

卒業研究報告

題目

IEEE802.15.4 準拠の低消費電力無線通信モジュールを用いた
室内環境値計測デバイスの実装

指導教官

高橋寛教授

王森レイ講師

報告者

稲田 一輝

令和3年1月20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 |
| 3.3.1. 使用部品・モジュールの選定 | 18 |
| 3.4 詳細設計 | 19 |
| 第 4 章 実装・検証 | 27 |
| 4.1 実装 | 27 |
| 4.2 検証 | 31 |
| 4.2.1. 単体テスト | 31 |
| 4.2.2. 結合テスト | 36 |
| 4.2.3. 総合テスト | 36 |
| 第 5 章 評価・考察 | 38 |
| 5.1 評価 | 38 |
| 5.2 考察 | 39 |
| 第 6 章 あとがき | 40 |

| | |
|----|----|
| 謝辞 | 41 |
|----|----|

| | |
|------|----|
| 参考文献 | 42 |
|------|----|

第 1 章

まえがき

近年、新型コロナウイルスなどの感染症の拡大が世界中で話題となっており、多くの場所に影響を及ぼしている。例えば、あるアンケートによると全体の 81.1% の人が健康に関する意識が変化したと回答している [1]。特に感染症に感染するリスクを気にする人も多く、リスクに関しての情報を正しく得ることが求められる。新型コロナウイルスを例にとってみると、飛沫感染、および接触感染によって感染されている。特に、密閉、密集、密接といった、いわゆる「3 密」によって感染リスクが高くなると言われている [2]。

情報が知れ渡ると共に、今度はそのような状況を作らないことが同時に求められるようになっており、各方面から呼びかけが行われている。それらの状況を作り出さないための方法として、例えば換気が挙げられるが、実際に換気によってどの程度空気環境が変わったのかは目で見てわかるものではない。換気によって変わった空気環境を測るための基準としては浮遊粉塵の量、一酸化炭素濃度、二酸化炭素濃度、温度、湿度などが挙げられている [3] が、これらすべてを計測し、判断することは容易なことではない。この中でも温度、湿度については安価に計測機器を手に入れることができるが、それだけでは感染リスクという面から見た空気状況の判断が十分に行えるとは言いがたい。一方で、愛媛大学工学部社会基盤 i センシングセンターの実験によれば、部屋の換気状況の指標として二酸化炭素濃度の計測が有用であると思われるとの結果が出ており、この計測が重要となる。

しかしながら、二酸化炭素濃度も計測できる機器においてはコンセントから常時電

源供給が必要であるものがほとんどとなっている。これではコンセントなどの電源が供給するものが近くに必要となるなど、設置場所が限られてしまう。また、それによって複数箇所に設置するのが難しくなるため、部屋の一か所の状況しか知ることができない場合が多い。それでは、部屋全体の状況ではなく設置する場所の特性を反映したものになってしまい、正確なデータが収集しにくいという面を持つ。このように、設置場所が限られてしまうなどにより、理想的な場所や複数箇所に設置できないため、安易に導入できないという大きな障害が生じている。

そこで、本研究では、部屋の中の環境を総合的な観点からモニタリングし、その感染症リスクを分かりやすく表示でき、かつそれが容易に設置できる感染症予防サポートシステムの作成を目的とした。この目標を達成するために、本研究では、乾電池で動作し、かつ無線でセンサのデータを送信する、従来より設置場所に縛られない小型のセンサを開発することを目標とする。

感染症予防サポートシステム全体の開発においては、V 字モデルに従い、グループ（伊藤大輝，稲田一輝，小田恵吏奈，掛水誠矢）で開発を行った。また、要求分析，基本設計，詳細設計においては UML（Unified Modeling Language）を用いた。

本論文の構成は下記のとおりである。第 2 章では本研究で用いる用語や研究方針，本システム全体の概要について述べる。第 3 章では 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，環境値収集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，研究方針のフローと，本論文で使用する用語について述べる．

V 字モデル

V 字モデルとはソフトウェアの開発の流れを示したもののひとつである．以下の図 2.1 に V 字モデルの開発プロセスを示す．横軸は開発の時間軸であり，縦軸は詳細化の程度を表している [10]．最初は全体的な設計を行い，そこから詳細化した設計へに移る．一方でテストに関しては部分部分のテストから全体のテストへと移っていく．図 2.1 にも示すように，V 字モデルにおいては，設計とテストが詳細化の程度の点で対応して行うものとなっている．各段階の設計に合わせたテストを計画，実施し，それが満たされているかを検証する．本研究では開発プロセスモデルとしてこの V 字モデルを採用した．

UML(Unified Modeling Language)

UML とは統一モデリング言語 (Unified Modeling Language) のことで，設計の仕様を表すものである [7]．UML においては設計の表現として，着目する点ごとに複数の図表が定義されている．設計の内容を ビジュアル的に表現しており，顧客，および開発者間での統一した解釈を図れるようになっている．UML は OMG(Object Management Group) によって標準規格に認定されており，オブジェクト指向を用いたものとなって

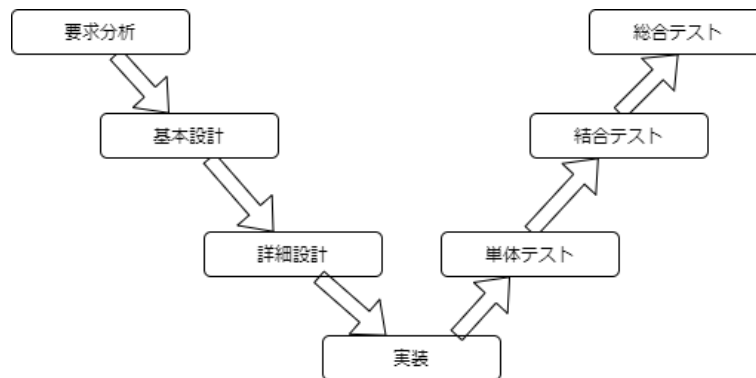


図 2.1. V字モデル

いる [7]。そのため、オブジェクトごとのカプセル化がなされ、再利用もしやすいという特長を持つ。

ユースケース図

ユースケース図とは、UMLで定義されている図のうちのひとつである。どのような機能を持っているのかということを外部からの視点で整理するために用いられる [6]。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）を表す [7]。ユーザーから見てシステムがどのように動作しているのかを示したものがユースケース図である。

アクティビティ図

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る。ひとつの業務のワークフローを示したものの [7] であり、その処理がどのような順番で行われる華夏が時系列に沿って示される。処理の順番や並列処置の内容を示したものがアクティビティ図である。

クラス図

クラス図はUMLの基本となる図のひとつである。システム内のオブジェクトのうち共通部分のあるものをクラスとしてまとめ、それらの関係を示す。システムや対象

領域の静的な構造を表した図である.

シーケンス図

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類である. システム内でそれぞれのオブジェクトがどのようなやり取りを行うことで処理が進むのかを示したものであり, それを時間軸に沿って整理した図である. オブジェクト間のメッセージのやり取りを時間の観点で表した図である.

ステートチャート図

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. ひとつのオブジェクトの内部状態がイベントによってどのように変化していくのかを示した図法 [7] であり, システム構成要素の状態遷移を示す.

IEEE802.15.4

IEEE802.15.4 とは IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) によって定義されている無線規格の一つである. OSI 参照モデルの物理層, およびデータリンク層の標準を定めている規格である. 近距離通信として無線 PAN(Personal Area Network) に用いるものとして規定されている [5]. 速度は 250kbps, 40kbps, 20kbps[4] と比較的遅いが, 無認可で利用可能な周波数を用いているという特徴がある. 使用周波数については複数種類指定されているが, 本研究においては日本での一般使用を想定しているため, 920MHz および 2.4GHz として利用する. 電力管理により, 低消費電力が実現できるという点が特長である.

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、アクティビティ図を用いて感染症予防サポートシステムの基本設計を述べる。また、各部品・モジュールの選定についても述べる。3.4節ではシーケンス図、ステートチャート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、本システムにおいては、二酸化炭素濃度をはじめとし、温度、湿度や人数といった環境値を観測、評価するシステムで以下の条件を満たすことを目的とした。

- あらかじめ指定されたガイドラインだけでなく、部屋の特性にも配慮して評価を行える。
- 導入が容易でセンサを部屋の任意の場所に設置できる。
- 感染リスクが必要な人に対して、分かりやすく表示できる。

以上のような目的を定めた理由を下記に述べる。本システムは、学校の教室など、数人から数十人程度が使用する大きさの部屋を対象として考えた。しかしながら、学校

の教室を例にとってみても、同じ敷地面積であったとしても、設置されている場所によって、窓の数や部屋の形状は大きく異なり、同一の尺度で評価をするのは理想的とは言えない。そこで、学校などの団体によって敷地面積に対しての適正収容人数や換気間隔がガイドラインとして定められている場合であっても、そのガイドラインだけでなく、実際の環境値から予測される部屋の特性も考慮したうえで環境を評価する必要があるとした。また、教室の中においても入り口付近と窓の近くによっては、換気状況などが変わってくる場合があり、それらも容易に観測できるよう、センサの場所に制約をできるだけ課さない必要があるとした。そのほか、一般的なものでは、温湿度、二酸化炭素濃度で観測された値をそのまま表示しているものもあるが、一般的にユーザーが知りたいのは値そのものではなく、その結果がよいのか悪いのか、どうしなければならないのかということである。それと同時に、温湿度、二酸化炭素濃度の値の結果、換気が必要になったらその情報を伝えなければいけないのは部屋の中にいる人たちであり、一方で部屋の中の人数の状況を伝えなければいけないのは、部屋に入室しようと考えている人である。このように、本システムが使用されることを考えたときに、部屋の状況を確認したい人が確認したい情報を的確に知ることが大切であるとし、これらを実現させることを目的とした。

以上の要求事項を満たすために、電池のみで長時間動作するセンサデバイス、その値を適切に評価する処理デバイス、および部屋の内外に簡潔で分かりやすく感染リスクや対処法を示す表示デバイスから構成される感染症予防サポートシステムを提案する。

このシステムの対象環境の想定を以下に示す。

- 数人から数十人程度が使用する大きさの部屋であること。
- 天井など、カメラを設置すると部屋の大部分が映るとともに、部屋の中にいるほとんどの人から確認できる、見晴らしの良い場所があること。
- 学校や団体などのガイドラインによって、部屋面積に応じた滞在上限人数が決まっていること。
- 窓や換気扇があり、換気が可能な部屋であること。
- 加湿器やエアコンの操作ができ、加湿や温度調整が可能な環境であること。

