

スマートメータとSNS連携による 再生可能エネルギー利活用促進に関する取り組み

佐々木 隆志 †¹ 鈴木 信 †² 兼築 史季 †²
早田 洋 †³ 都築 伸二 †¹

再生可能エネルギーによる発電は発生する廃棄物が少ないこと、商用送電網に依存しない電力の地産地消が可能なため災害への耐性が高いという利点があるが、個人が発電設備を設置するにあたっては行政による補助制度と余剰電力買い取り制度以外の普及促進策が無い。本研究では個人が設置した太陽光発電パネルなどの発電設備からスマートメータにより収集した発電量を SNS 上のソーシャルグラフと位置情報により集計し可視化することで、コミュニティの形成、情報交換、競争などが可能な基盤システムの構築に取り組んでおり、再生可能エネルギーの利活用に対する動機づけや普及促進に繋がると期待している。

An Approach of Developing a System to Promote Utilization of Renewable Energy with a Combination of Smart Meter and SNS

While renewable energy emits small amount of wastes and deals with disaster achieving local production of energy for local consumption, there is only a few promotion including subsidies and surplus electricity trading when individuals are hoping to purchase such power-generating equipment. Our research aims to improve this situation by reinforcing incentives for renewable energy motivating people with social activities such as sharing information and competition. Our system provides visualization of total amount of generated electrical energy by home solar panels and other devices over social community which is determined by social graphs in SNS and location of devices.

1. はじめに

持続可能で安心なエネルギー利用のためには、エネルギーの供給源および供給方法について多様な選択肢が提供されていることが望ましい。供給源の観点から見れば、太陽光や風力、マイクロ水力などの再生可能エネルギーによる発電は、発電のコストが商用電源に比べて高いことや発電量が自然環境に左右され不安定であるという欠点があるものの、発電に伴い発生する廃棄物が少ないという利点がある。また供給方法の観点から見れば、これらの発電は商用配電網に依存しない電力の地産地消が可能なため災害への耐性が高いという利点がある。しかし再生可能エネルギーによる発電設備を個人で設置する場合、設置時に国および自治体による補助制度があるほかは余剰電力の買取制度^{*1}しか普及促進のための動機付けが無い。また、買取制度は商用配電網に依存した普及促進策であり、配電方法の多様化には寄与しない。過負荷その他による障害や災害への耐性を考えれば、発電設備だけでなく蓄電設備も含めて分散された電力の供給者と需要者との需給バランスを見ながら配電網の制御を行うスマートグリッドが期待されるが、現在のところ普及のめどは立っていない。

防災は自助、共助そして公助の組み合わせであると言われるが、電力供給に関して言えば自家発電だけで閉じたシステムは自助、商用配電網に依存したシステムは公助に相当すると考えられ、前者は発電量として、後者は売電量として可視化できる。現状の電力供給においては共助という考え方が欠けており、地域やコミュニティでの電力の融通はこれを埋めるものである。電力における共助としては街区程度の規模での配電網や蓄電池を介して地域やコミュニティの構成員に電力の利用を許可する仕組みなどが考えられる。このような仕組みはいわばソーシャル給電とも言えるが、そのためには発電設備の所有者によるコミュニティの形成と、コミュニティ全体で利用可能な電力に関する情報の可視化が必要である。そこで本研究では、再生可能エネルギーによる発電設備の所有者や設置に関心を持つ者がコミュニティの中で発電量を見せ合ったり、地域での総発電量の集計に参加したり、発電に使用している機器やソーシャル給電に関する情報を交換したりするための基盤となるシステムを開発している。^{*2}コミュニティの形成には既に広く使われている各種 SNS から取得でき

†¹ 愛媛大学

†² 株式会社バルソフトウェアサービス

†³ 株式会社エス・ピー・シー

*¹ 再生可能エネルギー固定価格買取制度（平成 23 年 8 月 26 日成立）

*² 本研究は総務省戦略的情報通信研究開発推進制度（SCOPE）の平成 23 年度新規課題「スマートメータと SNS 連携による再生可能エネルギー利活用促進基盤に関する研究開発（2 年間）」として取り組んでいる。

