

2014 年度 日本大学法学部卒業論文

山田正雄ゼミナール

Internet of Everything の可能性

～IoE の利用によって社会はどう変化するのか～

日本大学法学部 法律学科 4 年

学籍番号：1110459

根本 健

はじめに

インターネットは、約20年前に登場したWebブラウザを契機に、ブロードバンド、ソーシャル、モバイルそしてクラウドと約5年または10年単位で発生する大きなパラダイムシフト¹を経て急速な成長を続けている。インターネットが及ぼす影響は、初期の情報流通分野におけるデジタル化に留まらず、ありとあらゆる産業分野において構造変化を起し、経済面のみならず社会面においても大きな影響をもたらしている。

2013年には、新たな潮流の元年として、インターネットが新たな段階に移行したことを示す出来事が数々起きている。まず、IoT (Internet of Things) の社会的認知である。8月には、「IoT」という用語がOxford辞書に正式に登録され、10月には、ガートナー²が戦略的TOP10テクノロジートレンドの1つとして、モバイル、ビッグデータ、クラウドと併せてIoTが選出されている。

同年、商業面において、シスコ³やGE⁴などのICTを代表する企業が、相次いでIoT事業部を設立している。また、オラクル⁵やIBM⁶、Amazonなどのビッグデータ、クラウド分野の有力企業もIoTを戦略的なビジネスチャンスと捉え、その取り組みを活発化させている。

テクノロジー面においては、IETF (The Internet Engineering Task Force) ⁷などが中心となって次世代インターネットアーキテクチャー⁸やプロトコル⁹策定に鋭意取り組んでいる。IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) ¹⁰が2014年3月にWorld Forum on Internet of Thingsを開催するなど、IoTを取り巻く環境は刻々と拡大している。

従来の、産業やマーケットセグメント¹¹ごとに独立したかたちの垂直統合型のIoTから、インターネットという共通インフラを基盤として水平統合され、開かれたIoTへと発展していく。それにより、新しい価値が創造され、イノベーションが起きていくのである。それが新しい産業としての発展が期待される新しいIoTとしての進化であり、IoE (Internet of Everything) と定義される。

¹ その時代や分野において当然のことと考えられていた認識や思想、社会全体の価値観などが革命的にもしくは劇的に変化すること

² 米国に本拠地を置く業界最大規模のICTアドバイザリ企業

³ 1984年に設立されたアメリカの通信機器メーカーの一つ

⁴ 米国のゼネラル・エレクトリック。電機製品メーカーを中心として、金融、軍事産業、メディアなどの幅広い分野に進出

⁵ データベースソフトウェアを開発・提供しているアメリカのソフトウェア企業

⁶ ビジネス用途のコンピュータ関連の製品およびサービスを提供するアメリカの企業

⁷ インターネット技術の標準化を推進する任意団体

⁸ ハードウェア、OS、ネットワーク、アプリケーションソフトなどの基本設計や設計思想

⁹ 複数の主体が滞りなく信号やデータ、情報を相互伝送できるよう、あらかじめ決められた約束事や手順の集合

¹⁰ アメリカ合衆国に本部を持つ電気工学・電子工学技術の学会

¹¹ 巨大ネットワークを構成する1つのネットワークやデータのまとまり

本研究では、IoEアーキテクチャおよびIoTやM2Mを包含するIoEの全体像と、それを
実現するために必要な機能について検討する。また、IoEに使用される要素技術について
触れ、従来のインターネットで用いられてきた技術との違いと、新たに考慮しなければな
らない領域を検討し、その結果、IoEのインテリジェンス¹²が生み出すサービスや付加価値
を明らかにする。

¹² 高い機能、データ処理性能

目次

はじめに

1 IoT/M2M

- 1.1 IoT とは
- 1.2 M2M とは

2 M2M の現状と課題

- 2.1 国内 M2M 市場規模の現状と予測
- 2.2 従来型 M2M から新たな M2M へ
- 2.3 スマートな社会の実現
- 2.4 水平発想の機能設計
- 2.5 プラットフォームの標準化

3 IoE

- 3.1 IoE とは
- 3.2 IoE のネットワークインフラとしての IP プロトコル
 - 3.2.1 IP とは
 - 3.2.2 IPv6 とは
- 3.3.1 多種多様なアプリケーションと大規模なネットワーク
- 3.3.2 制約の多いセンサーネットワークにおける IP
- 3.4 IoE アーキテクチャー
 - 3.4.1 水平統合プラットフォーム
 - 3.4.2 オーケストレーションと API
 - 3.4.3 IoE 実現のインテリジェンス
 - 3.4.4 分散アーキテクチャ
- 3.5 IoE の 4 層アーキテクチャ
 - 3.5.1 エンドポイント層 (組み込みシステム・センサー)
 - 3.5.2 マルチサービスエッジ層
 - 3.5.3 コアネットワーク層
 - 3.5.4 データセンサークラウド層
- 3.6 フォグコンピューティング

4 IoE を可能とする要素技術

- 4.1 期待される要素技術
 - 4.1.1 相互接続性
 - 4.1.2 統合運用
- 4.2 スマートオブジェクト
- 4.3 新しいリンクに対応する適合層の標準化
- 4.4 耐障害性経路制御プロトコルの標準化
 - 4.4.1 背景
 - 4.4.2 RPL の経路
 - 4.4.3 RPL の適応性
- 4.5 LLN 向け汎用アプリケーションプロトコルの標準化
 - 4.5.1 背景
 - 4.5.2 通信の信頼性
 - 4.5.3 リソースの制御

5 IoE の進化の方向性

- 5.1 IoE が実現するサービスの考察
- 5.2 スマートグリッド
 - 5.2.1 現状の課題と進むべき方向性
 - 5.2.2 主な構成要素
- 5.3 無線センサーネットワーク基盤
 - 5.3.1 現状の課題とメリット
 - 5.3.2 適用例
- 5.4 スマートシティ
- 5.5 スマート・コネクテッド・カー
- 5.6 無線 LAN によるロケーションサービス
 - 5.6.1 無線 LAN を取り巻く現在の環境
 - 5.6.2 モバイルデバイスからのロケーションデータ取得
 - 5.6.3 センサーとしての AP
 - 5.6.4 無線 LAN 運用に伴う可視化の三要素
 - 5.6.5 Wi-Fi デバイスの追跡
 - 5.6.6 センサーデータを用いた無線 LAN の統合管理
 - 5.6.7 無線 LAN インフラを用いた付加価値請求
 - 5.6.8 ロケーションデータ事例
- 5.7 スマート・ファクトリー
 - 5.7.1 工場および製造現場の統合システム

5.7.2 制御システムのオープン化、イーサネット化

5.7.3 提供されるサービス例

おわりに

参考文献および参考資料

参考 URL

1 IoT/M2M

1.1 IoT とは

Internet of Things(以下、IoT)とは、MIT¹³の Auto-ID センター¹⁴の共同創設者であるケビン・アシュトン氏が 1999 年に初めて使った造語で、PC やスマートフォンといった情報機器や産業機器等、元よりネットワーク接続性を持つデバイスだけではなく、日用品・家電・自動車・建物・食べ物、さまざまなモノに無線タグやセンサーを組み込んでインターネットに接続し、あるいは相互にネットワークングすることで、飛躍的に効率性・利便性・持続可能性の高い社会を実現しようというビジョンを指す。インターネットが全ての”モノ”がコミュニケーションをするための情報伝送路として進化し、相互通信することによって、遠隔でも自動で認識、計測、制御等が可能となる。

対象となるデバイスは、RFID¹⁵タグから、各種センサー、制御装置、車、エンジン、レーダー、ビデオカメラまで多岐にわたる。また、IEEE802.15.4¹⁶、RFID のような低電力・低データレートでパケット損失の高いリンクや無線 LAN、DSRC¹⁷、PLC¹⁸、衛星通信、GPS、3G および 4G/LTE などの携帯網など、それぞれの産業分野において特有の様々なリンクを経由してデバイスはネットワークに接続される。

1990 年代に使われた「ユビキタス¹⁹コンピューティング」や「ユビキタスネットワーク」の発展した概念に位置づけられるが、IoT では必ずしも人間が介在せず端末同士、モノ同士が自律的に情報交換・連携する。また、「Things (モノ)」は物理的なものにとらわれず、バーチャルなもの(コンテンツ等)を含む点が昨今注目されている、後述の「Machine-to-Machine(M2M)」というコンセプトとの違いだとされ、IoT の一形態と位置づけられる。米ネットワーク機器大手のシスコ社は、インターネットに接続されるデバイス数が 2020 年に 500 億に達すると予測しており、IoT を中心に、人、プロセス、ビッグデータ等、ありとあらゆるモノがインターネットで繋がる将来像として新たな概念である「Internet of Everything (IoE)」を提唱している。

¹³ マサチューセッツ工科大学

¹⁴ RFID ネットワークと新しいセンシング技術のフィールド研究グループ

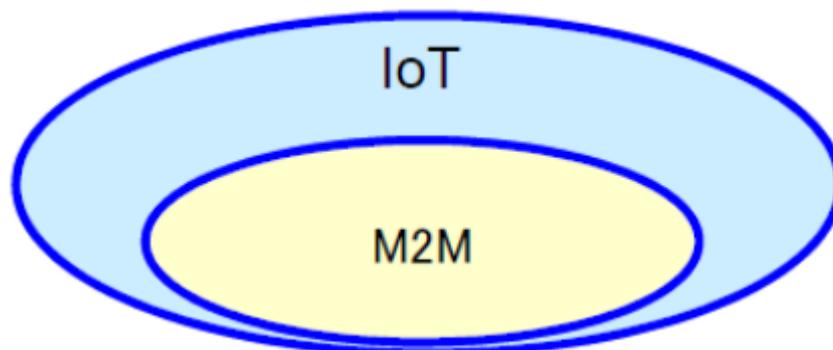
¹⁵ Radio Frequency IDentification、電波を使って物品や人物を自動的に識別するための技術全般

¹⁶ PAN (Personal Area Network) または WPAN と呼ばれる IEEE が策定中の短距離無線ネットワーク規格

¹⁷ 狭域通信

¹⁸ 電力線を使用して行われるデータ通信

¹⁹ インターネットなどの情報ネットワークに、空間・時間を問わずアクセスが可能な環境や社会



(図 1-1 引用：日経 BP 「M2M を包含する IoT」)

1.2 M2M とは

M2M という用語の明確な定義はないが、一般的には「固定ネットワークまたは無線ネットワークを利用した、遠隔の機器同士、あるいは遠隔機器とバックエンド IT システムの間で行われる双方向通信サービス」を指すものと考えられる。M2M によって、従来は人間の介在なしには行うことのできなかった、機器によるデータ収集・出力、また機器間のデータ共有といったプロセスが自動化され、ひいてはそのような機器の利用を伴う各種業務の効率化が期待されている。

M2M は主に通信業者のマーケットにおいて使われてきた用語である。「Machine」が、通常 2G、3G、LTE 等の携帯事業者の回線、あるいは固定回線を通して接続される。しかし、通信事業者のマーケットにおいて、M2M ビジネスは ARPU²⁰が非常に低いため、従来通信事業者はあまり積極的に M2M ビジネスに取り組んでこなかった。

そのため、従来の M2M ビジネスは、通信事業者のネットワークを利用する MVNO²¹モデルによって、個別顧客が所有する M2M デバイスの管理や課金処理などを行う M2M アクリゲータ²²のビジネスが主流であり、各々の顧客のマーケットドメイン²³に応じた垂直統合ソリューション²⁴が提供されてきた。代表的な例として、テレマティクス・Fleet 系運行管理を行う、KORE Telematics 社や遠隔検針、ICT 系 M2M(Nook) を事業として展開した Jasper Wireless 社が挙げられる。

²⁰ 移動体通信事業において、加入者一人あたりの月間平均収入

²¹ 周波数帯域の割り当てを受けている通信事業者から回線設備を借り受けて移動体通信サービスを提供する事業者

²² 集積者

²³ 領域。ネットワーク上のコンピューターをグループ化して個々の識別を行うための概念

²⁴ 解決法

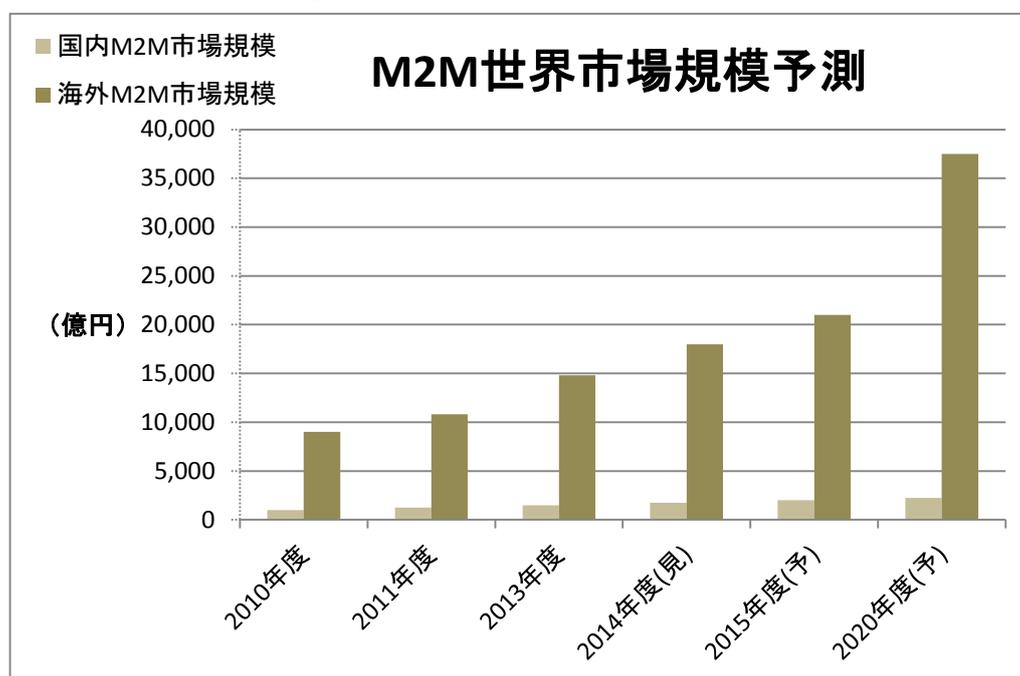
2 M2Mの現状と課題

2.1 M2Mの国内および世界市場規模の現状と予測

急成長が見込まれるM2M (Machine to Machine)市場 (図2-1)。M2M世界市場規模は2010年以降に大きく伸長し、2013年度は1兆4,580億円 (累計金額ベース) の見込みである。なお、2013年度の国内M2M市場は1,350億円 (同) の見込みで、M2M世界市場における日本市場の構成比は9.3%となる。M2Mで注目されるアプリケーション分野は多岐に及ぶが、特に医療・ヘルスケア、エネルギー管理、農業・畜産、交通インフラ関連での期待が大きい。

