

IoT-Hub を用いた 異種 CO2 センサーのデータ・アグリゲーション・システムの試作 Prototyping of Data Aggregation System from Varieties of CO2 Sensors through IoT-Hub that Enables Interoperable Data Exchange

○野城 智也*¹, 松村 淳*², 横川 慎二*¹, 石垣 陽*²
Tomonari YASHIRO*¹, Jun MATSUMURA*¹, Shinji YOKOGAWA*³ and Yo ISHIGAKI*³

*1 東京大学生産技術研究所 教授 工博

Professor, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Ph.D.

*2 IoT-EX 株式会社 代表取締役 CTO

IoT-EX Inc., CTO

*3 電気通信大学 i-パワードエネルギー・システム研究センター 教授 博士(工学)

Professor, Info-Powered Energy System Research Center, University of Electro-Communications, Ph.D.

*4 電気通信大学大学院情報理工学研究科情報学専攻 特任准教授 博士(工学)

Specially appointed Associate Professor, Department of Informatics, University of Electro-Communications, Ph.D.

キーワード : IoT; CO2 センサー; 相互接続性; 換気; 室内空気質

Keywords: IoT; CO2 Sensors; interoperability; ventilation; indoor air quality

1. はじめに

2000 年冬から世界規模でのパンデミックを引き起こした COVID-19 の主要な感染経路が、所謂空気感染であったことから、室内の換気状態にかかわる関心が高まった。そして室内の CO2 濃度が高いほど、人の呼気の滞留量が多いと推定されることから、身の回りの空間の CO2 濃度を計測することが様々な人によって試みられるようになった。

筆者らは、店舗などの各種施設の室内の CO2 濃度を検索できるようにすることによって、都市の生活者が十分な換気がなされていると思われる施設を選択できる仕組みを構想し、その実現に向けた活動をしている。

その一連の活動において、課題になったのが、異なる種類の CO2 センサーから集めた情報を一元的に集約する方法である。というのは、現実には様々な CO2 センサーが用いられており、単一の CO2 センサーだけを用了集約システムを作っても、所期の目的を十分に達成できるかについては懸念を持たざるを得ないからである。

本稿は、こうした動機に基づいて試作した、異種 CO2 センサーからのデータを集約するシステムについて報告するものである。

2. 試作にあたっての課題

試作にあたっては、二つの課題に直面した。

第一の課題は、CO2 センサーの測定の原理や分解能は一樣ではないということである。筆者らが調べる限り、社会

に出回っている CO2 センサーを対象に普及している認証・検定があるわけではない。CO2 センサーであるとして販売されていても、精確に CO2 濃度を計測しているかについて保証されていると考えるのは楽観的すぎるといわざるを得ない。とすれば、異種 CO2 センサーからのデータを集計すると、精確な測定データと、精確さにかけるデータが混じりあってしまうおそれは排除できない。しかしながら、このおそれを排除するための対策を試作段階では用意しなかった。というのは十分な数のデータが集まれば、その傾向を比較分析することによって、精確さにかけるデータをある程度排除できるのではないかと考えたことによる。

第二の課題は、CO2 センサーのデータの通信方法や形式の相違である。そもそもデータ送信機能を内蔵していない CO2 センサーも少なからずある。また、通信機能を内蔵していても、その通信方法やプロトコルや、データ形式は一樣ではない。この課題を解くため、筆者らは、IoT-Hub という仕組みを用いることにした。本稿は、IoT-Hub によるデータ集計方法に焦点をあてて報告する。

3. IoT-Hub の概要

IoT-Hub は、筆者のうち、野城、松村が参加し開発された仕組みで、図 1 のような構成をとっている。一般的に、CO2 センサーを含む IoT 機器には、機器 (Device) 自身が他との通信インターフェイスを直接有しているものと、機器の製造者が運用するプライベート・クラウドに収容されているものがある。IoT-Hub は Driver と呼ぶ小規模なインターフェイス用ソフトウェアモジュールを用意すること

