

サステナブル社会移行研究

研究代表者 高口 洋人
(創造理工学部 建築学科 教授)

1. 研究課題

建築物の建設や都市開発において、ネット・ゼロエネルギービルやネット・ゼロエミッション開発が増加してきた。低層新築建築物では、ビル単体でネット・ゼロエミッションを実現することはもはや不可能ではない。しかしこれらの多くは政府の補助金を活用し、かつ企業の広告宣伝を兼ねており、建築主や開発主が経済性やその他の動機から自主的に建設や開発に取り組んでいるわけではない。本研究プロジェクトでは、建築や都市開発に関連する省エネルギー、低炭素技術の普及促進手法、サステナブル社会への移行を促進する社会技術開発、移行度合いを測るトランジション・マネジメント技術の開発と実証を行う。2025 年度からプロジェクト研究としては第 3 期目に入り、より実践実装を目指した研究に注力した。

2. 主な研究成果

2.1 小規模バイオマス CGS の運用最適化による脱炭素効果と地域経済への影響

2021 年に閣議決定された第 6 次エネルギー基本計画では、脱炭素化に向けて再生可能エネルギーの導入が求められた。中でも木質バイオマス利用は、カーボンニュートラルに加え、エネルギー自給率向上や森林整備、林業活性化を通じた地域経済への波及効果が期待されている。近年バイオマス CGS の導入が進む中で、大規模設備では燃料需要が地域供給能力を超過する例も報告されており、燃料の地産地消を前提とする小規模バイオマス CGS への注目が高まっている。出力 100kW 程度の小規模バイオマス CGS は、総合効率向上と CO₂削減の観点から「熱主利用」を前提とした設計・運用が重要であり、事業性確保においても熱利用率の向上が鍵となる。

本研究では、栃木県那須地域のリゾート施設 A および遊園地 B を対象に、実測データに基づき電熱需給構造を整理し、小規模バイオマス CGS の運用最適化を検討する。さらに、運用改善による脱炭素化効果 (CO₂削減・エネルギー効率) と、地域経済への影響 (地域内資金循環・雇用) を定量的に評価した。以下に結果の概要を示す。

リゾート施設 A では、熱需要が高負荷となる時間帯に重油ボイラーの稼働が発生していることに加え、夜間のバイオマス CGS 出力抑制により発電余力が活用されていないことが課題である。すなわち、熱需要の時間的集中と電力需要不足によって、バイオマス CGS の稼働率向上が阻害されている。また、遊園地 B では熱需要先が限定的であるため、バイオマス由来の供給熱を十分に活用できず、未利用排熱が多く発生していることが課題である。これらの課題を踏まえ、本研究では運用最適化に向けた提案として、以下の 4 案を提案する。なお本研究におけるバイオマス CGS の運用最適化とは、電熱の運転条件および需要側の条件を需給特性に基づいて調整し、バイオマス CGS 稼働率の向上、CO₂排出量の削減、化石燃料依存度の低減を図ることを指す。設備容量の増設・撤去等の設備更新は対象外とした。

- (案 1) リゾート施設 A の夜間浴槽保温温度の見直し
- (案 2) リゾート施設 A の夜間電力需要創出による電力制約解消
- (案 3) 遊園地 B における乾燥チップの外部販売
- (案 4) 施設間連携による乾燥工程の遊園地 B 集約（燃料拠点化）

また、対象施設における木質バイオマス事業が地域経済へ及ぼす波及効果を定量化するため、地域内経済循環を示す指標である Local Multiplier (LM) を用いた。

現状運転における地域内経済循環を把握するため、対象施設（リゾート施設 A・遊園地 B）の支出内訳を整理し、2024 年 12 月～2025 年 11 月の年合計値から資金フロー図を作成した。現状運転の LM4 は 1.75 となり、地域外流出の主因は設備費・部材費および投資返済である一方、地域内波及は伐採・チップ製造に係る人件費等によることが確認された。案 1 では LM4 が 1.72 と低下し、案 2 では 1.76 に増加した。さらに、案 3・4 ではチップ外販による収入創出により LM4 がそれぞれ 2.04、2.19 まで上昇し、地域経済への大きな影響を与えることが分かった。

