

# PoE におけるオンデマンド型電力供給のためのリンク層探索プロトコルの拡張

## An Extension of Link Layer Discovery Protocol for On-Demand Power Supply on PoE

横畠 誠也†      前田 朋孝‡      岡部 寿男‡  
Masaya Yokohata†      Tomotaka Maeda‡      Yasuo Okabe‡

### 1 はじめに

現在、地球温暖化や 2011 年に発生した東日本大震災による原発の事故により節電の必要性が高まっている。節電のために個々による各電力会社管内では、地域に応じて計画停電が実施されたり、個々の家庭へ向けて節電が呼びかけられるなどの様々な取り組みが行われている。

しかし現在の電力供給ネットワークでは、機器がネットワークにつながった無条件瞬間に電力が供給される。この形態で節電しようとした際には個人が機器の電源をこまめに消すことによってでしか節電ができなく、これを実現するためには意識を高く持ち続ける必要がある。

それを解決方法として意識することなく自動的に節電するということが考えられる。その取り組みとして、松山らが提唱するエネルギーの情報化 [1] や情報通信・エネルギー統合技術の研究開発 [2] が挙げられる。これらの研究では、オンデマンド型電力供給ネットワークが提唱され、機器から必要な電力を明示的に要求することとし、機器ごとの優先度に応じた電力量が供給されることにより節電の達成を目指している。

そこで本研究では、オンデマンド型電力供給ネットワークに注目し、機器から必要なエネルギーをネットワークに伝える方法について考えた。情報と電力を伝える技術に Power over Ethernet(PoE)がある。IEEE 802.3 af PoE では、電力クラスという形でおおよその消費電力量を推測することができ、さらに IEEE 802.3 at PoE+ では、リンク層探索プロトコル (Link Layer Discovery Protocol:LLDP) により情報を機器からネットワークに送ることができ、明示的な電力要求を行うことができる。しかし現状の PoE では、PD から PSE に優先度を送ることができ、また複数の要求を機器の状態にあわせて動的に送ることができなかった。これを実現するために、PoE の拡張を提案する。

以下の構成を述べる。2 章でエネルギーの情報化におけるオンデマンド型電力ネットワークと電力を品質

ごとに運用する方法 (Quality of Energy)[3] について説明する。3 章ではその実現方法として有力な技術である PoE と PoE で電力要求に用いられているリンク層探索プロトコルについて述べ、4 章ではそれらを踏まえた上で PoE に基づくオンデマンド型電力供給システムを提案し、実現するために必要なリンク層探索プロトコルの拡張についての提案を行う。最後に 5 章でまとめとして、結論と今後の課題を述べる。

### 2 関連研究

現在、主に欧米などで電力網の高機能化を目指して Smart Grid[4] の研究開発が進められている。Smart Grid とは、発電設備から末端の電力機器まで含めた大規模な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。対してエネルギーの情報化では、家庭などの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とともに、生活者の行動に応じて機器から電源へのオンデマンド型要求により電力を制御・管理する事で、省エネ環境の実現を目指している。

#### 2.1 エネルギーの情報化

エネルギーの情報化ではプロトコル設計のアプローチとして、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]。また宮本らは、光ネットワーク上でパケットの前方にラベルを付加して転送し、時分割多重、波長多重、回線交換機能を可能にした GMPLS が電力ネットワークに適用できるのではないかと考え、これに経路資源予約プロトコルである RSVP を拡張した RSVP-TE と、経路情報交換プロトコルである OSPF を拡張した OSPF-TE の適用について提案している [6]。

また実現方法のアプローチとして、柴田らは PoE で使われなかった線に大容量の電力を流すことを可能に

† 京都大学大学院情報学研究所, Graduate School of Informatics, Kyoto University

‡ 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

した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 [7]. 湯浅らは, 各機器に計測・通信・制御機能を持つスマートタップを接続し, スマートタップから管理サーバへ要求を行うことで擬似的なオンデマンド型電力供給ネットワークを構築した [8].

