

東京電機大学  
博士論文

IoT を活用した空間知能化システムにおける  
行動センシング方式の研究

A Study on Behavior Sensing Method in Intelligent Space  
System Utilizing IoT

2019 年 3 月

岡崎 正一

# 目 次

1. 序章	
1.1 研究の背景	03
1.2 研究の目的	05
1.3 論文の構成	09
2. 空間知能化システムの現状・関連研究と課題	
2.1 空間知能化システムの現状・関連研究	11
2.1.1 空間知能化システムの目的	11
2.1.2 空間知能化システムの構成要素	13
2.2 空間知能化による見守りシステム	13
2.2.1 見守りシステムの機能要件	15
2.2.2 空間知能化による見守りシステムの構成	16
2.3 空間知能化システムの課題	18
2.3.1 空間知能化システムを支える技術に関する課題	18
2.3.2 空間知能化による見守りシステムに関する課題	20
2.3.3 センサソリューション技術学習に関する課題	22
3. 空間知能化システムを支える技術	
3.1 省エネ方式	25
3.1.1 空間知能化システムにおける省エネ通信の必要性	25
3.1.2 空間知能化システムにおける省エネ通信方式と課題	26
3.1.3 省エネ通信方式の空間知能化システムへの適用	28
3.1.4 省エネを考慮した空間知能化システム	30
3.1.5 省エネ通信方式の空間知能化システムへの実装	31
3.1.6 評価と考察	34
3.2 緊急通報方式	37
3.2.1 空間知能化システムにおける緊急通報方式と課題	37
3.2.2 機器間の通信方式	39
3.2.3 実装	44
3.2.4 評価と考察	45

4. 空間知能化システムにおける行動センシング方式	
4.1 空間知能化システムの構成	49
4.2 空間知能化システムの機能	51
4.3 空間知能化システムにおける行動センシング	52
4.3.1 空間知能化システムにおける行動センシングの意義	52
4.3.2 空間知能化による見守りシステムの構成	54
4.3.3 行動センシングによる異常検知	55
4.4 実装	61
4.4.1 空間知能化による見守りシステムの実装構成	61
4.4.2 空間知能化システムにおける異常検知の実装	63
4.5 評価と考察	66
4.5.1 評価	66
4.5.2 考察	66
5. センサソリューション技術教育プログラムの提案とその実践評価	
5.1 センサソリューションにおける技術教育の要素	69
5.2 空間知能化におけるセンサ教育の現状と課題	70
5.3 センサソリューション技術教育プログラムの提案	71
5.4 センサソリューション技術教育の実践	73
5.5 テストの実施	76
5.6 評価と考察	81
5.6.1 評価	81
5.6.2 考察	86
6. 結言	88
謝辞	92
参考文献	
1 章分	93
2 章分	94
3 章分	95
4 章分	97
5 章分	99

## 1. 序章

空間内にセンサやアクチュエータを分散配置し、それらをネットワーク化することにより空間をロボット化、知能化することが可能となる。この空間内のセンサが相互に情報交換し、空間内の状況を認識し、収集したセンサデータを分析することで、アクチュエータなどを適切に動作させ、空間内の人に対して物理的なサービスや有益な情報を提供することができる。このような空間を空間知能化システムと呼ぶ<sup>(1)</sup>。

空間知能化システムは、空間に配置したロボットやセンサ等が収集するデータを分析し空間内の状況を把握して、空間を最適に制御するシステムであり、人の状態、行動を把握して適切な処置を施すことが可能である<sup>(2)</sup>。空間知能化システムは、住居での快適な生活を支援する自動化システム、少子高齢化に伴う独居高齢者の見守り対策、見守り対象者の健康状況や認知症対策、労働力不足対策などとして期待されている<sup>(3)</sup>。

本研究は、実践的な方式で空間知能化システムにおける人の行動を把握し、行動のパターンの観察から異常状態を検知する方式に関する研究である。さらに、空間知能化システムにおける異常検知を効果的に実現するための通信方式、およびシステム構築に必要なセンサソリューション技術の習得に関する提案を行う。

### 1.1 研究の背景

インターネット環境を活用するスマートフォンなどのモバイル機器の普及とセンサ技術の進展、および、収集した大量のデータの分析力の向上により、従来では得られなかった新たな分析結果を得ることが可能となった。さらに、このような分析データを活用して新たな価値創出に結びつけるデータ駆動型の仕組みが構築されつつある。

モノとインターネットをつなぐ **Internet of Things (IoT)** によるシステム構築が進展しており、情報通信機器や家電製品、自動車機器、医療機器などの世の中に存在する様々なモノをインターネットに接続したり、相互に通信したりすることにより、設備の故障予測、遠隔医療などが実現可能となり、インターネットを中心とした **IoT** システムは、あらゆる産業分野に適用・応用が進展している。

一方、住居内においても、センシング技術の進展、介護ロボットやコミュニケーションロボットなどによる人との対話、人工知能と連動したスピーカ等を介した人からの情報、人へのサービスの提供が可能である。また、住居空間内のネットワーク化、センサデバイス間の連携処理などにより、高度なサービス機能を提供できる可能性が高まっている。

このような技術を適用した空間知能化システムの例を図 1-1 に示す。各部屋の快適化及び安心・安全を提供するために必要な情報は、住居内に配置したセンサ類を介して「空間知能化ハブ」に集められ、空間知能化ハブに収集した観測データを分析し、分析結果に基づき各部屋の状態を最適に制御する。

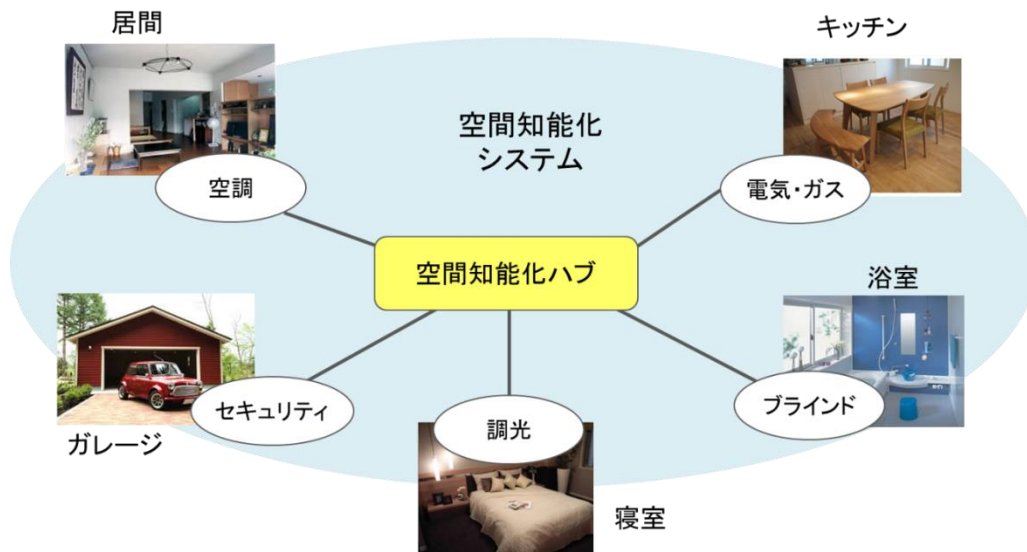


図 1-1 空間知能化システム例

本研究の社会的背景，技術的背景を図 1-2 に示す．社会的な背景としては，一人暮らし世帯の割合が 34.5%／1,842 万世帯（2015 年国勢調査）と高率を示し，さらに少子高齢化に伴う労働力不足等により，環境設備の改善・自動化や，労働の効率化などが求められている．日々の生活環境である住居内の機器においても，高機能なサービスの提供や，機器間の連携によるシステム化の要求は高い．

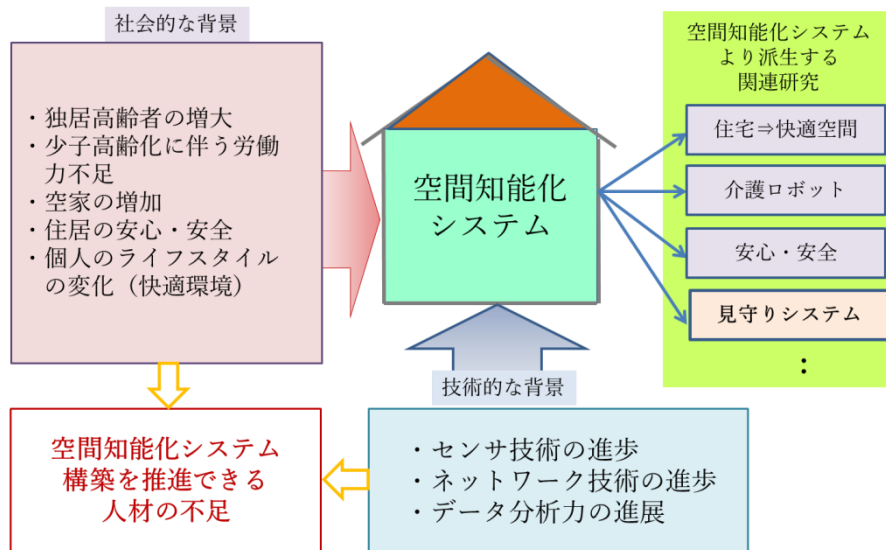


図 1-2 本研究の社会的／技術的背景

一方、住居内の環境を監視し、家電などの機器の適切な制御や、外部からの侵入などの異常発生を検知は、センサ技術やセンサのネットワーク技術などの進歩、センサデータの分析技術の向上を背景に期待されている。ただし、空間知能化システムの構築には、センサによる情報収集からセンサデータの分析技術までの幅広い技術を必要とすることから、センサデータを活用する統合的なセンサソリューション技術の人材が必要とされる。

空間知能化システムの狙いは、快適生活環境の提供、安心・安全環境の提供することである。快適生活とは、居住者のいる部屋や時刻等により、空間内の空調や照明などを最適に制御できる環境であり、安心・安全は、「超高齢化社会」の到来を控えて重要性を増す居高齢者の遠隔見守りや、防犯（空き部屋、留守宅）対策として活用できる環境を指す。空間知能化システムの狙いとアプリケーションが提供するサービス機能を図 1-3 に示す。

快適生活のためには、アプリケーション処理として空間内の状況把握をもとに、空間を構成する機器を最適に設定する必要があるが、また、安心・安全のためには、センサデータの分析から異常を検知する必要があるが、ともに、センサデータの収集とデータ分析による空間の制御であるといえる。したがって、空間知能化システムを実現するためには、空間内の人と状況を正確に把握する技術と、センサデータの分析方式が共通して必要な基本的技術となる。

空間知能化システム内における人の行動の把握に関する研究では、ロボット、赤外線センサ、人が保持するタグ、空間内に設置したリーダー／ライターとタグ、監視カメラ等を用いて把握している。この場合、対象となる人はタグ等の機器を保持する必要があるか、あるいは空間内にカメラを設置するなどの大掛かりな設備が必要となる。

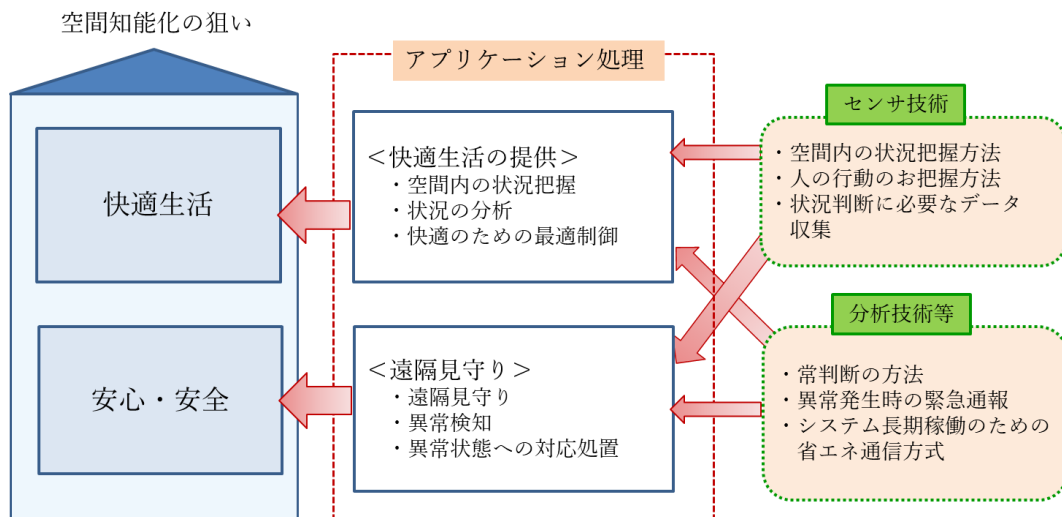


図 1-3 空間知能化システムの狙い

また、異常検知の方式としては、監視カメラや赤外線センサなどを用いて人の行動を常時把握・分析する方式や、人が発信器等を保持することにより、住居内での行動を把握する方式などがある<sup>(4)</sup>。

## 1.2 研究の目的

空間知能化システムにおいてシステムが必要とするデータを効率よく収集するためには、データ収集方式、使用するセンサ、人に情報をフィードバックする媒体などを適切に選択する必要がある。

空間知能化システムでは、住宅内の機器の最適制御により快適環境を提供したり、空間に分散配置したセンサを用いて、空間内の様子を観察し、安全確認などをしたりすることもできる。さらに、観測結果に応じてロボットや家電製品などの機器を適切に制御することにより人に対して作用することができる。これら一連のプロセスが空間知能化である。本研究においては、空間知能化を次のように定義する。

- 空間に分散して配置したセンサを用いて空間内の様子を観測する
- 有用な情報を抽出して必要とするものへ提供する
- 観測結果に応じてロボットや家電製品などを適切に制御することにより、人に対して作用をもたらす

空間知能化システムでは、人の行動を把握する方式が重要となる。住居などの空間内の人の動きを観測し、空間内での人の行動や異常状態を検知したり、人の居る部屋の環境を調整したりすることを実践的に実現する空間知能化システムが求められている。

また、空間内に設置したセンサ稼働期間は長いことが望ましいことから、消費電力を抑えたセンサ稼働方式が必要であり、さらに、異常状態を検知した時には関連部門に緊急通報する必要がある。図 1-4 に空間知能化システムの構成例を示す。図において、①、②でセンサにより人と空間状況を把握し、センサデータをもとに③のサーバで分析処理を行い、④で人への適切な作用を及ぼす。③のサーバは、アプリケーション処理により空間内の各種機器の設定を調整する役割を果たし、図 1-1 の空間知能化ハブに相当する。

空間知能化システムでは、人の行動を観察して、人の状態を通常状態と比較し、通常的生活状態から外れた行動であるかどうかにより異常状態の発生の可能性の有無を判断する。人の行動を把握するために、空間内に配置されたセンサ環境を活用する。

本研究の目的は、空間知能化システムにおける人の行動の把握を実践的に実現し、居住者の異常状態を検知し快適ライフ/遠隔見守りを可能とする方式の提案とその評価を行うことである。

方式としては、人の行動を人感センサにより検知し、ゾーン間の移動が発生した時の from/to のゾーン情報と発生時刻をもとに行動を把握することにより、少ない情報量で効果的に異常状態を検知するという新しい方式を提案した。

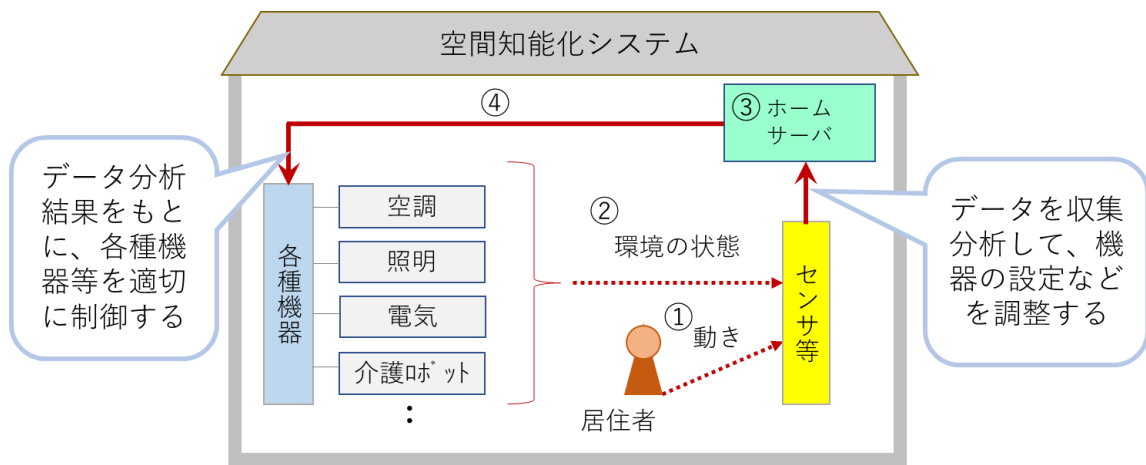


図 1-4 空間知能化システム構成例

研究目的を図 1-5 に示す。本研究の目的は、空間知能化の仕組みをもとに遠隔見守りシステムを構築する方式の開発、提案である。空間知能化による見守りシステムの構築における新たな方式の開発として、通信方式、見守りシステムにおける人の行動把握方式、および、空間知能化システム構築の人材育成に結びつくセンサソリューション技術の習得プ

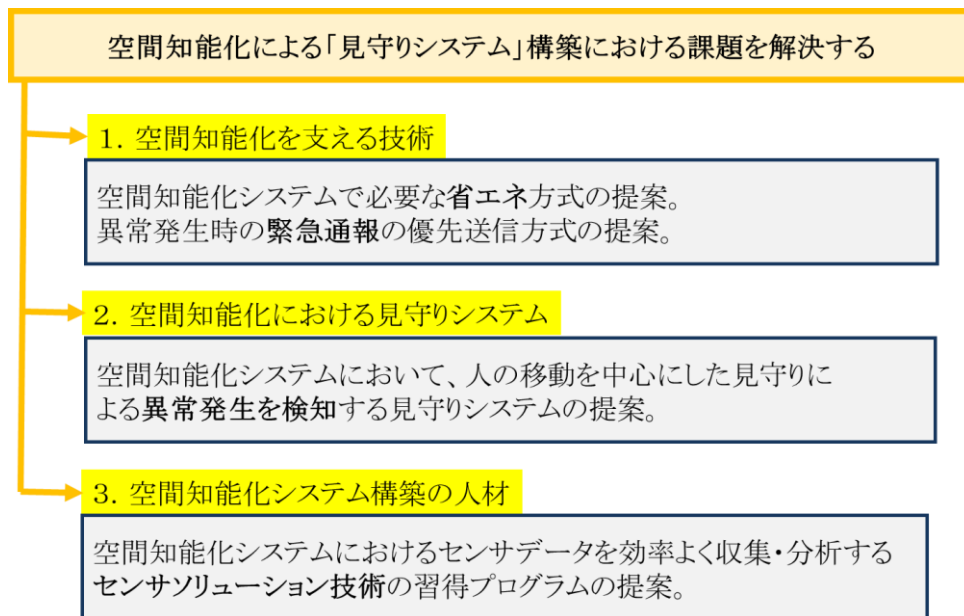


図 1-5 本研究の目的



プログラムの開発と実践である。

空間知能化における通信方式については、通信の効率化を図るために、データの送受信ルートと、制御コマンドの送受信ルートを動的に切り替える通信方式、及び省エネ通信のために、プロトコルシーケンスを低減する省エネ通信方式の提案を行う。

空間知能化における見守りシステムについては、人の行動把握の仕組みを実践的な方式で実現する方式を提案する。

空間知能化システム構築の人材については、空間知能化システムにおけるセンサデータを効率よく収集・分析するセンサソリューション技術の習得プログラム方式の提案である。

具体的な研究テーマとして、空間知能化システムの構築法、人の行動の把握方式、空間知能化システムにおけるセンサソリューション技術教育プログラムの以下の4件について研究する。

- (1) 『省エネルギーを考慮した空間知能化システムとその通信方式』
- (2) 『SIP 機能を活用した M2M 機器間通信システム方式 とその適用評価』
- (3) 『空間知能化システムにおける行動センシング』
- (4) 『IoT におけるセンサ技術教育プログラムの提案とその実践評価』

各研究の目的を以下に述べる。

- (1) 『省エネルギーを考慮した空間知能化システムとその通信方式』<sup>(5)</sup>

省エネルギーを考慮した空間知能化システムとその通信方式を提案し、実装と評価を行う。センサデータを収集するゲートウェイにはスマートフォンやタブレット端末などのスマートデバイスを用い、スマートデバイスが内蔵する 2.4GHz 帯の通信により、センサ制御装置からのセンサデータを受信する。また、ゲートウェイからセンサまでの距離が長い場合には、障害物を回避する回折性に優れた 920MHz 帯の通信を使い、リピーター機能を有する空間知能化コントローラを用いて通信距離を延長してデータ収集する。

- (2) 『SIP 機能を活用した M2M 機器間通信システム方式とその適用評価』<sup>(6)</sup>

M2M 機器間でデータを共有する仕組みを有し、かつデータの緊急度に応じて通信経路を自動的に切り替えてリアルタイム処理を実現する。それによりセンサからのデータに対し迅速な処置をとることが可能になる。本システムにアクセスする端末は、センサ、ゲートウェイ、サーバのシステムより構成する系から得られたデータを参照したり、センサデータでの異常値を検出した時の緊急通報を受信したりする人とのインタフェースを司る。システムの通常運転時は、センサ、ゲートウェイ、サーバのシステムで運用しているが、システムが異常を検出した時はシステム管理者等へアクセス端末を利用して緊急通報する。

### (3) 『空間知能化システムにおける行動センシング』<sup>(7)</sup>

IoT 技術を活用して、空間知能化システムにおける行動センシングの方式と、異常状態の発生を検知する方式を提案する。この異常状態を検知するためには、検知する機器を住居内に簡単に設置でき、また、見守りの対象者が、「見られている」、「監視されている」などの意識を持たない方式の採用や環境の提供が重要である。本研究では、空間知能化システム内の部屋間の人の移動をセンシングすることにより、異常状態を検知する方式を適用し、評価を行う。

### (4) 『IoT におけるセンサ技術教育プログラムの提案とその実践評価』<sup>(8)</sup>

IoT におけるセンサ技術の教育プログラムを提案する。IoT のデータ収集で重要な役割を果たすセンサ活用技術を効果的に習得するために、次の①～④の4つの学習ステップに分けて、段階的にIoT におけるセンサ技術を習得する教育プログラムである。

#### ①センサハードウェア技術

センサの基本構造，データ取得の仕組みを，代表的なセンサを例にして学習する。

#### ②センサソフトウェア技術

IoT においてセンサデータを効果的かつ効率よく処理するために，ソフトウェア処理と組み合わせたセンサデータ処理技術を習得する。

#### ③センサソリューション技術

サーバ上でのデータ分析で必要とされるセンサデータの抽出，データの流れ等を総合的に習得する。さらに，実際にセンサを用いてプロトタイピングを行うことにより，IoT におけるセンサの活用技術の理解を深める。

#### ④センサに関するアイデア創出

①から③の講義／プロトタイピング演習を通して，従来のセンサの改善点や新規機能の追加，あるいは新規のセンサのアイデア出しとその評価を行う。

## 1.3 論文の構成

本論文は6章から構成される。2章から6章までの内容は以下のとおりである。

2章では，IoT の仕組み，要素技術を活用して構築する空間知能化システムの構成，データの流れを述べる。

3章では，空間知能化システムを支えるインフラ部としての通信方式において重要である省エネルギー通信と，緊急通報の仕組みとを実現するための通信方式について述べる。

4章では，空間知能化システムにおける行動センシングによる異常検知方式として提案した行動センシング方式について述べる。

5章では，空間知能化システム全体を通じたセンサデータ活用技術，センサソリューション技術を習得するためのセンサ技術教育プログラムについて述べる。

6章では，本研究の成果をまとめるとともに，今後の課題について論じる。

本論文と学術論文との対応関係を図 1-6 に示す。図において、論文 1『省エネルギーを考慮した空間知能化システムとその通信方式』は、本論文の 3 章と 4 章に対応する。論文 2『SIP 機能を活用した M2M 機器間通信システム方式 とその適用評価』は、本論文の 3 章に対応する。論文 3『空間知能化システムにおける行動センシング』は、本論文 4 章に対応する。論文 4『IoT におけるセンサ技術教育プログラムの提案とその実践評価』は、本論文の 5 章に対応する。

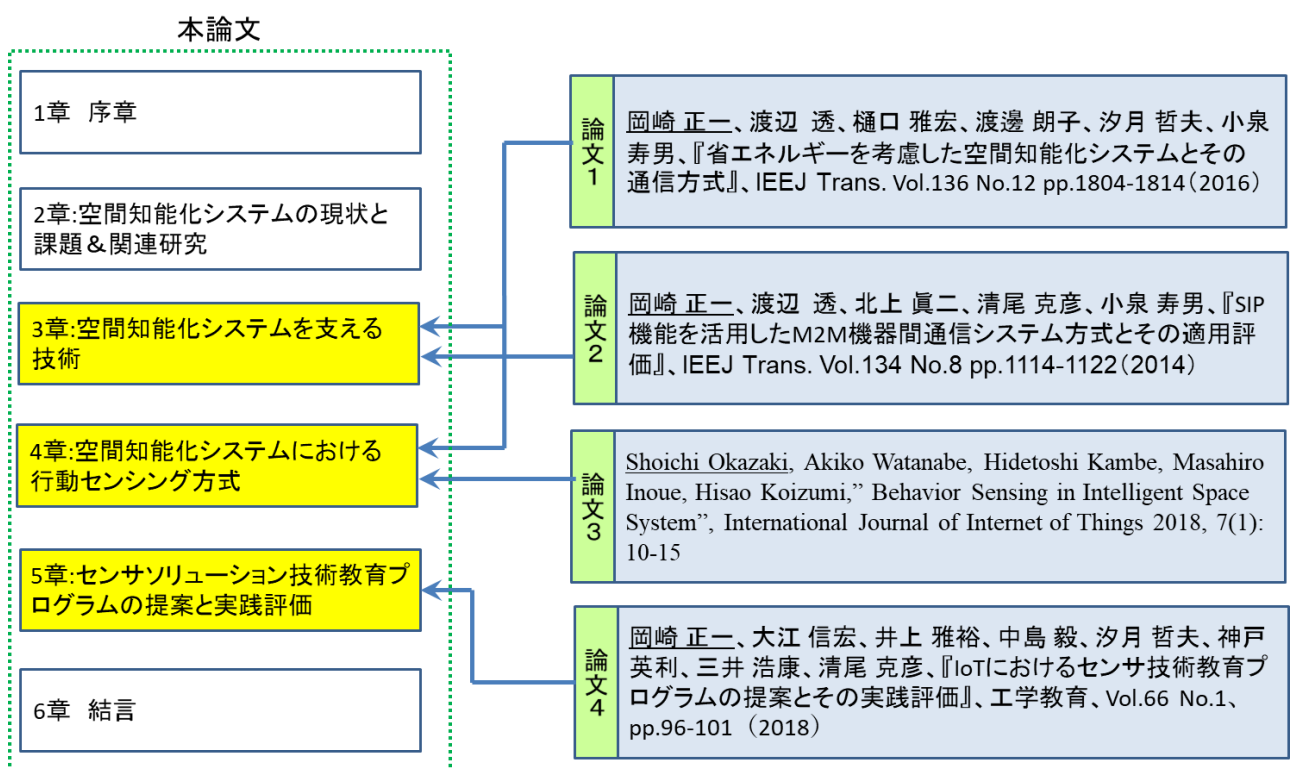


図 1-6 論文の構成(章立て)と学術論文との対応

## 2. 空間知能化システムの現状・関連研究と課題

住居内での生活環境が、センシング技術、機械学習などの技術進歩に伴い急速に変化している。その背景としては、空間知能化システムを構成するセンサ技術、センサデータの分析技術などの進展により大規模なセンサデータ収集・分析の環境が整備され、新たなデータの価値の創出が可能となったことが要因の一つである。また、データ活用に向けた深層学習などの機械学習等の分析技術が高度化し、さらに、人とのコミュニケーションが人工知能と結びついて、ロボット、スピーカ、ウェアラブルデバイスなどのヒューマンインタフェースを活用できるようになったことも、空間知能化システムが提供するサービスの高度化に貢献している。

本章では、空間知能化システムに関する関連研究の分析と、空間知能化システムの現状と課題について論じる。

### 2.1 空間知能化システムの現状・関連研究

#### 2.1.1 空間知能化システムの目的

空間知能化<sup>(1)</sup>は住宅の情報化による住宅管理システムから始まり、安心・安全システム、エネルギー管理システムなどへと進展した。さらに、インターネット、PC、スマートフォン／タブレット、家庭内の各種機器などにより空間内のネットワーク化が進み、IT技術により住宅内の設備のネットワーク化が進んだと考えられる。すなわち、住宅の監視・制御、防犯・防災、情報管理などを効率よく実現するための仕組み<sup>(2)(3)</sup>が整えられたと捉えることができる。

空間知能化システムの目的は、快適性、安心、安全を提供する環境を創出することであり、快適な生活環境、安心・安全の確保などのサービスが可能となる。提供するサービスの内容は、空間知能化システムのアプリケーションにより決まる。アプリケーションは空間から収集したデータをもとに、空間内の快適環境を設定したり、異常状態が発生したかどうかの判断を行ったりする。

空間知能化が提供する快適な生活環境とは、次のような環境を指している。

空間知能化は、照明、シャッター、ロールカーテン、オーディオ・ビジュアル機器、エアコン、床暖房、電子錠、セキュリティカメラなどの家庭内の電化製品をつなぎ、制御することによって、自動的に、あるいはワンタッチで、団らん、読書、ミュージック観賞、ホームシアターなどの空間環境を切り替えることができる住まいを提供する。朝日が昇りはじめの頃、ベッドルームには住人のお気に入りの音楽が最初は弱く徐々に大きな音で流れ、音楽にシンクロして、照明が一旦全部灯り、やがて徐々に消えていく。照明の動きにあわせて、ロールカーテンがゆっくりと開くといったことが可能となる。

このような心地よい光景を生み出すのが空間知能化であるが、空間知能化は、快適なラ

ライフスタイルを実現するだけでなく、いまの社会的な課題である省エネ・節電を実現する。家庭内の電化製品をつなぎ、制御することによって、家庭の消費電力のモニタリングにとどまらず、エネルギーの最適化、すなわち、エネルギーのマネジメントが可能となる。さらに、応用例として、住宅の一日の消費電力の最大値を決めておき、その最大値の90%を超えると、警告音が響き、照明が緩やかに落ちる（調光される）というようなことが実現できる。さらに、日の入りにあわせて、ロールカーテンが少しずつ降り、照明が徐々に点灯したり、温度センサと組み合わせてエアコンや床暖房をライフスタイルにあわせて制御すれば、温度調整も最適化を図ることができる。照明や空調などの使用を最適化することで、節電につなげることが可能となる。

上記のような空間知能化システムの環境構築に必要な機能要件を図2-1に示す。処理の流れは、空間内でのデータ収集を、人の行動把握のためのデータ収集を含めて①で行い、②を経由して③のサーバ上のアプリケーションに渡す。アプリケーションの処理としては、快適空間を提供するための機器の制御や、居住者の空間内での動きの観察や家屋の管理等による安心・安全を提供するための機器の調整を行う。調整のためのデータは、④を経由して機器に送信する。

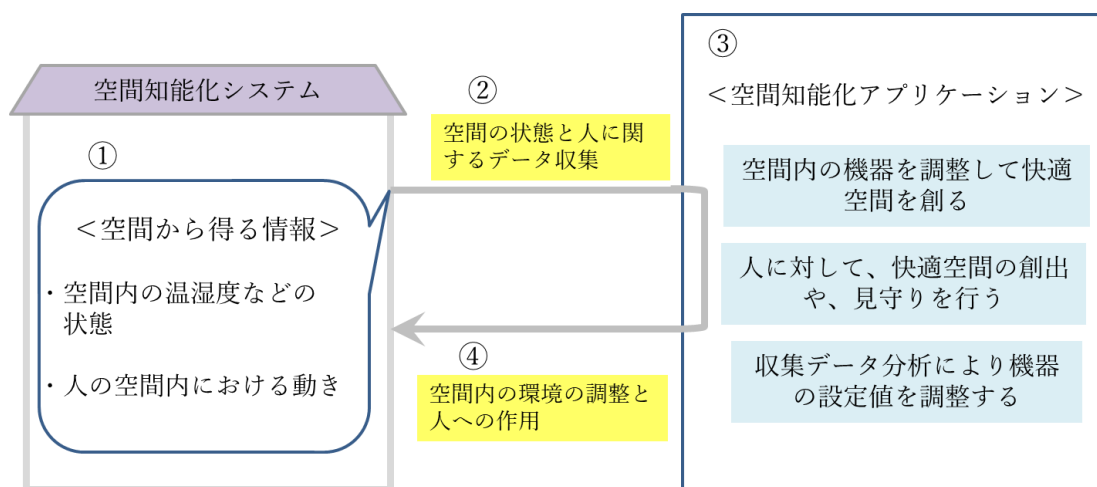


図 2-1 空間知能化システムの機能構成

### 2.1.2 空間知能化システムの構成要素

空間知能化システムの構成例を図 2-2 に示す。住居内の各部屋に設置したセンサや家電の制御装置等が収集したデータは、クラウド上のアプリケーションに送信される。アプリケーションは必要に応じて空間内の機器の操作のための指令をホームサーバに送る。ホームサーバは受け取った指示に従い機器の設定を調整し、快適な空間を提供する。

