

新規参入電力小売事業者のための 電力需要予測モデルの開発

森田 圭

新規参入電力小売事業者のための 電力需要予測モデルの開発

—目次—

第1章 序論	1
1.1 電力システム改革	1
1.2 電力小売業者に求められる需給管理	2
1.3 新規参入電力小売事業者の需給計画の課題	3
1.4 本論文の目的と構成	7
第1章の参考文献	9
第2章 本研究で使ったデータ	12
2.1 はじめに	12
2.2 燃料電池（FC）世帯データ	12
2.3 一般世帯データ	14
2.3.1 計測概要	14
2.3.2 電力需要データの特徴	17
2.4 月別電力需要の比較	18
2.5 第2章のまとめ	22
第2章の参考文献	23
第3章 数百世帯規模の電力需要特性	24
3.1 はじめに	24
3.2 日別需要の特徴	24
3.3 電力需要の時間帯別の特徴	36

3.3.1	時間帯別月平均電力需要の傾向	36
3.3.2	各時間帯における電力需要の日々のばらつき	41
3.3.3	時間区分別の電力需要の特徴	43
3.4	特殊な電力需要パターンとなる時期の特徴	47
3.4.1	休日が連続で続く期間	47
3.4.2	特異な気象条件の日	50
3.5	集約世帯数の違いによる電力需要特性の変化	52
3.5.1	日平均・最大・最小電力需要の前日からの変化	52
3.5.2	気温に対する日平均電力需要の変化	55
3.6	第3章のまとめ	58
	第3章の参考文献	60
第4章	月別電力需要予測モデル	61
4.1	はじめに	61
4.2	予測モデルの概要	61
4.3	予測方法	62
4.4	予測に用いるデータベースの構築手順と基礎的検討	65
4.4.1	世帯群のグループ化	65
4.4.2	グループ化の結果	67
4.4.3	各グループの傾向	69
4.4.4	各世帯属性における各グループの割合	73
4.4.5	考 察	83
4.5	月別の全世帯合計電力需要に関する予測の一例	83
4.5.1	前提条件	83
4.5.2	予測結果	84

4.5.3	推定結果についての考察	86
4.6	第4章のまとめ	87
	第4章の参考文献	88
第5章	翌日電力需要予測モデル	89
5.1	はじめに	89
5.2	予測モデル	89
5.2.1	日付を基準とした参照日決定方法	90
5.2.2	気温を基準とした参照日決定方法	91
5.3	各データ参照日決定方法における予測結果	94
5.3.1	予測結果の評価指標	94
5.3.2	日付を基準とした参照日決定方法による予測結果	94
5.3.3	気温を基準とした参照日決定方法による予測結果	97
5.3.4	予測結果のまとめ	100
5.4	複数の手法の組み合わせによる予測精度の改善効果	102
5.4.1	冬期	102
5.4.2	特異日（正月，お盆，ゴールデンウィーク）	105
5.4.3	中間期（平均気温が20℃前後の期間）	107
5.4.4	雨期（6月および9月）	108
5.4.5	気温が極端に変化した日	110
5.4.6	予測精度の改善結果	111
5.5	予測モデルの適用効果	113
5.6	第5章のまとめ	115
	第5章の参考文献	116

第 6 章 当日リアルタイムで計測した少数代表世帯の 電力需要を用いた全世帯の電力需要の 予測モデル	117
6.1 はじめに	117
6.2 全世帯平均電力需要の把握方法の概要	118
6.2.1 代表世帯の要件	118
6.2.2 代表世帯の選定方法	119
6.2.3 全世帯合計需要の把握方法	120
6.3 全世帯の平均電力需要の予測結果	121
6.3.1 評価指標	121
6.3.2 日別 MAE の年平均値の比較	121
6.3.3 日別 MAE の比較	123
6.4 提案手法の改善に向けた検討	125
6.4.1 予測誤差の原因	125
6.4.2 代表世帯選定結果の検証	126
6.4.3 1 次回帰式の検証	129
6.4.4 時間帯別需要比率の検証	131
6.4.5 参照日の検証	133
6.4.6 2 つの手法の組み合わせ	135
6.4.7 提案モデルの改善結果	136
6.5 1 時間先電力需要予測への適用	138
6.5.1 1 時間先電力需要予測モデルの概要	138
6.5.2 予測結果	139
6.6 第 6 章のまとめ	142
第 6 章の参考文献	143

第7章 総括	144
7.1 本論文のまとめ	144
7.2 今後の課題	148
第7章の参考文献	150
謝辞	151
本研究に関連して発表した論文	153
本研究に関連した国際会議での発表	153

第1章 序論

1.1 電力システム改革

我が国では、2011年3月11日に発生した東日本大震災による福島第一原子力発電所の事故や、その後の計画停電などの電力需給の逼迫を経験して以降、従来のように各エリア単位で一般電気事業者が垂直統合型で行っている電気事業を将来的に継続できるかに対して疑念が生じた。そこで、「電力の安定供給を確保すること」、「電気料金を最大限抑制すること」、「需要家の選択肢や事業者の事業機会を拡大すること」の3つを目的とし、その目的の達成のために以下の3段階で電力システム改革を実施することが2013年4月2日に閣議決定され、国会にて関連法案が成立した^{[1],[2]}。

【電力システム改革のステップ】

第1段階：広域系統運用の拡大（2015年度に施行）

第2段階：電力小売及び発電の全面自由化（2016年度に施行）

第3段階：法的分離の方式による送配電部門の中立性の一層の確保
(2020年度に施行予定)

電力システム改革では、これまで上述の第2段階まで進められており、2016年4月には家庭などの低圧部門を含めた電力小売が全面自由化されたことにより、様々なプレーヤーが家庭向けの電力小売事業へ参入した。電力小売事業者は平成28年11月現在で300社以上が登録しており、その内、一般家庭に対して電力小売を開始している事業者は約100社程度である^[3]。ただし電力小売事業者として登録している事業者の事業規模は、旧一般電気事業者や旧特定規模電

気事業者に加えて、地域に根ざしたいいわゆる地域新電力の規模まで各社各様である。

2016年9月末時点において、低圧部門の旧一般電気事業者から新規参入した小売電気事業者へ切り替えたスイッチング件数は188万件であり、全世帯の3%程度である^[4]。したがって、新電力事業者の供給対象件数は単純平均でも1事業者あたり1万件程度であり、大半の新規参入小売事業者は数百～数万件単位の規模で日々電力需給管理を行っている。大手の旧特定規模電気事業者の中には数十万件規模で事業を行っている場合もあるが、それでも旧一般電気事業者よりもかなり小さな規模で事業を行っており、供給対象需要家の日々の電力需要変動が旧一般電気事業者よりも大きいことが予想される。

1.2 電力小売事業者に求められる需給管理

2016年4月の電力小売全面自由化後は、これまでの30分実同時同量制度から30分計画値同時同量制度へ移行し、電力小売事業者は図1-1に示すように電力需給計画の様々な時間軸に応じて、各種計画を広域的電力系統運用推進機関へ提出する必要がある^[5]。

長期的な計画では、年間計画（翌年から2ヵ年分）や月間計画（翌々月から2ヵ月分）の提出を求められ、各月および週単位での電力需要を想定し、自身の電源調達や販売に関する計画を提出する必要がある。また、供給対象の各世帯との料金計算は月単位で実施されるため、供給対象世帯にどのような月別電力需要の世帯がどの程度存在しているかを予測することは、自身の料金体系やサービス内容等を検討するために必要である。

日々の電力需給計画では、需給対象日の前日12時までに翌日計画を提出する。翌日計画においては、発電事業者などからの調達量と供給対象世帯への販売電

力量をバランスさせる必要があり，調達電力量が不足または余剰となる場合には，前日 10 時に開場される電力取引市場（スポット市場）にて取引を行う．その後，実需給の 1 時間前の最終計画を提出するゲートクローズ時刻までに，気象条件の変化や電力需要の変動に基づいて必要に応じて計画の修正や時間前市場での取引を行うことができる．

最終的な計画値と実需給との間にギャップが生じた場合には，その量に応じてインバランス料金が徴収される．2016 年 8 月における東京エリアのインバランス単価（速報値）の平日昼間の平均値は 14.3 円/kWh であり，最も高い時は 23.8 円/kWh を記録した^[6]．新規参入事業者は，同時同量を達成することはもちろんのこと，そのような高額なインバランス料金を回避するためにも，精度の高い電力需要予測を行うことが求められる．

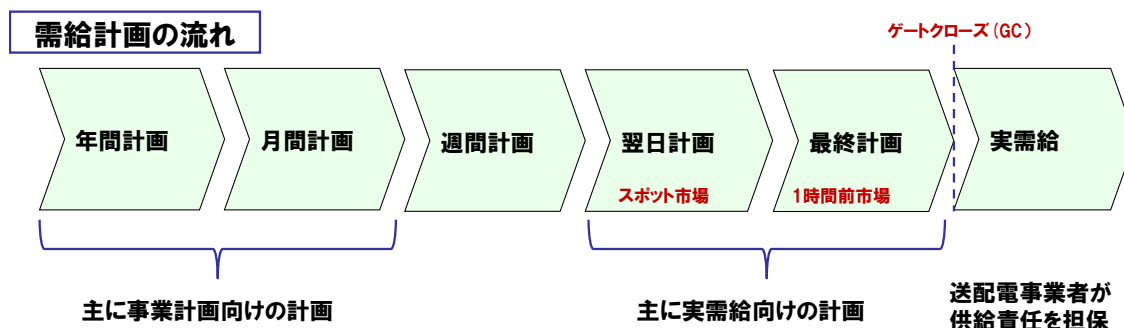


図 1-1 計画値同時同量制度で求められる計画

1.3 新規参入電力小売事業者の需給計画の課題

前述のように，新規参入電力小売事業者は，効率的に計画値同時同量制度を達成するために，様々な期間（月間，週間，翌日）における電力需要予測を行い，需給計画を提出することが求められている．また，計画値に対して実需給を一致させてインバランス料金を回避することも求められる．

新規参入電力小売事業者は、旧一般電気事業者と比較して事業規模が小さく、高額な設備投資ができないため十分な電源を確保する余裕はない。例えば、電力需要が急激に増加した場合に電源を焚き増して不足インバランスを解消すると言った需給調整を行うことは難しい。そのため、計画値の段階でなるべく精度良く電力需要を予測しておく必要があるが、電力需要予測の検討を行うにあたり以下のような課題がある。

(1) 家庭の電力需要データに関する課題

新規参入事業者が需要の予測について検討を行おうとしても、家庭部門はこれまで自由化の対象ではなかったため、必要な情報が十分に公開されていない。例えば文献[7]では、全国約 8,000 世帯を対象としたアンケートによる年間の用途別エネルギー消費量の傾向を調査しているが、寒冷地／非寒冷地別・住宅種別で月別のエネルギー消費量の変動の分析に留まっており、時間帯別の変動を把握することはできない。また、文献[8],[9]では、各地域における数世帯～10 世帯程度の代表世帯の月別、時間帯別の各用途の需要データを示しているが、世帯数が限られているため、新規参入事業者が供給対象としている数百世帯以上の合計電力需要の特性として扱うには、世帯が集約されることによる「ならし効果」が十分に考慮されない可能性がある。さらに、文献[10],[11]では、原単位などにより月別の代表的な電力需要パターンが示されているが、平日／休日における電力需要パターンの差異については把握することができない。また、これらの電力需要パターンは 1 軒単位の電力需要を推定するための値であり、文献[8],[9]と同様にならし効果が十分に考慮できていない可能性がある。加えて、文献[7]～[11]では、普段と電力需要の傾向が異なると予想されるお盆や正月などの特異日の電力需要パターンが定義されていない。このように、先行研究におけ

る家庭の電力需要の特性評価や電力需要のデータベースは、新規参入事業者にとって必ずしも有益な情報がそろっているとは言えない状況にある。

(2) 月別電力需要予測に関する課題

中長期の事業計画において活用する月別電力需要を予測する場合、将来の供給対象世帯の世帯数や当該世帯の世帯属性を仮定して予測することが想定される。その際には、供給対象世帯の合計の電力需要を予測することに加え、料金メニューの検討などのために、どのような月別電力需要の傾向を持った世帯がどの程度存在するのかと言った情報も予測したいというニーズがある。

文献[12]～[14]などの予測モデルにおいては、想定される供給対象世帯を世帯属性別に分類し、各世帯属性別の代表的な月別電力需要を定義し、各世帯属性別の世帯数を乗ずることで予測するモデルが提案されている。しかしながら、これらの文献において用いている世帯属性（人数、構成、就労状況、等）や住宅情報（住宅種別、床面積、使用機器、等）などの多量の情報について、供給対象世帯との契約時等に漏れなく収集することは難しい。仮に将来的に多量の世帯属性を入手できるようになったとしても、それらの情報を用いた計算を行うために、新規参入事業者が高度なシステムを構築することは費用や運用面などから難しい。一方で、入手が容易な世帯属性のみを適用し、各世帯属性別の平均値などの代表値に世帯数を乗じることで全体の電力需要を予測することも考えられるが、世帯類型を細分化できないため、同じ類型の世帯であっても月別電力需要の傾向が大きく異なる場合があることを考慮できない。このため、どのような月別電力需要の傾向を持った世帯が集まりとして全体の電力需要が構成されているかを予測することができない。

(3) 翌日電力需要予測に関する課題

翌日電力需要予測は、前述の月別電力需要予測と異なり、現在の供給対象需要家の直近の電力需要と、気象条件やカレンダー情報等との関係性などを利用して予測を行うことが想定される^[15]。これまで家庭向けの電力小売は自由化の対象でなかったため、数百世帯～数万世帯規模を対象とした日々の需給運用に用いるような翌日電力需要予測は検討の対象とはなっていなかった。2013年の閣議決定以降、電力小売全面自由化が現実的となってからは、電機メーカーや情報通信メーカーなどを中心に、家庭を対象とした翌日電力需要予測の検討が行われるようになった。翌日電力需要予測の傾向としては、近年の情報処理技術の飛躍的な進歩に伴って、大量のエネルギーデータや世帯情報、気象等の関連データを統合的に解析し、多量の説明変数を用いた様々な学習方法によって電力需要予測を行う手法が提案されている^{[16]~[18]}。しかしながら、文献[16]~[18]に記載されている手法では、予測の過程がブラックボックス化されるため、予測根拠を把握することが難しく、急な電力需要の変化や、供給対象需要家の増減などの事象が発生した際に、運用者が予測結果の正誤を判断したり、予測を補正したりすることが難しく、運用面で支障が出ることも考えられる。実際に、新規参入電力小売事業者においては、数千～数万件/月の単位で供給対象世帯数が増減することがあり、供給対象需要家の変化に対して電力需要の予測結果を補正することが求められる。また、新規参入電力小売事業者においては、文献[16]~[18]に記載されているような高度な手法のシステムの運用を担う人材が不足しているため、日々の電力需要予測等を直感的に理解しやすい簡易的な手法によって行いたいというニーズがある。

1.4 本論文の目的と構成

本論文では、上記(1)～(3)の課題を解消するために、数百世帯以上規模の合計需要に関する電力需要特性を示すとともに、新規参入電力小売事業者事業者が家庭向けの電力事業を実施するにあたり、需給計画で特に必要となる3つの異なる時間軸における予測（月別電力需要予測、翌日電力需要予測、当日リアルタイムの全世帯合計需要予測）について、運用者が直観的・定性的に理解しやすい簡易的な電力需要予測モデルを開発することを目的とする。

このような目的に対し、本論文では、数百世帯以上の規模で収集した実測需要データを用いて各種電力需要予測モデルの検討を行った。本論文の特徴として大きく以下の2つが挙げられる。

(1) 数百世帯規模の実測データを用いた

これまで当該規模で実測された電力需要を用いて電力需要特性を分析して基礎的な情報を提供している文献はないため、当該規模の電力需要データを持たない新規参入電力小売事業者にとっては有益な情報であると期待される。

(2) 簡易的な手法で電力需要を予測できるモデルを構築した

電力システムに関する知見を有した者が、適切に電力需要データを分析して良い特徴量を把握することができれば、本論文で提案する簡易的な手法であっても実運用に耐え得る予測精度で予測できることが期待される。

なお、第2章以降の構成は以下の通りである。

第2章では、本論文で用いた2つの電力需要データについて、計測状況などの概要を述べる。また、2つのデータについて、月別電力需要の傾向を比較し、その特徴を述べる。

第 3 章では、数百世帯規模のデータを用いて、日別および時間帯別の電力需要特性の評価結果を示す。

第 4 章では、中長期の事業計画において活用することを想定した月別電力需要予測モデルの検討結果について述べる。

第 5 章では、計画値同時同量制度における翌日計画での活用を前提とした翌日電力需要予測モデルの検討結果について述べる。

第 6 章では、実需給において、当日リアルタイムに一部少数の代表世帯の電力需要を計測し、その電力需要を用いてに全世帯の合計電力需要を予測するモデルについて述べる。

第 7 章では、本論文のまとめと今後の課題を示す。

第 1 章の参考文献

- [1] 首相官邸：「電力システムに関する改革方針」
http://www.kantei.go.jp/jp/kakugikettei/2013/__icsFiles/afieldfile/2013/06/20/20130402-01.pdf（アクセス日 2016/12/1）
- [2] 経済産業省資源エネルギー庁：「電気事業法等の一部を改正する法律について（概要）」
http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/system_reform004/pdf/20140611_03.pdf（アクセス日 2016 年 12 月 1 日）
- [3] 経済産業省資源エネルギー庁：「登録小売電気事業者一覧」
http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/summary/retailers_list/（アクセス日 2016 年 12 月 1 日）
- [4] 経済産業省 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会：「電力小売全面自由化に関する進捗」，第 1 回，配布資料 6
- [5] 経済産業省 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 電力システム改革小委員会 制度設計 WG：「同時同量制度・インバランス制度に係る詳細制度設計について」，第 10 回，配布資料 6-2
- [6] 一般財団法人 日本卸電力取引所 2014 年度スポット取引結果
<http://www.jepx.org/market/index.html>，（アクセス日 2015 年 8 月 3 日）
- [7] 株式会社三菱総合研究所：「平成 24 年度エネルギー消費状況調査（民生部門エネルギー消費実態調査）報告書」，(2013)

- [8] 赤林伸一：「建築学会公開データベースの紹介」，日本建築学会 住宅用エネルギー消費と温暖化対策検討委員会主催第4回住宅エネルギーシンポジウム，(2005)
- [9] 源城かほり，長谷川兼一，松本真一，吉野博：「秋田県の住宅内エネルギー相日量の機器別消費特性に関する事例的検討」，日本建築学会技術報告集，第13巻 第25号 pp203-206，(2007)
- [10] 尾島俊雄研究室：「建築の高熱水源単位[東京版]」，早稲田大学出版部 (2005)
- [11] 日本エネルギー学会：「天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル2000」，日本工業出版 (2000)
- [12] 下田吉之，山口容平：「エネルギーエンドユースモデルの研究開発動向」，電気学会論文誌B(電力・エネルギー部門誌)，Vol.135, No.6 pp.347-350 (2015)
- [13] 伊香賀俊治，三浦秀一，外岡豊，下田吉之，小池万里：「住宅のエネルギー消費量とCO₂排出量の都道府県別マクロシミュレーション手法の開発」，第1回日本LCA学会研究発表会講演要旨集，pp.242-243 (2005)
- [14] 辻毅一郎，佐伯修：「電力日負荷曲線生成のためのボトムアップシミュレーションモデル」，第14回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集，pp. 239-244 (1998)
- [15] 多田充宏：「電力系統における受給マネジメント」，電気三学会 関西支部 専門講習会 論文集「エネルギーマネジメントの現状と課題～需要家サイドから電力供給サイドまで～」(2014)
- [16] 内海将人，池本悠，小川広晃，茂森郁雄，渡辺徹：「電力需要時系列の周期成分を特徴量とするクラスタ分析に基づいた短期需要予測方式」，平成28年電気学会全国大会講演論文集第6分冊，pp.181-182 (2016)

- [17] 野村浩司, 柏木哲也, 山下拓, 河出忠:「スマートメーター活用のためのソリューション」, FUJITSU. 64, 6, pp.661-669 (2013)
- [18] 原亮一:「電力システムの需給運用に関わる時系列データの解析・予測技術」, 電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌), Vol.134, No.4, pp.276-279 (2014)

第2章 本研究で使用したデータ

2.1 はじめに

本章では、本論文で用いた①燃料電池(FC)世帯データと、②一般世帯データの2つの電力需要データについてその概要を述べる。また、2つのデータの月別電力需要を比較し、本論文において主に用いたFC世帯データの一般性を評価する。

なお、本論文では、新規参入電力小売事業者の需要家規模（数百～数万世帯）を想定して各種電力需要予測モデルの検討を行う。したがって、検討に用いる電力需要データは、同規模で実測された電力需要データであることが求められる。また、汎用的なモデルの検討のために、北日本のような寒冷地や南日本のような温暖な地域ではなく、中日本のように標準的な地域で計測されたデータであることが望ましい。

2.2 燃料電池（FC）世帯データ

新規参入電力小売事業者が用いることを想定した翌日電力需要予測等の検討では、数百世帯規模以上で計測された30分単位（1日48コマ）の電力需要データが必要である。そこで本論文では、JXエネルギー(以下、JXE)の燃料電池が設置された世帯（以下、FC世帯）の一部（734世帯）において計測した電力需要データを用いた^[1]。FC世帯データは、FCのパワーコンディショナで計測した世帯の分電盤主幹の潮流とFCの発電電力の差分から算出した世帯の電力需要で、30分平均値（1日48時間帯）である。データはパワーコンディショナから無線通信によってJXEのサーバに蓄積される仕組みであるが、通信障害などにより

データ通信が遮断する場合があります，また機器に異常が発生した場合には電力計測が停止するため，データ欠損が生じる場合があります。

図 2-1 に各日のデータが利用可能な世帯数を地域別に示す。計測期間は 2012 年 7 月 1 日～2013 年 9 月 30 日である。前述の理由から日によってデータが利用可能な世帯数は異なり，2012 年 7 月 28 日は 328 世帯で最も少なく，2013 年 12 月 15 日は 561 世帯で最も多い。FC 世帯データの電力需要の特徴については，第 3 章にて詳細に述べる。また，同図より，計測世帯は全国各地に点在しているが，約半数の世帯は関東，中部（北陸を除く），近畿の中日本に居住しており，中日本地域と気候が似ている山陽，四国，北部九州に居住する世帯と合わせると全世帯の 85%程度を占めている。したがって，FC が設置されているという特殊な条件ではあるが，大多数の世帯が中日本のような標準的な気候で計測されたデータである。

なお，FC 世帯では，電力需要の他にも給湯，風呂，温水式床暖房の熱需要についても計測しているが，本研究では使用していない。地域単位でエネルギーを供給する新規参入電力小売事業者は，地域熱供給事業を併せて行うことも考えられるため，本データの熱需要を使用する事で有益な情報を提供できる可能性がある。また，FC 世帯に対しては，居住人数，延床面積，床暖房の有無，太陽光発電の有無，等の世帯情報についてアンケートを実施しているが，任意回答のため回答率が低く，今回電力需要データを使用した全ての世帯からそれらの情報を収集できていないため本研究では使用していない。アンケートを回収できた 200 世帯程度の情報からその特性を推察すると，FC 世帯は，①敷地面積の大きな世帯に住んでいる，②大半の世帯が温水式床暖房を設置している，③半数程度の世帯は太陽光発電と FC を一緒に設置している，という傾向が見られた。一般に，燃料電池が設置される世帯は，機器の導入効果が期待できるよう，

逆流できないという系統連系制約下でも稼働率高く運転できるような電力需要の大きな世帯である。そのため上記のような世帯属性の傾向が見られたと考えられる。

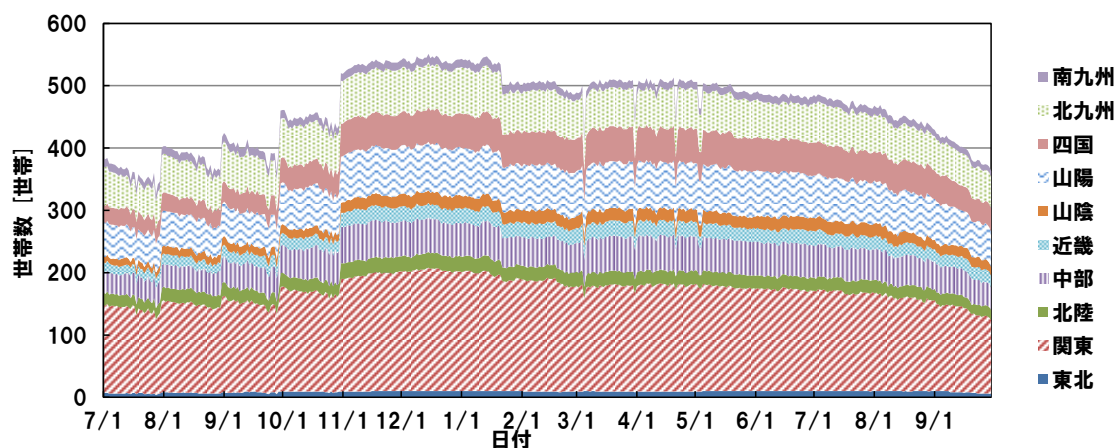


図 2-1 各日の地域別計測世帯数

2.3 一般世帯データ

2.3.1 計測概要

新規参入電力小売事業者が将来の中長期の事業計画などを検討する際に必要となる月別電力需要予測の検討では、数百世帯規模以上で計測された月別電力需要データが必要である。また、月別電力需要予測においては、新規参入電力小売事業者が将来供給対象とする世帯群の世帯属性情報を基に予測することが考えられるため、各世帯の属性情報（住居形態、世帯人数等）が取得できていることが望ましい。そこで本論文では、JXE が関東圏 1 都 6 県（東京，神奈川，埼玉，千葉，茨城，栃木，群馬）に居住する 1,720 世帯に対してアンケート調査を行い、各種の世帯属性と、最大で過去 24 か月分（2 年間分）の月別電力需要を収集したデータを用いた^[2]。なお、月別電力需要は各家庭に設置された東京電

カパワーグリッド株式会社の積算電力量計によって計測された検針値を用いている。

データの集計期間は2013年2月～2015年2月である。図 2-2 に各月の計測世帯数を示す。月によってデータが利用可能な世帯数は異なるものの、前述の通り検針値を用いているため欠損数は少なく、概ね1600世帯以上のデータが利用可能である。

以下に、一般世帯データに関する基本情報として、各県に関する世帯人数別の世帯数、月平均電力需要の特徴などを示す。世帯属性（住居形態、居住地域、世帯人数、等）と電力需要との関係については、本論文の第4章において検討している。

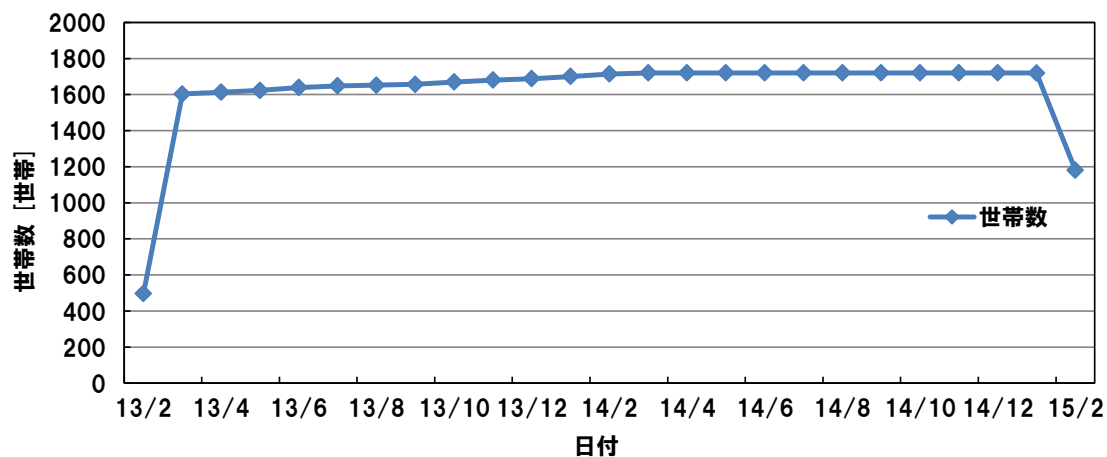


図 2-2 各月の計測世帯数

図 2-3 に各都県別計測世帯数を示す。今回の調査では、南関東（東京，神奈川県，埼玉，千葉）については戸建／集合それぞれ約150世帯から、北関東（茨城，栃木，群馬）については戸建／集合に関係なくランダムに150世帯からアンケート結果を回収した。ただし、家庭に太陽光発電（PV）などの発電設備が

設置されている場合には純粋な電力需要を把握することができないため、各都県において PV 設置世帯は約 10～15 世帯／都・県に限定するように収集した。

図 2-4 に各都県における世帯人数別世帯数を示す。今回の調査では、世帯人数に制約を設けていないため、平成 22 年度の国勢調査^[3]における関東圏の世帯人数比率とは異なり、一人世帯が少ない傾向が見られる。その結果、国勢調査では 7 都県別の平均世帯人数は東京都が最小の 2.0 人/世帯、茨城県が最大の 2.7 人/世帯であったのに対し、今回のデータ収集世帯では都県別平均世帯人数は 2.5～2.8 人/世帯であり、国勢調査の世帯人数よりもやや多かった。なお、都県別の平均世帯人数の傾向としては北関東の方が南関東と比較して平均世帯人数が多い。これは国勢調査においても同様の傾向であった。

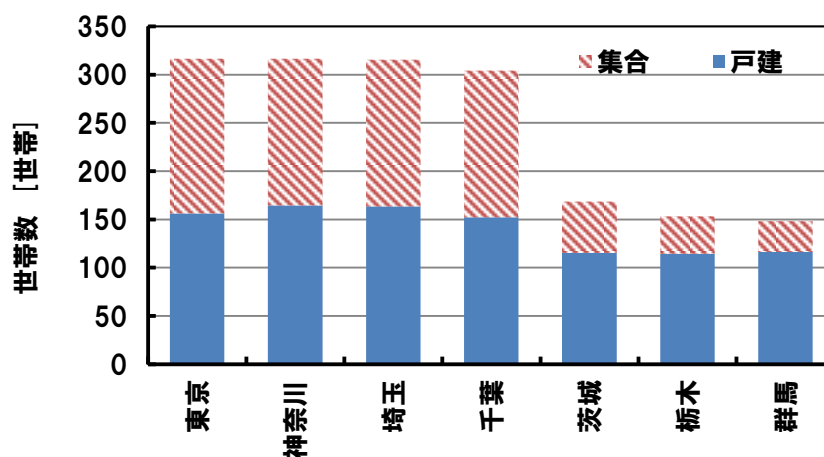


図 2-3 各都県における計測世帯数

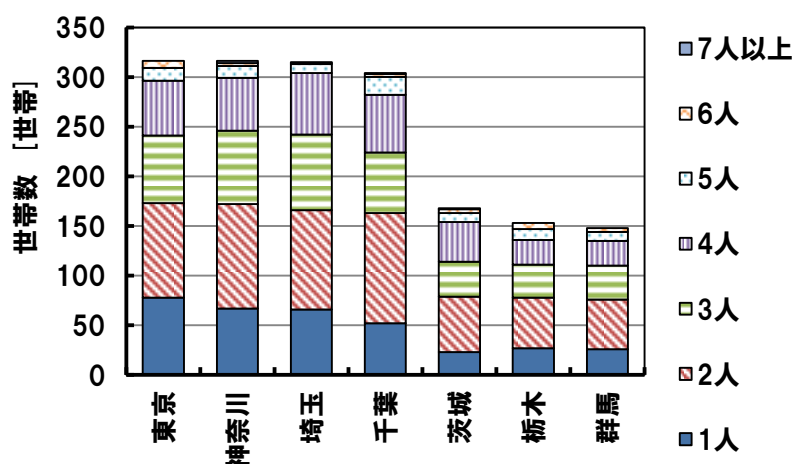


図 2-4 各都県における世帯人数別世帯数

今回の調査では、前述の世帯人数等の他に、契約容量、延床面積、世帯年収、利用しているエネルギー機器等についてのアンケートを実施している。エネルギー設備（オール電化、太陽光発電、エネファーム等）設置世帯数は 439 世帯で、各都県別に 50～70 世帯程度であった。中でも、オール電化住宅が 201 世帯と最も多く、全世帯の約 1 割がオール電化住宅であった。文献[4]によれば、2013 年度時点では全世帯の約 1 割がオール電化世帯とされており、その値とほぼ一致していた。

2.3.2 電力需要データの特徴

図 2-5 に月平均電力需要の全世帯平均値の月別推移を示す。同図には各世帯の月平均電力需要のばらつきを箱ひげ図で併記する。箱ひげ図では、箱で上位 25%～75%の範囲を、上側のひげで上位 5%～25%の範囲を、下側のひげで上位 75%～95%の範囲をそれぞれ示している。同図より、全世帯の平均電力需要について、冬期の電力需要の方が夏期の電力需要よりも 100 kWh/月程度大きい。また、各世帯の電力需要のばらつきも夏期よりも冬期の方が大きく、箱の範囲は約 1.5 倍、ひげの範囲は約 1.8 倍である。

中間期に対しての夏期と冬期における電力需要の増加は主に空調や給湯需要によるところが大きい。文献[6]によると、2014年の家庭部門用途別エネルギー消費量の構成比のうち、電気をエネルギー源とする用途において、冷房用は4.1%、暖房用は8.8%、給湯用は8.1%を占めている。したがって、夏期よりも冬期の方が空調や温水等の使用状況の変化によって電力需要は大きく影響を受けることが分かる。また、前述の通り、今回の対象世帯にはオール電化住宅を約1割含んでいるため、冬期の電力需要が極端に大きくなる世帯があり、冬期のひげの範囲が夏期と比較して大きく広がったと考えられる。

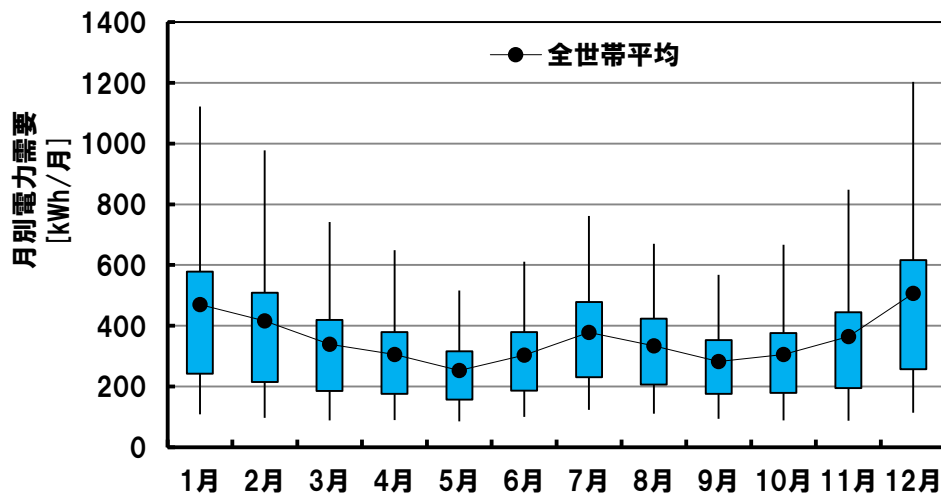


図 2-5 月平均電力需要の全世帯平均値の月別推移

2.4 月別電力需要の比較

本論文では主に FC 世帯データを用いて検討を行っている。しかしながら、前述の通り、一般に燃料電池が設置される世帯は電力需要の大きな世帯であり、電力需要パターンが一般的な世帯と異なる可能性がある。そこで本節では、FC 世帯データと一般世帯データの月別電力需要を比較し、FC 世帯データの一般性について検証する。

図 2-6(a) に FC 世帯データと一般世帯データの月平均電力需要を、図 2-6(b) に月平均電力需要を 1 年で電力需要が最も小さかった 5 月の電力需要で規格化した比率を示す。なお、両データは計測期間が異なるため、同図では各データを計測年別に分けて示す。同図より、いずれの月においても FC 世帯の電力需要は一般世帯よりも 100~150 kWh/月程度が大きい。前述の通り、一般に燃料電池が設置される世帯では、その導入効果が期待できるよう、逆潮流できないという系統連系制約下でも稼働率を高く運転できるように電力需要は大きい場合が多い。そのため、今回の計測世帯データについても、一般的な戸建住宅に居住する世帯よりもやや電力需要の大きな世帯が対象となっている。

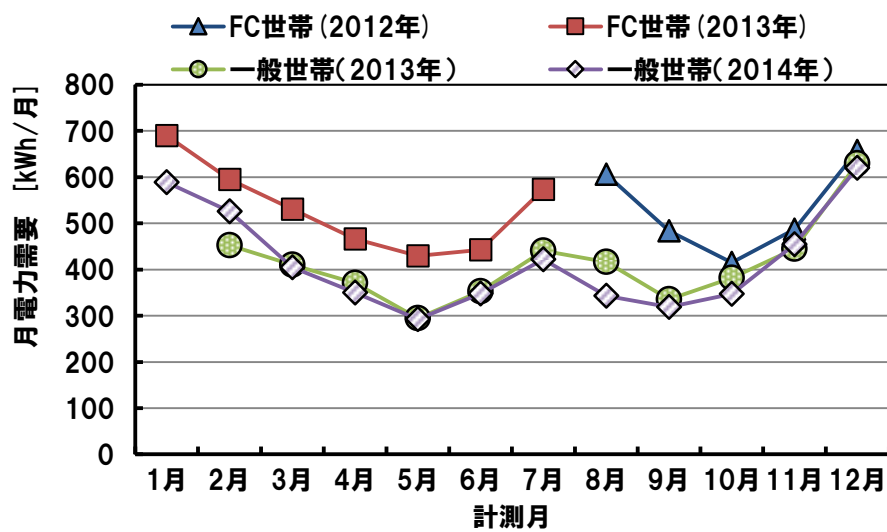
次に、図 2-6(b)において、1 年で電力需要が最も小さい 5 月の電力需要で規格化した各月の電力需要の比率について比較した。同図より、FC 世帯データと一般世帯データとは大まかな傾向は一致していた。ただし、一般世帯データの方が夏期と冬期の電力需要の比率の差が大きく、一般世帯データでは冬期の電力需要が 5 月の電力需要に対して 2 倍程度であり、夏期の電力需要は 1.5 倍程度であった。一方で、FC 世帯データでは、冬期の電力需要と夏期の電力需要はそれぞれ 5 月の電力需要に対して 1.5 程度であり、冬期の電力需要の方がやや大きい。両季節間での電力需要の差が小さい。前述の通り、2014 年度の家庭部門用途別エネルギー消費量の構成比のうち、電気をエネルギー源とする用途において、冷房用は 4.1%、暖房用は 8.8%、給湯用は 8.1%を占めている^[6]。このうち、冬期の電力需要増加は暖房用と給湯用が当てはまる。一般世帯データの方が FC 世帯データよりも冬期の電力需要の比率が大きい主な理由は、燃料電池が設置されている FC 世帯データでは、温水式床暖房を設置している世帯が多く、冬期の電気をエネルギー源とする暖房需要が一般世帯と比較して小さい世帯が存在するためと考えられる。加えて、一般世帯データでは、約 1 割がオール電

