

# 家庭内オンデマンド型電力ネットワークにおける 電力経路資源予約プロトコル A Power Route Reservation Protocol toward Energy-on-Demand Home Networking

宮本 琢也†      小山 洋一‡      岡部 寿男\*  
Takuya Miyamoto    Youichi Koyama    Yasuo Okabe

## 1. はじめに

CO<sub>2</sub> の排出削減など、環境問題への対策として省エネルギー化が注目されている。また太陽光発電や風力発電などの発電方法が普及してきている。多様化してきているエネルギーの品質をパラメータ化し、エネルギーの性質に合わせた運用が必要である。一方で、2011年3月11日に発生した東日本大震災、及びそれに伴う福島第一原子力発電所の事故により、日本で発電所からの供給電力が不足している。今後も電力不足が予想されるため、一般家庭でも瞬時電力を一定値以内に抑える事が必要となっている。現在、家庭では瞬時電力の上限を超えそうになれば、ブレーカーが落ちる。この方法で瞬時電力の制限を守っているが、ブレーカーが落ちるとい事は部屋ないし家庭全体で電気が使えなくなる。これは生活者の QoL (Quality of life = 人間の生活品質), すなわち利便性や快適性を落とす結果につながってしまう。そこで、生活者の QoL を損なわないために、家庭内において電力の流れの情報化を行い各機器の要求に応じた電力を効率よく送るオンデマンド型電力ネットワークの構築が期待されている。

オンデマンド型電力ネットワークでは、現在の木構造の電力ネットワークを、電力ルーティングスイッチを利用した網目構造のネットワークとしている。このネットワーク上では、電力の品質ごとに区分(カラーリング)し、監視する事で電力の性質を考えたエネルギー運用が可能となり、家庭内で瞬時電力を一定以下に抑えるなど、電力消費の効率化を図る事ができる。また、1本の電力線には1種類の電力しか通すことができないという物理的な制限を乗り越えるために、電力のパケット化の研究も行われている[1]。

我々は電力を色分けして経路制御を行う事とインターネットにおける経路制御プロトコルの類似性について着目した。インターネットにおけるラベルスイッチングのプロトコルに MPLS (Multi-Protocol Label Switching)がある。これを抽象化・一般化した GMPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switching)では、時分割多重や波形多重、回線交換などの多重化技術に対応したエンドツーエンドのパスを確立する事ができる。これを、電力ルーティングスイッチを用いた回線交換や電力のパケット化による時分割多重などに応用できるのではないかと考えた。また、電力消費機器が求める品質の電力供給を受けるために、電力資源や電力経路を確保する必要がある。これを実現する方法として、インターネットの資源予約プロトコル、RSVP (Resource Reservation Protocol), そして RSVP にラベルを配布する機能を拡張した RSVP-TE を応用することを考えた。RSVP では、コンテンツ配信者が提示した QoS を受信者が判断して資源の予約がなされる受信者主導のプロトコルである。

今回、まず消費機器が電力供給側にまず電力の要求を伝える事により、供給者主導となるプロトコルに変更する事を提案する。また、どの電力経路の状態を把握するために、合わせて経路制御プロトコル OSPF (Open Shortest Path First), その拡張プロトコル OSPF-TE (OSPF Traffic-Engineering) を用いる事が必要だと考えた。

以上の事から、今回、インターネットプロトコル GMPLS, RSVP-TE, OSPF-TE を応用し、オンデマンド型電力ネットワークにおいて消費機器の要求に応じた電力を送る、供給電力や電力経路の資源を予約するプロトコルを提案する。このプロトコルでは、供給電力の品質や消費機器の性質に合わせて経路の設定を行い、瞬時電力を指定した一定値以下に抑える制御を実現する事ができる。

