

自然エネルギーに貢献する地域ICTシステム

The area ICT system for contribution to a natural energy

伊藤 仁 司 岡 正 博 大 井 真 実
Hitoshi Itoh Masahiro Oka Masami Ooi

三 宅 俊 彦 津 田 和 俊
Toshihiko Miyake Kazutoshi Tsuda

要 旨

地球温暖化対策として低炭素社会の実現に不可欠な素材の開発が求められている。今回、太陽光発電やバイオマスガス発電、風力発電の各自然エネルギーを積極的に導入している大分県日田市においてICTを用いた効率化による低炭素社会実現のためのフィールド実証実験を行った。特に地形の影響を受けにくいVHF帯（アナログテレビ放送跡地）を用いたワイヤレス情報通信システムによる発電電力や消費電力の収集を行い、電力の効率的な運用が可能となりCO₂の低減につながることを検証した。また、この結果をもとにVHF帯を用いたブロードバンド通信方式として標準化に寄与し、さらに、国際標準化機関に認知され、グローバルに普及することに貢献した。

Abstract

Development of essential system for a low-carbon society, which is a countermeasure against global warming, has been required. The JRC conducted field trials for more efficient low-carbon society by using ICT in Hita City, Oita Prefecture, which uses solar power and wind power and biomass power. Using a wireless telecommunications system of the VHF band (digital dividend) of analog television, for the analysis of natural energy power generation and power consumption analysis, demonstrated that it can reduce emissions of CO₂. This wireless telecommunications system contribute to standardization as a method using a broadband VHF band based on these results, further, are recognized in the international standardization organizations, and contributed to spreading globally.

1. ま え が き

地球温暖化対策の必要性が高まる中、小規模の資源供給元や資源消費先が散在する地域において、最適な資源利用を可能にするための無線による情報通信システムの登場が期待されているものの、適切なシステムは実現されていない。

自然エネルギーを最大限に有効利用して電力需要を補うことにより、一次エネルギー（主に石炭や石油等の化石燃料）の発電によるCO₂発生を抑えることが期待されている。

分散設置された各種の自然エネルギーで発電される電力について、発電機関間での需要制御をすること、自然エネルギーで発電する電力が消費する電力に対して余裕がある場合系統電力の一次エネルギー側の発電の抑制、また電力の余剰分は蓄積しておき電力需要が高くなった時点で消費にあてるなど、制御可能な電力があれば、電力供給を制御することが有効である。そのために、各種自然エネルギーの発電電力と施設で消費する電力について協調動作を実現して、全体としての発電電力の安定的確保と余剰電力の有効利用、高品質化をはかることが可能となる。

本システムでは太陽光、バイオマスおよび風力の各自然エネルギーの発電する電力と発電施設で消費する電力を計測し、山間部等見通し外通信に適したVHF無線システム等を用い日田市役所に設置される情報システムに記録、蓄積する。蓄積された需給データを用いて最適充放電制御の検討

とシミュレーションを行ない、将来的に制御センターと発電・蓄電・消費設備間への制御信号をVHF無線システムを用いて送受信する通信手段の有効性を検証するものである。

この無線通信システムを用いた協調制御によって、自然エネルギーの発電を最大限に利用して、発生CO₂の抑制に寄与する。しくみとしては電力需要と供給の不整合を補うことにより、比較的狭い地域でも再生可能な一次エネルギー発電による過剰・廃棄分を生じさせず、適切な時間に消費できるようにすることで、電力の地産・地消を可能とした。またVHF無線通信システム導入によるCO₂削減比率の目標値を設定した。

2. システム概要

今回の実証試験では、日田市の自然エネルギー発電設備を含めたマイクログリッドシステムを前提にしてデータ取得と解析を試みた。

図1で実証実験を説明する。本実証実験を行った地域は、日田市役所を中心として釈迦岳や上宮山中継所を経由してバイオマス資源化センター（バイオマス発電：定格出力170kW×2基）、日田市立北部中学校（太陽光発電：定格出力40kW）、椿ヶ鼻ハイランドパーク（風力発電：定格出力245kW×2基）で実施した。これらは日田市内の半径約16kmに点在している。

