

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月12日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560268

研究課題名（和文） 分散型電源連系パワーコンディショナを利用した配電ネットワークにおける電力品質向上

研究課題名（英文） Power Quality Improvement of Distribution Network by Utilizing Power Conditioner Systems of Distributed Generator

研究代表者

川崎 章司（KAWASAKI SHOJI）

福井大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：90262609

研究成果の概要（和文）：本研究は、電力自由化や環境問題への意識の高まりを背景に、配電ネットワークへの導入が促進されている太陽光発電や風力発電などの自然エネルギーを利用した分散型電源の良い面にだけ目を向けるのではなく、分散型電源の多数台連系が配電ネットワークに及ぼす悪影響について、特に電力品質に及ぼす影響についてシミュレーションによる解析を行い、また、電力品質の向上のための一対策として、分散型電源連系パワーコンディショナを有効活用した配電ネットワーク全体で電力品質向上効果のある協調制御システムを開発および設計した。

研究成果の概要（英文）：In this study, the worker analyzed about the influence which interconnection with the distribution network of many distributed generators has on the distribution network (especially, influence which has on the power quality). And the worker developed and designed the cooperative control system which has the improvement effect of power quality in the whole distribution network by using the power conditioner systems of distributed generator effectively.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電気機器工学

キーワード：分散型電源，パワーコンディショナ，電力品質，配電ネットワーク，高調波，総合電圧ひずみ率，電圧不平衡，協調制御

1. 研究開始当初の背景

近年、世界の人口増や中国などの新興国の経済発展により世界のエネルギー消費が大幅に増大している中、2005年に温暖化ガスの削減に関する京都議定書が発効され、2008年の洞爺湖サミットでは、「2050年までに温暖化ガスの排出を半減する」との長期目標がグ

ローバルに共有され、国内でも各種施策が動き出している。この中で、太陽光発電は重要な技術として注目され、2020年頃までに現状の約20倍の太陽光発電を導入する目標が掲げられ、2009年からは住宅向けの導入補助が開始されている。太陽光発電の普及に関して、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開

発電機（NEDO 技術開発機構）が、太陽光発電の持続的な発展と普及拡大に向けた今後の技術開発の方向性を示すため、2004 年に「2030 年に向けた太陽光発電ロードマップ（PV2030）」を策定した。更に、2050 年までに太陽光発電が CO₂ 発生量半減への一翼を担う主要技術になり、我が国ばかりでなくグローバルな社会に貢献することを目的として、太陽電池市場を取り巻く国際情勢の急激な変化に対応すべく、前述のロードマップの見直しを行い、2009 年 6 月に改めて「太陽光発電ロードマップ（PV2030+）」として公開した。

太陽光発電や風力発電などの分散型電源の連系台数の増加に伴い、石油や石炭などのエネルギー代替効果や環境負荷軽減効果などの効果が期待される一方で、分散型電源の多数台連系による配電ネットワークの供給信頼度の低下や電力品質の悪化が懸念される。また、近年のパワーエレクトロニクス技術の発展により家電・OA 機器から産業用機器に至るまで多くの機器がインバータ化され、これに伴い高調波電流による電力系統の電圧歪みが増大しており、今後も高調波の増加が予想される。さらに、負荷の多様化や単相負荷のアンバランス接続により電圧不平衡が発生するなど、配電ネットワークにおける電力品質の低下が問題となっている。電力品質とりわけ高調波に関して、太陽光発電、風力発電、燃料電池などの分散型電源や、出力安定化を目的とした電力貯蔵装置などを配電系統に連系する際には、直流出力を交流に変換するための連系インバータ（パワーコンディショナ、PCS）が必要不可欠であり、半導体スイッチの高速な開閉動作により直流を正弦波状（交流）に制御するため、高調波の発生を回避できない。

このような電力品質を悪化させる原因となりうる機器を配電ネットワークに連系するためには、電力品質に関する管理値が系統連系規定で定められているので、機器個別では大きな問題とはならないが、これらの機器が配電ネットワークに多数台連系されるに従って、その影響が増大して配電ネットワークにおける管理目標値を超えてしまうことが懸念される。しかし、このような場合、電力品質を悪化させている原因源を特定することは困難であり、また、大きく悪化してしまった電力品質を分散型電源の連系者や需要家が個々で対処することは不可能であるので、配電ネットワーク全体での電力品質の向上に向けた何らかの対策を取る必要があると考えられる。

電力品質を向上させることを目的とした、静止形無効電力補償装置やアクティブフィルタなど種々の多機能なパワーエレクトロニクス装置が実用化されているが、装置の設

置付近での局所的な対策しか取られておらず、今後の分散型電源の導入拡大も視野に入れた面的に広がる配電ネットワーク全体で電力品質向上効果のある対策については検討されていない。

