

スマートビルデータプラットフォーム： ビル OS の開発・実装と実践的応用

ビル OS『ビルコミ』の開発及び立命館大学大阪いばらきキャンパスでの実装事例

高橋 雅生・福本 健人・粕谷 貴司

本稿では、スマートビルの中核を担うデータプラットフォーム「ビル OS」の開発および実践的応用について報告する。立命館大学大阪いばらきキャンパスでの実装事例では、IoT センサネットワークとの連携、ロボットによる移動センシング基盤の構築、デジタルツインアプリケーションの開発を行った。さらに、建物空間分析基盤として空間 ID による空間情報の記述やメダリオン・アーキテクチャによるデータの構造化を実現し、生成 AI 活用による分析機能とチャットインターフェースを実装した。これにより、専門知識を要さない効率的なビル管理業務の実現可能性を示した。

キーワード：スマートビル, BIM/CIM, デジタルツイン, AI, 生成 AI

1. はじめに

近年、労働人口の減少、データ駆動型社会の到達、Society5.0の実現が目されて久しく、各業界でDXが推進され、自治体等においても都市全体の広域データ活用を可能とするスマートシティや都市OSの実装が進んでいる。

都市の主要構成要素である建物においても、従来の建物設備に加えIoT設備と呼ばれる様々なセンサの導入が進んでおり、扱うデータが質・量双方で加速的に増えている。本稿では、これらの情報を統合し高度な制御・運用を行うビルを「スマートビル」と呼称するが、2023年に(独)情報処理推進機構 (IPA)・デジタルアーキテクチャ・デザインセンターではスマートビルの構築についてガイドラインが発刊され、現在ではスマートビル共創機構の設立に向けた準備会が進んでいる¹⁾。その中核を担うデータプラットフォームは「ビル OS」と定義され、各社で開発及び実装と標準化が進んでいる。

本稿の2, 3章ではスマートビルにおけるビル OS についての開発及び立命館大学大阪いばらきキャンパスでの実装事例を示す。4章ではその実践的応用、データ構造化/分析について検討並びに、生成 AI によるデータ分析を通じた業務改革・DXの可能性を論じ、社会課題解決への寄与を目指す。

2. スマートビル実現におけるビル OS の概論と開発

(1) データプラットフォームとしての要件

建物では従来からBACS (Building Automation and Control System) と呼ばれる中央監視制御システムが実装され、電気・照明・空調・給排水衛生・熱源等の各設備システムの一元監視、制御および管理を行っている。BACSと各設備間の通信にはBACnetを代表とする建物設備向けのオープンプロトコルの普及が進んでいる。

他方でインターネット技術の発展、AWS, Azure, GCPといったパブリッククラウドの浸透を受け、各建物設備システムにおいてもオンプレミスでの完結を前提とする構成からクラウドサービスを活用する構成に変化しつつある。具体的にはIaaS (Infrastructure as a Service) のようなサーバ環境をクラウドに移行するケースや、PaaS (Platform as a Service) を用いてアプリケーションを構成するケースが挙げられる。これにより各建物設備システムにおいて、ローカルの機器とクラウド上に存在する様々なリソースがデータを相互に共有する潮流が加速した。しかしBACSのプロトコルはローカルネットワーク内の通信を前提としており、クラウドとの通信の為に個別にインターフェースを構築し、アクセス方法を統一する必要があった。ここで問題となるのが建物には設備システムが複数存在しておりかつ、サプライヤが多岐に亘ることである。この特性により、クラウド側から見ると設