本稿では 2 章でエネルギーの情報化及び、オンデマンド型電力ネットワークについて研究されている内容について紹介する。3 章では、今回提案する電力経路制御に適用しようと考えたインターネットプロトコルを紹介する。4 章から 6 章にかけて、我々が本稿で提案する電力経路制御予約プロトコルについて論じる。4 章では電力経路制御のために設定しているレイヤモデルについて説明する。5 章では電力を性質ごとに分けて運用するためにエネルギーの情報化で考えられている QoEn (Quality of Energy = 電力の品質)について、最後に 6 章で電力経路予約プロトコルについて論じる。

## 2. 関連研究

### 2.1 エネルギーの情報化

現在、主に欧米などで電力網の高機能化を目指して Smart Grid の研究開発が進められている[2]。Smart Grid とは、発電設備から末端の電力機器まで含めた電力網全体に対して、情報技術を積極的に用いる事で電力網内での需給バランスの最適化調整や、事故や過負荷に対する抗堪性の向上を目指している。このように Smart Grid は大規模な電力ネットワークを念頭に置いている。一方で「エネルギーの情報化」は、家庭やオフィスなど電力消費者に注目し、電力ネットワークと情報ネットワークを統合する事によって、生活者の行動に応じてプロアクティブにエネルギーを制御・管理する事で省エネ環境の実現を目指している。

エネルギーの情報化の取り組み[3]として、エネルギー品質を定式化し電力流を情報化する技術の研究、電力量を把握し、供給量を制御する技術、生活者の行動を予測しながら供給電力を割り当てる技術の研究、地域コミュニティレベルで CO<sub>2</sub> の排出削減を実現する技術の研究などが行われている。[4]

† 京都大学情報学研究科知能情報学専攻, Graduate School of Informatics Kyoto University

‡ 株式会社 トランス・ニュー・テクノロジー, Trans New Technology, inc

\* 京都大学学術情報メディアセンター, Academic Center for Computing and Media Studies Kyoto University

これまで、藤本らは資源予約プロトコル RSVP，ルーティングプロトコル HQLIP を応用し、人間の生活品質を損なわずして「家庭内の瞬間消費電力量を 20kW 内に抑える」といった命令/目標をネットワークが達成する新しい電力ネットワークを提案した[5].

また、柴田らは、PoE(Power over Ethernet)という LAN の配線で用いられる UTP ケーブルを通じて、イーサネットとしての接続とともに 48V 系の直流の電力供給を行う技術を用いてオンデマンド型の家庭内電力ルーティングのためのルーティングスイッチを提案した[6].

また、1本の電線で1種類の電力しか配送できないという物理的な制約を超えるために、系統の異なる電力を時分割多重で配送する技術や電力の packets 化して配送するという技術も研究されている。

## 2.2 オンデマンド型電力ネットワーク

現在の家庭内の電力ネットワークは機器をコンセントにつなぐと、電力供給能力を超えないのであれば直ちに電力が供給される。もし、電力需要が供給能力を超えた場合、ブレーカーが作動し、その系統ないしは家庭全体が停電するという仕組みになっている。この仕組みは単純だが、生活者の QoL を犠牲にするという点が問題である。

これに対し、エネルギーの情報化が目指すオンデマンド型電力ネットワークは、消費機器が必要とする電力の量と品質をあらかじめ提示し、ネットワーク側がその要求を鑑みて電力供給を開始する。もし、電力需要が供給能力を超えた場合でも、ネットワーク側が機器の優先度を考慮し電力供給が滞ってはならないもの(例えば瞬時に弱いデスクトップ PC)に関しては供給を続けるが、停止しても生活に影響の少ない機器(例えば人がいない部屋の電気)の供給を停止または制限するといった対応を行う。これにより、電力需要が多い場合でも停電する事なく生活を維持できる。オンデマンド型電力ネットワークの構成を図1に示す。