日田市役所と上宮山中継局・釈迦岳中継局の間は、既設7.5GHz帯多重マイクロ波回線で接続、上宮山中継局とバイオマス資源化センター・釈迦岳中継局と椿ヶ鼻ハイランドパークの間は、4.9GHz帯無線LAN回線で接続して、各発電施設の各拠点での通信にはVHF無線通信回線を整備した。

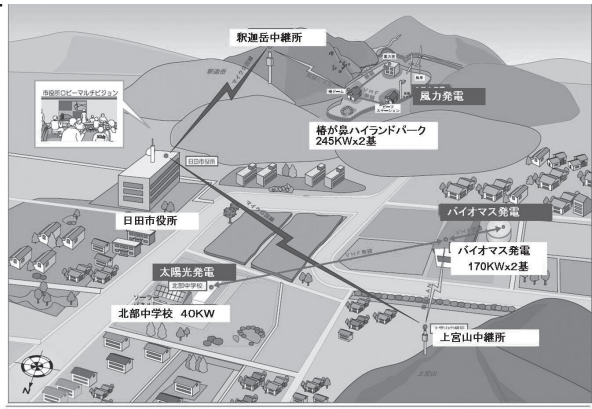


図1 日田市内施設概略図

Fig.1 Summary of the system in the Hita-city.

実証実験で使用したVHF無線装置について紹介する。基地局装置として、バイオマス資源化センターに設置した装置を図2に示す。また、基地局装置の諸元を表1に示す。



図2 バイオマス資源化センターに設置した基地局装置

Fig.2 Base station equipment.

表1 基地局装置諸元

Table 1 Specifications of the base station equipment

項目	諸元
無線周波数	187.5MHz
最大送信電力	5W (37dBm) : バイオマス資源化センター 0.1W (20dBm) : 椿ヶ鼻ハイランドパーク
電源	AC100V
環境温度	-10℃～50℃
質量	20kg以下

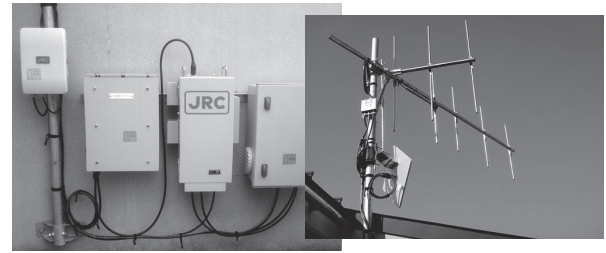


図3 北部中学校に設置した端末局装置

Fig.3 Terminal station equipment.

表2 端末局装置諸元

Table 2 Specifications of the terminal station equipment

項目	諸元
無線周波数	187.5MHz
最大送信電力	5W (37dBm) : バイオマス資源化センター 北部中学校端末局 0.1W (20dBm) : 椿ヶ鼻ハイランドパーク 風力発電 電気室端末局
電源	DC12V または内蔵バッテリー (90分以上通信可)
環境温度	-10℃～50℃
質量	約16.5kg (バッテリー内蔵時)

端末局装置として、日田市立北部中学校に設置した装置を図3に示す。また、端末局装置の諸元を表2に示す。

3. 無線システム技術要素

実証実験は大分県日田市における自然エネルギー発電施設(3箇所)と管理センター(日田市役所)間の無線通信システムを利用して行った。各発電施設から管理システムへの情報(発電量、監視カメラ映像等)および管理システムから発電施設への情報(充放電等の制御)システムにおいて環境負荷低減(CO₂削減10%)を実証し、今回用いたVHF無線システムのエアークラウドが、地形の影響に対して、通達距離、伝送品質および伝送容量面からみて問題ないかどうかの主たる検証項目である。

【必要な情報とその情報量】

VHF無線区間として1拠点あたり最大32kbps程度の伝送速度を想定する。無線基地局あたりの制御対象可能な自然エネルギー発電拠点を最大30拠点程度としたとき、1Mbps程度の伝送速度が必要となる。

また必要に応じ施設の運転状況を映像監視する映像監視機能を付加した。

【1 チャンネル当たりの伝送速度】

完全な見通しが得られない区間(バイオマス資源化センターと日田市立北部中学校の2.3km区間)においても、Downlink : 7Mbps, Uplink : 1.7Mbpsと最大性能に近いスループットが得られた。

