

東京電機大学

博士論文

(論文題目) M2M/IoT システムのものづくりにおける
プロトタイプ構築法とその実践・評価

(論文題目 (英文)) A Method of Prototype Construction for creative
design and Manufacturing of M2M/IoT Systems and Its Evaluation

2017年3月

大江信宏

1. 序章.....	4
1.1. 研究の背景.....	4
1.2. 研究の目的.....	5
1.3. 論文の構成.....	7
2. M2M/IoT システム構築の現状と課題.....	9
2.1 M2M/IoT システムの概要と基本構成.....	9
2.2 M2M/IoT システムの応用事例.....	10
2.2.1 農業分野における温室環境モニタリングシステム.....	10
2.2.2 エネルギー管理システムへの応用.....	11
2.3 海外の動向.....	12
2.4 M2M/IoT システム構築技術と構築における現状および課題.....	14
2.4.1 M2M/IoT システム構築技術.....	14
2.4.2 M2M/IoT システム構築の現状と課題.....	15
2.5 ものづくり教育の課題と M2M/IoT システム.....	17
2.6 M2M/IoT システム構築技術と応用のアイデア実現の課題.....	19
2.6.1 プロトタイプシステム構築の意義と課題.....	19
2.6.2 アイデア実現の意義と課題.....	20
3. M2M/IoT プロトタイプシステムの構築法の提案と実装.....	22
3.1 アイデア創出を目指した M2M/IoT プロトタイプシステムの構築法の提案と実装.....	22
3.1.1 はじめに.....	22
3.1.2 M2M/IoT の概要とプロトタイピング.....	23
3.1.3 M2M/IoT プロトタイプ構築法の提案.....	25
3.1.4 M2M/IoT プロトタイプ構築法の適用と評価.....	33
3.1.5 考察.....	40
3.1.6 まとめ.....	41
3.2 アイデアに基づく M2M/IoT プロトタイプシステム構築法の提案と実践.....	42
3.2.1 はじめに.....	42
3.2.2 プロトタイプシステム構築とアイデア実現の意義.....	43
3.2.3 アイデアに基づくプロトタイプシステム構築法.....	43
3.2.4 実装.....	49
3.2.5 評価・考察.....	53
3.2.6 まとめ.....	55
3.3 M2M/IoT システムのサーバアプリケーション自動生成法の提案と実装・評価....	56
3.3.1 M2M/IoT システムにおけるスマートデバイスの多様性に対応した Web アプリ	

ケーション自動生成機能と実装	56
3.3.1.1 はじめに.....	56
3.3.1.2 スマートデバイスの多様性に対応したシステムの開発課題.....	57
3.3.1.3 Web アプリケーション自動生成方式と実装法.....	59
3.3.1.4 保守業務システムへの適用検証	65
3.3.1.5 評価・考察.....	68
3.3.1.6 まとめ.....	71
3.3.2. 保守技術者の移動先作業を支援する M2M/IoT 応用システムとその実装評価	73
3.3.2.1 はじめに.....	73
3.3.2.2 保守作業現場における ME 作業の課題.....	74
3.3.2.3 ME 作業を支援する M2M/IoT 応用システム	76
3.3.2.4 実装および評価と考察.....	82
3.3.2.5 まとめ.....	89
4. M2M/IoT のプロトタイプ構築によるものづくり教育システムの提案と実践	90
4.1 はじめに.....	90
4.2 M2M/IoT によるものづくり教育の課題と期待する成果.....	91
4.3 M2M/IoT プロトタイプ構築法によるものづくり教育システムの提案.....	92
4.4 ものづくり教育およびアイデア創出の実践と評価	94
4.4.1 情報通信等の IT 系学生への実践.....	94
4.4.2 機械・電気・電子系などの理工系学生への実践	96
4.4.3 文系学生への実践.....	98
4.5 考察	99
4.6 まとめ	103
5. 結言	104
謝辞	109
参考文献	110
1 章分 (筆者関連発表論文)	110
2 章分	111
3 章分	113
4 章分	116

1. 序章

1.1. 研究の背景

M2M(Machine to Machine)/IoT (Internet of Things) は、機械・機器、設備、備品などの「もの」や人間のセンサーデータを、人手を介さずにインターネットに接続し、様々なサービスを提供する技術であり、センサー技術、ネットワーク技術、情報処理技術など複数の技術の体系的な結合である。近年、対象とする機器などの状態を検出するセンサー技術の進化、あらゆる場所からデータを収集できるネットワーク技術の発展、さらにクラウドコンピューティングの進展等により、M2M/IoT 技術が多くの分野に応用できるようになっている。

M2M/IoT 技術は、輸送・エネルギーなどのインフラ分野、産業オートメーション分野、安全・安心・健康・医療などの身の回りの分野等々、非常に多くの分野でその活用が期待されている。また様々な産業分野での M2M/IoT システムの事例が示されている。適用分野が広く、インフラや身の回りの課題を解決できるため、身近な生活や仕事に関連したアイデアや、これまで想定できなかった新しいサービスのアイデアが生まれる可能性がある。しかし複数の技術を横断的に結合しているため、システムの構築が難しいという課題があり、構築法が確立されていない。また、応用を拓げるには構築者の分野を IT 系技術者だけでなく、非 IT 系など他の専門分野にも広げる必要がある。

M2M/IoT システムに関連する先行研究としては、システムを構成するセンサー技術、ネットワーク技術、情報処理技術など個々の技術については、多くの研究がなされており、M2M/IoT システムと関連付けた研究も増えてきている。また、M2M/IoT システムの標準化への取組み、セキュリティ対策なども行われている。しかし、M2M/IoT システム構築そのものに関する研究はあまりない。本研究では M2M/IoT システム構築において、M2M/IoT プロトタイプシステム構築法にフォーカスしているが、それは次のような意義があるからである。すなわち、M2M/IoT システムの構築においてプロトタイプは、新たな研究テーマの発掘や教育目的のほか、製品化のステップという目的があるが、プロトタイプシステム構築は、比較的短期間で構築・検証が可能であり、理解を深めること、アイデアを創出することの効果がある。M2M/IoT は、多くの応用が期待されるが、それを実現するには、IT 系以外の専門分野の人も M2M/IoT システムの全体を体験できる M2M/IoT プロトタイプ構築や、それを通して M2M/IoT システムのアイデアを創出すること、アイデアを基に M2M/IoT プロトタイプシステムを構築することが必要である。

M2M/IoT プロトタイプ構築においては、M2M/IoT システムのデバイスにスマートフォンやタブレットなどのスマートデバイスを利用することも増えてくる。スマートデバイスは、センサーやカメラを搭載し、通信機能もあり、プログラミング機能もあるので、強力な M2M/IoT デバイスである。M2M/IoT システムとしては、多様なスマートデバイスに対応したクラウド上のサーバアプリケーションが、新しいサービスを創出する上で重要なポ

イントであり、サーバ上の Web アプリケーションの開発が課題となる。

ものづくりという面では、ものづくりの技術や技能を学ぶ職業訓練や、作るものを研究の対象として行うものづくりが多いが、ロボットコンテストなどのように、ものづくり自身の楽しさを体験し、ものづくりの過程で工夫し、発想する事の大切さを学ぶ機会も増えている。ものづくり白書によれば、「ものづくり産業において、企業が成長分野に進出していくことに併せて、労働者も能力開発によって新たな能力を獲得し、人材力を強化していくことが重要であり、ものづくり人材の育成は必要不可欠である。」とされている。また、国外では、実習や実験を重視しものづくりの基本から高いレベルの理論まで深められるカリキュラムを持つ、高等専門学校の海外版が、製造業の発展とエンジニアの育成のためにアジアで注目されている。また、企業のグローバル化の視点では、より高水準の「ものづくり」と「マネジメント」を遂行する人材育成への、積極的な取り組みが報告されている。このように、次世代を担う人材育成のために、ものづくり教育が必要である。

本研究では、M2M/IoT システムのものづくりにおけるプロトタイプ構築法を中心に、アイデアの創出、アイデアからのプロトタイプ構築などの方法、クラウド上の Web アプリケーション開発方式とその応用システムとしての保守支援システム、プロトタイプ構築法を利用した M2M/IoT システムの教育法について研究を行った。

1.2. 研究の目的

本研究の目的は、M2M/IoT が社会の基盤となり、いろいろな分野の応用を創出するために、M2M/IoT プロトタイプシステム構築法を確立することである。この目的のために、IT 系、非 IT 系、文系各分野対応の M2M/IoT プロトタイプシステム構築法を研究し、開発する。本研究は、各分野対応でプロトタイプシステムを構築する方式により、アイデアの創出を促し、またアイデアからプロトタイプシステムを構築する方式により、M2M/IoT のアイデアのブラッシュアップを狙う。これらの提案方式の実践評価を行い、検証する。

具体的な研究テーマとして、構築法とその応用について (1) ~ (4)、構築法を用いた教育について (5) の 5 件について研究する。

- (1) アイデア創出を目指した M2M/IoT プロトタイプシステムの構築法の提案と実装
- (2) アイデアに基づく M2M/IoT プロトタイプシステム構築法の提案と実装
- (3) M2M/IoT システムのサーバ/クラウド側の構築法として、スマートデバイスの多様性に対応した Web サーバアプリケーションの自動生成機能と実装
- (4) 保守技術者の移動先作業を支援する M2M/IoT 応用システムとその実装評価
- (5) M2M/IoT のプロトタイプ構築によるものづくり教育システムの提案と実践

各研究の目的を以下に述べる。

(1) アイディア創出を目指した M2M/IoT プロトタイプシステムの構築法の提案と実装

本研究は、M2M/IoT プロトタイプシステムの基本構成を定義し、その構築法を提案し、それを実践することにより、複数の技術要素から構成される M2M/IoT システムの全体を理解し、M2M/IoT のアイディアやニーズの創出を行う。

本構築法は、IT 系、非 IT 系、文系の「分野対応プロトタイプシステム構築法」と称し、この構築法を実現するための、①構成要素・実装技術対応マトリクス、②分野 (IT, 非 IT, 文系) 対応プロトタイプ方式、③オープンハード・ソフトの技術資産データベース、④構成要素決定支援ツール、⑤イベント処理フレームワーク方式、⑥段階的機能積上げ型構築方式について、論じる。これらにより、それぞれの専門分野ごとに取り組めるプロトタイプピングの内容や手順を明確にし、M2M/IoT システムの基本的な機能、構成の役割を理解できるようにした。この構築法に則ってプロトタイプシステムの構築を行い、プロトタイプを作成した体験に基づき、プロトタイプの拡張や、自己の持つ専門分野に関係する課題解決に当てはめることによりアイディア創出やニーズ発掘を行う。

(2) アイディアに基づく M2M/IoT プロトタイプシステム構築法の提案と実装

本研究は、アイディアに基づいて M2M/IoT システムのプロトタイプを構築する手法により、アイディアからプロトタイプ構築を比較的簡単にできるようにする。この仕組みにより、M2M/IoT プロトタイプシステム構築が比較的簡単にできるため、各種の分野のアイディアをプロトタイプとして構築でき、M2M/IoT 応用システムの発展を促す。

M2M/IoT システムは、適用分野が広く、インフラや身の回りの課題を解決できるためアイディアを比較的容易にプロトタイプピングできれば、アイディアの現実感が深まる。アイディアから要求機能や要件を分析することにより、M2M/IoT システムのポイントを明確にして、アイディアの具体化を行う。具体化したアイディアを実現するための M2M/IoT システムの技術要素と、M2M/IoT システムの構成要素とをマトリクスとし、プロトタイプの構成要素を決定する。プロトタイプ構築により、それをアイディアにフィードバックし、ブラッシュアップができるため、アイディアの実現性を深めることができる。

(3) M2M/IoT システムのサーバ/クラウド側の構築法として、スマートデバイスの多様性に対応した Web サーバアプリケーションの自動生成機能と実装

本研究は、M2M/IoT システムにおいて、スマートフォンやタブレットなどのスマートデバイスを M2M/IoT デバイスおよびゲートウェイの位置づけで利用した場合の業務システムを構築する際に、スマートデバイスの多様性に対応し、サーバ側の Web アプリケーションを効率よく開発・保守する方式を提案する。

スマートデバイスは、その携帯性と高機能化により、屋外や移動先で利用する業務用端末として利用ニーズが増加している。このため、スマートデバイスと Web アプリケーションの組合せ、すなわち M2M/IoT システムとしての有用性が高まっている。

M2M/IoT プロトタイプからさらにサーバ/クラウドの処理を追加していく場合や、画面サイズの多様性や、操作ボタンの違いがあるスマートデバイスとそのスマートデバイスの多様性に対応した Web アプリケーション開発の効率化が課題となっている。この解決のために、自動生成後の追加プログラミングを極力不要とする Web アプリケーション自動生成、データベースアクセスの自動生成、画面表示においてスマートデバイスの多様性に依存しない方式とする。

(4) 保守技術者の移動先作業を支援する M2M/IoT 応用システムとその実装評価

本研究は、M2M/IoT システムの応用として、保守技術者が移動先の現場で行う保守点検、障害復旧などの作業を、スマートデバイスを活用した M2M/IoT システムによって効率化することを目的とする。

M2M/IoT システム自身を含む、コンピュータネットワーク・システムは、多くのハードウェア、ソフトウェア、ネットワークから構成され、企業や社会のインフラとして増大し、複雑化しており、その安定稼働のために保守作業を担う保守技術者の役割はますます重要となっている。M2M/IoT システムにおける保守方式として、スマートデバイスを活用した M2M/IoT システムによる保守支援システムにより、従来電話や PC で行っていた保守作業と比較し、正確性、効率性と、M2M/IoT システムならではの新しい使用方法による有用性を論じる。

(5) M2M/IoT のプロトタイプ構築によるものづくり教育システムの提案と実践

本研究は、M2M/IoT のものづくり人材育成のため、M2M/IoT のプロトタイプ構築によるものづくり教育システムを提案する。教育の対象は、IT 理工系、非 IT 理工系、文系の各学生である。本システムでは、(1) で開発した分野対応プロトタイプシステム構築法を用いることによって、それぞれの専門分野ごとに取り組めるプロトタイピングの内容や手順を明確にする。それに則ってプロトタイプシステムの構築を行う。プロトタイプを作成した体験に基づき、プロトタイプの拡張や、自己の持つ専門分野に関係する課題解決に当てはめることによりアイデア創出やニーズ発掘を行う。さらに、IT 系、非 IT 系、文系の将来の M2M/IoT の教育カリキュラム案の一部として参考になると考える、到達目標、評価指標を作成し、実践による有効性を論じる。

1.3. 論文の構成

本論文は、5 章から構成される。

2 章では、M2M/IoT システム構築の現状と課題について述べる。具体的には、M2M/IoT システムの概要と基本構成、M2M/IoT システムの事例、M2M/IoT に関連する海外の動向、M2M/IoT システム構築上の技術と構築における現状と課題、ものづくり教育の課題と

M2M/IoT システム、プロトタイプシステム構築とアイデア実現の意義と課題について述べる。

3 章では、M2M/IoT システム構築に関するプロトタイプ構築の提案として、3.1 節でアイデア創出を目指した M2M/IoT プロトタイプシステムの構築方式とその実装について論じる。3.2 節では、M2M/IoT システムのいろいろなアイデアを基に、M2M/IoT プロトタイプシステムを構築する方式とその実装について論じる。3.3 節では、M2M/IoT システムのサーバ/クラウドアプリケーションの効率的な作成法として、3.3.1 項で、スマートデバイスを利用した M2M/IoT システムにおいて、サーバ/クラウド側のアプリケーション構築法である、スマートデバイスの多様性に対応した Web サーバアプリケーションの自動生成機能について論じ、3.3.2 項で、それを適用した応用システムとして、保守支援システムへの応用とその実装評価を論じる。

4 章では、ものづくり教育に M2M/IoT のプロトタイプ構築法を適用した、M2M/IoT プロトタイプ構築によるものづくり教育システムの提案と実践について論じる。

5 章は、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。

2. M2M/IoT システム構築の現状と課題

2.1 M2M/IoT システムの概要と基本構成

M2M(Machine to Machine)は、機械・機器、設備、備品などの「もの」どうしをつなぐ技術であり、IoT (Internet of Thing) は、「もの」のインターネットであると定義される。M2M と IoT は、歴史的な背景が異なるが、基本的には同様の技術として捉えており、「もの」や人間のセンサーデータを、人手を介さずにインターネットに接続し、様々なサービスを提供する技術である⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾。近年、対象とする機器などの状態を検出するセンサー技術の進化、あらゆる場所からデータを収集できるネットワーク技術の発展、さらにクラウドコンピューティングの進展等により、M2M/IoT 技術が多くの分野に応用できるようになっている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

M2M/IoT システムの概要を図 2.1 に示す。図において、左に示すデバイスは各種センサーやアクチュエータなどを搭載した装置である。デバイスからのデータはエリア・ネットワーク、ゲートウェイ・プロセッサ (GWP)、アクセスネットワークを介してサーバまたはクラウドに送信し、サーバ/クラウドでは情報システムによって集めたデータを可視化、分析などの処理を行い、必要に応じてデバイスにフィードバックし、制御する。

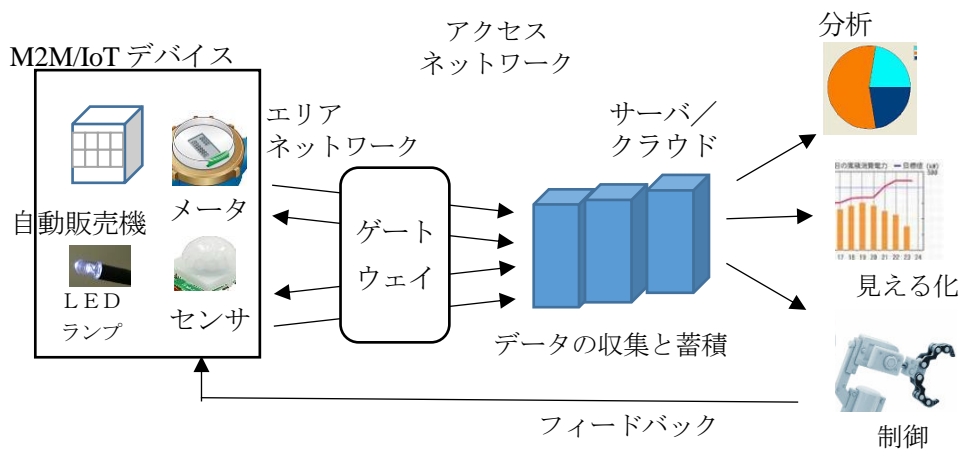


図 2.1 M2M/IoT システムの概要

本論文で述べる M2M/IoT システムは、図 2.1 に示すように、M2M/IoT システムの基本的な構成要素を、デバイス、ネットワーク、ゲートウェイ、サーバ/クラウドとする。デバイスにはマイクロコントローラ等を利用して、各種センサーやアクチュエータを接続し、データの入出力を行う。ゲートウェイは、複数のデバイスを近距離のネットワークでつなぎ、デバイスからのセンサーデータを収集、変換等の処理を行った上で、サーバ/クラウドへインターネット等のアクセスネットワークを経由して送信する。サーバ/クラウド上

に送信することによって、データに基づいて、デバイスへのフィードバックやデータを利用した分析、可視化、通知などの様々な利用を行う。

個々の要素の組合せは、これまでもいろいろなアイデアはあったが、M2M/IoT システムの応用では、構成要素全体の組合せによって、特に、センサー技術、ネットワーク技術、情報処理技術が進展し、スマートフォンなどの端末も普及していることで、適用範囲が広がる。インフラや身の回りの課題を解決できるため、身近な生活や仕事に関連したアイデアや、これまで想定できなかった新しいサービスのアイデアを比較的低コストで実現できるようになってきた。これらのアイデアを、様々な専門分野の人から多く出てくるようにすることが課題である。

2.2 M2M/IoT システムの応用事例

欧州電気通信標準化機構 (ETSI) では、M2M/IoT 技術の応用分野を、輸送・エネルギーなどのインフラ分野、産業オートメーション分野、安全・安心・健康・医療などの身の回りの分野等々で定義している⁽³⁾が、国内でも、IoT 推進コンソーシアムなどの活動が広がっており、応用事例の紹介も増えている。

M2M/IoT システムの応用を機能面から見ると、監視型、フィードバック型、データ活用型、混合型に分類することができる⁽⁷⁾。監視型は、センサーからのデータを収集することによって、収集結果をもとに、見える化などの処理を行い、閾値との比較により管理者に通知するなどの処理を行う M2M/IoT システムである。

フィードバック型は、監視型と同様、センサーからのデータを収集するが、単に管理者に通知するだけではなく、センサーの値に応じて積極的なフィードバック制御を行う。たとえば、温度センサーの値に応じて、ファンを回したり、エアコンのスイッチを入れたりすることが考えられる。

データ活用型は、センサーから収集した大量のデータをもとに、分析し、なんらかの異常状態の発見や予測を行う形態である。

混合型は、これら3つのタイプを併せ持つようなシステムであり、この型の応用システムの事例が今後増えてくることが望まれる。以下に、システム事例を述べる⁽⁷⁾。

2.2.1 農業分野における温室環境モニタリングシステム

これは農業用温室内の気温、湿度、二酸化炭素濃度、日射強度などの環境条件の計測・収集と、計測したデータに異常を検出した場合に電子メールによる通報を行うシステムである。図 2.2 にシステムの構成を示す。

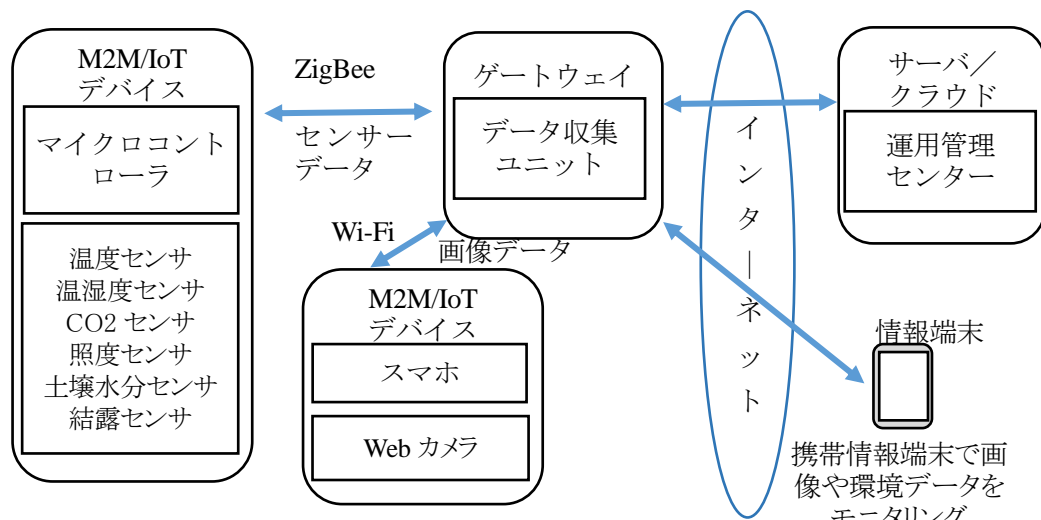


図 2.2 農業分野の応用事例—温室環境モニタリング・システム

図において、M2M/IoT デバイスとして、多数のセンサをマイクロコントローラで制御するセンサーユニットが温室内の複数個所に設置され、無線通信の ZigBee によって、ゲートウェイ装置であるデータ収集ユニットに送られる。このシステムではサーバ/クラウドの利用コストや通信コスト削減の観点から、データ収集ユニットでデータの蓄積と分析を行うこととしている。また、温室内に Web カメラを設置して、Wi-Fi 通信で画像データをデータ収集ユニットに送り、スマートフォンなどの情報端末から、遠隔地からセンサー値だけでなく、温室内の写真も見られるようにしている。

収集したセンサーデータの異常値に対して、メールで管理者に通知するほか、蓄積したデータをいろいろな観点から分析して、栽培に有用なデータを引き出すことが可能になっている。

今後は、さらに制御系システムを連携させ、温湿度、CO₂等の制御も行うことが期待されている。

2.2.2 エネルギー管理システムへの応用

2011 年の東日本大震災を契機に、省エネの機運が高まり、エネルギー管理システム (EMS : Energy Management System) が注目されている。電力需要家側のエネルギー管理は見える化と省エネ制御がある。

その中で、住宅に適用するのが HEMS であり、M2M/IoT システムの応用の 1 つである。図 2.3 に HEMS のシステム構成例を示す。

電気製品、メータ、蓄電池、エネルギー計測ユニットなどから、各機器の運転状態やデー

タを HEMS コントローラが集め、見える化し、エアコン、照明などの運転制御を行う。また太陽光発電や蓄電池または電気自動車がある場合は、発電や蓄電の状況を把握し、電力の切替制御なども行える。家庭内の電気製品が HEMS コントローラ下に接続されていることから、防犯・防災や見守りなどのためにも活用可能である。

HEMS コントローラは、クラウドと接続することで、家の外からもインターネット経由で状況を把握し、電源オンオフなどの制御を行える。また、電力スマートメータと接続して、電力会社と接続し、電力供給のコントロールが行われる。

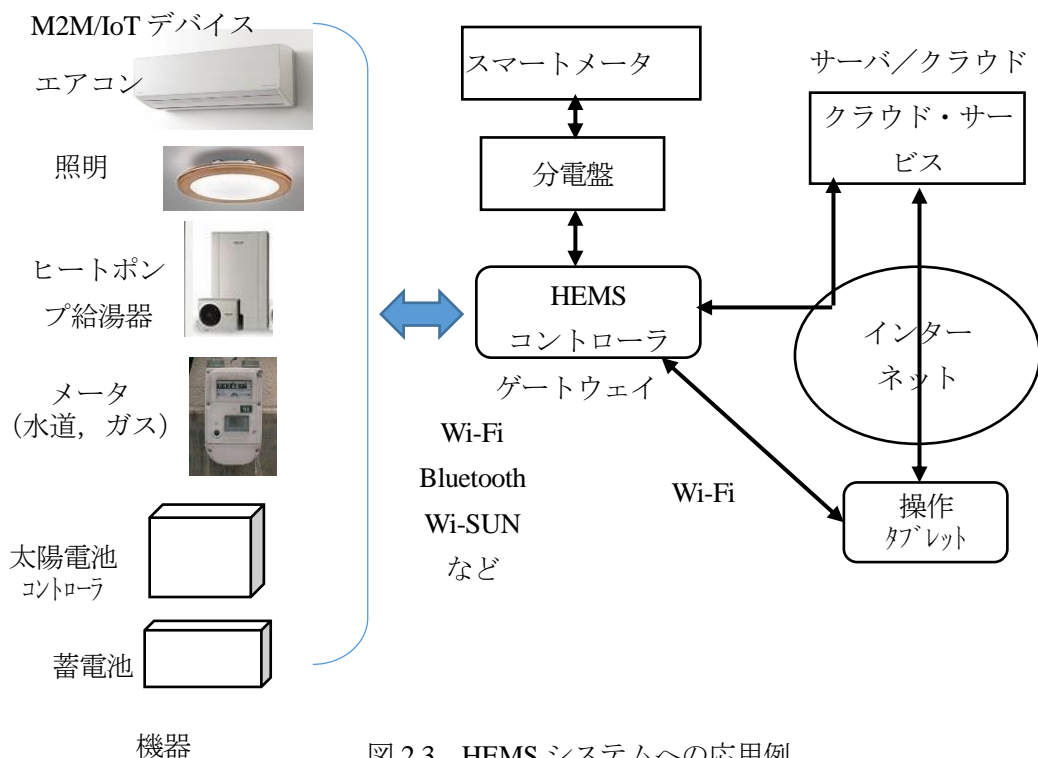


図 2.3 HEMS システムへの応用例

2.3 海外の動向

(1) インダストリー4.0 (ドイツ) ⁽⁸⁾

M2M/IoT が重要なキーワードになっているものの1つとして、ドイツが提唱し、推進している「インダストリー4.0」と呼ばれる産官学一体の産業改革プロジェクトがある。第4次産業革命とも呼ばれる。設計から製造までの工場の生産設備・機械、製造や物流の現場などをインターネットで結び、AIで自動管理することにより、製造業の生産性や効率性、柔軟性を飛躍的に高めようとする取組みである。センサーや IC タグを通じて実際の現場のデータを、インターネットで取り込み(Physical) , コンピュータでの情報処理(Cyber)と結びつけた CPS(Cyber Physical System)が基盤となっており、M2M/IoT が重要なキーワードとなっている。図 2.4 に CPS における M2M/IoT によるデータの流れを示す。生産におけ

るタテ方向(生産ライン/経営情報)とヨコ(企業間)の連携により、生産の最適化を狙う。設計情報、顧客要求仕様情報、要素技術情報、部品/ユニット・サプライヤー情報、製造情報などの情報を連携させて、カスタマイズ製品を大量生産並に作る。

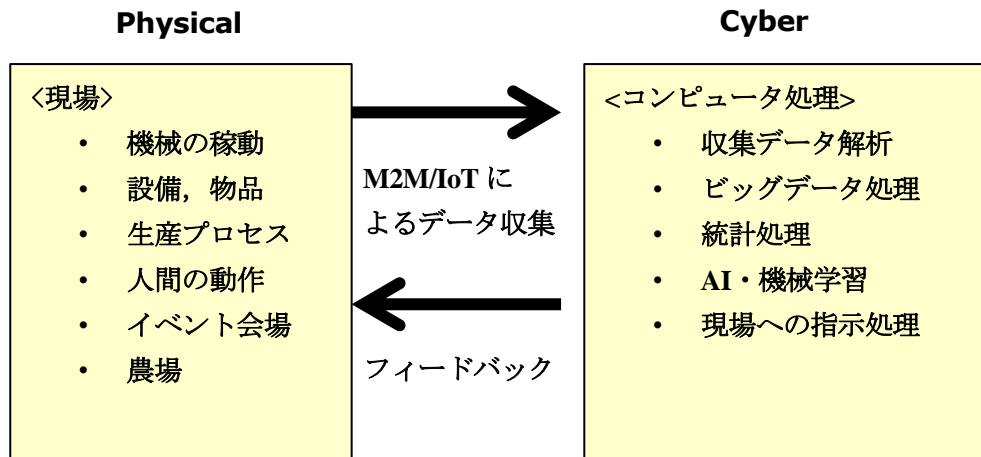


図 2.4 Cyber Physical System における M2M/IoT

(2) インダストリー・インターネット (米国) (8)

一方、米国では、インダストリー・インターネットを General Electric 社はじめとして企業が提唱しており、図 2.5 にその概念を示す。GE は、製造とサービスで成長させるとしており、インダストリー4.0 に対して、+αとして、IoT による新ビジネス創生、新

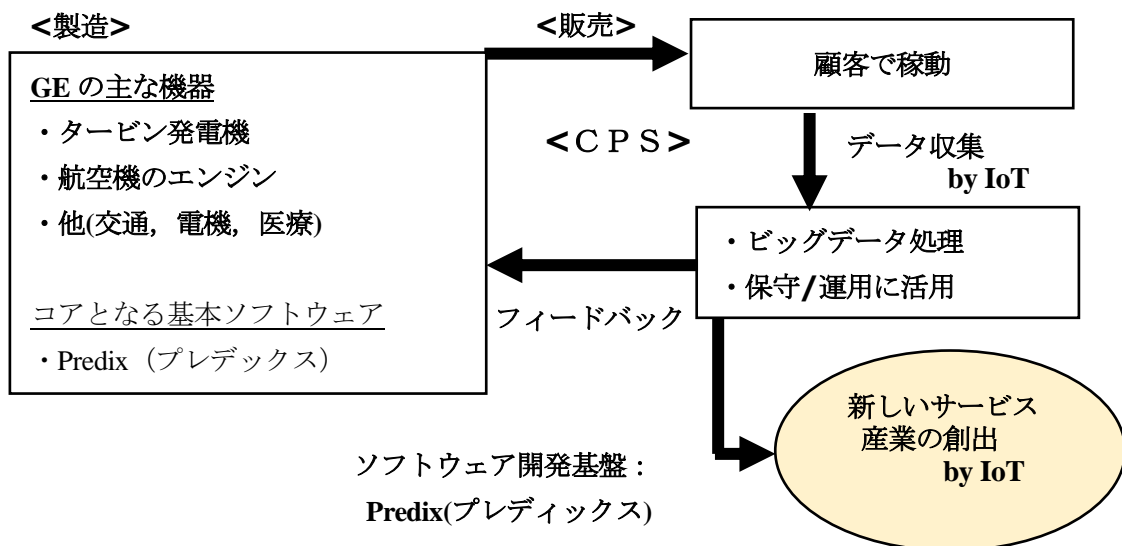


図 2.5 GE の Industry Internet

技術開発を新しいサービスの創出を視野に入れている。ここでも、M2M/IoT がそのキーワードとなっている。

2.4 M2M/IoT システム構築技術と構築における現状および課題

2.4.1 M2M/IoT システム構築技術

M2M/IoT システムの基本構成は、M2M/IoT デバイス、ゲートウェイ、ネットワーク、サーバ/クラウドから構成される。システムを設計し、構築するには、それぞれの構成要素の役割や利用する上での特徴を理解し、選択する知識や、構築上の様々な技術が必要である。図 2.6 に基本構成と主要な技術を示し、その特徴を述べる。

(1) センサー技術 M2M/IoT システムにおいて、価値あるデータを収集できるようにするには、センサー技術の理解が必要である。センサーには、機械的・物理的センサー、光・電磁波センサー、化学量センサー、音波・磁気センサー、GPSセンサーなどが代表的なものである。センサーを使ってどのようなデータを、どのように収集するかが重要となる。

(2) 機械制御技術 センサーからのデータを集め、そのデータを分析、可視化するだけでなく、デバイスにフィードバックしアクチュエータに何らかの表示や動作をさせることが M2M/IoT システムでは求められる。マイクロコントローラとセンサー、アクチュエータとの適切なインタフェースを使った制御技術が必要になる。

(3) 組み込みソフトウェア技術 M2M/IoT デバイスやゲートウェイには、センサーやアクチュエータの制御を行うためのプログラムを組み込むことが必要になる。このためにプログラミング技術が必要である。

(4) ネットワーク技術 ネットワークには、M2M/IoT デバイスとゲートウェイ間のエリアネットワークと、ゲートウェイとサーバ/クラウド間のアクセスネットワークの技術

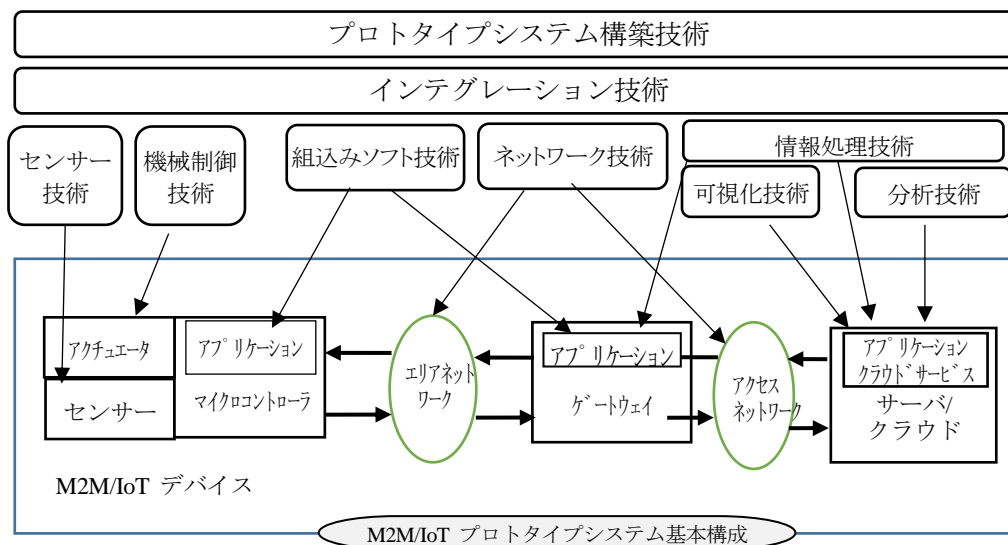


図 2.6 M2M/IoT システムの基本構成と要素技術

が必要である。エリアネットワークは、ZigBee, Bluetooth, Wi-SUN, Wi-Fi などの近距離ネットワークの技術の知識、技術が必要であり、アクセスネットワークでは、有線ネットワークのほか、WiMAX や LTE などの無線通信技術が必要になる。

(5) 情報処理技術 サーバやクラウドに収集したデータを蓄積し、分析・加工によって、意味のあるデータとして処理する。ソフトウェア開発技術が必要であるし、大量に集まってきたデータに基づいて、認識、分類、推薦、などの AI・機械学習処理もこの技術分野である。M2M/IoT デバイスやゲートウェイ上でもプログラムを書くために、情報処理技術が必要であり、サーバ/クラウドに送信する前のフィルタリングや変換処理もプログラムによって実現することになる。

(6) 分析技術 センサーから得られたデータは、温度や湿度のようなそのままの意味のあるデータとは限らない。他のセンサーデータとの関係で、どのような状態や状況を収集するための分析技術が必要である。またサーバに集まった大量のデータから、なんらかの知見を得るための分析技術も必要である。

(7) 可視化技術 一般にセンサーデータを見える化することによって、監視し次のアクションにつなげることができる。このための可視化技術が重要である。意味のあるデータをわかりやすく表示する装置や技術が必要になる。

(8) インテグレーション技術 最終的に、システムとして完成させて、実利用できるようにするには、M2M/IoT を構成する複数の要素をバランスよくインテグレーションし、価格や性能、寿命、保守などを設計する技術が必要である。

(9) プロトタイプシステム構築技術 製品を構築することに比べて比較的短期間で構築、検証ができるプロトタイプシステム構築は、作ることによって理解を深めることや、アイデアを創出すること、新しい研究テーマの発掘、製品化のための課題抽出などの意義がある。M2M/IoT システム全体のプロトタイプ構築の技術が必要である。

2.4.2 M2M/IoT システム構築の現状と課題

システム構築のための要素技術は広範囲であり、システムを最初から設計・構築するには、時間も労力もかかる。現状、低価格のセンサーや LED ランプ等と、それを制御する Arduino などのマイクロコントローラ、Raspberry Pi などのボードコンピュータも低価格で入手できるようになってきた。そのため、簡単な電子工作キットからによる M2M/IoT プロトタイプシステム構築ツールなどが、出現してきている。M2M/IoT システムとしてカバーするシステムの構成範囲や機能範囲などのレベルを縦軸にし、構築者の専門分野を横軸にして、M2M/IoT プロトタイプ構築ツールをマッピングした図を、図 2.7 に示す。図における電子工作キット⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾や LEGO マインドストーム⁽¹¹⁾などは、デバイス側に着目した製品であり、センサーや LED ランプなどを組合せて、M2M/IoT プロトタイプシステムにおける M2M/IoT デバイスの構築を容易にし、その働きを理解するためのものである。クラウドに接続する機能を持つものもあるが、構成も機能も限定されたものとなり、M2M/IoT システ