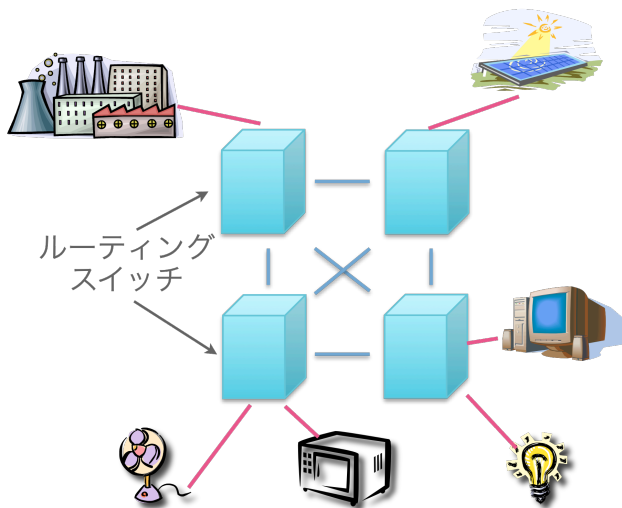


図1 家庭内オンデマンド型電力ネットワーク

### 2.2.1 電力のカラーリング

供給電力を、品質を考慮しつつ制御するためには、供給される電力を性質ごとに区分(カラーリング)する必要がある[7]. 我々はこれを実現するために電力ルーティングスイッチからなる網目状の電力ネットワークを提案している。現在の家庭内の電力ネットワークは、電力計を根とする木構造になっている。このネットワークでは電力の流れは一方方向でしか流れない。提案している電力ネットワークは通信における回線交換のように配線をつないで電源から機器への電力経路を導く。

また、電力のカラーリングとインターネットプロトコルの類似性について考える。インターネットにおいてパケットを IP アドレスの代わりにラベルでルーティングを行い、エンドツーエンドのパスを作るプロトコル MPLS がある。このプロトコルを光ネットワークに対応させたものに GMPLS がある。GMPLS では様々な多重化技術に対応していて、時分割多重や波形多重、回線交換などのタイプが定義されている。これらを前述した電力の時分割多重技術や、電力の packets 化技術に対応させる事ができると考え、電力経路を設定するために GMPLS を応用することができると考えた。

### 2.2.2 電力経路の資源予約

インターネットにおいて、QoS を保証するために、帯域などの資源を確保してから通信を開始するプロトコルに RSVP がある。RSVP を MPLS 用に拡張したプロトコルとして RSVP-TE (RSVP Traffic Engineering) もある。RSVP はコンテンツ受信者が資源予約を行う受信者主導のプロトコルである。

RSVP における帯域予約を、電力ネットワークにおける電力経路予約として考えた場合、送信者を電源、受信者を消費機器となる。もし、RSVP のまま受信者主導の方法だと電源側が供給する電力の品質(QoEn = Quality of Energy)を先に提示することになる。この方法だと、電源の供給電力が機器の要求電力を超えた場合、過剰な電力が供給されることになる。よって、電力資源予約に関しては、RSVP を応用しつつ、まず消費機器が要求する電力の QoEn を先に提示することが必要となる。つまり、電力資源予約に関しては、RSVP を応用しつつ、電源主導の予約プロトコルとなる。また、RSVP 自体には経路制御プロトコルは含まれていないので、合わせて OSPF などのルーティングプロトコルを用いる必要がある。

## 3. ルーティングプロトコル

現在、ネットワークを用いて情報のやり取りを行う際にいろいろな通信プロトコルが用いられている。

OSPF は、ルータを経由して IP パケットを送信する際、IP アドレスと、その IP アドレスを宛先とする IP パケットの次の行き先のルータを対応させるルーティングテーブルの作成を行う。

MPLS は、ルータが送られてきたパケットを別のルータに転送する際に、ルーティング情報として IP ヘッダを用

いず、「ラベル」という識別標識を利用するパケット転送技術である。

RSVP は、OSPF などのルーティングプロトコルで作成されたルーティングテーブルに基づき、経路の帯域の予約を行うプロトコルである。

今回、これらのルーティングプロトコルを電力ネットワークに適応させる事でシステムの実現を図った。以下にこれらのプロトコル、及びそれらの拡張プロトコルについて述べる

### 3.1 OSPF

OSPF とは、リンクステート型のルーティングプロトコルである。リンクステート型では、ネットワーク構成情報を取得する際、すべてのルータから情報を集める。そしてその情報からルーティングテーブルを作成する。OSPF ではメトリック（宛先ネットワークとの距離を表す情報）として”コスト”という値を用いる。OSPF では各ルータがネットワーク構成を把握していることにより、ネットワーク構成が変化した際に素早くルーティングテーブルを再構築することができる。このようにスケラビリティに優れている。

