

中嶋毅彰¹
Takeaki NAKAJIMA米川慧¹
Kei YONEKAWA石田繁巳¹
Shigemitsu ISHIDA鈴木誠¹
Makoto SUZUKI森川博之¹
Hiroyuki MORIKAWA東京大学先端科学技術研究センター¹ / Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo

1 はじめに

筆者らは、多数の電気自動車 (EV) や分散型電源が導入された電力網において、条件を柔軟に指定して電力の要求や提供を行う「電力サービス」の実現を目指している。電力サービスの例としては、「特定のオフィスソフト起動時に、ソフトウェアベンダによりノートパソコンへグリーン電力が供給されるサービス」「余剰なグリーン電力を利用可能なときにのみエアコンの設定温度をより快適なものにする」などが考えられる。本稿では、このような電力サービスを実現するためのサービス電力発見・割当て・制御機構の設計について述べる。

2 要件

典型的な電力サービスの例として、以下のようなシナリオを考える。

A さんが休日に EV でショッピングモールにやってきた。ここでは、ショッピングモールの屋根に設置された太陽光発電システム (PV) から買い物客の EV に無料で電力を供給するサービスが提供されており、A さんが買い物をする間に EV が充電される。このサービスでは、一時的な曇天や EV の増加で PV の供給が不足した場合も、系列店舗の PV 供給に余裕があれば、そちらからの供給に途切れなく切り替わる。A さんが買い物を終えて帰宅すると、EV は A さんの友人に安価に電力を提供するサービス提供電源となる。A さんの友人は視聴していたテレビに電力供給を受けていたが、チャンネルを切り替えると番組のスポンサーがテレビの電力を供給するサービスを提供していたため、A さんからの電力供給を終了し、このサービスの電力供給を開始した。テレビの消費電力に対しスポンサーの発電機出力に余裕があったため、テレビの輝度が最大に自動調節された。

このようなサービスの実現に向けては、以下の 3 つの要件が存在する。1 つ目は、サービス需給状況の変化に対する透過性の確保である。上述のシナリオでは、EV などの機器の移動、視聴番組などの機器状態の変化、消費 / 発電量の変動により、機器の要求するサービス内容とその電力量、実際にサービスを受給可能な電力量は常に変化する。このような動的な変化をサービス要求 / 提供機器に意識させることなくサービスを継続する必要がある。

2 つ目は、柔軟なサービス記述である。上記の電力サービスは、消費 / 発電機器において送電元 / 電力供給先に対する条件を指定するものであると言える。送電元 / 電力供給先に対する条件は、「ショッピングモールの PV」といったグループ化された機器の指定や「電力に余裕のある EV」といった電力の指定を含む場合がある。このため、サービスを表すためには様々な条件を表現可能な記述が必要となる。

3 つ目は、電力の地産地消の促進である。分散型電源が大量に導入されると、配電電圧維持、配電損失低減の観点から逆潮流を抑制するために電力の地産地消が求められる。この要求に応じ、サービス需給改善のために制御を行う際は各機器の位置するエリアの電力需給状況を考慮する必要がある。

3 設計

前節で述べた要件を満たす電力サービスの実現に向けて、電力サービスの発見・割当て・制御機構の設計を行った。図 1 に電力サービス発見・割当て・制御機構の全体像を示す。本機構では、電力網上に配置された Smart Power Flow Controller (SPFC) がサービス提供電源から広告された情報に従ってサービス要求を動的にルーティングすることでサービス需給状況に透過的な電力サービスが実現される [1]。サービス提供電源の広告やサービス要求に含まれるサービス名には、階層構造を持つ XML 形式による表現を用いることで柔軟な記述を実現する [2]。このとき、SPFC を電力網の階層的なトポロジに従って配置することで地産地消指向の電力制御を行う。

本機構の動作は割当てフェーズと制御フェーズの 2 つのフェーズに分けられる。割当てフェーズでは、サービス要求 / 提供機器の情報に基づいてサービス毎に電力の割当てを行う。電力の割当ては電力網上で下位層から順に行われる。

まず、サービス要求 / 提供機器は電力網上で末端に位置する SPFC (Terminatory SPFC: T-SPFC) に対して、自身の消費 / 発電量とサービス名を含んだサービス要求 / 提供情報を送信する。例えば、2 で示したサービス例では、ショッピングモールの PV は

```
<Power>100,000</Power>
<Service>Shopping Mall Nakajima PV</Service>
```

などといったサービス提供情報を、A さんの EV は

```
<Power>-2,000</Power>
<Service>Shopping Mall Nakajima PV</Service>
```

などといったサービス要求情報を T-SPFC に対して送信する (図 1a)。サービス要求情報とサービス提供情報は、機器の消費 / 発電量を示す <Power> の符号によって区別される。

