

# ゾーン内最適化およびエリア内最適化に基づく 電力消費量最適化アーキテクチャの提案

A study on power optimization with inter-zone optimization and inter-area optimization

清水翔<sup>1</sup>  
Sho Shimizu

竹下秀俊<sup>1</sup>  
Hidetoshi Takeshita

米津遙<sup>1</sup>  
Haruka Yonezu

山中直明<sup>1</sup>  
Naoaki Yamanaka

慶應義塾大学理工学部情報工学科<sup>1</sup>

Department of Information and Computer Science, Faculty of Science and Technology, Keio University, Japan

## 1 はじめに

増加し続けるエネルギー消費を抑え、環境負荷を低減しながら持続的成長を続けることが地球規模的な課題になっている。この中で、高度に発達した通信ネットワークとその技術を応用して、エネルギー問題を解決することが求められている。

近年の動向として、エネルギー問題への関心の高まりにより、従来の火力・原子力発電から、再生可能エネルギーである風力、太陽光発電などに注目が集まっている。従来の火力や原子力発電を中心とした電力網では、給電能力の非常に大きいソースから多数のユーザ（シンク）に対して電力を供給するアーキテクチャとなっている。一方、これからの電力網では、風力や太陽光発電、また、各家庭の燃料電池やプラグインハイブリッド車からも電力供給が行われるため、一つ一つは小規模であるが多数のソースが多数のシンクに対して電力を供給するアーキテクチャとなる。このようなマルチソース・マルチシンクのアーキテクチャに対して、電力網を効率的に制御し、全体の電力使用量を最適化することが課題となっている。

そこで、本研究では、集中制御に基づく広域的な最適化と分散制御に基づく局所的な最適化を組み合わせることにより、全体の電力使用量を最適化するアーキテクチャを提案する。

## 2 提案概要

図1に電力制御ネットワークアーキテクチャの概要を示す。制御対象の電力網は、エリアと呼ぶ広域的な複数の領域に分割され、また、エリアはゾーンと呼ばれる局所的な領域にさらに分割される。ゾーンは10~20戸程度の領域とし、エリアは市町村レベルの領域であるとする。各家庭にはスマートメータが備わっており、各家庭の電力の供給や需要情報が得られるだけでなく、電力源の時間軸方向での予約や時間制約の弱い乾燥機などの家電の使用予約が可能であるとする。

各家庭のスマートメータは、定期的にその時点での電力の供給可能量、もしくは、要求する電力消費量を自身のゾーン内に広告し、一方で、受信した広告情報に対して自身の電力需給情報に基づき応答を行う。ゾーン内では分散的に電力需給のマッチングを行うことで、中央サーバを用いずに高速に電力使用の最適化を図るとともに、電力の長距離伝送による送電ロスを減らすことが可能になる。

各エリアには、そのエリア内の電力需給を管理し、エ

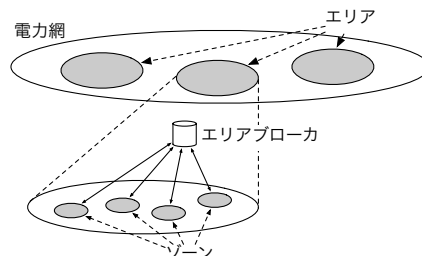


図1 提案ネットワークアーキテクチャの概要

リア内の広域的な最適化を行うエリアブローカが存在する。エリアブローカは、各ゾーン内で集約された電力の需給情報に基づいて、ゾーン間での電力の融通を決定し、広域的な電力使用の最適化を図る。また、電力源や電力消費源が持つ、環境負荷や環境による変動の有無、時間制約、保持時間などの特性の違い（以下、電力 QoS）を考慮して、各家庭のスマートメータと連携することにより、時間軸方向のスケジューリングを用いた最適化を行うことによって、電力 QoS も考慮した最適化を行う。

## 3 ゾーン内最適化

図2にゾーン内最適化を示す。ゾーン内最適化の目的は、ゾーン内においてローカルにマルチソースマルチシンクの最適化を行うことにより、電力の長距離伝送による送電ロスを削減することである。マルチソースマルチシンクの問題に対して、集中管理ではスケールしないため、ゾーン内では中央サーバを用いずに分散的に最適化を行う。各スマートメータは、自身の管理する家庭の電力需給情報をゾーン内に広告するが、これは、OSPF[1]でのリンク情報の広告に着想を得ており、OSPFパケットを拡張することで電力需給情報の広告を実現する。各スマートメータは、拡張OSPFパケットを受信すると、自身の電力需給情報と受信した拡張OSPFパケットに記載された電力需給情報のマッチングを行い、拡張OSPFパケットの電力需給情報を更新してフラッディングを再度行う。このようにすることで、一定時間後には電力需給が収束し、各家庭間での電力の融通が行われる。

## 4 エリア内最適化

図3にエリア内最適化を示す。ゾーン内最適化は、ローカルでの即時マッチングを基本とするため、ゾーン内での電力需給の大幅な偏りや時間軸方向での電力使用量のばらつきを最適化することは難しい。そこで、エリアブローカがエリア内での広域的な電力需給の最適化を行う。