る人間関係であるソーシャルグラフをオプトインで利用する。

コミュニティ全体での発電量やユーザが所属する市区町村などの行政区画をはじめとした地理的区分にもついた発電量を集計するためにはスマートメータを用いる。スマートメータとは配送電機器を通過した電力量を通信網により伝送することができる装置を指すが、スマートグリッドを構成する要素の一つとして配送電機器の制御や家電製品の監視、制御なども行うことが想定されていることが多い。こうしたスマートメータを利用して更に詳細に家庭内の電力その他のエネルギー消費量を可視化したり高度に制御したりするシステムを HEMS (Home Energy Management System) と呼ぶ。本研究で開発しているスマートメータには HEMS のための機能も実装している。

本システムはハードウェア設計及びソフトウェア実装共に公開する予定である。これにより再生可能エネルギーの個人による自助としての利活用が地域やコミュニティによる利活用に拡大され、地域で融通可能な電力量や災害時に利用可能な給電スポットの可視化といった電力供給における共助を可能にする基盤となると考えている。さらに再生可能エネルギーの普及におけるモチベーションの維持や、その利活用をきっかけとしたコミュニティの形成に寄与し、結果として街の付加価値を高める取り組みにつながることを期待している。

2. 関連研究および技術

本研究ではスマートメータによる情報の収集が必要になる。そのための技術的知見の一部を平成 22 年度に行った実験より得ている。またソーシャル給電スポットの一つとして地域内での蓄電池による電力の融通を試みる社会実験であるソーシャル電池プロジェクト「みんなでお電池」を紹介する。本研究で開発しているシステムはオープンであることを目指しているため、標準規格である IEEE 1888-2011 について述べる。

2.1 スマートレジデンス

各種センサーを家庭内に設置し、再生可能エネルギーの発電量や、家電機器の消費電量を可視化することによる CO₂ 削減効果等の実証実験が、経済産業省、総務省他多数により国内でも行われている。以下は、本研究の動機となった、愛媛県松山市で実施されている事例を紹介する。総務省の平成 22 年度環境負荷軽減型地域 ICT システム基盤確立事業において「愛媛県松山市における ICT の技術仕様の検証のための地域実験」²⁾ を行った。この実験は愛媛県松山市高井町の高井地「ていれぎ」にて実施された¹⁾。受託者は、鹿島建設、アバンアソシエイツ、エス・ピー・シー、横須賀テレコムリサーチパーク、ユーシーテクノの 5 社である。この実験では実証実験協力世帯を 10 世帯募集し、分電盤、電力コンセン

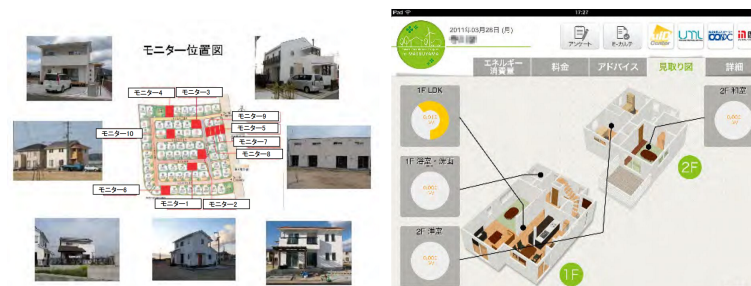


図 1 スマートレジデンス「ていれぎ」の概観と環境負荷の可視化

Fig. 1 The overview of our smart residence “Teiregi” subdivision and visualization for environmental load-reduction

ト、蓄電池、太陽光発電、風力発電機、ガス、上水道にスマートメータを、また屋内外に温度、湿度、照度、人感センサーを取り付けモニタリングを行うとともに電気自動車によるカーシェアリングを行った。実際の住居で実施した点、スマートメータなどのセンサーネットワークの技術的開発に関連して設置機器ごとに ucode²⁾ を付与している点がこの実験の特徴である。