【マルチプルアクセス】

バイオマス資源化センター地区並びにハイランド地区において、hrping(サーバクライアント型の高速・連続Ping)を用いてBSと2台のMSの同時通信を確認した。

【他の無線通信システムとの接続性】

4.9GHz無線LAN回線および7.5GHzマイクロ波回線との多段中継接続試験を行った。この3段構成による日田市立北部中学校→日田市役所間の往復遅延時間（RTT）は最小71ms, 最大142ms, 平均85msecであり、VHF無線回線単体のRTTと比較しても数msの増加であり、多段接続による性能劣化は観測されなかった。

【映像の伝送】

移動車両（MS）からのUplinkにおける伝送試験を行った。回線品質として1km範囲内でSD画像の良好な伝送が確認できたが、一部高さが15m以上の建物の裏あるいは10mを越える崖の下では画像の中断あるいはノイズが確認された。この原因としてはアナログTVの側帯波あるいはMM放送波等の干渉波が原因でありアナログTV停波後の改善が期待される。

【電波の伝搬特性】

スペクトラム・アナライザを使用して受信電力を取得し、測定結果を電波伝搬シミュレータの拡張秦式と比較し拡張秦モデルにおける開放郊外モデルの伝搬特性との一致を確認した。

【仕様への適合】

公共ブロードバンド移動通信システムの技術的条件と本装置の無線性能を比較検証し、その性能が問題なく技術的条件を満足していることを確認した。

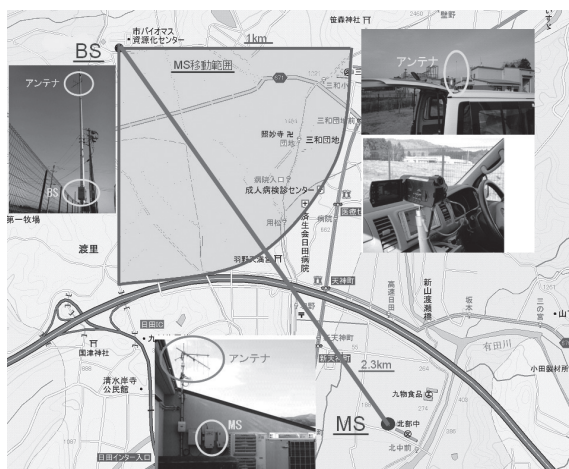


図4 実験フィールド

Fig.4 Experiment field area.

バイオマス資源化センター及び日田市立北部中学校の端末局装置（MS）にて発電データと施設の消費電力データの取得を行った。またバイオマス資源化センターBSを中心に半径1kmの四分円内で移動MSによるRSSI・CINR・PERを取得した。さらに映像のUplink実験を行った。

バイオマス資源化センターBSと2.3km離れの日田市立北部中学校のMS間で半固定通信実験を行った。

4. 環境負荷低減効果

各自然エネルギー（太陽光、バイオマス、風力）の発電施設における発電電力、付随する消費施設における消費電

力をVHF無線回線経由で集約し、図5のようにその発電電力と消費電力との差分により発生する電力の余剰分については蓄電設備への充電、電力の不足分については蓄電施設からの放電をそれぞれVHF無線回線経由で制御する。この制御により自然エネルギーの発電電力を最大限に利用し、電力会社からの系統電力の供給を減少させることでCO₂排出量の削減することを想定している。ここで、電力の制御に必要な蓄電設備として蓄電池（NaS電池、リチウムイオン電池、鉛電池、ニッケル水素電池、レドックスフロー電池、コンデンサ等）を想定しているが、実際に運用するには各電池の特徴と課題を加味して組合せた利用を考慮し、揚水力などの消費設備も含め、蓄電設備を検討する必要がある。また、本システムの導入・適用範囲は、山岳部・海岸部といったVHF無線通信システムの利用が他の通信手段に比べて有利な環境が考えられる。