そして中・長期的には、M2Mは世界的に拡大が見込まれるスマートシティやスマートコミュニティにおける中核機能・中核技術として期待されると考える。

M2M需要は先進国から新興国に徐々にシフトしていくが、M2M世界市場は、M2Mプラットフォーム²⁵型サービスの拡大、機器・デバイスの低価格化、ワイヤレス環境及びグローバル化の進展などを背景に拡大するものと考えられる。2020年度のM2M世界市場規模は3兆8,100億円 (累計金額ベース) に達すると予測される。



(図2-1 引用：矢野経済研究所「M2M世界市場に関する調査結果 2014」)

2.2 従来型M2Mから新たなM2Mへ

従来型M2M (垂直統合型) は、個々の機器機能の補助的な役割が主体だった時代に、それを部分的に補完して保守などの作業を効率化する目的から、ネットワークを介したデータ送信を行うというものであったため、接続の頻度は低く、送信されるデータの量も限定

²⁵ コンピュータにおいて、ソフトウェアが動作するための土台 (基盤) として機能する部分

的であった。それに対して、システム開発の経費削減・サービス向上を目的に今後の導入が検討されている新たな M2M アーキテクチャ（水平統合型）では、機器がネットワークを介してサーバ側と接続することが前提にあり、そのうえでデバイス²⁶とサーバ側（クラウド）が一体となってサービスを提供することを想定している。接続頻度も常時が基本となり、機器から得たデータを包括的に活用することで、差別化サービスの提供が可能となる。

現在、いくつかの M2M サービスがあり、「テレメータ」と「テレマティクス」というような事例がある。「テレメータ」とは、ガスの検針や自動販売機の在庫管理、エレベータの故障状況確認、駐車場管理など、遠隔にある機器の監視や管理を行うものである。「テレマティクス」とは、自動車などの移動体に通信システムを組み込み、リアルタイムに情報提供などのサービスを行っていくものであり、カーナビなどの車載機に通信モジュールを組み込むことにより、モバイル回線を通じて情報を受け取れたり、情報を提供するシステムを実現している。これらの M2M サービスは、デバイスに組み込んだ通信モジュール²⁷経由で「観測地点の情報」を収集し、作業の効率化や見える化のサービスを提供するもので、個々に最適化を図る構造となっている。個々に最適化した垂直統合型では、M2M で収集した情報・データは、そのシステムまたはサービスだけに閉じて利用されることになる。新しいスマートな社会を実現していくためには、多くの機器がつながり、そこからの情報を、個別にではなく一括で収集することで、総合的なサービス形態・構造にしていくことが必要となる。そのためには、従来の垂直統合型＝個別最適型ではなく、水平統合型のシステム・サービスが必要となっている。

水平統合型の M2M は「共有化」する方式である。さまざまなデバイス群からデータを「共有化」することで、データの活用を実現するのが M2M プラットフォームであり、今後、発展していくクラウド型のサービスやビッグデータでは重要な役割を果たす。また、個々で M2M システムを構築するよりも、設備投資を削減できるなどのメリットがある。このように、水平統合型 M2M にすることで、従来の M2M では実現できなかったデータの有効活用による新たなイノベーションを創造することが可能となる。しかし、M2M や IoT の構成要素となる定義自体が曖昧で扱うデバイスやデータの数も膨大にあり、順調に進んでいないのが現状である。

2.3 スマートな社会の実現

M2M プラットフォームを活用することで、業種・業態横断による M2M の仕組みを構築でき、産業の枠を超えたライフサイクルの実現はもとより、ビッグデータによる分析・解析に必要な多方面のさまざまなデータを一括で管理できることで、より広範囲で、かつダイナミックな情報を獲得することが可能となる。センサーはさまざまな種類があるが、それらを個別に収集してシステム化するのではなく、水平統合型の M2M プラットフォームを活

²⁶ 機器、装置、道具

²⁷ ハードウェアやソフトウェアにおける、ひとまとまりの機能・要素

用することで、さまざまなサービスに1つのセンサー情報を有効に活用できることになる。例えば、防災のために各建築物に加速度センサーを取り付けた場合、その建築物のメンテナンスという観点だけに利用するのではなく、震災発生時に、その建物の損失状況が分かれば、避難場所としての有効性や、避難ルートの情報としても有効に活用できることになる。避難ルートという観点で考えると、すべての建物、道路、公共交通などの情報を重ね合わせることで更に有益で、的確な避難ルートを示すことができる。

これが、ビッグデータの活用であり、今後のスマートな社会を実現するうえでは、水平統合型のM2Mプラットフォームと同様に重要な役割を持つことになる。

2.4 水平発想の機能設計

「垂直型の設計」とは、端末／デバイス側のシステムとサーバー側のシステムを、それぞれ完結したかたちで設計することを指し、両者間のデータのやり取りは、あくまでも部分的なものであり、基本的には非リアルタイムな連携になる。そもそも、デバイス単独のクローズドな機能で展開していた時代には、こうした垂直型で完結した設計になるのは当然のことである。

一方、常時接続やリアルタイムのサービス提供が前提となるIoTでは、端末側とサーバー側の仕組みを一体として考える「水平型の設計」の発想が必要になる。IoTサービスの検討段階では、どの機能をどこに配置するかといった詳細設計はまだ行わない。サービスの形態や差別化のポイントといったサービス・モデルに関する議論が先行し、その後でサービスに必要な機能の配置を設計する。この配置設計を柔軟に変更できたり、開発リソースやノウハウを共通化しながら全体の設計が行えたりといった点で、IoTプラットフォーム（あるソフトウェアやハードウェアを動作させるために必要な、基盤となるハードウェアやOS、ミドルウェアなどのこと。また、それらの組み合わせや設定、環境などの総体を指すこともある）を水平型設計の思考で進めておくことには大きな意味がある。現在、まさにそうした方向性に向けてM2M市場は進化を続けており、デバイスからサーバー、クラウドまでの各層を抽象化し、一括して扱うことのできるミドルウェア層を構成するうえで大きな威力を発揮するだろう。

また、水平統合型への転換を行った企業として、コマツの先進事例が挙げられる。コマツが開発した建設機械の情報を遠隔で確認するためのシステム「KOMTRAX」では、10年ほど前に保守サービスの一環としてM2Mへの取り組みを開始した。近年、顧客・機器数の増加や、より多くの情報を利用した付加価値サービスの提供を視野に入れ、大規模なトランザクション（transaction）とは、分けることのできない一連の情報処理の単位）をリアルタイムに処理できる基盤への刷新を図った。その中でデータ受信と加工のプロセスをリアルタイムに処理するレイヤ（層、階層）を新設したが、そこで、セキュリティを確保しながらデータやプロセスを統合し、アプリケーションの連携によってサービスとして提供することができる Fusion Middleware（日本オラクル：ソフトウェア開発会社）の技術を

活用しているという。

2.5 プラットフォームの標準化

通信事業者の M2M ビジネスへの本格参入が始まったのは、2009 年のベライゾンワイヤレス社²⁸である。オープン端末・オープン API 戦略による医療、電気・水道・ガス、家電などのさまざまな M2M ビジネスを開始し、また同年 AT&T モビリティ社²⁹は Jasper Wireless 社と提携して法人ユーザー向けの M2M サービスを提供した。これは、以下の理由により、M2M ビジネスのメリットが創出されたことによる。

- ・ M2M ビジネスでは、ARPU は低い解約率も低い
- ・ M2M トラフィック³⁰は一般的にショートパケット³¹・低接続時間であり、一般のモバイル端末と異なるトラフィック特性を利用してネットワークの効率的な運用を図れる（オフピーク利用）
- ・ Jasper Wireless などの M2M アグリゲータが水平統合のための M2M プラットフォームを提供するようになり、M2M ソリューションの構築が容易になった

こうした M2M プラットフォームの代表例には、以下のものが挙げられる。

- ・ 様々な M2M デバイスや様々なネットワークを介して接続するための SIM³²認証やローミング³³等の接続管理機能に注力したもの（Jasper Wireless 等）
- ・ デバイス・アクセス管理、データ蓄積管理機能を提供し、SDK/API を通したアプリケーション・サービス開発に重点を置いたもの（Axeda 等）

M2M プラットフォームを利用した水平統合ソリューションにおいて、各種デバイスやセンサーの多種多様で大量のデータがネットワークを介してデータセンサーに集積されることとなり、この集積されたデータに対してビッグデータ分析を用いた新しいビジネスモデルを構築することが現実のものとなってきた。

水平統合型の IoT/M2M プラットフォームの標準化は、これまでも ETSI（欧州電気通信標準化協会）、ITU-T（国際電気通信連合電気通信標準化部門）、TIA（米国通信工業会）等できまざまに検討されてきたが、2012 年には世界の 7 つの地域標準化機関（ETSI、ATIS、TIA、TTC、ARI、CCSA、TTA）が合同で「oneM2M」が設立された。

²⁸ アメリカ合衆国の加入者数第一位の携帯電話事業者

²⁹ アメリカ合衆国最大手の電話会社

³⁰ 通信網を通過する情報の流れ

³¹ データ通信で、データを一定の単位に分割し、それぞれに伝送・交換に必要な情報を付したのもの

³² モバイル通信端末において主に契約者情報の管理に使用される IC カード

³³ 契約している事業者のサービス区域外でも他の事業者のサービスを受けられるようにすること

この「oneM2M」では上記各標準化機関に加え、3GPP (3G 移動体標準化プロジェクト)、NIST (米国立標準技術研究所)、IETF (インターネット技術タスクフォース) などの各標準化機関が協力しながら、M2M プラットフォームの標準化を推進している。

水平統合型の M2M プラットフォームによって、スマートグリッドや ITS³⁴などの垂直統合型の IoT のサービス連携やデータ交換を可能にするためには、さまざまな M2M アプリケーション共通のユースケース³⁵や機能を洗い出す必要がある。oneM2M において、ネットワーク内の各ノード³⁶が持つ M2M サービスレイヤー(層) に共通のサービス機能 CSF (Common Service Functions) ³⁷として以下の 13 機能が挙げられている。

1. Addressing and Identification
2. Communication Management and Delivery Handing
3. Data Management and Repository
4. Device Management
5. Discovery
6. Group Management
7. Location
8. Network Service Exposure, Service Execution and Triggering
9. Registration
10. Security
11. Service Charging and Accounting
12. Session Management
13. Subscription and Notification

(oneM2M プラットフォームの共通サービス機能 CSF より)

これらの機能は M2M サービスレイヤーの以下の 4 つのハイレベルな機能カテゴリに分類される。

- ・接続 (Connectivity) の処理
- ・デバイスの管理
- ・データの処理
- ・セキュリティとアクセス制御

³⁴ Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム

³⁵ システムの機能的要求を把握するための技法

³⁶ ネットワークの接点、分岐点や中継点

³⁷ 主要成功要因

このように IoT/M2M 水平統合モデルにおいて、ネットワーク上のノードは、単にデバイス間を「接続する」、すなわち “Connectivity” を提供するだけでなく、IoT/M2M プラットフォームの一部として、高性能で柔軟な管理機能を持った安全なインフラを提供する。

3 IoE

3.1 IoE とは

Interenet of Everything (IoE) とは、水平統合された IoT/M2M の基盤の上で「人」「もの」「データ」「プロセス」が繋がり、連携して新しい価値を創造する世界のことである。

また、「もの」を中心とした連携を行う「M2M」に加え、「人」が主体的に情報を発信する「P2P」「P2M」を包括した概念である。接続するための基盤にすぎなかったネットワークに「インテリジェンス（重要な情報）」を加えることにより、「人」や「もの」が生成する多様な「データ」を活用することが可能となり、「人」「もの」「データ」を連携し価値を創造する「プロセス」によって、ビジネスや日常生活の局面において新しい機能・サービスやこれまでになかった経験を提供する。

ビジネスの世界において従来行われてきた「インテリジェンス」とは、定型業務の定型データを分析して経営上の判断・計画に役立てる DWH (Data Ware House)³⁸/BI (Business Intelligence)³⁹の手法であった。

最近関心を集めているビッグデータ分析において、センサーやデバイスなどの「もの」が生成するデータを分 s ネキシ、製造・流通工程の最適化や運用コスト低減を行う試みが行われている。また急速に普及したソーシャルメディアによって、インターネット上には「人」が生成するテキスト、動画などの膨大なデータが蓄積されており、そのデータを活用して広告や販売に結び付ける新たなビジネスモデルも誕生している。

したがって、IoE において必要な「インテリジェンス」とは、デバイス、センサーやスマートフォンなど多種多様なデバイスを互いに結び付け、業務上の定型データ（構造データ）のみならずセンサーやデバイス、ソーシャルメディアが生成する非構造データを統合・分析し、情報として新しい価値を生み出すことであり、そのためにネットワークは単に接続するだけでなく、ネットワーク自体がさまざまな「インテリジェンス」を具備する必要がある。

IoE を実現するためにネットワークに必要な「インテリジェンス」とは、前章で述べた 4 つの機能カテゴリに分類できる。

- ・接続 (Connectivity) のインテリジェンス
- ・デバイス管理のインテリジェンス
- ・データ処理のインテリジェンス

³⁸ 企業内のさまざまなデータを一か所に集めたもの

³⁹ 企業が蓄積するデータ資産を、経営に役立つ情報として有効活用すること

・セキュリティのインテリジェンス

データの収集やフィルタリング、メディエーション（仲介）、蓄積、分析、マイニング（採掘）は、それぞれの産業分野の垂直マーケットドメインを横断する形で行われる。IoE のストリームデータをリアルタイムに分析し将来予測、予兆や異常を検出し、あるいは蓄積された大量で多種多様なデータに対して分析やマイニング処理を行う。ビッグデータは、IoE を実現するためのプラットフォームのインテリジェンスを、データ処理の観点で捉えた考え方といえる。

ネットワークがこのような「インテリジェンス」を具備することにより、データのコンテキスト情報（温度、速度、生体、位置などの各センサーデータや履歴データから得られる個人やロケーションなどの状況に関する情報）を活用することが可能となる。例えば、スマートフォンに内蔵されたセンサーのデータや使用履歴データを分析して、所有者の嗜好や健康状態、現在地と周囲の状況を考慮し、スーパーマーケットでの買い物の際に店に並ぶ食材・食品の中から適切な商品の購入を勧める。

あるいは、ジョギング中の所有者が体調を崩したときに、最寄りの専門病院を探しナビゲーションすると同時に、所有者の生体情報や行きつけの病院の情報をその専門病院に送信する。

