

# Cyber-Physicalをつなぐ5G時代の 情報通信マネジメント

## Information and Communication Management in the 5G Era for Connecting Cyberspace and Physical World

● 山田 亜紀子      ● 齋藤 美寿      ● 角田 潤      ● 松本 達郎  
● 堀尾 健一      ● 引地 謙治

### あらまし

5G(第5世代移動通信システム)時代を間近に控え、実世界の人・モノとサイバー世界が融合するCyber-Physicalシステム(CPS)の実現に向けた様々な取り組みが行われている。富士通研究所でも、多様なCPSサービスを容易に社会実装し、今までにない体験を次々と可能とするための鍵となる以下の三つの技術を研究開発している。一つ目の「フィールドエリア管理基盤」は、実世界の多様なデバイスの制御実現に当たってデバイスごとの開発を不要とする技術である。二つ目の「実世界サービス基盤」は、実世界をサイバー空間に実世界オブジェクトとして写像し、実世界の状況に応じて大量のデータを扱うサービスの組み立て・組み替えを効率的に実施可能とする技術である。三つ目の「環境適応型仮想ネットワークング技術」は、使う人や目的に応じて安全なネットワーク環境の構築と制御を可能とする技術である。

本稿では、Cyber-Physicalをつなぐに当たり重要となる上述の二つの基盤技術、および実世界とサービスをタイムリーかつセキュアにつなげるネットワークング技術について述べる。

### Abstract

As the 5th Generation Mobile Communication System (5G) era approaches, various efforts are underway to realize cyber-physical systems (CPS) in which real world people/things and the cyber world come together. Fujitsu Laboratories conducts R&D on key technologies to facilitate the social implementation of diverse CPS services and enable experiences never before possible. The “field area management platform” makes possible control of various devices in the real world without having to develop separate technology for each device. The “real-world service platform” makes possible the mapping of the real world as “real-world objects” into cyber space to enable the efficient implementation, in line with real world conditions, of the combining and recombining of services that handle large amounts of data. The “environmentally adaptive virtual networking technology” makes possible the construction and control of secure network environments based on the attributes of users and their purposes. This paper describes the two above-mentioned platform technologies, which are important for connecting the cyber and the physical worlds, and the networking technology to connect the real world and services in a timely and secure manner.

ま え が き

2017年2月に富士通が実施したオンラインアンケートによると、ビジネスリーダーの89%がデジタル革新への取り組みを開始しているという<sup>(1)</sup>。デジタル革新時代においては、実世界のあらゆるものをデジタル化してサイバー空間に写像し、様々なアプリケーションと連携させることで、より安全かつ効率的で高度な社会を創り出すCyber-Physicalシステム（CPS）の実現が求められる。

既に、Uberは自家用車を、Airbnbは部屋を、クラウドソーシングは人々のスキルをサイバー空間で発見・利用できるものに換えている。そして、これらを必要としている人とつなぐことで、シェアリングエコノミーという新たな経済構造を創出し、既存の業界構造を塗り替えつつある。

富士通研究所では来る5G（第5世代移動通信システム）時代に備え、つながる対象を人・モノ・データ・サービスなどへと飛躍的に拡大し、多様なCPSサービスを効率的に創出するための技術を研究開発している。これによって、既存の業界構造を塗り替える動きを更に加速させ、今までにない体験を次々と可能にしている。

