

920MHz 帯無線マルチホップ通信を用いた太陽光発電の遠隔制御実証実験

柳原 健太郎
田辺 原裕

西川 雅之
岡本 武志

現在、太陽光発電などの再生可能エネルギーの利用が拡大しているが、電力の安定供給を維持するためには需給管理が必要とされている。2010年6月に閣議決定されたエネルギー基本計画においては「2020年代の可能な限り早い時期に、原則全ての電源や需要家と双方向通信が可能な世界最先端の次世代型送配電ネットワークの構築を目指す」と述べられており、これらの諸課題に対応するための研究開発、実証実験が行われている。

これらの経緯、情勢を踏まえ、経済産業省資源エネルギー庁は次世代型双方向通信出力制御実証事業¹⁾を2011年～2013年度にかけて実施した。

これは太陽光発電の大量導入に備え、外部からの通信信号に応じて出力をコントロールできる太陽光発電機器の開発とともに、通信と組み合わせた検証試験を実施するものである。

OKIは双方向通信の手段として920MHz帯無線マルチホップ通信を用いて、青森県六ヶ所村で行われた実証実験に参加し、2012年12月から2013年11月にかけて実験を行った。

本稿では、本実証実験の概要と結果を示し、実現性を示す。

実証実験の背景

太陽光発電の大量導入は電力システムの運用上、余剰電力発生による逆潮流、配電線の電圧上昇等多くの技術的課題をもたらし、その対策が求められている。その中で、系統安定化対策として太陽光発電の出力制御の必要性が指摘されている。出力制御を行うためには系統側（電力会社）と需要家（家庭等）との間の情報交換が必要となる。

通信手段は通信事業者による広域サービス（携帯電話、WiMAX）、特小無線（900MHz帯、400MHz帯）、電力線搬送など様々な方式が考えられる。そこで本実証事業では各社が様々な通信メディアを用いて同じコマンドを送受信し、特性を測定することとなった。我々は920MHz帯無線マルチホップ通信を用いた実験を担当した。実証事業全体に関しては文献3を参照されたい。

実証実験の機器構成

青森実証実験の機器構成を図1に示す。センタサーバーは系統側（電力会社側）の情報を処理するサーバー、通信サーバーは通信メディア毎に用意され、メディアの特性に応じた通信を行うためのサーバーである。920MHz帯無線機はコンセントレータ、中継機、DCEに分類される。コンセントレータと中継機は電柱上に、DCEは需要家（各住宅）に設置する。DCEで受信された制御信号は通信アダプタを経てPCSに送られる。

PCSの出力制御においては、エリア、機器の種別等の条件を満たす全ての機器を一斉制御する場合と、個々の機器に対して制御を行う場合が想定される。前者は同報通信、後者は個別通信として定義されている。

本実証における電文フォーマットはECHONET Lite²⁾を用いている。太陽光発電の出力制御のためのコマンドは定義されていないため、新規にコマンドの定義を行っている。

我々の開発部分は通信サーバーからDCEまで（図1で囲った範囲）の区間である。

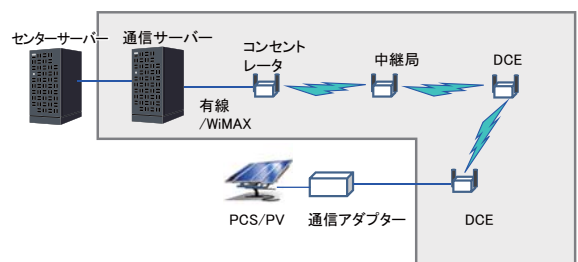


図1 実証実験における機器構成

コンセントレータからDCEまでの間は無線マルチホップ通信によって接続する。この部分に関してはOKIが開発したMany to One & Source Routing方式を用いている。動作の概要を以下に示す。詳細は文献4を参照されたい。