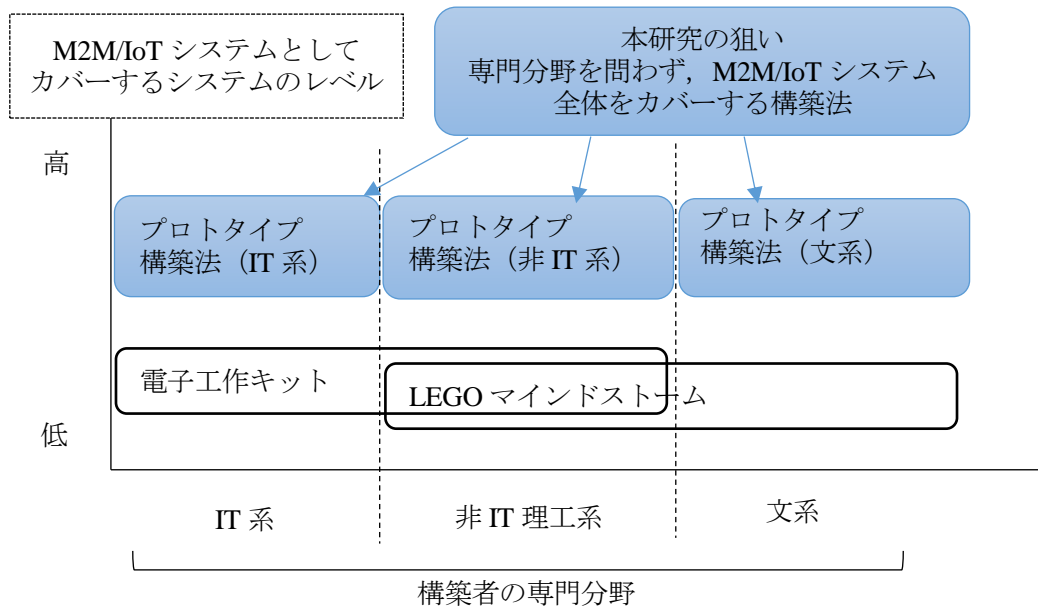


図 2.7 M2M/IoT システム構築ツールと本研究対象の位置づけ

ム全体をカバーすることはできない。また、M2M/IoT システム構築は、一般に IT に強い IT 系を専門とする人たちによって構築されることが多く、非 IT 理工系や文系向けのプロトタイプシステム構築法というものはあまりない。LEGO マインドストームなどの製品は、構築者の専門分野は意識せず、こどもから大人までが楽しみながら学習するツールであるが、上述の通り、M2M/IoT デバイスの構築に限定される。

本研究では、図の塗りつぶし部分を対象とし、M2M/IoT システム全体をカバーし、構築者の専門分野ごとに構築が容易になる構築法を対象としている。

専門分野を IT 系だけでなく、非 IT 理工系や文系まで広げることには、もう 1 つの意義がある。それは、各専門分野によって、応用の創出範囲が違うということである。すなわち、IT 系は、IT 技術に係わる課題解決や応用が得意である。非 IT 系の電気・機械・農業などの専門知識がある人は、それらの分野での課題を解決する応用に広げることができる。さらに、文系の社会（健康・介護）、教育、経営他の分野の人は、理工系では思いつかない課題解決やサービスを創出できる可能性が高い。従って、本研究における構築法は、各専門分野を対象とした構築法として提案している。

M2M/IoT システムを構築する上での構築法の課題を、まとめると、以下に示す通りである。

- ① システム構築のための要素技術は広範囲であり、システムを最初から設計・構築するには、時間も労力もかかる。現状の構築手段は、M2M/IoT デバイス周辺の電

子工作キットのようなものは多いが、M2M/IoT システムを構成する要素全体をカバーするプロトタイプシステム構築法がない。

- ② 電子工作のようなものづくりは、電子回路の知識がない人にもできる方法が提供されているが、サーバ/クラウドまでを含む M2M/IoT システム全体をカバーするシステム構築ツール⁽¹²⁾は、IT エンジニア向けソフトウェア開発ツールとなり、IT エンジニア以外が比較的簡単にプロトタイプを構築するには向いていない。様々なアイデアを創出するためには、専門分野ごとのプロトタイプ構築方法が必要である。
- ③ M2M/IoT に関するアイデアを思いついても、それを深掘りして、アイデアをより現実的で、有効なものに仕上げていくような、プロトタイプ構築手段がない。
- ④ M2M/IoT システムが普及し、新しいサービスを実現する上では、サーバ/クラウド側のアプリケーション処理も重要になる。M2M/IoT デバイスやゲートウェイと連携する多様なアプリケーションの開発生産性を高めることが必要となる。

2.5 ものづくり教育の課題と M2M/IoT システム

ものづくり産業は、非製造業に比べて付加価値が高く、国内の基幹産業として、輸出額に占める割合や GDP に占める割合が高く、雇用への波及効果が高い。このため、ものづくり産業を支える人材を育成・確保していくことが重要である⁽¹³⁾。

ものづくりを支える人材を育成するためには、ものづくりの基盤を支える人材と、基盤をもとに新しいアイデアを発想し、製品やサービスに結び付けていく人材が必要である。図 2.8 に、その内容・狙い、付加価値、必要な知識・技能を示す。図において、①は、基盤力の獲得であり、ものづくりに必要な生産あるいは製造の個々の技能を学ぶ教育である。これらは、機械加工や電子・電気機器組立などを含む、ほぼ確立された技能であり、国家検定制度などもおこなわれている。一方、図の②は、応用力の獲得であり、知識・技能を活用し、創意工夫して、製品やサービスのものづくりができる能力の獲得のための教育である。大学や高専でのものづくりは、技能検定等の職業教育や研究対象として展開されることが多い⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾が、ロボットコンテストなどのように、ものづくり自身の楽しさを体験し、発想する事の大切さを学ぶ機会も増えている。また、PBL(プロジェクトベース・ラーニング)などの取組みも増えてきている⁽¹⁶⁾。

	内容・狙い	付加価値	必要な知識・技能
① 基盤力	ものづくりの技能の獲得	品質, 性能	機械・電気・電子等の知識 それぞれの分野のものづくり技能
② 応用力	知識・技能を活用し, 創意工夫して, 製品やサービスのものづくりができる能力の獲得	システム製品やサービス	機械・電気・電子・制御・通信・組込みソフト等の技術 まとめあげる力

図 2.8 ものづくり教育の2つの狙い

ものづくり白書⁽¹³⁾によれば、「ものづくり産業において、企業が成長分野に進出していくことに併せて、労働者も能力開発によって新たな能力を獲得し、人材力を強化していくことが重要であり、ものづくり人材の育成は必要不可欠である。」とされている。また、国外では実習や実験を重視し、ものづくりの基本から高いレベルの理論まで深められるカリキュラムを持つ、高等専門学校の海外版が、製造業の発展とエンジニアの育成のためにアジアで注目されている⁽¹⁷⁾。また、企業のグローバル化の視点では、より高水準の「ものづくり」と「マネジメント」を遂行する人材育成への、積極的な取り組みが報告されている⁽¹⁸⁾。このように、次世代を担う人材育成のために、ものづくり教育が必要である。

ものづくり教育には、機械工作、電気機器、情報通信機器の設計・工作や情報システム構築が取り上げられることが多い。M2M/IoT システムのように複数の技術分野にまたがったシステムを対象としたものづくり教育ができれば、応用力の獲得という面で、システムとしてのものづくり技術者の養成のほか、各技術分野の課題解決や、ものづくり体験を通して新しいアイデアの発想やニーズ発掘の可能性がある。

しかし、M2M/IoT プロトタイプシステム構築をものづくり教育に活用するには、次のような課題がある。

- ・電気、電子、通信、情報系などの複数の分野の技術から構成される M2M/IoT システムを最初から構築するには、それぞれの要素技術を習得し、全体のシステムをどうするかを設計して進める必要があるが、これでは時間がかかり、ものづくり教育には使えない。

- ・M2M/IoT システムは、いろいろな分野での応用が考えられ、そのため理工系や、IT に強い情報通信系のエンジニア以外からのアイデアも貴重であり、そういう人からのアイデアも創出されるような工夫が必要である。

・専門分野の異なる人に対して、ものづくり教育として、M2M/IoT プロトタイプシステム構築を利用するためには、専門分野ごとに、方法を工夫することが必要である。

以上の課題を解決できれば、M2M/IoT プロトタイプシステム構築は、M2M/IoT を構成する技術を学習でき、全体システム面からものづくりを捉える能力を育成するのにふさわしい。

2.6 M2M/IoT システム構築技術と応用のアイデア実現の課題

2.6.1 プロトタイプシステム構築の意義と課題

M2M/IoT システムが多くの技術の融合であり、複数の構成要素からなることから、その設計・構築のためには、プロトタイプ構築が有効である。図 2.9 にプロトタイプの目的と位置づけを示す。製品開発におけるプロトタイプシステム構築の目的は、アイデアを形にし、動かしてみることで、機能の検証、システムの実現性や実現上の課題や実現した後の運用や保守上の課題を明らかにすることである。さらに、M2M/IoT のようなシステムの場合、いろいろな技術要素からなり、構成要素も多いことから、そのプロトタイプ構築体験によって、M2M/IoT の基本知識や構成技術の習得にも効果があると考えられる。プロトタイプの結果を元に、構成要素の変更、構成要素自身の改善、新しいアプリケーションのアイデアの創出なども期待できる。

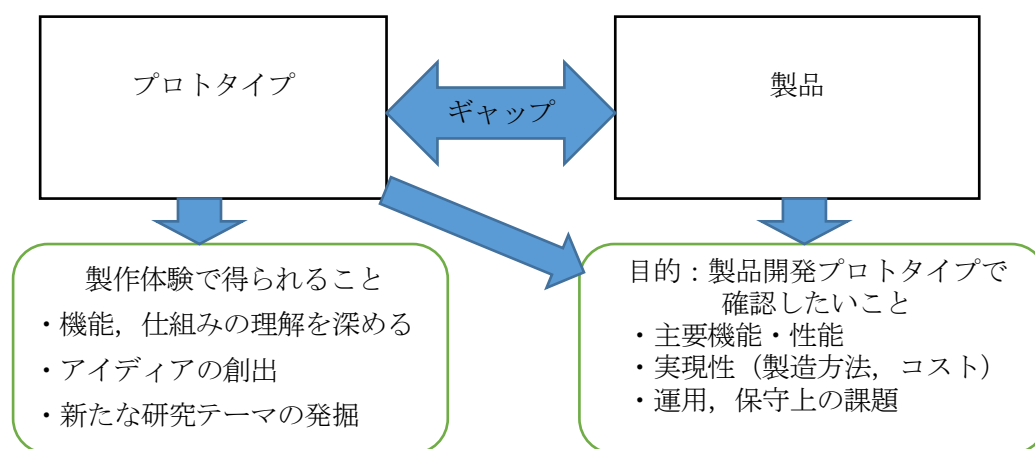


図 2.9 プロトタイプの目的と位置づけ

プロトタイプ構築に関する課題をまとめると、次の通りである。

- ① 現状の M2M/IoT プロトタイプシステムの構築手段は、M2M/IoT デバイス周辺の電子工作キットのようなものは多いが、M2M/IoT システムを構成する要素全体をカバーするプロトタイプシステム構築法がない。
- ② サーバ/クラウドまでを含む M2M/IoT システム全体をカバーするプロトタイプ構築ツールは、IT エンジニア向けソフトウェア開発ツールとなり、IT エンジニア

以外が比較的簡単にプロトタイプを構築するには向いていない。様々なアイデアを創出するためには、専門分野ごとのプロトタイプ構築方法が必要である。

2.6.2 アイディア実現の意義と課題

M2M/IoT が重要な役割を果たす主要な市場としては、健康医療、輸送、エネルギー、セキュリティ/監視、安全や交通などの公共サービス、小売業、POS (Point of Sales) システム、自動販売機、ビルの制御/管理、産業オートメーションにおける制御系、ホームオートメーションにおける制御系、農業などがあげられる。このように身近な応用も多く考えられる。また、それぞれの業務に携わっている人たちは、具体的な課題や改善のアイデアを持っていることが多い。アイデアを形にしてみることで、他の人の意見も得られ易くなり、さらなる工夫やアイデアへのフィードバックによる改善が可能になるはずである。

しかし、アイデアを持っている人や考えられる人が必ずしも、M2M/IoT の知識を持っているとは限らない。また、多少知識があっても、構築するまでには至らない場合も多いと想定される。このため、せっかくアイデアがあっても、それが実現されないままとなる場合も多い。しかし、アイデアを基に、M2M/IoT プロトタイプシステムを構築する手段の研究はあまり見られない。

アイデア実現に関する課題をまとめると、次の通りである。

- ① M2M/IoT に関するアイデアを思いついても、それを深掘りして、アイデアをより現実的で、有効なものに仕上げていくような、比較的簡単にプロトタイプ・システム構築ができる手段がない。
- ② M2M/IoT システムが普及し、新しいサービスを実現する上では、サーバ/クラウド側のアプリケーション処理も重要になる。M2M/IoT デバイスやゲートウェイと連携する多様なアプリケーションの開発生産性を高めることが必要となる。

以上の M2M/IoT システム構築の現状と課題を図 2.10 にまとめる。

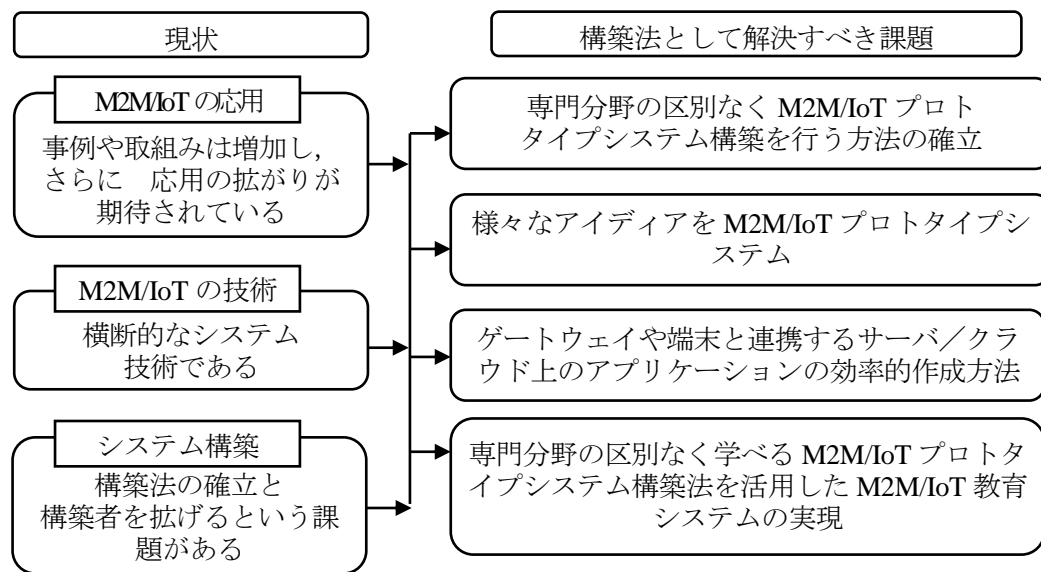


図 2.10 M2M/IoT システム構築の現状と課題のまとめ

3. M2M/IoT プロトタイプシステムの構築法の提案と実装

本章では、M2M/IoT プロトタイプシステムの構築法について論じる。オープンハードウェア、オープンソフトウェアを利用し、提案する構築法に則って構築体験をすることにより、アイデアやニーズの創出を目指す。またアイデアを基に構築することにより繰り返しアイデアのブラッシュアップができるようにする。さらに M2M/IoT デバイスと連携するサーバ/クラウド上のアプリケーション自動生成により、M2M/IoT システム構築の生産性向上を目指すとともに、その実装応用事例について論じる。

3.1 節では、アイデア創出を目指した M2M/IoT プロトタイプシステムの構築法の提案と実装、3.2 節では、アイデアを基に M2M/IoT プロトタイプシステムを構築する手法の提案と実践、3.3 節では、3.3.1 項で、M2M/IoT プロトタイプ構築におけるサーバ/クラウド上でのアプリケーション自動生成機能と実装について論じ、3.3.2 項でその応用事例について論じる。

3.1 アイデア創出を目指した M2M/IoT プロトタイプシステムの構築法の提案と実装

3.1.1 はじめに

近年、M2M/IoT 技術は、多くの分野に応用できるようになっている。その理由は、対象とする機器などの状態を検出するセンサー技術が進化し、あらゆる場所からデータを収集できるネットワーク技術が発展し、さらにクラウドコンピューティングが進化したからである。

M2M/IoT 技術の活用は、適用分野も技術範囲も広い。このため、具体的に活用するためのアイデアやニーズの創出は、重要な課題である。M2M/IoT は複数の技術を体系的に組み合わせる必要があるため、M2M/IoT システムの設計や構築には習得すべき知識が多い。従って、期間も費用もかなりかかることが多い。しかし、オープンハードウェアとソフトウェアを活用したプロトタイプ構築法が実現されれば、構築者は比較的短期間で M2M/IoT プロトタイプ・システムシステム構築の体験ができる。これにより、構築者は M2M/IoT システムを理解ことができ、アイデアを創造することができるようになる⁽¹⁾。また、IT 系以外や文系でも構築できる M2M/IoT プロトタイプ構築方法によって、構築者は、自身の専門分野における課題の解決や専門分野のアイデアおよびニーズを創出できるようになる⁽²⁾。

本節では、IT 系、非 IT 系、文系の 3 分野を対象とする、M2M/IoT 応用システムのアイデア創出を目指した「分野別プロトタイプシステム構築法」を提案する。本構築法において、M2M/IoT プロトタイプの基本構成を定義する。プロトタイプ構築者は、この基本構

成に基づき、実装技術を元に M2M/IoT システムのプロトタイプを構築する。プロトタイプピングの内容や構築の手順は、それぞれの専門分野ごとの理解度に基づき、定義される。基本構成の、センサー、アクチュエータ、M2M/IoT デバイスエンジン、ゲートウェイ、及びサーバ/クラウドなどの構成要素として、オープンハードウェア、ソフトウェアから選択する。センサーやアクチュエータには多くの種類がある。提案する構築法は、それらを容易に扱えるように、M2M/IoT デバイスの実装フレームワークを持つ。構築法および実装フレームワークによって、プロトタイプ・システムの構築を行い、構築者は、プロトタイプを作成した体験に基づいて、プロトタイプの拡張や、自己の持つ専門分野に関する課題解決のためのアイデア創出やニーズ発掘を行うことができる。

本研究では、本提案の構築法を IT 系以外の理工系の構築者、非理工系の構築者、文系の構築者を対象に実践適用し、その評価を行った。

3.1.2 M2M/IoT の概要とプロトタイプピング

(1) M2M/IoT システムの概要

近年、人手を介さずにセンサーや機器をインターネットに接続し、様々なサービスを提供する M2M/IoT が、注目を集めている。

M2M/IoT システムの概要を図 3.1 に示す。図において左に示すデバイスは各種センサーやアクチュエータなどを搭載した装置である。デバイスからのデータはエリア・ネットワーク、ゲートウェイ・プロセッサ (GWP)、そしてアクセス・ネットワークを経由してサーバまたはクラウドに送信される。サーバ/クラウド上の情報システムによって集められたデータは、可視化、分析などの処理をされ、デバイスにフィードバックされ、制御される。

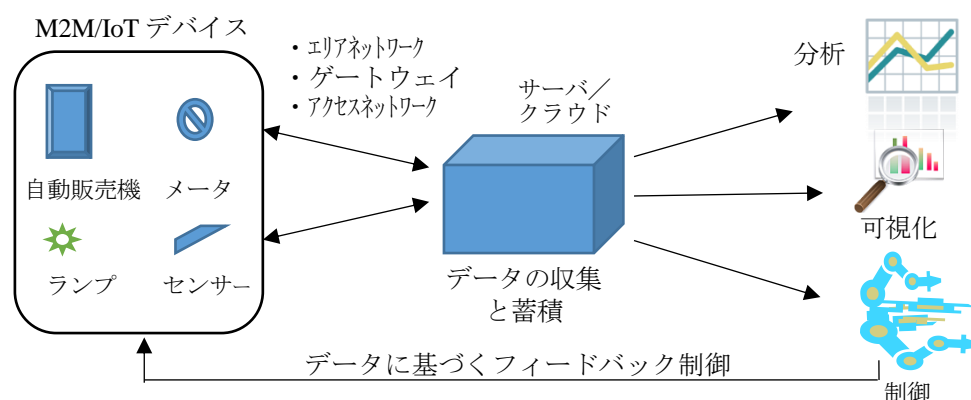


図 3.1 M2M/IoT システムの概要

(2) M2M/IoT システム構築における課題

M2M/IoT システムは、図 3.1 に示したように、複数の構成要素からなる。このため、構

築するには、それぞれの要素技術を習得し、全体のシステムを設計して進める必要がある。これらは、主として IT 系の理工系技術者の得意とする分野である。しかし M2M/IoT は、いろいろな分野での活用が考えられるため、IT 系以外のいろいろな分野の人のアイデアが、貴重である。M2M/IoT の基本技術を理解し、M2M/IoT 応用システムのアイデアを創出するためには、実際に M2M/IoT のプロトタイプシステムを構築することが重要である。

M2M/IoT に関する研究の分野では、センサー、エリア・ネットワーク、ゲートウェイ、サーバとのインタフェース、そしてサーバ上の M2M/IoT サービスなど、個々の技術分野の課題解決に関する研究が多い。しかし、M2M/IoT システム全体のプロトタイプを、比較的容易に作成するような構成や手順は示されていない。

また、近年、技術の発展により、小型化、低価格化が進んできたセンサーやアクチュエータは、M2M/IoT システムの応用を考える上で重要な構成要素である。プロトタイプにおいても、M2M/IoT デバイスを制御するエンジンでいろいろなセンサーやアクチュエータを扱えることが必要である。しかしながら、このための仕組みと構築方法が明確になっていない。

また、ゲートウェイは、センサーやアクチュエータを装備した M2M/IoT デバイスとサーバ/クラウドとの間で、主として、M2M/IoT デバイスとの送受信とサーバ/クラウドとの送受信処理を行う。その際、センサーから受信したデータのフィルタリングや、サーバ/クラウドに送信するデータの加工などを行う。M2M/IoT デバイスとゲートウェイの間は、エリアネットワークで接続される。その通信方式には、ZigBee⁽³⁾、Bluetooth⁽⁴⁾、Wi-Fi や最近では WI-SUN⁽⁵⁾などの多くの通信方式がある。また、サーバ/クラウドとゲートウェイの間は、インターネット接続である。M2M/IoT システムにおけるインターネット・プロトコルとして、HTTPS/HTTPS だけではなく、WebSocket や MQTT (Message Queue Telemetry Transport) などの双方向通信ができるプロトコルが必要とされるケースが多い。構築者は、いろいろなクラウドサービスを使用する場合、そのサービスに応じた API (Application Interface) を使う必要がある。以上のように、構築者は、システムのニーズに応じて、いろいろな通信方式やプロトコルや API などを使い分けることが必要である。構築者は、プロトタイピングによって、クラウドサービスやアプリケーション処理の有効性や機能や性能を検証する。プロトタイプの構築において、ゲートウェイ上のアプリケーションを効率よく構築するための仕組みや標準的な構築方法を明確にできれば、ゲートウェイ処理で最小限必要なプログラミングを容易にすることができる。

このようにプロトタイプ構築では、基本構成を定義し、いくつかの要素をブラックボックス化することや、プログラミングが必要な場合にフレームワークを適用するなどの方法によって、構築を簡単化することが可能である。それによって、構築者は、M2M/IoT システムを理解し、構成要素の役割を理解でき、応用を考える基礎的な知識を得ることができる。

3.1.3 M2M/IoT プロトタイプ構築法の提案

M2M/IoT 応用システムのアイデア創出を目指したプロトタイプ構築法を提案する。本構築法では、構築者は、M2M/IoT プロトタイプの基本構成に沿って、自己の専門分野に応じた内容、手順でプロトタイプを作成する。これにより、M2M/IoT システムを理解することができ、また専門分野ごとの課題を解決するアイデアの創出やニーズ発掘を行うことができる。

(1) M2M/IoT システムの構成と構築法

図 3.2 に、M2M/IoT プロトタイプ・システムの基本構成とその狙いを示す。図において、下側は構成要素の選択肢、中央が M2M/IoT プロトタイプシステムの基本構成、上側がプロトタイプ構築の狙いを示す。構成要素は、オープンハードウェア、ソフトウェア、クラウドサービスを含む。構築者は、この構成に基づいて各要素を選択し、組み合わせることによって、比較的簡単に、かつ安価に構築を実現することができる。図の中央の M2M/IoT プロトタイプの構成は、一連の流れを体験できるように構成されている。一連の流れとは、各種のセンサーからデータを取得し、ゲートウェイを経由してサーバ/クラウドにデータ

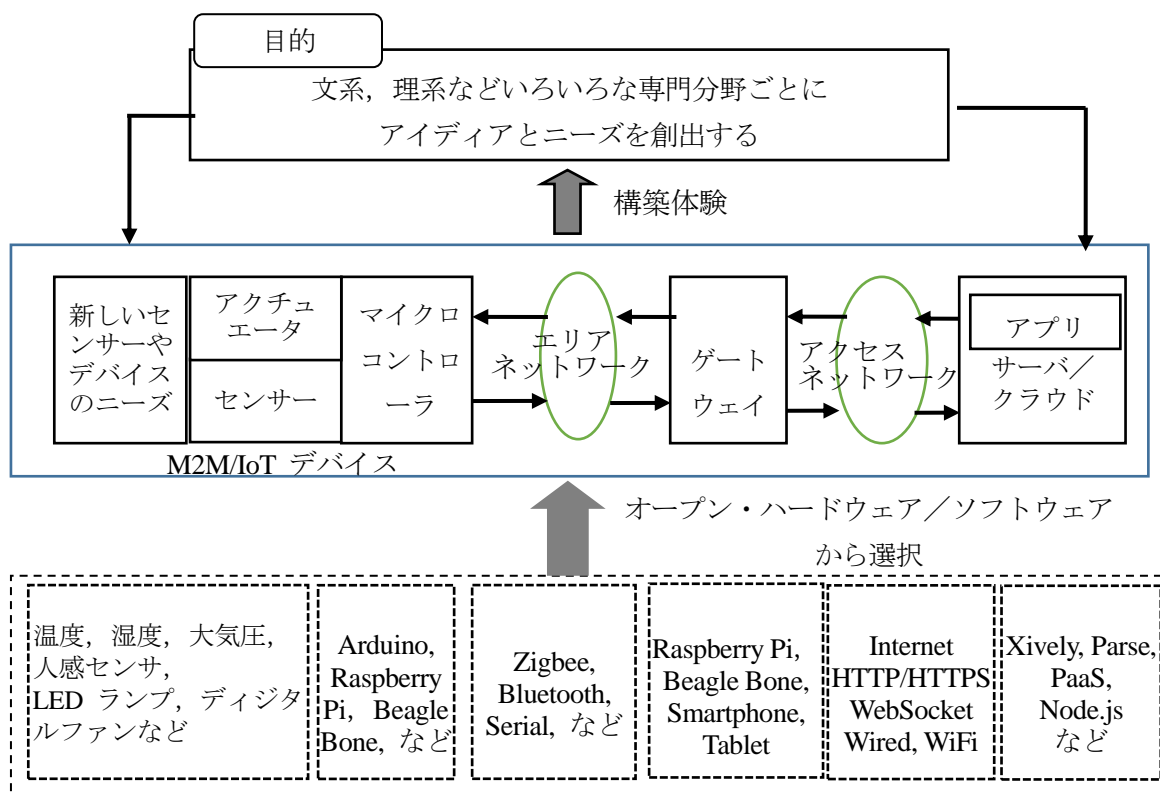


図 3.2 M2M/IoT プロトタイプシステムの基本構成と構築目的

を蓄積し、それをフィードバックしてアクチュエータに出力するという流れである。ゲートウェイのアプリケーションは、M2M/IoT デバイスとの通信や、データのフォーマット変換などの処理や、サーバ/クラウドとのインターネット通信処理を行う。ゲートウェイを経由することによって、M2M/IoT デバイスごとにサーバ/クラウドとの通信手段を持つ必要がない。このため、M2M/IoT デバイスの処理負荷と消費電力を軽減することができる。サーバ/クラウド上のクラウドサービスまたはアプリケーションは、データの蓄積、変換、分析などの処理を実行する。サーバ/クラウドでの処理の結果によって M2M/IoT デバイス側へフィードバックする場合は、サーバ/クラウドのアプリケーションはゲートウェイを経由して M2M/IoT デバイスへ指示を送信する。それを受信した M2M/IoT デバイスでは、アクチュエータに対して指示を出す。

本論文で提案するプロトタイプ構築法は、IT 系、非 IT 系、文系の 3 分野を対象とする「分野対応プロトタイプシステム構築法」と命名する。「分野対応プロトタイプシステム構築法」の全体を図 3.3 に示す。図において、プロトタイプシステム仕様からプロトタイプ構築完成までを、①構成要素・実装技術マトリクス、②分野別理解度表からのプロトタイプ仕様決定、③オープンハードウェア・ソフトウェアの技術資産データベース、④構成決定支援ツール、⑤イベント処理フレームワーク、⑥段階的機能積上げ法 を使って、手順書に則って構築していくことでプロトタイプシステムが完成するようにしている。その結果、IT 系以外の人も構築可能となり、構築体験から、構築者が新たなアイデアを創出することを狙う。

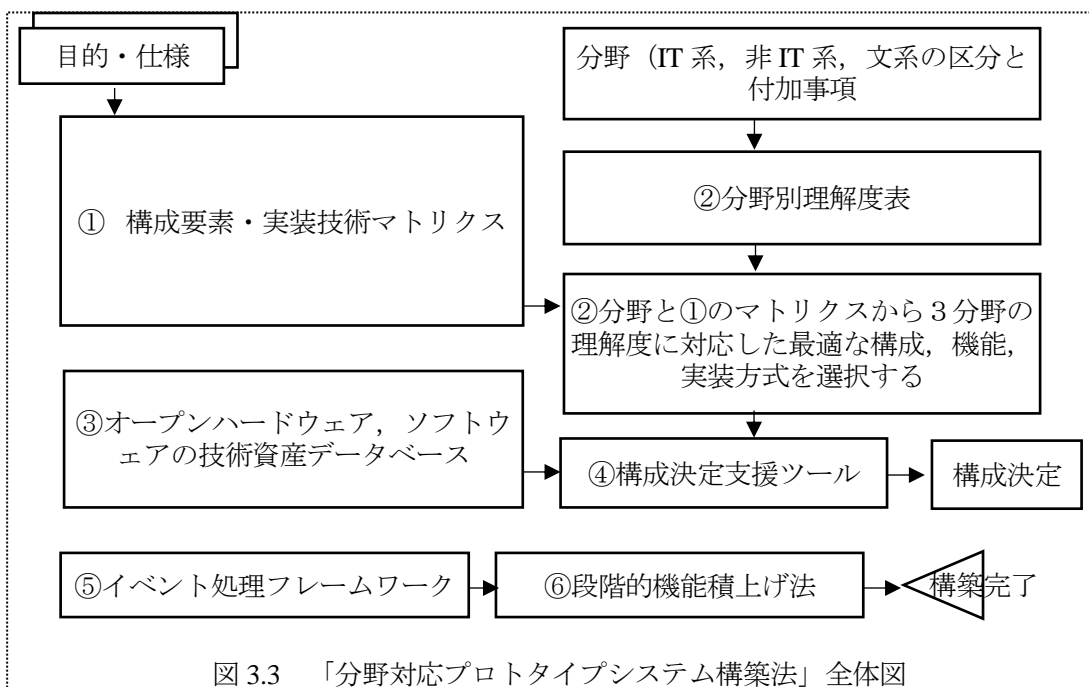


図 3.3 「分野対応プロトタイプシステム構築法」全体図

(2) プロトタイプ構築における構成要素と実装技術との関連

(構成要素・実装技術マトリクス)

M2M/IoT システムは、複数の要素から構成されるため、どの構成要素でどのような機能が実現できるかを知ることは、M2M/IoT を理解する上でもアイデアを考える上でも重要である。このために、構成要素と実装技術分野と構成要素との関係の表 3.1 にマトリクスとして示す。図において、(i) ～ (vii)に実装技術分野を示す。また、それぞれの実装技術分野が、M2M/IoT システムのどの構成要素と関係するかを、I/F のみ（インタフェースのみを知っていればよい）、機能（外部機能を知っていればよい）、構造（内部構造まで知っている必要がある）で示す。これらは、構築者の専門分野別にどこまで知っている必要があるかを示すものである。

(i) ～ (vii)で示す各技術分野に対して、それがどの構成と関係するか、実現機能に対して何が重要か、その際の留意点等を、以下に記述する。

(i)センサー技術 構成要素の M2M/IoT デバイスに位置づけられる。設置する現場からどんなデータを採取したいかに基づいて、センサーの種類や機能、性能を選択する。センサーの活用を重視したアイデアの場合、この選択が重要となる。

(ii)機械制御技術 機械制御として実際に駆動するモータなどのアクチュエータの制御は、M2M/IoT デバイスが行い、ゲートウェイは、そのための情報をクラウドからの通知によって、ゲートウェイが判断して M2M/IoT デバイスに伝える。この場合、ゲートウェイ上に機械制御のためのプログラムを書く必要がある。

表 3.1 プロトタイプ構築における実装技術要素と構成要素の関係

M2M/IoT システム 実装技術分野	構成要素														
	M2M Device			Area Network			Gateway			Access Network			Server/Cloud		
(i)センサー技術	I/F のみ	機 能	構 造												
(ii)機械制御技術	I/F のみ	機 能	構 造				I/F のみ	機 能	構 造						
(iii)ネットワーク技術				I/F のみ	機 能	構 造				I/F のみ	機 能	構 造			
(iv)組込みソフト技術	I/F のみ	機 能	構 造				I/F のみ	機 能	構 造						
(v)情報システム技術							I/F のみ	機 能	構 造				I/F のみ	機 能	構 造
(vi)データ分析等 アプリケーション技術							I/F のみ	機 能	構 造				I/F のみ	機 能	構 造
(vii)全体統合・構築技術	I/F のみ	機 能	構 造	I/F のみ	機 能	構 造	I/F のみ	機 能	構 造	I/F のみ	機 能	構 造	I/F のみ	機 能	構 造

(iv)組込みソフト技術 組込みソフトは、M2M/IoT デバイスのエンジン、およびゲートウェイに組み込むプログラムである。M2M/IoT プロトタイプシステム構成を決定する際は、その上でどのような処理を行うかを想定して決定する。

(v)情報システム技術 ゲートウェイまたは、サーバ/クラウド上のアプリケーションである。組込みソフトと同様、M2M/IoT プロトタイプシステム構成を決定する際は、この上でどのような処理を行うかを想定して決定する。

(iii)ネットワーク技術 ネットワークは、M2M/IoT システムの構成要素の中では、M2M/IoT デバイスとゲートウェイ間のエリアネットワークと、ゲートウェイとサーバ/クラウド間のアクセスネットワークが関係する。

(vi)データ分析等アプリケーション技術 ゲートウェイおよびサーバ/クラウドのアプリケーションの一種であるが、特にビッグデータの分析として、機械学習等の技術もあり、情報システムと分けて分類する。

(vii)全体統合・運用技術 構成要素の負荷バランス、性能、運用、保守など全体システムとしての設計技術

(3) 専門分野の知識・技術のマップ (分野別理解度表)

図 3.4 に M2M/IoT システム構築技術と、構築者の専門分野ごとの知識レベルの関係を示す。システム構築技術は、応用技術 1、応用技術 2、システム技術、デバイス技術の 4 区分に分け、その内容を記している。構築者の専門分野ごとの知識レベルを、I/F のみ知っ

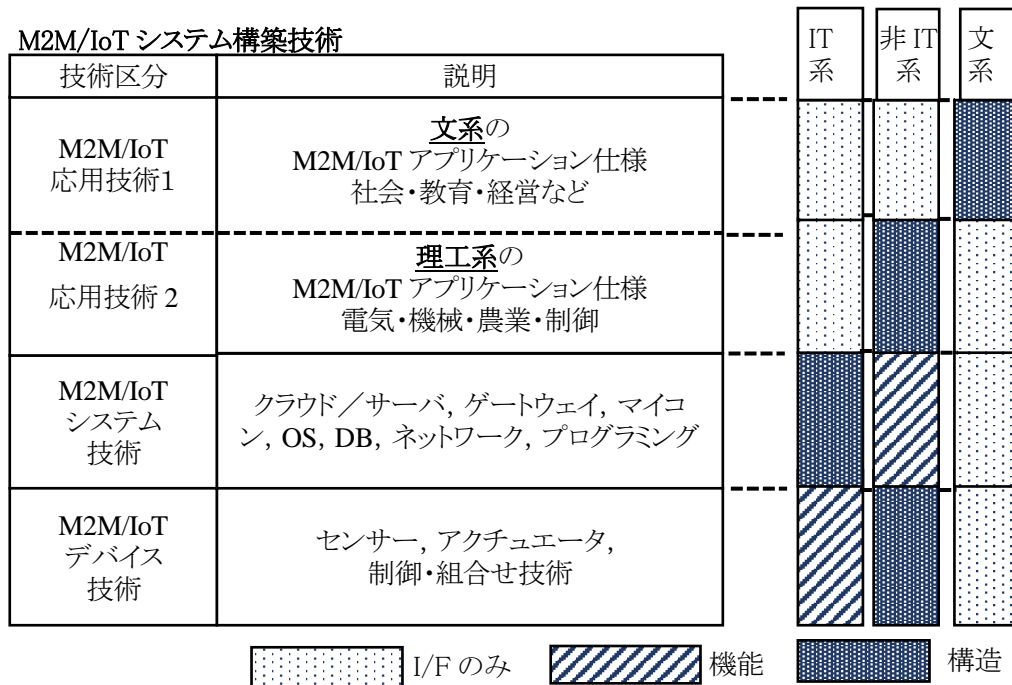


図 3.4 M2M/IoT システム構築技術と専門分野別知識・技術理解度の関係

ている、機能まで知っている、内部構造まで知っているの3つに区分している。インタフェースのみ知ることで、最低限の構築に必要な技術を知ることができ、内部構造まで知る構成要素については、プロトタイプ構築を通して、その構成要素に関連する部分のより具体的なアイデアやニーズが発掘できることになる。

(4) 専門分野ごとのプロトタイピング内容

M2M/IoT システムの仕組みを理解するためにそれぞれのプロトタイプの構成は基本構成に従うこととし、専門分野や知識に応じて、上記の(2)で述べた構成要素・実装技術マトリクスと(3)で述べた分野別理解度表から、構成要素を選択し、実装内容を決めてプロトタイピングを比較的容易にできるようにする。構成要素を決める上では、図3.3で示した本研究で開発した構成決定支援ツールを利用することで、的確にかつ効率よく構成を決定できる。

情報通信分野のIT系を対象とするプロトタイピングの場合は、ITアーキテクチャやプログラミングの専門性が高いことから、M2M/IoTシステムの動きを体験した上で、システム実現上の課題や性能的な要件を解決するヒントになるM2M/IoTプロトタイプ・システムを構築する。ゲートウェイとサーバ間の通信方式の工夫などもその1つである。

電気・電子、機械などの理工系の場合は、センサーやアクチュエータを自己の専門分野に使えるものを使用し、ゲートウェイはボードコンピュータを使って実現することで、より実用的で自己の専門分野に発展できそうなプロトタイプとする。たとえば、植物の生育をコントロールするために、照度によってLEDの明るさを制御するようなプロトタイピングを体験する。

文系を対象とするプロトタイピングについては、M2M/IoTシステムの仕組みを理解することが目的であり、結果を確認しやすいセンサーやアクチュエータを用い、ゲートウェイはパソコンを使い、データの蓄積と、わかりやすい表示ができるクラウドサービスを用いて実現する。プログラムはブラックボックスとしてサンプルプログラムを用い、新たにプログラムを作成しなくてもよいようにする。

(5) アイディアの創出と目指すアプリケーション

プロトタイピングにより、各専門分野の課題やニーズから発想するアイデアの創出を目指す。アイデアの創出の方法は、プロトタイピングの体験後に、グループディスカッションにより行う方法、プロトタイプを一部拡張したり変更したりすることで行う方法などがある。プロトタイピングが最終的に目指すアプリケーションの例を図3.5に示す。情報通信系の理工系の場合は、システム全体としての管理やセキュリティ、通信方式、ビッグデータ処理のアルゴリズムなどのアイデアの創出が期待される。電気・電子系を専門とする理工系の場合は、環境、災害防止、交通、栽培管理などの分野のアプリケーション

のアイデアにつなげていく。福祉や教育を専門とする文系には見守り，育児，自立支援，健康などの分野のアプリケーションにつなげていく。

コース	情報通信系向け	理工系向け	文系
専門分野	情報通信	電気，機械，農業，など	介護，福祉 保育・幼児教育
アプリケーション	システム管理 (インフラ，ネットワーク) セキュリティ ビッグデータ など	植物栽培管理， 農業管理 災害防止 交通 など	見守り 幼児教育 自立支援， 健康管理 など

