



早川孝之*

IoTが実現する未来社会

Future Society Realized by IoT

Takayuki Hayakawa

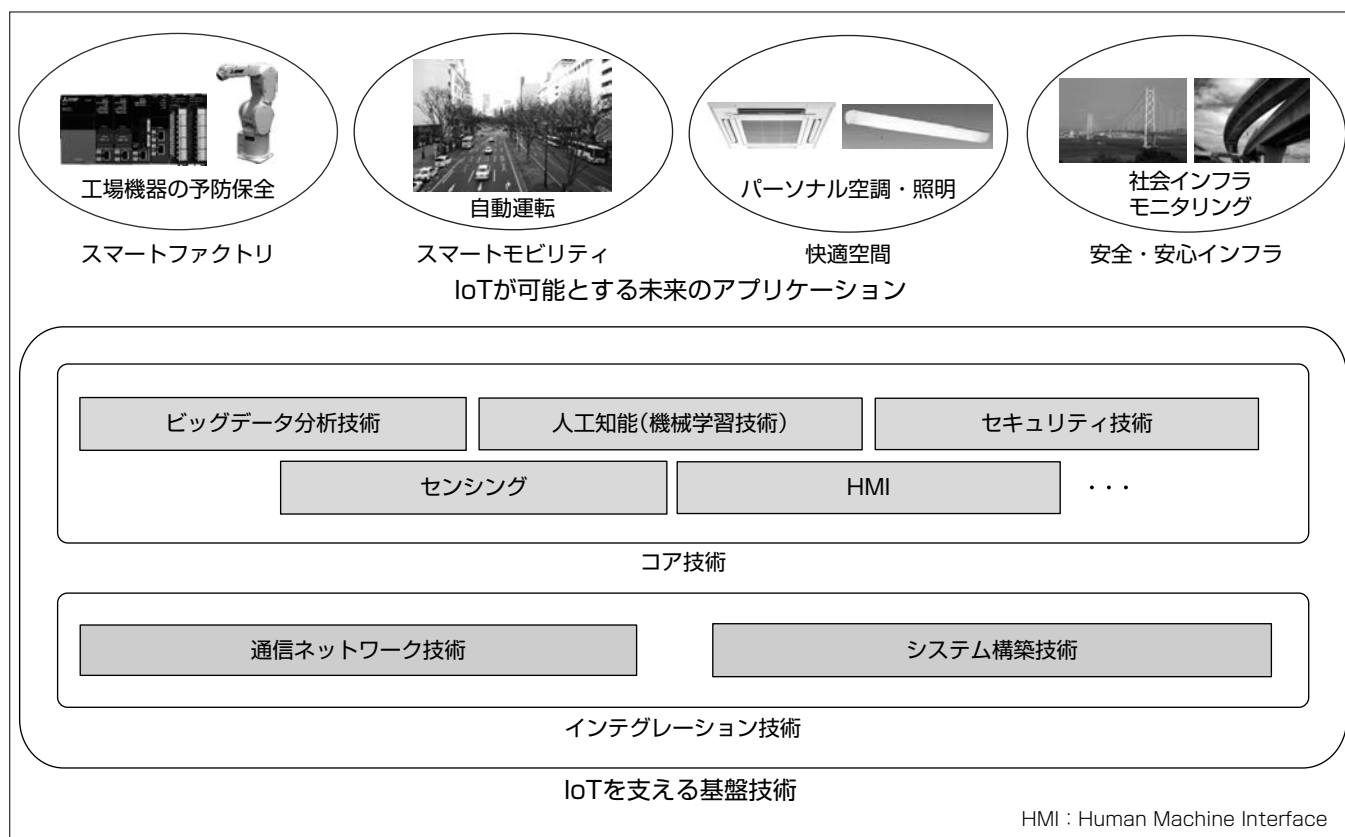
要 旨

IoT(Internet of Things)を支える基盤技術に対する三菱電機の取組みを俯瞰(ふかん)する。IoTがもたらす未来の例として、IoTが可能にする未来のアプリケーションであるスマートファクトリ、スマートモビリティ、快適空間、安全・安心インフラが挙げられる。

