

時空間メタデータを用いたプラットフォーム横断的なデータ探索環境の構築手法

矢部 竜太¹ 渡並 智² 香川 椋平³ 山下 宗史⁴
井上 壮一郎⁵ 中平 祐樹⁶ 野田 正亮⁷

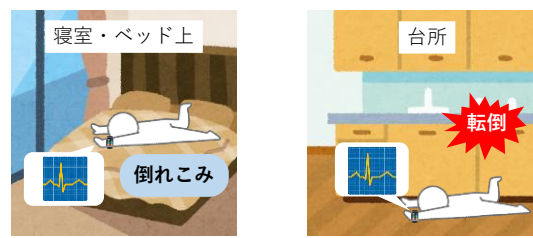
サービス業においては労働生産性向上のため、業務の自動化や効率化、付加価値向上等によりサービスを高度化することの重要性が増している。サービスの高度化のためには、IoT 機器から取得したセンシング情報等のデータ解釈において、機械可読な意味情報を持つ空間情報等を背景知識として活用することが重要となる。サービス高度化のためのデータは多様であり、それらは互いに異種性がある。このため、データは種類毎に最適なプラットフォームで管理されることが望ましい。しかし、データの個別最適管理が進展すると、データ利用者は利用目的に合うデータの所在を把握して取得することが難しくなる。そこで本研究では、時空間的なメタデータを用いてプラットフォーム横断的にデータを探索する環境を提案する。本提案手法では、空間情報やIoT 情報を管理するプラットフォームから出力したメタデータを統合し、サービス提供対象空間に関連するデータを取得するための情報を書き込むことにより、時空間的にデータを探索するためのデータカタログを構築する。本論文では提案手法に基づきプロトタイプシステムを実装し、提案手法の実現可能性の検証を行った。

1. 背景

近年、労働人口減少や経済の停滞などの問題からサービス業における、労働生産性向上の重要性が高まっている[1]。労働生産性を向上させるためには、AI やデータ分析を活用し、サービスの自動化や効率化、付加価値向上などといったサービスを高度化する取組が求められる[2]。既に、顧客周辺にIoT 機器を設置し、設置した機器から収集したセンシングデータを活用して提供するサービスは存在する[3]。今後、さらに高度なサービスを提供していくためには収集したデータに基づき顧客やサービス業務提供者等のステークホルダーの状態を推定し、推定した状態に基づくサービスの提供を行うことが求められる。

IoT 機器から取得したセンシングデータからステークホルダーの状態を把握するためには、データをセンシングしたIoT 機器がどのような空間に設置されているのかといった背景知識が重要となる。例えば、スマートウォッチを用いた独居高齢者の見守りサービスを考えた場合、スマートウォッチから取得した加速度に基づき、独居高齢者の転倒を検知した時、それが寝

室の布団の上なのか、それとも台所なのかでデータの解釈が異なってくる。状況によって変化するデータ解釈のイメージを図1に示す。このような高度なデータの分析・解釈をサービス提供に組み込み、スケールするものにするには、背景知識となる情報が機械可読なデータ(以下、背景知識データ)になっており、背景知識を活用した高度なデータ解釈が自動で行われることが求められる。セコムではこれまで、背景知識データやセンシングデータを活用したサービスを提供するための研究開発に取り組んできた[4]。



同じ加速度というデータでも状況によって解釈が異なる

図 1 状況によって異なるデータ解釈

データ解釈のための背景知識として活用可能な機械可読な意味情報を持つ空間情報は普及しつつある。一例としては、Building Information Modeling(BIM)に用いられる3次元建物モデルデータである BIM データが挙げられる。BIM とは、属性情報と幾何情報が一体化した3次元建築情報モデルデータを活用した建築プロセスの手法である。BIM データは、属性情報として会議室やオフィス、食堂などといった部屋の利用用途情報や部屋同士の接続関係の情報を、機械可読な形式で表現可能となっている。また、機械可読な意味情報を持つ空間情報として、CityGML も普及や活用が進みつつある。今後、このようなデータは種類・量ともに増えるものと思われる。

2. 先行研究・先行事例

本章では、空間情報やIoT 機器情報のデータを活用するために行われてきた先行事例について述べる。

● 空間情報やIoT 機器情報を管理するプラットフォーム

これまで、増大する空間情報やIoT 機器情報の効率的な管理・共有・利用できる環境の構築を目的として、空間情報やIoT 機器情報等のデータを管理するプラットフォーム実現のための取り組みが行われてきた。例えば、BIM データに関しては、国際標準のデータ交換フォーマットである Industry Foundation Classes(IFC)に準拠したデータを、データベースで管理・活用するためのサーバーサイドアプリケーションである IFC モデルサーバー[5]の研究が行われてきており、筆者もその実装例のオープンソース化を行っている[6]。また、CityGML についてもリレーショナルデータベースでデータを管理・提供する環境を構築するためのツールセットである 3D City Database[7]がオープンソースとなっている。一方、IoT 機器情報については Fiware[8]

¹ 正会員 セコム株式会社 IS 研究所 ryo-yabe@secom.co.jp

² 正会員 セコム株式会社 IS 研究所 s-tonami@secom.co.jp

³ 非会員 セコム株式会社 IS 研究所 ryo-kagawa@secom.co.jp

⁴ 非会員 セコムトラストシステムズ株式会社 mun-yamashita@secom.co.jp

⁵ 非会員 セコムトラストシステムズ株式会社 so-inoue@secom.co.jp

⁶ 非会員 セコムトラストシステムズ株式会社 yu-nakadaira@secom.co.jp

⁷ 非会員 セコムトラストシステムズ株式会社 masaaki-noda@secom.co.jp

が既に存在し、スマートシティの実現ための実証実験に導入され、実績を上げている[9].