図 3.5 各対象専門分野別ターゲットアプリケーション例

(6) M2M/IoT デバイスプログラムの構築法 (イベント処理フレームワーク)

M2M/IoT デバイスエンジンで動作するプログラムは，いろいろなセンサーやアクチュエータを装着した Arduino[®] 上で動作する。プログラムは，センサー値の読み取り，アクチ

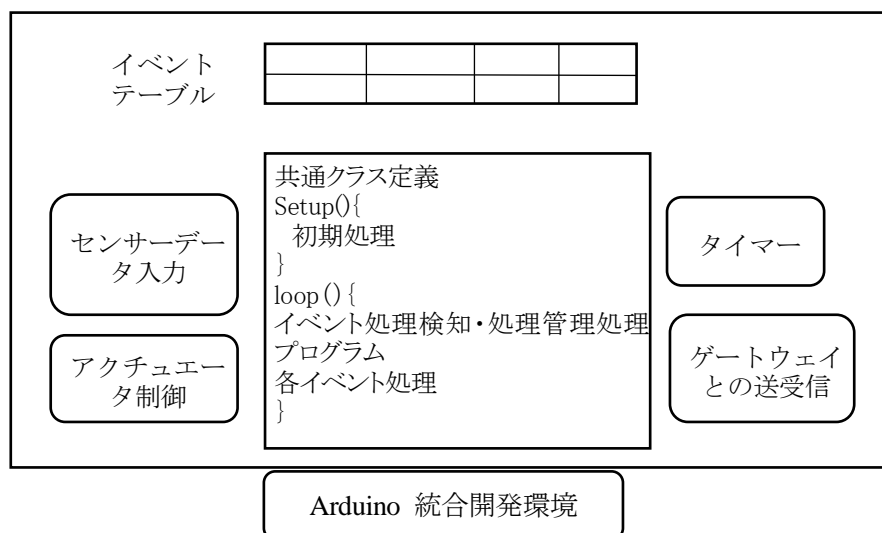


図 3.6 M2M/IoT デバイスプログラムのイベント処理フレームワーク

ュエータへの出力，ゲートウェイとの送受信などの処理を実行する。いろいろな種類のセンサやアクチュエータの接続や，ゲートウェイとの間の送受信の通信方式の変更に，柔軟に対応できるようにするための機構として，フレームワークを定義する。フレームワークを利用するのは，図 3.3 で示す⑤の段階である。方式を図 3.6 に示す。図において中央のイベントテーブルは，各種センサーやアクチュエータとの入出力や，ゲートウェイとの送受信のタイミングを，優先順位によって制御するためのテーブルである。それぞれの処理は，ライブラリとして実装され，イベント制御のフレームワークからコールされる。センサーやアクチュエータの種類や組合せや，エリアネットワークの種類が違って，プログラムの構造がパターン化される。従ってプログラムがわかり易く，また再利用が容易になる。また，図の中央に示すセンサー／アクチュエータ／通信のライブラリの上位に M2M/IoT 用の共通クラスを実装する。これによって，アプリケーションプログラム作成者は，データの受け渡し方法やセンサー／アクチュエータの種類や通信の種類が違って，容易にプログラム作成ができる。

(7) ゲートウェイ・プログラムの構築法（イベント処理フレームワーク）

ゲートウェイの処理は，①複数の M2M/IoT デバイスとの通信，②サーバ／クラウドとの通信，③データの加工・編集・振分け・フィルタリング等の処理，の 3 つの処理に分類される。それぞれの処理は非同期に行うことが必要である。このため，非同期に発生するイベントの処理と，その処理の過程で次の処理への要求を伝える処理が必要となる。このための M2M/IoT ゲートウェイ処理フレームワークを提案する。フレームワークの方式は，マルチタスクやマルチスレッドのような処理方式ではなく，シングルスレッドでも可能な非同期イベント処理方式である。この方式によって，構築者は Processing⁽⁷⁾のようなプログラミングが容易な言語を，プロトタイピングにおいて使うことができる。図 3.7 は，このフ

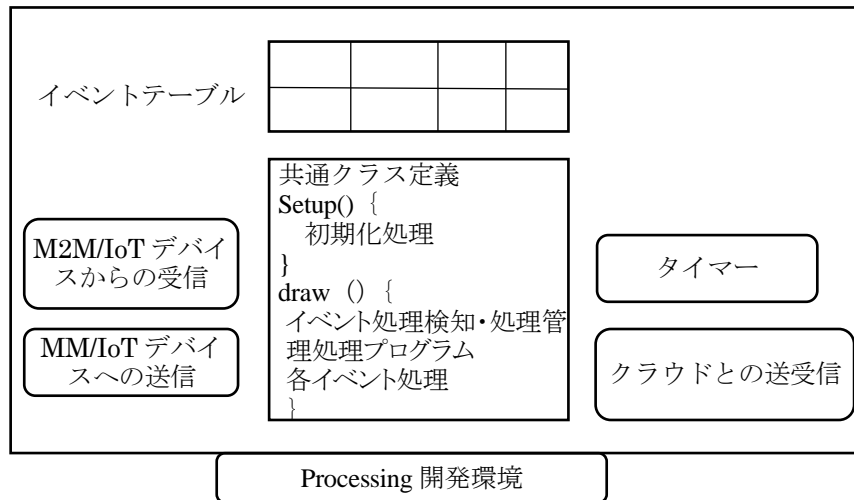


図 3.7 ゲートウェイプログラムのイベント処理フレームワーク

フレームワークの基本構造を示す。図に示すように、外部イベントと内部イベントは、イベントテーブル上に登録される。外部イベントは、データ受信などの外部から発生するイベントである。一方、内部イベントは、外部イベントの各処理で発生し、次に処理すべきイベントである。イベントテーブル上の優先順位は、上から順番である。フレームワークは、イベントテーブルをサーチし、イベントが発生している場合、その処理に分岐する。処理が完了したら、フレームワークは再度イベントテーブルをサーチする。非同期処理のため、各イベントの処理は、入出力の同期をとる処理はしない。このフレームワークを、Processing のようなマルチプラットフォーム対応の言語を使用して、Windows, Linux, Android などの各種 OS 上で動作する共通のフレームワークとして提案する。

また、フレームワークは、図 3.7 の中央に示すデータインターフェースの専用クラスを持つ。これによって、フレームワークは、エリア・ネットワークの複数の通信手段への対応処理や、サーバ/クラウドとの複数の API やデータ形式に対応する処理ができる。各通信方式や API ごとの処理は、ライブラリ化することによって、フレームワークの構造をシンプルかつ同じ構造となる。

(8) 段階的機能積上げ型構築方式

構成要素単位に段階的に構築できるようにすることにより、段階を踏みながら、最終的に M2M/IoT 全体を体験できるようにする。図 3.3 の⑥の段階である。図 3.8 の①がデバイスの作成と動作確認、②がゲートウェイまで接続して、ゲートウェイ上にセンサーデータ

M2M/IoT デバイス

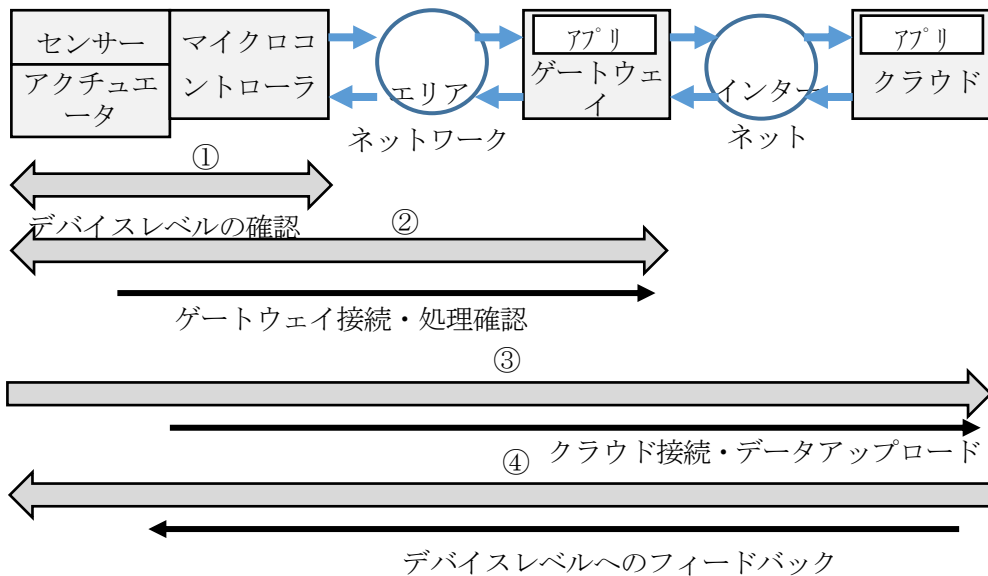


図 3.8 段階的機能積上げ法

が来ているかを確認する。③は、クラウドサービスの設定後に、ゲートウェイからクラウドへデータを上げ、それがパソコン等からデータが来ていることを確認するフェーズである。④は、クラウドでの処理の結果で、ゲートウェイ経由でデバイスへフィードバックし、たとえば、LED ランプの点灯といった処理を行うフェーズである。このように段階的に機能を積上げていくことにより、全体の体験を行うようにしている。

3.1.4 M2M/IoT プロトタイプ構築法の適用と評価

M2M/IoT プロトタイプシステム構築法を適用した結果とその評価を述べる。

3.1.4.1 基本構成の対象専門分野別構成要素

M2M/IoT システムの基本構成に基づき、プロトタイプ構築を行う対象別 M2M/IoT システムの各構成要素を表 3.2 に示す。

まず、IT 系の場合は、プログラミング能力があるので、クラウドサービスとしてコンピュータシステムを構築および稼働させるための基盤である IaaS (Infrastructure as a Service) ⁽⁸⁾ 上に、取り組みやすいスクリプト系の言語である Node.js⁽⁹⁾ を使ったアプリケーションを記述する構成とした。ゲートウェイは Raspberry Pi⁽¹⁰⁾ とし、クラウドとゲートウェイ間のインタフェースとして双方向通信が可能なプロトコルである WebSocket を利用した。M2M/IoT デバイスのエンジンとしては、Raspberry Pi または Arduino とし、ゲートウェイとは ZigBee 無線のほか、Bluetooth や Wi-Fi で接続した。IT 系の場合はゲートウェイやクラウド上の処理とそのネットワークインタフェースに重点をおいており、センサー

表 3.2 専門分野別構成要素決定例

対象専門分野	情報通信 (IT) 系	理工系	文系
構成要素			
サーバ/ クラウドサービス	IaaS Service	Xively / Parse / M2X	Xively / M2X
サーバ アプリケーション	Node.js Application	—	—
ゲートウェイ	Raspberry Pi	Raspberry Pi	PC
ゲートウェイ アプリケーション	送受信処理, グラフ, M2M/IoT デバイス制 御, 双方向通信	送受信処理, グラフ, M2M/IoT デバイス制 御	送受信, グラフ
エリアネットワーク	ZigBee / Bluetooth / Wi-Fi	ZigBee	シリアル / ZigBee
M2M/IoT デバイスエ ンジン	Raspberry Pi / Arduino	Arduino	Arduino
センサー	温度, 照度	気圧, 温度, 湿度, 照 度	温度, 照度, 気圧
アクチュエータ	LED ランプ	カラーLED	LED ランプ, ブザー

(注) 上記の表中に記載の英語名称は、登録商標あるいは技術名称である

は温度、照度のセンサーを、アクチュエータデバイスは LED ランプを接続した。

電気・電子分野の理工系の場合には、サーバ側のアプリケーションを書くのは難しいので、クラウドサービスとして、容易にデータの蓄積や可視化ができる Xively⁽¹¹⁾または Parse⁽¹²⁾を利用した。ゲートウェイは、ボードコンピュータである Raspberry Pi を利用し、ここには M2M/IoT デバイスからのセンサーデータを集め、クラウドへ送信する処理、グラフ化する処理、クラウドからの指示で M2M/IoT デバイスのアクチュエータへランプ点灯などの処理を行うサンプルアプリケーションを配置した。M2M/IoT デバイスはそのエンジンとしてマイクロ・コントローラである Arduino を利用し、ゲートウェイとは ZigBee 無線で接続した。センサーは温度、照度センサーを、アクチュエータとして、照度に応じて複数の LED ランプの明るさを制御する LED コントローラを接続した。

文系の場合は、理工系の構成から、センサーを限定し、ゲートウェイを PC に変更して、より扱いやすい構成とした。デバイスとゲートウェイの接続も、最初は USB シリアルで確認後、ZigBee 接続とした。

これらに基づき、3 種類のプロトタイプ作成の仕様書、手順書、プログラムを作成した。

3.1.4.2 適用と評価

専門分野ごとの構築内容を、それぞれの専門分野に対して、適用、実践し、評価した。

(1) IT系を専門分野とする構築者への適用

早稲田大学大学院 国際情報通信研究科へ適用した。20名を対象に、最初にオープンな技術を使って M2M/IoT システムの構築方法を理解することをテーマに、講義を行った。講義を受けた結果の評価は、M2M/IoT システムが手軽に安価に構築できるため、個人で機器を購入してシステムを作ってみたいという意見が多かった。センサー接続などの電気的な技術は情報通信系の構築者には難しいという事前の反応だったが、実際の構築体験により、センサーからのデータを取得したり、アクチュエータとしての LED ランプ点灯やブザー鳴動など動かしたりして見て、プロトタイプ作成への意欲が湧いた。さらに、このうち3名の構築者が研究として、展開・実践を行うため、M2M/IoT のプロトタイプ構成上で、自分の研究に関わるソフトウェアの実装を試みた。図 3.9 に、作成した構成を示す。M2M/IoT サーバと M2M/IoT ゲートウェイにおける開発言語は、スクリプト言語の Node.js で統一し、試行錯誤で自分自身の M2M/IoT システムを構築できるようにした。なお、情報通信 IT 系の学生が苦手とするセンサーやアクチュエータについては、HTTP をインタフェースとする標準デバイスとして用意した。

実際に商用のクラウド環境を使った実験ができ、クラウドサービスの利便性を知ること

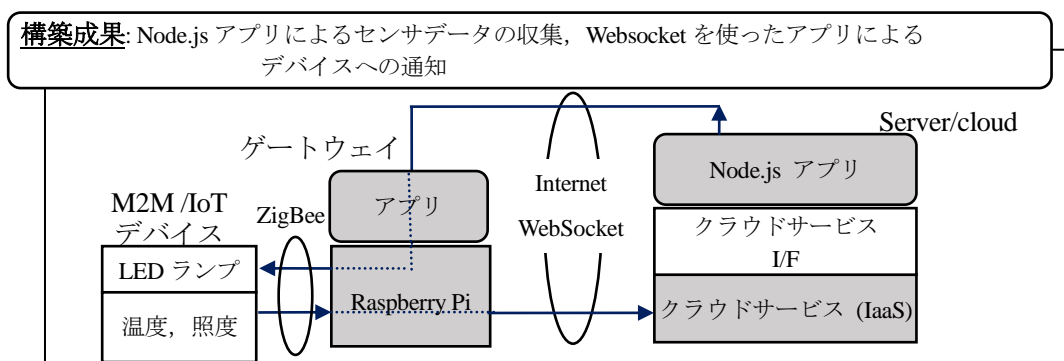


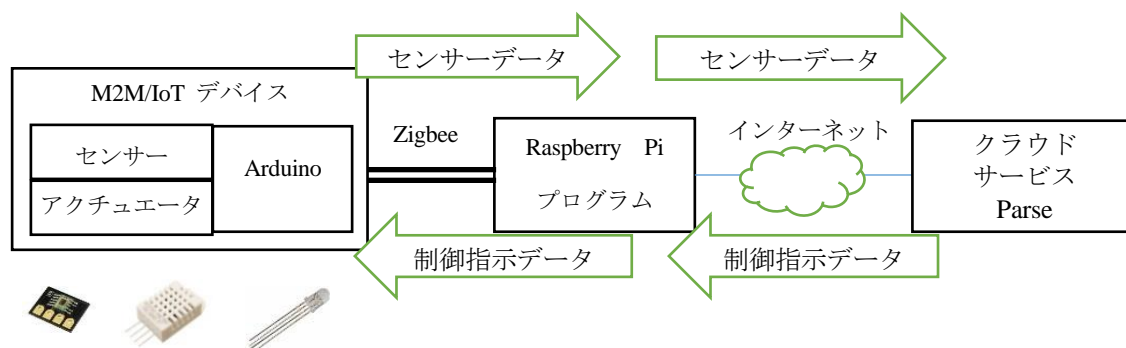
図 3.9 IT 理工系の構築成果とアイデア創出成果

ができた。また、サンプルソースを書き換えて、自分で工夫した 処理を実装することができた。さらにスマートフォンを使った遠隔監視などのアイデアを具体的に出すことができた。ものづくり教育の評価としては、センサーやアクチュエータがプログラム制御で目に見えた動作をするのが興味深く、プログラム学習にも効果があった。また、センサーからクラウドまでの構成の中で、プログラム処理のゲートウェイとクラウドとの分担や双方向通信ができるようにプロトコルを工夫するなどの、M2M/IoT システムだからこそのシステムの仕組みとその実装を学ぶことできた。

アイデア創出の実践結果としては、データ収集やフィードバック制御のための通信プロトコルを実装し、その動作実験を通じて、研究のための課題抽出を行うことができた。さらに、イベント駆動データ収集やルールベース自律制御などの自分のアイデアを実装し、その実験評価に活用することができた⁽¹³⁾。

(2) 機械・電気・電子系などの理工系を専門分野とする構築者への適用－1

サレジオ工業高等専門学校で適用した。図 3.10 に、構築した構成と、具体的な M2M/IoT プロトタイプ・システムのデータフロー及びアプリケーションの処理を示す。まず、温度、湿度、カラーセンサーからのデータをゲートウェイとしての Raspberry Pi に ZigBee 無線インターフェースで送る。次にゲートウェイは、そのデータを画面にグラフ表示し、クラウドサービスの Parse に送信する。クラウドサービスは、そのデータをデータベースへ登録する。次にゲートウェイは、クラウドサービスに登録されたデータを取り出し、その値の条件によって、M2M/IoT デバイスへ指示を送る。それを受けて、M2M/IoT デバイスは、LED ランプの色を変える。このような処理フローによって、構築者は、M2M/IoT システムとしての一連の処理の流れを体験できた。



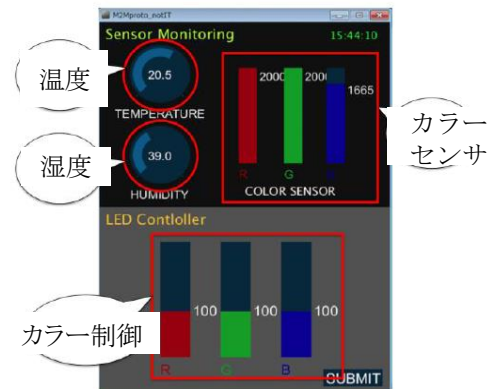
Sensor(Color, temperature, humidity), Full Color LED

図 3.10 理工系 M2M/IoT プロトタイプの例

体験によって創出したアイデアは、水耕栽培⁽¹⁴⁾の遠隔制御に適用するアイデアであった。水耕栽培は、光の色と水による植物栽培であり、これに M2M/IoT を適用することで遠隔制御、モニタリングができるようになる。図 3.11(a)は水耕栽培の写真を示す。写真において上部は、M2M/IoT デバイスであり、温度、照度のセンシングと光の色のコントロールをしている。図 3.11(b)はそのモニタリングのグラフ表示例を示す。



(a) 水耕栽培の写真



(b) ゲートウェイモニタでのグラフ表示例

図 3.11 水耕栽培への適用

(3) 機械・電気・電子系などの理工系を専門分野とする構築者への適用－2

芝浦工業大学システム理工学部への適用では、M2M/IoT プロトタイプ構成に基づいて、理工系プロトタイプ内容を拡張し、温度、湿度、土壌水分センサーを用いた鉢植え栽培の監視を行う M2M/IoT プロトタイプ・システムを完成させた。クラウドにデータを送信することによって、遠隔地からスマートフォンを使って状態監視をすることができるようになった。構築者は、これらの一連の処理を通して M2M/IoT システムのメリットを理解できた。また構築者は、M2M/IoT のそれぞれの要素の役割を理解できただけでなく、M2M/IoT システムとして各要素が連携したシステム全体の動作を理解できた。

創出したアイデアの1つは、温度や湿度などの環境データや、画像データをスマートフォンで集め、クラウドに蓄積して、農業用ビニールハウスの監視や、高齢者の安全監視へ応用するアイデアであった。プロトタイプ構築を通して、このようなアイデアが出たことは、プロトタイプ構築体験の成果と言える。

(4) 文系構築者への適用

幼児教育・保育等の保育者養成を専門とするこども教育宝仙大学で、M2M/IoT プロトタイプ構築を適用した。

基本的な構成は、理工系と同様であるが、クラウドサービスとして Xively を利用し、ゲートウェイとして PC を利用したこと、センサー、アクチュエータの種類を変えたことである。これらは、扱い易さを考えた結果である。M2M/IoT デバイスは、センサーやアクチュエータを制御するために、マイクロ・コントローラである Arduino を利用した。M2M/IoT デバイスは、ゲートウェイとの間を、無線通信を使用せず、USB によるシリアルインタフェースで接続した。図 3.12 にその構成と構築成果を示す。センサーとして、大気

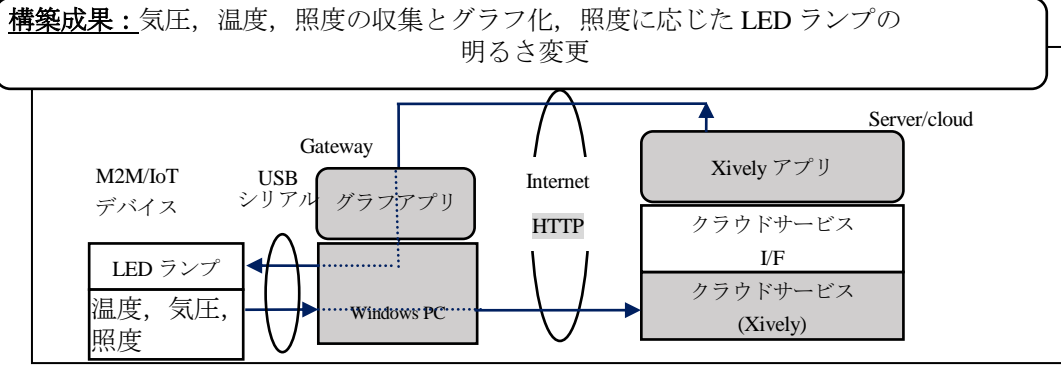


図 3.12 文系コースの構築成果

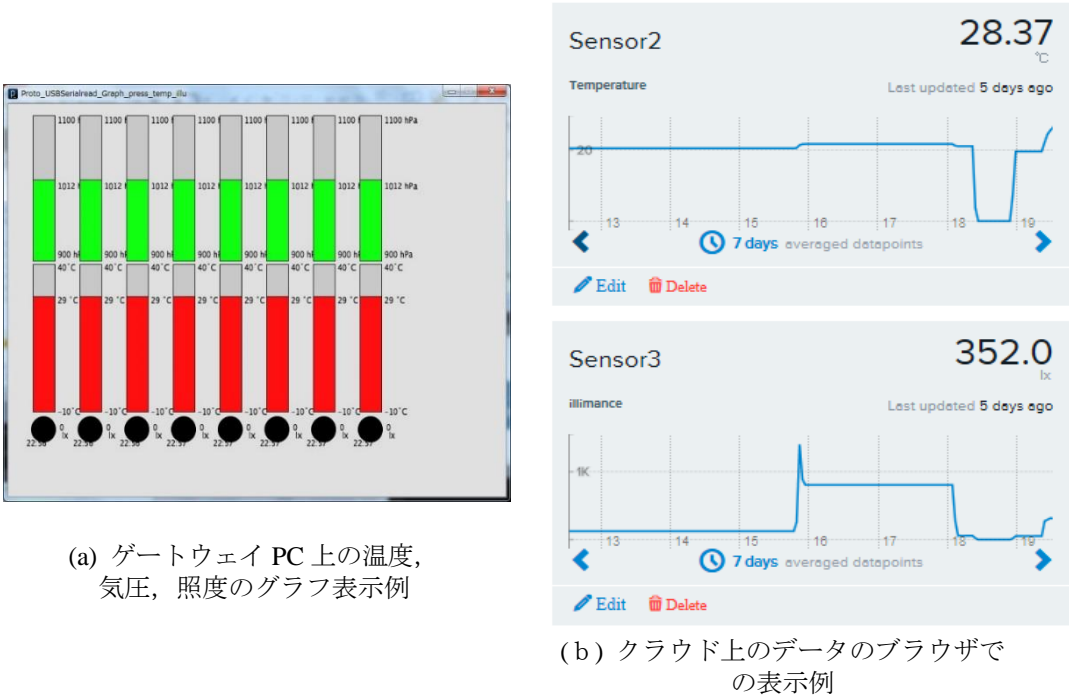


図 3.13 プロトタイプ実行時の画面表示例

圧，温度，照度センサーを用い，アクチュエータとしては，LED ランプ，電子ブザーを用いた。このような電子回路によるデバイス作成は，文系には難しいと思われたが，実際には楽しみながら取り組めたという評価結果であった。プロトタイプを実行して，ゲートウェイである PC 上の画面に表示した結果，および，クラウド上へ送信して，クラウド上のデータをブラウザで表示した結果を，図 3.13 に示す。プロトタイプ構築からアイデア創

出までをステップを踏んで段階的に動作を確認した。プログラムの作成は文系構築者には難易度が高いため、プログラムは提供し、一部を変えることで、LEDの点滅や電子ブザーの音階を変えることを実習した。これにより、プログラムの役割も多少理解できた。その後のアイデアミーティングでは、作成体験に基づき、いろいろなアイデアを出し合い、ディスカッションした。

その結果は、今回の幼児教育・保育等の保育者養成を専門とする構築者ならではのアイデアが集まった。主なものを挙げると、保育環境や遊具などの機材に関連するアイデアのほか、①年齢、学年により、使用可否の設定が遊具にされており、年齢に達していない子どもが遊ぶと注意するシステム。②門にカメラを設置し、児童、幼児、職員以外の登録されていない者は門が開かない。無理に入場したらブザーを鳴らす。③入ってはいけない場所に園児が入ったらブザーがなる。④乳幼児が睡眠中に、うつぶせになったら危険なので、保育者に伝えるシステム。などのアイデアである。

(5) M2M/IoT デバイスプログラム・フレームワークの適用と評価

M2M/IoT デバイスプログラムを作成するフレームワークは、2種類のプロトタイプ構築に適用された。2種類の例には、センサーやアクチュエータの違い、および ZigBee 接続とシリアル接続の違いがあった。基本的な M2M/IoT デバイスの処理はフレームワークが行い、ゲートウェイとの送受信や、センサーの種類やメーカーによるデータの採取方法の違いはライブラリで実現できた。また新たなセンサーやアクチュエータを追加するのも同様の方法で実現可能であることが検証された。この方法により、センサーの追加などのプロトタイプ拡張が容易であることや、アイデア実現のためのプロトタイプ構築が容易になったことが評価された。

(6) ゲートウェイ構築フレームワークの実装と評価

実装は、Windows 7 OS 上で Processing 言語を用いて行われた。2種類のプロトタイプに適用するため、ゲートウェイと M2M/IoT デバイスの間の通信として、ZigBee 接続とシリアル接続を実装し、評価した。また、ゲートウェイとクラウドとの通信として、クラウドサービスの Xively と Parse との通信処理を実装した。フレームワークを適用することで、ゲートウェイの処理の基本部分は、フレームワークが行った。M2M/IoT デバイスとの送受信方式の違いや、クラウドサービスとの API の違いに対応するために、それらの処理は、ライブラリによって個々に実装された。別の通信方式や API を追加するのも同様の方法で実現可能であることがわかった。ゲートウェイにおける M2M/IoT デバイスおよびクラウドサービスとの送受信は、フレームワークの適用により、送受信インタフェースの違いによらず、同じ方式で実装でき、かつ作成するコード量が約半減できた。このフレームワークの方式は、アイデア実現のためのいろいろなプロトタイプ構築を容易にしたと評価する。

(7) 構築期間の評価

本構築法による、構築期間の評価であるが、期間：調査・設計から完了までをすべて構築法なしで、構築した場合、はじめてのプロトタイプシステム構築には約6か月かかった。これに対して、分野対応プロトタイプシステム構築法に則って構築することで、1～2か月で完成した。これは、分野別に知るべき範囲を限定（無線接続、プログラミング、クラウド利用法）し、手順が明確（回路作成、段階的構築）となるよう構築法がサポートしたことによると評価できる。

3.1.5 考察

(1) M2M/IoT プロトタイプ構築法による M2M/IoT 理解に関する考察

本構築法は、センサーやアクチュエータをつないだ M2M/IoT デバイス製作からゲートウェイやクラウドまでネットワークを介した M2M/IoT システムのプロトタイプ構築を対象としている。そして、その特徴は対象範囲が広いことである。

このプロトタイプ構築法は、単なる M2M/IoT デバイスの電子回路の製作でなく、ゲートウェイやクラウドサービスまでを含むプロトタイプシステム構築法である。構築者は、このプロトタイプ構築経験によって、センサー技術、ネットワーク技術、情報処理技術などから構成される M2M/IoT 技術を理解し、その応用の発想を広げることができた。

本提案のプロトタイプ構築法は、専門分野を限定していない。構築者は自分が学んできたことを M2M/IoT システムではどう使えるのか、M2M/IoT システムでどう解決するのかといった観点での考え方ができるようになった。また、構築者は、M2M/IoT システムを構築するためには、必要に応じていろいろな専門分野の人との協調や連携が必要であるという理解が深まった。

(2) アイディア創出に関する考察

今回対象の理工系構築者の1つ目は、センサーやアクチュエータを農業に活かす水耕栽培の研究をしていた。このため、彼らは、M2M/IoT の技術を適用することで水耕栽培の遠隔制御というアイディアを比較的簡単に創造することができた。栽培システムは、手操作によって色の制御をしていたが、M2M/IoT を使うことで、プログラム制御とし、水耕栽培の遠隔監視・制御をするアイディアにつながった。

文系の構築者は、パソコンやスマートフォンなどを使う知識はあるが、M2M/IoT システムなどを学ぶ機会はほとんどない。プロトタイプ構築法により、彼らに、手順書に従って段階的に構築させ、温度や照度センサーのデータの動きや LED ランプの点灯、ブザー鳴動などの動きを体験させることができた。彼らは、いわば日常生活の感覚で、M2M/IoT システムの概要を理解することができた。それが、自分が関係する分野でのアイディアへ発展していくきっかけになった。

3.1.6 まとめ

本論文は M2M/IoT 応用システムのアイデア創出を目指したプロトタイプシステムの構築法を提案し、その実践適用をし、評価、考察を行った。提案は、M2M/IoT プロトタイプ・システムとして、基本構成を定義し、情報通信の IT 系、機械・電気・電子等の理工系、介護や児童教育など専門性の高い文系の、それぞれ専門分野の違う構築者を対象とした 3 種類のプロトタイピングの内容・手順を定め、実践した。構築者は、このプロトタイプシステム構築法を適用することにより、M2M/IoT システムの理解が深まり、システムの考え方や M2M/IoT を適用したいろいろなアイデアを創出できた。

また、本節では M2M/IoT デバイスやゲートウェイ上のプログラム構築用のフレームワークを提案し、それを適用して M2M/IoT デバイスの構築方法、ゲートウェイの構築方法を述べた。これによって、構築者はいろいろなセンサー、アクチュエータを容易に接続できるようになり、センサーやアクチュエータを活用するアイデアのプロトタイプ構築も容易になった。

研究の成果物をまとめると、以下の通りである。

成果物：「分野対応プロトタイプシステム構築法」

<内訳>

- ① 「構成要素・実装技術対応マトリクス」
- ② 分野（IT、非 IT、文系）対応理解度表
- ③ オープンハード、ソフトの活用候補データベース
- ④ 構成決定支援ツール
- ⑤ イベント処理フレームワーク
- ⑥ 段階的機能積上げ法
- ⑦ プログラム：デバイス、ゲートウェイ、クラウドのサンプルプログラムのソースコード

3.2 アイディアに基づく M2M/IoT プロトタイプシステム構築法の提案と実践

3.2.1 はじめに

M2M/IoT システムは、社会インフラから身の回りの課題解決まで、様々な分野への適用が期待されている。M2M/IoT の基本的な仕組みを理解していれば、情報通信系や理工系の技術者でなくても、いろいろな応用の発想が考えられる。しかし、その設計・構築においては、M2M/IoT システムは、複数の技術を体系的に組合せる必要があるため、多くの技術知識が必要であり、発想から構築につなげるには、技術的な難易度が高い。

筆者らは、M2M/IoT プロトタイプ構築法を提案し、大学、高専の学生を対象に実践することにより、あらかじめ手順を明確にした M2M/IoT プロトタイプ構築であれば、比較的容易に構築ができ、M2M/IoT の知識を得られること、知識を得ることでアイディアも生まれやすいことを示した⁽¹⁾。また、文系学生を対象に M2M プロトタイプシステム実装教育を実践した結果では、文系ならではの M2M/IoT システムのアイディアが創出されるという評価結果を得た⁽²⁾。これらの結果から、M2M/IoT プロトタイプ構築を経験した上でのアイディアは、より具体的になることが確認できた。一方、アイディアを起点としてそのプロトタイプを構築するという考えは意義があると考ええる。アイディアの多様性、多様なプロトタイプの実現、プロトタイプからの実製品化などにより、M2M/IoT 応用システムの発展を促す効果がある。アイディアを比較的容易にプロトタイプングできれば、アイディアの現実感が深まり、さらに、具体性が出てくる。M2M/IoT が広く普及していくには、アイディアの実現性が深まる必要がある。

したがって、アイディアからプロトタイプ作りへの移行、すなわちアイディアからプロトタイプ構築への橋渡しの技術や仕組みによって、M2M/IoT システム構築の難易度を下げ、各種の分野のアイディアをプロトタイプとして構築でき、M2M/IoT 応用システムの発展を促す効果があると考ええる。

本節では、アイディアに基づいて M2M/IoT システムのプロトタイプを構築する手法を提案する。骨子は次の通りである。

- (1) アイディアから要求機能や要件を分析することにより、M2M/IoT システムのポイントを明確にして、アイディアの具体化を行う。
- (2) 具体化したアイディアを実現するための M2M/IoT システムの技術要素と、M2M/IoT システムの構成要素とを、マトリクスとし、プロトタイプの構成要素を決定する。
- (3) M2M/IoT プロトタイプシステムの基本構成は、センサー、アクチュエータ、M2M デバイスエンジン、エリアネットワーク、ゲートウェイ、アクセスネットワーク、及びサーバ/クラウドとする。各構成要素として、情報などの入手が容易なオープンハードウェア、ソフトウェアを選択することにより、システム構築を容易にする。
- (4) プロトタイプ構築により、それをアイディアにフィードバックし、ブラッシュアップができるため、アイディアの実現性を深めることができる。

本研究では、水耕栽培システム、照明制御システム、および独居老人認知症早期発見システムの各アイデアを基に、アイデアに基づく M2M/IoT プロトタイプ構築法を適用・実装し、その評価を行った。

3.2.2 プロトタイプシステム構築とアイデア実現の意義

(1) プロトタイプシステム構築の意義

プロトタイプシステム構築の目的は、アイデアを形にし、動かしてみることで、システムの機能の検証および、実現性や実現上の課題や実現した後の運用や保守上の課題を明らかにすることである。そして、プロトタイプの結果を元に、構成要素の変更、構成要素自身の改善、新しいアプリケーションのアイデアの創出などが期待できる。

M2M/IoT システムは、各種センサーやアクチュエータなどを搭載した M2M/IoT デバイス、デバイスからのデータをエリア・ネットワークを介して集めるゲートウェイ、さらにアクセス・ネットワークの先のサーバ/クラウドなどから構成される。このように、M2M/IoT システムは、センサー技術、ネットワーク技術、情報処理技術など多岐にわたる技術から構成されている。M2M/IoT デバイスからサーバ/クラウドまでの全体をプロトタイプシステムとして構築することは、M2M/IoT の基本知識や構成技術の習得にも効果がある。

(2) アイデア実現の意義

M2M/IoT が重要な役割を果たす主要な市場としては、健康医療、輸送、エネルギー、セキュリティ/監視、安全や交通などの公共サービス、小売業、POS (Point of Sales) システム、自動販売機、ビルの制御/管理、産業オートメーションにおける制御系、ホームオートメーションにおける制御系、農業などがあげられる。このように、身近な応用が多く考えられる。また、それぞれの業務に携わっている人たちは、具体的な課題を抱えていたり、改善のアイデアを持っていたりすることが多い。このようなアイデアを基に、M2M/IoT プロトタイプシステムを比較的容易に構築できれば、課題解決の糸口を見つけ、さらに、アイデアをブラッシュアップしていくことが考えられる。すなわち、アイデアを基に、比較的簡単にプロトタイプ・システム構築ができれば、多くのアイデアを試行し、それをもとに M2M/IoT 応用システムの発展を促す効果があると考えられる。

3.2.3 アイデアに基づくプロトタイプシステム構築法

アイデアに基づく M2M/IoT プロトタイプ構築方式を提案する。本構築方式における全体のステップを図 3.14 に示す。図において、Step1 は、アイデア創出のステップ、Step2 は、プロトタイプ機能定義のステップ、Step3 は、プロトタイプシステム構成の決定のステップ、Step4 は、プロトタイプ構築のステップ、そして、最後の Step5 は、プロトタイプ構築の結果をアイデアにフィードバックするステップである。M2M/IoT システムは、アイデアが出やすいという反面、多岐にわたる技術から構成されているため、設計や構築が

難しいという特質があるが、ステップに分けてプロトタイプを構築する手順を示すことによって、アイデアを比較的簡単に形にして確認することができるようになる。

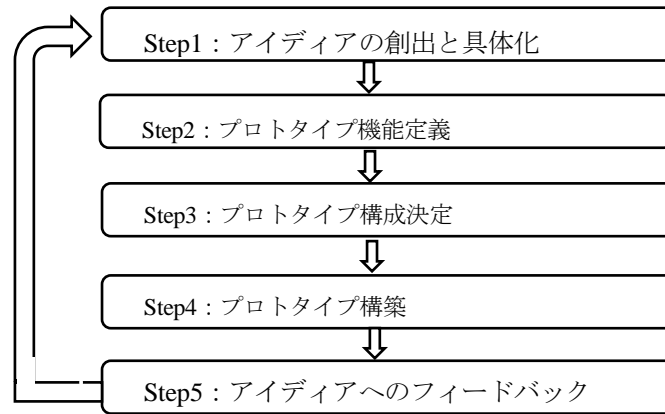


図 3.14 アイディアに基づく M2M/IoT プロトタイプ構築法の全体ステップ

3.2.3.1 アイディア創出からプロトタイプ機能定義のステップ

(1) Step1: アイディア創出と具体化

アイデア創出の流れを、図 3.15 に示す。図に示すように、最初のアイデアから、M2M/IoT システムについての知識、業務や技術の経験、そして様々な応用事例を参考にすることで、アイデアを具体化していく。この変換にアイデア・要求機能変換方式を提案する。具体的には、次のようなポイントで定義する。