当社は、これらの未来を実現するIoTを支える基盤技術の開発に取り組んでいる。当社のIoTを支えるコア技術の戦略は、“エッジコンピューティング”と“ハードウェア技術とITの融合”を特徴とする。エッジコンピューティングによって、現場の機器や現場近くに設置される組み込み計算機でデータ処理を行うことで、迅速な課題解決や、ノウハウ等の機密性が高い情報の保護が可能となる。ハードウェア技術とITの融合によって、ハードウェアの理解に基づ

くデータ分析を行うことで、一段レベルの高い分析結果を得ることが可能となる。この戦略に基づくコア技術として、ビッグデータ分析技術、人工知能(機械学習技術)、セキュリティ技術、センシング、HMI等がある。また、インテグレーション技術として通信ネットワーク技術とシステム構築技術がある。

IoTがもたらす未来は、生産性向上、ユーザーの利便性向上といったメリットを産業・社会等へもたらすことが期待される。一方で、収集される情報範囲の拡大、情報システムによる実世界のモノの制御範囲の拡大などによって、新たな課題が発生すると考えられる。当社は、これらの課題解決に資する、IoTがもたらす未来の実現に必要な基盤技術の開発に引き続き取り組んでいく。



IoTを支える基盤技術に対する取組み

生産性向上、ユーザーの利便性向上といったメリットを産業・社会等へもたらすことが期待される。IoTによる未来のアプリケーションを実現するため、IoTを支えるコア技術としてビッグデータ分析技術、人工知能(機械学習技術)、セキュリティ技術、センシング、HMI等、また、インテグレーション技術として通信ネットワーク技術、システム構築技術に取り組んでいる。

1. ま え が き

本稿では、IoTを支える基盤技術に対する取組みを俯瞰する。最初に、IoTがもたらす未来の例として、IoTが可能にする未来のアプリケーションであるスマートファクトリ、スマートモビリティ、快適空間、安全・安心インフラを説明し、次に、当社におけるIoTを支える基盤技術に対する取組み内容を述べる。

2. IoTがもたらす未来

世の中のメガトレンドとして、情報化の進展、人口構造の変化、急速な都市化の進行、気候変動・省エネルギー対策の遅延、世界情勢の変化が挙げられる。メガトレンドから生じる課題として、先進国の高齢化、都市部の渋滞、地球温暖化、エネルギー不足、自然災害が存在する。これらの課題解決に貢献する、IoTが可能にする未来のアプリケーションの例として、スマートファクトリ、スマートモビリティ、快適空間、安全・安心インフラの4つを次に述べる。

2.1 スマートファクトリ

スマートファクトリは、工場内の機器を情報システムにつなげ、データの分析や最適化を行うことで、生産効率向上や省エネルギー化を実現するアプリケーションの総称である。スマートファクトリの具体例を次に述べる。

工場機器の予防保全

工場機器の予防保全は、工場機器から得られるデータを分析することで工場機器の障害発生を予測し、本当に保守が必要な機器だけに対して、事前に保守管理を行うことが可能とする。予防保全によって、保守コストの低減、工場ラインの稼働率向上による生産効率向上が期待される。

設計・製造プロセスの最適化

製品の設計段階で、コンピューターシミュレーションを活用してコンピューターの中の仮想世界における試行錯誤を繰り返し、製造プロセスも考慮した設計を行うことで、設計・製造プロセスを最適化する取組みが行われている。この取組みにIoTを組み合わせ、現実世界で得られるデータによるフィードバックをかけることで、より高い精度のコンピューターシミュレーションによる検証や、より良い設計品質の実現が期待される。

