

〔技術報告〕

# AI を用いた空調用エネルギー削減技術の検討

(AI の画像認識技術を用いた在室者の行動検知と空調設備システムの性能検討)

呉 濟元<sup>\*1</sup>・住吉 大輔<sup>\*2</sup>・小田まり子<sup>\*1</sup>・新井 康平<sup>\*1</sup>  
千田 陽介<sup>\*3</sup>・八坂 亮祐<sup>\*4</sup>

Investigation of AI-based Energy Reduction Technology for Air Conditioning  
(Human Behavior Detection using AI Image Recognition Technology and Performance Study of HVAC System)

Jewon OH<sup>\*1</sup>, Daisuke SUMIYOSHI<sup>\*2</sup>, Mariko ODA<sup>\*1</sup>, Kohei ARAI<sup>\*1</sup>,  
Yosuke SENTA<sup>\*3</sup> and Ryosuke YASAKA<sup>\*4</sup>

## Abstract

The purpose of this study is to use artificial intelligence (AI) as an energy-saving technology for air conditioning, to detect the indoor environment and the behavior of people in the room in real-time, to verify the performance of the Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) system accordingly, and to change the behavior of people through feedback. The accuracy of the performance verification tool for HVAC systems constructed in earlier study was evaluated using a new HVAC system. The results of the tool for detecting abnormal air conditioning system operation are shown. It was detected that the geothermal heat pump of the subject air conditioning system had no effect on the ground temperature during operation. Using a data logger and a thermographic camera, it was discovered that the surface temperature of the window varied by 1°C when the window blinds were opened and closed. The temperature in the room was 3°C higher than the outside air temperature due to the opening and closing of the blinds, and the illuminance was 250 lx higher than the standard value. We used small cameras to collect real-time image data on the behavior of people in a room, and we used the AI image recognition technology like YOLO v3 and Open Pose to recognize office automation equipment and human objects, as well as to detect lighting and HVAC systems operation. The obtained data will be used to analyze the indoor environment and provide feedback to encourage energy-saving behavior in the future.

**Key Words** : Functional performance testing, Performance verification, Data science, YOLO v3, Open Pose

## 1. 緒 言

日本の2050年カーボンニュートラル宣言を含め世界的に脱炭素への動きが加速化している。第6次エネルギー基本計画（案）では、2030年における省エネの実現が謳われており、その中心は住宅・建築物における大幅なエネルギー消費量の削減が求められている<sup>(1),(2)</sup>。最終エネルギー消費の構成比では民生部門が多く占められている。建築物は一度建築されると次の改修や建替えが数十年先となる性質で、多くの建物は竣工時の調整のままで空調設備が運転されている<sup>(3)</sup>。しかし、建物の特性は個々に異なっており、竣工後、運用管理され使い込まれていくうちに経年劣化等で性能が徐々に変化している。また、実際には、室内を使用する人員数、OA（Office Automation）機器による発熱なども空調設備の性能に影響を与えることから、現実のビルの特性を把握し、その状況に合わせて、設備機器・システムを無駄のないように自ら調整・運転する必要がある。近年、オフィスビルや住宅に、BEMS（Building and Energy Management System：ビル・エネルギー管理システム）やHEMS（Home Energy Management System：住宅エネルギー管理システム）が導入されており、これらのエネルギー管理システムのデータを機能性評価に利用することが考えられる<sup>(4)</sup>。しかし、これらのシステムを導入した建物ではデータを用いる際に管理者の許可とデータを得られたとしても分析する時に専門的な

<sup>\*1</sup> AI 応用研究所, <sup>\*2</sup> 九州大学 人間環境学研究院, <sup>\*3</sup> 情報ネットワーク工学科, <sup>\*4</sup> PC サポートセンター  
令和3年10月31日受理

知識が必要である。このように一般的にエネルギー管理システムのデータを利用した機能性能評価により省エネを図るという考え方が普及しているとは言い難い。こうした中で、BI-Tech (Behavioural Insights×Technology) が注目されている<sup>(5)</sup>。BI-Tech は、センシングやIT (Information Technology)・IoT (Internet of Things) などの技術とナッジに代表される行動科学を組み合わせ、個人や世帯のエネルギー使用実態、属性情報等のビッグデータをIoT 技術で収集する。また、AI (Artificial Intelligence) 技術による解析を行い、メッセージをフィードバックして人々の行動変容を促すものである<sup>(註1)</sup>。建物利用者への情報提供等により、省エネルギー行動を促し、省エネルギー意識を高めることが重要である。本研究の最終的な目的としてはBEMS や HEMS のデータを用い、既往研究で構築した空調設備システムの性能検証ツールを通して空調設備システムの性能分析と AI による空調設備システムの異常運転、最適な運転方法を予測した後適用する。

