

修士論文本審査資料

リアルタイム大規模デマンドレスポンス のためのシステム構築に関する研究

東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻

大町研究室博士前期課程2年

郡司 俊嗣

目次

| | | |
|------------|--------------------------------|-----------|
| 第1章 | 序論 | 1 |
| 1.1 | 研究の背景 | 1 |
| 1.2 | 研究の目的 | 3 |
| 1.3 | 本論文の構成 | 4 |
| 第2章 | スマートグリッド及びデマンドレスポンスについて | 5 |
| 2.1 | スマートグリッド及びデマンドレスポンスの特徴 | 5 |
| 2.2 | デマンドレスポンスの種類 | 6 |
| 2.3 | 各手法による実証実験 | 8 |
| 2.3.1 | 国内での実証実験 | 8 |
| 2.4 | 国外での実証実験 | 9 |
| 第3章 | 提案手法 | 12 |
| 3.1 | 需要電力削減アルゴリズム | 12 |
| 3.2 | 予約トレード制 | 14 |
| 3.3 | 節電量の最適化 | 16 |
| 3.4 | 階層型分散処理構造 | 17 |
| 3.5 | 予備実験 | 19 |
| 3.6 | 全体制御によるデマンドレスポンス | 22 |
| 3.6.1 | 各グループへの需要電力の移動容量の振り分け | 22 |
| 3.6.2 | グループ内での振り分け | 22 |
| 3.7 | 想定される条件又は動作 | 22 |
| 第4章 | 実験 | 24 |
| 4.1 | 実験準備 | 24 |
| 4.1.1 | 各パラメータ | 24 |
| 4.1.2 | 実験環境 | 26 |
| 4.1.3 | 比較手法 | 26 |
| 4.2 | 実験結果 | 27 |
| 4.2.1 | ピーク削減能力 | 27 |

| | | |
|------------|--------------------------------|-----------|
| 4.2.2 | 計算時間 | 28 |
| 4.2.3 | ポイント | 29 |
| 4.2.4 | リクエスト時間に対するユーザーの予約時間 | 32 |
| 4.2.5 | 分割数特性 | 34 |
| 4.2.6 | 制限電力特性 | 36 |
| 4.3 | 考察 | 38 |
| 4.3.1 | ポイント | 38 |
| 4.3.2 | 優先度 | 38 |
| 4.3.3 | 分割数特性 | 39 |
| 4.3.4 | 制限電力特性 | 39 |
| 4.3.5 | まとめ | 39 |
| 第5章 | まとめと今後の課題 | 41 |
| 5.1 | まとめ | 41 |
| 5.2 | 今後の課題 | 41 |
| | 謝辞 | 42 |
| | 参考文献 | 43 |

目 次

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | 各地域の世帯数 | 3 |
| 3.1 | 提案手法の流れ | 13 |
| 3.2 | Reservation trade method | 15 |
| 3.3 | Hierarchical system | 18 |
| 3.4 | Hierarchical system | 18 |
| 3.5 | 時間帯における計算時間 [集中制御型](ユーザー数：1000) | 19 |
| 3.6 | 時間帯におけるピーク削減能力 [階層型](ユーザー数：1000) | 20 |
| 3.7 | 時間帯における需要電力 (ユーザー数：1000) | 20 |
| 3.8 | 分割数における計算時間 (ユーザー数：1000) | 21 |
| 3.9 | 分割数におけるピーク削減能力 (ユーザー数：1000) | 21 |
| 3.10 | グループ内の振り分け例 | 23 |
| 4.1 | 各ユーザのタイプとその設定 | 24 |
| 4.2 | ユーザーの時間帯別使用希望度のパターン | 25 |
| 4.3 | 各家電製品の設定 | 25 |
| 4.4 | 各機器の初期需要計画 | 26 |
| 4.5 | 各時間帯に対する需要電力 | 27 |
| 4.6 | 各時間帯に対する計算時間 [分割数 10] | 28 |
| 4.7 | 各時間帯に対する計算時間 [分割数 100] | 28 |
| 4.8 | ユーザーのタイプ (パラメータ [最終目標値や節電協力度など]) による目標 ポイントとの差 | 29 |
| 4.9 | ユーザーのタイプ (パラメータ [最終目標値や節電協力度など]) によるポ イントの増減 | 29 |
| 4.10 | ユーザーのタイプ (優先度) による目標ポイントとの差 | 30 |
| 4.11 | ユーザーのタイプ (優先度) によるポイントの増減 | 30 |
| 4.12 | ユーザーのタイプ (リクエスト時間) による目標ポイントとの差 | 31 |
| 4.13 | ユーザーのタイプ (リクエスト時間) によるポイントの増減 | 31 |
| 4.14 | 特定の優先度の時間帯に予約できたユーザー数の割合 [パラメータ] | 32 |
| 4.15 | 特定の優先度の時間帯に予約できたユーザー数の割合 [優先度] | 32 |

| | | |
|------|------------------------------------|----|
| 4.16 | 特定の優先度の時間帯に予約できたユーザー数の割合 [リクエスト時間] | 33 |
| 4.17 | 分割数特性 [計算時間] | 34 |
| 4.18 | 分割数特性 [ピーク電力] | 34 |
| 4.19 | 分割数特性 [ユーザーの予約時間の優先度の合計値] | 35 |
| 4.20 | 分割数特性 [ユーザーの所持ポイントの目標値との差の平均値] | 35 |
| 4.21 | 制限電力特性 [計算時間] | 36 |
| 4.22 | 制限電力特性 [ピーク電力] | 36 |
| 4.23 | 制限電力特性 [ユーザーの予約時間の優先度の合計値] | 37 |
| 4.24 | 制限電力特性 [ユーザーの所持ポイントの目標値との差の平均値] | 37 |

第1章

序論

1.1 研究の背景

電気エネルギーは、私たちの生活の中で最も重要な要素の一つである。電気によって私たちの日常生活や社会活動は支えられている。そのような状況の中で、電力系統の安定運用は欠かすことのできない重要な要素の一つとなっている。

電力系統の安定運用を行うために、需要電力と供給電力とのバランスを保つ必要がある。需要電力と供給電力とのバランスが、崩れてしまった場合系統の周波数が変化してしまい様々な電気製品に影響を及ぼす。精密な動作が必要とされる工業の分野では、このような事態が生じた場合莫大な損害が出ている。また、最悪の場合大規模な停電が発生してしまう可能性もある。このような理由から、電力会社は需要電力と供給電力とのバランスを保つために過剰な発電能力を持たなくてはいけない。そのような状況の中で、系統の供給能力に応じて電力ユーザーの消費電力をコントロールすることができるデマンドレスポンスと呼ばれる機能が注目を集めている。

電力会社は、スマートメーターと呼ばれる通信機能を有した電力計を介してユーザーと通信を行う。そのような通信により、電力会社はリアルタイムのユーザーの需要電力を把握し、デマンドレスポンスを行う [1]。電力会社は一般的に以下のような問題を抱えている。

- (1) 最大需要電力と最小需要電力との差が大きいため、電力会社は経済的な運用ができない
- (2) 災害などが発生して設備の一部が停止してしまった場合の対応能力が低い

- (3) これから普及が進むと期待されている出力の不安定な自然エネルギーをカバーするための調整力が小さい [2]

一つ目の問題は、発電設備の稼働率は高ければ高いほど経済的な運用ができるが、最大需要電力と最小需要電力との差が大きい場合設備の稼働率が下がってしまうことが原因である。二つ目の問題は、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震によっていくつかの原子力発電所や火力発電所が停止してしまい大規模な停電の発生が高まっており、これに対処するための系統の対応能力が必要となることが原因である。三つ目の問題は、風力発電や太陽光発電などの電源は天候などの条件に出力が影響を受けやすいため、そのような変化に対応することができるだけの調整力が必要となることが原因である。

デマンドレスポンスは、これらの問題に対して設備の増設などを行わずに対応することができるため、安全性、経済性および自然エネルギー導入の観点から非常に有用である。

デマンドレスポンスにおいては、いくつかの方法が提案されている。RTP(Real Time Pricing)と呼ばれる需要電力の状態に応じて電気料金をリアルタイムで変化させるシステムは、アメリカなどで用いられている [4][5][6][9]。電気料金を変化させる方法としては、ほかにCPP (Critical Peak Price) や TOU(Time Of Use) という手法も提案されている [4][9]。

その他の方法としては、ユーザーの家電製品を直接コントロールする直接負荷制御と呼ばれる手法も提案されている。料金変動制の手法では、その時になってみないとユーザーが節電を行うかわからず効率的で安定的な系統を運用する面で問題が残ってしまっている。効率的で安定的な系統を運用する面では、直接負荷制御が優れている。直接負荷制御は2011年7月22日に、PJMがBG & E管内に対して直接負荷制御を実施した [11]。需給バランスは維持されたが、発動時間が7時間を越え、4万件を超える大量のクレームがBG & E社に入ったことから、ユーザーへのサービス性の面から問題があることが分かった。

サービス性を向上させるためには、PJMの例のような大雑把な制御ではなく各ユーザーに合わせたきめ細やかな制御が必要となる。本研究では、ユーザーの自由度を残しつつ、効率的な系統運用を行うためのシステムの提案を行っていく。

1.2 研究の目的

ユーザーが使用している電気機器は、多種多様でありそれぞれの用途や特性に合わせて異なった制御方法が必要であると考えられる。本研究では、予約トレード制と節電量の最適化の2つの手法を扱う電力消費デバイスによって採用する方式を取っている。

予約トレード制は、デバイスを使用したい時間帯をあらかじめ予約しておく制度である。この制度は、早く予約したユーザーが得をするシステムであるため、全体的なユーザーの流れとして電力需要スケジューリングが早い段階で安定的に決定される [7]。これと併せて、スケジューリングを行わず定常的に使用されるデバイスに関する節電を最適化させることで需要電力のピーク電力の削減を行っていく。

しかし、この方法は制御する側において負荷が大きくなってしまう問題が発生すると考えられる。それは将来デマンドレスポンスを行う必要がある世帯数は、図 1.1 を見てわかるとおり莫大な数となると考えられるためである。(関東大都市圏：1714 万戸、中京大都市圏：382 万戸、近畿大都市圏：913 万戸) [8]。このような世帯全体に対してサービスを提供

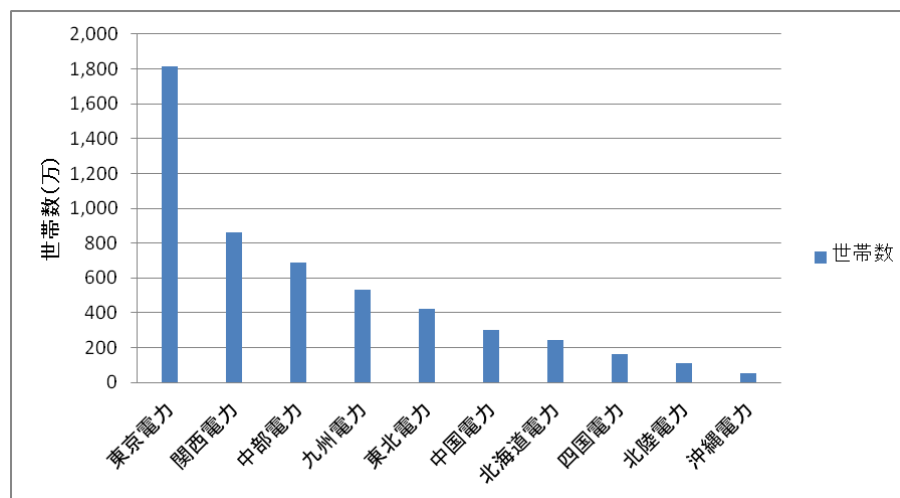


図 1.1: 各地域の世帯数

しなくてはならないが、この方式では計算負荷が大きくリアルタイム処理のための工夫が必要となる。そのため、本研究では大規模問題を分割し、その分割された問題をいくつかの分野に応用されている階層的な分散処理構造 [12] を用いて処理することで、大規模デマンドレスポンスを可能にする柔軟なシステムを構築し、そのシミュレーションを行った。