2.2 既築建築物に後付け可能な EV-DER システムの開発

再生可能エネルギーの導入促進が進められているが、風力発電や太陽光発電を含む変動性再生可能エネルギーはそれだけでは安定的な電力供給が困難である。そこで、需要側にそれらの変動を吸収する調整力を持たせるデマンド・レスポンス（以下、DR）に期待が高まっている。都市や建築物内に散在する発電機や蓄電池は分散型エネルギーリソース（以下、DER）として DR のリソースになり得ると期待されており、特に電気自動車（以下、EV）は運輸部門との連携することで一層低炭素化を図れると期待されている。本研究は既築建築物に EMS を導入することにより一層の脱炭素化を図る研究（SIP：エリアエネルギーマネジメントシステムのプラットフォーム開発と実装 代表：岩船 由美子）の一環として、既築建築物に後付け可能な EV-DER 制御システムを開発し、レジリエンス向上効果と低炭素化効果を明らかにする。2025 年度の成果の概要を以下に示す。

(1) データマイニングを利用した不具合検知システムの開発

BEMS データに基づいて異常値や不具合を検出する手法の検証・改善を重ね、機械学習モデル（Auto Encoder や Facebook Prophet など）のアンサンブルを行う異常検知システムの開発を継続(図 1)。作成したセンサーのダミー不具合については最大 86%を検知できることを確認した。蓄熱層における実不具合の検知では、閾値の設定によるが、不具合の確認ができることを確認した。

(2) ナッジ機能を組み込んだ情報提供ネットワークシステムの構築

IoT デバイスから取得したデータを、Web アプリおよび LINE の通知機能を通じて執務者にフィードバックするシステムの効果検証を行った(図 4.5-3)。公共施設でのメッセージ配信実験ではフィードバックにより、省エネ行動の増加が見られ、共用部照明において消費電力が 1.56%削減された。

(3) EV および EV ステーションを利用した DR の実装

「EV を活用した DR 実装」では、既存ビルに設置し EV 充放電器を活用し、走行を伴うデマンドレスポンスの効果検証を行った(図 2)。中小規模ビルの EV によるデマンドレスポンスによる建築電力消費と車両走行による CO₂排出削減率は 2%程度と推定された。

