



Title	Advancing bottom-up approach for the development of multi-scale building stock energy model
Author(s)	Bin Perwez, Usama
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/92956
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (BIN PERWEZ USAMA)	
Title	Advancing bottom-up approach for the development of multi-scale building stock energy model (マルチスケール建築物ストックエネルギー需要モデル開発のためのボトムアップモデリング手法の高度化)
Abstract of Thesis Building stock energy modelling (BSEM) has gained a lot of attention recently with the development of a range of methodologies due to its multi-dimensional capabilities and the potential to incorporate various decarbonization strategies and climate mitigation scenarios. With the advancement of data-driven techniques, BSEMs involve a higher degree of complexity with varying model structure and output that requires comprehensive reporting guidelines to improve the interpretation and consistency of these models. In BSEM, several bottom-up methodologies have been developed to assess the energy demand and emission reduction potential of the stock but, often have transitional limitations either to shift from aggregated to disaggregated stock boundary conditions or involve a differentiated description of practices and policies across a range of scales and sectors. This thesis aims to advance the methodological capability of BSEM in terms of data coherence, scalability and coordination, which can provide transparency and capture value with the least cost and effort. Based on the above background, the key data acquisition techniques of BSEM are assessed to assist in the selection of the BSEM approach depending on the data availability and quality, and then, a novel bottom-up BSEM approach is developed to incorporate scalability and integration of multiple building-oriented elements within the model. Moreover, to exhibit the model applicability and integration of the developed model, a bottom-up BSEM approach is coupled with a physical approach of building integrated photovoltaics (BIPV) potential estimation to assess the carbon neutrality of commercial building stock at scale. The thesis is comprised of six chapters whose summary is explained as follows: Chapter 1 provides a comprehensive overview of transitional strategies and measures to decarbonize the commercial building stock. After this, a quadrant-based classification of BSEM is outlined and further review of methods related to carbon neutrality assessment and BIPV estimation are discussed. In Chapter 2, key data acquisition techniques of BSEM and their use cases are identified and then, illustrated the development process of three major BSEM approaches. The crossover framework was further developed to assess the accuracy and added value of quality and quantity of data on the model performance of commercial BSEM. In Chapter 3, an automated dynamic building simulation framework using a GIS-synthetic hybrid model is developed to integrate spatial and synthetic modelling approaches for facilitating the concurrent consideration of multiple building-oriented elements at multiple scales. In Chapter 4, a multi-model framework of the BSEM-BIPV coupled scheme is developed to illustrate the process of model coupling for the assessment of carbon-neutral building stock, which can involve a higher degree of coordination to adequately manage the modelling functionality and integration, resolution and data coherence. Chapter 5 presents an integrated discussion to explain the contributions and practical perspective of the advancement of BSEM approaches. The chapter further highlights the importance of the role of data acquisition, multi-scale modelling and purpose-driven coupling for enhancing the model development process of BSEM. Chapter 6 provides a summary of contributions related to formulated research objectives. Overall, this thesis has contributed to the advancement of BSEM by providing comprehensive reporting guidelines in terms of accuracy, granularity and multi-dimensionality aspects. This has enhanced the capability of the BSEM to be further extended to any demographic landscape or spatial resolution and evolve into a long-term transitional workflow. Thus, enabling long-term spatial energy resource planning and decision-making in terms of sufficiency, efficiency and renewables for commercial building stock across various scales.	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (BIN PERWEZ USAMA)			
論文審査担当者	(職) 氏 名		
	主 査	教授	下田吉之
	副 査	教授	紀伊雅敦
	副 査	准教授	山口容平