機器の電源 on/off や機器の設定値の変更は、予め決められた条件に従ってサーバ上のアプリケーションが実行する。また、居住者に対し安心・安全を提供するために、図 2-2 に示す各部屋の機器類の制御に加え、空間知能化システムは、見守り対象者の住居内での行動、現在いる部屋の特特定などの情報を得るための機能を有している。

空間知能化システムの構造は、空間内のセンサデータをサーバに収集してデータ分析を行うシステム形態である。

一方、インターネットにあらゆるモノを接続する IoT システムは次に示す構成要素からなり、それぞれの役割を分担している。

- IoT デバイス

センサ、アクチュエータなどから構成される。センサは検出データを収集し、アクチュエータはサーバ上のアプリケーションの分析結果等に従い動作する。

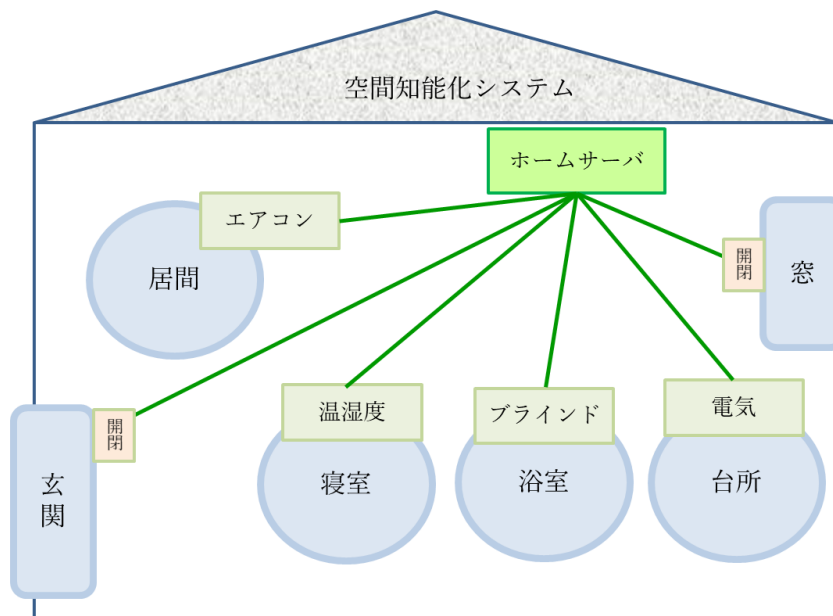


図 2-2 空間知能化システム例

- IoT ゲートウェイ  
センサデータを集約してサーバに送信する等の中継機能等を行う。
- IoT サーバ  
データの保管，データ分析等を行う。

空間知能化システムの構造とIoTのシステム構造の対比を図2-3に示す。IoTシステムは、IoTデバイス、IoTゲートウェイ、IoTサーバをネットワークでつないだシステム形態が基本的な構成であり、一方、IoTシステム構造に対応する空間知能化システムの空間（住居）部分は、IoTデバイスとIoTゲートウェイを合わせた部分、あるいはIoTシステム全体が空間知能化システムに対応する場合の2通りがある。図2-3は、前者のIoTデバイスとIoTゲートウェイを合わせた部分が空間知能化に相当している。

空間知能化システムはIoTシステムの構造に当てはめることができ、空間知能化システムの各パーツの役割は、IoTと同等なものとして対応付けられる。さらに、データの流れを見ると、センサのデータをサーバで分析し、アクチュエータにフィードバックするという同様のデータの流れ、およびデータの扱い方をしている。すなわち、両システムともデータの加工・分析によりデータを活用し、データを中心にシステムを動かすデータ駆動型モデルである。

空間知能化システムの研究に当っては、IoTのデータ駆動型モデルの仕組みを活用し、センサデータを活用するセンサソリューション、センサデータの分析手法などを活用することができる。

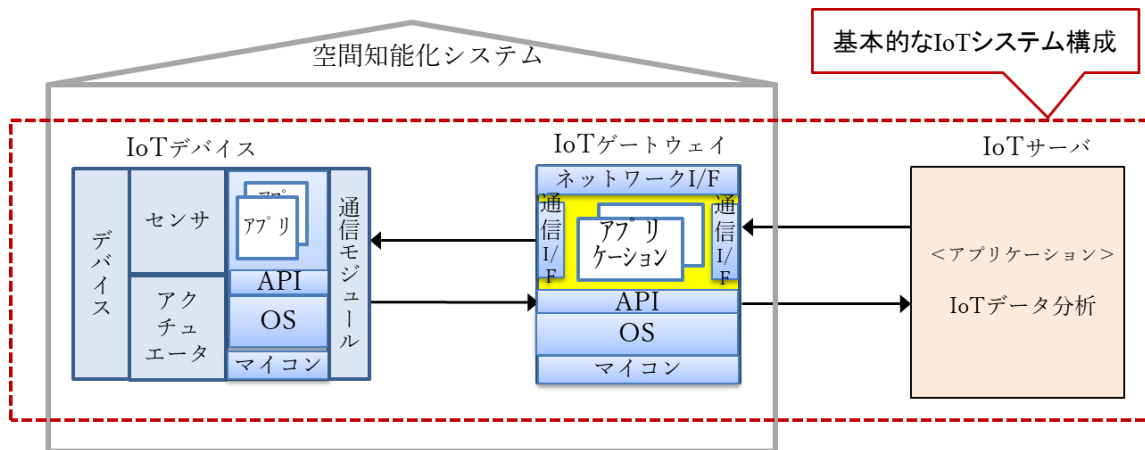


図 2-3 IoTシステムと空間知能化システム

## 2.2 空間知能化による見守りシステム

空間知能化システムが目指す快適生活、安心、安全は、見守りシステム構築に適している。一方、見守りシステムは、居住者の安心・安全を確保するために居住者の状態や動きをウォッチする必要がある、そのための情報収集は空間知能化が提供する環境と合致している。以下で、空間知能化による見守りシステムの機能要件及び構成について述べる。

### 2.2.1 見守りシステムの機能要件

空間知能化による見守りシステムでは、次に示すような場合に対応して、生活支援する。

- ・ キッチンで天ぷらなどの調理をしていた高齢者が、宅配便が来て応対している間に、調理をしていたことを忘れ、天ぷらの鍋が高温になり、火事の恐れが出てきた。
- ・ バスルームで転倒して動けなくなり、何とか外部に緊急連絡をしたい。
- ・ 急病が発生し動けなくなった。

このような状況に対する見守りシステムの例を図 2-4 に示す。見守り対象者の状態はクラウド上のアプリケーションが収集した情報をもとに分析して異常発生を検知し、見守り側の家族や救急センターなどに緊急通報する。見守りシステムから連絡を受けた見守り側が緊急対応処理や安否確認をとれる仕組みである。

図 2-4 は、図 2-2 に対して見守りシステムの機能を追加した場合であり、空間内の機器の制御だけでなく、見守り対象者の住居内での行動の把握、および異常状態が発生した場合の見守り側への連絡、見守り側が見守り対象者の安否確認を行うための機能を盛り込む必要がある。

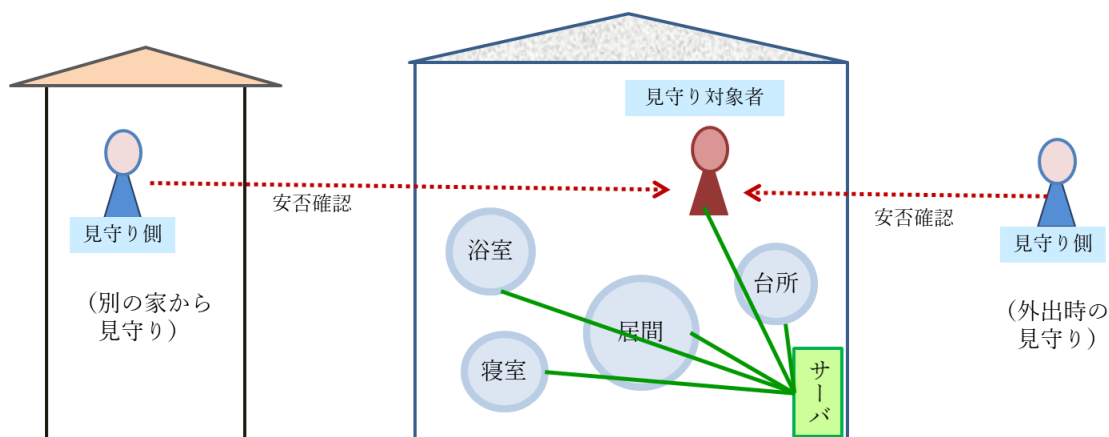


図 2-4 空間知能化の見守りシステムへの適用例



## 2.2.2 空間知能化による見守りシステムの構成

空間知能化による見守りシステムを構築するに当たっては、検知したセンサデータを効果的に活かせる仕組みをシステムに盛り込む必要がある。特に、異常状態が発生した場合には、速やかに見守り対象者に手当てができる、あるいは見守り側の人に緊急連絡が行えるなどの仕組みが必要となる。

空間知能化のシステム化において得られるセンサデータの特徴としては、空間を構成するモノの中に動くモノ、すなわち人が存在することがある。人との対応を含めた空間知能化システムの構成として、次の方法がある。

- ・ ビデオカメラ、介護ロボット等により人の行動を監視
- ・ 人が装着している機器が情報を発信して人の位置を推定
- ・ 空間にセンサのみを配置して人の行動を把握

上記の方法を用いて、人に作用して快適・安心・安全を提供することが可能となる。

ビデオカメラ、介護ロボット等による人の行動の監視に関しては、ロボットの機能の一部を空間知能化システムに組み込んで、空間そのものをロボット化し、人に対してサービス機能を提供するシステム<sup>(4)</sup>があり、空間にセンサやアクチュエータをなどのロボット要素を埋め込んで人に対する支援業務などを行う。適用例としては、ロボット病室、日用品へのアクセス支援ロボット<sup>(9)</sup>等がある。患者が指さした物を空間に取り付けたロボットアームがとってくれたり、ビデオを介したモニタリングなどにより患者の呼吸状態を把握するなど<sup>(8)</sup>が行われている。

また1つの部屋のロボティックス化でなく病棟全体に対するロボティックス化の研究では、廊下を含めた移動ロボットの薬剤搬送業務などが研究されている。病棟内に設置されたセンサと移動ロボットによる協調動作により、3次元の環境認識、障害物の回避技術などが研究されている。この方法は、装置が大掛かりになることから個人の住居には適さないが、病院、介護施設の建物そのものに埋め込むことにより、効率のよいデータ活用が可能となる。

空間知能化システムのシステム構成を図 2-5 に示す。空間知能化モデルでは、空間全体をロボットと見え、各種センサからのデータだけでなく人の行動を入力信号と捉え、アクチュエータ等を介して収集したデータをもとにサービスを提供する。図 2-5 において、①の空間知能化ハブは、②の各種センサの測定値や人感センサで検知した人の動きを受信し、受信データをサーバ上の③のアプリケーションに送信する。③のアプリケーションは、センサデータをもとに④の照明器具や家電製品の制御を行うためのデータを各アクチュエータに送信する。

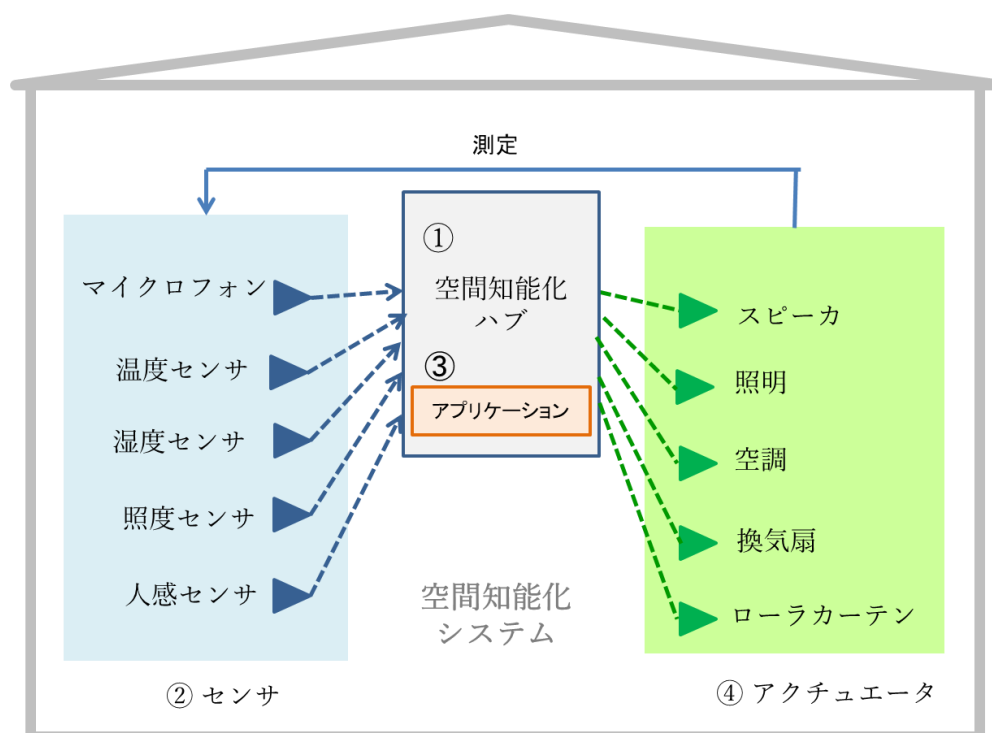


図 2-5 空間知能化システムにおけるセンシング例

## 2.3 空間知能化システムの課題

空間知能化による見守りシステムに関して、見守り対象者にとっての最も重要な課題は、見守られている、監視されているという意識を感じることなく、通常の自然な生活環境で見守りサービスを受けられることである。すなわち見守りシステムの課題は、見守り対象者の見守られているという負担を軽減して、異常状態の検知などに如何に対応するかである。また、空間知能化システムの基盤を支える要素技術としては、省エネ通信の実現および異常発生時の緊急通報方式のシステムへの組み込みが必要である。さらに、見守りシステムにおいて人の行動を迅速かつ効果的に把握し、異常時の対応をとるかは、センサおよびセンサデータの技術習得をソリューションとして理解・習得する必要がある。以下、各課題の詳細について述べる。

### 2.3.1 空間知能化システムを支える技術に関する課題

#### (1) 省エネ方式に関する課題

空間内にセンサや機器を多数使用してこれらを制御する空間知能化システムは、サーバとセンサや機器間の通信は無線通信が前提である。

空間知能化システムの無線通信環境では、無線センサデバイスを空間内に多数設置し、データを収集する。多数のセンサを使用し、さらに年月の経過と共にセンサの追加や規模の拡大が考えられ、それらに柔軟に対応するためには、空間知能化システムの保守や拡張などのメンテナンス性の良さが求められる。さらに、これらのセンサを含むシステムのライフサイクルと空間知能化である住宅等とのライフサイクルが同じことが望ましい。

空間知能化システムの長寿命化のために低消費電力方式が必要となるが、省エネルギーを考慮した空間知能化システムには現状次の課題がある。

- (i) センサの電池交換やメンテナンスの負荷が無線センサデバイスの普及の課題となっている。空間知能化における省エネルギーの無線通信方式、センサデバイスの低消費電力化が必要である。
- (ii) 空間知能化ハブ、およびシステム／ユーザ間のインタフェース端末として、普及しているスマートデバイスを活用できる通信方式が必要である。

システムの省エネ対策として次に示す省エネ手法があり、空間知能化システムの目的に応じて選択する必要がある。

- ・ 通信オーバーヘッドの削減  
プロトコルシーケンスの削減、ヘッダサイズの縮小、送信データの縮小
- ・ デバイスの省エネ設計
- ・ 消費電力の少ない通信方式の選択

省エネ対策の対象となる機器等を図 2-6 に示す。図において、①は、データ送信後、直ちにスリープモードに入ることにより、省エネ対策を行う。また、②は、センサデータを送信するときにデータパケットを使用せず、センサデバイスが発するビーコンのヘッダ部

分にデータを組み込むことにより省エネ対策を行う。

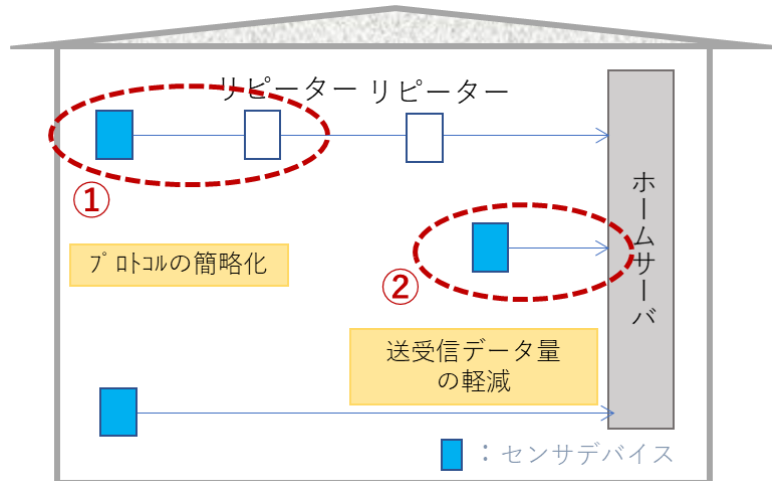


図 2-6 空間知能化システムにおける省エネ対策

## (2) 緊急通報方式

空間知能化システムにアクセスする端末の役割は、空間内の状況をリアルタイムで遠隔監視でき、異常が検知された時には直ちに関連端末等に通知できることである。異常検知の通報を受信した時には、空間に対してリアルタイムの対応処置がとれ、必要に応じて現場の画像データなどの詳細情報を端末で確認ができることである。そのためには、システムにアクセスする端末は、サーバとの間でデータ共有環境を有し、かつ機器間でリアルタイム通信ができることが必要である。

空間内のセンサからサーバにデータ送信され、アプリケーションはデータ分析をもとに、空間内の機器等に指示をフィードバックするシステムは、人の介入がない閉じたシステムである。一方、見守りシステムでは、異常発生時は、見守り側の人、あるいは機関への連絡が必要になる。緊急通報時のメッセージ送信ルート例を図 2-7 に示す。通常メッセージやデータ送受信は、IoT サーバ経由で行う。

図 2-7 において、①の見守り対象者の行動は各部屋に設置された②の IoT デバイスで把握され、③の IoT ゲートウェイに集められ④の IoT サーバのアプリケーションに渡されて分析する。通常時は、⑤の見守り側はサーバにアクセスして見守り対象者の行動などをビデオ等で確認できる。一方、異常状態が検知されると IoT サーバのアプリケーションから⑤の見守り側へ異常発生の緊急通報が寄せられる。この時、見守り側は、通常時のルートではなく IoT[サーバを経由せず IoT ゲートウェイと直接通信できる緊急ルートを確認する方式が必要となる。

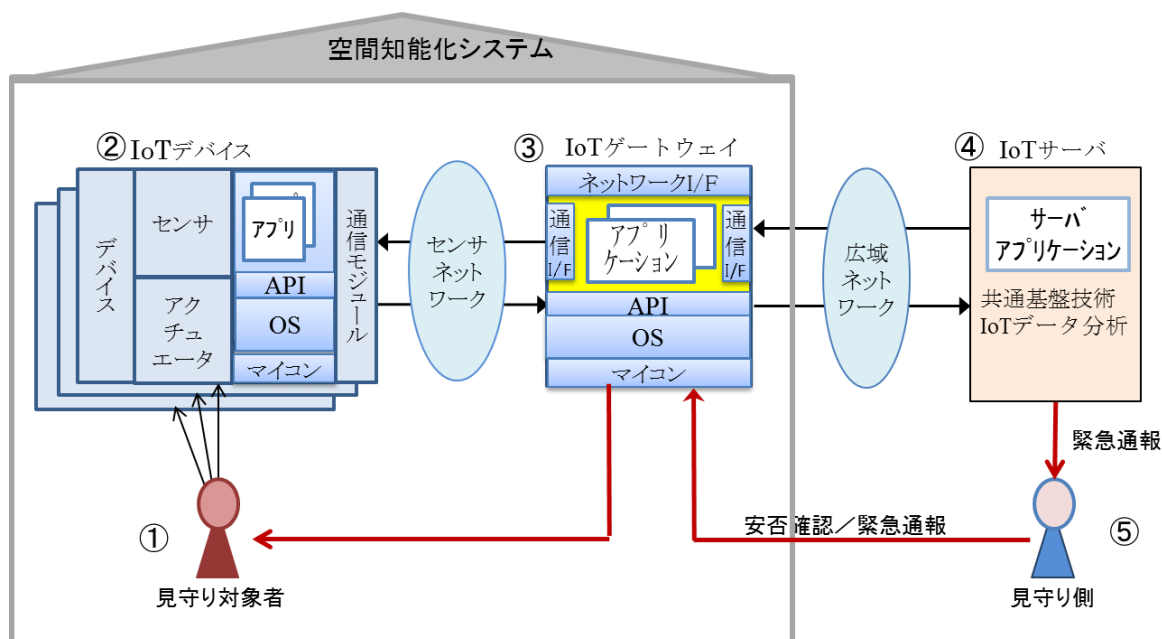


図 2-7 緊急通報の送信ルート

### 2.3.2 空間知能化による見守りシステムに関する課題

#### (1) 不干涉性に関する課題

独居高齢者の遠隔見守りでは、「見守られている」、あるいは「監視されている」という意識を極力見守り対象者に与えてはいけない。個人の生活を干渉していない、あるいは「見守られている」という意識を持たせない「不干涉性」が重要であり、行動把握の実践に当たっては、必要な情報を取得でき、かつデータ収集の方法は不干涉性が低いことが求められる。

また、ウェアラブルデバイスを使用して人の動き、状態を把握する方法は高精度なデータを得られる反面、見守り対象者の身に着ける見守り用の機器も、監視されているという意識を与える可能性がある。人が装着しているウェアラブルデバイスが情報を発信し行動を把握するシステム例としては、加速度センサにより歩行中とそれ以外を識別するシステム例がある。

空間にセンサのみを配置して人の行動を把握する方式に関しては、人の行動そのものをセンシングする方式と、空間内のドア、床、家具、道具類などにセンサを埋め込み、間接的に人の行動を把握方式<sup>(5)</sup>に分けられる。

人の行動そのものをセンシングする方式としては、各部屋に焦電型人感センサを配置し1分当たりの動き検知回数を記録して活動量を把握する方式や、設置したセンサの反応があれば見守り対象者が正常に生活しているとみなす安心期間を設定し、この安心期間を用いてどの程度安心感が得られるかを定量化する手法の方式<sup>(6)</sup>などがある。

間接的に人の行動を把握する研究では、家具や料理道具、収納ケースなどあらゆるものにセンサを取り付け、人の詳細な行動の把握を可能としている研究<sup>(5)(9)</sup>がある。

また、人の行動そのものをセンシングする方式に加え、センシング精度を向上するために家電などの使用状況などを併用して、見守り対象者の状態を監視するシステム<sup>(5)</sup>がある。このシステム例では、人の状況を、人感センサ、水道の使用を検知する水センサ、家電の電源 on/off を検知する電力センサを用いて行っている。住居内に設置した人感センサ、電力センサ、水センサのデータを定期的にサーバにデータ送信する。サーバ上の異常識別システムがセンサデータから異常ありと判断すると、見守り側に状況を通知する。異常識別システムが見守り対象者から確認をもらえなかった場合は、見守り側が見守り対象者の確認を行う。

以上の方式は見守り対象者に何も装着せずに動きを把握する場合と、何らかの機器を装着する場合に分けられが、いずれの場合も見守り対象者の不干渉性を低減する方式が必要である。

## (2) 行動把握の方式に関する課題

人の行動を把握する方法を次の形態に分類して示す。

- ・ 外部の人は見守り対象者の行動を監視する場合：  
各部屋にビデオカメラを設置して、監視人による監視あるいは画像処理により、転倒などを監視する。
- ・ 見守り対象者が自ら行動に関する情報を発信する場合：  
ウェアラブルデバイスを装着して、自分の位置に関する情報を発信する。速度、加速度、方向等の情報発信がこれに相当する。
- ・ 見守り対象者とは非接触で行動を把握する場合：  
赤外線などのセンサにより人の位置を推定する。家具、ドア、床、椅子などにセンサを取り付けて位置を把握することも可能である。

また、音声から人の居場所を推定したり、スピーカを通して見守り対象者の健康状態などを把握したりすることが可能である。スピーカは、ホームゲートウェイの役割を持たせることが可能である。

人の行動把握に関する課題は、住居のレイアウトの変更、増築などのシステム構造の変更に柔軟に対処でき、かつ簡単に設置できることである。

### (3) 異常検知の方式に関する課題

見守り対象者をカメラ等を使い、見守り者は常時見守り対象者の異常を観察する方法は、異常検知精度としては優れているが見守り側の負荷が大きくなる。見守り環境に適したセンサを選択し、センサデータの分析による異常検知の方式が必要である。

センサデータによる異常検知として、各部屋の在場時間の正常時のパターンと、正常時から外れたパターンの比較により異常検知する方式<sup>(5)(7)</sup>がある。正常時の行動をとった時に各部屋での在場時間の比率を算出し、この正常時の在場時間比率から外れたとみなしたときに異常と判断する。この方式の場合、異常発生の有無の判断が日単位となり、異常発生の検知の遅れが発生する可能性がある。

異常検知に関する課題は、異常状態と判断するまでの時間遅れを少なくすること、異常時の検知が容易なパターンを設定することが課題である。

### 2.3.3 センサソリューション技術学習に関する課題

空間知能化システムは、データ駆動型モデルであり、データ分析により新たな価値を創出する。したがって、収集するデータをより効果的に活用するためには、データ分析のアプリケーションは、与えられたデータを分析するだけでなく、分析の目的に適したデータを得られるように選別的、指示的に収集することも必要である。そのためには、センサ技術を単独で捉えるのではなく、サーバ上のアプリケーションとセンサが検知するデータとを合わせて、いかに収集したセンサデータの価値を高めるかというセンサソリューションとして空間知能化システムを開発する必要がある。

センサデータを活用するための主要技術としては次に示す技術が必要である。

#### (1) センサデータ分析技術

センサデータ分析により異常状態発生検知するなどデータを有価値化する。

#### (2) ネットワーク技術

収集データをデータ分析アプリケーションに渡し、アプリケーションの分析結果をフィードバックする。

#### (3) センサ技術

センサの基本構造、データ取得の仕組みなどのセンサハードウェア技術、および、センサデータを効果的かつ効率よく処理するためのソフトウェア処理。

上記3つの技術を個別に習得していたが、空間知能化システムでは、センサが収集するセンサデータと、データ分析するアプリケーションが必要とするデータとを統合的に捉えて、効果的な処理技術を選択する必要がある。センサ技術の他技術との係り方を従来と比較して図 2-8 に示す。

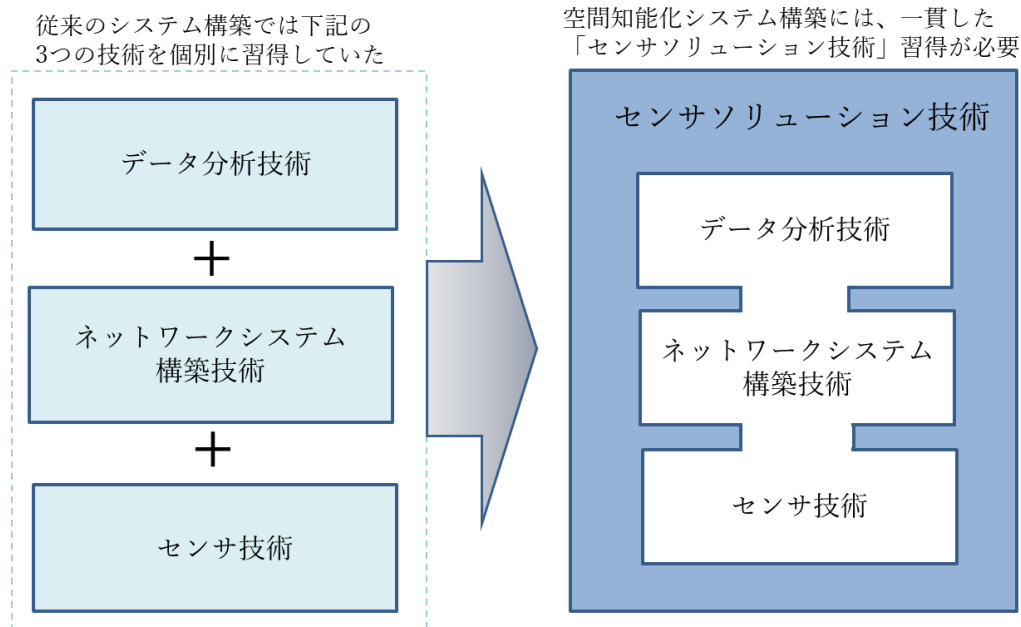


図 2-8 センサソリューション技術の習得方法

従来のシステム構築においては、図 2-8 の左側に示すように、デバイス側のセンサ技術、サーバ側のデータ分析技術、サーバとデバイスの橋渡しをするネットワークシステム構築技術は、各技術のインターフェースが明確になっていることもあり、それぞれ独立して技術習得することが可能であった。しかし、空間知能化システムの構築においては、センサデータの分析結果に基づき、空間内の機器の調整を行い最適な環境を提供したり、居住者の異常な状態を検知したりするために必要なデータの種類を選別し、データの収集方式を決める必要がある。すなわち、空間知能化システムのようなデータ駆動型システムにおいては、システム全体を見渡し、収集データの種類と収集方式、およびデータ分析手法をトータルに設計できることが重要である。空間知能化システムの構築においては、図 2-8 の右側に示すように、センサデータを統合的に扱えるソリューション技術の習得が必要となる。



2.3.1～2.3.3 の空間知能化システムに関する課題 1～課題 3 を、図 2-9 に示す。

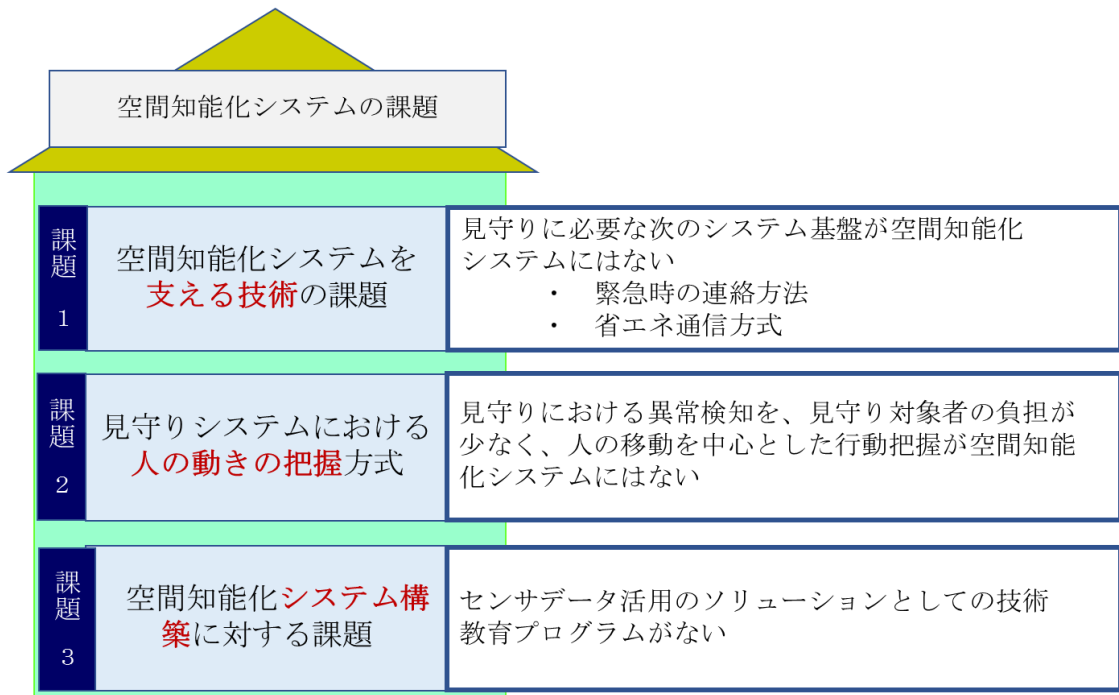


図 2-9 見守りシステムに関する課題

### 3. 空間知能化システムを支える技術

センサデバイスを大量に使用してセンサデータを収集する空間知能化システムでは、センサデバイスの電源どう確保するかが大きな課題の一つである。空間知能化システムの電力を消費するのは通信関係であり省エネ通信方式を適用することが、空間知能化システムでは最も効果的である。また、センサデバイスへの電源供給には、有線、電池の2方法がある。有線接続では省エネ対策は不要だが、見守り対象者への干渉性の考慮、増築やレイアウト変更などセンサデバイスの設置場所変更への柔軟な対応、センサデバイスの設置場所を確定するためには受信電波の強弱により微調整が必要なことなどを考え、本研究では、電池駆動の無線接続を前提とする。

