

# 論文審査の要旨及び担当者

No.1

報告番号	甲 乙 第 号	氏 名	アルハラフ ハイサム
論文審査担当者	主 査	蔽網林	環境情報学部教授
	副 査	大前学	環境情報学部教授
		池田靖史	政策・メディア研究科教授
		ショウ ラジブ	政策・メディア研究科教授
学力確認担当者:			
<p>アルハラフ ハイサム君の学位論文は「Benchmarking Energy Performance of Accommodation Buildings Using Regression and ANNs Models (重回帰とニューロネットによる宿泊系建物のエネルギー効率評価ベンチマークの開発)」を題目とし、宿泊系建物のエネルギー消費ビッグデータからそのエネルギー効率に影響する諸因子を統計的に検出し、ニューラルネットワークによる深層学習を行い、エネルギー効率の改善を資するベンチマークシステムを構築した。関東地域を事例に研究手法を構築し、ホテルフランチャイズの実データに適用し、同手法の有用性を示した。</p> <p>建物エネルギー利用効率は環境研究の代表課題で、従来から多くの研究と社会実践がある。例えば、米国に LEED, 日本に CASBEE のような認証制度もある。それは施設の建築性能に対する第三者の定性的な認証制度で、建物のエネルギー管理を対象とするものではない。それに対して、本研究は施設所有者や管理者が能動的にエネルギー利用効率を改善するための仕組みに着目し、建物のエネルギー効率を自主的に評価できるベンチマークシステムを提供することを目的とした。そのために、3つの課題に研究重点を置いた。第1、施設のエネルギー効率に影響する物理的、運用的変数を抽出すること、第2、それらの変数の有意性を統計的に確立すること、第3、施設の特性に応じたベンチマークシステムを構築すること。</p> <p>本研究は3つのステップによって行われた。まず、一般社団法人日本サステナブル建築協会が提供する「非住居系建物の環境関連データベース (DECC) を中心にビッグデータベースを構築した。DECC には 2006 年から全国 8つの地域ブロックにおいて定期的に非住居系建物のエネルギー消費データが収録されており、データ件数は合計 3万 8千件以上に達し、データ項目は施設規模、用途、築年数、階数、運用年数、一次エネルギーの消費量、電気・ガス・水使用量などを含む。本研究は関東地域のホテル・旅館・民宿等観光宿泊系計 471 件を対象に 2006, 2007, 2008, 2010, 2012 年のデータを抽出し、属性別に建物のエネルギー消費傾向を比較することを可能にした。</p> <p>そして、エネルギー効率の影響因子を統計的に抽出した。観光庁宿泊旅行統計調査からホテル・旅館の月別客室充足率を取得し、エネルギー消費データと重回帰分析を行い、統計的に有意な変数を抽出した。その結果、夏季に客室充足率は電気消費量、ガス消費量との間にそれぞれ <math>R^2=0.70</math>, <math>0.68</math> 以上の相関が見られた。この結果を元に、対象施設を規模別に4つのクラスターに分け、それぞれ重回帰モデルを構築した。これによって建物属性に応じてエネルギー消費値を推計し、施設のエネルギー利用効率を自己評価できるベンチマーク評価式ができた。</p> <p>次に、ニューラルネットワーク学習モデルの構築と精度検証。重回帰分析で得た知見をベイズによるニューラルネットワーク (ANN) 深層学習アルゴリズムに投入し、平均誤差 (MSE) と平均構成比誤差 (MAPE) を用いて 20 階層の学習モデルを構築した。その結果、十分なデータサンプリング数がある場合、ANN モデルからも良好な予測値を出すことができ、重回帰モデルによるベンチマークシステムの信頼性を確認した。</p> <p>このベンチマークに7つの独立施設をもつあるホテルフランチャイズの実データを投入してみた。精度はやや劣るものの、許容範囲内の予測値が示された。</p> <p>以上の目的、手法を内容に学位論文がまとめられた。全文は6章によって構成されている。</p>			

第1章は、産業別エネルギー消費を概観し、宿泊系建物のエネルギー消費とそれによるCO<sub>2</sub>排出への影響を検討した。施設所有者、管理者のエネルギー利用に対する理解と消費削減の意欲を高めるために自己評価できるベンチマークシステムの必要性を論じ、それを開発することを目的とし、そのためのフレームワークを設定した。

第2章は、異なる気候区分における建物エネルギー消費とその環境影響をレビューし、ベンチマークの構築方法を1) 統計モデル、2) 人工知能、3) エンジニアリングの3つのカテゴリーについて、使いやすさ、データへの要求、モデルの精度からそれぞれの優劣を比較し、統計と人工知能の手法を採用する方針を立てた。

第3章は、気候区分の均一性、データサンプルの確保を考え、関東地域を対象地域にした。DECCから宿泊施設と運用管理関連のデータ項目を抽出し、環境気温、電気、都市ガス、LPG、原油の消費量、客室充足率との関係性を検証し、施設規模と平均一次エネルギー消費量に応じて4つのクラスターに区分し、統計的有意な影響因子を検出した。