1.3 本論文の構成

本論文の構成は以下のとおりである。

第1章 研究の背景及び目的について述べた。

第2章 本研究でスマートグリッド及びデマンドレスポンスについて述べる。

第3章 提案手法について述べる。

第4章 実験と結果，考察について述べる。

第5章 まとめと今後の課題について述べる。

第2章

スマートグリッド及びデマンドレスポンスについて

2.1 スマートグリッド及びデマンドレスポンスの特徴

スマートグリッド（次世代送電網）とは、電力の流れを供給側・需要側の両方から制御し、最適化できる送電網のことである。専用の機器やソフトウェアが、送電網の一部に組み込まれている。それによって従来では大規模な発電所から一方的に電力を送り出すことしかできなかった送電網を、需要側の消費電力や小規模な発電設備までコントロールすることを可能とする。これにより、送電の拠点を分散し需要家と供給側との双方から電力のやりとりを行い、需要のピーク時を基準とした容量設定のムダの削減、送電網自体の対災害能力の向上を行えると期待されている。そのため、送電の拠点を分散し、需要家と供給側との双方から電力のやりとりができる、「賢い」送電網が望まれている。

スマートグリッド化の利点として以下の点を挙げることができる。

- ピークシフトによる電力設備の有効活用と需要家の省エネ
 - － 需要家の消費電力のピークシフトやピーク時の節電行動によって、最小限の発電容量の設備のみで系統を運用することができる。
- 再生可能エネルギーの導入
 - － 系統の調整能力としてデマンドレスポンスを用いることで、変化の激しい再生可能エネルギーを導入することができる。

- エコカーのインフラ整備
 - － EVやHEVの普及によって大電流による充電を行う必要が出てきており、これらの充電を効率よく行うために「賢い」送電網は有用となる。
- 停電対策
 - － 発電能力の低下などの事態が起きた際、需要家の消費電力を調整することで停電の回避などを行えるため対災害能力を向上させることができる..

2.2 デマンドレスポンスの種類

デマンドレスポンスにはいくつかの種類が存在する。いくつか方式を以下に示していく。

- 料金変動方式… 需要電力の状況に応じて電気料金を変化させることによってデマンドレスポンスを促す方式 [13]
 - － リアルタイム料金制 (Real Time Pricing)
 - * 1日または1時間先を基本に電気卸売価格の変化を反映させ、電気小売価格が毎時間もしくは更に頻繁に変動する料金または料金構造をもつプログラム
 - － 時間帯別料金制 (Time Of Use)
 - * 使用単価価格が、その期間の平均の発電・送電コストを反映して、通常1時間以上24時間以内の間隔で変化するプログラム
 - － ピーク別料金制 (Critical Peak Price)
 - * 卸売価格高騰時やシステムの不測の事態時に、限られた日数や時間、予め指定された高い価格を課すことによって、使用量の削減を促すよう料金や価格構造が設定されているプログラム
- インセンティブ方式… デマンドレスポンスに協力を行ってくれた需要家に対してなんらかのインセンティブを与える方式 [13]
 - － 直接負荷制御方式
 - * プログラム設置者が直前の通知により、顧客のエアコン等の電気機器を遠隔で遮断もしくは循環運転する手法
 - － Demand Bidding and Buyback

- * 需要家に、小売・卸売市場においてある価格で負荷軽減を申し出たり、特定の単価でどれくらいの負荷を進んで削減するかを特定することを許可するプログラム
- Interruptible Load
 - * システムに不測の事態が起こった際に、需要家に予め規定された負荷削減量を約束させるメニュー
- Load as Capacity Resource
 - * プログラム設置者が直前の通知により、顧客のエアコン等の電気機器を遠隔で遮断もしくは循環運転する手法
- Spinning Reserves
 - * 緊急時の最初の数分間、供給と需要のインバランスを解決策を、需要家に同期させいつでも提供できるようにするプログラム
- Non-Spinning Reserves
 - * すぐには利用できないが、10分程度の遅れで供給と需要のインバランスを解決策を需要家に提供できるようにするプログラム
- Emergency Demand Response
 - * 負荷削減が課されている間に得られた負荷削減量に応じて、顧客にインセンティブを付与するデマンドレスポンスプログラム
- Regulation Service
 - * システム運用者からのリアルタイム情報に呼応して、需要家が負荷を増減させるプログラム

これらの方式には、それぞれ特徴がある。料金変動方式とインセンティブ方式の一部の方式では節電を行うかどうかの判断を需要家自身が行っている。そのため確定的な節電を行うことができず、その結果としてピーク削減能力は他の手法に比べて不安定でかつ小さくなってしまっている。また、他の手法では電力会社が前もって結んでおいた契約に基づいて直接消費電力を制御するため、安定的で比較的多くの量のピーク電力を削減することができる。

2.3 各手法による実証実験

2.3.1 国内での実証実験

- 横浜スマートシティプロジェクト [14]
 - － 実施地
 - * 横浜市
 - － 実施時期
 - * 2010-2013
 - － 採用方式
 - * Emergency Demand Response, Interruptible Load
- 愛知県豊田市における低炭素都市構築実証プロジェクト [15]
 - － 実施地
 - * 豊田市
 - － 実施時期
 - * 2010-2013
 - － 採用方式
 - * CPP[16]
- けいはんなエコシティ「次世代エネルギー・社会システム」実証プロジェクト [17]
 - － 実施地
 - * けいはんな市
 - － 実施時期
 - * 2010-2013
 - － 採用方式
 - * Emergency Demand Response
- 北九州スマートコミュニティ創造事業 [18]
 - － 実施地
 - * 北九州市

- 実施時期
 - * 2010-2013
- 採用方式
 - * RTP
- BEMS アグリゲータ [19]
 - 実施会社
 - * 各 BEMS アグリゲーター認定企業
 - 採用方式
 - * Regulation Service

2.4 国外での実証実験

- Salt River Project[20]
 - 実施地
 - * アリゾナ州 (USA)
 - 実施時期
 - * 2004 年
 - 採用方式
 - * TOU[21]
- STATEWIDE PRICING PILOT[22]
 - 実施地
 - * カルフォルニア州 (USA)
 - 実施時期
 - * 2003-2004
 - 採用方式
 - * TOU, CPP
- Energy-Smart Pricing Plan[23]
 - 実施地

- * イリノイ州 (USA)
- 実施時期
 - * 2004-2005
- 採用方式
 - * CPP
- AUTOMATED DEMAND RESPONSE SYSTEM PILOT[24]
 - 実施地
 - * カルフォルニア州 (USA)
 - 実施時期
 - * 2004-2005
 - 採用方式
 - * CPP
- AmerenUE Critical Peak Pricing Pilot[25]
 - 実施地
 - * ミズーリ州 (USA)
 - 実施時期
 - * 2004-2005
 - 採用方式
 - * TOU, CPP
- Olympic Peninsula Project Final Report[26]
 - 実施地
 - * ワシントン州 (USA)
 - 実施時期
 - * 2006
 - 採用方式
 - * TOU, CPP, RTP
- Energy-Smart Pricing Plan[27]

- 実施地
 - * ワシントン D.C
- 実施時期
 - * 2008-2009
- 採用方式
 - * CPP, CPR, RTP
- AUTOMATED DEMAND RESPONSE SYSTEM PILOT[28]
 - 実施地
 - * コロラド (USA)
 - 実施時期
 - * 2006-2007
 - 採用方式
 - * TOU, CPP
- Smart AC[29]
 - 実施会社
 - * PG & E
 - 採用方式
 - * 直接負荷制御方式
- PeakReward[11]
 - 実施会社
 - * BG & E
 - 採用方式
 - * 直接負荷制御方式
- EnerNOC[30]
 - 実施会社
 - * EnerNOC
 - 採用方式
 - * Demand Bidding and Buyback

第3章

提案手法

提案手法ではまず, 制限ピーク電力より現在の予定需要電力が大きいかどうかの判定を行う. もし, 制限ピーク電力より現在予定されている消費電力が大きかった場合, 需要電力を削減するためにユーザーに対して処理を行う. この処理方法については後で述べる. なお, 需用電力の削減容量が目標とする制限ピーク電力に足りなかった場合, 可能な最大限の節電を行う.

3.1 需要電力削減アルゴリズム

本研究において, デマンドレスポンスの対象にした家電製品は洗濯機, 電気式温水器, エアコンである. デマンドレスポンスの対象としないが電力需要に含まれる家電製品として, 冷蔵庫, IH (料理器具) を想定した. デマンドレスポンスの方式としては, 洗濯機は予約トレード制を, エアコン, 電気式温水器は, 節電量の最適化を採用した. これは, 他の家電と比べて洗濯機が短時間かつ使用時間をずらしやすいと考えたためである. 同じく, エアコン, 電気式温水器は長時間でかつ一定時間停止あるいは削減しても生活レベルへの影響が少ない家電製品であると考えたため節電量の最適化を適用した.

これ以降では, $P_{all}(t), t = t_p, \dots, 48$ をすべての消費電力の総量, $P_r(t)$ を制限電力, そして t_p を現在の時刻と定義する. この手法の手順を以下に示す.

(1) 以下の手順を 30 分毎に繰り返す

- (a) もし $P_{all}(t) > P_r(t)$ の t が存在したときに以下の手順を実行する
 - i. 洗濯機に予約トレード制を実行する.

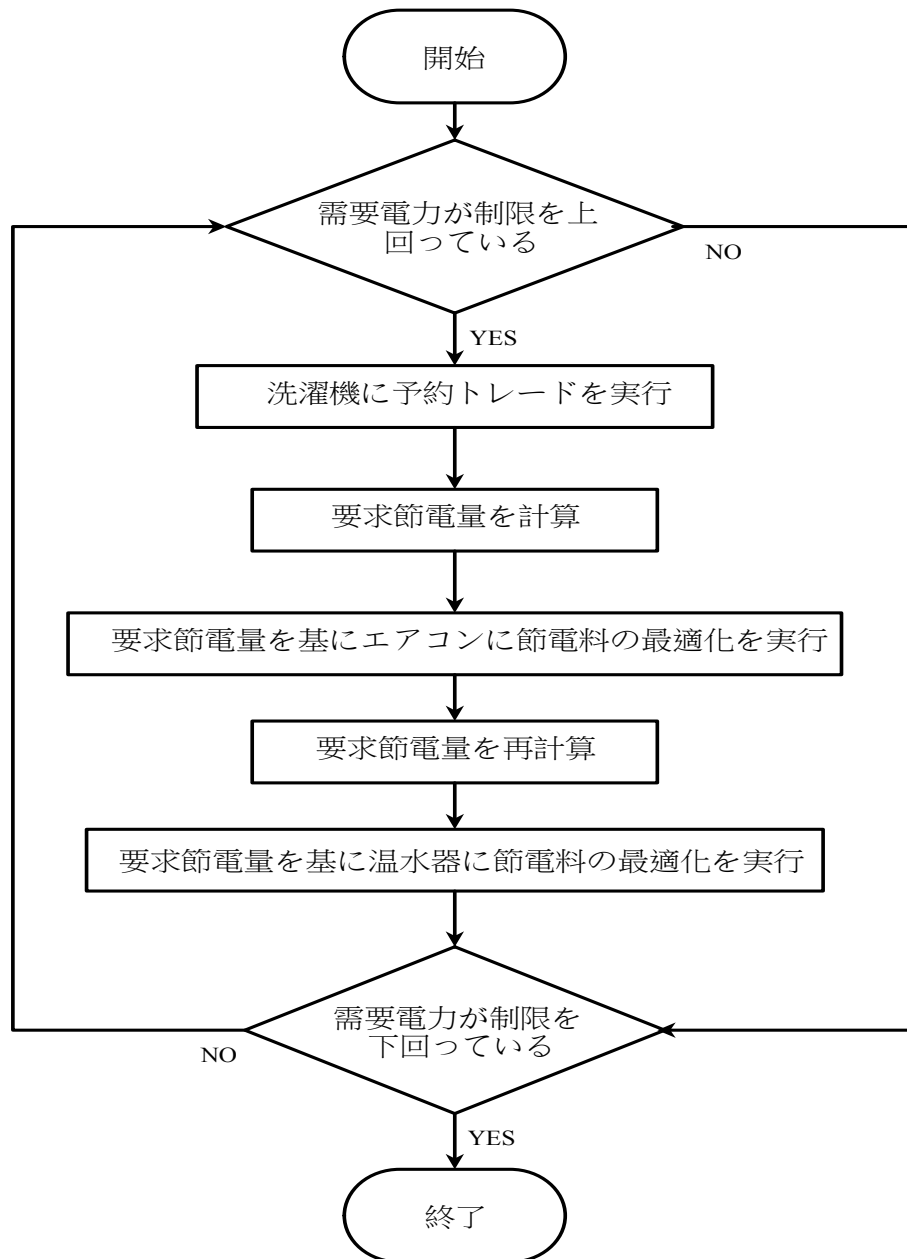


図 3.1: 提案手法の流れ

ii. 要求節電量 $D = D(t_p), \dots, D(48)$ を以下のように計算する.

$$D = P_{all} - P_r. \quad (3.1)$$

- iii. エアコンに節電量の最適化を実行する.
- iv. 要求節電量 D を以下のように計算する.
- v. 温水器に節電量の最適化を実行する.