2.2 スマートモビリティ

スマートモビリティは、環境に優しい、つながりあう移動手段を実現することで、都市部の渋滞解消、省エネルギー化、高齢者の移動容易化を図るアプリケーションの総称である。スマートモビリティの具体例を次に述べる。

自動運転

自動運転は、加速・操舵・制動のいずれかをシステムが行うレベル1から、それら全てをシステムが行い、ドライ

バーが全く関与しないレベル4までの4段階に分類され⁽¹⁾、自動車メーカーだけでなくGoogle等のIT企業も2020年頃の実用化を目指して開発を進めている。

法制度上の課題はあるが、完全自動走行が実現すると、高齢者など自分で運転できない人も自動車で自由に移動が可能となる。また、自動運転車の走行経路を適切に制御することで、都市部の渋滞解消につながることを期待される。加えて、自動運転の安全性能が向上することで、交通事故を減らせることが期待される。

さらに、近年広がりを見せている自動配車システムやカーシェアリングの考え方と自動運転を組み合わせることで、自動車を社会で共有する一種の公共交通機関として活用し、社会全体の省エネルギー化につながることも期待される。

2.3 快適空間

快適空間は、利用者一人ひとりにあわせた家、ビルの快適性を追求しながら、持続可能な社会のための環境配慮にも対応するアプリケーションの総称である。快適空間の具体例を次に述べる。

パーソナル空調・照明

オフィスでの人の在席状況に応じて、空調や照明のオン・オフ制御を行う空調・照明制御システムは既に実用化されている⁽²⁾。在席状況だけでなく、外気温や天気といった外部環境と、在席者の身体の状態・作業内容も考慮することで、快適性の向上と省エネルギー性を両立させる空調・照明制御が実現可能になると期待される。

2.4 安全・安心インフラ

安全・安心インフラは、人が安全で安心に暮らすことができる社会を実現するため、道路・鉄道・橋梁(きょうりょう)などの社会インフラ設備の維持管理や、集中豪雨などによる自然災害発生の監視を実現するアプリケーションの総称である。安全・安心インフラの具体例を次に述べる。

社会インフラモニタリング

橋梁やトンネルといった社会インフラ設備は、建設後年数が経過するに従い劣化が生じ、橋の崩落やトンネルの天井落下による事故発生や交通路遮断が起きる危険性が高まる。現状は、人が定期的に検査をして劣化状況を判断し、必要な場合は補修を行うことで対処しているが、劣化状況見逃しによる事故が発生している。これに対して、社会インフラ設備の状態を計測するセンサの設置や、センサを搭載した自動車による社会インフラ設備近辺の走行⁽³⁾で、社会インフラ設備の状態データを収集し、収集したデータと社会インフラ設備の利用状況を分析し、劣化状況判断や予知保全を行うことで、検査の省力化と補修対策の効率化が実現され、事故を未然に防ぐことで安全・安心性が高まることを期待される。

3. IoTを支える基盤技術への取組み

当社のIoTを支えるコア技術の戦略は、“エッジコンピューティング”と“ハードウェア技術とITの融合”を特徴とする。エッジコンピューティングによって、現場の機器や現場近くに設置される組み込み計算機でデータ処理を行うことで、迅速な課題解決や、ノウハウ等の機密性が高い情報の保護が可能となる。ハードウェア技術とITの融合によって、ハードウェアの理解に基づくデータ分析を行うことで、一段レベルの高い分析結果を得ることが可能となる。この戦略に基づくコア技術(ビッグデータ分析, 人工知能, セキュリティ)と、インテグレーション技術(通信ネットワーク, システム構築)への取組みを次に述べる。