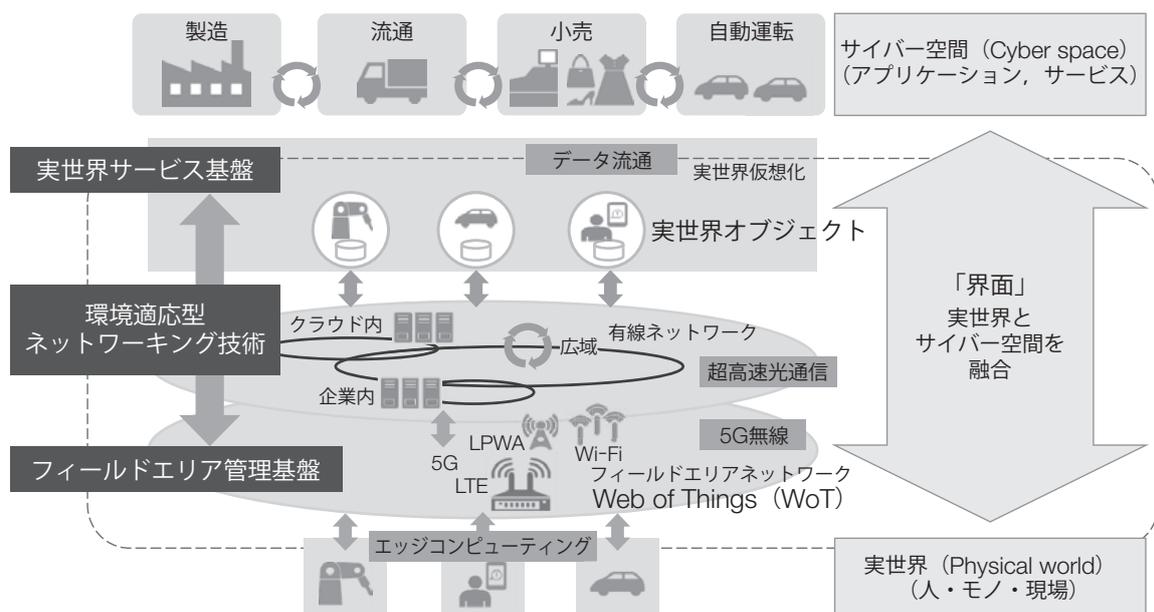
本稿では、実世界の人・モノを簡単にCPSにつなぐ「フィールドエリア管理基盤」、サイバー空間

上でアプリケーションが簡単に実世界の人・モノの状態を検知し、サービスの提供を可能にする「実世界サービス基盤」、更に個々の利用シーンに応じて実世界とサイバー空間をセキュアにつなぐ「環境適応型仮想ネットワーク技術」について述べる。また最後に、それ以外の様々な課題を解決するために研究開発を進めている技術について言及する。

Cyber-Physicalを簡単かつ安全につなぐために

沢山のものがつながるようにし、CPSの社会実装を加速していくためには、解決すべき様々な課題がある。これまで、実世界の人・モノ・現場の状況などのデータをサービスから利用できるようにするまでには、煩雑な手順が必要であった。例えば、サービスごとに個別の設定や開発などが必要であることなどが、スムーズな実装を妨げるハードルの一つとなっている。

そのため、富士通研究所は「実世界空間とサイバー空間が融合する領域＝界面」に機能を持たせることで、簡単かつ安全にCPSの構築・利用を可能とする技術を開発している（図-1）。実世界側の界面としては、W3C（World Wide Web Consortium）で標準化中のWoT（Web of Things）<sup>(2)</sup>によって、様々なデバイスを容易に扱える運用基



LPWA : Low Power Wide Area

図-1 CPSの社会実装に向けた研究開発の取り組み

盤を提供する。WoTは、あらゆるデバイスをWeb技術で扱えるようにする技術である。WoTのAPIを提供することで、既存のWebサービスや業務アプリケーションとデバイスを連携させた新たなアプリケーション創出を加速できる。

サイバー空間側の界面では、アプリケーションやサービスを創出する際に容易に実世界の大量のモノ（実世界のオブジェクト）と連携できる基盤を提供する。CPSで必須となるネットワークングについては、実世界の状況などに応じて、モノ・サービスなどの適切な接続や切断を容易に可能とする。これらの三つの領域の技術について、次章以降で詳細に述べる。

### フィールドエリア管理基盤

CPSでは、現場（フィールドエリア）にデバイスを設置し、それらをネットワークに接続させてサービスを提供する。このような現場で利用されるデバイスは、インターフェースが統一されていない、通信が不安定な無線を利用する、リソースや機能が限定されているといった問題がある。このため、多様なデバイスをサービスから利用可能であると同時に、安全で安定したシステム運用の

実現は容易ではない。

富士通研究所はこうした問題の解決に向けて、フィールドエリアの運用管理基盤技術の開発を進めている。本章では、サービスからデバイスを利用しやすくするための技術について説明する。

現場で利用される様々なデバイスの無線規格やプロトコルは、デバイスごとに異なることが多い。そのため、新たなデバイスをサービスから利用するためには、デバイスごとに個別の開発が必要となり、開発・導入コストが増大するという問題があった（図-2左）。

この問題を解決するために、任意のデバイスを共通のインターフェース {API (Application Programming Interface) とデータモデル} を持つ共通形式のデバイス（仮想デバイス）として管理するデバイス仮想化方式を考案した<sup>(3)</sup>。本方式では、デバイスの機能をデバイスの種別ごとに定義したプロパティに対する操作としてモデル化する。これにより、デバイスのプロパティに対して、get（デバイスのデータや状態取得）、set（デバイスの機能の制御）、subscribe（デバイスのデータや状態の変更通知依頼）、notify（デバイスのデータや状態の変更通知）の4種類のオペレーションを呼び出すこ