3.2 予約トレード制

予約トレード制は、電気機器の使用時間を早く予約したユーザーがアドバンテージを得ることが出来る制度である。予約が遅れてしまったユーザーは、電力会社の制限電力により望みとおりの時間帯に予約できず予約が保留されてしまいます。もし予約が遅れたユーザーがどうしてもその時間帯に電力を使用したい場合、ユーザーは他のユーザーから予約する権利をポイントの交換によって購入する。

ポイントとは、本研究で予約の交換に用いられる仮想通貨である。ポイントのユーザーへの供給方法は使用電力量や節電量に応じて与える方法が考えられる。また、使用方法であるが予約の交換のほかにも電力料金の支払いや景品、クリーンエネルギーとの交換などにも用いることが出来るようにすることを想定している。このようなポイント制を用いることで、電力使用の促進、節電の促進などを行うことが出来ると考えている [31]。ポイントは、ユーザーが他のユーザーから予約を購入するときに用いられる。これ以降は、 $p_i, i = 1, \dots, N$ (全ユーザー数) をユーザー i の要求ポイント、 $p_{request}$ をユーザー i の許可ポイントと定義する。予約トレード制のアルゴリズムのフローチャートを図 3.2 に示す。予約トレード制は以下の手順で行う。

- (1) 各ユーザーは使用したい時間帯に予約を行う
- (2) 条件を満たすまで以下の手順を繰り返す
 - (a) 予約が遅かったために保留されてしまったユーザーは、自分の $p_{request}$ より小さい p_j をもったユーザーを探す。
 - (b) 探し出したユーザーの中から最も小さい p_j を持つユーザーを選ぶ。
 - (c) ユーザー i が最も小さい p_j を持つユーザー j と交渉を行う。
 - (d) 交渉が成功した場合、ユーザー同士が予約とポイントを交換する。

終了条件は、総需要電力が制限電力を下回った場合かもう予約のトレードを行えなくなることである。

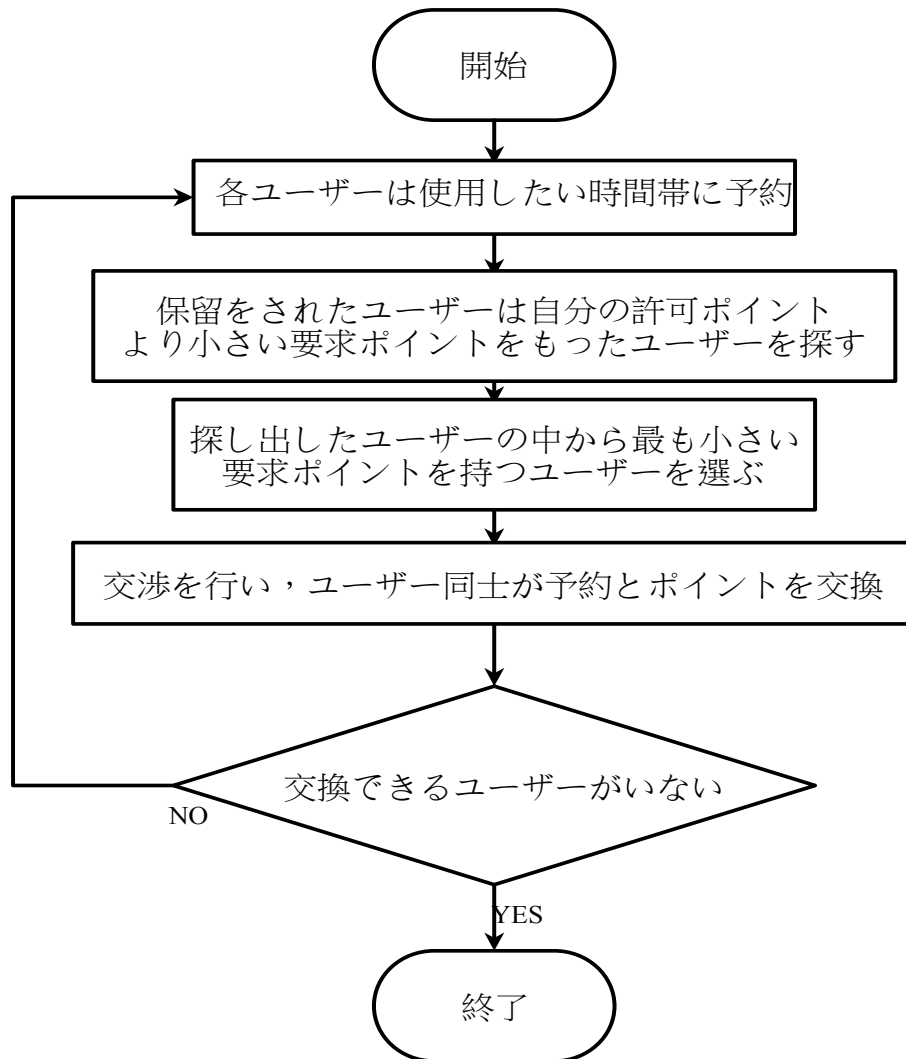


図 3.2: Reservation trade method

3.3 節電量の最適化

節電量の最適化は、各家庭の節電量が現在行わなくてはいけない節電量に近づくようにユーザーの要望に応じて最適化を行う方式であり、エアコンや電気式温水器に対して適用する。この最適化は以下のような式を最小化するように行われる。

以降では、 $\mathbf{d}_i, i = 1, \dots, N$ (the number of users) を節電率、 \mathbf{s}_i はユーザーが始めに希望した需用電力、 \mathbf{x}_i は現在のユーザーの需用電力と定義する。この手法は、ユーザーの要望に合わせて $D(t)$ を得るために最適な $d_i(t), i = 1, \dots, N$ を探す手法である。最初に、この手法をエアコンに適用する場合の手順を説明する。以下に手順を示す。

- (1) 一日の最初に \mathbf{x}_i を初期化する。

$$\mathbf{x}_i = \mathbf{s}_i. \quad (3.2)$$

- (2) 終了条件を満たすまで、以下の手順を繰り返す。

- (a) 以下の F に最小化するための $d_i(t)$ を決定する

$$F = |D(t) - \sum_{i=1}^N P_i(t)|, \quad (3.3)$$

$P_i(t)$ は節電関数でユーザーが節電を行うかどうかを判断する関数になる。 $P_i(t)$ は以下に定義される。

$$P_i(t) = \begin{cases} x_i(t)d_i(t) & (R < C), \\ 0 & (R > C), \end{cases} \quad (3.4)$$

$$R = (s_i(t) - x_i(t)(1 - d_i(t)))/s_i(t), \quad (3.5)$$

C は節電を行うかどうかを判断するための係数である。

- (3) \mathbf{x}_i を以下のように更新する

$$x_i(t) = x_i(t)d_i(t). \quad (3.6)$$

今回の最適化では、遺伝的アルゴリズム (GA) を用いた。これは、ユーザーの持つ P_i がどのような関数かわからないという前提があるからである。もし F がとても複雑な関数であった場合、線形計画法 (LP) では解けない問題も GA であれば解くことが可能である。この最適化の終了条件は、 F の値が改善しなくなるまでである。

次に、 D からエアコンの節電量を引いた後、温水器の節電を行う。温水器は、1日に3kWh 電力を消費しなくてはならないという条件がついているため、ある時間で節電した電力は他の時間で消費されなくてはならない。最適化の手順は、エアコンの場合のほぼ一緒だが、Eq.(3.3) の式を F_{water} に置き換えなくてはならない。 F_{water} は以下のように定義される。

$$F_{water} = F + A, \quad (3.7)$$

$$A = \sum_{t=1}^{48} |(S(t) - P_{ave})|, \quad (3.8)$$

$S(t), t = 1, \dots, 48$ は、すべてのユーザーの温水器の消費電力量、 P_{ave} は温水器の消費電力量の平均量である。

3.4 階層型分散処理構造

集中制御型のシステムの構造を図3.4に示す。このような構造では、すべてのユーザーを一ヶ箇所で制御しなくてはならない。その場合、大規模デマンドレスポンスの負荷が高くなってしまい、計算能力が増大してしまう。そのため、私たちは大規模問題を複数に分割して階層構造を用いる手法を提案した。そのシステムを図3.3を示す。

この手法はユーザー群をいくつかのグループに分ける手法で、その構造は3階層で成り立っている。第三層には、ユーザーの階層であり、第二層には、ユーザーグループのリーダーの仮想になる。最後に、第一層には、リーダーたちを制御する電力会社のエージェントの層になる。このような構造をしているため、電力会社のエージェントは、間接的に全体の需用電力の状態と知ることができ、また制御することが可能となる。その構造を用いることで、分割された問題を解いていく。各グループの制限電力は、グループに所属するユーザー数に比例して設定される。実行される予約トレード制や節電量の最適化は同じグループ内のユーザーに対してのみ有効である。

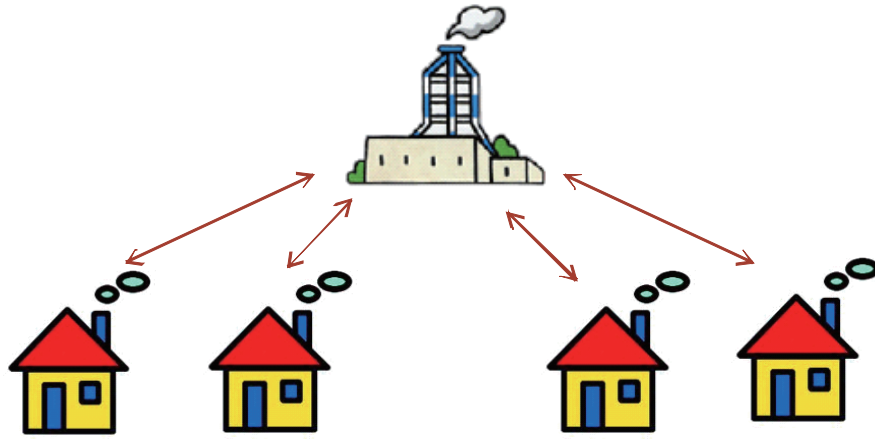


図 3.3: Hierarchical system

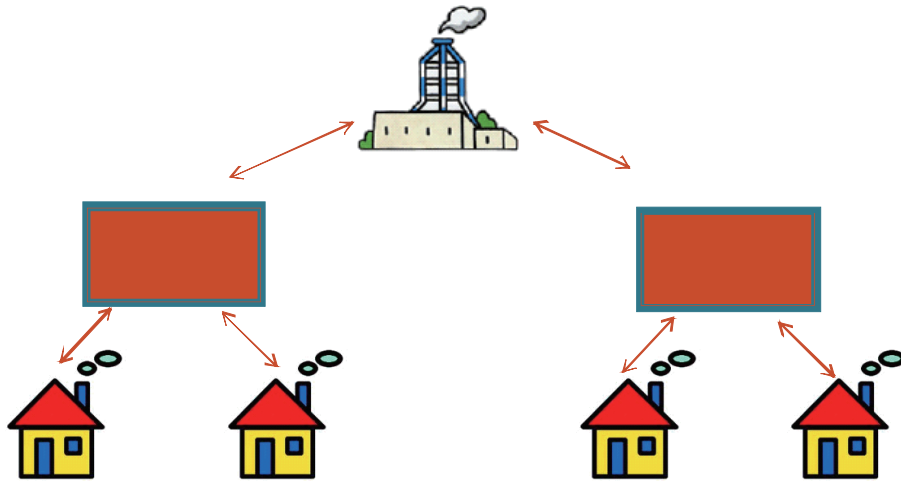


図 3.4: Hierarchical system

3.5 予備実験

階層型と集中制御型の計算時間性能の比較を図 3.5, 図 3.6, ピーク削減能力の比較を図 3.7 に示す. 図 3.7 では, 階層型, 集中制御型とデマンドレスポンスを行わなかった場合の需要計画を示した. 次に, 図 3.8 に階層型におけるユーザーの分割数に対する計算時間性能の比較を, ピーク削減能力の比較を図 3.9 に示した.