化世帯であり、それらの世帯では電気式の給湯機や床暖房を利用しているため冬期の電力需要が極端に大きくなる場合があり、一般世帯データの冬期における電力需要の平均値を引き上げている。これらの理由から、計測世帯よりも一般世帯の方が冬期の電力需要の比率が増加したと考えられる。

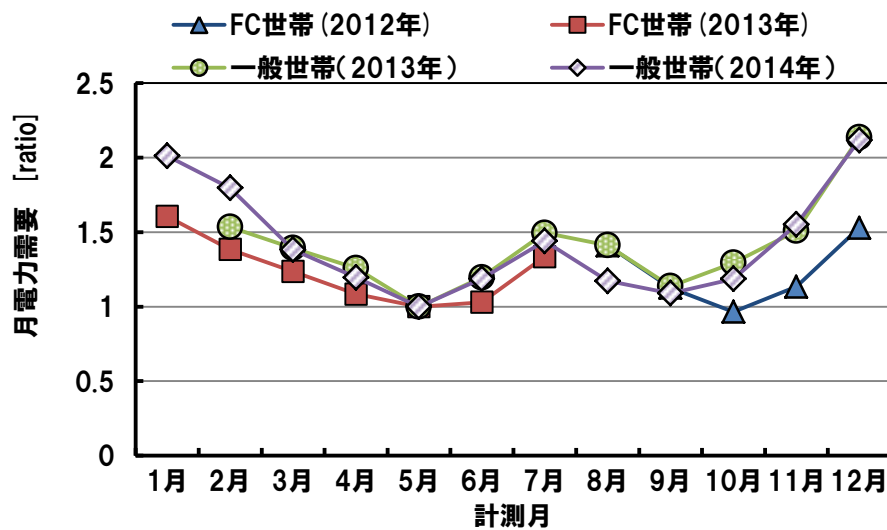
なお、一般世帯データにおいて、2014年8月と9月の電力需要が中間期である10月と同程度となっている。これは2014年のお盆から9月にかけて雨の日が多く気温が下がった影響と考えられる。図2-7に東京都の月平均気温を示す^[7]。同図より、一般世帯データの計測時期（2012年）とFC世帯データの計測時期（2014年）の東京都の月平均気温を比較すると、8月は1.4℃、9月は3.0℃、それぞれ一般世帯データの計測時期の方が月平均気温は低かった。そのため冷房需要が小さくなり、当該時期の電力需要が小さかったと考えられる。

以上のように、FC世帯データは一般世帯データと比較して各月の平均電力需要がベース的に大きかった。一方で、FC世帯データにおいては中日本地域または当該地域と似た気候条件の地域に居住する世帯が多いことから、使用する暖房機器の違いにより冬期の電力需要の比率については多少の差はあるものの、最低電力需要に対する電力需要の比率の傾向は、年間を通して概ね一致していた。したがって、世帯単位での電力需要特性は異なる可能性はあるものの、集約した世帯群としての平均電力需要の特性（年間の使用パターン）としては、FC世帯データは概ね一般的な世帯の特徴を表せていると言える。

次章では、新規参入事業者が家庭の電力需要特性を把握し、日々の電力需要予測など様々な検討に必要な情報を提供するため、FC世帯データを用いて日別・時間帯別の電力需要特性を示す。



(a) 月別電力需要



(b) 5月の需要で規格化した電力需要

図 2-6 各データの月別電力需要

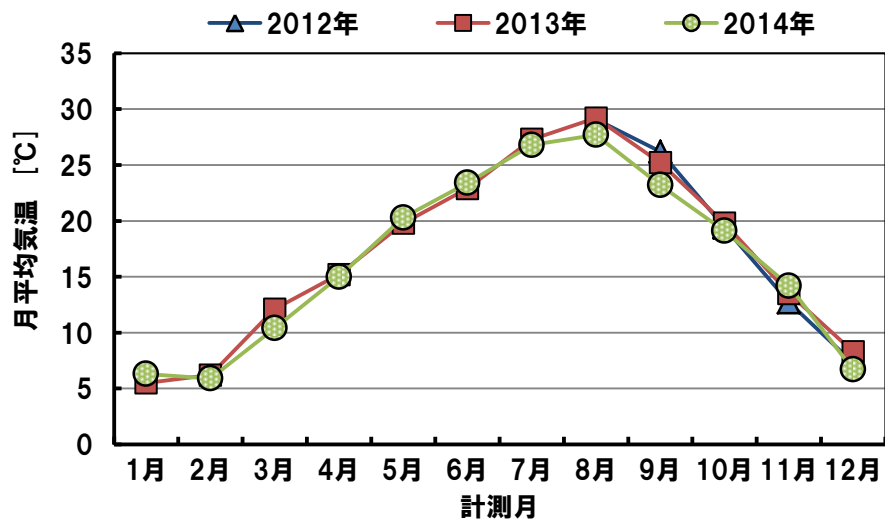


図 2-7 各年の月平均気温

2.5 第2章のまとめ

本章では、本研究で用いた FC 世帯データと一般世帯データの 2 つデータについてその計測内容を述べ、各データの月別電力需要を比較した結果を示した。

FC 世帯データは、FC が設置された約 700 世帯の戸建住宅にて計測された約 1 年間分の 30 分平均値 (1 日 48 データ) の電力需要データである。居住世帯は北海道と沖縄を除く全国に広がっているが、大半は中日本地域および中日本地域と気候の似ている地域に居住している世帯であった。

一般世帯データは、関東圏に居住する 1,720 世帯 (戸建 : 960 世帯, 集合 760 世帯) について各種の世帯属性と最大で過去 24 か月分 (2 年間分) の月別電力需要を収集したデータである。

各データの月別電力需要を比較したところ、FC 世帯データは一般世帯データよりも需要の大きな世帯ではあるものの、月別電力需要の年変化の傾向は類似しており、一般的な多数の世帯の集合としての電力需要特性は表現できることが確認できた。

第 2 章の参考文献

- [1] 森田圭, 真鍋勇介, 加藤丈佳, 舟橋俊久, 鈴置保雄:「数百世帯規模の家庭の平均電力需要特性の評価」, エネルギー・資源, Vol.183, No.1 (2017)
- [2] 森田圭, 中野裕一, 定兼修, 真鍋勇介, 加藤丈佳, 舟橋俊久, 鈴置保雄:「消費電力量と世帯属性の分類に基づく世帯群の合計消費電力量推定に関する一検討」, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 136, No. 6, pp.802-810 (2016)
- [3] 総務省統計局 平成 22 年国勢調査
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do> (アクセス日 2015 年 8 月 3 日)
- [4] 株式会社富士経済:「需要家別マーケット調査シリーズ 2013 住宅エネルギー・関連機器エリア別普及予測調査」, (2013)
- [5] 株式会社三菱総合研究所:「平成 24 年度エネルギー消費状況調査 (民生部門エネルギー消費実態調査) 報告書」, (2013)
- [6] 一般財団法人省エネルギーセンター:「エネルギー・経済統計要覧 2014」, (2014)
- [7] 気象庁ホームページ:「過去の気象データ・ダウンロード」
<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>
(最終アクセス日: 2016/12/13)

第3章 数百世帯規模の電力需要特性

3.1 はじめに

本章では、FC 世帯データを用いて新規参入事業者が電力需要予測など様々な検討を行うために必要な情報を提供する。具体的には、翌日電力需要予測を行う際には、①日々の電力需要の変化の傾向、②気温と電力需要との相関関係、③季節別の平均電力需要パターンの違い、などの情報を基に予測を行うことが想定されるため、日別、時間帯別電力需要について上記の特性を示す。加えて、お盆や正月など、普段と傾向が異なることが予想される日における電力需要パターンの特徴を述べることで、特異日の電力需要予測に反映できる情報を提供する。その際に、文献[1]～[5]に記載された一般的な世帯やエネルギー原単位データの特性と比較することで FC 世帯データの一般性についても検証する。

また、前述の通り、新規参入電力小売事業者は数百～数万世帯程度の規模の世帯群について電力需要予測を行うことが想定されるため、世帯数が増加することによるならし効果についても検討し、供給対象世帯数の増加に伴う電力需要特性の変化を示す。

3.2 日別需要の特徴

FC 世帯データにおいて、各計測日での全世帯の日平均電力需要、日最大電力需要、日最小電力需要を図 3-1 に示す。同図より、FC 世帯データにおいて、日平均電力需要の年平均値は 728 Wh/h (=17.5kWh/day)と前章に記載した一般世帯データの 642 Wh/h (=15.4 kWh/day)や文献[1]の 538 Wh/h (=12.9 kWh/day)などの一般的な世帯よりも大きい。また、第 2 章で示した通り、夏期よりも冬期の方

が電力需要はやや大きく、日平均電力需要は2013/1/5（土）の1028 Wh/h (=24.7 kWh/day)が最も大きい。日々の電力需要のばらつきについて、図 3-2 に日平均、最大、最小電力需要の前日からの偏差（絶対値）の月平均値を示す。同図より、いずれの月においても基本的には日最大、日平均、日最小の順にその変動が大きくなる。冬期（12月～2月）については、日平均電力需要と日最小電力需要の前日からの偏差の月平均値がほぼ同じであった。1年の中で前日からの偏差は冬期が一番大きい。例えば、日最大電力需要の前日からの変動（絶対値）の期間平均値は、夏期（7月～9月）は40～60Wh/hであるのに対し、冬期（12月～2月）は80～100Wh/hであった。このように変動が大きい冬期においては予測が難しくなることが予想される。

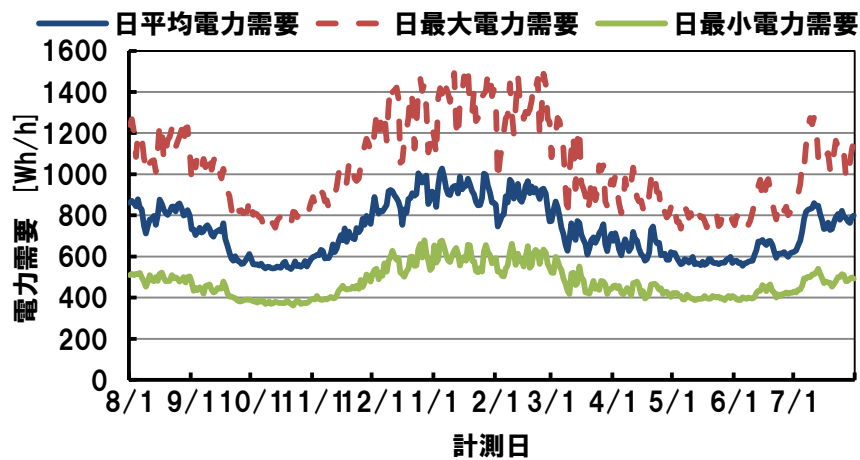


図 3-1 各計測日の日平均、最大、最小電力需要

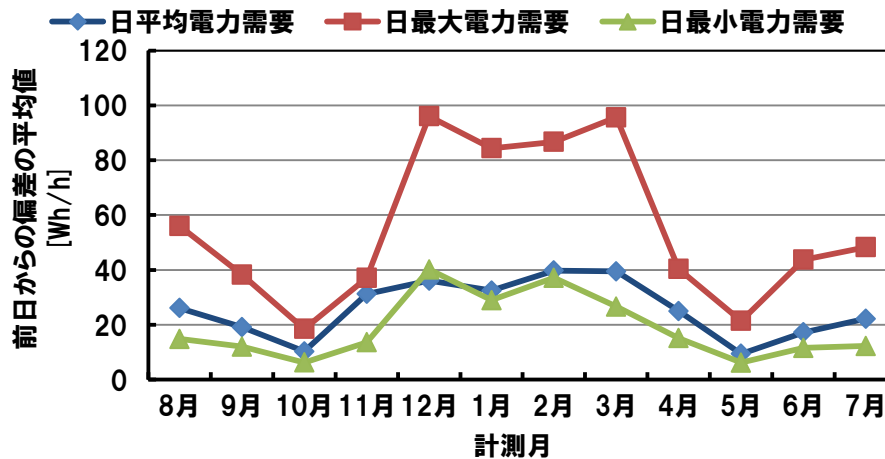


図 3-2 日平均，最大，最小電力需要の前日からの偏差の月平均値

図 3-3 に，日平均気温と日平均電力需要との関係を示す．また，同図には平日の日平均気温と日平均電力需要との 2 次関数近似式も併せて示す．同図より，同じ気温帯においては休日と平日で日平均電力需要に大きな差はなく，いずれも決定係数 $R^2=0.87$ 程度のばらつきで当日の平均気温に対する 2 次関数によって近似できた．

なお，図 3-3 と同様に，図 3-4(a)に日平均気温と日最大電力需要との関係を，図 3-4(b)に日最小電力需要との関係を示す．日最大，日最小電力需要のいずれの値についても $R^2=0.86$ または 0.83 程度のばらつきで 2 次関数によって近似できた．したがって，翌日電力需要予測などを行う際には，気温と電力需要の日代表値との関係を用いることである程度の精度で予測できることが期待される．

3 つの日代表値の内，日平均気温との近似式の R^2 が最も大きいのは日平均電力需要で，最も小さかったのは日最小電力需要であった．日平均電力需要は日最大電力需要や日最小電力需要と異なり一つの時間帯で計測される時間ではないため，気温に対する日々のばらつきがより小さくなったと考えられる．一方で，日最小電力需要は主に待機電力であるため気温との相関が小さく， R^2 が最も小さかったと考えられる．

また、日最高気温と、日最低気温について、日平均電力需要、日最大電力需要、日最小電力需要との関係を図 3-5 および図 3-6 に示す。図 3-3～図 3-6 に示す通り、日最低気温が日平均気温や日最大気温と比較して、日平均電力需要、日最大電力需要、日最小電力需要との近似式の R^2 が最も大きい。日最低気温は日々の変動が小さく、計測される時刻も早朝の時間帯で安定していることから、各日別電力需要の特徴量との相関が最も高いと考えられる。

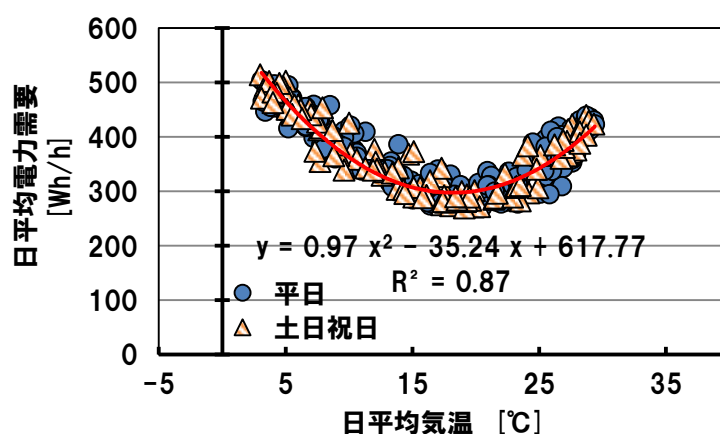
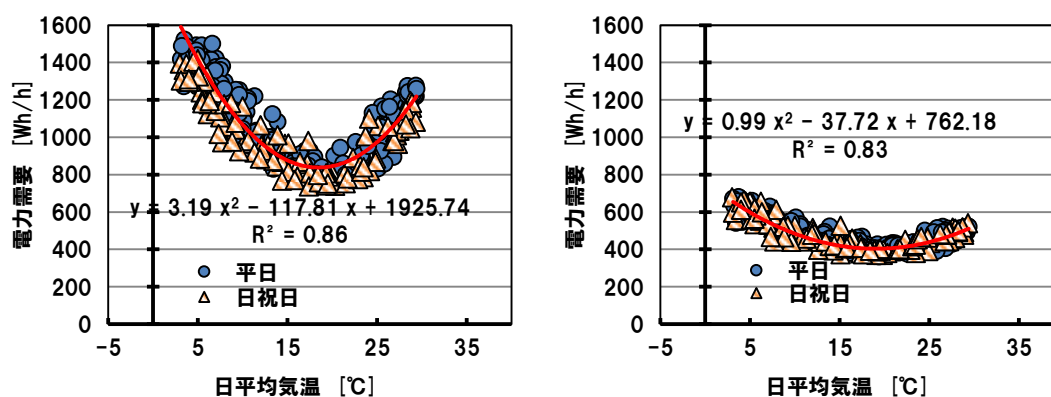


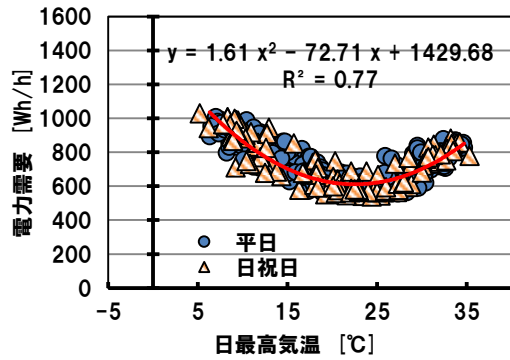
図 3-3 日平均気温と日平均電力需要



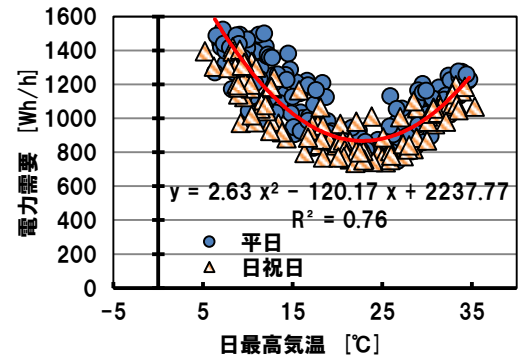
(a) 日最大電力需要

(b) 日最小電力需要

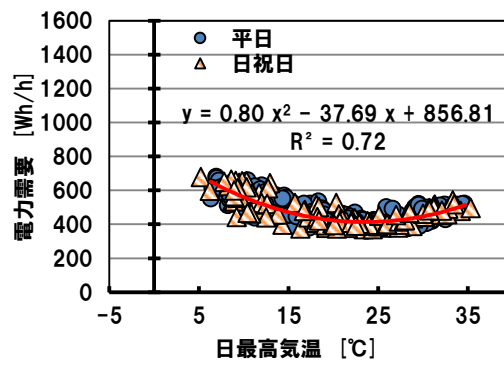
図 3-4 日平均気温と日最大電力需要、日最小電力需要との関係



(a) 日平均電力需要

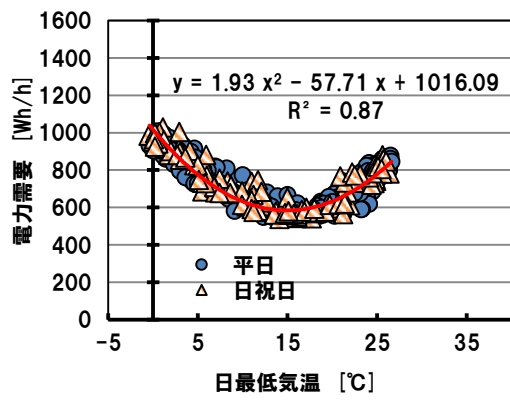


(b) 日最大電力需要

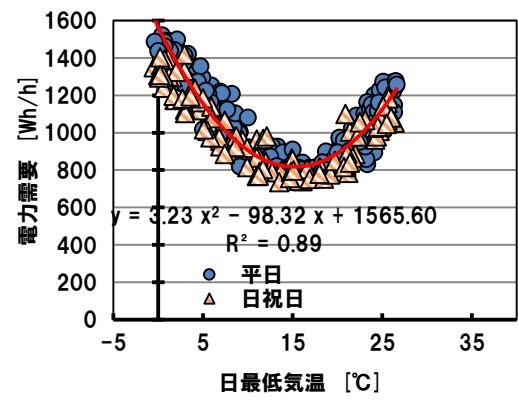


(a) 日最小電力需要

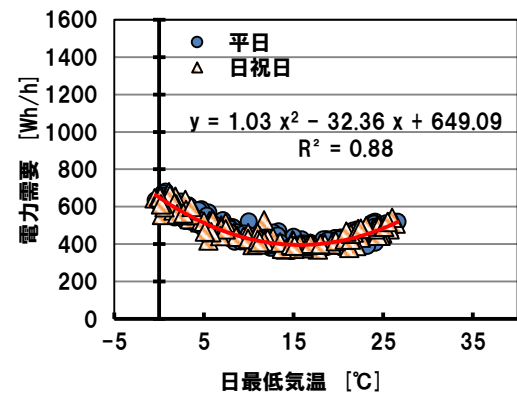
図 3-5 日最高気温と日平均，日最大，日最小電力需要との関係



(a) 日平均電力需要



(b) 日最大電力需要



(a) 日最小電力需要

図 3-6 日最低気温と日平均，日最大，日最小電力需要との関係

なお、FC 世帯データの計測世帯は日本全国に分布しているが、第 2 章で示した通り、関東・中部・近畿の中日本に居住する世帯が約半数を占めており、中日本地域と気候が似ている山陽、四国、北部九州に居住する世帯と合わせると、全世界帯の内の 85%程度を占めている。そのため、上述においては気象庁が発表している東京都の気温データ^[6]を簡易的に代表値として用いた。気温と電力需要との関係を検討する際に、地域別の気温を用いて分析することも考えられる。しかし、ある地域に居住する世帯数は、第 2 章の図 2-1 に示したとおり 50 世帯にも満たない場合もあり、その際は世帯数が少ないことにより電力需要のならし効果が十分得られていない可能性がある。また、地域別の日平均気温について、世帯数による加重平均を取った値と東京都の日平均気温の値との関係を図 3-7 に示す。同図より、二つの気温は線形近似を行った際に、傾き 0.96、切片 -0.16、 $R^2=0.98$ と非常に高い相関関係にあるため、FC 世帯データにおいては地域毎に気温を分けて検討を行う効果は限定的であると予想される。加えて、計測世帯の内、関東地方に居住する 150~200 世帯程度の世帯を抽出し、当該世帯の日平均需要と東京の日平均気温との関係を図 3-8 に示す。同図より、 $R^2=0.88$ のばらつきで 2 次関数によって近似できた。以上の考察から、本研究における以降の検討においては、東京都の気温データを用いて検討を行う。

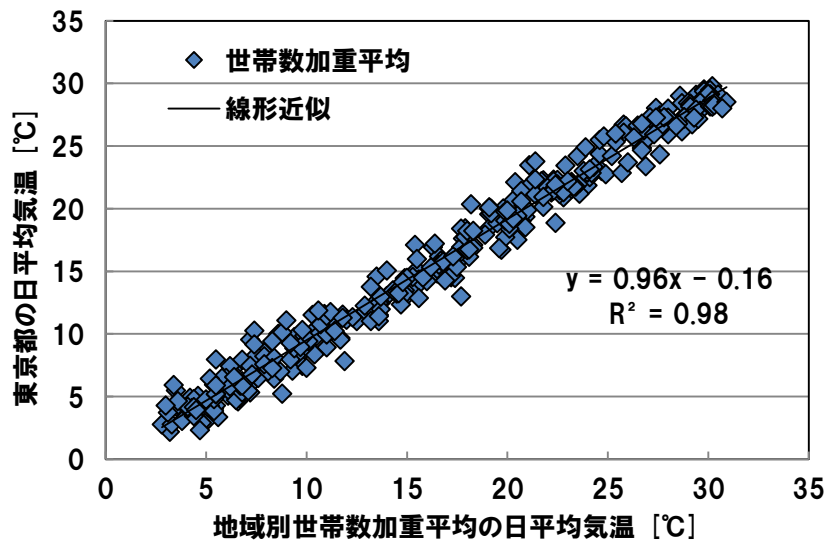


図 3-7 日平均気温の関係

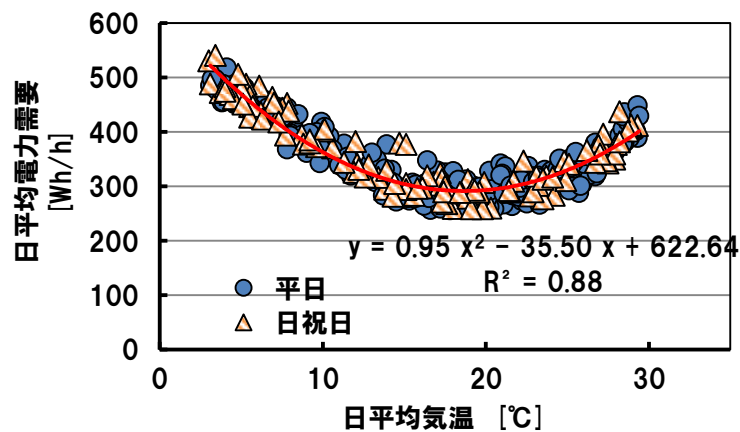


図 3-8 日平均気温と日平均電力需要（関東地方居住世帯）

日平均電力需要と日平均気温との関係については、上述の通り 2 次関数によって $R^2=0.9$ 程度で近似できているが、同じ気温帯でも近似式の値から 20%程度ずれている日もあった。気温と電力需要との関係が崩れる日として、中間期や雨期、大雪、猛暑などの特殊な気象状況の日が挙げられる。例として、中間期（5月）と雨期（9月）について以下に傾向を示す。

まず、図 3-9 に中間期（5 月）の日平均電力需要と前日からの日平均気温の変化を示す。5 月の日平均気温の月平均値は 19.1℃であり、図 3-3 において気温が変化しても電力需要があまり変化しない時期にあたる。同図より、前日と比較して日平均気温が 4℃程度変動しても当日の日平均電力需要はほとんど変動していない。中間期においては、気温により電力需要の大きさへの影響が変化する冷暖房機器を使用している世帯がほとんどないため、気温との相関関係があまりなく、ほぼ一定の電力需要であった。中間期においては、気温以外の要素（天候や日々の生活パターンのばらつき等）によって電力需要が変化していると言える。なお、月平均気温が 5 月と同程度の 19.0℃であった 10 月の日平均電力需要と前日からの日平均気温の変化についても、図 3-10 に示す通り、同様の傾向が見られる。

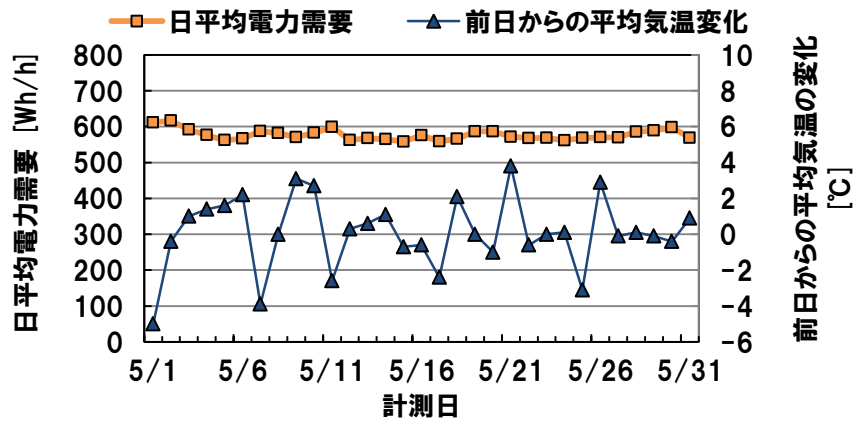


図 3-9 5月の日平均電力需要と前日からの平均気温変化

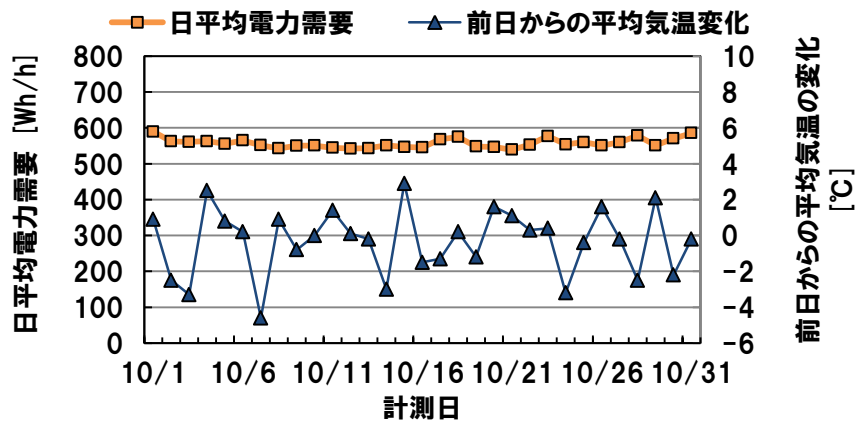


図 3-10 10月の日平均電力需要と前日からの平均気温変化

次に、図 3-11 に雨期（9 月）の日平均電力需要と前日からの日平均気温の変化を示す。同図より、9 月後半の秋雨時期においては、気温が 2℃程度連続して変化しているが、電力需要は下げ止まりしている。9 月後半は気温が下がり冷房の使用が終わる時期と長雨の時期が重なったため、気温が変化しても電力需要が下げ止まりしたと考えられる。9 月と同じ雨期にあたる 6 月後半の日平均電力需要と前日からの日平均気温の変化についても、図 3-12 に示す通り、同様の傾向が見られる。

なお、本論文では、新規参入事業者が需要予測等の検討に活用する際に容易に入手できる予報値として考えられる気温や天候と電力需要との関係性について評価した。しかしながら、雨期においては、湿度、降水量、雲量など雨に関連する要素と電力需要との間にも関係性があると予想されるため、それらのデータが収集できた場合は検討が求められるが、今後の課題としたい。

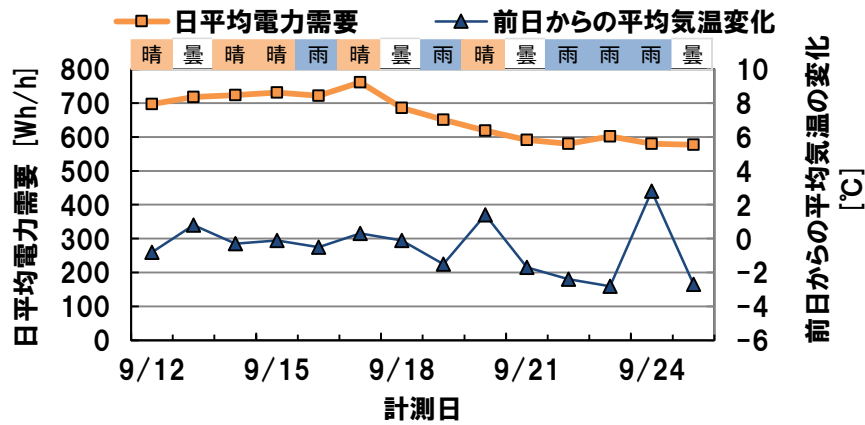


図 3-11 9月の日平均電力需要と前日からの平均気温変化

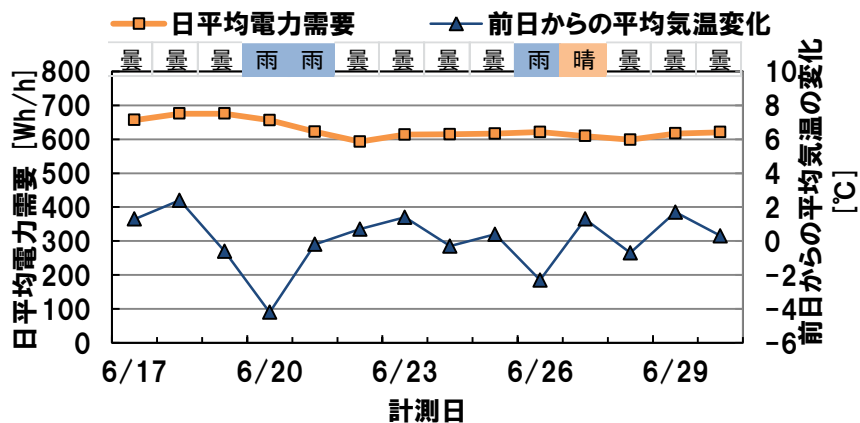


図 3-12 6月の日平均電力需要と前日からの平均気温変化

以上より、新規参入事業者は、気温と電力需要との関係を利用してある程度家庭の日別電力需要を予測することができるが、時期によっては相関が弱い日もあるため、それらの日について電力需要予測の誤差を低減しようとする場合には、気温以外の情報を用いて予測する必要がある。

3.3 電力需要の時間帯別の特徴

3.3.1 時間帯別月平均電力需要の傾向

図 3-13(a)に平日，(b)に休日（土日祝日）の夏期（8月），冬期（1月），中間期（5月）における時間帯別平均電力需要を示す．同図では，各季節では電力需要の大きさが異なることを考慮して，各月の日平均電力需要の月平均値で規格化している．本節では，以下の4つの比較についてその傾向を順に述べる．

- (1) 平日／休日の電力需要パターンの比較
- (2) 平日の季節間での電力需要の比較
- (3) 休日の季節間での電力需要の比較
- (4) 一般的な世帯との比較

(1) 平日／休日の電力需要パターンの比較

前述図 3-3 に示した通り，日平均気温に対する平日の日平均電力需要と休日の日平均電力需要は同じようなばらつきとなっており，同じ気温帯（＝同じ時期）であれば，平日と休日との間で日平均電力需要に大きな差はない．一方で，図 3-13(a),(b)に示す通り，1日の中での時間帯別電力需要については，同じ時期において平日と休日との電力需要の傾向が異なる．平日は休日と比較して1日の電力需要の変動が大きく，最小値は0.6～0.7程度と変わらないが，最大値は休日が1.3程度なのに対し，平日が1.4～1.5程度であった．また，休日については，朝の電力需要の大きな時間帯が平日よりも遅くなり，その大きさも平日よりも小さくなる傾向があり，昼間の電力需要が平日に比べて大きい傾向にある．平日の朝は出勤や通学の時間帯が世帯によってあまり差がなく，昼間は不在の世帯が多く，夕方は基本的に家族全員が在宅していると考えられ，居住者の行動パターンが類似してくることから，電力需要パターンのばらつきが小さくな

り、電力需要の大きな時間帯が重なりやすいことが予想できる。それに対して休日は、朝の起床の時間や昼間の在宅／不在にばらつきがあり、各時間帯の電力需要がならされ 1 日の変動が小さくなり、休日の最大電力需要が平日と比較して小さくなったと考えられる。なお、文献[2]においても、テレビや洗濯機など生活パターンの違いによって電力需要の大きさに変化を与える機器について、平日と休日とで使用状況に変化があり、今回の検証と同様の傾向が見られた。したがって、FC 世帯データについても、電力需要の大きさ（家電の使用台数やその大きさ）に違いはあるものの、平日と休日との生活パターンの変化については文献[2]の世帯と同様の傾向であった。

(2) 平日の季節間での電力需要の比較

図 3-13(a)より、平日は、いずれの季節においても夕方の電力需要の比率はほぼ同じで、日平均電力需要の月平均値に対して 1.4 程度であった。一方で、各季節によって朝や昼間の電力需要の大きさが異なっている。

冬期については朝と夕方に電力需要の大きな時間帯がみられ、大きさは朝の電力需要の方が大きい。この大きな電力需要は主に暖房によるものと考えられる。前述の通り、平日の朝は世帯間での行動パターンが類似し、更に夕方よりも朝の方が暖房の起動時間のばらつきが小さいことが予想され、電力需要も大きくなったと考えられる。

夏期においては、朝の電力需要の大きな時間帯がなくなり、1 日の中で電力需要の大きな時間帯は夕方のみとなっている。また、他の季節と比較して相対的に昼の電力需要が大きい。これらの電力需要パターンの傾向は冷房需要と考えられ、朝は冷房を起動する世帯が少ないために電力需要が小さくなり、昼間は在宅者が冷房を使用することで電力需要が増加したと考えられる。

中間期は、冷暖房を使用している世帯が少ないため、朝の電力需要の大きさが冬期と比較して小さく、昼間の電力需要の大きさが夏期と比較して小さい。また、最大電力需要に対する最小電力需要との比率が各季節の中で最も小さく、1日の中で電力需要が平滑化されている。

(3) 休日の季節間での電力需要の比較

図 3-13(b)より、休日については、平日と同様に、夕方の電力需要の比率は各季節であまり変わらない。ただし、夕方の電力需要の大きさは、平日よりもやや小さく、日平均電力需要の月平均値に対して 1.3 程度であった。また、前述の通り、休日は朝の起床の時間や昼間の在宅／不在にばらつきがあることから、平日と比較して朝の電力需要が世帯間でならされ小さくなり、昼間の電力需要が増加する傾向にある。特に冬期の朝の電力需要がならされ、夕方の電力需要より小さくなり、日平均電力需要の月平均値に対して 1.2 倍程度の大きさである。夏期については、朝の電力需要の大きな時間帯がなくなり、なだらかに電力需要が増加し、昼間の電力需要と夕方の電力需要との差が平日よりも小さい。これは昼間の在宅世帯が増え、冷房需要が増加したためと考えられる。

(4) 一般的な世帯との比較

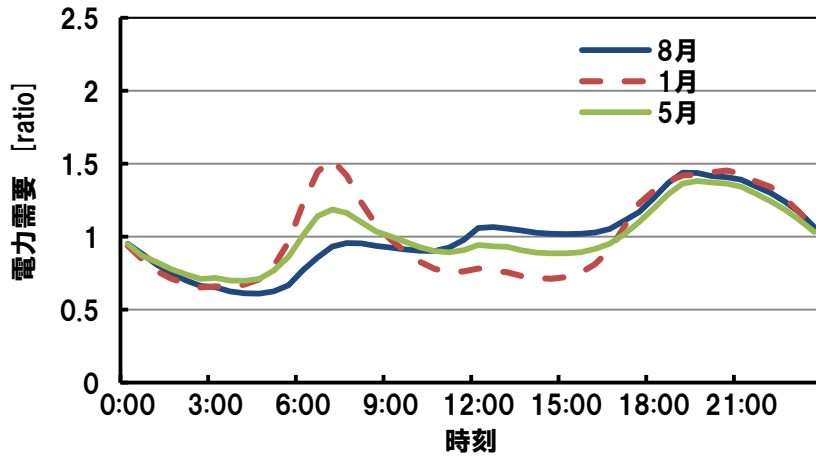
図 3-13(c)に文献[4]の各月の電力需要パターンを示す。同図では、各月の日平均電力需要で規格化している。また、文献[4]の冷暖房負荷について全てエアコンで賄っていると想定し、文献[5]に記載された以下の算出式(3-1)、(3-2)を基に 4kW エアコンの COP (Coefficient Of Performance)を用いて算出し、冷房時の COP=3.51、暖房時の COP=4.49 とした。

$$\text{冷房定格平均 COP} = -0.4137 \times \text{定格能力(kW)} + 5.1682 \quad (3-1)$$

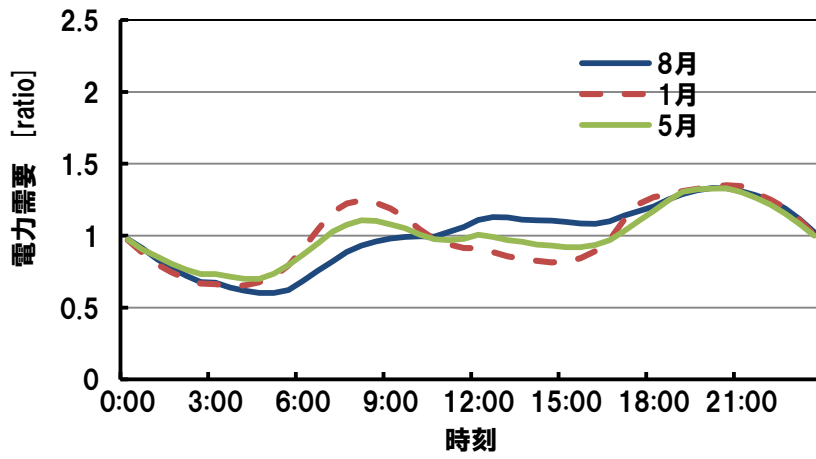
$$\text{暖房定格平均 COP} = -0.2481 \times \text{定格能力(kW)} + 5.4838 \quad (3-2)$$

