可能となる。

次にむだ時間の影響をモデルシステムにより評価し、図3のような結果を得た。この結果はむだ時間の大きさと「不感帯幅」の関係を示したものであり、ある程度大きい不感帯を設けることで、むだ時間の発生により生じる振動を抑制できることを示している。このように不感帯の設定は非常に効果的であるが、それだけでは不安定性を改善できないケースも散見された。そこで、前述の「電圧参照

方式」を図4の非線形制御の形へと変更し、前述の3つの方式を常時稼働させる方式を採用した。これにより、制御モードの切り替えという不連続性が生じなくなるため安定性が強化され、むだ時間の影響を大きく改善できる結果が得られた。

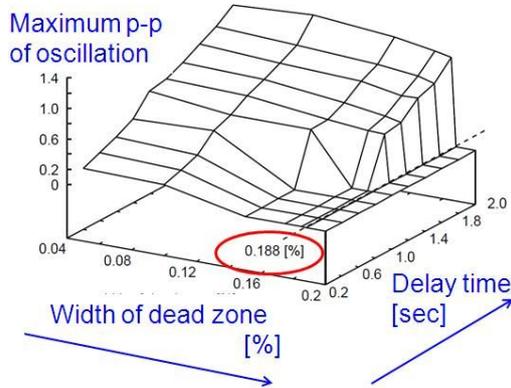


図3 むだ時間の影響

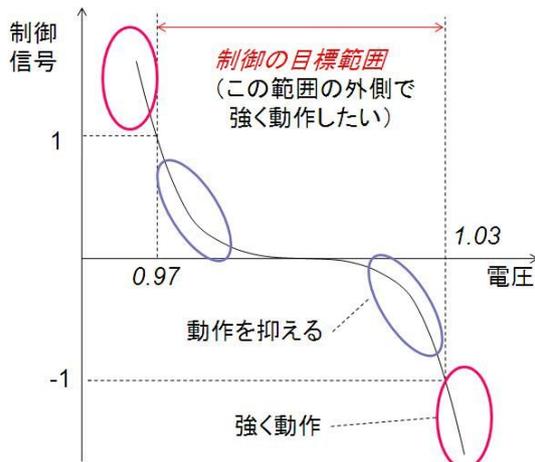


図4 非線形制御（電圧参照方式）

② 集中型制御方式

分散型電源の種別を、動特性の観点から「回転機 DG」と「インバータ DG」の2つに分けて考えることとした。回転機 DG の制御応答は遅く、インバータ DG は高速であると想定する。このとき、2つの種別の電源が混在しているシステムで、全ての電源に対して同時に制御指令値の変更を与えると、インバータ DG の制御のみが高速に働くため分散型電源間の協調動作が損なわれ、良好な電圧制御が実施できない問題が生じる。そこで本研究では、インバータ DG には「最適解の電圧値」を制御目標値として与え電圧一定運転を実施し、回転機 DG には「最適解の無効電力制御量」を目標値とする方式を開発した。これにより動特性が、図5から図6のように改善する効果が得られた。