3.1 ビッグデータ分析技術

機器のビッグデータを用いたデータ分析技術には、大量のデータが扱えること、高速に分析できることが要求される。一方で従来の統計処理的分析技術は、少量のデータから全体像を推定することを目的としていたため、ビッグデータ分析に対しては必ずしも有効な手段ではないものがあつた。そこで、当社はこれらの課題を解決するため、大量のデータを扱い、かつ高速に処理することが可能な分析技術として、パターン検知技術とデータ特徴可視化技術を開発した。次に2つの技術について述べる。

パターン検知技術

この技術は時系列データから異常状態を自動で検知するための技術である。異常検知技術には大きく分けて重回帰分析と時系列データ分析の2つの技術がある。前者はデータの安定的な相関性を監視し、それが不安定になったときに異常と判断するもので、古くから異常検知に使われてきた技術である。この技術の短所は相関性がない場合に使えないこと、また複数のデータ項目を組み合わせる分析することから、計算量が膨大になるため、大量データを扱うのが困難であることが挙げられる。そこで、時系列データに表れる一定のパターンを抽出し、そのパターンがくずれていないかどうかを監視することで高速に異常を検知する技術を開発した(図1)。

データ特徴可視化技術

この技術はデータを分析する人を支援するための可視化技術である。データを分析する人には、思考が途切れることなく様々な視点から高速にグラフを切り替えながら分析

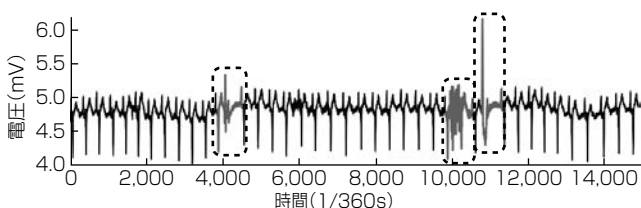


図1. パターン検知技術による異常検知例

することが求められる。また、ビッグデータでは分析対象が膨大になるため、可能な限り試行錯誤の回数を軽減することが重要である。これらに対する解決策として、大量のデータを高速にグラフ表示し(1秒で300万件)、グラフの切り替えを容易にし、分析すべき箇所を強調表示して分析者の試行錯誤の回数を軽減(通常1/4程度)することで、分析者を支援する技術を開発した(図2)。

3.2 人工知能(機械学習技術)

安全・安心・快適な社会の実現に向けて、人工知能市場は、今後ますます成長すると予測されている。また、センサデバイス技術やネットワーク技術の発達によって、リアルタイムに大量のデータを取得できるようになっている。しかし、大量のデータをサーバに集約して人工知能による推論処理を実行しようとする、サーバやネットワークの設備が大規模化するため、コストは上昇する。また、機密情報のアップロードに対するセキュリティ対策やネットワーク遅延・障害への対策が必要になる。そこで、大量のデータをサーバに集約しなくても高度な推論ができる人工知能技術が求められている。

当社は、組み込み機器に搭載可能な“コンパクトな人工知能”を開発している。これによって、従来サーバで行っていた高度な推論を、車載機器や産業用ロボット、工作機械などの組み込み機器でもできるようになり、安全・安心・快適な社会の実現に貢献可能となる。

(1) 推論処理の少演算量・省メモリ化による人工知能のコンパクト化

人工知能の一種で“深層学習”と呼ばれる機械学習アルゴリズムは高度な推論が可能であるが、多層のネットワーク構造を用いて推論するため、推論処理に必要な演算量・メモリ量が膨大になる。このため、ネットワーク構造と計算方法を効率化する新たなアルゴリズムを開発した。これによって、従来の推論の精度は保ったまま人工知能のコンパクト化が可能になった。例えば、画像認識では、演算量・使用メモリ量を90%削減(当社比較)できる。

(2) 人工知能の組み込み機器への搭載による利用範囲の拡大
“コンパクトな人工知能”によって、組み込み機器で高度な推論が可能になる。例えば、車載機器に搭載すればドラ