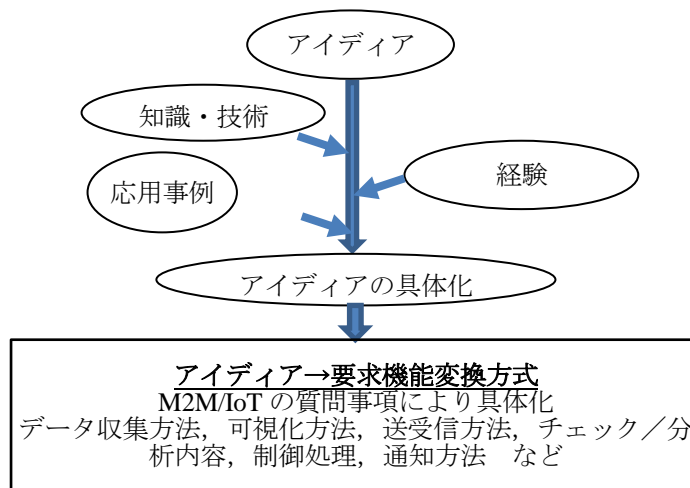


図 3.15 Step1: アイディアの創出と具体化

- ① どのようなデータをどうやって取得するか？
- ② 取得したデータをどう見せるか？
- ③ データの処理はどのようにするか？
- ④ データの分析はどのようにするか？
- ⑤ データの送受信はどのように行うか？
- ⑥ クラウド処理はどうするか？
- ⑦ どのような制御をするか？

(2) Step2 : プロトタイプ機能定義

図 3.16 に、M2M/IoT システムの基本的なシステム構成を示す。図において、(1)はセンサーやアクチュエータを含む M2M/IoT デバイスである。(2)は、M2M/IoT デバイスとゲートウェイと結ぶエリアネットワークである。これはたとえば、ZigBee や Bluetooth などの近距離通信のネットワークである。(3)は、ゲートウェイで、複数の M2M/IoT デバイスからのセンサー情報などを集め、データ変換などを行ってサーバ/クラウドへ送る、あるいはサーバ/クラウドのデータを受け取るなどの役割を持つ。(4)は、遠距離通信ができるインターネットなどのアクセスネットワークである。(5)は、サーバ/クラウドであり、大量のデータの蓄積や分析などの処理のほか、インターネットに接続されている端末からのデータ参照を可能にする。このように、M2M/IoT システムは、複数の要素から構成されるため、アイデアをプロトタイプとして実現する上で、機能をどの構成要素で実現するのがよいのかを検討する必要がある。このために、実現手段としてのセンサー技術、機械制御

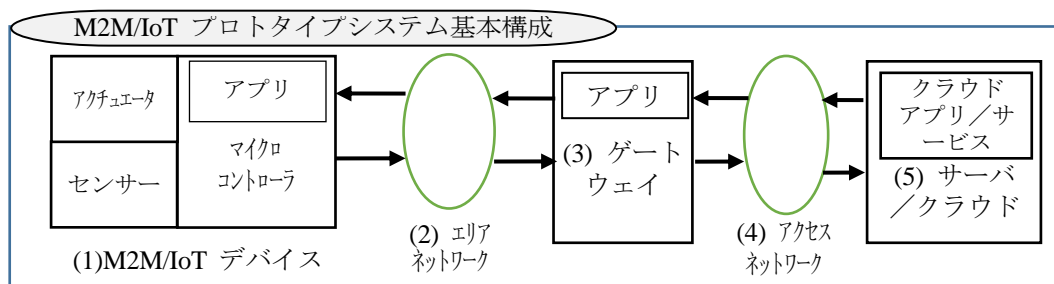


図 3.16 M2M/IoT プロトタイプ基本構成

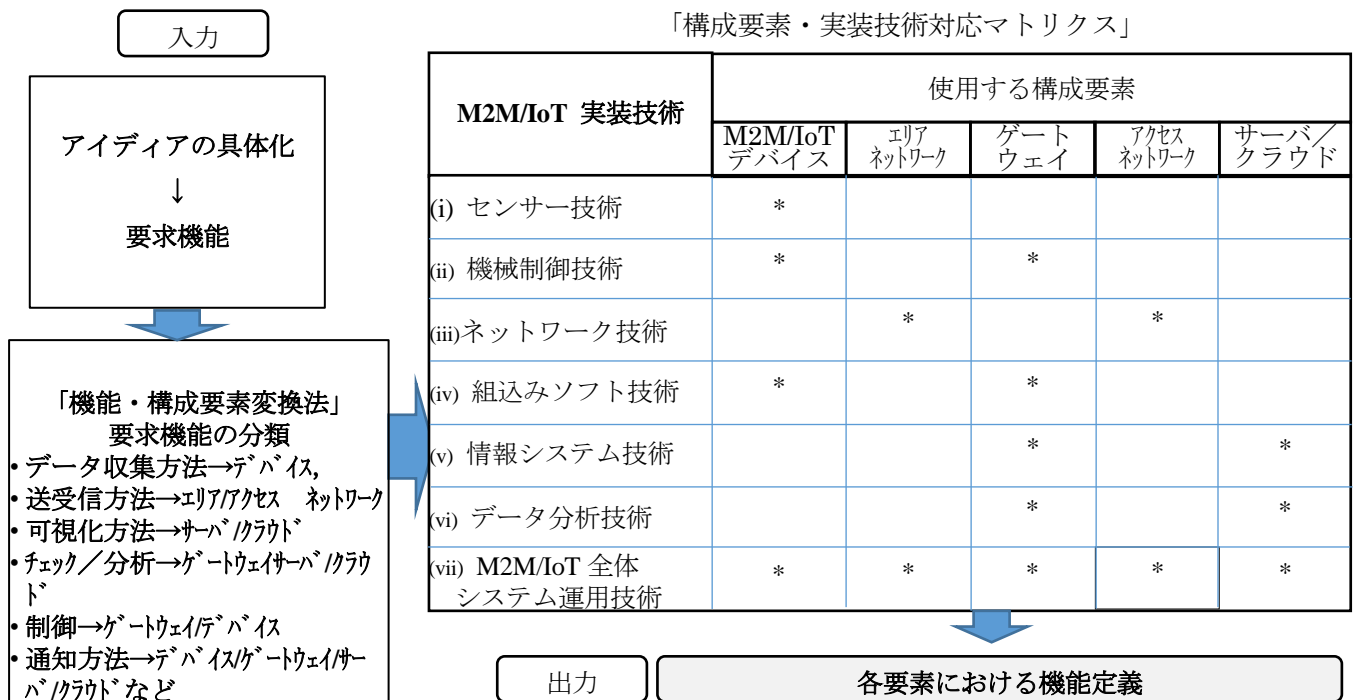


図 3.17 Step2 : 「機能・構成要素変換法」と「構成要素・実装技術対応マトリクス」による M2M/IoT プロトタイプの各構成要素の機能定義

技術、組込みソフト技術など複数の技術分野の知識が必要であり、本構築方式では、どの構成要素でどの機能を実現するのかを決定できるようにする。図 3.17 に、M2M/IoT の実現手段としての構成要素と実装技術分野の関係のマトリクスを示す。図において、(i) ~ (vii) に実装技術分野を示す。また、それぞれの技術分野が、M2M/IoT システムのどの構成要素と関係するかを*印で示す。さらに専門分野別に知るべき技術の深さを I/F のみ、機能のみ、構造までと 3 段階に分類する。これは、3.1 節の図 3.4 に定義したものを使う。

(i) ~ (vii) で示す各技術分野に対して、それがどの構成と関係するか、実現機能に対して何が重要か、その際の留意点等を、以下に記述する。

(i) センサー技術 構成要素の M2M/IoT デバイスに位置づけられる。設置する現場からどんなデータを採取したいかに基づいて、センサーの種類や機能、性能を選択する。センサーの活用を重視したアイデアの場合、この選択が重要となる。

(ii) 機械制御技術 機械制御として実際に駆動するモータなどのアクチュエータの制御は、M2M/IoT デバイスが行い、ゲートウェイは、そのための情報をクラウドからの通知によって、ゲートウェイが判断して M2M/IoT デバイスに伝える。この場合、ゲートウェイ上に機械制御のためのプログラムを書く必要がある。

(iv) 組込みソフト 組込みソフトは、M2M/IoT デバイスのエンジン、およびゲートウェイに組み込むプログラムである。M2M/IoT プロトタイプシステム構成を決定する際は、その上でどのような処理を行うかを想定して決定する。

(v) 情報システム ゲートウェイまたは、サーバ/クラウド上のアプリケーションであ

る。組込みソフトと同様，M2M/IoT プロトタイプシステム構成を決定する際は，この上でどのような処理を行うかを想定して決定する。

(iii)ネットワーク ネットワークは，M2M/IoT システムの構成要素の中では，M2M/IoT デバイスとゲートウェイ間のエリアネットワークと，ゲートウェイとサーバ/クラウド間のアクセスネットワークが関係する。

(vi)データ分析 ゲートウェイおよびサーバ/クラウドのアプリケーションの一種であるが，特にビッグデータの分析として，機械学習等の技術もあり，情報システムと分けて分類する。

(vii)M2M/IoT 応用システム M2M/IoT システム全体としての整合性や，管理システムを対象とする。M2M/IoT システムのアイデアがセンサーからのデータに基づいて，様々な制御や分析をしたい場合は，(vi)から(vii)の要素の選択が重要となる。

これらの各技術要素の留意点と，専門分野ごとの知識，技術レベルと図 3.17 の構成要素，実装技術マトリクスによって，M2M/IoT システムの各構成要素での機能定義を明確にする。

3.2.3.2 プロトタイプ構成の決定と構築，およびアイデアへのフィードバック

(1) Step3：プロトタイプ構成の決定

Step2 によって，どの機能をどの構成要素で実装するかを決定した後，具体的な構成要素を決定する。図 3.18 に，構成要素としてオープンハードウェア/ソフトウェア，クラウドサービスの候補から，何を選択するかを決定する手順を示す。図の点線で囲った

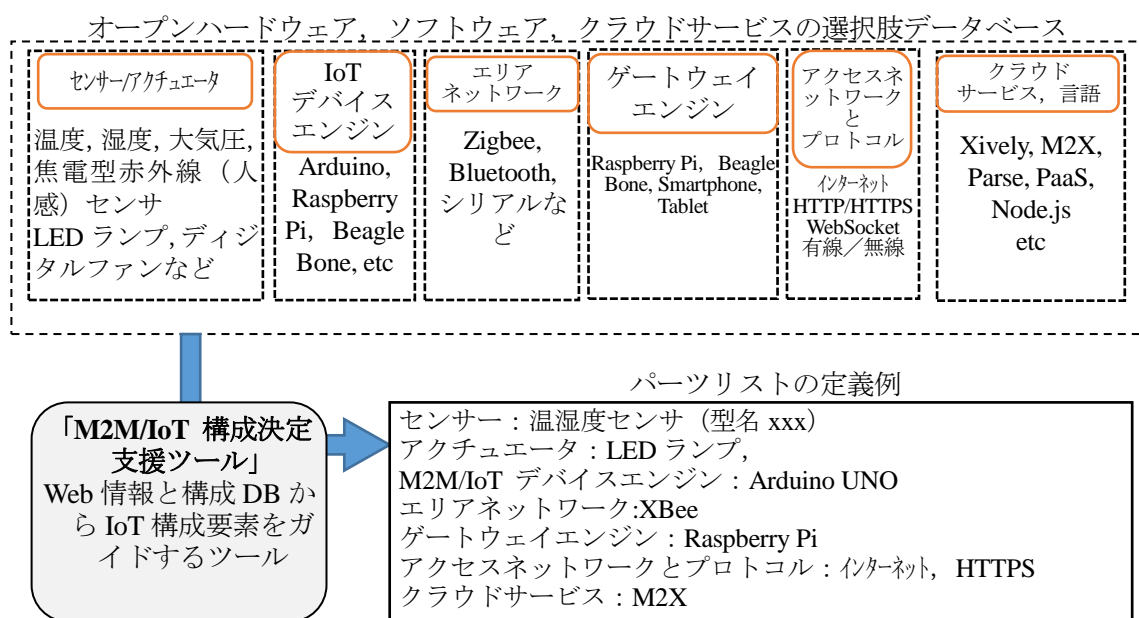


図 3.18 オープン製品からの構成要素の選択

部分が、M2M/IoT プロトタイプシステムの構成要素の候補となるオープン系のハードウェア、ソフトウェア、クラウドサービスの選択肢である。図の構成決定支援ツールによって、構成要素のデータベースから、たとえばセンサーの種類やその種類の中から選んで出てくる部品を選ぶ。各部品の説明やデータシートなどは Web ページへのリンク機能により、情報を参照できるようにしている。支援ツールの実現方式は、表計算ソフトのデータ管理の機能、Web へのリンク機能などを使って実現する。

(2) Step4 : プロトタイプの構築

Step4 のプロトタイプの構築手順を図 3.19 に示す。

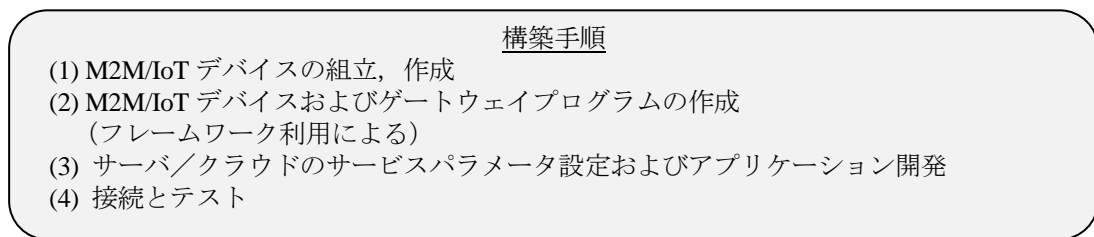


図 3.19 M2M/IoT プロトタイプシステム構築手順

M2M/IoT デバイスおよびゲートウェイプログラム作成では、3.1.3 項で示したアプリケーション開発フレームワークを適用してプログラムを作成する。M2M/IoT デバイスエンジン上のアプリケーションでは、複数のセンサーやアクチュエータとの入出力、ゲートウェイとの送受信を行う必要がある、プロトタイプ構築者は、必ずしも IT 系の専門家ではないため、これらのプログラミングに時間がかかる。これは、ゲートウェイプログラムにおいても同様である。本構築法では、M2M/IoT デバイスエンジンとして Arduino を対象に、ゲートウェイとして Processing を対象に、イベント処理方式のフレームワークを構築法に組み込んで提供する。選択したセンサー、アクチュエータ、エリアネットワーク、クラウドサービスとのプロトコルに応じて、それらとの入出力プログラムのコードをフレームワークに当てはめる処理を行う。これにより、M2M/IoT プロトタイプの M2M/IoT デバイスとゲートウェイのプログラムコードの基本部分が出来上がるため、選択したセンサーやアクチュエータの種類に応じて追加コーディングすることで、M2M/IoT デバイスのプログラムが出来上がる。このフレームワークを用いることにより、エリアネットワークは、ZigBee,Bluetooth,Wi-Fi 以外の通信手段を使う場合には、その種類に応じた追加コーディングのみを行えばよい。ゲートウェイのプログラムも同様に、M2M/IoT デバイスと間の ZigBee,Bluetooth,Wi-Fi 以外の通信処理や、クラウドサービスとのインタフェース処理、およびゲートウェイ内での固有処理を組み込むことで、ゲートウェイプログラムを構築することが出来る。

(3) Step5 : アイディアへのフィードバック

以上のように、M2M/IoT プロトタイプ構築が容易にできるようになることにより、その結果をもとにさらに要件や機能の追加、プロトタイプシステムの各要素では、センサーを追加したり、組込処理を変更したり、サーバ/クラウドの処理を追加したりといった変更を行うことによるアイディアのブラッシュアップが可能になる。このようにフィードバックループを繰り返すことによって、さらによりよいアイディアの実現や実現上の課題の解決につなげることができる。

3.2.4 実装

提案の方式による M2M/IoT プロトタイプ構築を、3つのアイディアに対して実装した。

3.2.4.1 水耕栽培 M2M/IoT プロトタイプシステム

(1) Step1 アイディアの創出と具体化

天候に左右されず、年間を通じて安全・安心な農作物が収穫できるようにしたいというニーズを実現するため、水耕栽培は多くの栽培に利用され、研究報告も行われている⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。栽培環境を人手をかけずに遠隔から監視し、LED光源の適切なコントロールを行うことを目的に、M2M/IoT 技術を活用し、監視制御等のシステム事例を参考にしながら、水耕栽培 M2M/IoT プロトタイプシステムのアイディアを創出した。

具体化として、植物の生育に関連する温湿度、色、水分などのデータを取得し、生育状況との関連がわかるような見せ方をすること、この中で特に色を変化させられるようにし、色による生育への影響を観察できるようにすること、遠隔からでもスマートフォンなどで、状況がわかるようクラウドにデータを蓄積すること、あらかじめ設定した温湿度、水分不足などの異常を検知し、通知することができることなどを定義した。

(2) Step2 プロトタイプ機能定義

このアイディアを実現するため抽出した機能は、栽培環境である温度、湿度、光の強さや色、溶液などの監視機能と、そのフィードバックによるコントロール機能である。これらの機能に基づき、図 3.17 に示した技術要素と M2M/IoT 構成とのマトリクスから、構成を決める上での要件を次の通り、洗い出した。

- (i) センサー技術：植物の生育に関連する環境センサーとして、温湿度、カラー、水分等のセンサーが必要である。
- (ii) 機械制御技術：色の変化による生育制御を行うため、フルカラーLED などを用いて、色をコントロールできることが必要である。
- (iii) 組み込みソフト：M2M/IoT デバイスエンジンおよびゲートウェイには、クラウドや利用者によって指定される色の変更制御のための仕組みがプログラムとして必要になる。
- (iv) 情報システム：ゲートウェイおよびクラウド上のアプリケーションは、栽培データの

蓄積により、育成する直物に応じた制御を行えるような制御が必要となる。プロトタイプとして、まずは色の制御を行うことであったので、情報システムは、データを蓄積するのみでよい。

(v) ネットワーク：センサー、アクチュエータを持つ M2M/IoT デバイスとゲートウェイの間は、近距離で消費電力の少ない無線ネットワークが必要になる。ゲートウェイとクラウド間は、インターネット回線があればよい。

(vi) データ分析：データ分析は、植物の生育状況を人間が確認する必要がある、それとセンサーで取得した温湿度、照度、カラーとの関連を分析できるようにしておくことが必要になる。そのために、センサーデータを保存できることが必要になる。

(vii) M2M/IoT 応用システム：全体の管理として、スマートデバイス等からデータを確かめること、画像を取得できることなどが要件として挙げられた。またスマートデバイスからクラウド、ゲートウェイ経由で M2M/IoT デバイスを制御可能なように構築できることが必要である。M2M/IoT デバイスの接続数は、水耕栽培を行うのは、一般に建物の中で育成栽培を行う手法であるので、建物の 1 フロアに 1 台のゲートウェイを置くことを想定して、M2M/IoT デバイスの数は、多くて数十台と考えておけばよい。

(3) Step3, Step4 プロトタイプ構成の決定と構築

図 3.18 に示した構成決定支援ツールにより、M2M/IoT システムとして実施する機能に合わせて、オープンシステムの各要素からプルダウンメニュー形式により選択する方法で要素を選んだ。どんなデータを取るかという質問に対して、センサーの種類を選択し、順に複数のセンサーを選択した。抽出した機能に基づき、どんな処理をするか、結果をどう見せるかなどを、順に指定をしていくことによって、最終的な構成要素を決定した。M2M/IoT デバイスの Arduino プログラムは、選択したセンサーやアクチュエータに応じて、その入出力のプログラムコードを作成する必要がある。複数のセンサーやアクチュエータ、ゲートウェイとの通信のプログラムコードは、M2M/IoT デバイス・アプリケーションフレームワークに基づいて、サンプルコードを自動生成するので、プロトタイプ構築者は、そのプログラムに送受信時間間隔や、データの変換などの必要な変更を加えるだけで、M2M/IoT デバイスプログラムを作成することができた。水耕栽培の植物の上部に M2M/IoT デバイスを乗せて、フルカラーLEDにより、色を変化させることで、栽培環境が変わるようにした。

3.2.4.2 照明・空調制御 M2M/IoT プロトタイプシステム

(1) Step1 アイディアの創出と具体化 近年オフィスビルのエネルギー消費が増え、消費量の約 60%を占める照明・空調の省エネが重要となっており、監視制御等のシステムの研究⁽¹⁶⁾が行われている。このような照明・空調の省エネニーズと、M2M/IoT 技術のシーズから、在席エリアの照明・空調を快適にする M2M/IoT プロトタイプシステムのアイディアが創出された。

(2) Step2 プロトタイプの機能定義 本節の提案方式を適用し、まず、照明・空調制御 M2M/IoT プロトタイプシステムに必要な機能を抽出した。抽出した機能は、在籍者の把握、在席者の近辺の温度、湿度、照度の状態監視、およびそれらのコントロール機能である。これらの機能に基づき、図 3.17 に示した技術要素と M2M/IoT 構成とのマトリクスから、構成を決める上での要件を次の通り、洗い出した。

(i) センサー技術: センサーとしては、在席エリアの温度や湿度、照度を測るため、温湿度、照度のセンサーが複数設置できることが必要である。在席エリアの把握は、部屋の入室に ID カードが用いられることからその情報に紐付いてエリアを特定することとし、人感センサーは使用しない。

(ii) 機械制御技術: 照明や、空調の制御を行う仕組みが必要である。これは M2M/IoT デバイスあるいはゲートウェイから照明や空調の装置に対して直接制御できる仕組みが必要で、HEMS(Home Energy Control System)をサポートしている機器であれば、それを利用し、そうでなければ、別にその機能を実装することを考える必要がある。

(iii) 組み込みソフト: M2M/IoT デバイスエンジンおよびゲートウェイに組み込むソフトは、センサーデータの取得、照明、空調の装置をコントロールするプログラムが必要となる。

(iv) 情報システム ゲートウェイおよびクラウド上のアプリケーションは、在席エリアの情報とセンサーデータとの対応、在席エリアと証明や空調装置との対応を管理できることが必要で、これに基づき、装置の制御を行う必要がある。

(v) ネットワーク: センサーを搭載した M2M/IoT デバイスとゲートウェイ間は無線通信ができ、クラウドとの間はインターネット回線が必要である。

(vi) データ分析: センサーから得られるデータのほか、外気温などとの比較ができ、分単位の細かさでのデータ収集、分析と、月単位の期間での傾向分析ができることが望ましい。

(vii) M2M/IoT 応用システム: 全体の管理として、スマートデバイス等からセンサーデータを確認できること。またスマートデバイスからクラウド、ゲートウェイ経由で装置を制御可能なように構築できることが必要である。

M2M/IoT デバイスの接続数は、建物の 1 フロアに 1 台のゲートウェイを置くことを想定する。また、M2M/IoT デバイスの数は、フロアの机ごとに数個あればよい。全体では、1 台のゲートウェイで、200~400 くらいのセンサーがあることが必要となる。

(3) Step3,4 プロトタイプ構成の決定と構築

他の事例と同様、構成決定支援ツールにより、最終的な構成要素を決定した。M2M/IoT デバイスプログラムの構築、ゲートウェイプログラムの M2M/IoT デバイスとの通信およびクラウドとの通信は、構築フレームワークにより、基本部分が出来上がるので、主としてゲートウェイ上の制御アルゴリズムの開発が本構築では重要であった。IoT デバイスからのセンサー情報と、ID カードによる入室情報に基づいて、在席している人の近くの空調を稼働させるように制御した。

3.2.4.3 認知症早期発見プロトタイプシステム

(1) Step1 アイディアの創出と具体化 高年齢化が進む現在、認知症の患者数の増加が見込まれており、その対策として早期発見が有効とされている。特に一人住まいの老人の認知症は発見が遅れる傾向にあり、独居老人の認知症に関連すると思われる異常行動を早期発見する仕組みが望まれている。そこで、M2M/IoT 技術を適用し、異常行動の1つである物忘れ、その中でも水道の止め忘れという事象に着目した早期発見プロトタイプシステムのアイディアが考えられた⁽¹⁷⁾。

(2) Step2 プロトタイプ機能定義 アイディアを実現するために抽出した機能を、M2M/IoT システムとしてどのように実装するかで、まずそれをセンサーでどのように捉えるかを考えた。具体的には、物忘れの典型的な事象として、水道の止め忘れを検出する機能を実現する上での要件を次のように洗い出した。

(i) センサー： 人がいない状態で水道が出っぱなしになっていることを検知できること。これは音センサー、人感センサー、圧力センサー等の複数のセンサーの組合せによって検出する必要がある。温度や湿度のようなデジタルな情報ではないため、この検知方法についていろいろ試行錯誤することが必要になる。

(ii) 機械制御： 止め忘れ状態を制御する機能が考えられるが必須ではない。

(iii) 組み込みソフト： M2M/IoT デバイスエンジンまたはゲートウェイにおいて、複数のセンサーデータの組合せにより、また音についても音のパターンによって水道の水を出している音であることをフーリエ変換や音のデータパターン比較などにより検出するためのプログラムロジックが必要である。

(iv) 情報システム： ゲートウェイおよびクラウド上のアプリケーションとして、データを蓄積することで、過去データとの比較や傾向分析が必要になることが考えられる。

(v) ネットワーク： エリアネットワークとして、家庭内に設置する M2M/IoT デバイスとゲートウェイとの間で無線通信ができることが必要である。アクセスネットワーク：クラウドサービスとの間で通信ができるものとしてインターネット回線が必要である。

(vi) データ分析： 水道の止め忘れと考えられる状況を、時間軸で比較、分析する機能が求められる。

(vii) M2M/IoT 応用システム： インターネットに接続される PC やスマートデバイスからデータを確認あるいは、その状況をいち早く把握できることが必要である。

M2M/IoT デバイスの接続数は、まずは、水道の止め忘れだけであれば、家の中で、水道を使う場所は多くはないので、M2M/IoT デバイスの数は、多くても数台と考えておけばよい。

(3) Step3,4 プロトタイプ構成の決定と構築

このアイディアをプロトタイプとして実現する上での構成の決定は、本当に止め忘れが発生しているかどうかを正しく判定できるかどうか重点が置かれる。このため、センサーの選定とその組合せが重要になる。プロトタイプによる実験では、センサーの選定およびそれらを組合せることによって得られる状態をいくつか試してみる事が重要になる。構

成決定支援ツールでは、センサーの選定、複数のセンサーの組合せによって得られる情報を、センサーの仕様情報を見せながら、ツール利用者が考えていけるようにした。センサーが決定したら、構築フレームワークを適用することにより、M2M/IoT デバイス上のプログラムとゲートウェイ上のプログラムの基本部分を構築することができた。ただし、M2M/IoT デバイス上のプログラムにおいて、センサーから得られた音の情報に基づき、それが水道を流している音なのかどうかを判定する変換およびパターン認識が必要であり、これがこのアイデア実現における工夫点であった。

3.2.5 評価・考察

3.2.5.1 提案方式適用の評価

(1) 水耕栽培 M2M/IoT プロトタイプシステム

図 3.17 に示すマトリクスにより機能要件から構成要素を導き出し、構築フレームワークを適用することにより効率よくプロトタイプの構築ができた。実際に異分野技術の融合による水耕栽培の実現の研究テーマに適用することにより、出来上がったプロトタイプから、アイデアへのフィードバックを行うことができ、センサーの追加や、集めたデータを元に水耕栽培の対象野菜別の湿度やカラーのパターンを適用させることで、監視のほかに、蓄積データをもとにした栽培法のパターン化などへのアイデアを創出することができた。

(2) 照明・空調制御 M2M/IoT プロトタイプシステム

本システムは、照明・空調の制御により、省エネを実現するとともに、そこにいる人間の快適性を実現するアイデアである。M2M/IoT 技術を適用することで、それがどのように実現できるかは、センサー情報とそのフィードバック制御により決定されるため、センサーの設置場所やフィードバックのタイミング、そしてそのアルゴリズムが重要であるが、プロトタイプシステムを容易に実現できることにより、繰り返し実験ができ、プロトタイプ構築法が有効に働いたと言える。

(3) 認知症早期発見プロトタイプシステム

本システムのアイデアは、認知症早期発見のための行動センシングセンサシステムの研究である。このシステムのプロトタイプを1ヶ月程度ですばやく構築するという点では、本提案方式が有効であった。しかし、最終目的である認知症早期発見という点で、それを判定する方法は、デジタル情報としては得にくいものであり、使用するセンサーを変えたり、設置場所を変更したり、繰り返し試行ながら、確からしい情報を得るための試行が必要であった。そういう点で、プロトタイプを効率よく何度も構築しながらフィードバック出来る本提案方式は有用であった。

3.2.5.2 課題解決の評価

(1) M2M/IoT システム構築上の課題

M2M/IoT システム構築には、多くの技術要素を必要とするため、時間と労力がかかり、ア

アイデアを創出しても、M2M/IoT システムのプロトタイプを容易に構築する方法がない、という課題に対して、プロトタイプの構成要素を決める方法や、構築までの方式の提案により、容易にプロトタイプ構築を行うことができたと評価できる。

構築期間で評価すると、構築法なしで最初から調査、検討して構築するには、プログラム経験のない構築者だと、6ヶ月程度は必要となる。途中で投げ出してしまう可能性もある。それに対して、本提案の構築法を用いることによって、非IT系の構築者でも、1～2ヶ月以内には構築、実行まで達成できた。

基本構成と構築手順の具体化により、ブラックボックス部分はあるが、短期間で実際に確かめてみるM2M/IoTプロトタイプシステムの構築ができた。また、その結果をもとに構成要素の追加・変更やアイデアの見直しを行い、フィードバックすることで、より目的とするシステムの実現に近づけることができた。

(2) プロトタイプ構築上の課題 構成の決定と実際の構築については、実現上の技術的な要件情報とM2M/IoTシステムの基本的な構成要素とのマトリクスによって、考えるべきポイントが明確になり、それを具体的なM2M/IoTシステムの構成要素にマッピングできるため、的確な構成要素の選択に結びついた。

構築におけるプログラミングとして共通するのは、M2M/IoTデバイス上のセンサー値取得やアクチュエータ制御のプログラム、ゲートウェイのプログラムなどの部分だが、構築フレームワークを活用することにより、効率化できた。具体的には、M2M/IoTデバイス上のセンサーやアクチュエータの制御、ゲートウェイとの通信、ゲートウェイとクラウドサービスとの通信などの方法であり、この部分については、フレームワークにより呼び出し方や呼び出す順序、その時間間隔などをフレームワークが提供するテーブルに設定するだけでよいため、プログラミングの複雑さを回避することができた。初回の作成プログラム量はフレームワークを使わない場合と比べて大きくは変わらないが、構成を変えて繰り返しプログラムを変更する場合の手間は、半分以下になった。

3.2.5.3 考察

本研究では、アイデアからその具体化、機能の定義と構成要素の決定、そして構築に至る全体的な手順を明確にしておき、3つの事例に基づき、その効果を実証した。M2M/IoTを構成するいろいろな技術をそれぞれ詳しく知らなくても、本構築法に基づき、アイデアを実現するM2M/IoTプロトタイプシステムを構築できることで、アイデアへのフィードバックと改善のサイクルが回り易い。たとえば、アイデアに基づき、それを実現するM2M/IoTプロトタイプシステム構築によって、当初のアイデアを実現し、さらに、センサー、アクチュエータ、プログラム処理などを充実することで、さらに新しいアイデアのヒントが創出でき、それを試すことが容易になった。アイデア・ブラッシュアップの効果があるといえる。またこの体験に基づいて、いろいろなセンサーやアクチュエータの接続、ゲートウェイに持たせたい役割、クラウドサービスでのデータの利活用を考える

きっかけにもなった。

温度や湿度などのようなデジタル値を得るセンサー以外に、状態の変化の検出や、複数センサーの組み合わせにより判定するような事象の場合、M2M/IoT デバイスやゲートウェイでのプログラミングが重要になる。これらは、ある程度動くプロトタイプを構築した後に、プログラムを追加、変更しながらアイデアの目的を達成するために行う作業になる。初期のプロトタイプ構築が容易にできることで、当初目的としたアイデアの実現をより短期間で達成できる可能性がある。

プロトタイプ構成決定支援ツールでは、あらかじめプロトタイプとして利用しやすいセンサーやアクチュエータのリストをデータベースとして用意しておき、その中から選択できるようにした。しかし、特にセンサーは非常に多くのものがあり、その情報をデータベースとして整備し、利用目的に応じて検索できるようにすることが今後求められると考える。

提案した構築法では、機能を実現することを主眼にしているため、構成決定の際に、運用・保守性の要件やコスト要件を加えていない。しかし、これもアイデアの第一歩が実現できることで、さらに検討すべき要件を加えていくことで、実用上の課題や解決法が見えてくる可能性がある。

実装では3つの例を述べたが、今後さらなる例を構築し、M2M/IoT 分野が広がるための貢献につなげたい。

3.2.6 まとめ

M2M/IoT システムは、多くの分野に活用できる技術であり、それゆえにそれぞれの分野の人が考えるアイデアは貴重である。本節では、アイデアをより具体化し、プロトタイプとして構築しやすいように、M2M/IoT システム構築の技術的な難易度を軽減した、アイデアに基づく M2M/IoT プロトタイプシステム構築法を提案した。アイデアから実現する機能や内容を抽出し、機能／構成マトリクスによって、プロトタイプ構築の型を決めるアプローチで、水耕栽培 M2M/IoT システムのプロトタイプ構築、照明・空調制御 M2M/IoT システムプロトタイプ構築、認知症早期発見 M2M/IoT プロトタイプ構築へ適用し、本提案方式による効果があることがわかった。

本研究成果の成果物は、アイデア→要求機能変換方式、機能・構成要素変換法 であり、3.1 節の分野対応プロトタイプシステム構築法を活用することが出来た。

3.3 M2M/IoT システムのサーバアプリケーション自動生成法の提案と実装・評価

3.3.1 M2M/IoT システムにおけるスマートデバイスの多様性に対応した Web アプリケーション自動生成機能と実装

3.3.1.1 はじめに

M2M/IoT 分野におけるクラウドサービスとして提供される機能は、充実化が図られており、M2M/IoT システム開発におけるサーバ/クラウド上のアプリケーションを一から大量に構築することは少ない。しかし、企業のシステム稼働環境は、パソコンに加え、スマートフォンやタブレット端末など端末レパートリが増え、クラウド環境の普及とインターネットの高速化により、様々な端末をインターネットでクラウドコンピュータに接続して利用することが多くなってきた。特に屋外や移動先で利用する端末としてスマートフォンやタブレットなどのスマートデバイスの利用ニーズが増加している。このような移動先作業を支援する業務用のシステムとして、スマートデバイスと Web アプリケーションの組合せの有用性がますます高まっている。M2M/IoT プロトタイプシステムから一歩進めて、サーバ/クラウド側にアプリケーションを書く場合は、Web アプリケーションとなるケースが多い。Web アプリケーションの開発は他のシステム開発に比べて手間のかかる部分が多いが、開発にかけられる工数は短縮化の傾向にある。

Web アプリケーション開発の効率化の取り組みとして、以前から Web アプリケーションの開発生産性を向上するためのフレームワーク^{(18)~(20)}が注目されている。Web アプリケーション開発のフレームワークは、データベースアクセスやセッション管理等の機能と、データベース・ビジネスロジック・プレゼンテーションに分離する機能を提供し、生産性向上を図っている。手法としては、オブジェクト指向言語を使用してアプリケーションの雛形クラスを継承してアプリケーションの開発の生産性を向上する手法であり、デザインパターンの手法とソフトウェア・ライブラリの手法も含む。フレームワークを利用して開発の生産性を向上させる研究は多く^{(21)~(28)}、プログラムコードの自動生成もその1つである。しかし基本的に自動生成はプログラムコードの雛形の作成にとどまり、プログラム言語を使って追加作成しなければならない部分が残ることが多い。

アプリケーション開発でデータベースを扱う場合、データベースの定義情報からデータベース操作画面やデータベースアクセスのプログラムコードを自動生成することが望まれる。データベース定義情報から基本的な生成、検索、更新、削除操作を行うプログラムの自動生成が可能なツールは存在するが、多対多のような関係のモデルのデータを扱う自動化ツールは報告されていない。

端末としてスマートデバイスを使うアプリケーションを開発する場合は、画面サイズの多様性や、操作ボタンの違いなどにより、操作性のよいアプリケーション開発には手間がかかる。画面の自動生成を行うツールは基本的に PC を対象としており、スマートデバイ

スのような多様な種類の端末では、端末の種類ごとに作成が必要となっている。1つのアプリケーションで多様なスマートデバイスに自動的に対応できるような開発が課題である。

商用のソフトウェア開発ツールには、自動生成ができる Canon Web Performer⁽²⁹⁾や GENEXUS⁽³⁰⁾などがあるが、多様な端末への対応という点で各々開発が必要である。

Web アプリケーションの再利用性による生産性向上の方法としては、筆者らはソフトウェア開発フレームワークを使ってアプリケーションの再利用性を高める研究⁽³¹⁾を行った。この研究ではフレームワーク上に仮想フレームワークを開発し、Web アプリケーションの再利用性向上を図った。この方法は再利用可能な同様のシステムを開発するのに効果があるが、端末の多様性への動的な対応については考慮されていない。

本節では、業務システムにおけるスマートデバイスの多様性に対応した Web アプリケーション自動生成機能を提案する。本節で述べる方式は、多様なスマートデバイスを活用する業務用システムにおいて、データベースのテーブルの関連定義に基づいた Web アプリケーションを自動生成するとともに、スマートデバイスの多様性に対応できる方式であり、本方式の骨子は次のようである。

(1) MVC (Model-View-Controller) モデルにおいて、Model の定義と、アプリケーション業務固有のコードを View や Controller を拡張して、拡張フレームワークとして実装する方式と、Scaffolding 機能の拡張とにより、追加プログラミングを極力不要とする自動生成方式とする。

(2) データベースアクセスについては、デザインパターンを活用し、多対多の概念モデルを model に実装する際に、中間テーブルを利用した model 定義と model 間の依存関係定義により、その定義に対応した自動生成を可能とする。

(3) 自動生成する View は、画面表示において、JSON (JavaScript Object Notation) データ形式を用い、スマートデバイスの多様性に依存しない方式を利用し、スマートデバイス側にカスタムブラウザを置き、スマートデバイスの画面サイズや操作性などの多様性に対応する。

本研究では、本提案を保守業務支援システムへ適用し評価を行った。

3.3.1.2 スマートデバイスの多様性に対応したシステムの開発課題

(1) スマートデバイス活用アプリケーション開発要件

スマートフォンやタブレットなどのスマートデバイスは、オフィスの外でもインターネットにつながり、GPS などのセンサーを搭載しており、軽量、コンパクトで携帯性のよさから、M2M/IoT システムのデバイスやゲートウェイとして使われることが増えてきた。また業務でも多く使われるようになってきている。利用環境におけるシステムの要件として、サーバでの集中管理として、複数のスマートデバイスの使用におけるモバイルデバイス管理や業務管理、セキュリティ管理などが必要である。また、複数のスマートデバイスから同時に利用するための業務データベース管理が必要であり、データベースへのアクセスの手

段としては、Web アプリケーションによる方法が有効である。スマートデバイスとサーバ間の通信手段として、移動先から使うために、LTE や WiMAX などの無線通信手段が必要となる。スマートデバイスの利用環境として移動先での利用、タッチ操作、画面サイズが4～5インチのスマートフォンと7～10インチのタブレットなど多様であること、などへの考慮が必要、という利用上の要件がある。

これらの要件を満足する業務アプリケーション開発のためには、複数の端末から業務データベースにアクセスする Web アプリケーションの開発と、無線環境で移動先から利用するスマートデバイスの多様性に対応するアプリケーション開発の生産性向上が課題となる。

(2) スマートデバイス活用アプリケーション開発の課題

スマートデバイス活用の業務システムは、スマートデバイスとサーバ上の Web アプリケーションから構成される。Web アプリケーションの開発は他のシステム開発に比べて手間のかかる部分が多い上、スマートデバイスの画面サイズや操作性などの多様性を考慮したアプリケーションを開発するのは、開発と検証に時間を要する。Web アプリケーションの生産性を向上させる方法には、フレームワークの活用が考えられる。フレームワークは、Web アプリケーション開発で共通するデータベースアクセスやセッション管理、データベース、ビジネスロジック、プレゼンテーションなどへの分離の機能がフレームワーク側で提供されており、開発者はビジネスロジックにのみ集中して開発を行える。しかし、以下に示すようにいくつかの開発上の課題がある。