- 1日のうち、夜中の時間帯など、ほぼ使用されない時間が、12時間程度存在していること。

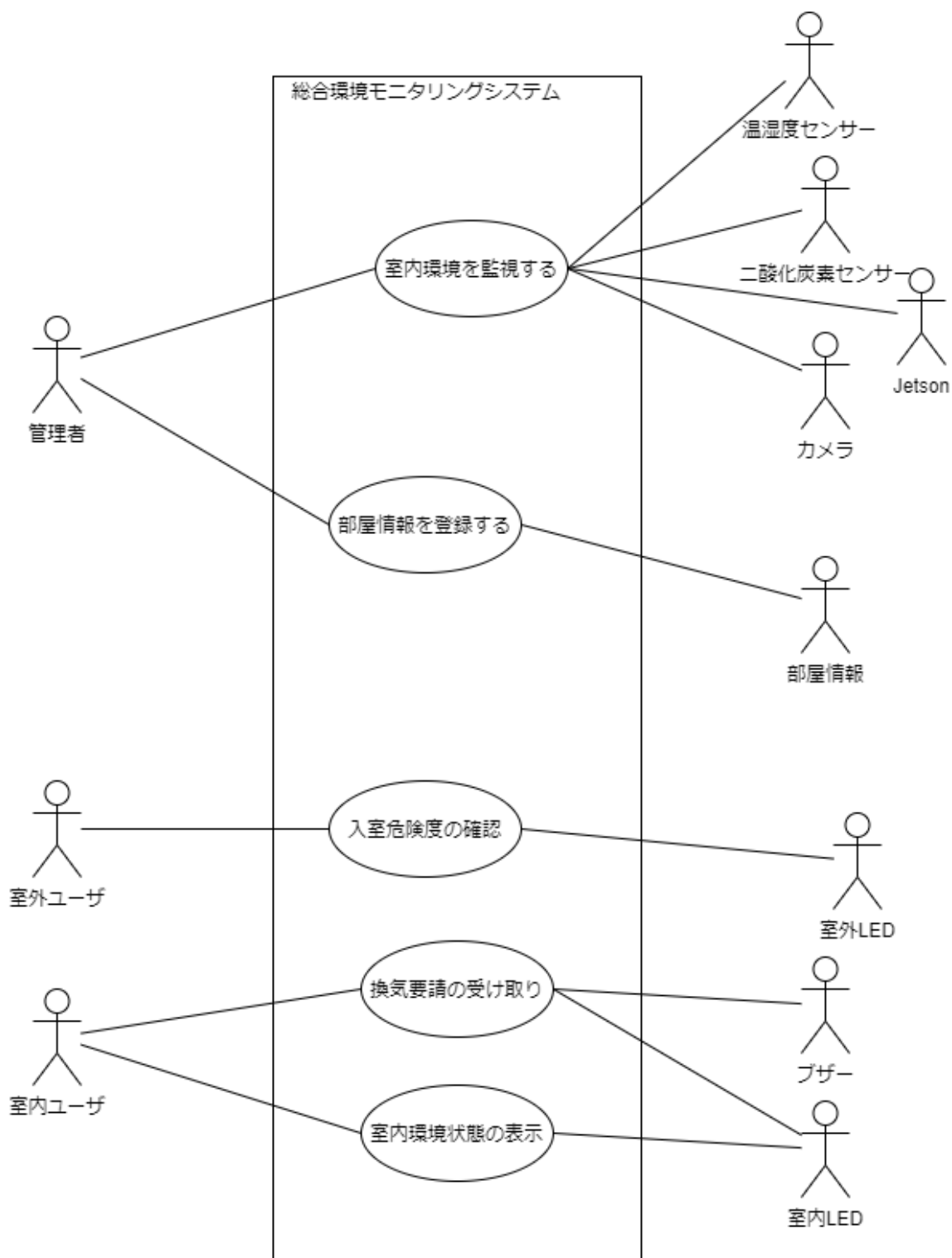
このシステムの動作の流れを述べる。まず、部屋の複数個所に設置されたセンサデバイスにより、各場所の温湿度、二酸化炭素濃度が測定される。センサデバイスはその情報を処理デバイスである Jetson に送信する。受信を行った Jetson は受信した値と、接続された Web カメラから得られた部屋の画像をもとに部屋の人数など、部屋状況の推定を行う。部屋状況をもとに、指定のガイドラインや部屋特性も把握したうえで現在の感染リスク、および換気が必要か否かを表示する。それと同時に部屋の外にある表示デバイスに部屋の中の感染リスクを通知し、屋外デバイスはその内容を表示する。

なお、本システムの開発は、Web カメラによる人数推定を伊藤大輝が、センサデバイスを稲田一輝が、屋外表示デバイスを小田恵吏奈が、処理デバイスを掛水誠矢が担当した。

3.2 要求定義

本節では感染症予防サポートシステムの機能、要求定義を述べる。本システムのユースケースを図 3.1 に示す。

各ユースケースの詳細について述べる。「室内状況を監視する」ユースケースは、管理者によって開始され、一定時間ごとに部屋状況の評価を行う。具体的には、センサデバイスに接続された温湿度センサ、二酸化炭素センサと Jetson に接続されている Web カメラの画像をもとに Jetson が部屋状況の推定、評価を行う。「部屋情報を登録する」ユースケースは、管理者によって開始され、システムに部屋情報を登録するものである。この部屋情報は、学校や団体で指定されているガイドライン上で何人が上限であるかを計算するために、部屋の敷地面積をシステムに登録する。「入室危険度の確認」ユースケースは、部屋の外にいる人が室外表示デバイスを介して部屋状況を確認するものである。監視によって評価された部屋状況に応じて、部屋の入り口付近に設置した室外表示デバイスの LED が点灯する。点灯している LED の色を部屋の外にいる人が確認することで入室危険度を知ることができる。「換気要請の受け取り」ユースケースは、屋内にいる人が換気が必要な状況であるかどうかを知るものである。監視によっ



て評価された部屋状況に応じ、換気が必要と判断された場合、室内にある Jetson に接続された LED が点灯し、同時にブザーが鳴る。これによって、システムから換気要請が出ていることを屋内にいる人が確認することができる。「室内環境状態の表示」ユースケースは、屋内にいる人が温湿度状態が危険な状態にあるかどうかを知るものである。監視によって評価された部屋状況に応じ、特に温湿度が適正範囲内でなかった場合、室内にある Jetson に接続された LED が点灯する。これを受け、部屋の中にいる人はエアコンや加湿器等を適正に設定することを促され、感染症リスクが高くなりにくい環境にすることができる。

このうち、「室内状況を監視する」、「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」を高重要な機能とした。「部屋情報を登録する」ユースケースにおいては、本研究の目的においては必須なものではないため、重要度を低く設定した。監視する機能の呼び出し時に、その都度入力を求めることでこれに替え、本研究においては開発対象外とすることにした。

本システムにおいては、部屋が使用されない時間がある程度存在するとしているため、夜間は監視の作業を一度止めることとした。これにより、重要度の低い時にセンサの使用を止め、センサデバイスの連続動作可能時間の長時間化を図った。

上記の設計を受け、総合テストのテスト項目を表 3.1 の通り作成した。

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

本節では感染症予防サポートシステムの全体としての動き、基本設計について述べる。まず、システムの静的な構造を示すクラス図を図3.2に示す。システムの構成要素

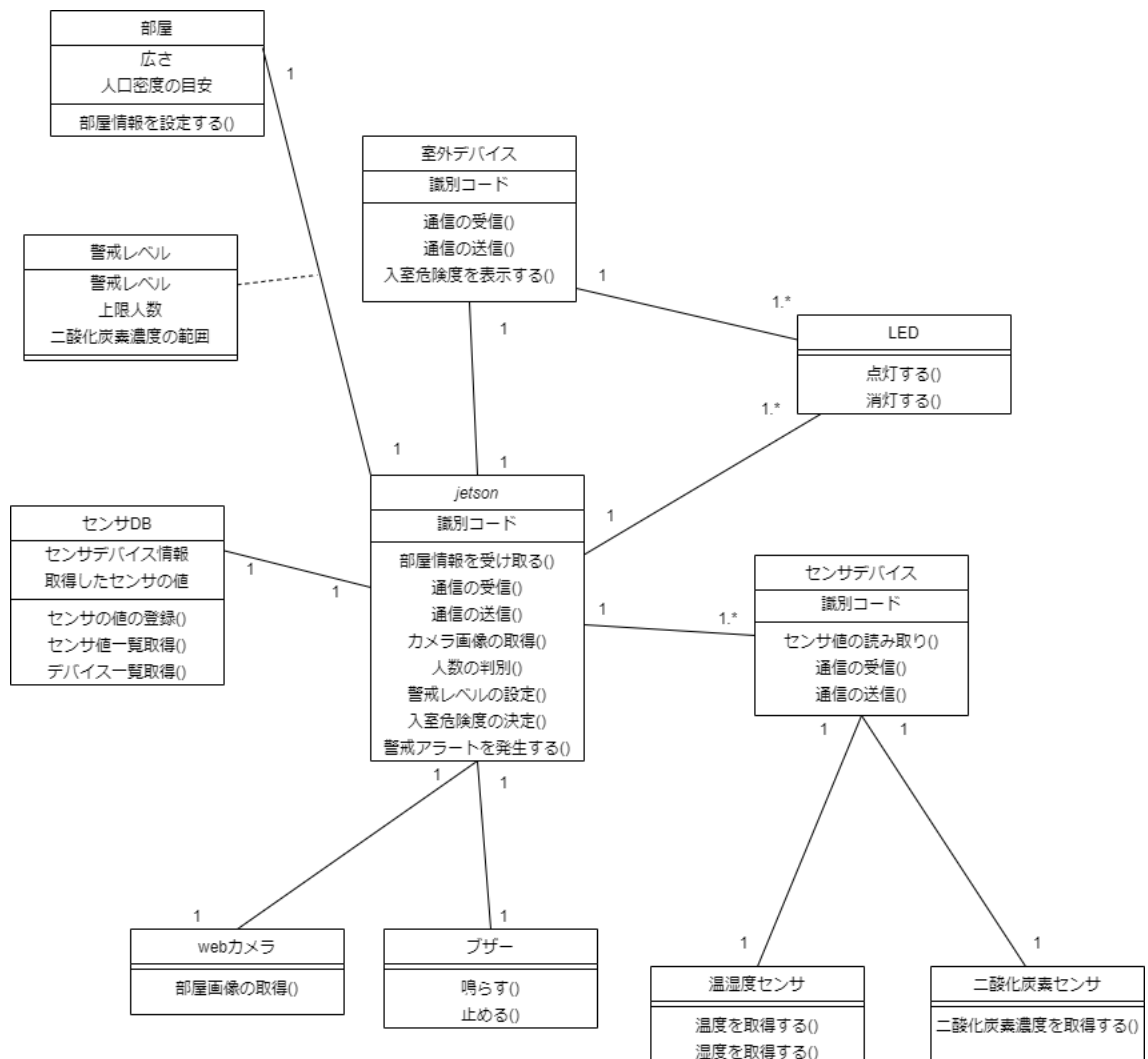


図 3.2. クラス図

としては、まず、処理などを行う Jetson クラスがある。Jetson ひとつに対して複数のセンサデバイスクラスがあり、センサデバイスひとつに対しては温湿度センサと二酸化炭素センサクラスがそれぞれひとつずつ存在する。また、屋外デバイスが Jetson ひ

とつに対してひとつ存在する。屋外デバイスは複数の LED を持つ。Jetson も複数の LED を持つとともに、ひとつのブザー、ひとつの Web カメラを持つ。また、処理を行う Jetson クラスに対して、部屋情報、警戒レベルクラス及びデータベースであるセンサ DB クラスが関係する。Jetson はシステムにおける各機器の取りまとめ、環境値評価の働きを担う。Jetson は部屋情報の読み込みを行い、部屋の広さおよび団体で設定されているガイドラインを把握する。また、センサデバイスから受信した情報をセンサ DB に記録するとともに、室内状況の評価の際にその情報を記録する。ほかにも、Web カメラから画像の取得を行い部屋の中の人数推定を行い、室内状況の評価に用いる。また、ブザーと LED により、室内の人に環境値評価に基づき警告や換気要請などを発する。警戒レベルは、その部屋の特性を表すために利用するクラスである。警戒レベルは、その部屋の換気のしにくさを表すものであり、そのレベルがあがると部屋状況の評価に用いる滞在推奨人数を減らしていく。警戒レベルは部屋の二酸化炭素濃度に基づいて決定される。センサデバイスは Jetson から指示を受け、温湿度および二酸化炭素濃度を計測するとともにその情報を送信する。室外デバイスは Jetson からの指示を受け、入室危険度の表示のため室外に設置されている LED の点灯、消灯の操作を行う。

続いて、システムの各機能の処理の流れをアクティビティ図を用いて説明する。「室内状況を監視する」アクティビティ図を図 3.3 に、「入室危険度の確認」のアクティビティ図を図 3.4 に、「換気要請の受け取り」のアクティビティ図を図 3.5 に、「室内環境状態の表示」のアクティビティ図を図 3.6 に示す。

まず、「室内状況を監視する」というユースケースについて説明する。これは、一定時間ごとに部屋の人数推定および二酸化炭素濃度計測を行うことで、部屋の警戒レベルの調整を行うものである。一定時間とは、ここでは3分おきに実行するものとした。3分ごとにセンサデバイスで二酸化炭素濃度を読み出し、読みだした値を Jetson に送信する。Jetson ではそれを受信し、部屋の人数推定を Web カメラを用いて行う。その後、人数が部屋の滞在上限人数の 75%以上となっていた場合、二酸化炭素濃度を用いて警戒レベルの上げ下げを行う。ここで人数が 75%以上の時のみ警戒レベルの計算を行うというのは、部屋に人があまりいない場合警戒レベルを増減させてしまうと、部屋の特性に関係なく、警戒レベルがどんどん低いものになってしまうのを防ぐためである。