上述より、Internet of Everything (IoE) とは、M2M、P2M、P2P の多種多様なデータを活用して「コンテキストウェアなサービス」をリアルタイムに提供することが実現される世界である。

3.2 IoE のネットワークインフラとしての IP プロトコル

IPv6 (Internet Protocol version 6) は、Internet of Everything (IoE) を実現させる重要な要素である。「人」「データ」「もの」がインターネットに接続するには、IP アドレスが必要になる。しかし、現在のインターネットトラフィックの 98.5% で利用されている IPv4 では、すでに IP アドレスが枯渇している。

3.2.1 IP とは

IP は、インターネットの生命線である。デバイス間で交換され、電波や銅線、光ファイバケーブルを通過する「情報」を生々の形式で見ると、「0」と「1」だけで構成された小さなパッケージであることに気が付く。これは、IP パケットと呼ばれ、この 0 と 1 のパッケージはインターネットの基盤となる構成要素で、物質や生物の細胞を構成する原子に似ている。

ネットワークを駆け巡っている IP パケットの数は、何兆個にも上る。小さな「ヘッダー」情報が、どこから来てどこへ行くものであるかをルータやスイッチに伝えることで、パケットが適切な宛先へと届けられる。この IP は、世界を網羅する電子通信革命には不可

欠な要素である。

IPv4 アドレスが2012年に枯渇したならば、何故インターネットは今も動作し成長を続けているのか。40億個の四角形が格子状に並んでいる巨大な競技場を想像してみる。さらに、複数の四角形から集まったグループが様々な組織や企業、インターネットサービスプロバイダーに割り当てられているとする。次に、このグループ内の個々の四角形の中に、デスクトップPC、ノートパソコン、タブレット、スマートフォン、サーバ、その他のコンピューティングデバイスが入っていると考える。最後に、情報のパケットを迅速かつ効率的に、任意の四角形の中にあるデバイス宛てに送信できる様子を想像する。

四角形の数は40億個と決まっているため（IPv4の場合）、競技場にデバイスを際限なく追加していくと、混雑度は増すばかりである。しばらくの間は、すべてのデバイスを収めることが可能だが、必然的にシステムの成長は止まり、効率が下がっていく。これが今のインターネットの状態であり、IPv4はまだ機能しているが、インターネットを成長させ、機能させ続けるためには、新たな受け皿となるIPv6が必要となる。

3.2.2 IPv6とは

IPv6（Internet Protocol Version 6）は、インターネットプロトコルの一種で、OSI参照モデル⁴⁰においてネットワーク層に位置付けられるプロトコルである。現在主流のIPv4の前にも複数のバージョンが存在したが、IPv4（Internet Protocol Version 4）は80年代から90年代にかけて商業ベースで普及し、今でも幅広く利用されている。このIPが抱えていた課題に対応するために開発された最新バージョンがIPv6である。IPv4の最大の課題となっていた「世界中で使用できるグローバルアドレスの上限（43億個）」をIPv6が克服し、ほぼ無限のIPアドレス（約340 澗=約2の128乗）を確保でき、数百億もの人、プロセス、データ、モノを接続するIoEが実現される。

IPv4では32ビットであったアドレスフィールドのビット数がIPv6では4倍の128ビット⁴¹となる。これにより、直接到達できるネットワーク数が増えるだけでなく、特定のLANへ接続する際のIPアドレスの自動設定が可能になる。しかし、生活に深く根付いたインターネットの利用を中断させることなく、IPv4からIPv6へと移行することは、困難な作業となる。

また、IPパケットの最初の4ビットには、IPパケットのタイプを示す数字が格納されている。このビットは、IPバージョンフィールドと呼ばれ、IPv4のパケットではこのフィールドの値が4（0100）になっており、IPv6の場合は6（0110）になっている。一方、IPv5（Internet Protocol Version 5）は次世代IPとして開発されたものではなく、実験的なプロトコルで、一般が利用するものではなかった。したがって、IPバージョンフィー

⁴⁰ 国際標準化機構（ISO）によって策定された、コンピュータの持つべき通信機能を階層構造に分割したモデル

⁴¹ 情報量を示す単位

ルドには、その他のタイプの IP トラフィックと区別するため数字の「5」が入っているが、IPv5 は IPv4 の後継対象とはならなかったのである。

3.3.1 多種多様なアプリケーションと大規模なネットワーク

水平統合により多種多様なアプリケーションを連携させアプリケーションを連携させ、様々なデバイス、センサーを収容するエンドポイントネットワークを接続するためには、アドレス体系や認証・課金の仕組み、デバイス管理の方式などを、できる限り共通のオープンなインフラの基で構築するか、もしくは共通のオープンなインフラの上で相互接続・連携する必要がある。

インターネット技術が Web、クラウド・モバイル、センサーなど様々な分野のインフラとして定着してきた今、IoE のアプリケーションやプラットフォームを統合するインフラとして IP を利用することは自然な流れである。

IP の特徴として、以下のような点が挙げられる。

- Open: IETF で規定されるオープンなプロトコルである
- Versatile: 可変長でヘッダーを付加するだけで多用途に融通が利く
- Ubiquitous: どのような OS にも実装されている
- Scalable: 既存のインターネットにおいてその Scalability は実証されており、IPv6 の導入や Location/ID の分離により経路数の爆発を防ぐことが出来る
- Manageable: IP ベースの様々な管理プロトコルやツールが利用可能である
- Stable: 既存のインターネットにおける安定した運用実績と運用ノウハウが蓄積されている
- End-to-End: IP により End-End の通信が行え、自律分散型の経路選択メカニズムによりパケットの到達性が強化される

IP はシンプルで柔軟なプロトコルであるため、今後ますますデバイスの規模や扱うデータの種類が増加していく IoE において、必要不可欠なネットワーク基盤技術になっていくだろう。

3.3.2 制約の多いセンサーネットワークにおける IP

一方、センサーネットワークを IP 化する際に、非常に動作条件の厳しい通信機器や通信環境の厳しいネットワークが存在する場合がある。例えば、省電力化されたパッシブ（受動的）型のセンサーでは、必要なときだけ電源が入ってデータを送るものがある。電源が入っているのは 6 割ないしは 7 割という制約のあるネットワークにおいて、効率的に経路選択を行うためには、従来の IP の仕組みとは異なる、アドホック的な経路選択の方式が必要となる。また、数バイト程度のセンサーデータを送るために、既存の IPv6 ヘッダーを付

与するのは非効率である。

IETF では、非常に動作条件の厳しい通信機器のことをスマートオブジェクト (Smart Object)、通信環境の厳しいネットワークを LLN(Low power and Lossy Network)と呼び、従来の IP プロトコルスイート⁴²では適さない用途向けのプロトコルの標準化を行っている。

スマートオブジェクトは、以下のような動作条件の厳しい通信機器である。

- ・省電力
- ・小物理サイズ
- ・低 CPU 性能
- ・少メモリ
- ・スリープモード

LLN(Low power and Lossy Network)は、以下のような通信環境の厳しいネットワークである。

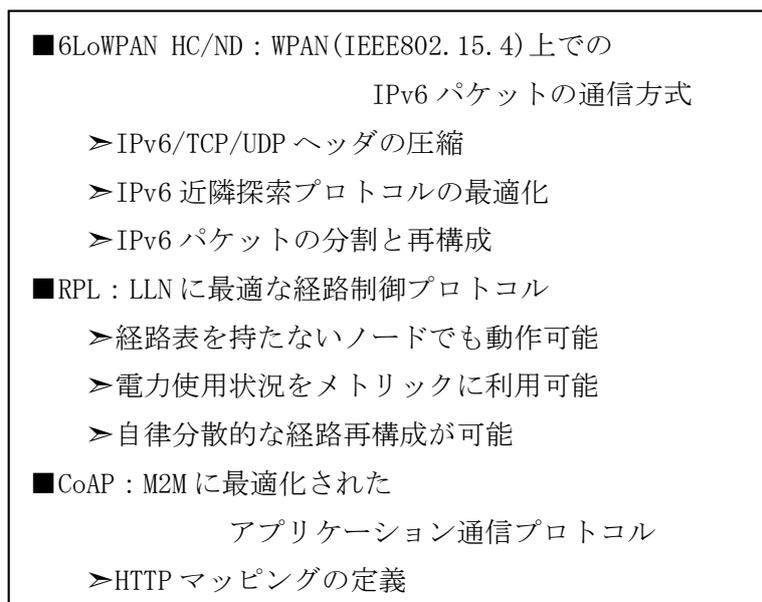
- ・大規模スケール (多数のノード)
- ・低通信帯域
- ・高パケット損失性
- ・直接メンテナンスできない環境

スマートオブジェクト向けの IPv6 実装プロトコルスタック⁴³として、 μ (ミュー) IPv6 がある。 μ IPv6 は組み込み機器向けオープンソース OS の Contiki 上で動作する、僅か 12K バイトのコードサイズの IPv6 オープンスタックであり、「Ipv6 Ready Phase-1」認定を取得している。

また、LLN 向けに IETF で標準化が行われているプロトコルには、図 3-1 に示すように、6LoWPAN、RPL、CoAP がある。

⁴² 複数のアプリケーションソフトを一つのパッケージにまとめたもの

⁴³ コンピューターで処理中のデータを一時的に退避させること。また、そのための記憶領域やデータ構造



(図 3-1 引用:シスコ「LLN 向けの IETF プロトコル」)

6LoWPAN は LLN 向けにアドホックなネットワークにおける隣接ノードの検出や IP ヘッダーをコンパクトにするためのプロトコルである。また、RPL は LLN における経路選択について、CoAP はアプリケーションの簡易なトランスポート⁴⁴プロトコルを規定している。

3.4 IoE アーキテクチャー

IoE アーキテクチャーの基本的な考え方は以下のようなものである。

3.4.1 水平統合プラットフォーム

水平統合された End-to-End⁴⁵の共通の IoE プラットフォームによって、多種多様なエンドポイントのデバイスは、垂直マーケットドメインの境界を越えて互いに結び付く。そして、ネットワークを介してクラウドコンピューティングのデータセンサーに接続される。そのデバイスが生成するデータは、様々な垂直マーケットドメインの IoE アプリケーションによって活用される。

3.4.2 オーケストレーションと API

様々な IoE アプリケーションが垂直マーケットドメインの境界を越えて多種多様なデバイスが生成するデータを活用するため、IoE プラットフォームにおいて抽象化やオーケス

⁴⁴ 運ぶこと

⁴⁵ 端から端まで

トレーション⁴⁶を行い、アプリケーションに対してオープンな API⁴⁷を提供する。

3.4.3 IoE 実現のインテリジェンス

IoE プラットフォームは、単にデバイス間を接続するだけのネットワークではなく、以下のようなインテリジェンスを持った基盤である。

- ・接続処理のインテリジェンス
- ・エンドポイントデバイスの管理のインテリジェンス
- ・データ処理のインテリジェンス
- ・セキュリティのインテリジェンス

3.4.4 分散アーキテクチャ

多種多様なデータを扱う IoE プラットフォームでは、システム全体のコストと負荷を低減するために、分散ネットワーク、分散コンピューティング、分散データストレージ⁴⁸を実現する。この IoE プラットフォームの上で様々なサービスやアプリケーションが容易に実行されなければならない。

3.5 IoE の 4 層アーキテクチャ

この節では、エンドポイントからデータセンサークラウドまでの IoE の 4 層アーキテクチャーを検討する。

3.5.1 エンドポイント層（組み込みシステム・センサー）

数億から数 100 億の規模のエンドポイントから成る層であり、交通、オイル・ガスパラント、エネルギー、ヘルスケアなどの様々な垂直マーケットドメインにおける組み込みシステム、センサー、アクチュエーター、有人・無人工作機械などのエンドポイントデバイスが存在する。

これらのエンドポイントデバイスは、現実の世界とインタワークするため、現実世界とデータと抽象化された電子の世界とのマッピングを行う層である。

歴史的に様々な垂直マーケットドメインにおいて、特有の機能や非 IP を含む、固有のプロトコルが使用されてきており、同じネットワークに IP アドレスサブルなデバイスとレガシー⁴⁹なデバイスが混在する場合がある。

前節で述べたスマートオブジェクトや通信環境の厳しいネットワーク LLN が存在する層

⁴⁶ 複雑なコンピュータシステム/ミドルウェア/サービスの配備/設定/管理の自動化

⁴⁷ アプリケーションプログラムインターフェイスの略語で、プログラミングの際に使用できる命令や規約、関数等の集合の事

⁴⁸ 容量

⁴⁹ ユーザーが必要とする機能を持つが、現在可能な、より新しい技術やより効率的な技法

であり、上位のコアネットワーク層に接続する際には、各エンドポイントからのパケットはアドホックに経路を選択しながらマルチサービスエッジ層の IoE ゲートウェイ⁵⁰に到達し、ゲートウェイを介してパブリック・プライベートインターネットに抜ける場合がある。

PLC/DCS などの産業フィールドバスやパッシブ RFID タグの近距離無線、低電力・低データレートでパケット損失の高い IEEE 802.15.4 等のワイヤレスセンサーネットワークなどは、代表的なエンドポイント層のネットワークである。

3.5.2 マルチサービスエッジ層

マルチサービスエッジ層は、ネットワークエッジに存在し、様々なエンドポイント層のデバイスと上位のコアネットワーク層との橋渡しをするため、イーサネット、IEEE 802.15.4、IEEE 802.11(Wi-Fi、DSRC)、3G および 4G/LTE 等固定・無線の各種インターフェイス⁵¹に対応する必要がある。

マルチサービスエッジ層に置かれる IoE ゲートウェイは、様々なエンドポイント層のデバイスからのトラフィックのアグリゲーション機能、各種プロキシ⁵²機能、外部の攻撃からエンドポイントを守るセキュリティ機能を持つ。非 IP ベースのデバイスからのトラフィックは必要に応じてトンネリングを行うかプロキシモードで非 IP プロトコルを終端する。

3.5.3 コアネットワーク層

コアネットワーク層は固定・携帯通信事業者のネットワークや企業のプライベートネットワーク等から成り、エンドポイントデバイスのトラフィックを上位のプライベート・パブリッククラウド上のアプリケーションに届ける。

IoE の多様なデバイスからのトラフィックは必要な帯域や伝送遅延の許容度が異なるため高度な QoS⁵³制御が必要になる。また、センサーからのトラフィックはショートパケットだが同じタイミングに大量に発生する場合があり、その輻輳制御も必要である。

