次世代エッジデバイス基盤開発とその適用

Fundamental Development and Application of the Next Generation Edge Devices

ぺれら まどぅら PERERA, Madhura　竹内　志郎 TAKEUCHI, Shiro　濱田　公介 HAMADA, Kosuke

IoT システムは、クラウドシステムの利用を最小限に抑え、現場でデータ収集から分析までを完結させたいというニーズが高まっている。富士電機は、現場設備からデータを収集しクラウドシステムに中継するエッジデバイスの基盤を開発している。次世代エッジデバイスとして、ハードウェアは、有線・無線の多様なコネクティビティを実現し、処理能力を向上することでさまざまな製品への適用が可能である。また、高い拡張性を実現したビジネスアプリケーションフレームワークをはじめ、利便性の高いソフトウェアを搭載した。

There is a growing need for IoT systems to minimize the use of cloud systems and enable data collection and analysis to be completed in the field. Fuji Electric is developing a platform for “edge devices” that collects data from on-site equipment and relays them to cloud systems. This next-generation device has hardware that delivers enhanced processing power and diverse connectivity in wired and wireless networks, allowing it to be used for a broad range of products. It also includes highly scalable business application frameworks and other convenient software.

1　まえがき

従来の IoT（Internet of Things）システムは、クラウドシステムを中心に構成されていたが、最近では、クラウドシステムの利用を最小限に抑え、IoT システムを適用する工場敷地内などの現場でデータ収集から分析までを完結させたいというニーズが高まっている。それに伴い、現場設備からデータを収集し、クラウドシステムに中継するエッジデバイスに対する要件も変化しつつある。

富士電機では、こうした新たな要件の実現を狙ったエッジデバイスの基盤を開発している。本稿では、この次世代エッジデバイス基盤開発と、富士電機の食品流通分野向け製品への適用事例について述べる。

2　IoT システムの技術動向

2.1　エッジコンピューティングへの期待

従来の IoT システムでは、工場などの現場にある機器のさまざまな情報を、エッジデバイスを中継してインターネット上のクラウドシステムにて収集する構成を基本とする。収集したデータはクラウドシステム上で AI（人工知能：Artificial Intelligence）技術などを用いたアプリケーションで分析する。

この従来構成には一部の顧客にとって次の懸念があり、IoT システム導入の障壁となっていた。

(a)　エッジデバイス − クラウドシステム間での通信コストの増加

(b)　通信に関わるオーバヘッドなどによる、データ収集からクラウドシステム上でのデータ分析完了までに要する処理時間の増加（リアルタイム分析が困難）

(c)　データをクラウドシステムに送信することによる、データ流出などのセキュリティ上のリスクへの懸念

こうした懸念を解消する、データをクラウドシステムに送らない現場完結型の IoT システムが注目されている。例えばクラウドシステムの代替として、顧客の工場内にサーバ PC を配置し、そこでデータを収集、分析するような構成である。このように、現場に設置されたサーバ PC などでデータ処理を行うことを、エッジコンピューティングと呼ぶ。

このエッジコンピューティングを活用した新たな IoT システムでは、そのコンピューティング基盤としてエッジデバイスの活用が期待されている。特に、エッジデバイスは現場設備に近い環境で設置されるためリアルタイムでデータ収集や分析を実現できる可能性がある。エッジデバイスはいわゆる“組込み機器”であるため、クラウドシステムやサーバ PC を完全に代替することはできないものの、相応の機能および性能を分担することにより、サーバ PC を必要最小限の性能としたり、台数を削減したりしてシステム全体のコストダウンができる可能性がある。