で、機器同士の相互接続及び機器とアプリケーションとの間の接続を実現する仕組みである。すなわち、Device Driver、Cloud Driver、Database Driver が、ペイロードを取り出し、アドレス等も含め接続先の書式に則したデータ形式を整えてペイロードを乗せ換えるという機能を支えている。

ここで Driver という名称を用いているのは、異なる OS の PC と様々なプリンターとを接続するために用いられる Printer Driver と果たす役割が似ているからである。但、Printer Driver は PC という物理的実体のなかにインストールされるのに対し、図1の Driver 類は、IoT-Hub というサイバー空間内の存在のなかにインストールされる。

本稿執筆時点では、CO2 センサーを含むセンサー機器の製造者だけでなく、建築構成材の製造者、建築のなかに設置される機器・器具の製造者は、他の製造者との差別化を図るなどの理由で、IoT に組み込む製品を独自のプライベート・クラウドに格納している傾向が強い。今後、機器・器具に組み込まれていくことも予想される。図1の仕組みは、CO2 センサーを含む様々なセンサーや、建築構成材や、機器・器具の製造者によって運営される、異なるインタフェース仕様のプライベート・クラウドが当面は林立していくであろうことを想定したものである。

プライベート・クラウドの運営者にとってみれば、以下のような IoT-Hub の特徴が重要になってくると考えられる。

- Driver さえ一旦製作すれば、どのように通信方式・データ方式の異なる相手先があらわれても、その都度、接続のための技術的調整や利害調整をしなくてよい。接続に必要な「しわとり」の役目を Driver に集約することで、通信分野でいう M 対 N 問題を避けることができる。
- Cloud Driver さえ用意すれば、プライベート・クラウドの運営者は、他との接続のためにクラウドを改変する必要がない
- IoT-Hub にはデータは蓄積されず、その運営者にデータが漏洩することはない。なお、日本国内での実装では運営者は電気通信登録事業者として通信の秘密保持義務を負うことを想定する。
- 関与する組織間の責任分界点を明確にできる。何らかの障害がおきた場合の責任の所在を明確に切り分けることにより、利害調整のプロセスを可能な限り圧縮し、復旧対応への着手を迅速化できる。

以下、CO2 センサーの類型に応じて、どのような Driver を用意し、IoT-Hub に接続したのかを報告する

4. Web Form を介した CO2 センサーのデータの接続

通信機能のないスタンドアローンの CO2 センサーについては、図2に示すように、当面は、センサーの表示情報を読み取った人が、Web 上での Form に手入力することを想定し、その Web Form を製作するとともに、この Web-Form に対応した Database Driver も製作し、IoT-Hub に接