空調設備システムの機能性能試験では、対象空調設備システムの要求性能を取りまとめ、受け渡されるシステムの適正な運転保守が可能な状態を検証するものである<sup>(註2)</sup>。既往研究では、一瀬ら<sup>(6),(7)</sup>は水蓄熱式空調システムを対象に1年間のBEMS データを用いて冷房運転と暖房運転の性能検証を行い、夏期の冷房運転時の性能試験による熱源出口温度制御の改善と冬期の暖房運転時の夜間蓄熱運転性能を向上させた。百田ら<sup>(8)</sup>は地域冷暖房を対象に計画段階から継続的にコミショニングを行い、外気温度と相関関係を求め、定期的にメンテナンスを行うことで地域冷暖房システムの性能が高効率的に運転した実績を報告した。Verhelst ら<sup>(9)</sup>はBEMS データを用いて空調システムのシミュレーションモデルを構築し、オフィスビルを対象にコミショニングを行った。また、構築したモデルを用いて劣化・故障・障害の診断と評価を行った。藤田ら<sup>(10)</sup>は竣工後8年経過したデシカント空調機の性能評価を10分データの実測データを用いてを行い、シミュレーション結果と実測値を空気線図上で比較してデシカントの性能検証と問題点を明らかにした。Fu ら<sup>(11)</sup>は1950年代から2000年度に至るコミショニングの事例を解説し、コミショニングの重要性を述べた。また、米国の新しい建物を対象として試運転を行い、既存の建物と比較して定期的な試運転を行うことでエネルギーのコストを15%削減した。Wang ら<sup>(12)</sup>はオフィスビルの空調設備システムを対象に fault detection and diagnostics (FDDs) アルゴリズムを改良し、building automation systems (BASs) と energy information systems (EISs) を用いて10%のエネルギーを削減している。これらの既往研究では、主に空調設備システムの性能検証がなされている。実際に在室者によってどのように空調設備システムが使われているかについては検討されていない。本報では、空調設備システムのBEMS データ、小型カメラ、データロガーを用いて収集したデータをAI の画像認識技術による在室者の行動を検知し、その行動における室内の環境、空調設備システムの運転性能検証ツールを通して分析した結果を報告する。

## 2. 空間設備システムの性能診断ツール

### 2.1 建物概要と空調設備システム

表1に対象建物概要を、図1に空調設備システムの系統図を示す。対象建物は名古屋市内に位置する地上5階建てのオフィスビルである。機能性能試験の対象としては4階、5階の事務室、会議室とそこに導入されたファンコイルユニット系統およびモジュールチラーを用いた熱源システムである(図2)。空調設備一覧概を表2に示す。モジュールチラーが2台、室内のファンコイルユニットは4階に22台、5階に15台導入されている<sup>(註3)</sup>。

表1 建物概要

所在地	愛知県名古屋市
用途	オフィスビル
建築面積	1,156m <sup>2</sup>
延床面積	4,671m <sup>2</sup>
階数	地上5階
空調設備スケジュール	夏期：7～21時 (予冷運転を含む) 冬期：7～21時 (予熱運転を含む)
室内の温度・湿度条件	夏期：22℃, 50% 冬期：26℃, 50%
換気量	20m <sup>3</sup> /h・人
照明	20W/m <sup>2</sup>

