

IoT 共通基盤技術の確立・実証 (PRISM 追加課題)

Establishment and Demonstration of Common IoT Platform Technologies (PRISM advanced program)

研究代表者

松倉隆一 株式会社富士通研究所
Ryuichi Matsukura Fujitsu Laboratories Ltd.

研究分担者

高橋英一郎[†] 近藤晴彦^{††} 丹康雄^{†††} 大谷朋広^{††††}
Eiichiro Takahashi[†] Haruhiko Kondo^{††} Yasuo Tan^{†††} Tomohiro Ohtani^{††††}
[†]富士通株式会社 ^{††}SMK 株式会社 ^{†††}北陸先端科学技術大学院大学 ^{††††}KDDI 株式会社
[†]Fujitsu Limited ^{††}SMK Corporation
^{†††}Japan Advanced Institute of Science and Technology ^{††††}KDDI CORPORATION

研究期間 平成 30 年度

概要

Society5.0 の実現に向けて、IoT 基盤技術の各分野への社会実装が不可欠である。本課題では、「IoT 共通基盤技術の確立・実証」(元施策)の成果を農業分野へ適用した。現場では ICT 技術を意識せずに利用できるように、IoT 機器は設置後、数年間は無給電、または電池交換不要で、ICT のトラブルは自動的に検出・復旧できるように機能追加をしている。全国の園芸施設 6 か所に合計 1,000 台超の装置を設置し、施設園芸(ハウス栽培)での高温多湿の環境下でも長期動作することを確認した。ネットワーク機器及びデバイス向けモジュールの運用管理機能を追加することで、運用が容易になり適用範囲が広がった。本課題の成果は、農業分野以外にも広く IoT を利用する分野に適用可能である。

1. まえがき

第 5 期科学技術基本計画で掲げられた目指すべき未来社会の姿である「Society5.0」の実現に向けて、内閣府官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)において特定された追加課題として、農業分野等への IoT(Internet of Things)基盤技術の早期社会実装を可能にする IoT デバイス基盤技術やエリアネットワーク自律運用技術等の研究開発を実施し、産学官連携による実証を通じて、IoT ネットワークの大規模な運用を可能とし、耐障害性等に優れた汎用的な IoT 基盤技術を確立し、国際標準化を推進するとともに、当該技術の社会実装を加速する。

農業分野等に IoT の社会実装を加速するためには、IoT の大規模化、長期運用、効率的な管理等を可能とする IoT ネットワーク基盤技術の確立が必要である。このため、本研究開発では、大規模な IoT ネットワークを自律運用させる技術、IoT ネットワークの耐障害性を強化する技術等の研究開発を実施し、産学官連携による実証を通じて、農業分野等に対応した、IoT ネットワークの大規模な運用を可能とし、耐障害性等に優れた汎用的な IoT 基盤技術を確立するとともに、研究成果に関する国際標準化を推進することにより、IoT ネットワークの社会実装を加速することを政策目標とする。

2. 研究開発内容及び成果

2.1 研究開発概要

IoT は、住宅、工場などの分野で活用が進んでいるものの、農業などの一部の分野では IoT ネットワークの大規模化、長期運用、効率的な管理等の課題があり、社会実装を進めるうえでの障壁となっている。また、こうした IoT

によるトラヒックはどのように振る舞い、広域ネットワークへどのように影響するかについては、まだ明確になっていない。政府が目指す Society5.0 時代にはあらゆる産業がつながり、サイバー空間とフィジカル空間の融合による超スマート社会が実現されるが、この IoT に関わる課題を解決することが本研究課題の目的である。

農業分野での AI 活用の全体像を図 1 に示す。農業現場(フィジカル栽培空間)には、施設の情報、栽培される植物(生体)の情報、作業員(労務)の情報が取得される。これらの情報を統合して、植物の栽培に適した環境を作るだけでなく、環境制御にかかるエネルギーコストを削減したり、作業員の労働時間を短縮するなどの総合的な配慮が必要である。これまでもセンサを利用した園芸施設の環境制御等の ICT 活用は試みられ、効果も挙げられている。しかし、今後、農業従事者の高齢化による農業人口の急激な減少に備え、データに基づく勘に頼らない農業を実現することで新規の農業従事者を促す狙いがある。