空間知能化による見守りシステムの場合、システムが見守り対象者の異常を検知した時は直ちに見守りシステムが音声などで見守り対象者の状況を確認し、見守り側に連絡をとる必要がある。システムから見守り対象者に異常発生 of 緊急通報を受けた場合、見守り側は見守り対象者の安否確認を取るが、通常状態でないための動揺やあわてが伴うため、普段使用している機器の操作を間違える可能性がある。また、通常 of データ送受信のルートだと安否確認 of データ送信で遅れが発生する可能性がある。対策としては、通常 of 操作方法で、送信ルートを自動で切り替えて安否確認ができる方式が必要であり、本章では、緊急通報を通常操作で可能とする方式について論じる。

#### 3.1 省エネ方式

##### 3.1.1 空間知能化システムにおける省エネ通信の必要性

空間知能化システムでは多数のセンサを使用するため、センサの電池交換や充電の作業負担が増大し、また、長期間使用する住宅等ではセンサ増設、新規センサの追加が発生するため、稼働においてはセンサ全体の消費電力も増大する<sup>(1)(2)</sup>。空間知能化システムでは多数のセンサが必要となり、また、住宅の耐久年数と同等のセンサ稼働期間が望ましいことから、消費電力を抑えたセンサ稼働方式<sup>(3)</sup>が必要であり、さらに、センサ情報を活用して人に対し適切なフィードバックを行えることが求められている。空間知能化システム内における人の行動の把握方法として、赤外線センサ、人が保持するタグ、ロボットなどの方式が提案されている<sup>(4)</sup>。

センサデータを収集するゲートウェイにはスマートフォンやタブレット端末などのスマートデバイスを用い、スマートデバイスが内蔵する 2.4GHz 帯の通信により、センサ制御装置からのセンサデータを受信する。また、ゲートウェイからセンサまでの距離が長い場合には、障害物を回避する回折性に優れた 920MHz 帯の通信を使い、リピーター機能を有する空間知能化コントローラを用いて通信距離を延長してデータ収集する。空間知能化システムでは、センサデータを無線によりゲートウェイに集約するが、ゲートウェイとして

スマートデバイスを使用することで、液晶画面や音声による人間とのインタフェースを実現できると同時に、Wi-Fiや携帯電話網を経由してインターネット上のクラウドサービスへのアクセスを可能とする。このような空間知能化システムの適用例としては、住宅内の温度や湿度などを計測し、照明器具や家電製品を制御することで快適な生活を実現する。

### 3.1.2 空間知能化システムにおける通信方式と課題

#### (1) 無線通信方式

空間知能化システムにおける通信方式は、センサの設置工事の簡便さやレイアウト変更、センサの追加増設等に容易に対応するために、有線ではなく無線通信<sup>(5)(6)</sup>が前提である。

省エネ方式に関連した空間知能化システムにおける通信方式の構成を図3-1に示す。空間内における無線通信として2種類の方式を使用しており、センサデバイスがデータを送受信する場合(図3-1の①)と、通信距離を延ばすために使用するリピーター間の通信(図3-1の②)の2種類である。いずれの場合もセンサデータはホームゲートウェイに集められ、クラウド上のサーバに送信される。従来、データは空間内の空間知能化ハブに集められたが、遠隔からの空間内の状態確認や見守りのために、情報共有できるクラウド上に情報を集約する。

空間知能化システムで使用する主な近距離における通信方式を表3-1に示す。主な通信方式として、無線LAN(IEEE802.11g)、Bluetooth(ClassicとLow Energyの2種類)、ZigBee、EnOceanをとりあげて、通信距離、消費電力、バッテリーの寿命等の比較を表に示す。なお、空間知能化システムを構築するに当たっての通信方式の選択は、多数のセンサの通信に伴う消費電力を抑える省電力の通信、空間内で必要な送信距離、空間内の通信上の障

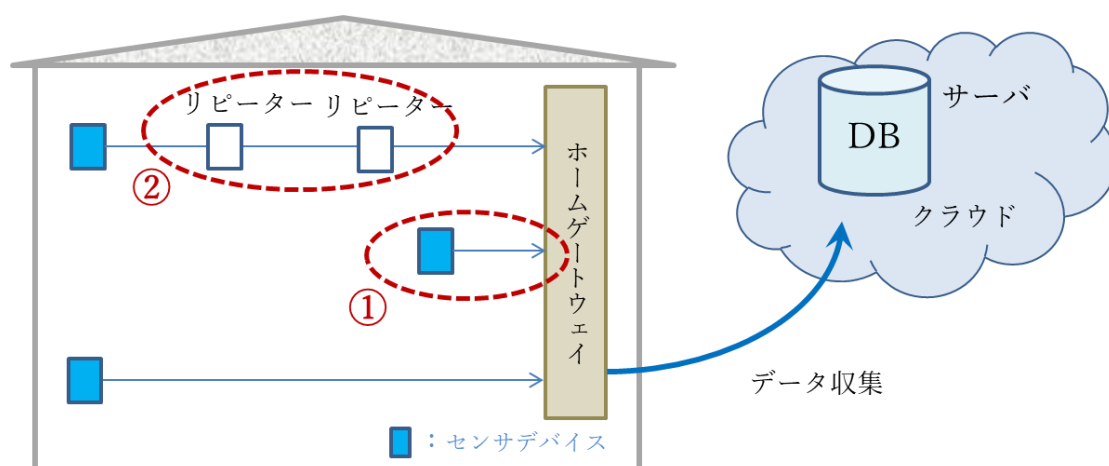


図 3-1 空間知能化システムにおける通信方式

害物の影響等を考慮して決める。住宅等の屋内で使用する周波数は、通常免許不要で使用できる ISM バンド (Industrial, Scientific and Medical Band) を使用する。主要な ISM バンドとしては 2.4GHz 帯, 920MHz 帯が国内で使用可能であり、各帯域の通信モジュールの特徴を以下に示す。

< i > 2.4GHz 帯無線通信モジュール

通信距離は、2.4GHz 帯の電波を使用しているために、920MHz 通信モジュールと比べ 1/3 程度の距離になるが、スループットに優れている。この 2.4GHz 帯に対応する方式は、表 3-1 の Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee である。スマートデバイスでは、Bluetooth は標準的にサポートされているので、空間知能化システムにおける操作端末に適していると考えられる。

< ii > 920MHz 帯無線通信モジュール

920MHz 帯の特定小電力無線方式は、次世代スマートメーターに採用されている Wi-SUN<sup>(14)</sup>などで使用されている。920MHz 帯の無線通信の特徴は、低消費電力、回折性が高く、さらに電波干渉も小さいことから省エネルギーのセンサネットワーク接続に適している。また、通信距離も 2.4GHz 帯に対して長いというメリットがある。一方、920MHz 帯の波長は 2.4GHz 帯の波長に比べ、2.6 倍長いことから、アンテナ長は 2.4GHz 帯よりも長くなる。920MHz 帯域に対応している方式は、表 3-1 の EnOcean と ZigBee である。

表 3-1 主要近距離無線通信方式

	Wireless LAN (11g)	Bluetooth (Class2)		ZigBee	EnOcean
		Classic Bluetooth	Bluetooth Low Energy		
IEEE	802.11g	802.15.1	————	892.15.4	————
Send power	10mW	2.5mW	1mW	1mW	20mW
Sensibility	-80dBm	-70dBm	-70dBm	-85dBm	-80dBm
Distance	80m	10m	10m	50m	30~200m
Power consumption	300mW continuous	50mW continuous	0.05-1.0mW intermittently	0.05-1.0mW intermittently	0.05-1.0mW intermittently
Battery	several hours	several days	several years	several years	unnecessary

## (2) 空間知能化システムにおける通信方式の課題

空間知能化システムの無線通信環境では、無線センサデバイスを多数設置し、データを収集する。多数のセンサを使用し、さらに年月の経過と共にセンサの追加や規模の拡大が考えられ、それらに柔軟に対応するためには、空間知能化システムの保守や拡張などのメンテナンス性の良さが求められる。さらに、これらのセンサを含むシステムのライフサイクルと空間知能化である住宅等とのライフサイクルが同じことが望ましい。空間知能化システムの長寿命化のために低消費電力方式が必要となるが、省エネルギーを考慮した空間知能化システムには現状次の課題がある。

- < i >センサの電池交換やメンテナンスの負荷が無線センサデバイスの普及の課題になっている。空間知能化における省エネルギーの無線通信方式、センサデバイスの低消費電力化が必要である。
- < ii >空間知能化システムにおける人の行動をセンサによりモニタリングし、異常状態等を検知できる移動追跡の仕組みが必要である。
- < iii >空間知能化ハブ、およびシステム／ユーザ間のインタフェース端末として、普及しているスマートデバイスを活用できる通信方式が必要である。

### 3.1.3 省エネ通信方式の空間知能化システムへの適用

空間知能化システムにおける省エネ通信方式の検証を、空間知能化内における人の行動を把握するときの通信方式を対象として実施する。

- ・ 空間知能化システム内で人の行動パターンを、住居の部屋に相当するゾーン間の移動により把握する。
- ・ 人の行動の把握を省エネルギーで実現するために、センサのデータ送信はブロードキャストを使用した間欠型通信を採用することで電力消費量を最小限に抑え、さらに、センサデバイス自体も低消費電力での稼働を実現する。また、2.4GHz帯無線の通信可能距離が短いため、中間に設置するリピーターには920MHz帯を使用して無線通信距離の延長を可能にする。

空間知能化システムにおける人の行動の把握については、空間内における人の位置や状態は、従来、ロボットや、空間内に設置したリーダー／ライターとタグやアンテナ等により、把握していたが、対象となる人はタグ等の機器を保持する必要があった。本方式では、各部屋に設置したビーコンと人感センサによる位置の把握を行うため、対象の人は何も保持する必要がなく、日常生活パターンの中で異常が発生した時などを把握することが可能となる。また、ゲートウェイとしてスマートフォン等のスマートデバイスを適用することにより、異常と判断した時の対象の人へのアラームを、スマートデバイスの音声やビデオを使用してコミュニケーションをとることが可能となる。本方式の基本構造を図3-2に示す。図において、人感センサや温度センサなどの空間内に設置したセンサが検知するデータは、①に示す空間知能化センサデバイスにより収集する。空間知能化センサデバイス

は②に示すセンサと、③に示す空間知能化センサマイコンより構成し、センサと空間知能化センサマイコンは、GPIO や I2C インタフェースで接続する。センサマイコンは使用していない状態では、deep\_sleep モードで  $1\mu\text{A}$  程度の小さな電力で通電され、センサから入力割り込みで wake\_up する仕組みにより省エネルギー化を実現する。また、空間知能化マイコンは④に示す空間知能化ゲートウェイからの制御データに基づき、⑤に示すアクチュエータを制御する。

④の空間知能化ゲートウェイは、センサからのデータをアクセスネットワークを介して⑥に示すサーバに送信する。空間知能化ゲートウェイとしては、ルータのような機器にはない液晶画面や音声などのユーザインタフェースを持つスマートデバイスを使用することで、LTE や Wi-Fi などによりインターネット接続が容易にできると同時に、空間知能化マイコンからのデータを受信でき、センサとサーバを仲介するゲートウェイ機能を果たす。これらのゲートウェイの処理は、センサやアクチュエータの構成を管理するデータベースを使い、ゲートウェイマネージャが行う。ゲートウェイとクラウド上のサーバ間の通信プ

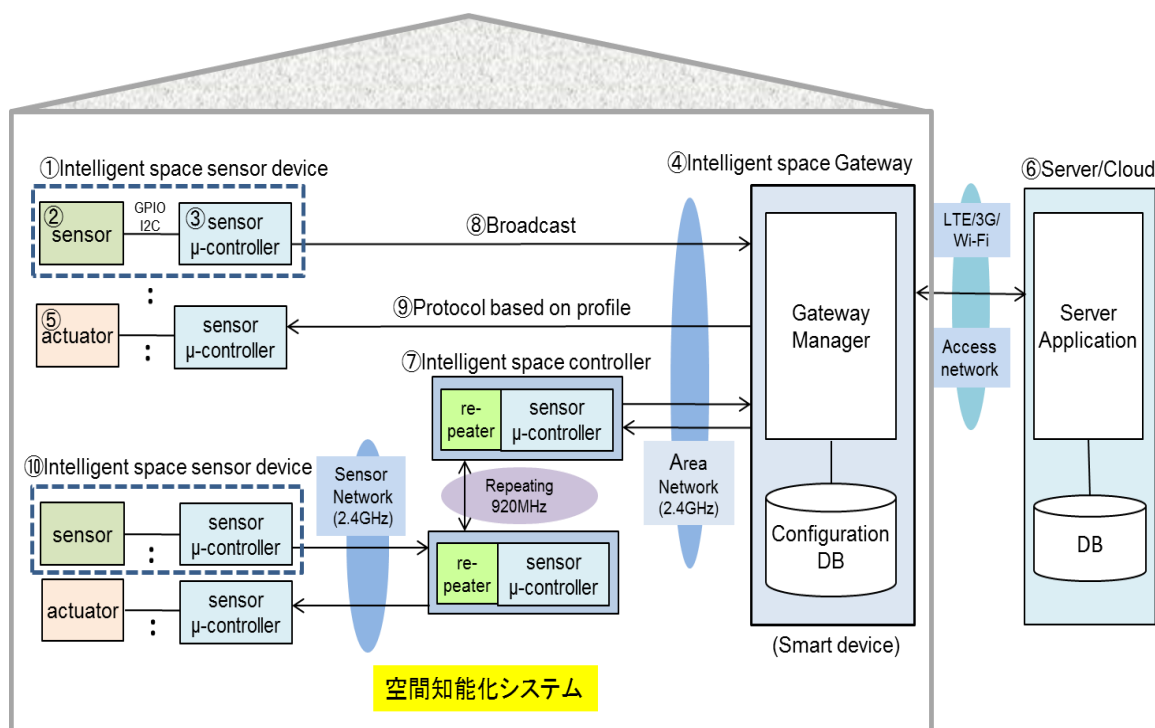


図 3-2 空間知能化システムにおける通信方式の構成例

ロトコルは、HTTP プロトコルの他に、HTTP プロトコルではサーバからコントローラへのプッシュ通信ができないことに対処するために、SIP プロトコルを使用する。サーバ上のアプリケーションは、空間知能化システム全体のセンサデータを管理するデータベースをもとに、人感センサ等から収集したデータの分析を行い、異常状態の検知やゲートウェイへのデータ送信などを行う。

空間知能化ゲートウェイは、①の空間知能化センサデバイスと⑦の空間知能化コントローラからのブロードキャストでセンサデータを受信する。いずれの場合も、スマートデバイスが内蔵する 2.4GHz 帯通信によりセンサデータを収集する。センサのデータを空間知能化ゲートウェイが直接受信できる範囲内であれば、①の空間知能化センサデバイスからのブロードキャストを受信するが、ゲートウェイが受信できない距離の場合は、空間知能化コントローラによりセンサデータを中継しデータの送受信を行う。

#### 3.1.4 省エネを考慮した空間知能化システム

空間に電波が拡散する無線通信は、本来的にブロードキャスト通信の性質を有しているが、通常の 2 点間の通信では、有線通信の Ethernet のように MAC アドレスを導入して、ユニキャスト通信を行っている。ブロードキャスト通信は、2 点間の通信を始める前段階のビーコン信号として使用される。センサデータは一般に小容量であり、このビーコンパケットの中に挿入することができる。従って、ブロードキャストであるビーコンパケットだけを使ってセンサデータの送信が可能であり、ユニキャスト通信を省略できるので、空間知能化センサ側の電源消費量を節約できる<sup>(6)(7)(8)</sup>。本方式における省エネルギーを考慮した通信方式を以下に示す。

##### (1) ブロードキャストによるデータ送信

空間知能化システムにおいて、空間知能化センサマイコンがセンサデータを送信する場合は、BLE のプロファイルに基づく通信プロトコルは使用せず、BLE のブロードキャスト機能を使用することで、空間知能化センサの電源消費量を節約する。図 3-1 において、③の空間知能化マイコンから④のゲートウェイへの⑧に示す送信はブロードキャストを使用し、⑨に示すゲートウェイから空間知能化マイコンへの通信は、通常のプロファイルを使ったプロトコルを使用する。本方式では、ゲートウェイとして BLE を標準的に内蔵しているスマートデバイスを用いることにより、空間知能化センサデバイスとゲートウェイ間のデータ送受信を可能としている。

##### (2) 通信プロトコルの軽量化

人感センサのようにセンサ入力がない場合は、従来方式ではセンサマイコンは deep\_sleep モードで待機し、センサからの割り込みで wake\_up しセンサデータを送信する。データ送信後は待機モードに移行する。本方式は、センサデータをブロードキャスト送信したあと、コントローラからの応答を待たずに直ちに sleep 状態に入ることにより通信プロトコルの軽量化を図っている。また、図 3-2 の③の空間知能化センサマイコンとして、

ARM Cortex M3 を使用する。ARM Cortex M3 の deep\_sleep 時の消費電力は、 $1\mu\text{A}$  程度である。ネットワーク省電力化に関しては、無線センサネットワークの省電力化について報告されているが、本方式における空間知能化センサマイコンは、デバイス自体の省電力化の方法として、電池電源の  $3\text{V}$  を  $1.8\text{V}$  に降圧する降圧効果が得られる DC-DC コンバータにより実現している。

### (3) ブロードキャストによるリピーター機能の実現

図 3-2 の⑩の空間知能化センサデバイスと④の空間知能化ゲートウェイの間に⑦に示す複数の空間知能化コントローラを設置してリピーター機能を実現することにより、通信距離を延ばすことを可能とする。リピーター機能は、空間知能化センサマイコンが子局機能、親局機能の双方の機能を持つことを空間知能化コントローラが利用することにより実現した。ただし、このリピーター機能は、ブロードキャスト通信における親局機能と子局機能の両方を使用するため、常に受信可能とするために空間知能化コントローラは常時通電する。

空間知能化センサマイコンと空間知能化コントローラ間の通信は、 $2.4\text{GHz}$  帯を使用したブロードキャスト通信であるが、空間知能化コントローラ間の通信は  $920\text{MHz}$  帯の通信により省電力通信を行う。また、空間知能化センサの設定はブロードキャスト通信だけでは不可能であり、通常のプロファイルを用いた通信機能を使用して行うが、この時は、スマートデバイスを空間知能化センサに近づけて、空間知能化センサの設定を行う。

## 3.1.5 省エネ通信方式の空間知能化システムへの実装

### (1) 空間知能化システムの実装構成

空間知能化システムの構成例を図 3-3 に示す。空間内に設置したセンサにより住宅内の人や環境状況を人感センサ等を用いて感知し、スピーカ、マイク、押しボタン等により住宅内の人と遠隔地からコミュニケーションをとることができた。図において、センサのデータ収集は①に示すゲートウェイが行い、収集データをサーバに送信する。サーバと LTE/Wi-Fi 等で通信でき、近距離無線通信機能を内蔵するタブレットを、ゲートウェイとして使用した。また、センサ等の設置場所がゲートウェイから遠い場合には、②に示す空間知能化コントローラにより距離を延ばし、ゲートウェイ/センサ間の通信を行った。

検証のための実装システム構成を図 3-4 に示す。図において、①に示す空間知能化センサデバイスは人感センサと試作した空間知能化センサマイコンより構成し、人感センサデータは  $2.4\text{GHz}$  帯の BLE (Bluetooth Low Energy) により、Android タブレットで製作した②の空間知能化ゲートウェイに送信した。空間知能化ゲートウェイ上のゲートウェイマネージャは、HTTP により③に示すサーバにセンサデータを送信し、サーバ上の空間知能化アプリケーションはセンサデータの蓄積と分析処理を行った。また、人感センサと空間知能化ゲートウェイの間を、BLE の標準通信距離の  $10\text{m}$  以上離れた環境を作り、④に示す空間知能化コントローラによりセンサデータを中継させた。空間知能化コントローラは BLE



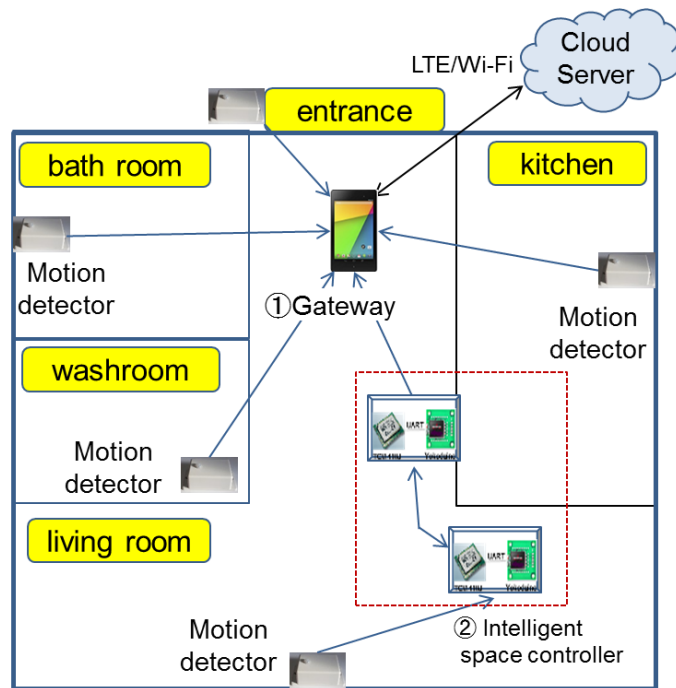


図 3-3 空間知能化システム構成例

の機能を持つ空間知能化センサマイコンに、920MHz 帯を使用する EnOcean 機能を持たせた。また、住居人へのアラーム通知等のため、センサマイコンが制御する⑤のスピーカを用いた。以下の機器により空間知能化システムの実装検証を行った。

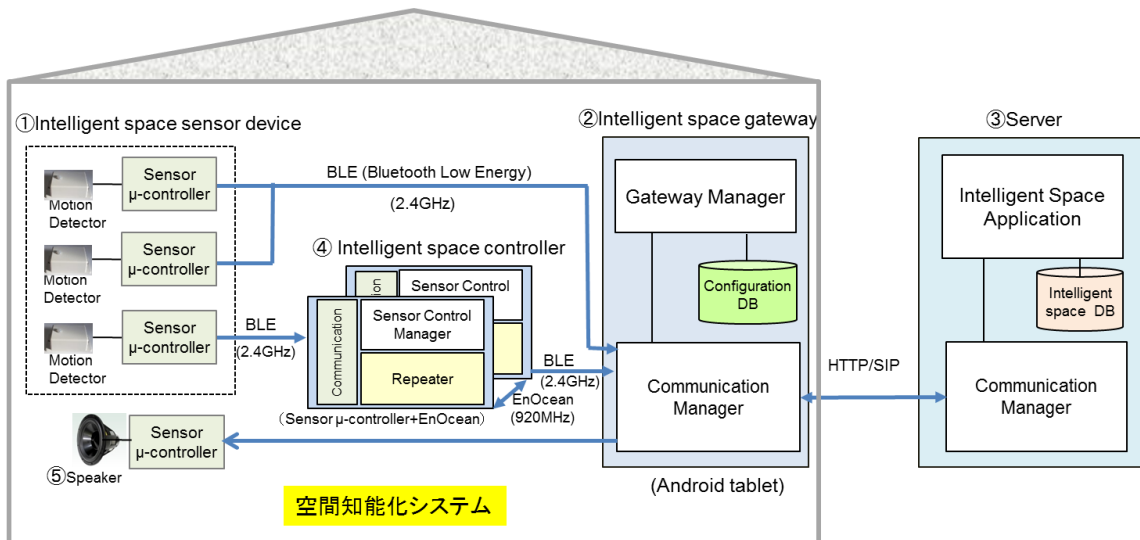


図 3-4 実装システムの構成図

< i >空間知能化センサ

空間知能化センサとして、人感センサを使用した。人感センサは、パナソニック製の焦電型赤外線センサ PaPIRs WL シリーズを使用した。

< ii > 空間知能化センサマイコン

人感センサを制御するために、Broadcom 社の BCM20737S を使用して空間知能化センサマイコンを試作した。

センサを制御するプログラムは、BCM20737S 上で動作させた。また、異常状態発生を人がアラームボタンを押下してサーバに通知するデバイスも、空間知能化センサマイコンにより実現した。

センサデバイスは、焦電型赤外線センサと空間知能化センサマイコンにより試作した。センサデバイスのサイズは、接地面が約 70mm×50mm で、焦電型赤外線センサを含めた高さが約 40mm であり、センサデバイスの駆動は、自己放電の小さいリチウム電池 CR123A(電池容量 1400mAh, 3V)を用いた。

空間知能化センサマイコンは、センサを接続するだけでなく、920MHz 帯の電波を使用する通信モジュールである EnOcean TCM 410J を接続して、BLE と EnOcean を接続する空間知能化コントローラの構成要素としても使用した。

< iii >空間知能化ゲートウェイ

空間知能化ゲートウェイとしては、Android タブレット Nexus7(2013)を使用した。

空間知能化ゲートウェイは、BLE 通信で人感センサの空間知能化センサデバイスと接続した。

< iv >空間知能化コントローラ

空間知能化コントローラは、空間知能化センサマイコンに EnOcean 通信モジュール (TCM 410J) を UART で接続したモジュールであり、920MHz 帯の電波を使用する EnOcean 通信機能を使用して、BLE 無線通信と EnOcean 無線通信のゲートウェイの役割を果たす。空間知能化ゲートウェイと接続することにより、BLE 通信による空間知能化センサを空間知能化ゲートウェイから離れた場所に設置することができた。

(2) ブロードキャストによる省エネルギー通信方式

人感センサと空間知能化センサマイコンで構成した空間知能化センサデバイスは、BLE のプロファイルである GATT を用いた通信プロトコルは行わず、ビーコンのブロードキャストで空間知能化ゲートウェイ、または空間知能化コントローラにセンサデータを送信した。また、空間知能化センサマイコンは、人感センサから入力があった場合のみビーコンを送信するが、それ以外は deep\_sleep モードとしたセンサを制御する空間知能化センサマイコン上のアプリケーション開発は、Broadcom 社の WICED Smart SDK を使用した。アプリケーションで使用した BLE のブロードキャストの packets ヘッダ情報を表 3-2 に示す。空間知能化センサマイコン側のビーコンを送出する処理と、センサ入力時の処理のソースコードの一部を、図 3-5 に示す。図中、01~19 行がビーコンのヘッダを作成し送出手続き

ードであり、20～32行がセンサからの入力データの処理のコードを示す。ビーコンパケットの先頭から29バイト目のMinor領域を人感センサからの入力のカウンタとして使用した。

### 3.1.6 評価と考察

#### (1) 評価

##### < i >省エネルギー通信方式の評価

空間知能化センサマイコンとして、ARM Cortex M3 を内蔵する BCM20737S を使用し、人感センサが作動しない時は、`deep_sleep` モードにしておくことで、センサマイコンの消費電力を  $1\mu\text{A}$  程度に抑えることができた。測定環境を表 3-3 に示す。また、センサ情報をビーコンに乗せて送ることで、通常の接続、送受信処理を行う必要がないので、受信待ち時間はなく、空間知能化センサマイコンの電力を節約できた。通常のプル型データ読み取りの場合、送受信するパケット数は、読取要求とそのレスポンス、

表 3-2 パケットヘッダ情報

position	discription	value
1	Byte count of the 1st block	0x02
2-3	Flag	0x0601
4	Byte count of the 2nd block	0x1a
5	AD Type data of maker specification	0xff
6-7	Company code	0x004c
8	Data type	0x02
9	Byte count of Beacon data	0x15
10-25	UUID	optional
26-27	Major	sensor ID
28-29	Minor	sensor value
30	Revised radio intensity	0xc5

表 3-3 測定環境

Item	specification/result
Motion detector sensor	PaPIRs WL (Panasonic)
Micro processor	BCM20737s (ARM Cortex M3)
Sensor micro controller	intelligent space micro controller (trial prototype)

```

01 //Generation processing of Beacon data
02 void advertisement_packet_transmission(UINT8 type) { if (type == 0) {
03 BLE_ADV_FIELD adv[2];
04 adv[0].len = 1 + 1;
05 adv[0].val = ADV_FLAGS;
06 adv[0].data[0] = LE_GENERAL_DISCOVERABLE |
07 BR_EDR_NOT_SUPPORTED;
08 adv[1].len = 0x1A;
09 // (AD_TYPE == 0xff)
10 adv[1].val = ADV_MANUFACTURER_DATA;
11 BT_MEMCPY(&adv[1].data[0], apple_ibeacon_prefix, 4);
12 BT_MEMCPY(&adv[1].data[4], ibeacon_uuid, 16);
13 BT_MEMCPY(&adv[1].data[20], ibeacon_major, 2);
14 adv[1].data[22] = 0x00;
15 adv[1].data[23] = counter & 0xff;
16 BT_MEMCPY(&adv[1].data[24], ibeacon_power, 1);
17 bleprofile_GenerateADVData(adv, 2);
18 }
19 }
20 // Input processing of sensor data
21 void mybeacon_interrupt_handler(UINT8 value) {
22 counter = counter + 1;
23 if (counter > 255) {
24 counter = 1;
25 }
26 // do some noise
27 bleprofile_BUZBeep(bleprofile_p_cfg->buz_on_ms);
28 if (!mybeacon_stay_connected) {
29 bleprofile_StartConnIdleTimer(
30 bleprofile_p_cfg->con_idle_timeout, bleprofile_appTimerCb);
31 }
32 }

```

図 3-5 センサデータ入力処理 (一部)

読取結果とその要求の最低4パケットの送受信が必要であるが、本方式はビーコンを使うことにより、この読取シーケンスが不要となる。通信パケットを用いて間欠的に例えば平均10秒毎でセンサデータを送受信する時の平均消費電力は45 $\mu$ 秒、ビーコンによるブロードキャストでの送信の場合の平均消費電力は15 $\mu$ 秒となり、平均消費電力を1/3程度に抑えることができた。

#### < ii > リピーター機能による通信距離延長

リピーター通信は、2.4GHz帯のBLEではなく、920MHz帯のEnOceanにすることで、2.4GHz帯のBLEの場合の3倍以上の通信距離の遠距離化が可能になった。ブロードキャスト通信とリピーター機能の双方を、2.4GHz、920MHzの両帯域を使い分けることにより実現した空間知能化センサマイコンは有効に機能したと考える。EnOceanの通信はブロードキャストであり、ブロードキャストを使用しない通常のリピーターは、マルチホップルーティングを実現する必要があるが、この場合、住宅内の無線利用では障害時の原因追求が困難であり、また迂回処理の時間を不要とするブロードキャストを活用できたと考える。

### (2) 考察

#### < i > 省エネルギー通信方式について

BLEでの通常データ送信はプロファイルを使用するが、本方式では、ゲートウェイとセンサデバイス間でブロードキャストによる通信を行い、人感センサの情報をビーコンにより送信することにより、通常通信方式に比べ省エネに効果を得ることができた。また、本実装システムでは、台所、浴室などに5個の人感センサを設置としたが、居間が複数部屋があればさらに人感センサ設置が必要であり、また2階戸建てでは約20~30個の人感センサが必要と考える。さらに、空間知能化システム構築には、温度センサ、照度センサ、住居人とのコミュニケーション用の機器等多くのセンサ類を設置する必要があり、空間知能化全体でエネルギーの効率運用を考えることが重要である。各種センサ/アクチュエータを付含めた省エネルギー通信、および、エネルギーハーベスティングと組み合わせて発電、蓄電を行える空間知能化システムが今後の課題である。