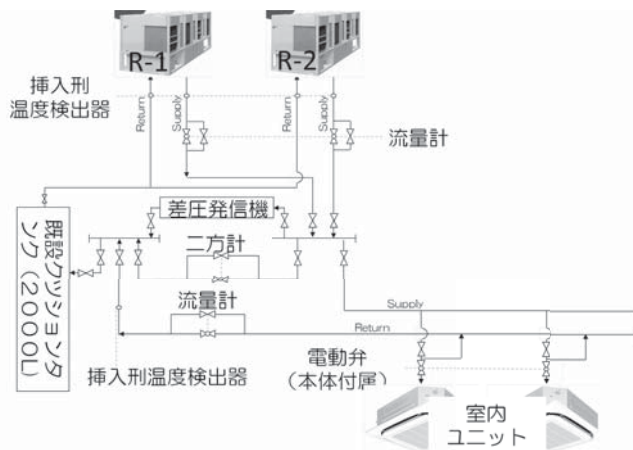


図1 空調設備系統図

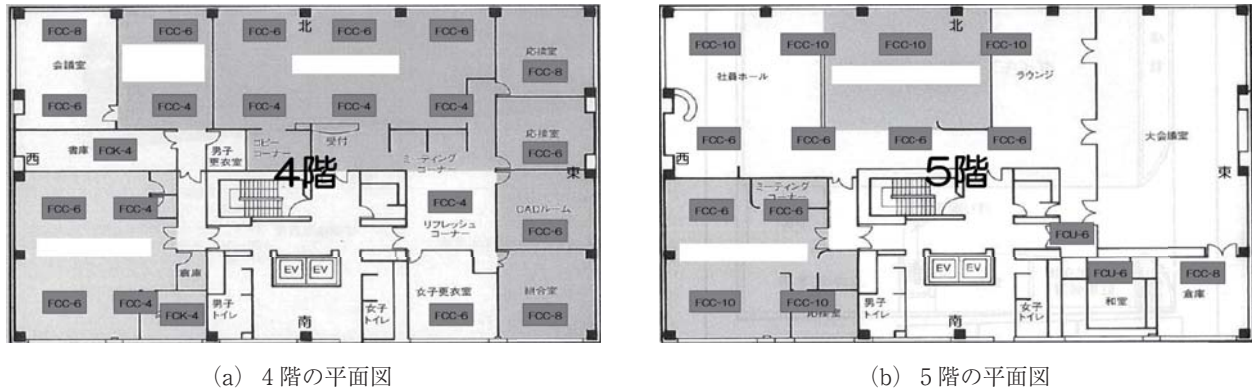


図2 機能性能試験の対象室

表2 機能性能試験対象の空調設備システム一覧表

機種		能力	台数
熱源	モジュールチラー	冷却能力：85kW 消費電力：12.8kW 加熱能力：85kW 消費電力：20.7kW	2台
	ポンプ	揚程：218kPa 流量：244L/min 電力：3.7kW	2台
FCU	ファンコイルユニット	冷房能力（全熱）：3.7～8.3kW 暖房能力：6.8～15.6kW 流量：7.6～16.9L/min ファン電力：44～138W	4階：22台 5階：15台

## 2.2 BEMS データと外部センサーデータの比較

オフィスビルに導入された BEMS データと空調設備システムの外部センサーデータを用いて構築した。このツールは、Excel の VBA を用いて構築しており、BEMS データと外部センサーのデータをツールの入力シートに貼り付けることで機器の性能比較、運転推移がグラフ化される<sup>(注4)</sup>。2016年9月に行った機能性能試験のデータを用いて空調設備システムの性能検証結果を示す。機能性能試験で得られたデータは1分間隔の空調設備システムの運転データである。BEMS は処理熱負荷のデータが出力される。外部センサーでは出入口温度、流量を計測して空調設備システムの性能が十分に発揮されているか式(1)を用いて処理熱負荷を求めて検討する。処理熱負荷を求めた上で熱源機器の消費電力を割り算し、COP (Coefficient of Performance) を算出する (式(2))。図3 に熱源機器2台の BEMS と外部センサーのデータ比較を示す。図3 (a) の処理熱負荷では、熱源機器の台数制御を行う時に BEMS と外部センサーの誤差が見られる。特に熱源機器の台数制御を行う前後の運転に大きく20kW の差が大きい。図3 (c), (d) の熱源機器の出入口温度推移では BEMS と外部センサーのデータがある程度一致している。処理熱負荷の誤差は流量データによる誤差が生じていると考えられる。図3 (b) の消費電力比較では BEMS と外部センサーのデータがある程度一致している。図3 (e), (f) の COP は、1分間隔の結果をプロットしている。熱源機器の性能特性値と比較では、熱源機器両方とも BEMS と外部センサーの結果がほぼ一致している。熱源機器の台数制御を行う前後の時には外部センサーの COP 結果が少し高くなっている。

$$Q = m \times \rho \times c_p \times (t_{in} - t_{out}) \quad \text{式(1)}$$

$$COP = \frac{Q}{W} \quad \text{式(2)}$$

ここで、 $Q$ ：処理熱負荷 [W]、 $m$ ：流量 [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]、 $\rho$ ：水の密度 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]、 $c_p$ ：水の比熱 [ $\text{J}/(\text{kg}^\circ\text{C})$ ]、 $t_{in}$ ：入口温度 [ $^\circ\text{C}$ ]、 $t_{out}$ ：出口温度 [ $^\circ\text{C}$ ]、 $COP$ ：性能係数 [-]、 $W$ ：消費電力 [W]