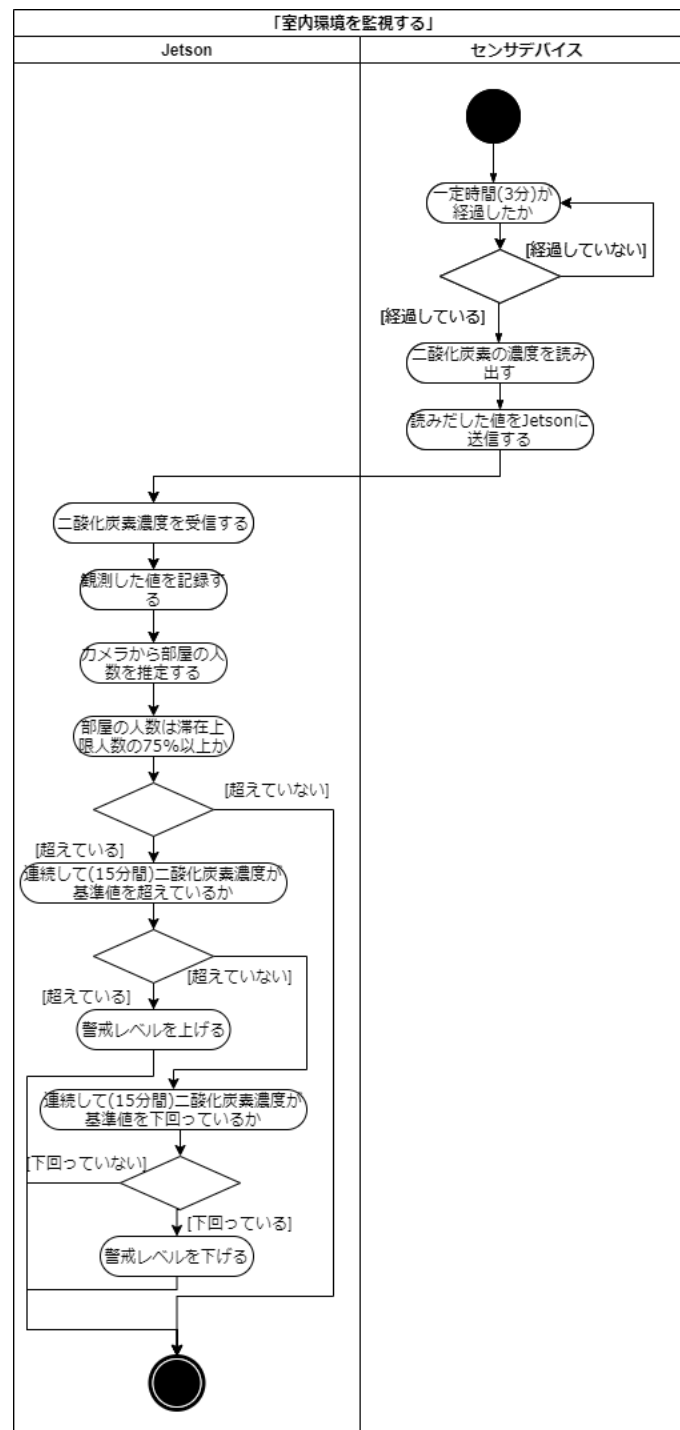


図 3.3. ユースケース「室内状況を監視する」のアクティビティ図

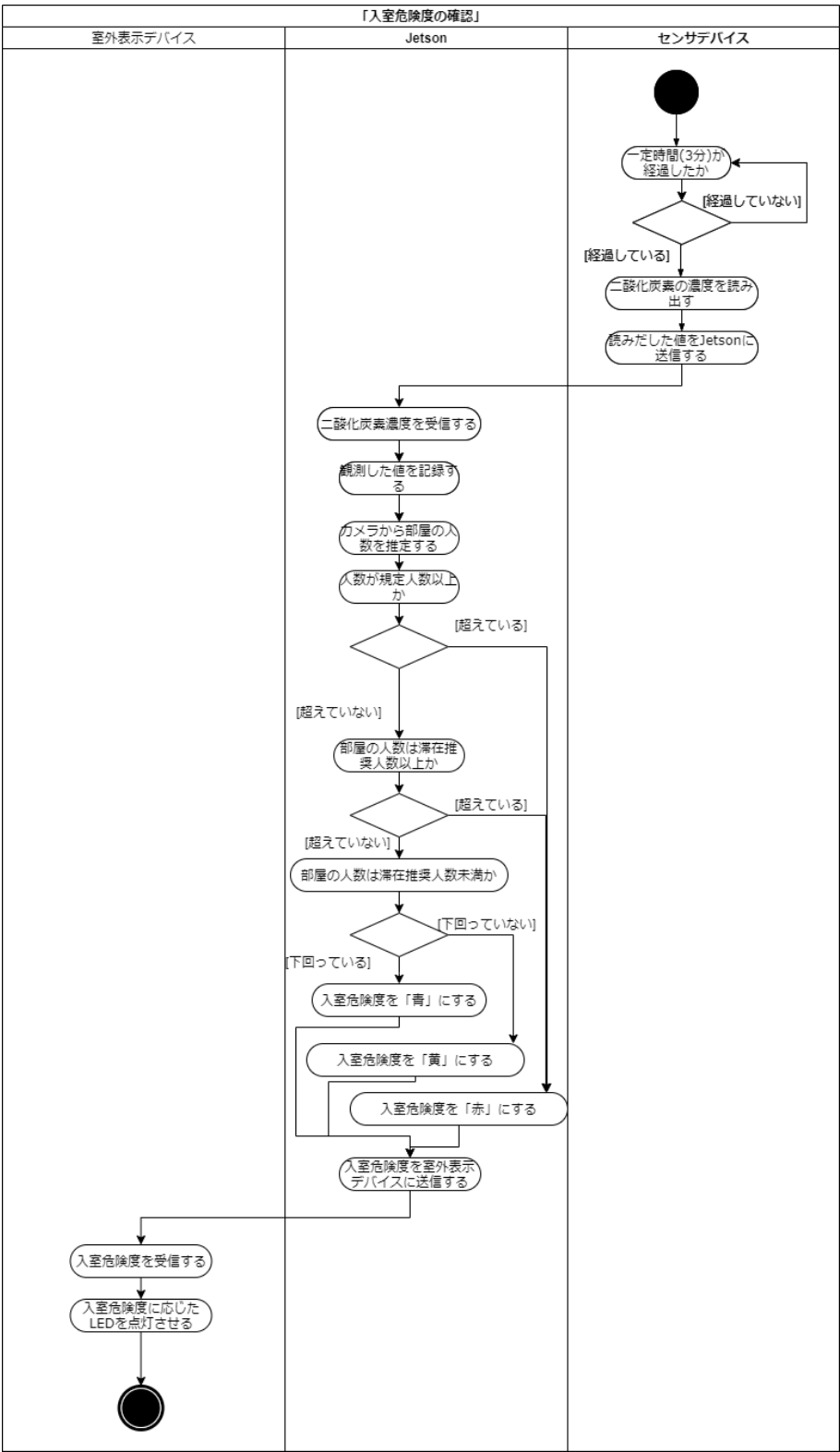


図 3.4. ユースケース「入室危険度の確認」のアクティビティ図

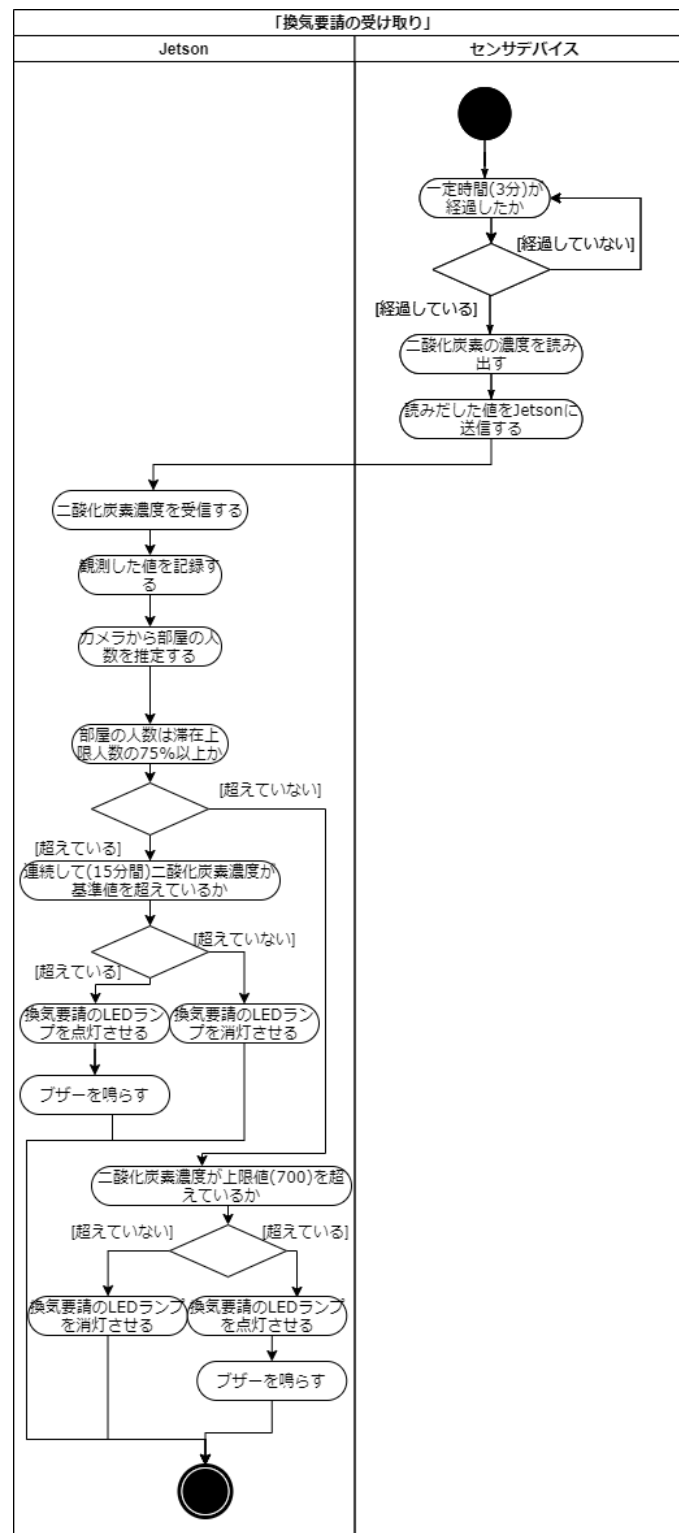


図 3.5. ユースケース「換気要請の受け取り」のアクティビティ図

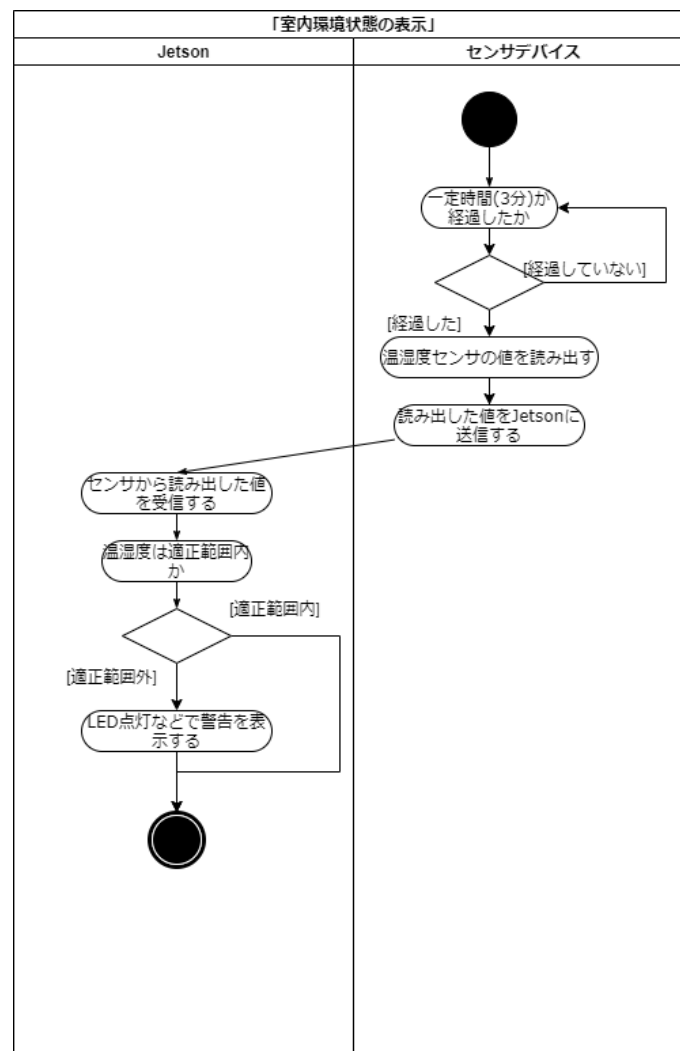


図 3.6. ユースケース「室内環境状態の表示」のアクティビティ図

続いて、「入室危険度の確認」というユースケースについて説明する。これも3分おきに実行され、部屋の人数をもとに入室危険度を設定する。3分の経過確認、人数推定を行うまでは上記「室内状況を確認する」ユースケースと同様である。その後、学校や団体のガイドラインで制定されている規定人数、警戒レベルの滞在推奨人数をもとに入室危険度を「赤」、「黄」、「青」の三種類で判定する。入室危険度については、信号機の色を使い分けを参考にし、最も危険な状態を「赤」、最も安全な状態を「青」、その中間を「黄」として表現している。最後に、その入室危険度を室外表示デバイスの対応した色のLEDを点灯させることにより表示する。