[5-8]の先事例の成果を応用することにより、空間情報やIoT 機器情報のデータを管理し、活用するためのプラットフォームを構築することが可能となる。構築したプラットフォーム群により空間情報やIoT 機器情報等の管理や検索を行うことが可能となるが、同時にデータを管理するプラットフォームの個別最適化が進行する。その結果、データ利用者が、背景知識データとセンシングデータを統合し活用しようとする場合には、各プラットフォームの仕様を理解し、プラットフォーム毎にデータの探索をする必要があり、データの利用率が悪いという課題がある。

● IoT 機器情報探索のためのデータカタログ

これまで、IoT の分野では種類や量が增大した IoT に関するデータを、プラットフォーム横断的に流通させ、新たなサービスの事業創出機会を増大させることを目的として、データ流通市場を整備するための取組が行われてきた。そして、データ利用者が実現したいサービスに活用可能なデータをデータ流通市場から探索できるようにするため、データカタログの構築を目指す取り組みが行われてきた。

IoT 推進コンソーシアムでは複数のデータ流通事業者の登場を鑑みて、データ利用者がアクセスしたいデータを効率的に発見可能とする仕組の実現のために、データ連携のために共通化することが必要な最低限の事項を整理し、「データ流通プラットフォーム間の連携を実現するための基本的事項」[10]として取りまとめた。ここでは、キーワードによるデータ探索を可能とするため、IoT 機器情報を Semantic Sensor Network Ontology(SSN)[11]に準拠したメタデータから構成されるデータカタログを構築するよう提言を行っている。しかし、サービスを高度化するためのデータを発見しやすくするためには、データカタログは、キーワードのみならずデータ利用者に対し時空間的なデータ探索機能を提供する必要がある。例えば、独居高齢者の生活行動の見守りサービスの場合は「とある顧客のここ一か月の起床後の生活行動の分析を行いたい。そのために顧客宅の部屋構成が分かるフロアマップと、顧客宅二階の寝室から一階の洗面所までの各部屋に、分析対象期間中に設置されていた人感センサーのセンシングデータを取得したい」といったデータ探索要求が考えられるが、前述した基本的事項ではIoT 機器が設置されている空間については考慮がされておらず、データ利用者は特定の場所に関連するデバイスを探査することは難しい。

● 空間情報とIoT 機器情報の統合

建物の維持管理やロボットの自動制御等の分野においては、空間情報とIoT デバイス情報を連携させるための様々な研究が行われてきた。井口[12]らは屋内空間のロボットの自動運転のためのデジタルツインを空間情報とIoT 情報を統合して構築す

るためのオントロジーの提案を行っている。粕谷らの研究では、スマートビルのデジタルツインを構築するためのプラットフォームである futaba[13]を提案し、実装を行っている。その他、画像認識の性能向上のために空間情報とカメラ情報を紐づけるためのデータモデルとして Marroquin らは WiseNET Ontology[14]を提案している。このように機械可読性のある意味情報とIoT 機器情報を統合する研究は、他にも多数存在する[15, 16, 17, 18]。[12-18]の研究は、いずれも空間情報から抽出した空間の構造を表すデータとIoT 機器等のデータを、Resource Description Framework(RDF)形式のナレッジグラフとして、実現したいアプリケーションに特化して統合することを主眼にしている。そのため、ナレッジグラフ生成元となる空間情報やIoT 機器情報をプラットフォーム上で管理し、他のプラットフォームのデータを探索することなどは考慮されていない。

● 本論文が解決を目指す課題

本論文は、サービスを高度化するためのデータを効率的に利用できる環境を実現することを目的として、空間情報やIoT 機器情報を管理するプラットフォーム群から、利用目的に合ったデータをプラットフォーム横断で、かつ時空間的な関連を用いて探索できる環境の実現を目指す。

3. 提案手法

本章では、提案手法について述べる。本提案手法では空間情報を管理するプラットフォームやIoT 機器情報を管理するプラットフォームから出力したメタデータを統合したデータカタログの構築を行うことにより、データ利用者が時空間的な関連を利用し、利用目的に合ったデータをプラットフォーム横断で探索できる環境を構築する。

本提案手法を前章の「独居高齢者の生活行動の見守りサービス」のユースケースに適用すると、顧客宅の部屋構成や部屋同士の接続関係や部屋に対するセンサーの設置状況が背景知識に該当する。この背景知識を機械可読、かつデータ探索に活用可能なデータにしたものがメタデータに該当する。そして、実際のセンシングデータが利用目的に合ったデータに該当する。

3.1. データ探索環境の全体像

本提案手法において実現するデータ探索環境の全体像を図2に示す。本データ探索環境は空間情報管理プラットフォーム、IoT 機器情報管理プラットフォーム、関連データ管理プラットフォーム、及びメタデータ・データベースから構成される。空間情報管理プラットフォーム及びIoT 機器情報管理プラットフォームは、各々、空間構成メタデータ及びIoT 機器メタデータの出力を行う。両プラットフォームから出力されたメタデータは、メタデータ・データベースにストアされ統合される。メタデータ・データベースのメタデータには、関連データ管理プラットフォームにストアされているデータへのアクセス方法が

書き込まれる。

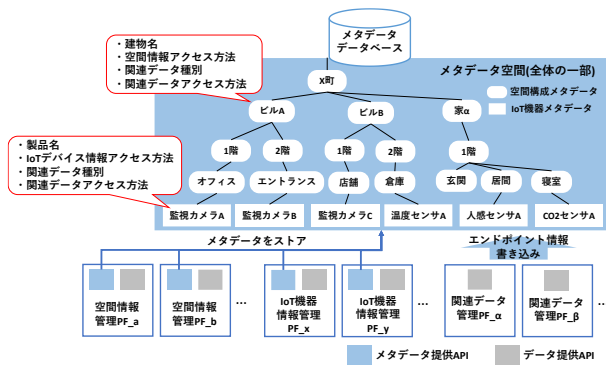


図 2 提案システムの全体像

3.2. 空間情報管理プラットフォーム

空間情報管理プラットフォームは、BIM データや CityGML などといった機械可読な意味情報を持つ空間情報の管理を行うプラットフォームである。空間情報管理プラットフォームはメタデータ提供 API 及びデータ提供 API を有する。メタデータ提供 API からは空間構成メタデータを、データ提供 API からは管理している空間情報を JSON 化したデータを提供する。