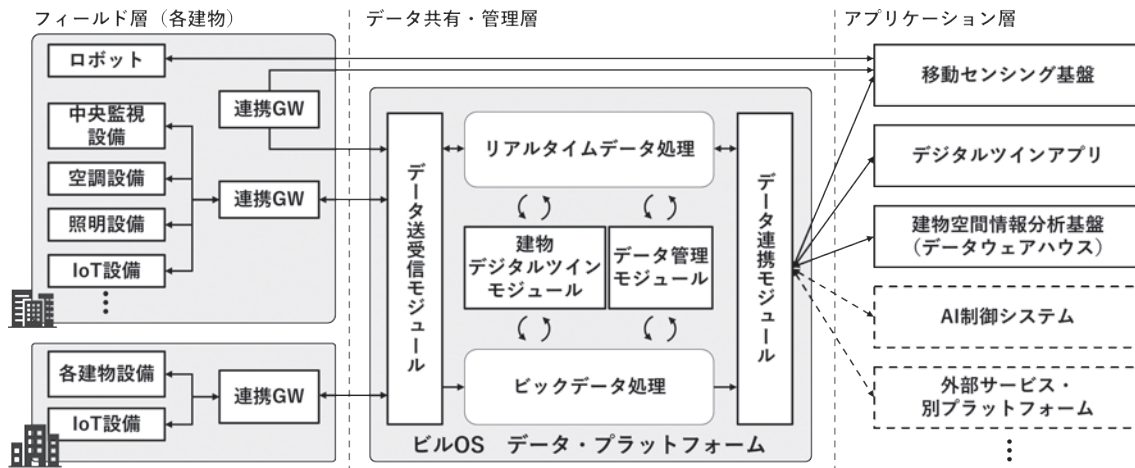


図-1 ビル OS のアーキテクチャ

備種類，サプライヤ毎にインターフェースの摺合せが必要という課題が生じていた。

この課題に対し，各設備システムのデータを種別や系統，ポイント毎に集約し，共通化されたインターフェースによって取得する構想が生まれ，データプラットフォームとしてビル OS が定義された。前述のガイドライン¹⁾に記載されているビル OS に求められる機能要件と構成するモジュールを以下に整理する。

(a) データ送受信モジュール

BACS では建物設備システムのデータを「ポイント」という単位で管理しており，例えば空調機器 1 台につき発停，温度，風量，状態などの複数のポイントが設定されている。これらのポイントは階層的に管理され，集中コントローラは配下の機器のポイント総数を，さらにその上位のサーバや BACS はコントローラが管理する全ポイントを統括している。データ送受信モジュールにはこれらのポイント毎にデータを区別して送受信を行う機能が求められる。

(b) 建物デジタルツインモジュール

ポイントの管理に加えて，敷地，ビル，フロア，部屋，各端末といった建物の階層的な空間情報との紐付けをモデリングすることが必要となる。各ポイントのデータを受信した際，あるいは API からのリクエストがあった際はこのモデリングに基づきデータの返却を行う。

(c) データ連携モジュール

ポイントや階層構造によるデータ管理は建物特有の概念だが，アプリケーション開発を担う WEB/IT 系事業者にとっても理解しやすい必要がある。そのため，API インターフェースではポイントの命名変換や複数ポイントの抽象化による対応が求められる。

(d) データ管理モジュール

(a) ~ (c) によって通信されるデータをその分類毎に適切に管理/蓄積させる機能が求められる。

本稿のビル OS は，高応答性を要するリアルタイムデータ処理と，時系列データの集積・一括処理を行うビッグデータ処理の両立が必要という特色を持つ(図-1)。そのため，これらを実現可能なラムダ・アーキテクチャをベースとした構成を採用している²⁾。

(2) 先行実践例における課題と技術的施策

先行実践例³⁾では前述の機能要件を基にビル OS を Azure の PaaS を用いて構築を行った。BACS 等の約 20,000 ポイントのデータを十数個のアプリケーションが利用していたが，アプリケーションによっては高頻度の API リクエストを行っており，建物デジタルツインモジュールの稼働が高くなる傾向が見られた。また，AI 制御等のアプリケーションでは低頻度ながら大量の時系列データの リクエストを行っていた。さらに，複数のポイント取得時に単一ポイントへのリクエストを繰り返す非効率な構成も確認された。

これらの課題に対し，2つの施策を実施した。第一に，ポイントに属性や用途毎の分類によるタグを付与した。アプリケーション側からはタグをキーとしたリクエストにより数百~数千ポイントを一度に取得可能となる上，汎用的な名称のタグとすることで，当該ビルの空間構造や設備を把握していなくともデータを検索し取得することが可能になる。