これらの情報をサーバに送信し、協力世帯の携帯情報端末に提示するとともに、環境負荷軽減のためのアドバイスを「e カルテ」として提供し、主要な家電機器のエネルギー消費量の“可視化”による住人意識変化などが検討された。e カルテに表示する情報は一定以上の照度がある場合にもかかわらず照明がつけられている時間帯、時間をあけた入浴、特に長い照明やテレビの利用などをもとにした。e カルテの効果を測定したところ、明示的に提示されているアドバイス以外の項目についても削減効果が出ていることが分かった。2011 年 6 月から本格的にセンサーネットワークが稼働を始めたため、未だ十分な評価は実施できていないものの、

- (a) 従来であれば月 1 度の電力会社の検針結果でしか、省エネ努力の結果が分からなかったが、リアルタイムにモニタすることによる“可視化”によって、すぐ分かる。このため、エコ意識の高揚が期待できる
- (b) 節電タイプの冷蔵庫やエアコンと、そうでない旧式の機器との消費電力の違いが歴然と分かる
- (c) 洗濯機の消費電力と、その時間の水道メータ値との相関をみると、洗濯機の節水性能の程度が分かる

(d) 生活リズムが家屋毎に異なるため、例えば、住宅地コミュニティが一括で電力会社から受電すれば、負荷の平滑化が図れそうである

といったことが、次々と明らかになっており、大きな成果が期待されている。この実験では協力世帯を含む同地域の分譲地 73 戸を対象として環境負荷軽減に向けた意識や知識を共有するためにコミュニティサイトを運営したが、極小地域情報へのニーズは高いものの限られた対象者に対しての情報提供や広告による資金では持続的な運営が難しいことが分かった。また導入当初のエコ意識を維持する方策も課題として挙げられた³⁾。このことから本研究では既存の SNS を活用し住民自らが情報発信者となり、参加者同士での競い合い(エコランキング)やその結果に対するインセンティブの付与により持続的なコミュニティの形成を図ろうとしている。本研究では新たに開発したスマートメータからの情報だけでなく外部システムからのデータも活用することを目指しているため、その実証としてこれまでスマートレジデンスで収集したデータを活用する。スマートレジデンスでは平成 23 年 2 月時点も継続してデータを収集中であり、本システムによる外部のシステムからの継続的なデータ収集の実証も兼ねる。

2.2 ソーシャル電池プロジェクト「みんなでお電池」

電力の融通には配電網による方法と蓄電池の輸送による方法がある。前者は現存する商用配電網のほか、街区程度の範囲を対象としたコミュニティ送電網が考えられる。後者は EV に搭載されたバッテリーや人間が持ち運び可能な程度の小型蓄電池が想定される。特に再生可能エネルギーによる発電量は変動があるうえ制御が難しいため、蓄電池の活用が求められるが、物理的な蓄電池そのものをソーシャルにやり取りすることは一般的ではない。一方で、持ち運び可能な電力の供給源として乾電池を購入するという行為は日常的に行われている。携帯情報端末の消費電力が増加している現在、稼働時間を延長するため乾電池を用いた補助電源を持ち歩くユーザも多い。そこで乾電池型蓄電池による電力の融通がどの程度人々に受け入れられるかを調査するため、平成 24 年度にソーシャル電池プロジェクト(通称「みんなでお電池」)を計画している^{*1}。これはあらかじめ指定されたブランドの単三型蓄電池を協力店舗に持ち込めば、充電された状態のもとと交換してもらえるというものである。このような仕組みをソーシャル電池と呼ぶ。交換によりユーザに渡されるソーシャル電池にはバーコードが付与される。現在このバーコードを読み取ることでソーシャル電池の流通経路や流通速度などを可視化するスマートフォン用のアプリケーションを準備中である。

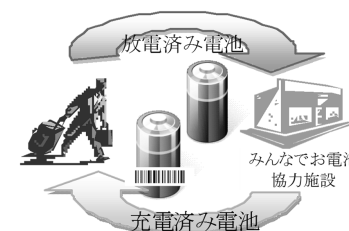


図 2 ソーシャル電池プロジェクト「みんなでお電池」
Fig.2 The Social Battery Project “Min’na de Odenchi”