#### < ii > 空間知能化について

空間知能化システムは、住宅内の家電製品をつなぎ制御することによって、快適なライフスタイルを実現するだけでなく、社会的な課題である省エネ、節電も実現できる。また、家庭内の消費電力をモニタリングにとどまらず、エネルギーの最適化、マネジメントが可能となる。本論文では、空間知能化モデルの基本となる人の行動をモニタリングし、行動パターンをもとに正常状態か異常状態かを判断する移動モデルを提案したが、空間知能化システムを構成する各種センサ/アクチュエータと人の動きとを組み合わせた機器の制御が可能であると考え。空間知能化システム内における人の行動の把握方法として、赤外線センサ、人が保持するタグ、ロボットなどの方式が提案されており、異常状態の検知方式として、時間軸を基本に人の行動を把握し異常を検知する方式などが研究されている。

時間軸で人の行動を把握する方式では、時系列に発生するセンサデータをもとに、行動記述システムによる異常検知する。それに対し本方式は、人の空間内でのゾーン間の移動をもとにした行動パターンから異常状態を検知する方式である。空間内における人の行動は不定形であり、人の行動の異常検知においては本方式は柔軟に対応できる方式と考える。

## 3.2 緊急通報方式

空間知能化による見守りシステムにおいて、異常状態が発生した場合の緊急通報の方式を確保しておくことは重要である。

本提案システムでは、IoT システム<sup>(9)-(12)</sup>を構成する機器間でデータを共有する仕組みを有し、かつデータの緊急度に応じて通信経路を自動的に切り替えてリアルタイム処理を実現する。それによりセンサからのデータに対し迅速な処置をとることが可能になる。本システムにアクセスする端末は、センサ、ゲートウェイ、サーバのシステムより構成する系から得られたデータを参照したり、センサデータでの異常値を検出した時の緊急通報を受信したりする人とのインタフェースを司る。システムの通常運転時は、センサ、ゲートウェイ、サーバのシステムで運用しているが、システムが異常を検出した時はシステム管理者等へアクセス端末を利用して緊急通報する。本提案システムのアクセス端末として、スマートフォンやタブレット端末などのスマートデバイスを位置付けることにより、スマートデバイスのモバイル性を活かして、IoT デバイスに対しリアルタイムな遠隔操作を行う。本緊急通報方式では、IoT システムのアプリケーション間でデータを共有する仕組みを実現するために、各 IoT システム構成機器間の連携により、緊急通報、スマートデバイスでの遠隔センサ操作を可能とする。

### 3.2.1 空間知能化システムにおける緊急通報方式と課題

#### (1) 緊急通報方式の現状

空間知能化システムの典型的な構成を図 3-6 に示す。図において、①はセンサとデバイスの IoT デバイス、②は IoT ゲートウェイ、③はアプリケーションサーバとデータベースによりサービスを提供する IoT サーバの 3 つの領域よりなる構造を示す。センサネットワークを介して収集された IoT デバイスのデータは、IoT ゲートウェイにより中継され IoT サーバのデータベースに蓄積される。アプリケーションサーバはデータベースに蓄積された IoT データの分析を行い、その分析結果を IoT サービスとして活用可能とする。また、ゲートウェイやセンサ等への指令も IoT サービス上のアプリケーションから出される。

緊急時の通報のためには、図 3-6 の③から①への通信ルートが必要となるが、3 つのそれぞれの領域は独立した環境となっている。

IoT デバイスと IoT ゲートウェイを接続する近距離無線方式として、ZigBee、Bluetooth などの技術が現在使用可能であり、それぞれ独自のプロファイル、プロトコルを規定している。また、データを収集する IoT デバイスで使用されるセンサやアクチュエータは、消

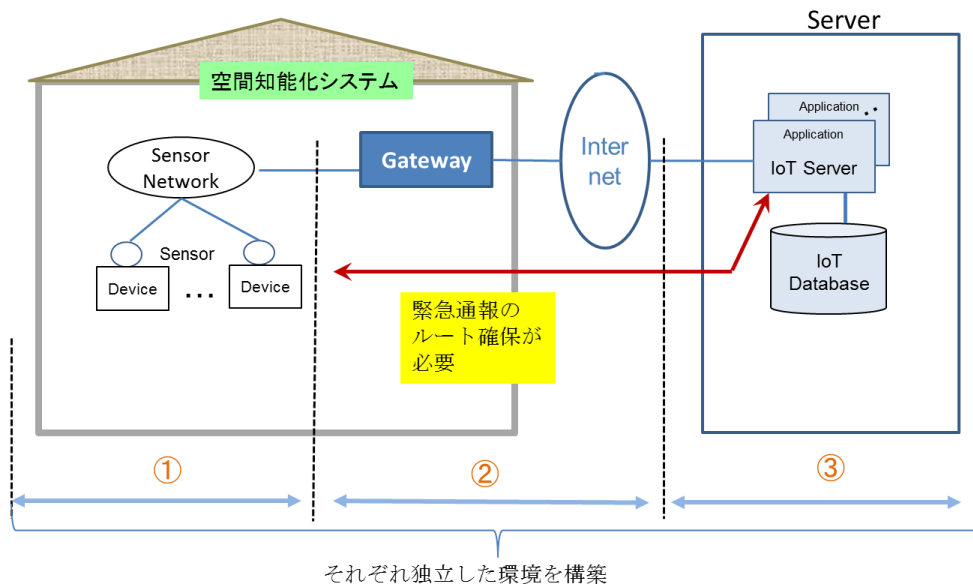


図 3-6 空間知能化システムにおける緊急通報方式

費電力，有効無線距離などの観点から目的に応じて最適なセンサ等が選定されている。IoT デバイスから収集されたデータは，IoT ゲートウェイを経由してサーバに収集，蓄積され，加工・分析処理等が行われる。加工・分析されたデータは，モバイル環境からリアルタイムで参照されたり，分析結果に基づく機器の制御データが，サーバからゲートウェイに送信されたりする。IoT システムは分野ごとに設計，運用されているため，多くのシステムでは相互に直接繋ぐことは困難である。その理由は，IoT システムは，従来，業種や業界ごとに独自の仕様で開発が進められてきたためである。例えば，ヘルスケアにフォーカスした ITU-T の FG-IoT，自動車業界の ITS(Intelligent Transport System)での安全運転支援システム，家庭内 LAN により情報家電を相互に接続・連携して利用するための技術仕様である DLNA(Digital Living Network Alliance)，スマートグリッドの ECHONET Lite などが相当する。ECHONET Lite 対応製品と謳っていても，物理層の通信方式の違いから，直接に対応製品間で相互接続できない状況がある。また，本研究の検証として取り上げた遠隔見守りシステムについては，宅内に設置されたセンサ類を用いて簡便に見守り情報を収集するシステムも商用化されている。

## (2) 空間知能化システムにおける緊急通報の課題

### < i >IoT 機器間通信に関する課題

業種横断的なシステム相互接続を困難にしている原因として，IoT システムを構成する各機器間でのデータ共有の仕組みがないことが挙げられる。機器構成の変更があった場合，機器間のデータ交換のためにアプリケーションの改修やネットワーク構成の変更が発生し，システム構築を困難にしている。IoT システムを構成する各機器間で

のデータ共有の仕組みが構築できれば、データ共有の仕組みを他システムに展開することにより、複数のシステム間の連携を効率よく構築でき、ETSI で検討されている業種横断的な M2M プラットフォーム<sup>(14)(15)(16)</sup>によるシステム連携につながると考える。また、従来システムのデータ送受信は、HTTP プロトコルのように TCP 接続を確立して、HTTP メソッドにより指令やデータの送受信を処理しているが、センサやゲートウェイの高機能化等に伴い IoT システムでの取り扱いデータ量が増大すると、画像等の大規模データの影響を受けて緊急通報の送達が遅れる可能性があり、緊急対応を必要とする IoT システムの構築を困難にしていた。

#### ＜ ii ＞IoT システムへアクセスする端末に関する課題

IoT デバイスの状況をリアルタイムで遠隔監視でき、異常検知等の発生と同時に緊急通報を受発信する必要がある。さらに、緊急通報を受けた人は異常状態の詳細を音声、画像、映像等で確認し対応処置をとるため、大規模データの処理が必要となる。従来システムでは、緊急通報を受信し画像等の大規模データを送受信すると、回線のオーバヘッドが大きくなる課題があった。

### 3.2.2 機器間の通信方式

#### (1) 本方式の狙い

- IoT システムを構成するゲートウェイ、サーバ、端末の機器間で IoT データを共有する仕組みの通信システム方式を提案し、IoT システムを安価、容易に構築し、かつシステム相互の接続を効率よく行う。
- データの緊急度に応じて、データの通信経路を自動的に切り替え、リアルタイム処理を行う。
- センサからの緊急通報を端末で受信し、迅速なセンサ制御、遠隔監視を行う。

#### (2) IoT 機器間通信システム方式

本提案では、発呼側がクライアントになり、着呼側がサーバとなるという SIP プロトコル<sup>(5)(13)</sup>の特徴を活用して、センサデータでの異常値を検出した機器がリアルタイムに緊急通報を行う。急を要しないデータは、SIP メソッドで取得した IP アドレスを使い HTTP により直接データ交換を行い、サーバへの負荷はかけない方式を採用している。本提案に基づく IoT システム全体図を図 3-7 に示す。図において、①に示す IoT デバイスのセンサにより収集されたデータは、当該センサに対応するセンサネットワークを介して、②の IoT ゲートウェイに送信され、ゲートウェイは受信データを、通信マネージャの SIP 機能を用い③の IoT サーバに送信する。IoT サーバは受信データを IoT データベースに保管する。利用者がシステムにアクセスする端末として、④の IoT ターミナルを位置付ける。IoT ターミナルはスマートデバイスの機能と SIP 機能を有し、IoT サーバに保管されたデータを通信マネージャを介して参照、更新等を行い、SIP プロトコルをベースにした⑤の共通ア



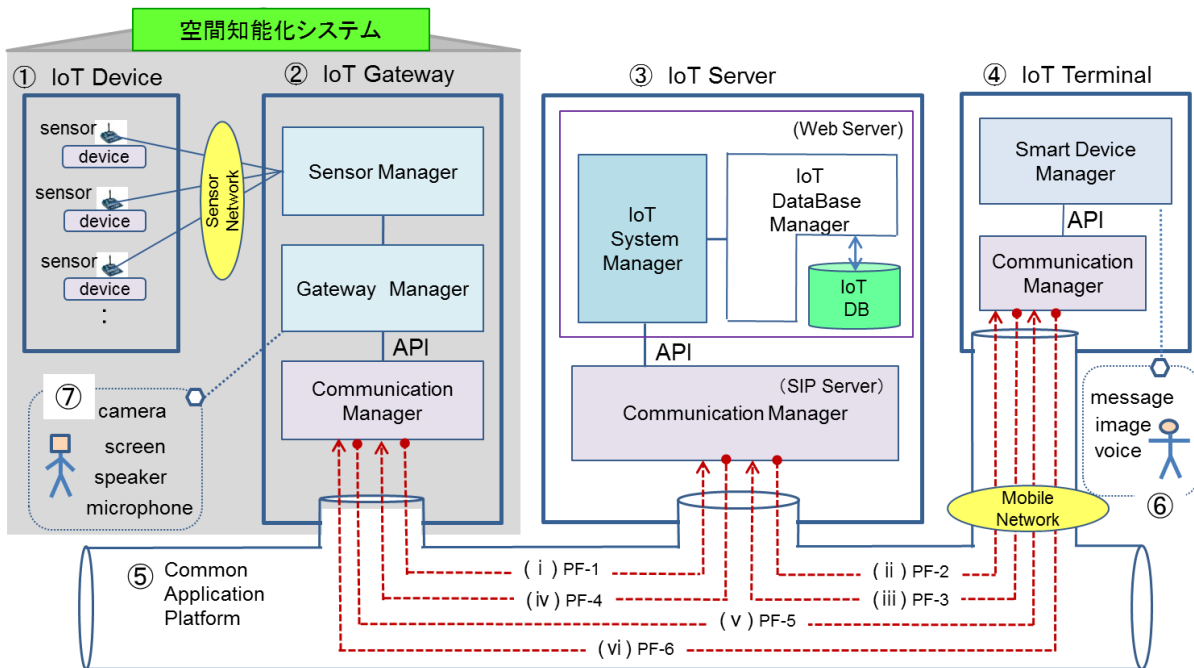


図 3-7 機器間通信方式

アプリケーションプラットフォームを介して各機器と連携する。緊急時のデータ送受信は、SIP のプッシュ機能と HTTP 通信を用い、通常時のデータ収集、データ参照等は SIP コマンドを用いる。

⑤の共通アプリケーションプラットフォームについて述べる。共通アプリケーションプラットフォームは、IoT ゲートウェイ、IoT サーバ、IoT ターミナルの各機器上のアプリケーションが連携する共通の通信路であり、各機器上の通信マネージャが提供する API を使用し、データの共有、連携処理を行う。さらに、他のシステムが共通アプリケーションプラットフォームにアクセスすることにより、他システムのアプリケーションが通信マネージャの共通 API を使用して、複数のシステム間でのデータ交換を可能とする。IoT ゲートウェイのセンサマネージャが異常値を検知すると、ゲートウェイマネージャに通知し、次に共通アプリケーションプラットフォームの図中 (i)PF-1 を介してサーバに送信する。サーバ上の IoT システムマネージャは、IoT データベースマネージャを使い IoT データベースに保管する。データ分析の結果、緊急通知が必要と判断すると、(ii)PF-2 を通って IoT ターミナルのスマートデバイスマネージャなど必要箇所にプッシュ機能を使い通知する。

屋外などのモバイル環境から IoT ターミナルを使ってセンサの状況を問い合わせる場合は、⑥に示す IoT ターミナルの画面から対象のセンサを指定し、IoT ターミナルの機能を使って、コマンド入力やメッセージ送信などにより要求を出す。要求情報は、(iii)PF-3、(iv)PF-4 を経由してゲートウェイマネージャに送信する。ゲートウェイマネージャは、⑦

に示すスクリーンやスピーカを介して IoT ターミナルからの要求を伝える。IoT ゲートウェイのセンサマネージャが緊急状況を検知すると、ゲートウェイマネージャがプッシュ機能で IoT サーバに緊急通報し、IoT ターミナル、IoT ゲートウェイ双方で人を介したリアルタイム通信が可能となる。一方、IoT ターミナルからセンサの画像などのデータを要求する場合は、通常時の通信経路を切り替えて IoT サーバを経由せずに HTTP 通信を使い、(v)PF-5 により直接 IoT ゲートウェイから IoT ターミナルに画像データ等を送り緊急時の対応を可能とする。逆に、IoT ターミナルから IoT ゲートウェイへ直接画像データ等を送る場合には(vi)PF-6 によりデータ送信する。

IoT ターミナルからセンサの設定値変更等を行う場合は、IoT サーバが管理する情報をもとに IoT ターミナル画面に表示したメニュー画面から、操作対象のセンサを指定して、IoT サーバのシステムマネージャに(iii)PF-3 を介して要求を通知し、システムマネージャは IoT ゲートウェイのセンサマネージャに設定値等を通知する。この時システムマネージャは、蓄積データの分析結果をもとに設定値を修正して設定することが可能となる。

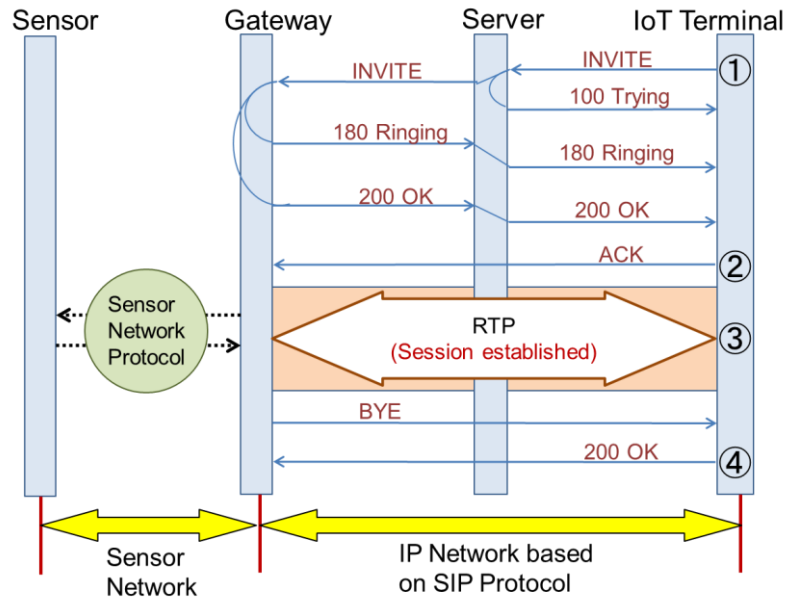
スマートフォン等のスマートデバイスに搭載可能な通信方式である SIP 機能を採用することにより、INVITE メソッドを使ったプッシュ通信による緊急通報、動画像や音声による詳細情報のやり取りを可能としている。本提案システムでは、SIP のセッション開始前の INVITE メソッドの From ヘッダのディスプレイ名として最大 250 バイトのデータを転送できることを利用し、着信側が拒否応答を返すことでセッションを確立することなく、オーバーヘッドの少ない少量データのプッシュ型の通信機能を実現している。

### (3) セッション機能による機器間連携

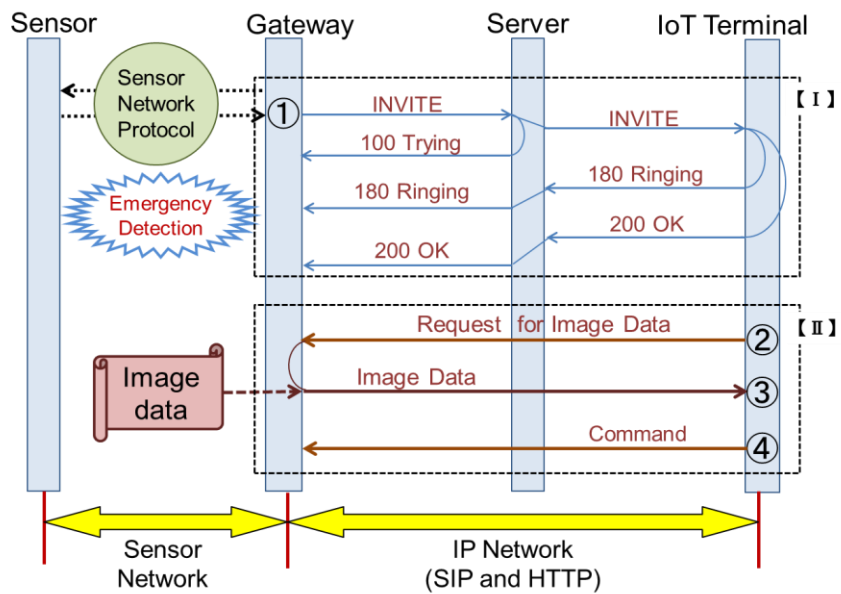
IoT ターミナルから IoT デバイスと通信する場合のプロトコルシーケンスを図 3-8(a)に示す。IoT ターミナルはゲートウェイとの通信路を確立するために図の(a)-①の INVITE リクエストを送信する。サーバの IoT システムマネージャは、宛先を見てゲートウェイに INVITE リクエストを送信する。また、サーバの通信マネージャは、ゲートウェイへの INVITE を実行中であることを暫定応答 100Trying により通知する。INVITE を受信したゲートウェイの通信マネージャは、相手からの呼び出し処理を行った後、暫定応答の 180Ringing を返送する。ゲートウェイは、受付成功と判断すると 200OK レスポンスをサーバ経由で IoT ターミナルに送信する。

IoT ターミナルの通信マネージャは、200OK を受信すると、図の(a)-②の ACK (セッション確立了解) をゲートウェイに送信しセッションが生成される。図の(a)-③でセッションが確立すると、このセッション上で RTP(Real-time Transport Protocol)により音声や画像等の転送を行う。ゲートウェイでの処理が終了すると、BYE リクエスト(セッション切断要求)と図の(a)-④の 200OK レスポンスによりセッションを終了する。

センサが異常を検知して緊急通報する場合のプロトコルシーケンスを図 3-8(b)に示す。ゲートウェイが異常を検知すると、図の(b)-①に示す INVITE リクエストを用いてプッシュ



(a)通常のデータの流れ



(b)アラームメッセージの流れ

図 3-8 プロトコルシーケンス

機能により IoT ターミナルにアラームを通知する。アラーム受信だけで処理が閉じる場合は、図 3-8(b)の【 I 】のシーケンス後に IoT ターミナルが拒否応答を返し処理が終了する。処理を継続する場合は、IoT ターミナルは、図 3-8(b)の【 II 】のシーケンスに移行する。IoT ターミナルは、センサの詳細情報を取得するために、図の(b)-②で HTTP によりゲートウェイと IoT ターミナル間で直接通信し、ゲートウェイは IoT ターミナルに IoT デバイスの画像などの情報を、図の(b)-③で送信する。画像等の詳細情報をもとにセンサに対する対応処置が決まると、IoT ターミナルからゲートウェイに対して図の(b)-④でコマンド等の指示を出す。センサに対する処置が終わると、IoT ターミナルはゲートウェイに対し終了コマンドを送信し一連の処理が終了する。

図 3-9 に本提案に基づく見守りシステムへ適用したシステム構成例を示す。図において、ホーム B を見守り対象とし、ホーム A から見守る場合と、見守り者が外出してモバイル環境からホーム見守り IoT ターミナルを使用してホーム B を見守る場合の 2 通りの見守り方法を示す。ホーム A およびホームのゲートウェイ、ホーム見守りサーバ、ホーム見守り IoT ターミナルには、それぞれ SIP 機能を搭載する。ホーム B のゲートウェイがセンサの異常発生を検知すると、ホーム B のゲートウェイはホーム A のゲートウェイ、ホーム見守り用の IoT ターミナルの表示部に異常発生を通知するメッセージを表示する。異常検知は、ゲートウェイマネージャがセンサごとに設定されている閾値を越えたと判断したときに行う。異常通知を受信したホーム A、ホーム見守り IoT ターミナルは、ホーム B のカメラやマイクを使ってホーム B の詳細状況を知ることができる。

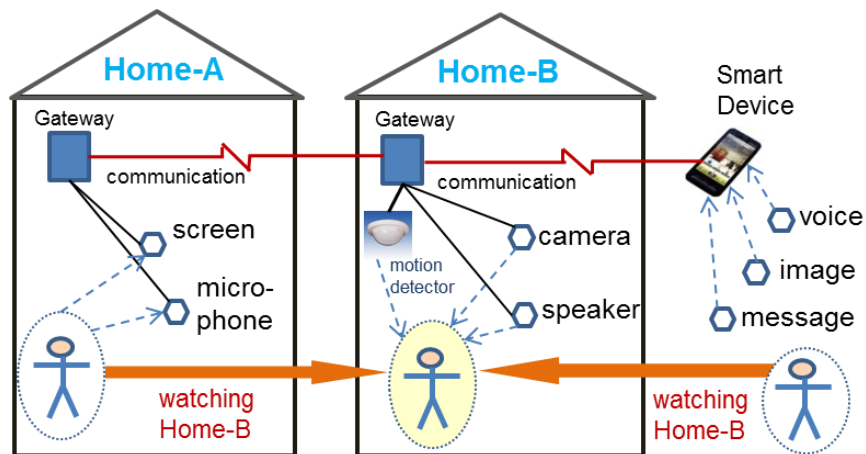


図 3-9 見守りシステムの実装例

### 3.2.3 実装

#### (1) 空間知能化システムへの適用

本提案方式を遠隔地のホームを見守るシステムに適用し、その評価を行った。見守りシステムでは、異常発生時のリアルタイムな通報、音声やメッセージ通信だけでなく画像データ等による詳細情報の取得、外出時でも見守り対象ホームの状況を把握できることなどが要求される。本見守りシステムでは、見守る人が見守り対象者の異常の通知を受け取ると、音声で連絡をとるだけでなく、カメラ/表示装置で画像や動画を用いてコミュニケーションをとり、見守り対象者の詳細な状態を把握することができる。

#### (2) 実装

##### < i >IoT サーバの実装

見守りシステムの実装システムを図3-10に示す。図において、①のIoTデバイスを見守り対象のホーム内の必要箇所に設置する。ホーム内のセンサデータを②のIoTホームゲートウェイに集め、ホームの見守り状況は③のシステム全体を管理するホーム見守りサーバに送信する。④はリモートより見守り対象のホームを監視するホーム見守りIoTターミナルを示す。本実装システムは、見守り者が外出してモバイル環境からホームを場合に相当する。

見守りシステム全体構成の管理は、ホーム見守りサーバ上のホーム見守りマネージャが行い、センサの設定情報などの保管は、ホーム見守りマネージャからの要求によりホームDBマネージャが行う。ホーム見守りサーバは、SIPサーバ部とWebサーバ部から構成した。

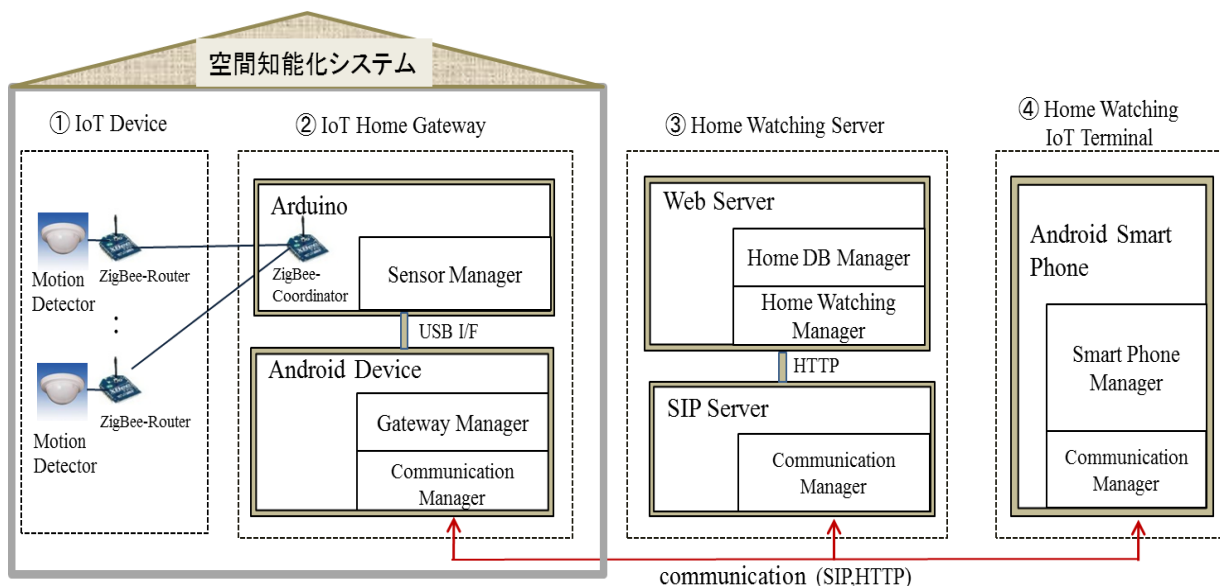


図 3-10 空間知能化システムの実装システム

#### < ii > IoT ゲートウェイ/IoT デバイスの実装

IoT ゲートウェイは、SIP 機能を持つゲートウェイマネージャを実装するゲートウェイマネージャ部と、IoT センサ群を管理するセンサマネージャを実装するセンサマネージャ部の2つの部分より実装した。ゲートウェイのゲートウェイマネージャ部は、Android 端末を使用し、センサマネージャ部は、IoT デバイスを管理するための Arduino システムを使用して作成した。ゲートウェイマネージャ部は SIP クライアント機能を提供し、IoT サーバと Wi-Fi で接続し、Android Open Accessory を使用し“accessory”モードにより USB インタフェースでセンサマネージャ部と接続する。センサマネージャは、ゲートウェイマネージャからセンサへの指示を受け取ると、XBee API を使用して、IoT デバイスへのデータ 入力、制御、設定等を行う。IoT デバイスの実装は、ZigBee センサネットワークを使用し、ネットワーク構築機能を有する ZigBee-Coordinator と、ZigBee デバイス機能を有する ZigBee-Router より構成した。見守りは人の動きを検知する人感センサで行うこととし、IoT センサとして ZigBee 人感センサ(netvox 製 Motion Detector)を使用した。センサの設定は、10 分間隔で人感の有無をゲートウェイのセンサマネージャに通知するようにし、10 回以上無感知が続くと異常発生とゲートウェイマネージャが判断する設定とした。異常発生をゲートウェイマネージャが検知した時は、ゲートウェイマネージャがホーム見守りサーバに通知し、ホーム見守りマネージャは IoT ターミナルに通知する実装とした。

#### < iii > IoT ターミナルの実装

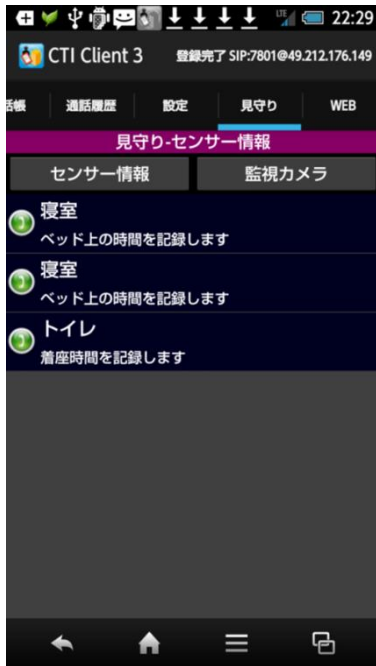
IoT ターミナルとして Android スマートフォンを使用した。スマートフォンの主要機能は、センサ構成表示、緊急通知受信、画像データ表示の機能であり、Android 上の Java アプリケーションとして作成した。センサ構成表示機能は、IoT サーバ上のホーム DB をもとに、スマートフォンからの要求で画面に表示させた。異常通知の受信機能は、IoT ゲートウェイのゲートウェイマネージャが異常検知した時に、SIP のプッシュ機能を使い、スマートフォンに通知する。画像データの送信要求を受けた IoT ホームゲートウェイは、SIP 機能により要求元の IP アドレスを取得し、サーバをバイパスして、要求元のスマートフォンに画像データを送信する。

### 3.2.4 評価と考察

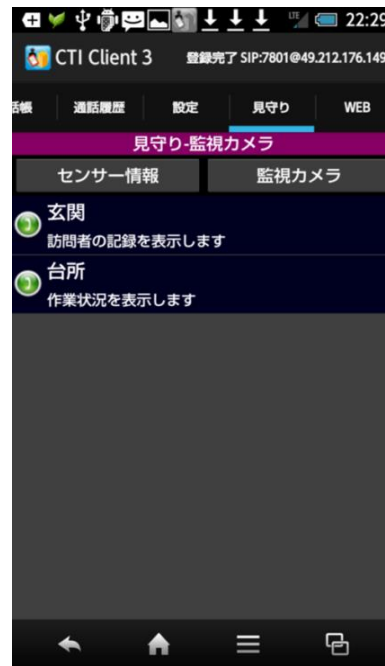
#### (1) 評価

##### < i > IoT 機器間通信

見守りシステムの IoT ゲートウェイ、ホーム見守りサーバ、スマートフォン上にそれぞれ SIP 機能を搭載することにより、各機器間でのデータ共有ができた。見守り対象ホームに設置したセンサー一覧は、ホーム見守りサーバ上で管理データベースをスマートフォンから参照して画面表示する。見守り対象ホームの玄関・台所に設置したセンサの表示例を図 3-11(a)に示す。人感センサの連続 10 回人感反応なしをゲートウェイ



(a) センサ情報表示-1



(b) センサ情報表示-2



(c)アラームメッセージ



(d)見守り監視カメラ

図 3-11 IoT ターミナルの表示画面例

が検知すると、ゲートウェイはセンサに異常が発生したと判断し、スマートフォン画面にアラームメッセージをポップアップ画面で知らせる。ポップアップ画面の表示例を図 3-11(b)に示す。センサ構成表示と異常通知の受信が行えたことにより、IoT 機器間通信システム方式として SIP 機能が有効に機能していると考えられる。緊急時の対応として、異常発生時のゲートウェイに付属するカメラ機能を使用して、通信経路を切り替えてスマートフォンに送信した画像表示例を図 3-11(c)に示す。