第二に，API リクエストに対して内部的にキャッシュを保持し PaaS のリソース稼働の最適化を行い，ストリーミングで取得できる API (StreamAPI) を実装した。StreamAPI には，gRPC-WEB (HTTP/2) を採用しており，連続的なデータ受信を実現した。こ

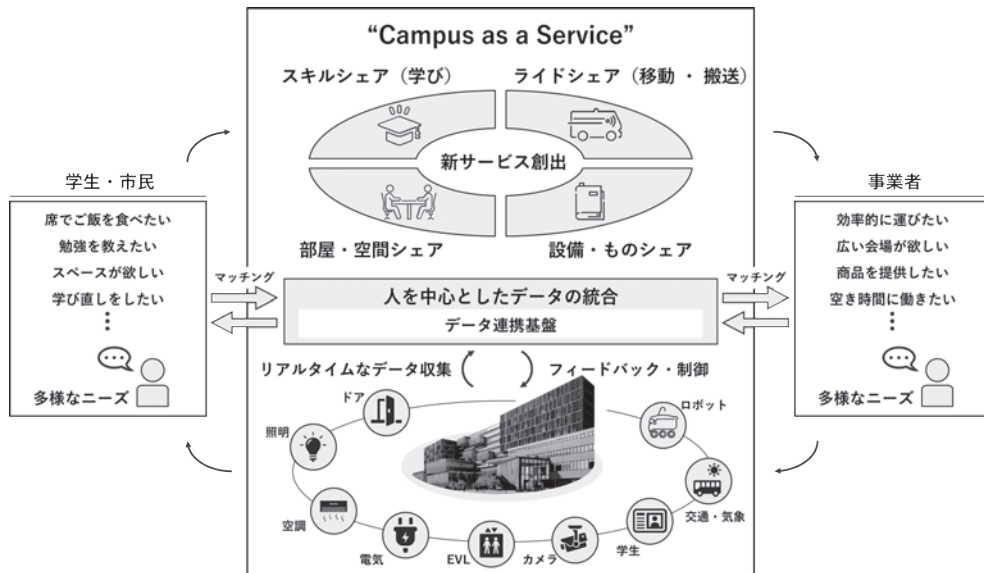


図-2 Campus as a Service と新サービスの創出

ここではポイント毎に実際の機器側の情報更新の頻度をメタ情報として記述することで、同一システム内に違う更新頻度を持つポイントを保持可能になっている。次項では施策を反映したビルOSの実装事例を述べる。

3. 立命館大学大阪いばらきキャンパスでの実装事例

(1) 建物および設備の概要

当該施設は、建築面積 7,913.56 平米，延べ床面積 47,096.00 平米の地上 9 階建てであり、「ソーシャル・コネクティッド・キャンパス」というコンセプトのもと、他キャンパスや地域社会との連携拠点としてオープンイノベーションを推進している。この一環として、「Campus as a Service」の実現を目指し、ハードウェアである建物と、ソフトウェアであるサービス・アプリケーションの分離・再定義、つまりソフトウェア・ディファインドなシステムを構築することで、プラットフォームのオープン化とエコシステムの形成による新サービスの創出を図っている (図-2)。

他方、本施設は環境配慮型建築として、ファサードデザインやセンサによる設備の最適化制御により、高度な省エネ性能を実現している。室内外の吹き抜けオープンスペースは、地域連携やイノベーション創出のアクティビティ向上に寄与する一方で、空調エネルギー消費の課題も抱えている。この課題に対しデータを用いた手法、具体例としては IoT センサネットワークから得られる快適性指数に基づく大型シーリングファンの制御により、快適性向上とエネルギー消費削減の両立を実現している⁴⁾。

本事例におけるビル OS の実装は、これらセンサネットワークや建築設備から得られる内部空間の情報を、社会あるいは事業者が広く活用できるようにデータ連携基盤を構築するものである。さらにその新サービス創出の実践例として、温熱環境・施設の利用状況・人流等の情報を可視化し、施設利用者の行動促進を図るデジタルツインアプリケーションの開発についても示す。

