

# 卒業研究報告

題目

3密回避のための室内環境情報の能動的提供機能の開発

指導教官

高橋寛教授

王森レイ講師

報告者

小田 恵吏奈

令和3年2月17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	3
第 3 章 感染症予防サポートシステムの設計	6
3.1 感染症予防サポートシステムの概要 . . . . .	6
3.2 要求定義 . . . . .	8
3.3 基本設計 . . . . .	11
3.4 使用部品の選定 (TWELITE) . . . . .	17
3.5 詳細設計 . . . . .	19
第 4 章 実装・検証	24
4.1 実装 . . . . .	24
4.2 検証 . . . . .	25
4.2.1. 単体テスト . . . . .	25
4.2.2. 結合テスト . . . . .	25
4.2.3. 総合テスト . . . . .	26
第 5 章 評価・考察	28
5.1 評価 . . . . .	28
5.2 考察 . . . . .	29
第 6 章 あとがき	30

謝辞	31
----	----

参考文献	32
------	----

## 第 1 章

### まえがき

昨今，新型コロナウイルス感染症が世界的に流行し，人々の生活に大きく影響を及ぼしている．そして感染症を予防するために，感染リスクの高い場面を避けることが呼びかけられている．新型コロナウイルス感染症は，一般的に飛沫感染および接触感染により感染し，密閉，密集，密接の3つの密によって感染リスクが高まると言われている [1]．感染リスクの高い「密閉」空間をつくらないために，換気が一つの方法として挙げられる．しかし換気を行った結果，どのように空気環境が改善されたかは一目でわかる訳ではない．ビル管理法における空気環境の基準として，浮遊粉じんの量，一酸化炭素の含有率，二酸化炭素の含有率，温度，湿度，気流，ホルムアルデヒドの量が定義されている [2]．愛媛大学工学部附属社会基盤 i センシングセンターの実験によると，部屋の換気の指標として二酸化炭素濃度の計測が有効と思われる結果が出ている [3]．室内の二酸化炭素濃度を測定して，危険な状態になる前に室内の利用者や管理者へ換気する注意喚起できるシステムがあれば，室内の利用者が感染リスクを回避することができる．また，室外の利用予定者（これから施設に入ろうとする人）に対しては，現時点の施設の利用状態を把握できれば，入室することを控えることで，密閉の未然防止につながる．

本研究では，利用者の多い大学の講義室での3密状態を避けるために，IoT センシング技術を用いて，室内の二酸化炭素の濃度値，温湿度値，在室人数などの室内環境をリアルタイムにモニタリングし，利用者と管理者に感染リスクを注意喚起する「感染症予防サポートシステム」を開発する．

本システムを開発するために、本研究では、4 人のメンバー（伊藤大輝，稲田一輝，小田恵吏奈，掛水誠矢）を 1 つのチームとし、開発を進める。開発チーム内の役割分担として、小田はセンサーとカメラで収集した施設内の環境情報（在室人数，入室できる人数，二酸化炭素濃度水準，換気状態，感染リスクなどの情報）を利用者対象別に積極的に提供する「室内環境情報の能動的提供機能」を開発することを目標とする。具体的には，無線マイコンモジュール TWELITE をエッジデバイスとして用いて，エッジサーバ（掛水，稲田，伊藤担当）で計測した室内に滞在している人の数と二酸化炭素濃度などの室内環境値をもとにした環境評価情報（部屋への入室の危険度）を部屋の利用者（室内の利用者と利用予定者）へモニタリング結果を通知する機能を開発する。

システムの開発は，V 字モデルに従って，グループで議論しながら共同で行った。また，共同開発中に，グループ内での考え方・進め方に矛盾が生じないように，UML(Unified Modeling Language) を用いて，システムの要求分析，基本設計，詳細設計を行った。

本論文の構成は下記のとおりである。第 2 章では本論文で用いる用語や研究方針について述べる。第 3 章では本システム全体の概要と V 字モデルに従った本システムの設計について述べる。第 4 章では，デバイスの実装と検証結果について述べる。第 5 章では実装・検証した本システムの評価を行い，考察を示す。第 6 章では本研究のまとめを行う。

## 第 2 章

## 準備

本章では，組込みシステム開発の開発プロセス（V 字モデル）と，設計の工程で作成した UML 図について述べる．

### V 字モデル [4]

V 字モデルとは，システム開発手法のモデルの一つで，設計，実装，開発を構成する各段階に対応する検証，テストを実施する方式である．以下の図 2.1 に V 字モデルの開発プロセスを示す．図 2.1 にも示すように，テストは左側の各段階と同じ高さにそれぞれ配置され，それぞれの段階の成果を検証する形で実施される．図 2.1 では，詳細設計は単体テスト，基本設計は結合テスト，要求定義は総合テストによって検証する．本研究では開発プロセスモデルとして V 字モデルを採用した．

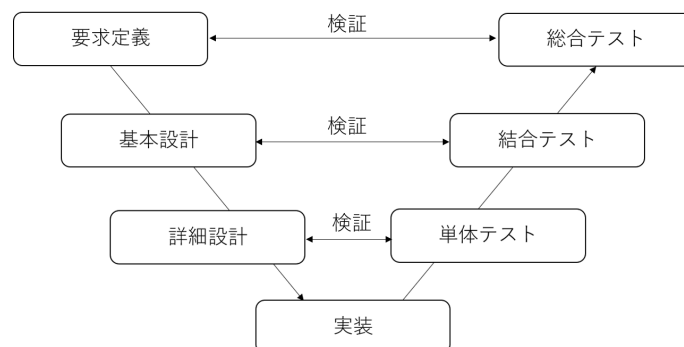


図 2.1. V 字モデル

## UML(Unified Modeling Language)[5]

UMLとは統一モデリング言語 (Unified Modeling Language) のことである。OMG (Object Management Group) と呼ばれる企業団体の標準規格として正式に承認されており、オブジェクト指向を用いている。

### ユースケース図 [5]

ユースケース図とは、UMLで定義されている図のひとつであり、ユーザやクライアントの要求事項、システムに対して課せられている基本機能やサービス項目などの要件定義を表現するときに広く用いられる。現在考えているシステムを中心に置き、システムとその利用者(外部システムを含む)とのやりとりを表現する。利用者や外部システムをアクターとし、各アクターごとにシステムが提供する機能やサービスを識別したものをユースケースとして表現する。

### クラス図 [5]

クラス図はUMLの基本となる図のひとつである。問題領域の構造や対象システムの静的な構成、システムの詳細設計、あるいは企業の部門の業務モデルの基本構造、問題解決の最初のとっかかりとなる概念マップの構築、といったことに広く使うことができる。クラス図を使うことで、対象システムを構成するクラス(概念や事物・事象)とそれらの間に存在する関連(意味的・物的な繋がり)を表現できる。また、各オブジェクトがどのような属性やアクション(操作)を持っているかも合わせて記述することができる。

### アクティビティ図 [5]

アクティビティ図とは、UMLで定義されている図のひとつであり、アプリケーションのある機能の動作の様子など、システムのワークフローを表現する。並列処理や待ち合わせ同期といった並行表現ができる。

## シーケンス図 [5]

シーケンス図とは，UML で定義されている相互作用図の一種であり，システムの一機能が時間経過の中でどのように動くかという動的な振る舞いを表現する．オブジェクト間のメッセージのやりとりを時系列に沿って記述するため，振る舞いを順番に追っていくのに役立つ．

## ステートチャート図 [5]

ステートチャート図とは，UML で定義されている図のひとつである．一つのシステムやオブジェクトのライフサイクルを状態遷移図として表現する．



## 第 3 章

# 感染症予防サポートシステムの設計

本章では、まず 3.1 節では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。3.2 節ではユースケース図を用いて、感染症予防サポートシステムの要求定義を述べる。3.3 節ではクラス図を用いて、感染症予防サポートシステムの基本設計について述べる。3.4 節では、筆者が担当する室内の環境情報を利用者へ提出するエッジデバイスとして使用する無線マイコンモジュール TWELITE ボードについて説明する。3.5 節ではシーケンス図を用いて感染症予防サポートシステムの詳細設計を述べる。

