

分散電源導入系統における電力品質に関する一検討

A Study of Electric Power Quality in Power System with Distributed Generation

岩瀬功尚[†], 雪田和人^{††}, 後藤泰之^{††}, 植田明照^{††}, 一柳勝宏^{††}
武田隆^{†††}, 廣瀬圭一^{†††}, 村井秀幸^{†††}, 小西博雄^{†††}
奥井芳明^{††††}, 木村成秋^{††††}

Yoshinao Iwase, Kazuto Yukita, Yasuyuki Goto, Akiteru Ueda, Katsuhiko Ichiyanagi
Takashi Takeda, Keiichi Hirose, Hideyuki Murai, Hiroo Konishi
Yoshiaki Okui, Nariaki Kimura

Abstract This paper describes the electric power quality on the electric power system with distributed generation. In this paper, the distributed generation is a photovoltaic generation. The electric power quality of the building in the university is investigated. Then, the majority of the load is a lighting load. The electric power quality compared the frequency change, the voltage change, and the harmonic component. It examined it when there was a reverse-current or not.

1. はじめに

近年、二酸化炭素などの温室効果ガスによる地球温暖化や異常気象など地球環境問題が深刻になってきている。そのため、環境負荷の軽減、化石燃料に対する代替エネルギーの導入が積極的に進められている。電気エネルギーの分野でも自然エネルギーや再生可能エネルギーを利用した太陽光発電、風力発電、バイオマス発電、燃料電池などの分散電源に対して研究や技術開発が盛んになされている。また、複数の分散電源と貯蔵装置などを導入した小規模の電力システムであるマイクログリッドは、将来的な系統モデルとして期待されており、実証試験が行われている^{(1)~(4)}。

このように自然エネルギーを用いた発電装置には、大きな期待がなされているが、エネルギー源をその日の天候や自然に依存するために、安定しての発電することが困難である。このため分散電源を導入したために、導入前より電力品質（周波数、電圧変動、高調波など）を劣化させる恐れがある。

この課題と解決策として、分散電源によるマイクログ

リッド内の電力変動抑制⁽⁵⁾、独立電力システムに太陽光発電や風力発電を用いた際の問題点の考察⁽⁶⁾、超高品質電力供給システム「DC マイクログリッド」⁽⁷⁾、系統連系型太陽光発電システム運転特性の高度解析と蓄電池導入効果の検証⁽⁸⁾、マイクログリッド自立運転時の電力品質維持手法の提案と開発⁽⁹⁾などの研究がなされている。

また、分散電源の導入に際しては、直流電源を交流電源に変換するインバータを使用している場合が多い。インバータによる高調波発生が報告されている。このため高調波が発生する可能性がある。高調波による障害は、機器の過熱、焼損、誤作動などが報告され、対策が必要である。

本論文では、分散電源として太陽光発電などが導入された系統において、周波数変動、電圧変動、高調波について計測をした。この計測は、当大学キャンパス内における建物の実際の負荷を用いた。さらに、この負荷が発電量よりも小さい場合は、余剰電力を上位の系統送電するものとしている。このため、この2ケースについて比較検討をしている。

2. モデル系統

本論文で用いたモデル系統を図1と図2に示す。図1は太陽光パネルの外形であり、京セラ製のパネル1枚

† 愛知工業大学工学部電気工学科（豊田市）

†† 愛知工業大学大学院工学研究科電気電子工学専攻（豊田市）

††† NTTファシリティーズ（東京都豊島区）

†††† 山洋電気（東京都豊島区）

167W を 60 枚使用し, 最大出力 10kW である。このパネルから, 30m を直流にて送電し, パワーコンディショナーを介し系統連系を実施している。

図 2 は, 系統図であり, 当大学 12 号館の一部の負荷へ電力を供給している。12 号館は主に教室と事務ならびに学生の工作実習のために工作機が導入されている教室の構成となっている。実験のためのシステムとしては, 供給する負荷種類やフロア数などを選択できる。ここで, 12 号館に導入されている主な負荷を表 1 に示す。表 1 に示すように主に照明, エアコン, 事務機, 工作機械などから構成されている。本論文では, 基礎的な特徴を検討するために, 照明負荷を対象として検討をした。