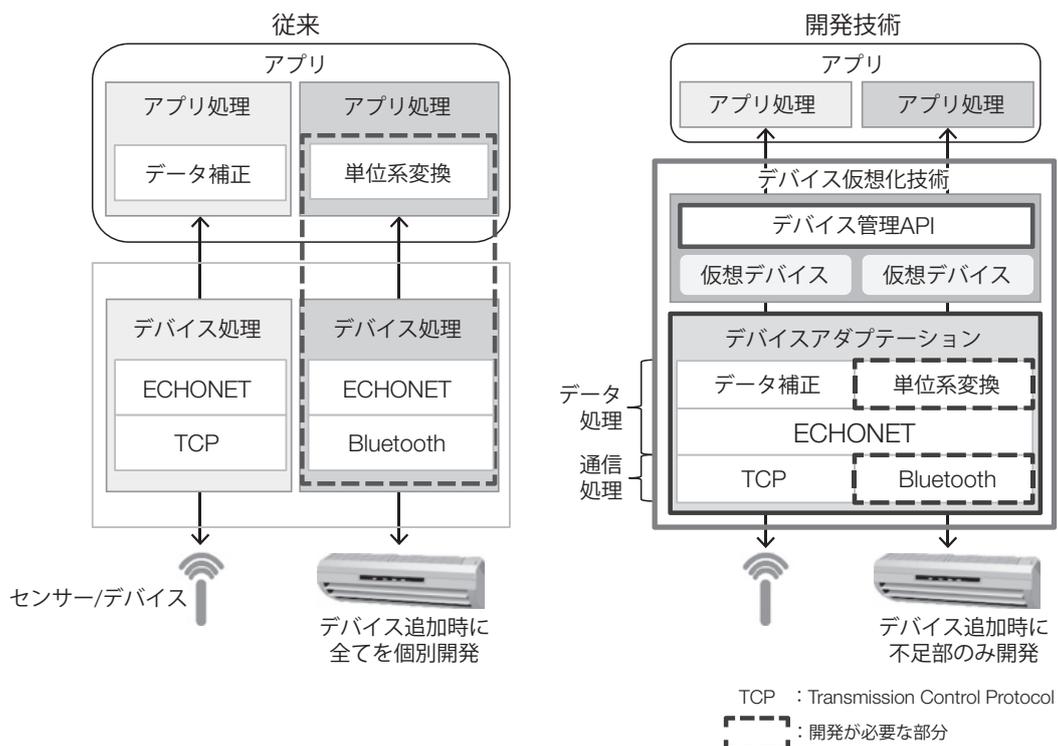


図-2 デバイス仮想化技術

とで、あらゆるデバイスの機能が制御可能となる。

本方式では、デバイスごとのプロトコル処理を終端するデバイスアダプテーション技術と、アプリケーションから仮想デバイスを操作するデバイス管理APIがポイントとなる（図-2右）。

### (1) デバイスアダプテーション技術

IP (Internet Protocol) などの通信処理を行うアダプターと、ECHONET (家電向けの通信規格)<sup>(4)</sup> や単位系変換などのデータ処理を行うアダプターを組み合わせて、様々なデバイスのプロトコル処理に対応できるようにした。従来は、新しいデバイスの接続時にアプリ処理とデバイス処理を全て開発していたが、本技術を用いることによって、不足するアダプターのみを開発すればよい。従来のデバイス処理を通信処理とデータ処理に分割したところ、新規デバイスの接続時に必要となる開発量が1/2 ~ 1/3に削減できることが確認できた。

### (2) デバイス管理API

仮想デバイスを操作するデバイス管理APIは、前述の4種類のオペレーションを実現するソフトウェアモジュールを入れ替えることで、複数のシステムからも容易に利用できる構成とした。一方、広く使われる標準のデバイス管理APIを提供すれば、上位システムごとのソフトウェアモジュールの変更は不要となる。そこで、デフォルトのデバイス管理APIは、現在W3Cで標準化が進められているWoTのWoT Thing Descriptionや、WoT Protocol Binding Templatesのドラフト版に準拠するとともに、本規格の標準化を進めている。

## 実世界サービス基盤

CPS時代においては、実世界のあらゆる人やモノがネットワークにつながり、クラウド上のサービスと連携することで、実世界の状態に応じたきめ細やかなサービスが提供される。