## 2.2 オンデマンド型電力供給ネットワーク

2011年3月に起きた原発事故等により発生した電力不足により節電の必要性が高まっている. 現在の電力供給ネットワークは, 図1のように発電所から送電される単一電源から供給され, コンセントに消費機器をさせば, 無条件に電力が供給されるシステムとなっている. しかしこの様なシステムにおいて節電を実現しようとしたとき, 電力会社が計画停電により変電所ごとに電力の供給を停止したり, 個人が機器の電源をこまめに落とすぐらいしか対策ができない.

そこで我々は, 図2のように電力ネットワークが自動的に機器ごとに細かく節電を行うことが必要であると考え, 機器側から必要な電力量と優先度を電力ネットワークに要求としてあげた後に優先度によってどの機器にどの電力値を割り当てるかを決定することで Quality of Life を損なわないオンデマンド型電力供給ネットワークの実現を目指している. 高い優先度をもつ機器が新たにネットワークに接続されたとき低い優先度の機器を奪う電力の横取りが行われる.

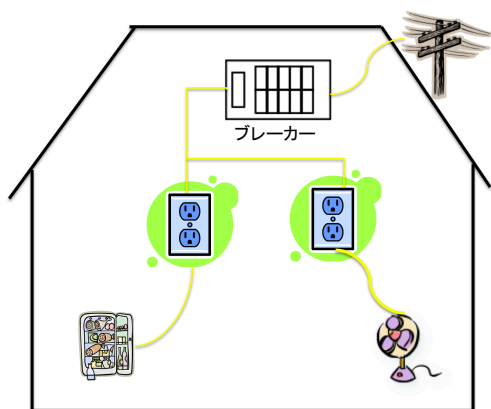


図1: 従来の電力供給ネットワーク

## 3 Power over Ethernet

### 3.1 IEEE 802.3 af PoE

PoEは, 天井やロビー, 吹き抜けなどの電源が確保しにくい場所に対し, LAN ケーブルだけで電力を流すことができる技術であり, 配線や電気工事の費用と手間を省く目的に用いられている. これによって情報を流すだけでなく電力を流すことができる. 電力を供給す

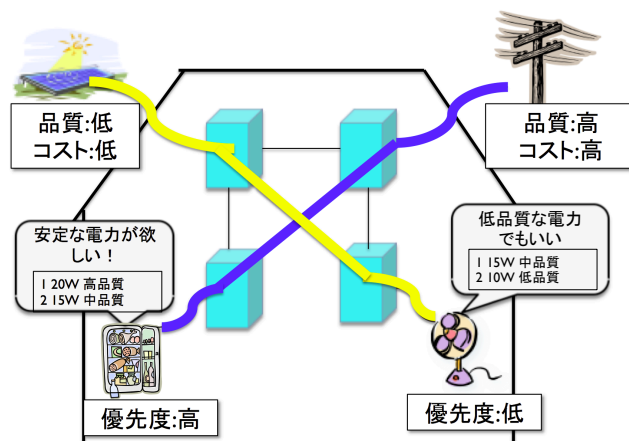


図2: オンデマンド型電力供給ネットワーク

る側は PSE(Power Supply Equipment), 電力を受ける側は PD(Power Device) と呼ばれる. PoE に対応した PD として, IP 電話や無線のアクセスポイント, web カメラ, ディスプレイなどがすでに市販されている. 2003年に規格化された IEEE 802.3 af の PoE では, PSE が個々の PD に対して 48V の電圧をかけ, 15.4W まで供給できる. PSE には, PD が接続された際にそれが PoE 対応機器であるかどうかを検出する機能と, 供給電力の監視および切断機能がある. PoE 対応機器であるかどうかは, PSE に PD が接続されたときにある一定の電圧をかけたときの検出電流値から判断する. その後 PSE は 20.5V の電圧をかけ, 表1のように, 電流値を測定することで機器の消費電力量を電力クラスという形で一定の範囲で推測することができる.

表1: PoE における電力クラス

電力クラス	PD の消費電力量 (W)	検出電流 (mA)
0	0.44~12.9	0~5
1	0.44~3.84	8~13
2	3.84~6.49	16~21
3	6.49~12.9	25~31

また PSE は, 各 PD への電流値を監視し続け電流値が電力クラスに対応した予測消費電力量分を超えた電流値を検出すると, 電力供給を遮断する. これにより PSE は, 直接つながっている PD への電力供給の管理を行うことが可能である.