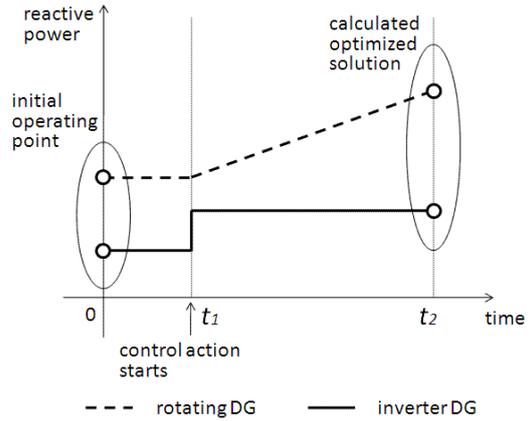


図5 制御応答の違いを考慮しない場合

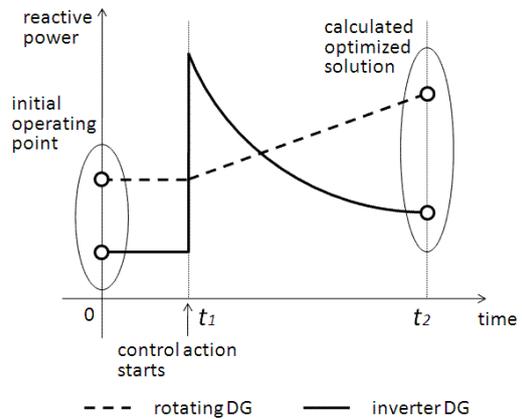


図6 制御応答の違いを考慮

(2) 経済制度の検討

各分散型電源が完全に個別の無効電力制御を行う場合、制御効率は良くない。しかし系統運用者の指令の下、集中型制御方式の実行に協力すれば、全体としてはより効率的な電圧制御が実現できる。したがって経済制度構築の考え方として、各需要家からは、効率的でない（自端の電圧管理のみを目指す）方式で動作したことを想定し、このとき生じた電圧逸脱分に応じて、「系統連系料金」を課すことを考える。そしてこれにより得られた原資を、集中型制御方式に協力した需要家に、その働きに応じて変換するものとする。集中型制御方式の方がシステム全体としての効率性が良いため、各需要家から見ると、同じ料金を支払っても、より多くの有効電力を連系できる結果となり、これにより適切なインセンティブの付与が実現できるものである。以上の詳細を図7から図9に示す。

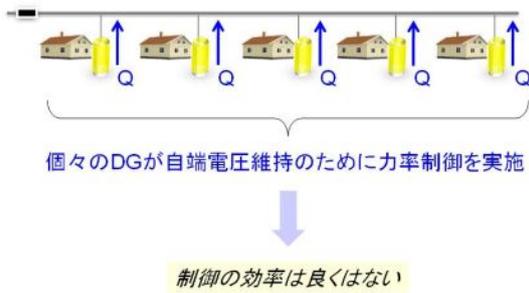


図7 非効率的な個別制御

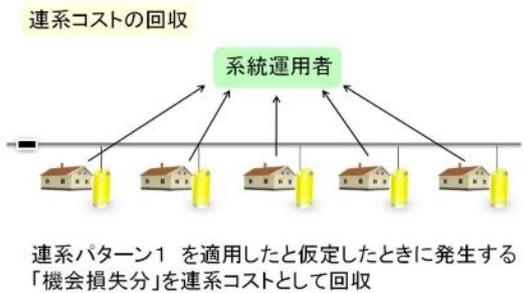


図8 系統連系料金の回収

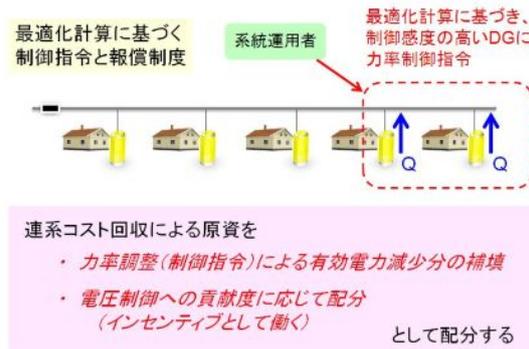


図9 報奨金の与え方

4. 研究成果

2年間の研究により、将来の分散型電源の大量導入時に問題となりうる「電圧分布管理問題」に対する対策について、自律分散運用制御・集中型運用制御、さらには経済面の制度体系という面から発展に寄与することができた。エネルギー・環境問題は非常に切迫した問題であり、今後の自然エネルギー導入の促進は世界的に重要な課題である。本研究の成果により、将来の新しいエネルギーネットワークの構築が促進されることが期待できる。