富士通研究所は、実世界サービス基盤の開発を進めてきた。この基盤によって、多様な実世界の状況に応じて、最適な情報やアプリケーションを提供するサービスの開発効率化を実現する。本基盤は、クラウド上に実世界の人・モノの状態とリアルタイムに同期するデータ（以下、オブジェクト）を配置し、クラウド上で実世界の取り扱いを容易にする。

本章では、実世界サービス基盤の基本的な考え方、基盤実装における問題点、開発技術、および適用例を紹介する。

### ● 実世界サービス基盤の考え方

CPSへの期待は、特定の現場の情報を詳細・正確に把握する個別の問題解決から、複数の現場・業務・業種にまたがった広域最適化や新たなサービスの創出へと広がっている。複数サービスの連携による広域最適化と、現場の状況に即したサービス動作の変更を可能にすることは、従来のデバイスとサービスが密着した垂直統合型のサービス開発では難しい。したがって、特定の機能単位を柔軟に組み合わせることで、サービスを発展的に開発・変更可能な組み立て型の開発が求められている。

そこで、組み立て型開発を容易にするために、実世界の人・モノもWeb API化することによって、サービスと相互に連携して柔軟に組み合わせできることを基本的な考え方として、実世界サービス基盤の開発を進めた。

### ● 問題点

前節の考え方に基づいて、実世界と連動したサービスを開発・運用する上での問題点を以下に述べる。

#### (1) サービス開発の問題点

##### ・問題点1

膨大な量のセンサーや機器などのIoTデバイスがネットワークにつながりつつあるが、それぞれのインターフェースや機能が異なっている。そのため、IoTデバイスごとの仕様を熟知していなければ、それらを活用したサービスの開発が難しい。

##### ・問題点2

IoTデバイスを活用するサービスは、その内容によってIoTデバイスから得られるデータの形式や受信タイミングが異なっている。形式変換やタイミング調整をサービス内に実装してしまうと、異なるIoTデバイスを利用する場合にサービスの改修が必要となる。

#### (2) サービス運用の問題点

##### ・問題点3

実世界の状況をリアルタイムに捉え、状況に応じたサービスを安定して提供するためには、大量のIoTデバイスから得られる実世界のデータをリアルタイムに処理する必要がある。更には、システ

ム障害が発生した場合には、データの欠損や時間順序の不整合のない迅速な復帰が求められる。

・問題点4

実世界のデータは事前に用意することが難しく、サービスの運用前に仕様を決定することは容易ではない。運用開始後にサービスを継続しながら、実世界のデータに応じて仕様変更を継続的に行っていく必要がある。

● 開発技術

前節の問題を解決するために、以下の技術を開発し、実世界サービス基盤を構築した。

(1) 開発技術1：実世界仮想化基盤技術

問題点1, 2を解決するために、図-3に示す実世界仮想化基盤<sup>(5)</sup>を開発した。本基盤では、実世界のイベントデータと同期した人・モノ単位でクラウド上にオブジェクトを配備し仮想化する。オブジェクトは内部に状態を持ち、状態は対応する人・モノの実世界における状態がリアルタイムに反映される。

オブジェクトは以下の2種類が利用でき、データ処理を追加できるプラグイン機構を有する。

・実世界オブジェクト

実世界の人・モノの最新状態（人の位置や機械の動作など）を状態として保持する。

・サービスオブジェクト

実世界オブジェクトからのイベントを受けて、サービス固有の処理（人の位置情報の変化から活動の負荷を検知、機器の動作状態から異常な連続

動作を警告など）を行い、その結果をオブジェクトの状態として出力する。

・プラグイン

オブジェクトの特定の状態を監視し、その状態の変化をイベントとして捉えてプラグインを起動し、何らかの処理（データ抽象度コントロール、データ形式や型の変換、複数データを組み合わせた新たなデータ生成など）を行った結果を、別の状態として出力する。

(2) 開発技術2：分散イベントデータ処理基盤技術<sup>(6)</sup>

問題点3, 4を解決するための分散イベントデータ処理基盤を図-4に示し、その機能について以下に述べる。

・分散イベントデータ処理

イベントデータを高スループットでリアルタイムに処理するために、OSS（Open Source Software）の一つであるApache Flink<sup>(7)</sup>を採用した。Apache Flinkは任意の状態を分散ノードで保持できる。このため、過去のイベント履歴や、その結果としての現在の状態に応じたサービスを提供する用途に適している。実世界仮想化で規定するオブジェクトのプラグインをApache Flink上のタスクとして各分散ノード上に配備し、イベントデータ処理を行う。