(2) IoT センサネットワーク及び連携ゲートウェイの構成

当該施設には温湿度，風速等の環境情報や人流情報を取得する IoT センサネットワークと BACS が実装されており、ビル OS の実装は当該施設の設計・施工が進んだ中に決定した。従ってビル OS 及びビル OS への送出手続きを行う連携ゲートウェイの構築は原設計との親和性を加味して行っている。具体的なネットワーク構成を図-3 に示す。原設計においては BACS

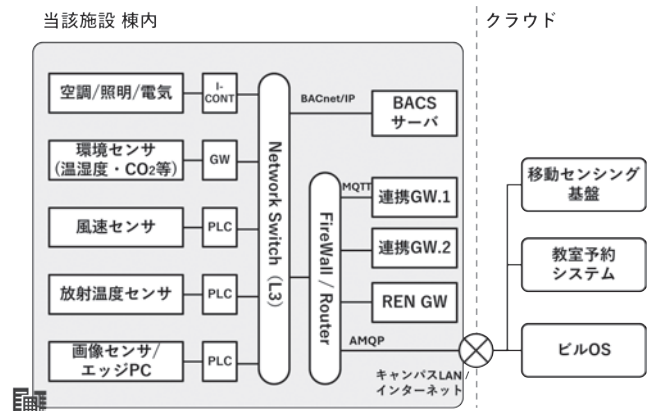


図-3 IoT センサネットワークの構成

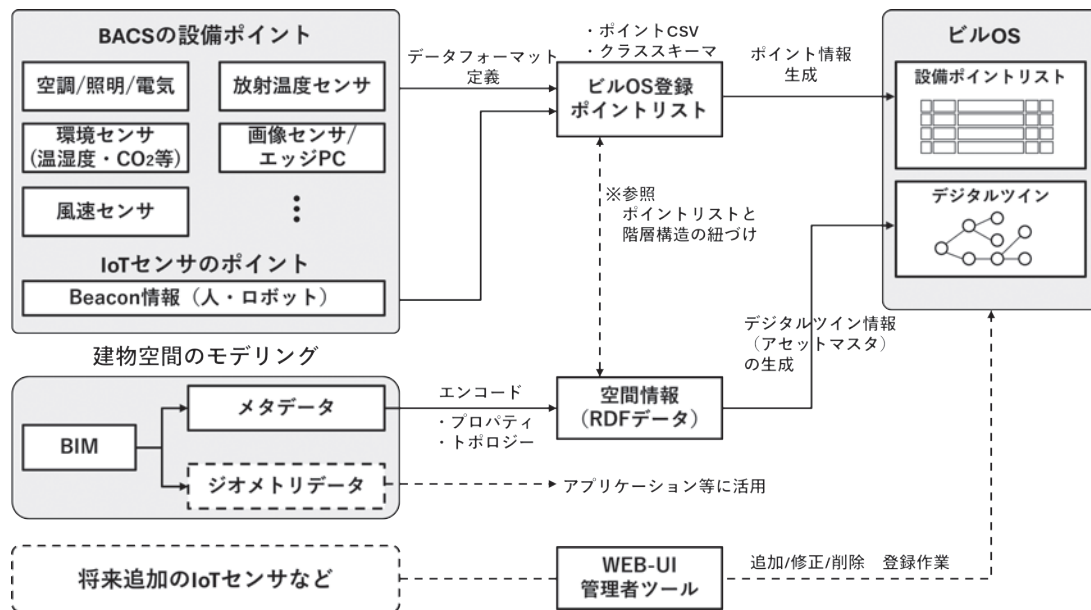


図-4 ビル OS の構築フロー

への通信は主に BACnet/IP によって行われており、この通信を MQTT へ変換し連携ゲートウェイへ送信する機能改修を行った。連携ゲート連携ゲートウェイはビル OS のデータ送受信モジュールと AMQP によって双方向に通信する機能を有している。加えて当該キャンパスが運用している教室の予約管理システムの情報も取得する他、施設内で研究・運用されているサービスロボットの情報についても別途連携ゲートウェイを設け、ビル OS へのデータ連携が実現している。