2.2　エッジデバイス向けのコンピューティング技術

近年、エッジデバイスに利用できるコンピューティング技術は大きく進化している。これはスマートフォンの普及によるところが大きく、コンピューティングデバイスの高密度化、多機能化、省電力化の進展は顕著である。コンピューティングに必要な要素（CPU、GPU、Security、Multimedia など）を一つのチップに集約した SoC（System on a Chip）の機能・性能向上、小型化が進んでいる。さらにこの SoC とメモリや有線通信（USB〈注1〉、Ethernet〈注2〉など）、無線通信（Wi−Fi〈注3〉、Bluetooth〈注4〉、cellular〈注5〉など）などを一つのモジュールに統合した SoM（System on Module）の進化も大きく、その活用が進展

している。この SoM はモジュールとのインタフェースなどに関する国際標準規格の制定が行われており、モジュールベンダ間の競争による低価格化が進み、さまざまな組込み機器への採用が容易となった。

一方、SoC、SoM の採用にデメリットもある。多機能であるがゆえ、そのファームウェア（ハードウェアを制御するためのソフトウェア）の開発工数が膨大になることである。しかし、SoC、SoM ベンダ自体がファームウェアのサンプルを提供することが一般的になっており、ユーザーはそれを活用することで製品開発スピードを加速できるようになった。また、これらのファームウェアはライセンスフリーのオープンソースソフトウェア（OSS：Open Source Software）化されていることがほとんどであるため、ユーザーは自らの製品設計に応じたファームウェアの改変が容易となっており、ソフトウェア開発の面でも SoC、SoM の組込み機器に採用されるようになった。

3　小売業における最近の課題

富士電機は、実店舗を運営するスーパーマーケットやコンビニエンスストアの事業者に、店舗内に設置するショーケースやカウンター什器、店舗システムなどを提供している。また、飲料をはじめとするさまざまな物品を無人かつ 24 時間営業で販売できる自動販売機を、飲料メーカーや運用事業者などに提供している。これらの小売業を取り巻くビジネス環境は昨今大きく変化し、新たな課題が顕在化している。

3.1　社会課題への取組みの強化

店舗運営における従来の主な課題は、オペレーションの効率化により人手不足を解消し、損益改善につなげることだった。

昨今、SDGs（持続可能な開発目標：Sustainable Development Goals）が広く認知されるようになった。また、CSR（Corporate Social Responsibility）が企業評価の大きな柱となり、投資家のみならず一般消費者も企業の CSR への取組みを重視しつつある。コンビニエンスストアもこの流れを受けて、温室効果ガス削減および食品ロスの削減に取り組んでいる。この取組みを実現するためには、店舗運営における一層の省エネルギー（省エネ）が不可欠である。これまでに取り組んできた店舗内の什器単体あるいは店舗内で完結する仕組みでは不十分であり、例えば店舗内外と連携した照明や空調、各什器の最適制御やデマンドレスポンスとの連動、それらを含めたエネルギーマネジメントなどが求められている。

3.2　マーケット、消費嗜好（しこう）の変化への対応

自動販売機の運用事業における従来の主な課題は、1 台当たりの売上増加と、経費削減である。これに対して富士電機ではデジタルサイネージを活用した自動販売機単体での販売促進機能や IoT 技術によるオペレーション効率化のための機能を開発してきた。

現下のコロナ禍による消費者の行動変化により、既存の飲料自動販売機市場は大きな影響を受けた一方で、人と対面せずに 24 時間いつでも商品を購入できるという自動販売機の特性が改めて注目され、新たな物品自動販売機のニーズが生まれている。このようなマーケットの変化を捉えた新しいサービスを速やかに具体化することがこれまで以上に重要な課題となっている。これを実現するためには、概念実証（PoC：Proof of Concept）を効率的に行うことができる仕組みが求められる。

4　次世代エッジデバイスの特徴

3章で述べた課題を実現する手段として、エッジコンピューティングを活用した新たな IoT システムを導入することが有効であると考えられる。店舗機器あるいは自動販売機にエッジデバイスを搭載して必要な情報を自律的に収集・分析し、店舗内の各設備を協調的に制御したり、自動販売機のデジタルサイネージに条件を合わせて適切なコンテンツに切り替えたりしながら表示する、といったことが実現できると考えられる。このようなエッジデバイスが備えるべき特徴は次のようになる。