・プラグイン更新

更新するプラグインを分散ノードに順次配信した後、イベントデータの持つタイムスタンプに同

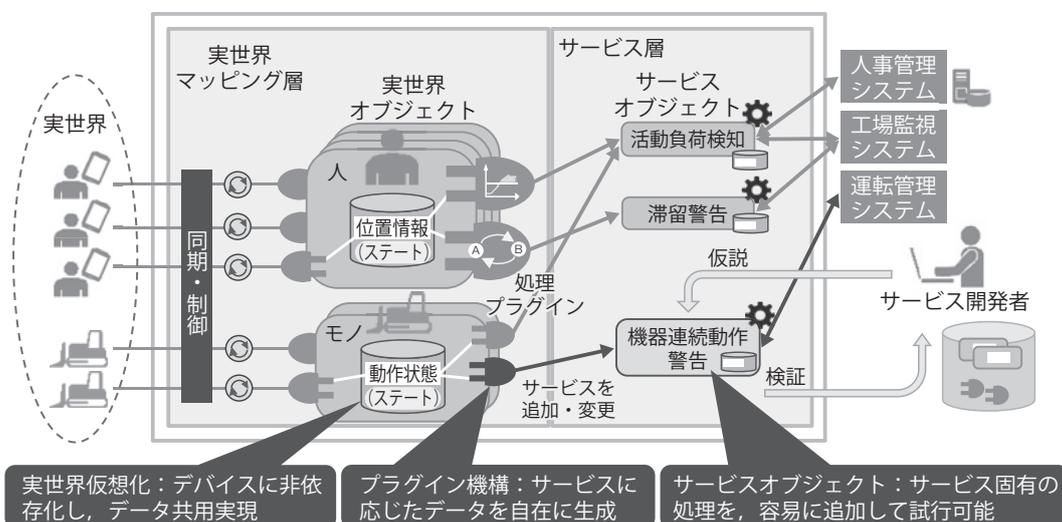


図-3 実世界仮想化基盤技術

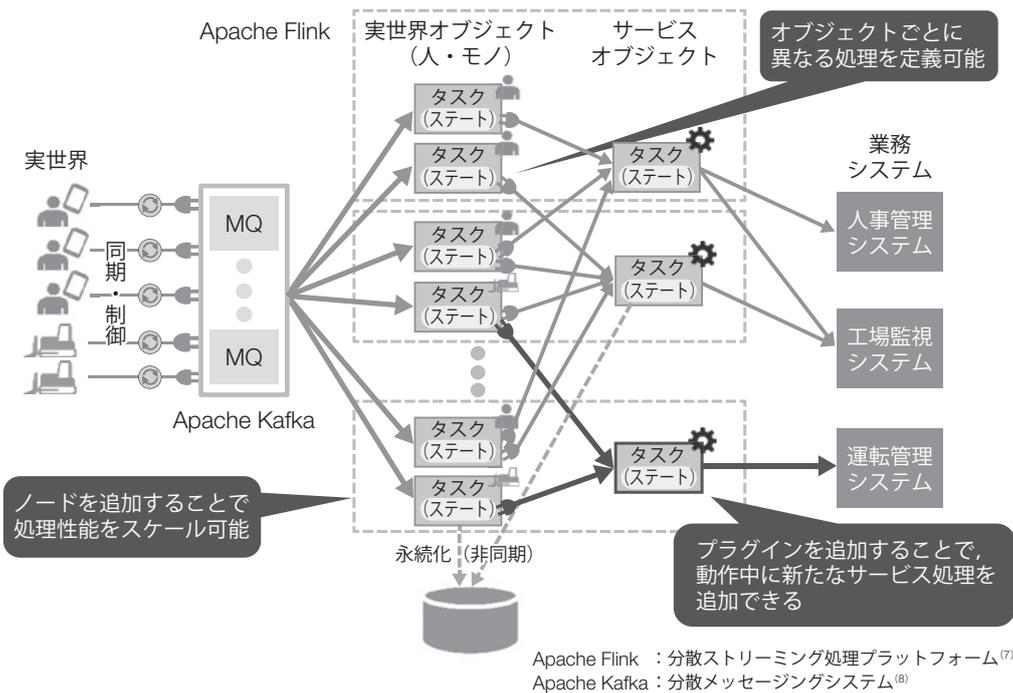


図-4 分散イベントデータ処理基盤技術

期した切り替えを行う。これにより、イベントデータ処理を一時的に停止することなく、処理の一貫性を保ったままプラグインの更新を可能にした。分散ノードに登録されたプラグインのうち、どのプラグインを用いてイベントデータを処理するかは、それぞれのプラグインに設定された有効期間情報を用いて決定する。