実験の結果から, 階層型の場合ユーザーの分割数を上げることで計算負荷を軽減することができているが, ピーク削減能力の劣化が起きてしまっていることが分かる. これは, 大きなユーザーグループを分割されることによって, 全体的なデマンドレスポンスを十分に行うことができていないためだと考えられる.

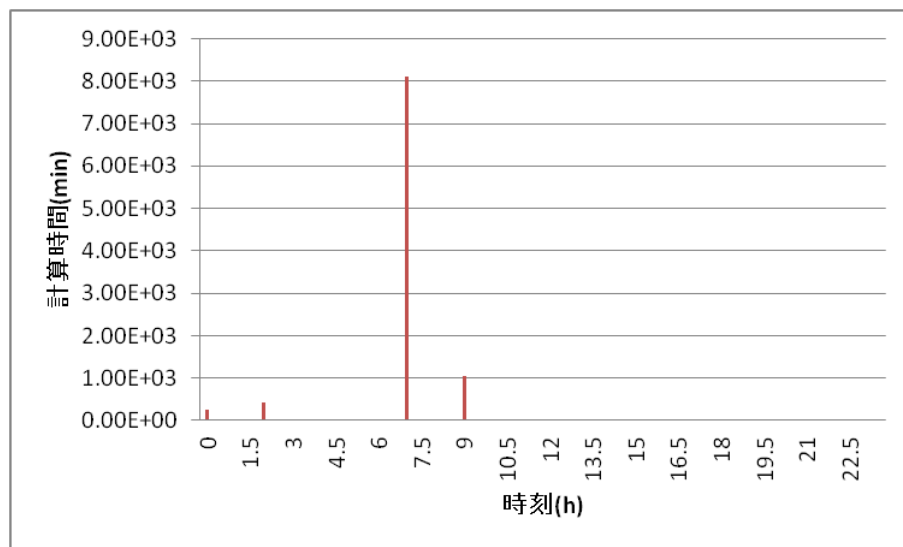


図 3.5: 時間帯における計算時間 [集中制御型](ユーザー数 : 1000)

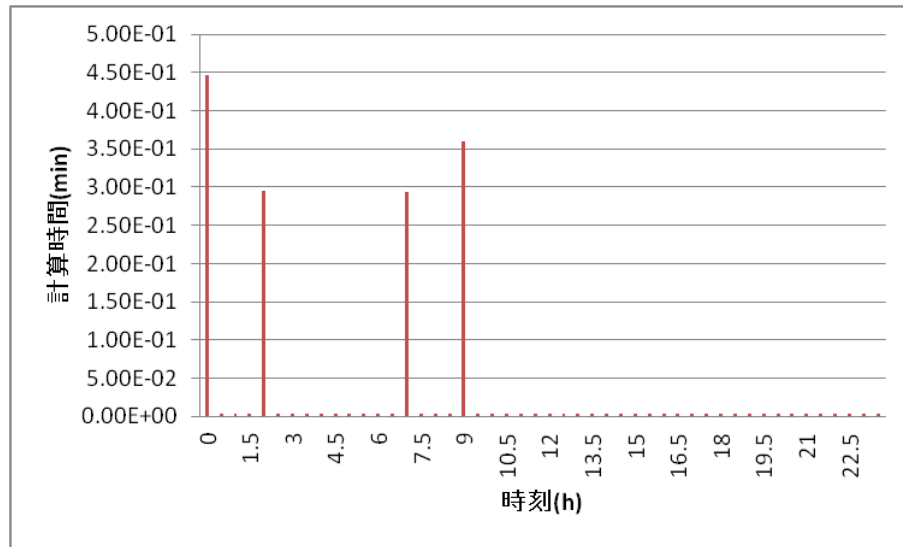


図 3.6: 時間帯におけるピーク削減能力 [階層型](ユーザー数 : 1000)

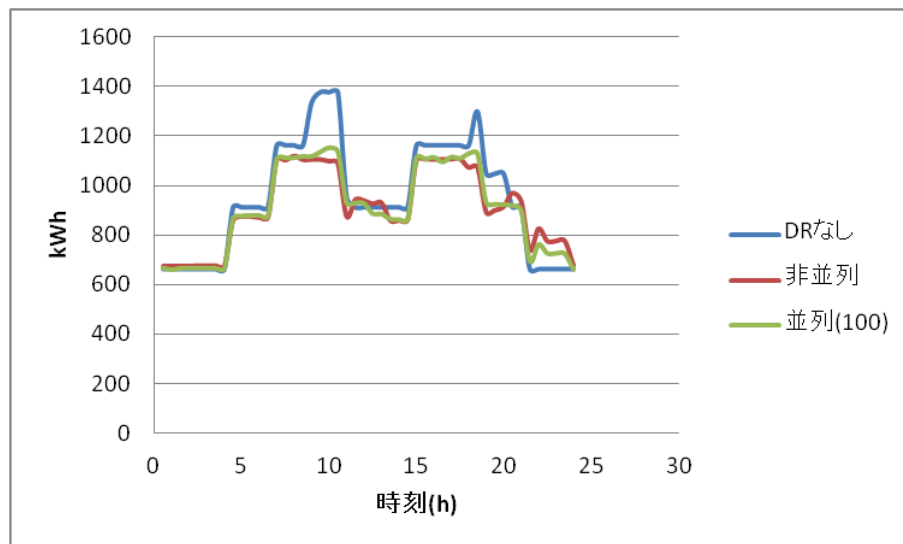


図 3.7: 時間帯における需要電力 (ユーザー数 : 1000)

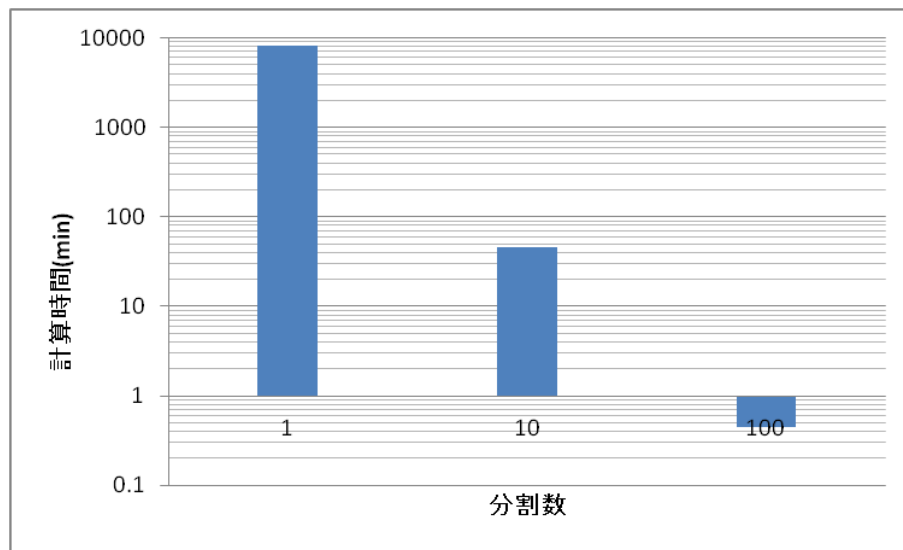


図 3.8: 分割数における計算時間 (ユーザー数 : 1000)

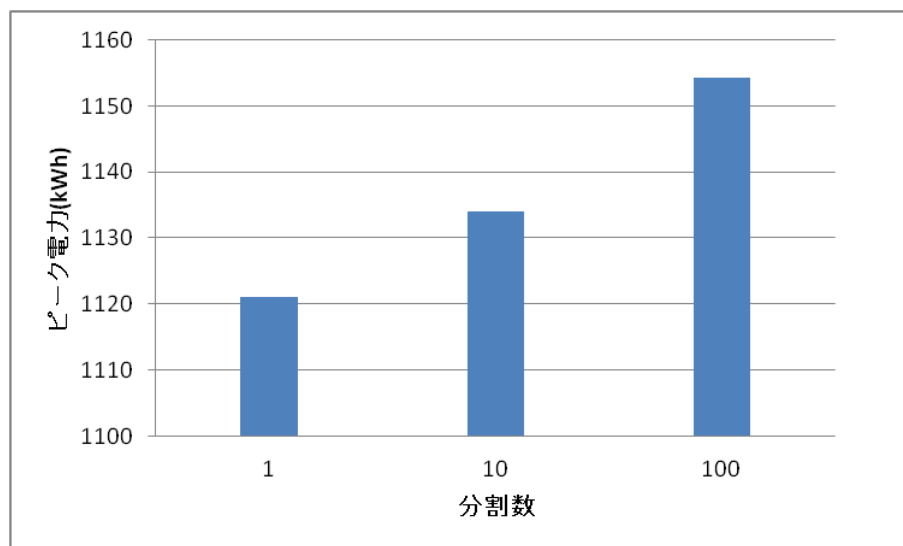


図 3.9: 分割数におけるピーク削減能力 (ユーザー数 : 1000)

3.6 全体制御によるデマンドレスポンス

3.6.1 各グループへの需要電力の移動容量の振り分け

分割数を上げていくことで、ピーク削減能力の劣化が発生してしまうという問題に対して全体的な制御を加えることで性能の改善を図った。前述したアルゴリズムを適応した後にはトップエージェントが全体の制御を行って別グループ間の負荷の受け渡しを行う。全体制御においては、2つのマップが使用される。ひとつは、時間帯に対する余剰電力を表したトップマップ、もうひとつは、グループに所属しているユーザーが移ってもよかつトップマップ *topmap* で余剰電力があるとされる時間帯が表されるグループマップ *groupmap* である。これらのマップを用いて各グループに時間帯に対するデマンドレスポンスの需要電力の移動容量を振り分ける。制御の手順は以下のようになる。

- (1) トップエージェントが時間帯に対する余剰電力を表したトップマップを作成する。
- (2) 各グループがトップマップを基に、グループマップを作成する。
- (3) 各グループの各時間帯における *topmap* との類似度 *similarity* を以下の式に基づいて計算する。

$$similarity_i(t) = \sum_{t=0}^T |(topmap(t) - groupmap_i(t))|, \quad (3.9)$$

- (4) 各グループの各時間帯における需要電力の移動容量 *dis_i* を以下の式に基づいて計算する。以降では、*sumsim* は時間 *t* における全グループの *similarity* の合計を表す。

$$dis_i(t) = topmap(t) \times (groupmap_i(t)/sumsim(t)), \quad (3.10)$$

- (5) 各グループは振り分けられた移動容量に応じてデマンドレスポンスを行う。

3.6.2 グループ内での振り分け

図 3.10 に示すように、グループ内で最も良い節電協力度 *C* を持つユーザーを選択し、優先的に使用時間の移動を行わせる。

3.7 想定される条件又は動作

ユーザーは、それぞれの家庭に取り付けてあるスマートメーターに電気機器の使用プラン、時間帯における使用希望度や予約開始時間などのエージェントの行動規範をあらかじめ入力しておく。使用希望度は、ユーザーの時間帯における洗濯機の使用優先度を表す