#### < ii > IoT ターミナル

IoT ターミナルの役割は、IoT システムで得られる情報を、モバイル環境で活用できることであり、図 3-11(a)でスマートデバイスからサーバへの要求発信、図 3-11(c)で異常通知の受信の送受信が可能であったことから、IoT ターミナルが緊急時のアラームにリアルタイムで対応できることが確認できた。

#### < iii > 性能

IoT 機器間通信性能の評価は、ゲートウェイがセンサでの異常発生を検知しスマートフォンに緊急通知してから、スマートフォンがゲートウェイからの画像情報を受信するまでの時間測定を行った。図 3-11(b)のシーケンス図に示した①から、スマートフォンのデータ受信の③までが性能測定範囲に相当する。ゲートウェイのカメラは Android 端末のカメラを、IP Webcam を使い Web カメラとして使用し、画像データ 2.18MB のファイルを送信した。測定時間は平均 2.7 秒の結果を得た。

### (2) 考察

#### < i > IoT 機器間通信に関して

SIP 機能を本提案に採用した理由は、接続相手の IP アドレスが分からなくても通信相手先 ID により接続でき、また、ID より IP アドレスが得られることから緊急時の画像伝送等に HTTP が使えることである。さらに、SIP サーバにデータを通すことによりログを取ることができ、SIP のプッシュ機能により緊急時のリアルタイムな通報を可能とすることが SIP 機能採用の理由である。本提案を見守りシステム実装に適用することにより、IoT システムのリアルタイム性確保に SIP 機能が有効であることが確認できたと考えられる。

従来システムでは、HTTP プロトコルのようにサーバ機能とクライアント機能が固定され、サーバからのプッシュ型の通信機能は実現できなかった。クライアントからのサーバへの定期的なポーリングでプッシュ型の通信機能を擬似的に実現することは可能であるが、通信量が増えるので IoT システムには不適であったが、SIP プロトコルは、発呼側がクライアントになり、着呼側がサーバとなるように、ダイナミックにサーバとクライアントの役目が変わり、本提案システムでの緊急通報等の対処では有効に機能したと考えられる。また、プッシュ通信は INVITE メソッドを用いて通知し、セッション確立は行わないので網の高負荷は発生しないと考えられる。

#### < ii > IoT データ通信経路の切り替え



センサデータでの異常検出時に、画像データを SIP サーバを介さず直接ゲートウェイ、スマートフォン間で送受信する方式は、問題なく働いたと考える。今回は SIP と HTTP により通信経路を切り替えたが、複数のプロトコルの組み合わせによる、データの属性に合わせた通信経路切り替え方式が今後の課題であると考ええる。

#### < iii > 性能に関して

見守りシステムにおける性能測定では、センサ異常検知から画像による現地の詳細確認までの時間が 2.7 秒であり、実用に耐えうる性能と考える。また、画像データはホーム見守りサーバを介さず、ゲートウェイ、スマートフォン間で直接通信することから、見守り対象ホームを増やしてもホーム見守りサーバの性能には影響を与えないと考える。

#### < iv > IoT 機器構成に関して

本提案システムでは、システム構成機器間を SIP, HTTP の標準インターフェースで接続したが、IoT デバイスと IoT ゲートウェイのインターフェース(ZigBee API), IOT ゲートウェイのセンサマネージャ部(Arduino 上の Linux), ゲートウェイマネージャ部とセンサマネージャ部のインターフェース(Android Open Accessory)においても標準仕様を採用しており、各種センサの追加、ゲートウェイの機能拡張などの拡張性を確保できた。さらに、IoT ターミナルはゲートウェイと同等の SIP 環境が内蔵していることから、アクセスポイント経由でゲートウェイと直接通信が可能となる。したがって、サーバが使用不可となった場合でも、屋内で IoT デバイスに直接コマンドを送信したり、ゲートウェイから直接、画像データ等を受信することが可能と考える。

見守り実装システムではセンサの状況を詳細に確認するために、IoT ターミナルにより画像データを含むデータを取得でき、IoT システムにおいてデータが共有できる構成を確認できた。見守り対象のホームからスマートフォンに取り込むデータが、静止画、動画、音声などが混在した時の応答時間などの性能向上を図ることが今後の課題である。

#### < v > 応用面からの考察に関して

遠隔見守りシステムには、家電機器にセンサを組み込んで見守り対象者の動きを確認したり、人感センサで人の行動を簡便にチェックしたりするシステムが商用化されているが、本提案システムでは、センサデータでの異常値が検知された時に、見守り者と見守り対象者との間で双方向の通信が可能であり、さらに、見守り者が音声、画像、映像等の詳細データを必要に応じて取得し、医者等の専門者が適切な処置をとることを可能としている。

## 4. 空間知能化システムにおける行動センシング方式

居住空間での人の動きをセンシングし、快適、安心、安全な生活環境を提供する空間知能化システムにおいては、センサ技術やセンサデータの分析技術の進展により高度なサービス提供への期待が高まっている。さらに、家庭内のエネルギー消費を最適に運用するために導入される空調設備、家電、給湯機器などの機器と連携して、高度な空間知能化システム構築が期待されている。

一方、モノとインターネットとつなぐ IoT を活用したシステムが進展している<sup>(1)(2)(3)</sup>。IoT は、情報通信機器、家電製品、医療機器などの世の中にある様々なモノをインターネットに接続し、相互に通信することにより、機器の故障予知、遠隔監視、遠隔医療などのさまざまなサービスを提供する。

本章では、上記のような空間知能化システムに IoT システムの構築技術を活用し、人の動きを的確に把握することにより、住居内で人が快適、安心、安全に生活できる方式について論じる。

### 4.1 空間知能化システムの構成

センシング技術等の進展に伴い、住居などの空間内の人の動きを観測し、空間内での人の行動や異常状態を検知する空間知能化システムが高度化している。この空間知能化システムでは、人の行動の観測結果に応じて、ロボットや家電製品などの機器を適切に制御して、快適な居住環境を提供したり、人の異常状態を検知したりして見守りを行うことができる。これら一連のプロセスが空間知能化である。

一方で、モノとインターネットをつなぐ IoT を活用して、情報通信機器や家電製品、医療機器などの様々なモノをインターネットに接続することにより、住居内の温度や照度を自動調整したり、遠隔見守りなどを行ったりすることが可能となる。

本方式では、IoT 技術を活用して空間知能化システムにおける人の動きを把握し、人の行動から異常状態の発生を検知する方式である。この異常状態の発生を検知するためには、検知する機器を住居内に簡単に設置でき、また、見守りの対象者が、「見られている」、「監視されている」などの意識を持たない方式の採用や環境の提供が重要である。逆に、病院や介護施設の場合は、見守られていることにより安心感を与える場合もあるが、本研究では、見守り対象は一般住居の独居高齢者を対象とし、「見守られている」という意識を低減した空間知能化システム内の部屋間の人の移動をセンシングすることにより、異常状態の検知方式を適用し、評価を行った。

空間知能化システム内における人の行動の把握方法として、赤外線センサ、人が保持するタグ、ロボットなどの方式<sup>(4)(5)</sup>が提案されている。本研究では、省エネルギーを考慮した空間知能化システムでの人の行動を把握する方式を提案し、実装と評価を行う。本方式は、次の方法を組み合わせて実現することにより、空間知能化システム内の人の行動を把

握し、異常状態の検知を実現することを可能とする。

- ・ 空間内の人の行動は、空間内に設置したセンサによる各部屋間の人の移動検知をもとに把握する。
- ・ 空間内のセンサの制御装置からのセンサデータ送信は、電力消費を抑えたブロードキャストを主体とした方式で行い、さらに人の移動を検知するセンサ自体の低消費電力化を可能とする。
- ・ 日常生活の正常な行動パターンから外れたパターンを検知した場合に、異常状態が発生したと判断する。

このような空間知能化システムの適用例としては、住宅内の温度や湿度などを計測し、照明器具や家電製品を制御することで快適な生活を実現すると同時に、住宅内における住居者の日常生活の様々な事故や異常状態を検知し、その状況や対策をリアルタイムに関係者に知らせることで、住居者の安否確認に適用する見守りシステム構築の可能性があると考える。図 4-1 に空間知能化システムの構成例を示す。

図 4-1 における人の行動の状況や住居内の状態などのデータは、ホームゲートウェイに

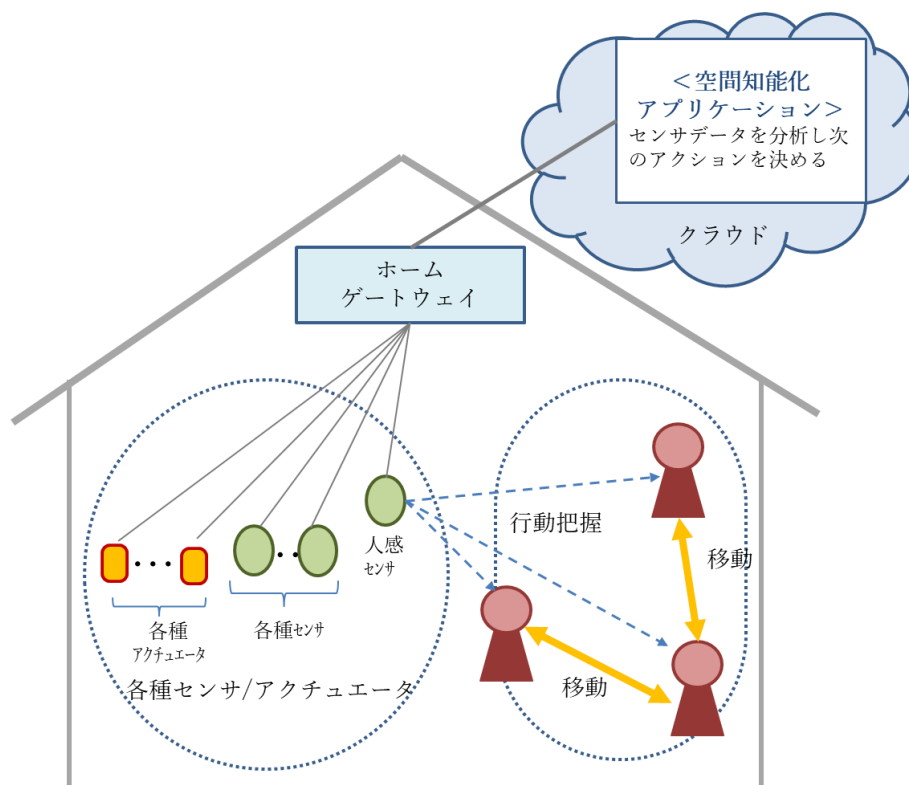


図 4-1 空間知能化システム構成例

集約され、クラウド上のサーバに送信する。クラウド上でのデータ蓄積、分析は、空間知能化システム内の状況や見守り対象者の状態を見守り側と共有し、異常事態が発生した場合などに速やかに対応したり、クラウド上のコンピューティングパワーを使い蓄積データを分析システムで処理したりするために活用する。

## 4.2 空間知能化システムの機能

住宅における空間知能化とは、以下のようなプロセスで、住宅で生活する人の快適性を実現し、安心安全を守ることを目指すことである<sup>(6)</sup>。

- ・ 空間に分散して配置したセンサを用いて空間内の様子を観測する。
- ・ 有用な情報を抽出して必要とするものへ提供する。
- ・ 観測結果に応じてロボットなどを適切に制御し、人に対して作用をもたらす。

空間知能化による見守りシステムのデータの流れを図 4-2 に示す。空間知能化システムは、人の行動に従って処理内容を選択する。図 4-2 の①で人の行動を把握すると、そのデータが②のクラウド上のアプリケーションに送信され分析される。クラウド上のアプリケーションによるデータ分析の結果、異常状態が発生したと判断した場合を③に示す。このように人の行動にしたがって空間知能化システムが駆動され、状況変化に応じて適切な対応処置をとるというデータ駆動型モデルを示している<sup>(9)(10)</sup>。

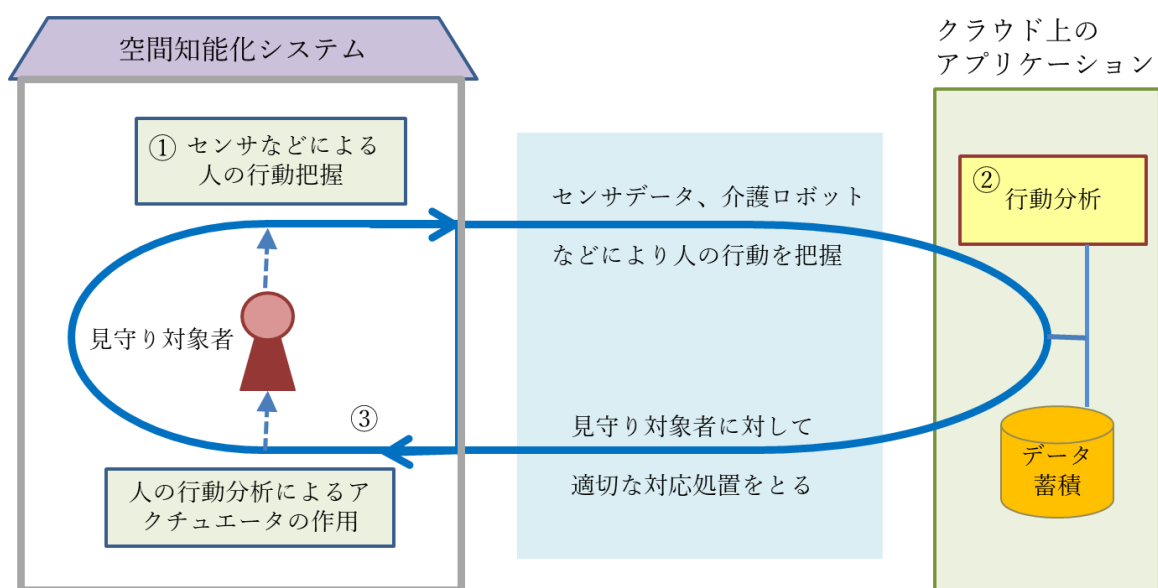


図 4-2 空間知能化システムのデータの流れ

空間知能化による見守りシステムを考える上で、人の動きをどう捉えるかで、見守り方式が変わる。空間内の各種センサデータをもとに、独居高齢者の見守りを行う方法として種々の方式が考えられる。主な方式として、次に示す方式がある。

- ・ 見守り対象者が器具を体に装着し、移動や健康状態を遠隔から観測する方法
  - ・ 空間内にカメラや機器を設置して、常時人の動きを観測する方法
  - ・ 住居内の床、ドア、家具などに各種センサを取り付け、人の動きを観測する方法
- 本研究では、見守り対象者が「見守られている」という意識を極力低減し、実践的な方式で異常状態を検知できる方式としている。

### 4.3 空間知能化システムにおける行動センシング

#### 4.3.1 空間知能化システムにおける行動センシングの意義

住居における空間知能化の目的は、住宅で生活する人に快適な生活を提供し、さらに安心と安全を守ることである。空間知能化システムにおける行動センシングの意義は、空間に配置したセンサを用いて空間内の様子、人の動きを観測して、人の行動のセンシング情報から有用な情報を抽出し、人や機器に情報を提供することである。空間内のロボットや機器を適切に制御して、人に対して快適ライフや、安心・安全などの環境を提供するためには、各種センサからのデータだけでなく、人の行動もセンシングデータとして扱い、アクチュエータ等を介して人へサービスを提供する<sup>(7)(8)</sup>。

#### <行動把握の方法>

##### 1 身体装着デバイス等で行動把握

- ・ ウェアラブルデバイスによる身体状況の把握
- ・ スマホやタブレットを保持することによる状態把握

##### 2 カメラ監視等各種装置を使用した行動把握

- ・ 病院、介護施設などの大規模施設における監視
- ・ 空間内の機器、家具、道具などに装着した各種センサによる監視

##### 3 非接触センサによる行動把握

- ・ 人感センサなどにより非接触で行動把握

図 4-3 行動把握の方法

空間知能化システムにおいては、人の行動の把握、人の状態に関連する情報など、人に関する情報の入手が重要である。

人の行動を把握する方法には、位置情報が必要なもの、動線だけでよいもの、居場所が特定できればいいものなどがあるが、どの方法により人の行動を把握するかは、システムの目的により最適な方式を選択することになる。従来の行動把握の方式は、ロボット、赤外線センサ、人が保持するタグ、空間内に設置したリーダー／ライターとタグ、監視カメラ等を用いて把握している。この場合、対象となる人はタグ等の機器を保持する必要があるか、あるいは空間内にカメラを設置するなどの大掛かりな設備が必要であった。

本研究における「空間知能化システムにおける行動センシング」では、次のようにして、人の動きから異常状態の発生を検知する。

- (1) 人の現在いる場所を、行動センシングで特定する。
  - ・ 場所とは、住居の場合での通常の設定では各部屋が相当する。
  - ・ ただし、必ずしも「場所」＝「部屋」とは限らず、システムによっては、2つの部屋を併せて「場所」と設定することができる。
- (2) 人の行動は、場所間の「移動」により捉える。
  - ・ 例えば、家の間取りが図4-4の場合、見守り対象者が居間（場所2）にいる時は、行動の変化とはならないので、人感センサによる動きはサーバへは送信しない。その状態を図の①に示す。
  - ・ 見守り対象者が居間から台所への移動を検知した②の時は、（場所2）から（場所3）への「移動」が発生したことをサーバに送信する。

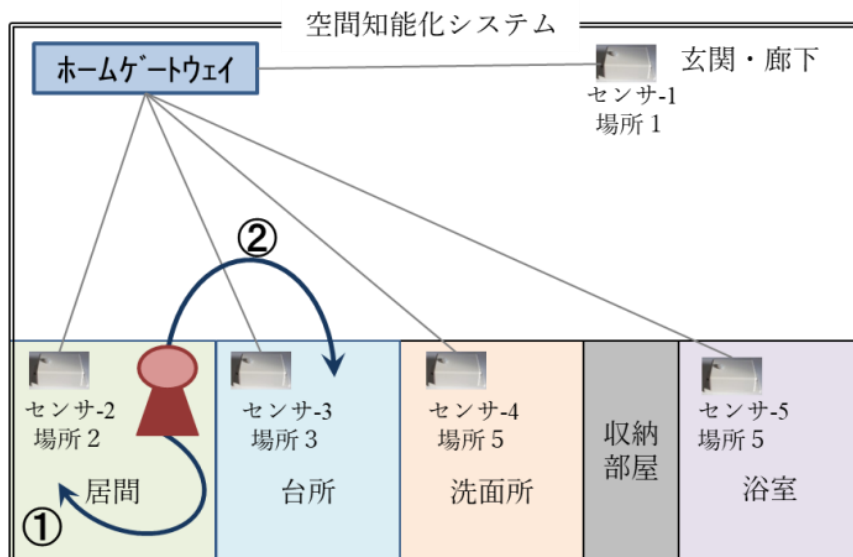


図4-4 行動センシングの「移動」の把握方法

- (3) 場所間の移動パターンに基づいて異常発生を検知する.
- 見守り対象者の移動情報が空間知能化システムから送られてくると、サーバ上のアプリケーションは異常発生かどうかの分析を「移動パターン表」を参照して分析する.
  - 異常状態を検出すると、関連部門に緊急通報を行う.

#### 4.3.2 空間知能化による見守りシステムの構成

空間内における人の位置や状態は、従来、ロボットや、空間内に設置したリーダー／ライターとタグやアンテナ等により、把握していたが、対象となる人はタグ等の機器を保持する必要があった。本方式では、各部屋に設置したビーコンと人感センサによる位置の把握を行うため、対象の人は何も保持する必要がなく、日常生活パターンの中で異常が発生した時などを把握することが可能となる。また、ゲートウェイとしてスマートフォン等のスマートデバイスを適用することにより、異常と判断した時の対象の人へのアラームを、スマートデバイスの音声やビデオを使用してコミュニケーションをとることが可能となる。

本方式の基本構造を図 4-5 示す。空間内に設置した人感センサや温度センサなどのセンサが検知するデータは、図 4-5 の(a)に示す空間知能化センサデバイスにより収集される。

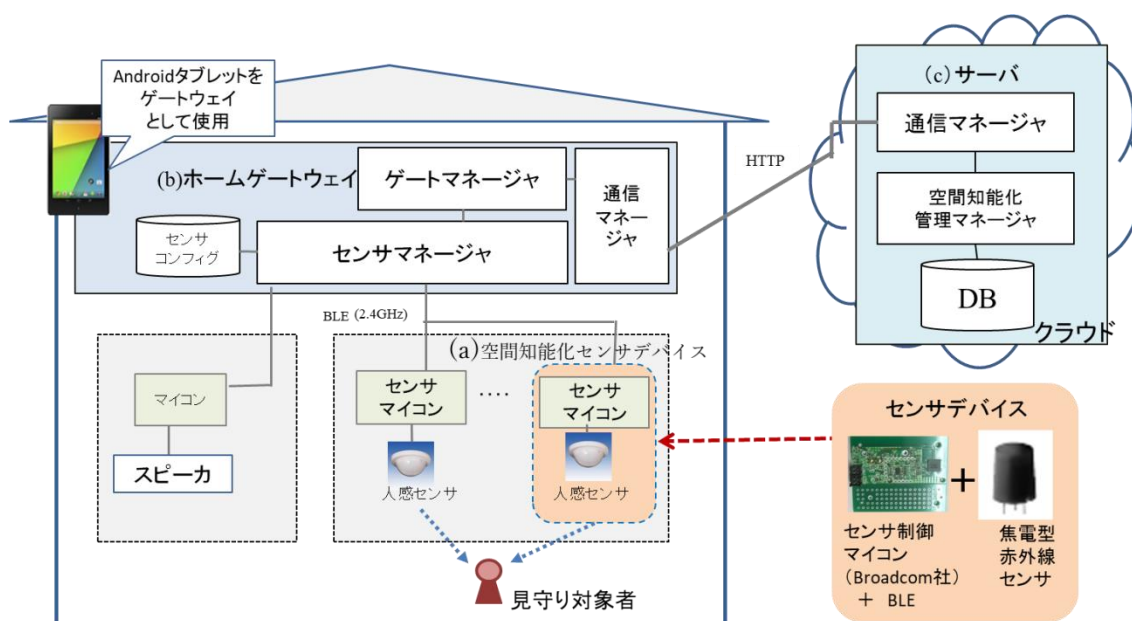


図 4-5 行動センシングの基本構造

図 4-5 の(b)の空間知能化ゲートウェイのゲートウェイマネージャは、Bluetooth Low Energy(BLE)を介してデータを収集し、インターネット上のサーバ(c)の空間知能化マネージャにデータを送信する。ゲートウェイマネージャは、センサやアクチュエータの構成を管理するデータベースを使いデータ処理する。サーバ上のアプリケーションは、空間知能化システム全体のセンサデータを管理するデータベースをもとに、人感センサ等から収集したデータの分析を行い、ゲートウェイへ分析結果のデータを送信する。

#### 4.3.3 行動センシングによる異常検知

従来の異常検知の方式は、監視カメラや赤外線センサなどを用いて、人の行動を常時把握する方式であった。この方式は、人の行動を1日24時間観察し、この観察データをもとに異常を検知する方式である。

一方、空間知能化システムにおける本方式は、場所間の人の移動をもとに、見守り対象者が特別な装置などを装着せず住居内での行動を把握し、かつ異常状態を検知できる実践的な方式である。

4.3.1 で定義した「見守り対象者が現在いる場所」を、以降「ゾーン」と呼ぶ。ゾーンは、人の行動をセンシングする場合の移動の変化を表す基本単位であり、その概念を図 4-6 に示す。ゾーンは図 4-6 の下部の空間知能化システムの空間を区切る単位であり、例えば、図 4-6 のように、ゾーン1, 2...と表すことができる。

ゾーン間の移動を観測することにより異常状態の発生を検知する方式は、予め設定した平常状態での生活におけるゾーン間の移動パターンから外れた場合を異常状態とみなし、異常状態を検知することにより、遠隔見守りににおける安全性の確保や、異常内容を分析することによる生活支援機能を提供する。

図 4-6 の空間知能化システム内のゾーン間の移動情報は、空間知能化ゲートウェイに収集され、クラウド上のサーバに送信する。ゾーン間の移動情報を受信したサーバ上のアプリケーションは、移動パターン表をもとに異常状態が発生していないかを判断する。

また、図 4-6 に示すように、ゾーンの領域はオーバーラップしているが、各ゾーンにある人感センサの電波受信強度により、見守り対象者がどのゾーンに現在いるかを確定する。



ゾーンの設定は、必ずしも1つのゾーンが1つの部屋に対応する必要はない。図4-7は、ゾーンと部屋が1:1に対応する設定となっているが、図4-8では、洗面所と浴室を1つのゾーンとして扱っており、システムの目的に応じてゾーンを設定することが可能である。

人がゾーンをまたがって移動したときには、空間知能化ゲートウェイからクラウド上のアプリケーションに移動情報が送信する。その情報をもとに、異常状態が発生していないかのチェックが行われる。

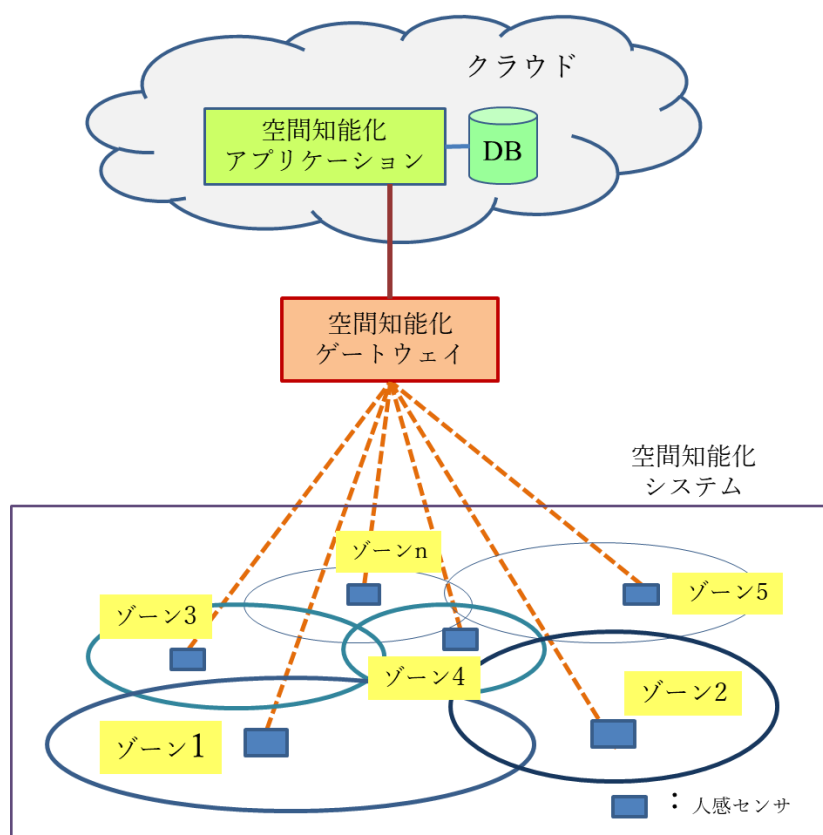


図4-6 ゾーンによる行動センシング

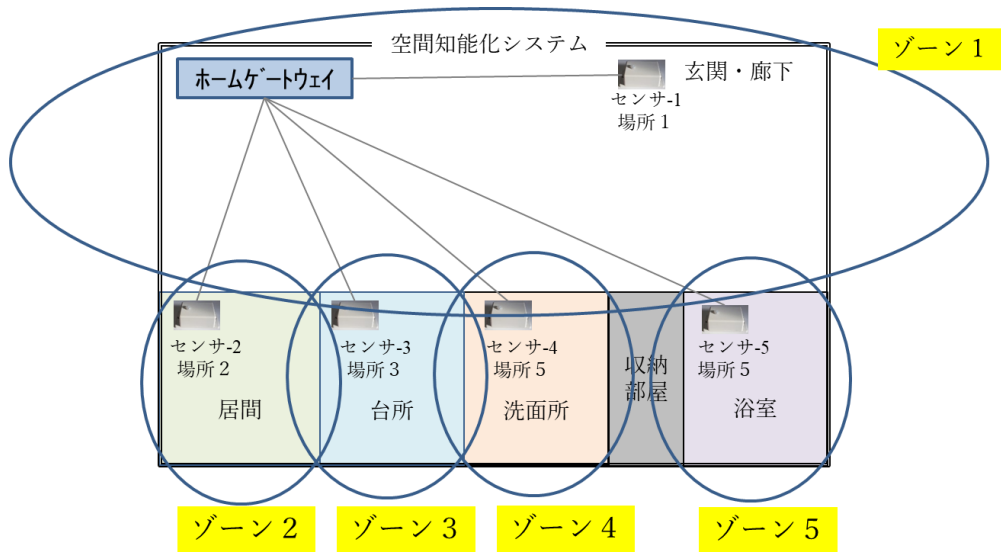


図 4-7 ゾーンの設定例（ゾーンと部屋が 1:1 で対応している場合）

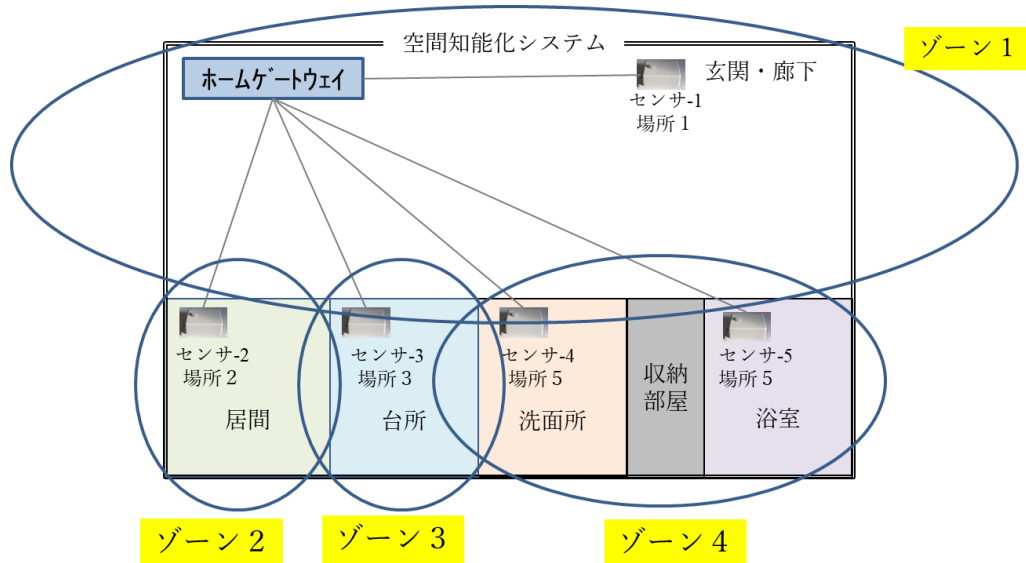


図 4-8 ゾーンの設定例（1つのゾーンが複数の部屋に対応している場合）

本研究の行動センシングは、移動パターンに基づく異常検知である。空間知能化システムにおける人の行動を、空間内に設置した複数の人感センサからのデータをもとに人の行動とセンサ設置位置とを対応付けて、モニタリングする。空間知能化システムにおける人の移動のモニタリング方法を図 4-9 に示す。図において、①で示す 1 つの空間内を  $Z1 \sim Zn$  の複数のゾーンに分割する。ゾーンは住宅内の部屋に相当し、人は②で示す点線の範囲で各ゾーン間を自由に移動する。また各ゾーンには人感センサデバイス-1~n を設置し、人の動きをモニタリングする。各ゾーンに設置した人感センサは、人の動きを検知すると③のゲートウェイ経由で④のサーバに通知する。人がこの空間外に移動した時を⑤に示し、この場合は全ての人感センサが反応なしの状態となる。

空間知能化システムにおける異常検知の方式として、正常な行動パターンから外れた場合を異常とみなす方法と、人が携帯するアラームボタン押下によるアラーム通知の 2 方式を用いる。アラームボタン押下は、正常な行動パターンの中で突然発生する異常を本人が自覚した場合に対処するためである。図 4-9 に示す⑥の人が、自ら異常を検知して携帯するアラームボタンを押下すると、各部屋に設置したセンサデバイスと同じように、⑦のビーコンによる通信により、ゲートウェイ経由でサーバにアラーム通知する。

移動パターンによる人の行動の把握は、例えば、反応する人感センサの位置が玄関であれば、外出・帰宅のいずれかと考える。全センサが無反応の状態から玄関で人感センサが反応し、次に居間で人感センサが反応すると帰宅と判断する。また、居間にいる状態から玄関のセンサが反応し、全センサが無反応となると外出と判断する。このようにして、空間知能化システムにおける日常生活の行動は、位置と行動を変数として様々な行動パターンを定義できる。