続することとした。

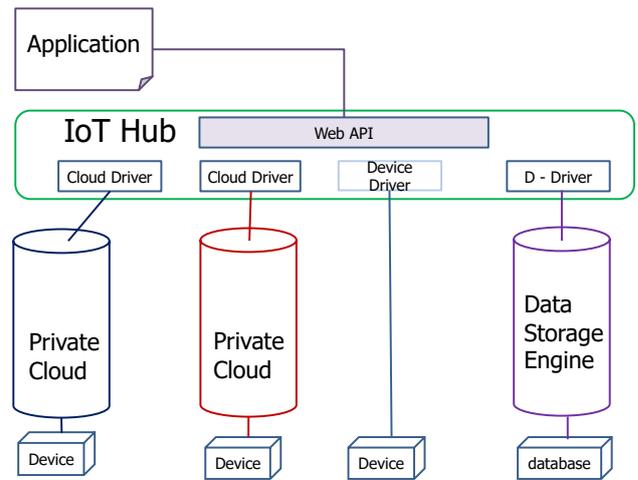


図1 IoT-Hub の概念

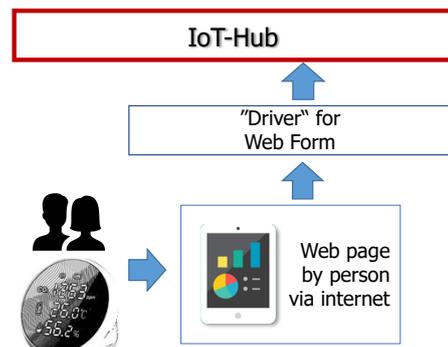


図2 Web Form を介した IoT-Hub への接続

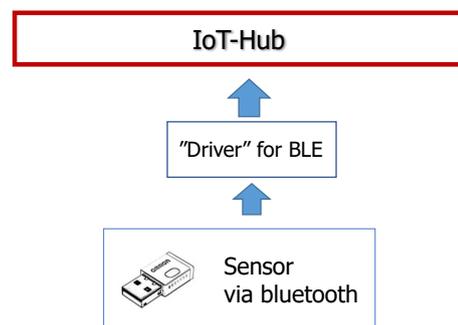


図3 近距離通信機能を介したデータの接続

5. 近距離通信機能を介したデータの接続

CO2 センサーのなかには、近距離通信 Bluetooth low energy(BLE)を介して、データを送信する機能のあるものがある。こうした CO2 センサーについては、図3に示すように、BLE driver を製作し、IoT-Hub に接続することとした。

6. クラウドを介したデータの接続

CO2 センサーのなかには、Wi-Fi を介して、その製造者が設営したプライベート・クラウドにデータを送信するものもある。このような CO2 センサーについては、図 4 に示したように、その製造者(vendor)が設営したプライベート・クラウドに対応した、Cloud Driver を製作し、これを介して、プライベート・クラウド内のデータを IoT-Hub に接続した。

なお、Cloud Driver を製作するためには、インターフェースの仕様など接続に必要な技術情報を、プライベート・クラウドの設営者に提供してもらう必要がある。一般的には何らかの動機付けが用意できない限り、その技術情報の提供の交渉は難航すると想像される。しかしながら、こうした機器(Device)などの製造者が運営者となるプライベートクラウドでは、接続できる機器数を増やすことによってその優位性を高めようとするビジネス戦略に則り、API が公開されている場合がある。本試作の対象となった機器が属するプライベート・クラウドについては、API が公開されていたことから、その情報を参照して、Cloud Driver を製作することができた。

7. 試作システムの全体概要

以上のような IoT-Hub への接続により試作した、異種 CO2 センサーのデータ・アグリゲーション・システムの全体構成の概要を図 5 に示す。接続されたデータは、

- ・スプレッド・シート
 - ・地図アプリケーション
 - ・Geo-Inventory アプリケーション
- に接続される。

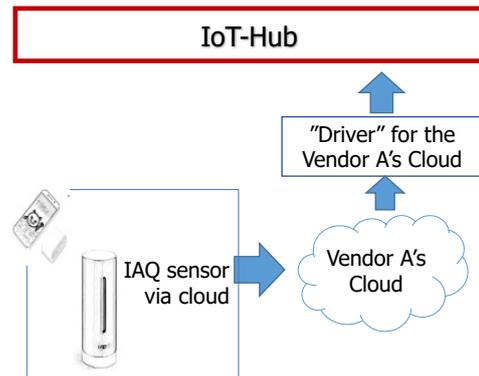


図 4 クラウドを介したデータの接続

ここでスプレッド・シートは、室内の CO2 濃度に関する集計分析に用いる。

地図アプリケーションは、地図上に室内の CO2 濃度のデータを表示することに用いる。例えば、ユーザーが換気が良好と思われる店舗を検索することに用いることを想定する。但、筆者のち、横川、石垣が行った予備的な測定調査からは、CO2 濃度が 1000ppm をはるかに超える空間の例が現実には多数存在することが推察される。従って、第三者がその店舗に入り、その関係者への周知し同意を求めることなく、CO2 濃度のデータを公開することは、種々の紛争や問題を起こす可能性があるとして推察される。そこで、筆者らは、その公表・表示方法や、仮に、換気状況に深刻な懸念が生じるような事例に遭遇した場合には、その関係者に対して、換気改善のためのどのような技術的支援をすればよいのかを別途模索している。これについては、あらためて報告したい。

また、Geo-Inventory アプリケーションは、CO2 センサ

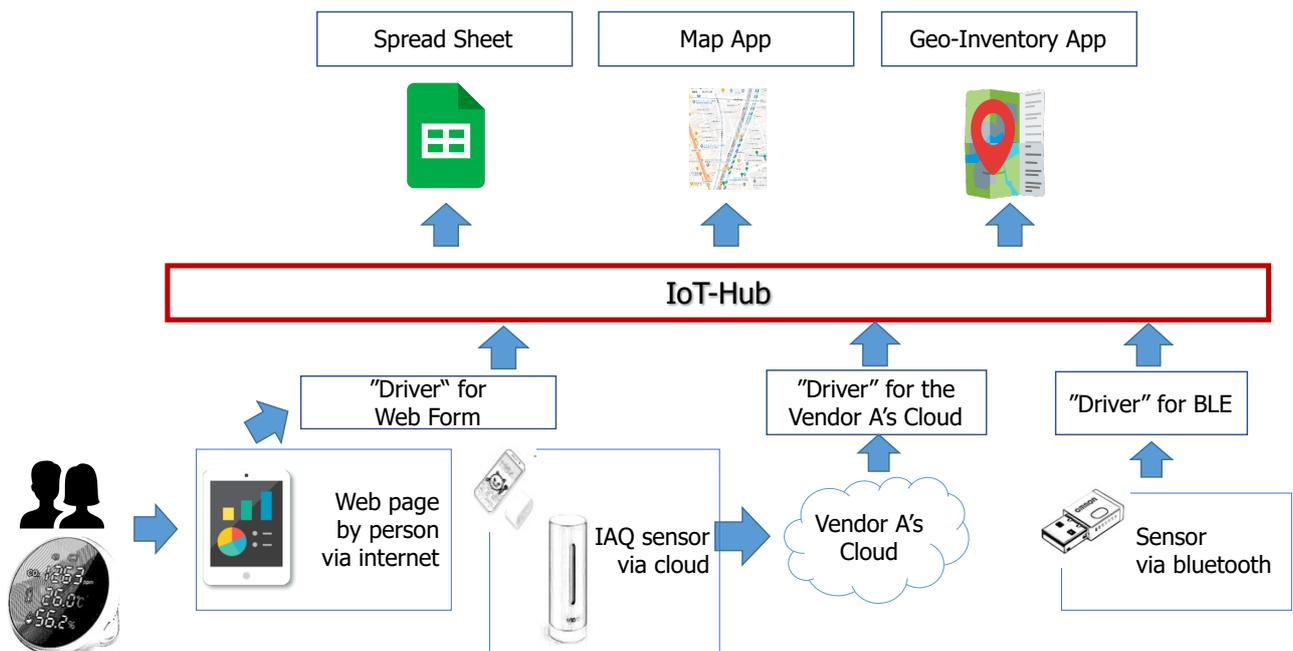


図 5 試作した異種 CO2 センサーのデータ・アグリゲーション・システムの全体構成概要

一などの機器の名称などの基本項目や、各機器の位置情報やセンサー測定値などの時系列情報の管理機能、表示するためのユーザーインターフェース機能を提供する。

試作システムは試用段階にはいっている。その試用評価の結果については別途報告したい。一方、試作システムは、以下に示すような拡張可能性があると考えられる。

8. 拡張可能性 1 : 空調システムの連動可能性

図5のシステムは、換気状況を推察するためにCO₂濃度を表示することを主眼とするものであった。IoT-Hubを用いれば、集められたデータを空調システムの運用で利活用することも可能である。一般に空調システムの機器類には温湿度やCO₂濃度を測定するセンサーは内蔵されている。ただ、その多くは機器内蔵のため、その測定位置が、制御対象の空間の状況を必ずしも的確にあらわしているわけではないわけではない。