2. 研究の目的

本研究では、まず、既に福井大学に設置している国内外で唯一のフリーデザイン模擬配電系統実験設備を用いて、分散型電源の多数台連系が配電ネットワークにおける電力品質に及ぼす影響について実験および解析を行い、その問題点を把握する。次に、電力品質向上対策として、多数台の分散型電源連系パワーコンディショナを有効活用して協調制御することにより、電圧不平衡の改善や高調波の抑制など配電ネットワーク全体における電力品質を向上させるためのパワーコンディショナの制御系を開発および設計する。また、構築した制御系をパワーコンディショナに適用し、多くの研究分野において世界的に利用され信頼性の高い汎用の数値解析ツールである MATLAB および模擬配電系統実験設備を用いて、シミュレーションと実験の両面から解析を行う。

3. 研究の方法

まず、既に福井大学に設置しているフリーデザイン型の模擬配電系統実験設備を用いて、分散型電源の系統への多数台連系が配電系統における電力品質に及ぼす影響について解析を行い、多数台の分散型電源連系の問題点を把握する。

次に、面的に広がる配電ネットワーク全体での電力品質の向上のため、分散型電源を系統に連系する際に必要となる PCS を有効活用して、電圧不平衡率の改善や高調波の抑制などを目的とした複数の PCS による協調制御系を開発設計する。

また、構築した制御系を開発用の PCS に実装して、模擬配電系統実験設備を用いて有用性を検証する。

4. 研究成果

(1) PCS を活用した電力品質向上手法

提案する手法は、配電系統に連系されている複数台の PCS の余剰容量を有効活用し、また、系統に設置されている複数のセンサ付開閉器のセンサ情報を利用することにより、複数台の PCS で協調して系統の高調波電圧の抑制および電圧不平衡の改善を行い、系統全体で電力品質を向上させるというものである。本研究では、配電系統における複数地点のセンサ付開閉器から得られた電圧情報から、系統の電圧不平衡率および総合電圧ひずみ率の最大値を算出し、リアルタイムにフィードバック制御を行い、これらの値を抑制するよ

うに PCS の力率制御とフィルタリング動作により最適動作させる。なお、PCS による電力品質向上補償に際して、PV の発電出力を優先させ、電力品質向上のための補償容量には制約を与える。図 1 に、提案する手法の概念図を示す。

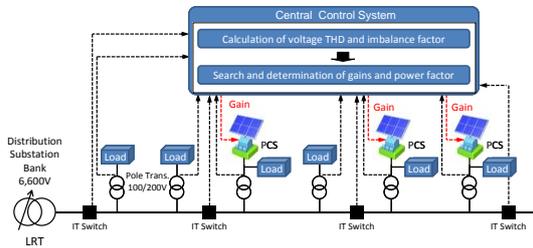


図 1 提案する電力品質向上手法の概念図

(2) PCS の力率制御による系統電圧維持および電圧不平衡向上

図 2 に解析に用いたシミュレーションモデルを示す。

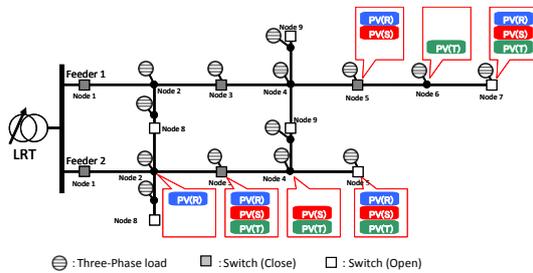


図 2 PCS が連系された系統解析モデル

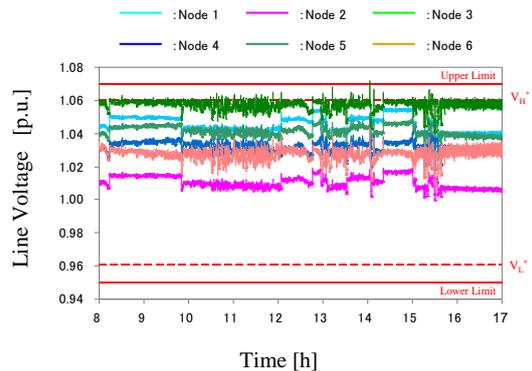
PV が連系された配電系統において負荷時タップ切替変圧器 (LRT) のタップ制御と PCS 群の力率制御による電圧制御の結果を図 3(a)および(b)に示す。図 3(a)より、フィーダ 1 の系統の線電圧を適正電圧範囲(1.07~0.93 [p. u.])の範囲内に制御できていることが分かる。また、図 3(b)からフィーダ 2 においても同様の結果が得られていることがわかる。

また、図 4 に PV システム群の力率制御による電圧不平衡率改善の結果を示す。図 4 より、PCS の力率制御によりフィーダ 1 およびフィーダ 2 とともに系統の電圧不平衡が改善されていることが分かる。