● 適用例

本基盤は、人やモノから得られる大量の情報をリアルタイムに処理できるため、コネクテッドカーのデータを活用した自動車保険や運行支援などのサービス、人のデータを活用した高齢者見守りや観光案内など、多様なサービスへの適用が期待できる。

環境適応型仮想ネットワークング技術

CPSでは、様々なモノやサービスがネットワークでつながって、サイバー空間と物理空間が融合する。しかし、モノやサービスを実際にどのようにつなぐべきなのかは、ユーザーの場所や目的、用途に応じて変化する。例えば、異なる企業の従業員が働く場所を共有するコワーキングスペースのようなケースにおいては、簡単かつ安全に社内サービスを活用して働く環境を実現したいという

要望がある。すなわち、社員がその場の設備などを利用している間に限り、自社内のネットワークとの間で必要な情報だけが流れるように安全につなぎたいというものである。

● 問題点

このような要望に応えるためには、モノや人の認証結果に応じて、現場と企業のサービスやネットワークをまとめて制御する必要がある。しかし、各企業の個別要件に合わせて認証方法やサービス、ネットワークを設定すると、運用コストが非常に高くなるという問題がある。なぜなら、コワーキングスペースなどの現場において、ユーザーの目的や用途をヒアリングし、内容に応じて個別に設定することが必要となるからである。

● 開発技術

この問題を解決するために、共有の場所やモノであっても「使う人や目的に応じた仮想ネットワーク環境」(以下、サービス空間)を動的に低コストで構築・制御可能とする「環境適応型ネットワークング技術」を富士通研究所では開発している。本技術を適用したコワーキングスペース向けのシステム構成を図-5に、画面例を図-6に示す。