同図より，文献[4]の一般的な世帯の電力需要パターンでは，概ね計測世帯データの平日の電力需要パターンと同様の傾向が見られる．まず，文献[4]において，いずれの季節でも夕方の電力需要が大きく，冬期については朝の電力需要も大きい．ただし，冬期の朝の電力需要は夕方の電力需要よりも小さい．次に，昼間の電力需要の比率については，夏期の電力需要が他の季節と比較して大きく，中間期，冬期の順で比率が小さくなる．朝の電力需要については，比率は夏期が最も小さく，中間期，冬期の順に大きくなる．一方で，FC世帯データと文献[4]の各時間帯の比率の大きさは異なっている．例えば，夕方の時間帯については，FC世帯データでは1.4程度であるのに対し，一般的な世帯では2～2.5程度である．これは，文献[4]は世帯単位で各月の平均的な電力需要パターンを想定する値であるのに対し，図3-13(a)のFC世帯データは数百世帯規模で日々のばらつきや世帯間のばらつきをならした値である．そのため，各時間帯の比率の変動が文献[4]の方が大きくなっていると考えられる．

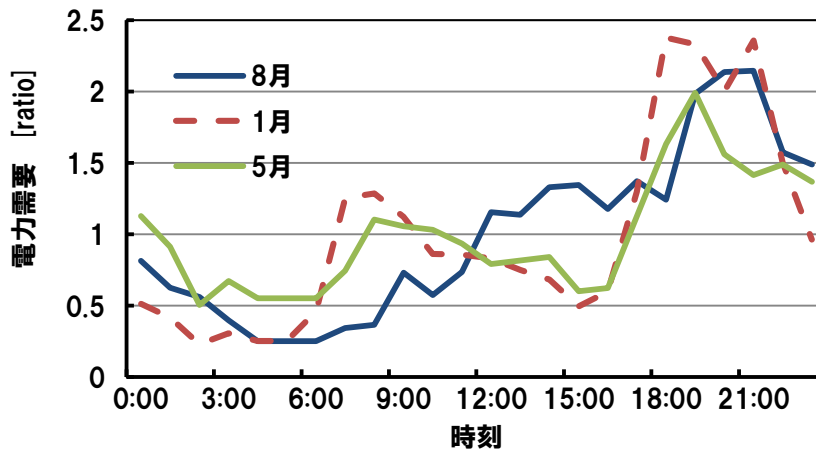
以上より，文献[4]とFC世帯データを比較すると，電力需要を想定する世帯数の規模が異なるため，各時間帯の比率の大きさそのものは異なるが，電力需要パターンの傾向は概ね一致しており，FC世帯データは一般的な世帯が数百世帯規模で集まった際の特徴を捉えていると考えられる．



(a) 平日



(b) 休日（土日祝日）



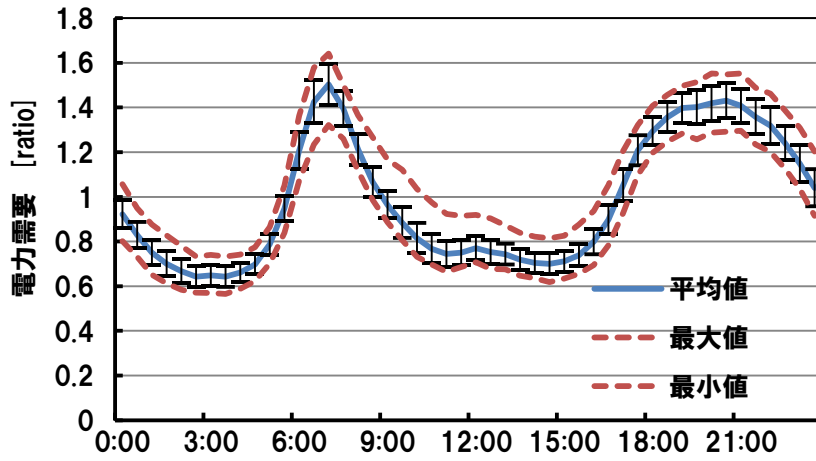
(c) 先行研究（文献[4]）

図 3-13 各季節の時間帯別平均電力需要

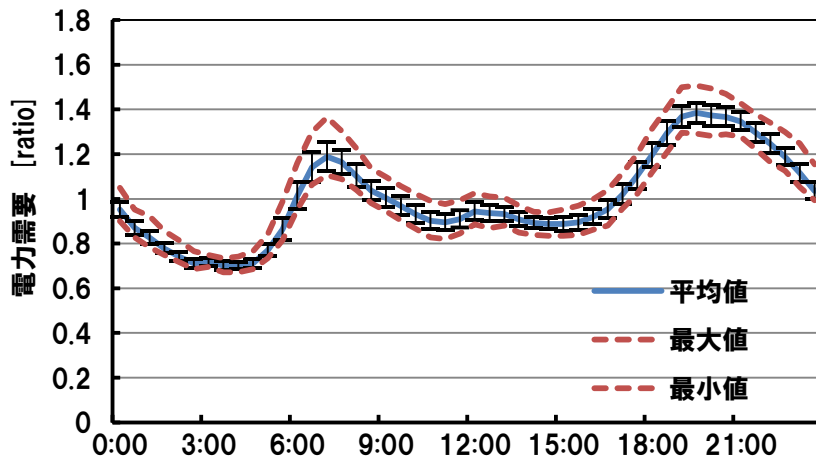
3.3.2 各時間帯における電力需要の日々のばらつき

図 3-14(a)に冬期（1 月）、(b)に中間期（5 月）、(c)に夏期（8 月）の平日の各時間帯の平均値、最大値、最小値を示す。同図では、前節 3.3.1 と同様に、各季節で電力需要の大きさが異なることを考慮して、各月の日平均電力需要の月平均値で規格化を行っている。また、同図のエラーバーは平均値±標準偏差を示している。同図より、冬期や夏期の方が中間期と比較して、各時間帯の最大値や最小値の開きが大きく、標準偏差の幅も 1.6 倍程度の大きさである。また、各時間帯の最大値や最小値は平均値±標準偏差の値から大きくはずれている時間帯もあり、直近の電力需要の傾向とは異なる日が存在することが分かる。したがって、例えば新規参入事業者が翌日の電力需要予測を行う際において、中間期は直近の電力需要の傾向のみを用いて予測を行ってもある程度高い予測精度を得られると考えられる。

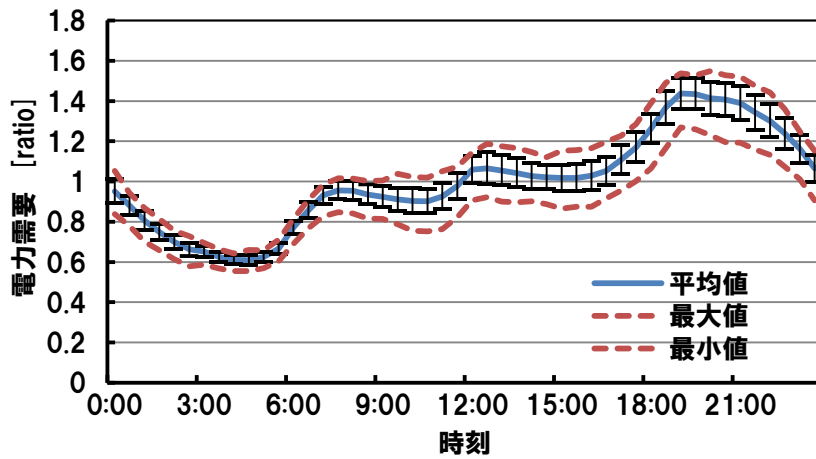
一方で、冬期や夏期については、単純な電力需要の傾向の学習方法では再現できないような平均値±標準偏差の範囲から大きく外れた電力需要の時間帯があるため、予測精度が悪化することが予想される。冬期や夏期のように電力需要のばらつきが大きい季節において新規参入事業者が電力需要予測を行う際には、予測精度向上のために、直近の電力需要の傾向のみを用いるのではなく、特異的な電力需要となることが想定される気象条件（急激な気温の変化や、大雨や大雪などの特殊な気象状況）が予測される日は参照方法を変更して予測を行う必要があると考えられる。



(a) 冬期 (1月)



(b) 中間期 (5月)



(c) 夏期 (8月)

図 3-14 各月の平日の電力需要のばらつき

3.3.3 時間区分別の電力需要の特徴

前述の通り，電力需要のパターンは人の生活パターン（在／不在）や空調等の家電製品の利用状況との関係が大きいことが分かった．したがって，人の生活パターンを考慮して時間を区切り電力需要の特徴を捉えれば，より詳細に電力需要の傾向を把握できると予想される．そこで本節では，生活パターンを考慮して，1日を以下の5つの時間帯に区分して各時間区分別の平均電力需要について，3.2節で述べたように，気温と相関関係があるか評価した．

(1) 時間区分 1：3:00～6：00

深夜で大半の人が就寝している時間帯

(2) 時間区分 2：6:00～9：00

朝の起床後～通勤・通学等で外出するまでの時間帯

(3) 時間区分 3：9:00～16：00

昼の在宅／外出に分かれる時間帯

(4) 時間区分 4：16:00～23：00

夕方の外出から帰宅し，家事等を実施する時間帯

(5) 時間区分 5：23:00～3：00

夜の就寝までの時間帯

図 3-15(a) に時間区分 1（3：00-6：00），(b)に時間区分 2（6：00-9：00），(c)に時間区分 3（9：00-16：00），(d)に時間区分 4（16：00-23：00），(e)に時間区分 5（23：00-3：00）の平均電力需要と日平均気温との関係を示す．なお，各図の平均電力需要については，比較のために各時間区分の平均電力需要の年平均値で規格化した値で示している．同図より，いずれの時間区分においても図 3-3

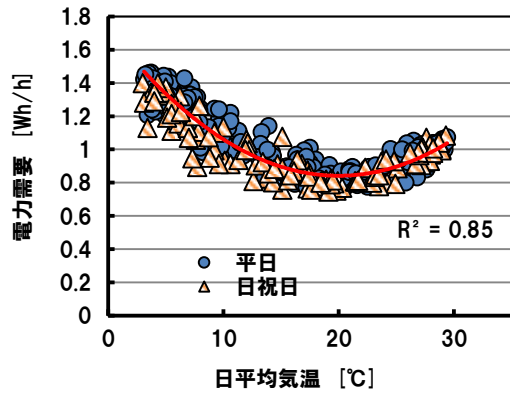
の傾向と同じく日平均気温と相関関係があり、2次関数では $R^2=0.7\sim 0.9$ 程度で近似できる。ただし、各時間で電力需要の大きさの傾向は異なる。

まず、図 3-15(b) に示す朝の時間帯(時間区分 2)においては、夏期よりも冬期の電力需要が大きく、時間区分 2 の平均電力需要の年平均値に対して夏期は 1 倍程度の大きさなのに対し冬期は 1.6 倍程度の大きさになる日もある。これは前述 3.2 節の通り、朝の起床時の暖房需要による電力需要増加が要因であると考えられる。また前述 3.3 節の通り、平日よりも休日の方が朝の時間帯の生活パターンがばらつくことから、同じ気温帯における年平均値に対する電力需要の比率は休日の方が小さい。なお、図 3-15(a)に示す深夜の時間帯(時間区分 1)においても同様の傾向が見られる。

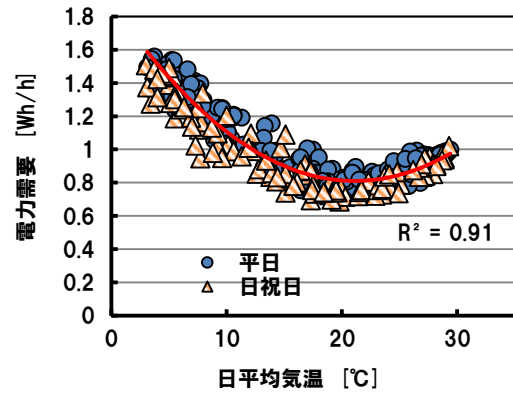
次に、図 3-15(c)に示す昼間の時間帯(時間区分 3)においては、冬期と夏期の年平均値に対する比率は 1.4 倍程度であり、一部の日を除いて夏期の方が比率はやや大きい。また、冬期も夏期も平日よりも休日の方が比率はやや大きい。これは前述 3.1 の通り、昼間の在宅者の空調使用による電力需要の増加と言え、昼間の空調需要は夏期の冷房需要の方が冬期の暖房需要よりも大きかったと考えられる。加えて、20℃前後の中間期においては、平日と休日との差がなく、空調需要がなければ在宅/不在の影響は小さいと言える。

最後に、図 3-15(d)に示す夕方の時間帯(時間区分 4)においては、冬期の電力需要は 1.4 程度であるのに対し、夏期の電力需要は 1.2 程度と冬期の方がやや大きい。これは夜間の空調需要は冬期の暖房の方が夏期の冷房よりも大きいためと言える。加えて、前述の時間帯と比較して、同じ気温帯における平日と休日の比率の差が小さい。これは、夕方の在宅状況は平日と休日とで大きく変わらないためと考えられる。なお、図 3-15(e)に示す夜の時間帯(時間区分 5)においても同様の傾向が見られた。

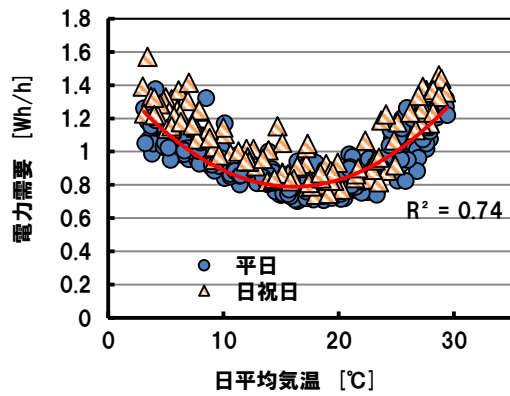
以上の結果，例えば新規参入事業者が翌日の時間区分別の平均値を予測する場合，気温と電力需要との関係を基にある程度の精度で予測を行うことができると言える．その際に，時間区分 4 と 5 を除き，夏期および冬期においては平日と休日とを区分してその傾向を把握することで，更にその予測精度を向上できると考えられる．



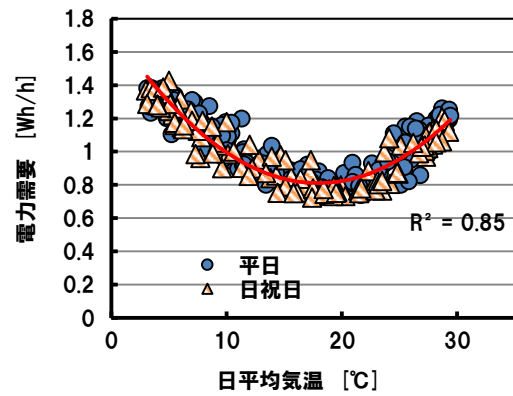
(a) 時間区分 1 (3 : 00-6 : 00)



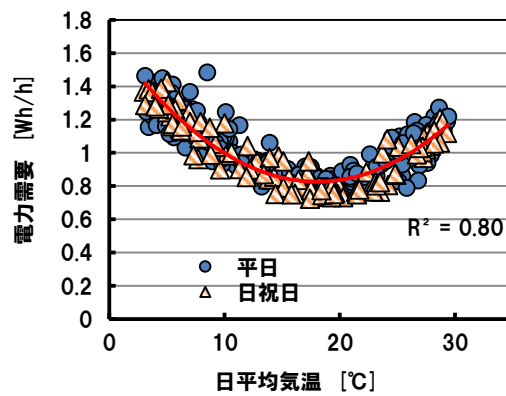
(b) 時間区分 2 (6 : 00-9 : 00)



(c) 時間区分 3 (9 : 00-16 : 00)



(d) 時間区分 4 (16 : 00-23 : 00)



(e) 時間区分 5 (23:00-3:00)

図 3-15 各時間区分の平均電力需要と平均気温との関係

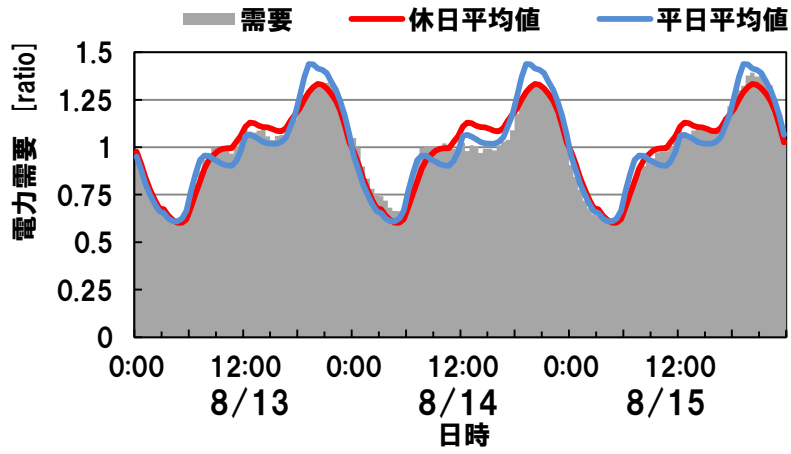
3.4 特殊な電力需要パターンとなる時期の特徴

3.2 節で述べたように、気温と電力需要との関係が崩れる日として、中間期や雨期、大雪、猛暑などの特殊な気象状況の日を挙げた。気象状況に加えて、人の生活パターンが通常と異なる時期においても、特殊な電力需要パターンとなる時期がある。本節では、それらの特異な電力需要パターンの日についてその傾向を述べる。

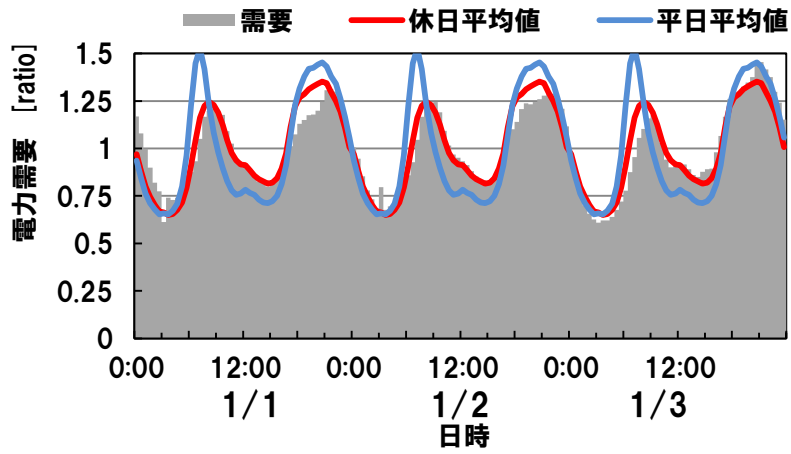
3.4.1 休日が連続で続く期間

図 3-16(a)～(c)に、それぞれ休日が連続するお盆(8/13(月)-8/15(水))、正月(1/1(火)～1/3(木))、ゴールデンウィーク(5/3(金)～5/5(日))における時間帯別電力需要と各月の平日および休日の時間帯別電力需要を示す。図 3-16(a)において、お盆の電力需要は各日の日平均電力需要で規格化した値を示し、平日および休日の電力需要は 8 月の平日または休日の日平均需要の月平均値で規格化した値を示す。同図より、お盆は 8 月の平日および休日の電力需要パターンと異なっている。8 月の平日および休日の平均電力需要パターンから時間帯別に偏差(絶対値)を算出し、その平均値を比較したところ、通常の平日では 2.2%、通常の休日では 2.5%の偏差であるのに対し、お盆においては休日の電力需要パターンに対して 4.0%、平日の電力需要パターンに対して 5.0%の偏差であった。お盆休み期間中は、通常の休日ほど昼間の電力需要が大きくなり、平日ほど夜間の電力需要が大きくない。その理由として、お盆においては、基本的には休日と同様のパターンの世帯が多いことが想像されるが、一部の世帯は暦通り平日の生活をしていたり、帰省等により長期に外出していたりすることもあり、平日と休日を組み合わせた電力需要パターンとなったと考えられる。なお、お盆に加え、図 3-16(b)の正月(1/1～1/3)や図 3-16(c)のゴールデンウィーク(5/3～5/5)

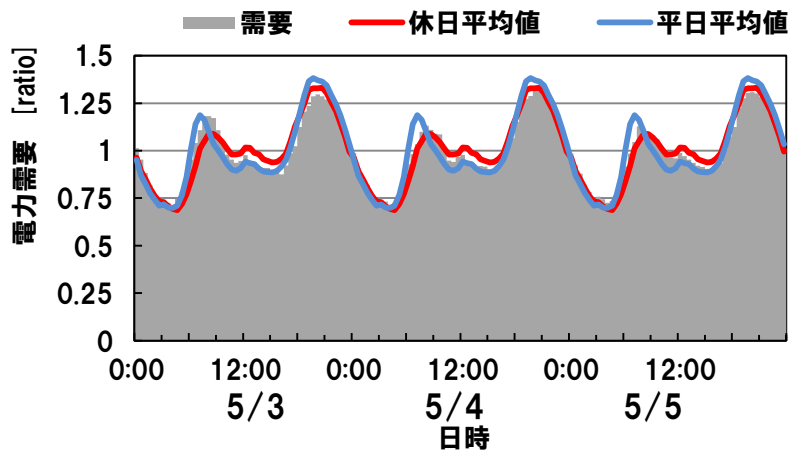
などの日本の長期休暇にあたり、大半の人が普段と異なる生活をする期間においても同様の傾向が見られた。したがって、これらの期間について新規参入事業者が電力需要予測を行う場合には、過去の同一期間（お盆、正月、ゴールデンウィーク）の電力需要を参考に予測を行う必要がある。



(a) お盆(8/13(月)-8/15(水))



(b) 正月 (1/1(火)~1/3(木))



(c) ゴールデンウィーク (5/3(金)~5/5(日))

図 3-16 休日が連続で続く期間の電力需要

3.4.2 特異な気象条件の日

図 3-17 に 2013 年 1 月 14 日（月・祝）の時間帯別電力需要と 1 月の平日および休日の時間帯別平均電力需要を示す。同日は関東地方で大雪を記録した日であり、東京では 8cm の積雪を観測し、当日の日平均気温は 3.5℃と低かった。同図より、同日は昼間の電力需要が 1 月の平日や休日の平均電力需要よりも大きい。当日は早朝から 1 日中雪が降ったため、在宅世帯が増え、昼間の暖房電力需要等が増加したと考えられ、1 月の休日の平均電力需要よりも昼間の電力需要が約 1.2 倍大きかった。また、同日は朝と夜の電力需要の大きさは、1 月の休日の平均値と大きく変わらないものの、電力需要が大きな時間が昼間に寄り、朝は遅く、夜は早くなっていた。これは、朝夕の在宅状況は通常の休日とあまり変わらず、暖房等の使用台数が大きく変わらなかったため、朝と夕方の電力需要の大きさは変わらなかったと考えられる。一方で、当日は大雪となり外出を控える世帯が増加し、通常よりも朝の活動開始の時間が遅く、夕方の帰宅時間も早まったと予想され、朝と夕方の電力需要の大きな時間が通常の休日よりも昼間に寄ったと考えられる。

以上のように、冬期の休日に大雪となる日には、朝夕の電力需要の大きさは変わらないが、昼間の在宅世帯が増加することにより通常の昼間の電力需要よりも大きくなることが分かった。なお、同日は前日の天気予報において積雪が予想されていた。したがって、新規参入事業者が、そのような特異的な気象条件が予想される日について電力需要予測を行う場合、直近の実績値を参照するのではなく、過去の同様の特異な気象条件の日の電力需要パターンを参照する必要があると考えられる。

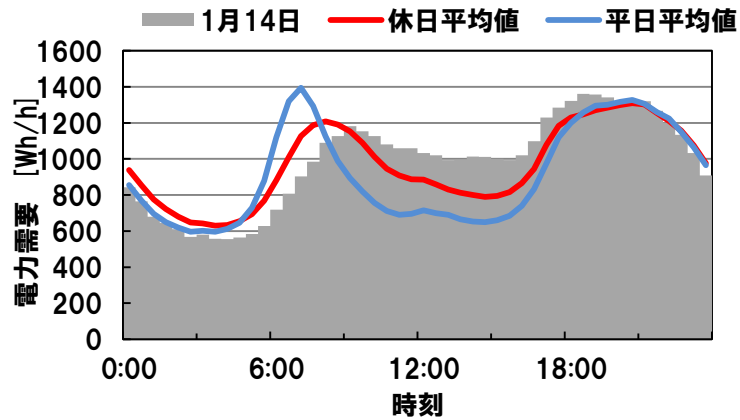


図 3-17 2013/1/14 (月・祝) の電力需要

次に、図 3-18 に 2013/2/2(土)の電力需要を示す。同日は、過去 5 日間の最低気温の平均値が 1.9℃であったのに対し、当日の最低気温が 11.7℃と急に暖かくなった日であった。その結果、電力需要のパターンとしては 2 月休日平均値に似ているが、電力需要の大きさは通常 of 2 月の休日と比較して 1 割～2 割程度小さくなっていた。このような日においては、直近に同様の気温類似日がないことが予測されるため、電力需要を予測するにはデータ参照日を通常の方法から変更して設定する必要があると考えられる。

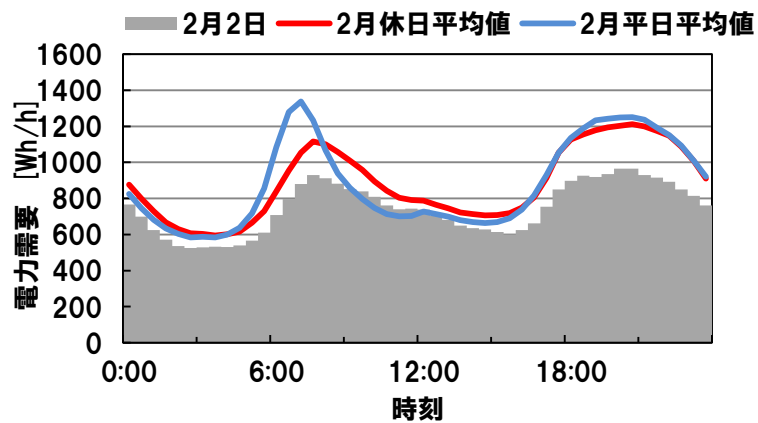


図 3-18 2013/2/2 (土) の電力需要

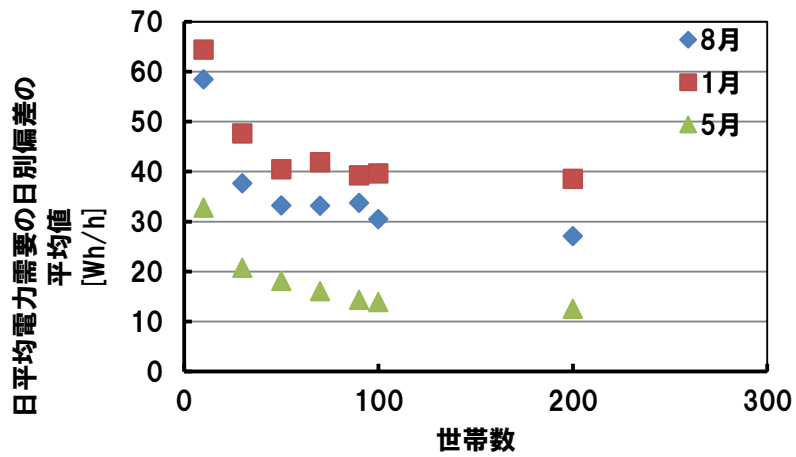
3.5 集約世帯数の違いによる電力需要特性の変化

前節までの検討では、400～500 世帯程度の平均電力需要を対象としてその特性を述べた。本章では集約世帯数が変化した際に前述の電力需要特性がどのように変化するか検討する。なお、少ない集約世帯数では特定の世帯のデータが欠損することでその電力需要特性に大きく影響すると考えられる。そのため本章では、全世帯のうち、年間の 90%以上の日において電力需要データが存在していた 280 世帯を用いて検討を行った。その際に、抽出する世帯によるばらつきを考慮するために、各集約世帯数について 10 回ずつランダムに対象世帯を抽出して評価した。

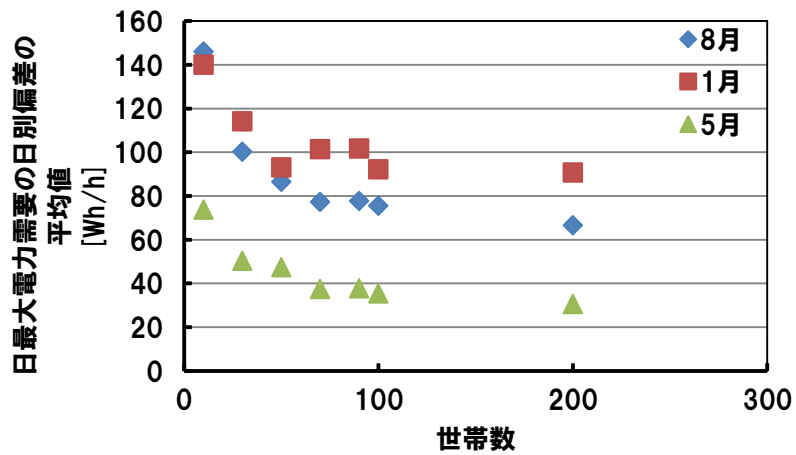
3.5.1 日平均・最大・最小電力需要の前日からの変化

図 3-19(a)に日平均電力需要の、(b)に日最大電力需要の、(c)に日最小電力需要の、夏期（8月）、冬期（1月）、中間期（5月）における前日からの偏差（絶対値）の月平均値を示す。なお、各図の値は各世帯数において 10 回ずつランダムに対象世帯を抽出して算出した結果の平均値を示している。図 3-19(a)より、いずれの季節においても、世帯数が増加するにつれて日平均電力需要の前日からの偏差は小さくなっている。ただし、50 世帯程度からその減少傾向は小さくなり、世帯数を 200 世帯程度まで増加させても、50 世帯の場合と大きく変わらない。例えば、日平均電力需要の前日からの偏差は 10 世帯から 50 世帯に世帯数が増加することで冬期は 24 Wh/h、夏期は 25 Wh/h、中間期は 15 Wh/h 小さくなったのに対し、50 世帯から 200 世帯に世帯数が増加しても冬期は 2Wh/h、夏期は 6 Wh/h、中間期は 6 Wh/h しか小さくならなかった。したがって、日平均電力需要の日々の変化について、世帯数が増加することによるならし効果は 50 世帯程度で飽和すると言え、数百世帯以上が対象世帯の場合については、前述の電

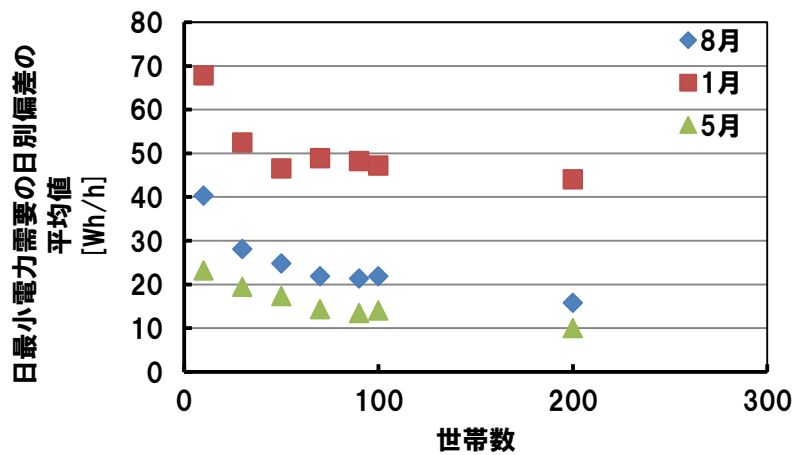
力需要特性が適用できると言える。なお、図 3-19(b)に示す日最大電力需要、および図 3-19(c)に示す日最小電力需要についても同様の傾向が確認できる。



(a) 日平均電力需要



(b) 日最大電力需要

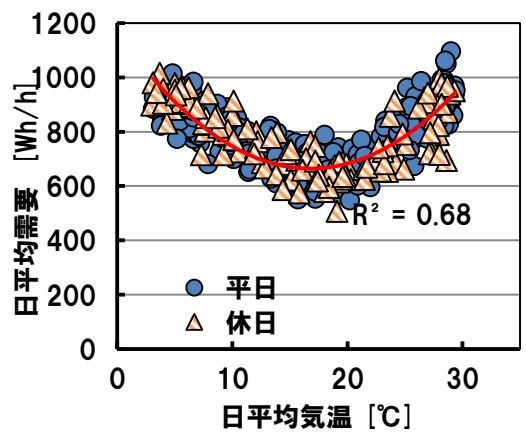


(c) 日最小電力需要

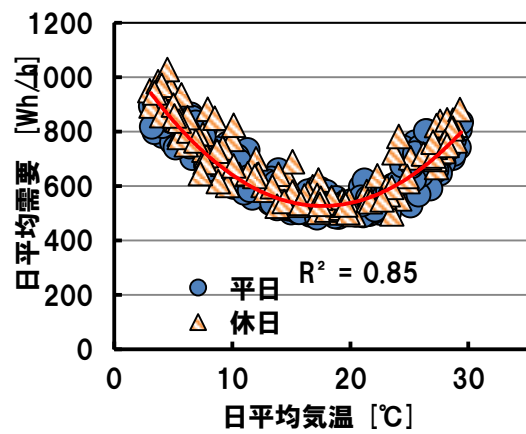
図 3-19 前日からの偏差（絶対値）の月平均値

3.5.2 気温に対する日平均電力需要の変化

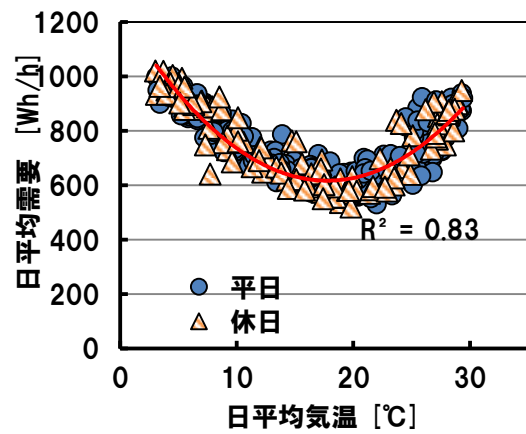
日平均電力需要と日平均気温との関係について、図 3-21(a)に 10 世帯の場合、(b)に 30 世帯の場合、(c)に 50 世帯の場合、(d)に 70 世帯の場合、(e)に 90 世帯の場合、(f)に 100 世帯の場合、図 3-21(a)に 200 世帯の場合の一例を示す。前述 2.3 における全世帯の平均電力需要の場合と同様に、いずれの世帯数においても日平均電力需要と日平均気温とは 2 次関数で近似できた。ただし、10 世帯の場合では日平均電力需要のばらつきが大きく、近似式に対する R^2 は 0.68 であった。一方で、50 世帯では日々のばらつきが小さくなり、近似式に対する R^2 は 0.83 であり、全世帯の場合 ($R^2=0.87$) と大きくは変わらなかった。図 3-22 に各世帯数において 10 回ずつランダムに対象世帯を抽出して算出した日平均電力需要と日平均気温とを 2 次関数で近似した際の R^2 の平均値を示す。同図より、日平均値の日平均気温に対するばらつきについても、前述 3.5.1 と同様に、世帯数が増加することでならし効果を得られればらつきが小さくなる。 R^2 は 10 世帯から 50 世帯に世帯数が増加することで 0.09 増加するのに対し、50 世帯から 200 世帯に世帯数が増加しても 0.02 しか増加しなかった。したがって、日平均気温に対する日平均気温のばらつきについても、ならし効果は 50 世帯を超えると飽和し、数百世帯規模になってもその特性は変化しなかった。



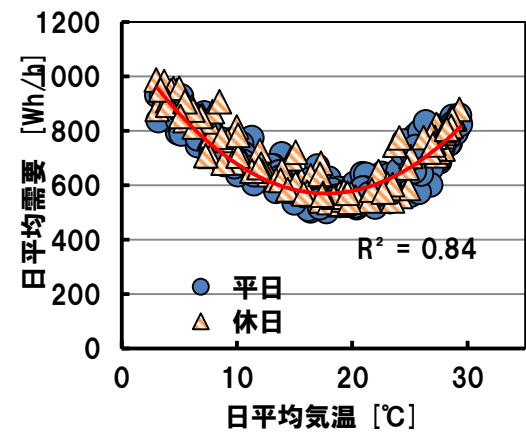
(a) 10世帯の場合



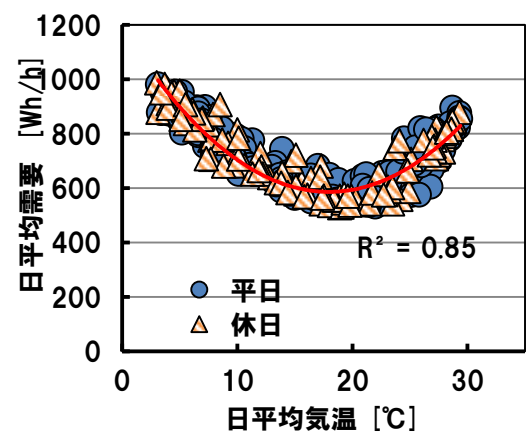
(b) 30世帯の場合



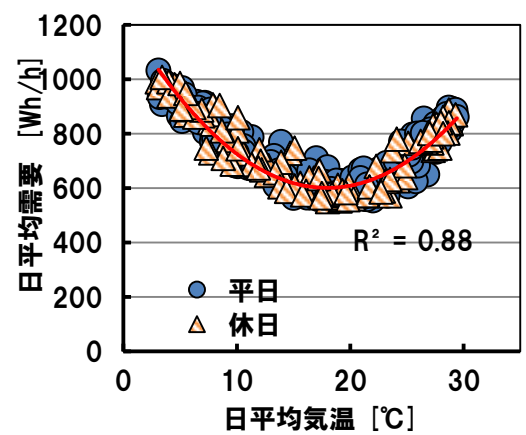
(c) 50世帯の場合



(d) 70世帯の場合

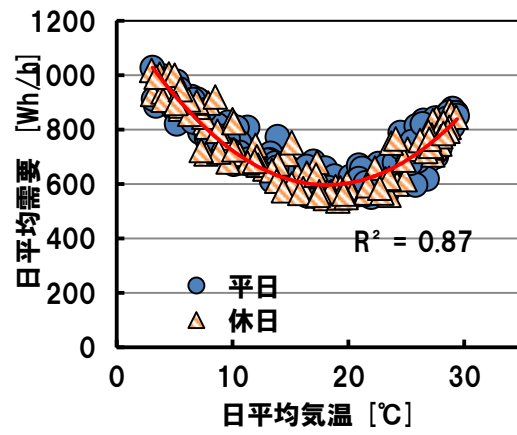


(e) 90世帯の場合



(f) 100世帯の場合

図 3-20 各世帯数での日平均電力需要と平均気温との関係 (1)