論文審査の結果の要旨

建築分野のカーボンニュートラル達成の上で、対策技術やエネルギー管理によりもたらされるエネルギー需要、二酸化炭素排出量の削減ポテンシャルを把握することは重要な課題である。業務施設を対象とする検討では、特定の施設や典型的な施設モデルを用いた評価が多数行われている一方で、業務施設ストックを対象とする検討では断熱強化など単純な技術的対策を対象とするにとどまり、多様な省エネルギー技術や太陽光発電などを包括的に考慮した分析は十分に行われてこなかった。この理由の一つに、エネルギー需要のモデリング手法の未整備がある。エネルギー需要のモデリングにおける最も詳細な方法は、対象とする個々の施設の物理的・技術的な特性を反映したうえで、全数を対象とする物理則ベースのエネルギー需要シミュレーションを行い、対策技術やエネルギー管理の導入効果を定量化することである。データの利用可能性や計算負荷からこの方法は実行不可能であることが多く、Archetype と呼ばれるストックを代表する施設モデル（代表モデルと呼ぶ）を作成し、それを用いたシミュレーションの結果をストック全体に適用する Building stock energy modelling (BSEM) という手法が開発されてきた。近年の地理情報システム (GIS) の発展により、建築物の規模・形状などの物理的な特徴について GIS データの統計処理によりストックの特徴を反映した代表モデルの作成が可能となった (GIS-based アプローチと呼ぶ)。一方で、施設で採用されている技術などの GIS データとして整備されていない施設の属性の考慮、GIS が整備されていない地域へのモデルの適用は不可能である。そのような場合、標本調査より得られたデータに基づいて代表モデルの仕様を決めるアプローチ (Sample-based synthetic アプローチ)、国の統計などにおいて集計されている情報を対象ストックに適用するアプローチ (Sample-free synthetic アプローチ) がある。これまで、これらのモデリング手法の選択・設計がエネルギー需要モデルの推計精度にどのように影響を及ぼすのか、モデルの推計精度向上、分析能力向上のためにそれらをいかに組み合わせて用いるべきか明らかにされてこなかった。

本論文はこれらの問いに答えるとともに、業務施設ストックのエネルギー需要モデリングの方法論を確立し、日本の業務施設ストックを対象とするケーススタディを行った。主な知見は次に示す 3 つのものである。

(1) 3 つのモデリング手法の比較

東京都の宿泊施設を対象として GIS-based アプローチ、Sample-based synthetic アプローチ、Sample-free synthetic アプローチを用いたエネルギー需要モデルを構築し、モデル開発手法の選択がいかに評価結果を変化させるか評価した。この結果、GIS-based アプローチは施設の物理的な特徴、Sample-based synthetic アプローチは採用されている技術・設備に関する特徴を精度高く模擬することができること、Sample-free synthetic アプローチは複数の特徴量に差異が大きく、推計精度が低下することを明らかにした。

(2) GIS と合成モデリングの統合アプローチによるマルチスケールモデリング

モデリング手法の特性に関する理解に基づき、業務施設のエネルギー需要を高い精度で推計するためのモデリング手法を開発した。開発手法ではまず GIS データに基づいて対象とする業務施設ストックの規模・形状・隣接条件を詳細に分析し、施設用途・規模別のストック構成を定量化するとともに、それらに関する代表モデルの仕様を決定する。次に、施設における採用技術・設備についても代表的な組み合わせを考慮してストックを類型化し、施設用途・規模別・採用技術・設備別に代表モデルを作成する。さらに、採用技術・設備の採用比率を Sample-based synthetic アプローチに基づいて定量化し、施設用途・規模別・採用技術・設備別の構成比を把握する。次に、代表モデルによる物理シミュレーションを行い、その結果を原単位化したうえで各代表モデルが代表するストック類型に適用し、ストック全体のエネルギー需要を定量化する。最後に、エネルギー需要推計結果と利用可能なエネルギー消費実態データを用いて施設運用に関する未知パラメータをキャリブレーションする。東京都を対象とするケーススタディを行い、開発モデルの推計精度、分析能力を評価し、このモデリング手法により対象ストックの物理的特性、技術採用状況、運用特性を精度高く反映したモデルが開発可能であること、省エネルギー技術を包括的に考慮してエネルギー需要の推計が可能であること、分析対象ストックの規模にかかわらず同一の手法を適用してエネルギー需要推計が可能であることを明らかにした。

（３）二酸化炭素排出量大幅削減に向けた検討

屋根面・壁面に設置された太陽光発電の導入による再生可能エネルギー発電量を推計するモジュールを（２）で開発したモデリング手法に統合した。これにより、多様な対策技術を考慮したうえで二酸化炭素排出量の大幅削減に向けた検討を行うことが可能となった。東京都では各種省エネルギー技術の普及により約 5 割のエネルギー需要の削減が可能であること、残された需要のうち約 6 割を太陽光発電により自給可能であることを明らかにした。また、技術別の貢献を把握するとともに、エネルギー需給の時空間分布の定量化に基づく重要地域の選定など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の検討を容易にすると考えられる。

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。