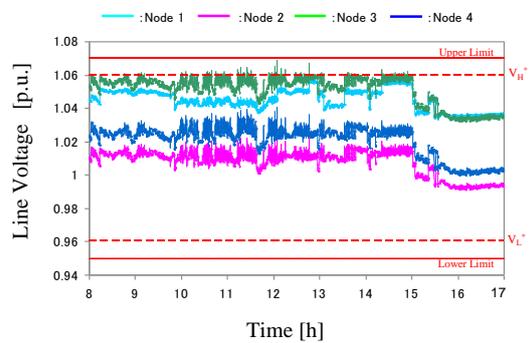
(3) PCS のフィルタリング動作による電圧ひずみ率抑制

PCS のフィルタリング動作による系統全体での電圧ひずみ率抑制効果と、フィルタリング動作が他フィーダに及ぼす影響について検証を行う。図 5(a)にフィーダ 1 の総合電圧ひずみ率の抑制効果を示す。図 5(a)より、提案手法において電圧ひずみ率抑制効果が得られていることが分かる。図 5(b)にフィーダ 2 の各時間断面における総合電圧ひずみ率の最大値を示す。図 5(b)より、フィーダ 1 にお

けるフィルタリング動作により他のフィーダへ与える悪影響を抑制できていることが分かる。

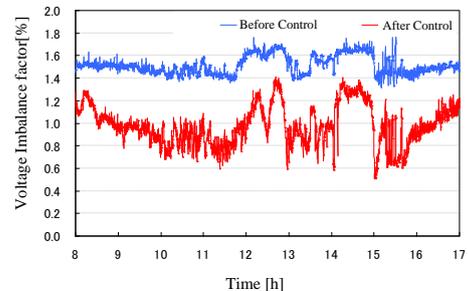


(a) フィーダ 1

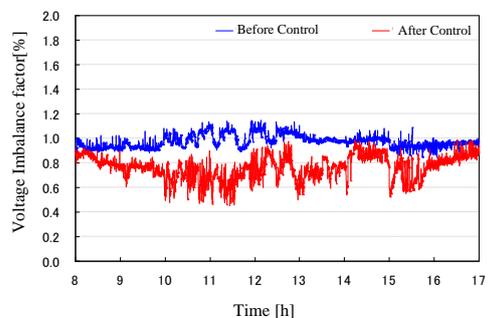


(b) フィーダ 2

図 3 適正電圧維持効果

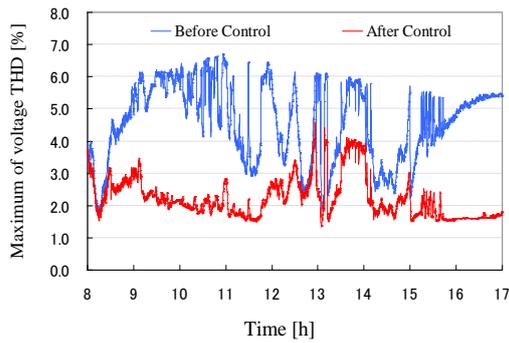


(a) フィーダ 1

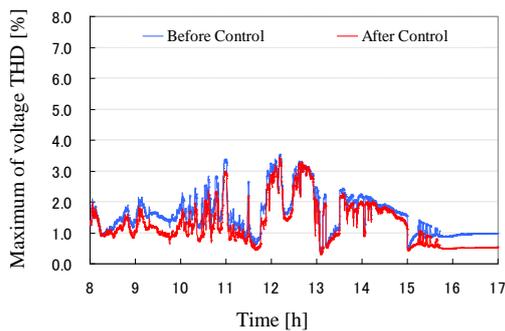


(b) フィーダ 2

図 4 電圧不平衡率向上効果



(a) フィーダ 1



(b) フィーダ 2

図 5 電圧ひずみ率抑制効果

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 4 件)

- (1) S.Kawasaki, Restraint Method of Voltage Total Harmonic Distortion in Distribution Network by Power Conditioner Systems Using Measured Data from IT Switches, Journal of Electrical Engineering in Japan, Vol.182, No. 3, 2013, 19-29
- (2) S.Kawasaki, Y.Hayashi, J.Matsuki, Analysis on Harmonics of Distribution Network with Distributed Generators, Journal of Energy and Power Engineering, Vol. 6, No. 2, 2012, 220-229
- (3) M. Tanaka, S. Kawasaki, H. Taoka, J. Matsuki, Y. Hayashi, Improvement of Power Quality in Distribution System by Cooperative Control of Power Conditioner Systems, Journal of International Council on Electrical Engineering, Vol. 2, No. 1, 2012, 72-78
- (4) 川崎章司, 下田一貴, 田中基寛, 田岡久雄, 松木純也, 林 泰弘, センサ開閉器