### 3.1 感染症予防サポートシステムの概要

本節では、感染症予防サポートシステムの目的、要求仕様及び概要を述べる。

まず、今回作成する感染症予防サポートシステムの目的としては、感染症予防の観点から感染リスクのレベルを通知するとともに、感染リスクを軽減する環境づくりをサポートすることである。この目的を基にし、システムは、下記の 2 点の要求事項を満たす必要がある。

- 室内環境が測定できること。
- 設定した感染リスクの基準に従って通知ができること。

上述の「室内環境が測定できること」という要求事項は、二酸化炭素濃度、温湿度、室内滞在人数が測定できるということである。また、上述の「設定した感染リスクの基

準に従って通知ができること」という要求事項は、ユーザーに対して、ブザーやLEDを用いて能動的に環境値が基準値を超えていることを知らせることである。

以上の要求事項を満たすためには、本研究では、Webカメラと各種センサを室内に設置することで、室内の二酸化炭素の濃度値、温湿度値、在室人数などの室内環境をリアルタイムにモニタリングを行い、室内の感染リスクを自動的に解析し、室内外のユーザーに感染リスクを通知する感染症予防サポートシステムを提案する。

本研究において対象とする部屋は、学校の教室など、数人から数十人程度が利用する部屋とする。

本研究で提案するシステムを使用する流れを図3.1に示す。

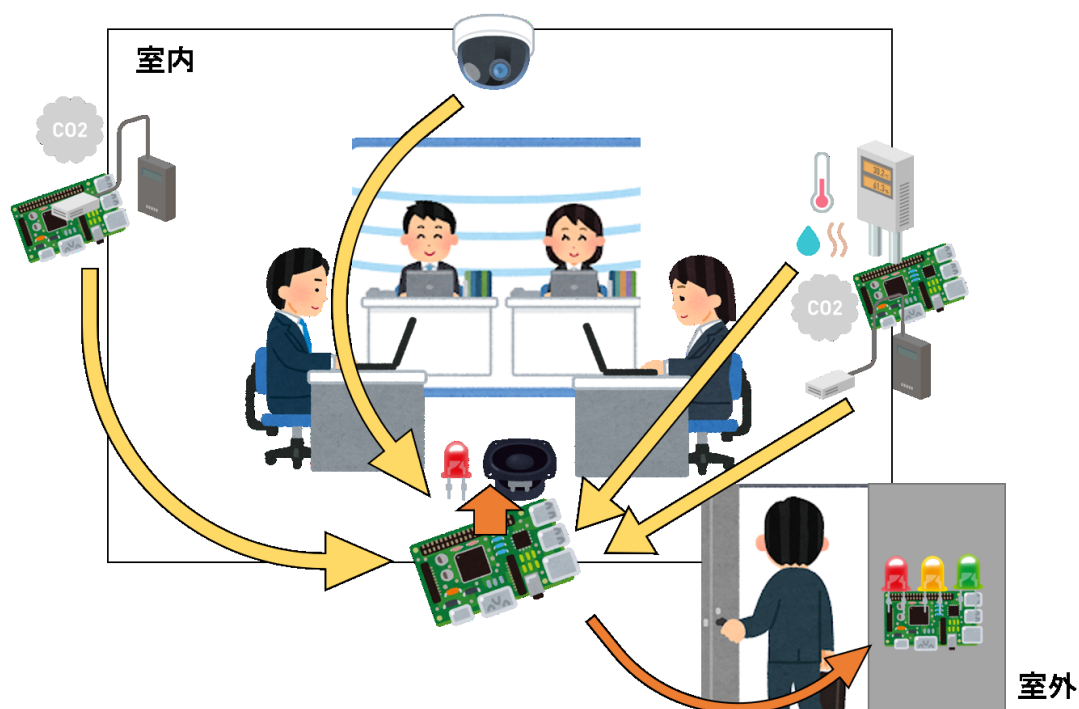


図 3.1. システム全体の流れ

まずパソコン上で部屋の大きさを入力することで、部屋に滞在できる上限人数が設定され、標準警戒レベルでの室内モニタリングが開始される。各種センサやWebカメラでモニタリングした結果を評価し、LEDやブザーを用いて室内外のユーザーに通知する。使用するハードウェア、ソフトウェアの役割を以下の図3.2に示す。

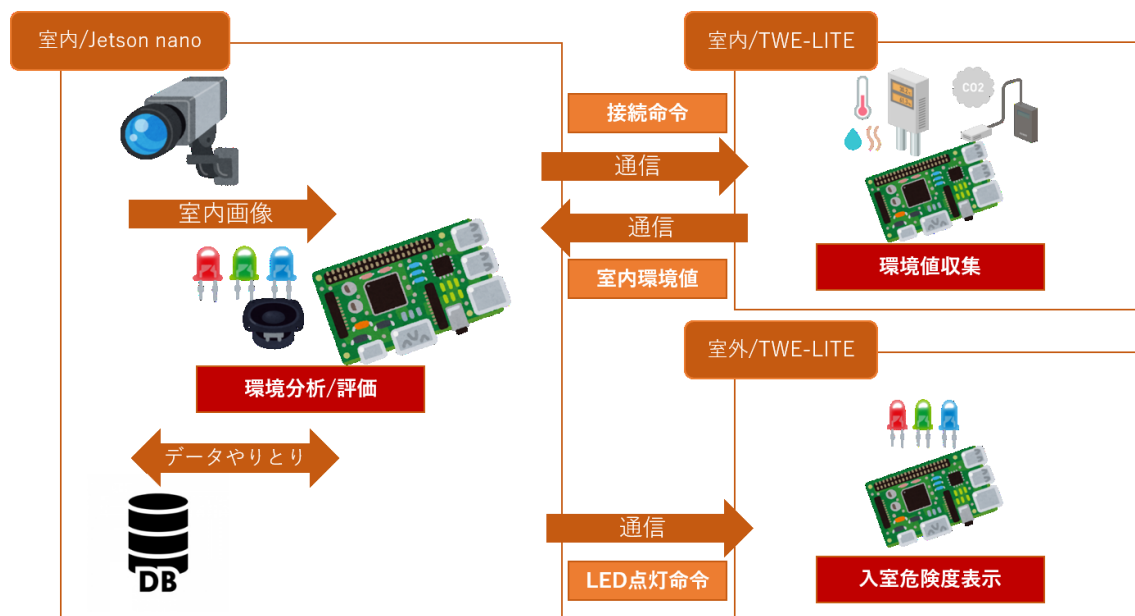


図 3.2. システムのイメージ図

感染症予防サポートシステムはデータの分析・評価を行う Jetson nano, データ収集を行うセンサデバイス, および入室危険度を表示する室外デバイスから構成される。各種センサデバイスから室内の温湿度や二酸化炭素濃度の情報を, Web カメラから室内の画像を取得し, その情報を Jetson へ送信する。Jetson ではカメラ画像から室内の人数を判別し, その他の室内環境情報と合わせて警戒レベル・入室危険度を決定して, 室内に向けてアラートを発すると同時に室外デバイスに入室危険度を送信する。室外デバイスは受信した入室危険度に応じて LED を点灯する。

なお, 本システムの開発は, センサデバイスの作成を稲田一輝が, 人数判別部を伊藤大輝が, データ管理・分析・評価や室内アラートの制御を掛水誠矢が, 室外表示デバイスの作成を小田恵史奈が担当した。