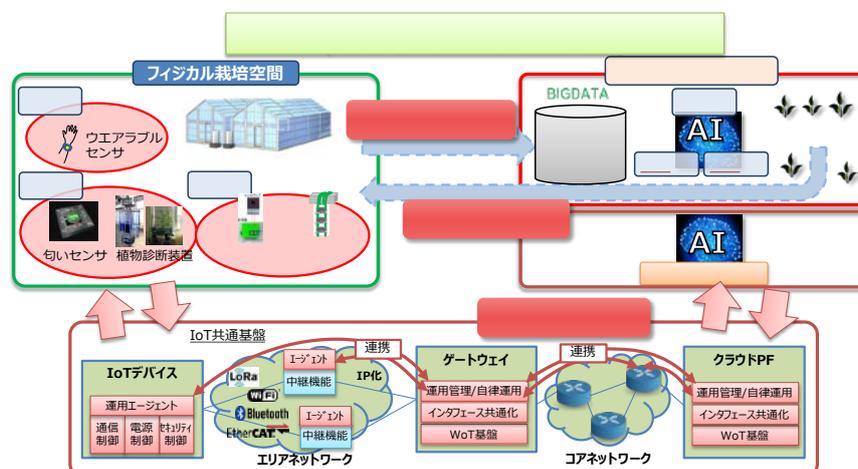


図 1. 農業 PRISM の全体像

農業の ICT 化を実現するには、農業現場の各種情報を大量に収集するための基盤となる IoT ネットワークについて、その大規模化・長期運用性・効率的な管理の実現が課題となっている。IoT 共通基盤により農業分野におけるデジタルツインを実現し、農業、センシング、通信、AI 技術者が同じ基盤でのコラボレーションを実現することが目標である。PRISM 運営委員会等の議論を経て、関連省庁（農水省等）との連携の下、上記課題を解決する IoT 共通基盤技術を開発し、農業現場での実証を推進することで、農業分野における AI を活用した栽培や労務管理の最適化の実現に繋げることとなった。

このシステムを実現するために、IoT デバイス、IoT デバイスを接続するネットワーク、ゲートウェイ、広域ネットワーク、クラウド・アプリケーションまでの通信環境を IoT 共通基盤として整備する必要があるが、本課題では図 2 に示すように、4 つの項目に分けて研究開発を進めた。

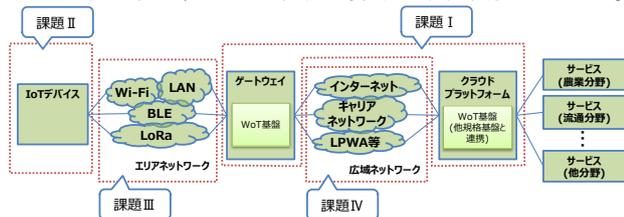


図 2. 課題 I ~ IV の関係

課題 I では、WoT 基盤技術の農業分野に合わせた技術拡張を行うとともに、実証環境の構築を行った。①ICT 専門家だけでなく IoT 現場を構築可能なゼロコンフィギュレーション技術、②デバイスやネットワークの隠れた障害によるトラブルの検出と復旧に関する技術、③セキュリティを実現した。これらの成果を活用し、園芸施設（ビニルハウス）に対して、合計 1,000 個以上のセンサを設置する。課題 II では、IoT デバイスと搭載される通信モジュールの開発を行う。デバイスの接続には無線を利用することとし、通信方式が異なる複数の方式で実現する。また、電源供給方法についても検討を行い、センサと無線の消費電力から①エネルギーハーベスタ、②バッテリー、③AC 電源の 3 種類の方式を実現する。

課題 III では、HTIP に対応した L2 スイッチと Wi-Fi アクセスポイント (AP) を実際に開発し、課題 II で開発したデバイスを含めて HTIP による運用管理を実現する。さらに、実証環境で収集した運用情報により、実際に発生する障害の検出及び原因の分析を機械学習で実現し、その有効性を示す。

課題 IV では、広域ネットワークを含めて運用管理を検討する。5G 時代のネットワークを見据えて、IoT に対応可能な運用管理技術を確立すると同時に、最近注目される LoRaWAN での制御技術を開発する。また、課題 1 の社会実装と連携する。

また、本研究課題を取り組むにあたり必要となる標準化にも対応する。

2.2 フィジカル・サイバー空間をつなぐ WoT 基盤技術 (課題 I)

(1) 課題 A : WoT 基盤の開発及び実証環境の構築

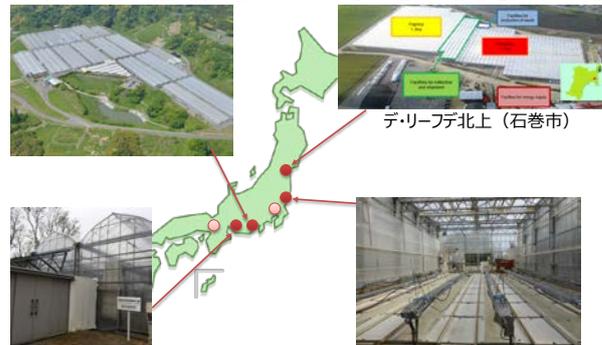
【開発目標】

農業生産効率化につながる環境情報と植物生体情報を WoT の情報モデルとして表現し、農業フィールドにおいて合計 1,000 個のセンサや装置等を接続し、課題 I ~ IV を検証可能な実証環境を構築し動作検証を実施する。また、生産効率化を実現するアプリケーション開発に必要な農