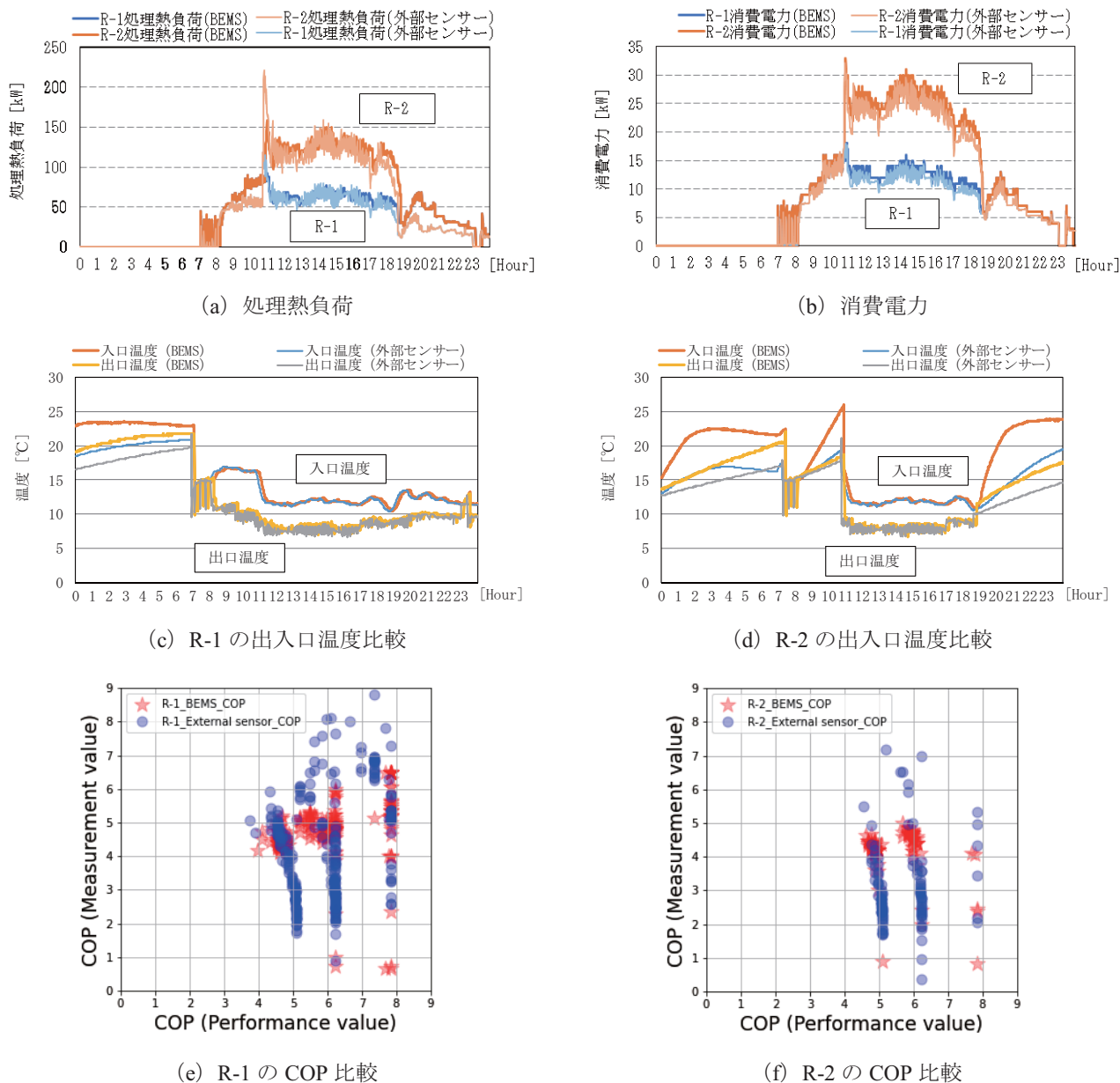


図3 機能性能試験結果（2016年9月27日の冷房運転）

### 2・3 ツールの精度検証

新しい建物を対象に導入された空調設備システムの運転性能を検討する。表3に建物概要を、図4に空調設備システムの系統図を示す。対象建物は福岡県久留米市に位置している久留米工業大学の100号館である。本建物は、1階と2階に食堂、売店、AI 応用研究所、学生ラウンジ、建築設備ショールーム兼実験室などである。3階からは講義室、製図室、コンピューター室となっている。表4に対象の空調設備システム一覧表を示す。対象の空調設備システムは、空冷式ヒートポンプチャラー、地中熱ヒートポンプ、井水熱源ヒートポンプが導入しており、他の階は個別にビルマルの空調設備システムが導入されている。本建物には1階と3階に導入された表4の対象の空調設備システムがBEMSによる1時間間隔のデータを収集している。2019年度、2020年度の蓄積されたデータを用いて機能性能試験を行う。図5と図6に2019年7月、2020年7月の地中熱ヒートポンプの運転データを用いて運転性能を検討した結果を示す。地中熱ヒートポンプの処理熱負荷は式(1)を用いた。2019年、2020年の両方とも処理熱負荷は10kW程度で、午後100kW以上の運転も見られる。流量は27L/minで一定に運転している。地中熱ヒートポンプの運転時の出入口温度を見ると温度差は見られず、地中の5m、15m、25mの温度変化も見られなかった。このように空調設備システムの性能検証ツールを通して空調設備システムの運転時の異常運転を検知することができた。

表3 建物概要

所在地	福岡県久留米市
用途	講義室, 食堂, 学生ラウンジ
建築面積	1,319m <sup>2</sup>
延床面積	7,266m <sup>2</sup>
階数	地上9階
空調設備スケジュール	冬期: 8~18時, 夏期: 8~18時
室内の温度・湿度条件	冬期: 26℃, 50%, 夏期: 22℃, 50%
照明	300~750lx, (LED)

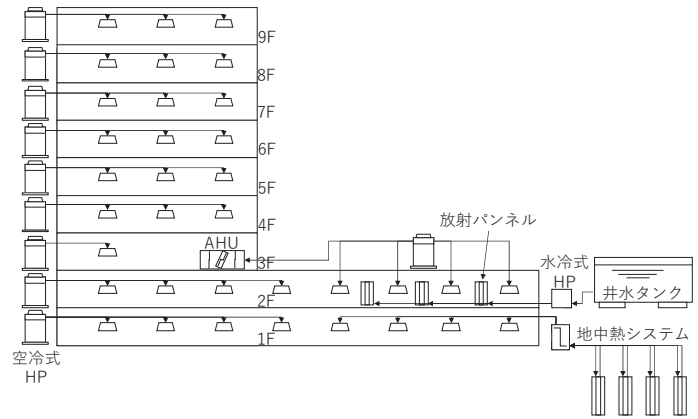
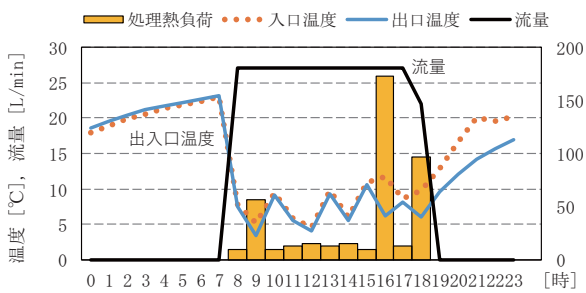