## 3.2 要求定義

感染症予防サポートシステムがどのような機能を持ち, どのような振る舞いをするかを表すために以下の図 3.3 に示すユースケース図を作成した。

感染症予防サポートシステムの各ユースケースについて述べる。「室内環境を監視す

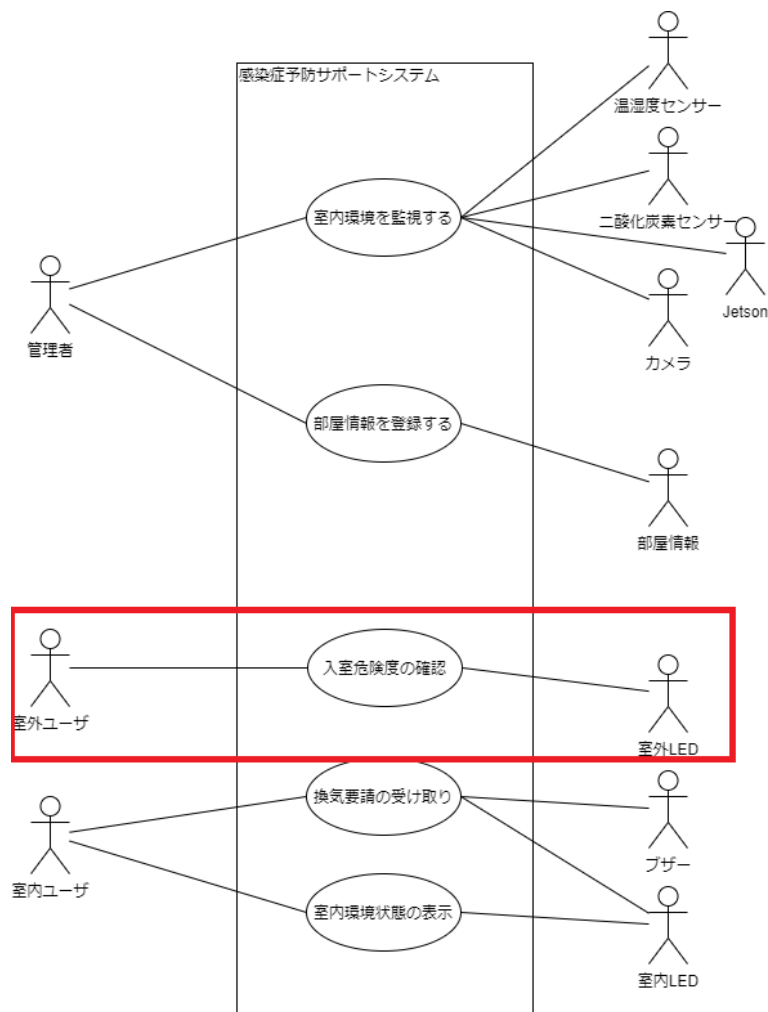


図 3.3. ユースケース図

る」では、Webカメラにより取得した画像について人数推定を行い、室内人数に応じた監視モードを開始する。監視モードで測定した二酸化炭素濃度に応じて警戒レベルを設定し、必要に応じて換気要請を出すなどの対応をとる。「部屋情報を登録する」では、管理者が登録した、システムを運用する部屋の広さを元に、標準警戒レベルでの滞在可能上限人数を定める。「入室危険度の確認」では、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室外デバイスのLEDを点灯する。「換気要請の受け取り」では、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、LEDやブザーによって換気要請が出され、室内のユーザーは要請に従い換気を行う。「室内環境状態の表示」では、温湿度の一定時間ごとの測定値を元に室内環境を分析し、温湿度が基準値を超えている場合は室内のLEDが点灯する。これを受けた室内のユーザーは、エアコン等により温湿度の調整を行う。特に赤枠で囲んだ「入室危険度の確認」は筆者が実装を担当する部分となる。

上記のユースケースを受け、表3.1に示す総合テストの項目を挙げた。

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

システムの構造を論理的、静的にみるために以下の図 3.4 に示すクラス図を作成した。

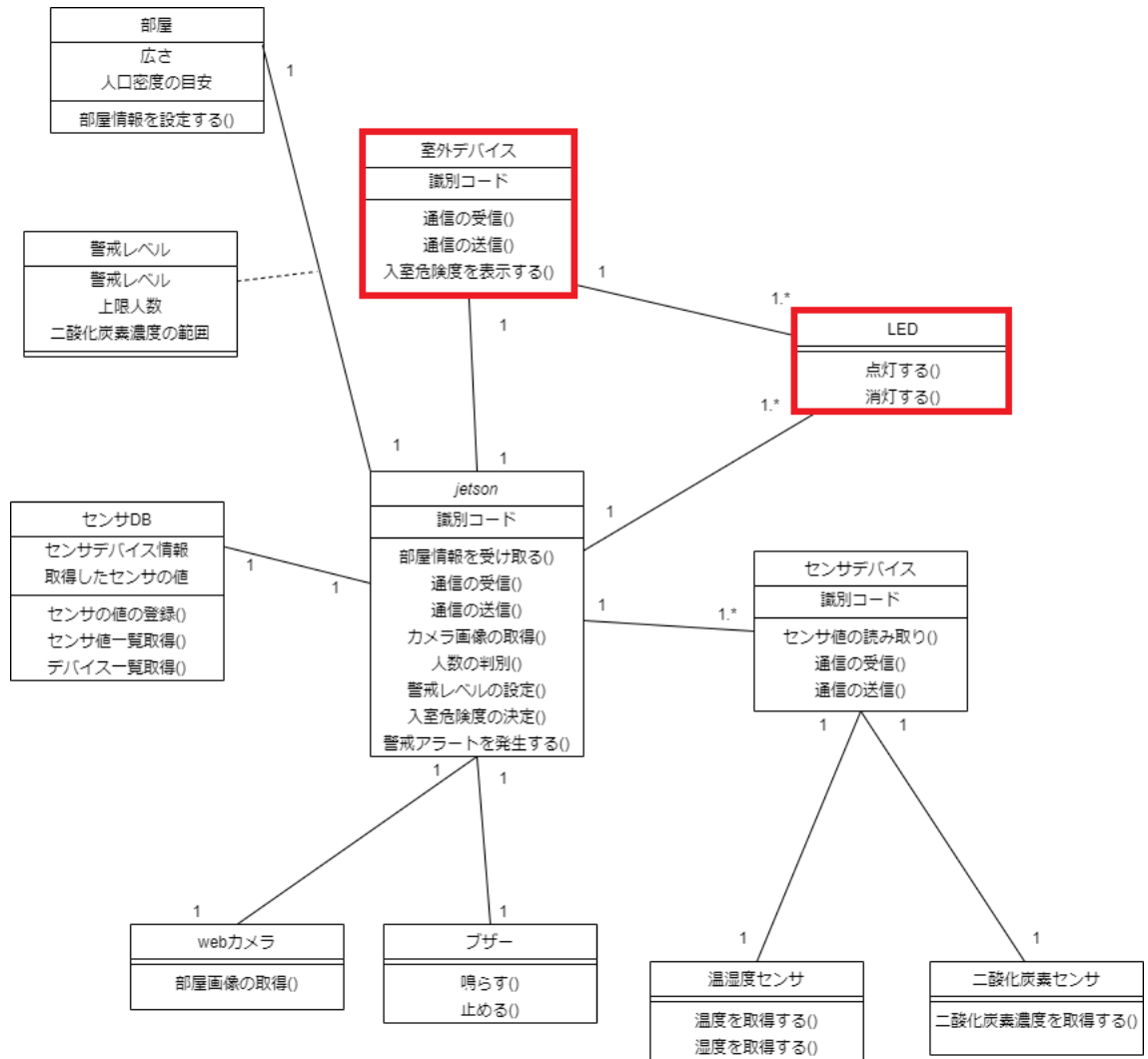


図 3.4. システムのクラス図

システムの構成要素として、まずデータ処理等を行う Jetson クラスがある。Jetson 一つに対し、室外デバイス、Web カメラ、ブザーがそれぞれ一つずつ存在し、部屋情報クラス、センサデータベースクラス、警戒レベルクラスと関連する。Jetson 一つに対しセンサデバイスは複数存在し、センサデバイスは、温度湿度センサと二酸化炭素セ

ンサをそれぞれ一つずつ持つ。赤枠で囲んだ室外デバイスと LED については筆者が実装する部分となる。室外デバイスは Jetson と通信するための識別コードがあり、通信の送受信、入室危険度の表示を LED を用いて行う。

次にユースケースの処理の流れを示すアクティビティ図を作成した。換気要請の受け取りについてのアクティビティ図を図 3.5 に、室内環境の監視についてのアクティビティ図を図 3.6 に、入室危険度の確認についてのアクティビティ図を図 3.8 に示す。

「換気要請の受け取り」、「室内環境の監視」、「入室危険度の確認」については、3 分経過ごとに、センサデバイスが読みだした二酸化炭素濃度を Jetson が受信・記録し、室内の人数推定を行うまでは同じ流れとなる。

「換気要請の受け取り」については、LED とブザーによる換気要請を出す場合と出さない場合の条件を示している。室内滞在人数が滞在上限人数の 75%を超えている場合、二酸化炭素濃度が 15 分間連続して基準値を超えていれば換気要請を出し、基準値を超えていなければ換気要請の LED を消灯させる。室内滞在人数が滞在上限人数の 75%を超えていない場合は、二酸化炭素濃度が上限値を超えていれば換気要請を出し、上限値を超えていなければ換気要請の LED を消灯させる。