屋外(外出)→玄関(帰宅)→台所→洗面所→居間のような行動パターンは正常状態とみなすが、浴室での検出後反応がない、あるいは帰宅した後反応がないなど、人感センサからの人の検出が行動パターンに合っていない時は、異常状態とみなす。

行動パターンから異常状態を検知する等のデータ分析のアプリケーションは、クラウド上のサーバで実行する。アプリケーションはセンサが検知した人のいるゾーンの移動遷移を一定間隔でモニタリングし、移動の順序が行動パターンに合っているかどうか、あるいは 1 つのゾーンでの検知のまま、その後センサによる検出がなくなるタイムアウトなどで、正常・異常の判断を行い、異常検出時は、アラームをゲートウェイに送信する。

異常状態を検知する「移動パターン表」の例を表 4-1 に示す。

表中、○は正常、×は異常のパターンであり、各部屋での最大滞在時間を設定して、この最大時間をオーバーした場合も異常と判断する。外出の検出は、表中←で示した居間から玄関への移動後、人の移動を検知しないことにより判断し、最大外出時間の設定はなしとした。逆に、帰宅の検出は、表中→で示した玄関から居間への移動であり、帰宅後は各部屋の最大滞在時間の監視を行う。

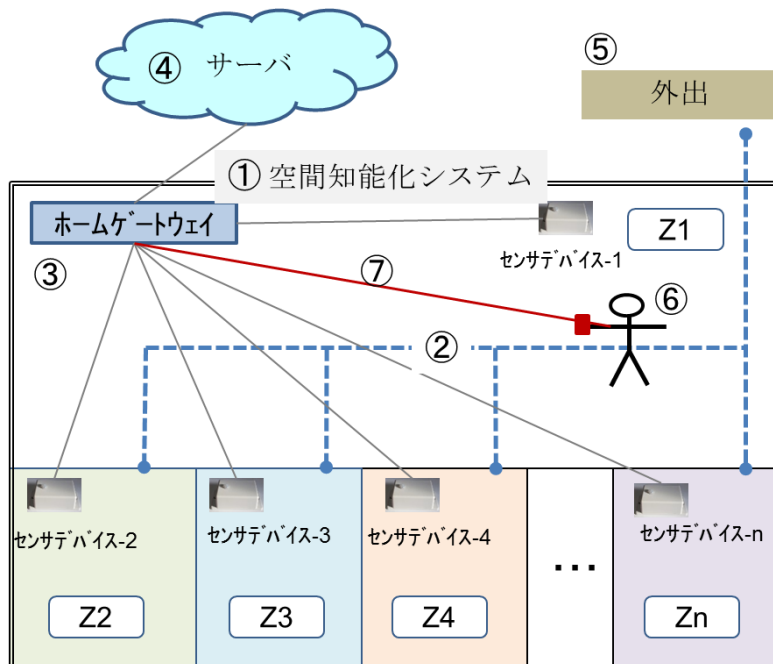


図 4-9 ゾーン間の移動把握による人の行動把握

表 4-1 異常検知用移動パターン表 (例)

from \ to	玄関	居間	台所	洗面所	浴室	タイムアウト	max回数 / 日
玄関	--	○	×	×	×	30分	12
居間	○	--	○	○	○	5時間	-
台所	×	○	--	×	×	3時間	-
洗面所	×	○	×	--	×	1時間	8
浴室	×	○	×	×	--	1時間	3
外出	○	×	×	×	×	∞	-
帰宅	○ → ○	×	×	×	×	--	-

見守り対象者のゾーン間移動が検知されると、センサデータを収集する空間知能化ゲートウェイは、次の情報をサーバに送信する。

- ・ 現状のゾーン番号／移動先のゾーン番号
- ・ ゾーン間移動を検出した時刻（ゾーンでの滞在時間を算出）

上記データを受け取ったサーバのアプリケーションは、移動パターン表を参照し、異常状態が発生しているかどうかを判断する。

また、移動パターン表の各部屋の欄には、次の情報が格納されている。

① 各部屋の最大継続滞在時間

最大継続滞在時間は、当該部屋に滞在している時間が最大滞在できる時間を超過していないかのチェックに使用する。例えば、見守り対象者が浴室で動けなくなった等の時の緊急通報発信に使用する。

② 1日の最大使用回数

各部屋の1日の使用回数の最大値を設定している。1日の最大使用回数は、例えば、洗面所に最大使用回数以上に頻繁に行っているのは、何か異常が発生しているのではないかと判断し緊急通報を発信する。

ゾーン間移動による行動把握と移動パターン表に基づく本行動センシング方式は、次の特徴を有している。

(1) ゾーンで人の居場所を特定

- ・ ゾーンの設定は、1ゾーン＝1部屋の限定はなく、自由に設定できる。
- ・ 居場所特定に位置情報（緯度・経度など）を使用せず、厳密な位置を計測する必要がない。
- ・ 受信する赤外線強度で居場所を特定する。

(2) 人の動きはゾーン間の移動で判断

- ・ 動線や移動ルートなどによる移動を必要としない。
- ・ したがって、人の動きを管理する情報量は小さい。

(3) 移動パターン参照により異常発生を判断

- ・ 各ゾーンの1日の滞在時間の分析で異常状態の発生を判断しない。
- ・ したがって、異常検知までの時間が短くなる。

## 4.4 実装

### 4.4.1 空間知能化による見守りシステムの実装構成

空間知能化システムの実装図を図 4-10 に示す。空間内に設置したセンサにより住宅内の人や環境状況を人感センサ等を用いて感知し、スピーカ、マイク、押しボタン等により住宅内の人と遠隔地からコミュニケーションをとることができた。図において、センサのデータ収集は①に示すゲートウェイが行い、収集データをサーバに送信する。ゲートウェイとして、サーバと LTE/Wi-Fi 等で通信でき、近距離無線通信機能を内蔵するタブレットを使用した。また、センサ等の設置場所がゲートウェイから遠い場合には、②に示す空間知能化コントローラにより距離を延ばし、ゲートウェイ/センサ間の通信を行った。

空間知能化センサとして、人感センサを使用した。人感センサは、パナソニック製の焦電型赤外線センサ PaPIRs WL シリーズを使用した。その仕様を表 4-2 示す。人感センサを制御するために、Broadcom 社の BCM20737S を使用して空間知能化センサマイコンを試作した。使用した BCM20737S の主な仕様を表 4-3 に示す。センサを制御するプログラムは、BCM20737S 上で動作させた。また、異常状態発生を人がアラームボタンを押下してサーバに通知するデバイスも、空間知能化センサマイコンにより実現した。

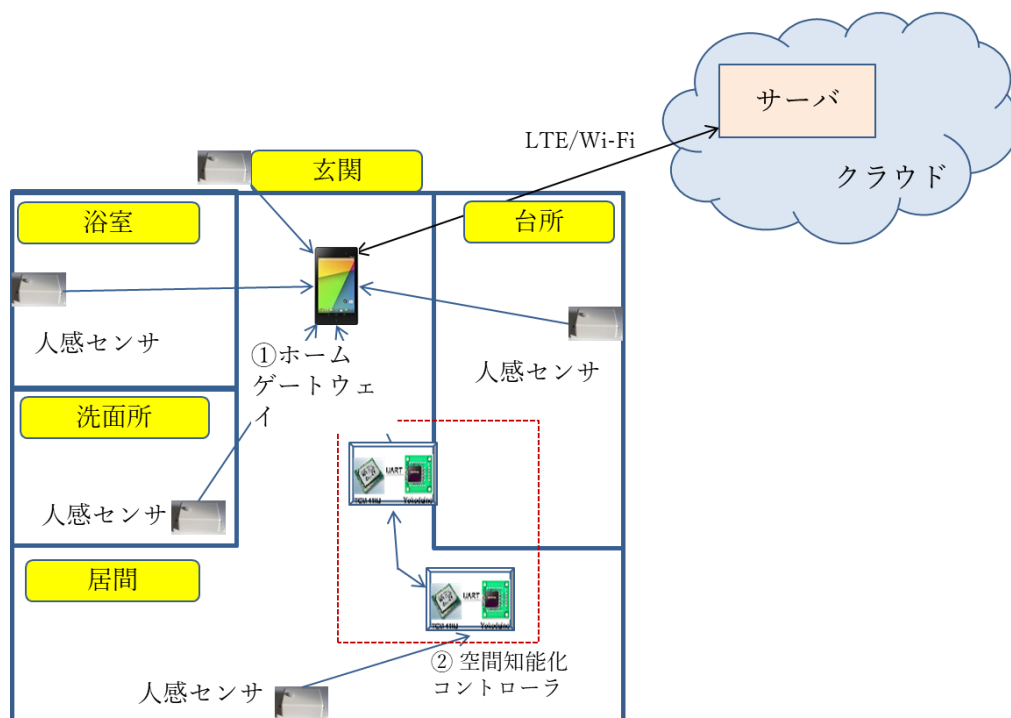


図 4-10 空間知能化システムの実装図

電型赤外線センサと空間知能化センサマイコンにより試作したセンサデバイスの実装を図 4-11 に示す。センサデバイスのサイズは、接地面が約 70mm×50mm で、焦電型赤外線センサを含めた高さが約 40mm であり、センサデバイスの駆動は、自己放電の小さいリチウム電池 CR123A(電池容量 1400mAh, 3V)を用いた。

表 4-2 PaPIRs WL シリーズの主な仕様

Item	Specification	Conditions of detection	
Distance	max 5m	1. temperature differenc against background is over 4 degrees. 2. Movement speed is within 10m/s. 3. Detection object is huan body. Assumption size is 700x250mm.	
Scope	horizontal		94°(±47°)
	vertical		82°(±41°)
	zone		64 pieces

表 4-3 BCM20737S の主な仕様

Item	specification
correspondence standard	Bluetooth 4.0 Low Energy
output	Class 2
antenna	built-in
interface	UART, I2C, SPI
power supply voltage	1.8 - 3.3V
packaging	48pin LGA
outward form size	6.5 x 6.5 mm
attestation test	passed

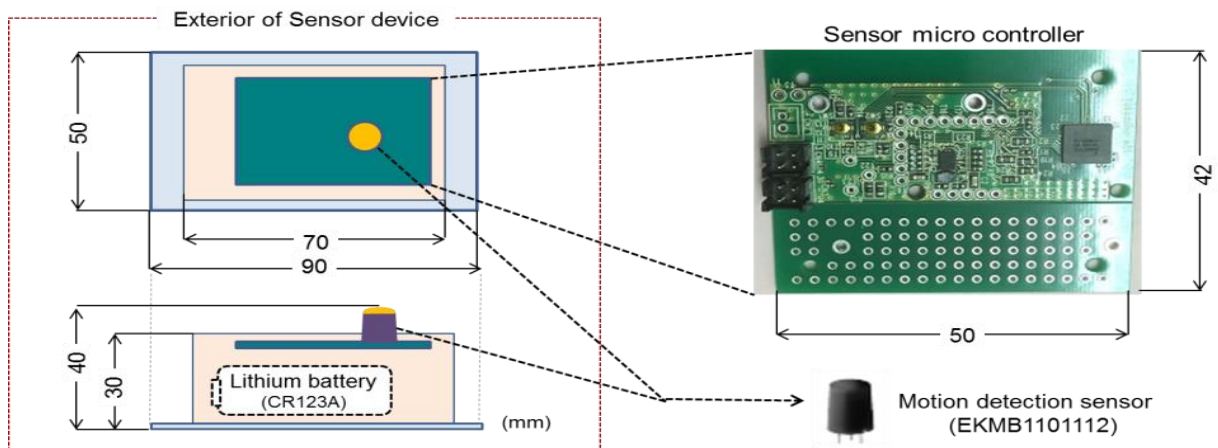


図 4-11 センサデバイスの外観とサイズ

#### 4.4.2 空間知能化システムにおける異常検知の実装

住宅内に設置した人感センサによる異常検知をもとにして、以下の遠隔見守り機能と生活支援機能を実装した。

##### (1) 遠隔見守り機能

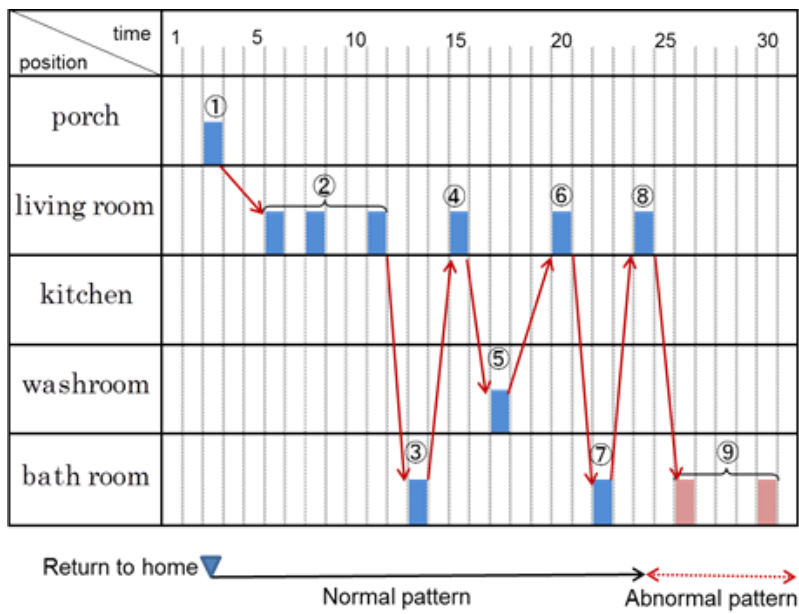
人感センサからのデータは空間知能化サーバに記録し、そのデータをもとに異常検出を行った。人感センサデータの検出例を図 4-12 に示す。サーバのアプリケーションは人がどの部屋にいるかを 5 秒間隔で把握した。5 秒間に複数のセンサデータを検知した場合は、一番受信強度(dB 値)が強いものを採用した。図は、玄関、居間、台所、洗面所、浴室に設置した人感センサからの人の検出データの発生を時間軸(1 単位:5 秒)でプロットしたものである。日常生活における正常な行動パターンは、玄関～居間、居間～台所、居間～洗面所、居間～浴室であり、正常な行動はこれらの組み合わせにより構成できる。図 4-12(a) は、①→②、②→③→④、④→⑤→⑥、⑥→⑦→⑧は予め設定した行動パターンであり、正常な行動であると判断した。⑧→⑨は日常の行動であるが、⑨以降浴室以外からの反応が途絶えたため、異常と判断した。図 4-12(b)は、①→②、②→③→④、④→⑤は正常な行動パターンであるが、⑥でアラームボタンが押下され、この時点で異常検知とみなした。図において、(a)、(b)いずれの場合も異常発生時点の所在部屋は把握できており、異常発生の通知と発生時点での所在部屋をスマートデバイスに送信した。(a)の異常発生の検知は、浴室以外からの反応が一定時間途絶えたため、異常と判断した。

本実装構成における異常を検出する条件、行動パターンのルールは表 4-1 を使用した。空間知能化システム内における人の行動の正常/異常の判断は、センサから送信されるセンサデータをもとに、人がどの部屋にいて、次にどの部屋に移動するかによる人の行動をみて行う。人の部屋間の移動は表 4-1 中の from/to で示し、行動パターンが正常か異常かを判断する。

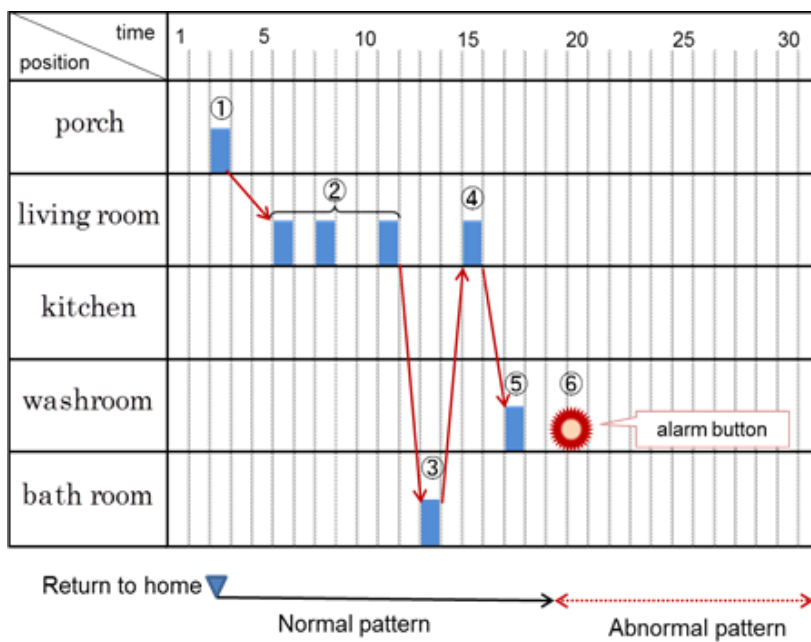
##### (2) 生活支援機能

空間知能化モデルの概念を使用して、高齢者等の生活支援機能を空間知能化ゲートウェイに実装した。空間知能化ゲートウェイである Android タブレットには、入力音声解析機能やテキスト読み上げ機能が提供されているので、それを使用して生活支援機能を実現した。異常を検知した時には、スマートデバイスである空間知能化ゲートウェイを使い、予めサーバに登録した文字列をもとに音声へ変換しスピーカにより呼び掛けを行った。スマートデバイスの表示画面例を図 4-13 に示す。(a)は屋内のレイアウト例に人感センサの状態を重ね合わせて表示した画面例である。(b)は音声でアナウンスした時のログを表示した画面例である。(c)は設定画面例であり、設定変更画面や現在の設定値を表示する。



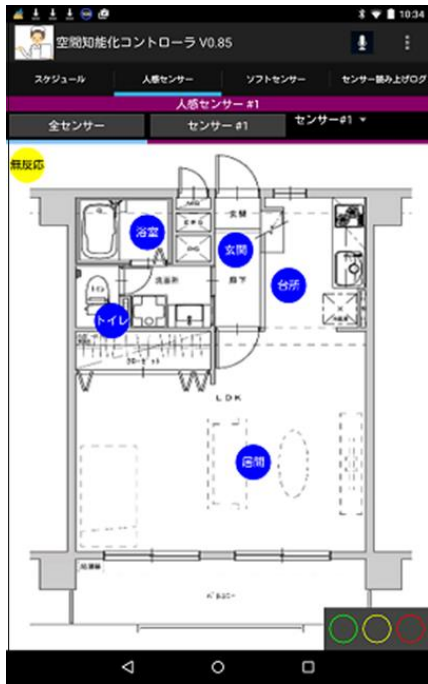


(a) タイムアウトによる異常検知

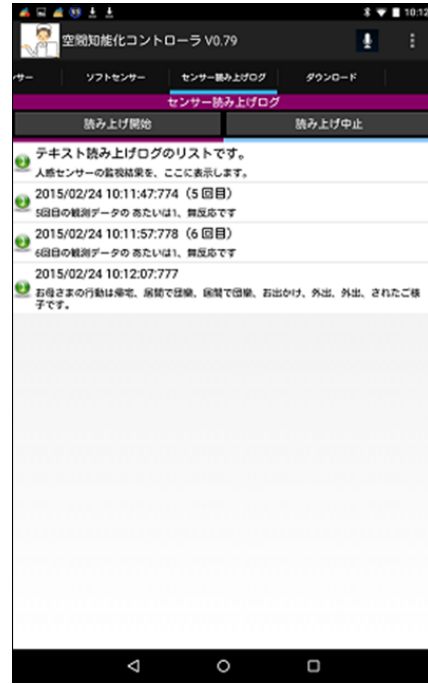


(b) アラームボタンによる異常検知

図 4-12 空間知能化システムにおけるセンサデータ検知例



(a) 間取りと人感センサ設置例



(b) 音声ログ



(c) 設定画面

図 4-13 スマートデバイスへの表示例

## 4.5 評価と考察

### 4.5.1 評価

#### (1) スマートデバイスによるゲートウェイ

ゲートウェイとして必要機能であるセンサ/サーバとの通信をスマートデバイスにより実現できた。さらに、スマートデバイスによるユーザインタフェースを活用できた。

#### (2) 遠隔見守りと生活支援機能の提供

遠隔見守り対象者を移動体として捉えた空間知能化システムにおいて、生活支援機能を提供することができた。この機能は、空間知能化ゲートウェイとして用いたタブレット上のアプリケーションとして開発でき、また、Nexus 7のOSであるAndroid 4.4がサポートする音声認識機能やテキスト読み上げ機能を利用して、高齢者等への行動予定のアナウンスなどの会話を、Android APIを使用して実現することができた。アナウンスのログ表示は図4-13(b)で確認できた。

見守りシステムの中で生活支援機能を提供することは、見守り対象者にとっても見守りシステム導入を受け入れやすいシステムであると考えられる。

### 4.5.2 考察

#### (1) 空間知能化について

空間知能化システムは、住宅内の家電製品をつなぎ制御することによって、快適なライフスタイルを実現するだけでなく、社会的な課題である省エネ、節電も実現できる。また、家庭内の消費電力をモニタリングにとどまらず、エネルギーの最適化、マネジメントが可能となる。

本研究では、空間知能化システムの基本となる人の行動をモニタリングし、行動パターンをもとに正常状態か異常状態かを判断する移動パターン表による異常検知を提案したが、空間知能化システムを構成する各種センサ/アクチュエータと人の動きとを組み合わせた機器の制御が可能であると考えられる。空間知能化システム内における人の行動の把握方法として、赤外線センサ、人が保持するタグ、ロボットなどの方式が提案されており、異常状態の検知方式として、時間軸を基本に人の行動を把握し異常を検知する方式などが研究されている。

時間軸で人の行動を把握する方式では、時系列に発生するセンサデータをもとに、行動記述システムによる異常検知する。それに対し本方式は、人の空間内でのゾーン間の移動をもとにした行動パターンから異常状態を検知する方式である。空間内における人の行動は不定形であり、人の行動の異常検知において本方式は柔軟に対応できる方式と考える。

また、空間知能化システムに組み込むセンサ類は、住宅の耐久年数と同等になることが望ましい。本研究で示した極小電力による通信技術や、無電源ワイヤレススイッチ、太陽電池などのエネルギーハーベスティング技術と、低消費電力の無線技術との組み合わせなどにより、センサの保守期間が大幅に拡大し、住宅耐久年数に近づけることになれば、空

間知能化の進歩に役立つのではなかろうかと考える。センサデバイスの小型化，デザイン性，建材への組み込みなどを考慮した電力蓄積型の各種エネルギーハーベスティング技術を，空間知能化と融合することが重要である。さらに，本実装システムでは，人感センサで検知する住居人を一人（独居）と想定しているが，複数住居人を対象とした場合の個々人の識別方式や，行動パターンの設定方法などについては今後の課題である。

### （２）応用面からの考察について

空間知能化ゲートウェイとしてスマートデバイスを使用することで，開発期間の短期化が可能になった。タブレットには，液晶画面や音声入出力機能があるので，遠隔見守りや生活支援機能のようなアプリケーションを容易に実現でき，また，スマートデバイスと空間知能化マイコンを組み合わせると生活支援機能を実装できたことで，空間知能化システム全体が一種のロボットのようなフィードバック制御系システムとして扱えることを確認できた。

家庭内でのコミュニケーションツールとして，スマートスピーカー導入が活発である。音声による見守り対象者とのコミュニケーションは安否確認など便利な面があり，見守り対象者にも受け入れられやすいと考える。スマートスピーカーと各部屋に配置した人感センサとの連携処理を行い，スマートスピーカーのゲートウェイとしての活用は次のステップの検討課題である。

また，センサを制御する通信プロトコルとして，スマートメーター等では，ZigBee が一般的に使用されているが，ZigBee はタブレットには簡単に接続できないという問題があり，インターネットに接続するためには，ルータ型の液晶画面のないタイプを使用するため，人とのインタフェースの実現が難しい。BLE を空間知能化システムの無線通信方式として使用することで，液晶画面があり，音声で人間と会話できるタブレットを活用できた。また，Android や iOS のスマートデバイスでは，BLE は標準サポートされており，そのアプリケーションの開発は容易に行うことができたと考える。

### （３）異常検知方式について

住宅やビルのような人間が暮らす空間に多くのセンサを配置し，快適な生活と主に高齢者の安心・安全を守る空間知能化システムを提案し，その実装と評価・考察を行い，空間知能化システムにおける人の異常状態の検知方式を確認した。

今後，高齢化社会が進むと，独居高齢者の遠隔見守りや異常状態の検知は一層重要課題となり，本方式に基づく安価で簡便な省エネルギー空間知能化システムの重要性が増すと予想する。また本方式では，異常状態の検知に行動パターンに基づく方式を用いたが，さらに複雑な構造物での人の移動のモニタリングや行動パターンに対して，的確な判断を行うために，行動パターンの履歴に基づく行動パターンの自動生成や異常判断の基準を動的に構築し，異常状態検知の精度を向上することは重要であり，行動パターンの自動生成に基づく異常検知を実装する予定である。

また，独居高齢者の住居内での転倒は非常に危険であり，行動パターンで検知できない

転倒等の事故に対する検知方式の検討は、見守り対象者がウェアラブルデバイス等の装着による次のステップの見守りシステムと考える。

#### (4) 移動パターンの機械学習分析による異常検知について

正常のパターンを学習し、異常パターンを検出する機械学習アルゴリズムは、大量の正常パターンデータが必要となるが、空間知能化による見守りシステムでは、正常パターンデータ収集に限界がある。したがって、本方式では、移動パターン表をもとに異常状態発生の検知としたが、個人の移動パターンを蓄積することにより、機械学習による異常状態の特徴点を抽出することは可能であり、蓄積データをもとに機械学習による行動パターンの自動生成や、空間知能化システム内での人の行動予測により、異常監視の精度をさらに充実させることが次の課題と考える。

また、移動パターン表による異常検知は、生活習慣からの変化を基にしている。生活習慣からの変化を表す特徴点は「移動パターン表」による観測データをもとに、特徴的な生活パターンの変化（1日の特定場所への移動の増減、特定場所間の移動に要する時間の増減など）を求めてから、AI分析のステップに移行するのが効果的と考える。今後は、本方式の研究をさらに進め、異常状態の検知の精度向上等を行なう予定である。

## 5. センサソリューション技術教育プログラムの提案とその実践評価

空間知能化システムを構築するに当って必要となる技術は幅広い<sup>(1)-(4)</sup>。特に、空間知能化システム構築の重要な要素技術の1つであるセンサ技術<sup>(5)</sup>の教育を、個々のセンサ単体の技術教育だけではなく、収集したセンサデータを分析し、新たな価値を創出してサービスを提供するソリューションに結び付けるといった視点でのセンサ活用技術を総合的に学習することが重要である<sup>(6)</sup>。

本章では、空間知能化システム構築に必要なセンサソリューション技術と、センサに関するアイデアを創出する方式について論じる。

### 5.1 センサソリューションにおける技術教育の要素

センサ技術に関する教育プログラムに関しては、従来、センサ自体の原理、方式等に関する教育が主であり、センサ技術に関する研究<sup>(7)</sup>も幅広く行われている。一方、多種類のセンサを使用し多数のセンサを制御する空間知能化で求められるセンサの活用技術に関しては、体系的な教育プログラムは現状ない<sup>(8)(9)</sup>。

空間知能化システム構築に必要な技術の構成を図5-1に示す。

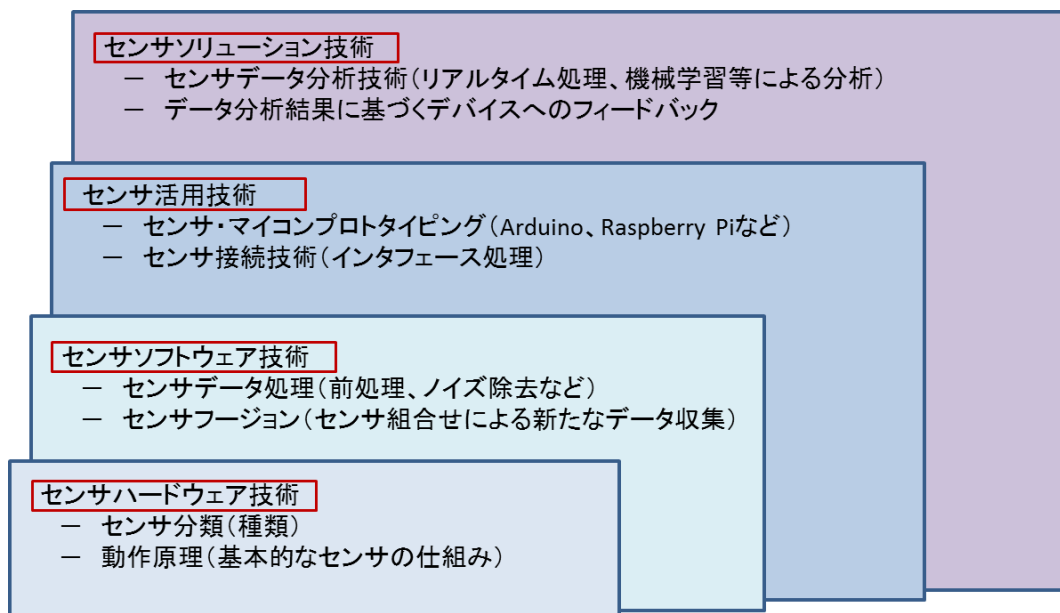


図 5-1 センサソリューション技術教育の構成要素

空間知能化システムのデータ収集で重要な役割を果たすセンサ活用技術を効果的に習得するために、図 5-1 に示す構成要素にしたがって、次の 4 つの学習ステップに分けて、段階的にセンサ技術を習得する教育プログラムである。

(1) センサハードウェア技術

センサの基本構造，データ取得の仕組みを，代表的なセンサを例にして学習する。

(2) センサソフトウェア技術

IoT においてセンサデータを効果的かつ効率よく処理するために，ソフトウェア処理と組み合わせたセンサデータ処理技術を習得する。

(3) センサソリューション技術

サーバ上でのデータ分析で必要とされるセンサデータの抽出，データの流れ等を総合的に習得する。さらに，実際にセンサを用いてプロトタイピングを行うことにより，IoT におけるセンサの活用技術の理解を深める。

(4) センサに関するアイデア創出

(1) から (3) の講義／プロトタイピング演習を通して，従来のセンサの改善点や新規機能の追加，あるいは新規のセンサのアイデア出しを行い評価を行った。

## 5.2 空間知能化におけるセンサ教育の現状と課題

空間知能化システムを構築するに当たって必要となる技術は幅広い<sup>(10)</sup>。特に，空間知能化システム構築の重要な要素技術の 1 つであるセンサ技術<sup>(11)(12)(13)</sup>の教育を，個々のセンサ単体の技術教育だけではなく，収集したセンサデータを分析し，新たな価値を創出してサービスを提供するソリューションに結び付けるといった視点でのセンサ活用技術を総合的に学習することが重要である。

センサを使ったシステムに関連した教育提案はあるが，IoT において新たな価値を創出するためのセンサ活用技術に関する提案はない。IoT におけるセンサ技術教育プログラムを構築するに当たっては，以下の環境構築，課題解決が必要である。

(1) 空間知能化システムにおけるセンサ活用技術の習得

システム構築におけるセンサの活用技術，適切なセンサの選択とシステムへの組み込み，センサデータの収集と加工技術など，空間知能化システムにおけるセンサ技術全般を習得する教育プログラムが必要である。

(2) プロトタイピングによるセンサの役割の理解

空間知能化システムにおけるセンサの活用技術を実際にプロトタイピングして，技術ノウハウを習得し，センサデータを活用したソリューションに結び付けるための技術を学習する教育プログラムが必要である。

(3) センサアイデア出しによる新規センサの提案

空間知能化システム構築に必要なセンサの活用技術の習得とプロトタイピングを通

して、センサへの追加機能の考案、新規分野へのセンサ適用のアイデア出しなどに結びつける教育プログラムが必要である。

### 5.3 センサソリューション技術教育プログラムの提案

センサの種類、原理、実装方式等は多岐に渡り多数存在する<sup>(14)(15)(16)</sup>が、本提案では、各種センサ個々の原理、方式、使用方を学習するだけではなく、IoTシステム構築に必要なセンサ活用技術に注目して、センサ利活用技術を中心に、主要センサの要素技術、センサデータのフィルタリングや上位層との通信機能などを盛り込んだセンサ応用技術、およびセンサデータ収集の仕組みに関するセンサ技術を習得する。さらに、プロトタイピングを通して、センサに関するアイデア出しに結び付ける<sup>(17)</sup>。