業向け Web API を開発する。また、WoT 基盤の運用管理機能については、課題 II ~ IV と連携して、運用情報を WoT 基盤で収集し、機械学習を利用して障害の検出及び原因分析が可能となる機能追加を行う。セキュリティについては標準化団体の動向を見極め、技術要件を明確にする。また、これらの拡張機能に関して、適切な標準化団体を選択し、標準化提案を行う。

【実証環境の構築】

全国 4 か所 6 施設に、実証環境を構築した (図 3)。植物の生育条件を測定することを目的に、光合成に必要な条件を測定する 6 種類 (温度、湿度、照度 (可視光、紫外)、気圧、CO2 濃度) のセンサを 1 台のセンサユニットに搭載し、Bluetooth Low Energy (BLE) または LoRa で通信することとした。これらのセンサユニットは、最寄りのゲートウェイ (GW) 内のアクセスポイントと通信し、さらにインターネット経由してクラウドに接続される。各施設には施設の広さに応じて 1~3 台の GW を設置し、各センサユニットのデータは GW 経由でクラウドに収集される。デリリーフデ北のような大規模施設 (1ha) の場合、3 台の GW でカバーしている。これらの 6 施設に接続されるユニットは合計 176 台で、1,056 個のセンサが接続される。各センサユニットでは、1~5 分間隔で 24 時間データを収集しており、6 か月以上無給電で動作することが確認されている。



ベルファームと農研機構は各 2 施設で実施

図 3. 実証実験に利用した施設

【WoT 基盤及び運用管理技術】

IoT システムを実現するには、設置した IoT デバイスと GW、クラウドの接続を安定して運用することが必須である。様々な機器が設置され、多くの場合、複数のベンダ製品を組み合わせて実現するため、従来の ICT システムに比較して複雑で、運用が難しいと言われている。そのため、現場の負担が少なくなるように、効率的な運用管理を考慮する必要がある。本課題では、IoT デバイスの導入を容易にするゼロコンフィギュレーションと、運用開始後の施設内のエリアネットワークの運用管理の効率化を実現した。今回設置したセンサユニットとゲートウェイ (図 4) は、元施策で開発した運用情報の通信方式 HTIP (ITU-T G.9973) に基づいている。また、非 IP の無線方式のデバイスに対応するために、非 IP/非 Ethernet 通信向け接続ガイドライン (TTC TR-1073 として策定中) に沿って実装している。この結果、接続時に検出されたユニットから、例えば、無線の場合には無線信号強度 (RSSI) が作業者に通知され、無線での接続が可能であることを確認しながら導入が可能になっている。ICT の専門家でない農業従事者でも設置判断が可能であり、その後も安定した接続が期待できる。このようなゼロコンフィギュレーション機能により、設置作業時間は大幅に (例えば、1 日の作業が 1 時間に) 短縮された。



施設内に設置したIoTセンサ(右)と無線通信装置(上)
1台で6種のセンサ (CO2濃度、温度、湿度、気圧、照度、UV照度)を無線接続。5年間無給電で動作可能

図 4. 設置したセンサユニットとゲートウェイ

導入後の ICT 系の監視については、課題Ⅱ、課題Ⅲで開発した HTIP 対応のデバイスとネットワーク機器 (L2 スイッチと AP) からの運用情報を収集し、この情報から判断可能である。運用情報からは、ネットワークトポロジを自動的に判別できるほか、無線信号が弱くなっている個所やデバイスの CPU 温度が上がっているところなどの情報が可視化されるようになり、トラブル発生時の原因推定やトラブルを事前に予測できる可能性がある。

【国際標準化】

様々な分野に IoT 共通基盤を普及させるには、国際標準化は不可欠である。この課題では 2 つの標準化に取り組んでいる。

1 つは、IoT 共通基盤全体のアーキテクチャと各インタフェースの規格化である。日本が主導して標準化したアーキテクチャ規格 ITU-T Y.4409(旧 Y.2070)では、機能アーキテクチャとして、デバイス、GW、クラウドの構成と内部に持つべき機能について規定した。元施策(住宅、工場実証)と PRISM での農業への適用では、Y.4409 に沿った開発を行っているが、各インタフェース機能がさらに明確になってきたため、ここで得られた情報をもとに Y.4409 の実装ガイドラインとしてまとめることにした。ITU-T SG20 に対して、ガイドラインを Y.4409 の Supplement として発行することを提案し、承認された。2019 年度内の勧告化を目標として進めている。具体的な内容としては、IoT デバイス情報の通信方式として W3C Web of Things(WoT)の利用、運用管理情報の通信方式として G.9973 の利用を記述する。また、フィジカル空間における様々な情報を表現する情報モデルを整備する観点から、1 つの例として FIWARE で使用される NGSi の情報モデルとのマッピングに関する記述を追加する予定である。