多種多様なトラフィックを伝送する IoE のコアネットワーク層では、コントロールプレーンとデータプレーンの最適設計と動的な制御機能が重要となる。

⁵⁰ コンピュータネットワークをプロトコルの異なるネットワークと接続するためのネットワークノード

⁵¹ コンピューターと周辺機器を接続するための規格や仕様、またはユーザーがコンピューターなどを利用するための操作方法や概念

⁵² 内部ネットワークからインターネット接続を行う際、高速なアクセスや安全な通信などを確保するための中継サーバ

⁵³ ネットワーク上で、ある特定の通信のための帯域を予約し、一定の通信速度を保証する技術

3.5.4 データセンサークラウド層

プライベートクラウド、パブリッククラウド、ハイブリッドクラウドなど利用モデルの違いはあるが、データセンサークラウド層には大規模なデータセンサーが置かれ、そのサーバー群の上でアプリケーション(SaaS⁵⁴)やミドルウェア(PaaS⁵⁵)、ハードウェア(IaaS⁵⁶)を利用者に提供する集約型のサービスを実行する。

データ処理機能のインテリジェンス(メディエーション、蓄積、分析、マイニング)の多くはデータセンサークラウド層に置かれるため、IoEアーキテクチャーにおいて集約型のインテリジェンスを提供する。

3.6 フォグコンピューティング

前節で示したように、クラウドコンピューティングはIoEプラットフォームにおいて集約型のインテリジェンスを提供する。定形型のデータや一様なトラフィックを扱う場合には、集約によるスケールメリットを追求する、クラウドコンピューティングのような集約型の機能モデルは有効であろう。

しかし、IoEのような多種多様なトラフィック、データを扱うシステムにおいては、全てのデータを中央のクラウドに集約して処理するのではなく、様々な機能をネットワークエッジのマルチサービスエッジ層に分散して処理する方が効率的である。

このようにIoEプラットフォームにおいて、ネットワークエッジのマルチサービスエッジ層にインテリジェンスを地理的に分散させることを「フォグコンピューティング」と呼ぶ。フォグとは「霧」の意味であり、遠くにあつて密集している雲(クラウド)に対し、ユーザーの身近に存在し、疎らに幅広く分散する霧(フォグ)を比喻した用語である。

クラウドコンピューティングとフォグコンピューティングは、決して排他的に存在するものでなく、互いに連携してIoEプラットフォーム上のインテリジェンスを提供する。

上で述べたように、フォグコンピューティングの目的は、IoEにおいて多種多様なトラフィックやデータを分散したインテリジェンスで処理することである。そのため、フォグコンピューティングにおける分散とは、単にコンピュータやストレージ資源の負荷分散を目的としたものではない。むしろフォグコンピューティングは、IoEプラットフォームの各インテリジェンスを機能分散し、クラウドコンピューティングと連携してシステム全体としてのコストや負荷を低減することを目的としている。

⁵⁴ 必要な機能を必要な分だけサービスとして利用できるようにしたソフトウェア

⁵⁵ ソフトウェアを構築および稼働させるための土台となるプラットフォームを、インターネット経由のサービスとして提供する

⁵⁶ 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そのものを、インターネット経由のサービスとして提供する

4 IoE を可能とする要素技術

4.1 期待される要素技術

4.1.1 相互接続性

要素技術への1つの期待として、様々なマーケットドメインが相互に連携しているシステムにおいて、それぞれのドメインで扱うデータを別のドメインと容易にやりとりできることが挙げられる。例えば、IoEに典型的なユースケースの1つである、米国のスマートグリッドでは、送電・配電、売電、需要家、通信事業者、送配電制御、発電所の7つの異なるドメインが、様々なデータを相互にやりとりしなければならない。

しかし、それぞれのドメインでは、様々な通信技術やデータリンク技術の上で異なるアプリケーションが使われているため、データの相互利活用は簡単ではない。そこで、米国のスマートグリッドの標準化調整を行っているSGIP(Smart Grid Interoperability Panel)は、最低でも異なるメディア間で容易にデータをやりとりできるようにするため、そこで使用する通信技術に対して以下の4つの要求項目を設定した。

- ・リンク技術に依存しないアドレス体系
- ・リンク技術に依存しないメッセージ配送技術
- ・リンク技術に依存しないセキュリティ技術
- ・多様な伝送メディアやデータリンク技術の相互接続性

従来のシステムでは、データリンクからアプリケーションまでを1つとみなした垂直統合型ソリューションが採用されていた。これは、異なるデータリンクを使っているだけで、アプリケーションのデータフォーマットが全く異なるということになる。このため、システム間のデータのやりとりを困難にしており、SGIPでは、データリンクをソリューションから分離することによって、この問題を解決しようとした。

一方で、インターネットの技術は、IP層を中心としてデータリンク技術とアプリケーション技術を独立して設計できるようになっている。そのため、アプリケーションのプロトコルに変更なく、様々なデータリンク技術を使えるようになっている。ネットワーク機器を中継して転送できるように、ネットワーク層とトランスポート層が分離されている。さらに、通信の端点をアプリケーションやセッションで識別できるようになっている。また、通信するエンティティ同士の相互認証やメッセージの暗号化は、各層で独立して実現できるため、多重化することで強力なセキュリティを提供できる。

(単位:100万台)

分野	2013年	2014年	2015年	2020年
自動車	96.0	189.6	372.3	3,511.1
消費者	1,842.1	2,244.5	2,874.9	13,172.5
一般企業	395.2	479.4	623.9	5,158.6
垂直ビジネス	698.7	836.5	1,009.4	3,164.4
合計	3,032.0	3,750.0	4,880.6	25,006.6

Source: Gartner (November 2014)

また、2013年9月の時点で232ヶ国にある64,122の自律ドメインがそれぞれ独立に運用され、それらが相互に接続しながらインターネットを形成している。さらに、Gartner社の調査によると、2014年11月の時点で37.5億台の機器がインターネットに接続されている。このことから、インターネットの技術の普及具合と相互運用性の高さが分かる。

以下に、インターネット技術の特徴を述べる。

- ・データリンク技術と完全に分離された設計
- ・通信のための基本機能ごとに分離された層構造
- ・アドレス体系やセキュリティを各層に独立して実装されている
- ・多様な伝送メディア・リンク技術が相互に接続
- ・地球規模のスケールで実運用されている
- ・自律分散システムであり障害に強い

これらの特徴は、先に挙げたSGIPの設定した要求事項に非常によく適合することから、SGIPは、米国のスマートグリッドにインターネット技術が必須であると定めた。

4.1.2 統合運用

もう1つの期待として、センサーネットワークにおける様々な通信やアプリケーションのデータをインターネット技術によって統合することが挙げられる。これまでのセンサーネットワークで使用されていた通信技術には互換性がなく、下位層から上位層まで一貫した縦型のスタックが使用される傾向にあった。そのため閉鎖的なアーキテクチャーが採用され、他の技術との連携が困難であった。

異なる技術を採用したシステム間でデータをやりとりするにはゲートウェイが必要になり、システムが増えるとゲートウェイの数は幾何級数的に増加することになる。ゲートウェイの乱立は、以下に例示したような問題を招くことになる。

- ・開発、導入およびメンテナンスコストの増大
- ・スケーラビリティ⁵⁷の欠如
- ・一貫した経路制御が不可能
- ・本質的に複雑なアーキテクチャになり普及が困難
- ・センシング⁵⁸情報の共有が容易でない

しかし、各システムをインターネットに繋いで相互にデータをやりとりできるようにすると、ゲートウェイの数を等比級数的な増加に抑止することが可能となる。インターネッ

⁵⁷ システムまたはネットワークまたはアルゴリズムの、持つべき望ましい特性の1つ

⁵⁸ センサーを利用して物理量や音・光・圧力・温度などを計測・判別すること

ト技術を導入することによりゲートウェイの数が減るため、導入や管理のコストを抑えられる。また、プロトコル変換も IP への変換のみとなり、変換のための開発費やソフトウェア更新のための管理情報の共有が容易となる。したがって、コストを抑えてスケーラビリティを確保できるために、多くの M2M ネットワークを統合運用することへの期待がある。

4.2 スマートオブジェクト

従来のインターネットは、計算も速くメモリも豊富な、高度な機器だけで構成されていた。例えば、パーソナルコンピュータは、高い処理性能や高度なユーザーインターフェイスを持っている。サーバーは、クライアントからの要求を捌くためのネットワークインターフェイスと、大容量の記憶装置を持っている。ルータやスイッチは、十分なメモリと転送性能を備えている。さらに、常時接続できる広帯域なネットワークも提供されている。

ところが、IoE では様々なモノがインターネットに接続するようになる。例えば、TCP/IP をサポートしているが、大きさの制約から限定されたユーザーインターフェイスしか持たない機器や、消費電力の制約から限られた処理性能や記憶容量しか持たない機器などである。また、電力消費を抑えるために通信モジュールをスリープさせるような機器もある。

インターネット技術の標準化を行っている IETF (Internet Engineering Task Force) では、このような機器をスマートオブジェクトと呼んでいる。スマートオブジェクトは、電力消費、物理サイズ、コストの 3 つの制約から、例えば CPU 性能やメモリ容量を低く抑える必要など、これまでインターネットに繋がっていた機器とは異なる特徴を持つ。

IoE のネットワークも、これまでにない特殊性を持つようになる。例えば、大量の機器を接続するために、ネットワークを動作させる機器や運用に改良が必要になる。また、接続エリアを広げるために、メッシュのような新しい通信技術を考慮に入れる必要がある。スリープモードで動作するスマートオブジェクトの通信をサポートするために、プロキシや新たなプロトコルの導入が必要になる。帯域を有効に使うために、アプリケーションごとに効果的な経路を選択する必要も出てくる。

さらに、通信モジュールの消費電力を抑えることを第一に設計された IEEE802.15.4 [IEEELOWPAN] では、フレームサイズが 127 バイトしかないため、そのままでは IP パケットを通せない。IETF では、このような特徴を持つネットワークを LLN (Low power and Lossy Network) と呼んでいる。

2003 年に IEEE802.15.4-2003 が発行されたことが発端となり、この新しいデータリンク技術に対応する IP 層の適合層の標準化が 2004 年に IPv6 over Low Power WPAN (6lowpan) WG [IETF6LOWPAN] にて始まった。当初は、スマートオブジェクトや LLN といった用語はなく、IETF の中でも認知度は低かった。それゆえ標準化は緩やかなものだった。

しかし、2007 年に米国のスマートグリッドに関する EISA⁵⁹ ACT が勧告されたことで、

⁵⁹ PC 互換機に関する Intel 社や Compaq Computer 社などの大手 9 社 (Gang of Nine) によって策定されたバスアーキテクチャの規格

様々な標準化が加速した。2008 年には、LLN を含むネットワークにおける経路制御プロトコルの検討が Routing over Low power and Lossy Networks (roll) WG[IETFROLL]で始まった。そして、ほぼ同時期に、LLN を含むネットワークにおけるアプリケーション技術の検討が Constrained RESTful Environments (core) WG[IETFCORE]で始まった。また 2011 年には、相互接続性の高いスマートオブジェクトに必要な実装技術を検討する Light Weight Implementation Guidance (1wig) WG[IETFLWIG]が発足し、相互接続性のためのガイダンスを策定する運びとなった。

この時期から、IoEに関する様々なBoF⁶⁰やワークショップ⁶¹が開催されるようになった。2011 年、2012 年と IAB が 2 つのワークショップを主催したことから IETF における IoE 分野への関心の高さが伺える。最近では、IEEE802. 15. 4e の Time Synchronized and Channel Hopping モードに特化した適合層の検討をするための IPv6 Time Synchronization and Channel Hopping BoF (6tsch) や、IEEE802. 15. 4 以外の MAC 技術のサポートを検討するための IPv6 over networks of resource-constrained nodes (6lo) と呼ばれる BoF が開催され、どちらも活発な議論が行われた。

4.3 新しいリンクに対応する適合層の標準化

IP 技術とデータリンク技術のギャップを埋めるためには、適合層 (adaptation layer) を設ける。例えば、IEEE802. 3 に対する RFC894 や RFC1042、RFC2464 などである。

IEEE802. 15. 4 は通信モジュールの消費電力を抑えることを目的としたデータリンク技術である。消費電力を抑えるためには、可能な限り送信時間を抑えるのが有効である。そのため、フレームは 127 バイトしかなく、フレームサイズが 1, 500 バイト以上の IEEE802. 3 や IEEE802. 11 を対象とした適合技術を用いることはできない。また、IPv6 ではマルチキャスト⁶²を多用するために、無線ネットワーク全体の消費電力に影響を与える。

そこで、6lowpan WG では、図 4-3 に示したギャップを埋めるために、IEEE802. 15. 4 を対象とした適合層を標準化することになった。

IEEE802. 15. 4 ➤127B frame size.	IPv6 ➤40B Header (Min.)
➤Data Rate:20~250Kbps ➤Maximize battery life.	➤1280B MTU. ➤ND in multicast.