「室内環境の監視」については、警戒レベルの設定についての流れを示している。室内滞在人数が滞在上限人数の 75%を超えている場合、二酸化炭素濃度が 15 分間連続して基準値を超えていれば警戒レベルを上げ、逆に二酸化炭素濃度が 15 分間連続して基準値を下回っていれば警戒レベルを下げ、それ以外の場合は何もしない。

「入室危険度の確認」については、室内滞在人数が規定人数を超えている場合、入室危険度を「赤」とし、室内滞在人数が規定人数を超えていない場合は、滞在推奨人数を超えるか否かで分岐する。滞在人数が滞在推奨人数を超えている場合、入室危険度を「赤」とし、超えていない場合は、滞在推奨人数を下回らなければ入室危険度を「黄」、滞在推奨人数を下回っていれば入室危険度を「青」とする。ここで入室危険度について、「赤」は感染リスクが高まっており人数調整が必要な状態、「黄」は現在の滞在人数ならば維持できる状態、「青」は感染リスクを高めない範囲で人数を増やすことができる状態を示す。定めた入室危険度を Jetson から室外デバイスへ送信し、室外デバイスは入室危険度に応じた色の LED を点灯させる。赤枠で囲んだ室外表示デバイスの動作については筆者が実装を担当する。

「室内環境の表示」については、3 分経過ごとにセンサデバイスが読みだした温湿

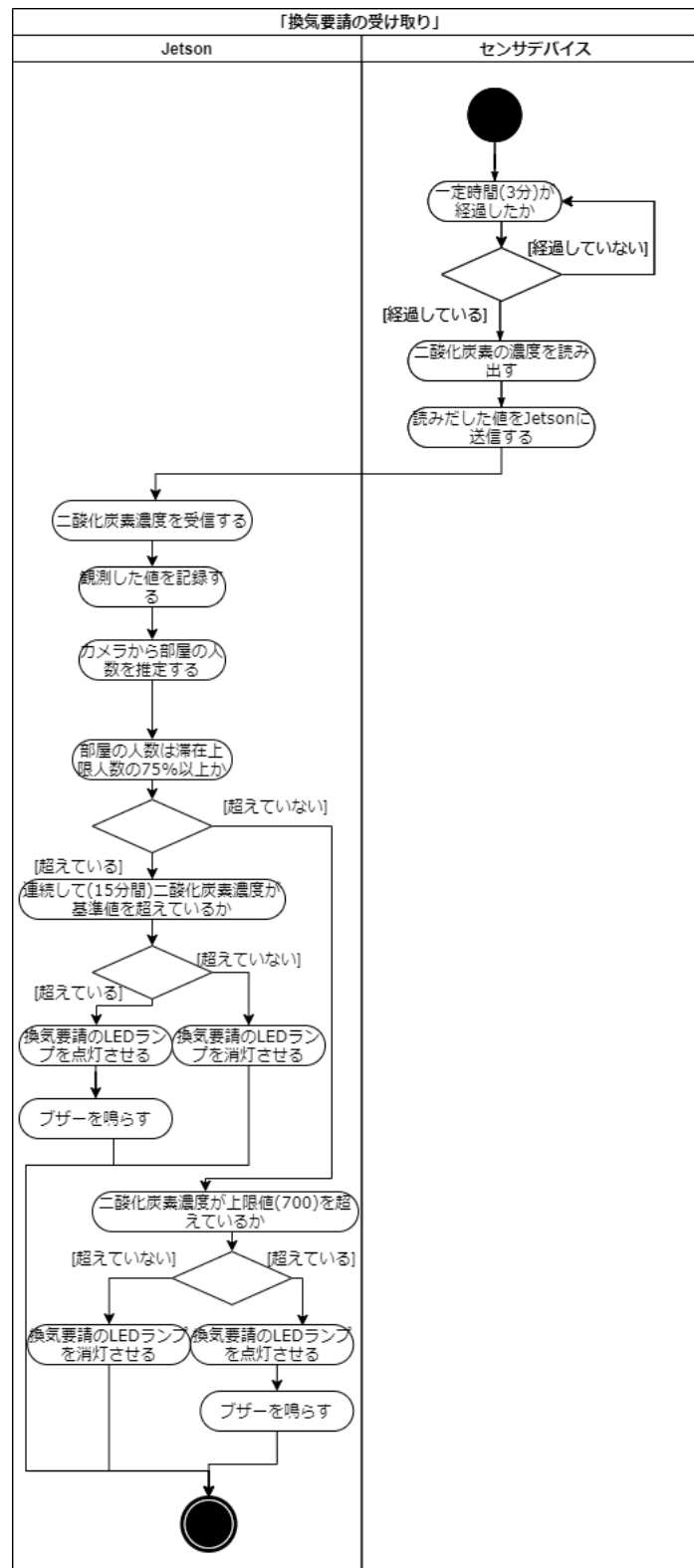


図 3.5. 換気要請の受け取りについてのアクティビティ図



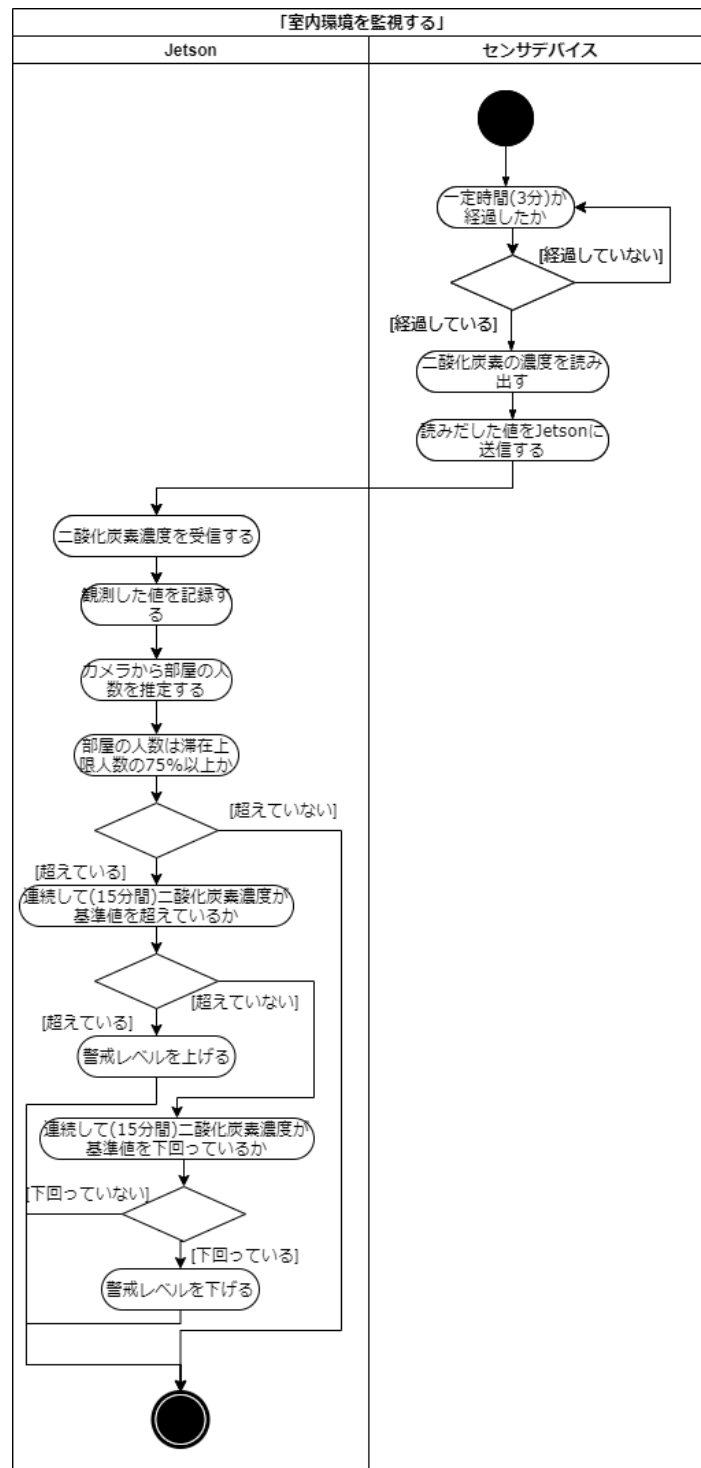


図 3.6. 室内環境の監視についてのアクティビティ図

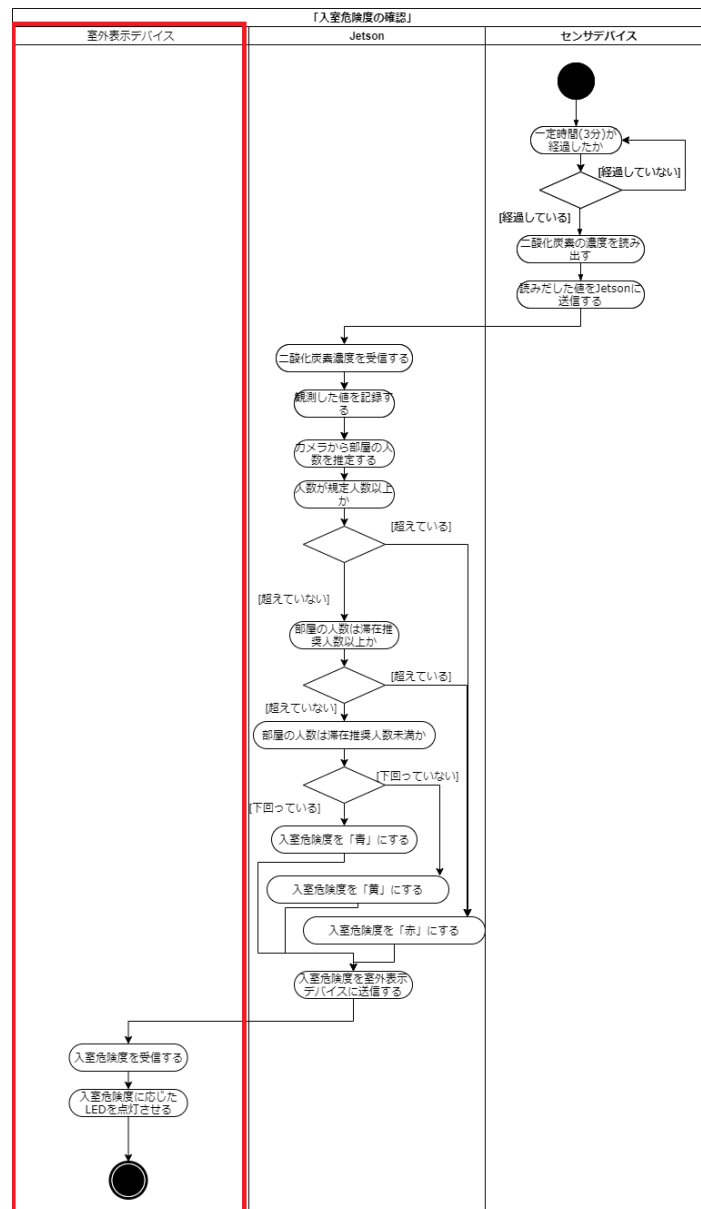


図 3.7. 入室危険度の確認についてのアクティビティ図

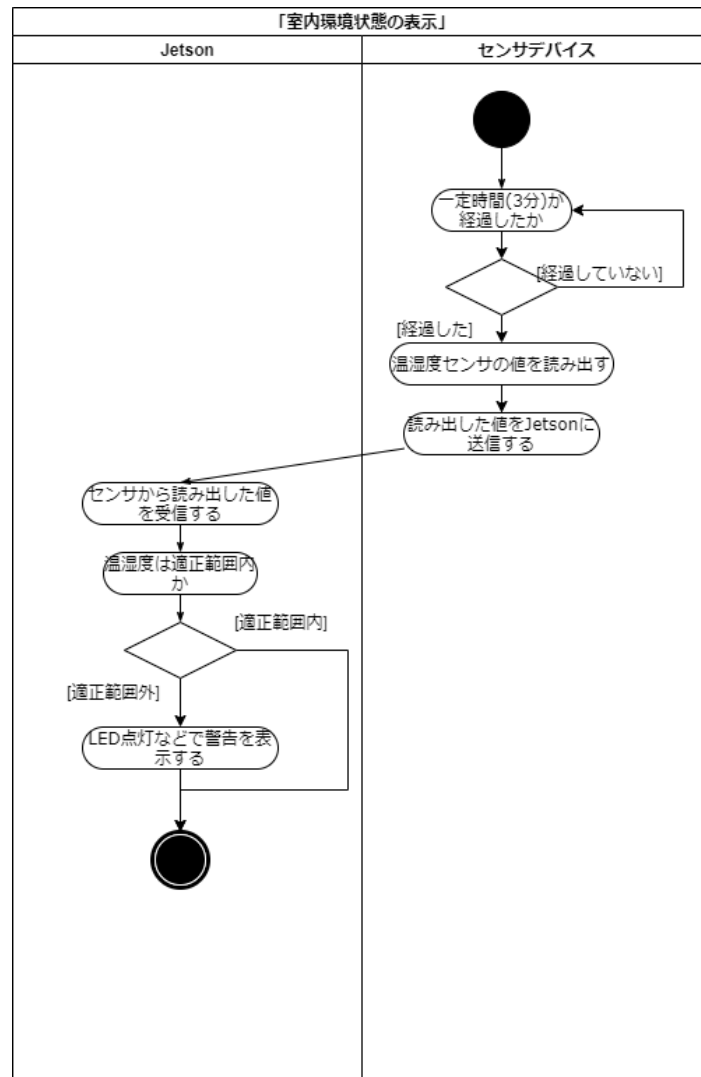


図 3.8. 室内環境の表示についてのアクティビティ図

度を Jetson が受信し，温湿度が適正範囲外の場合は室内の LED が点灯することで警告する。

以上の基本設計より表 3.2 に示す結合テスト項目を挙げた。