3. 電力品質の計測

3・1 計測方法

前章で述べた分散電源導入系統において周波数変動, 電圧変動, 負荷変動, 太陽電池出力, 高調波を計測し検討を行った。検討に用いたデータの計測日は, 2007 年 5 月 16 日, 2007 年 6 月 20 日の共に晴天の平日である。このとき 5 月 16 日は, 12 号館の電力負荷を太陽光発電の発電量よりも軽負荷として, 上位の系統へ余剰電力を送電するものとした。6 月 20 日は, 発電量よりも消費する負荷を大きくし不足電力分を商用系統から給電するものとしている。



図 1. 太陽光パネルの外形

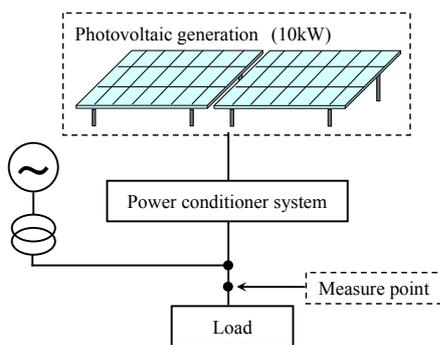


図 2. 系統構成図

表 1. 12 号館の負荷

	Power Consumption [kW]
Fluor Lamps	18.29
Metal Halide Lamps	2.66
Air Conditioners	40.50
Display (TV)	2.51
Projector	1.54
Personal Computer	5.44
LAN Hub	0.42
Elevator	3.50
Machine Tolls	1.00
Electric Pot	0.70
Freezer	0.10
Total	76.65

3・2 周波数変動

計測結果として図 3 と図 4 に周波数変動特性を示す。表 2 に図 3 と図 4 の数値を各々示す。図 3 の上位系統へ給電しているとき(5 月 16 日)は, 60.128Hz から 59.934Hz 間で変動しており, 平均周波数 59.981Hz であった。図 4 の不足電力を商用から給電している時(6 月 20 日)は, 60.128Hz から 59.915Hz 間で変動しており, 平均周波数 59.981Hz であった。また, 60Hz からどれくらい誤差が生じたかみると, 5 月 16 日は 0.0307%, 6 月 20 日は 0.0423%である。これは, 負荷が減少し太陽光発電量が大きく変動したためであると予想される。

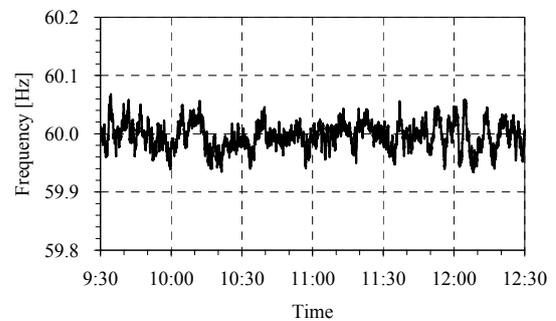


図 3. 周波数変動 (5 月 16 日)

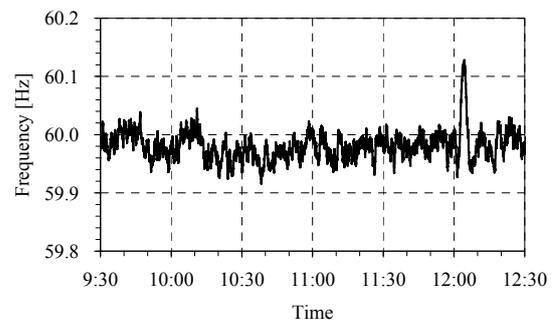


図 4. 周波数変動 (6 月 20 日)

分散電源導入系統における電力品質に関する一検討

表 2. 周波数変動の比較

	2007/5/16	2007/6/20
Maximum Frequency	60.068	60.128Hz
Minimum Frequency	59.934Hz	59.915Hz
Average Frequency	59.996Hz	59.981Hz
Difference from Average Frequency	0.0304%	0.0307%
Difference from 60Hz	0.0307%	0.0423%