本提案の段階的なセンサ技術習得の流れを図5-2に示す。図5-2の①で、センサの種類、温湿度センサ・圧力センサ等の代表的なセンサの動作原理等の基礎的な学習、およびソフトウェア処理との組み合わせによるセンサデータの加工、分析技術等を習得する。

次に、図5-2の②に示すプロトタイピングによる演習を通して、センサデータの収集からセンサデータの加工/分析、分析結果のデバイスへのフィードバックの一連の処理の流れ、および応用システムを学習する。図5-2の③では、センサ技術の習得、実習を通して、センサ改善点の気づきや新規センサへの要望、提案などに結びつける。

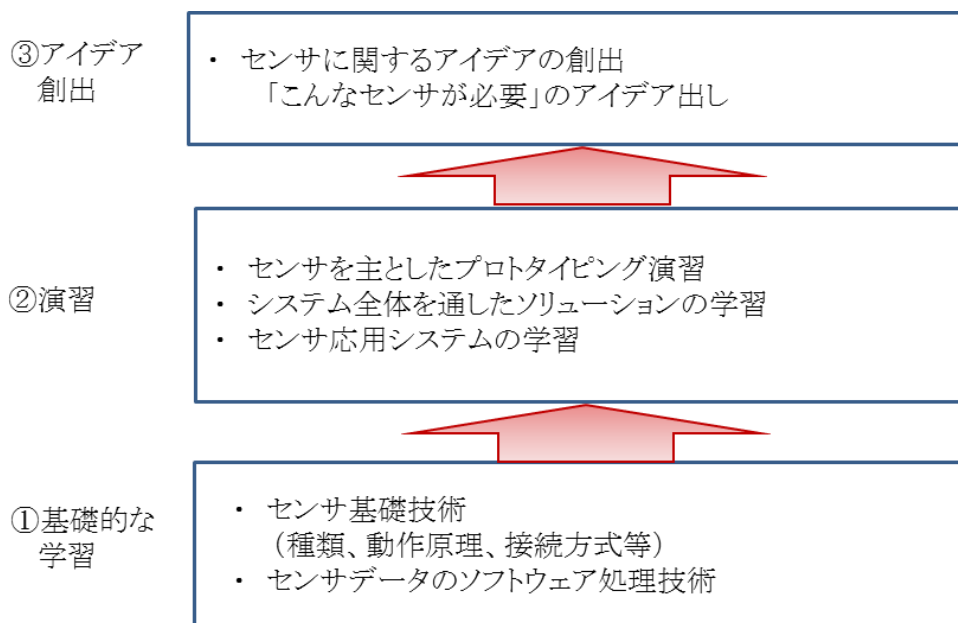


図5-2 段階的に学習するIoT/センサ技術教育



図 5-2 の考え方をもとに、センサ技術を段階的に学習できるように 4 ステップに分割した。この学習 4 ステップと、各対象技術範囲を図 5-3 に示す。図 5-3 において、学習のステップをステップ 1 から始め、段階的にステップ 2、ステップ 3 と進め、ステップ 4 でセンサに関するアイデアを創出できるレベルに達する仕組みである。

ステップ 1 のセンサハードウェア技術では、センサ単体の技術を習得する。学習の範囲は、センサ単体の機能、およびインタフェース技術であり、学習するセンサの種類は、移動体を検知するセンサ技術と、固定しているものを測定するセンサ技術の 2 種類とした。測定状態の組み合わせとしては、測定対象が固定/移動、センサ自体が固定/移動の 4 通りの組み合わせがあるが、センサ自体は自身の固定/移動の違いは取得データに影響を与えないこと、また、移動体に対しては障害物等によるデータ誤差などにより補正が必要となるが固定の場合は補正が必要ないことから 2 種類の学習とした。この 2 種類のセンサのデータ取得方法、接続方法を理解すれば、他のセンサを使用する場合においても、応用力で使用可能と考える。固定センサとしては、温度センサ、湿度センサ、照度センサを用いたセンサ技術を習得し、移動体を検知するセンサとして人感センサ、ビーコンによる位置推定の技術を習得する。

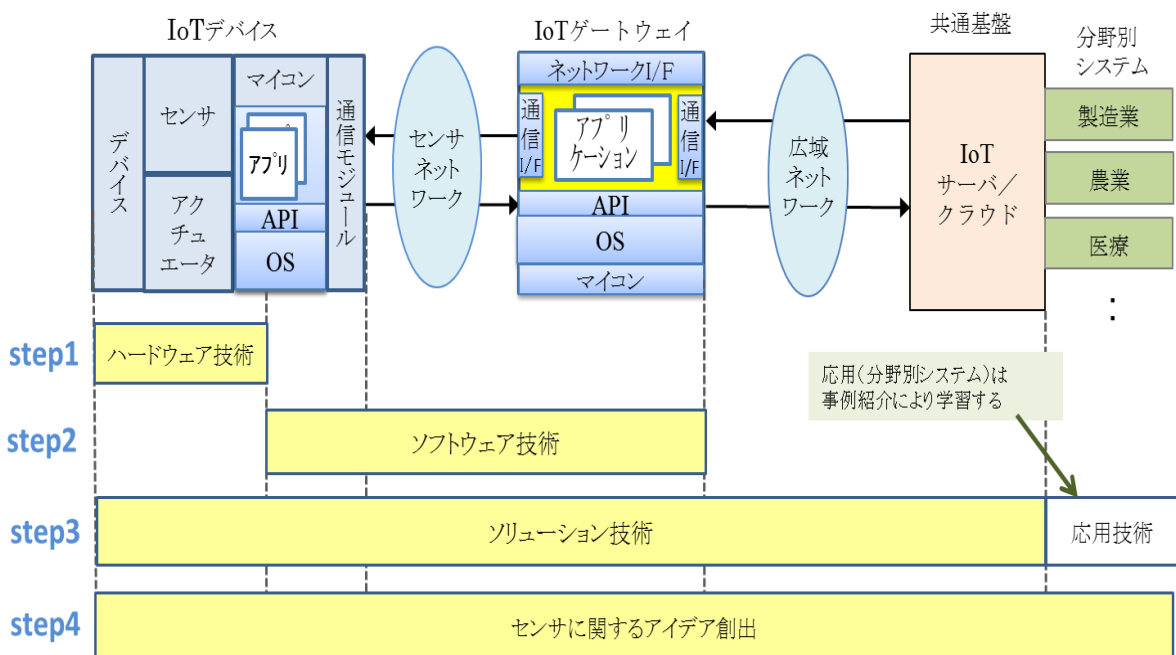


図 5-3 本提案の教育システムで対象とする技術の範囲

ステップ2のセンサソフトウェア技術では、センサとソフトウェア処理を組み合わせたIoTデバイスの活用技術を習得する。学習の範囲は、センサデータのソフトウェア加工処理、ノイズ除去処理、センサデータの形式変換、IoTデバイスのマイコンやゲートウェイなどである。また、センサとIoTデバイスのインタフェース技術、信号処理、上位層との通信インタフェース技術などを含めた処理技術を習得する。

ステップ3のセンサソリューション技術では、センサからのデータをクラウド上のサーバアプリケーションにより、処理を行ったり表示したりする処理方式を習得する。センサソリューションでは、クラウド上のセンサデータ分析手法と、サンプリング周期、収集センサデータの内容、タイムスタンプの付加などのセンサデータの収集条件の組み合わせ技術や連携処理方式を含む。さらに、実際にセンサを触るプロトタイピングを通して、データを価値あるものに変えるソリューション技術を理解するとともに、プロトタイピング手法の活用技術も併せて習得する。プロトタイピングは、機能の確認を容易に行え、発想の具現化を迅速に試せる手法であり、IoTにおいては必須の技術習得法と考える。ステップ3のプロトタイピングでは、Arduinoマイコンによるセンサ制御、パソコンによるゲートウェイの構築、Arduinoおよびパソコン上のアプリケーション作成のためのプログラミングを含むプロトタイピングを学習テーマとして設定した。

ステップ4では、センサに関するアイデア創出のため、IoTシステムにおけるセンサの役割、センサデータの流れの学習を通して、センサの機能改善や新規センサの考案などを考えることを習得する。また、本教育システム受講前のセンサ活用アイデアの事前アンケート調査、および、ステップ1～3の講義終了後の、既存センサに対する改善提案や、新規センサの提案に関するセンサ活用アイデアアンケート調査に基づき、センサアイデア創出のための論理的検討を行う。

センサに関するアイデア創出のアンケート調査において、既に自分の研究テーマにセンサ活用を取り入れている場合と、センサを研究テーマに取り入れていない場合とでは、事前のセンサに関する知識が異なることから、両者を分けてアンケート分析を行った。

#### 5.4 センサソリューション技術教育の実践

空間知能化システム構築におけるセンサ技術の教育を、図5-2に示したステップに従って次の大学、学部で実践した。カッコ内は受講学生数を示す。

- ・東京電機大学、理工学部（4年17名、修士3名）
- ・東京電機大学、未来科学部（4年9名、修士4名）
- ・芝浦工業大学、システム理工学部（3/4年10名）
- ・芝浦工業大学、工学部（3/4年10名）

実践の方法は、学習のステップ1および2として手順書に従った講義を行った。学習内容は、センサデータを効率よく収集する技法を習得することであり、センサ個別の動作原

理の説明は代表的なセンサに留めた。また、説明に使用したセンサの種類については、普段センサ素子などのセンサ技術に馴染んでいない理工系学生がセンサ技術に取りつきやすいように、身近に存在する温度センサ、照度センサなどの物理量・静的変化を検知するセンサ技術から始め、物理量・動的変化を検知するセンサ、化学センサの順にセンサ技術の講義を行った。

ステップ1の教育の狙いは、空間知能化システム構築においてセンサを活用できる技術習得に重点を置いており、センサの基本を理解した上で、空間知能化システム構築に必要なセンサデバイスの接続形態、用途別センサの種類を学習した。最初の講義では、センサの原理による分類をもとにセンサ活用方法の説明を行ったが、活用技術の理解が進まなかったことから、センサとマイクロコンピュータとの接続形態による分類方法を追加しセンサ活用方法を講義することにより、センサ活用技術の理解を進めることができた。追加した手順書例を図5-4に示す。センサ本体の中身についてはブラックボックス化し、センサとマイクロコンピュータの接続インタフェースを、図5-4の①デジタル、②アナログ、③A/D変換後のデジタル、④解析処理後のデジタルの4種類について学習した。

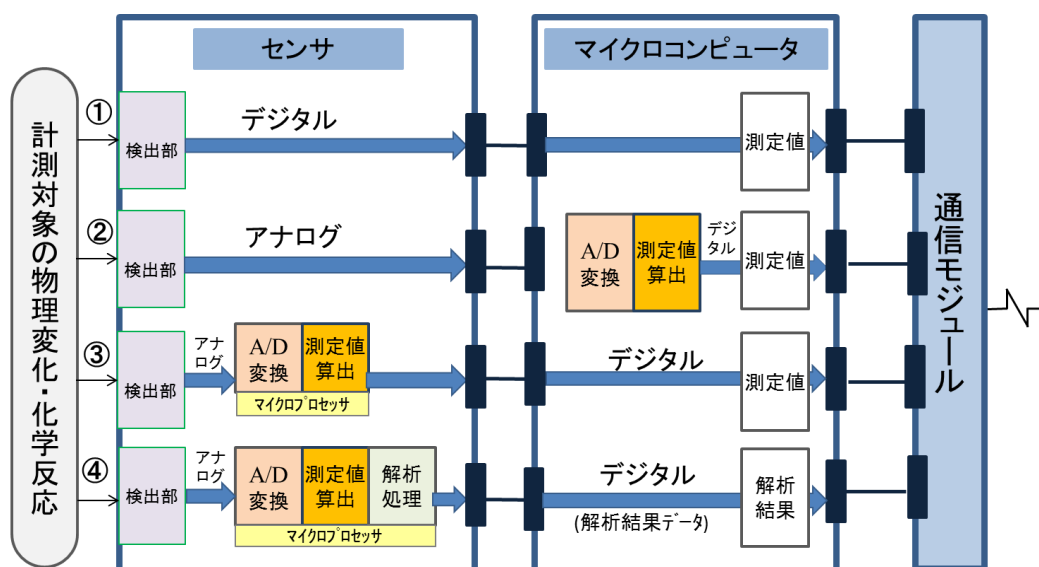


図 5-4 センサの接続形態

ステップ2の教育の狙いは、センサハードウェア単体では測定しきれない部分を、ソフトウェアでどのように補完するかを学習した。

ステップ3のプロトタイピング演習は、次に示す(1)水耕栽培を例としたプロトタイピング学習と、(2)学生各自の研究テーマにおいてセンサを使ったプロトタイピング学習の2通りの方法で行った。

### (1) 水耕栽培のプロトタイピング

水耕栽培プロトタイピングでは、固定設置した温度センサ、湿度センサ、照度センサを用いて温湿度と照度の変化をセンシングし、クラウド上のアプリケーションで表示する仕組みの理解と、RGB調光用PWM制御回路を用いたLEDのRGB照度制御方式を習得した。各種センサを動作させるだけでなく、センサデータとクラウド上の分析ソフトと連携した処理を行うことが重要なことから、システム全体を理解するために用いた手順書例を図5-4に示す。図5-5のセンサデータの処理として、ArduinoとProcessingを用いたIoTデバイスの制御方式、クラウド上のXivelyの活用、下りデータの送信方法を学習した。プロトタイピングについては、水耕栽培において温湿度、RGB照度の制御を通して、基本的なセンサの活用技術を習得できた。

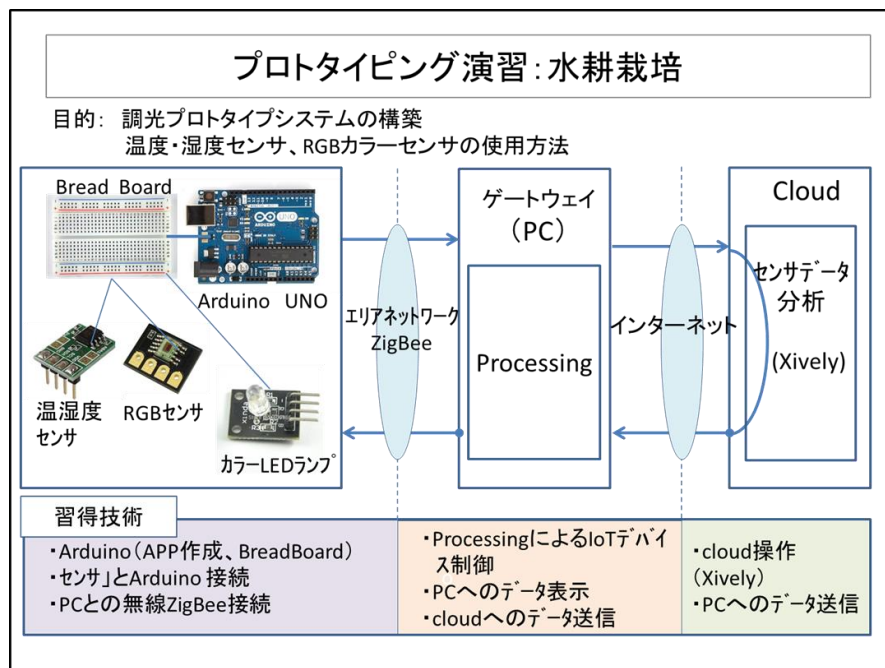


図 5-5 手順書例 (プロトタイピング演習)

(2) 学生自身の研究テーマにおけるプロトタイピング

センサを活用する研究テーマの学生に対しては、各自の研究テーマへのセンサの適用方法、より効果の上がるセンサの組み合わせ使用方法の工夫検討を行った。

### 5.5 テストの実施

各ステップの講義の後、センサ技術の理解度と習得レベルを確認するためのテストを行った。テストはステップ1～3の講義終了ごとに実施した。

ステップ1のセンサ単体技術に関する出題は、基礎を理解することに重点を置き、講義内容の基本技術を出題した。出題例としては、温度センサの各種方式、GPSの仕組み等のセンサ技術に関する基本的な問題を出題した。

次に、ステップ2の講義の終了後、センサの基本技術が理解できている前提で、センサソフトウェア技術の理解度、センサ技術の活用方法、応用力を確かめる問題を出題した。

ステップ3のセンサソリューション技術に関する出題では、空間知能化システム全体におけるセンサの役割、システム内でのデータフローの理解を重点に、センサデータのクラウド上での分析手法、人の移動計測と異常検知等の問題を出題した。

出題問題を以下に示す。ステップ1講義終了時の出題は、問題1～5、ステップ2修了時の出題は、問題6～10、ステップ3講義終了時の出題は、問題11～15である。

-----  
問1 次の空欄Ⅰ，Ⅱにあてはまる最も適切な語句の組み合わせを、①～④の選択肢の中から一つ選びなさい。

センサが検出する外界の情報は、物理的情報と化学的情報に大別でき、センサは各種変換効果を利用することでこれらを（Ⅰ）に変換する。代表的な物理的情報としては光、磁気、温度、力などがあり、これらを検出するための物理的效果は多岐にわたる。一方、化学的情報としては湿度、臭い、味などがあるが、化学効果によっては選択性が高くない場合もあり、一般に（Ⅱ）は難しいと言われている。

- | I      | II     |
|--------|--------|
| ① 変位   | アナログ変換 |
| ② 電気信号 | 絶対量の検出 |
| ③ 変位   | 位置の推定  |
| ④ 電気信号 | デジタル変換 |

-----  
問2 温度センサに関する次の記述において最も適切な記述を、①～④の選択肢の中から一つ選びなさい。

- ① サーミスタは，非接触型のセンサである。
- ② 赤外線センサは，温度上昇で抵抗値が低下する性質を利用したセンサである。
- ③ 測温抵抗体は，温度変化に対して電気抵抗が変化する性質を利用したセンサである。
- ④ 熱電対は，異なる2つの金属をつなぐと電気抵抗が変化するルービック効果を利用したセンサである。

問3 次の空欄 I にあてはまる最も適切な語句を，①～④の選択肢の中から一つ選びなさい。

デジタルカメラなどで使用されている画像センサには，大きく分けて CCD や CMOS がある。どちらも受光素子を使って光から（ I ）を読み出し，（ I ）を増幅することで電気信号に変換している。

- ① 抵抗値
- ② 電荷
- ③ 圧力
- ④ 電流

問4 次の空欄 I，II にあてはまる最も適切な語句の組み合わせを，①～④の選択肢の中から一つ選びなさい。

Edy や Suica などのカードに用いられている RFID（Radio Frequency IDentification）のリーダ／ライタと RF タグの間の通信方式には，主に近距離で用いられる（ I ）方式と，比較的遠距離で用いられる（ II ）方式がある。

- |   | I     | II    |
|---|-------|-------|
| ① | マイクロ波 | 電磁誘導  |
| ② | エンコーダ | デコーダ  |
| ③ | 電磁誘導  | マイクロ波 |
| ④ | デコーダ  | エンコーダ |

問5 次の空欄 I，II にあてはまる最も適切な語句の組み合わせを，①～④の選択肢の中から一つ選びなさい。

屋外の位置検知では GPS がよく知られており，日本では準天頂衛星がある。衛星による位

位置検知システムを総称して GNSS (Global Navigation Satellite System) と呼ぶ。GNSS 測位では、経度、緯度、高度の 3 次元位置情報の他に、正確な ( I ) を得ることができる。これらの値を計算で求めるために、( II ) 機以上の衛星電波を受信する必要がある。

	I	II
①	照度	4
②	時刻	4
③	照度	3
④	時刻	3

問 6 バネ-質量系振動センサを用いた加速度センサの基本的な仕組みに関する不適切な記述を、①～④の選択肢の中から一つ選びなさい。

- ① 加速度センサの基本的な原理は、ダンピング機能を持つバネで慣性質量を振動させて加速度を検出する。
- ② 加速度の大きさは、バネの振れを相対変位に変換して計測する。
- ③ 相対変位は、ひずみゲージなどを用いて電気信号に変換する。
- ④ バネ-質量系振動センサで用いるダンピング機能とは、加速度を変位センサで検出することを示す。

問 7 人やモノの動きを検知するセンサに関する不適切な記述を、①～④の選択肢の中から一つ選びなさい。

- ① 窓の開閉を検知するセンサでは、圧力の物理量の変化を用いて開閉を検知することができる。
- ② 赤外線センサで熱量の変化を検知することにより、人の動きを検知することができる。
- ③ 赤外線センサは、人だけではなくモノの動きの有無も検出することができる。
- ④ 赤外線センサは、光エネルギーによって起こる電気現象は検出できない。

問 8 次の空欄 I にあてはまる最も適切な語句を、①～④の選択肢の中から一つ選びなさい。

微小電子機械システムと言われる MEMS (Micro Electrical Mechanical System) は、マイクロマシニングという半導体製造技術を使って製作されるチップを指す。MEMS が半導体と異なるのは、( I ) を有する点であり、その ( I ) の製造方法により、

表面マイクロマシンとバルクマイクロマシンの2つに分類できる。

- ① 9軸ジャイロセンサ
- ② 組込ロジック
- ③ オフセット回路
- ④ 機械構造体

問9 次の空欄Ⅰ，Ⅱにあてはまる最も適切な語句の組み合わせを，①～④の選択肢の中から一つ選びなさい。

加速度は，重力の変化，振動，衝撃などの現象を測定できる MEMS の技術を使って測定することができる。MEMS による加速度センサの原理にはいろいろあり，加速度でガスが移動した時の温度分布の変化を活用した（Ⅰ）型，力を加えたときに抵抗値が変わることを利用した（Ⅱ）型などがある。

	Ⅰ	Ⅱ
①	静電容量	衝撃検出
②	熱検知	衝撃吸収
③	熱検知	ピエゾ抵抗
④	静電容量	変位検知

問10 次の質問に文章で答えなさい。

IoT システム構築においてセンサ技術は重要な位置を占めているが，センサが急速に発展，普及するためのポイントを3点挙げなさい。

問11 体重測定するときに体脂肪計が組み込まれた体重計をよく見かけます。体脂肪計の仕組みに関する最も適切な記述を，①～④の選択肢の中から一つ選びなさい。

- ① 体脂肪を身長，体重をもとに算出しているのです，同じ身長，体重であれば体脂肪は同じになる。
- ② 体脂肪計は，体の3つ以上の体の部位に金属板を設置し，電圧をかけることにより計測する。
- ③ 体脂肪は体の電気の通しにくさを利用しているのです，発汗時や入浴の前後で値が変わることはない。



- ④ 体脂肪計は脂肪と筋肉や骨などの抵抗値が異なることを利用して脂肪率を測定する。

---

問 12 人間の五感の一つである味覚において、味を感じさせる物質（味物質）の種類は膨大である。例えば、1杯のお茶だけでも500種類ほどの味物質がある。味覚センサの製作を難しくしている理由を一つ挙げなさい。

---

問 13 次の質問に文章で答えなさい。

化学プラントの運転においては、運転状況の監視をリアルタイムで行い、温度や流量などのプロセス変数をオンライン測定する必要がある。しかし、実際の化学プラント運転では、プロセス変数のオンライン測定が困難なため、予測モデルを用いて変数を予測するソフトセンサ技術が活用されている。オンライン測定を困難にしている理由を2つ挙げなさい。

---

問 14 街中では多くの監視カメラが設置され、防犯用などに活用されています。防犯カメラなどによる顔認証の仕組みを簡単に説明しなさい。

---

問 15 センサデバイスと、センサデータを中継してサーバに送信するゲートウェイとの間を結ぶ近距離無線通信の方式を選択するに当たっては、対象とするシステムの要件を考慮し種々の方式の中から選択することが可能です。方式選択における選定要因を思いつく限り列挙してください。

---

## 5.6 評価と考察

### 5.6.1 評価

(1) 各ステップの問題正答率について

テスト結果の評価基準を表 5-1 に示す。評価は 5 段階評価で行い、評価 3 以上は継続してセンサソリューション技術を学習することに問題ないと判断する。評価 2 以下は、コンピュータシステムの理解、データの流れと処理内容等の基本を再度確認する必要があると考える。

テスト結果を表 5-2 に示す。センサの動作が直感的にわかり易い温度センサ、照度センサの物理量・静的変化に関する技術の理解度は高く、物理量・動的変化、MEMS デバイスと、難易度が上がった問題の理解度は下がるが、センサ単体技術については、基本的な仕組み、機能は理解できていたと考える。これに対し、センサソフトウェア技術、センサソリューションでは理解度が下がっている。センサの応用技術、システム全体の構造、データの流れ等の学習方法は今後の課題であるが、ステップ 3 のプロトタイピングでは、センサデータの処理は全員動作できており、実際にセンサデータが流れる仕組みを作ることとは学習効率をあげることが分かった。

表 5-1 5 段階評価基準

5段階評価	理解度	採点(正答率)	基準(技術レベル)
5	高	85%以上	センサシステム構築を実践できるレベル。試行錯誤して、的確なセンサ活用とデータ収集が可能。
4	中	70%以上	基本的なセンサ活用技術は習得できている。プロトタイピング等を通じた応用面強化が次の課題。
3	低	60%以上	標準的なセンサの理解はできているが、自力でセンサ活用方法を試みるためのあと一歩の努力が必要。
2	低	60%未満	センサの適用分野、適用例の学習が必要。
1	低	40%未満	センサの役割、基本的な仕組みの習得が必要。

表 5-2 テスト結果の評価

分類 評価	物理量変化		MEMS	センサソフトウェア技術	センサソリューション技術
	静的変化	動的変化			
5段階評価	5	4	5	3	3
理解度	高	中	高	低	低
実施時期	ステップ1終了時		ステップ2終了時		ステップ3終了時

## (2) センサソフトウェア技術の習得について

センサの測定では誤差が発生し、ソフトウェアで補正処理が必要であることを学生が認識できたことは、ステップに分けて段階的に講義した効果があったと考える。また、センサソフトウェア技術の学習を通して、センサ活用のためには無線ネットワークが重要であることに学生が気づいた点も、本方式が有効に機能したと考える。

## (3) センサソリューション技術の習得について

位置推定や調光を行うセンサソリューションの講義では、具体的なシステム、センサ活用方法がイメージしやすく理解が深まったと考える。学生からはセンサを使った応用システムを作りたいとの意見もあり、プロトタイピングにより、空間知能化システム構築でのセンサ活用技術の習得は深まったと考える。

また、ステップ1, 2で習得したセンサ技術のソリューションへの適用は、各学生の研究テーマでのセンサの活用・実践をプロトタイピングの代行として行った。この代行による各研究テーマの実験をもとに評価を行った。

## (4) センサアイデア創出について

センサアイデアに関するアンケート調査結果を表5-3に示す。表の縦軸は、センサの取り組み度合いを次の2種類に分けて示している。

I. 研究テーマにセンサを使用している。

II. センサ活用を予定しているが、どのようにセンサを活用するかは構想段階である。上記Iは表5-3の上部I項、上記IIは表5-3の下部II項に分類し、それぞれ10件の研究テーマの分析を行った。表の横軸は、A欄は各自の研究テーマ、B欄は各自の研究テーマにおけるセンサの選択理由、工夫点、「こんなセンサが欲しい」という期待、C欄は研究テーマ以外の新たなセンサ創出のアイデアの調査結果の内容を示す。

また、ステップ3のプロトタイピングの例として講義した水耕栽培の改善提案等の調査を行った。水耕栽培に対しては、以下のアイデア提案があった。

- ・臭気センサを活用した栽培
- ・収穫物の味および味の変化を知るセンサ
- ・植物のストレスをリアルタイムでセンシングし状況改善するセンサおよび栽培方法、植物が腐りそうになれば通知してくれるセンサ
- ・栽培品種と土壌の関連、相性を調べるセンサ
- ・植物の葉の痛み具合や植物の高さを知るセンサ

## (5) 研究テーマとアイデア創出の関連について

研究テーマとしてセンサ活用を取り入れている場合と、センサ活用を検討している段階の検討テーマの場合に分けてセンサアイデア創出の評価を行った。評価した点を図5-6に示す。図5-6において、すでにセンサを使用している研究テーマに対し本提案の講義が参考になったかどうかは①に、センサアイデア創出は②に、センサ活用を検討中の研究テ

表 5-3 センサアイデア創出のアンケート調査結果 (1/2)

NO.			
	A欄	B欄	C欄
	研究テーマ	研究で使用するセンサと使用 予定センサの工夫・改善点	研究テーマ以外の新たな センサ創出アイデア
1	自律走行車両の走行 経路の生成	夜間や豪雨で周辺状況を認知 可能なセンサ	タイヤの滑りやすさを数値化す るセンサ、焦げる寸前で電源 停止においセンサ
2	車両周辺情報取得にデータ マイニングを用いた自動運転	障害物の距離情報を連続した 座標データ(配列)に変換して 取得できるセンサ	料理のおいしさを計測するセ ンサ、人間の集中力を計測す るセンサ
3	ドローンによる周辺環境 監視システム	姿勢制御用加速度、ジャイロ センサ使用、ヨー角計算不要 で検出できるセンサ	非接触で感情を読み取れるセ ンサ
4	視線制御と物理ボタンを 活用した車内ヒューマン マシンI/Fの研究	視線検出にカメラ使用	豪雨の中でも使用可能な距離 センサ 疲労度や痛みを数値化するセ ンサ
5	M2Mを利用した安全 管理システム	ハンドツールの使用状況の判 定(加速度センサ+無線タグ)	地面の状態を読み取るセンサ ブルーライトの目への負担度 検出センサ
6	屋内での機材使用状況の管 理、工作機器・人の安全管理	転倒検知センサ(天井からの 測距) USBで通信可能な環境センサ	車のシガーソケットに接続可能 な乗り物酔い(傾き)センサ
7	LEDデジタルサイ ネージの研究	様々な物体の位置情報を正確 & 高速に処理するセンサ	撮取した内容物の解析センサ 光を使った物体検知(自動運 転に活用)
8	ブレッドボード配信線の 自動認識システム	差分法を利用しカメラで位置 検出(ブレッドボード上のジャン パ線の位置など)	災害時のがれき下の人間検知 センサ、車運転時の疲れセン サ
9	拡張現実上の画像への接触 有無によるユーザI/F開発	頭部の向きを検知する9軸セン サ、補正なしでyaw角を取れる センサ	酔っ払い度の限界を警告する センサ、人の好みの数値化セ ンサ
10	センサネットワークを活用した ヘルスケアシステム	心拍、筋電、パルスオキシメー タ、足等の皮膚の厚い箇所測 定可能なセンサ	野菜・果物のエステル臭検知 による収穫時期の予測センサ

【1項】  
センサを使用している  
研究テーマ

表 5-3 センサアイデア創出のアンケート調査結果 (2/2)

NO.	A欄	B欄	C欄
	研究テーマ	研究で使用するセンサと使用センサの工夫・改善点	研究テーマ以外の新たなセンサ創出アイデア
11	カメラ映像によるドローン位置推定方式の研究	小型無線カメラ	空気中のウィルス量を検知するセンサ
12	階段の自動昇降ロボット掃除機の開発	赤外線センサ、超音波センサ	人体の健康状態が分かるセンサ
13	飛行船の研究	飛行船のエンベロープの空気漏れの場所を検知するセンサがあれば便利	部品が壊れているかどうかを判るセンサ
14	振動を活用した運転者集中度低下の防止手法の開発	振動モータの動作状況を検出するセンサ	乗り心地判定センサ 幸せ、おいしさ、体調不良検知センサ
15	音声認識を利用した室内コンセルジュの開発	カメラ、超音波センサ、加速度センサを使用して、室内の位置情報を正確把握するセンサ	精度のよい位置情報検出センサ
16	端末センサ情報を活用したリスクマップ生成手法の提案	複数物体の測距と天地(3次元レーザーレンジスキャナー)、人の動きのトラッキングセンサ	メガネが環境を自動認識して、急な発光やブルーライトから目を保護するセンサ
17	土壌状態の測定方式の研究	PHを常時測れるセンサ 端子接触で成分検出できるセンサ	メッシュネットワークで、田畑の水分・栄養の広がり、乾き方等が測定できるセンサ
18	ブラシレスモーターの研究	回転・速度センサを検討	鉄道線路への立ち入りを検知するセンサ
19	自律移動可能な切削加工機の開発	2つのセンサの相対座標が正確に把握できるセンサ	特になし
20	遠隔操作の通信遅延による映像酔いに関する研究	眼球動作の動きを捉える安価なセンサがあると便利	視界に入った情報を捉え、液晶等に表示するセンサ

マに対しては③において、それぞれ評価を行った。

図 5-6 の①の評価では、例えば、ヨー軸をキャリブレーション不要で検出できるセンサが欲しい等の具体的な提案があり、センサ講義を通してセンサ技術を幅広く知っていることがアイデア出しに効果的だという結果を得た。