(a)　さまざまな周囲の設備や、インターネット上のコンテンツに容易にアクセス可能な有線・無線を含めた高機能なコネクティビティ

(b)　カメラからの画像データなどを取り込み、AI を活用してそれらをリアルタイムに分析できる高い処理能力

(c)　ニーズに応じて速やかな機能の追加変更を可能にする汎用性のあるアプリケーション開発環境の提供、およびそのアプリケーションの入替えの容易性

このような特徴を備えるために、ハードウェアおよびソフトウェアの要件を再定義して、次世代エッジデバイスのプラットフォームを開発した。その詳細を次に述べる。

4.1　ハードウェアプラットフォーム

次世代エッジデバイスでは顧客のさまざまなニーズを実現できる柔軟なハードウェアが必要である。そこで、顧客のニーズを実現するための新たなサービスに必要となる機能を検討し、今後の技術動向も想定して、次世代エッジデバイス仕様を定義した。

図 1 にエッジデバイス（プロトタイプ）の外観を、**表 1** にその主な仕様を示す。

〈注 1〉USB：USB Implementers Forum の商標または登録商標

〈注 2〉Ethernet：富士フイルムビジネスイノベーション株式会社の商標または登録商標

〈注 3〉Wi－Fi：Wi－Fi Alliance の商標または登録商標

〈注 4〉Bluetooth：Bluetooth SIG, Inc. の商標または登録商標

〈注 5〉cellular：cellular communication system

図１　エッジデバイス（プロトタイプ）

表１　エッジデバイスの主な仕様（ベースモデル）

構成要素		仕様
プロセッサ		Cortex*1 -A53 Quad Core + Cortex-M7
メモリ		eMMC 32 GB
		LPDDR4 1 GB
ストレージ		SDカード
時計		RTC
インタフェース	Ethernet*2	Gigabit Ethernet（GbE）
	無線通信	Bluetooth*3 5.0
		Wi-Fi*4 4
		cellular*5 4 G CAT-4
	USB	USB*6 3.0 Host
		USB2.0 Function
	シリアル	RS-232C、RS-485、I2C、SPI
	映像	LVDS、HDMI
	マルチメディア	MIC、Speaker
	入出力	LED、SW、DIO

＊1　Cortex：Arm Ltd. の商標または登録商標
＊2　Ethernet：富士フイルムビジネスイノベーション株式会社の商標または登録商標
＊3　Bluetooth：Bluetooth SIG, Inc. の商標または登録商標
＊4　Wi-Fi：Wi-Fi Alliance の商標または登録商標
＊5　cellular：cellular communication system
＊6　USB：USB Implementers Forumの商標または登録商標

次世代エッジデバイスのハードウェアの特徴を次に示す。

⑴　多様なコネクティビティ

有線および無線のネットワーク通信機能を搭載してクラウドに接続でき、ニーズに合った IoT システムを構築可能である。また、さまざまな機器と接続するための各種外部通信インタフェースや映像、音声入出力機能を備える。技術の進化が速い無線通信機能においては、モジュール化しており、将来のアップグレードを容易に実現可能としている。また、Wi−Fi 通信と cellular 通信のアンテナを内蔵して設置できる構成とした。設置環境に応じて外部アンテナも装着可能としている。

⑵　高い処理能力

従来製品と比べて処理能力を大幅に向上させるため、高性能の SoC と高速・大容量メモリを標準で搭載する。さらに、製品要件に合わせて、SoC のアップグレードやメモリ容量拡大が可能なハードウェアアーキテクチャを採用している。例えば、プロセッサを AI アクセラレータ搭載のものに入れ替えて AI 機能を実現可能である。また、大容量アプリケーションに対応できるように eMMC（embedded Multi Media Card）は 64 GB まで、LPDDR4（Low−Power Double Data Rate 4）は 8 GB までそれぞれ拡張可能である。