第4章は、重回帰モデルとニューラルネットワーク深層学習モデルを用いてベンチマークシステムを構築した。DECC データベースから一次エネルギー消費量を推計し、それぞれのクラスターのベンチマーク評価式を構築した。そして、ベイズ、レーベンバーグ・マーカート法 (Levenberg-Marquardt)、共役勾配法 (Scaled conjugate gradient) and レジリエントバックプロパゲーション (Resilient Back-propagation) の4つのアルゴリズムをニューラルネットワーク学習モデルに適用し、平均誤差 (MSE)、平均絶対比誤差 (MAPE)、R<sup>2</sup> を用いて予測精度を比較した。その結果、20階層のベイズモデルが最も精度が高いことがわかった。この結果をフランチャイズホテルの実データに当ててみた。精度はやや落ちるが、精度的に許容範囲内の予測値を得、ユーザによるベンチマークを設定する必要性と可能性を改めて確認した。

第5章は、ここまでの研究結果について総合的考察を行った。宿泊系建物の利用状況を客室充足率で集合的に捉えると、そのエネルギー消費の構造的、季節的特徴を捉えることができた。重回帰モデルは簡単ではあるが、ビッグデータから宿泊系建物の最終エネルギー消費に影響する変数を特定し、ベンチマーク評価式を立てることに有効である。ベイズによるANNのアルゴリズムは重回帰モデルの結果と精度を検証し、本研究が提示したベンチマークシステムの信頼性を確認した。

第6章は、以上各章を総括し、結論を付けた。関東地域の宿泊施設は季節的ピークを持って電気、都市ガス、水を消費している。重回帰モデルで施設規模、エネルギー構造別のベンチマークシステムを構築し、ベイズANNモデルで信頼性を検証し、ホテルフランチャイズの実例へ適用して本研究の手法と結果の有用性を確認した。これによって、事業者・運用者は自社または他社との差を参考して、エネルギー効率の改善を段階的に設定できる。

本研究は低炭素都市、ビルディングエネルギーマネジメントシステム (BEMS)、ビッグデータが注目される中、ビッグデータ、AIなどのデータ解析技法をどのように建物のエネルギー管理に応用するかという実問題に挑戦した。その際、データが手に入らない、妥当な評価基準がない、評価結果が信頼性低いといった課題に悩まされることが多い。一方、施設管理の現場においてデータが日常に蓄積されており、また先端研究ではAIによるビッグデータの処理手法が数多く開発されている。この2つの技術要素は合流できていないのが社会の実情である。本研究の学術的貢献はベンチマークという発想で、ビッグデータ蓄積とAIの処理アルゴリズムをつないだことにある。非集計型のビッグデータは重回帰分析とニューラルネットワークの深層学習アルゴリズムに投入し、カテゴリーに応じてベンチマークを設定することができる。ユーザーは自らのデータをこのベンチマークに照らして自社、他社との差を検出し、原因の所在と努力の方向を特定できるようになる。これによって、ビッグデータ/AIの応用において個体データを取得しづらい難関を回避することができる。ユーザはこのベンチマークシステムを継続的に使用することにより、漸進的に環境目標を設定、改善し、戦略的に運用計画を立てることができる。このような

# 論文審査の要旨及び担当者

No.3

アプローチはいささかオソドックスに見えるが、ビッグデータ/AI の実用化に欠かせない堅実なプロセスであることを改めて評価したい。

本研究は関東地方に限って研究が進められた。それによる重回帰モデルそのもの、ANN 学習モデルそのものは研究地域に限って有効である。またベンチマークシステムは限られたフランチャイズの実データにしか応用されていない。さらにベンチマークの運用形態は概念にとどまっており、実用システムの開発に至っていないなど、残されている課題が多い。一方、本研究に使ったデータベースは全国に整備されており、汎用性が高い。建物エネルギー効率の評価と改善は低炭素社会に向かうために広く求められる課題で、この研究方法は広く応用できる。この意味において、本研究は時期の得たものであり、今後の国内外への展開を期待できる。

著者は、GESL の学生で、本研究は GESL の国際ネットワークの下で推進された。トルコにおいて国際インターンシップを行い、また国連大学持続可能な発展若手研究者ネットワークにて研究発表と国際交流を行い、確立された国際ジャーナルにて論文を発表している。また著者はシリア出身で、在学中に本国は戦火に巻き込まれた。それを乗り越えて学位取得に到達できたのは、著者の強いメンタリティのおかげであり、一人前の研究者として歩いていく力にもなるだろう。

このように著者が独立的に研究を遂行していくために必要となる高度な研究能力ならびにその基礎となる豊かな学識、さらに研究成果を社会に発信、還元するための優れた協調力と信頼感を有していることが、本論文において明確に示されたと判断される。

よって、本学位審査委員会は著者が博士（学術）の学位を受ける資格があると認める。