① プログラムの自動生成の課題 Web アプリケーション開発のためのフレームワークには、デザインパターンとして MVC 方式のオブジェクト指向プログラミング手法が採用されているものが多い。この中には、cakePHP のようにプログラムコードを自動生成する Bake や Scaffold という機能によってプログラムの足場を作ることができるものもある。ここで生成されるのは、MVC モデルにおける model, view, controller のコードであり、これだけでデータの追加、参照、更新、削除などの基本的な機能を持つプログラムが作成される。ただし、自動的に生成される画面は、データの表の各レコードを単に表示したり、入力したりするような画面であり、たとえばレコードの並べ替えや入力チェック、入力項目のデータに依存して特別な処理を行うプログラムは生成されない。従って、具体的な業務に使用するためには、追加プログラミングが必要になる。その量は、業務の内容によってさまざまであるが、通常2倍程度のプログラムを書く必要がある。

また、追加プログラミングを行ったあとに、データ項目に追加・変更などがあって再度自動生成をした場合は、もう一度追加したプログラムコードを入れなおすか、自動生成をしないで、データ項目追加に対応するコーディングを行う必要も生じる。すなわち、自動生成が最初の段階でしか使えず、不十分だと言える。自動生成によって生成されたプログラムに、追加プログラミングが不要であるプログラム自動生成機能が望まれる。

② データベースアクセスにおける課題 スマートデバイスを活用する業務

システムでは、要件で示したようにサーバのデータベースへのアクセスを行う。したがって、データベースをアクセスするプログラムの生産性が課題となる。オブジェクト指向プログラミングにおいては SQL データベースを扱う際に、オブジェクトを、データベースに格納可能な単純な値のグループに変換するオブジェクト関係 (O/R) マッピングの手法が用いられる。Active Record デザインパターンは、O/R マッピング機能を実現する手法の一つである。例えば cakePHP における Active Record では、PHP の連想配列機能 (二次元) を使用しており、Excel の表のような感覚でデータベースを扱うことができる。データベースの複数の表の間の関係を利用してデータベースの操作を行うコードを自動生成が可能である。しかし、多対多 (hasAndBelongsToMany) のような複雑な関係では自動生成ができず、限定的である。定義の方法により、多対多の関係性を持つデータベースについても、View 部と Controller 部が自動生成される機能の実現が望まれる。

③ スマートデバイスの多様性への対応の課題 PC 用の Web アプリケーションをスマートデバイスで表示すると小さくて見づらいか、全体が表示できないという問題が生じる。フレームワークがサポートする画面の自動生成は一般に PC 用の画面生成だけであり、スマートデバイスの画面や操作性を考慮した画面生成機能などは、ユーザが個々に View 部分の画面を開発する必要がある。操作はタッチ操作が基本であり、マウスをクリックするのとは異なり、指でタッチしやすい大きさのタッチ領域を考慮する必要がある。また、スマートデバイスの画面サイズの違いや OS のバージョンの違い、ブラウザにおける Webview の実装の違いなどもある。このため多様な機種レパートリがあるスマートデバイス用のアプリケーションはその開発や保守に手間がかかる。また、Web サーバと Web ブラウザ間で非同期な通信を行う Ajax (Asynchronous JavaScript+XML) 機能を実現する jQuery やスマートデバイスをサポートした jQuery Mobile のような JavaScript ライブラリを使った画面生成もサポートされていないことが多いため、操作性のよい画面を自動生成することができない。

3.3.1.3 Web アプリケーション自動生成方式と実装法

(1) 自動生成方式

業務システムにおけるスマートデバイスの多様性に対応した Web アプリケーション自動生成機能を提案する。多様なスマートデバイスを活用する業務システムの開発において、アプリケーション業務固有のコードを拡張フレームワークとして実装する方式と、Scaffolding 機能の拡張により、追加プログラミングを極力不要とする自動生成方式とする。実装には MVC モデルを採用しているオープンソースのフレームワークを利用する。また、データベースのテーブルの関連定義に基づくデータベースアクセスプログラム部分の自動生成や、多様なスマートデバイスの種類に動的に対応できる自動生成を可能とする。Web アプリケーションの自動生成方式の全体図を図 3.20 に示す。図において、右側がサーバであり、左側が端末である。サーバと端末間のプロトコルは HTTP/HTTPS プロトコル、

データ形式は HTML/JSON データ形式を使用する。サーバ上のアプリケーションは MVC モデルで構成され、MyModel 部には、データベースのスキーマ定義や表の関係を定義する。この MyModel 部により、MyView 部と MyController 部を自動生成する Scaffolding 機能の拡張を実現する。図の Model, View, Controller は標準フレームワーク部分であり、これを拡張しアプリケーション部分を追加したのが、MyModel, MyView, MyController である。端末側のスマートデバイス上にはカスタムブラウザを置いてスマートデバイスの種類に応じた処理を行う。

① 自動生成率を向上させる Scaffolding 機能の拡張

MVC モデルにおいて Model 部はアプリケーションにおいてデータベースと関連しビジネスロジックを担当し、View 部は表示、入出力を担当し、Controller 部は Model 部と View 部を制御する。図 3.20 のサーバ内に示す a)~e)は、まず a)は Web ブラウザからの入力要求を MyController 部が受け取り、b)で MyModel 部へその要求を伝えるとともに、c)で MyView 部にコントロールを渡し、d)で MyModel から情報を得て、e)で MyView 部により応答が返される処理の流れを示す。MVC デザインパターンにおいて、View 部で画面に表示するデー

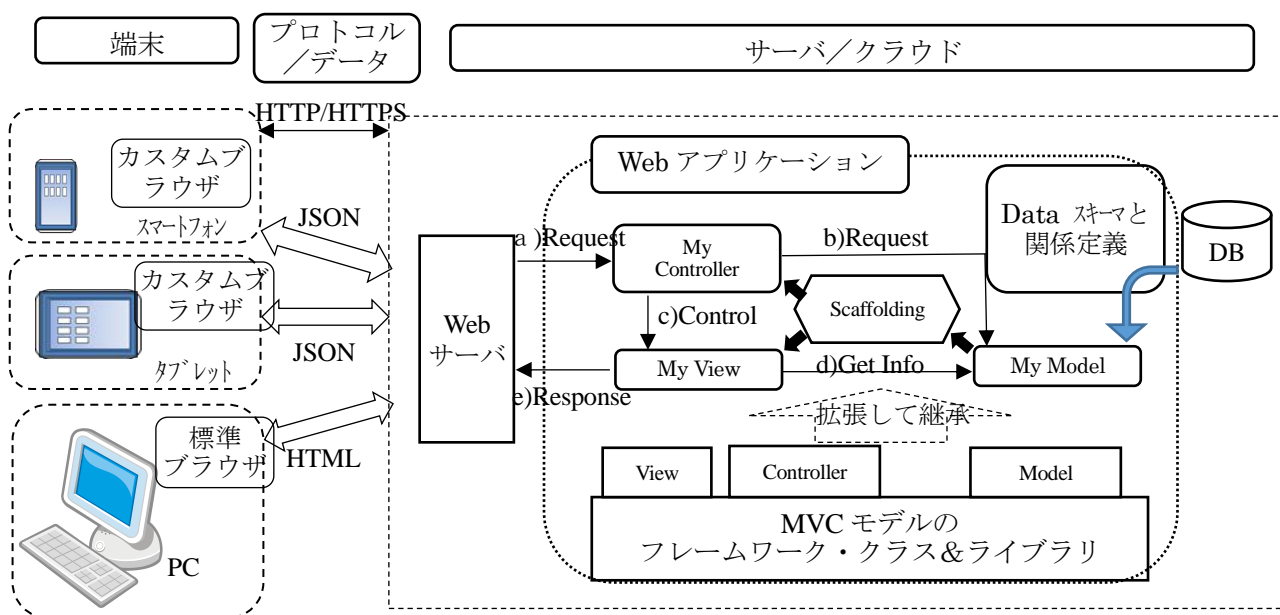


図 3.20 クライアントサーバモデルと MVC モデルでの Scaffold による Web アプリケーション自動生成

タは Model 部で定義した内容を表示するので、Model 部との間に依存性がある。このため、Model 部から View 部を自動生成するフレームワークを活用することで、画面を自動生成することが可能である。この依存性を利用して Model (データ) から Controller (入出力処理) と View (画面) を自動生成する機能を実現する。標準フレームワークが提供する

Scaffolding では単に足場を作るだけにとどまっていたが、標準フレームワークを拡張し、アプリケーション業務固有のコードを実装した拡張クラスおよびライブラリと、Scaffolding 機能の拡張により、アプリケーション固有のコードが自動生成で反映されるため、そのまま利用可能なプログラムが実現可能である。追加プログラミングが不要になることで、データ項目の追加・変更に対しても、再自動生成をすることで対応可能になる。従って、初期の自動生成だけにとどまらず、プログラム開発過程を通して、プログラムの生産性を向上させることができる。特に、Model から View や Controller を自動生成する際には、画面処理などの Model に依存して生成できる部分が多いため、アプリケーションとして記述するプログラミングの量を減らし、効率化する効果が大きくなる。

② データベースアクセスにおける表間の関係性に考慮したプログラムの自動生成
Active Record デザインパターンにおける O/R マッピング機能を利用して、データベースの関連する複数の表のレコードを二次元連想配列で表現する。データベースの複数の表の間の関係には、1 対 1 (hasOne), 1 対多 (hasMany), 多対 1 (belongsTo), 多対多 (hasAndBelongsToMany) などの関係があり、これらを Model 間の関係として定義しておくことによって複数の表にまたがるデータの検索や更新が可能となる。その際、Model 部から View 部だけでなく、複数の表にまたがるデータベースの操作を行うコードを自動生成する。自動生成は、正規化された表と表間の依存関係、すなわち model 定義および model 間に存在する依存関係に対応して、表示 (view) と処理 (controller) を自動生成する Scaffolding 機能の拡張により実現する。これによって、正規化された表間の依存関係に対応して、複数の表のレコードの CRUD (Create, Read, Update, Delete) 処理の自動生成を可能とする。正規化された表に対して、プログラマが SQL 文を使って、表の間の関係をプログラムしなくてもよく、中間テーブルを利用したデータの相互関連性定義 (関連定義) をすることで、多対多のような表間の関係を持つデータにアクセスするアプリケーションも生成できるようにする。

中間テーブルを持つことで、多対多のたとえば、装置と構成部品のような関係にあるデータにおいて、装置と構成部品の両方によって決まる装置固有の部品設定情報などを中間テーブルに持たせることが可能となり、データ設計が容易になる。

定義方法は、O/R マッピング機能を利用し、データベースの表の間に「1 対 1, 1 対 n, n 対 1」などの関連がある場合に、MyModel 部にその関連を「has one, has many, belongs to」のように定義する。「m 対 n」の場合は、中間テーブルを用いて「has many, belongs to」で定義する。このようにして MyModel からアプリケーション固有の MyController 部と MyView 部の自動生成を行う。

② スマートデバイスの多様性への対応

View で画面に表示するデータは Model で定義したデータの内容を表示するという依存性を利用してアプリケーション固有の MyModel (データ) から MyController (入出力処理) と MyView (画面) を自動生成する機能を実現するが、生成する画面の項目の位置関係や

入力項目の入力方法をスマートデバイスの画面サイズや操作を考慮した形にするため、スマートデバイスにカスタムブラウザを開発し配置する。これによって、多様なスマートデバイスの画面や操作性に動的に対応可能とする。図 3.20 の左側に示すスマートデバイス上のカスタムブラウザ部分の実現方式を図 3.21 に示す。図において、スマートデバイス上には、HTTP プロトコルを処理するプログラムの下で、非同期にサーバとデータの送受信を行う Async Loader と実際の画面処理を行う Activity が連携し、Activity 部は、普通の HTML データの表示処理もできるが、Web サーバから送信される JSON データに基づき、画面定

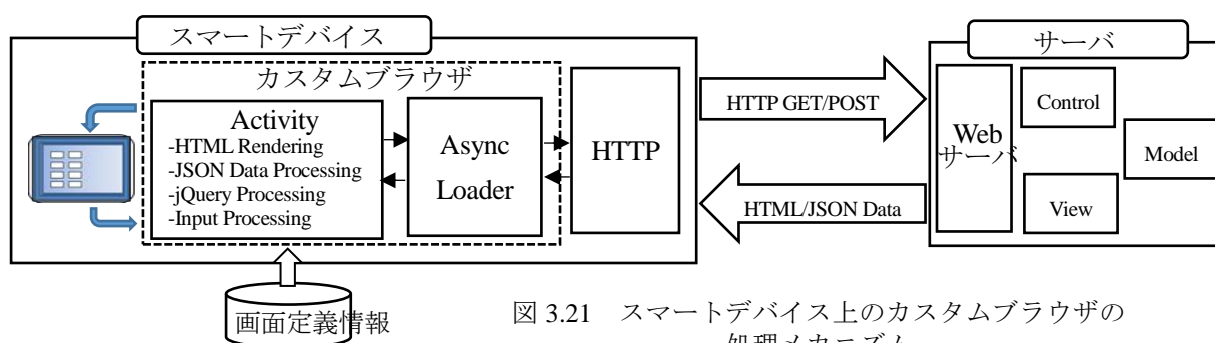


図 3.21 スマートデバイス上のカスタムブラウザの処理メカニズム

義情報を元に、画面表示処理を行う。入力処理も Activity 部が行うので、スマートデバイスによって操作ボタンなどが異なる場合にもそれを吸収することが可能となる。このようにすることで、スマートデバイスの機種に依存したアプリケーションの変更を不要とする。このほか、Web ブラウザと Web サーバ間の非同期通信が可能な Ajax (Asynchronous JavaScript+XML) 機能を利用できる JavaScript ライブラリを利用することで、Ajax 機能を実現し、操作性の向上を可能とする。

(2) 実装法

① フレームワークの活用 実装で利用するフレームワークとして、オブジェクト指向言語をサポートしており継承機能が使えるものとする。さらに MVC デザインパターンと Active Record のような O/R (Object/Relational) マッピング機能がサポートされているものを利用する。このフレームワークを活用して、自動生成を実現するためにフレームワークを継承したクラスを生成する。図 3.20 の Web アプリケーション内部の実装法を図 3.22 に示す。図において標準フレームワークに Model, View, Controller それぞれのクラスとライブラリがあり、これに Model と View の拡張クラス及び拡張ライブラリとして機能を追加する。機能の拡張は標準フレームワークを継承したクラスで行うことにより標準クラスの中に直接手を加えることはないようにする。この拡張機能は自動生成機能を含め、アプリケーションに必要な機能を追加しておくことによって、自動生成後のプログラムに手を加えることを不要にする。

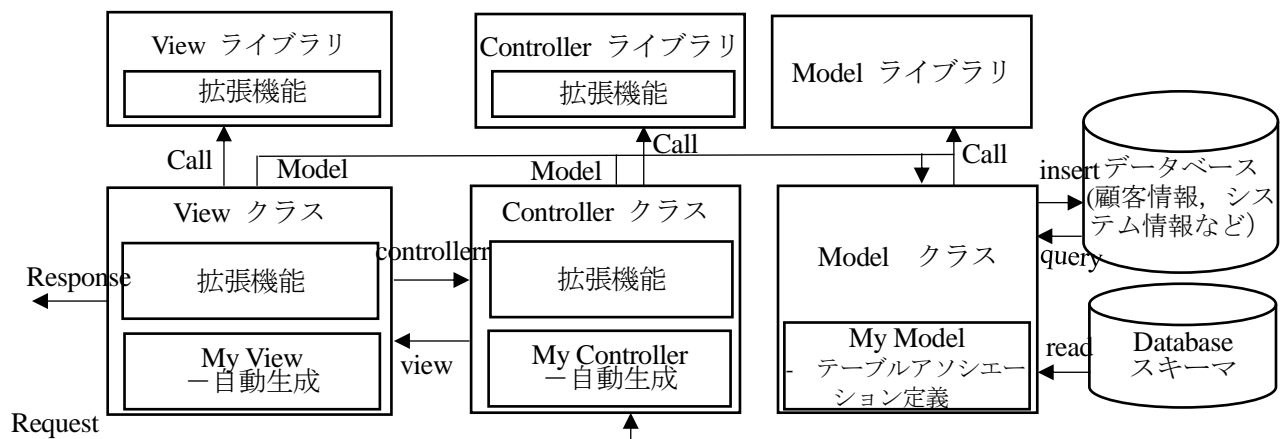


図 3.22 Web アプリケーションの実装方式

② View クラスの拡張 フレームワークが提供する View クラスを継承して作成し、フレームワークでサポートされていない機能を搭載する。View クラスおよびライブラリの拡張内容は、拡張 View クラスのメソッドとして、各項目を表示するメソッドを拡張する。ライブラリには画面全体のレイアウトを決める Layout ライブラリやフォルダおよびファイル内容を表示する Elements ライブラリを追加する。また、これらのライブラリを使用して、Scaffold 画面ライブラリは、レコードの CRUD (Create, Read, Update, Delete) 機能に対応した index・json_index・add・view・edit・delete 画面モジュールを提供する。これらの画面モジュールは、Model 部で定義されるデータベースの表のスキーマ情報や Model 間の関連 (has one, has many, belongs to など) 情報から自動生成できるようにする。

③ Controller クラスの拡張 フレームワークが提供する Controller クラスを継承して作成し、各アプリケーションはこの拡張した Controller クラスを継承して実現する。Control クラスおよびライブラリの拡張は、view 部を制御するクラスとして、Scaffold 画面

を制御するメソッド、データベースの CRUD 処理を行うメソッドを追加する。ライブラリには、認証制御を行うライブラリを追加する。CRUD 処理に関するメソッドは、データベースの表のスキーマ情報に依存した処理を行うが、Model 間の関連（has one, has many, belongs to, has and belongs to many など）がある場合も対応できるようにする。

- ・ index() : レコード群を抽出し表示する処理を記述する
- ・ json-index() : Ajax 機能を使用してレコード群を抽出し表示するために JSON 形式に変換する処理を記述する
- ・ add() : レコードを新規に追加する処理を記述する
- ・ view() : レコードの内容を表示する処理を記述する
- ・ edit() : レコードを編集する処理を記述する
- ・ delete() : レコードを削除する処理を記述する

上記の CRUD 機能に関するメソッドが実行されると、自動的に対応した Scaffold 画面モジュールの index・json-index・add・view・edit・delete 画面が表示される。従って、各アプリケーションの Controller クラスは、上記の CRUD 機能に関するメソッドを作成する必要がない。また、View クラスを作成する必要がない。

Controller クラスのライブラリとしては、ログイン・ログオフ処理をサポートする AppAuth ライブラリやスマートデバイスをサポートする Mobile ライブラリ機能などを追加する。

④ Scaffolding 機能の拡張 View クラスに拡張した Scaffold 画面ライブラリによって、Model 定義から自動的に View 部を生成し、Control クラスに拡張した Scaffold 画面を制御するメソッドによって、Model 定義から自動的に Control 部を生成する。View は Scaffolding により、アプリケーション部分である MyView をすべて自動生成できるようにし、Controller は、アプリケーション部分である MyController に定義情報等を書く部分を除いて、75%~90%を自動生成する。一般のフレームワークでサポートされていない多対多のモデルは、提案方式により、Model 部に中間テーブルを用いた実装を行い、多対1、1対多の関係にして View と Controller を自動生成できるようにする。View 部の生成は、PC 用の HTML 形式の画面生成だけではなく、JSON 形式のデータを作成し、スマートデバイスに対応した画面をスマートデバイス側のカスタムブラウザで表示するようにする。

⑤ 命名規則の活用 自動生成の実現に当たり、Web アプリケーションで使用する様々なクラス名やファイル名、データベースのテーブル名やカラム名などの名前を規則に従って利用することとした。データベースの表名や項目名などから自動的に決まる命名規則を、プログラムの自動生成にも有効に使い、Model のデータベースの表のスキーマ定義から、View や Controller のコードを自動的に生成する。命名規則の導入により、データベースの表や項目の名前から、関連する「Model」名、「View」名、「Controller」名も一意に決まるようにして、自動的に View と Controller を生成する。また、レコードの CRUD (Create, Read, Update, Delete) 処理に対応させて、View の表示画面モジュール名や Controller の処理メソッド名を決める。

⑥ JavaScript ライブラリの活用 PC やスマートフォン向けの Web アプリケーションにおいては、Web ブラウザと Web サーバ間の非同期通信が可能な Ajax (Asynchronous JavaScript + XML) 機能を利用できる JavaScript ライブラリの利用が一般的になっている。本方式で View 部を自動生成する際には、Ajax 機能を利用し、さらにモバイル環境をサポートする jQuery Mobile のような JavaScript ライブラリを使った画面生成をサポートする。このように、Model 部で定義されるデータベースの表のスキーマ定義と表間の関係定義から、多様なスマートデバイスに適した画面表示と操作性を実現する。

3.3.1.4 保守業務システムへの適用検証

提案方式による具体的な実装例として、保守作業を支援する保守センターの管理者と移動先の保守技術者で利用する業務支援システムに適用した。保守の業務においては保守の仕事を外部の保守会社にアウトソースするようになってきており、端末を使用するのが1つの会社の保守技術者に限定されないため、使うスマートデバイスを特定したり、専用端末を配布して使わせたりすることは困難になってきている。従って、機種メーカーに依存して画面サイズや操作性が異なるという多様性に対して、システムとしてそれを解決することが必要であった。

(1) 実装システムの仕様

保守業務支援システムは、コールセンター、顧客管理、保守部品管理等々、多くのシステムから構成されるが、ここでは、保守技術者が保守作業を行う場合のシステムに適用し検証する。実装した機能は、①顧客システムの検索 ②システム構成の検索・表示 ③障害・修理の履歴情報の表示 ④機器情報の診断や交換方法参照 ⑤機器情報の共通設定情報とシステム別設定情報の参照・更新 ⑥作業報告 である。

生産性を高めるため、自動生成機能が有効であり、④や⑤の実現において情報を複数のテーブルの関係や機器と部品間の多対多の相互関係を考慮しながら開発する必要がある。たとえば機器には機器固有の障害情報採取や設定、診断手順がある一方、システムとの組み合わせにより決まる固有設定がある。これを表示できるようにした。

多様な種類を持つスマートデバイスに対応するアプリケーションの開発手段として、本手法を適用した。

(2) 実装内容

①実装環境 スマートデバイスを接続する Web サーバおよびクライアントのソフトウェア実装環境は、安定稼働している既設のものを利用した。以下の通りである。

Server OS : Windows 2003 Server

Web Application Server : Apache2.2

Framework : CakePHP2.3.8, Language : PHP5.3

Database : MySQL5.5.33

Client OS : Windows7 Professional

JavaScript : jQuery , jQuery Mobile

SmartDevice : Tablet Nexus7, Smartphone : Galaxy S3

SmartDevice OS : Android 4.2

② MVC の実装

本提案の Scaffolding 機能の拡張により、Model 部のアプリケーション (MyModel) を記述することにより、View 部のアプリケーション (MyView) と Controller 部のアプリケーション (MyController) の作成は、自動的に生成することができた。自動生成率を高めるために共通する処理は、フレームワーク側のクラスあるいはライブラリとして記述し、継承するようにした。

Model クラスでは、入力データの検査機能などのメソッドを実装した。View クラスのライブラリには、スマートデバイス対応には JSON 形式のデータを出力するための json-index 及び smartout ライブラリを提供した。PC 対応には Web 画面を出力する HTML タグを簡単に出力するための各種の Helper ライブラリ機能として、Layout ライブラリや Elements ライブラリを提供した。Layout ライブラリは、Web 画面を出力するためのテンプレートを提供し、Elements ライブラリは、Web 画面を出力するための HTML タグの部品を提供した。Scaffold 画面ライブラリは、Model 部の表のスキーマ定義から自動的に Web 画面を生成する機能を提供した。この Web 画面ライブラリの中には、JavaScript ライブラリである jQuery Mobile も含めた。

Controller クラスは、一般的な View 部を制御するメソッドの他に、Scaffold 画面を制御するメソッドや、レコードの CRUD 処理を行う Scaffold Model 制御メソッドを実装した。

③ Active Record デザインパターン

Active Record デザインパターンを利用することで、データベースのレコードが data[Model 名][項目名]のように、PHP の連想配列機能 (二次元) として表現できた。この場合、Model 名はデータベースの表名に対応する。従って、SQL 文の LEFT JOIN のような複数の表にまたがる関連データも表現できることを利用して、view 部の画面にも関連データ (1 対 1, 1 対 n, m 対 n) を自動的に表示するようにした。

また、このシステムでは、上記の機能で示す通り、顧客に紐付けられる様々な情報があり、また保守作業においてはシステムとその構成、構成要素の装置、設定情報、操作法、検査要領などの情報がある。これらの情報を Model で定義した。この際にデータベースの表間の関係として、1:1, 1:n, m:n などの関係を Model 内で定義した。その定義情報は、システムと装置を関係付けるための中間テーブルと、この中間テーブルとシステムとの関係を定義づけしたテーブルによるモデル定義とした。

システムと装置の関係は、システムは複数の装置を持ち、かつ属しているという関係にある。この場合、hasAndBelongsToMany のモデルでは View と連動できないなどの問題がある。HasMany と BelongsTo のモデルを活用し、中間テーブルを作成することにより、組み合わせによって発生する各種の情報 (交換手順、交換後の設定、検査要領) を中間テー

ブルに持たせて、保守装置テーブルをシンプルにすることができた。

④ 正規化処理の実装

一般に複数の表にまたがる関連データ（1対1, 1対n, m対n）を処理する正規化処理ではSQL文における「JOIN LEFT」文が最も多く使用されることから、「JOIN LEFT」についてサポートを行った。AとBと言う二つのテーブルがあり、テーブルBにテーブルAのレコード番号（id）を持つ場合を想定した正規化処理を行なう場合、テーブルAから見ると1)で表現され、テーブルBから見ると2)で表現される。

1) A has one B.または A has many B.

2) B belongs to A.

上記のように、複数の表の間に関連がある場合は、各テーブルに対応するModel部にその関連（has one, has many, belongs to など）を定義する。Active Record と命名規則を活用して、データベースの表のスキーマ定義および上記の関連定義から、WebアプリケーションのView部とController部を自動的に生成する。このActive Recordの機能を利用して、他の表と関連があるレコードの一覧表の表示（index）処理を自動的に行った。パスワードのように表示したくない項目を隠すことや、項目の表示順を変更することも可能である。

⑤ 命名規則の利用

実装環境のcakePHPの命名規則を導入することで、データベースの表の名称とスキーマが決まれば、関連する「Model」名、「View」名、「Controller」名も一意に決まるため、自動的に「View」部分と「Controller」部分を生成することができた。具体的には以下のような命名規則に従って、クラス名やファイル名、データベースのテーブル名やカラム名などの名前を命名した。

(i)キャメルケース：先頭が大文字の複数単語がスペースなしで連結されたもので、クラス名などで使用する。例：UserName。

(ii)アンダースコアード：全て小文字の複数単語がアンダースコアで連結されたもので、ファイル名などで使用する。例：user_name。

(iii)Modelについて：クラス名は単数形のキャメルケースで表す。例：MysystemDevice。ファイル名は単数形でアンダースコアードで表す。例：user_name。テーブル名は複数形でアンダースコアードで表す。例：user_groups。

(iv)Controllerについて：クラス名は複数形でキャメルケース + "Controller"で表す。例：PostsController。ファイル名は複数形でアンダースコアード + "controller"で表す。例：posts_controller.php。

(v)Viewについて：ファイル名はアクション名をアンダースコアード+'.ctp'で表す。例：アクション名がonePiece()ならone_piece.ctp。

(vi)テーブルのカラム名について：主キーは'id'。日時は'created'はレコード作成日時、'updated'または'modified'はレコード修正日時として自動入力となる。

(vii)パスワードは、'psword', 'passwd', 'password'のカラム名はパスワードとして認識され、

ビューでのフォームのタイプが password になる。

(viii)見出しは, 'title'または'name'のカラム名はリスト表示などでの見出しに使用される(model の displayField の設定が無い場合)。

(ix)名前の変換は, Inflector クラスを使用して命名規則に従った名前に変換できる。

```
$newName = Inflector::camelize($name);
```

⑥ JavaScript ライブラリの実装 JavaScript ライブラリには, jQuery を採用した。Query による非同期なデータ転送には, JSON 形式を採用し, jQuery ライブラリである「FlexiGrid」を使用してレコードの一覧表を表示する Index 処理を実現した。PC とスマートフォン用の Controller 部のメソッドとして, それぞれ「json_index()」「smart_json_index()」を追加した。JSON 形式のデータを生成するために PC とスマートフォン用の View 部の画面として, それぞれ「json_index.ctp」と「smart_json_index.ctp」を追加した。また, 「View」「Add」「Edit」「Delete」処理においては, 非同期なデータ転送を使用するために, jQuery ライブラリである「Dialog」を使用して実現した。

3.3.1.5 評価・考察

(1) 評価

①自動生成による生産性評価

本方式による Web アプリケーション自動生成を使用した場合と使用しない場合のコードのライン数の比較を表 3.3 に示す。本方式では標準フレームワークの Controller と View への拡張開発が必要だが, それによる自動生成機能により, 表に示すように, View 部と Controller 部は, 自動生成によって作成不要になった。アプリケーションに特化した Web アプリケーション部は, 自動生成しない場合と同様に Model 部でデータベースの表のスキーマ定義と, Validity 検査を記述することで機能を実現した。またデータベースの表間の関係も Model 部に定義することで多対多の関係を持つテーブルへのアクセスプログラムを自動生成できた。本開発では, フレームワークを拡張しているため, 表 3.3 に示すフレームワークの拡張部分のコード量と Web アプリケーション部のコード量の合計値と, 従来方式の Web アプリケーション部のコード量との比較も行ったが, 前者は後者の 1/3 (Controller 部) から 1/4 (View 部) 程度のコード量になった。同種のアプリケーションを開発する場合は, 拡張部分の開発が不要となるため, アプリケーションに特化した Web アプリケーションの View 部と Controller 部のコード量は, 表 3.3 に示す従来方式で開発した Web アプリケーションと比較すると, 前者は後者の 1/10 程度のコード量になった。

また, 本方式を使用しないで, 標準フレームワークだけで Web アプリケーションを開発した場合, View クラス, Controller クラスの作成の違いは以下に示すようになった。

(i) View クラスの作成 View クラスの作成は, データベースの表単位に CRUD 画面(index, view, add, edit, delete) の作成が必要であった。これらの画面は, データベースの表のスキーマの定義に依存するために, 「データベースの表の種類×端末の種類」の数だけ開

表 3.3 アプリケーションコードの行数比較

単位：行

保守支援システム 機能 (a ~ f)	自動生成の場合			手組みの場合		
	Model	View	Controlle	Model	View	Controlle
(a) 顧客システム情報	110	0	240	110	1300	1050
(b) システム詳細情報	260	0	350	260	1780	1460
(c) 障害・修理履歴	120	0	200	120	1590	1100
(d) 作業手順 (交換など)	260	0	310	260	2120	2420
(e) パラメータ設定手順	300	0	400	300	2280	2560
(f) 報告書作成	100	0	110	100	1380	1200
Web アプリ合計 (*)	1150	0	1610	1150	10450	9790
拡張クラス開発	0	800	1500	0	0	0
拡張ライブラリ開発	0	1500	400	0	0	0
拡張部開発合計 (**)	0	2300	1900	0	0	0
合計 (*+**)	1150	2300	3510	1150	10450	9790

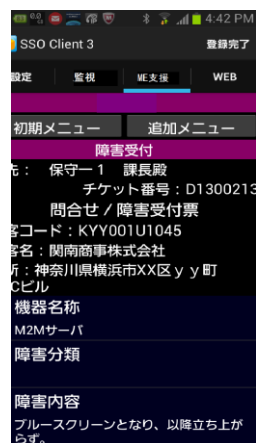
発する必要があったが、フレームワークに機能を追加することによる Scaffold 機能を利用することで、View 部のアプリケーションのコード削減が実現できた。

(ii) Controller クラスの作成 Controller クラスの作成は、データベースの表単位に CRUD 処理 (index, view, add, edit, delete) のメソッドの記述をする必要があった。

これらの Controller クラスは、データベースの表のスキーマの定義に依存するために、「データベースの表の種類×端末の種類」の数だけ開発する必要があったが、フレームワークに機能を追加することで、Controller 部のアプリケーションのコード削減が実現できた。

③ 多様なスマートデバイスへの対応

多様なスマートデバイスの画面に対応するソフトウェアの自動生成として、アプリケーション



(a) 障害受付



(b) ドキュメント

図 3.23 サンプル画面

ョンに応じてユーザが定義した画面と、サーバサイドから送信される JSON データにより、JSON データに含まれる画面 ID と画面表示やボタンなどの項目により、スマートデバイスの画面サイズに適した画面を表示することができた。図 3.23 に画面サンプルを示す。図 3.23(a) は顧客からの障害受付画面であり、図 3.23(b)は、技術情報検索画面である。PC に表示するような画面をそのままスマートフォンなどに表示すると、縦も横もスクロールする必要が生じてしまい、操作性が悪くなる。横方向を画面サイズに合わせることにより、縦のスクロールのみで操作が可能となった。また、標準に装備されているブラウザでは画面切替が3タッチかかるのに対して、以前のシステムでは、スマートデバイス上にアプリケーションを開発してワンタッチできるようになっていた。本方式では、さらにこれをカスタムブラウザを開発することで、画面切替をワンタッチでできるよう操作性を向上させた。スマートデバイスによって操作ボタンなどが異なる場合にも、それを吸収することが可能となった。このように、スマートデバイスの機種に依存して、サーバの Web アプリケーションをカスタマイズする必要がなくなった。この方法は、カスタムブラウザの開発を伴うが、いったん開発しておけばユーザが画面を定義することで再利用可能なことと、表示に係わる属性情報をサーバ側で作成しないので、サーバ側の View の自動生成が容易になるという効果があった。

(2) 考察

①対象システムと生産性評価について

今回評価の対象とした保守業務支援アプリケーションは、オフィス内で伝票を大量に入力するような業務アプリケーションとは異なり、保守技術者が移動先でスマートデバイスを使って簡単な操作で使えることが狙いである。但し、保守センターの管理者は同様の画面を PC を使ったり、指示を与えたりするので、PC とスマートデバイスを両方使用するシステムで、操作性や多様な端末に対応可能にする必要があるシステムであった。このような点から、本提案方式の評価対象として妥当であったと考える。本手法で開発したことにより、複数のメーカーのスマートフォンやタブレットの対応を個別に開発することなく、それぞれのスマートデバイスから利用できる Web アプリケーションシステムを実現できた。評価に示したように、開発プログラムコードの行数比較において、提案方式は生産性向上に有効な方式であると言える。実現しようとするアプリケーションによって、クラスやライブラリの拡張を必要とするが、同様のアプリケーションであれば、拡張部分を再利用できる点も、生産性向上の点から有効であった。自動生成後のプログラムコードの追加・変更を極力少なくするという点については、自動生成を使用せずにコーディングするのに対して、1/5程度のコーディング量になった。

②端末の多様性に対する解決策について

スマートデバイスにおいても HTML と jQuery Mobile などの JavaScript を活用することで、スマートデバイスの多様性を解決する手法があるが、提案のカスタムブラウザによる方式は、スマートデバイス固有の機能を作りこめるという点、JSON データ送受信により

伝送データ量の削減と、画面生成の自由度が向上し、サーバ側での HTML データ生成も不要となるなどのメリットがあった。さらに、他のスマートデバイス・アプリケーションとのタブ操作による切替が可能となるというメリットもあった。

③多対多の表の定義と自動生成について

多対多の関係性を持つデータは、たとえば、よく題材で出てくる「レシピは複数の材料を使い、材料は複数のレシピで使われる」のほか、販売管理の例では「顧客は複数の商品を注文する。商品は複数の顧客から注文される」、生産管理の例では「製品は複数の部品から構成される。部品は複数の製品で使われる」など、一般的な概念としてよくある関係である。この多対多という概念モデルを、論理モデルにするときに中間に新しいエンティティを追加し、多対 1、1 対多の関係にした。データベースの実装は MySQL を使って RDB で行ったが、RDB を使って直接 SQL 文でプログラムを書くのではなく、MVC 方式のオブジェクト指向プログラミングでプログラムを実現しており、プログラマからは直接 SQL は見えず、データベースへのアクセスはフレームワークに内蔵する O/R マップが、RDB へのマッピング処理を行う。使用した Active Records のような O/R マッパーには、テーブルとオブジェクトの 1 対 1 対応にとどまらず、オブジェクトの多対多関係など、リレーショナル・モデルでは直接表現できないモデルについてもサポートするものがあるが、多対多のままだと View を自動生成できないほか、join テーブルが隠蔽されるため、障害発生時の原因追及が困難などの問題もある。提案の方式は、model の定義方法により、多対 1 と 1 対多の関係にすることで、View や Controller の自動生成と、障害時の原因追及を容易にした。

④保守性について

自動生成することでプログラムの処理内容が見えにくくなるため、不具合が発生したときにどこをどう修正すればよいかのわかりにくくなるという問題は想定されたが、クラスの拡張機能を明確にして、ソースにもその仕様をコメントとして入れることにより可読性がよくなり保守性の点で改善された。拡張フレームワークを理解していることは必要であり、可読性を高めるコメントは有効ではあったが、保守性向上の仕組みという点は、今後の課題である。ただし、いったん理解できれば、アプリケーション独自のコード量が少ないため、原因の絞込みは早くできるようになった。

⑤今後の課題

本方式による自動生成方式は、アプリケーションが必要とする機能をフレームワークの提供機能を拡張することで、自動生成後のプログラム追加を減らすことに成功している。したがって、この拡張をアプリケーションごとに増やしていくことで蓄積ができ、さらに生産性を高めることができると考える。したがって、今後開発するシステムでも検証していきたい。

3.3.1.6 まとめ

Web アプリケーションの生産性向上には MVC 方式のフレームワークを用いる開発が増

えているが、フレームワークが提供するクラスやライブラリや自動生成機能では、スマートデバイスの多様性や、Web アプリケーション開発の生産性向上に課題があった。本節では、スマートデバイスと Web アプリケーションによる業務システムを開発するにあたり、複数機種スマートフォンやタブレットに対応できる方式と、フレームワークの拡張により、自動生成の効果を高めシステムの開発効率を向上させる Web アプリケーション自動生成方式を提案した。そして、保守技術者向けの業務支援システムに適用して評価した。自動生成方式により、Web アプリケーションの開発プログラム行数が削減でき、生産性向上に効果があることがわかった。また、スマートデバイスにカスタムブラウザを搭載することで、Web アプリケーションにスマートデバイスの多様性を意識させずに、対応できた。

3.3.2. 保守技術者の移動先作業を支援する M2M/IoT 応用システムとその実装評価

3.3.2.1 はじめに

コンピュータシステムの保守技術者（以降 ME(Maintenance Engineer)と呼称）は、コンピュータ本体や周辺機器などのハードウェアの設置、保守点検、障害復旧などを行う。情報システムおよびそれらを結ぶネットワークは企業や社会のインフラとして増大し、複雑化しており、その安定稼働のために保守作業を担う ME の役割はますます重要となっている⁽³³⁾。このような保守の作業品質向上や効率化のために、保守方式そのものを改革する研究や保守のための構成管理システムの検討が行われている⁽³⁴⁾⁽³⁵⁾。しかしながら、ME が移動先で行う保守の作業品質向上と効率化の課題が依然として存在する。近年、ネットワーク接続機器の増加、機器の高機能化などにより、システムが複雑になり、M2M/IoT システムのように、多くの拠点に M2M/IoT デバイスが設置され、ゲートウェイも複数設置される環境になると、さらに作業手順も難しくなっている。限られた時間で効率よくかつ正確に作業するためには、従来以上に ME の作業を管理する保守センターの作業管理者との連携作業が必要となっている。ME 作業におけるスマートフォン活用では、保守センターと常時接続をして情報交換するシステムが提案されている⁽³⁶⁾が、ノート PC の代替手段であり、電話機能と PC 機能との融合による操作性や顧客機器との接続性には言及されていない。