3・3 電圧変動

計測結果として、図 5、図 6 に電圧変動を示す。表 3 に図 5、図 6 の数値を各々示す。図 5 の 5 月 16 日は、211.79V から 206.54V 間で変動しており、平均電圧 208.92V であった。平均電圧との誤差をみると 0.65% であった。また、202V からどれくらい誤差が生じたかみると、0.77% であった。図 6 の 6 月 20 日は、207.63V から 197.98V 間で変動しており、平均電圧 201.34V であった。平均電圧との誤差をみると 0.44% だった。また、202V からどれくらい誤差が生じたかみると 3.42% だった。6 月 20 日の方は負荷変動があり、そのため電圧変動がおおきくなったと予想される。

また、図 7、図 8 に負荷変動、図 9、図 10 に太陽光発電出力を示す。負荷変動については、5 月 16 日の上位系統へ給電しているときと 6 月 20 日の不足電力を商用から給電している時の状態を作るために負荷の大きさを変えている。

太陽光発電出力については、両日ともやや雲が多く、ときより曇った為、出力が大きく変動していることがわかる。

表 3. 電圧変動の比較

	2007/5/16	2007/6/20
Maximum Voltage	211.79V	207.63V
Minimum Voltage	206.54V	197.98V
Average Voltage	208.92V	201.34V
Difference from Average Voltage	0.44%	0.65%
Difference from 202V	3.42%	0.77%

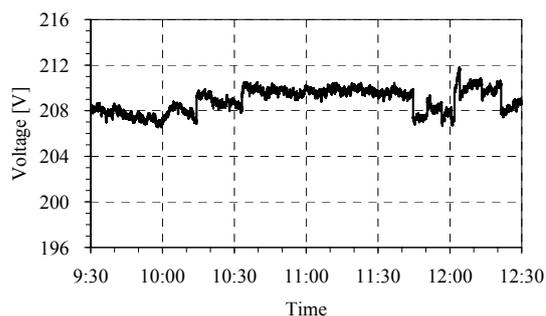


図 5. 電圧変動 (5 月 16 日)

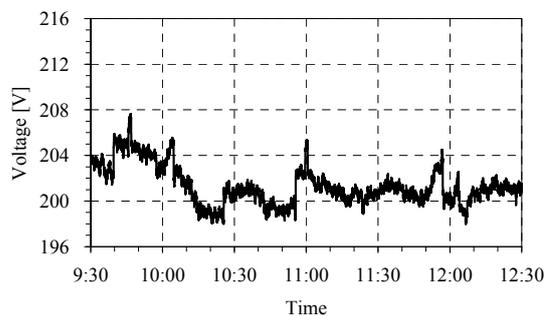


図 6. 電圧変動 (6 月 20 日)

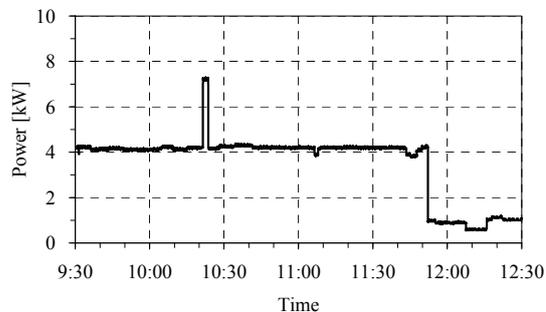


図 7. 負荷変動 (5 月 16 日)

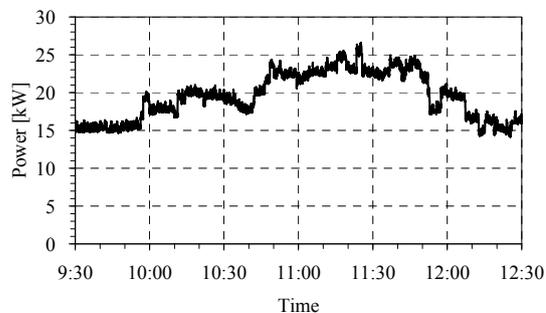


図 8. 負荷変動 (6 月 20 日)

