

| | |
|--------------|---|
| Title | Building stock energy modeling for commercial building stock |
| Author(s) | 金, 範俊 |
| Citation | 大阪大学, 2024, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/95966 |
| rights | |
| Note | やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。 |

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 (金 範 埃)

論文題名

Building stock energy modeling for commercial building stock
(業務用建物ストックにおけるエネルギー需要推計モデルの開発)

論文内容の要旨

Physics-based Building Stock Energy Models (BSEM) are widely acknowledged as effective tools for policy assessment, particularly in assessing the energy demands of commercial buildings. These models, especially the physics-based BSEM, are preferred due to their ability to apply physics-based energy simulations for extrapolating the physical aspects of building operations across entire building stocks. They play a crucial role in identifying energy efficiency opportunities and quantifying potential energy savings from different retrofit strategies, thereby addressing energy demand challenges effectively. However, traditional physics-based BSEM has limitations, including gaps in estimating energy demand from commercial buildings, largely due to a lack of consideration for the diversity of HVAC systems and the generalized occupancy profiles. To bridge these gaps, this thesis introduces a new methodology for modeling physics-based BSEM for commercial buildings.

Chapter 1 provides an introduction to the physics-based BSEM and the limitations of the conventional modeling approaches with the comprehensive review. It also presents the overall objectives and framework of research aimed at establishing a novel modeling methodology for physics-based BSEM.

Chapter 2 presents a new approach to model the diversity in building systems to take into account the heterogeneity of the building system. The study presented that the improvement in the estimation results and analytical capabilities with the case of Japanese office building stock.

Chapter 3 presented the modeling methodology to consider the composition of various building system stock and its long-term change. In addition, the capabilities of the developed BSEM framework are demonstrated in a case study on the Japanese commercial building stock in this chapter.

Chapter 4 established the modeling methodology to estimate the time-sequence electricity load profiles of commercial building stock. To achieve this, an occupancy modeling approach that reflects the general occupancy presence pattern of a large population using survey data.

Finally, Chapter 5 summarizes the key findings, conclusions, and contributions of the study.

This thesis significantly advances the field of physics-based BSEM for commercial buildings, offering a more reliable estimation methodology. The approach also has potential applications in future policy assessments for commercial building stocks.

論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏 名 (金 範 埃) | | |
|---------------|-----|-----------|
| | (職) | 氏 名 |
| 論文審査担当者 | 主 査 | 教授 下田 吉之 |
| | 副 査 | 教授 近藤 明 |
| | 副 査 | 准教授 山口 容平 |

論文審査の結果の要旨

民生業務部門は主要な二酸化炭素排出部門の一つであり、とりうる技術的対策と、導入により得られる二酸化炭素排出量削減ポテンシャルを明らかにすることは政策決定に資する重要な課題である。このような背景に対して建築工学分野では、建築物ストックのエネルギー需要を推計するための Building stock energy modeling (BSEM) という方法論が開発されてきた。この中でも、エネルギー需要モデルを次の手順で構築する手法は二酸化炭素排出量削減ポテンシャルの推計に有効であると認識されている。

- ① エネルギー需要を決定づける主要な因子で業務施設ストックを類型化する。
- ② 類型別の標準的な特性を有する代表モデル (Reference building model と呼ばれる建築物モデル) を設計する。
- ③ 物理則ベースのシミュレーションを行って代表モデルのエネルギー需要を推計し、結果を延床面積当たりの原単位とする。
- ④ エネルギー需要原単位を対応する類型全体に適用し、原単位と延床面積の積和によりストック全体のエネルギー需要を定量化する。

一方で、既往研究では空気調和設備、給湯設備等の建築設備の多様性や省エネルギー技術を考慮するための手法が確立されておらず、日本の業務部門のように二酸化炭素排出量削減に多様な技術オプションの考慮が必要となる対象について有効な推計精度、分析能力を提供していなかった。具体的には次に示す課題があった。