⑶　さまざまな用途や環境で使用可能

コンパクトなサイズに設計し、さまざまな機器に搭載しやすくした。また、インダストリアルグレード部品を採用することで、耐環境性能を高めている。

○ サイズ　　：W153×D30×H100（mm）
○ 温度（設置環境）：−20 ～ +70 ℃

4.2　ソフトウェアプラットフォーム

クラウドコンピューティング型 IoT システムでは、適用先によらず標準化されたサービスを提供することが基本であることに比べて、エッジコンピューティング型 IoT システムでは、適用先の現場ごとの個別の課題に最適化したサービスを構築しやすい利点がある。これを実現するには、現場に対応したサービスのために、さまざまなソフトウェア（ビジネスアプリケーション）を作り込む必要があり、その開発の効率化が課題である。今回開発するエッジデバイスは組込み機器の形態を採っているが、組込み機器のソフトウェア開発においては、PC やクラウド向けのソフトウェア開発とは異なり、ハードウェアに関する知識やそれを活用するためのノウハウなどの専門知識が求められ、難易度が高い。また、作成したソフトウェアを組込み機器に搭載する際も、専門のツールが必要になるなど、容易にソフトウェアを入れ替えられない場合が多い。

ソフトウェア開発の容易化を狙いとした、次世代エッジデバイス基盤に搭載するソフトウェアプラットフォームの全体構成を**図 2** に示す。このプラットフォームでは、エッジデバイスの基本機能をファームウェアとして標準搭載し、その上に個別の課題を解決するためのソフトウェア、すなわちビジネスアプリケーションの開発を容易にするための“ビジネスアプリケーションフレームワーク”を搭載する。**表 2** にソフトウェアプラットフォームの構成要素を示す。この特徴を次に示す。

⑴　Linux〈注 6〉OS 搭載

OS（Operating System）として、世界中で広く使われている OSS である Linux OS を採用した。これにより、ソフトウェア開発者にとって開発環境の構築が容易になり、PC 向けやクラウド向けのソフトウェア開発ノウハウを生かすことができるので、特にビジネスアプリケーション開発の効率向上が期待できる。