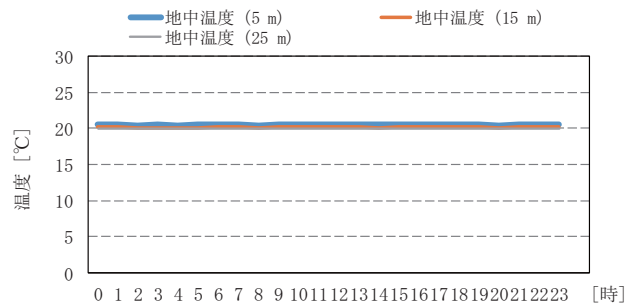
図4 100号館の空調設備システム系統図

表4 対象の空調設備システム一覧表

	機種	能力	台数
熱源	3階 空冷式ヒートポンプチャラー	冷却: 236kW 加熱: 236kW 消費電力: 63.4kW	1台
	1階 地中熱ヒートポンプ	冷却: 10kW 加熱: 10kW	1台
	1階 井水熱源ヒートポンプチャラー	冷却: 30kW 加熱: 39kW 消費電力: 7.9kW	1台
AHU	3階 エアハンドリングユニット	冷却: 51kW 加熱: 26kW 給気・還気: 6540m <sup>3</sup> /h 外気・排気: 3300m <sup>3</sup> /h	2台

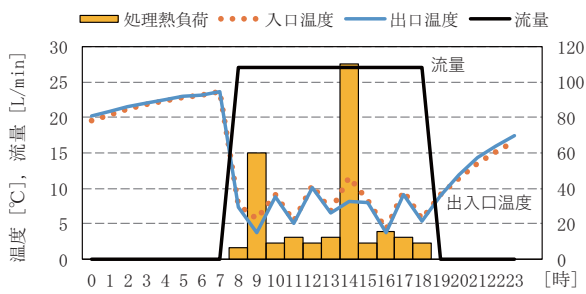


(a) 地中熱システム運転推移

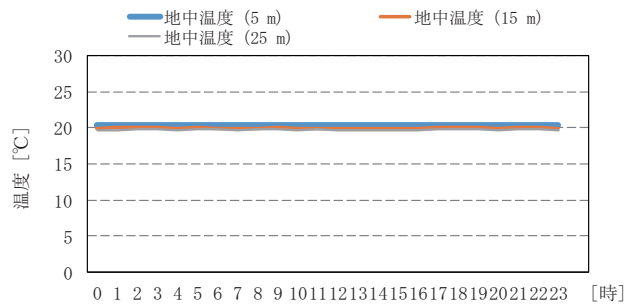


(b) 地中温度推移

図5 地中熱ヒートポンプの運転 (2019年7月8日)



(a) 地中熱システム運転推移



(b) 地中温度推移

図6 地中熱ヒートポンプの運転 (2020年7月6日)

### 3. 画像認識技術を用いた在室者の行動変容と室内の環境分析

#### 3・1 在室者の行動変容と室内の温熱環境の計測

本研究では、久留米工業大学の100号館の1階にあるAI応用研究所を対象として機能性能試験を行う時の在室者の行動、室内の温熱環境を分析する。図7に機能性能試験の時の在室者行動と室内温熱環境を分析する実験計画図を示す。在室者の行動はRaspberry Piの小型カメラを用いて在室者の行動を1分間隔で撮影する。外側と室内の温熱環境は、データロガーを設置して照度、温度、湿度を計測する。また、サーモグラフィックカメラを用いて窓の熱損失を撮影する。これらのデータはAIの画像認識技術と機械学習を用いて人の動作を検知し、省エネ行動分析と室内の快適性を分析してブラインドの自動制御、空調設備システムの性能が十分に発揮されているかについて検討する。最終的にはある条件に応じた空調設備システムの最適な運転方法を検討する。

#### 3・2 在室者の行動変容

在室者の行動分析では、収集する画像データを用いて行い、精度を検証する。図8にAIの画像認識技術を用いて画像分析した結果を示す。図8(a)を基に図8(b)のように在室者の人数、OA機器の台数をYOLO v3<sup>(13)</sup>を用いて検討した。カメラに近いノートパソコン、椅子、人、携帯などが検知できた。しかし、図の右側のテーブル付き椅子や展示パネルなどYOLO v3において学習済みCNN(Convolutional Neural Network)がない物体は誤認識している。また、図8(c)を基にOpen Pose<sup>(14)</sup>を用いて在室者の照明をON/OFFする動作、空調設備をON/OFFする動作が検知できた(図8(d))。このような設備システムの動作する様子を用いて時間帯、動作回数などを分析して、フィードバックすることで省エネ行動にも繋がると考えられる。