筆者らは、デスクトップ環境と同じオフィス環境をモバイルオフィスで実現する作業環境として、コンピュータと電話の融合を図る CTI (Computer Telephony Integration) システムを、ノート PC と携帯電話をスマートフォン 1 台で代替する方式をもとに提案した⁽³⁷⁾。しかし ME が行う保守作業では、保守センターとの連携や顧客機器との接続という点で、保守作業に適用できなかった。

スマートデバイスは、携帯性、タッチ操作のほか、3G、Wi-Fi などのネットワーク接続、位置を特定する GPS 機能、外部機器との USB や Bluetooth などの接続インタフェース、カメラ機能、ソフトウェア機能として Android OS では Web API や SIP(Session Initiation Protocol)^{(38)~(41)}API をサポートするなどの特徴があり、これらの特徴は ME の保守作業に活用できる。

本項では、スマートフォンやタブレットなどのスマートデバイス上の ME クライアントと、保守センターサーバとから構成されるクライアント/サーバ連携方式により、ME の移動先作業を支援する M2M/IoT 応用システムを提案する。M2M/IoT デバイスおよびゲートウェイとして、スマートデバイス上に SIP フォン機能と Web ブラウザ機能を連動した ME クライアントを配置し、保守センターサーバ上に SIP サーバ機能と Web サーバ機能を連動したサーバを配置するクライアント/サーバ方式により、電話系と情報系の融合と連携を可能とする。具体的には、以下を可能とする。

- ① Web 電話帳からの電話、通話履歴、通話録音などの電話系の情報をサーバに一元管理することができ、セキュアな電話連携を可能とする。

- ② ME クライアントと保守センターサーバ間で、ドキュメントや現場情報の共有のほか、リアルタイム通信が可能となり、チャットやチェックシート共有等の連携作業を可能とする。
- ③ ME クライアントはマルチタブ操作による画面のワンタッチ切替えや電話しながらの画面操作など、複数画面のシームレスな操作を可能とする。

これらによる保守作業の品質向上と効率向上について、ME の実際の作業に適用した実証実験および評価を行った。

3.3.2.2 保守作業現場における ME 作業の課題

(1) ME 作業

図 3.24 に ME と保守センターとの役割を示す。図において保守センターにはサーバがあり、ME は顧客現場でノート PC を使ってサーバに接続し、保守センターデータベースに格納されている顧客情報や保守情報にアクセスする。また作業管理者から携帯電話やメールで指示をもらい、連絡を取りながら作業を進める。ME の主な作業を図の中で①～⑤で示す。図の①の事前作業は、ME が客先への移動中あるいは到着後に最初に行う作業であり、作業管理者からの指示確認、顧客情報、システム情報などの把握、作業内容・手順の確認などの作業である。図の②は、定期点検やオンコール保守の場合の作業であり、診断結果やログ情報による障害兆候等の状態確認を行い、障害内容に応じた分析とその結果に応じた保守パーツへの交換を行う。③はインストラクションや設定の作業、④は、システムとしての動作確認・復旧確認作業であり、最後に⑤の作業報告をして終了する。以上の作業に携帯電話とノート PC が用いられる。ME が行う現場の作業は、機器の新規納入・設置、定期点検、オンコールによる障害対応に大別され、新規納入・設置の場合は②の診断、交換作業はないが、それ以外は、図 1 の①～⑤の作業が通常行われる。

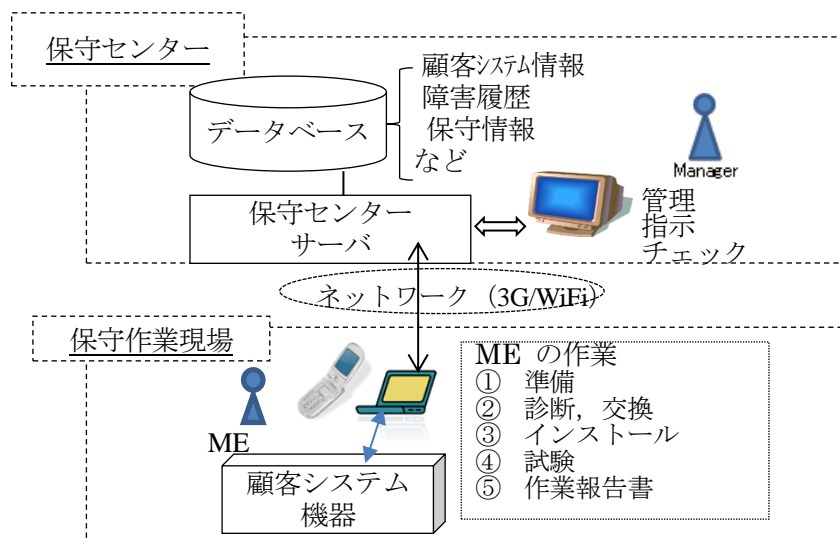


図 3.24 保守技術者と保守センターの役割

(2) ME 作業の課題

ME の作業品質向上と効率向上を実現するための課題として、ME と保守センターとの連携、端末の操作性、現場情報の取得と活用、セキュリティ確保の 4 つの課題がある。

① ME と保守センターとの連携

ネットワークを含めたシステムの複雑化や、組込機器などの高機能化による障害発生時のハードウェアとソフトウェアの障害切り分けが困難になっており、作業手順が難しくなっている。新規設置や増設、機器の交換後の設定において手順や操作の誤りは二次障害を発生させ、手戻りが大きくその復旧までに多大な時間を要することがある。さらにシステムを停止して作業できる時間が短くなっているため、これまでの方法では効率向上の限界がある。従来の携帯電話を使った通話では長時間の通話による電話代の増大のほか、保守センターの作業管理者が同時に複数の ME とは話せないため複数拠点の作業が併行する場合の対応が難しいという問題点がある。つまりセンターの作業管理者とのシームレスな連携が必須であり、現状のノート PC による情報アクセスと携帯電話による通話手段だけでは作業品質や効率が上がらない。

② 端末操作性の課題

ノート PC は、立上げに時間がかかることやキーボードやマウス操作が移動中や現場では使いにくいという問題がある。スマートフォンやタブレットなどのスマートデバイスは、軽量で携帯性がよいこと、タッチ操作が可能な操作性から現場での活用可能性があった。しかし、ノート PC に比べて画面サイズが小さくマルチウィンドウ表示ができないため、スマートデバイスでの画面切替えなどの操作性が課題となっている。

③ 現場情報の取得と活用

保守の現場で ME は顧客の機器を保守用端末と接続して、障害情報取得や設定情報を確

認し、障害原因を追究したり、現場の設置状況を確認することで、問題箇所がないかを調査したりすることがある。保守用端末は保守センターと連携していないことが多く、現場の状況が保守センターからは見えないため、的確なアドバイスが困難であった。保守センターとの連携の課題とも関連するが、このような現場情報の取得と活用が課題となっている。

④ 情報セキュリティ

ノート PC に顧客情報、顧客システムの機器・ネットワーク構成・設定情報・障害履歴などの情報を保存した状態で携帯するのはセキュリティポリシーから制限する企業が多い。電話機能では、インターネットを使った Skype や LINE のようなコンシューマー向けの IP 電話サービスを PC や携帯電話から利用して、電話代のかからない IP 電話として長時間の通話や電話会議、チャットが可能である。しかし、3G や Wi-Fi 回線での通話は音声パケットがインターネット上に流れるため、盗聴の危険があるだけでなく、このような IP 電話サービスは業務利用面ではセキュリティリスクがある。このため企業ではセキュリティポリシーから利用を禁止するケースが多い。また電話履歴や電話帳は携帯電話側に持つため、紛失時の情報漏えいリスクがあり、保守センターでの通話履歴管理もできない。またスマートデバイスを業務で使う場合は、「端末の管理」「認証によるアクセス権限の管理」などのデバイス管理を前提として利用を認めるケースが多いため、MDM (Mobile Device Management) 機能を活用する必要がある。MDM にはリモートワイプ機能があるが、ME 作業の場合、一時的に端末に収集するデータや画像などがあり、リモートワイプができないようなケースでも端末の紛失時のデータ流出を防ぐ必要がある。

3.3.2.3 ME 作業を支援する M2M/IoT 応用システム

ここでは、ME が現状使用している電話とノート PC を、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 1 台で可能とするために、M2M/IoT デバイスおよびゲートウェイとしてのスマートデバイス上の ME クライアントと、保守センターサーバとから構成されるクライアント/サーバ連携方式により、ME の移動先作業を支援する M2M/IoT 応用システムを提案する。

(1) 本システムの基本方式

提案のシステムは、スマートデバイスに内蔵される ME クライアントと保守センターサーバによるクライアント/サーバシステムとして構成する。クライアントが M2M/IoT デバイスに相当する。図 3.25 にその構成図を示す。図において、ME クライアント上には、ME アプリケーション、SIP 通信部、Web 通信部を、サーバ側は SIP サーバ機能、Web サーバ機能を配置する。ME アプリケーションは SIP 通信部と Web 通信部との間で非同期の Request/Event インタフェースで通信することで SIP サーバ、Web サーバ各々と同時に通信する。SIP サーバと Web サーバの連動は、1 台の物理的なサーバ上に SIP サーバ機能と Web

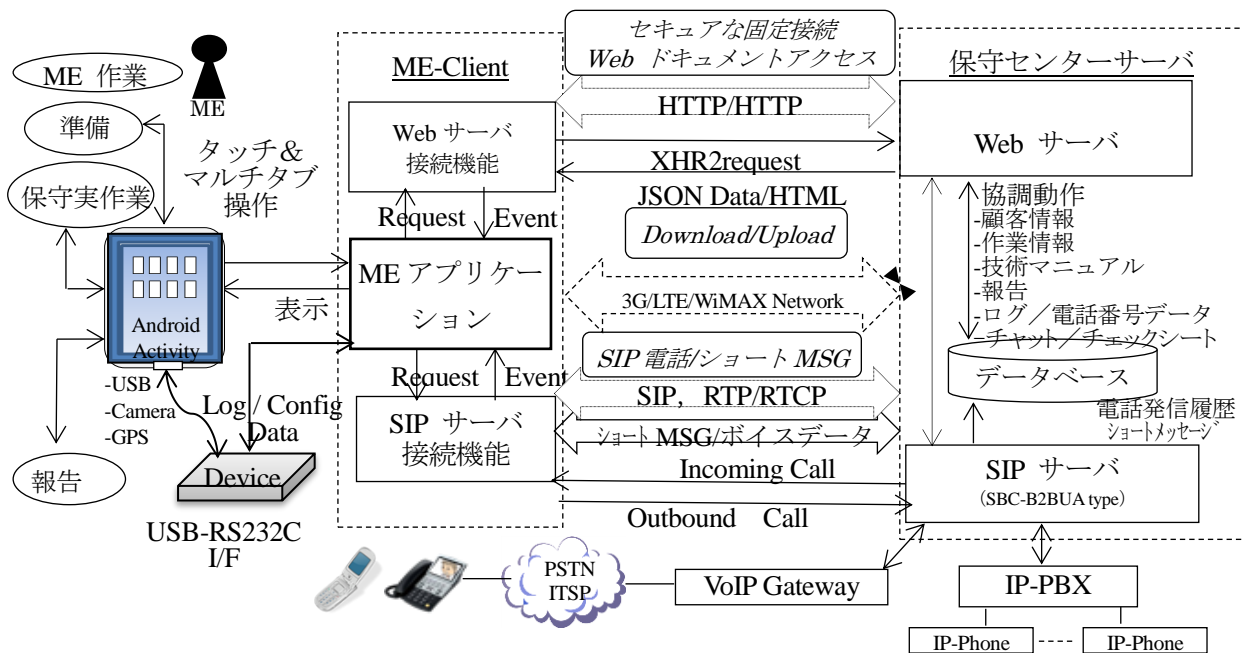


図 3.25 ME クライアント/サーバ アーキテクチャ

サーバ機能として共存させ、両者の間をデータベース連携だけでなくアプリケーションインタフェースにより連動させる。

SIP と Web を融合させることで、電話系と Web 情報アクセス等の情報系を融合し、ME とセンターの作業管理者の次のような連携機能を可能とする。

① 外線や ME クライアントからの着信時や通話切断の都度、SIP サーバによって通話履歴や通話録音データをサーバのデータベースに書き込み、電話帳を含め電話系の情報をサーバで一元化する。それらを Web 画面から参照可能とするとともに、Web 画面からの操作指示を Web サーバ経由 SIP サーバに伝えることで、従来はクライアント側に電話帳を持つことで実現されていた「Click to Call」機能をクライアントとサーバの連携によってセキュアに可能にする。

② 現場の情報を Web サーバとの連携で、サーバの作業管理者と情報共有する。この時に Web と連携させて SIP をショートメッセージ通信に利用することにより、リアルタイム情報連携が可能な ME クライアントと保守管理サーバ間の双方向通信を可能にする。具体的

にはチャットやチェックシートなどの ME と作業管理者との密な連携ができる機能を実現する。

③ ME クライアントは、画面を持つ複数の機能を 1 つのタブとして実現し、マルチタブ操作による画面のワンタッチ切替えや電話しながらの画面操作など複数画面のシームレスで応答性のよい操作環境を可能とする。

(2) 具体的な方式

① クライアント／サーバの連携方式

図 3.25 において、既存の交換機の IP-PBX を SIP サーバに接続し、既存の電話網とは SIP サーバに接続した VoIP Gateway を介して接続する。ME クライアントと保守センターサーバとの間は無線通信環境で接続し、キャリア等が提供する 3G, LTE, WiMAX などのネットワークを利用する。

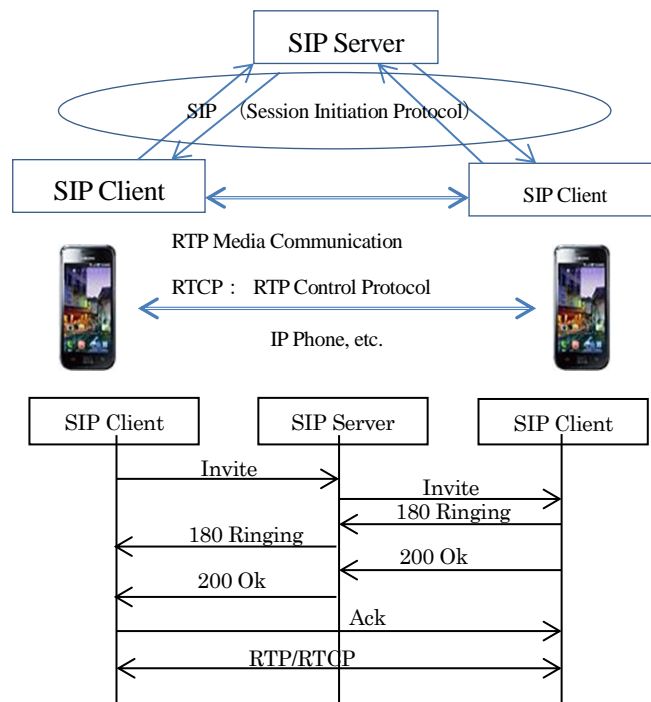


図 3.26 SIP のメカニズムとセッション確率手順

通信プロトコルは、Web 通信部と Web サーバ間は HTTP/HTTPS プロトコルにより接続し、SIP 通信部と SIP サーバ間は SIP プロトコルにより接続する。SIP プロトコルのメカニズムとセッション確立の手順を図 3.26 に示す。図においてスマートデバイスが SIP クライアントであり、SIP プロトコルによってエンドツーエンドのセッションを確立する。図において SIP サーバを介してセッションを開始した後、エンドツー エンドで RTP/RTCP のプロ

トコルによって IP 電話による通話が可能となる。

SIP を使うことで ME クライアントの電話機能は、SIP フォンとしてサポートし、保守センターの作業管理者や他の ME との連絡手段として、内線電話のように電話代のかからない通話機能として利用できる。

3G 回線の帯域が不足するような場合に備えて、発信機能は、SIP 発信だけでなく、Web サーバ経由で SIP サーバから携帯電話による呼び出しを行う「V 字発信」機能と、携帯電話から直接、発信する「携帯発信」機能をサポートする。一般に SIP サーバには、音声パケットを扱わない非 SBC(Session Border Controller)型 B2BUA(Back-to-Back User Agent)タイプと音声パケットを扱う SBC 型 B2BUA タイプがあるが、保守センターサーバの SIP サーバでは、SBC 型 B2BUA タイプを使用することで、通話録音や電話会議などの電話サービスを提供する。

Web サーバに持たせた電話帳や電話履歴情報を Web サーバ通信部でダウンロードするために、Web 通信部に「JavaScript アプリケーション」として作成し、XHR2 通信方式で複数の Web サーバとクロスドメイン通信を行う。ダウンロードするデータの形式は、主に JSON 形式を使用して通常の HTML データのように表示のためのフォーマット・データを含まない形式として、通信データ量の削減を図り、応答時間を短縮する。これにより電話帳や通話履歴のデータをスマートフォンに保持する場合と同様な操作性を実現できる。

電話による連携の他に、チャットは、保守センターサーバにチャットルームを設け、ME クライアントと保守センターサーバとの間で、SIP メッセージによるショートメッセージをやり取りする方式とする。チェックシートは、作業を行う上でその作業手順、確認すべき内容、注意点などを作業の都度確認していくために使用するが、これをサーバからダウンロードして表示し、チェックシートの種類、ページ情報、チェック箇所情報を逐一 SIP メッセージにより送信する方式で、保守センターの管理者との作業状況の共有を図る。

② ME クライアントの操作方式

図 3.25 において図の一番左側に ME の作業内容を示しており、ME はスマートデバイスを使って ME アプリケーションの画面を操作しながら、保守作業の事前作業、診断・交換・設定などの保守の実作業、終了後の報告作業を行う。それぞれの作業を支援する操作画面をタブとして構成し、タブ操作でワンタッチで切替可能とする。

ME が顧客に行う作業報告は、定型的なフォーマットを ME クライアントの作業報告画面に表示して、それに入力する形で、サーバ側の作業管理者に報告する。作業管理者は、その内容を確認、レビューしてそれを顧客のメールや FAX で報告する。

③ 現場情報の取得と活用方式

ノート PC では顧客機器と接続し、機器の保守用端末として機器の障害情報取得や診断を実行していたが、スマートデバイスにおいても顧客機器との接続は USB インタフェースによりシリアル変換ケーブルで接続し、顧客機器との間でログなどの障害情報取得や設定を行う方式とする。

現場の画像情報は、スマートデバイスのカメラで撮影した情報をサーバに自動アップロードする方式で作業管理者と共有する。同様に障害情報も、スマートデバイスが顧客機器などから得た情報をサーバに自動アップロードすることで作業管理者と共有する。

④ セキュリティ

ME クライアントと保守センターサーバは、VPN 接続で通信データを暗号化しセキュリティを確保する。これにより SIP フォンによる電話の盗聴を防止し、ME クライアントと保守センターサーバ間の情報連携のセキュリティを確保する。

電話帳、通話履歴、通話録音、ドキュメントなどをサーバで一元管理する仕組みと、スマートデバイス上にダウンロードした場合でも暗号化及び一定時間経過後に自動消去する仕組みとを持たせる。

スマートデバイス管理としては保守センターサーバに MDM 機能を持たせ「端末の管理」「認証によるアクセス権限の管理」を実現するとともに、実行可能なアプリケーションを限定するホワイトリスト方式であらかじめ規定されたアプリケーションのみに限定する。

(3) M2M/IoT 応用システムによる課題解決

① ME と保守センターとの連携

ME クライアントと保守センターサーバとの連携方式により、ME が保守センターの作業管理者や他の拠点にいる ME との連絡手段として、SIP フォン方式により、保守センターの作業管理者と内線電話のように電話代のかからない通話機能として利用できるほか、他の拠点の ME との電話会議が可能となる。チャット機能は、サーバ側に履歴が残るかつ他の拠点の ME との情報交換手段となるため、正確性と効率化に有効である。チェックシートは、これまでは紙ベースで利用されていたが、本方式ではタッチ操作でチェックした情報を同時に作業管理者の端末にも表示することで、ME と作業管理者の両方で確認できるようになるため、誤りをなくすことができる。作業報告は、現場で手書き作成する報告書に比べて、作業管理者の検認がされた報告書として見易さや電子的に保管できるメリットがある。

② スマートデバイスの操作

電話画面と Web など情報画面とを別々のアプリケーションで実現すると、その切替え操作が煩雑になり手間がかかるが、マルチタブ表示方式により、複数の画面をワンタッチで切り替えができることで、ME 作業の効率向上に活かすことができる。

③ 現場情報の取得と活用

現場でしか得られない情報の共有として、現場の写真や顧客の機器に蓄積されているログなどの障害情報を ME と作業管理者の端末の両方で共有できるようになり、原因や対応策の判断を迅速化が可能となる。

④ セキュリティ

Skype や LINE のようなコンシューマー向けの IP 電話サービスと比べて、VPN 接続方式

をとることにより盗聴を防止するだけでなく、電話履歴や電話帳を保守センターサーバ側に持つため、紛失時の情報漏えいリスクをなくし、保守センターでの通話履歴管理も可能になる。MDM によるデバイス管理、紛失時対策などにより、盗聴防止、データ漏えい防止を図ることができる。またスマートデバイス管理のホワイトリスト方式により、アプリケーションの起動制限ができるため、知らないうち情報がどこかのサーバにアップされるというセキュリティリスクを回避できる。

(4) M2M/IoT 応用システムのソフトウェア構成

① ME クライアント

ME クライアントのソフトウェア構成を図 3.27 に示す。図に示すように、(i)「Web サーバ通信部」、(ii)「ME アプリケーション」、(iii)「SIP サーバ通信部」の3つの部分から構成される。各部の説明を図 3.27 における主な機能と、操作、通信面から記述する。

(i) Web サーバ通信部 図の右側に示す Web サーバ通信部は、Web サーバにある電話帳や通話履歴をダウンロードする「JavaScript アプリケーション」として作成し、通常の Web ブラウザ機能もサポートして既存の Web サーバのデータも扱うことができるが、他の画面とのマルチタブ操作を可能とするため、実際の画面表示処理は以下の ME アプリケーションで行う。

(ii) ME アプリケーション部 図 3.27 の中央に示す ME アプリケーション内の四角で囲んだ部分は、SIP フォンの基本設定、電話の発信・着信、電話帳や電話履歴表示、Web ドキュメントの表示、チャットやチェックシートの表示・入力、顧客機器からの情報入力等を行う機能である。これらは、SIP サーバと Web サーバ各々への通信を同時に行うことによって同時動作を実現する。

ME アプリケーションを起動すると画面が複数のタブ付きで表示され、切替えが可能になる。

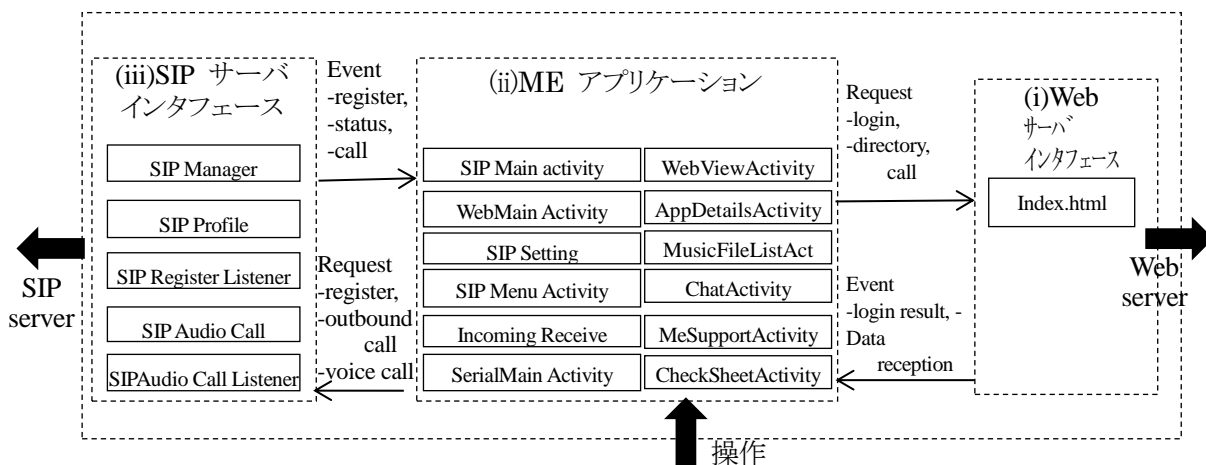


図 3.27 ME クライアント・プログラム構成

(iii) SIP サーバ通信部 図 3.27 の左側に示す SIP サーバ通信部は、スマートフォンの OS 部に常駐し、SIP 方式で保守センターサーバの SIP サーバと通信を行い、SIP フォン機能を実現する。SIP フォンをかけるときは、ME Application 内の SIP Main Activity から SIP サーバ通信部の SIP Manager を通して SIP サーバへコールする。コールを行う場合に音声通話の制御を SIP Audio Call が行う。SIP フォンの着信時は、ME Application 内の Incoming Receiver が起動され、SIP Manager で着信管理をし、SIP Audio Call で音声通話の制御を行う。

② 保守センターサーバ

保守センターサーバは、1 つの物理的なサーバの中に SIP サーバと Web サーバが存在している。SIP サーバと Web サーバ間は、SIP サーバと Web サーバとの間のデータベースの連携と直接アプリケーションインタフェースによって連携動作する。

SIP サーバは、SBC 型 B2BUA タイプを使用し、通話録音や電話会議サービスの機能を提供する。

Web サーバは Web アプリケーションの作成が容易なフレームワーク機能を有する Web サーバを利用する。保守センターサーバ内の Web サーバが ME クライアントに対して下記 (i)～(vii) を提供する。

(i)ログイン機能：ID とパスワードで認証を行い、ログイン者の情報をセッション情報として保持する機能 (ii)ログアウト機能：ログイン状態をリセットする機能 (iii)電話帳機能：データベースに電話帳を保持する機能 (iv)通話履歴機能：データベースに通話履歴を保持する機能 (v)MDM 機能：CTI クライアントから送信されたアプリケーション一覧表をホワイトリストに照合して、その是非を判断してレポートする機能である。また、通常の Web サーバとして(vi)(vii)の機能を提供する。(vi)Web ドキュメントサーバ：ドキュメントデータを保持し、Web ブラウザ経由で閲覧や編集ができる機能 (vii) Web メールサーバ：メールデータを保持し、Web ブラウザ経由でメール閲覧や発信ができる機能。

3.3.2.4 実装および評価と考察

(1) ME クライアント/サーバシステムの実装

クライアントとサーバ間の VPN 通信のために IPsec-VPN サーバである Cisco 5500 シリーズを使用した。スマートデバイス内に組み込まれた VPN クライアントと、VPN サーバ間に IPsec-VPN トンネルが作られ、暗号化通信が行われることでセキュリティを確保する。サーバは、CPU としては Intel Geon プロセッサクラス、メインメモリは 32GB を搭載する中位機クラスの PC サーバを使用した。

① ME クライアントの実装

実装するターゲット環境のハードウェアと OS、開発環境は、次の通りである。

対象スマートデバイス：Nexus7 タブレット (クアッドコア CPU)、GalaxyS3 (スマートフォン、デュアルコア CPU)、タブレット OS：Android4.2、開発環境：Windows7,Eclipse, Java,ADT(Android Development Tools) ,ADT Plugin, Android SDK 。

ME クライアントとしては、ME アプリケーションを実装し、「Web サーバ通信部」と「SIP サーバ通信部」との Request/Event によるインタフェースにより SIP フォン及び Web ブラウザ機能を融合した。

(i) Web サーバ通信部 Web サーバ通信部の実装は、ME クライアントに内蔵する「index.html」ファイルに JavaScript 言語で記述した。Web サーバにある電話帳や通話履歴をダウンロードする「JavaScript アプリケーション」として実装した。

(ii) ME アプリケーション部 ME アプリケーションの各機能を実現するために、図 3.25 に示した ME アプリケーションの各モジュールに対応してクラスとして実現した。各クラスの画面を複数のタブに分けて表示処理できるよう実装した。SIP 通信部、Web 通信部とは非同期インタフェースで通信し、SIP サーバ、Web サーバとそれぞれ同時処理ができるようにした。

チェックシート機能において、メッセージを受信してチェックシートの処理を開始するプログラムを作成した。顧客の機器との入出力データは、USB インタフェースを使って RS232C 変換ケーブルでシリアル接続し、シリアル入出力アプリケーションから Web サーバ通信部を通して ME センターの Web サーバへ送受信するようにした。ME アプリケーションで実装した画面タブは、「ダイヤル」、「電話帳」、「電話履歴」、「ME 支援」、「チャット」、「Web ドキュメント」、「設定」である。

(iii) SIP サーバ通信部 SIP サーバ通信部の実装はスマートデバイスの OS が提供する SIP API 機能を使用した。図 3.25 の SIP サーバ通信部の各モジュールに対応してクラスとして実装した。

② 保守センターサーバの実装

SIP サーバ機能と Web サーバ機能をサーバに実装した。この間を共通のデータベースと、直接のアプリケーションインタフェースによって連携できるようにした。

(i) SIP サーバの実装 SBC 型 B2BUA 方式の SIP サーバを使用し、SIP サーバが提供する API を使用して、汎用スクリプト言語である PHP を使用してサーバ・アプリケーションを開発し、SIP サーバ・アプリケーションは、着信イベントがある時と通話終了時に SBC 型 B2BUA から起動され、通話履歴を Web サーバ上のデータベースの MySQL に記録した。ME クライアントと SIP サーバとの通信プロトコルは、SIP プロトコルと RTP プロトコルを使用した。実装は、(ア) 登録処理 (イ) SIP 発信処理 (ウ) V 字発信処理 (エ) 着信処理 (オ) 保留 (カ) 電話会議 を実装した。

(ii) Web サーバの実装 Web サーバ上の Web アプリケーションは、PHP を使用したフレームワークの cakePHP を使用して開発した。ME クライアントと Web サーバとの通信プロトコルは、HTTP プロトコルを使用した。実装は、(ア) Ajax 通信 (イ) 自動ログイン機能 (ウ) Web ドキュメント機能 (エ) Web メール機能 を実装した。

(2) M2M/IoT 応用システムの評価

M2M/IoT 応用システムを活用することにより ME 作業においてどのような効果があったかを、実際の ME 作業への被験者調査適用実験も踏まえて評価結果を述べる。

① ME と保守センターの連携

本システムでは、M2M/IoT デバイスとしての ME クライアントを使った SIP フォンによる通話手段と Web アクセスによる保守センターサーバ DB へのアクセスによる情報交換、及びチャット及びチェックシートによる情報共有という連携手段を可能とした。

SIP フォンの帯域は、3G 回線、LTE 回線、WiMAX 回線などの無線通信環境の通信速度が、ほぼ 1 MB 以上確保されているため、帯域幅として問題がないと考えられる。また通信容量、コストの数値については、次のように評価した。

・条件： ME の保守作業時間は、1 回当たり平均 2 時間、保守作業回数は、2 回/日で 1 か月の作業日数を 25 日とする。通話時間は 1 回の作業で平均 30 分、文書検索とアクセスは、1 回の作業で平均 30 ページ、画像情報の伝送は 1 回日あたり 10 枚の VGA サイズ写真画像、テキスト伝送は 1 回あたり 50 件以下 と設定する。

・通信容量： 上記条件での通信容量は、SIP フォンが $88\text{kBPS} \times 1800 \text{ 秒} \times 2 = 317\text{MB}/\text{日}$ 、文書検索とアクセスが 1MB 程度/日、画像情報が $300\text{KB} \times 10 \times 2 = 6\text{MB}/\text{日}$ 、テキスト伝送が 300KB 以下/日となり、1 日あたり約 326MB、1 ヶ月では約 8 GB の通信容量となる。

・通信コスト： 通信コストは、次の通り。

従来の携帯電話とノート PC 方式では、携帯電話の通話料とノート PC を使ってサーバと通信するための通信料が必要となる。これに対して、本提案方式では、パケット料金のほかには通話料金は必要ではない。以上により、本提案方式は、通信コストにおいて従来方式より優位と言える。

保守作業手順から見た定性的な評価は以下の通りである。保守作業に入る前の保守センターとの情報伝達において、SIP フォンによる通話手段によって内線電話のように時間を気にせず常時接続したまま通話できる点、話しながら同時に画面情報を参照できる点、マイクとイヤホン機能を持つヘッドセットの利用により移動中や立ったままで操作できる点が、携帯電話とノート PC に比べて使いやすさと効率向上を可能にした。またインストラクションを含む設定作業は、新規納入・増設の場合や機器交換後に発生する作業であり、ME が作業しながら保守センターの作業管理者が同時にチェックできる連携性を実現し、作業品質の向上と効率向上を可能にした。新規納入時のネットワーク機器の設置のように多数の拠点で同時併行的に作業を行う場合は、センターの作業管理者が複数の ME と連絡と同期をとって進める必要があり、本システムではチャットおよび SIP フォン内線電話会議によりその作業を支援した。文字入力に手間がかかる場合は内線電話機能で行い、情報のやり取りを目で確認する必要がある場合、例えば数値や記号情報など重要な情報はチャット機能で送受信することで、正確に情報を伝えることができた。またチェックシートの共有機能により、ME 自身が行う作業内容チェックと作業管理者が確認する二重チェックが可能となり設定作業の間違いをなくすことで品質向上と手戻り防止による効率化を可能にした。

連携時の性能面では、チャット機能、チェックシート機能は、センターのサーバと SIP によるショートメッセージでデータを通信しているため、画面表示、応答性能とも Wi-Fi はもちろん 3G 回線においてもほぼ 1 秒以下で実現することができた。

② ME クライアント操作方式

スマートデバイスでは画面サイズが小さいため、ME クライアントの複数画面切替



図 3.28 操作画面例

えをタブ操作で切り替えられるようにした。スマートデバイス上の ME クライアント操作画面の例を図 3.28 に示す。図 3.28(a)は、SIP フォンの電話画面の例であり、通常のスマートフォンの電話画面のような操作が可能となった。ドキュメント検索の結果画面を図 3.28(b)に示す。参照が多い情報を上位に表示する方法やカテゴライズして表示する方法により、現場で必要なドキュメントを容易に検索できるようにした。図 3.28(c)は、チェックシート機能の画面である。それぞれの画面の切替えの操作性を評価するために、表 4 に、電話画面と Web 画面の切替えのためのタッチ数は 2 回が 1 回に、切替え時間は 4 秒が 1 秒以下になった。ME クライアントの場合は、タッチ数が 1 回、操作に要した時間は 1 秒以下であるが、ME クライアントを使用しない場合は、同じモデルのスマートフォンを使った場合、タッチ数が 2 回、切替え時間がほぼ 4 秒程度かかっている。また Web 画面間も ME が頻繁に利用する画面はワンタッチで表示切替可能となるため、通常の Web アクセスよりもタッチ数が少なく時間も短くできた。

スマートデバイスの機種による性能への影響は、本評価での機種から最近はさらに高性能化しているため、ないと評価している。

③ 現場情報の取得と活用

定期診断およびオンコール保守時は、機器の診断や障害部位の特定が必要で、それをいかに短時間で行うかが、障害からの復旧時間を左右する。本システムでは、スマートデバイスの USB 親局機能とシリアル変換ケーブルを使って顧客機器とシリアル接続することで、ログなど障害情報収集が可能となった。サーバなどの診断で保守用端末を使う場合には、保守用端末とスマートデバイスをつなぐことにより同様の情報収集ができた。収集した情報は画面に表示するだけでなく保守センターサーバにもアップロードすることで、作業管理者と連携し情報共有ができたので障害解析のスピードアップに役立った。ソフトウェア組み込み機器などの場合には、ハードウェアとソフトウェアの切り分けや最新のソフトウェアへの更新判断のために保守センターとの連携が有効であった。また、障害の原因特定のために現場でしか得られない情報として、現場の写真をカメラで撮影し、保守センターと共有して解析ができたことも、作業品質と効率の面で有効であった。図 5.5(d)に画像の画面例を示す。

性能面では、スマートデバイスのカメラで撮る画像サイズは VGA サイズ (640×480) 程度で十分で、その大きさは約 300KB である。サーバにアップロードする時間は 1Mbps 位の回線速度が出れば通常は 2, 3 秒であり問題はないが、回線状況が悪い場合などで回線速度が 128Kbps までにダウンして、30 秒程度かかる場合でもアップロード操作は自動で行うため、現場で撮影後に保守センターで画像を見るまでの時間として保守センターとの情報共有上の問題はなかった。

④ セキュリティ

通信路のセキュリティは VPN 接続により確保し、スマートデバイスに対する管理は MDM 機能をサーバに持たせたことで確保できた。インストールするアプリケーションはホワイトリスト方式を採用することで、あらかじめセキュリティ的に問題のないアプリケーションに限定した。スマートデバイスに一時的に保持する必要のある情報は、MDM によるリモートワイプ機能のほか、リモートワイプが届かない場所においても一定時間後あるいは電源オフ時に自動消去する仕組みを実現することで、紛失時の情報漏えいリスクがなくなった。

⑤ 被験者実験

有用性を示す評価データとして、被験者実験を行った。その条件と結果を示す。

(i) 条件 本システムを実際に利用し、顧客現場での保守作業を ME 10 名とサーバ管理者 2 名によって評価した。ME 10 名の保守スキルは、中堅技術者と初級技術者を半分ずつとした。

(ii) 結果

(ア) 性能面の評価結果 顧客の現場は、WiMAX が使える通信環境であり、SIP フォンの音声品質は、5 段階で 4 点から 5 点という結果であった。また写真画像の伝送も、VGA サイズ 300KB のデータの伝送が 1~2 秒で終わったため、ストレスは感じないとい

う結果であった。

(イ) 操作性の評価 SIP フォンによる通話は、マイクとイヤホンが一体となったヘッドセットを用いて、画面の操作をしながら通話できる点が評価された。ドキュメント検索と表示はスマートフォンや7インチタブレットでは小さく見えにくいという結果であった。文字や図の情報を見る機会が多いはやはり 10 インチ程度のサイズのタブレットが必要になると言える。複数画面をタブ操作による切り替えは、ストレスが無いとの評価であった。

(ウ) その他の機能面の評価 評価の高かった項目は、5段階評価で上位から順に、ア) 常時接続による電話、Webアプリ、情報検索&アクセス(5点) イ) 内線電話のように料金を気にしない通話(5点) ウ) チェックシートでのチェック状況の作業管理者との共有(5点) エ) ドキュメント検索 - 顧客情報、障害履歴、技術情報、手順書 など(5点) オ) 画像の共有 - 現場で撮った写真をセンターに自動アップロードし、共有。(4点) の順位であった。

⑥ ME 作業における改善評価

有効性評価として、故意に機器に障害をもたせた状況を策定し、本システムを使用した場合と使用しなかった場合とで、障害解析、復旧、報告などの時間、手順数や誤り数などの違いについて評価した。

- (i) 障害対応に必要な情報収集：ドキュメント探索が手動から、キーワード検索になり、情報収集時間が30%程度減った。
- (ii) 障害解析手順：ログ収集・解析と診断プログラムの実行は同じだが、ログ解析時間が、現地MEが一人で行うのと、センター管理者と共同で行うのとの違いがあり、時間的に解析の時間が20%減となった。
- (iii) 復旧までの手順：従来は印刷された手順書とチェックシートによる復旧操作だったが、画面での手順確認とチェックシートへのタッチ操作により、最新の手順書でできること、チェックシート上のチェックが同時にセンター管理者のチェックが入るため、誤りが削減できた。
- (iv) 上記による誤り数の相対評価 従来の半分に減った(50%以上の改善)。
- (v) 作業時間の評価 事前作業時間 従来平均33分が、平均23分となった。
- (vi) 現地実作業時間 従来平均150分かかっていた作業時間が平均130分に減少した。

(3) 考察

① ME と保守センターとの連携

ME と保守センターとの連携は、電話の音声による連携とスマートデバイスによる情報連携を可能としたが、音声だけや情報参照だけというのではなく、それらを同時にできる

ことが ME の作業品質と効率向上には効果的であった。SIP フォンについては 3G 環境での使用は、トラフィック量の多い場所では、音声品質に影響し、最悪は切断される現象も発生しうる。この提案システムでは、V 字発信により携帯電話への発信機能を持っているが、携帯電話機能を持たないタブレット端末の場合は、SIP フォンのみとなるため、スマートフォンか携帯電話も必要に応じて、併用が必要である。