### 3.2 IEEE 802.3 at PoE+

2009年に IEEE 802.3at PoE+は, IEEE 802.3af の拡張として規格化された.

この規格では個々の PD に供給できる消費電力量が 30W に増えたほか, IEEE 802.3 af おける電力クラスが判断された後に IEEE 802.1AB で規格化されたデータリンク層プロトコルである LLDP によって機器の動作

に必要な電力を伝えることができる。

表 2: リンク層探索プロトコルの各項目

基本項目 (必須)	用途
Chassis ID	機器の識別情報
Port ID	ポートの識別情報
Time To Live	有効期間
基本項目 (オプション)	用途
Port Description	インターフェースの概要
System Name	システム名
System Description	機器の名称やバージョン
System Capabilities	機器の種別
Management Address	管理用アドレス
拡張項目	用途
Port VLAN ID	ポート vlan に関する情報
MAC/PHY Configuration	インターフェースに関する情報
Power via MDI	PoE に関する情報

表 2 に LLDP で交換される情報を示す。LLDP では管理情報を任意に追加でき、扱う項目として基本項目と拡張項目がある。拡張項目については IEEE 802.1AB の規格に準拠していれば、業界団体やベンダが独自に定義することが可能である。

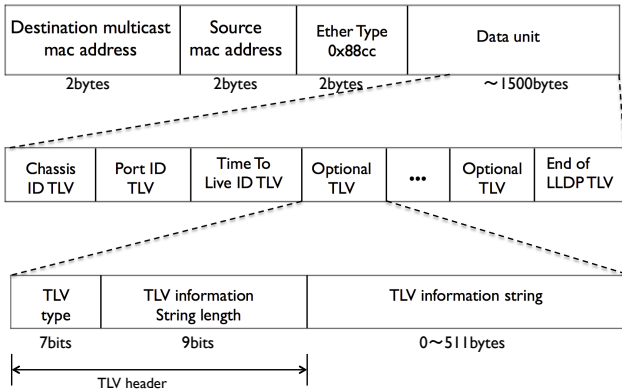


図 3: リンク層探索プロトコルのフォーマット

LLDP では送信先にマルチキャスト MAC アドレスを指定することで隣接する機器間の情報交換を実現している。つまり送信者と受信者との間でコネクションを確立することなく、送信者から一定間隔おきに情報の格納された LLDP パケットを送信することにより情報の伝達を行う。

次に図 3 にリンク層探索プロトコルのフォーマットを示す。Data Unit には情報の各項目が Type Length Value(TLV) という形で格納され、TLV は、項目の id を指す TLV type、項目のデータ長を指す TLV length、実データである TLV information string から成り、TLV information string のデータ長は 0~511bytes の可変である。また、TLV type=127 とすることで業界団体やベンダが自由に拡張することができることと定義されている。

IEEE802.3 の拡張項目の Power via MDI では図 6 のようなフォーマットとなっている。最初の 802.3 OUI 00-

12-0F はこの TLV が IEEE 802.3 の拡張項目であることを示している。次の OUI Subtype では、この IEEE 802.3 の拡張項目内での id を表している。そこから先に実際のデータが格納されており、この中の Power Priority では PSE から PD へのポート別優先度、PD Requested Power Value では、PD から PSE への要求電力、PSE Allocated Power Value では PSE から PD への割当電力が定義されている。

Power Priority は、Critical(1), high(2), low(3) の 3 段階によって表され、PSE の電力供給状況が逼迫したとき先に優先度が低いポートへの電力供給を遮断することで、PSE につながっている PD 群の消費電力を一定値以下に保つことを実現する。PSE Power Request Value, PD Power Request Value には、1~255 までの値が格納されており、その値の 10 分の 1 が実際の要求・割当電力値となる。