(a) 200 世帯の場合

図 3-21 各世帯数での日平均電力需要と平均気温との関係 (2)

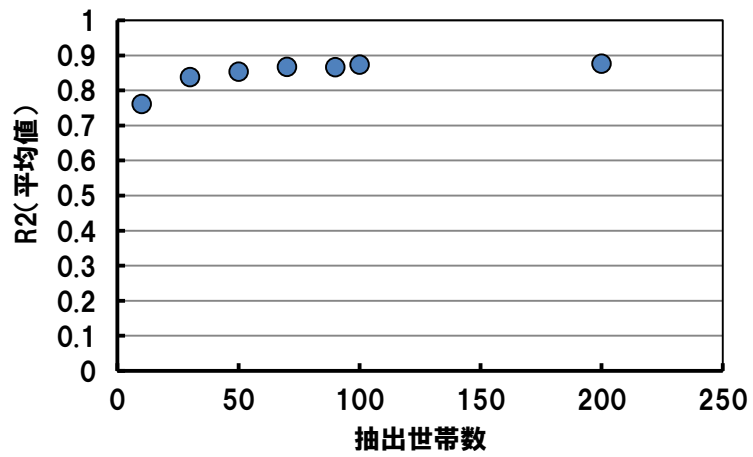


図 3-22 各世帯数における R^2 の平均値

3.6 第3章のまとめ

本章では、家庭用燃料電池が設置された戸建住宅に居住する400～500世帯程度の平均電力需要を用いて、日別・時間帯別の電力需要特性を評価した。また、対象世帯数が増えることで、日別・時間帯別の電力需要特性がどのように変化するか評価した。

日別電力需要については、日平均、最大、最小電力需要は日平均、最高、最低気温と $R^2=0.7\sim 0.9$ 程度で2次関数により近似できた。ただし、同じ気温帯でも近似式から20%程度ずれる日もあった。気温と電力需要との関係が崩れる日としては、中間期など気温の変動が小さい時期に加え、雨期や大雪、猛暑など特殊な気象状況の日が挙げられた。

時間帯別電力需要については、文献[2]～[4]と同様の傾向が見られ、FC世帯データは一般的な世帯の電力需要パターンの特徴を概ね表していることを確認した。時間帯別電力需要の特徴としては、休日の朝に世帯間で生活パターンがばらつくため、一日を通した変動が小さくなる傾向が見られるなど、平日と休日との間で電力需要パターンが異なっていた。また、同じ平日であっても冷暖房機器の使用状況の違いから、各季節において電力需要パターンが異なっていることが確認できた。

供給対象世帯数が増えることに伴う電力需要特性の変化については、日平均電力需要の前日からの変動や日平均気温に対する日平均電力需要のばらつきは、世帯数が増えることによるならし効果によって小さくなった。ただし、対象世帯数が50世帯程度まではそれらのばらつきは大きく減少するものの、50世帯以上の場合にはならし効果が飽和し、数百世帯規模に世帯数が増えた場合でも、50世帯の場合と比較して、その特性は大きくは変わらなかった。したがって、本章で示した電力需要特性は、対象世帯数が増えることによるならし

効果が飽和するのに必要な十分な世帯数を対象とした結果であり，新規参入事業者が供給対象としている数百～数万世帯規模の世帯群においても同様の傾向であることが予想される．

以上のように，家庭向け電力小売事業へ新規参入した事業者が，数百世帯以上の世帯群を対象として電力需要予測等を検討するにあたり必要となる基礎的な電力需要特性を示すことができた．また，第 1 章で述べた通り，数百世帯規模の実測データを用いて平均電力需要の基本的な変動特性を述べた文献はなく，当該データを持たない新規参入事業者にとって有益な情報である．

第 3 章の参考文献

- [1] 一般財団法人省エネルギーセンター：「エネルギー・経済統計要覧 2016」，
(2016)
- [2] 源城かほり，長谷川兼一，松本真一，吉野博：「秋田県の住宅内エネルギー
相日量の機器別消費特性に関する事例的検討」，日本建築学会技術報告集，
第 13 巻，第 25 号，pp.203-206，(2007)
- [3] 尾島俊雄研究室：「建築の高熱水源単位[東京版]」，早稲田大学出版部 (2005)
- [4] 日本エネルギー学会：「天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル
2000」，日本工業出版，(2000)
- [5] 赤林伸一，坂口淳，大嶋拓也，市川裕幸，有波裕貴：「住宅用エアコンの COP
の現状と APF の地域特性に関する研究」，日本建築学会技術報告集 第 20
巻，第 44 号，pp.187-190，(2014)
- [6] 気象庁ホームページ：「過去の気象データ・ダウンロード」
<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (最終アクセス日：2016/12/13)

第4章 月別電力需要予測モデル

4.1 はじめに

本章では、新規参入電力小売事業者が中長期の事業計画検討時などにおいて、自身の顧客がどのような月別電力需要パターンの世帯の集まりかを把握し、全体の合計電力需要を予測する際に用いる月別電力需要予測モデルについて、一般世帯データを用いて検討した。

4.2 予測モデルの概要

第1章で述べた通り、先行研究における月別電力需要予測モデルでは、各世帯属性別に電力需要を予測してそれらを積み上げて算出するモデルが多い^{[1]~[3]}。しかしながら、それらのモデルでは新規参入電力小売事業者が予測を行うにあたり、以下のような課題がある。

- (1) 同じ世帯属性の世帯であっても月別電力需要は大きく異なるため、ある世帯属性の電力需要を一意に決めるのは難しい。
- (2) 精度向上のため（=電力需要を一意に決めるため）に多量の世帯属性を用いるモデルもあるが、新規参入電力小売事業者が実運用時にそれらの情報を漏れなく収集することは難しい。

そこで本論文では、同じ世帯属性において月別電力需要パターンの傾向が異なる世帯が存在することを前提として、月別電力需要別の各グループの割合で表せる可能性に着目し、予測対象世帯群における各グループの割合から月別電力需要を算出する。これにより、以下のメリットを期待している。

- ① 世帯属性別（住居形態や世帯人数，等）に電力需要のばらつき（傾向の違い）を定義するため，入力の世界属性を減らせる可能性がある。
- ② 予測対象世帯群の月別電力需要傾向別の世帯の割合を把握することができる。

4.3 予測方法

前述の通り，提案する月別電力需要予測モデルでは，月別電力需要の絶対値によって世帯群を分類するのではなく，月別電力需要の傾向によって世帯を分類し，各グループにおける平均の月別電力需要の代表値を定義することに着目し，図 4-1 および以下に示す予測手順により，予測対象世帯群の中にどのような月別電力需要の傾向を持った世帯がどの程度存在するかを予測し，その積み上げによって世帯群の合計の月別電力需要を簡易的に予測する。

予測手順 1 予測に用いるデータベースの構築

- (i) 月別電力需要の年変化の傾向に基づき，学習データとして準備した世帯をいくつかのグループに分類する。
- (ii) ある世帯属性の要素の値区分における各グループの割合に関するデータベース 1 を構築する。
- (iii) 区分別・グループ別に，当該グループに属する世帯の平均的な月別電力需要に関するデータベース 2 を構築する。

予測手順 2 予測対象世帯群における各グループの割合の予測

- (i) 予測対象世帯群について，データベース 1,2 にて考慮された世帯属性の各要素の値区分の割合を求める。

- (ii) 構築したデータベース 1 に基づき、推定対象の世帯群における世帯属性の要素の値区分ごとに各グループの割合を抽出し、全値区分を集計することで推定対象世帯群における各グループの割合を予測する。

予測手順3 世帯群の合計月別電力需要の予測

- (i) 算出した各グループの割合に基づき、データベース 2 に保存した各グループの月別電力需要を掛け合わせることで、世帯群の合計電力需要を予測する。

なお、新規参入事業者が供給対象とする世帯数は、第 1 章で述べた通り数百～数万世帯程度と想定される。この場合、上記の各グループにおいて、各世帯の電力需要の絶対値のばらつきは、データベース構築の際に用いる学習用データの世帯群と実際の供給対象の世帯群とで同様になることが期待できる。このため、各グループの平均的な電力需要に各グループに属する世帯数を乗じ、さらに全てのグループについて集計することで、世帯群の合計の月別電力需要を予測しつつ、それらがどのような電力需要の傾向をもった世帯の集合であるかを把握することができる。データベースを構築する際に用いる属性の種類や数、およびその組み合わせや複数の属性を用いる際の各属性の重みについては様々考えられる。本論文では、その第一段階の検討として、次節以降において、世帯属性の中でも住居種別や世帯人数など、統計情報として容易に得やすい情報に着目してデータベース構築の基礎的検討を行った結果を示す。

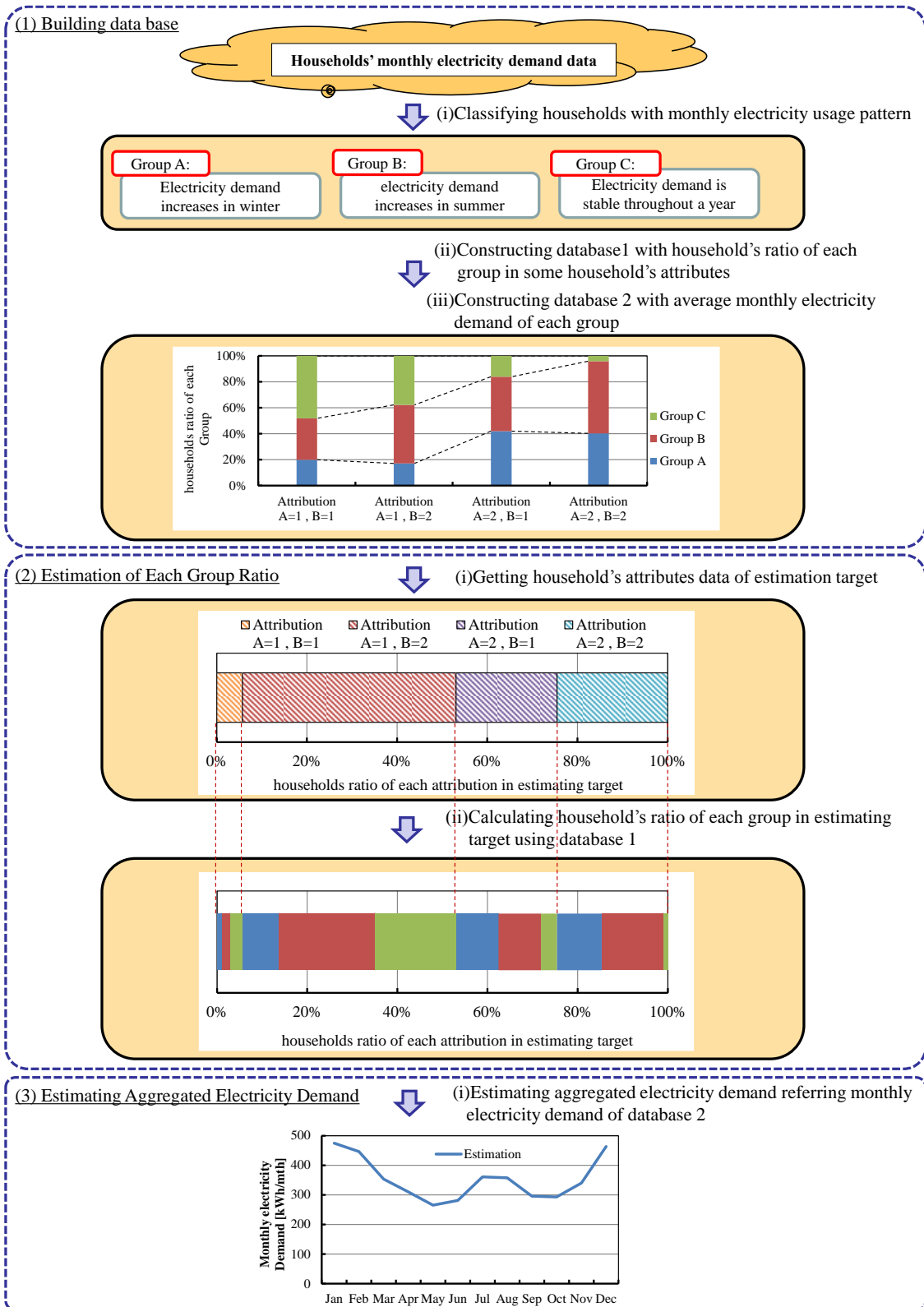


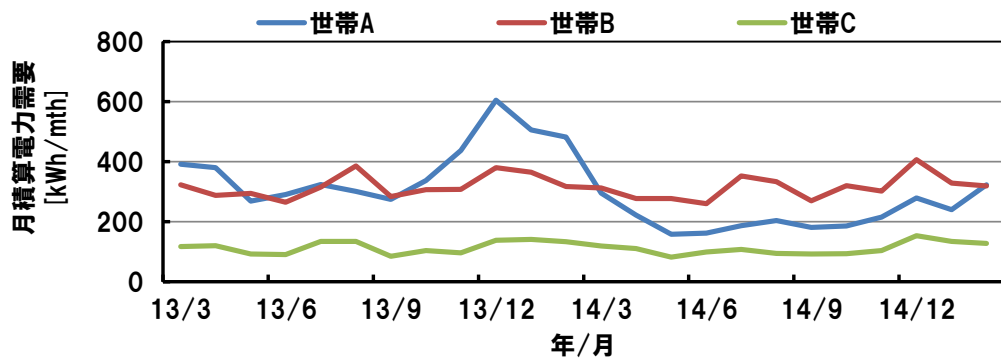
図 4-1 提案モデルにおける予測方法

4.4 予測に用いるデータベースの構築手順と基礎的検討

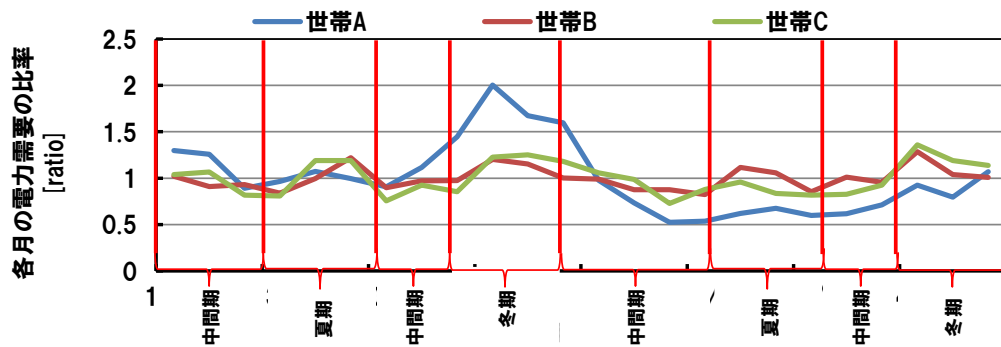
以下の手順により，学習用データの世帯において，世帯属性（住居形態，居住地域，世帯人数，等）の値別に各グループの割合を算出し，提案手法で用いるデータベースを構築した．

4.4.1 世帯群のグループ化

各世帯の月別電力需要の年平均値に対する変動の大小や，特に変動が大きくなる季節などの傾向を基に，図 4-2 に示す方法により世帯のグループ分けを行う．まず，年間を通じた月別電力需要の変動傾向を算定するため，各世帯の月別電力需要を各世帯の計測期間平均値で規格化し，計測期間平均値に対する各月の電力需要の比率を算出する．次に，計測期間平均値に対する各月の電力需要の比率について，冬期（12～2月），中間期（3～6月，10月～11月），夏期（7～9月）の各季節の平均値（以下，季節比率と呼ぶ）を算出する．そして，算出した季節比率を大，中，小の3種類に分類する．大，中，小の分類の基準は，図 4-3 に示す全世界帯の各季節の季節比率の頻度分布より，大，中，小の各分類が3分の1ずつとなる様に大：1.08以上，中：1.08～0.91，小：0.91以下と設定した．最後に，冬期－中間期－夏期における比率の分類（大，中，小）の組み合わせにより，世帯のグループ分けを行う．



規格化



季節別に集計

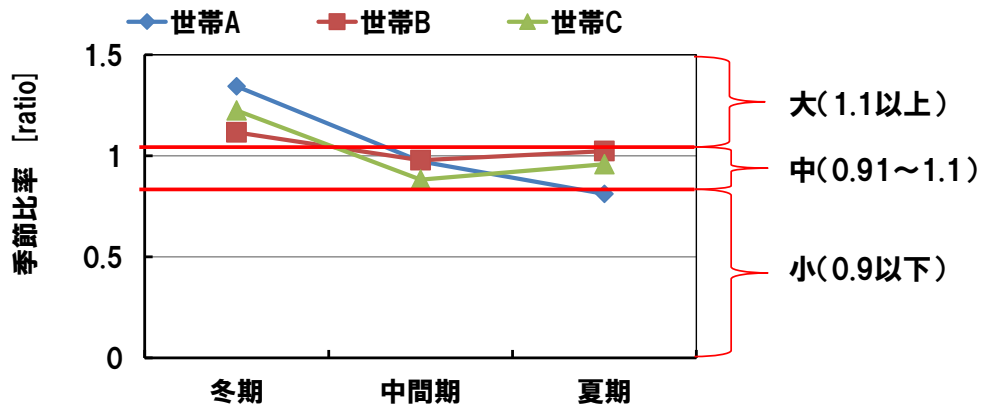


図 4-2 グループ分けの方法

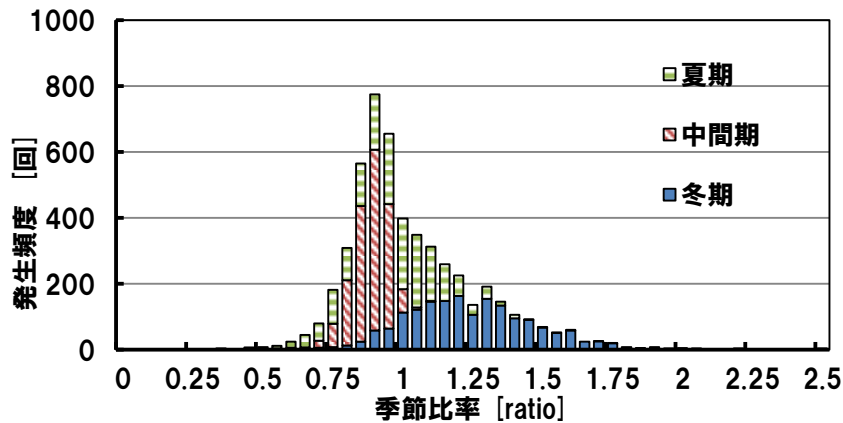


図 4-3 全世帯の季節比率の分布

4.4.2 グループ化の結果

前節で示したグループ化の方法により、一般世帯データの 1720 世帯を分類した。提案するグループ化の方法では、季節（3 分類）ごとに季節比率 3 分類の組み合わせがあり、最大で 27 グループの可能性がある。しかし、月別電力需要の年平均値で規格化した各季節の電力需要の比率の大小で評価しているため、大—大—大や小—小—小といった季節比率の特性を持ったグループは存在せず、また、小—大—中など該当する世帯が存在しないグループも存在したため、結果として表 4-1 に示す合計 15 グループに分類できた。なお、一部のグループ（グループ 1, 10, 11, 12, 15）については、数世帯程度しか割り振られていないグループもあり、代表データとして扱うには偏りが表れてしまっている可能性がある。これらのグループについては、対象世帯の需要データを新規に取得し、世帯数を拡充して検討を行うことも考えられるが、1,720 世帯の分類を行った場合に数世帯しか現れないグループについては特殊な世帯として検討から除くことも考えられる。今後、他地域や調査対象を増加させ、当該グループの要／不要について検討する必要がある。加えて、今回の検討では、季節比率の分類の

基準を、各分類が 1:1:1 になるように設定したが、適切な分類の数やその比重についても今後検討が必要である。

表 4-1 需要変動特性に基づくグループ分類

Group No.	冬期	中間期	夏期	需要の特徴	世帯数
1	大	中	大	夏期と冬期の比率大	3
2	大	小	大		107
3	大	中	中	冬期の比率大	208
4	大	小	中		412
5	大	中	小		129
6	大	小	小		438
7	中	中	大	夏期の比率大	140
8	中	小	大		90
9	中	中	中	変動が小さい	106
10	中	小	中		3
11	中	大	小		1
12	小	大	大	夏期の比率大	1
13	小	中	大		61
14	小	小	大		20
15	小	中	中	変動が小さい	1

4.4.3 各グループの傾向

図 4-4 に各グループの住居形態別の月別電力需要の年平均値 (kWh/月) を示す。同図より、グループ 1 を除いていずれのグループも戸建住宅の方が集合住宅よりも月別電力需要の年平均値は大きい。また、戸建住宅の月別電力需要の年平均値が大きいグループでは、集合住宅の月別電力需要の年平均値も大きい傾向にある。なお、グループ 1 については、対象世帯が戸建住宅は 2 世帯、集合住宅は 1 世帯しか存在しなかったため、例外的に集合住宅の電力需要が大きくなったと考えられる。

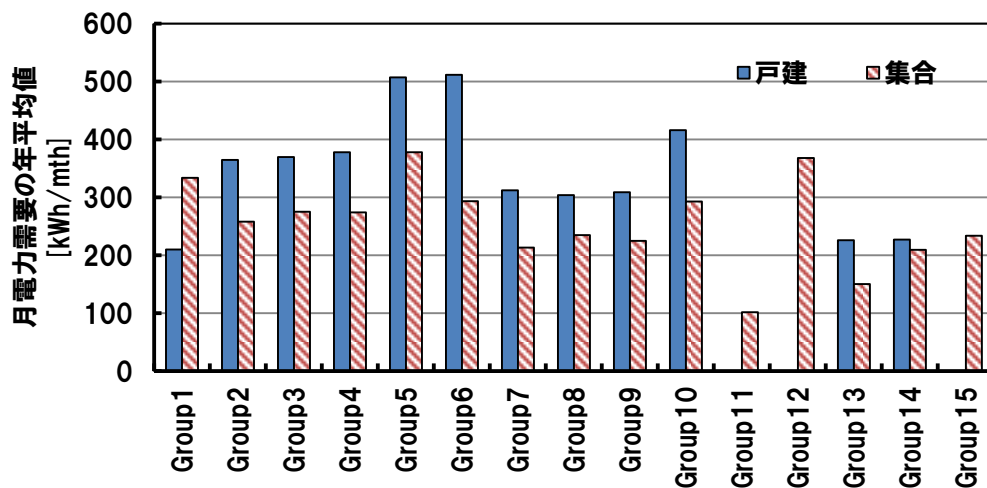
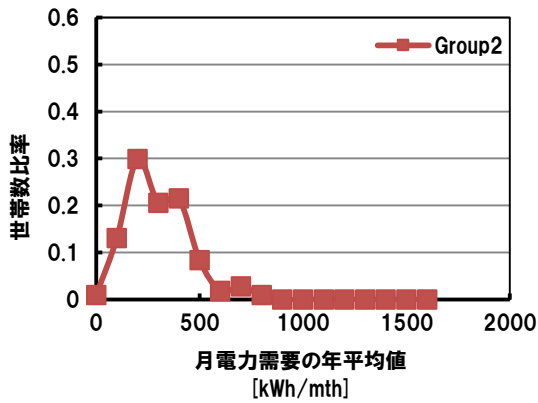


図 4-4 各グループの住居形態別の月電力需要の年平均値

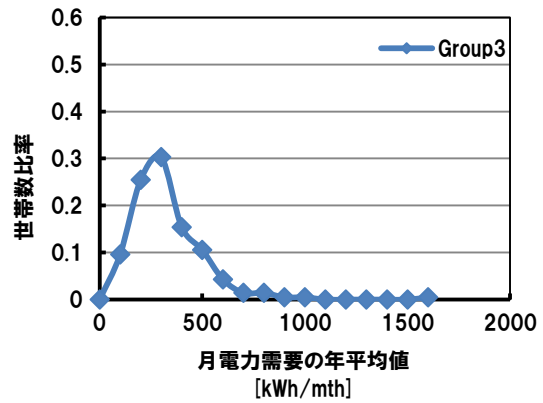
戸建住宅の月別電力需要の年平均値は、基本的にはいずれのグループにおいても 300~400 kWh/月程度である。ただし、季節比率が冬期は大きく夏期は小さいグループ (グループ 5, 6) の場合、月別電力需要の年平均値は 500 kWh/月以上と大きい。反対に、季節比率が冬期は小さく夏期は大きいグループ (グループ 13, 14) の場合、月別電力需要の年平均値は 230 kWh/月程度と小さかった。

なお、これまでの検討において、各世帯の電力需要の分布は概ね対数正規分布で近似できることを把握している¹⁴⁾。本研究で提案する手法の場合、各グループの電力需要の平均値は、データベースを構築する際の各グループに属する世帯の電力需要より算出するため、データベースを構築時の算出対象となる世帯数が少ない場合、各世帯の電力需要のばらつきの影響を受けてしまう可能性がある。そこで、データベース構築に用いた 1720 世帯のデータについて、各グループに分類した際の各世帯の電力需要のばらつきを評価した。

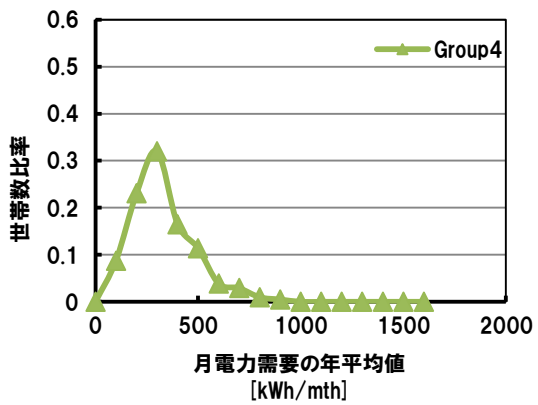
図 4-5 および図 4-6 に各グループにおける各世帯の電力需要の分布を示す。なお、同図では世帯数が 20 世帯以上のグループ（グループ 2～9、グループ 13～14）のみを示す。同図において縦軸は各グループの世帯数によって規格化している。同図より、いずれの分布の多少の偏りやばらつきはみられるものの、概ね対数正規分布で近似できる。そこで、各グループにおける電力需要の平均値について 95%信頼区間を算出し、当該平均値に対する 95%信頼区間の幅を算出した。結果を図 4-7 に示す。同図より、各グループの世帯数が 100 世帯程度であれば（グループ 2～9 が該当）、95%信頼区間の幅は電力需要の平均値に対して 10%程度と小さいことが確認できた。世帯数が少なく平均値のばらつきが大きくなってしまったグループ（グループ 13 および 14）については、今後対象世帯を増やすことによって、供給対象世帯（数千～数万世帯程度）の分布と、データベース構築の際の世帯群における分布とが同様になることが期待できる。



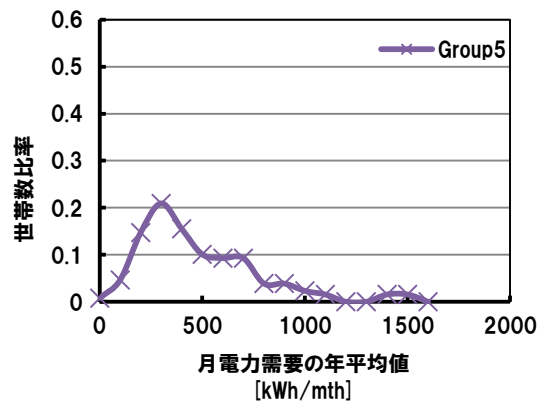
(a) グループ 2



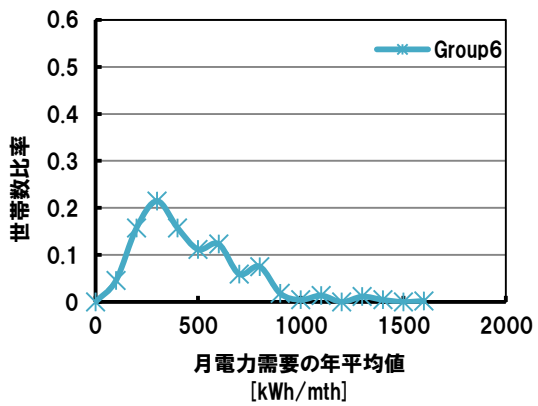
(b) グループ 3



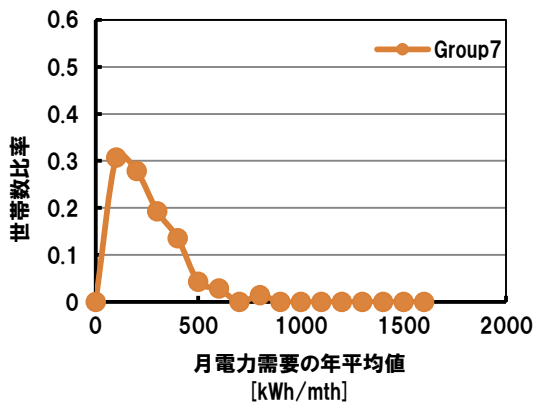
(c) グループ 4



(d) グループ 5

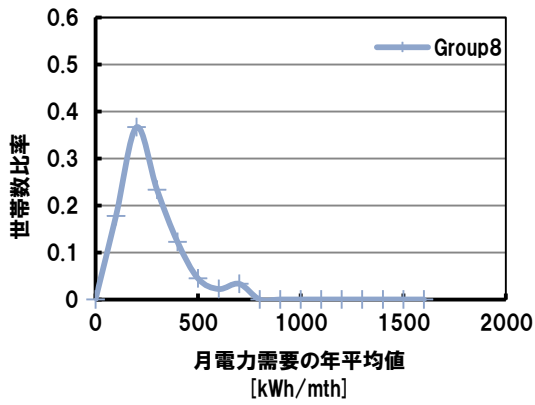


(e) グループ 6

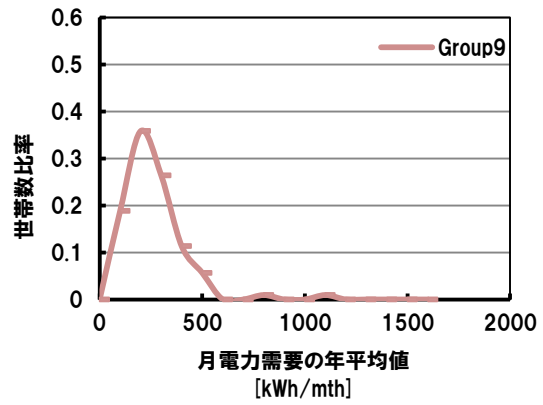


(f) グループ 7

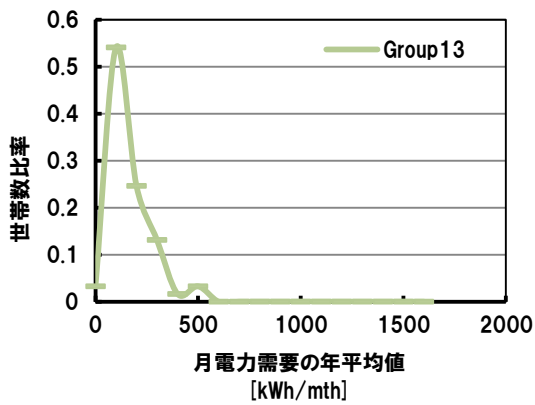
図 4-5 各グループにおける各世帯の電力需要の分布 (1)



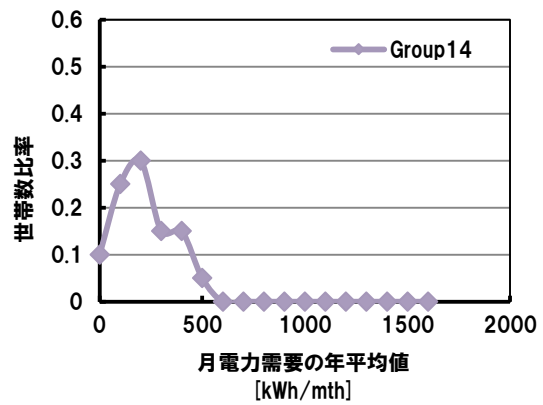
(g) グループ 8



(h) グループ 9



(i) グループ 13



(j) グループ 14

図 4-6 各グループにおける各世帯の電力需要の分布 (2)

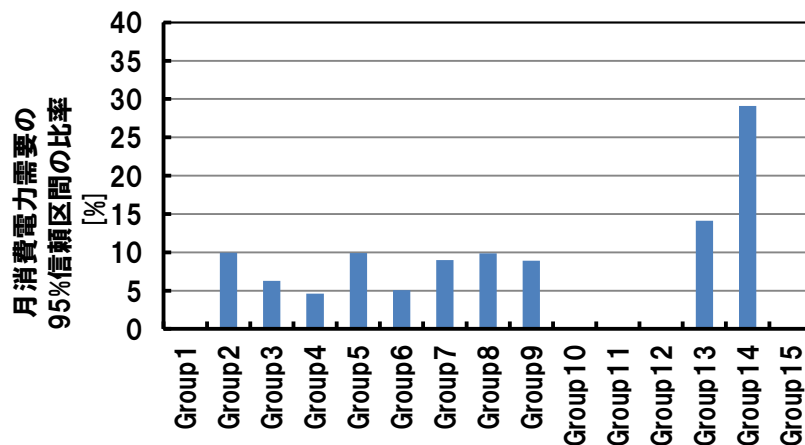


図 4-7 各グループにおける電力需要の平均値に対する 95%信頼区間の幅

4.4.4 各世帯属性における各グループの割合

基礎的なデータベース構築にあたり、各世帯属性（住宅種別、居住地域、世帯人数、契約容量、延床面積、世帯収入）における各グループに属する世帯の割合を算出し、世帯属性の要素の変化と各グループの割合の変化について検証した。前述の通り、世帯属性の要素の値が変化した場合に各グループの割合も変化する世帯属性が分かれば、ある世帯群において当該世帯属性を調査し各グループの割合を算出することができる。

(1) 住宅種別

全世帯および住宅種別の各グループの割合を図 4-8 に示す。同図より、全世帯のうち、69%の世帯は月別電力需要の年平均値に対して冬期の電力需要の比率が他の季節と比較して大きい世帯（グループ 3～6）のグループに属することが分かる。近年は、エアコン等の性能向上により、空調に関して電気をエネルギー源とした機器で行う家庭が増えてきている。そのため、夏期および冬期において電力需要が大きくなる傾向にある。加えて、文献[5]の通り、関東地方においてはエネルギー消費量では冷房よりも暖房の方が電力需要は大きいことから、月別電力需要の年平均値に対して冬期の電力需要の比率が大きい世帯が多いと言える。

各住宅種別においてその傾向を確認したところ、月別電力需要の年平均値に対して冬期の需要の比率が大きい世帯の割合は、戸建住宅では 79%であるのに対し、集合住宅では 55%である。集合住宅においては、床面積が小さい、周りが他の世帯に囲まれている、と言った理由から暖房負荷が戸建住宅と比べて小さくなる傾向にある。また、戸建住宅においては、オール電化住宅が約 200 世帯含まれており、それらの世帯では給湯需要が電力需要としてカウントされる

ため、冬期の需要がより大きくなる傾向にある。しかしながら、オール電化住宅を除いた場合でも、戸建住宅においては月別電力需要の年平均値に対して冬期の電力需要の比率が大きい世帯の割合は 75%であり、集合住宅と比較して、より多くの世帯において冬期の電力需要の比率が大きい。

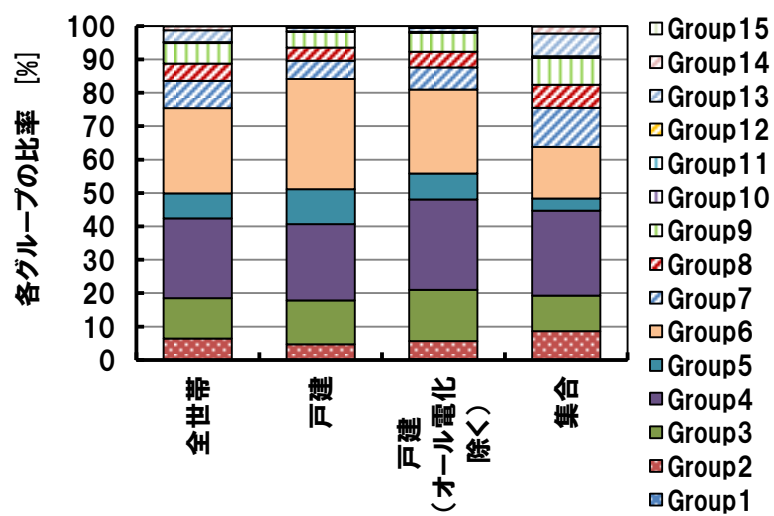


図 4-8 全世帯および住宅種別の各グループの割合

(2) 居住地域

図 4-9 に各都県別の各グループの世帯数比率を示す。いずれの都県でも月別電力需要の年平均値に対して冬期の電力需要の比率が他の季節と比較して大きい世帯（グループ 3～6）の割合が 62%以上を占めている。加えて、その割合は、南関東（東京，神奈川，埼玉，千葉）よりも北関東（茨城，栃木，群馬）の方が多く，南関東が 62～66%であるのに対し，北関東は 80～83%程度を占めている。前述の通り，冬期の需要の増加は暖房需要や給湯需要に影響されているため，都県別の比率の違いは各都県の気温の違いが影響していると考えられる。

図 4-10 に月別平均気温について，南関東（観測地点：東京，神奈川（横浜），埼玉（さいたま），千葉）と北関東（観測地点：茨城（つくば），栃木（宇都宮），群馬（前橋））の各地域の月平均気温を示す⁶⁾。同図より，各地域の月別平均気温は，夏期（7～9月）において平均 1.2℃，冬期（12～1月）において平均 2.2℃，北関東の方が南関東よりも低い。その影響から，北関東で南関東と比較して夏期の冷房需要が小さく，冬期の暖房需要が増加したことが考えられ，前述の通り，冬期の需要が大きい世帯の割合が高いと考えられる。