「換気要請の受け取り」のユースケースについて説明する。ここでは、二酸化炭素濃度と部屋の人数推定の結果を用いて換気要請の判断、表示を行う。二酸化炭素濃度、部屋の人数推定については上記「室内状況を監視する」ユースケースと同様に行われる。その結果、部屋の人数が滞在上限人数の75%以上かどうかを判断する。部屋の人数が少なかった場合にはビル管理法で定められている目安である二酸化炭素濃度が1000ppmを超えているかを確認し、喚起要請を行う。一方、部屋の人数が多い場合には、法律のものより厳しく設定した警戒レベルの基準値に従い、換気要請を行う。換気要請を行う際には、LED点灯のみだけでは気づきにくい場合があるので、ブザーも同時にならす。

最後に、「室内環境状態の表示」のユースケースについて説明する。これは、一定時間ごとに部屋の温湿度の値を収集し、適正值から逸脱した場合にそれを通知するものである。この通知による改善要求については、換気に比べ、緊急性が低いと考えられるため、LEDの点灯のみで通知することとした。

上記の設計を受け、結合テストのテスト項目を表3.2の通り作成した。

3.3.1. 使用部品・モジュールの選定

基本設計の段階において使用する各部品・モジュールの選定を行った。下記に自身が担当したセンサデバイスで使用したものと、それぞれの選定理由を述べる。

センサデバイスのマイコンについては、TWELITEを使用した。このTWELITEは、モノワイヤレス株式会社の無線マイコンである[9]。センサデバイスについてはJetsonと通信を行う必要があり、通信機能を搭載した、もしくはモジュールとしてその機能

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 |

を追加できるマイコンボードを使用する必要がある。通信においては、設置場所への制約を少なくするため、コードの配線を考えなくてもよい、無線を利用することとした。無線規格については様々存在するが、本システムでは IEEE802.15.4 を用いることとした。無線機能については、マイコンボードにすでに実装されているものと、マイコンボードとは別にモジュールを接続する必要があるものが存在する。本システムではデバイスを小さくすることができるため、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を用いることとした。また、センサデバイスは、設置場所の制約を少なくするため、通常のバッテリーと比べ比較的小さく、かつ一般的に手に入りやすく交換が容易にできる乾電池で動作することが必要であるとした。乾電池は一般的に起電力 1.5V であるが、1.5V で動作するマイコンボードはほとんどなく、センサモジュールについても最低 3V 程度必要なものが多いため、2 本使用し、3V で動作するものを利用することとした。以上の理由より、起電力 3V で動作し、IEEE802.15.4 が実装されているマイコンボードとして、TWELITE を選定した。なお、Jetson でセンサデバイスとの電波送受信を行うモジュールとしても同じく TWELITE を選定した。理由としては、Jetson の GPIO の基準電圧である 3.3V で動作し、かつ UART 接続により通信が可能であるためである。センサデバイスと合わせ、Jetson の送受信モジュールとして用いる TWELITE の実装についても私が担当した。

ここで、無線規格として IEEE802.15.4 を選定した理由を述べる。無線規格は IEEE が中心となり標準化が進められており、無線製品のほとんどはこの規格に準拠したものとなっている。本システムでは、部屋の中、および部屋の周辺のみでしか通信を行わないため、近距離無線を定義した IEEE802.15 を中心に検討を行った。その中でも普及が

進んでおり、特によく利用されるものは、802.15.1, 802.15.4 である [5]。IEEE802.15.1 は、Bluetooth という規格でも用いられており、これは主に音声をはじめとした数 Mbps 程度の中速データ転送に利用される [5]。IEEE802.15.4 は、802.15.1 と比べ速度は遅いものの、省電力であるという特徴をもつ。本システムにおいては、通信でやり取りするデータは、入室危険度や二酸化炭素などの環境値のみであり、非常に少ないため、802.15.4 で十分であると考えられる。また、電池交換などの回数を減らすために、省電力で動作することが求められるため、省電力で利用できる IEEE802.15.4 が適切であると考え、この規格に準拠したものを使用することとした。

温湿度センサについては、TWELITE が対応している接続規格で接続でき、かつ一般的に入手しやすいものとして BOSCH 社の BME280 を選定した。このセンサは電圧 3V で動作が可能であり、通信規格として I^2C で TWELITE と通信できるため、このセンサを選定した。二酸化炭素濃度センサについては、一般的に入手しやすく、かつ TWELITE と通信ができるものとして Zhengzhou Winsen Electronics Technology 社の MH-Z14A を選定した。これは、アナログ電圧出力、および UART 規格によって TWELITE と通信可能であるため選定した。二酸化炭素濃度センサにおいては、一般的に入手しやすいもので 3V で動作可能なものが存在しなかったため、動作電圧 5V のものを利用した。動作電圧が異なるため、二酸化炭素濃度センサにおいては昇圧モジュールを利用し、センサへの供給電圧を 3V から 5V に昇圧コントロールすることで利用することとした。

3.4 詳細設計

本節では感染症予防サポートシステムにおける詳細な動作、詳細設計について述べる。

まず、オブジェクト間のメッセージのやりとりを中心に、詳細な動作をシーケンス図を用いて説明する。「室内状況を監視する」シーケンス図を図 3.7 に、「入室危険度の確認」のシーケンス図を図 3.8 に、「換気要請の受け取り」のシーケンス図を図 3.9 に、「室内環境状態の表示」のシーケンス図を図 3.10 に示す。

まず、「室内状況を監視する」際の動作を説明する。まず、システムが起動され、監視が開始した時には、Jetson がセンサデバイスに対して開始指示を発する。それを受け、センサデバイスはセンサからの値取得を行い、Jetson に送信する。また、システ