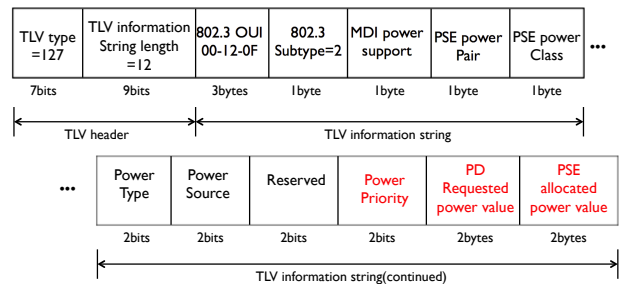


図 4: Power via MDI の TLV フォーマット

### 3.3 現状の PoE での課題点

PoE では、ケーブル上に PSE が PD へ情報とともに電力を流すことが両方を流すことやリンク層探索プロトコルにより PD が PSE へ要求電力の伝達が可能であり、オンデマンド型電力供給ネットワークを実現する上で必要な要素の多くが含まれている。ここでは PoE でオンデマンド型電力供給ネットワークを実現する上で必要な課題点を述べる。

1 つ目に現状の PoE では、PD から電力要求をした後に PSE 側で供給状況をもとに要求を受け入れられるかが判断され、不受理の場合はその機器へ全く電力は供給されない。ここでの問題点として、PD は最初に要求した電力量よりも小さな電力量でも動作可能な場合があるのにも関わらず、再度要求をできないことが挙げられる。

2 つ目に優先度は単に PSE により一方的に PD ごとに設定されており、優先度をもとに PD が要求を変えるわけではないことが挙げられる。

## 4 オンデマンド型電力供給を実現するための PoE の拡張提案

オンデマンド型電力ネットワークを実現しようとしたとき、前章で述べた PoE にできないことを実現するためには電力要求に用いられている LLDP にどのような拡張が必要であるのかを考察・提案し、拡張によって実現可能となるネットワークを具体的な例を挙げ説明する。前提条件として LLDP のパケットが PD と PSE 間でロスを全く起こさないものとする。

### 4.1 リンク層探索プロトコルの拡張

3.3 節で述べた現状の PoE の課題点を踏まえた上で、オンデマンド型電力供給ネットワークを実現するためには LLDP にどのような拡張が必要であるかを述べ、LLDP の規格を考慮した上でフォーマットを新たに定義する。

#### 4.1.1 PSE からの供給可能電力量の返答

PSE が要求を受理しないときの PD への返信を設ける必要がある。ただし要求に対する不受理を示す返信だけだと、PSE が電力供給をするまで PD は要求値を少しずつ変え何度も要求を送り続けなければならない。そこで少ない回数で要求が受け入れられるようにするために PSE が返信時に割当可能な最大電力量を提示し、その情報をもとに PD が次の要求をすることを提案する。そこで PSE の供給可能電力量の返答を実現するために、LLDP に新たに TLV を定義する。

LLDP の規格を満たすために、LLDP の TLV type に拡張用の 127 を用い OUI に我々の研究プロジェクトである ice-it を新たに定義することでフィールドの自由な拡張を実現する。

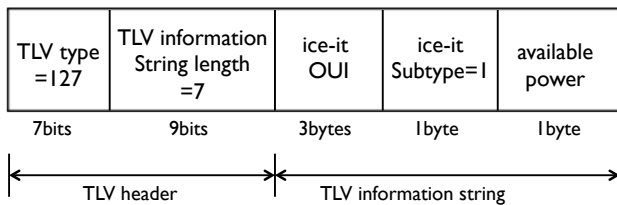


図 5: 供給可能電力量 TLV

これによりオンデマンド型電力供給において、ネットワークが電力要求を受け入れられない際に機器に電力割当可能量を提示することを実現し、この情報をもとに機器は次の電力要求値を決定することができる。

#### 4.1.2 PD からの電力要求における優先度の指定

PoE で用いられている LLDP における Power Priority は PSE から PD への一方的な割当にしか用いられない。

そこで Power Priority を PD から PSE への要求値として用いることができるようにすることを提案する。LLDP の規格を満たすために、Power via MDI において Power Type=PD すなわち PD が LLDP パケットを PSE に向けて送信する場合は、Power Priority には PD から PSE への電力優先度が格納されるように拡張し、PSE 側でこれを受理できるようにする。これによりオンデマンド型電力供給ネットワークにおいて、優先度を要求として機器から電力ルータに伝達することを実現する。