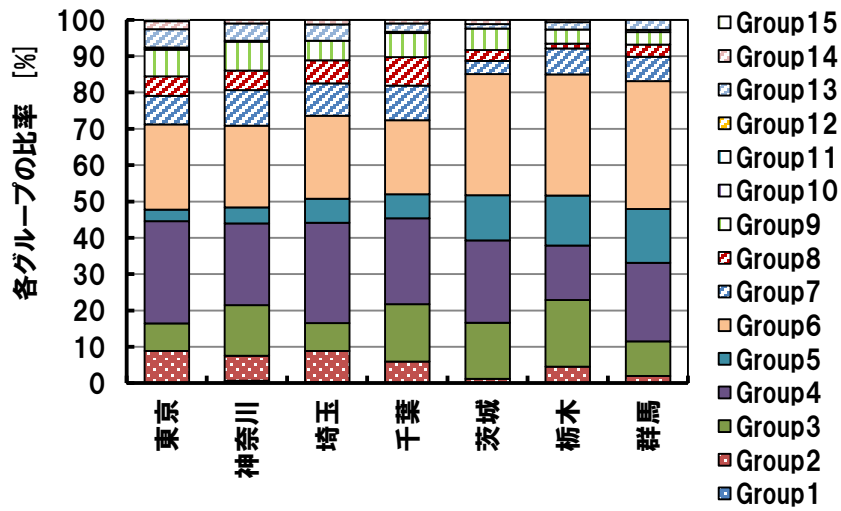


図 4-9 各都県別の各グループの割合

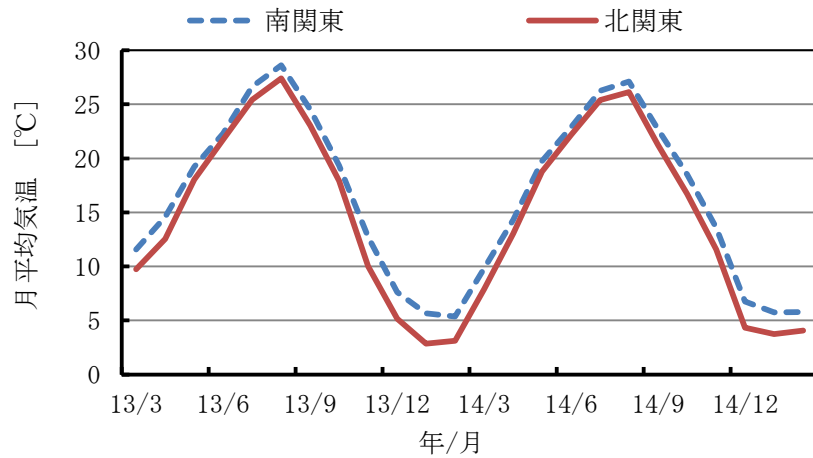


図 4-10 各地域の平均気温

(3) 世帯人数

図 4-11 に各世帯人数における各グループの比率を示す。同図より，月別電力需要の年平均値に対して冬期の電力需要の比率が他の季節と比較して大きい世帯（グループ 3～6）の割合は，世帯人数が増加するにつれて大きくなる。一方で，月別電力需要の年平均値に対して夏期の電力需要の比率が他の季節よりも大きい世帯（グループ 7～8, 12～14）の割合は，一人世帯では 37%であったが，5人以上の世帯ではその割合が 9%まで減少する。前述の通り，月別電力需要の年平均値に対して夏期の電力需要の比率が他の季節より大きい世帯のグループについては，月別電力需要の年平均値が他のグループと比較して小さいことが確認できており，文献[7]の結果と同様に，世帯人数が少ないほど電力需要が小さくなる傾向が確認できる。

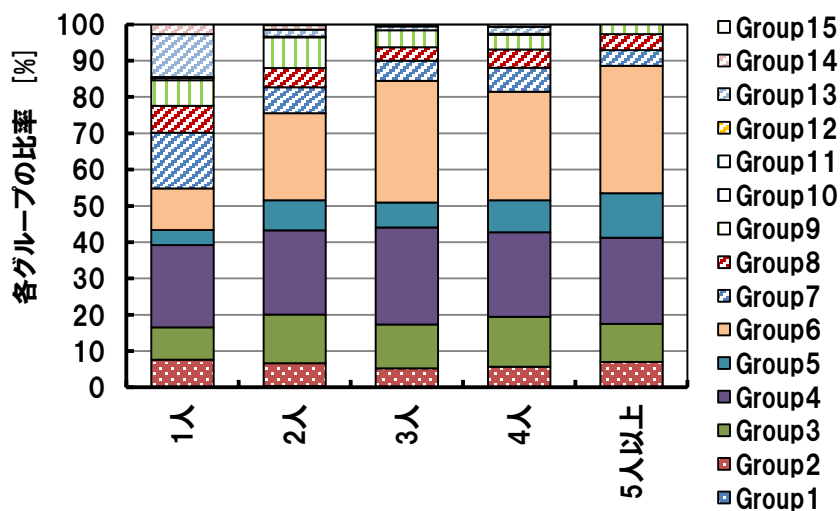


図 4-11 世帯人数別の各グループの割合

(4) 契約容量

図 4-12 に各契約容量における各グループの比率を示す。同図より、月別電力需要の年平均値に対して冬期の電力需要の比率が他の季節と比較して大きい世帯（グループ 3～6）の割合は、契約容量が増加するにつれて大きくなり、20A 以下ではその割合が 48%であったのに対し、6kVA 以上の世帯ではその割合が 94%にまで上昇する。特に 50A 以上では契約容量の増加に伴い年平均消費に対して冬期の電力需要の比率が大きく、夏期の電力需要の比率が小さいグループ(グループ 5, 6)の割合が増加する。これは当該契約容量では、オール電化住宅の割合が増加していることが影響していると考えられる。実際に、各契約容量において、60A の場合は 28%の世帯が、6kVA 以上の場合は 69%の世帯がオール電化住宅である。

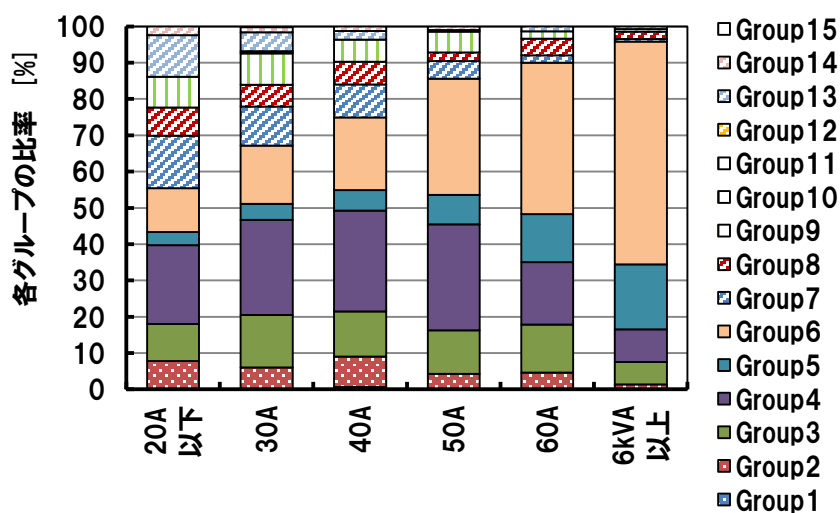


図 4-12 各契約容量における各グループの割合

(5) 延床面積

図 4-13 に各延床面積における各グループの比率を示す。同図より、世帯人数の場合と同様に、月別電力需要の年平均値に対して冬期の電力需要の比率が他の季節と比較して大きい世帯（グループ 3～6）の割合は、延床面積が増加するにつれて大きくなり、39m²以下では 53%であるのに対し、150m²以上では 86%と 33%上昇する。このような変化の度合いは、世帯人数の場合とほぼ同等である。

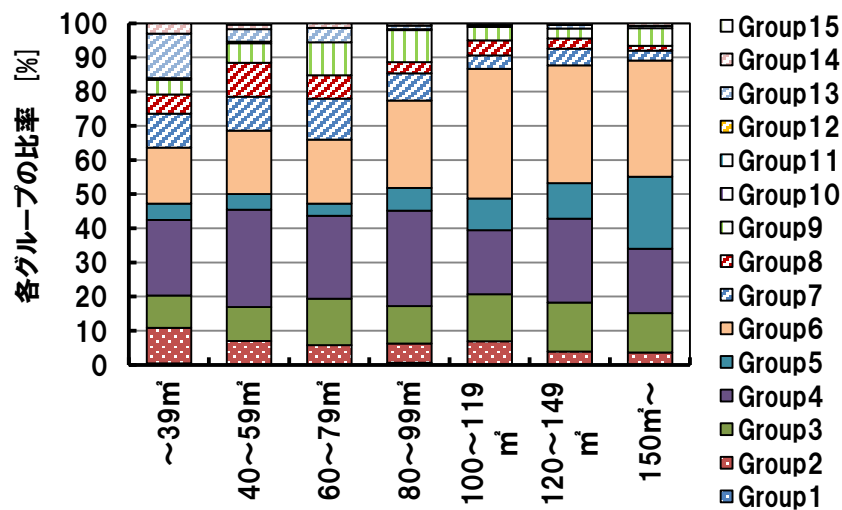


図 4-13 各延床面積における各グループの割合

(6) 世帯収入

図 13 に各世帯収入における各グループの比率を示す。同図より、他の世帯属性の場合と同様に、世帯収入が増加するにしたがい、月別電力需要の年平均値に対して冬期の電力需要の比率が他の季節と比較して大きい世帯（グループ 3～6）の割合は大きくなる。その割合は、世帯収入が 200 万円以下では 61%であるが、1000 万円以上では 71%と 10%増加する。ただし、世帯属性の要素が変化した場合の変化の度合いは、他の要素と比較してあまり大きくない。

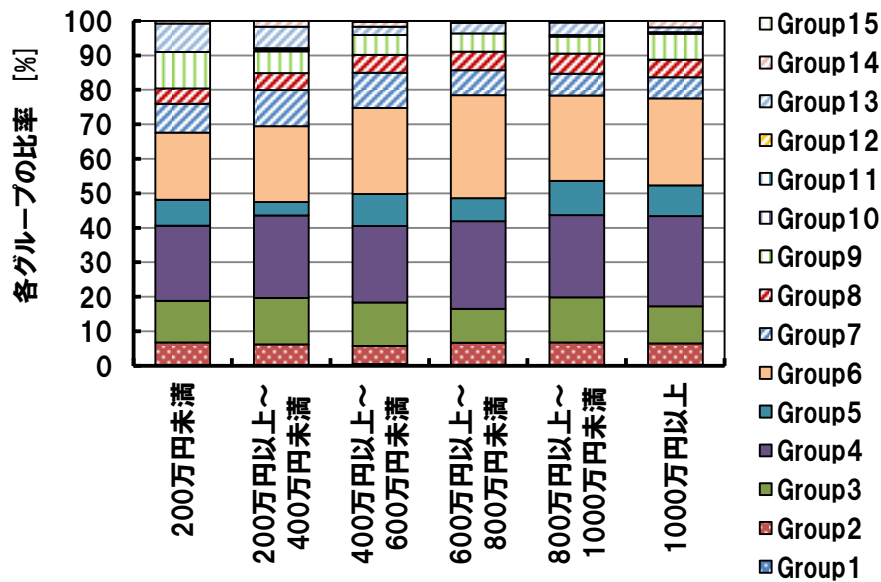
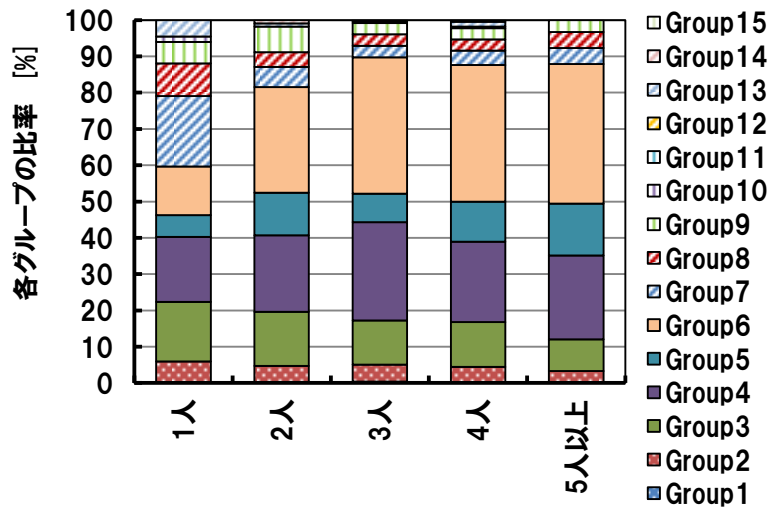


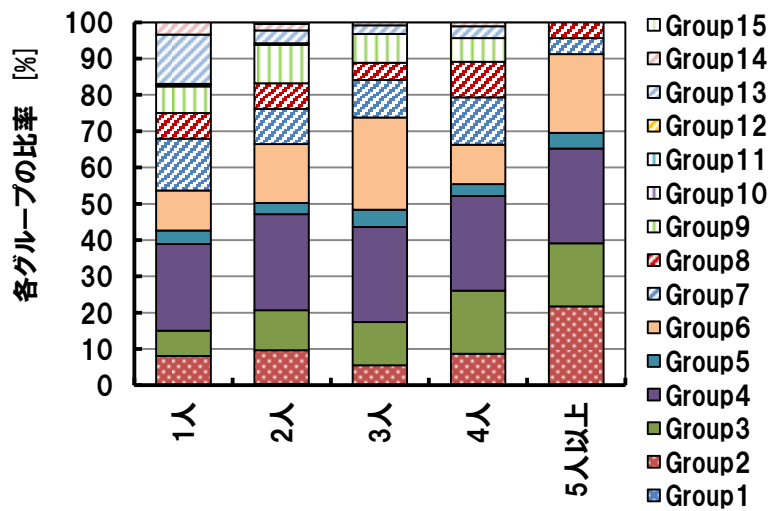
図 4-14 各世帯年収における各グループの割合

(7) 住宅種別×世帯人数

統計情報などから容易に取得できる世帯属性の組み合わせとして、本節(1)住宅種別と本節(3)世帯人数の結果の組み合わせについて検討した。結果を図 4-15 に各住宅種別における各世帯人数での各グループの割合を示す。同図より、各住居種別に分けても、(3)に記載した傾向と同様に、月別電力需要の年平均値に対して冬期の電力需要の比率が他の季節と比較して大きい世帯(グループ 3~6)の割合は、世帯人数が増加するにつれて大きくなる。ただし、(1)で述べた通り、戸建住宅の方が集合住宅よりも当該グループの世帯が多い。その影響から、グループ 3~6 の割合は、図 4-15(a)の戸建住宅においては 1 人世帯の場合は当該グループの割合が 54%であったのに対し、5 人世帯の場合では 85%と 31%増加していたが、図 4-15(b)の集合住宅においては、1 人世帯場合は 46%であったのに対し、5 人世帯の場合では 70%と 24%しか増加しなかった。



(a) 戸建住宅



(b) 集合住宅

図 4-15 各住宅種別における各世帯人数での各グループの割合

4.4.5 考 察

本章での検討の結果，いずれの世帯属性においても，属性の要素の値によって割合が変化するグループは，月別電力需要の年平均値に対して冬期または夏期の電力需要の比率が他の季節と比較して大きいグループ 3～8 や グループ 12～14 である．また，当該グループの割合は，住宅種別と世帯人数を組み合わせた場合，住宅種別によって変化の傾向が異なることが確認できた．一方で，世帯属性の要素の値が変化したとしても割合があまり変化しないグループは，月別電力需要の年平均値に対して冬期および夏期の電力需要が大きいグループ 1～2 や，年間を通して変動の小さい世帯のグループ 9～11, 15 である．それらのグループはいずれの世帯属性においても 1 割程度ずつを占めていることが確認できた．

4.5 月別の全世帯合計電力需要に関する予測の一例

提案モデルは，予測対象世帯群において，どのような電力需要の傾向を持った世帯がどの程度の割合で存在するかを予測し，合計の月別電力需要を予測するものである．そこで，提案モデルによる予測結果の一例として，前節に記載した住宅種別×世帯人数別を世帯属性として用いた予測結果を示す．

4.5.1 前提条件

本節の検討では，上述 1,720 世帯からランダムに 100 世帯を抽出して予測対象世帯群とした．また，残りの 1,620 世帯を学習用データとして，各グループの割合および各グループの月別電力需要の平均値に関するデータベースを構築した．

今回の予測結果の一例において予測対象世帯として抽出された世帯は，戸建住宅：60 世帯，集合住宅：40 世帯が抽出された．抽出した 100 世帯における各

住宅種別での世帯人数別構成割合を図 4-16 に示す。予測対象世帯群の月別電力需要を予測するにあたり、データベースから各住宅種別における世帯人数別の各グループの割合を参照し、図 4-16 の各世帯人数に割り当て 100 世帯での各グループの割合を予測する。

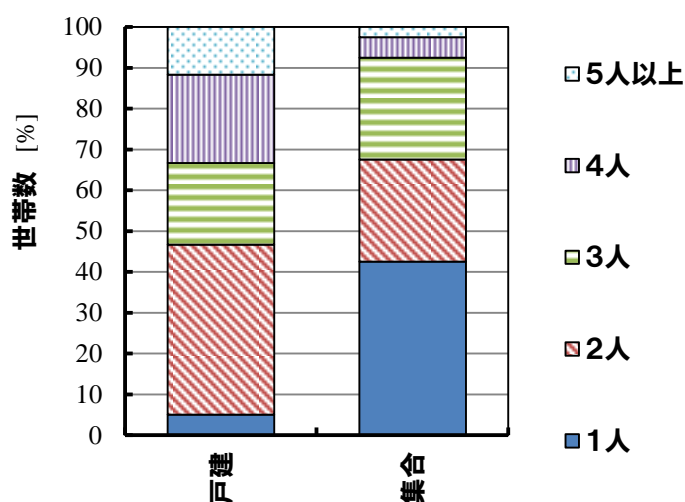


図 4-16 抽出した 100 世帯における各住宅種別での世帯人数別構成割合

4.5.2 予測結果

図 4-17 に予測対象世帯群における各グループの割合（図中の予測）の予測結果を示す。また、予測対象世帯群の月別電力需要について、前述の方法でグループ化した際の各グループの割合（図中の 100 世帯）を同図に併記する。同図に示す通り、提案手法では合計電力需要を予測するにあたり、どのような電力需要の傾向を持った世帯がどの程度の割合で存在するかを把握できることができる。今回の推定結果では、各グループの割合は概ね一致しているが、例えば戸建住宅のグループ 6 の割合については、予測対象世帯群の場合には 13 世帯であるが、予測結果では 20 世帯と 7 世帯大きく予測していた。

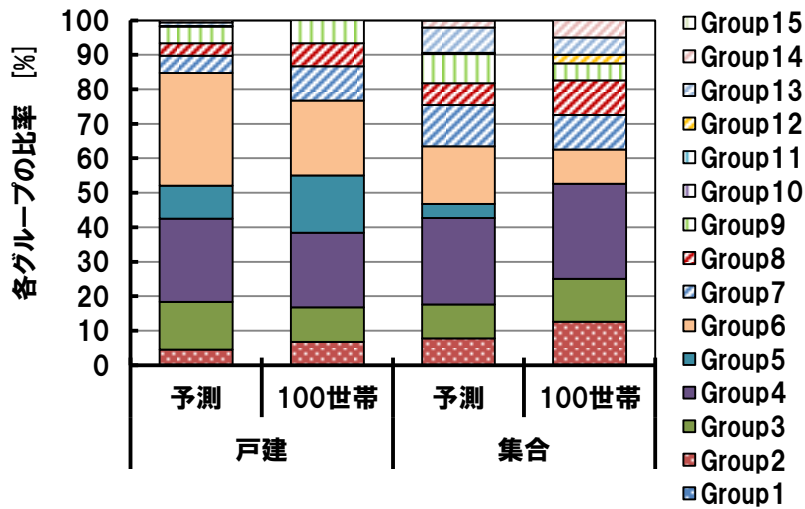


図 4-17 各住宅種別におけるデータベースから算出した各グループの割合（図中の予測）と抽出した 100 世帯の各グループの割合

図 4-18 に提案する予測モデルにおいてデータベースに保存されている各グループの月別電力需要の平均値から予測した月別電力需要と、予測対象世帯群の月別電力需要を示す。同図より、夏期の電力需要は一致しているが、冬期の電力需要の予測値が大きいことが分かる。これは、前述の通り、冬期の電力需要の比率が月別電力需要の年平均値に対して大きいグループ 6 の割合を実際よりも大きく推定したことが原因である。なお、予測結果について式(4.1)で算出した年平均絶対誤差率は 8.9%であった。

$$Error = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} \frac{|P_{100}(m) - P_e(m)|}{P_{100}(m)} \times 100 \quad (4.1)$$

ここで、 $P_{100}(m)$ は予測対象世帯群の m 月における 100 世帯の電力需要の平均値を、 $P_e(m)$ は予測した m 月の電力需要を表す。

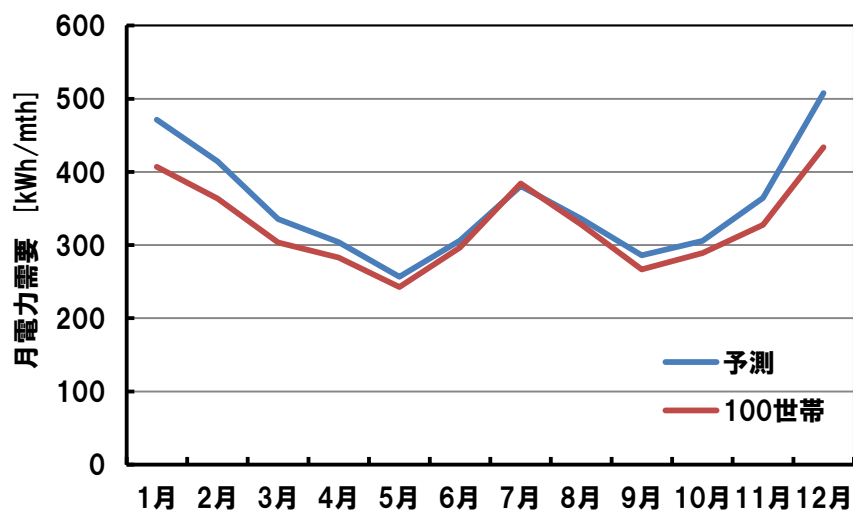


図 4-18 月別電力需要の予測結果

4.5.3 推定結果についての考察

本提案手法では前述の通り世帯数が少なく電力需要に偏りがある世帯群では再現できない可能性がある。すなわち、データベース構築の際、各グループに関して、十分にばらつきがならされる程度の世帯数が必要である。24 第 3 章で述べた通り、電力需要のならし効果が飽和するには 50 世帯以上の世帯数が必要である。今回は予測対象として 100 世帯を抽出して検討を行ったが、100 世帯では一部のグループの世帯数が少ないため、電力需要のばらつきが十分にならされていなかったと考えられる。また、本研究では、各グループの割合を算出する際に一例として統計情報から容易に得られやすい世帯属性として住宅種別と世帯人数別を用い、両者の重みを同じとしてとしている。今後、用いる属性の種類や数、およびその組み合わせや複数の属性を用いる際の各属性の重みについては検討が必要であり、提案手法の特徴を活かすためにも、各グループの割合を更に精度良く推定できる世帯属性を求める必要がある。加えて、他の地域や偏った属性を持った世帯群に対しても同じデータベースから推定が行えるか

検証する必要がある。さらに、提案手法が有効となる対象世帯数についても検証の必要がある。

4.6 第4章のまとめ

本章では、公開されている統計情報や、新規参入電力小売事業者がユーザーとの契約情報から容易に入手できる住居形態、居住地、世帯人数等の世帯属性情報を基に、どのような電力需要の傾向を持った世帯がどの程度存在するかを把握でき、その情報を基に世帯群の合計の月別電力需要を簡易的に予測する手法を提案した。また、提案手法の構築で必要となるデータベースについて、一般世帯データを用いて行った基礎的検討結果について示した。

その結果、今回の調査対象とした世帯は電力需要の傾向別に全 15 グループに分類でき、特にその大半は冬期の電力需要の比率が他の季節と比較して大きいグループに分類されることが分かった。また、当該グループの世帯は集合住宅よりも戸建住宅に多く、世帯人数が増加するにしたがってその割合が増加することが分かった。

また、提案手法による推定結果の一例として、上述 1,720 世帯からランダムに 100 世帯を抽出し、残りの 1,620 世帯によってデータベースを構築し、抽出した 100 世帯における電力需要の傾向別の各グループの割合と当該割合に基づく合計需要の推定を試みた。その結果、住宅種別世帯人数別の各グループの割合に関するデータベースに基づき、提案手法を用いることで、各電力需要の傾向を持った世帯の割合を把握することができ、年平均月別絶対誤差率 8.9% で推定することができた。

第4章の参考文献

- [1] 下田吉之，山口容平：「エネルギーエンドユースモデルの研究開発動向」，電気学会論文誌 B（電力・エネルギー部門誌），Vol.135，No.6 pp.347-350 (2015)
- [2] 伊香賀俊治，三浦秀一，外岡豊，下田吉之，小池万里：「住宅のエネルギー消費量と CO2 排出量の都道府県別マクロシミュレーション手法の開発」，第 1 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集，pp.242-243 (2005)
- [3] 辻毅一郎，佐伯修：「電力日負荷曲線生成のためのボトムアップシミュレーションモデル」，第 14 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集，pp. 239-244 (1998)
- [4] 森田圭，中野裕一，高江洲昇，城丸浩希，加藤丈佳，鈴置保雄，真鍋勇介，舟橋俊久：「数百世帯の家庭の電力需要特性と電力需要予測に関する検討」，電気学会電力技術・電力系統技術研究会 電気学会研究会資料，分冊 1，PE-14-058 / PES-14-058 (2014)
- [5] 一般財団法人省エネルギーセンター：「エネルギー・経済統計要覧 2014」，(2014)
- [6] 気象庁ホームページ：「過去の気象データ・ダウンロード」
<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>
(最終アクセス日：2016/12/13)
- [7] 株式会社三菱総合研究所：「平成 24 年度エネルギー消費状況調査（民生部門エネルギー消費実態調査）報告書」，(2013)

第5章 翌日電力需要予測モデル

5.1 はじめに

本章では、新規参入電力小売事業者が日々の翌日計画で活用できる翌日電力需要予測についてFC世帯データを用いて検討した結果を示す。なお、提案する予測モデルでは、第3章で得られた電力需要特性の情報を基に適切な特徴量を選択することで、簡易的な手法でも実運用に耐え得るモデルとなることを期待している。

5.2 予測モデル

本論文では、参照日の決定方法として、運用者が予測の根拠を想定しやすいように、日付または気温を基準とする簡易的な条件で抽出した過去のデータ参照日の実績需要を用いた手法を検討する。なお、本予測は翌日計画での活用を想定しているため、図5-1に示す通り、予測対象日の前々日までの電力需要データと気象実績、前日早朝に発表される気象予報（天候、最高気温、最低気温）のみを用いて予測した。

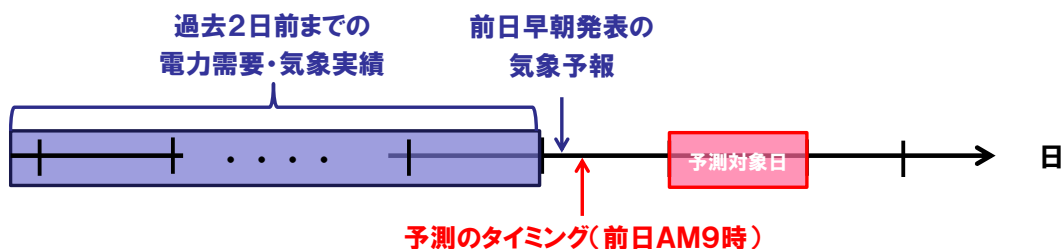


図 5-1 予測時に利用可能なデータ

5.2.1 日付を基準とした参照日決定方法

日付を基準としたデータ参照日の決定方法に関して、以下の 5 つの方法を検討した。図 5-2 に予測対象日が 30 日の場合における各手法の予測に用いる電力需要データの参照日を示す。なお、以下に記載の条件に該当する参照日が存在しない場合は前日値を用いた。

月曜日	火曜日	水曜日	木曜日	金曜日	土曜日	日曜日
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	Method 5 16	17	Method 4 18 19		20	21
22	23	24	25	Method 2 26	27	Method 1 28
Method 3						
Method 4						
29	30	31				
データ利用不可	予測対象日					

図 5-2 予測対象日が 30 日の場合における予測に用いる参照日の例

【参照日の決定手法】

Method 1：前日の同時刻の電力需要を予測値とする方法

Method 2：直近の平日／休日の同時刻の電力需要を予測値とする方法

Method 3：直近過去 1 週間の同時刻の電力需要の平均値を予測値とする方法

Method 4：平日については過去 7 日間の、休日については過去 4 日間の同時刻の電力需要の平均値を予測値とする方法

Method 5：過去 4 週間の同曜日の同時刻の電力需要の平均値を予測値とする方法

最も単純な手法として、前日の電力需要を参照する Method 1 を想定した。これに対し、前述第 3 章の通り、平日と休日とで電力需要パターンに差があったことを考慮して Method 2 を想定した。ただし、特に冬期などは前日からの電力需要の変化が大きいことから、直近日 1 日だけを参照日とした場合には電力需要のばらつきによって誤差が大きくなることが予想されるため、Method 3 を想定した。また、平日／休日で電力需要パターンが異なることに加えて、直近日 1 日のみを参照した場合にばらつきが現れることを避けるため、平日／休日を考慮して直近 1～2 週間の電力需要データを参照日とする Method 4 を想定した。さらに、各曜日によって電力需要パターンが異なる可能性があり、かつ直近日 1 日だけを参照した場合にばらつきが現れることを避けるため Method 5 を想定した。

5.2.2 気温を基準とした参照日決定方法

前述第 3 章の通り、気温と電力需要との間には相関関係がみられた。そこで簡易的に気温を基準として予測に用いる参照日を決定して予測する方法として、

Method 6： 気温を基準として参照日を決定する方法

を想定した。Method 6 では、以下の予測手順により予測を行う。

(1) 予測に用いる参照日の抽出

過去 X 日間において、実績気温が翌日の予報気温に対して $\pm \Delta t^{\circ}\text{C}$ 以内の日を予測に用いる電力需要データの参照日として抽出する。

なお、過去 X 日間において条件を満たす日が 3 日以上ない場合には算出不可として前日の値を予測値とする。

(2) 各時間帯の電力需要の平均値の予測

前述第 3 章で定義した通り、1 日を 5 つの時間帯に分け、各時間帯において

電力需要の平均値を予測する。予測方法は、(1)の条件で抽出された参照日の電力需要の①単純平均、②気温に対する 1 次回帰式の 2 パターンにより予測する。

(3) 各時間帯の電力需要の平均値に対する 30 毎の比率の予測

各時間区分の平均電力需要に対する 30 分毎の比率については、(1)の条件で抽出された日の比率の単純平均により予測する。

(4) 翌日電力需要の予測

(2)で予測した各時間帯の電力需要の平均値に、(3)で予測した各時間帯の電力需要の平均値に対する 30 毎の比率を掛け合わせることで、翌日電力需要を予測する。

なお、各抽出条件については、気温は最高気温または最低気温、 X は 10~60 日まで 10 日刻み、 Δt は 1~15°C まで 1°C 刻みを想定した。したがって、参照日の抽出条件は、参照期間 (6 通り) \times Δt (15 通り) \times 適用気温 (2 通り) \times 算出方法 (2 通り) = 360 通りある。本論文では、後述 5.3.1 で示す評価指標に基づき、各パラメータの組み合わせにおいて最も予測精度が良い手法を今回の手法 (Method 6) として採用した。

なお、各 30 分コマ単位ではなく各時間区分単位において気温と電力需要との関係を用いて予測した理由は、各 30 分コマの電力需要は日によって大きくばらつくため、日の代表気温だけで電力需要の傾向を捉えることは難しいためである。一例として、日平均気温が $10^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ ($=0^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$) の日における日平均気温と 7 時の電力需要との関係を図 5-3 に示す。同図には日平均気温と電力需要との 1 次回帰式も併せて示す。同図より、日平均気温と 7 時の電力需要とは概ね 1 次回帰式で近似できるものの、日によっては近似式から大きく外れている日も存在し、1 次回帰式の R^2 は 0.71 であった。そこで、電力需要と気温との

関係が当該時間コマの傾向と似ている前後数時間の電力需要の平均値であれば、より精度良く近似できることが期待されることに着目し、前述第 3 章で定義したように、時間帯別電力需要の傾向を考慮して 1 日を以下の 5 つの時間帯に分け、各時間区分の平均値について電力需要と気温との関係を確認した。図 5-4 に、日平均気温が $10^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ ($=0^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$) の日における日平均気温と時間区分 2 (6:00-9:00) の電力需要との関係を図 5-4 示す。同図より、日平均気温と 7 時の電力需要と比較してそのばらつきが小さくなり、1 次回帰式の R^2 は 0.82 であった。以上の理由から、本論文では前述の通り日平均気温と時間区分の電力需要との関係を利用して予測を行った。

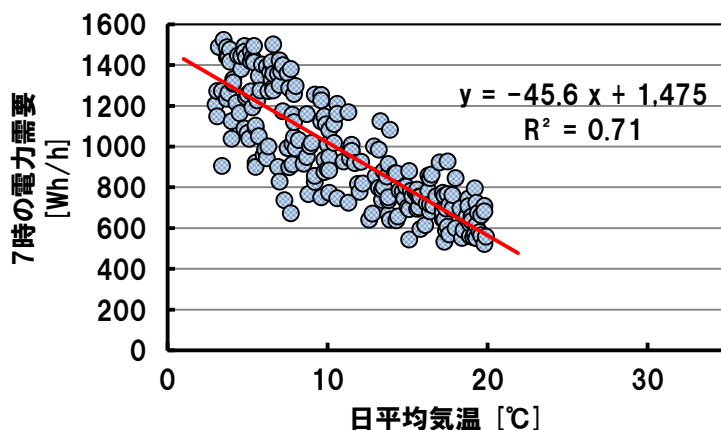


図 5-3 7 時の電力需要と日平均気温との関係

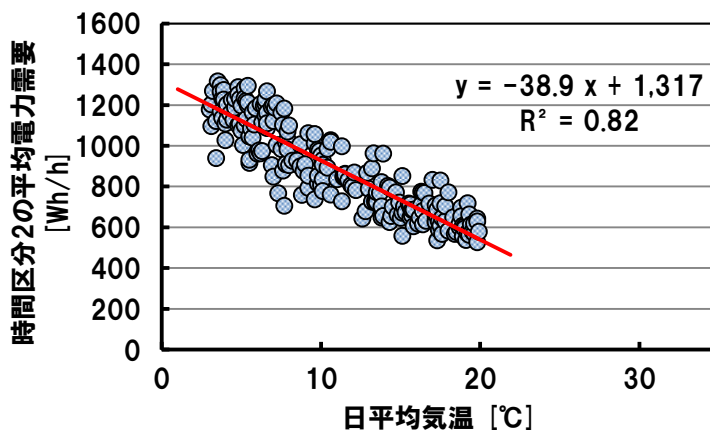


図 5-4 時間区分 2 の平均電力需要と日平均気温との関係

5.3 各データ参照日決定方法における予測結果

5.3.1 予測結果の評価指標

本章では, (5.1)式によって日別(1日48コマ(30分単位))の平均絶対誤差(Mean Absolute Error 以降, MAE)を算出し, 月, 年といった各期間の平均値を算出するなどして予測精度を評価した.

$$\text{日別 MAE} = \frac{\sum_{t=1}^{48} |P_f(t) - P_{ob}(t)|}{\sum_{t=1}^{48} P_{ob}(t)} \times 100 [\%] \quad (5.1)$$

ここで, $P_{ob}(t)$ および $P_f(t)$ は, 各 30 分単位の時刻 t における実測値および予測値を示す.

5.3.2 日付を基準とした参照日決定方法による予測結果

図 5-6 に 5.2.1 で示した 5 つの手法の日別 MAE を示す. また, 図 5-6 に各手法で 1 年間予測した場合の日別 MAE の年平均値を示す. 図 5-6 より, Method 5 を除き, いずれの手法でも日別 MAE の年平均値は 7~8%程度と同程度で予測できている. ただし, 図 5-6 に示す通り, 日によって最も予測精度の良い手法は異なるため, 年間を通して 1 つの手法で予測するのではなく, 日ごとに最も予測精度の良い手法を選択することができれば, 予測精度を改善できる可能性がある. 図 5-7 に各手法が最適な手法であった日数の割合を示す. 同図より, 日別 MAE の年平均値が 5 つの手法の中で最も大きい Method 5 についても年間の約 20%の日(72日)において日別 MAE が最も小さかったことが分かる.