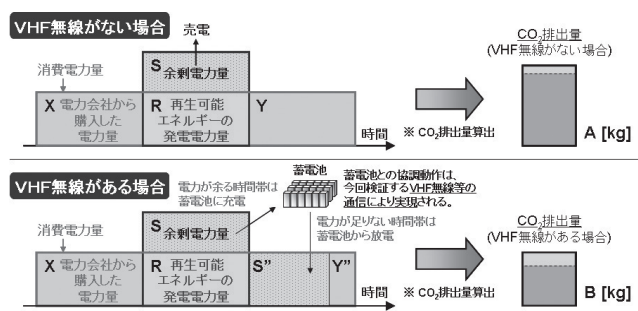


図5 CO₂排出量の削減方法の概要

Fig.5 Summary of the reduction method of the CO₂

日田市と人口密度が同規模と想定される地域における電力消費^{注1}に対して、2050年（約40年後）に普及予測される自然エネルギー（総発電量の24%と予測^{注2}）による発電量、VHF無線通信システムの設置が期待される発電量およびVHF無線回線導入による制御対象電力量を試算^{注3}し、VHF無線通信システム導入による自然エネルギーの余剰電力の需給調整を遠隔充放電制御することによるCO₂排出量の削減率を試算する。CO₂排出削減率は、自然エネルギーによるCO₂排出量を母数とした、自然エネルギーに着目したCO₂全体を母数とするとCO₂排出削減率は37.7%^{注4}と計算され、目標の10%をクリアした。

発電総電力全体のCO₂排出量を母数とした場合は、CO₂排出削減率は2.1%^{注5}と計算される。

日田市の全消費電力400.335 [MWh/日] に2050年における自然エネルギーの予想比率 [24%] を乗算した数値96 [MWh/日] をベースに各自然エネルギー施設の配備を推定したものである。VHF無線通信システムは通常の有線伝送路が利用できない山間施設のみに適用可能とした。

CO₂排出量 [t] の算出は、それぞれの施設毎の発電量に表4のCO₂排出係数を乗算したものである。山間の施設に関してはVHF無線制御ありの場合は、余剰電力（想定値として太陽光発電は20%、バイオマス発電は25%、風力発電は20%）を蓄電で有効活用し、VHF無線制御なしの場合、余剰電力を系統電力から補充するとしている。例）バイオマス発電（山間）の場合、VHF無線制御ありでは3.2×0.044＝

0.14tであるが、制御なしでは $3.2 \times 0.044 \times 0.75 + 3.2 \times 0.369 \times 0.25 = 0.40t$ となる。

表3 想定地域における自然エネルギー発電施設の設置数とCO₂排出量の推定(2050年)

Table 3 The number of natural energy generation institutions and Quantity of reduction of the estimated CO₂ of 2050.

	設置数	発電量 [MWh/日]	CO ₂ 排出量 [t] (VHF無線 制御あり)	CO ₂ 排出量 [t] (VHF無線 制御なし)
太陽光発電 (平野部)	60	46.0	2.44	2.44
太陽光発電 (山間)	13	10.0	0.53	1.16
バイオマス 発電 (平野部)	1	3.2	0.14	0.14
バイオマス 発電(山間)	1	3.2	0.14	0.40
風力発電 (平野部)	4	8.0	0.23	0.23
風力発電 (山間)	12	24.0	0.70	2.33
合計値	91	94.5	4.18	6.71

表4 発電電力の種類によるCO₂排出係数

Table 4 CO₂ emission coefficient.

発電電力の種類	CO ₂ 排出係数 [kg-CO ₂ /kWh]
系統(九州電力)	0.369
太陽光	0.053
バイオマス	0.044
風力	0.029

自然エネルギー施設からのCO₂排出量はそれぞれの施設製造時のCO₂排出量を30年寿命で平均化している。

5. 標準化活動

システムインタフェースに関し、国内および海外における取り組みとして以下の実績をあげた。

【国内】

ARIB(社団法人 電波産業会)の公共ブロードバンド移動通信システム開発部会において、“ARIB STD-T103 200MHz-Band Broadband Wireless Communication Systems between Portable BS and MSs”を起案し、ARIB規格会議にて承認され正式にARIB規格となった。

注

- 1 日田市の1日当たりの全消費電力量 400.335 [MWh/日]
15[標準家庭(4人)の1日当たりの消費電力量] kWh/日×26,689[日田市の全世帯数(2010年度)]
- 2 三菱総研による2050年の電源構成予測(2050年エネルギー環境ビジョンより)