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 使用部品の選定 (TWELITE)

基本設計の段階において，筆者が担当した室外デバイスで使用する部品の選定を行った。室外デバイスのマイコンについては，モノワイヤレス株式会社の無線マイコンである TWELITE を使用した [6]。室外デバイスは Jetson と通信する必要があり，また，コードの配線を考えずに済むように無線通信ができるマイコンを採用することとした。さらに設置場所の制約を少なくするため，室外デバイスはできるだけサイズを小さくしたい。このため，マイコンボードに無線機能があらかじめ実装されているもの，乾電池で動作できるものを採用することとした。ただし，乾電池の一般的な起電力である 1.5V で動作するマイコンボードはほとんどないため，ここでは乾電池を 2 本使用して 3V で動作するものとする。以上の理由より，起電力 3V で動作し，無線機能があらかじめ実装されている TWELITE を選定した。今回使用したのは TWELITE DIP BLUE である (図 3.9)。以下の表 3.3 に仕様を示す。

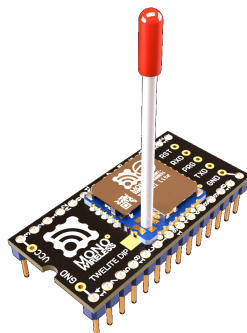


図 3.9. TWELITE DIP BLUE

表 3.3. TWELITE DIP BLUE の仕様

送信出力	+2.50dBm
受信感度	-95dBm
送信電流	15.3mA (+2.50dBm 出力時)
受信電流	17.0mA
外形寸法	35.7mm x 17.7mm x 3.5mm (アンテナ, コネクタ, 端子除く)
重量	3.6g (マッチ棒アンテナ版) 3.7g (同軸コネクタ版) (アンテナ, コネクタ, 端子除く)
動作電圧	2.3~3.6V
動作温度	-40~85 °C
電波認証	ARIB STD-T66 (技適)

### 3.5 詳細設計

オブジェクト間のメッセージのやりとりを時系列に沿って表現するために、以下に示すシーケンス図を作成した。換気要請についてのシーケンス図を図 3.10 に、室内の監視についてのシーケンス図を図 3.11 に、室内環境についてのシーケンス図を図 3.12 に、入室危険度についてのシーケンス図を図 3.13 に示す。