チェックシートによる保守センターとの連携は、従来の紙ベースのチェックシートを画面化する形で実現したが、見易さの点で画面サイズが小さいため工夫する余地がある。しかしリアルタイムで現場のチェック状況がわかるのは作業品質向上に対して有効性が高いという意見が多かった。また、保守センターの作業管理者とリアルタイムに連携できるようにしているが、ホールドポイントを設けたチェック方式が効率的と考えられ、逐一チェックしなくても、あるまとまりの単位でチェックできるような連携の仕組みが課題である。

② ME クライアント操作方式について

画面のサイズは大きいほうが見やすいため、1 つの情報だけならノート PC の方が使いやすいこともあるが、複数の画面を見る必要があり、かつ携帯性、操作性との兼ね合いもある。今回提案したマルチタブ方式は、ワンタッチで画面切り替えができ、その応答速度も 1 秒以内で実現できたので、操作性として問題ないとする。画面内のタッチについては画面内の構成をタッチしやすい方式にするなどの工夫は必要である。タブレットは 7 インチや 10 インチのサイズの門があるが、ドキュメントや手順書等はやはり 10 インチがよいという意見が多かった。

③ 現場情報の取得と活用及びセキュリティ

現場情報は貴重であるが保守センターの作業管理者との共有ができていなかったのを、今回の提案システムで可能とした。保守センターサーバに自動アップロードできるようにしたことが ME 自身の手を煩わせることなく効率向上にも役立った。保守センターの作業管理者との連携により、障害からの復旧の迅速化、作業の誤り撲滅などの作業品質向上と効率向上に役立った。

顧客機器からの情報採取について、最近では SNMP を使ったハードウェア管理を行っていることが多くなってきているので、現場で直接通信機器などをシリアルインタフェースで接続して障害情報を採取する方法は 1 つの選択肢として位置づけられる。

セキュリティの確保の点のために、使いにくくなるという場合があるが、今回の提案システムでは、そのために ME や作業管理者に対して、面倒な手続きを踏ませておらず、操作性を損なうことなくセキュリティ確保が可能となった。

④ 今後の課題

今回提案した M2M/IoT システム方式の保守方法は今後も必要性が強まっていくと考えている。その理由は、コンピュータシステムの保守は、機器自身の自己診断機能、障害情報取得機能、通報機能などの保守性向上によって日々改善されているが、現場の保守では

新旧の機器が混在する環境であるためと、機器の設定は機能が高度になるに従い、むしろ複雑になっていくことが想定されるからである。従って、クライアント／サーバの連携方式や操作の改善については今後も行っていく必要があると考える。また通信手段としての3G, LTE, WiMAX など今後も対応エリアが広がり、回線速度も新しい技術が開発されて速くなる方向であるので、ネットワークに依存する性能は、それらとともに解決されていくと考える。

3.3.2.5 まとめ

M2M/IoT 応用システムとして、スマートデバイス上に、保守センターの SIP サーバと Web サーバと同時に通信できる ME クライアントを構築することで ME クライアント／サーバ連携方式の M2M/IoT 応用システムを提案、実装し、ME の移動先での保守作業での実験と評価・考察を行った。今後は、スマートデバイスや本方式を ME および ME を抱える保守会社の業務や管理に貢献できる方式として、研究をさらに進め、有効な方法や他の作業の利用への適用評価を進める予定である。M2M/IoT 応用システムとしては、さらに自動的に稼働情報、障害情報が収集されるようにし、保守作業時に的確に原因を見つけ、対応できるようにしていくことを目指す。

4. M2M/IoTのプロトタイプ構築によるものづくり教育システムの提案と実践

本章では、M2M/IoTのプロトタイプ構築法を適用したものづくり教育システムの提案と実践について論じる。

M2M/IoTシステムの応用分野は広いと見られるため、専門分野の異なる学生に適用できるものづくりシステムとして、分野ごとにプロトタイプの目的および内容、手順を定義し、教育計画を定義する。その計画に基づき、大学院、大学、高専の学生に実践した結果を報告する。

4.1 はじめに

大学や高専でのものづくりは、職業教育や研究対象として展開されることが多い⁽¹⁾⁽²⁾が、ロボットコンテストなどのように、ものづくり自身の楽しさを体験し、発想する事の大切さを学ぶ機会も増えている。ものづくり白書⁽³⁾によれば、「ものづくり産業において、企業が成長分野に進出していくことに併せて、労働者も能力開発によって新たな能力を獲得し、人材力を強化していくことが重要であり、ものづくり人材の育成は必要不可欠である。」とされている。また、国外では実習や実験を重視し、ものづくりの基本から高いレベルの理論まで深められるカリキュラムを持つ、高等専門学校⁽⁴⁾の海外版が、製造業の発展とエンジニアの育成のためにアジアで注目されている⁽⁴⁾。また、企業のグローバル化の視点では、より高水準の「ものづくり」と「マネジメント」を遂行する人材育成への、積極的な取り組みが報告されている⁽⁵⁾。このように、次世代を担う人材育成のために、ものづくり教育が必要である。

ものづくり教育は、機械工作、電気機器、情報通信機器の設計工作や情報システム構築が多く取り上げられている。一方、M2M/IoTシステムのように複数の技術分野にまたがったシステムを対象としたものづくり教育ができれば、システムとしてのものづくり技術者の養成のほか、各技術分野の課題解決や、ものづくり体験を通して新しいアイデアの発想やニーズ発掘の可能性があると見られる⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

M2M/IoTシステムの設計や構築には習得すべき知識が多く、期間も費用もかなりかかることが多い。しかし、オープンハードウェアとソフトウェアを活用したプロトタイプ構築であれば、比較的短期間でもものづくりの体験ができる。M2M/IoTプロトタイプ・システムの構築体験をすることは、M2M/IoTシステムの理解を通して、ものづくりの方法を学ぶとともに、アイデアや創意工夫が惹起されるという教育効果が考えられる。

3章で述べたM2M/IoTプロトタイプ構築法を大学や高専で教育として展開する場合の対象者としては、技術分野から見ると電気・電子や情報通信などの専門分野の学生がまず挙げられる。また、機械系、農学系の学生や、保育、福祉、家政などを専門とする学生もプロトタイプ・システムの構築方法によっては専門分野のアイデア、ニーズが創出できる可能性がある。

本章では、M2M/IoTのプロトタイプ構築によるものづくり教育システムを提案する。本システムでは、3章で提案したM2M/IoTプロトタイプ構築法を用いて、専門分野別にプロトタイプ教育を実践することにより、プロトタイプを作成した体験に基づき、プロトタイプの拡張や、自己の持つ専門分野に関係する課題解決に当てはめることによりアイデア創出やニーズ発掘を行う。

本研究では、本提案システムを情報通信系の大学院生、理工系の高専および大学院学生、文系の大学生を対象に、それぞれものづくり教育に実践適用し、その評価を行った。

4.2 M2M/IoTによるものづくり教育の課題と期待する成果

M2M/IoTを構成する要素には、センサーやアクチュエータをマイクロ・コントローラ等に接続したM2M/IoTデバイス、複数のM2M/IoTデバイスからのデータを集め、変換処理してサーバに送信するゲートウェイ、そしてデータを可視化したり分析したりするサーバ/クラウドがある。M2M/IoTデバイスとゲートウェイ、ゲートウェイとサーバ間はそれぞれ、エリア・ネットワークとアクセス・ネットワークにより構築される。大学、高専の教育分野からみると、電気、電子、通信、情報系の分野の技術と言える。

M2M/IoTシステムを最初から構築するのは、時間がかかり、ものづくり教育には使いにくい。ものづくり教育に利用するためには、アーキテクチャをあらかじめ定義し、いくつかの要素をブラックボックス化するなどの方法で、簡単化することが必要である。

M2M/IoTプロトタイプ構築は、M2M/IoTを構成するいろいろな技術を学習でき、全体システム面からものづくりを捉える能力を育成するのにふさわしい。

比較的容易にM2M/IoTプロトタイピングができるM2M/IoTプロトタイプ構築法によって、ものづくり教育という面で幅広く活用でき、M2M/IoTシステムのプロトタイプ構築体験を積むことによって、必要なセンサーやデバイス、ネットワークなどの情報処理に係わるハードウェア技術と、ゲートウェイ装置やサーバ上のアプリケーションプログラムなどのソフトウェア技術、それらを組み合わせてシステムとして使えるようにするシステム技術の基本的な学習ができる。

M2M/IoTプロトタイプ構築をものづくり教育に適用する場合、電気・電子・通信・情報分野の学生を対象とする以外に、機械系等の分野の学生を対象とすることが考えられる。アイデアの創出は、専門分野に限定されないと考えられる。いろいろな発想を惹起するのは、また、保育、福祉、家政などの文系の学生からのアイデアも貴重であり、理工系学生では出てこない発想も期待できる。

プロトタイピングを行う対象者を限定せず、そこから多くのアイデアやニーズが産まれることを狙うために、専門分野のスキルに応じてプロトタイピングによる教育を行うことで、それぞれの分野のアイデア創出やニーズ発掘が期待できる。

4.3 M2M/IoT プロトタイプ構築法によるものづくり教育システムの提案

本節では、ものづくり教育の方法として M2M/IoT のプロトタイプ構築によるものづくり教育システムを提案する。本システムでは M2M/IoT プロトタイプの基本構成に沿って、教育する対象者の専門分野に応じた内容、手順でプロトタイプを作成する。それによって専門分野ごとの課題を解決するアイデアの創出やニーズ発掘を行う。

(1) M2M/IoT システムの構成と構築法

M2M/IoT システムの構成と構築法は、3 章に記述した構成および構築法を用いる。

図 4.1 に M2M/IoT プロトタイプシステムの基本構成と構築目的を示す。提案するものづくり教育の意図するところは、オープンハードウェア、ソフトウェア、クラウドサービスから部品を選択し、選択した部品を組み合わせることでプロトタイプ・システムを構築することであり、実際に構築した体験から、新たなアイデアを創出することである。プロトタイピングの内容、手順を以下に示す。

(2) 専門分野ごとのプロトタイピング内容

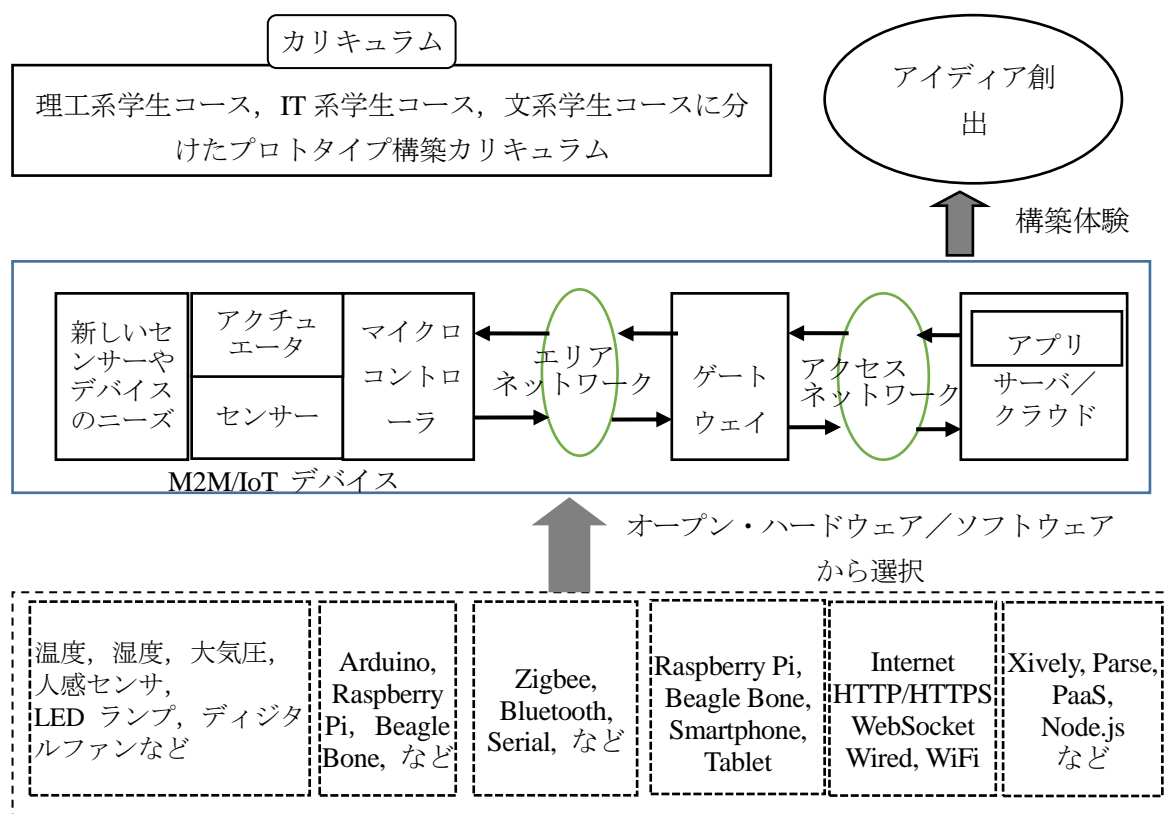


図 4.1 M2M/IoT プロトタイプシステムの基本構成と構築目的

対象者の専門分野を3種類に分けて、電気・電子系をはじめとする機械系などの理工系学生、情報通信分野の理工系学生、そして介護・保育・福祉・家政などを専門とする文系の学生を対象とするプロトタイピングとする。M2M/IoTシステムのフレームワークを理解するためにそれぞれのプロトタイプ構成は基本構成に従うこととし、専門分野や知識に応じてそれぞれの構成要素を選択し、プロトタイピングを比較的容易にできるようにする。

情報通信分野のIT系学生を対象とするプロトタイピングの場合は、ITアーキテクチャやプログラミングの専門性が高いことから、M2M/IoTシステムの動きを体験した上で、システム実現上の課題や性能的な要件を解決するヒントになるM2M/IoTプロトタイプ・システムを構築する。ゲートウェイとサーバ間の通信方式の工夫などもその1つである。

電気・電子、機械などの理工系学生の場合は、センサーやアクチュエータを自己の専門分野に使えるものを使用し、ゲートウェイはボードコンピュータを使って実現することで、より実用的で自己の専門分野に発展できそうなプロトタイプとする。たとえば、植物の生育をコントロールするために、照度によってLEDの明るさを制御するようなプロトタイピングを体験する。

文系の学生を対象とするプロトタイピングについては、M2M/IoTシステムの仕組みを理解することが目的であり、結果を確認しやすいセンサーやアクチュエータを用い、ゲートウェイはパソコンを使い、データの蓄積と、わかりやすい表示ができるクラウドサービスを用いて実現する。プログラムはブラックボックスとしてサンプルプログラムを用い、新たにプログラムを作成しなくてもよいようにする。

(3) 専門分野ごとの教育計画

教育計画として、情報通信分野のIT系学生コース、電気・電子、機械などの理工系学生コース、および文系学生の各コースを対象にし、大学院、大学、高専のレベル別にそれぞれの到達目標と評価方法を示す。

情報通信分野のIT系学生コースの到達目標は、所定のプロトタイプを作成することによってM2M/IoTの仕組みや構成要素を理解し、専門分野の研究や課題にM2M/IoTを適用して解決を図ることである。高専および大学の場合は、M2M/IoTシステムにおける各構成要素の役割を理解し、M2M/IoTシステムに関して与えられたニーズを実現する構成について考え、構築することができる。という目標とする。さらに、大学院の場合はM2M/IoTシステムのニーズをIT系以外から聴取し、実現するための体系的な課題や通信プロトコル、アプリケーション構築上の問題を発見し、その解決法を考えることができる、という目標とする。評価方法は、課題レポートと、プロトタイプの構築成果を評価する。

電気・電子、機械などの理工系学生コースの到達目標は、所定のプロトタイプを作成できることであり、これによってM2M/IoTの仕組みや構成要素を理解し、専門分野の研究や

課題に M2M/IoT を適用して解決を図ることである。また、それを活かして例えば社会のインフラに関係するようなアイデアを創出することである。大学ではアイデアの創出と、それを実現する自己の専門分野に関する M2M/IoT システムの各要素の課題発見までを目標とし、大学院ではさらにその解決法を考えることができる、という目標とする。高専の場合は、自己の専門分野の応用のアイデアを考えられることを目標とする。評価方法は、課題レポートと、プロトタイプ構築成果を評価する。

文系コースの到達目標は、M2M/IoT システムがどのようなものであるかを理解し、自分の身の回りの課題、たとえば教育系、保育、介護系などの学生の場合、M2M/IoT でその分野に関する課題解決のためのアイデアを創出できることとする。評価方法は、M2M/IoT システムの理解度および M2M/IoT を使ったアイデア内容のレポートを評価する。

4.4 ものづくり教育およびアイデア創出の実践と評価

提案システムによりものづくり教育を実践し、その結果としてものづくりとアイデア創出の実践結果を述べる。基本構成の構成要素は、3章の M2M/IoT プロトタイプ構築法に示すとおり、基本構成に基づき、プロトタイプ構築教育を行う対象者別の M2M/IoT システム構成要素とした。評価は、学生、教師、および第三者による評価を記述する。第三者評価は、大学教授経験者3名、企業の開発経験者2名から構成されるメンバによるディスカッションを実施した。

4.4.1 情報通信等の IT 系学生への実践

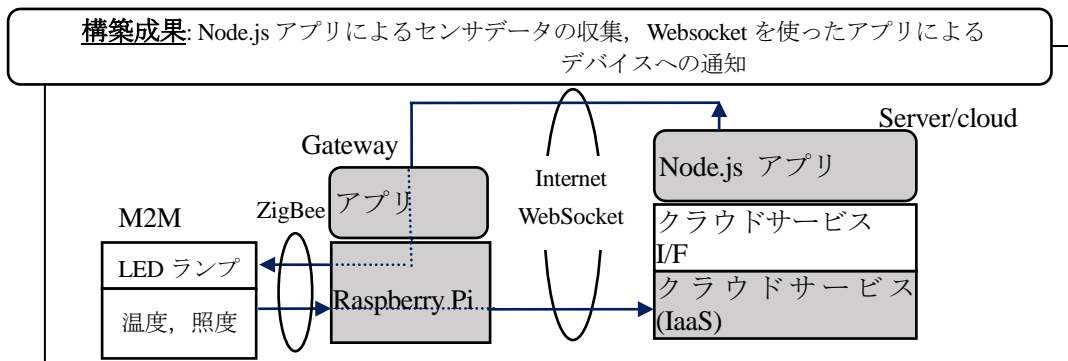
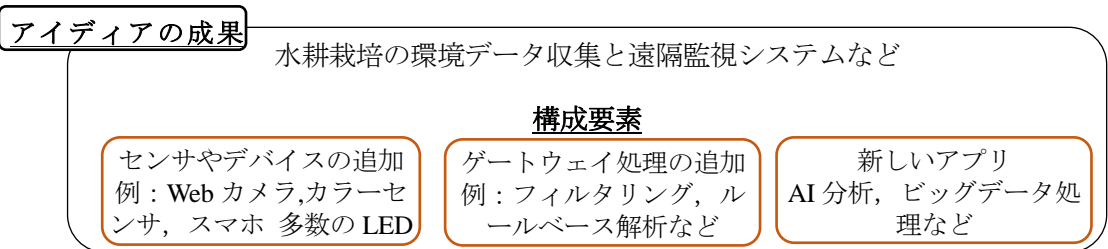
大学、大学院の講義および実験研究で実践した。

(1) 早稲田大学大学院 国際情報通信研究科

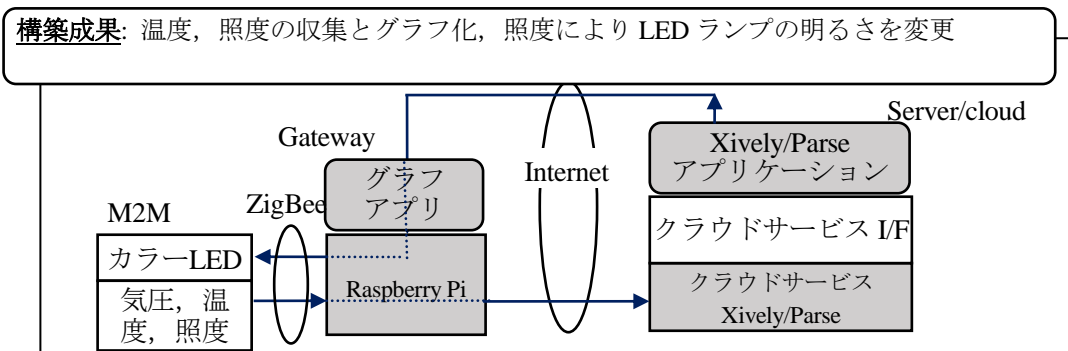
講義および学生実験への適用を行った。講義は、オープン技術を使って M2M/IoT システムの構築方法を理解することをテーマに、20名に対して行った。講義を受けた学生の評価は、M2M/IoT システムが安価に構築できるため、個人で機器を購入してシステムを作りたいという意見が多かった。また、センサー接続などの電氣的な技術は情報通信系の学生には難しいという事前の反応だったが、実際にセンサーからのデータを取得したり、アクチュエータとしての LED ランプ点灯やブザー鳴動など動かしたりしたことで、プロトタイプ作成への意欲が湧いた。さらに研究としてこのうち3名の学生が展開・実践を行った。学生に対して、M2M/IoT のプロトタイプ構成を示し、この上で、自分の研究に関わるソフトウェアの実装ができるようになることを目標とした。図 4.2 の(a)IT 理工系のプロトタイプに、作成した構成を示す。M2M/IoT サーバと M2M/IoT ゲートウェイにおける開発言語は、スクリプト言語の Node.js で統一し、試行錯誤で自分自身の M2M/IoT システムを構築できるようにした。なお、情報通信 IT 系の学生が苦手とするセン

サーやアクチュエータについては、HTTP をインタフェースとする標準デバイスとして用意した。

実際に商用のクラウド環境を使った実験ができ、クラウドサービスの利便性を知ることができた。また、サンプルソースを書き換えて、自分で工夫した 処理を実装することができた。さらにスマートフォンを使った遠隔監視などのアイデアを具体的に出すことができた。ものづくり教育の評価としては、センサーやアクチュエータがプログラム制御で目に見えた動作をするのが興味深く、プログラム学習にも効果があった。また、センサーからクラウドまでの構成の中で、プログラム処理のゲートウェイとクラウドとの分担や双



(a) IT 理工系のプロトタイプ



(b) 理工系のプロトタイプ

図 4.2 理工系 (IT/非 IT) の構築成果とアイデア創出成果

方向通信ができるようにプロトコルを工夫するなどの、M2M/IoT システムだからこそそのシステムの仕組みとその実装を学ぶことできた。

アイデア創出の実践結果としては、データ収集やフィードバック制御のための通信プロトコルを実装し、その動作実験を通じて、研究のための課題抽出を行うことができた。さらに、イベント駆動データ収集やルールベース自律制御などの自分のアイデアを実装し、その実験評価に活用することができた⁹⁾。

教師の評価としては、「M2M/IoT 全体の理解が深まった」、「研究会等で M2M/IoT 研究の成果をデモすることができて、各自の研究テーマについて説明能力が向上した」、という評価であった。第三者からは、プログラムやプロトコルに関する工夫やアイデアを出すことが、システムにどのように効果があるかを、M2M/IoT の実体験に基づき、習得できたのではないかという意見が出された。

(2) 東京電機大学大学院 理工学部研究科情報学専攻

計算機アーキテクチャ特論（クラウド編）の実習として、クラウドサービスを用いた、データ収集とデータ可視化の実験演習を行った。実験演習では、M2M/IoT データを Web ブラウザ上にグラフ表示させる Java プログラムを作成させた。これにより、学生は、商用のクラウドサービスを活用した M2M/IoT システムの構築方法の基本を学ぶことができた。教師からは、ものづくり教育として組み込み技術とクラウドサービスを組み合わせた新しいアプリケーションのアイデアを創出する機会を与える効果があった、との評価であった。第三者からはこのものづくり教育を通して、クラウドサービスの実用性を習得できたと評価された。

4.4.2 機械・電気・電子系などの理工系学生への実践

(1) サレジオ高専 機械電子工学科

サレジオ工業高等専門学校で機械電子工学系学生に対して、講義および研究で実践した。講義は、4年生 30 名に対して行った。講義を通して、学生の評価としては、センサーからクラウドに至る M2M/IoT システムの範囲の広さを理解し、実際に M2M/IoT プロトタイプを構築したいという反応が多数の結果だった。

図 4.2(b)に、研究で実践したものづくりの実践結果を示す。M2M/IoT プロトタイプとして、大気圧、温度、照度センサーからのデータをゲートウェイの Raspberry Pi に ZigBee 無線インタフェースで送り、さらにクラウドサービスへ送信した。逆方向として、ゲートウェイからクラウドサービスに登録したデータをゲットし、その値の条件によって、M2M/IoT デバイスに対して、複数のカラーLED ランプの色の変更や、明るさの変更をした。ゲートウェイのプログラムは、教育システム用にサンプルアプリケーションを提供し、学生がそのまま、あるいは適宜変更を加えて使えるようにした。ゲートウェイの表示画面には、温度、湿度、カラーのセンシングデータを表示し、また、クラウドサービス上に

は、アップロードしたセンサーデータをインターネットに接続されたパソコン等の Web ブラウザ画面から見る事ができる。

ものづくり教育の評価としては、M2M/IoT デバイス、ゲートウェイ、クラウド、そしてネットワークそれぞれの要素の役割だけでなく、M2M/IoT システムだからこそ、それらが連携したシステム全体の動作を理解できた。実際に、ブレッドボードを利用して、センサーや LED ランプから構成される電子回路作成などのものづくり体験や Arduino とゲートウェイをつないでグラフ表示や LED ランプ点灯など目に見えた結果が出てくる体験により、M2M/IoT の仕組みや動きがより具体的に理解できた。

アイデアの実践結果としては、照度によって LED ランプの明るさを変える M2M/IoT システムをヒントに、従来から行っていた水耕栽培⁽¹⁰⁾の遠隔制御に適用するアイデアに結びついた。水耕栽培は、カラーLED を用いた色の変化による水耕栽培の研究だが、これに M2M/IoT を適用することで遠隔制御、モニタリングができるようになることが期待できる。学生からは、温度、湿度などの基本的なセンサーや、人感センサー、画像などを活用したアイデアと、それをスマートフォンで集めクラウドに蓄積して、ビニールハウスの監視、安全や介護への応用といったアイデアを創出できたとの評価であった。

教師の評価は、普段、機械・電子工学分野を学んでいる学生であり、特別に M2M/IoT 分野を学んでいないが、「学生が学んでいる分野が M2M/IoT 技術の活用によって利便性が向上する」ということを知ることができた、と評価された。M2M/IoT を適用したことについては、M2M/IoT を知らない場合は、遠隔監視という発想に至らないが、M2M/IoT 技術を知った学生は知識の組み合わせによって、付加価値の創造を行うことができた、と評価された。

第三者の評価は、M2M/IoT プロトタイプの基本構成に沿ってものづくりをしたことで比較的容易にプロトタイプが完成したこと、センサーからクラウドまでのシステムとして体験できたことにより、他の応用へのアイデアが創出できたと評価された。

(2) 芝浦工業大学大学院理工学研究科システム理工学専攻

大学院学生 6 名に対して M2M/IoT プロトタイピングの講義を行い、オープン技術を使って M2M/IoT システムの構成要素と構築方法を理解した。オープン技術で入手しやすい H/W 部品やオープンの S/W を活用することで容易に構築できることが理解できた。

大学院生の研究テーマの一環では、M2M/IoT プロトタイプを作成した後、農業におけるビニールハウスの監視というニーズをヒヤリングし、この解決に M2M/IoT を適用したアイデアをプロトタイプ拡張として形にした。温湿度センサー、ZigBee 通信、ゲートウェイを介してクラウド上に状態を送信し、ビニールハウスの状況を手元のスマートフォンなどから監視できるようにした。異常発生時にゲートウェイを介して異常ランプやメールで通知できるようにした。教師や学生からも、プロトタイプ構築を通して、M2M/IoT 構成要素や構築方法を理解でき、実装上の課題と解決への発想力を養うことができた、と

評価された。第三者からは、このような農業分野に、安価なプロトタイプを通して具体的な適用可能な事例が出てきたことを評価された。

(3) 東京電機大学大学院 未来科学研究科

大学院生の研究テーマとして、M2M/IoT 技術を適用した遠隔制御などのプロトタイプを構築することで、自らの研究テーマの応用範囲を広げる試みを行った。研究テーマとしては、小型飛行船の遠隔制御に M2M/IoT 技術を適用し、センサーと制御する PC 側との間の無線通信手段として ZigBee と Wi-Fi の比較を行った。さらにクラウドと接続し、データをクラウドに上げることにより、どこからでも遠隔制御でき、状態履歴を知ることが可能となることを理解できた。実際にプロトタイプを構築したことにより、無線通信の距離、データ量に適した通信手段などを理解し、対策のアイデア出しに結びつけた。教師、学生から実際にプロトタイピングすることの効果を認識したとの評価であった。

4.4.3 文系学生への実践

幼児教育・保育等の保育者養成を専門とするこども教育宝仙大学で、M2M/IoT プロトタイプ

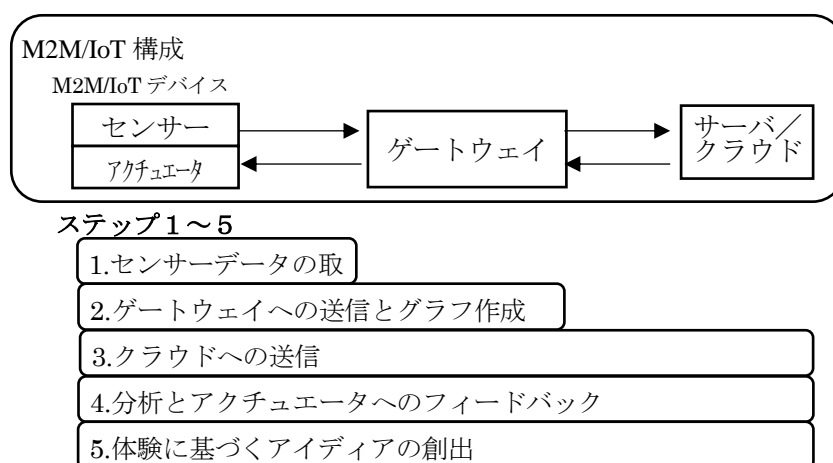


図 4.3 M2M/IoT による実習のステップ

イピングの実習を行った。この実習では、M2M/IoT の概念を学びながら実習していくために、複数回に分けてステップバイステップで、理解を深めながらプロトタイプを構築していく方法を取っている。図 4.3 に実習のステップを示す。構成は理工系とほぼ同様である。違いは、クラウドサービスとして Xively を利用し、ゲートウェイとして PC を利用したことである。M2M/IoT デバイスは、センサーやアクチュエータを制御するために、マイクロ・コントローラである Arduino を利用した。M2M/IoT デバイスは、ゲートウェイとの間を、USB によるシリアルインタフェースで接続した。Fig6 にその構成を示す。プロトタイプシステムは、センサーとして、大気圧、温度、照度センサーを用い、アクチュエータとしては、LED ランプ、電子ブザーを用いた。プロトタイプ構築からアイデア創出までをステップを踏んで段階的に動作を確認する。その後のアイデアミーティングでは、作成体験

に基づき、いろいろなアイデアを出し合い、ディスカッションする。

文系学生は、基本的にはプログラムが作成できないので、Arduino 上のプログラムと、パソコン上のプログラムは、教師が学生へ提供した。

講義の準備として、担当教師への事前説明とリハーサルが行われた。講義と実習は、複数人から構成されるチームの体制で行った。その結果、文系学生は、プロトタイプ構築を達成することができ、M2M/IoT システムのアイデアを創出できるようになった。

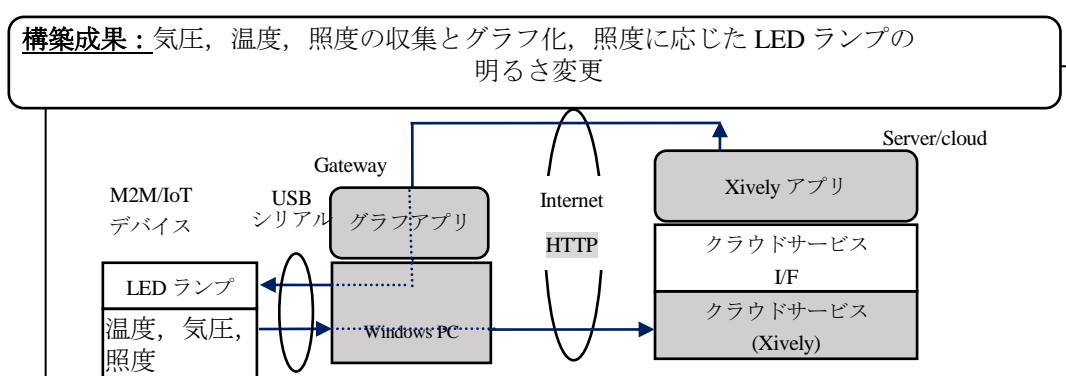


図 4.4 文系コースの構築成果

この講義と実習による M2M/IoT プロトタイプ構築法の適用の達成度は、次のように評価された。手順書に従って実施した達成度の評価は、0%から 100%まで 20%きざみで行った。その結果、受講生からの評価点は、平均 77.6%であった。教師側の評価も平均 75%であった。これらにより、手順書に従ってプロトタイプ構築を進めて行くことによって、M2M/IoT システムの理解がある程度できたと評価できる。また、講師と学生は、プロトタイプ構築後、各学生からアイデアをもとに、ディスカッションをした。その結果は、今回のこども教育を学ぶ学生ならではのアイデアが集まった。主なものを挙げると、保育環境や遊具などの機材に関連するアイデアのほか、①年齢、学年により、使用可否の設定が遊具にされており、年齢に達していない子どもが遊ぶと注意するシステム。②門にカメラを設置し、児童、幼児、職員以外の登録されていない者は門が開かない。無理に入場したらブザーを鳴らす。③入ってはいけない場所に園児が入ったらブザーがなる。④乳幼児が睡眠中に、うつぶせになったら危険なので、保育者に伝えるシステム。などのアイデアである。

4.5 考察

(1) M2M/IoT プロトタイプ構築によるものづくりに関する考察

IT系学生への実践では、M2M/IoTシステム全体としてセンサー、アクチュエータ、M2M/IoTデバイスエンジン、ゲートウェイ、サーバ/クラウドなどの構成要素、その間を結ぶネットワークの役割を一番理解できるのがIT系の学生だったと考えられる。一方、ITのアーキテクチャやプログラミングには詳しいが、形のあるものを作ることは研究においてあまり機会がなく、形あるものをプログラムで制御できたことは、プログラムを学ぶ上でも効果が大きかったと考えられる。ものづくりから生まれるアイディアは、仕組みに関するが多かった。

理工系学生は、本来実験等でものづくりに関する経験があるが、それでもセンサーやLEDランプなどを搭載したM2M/IoTデバイスを作り、ゲートウェイとつなぎ、さらにクラウドまでデータを送信するという一連の構築と動作を体験したことは、システムとして実践的であった。手順書と困ったときの対応など教員の的確な指導は必要で、特にプログラムが意図したように動かないケースは、理工系学生の場合、プログラミングがわからない学生が多く、すぐに解決に至らないことがあった。結局、たとえばシリアルポートの番号の違いなど動作環境が関係しているケースが多かったため、障害が発生しそうなケースを手順書に追加しておくことが重要である。プログラムを作るのはもちろん、変更するという行為も、情報通信系の学生以外では難しいと考える学生が多かった。理工系向けの手順ではプログラムは、ブラックボックスとして与えられたものを使って構築しているが、プログラミング例を示し、それを変更する方法と、プログラムを部品組立式のようなプログラムロジックを考えなくても良いようにすることも考えられる。

今回、センサーは温度、照度などを使用したか、さらに振動、加速度、距離、GPSなどを用いることで、さらに面白いアイディアの可能性はある。ただし、プロトタイプとして構築するには少し複雑になるため、ものづくり教育に使う最初のプロトタイプとしてはある程度限定しておくのがよい。

プロトタイプによる教育は理工系の学生にとっても、あらかじめ決めた内容のものを手順に沿って作成していく過程で、勘違いやミスによって動作しないなどの障害にぶつかり、それを克服していくことが作り上げる喜びであり、システム全体としてももの考える能力を身につける効果がある。

文系学生への実践では、ステップを踏んでものづくりを進めたこともあり、比較的スムーズに取り組めた。これは、受講生からの評価点が、平均77.6%であったことから、言えることである。

(2) アイディア創出に関する考察

IT系学生の場合、コンピュータと通信に加えて、センサーやアクチュエータが構成要素に入ったことで、単なるコンピュータ・ネットワークシステムの課題だけではなく、大量のセンサーからのデータをクラウドに集めるためのスケーラビリティ、データ送受信の負荷を減らすための双方向通信の仕組みやイベント駆動データ収集、多様なセンサーやデバイスを汎用的に扱うためのデータ構造の検討、クラウドとゲートウェイの役割分担とし

て、ゲートウェイへ処理をシフトするためのルールベース自律制御など IT 系ならではのアイデアへ発展していくきっかけになった。

機械、電気などの理工系場合は、今回対象の学生の場合、センサーやアクチュエータを農業に活かす研究として水耕栽培の研究をしていたという経緯があつて、照度センサーによる LED 制御 M2M/IoT システムが、カラーセンサーによる LED 光源の色制御に活かすアイデアに比較的簡単につながった。手操作による色の制御による栽培システムを、M2M/IoT を使ったプログラム制御システムにするというアイデアであり、水耕栽培の遠隔監視・制御に結びついた。

文系の場合、一番の成果は、アイデア創出の分野が IT 系や理工系ではなかなか考え付かないアイデアであったことである。

(3) 提案の教育システムによる効果

これまでのものづくり教育は、装置等を作ることによりそのハードウェアの仕組みを理解することや、アプリケーションプログラムを作ることによりプログラム言語を理解するなど、複数の構成要素からなるシステムではなく、各構成要素を理解することに重点が置かれていた。このため各要素を組合せたシステムの教育という点では、課題があつた。本教育システムはセンサーやアクチュエータなどからなる M2M/IoT デバイス製作からゲートウェイやクラウドまでネットワークを介した M2M/IoT システムのプロトタイプ構築を対象としており、ものづくりの対象範囲が広いことが特徴である。

ゲートウェイを使ったことで、複数の学生が作成した M2M/IoT デバイスからセンサーデータを集めて表示したり、あるセンサーのデータに基づいて別の M2M/IoT デバイスの LED ランプを点灯させたり、などの複数の M2M/IoT デバイスにまたがった動作の体験ができた。

また、クラウドサービスを使ったことで、インターネットを介してデータを送信し、たとえば手元のスマートフォンからクラウドに格納されたデータをグラフ形式で表示させたり、そのデータに基づいて、メールを送出したり、といったことが可能になった。クラウドサービスは、アカウントを登録するだけで、一定のデータ量以内であれば自由にデータを送信・蓄積ができる。クラウドサービスまでを含めた M2M/IoT だからこそその構成でものづくりを体験した学生は、単なるセンサーとアクチュエータに閉じたものづくりに比べて、工学的な学習効果として各要素の必要性やその仕組みの幅広さを実感できた。また、センサー技術、ネットワーク技術、情報処理技術などから構成される M2M/IoT 技術とその応用の発想が広がったという結果が得られ、教育的には学んだことから新たな発想ができた。これらにより、

- ① システムの視点でものづくりを捉え、M2M/IoT システム全体として何ができるのか、システムとしての問題や課題を考える力を教育することができた。
- ② M2M/IoT システムを構成する各要素の位置づけや技術を理解し、例えば、別のセンサーを追加するにはどこにどのように追加すればよいか、たくさんのセンサーを扱う