#### 3・3 ブラインドの自動制御と室内の温熱環境

ブラインド自動制御は、室内の照度、温度、湿度と外気条件に応じてブラインドの角度を制御する。図9にブラインドのコントロールを設置した様子を示す。ブラインドは自動開閉機の左右にあるボタン、または、Bluetoothによる遠隔操作ができる。本章では、ブラインドを機械学習による自動制御を行うために収集したデータのの前処理段階としてどのようなデータが得られているかを分析する。図10にサーモグラフィックカメラを用いて撮影したブラインドの閉めた時と開けた時の窓の温度分布の画像を示す。ブラインドを閉めた時は開けた時に比べて温度分布が低いことが分かる。ブラインドを開けた時は窓ガラスとサッシの温度が開けた時に比べて1℃程度高くなっている。図11に室内の温熱環境を示す。2021年11月1日～5日のデータを用いて分析する。この期間ではブラインドを閉めた状態で事務室の照度基準値に比べて250lx程度高く、室内の温度は25℃、湿度は50%程度になっている。

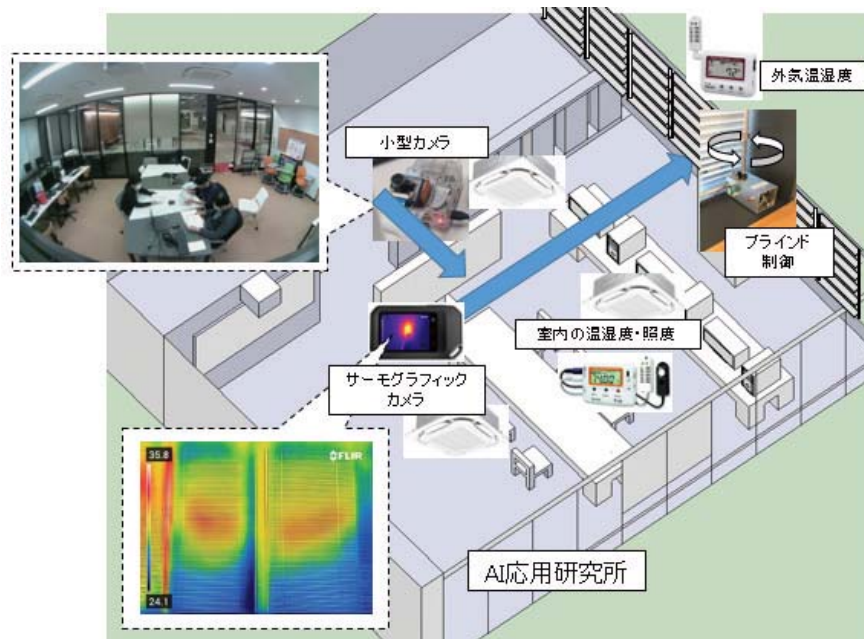
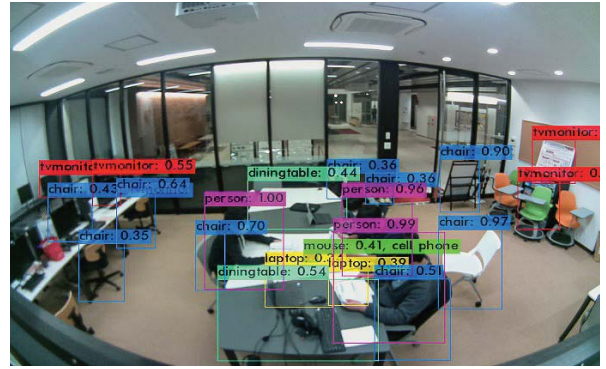


図7 在室者の行動と室内環境の計測



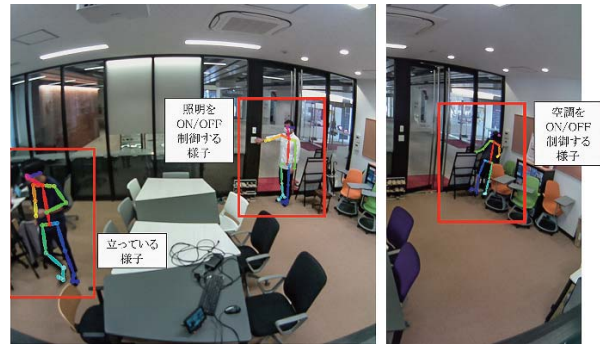
(a) 在室者の様子



(b) 在室者と OA 機器の物体認識



(c) 在室者の動作



(d) 省エネ行動の骨格認識

図8 AI の画像認識技術を用いた画像分析



(a) ブラインドを閉めた様子



(b) ブラインドの自動開閉機

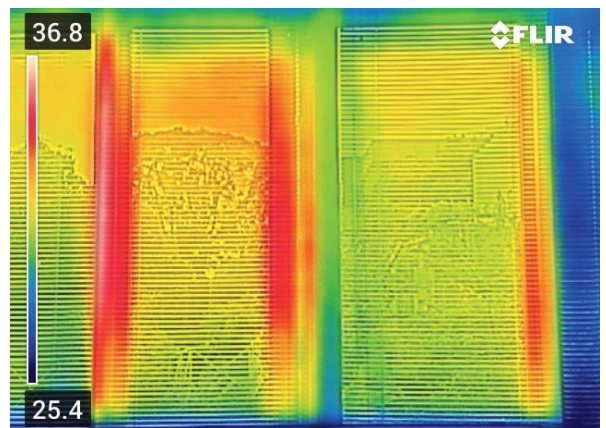


(c) ブラインド開いた様子

図9 ブラインド自動制御



(a) ブラインドを閉めた時



(b) ブラインドを開けた時

図10 ブラインドによる窓の温度分布 (2021年10月11日)