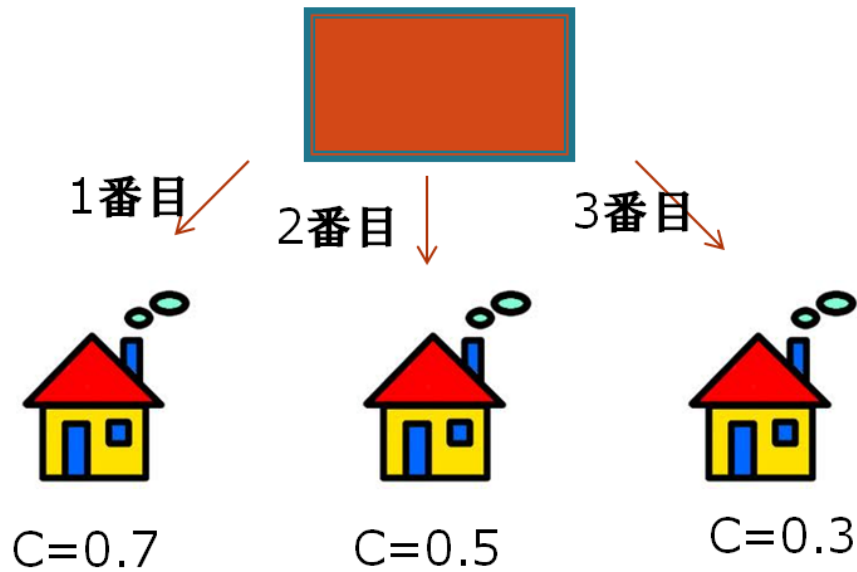


図 3.10: グループ内の振り分け例

ものでスマートメーターのエージェントはこのマップに従って予約を行う時間帯を決定する。スマートメーターのエージェントは、入力されたプランに従って、自動的に電気機器を操作したり、使用希望度に応じてデマンドレスポンスを行われる。

電力会社は、各ユーザーのスマートメーターを通じて一日の電気機器プランの集計を行う。そして、あらかじめ設定しておいたピーク電力に収まるように予約トレード制や節電量の最適化による節電やピークシフトを各ユーザーのスマートメーターのエージェントに対して指示を行いデマンドレスポンスを実行する。その際に、電力会社とユーザー間又はユーザー同士で、ポイントのやり取りが行われる。全体の需要計画を踏まえたうえでのデマンドレスポンスは、30分毎に行われ各ユーザーの電気機器プランを更新される。

第4章

実験

4.1 実験準備

4.1.1 各パラメータ

実験条件としては, ユーザーのタイプを3タイプ用意した. それを図4.1に示す. 初期ポイントは交渉時に用いるポイントの実験開始時に所持しているポイント数, 許可ポイントは交渉の際に相手に渡すことのできる最大ポイントであると同時に交換の際に要求するポイント数, リクエスト時間は予約を取り始める時間帯, 節電許可係数は最適化の際に用いる係数であり, 節電をどの程度行うかをユーザーが判断するための値とする. また, ポイントは初期ポイント以外ではエアコン、温水器で協力した節電量に比例したポイントがユーザーが付与される. ユーザーの時間帯に対する洗濯機の希望度は, 図4.2に示す.

| | 初期ポイント | 許可ポイント | リクエスト時間 | 節電許可係数 | 最終目標ポイント |
|------|--------|--------|---------|--------|----------|
| タイプ0 | 100 | 3 | 7:30 | 0.3 | 160 |
| タイプ1 | 100 | 5 | 9:30 | 0.7 | 150 |
| タイプ2 | 100 | 7 | 2:30 | 0.8 | 120 |

図 4.1: 各ユーザのタイプとその設定

ここで, ユーザーは予約を行う時間帯の選択方法について説明する. ユーザーは, 以下の式のように自分の最終目標ポイントと現在の保有ポイントを割合を計算しその値によって最低希望ラインを選択する. ここでは, $complete_i$ を目標達成率, $point_i$ を保有ポイン

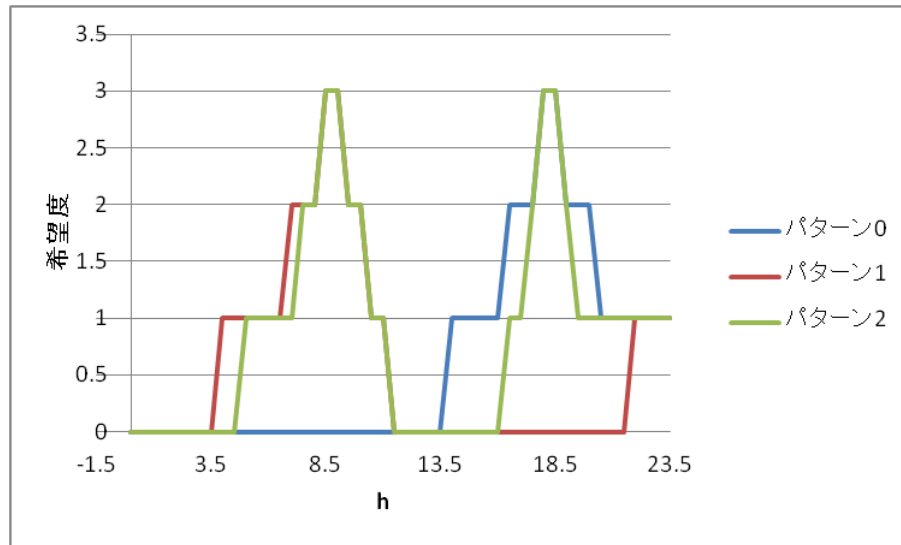


図 4.2: ユーザーの時間帯別使用希望度のパターン

ト, $goal_i$ を最終目標ポイント, $line_i$ を最低希望ラインと定義する.

$$complete_i = point_i / goal_i \tag{4.1}$$

$$line_i = \begin{cases} 3, & (complete_i > 0.7) \\ 2, & (complete_i > 0.3, goal \leq 0.7) \\ 1, & (complete_i \leq 0.3) \end{cases} \tag{4.2}$$

そして, 選択された最低希望ライン以上の希望度の時間帯から予約する時間帯を決定する. また, 家電製品は図 4.3 のように表した. 加えて, ユーザーの温水器, エアコン, 料理用 IH の初期値はそれぞれ図 4.4 に示した. 温水器, エアコンの初期値は, 前述した $s[i]$ のことである. 料理用 IH はデマンドレスポンスでは制御することができないため, この初期値から変更されることはない. 本実験で提案される階層型のシステムであるが, 全 3 階層で構成されている. 最上位層が発電所であり, 第 2 層にはユーザーグループをまとめるリーダーエージェント層, 第三層にユーザー層が存在している.

| | 制御 | 消費電力量 (kWh/30min) | 条件 |
|------|--------|-------------------|----------------|
| 洗濯機 | 予約トレード | 0.35kWh | 予約トレード制に従う |
| 温水器 | 最適化 | 0.75kWh?0kWh | 一日の合計消費電力:3kWh |
| エアコン | 最適化 | 1.5kWh?0kWh | 一時間連続で節電は行わない |
| 冷蔵庫 | 不可 | 0.06kWh?0kWh | 一日中起動 |
| IH | 不可 | 0.5kWh?0kWh | 特定の時間に稼働 |

図 4.3: 各家電製品の設定

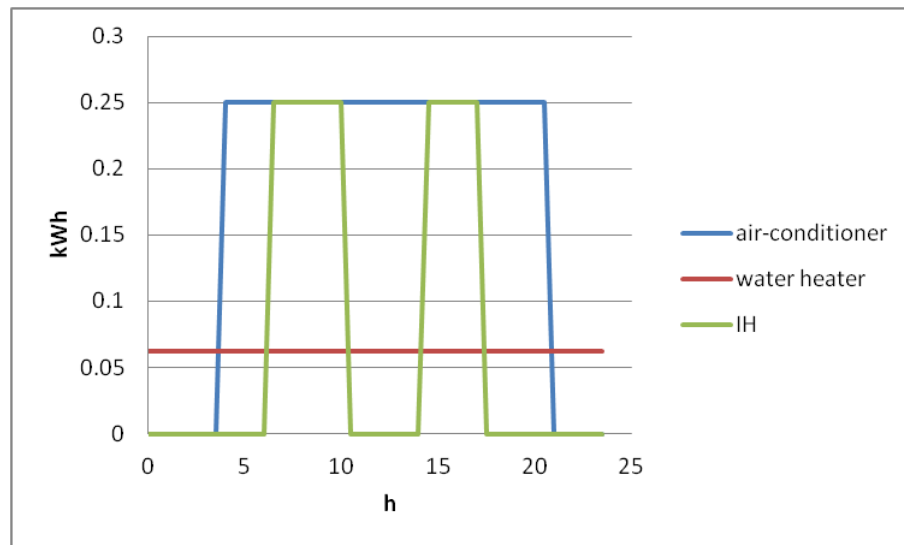


図 4.4: 各機器の初期需要計画

4.1.2 実験環境

本実験は以下のような環境を用いた。

- (1) Debian GNU/Linux 6.0
- (2) Xeon X5675 (6 Core, 3.06GHz) × 2
- (3) メモリ 192GB

また今回のシミュレーションでは、一日を48分割し、30分を一つのサイクルとして実験を行った。

4.1.3 比較手法

提案手法の有効性を評価するために、実験において全体制御を行わない場合の階層型と比較を行った。

4.2 実験結果

いくつかのパラメータを用いた実験を行った。

4.2.1 ピーク削減能力

各時間帯に対する需要電力を図4.5に示す。

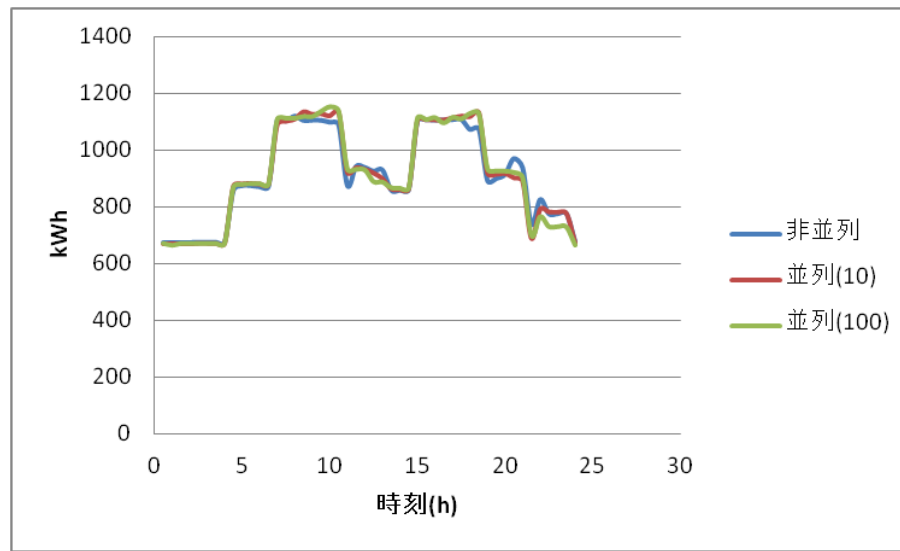


図 4.5: 各時間帯に対する需要電力

4.2.2 計算時間

各時間帯に対する計算時間を図 4.6, 図 4.7 に示す.