ソーシャル電池は必ず交換により流通するため、劣化により流通から排除されたソーシャル電池の補充を除いて必要なコストは充電のためのものだけである。このプロジェクトではソーシャル電池を充電するための電力として必ずしも再生可能エネルギーに限定していないが、仮に商用電源で充電したとしても一回の充電にかかるコストは極微小であり、店舗の経済的負担は少ないと考えている。

蓄電池は充放電を繰り返すとその特性が劣化するが、充電器による検出だけでなくユーザによる劣化の報告も参考にする。すなわち同一のソーシャル電池に対して複数のユーザが劣化している可能性がある場合と報告した場合にはそれをソーシャル電池の流通から除外する。実環境においてどの程度の速度で劣化が進みソーシャル電池の補充が必要になるかを測定することもソーシャル電池プロジェクトの目的の一つである。

2.3 IEEE 1888-2011 標準

電力を始めとしたエネルギーの需給制御を行うための基盤技術として IEEE 1888-2011 IEEE Standard for Ubiquitous Green Community Control Network Protocol が 2011 年に承認された。これは FIAP⁶⁾ という名称で東京大学グリーン ICT プロジェクトが提案していたものをもとにした標準規格であり、建物レベルから都市レベルまでの設備を対象にそのセンサー情報を蓄積し、これにもとづきインテリジェントな制御を行うためのリファレンスモデルと機器間のプロトコルを規定している(図 3)。機器間の通信は HTTP にもとづき、認証などはウェブの標準技術を、機器間で送受信するデータ表現には XML を採用している。本研究で開発中のスマートメータとデータ収集および蓄積システムとの間では独自のプロトコルのほか IEEE 1888-2011 に準拠した XML 表現も可能となっており、今後普及が期待される同規格に準拠した製品群との相互接続を目指している。なお、XML 表現の標準化は同規格のワーキンググループで進められている途上であるため、今後の動向に注目し

*1 e まつやま最先端技術研究会の協力により実施の予定 <http://www.e-matsuyama.cite.ehime-u.ac.jp/>

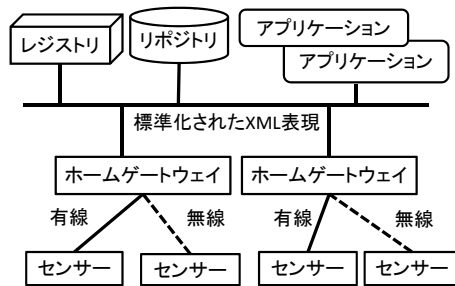


図3 IEEE 1888-2011 リファレンスモデル
Fig.3 IEEE 1888-2011 reference model.

ている。

3. システムの構成

本システムは各家庭に設置されるスマートメータを含むホームネットワークと、クラウドサービスの上に実装されるデータ収集及び蓄積システム、これを提示する SNS 連携部から構成される。

3.1 スマートメータとホームネットワーク

図4に、本研究で構築するホームネットワークを示す。太陽光発電量情報は、オープンソース・ハードウェアである Arduino マイコンボード (Microcontroller : ATmega168(8-bit Atmel 社), Digital I/O Pins : 14, Analog Input Pins : 6, Clock Speed : 16 MHz⁴⁾), および電力線通信 (PLC) モデム (周波数帯 : 10k-450kHz) を用いて、一旦 HomeGateway で収集する。電源コンセントが近くに無い場合 PLC モデムが利用できない場合は、ZigBee 相当の無線器 (バッテリー駆動, 2.4 GHz, 1mW⁵⁾) を用いる。HomeGateway は、Internet に接続し、定期的にクラウドサーバに収集情報を伝送する。サーバに蓄積したデータは、PC や携帯端末からの要求に応じて処理され、提示される。

HomeGateway にはこの他、省エネのための HEMS(Home Energy Management System) 機能を搭載し、家電機器の ON/OFF 制御等を行う。外出先から宅内の家電機器の ON/OFF 制御を行うことにより、電灯の消し忘れ等の無駄な電力消費を無くすることができる。さらに、クラウド上のサーバから「外出中」等の抽象化されたメッセージを受信し、個々のホームネットワークが状況に応じて照明や空調を制御することにより、よりインテリジェントな省エネを行うことを目指している。また、余剰電力をソーシャルコミュニティに提供