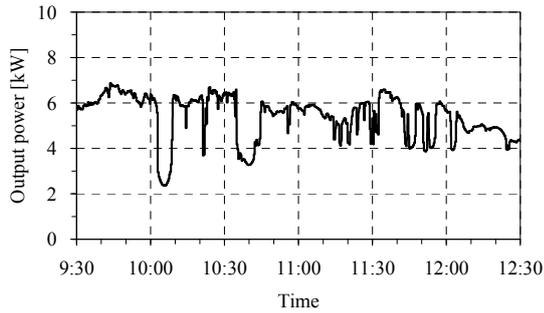


図 9. 太陽光発電出力特性 (5月16日)

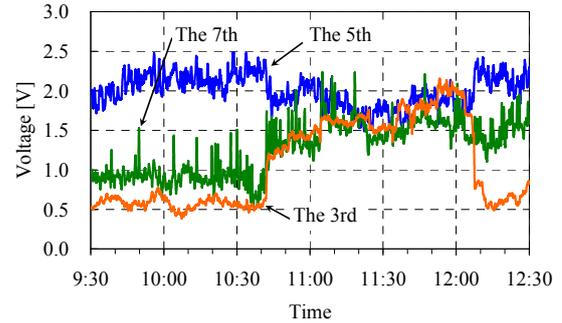


図 11. 高調波電圧 (5月16日)

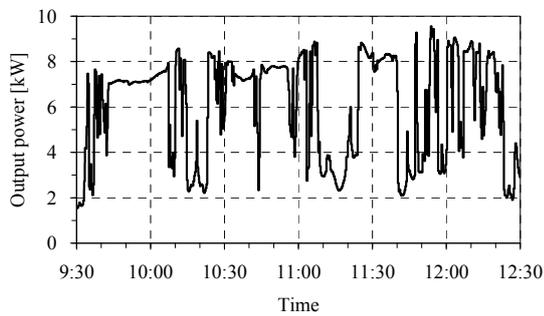


図 10. 太陽光発電出力特性 (6月20日)

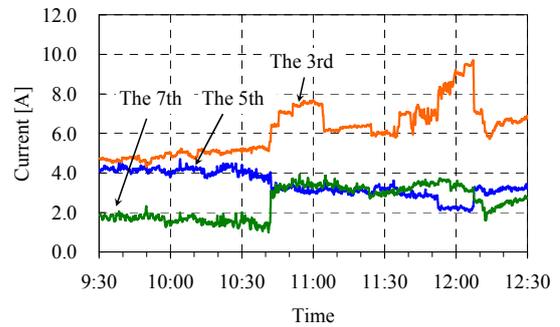


図 12. 高調波電流 (5月16日)

3・4 高調波

図 2 に示す三相トランスの一次側で、高調波の測定を実施した。このときの負荷は主に照明負荷が大部分をしめている。5月16日の高調波電圧を図11, 高調波電流を図12に各々示す。それぞれの図には、第3次高調波, 第5次高調波, 第7次高調波成分を示す。

n 次高調波電圧を V_n , 基本波電圧を V_1 , n 次高調波電流を I_n , 基本波電流を I_1 とし, 次式で高調波含有率, および, 総合歪み率を求めた。

$$\text{高調波電圧含有率} = \frac{V_n}{V_1} \times 100 [\%] \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{高調波電流含有率} = \frac{I_n}{I_1} \times 100 [\%] \dots\dots\dots (2)$$

総合高調波電圧歪み率

$$\text{THD}_v = \sqrt{\sum_{n=2} \left(\frac{V_n}{V_1}\right)^2} \times 100 [\%] \dots\dots\dots (3)$$

総合高調波電流歪み率

$$\text{THD}_i = \sqrt{\sum_{n=2} \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2} \times 100 [\%] \dots\dots\dots (4)$$