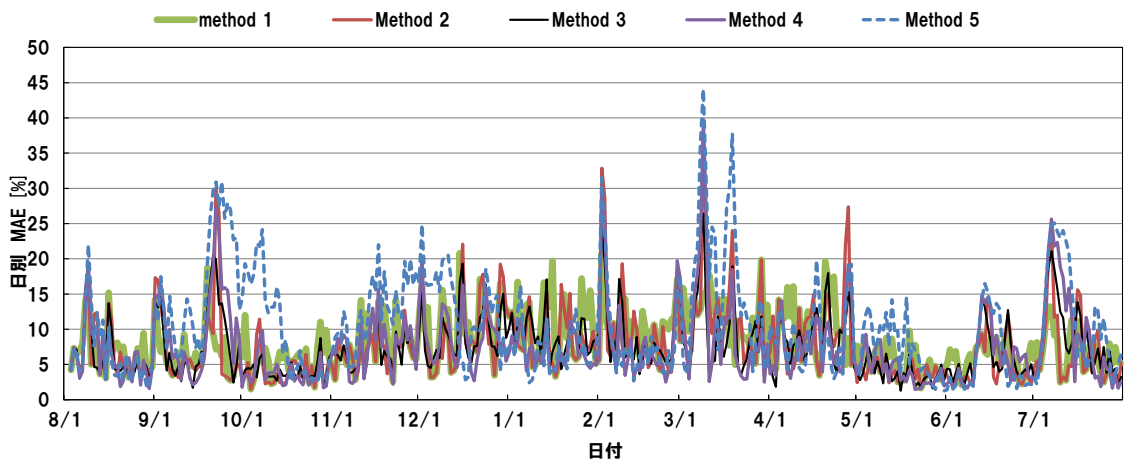


図 5-5 各手法の日別 MAE

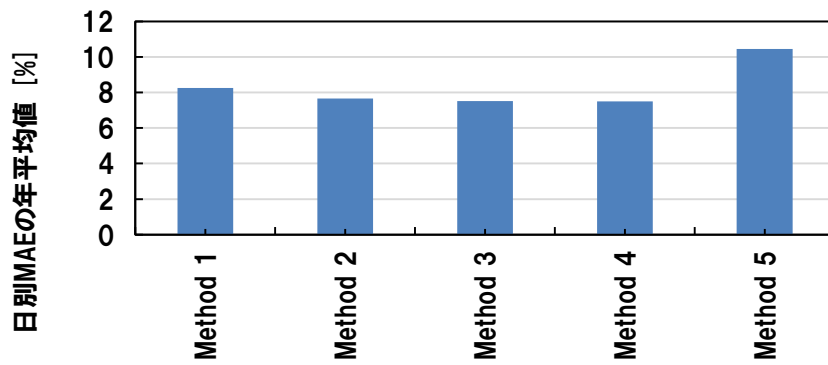


図 5-6 各手法の日別 MAE の年平均値

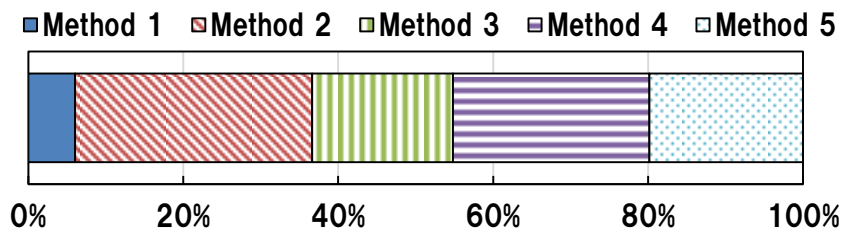


図 5-7 最適な手法であった日数の割合

各データ参照方法の違いが予測精度に与える影響について、以下のように考察する。

(1) 曜日（平日／休日）を考慮して参照日を決定した場合

Method 1 と Method 2 を比較した場合、日別 MAE の年平均値は 0.6% 向上した。前述第 3 章の通り、日平均電力需要については曜日によって大きさは変わらないが、時間帯によっては電力需要の大きさが平日／休日によって異なっているため、曜日を考慮することで予測誤差を低減できた。

(2) 過去数日を参照日として抽出した場合

Method 2 と Method 4 を比較した場合、日別 MAE の年平均値は 0.8% 向上した。前述第 3 章の通り、前日のみを参照日とした場合に、特に冬期などは電力需要のばらつきが大きいため誤差が大きくなる。過去数日の平均値を予測値とすることで、日々の電力需要の変動の影響を避けることができるため、予測誤差を低減できた。

(3) 曜日（平日／休日）を考慮して過去数日を参照日とした場合

5 つの手法の中で、平日／休日の条件の一致する過去数日間の平均値を予測値とする手法（Method 4）が最も予測精度が良かった。(1)および(2)の効果が組み合わさることで予測誤差を更に低減することができた。

(4) 同じ曜日のみを参照日とした場合

Method 5（過去 4 週間の同曜日の平均値）の日別 MAE の年平均値は 10.4% と他の 4 つの手法と比較して 2~3% 程度悪かった。これは、冬から春に季節が変わる 3 月などにおいて同じ曜日のデータを 1 カ月近くさかのぼると、電力需要の傾向が予測対象日と参照日との間で変わってしまうため、予測精度が大幅に悪化する日が存在すると考えられる。

ただし、図 5-7 に示した通り、年間の 20% 日においては曜日によって電力

需要パターンが異なることを考慮して予測すべきであったため、同じ曜日のみの参照によって予測精度が改善する日もあると考えられる。

結果として、上記 5 手法の中では Method 4 が最も予測精度が高く、日別 MAE の年平均値が 7.5% で予測できた。また、日付を基準として参照日を決める場合には、①平日／休日を考慮して参照日を設定する、②予測値を過去数日の平均値とする、③同じ曜日を参照日として設定する、の 3 パターンを組み合わせることで予測精度をさらに向上できる可能性があることが分かった。

5.3.3 気温を基準とした参照日決定方法による予測結果

図 5-8 に参照期間を 20 日間とした場合の各パラメータにおける日別 MAE の年平均値の一例を示す。同図より、抽出データの単純平均で推定する場合、対象温度範囲を広げることで参照データの数は増えるが、温度範囲を広げすぎると誤差が大きくなる。例えば、前述図 5-4 に示す通り、参照気温幅 $\Delta t = 10^{\circ}\text{C}$ とした場合、参照日の電力需要は $500\text{Wh/h} \sim 1400\text{Wh/h}$ であり変化が大きい。したがって、参照日の電力需要から単純平均値を予測値とする場合には、 Δt をなるべく狭くして予測する必要があると考えられる。また、温度範囲をある程度広げると、対象期間の大半の日が参照日となるため、 Δt が 10°C 以上の場合には MAE の年平均値は変わらなかった。

一方で、1 次回帰式で算出する場合、温度範囲が狭いと少ないデータ数で回帰式を算出するため誤差が大きい。しかし、温度範囲をある程度以上広げることで、適切なデータ数で回帰式を算出でき、誤差が低減できることが分かる。また、算出時に適用する気温について最低気温と最高気温を比較した場合、日別 MAE の年平均値は最低気温の方が小さい。これは各予報気温の予測精度が影響している。図 5-9 に本研究で用いた気温の予報値と実測値との差（予報値が大

きい場合はプラス)の頻度分布を示す。一般に、最低気温は明け方に記録され、計測時刻のばらつきは小さい。それに対して、最高気温は計測時刻が基本的には昼過ぎではあるものの、気象条件によってその時刻はばらつきやすく、値も当日の天候などの影響により変動しやすい。その結果、予報値と実測値の絶対誤差の平均値は、最高気温では 1.3°C 、最低気温では 1.0°C であり、最低気温の方が予報値の誤差は小さい。また、最低気温の方が最高気温よりもばらつきが小さく偏りも小さい。更に、前述 3.2 の、最低気温に対する電力需要のばらつきのほうが、最高気温に対する電力需要のばらつきよりも小さい。以上の理由から、1 次回帰式を用いて電力需要を予測する場合には最低気温を用いた方が予測精度は良かったと考えられる。

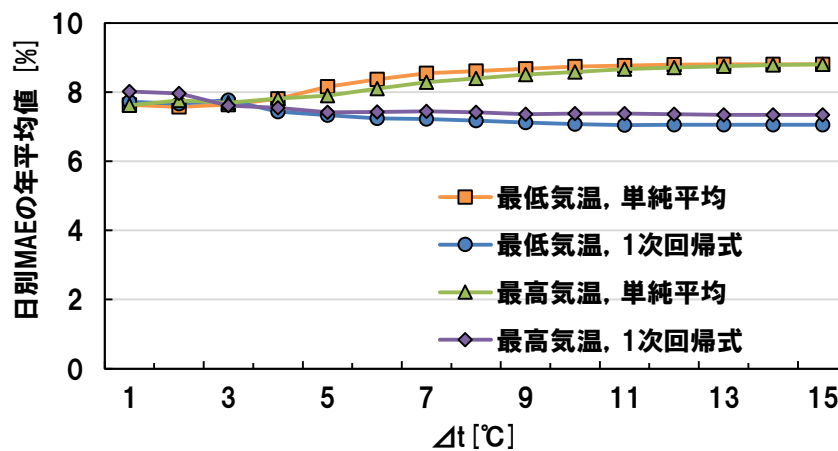


図 5-8 参照期間 20 日とした際の各パラメータでの予測結果

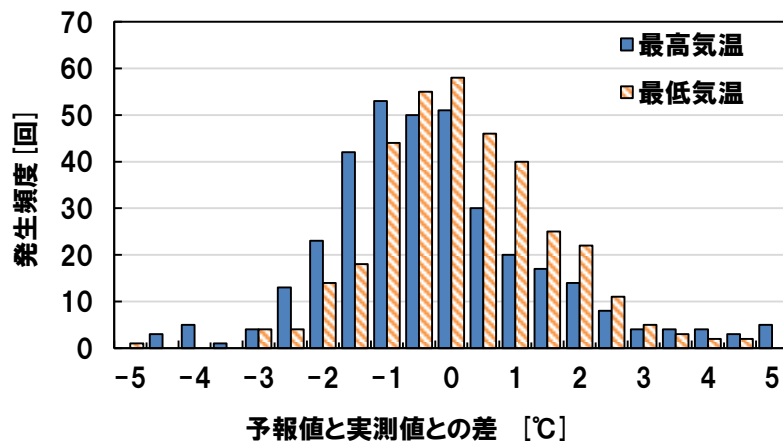


図 5-9 気温の予報値と実測値との差の発生頻度

図 5-10 に最低気温を用いて 1 次回帰式を算出して予測する場合の各パラメータでの予測結果を示す。同図より、前述の通り参照気温範囲を広げることで適切なデータ数で回帰式を算出でき、誤差が低減できることが分かる。ただし、参照期間を 40 日以上に広げると、気温と電力需要との関係が予測対象日とは異なる時期のデータを参照して回帰式を算出してしまうため、予測誤差が増加することが分かる。

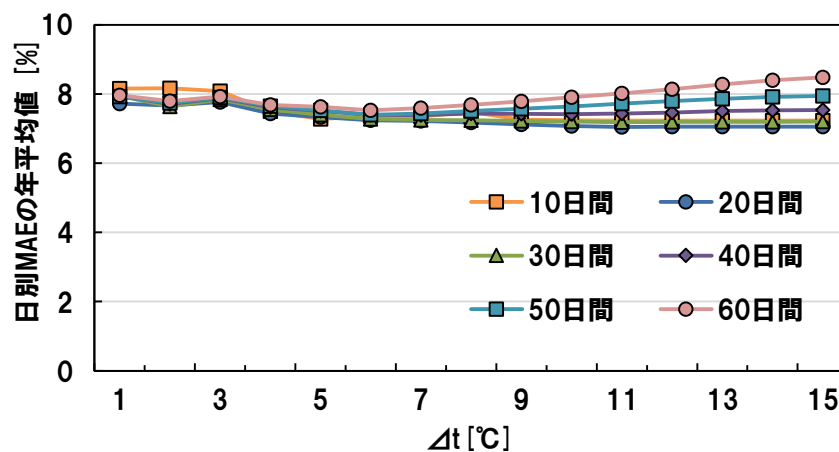


図 5-10 各パラメータで最低気温を用いて 1 次回帰式により予測した結果

なお、今回提案した手法では、各パラメータについて、参照期間：20 日間、 Δt ：11°C，使用予報気温：最低気温，算出方法：1 次回帰式と設定した場合が最も予測精度は良く，日別 MAE の年平均値 7.0%で予測できた．以降は，本パラメータでの予測を Method 6 として記載する．

5.3.4 予測結果のまとめ

前述のように，日別 MAE の年平均値で評価した場合，6 手法の中では Method 6 が最も予測精度が良く 7.0%で予測できた．図 5-11 に本章で検討した代表的な 3 手法として，平日／休日を考慮した前日値 (Method 2)，平日／休日を考慮した過去 X 日間の平均値 (Method 4)，気温を基準とした参照日決定方法 (Method 6)の日別 MAE の年間の変化を示す．また，同図には過去 5 日間の最低気温の平均値と当日の最低気温との偏差も示す．同図より，大半の日において Method 6 が 3 手法の中で最も日別 MAE が小さく，特に最低気温の変化が大きい冬期や春を中心に日別 MAE が小さい．また，日別 MAE が 10%以上を記録するのは，Method 2 では 90 日，Method 4 では 80 日，Method 6 では 63 日と，他の 2 手法と比較して少なかった．ただし，提案した 6 手法の中では日によって最も予測精度が良い手法が異なる．したがって，年間を通して 1 つの手法で予測するのではなく，簡易的な条件に基づいて 6 手法を使い分けることで予測精度の改善が見込まれる．Method 6 において日別 MAE が大きい，または他の手法の方が日別 MAE の小さい期間として次の 5 種類の期間・日が挙げられる．

【対象期間】

- (1) 冬期
- (2) 特異日（正月，お盆，GW）
- (3) 中間期（平均気温が 20℃前後の月）
- (4) 雨期（6月および9月）
- (5) 前日から気温が大きく変化した日

次節ではこれらの期間・日について、Method 6 をベースとして Method 1～5 を併用することで予測精度向上の可能性を検討する。なお、上記(2)～(4)については、第 3 章において気温と需要との相関関係が崩れると述べた時期と一致している。

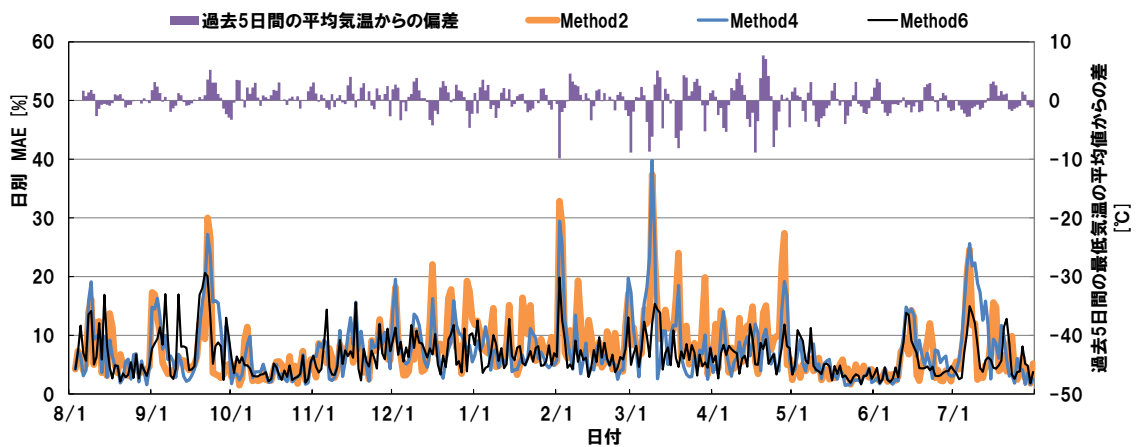


図 5-11 各手法の日別 MAE と気温変化

5.4 複数の手法の組み合わせによる予測精度の改善効果

本章では、前章で記載した Method 6 の予測精度が悪化する 5 種類の期間・日において、それぞれ改善策を検討する。以降では、改善策を適用した手法を Method 7 として述べる。

5.4.1 冬期

図 5-12 に Method 6 による冬期の予測結果の一例として、2013/1/21(月)～2013/1/24(木)の電力需要の実測値およびの予測値を示す。Method 6 は、過去数日の参照日における気温と電力需要との関係を用いて各時間区分の電力需要の平均値を予測し、各時間区分の電力需要の平均値に対する 30 分毎の変動は参照日の比率の単純平均としている。そのため 1 月など冬期の様に日々の時間帯別の電力需要の変動が大きい時期は 1 日の中での大まかな電力需要の変化は捉えられるが、30 分単位での細かな変動は捉えきれていない。

そこで、30 分単位での細かな変動を捉えるために、時間区分の平均値に対する 30 分毎の比率の予測モデルの改善を試みた。30 分毎の比率の予測方法については、5.3.2 節の予測結果において効果があった以下の 3 つの候補において、過去 7 日間における最適候補（予測誤差が最小の候補＝本来選択すべきであった候補）を時間区分毎に確認し、3 種類の候補の中から最頻出の方法を選択する手法を採用した。

【30 分ごとの比率の予測候補】

候補 1：平日／休日を考慮した前日値

候補 2：平日／休日を考慮した過去数日間の平均値

(平日：7 日間，休日：4 日間)

候補 3：過去 4 週間の同曜日の平均値

図 5-13 に冬期(2012/12~2013/2)における Method 6 と Method 7(冬期の改善のみ行った場合)の日別 MAE を示す. Method 6 と Method 7(冬期の改善のみ行った場合)では, 各時間帯の電力需要の平均値は等しいため, 各時間帯の電力需要の平均値に対する 30 分単位の比率が改善された場合に日別 MAE が小さくなる. 同図より, 前述の 2013/1/21(月)~2013/1/24(木)については, Method 6 では日別 MAE の平均値が 7.4%であったのに対し, Method 7 では 6.7%と 0.7%の改善が見られた. また, 他の日についても基本的には Method 7 の方が日別 MAE は小さく, 30 分単位での細かな変動を捉えることができたと言える.

なお, 30 分単位での細かな変動を捉えることは, 効果の差はあるものの全ての期間において有効であると考えられるため, 後述 5.4.2~5.4.5 の Method 6 以外の方法を用いる日を除き, 年間を通じて適用することで予測精度の改善を図った. 図 5-14 に Method 6 と Method 7(冬期の改善のみ行った場合)の日別 MAE の月平均値を示す. 同図より, 前述の通り 30 分単位の細かな変動を捉えることができ, 冬期を中心に日別 MAE の月平均値で 1%前後の改善が見られた.

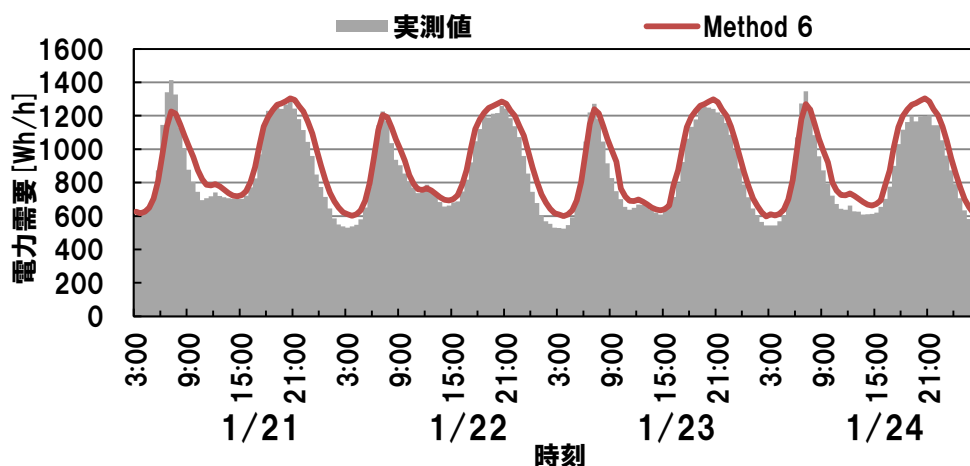


図 5-12 Method 6 における冬期の予測結果

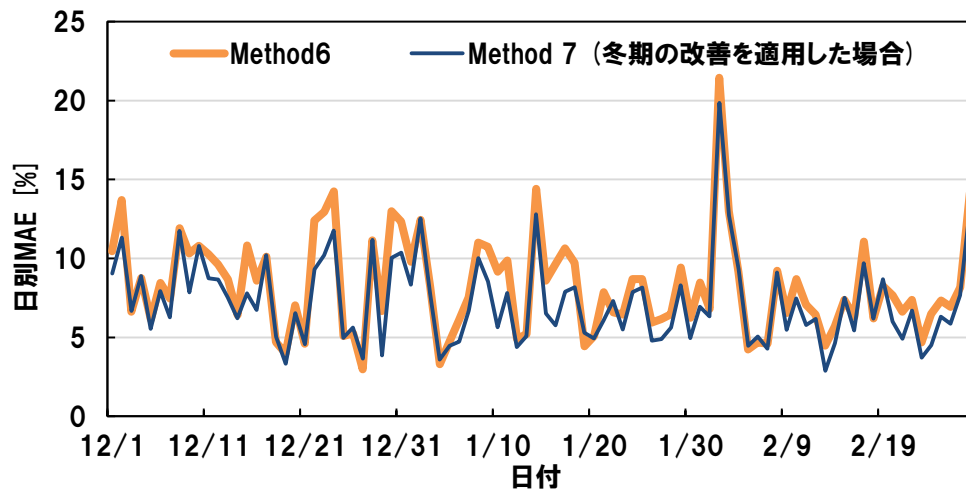


図 5-13 Method 6 と Method 7(冬期の改善を適用した場合)の日別 MAE

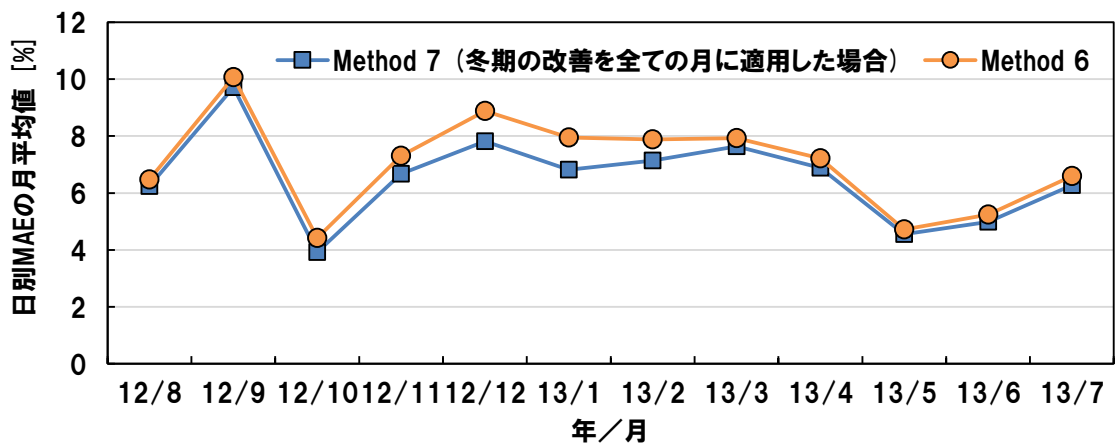
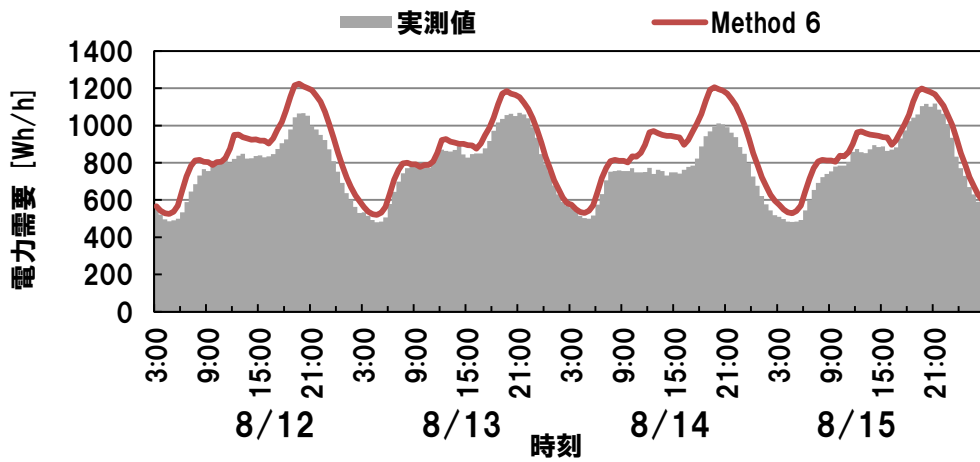


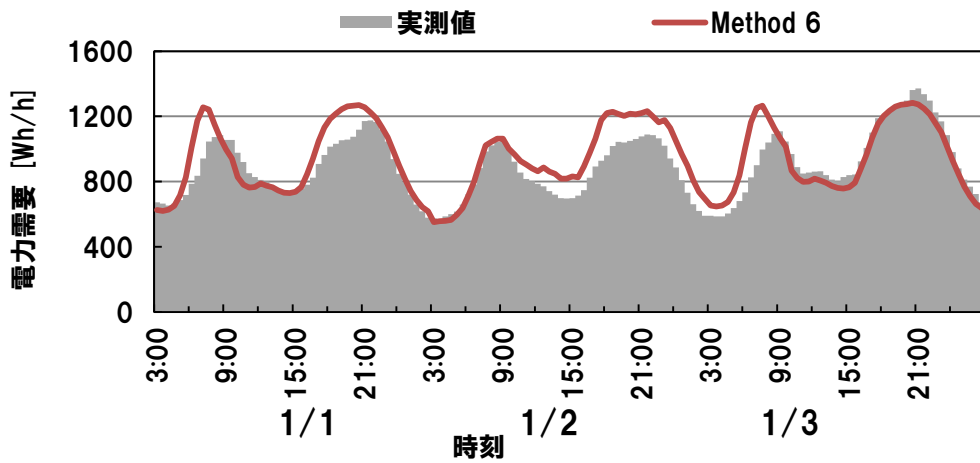
図 5-14 Method 6 と Method 7(冬期の改善を全ての月に適用した場合)の日別 MAE の月平均値

5.4.2 特異日（正月，お盆，ゴールデンウィーク）

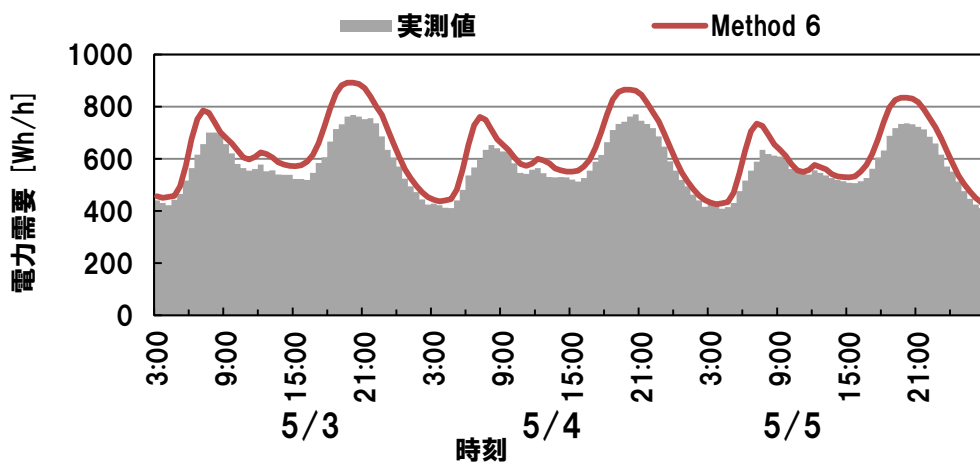
図 5-15(a)にお盆(8/13(月)-8/15(水))の，(b)に正月(1/1(水)～1/3(金))の，(c)にGW(5/3(金)～5/5(日))の予測結果を示す．同図に示す期間のような特異日においては，Method 6 では予測精度が悪化していた．これらの特異日は，前述第3章の通り，多くの人が長期休暇をとり，基本的には休日と同様のパターンの世帯が多いことが想像される．しかし，一部の世帯は暦通り平日の生活をしていたり，帰省等により長期に外出していたりすることもあり，通常の休日とは電力需要パターンが異なる場合もあると考えられる．このため，直近の気温と電力需要との関係性が崩れ，予測精度が悪化したと考えられる．そこで，当該期間のデータが得られた際には速やかにその値を用いた方が良いと言え，これらの特異日においては，前日値(Method 1)を用いて予測することとした．その結果，お盆(8/13(月)-8/15(水))とGW(5/3(金)～5/5(日))においては期間中の日別 MAE の平均値は Method 6 に対して Method 7 では 4%程度低減できた．一方で，正月(1/1(水)～1/3(金))については，Method 6 に対し Method 7 では 1.5%程度増加した．本来は，これらの特異日については，過去の特異日の傾向（前年の同日値など）を踏まえて予測することが望ましい．今後，他の年のデータを収集できた際には参照日の変更を検討する予定である．



(a) お盆(8/12(日)-8/15(水))



(b) 正月(1/1(水)~1/3(金))



(c) ゴールデンウィーク(5/3(金)~5/5(日))

図 5-15 休日が連続で続く期間の予測結果

5.4.3 中間期（平均気温が 20°C前後の期間）

FC 世帯データが計測された 2013 年 5 月の日平均気温の月平均値は 21.6°C であり、前述図 3-3 において気温が変化しても電力需要があまり変化しない日平均気温が 20°C前後の時期にあたる。また、前述図 3-9 に示す通り、前日と比較して日平均気温が 3°C程度変化したとしても当日の日平均電力需要はほとんど変化していない。したがって、当該期間においては、気温でデータ参照日を選定するのではなく、直近過去数日の平均値で予測する方が良いと予想される。

図 5-16 に東京都における 2005 年 1 月～2015 年 12 月の 10 年間の月平均気温の平均値を示す^[4]。中間期に該当する期間については、同図の月平均気温の平均値が 20°C±5°Cにあたる月として 5 月、6 月、9 月、10 月が挙げられる。6 月や 9 月は夏期に近い気候であることから、6 月の最終週と 9 月の第一週、および 6 月と 9 月において予報最低気温と過去 5 日間の平均最低気温の差が 3°C以上の日を除いた期間を本手法では中間期として定義する。中間期においては、平日／休日を考慮した直近過去数日間の平均値 (Method 4) を用いて予測することとした。その結果、5 月、6 月、9 月、10 月における日別 MAE の月平均値は、Method 6 に対して Method 7 において 0.2～3%程度向上し、中間期においては本改善策によって予測することで予測精度が向上できることを確認した。

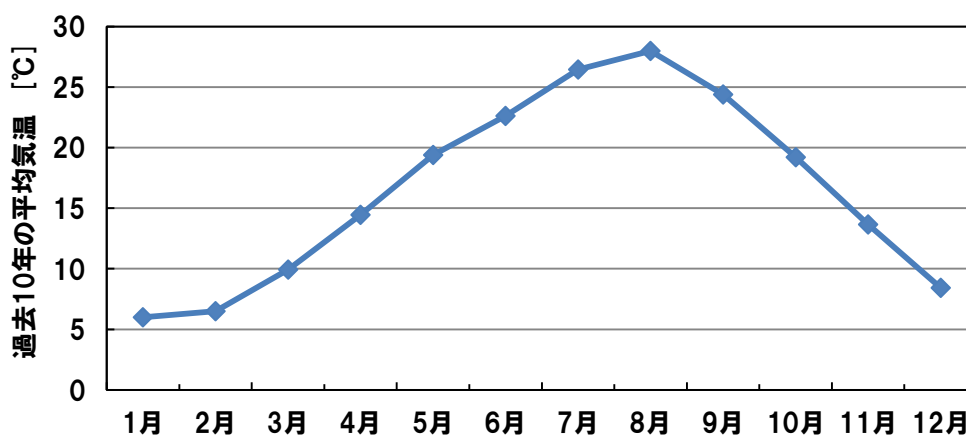


図 5-16 過去 10 年の月平均気温の平均値

5.4.4 雨期（6月および9月）

図 14 に雨期（9月）の日平均電力需要と前日からの日平均気温の変化および当日の昼の天気概況を示す。6月と9月は前述 5.3 節において中間期と定義し電力需要の変動が小さい月ではあるが、同月内において天候不順が続いた際には、同図に示す通り気温変化に関係なく電力需要が低下する場合がある。当該期間においては、過去の気温と電力需要との関係性が崩れ、直近 1 週間程度の電力需要の大きさとも異なる可能性が高いため、前日値を参照して予測した方が良いと考えられる。そこで、以下の 4 つの判定基準を満たした場合には、雨期と判断して前日値(Method 1)を用いて予測することとした。

- (1) 予測対象日が 6 月または 9 月
- (2) 直近過去 3 日間において、過去 7 日間の平均日照時間の X% 以下の日
- (3) (2)の条件を満たした日以降において直近過去 3 日に(2)の条件を満たした日がある場合
- (4) 予測対象日の天気予報が雨の日

なお、閾値 X について、0%(本改善策を適用しない場合)から 180% (本改善策を全ての日で適用した場合) まで変化させた際の 6 月と 9 月の日別 MAE の月平均値、および両月の平均値を図 5-17 に示す。同図より、 $X=60\%$ の際に日別 MAE の 2 か月の平均値が最小となったため、本研究では $X=60\%$ とする

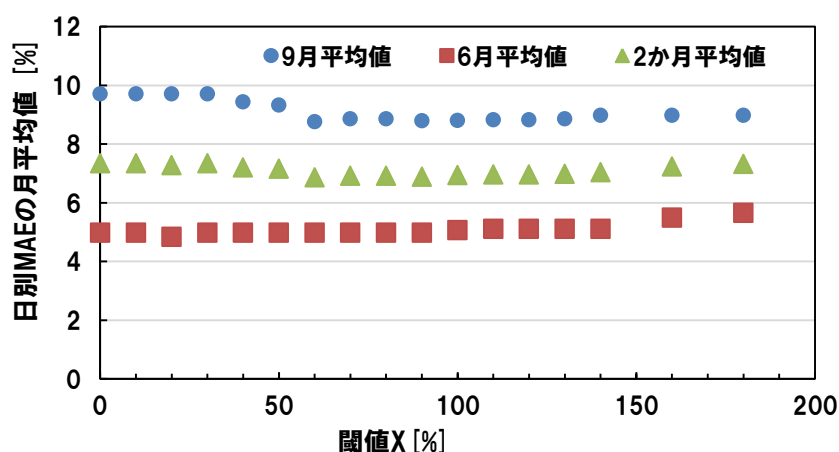


図 5-17 各閾値 X での予測結果

本改善策を適用することで、Method 6 における日別 MAE の 9 月の月平均値は 10.7%であったのに対し、Method 7 では 7.6%に低減することができた。また、6 月についても、Method 6 の 5.2%に対し Method 7 では 5.1%と若干の改善が見られた。

なお、本研究では、新規参入事業者が需要予測を行う際に容易に入手できる実績値や予報値として考えられる日照時間および天候を用いて雨期として予測する条件を上記の内容としたが、今後は別の条件（梅雨入り情報、湿度、降水量、雲量、等）によって判定した場合の予測精度についても検討が必要である。

5.4.5 気温が極端に変化した日

図 5-18 に 1 年の中で予測結果の最も悪かった 2013/2/2(土)の予測結果を示す。同日は、過去 5 日間の最低気温の平均値が 1.9°C であったのに対し、当日の最低気温が 11.7°C と急に暖かくなった日であった。その結果、予測に用いた 1 次回帰式について、参照日として最低気温が $0^{\circ}\text{C}\sim 3^{\circ}\text{C}$ の日が抽出されて回帰式を算出しているのに対し、予報気温 10°C を用いて各時間帯の平均値を算出したことから、図 5-18 の通り時間区分 3 の時間帯において、異常な値を予測する結果となった。このように気温が極端に変化した日においては、参照期間を延ばすことで、より当日の気温に近い日を参照して回帰式を算出できると予想される。そこで、参照期間内に予報気温に対して偏差が 5°C 以内の日が無い場合には、より予報気温に近い日を拾うように、参照期間を 2 倍にして回帰式を算出することとした。なお、今回使用したデータにおいては、参照期間内に予測日の予報最低気温に対して最低気温の実績値との偏差が 5°C 以内の日が無い場合は、図 15 に示した 2013/2/2 だけ(土)であった。同日について、参照期間を 2 倍にして予測を行ったところ、正しく 1 次回帰式を算出でき、日別 MAE は 21.5% であったのが 7.6%に低減できた。他にも予測誤差が多い日などは同様の影響が考えられるため、どのような条件の日において参照期間を延ばす必要があるのかは今後検討が必要である。

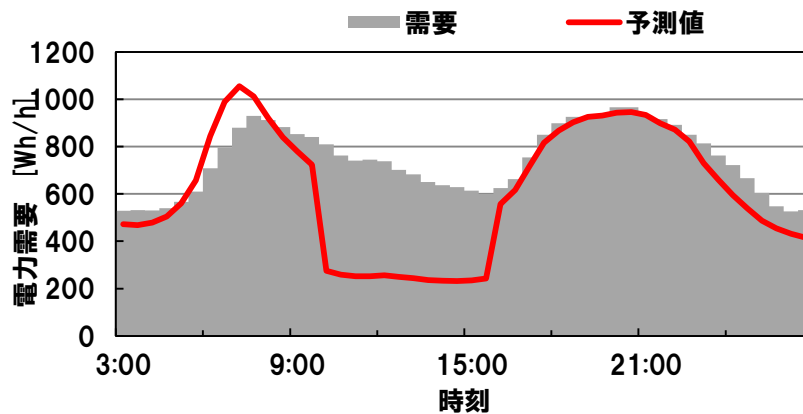


図 5-18 2013/2/2 (土)の予測結果

5.4.6 予測精度の改善結果

図 5-19 に Method 6 と Method 7 の日別 MAE を示す。また、図 5-20 に Method 6 と Method 7 の日別 MAE を降順整列した結果を示す。年間を通して気温を基準として参照日を決定した場合の Method 6 においては日別 MAE の年平均値 7.0% であったが、Method 7 では 6.2% で予測できた。また、図 5-20 に示す通り、Method 7 では日別 MAE が 10% 以上と予測誤差が大きい日について予測精度を向上できしており、その日数は Method 6 では 63 日であったのに対し、Method 7 では 45 日に低減できた。また、5.4.1 に示した通り、Method 7 では全期間を通じて 30 分単位での細かな変動を考慮できたことから、図 5-19 に示す通り、年間の 75% (273 日) において Method 7 の日別 MAE は Method 6 の日別 MAE と同じまたは小さかった。逆に Method 7 の日別 MAE の方が大きくなった日は年間の 25% (90 日) あったが、日別 MAE の増加は年平均で 0.8% 程度に留まった。したがって、本論文に記載の通り、気温をベースとした予測モデルにおいて、簡易的な条件により日付を基準とした予測モデルとを組み合わせることで、予測精度を改善できることを確認した。

なお、今回の手法の組み合わせにおいて、想定と異なった内容としては、雨期の気温と電力需要との関係の崩れがあげられる。他の季節の雨の日は気温と電力需要との関係が崩れないため、今後更なる電力需要の特性分析を行うことで、予測精度の改善ができる可能性がある。