本技術の特長は、図-5のサービス空間管理マネージャーを軸に、認証機能などのデータ層と連携し、

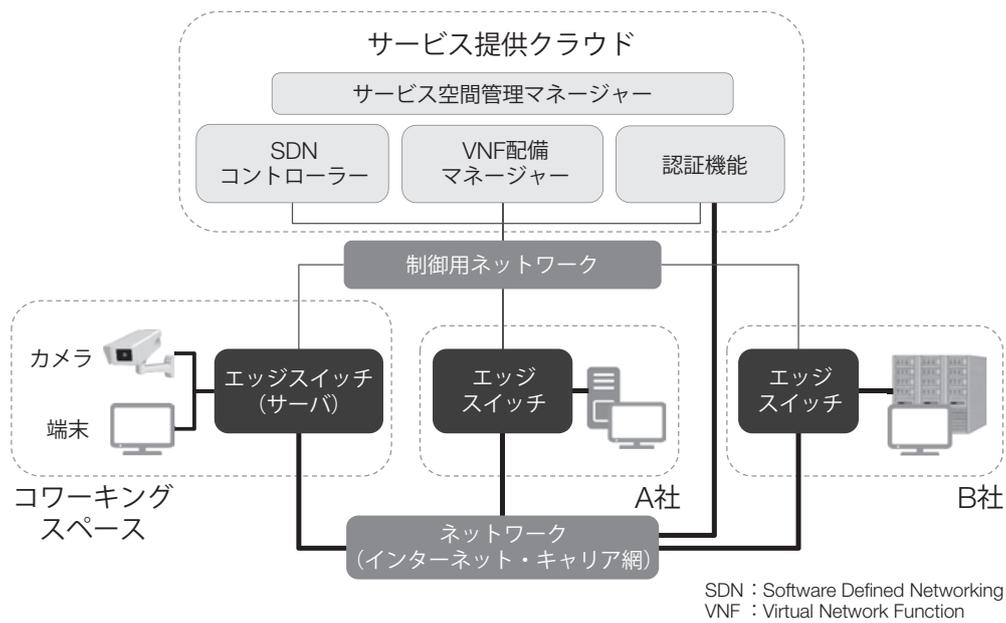


図-5 コワーキングスペース向けのシステム構成

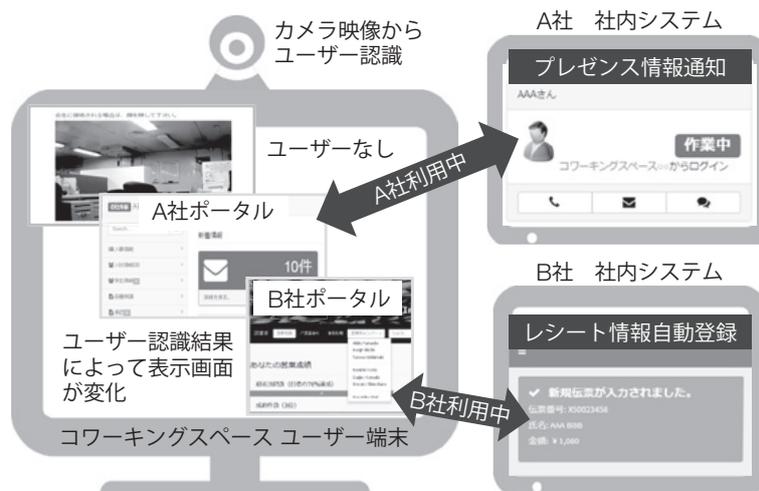


図-6 コワーキングスペースのユーザー端末、および利用企業の社内システムの画面例

SDN (Software Defined Networking) コントローラやVNF (Virtual Network Function) 配備マネージャーがエッジスイッチを制御できることである。これによって、使う人や目的に応じて、安全なネットワーク環境を動的に素早く構築・制御できる。更に、ユーザーごとにサービスデザインを記述するだけで、様々な用途に応じたサービス空間を低コストで作成できる。このサービスデザインは、サービス空間の利用トリガとなるイベントと具体的な制御を示すアクションから構成される。

### ● 適用事例と評価

前述したコワーキングスペースを例に、本システムの動作を説明する。前提として、コワーキングスペースでは設置された様々な機材（端末、カメラなど）を利用できるものとした。また、端末の前に設置されたネットワークカメラを図-5に示した認証機能と連携させて、端末ユーザーを自動的に顔認証によって検出するものとした。更にサービス空間については、イベントとして社員検出を設定すると、顔認証結果に応じたアクションを行うようデザインした。コワーキングスペースにお

表-1 コワーキングスペースにおけるアクションの例

テナントID	イベント	アクション
A社	社員検出	(1) 人事部サーバとの閉域網を構築 (2) 在席・不在検知機能をエッジに配備
B社	社員検出	(1) 経理システムとの閉域網を構築 (2) レシート読取機能をエッジに配備

けるアクションの例を表-1に示す。このサービスデザインを図-5のサービス空間管理マネージャーに適用する。

例えば、A社の人事部員がコワーキングスペース内の端末の前に座ると、A社の社員として認証され、端末がA社の人事部サーバと素早く閉域で接続されアクセス可能となる。更に、在席・不在検知機能がコワーキングスペース内のエッジスイッチ内に配備され、A社側の人事マネージャーにはその人事部員の在席状況が伝わる。一方、B社の営業部員がコワーキングスペース内の端末の前に座ると、B社の経理システムとつながり、「レシート読取機能」が配備される。これによって、カメラを用いてレシートを読み込ませるだけで、レシートの内容がテキスト化されて経理システムに送られる。

これらの機能は、ネットワーク内でカメラ画像をフィルタリング・変換するマイクロサービスである。これを配備することで、カメラに実装されていない在席確認や画像認識といった高度な機能を利用可能とする。言い換えれば、ユーザーがいる空間をより利便性の高いサービス空間にカスタマイズすることが可能となるとともに、画像に含まれる余分な情報をネットワーク内に流さないようにできる。このように、配備する機能や機器を変更すれば、様々な用途に対応できる。また、ユーザーの離席をカメラで検知すると、コワーキングスペースの端末やカメラは各社のネットワークから素早く切り離され、不正なアクセスを防ぐことができる。

本技術によって、モノとサービスをつなぐ際にサービス空間をスムーズに形成し、切り替え、破棄することができ、用途に応じた安全性と利便性が低コストで得られることが確認できた。

### CPSの実現に向けて

富士通研究所では、CPSの実現に向けて本稿で紹介した技術以外にも様々な領域で研究開発を

行っている。

例えば、フィールドエリアネットワーク領域の取り組みとしては、様々なデバイスが多数集まる混雑したエリアでも大容量低遅延で快適につなぐ高信頼な5Gミリ波無線技術<sup>(9)</sup>がある。また、フィールドエリアで使われる無線システムを、干渉などの問題が発生しないよう配慮しつつ簡単に構築するためのフィールドエンジニアリング技術<sup>(10)</sup>もある。一方、有線ネットワーク領域では、CPSの実装が進むに当たって、ますます大容量化する通信を支える次世代超高速光通信技術<sup>(11)</sup>がある。