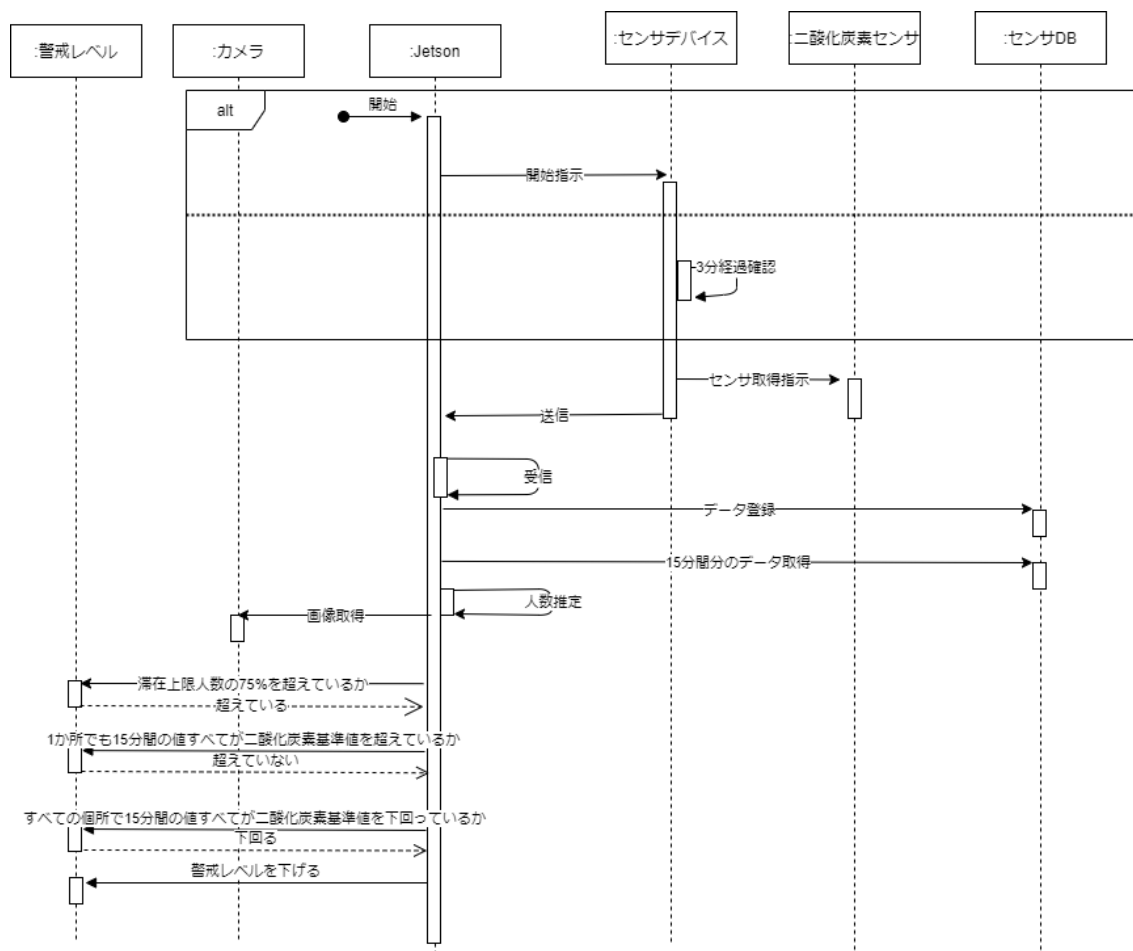


図 3.7. ユースケース「室内状況を監視する」のシーケンス図

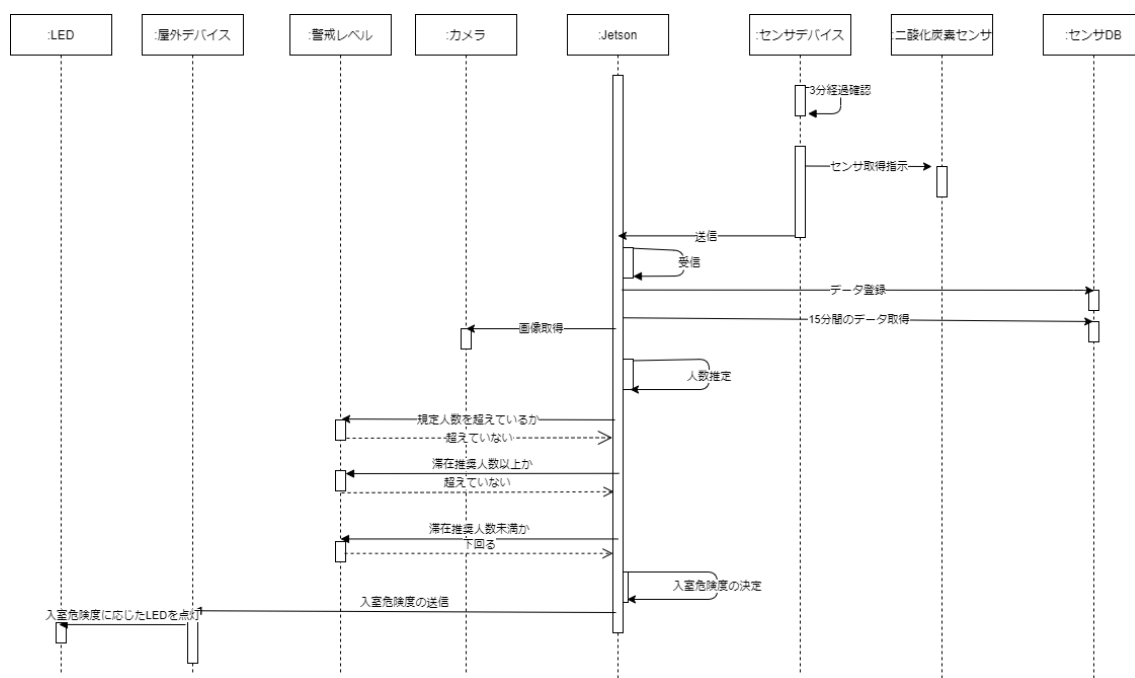


図 3.8. ユースケース「入室危険度の確認」のシーケンス図

ムが開始された時以外にも、センサデバイスが直近の値取得から3分経過を確認した場合であっても、センサの値取得を行う。なお、この際送信されるデータは二酸化炭素濃度、温湿度、およびセンサデバイスの識別子である。Jetsonで受信したデータは、センサDBに登録する。その後、JetsonはセンサDBより直近15分間分のデータを取り出し、人数推定、および警戒レベルの調整を行う。受信については、Jetson上で他の処理とは独立したスレッドで行い、受信漏れが起こらないようにする。スレッド間でのデータのやり取り、および15分間分過去にさかのぼったデータ取得を容易にするため、データの保管にはセンサDBを用いた。なお、基準値との比較方法について、基準値を上回っているかどうかは、複数あるセンサデバイスのうち一台でも連続して上回っているものがあれば超えているとみなす。一方、基準値を下回っているかどうかは、複数あるセンサデバイスのすべてが連続して基準値を下回っているかどうかによって判断する。なお、図3.7では、例として警戒レベルを下げる際の処理の流れを示している。ほかの場合の処理については、図3.3で示した条件に従い、同様に処理が行われる。また、あらかじめ指定された時間になると監視を一時停止し、再度システム

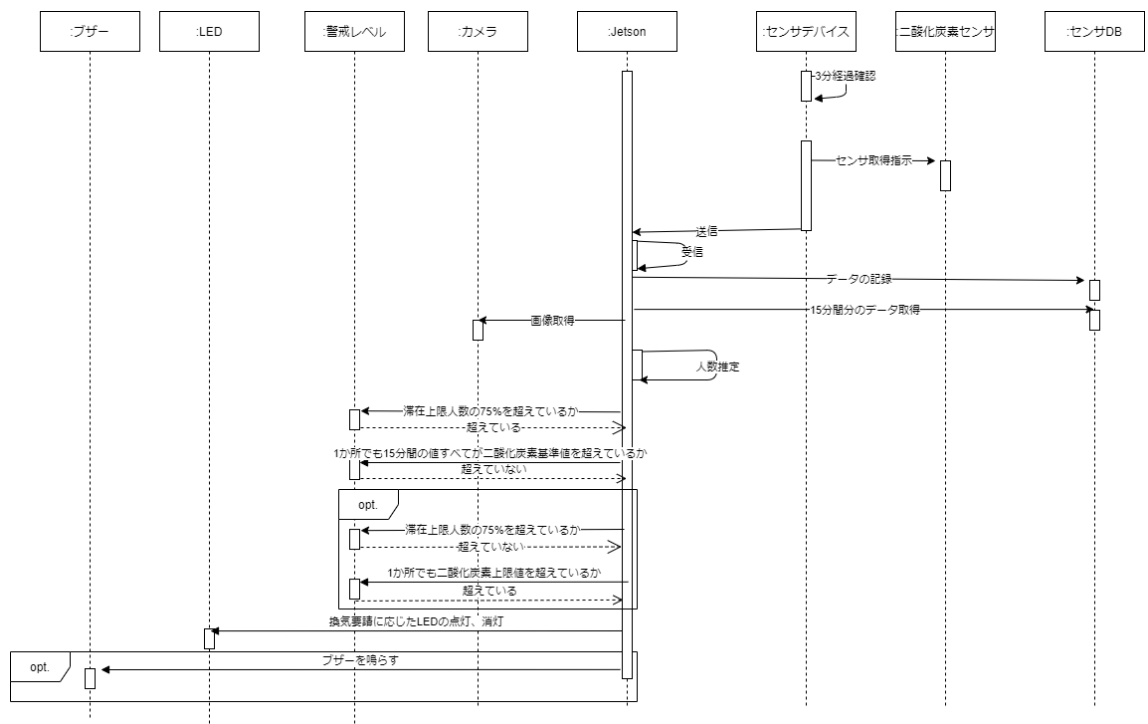


図 3.9. ユースケース「換気要請の受け取り」のシーケンス図

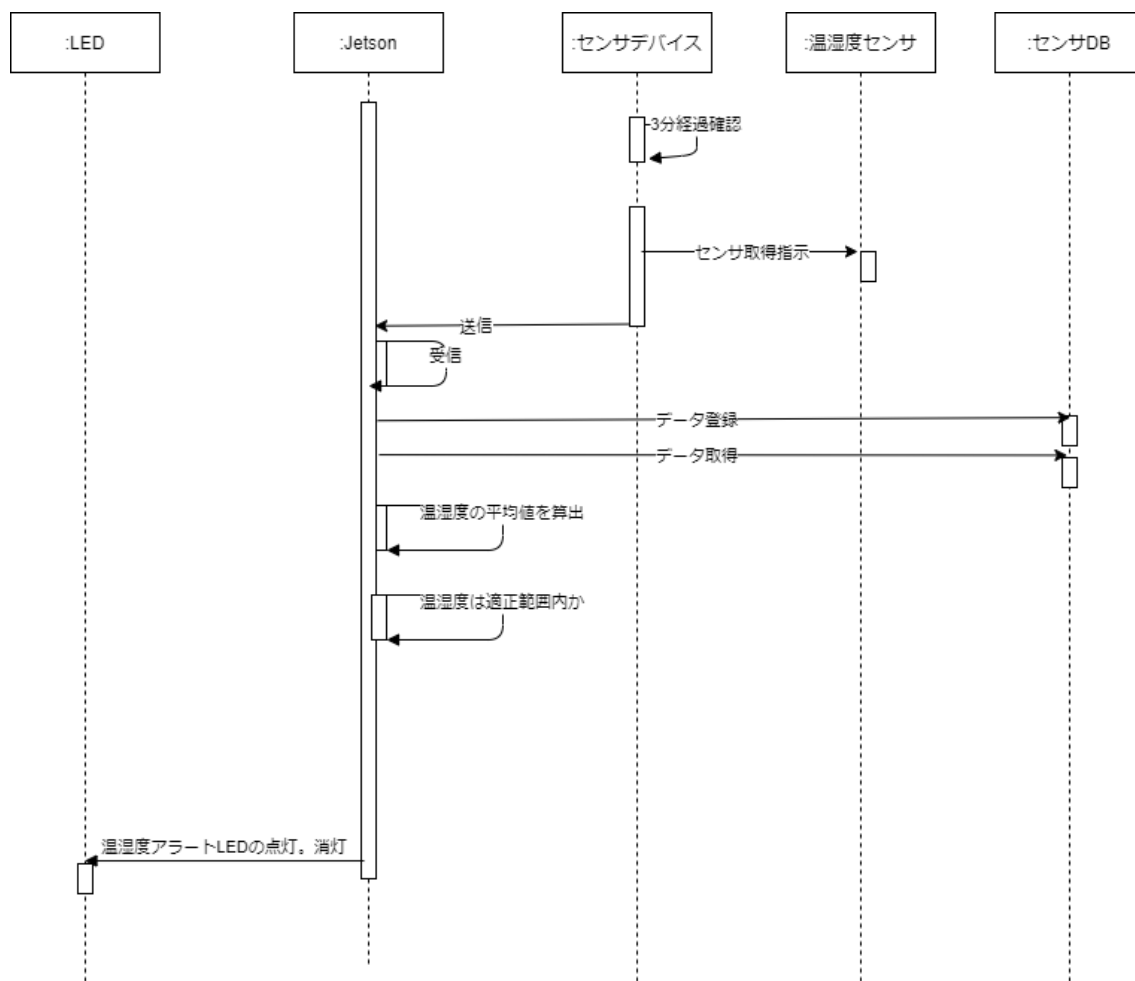


図 3.10. ユースケース「室内環境状態の表示」のシーケンス図

を起動する。これは消費電力を抑えるために、夜間などの部屋があまり利用されない時間はシステムを停止させるものである。一時停止したのち、復帰時間になると、再度監視を開始し、センサデバイスへの開始指示から行うこととした。

続いて、「入室危険度の確認」を行う際の動作を説明する。センサの値を取得し、人数推定を行うまでは上記「室内状況を監視する」場合と同じである。その後、警戒レベルが保有している規定人数、および滞在推奨人数との比較を行い、その結果をもとに Jetson が入室危険度の判定を行う。入室危険度は、そのまま屋外デバイスに通知され、屋外デバイスはそれを受けて LED を点灯させる。なお、図 3.8 では、一例として入室危険度が「青」と判断される場合の動作を示している。ほかの場合の処理については、図 3.4 で示した条件に従い、同様に処理が行われる。

次に、「換気要請の受け取り」を行う際の動作を説明する。センサの値を取得し、人数推定を行うまでは上記「室内状況を監視する」場合と同じである。その後、警戒レベルが保有している二酸化炭素濃度の基準値と定められている滞在上限人数とをもとに比較し、換気要請の判断を行う。二酸化炭素濃度の基準値が超えているかどうかは複数あるセンサデバイスのうち、一台でも連続して値が超えているものが存在すれば超えているものとして判断をする。その後、LED を光らせる際には、Jetson から直接接続した LED の点灯を行い、点灯する場合は同時にブザーも鳴らす。なお、図 3.9 では、換気要請を出だす場合と出さない場合の一例の流れを示している。他の場合の処理については、図 3.5 で示した条件に従い、同様に処理が行われる。

最後に、「室内環境状態の表示」を行う際の動作を説明する。センサの値を取得するまでの動作は上記「室内状況を監視する」場合と同じである。その後、センサ DB より、その時に取得された全センサデバイスの温湿度の値を読み出し、温度、湿度の平均値を求め、それを代表値とする。その代表値が適正範囲内にあるかどうかを判断し、範囲外であった場合は、Jetson に接続されている LED を点灯する。温湿度が範囲内であった場合には LED を消灯させる。

続いて、私が担当したセンサデバイスの状態遷移について、ステートチャート図を用いて説明する。センサデバイスのステートチャート図を図 3.11 に示す。センサデバイスの状態は「接続指示待機」、「センサヒートアップ待ち」、「時間待ち」、「夜間スリープ」、「センサ読み取り」の 5 状態を持つとした。まず、センサデバイスの電源を入れることで、初期状態の「接続指示待機」状態となる。この状態では、システムを開始し