(図 4-3 引用 : Gigazine 「IEEE802. 15. 4 仕様と IPv6 仕様のギャップ」)

⁶⁰ birds of a feather: コンピュータ/インターネット系の展示会やセミナーなどの場を借りて、ある特定のトピックに興味を持つ有志やユーザーグループによる集会のこと

⁶¹ 学びや創造、問題解決やトレーニングの手法

⁶² ネットワークで特定の複数のノードに対して、1つのデータを同時に送信すること

なお、当初は IEEE802.15.4-2003 が対象だったが、現在では IEEE802.15.4-2006 が対象になっている。また、IEEE1901.2 や Bluetooth など、他のデータリンク技術への応用も検討中である。

4.4 耐障害性経路制御プロトコルの標準化

4.4.1 背景

元々 IETF では、OLSR⁶³や AODV⁶⁴などのアドホックネットワークのための経路制御プロトコルが検討されていた。しかし、スマートオブジェクトを含むネットワークや LLN における通信を明確に検討範囲としていたわけではない。roll WG では、このようなネットワークを対象とした経路制御プロトコルの検討を開始した。

最初に、既存の経路制御プロトコルを LLN において使用することを前提に、以下の 5 項目について検討した。

- ・経路表のスケラビリティ
- ・リンク状態の考慮
- ・通信状況を考慮した制御メッセージの送出
- ・リンクの状態をプロトコルが送信できるか否か
- ・ノードの状態をプロトコルが送信できるか否か

1 つ目として、経路情報を管理するだけの十分なメモリを全てのメッシュルータ⁶⁵が持っているとは限らないため、そのようなルータでもパケットを転送できるように考慮しなければならない。2 つ目として、無線リンクのように物理状態の影響を受けやすいリンクの場合は、リンク状態が変化しやすい。リンク状態が変化するたびに経路が変わってしまうと結果的に通信が安定しなくなるため、リンクの状態を考慮しなければならない。3 つ目として、LLN は通信帯域が少ないために制御メッセージが通常のデータ通信に与える影響を考慮する必要がある。例えば、通信状況が悪いときに定期的な制御メッセージを送出すると、より一層通信状況が悪化する。4 つ目および 5 つ目は、経路制御アプリケーションがネットワークの状況を知る必要があるために、リンクの状態やノードの状態を考慮したプロトコル設計が必要になる。

roll WG は、これらの項目について図 4-4-1 に示すプロトコルを検討し、ドラフト [RTPOVIEW] を発行した (このドラフトは RFC になっていない)。

⁶³ アドホック・ネットワークにおけるルーティング・プロトコルとして提案されているもの

⁶⁴ モバイルアドホックネットワークと他の無線アドホックネットワークのためのルーティングプロトコルの 1 つ

⁶⁵ 網の目状に形成されたネットワークの中継機器

以下の図 4-4-1 が検討結果である。

Name	Table Size	Loss Response	Control Cost	Link Cost	Node Cost
OSPF	fail	fail	fail	pass	fail
OLSRv2	fail	fail	fail	pass	pass
TBRPF	fail	pass	fail	pass	unclear
RIP	fail	fail	fail	unclear	fail
AODV	pass	unclear	pass	fail	fail
DSDV	fail	fail	fail	unclear	fail
DYMO	pass	fail	pass	fail	fail
DSR	fail	unclear	pass	fail	unclear

(図 4-4-1 引用：JBpress 「LLN における既存の経路制御プロトコルの適合性」)

roll WG において、先の項目を満たす経路制御プロトコルを新たに設計する必要があると合意され、LLN 向けの経路制御プロトコルである IPv6 Routing for Low-Power and Lossy Networks (RPL) [RFC6550] の設計が始まった。なお、RPL は「リプル」と発音されている。

RPL は、1 つの LLN 上で多様なアプリケーションの要求に応えるために以下の特徴を持っている。

- MP2P、P2MP、P2P の通信に対応できる
- 複数のルートが異なるツリーを構築できる
- 様々なメトリックを元にしてネクストホップを選択できる
- ネクストホップの異常を検知して自律的にパスを修復できる
- メッシュルータに経路表を管理させるかを選択できる

4.4.2 RPL の経路

MP2P は、複数のノードから 1 つのルートに向かう通信で、センサーからの情報をサーバーに集約するときなどに使用する。P2MP は、逆にサーバーからセンサーに対して指示を出すときなどに使用する。P2P は、ルートを介さずに LLN 内部で直接通信を行う場合である。RPL は、これらの通信を 1 つの LLN 上で動かせるように設計されている。

RPL では、アプリケーションごとに、ルートになるノードが ICMPv6 により経路を広告する。そして、メッシュルータは必要であればその経路を伝播させる。経路を受け取ったホストはルート宛のネクストホップを知ることになる。また、ホストは自身がどのメッシュルータを選択しているかをルートに送信することで、ルートからホストへの経路ができる。

このとき、メッシュルータが経路を管理するモード (storing mode) であれば、各メッシュルータはホストへのルートをキャッシュできる。逆に、メッシュルータが経路を管理しないモード (non-storing mode) であれば、ルートは全てのホストへのルートを管理する必要がある。

4.4.3 RPL の適応性

RPL では、様々な IoE アプリケーションの要求に応えるために、Routing Metrics Used for Path Calculation in Low-Power and Lossy Networks[RFC6551]に定義される様々なパラメータをノード同士が交換できるようになっている。RPL ルータは、これらのパラメータを使ってパスを決定する。

サポートしているメトリックや制約を図 4-4-3 に挙げる。各パラメータは、メトリックと制約の両方の意味で使える。例えば、ホップカウント⁶⁶を例にとると、それを広告しているノードまでのホップ数はメトリックであり、ネットワーク全体のホップ数は制約である。これを広告するとき、フラグでどちらの意味で使用できるかを指定できる。

パラメータは、大別するとノードの状態とリンクの状態の 2 つに分けられる。ノードの状態には、CPU ロード、電池の残量、ホップカウントがある。リンクの状態には、スループット⁶⁷、レイテンシ⁶⁸、Link Quality Level (LQL)⁶⁹、Expected Transmission Count (ETX)⁷⁰、リンクカラーがある。どのメトリックを使うかはルートが決定して、ルータから広告される。

Metric and Constraints	
Node-related	Link-related
Node State and Attributes Object	Throughput Object
Node Energy Object	Latency
Hop Count Object	Link Reliability
	Link Colour

(図 4-4-3 引用：JBpress 「RPL がサポートするメトリック/制約の種類」)

経路の伝播を含む RPL の制御メッセージの広告では、Trickle Algorithm[RFC6202]と呼ばれる方法を使って広告する間隔を決定する。これは、経路が安定していないときは頻繁に制御メッセージを広告し、経路が安定していないときは頻繁に制御メッセージを広告し、経路が安定してくるに従い、徐々に広告間隔を広げていくアルゴリズムである。経路が安定しているかどうかの判定には、基本的には、他のノードからの広告があるかどうかや、パスにエラーがあったかどうかで判断している。

4.5 LLN 向け汎用アプリケーションプロトコルの標準化

4.5.1 背景

消費電力を抑えるためには、送信メッセージの数やサイズを減らす必要があった。現在

⁶⁶ ネットワークにおける、通信相手に到達するまでに経由する中継設備の数

⁶⁷ 単位時間あたりの処理能力

⁶⁸ デバイスに対してデータ転送などを要求してから、その結果が返送されるまでの遅延時間

⁶⁹ 限界接続水準

⁷⁰ 予想伝送数

のインターネットで、最もよく使われているアプリケーションメッセージを送送するプロトコルは、疑う余地なく HTTP である。しかし、HTTP⁷¹は画像データなどのバイナリ⁷²メッセージを含む様々な形式のメッセージを様々なタイプの端末で扱えるように工夫されている。例えば、ネットワークの状況に応じて効率よくデータ転送を行えるようにトランスポートプロトコルとしてフロー制御⁷³や輻輳制御⁷⁴を備えた TCP を利用している。また、ユーザーがプログラムを開発しやすいうようにテキストベースのヘッダー⁷⁵を採用している。

しかし、多くの通信が人を介さない IoE の世界では事情が異なるため、HTTP をそのまま再利用するというわけにはいかない。例えば TCP は、信頼性のある通信の準備のために、3つのパケットを使って初期情報のネゴシエーション (Three Way Handshake⁷⁶) を行う。また、通信の終了のときには、最大で4つのパケットを使って互いに通信の完了を確認する。

たかだか数バイトのメッセージを送るためだけに最大で7つのパケットが必要になるのである。1度、Three Way Handshake が完了してセッションを確立した通信相手と再度セッションを確立する場合には Three Way Handshake をする必要がない TCP Fast Open と呼ばれる技術も出てきているが、まだ実装が普及していないのが現状である。

一方で、センサーなどから発せられるデータの多くは数バイトから数十バイトであり、1つのパケットに十分収まる。サイズの大きい多くのメッセージをネットワークの負荷を考慮しながら効率よく送るという必要はない。送信間隔も数ミリ秒から数十分まで様々である。そのため、セッションの確立は単純であることが望まれる。

また、消費電力を抑えるために通信モジュールの電源を切る場合も考えられるため、1つのセッションを長く保持することは難しい。このため、TCP はスマートオブジェクトや LLN の通信には適切ではない。また、データを扱う端末は人を介さないため、テキストメッセージである必要がない。ヘッダーはバイナリ形式のヘッダーで十分である。さらに、バイナリ化することで IP パケットサイズを圧縮することができる。

core WG では、このような要求に応えるために、UDP⁷⁷ベースのアプリケーションメッセージ伝送プロトコル Constrained Application Protocol (CoAP) [DRAFTCoAP] の設計を始めた。

⁷¹ Web サーバとクライアントがデータを送受信するのに使われるプロトコル

⁷² テキストではない情報でデータが書かれているファイル一般

⁷³ 2つのノード間で高速な送信側が低速な受信側をオーバーランさせてしまうことを防ぐようデータ転送のレートを管理するプロセス

⁷⁴ 電気通信においてトラフィックを制御し、例えばパケットの転送レートを削減するなどして中間ノードやネットワークの許容量 (処理能力やリンク数) を超過することによる輻輳さらには輻輳崩壊を防ぐこと

⁷⁵ データの先頭に置かれる、内容識別のための定型の情報。

⁷⁶ TCP などにおいて使用されている接続を確立するための手順であり、次の 3 ステップによって構成される

⁷⁷ コネクションレス型と呼ばれ、TCP と並んで IP の上位プロトコルに位置づけられる

4.5.2 通信の信頼性

CoAP は大きく分けて 2 つの論理的なレイヤーに分けられる。1 つ目は、UDP の通信を補完する CoAP メッセージレイヤーである。UDP は、ヘッダーにポート番号とチェックサムしか持たない、単純なプロトコルである。そのため、到達確認が必要な通信や、IP 層でのフラグメントの例外処理などは、アプリケーションで実現しなければならない。また、スマートオブジェクトは、通常のサーバーのように要求に対して即時応答できない場合がある。これは、プロキシを介した通信で特に必要になってくる。

core WG では、このような要求に応えるために、図 4-5-2 に挙げたメッセージタイプを定義した。

Message Type		Operation
Confirmable	CON	送信者が受信者に対して応答を要求する
Acknowledgement	ACK	Confirmable に対する応答
Non-confirmable	NON	受信者は応答する必要はない
Reset	RST	状態のリセットを要求する

(図 4-5-2 引用 : JBpress 「CoAP のメッセージタイプ」)

例えば、要求者が到達確認を必要とする場合は、Confirmable (確認可能) メッセージタイプを使用する。これを受けた応答者が、Acknowledgement (謝辞) メッセージタイプを返すことで、送信者は要求が到達したことを確認できる。Non-confirmable メッセージタイプは、要求者が到達確認を必要としないメッセージの送信に使われる。マルチキャストを使う場合にも、Non-confirmable メッセージを使用する。Confirmable メッセージタイプに対して処理が正常に終了しなかった場合には、応答者は Reset メッセージを要求者に返すことで、正常に終了しなかったことを通知する。スマートオブジェクトやプロキシサーバーが応答を遅延させたい場合は、要求に対して一旦、空の ACK を返して、後から応答を Confirmable メッセージか Non-Confirmable メッセージで返す。

4.5.3 リソースの制御

CoAP の 2 つ目のレイヤーは、アプリケーションに対してリソースを制御する機能を提供するものである。これは HTTP の GET や PUT に相当する。なお、リソースとは、URI で一意に識別されるアプリケーションが扱うデータの纏まりのことで、HTTP に代表される Representational State Transfer (REST) アーキテクチャで使用される用語である。

CoAP では、GET、PUT、DELETE、POST の 4 つのメソッド (方式) を定義して、それぞれがリソースに対してどう影響を与えるのかについて厳密に定義している (図 4-5-3)。当初は、各メソッドの処理内容を排他的にすることで実装を単純にしようとしていたが、HTTP と CoAP のマッピングのしやすさから HTTP と同様に修正された。また、策定初期の CoAP では、リソースの作成に POST を、更新に PUT を使うと分けていた。しかし、現在は HTTP

と同様に、POST でリソースの生成や更新、場合によっては削除ができる」と定義されている。

method	operation
GET	リソースの現在地を取得する
POST	一般的にはリソースを作成または更新する
PUT	リソースを作成または更新する
DELETE	リソースを削除する

(図 4-5-3 引用：JBpress 「CoAP のメソッド」)

また、HTTP とのゲートウェイやスリープノードに対する考慮からプロキシの使用が必須であるため、リバースプロキシやフォワードプロキシの実現方法やキャッシュについても定義されている。これらはオプションとして指定できるようにすることで、CoAP ヘッダーそのもののサイズを抑えながら、拡張性を維持している。

5 IoE の進化の方向性

5.1 IoE が実現するサービスの考察

現在、世界中に存在するデバイスの約 99.4%が、まだネットワークに接続されていないとの推測がある。今後は、世界中のありとあらゆるデバイスがインターネットに繋がり、人と人が繋がる手段が拡大する。必要な情報を必要なタイミングで人やモノに提供するプロセスが確立され、意思決定を加速するデータ活用が普及するなど、人、モノ、データ、プロセスが相互に連携する。そして、かつてない大きなビジネスチャンスとライフスタイルが創出される時代が到来する。この世界観が、IoE であり、潜在的価値の大きさは測り知れない。

以下に、主な産業領域別ユースケースと、ネットワークへ接続される対象となるデバイス数の考察を示す。これら主な産業領域に存在する業界固有技術や構造からの変革と、産業横断的なイノベーションの創出が期待される。

- ・スマートシティ：対象デバイス数 10 億個以上
 - 公共交通、スマートライディング、スマートビルディング等
- ・パブリックセーフティ：対象デバイス数 1 億個以上
 - 環境モニタリング、放射線量監視、水質管理、構造物モニタリング、緊急時サービス等
- ・インダストリー（産業・工業）：対象デバイス数 10 億個以上
 - ロボット、アセット管理、保守・予防保全、スマートタグ、ロケーションウェア、セーフティ等
- ・ヘルスケア：対象デバイス数 1 億個以上
 - 遠隔医療、テレメディシン等
- ・オートモーティブ：対象デバイス数 5 億個以上

➤ナビゲーション、渋滞管理、交通事故回避、緊急サポート、診断、インテリジェントサイネージ等

・ エナジー：対象デバイス数 5 億個以上

➤スマートメーター、Distribution Automation、フィールドエリアネットワーク、EV/PHEV 充電インフラ、再生可能エネルギー等

・ リテール（小売）：対象デバイス数 2 億個以上

➤自動販売機、POS 端末、ゲーム機器、スマートタグ等

本章では、上述の主な産業領域におけるユースケースに関して検討する。

5.2 スマートグリッド

5.2.1 現状の課題と進むべき方向性

スマートグリッド（次世代送電網）とは、送電網に接続されている全ての要素を情報インフラと統合することで、電力会社と需要家の双方に多様なメリットをもたらす未来のインテリジェント電力システムの総称であり、スマートメーターや HEMS 等の通信・制御機能を活用して停電防止や送電調整のほか多様な電力契約の実現や人件費削減等を可能にする電力網である。

また、スマートグリッドの構築において、送電網や配電網の自動化と共に不可欠とされているのが、スマートメーターの設置である。2014 年 4 月の省エネ法改正によって、国内電力大手 10 社が「スマートメーター」の導入を決定。各社が管轄内における全顧客の電力計を、スマートメーターに置き換えることになった。最も早い東京電力では、2020 年までにすべての顧客先で双方向通信機能を持つスマートメーターの設置が完了する見込みである。最も設置完了見込みの時期が遅い、沖縄電力がスマートメーター化を完了する 2025 年には、日本の電力計はすべてスマートメーターとなる。2014 年 5 月 11 日に成立した改正電気事業法による電力自由化と合わせ、日本におけるスマートグリッドの取り組みが本格化する。欧米主要国では既に多くの都市や地域でスマートメーターの導入が進んでおり、スマートメーターは実装段階であるといえる。