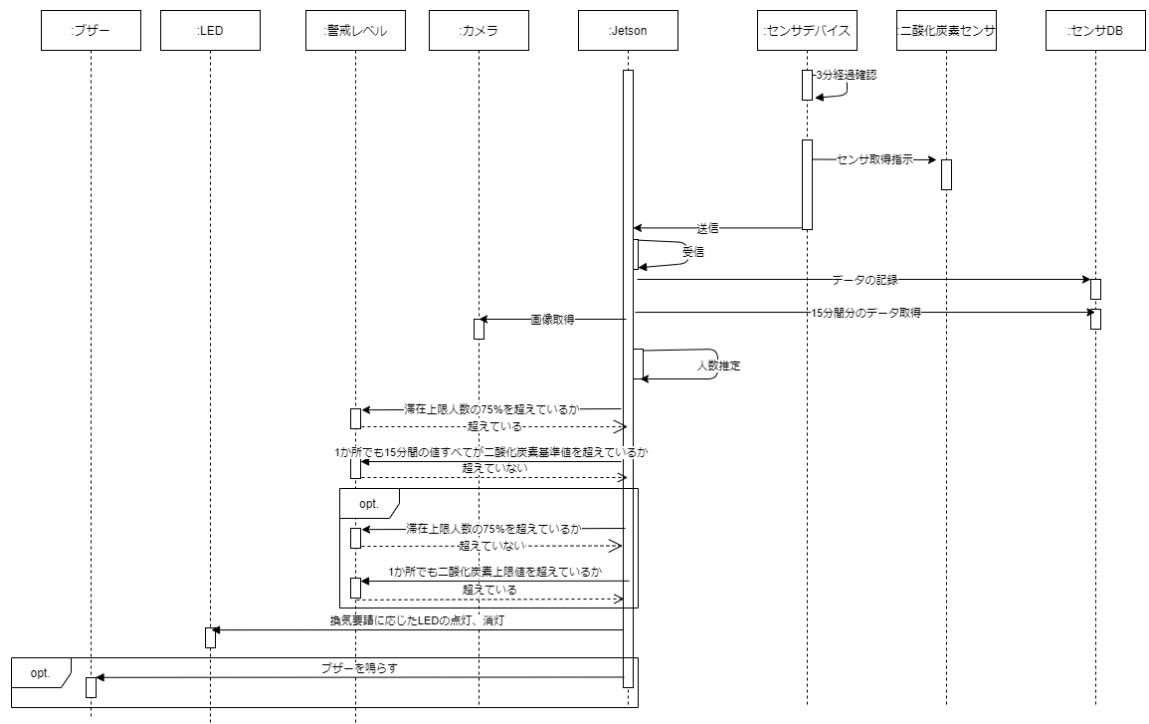


図 3.10. 換気要請についてのシーケンス図

「換気要請」について、まずセンサデバイスが3分経過ごとに二酸化炭素センサへ値の取得指示を出す。取得した二酸化炭素濃度を Jetson へ送信し、Jetson はセンサデータベースへデータを記録した後、15 分間分のデータをデータベースから取得する。次にカメラから画像を取得し人数推定を行う。推定した人数と取得した二酸化炭素濃度値を、警戒レベルが保有する上限人数と二酸化炭素濃度の基準値と比較し換気要請の判断を行う。その後換気要請に応じて LED とブザーに指示を出す。

「室内の監視」について、システムを起動すると Jetson はセンサデバイスへ開始の指示を行う。指示を受けたセンサデバイスは二酸化炭素センサへ値の取得指示を出す。

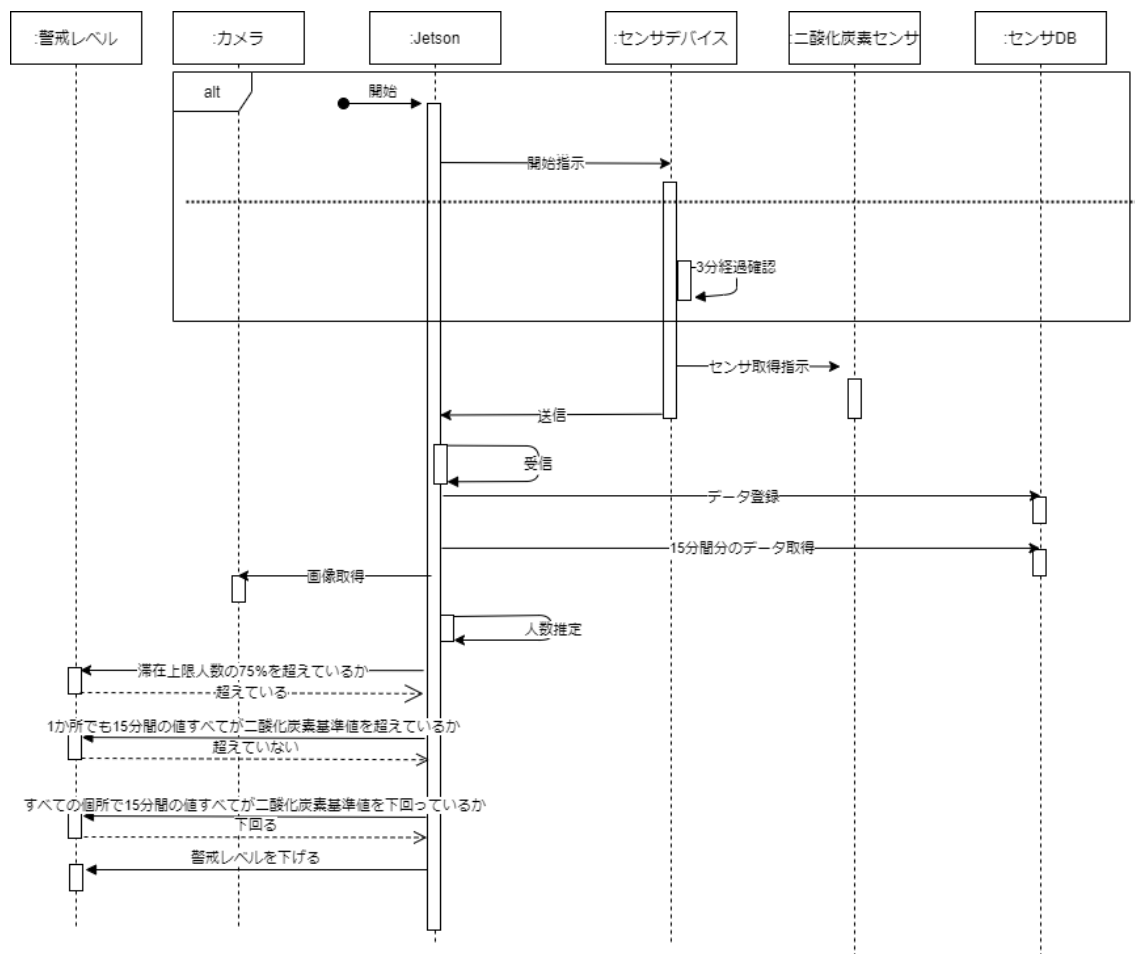


図 3.11. 室内の監視についてのシーケンス図

その後はセンサデバイスが3分経過ごとに二酸化炭素センサへ値の取得指示を出し、人数推定を行うまで「換気要請」の場合と同様であり、推定した人数と取得した二酸化炭素濃度値を、警戒レベルが保有する上限人数と二酸化炭素濃度の基準値と比較し、警戒レベルを設定する。