● 空間構成メタデータ

空間構成メタデータは街区や敷地、建物、建物階、部屋等の空間構成要素と、空間構成要素同士の関係をグラフデータモデルとして表現するメタデータである。空間構成メタデータでは、空間構成要素はノードとして表現し、建物と建物階、階と部屋、部屋同士のつながりなどといった空間構成要素同士の関係をエッジとして表現する。各ノードには、関連データへアクセスするための、関連データ管理プラットフォームのデータ提供 API のエンドポイント情報が記述されている。

3.3. IoT 機器情報管理プラットフォーム

IoT 機器情報管理プラットフォームは、センサーやウェアラブルデバイス等の IoT 機器情報の管理を行うプラットフォームである。IoT 機器情報管理プラットフォームは、現実空間に設置された IoT 機器の機器名・搭載されたセンサーの種別・IoT 機器の設置日時等の情報を管理・提供する。IoT 機器情報管理プラットフォームは、メタデータ提供 API 及びデータ提供 API を有する。メタデータ提供 API からは IoT 機器メタデータを、データ提供 API からは、管理している IoT 機器に関する情報を JSON 化したデータを提供する。

● IoT 機器メタデータ

IoT 機器メタデータは、IoT 機器情報管理プラットフォームが管理している IoT 機器情報を、空間構成メタデータと接続可能なメタデータに変換したものである。IoT 機器メタデータでは IoT 機器はノードとして表現し、IoT 機器と空間構成要素との関

係をエッジとして表現する。各ノードには関連データへアクセスするための、関連データ管理プラットフォームのデータ提供 API のエンドポイント情報が記述されている。

3.4. 関連データ管理プラットフォーム

関連データ管理プラットフォームは空間構成要素や IoT 機器関連データを管理するプラットフォームである。ここでいう関連データとは、サービス提供空間の空間構成要素や設置した IoT 機器に関連する、可視化や分析などといった活用の対象となるデータのことである。空間構成メタデータの関連データ例としては点群や PDF 化された設計図書、フロアマップのラスタ画像などが挙げられる。また IoT 機器メタデータの関連データ例としては IoT 機器から取得した時系列データや、IoT 機器のカタログなどが挙げられる。関連データは機械可読な意味情報を持たないため、活用する際には空間構成メタデータや IoT 機器メタデータ等を背景知識として活用する。なお、関連データ管理プラットフォームは、データ提供のための API を有する。

3.5. メタデータ・データベース

メタデータ・データベースは空間構成メタデータ、及び IoT 機器メタデータの管理・検索機能を提供するデータベースである。メタデータ・データベースは空間構成メタデータと IoT 機器メタデータを統合した時空間メタデータにより構築されたデータカタログを持つ。メタデータ・データベース上では、IoT 機器メタデータは、空間構成メタデータと紐づけられることにより、ある空間における IoT 機器の設置状況の表現を行う。メタデータ・データベースは空間構成要素同士の関連や、空間構成要素と IoT 機器の関連を辿るデータ検索を、エッジを辿ることにより実現する。

3.6. データカタログ構築手順

メタデータ・データベースのデータカタログは以下の手順により構築される。

- ① 空間情報管理プラットフォームのメタデータ提供 API から出力した空間構成メタデータをメタデータ・データベースにストア。
- ② IoT 機器情報プラットフォームのメタデータ提供 API から出力した IoT 機器メタデータをメタデータ・データベースにストア。
- ③ 実世界での IoT 機器設置状況に基づき、空間構成メタデータと IoT 機器メタデータの紐づけを行う。
- ④ 関連データ管理プラットフォームのデータ提供 API へのアクセス情報を空間構成メタデータ・IoT 機器メタデータへ書き込む。

3.7. データ探索の手順

データ利用者は、本論文が提案するデータ検索環境において、以下の手順によってデータの探索を行う（図3参照）。

- ① メタデータ・データベースにアクセスし、空間構成メタデータにより空間構成要素同士の関係性を辿り、サービス提供対象空間の空間構成メタデータを探索・取得。
- ② ①で取得した空間構成メタデータから関係を辿り、サービスアプリケーションを実装したい空間に設置されたIoT機器のIoT機器メタデータを探索・取得。
- ③ 取得したメタデータからエンドポイント情報を取得。
- ④ ③で取得したエンドポイント情報に基づき、関連データ管理プラットフォームのデータ提供APIにアクセスし、所望のセンシングデータ等を取得。

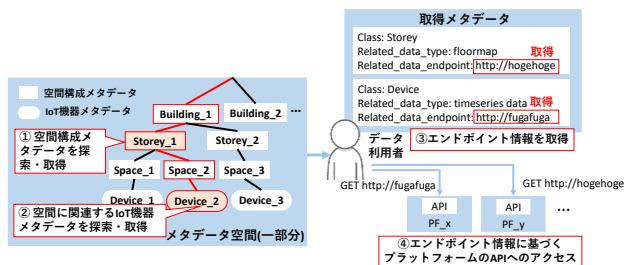


図3 提案システムを用いたデータ探索の手順

4. 実装

本章では、本提案手法の実現可能性を示すために実装したプロトタイプシステムについて述べる。

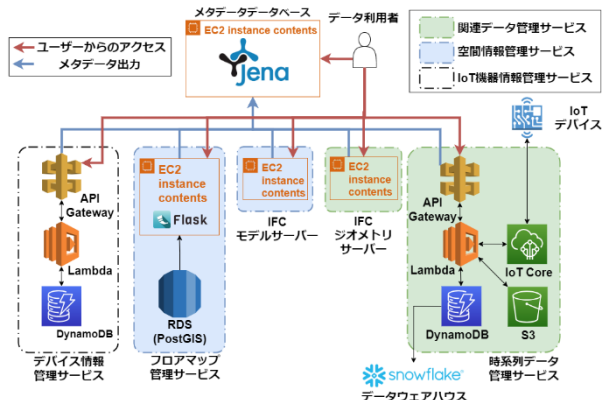


図4 実装システムの全体構成

4.1. プロトタイプシステムの全体構成

プロトタイプシステムの全体構成図を図4に示す。本システムでは各種プラットフォームを全てマイクロサービスとして実装を行った。本システムにおいて、空間情報管理プラットフォームとしてはフロアマップ管理サービス及びIFCモデルサーバーを実装し、IoT機器情報管理プラットフォームとしてはIoT機器（デバイス）情報管理サービスを実装し、関連データ管理