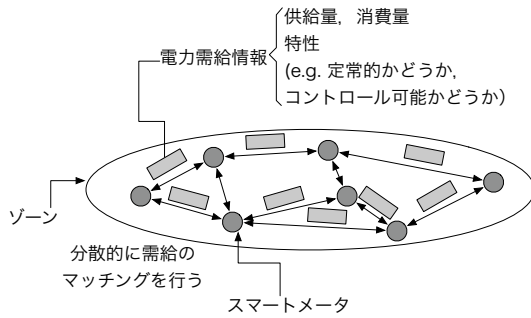


図2 ゾーン内最適化

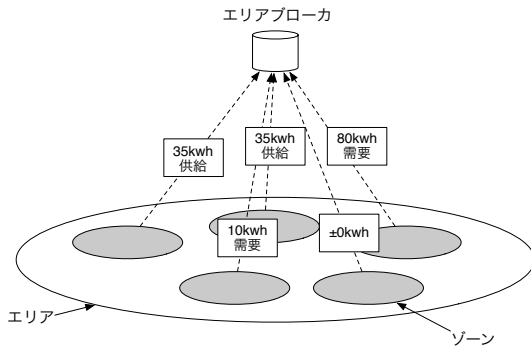


図3 エリア内最適化

エリアブローカーは各ゾーン内で集約された電力需給情報を得ることにより、自身が管理するエリアでの電力需給情報の概略を把握する。この情報に基づいて、エリアブローカーは管理するエリア内のゾーンの電力の過不足を把握し、ゾーン間での電力の融通を行うことで、それぞれのゾーンでの電力需給の大幅な偏りを修正する。次世代電力網では、電力使用の効率化を図るために、電力供給源、電力消費源ともにそれぞれの電力 QoS 特性を考慮した電力使用を行うことが望ましい。表1に供給側電力 QoS の例を、表2に需要側電力 QoS の例を示す。例えば、供給側については、原子力発電は CO2 排出がないため、環境負荷が低いが、出力を短期間で大きく変動させることが難しい。一方、小型タービンは CO2 排出が発生するが、短期間での出力調整が容易である。需要側では、照明や冷暖房など即時性が求められるものに対して、EV 充電や乾燥機など即時性が低いものも存在する。このように異なる電力 QoS 特性を考慮して、即時性が低いクラス 1,2 に対してはピークを避けるように時間軸方向でのスケジューリングを行ったり、CO2 負荷を考慮してカテゴリ 3 での発電量を調整するなどの最適化をエリアブローカーが行う。

カテゴリ	CO2 排出	出力調整	環境変動	例
1	無	△	無	原子力
2	無	×	大	太陽光
3	有	○	無	小型タービン

表1 供給側電力 QoS の例

## 5 実現に向けた課題

本提案電力制御ネットワークアーキテクチャを実現する上で、課題として以下のものが挙げられる。

クラス	保持時間	即時性	優先度	電力量	例
1	大	小	小	大	EV 充電
2	中	小	中	大	乾燥機
3	大	大	大	小	照明
4	中	大	大	大	冷暖房

表2 需要側電力 QoS の例

- ゾーン内での電力需給情報広告プロトコル
- ゾーン内最適化のマッチングアルゴリズム
- エリア内最適化のアルゴリズム
- エリアブローカーでの高速アルゴリズム実行方式
- 電力資源予約プロトコル

エリアブローカーで行う最適化アルゴリズムは、広域的なものであるため問題サイズが大きい。そのため、現実的な時間でエリア内最適化を行うためには、高速にアルゴリズムを実行する方式が必要であり、ハードウェアオフローディングはそのための1手法である。また、エリアブローカーが算出した電力配分計画を実行するためには、各スマートメータと連携して電力資源を予約するプロトコルが必要であり、これは、スマートメータの制御のみならず、必要な場合には発電所からの電力予約までを行う必要があるため、フレキシビリティが求められる。

## 6 まとめ

地球温暖化などの地球環境の変化からエネルギー問題への関心が高まっている。特に、次世代電力網とその制御技術はエネルギー使用の削減、および、エネルギー効率の向上をする上で重要な技術である。次世代電力網では、太陽光・風力発電といった自然エネルギーを利用した個々の発電量は従来の火力・原子力発電と比較して小規模な発電源が多数接続される。そのため、次世代電力網での電力使用の最適化は、これまでと異なるマルチソースマルチシンク問題となる。ここで、高度に発達した通信ネットワークとその技術を応用してこの問題の解決が求められている。本論文では、集中制御に基づく広域的な最適化と分散制御に基づく局所的な最適化を組み合わせることにより、全体の電力使用量を最適化するアーキテクチャを提案した。電力網を広域的なエリアと局所的なゾーンの2層構成で分割し、ゾーン内では、分散的にローカル最適化を行うことで長距離伝送による電力ロスを削減し、エリア内では、エリアブローカーによる集中管理の高力最適化を行うことにより、電力ピークの平準化、電力 QoS まで考慮した電力使用のスケジューリングを行う。ゾーン内・エリア内最適化を組み合わせることによって電力網全体での電力使用の最適化が可能になる。

## 謝辞

本研究の一部は、総務省委託研究「リソースを最小化する動的ネットワーク制御システムによる再構成ネットワークの研究開発」の成果です。

## 参考文献

- [1] J. Moy, "OSPF version 2," Request For Comments (RFC), no.2328, Apr. 1998.