### 3.2 OSPF-TE

OSPF-TE(Traffic Engineering)は、OSPF に使用可能な帯域幅の情報と「カラー」と呼ばれる所属するグループの情報を管理する機能を追加したものである[8]。これにより、明示的な経路の指定と帯域幅の把握を行うことができる。OSPF-TE ではリンクの長さ、カラー、帯域幅、未予約帯域幅の情報を管理する。

### 3.3 MPLS

MPLS は、フレームやパケットの前方にラベルと呼ばれる識別子を付加して転送を行うことにより、通信の高速化や機能の付加を図る技術である。IP アドレスの経路表を検索してパケットを伝送するのではなく、ラベル情報でパケットを伝送する。ラベル情報に基づく経路を LSP(Label Switched Path)といい、MPLS ではこの LSP に基づいたパケット伝送を行う。パケットは入り口 LSR(Label Switching Router)で、IP パケットに MPLS ヘッダ(ラベル)をつける。その後、MPLS ラベル情報に基づいて転送が行われ、出口 LSR で MPLS ヘッダが取り除かれたのち目的地までパケットの伝送が行われる。図 2 に MPLS でパケットが伝送される流れを示す。

### 3.4 GMPLS

GMPLS は、MPLS においてラベルに基づいてルーティング経路を指定していたものを、光ネットワーク上の信号を信号の波長をもとにルーティングを行う事や、制御専用の IP チャネルを用意して実データは光信号のままルーティングを行う事に対応したものである[9]。光伝送ネットワークにおける時分割多重、波長多重、回線交換などによってエンドツーエンドのパスを提供するために MPLS を拡張したものである。

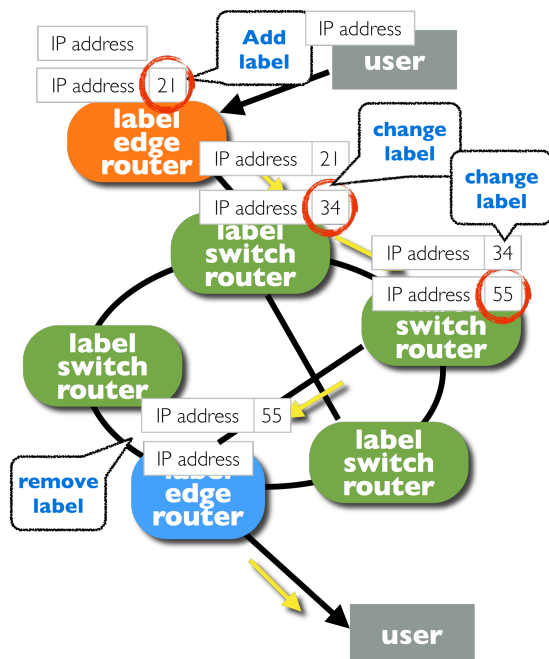


図 2 MPLS パケット伝送の流れ

### 3.5 RSVP

RSVP は、IP ネットワークにおいて送信先までの帯域を予約し、ネットワーク上の通信路の品質保証を行なうプロトコルである[10]。RSVP は、アプリケーションの異なる要求に対応する IP ネットワークを提供する事を意図している。OSPF などのルーティングプロトコルが計算したルートに沿って動的なアクセスリストを参照する。RSVP はコンテンツ受信者が資源予約を行う仕組みを持つ事から、受信者主導の資源予約プロトコルと言える。通信路の予約のやり取りを図 3 に示す。