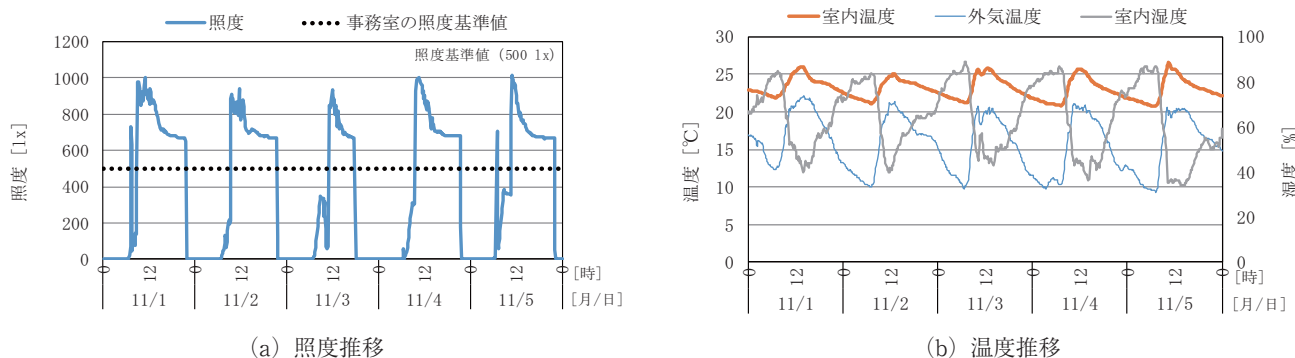


図11 室内の温熱環境

#### 4. 結 語

本研究は、機能性能試験の一環として室内の環境と在室者の行動をリアルタイムで検知し、それに応じた空調設備システムが十分に性能を発揮しているかについて機能性能試験を通して運転性能を明らかにすることを目的としている。本報では、新しい空調設備システムを対象に、過去蓄積されたBEMSデータを入力値として空調設備システムの性能検証ツールを用いて空調設備システムの異常運転の検知性能を検討した結果を示した。また、室内の環境をAIの画像認識技術を用いてリアルタイムで室内の物体認識、在室者の行動を検知した。得られた知見を以下に示す。

- 新しい空調設備システムを対象に、空調設備システムの性能検証ツールを用いて地中熱ヒートポンプシステムの運転時の地中温度変化がないことを検知できた。
- 小型カメラを用いて収集した画像データをAIの画像認識技術のYOLO v3でOA機器、人などを検知した。しかし、YOLO v3に学習済みでない物体に対しては誤認識した。
- また、Open Poseを用いて在室者が照明と空調設備をON/OFFする動作を検知した。今後はフィードバックを通じて省エネ行動に結びつける。
- 窓のブラインドの開閉により窓の表面温度が1℃程度の差が生じた。また、ブラインドを閉めた時は外気温度と室内の温度は3℃程度の差で、明るさは基準値より250lx程度高かった。

今後は上記の結果に基づくAI技術を用いて機能性能試験をリアルタイムで行いながら、ブラインドの自動制御、在室者の行動変容を解析していく。また、その時に発揮する空調設備システムの運転性能を分析する。

#### 謝 辞

本研究を進めるにあたり、ダイキン工業株式会社と本学施設課に多大なご支援をいただきました。また、2021年度の学長裁量経費の支援をいただきました。ここに記して謝意を表します。

#### 注 釈

- (注1) 第6次エネルギー基本計画(案)にも『ナッジ等の行動科学と先端技術の融合(BI-Tech)の社会実装に向け、今後さらに、行動情報のデジタル化と集約・解析を行う。』と記載されている<sup>(2)</sup>。
- (注2) 機能性能試験は、コミッションングの一環として施工の終了段階から引き渡し後、1年程度の期間の中で実施されるものである<sup>(15)</sup>。建築設備コミッションングは室内の環境・エネルギーならびに対象空調設備システムの要求性能を取りまとめ、設計・施工・受渡しの過程を通して、性能検証関連者の判断・行為に対する助言・査閲・確認を行い、文書化する。
- (注3) 既往研究では、改修を行う実建物を対象にモジュールチラーを導入した建物についてコミッションングの一環として行われる機能性能試験を行ったものである。機能性能試験は設計時に定めた設計要件を満足しうる性能を発揮できるか検証するもので、LCEMツール<sup>(16)</sup>を用いて導入される空調設備システムが発揮するであろう性能を計算し、それを設計要件として代用としている<sup>(17)</sup>。年間の計算結果を注表1にまとめる。