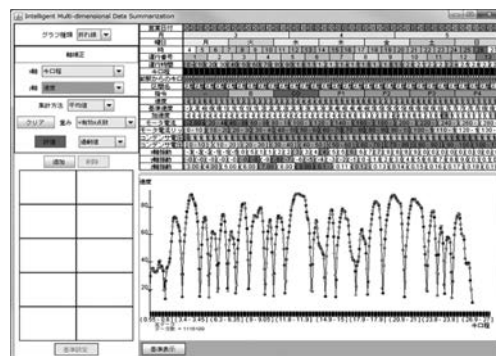


図2. データ特徴可視化技術による可視化例

イバーの普段の運転から漫然運転が検知可能となり、工作機械に搭載すれば工場現場での人の作業分析ができるようになる。大量のデータをサーバに集約して処理していた従来の方法と比べ、サーバやネットワーク設備の小規模化によって人工知能導入のコストが抑えられる。さらに、機密情報をサーバにアップロードする必要がないため高いセキュリティ環境を構築できる。また、組み込み機器で推論処理することで、推論の際にネットワークを介する必要がなくなる。このため、ネットワーク環境に依存せずに高速処理ができ、機器ごとの環境に応じた適切な推論も可能となる。今後、自動車機器、FA機器、監視カメラなどへの搭載が見込まれ、将来的にはIoT社会を支える基盤技術にしたいと考えている。

3.3 セキュリティ技術

近年、IoTの進展によってネットワークを介したサイバー攻撃による機密情報の漏洩(ろうえい)や重要インフラの機能不全のリスクが高まっている。また、米大統領が2015年9月の米中首脳会談で中国のサイバー攻撃に懸念表明する等、サイバー攻撃は国家レベルの課題となった。日本政府もサイバー攻撃対策への取組みを本格化するためのサイバーセキュリティ基本法を2015年1月に施行し、内閣に“サイバーセキュリティ戦略本部”を、内閣官房に“内閣サイバーセキュリティセンター(NISC)”を設置し、サイバーセキュリティ対策の立案・遂行が積極的に推進されている。日本政府は、企業に対して主に①サイバー攻撃情報の共有、サイバー攻撃を検知・防御する組織の構築と組織間の連携、②製品開発・運用プロセスのセキュリティ基準・ガイドライン策定・遵守促進、③第三者による製品・システム・組織のセキュリティ認定の取得促進、④攻撃検知・防御技術、暗号技術の研究開発促進の取組み強化を求めている。

当社はこれらの取組みを強化中である。次に攻撃検知・防御技術と暗号技術の研究開発への取組みとして、機器のセキュリティ、ネットワークのセキュリティ、データのセキュリティの取組みについて述べる。

(1) 機器のセキュリティ：LSIの指紋

2020年には500億個の機器がネットワークにつながると言われており、各機器をウイルスの混入から守ることが重要な課題となる。この課題を解決するのがLSIの指紋である⁽⁴⁾。LSIの指紋は、LSIの製造ばらつきを利用してLSIの固有IDを生成する技術である。LSIの分解やLSI回路の複写といった強力な攻撃から固有IDの漏洩を防止できるといった特長を持つ。LSIの指紋を既存の公開鍵暗号や共通鍵と組み合わせることで、機器に対する安全なソフトウェア更新や機器の認証が実現できる。

(2) ネットワークセキュリティ：手口に着目した攻撃検知

近年、大きな情報漏洩をもたらすサイバー攻撃は、メールに添付されたウイルスへの感染が原因である。ウイルス

は年間3億種の新種が発生しており、過去のウイルスと一致するウイルスを見つける手法では検知が困難となっている。この課題を解決するため、個々のウイルスではなく、ウイルスを用いた攻撃者の手口に着目して攻撃を検知する方式を開発した⁽⁵⁾。分析の結果、攻撃者の手口は50程度であることを解明し、手口に注目することで効率的な攻撃検知を実現可能とした。