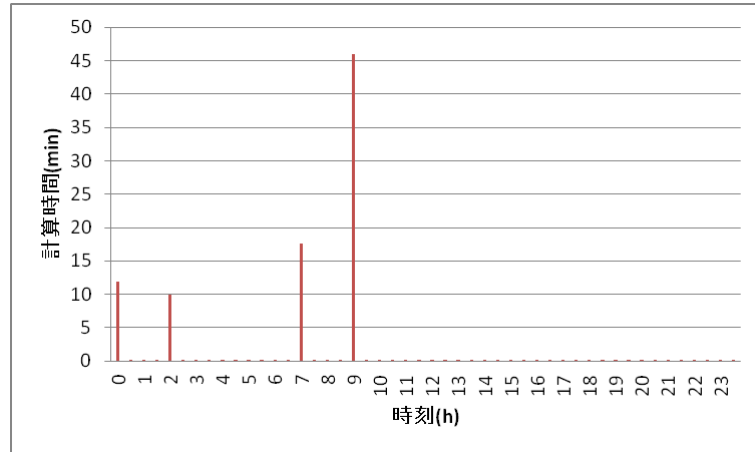


図 4.6: 各時間帯に対する計算時間 [分割数 10]

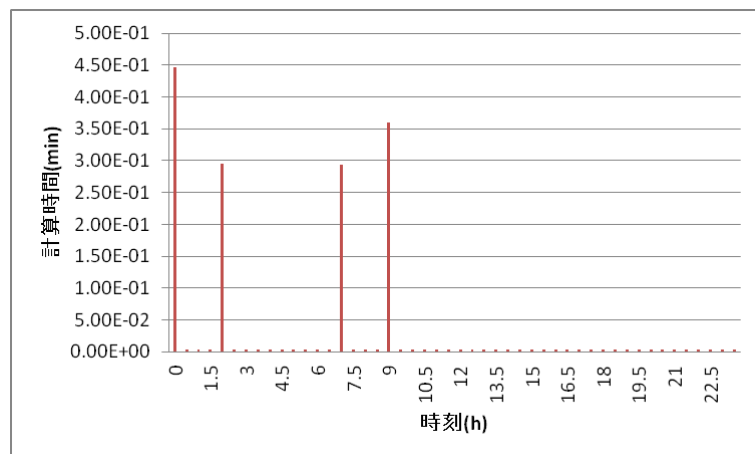


図 4.7: 各時間帯に対する計算時間 [分割数 100]

4.2.3 ポイント

ユーザーのタイプ (パラメータ [最終目標値や節電協力度など])

ユーザーのタイプに対してポイントがどの程度増減したのかを表した分布を図 4.8, 図 4.9 に表した.

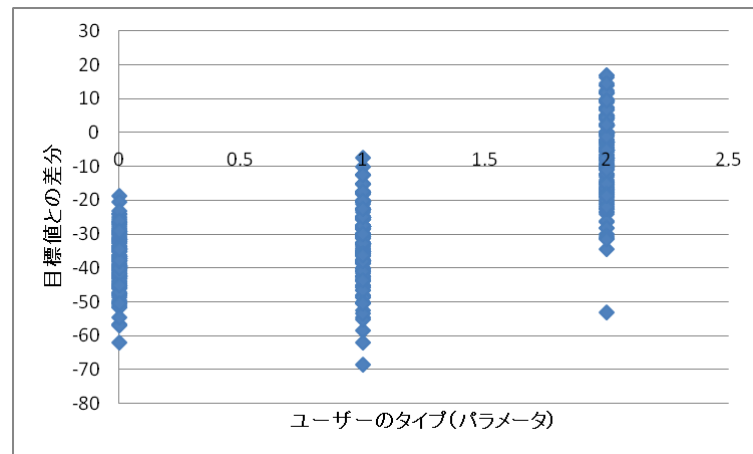


図 4.8: ユーザーのタイプ (パラメータ [最終目標値や節電協力度など]) による目標ポイントとの差

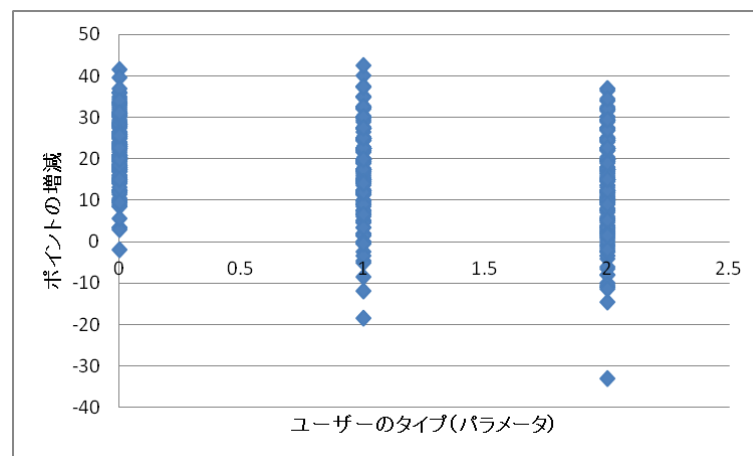


図 4.9: ユーザーのタイプ (パラメータ [最終目標値や節電協力度など]) によるポイントの増減

ユーザーのタイプ (優先度)

ユーザーのタイプ (優先度) に対してポイントがどの程度増減したのかを表した分布を図 4.10, 図 4.11 に表した.

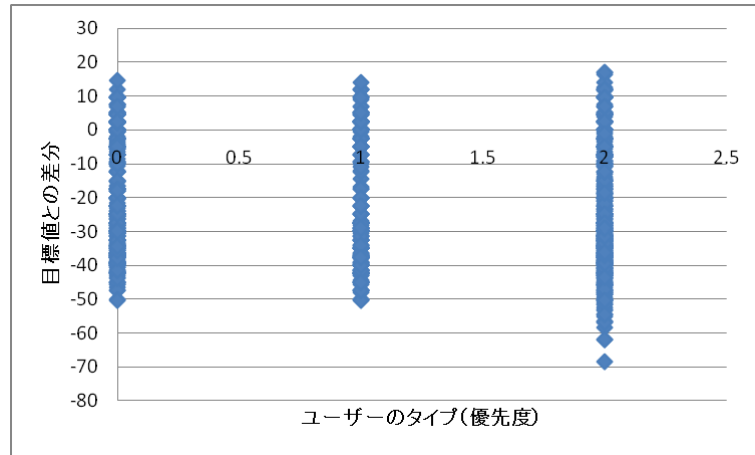


図 4.10: ユーザーのタイプ (優先度) による目標ポイントとの差

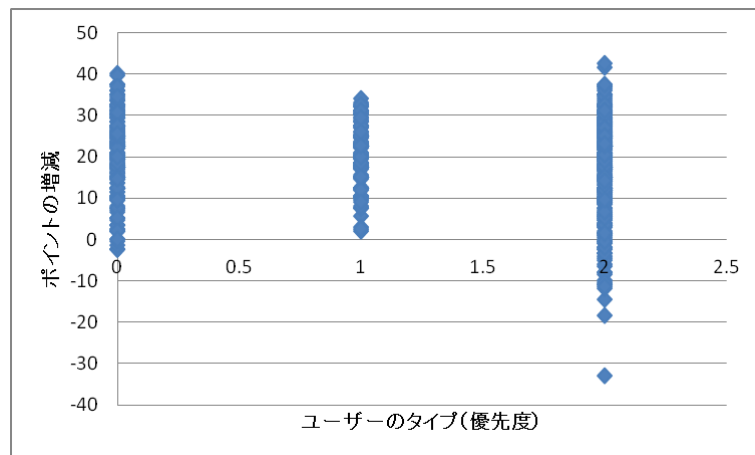


図 4.11: ユーザーのタイプ (優先度) によるポイントの増減

ユーザーのタイプ (リクエスト時間)

ユーザーのタイプ (リクエスト時間) に対してポイントがどの程度増減したのかを表した分布を図 4.12, 図 4.13 に表した.

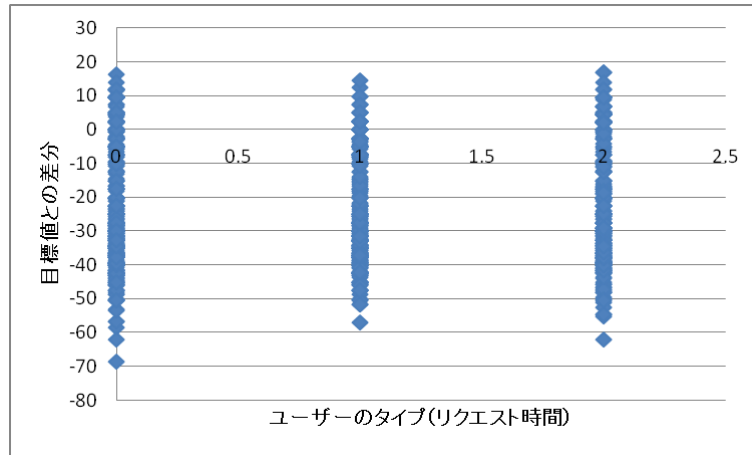


図 4.12: ユーザーのタイプ (リクエスト時間) による目標ポイントとの差

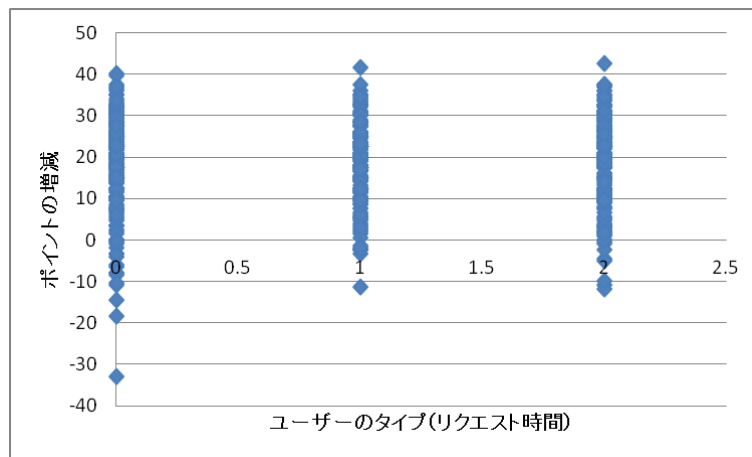


図 4.13: ユーザーのタイプ (リクエスト時間) によるポイントの増減

4.2.4 リクエスト時間に対するユーザーの予約時間

ユーザーのタイプによって実際にユーザーがどの時間に予約することができたかを図 4.14, 図 4.15, 図 4.16 に示した. このグラフの縦軸は, 適合するタイプのユーザーの中でユーザーが設定した優先度の時間帯に予約できたユーザーの割合を表している.

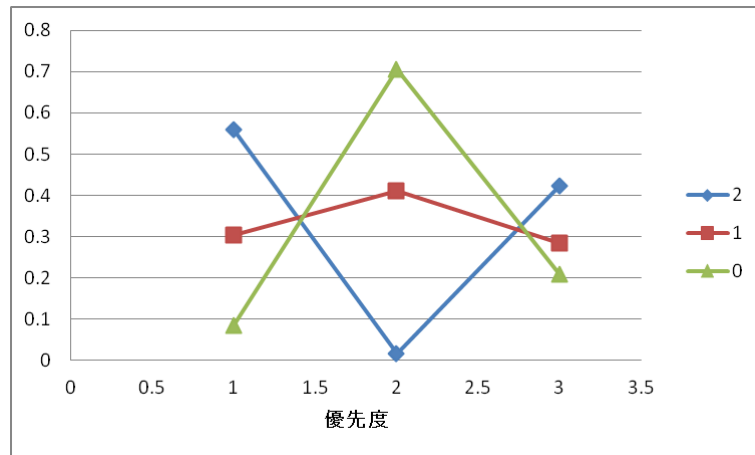


図 4.14: 特定の優先度の時間帯に予約できたユーザー数の割合 [パラメータ]

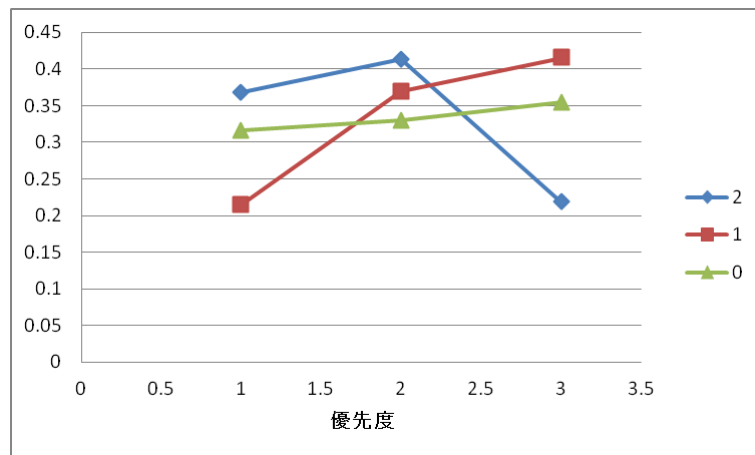


図 4.15: 特定の優先度の時間帯に予約できたユーザー数の割合 [優先度]