注表1 空調システムの設計要件

項目	内容
空調システム全体	冬期平均システム一次 COP1.1以上
	夏期平均システム一次 COP1.7以上
年間一次エネルギー消費原単位	年間一次エネルギー消費単位228MJ/m <sup>2</sup> 年以下
年間 CO <sub>2</sub> 排出原単位	年間 CO <sub>2</sub> 排出原単位を13.8 t-CO <sub>2</sub> 以下
一次ポンプ	冷房期 WTF36以上
	暖房期 WTF13以上

(注4) 試運転の一環としてモジュール式冷却器システムを対象に空調設備システムの性能検証ツールを開発した。このツールは、VBAを用いて構築されたものである。入力シート、出力シート、グラフシートがある。構築したツールを用いてモジュール式冷却器のそれ自体を制御する独自のセンサーデータを入力シートに貼り付けて暖房運転時の性能を明らかにした<sup>(18)</sup>。

## 文 献

- (1) 環境省, カーボンニュートラルとは, [https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon\\_neutral/about/](https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon_neutral/about/) (参照 2021年10月25日)。
- (2) 経済産業省, 第6次エネルギー基本計画が閣議決定されました, <https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005.html> (参照 2021年10月25日)。
- (3) 経済産業省資源エネルギー庁, 令和元年度エネルギーに関する年次報告, <https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2020.html/> (参照 2021年10月30日)。
- (4) 環境省, 再エネ加速化・最大化促進プログラム2018年版, [https://www.env.go.jp/earth/mat03\\_2.pdf](https://www.env.go.jp/earth/mat03_2.pdf) (参照 2021年10月30日)。
- (5) 環境省, 「行動インサイト」×「AI/IoT等先端技術」(BI-Tech)を活用した行動変容の促進について, <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/nudge/BI-Tech.pdf> (参照 2021年10月30日)。
- (6) 一瀬茂弘, 河路友也, “BEMSデータを用いた水蓄熱式空調システムの継続的性能検証に関する実践研究 第1報-夏季の熱源出口温度制御の改善効果”, 空気調和・衛生工学論文集, No. 254 (2018), pp. 65-70。
- (7) 一瀬茂弘, 河路友也, “BEMSデータを用いた水蓄熱式空調システムの継続的性能検証に関する実践研究 第2報-冬季の熱源出口温度制御と凍結防止運転の改善と効果”, 空気調和・衛生工学論文集, No. 256 (2018), pp. 37-43。
- (8) 百田真史, 井上隆, 射場本忠彦, 柳原隆司, 岡垣晃, “運転保守管理段階におけるコミッショニング”の地域冷暖房への適用に関する実践的研究: 竣工後三年間にわたるコミッショニングの実施と効果検証”, 空気調和・衛生工学論文集, No. 101 (2005), pp. 21-31。
- (9) Verhelst J, Van Ham G, Saelens D, Helsens L, “Model selection for continuous commissioning of HVAC-systems in office buildings: A review”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 76 (2017), pp.673-686。
- (10) 藤田尚志, 福田裕行, 伊藤剛, 赤司泰義, “低炭素化と知的生産性に配慮したオフィスビルの既存コミッショニング(第5報) レタンエア方式デシカント空調機の性能確認”, 空気調和・衛生工学会大会 (オンライン) (2020), pp. 201-204。
- (11) Fu Xiao, Shengwei Wang, “Progress and methodologies of lifecycle commissioning of HVAC systems to enhance building sustainability”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 13 (2009), pp.1144-1149。
- (12) Liping Wang, Steve Greenberg, John Fiegel, Alma Rubalcava, Shankar Earni, Xiufeng Pang, Rongxin Yin, Spencer Woodworth, Jorge Hernandez-Maldonado, “Monitoring-based HVAC commissioning of an existing office building for energy efficiency”, Applied Energy, Volume 102(2013), pp.1382-1390。
- (13) YOLO v3, <https://pjreddie.com/darknet/yolo/> (参照 2021年10月25日)
- (14) Open Pose, <https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose> (参照 2021年10月25日)
- (15) 公益社団法人 空気調和・衛生工学会 コミッショニング委員会機能性能試験検討小委員会: 空調設備の機能性能試験マニュアル案の検討, 2013. 10
- (16) LCEM ツール, [https://www.mlit.go.jp/gobuild/sesaku\\_lcem\\_lcemtool\\_index.htm](https://www.mlit.go.jp/gobuild/sesaku_lcem_lcemtool_index.htm) (参照 2021年10月25日)
- (17) 呉濟元, 住吉大輔, 塩地純夫, 長澤浩司, 鈴木智博, “モジュールチラーの機能性能試験手法の開発 (第1報) 対象システム概要と試験計画”, 空気調和・衛生工学会大会 (鹿児島) (2016), pp. 305-308。
- (18) 上野紀幸, 呉濟元, 住吉大輔, 塩地純夫, 鈴木智博, 長澤浩司, “モジュールチラーの機能性能試験手法の開発 (第2報) 冬期実測データによる機能性能試験”, 空気調和・衛生工学会大会 (高知) (2017), pp. 153-156。