一方、構想段階である HEMS は、家庭内のエネルギーを可視化、コントロールして、省エネを実現するシステムである。HEMS の最大の特徴は、エネルギーを見える化できることであり、どれだけのエネルギーが、いつ、どこで、何に使用されているか、という家庭内の具体的な電力利用状況をカラーモニターや PC、タブレットに表示することができる。従来の電力システムでは、発電所で発電された電力は、消費されるかどうかに関係なく、電力会社の送配電網を通じて送られる。しかし、発電した電力は保存しておくことが出来ないため、発電設備は、需要のピーク時を基準とした電力提供を行う必要がある。そのため、過剰発電能力を保持しなければならない。

電力会社側で電力の消費状況を把握するための情報入手手段が限られており、消費者側

も、エネルギー消費量や料金についてリアルタイムで確認することはできていない。つまり、従来の電力網は一方通行のシステムである。電力消費側の電力消費情報をリアルタイムで得ることなく、ピーク時の電力需要を基に予測して発電し、消費者に提供する電力が不足しないように調整している。また、現状のグリッドシステムでは、急激な需要増加に柔軟に対応できなくなるという問題がある。

さらに昨今では、規制緩和により新たな発電事業者が登場し、風力発電や太陽光発電などの代替エネルギーの普及が徐々に浸透し始めており、家庭においても太陽電池の設置等が進んでいる。交通分野では、電気自転車やプラグインハイブリッド車などが普及してきている。その結果として、電力会社が消費者の余剰電力を金銭を引き換えに受け取るようになり、グリッド網を送配電する電力量が大幅に変動したりする可能性もある。このような事情からも、電力会社にとって電力消費量の予測は、今後、益々複雑な作業になると考えられる。

スマートグリッドでは既存のグリッド全体に散在する発電所、変電所、配電所、一般家庭、事業用の建物、製造プラント、ネットワークオペレーションセンターなどの主要拠点間で、双方向通信を実現する必要がある。

そのため、End-to-Endで共通な通信プロトコルとして、過去数十年間を通じて進化してきた拡張性の高いIPとインターネットアーキテクチャーは、以下のような利点から、スマートグリッドにおける通信技術の最適な選択肢と考えられる。

- ・インターネット等のパブリックネットワーク、企業や官庁のプライベートネットワーク、工場やプラント等のインダストリアルオートメーション⁷⁸など広範囲にわたる実績がある
- ・様々な装置やデバイス、センサーがプロトコル変換を要することなく、多様な通信媒体上で双方向通信できるようになる
- ・大量のデータを処理し、解析できるようになる
- ・プロトコルのレイヤー構造により、プロトコルスタック全体を再設計することなく、新しいアプリケーションに柔軟に対応できる
- ・IPv6アドレスが持つアドレス空間により、大量のデバイスを接続できるようになる
- ・オープンスタンダードにより投資対効果を最大限にし、ベンダー（売り手）ロックインを回避する

5.2.2 主な構成要素

スマートグリッドは、主に次の3つの機能コンポーネントから構成される。

1) 需要側管理の促進と電力消費の削減

⁷⁸ 機構や機器が、人手の介入を要することなく、自動的に制御、動作、連携すること ⇔エンドユーザ

- ・デマンドレスポンス (DR : Demand Response) : 卸市場価格の高騰時や系統信頼性の低下時において、電気料金価格の設定やインセンティブの支払いに応じて、需要家側が電力の使用を抑制するように電力消費パターンを変化させる。

- ・スマートメーター : 通信機能を備えた電力メーター。電力会社と需要者の間で電力使用量などのデータをやりとりしたり、スマート家電で構成されるホームネットワークと接続されてスマート家電製品などを制御したりする、高機能な電力向けメーター。デマンドレスポンスにより、電力を消費している機器の稼働を制御し、需要家側の電力消費を削減することなどが可能となる。

- ・スマートハウス : IT技術により家庭内の消費電力や最適に制御する住宅。具体的には、太陽光発電システムや蓄電池などのエネルギー機器、スマート家電、住宅機器などを HEMS (Home Energy Management System) で制御し管理することで、CO2 排出削減を実現する省エネ住宅。

- ・スマートビルディング : 建物全体のエネルギー最適化を図る、BEMS (Building Energy Management System) と呼ばれるエネルギー管理システムが導入された次世代型ビル。

- ・スマート家電 : スマートグリッドとの連携により、自動的に消費電力を最適化したり、スマートフォンのアプリケーションと連携させたりする家電製品。

- ・グリーン IT : 省電力化や低炭素社会構築に向けて企業や社会における環境負荷を低減する IT 関連製品や IT 技術。

2) 分散型代替エネルギーと蓄電の導入

- ・再生可能エネルギー : 資源が有限で枯渇リスクがある石炭・石油などの化石燃料や原子力とは異なり、太陽光・太陽熱、水力、風力、バイオマス、地熱など、自然現象の中で更新されるエネルギー。

- ・蓄電池 : 再生可能エネルギーや夜間の電力を蓄えるなど、持続可能な低炭素社会の実現のため、家庭から産業、大規模な電力系統用途まで、蓄電池の導入が進むと考えられる。

- ・電気自動車、プラグインハイブリッド車 : 直接コンセントから充電でき、エネルギー効率がガソリン車の数倍良く、走行時に CO2 を車両から排出しないなどの特徴を持つ次世代カー。また、電気自動車やプラグインハイブリッド車の蓄電池に貯まっている電力を、家庭用電源として利用することなども期待される。

3) グリッド系統管理と信頼性の向上

- ・監視と制御 : グリッド内で生じる電力の変動を制御したり、連系する電力系統への影響を最小限に制御したりするなど、電力需給制御技術を駆使してグリッド全体のエネルギー効率を高める。今後は特に、需要側の大きな変動要因ともなりうる再生可能エネルギーや電気自動車の普及により、需給予測と制御の精度向上が重要となる。

- ・セキュリティ : 重要インフラとして位置付けられるスマートグリッドは、サイバーテロ

の標的にもなり得ることから、セキュリティ対策は最重要課題である。

5.3 無線センサーネットワーク基盤

5.3.1 現状の課題とメリット

全ての「モノ」「事」がインターネットに接続される「Internet of Everything」。その発展の過程では、ネットワーク機能を持たないモノ・事が、直接、またはゲートウェイなどを介して間接的にインターネットに接続される「Internet of Things」の実現が鍵となる。

無線センサーネットワークとフォグコンピューティングの適用が期待される Internet of Things のユースケースとして、無線センサーネットワーク基盤を紹介する。

現場でデータを測定するセンサーは、以前から多々ある。しかし、データを送信する機能のないものも多く、その場合、センサーの設置場所までデータを記録しに行かなければならない等、運用面で問題も多かった。また、センサー部に 4G や固定回線による通信機能を持たせることも可能であるが、センサーからの情報量は少量なため、通信回線に対してトランザクション⁷⁹コストが高いという課題もある。

そのため、センサー収容に無線センサーネットワークを採用すると、センサーノードを中継させることで数キロ先までデータを送れる、現場に出向かなくてもリモートからきめ細やかなモニタリングができる、多数のセンサーを集約し通信回線の効率的利用が可能になるなど、様々なメリットを享受できる。特に、920MHz 帯無線は、無線 LAN などの 2.4GHz 帯と比較して電波の到達距離が長く、回り込み特性も高いといった特徴があり、昨今、期待が大きい。

また、現場でセンサーデータを集約するポイントであるルートノードにフォグコンピューティングを適用することで、収集したセンサーデータを現場で処理し必要なアクションを迅速に行う、必要なデータのみ上位のクラウドへ転送する、クラウドと連携してビッグデータ解析処理を行うなど、階層化されたネットワークを構築できる。これにより、効率的な制御や運用、データ管理などのメリットを享受できる。

このように、局所的なセンサーデータモニタリングを無線センサーネットワークで構築し、収集したデータを M2M でクラウドと接続するのが、センサーネットワーク基盤である。無線センサーネットワーク基盤では、センサーの種類に制約を受けないことから、多種多様なセンサーシステムを収容できる。ルートノードと無線センサーネットワークから構成されるグリッドセルを複数配列することで、広範囲なエリアをカバーする拡張性を持つ。また、無線センサーネットワークに異なるセンサーによるモニタリングシステムが混在でき、無線センサーネットワーク基盤を共有することで経済的なメリットも大きいと考えられる。

⁷⁹ 分けることのできない一連の情報処理の単位

5.3.2 適用例

無線センサーネットワーク基盤への適用可能なモニタリングシステムの例として、以下に環境モニタリングシステムと構造物ヘルスマニタリングシステムに関して示す。

1) 環境モニタリングシステム

① 環境放射線モニタリングシステム

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震によって、福島第一原子力発電所事故が引き起こされた。これにより、周辺20km以内の警戒区域やその周辺に暮らす住民の方々が避難を余儀なくされ、大量の放射能放出とそれに伴う家屋や地表、森林などへの汚染が大きな課題となったのは、周知のことである。

周辺環境の汚染状況を把握することは、除染をはじめ、保護対策の基礎情報となる。そのため、汚染状況を測定して評価し、その結果を分かりやすく示すことが重要と考えられる。

居住、就学、就労に関連するエリアに関しては、線量を速やかに測定して除染対策に反映し、除染後も継続的にモニタリングして放射線線量の低減を確認する必要がある。

山林や森林などのエリアに関しては、長期間にわたって放射線線量の低減に向けた取り組みが必要で、50年から100年単位の長期にわたり汚染状況のデータを集計する必要がある。

また、原子力関連施設等の重要施設周辺などでは、施設からの放射線による影響がないことを常時確認し、万が一、施設からの放射線が環境中へ影響を及ぼした場合には、速やかに検知して迅速な対応をする必要がある。

上記のような線量モニタリング装置として、放射線測定設備（モニタリングポスト、空間の放射線量を連続的に測定する装置）がすでに各所で導入されている。この放射線測定設備を無線センサーネットワーク基盤とともに構築することで、よりきめ細やかで広範囲な展開が可能になる。

② 気象モニタリングシステム

自然災害のほとんどは、台風・雷雨・豪雨・洪水・ハリケーン・竜巻・暴風などの悪天候に伴って発生し、しばしば人的死傷と物的損害をもたらす。地球温暖化による気候の変化も、昨今、深刻な問題である。

また、最近では、偏西風に乗って大陸から飛来したPM2.5が通常よりも多く観測され、それに付着した汚染物質が日本にも影響を及ぼし始めたという事象もあった。

先進的な気象モニタリングシステムにより、風向き・風速・温度・湿度・気圧・降水量・降雪量・積雪量などをタイムリーに測定して、危険な気象事象を検知・予測し、緊急対応や救援活動に欠かせない早期警報を発することが、今後ますます重要である。

③ 河川モニタリングシステム

異常気象などによる河川の氾濫や土砂災害が発生した際に被害を最小限に止めるには、情報収集力と地域への迅速な情報伝達が必要である。

河川モニタリングシステムでは、主要地点に設置されているセンサー観測点から無線センサーネットワークシステムを介して河川の水位・流量・水質・海面水位などを測定し、気象観測データを加えてデータ加工する。これにより、地域への迅速かつ迅速かつ的確な防災支援情報の提供と、地域住民へのリアルタイムな情報提供を実現し、水害などの災害への対策を行う。

以上、3点より、環境モニタリングシステムでは、センサーにてデータを収集し、それを位置情報と組み合わせるなどの加工・解析を加える。これにより、注意喚起メッセージの表示や、スピーカーでの警告、回転等動作など、近隣住民へ素早い警告手段を現場で確立する。ここに、フォグコンピューティングの適用可能性があると考えられる。

2) 構造物ヘルスマニタリングシステム

建築構造物の性能には、構造物性能や耐久性能、設備性能、空間性能など、様々な性能指標がある。構造物ヘルスマニタリングは、一般的に、地震や経年劣化による構造安全性能が一定の期間を経過しても設計水準以上に維持管理されているかどうかを確認することを目的としている。

検査員による目視や打音法などによる従来技術では、膨大な時間と労力がかかってしまう。そのため、構造物ヘルスマニタリングでは、対象となる構造物にセンサーを設置して振動や変位などの物理量を計測する。これにより、構造物に蓄積された損傷や劣化箇所、その度合いを効率的かつ詳細に検出して監視し、現在の状況の把握と将来の健全性を予測し診断する。

このような手法により重要建築構造物の健全性を把握することで、災害を未然に防止する。それだけでなく、最適な維持管理計画によって、建築構造物を長寿命化するためにも非常に重要である。

例えば、橋梁やトンネルなどの構造物は、公共性が高く、人々の生活や経済活動の根幹を支えるものである。その機能低下は、膨大な経済的損失を発生させ、使用者を危険に曝す恐れもある。

しかし、これらの施設の多くは高度成長期に建設されたため、近年その劣化が懸念されている。その一方で、常に高いレベルの外力に晒されており、数量も膨大である。そのため、予防保全の必要性が高く、センサーによるリアルタイムでの構造物ヘルスマニタリングシステムは、センサー、構造物の劣化損傷検出、健全性評価などの複合技術を基に、主に以下のプロセスから構成される。

- ・センサーデータの収集：センサー等からデータを取得するプロセス
- ・センサーデータの加工、解析、蓄積：センサーのデータに対し、ノイズ等の不必要な信号の除去や、メタデータ（日時、位置情報など）を追加するようなデータ加工、ルールに基づいたデータ解析、取得したデータの単キングなどを行うプロセス
- ・診断と予測：推定モデルを基に診断を行うプロセス。また、測定対象物が、今後どのくらいのスピードでどのような状態になるかを予測する
- ・補修や補強に向けたアクション：診断予測結果にならい、必要な補修や補強を行うプロセス。また、その結果を計測し、目標性能が維持されているかどうかを確認する

構造物ヘルスマニタリングシステムは、橋梁やトンネル、道路、鉄道、ビル、ダム、河川、堤防などの社会基盤施設への適用が期待されている。橋梁およびトンネルの損傷推定レベルや要求性能に関して、性能指標に対する主なモニタリング項目の例を、図 5-3-2 に示す。

橋梁		
項目	性能指標	モニタリング項目
安全性能	剛体安定、風、地震時応答特性	変位、変形剛性、応力、荷重
使用性能	走行性	変位、変形
耐久性能	時間経過後の安全性能	沈下、構造系の変化
トンネル		
項目	性能指標	モニタリング項目
安全性能	剛体安定、地震時応答特性	変位、変形、応力、荷重
使用性能	走行性、流水	変位、変形、漏水
耐久性能	時間経過後の各性能	地山の変形、地下水位の変動