⑵　フルサポートの BSP 搭載

ソフトウェア開発者がハードウェアプラットフォームに

〈注 6〉Linux：Linus Torvalds 氏の日本およびその他の国における商標または登録商標

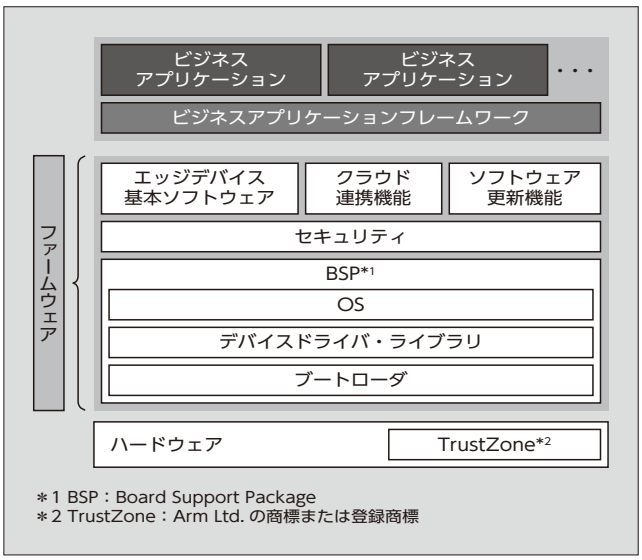

図 2　ソフトウェアプラットフォームの全体像

表 2　ソフトウェアプラットフォームの構成要素

構成要素	概要
BSP（Board Support Package）	ハードウェアを動作させるための次のソフトウェア群を内蔵 ○ブートローダ 電源投入直後に実行されるソフトウェア 不正なプログラムの動作を防止するセキュア起動に対応 ○デバイスドライバ・ライブラリ ハードウェア（基盤）上の各デバイスを利用するためのドライバやライブラリの集合体 ○OS Linux*1 5.15を採用
セキュリティ	Armマイコンで利用可能な“TrustZone*2”を用いた、セキュアなソフトウェア実行環境
エッジデバイス基本ソフトウェア	エッジデバイスの基本的な機能をまとめたソフトウェア ○データ収集機能 ○システム監視機能 ○ネットワーク管理機能 ○時計機能、ログ機能 ○システムメンテナンス機能 など
クラウド連携	エッジデバイスとクラウドシステム（各ITベンダなどが提供する各種クラウド）と通信やデータ連携を行うための機能
ソフトウェア更新	オフラインまたはオンラインでのソフトウェア更新機能
ビジネスアプリケーションフレームワーク	ビジネスアプリケーションを管理し、動作させるフレームワーク

＊1　Linux：Linus Torvalds氏の日本およびその他の国における商標または登録商標
＊2　TrustZone：Arm Ltd. の商標または登録商標

搭載された全てのハードウェア機能を容易に利用可能とするため、それらのハードウェアの初期化や利用するためのデバイスドライバなどをワンパッケージとし、富士電機の品質基準をクリアした BSP（Board Support Package）をファームウェアとして搭載する。

⑶　コンテナ技術を採用したビジネスアプリケーションフレームワーク

ビジネスアプリケーションの開発効率向上やその搭載を容易にするために、“コンテナ”と呼ばれるアプリケーションの動作環境を仮想的に構築する技術を採用した。**図 3** にビジネスアプリケーションフレームワークの構成を、**表 3** に構成要素を示す。

図 3　ビジネスアプリケーションフレームワークの構成

表 3　ビジネスアプリケーションフレームワークの構成要素

構成要素	概要
コンテナ	ビジネスアプリケーションを動作させる仮想的なエッジデバイス
ビジネスアプリケーション	仮想的なエッジデバイスを独占して単独で動作するアプリケーション
コンテナ管理ソフトウェア	コンテナを管理、動作させるための管理用ソフトウェア（例：Docker*Engine）
MQTTブローカー・クライアント	ビジネスアプリケーションがコンテナ外の機能とデータ通信をするための通信機能・プロトコル

＊Docker：Docker, Inc. の米国およびその他の国における商標または登録商標

コンテナ技術とは、一般的な PC を例とすると、PC の中に仮想の PC を作成し、その仮想 PC 上でアプリケーションを動かす技術であり、仮想 PC 一つ一つをコンテナという単位で管理する。本ソフトウェアプラットフォームではコンテナの作成や管理を行うコンテナ管理ソフトウェアとして、クラウドなどで標準的に用いられている Docker Engine〈注 7〉を採用した。このビジネスアプリケーションフレームワークにより、ビジネスアプリケーションの開発者は、ハードウェアに関する詳細な知識やファームウェア、または他のビジネスアプリケーションを意識せずに、その開発を行うことができる。また、アプリケーションの更新は Docker Engine の機能を用いて容易に実施できる。

⑷　高いセキュリティ

ブートローダ（電源投入後に最初に起動されるソフトウェア）、OS、その他のソフトウェアに対して、起動時にセキュリティ認証などを行うことで不正なソフトウェアが起動できない仕組みを構築している。