実世界仮想化の領域では、データ保有者が安心して使えるセキュアなデータ流通基盤であるVPX (Virtual Private digital eXchange)<sup>(9)</sup>を開発している。また、実世界とサイバー空間双方を考慮した最適な分散処理を実現し、快適なデータ流通を支える広域分散実行制御技術 (DRC: Dynamic Resource Controller)<sup>(9)</sup>の開発を行っている。

### む す び

本稿では、CPSを簡単に利用できるようにするために富士通研究所が開発した基盤技術である、フィールドエリア管理基盤技術と実世界サービス基盤技術、更に実世界とサイバー空間をセキュアにつなぐ環境適応型ネットワーク技術について述べた。また、これらが「あらゆるものを簡単につなぐ」だけでなく「実世界の状況に合わせた組み替え可能なサービス開発」を実現し、更に「目的に合わせた環境を作る」ことで、安全性や利便性を確保するCPSの社会実装を効果的に推進・実現するために重要な技術であることを示した。

CPSの社会実装は、2020年の5G導入をきっかけに加速すると予想される。これに向けて、本稿で示した技術だけでなく、データ流通を促進する技術、効率的な処理実行・制御技術、光・無線通信技術についても完成度を高めていく。更に、クラウドサービスなどを通じて必要な技術を広く利用

可能とし、実世界のあらゆることが制限なくサイバー空間とつながり、エンパワーされるCPSサービス提供の実現に貢献していく。

本稿で述べた技術には総務省国家プロジェクト「スマートコミュニティにおけるエネルギーマネジメント通信技術の実現」による成果を含む。北陸先端科学技術大学院大学丹教授をはじめとするご協力いただいた各位に、深く感謝いたします。

## 参考文献

- (1) 富士通：世界15カ国のビジネス・リーダーを対象としたデジタル確信の動向・実態調査を実施。  
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2017/04/18-2.html>
- (2) White Paper for the Web of Things.  
<http://w3c.github.io/wot/charters/wot-white-paper-2016.html>
- (3) 富士通研究所：多種多様なIoTデバイス管理を容易にするプラットフォームを開発。  
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2016/03/10.html>
- (4) ECHONET規格（一般公開）。  
[https://echonet.jp/spec\\_g/](https://echonet.jp/spec_g/)
- (5) 山岡久俊ほか：組み立て型のサービス開発を実現するIoT向けイベント処理基盤の提案。DEIM2018 論文集，2018。
- (6) 中川 岳ほか：Flinkを用いた動的変更可能なIoT向けイベント処理基盤。DEIM2018 論文集，2018。
- (7) Apache Flink：Scalable Stream and Batch Data Processing。  
<https://flink.apache.org/>
- (8) Apache kafka：A distributed streaming platform。  
<https://kafka.apache.org/>
- (9) 富士通：ネットワーク特集。FUJITSU，Vol.69，No.6（2018）。出版予定。
- (10) 富士通研究所：IoTサービスの迅速な提供を実現するフィールドエンジニアリング技術を開発。  
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2016/05/25.html>
- (11) 星田剛司ほか：100 Tbps光通信を実現する光変復調技術と光ノード技術。FUJITSU，Vol.68，No.5，p.95-100（2017）。  
<http://www.fujitsu.com/jp/documents/about/resources/publications/magazine/backnumber/vol68-5/paper13.pdf>

## 著者紹介



**山田 亜紀子**（やまだ あきこ）

（株）富士通研究所  
デジタル共創プロジェクト  
5Gネットワーク普及を見据えたデジタルビジネス創出活動に従事。



**齋藤 美寿**（さいとう みよし）

（株）富士通研究所  
IoTシステム研究所  
IoT/サイバーフィジカルシステムの研究開発に従事。



**角田 潤**（かくた じゅん）

（株）富士通研究所  
IoTシステム研究所  
フィールドエリアネットワークの運用管理技術に関する研究開発に従事。



**松本 達郎**（まつもと たつろう）

（株）富士通研究所  
IoTシステム研究所  
実世界サービス基盤の開発に従事。



**堀尾 健一**（ほりお けんいち）

（株）富士通研究所  
セキュリティ研究所  
デジタルサービス開発、実行の簡易化とセキュア化に関する研究開発に従事。



**引地 謙治**（ひきち けんじ）

（株）富士通研究所  
サービス指向ネットワーク研究センター  
ネットワーク運用管理高度化に関する研究開発に従事。