情報を利用した複数台PCSによる配電ネットワークにおける総合電圧ひずみ率抑制手法, 電気学会論文誌B電力・エネルギー部門誌, 131 巻 12 号, 2011, 936-944

[学会発表] (計 16 件)

- (1) 寺田直弘, 川崎章司, 田岡久雄, 配電システムの電力品質改善を目的としたPCS開発に向けた検討, 平成 25 年電気学会全国大会, 6-139, 2013 年 3 月 20 日, 名古屋
- (2) 川崎章司, 住宅用太陽光発電システム群による配電システムの電力品質向上, 平成 24 年度電気関係学会北陸支部連合大会 (招待講演), A-48, 2012 年 9 月 1 日, 富山
- (3) 寺田直弘, 川崎章司, 田岡久雄, 高調波抑制機能を有するPCSの開発に関する研究, 平成 24 年度電気関係学会北陸支部連合大会, A-52, 2012 年 9 月 1 日, 富山
- (4) R. Shimei, N. Terada, S.Kawasaki, H. Taoka, J. Matsuki, Experimental Verification of Power Quality Improvement Method by PCS, ICEE2012 International Conference on Electrical Engineering, P-EM-16, 2012/7/9, Kanazawa, Japan
- (5) S. Kawasaki, M. Tanaka, H. Taoka, J. Matsuki, Y. Hayashi, Cooperative Power Quality Control by Photovoltaic Systems, 2011 IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Asia, No.167, 2011/11/16, Perth, Australia
- (6) 田中基寛, 川崎章司, 田岡久雄, 松木純也, 仕明 遼, 林 泰弘, 家庭用 PV システムによる電力システムの電力品質改善手法, 平成 23 年電気学会電力技術/電力系統技術合同研究会, PE-11-149/PSE-11-166, 2011 年 9 月 30 日, 大阪
- (7) 田中基寛, 長尾泰気, 川崎章司, 田岡久雄, 松木純也, PV システム群の力率制御による電圧不平衡改善, 平成 23 年度電気関係学会北陸支部連合大会, 2011 年 9 月 17 日, 福井
- (8) 田中基寛, 寺田直弘, 川崎章司, 田岡久雄, 松木純也, PV システム群協調制御による電力品質改善, 平成 23 年度電気関係学会北陸支部連合大会, 2011 年 9 月 17 日, 福井
- (9) 田中基寛, 川崎章司, 田岡久雄, 松木純也, 電力品質改善を目的とした PV システム群の協調制御手法, 平成 23 年電気学会電力・エネルギー部門大会, P9, 2011 年 8 月 30 日, 福井
- (10) 仕明 遼, 川崎章司, 田岡久雄, 松木純也, 林 泰弘, 配電システムにおける発生

源別高調波分布に関する研究，平成 23 年電気学会電力・エネルギー部門大会，P26，2011 年 8 月 30 日，福井

- (11) M. Tanaka, S. Kawasaki, H. Taoka, J. Matsuki, Y. Hayashi, Improvement of Power Quality in Distribution System by Cooperative Control of Power Conditioner Systems, 17th International Conference on Electrical Engineering, ICEE-A146, 2011/7/12, Hong Kong
- (12) 田中基寛, 川崎章司, 田岡久雄, 松木純也, 林 泰弘, 系統の高調波抑制を目的とした PV システムの協調制御手法, 平成 23 年電気学会電力技術/電力系統技術/半導体電力変換合同研究会, PE-11-035・PSE-11-052・SPC-11-089, 2011 年 3 月 8 日, 沖縄県中頭郡
- (13) 川崎章司, 松木純也, 田中基寛, 林 泰弘, PCS による系統の電圧不平衡改善および高調波抑制, 平成 22 年電気学会電力技術/電力系統技術合同研究会, PE-10-160・PSE-10-159, 2010 年 9 月 29 日, 東広島
- (14) 下田一貴, 川崎章司, 松木純也, 林 泰弘, センサ開閉器情報を利用した複数台 PCS による配電ネットワークにおける総合電圧ひずみ率抑制方法, 平成 22 年電気学会電力技術/電力系統技術合同研究会, PE-10-148・PSE-10-147, 2010 年 9 月 29 日, 東広島
- (15) 黒川尚大, 田中基寛, 川崎章司, 田岡久雄, 松木純也, 単相 PCS による電圧不平衡改善に関する基礎研究, 平成 22 年度電気関係学会北陸支部連合大会, A-43, 2010 年 9 月 11 日, 福井
- (16) 下田一貴, 田中基寛, 川崎章司, 松木純也, 林 泰弘, 開閉器情報を利用した PCS による複数フィードでの総合電圧ひずみ率抑制手法に関する研究, 平成 22 年電気学会電力・エネルギー部門大会, P10, 2010 年 9 月 1 日, 福岡

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川崎 章司 (KAWASAKI SHOJI)
福井大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：90262609