ためにはゲートウェイでどういう処理をしなければならないかなどを考えることができるようになった。

③ クラウドまでを含めたものづくり体験により、スマートフォンから結果を確認することができ、ものづくりの楽しさを体験し、いろいろな応用例を考え、それらにより発想を豊かにし、新しいアイデアを創出することができた。

第三者でのディスカッションでも、これらの教育効果が認められるという評価を得た。

新しい教育システムの開発という点で、そのベースとなるオープン・ハードウェア、オープン・ソフトウェアは低コストで入手できるものであり、センサーやアクチュエータ等も低価格で入手ができる。従って設備の投資としては教育のためにパソコンを導入するのとは比べても低コストでの導入が可能である。

人的コストは、新しい授業科目を立ち上げる際のコストとして、教師側においては、技術内容の理解および M2M/IoT プロトタイプ構築手順の作成と事前の構築確認が必要になる。この準備作業は、基本構成要素のデバイスとセンサーの設定、センサーネットワークの ID 設定が必要である。また、ゲートウェイについては、開発環境のインストール、プロトタイプ用のサンプルプログラムの準備と動作確認、クラウドサービスについては、アカウントの設定とデータ送信用のアプリケーション ID 取得などが必要になる。これらの個々の作業は比較的短時間でできる作業であり、通常の情報通信システムの授業準備と同等の準備作業と考えられる。また、実習を伴う講義の進行を円滑に進めるために、チームを組んで実施させるなどにより教師の負担を軽減することが可能である。M2M/IoT プロトタイプ・システムを実際に構築する体験により、システム思考、システム手法を学び、アイデアの創造という成果にも結びつけることができたという点で、コストパフォーマンスの高い教育であると考えられる。

本提案のものづくり教育は、専門分野を限定しておらず、自分が学んできたことを M2M/IoT システムではどう使えるのか、M2M/IoT システムでどう解決するのかといった観点での考え方ができるようになった。また、M2M/IoT システムを構築するためには、必要に応じていろいろな専門分野の人との協調や連携の必要性も理解することができた。

(4) その他の課題

今回のプロトタイプでは使用しなかったスマートフォンは、近年多くの学生が持つ情報ツールとなっている。スマートフォンやタブレットなどのスマートデバイスは、それ自身に加速度センサーや GPS などを搭載しており、Wi-Fi や Bluetooth も装備している。したがってセンサーにもデバイスにも、ゲートウェイにもなりうる。今後は、スマートデバイスを利用したプロトタイピングも行うことで、ものづくり教育システムとしてさらに導入が容易となることが考えられる。

「デザインがイノベーションを伝える」という著書⁽¹¹⁾では、文理の区別をなくすことが必要とあるが、文系、理系を問わず、ものづくり教育のような形でそれぞれ形あるもの

を作ることは、デザイナーが得意とするアブダクションをうまく機能させることにつながると考えられる。

それぞれ3種類のプロトタイプを専門分野別に実施し、さらに違う分野の人が集まって課題を出し、解決のアイデアを出し合うという場も必要であると考ええる。

4.6 まとめ

M2M/IoTのプロトタイプ構築によるものづくり教育システムを提案し、その実践をし、評価、考察を行った。M2M/IoTプロトタイプ・システムとして、センサー、アクチュエータ、M2M/IoTデバイスエンジン、ゲートウェイ、及びサーバ/クラウドなどからなる基本構成を定義し、機械・電気・電子等の理工系、情報通信系、非理工系の学生など、それぞれ違う専門分野の学生を対象とした3種類のプロトタイピングの内容・手順を定めた。

それぞれの分野の学生で実践し、これに則ってプロトタイプ・システムを構築することによって、M2M/IoTシステムの理解が深まり、体系的な考え方やM2M/IoTを適用したいろいろなアイデアを創出できるという結果が得られ、ものづくり教育システムとして効果があることがわかった。

今後、さらに教育システムとしてのブラッシュアップをしていく予定である。

5. 結言

本研究では、M2M/IoT が社会の基盤となり各分野の応用を創出するために M2M/IoT プロトタイプシステム構築法に着目して、以下の5つのテーマについて研究した。

- (1) アイディア創出を目指した M2M/IoT プロトタイプシステムの構築法の提案と実装
- (2) アイディアに基づく M2M/IoT プロトタイプシステム構築法の提案と実装
- (3) M2M/IoT システムのサーバ/クラウド側の構築法として、スマートデバイスの多様性に対応した Web サーバアプリケーションの自動生成機能と実装
- (4) 保守技術者の移動先作業を支援する M2M/IoT 応用システムとその実装評価
- (5) M2M/IoT のプロトタイプ構築によるものづくり教育システムの提案と実践

(1) の研究では、M2M/IoT のプロトタイプシステムとして、センサー、アクチュエータ、M2M デバイスエンジン、ゲートウェイ、及びサーバ/クラウドなどからなる基本構成を定義し、センサーからのデータをゲートウェイ経由でサーバ/クラウドまで送信し、そのフィードバックを行えるプロトタイプ構築法を提案した。構築者の専門分野に応じた3種類のプロトタイプの内容を定義し、プログラミングができない構築者にはプログラミングをブラックボックスとして構築ができる、構築者に合ったプロトタイプシステムを構築できるようにした。実際にプロトタイプ構築を体験することによって、M2M/IoT システムの全体を理解し、構成要素のそれぞれの働き、役割を習得できた。そしてその体験を通して、M2M/IoT 応用システムのアイディアがより具体的に創出できるという結果を確認した。

(2) の研究では、様々な分野で M2M/IoT システムが活用できるようにするため、いろいろな専門分野の人がもつ課題の解決や、新しいサービス創出のアイディアをもとに、M2M/IoT プロトタイプシステムを構築する手法を研究した。アイディアを比較的簡単にプロトタイプとして構築できれば、アイディアへのフィードバックが回るようになり、より良いシステムが創出できる。本研究では、アイディアの具体化から、プロトタイプとして構築しやすいように、M2M/IoT システム構築の技術的な難易度を軽減した、アイディアに基づく M2M/IoT プロトタイプシステム構築法を提案し、3種類のアイディアからプロトタイプの実装を評価した。アイディアから実現する機能や内容を抽出し、機能/構成マトリクスによって、プロトタイプ構築の型を決めるアプローチで、水耕栽培 M2M/IoT システムのプロトタイプ構築、照明・空調制御 M2M/IoT システムプロトタイプ構築、認知症早期発見 M2M/IoT プロトタイプ構築へ適用し、それぞれ本提案方式による効果があることを確認した。

(3) の研究では、M2M/IoT システムの構成としてスマートデバイスを M2M/IoT デバイ

スとし、スマートデバイスとサーバ/クラウドサイドの Web アプリケーションによる業務システムを開発する上で、Web アプリケーション自動生成方式を提案した。多様なスマートフォンやタブレットに対応できる方式と、フレームワークの拡張により、自動生成の効果を高めシステムの開発効率を向上させる方式とにより、生産性を向上し、保守技術者向けの業務支援システムに適用して評価した。自動生成方式により、Web アプリケーションの開発プログラム行数が削減でき、生産性向上に効果があることを確認した。また、スマートデバイスにカスタムブラウザを搭載することで、Web アプリケーション側にスマートデバイスの多様性を意識させずに、対応できることを確認した。

(4)の研究では、(3)の研究の実践応用として、スマートデバイスを利用した M2M/IoT 応用システムを、コンピュータシステム保守における保守技術者の移動先作業を支援するためのシステムとして、提案した。スマートデバイスを M2M/IoT デバイスとし、保守センターをサーバ/クラウドとする M2M/IoT システムの応用である。実装したシステムを使って、保守技術者の移動先での保守作業での実験と評価・考察を行った。従来の電話とパソコンを用いた方法に比べて、1 台のスマートデバイスで通話と情報連携を同時にできること、スマートデバイスに機器を接続して情報を採取できること、カメラや GPS が利用できることなど、保守技術者の作業品質と効率向上に効果があることを確認した。

(5)の研究では、M2M/IoT プロトタイプ構築法を利用したものづくり教育システムを提案した。提案では、大学院、大学、高専の学生を教育対象とし、(1)で提案した M2M/IoT プロトタイプ構築法を、電気・機械などの理工系の学生、情報通信系の IT に詳しい学生、文系の学生に、それぞれ適用、実践した。ものづくりの観点では、本教育システムは、センサーやアクチュエータなどからなる M2M/IoT デバイス製作からゲートウェイやクラウドまでの M2M/IoT システム全体のプロトタイプ構築を対象としており、ものづくりの対象範囲が広いことが特徴である
学生への適用評価では、それぞれの専門分野の違いによる課題を M2M/IoT によって解決するアイデア創出まで行うことが確認できた。

図 5.1 に、M2M/IoT プロトタイプシステムに関する研究の構成として、研究課題と研究テーマの関連を示す。図 5.2 には、本研究の目的と結果、そのための解決手法を示す。

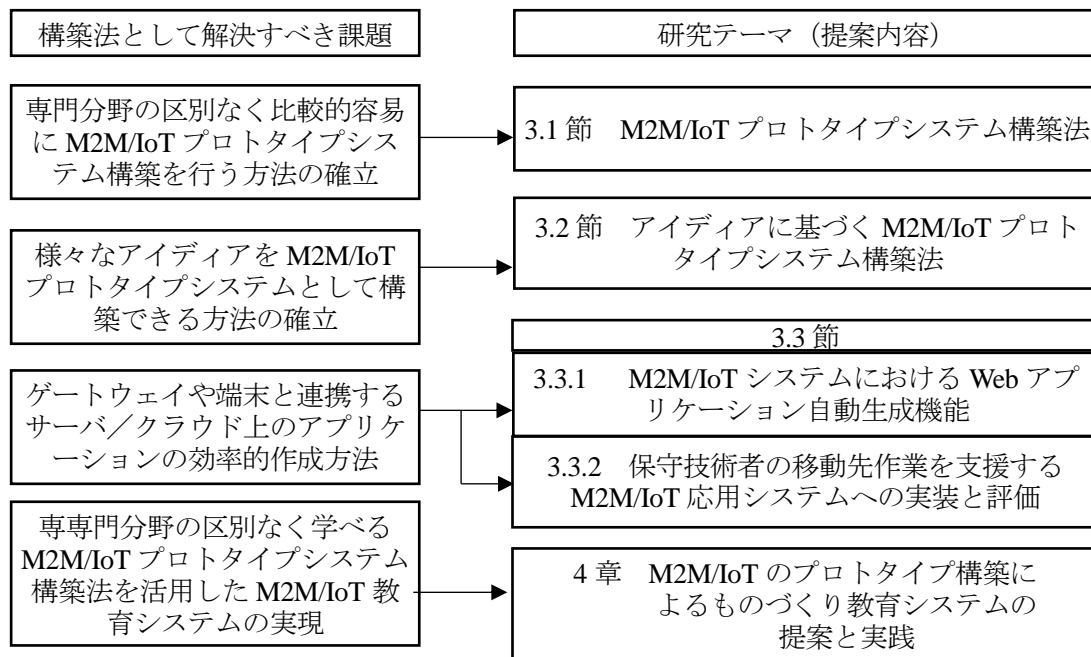


図 5.1 研究課題と研究テーマ (提案内容) との関連

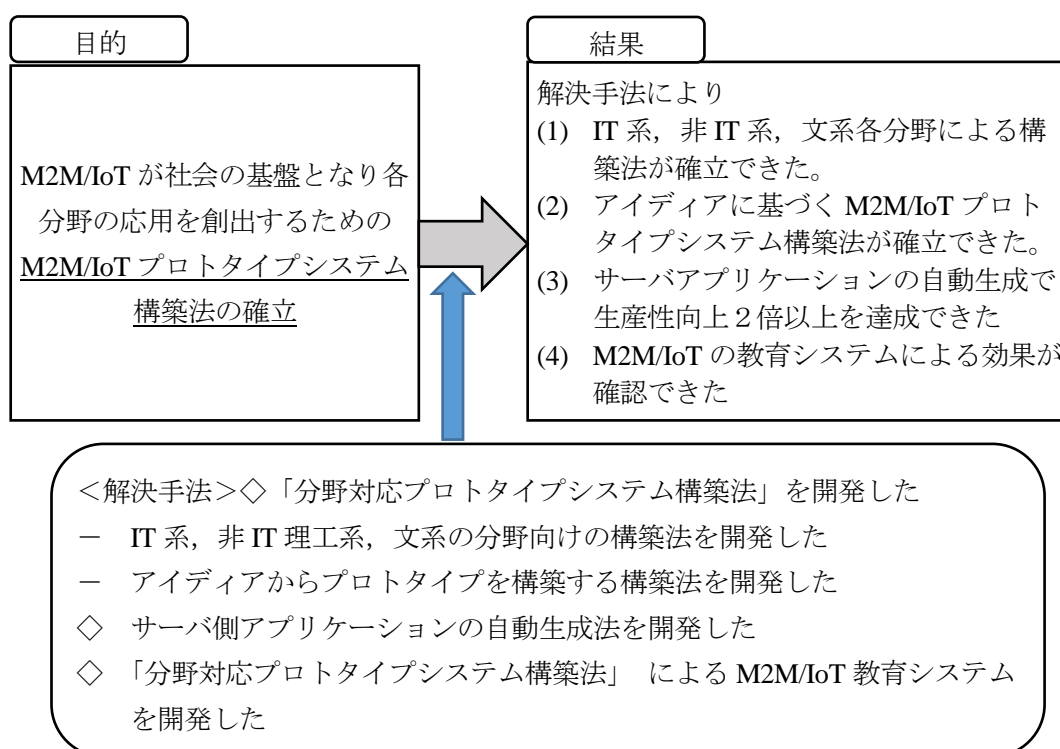


図 5.2 研究の目的と結果および解決手法

図 5.3 には、研究成果物を示す。

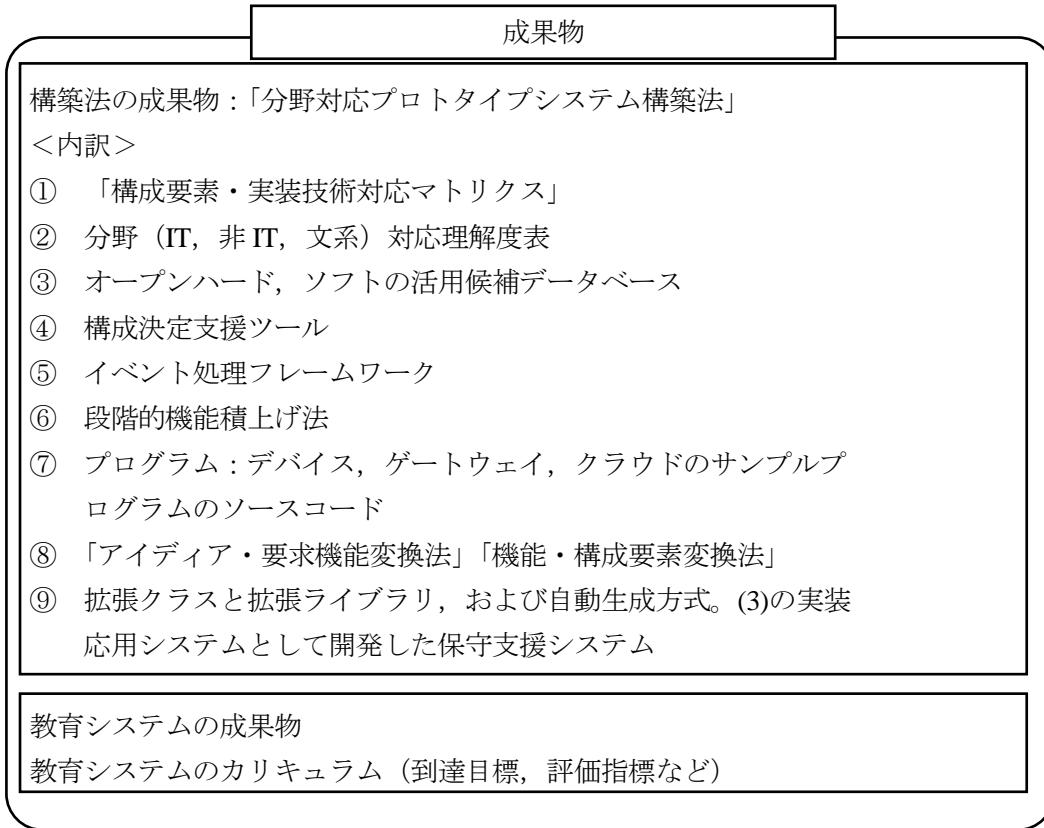


図 5.3 研究成果物

次に今後の研究課題を述べる。

M2M/IoT システムは、今後ますます進展していくと考えられる。技術の範囲が広いため、多くの課題が存在する。その中でも、M2M/IoT デバイスに関する課題、エッジコンピューティングに関する課題、サーバ/クラウドにおけるビッグデータ処理および機械学習についての課題が重要である。これらをプロトタイプシステム構築に取り込んで、M2M/IoT システムの普及の加速に貢献していきたい。

(1) M2M/IoT デバイスに関する課題

M2M/IoT プロトタイプにおける現状の構成は、センサーは温度や湿度のようなデータが取れて、クラウドに蓄積し可視化するような比較的簡単でわかりやすいシステムであり、M2M/IoT を理解し、アイデアを考えるとという目的には沿うものであった。しかし、M2M/IoT デバイスとして、どういうデータを取るのかというセンサーの種類、精度、サイズ、消費電力、設置環境など、非常に多様であり、それらから適切なセンサーを見つけることが、システム全体として重要になる場合がある。センサー側からではなく、M2M/IoT システムから見たこれらの選択基準や、目的とするセンサーを探し出すツールなどは、

M2M/IoT システムにおいて重要な課題である。

また、センサーとともに、アクチュエータによる機械制御技術も重要な課題である。センサーデータを分析、活用して、人手を介さずに、必要な反応や動きを与えることができれば、M2M/IoT システムの応用はさらに広がる。そして、そのようなシステムのプロトタイプを構築できれば、最適なシステムを早期に実現することへ貢献できる。

(2) エッジコンピューティングの課題

センサーからのデータをすべてサーバ/クラウドに集めて処理するのではなく、M2M/IoT デバイスに近いゲートウェイなどに集めて処理をするエッジ処理は、特に、大量のデータやセキュリティ保護が必要なデータの場合などには必要になる。

ゲートウェイにおけるエッジ処理方式は、今後、大量のセンサーなどがフィールドに置かれるようになると重要なテーマである。

特に、センサーデータに基づく、アクチュエータへのフィードバック制御において、エッジ処理方式を研究課題として進めて行きたい。

(3) サーバ/クラウドにおける AI・機械学習についての課題

クラウドに大量のデータが集まるビッグデータの処理によって、その結果どういう知見を得るのか、どういうフィードバックが必要なのかといったことが M2M/IoT システムとして重要になる。その際に、近年研究が急速に進展しつつある AI・機械学習を取り入れることが課題である。これを M2M/IoT プロトタイプシステムで取り込み、AI・機械学習を利用した M2M/IoT システムの応用の創出に貢献したい。

(4) プロトタイプから実用的なシステムの構築

現状のプロトタイプ構築では、クラウドサービスを利用しているが、無料で使用できる範囲であり、機能の確認や実現性の検討、教育目的での利用である。実用システムとして、プロトタイプシステムから発展させていくには、セキュリティやスケーラビリティという面で、商用のクラウドサービスも使えるようにしていくことが必要である。このため、商用クラウドサービスを使ったプロトタイプシステムの構築ができるよう、対応中である。

謝辞

本研究を学位論文として提出にあたりまして、ご多忙中の中で多くの時間を割いて、主査としてご指導いただきました東京電機大学 先端科学技術研究科 先端技術創成専攻 汐月哲夫教授、畠山省四朗教授、石川 潤教授、中村 明生准教授、岩瀬 将美准教授に、厚く御礼を申し上げます。

東京電機大学理工学部 小泉寿男客員教授（前教授）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、激励をいただきました。芝浦工業大学理工学部 井上雅裕教授には、M2M/IoT 関連研究活動において様々な知見をいただきました。芝浦工業大学工学部 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。サレジオ工業高等専門学校機械電子工学科 米盛弘信准教授には、M2M/IoT プロトタイプ法の実践に関して多くの協力をいただきました。サイバー大学 清尾克彦教授、早稲田大学 北上眞二博士には、M2M/IoT プロトタイプに関する多くの技術的なアドバイスをいただきました。岩手県立大学 澤本潤教授には、国際ジャーナル投稿や国際会議においてご支援をいただきました。HIROICT 研究所 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。こども教育宝仙大学 石原正仁講師、アイテック阪急阪神 秋山康智氏には、研究の実践、評価に多大なご協力をいただきました。皆様に心から感謝申し上げます。

所属元の株式会社メルコテクノ社内では、堀澤勇前取締役社長、青山雅彦取締役社長には、学位取得に関してご理解をいただきました。厚くお礼を申し上げます。

末筆ながら、論文作成を陰ながら応援してくれた妻 由美、娘 直美、娘 碧に感謝いたします。

参考文献

1 章分 (筆者関連発表論文)

【学会論文誌】(新しい順)

- (1) NOBUHIRO OHE, MASAHITO ISHIHARA, HIRONOBU YONEMORI, SHINJI KITAGAMI, MASAHIRO INOUE, JUN SAWAMOTO, TETSUO SHIOTSUKI: “A METHOD OF PROTOTYPE CONSTRUCTION FOR THE ACTIVE CREATION OF IoT APPLICATION IDEAS AND ITS EVALUATIONS ” , INTERNATIONAL JOURNAL OF INTERNET OF THINGS 2016, 5(1): 1-8
- (2) 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提案と実践」, 電気学会論文誌 A (基礎・材料・共通部門誌), 2015年11月号 VOL.135, No.11 pp.655-665 (2015)
- (3) 大江信宏, 渡辺透, 汐月哲夫:業務システムにおけるスマートデバイスの多様性に対応したWEBアプリケーション自動生成機能と実装, 電気学会論文誌 C (電子・情報システム部門誌), VOL.135 No.8 pp.1017-1027 (2015)
- (4) 大江信宏, 渡辺透, 北上眞二, 小泉寿男:保守技術者の移動先作業を支援する電話・PC融合システムとその実装評価, 電気学会論文誌 C (電子・情報システム部門誌), VOL.134, No.10 pp.1566-1576 (2014)

【国際学会発表論文】

- (5) NOBUHIRO OHE, MASAHIRO INOUE, MASAHITO ISHIHARA, HIRONOBU YONEMORI, HISAO KOIZUMI: “A PROPOSAL OF PROTOTYPING METHOD FOR IoT SYSTEM USING OPEN HARDWARE/SOFTWARE AND ITS APPLICATIONS ” , THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL ENGINEERING 2016 (ICEE2016), 2016-7-5

【全国大会・フォーラム】

- (6) 大江信宏, 北上眞二, 井上雅裕, 汐月哲夫, 小泉寿男:「発想から構築につなげるM2M/IoTプロトタイプシステム構築法」, 第15回情報科学技術フォーラム(FIT2016), 2016-9-9
- (7) 大江信宏:データベースの関連定義に結びつけたソフトウェア自動生成機能, 電気関係学会東海支部連合大会(静岡大学), M2-7(2013/9/24)

2 章分

- (1) 辻 秀一 , 澤本 潤 , 清尾 克彦 [他] , 北上 眞二 : M2M(Machine-to-Machine)技術の動向 (特集 電子・情報・システム分野の最先端技術) , 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌) 133(3), 520-531(2013)
Shuichi Tsuji, Jun Sawamoto, Katsuhiko Seo, Shinji Kitagami: “M2M (Machine-to-Machine) Technology Trend”, IEEJ Transaction on Electronics, Information and Systems, Vol.133(3),520-531(2013) (in Japanese)
- (2) 猿渡俊介, 森川博之: モバイル時代のサービスを支える技術 : 3.M2M の情報流, 学会誌「情報処理」, Vol.55, No.11,1269-1274 (2014)
- (3) David Boswarthick, Omar Elloumi, Olivier Hersentcho 著, 山崎 徳和 / 小林 中 訳: M2M 基本技術書 ETSI 標準の理論と体系, リックテレコム, ISBN : 978-4-89797-909-0, 2013 年 12 月
- (4) Olivier Hersent, David Boswarthick, Omar Elloumi: “The Internet of Things: Key Applications and Protocols, 2nd Edition”, Wiley, ISBN: 978-1-119-99435-0, (2012)
- (5) 稲田修一【監修】 , 富田二三彦, 山崎徳和, MCPC M2M/IoT 委員会【編】 : M2M/IoT 教科書, インプレス, ISBN:978-4-8443-3785-0, 2015 年 5 月
- (6) 小泉 寿男, 清尾 克彦, 樋口 雅宏, 辻 秀一 : M2M における技術発掘とビジネス創生支援の実践, 平成 25 年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, ページ: 231 - 232 (2013)
- (7) 電気学会 第 2 次 M2M 技術調査専門委員会(編) : M2M/IoT システム入門. 森北出版, ISBN:978-4-627-85331-7, 2016 年 3 月
- (8) 山田太郎 : 日本版インダストリー 4. 0 の教科書 IoT 時代のモノづくり戦略, 日経 BP 社, ISBN : 978-4-8222-3987-9, 2016 年 4 月
- (9) 電子工作キット <http://www.mycomkits.com/> (参照 2016/10)
- (10) 株式会社タブレインホームページ : <http://tabrain.jp/> (参照 2016/10)
- (11) LEGO マインドストーム : <https://www.lego.com/ja-jp/mindstorms> (参照 2016/10)
- (12) Thingworx : <https://www.thingworx.com/> (参照 2016/10)
- (13) 経済産業省・厚生労働省・文部科学省 : 「平成 25 年度ものづくり基盤技術の振興施策 (概要)」, 平成 26 年 6 月,
<http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2014/pdf/gaiyou.pdf> (参照 2015.1.22)
- (14) Etsuya Chiba, Takahisa Kan, Toshihiro Akita, Miyuki Yamamoto: “Execution and Evaluation of the Monodzukuri Education Program using the Embedded Technology”, Japanese Society for Engineering Education, 58(5), 18-23(2010)(in Japanese)

千葉悦弥, 管隆寿, 秋田敏宏, 山本美幸:「組込み技術を使用したものづくり教育プログラムの実施と評価」, 工学教育, 58(5), 18-23(2010)

- (15) Mayumi Nakanishi: “The Present Conditions and Problem of Education of Manufacturing Technology in Higher Education Institutions”, Bulletin of Kobe Yamate College No.55, P39-48, 2012-12 (in Japanese)

中西眞弓: 「高等教育機関によるものづくり教育の現状と課題」, 神戸山手短期大学紀要第 55 号, 39-48 (2012)

- (16) Masahiro Inoue, Hiroshi Hasegawa, Kazunori Mano, Yoshimi Furukawa, Atsuko Yamazaki, Khantachawana Anak and Masahiko Tachibana, Systems Engineering Design Education based on Multidisciplinary and Global Project Based Learning, International Conference on Advanced Design Research and Education, ICADRE14 2014, pp.53-61, Singapore, July 2014.

- (17) アジアで注目される日本のものづくり教育

<http://globe.asahi.com/feature/article/2014011600006.html> (参照 2015.2.17)

- (18) ブリヂストンブランドの価値向上を支える, グループ・グローバルな人材育成をめざして <http://www.bridgestone.co.jp/csr/report/download/pdf/2007/BS27-28.pdf> (参照 2015.2.17)

3 章分

- (1) 大江信宏, 北上眞一, 米盛弘信, 井上雅裕, 汐月哲夫, 小泉寿男 : M2M プロトタイプ構築によるものづくり教育システムの提案と実践, 電気学会論文誌 A (基礎・材料・共通部門誌), Vol.135, No.11 pp.655-665 (2015)
Nobuhiro Ohe, Shinji Kitagami, Hironobu Yonemori, Masahiro Inoue, Tetsuo Shiotsuki, Hisao Koizumi: "A proposal of an Education System for Manufacturing Technology using M2M Prototyping and its Practice", IEEJ Transaction on Fundamentals and Materials, Vol.135(11),655-665(2015) (in Japanese)
- (2) 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 (J. of JSEE), Vol.64, no.1, pp.26-32, 2016.
- (3) ZigBee, Official site : <http://www.zigbee.org/> (参照 2016. 11.10)
- (4) Bluetooth, Official site: <https://www.bluetooth.com/> (参照 2016. 11.10)
- (5) Wi-SUN, Wi-SUN Alliance site: <https://www.wi-sun.org/> (参照 2016. 11.10)
- (6) Arduino, Official site : <http://www.arduino.cc> (参照2016. 11.10)
- (7) Processing, Official site: <https://processing.org/> (参照2016. 11.10)
- (8) IaaS, Infrastructure as a Service: <http://e-words.jp/w/IaaS.html> (参照2016. 11.10)
- (9) Node.js, Node.js 日本ユーザグループ : <http://nodejs.jp/> (参照2016. 11.10)
- (10) Raspberry Pi, Official site : <http://www.raspberrypi.org/> (参照2016. 11.10)
- (11) Xively, Xively Official site : https://xively.com/whats_xively/ (参照2016. 11.10)
- (12) Parse, Parse Official site : <https://parse.com/> (参照2016. 11.10)
- (13) 薛浩, 北上眞二, 宮西 洋太郎, 浦野 義頼, 白鳥 則郎: M2M システムにおけるイベント駆動に基づく効率的データ収集方式, 第 76 回情報処理学会全国大会講演論文集 3-(9-10), (2014)
- (14) 飯島卓弥, 長尾明美, 米盛弘信 : 異分野技術の融合による水耕栽培の実現, 日本工学教育協会平成26年度工学教育研究講演会講演論文集, P364-365(2014)
- (15) 宮下渉, 中野和弘, 大橋慎太郎, 渡辺亜郁, 知野秀次 : LED 光源を用いたミズナの栽培制御に関する基礎的研究, 新潟大学農学部研究報告 63(2), 115-118, 2011-03
Miyashita Wataru , Nakano Kazuhiro , Ohashi Shintaroh , Watanabe Ai , Chino Shuji : "A basic study on controlling cultivation of potherb mustard (Mizuna) by using LED irradiation", Faculty of Agriculture Niigata University, Research report 63(2), 115-118, 2011-03 (in Japanese)
- (16) 金子洋介, 北上眞二, 安田晃久, 竹中友哉, 松下雅仁, 小泉寿男 : 在席状況に基づくオフィス照明調光制御システム, 電気学会論文誌 C, Vol.133, No.7, pp.1356-1366 (2013)
Yousuke Kaneko, Shinji Kitagami, Akihisa Yasuda, Tomoya Takenaka, Masahito Matsushita, Hisao Koizumi: "An Office Lighting Control System based on Employee Entry/Exit State", IEEJ Transaction on Electronics, Information and Systems, Vol133(7), 1356-1366(2013) (in Japanese)
- (17) 石井瞭, 君野敬祐, 井上雅裕; 認知症早期発見のための行動センシングセンサシステムの研究, 情報処理学会第 78 回全国大会, 慶應義塾大学, March 10-12, 2016.
- (18) NTTデータ技術開発本部ソフトウェア工学推進センタ「ソフトウェア開発自動化への挑戦 ~倍速開発を実現するために」, NTT技術ジャーナル 2011.5, 38-41, (2011)

- (19) Dirk Riehle and Thomas Gross. "Role Model Based Framework Design and Integration." In Proceedings of the 1998 Conference on Object-Oriented Programming Systems, Languages, and Applications (OOPSLA '98). ACM Press, 1998. Page 117-133
- (20) Mohamed A. Mgheder and M. J. Ridley, "Automatic Generation of Web User Interfaces in PHP Using Database Metadata", Third International Conference on Internet and Web Applications and Services, ICIW 2008, 8-13 June 2008
- (21) Atia M. Albhah and Mick J. Ridley, "A Rule Framework for Automatic Generation of Web Forms", International Journal of Computer Theory and Engineering, Vol. 4, No. 4, August 2012
- (22) 吉田誠, 坂本光範:「プログラム自動生成ツールによる Web アプリケーションシステムの開発とその評価」, 沖テクニカルレビュー 第 193 号 Vol.70 No.1, (2003)
- (23) 天沼 敏幸, 浅見可津志, 大野 次彦: アプリケーション構築サービスを支える Web アプリケーション自動生成技術 (特集 企業の発展を支えるオンデマンド IT サービス "DIAXaaS"), Web application generator for application building service, 三菱電機技報 85(8), 453-456, 2011-08
- (24) 原田雅史, 河村美嗣, 倉持和彦, 石井 洋: Web システム開発フレームワーク, Application Development Framework for Web-based Systems, Masafumi Harada, Kazuhiko Kuramochi, Hiroshi Ishii, Yoshitsugu Kawamura, 三菱電機技報 84(5), 271-274, 2010-05
- (25) 原田 雅史, 松田 昇平, 土屋 隆 [他]: MVCアーキテクチャを実現するアプリケーションフレームワーク "BizFrame" と適用事例, 三菱電機技報 77(7), 459-462, 2003-07
- (26) Toru Watanabe, Hisao Koizumi: "Software reuse to virtualize Framework for Web Application", The Institute of Electrical Engineers of Japan -Tokai Branch Tournament 2010, (2010)
- (27) 下村隆夫, 高橋宗雄, 池田建司, 最上義夫: Web プログラミング・フレームワーク, 情報処理学会「情報処理」, 2004/12/15 号, 2004.
- (28) 小林茂憲, 小泉 健: スマートデバイス対応アプリケーション開発を効率化する業務システム構築基盤「SystemDirector Enterprise」, NEC 技報 Vol.65 No.3, 50-53, /2013
- (29) Canon 業務用 Web アプリケーション 100% 自動生成ツール, http://www.canon-soft.co.jp/product/web_performer/, (参照: 2015-3-31)
- (30) アルテッチ アプリケーション自動生成ツール「Genexus」, <http://weing-genexus.com/solution/genexus/>, (参照: 2015-3-31)
- (31) Toru Watanabe: "A Method of Virtualization of Framework to aim to re-use Web Applications and Its Implementation", IEEJ Transaction on Electronics, Information and Systems, Vol.131, No.12 pp.2108-2120 (2012) (in Japanese)
渡辺 透: 「Web アプリケーションの再利用を目指すフレームワークの仮想化と実装法」, 論文誌 C (電子・情報システム部門誌) Vol.131, No.12 pp.2108-2120 (2012)
- (32) N.Ohe, T.Watanabe, S.Kitagami and T.Koizumi: "An Integration Method of Phone and PC systems to support Maintenance engineers and its implementation", IEEJ Transaction on Electronics, Information and systems, Vol.134, No.10 pp.1566-1576 (2014)(in Japanese)
大江信宏, 渡辺透, 北上真二, 小泉寿男: 保守技術者の移動先作業を支援する電話・PC 融合システムとその実装評価, 電気学会論文誌 C (電子・情報システム部門誌), Vol.134, No.10 pp.1566-1576 (2014)
- (33) JECC 日本電子計算機株式会社: 「保守と安全対策—2012 年度保守状況・安全対策調査結果」 (2012/8)
- (34) T.Nakamura, S.Nakamura and C.Kitasuga: "Challenges in Maintenance Innovation", FUJITSU.60,2,(03,2009) (in Japanese)
中村隆文, 中村純郎, 北須賀千晶: 「保守技術の革新—CE 作業の変革—」, FUJITSU.60,2,(03,2009)
- (35) Y.Sakata, S.Iwasaki and S.Yamamoto: "A study on software configuration management for software maintenance", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Technical Report.SS, Software science109(170),53-58,2009-07-30(in Japanese)

坂田祐司, 岩崎慎司, 山本修一郎: 「システム保守を考慮した構成管理システムの検討」, 電子情報通信学会技術研究報告. SS, ソフトウェアサイエンス 109(170), 53-58, 2009-07-30 電子情報通信学会

- (36) T.Nukushina: "Smart-phone based assistance-system for customer engineer"@Smart CE System": an architecture easily supporting upgrade in system life cycle", Oki technical review,20-23,2011-10-00(in Japanese)

温品 友也: 「スマートフォンを活用した「@スマート CE システム」--システムライフサイクルを吸収するためのアーキテクチャーについて」,Oki テクニカルレビュー 78(1), 20-23, 2011-10-00

- (37) T.Watanabe and T.Koizumi:"A CTI system to support seamless workplace and its implementation", IEEJ Transaction on Electronics, Information and systems, Vol.132, No.5 pp.790-803 (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」, 電気学会論文誌 C (電子・情報システム部門誌) , Vol.132, No.5 pp.790-803 (2012)

- (38) セッション確立プロトコル (SIP) – ソフトウェア技術ドキュメント
<http://www.techdoctranslator.com/android/guide/network-sip>

- (39) J. Rosenberg : "RFC 3261 SIP:Session Initiation Protocol", IETF, (2002)

- (40) H. Schulzrinne, : "RFC 3550 RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications", IETF, (2003)

- (41) H. Schulzrinne, : "RFC 3551 RTP Profile for Audio and Video Conference", IETF, (2003)

4 章分

- (1) Etsuya Chiba, Takahisa Kan, Toshihiro Akita, Miyuki Yamamoto: “Execution and Evaluation of the Monodzukuri Education Program using the Embedded Technology”, Japanese Society for Engineering Education, 58(5), 18-23(2010)(in Japanese)
千葉悦弥, 管隆寿, 秋田敏宏, 山本美幸: 「組込み技術を使用したものづくり教育プログラムの実施と評価」, 工学教育, 58(5), 18-23(2010)
- (2) Mayumi Nakanishi: “The Present Conditions and Problem of Education of Manufacturing Technology in Higher Education Institutions”, Bulletin of Kobe Yamate College No.55, P39-48, 2012-12 (in Japanese)
中西眞弓: 「高等教育機関によるものづくり教育の現状と課題」, 神戸山手短期大学紀要第 55 号, 39-48 (2012)
- (3) 経済産業省・厚生労働省・文部科学省: 「平成 25 年度ものづくり基盤技術の振興施策 (概要)」, 平成 26 年 6 月, <http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2014/pdf/gaiyou.pdf> (参照2016.11.10)
- (4) アジアで注目される日本のものづくり教育,
<http://globe.asahi.com/feature/article/2014011600006.html> (参照2016.11.10)
- (5) ブリヂストンブランドの価値向上を支える, グループ・グローバルな人材育成をめざして
<http://www.bridgestone.co.jp/csr/report/download/pdf/2007/BS27-28.pdf> (参照 2015.2.17)
- (6) OKADA Masakazu Okada, Haruka Sawa, Tomo Tanaka, Aya Nishimura, Yuya Morino, Koichi Kuzume: “Development of Energy Conservation-Education Support System Using a Sensor Network”, IEICE research report, IA, 113(424), 67-72(2014) (in Japanese)
岡田 雅一, 澤 遥香, 田中 智, 西村 彩, 森野 雄也, 葛目 幸一: センサーネットワークを用いた省エネ教育支援システムの開発, 電子情報通信学会技術研究報告. IA, 113(424), 67-72(2014)
- (7) 小泉 寿男, 清尾 克彦, 樋口 雅宏, 辻秀一: M2M における技術発掘とビジネス創生支援の実践, 平成 25 年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, ページ: 231-232 (2013)
- (8) 市村 洋, 小泉 寿男: M2M における工学・技術教育普及の企画と実践, 平成 25 年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, 233-238(2013)
- (9) 飯島卓弥, 長尾明美, 米盛弘信: 異分野技術の融合による水耕栽培の実現, 日本工学教育協会平成 26 年度工学教育研究講演会講演論文集, P364-365(2014)
- (10) 薛 浩, 北上 眞二, 宮西 洋太郎, 浦野 義頼, 白鳥 則郎: M2M システムにおけるイベント駆動に基づく効率的データ収集方式, 第 76 回情報処理学会全国大会講演論文集 3-(9-10), (2014)
- (11) 鷺田祐一: 「デザインがイノベーションを伝える」, 6 章②視点 (1) 一文系・理系の溝をなくす知識戦略の構造改革 (206-212) 有斐閣, 2014