図 5-6 の②のセンサを使用している学生からのアイデア提案として以下のものが挙げられた。修士の学生が本分類に該当することから、センサを活用、プロトタイピングすることにより、具体的なアイデアが出てきたと考える。

- ・メガネに取り付けたセンサが突然の発光、ブルーライトに反応して目を保護するセンサ
- ・データ圧縮アルゴリズムを組み込んだセンサ
- ・非接触で感情を読み取れるセンサ
- ・疲れセンサで安全運転
- ・人間の集中力を計測するセンサ
- ・酒酔い度を数値化し、限界を警告してくれるセンサ

一方、図 5-6 の③のセンサ活用をこれから検討している段階の検討テーマの学生からは、実際にセンサに触ってみるプロトタイピングにより、センサに興味を持ちプロトタイピングを進めていきたい意見が多くあった。活用面からのセンサ技術の習得と実際に触ってみることは、センサアイデア創出に結びつけるきっかけとなると考える。

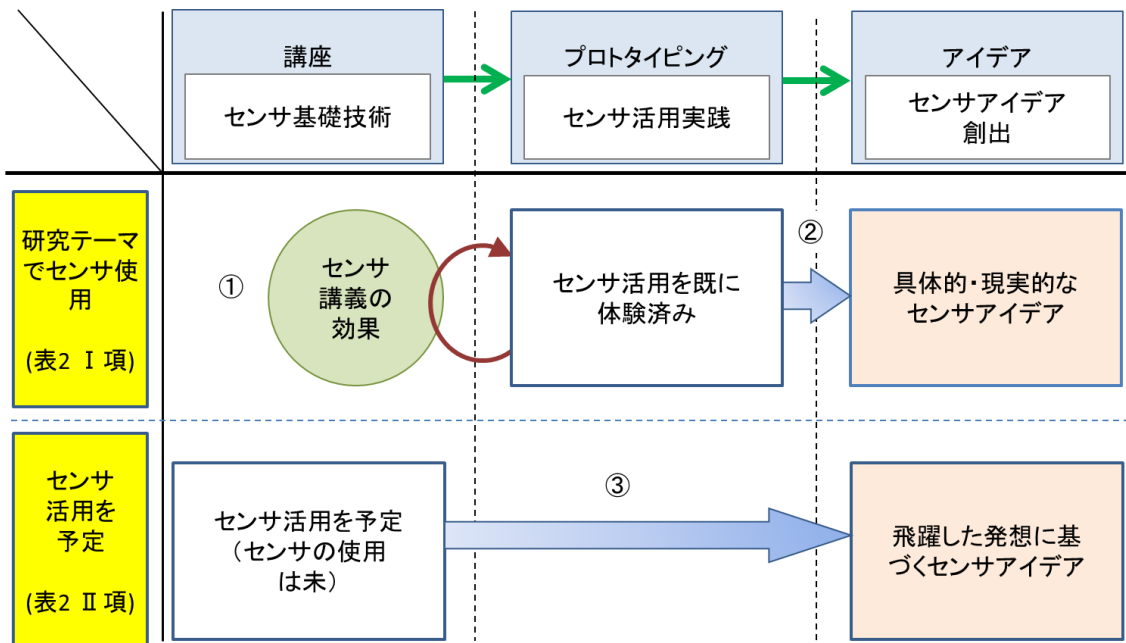


図 5-6 センサアイデア創出の評価

表 5-2 の C 欄に示すセンサアイデア創出の内容が、研究テーマの延長線上にあるのか、あるいは研究テーマにまったく関連しないアイデアであるのかの評価を行った。評価結果は、I 欄、II 欄ともに、「研究テーマの延長線上のアイデア」:「関連しない別アイデア」=2:3 であった。研究テーマに関連して学習したセンサの知識がベースとなってアイデア創出が生まれると考えられ、幅広くセンサの知識を習得することがアイデア創出に結び付くと考える。

### 5.6.2 考察

#### (1) センサ技術の理解度についての考察

講義の初期段階では、センサ技術に取りつきにくいとの学生の意見があったが、ステップ 1 として簡単な仕組みの温度センサ、照度センサから始め、段階的に 3 ステップに分けて難易度を上げていった。3 ステップに分けたことが学生からも理解しやすいとの反応があった。特に、化学センサ、MEMS デバイスなどの比較的高度なセンサについては、詳細原理はブラックボックス化して、接続形態と送受信のデータ形式をデータシートから読み取って学習したことが有意義であった。IoT システムの構築にあたっては、今後様々な種類のセンサの使用が予想されるが、センサのインタフェース仕様を理解できる技術を持っていれば、新たなセンサにも対応できると考える。

#### (2) プロトタイピングの教育効果についての考察

プロトタイピングによりセンサの応用の方法が分かったという意見が多かった。クラウド上でのセンサデータ分析手法と必要とするセンサデータの収集方法との対応付けが、IoT システム構築では重要であり、その対応技術を向上させる仕組みとして期待できる。センサ活用するに当たって、測定誤差の処理、データ抜け、外れ値などの考慮が必要で、補正処置などを行うなどの留意点も明確となった。学生にとっては、実際にセンサに触れることは有意義な経験であった。

プロトタイピングを通して IoT システム構築を実践したことにより、IoT におけるセンサの役割、センサデータの流れと活用手法の理解は深まったと考える。

#### (3) センサアイデア創出についての考察

センサアイデア創出のためのアンケート調査では、センサを使用している研究テーマとセンサ使用を予定している研究テーマの 2 種類に分類して分析を行った。アイデア内容の分析により、それぞれ以下の特徴があることが判った。

センサをすでに使用している研究テーマからは、表 5-2 の NO.2・B 欄の座標データ変換まで行うセンサ、NO.3・B 欄のヨー角の計算不要なセンサ等の具体的なアイデアが出された。具体的な発想、実用性が高いアイデアが多く見受けられるのは、実際に触ってみる、あるいは保有するセンサ技術の幅の大小がアイデア創出と関連している。したがって、ステップ 1~3 によりセンサ活用技術の幅を広く習得する学習法は、センサアイデア創出に効果的な教育システムであると考えられる。

一方、センサ活用を検討している段階の検討テーマでは、表 5-2 の NO.11・C 欄のウィルス量検知センサ、NO.12・C 欄の健康状態検知センサ等のセンサアイデアが出されている。アイデア発想が学生自身の研究テーマから飛躍しているが、着想の点では評価できると考えられる。

センサ使用予定の研究テーマと、既にセンサを使用している研究テーマとの差は、センサをすでに活用している研究テーマでは幅広く使用センサを調べて現実的な実現範囲の知識を持っているため、アイデアの飛躍という点では低くなっているとも考えられる。

全体のアイデア創出については、センサアイデア出しを行うことにより、センサに対する機能要求力が高まったと考えられ、センサ活用技術の視点からのセンサ教育がセンサに関連したアイデア創出に効果があると考ええる。

#### (4) 教育プログラムについて

本研究では、IoT システム構築におけるセンサ技術の活用方法の習得、センサデータの流れの理解、センサのプロトタイピングを通じたセンサに関するアイデア出し等より成るセンサ技術教育プログラムを提案した。本提案の実践において、センサの工夫点、改善点や新たなセンサのアイデア出しなどを学生から引き出したことは、4 ステップの段階的なセンサ技術教育プログラムの効果によるものと考ええる。

本教育プログラムは、センサを活用して有効なデータを抽出するセンサ活用技術が中心である。一方で、大学・研究機関等におけるセンサ自体の研究、新たなセンサの創出も重要課題であり、今後 IoT の高度な普及に向けて、大学・研究機関と産業界のセンサに対するニーズの共有、協力が重要と考える。

今後、センサ活用による新たなデータ取得方式やセンサ技術習得の改善点等を、教育プログラムに反映していく予定である。



## 6. 結言

結言として、本研究の研究成果と、今後の課題・展開について論じる。

本研究の研究成果を図 6-1 に示す。本研究は、空間知能化による見守りシステム方式を開発することであり、本研究の成果としては、見守りシステムの主軸である人の行動センシング方式と異常発生時の検知方式の開発、見守りシステムの基盤となる通信方式の開発、および空間知能化システム構築に必要な統合的なセンサソリューション技術習得のためのプログラム提案である。図 6-1 の研究成果は、IoT の活用、空間知能化における行動センシング方式の創出などにより達成できたと考える。

空間知能化システムに着目した理由として、空間知能化の目的の1つに「人と空間の調和を目指す」という点があり、見守りシステムにおいては「見守られている」ということを意識させない自然な環境での見守りが最重要課題と判断した。

空間知能化による見守りシステム構築のための行動センシング方式および異常発生時の検知方式の開発、省エネ通信および緊急通報の通信方式の開発、およびセンサソリューション技術教育プログラムの開発の概要について以下で述べる。

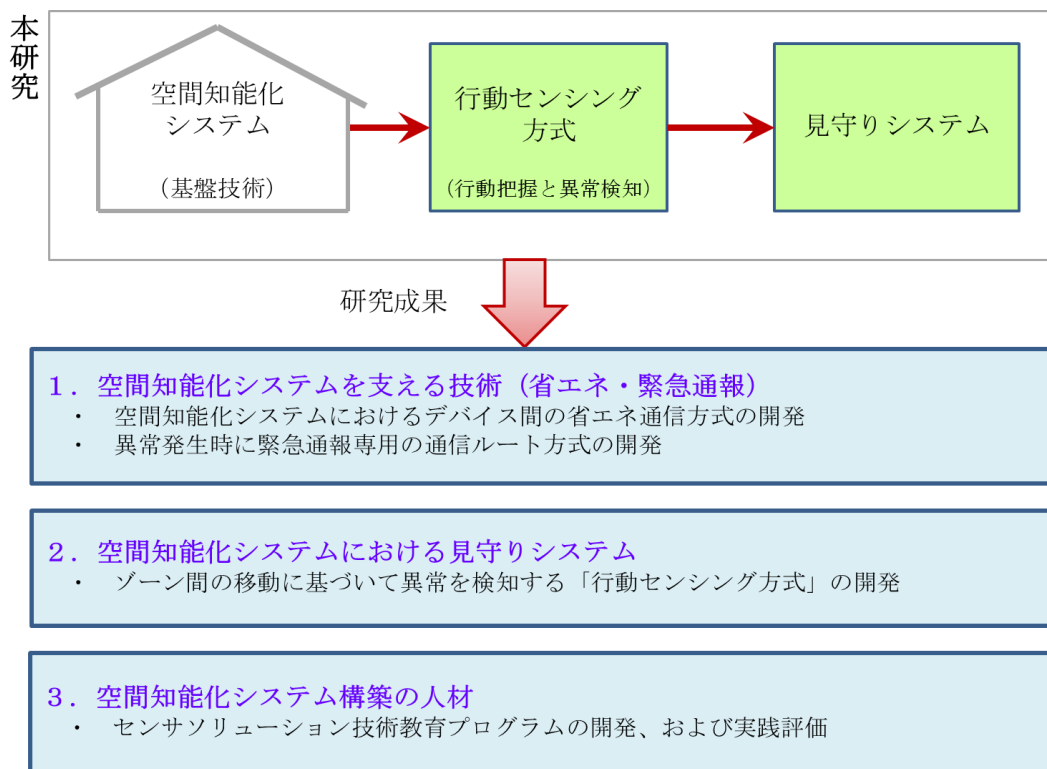


図 6-1 本研究の研究成果

### (1) 空間知能化システムにおける行動センシング

遠隔から屋内の独居者を見守る場合の異常状態を検知するためには、検知する機器を住居内に簡単に設置でき、また、見守りの対象者が見守られているという意識を持たない方式の採用が重要である。空間知能化システム自体が、人と空間の調和を目的の一つとしており、コンピュータ機器で住居内を覆い尽くすのではなく、快適と安心・安全(見守り)を平常時の生活を通して提供することである。

本研究では、見守り対象者の干渉性を高めるために、空間知能化システム内の部屋間の移動を人感センサによりセンシングすることにより、異常状態を検知する方式を開発した。また、異常状態の発生の検知は、事前に作成した移動パターン表をもとに、表のパターンから移動が外れた場合に異常とみなす実践的な方式を開発した。

### (2) 空間知能化システムを支える技術

通信方式に関しては、省エネルギーを考慮した省エネ通信方式、および異常状態の発生時の緊急通報方式を開発した。

省エネ通信方式については、センサデータを収集するゲートウェイにはスマートフォンやタブレット端末などのスマートデバイスを用い、スマートデバイスが内蔵する 2.4GHz 帯の通信により、センサ制御装置からのセンサデータを受信した。また、ゲートウェイからセンサまでの距離が長い場合には、障害物を回避する回折性に優れた 920MHz 帯の通信を使い、リピーター機能を有する空間知能化コントローラを用いて通信距離を延長してデータ収集することを可能とした。

緊急通報方式については、データの緊急度に応じて通信経路を自動的に切り替えてリアルタイム処理方式を開発した。それによりセンサからのデータに対し迅速な処置をとることを可能とした。本システムにアクセスする端末は、センサ、ゲートウェイ、サーバのシステムより構成する系から得られたデータを参照したり、センサデータでの異常値を検出した時の緊急通報を受信したりする人とのインタフェースを司る。システムの通常運転時は、センサ、ゲートウェイ、サーバのシステムで運用しているが、システムが異常を検出した時はシステム管理者等へアクセス端末を利用して緊急通報を可能とする方式である。

### (3) センサソリューション技術教育プログラム

IoT におけるセンサソリューション技術の教育プログラムを提案する。IoT のデータ収集で重要な役割を果たすセンサ活用技術を効果的に習得するために、4 つの学習ステップに分けて、段階的に IoT におけるセンサソリューション技術を習得する教育プログラムである。

本研究の今後の研究課題に関して、空間知能化システム、見守りシステムの2つの観点から以下に述べる。

#### (1) 空間知能化システムに関する今後の課題

空間知能化システムは、住宅内の家電製品をつなぎ制御することによって、快適なライフスタイルを実現するだけでなく、社会的な課題である省エネ、節電も実現できる。また、家庭内の消費電力をモニタリングにとどまらず、エネルギーの最適化、マネジメントが可能となる。本論文では、空間知能化モデルの基本となる人の行動をモニタリングし、行動パターンをもとに正常状態か異常状態かを判断する移動モデルを提案したが、空間知能化システムを構成する各種センサ/アクチュエータと人の動きとを組み合わせた機器の制御が可能であると考えられる。

居住空間での人の動きをセンシングし、安心、安全な生活環境を提供する空間知能化システムがセンサ技術、センサデータの高度な分析技術の進展により、さまざまな分野で展開や、家庭内のエネルギー消費を最適に運用するために、空調設備、家電、給湯機器などを制御することが期待される。

時間軸で人の行動を把握する方式では、時系列に発生するセンサデータをもとに、行動記述システムによる異常検知する。それに対し本方式は、人の空間内でのゾーン間の移動をもとにした行動パターンから異常状態を検知する方式である。空間内における人の行動は不定形であり、人の行動の異常検知においては本方式は柔軟に対応できる方式と考える。

また、空間知能化システムに組み込むセンサ類は、住宅の耐久年数と同等になることが望ましい。本論文で示した極小電力による通信技術や、無電源ワイヤレススイッチ、太陽電池などのエネルギーハーベスティング技術と、低消費電力の無線技術との組み合わせなどにより、センサの保守期間が大幅に拡大し、住宅耐久年数に近づけることになれば、空間知能化の進歩に役立つのではなかろうかと考える。センサデバイスの小型化、デザイン性、建材への組み込みなどを考慮した電力蓄積型の各種エネルギーハーベスティング技術を、空間知能化と融合することが重要である。さらに、本実装システムでは、人感センサで検知する住居人を一人（独居）と想定しているが、複数住居人を対象とした場合の個々人の識別方式や、行動パターンの設定方法などについては今後の課題である。

#### (2) 見守りシステムに関する今後の課題

今後高齢化社会が進むと、独居老人の遠隔見守りや異常状態の検知は一層重要課題となり、本方式に基づく安価で簡便な省エネルギー空間知能化システムの重要性が増すと予想する。また本方式では、異常状態の検知に行動パターンに基づく方式を用いたが、さらに複雑な構造物での人の移動のモニタリングや行動パターンに対して、的確な判断を行うために、行動パターンの履歴に基づく行動パターンの自動生成や異常判断の基準を動的に構築し、異常状態検知の精度を向上することは重要であり、行動パターンの自動生成に基づく異常検知を実装する予定である。

#### 移動パターンの機械学習分析による異常検知について

正常のパターンを学習し、異常パターンを検出する機械学習アルゴリズムは、大量の正常パターンデータが必要となるが、空間知能化による見守りシステムでは、正常パターンデータ収集に限界がある。したがって、本方式では、移動パターン表をもとに異常状態発生の検知としたが、個人の移動パターンを蓄積することにより、機械学習による異常状態の特徴点を抽出できる可能性があり、蓄積データをもとに機械学習による行動パターンの自動生成や、空間知能化システム内での人の行動予測により、異常監視の精度をさらに充実させることが次の課題と考える。今後は、本方式の研究をさらに進め、異常状態の検知の精度向上等を行なう予定である。

## 謝辞

本研究を学位論文として提出するにあたり，ご多忙にもかかわらず多くの時間を割いて頂き，主査としてご指導いただきました東京電機大学大学院 先端科学技術研究科 神戸英利教授に厚く御礼申し上げます。

東京電機大学 小泉寿男名誉教授には，学会発表，論文投稿，査読回答など，長きにわたる研究活動の様々な場面におきまして，ご指導，ご助言，激励などをいただきました。東京電機大学 先端科学技術研究科 汐月哲夫教授には M2M/IoT 関連研究活動において様々な知見を頂きました。東洋大学 情報連携学部情報連携学科 渡邊朗子教授には空間知能化に関するご指導を頂きました。芝浦工業大学 システム理工学部 井上雅裕教授，工学部 中島毅教授には，論文作成における多くの的確なアドバイスをいただきました。サイバー大学 清尾克彦教授，東海大学 大江信宏教授，福井工業大学 北上眞二教授，東京電機大学 三井浩康元教授には，M2M/IoT プロトタイピングに関する多くの技術的なアドバイスをいただきました。HIROICT 研究所 樋口雅宏代表取締役，渡辺透博士には，Web アプリケーションやスマートデバイスに関して，技術的なアドバイスをいただきました。皆様に心から感謝申し上げます。

所属もとのモバイルコンピューティング推進コンソーシアムの畑口昌洋幹事長・事務局長，次世代センサ協議会の小林彬会長（東京工業大学名誉教授）には，学位取得に関してご理解，支援を頂きました。厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

### 1 章分

- (1) 橋本秀紀, 渡邊朗子:「空間知能化のデザイン」, NTT 出版, (2004)
- (2) 佐藤知正, 「空間知能化ロボティクスとその応用産業市場」, 東芝レビュー, Vol.64 No.1, pp8-13 (2009)
- (3) 一般財団法人 商工会館, 「IoT の事例とその本質」, 平成 28 年度 産業と技術の比較研究報告書, (2017)
- (4) 村上知子, 鳥居健太郎, 長健太, 内平直志, 「センサデータと業務知識からトピックモデルを用いた看護業務行動の推定」, 人工知能学会論文誌, Vol.29 No.5, (2014)
- (5) 岡崎 正一, 渡辺 透, 北上 眞二, 清尾 克彦, 小泉 寿男, 「SIP 機能を活用した M2M 機器間通信システム方式 とその適用評価」, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌) Vol.134 No.8 pp.1114-112 (2014)
- (6) 岡崎 正一, 渡辺 透, 樋口 雅宏, 渡邊 朗子, 汐月 哲夫, 小泉 寿男, 「省エネルギーを考慮した空間知能化システムとその通信方式」, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌) Vol.136 No.12 pp.1804-1814 (2016)
- (7) Shoichi Okazaki, Akiko Watanabe, Hidetoshi Kambe, Masahiro Inoue, Hisao Koizumi : 「Behavior Sensing in Intelligent Space System」, International Journal of Internet of Things 2018, 7(1): 10-1 (2018)
- (8) 岡崎 正一, 大江 信宏, 井上 雅裕, 中島 毅, 汐月 哲夫, 神戸 英利, 三井 浩康, 清尾 克彦, 「IoT におけるセンサ技術教育プログラムの提案とその実践評価」, 日本工学教育協会「工学教育」, Vol.66 No.1, pp.96-101 (2018)

## 2 章分

- (1) 橋本秀紀, 渡邊朗子:「空間知能化のデザイン」, NTT 出版, (2004)
- (2) Steve Hodges, Stuart Taylor, Nicolas Villar, James Scott, Dominik Bial, and Patrick Tobias Fischer: “Prototyping Connected Devices for the Internet of Things”, IEEE Computer, Vol.46, No.2, pp26-34 (2013)
- (3) K.Chang , A.Soong , M.Tseng , and Z.Xiang : "Global Wireless Machine to Machine Standardization", IEEE Computer Society, Vol.15, No.2, pp.64-69 (2011)
- (4) 佐藤知正:「空間知能化ロボティクスとその応用産業市場」, 東芝レビュー, Vol.64, No.1, pp.8-13, (2009)
- (5) 杉野原和也, 諸岡健一, 辻徳生, 倉爪亮, 「レーザセンシングシステムと階層的隠れマルコフモデルによる居住者の行動推定」, Proceedings of the 2015 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Kyoto, Japan, May17-19,2015
- (6) 清水友理, 佐藤貢一, 加藤崇, 渡邊朗子, 長瀬慶明, 森川康成, 「人と空間が調和した知能化空間の基礎的検討」, 大成建設技術センター報, 第 43 号 (2010)
- (7) 津田麻衣, 玉井森彦, 安本慶一, 「居室行動のセンシングに基づく独居高齢者を対象とした見守りシステムの提案」, 情報処理学会研究会, Vol.2013-DPS-155, No.16, pp.1-6 (2013)
- (8) 渡辺淳: RFID 技術の化学センサ応用ーガスセンサを中心とした近年の動向, 次世代センサ協議会, Vol.26, No.2, pp.2-5, 2017
- (9) 竹平貴紀, 桧垣博章, 「非同期式間欠通信を用いた省電力無線マルチホップ通信手法」, 情報処理学会, Vol.DPS-145, No.32 (2011)

### 3 章分

- (1) 山田肇：「情報通信技術が生み出す自立生活支援サービス」,科学技術動向,2012年11・12月号,pp.19-31,(2012)
- (2) 財団法人日本情報処理開発協会 (JIPDEC)：「平成21年度スマートハウスプロジェクト (スマートハウスのビジネスモデルに係る調査研究) 実証事業報告書【別冊】」, 経済産業省委託事業, (2010)
- (3) 経済産業省 2013年6月23日  
<http://www.meti.go.jp/intro/kids/ecology/11.html>
- (4) David Bosworthick, Qmar Elloumi, Oliver Hersent, “M2M Communications”, John Wiley & Sons Ltd, (2012)
- (5) J.Rosanberg : "RFC 3261 SIP: Session Initiation Protocol", IETF, (2002)
- (6) Takanori Takehira, Hiroaki Higaki, “Routing Method Combined with Asynchronous Intermittent Communication for Low-Power Wireless Sensor Networks”, IPSJ SIG Technical Report, Vol.2010-DPS-145, No.32, (2010) (in Japanese)  
竹平貴紀, 桧垣博章, 「非同期式間欠通信を用いた省電力無線マルチホップ通信手法」, 情報処理学会, Vol.DPS-145, No.32 (2011)
- (7) 久保祐樹, 柳原健太郎, 野崎正典, 「無線センサネットワークの省電力化技術」, OKI テクニカルレビュー, Vol.76, No.1 (2009)
- (8) Keiichi Abe, Tadanori Mizuno, Hiroshi Mineno, “Development of the low consumption electricity type wireless node for wireless sensor networks”, IPSJ SIG Technical Report, Vol.2011-MBL-59, No.5, (2011) (in Japanese)  
安部恵一, 水野忠則, 峰野博史, 「無線センサネットワーク向けの省電力型無線ノードの開発」, 情報処理学会研究報告, Vol.2011 -CDS- 2/MBL-59, No.5 (2011)
- (9) Mohamed Ali Feki, Fahim Kawser, Mathieu Boussard, and Lieven Trappeniers : “The Internet of Things: The Next Technological Revolution”, IEEE Computer, Vol.46, No.2, pp.24-25 (2013)
- (10) Steve Hodges, Stuart Taylor, Nicolas Villar, James Scott, Dominik Bial, and Patrick Tobias Fischer : “Prototyping Connected Devices for the Internet of Things”, IEEE Computer, Vol.46, No.2, pp.26-34 (2013)
- (11) K.Chang , A.Soong , M.Tseng , and Z.Xlang : "Global Wireless Machine to Machine Standardization", IEEE Computer Society, Vol.15, No.2, pp.64-69 (2011)
- (12) G.Wu, S.Talwar, K.Jhonsson, N.Himayat, and K.Johnson : "M2M: From Mobile to Embedded Internet", IEEE Communications Society, Vol.49, No.4, pp.36-43 (2011)
- (13) T.Watanabe, H.Koizumi:”A General Purpose Connections type CTI Server Based on SIP Protocol and Its Implementation”, IEEEJ, Vol.132, No.5, pp.790-803 (2012) (in Japanese)



- 渡辺透, 小泉寿男:「SIP プロトコルをベースとした汎用接続型CTIサーバ方式とその実装」,電学論 C,Vol.132, No.5, pp.790-803, (2012)
- (14) T.Watanabe, H.Koizumi:”A CTI System to Support Workplace and Its Implementation”,IEEJ,Vol.132,No.115, pp.1860-1872 (2012) (in Japanese)  
渡辺透, 小泉寿男:「シームレスな作業環境を支援するCTIシステムとその実装と評価」, 電学論 C, Vol.132, No115, pp.1860-1872 (2012)
- (15) T.Watanabe,H.Koizumi:”A M2M Client/Server System with CTI Functions and its Implementation”, IEEJ, Vol.133, No.2, pp.398-409 (2013) (in Japanese)  
渡辺透, 小泉寿男:「CTI機能を組み込んだM2Mクライアントサーバ方式とその実装」, 電学論 C, Vol.133, No.2, pp.398-409 (2013)
- (16) 大宮知己, 織毛直美:「M2Mを取り巻く標準化動向」,NTT 技術ジャーナル, Vol.24, No.4, pp.63-66, (2012)

## 4 章分

- (1) Luigi Atzoria, Antonio Ierab, Giacomo Morabitoc: "The Internet of Things: A survey", *Computer Networks*, Vol. 54, Issue 15, pp. 2787-2805 (2010-10)
- (2) Mohamed Ali Feki, Fahim Kawser, Mathieu Boussard, and Lieven Trappeniers : "The Internet of Things: The Next Technological Revolution", *IEEE Computer*, Vol.46, No.2, pp.24-25 (2013)
- (3) Mihoko Niitsuma, Hideki Hashimoto, "Observation of Human Activities Based on Spatial Memory in Intelligent Space", *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.21, No.4, pp.515-523 (2009)
- (4) Mai Tsuda, Morihiko Tamai, Keiichi Yasumoto, "A Monitoring Support System for Elderly Person Living Alone through Activity Sensing in Living Space", *IPSJ SIG Technical Report*, Vol. 2013-MBL-66, No16, (2013) (in Japanese)  
津田麻衣, 玉井森彦, 安本慶一, 「居室行動のセンシングに基づく独居高齢者を対象とした見守りシステムの提案」, *情報処理学会, MBL-66 巻, 16 号*, pp.1-6 (2013)
- (5) 清水友理, 佐藤貢一, 加藤崇, 渡邊朗子, 長瀬慶明, 森川康成, 「人と空間が調和した知能化空間の基礎的検討」, *大成建設技術センター報*, 第 43 号 (2010)
- (6) K.Oshima, R.Urushibara, A.Fujii, H.Noguchi, M.Shimosaka, T.Sato, T.Mori, "Behavior Labeling Algorithms from Accumulated Sensor Data matched to Usage of Livelihood Support Application", No.09-4 *Proceedings of the 209 JSME Conference on Robotics and Mechatronics*, Fukuoka, Japan, May24-26,2009 (in Japanese)  
大島佳菜, 漆畑亮, 藤井昭徳, 野口博史, 下坂正倫, 佐藤知正, 森武俊, 「蓄積センサデータを用いた生活支援の用途に合わせた行動ラベリング手法」, *Proceedings of the 209 JSME Conference on Robotics and Mechatronics*, Fukuoka, Japan, May24-26,2009
- (7) Kazuya Suginozawa, Kenichi Morooka, Tokuo Tsuji, Ryo Kurazume, "Indoor Human Behavior Estimation by combining Hierarchical Hidden Markov Model", No.15-2 *Proceedings of the 2015 JSME Conference on Robotics and Mechatronics*, Kyoto, Japan, May17-19,2015 (in Japanese)  
杉野原和也, 諸岡健一, 辻徳生, 倉爪亮, 「レーザセンシングシステムと階層的隠れマルコフモデルによる居住者の行動推定」, *Proceedings of the 2015 JSME Conference on Robotics and Mechatronics*, Kyoto, Japan, May17-19,2015
- (8) Tadashi Terasaki, "Innovative First Step toward Mechanoluminescent Ubiquitous Light Source for Trillion Sensors", *Sensors and Materials*, Vol.28, No.8, pp.827-836, 2016
- (9) Steve Hodges, Stuart Taylor, Nicolas Villar, James Scott, Dominik Bial, and Patrick Tobias

- Fischer : “Prototyping Connected Devices for the Internet of Things”, IEEE Computer, Vol.46, No.2, pp26-34 (2013)
- (10) K.Chang , A.Soong , M.Tseng , and Z.Xlang : "Global Wireless Machine to Machine Standardization", IEEE Computer Society, Vol.15, No.2, pp.64-69 (2011)

## 5 章分

- (1) 一般社団法人電子情報技術産業協会編:2026年までの電子部品技術ロードマップ, 2017
- (2) 電気学会第2次M2M技術調査専門委員会:M2M/IoTシステム入門, 森北出版, 2016
- (3) モバイルコンピューティング推進コンソーシアム監修:IoT技術テキスト, リックテレコム, 2016
- (4) 稲田修一監修:M2M/IoT教科書, インプレス, 2015
- (5) 寺崎正:Innovative First Step toward Mechanoluminescent Ubiquitous Light Source for Trillion Sensors, Sensors and Materials, Vol.28, No.8, pp.827-836, 2016
- (6) 成長分野を支える情報技術人材の育成拠点の形成:  
<http://emb.enpit.jp/enpit2/>, 参照日:2017.9.12
- (7) 渡辺淳:RFID技術の化学センサ応用ーガスセンサを中心とした近年の動向, 次世代センサ協議会, Vol.26, No.2, pp.2-5, 2017
- (8) 大江信宏, 北上眞二, 米盛弘信, 井上雅裕, 汐月哲夫, 小泉寿男:M2Mのプロトタイプ構築によるものづくり教育システムの現実と実践, 電気学会論文誌A, Vol.135, No.11, pp.655-665, 2015
- (9) 秋山康智, 石原正仁, 大江信宏, 北上眞二, 神戸英利, 市村洋, 清尾克彦, 小泉寿男:文系学生へのM2Mプロトタイプシステム実装教育カリキュラムの提案と評価, 工学教育, Vol.64, No.1, pp.26-32, 2016
- (10) Ala Al-Fuqata, Mohsen Guizani, Mehdi Mohammadi, Mohammed Aledhari, Moussa Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol.17, No.4, Fourth Quarter 2015
- (11) Rose Qingyang Hu, Yi Qian, Hsiao-Hwa Chen, Abbas Jamalipour: "Recent Progress in Machine- to- Machine Communications", IEEE Communications Magazine April 2011, vol.49, No 4, 24-26, (2011)
- (12) The European Telecommunications Standards Institute (ETSI): "Machine to Machine Communication",  
<http://www.etsi.org/Website/Technologies/M2M.aspx>
- (13) Kazumine Matoba and Kenichi Abiru and Tomohiro Ishihara, "Service Oriented Network Architecture for Scalable M2M and Sensor Network Services", 15th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks, page 35-40, (2011)
- (14) 山崎弘郎:センサ工学の基礎, オーム社, 2014
- (15) 藍光郎監修:次世代センサハンドブック, 培風館(一般社団法人次世代センサ協議会), 2008

- (16) 室 英夫, 石森 義雄 : マイクロセンサ工学, 技術評論社, 2009
- (17) Shoichi OKAZAKI, Masahiro INOUE, Tsuyoshi NAKAJIMA, Tetsuo SHIOTSUKI, Hidetoshi KAMBE, Hisao KOIZUMI : 「Education system of sensor technologies in IoT」, ICEE2016 Okinawa, 2016-07-06