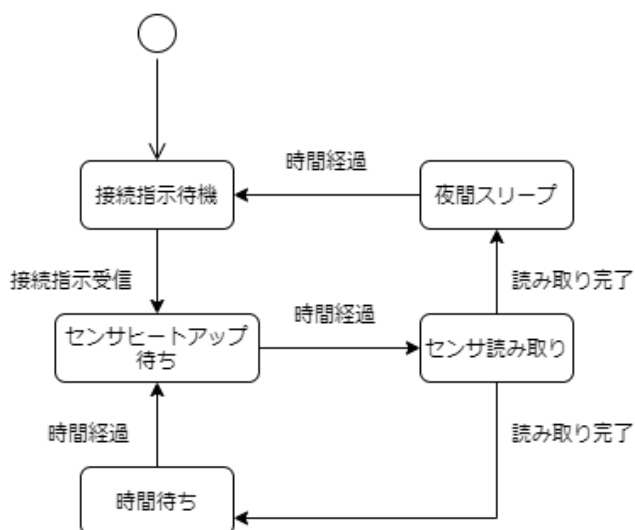


図 3.11. センサデバイスのステートチャート図

た際、開始指示を受信するまで待機するものである。その後、「センサヒートアップ待ち」状態へと推移する。これは、本システムで使用する二酸化炭素濃度センサが、通電直後の場合、正しい値を示さない可能性があり、ヒートアップ時間を必要とするため、その時間を確保するものである。この間は、マイコンボード、および昇圧センサを介して二酸化炭素濃度センサに電力供給を行う。なお、この際、センサデバイスが起動している、および受信待機状態であることを確認できるようにするため、この状態のときにはセンサデバイスに接続したLEDを点滅させるようにした。その後、ヒートアップ時間が経過すると温湿度、二酸化炭素センサの読み取りとJetsonへの送信を行う「センサ読み取り」状態に推移する。センサの読み取りと送信が終了すると「時間待ち」状態に推移する。「時間待ち」状態は、二酸化炭素センサへの給電は行わず、できるだけ消費電力を抑えた状態である。3分毎に値を読み取るので、3分から二酸化炭素センサのヒートアップに要する時間を引いた時間、この状態を保つ。その後、「センサヒートアップ待ち」状態へと戻り、繰り返される。最後に、あらかじめ指定された時間になると「センサ読み取り」状態からセンサ読み取り、Jetsonへの送信を行ったのち、「夜間スリープ」状態へと推移する。これは、動作としては「時間待ち」状態と同じく、省電力状態で待つものであるが、これは部屋の利用が少ない時間に推移する状態である。従って、「時間待ち」状態よりも長い間、この状態を保つことになる。そ

の後は、マイコンボード内と Jetson 内のタイマーがずれてしまうことが考えられるため、「接続指示待機」状態へと推移する。夜間スリープ状態から推移するのは1日に一度であるので、その際に再度接続指示を受け、Jetson とセンサデバイスの開始時間を1日ごとに同期する狙いがある。また、「接続指示待機」以外の状態においては、電池の交換時期が分かるよう、供給電力が低くなった際に、センサデバイスに接続した LED を点灯させることとした。

これらの設計を受け、表 3.3 の通り、センサデバイスにおける単体テストの項目をデバイスごとに制定した。なお、消費電力化の目安として、部屋の使用時間が12時間と

表 3.3. センサデバイスにおける単体テスト項目

| デバイス | | 確認内容 |
|------------|-----|---------------------------------------|
| twelite | 1-1 | Jetsonからの開始信号を正確に受け取れること |
| | 1-2 | 信号を受け取った時を基準に計測が開始できること |
| | 1-3 | 乾電池2本のみで動作すること |
| | 1-4 | 乾電池2本で12時間は動作すること |
| | 1-5 | 計測終了後、スリープに入ること |
| | 1-6 | 指定した時間にスリープから復帰すること |
| | 1-7 | 計測した値をJetson側に送信できること |
| 二酸化炭素濃度センサ | 2-1 | 二酸化炭素濃度センサの値を正しく得られていること |
| 温湿度センサ | 3-1 | 温湿度センサがI2Cデバイスとしてtweliteから認識できること |
| | 3-2 | 温湿度センサの値を正しく得られていること |
| LED | 4-1 | 受信待機状態のときLEDが点滅していること |
| | 4-2 | 送信中、スリープ中はLEDが消灯していること |
| | 4-3 | 電源電圧が低下しているときにLEDが点灯していること |
| 昇圧モジュール | 5-1 | 計測していないときには二酸化炭素濃度センサへの電源が遮断されていること |
| | 5-2 | 計測する1分程度前から二酸化炭素濃度センサへ5Vの電源が供給されていること |
| 受信側twelite | 6-1 | Jetsonからの電源供給で正しく動作すること |
| | 6-2 | 自身あてに飛んできた電波を正しく受信できること |
| | 6-3 | 受信した信号をUARTで送信できること |
| | 6-4 | UARTに流された信号を正しく受信できること |
| | 6-5 | 任意の子機に任意の信号を正しく送信できること |

した際、起動してから最初の「夜間スリープ」状態への遷移が行われるまでは乾電池交換を行うことなく行えることが最低限必要であるとした。

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い、実装および検証を行った結果を述べる。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 節ではそれぞれ詳細設計を単体テスト、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

本節では設計したものをもとに、実装した環境等について述べる。本節では私が実装を行った、センサデバイスについてを中心に述べる。

センサデバイスの実装において使用したセンサ，およびモジュールを表 4.1 に示す。本

表 4.1. センサデバイスの実装環境

| 種類 | 品名 | 個数 |
|----------------------|-------------------|----|
| 無線機能付きマイコンボード | TWELITE DIP | 3 |
| 温湿度センサ | BME280 | 2 |
| 5.0V 出力昇圧 DCDC コンバータ | AE-XCL102D503CR-G | 2 |
| 二酸化炭素濃度センサ | MH-Z14A | 2 |
| LED | OSG8HA3Z74A | 2 |

システムにおいて、センサデバイスは複数用いる想定となっているため、センサデバイスは2つ実装することとした。また、Jetson でセンサデバイスへの送受信を行うモジュールも同時に実装を行った。表 4.1 の個数においては、センサデバイス2つに加え、Jetson で用いるモジュールも実装した際の合計個数を示している。

これらの部品を使用し，図 4.1 のように結線を行い，センサデバイスを実装した。

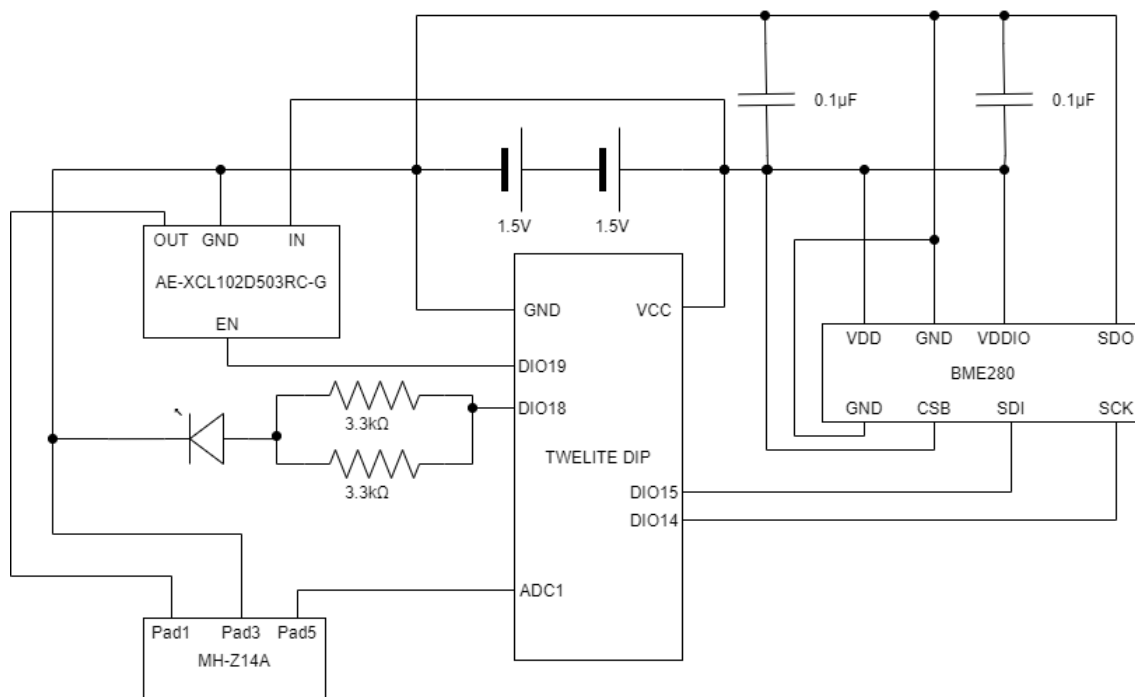


図 4.1. センサデバイスの回路図

なお、マイコンボード上で動作するソフトウェアにおいては、TWELITE MWX ライブラリを利用し、C++言語を用いて開発を行った。3章で述べた設計に従い開発を行った。

なお、Jetson で送受信を行うモジュールについては、UART 接続を用い、その信号のやり取りによって送受信を行うこととした。送信の際には、ネットワーク上の送信先の論理 ID とデータを UART 通信で受け取り、その内容を即時送信することとした。受信においては、受信データを確認し、送り元の論理 ID とマイコンボードごとに異なるシリアル ID、受信電波強度と合わせて UART へと即時出力することとした。

消費電流の見積り

表 4.1 のそれぞれ部品のカatalogにある平均消費電流値をもとに各状態における消費電流値の概算を行った結果を表 4.2 に示す。電圧はすべて 3.0V として計算しており、有効数字 2 桁として示している。なお、「時間待ち」、「夜間スリープ」、「センサヒートアップ待ち」状態においてはマイコンボードはマイコンボードのスリープ機能を用いるものとし、スリープ時の消費電流値を用いた。

表 4.2. 消費電流の概算値

| 状態 | 合計消費電流 (mA) |
|-------------|-------------|
| 接続指示待機 | 140 |
| センサヒートアップ待ち | 130 |
| センサ読み取り | 140 |
| 時間待ち | 0.0051 |
| 夜間スリープ | 0.0051 |

表 4.2 で示した計算の結果をもとに、状態遷移を行う時間間隔等を決定した。表 4.2 の結果より、「接続指示待機」、「センサヒートアップ待ち」および「センサ読み取り」状態の消費電力が他と比べて多くなることが予想される。このことより、これらの状態を保つ時間はできるだけ短くするように調整を行った。「接続指示待機」、「センサ読み取り」状態からの遷移は時間を設定するものではなく、外部からの信号受信や読み取りが完了することによって行われるため、調整は難しい。そこで、「センサヒートアップ待ち」状態から「センサ読み取り」状態へと推移する際までの時間を調整することにより省電力化を図った。

まず、二酸化炭素濃度センサが安定して正しい値を示すのにどの程度の時間を要するかを調査した。二酸化炭素濃度センサに電源供給を行ってから、時間経過に合わせてどのような値が観測されるかを調査した。方法として、二酸化炭素濃度センサに電源を供給し始めたときから、twelite で観測されたアナログ電圧の値を 5 秒おきに図ることによって調査を行った。調査に当たっては、MH-Z14A の説明書に記載されていた「Pre-heat Time」である 180 秒を参考に、通電開始から 210 秒間観測を行い、それを

数回繰り返した。観測されたアナログ電圧をもとに、二酸化炭素濃度を算出した結果を図 4.2 に示す。図 4.2 は横軸に通電開始からの経過時間、縦軸に各回の 210 秒後に観