プラットフォームとしてはIFCジオメトリサーバー及び時系列データ管理サービスを実装した。本システムではメタデータの記述にはRDFを用い、メタデータ・データベースにはRDFを管理・提供するための専用データベースシステムであるRDFストアを用いた。

4.2. フロアマップ管理サービスの実装

フロアマップ管理サービスは2次元の屋内空間のフロアマップ情報を管理するサービスであり、空間情報管理プラットフォームの一つとして実装を行った。空間情報管理プラットフォームとしてはIFCモデルサーバーが既にあるが、IFCデータはデータ構造が複雑であり、データの編集には専用のCADソフトが必要となるため、データの更新を頻繁に行うことは難しいという課題がある。しかし、建物内における空間の運用はある程度の頻度で変更される可能性がある。そこで本システムでは、空間の運用用途情報は、データ構造を簡素かつ編集が容易な、機械可読な意味情報を持つ2次元幾何形状データとして管理し、IFCデータとは切り離して管理を行うこととした。本サービスは、空間の利用用途を表す2次元幾何形状データを管理し、IFCモデルサーバー等の別の空間情報管理プラットフォームとの連携を目的として実装したサービスである。

本サービスは空間の2次元の幾何形状情報・空間の利用用途・空間の識別子情報を管理する。また、空間構成要素同士の接続関係として、建物・建物階・空間・空間同士の接続関係を管理する。

本サービスの実装にはPython 3.11とPostGISを用いた。また、APIを実装するためのフレームワークとしてFlaskを採用した。本サービスはデータの生成・取得・修正・消去を行うためのRESTのAPIを有する。データ取得APIはメタデータを取得するためのAPIも含まれる。なお、本サービスはAWSのEC2 instance上で稼働している。

本サービスは建物の概要情報を取得するためのAPIである ([http://\[ベース URL\]/building/\[建物識別子\]](http://[ベース URL]/building/[建物識別子]))、階情報を取得するためのAPIである ([http://\[ベース URL\]/building/\[建物識別子\]/floor](http://[ベース URL]/building/[建物識別子]/floor))、及び部屋などの空間に関する情報を取得するためのAPIである ([http://\[ベース URL\]/building/\[建物識別子\]/floor/\[階識別子\]/space](http://[ベース URL]/building/[建物識別子]/floor/[階識別子]/space))を持つ。空間に関する属性情報として、空間の識別子、利用用途、及び2D幾何形状情報を持つ。メタデータのAPIは ([http://\[ベース URL\]/building/\[建物識別子\]/metadata](http://[ベース URL]/building/[建物識別子]/metadata))と定義した。メタデータはRDFをJSONとして表現するための記述方式であるJSON-LDとして出力される。

● フロアマップ管理サービスの空間構成メタデータ

フロアマップ管理サービスが出力するメタデータは建物や建物階、空間や空間同士の接続関係などといった空間構成要素同士の関係を表現する必要から、データモデルとしてBuilding Topology Ontology(BOT)[19]を採用した。BOTはIFCデータの

持つ空間構成要素同士の関係を簡略化して表現することに特化したオントロジーである。BOT は IFC 形式の BIM データの空間構成要素同士の関係性の記述が冗長かつ複雑になるという課題を解決することを目的としている。

本サービスのメタデータでは、建物の情報は BOT の Building クラスのインスタンスとして表現する。また、建物階の情報は Storey クラス、部屋等の空間の情報は Space クラスのインスタンスとして表現する。Building クラスと Storey クラスのインスタンスの関連は hasStorey というプロパティで定義される。また、Storey クラスと Space クラスのインスタンス間の関連は hasSpace というプロパティで定義される。また、部屋同士の接続関係は adjacentZone というプロパティによる Space クラスのインスタンス同士の接続として表現される。

4.3. IoT 機器情報管理サービスの実装

IoT 機器情報管理サービスは、IoT 機器の識別子、IoT 機器の種別情報、IoT 機器が設置された空間の情報、収集した時系列データを取得するためのエンドポイント情報及び IoT 機器の設置日時情報を管理するサービスであり、IoT 機器情報管理プラットフォームの一つとして実装を行った。本サービスでは、設置された空間の情報として、フロアマップ管理サービス及び IFC モデルサーバーが管理する空間構成要素の識別子を用いた。なお、本サービスは AWS Lambda の Python3.11, Amazon API Gateway, 及び DynamoDB を用いてサーバーレスアーキテクチャにより実装を行った。

本サービスは、データの生成・取得・修正・消去を行うための REST の API を有する。管理している IoT 機器情報から生成したメタデータを提供するための API は、データ取得の API の中に含まれる。

● IoT 機器情報管理サービスの IoT 機器メタデータ

IoT 機器情報管理サービスが出力する IoT 機器メタデータには、空間と IoT 機器の関係、及び IoT 機器に搭載されたセンサーから取得した時系列データへのアクセス方法を記述する必要がある。そのため、本実装では、IoT 機器情報のメタデータを表現するためのオントロジーとして SAREF[20], SSN 及び IoT-LITE[21]を採用した。これらのオントロジーは IoT 機器に関するメタデータを表現することを目的として定義されたものである。また、IoT 機器メタデータと空間構成メタデータの関連を表現するためのオントロジーとして SAREF4BLDG[22]を採用した。SAREF4BLDG は SAREF と BOT が連携するための拡張オントロジーである。

本サービスでは、IoT 機器を SAREF4BLDG の Sensor クラスと SSN の SensingDevice クラスを継承したインスタンスとして表現する。IoT 機器と空間の関係は、SAREF4BLDG の contains プロパティによって BOT の Space クラスのインスタンスと接続することで表現する。エンドポイント情報は IoT-Lite の