(3) ロボットによる移動センシング基盤との連携

BACS やビル OS による設備管理には環境情報を取得するセンサシステムが不可欠である。新築の当該施設では計画段階から IoT センサネットワークを実装したが、既設建築ではこのような用途に必要なセンサを備えていない環境が多く、センシング環境の構築に多大なコストを要する。その為、自律移動ロボットや施設利用者による環境情報収集が有効な方法となり得る。本実践例では、センサ搭載の自律移動ロボットを建物内で周回させ、収集情報をビル OS へ送信する基盤を構築している。

(4) ビル OS の構築フロー及びポイントリストの整備

ビル OS の構築フローは、第一に BACS の設備ポイント情報に基づくデータモデリング及びデータフォーマット定義を行い、第二にビル OS に設定情報を入力し、第三に連携ゲートウェイを構築し BACS に接続する。この際、ロボット情報などの建築設備以外のデータフォーマットも定義を行う他、BACS の設

備ポイント情報にない空間の階層構造情報については BIM を用いて付加する。また、ポイント情報や空間情報に基づくタグ付けを行う (図-4)。構築後のポイント追加については、WEB-UI の簡易登録ツールにより容易に実施可能としている。

(5) デジタルツインアプリケーションの実装

ビル OS のユースケースとして、建物内の情報を可視化するデジタルツインアプリケーションを構築した。人員や環境情報に基づいた混雑度マッピング・空室マッピング・快適度マッピングの3種を実装しており、教職員や学生は個人端末で混雑・利用状況を確認でき、運用業務においても清掃計画や昼食の提供計画等に活用することが可能となる。環境の可視化により、快適度に応じた学生の移動を促し、省エネ・環境意識の向上を図っている他、ロボットの位置情報も表示している (図-5)。ユーザ認証については、当該キャンパスの既存認証基盤と連携させたシングルサインオン形式を採用している他、ビル OS からデータ取得を

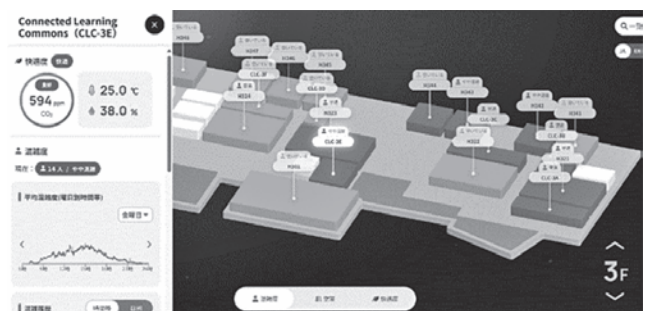


図-5 デジタルツインアプリケーション

行う API には前述の gRPC-WEB (HTTP/2) を採用することで、高効率かつ低レイテンシな通信を実現している。

4. 建物空間分析基盤の開発

(1) 建物空間情報の記述とデータウェアハウス／データマートの設計と構築

2章にてビル OS は設備ポイントと BIM モデル等の空間情報を組み合わせて設定及び構築していることを述べたが、実際の人の活動領域は建築部材や建築設備の存在しない、モデル上は部屋内や共用部といった空白の空間である。その為、この活動領域のデータを取得するには空間に紐づいたデータの解釈が必要となる。特に AI 技術を用いたアプリケーションにおいては、その機能は基としたデータの品質に依存している他、学習の為には構造化を行う必要があり、この課題への対応が必要であった³⁾。次項にその施策を述べる。

(a) 空間 ID による建物空間情報の記述

我々は経済産業省が推進する 4 次元時空間情報基盤でも採用されている「空間 ID」の概念を採用し、建物内の空間を記述する方策を取った。空間 ID とは空間を緯度／経度と地表面 (ジオイド面) からの高さの 3 つの軸で分割し、各格子に ID を付与する考え方である。これを建物に当てはめると、建物内の空間を人の活動領域も含めてサイコロ状に記述することが出来る。従来建物内の空間は BIM や点群といった比較的高精度な粒度で記述されているが、空間 ID によって簡略化することで検索性を高める効果も確認されている⁵⁾。