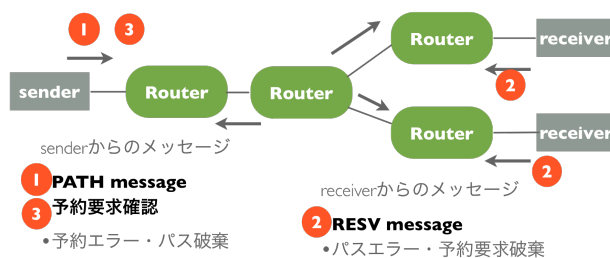


図 3 RSVP 通信路の予約

### 3.6 RSVP-TE

RSVP-TE は RSVP にラベル配布と TE 機能に対応させた拡張プロトコルである[11]。このプロトコルは MPLS に対応しており LSP の経路を明示的に指定する事や、LSP の帯域幅を確保するなどの機能がある。また、設定優先度 (setup priority) や維持優先度 (hold priority) を設定することが

できる。設定優先度はそのセッションが既に割り当てられている帯域を横取りすることができるかどうかを定義する。維持優先度は、そのセッションが横取られることができるかどうかを定義する。電力資源予約においてはこれらを組み合わせ、他の機器への電力を横取りする制御を行う。

#### 4. 電力経路制御レイヤモデル

電力経路制御を行う上で、新たに各機能を階層化したモデルを提案する。この階層モデルは3つの階層から成り立っている。このモデルを図4に示す。以下にそれぞれの層について説明する。

##### 4.1 上位層

上位層は電源と消費機器にのみ存在し、消費機器がネットワークに接続された際、電源側と消費機器側で電力の要求や応答のやり取りを行う。消費機器がどのような性質の電力を要求し、また電源がどのような基準で電力供給に応じるかは、イベント状態や節電計画に基づいて生成される。

ここで扱うものは電力の品質(QoEn)であり、4章で述べる

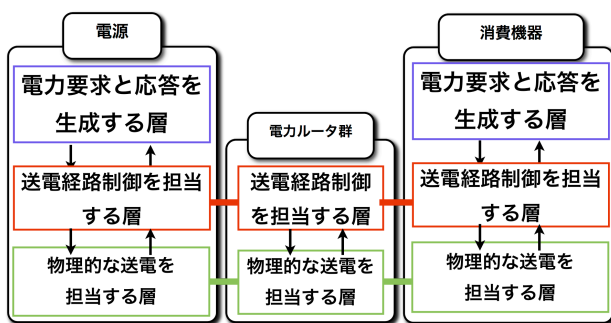


図4 電力経路制御におけるレイヤモデル

##### 4.2 中位層

中位層では、送電経路の制御を行う。この層では電源、電力ルータ、消費機器それぞれが通信を行い、ルーティングプロトコルに基づきルーティングテーブルを作成し、電力経路情報を管理する。この情報は消費機器、電源、そして電力ルータそれぞれが管理している。また、消費機器がネットワークに接続されてから電力供給開始までの電力経路の予約のための通信を担う層でもある。この層でのプロトコル動作シーケンスについては6章で述べる。

##### 4.3 下位層

下位層は電力ネットワークの物理的な送電を担当する。電力要求に基づき物理的な回線交換を行い、また回線使用状況を上位層に知らせる役割を持つ。

また、物理的な送電方式には各種のものが考えられる[1][6]ので、それらを抽象化し、中位層からは統一的なインターフェースで扱えるようにする。そのためのプロトコルとしてGMPLSを応用する。

## 5. 電力の品質(Quality of Energy)

従来の家庭内電力供給モデルでは、安定した一定の電圧の電力が供給されている。しかし一方で、様々な発電方法が開発されており、発電形式によって電力の性質も異なる。また、電力を消費する機器についても、必要な電力量や電力の性質が機器ごとに異なっている。そこで我々は、供給電力の性質の違いや電力消費の特性をふまえて電力運用を行うため、電力の品質(QoEn)を設定する。電力の品質として電力を定式化して電力の流れを情報化するという提案である。この定式化については電源側の電力品質と、機器が欲する電力品質二つの視点がある。また、扱うべき情報は様々なものが考えられるが、本研究では次の各節に述べる要素のみを取り上げて扱うものとする。

