

都市気象 - 建物エネルギー連成モデルの 街区電力需給予測への応用

環境社会システム学分野 47-146798 田代 太一

指導教員：井原 智彦 准教授

キーワード：電力消費量，モデル開発，シミュレーション，スマートグリッド

1. 研究背景と目的

都市人口の増加や電化率の上昇から、都市の電力需要増加が増加している。特に化石燃料由来の発電に依存している今日では、電力需要の増加が温室効果ガスの排出へとつながり、地球温暖化を加速させる。地球温暖化への対策として期待されている再生可能エネルギーは導入が進んでいるが、出力を天候に依存するため供給の不安定性が課題となっている。

電力の需要と供給を最適化できるスマートグリッドは再生可能エネルギーの課題を解消できる技術の一つとされているが、スマートグリッドに不可欠な電力需要の推定は確立しておらず、ほとんどが過去のデータに基づく統計モデルを用いている[1]。今後の都市開発や気候変動を考慮すると、将来予測可能なシミュレーションモデルが必要不可欠である。

電力需要の予測には過去のデータに基づく統計モデルが使用されることが多いが、これから開発される都市や、気候変動の影響を受けた将来の街区に対し適用することはできない。一方で気象と電力需要の現実的な関係を考慮できる物理モデル（例えば[2][3]）は、理想的な街区の電力需要をある程度予測することはできるが、複数の建物用途を考慮する街区に対し適用することは困難である。このような複数の建物用途が混在する街区を考慮できるシミュレーションモデルはこれまでに存在しない。本研究では、複数用途が存在する街区を考慮した電力需給シミュレーションモデルの開発と検証をおこなう。開発は Kikegawa et al [3]による都市キャノピー・建物エネルギー連成モデル (CM-BEM) をもとに開発する。検証は2013年4月～2014年3月における大阪市域の複数の実街区の電力供給データにもとづき、電力需要予測の精度を従来モデルと新たに開発したモデルにて比較する。

2. シミュレーションモデル

2.1 都市キャノピー・建物エネルギー連成モデル (CM-BEM) (従来モデル)

ベースとなる都市キャノピー・建物エネルギー連成モデル (CM-BEM) の概要を図1に示す。CM-BEM は都市キャノピー層の気象要素を推定する CM と建物外部への熱輸送量を推定する BEM のサブモデルから成る。CM-BEM は街区気象条件に伴う建物内部のエネルギー消費、および空調による外気への排熱を表現する。

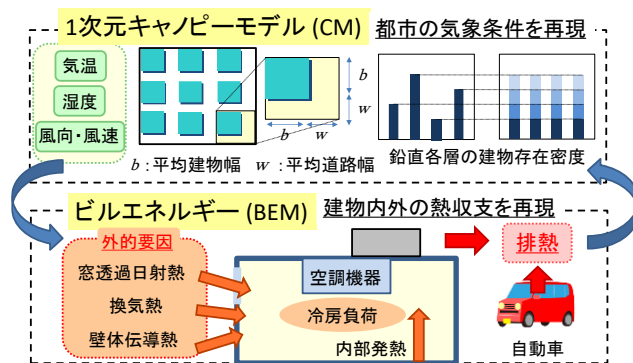


図1. CM-BEM (従来モデル) 概要図

2.2 新モデルによる電力消費量の推定

新たに開発したモデルの概要を図2に示す。従来モデルは建物用途割合に応じて3種類（戸建住宅、集合住宅、業務）のうち1種類の入力条件を与えている。新モデルでは3種類の街区種別に対応する入力条件を全て与え、建物に3種類の属性を持たせることで建物用途の混在を表現する。電力消費量は属性ごとにそれぞれ計算され最終的に延床面積で加重平均して求める。