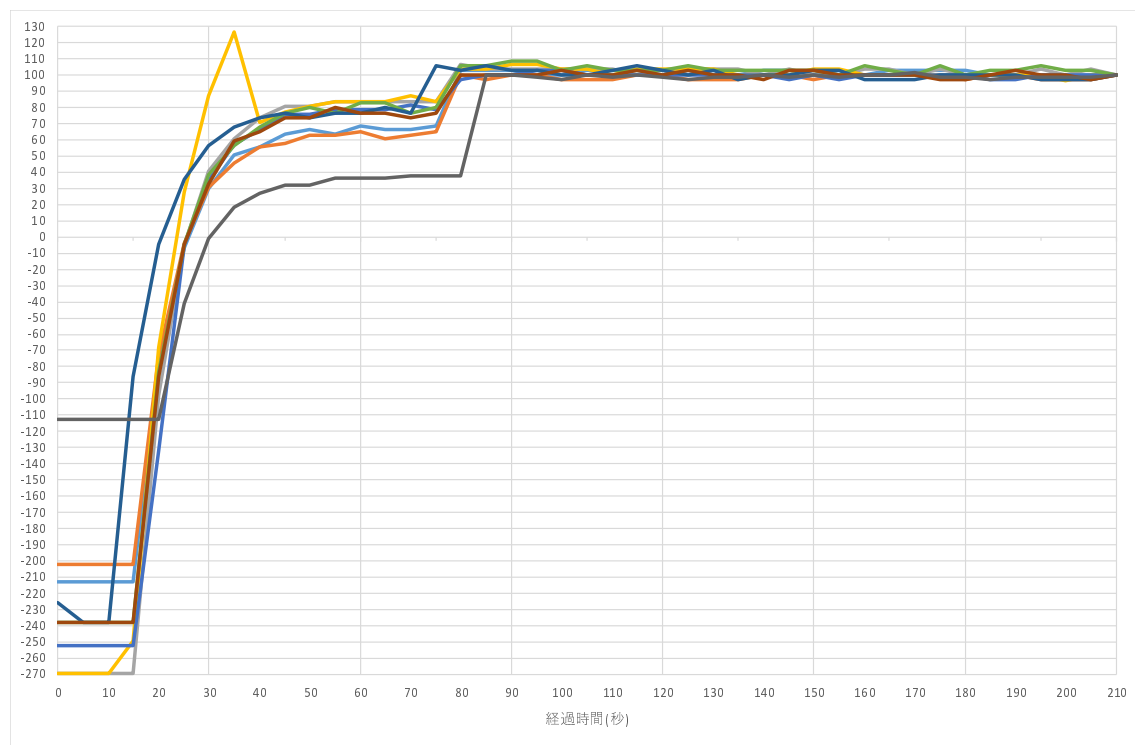


図 4.2. 二酸化炭素濃度センサの観測値の推移

測された二酸化炭素濃度を 1000 ppm を 0 として表した数値を示している。二酸化炭素濃度は複数回観測する中で環境を変えると最終的な二酸化炭素濃度が異なっていることがあったため、100 で正規化を行っている。縦軸でマイナスの値が存在するのは、電圧が 0ppm を表す基準電圧よりも低い電圧が観測することがあったため、そのまま二酸化炭素に比例するものとして算出しているためである。この結果より、通電開始から 90 秒経過していれば、おおむね正規の値から前後 10% の範囲内の値が観測できることがうかがえる。そこで、「センサヒートアップ待ち」状態は 90 秒で次の状態へ遷移するとした。また、二酸化炭素濃度センサはアナログ電圧の計測時の誤差を少なくするために、10 秒ごとに合計 3 回値の取得を行ったのちに、その平均値を用いて二酸化炭素濃度を推定することとした。そして、それらをもとに、「時間待ち」状態から「センサヒートアップ待ち」状態へは 70 秒で推移することとした。

これらの時間の制定を受け、「夜間スリープ」状態を1日12時間制定した場合、1日で消費される推定電池容量の使用量を計算すると、約950mAhとなる。アルカリ電池単3形を2本用いるとして、1本あたり100mAの連続放電が20時間[11]であることより、1本あたりの電池容量を2000mAhとすれば、乾電池2本で4日間以上使用可能であると考えられる。これより、電池交換することなく12時間以上稼働するという設計を満たすことが期待できる。

4.2 検証

本節では設計に対して行った検証の方法、結果について述べる。

4.2.1. 単体テスト

詳細設計の際に作成した単体テストの項目に従い、単体テストを実施した。単体テストの結果を表4.3に示す。

表 4.3. センサデバイスを用いた単体テストの結果

| デバイス | | 確認内容 | 確認結果 | 確認日 |
|------------|-----|---------------------------------------|------|-------|
| twelite | 1-1 | Jetsonからの開始信号を正確に受け取れること | ○ | 1月4日 |
| | 1-2 | 信号を受け取った時を基準に計測が開始できること | ○ | 1月4日 |
| | 1-3 | 乾電池2本のみで動作すること | ○ | 1月4日 |
| | 1-4 | 乾電池2本で12時間は動作すること | ○ | 1月13日 |
| | 1-5 | 計測終了後、スリープに入ること | ○ | 1月4日 |
| | 1-6 | 指定した時間にスリープから復帰すること | ○ | 1月4日 |
| | 1-7 | 計測した値をJetson側に送信できること | ○ | 1月4日 |
| 二酸化炭素濃度センサ | 2-1 | 二酸化炭素濃度センサの値を正しく得られていること | △ | 1月4日 |
| 温湿度センサ | 3-1 | 温湿度センサがI2Cデバイスとしてtweliteから認識できること | ○ | 1月4日 |
| | 3-2 | 温湿度センサの値を正しく得られていること | ○ | 1月4日 |
| LED | 4-1 | 受信待機状態のときLEDが点滅していること | ○ | 1月4日 |
| | 4-2 | 送信中、スリープ中はLEDが消灯していること | ○ | 1月4日 |
| | 4-3 | 電源電圧が低下しているときにLEDが点灯していること | ○ | 1月4日 |
| 昇圧モジュール | 5-1 | 計測していないときには二酸化炭素濃度センサへの電源が遮断されていること | ○ | 1月4日 |
| | 5-2 | 計測する1分程度前から二酸化炭素濃度センサへ5Vの電源が供給されていること | ○ | 1月4日 |
| 受信側twelite | 6-1 | Jetsonからの電源供給で正しく動作すること | ○ | 1月4日 |
| | 6-2 | 自身あてに飛んできた電波を正しく受信できること | ○ | 1月4日 |
| | 6-3 | 受信した信号をUARTで送信できること | ○ | 1月4日 |
| | 6-4 | UARTに流された信号を正しく受信できること | ○ | 1月4日 |
| | 6-5 | 任意の子機に任意の信号を正しく送信できること | ○ | 1月4日 |

検証方法および結果について詳しく述べる。単体テスト実施においては、センサデ

バイスの詳細な動作を確認するため、twelite の UART 接続を用い、デバイスを PC に接続した上で行った。センサデバイス上で動くプログラムの中で随時 UART 出力を行い、その内容を PC の画面上で確認する方法を用いた。

項目 1-1 については、受信側 twelite に対し開始信号を送る指示を出すことにより検証した。twelite が受信した内容を PC の画面上で確認したところ、受信側 twelite から送った信号が正しく受信できていることを確認した。項目 1-2 については、状態遷移の際に UART 出力を行うことで検証した。受信側 twelite からの電波を受信したときに、同時に「接続指示待機」状態から「センサヒートアップ待ち」状態へ遷移していることを確認した。同様に、項目 1-5、項目 1-6 も検証し、正しく動作していることを確認した。項目 1-3 については、単 3 型のアルカリ乾電池を 2 本電源として接続したときに、UART 上で正常に起動メッセージが流れていることを確認し、正しく起動されていることを確認した。項目 1-4 については、直接検証することが難しかったため、後述する消費電力の計測において満たしていることを確認した。項目 1-7 については、センサデバイスを接続した PC の画面上で値を確認し、その後受信側 twelite で受信した値と比較して、違いがないことを確認した。項目 2-1 については、UART 接続によって twelite が二酸化炭素濃度センサから取得した値を確認することで検証を行った。窓をすべて開け、しばらく放置した部屋において平均で 402ppm の値が観測でき、二酸化炭素濃度の 2018 年平均値である 412ppm[12] とほぼ同じ値が確認できた。しかしながら、長時間経過後、時折観測上限値である 5000ppm 以上の値を観測することがあった。電池の消耗による電源供給能力の不足であると考えられるが、これより評価を△とした。また、これを受け、電源電圧低下を知らせる LED の点灯の基準となる電圧を当初予定した twelite の最低必要電圧よりも少し高めの値とすることで対処を行った。さらに、使用電源も単 4 形よりも電気容量の多い単 3 形、そして比較的高電流用途に用いるアルカリ電池を必ず使用するようにした。項目 3-1 については、 I^2C で twelite が認識できたアドレス番地を確認し、それが温湿度センサのものと一致していることで確認を行った。項目 3-2 については、 I^2C を介して得られた値を確認することで検証を行った。取得した温湿度の値が気象庁による観測データと比較して、大きく外れたものではなく、**妥当であったため評価を○とした。**項目 4-1 については、状態遷移した記録をもとに現在の状態を導き、その時の LED の状態を観測することで検証した。同様に、項目 4-2 についても検証を行い、うまく動作していることを確認した。項目

4-3については、起電力の低い充電電池を用い、受信待機状態から推移したのちに LED が点灯したままであることを確認した。項目 5-1 については、昇圧モジュールの端子部分にテスターを当て、電源が供給されているかどうかを確認した。項目 5-2 についても同様に行い、設計通りの動作ができていることを確認した。項目 6-1 については、Jetson の GPIO 端子に接続し、twelite に対して正常に送受信が行えていることを確認した。項目 6-2 については、受信側 twelite を UART 接続により PC と接続し、PC の画面上で受信された情報を確認することで検証を行った。twelite で観測された値と受信した情報が一致していることを確認した。同様に PC より UART 接続を行い、項目 6-3、項目 6-4、項目 6-5 についても満たしていることを確認した。

消費電力の計測

センサデバイスの連続稼働時間を求めるため、実際の消費電力の計測を行った。消費電力は電圧値と電流値によって計算されるが、同時に計測することが難しいため、電圧は 3.0V で固定であるとし、電流を計測することでそれに代えることとした。電流の計測においては、図 4.3 に示すように、電源の+極から流れる電流を計測することでこれを実施した。なお、本計測においては、実際の使用の際の正確な消費電力を計測するため、UART 接続での PC への接続は行わなかった。

まず、「接続指示待機」状態については、電源を接続し、受信側 twelite から電波を送信しない状態で放置し、その時の電流値を測定した。測定は 9 分間行い、0.25 秒おきに電流値の取得を行い、平均値を求めたところ、60mA となった。続いて、「時間待ち」、「センサ読み取り」、「センサヒートアップ待ち」状態については、外部から状態推移を確認できなかったため、受信側 twelite より開始信号を送り、受信待機状態を示す LED が消灯してからしばらくの間の電流値を測定した。測定を 12 分間、0.25 秒おきに電流値の取得を行った。3 分ごとにこれらの状態の推移が完了しているため、結果を 3 分ごとに区切り、4 サイクル分としてそれぞれの時間における平均電流値を求めた。その変化を図 4.4 に示す。この結果より、特に比較的長時間電流が低い状態となっている、0 秒から 60 秒までの範囲が「時間待ち」状態であったと推定して、その平均値を求めたところ、1.2mA となった。また、150 秒から 165 秒においては比較的電流が高い状態で推移しているため、「センサ読み取り」状態であったと推定して、その平均

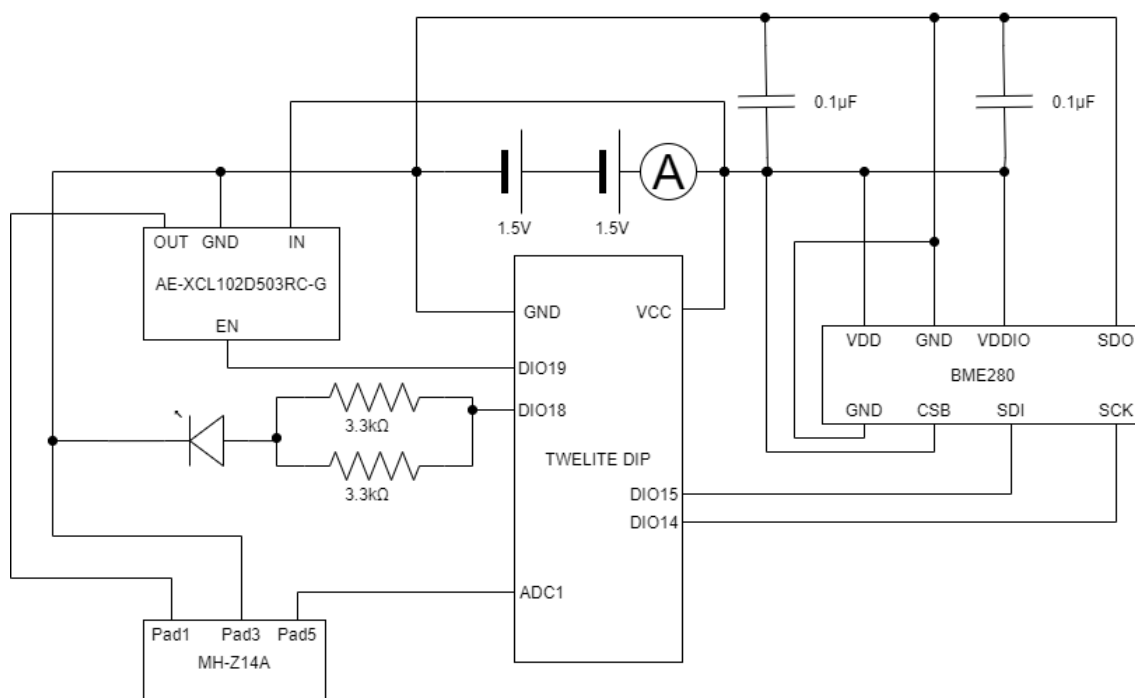


図 4.3. センサデバイスの電流測定の際の回路図

値を求めたところ、53mA であった。それらの状態の間で、かつ消費電力が「センサ読み取り」状態よりは比較的電流が少ない状態となっている、75 秒から 135 秒が「センサヒートアップ待ち」状態であったと推定して、その平均値を求めたところ、37mA であった。最後に、受信側 twelite によって開始信号を送ったのち、受信側 twelite でセンサデバイスから発信される電波を監視し、10 分間電波が監視されなかった後を「夜間スリープ」状態に入ったと推定して、その電流値を測定した。測定は 23 分間、0.25 秒おきに電流値の測定を行い、その平均値を求めたところ、1.2mA であった。