〈注 7〉Docker：Docker,Inc. の米国およびその他の国における商標または登録商標

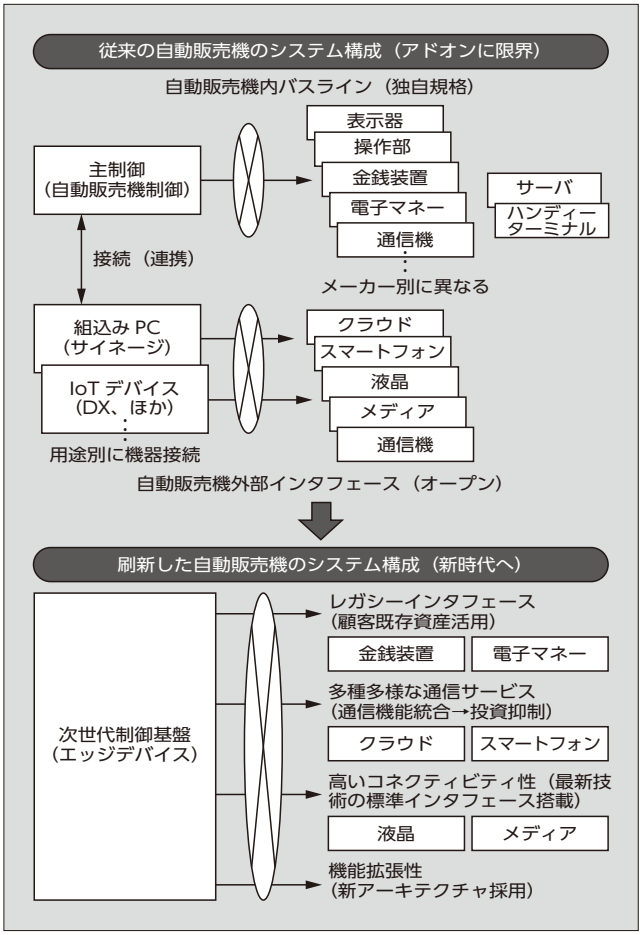

図 4　自動販売機のシステム構成

4.3　食品流通分野向け製品への適用事例

⑴　自動販売機

現在、次世代エッジデバイスを適用した次世代型自動販売機を検討している。自動販売機のシステム構成を**図 4** に示す。20 年以上使い続けてきた従来の自動販売機のシステム構成を大きく刷新することにより、新たな価値を創出できると考えている。例えば、次世代エッジデバイスの無線通信機能を使って、自動販売機への商品の補充などの運用作業を行う運用事業者（オペレーター）が持っているスマートフォンと接続することにより、自動販売機のさまざまな設定を入力するリモコン機能をスマートフォンで実現できる。従来の自動販売機に付属する操作リモコンと比べて圧倒的に使いやすいリモコンとなる。他にも多くの新しい機能が次世代エッジデバイスを使用することで実現できる。

⑵　店舗

将来、店舗の一層の省エネを実現するためには、店舗内の各設備や機器を連携させるだけでなく、店舗外の各システムとも連携させて、これまでは実施できなかった省エネ施策を可能にする必要がある。このシステムの中核となる次世代の“新店舗コントローラ”に求められる要件としては、外部のシステムとの間でネットワーク通信を行うための有線通信や無線通信の機能、店舗内の各設備・機器と接続するための通信機能などの高度な情報処理を高速に実行できる性能などが挙げられる。次世代エッジデバイスを適用すれば、従来の店舗コントローラでは実現できなかった、このような要件を満たすことができると考える。

5　あとがき

次世代エッジデバイスの基盤開発とその適用について述べた。

自動販売機や店舗向けの製品だけではなく、ファクトリーオートメーションの用途をはじめとするさまざまな製品への展開を検討中であり、今後もお客さまの多様化し続けるニーズにスピーディに応えていく所存である。

ぺれら まどぅら

組込システムの研究開発業務に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部デジタルイノベーション研究所デジタルプラットフォームセンター組込システム研究部マネジャー。

竹内　志郎

組込システムの研究開発業務に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部デジタルイノベーション研究所デジタルプラットフォームセンター組込システム研究部主任。

濱田　公介

組込システムの研究開発業務に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部デジタルイノベーション研究所デジタルプラットフォームセンター組込システム研究部主任。

富士電機

Innovating Energy Technology

＊本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。