(図 5-3-2 引用：nilim「構造物における性能指標とモニタリング項目の例」)

(図 5-4 引用 DMIC「DMIC MAP」)

構造物ヘルスマニタリングシステムでは、多種類のセンサーを高密度で配置運用する必要がある。また、通信状況が必ずしも良くない環境でセンサーからの微弱な信号を遠方まで伝達させる必要がある。これらの条件から、無線センサーネットワークが適していると考えられる。

5.4 スマートシティ

最新の技術を駆使してエネルギー効率を高めて省資源化を徹底した、環境配慮型の街づくり「スマートシティ」の実現に向け、世界各地で実証実験が行われている。現在、最新のネットワーク技術を駆使した新都市型と再開発型の、2つのタイプのスマートシティについて実現に向けた取り組みを進めている代表的なシスコ社の例を検討する。



(図 5-4 引用 DMIC「DMIC MAP」)

新都市型のスマートシティは、主に新興国で展開されている。新都市型は、ネットワーク技術を駆使して最新鋭の都市を構築するプロジェクトで、代表的なプロジェクトとしては、インドのデリー・ムンバイ間産業大動脈構想 (DMIC: Delhi-Mumbai Industrial Corridor Project) がある。DMIC では、デリーとムンバイ間 (約 1,500km、6 州、24 都市から成る) に、工業団地、物流基地、発電所、道路、港湾、住居、商業施設などのインフラを整備し、一大産業地域を形成しようとする、インドで最も注目されているプロジェクトの一つである。シスコ社は、ICT マスタープラン (基本計画) の作成を担い参画している。

一方、再開発型のスマートシティは、主に先進国で展開している。再開発型は、既にあるインフラをできるだけ活用し、センサーや制御装置を追加することでスマートシティを実現する。新都市型と比較して劇的な効果を望めない代わりに、街の景観はほぼ変えずに済み、事業費用も小規模に抑えられるなどのメリットがある。

シスコ社が参画する代表的なプロジェクトとしては、フランスのニースでの取り組みがある。エネルギー関連はもちろん、交通、廃棄物処理などに最新技術が使われている。

以下にニースにおけるスマートシティの主要な取り組みと、効果を示す。

- ・スマート・ライティング：気候や交通量に合わせて照度をきめ細かく制御し、照明電力を約 30%削減
- ・スマート・ゴミ管理：センサーでゴミ箱のゴミ蓄積レベルを検知し、最適ルートで回収車を派遣
- ・スマート・サーキュレーション：スマートフォンやタブレットで、パーキング情報や公共交通状況、カーシェアリング状況をリアルタイムで入手。交通渋滞を約 30%削減すると同時に、大気汚染を約 25%改善
- ・環境モニタリング：センサーとクラウドアプリケーションにより、大気汚染や騒音レベルをトラッキングし、健康管理などに応用

スマートシティは、先に記述したスマートグリッドをはじめ、電力網、交通、水、スマートハウス、スマートビル、工場、プラント、物流、ゴミ処理など、あらゆる産業界に影響を及ぼしていくと考えられる。あらゆるものが繋がる Internet of Everything の世界観

を、都市やレベルで実現する取り組みといえる。

5.5 スマート・コネクテッド・カー

スマート・コネクテッド・カーは、車載組み込みデバイスによりインターネットとの通信機能を備えるコンピューティングプラットフォームである。Internet of Everything の重要な一部になると考えられる。

既に、その前身となる車両向けの M2M アプリケーションが普及し始めている。主な利用事例としては、輸送車両の管理 (Fleet Management) や、公共交通車両の管理 (Transportation&Public Safety) などがある。

Fleet Management は、自社保有車両とチャーター車両を、今日の複雑な輸送環境において、より効率的で効果的に輸送管理できるようにサポートする管理ソリューションである。

モバイルネットワークを活用した Fleet Management システムでは、輸送状況をリアルタイムに把握でき、より多くの貨物を効率的に配備できるようになる。また、走行距離と時間が最も短くなるような最適経路を絞り込み、最適な配送計画を立てる。それにより、顧客に対するサービスレベルの向上や、労働力生産性の向上、設備コストの低減、修理・メンテナンスコストの削減、事務的なミスによる出荷遅延の解消など、様々な利点を提供している。

同様に、鉄道やバスなどの公共交通や、警察車両消防車などの公共車両においても、車両においても、車両のネットワーク化が進んでいる。安全で便利な公共交通や、地域の巡回業務の効率化、事故時の迅速な対応などを実現している。

最近では、ロボットに運転させる自動車の技術が注目を集めている。安全な運転は、自動車のローカル環境での制御がメインであるが、ロボット自動車では周囲の状況を含めた運転の自動化技術も不可欠である。具体的には、衝突事故防止等の安全確保のための車車間通信 (Vehicle-to-Vehicle (V2V) Communications for Safety) や、信号機から信号情報を車両に送信するような路車間通信 (Vehicle-to-Infrastructure (V2I) Communications for Safety) などがある。V2V や V2I を実現するためには、通信技術や通信環境が重要な役割を果たすと考えられる。例えば、高速道路では、ロボット自動車同士が V2V 通信で車間距離を短く保って走行させることが想定されている。現在、多くのメーカーが実現を目指している。全てが同じシステムで、しかも大多数の車がシステムを導入して初めて機能することが可能となることから、標準化やオープンプラットフォームの構築が不可欠と考えられる。

5.6 無線 LAN によるロケーションサービス

5.6.1 無線 LAN を取り巻く現在の環境

近年、モバイルデバイス、特にスマートフォンは、日本国内での契約数が 2014 年 9 月末時点で約 6,248 万件と普及が著しい (引用: MM 総研)。消費者にとっては、エンターテ

イメントやコミュニケーション、各種情報取得のためのインフラとしての地位を確立している。また、企業でも業務への導入が加速しており、情報インフラとしての地位を確立しつつあるといえる。

一方、スマートフォンが普及することで、特にコンシューマの利用によるデータ通信料が飛躍的に増えた。一時期は3Gや4Gの帯域が逼迫したこともあり、ユーザーが市中のカフェあるいは公共の場所に整備された無線LANを利用することも増え、またキャリアによっては、データオフロードの意味などから、ユーザーへの無線LANルータの貸与や公共の場所や店舗等の無線LANの整備を積極的に推進している。キャリアの契約者はこれらのアクセスポイントを実質上、無償で利用できる場合も多い。このような背景から、場所によっては無線LANアクセスポイントの過多による利用効率の悪さ（複数の無線LANアクセスポイントが設置されている地域では干渉等により速度が上がらない）といった問題も発生しており、その解決も急務である。

これまで通信事業者以外の自前による無線LANの設置とネット接続サービスの提供は、ユーザーの利便性を高める一方で、サービス提供側にとって運用コストが生み出せないコストセンターでもあった。これからは、ユーザーと密接なスマートフォンが主体となった、各種デバイスを利用して付加価値のあるサービスを提供し、収益を得られるインフラとして構築していくこと、いわゆるビジネスやサービスのイノベーションプラットフォームとしての設置が主流になっていくと考えられる。これは、各種店舗や公共交通機関などあらゆる側面での潮流であろう。

現在、付加価値サービスの基盤の一つとして注目されているのが無線LANアクセスポイント（以下AP）からのデータ収集やスマートフォンに内蔵された各種のセンサーからの情報収集である。特にビジネス的には応用範囲の広いモバイルデバイスのロケーションデータの利用が注目されている。

従来であれば、スマートフォンを始めとしたモバイルデバイスのロケーションデータの取得は、携帯電話基地局での測位によって位置を求める手法か、アプリケーションベースで取得した位置データを利用する手法が必要だった。前者は、キャリアであれば取得できたが一般における利用は困難であった。後者については、端末によるばらつきや、アプリケーションの開発とインストールへの誘導などの困難があった。現在では、無線LAN機器にテクノロジーが実装され、従来では利用にハードルのあった位置情報を利用したサービスが比較的簡単に利用できるようになっている。

5.6.2 モバイルデバイスからのロケーションデータ取得

ロケーションデータ自体は、GPS衛星からのデータとジャイロによる方法が、軍用および民生用のナビゲーションシステムとして以前から利用されてきた。現在のスマートフォンなどであれば、GPS衛星からのデータに加えて、クラウドからも位置情報を取得できる。例えば、Android OSでは、ロケーションベースのアプリケーションを作成する際に、

高精度 (FINE_LOCATION) または低精度 (COARSE_LOCATION) として明示的に指定することが可能である。

しかしながら、本節で検討するのは、このようなモバイルデバイスに実装された機能によらず、AP をセンサーとして利用した場合に得られる情報を取得し利用する方法である。Android などのモバイルデバイスにおいて、API⁸⁰を利用して返される位置情報は緯度/経度情報であり、Google Maps などの既存アプリケーションに直接入力できるなど利用が容易である。それに対して、AP をセンサーとした場合に測位で返される情報は、設置場所を中心とした局所的な位置データである。したがって、そのままでは緯度/経度情報を利用した検索には利用できない。しかし、数メートルといった狭い範囲内で対象の位置を捉えることが出来るため、例えばショッピングモールやイベント会場など、屋根があり小規模なブースが隣接するような場所でも、ユーザーがどのブースにいるかを高い精度で調べることが出来る。

5.6.3 センサーとしての AP

これまでのロケーションデータでは、「ユーザーの現在の位置」というユーザー視点の利用が中心であった。それに対して、本節で検討するロケーションベースのテクノロジーは「デバイスの現在の位置」というサービス提供側の視点のものである。

センサーとしての AP は、電波の発信源の情報を捉え、可視化などに利用する。無線機器だけではなく、例えば使用中の電子レンジなどもノイズ源として捉えられ、無線ネットワークへの干渉源として位置を特定できる。プロトコルに則った通信機器であれば、正当な通信機器として認識し、簡単な情報を収集できる。

このように、無線 LAN 接続サービスを提供しつつ、ロケーションを利用したサービスを提供することや、その無線 LAN ネットワークを効率的に運用するための情報を同時に取得することが出来る。

5.6.4 無線 LAN 運用に伴う可視化の三要素

前項より、AP からのデータの第一の利用目的は、無線 LAN 環境を可視化し、通信状況を改善し、常にベストの状態ユーザーが無線 LAN を利用できるようにすることである。これには以下の 3 要素を可視化することで可能となる。

- ・カバレッジ：実際の電波到達状況をできる限り可視化する。例えば、無線 LAN の電波が到達しない場所を図面上で白く染色し、電波状況の改善に活用する等
- ・AirQuality：無線 LAN の通信に最適または不適切な電波環境なのかを可視化する。例えば、セキュリティ的な要素である、不正 AP や不正クライアント、不正アドホック端末の位

⁸⁰ あるコンピュータプログラム(ソフトウェア)の機能や管理するデータなどを、外部の他のプログラムから呼び出して利用するための手順やデータ形式などを定めた規約

置を可視化する事もこれには含まれる。また、AirQuality が 65 以下になった場合、チャンネルを自動的に変更し、無線通信を維持するといった機能なども含まれる。

・干渉源表示：無線 LAN に影響する可能性のある干渉源の種類、位置、影響度、影響範囲を可視化する。電子レンジのようなノイズを発生するものも含まれる。

5.6.5 Wi-Fi デバイスの追跡

一方、第二の目的は、ロケーションデータの利用である。個々人の持つモバイルデバイス (Wi-Fi デバイス) は、固定されている電波発生源とは異なり、動的であるということ为前提としなければならない。これは、「受信信号郷土表示 (RSSI)」や「到達時間差 (TDoA)」を利用してモバイルデバイスを追跡できる。この 2 つの方式については、各々の利用に適した屋内や屋外といったロケーションがあるため、ここでは RSSI および TDoA の概要を検討する。

1) RSSI

RSSI は、受信する無線信号の電力によって測定される。任意のワイヤレスデバイスによって送信されるパケットは、複数の AP (前提: フレームを送信したチャンネルをリッスンしている AP であること) で受信される。AP では、受信したパケットと一緒に、AP で測定した RSSI 情報を WLC に転送する。WLC⁸¹は、様々な AP から得た RSSI 情報を各デバイスごとに集約する。1 つ以上の WLC が受け取った RSSI データを照合することで、ワイヤレスデバイスのロケーションを判別することができる。そして、通常、RSSI の利用は、信号が反射する屋内や、天井の低い環境で推奨される。

RSSI は、2) の TDoA と異なり、AP 間で時刻が厳密に同期している必要はない。様々な AP で測定された RSSI 値を使用して、フロア上の様々なポイントについてデバイスのロケーションの確立が計算される。この計算結果に基づいた、推定ロケーションが返される。

2) TDoA

屋外や、天井の高い屋内などの環境でタグを追跡する場合には、デバイスロケーションを判別する方式として、到達時間差 (TDoA) メカニズムが用いられる。TDoA では、時刻の同期された 3 台以上の Wi-Fi TDoA 受信機から送信された信号を伝送する際の到達時間 (TOA) の差によって、Wi-Fi デバイスのロケーションが判別される。

異なる Wi-Fi TDoA 受信機が特定のメッセージを受信するために必要な時間は、伝送モバイルデバイスと各 TDoA 受信機間の伝送バスの長さに比例する。そのため、Wi-Fi TDoA 受信機間の時刻の同期が必要となる。

TDoA で正確な位置を計算するためには、3 代以上の Wi-Fi TDoA 受信機のセットが必要

⁸¹ ワイヤレス LAN コントローラ: AP を管理する機器

となる。これは、Wi-Fi TDoA 受信機間の距離は、屋内の RSSI による位置決めで必要なアクセスポイント間の距離と比較して、大きくなるためである。

5.6.6 センサーデータを用いた無線 LAN の統合管理

現在、オフィスやショッピングモールなどでモビリティネットワークを提供するにあたり、多種類のアプリケーションへの要求はますます高まっている。モビリティサービスの真の価値は、ネットワークおよび関連アプリケーションからのリアルタイムの情報を提供し、アプリケーションのパフォーマンスを高める能力にあるといえる。

ネットワークとアプリケーションのインテリジェンスが相互に作用することで、提供可能なモビリティソリューションの種類が充実し、相乗効果となることが期待できるが、従来このようなインテリジェンスは、ネットワークのあらゆる場所に拡散し、サービスのプロビジョニング⁸²と管理を複雑にしてきた。また、サービスやコントロールプレーン、データプレーンの組み合わせによってもさらに複雑さは増す。それにより、ネットワークでは安定したパフォーマンスを維持しつつ新しいサービスに対応することが難しくなるという課題がある。