高調波電圧含有率, 高調波電流含有率を図 13, 図 14 に示す。総合高調波電圧歪み率 THD_v を図 15 に, 総合高調波電流歪み率 THD_i を図 16 に示す。総合高調波電圧歪み率 THD_v は平均で U 相 1.74%, V 相 1.55%, W 相 1.75% だった。また, 総合高調波電流歪み率 THD_i は平均で U

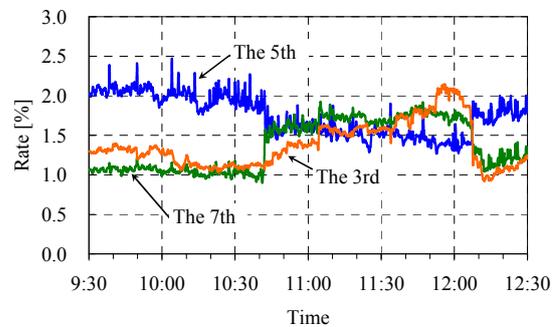


図 13. 高調波電圧含有率 (5月16日)

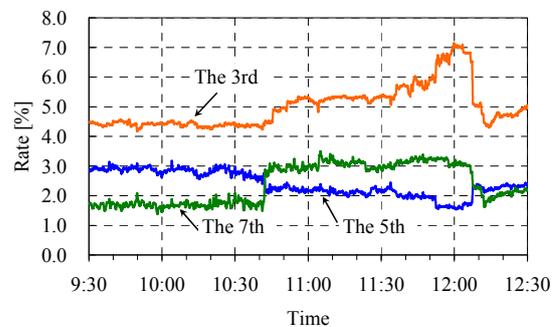


図 14. 高調波電流含有率 (5月16日)

分散電源導入系統における電力品質に関する一検討

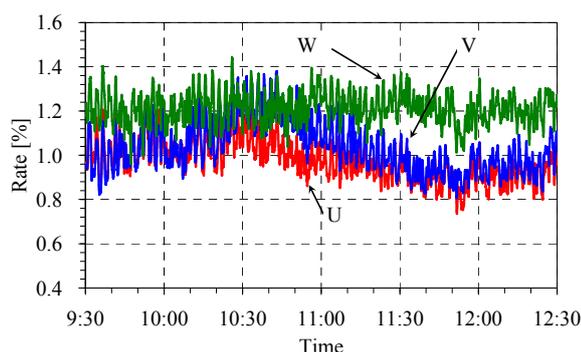


図 15. 高調波電圧歪み率

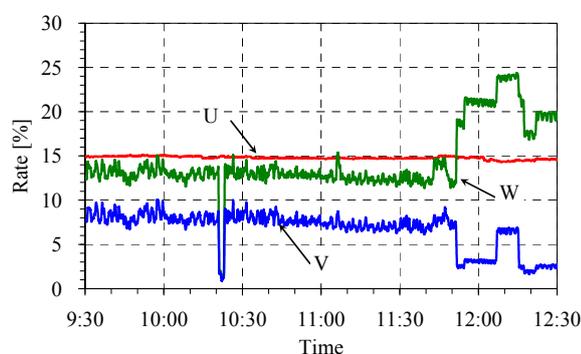


図 16. 高調波電流歪み率

相 9.67%, V 相 14.59%, W 相 10.16%であった。高調波電圧, 高調波電流, 高調波含有率, 総合高調波歪み率, 各々 10 時 40 分ごろに大きく変動している。これは負荷が増加し, 変動したからだと予測される。今後, どのような要因で高調波が含有しているか, 検討する必要がある。

4. まとめ

本論文では, 分散電源として太陽光発電などが導入された系統において, 周波数変動, 電圧変動, 高調波について計測をした。この計測は, 当大学キャンパス内における建物の実際の負荷を用いた。さらに, この負荷が発電量よりも小さい場合は, 余剰電力を上位の系統送電するものとしている。このため, この 2 ケースについて比較検討をしている。