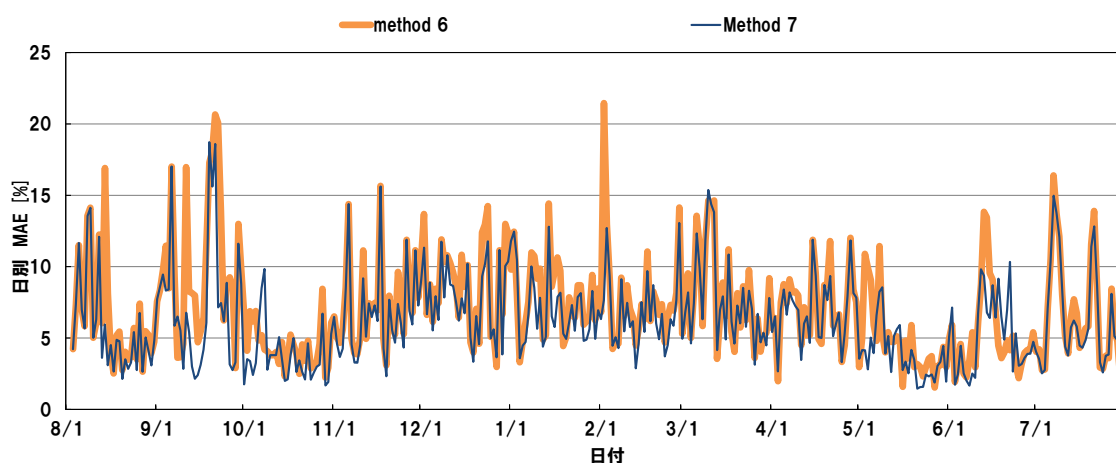


図 5-19 各手法の日別 MAE

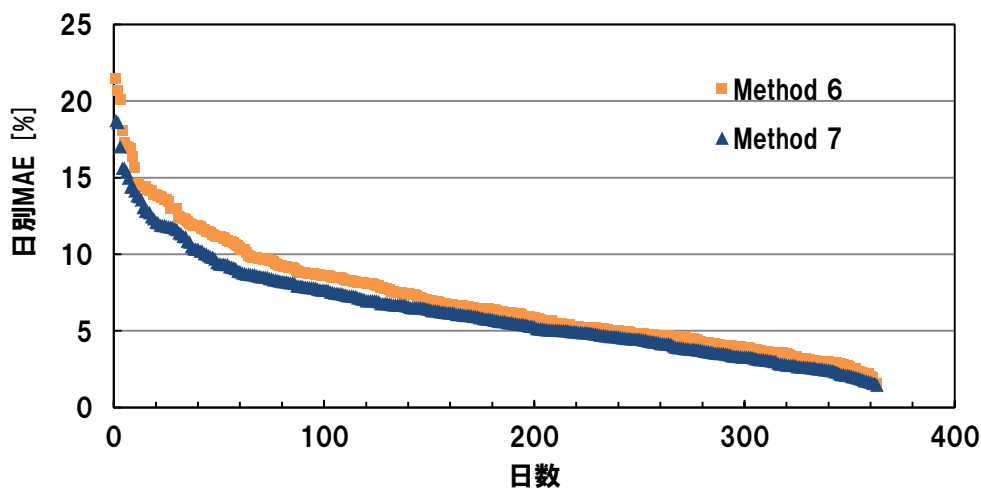


図 5-20 各手法の日別 MAE (降順並べ替え)

5.5 予測モデルの適用効果

本節では、本論文で提案した手法（Method 7）の適用の効果として、インバランス料金をどの程度回避できるかについて、Method 1～6の結果と比較してその効果を検証する。なお、各種価格の想定は以下の通りとした。

(1) 電力仕入単価

2012年8月～2013年7月の東京エリアスポット価格^[2]

(2) 託送料金価格

東京電力パワーグリッド(株)の電灯標準接続送電サービス SB 主開閉器契約^[3]を想定。

(3) 電力販売単価

電力販売価格として、東京電力エナジーパートナー(株)の従量電灯 B 40A 契約^[4]を想定。月々の使用量に基づき電力販売単価を算出。

(4) インバランス単価

託送供給等約款料金算定省令^[5]で定義されたインバランス単価の式を基に、簡易的に $\alpha=1$ 、 $\beta=2.63$ 円/kWh(=2016年度の東京エリアの β ^[6])とし、2012年8月～2013年7月のシステムプライス^[2]を基に以下の式にて時間毎に算出。

$$\text{インバランス単価} = \alpha \times \text{システムプライス} + \beta$$

(5) 余剰インバランスコスト

余剰インバランスは、本来は電力販売価格にてユーザーに販売できた電力をインバランス単価によって送配電事業者に引き取られたと想定し、

$$\text{インバランス量} \times (\text{電力販売単価} - \text{インバランス単価})$$

により算出。

(6) 不足インバランスコスト

不足インバランスはインバランス単価により送配電事業者から補填される

と想定し、

インバランス量×インバランス単価

により算出。

図 5-21 に上記の想定に基づいて算出した各手法のインバランスコストを示す。同図より、Method 7 とすることで、想定されるインバランスコストは 5,700 円/世帯・年であり、Method 1～6 と比較してインバランスコストを 10～40%削減することができた。また、各手法に対する Method 7 でのインバランスコストの削減量は、全世帯の平均電力需要の世帯に対する上記(1),(2)で想定された供給コスト（電力仕入コスト+託送コスト）の 0.5～2.9%に相当する。一般に電気事業者の利益は数%程度と言われている^[7]。そのような薄利多売の事業の中で、本論文で提案するような大きな投資を必要としない簡易的な予測によって数%の供給コストを低減できることは、新規参入電力小売事業者にとって十分なメリットと考えられる。

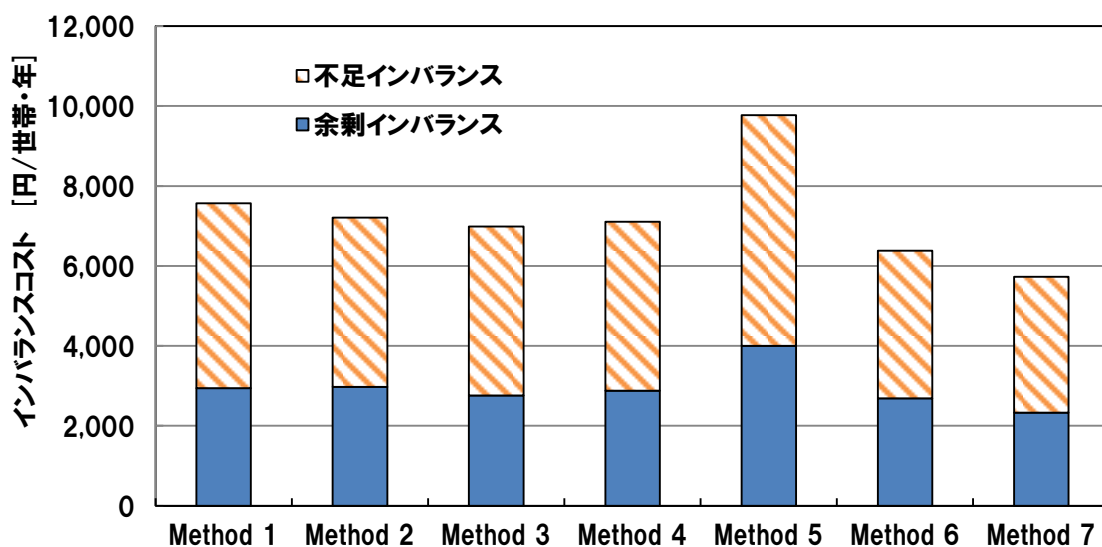


図 5-21 各手法のインバランスコスト

5.6 第5章のまとめ

本章では、電力小売全面自由化を受けて家庭向けの電力小売事業に新規参入した事業者が、翌日計画で活用できる電力需要の予測モデルについて検討を行った。その際に、機械学習等によって予測の過程をブラックボックス化するのではなく、簡易的な過去のデータ参照のみを用いて運用者が直観的・定性的に理解しやすい予測方法について、いくつかの方法を提案してそれぞれの予測精度を評価し、各手法を簡易的な条件に基づいて組み合わせる手法を検討した。

その結果、各時間区分の平均値を予測する場合には、気温を基準とした参照日決定の方が、日付を基準として参照日を決定するよりも予測精度が良いことが確認できた。また、各時間区分の平均値に対する30分ごとの比率については、①平日／休日を考慮した前日値、②平日／休日を考慮した過去数日の平均値、③同じ曜日の過去数日の平均値、といった3パターンを組み合わせることで予測精度が改善できることが確認できた。更に、特異日（正月、お盆、GW）、中間期（平均気温が20℃前後の月）、雨期（6月および9月）、および気温が急激に変化した日については、日付を基準とした参照日決定方法に変更することで、当該期間の日別MAEを数%程度改善できていることを確認した。結果として日別MAEの年平均値は6.2%で予測できた。

なお、本予測モデルを用いることで、年間を通して同じモデルで予測する場合と比べて、ある想定の下でのインバランスコストを10～40%低減することができ、それらは供給コスト（電力仕入コスト＋託送コスト）の0.5～2.9%に相当する。一般に電気事業者の利益は数%と言われている。そのような薄利多売の事業の中で、本論文で提案するような大きな投資を必要としない簡易的な予測によって数%のコスト低減できることは、新規参入事業者にとって非常に有用であると考えられる。

第 5 章の参考文献

- [1] 気象庁ホームページ：「過去の気象データ・ダウンロード」
<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>
(最終アクセス日：2016/12/13)
- [2] 一般財団法人 日本卸電力取引所 スポット取引結果
<http://www.jepx.org/market/index.html>, (最終アクセス日 2015 年 9 月 12 日)
- [3] 東京電力パワーグリッド(株), 「電力小売託送サービス 託送料金表」,
<http://www.tepco.co.jp/pg/consignment/notification/pdf/ryoukint2804-j.pdf>,
(最終アクセス日 2016/10/13)
- [4] 東京電力エナジーパートナー(株)：「料金プラン (従量電灯 B)」,
<http://www.tepco.co.jp/ep/private/plan/old01.html>,
(最終アクセス日 2016/10/13)
- [5] 経済産業省：「電気事業法等の一部を改正する法律附則第九条第一項の規定に基づき一般電気事業者が定める託送供給等約款で設定する託送供給等約款料金の算定に関する省令」, 平成 27 年経済産業省令第 57 号 (2015)
- [6] 経済産業省：「小売全面自由化に向けてインバランス料金の算定の基となる単価の告示の公布を行いました」,
<http://www.meti.go.jp/press/2015/03/20160301004/20160301004.pdf>
(最終アクセス日 2016/12/21)
- [7] 森豊浩基：「一般電気事業者の経営研究～電力供給義務, 温暖化・エネルギー問題, 利益追求という三律背反への対応～」, 中央三井トラストホールディングス調査レポート, 2010/冬, No.72 (2010)

第6章 当日リアルタイムで計測した少数代表世帯の 電力需要を用いた全世界帯の電力需要の 予測モデル

6.1 はじめに

本章では、新規参入電力小売事業者が、当日の需給状況を把握する際に、全世界帯のデータを単純に集計するのではなく、一部少数の代表世帯のリアルタイムのデータを用いて、30分単位（1日48コマ）で全世界帯の平均電力需要を予測するモデルを検討する。本章の検討ではFC世帯データを利用した。本モデルの考え方は大量に分散導入された再生可能エネルギーの合計出力を予測するモデル^{[1]~[3]}と類似している。しかし、これまで本検討のように電力需要について同様の検討は行われていない。

なお、当日の需給状況を予測した結果を基に、翌日電力需要予測で予測していた数時間先の電力需要予測値を補正することが想定されるため、簡易的な1時間先電力需要予測モデルとの組み合わせについても検討する。

6.2 全世帯平均電力需要の把握方法の概要

当日リアルタイムでの電力需要の把握は、図 6-1 に示す通り①代表世帯の選定、②全世帯の平均電力需要の把握、の2つのステップから構成されている。

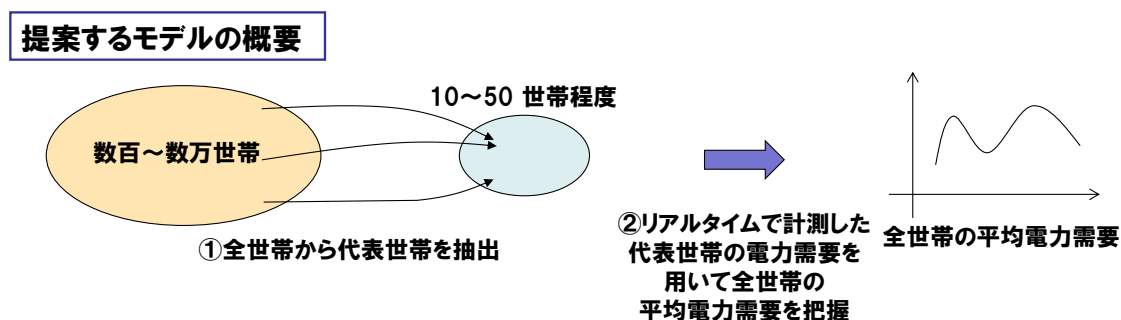


図 6-1 把握の流れ

6.2.1 代表世帯の要件

電力小売事業者は、月に一度は電気料金精算のために全ての世帯のデータを集計する。そこで、代表世帯の選定は毎月末に実施されると想定した。

第2章で述べたように、FC世帯データは一部データ欠損している世帯がある。代表世帯数は数十世帯を想定しているため、一部の世帯のデータが欠損していると代表世帯の需要特性に大きな影響を与えることが予想される。そこで、それらのデータ欠損の影響を避けるために、代表世帯は以下の要件を満たした世帯から選定することとした。

- (1) 前月において、80%以上の日においてデータが存在する。
- (2) 当月において、データ欠損日が1日以下である。

なお、ある日のデータ欠損の有無は当該日において30分単位のデータが全て存在しているかで判定を行った。もし、1コマでもデータが欠損している場合には、当該日はデータ欠損日としてカウントして当該世帯のデータは利用しない

こととした。将来は、家庭の電力需要データは全てスマートメータで取得され、システムも習熟してくることが予想されるため、このようなデータ欠損に対する対策は実運用時には不要と考えられる。

6.2.2 代表世帯の選定方法

本研究では、全世帯の 30 単位（1 日 48 コマ）の平均電力需要と似たような電力需要の世帯を代表世帯として選定する。代表世帯の選定条件の指標として、以下の式 6.1 によって算出される全世帯の時間帯別平均電力需要と代表世帯の時間帯別電力需要との絶対平均誤差(MAE)を全世帯の時間帯別平均電力需要で規格化した値を用いた。

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{d=1}^n \frac{\sum_{t=1}^{48} |P_i(t) - P_{all}(t)|}{\sum_{t=1}^{48} P_{all}(t)} \times 100 [\%] \quad (6.1)$$

ここで、 $P_i(t)$ は代表世帯の電力需要を、 $P_{all}(t)$ は全世帯の平均電力需要を、 n は前月の日数をそれぞれ示す。

式 6.1 により算出された MAE が低い世帯は、各時間帯における電力需要が全世帯の平均電力需要と類似した世帯であることが期待できる。そこで、毎月末に以下の方法により代表世帯を選定する。

- (1) 各世帯の MAE を計算する。
- (2) 各世帯を MAE により昇順に並べる。
- (3) MAE の小さい順に X 世帯を代表世帯として抽出する。

6.2.3 全世帯合計需要の把握方法

本論文では、以下の3つの全世帯平均電力需要の把握方法を提案する。なお、以下での「推定対象日の前日」は、推定対象日と同じ曜日、つまり推定対象日が平日であれば直近の平日、推定対象日が土日祝日であれば直近の土日祝日を示している。

(1) Method 1:

最も簡単な手法として、推定対象日にリアルタイムに取得した代表世帯の平均電力需要を全世帯の平均電力需要とみなして推定する。

(2) Method 2

推定対象日の前日における代表世帯の平均電力需要と全世帯の平均電力需要との1次回帰式を算出する。算出した1次回帰式に、推定対象日にリアルタイムで取得した代表世帯の平均電力需要を代入し、全世帯の平均電力需要を算出する。

本手法は、中間期など電力需要パターンが日々あまり変化しない時期に有効であることが期待される。

(3) Method 3

推定対象日の前日の各30分コマ単位において代表世帯の平均電力需要と全世帯の平均電力需要との比率を算出する。算出した比率に、推定対象日にリアルタイムで取得した代表世帯の平均電力需要を乗じることで全世帯の平均電力需要を算出する。

本手法は、冬期や夏期など、電力需要パターンが日々大きく変化する時期に効果があることが期待される。

6.3 全世帯の平均電力需要の予測結果

6.3.1 評価指標

本章では、前章と同様に式 6.2 で算出される日別 MAE を月別、年別、に集計することで評価した。

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^{48} |P_{est}(d,t) - P_{all}(d,t)|}{\sum_{t=1}^{48} P_{all}(d,t)} \times 100 \quad (6.2)$$

ここで、 $P_{est}(d,t)$ は推定した電力需要、 $P_{all}(d,t)$ は全世帯の平均電力需要をそれぞれ示す。また、代表世帯は 10 世帯～200 世帯の 10 世帯刻みで評価を行った。

また、評価対象期間は 2012/8/1 ～2013/7/31 の一年間とした。

なお、本手法は当日値を用いて全世帯の平均電力需要を予測しようとするため、少なくとも第 5 章で示した翌日電力需要予測モデルよりも精度良く把握することが求められる。そこで、以下の予測結果の評価においては、翌日電力需要予測モデルの予測結果と比較する。

6.3.2 日別 MAE の年平均値の比較

図 6-2 に各手法の日別 MAE の年平均値を示す。同図には翌日電力需要予測の日別 MAE の年平均値を合わせて示す。同図より、Method 2 と Method 3 については、代表世帯数が 30 世帯で翌日電力需要予測とほぼ同程度の日別 MAE の年平均値となり、40 世帯以上であれば翌日電力需要予測よりも日別 MAE の年平均値が小さくなる。3つの手法の中では Method 3 が最も予測精度が良かった。

一方で、Method 1 は、いずれの世帯数においても日別 MAE の年平均値が翌日電力需要予測より小さくなることは無かった。さらに、Method 1 では、70 世帯を

超えると日別 MAE の年平均値は大きくなる傾向にある。これは、代表世帯数を増加させると、全世帯の平均電力需要に対する MAE が大きな世帯が代表世帯として選定されるため、代表世帯の平均電力需要を補正せずに全世帯の平均電力需要として予測すると誤差が大きくなってしまうためである。

代表世帯が 30 世帯の場合、日別 MAE の年平均値は Method 1 では 6.6%、Method 3 では 6.5%であった。翌日電力需要予測の日別 MAE の年平均値は 6.2%であるため、全世帯の内 5~10%程度(30~50 世帯程度)の代表世帯の電力需要を当日リアルタイムで取得し、全世帯の合計需要を予測することで、翌日電力需要予測とほぼ同程度の精度で把握できることが分かった。

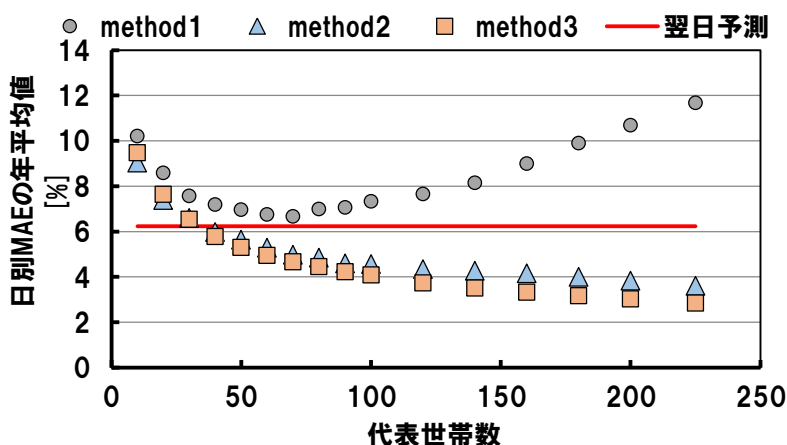


図 6-2 各手法の日別 MAE の年平均値

図 6-3 に各手法の日別 MAE が翌日電力需要予測における日別 MAE よりも小さかった日数を示す。同図より、代表世帯数が 30 世帯の場合、Method 2 と Method 3 は年間の内 50%の日のみ翌日電力需要予測よりも日別 MAE が小さかった。日別 MAE の比率が小さかった日の割合は、代表世帯数が増加するにつれて増加し、代表世帯数が 100 世帯の時に約 80%に達した。しかし、世帯数が 100 世帯以上に増加しても、その割合の増加傾向は飽和していることが分かる。また、代表

世帯の電力需要を用いて全世帯の平均電力需要を予測する段階において誤差があるため、全世帯を代表世帯として選定しても予測誤差がゼロになるわけではない。したがって、翌日電力需要予測の予測精度が良い日などにおいては、大半の世帯を代表世帯として選んだとしても予測誤差は大きくなる。

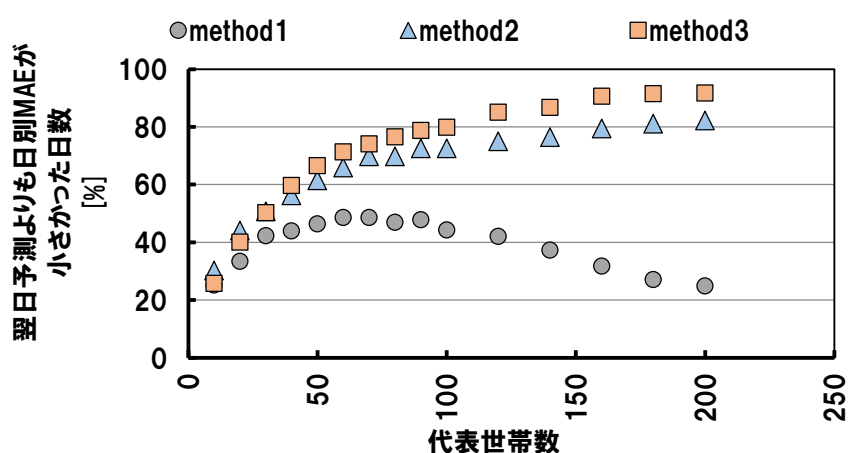


図 6-3 各手法の日別 MAE が翌日電力需要予測よりも小さかった日数

6.3.3 日別 MAE の比較

図 6-4 に代表世帯数が 30 世帯の場合の Method 2 および Method 3 の日別 MAE を示す。同図には、翌日電力需要予測の日別 MAE を合わせて示す。同図より、Method 2 や Method 3 の方が翌日電力需要予測よりも日々の日別 MAE のばらつきが小さい。特に冬期（11 月～1 月）は翌日電力需要予測の日別 MAE は大きくなっているが、Method 2 や Method 3 は大半の日において日別 MAE を低減できている。一方で、中間期（5 月や 10 月）の様に、日々の需要変動が小さい時期で翌日電力需要予測の日別 MAE が小さい時期は、Method 2 や Method 3 の方が大半の日において日別 MAE が大きくなっている。しかし、Method 2 や Method 3 の方が日別 MAE の大きな日においても 6% 程度の日別 MAE で全世帯の合計需要を予測できている。

日々の電力需要や気温の変化が大きい3月については、翌日電力需要予測のと同様に Method 2 や Method 3 の日別 MAE も大きく、10%を超える日が多くあった。

なお、Method 2 と Method 3 を比較した場合、日別 MAE が小さい手法は日によって異なっている。ただし、Method 2 において日別 MAE が 10% を超えて誤差が大きい日については、Method 3 においても日別 MAE が大きくなっている傾向がみられる。

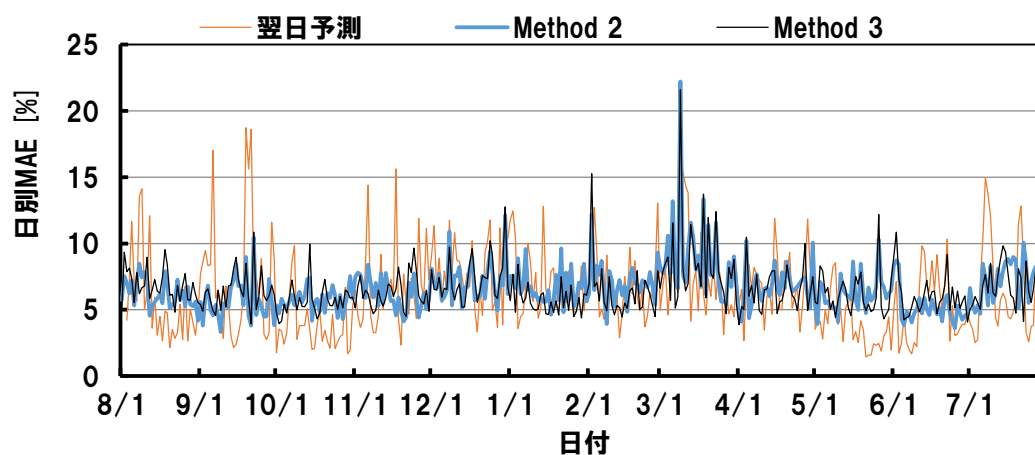


図 6-4 各手法の日別 MAE

6.4 提案手法の改善に向けた検討

6.4.1 予測誤差の原因

全世帯合計需要を予測する際の誤差の原因として、以下の理由が考えられる。本節では、これらの原因について分析し提案モデルの改善を図る。

(1) 代表世帯の選定方法

前月の代表世帯と全世帯との電力需要の関係から代表世帯を選定している。前月と当月の電力需要の傾向が異なっている場合、本来代表世帯として選定すべき世帯を選定できていない可能性がある。

(2) 1次回帰式や時間帯別比率の算出方法

前日の需要特性を用いて算出した1次回帰式や時間帯別比率が推定対象日の代表世帯の電力需要と全世帯の電力需要との関係を表していない可能性がある。

(3) 参照日の設定方法

推定対象日と同じ曜日の直近日を1次回帰式や時間帯別比率を算出する際の参照日としているが、推定対象日と参照日において、代表世帯の電力需要と全世帯の電力需要との関係が異なっている可能性がある。

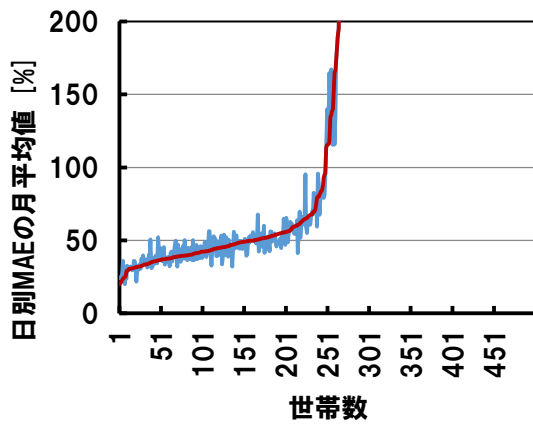
(4) 手法の選択方法

日別MAEが小さい手法は日々異なっていた。そこで一年を通して一つの手法で予測するのではなく、Method 2およびMethod 3を組み合わせることで予測精度を向上できる可能性がある。

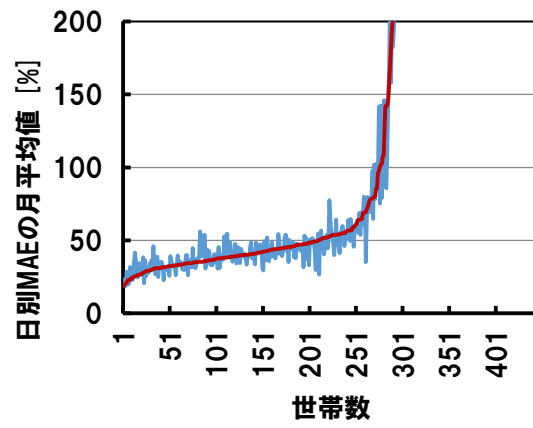
6.4.2 代表世帯選定結果の検証

図 6-5 および図 6-6 に、代表世帯として選定された順に、各世帯の当月の電力需要を用いて 6.1 式により算出した MAE を示す（図中、青線）。同図には、当月の電力需要を用いて 6.1 式により算出した MAE について小さい順に並べた（＝本来代表世帯として選定される順に並べた）際の各世帯の MAE も併せて示す（図中、赤線）。

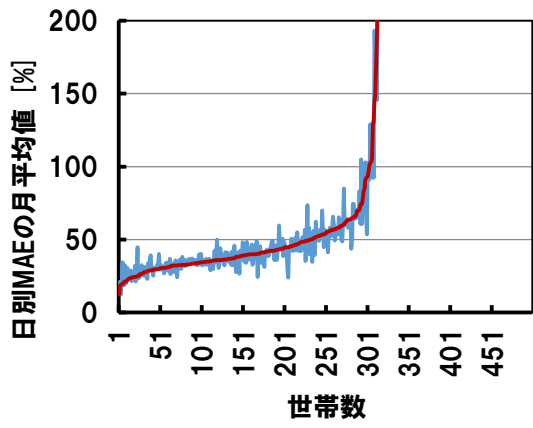
同図より、例えば図 6-5 (b)の 9 月など、冬期（11 月～3 月）以外においては、前月の電力需要を用いて 6.1 式により算出された MAE を基に代表世帯を選定しても、当月の電力需要を用いて 6.1 式により算出した MAE で昇順に並べた場合の結果と大きくは変わらなかった。一方で、図 6-5 (e)の 12 月などの冬期（11 月～3 月）については、当月の電力需要を用いて 6.1 式により算出した MAE のばらつきが大きく、100 世帯前後にも MAE の大きな世帯がある。ただし、本論文で対象とする代表世帯数 50 世帯程度までに限定した例として図 6-7(a)に 9 月、(b)に 12 月の結果の拡大図を示す。同図より、9 月も 12 月についても、前月の電力需要を用いて 6.1 式により算出した MAE で昇順に並べた場合と、当月の電力需要を用いて 6.1 式により算出した MAE で昇順に並べた場合の結果は、一部 MAE のおおきな世帯も含まれているが、概ね一致していることが確認できる。



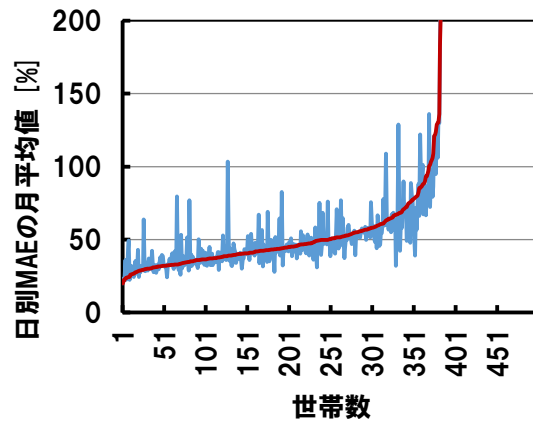
(a) 8月



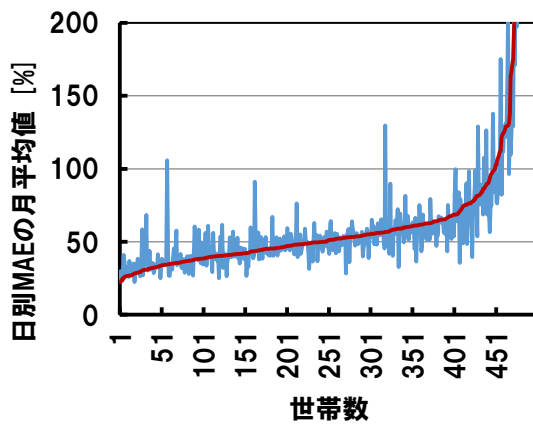
(b) 9月



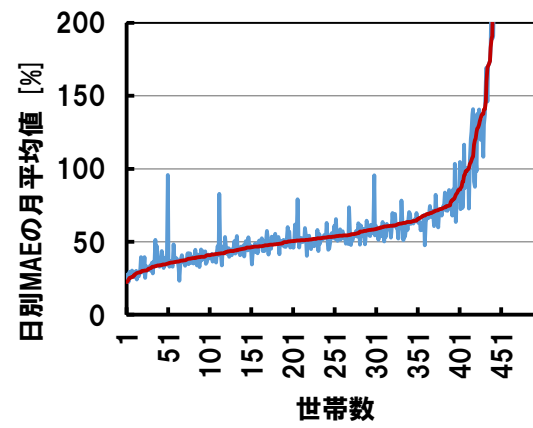
(c) 10月



(d) 11月

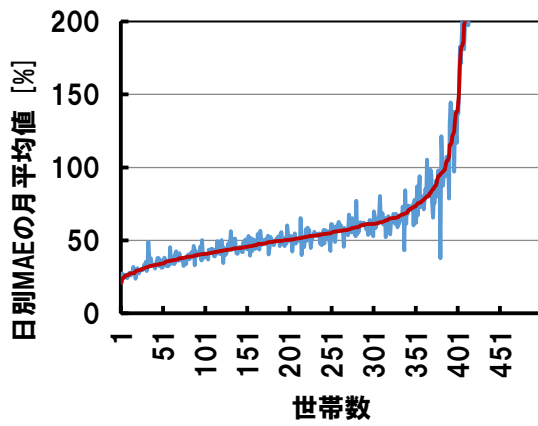


(e) 12月

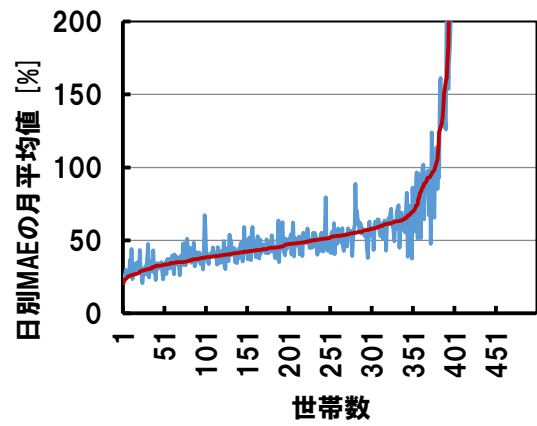


(f) 1月

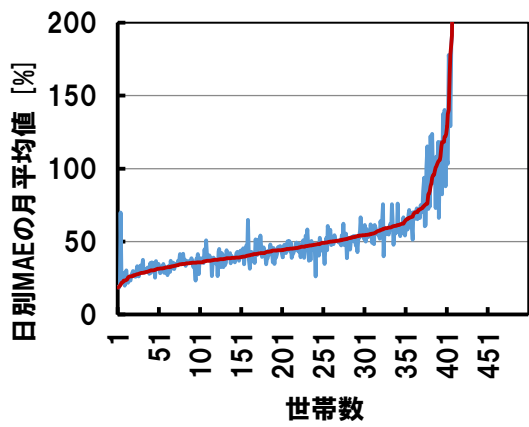
図 6-5 各月の代表世帯の選定状況 (1)



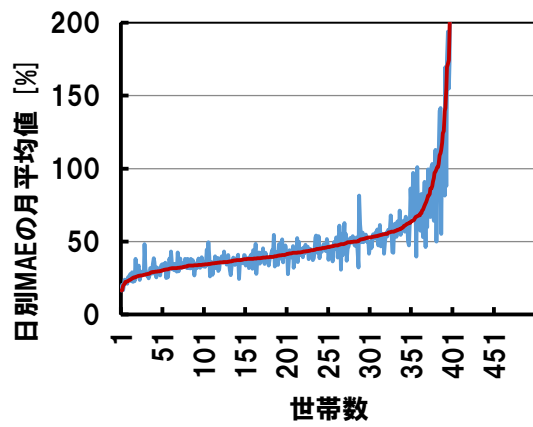
(a) 2月



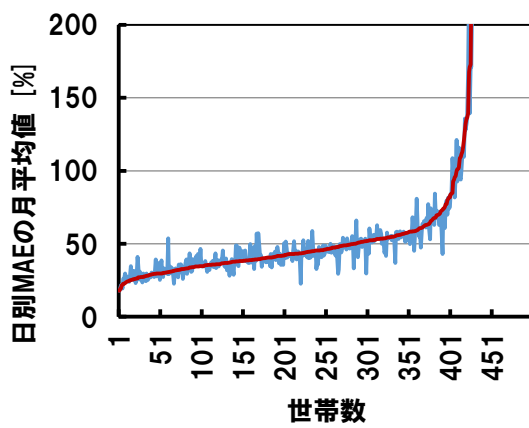
(b) 3月



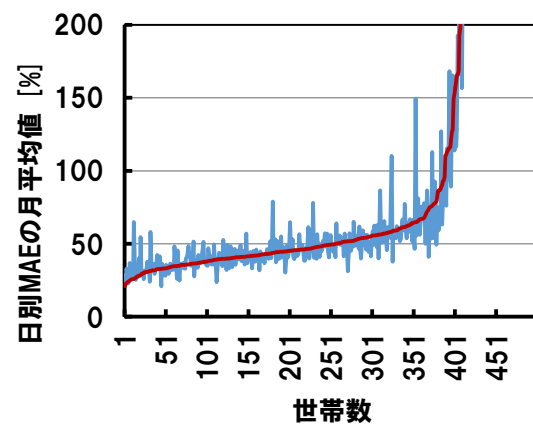
(c) 4月



(d) 5月



(e) 6月



(f) 7月

図 6-6 各月の代表世帯の選定状況 (2)

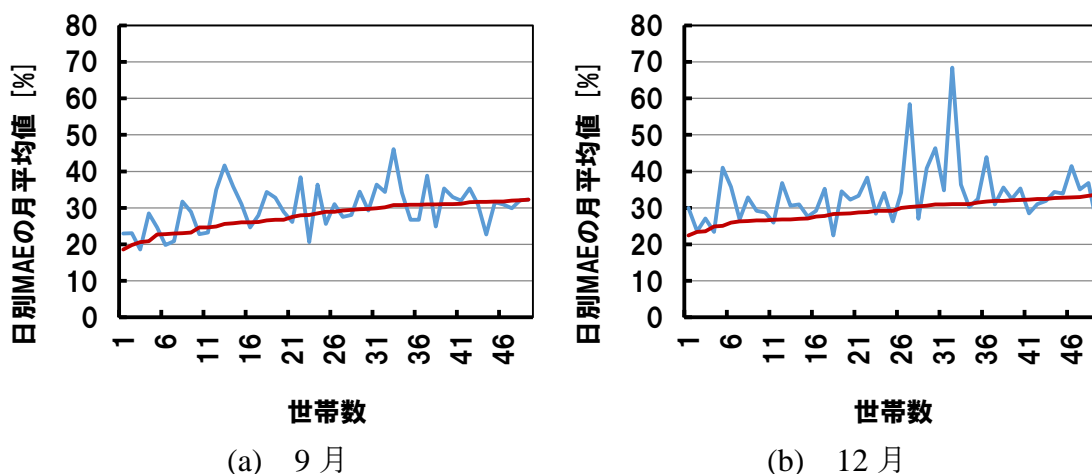
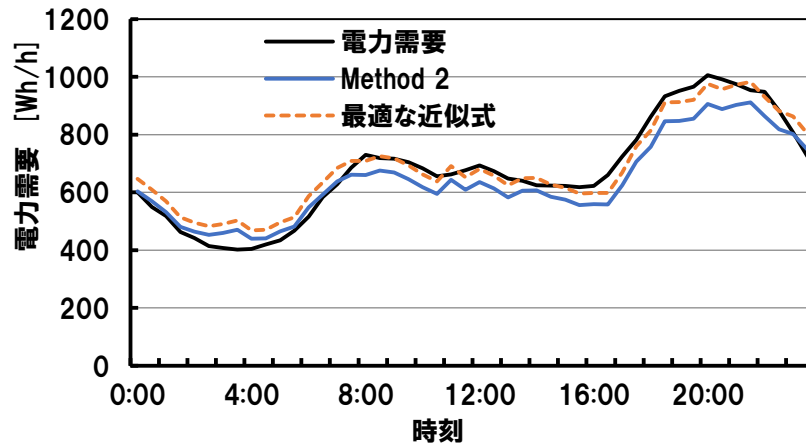