Service クラスのインスタンスとして表現する。Service クラスのインスタンスは SensingDevice クラスを継承した IoT 機器情報のインスタンスと IoT-Lite の exposedBy プロパティにて関連付けられる。

4.4. 時系列データ管理サービス

時系列データ管理サービスは、関連データ管理プラットフォームの一つとして、IoT 機器に搭載されたセンサーが収集した時系列データを管理・提供するサービスである。なお、本サービスは AWS のマネージドサービスを活用したサーバーレスアーキテクチャにより実装を行った。本サービスがセンシングデータを収集するための機能の実装には AWS IoT Core, AWS Lambda, 及び DynamoDB を用いた。DynamoDB にストアされた時系列データは Lambda と API Gateway によって実装された REST API によって提供される。また、DynamoDB にストアされたデータは、Lambda によって S3 バケットにバックアップファイルとして定期的にエクスポートされ、snowflake[23]のデータウェアハウスに取り込まれる。

本サービスの時系列データを提供する API のエンドポイントは ([http://\[ベース URL\]/IoT 機器情報管理サービスの IoT 機器識別子](http://[ベース URL]/IoT 機器情報管理サービスの IoT 機器識別子)) と定義している。時系列データ管理サービスは、このエンドポイントから特定の IoT 機器が取得したセンサーの値と、取得時刻の情報を返す。本サービスは、IoT 機器情報管理サービスと識別子による連携が可能な実装となっており、IoT 機器識別子をキーとして時系列データの検索を行う。

4.5. メタデータ・データベース

本プロトタイプシステムでは、メタデータ・データベースとして RDF を管理・共有・活用するためのデータベース製品であり RDF ストアの一つである Apache Jena Fuseki Server(以下、Fuseki サーバー)を用いた。なお、本データベースは AWS の EC2 instance 上に稼働環境を構築した。

4.6. IFC モデルサーバー

本プロトタイプシステムでは、空間情報管理プラットフォームの一つとして、IFC モデルサーバーの稼働環境の構築を行った。なお、本サーバーは、[6]の IFC モデルサーバーの実装例を用い、AWS の EC2 instance 上に稼働環境を構築した。

本サーバーは API サーバーとして実装されており、データのアップロード・取得の API が実装されている。また、BOT 形式のメタデータを取得するための API がデータ取得の API の中に含まれている。

4.7. IFC ジオメトリサーバー

本プロトタイプシステムでは、関連データ管理プラットフォームの一つとして IFC ジオメトリサーバーの稼働環境の構築を

行った。IFC ジオメトリサーバーとは[6]の IFC モデルサーバーと連携することを前提として実装された IFC データから生成された三角形メッシュデータを管理・提供するためのサーバーサイドアプリケーションである。本サーバーは[6]の IFC モデルサーバーのリポジトリに同梱されている。なお、本サーバーは AWS の EC2 instance 上に稼働環境を構築した。

本サーバーは API サーバーとして実装されており、データのアップロード・取得の API が実装されている。

4. 8. 動作検証

提案手法で述べた通り、空間情報や IoT 機器情報のメタデータを検索することで、所望の関連データを探索し取得・活用できるかどうかの動作検証を行った。

● 実験環境と対象データ

本項では実験環境として利用した施設と、実験のために作成したデータについて述べる。本検証では、セコム原宿本社のイノベーションセンターを対象として実験環境の構築を行った。検証に当たっては、本センターの IFC 形式の BIM データを作成した。また、本センターでは空間を用途に合わせて3つに分割し運用を行っていることを鑑みて、用途情報を付与された空間3つから構成される 2D フロアマップデータを作成した。3つの空間の天井には各1個の音量センサーを設置してある。作成した BIM データを図5、フロアマップ管理サービスにストアされたデータと、そこから生成した SVG 画像を図6に示す。また、各サービスから出力し、Fuseki サーバーにストアしたメタデータの一部を可視化した内容を図7に示す。

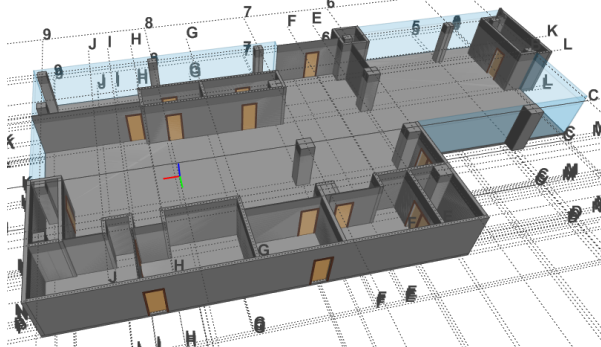


図 5 実験環境 BIM データ

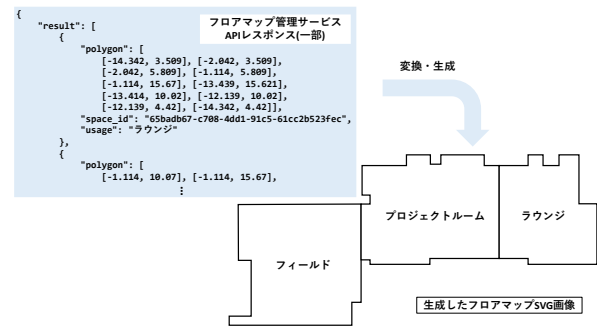


図 6 作成したフロアマップデータ

事前に作成した BIM データを IFC モデルサーバー及び IFC ジオメトリサーバーにストアした。同様に、フロアマップデータはフロアマップ管理サービスに、設置した音量センサーの情報は IoT 機器情報管理サービスに、音量センサーが取得・送信したデータは時系列データ管理サービスにそれぞれストアした。なお、IFC モデルサーバー、フロアマップサーバー、及び IoT 機器情報管理サービスから出力したメタデータのメタデータ・データベースへのストアは手動で行った。また、IFC モデルサーバーから出力したメタデータとフロアマップ管理サービスから出力したメタデータの関連付けを手動で行った。IFC モデルサーバーから出力したメタデータの Building クラスのインスタンスとフロアマップ管理サービスが提供する Building クラスのインスタンスは同一の建物を表現している。そこで、両者を Web Ontology Language(OWL)[24]の sameAs プロパティを用いた関連付けを手動で行った。