- ・ 上記①④の過程において建築設備・各種省エネルギー手法の多様性が考慮されていない。
- ・ ②の過程において建築設備が詳細に考慮されていない。また、建築設備の仕様を決定する方法が確立されていない。
- ・ ③の過程において建築設備の稼働条件を精度高く考慮する方法が確立されていない。

本論文ではこれらの課題を解決し、業務部門におけるエネルギー需要、二酸化炭素排出量削減ポテンシャルを推計するための方法論を確立し、日本の業務部門に適用してその有効性を検証した。主な成果は次に示す3つのものである。

(1) 建築設備の多様性・各種省エネルギー手法を考慮した BSEM の確立

建築設備の多様性・各種省エネルギー技術を BSEM で考慮するための方法論を確立した。開発手法は次のものである。まず、上記①の過程において、建築設備に関する類型を考慮し、業務施設ストックを類型化する。次に、②の過程において建築設備を含む入力条件のテンプレートを用意し、代表モデルに組み込む。加えて、代表モデル構築過程に設備設計過程を組み込み、代表モデルの建築設備仕様を決定する。さらに、④の過程において、システム代替案の選択確率を推定するための統計モデルを開発し、建築設備類型別ストック構成を定量化する。本論文では日本のオフィスビルを対

象とするケーススタディを行い、以上の手法により建築設備の多様性・各種省エネルギー手法を考慮したエネルギー需要モデルを構築可能であることを示すとともに、それらの考慮によりもたらされる精度向上を定量的に示した。

(2) 建築設備の多様性・長期変化を考慮した二酸化炭素排出量削減ポテンシャル評価

開発した BSEM 手法を活用することにより、エネルギー需要モデルにおいて建築設備の多様性、多種多様な省エネルギー手法、業務施設ストックの長期的な経年変化を考慮することができる。本論文では開発した BSEM 手法を日本の業務施設ストックに適用し、BSEM の有効性を検証した。この結果、開発した BSEM 手法は、技術オプションとその採用に影響を及ぼす因子の考慮を容易にすること、また、技術普及に関するなりゆきの変化を想定してエネルギー需要ベースラインを定量化可能であることを示した。さらに、エネルギー需要モデルにより推計された業務施設別のエネルギー需要原単位は実態値の分布とよく一致しており、開発モデルにより業務施設ストックのエネルギー需要を精度高く推計可能であることを示した。加えて、日本の業務部門では、なりゆきで生じると予想されるエネルギー性能の向上により、2030 年までに 2013 年比で 18% 二酸化炭素排出量が削減されること、暖房、換気、空調、給湯システムの熱源の電化によって引き起こされる電力需要の増加は、省エネルギー手法の普及によりもたらされるエネルギー効率向上により回避可能であることを示した。

(3) 時系列電力需要のモデリングへの応用

これまでいくつかの BSEM が時系列電力需要の模擬に応用されてきたが推計精度に問題があった。本論文は、1) 設備稼働の時間変化の想定が現実と乖離していること、2) 建築設備の多様性が未考慮であることが原因であるという仮説を立て、この問題に対応するための方法論を開発した。具体的には、Trip survey と呼ばれる人の移動に関する社会調査データを活用して業務施設利用者の滞在プロフィールを作成し、上記の BSEM に組み込むことを提案した。日本の業務部門を対象とするケーススタディを通して、滞在プロフィールのモデリングと建築設備の多様性の考慮を組み合わせることにより、時系列電力需要の挙動の再現性を高めることが可能であることを示した。また、開発したモデルでは、電力需要の長期的な変動を予測し、デマンドレスポンスによる電力需要調整能力を推定することが可能であることを示した。

このように、本論文は業務施設ストックのエネルギー需要を推計するためのモデリング手法を確立し、その有効性をケーススタディにより示した。この成果は、業務施設ストックを対象とする二酸化炭素排出量削減、デマンドレスポンスの検討を容易にすると考えられる。なお、開発手法は日本だけでなく他の地域にも適用可能である。

以上のように、本論文は建築工学、エネルギー工学分野の発展に寄与する研究成果を提示しており、今後の建築分野のカーボンニュートラル対策を進めていくうえで貴重な知見を与えるものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。