(b) メダリオン・アーキテクチャによるデータの構造化

データの構造化においては、大量のデータを処理するシステム設計パターン的一种であるメダリオン・アーキテクチャを採用した。ビッグデータの収集／整備は用途と役割において、以下 3 つのステップに分類される。

- ①データレイク (ブロンズ)：生データ
- ②データウェアハウス (シルバー)：クレンジング済かつデータの構造 (スキーマ) が整理されたデータ
- ③データマート (ゴールド)：目的別加工データ

ビル OS のデータは各設備システムから集積した生のデータであり、メダリオン・アーキテクチャにおいてはブロンズと表現される。データの利用容易性を高めたシルバー、ゴールドにあたるデータウェアハウス、データマートを構築することで更なる活用が進むと考えられる。

図-6 に建物空間分析基盤全体のワークフローを示す。ビル OS から取得したデータは構造化を行い、データウェアハウス／データマートに保存される。この時、空間データについては、BIM や図面といった設計情報から抽出を行い空間 ID と共に紐づけが行われる。これらの構造化データを用いて WEB アプリでのデータ取得及び生成 AI モデルによる分析・利用を行う。またこの構造化データは連携インターフェースを介して、3rd パーティアプリケーションとも連携可能な構成で GCP 上に実装されている⁶⁾。

(2) 生成 AI 活用による分析機能とチャットインターフェースの実装

従来のビッグデータ利活用では、専門知識を持つ

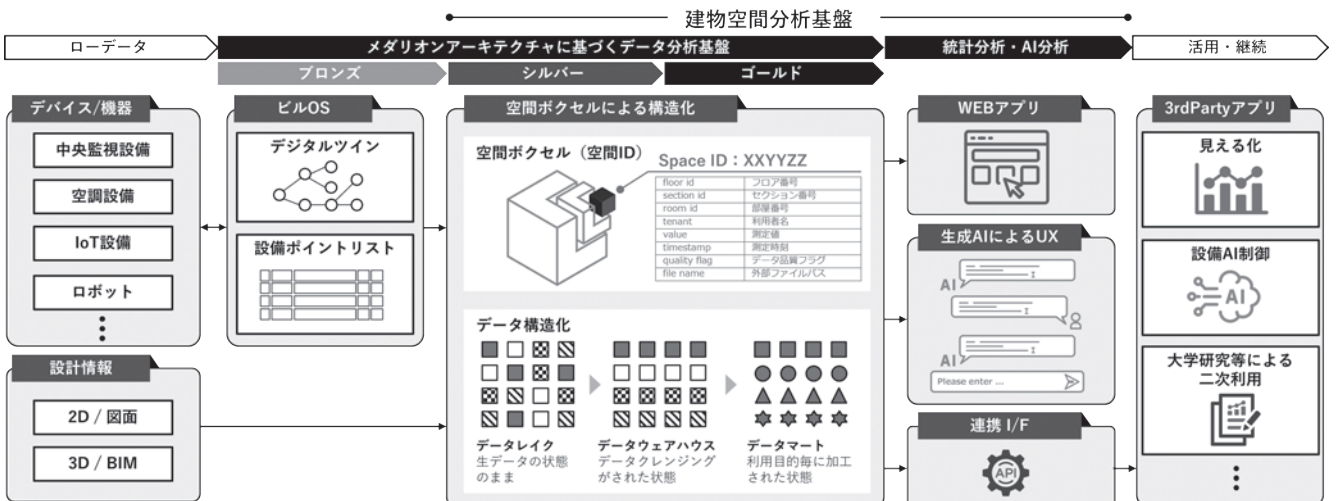


図-6 建物空間分析基盤のワークフロー

データアナリストがBIツールで分析・表示し、業種や分野の知見を加味して解釈する必要があった。しかし、生成AIの活用により、専門的な分析・解釈をAIが行い、テキストチャットで表示・解説することが可能となった。これを建物空間分析基盤が保持している建物の構造化データに適用することで、例えばビル管理業務に習熟していない人材が知識や経験に依存せずとも実データを根拠としたビル管理業務が可能になる等、更なる展開が見込まれる。