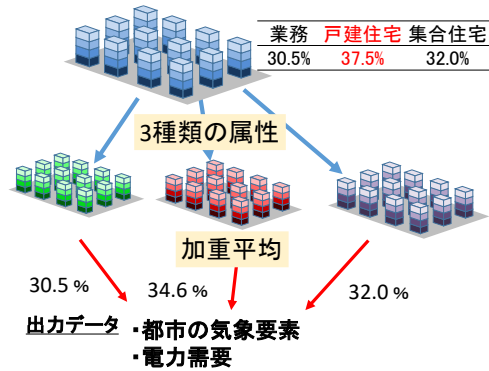


図2. 新モデルの概要図

3. 調査範囲とデータ

本研究では大阪市周辺を調査地域とした。図3に大阪市周辺の調査対象街区を、表1に調査対象街区の建物用途割合を示す。建物用途割合は建物ポリゴン GIS データと土地利用ポリゴン GIS データより、用途ごとの延床面積をベースに割合として表した。そのうち、集合住宅の用途割合が33%以上の街区を集合住宅街区（街区A）、戸建住宅の用途割合が33%以上の街区を戸建住宅街区（街区D）、業務の用途割合が33%以上の街区を業務街区（街区B1-B2）、運輸施設が33%以上の街区を運輸街区（街区T）、以上の条件を満たさない街区を混在街区（街区M1-M2）とした。また、戸建住宅、集合住宅、業務街区において建物用途割合が最大の街区を、その街区の代表街区とした。

表1. 調査範囲の建物用途割合

街区 (代表)	戸建 住宅	集合 住宅	業務	その 他
A (集合)	28%	33%	8%	31%
D (戸建)	37%	30%	6%	27%
B1	0%	8%	68%	24%
B2 (業務)	0%	1%	87%	12%
M1	15%	29%	15%	41%
M2	15%	15%	5%	65%
T	0%	21%	21%	58%

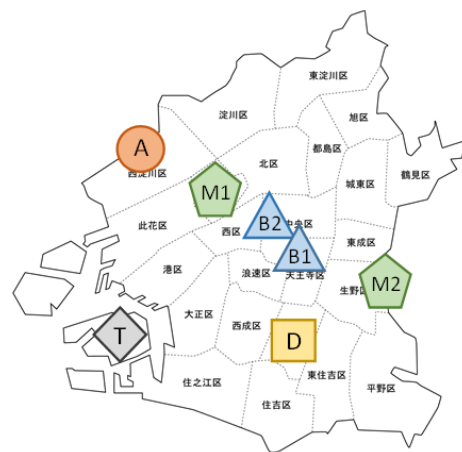


図3. 調査対象範囲

4. 結果と考察

4.1 スケジュールの作成と従来モデルの検証

従来モデルにて、各代表街区のベースロード（空調稼働しない時期（中間期）の電力消費量）を橋本[4]による対応する街区の気温・湿度—電力回帰分析の結果を参考に算出した（図4）。また、算出したベースロードの値を用い、冷房および暖房稼働スケジュールを算出した（図5）。ベースロード、空調稼働スケジュールを用いて、代表街区以外の街区について各街区の期間（夏季、中間期、冬季）積算電力消費量を計算した。さらに計算した積算電力消費量（計算値）と実測した積算電力消費量（実測値）の差分を実測値に対する割合で検証した（表3）。

結果として代表街区以外の街区では概ね30–60%程度の誤差を示した。誤差原因の考察として、①スケジュールの不正確さ、②モデルの不適切な仮説、を挙げた。

①に関して、ベースロード、空調稼働スケジュールは実測値をもとに作成したが、この実測値は代表街区だけの電力消費ではなく、多様な用途の影響を受ける。特に住宅での消費に比べ業務は大きいため、業務用途が含まれている住宅街区は影響を受け、本来のスケジュールの真値（街区種別の用途のみの値）よりも過大に評価していると考えられる。

②に関して、現行のCM-BEMでは計算街区の最大建物用途に応じて入力パラメーターを与える。そのため最大用途が30%にも満たないM1やM2のような、さまざまな建物用途が混在した街区を表現できない。したがって汎用化させるためには、建物用途が混在した状態を再現できるように改善する必要があると言える。