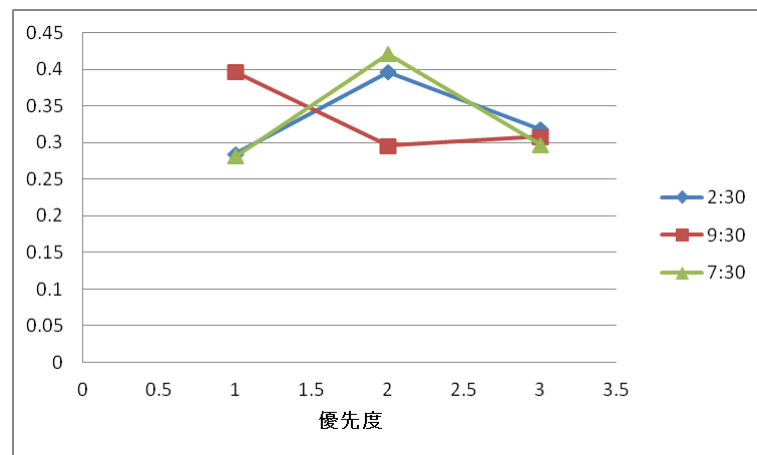


図 4.16: 特定の優先度の時間帯に予約できたユーザー数の割合 [リクエスト時間]

4.2.5 分割数特性

分割数による計算時間・ピーク電力を図4.17, 図4.18に示す. これより先にあるP-sumとは, 全ユーザーの実際に予約した時間帯の優先度を合計した値である. この値が高いほど, ユーザー全体で希望通りの時間帯に使用できたユーザーが多いことを表す. また Dis-aveとは, 全ユーザーの所持ポイントと目標ポイントとの差の平均をとった値である. この値が低いほど, ユーザー全体で目標ポイントに近いポイントを獲得できたことになる.

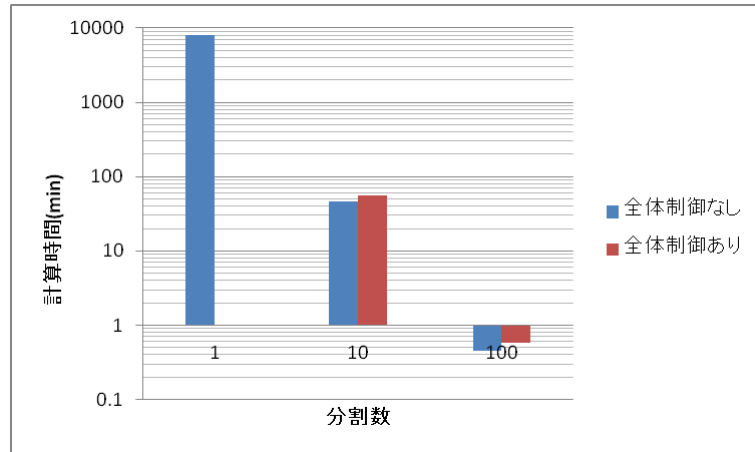


図 4.17: 分割数特性 [計算時間]

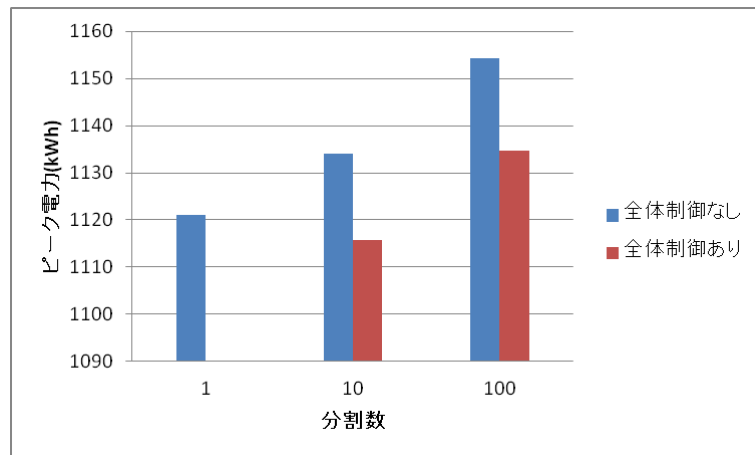


図 4.18: 分割数特性 [ピーク電力]

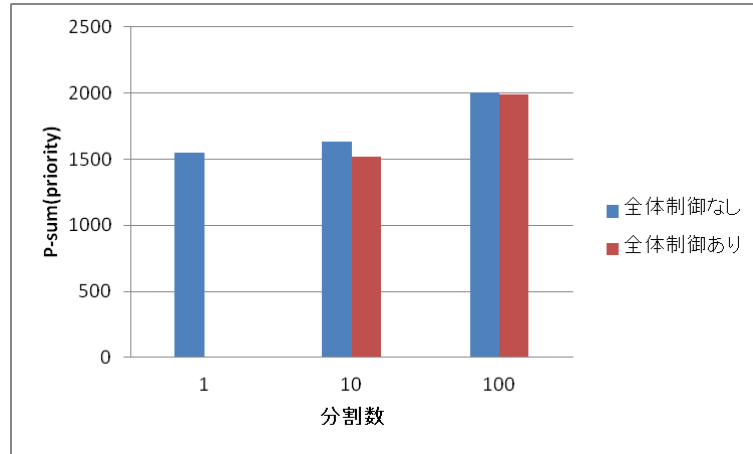


図 4.19: 分割数特性 [ユーザーの予約時間の優先度の合計値]

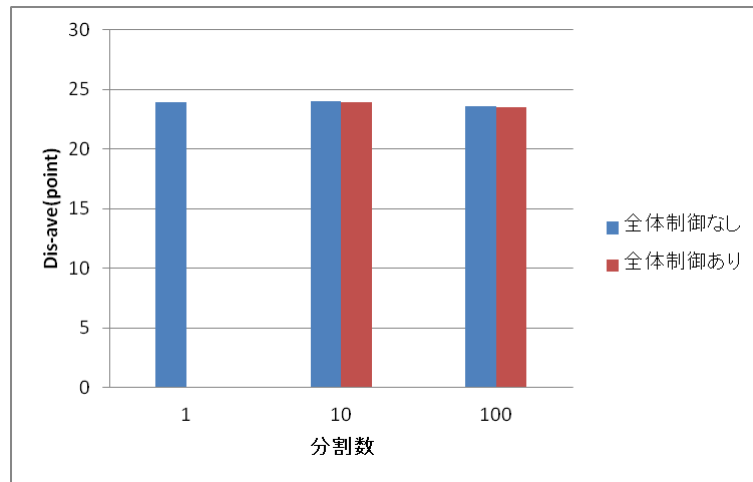


図 4.20: 分割数特性 [ユーザーの所持ポイントの目標値との差の平均値]

4.2.6 制限電力特性

制限電力による計算時間・ピーク電力を図 4.21, 図 4.22 に示す.

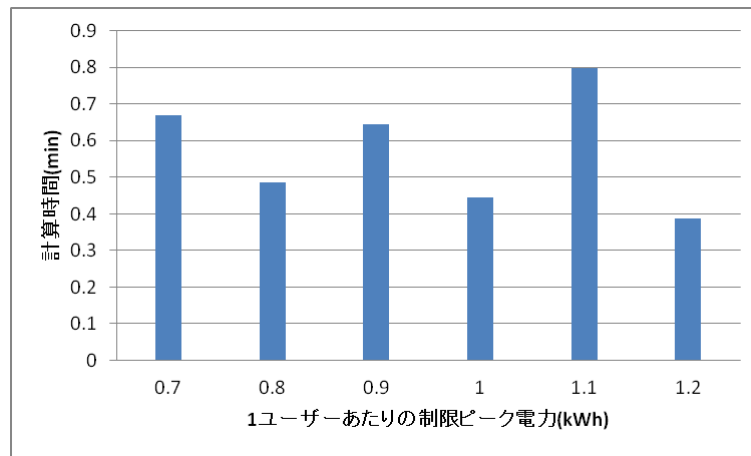


図 4.21: 制限電力特性 [計算時間]

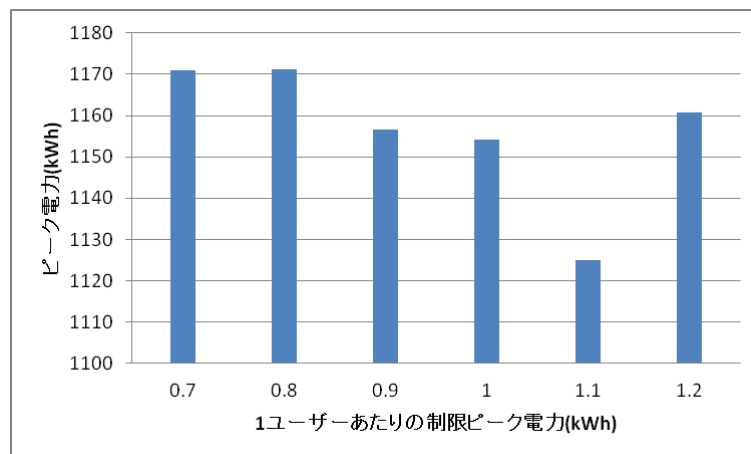


図 4.22: 制限電力特性 [ピーク電力]

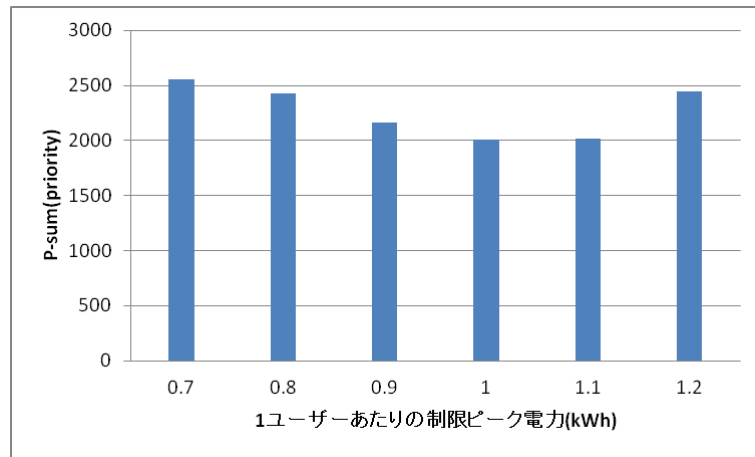


図 4.23: 制限電力特性 [ユーザーの予約時間の優先度の合計値]

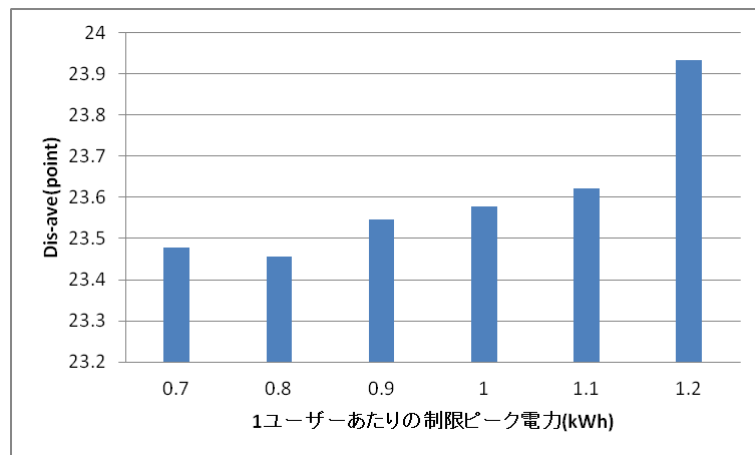


図 4.24: 制限電力特性 [ユーザーの所持ポイントの目標値との差の平均値]

4.3 考察

本手法では、分割数を上げることによるピーク削減能力の減衰を軽減するために全体制御を行ったが、結果その削減能力の劣化を抑えることができていることが分かる。

4.3.1 ポイント

パラメータ [最終目標値や節電協力度など]