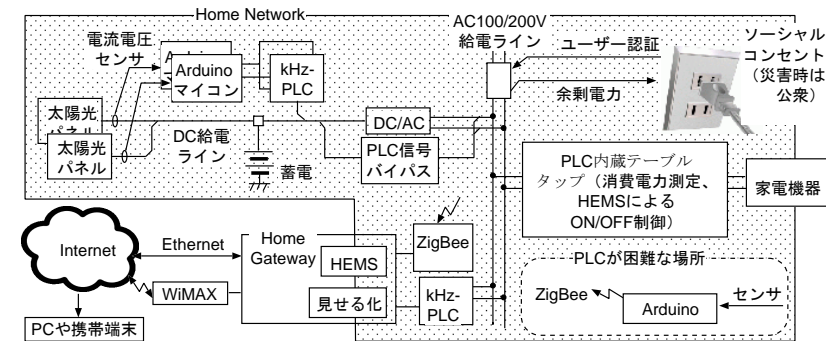


図4 本研究で構築するホームネットワーク
Fig.4 The home network developed in this research.

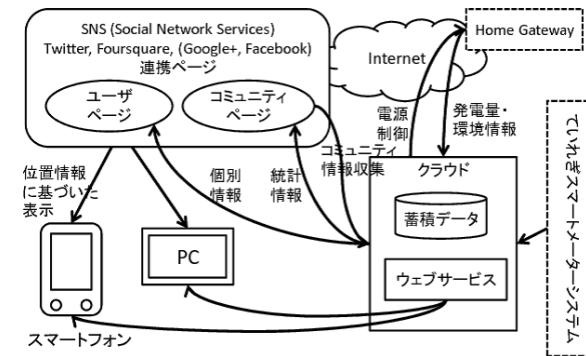


図5 本研究で構築するデータ収集及び蓄積システム
Fig.5 The data Submission and Storage System in this research.

する (ソーシャルコンセント・大規模災害時には公衆コンセントにする。) ためのユーザー認証機能を実装していく予定である。

3.2 データ収集及び蓄積システム

図5に本研究で構築するデータ収集及び蓄積システムを示す。データ収集及び蓄積システムの大部分は PaaS 型のクラウドサービスである Google App Engine 上に構築し、ホームゲートウェイからの情報は HTTP によりインターネット経由で収集する。また、外部シ

システムとの連携として 2.1 節で述べたスマートレジデンスで蓄積された情報およびリアルタイムに測定される情報も収集する．収集した情報は発電設備の設置場所にもとづき次市町村県などの単位で集計する．また任意のユーザ集合を対象とした集計を行う機能もそなえる．各ユーザは自分の発電量の履歴を見ることができるほか，3.3 節で述べる各種 SNS との連携に関する設定やプロフィール，使用している設備に関する情報，匿名性に関する制限を設定できる．匿名性に関する制限は，市や県といった大きな規模の集計には参加したいが町村や街区といった小さな規模の集計には参加したくないような場合に用いる．参加者が少ない地域では集計の対象が一人になる可能性があることに配慮したものである．

データ収集及び蓄積システムはホームゲートウェイの持つ HEMS 機能との連携のための機能をそなえる．SNS 経由でユーザから指定された HTMS 用のコマンドを蓄積し，ホームゲートウェイに伝達すると共に，ホームネットワーク内におけるコマンドの実行結果を受け取り SNS 経由でユーザに伝達する．

3.3 SNS 連携

本研究ではユーザとのインタラクションおよびコミュニティの形成に活用する SNS として Twitter，Facebook および foursquare を用いる．各種 SNS はユーザ同士のつながりをあらずソーシャルグラフの特性や地理情報の取り扱い，情報の伝播範囲の制御方法などについてそれぞれ特徴がある．ソーシャルグラフに着目すると，Twitter はフォローという一方向の関係すなわち有向グラフに基づくソーシャルグラフ，Facebook はフレンドという双方向の関係すなわち無向グラフに基づくソーシャルグラフであるという特徴がある．また foursquare はその両者と連携することができる位置情報に基づく SNS である．これらの理由により 3 つの SNS を選定した．このうち Twitter には本システム専用のアカウントを取得した．