また、公共施設に充放電器が三相三線で動作する EV-DER システムを設置した。

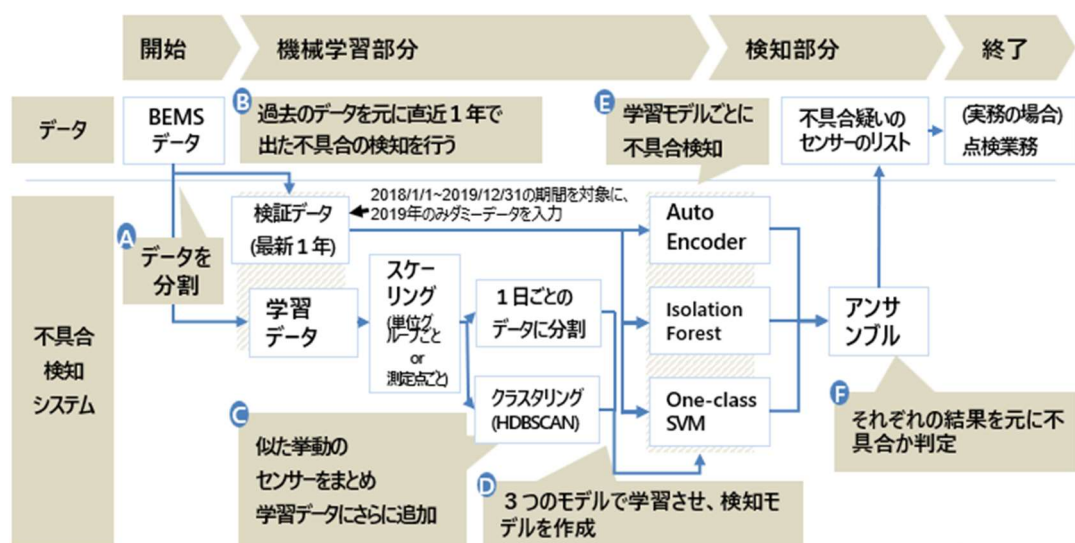


図1 作成した不具合検知手法の検証パイプライン

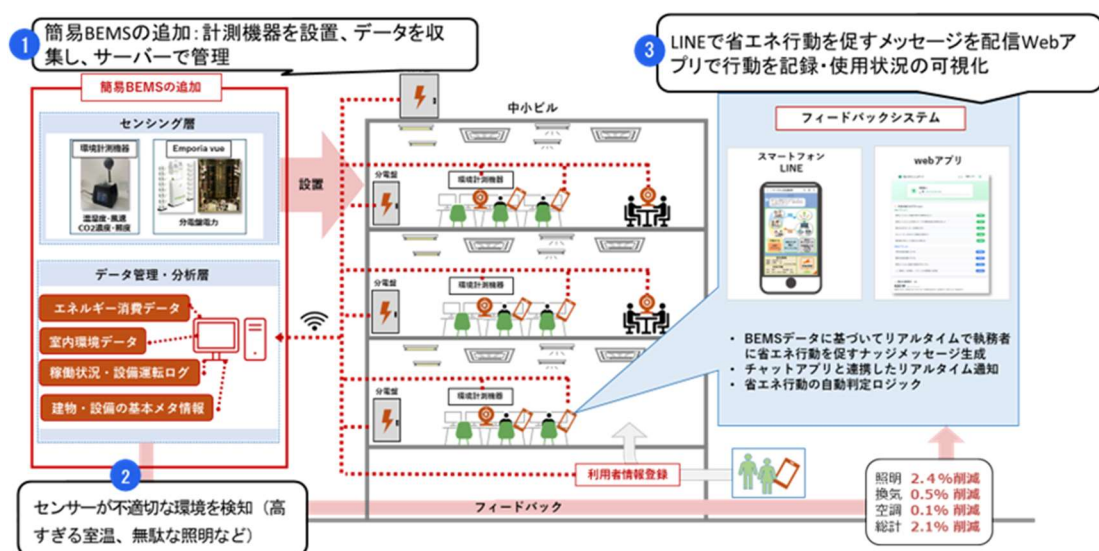


図2 システム構成図とフィードバックによるエネルギー削減効果

3. 共同研究者

脇田 健裕 (早稲田大学 客員主任研究員)
 木原 己人 (早稲田大学 招聘研究員)
 中島 裕輔 (工学院大学建築学部教授)
 原 英嗣 (国士舘大学教授)
 上野 貴広 (北九州市立大学准教授)
 前田 拓生 (高崎商科大学教授)
 中丸 正 (早稲田大学 嘱託)
 脇田 久美子 (早稲田大学 嘱託)

4. 研究業績

4.1 学術論文

Rudi Setiadji Agustiningtyas, Hiroto Takaguchi, Tetsu Kubota, Muhammad Nur Fajri Alfata, Usep Surahman(2024 年 12 月 10 日)Comparative analysis of life cycle inventory of cement and ready-mix concrete production in IndonesiaJournal of Material Cycles and Waste Management 27(1) 488-502

4.2 受賞・表彰

高口洋人, アジア都市環境学会論文賞, インドネシアにおける低炭素型集合住宅開発のための冷房方法とエネルギー消費、ならびにエンボディド・カーボンに関する研究に対して, 2024

4.3 他学会および社会的活動

日本建築学会 建築SDGs 宣言推進特別調査委員会

日本建築学会地球環境委員会委員

日本建築学会 子ども教育支援建築会議 運営委員会 委員

杉並区環境審議会委員

5. 研究活動の課題と展望

多様なプロジェクトを通じ、サステナブル社会への移行実践の蓄積は進んでいる。今後はこれらの蓄積から得られた知見を体系化し、学問として貢献できるよう整理していきたい。