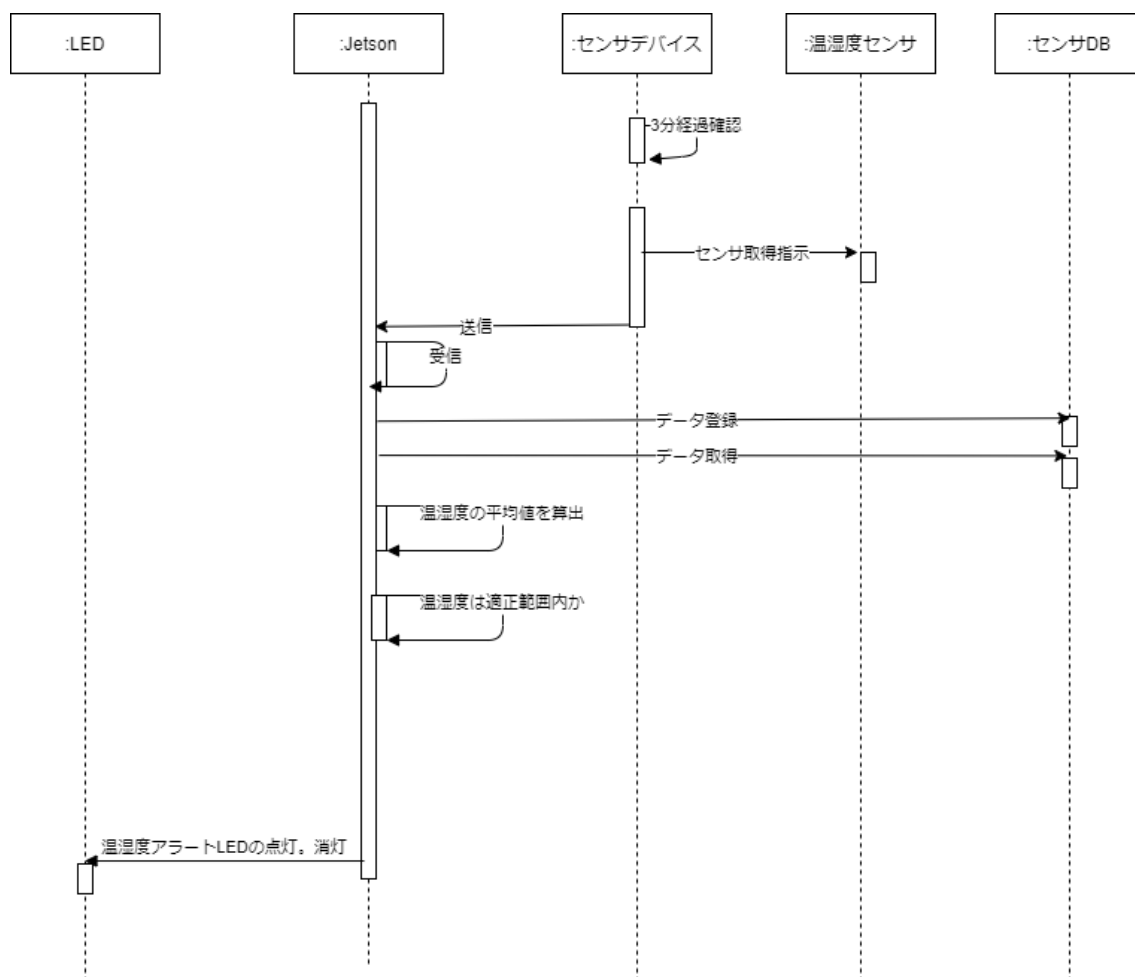


図 3.12. 室内環境についてのシーケンス図

「室内環境」について、まずセンサデバイスが3分経過ごとに温湿度センサへ値の取得指示を出す。取得した温湿度を Jetson へ送信し、Jetson はセンサデータベースへデータを記録した後、これまでの温湿度データを取得する。温湿度の平均値を算出し、適正範囲内か否かによって温湿度アラート LED を制御する。

「入室危険度」について、人数推定を行うまでは「換気要請」等と同様の流れであ



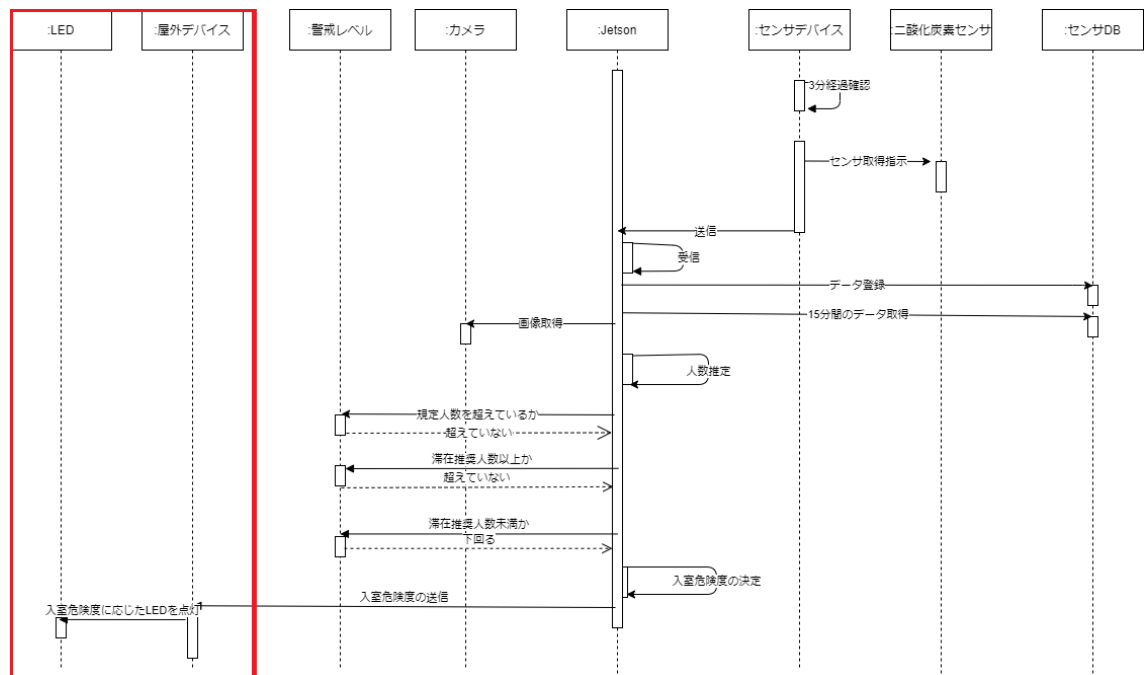


図 3.13. 入室危険度についてのシーケンス図

る。その後、現在の室内滞在人数と、警戒レベルが保有する滞在上限人数、滞在推奨人数を比較し入室危険度を決定する。Jetson から室外デバイスに入室危険度を送信し、室外デバイスは入室危険度に応じて LED の制御を行う。赤枠で囲んだ屋外デバイスと LED は筆者が実装を担当する。

次に、筆者が実装を担当した室外デバイスの状態チャート図を図 3.14 に示す。

室外デバイスはシステムが稼働している間、常に入室危険度の受信待機状態であり、Jetson から入室危険度が送られてきた場合に入室危険度に応じた色の LED が点灯する。

以上の詳細設計より表 3.4 に示す室外デバイスにおける単体テスト項目を挙げた。

表 3.4. 室外デバイスにおける単体テスト項目

シナリオ	確認の流れ
入室危険度表示	1 0x00を受け取りLEDが全て消灯
	2 0x01を受け取り赤LEDのみが点灯
	3 0x02を受け取り黄LEDのみが点灯
	4 0x03を受け取り緑LEDのみが点灯

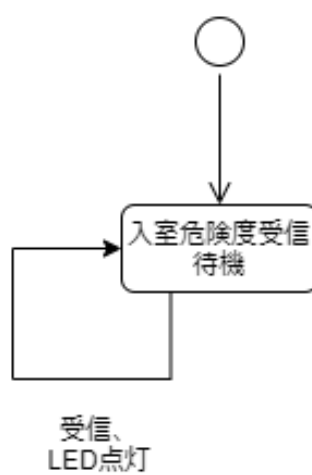


図 3.14. 室外デバイスのステートチャート図

## 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設計したシステムの実装および検証について述べる。4.1 節では、各設計に基づいて行った実装について述べる。4.2 節では詳細設計を単体テストによって、基本設計を結合テスト、要求分析を総合テストによって検証した結果を示す。

### 4.1 実装

第 3 章で述べたシステム全体の機能はグループで実装を行い、筆者は室外表示用のデバイスの実装を担当した。室外デバイスの動作としては、Jetson から入室危険度を受信し、入室危険度に応じた LED の制御を行うというものである。また、第 3 章でも述べたように、無線マイコンとして TWELITE を用いて実装を行った。マイコンボード上で動作するソフトウェアについては、TWELITE MWX ライブラリを利用し、C++ 言語を用いて開発を行った。図 4.1 が実際に作成した室外デバイスである。

筆者が担当する室外表示デバイスに対して単体テストを行った。その後、グループメンバーが開発した機能部と合わせて結合テストと総合テストを行った。以下、検証項目について述べる。