(3) データのセキュリティ：秘匿検索

IoTの時代には、人や機器の情報をクラウドに収集して分析するビッグデータ処理によって、付加価値創出が期待される。しかし、人や機器の情報は、機密性が高くクラウドに保存する場合には暗号化が求められる。一方、従来、暗号化された情報を検索する場合、一旦クラウドで復号する必要があり、その際に情報が漏洩する懸念があった。そこで、クラウド上での復号処理なしで検索できる暗号を開発した⁽⁶⁾。この技術によって、情報の秘匿と活用の両立が実現できる。

これらの機器・ネットワーク・データのセキュリティ技術によって、安全安心な社会実現への貢献を目指す。

3.4 通信ネットワーク技術

当社は、IoTを支える通信ネットワーク技術として、様々な機器をシステムにつなげるためのフィールドネットワークに向けた有線通信と無線通信の技術開発に取り組んでいる。

有線通信技術では、Ethernet^(註1)技術をベースとした、低遅延と高信頼化を実現するTSN(Time Sensitive Networking)の標準化がIEEE 802委員会で行われている。Ethernetは、既にパソコン等の通信インタフェースとして普及しており、Webアクセス等で汎用的に使われるIP(Internet Protocol)通信と親和性が高い。TSNの標準化では、従来個別のネットワークで接続されていた車載機器や産業機器を、IP通信によるインターネットサービスにシームレスに接続し、かつ、車載や産業分野で要求される低遅延時間での転送を実現するため、Ethernetに対する遅延性能改善や高信頼化に必要な機能追加を行う予定である。当社は、TSNに基づくEthernet転送技術の開発に取り組んでいる。

無線周波数には、無線局の免許が必要なライセンスバンドと免許が不要なアンライセンスバンドがある。自動車や鉄道、ビルや工場、橋などの社会インフラを対象として、設置利便性やリアルタイム性、信頼性を確保するには、ライセンスバンドとアンライセンスバンドそれぞれを用途によって使い分けるとともに、高信頼・低遅延化技術の適用が必要となる。当社は、鉄道や高速道路等の高速移動体を対象として、リニアセル構築技術、無線LAN等のアンライセンスバンドを用いる機器からの耐干渉性を高めた耐干渉無線技術といった高信頼・低遅延化技術の開発に取り組んでいる。また、広範に普及して様々な端末・デバイスが利用している無線LANに関して、マルチホップ

機能によってネットワーク配線を不要とした無線LANアクセスポイントに、バッテリーを組み合わせることで電源配線も不要とし、簡易又は一時的なネットワーク構築を可能にすることで利用シーン拡大を目指した開発を行っている⁽⁷⁾。920MHz帯特定小電力無線は、電波が届きやすく、消費電力が小さい特長を活用して、スマートメータ、家庭、工場、ビル、公共インフラ等、様々な分野への活用が期待される。920MHz帯特定小電力無線に関して、自動検針や宅内電力の見える化に加え、デマンドレスポンスにも対応可能なスマートメータの通信ネットワーク技術の開発を行っている⁽⁸⁾。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス㈱の登録商標である。

3.5 システム構築技術

IoTシステムの構築では、Web/アプリケーションサーバ、ゲートウェイ(GW)、及び端末の上で連携して動作するソフトウェアの開発が必要になる。それぞれの構成要素は処理能力が大きく異なり、構成要素間の通信経路にも速度や品質に差があるため、機能の分散配置や障害耐性等、ソフトウェア設計時に考慮すべき事項が多い。アプリケーションごとにソフトウェアスタック全体を設計するのは非効率的であり、共通的な機能を抽出して部品化することが重要となる。図3にこの方針に基づくIoTシステムの全体構成例を示す⁽⁹⁾。