本システムは SNS を利用して，ユーザごとの発電量の発信，コミュニティにもとづき集計された発電量の発信，HEMS 機能とのインターフェイス，本システムの稼働状況やおすすめ情報の告知という 4 つの機能を提供する．ユーザが所属するコミュニティの推定には SNS から取得したソーシャルグラフとユーザがあらかじめ登録した市町村県などの地理的区分を用いる．情報発信の主体としては，本システムが主体として発信する場合，本システムがユーザの代理として発信する場合，ユーザ本人が能動的に発信する場合の 3 通りが考えられる．本システムが主体として発信する情報は，地理的情報や本システムを利用するユーザ全体といった，ユーザごとのソーシャルグラフに依存しない情報にもとづき集計した発電量などを想定している．一方，本システムがユーザの代理として発信する情報は，ソ-

シャルグラフから推定したコミュニティにもとづき集計した発電量などを想定している．また発信された情報の伝達のされ方には，ユーザが特別な操作をすることなく受動的に情報を受け取るプッシュ型と，ユーザによる能動的な操作の結果として情報が得られるプル型がある．これらのことから Facebook(FB) と Twitter(Tw) における情報発信のパターンは表 1 のように分類される．ここで S は本システム， U はユーザ， $\mathcal{F}(x)$ は Twitter における x

表 1 SNS における情報伝達のタイプ
Table 1 Types of information propagation on SNSs

タイプ	発信者	投稿先種別 / 所有者	プッシュ範囲 / プル範囲	伝達される情報
1	S	FB ページ / U	購読者 / 公開	$\mathcal{T}(\{\text{購読者}\})$
2	S	FB ページ / S	購読者 / 公開	告知
3	S	FB グループ / U	登録者 / 設定可	$\mathcal{T}(\{\text{登録者}\})$
4	U	FB ウォール / U	フレンド / 設定可	$\mathcal{T}(\{\text{フレンド}\})$
5	S	Tw TL / U	$\mathcal{F}(S) \cap \mathcal{F}(U)$ / 公開	$\mathcal{T}(\{\text{地理的区分}\})$
6	S	Tw TL / 指定なし	$\mathcal{F}(S)$ / 公開	優先度の高い告知
7	U	Tw TL / S	$\mathcal{F}(S) \cap \mathcal{F}(U)$ / 公開	$\mathcal{T}(\mathcal{F}(S, U))$
8	U	Tw TL / 指定なし	$\mathcal{F}(U)$ / 公開	$\mathcal{T}(\mathcal{F}(U))$
9	U	Tw TL / null	U / 公開	$\mathcal{T}(\{U\})$
10	S	Tw TL / null	S / 公開	優先度の低い告知
11	U	Tw DM / S	S / S	HEMS 制御指令
12	S	Tw DM / U	U / U	HEMS 制御結果

のフォロワー， $\mathcal{T}(X)$ はユーザの集合 X 全体にわたる発電量の集計結果をあらわす．また TL はタイムライン，DM はダイレクトメッセージである．null は Twitter における @null アカウントであり，これは誰でもないユーザを表す特殊なアカウントである．@null 宛てのツイートはどのユーザにもプッシュされないという特徴がある．

ユーザは本システムを利用するにあたり希望する情報伝達のタイプを一つ以上指定する．伝達される情報の種類や発電量の集計範囲はタイプから自動的に決定され，ユーザが公開範囲などを改めて指定する必要はない．集計範囲の決定の多くは「ユーザは自身の発電量が含まれる集計に興味を持つ」という仮定にもとづいている．例えばユーザ U, V が友人であった場合， V には U の発信した情報がプッシュされる．この情報が発電量の集計結果であれば，その集計には V の発電量が含まれているべきであるという考え方である．これはタイプ 8 に相当する．特別な制御が必要な情報伝達がタイプが 5 である．タイプ 5 では S から U に宛てて情報が伝達されている．Twitter では V が U および S をフォローしているとき， S から U にあてた情報が V のタイムラインにもプッシュされる．このとき S から U, V に