以上の結果を踏まえ、実装の際に行った見積りと同じように計算を行うと、1 日当たりの消費電流は 320mAh となった。単 3 型アルカリ電池 2 本で合計 4000mAh の電池容量を持つとすると、12 日以上連続して使用可能であるという計算になる。以上のことから、単体テストの項目 1-4 は満たしていることを確認した。

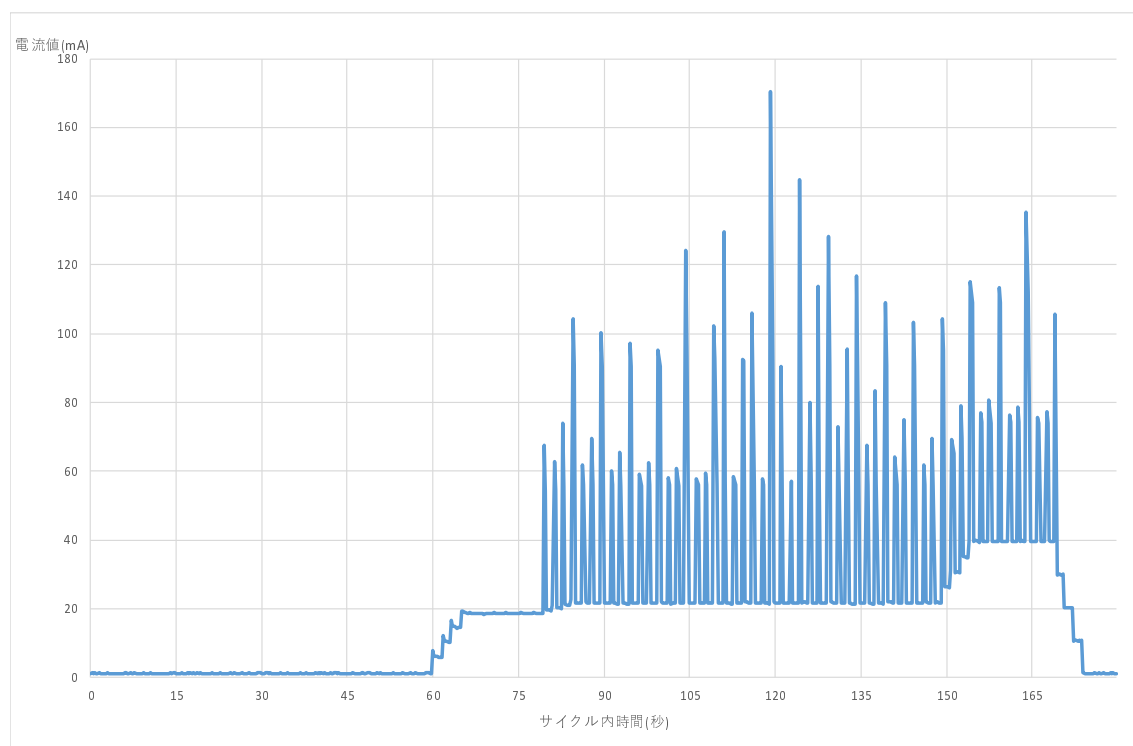


図 4.4. 観測された平均電力値の推移

4.2.2. 結合テスト

基本設計の際に作成した結合テストの項目に従い、結合テストを実施した。結合テストの結果を表4.4に示す。

表 4.4. 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 |

結合テストにおいては、環境値評価と人数推定を行う機能を同一プログラムで行えるようにした上で行った。また、データベースの処理も同一 Jetson で行えるようにし、受信用 Twelitelite を GPIO 接続で接続した状態で行った。

項目 1-1 については、センサデバイスの電源を入れた状態で Jetson の処理プログラムを実行し、LED の状態の変化によって状態推移が行われていることを確認した。項目 1-2 については、Jetson 上での処理プログラムを実行させることで、センサデバイスから電波が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に確認し、受信したデータが増え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入っている状態で、その値を用いて評価が行えていることを確認した。項目 1-5 については、処理の中心となるプログラムの中で、人数推定の結果を正しく入手出来ていることを確認した。項目 2-1 については、Jetson 上で評価を行った結果と、屋外デバイスの LED の状態の変化を比較して検証した。評価の結果に応じた 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

要求定義の際に作成した総合テストの項目に従い、総合テストを実施した。総合テストの結果を表4.5に示す。

表 4.5. 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 |

総合テストは、実際のシステムの利用を想定し、各モジュールの接続を行い、センサデバイスを2台用いて行った。各ユースケースの要求が満たされているかを確認した。

項目 1-1 においては、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り、LED の状態が変わっていることを確認した。項目 1-2 においては、システム実行時に屋外デバイスの LED が消灯状態になり、そこから Jetson からの指示のみで LED の状態が変化できていることを確認した。項目 1-3 においては、Jetson がセンサデバイスから送信された値を受信でき、それを処理に利用できていることを確認した。項目 1-4 については、Jetson に接続されたカメラの画像を Jetson に接続した画面上で確認することによって検証を行った。カメラからの画像が正しく取得されていることを確認した。項目 1-5 については、人数が違う集合写真を用い、それぞれで人数推定が行えているかを確認した。カメラに映った範囲において、おおむね正しく人数推定ができていることを確認した。項目 1-6 においては、人数が多い写真を認識したときに、二酸化炭素濃度値が高いとアラートを出し、警戒レベルが上がっていることを確認した。同様に、項目 2-1、項目 3-1、項目 4-1 も確認し、アラート発生の際に Jetson に接続された LED、ブザーが正しく機能していることを確認した。項目 1-7 においては、人の出入りが少ない時間を設定し、その時間中、環境値収集、およびシステムの処理が中断されていることを確認した。

第 5 章


評価・考察

本章では本システムを評価し，考察として今後の課題について述べる．

5.1 評価

本システム，および私が実装を担当したセンサデバイスの評価を行う．

評価は，3 章で述べた以下の要求が満足しているかを基準に行う．

1. あらかじめ指定されたガイドラインだけでなく，部屋の実態にも配慮して評価を行える．
2. 導入が容易でセンサを部屋の任意の場所に設置できる．
3.  感染リスクが必要な人に対して，分かりやすく表示できる．

まず，部屋の実態にも配慮しているかという点においては，感染リスクという指標を用いることで，長期的に部屋の実態を反映するものとなっている．また，その部屋の実態の把握において，換気状態の目安となる二酸化炭素濃度を用いているため，部屋の見取り図だけではわからないような空気の流れ等も反映してモノになっている．これらのことより，部屋の実態には配慮するという要求は満たせていると考える．続いて，導入が容易かという面においては，各デバイスが無線でやり取りをするため，従来のものより配線などについても考える必要がなくなったという点で容易であるといえる．また，センサを部屋の任意の場所に設置できるという点においては，今回実装

したデバイスは電池格納部を除き 7cm × 5cm のユニバーサル基盤上に実装できたため、これも満たしていると考えられる。しかし、カメラ 1 台で部屋全体が見える必要があり、またセンサデバイスの電源である電池が比較的高電流、高容量である必要があるなど少し制約のある形となってしまった。よって、この点においてはまだ改善の余地があったように感じる。次に、感染リスクを必要な人に、分かりやすく表示できるという点においては、室外内で表示デバイスを変える、3 色でリスクを表現できるなど、直感的に分かりやすくなっていると感じる。また、室内についてはブザーも用いるなど、危険な状態がより分かりやすくなる工夫をすることができ、この点は達成されたと考える。

5.2 考察

本システムにおいては、無線通信モジュールを用いた環境値収集デバイスの作成を行ったが、IEEE802.15.4 はセンシング機器において有用であると考えられる。今回用いたような小型かつ低消費電力で動作するモジュールが出回っており、身の回りの様々な場所に容易に設置可能となりうる。これによって、大きな工場等だけではなく、家庭内など、小さな環境であってもセンサなどのデバイスが設置しやすくなり、一般用途でのセンシングも行いやすくなると考えられる。一般用途ができることで、これまで満たされなかったニーズにも対応可能となると考えられ、幅広く用いることができると考えられる。しかし、今回開発を行った二酸化炭素濃度の計測においては、そのセンサの小型化、省電力化が進んでおらず、一般普及には時間がかかるのではないかと考えられる。今回のセンサデバイスの消費電力の半分程度を二酸化炭素濃度センサが占め、また温湿度センサに比べると非常に大きな専有面積を必要とする。以上の理由で、二酸化炭素濃度センサは今の状況では一般で広く用いられるためにはセンサ自体の改善、および発展が必要となるのではないかと考えられる。

第 6 章

あとがき

本論文では、環境値収集による感染予防サポートシステムの開発を行った。V 字モデルに従い、UML 図を用いた設計を通じてグループでの開発を行った。V 字モデル行うことで設計と検証の関係が明らかとなり、また UML 図により、設計をビジュアル的に、そしてオブジェクト指向にのっとして表現することができた。本システムによって、部屋の環境値の収集を小さなデバイスで行うことができるようになった。また、部屋の特性を踏まえた感染リスクを分かりやすく表示できるものとなった。これらのシステムは、感染症を防ぐのに利用でき、また利用者の感染症への意識向上を促すものとなりうると考えられる。それだけでなく、様々な場所の感染リスクや環境値の変動を収集することで、さらには人の移動の予想やよりよいガイドラインの制定にも応用が可能であると考えられる。環境値の測定が容易に、多くの場所で行えるということは大きな利益を生みうるということを本システムにより確認することができた。

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。

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] オムロン ヘルスケア株式会社, 新型コロナウイルス感染症の流行における意識と生活習慣の変化 — ニュースリリース | 企業情報 | オムロン ヘルスケア, <https://www.healthcare.omron.co.jp/corp/news/2020/0515.html>, 2020-5
- [2] 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_iryuu/dengue_fever_qa_00001.html, 2020-12-24
- [3] 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
- [4] IEEE, IEEE 802.15.4, <https://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>, 2021-1-6
- [5] 塚本和也, 無線ネットワークシステムのしくみ -IoTを支える基盤技術-, 共立出版株式会社, 2017
- [6] 渡辺晴美, 今村誠, 久住憲嗣, つながる! 基礎技術 IoT 入門 -コンピュータ・ネットワーク・データの基礎から開発まで-, 株式会社コロナ社, 2020
- [7] 株式会社 オージス総研, かんたん UML[増補改訂版], 株式会社 翔泳社, 2003
- [8] NVIDIA Corporation, NVIDIA Jetson が提供する組込みシステムの開発者キットとモジュール, <https://www.nvidia.com/ja-jp/autonomous-machines/embedded-systems/>, 2021-1-13

- [9] モノワイヤレス株式会社, 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>, 2021-1-13
- [10] 阪田史郎, 高田広章, 組込みシステム, 株式会社 オーム社, 2006
- [11] パナソニック株式会社,
[アルカリ・マンガン] 乾電池の電池容量はどれ位? PZ29060 - 乾電池 - Panasonic,
https://jpn.faq.panasonic.com/app/answers/detail/a_id/29060/p/1844,1845,1846/related/1, 2021-01-15
- [12] 気象庁, 気象庁 — 二酸化炭素濃度の観測結果,
https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/obs/co2_yearave.html, 2020-3-24