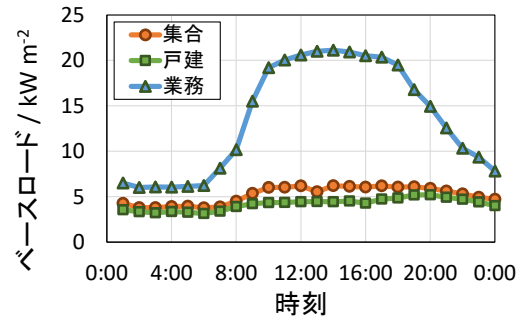


図4. 各街区の平日におけるベースロードスケジュール

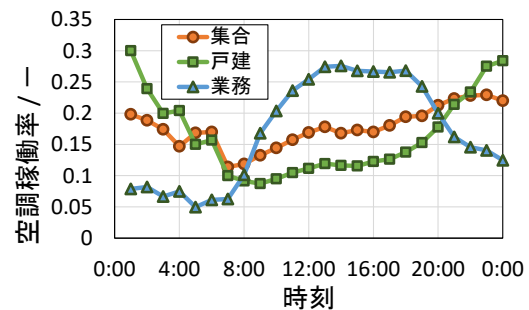


図5. 各街区の平日における冷房稼働スケジュール

表3. 従来モデルでの積算電力消費量における実測値と計算値の差(実測ベース)

街区 (代表)	夏季	中間期	冬季
A (集合)	3%	2%	2%
D (戸建)	4%	4%	3%
B1	38%	32%	40%
B2 (業務)	1%	0%	2%
M1	50%	38%	40%
M2	63%	39%	40%
T	416%	350%	373%

4.2 新モデルの検証

新モデルでも 3.2 節と同様に期間別に計算値と実測値の差分を実測値に対する割合で検証した(表 4)。従来モデルではチューニングをしていない代表街区以外の街区で概ね 30%–60%の誤差があったが、新モデルでは 10%–40%ほどとなった。建物が混在した状態を再現することにより、実測値と計算値の差は小さくなったと考えられる。

表 4. 新モデルでの積算電力消費量における実測値と計算値の差(実測ベース)

	夏季	中間期	冬季
A	-9%	-9%	-9%
D	32%	30%	21%
B1	33%	39%	31%
B2	1%	11%	2%
M1	-16%	-15%	-18%
M2	-29%	-30%	-21%
T	281%	252%	257%

精度向上への考察として、①商業用途の考慮、②業務用途の細分化が挙げられる。

①に関して、街区 B1, B2 は業務の用途割合がともに高いが、街区 B1 での電力消費量の再現に課題が残った。これは街区 B1 には本研究では考慮していない商業用途の割合が大きく、商業用途は床面積あたりのエネルギー原単位が大きい[5]ためだと考えられる。

②に関して、住宅街区に含まれる業務用途と業務街区に含まれる業務用途建物では、建物あたりの延床面積が大きく異なった(図 6)。建物の延床面積が異なるとエネルギー原単位も変化する[5]ことが知られており、本研究での業務用途は 1 種類のみだが、延床面積別にパラメーターが必要だと考えられる。

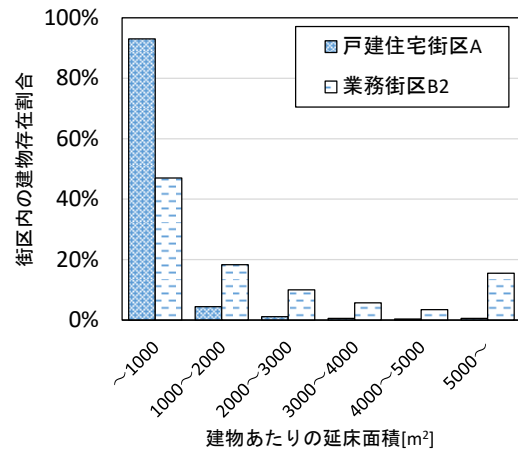


図 6. 街区に含まれる延床面積別の業務ビルの割合

5. まとめと今後の展望

本研究では汎用性の高いモデルを開発し電力消費量の再現を試みた。結果として従来モデルに比べ、新汎用モデルでは概ね実測値と計算値の差が小さくなることが示された。街区の延床面積割合を用い、複数の街区種別に分類することで、街区の電力需要の特徴を把握できることがわかった。

今後の展望として、モデルの精度向上に向けて考慮できる街区種別を増やす、特にエネルギー原単位が大きいと考えられる商業用途や業務用途の細分化が必要である。

参考文献

- [1] 原(2014): 電気学会論文誌 B, 134(4), pp.276–279.
- [2] Salamanca and Martilli. (2010): Theoretical and Applied Climatology, 99(1), pp.345–356.
- [3] Kikegawa et al. (2003): Applied Energy 76(4), pp.449–466.
- [4] 橋本(2016): 東京大学大学院 修士論文.
- [5] 平野ほか(2008): 日本建築学会環境系論文集, 73(663), pp.1331–1339.