● メタデータへのクエリの実行

本検証ではメタデータへのクエリとして SPARQL Protocol and RDF Query Language (SPARQL)によるメタデータ検索を行った。SPARQL の実行は Fuseki サーバーの SPARQL エンドポイント上で行った。本検証では「セコム本社ビルの一階に属し、かつ IoT 機器が設置された空間の利用用途を表すラベル、IoT 機器のラベル、及び IoT 機器から取得した時系列データへアクセスするためのエンドポイント情報を取得する」という要求に基づき、SPARQL クエリの記述・実行を行った。実行したクエリ例を図8に示す。

本クエリで行った検索内容は以下の通りである。

- ① BOT の敷地を表す Site クラスを検索し IFC モデルサーバーから出力されたメタデータのインスタンスを取得。
- ② ①で取得した Site クラスのインスタンスに属する建物の情報として関連のあるインスタンスを BOT の hasBuilding プロパティにより取得。
- ③ ②で取得した Building クラスのインスタンスから OWL の sameAs プロパティにより関連を辿り、フロアマップ管

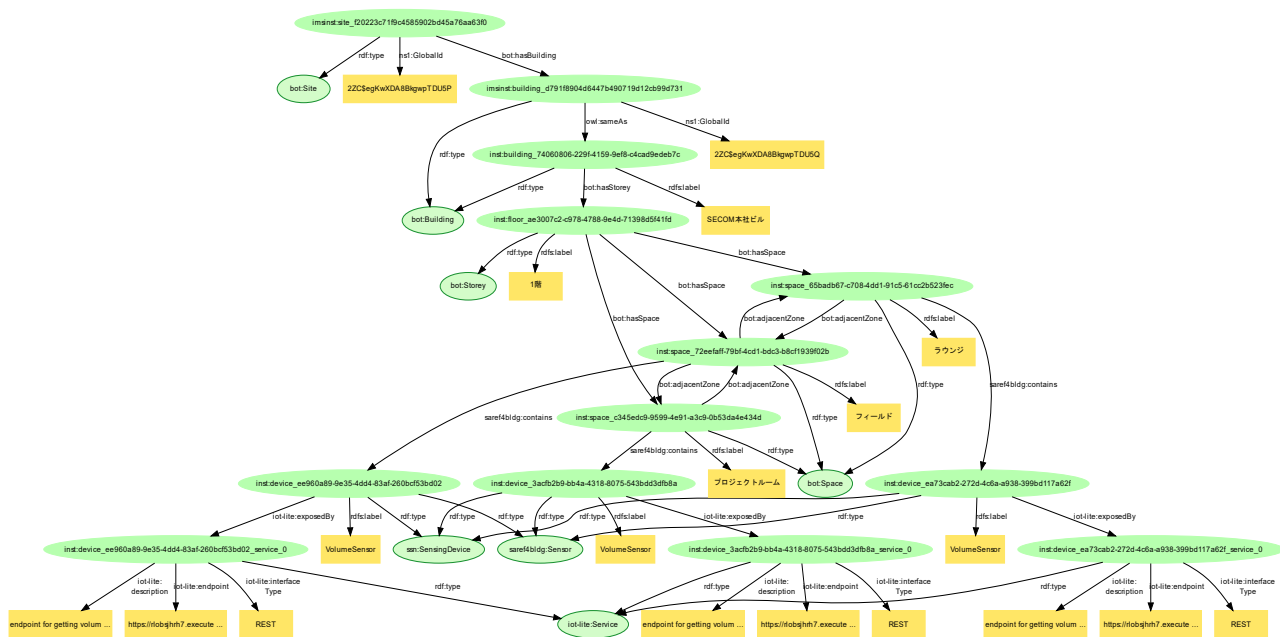


図 7 メタデータ・データベースに格納されたメタデータの一部

理サービスが出力した Building クラスのインスタンスを取得。

- ④ ③で取得した Building クラスのインスタンスに属する建物階の情報を BOT の hasStorey プロパティにより取得。
- ⑤ ④で取得した Storey クラスのインスタンスに属する空間の情報を BOT の hasSpace プロパティにより取得。
- ⑥ ⑤で取得した Space クラスのインスタンスに属する IoT 機器の情報を表すインスタンスを SAREF4BLDG の contains プロパティにより取得。
- ⑦ ⑥で取得した Sensor クラスのインスタンスに関連する、時系列データを取得するためのエンドポイント情報を表すインスタンスを IoT-Lite の exposedBy プロパティにより取得。
- ⑧ ⑦で取得した Service クラスのインスタンスの endpoint プロパティにより、エンドポイントの URL を取得。

SPARQL クエリの実行結果と、実行結果に基づくデータ取得の結果を図 9 に示す。メタデータに記述されたエンドポイント情報に基づいた API アクセスの結果により、時間情報、及び音量センサー値のデータ集合を取得できた。

● 検証結果の考察

空間情報管理プラットフォームから出力された空間構成メタデータと IoT 機器情報管理プラットフォームから出力された IoT 機器メタデータを統合することにより、プラットフォーム横断的に、かつ時空間的・意味的なつながりを利用したデータ探索が実現可能であることを示した。また、本提案手法により探索したデータを用いてアプリケーションを実装することも可能である。アプリケーション実装の一例として、フロアマップ管理サービス、IFC ジオメトリサーバー、及び時系列データ管理サービスを連携させてゲームエンジンによるデータの可視化を行った。データ可視化結果の例を図 10 に示す。

```
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX bot: <https://w3id.org/bot#>
PREFIX saref4bldg: <https://saref.etsi.org/saref4bldg/>
PREFIX iot-lite: <http://purl.oclc.org/NET/UNIS/fiware/iot-lite#>
```

```
SELECT ?building2_space_label ?sensor_label ?endpoint WHERE{
  ?site a bot:Site.
  ?site bot:hasBuilding ?building.
  ?building owl:sameAs ?building2.
  ?building2 bot:hasStorey ?building2_storey.
  ?building2_storey bot:hasSpace ?building2_space.
  ?building2_space rdfs:label ?building2_space_label.
  ?building2_space saref4bldg:contains ?sensor.
  ?sensor rdfs:label ?sensor_label.
  ?sensor iot-lite:exposedBy ?service.
  ?service iot-lite:endpoint ?endpoint.
}
```