各ノードは定期的にHelloパケットを送信し、隣接ノードとの接続を確認する。Helloパケットにはコンセントレータまでのパスコストが記載されており、自

ノードに至るコストが最も小さくなる隣接ノードを親ノードとして選択する。

- 各ノードは上りデータを親ノードへ転送する。親ノードへの転送に失敗した際には、他の隣接ノードから適切なノードを選択し転送を行う。
- 各ノードは定期的にコンセントレータに対してRREC (Route Record) パケットを送信する。経路上のノードはRRECパケットのアドレスリストに自らのアドレスを追記してから中継を行う。
- RRECパケットを受信したコンセントレータは記載されたアドレスリストから各ノードへの経路を特定し、下りデータを送信する際にはアドレスリストを書き込んで送信する。
- 下りデータを受信したノードはアドレスリストから自らのアドレスを削除する。また、アドレスリストから転送先を読み取り転送処理を行う。



図2 機器設置箇所



実証実験フィールド

実証実験は青森県六ヶ所村で実施し、約1km四方の範囲に機器を設置した。台数は屋外に5台、屋内に31台である。設置箇所の地図を図2に示す。屋内機器の設置箇所は大きく4つに分類され、屋外設置機器を介して全体が1つのネットワークを構成している。図中の直線は主に用いられた転送経路を示す。機器を設置する候補位置を決定するために事前測定を実施し、無線信号の伝搬状況を確認した。

実際に近い状況で実験するため、DCEの大半は実際に居住している家庭の協力を得て家屋内に設置した。実際に太陽光発電に接続している1軒、通信アダプタにのみ接続した1軒以外の家庭ではDCEに実装した疑似PCS機能が応答信号の作成、送信を行い、通信部分の実用性を評価した。

実験時の各無線機の通信出力は20mWである。用いた無線機の外観及び諸元を図3に示す。

機器の設置状況を図4に示す。屋外の機器は電柱上の高さ約6mの位置に設置した。屋内の機器は壁、カーテンレールの上など日常生活の支障にならない場所を選んで設置した。設置した家屋の構造は木造一戸建て及び鉄筋コンクリート集合住宅(図2の社宅)である。

変調方式	GFSK
伝送レート	最大 100kbps
周波数チャンネル	出力 20mW 以下 926.5 ~ 927.7MHz
外部 IF	UART×1 IF-BOX 経由で RS485,RS232C と接続
内蔵センサー	温度、湿度、照度 (本実証では使用せず)
電源	USB 給電 5V
環境条件	-20 ~ 60℃
最大消費電流	100mA (3.3V) 以下
外形寸法	30×60×20mm (アンテナ 190mm)

図3 無線機の諸元

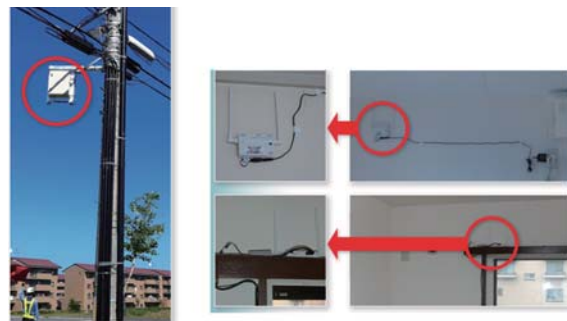


図4 機器設置状況

実験結果

2012年9月に機器の設置作業を行い、試験動作を経て2012年12月から2013年11月まで実証実験を行った。

1年以上の連続動作実験であったが、屋外に設置した機器を含めて機器の動作異常は見られなかった。

センタサーバーは実用時を想定したスケジュールに従って制御信号を送信する。通信サーバーはセンタサーバーからの電文を蓄積し、必要に応じて変換・再送などを行い、DCEへ電文を届ける。DCEからの応答信号がセンタサーバーに到達することによって通信正否が判定される。さらに各機器は定期的に信号を送信し、周辺の通信可能な機器間の通信状況を測定している。以下に示すのはセンタサーバーが送信したコマンドに対する結果である。