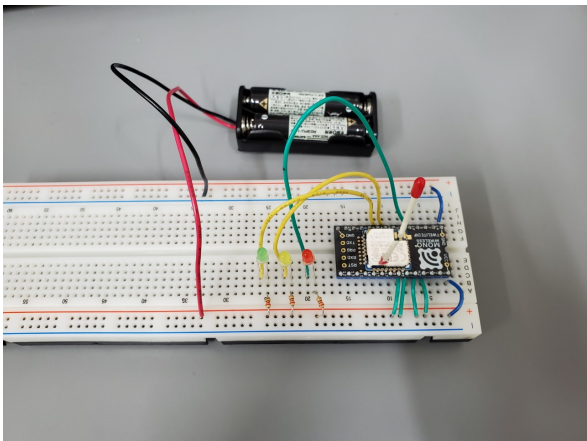


図 4.1. 作成した室外デバイス

## 4.2 検証

### 4.2.1. 単体テスト

詳細設計の際に挙げた単体テストの項目に従って単体テストを行った。単体テストの結果を表 4.1 に示す。

表 4.1. 室外デバイスの単体テストの結果

シナリオ	確認の流れ	確認結果	確認日	確認者
入室危険度表示	10x00を受け取りLEDが全て消灯	○	1月4日	小田
	20x01を受け取り赤LEDのみが点灯	○	1月4日	小田
	30x02を受け取り黄LEDのみが点灯	○	1月4日	小田
	40x03を受け取り緑LEDのみが点灯	○	1月4日	小田

単体テストの実施においては、TWELITE の UART 接続を用いてデバイスを PC に接続して行った。単体テスト項目 1～4 まで PC 上から室外デバイスにコマンドを送り、すべて消灯した状態と各入室危険度を表す LED の制御が正しくできることを確認した。

### 4.2.2. 結合テスト

基本設計の際に挙げた結合テストの項目に従って結合テストを行った。結合テストの結果を表 4.2 に示す。

表 4.2. 結合テストの結果

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

結合テストは、環境値評価と人数推定を同一プログラムで行える状態で、データベース操作のプログラムも同一の Jetson で行えるようにして状態で実施した。

項目 1-1 については、センサデバイスの電源が入っている状態で Jetson の処理プログラムを開始したところ、LED の状態変化によりセンサデバイスが正しく動作することを確認した。項目 1-2 については、Jetson の処理プログラムを実行することでセンサデバイスから電波を受信していることを確認した。項目 1-3 については、処理プログラムの動作中にデータベースに格納された値を定期的を確認し、受信したデータを適切に格納できていることを確認した。項目 1-4 については、データベースにデータが格納されている状態から、その値を用いた評価ができていることを確認した。項目 1-5 については、プログラムの中で人数推定の結果を正しく受け取れていることを確認した。項目 2-1 については、Jetson 上で評価した入室危険度に応じて室外デバイスの LED が正しく点灯していることを確認した。

### 4.2.3. 総合テスト

要求定義の際に挙げた総合テストの項目に従って総合テストを行った。総合テストの結果を表 4.3 に示す。

総合テストは実際にシステムの利用を想定した環境で行った。項目 1-1 については、システム実行時にセンサデバイスが Jetson からの開始信号を受け取ることで LED の状態が変化し、Jetson とセンサデバイスが接続できていることを確認した。項目 1-2 については、システム実行時に室外デバイスの LED がすべて消灯されるようにすることで、Jetson と室外デバイスが接続できていることを確認した。項目 1-3 については、Jetson がセンサデバイスから値を受信し、その後の処理に利用できていることを

表 4.3. 総合テストの結果

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

確認した。項目 1-4 については、Jetson が Web カメラから画像を取得し、その画像を Jetson と接続した PC 上に表示することで正しく画像が取得できていることを確認した。項目 1-5 については、人数の異なる集合写真を用いて人数推定を行い、おおむね正しく人数判別できていることを確認した。項目 1-6 については、人数の多い集合写真を用いて、室内滞在人数が多く、二酸化炭素濃度値が基準値より高い場合に警戒レベルが上がっていることを確認した。同様にして、項目 2-1 と項目 4-1 について、換気要請のブザーや室内 LED が正しく動作することを確認した。項目 1-7 については、設定した時間中、センサ値の取得およびシステムの処理が中断されることを確認した。項目 3-1 については、Jetson が評価した入室危険度に応じて室外デバイスの LED が正しく点灯することを確認した。

## 第 5 章

## 評価・考察

本章では，感染症予防システムおよび筆者が担当する感染リスク通知デバイスについての評価と考察を行う．

### 5.1 評価

第 3 章では，感染症予防サポートシステムは，感染症予防の観点から感染リスクのレベルを通知するとともに，感染リスクを軽減する環境づくりをサポートするという目的を基にして，下記の 2 点の要求事項を満たす必要があるとした．

- 室内環境が測定できること．
- 設定した感染リスクの基準に従って通知ができること．

「室内環境が測定できること」という要求事項に関して，作成したシステムは二酸化炭素濃度，温湿度，室内滞在人数の測定ができるため，要求を満たすことができたといえる．「設定した感染リスクの基準に従って通知ができること」という要求事項に関しては，警戒レベル，換気要請の基準，入室危険度を設定し，警戒レベルおよび入室危険度は LED，換気要請はブザーによって，ユーザーに感染リスクの情報を，視覚や聴覚で分かりやすく能動的に通知することができた．室外のユーザーには室外デバイスによる LED での入室危険度の通知，室内のユーザーにはブザーと LED による換気要請や警戒レベルの通知というように，対象とするユーザーによって提供する情報，提

供の方法を変えることで、室内外から共に感染リスクを軽減する環境づくりをサポートするシステムとなった。

## 5.2 考察

今回作成した感染リスク通知デバイスは 3 色の LED で入室危険度を分かりやすく表示するというものである。理想的には、センサーとカメラで収集した施設内の環境情報（在室人数、入室できる人数、二酸化炭素濃度水準、換気状態、感染リスク等の情報）を利用者対象別に提供することが望ましいが、ハードや時間の制約のために、室内外への感染リスクに関する基本的な情報提供機能のみの実装となり、すべての環境情報をユーザーに知らせるまで至らなかった。しかしながら、在室人数、入室可能人数、二酸化炭素濃度等の数値に関して、本システムはデータを収集できている。今後、ディスプレイ等を使用すれば、Jetson から各種データを受け取ることで室内外により詳細な環境情報を表示できると考える。



## 第 6 章

### あとがき

本研究では，感染症予防に着目し，IoT センシング技術を用いて，施設の環境値の収集や室内滞在人数の推定により設定した感染リスクを自動的に通知する，感染リスクを軽減するための感染症予防サポートシステムを作成した．本システムは感染リスクを分かりやすく自動で通知することで，普段その場の環境について意識しない人に対しても行動を促すことができる．今回実装した機能においてユーザーが特に触れることになる機能は，室内ユーザーへのブザーおよび LED による換気要請と警戒レベルの通知と，室外ユーザーへの LED による入室危険度の表示である．感染リスクに関する基本的な情報提供機能は実装できたが，収集した在室人数や入室上限人数，二酸化炭素濃度のデータを，ディスプレイ等の追加により，より多くの室内環境情報を提供することができるなどの改良の余地がある．近年では感染症予防について，様々な分野からアプローチがなされているが，本研究が一つのアプローチとして貢献できる．

## 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甲斐博准教授ならびに王森レイ講師に深く御礼申し上げます。

本研究に際しご審査いただきました稲元 勉講師、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, 新型コロナウイルスに関する Q&A (一般の方向け) | 厚生労働省, [https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou\\_iryoku/dengue\\_fever\\_qa\\_00001.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryoku/dengue_fever_qa_00001.html), 2021-1-4
- [2] 厚生労働省, 「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法, <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000618969.pdf>, 2020-4-3
- [3] 中畑和之, 森伸一郎, 板垣吉晃, 河合慶有, ”コロナウイルス対策のための教室換気実験とアラートシステムの構築,” 愛媛大学工学部社会基盤iセンシングセンター報告資料, 2020 年 11 月.
- [4] V 字モデル (V-model) とは -IT 用語辞典 e-Words, <https://e-words.jp/w/V>
- [5] 株式会社 オージス総研, かんたん UML[増補改訂版], 翔泳社, 2003
- [6] モ ノ を つ な ぐ 無 線 マ イ コ ン モ  
ジュール TWELITE-トワイライト - MONO-WIRELESS.COM, <https://mono-wireless.com/jp/products/TWE-LITE/index.html>