その結果, 周波数変動は, 5 月 16 日は 60.128Hz から 59.934Hz 間で, 6 月 20 日は, 60.128Hz から 59.915Hz 間で変動している。また, 電圧変動は, 5 月 16 日は, 211.79V から 206.54V 間で, 5 月 20 日は 207.63V から 197.98V 間で変動している。高調波は電圧, 電流共に含まれており, 今後, どのような要因で高調波が含有しているか, 検討

する必要がある。また, 分散電源が多数導入された場合などの周波数変動, 電圧変動, 高調波など電力品質を検討が課題である。

5. 謝辞

本研究を遂行するにあたり, H18 年度文部科学省私立大学学術高度化推進事業より援助を受けた。ここに関係各位への敬意を表します。

文 献

- (1) 「新エネルギー等地域集中実証研究」
<http://www.pref.aichi.jp/shin-san/shinene/shinene.html>
- (2) 「品質別電力供給システム実証研究」
<http://www.sendaiproject.com/>
- (3) 「京都エコエネルギープロジェクト」
<http://www.pref.kyoto.jp/tikyuu/keep.html>
- (4) 「水の流れを電気で返すプロジェクト」
<http://ns.city.hachinohe.aomori.jp/kankyo/newenergy/>
- (5) Takao Shinji, Tsuyoshi Sekine, Takao Kashiwagi, Atsushi Akisawa, Goro Fujita, Masayoshi Matsubara: "Discussion on Reduction of Power Fluctuation by Distributed Generation in Micro Grid", IEEJ Trans. PE, Vol.126, No.1, pp.14-20 (2006)
進士 誉夫, 関根 剛史, 秋澤 淳, 柏木 孝夫, 藤田 吾郎, 松原 正芳: 「分散型電源によるマイクログリッド内の電力変動抑制に関する考察」, 電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌), Vol.126, No.1, pp.14-20 (2006)
- (6) Tomihiro Takano: "Natural Energy Power and Energy Storing Technology", IEEJ Trans. PE, Vol.126, No. 9, pp.857-860 (2006)
高野 富裕: 「自然エネルギー発電と電力貯蔵技術」, 電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌), Vol. 126, No. 9, pp.857-860 (2006)
- (7) Hiroaki Kakigano, Yushi Miura, Toshihumi Ise, Ryoheib Uchida: "DC Micro-grid for Super High Quality Electric Power Distribution", IEEJ Trans. PE, Vol. 126, No. 9, pp.857-860 (2006)
柿ヶ野 浩明, 三浦 友史, 伊瀬 敏史, 打田 良平: 「超高品質電力供給システム「DC マイクログリッド」」, 電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌), Vol. 126, No. 12, pp.1207-1214 (2006)
- (8) Yuzuru Ueda, Kosuke Kurokawa, Takamitsu Itou, Kiyoyuki Kitamura, Katsumi Akanuma, Masaharu Yokota, Hiroyuki Sugihara, Atsushi Morimot: "Advanced Analysis of Grid-connected PV System's Performance and Effect of Battery", IEEJ Trans. PE, Vol. 127, No. 1, pp.247-258 (2007)
植田 譲, 黒川 浩助, 伊藤 孝充, 北村 清之, 赤沼 克己, 横田 昌治, 杉原 裕征, 森本 篤史: 「系統連系型太陽光発電システム運転特性の高度解析と蓄電池導入効果の検証」, 電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌), Vol. 127, No. 1, pp.247-258 (2007)
- (9) Koji Temma, Yoshiyuki Kono, Masaru Shimomura, Michio Kataoka, Tadahiro Goda, Shin Uesaka: "Proposal and Development of Power Quality Improvement Method under Islanding Operation in a Micro-Grid", IEEJ Trans. PE, Vol. 126, No. 10, pp.1032-1038 (2006)
天満 耕司, 河野 良之, 下村 勝, 片岡 道雄, 合田 忠弘, 上坂 真: 「マイクログリッド自立運転時の電力品質維持手法の提案と開発」, 電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌), Vol. 126, No. 10, pp.1032-1038 (2006)

(受理 平成 21 年 3 月 19 日)