設置場所別の通信成功率を表1に、天候別の通信成功率を表2に示す。これらの成功率は後述するセンタサーバーによる再送も含めた最終的な成功率を示している。実証実験期間中には機能追加、動作パラメータの変更などの調整を行っているため全期間を通して同じ条件での実験とはなっていない。

表1 箇所別通信成功率

	戸建住宅	社宅	村営住宅	団地	全体
12月	99.3%	93.9%	99.6%	96.9%	96.2%
1月	98.3%	96.2%	99.2%	96.4%	97.0%
2月	98.5%	96.4%	99.2%	97.5%	97.4%
3月	100.0%	98.8%	100.0%	99.7%	99.4%
4月	100.0%	99.9%	100.0%	100.0%	100.0%
5月	99.7%	100.0%	100.0%	99.3%	99.8%
6月	99.2%	99.4%	99.7%	96.1%	98.5%
7月	99.4%	100.0%	99.8%	99.0%	99.7%
8月	100.0%	100.0%	99.7%	99.5%	99.8%
9月	98.5%	99.6%	99.8%	97.4%	99.0%
10月	100.0%	100.0%	99.8%	99.7%	99.9%
11月	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

表2 天候別通信成功率

	晴	曇	雨	雪	全体
12月	93.0%	96.7%	97.1%	95.5%	96.2%
1月	96.8%	97.7%		96.2%	97.1%
2月	98.3%	97.0%		97.6%	97.5%
3月	99.8%	99.1%	100.0%	100.0%	99.4%
4月	99.9%	100.0%	100.0%		100.0%
5月	99.7%	99.9%	99.3%		99.8%
6月	98.6%	98.7%	98.1%		98.6%
7月	99.4%	99.8%	99.6%		99.6%
8月	99.8%	99.7%	99.7%		99.8%
9月	99.5%	99.0%	97.1%		99.0%
10月	100.0%	99.6%	99.9%		99.8%
11月	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

表3 再送回数の分布

	なし	1回	2回	3回	4回	失敗
3月	93.14%	5.61%	0.64%	0.00%	0.00%	0.61%
4月	95.88%	3.33%	0.67%	0.04%	0.04%	0.04%
5月	92.93%	4.95%	1.24%	0.40%	0.29%	0.20%
6月	83.38%	8.92%	3.94%	1.53%	0.78%	1.45%
7月	90.49%	6.83%	1.55%	0.47%	0.14%	0.52%
8月	91.86%	5.75%	1.28%	0.59%	0.31%	0.22%
9月	85.89%	8.59%	2.47%	1.26%	0.76%	1.04%
10月	94.61%	4.46%	0.61%	0.13%	0.04%	0.14%
11月	96.98%	2.53%	0.37%	0.09%	0.01%	0.02%

表1、2から建物の構造や天候と通信成功率との相関は見られなかった。

実験初期の通信成功率が比較的低いのは、通信失敗時の再送機能を2月末に追加したためである。これは、DCEからの応答がない場合に通信サーバーからの送信を繰り返すものである。本実証実験では4分間隔で最大5回の送信を行っている。

3月以降の再送回数の分布を表3に示す。再送を許容することで通信失敗を大幅に削減することが可能となる。本実験のような機器間の通信では移動はないが、周辺環境の変化によって通信品質が変動する。通信品質が変動している様子を図5に示す。表3の結果から数分～数十分の遅延を許容することで、通信品質の悪化に対処できることを示している。