発信されるべき情報が同じであれば、S は U に対して発信するだけでよいことになる。複数のユーザに同じ情報を送信する必要があるのは、共通の告知もしくはそれらのユーザが同じ地理的区分にもとづいた集計に参加している時だけである。さらにもし S が同じ情報を V にも発信するならば、V は重複して同じ情報を受け取ることになり冗長である。このようにタイプ 5 では SNS 上での情報の伝播を考慮し、できるだけ重複することなく情報を伝達するための制御が求められる。タイプ 5 では複数のユーザを宛先として情報伝達を行うこともありうる。このとき受け取ったユーザは自分がフォローしていないものの同じ地理的区分による集計に興味を持つ他のユーザの存在を知ることになる。これは本システムに興味を持つユーザに対する他のユーザのリコメンデーション機能である。複数のユーザをどう組み合わせるかをプロフィールや使用している発電設備の情報をもとに制御することで、リコメンデーションの効果を高めることができる可能性がある。

HEMS 機能に対するコマンドの送信および実行結果の取得は Twitter のダイレクトメール (DM) 機能により行う。DM は本システムとユーザにしか見ることができないため、ユーザが外出中であるなどの情報を送信することによるプライバシー上のリスクは生じないと考えている。またコマンドの実行結果も DM 経由でユーザに伝達される。

本システムが利用する第 3 の SNS である foursquare は店舗や交通拠点、公共施設などを venue として登録し、この venue にユーザがチェックインした履歴をもとに、施設に関する情報の提供、ユーザ同士の情報交換、ライフログなどの機能を提供する SNS である。2.2 節の協力店舗や 3.1 節のソーシャルコンセントといったソーシャル給電スポットに関する情報はこれにより提供する。foursquare でのチェックインに関する情報は Twitter および Facebook に投稿することができ、また foursquare 自身も API を備えていることから、ユーザに対してソーシャル給電スポットに関するリコメンデーションをおこなったり、また店舗や施設がソーシャル給電スポットであることをプロモーションに利用することができる。

4. 今後の展開

本研究では再生可能エネルギーの利活用に対する動機を維持するために、既存の SNS から取得したソーシャルグラフをもとにしたコミュニティでの発電量を集計し、情報交換や競争を促進する基盤となるシステムを開発している。これは従来の発電量可視化である「見える化」の延長として位置づけられる「見せる化」である。再生可能エネルギーによる発電量は主として設置環境や天候により支配され、設置者の努力が効果を及ぼす余地は少ない。しかしながらそれは発電量そのものは個人の生活と関連が薄く、プライバシーに関わる情報

が含まれていないことを意味する。それゆえ発電量は見せる化に適していると言える。本システムはソーシャル電力を実現する基盤としての利用も目指しており、実現すれば再生可能エネルギーによる電力の「自産自消」から地産地消への転換が可能となる。これは災害時における電力利用の共助を可能にする。我々はこれを「みんなでお電気」と呼んでいる。本研究の成果が安心、安全で持続可能な電力利用に向けた再生可能エネルギーの利活用促進に資すると期待している。

参 考 文 献

- 1) 総務省情報流通行政局情報流通振興課: ICT による環境にやさしいまちづくり, 入手先 (http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/ictriyou/02ryutsu02_03000064.html), (参照 2012-02-03).
- 2) コビキタス ID アーキテクチャ, T-Engine Forum, Ubiquitous ID Center, Specification, DRAFT, 910-S002-0.00.24/UID-CO00002-0.00.24, 2006-11-16.
- 3) 四国総合通信局: 「スマートグリッドセミナーフォローアップ勉強会」を開催, 平成 23 年テレポータ四国 Web 版, 平成 23 年 11 月 17 日, 入手先 (<http://www.soumu.go.jp/soutsu/shikoku/koho/teleporter/2011/20111122.html>), (参照 2012-02-04).
- 4) What is Arduino? 入手先 (<http://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>), (参照 2012-02-04).
- 5) XBee 1mW Wire Antenna - Series 1 (802.15.4), SparkFun Electronics 社, 入手先 (www.sparkfun.com/products/8665), (参照 2012-02-04).
- 6) 江崎浩, 落合秀也: 東大グリーン ICT プロジェクト, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J94-B, No.10, pp.1225-1231