### 5.1 電源側の QoEn

電源側の QoEn パラメータは電力安定度、供給可能電力量、コストが考えられる。電圧安定度とは、電圧の変動割合や瞬停の時間幅である。供給可能電力量は、その電源が持つ最大の供給力及び、現時点で供給可能な電力量の情報である。コストは、電力の価格やその電力を消費する事によって排出されるCO<sub>2</sub>の量を設定することができる。コストをどのように設定するかは生活者が求める要求によって変化する。例えば、経済的にコスト計算を行いたいという場合はコストとして電気料金を設定し、環境に配慮した電力使用を行いたい場合はコストとしてCO<sub>2</sub>排出量を設定する、などが考えられる。

設定例を表1に示す。

|       | 安定度 | 供給可能電力 | コスト |
|-------|-----|--------|-----|
| 商用電力  | 高   | 500W   | 高   |
| 太陽光発電 | 低   | 150W   | 安   |
| 燃料電池  | 高   | 120W   | 安   |

表1 電源の QoEn

本研究では安定度は高・低の2種類、コストは高・安の2種類で扱うとしている。

電力会社から供給される商用電力は、電圧安定度は高いがコストが高い。一方で家庭での太陽光発電による電力は、天候や時間によって発電量が大きく左右されるため電力安定度は低い、低価格でCO<sub>2</sub>排出量も少ない。

### 5.2 消費機器側の QoEn

消費機器側の QoEn パラメータは消費電力量、必要とする電力の安定度、コスト、そして優先度である。消費機器は家庭内電力ネットワークに接続した際、これらのパラメータを乗せたリクエストをネットワークに送信する。必要とする電力の性質パラメータとして、電圧安定度やコストの情報を設定する。優先度パラメータとは、消費機器に優先順位をつける事で、供給可能電力量を超過しそうな際に優先順位が低い機器が使用している電力を横取りするために必要となるパラメータである。

例を表2に示す。

|            | 消費電力 | 安定度 | コスト | 優先度 |
|------------|------|-----|-----|-----|
| 扇風機        | 50W  | 低   | 安   | 3   |
| Desktop PC | 120W | 高   | 高   | 1   |
| TV         | 100W | 高   | 安   | 3   |
| 充電器        | 40W  | 低   | 安   | 4   |

表 2 消費機器の QoEn

本研究では簡単のため消費機器が求める安定度は高・低の 2 種類, コストは高・安の 2 種類, 優先度は 1~5 の段階(1 が最優先)で扱うとしている。

例えば, Desktop PC は瞬停に弱いという性質があるため供給される電力は必ず安定度の高いものでなくてはならない。一方で充電器の場合, 常に電力が供給されなくてもいいので安定度が低い電力でも問題ない。その分コストの安い電力を求める事が考えられる。

## 6. プロトコル動作シーケンス

ここでは, 電力経路資源予約プロトコルを説明する。供給可能電力量に余裕がある場合の家庭内の電力ネットワークに消費機器が接続された場合の電力供給までの流れと, 電力に余裕がない場合に他の機器に供給している電力を奪い取って電力供給の確立を行う横取り制御について説明する。

このプロトコルは, インターネットプロトコル OSPF-TE, GMPLS, RSVP-TE を応用して行う。OSPF-TE を応用する事で電力ネットワークのルーティングテーブルを作成する。このテーブルには電源の QoEn や, 電力ルータの使用状況などの情報が含まれている。そして, RSVP-TE を応用した電力経路の予約を行う。この際, RSVP は QoS を設定するのが送信者であるため受信者主導の予約プロトコルだったのに対し, 電力資源予約においては, 消費機器が電源側に要求する QoEn を提示し予約が開始される事から, 電源主導の予約プロトコルとなる。最後に, 電力経路の予約が許可された時点で, GMPLS を応用し, 物理的な電力経路を割り当てる。