図 4.8 を見てわかるとおり、ユーザーの目標の達成度に差が生まれている。これは、パラメータにおいて目標値が設定されているため目標値が大きいユーザーはその分値が低くなってしまうのが原因と考えられる。

次に図 4.9 を見てみると、目標値が高いユーザーが比較的多くのポイントを手にしていることが分かる。

目標値が大きい場合、ユーザーがポイントを多く獲得するよう動くため多くのポイントを手に入れる傾向にあることが分かる。

ユーザーのタイプ (優先度)

図 4.10 を見てわかるとおり、パターン 2 のみ全体に広がった形になっている。これは、パターン 2 の優先度は 2 つの時間帯にまたがって存在しているため、上手く立ち回ればポイント多く得ることができ、逆に上手く立ち回れなかった場合ポイントを多く損失してしまうためだと考えられる。

次に図 4.11 を見てみると、パターン 2 のユーザーが他の 2 つ比べて振れ幅が小さいという特徴を持っている。

これはパターン 1 では早い時間帯に予約を行っているためトレードを行う機会が少ないためだと考えられる。

ユーザーのタイプ (リクエスト時間)

図 4.12, 図 4.13 を見てわかるとおり、そこまで大きな違いは見えないが遅い時間帯に予約を行ったユーザーには目標達成率、所持ポイントともに小さいものが多い。

4.3.2 優先度

図 4.14 を見てみると、それぞれのタイプで大きく違いが出た。一番目標値が大きいタイプ 0 は、優先度 2 の時間帯が多く、逆に目標値が一番小さいタイプ 2 では優先度 2 の時間帯

が少ないという結果となった。また、タイプ1では、どの優先度もバランス良く分布している。

一方で、図4.15を見るとパターン2とパターン0、パターン1とで2つの傾向があることがわかる。パターン2では、優先度が下位の時間帯が多くその他では上位の時間帯が多くなっている。

最後に、図4.16を見ると9:30に予約しているユーザーは優先度が低い時間帯が多くなっている。

4.3.3 分割数特性

図4.17を見てわかるとおり、分割数が10の時は分割を行わない場合により削減できている。これは、全体制御を行うことによって条件が変化し温水器やエアコンなどの他のスケジューリングに影響が出てしまったためだと考えられる。

次に図4.18をみると全体制御分の計算時間の増加がわかる。しかし、分割による減少量に比べて軽微であるため影響は小さいと考えられる。

次に図4.19, 図4.20みると、全体制御によるP-sum, Dis-aveへの影響は小さいことが分かる。

4.3.4 制限電力特性

図4.22を見てみると、制限電力が小さ過ぎる場合や大き過ぎる場合ピーク電力が増加してしまうという結果となった。一方で、図4.21を見てみると計算時間も制限電力によって変化していることがわかる。これらの結果からみると、制限電力をうまく設定することでピーク削減と計算負荷の削減を行えることがわかる。

図4.23をみると、P-sumは概ねピーク電力と相関関係にあることが分かる。しかし1kWhと1.1kWhを比較するとP-sumが変化していないにもかかわらずピーク電力が小さくできていることから制限電力の設定によって性能の改善行えることが分かる。次に図4.24をみると、Dis-aveは制限電力が小さい方が良い結果となることが分かった。

4.3.5 まとめ

ユーザーのパラメータによる挙動

今回の結果から、最終目標値や節電協力度、リクエスト時間、予約優先度マップなどによってユーザーの最終的なポイントや予約時間に影響を与えられることが分かった。このことから、ユーザーは適切な設定を行うことによって自分の望んだ時間帯への予約やポイントの取得を行えることが分かる。

ピーク電力

ピーク電力は、分割数を上げていくことで劣化してしまっているがこの問題は全体制御をおこなうことで改善が可能であることが分かった。また、制限電力の設定はピーク電力にも影響を与えるパラメータで大きすぎても小さすぎてもいけないという結果となった。本実験では1ユーザーあたり 1kWh の時に最もよい結果を示した。

計算負荷

計算時間は、分割数を上げていくことで大幅に削減できることが分かった。全体制御によって計算時間は増加してしまっているが、その増加量は分割による減少量に比べ小さいため影響は軽微であるといえる。制限電力に対しては、値によってばらつきが生じている。ピーク電力との結果を踏まえると 1kWh の時の結果が最良であることが分かる。

P-sum

P-sum 値に関しては、全体制御による影響は小さいことが分かった。また、P-sum 値はピーク電力と強い相関関係にあることが分かる。ピーク電力が大きい場合、P-sum 値も大きくなる傾向にある。しかし 1kWh と 1.1kWh を比較すると P-sum 値が変化していないにもかかわらずピーク電力が小さくできていることから P-sum 値を減少させずにピーク電力を削減できることを示している。この結果からユーザーの希望通りの時間帯へのシフトとピーク削減量の関係は制限電力の設定に影響を受けることが分かる。

Dis-ave

Dis-ave 値に関しては、全体制御による影響は小さいことが分かった。また、Dis-ave 値は制限電力が小さい方がよい結果となることが分かった。この結果は、ユーザーの目標達成度を上げるためには系統全体に流通するポイントの量を多くする必要があることを表している。

第5章

まとめと今後の課題

5.1 まとめ

本論文では、リアルタイム大規模デマンドレスポンスのためのシステム構築に関する手法を提案した。本手法は、負荷削減能力に優れかつユーザーの満足度にも配慮したデマンドレスポンスの実現するために予約トレードと節電量の最適化の2方式のデマンドレスポンスを採用した。

また、実際の扱う世帯数は莫大な数になりデマンドレスポンスをリアルタイムで行える柔軟性を電力システムにもたせることが難しかった。そこで、大規模な問題を分割して処理することによって負荷の軽減を行いその結果を確認することができた。しかし、問題を分割することで、ピーク削減能力が劣化が発生したため、ここで全体制御を行い劣化の軽減を行った。

これらの結果から、負荷削減能力を持ちユーザーの満足度に配慮したデマンドレスポンスを実現できると考える。また、本手法を用いることで必要なリーダーエージェント数を用意することができれば大規模なデマンドレスポンスを実行できると考えた。

5.2 今後の課題

今後の課題としては、できるだけ実際の規模に近いユーザー数で実験を行うことを予定している。また、今回に実験で適切な制限電力を設定することで、さらなる計算時間の軽減とピーク電力が計れる可能性出てきたため、この値を自動的に取得する方法の模索も行っていきたい。最後に、節電量の最適化の初期値を適切に与えることでさらなる計算時間の軽減ができるのではないかと考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり, 多大な御指導を頂いたとともに, 本研究を行う機会を与えてくださった東北大学大学院工学研究科大町真一郎教授に心より感謝致します.

本論文を纏めるにあたり, 貴重なご意見を頂きました, 東北大学大学院工学研究科 教授 斎藤 浩海先生と東北大学大学院情報科学研究科 教授 加藤 寧先生に深く感謝致します.

また, 様々な場面で御助言や御指摘をいただいた東北大学大学院工学研究科菅谷至寛助教に心より感謝致します.

さらには, 日々の研究生活において多大な御意見と御指導をしてくださった大町研究室の皆様心から感謝致します。

そして今まで, 東北大学での充実した生活を送るにあたっての支えとなっていた家族、切磋琢磨して共に勉学, 研究に励んだ友人の方々に深く感謝致します.

参考文献

- [1] Bernard Neenan, Ross C. Hemphill, Societal Benefits of Smart Metering Investments, The Electricity Journal, Volume 21, Issue 8, October 2008, Pages 32?45
- [2] 横山 明彦, よりスマートなグリッドの構築に向けて, 電気学会誌 Vol.130,2010
- [3] 荻本 和彦, 低炭素社会における電力システム, 電気学会誌, 2009
- [4] US Department of Energy, Benefits of demand response in electricity markets and recommendations for achieving them,2007.
- [5] Chengjian Wei ,Learning Agents for Storage Devices Management in the Smart Grid, Computational Intelligence and Software Engineering (CiSE), 2010
- [6] Ninghui Zhu, Benefits Analysis of All Parties Participating in Demand Response, Power and Energy Engineering Conference (APPEEC),2011
- [7] 石山和也, 分散並列環境における協調型ジョブ管理システム, 電気関係学会東北支部 連合大会講演論文集,2010
- [8] 平成 20 年住宅・土地統計調査（速報集計）結果の概要, 総務省 統計局
- [9] Reports on Demand Response & Advanced Metering, FERC Staff Issues Assessment of Demand Response and Advanced Metering, December 20, 2012 - Item A-3
- [10] Crissy Godfrey, Daniel J. Hurley, Comments of the Public Service Commission Staff Direct Load Control Program Activation September 19, 2011
- [11] B G & E H P (<http://www.bgesmartenergy.com/>)
- [12] Leyli Mohamad Khanli and Saeed Ebadi,A New Distributed and Hierarchical Mechanism for Service Discovery in Grid Environment, LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE,2010

- [13] Jeff Osborne, Dilip Warriar, A PRIMER ON DEMAND RESPONSE, Oct, 2007
- [14] Japan Smart City Portal(JSCP), ジャパン・スマートシティ・ポータル,
<http://jscp.nepc.or.jp/>
- [15] 豊田市低炭素システム実証推進協議会, 愛知県豊田市における『家庭・コミュニティ型』低炭素都市構築実証プロジェクトマスタープラン, 2010年8月
- [16] 中部電力, デマンドレスポンス実証試験のイメージ, 2012年6月5日
- [17] 京都府けいはんな学研都市, 次世代エネルギー・社会システム実証マスタープラン, 2010年8月
- [18] 北九州スマートコミュニティ創造協議会, 次世代エネルギー・社会システム実証北九州スマートコミュニティ創造事業マスタープラン, 2010年8月
- [19] 環境共創イニシアチブ, エネルギー管理システム導入促進事業 (BEMS 導入事業) 補助金制度のご案内, 2012
- [20] elster, Customer and Community Satisfaction - Phoenix 's Salt River Project, 2011
- [21] Choose your price plan & save on electric bill,
<http://www.srpnet.com/prices/home/tod.aspx>
- [22] Charles River Associates, IMPACT EVALUATION OF THE CALIFORNIA STATEWIDE PRICING PILOT, March 16, 2005
- [23] Summit Blue Consulting, Evaluation of the Energy-Smart Pricing Plan Project, Summary and Research Issues, February 2004
- [24] Rocky Mountain Institute, AUTOMATED DEMAND RESPONSE SYSTEM PILOT, 31 March 2006
- [25] Rick Voytas, AmerenUE Critical Peak Pricing Pilot, June 26, 2006
- [26] Pacific Northwest National Laboratory, Olympic Peninsula Project Final Report, January 1, 2008
- [27] eMeter Strategic Consulting for the Smart Meter Pilot Program, PowerCentsDC Program Final Report, September, 2010
- [28] Energy Insights, 2008. Xcel Energy TOU Pilot Final Impact Report. Personal communication with Donald E. Garretson, Xcel Energy.

-
- [29] PG & EHP (<http://www.pge.com/>)
- [30] ENERNOC (<http://www.enernoc.com/>)
- [31] 倉内慎也, 永瀬貴俊, 森川高行, 公共交通利用に対するポイント制度「交通エコポイント」の導入が意識・行動変化に及ぼす影響の基礎的分析, 土木計画学研究・講演集 (CD - ROM), 31 巻, P142, 2005 年 06 月

研究業績

学会発表

郡司俊嗣，菅谷至寛，大町真一郎

“分散処理による大規模デマンドレスポンスの検討”

信学技報，信学技報 112(167), EE IEE-SPC, pp. 57-62, 2012年7月.

Toshitsugu Gunji, Yoshi Sugaya , Shinchiro Omachi

“ A Study on Large-scale and Flexible Demand Response with Reservation Trade ”

Korea-Japan-China International Workshop , pp. 85-88, Oct. 31 - Nov. 3, 2012.

Toshitsugu Gunji, Yoshi Sugaya , Shinchiro Omachi

“ A Practical Method for Realizing Large-scale and Flexible Demand Response ”

Innovative Smart Grid Technologies Conference 2013 , February 24-27, 2013[予定].(査読あり)