ここでオンデマンド型電力供給において新たに高優先度の機器が接続してくることを考えると、機器間の電力の横取りを実現する必要がある。しかし電力の横取りを行う際の課題点として、4.1.1 で提案した供給可能電力量は電力の横取りを考慮していない値となっていることである。そこで PSE から PD への供給可能電力量を優先度別に LLDP パケットとして送ることを提案する。LLDP の規格を満たすために、次のように TLV を拡張することを提案する。

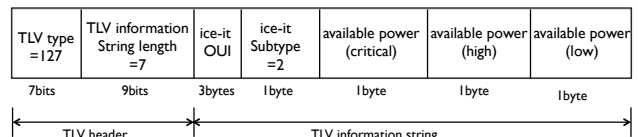


図 6: 優先度別供給可能電力量 TLV

これにより機器はネットワークから返ってきた優先度別供給可能電力量をもとに、次の要求電力量と優先度を設定することができる。これは動作中に横取りされると困る機器が優先度を高いものに変えてきても、ほかの機器がその機器の横取りしようとして要求した際、返信された優先度別供給可能電力量に応じて要求を送り直すことで横取りすることなくネットワーク側から電力供給されることを可能とする。

### 4.2 実現可能となるオンデマンド型 PoE 電力供給ネットワーク

4.1 節で述べた拡張をすることで、実現可能となるオンデマンド型電力供給ネットワークを具体的な例を用いて説明する。ネットワーク内に PSE として働く電力ルータと、PD として働く洗濯機と冷蔵庫と PC が存在している状況を考える。各機器は、要求する電力量と優先度をリストとして持ち、このリストから次の要求を決定する。

図 7 において、ネットワーク全体の供給可能電力量が 60W で、電力ルータには洗濯機、冷蔵庫がつながっており、要求電力量がそれぞれ 20W、30W、優先度が低、中に設定されているものとする。洗濯機、冷蔵庫は要求量どおりに電力が供給され、そこに PC が新たに接続し電力要求を行う状況を考える。PC は機器とし



て動作可能な電力量を複数候補として持ち、電力ルータから返ってきた供給可能電力量の情報をもとにリストから決定する。

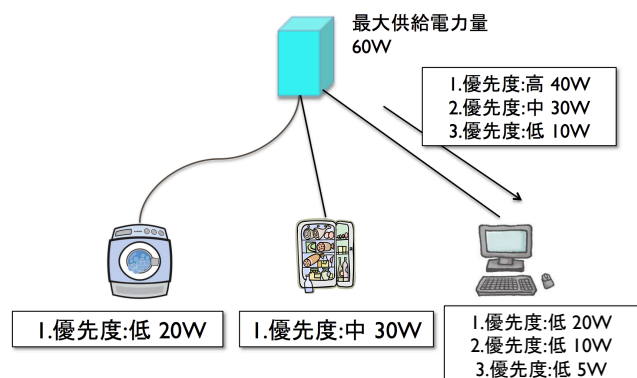


図 7: 実現可能となるオンデマンド型電力供給ネットワーク

まず PC は 1 番目の候補 (優先度低 20W) を要求として送信すると、ネットワークは最大供給電力量を超え要求を受け入れられないので、供給可能量が電力ルータから機器へ返される。ここで低優先度の場合 10W とあるので、PC は候補から 2 番目の候補を選択し要求として送ること、その分の電力量が受理され供給される。

このように PSE から PD へ供給可能電力量を提示することで、PD は最適な電力量を、少ない要求回数で受けることができる。

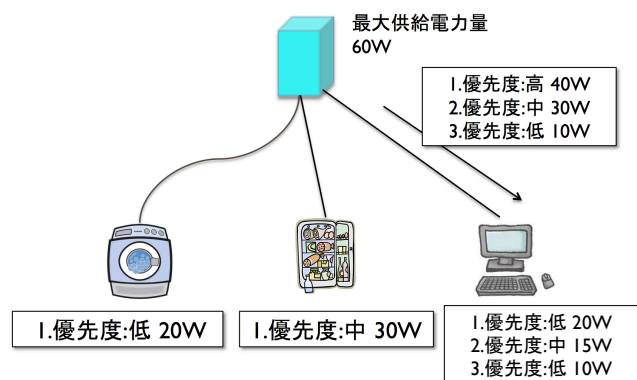


図 8: 実現可能となるオンデマンド型電力供給ネットワーク (2)