### 6.1 電力経路確立

ここでは機器に電力が送り始めるまでの流れを説明する。

1, まず, 電力ネットワーク内の電力ルータや電源が通信を行い, 電源の QoEn を網羅したルーティングテーブルを作成する。

2, この電力ネットワークに機器が接続された際, 消費機器は, まず必要な電力の情報(電力量やコスト, 優先度)を付加した REQ message を電源に向けて送信する。ここでのリクエストはリストになっていて, 優先順位がつけられている。また, このリクエストはマルチキャストで送られる。

3, マルチキャストされた REQ message を受けた各電源は, リクエストを満たす現在供給可能な電力の情報を乗せた PATH message を経路情報に基づいて消費機器まで送信する。この際, 送られる経路はルーティングプロトコルに従い QoEn を満たす経路である。

4, 消費機器に複数の電源からの PATH message が届くと, 消費機器はその中から最も条件に合う(リクエストの優先順位が高い)ものを選択する。そして, 供給を開始する RESV message を PATH message が送られてきたパスを逆に辿って電源まで送る。

5, ここから GMPLS に基づいたスイッチングを行う。RESV message を受け取ったルータは物理的に経路を割り当てる。その後, 一つ電源側のルータに向けて RESV message を送信する。これを繰り返し行い, 機器から電源まで一つずつルータとの物理的な経路を確保していく。

6, RESV message が電源に届いた時点で, 電源から機器までの QoEn を満たす電力経路が確立されたことになる。そして, 機器に向かって電力の供給が開始される。

電源側と機器とのメッセージのやり取りの図を図 5 に示す。

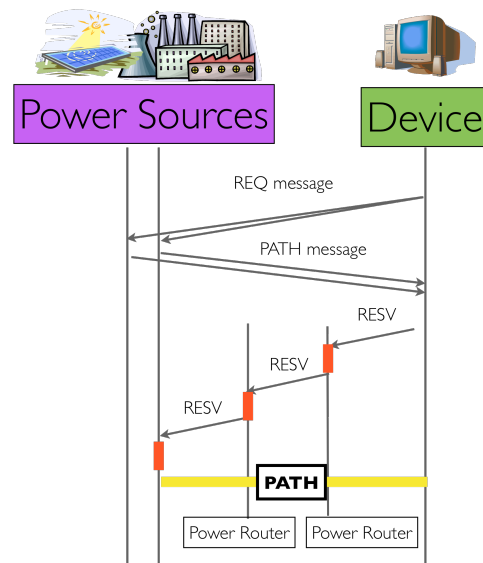


図 5 電源及び電力経路の確立

### 6.2 横取り制御

オンデマンド型家庭内電力ネットワークにおいて, 各消費機器にはパラメータとして優先度が設定されている。優先度の高い機器が接続された場合, 電源の供給能力に応じて優先度の低い機器の電力供給を奪いとることができる。この制御を横取り制御という。

例を図 6 に示す。

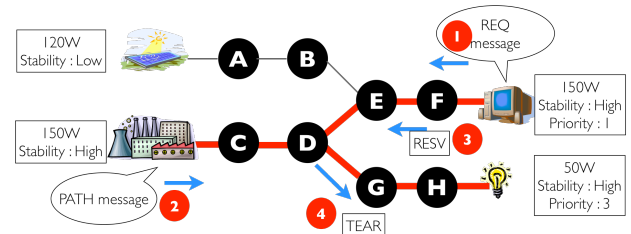


図 6 PC が電球の電力を横取りする場合

始め、商用電力と電球が接続されている。電球には 50W の電力が流れ込んでいる。ここで新たにデスクトップ PC が接続されたとする。このネットワークだとリクエストを満たす電力を供給できるのは商用電力となる。しかし、現在商用電力は電球に 50W 電力を供給している事から、このままでは 100W しか供給できない。そこで、電球の優先度はデスクトップ PC よりも低い値である事から、電球への電力供給をカットしてデスクトップ PC へ電力の供給を開始する。以下にデスクトップ PC 接続から電力供給開始までの流れを示す。