そこで、これらの課題を解決するために、センサーデータを利用した無線 LAN の統合管理のコンセプトが創出された。

これまで検討してきたセンサー（AP）からの情報を利用することで、電波および位置情報を統合的に管理できる。具体的には、AP 管理および電波監視を行い、情報を統合することで、無線 LAN の統合管理局として機能させ、無線 LAN ネットワークを最適に運用しパフォーマンスを最大限に発揮できるシステムとして構築が可能である。以下は、AP 管理、電波監視の特徴である。

- ・ AP 管理
 - ログレベルでの干渉源管理
 - ログレベルでの不正 AP 管理
 - ログレベルでの運用状態管理
 - グラフでの電波品質管理
 - 電波品質に基づく電波環境の自動調整

- ・ 電波監視
 - ログレベルでの干渉源管理
 - 不正 AP のポート特定と排除

⁸² ネットワークやコンピュータの設備を、必要になったときすぐに利用できるよう準備しておくことを指す

5.6.7 無線 LAN インフラを用いた付加価値請求

ショッピングモールなどにおいて、ユーザーが無線 LAN インフラによるロケーションデータを用いる際に留意するのは「利便性」「安全性」である。これらはユーザーが継続してサービスを利用するために必要な要素である。現在、ユーザーは安全性について敏感であり、アプリケーションとロケーションデータを連携する場合、プライバシー情報についての透明性が求められている。

ユーザーに対する無線 LAN インフラを利用した付加価値請求をしていくためには、これらを念頭に、ユーザーとのエンゲージメント⁸³に至るパスを計画する必要がある。なお、エンゲージメントに至るパスは次の3つの段階に大別できる。

- ・ユーザーのプレゼンス（検知）：入店する前に、モバイル端末と特徴を検知
- ・ユーザーのアクセス（接続）：シームレスで安全な Wi-Fi 接続の提供
- ・ユーザーのエクスペリエンス（エンゲージ）：ユーザーの属性やリアルタイムロケーションに基づいた関連性の高いコンテンツやサービスを提供

5.6.8 ロケーションデータ事例

本節の最後に実際の事例として、AP からのロケーションデータの利用例を検討する。

・コペンハーゲン空港

リアルタイム分析に基づき、空港内オペレーションを改善する目的でロケーションデータが利用されている。結果、コペンハーゲン空港では、乗客をサポートするのに必要である保安要員とスタッフの適正数を迅速に決定・配置することが可能となった。また、乗客の導線をトラッキングすることで、空港に来てからセキュリティチェックにどのくらいの時間がかかるかなどの情報提供もなされている。

今後、無線 LAN が各所で整備される中で、ビジネスやサービスのイノベーションプラットフォームとして活用されていくことが期待される。

5.7 スマート・ファクトリー

5.7.1 工場および製造現場の統合システム

製造工程の自動化は、数値制御工作機械やマシニングセンターなどの加工用機械を導入することにより、人間の行っていた状況把握、判断、制御の作業を置き換えることから始まった。

当初は工場内の工作機械群は各々が独立して運用されていたが、インテリジェント化に伴い、機器装置が柔軟な制御ロジックや通信インターフェイスを持つようになると、これ

⁸³ 企業の「存続」や「成長」を応援してくれる行動をお客様が取ってくれること

らの機器装置がネットワークで結ばれた。工場は全体として、統合化され、機器装置を協調制御できる技術基盤が確立し、FA (Factory Automation) が誕生したのである。

FA は製造工程に限定された自動化であった。さらに、販売や物流、計画、経営管理、技術開発などの分野へのシステム化がすすめられ、「生産に関係する全ての情報を、コンピュータネットワークおよびデータベースを用いて統括的に制御・管理することによって、生産活動の最適化を図るシステム」である CIM (Computer Integrated Manufacturing) へと進化した。CIM のシステム階層は 6 階層から成り、製造現場から経営レベルに至るまで情報が統合・一元化される。

製造業の企業活動のモデル化は、製造工程の管理を指向する CIM から、顧客の消費動向を踏まえた計画生産を指向するモデルへと変容した。1992 年に米国の調査会社 AMR Research は、MES (Manufacturing Execution System) の 3 層モデル (企業活動を計画層、実行層、制御層に規定) を提唱した。

最下層である制御層のシステムは、製造設備の状況をマイクロ秒～秒単位で監視しながら製造工程を制御する。各制御システムの管理が及ぶ範囲は工場のラインであり、管理の対象となるのは個々の製造された製品である。

一方、実行層システムは、分や時間の単位で製品の製造工程を監視する。その管理範囲は工場全体であり、管理の対象は製品やロットに及び、工場全体における効率や品質を管理する。

計画層の業務・計画システムは、本社や管理部門の ERP (Enterprise Resource Planning)、SCM (Supply Chain Management)、CRM (Customer Relationship Management) などの基幹業務システムである。月・週・日といったこと細かな単位で受注や納期、コストなどを管理し、顧客との円滑な関係形成に焦点が置かれている。

上述のインテリジェントな MES の導入により、工場内の最新の正確な情報を活用してシステムの最適な製造指示が可能となり、また異常事態の発生や異常の傾向性をリアルタイムに検知し、迅速に適切なアクションをとれるようになる。さらに、製造工程に関するデータ群を蓄積し、時系列分析することにより、現場管理者が情報を活用して適切に意思決定できるようになる。

5.7.2 制御システムのオープン化、イーサネット化

前項で検討したように、製造業における制御系システムと情報系システムは MES により統合され、センサーや各種装置が生成するさまざまなデータ群を収集、分析することが可能となり、製造、販売や物流、計画、経営管理、技術開発に活用されるようになる。このような統合システムを実現する上で重要なことは、全ての製造現場の制御系システムや情報系システムが「オープン化」されていることである。したがって、各ベンダーの機器装置間の相互接続や統一された操作・制御・保守が実現できなければ、統合的なシステムの構築は難しくなる。

1990年代には、RS485を使った産業用ネットワークが広く使用され、オープン化を推進した。古い規格であるRS485に代わるものとして現在、普及しているのが、イーサネット⁸⁴ベースのオープン規格である。イーサネットは情報系のネットワークとして普及したため、制御に求められるリアルタイム性や温度、湿度などの厳しい環境下での耐性に乏しい。そのため、これまで産業用ネットワークにはあまり使用されてこなかったのである。

しかし、イーサネットをベースにすることで、ギガビットイーサネットからさらに10ギガビットイーサネットへとその技術進化をいち早く産業用ネットワークに採り入れることができる。また、上位に位置する情報系システムとの親和性も高まる。そのため、イーサネットベースの産業用オープンネットワークを導入する動きが進んでいる。

こうしたイーサネットベースの産業用ネットワークのオープン規格の代表例がEtherNet/IPである。EtherNet/IPはODVA (Open DeviceNet Vendor Association Inc.)が推進している規格で、様々なベンダーのデバイスやコントローラがEtherNet/IP対応製品として商品化されている。EtherNet/IPは、DeviceNetやControlNet、CompoNetと共通のCIP (Common Industrial Protocol) というオープンなアプリケーションプロトコルを使用しているため、これらのネットワークを境なく対応製品相互で通信が可能である。また、EtherNet/IPは情報系ネットワークで広く普及しているTCP/IPやUDP/IPなどの標準プロトコルを使用しているため、情報系ネットワークから制御系ネットワークまでをEtherNetだけで構築できるという利点もある。

5.7.3 提供されるサービス例

1) 製造業向け位置情報サービス

無線LANのロケーション機能により、工場内の製品や部品、装置に付けられたRFIDタグの信号を検知して、その正確な場所を特定する。正確な場所を監視することにより、「製品が誤った場所に移動された」「特定の生産ラインに部品を補給する」といった警告または通知等をフロアの責任者に伝達することが可能となる。

このように作業上の異常事象をリアルタイムに検出して対処することにより、時間とコストを削減し生産性の向上が期待できる。

2) ワイヤレスビデオ監視システム

ワイヤレスのビデオ監視カメラを工場の屋内外に設置し、ビデオ監視カメラが工場内の禁止エリアに侵入者を検知した場合、警報とその画像を工場内のセキュリティ監視室に送信する。監視室のオペレータは送信されてきた画像を基にIPビデオ映像をチェックし、工場近くの警備員のスマート端末にその映像を送る。

⁸⁴ コンピューターネットワークの規格の1つで、世界中のオフィスや家庭で一般的に使用されているLAN (Local Area Network) で最も使用されている技術規格

ビデオ監視カメラとセキュリティ監視室、警備員とが連携することにより、侵入者の脅威を未然に防ぐことが可能となる。

3) 倉庫におけるユニファイドコミュニケーション⁸⁵の活用

製造業者のコールセンターが卸業者から製品の配送依頼を受け取ると、その注文は製造業者の倉庫管理システムに送信される。システムは注文をワイヤレス経由でユニファイドコミュニケーション（音声、ビデオ、データ、モバイルを統合したツール）を用いて倉庫内の作業員のスマート端末に送り、文字情報を音声に変換して製品と倉庫内の格納場所を指示する。倉庫内でのワイヤレスとユニファイドコミュニケーション技術の活用により、製品間違いなどの人的ミスを削減し、発送時間の短縮、発送効率の向上を実現する。

⁸⁵ 様々な通信手段やコミュニケーション手段を統合する（unify）ことにより、これまでにないコミュニケーションの方法を実現しようとする試みのこと

おわりに

IoEの接続形態となるM2Mはその導入目的や低ARPU等の理由で、個別に最適化され独立した垂直統合モデルで提供されてきた。しかし、ソリューションの構築が容易である等のメリットが創出されたことにより、M2Mプラットフォームを利用した水平統合ソリューションが新たに構築され、oneM2Mをはじめとした機関による標準化動向も加速している。したがって、リアルタイムにサービスを提供することが可能となり、IoE実現の大きな一歩となり得る。

また、IoEのアプリケーションやプラットフォームにおけるインフラとなるIPv6への移行、IETFによる制限の多いネットワーク内におけるIP層の適合層の標準化が行われ、特殊性のあるデバイスまでもがインターネットに接続されるようになる事象を検討した。

そして、デバイスやセンサーのネットワークへの接続コストの劇的な低減と、フォームファクタの小型化によって、スマートオブジェクトの活用に向けた動きが産業界を中心に進んでいることが明らかになった。

しかし、より身近になるからこそ生じるセキュリティへの脅威、プライバシーの消失は今後の課題であり、迅速に強固なシステム構築および法令整備が求められる。それと同時に、接続デバイスの増加・リアルタイム処理に伴う、データ量の爆発的な増加にどう通信事業者が対応し、発展途上においてユーザー側が理解を示すかがIoE実現における課題である。

以上より、インターネットに接続されるデバイス数が増え、ネットワーク化されたことによるメリットを享受できる。しかし、真に重要なのは、人、プロセス、データ、モノ・事の相互連携、相乗効果により、IoEのインテリジェンスが生み出す付加価値であり、IoEは、将来、私たちの生活および社会に大きな影響を及ぼす可能性を無限大に秘めている。

生活の場面においては、スマートメーター等のスマートグリッドやスマートカーの登場によって利便性が向上する。一方、産業面ではイーサネットを利用したMESの導入が工場等で広がり、生産性の向上やヒューマンエラーの防止が期待できると考える。

本研究を進めるにあたり、ご指導を頂いた指導教員の山田正雄教授に感謝致します。また、日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた山田正雄ゼミナールの皆様に感謝致します。

参考文献および参考資料

- ・M2M コンソーシアム 『M2M—あらゆるモノを通信で繋ぎ競争力に差をつける』 日刊工業新聞社 2008 年
- ・シスコシステムズ合同会社 IoT インキュベーションラボ 『Internet of Everything の衝撃 IoT/M2M 基盤上で人・モノ・データ・プロセスがつながる』 インプレス R&D 2013 年
- ・ピーター・センメルハック (著)、小林啓倫 (翻訳) 『ソーシャルマシン M2M から IoT へ つながりが生む新ビジネス』 KADOKAWA/アスキー・メディアワークス 2014 年
- ・日経コンピュータ 『すべてわかる IoT 大全』 日経 BP 社 2014 年
- ・坂村健 『ユビキタスとは何か—情報・技術・人間』 岩波新書 2007 年
- ・M2M コンソーシアム 『M2M—あらゆるモノを通信で繋ぎ競争力に差をつける！』 日刊工業新聞社 2008 年
- ・富士通総研 (著, 編集), 早稲田大学ビジネススクール根来研究室 (著, 編集), 根来 龍之 (監修) 『プラットフォームビジネス最前線 26 の分野を図解とデータで徹底解剖』 翔泳社 2013 年
- ・佐藤光 『ワイヤレスセンサシステム』 東京電機大学出版局 2012 年
- ・安藤 繁, 戸辺 義人, 田村 陽介, 南 正輝 『センサネットワーク技術—ユビキタス情報環境の構築に向けて』 東京電機大学出版局 2005 年
- ・野村総合研究所 『2020 年の産業: 事業環境の変化と成長機会を読み解く』 東洋経済新報社 2013 年
- ・野村総合研究所 ICT メディア産業コンサルティング部 『IT ナビゲーター2015 年版』 東洋経済新報社 2014 年
- ・2014 年 3 月 28 日付読売新聞夕刊 17 面

参考 URL

- Gigazine <http://gigazine.net/>
- 総務省 <http://www.soumu.go.jp/>
- 日本経済新聞 <http://www.nikkei.com/>
- ギズモード・ジャパン <http://www.gizmodo.jp/>
- ITmedia <http://www.itmedia.co.jp/>
- ウィキペディア <http://ja.wikipedia.org/>
- 平成 24 年版 情報通信白書
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h24/pdf/24point.pdf>
- M2M による ICT 成長戦略 http://www.ngm2m.jp/m2m/files/kouen_watanabe.pdf
- 「M2M」とは何か <http://it.impressbm.co.jp/articles/-/11087>
- 現実世界とインターネットがつながる IoT が実現に向かう背景
 - <http://www.sbbit.jp/article/cont1/25753>
- IT ソリューション塾「IoT の 3 つの適用領域」
 - <http://blogs.itmedia.co.jp/itsolutionjuku/2014/08/iot3-4728.html?ref=rss>
[all](#)
- HH News & Reports 「M2M の普及・歴史を取材」
 - http://www.hummingheads.co.jp/reports/feature/1409/140904_01.html#1
- IT Leaders 「ビッグデータ時代の M2M 最新動向」
<http://it.impressbm.co.jp/articles/-/11093>
- Shinano E&E Corp. 「IoT/M2M/ソーシャルマシン事業」
 - http://www.shinanoee.co.jp/activities_m2m_01.html
- シスコ IoE <http://internetofeverything.cisco.com/ja>
- JBpress <http://jbpress.ismedia.jp/>
- 日経 BPnet <http://www.nikkeibp.co.jp/>
- 野村総合研究所 <https://www.nri.com/jp/>

※URL は、2015 年 1 月 30 日、現在のものである。