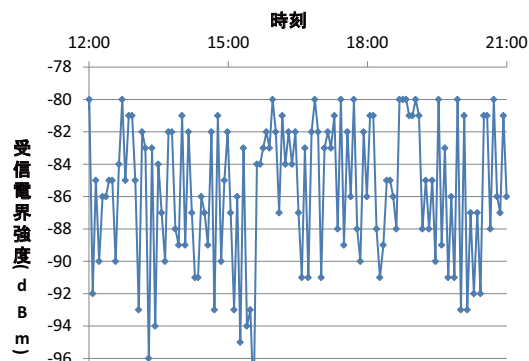


図5 リンク変動の一例

また、表3において失敗と表記した通信の一部はセンタサーバーによる再送（初回の3時間後）によって到達している。センタサーバーが再送を行った通信の最終的な通信成功率は100%、センタサーバーが再送を実施した回数は2664回中10回（0.37%）であった。このことから許容遅延を大きくすることにより、無線通信を用いても信頼性を確保した通信を行うことは十分に可能であると考えられる。

前述した周辺の機器との通信状況を分析した結果、各機器とも複数の通信経路が確保されており、ノードの電源断などの障害が発生した場合にも他の経路を用いることで通信を維持した。実際に実験中には通信経路が変化しており、通信環境の変化に応じて適切な経路を選択することによって、より信頼性の高い通信を実現している。

木造住宅が並んでいる箇所に関しては全ての家ではなく、1軒おきに設置を依頼した。実験の結果、間に1軒挟んだ家屋との直接通信はほぼ問題なく行われた。さらに多くの家屋を挟んでの通信が可能な箇所も多くあり、無線マルチホップ通信を用いたPCS制御の実現性は高いと考えられる。

また、機器の設置及び撤去作業時を利用して機器の追加及び減少時にネットワークが自動的に再構成されることを確認した。これらの結果から周辺の環境変化や無線端末の増減に対しても柔軟に対応するネットワークの構築を確認することができた。

あとがき

本稿では、各家庭に設置された太陽光発電を制御する双方向通信として920MHz帯無線マルチホップ通信を用いた実証実験の概要と結果について述べた。実験の結果、太陽光発電が多くの家庭に普及している状態であれば無線マルチホップ通信を太陽光発電の出力制御に用いることは十分に可能であると考えられる。

本方式が真価を発揮するためには、各無線機が周辺の複数の無線機と通信可能となっている必要があり、無線機の密度が一定以上求められる。今後は出力制御単独のネットワークだけではなく、現在構築が進められているスマートメータのネットワークとの共用などを含めて検討する必要があると思われる。

謝辞

本研究は、経済産業省資源エネルギー庁補助事業「次世代型双方向通信出力制御実証事業」の一部として実施された。また、実証実験は青森県、六ヶ所村の協力、支援の下実施した。関係者に感謝の意を表す。◆◆

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁、「次世代型双方向通信出力制御実証事業費補助金公募要領」(2011-6)。
- 2) エコーネットコンソーシアム、「ECHONET Lite 規格書 Ver1.01 (日本語版)」(2012-5)。
- 3) 片岸誠:「次世代型双方向通信出力制御実証事業、青森実証フィールドの進捗」信学技報, IN2013-66, pp. 37-42, (2013-9)。
- 4) 野崎正典, 西村弘志, 久保祐樹, 柳原健太郎, 福永茂:「950MHz帯における大規模・高信頼ルーティング方式の開発と評価」, 信学技報, USN2010-24, pp.15-20 (2010-10)。

筆者紹介

柳原健太郎: Kentaro Yanagihara. 研究開発センター
スマート社会ビジネスイノベーション推進部
西川雅之: Masayuki Nishikawa. 研究開発センター
スマート社会ビジネスイノベーション推進部
田辺原裕: Motohiro Tanabe. 通信システム事業本部
スマートコミュニケーション事業部 ソフトウェア開発部
岡本武志: Takeshi Okamoto. 社会システム事業本部
交通・防災システム事業部 システム第三部

TIP 【基本用語解説】

DCE (Data Circuit terminating Equipment)
回線終端装置。

PCS (Power Conditioning System)
太陽光パネルで発電した直流電流を交流電流に変換する他、太陽光発電の出力を調整する機器。