次に図 8 のように PC の動作可能電力における優先度がそれぞれ異なる場合を考えてみる。図 7 の場合と同様にネットワーク全体の供給可能電力量が 60W で、電力ルータには洗濯機、冷蔵庫がつながっており、要求電力量がそれぞれ 20W、30W、優先度が低、中に設定されているものとする。洗濯機、冷蔵庫は要求量どおりに電力が供給され、そこに PC が新たに接続し電力要求を行う状況を考える。まず PC は 1 番目の候補 (低優先度:20W) を要求として送信すると、最大供給電力量を超え要求は受け入れられないので、優先度別の

供給可能量の返信を返される。ここで優先度低の場合は 10W であるのに対し、優先度中の場合は 30W まで供給可能であるので、PC は候補から 2 番目の優先度中の 15W を選択し、要求する。要求が受理されると、洗濯機から PC への電力の横取りが行われ供給が開始される。

このように PSE 側から優先度別の供給可能電力量が示され、PD が要求する優先度を変更することで、電力の横取りも可能となる。

次に図 8 において動作中に横取りされると困る機器が優先度を動的に変化させてきた場合を考える。ネットワーク全体の供給可能電力量が 60W で、電力ルータには冷蔵庫がつながっている。冷蔵庫は要求量どおりに電力が供給されている。まず洗濯機が新たに接続し電力要求を行う状況を考える。洗濯機の優先度は低となっておりこの要求は受理される。受理されると洗濯機は洗濯の動作を開始させるために優先度を中に状態を変化させ、再度要求を行い、受理される。これにより洗濯機は、電力の横取りがされにくくなる。

次に PC が新たにネットワークに接続され電力要求を行う。PC が 1 番目の候補 (低優先度:20W) を要求として送信すると、最大供給電力量を超え要求は受け入れられないので、優先度別の供給可能量の返信を返される。その際の優先度別の供給可能電力量は、洗濯機が優先度を中に変えたことにより中優先度が 10W、低優先度が 10W となっている。そこで PC は候補から 3 番目の優先度低の 10W を選択し、要求し供給される。

このように動作中に横取りされると困る機器が優先度を高いものに変えることで電力を奪われにくくすることと、電力を奪おうとした機器が要求する消費電力量を下げることで電力供給がされることを同時に実現する。

## 5 まとめと今後の課題

家庭内の節電を実現するためのオンデマンド型電力ネットワークについての概要を述べ、これを実現するための PoE 技術の説明を行い、PoE+に必要な拡張である PD からのについて提案し考察を行った。今後は LLDP の要求間隔などを検討するとともに、オンデマンド型 PoE 電力供給ネットワークを実装した上での評価をする方針である。

## 謝辞

本研究は NICT 高度通信・放送開発委託研究による

## 参考文献

- [1] エネルギー情報化 WG. <http://www.i-energy.jp/>.
- [2] Intergration Technology of Information, Communication and Energy (ICE-IT). <http://www.net.ist.i.kyoto-u.ac.jp/ice-it/>.
- [3] 岡部寿男. エネルギーの情報化—IT 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. 情報処理, Vol. 51, No. 8, pp. 951–958, 8 2010.
- [4] Smart Grid Home Page. <http://www.nist.gov/smartgrid>.
- [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. 信学技報, Vol. 109, No. 299, pp. 31–36.
- [6] Takuya Miyamoto, Youichi Koyama, Kazumi Sakai, and Yasuo Okabe. A GMPLS-based power route reservation system toward energy-on-demand home networking, SAINT2012. July 2012.
- [7] Yasuo Okabe, Tomoki Shibata, and Kazumi Sakai. The design and implementation of an on-demand DC grid in home. SAINT2011. Jul 2011.
- [8] 湯浅健史, 加藤丈和, 松山隆司. スマートタップネットワークを用いたオンデマンド型電力制御システム. 信学技報, Vol. 111, No. 134, pp. 25–30, 7 2011.