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 辻隆男, 佐藤典幸, 橋口卓平, 合田忠弘, 丹下誠視, 野村俊夫: “将来型配電系統の電圧分布制御方式における経済制度の検討”, 電学論 B, Vol.129, No.6, (2009) 査読有 (掲載決定)
- ② 辻隆男, 戸村康佑, 大山力, 橋口卓平, 合田忠弘, 丹下誠視, 野村俊夫: “分散型電源の動特性を考慮した将来型配電系統の集中型電圧分布制御方式の検討”, 電学論 B, Vol.129, No.4, pp.507-516 (2009) 査読有
- ③ 辻隆男, 合田忠弘, 池田一成, 丹下誠視: “経済性を考慮した将来型配電系統の自律分散型電圧分布制御方式”, 電学論 B, Vol.128, No.1, pp.174-185 (2008) 査読有

[学会発表] (計 10件)

- ① Nguyen Tran, 辻隆男, 大山力, 橋口卓平, 合田忠弘, 進士蒼夫, 辻田伸介: “将来型配電系統の自律分散型電圧分布制御方式における SVR 制御方式の検討”, 平成21年電気学会全国大会, 6-017 (2009) 北海道大学 (2009年3月19日発表)
- ② 坂本憲一, 辻隆男, 大山力, 橋口卓平, 合田忠弘, 進士蒼夫, 辻田伸介: “将来型配電系統の電圧分布制御方式による配電損失低減効果の検討”, 平成21年電気学会全国大会, 6-020 (2009) 北海道大学 (2009年3月19日発表)
- ③ 辻隆男, 戸村康佑, 大山力, 橋口卓平, 合田忠弘, 丹下誠視, 野村俊夫: “分散型電源の動特性を考慮した将来型配電系統の集中型電圧分布制御方式の検討”, 電気学会電力技術電力系統技術合同研究会, PSE-08-133 (2008) 熊本大学 (2008年8月6日発表)
- ④ 辻隆男, 大山力, 橋口卓平, 合田忠弘, 丹下誠視, 野村俊夫: “安定性を考慮した将来型配電系統の自律分散型電圧分布制御方式の検討”, 電気学会電力技術電力系統技術合同研究会, PSE-08-136 (2008) 熊本大学 (2008年8月6日発表)
- ⑤ 辻隆男, 佐藤典幸, 橋口卓平, 合田忠弘, 丹下誠視, 野村俊夫: “将来型配電系統の電圧分布制御方式における経済制度の検討”, 電気学会電力技術電力系統技術合同研究会, PSE-08-138 (2008) 熊本大学 (2008年8月6日発表)
- ⑥ T. Tsuji, T. Goda, K. Ikeda and S. Tange: “Autonomous Decentralized Voltage Profile Control of Distribution Network considering Time-Delay”, Proceedings of the International

Conference on Intelligent System Application to Power System, WA3-2 (2007) 国立中山大学 (台湾) (2007年11月7日発表)

- ⑦ 辻隆男, 大山力, 合田忠弘, 池田一成, 丹下誠視: 「通信時間を考慮した自律分散型電圧分布制御方式」, 電気学会電力技術電力系統技術合同研究会, PSE-07-137 (2007) 愛知工業大学 (2007年8月1日発表)
- ⑧ 辻隆男, 合田忠弘, 池田一成, 丹下誠視: 「効率性を考慮した将来型配電システムの自律分散型電圧分布制御方式」, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 30 (CD-ROM) (2007) 八戸工業大学 (2007年9月14日発表)
- ⑨ 辻隆男, 藤浦広旭, 合田忠弘: 「将来型配電システムの集中型電圧分布制御方式の研究」, 電気学会電力エネルギー・部門大会, 343 (CD-ROM) (2007) 八戸工業大学 (2007年9月14日発表)
- ⑩ 佐藤典幸, 辻隆男, 合田忠弘: 「分散型電源を活用した電圧分布制御における電圧アンシラリー・サービスの検討」, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 268 (CD-ROM) (2007) 八戸工業大学 (2007年9月13日発表)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

辻 隆男 (TSUJI TAKAO)
横浜国立大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 00432873

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし