

# 卒業研究報告

題目

センシング技術を用いた感染症予防サポートシステム

指導教官

高橋寛教授

王森レイ講師

報告者

掛水誠矢

令和3年2月15日提出

愛媛大学工学部情報工学科情報システム工学講座

# 目次

第 1 章 まえがき	1
第 2 章 準備	4
第 3 章 設計	7
3.1 感染症予防サポートシステムの概要 . . . . .	7
3.2 要求定義 . . . . .	12
3.3 基本設計 . . . . .	19
3.4 詳細設計 . . . . .	26
第 4 章 実装・検証	34
4.1 実装 . . . . .	34
4.2 検証 . . . . .	36
4.2.1. 単体テスト . . . . .	36
4.2.2. 結合テスト . . . . .	38
4.2.3. 総合テスト . . . . .	39
第 5 章 評価・考察	44
第 6 章 あとがき	47
謝辞	48
参考文献	49

# 第 1 章

## まえがき

新型コロナウイルスの世界最初の症例が確認されてから、1 年以上が経過した 2021 年 1 月現在、日本のみならず世界中で、いまなおこの感染症が猛威を振るっている。この 1 年の間、新型コロナウイルスへの感染予防対策の一環として、巷で叫ばれてきたのが、いわゆる「3 密」の回避の重要性である。新型コロナウイルスの特性として、把握されている事実としては、「一般的な状況における感染経路は飛沫感染、接触感染であり、空気感染は起きていないと考えられ、閉鎖空間において近距離で多くの人と会話する等の一定の環境下であれば、咳やくしゃみ等がなくても感染を拡大させるリスクがある [1]」というものである。新型コロナウイルスのこういった特性から、私たちがこの感染症から自らの身を守るために取るべき対策として、まず考えるべきことが、「密閉」「密集」「密接」の、3 つの密を避けるという対策であり、こういった対策を講じることが、自分自身だけでなく、身の回りの人を感染症から守ることにつながると考えられる。

こういった点に着目し、新型コロナウイルスに対する感染症予防対策の一環として用いる、感染症予防サポートシステムの開発を本研究の目標とした。本研究で開発するシステムでは、感染症予防対策の基準を定める役割、感染症予防対策のルールを守ってもらうよう働きかける役割を担い、3 密回避を利用者に意識付け、部屋の利用者が適切に安全な環境づくりができているかをモニタリングするシステムの構築を最終目標とし、開発に着手した。また本研究には、4 人のメンバーを 1 つのチームとし、取り組むこととなった。

現在世の中では、新型コロナウイルスの世界的な流行を受けて、感染症予防のための既存製品が注目を集めるようになっているほか、新たな製品やシステムの開発に、世界中の多くの企業が取り組んでいるという状況にある。そのような状況の中で、本研究において実現するシステムが、他の感染予防のための製品やシステムと比較した際に特異といえる要素こそが、3密回避を実現する機能を有しているという点にある。部屋の換気状態のみを監視し、密閉状態を防ぐ機能を有するシステムは既に数多く存在している。一方で本研究では、換気状態、部屋の広さ、および室内の滞在人数をもとに、部屋の特性に応じた感染症予防対策のルールを設定できるシステムを設計し、従来の感染症予防のためのシステムと比較し、より新型コロナウイルスのような特徴を持つ感染症への、感染予防に特化した機能を有するシステムの構築に取り組んでいる。このように、私たちはこの感染症の特性を理解したうえで、講じられるべき対策として、「3密回避」に重点を置き、IoT システムにおいて実現できる方法を議論した。

具体的には、AI エッジ向けコンピュータとして知られる Jetson シリーズの Jetson nano と、無線マイコンモジュール TWELITE をそれぞれエッジサーバ、センサデバイスとして用い、室内に滞在している人の数や二酸化炭素濃度などの室内環境値の測定と、その測定値をもとにした環境評価、部屋の利用者へのモニタリング結果の通知という機能を持つシステムを実現目標として定めた。また、室外からも室内の環境に関する情報を受け取ることができるよう、部屋への入室の危険度を表示する機能も実現し、室内外から感染予防のための情報を受け取ることができる。

室内環境のモニタリングにおいては、室内の画像をもとにした人数の推定と、二酸化炭素濃度センサや温湿度センサを用いた環境値の測定を行っている。室内画像をもとにした人数の推定を行うデバイスに関しては、よりリアルタイム性のあるモニタリングの実現のため、処理時間の短縮化が求められるために、GPU を搭載し、高速な浮動小数点演算を可能とする Jetson nano を選定した。二酸化炭素濃度センサや温湿度センサを用いた環境値の測定に関しては、デバイスの取り付け場所が、電源の供給方法による制約を受けず、なおかつ比較的低い消費電力での稼働を可能とするデバイスとして、単 4 乾電池 2 本で動作し、ワイヤレスセンサーネットワークの構築に適した無線規格である IEEE802.15.4 を採用し、低消費電力での無線通信を可能にする無線マイコンモジュールとして TWELITE を選定し、室外に設置する部屋への入室の危険度を表示するデバイスに関しても、同じく TWELITE を選定した。

今回のシステムの開発は、V 字モデルに従って行い、要求分析・基本設計・詳細設計には、UML(Unified Modeling Language) を用いている。

また、本論文の構成は以下の通りである。

第 1 章では研究背景について述べた。第 2 章では本研究で用いる用語や研究方針について述べる。第 3 章では UML 図作成を中心としたシステムの設計について述べる。第 4 章では、システムの実装と検証結果について述べ、第 5 章では実装に関する情報と、検証による評価・考察を示し、第 6 章では本研究のまとめを行う。

## 第 2 章

## 準備

本章では、システム開発の進め方と、設計の工程で作成した UML 図について説明する。

### V 字モデル [2]

ソフトウェアを開発する上では、適切な開発プロセスに沿って作業を進める必要がある。本研究では、開発プロセスのモデルの一つである V 字モデルを採用し、開発を進めた。このモデルを用いた場合の、各プロセスの進め方を図 2.1 に示す。このモデルではテストを重視しており、図 2.1 からわかるように、左側にある分析や設計、実装のプロセスと、各テストの工程との対応が理解しやすく、検証の段階において、検証の対象とすべき範囲が把握しやすいという利点がある。例えば、要求分析に対してはシステムテストが配置され、実装に対しては単体テストが配置されている。これは、プログラム作成などの実装の正しさを単体テストによって確認し、要求分析の正しさをシステムテストで確認することを示している。そして右側のテストの各プロセスで不具合が見つかった場合には、左側の対応するプロセスに戻って修正を行うことになる。本研究でも、このような開発プロセスモデルの手順に沿い、必要に応じて、前のプロセスに立ち返りながら、運用に至るまでのプロセスを進めた。なお、本論文ではシステムテストと同じ意味を持つ言葉として、総合テストという言葉を用いている。

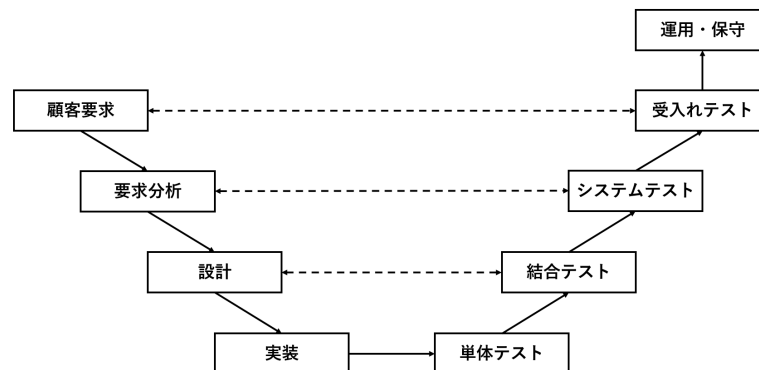


図 2.1. V字モデル

## UML[3]

UML とは、統一モデリング言語 (Unified Modeling Language) のことで、50 以上の方法論やダイアグラム表記法のよさをできるだけ踏襲するように共通点を抽出すると同時に、オブジェクト指向でモデリングする際に必要な概念をすべて抽出し、それらを整理統合するような新たなモデル記述体系として考案されたものである。UML を用いることで対象となる領域やシステムがどのような概念や要素から構成されているかという、構造的な側面のモデル化と、そうした概念や要素が時間経過の中でどのように相互作用して振る舞い、変化を行うかという動的な側面のモデル化の両方を、統一的でビジュアルな言語を使って行うことができる。そのため、組織やプロジェクト固有の慣習を捨象して世界共通の土台で議論できるようになり、計画やコンセプト作りから設計の詳細検討、実装やテストのための仕様定義といった様々な局面で普遍的に活用することができる。本研究でも、開発メンバー 4 人が 1 つのチームとして、共通認識を持って開発に取り組むため、要求分析・設計の工程で UML 図を作成した。

### ユースケース図 [3]

ユースケース図とは、システムがどのように機能すべきかという振る舞い(ユースケース)と、その外部環境(アクター)を表現するもので、システムの外部と内部との境界を明確にすることができる。ユースケース図を用いることで、エンドユーザの視点からシステムを見ることができ、エンドユーザや領域の専門家とのコミュニケーションが円滑になり、要求に対する相互の理解を保証することができるようになる。

### アクティビティ図 [3]

アクティビティ図とは、ひとまとまりの業務や処理の内容や流れを表すために、関連する複数の業務手順や処理ステップを順序だてて配置したもので、アクティビティ図によって、「企業全体や業務全体のモデルにおける一連のワークフロー」、「ユースケースごとに対応する処理フロー」、「あるオブジェクトの持つ1メソッドの内部のアルゴリズム」を記述することができる。

### クラス図 [3]

クラス図とは、モデルの静的な構造を表現できる図であり、データ構造(属性リスト)と振る舞い(操作リスト)を持つクラスと、クラス間の静的な関係が表現できる。このクラス図が、UMLに代表されるオブジェクト指向分析設計における中心的な図となり、問題領域の構造や対象システムのアーキテクチャの静的な構成、システムの詳細設計、問題解決の発想の起点となる概念マップの構築といったことに広く用いることができる。

### シーケンス図 [3]

シーケンス図とは、オブジェクト間のメッセージのやり取りを時系列に沿って並べて表現したもので、ユースケースを実現するのに必要なオブジェクトの集合と、その相互作用を明確に表現できる。ここでは、メッセージを時間順に1つずつ記述できるため、シナリオと対応させて具体的な内容を示す際に有用である。



## 第 3 章

# 設計

本章ではまず、3.1 節にて本研究で開発する「感染症予防サポートシステム」の概要を述べる。続いて 3.2 節ではユースケース図、ユースケース記述を用いて、システムの要求定義について述べる。3.3 節ではアクティビティ図、クラス図を用いて、システムの基本設計について述べる。3.4 節ではシーケンス図を用いてシステムの詳細設計について述べる。

### 3.1 感染症予防サポートシステムの概要

本節では、はじめに感染症予防サポートシステムの開発の目的について説明した後、それを実現するための手段、開発を進める際の課題について述べ、実際に開発したシステムの概要について説明する。

まず私たちは、システムを開発するにあたって、本研究で開発するシステムの目的を定めるところから始めた。何よりもこのシステムで実現しなければならないことをメンバー同士で議論し合った結果、1 章で述べたように、世界的な感染拡大が続く新型コロナウイルスへの感染予防対策の一環として取り組むべきとされている、3 密の回避のサポートを第一の目的とした。具体的には、学校の教室などの、数人から数十人程度が利用するような部屋で稼働させることで、その部屋に入室可能な人数の目安を示し、部屋の警戒レベル・感染リスクを分析することで、密閉を防ぎつつ、状況に応じて部屋に滞在可能な人数を段階的に制限することによって、その部屋に滞在する

人々を3密の危険から守ることを想定し、システム開発を進めることとなった。続いて私たちは、この目的を実現するためにシステムが果たすべき役割として、以下の2つが挙げられると考えた。

- 感染症予防対策のルールを守ってもらうよう働きかける役割
- 感染症予防対策の基準を定める役割

少なくともこれら2つの役割を満たして、はじめてこのシステムが利用者による3密回避のための行動をサポートできると考えた。3密の回避においては、「密閉」「密集」「密接」の3つの要素が関与することから考えても、上に示した2つの役割を果たすシステムの開発を行うには、その方法を十分に議論する必要があったが、実際の詳細な設計に関しては後で述べる。

続いて本研究で開発するシステムが、先ほど述べた2つの役割を果たすためには、どのような働きを持つべきかを議論した。

まず、利用者に感染症予防対策のルールを守ってもらう役割を果たすには、利用者の感染症予防対策への取り組みの状況を、利用者自身が把握できる必要があると考えた。つまり、リアルタイムで部屋の利用者の感染症予防対策の取り組みを監視し、現在の取り組みがルールに即したものであるかどうかの度合いを知らせ、ルールに反している場合には警告を出すなどし、利用者に感染症予防対策を促すような機能が求められると考えた。

また、感染症予防対策の基準を定める役割を果たすためには、リアルタイムな環境モニタリングによる、総合的な環境分析から得られる結果に基づいた基準を定める必要があると考えた。ここでは、環境の監視と分析の2つの機能が必要となり、環境の監視からどのような情報が得られ、その情報が分析の機能によって、どう意味付けされ、分析の結果得られる情報が感染症予防対策に、どう反映されるべきかを考える必要がある。

このように、本研究で開発するシステムには、監視と分析という2つの機能が必要になる。これらの機能について、機能を実現する際の方針と課題について述べる。

## 監視の機能

まず監視の機能については、どのような情報をどのようにして収集するかを考えた。まず3つの密のうち、「密閉」を避けるためには部屋の換気状況を監視する必要がある。こちらは、部屋に人が滞在している状態で、部屋の空気の入れ替えが十分に行われているかどうかを把握できれば良いため、室内の二酸化炭素濃度の高さを監視することによって、状態を把握できると考えた。

ここで考慮しなければならないのが、適切に部屋の換気状況を調べるためには、どのような場所に何台のセンサデバイスを設置すればよいかである。二酸化炭素は気体の一種であるため、部屋中に一様に広がっているわけではなく、同じ部屋の中でも場所によって、微妙に濃度が異なるはずである。したがって、部屋の中心に1台のセンサデバイスを設置しただけでは、室内の二酸化炭素濃度を適切に計測したことにはならないため、部屋の広さに応じてセンサデバイスを、複数台設置する必要があると考えた。ただし、ここで用いるセンサデバイスには、1章でも述べたように無線マイコンモジュール TWELITE を選定した。

「密集」「密接」を避けるためには、部屋に滞在する人の数を監視するだけでなく、部屋の広さに関する情報も必要となると考えた。また、ソーシャルディスタンスを保つために、何平方メートルに1人が滞在可能とするかといった、部屋の運用ルールも併せて考えることが、「密集」「密接」の回避のために扱う情報として適当であると考えられることから、部屋に関する情報も併せて分析の対象とすることとした。

部屋に滞在する人の数に関しては、室内に Web カメラを取り付けたマイコンを設置し、取得した室内画像に対し、物体検出の技術を用いることで、監視することが可能となる。ここで考慮すべき点は、Web カメラによって部屋全体の画像を取得するには、どのようにマイコンを設置しなければならないかという点と、画像識別のプログラム実行にかかる時間によって、監視のリアルタイム性が損なわれないかという点である。今回採用した物体検出の技術による人数推定の方法では、Web カメラによって取得する室内画像が室内全体を捉えていなくてはならない。本システムで想定している利用環境は、学校の教室などであるため、部屋の前方の壁に取り付けるのが、最も部屋全体を捉えるためには適している。反対に、部屋全体を捉えられるような場所にカメラを設置できない場合や、部屋が広すぎるために1台のカメラでは部屋全体を捉えられ

ないという場合には、本システムの運用には適さないということになる。

なお、本システムにおける、物体検出技術による人物の検出機能には、検出精度のみならず、迅速に人物検出の結果を出力することが求められることから、GPUによる高速な処理を可能とする高価なマイコンが必要となる点や、複数箇所から撮影した複数枚の画像から、室内の人数を推定することの技術的な壁の高さから、Webカメラとマイコンの対を、1つの部屋に複数設置するということが本研究では行わない方向となっている。このような点から、本システムを運用する際に推奨される環境としては、数人から数十人程度で使われる、比較的小さな部屋で、なおかつ設置したカメラによって部屋全体を撮影できることが条件となる。ただし、ここで用いるマイコンには、1章でも述べたようにAIエッジ向けコンピュータとして知られる Jetson シリーズの Jetson nano を選定した。

### 分析の機能

分析の機能に関しては、監視によって得られた情報から、より高い価値を持つ「感染予防対策に役立てられる情報」を導き出すための分析方法を議論した。

分析の機能でははじめに、二酸化炭素濃度の高さから、部屋の感染症に対する警戒レベルを導出する。二酸化炭素濃度が高くなるほど、部屋が密閉された状態になっていると考えられるため、部屋の警戒レベルは高く設定される。ここで考慮しなくてはならないのが、ある時間に取得した二酸化炭素濃度だけで部屋の換気状態を正しく分析できるかという点であり、データに多少のばらつきがみられる可能性から考えて、一定時間連続的に取った値をもとにして分析を行う必要があると考えた。

続いて、導出された警戒レベル毎に制限される、室内に滞在可能な人数と、実際に室内に滞在している人数とを比較し、感染リスクを導出する。警戒レベル毎の滞在可能人数には、上限と下限を設け、上限を超える場合には感染リスクが最高となり、下限から上限の範囲内であれば、室内の滞在人数を維持できるものとし、下限を下回る場合には、感染リスクを高めない範囲内で滞在人数を増やすことができる段階にあるものとして、3段階で感染リスクを評価する。ただし、警戒レベルの高さに関わらず、部屋の広さと部屋の運用ルールから求められる部屋の滞在可能規定人数を上回る場合には、感染リスクは最高となる。

このようにして、分析の機能では、室内環境の監視によって得られた情報をもとに、部屋の警戒レベルと感染リスクを評価する。

ここまで、本研究で開発するシステムの目的、機能を実現する際の方針と課題について述べてきた。ここからは、実際に開発したシステムの概要を説明する。

まず、本研究で開発するシステムを利用する際の簡単な流れを図3.1に示す。

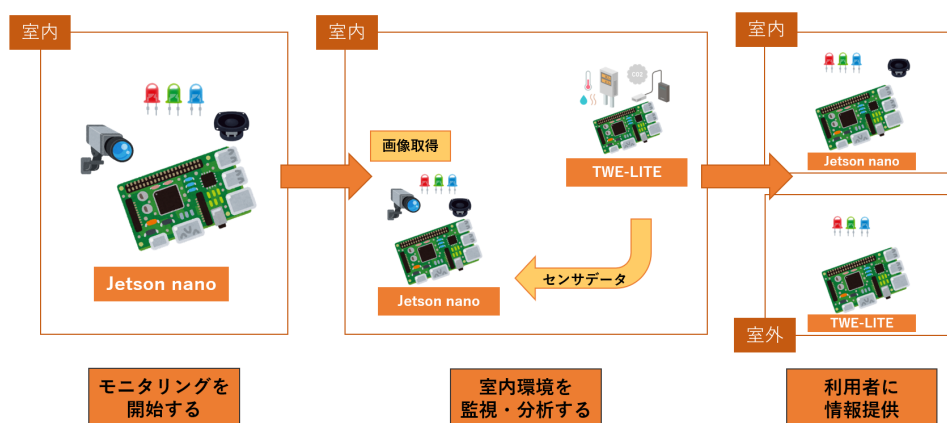


図 3.1. システム利用の流れ

まず、利用者はエッジサーバとしてシステム全体の中心となって稼働する Jetson nano に、部屋情報として、部屋の広さと何平方メートルに1人が滞在できるかという、部屋の運用ルールを登録する必要がある。感染予防サポートシステムを稼働させるには、この Jetson nano と、センサデバイスとして用いる TWE-LITE を室内に設置する。センサデバイスは部屋の広さなどに応じて、台数を増やすことが可能である。また室外には、部屋への入室の危険度を知らせるためのデバイスとして用いる TWE-LITE を設置する。あとは各デバイスの電源を入れ、エッジサーバである Jetson nano によってモニタリングを開始するのみである。

デバイス類はシステム稼働後にそれぞれ接続され、基本的には3分おきに室内画像と、二酸化炭素濃度や温湿度といった環境値をそれぞれ、Jetson nano に取り付けた

Webカメラ、室内センサデバイスに取り付けたセンサ類によって取得し、それらのデータを Jetson nano で受け取った後、室内画像をもとにした人数推定と環境値をもとにした分析を行う。Jetson nano では、分析結果に基づき、換気要請や感染リスク状況をブザーと LED を用いて、室内の利用者に通知する。また室外デバイスでは、Jetson nano により分析された部屋への入室危険度を受け取り、その都度リスクに応じた LED を点灯する。これら一連の流れを8時から20時まで行い、夜間はスリープ状態に入るといのが、基本的なシステムの稼働の流れである。ここでシステム全体構造のイメージを図 3.2 に示す。

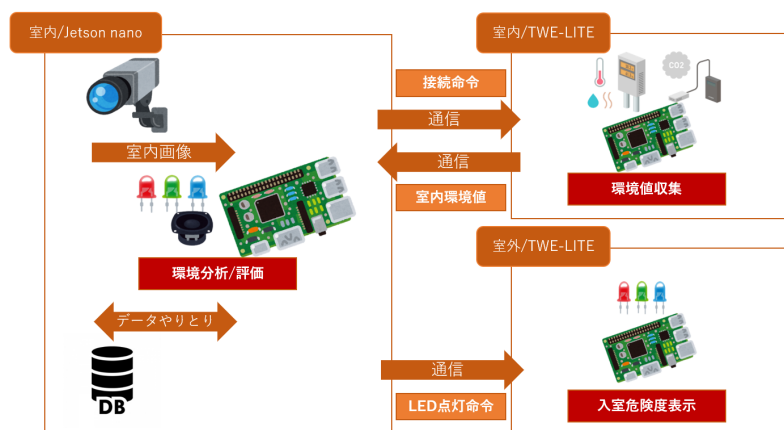


図 3.2. システム全体構造

なお本システムの開発は、エッジサーバ側を掛水誠矢が、センサデバイス側を稲田一輝が、室外デバイス側を小田恵吏奈が、人数推定機能を伊藤大輝が担当する。

## 3.2 要求定義

続いて、本システムがどのような機能を持ち、利用者にどのように利用されることを想定するかを、図 3.3 のユースケース図を用いて説明する。

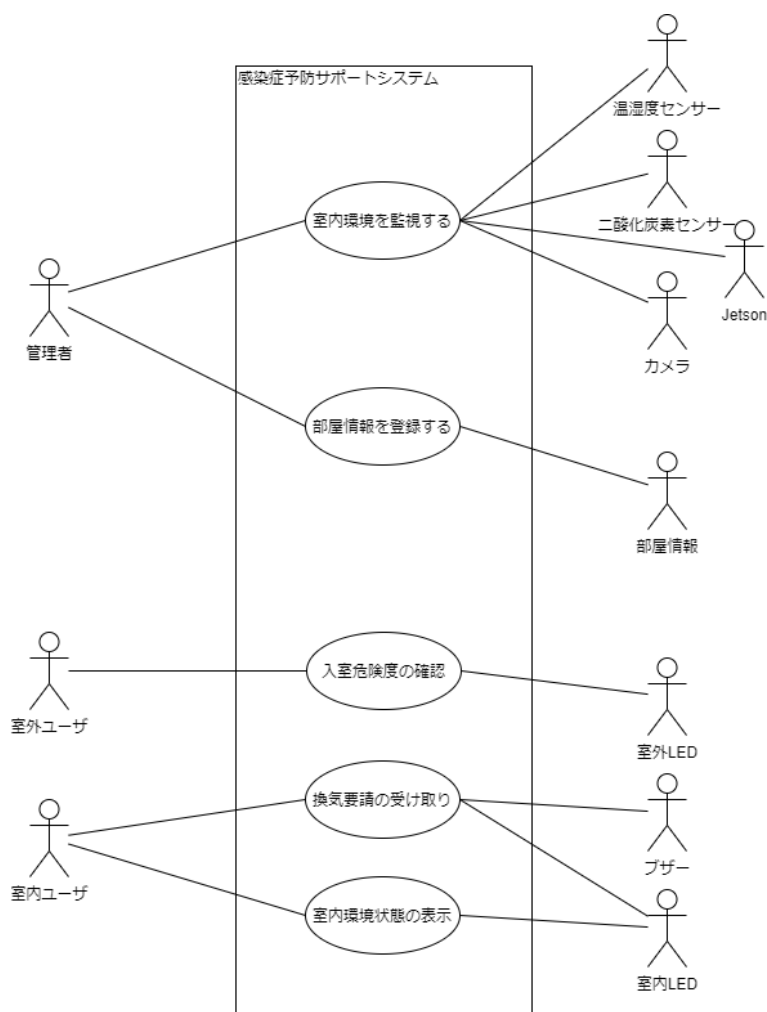


図 3.3. ユースケース図

図 3.3 のユースケース図では、「室内環境を監視する」「部屋情報を登録する」「入室危険度の確認」「換気要請の受け取り」「室内環境状態の表示」という 5 つのユースケースを挙げている。3.1 章でも述べたように、本システムは、デバイス類の電源等の準備が完了すれば自動的に稼働する。そのため、利用者側で事前に準備することは部屋情報をシステムに記録しておくということのみである。部屋情報とは、部屋の広さと何平方メートルに 1 人が滞在可能とするかという運用ルール の 2 つのデータのみであり、具体的には数値データである。この数値は、一般の利用者が勝手に書き換えてよいものではないが、今回はマイコンボードを用いていることから、管理者がマイコン内の

所定のファイルにこれら2つの数値を記録しておき、システムが読み出すという仕様になっている。

システム稼働後にも、基本的には一般利用者がシステム利用のために、システム側に働きかける必要はなく、感染予防のサポートのため、システム側からの利用者に対する能動的な働きかけを中心とする。ユースケース図では、いずれのユースケースもユーザ側のアクションとして、能動的な表現を用いているが、ユーザの働きかけに関わらず、決められたスケジュールで機能する。こういった仕様となったのは、本システムが能動的に利用者に対して情報提供を行うことを重要視したためである。また、本システムは1つの部屋という単位で、同時に多くの人を対象として機能しなくてはならないという点からも、各自で確認しなければならないような情報共有の方法よりも、リアルタイムに必要な情報だけを、システム側からの働きかけで提供することを優先している。

ここで提供する情報は、室内の感染リスク状況・入室の危険度、換気要請、室内環境状態の3つがあるが、どのような情報をどのような基準に沿って提供すればよいかという点に関しては、要求定義の段階で繰り返し議論された。この点が多く議論を要した要因は、室内環境というものが、部屋に滞在する人数や換気状況などによって目まぐるしく変化するものであり、何よりも感染予防のためには、情報提供のスピード感というものが損なわれてはならず、利用者側がとるべきアクションが明確になれば、真に価値ある情報を提供することにはならないためである。

初期段階では、室内に滞在する人の数にはそれほど着目しておらず、二酸化炭素濃度の高さに応じて部屋の感染リスクを段階的に定義し、利用者には警戒レベルとして数値を示すというものであったが、二酸化炭素濃度のみに着目した環境評価であれば、既存のシステムが多く存在しているはずであるし、警戒レベルの定義に関しても、システム内部で定められているのみならば、受け取った側が感染の危険度を実感しづらいはずである。以上のように情報提供に関しては、その質と迅速性を特に重要視した。

ここで、リアルタイム性の高さと、精度の高さを併せ持つ、人数推定のために用いた物体検出手法「Yolo」について簡単に説明する。物体検出手法 Yolo とは、それまで一般的には異なるモデルの組み合わせで行われていた、画像の領域推定と分類の処理を1つの CNN で完結し、リアルタイム処理を可能とする高速な物体検出手法である。実際に Yolo では静止画だけでなく、動画に対しても物体検出を適用可能であり、非常



に高速な処理を可能としている。本システムでは、すでに説明したように、3分おきのデータ取得とその分析による情報提供を行う。そのため、高速な画像処理を行うためにエッジサーバ側に Jetson nano を選定しており、画像処理によって部屋全体の滞在人数を高速に数えることを目標として設定した。なお、自身はこの技術を感染予防サポートシステムにおける情報取得の1つの手法として、システムから利用できるよう、人数推定機能担当者の担当部分をシステムに統合するなどしたもの、その中身に関しての詳しい説明はここでは省略する。

このように私たちは、提供された情報によって利用者が的確な感染予防対策を講じるために求められる情報とは何か、またその情報がどのような尺度で導き出されるべきであるかの議論を、特に重点的に行った。ここから、最終的に定まった情報提供の指針について述べる。

まず、利用者に提供する情報の導き出し方としては、大きく分けて以下の2点が基本方針として定められた。

- 二酸化炭素濃度値の高さに応じて部屋の警戒レベルを導出する。
- 警戒レベルの高さに応じて、部屋に滞在できる人数を制限し、室内の滞在人数が、この警戒レベルごとの制限人数に適しているかを評価する。

先ほども述べたように、二酸化炭素濃度値のみを監視の対象としたシステムでは、情報の受け取り手がその情報のみをもとにして取れるアクションは、基本的に換気のみとなる。しかしながら、このようなシステムはすでに多く存在していることが確認でき、3つの密のうち、密閉の対策にしかならず、本システムで実現しようとする3密回避のための機能を満足できない。密集と密接に対しアプローチするために欠かせない情報は、部屋に滞在する人数の情報であるため、二酸化炭素濃度と室内の滞在人数とを併せて導き出される情報を提供する必要がある。したがって、室内の滞在人数に関しても、部屋の広さと運用のルールから求められる、その部屋に滞在可能な規定人数と、警戒レベルごとに制限される滞在可能人数を基準とした評価を行うこととした。

以上のような考えから、最終的に利用者に提供する基本的な情報を、二酸化炭素濃度値と室内の滞在人数というデータに基づいた分析結果として、赤黄緑の3色の信号によるリスクのレベルの通知と、二酸化炭素濃度上昇時の、ブザーを用いた換気要請

に絞った。ただし、新型コロナウイルスと湿度の関連についても、様々な観点から多くの研究がなされており、理研などでの研究によって、湿度が低いほど飛沫の拡散が大きくなるとの成果が求められている点に着目し、本システムでは部屋の湿度が30%を切った場合に発出する警告を、付加的な情報として提供することとなった。

私たちはこれら2つの情報が、3密回避の基準となり得る、意味ある情報となるはずであると考えた。まず、二酸化炭素濃度の高さに関わらず、部屋に滞在可能な規定人数を越えた人数が部屋に滞在している場合には、3色のリスクの信号は最も危険な状態を示す赤になり、密集、密接を避けるために、滞在・入室が可能な人数を制限できる。また、二酸化炭素濃度の上昇を受けて警戒レベルが高まっている場合には、部屋に滞在可能な人数がより少なく設定されることから、人数に変動がなくてもリスクの信号が変わる場合がある。反対に二酸化炭素濃度に大きな変動がなくても、室内に滞在する人数が増えたことで、滞在可能な人数上限を越え、リスクの信号が変わる場合も考えられる。これら2つのケースでは、利用者に、換気によって二酸化炭素濃度を下げ、警戒レベルを緩めるか、滞在する人数を減らすという選択をとることを意識づけることができる。室外からも入室の際の目安となる情報を得られ、感染リスクの更なる高まりを防ぐことが可能となる。何よりも、この情報提供の方法が、最もシンプルでわかりやすいという点からも、有効な感染予防サポートシステムとして機能すると考えた。

以上を踏まえ、本システムにおける情報収集と情報提供の2点について、簡単にイメージを図3.4に示す。

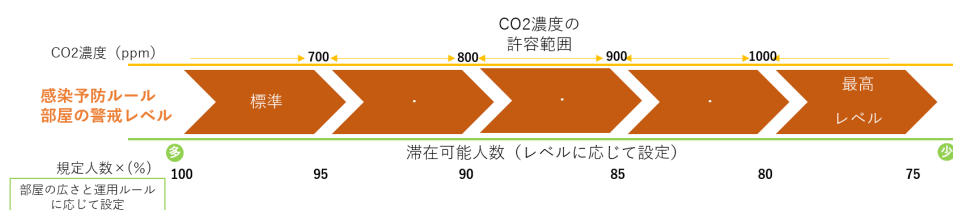


図 3.4. 情報収集・分析イメージ

図 3.4 では、部屋の感染リスクを示す警戒レベルと、部屋の警戒レベルを決定づける二酸化炭素濃度値の基準、警戒レベルごとに制限される滞在可能人数の3項目の関連を表している。本システムでは、室内の複数箇所で観測した二酸化炭素濃度値のうち、最も換気状態が悪いと考えられる地点の値を代表値とし、その値に応じて部屋の警戒レベルを5段階で評価する。ここでは、部屋の警戒レベルを最高レベルとする場合の二酸化炭素濃度を、厚労省が建築物衛生法などで定める基準値 1000ppm として、各警戒レベルと二酸化炭素濃度基準値を段階的に設定した。二酸化炭素濃度値が上がるとともに換気状態は良好でないと判断されることから、警戒レベルを上げるとともに、室内に滞在できる人数も段階的に制限する。二酸化炭素濃度が 700ppm 未満の場合は、標準警戒レベルとし、部屋の広さと部屋の運用ルールから求められる部屋の滞在可能規定人数からその 95% 未満までの人数を、滞在可能人数の目安と定める。同じように、これよりも高い警戒レベルでも、滞在可能人数の上限と下限が定められる。ただし滞在可能人数の下限とは、ここで定める安全水準を満たすことのできる人数の、範囲の下限を意味する。

システム内ではこのような分析がなされているものの、警戒レベルや現在の二酸化

炭素濃度などの情報はシステム内部で導き出されているに過ぎない。先ほども述べたように、実際に提供されるのは換気要請と室内の感染リスクの情報であり、二酸化炭素濃度の上昇によって室内の警戒レベルが上昇した際の換気要請と、室内に実際に滞在している人数が、現在の警戒レベルによって定められている滞在可能人数に適合しているかどうかによって、3色LEDによるリスクのレベルの通知がなされる。具体的には、その時点の部屋の警戒レベルで定められている、滞在可能下限人数より少ない人数が滞在している場合には緑、下限人数以上上限人数未満が滞在している場合には黄、上限人数以上が滞在している場合には赤のLEDが点灯し、部屋の感染リスクを通知する。またこの室内感染リスクは、室外から見ることでできる部屋への入室危険度と対応しており、部屋の感染リスクが高まっている場合の入室を制限することができる。利用者はこれらの情報をもとに、換気を行うか滞在する人数を調整するといった対応をとらなくてはならない。

続いて、よりアクターとシステム間の対話の様子を明確に示すために、アクター側の振る舞いを文章で記述したユースケース記述を図3.5に示す。

ユースケース名	メインイベントフロー
室内環境を監視する	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ユーザが部屋の出入りをする。</li> <li>2. カメラにより室内画像を取得し、画像識別により人数推定を行い、室内人数をカウントする。</li> <li>3. 室内環境監視システムは室内の人数に応じた監視モードを開始する。</li> <li>4. 室内環境監視システムは各監視モードでCO2濃度を測定し、測定した値に応じて警戒レベルを設定する。</li> <li>5. 分析結果をもとに、部屋の感染リスクを通知し、必要に応じて換気要請を出すなどの対応をとる。</li> </ol>
部屋情報を登録する	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ユーザは機器を取り付け、システム運用の対象とする部屋の広さと運用ルールを登録する。</li> <li>2. この部屋情報をもとに標準警戒レベルでの滞在可能上限人数を定め、室内環境分析システムにより警戒レベルが上げられた場合に、目安として定める滞在可能上限人数を設定する。</li> </ol>
換気要請の受け取り	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 一定時間ごとに測定される室内環境の測定値をもとに、室内環境分析システムでの分析を開始する。</li> <li>2. 二酸化炭素濃度が各警戒レベルでの基準値を一定時間連続で超えると、状況に応じて換気要請が出される。</li> <li>3. 室内に滞在する者は換気要請が出されたことを確認し、要請に従って換気を行う。</li> </ol>
入室危険度の確認	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 部屋の滞在可能上限人数と現在の室内人数に応じた入室危険度を表すLEDを点灯する。</li> </ol>
室内環境状態の表示	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 一定時間ごとに測定される温湿度の室内環境の測定値をもとに、室内環境分析システムでの分析を開始する。</li> <li>2. 温湿度が一定の基準値を超えると、改善を要求する。</li> </ol>

図 3.5. ユースケース記述

図3.5のユースケース記述からもわかるように、システムの利用者は部屋の出入りなどで、室内環境に変化を与える働きを持つが、多くの機能はシステム側が能動的に

提供するものである。

以上の内容から、ユースケース図、ユースケース記述に挙げた5つのユースケースのうち、特に一般利用者に関わりのある4つのシナリオをもとに、総合テスト項目として表3.1の項目を挙げた。

表 3.1. 総合テスト項目

シナリオ	確認の流れ
監視	1-1 Jetsonとセンサデバイスが接続できること
	1-2 Jetsonと室外デバイスが接続できること
	1-3 Jetsonがセンサの値を取得できること
	1-4 Jetsonが画像を取得できること
	1-5 Jetsonが人数を判別できること
	1-6 状況に応じて警戒レベルを設定できること
	1-7 夜の間は動作を停止させること
換気要請	2-1 アラートを出せること
入室危険度	3-1 室外デバイスが危険度に応じたLEDを点灯できること
環境状態表示	4-1 室内のLEDを点灯できること

### 3.3 基本設計

基本設計では、ひとまとまりの処理の内容の流れを表現するために用いるアクティビティ図を作成し、「室内環境を監視する（図3.6）」、「換気要請の受け取り（図3.7）」、「入室危険度の確認（図3.8）」、「室内環境状態の表示（図3.9）」の4つのユースケースについて、簡単に処理の流れを確認した。以下に作成したアクティビティ図を示す。

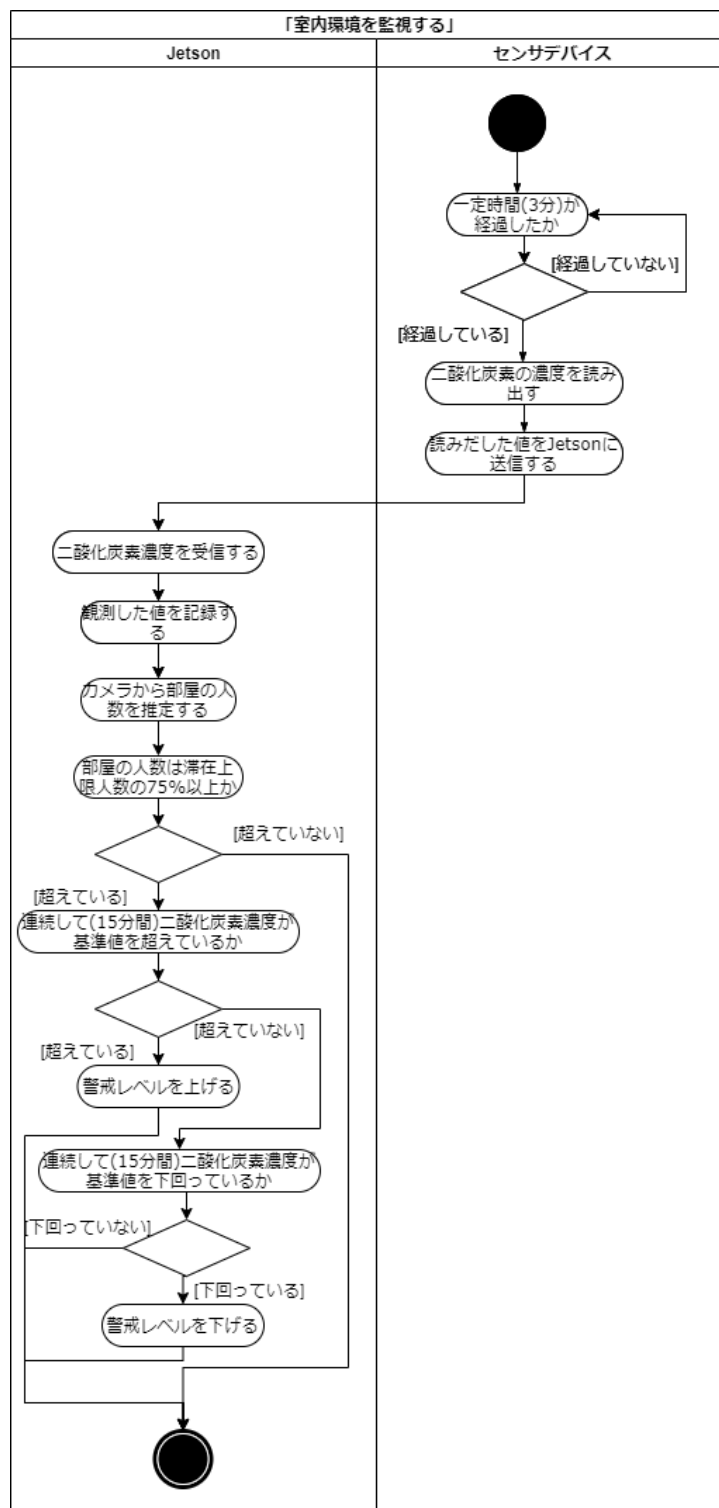


図 3.6. 室内環境を監視する

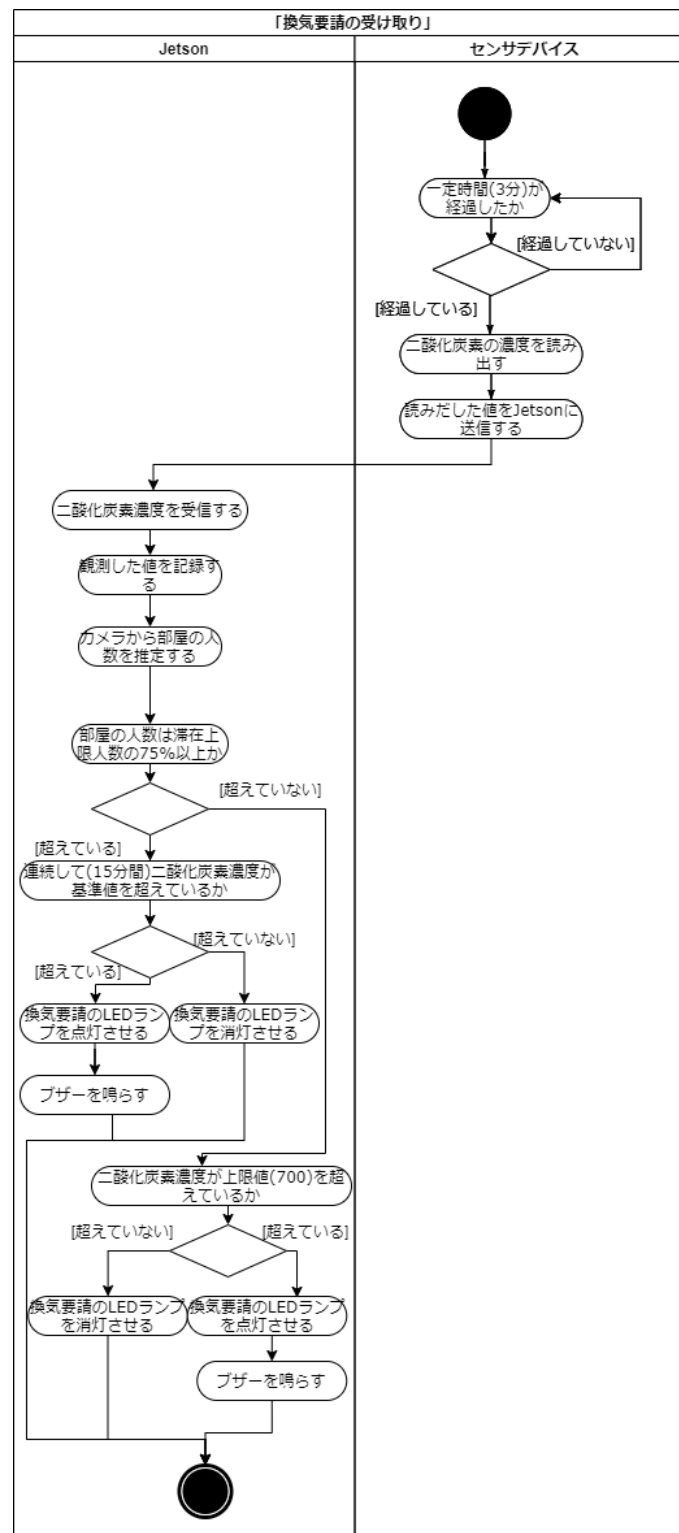


図 3.7. 換気要請の受け取り

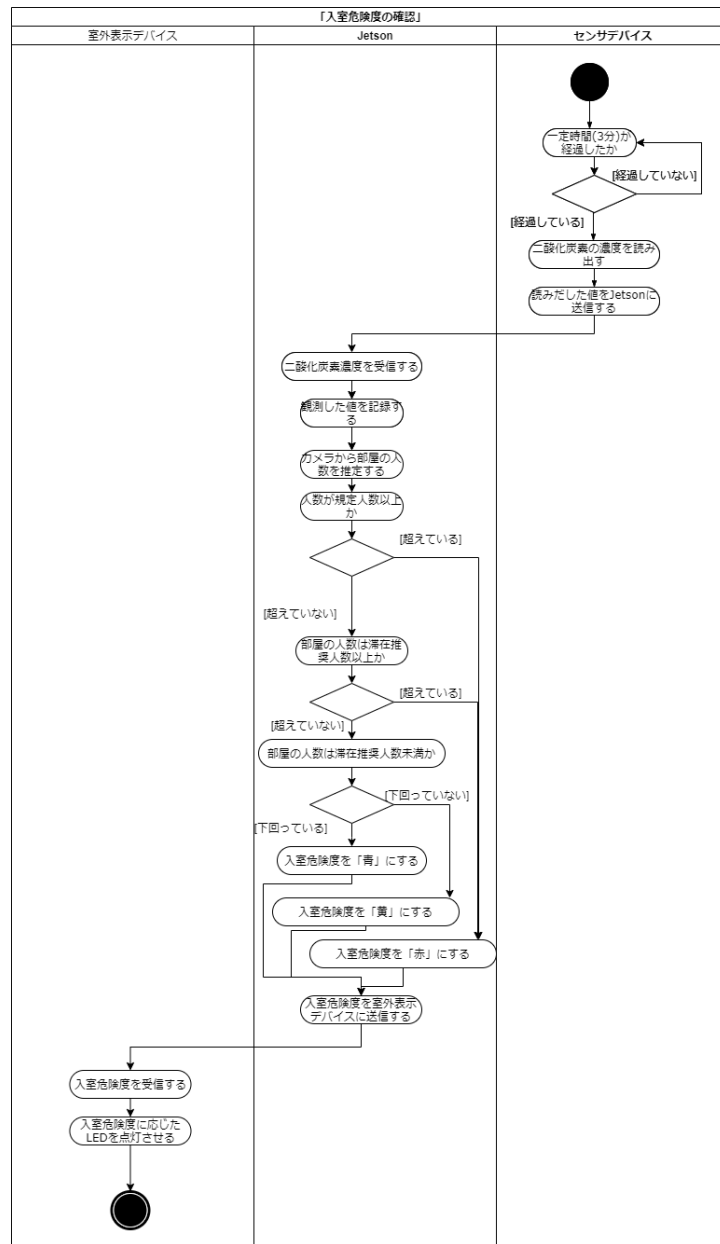


図 3.8. 入室危険度の確認



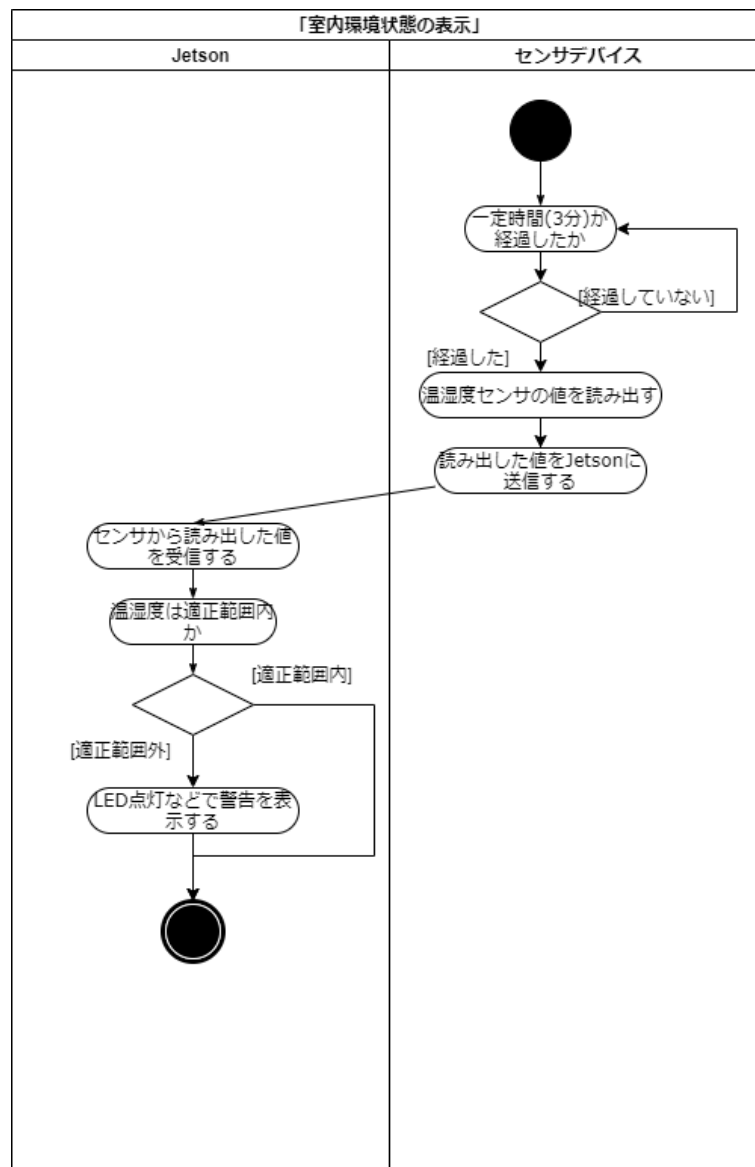


図 3.9. 室内環境状態の表示

以上の4つのアクティビティ図の作成を通して、それぞれのユースケースを実現する際の処理の流れを可視化することができた。この作業を通して、ユースケース図やユースケース記述を作成した時点よりも、より論理的にシステム内部の設計を進めることができた。

上に示したアクティビティ図では、各デバイスなどのオブジェクトごとの処理のま

とまりを、縦の線によってレーンとして明示的に分けて表現している。これによって、各ユースケースの全体的な処理の流れだけでなく、各ユースケースにおいて、処理やデータがオブジェクト間でどのように移されるかを確認することもできた。

具体的に見てみると、室内の複数箇所に設置するセンサデバイスは、センサから値を取得した後は、送信の機能を基本として動作すればよいことが確認できた。一方、Jetson nano 側に着目すると、センサデバイスからのデータの受け取りと、室外の入室危険度表示デバイスへのデータの受け渡しというデータの流れる必要となることが確認され、Jetson nano 側ではデータの送受信両方の役割を持たせなければならないことが確認できた。また、室外の入室危険度表示デバイス側は、データの取得・分析後の成果物の情報といえる、入室危険度の受け取りさえできればよいということから、受信の機能を基本として動作すればよいことを確認することができた。

アクティビティ図作成の段階では、まだ詳細な処理の流れが示されていないものの、ユースケースを実現する際の大まかな処理とデータの流れる確認することができた。また、この後の詳細設計を進める際にも、ここで作成したアクティビティ図が、基本的な考え方として活かされた。

基本設計の段階では、各デバイスがどのような振る舞いをするかを確認することができたことで、実際にシステムに用いるデバイス類の選定が可能となった。ここまで、人数推定の機能をリアルタイム性の高い物体検出によって実現するという点から、エッジサーバ側には Jetson nano を用いることが決まっていたが、この段階でセンサデバイス、室外の入室危険度表示デバイスに用いるデバイス類を決定した。

3.1 節でも述べたが、センサデバイスは室内の複数箇所に設置することを想定しており、電源の供給方法による取り付け場所の制約を受けず、なおかつ比較的低い消費電力での稼働を可能とするデバイスを選ぶ必要があった。このことから単4乾電池2本で動作し、ワイヤレスセンサーネットワークの構築に適した無線規格である IEEE802.15.4 を採用し、低消費電力での無線通信を可能にする無線マイコンモジュールとして TWELITE を選定し、室外に設置する部屋への入室の危険度を表示するデバイスに関しても、同じく TWELITE を選定した。また、Jetson nano にもこの TWE-LITE を UART によって接続し、センサデバイスとしての TWE-LITE や、室外の入室危険度表示デバイスとしての TWE-LITE それぞれとの通信を可能とし、エッジサーバとして必要となる、データ送受信の機能を持たせている。

ここまでの設計内容をもとにクラス図を作成したところ、図 3.10 のように本システムの静的な構造が確認できた。ただし、3.4 節でも述べるが Jetson nano 側では、センサデバイスから受け取ったデータを管理するために、データベースを用いることとしている。

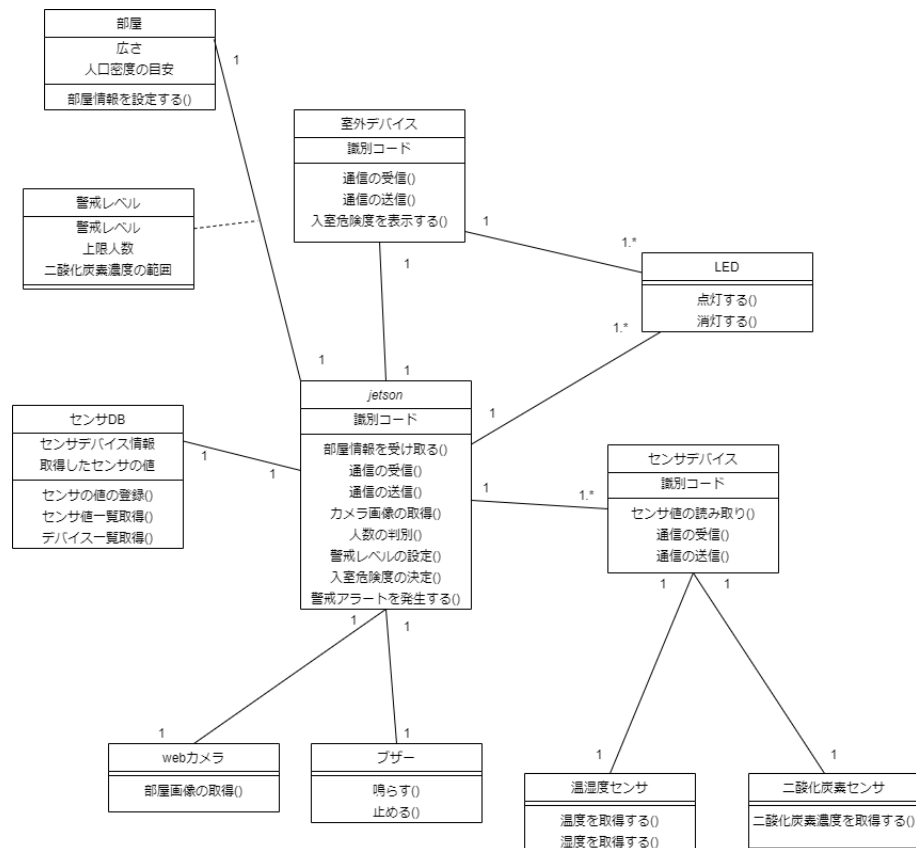


図 3.10. クラス図

また、以上の基本設計の内容をもとに、結合テスト項目として表 3.2 の項目を挙げた。

表 3.2. 結合テスト項目

シナリオ	確認の流れ
監視	1-1 Jetsonからセンサデバイスを開始させられること
	1-2 Jetson側でセンサの値を受信できること
	1-3 受信したデータをデータベースに適切に格納できること
	1-4 必要なデータをデータベースから取り出せる
	1-5 人数判別プログラムから推定人数を受け取れること
入室危険度	2-1 室外デバイスで入室危険度を表示できる

### 3.4 詳細設計

詳細設計では、3.3 節の基本設計を受けて、より詳細なシステムの設計を行った。ここでは、時系列に沿ったオブジェクト間のメッセージのやり取りを確認するためにシーケンス図を作成し、アクティビティ図の作成の際と同じように、「室内環境を監視する（図 3.11）」、「換気要請の受け取り（図 3.12）」、「入室危険度の確認（図 3.13）」、「室内環境状態の表示（図 3.14）」の4つのユースケースについて、より詳細な処理の流れを確認した。以下に作成したシーケンス図を示す。

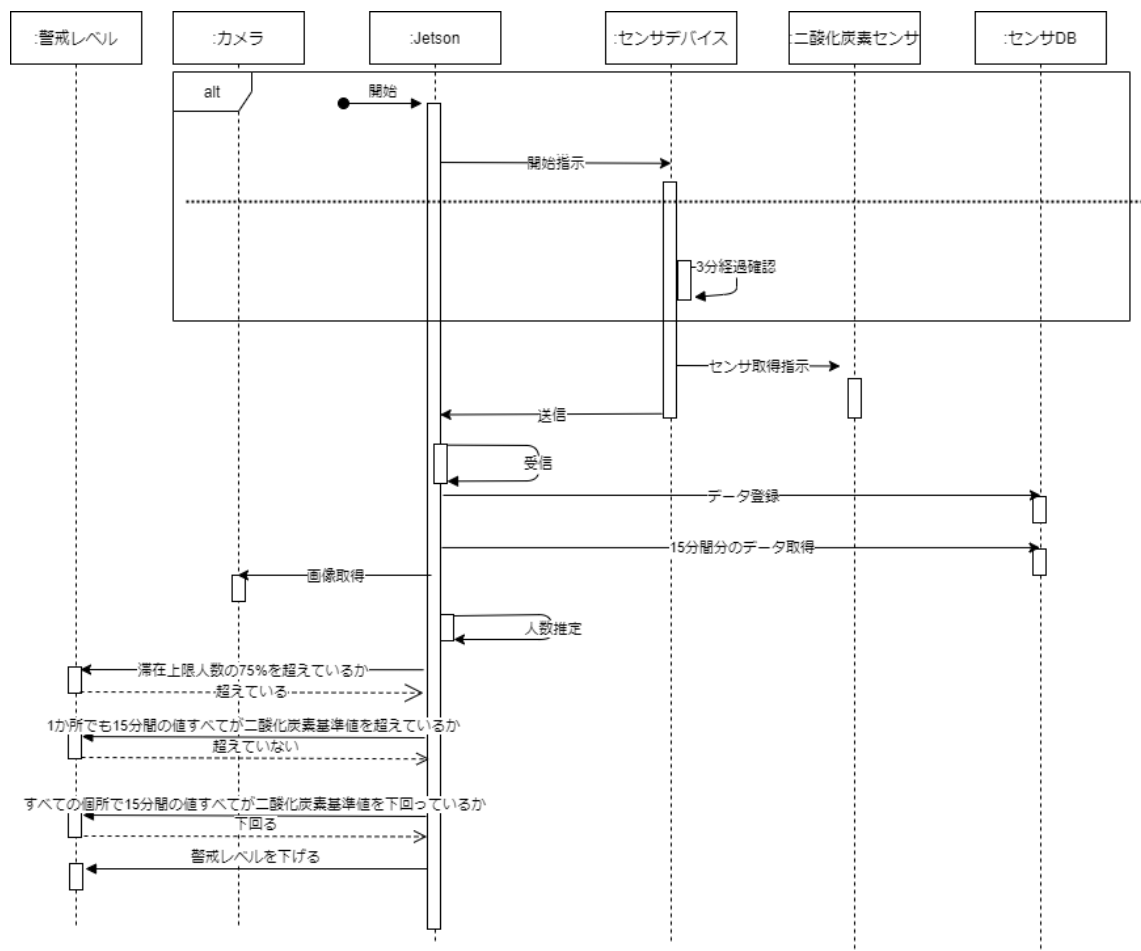


図 3.11. 室内環境を監視する

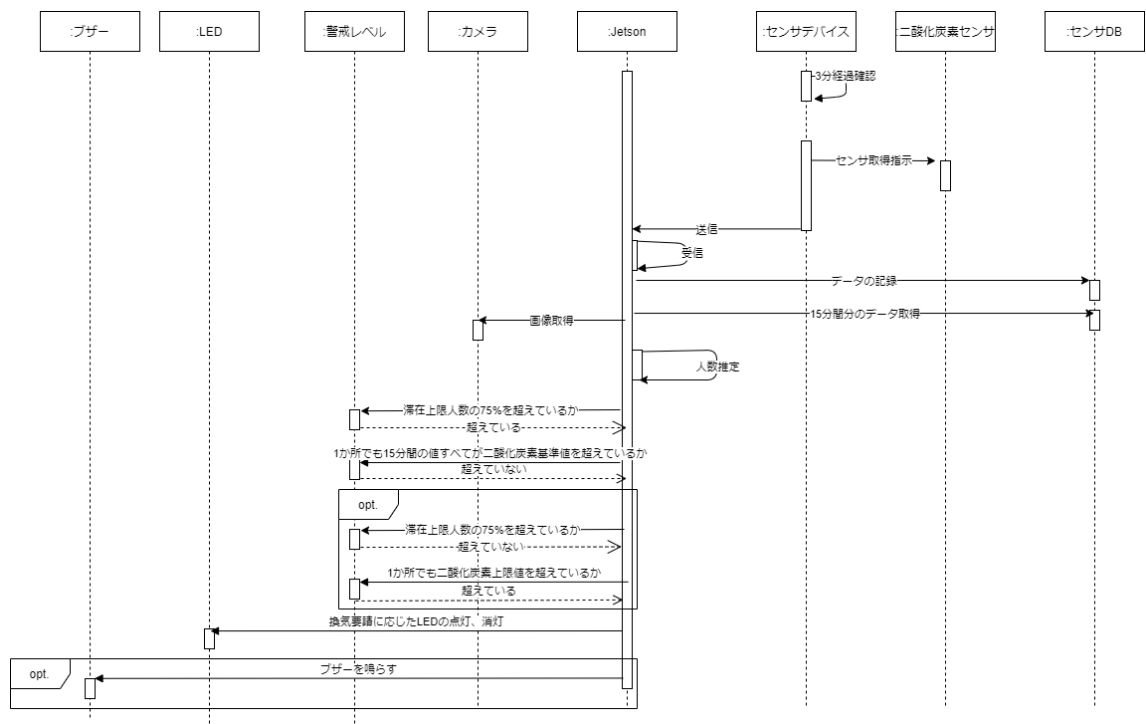


図 3.12. 換気要請の受け取り

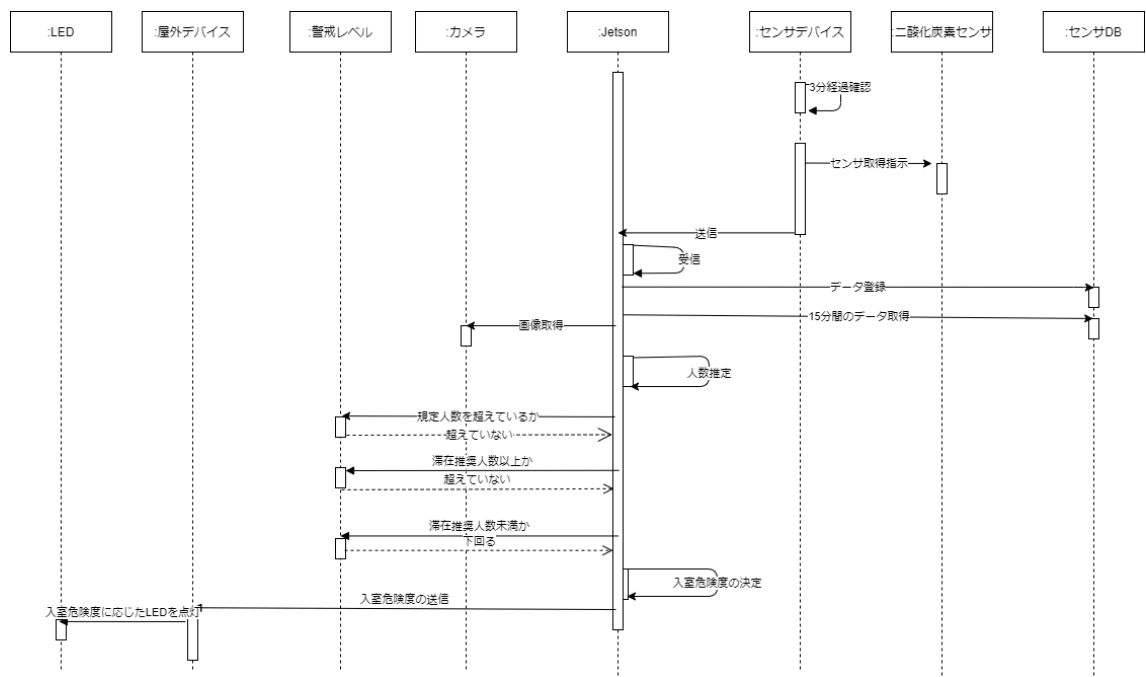


図 3.13. 入室危険度の確認

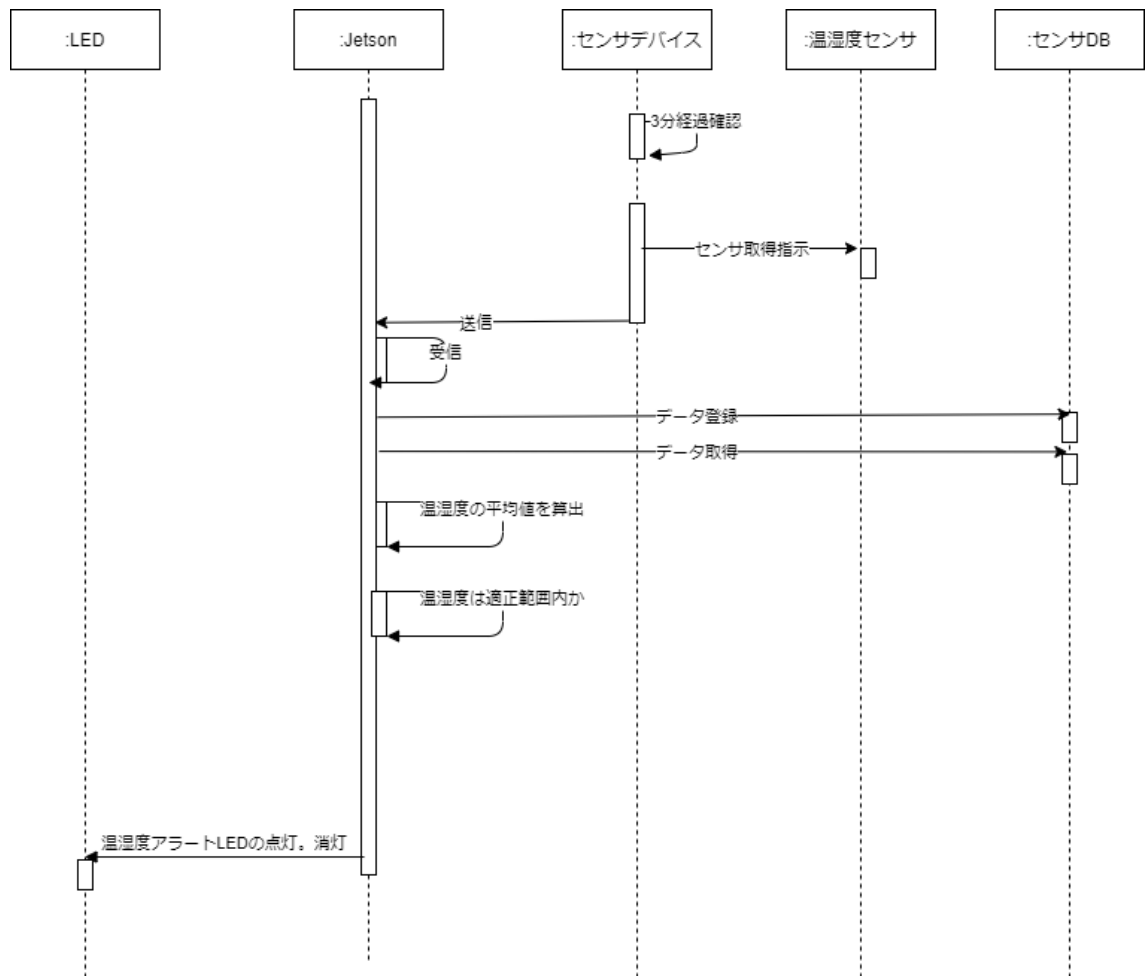


図 3.14. 室内環境状態の表示

ここでは、各ユースケースのより具体的な処理の流れを確認することができた。ここまで少し曖昧さがあった点についても、突き詰めて考えることができています。

例えば、ここまでの段階で、どのような情報をどのように収集するかというところまでは議論が進められていた。しかし、信頼性の高い結果を導き出すために、また、論理的に情報を分析するためには情報収集と分析にもルールを定める必要がある。例えば、複数のセンサデバイスの値を平均した値が部屋の換気状態を表しているといえるかという点に関しては、二酸化炭素は気体の一種であることから、部屋中に一様に広がっているとは言えず、風の流れなどにも場所によって差が出ると考えられることから、部屋の中で特に換気状態が悪い箇所の値を、その部屋の換気状態を表す値として



見ることが、感染症予防の観点から考えても、妥当だと考えた。

また、室内に滞在する人の数が極端に少なくなれば、多くの人が室内に滞在していた時と比べ、二酸化炭素濃度が徐々に低下すると考えられるが、この場合にも、室内に大勢の人が滞在している場合と同じモニタリングをするようでは、その部屋の感染リスクの高まりやすさの傾向を掴むには不適切となると考えた。既に述べているがこのシステムでは、モニタリング開始前に、部屋の広さと、何平方メートルに1人が滞在できるかという部屋の運用ルールに従って、部屋に滞在できる最大人数を定めている。この人数の75%以上の人数が、室内に滞在していない状態になれば警戒レベルや感染リスクの導出は行わず、二酸化炭素濃度値を安全水準（ここでは700ppmとしている）まで下げるよう換気要請のみを行うこととした。

シーケンス図の作成によって、それぞれのユースケースでの処理の流れがより詳細となった。先ほど述べた内容以外にも、センサデバイス側の消費電力を抑える関係で、モニタリング開始時に Jetson nano 側から開始命令が出された後には、センサデバイスは基本的に受信状態には入らず、3分経過ごとにデータの取得・送信を繰り返し行うことや、一定期間のデータの参照の必要性からデータベースを用いることなどが、より詳細な設計として確認された。アクティビティ図でもこのような流れを大まかに掴むことはできていたが、より詳細に設計が進み、実装の際の課題となり得る点もいくつか発見された。

また、以上の詳細設計の内容をもとに、単体テスト項目として表3.3、3.4の項目を挙げた。

表 3.3. エッジサーバ (Jetson nano) 側 単体テスト項目

No.	分類	検証内容
1	起動	時間帯に応じ、適切な時間だけスリープできるか
2		システム起動時のサインを出力できるか
3	初期化	部屋の広さと運用ルールのデータを読み出せるか
4		部屋情報に適した規定人数を求められるか
5		当日取得分のデータ数を確認できるか
6		入室危険度を"NONE"にできているか
7	通信	受信用関数をスレッドとして生成できるか
8	分析・評価	二酸化炭素濃度データを適切に分析できているか
9		二酸化炭素濃度分析に応じ、適切に警戒レベルが求められるか
10		接続デバイス数が0の時、データ更新があるまで待機できるか
11		データ更新待機時のサインを出力できるか
12		各デバイスのデータ数が5に満たない場合スキップできるか
13		室内人数に応じて適切にモニタリングモードを切り替えられるか
14		標準警戒レベル監視モード時のサインを出力できるか
15		標準警戒レベル監視モードで換気アラートを適切に出せるか
16		レベル上昇を確認し、レベル上昇アラートを適切に出せるか
17		部屋の状態に応じて適切に入室危険度を求められるか
18		入室危険度に応じて適切に3色LEDを点灯できるか
19		画像が、人数推定可能な形式で正しく取得できるか
20	人数推定	画像が、指定のディレクトリ・ファイル名で保存されるか
21		人数推定のプログラムを正しく呼び出せるか
22	終了	受信用関数の終了とともに、モニタリングを終えられるか
23		スリープ前にLEDや各サインを終わらせられるか
24		入室危険度を"NONE"にできているか

表 3.4. データベース 単体テスト項目

No.	分類	検証内容
1	データベース	端末ごとのデータを正しくデータベースに格納できているか
2		端末ごとのデータを正しく取得できるか
3		当日分の全データの取得が正しくできるか
4		直近5分間の更新があるデバイスのリストを取得できるか
5		データベースから直近5回分の二酸化炭素濃度データの取得できるか

詳細設計を終え、私たちはこれまでの設計内容や、発見された課題を踏まえ、いか

にして対処するかを議論しつつ、実装を進めた。

## 第 4 章

# 実装・検証

本章では V 字モデルの開発プロセスに従って行った、実装および検証について説明する。4.1 節では、各設計に基づいて行った実装について説明し、4.2 節では単体テスト、結合テスト、総合テストの実施について説明する。

### 4.1 実装

ここから、3 章の設計に基づいて行った実装について説明する。

3 章でも述べたが、本システムの開発において私が担当したのは、エッジサーバとしての役割を持つ Jetson nano 側の機能実現である。ここで、実際に用いた Jetson nano の仕様を表 4.1 に示す。

表 4.1. Jetson nano 仕様

OS	Ubuntu18.04
CPU	クアッドコア ARM A57 @ 1.43 GHz
GPU	128 コア Maxwell
メモリ	4 GB 64 ビット LPDDR4 25.6 GB/秒

また自身は、センサデバイスを用いた環境値測定および人数推定による環境監視と、環境監視から得られたデータの分析を繰り返すメインプログラム、センサデバイスへ

のモニタリング開始命令とデータ受信、室外デバイスへの LED 点灯命令送信を行う、デバイス類との通信関係のプログラム、受信データや分析結果を記録・管理するため、データベースを操作するプログラムを作成した。担当箇所が、システムを中心となる部分であったことから、他のメンバーの進捗に合わせ統合も並行して進めるなど、全体の進捗も気をつけながら作業を進めた。

自身が担当し作成したこれらのプログラムは、主な開発言語を python として実装している。もう少し詳細にこれらプログラムの内容について説明する。

## メインプログラム

このプログラムは、エッジサーバ側で行う処理全体を動作させるプログラムで、実行後にはまず、現在時刻が 8 時より早い、あるいは 20 時以降である場合にはスリープに入り、当日または翌朝の 8 時からモニタリングを開始する。初回起動時が 8 時以降かつ 20 時より早い時間帯であれば、20 時までのモニタリングをすぐに実行できる。

モニタリング開始前には別途作成した、センサデバイスとの通信用プログラムを別スレッドで開始し、以降この別スレッドプログラムが存在する限りモニタリングを繰り返す。モニタリング機能は、まずセンサデバイスからの受信データを管理するデータベースに、接続中のデバイス台数分のデータ増加があるかを確認することで、データ更新があるまでの待機を行う。データ更新があれば、データ分析が可能になるため、Web カメラからの室内画像の取得を行い、人数推定機能担当者が作成した、人数推定用プログラムを呼び出す。このプログラムから、画像内に含まれる人の数を受け取ると、データベースから過去 15 分間のデータに相当する、最新の 5 回分の各デバイスのデータを取り出し、分析を行う。ただし、取得するデータは直近 21 分以内のデータに限定しているため、センサデバイスが電池切れなどで一時通信を行わず、再び復帰した場合に最新 5 回分のデータが過度に古いデータにならぬよう対策を行っている。

部屋の二酸化炭素濃度に関しては、最新の 5 回分の各デバイスのデータについて最小値を導き、全デバイスの最小値を比較し、最大となるものを代表値とすることで、室内のうち最も換気状態の悪い箇所が 15 分間連続し、最低でどのような値をとっていたかを導き出している。

その後、この代表値から部屋の警戒レベルを求め、室内にいる人数が、導かれた警

戒レベルで制限されている滞在可能人数に適合しているかを確認し、感染リスクを評価する。ここまでの内容を、夜間スリープに入る 20 時まで繰り返すのがメインプログラムの基本的な動作となる。以上のように、3 章で示した設計内容に順じ、エッジサーバ側の機能を実装した。

## 各デバイスとの通信用プログラム

このプログラムは、センサデバイス・室外デバイスとの通信を行うプログラムで、開始されるとまず、センサデバイスにセンサ値取得開始命令を送る。センサデバイスは省電力化の関係から、開始命令受信後は受信待ち状態に基本的には入らないことから、何分おきに、何回分のデータ取得・送信を行うかを開始命令として送信する。以降は、センサデバイスからのデータ受信と、モニタリング結果をもとにした、室外デバイスへの LED 点灯命令を送る処理を繰り返す。

## データベース操作プログラム

このプログラムは、python 用の mysql connector を用いて、リレーショナルデータベース管理システム MySQL を操作する。メインプログラムから本プログラムのメソッドが呼び出され、データ数や時刻を引数として受け取り、データの取り出しなどの操作を仲介する。

## 4.2 検証

ここから、4.1 節で実装したプログラムの動作の検証と、他のメンバー担当箇所との統合後の、システム全体の動作の検証を行った。ここでも、V 字モデルの開発プロセスに従い、単体テスト、結合テスト、総合テストという順番で検証を行っている。

### 4.2.1. 単体テスト

まずはじめに、実装の段階で検証が求められるレベルの項目について、単体テストを行った。ここでは、実装担当者が中心となって、各担当箇所の検証項目について検

証を行った。以下に、私の担当箇所に関する単体テストの内容について述べる。

ここでは、Jetson nano 側でのシステム全体の制御に関する部分と、データベース操作に関する部分それぞれについて単体テストを行った。まず、Jetson nano 側でのシステム全体の制御に関する部分の単体テストを表 4.2 に示す。

表 4.2. jetson nano 単体テスト

No.	分類	検証内容	検証結果	確認日
1	起動	時間帯に応じ、適切な時間だけスリープできるか	○	1月6日
2		システム起動時のサインを出力できるか	○	1月4日
3	初期化	部屋の広さと運用ルールのデータを読み出せるか	○	1月4日
4		部屋情報に適した規定人数を求められるか	○	1月4日
5		当日取得分のデータ数を確認できるか	○	1月4日
6		入室危険度を"NONE"にできているか	○	1月4日
7	通信	受信関数をスレッドとして生成できるか	○	1月4日
8	分析・評価	二酸化炭素濃度データを適切に分析できているか	○	1月4日
9		二酸化炭素濃度分析に応じ、適切に警戒レベルが求められるか	○	1月4日
10		接続デバイス数が0の時、データ更新があるまで待機できるか	○	1月5日
11		データ更新待機時のサインを出力できるか	○	1月5日
12		各デバイスのデータ数が5に満たない場合スキップできるか	○	1月4日
13		室内人数に応じて適切にモニタリングモードを切り替えられるか	○	1月4日
14		標準警戒レベル監視モード時のサインを出力できるか	○	1月5日
15		標準警戒レベル監視モードで換気アラートを適切に出せるか	○	1月5日
16		レベル上昇を確認し、レベル上昇アラートを適切に出せるか	○	1月5日
17		部屋の状態に応じて適切に入室危険度を求められるか	○	1月4日
18		入室危険度に応じて適切に3色LEDを点灯できるか	○	1月5日
19		画像が、人数推定可能な形式で正しく取得できるか	○	1月4日
20	人数推定	画像が、指定のディレクトリ・ファイル名で保存されるか	○	1月4日
21		人数推定のプログラムを正しく呼び出せるか	○	1月4日
22	終了	受信関数の終了とともに、モニタリングを終えられるか	○	1月13日
23		スリープ前にLEDや各サインを終わらせられるか	○	1月13日
24		入室危険度を"NONE"にできているか	○	1月13日

jetson nano 側でデータベース操作以外で実行するのは、4.1 節で説明したメインプログラムと各デバイスとの通信用プログラムである。ここではこれらプログラムのうち、メソッドなどの比較的細かな単位で検証を行った。実際のシステム運用時には、他のデバイスとの通信やデータベースの操作などが関わってくるが、手作業で値を与えるなど、疑似的に動作環境をつくり動作を確認した。

ここで特に問題となったのは、LED を用いた各種サインの出力に関する部分で、それぞれをメインプログラムとは別のスレッドとして生成させて実行するが、状況によっては複数スレッドが同時に GPIO に対し操作してしまう状況があることに気づいた。

そのためLEDによるサインを、システム内部の処理によって本来切り替えるべきタイミングで即時切り替えるのではなく、GPIOを操作するスレッドを正常に停止できるまで、GPIOを操作する別スレッドの生成を待機させることでGPIOの操作の一時的な衝突を回避するという修正が必要となった。

続いて、データベース操作に関する部分の単体テストを表4.3に示す。

表 4.3. データベース単体テスト

No.	分類	検証内容	検証結果	確認日
1	データベース	端末ごとのデータを正しくデータベースに格納できているか	○	1月5日
2		端末ごとのデータを正しく取得できるか	○	1月5日
3		当日分の全データの取得が正しくできるか	○	1月4日
4		直近5分間の更新があるデバイスのリストを取得できるか	○	1月5日
5		データベースから直近5回分の二酸化炭素濃度データの取得できるか	○	1月4日

ここでは、センサデバイスからの取得データに対するデータベースの動作を検証するかわりに、疑似的なデータを与えた場合に、想定した操作を行えるかどうかを検証したが、概ね問題なく動作することが確認できた。

#### 4.2.2. 結合テスト

結合テストでは、Jetson nano 側で動作するメインプログラムと、データベース操作のプログラムの連携のほか、他のメンバーの担当箇所との統合も含めてテストを行い、デバイス類との通信に関する部分や、人数推定プログラムの動作も検証した。ここで、実施した結合テストを表4.4に示す。



表 4.4. 結合テスト

シナリオ		確認の流れ	確認結果	確認日
監視	1-1	Jetsonからセンサデバイスを開始させられること	○	1月13日
	1-2	Jetson側でセンサの値を受信できること	○	1月13日
	1-3	受信したデータをデータベースに適切に格納できること	○	1月13日
	1-4	必要なデータをデータベースから取り出せる	○	1月13日
	1-5	人数判別プログラムから推定人数を受け取れること	○	1月13日
入室危険度	2-1	室外デバイスで入室危険度を表示できる	○	1月13日

結合テスト実施までに、各自の担当箇所について単体テストを実施し、プログラムやメソッド、関数等が単体で正常に動作することが確認された。結合テストでは、単体テストの検証項目について、動作が保証されたうえで、それらを組み合わせた場合の動作を確認できた。

#### 4.2.3. 総合テスト

総合テストでは、実際の運用を想定した環境で検証を行った。ただし、感染症予防の観点から大人数を集めて、二酸化炭素濃度の変動を確認したり、人数推定プログラムで何十人という人の数をどれくらいの精度で確認できるかといったことまでは、今回は確認することができていない。ここで、実施した総合テストを表 4.5 に示す。

表 4.5. 総合テスト

シナリオ		確認の流れ	確認結果	確認日
監視	1-1	Jetsonとセンサデバイスが接続できること	○	1月13日
	1-2	Jetsonと室外デバイスが接続できること	○	1月13日
	1-3	Jetsonがセンサの値を取得できること	○	1月13日
	1-4	Jetsonが画像を取得できること	○	1月13日
	1-5	Jetsonが人数を判別できること	○	1月13日
	1-6	状況に応じて警戒レベルを設定できること	○	1月13日
	1-7	夜の間は動作を停止させること	○	1月13日
換気要請	2-1	アラートを出せること	○	1月13日
入室危険度	3-1	室外デバイスが危険度に応じたLEDを点灯できること	○	1月13日
環境状態表示	4-1	室内のLEDを点灯できること	○	1月13日

このように、最終的に4つのユースケースを満足できることを確認するために、実際のシステム利用環境で検証を行い、各自の担当箇所がうまく統合され、正しく動作することを確認した。

また、デバイス類との接続とデータの取得・管理が正しく動作することを、結合・総合テストの実施によって確認できたことを踏まえ、部屋の滞在人数や換気状況の変化に対するシステムの動作確認を行うために、室内環境を仮想的に表すデータとして、表4.6のようなデータを3分ごとにデータベースに与えて動作させた。なお、表4.6はテストデータを記録したデータベースの内容を示しており、recordIDはレコードに割り当てられた通し番号、dtはセンサデータ取得日時、devIDはセンサデータを送ったデバイスのID、co2が二酸化炭素濃度を示す。以下のデータは、センサデバイス2台の3分おき20回分のデータ取得を想定している。ただし実際には、このほかにもいくつかのフィールドがデータベースに記録されているが、ここでは省略している。

表 4.6: テストデータ

recordID	dt	devID	co2
1	2021-01-16 14:38:43	1	581
2	2021-01-16 14:38:43	2	580
3	2021-01-16 14:41:43	1	587
4	2021-01-16 14:41:43	2	592
5	2021-01-16 14:44:43	1	593
6	2021-01-16 14:44:43	2	603
7	2021-01-16 14:47:43	1	622
8	2021-01-16 14:47:43	2	621
9	2021-01-16 14:50:43	1	644
10	2021-01-16 14:50:43	2	656
11	2021-01-16 14:53:43	1	667
12	2021-01-16 14:53:43	2	694
13	2021-01-16 14:56:43	1	689
14	2021-01-16 14:56:43	2	712

表 4.6: テストデータ

15	2021-01-16 14:59:43	1	703
16	2021-01-16 14:59:43	2	739
17	2021-01-16 15:02:43	1	724
18	2021-01-16 15:02:43	2	802
19	2021-01-16 15:05:43	1	769
20	2021-01-16 15:05:43	2	812
21	2021-01-16 15:08:43	1	796
22	2021-01-16 15:08:43	2	833
23	2021-01-16 15:11:43	1	811
24	2021-01-16 15:11:43	2	855
25	2021-01-16 15:14:43	1	824
26	2021-01-16 15:14:43	2	889
27	2021-01-16 15:17:43	1	829
28	2021-01-16 15:17:43	2	856
29	2021-01-16 15:20:43	1	811
30	2021-01-16 15:20:43	2	833
31	2021-01-16 15:23:43	1	798
32	2021-01-16 15:23:43	2	791
33	2021-01-16 15:26:43	1	783
34	2021-01-16 15:26:43	2	786
35	2021-01-16 15:29:43	1	779
36	2021-01-16 15:29:43	2	784
37	2021-01-16 15:32:43	1	753
38	2021-01-16 15:32:43	2	779
39	2021-01-16 15:35:43	1	737
40	2021-01-16 15:35:43	2	771

また、上のデータを与えた場合に求められる、室内の二酸化炭素濃度代表値と警戒

レベルは以下のようになり、滞在人数の値に対して、感染リスクが求められる様子を確認した。ただし、システムの運用環境は、広さが100平方メートルで、5平方メートルに1人までが滞在でき、最大で20人までが滞在可能な部屋を想定している。

表 4.7: 分析結果と滞在人数に対するリスク評価

番号	日時	co2 代表値	警戒レベル	滞在人数	感染リスク
1	2021-01-16 14:38:43	-	0	8	-
2	2021-01-16 14:41:43	-	0	9	-
3	2021-01-16 14:44:43	-	0	8	-
4	2021-01-16 14:47:43	-	0	10	-
5	2021-01-16 14:50:43	581	0	14	-
6	2021-01-16 14:53:43	592	1	15	green
7	2021-01-16 14:56:43	603	1	15	green
8	2021-01-16 14:59:43	622	1	17	green
9	2021-01-16 15:02:43	656	1	16	green
10	2021-01-16 15:05:43	694	1	17	green
11	2021-01-16 15:08:43	712	2	17	green
12	2021-01-16 15:11:43	739	2	18	yellow
13	2021-01-16 15:14:43	802	3	18	red
14	2021-01-16 15:17:43	812	3	17	yellow
15	2021-01-16 15:20:43	833	3	16	green
16	2021-01-16 15:23:43	798	2	15	green
17	2021-01-16 15:26:43	786	2	15	green
18	2021-01-16 15:29:43	784	2	16	green
19	2021-01-16 15:32:43	779	2	17	green
20	2021-01-16 15:35:43	771	2	18	yellow

以上のデータは、室内にほとんど人がいない状態から徐々に人数が増えていき、二酸化炭素濃度・警戒レベルが上昇し、換気アラートが出され、感染リスクが高まったことを受け、換気が行われ感染リスクが安全水準に戻される様子を想定している。

今回は、初回起動時を想定したため、データの始まりは14時台であるものの二酸化炭素濃度分析のために必要な5回分の取得データがない状態から始まり、警戒レベルは初めに0に設定され、初めの4回分のデータ分析では、部屋の二酸化炭素濃度の代表値は導出されない。このように、データ数が少ない時には、提供できる情報がないものの、システムが稼働していることは利用者に知らせる必要があることから、スタンバイ中であることを示すLEDサインを出力する。また、数分前に感染リスク評価を行っていた場合でも、接続デバイスから長時間データ更新がされなかった場合には、その感染リスクの情報の信憑性が下がることから、同じサインを出力させることとなっている。

5回目以降の分析時には、分析に必要なデータ数が揃ったことで、部屋の二酸化炭素濃度の代表値が定められ、警戒レベルと感染リスクの評価が行われる。ただし、5回目の分析では、室内の滞在人数が20人の75%を下回るため、警戒レベルとリスクの評価は行われない。

以降のデータ分析に関しても、上で示したテストデータと室内人数から、設計通りの分析ができたことが確認でき、二酸化炭素濃度の上昇に伴って、滞在可能な人数が制限され、より少ない人数しか滞在していない場合でも感染リスクが厳しくつけられ、警戒レベル上昇時に出される換気要請とともに、利用者に対して感染予防のためのアクションを促す機能が、設計通り実現されていることが確認できた。

今回は二酸化炭素濃度や室内の人数の変動を、実際の利用環境で再現することを避けたことから、このようなテスト環境で検証を行うこととなった。実際の利用環境でのテスト稼働時にも、授業などで大人数が出入りし、二酸化炭素濃度が上昇し警戒レベルを高めるような、実際の運用時に想定される環境変化こそ再現できていないものの、実際のシステム利用環境であっても、仮想的な室内環境を想定し、疑似的なデータを与えた検証時と同じように、設計通りの動作ができることが確認された。

## 第 5 章

### 評価・考察

本章では、本システムに対する評価・考察を行い、今後の課題や将来性についても述べる。

まず 3.1 節に挙げた、本システムが果たすべき 2 つの大きな役割に対して評価する。3.1 節において、本システムが果たすべき役割について、「感染症予防対策のルールを守ってもらうよう働きかける役割」、「感染症予防対策の基準を定める役割」の 2 つを挙げた。感染症予防対策のルールを守ってもらうよう働きかける役割については、室内環境に応じた換気要請の発出や、感染リスクのレベルの通知によって、換気や人数調整といった具体的なアクションを促すことが実現できていると考えられる。感染症予防対策の基準を定める役割については、利用者が感染症予防のためにとるべき、換気と部屋に滞在する人数の調整というアクションについて、感染症予防の観点から、部屋を安全な状態に保つため、具体的にその基準を定めることで、利用者自身が感染症予防のためにとるべきアクションを明確にすることが実現できていると考えられる。

また本システムでは、センサデバイスで取得したデータを随時データベースに記録しているほか、室内の滞在人数や警戒レベル、感染リスクといったデータも、センサデバイスからのデータ更新に伴って導き出されていることから、必要に応じてデータを保管しておくことで、システム外部で様々なデータの相関を調べることもできる。そのため、感染症予防対策の基準を定める役割に関しては、応用の余地があると考えられ、例えば以下のような応用の仕方が考えられる。

本システムでは、分析に活かせる多くのデータを導き出せるが、中でも設計の段階

から分析に役立てられるデータとして着目していたのは、警戒レベルと感染リスクのデータである。既に述べたように、室内にある程度の人数が滞在していないと警戒レベルの導出は行われない。そのため警戒レベルの推移のデータは、その部屋が警戒レベルを導出できる条件下で利用されているとき、どの程度二酸化炭素濃度が高まりやすいかを確認でき、運用ルール改定の基準にできる。また、警戒レベルと感染リスクのデータをシステム内部で分析し、本システムでは固定的である、二酸化炭素濃度と警戒レベル、警戒レベルと滞在可能人数の関係を、部屋の警戒レベルと感染リスクの変動の仕方に応じて流動的に変化させると、よりその部屋にあった感染症予防対策を講じることが可能になると考えられる。

感染リスクのデータは、換気状況など、部屋の運用の仕方が適切であるかどうかを示しているため、部屋が感染症予防対策上、危険な状態で使用されていないかを確認できる。そのため学校やオフィス、公共施設などでの利用のケースを想定すると、時間帯ごとの感染症予防対策への取り組みの徹底度合いが、エビデンスとして残されることから、管理者側からの適切な指導が行えるほか、各部屋の責任者となる者が、感染症予防対策に、より注意して取り組むことができると考える。

本システムの設計時の着想では、利用環境ごとに異なる、床面積の広さ・空間の広さ、換気のしやすさや窓の位置と数、換気設備の有無、部屋利用者の活動の仕方などに柔軟に対応し、利用環境に合わせた感染症予防対策の基準を定め、利用者に感染症予防対策のルールを守ってもらうよう働きかけられることが本システムの特徴であった。実際に、本システムは4.2節の総合テストでの検証のように、様々なシナリオにあった感染症予防の働きかけが可能となることが考えられる。しかしながら、本システムでの感染症予防対策の基準の決め方では、換気のしやすさや、部屋の床面積の広さのわりに、ものが多く置かれているなどの理由から実際の空間が狭いというような部屋の特徴が、そのまま二酸化炭素濃度の上昇の仕方に反映されることを前提としている部分があり、柔軟性に欠けていると考える。理想的な環境における本システムの実用性は確認されたものの、部屋ごとの特性を加味した感染症予防対策の基準を、実際の利用環境において適切に定めるためには、本システムでの室内環境の分析の仕方よりも複雑に、室内環境を分析する必要があるとも考えられ、部屋の特徴自体をシステムの分析機能によって導き出すことができると、現在のシステムと比較し、よりその部屋の特徴に適合した感染症予防対策の基準の設定を行うことができるため、更な

る研究と改良の余地が大いに残されていると考える。



## 第 6 章

### あとがき

本研究ではセンシング技術、物体検出技術、および複数デバイス間の無線通信という 3 つの技術とデータ分析の組み合わせによって、感染症予防という、研究・実用化が活発に進められる分野において新たな価値を生み出すことができた。感染症予防に関しては、既に様々な分野で研究・開発がなされているものと思われるが、今回私たちが開発したシステムも、感染症予防の取組を援用するシステムとして貢献できると考える。

また今回の研究では、感染症予防のために活用できるシステムの社会的な必要性が高まり、多くの企業や研究機関により研究・開発が進められている状況下で、感染症予防のために用いるシステムとして、3 密回避に役立てられるという、新型コロナウイルスの世界的な流行以前にはなかった新しい価値を持たせることも、1 つの目標として定められた。本研究において、私たちの考える感染症予防のサポートシステムの基本形を提案することができた。今後さらなる研究が進められれば、より高いリアルタイム性と精度を併せ持つモニタリングと、感染症予防対策基準の設定機能における更なる柔軟性を実現でき、より利用しやすいものへと改良が進められることから、拡張性のある研究であると考えている。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、懇篤な御指導、御鞭撻を賜りました本学高橋寛教授に深く御礼申し上げます。

本論文の作成に関し、詳細なるご検討、貴重な御教示を頂きました本学王森レイ講師に深く御礼申し上げます。

また、審査頂いた本学稲元勉講師ならびに井門俊講師に深く御礼申し上げます。

最後に、多大な御協力と貴重な御助言を頂いた本学工学部情報工学科情報システム工学講座高橋研究室の諸氏に厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 厚生労働省,2020-2,”新型コロナウイルス感染症対策の基本方針”,<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000599698.pdf>,(2020-12)
- [2] 水野忠則, 中條直也, 井上雅裕, 山田罔裕,”未来へつなぐデジタルシリーズ 組込みシステム”, 共立出版,2013
- [3] 株式会社オージス技研,”かんたん UML 増補改訂版”, 翔泳社,2003