図 8 実行した SPARQL クエリ

5. 今後の課題

今後の課題として、メタデータ・データベースへのメタデータのストア及びメタデータ同士の関連付けが挙げられる。本動作検証では、メタデータ提供用の API から出力されたメタデータのメタデータ・データベースへのストアを手動で行っている。同様に、同一の対象を異なる形式で表現している空間構成要素を表すメタデータ同士の関連付けや、空間構成要素と IoT 機器の関連を表現するためのメタデータ同士の関連付けも手動で行っている。

一方で、本システムの時系列データ管理サービスは、IoT 機器情報管理サービスが管理する IoT 機器識別子を用いて自動

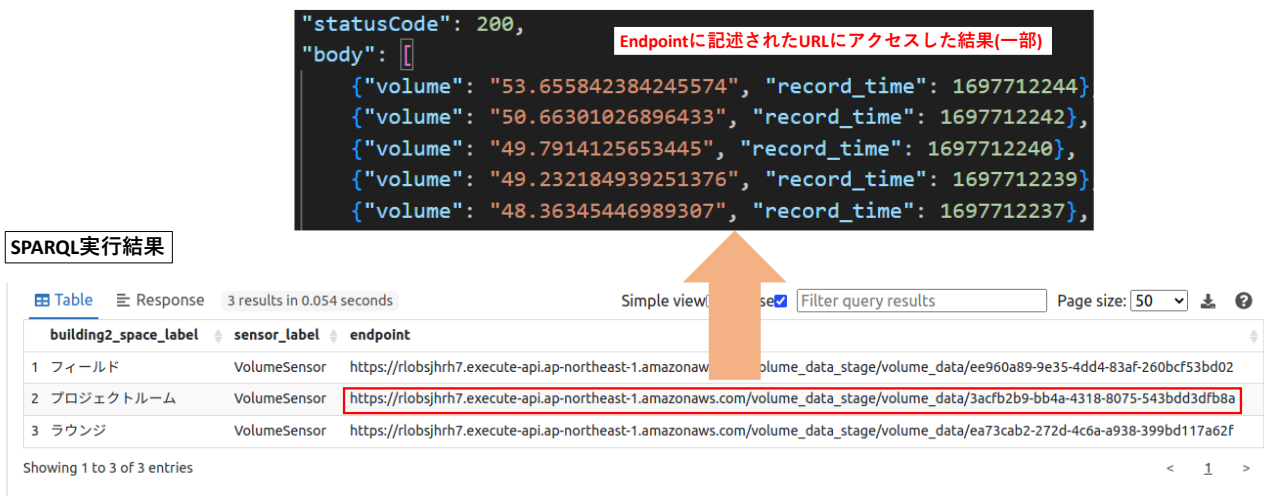


図 9 SPARQL の実行結果とエンドポイントへのアクセス結果

的に連携するように設計・実装を行っている。しかし、本提案手法の適用対象を拡大しようとした場合、連携をすることを前提としていないプラットフォーム同士のメタデータを関連付けることや、メタデータにエンドポイント情報を書き込むことが必要となってくる。そのため、IoT 機器の設置時や関連データ管理プラットフォームにデータがストアされた時などに、データ探索のために必要なメタデータ同士の関連付けや、メタデータへのエンドポイント情報が生成され、メタデータ・データベースに自動的にストアされるような仕組みを構築することが必要となる。

また、データ利用者に対するメタデータのデータモデルの周知も課題である。今回の検証においては、筆者がメタデータを BOT や SAREF で表現されていることを事前に知っていたため、SPARQL の記述を行うことが出来た。しかし、本提案手法に基づくデータ探索環境を異なるデータ利用者が利用する場合、メタデータがどのようなデータモデルで記述されているのか、事前を知るための手段が必要となる。

さらに、プラットフォーム横断的にデータ探索を行うためには、メタデータ同士を接続可能にするために、各プラットフォームから出力されるメタデータが、ドメイン毎にデータモデルが共通化されている必要がある。そのため、プラットフォームが出力するメタデータの標準化が必要となる。併せて、データの活用のしやすさを向上のためには、データ取得のための API の仕様もドメイン毎に共通化されていることが望ましい。

6. 結論

本論文は、時空間メタデータを用いたプラットフォーム横断的なデータ探索環境の構築について提案を行った。提案手法に基づくプロトタイプシステムの実装を行い、動作検証により提案手法の実現可能性を検証した。本検証により、時空間的なメタデータを用い、空間や IoT 機器情報を意味的なつながりから

探索し、関連するデータへアクセスするためのエンドポイント情報を取得することができた。以上から、各プラットフォームから出力された時空間メタデータを統合したデータカタログを有するデータ探索環境を構築することによって、プラットフォーム横断的に時空間的な関連を辿ったデータ探索を行い、利用目的にあったデータの所在を把握し、所望のデータを取得できることが示された。