1, デスクトップ PC は 150W, 電力安定度が高く、優先度が 1 で電源に向けて REQ メッセージ送信する。

2, それを受けた各電源は自分が供給可能な電力の情報を入れた PATH メッセージを返す。このとき、商用電力側は今受けたリクエストの優先度と、現在供給中の機器の優先度を比較した上で返す。

3, 電源からの PATH メッセージを受けたデスクトップ PC は、経路情報にもとづき隣のルータ(F)へ RESV メッセージを送る。

4, RESV メッセージを受けたルータ F は、自分とデスクトップ PC の電力経路を接続し、ルータ E へ RESV メッセージを送る。

5, ルータ F と同様の操作をルータ E も行う。ルータ E はルータ D に向けて RESV メッセージを送る。

6, RESV メッセージを受けたルータ D は、まず商用電力からの電力を電球に送っている経路を切断するため自分とルータ G の電力経路を切断する。その際に切断を伝える TEAR メッセージをルータ G に送信する。そしてルータ E との電力経路を確立し、デスクトップ PC へ電力が供給され始める。

7, TEAR メッセージを受けたルータ G は、ルータ H との電力経路を切断し、TEAR メッセージをルータ H に送信する。

8, 同様の操作をルータ H が行う。

## 7. おわりに

今回、我々はインターネットで使用されている QoS 保証のためのプロトコルを家庭内オンデマンド型電力ネットワークにおける電力経路制御に応用し、電源から消費機器までをエンドツーエンドで結ぶ事により、家庭内の瞬時電力を一定値以内に抑える事のできる電力経路資源予約プロトコルの提案を行った。このプロトコルは RSVP を応用し、受信者主導であったプロトコルを送信者(電力供給側)主導とする事で実現した。今後はこのプロトコルを実装した場合、機器接続から電力供給開始までどれだけ時間がかかるか、電圧が安定するまでどれだけ時間がかかるか、などを調査していき、このプロトコルを実環境に適応させるよう研究を進めて行く予定である。

## 参考文献

[1] T. Takuno, Y. Kitamori, R. Takahashi, and T. Hikihara, AC Power Routing System in Home Based on Demand and

Supply Utilizing Distributed Power Sources, *Energies* 2011, 4(5), 717-726, April 2011

[2] Smart Grid Home Page, <http://www.nist.gov/smartgrid/>

[3] Integration technology of information. communication and energy(ice-it). <http://www.net.ist.i.kyoto-u.ac.jp/ice-it/>.

[4] T. Matsuyama. Creating safe, secure, and environment-friendly lifestyles through i-energy. In *New Breeze*, volume 21, pages 1-8, 4 2009.

[5] 藤本圭・岡部寿男. 家庭内電力ネットワークにおける qoen を考慮した電力制御の提案. In *信学技報*, volume109, 2009.

[6] 柴田和輝・坂井一美・古村隆明・岡部寿男. オンデマンド型家庭内電力ネットワークのための電力ルーティングスイッチ. In *信学技報*, volume 110, pages 25-30,11 2010.

[7] 岡部寿男. エネルギーの情報化による電力マネジメント: 4. オンデマンド型家庭内電力ネットワークのための qoen(エネルギー品質) を考慮した経路制御. In *情報処理*, volume 51, pages 951-958, 8 2010.

[8] D. Katz K. Kompella D. Yeung, "Traffic Engineering (TE) Extensions to OSPF Version 2," RFC3630, Sept 2003

[9] L. Berger, "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Functional Description," RFC3471, Jan 2003

[10] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, and S. Jamin, "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) -- Version 1, Functional Specification," RFC 2205, Sept. 1997.

[11] D. Awduche, L. Berger, D. Gan, T. Li, V. Srinivasan, G. Swallow, "RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels," RFC 3209, Dec. 2001.