機器が送信するデータを利用するサーバアプリケーションに対しては、クラウド上でデータを受信し、データベースに格納する処理を仮想サーバ単位でM2M(Machine to Machine)サーバとして部品化する。データベースはKVS(Key-Value Store)型とし、任意の機器データをデータ型名とともに記録することで、データ変換等の処理の詳細を柔軟に変更可能とする。処理効率が問題になる場合は、変

換結果を別の関係データベースシステムに格納して利用する。

また、機器に対して要求を送信するサーバアプリケーションに対しては、機器をインターネット上に公開することなくクラウドサーバとの双方向通信を可能にするメッセージ中継機能(ブローカ)を部品化する。

IoTシステムには、接続機器数や端末数の増加に対応するスケーラビリティが求められる。そこで、上記データ受信やメッセージ中継機能は、M2Mサーバの増設によってスケールアウト可能な設計としている。

当社では、これらの方針に基づくPaaS(Platform as a Service)環境“DIAPLANET”を提供している⁽¹⁰⁾。

4. む す び

IoTがもたらす未来の例と、IoTを支える基盤技術に対する当社の取組み内容を述べた。IoTの社会実装に資する標準化に向けて、ISO/IEC JTC1, IIC等複数団体が活動しており、技術開発に加えて標準化の取組みも進めていく。IoTがもたらす未来は、生産性向上、ユーザーの利便性向上といったメリットを産業・社会等へもたらすことが期待される。一方で、収集される情報範囲の拡大、情報システムによる実世界のモノの制御範囲の拡大などによって、新たな課題が発生すると考えられる。当社は、これらの課題解決に資する、IoTがもたらす未来の実現に必要な基盤技術の開発に引き続き取り組んでいく。

参 考 文 献

- (1) http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousoukou.pdf
- (2) <http://www.mitsubishielectric.co.jp/building/automation/facima/solution/security/index.html>
- (3) <http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2015/0721.pdf>
- (4) <http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2015/0205.pdf>
- (5) <http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2016/pdf/0217-f.pdf>
- (6) <http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2016/0204.html>
- (7) <http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2015/0128-a.html>
- (8) <http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2014/pdf/0213-s09.pdf>
- (9) 田村孝之, ほか: IoTプラットフォームのアーキテクチャ, 三菱電機技報, 90, No.7, 383~387 (2016)
- (10) 伊藤正裕, ほか: 三菱電機スマート制御クラウドサービス“DIAPLANET”, 三菱電機技報, 89, No.8, 430~433 (2015)

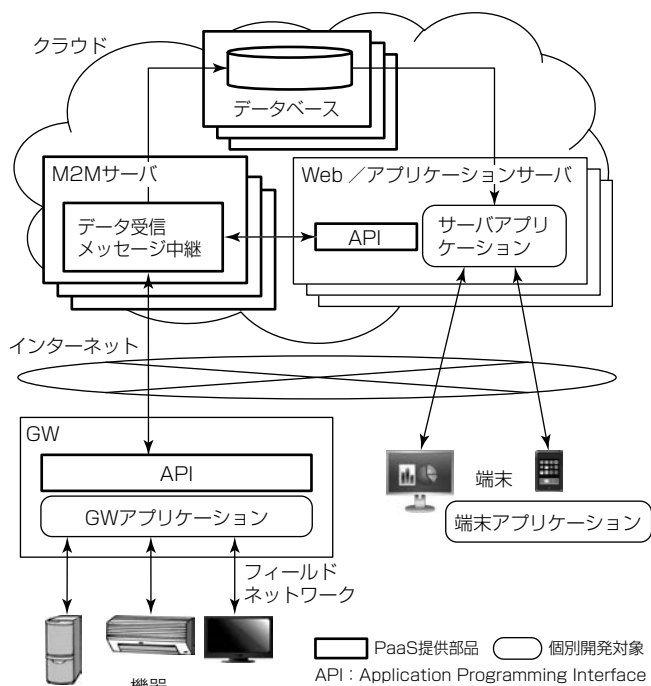


図3. IoTシステムの全体構成例