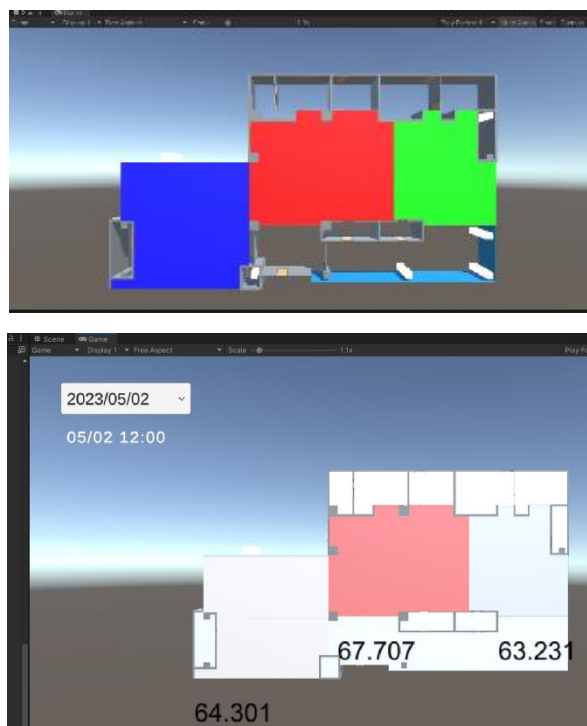


図 10 連携データの可視化例

参考文献

- [1] 経済産業省(2022). サービス生産性レポート. <https://www.meti.go.jp/press/2021/03/20220328005/20220328006-1.pdf> (アクセス日: 2023-10-10)
- [2] 経済産業省(2022). ものづくり白書. https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2022/pdf/honbun_1_7_2.pdf (アクセス日:2023-10-10)
- [3] セコム株式会社. まごチャンネル with SECOM. <https://www.secom.co.jp/mimamori/mago-ch/> (アクセス日:2023-10-10)
- [4] セコム株式会社. 空間情報とマルチソースデータの連携手法 - セコム IS 研究所. <https://www.secom.co.jp/isl/research/combination-of-spatial-information-and-multi-source-data/> (アクセス日:2023-11-10)
- [5] 足達 嘉信, 建設分野における三次元情報モデルの概要, 人工知能, 2020, 35 巻, 2 号, p. 149-154, 公開日 2020/09/29, Online ISSN 2435-8614, Print ISSN 2188-2266, https://doi.org/10.11517/jjsai.35.2_149
- [6] Ryota Yabe. (2023). ifcdata-management-systems. <https://github.com/ryouyabe/ifcdata-management-systems> (アクセス日:2023-10-10)
- [7] 3dcitydb - The CityGML Database. <https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/>(アクセス日:2023-10-30)
- [8] FIWARE Foundation(2023). FIWARE - Open APIs for Open Minds. <https://www.fiware.org/>(アクセス日:2023-10-30)
- [9] 藤田 範人, 藤田 健司, 田代 統, スマートシティの普及・発展を支える都市 OS, 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, 2022, 16 巻, 2 号, p. 96-103, 公開日 2022/09/01, Online ISSN 2186-0661, <https://doi.org/10.1587/bplus.16.96>
- [10] IoT 推進コンソーシアム, 総務省, 経済産業省(2017). データ流通プラットフォーム間の連携を実現するための基本的事項. https://www.soumu.go.jp/main_content/000483319.pdf(アクセス日:2023-10-30)
- [11] W3C. (2017). Semantic Sensor Network Ontology. <https://www.w3.org/TR/vocab-ssn/> (アクセス日: 2023-10-10)
- [12] 井口 和真, 塚田 学, 江崎 浩, デジタルツインの相互運用性向上に向けた動的物事を記述するオントロジーの設計, 人工知能学会第二種研究会資料, 2022, 2022 巻, SW O-058 号, p. 06-, 公開日 2022/12/03, Online ISSN 2436-5556, https://doi.org/10.11517/jsaisigtwo.2022.SWO-058_06
- [13] 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, Mar. 2021. [Online]. DOI: 10.20729/00210251
- [14] Marroquin, Roberto & Dubois, Julien & Nicolle, Christophe. (2018). Ontology for a Panoptes building: Exploiting contextual information and a smart camera network. Semantic Web. 9. 10.3233/SW-180298.
- [15] C. Boje, T. Navarrete, S. Kubicki, and T. Beach, "Linked data for the life cycle assessment of built assets," in Proceedings of the Linked Data in Architecture and Construction Workshop, Matera, Italy, June 15-16, 2023. [Online]. Available: https://linkedbuildingdata.net/ldac2023/files/papers/papers/LDAC2023_paper_8593.pdf (アクセス日:2023-10-10)
- [16] W. Teclaw, M. H. Rasmussen, N. Labonnote, J. Oraskari, and E. Hjelseth, "The semantic link between domain-based BIM models," in Proceedings of the Linked Data in Architecture and Construction Workshop, Matera, Italy, June 15-16, 2023. [Online]. Available: https://linkedbuildingdata.net/ldac2023/files/papers/papers/LDAC2023_paper_4062.pdf (アクセス日:2023-10-10)
- [17] P. Hagedorn, M. Senthilvel, H. Schevers, and L. Verhels, "Towards usable ICDD containers for ontology-driven data linking and link validation," in Proceedings of the Linked Data in Architecture and Construction Workshop, Matera, Italy, June 15-16, 2023. [Online]. Available: https://linkedbuildingdata.net/ldac2023/files/papers/papers/LDAC2023_paper_2079.pdf (アクセス日:2023-10-10)
- [18] C. Hoare, T. Alqazzaz, U. Ali, S. Hu, and J. O'Donnell, "Development of a National Scale Digital Twin for Domestic Building Stock," in Proceedings of the Linked Data in Architecture and Construction Workshop, Matera, Italy, June 15-16, 2023. [Online]. Available: https://linkedbuildingdata.net/ldac2023/files/papers/papers/LDAC2023_paper_6204.pdf (アクセス日:2023-10-10)
- [19] Linked Building Data Community Group. (2021). Building Topology Ontology. <https://w3c-lbd-cg.github.io/bot/> (アクセス日: 2023-10-10)
- [20] ETSI. SAREF Portal. <https://saref.etsi.org/index.html> (アクセス日: 2023-10-10)
- [21] W3C. (2015). IoT-Lite Ontology. <https://www.w3.org/submissions/iot-lite/> (アクセス日: 2023-10-10)
- [22] Linked Building Data Community Group. (2021). SAREF4 BLDG <https://github.com/w3c-lbd-cg/bot/blob/master/SAREF4BLDGAAlignment.ttl> (アクセス日:2023-10-10)
- [23] Snowflake Inc. データクラウド | Snowflake JA. <https://www.snowflake.com/ja/> (アクセス日: 2023-10-10)
- [24] W3C. (2004). OWL Web Ontology Language. <https://www.w3.org/TR/owl-features/> (アクセス日:2023-10-10)