図5に示されているような様々な別置のCO₂センサーのデータを参照しつつ、機械換気システムの運転制御ができるになれば、空気感染の懸念のある感染症が流行しているという特殊状況に対してはもとより、通常時における、換気の最適化にも役立たせることができると考えられる。

実際、通常時は、必要以上に機械換気システムを運転してしまい、省エネルギーの観点からは無理無駄の生じている建築は多数存在するといわれている(例えば、文献6)。

9 拡張可能性 2 : 粒度の高い空間情報との紐つけ

図5の試作システムは、地図情報というマクロな空間情報と結びつけ施設選択などで参照することを想定していた。

これに対して、そのCO₂センサーが建築のなかのどの単位空間に所在するのかという粒度での空間情報データと紐つけられた場合は、当該単位空間への機械換気の最適化のためのデータとして参照できるようになる。また、換気の良い部屋を選択する、という目的にも用いることができる。

さらには、どの単位空間のどこにCO₂センサーが設置され測定されたのか、その位置座標も含めた粒度の空間情報(例えばBIMを起源とするデータ)と紐つけられた場合は、当該室における空気の流れを推定する手がかりとすることができる。CFDによる空気流動のシミュレーションと、実際の空間の空気流動がどれだけ整合しているのかを検証することに用いることができると考えられる。また、エビデミック、パンデミックにおいて、その空間で空気感染が起きてしまった場合は、その原因分析をするために用いることができると考えられる。

このように、如何なる内容・粒度の空間情報と紐つけられるかで、CO₂センサーのデータは異なる意味をもつ

てくる。図5に示したデータ・アグリゲーション・システムの仕組みの構造に、適宜、異なる粒度の空間情報データをDatabase Driverを介して接続させることで、様々な紐つけ・組み合わせができるようになり、種々の用途で活用できようになると考えられる。

10. 結語

IoT-Hubによる相互接続は、報告した異種CO₂センサーによるデータ・アグリゲーション・システムに用いることができるだけでなく、温湿度センサー、加速度センサー、赤外線センサーなど異なる種類のセンサーのデータと組み合わせることも容易にする。さらには、これらのデータと、種々の内容・粒度の空間情報などのデータベースのデータとの紐つけにも用いることができる。

加えて、異種センサーや、空間情報などのデータとの組み合わせが、空調をはじめIoTによる機器制御における参照データとしても用いることができるようになることが期待される。

こうした方向で、さらなるシステムの開発試作を進め、別途報告して参りたい。

なお、本試作は、令和3年度「東京都と大学との共同事業」に採択され、東京都政策企画局の支援を受け、電気通信大学、東京大学を事業主体に実際された「地域参加による換気の可視化向上プロジェクト(研究代表者 横川慎二)」の一貫として実施された。支援、協力いただいた各位に謝意をここに表す。

[参考文献]

- 1) 馬場博幸, 松村淳, 小畑至弘, 石田慶樹, IoT向け多種システム相互接続インフラの開発, 2021年電子情報通信学会総合大会(2021/3/9-12), 情報システム講演論文集2, p148
- 2) Yashiro, Tomonari, Modularized cyber-physical system as an enabler of interoperable and collective approach for responsive cities., IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 588. No. 5. IOP Publishing, (2020)
- 3) Yashiro, Tomonari, Interoperable IoT system that could adapt local context of the built environment, Impact 2020.6 (2020): 52-54
- 4) 野城智也, 馬場博幸, 生活用IoTがわかる本 暮らしのモノをインターネットでつなぐイノベーションとその課題, NextPublishing, 2017
- 5) 喜連川優, 野城智也(編集), 東大塾IoT講義, 東京大学出版会 2020/2/21
- 6) 馬郡文平, 既存建物における省エネルギー・CO₂削減のためのリアルタイムモニタリング及び最適化制御に関する開発研究, 東京大学学位論文