T-SPFC は、受信したすべてのサービス要求 / 提供機器の情報を用いてサービス名が一致する消費 / 発電機器の間で電力の割当てを行う。例えば、ショッピングモールの PV が提供する Shopping Mall Nakajima PV サービスは A さんの EV の要求するサービスと一致するため、電力の割当てが行われる (図 1b)。この結果、Shopping Mall Nakajima PV サービスは未割当て電力 98,000 [W] を残すこととなる。

T-SPFC は、すべてのサービス要求 / 提供機器についての電力割当てを終えると、未割当て電力のサービス要求 / 提供情報を直上の SPFC に送信する。上述の例では

```
<Power>98,000</Power>
<Service>Shopping Mall Nakajima PV</Service>
```

などというサービス提供情報が送信される (図 1c)。これにより、電力網上の 1 つ上の階層において電力割当てが開始される。

SPFC における電力割当ては、サービス提供情報にしたがってサービス要求情報をルーティングすることで行われる。SPFC がサービス提供情報を受信した場合には、サービス提供情報を送信元 SPFC とともに記録する。サービス要求情報を受信した場合には、記録されているサービス提供情報の中からサービス要求と同一のサービスを検索し、サービス提供情報を送信した SPFC に対してサービス要求情報を転送する。SPFC においてサービス要求情報の転送を繰り返すことで、サービス要求情報は最終的に T-SPFC に転送される。ショッピングモールの例を考えると、PV の電力が不足している他店舗から

```
<Power>-5,000</Power>
<Service>Shopping Mall Nakajima PV</Service>
```

などというサービス要求情報が SPFC に対して送信されてきた場合、SPFC は Shopping Mall Nakajima PV のサービス提供情報を検索し、サービス要求情報を転送する (図 1d)。

直上の SPFC からサービス要求情報を受信した T-SPFC は、未割当て電力を用いて電力の割当てを行う。そして、割り当てた電力の値と、割当てによって変化したサービス要求 / 供給情報を直上の SPFC に返却する。ショッピングモールの例においては、Shopping Mall Nakajima PV サービスの未割当て電力 98,000 [W] を用いて転送されてきたサービス要求に対する電力の割当てが行われる。そして、割当て電力 <Power>5,000</Power> と、割当ての結果が反映されて <Power>93,000</Power> となったサービス提供情報が返却される。返却された電力値とサービス要求 / 供給情報は、サービス要求情報が転送されてきた経路を逆向きにたどり、5,000 [W] のサービス要求を発生した T-SPFC に転送される (図 1e)。

SPFC の配下で電力割当てがすべて完了すると、SPFC は未割当てのサービスに関するサービス要求 / 提供情報を直上の SPFC に送信する。そして、電力網上で上位に位置する SPFC が同様にして電力の割当てを行う。最上位に位置する SPFC において電力の割当てが完了すると、割当てフェーズの完了を全 T-SPFC に対してブロードキャストし、制御フェーズに移る。

制御フェーズでは、サービスごとの電力需給を一致させるように T-SPFC が消費 / 発電機器を制御する。このとき、割当電力を増加させる制御を優先して行う。制御を行うため、サービス要求 / 提供情報には各機器が許容できる制御電力量 (SLACK) を含める。また、この制御を地産地消を行うため各 SPFC はサービス要求情報をルーティングする際に管轄地域の逆潮流を付加する。

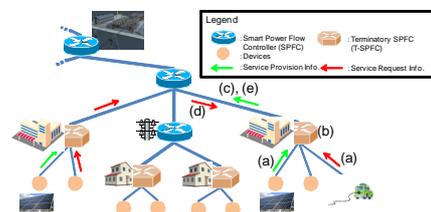
具体的には、T-SPFC の割当て完了後のサービス提供電力が未割当てとなっている場合は、まずその電力と割り当てられたサービス要求電力のうち消費を増加させられるものを、逆潮流の多い地域に属するものから増加させていく。それでも需給の一致が見込まれない場合は、サービス提供電源の発電量を減少させる。サービス提供電力が全てサービス要求電力に割当てられている場合は、それらの要求電力の SLACK の、増加可能な消費電力の総和とサービス提供情報の増加可能な発電電力のうち、小さい方だけ、サービス提供電源の発電を増やす。

4 おわりに

電力網上で多様なサービス実現に向け、本稿では表現力の高いサービス表現形式を用い、電力網上で地産地消指向かつサービス提供電源の変化に透過的なサービス発見及び電力の割当て・制御を行う機構を設計した。現在、提案した機構が多様なサービス実現に資することを示すための実装を進めている。また、シミュレーションによる本機構の基本性能評価を進めている。

参考文献

- [1] 南ほか, “ユビキタス環境におけるサービス合成支援のためのインターフェース指向ネームサービス,” 信学論 (B), 2003.
- [2] W. Adjie-Winoto *et al.*, “The design and implementation of an intentional naming system,” SIGOPS Operating System Review, 1999.



S-86 図 1 電力サービスの発見・割当て・制御機構の全体像