図-7に実際の分析結果とチャットインターフェースの一例を示す。どのようなセンサデータが存在するかという概要の回答から、データの値を時系列のトレンドグラフによって示し、特徴のある傾向を回答する他、さらに深掘質問を行うことで、データから得られる示唆の提案を行うといった対話型での解説が可能になっている。生成AIの特徴として嘘をつく現象（ハルシネーション）が課題に挙げられるが、建物空間分析基盤では生成AIモデルに対して建物の構造化データに特化したファインチューニングを行っている他、実データに対する分析については類推を行わず、データから読み取れる内容に基づくようにプロンプトエン

ジニアリングを行うことでハルシネーションを回避している。

5. 考察

(1) 実装による効果と課題

3章の効果として、ビルOSを通じたプラットフォームの連携及び3rdパーティアプリケーションの実装を確認している。スマートビルの目的としては持続的な機能拡充が目指されており、今後も複数のアプリケーションが実装されることでより施設内での業務効率性、省エネ性能が向上していくと見込まれる。

4章の効果及び評価としては、一定の分析／解説について生成AIで実施可能なポテンシャルを確認出来た。課題としてはデータから得られる示唆や提案といった、特にその分野への習熟が必要な作業までは至っていない、という点が挙げられる。

(2) 技術的な改善点と今後の展開可能性

本稿では生成AIの学習データとして建物の設備データを用いているが、建築に特化した他の学習データ、建築基準法やビル管理法といった関連法規、ビル管理業務の指示書や報告書といった業務文書等を加えることで、より深い示唆や提案が可能になると考えられる。また更なる展開として、建物計画や設計段階においても本稿における取り組みを展開することで、より効率的かつ高度な検討が可能になると考えられる。

6. おわりに

最後に、本稿3章の取り組みは学校法人立命館様、並びに関係各所にご協力いただいた他、その一部はNEDO「産業DXのためのデジタルインフラ整備事業／人・ロボット・システムを有機的に結合するスマートビル基盤に関する研究開発」において実施しています。深く御礼申し上げます。

JICMA

参考文献

- 1) IPA/DADC スマートビルプロジェクト, “スマートビルシステムアーキテクチャガイドライン”, IPA, <https://www.ipa.go.jp/digital/architecture/guidelines/smartbuilding-guideline.html> (2025-1-15)
- 2) 粕谷貴司, 江崎浩, “futaba: スマートビルのためのビッグデータ・プラットフォーム”, 情報処理学会論文誌, Vol.62, No.3, pp.867-876, 2021.
- 3) 芝原ら, “脱炭素を目指したストック建物のスマートビル化に関する研究”, 日本建築学会学術講演梗概集, 巻号 2024, No.8075-8083, pp.149-166, 2024.



図-7 生成AI活用によるチャットインターフェース

- 4) 越村翔, 中井奈保子, 君塚尚也, “某大学における環境設備計画”, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集 (Web), 53rd, ROMBUNNO.B-5 (WEB ONLY), 2024.
- 5) デジタルツイン構築調査研究受託コンソーシアム, “デジタルツイン構築に関する調査 研究調査報告書”, 2023.
- 6) 粕谷貴司, 杉井雄汰, “ビッグデータを活用したスマートビルのためのデータ分析基盤”, 情報処理学会第 87 回全国大会講演論文集, No.6D-01, 2025.

[筆者紹介]

高橋 雅生 (たかはし まさき)
株竹中工務店
情報エンジニアリング本部
主任



福本 健人 (ふくもと けんと)
株竹中工務店
情報エンジニアリング本部



粕谷 貴司 (かすや たかし)
株竹中工務店
情報エンジニアリング本部
専任副部長