【海外】

WiMAX ForumのTWGにおいて当社および他2社による協同CR(Change Request)を提出・プレゼンを行った。このCRには情通審の「公共ブロードバンド移動通信システムの技術的条件【平成21年4月28日付 情報技術分科会諮問第2028号】」の内容に準拠し、本件VHF無線通信システムの仕様部分を盛り込んだもので、この規定をWiMAX ForumのRadio SpecificationにおけるBand Class Groupとして新設を要請する内容である。このCRはWiMAX Forum Plenary meetingにて承認された。

現在WiMAX Forumのホームページにて開示されている“WiMAX Forum® Air Interface Specifications Mobile Radio Specification WMF-T23-005-R015v05(2011-04-04)”において公共ブロードバンド移動無線システム(VHF無線通信システム)の仕様がBand Class Group 9.Dとして盛り込まれた。

【今後の標準化等への取り組み】

ARIBにおける公共ブロードバンド移動通信システム開発部会は平成23年度についても継続的に活動が行われることになった。当社は昨年度同様、開発部会に参加し、公共ブロードバンド移動通信システムのさらなる高度化への規格作成に寄与する予定である。

6. あとがき

自然エネルギーをソースとした太陽光や風力、地熱、潮力、水力などの発電施設は、街中よりも広大な海岸沿い、原野、山間部といったエリアに設置されることが通常であり一般的であるため、これら拠点と監視制御センターや蓄電施設との間の通信手段としては、ISMバンドの無線LANに比して見通し外通信に有利なVHF無線通信システムが有望である。

今回の実証実験結果により、「VHF無線通信システムを導入することにより、自然エネルギーの余剰電力の蓄電制御による環境負荷低減の改善効果と、さらに複数箇所の協調需給制御を組合せることにより、所要電力の”時間的不足状態”や”地区別の不足状態”を緩和して、総合的に排出CO₂量の削減に貢献する」ことが期待できることがわかる。

本実証実験は、総務省・ネットワーク統合制御システム標準化等推進事業により実施されたものであり、事業の推進にあたり、多々ご指導を戴いた総務省ご関係機関、また、現地実証実験に際し、多大なご協力を賜りました九州電力、日田市役所、バイオマス資源化センター、北部中学校、ならびに椿ヶ鼻ハイランドパークをはじめ、その他、ご関係各位様に深く感謝の意を表します。

3 日田市における2050年の自然エネルギー発電施設の配備状況推定

4 削減率 $37.7\% = (6.7t - 4.2t) / 6.7t$

6.7t: 自然エネルギー発電に対する1日当たりのCO₂排出量(VHFアクセスなし)。4.2t: 自然エネルギー発電に対する1日当たりのCO₂排出量(VHFアクセスあり)。

5 削減率 $2.1\% = (6.7t - 4.2t) / 119t$ 119t: 全消費電力量に対する1日当たりのCO₂排出量(VHFアクセスなし)

参考文献

(1) 2010九州電力環境アクションレポート(下記URL資料のp.09)の2009年度の販売電力量あたりのCO₂排出量の実績値より。

http://www.kyuden.co.jp/library/pdf/environment/action-report10/booklet/action_report_p09-18.pdf

(2) 電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集」2010年度版 下記URL資料の2-9「各種電源別のCO₂排出量」より。

<http://www.fepc.or.jp/library/publication/pamphlet/nuclear/zumenshu/pdf/all02.pdf>

(3) 産業技術総合研究所HP資料(下記URL) 自然エネルギー源の性能の図3のバイオマス火力(森林)の平均値より。

http://unit.aist.go.jp/rcpv/ci/about_pv/e_source/RE-energypayback.html

(4) 情報通信審議会 情報通信技術分科会 公共無線システム委員会報告より 平成22年3月19日, 総務省

http://www.soumu.go.jp/main_content/000060842.pdf

【参考データ】

今回の無線システムを経由して得られた, 各自然エネルギー(太陽光, バイオマス, 風力)の発電施設における発電電力, 付随する消費施設における消費電力, その発電電力と消費電力との差分である余剰電力について, 1日分の電力変動の1例を参考データとして示す。