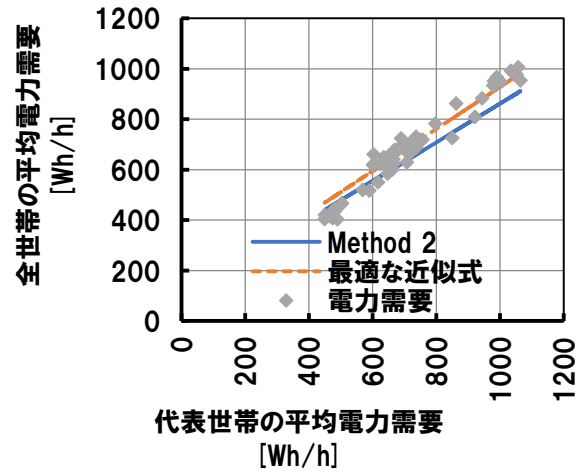
図 6-7 各月の代表世帯の選定状況 (50 世帯までを拡大)

6.4.3 1 次回帰式の検証

図 6-8 (a)に 23013/3/8 の Method 2 の予測結果を，図 6-8 (b)に同日の代表世帯の平均電力需要と全世帯の平均電力需要の関係を示す．また，各図には，当日の代表世帯と全世帯の平均電力需要の関係をを用いて算出した 1 次回帰式（＝本来用いるべきであった回帰式）とその式を用いた場合の予測結果を橙線で示す．なお，同日の日別 MAE は 6.6%であり，Method 2 の日別 MAE の年平均値とほぼ等しい．同図より，参照日の電力需要を用いて算出した 1 次回帰式でも当日の電力需要の関係を概ね表せていることが分かる．日別 MAE が大きい日を除いては，大半の日で同様の結果となっていた．同日においては，もし最適な 1 次回帰式，つまり当日の代表世帯と全世帯の電力需要を用いて算出した 1 次回帰式を用いて予測を行ったとしても，日別 MAE は 5.4%とあまり改善されなかった．したがって，大幅に日別 MAE を低減させるためには，電力需要の大きい場合と小さい場合の 2 ケースに分けて 1 次回帰式を算出するなど，他の予測の方法を検討する必要がある．



(a) 2013/3/8 の予測結果



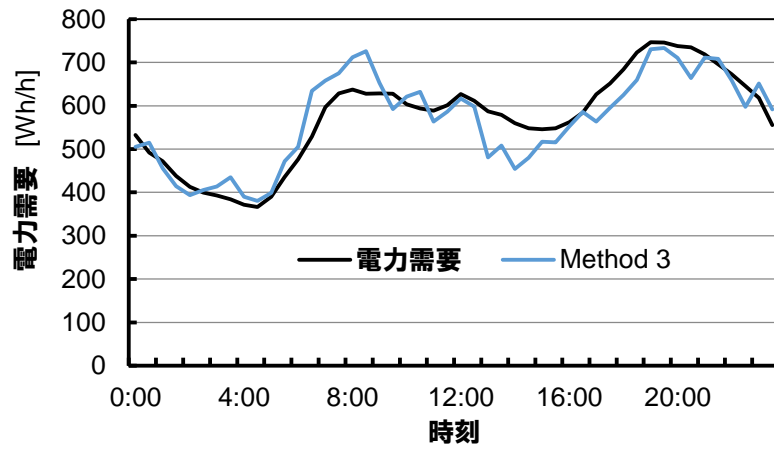
(b) 2013/3/8 の代表世帯の平均電力需要と全世帯の平均電力需要との関係

図 6-8 2013/3/8 の Method 2 の予測結果

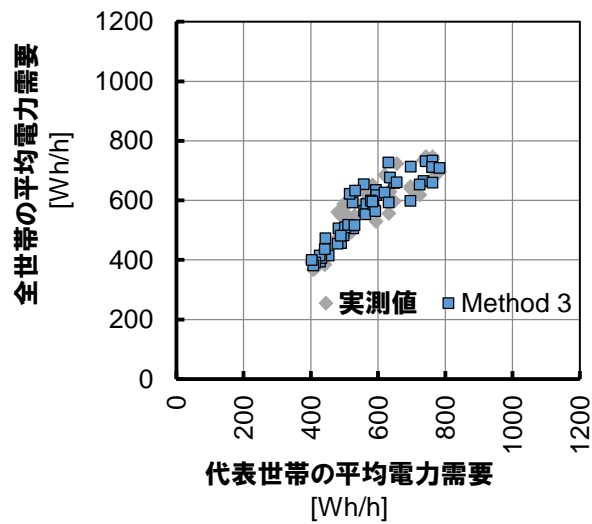
6.4.4 時間帯別需要比率の検証

図 6-9 (a)に 2013/5/11 の Method 3 の予測結果を示す。また、図 6-9 (b)に同日の代表世帯の平均電力需要と全世帯の平均電力需要の関係を示す。同日の日別 MAE は 6.5%であり、Method 3 の日別 MAE の年平均値とほぼ等しい。

同図より、参照日の電力需要を用いて算出した各時間帯の電力需要の比率は当日の電力需要の関係を概ね表せていることが分かる。日別 MAE が大きい日を除いては、大半の日で同様の結果となっていた。したがって、大幅に日別 MAE を低減させるためには、各時間帯の電力需要を比率について、参照日のみの全世帯の電力需要と代表世帯の電力需要との関係を用いるのではなく、直近の複数の日を参照日として予測を行うなど、他の方法を検討する必要がある。



(a) 2013/5/11 の予測結果



(b) 2013/5/11 の代表世帯の平均電力需要と全世帯の平均電力需要

図 6-9 2013/5/11 の Method 2 の予測結果

6.4.5 参照日の検証

図 6-10 に最も日別 MAE の大きかった 2013/3/9 の電力需要と Method 2 と Method 3 の予測結果を示す。同図より、当日リアルタイムで計測した代表世帯の平均電力需要を用いて予測した値は、実際の全世帯の平均電力需要よりも一日を通して大きかった。これは、1 次回帰式や時間帯別の比率を算出する参照日の日の最低気温が 3.7°Cであったのに対し、当日の日最低気温は 11.6°Cであったことが原因と考えられる。参照日と当日における最低気温が大きく異なったことで、暖房需要が小さくなるなど需要特性が変化し、代表世帯の電力需要と全世帯の電力需要との関係が崩れてしまったためと考えられる。

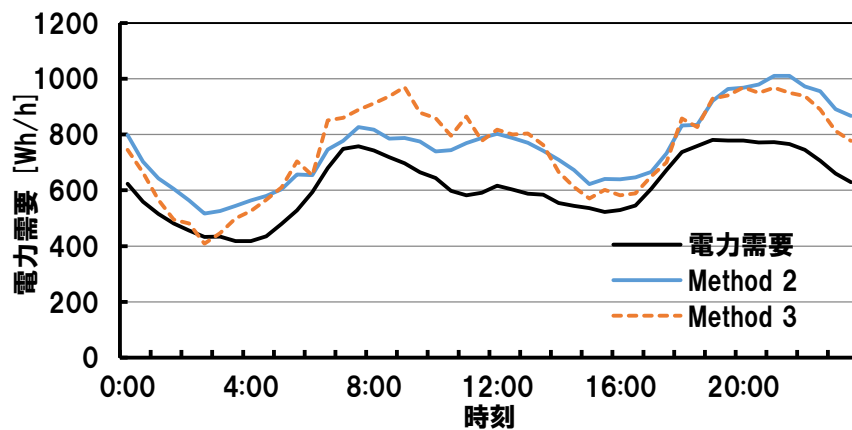
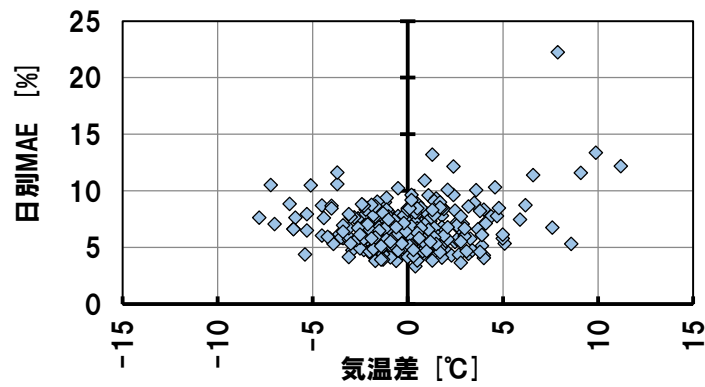
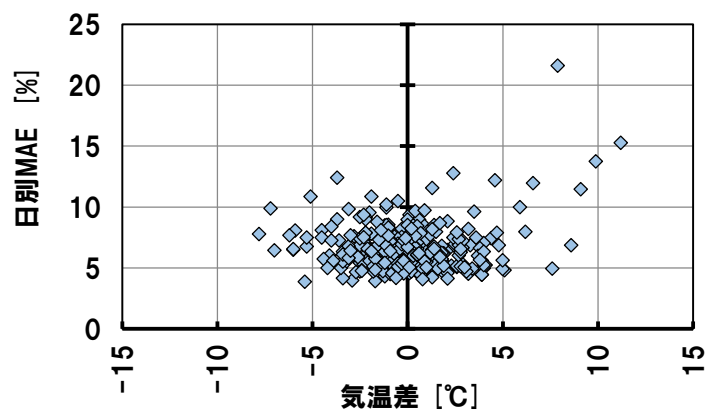


図 6-10 2013/3/9 の予測結果

図 6-11(a)に Method 2, (b)に Method 3 の日別 MAE と、予測対象日に対する参照日の気温差との関係を示す。同図より、予測対象日と気温が $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以上あると日別 MAE が 10%以上になっている日が見られる。この理由から、参照日について予測対象日と似たような気温の日を選定することで予測誤差が低減できることが期待できる。そこで、予報気温が曜日を考慮した直近日の実績気温からから 5°C 以上変化した際には、直近で予報気温と同じ気温の日を参照日とするように変更する。



(a) Method2



(b) Method 3

図 6-11 推定対象日に対する参照日の気温差と各手法の日別 MAE との関係

6.4.6 2つの手法の組み合わせ

前述 6.3 の通り, Method 2 と Method 3 を比較した場合, 最適な予測手法は日々異なっていた. 図 6-12 に各手法の日別 MAE の月平均値を示す. 同図より, Method 2 は冬期以外の時期では Method 3 と日別 MAE の月平均値がほぼ同じ, または小さい傾向にある. 冬期は 1 日の中でも電力需要の変動が激しいため, 一日を通して一つの 1 次回帰式で代表世帯の電力需要と全世帯の電力需要との関係を表現する Method 2 よりも時間帯別にそれらの関係を表す Method 3 の方が予測精度は良かったと考えられる.

上記の結果より, 冬期(12月~3月)については, Method 3 を選択し, それ以外の時期については Method 2 を選択する.

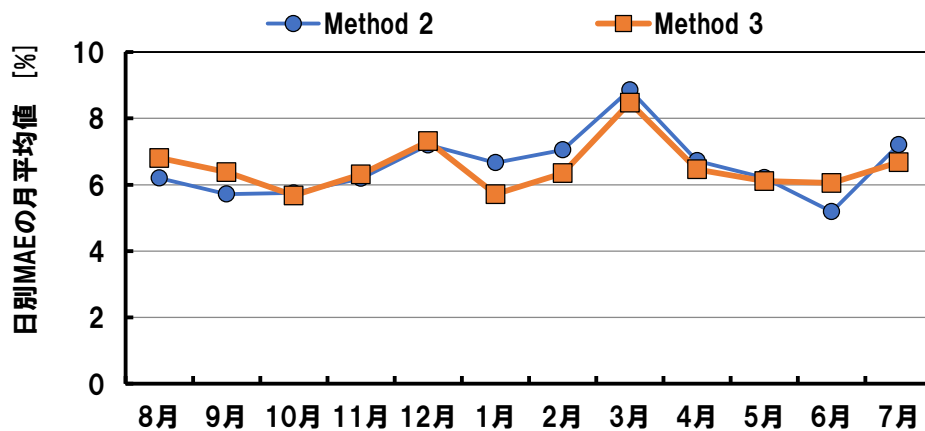


図 6-12 各手法の日別 MAE の月平均値

6.4.7 提案モデルの改善結果

前述 6.4.5 および 6.4.6 の改善策を組み合わせた予測手法を Method 4 と定義する。また、本節では、Method 2 および Method 3 と Method 4 とを比較することで提案モデルの改善結果を確認する。図 6-13 に Method 3 および Method 4 の日別 MAE を示す。同図より、Method 4 では日別 MAE が 15% 以上の日がなくなり、日別 MAE が 10% 以上の日も Method 3 と比較して低減できている。したがって、Method 4 を適用することで、大きく予測を外す日を回避することができると考えられる。一方で、Method 4 は Method 3 と比較して 58% の日 (211 日/363 日) について、日別 MAE を低減することはできなかった。ただし、それらの日において日別 MAE は既に 5~8% 程度と十分に小さい。Method 4 では 86% の日 (312 日/363 日) において日別 MAE が 8% 以下であった。図 6-14 に 2012/12/19 の Method 4 の予測結果を示す。同日の日別 MAE は 8.1% であった。同図より、全世帯の平均電力需要と Method 4 の予測結果は概ね一致している。もし、これ以上の精度向上を行おうとする場合には、天候などの他の情報を取り入れたり、代表世帯数を増やしたりすることが考えられる。しかしながら、扱うデータ量を増やすことは、少数の代表世帯の電力需要データを用いて全世帯の電力需要を予測するという本モデルの特徴を損なってしまうため、慎重に検討する必要がある。

本節で検討した改善の結果として、Method 4 の日別 MAE の年平均値は 6.3% であり、Method 2 の 6.5% から若干改善された。

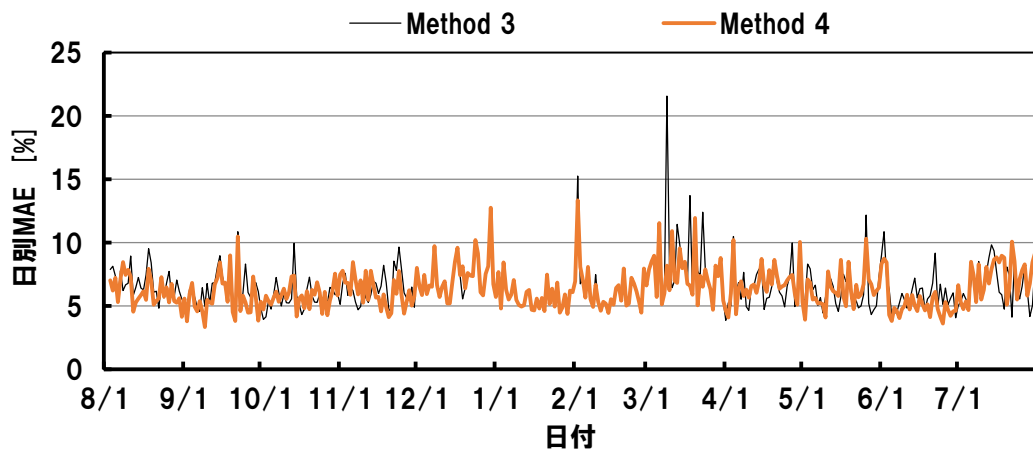


図 6-13 各手法の日別 MAE

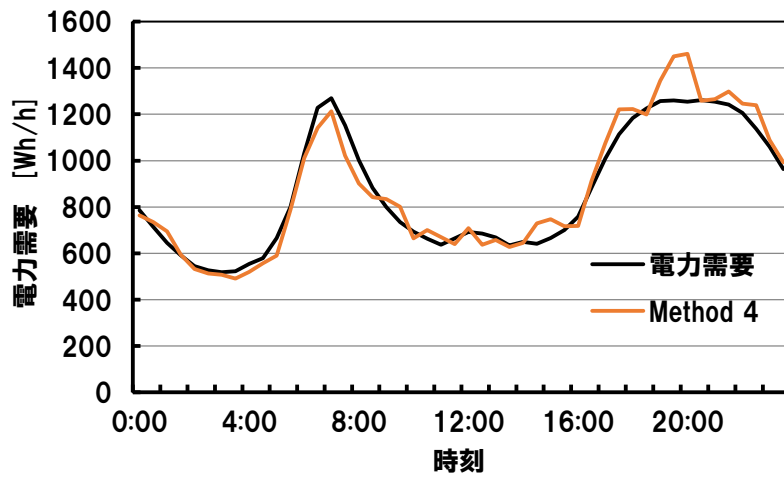


図 6-14 2012/12/19 の予測結果

6.5 1時間先電力需要予測への適用

6.5.1 1時間先電力需要予測モデルの概要

本節の検討では、図 6-15 の状況を想定する。

- (1) Method 4 を用いて当日リアルタイムで少数の代表世帯の電力需要を計測し、全世帯の電力需要を予測する。
- (2) (1)の値を用いて、1時間先の電力需要予測し、翌日電力需要予測の予測値を補正する。

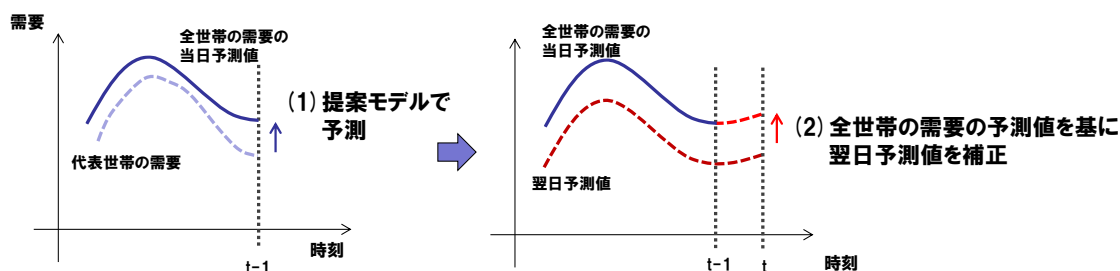


図 6-15 1時間先電力需要予測モデルの概要

なお、本論文においては、1時間先予測については、翌日電力需要予測の電力需要パターンを利用して式 6.3 により 1時間先電力需要予測値を算出する簡易的な手法について検討した。

$$P_{ohf}(t) = \frac{P_{daf}(t)}{P_{daf}(t-1)} \times P_{est}(t-1) [W] \quad (6.3)$$

ここで、 t は予測対象時刻を、 $t-1$ は予測対象時間の 1 時間前を、 $P_{ohf}(t)$ は 1 時間先の電力需要予測値を、 $P_{daf}(t)$ は翌日電力需要予測値を、 $P_{est}(t)$ は当日リアルタイムに計測した代表世帯の平均電力需要を用いて把握した全世帯の平均電力需要である。なお、1時間先電力需要予測は主な検討テーマではないため上述のような簡易的な手法により予測を行ったが、今後 1 時間先予測についても検討することで予測精度を更に改善することが期待される。

6.5.2 予測結果

図 6-16 に Method 4 で把握した全世帯平均電力需要を利用して行った 1 時間先電力需要予測の日別 MAE を示す。同図には当日の実測値を利用して予測した結果も併せて示す。同図より、実測値を利用して 1 時間先予測を行っても、日別 MAE の年平均値は 3.0% であった。前述の通り、本論文では 1 時間先電力需要予測は主なテーマではないため簡易的な手法によって予測を行った。1 時間先電力需要予測については、今後本格的な検討を行うことで予測精度改善の余地がある。

当日推定値を利用した場合、2013/2/2 を除いて、日別 MAE が 15% を超える日は無く、日別 MAE が 10% を超える日は年間の内 4% の日 (15 日) しかなかった。最も予測精度が悪かった 2013/2/2 は 1 時間先予測の日別 MAE は 15.5% であった。同日は Method 4 の推定誤差が 13.3% と大きく、翌日需要予測も 7.6% の予測誤差があった。本研究の簡易的な 1 時間先予測は両者の値を用いるため、両者の予測結果に大きく影響される結果となった。

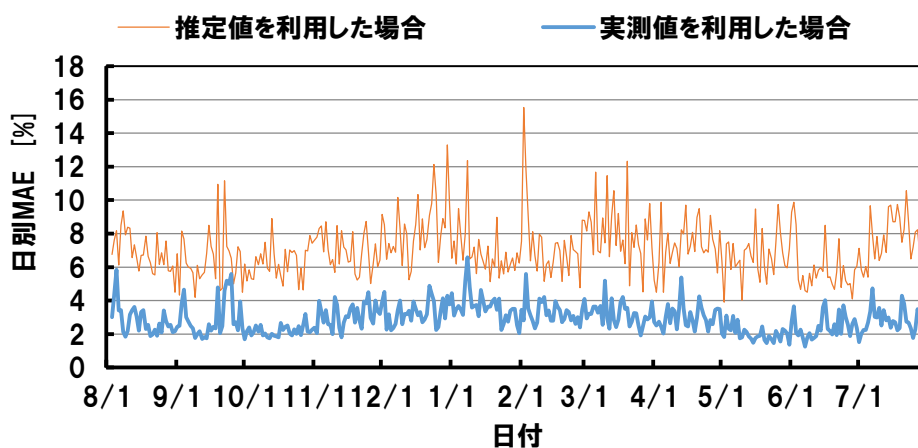


図 6-16 1 時間先予測の予測結果

図 6-17 に翌日電力需要予測の日別 MAE（横軸）と 1 時間先予測の日別 MAE（縦軸）との比較を示す。同図においては、季節によって凡例を分けて表示している（夏期：7 月～9 月，中間期：4 月～6 月，10 月～11 月，冬期：12 月～3 月）。特に夏期や冬期などにおいて日別 MAE が 10% 以上となる時期においては、翌日電力需要予測の結果を当日リアルタイムに把握した電力需要と 1 時間先予測によって補正することで、大半の日において日別 MAE を低減することができた。一方で、冬期においては日別 MAE の期間平均値が翌日電力需要予測では 7.8% であったのが 1 時間先予測では 7.7% に低減できたが、夏期（6.9%⇒7.0%）や中間期（5.8%⇒6.4%）では増加していた。特に中間期においては、天候や電力需要パターンが大きく変化しないため、翌日電力需要予測でも十分に日別 MAE は小さい。そのため、当日リアルタイムに電力需要を把握して補正する必要はないと言える。

本提案手法のように簡易的な手法でも、当日リアルタイムで少数の代表世帯を計測して全世帯の電力需要を把握し、1 時間先予測によって補正することで、翌日電力需要予測において日別 MAE が 10% 以上に大きくなる日についても予測誤差を低減できることが確認できた。今後、1 時間先予測の手法を改善することで、いずれの日においても翌日電力需要予測よりも精度が向上することが期待される。

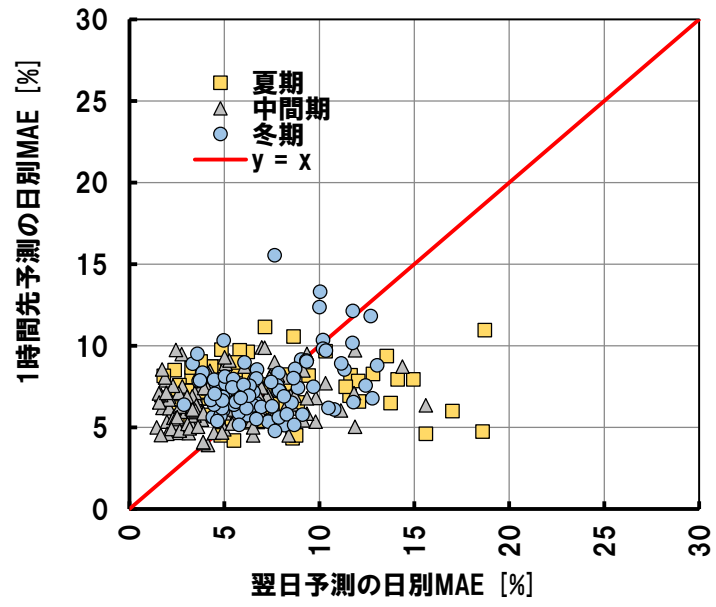


図 6-17 各予測の日別 MAE の比較

6.6 第6章のまとめ

本章では、新規参入小売電力事業者が全世帯の電力需要をリアルタイムに把握する際に、抽出した一部の代表世帯の電力需要を用いて全世帯の電力需要を予測する手法について検討した。その結果、提案手法により、全体の5~10%程度にあたる30世帯の代表世帯の電力需要データをリアルタイムに収集して全世帯の電力需要を予測したところ、第5章の翌日電力需要予測モデルとほぼ同程度の予測精度が得られ、日別 MAE の年平均値 6.3% で予測できた。特に、日別 MAE が大きな日を少なくできており、年間の内 86% の日 (312 日) において日別 MAE が 8% 以下であった。

本予測モデルと簡易的な 1 時間先電力需要予測と組み合わせ、翌日電力需要予測を補正することを試みた。その結果、2013/2/2 を除いて、日別 MAE が 15% を超える日は無く、日別 MAE が 10% を超える日は年間の内 4% の日 (15 日) に抑えることができた。なお、日によっては日別 MAE が翌日電力需要予測よりも大きくなっており、特に夏期や中間期では日別 MAE の期間平均値は翌日電力需要予測よりも大きくなっていったが、それらの日は既に翌日電力需要予測の段階で十分に日別 MAE を小さくできているため、当日補正を行う必要が無いと言える。第5章の翌日電力需要予測の検討結果より、日別 MAE が 6% 程度であれば、インバランスコストを数%程度削減できるため、本予測モデルであっても実務に耐えうる精度で予測できていると言える。

第 6 章の参考文献

- [1] 片岡良彦：「電力供給エリアに広範囲に分布した太陽光発電設備群の合計出力の一推定法」, 電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌), Vol. 133, No. 2, pp.174 -185 (2013)
- [2] T. Yao, Y. Tang, R. Ayyanar, “High resolution output power estimation of large-scale distributed PV systems”, Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), IEEE, pp. 4620 – 4627, (2014).
- [3] K. Kamono, Y. Ueda, “Real time estimation of PV output in distribution systems based on smart meters and irradiance measurement”, 42nd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, #226 Poster P17, (2015)

第7章 総括

7.1 本論文のまとめ

2016年4月より電力小売が全面自由化され、様々なプレーヤーが家庭向けの電力小売事業に参入し、計画値同時同量制度の下で数百～数万件単位の規模の需要家に対して日々需給管理を行っている。新規参入電力小売事業者は、効率的に同時同量制度を達成するために、様々な期間（月間や翌日など）における電力需要予測を行い、需給計画を提出することが求められている。また、それらの計画値は、最終的なインバランス料金を回避するためになるべく精度良く行う必要がある。その際に、新規参入電力小売事業者においては、高額な設備投資を行うことが難しい、高度なシステム運用を担う人材が不足している、と言った理由から、誰でも扱える簡易さで初期投資を抑えつつ、実運用に耐え得る精度を有した電力需要予測モデルに対する高いニーズがある。

しかしながら、これまで家庭部門は自由化されていなかったため、新規参入電力小売事業者が容易に導入できるような電力需要予測モデルはあまり公開されていない。また、新規参入電力小売事業者が新たに電力需要予測モデルを検討しようとしても、数百世帯規模の家庭の電力需要データやその特性について必要な情報が十分に公開されていないという課題がある。

そこで本論文では、数百世帯規模の家庭で実測された電力需要データを分析して電力需要特性の基礎的情報を整理し、電力需要予測などの検討に必要な情報を提供する。また、新規参入電力小売事業者が容易に導入できるような3つの時間断面（月間、翌日、当日）における簡易的な予測モデルについて検討を行った。電力システムに関する知見を有した者が、適切に電力需要特性の分析

を行うことで良い特徴量を把握することができれば、本論文で提案する簡易的な手法であっても実運用に耐え得る予測精度を有した電力需要予測モデルを構築できることが期待される。

第 2 章では、本論文で用いた①FC 設置世帯データ、②一般世帯データ、の 2 つのデータについて計測内容等の概要を示した。また 2 つのデータの月別電力需要について比較を行い、FC 世帯データは一般世帯データよりも需要の大きな世帯ではあるものの、一般的な多数の世帯の集合としての電力需要特性は表現できることを確認した。

第 3 章では、新規参入電力小売事業者が電力需要予測等の様々な検討を行えるように数百世帯規模の平均電力需要の特性評価を行った。その結果、日平均、最大、最小需要は日平均気温と 2 次関数により近似できる等の基礎的特性を示すことができた。また、これまで公開されていないお盆や正月などの特異日における電力需要の傾向を示した。

なお、本論文で用いた FC 世帯データは、第 2 章および第 3 章で示した通り電力需要の大きな世帯で計測されたデータではあるが、電力需要パターンやその変化の傾向としては先行研究で公開されている一般的な世帯と類似していることを確認している。加えて、供給対象世帯数が増えることによるならし効果が飽和するには十分な世帯数を対象としていることを確認している。したがって、新規参入電力小売事業者が、数百世帯以上の世帯群を対象として電力需要予測等を検討するにあたり必要となる基礎的な電力需要特性を示すことができた。

第 4 章では、公開されている統計情報や、新規参入電力小売事業者がユーザーとの契約情報から容易に入手できる住居形態や世帯人数等の世帯属性情報を基に、新規参入電力小売事業者が自身の供給対象世帯の中にどのような電力需要の傾向を持った世帯がどの程度存在するかを把握でき、供給対象世帯の合計

の月別電力需要を簡易的に予測できるモデルを構築した。その際に、提案モデルで予測する際に必要となる世帯属性（住宅種別（戸建／集合）、居住地域、世帯人数、等）の値別に月別電力需要の年変化の傾向別に分類した各グループの割合や、各グループの月別電力需要の平均値に関して、一般世帯データを用いて行った検討結果について示した。また、提案モデルを用いた月別電力需要予測の一例として、一般世帯データの1,720世帯からランダムに100世帯を予測対象として抽出し、残りの1,620世帯を学習用データとして月別電力需要の予測を行った。その結果、世帯属性として住宅種別と世帯人数を用いて予測を行うことで、各電力需要の傾向を持った世帯の割合を把握することができ、実運用に耐え得る精度で月別電力需要の合計値を予測できるモデルを構築できた。

第5章では、運用者が電力需要予測の根拠を直観的・定性的に理解しやすい翌日電力需要予測モデルを構築した。本モデルを構築するにあたり、簡易的な方法で過去の電力需要データを参照して予測するいくつかの方法を提案し、それぞれの予測精度とその傾向を評価したうえで、各手法を簡易的な条件に基づいて組み合わせることを検討した。その結果、各時間区分の平均値を予測する場合には、気温を基準として電力需要データの参照日を決定する方が、日付を基準として参照日を決定するよりも予測精度が良いことが確認できた。また、各時間区分の平均値に対する30分ごとの比率については、①平日／休日を考慮した前日値、②平日／休日を考慮した過去数日の平均値、③同じ曜日の過去数日の平均値、といった3パターンを組み合わせることで予測精度が改善できることが確認できた。更に、特異日（正月、お盆、GW）、中間期（平均気温が20℃前後の月）、雨期（6月および9月）、および気温が急激に変化した日については、日付を基準として電力需要データの参照日を決定する方法に変更することで、当該期間の予測精度を改善できていることを確認した。なお、

本章での提案モデルにより、ある条件でのインバランスコストを供給コスト対比で数%程度削減できることを確認している。したがって、提案モデルのような簡易的な電力需要予測モデルであっても、実運用に耐えうる精度で予測できることが確認できた。

第 6 章では、当日リアルタイムに計測した一部の代表世帯の電力需要を用いて全世帯の電力需要を予測する手法について検討した。その結果、提案モデルにより、全世帯の 5~10%程度にあたる 30 世帯の代表世帯のデータを収集して全世帯の電力需要を予測したところ、第 5 章で提案した翌日電力需要予測モデルと同程度の精度で予測することができた。翌日電力需要予測モデルの予測値と比較すると、特に予測誤差が大きな日を少なくできており、年間の内 86%の日（312 日）において日別平均絶対誤差(MAE)が 8%以下であった。また、本モデルと簡易的な 1 時間先予測を組み合わせることで翌日電力需要予測値を補正することを試みた。その結果、特に予測誤差の大きかった日の予測値を補正することができ、日別 MAE が 10%を超える日は年間の内 4%の日（15 日）に抑えることができた。したがって、提案モデルのように全世帯の電力需要を収集するのではなく、一部の代表世帯の電力需要を用いて全世帯の電力需要を予測した場合でも、実運用に耐えうる精度で需給状況を予測できる可能性がある。

以上の通り、電力システムに関する知見を有した者が適切に電力需要特性を分析することで良い特徴量を把握することができれば、本論文で提案するような簡易的な手法であっても実運用に耐え得る予測精度で各時間断面（月別、翌日、当日）の電力需要を予測できるモデルを構築することができた。

7.2 今後の課題

各章の提案モデルについて、今後の検討課題を以下に示す。

第3章においては、3.5節で示した対象世帯数が増減した際の電力需要特性の変化について、本論文では日代表値での検討に留まっていることから、時間帯別の電力需要特性等についても検討が必要である。

第4章においては、今回検討した世帯属性（住宅種別（戸建／集合）、居住地域、世帯人数、等）の値別に月別電力需要の年変化の傾向別に分類した各グループの割合や、各グループの月別電力需要の平均値に関して、関東圏に居住した世帯を対象とした一般世帯データを用いて検討を行った。そのため、本検討結果によって他地域や偏った属性を持った世帯群に対して同様に予測できるか検証が必要であり、さらに汎用的なモデルとするために日本全国を対象に需要データを取得し評価を行う必要がある。また、月別電力需要の予測モデルにおいては、消費電力の傾向によって世帯を分類する際の基準について、適切な分類の数や分類の閾値について検証が必要である。各電力需要の傾向別のグループの割合を適切に推定するために、各グループの割合を求める属性の種類や数については検討が必要である。加えて、複数の属性を用いる際の各属性の重みについても検討が必要である。さらには、新規参入電力小売事業者が詳細な事業計画を検討するためには、各季節での1日中の時間変動を予測するモデルが必要となるため、提案モデルを拡張していくことも求められる。

第5章においては、今後は、予測誤差が大きかった日について個別の改善策を検討する必要がある。例えば、特異日の予測において記載したように、経年の電力需要データを得られた際に、前年の同時期・同日の電力需要の傾向等を踏まえて予測を行うなど、予測も出るの更なる改善を図ることが求められる。

また、他の需要データで予測を行うなど、予測モデルの汎用性についても検証を行う必要がある。

第 6 章については、今回主題としなかった 1 時間先予測について、過去の電力需要の変化の傾向や気象情報などを予測に組み込むこと点などについて検討が必要である。

また、本論文で提案したような、①少ないデータと簡易的な手法で予測する場合と、②多量の情報等を用いて機械学習等により多量の計算結果から予測する場合、との定量的な比較を行えていない。今後、両手法の比較や、②の手法と本研究の知見を融合することで、更に予測モデルを発展できる可能性が考えられる。例えば、今回の検討では含めていないが比較的簡易的に取得できそうな気象情報（湿度、不快指数、等）を増やしたり、各手法の組み合わせについてルールを増やしたりすることなどが考えられる。それらの検討は今後の課題としたい。

なお、本論文で課題として挙げた通り、研究開発分野で検討されている技術と、実務分野で用いられている技術とでは、実用面において大きな開きが存在する可能性がある。ある技術を実務で利用する際には、各社の方針や担当者の技術レベルなど様々な要因から、良い技術であってもすぐに適用できないこともある。両者が歩み寄り人材交流等を図ることなどで、それらの乖離が少しずつ解消されることを期待したい。加えて、家庭の電力需要データは個人情報保護やセキュリティの問題から公開が難しいデータではあるが、実測データを用いなければ、前述のような乖離を招いてしまう可能性もある。経済産業省の主導で行われていた大規模 HEMS 情報基盤整備事業¹¹などを通じて、家庭の電力需要データの共有が進むことを期待とともに、そのための技術（データの匿名化や一般化技術など）の検討を研究開発分野に期待したい。

第7章の参考文献

- [1] i エネ コンソーシアム：「平成 26 年度大規模 HEMS 情報基盤事業整備事業
活動概要」，

http://www.ienecons.jp/wp-content/uploads/2015/03/activity_summary_report.pdf

(アクセス日 2017 年 1 月 15 日)

謝 辞

本研究の遂行ならびに本論文のとりまとめにあたり、終始懇切なるご指導とご鞭撻を賜りました名古屋大学未来材料・システム研究所教授 加藤 丈佳先生に甚大なる感謝の意を表します。

本論文の作成にあたり有益なるご指導を頂きました名古屋大学大学院工学研究科教授 道木 慎二先生に厚く感謝いたします。

本論文の作成にあたり細部にわたるご助言を頂きました東京大学生産技術研究所特任教授 岩船 由美子先生に厚く感謝いたします。

本論文の作成にあたり有益なるご指導を頂きました名古屋大学未来材料・システム研究所客員教授 舟橋 俊久先生に心より深く感謝いたします。

本研究の遂行過程ならびに本論文の作成にあたって終始細部にわたるご教示とご指導を頂きました愛知工業大学工学部教授 鈴置 保雄先生に厚く感謝いたします。

本研究を進めるにあたり、社会人として働きながら大学に通うことを認めていただき、さらに有意義なご討論とご激励を賜りました九州大学水素エネルギー国際研究センター教授 土肥 英幸氏（前JXエネルギー中央技術研究所システム研究所長）をはじめとするJXエネルギーの上司ならびに関係部署の各位に心より厚く感謝と御礼を申し上げます。

本研究の過程におきまして、議論を交わし、研究の遂行にご協力をいただきました名古屋大学の大学院生および卒業生 城丸 浩紀氏、日比 教智氏、長江 暁彦氏に感謝の意を表します。

また、本研究の過程において、大学での活動にご協力いただきました鈴置・加藤・舟橋研究室の大学院生、学部学生、卒業生の方々、秘書の方々に感謝い

たします。

最後に、本研究を進めるにあたり、社会人として働きながら大学へ通うことに理解を示し、温かい励ましとともにいつも支えてくれた家族・友人に心より感謝します。

本研究に関連して発表した論文

章	論文題目	掲載雑誌	共著者
3	数百世帯規模の家庭の平均電力需要特性の評価	エネルギー・資源, Vol.38, No.1, p.53 (2017)	森田圭, 真鍋勇介, 加藤丈佳, 舟橋俊久, 鈴置保雄
4	消費電力量と世帯属性の分類に基づく世帯群の合計消費電力量推定に関する一検討	電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), Vol.136, No.6, pp.802-810 (2016)	森田圭, 中野裕一, 定兼修, 真鍋勇介, 加藤丈佳, 舟橋俊久, 鈴置保雄
6	A Study on Estimation of Aggregated Electricity Demand for One-hour-ahead Forecast	Applied Thermal Engineering, in press (2017)	Kei Morita, Hiroki Shiromaru, Yusuke Manabe, Takeyoshi Kato, Toshihisa Funabashi, Yasuo Suzuoki

本研究に関連した国際会議での発表

章	論文題目	掲載雑誌	共著者
6	A Study on Estimation of Aggregated Electricity Demand and Impacts by Its Errors to Demand Forecast	4th International Conference on Microgeneration and Related Technology, October 28-30, Tokyo(Japan), Pa-II-A, pp.31-37 (2015)	Kei Morita, Yuichi Nakano, Osamu Sadakane, Kazutomo Hibi, Hiroki Shiromaru, Takeyoshi Kato, Yasuo Suzuoki, Yusuke Manabe, Toshihisa Funabashi