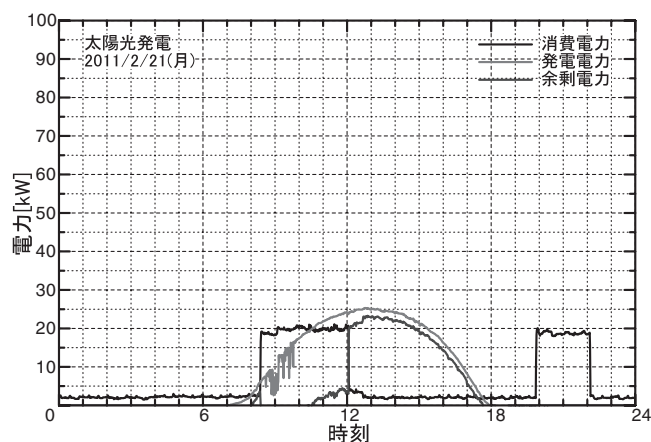


図6 太陽光発電施設の電力変動例

Fig.6 Output electricity of the photovoltaic power generation.

太陽光発電施設の電力変動を図6に示す。この日は一日中晴れであり, かつ, 午後からの消費電力が極端に下がったため, 消費電力の低下に依存して施設としての余剰電力を電力網へ供給する結果が得られた日であった。

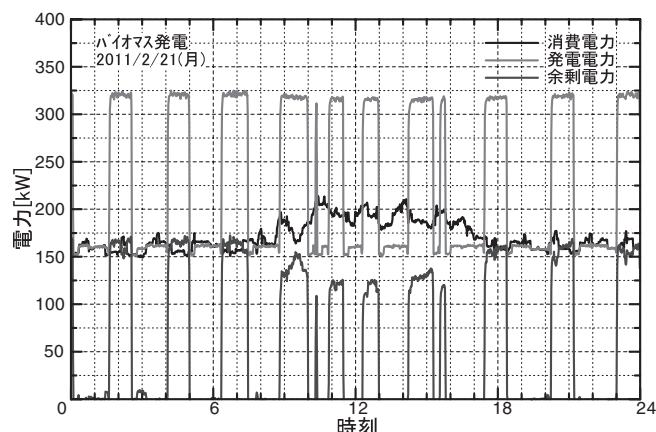


図7 バイオマス発電施設の電力変動例

Fig.7 Output electricity of the biomass generation.

バイオマス発電施設の電力変動を図7に示す。2基のガスエンジンを制御してガス量に応じ発電を実施し比較的安定した発電電力が得られる。

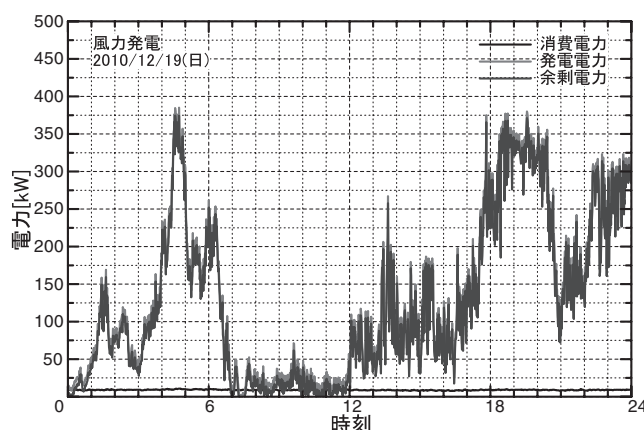


図8 風力発電施設の電力変動例

Fig.8 Output electricity of the wind generation.

風力発電施設の電力変動を図8に示す。風速に依存して発電電力が変動する。この消費施設が冬季閉鎖のため, 消費電力はほぼ零であったため, 風力発電の発電電力そのものが電力網への供給電力となっている。

用語一覧

BS : Base Station (基地局)
CINR : Carrier to Interference and Noise Ratio
(搬送波レベル対干渉・雑音比)
ICT : Information and Communication Technology (情報通信技術)
MM : Multi Media (マルチメディア)
MS : Mobile Station (移動局)
PER : Packet Error Rate (パケットエラー率)
RSSI : Received Signal Strength Indicator (受信信号強度)
SD : Standard Definition (標準画質)
TWG : Technical Working Group (技術的作業分科会)
WiMAX Forum® : IEEE 802.16/ETSI HyperMAN標準に準拠した, ブロードバンドワイヤレス製品の相互接続性を認定し, その利用を推進するために設立された約530社のメンバー企業からなる産業主導型のNPO法人