もう 1 つは、IoT での重要な課題である IoT セキュリティに関する規格化である。WoT では IoT デバイスを Thing Description(TD)と呼ばれる情報モデルで表現しているが、IoT デバイスが持つ機能等の情報の他、アクセス方法やセマンティクスがメタデータによって記載される。この機能を拡張して、セキュリティ情報をメタデータとして記載し、インタフェースとして認証/暗号化機能を備えることを WoT-WG に提案した。この機能は IoT デバイスへの攻撃を WoT-GW で遮断できるため、IoT デバイス自体がセキュリティ機能を持たなくても良いことがメリットである。

(2)課題イ：WoT 基盤シミュレータの開発

【開発目標】

IoT デバイス、GW、それらを結ぶネットワークの動作を設計段階で検証可能な WoT 基盤シミュレータを開発する。このシミュレータは、エリアネットワークに接続される IoT デバイスのインタフェースや通信方式の組み合わせが確認可能なものとする。デバイス、ネットワークの組み合わせやトポロジを簡単に設定できる GUI を開発する。

【WoT 基盤シミュレータ】

クラウド内のサービスや広域ネットワークを含めたシステム全体の挙動を定量的に把握するためのシミュレータの開発を行った。本シミュレータはシステム全体の構成をカバーしており、サービス、クラウド、GW、デバイスの情報処理部分と、広域ネットワーク、エリアネットワークのネットワーク部分からなる。このように多数の要素からなり、しかも各要素には複数の選択肢があるため、システム全体の組み合わせは相当な数に及ぶことになる。そこで、シミュレーションの対象を施設園芸に絞り込み、組み合わせ数を減らして、頻繁に使われるパターンをテンプレート化して実現することとした(図 5)。テンプレートは、GUI で編集可能になっている。

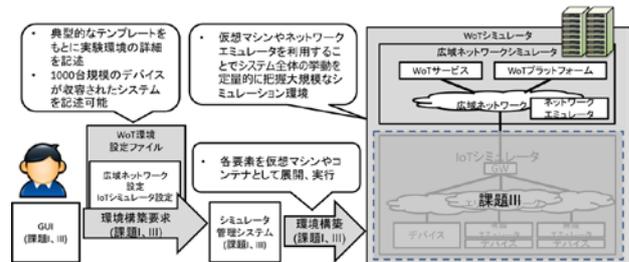


図 5. WoT 基盤シミュレータ

シミュレータは、元施策と同様に NICT の StarBED を利用して構築した。複数のサーバ上に、多数の仮想マシン (VM) を生成し、サービス、クラウドプラットフォーム、GW、デバイスとネットワーク(シミュレータ)を実際に必要な装置数分の VM に配置する。今回は、テンプレートの記載内容に従って、サーバの割り当てと VM の生成、VM へのソフトウェアインストール等を自動化する機能を実現した。実際に、今回の実証と同じ規模のセンサ 1,000 台でのシミュレーションを実行している。これにより、実際に設置する前に性能評価が可能であり、エリアネットワークにおける無線の到達距離、混信等、GW の処理性能、メモリ量等、の検証が可能であった。元施策では 10,000 台規模のシミュレーションを 30 台のサーバで実行しており、さらに大規模のシミュレーションも可能である。

IoT システムを俯瞰的にとらえつつ、テンプレートから所望の技術を選択してシミュレータ構成を指定することができる GUI を開発した。また、ここで開発した GUI は 1000 個のデバイスを擁するシステムにおいても設定作業が煩雑にならないよう、階層化された指定が可能なユーザーインターフェースとなっている。本 GUI を用いることでシミュレーション環境の設計をインタラクティブに行うことが可能であり、その結果は課題Ⅲにおけるエリアネットワークシミュレータとの連携インタフェースを通じて全体システムのシミュレータに反映させることができる。シミュレータとの連携はロジカルな記述方法のものを使用している。

2.3 設置簡易・長期動作可能な IoT デバイスの共通技術 (課題Ⅱ)

(1) 課題ア：長期動作デバイスモジュールの開発

【開発目標】

エネルギーハーベスティングやバッテリー省電力機能を開発し、電源供給方法として(1)商用電源、(2)バッテリー、(3)バッテリーレス(自身で発電機能を持つ)の 3 種類の形態で動作可能となる共通回路・ソフトウェアを開発する。通信モジュールや MPU モジュールと一体化し、センサや装置に組み込み可能な共通モジュールを開発する。課題Ⅰ及び課題Ⅱと連携することにより、IoT デバイスの設置簡易化と

運用自律化を実現する。

【概要】

施設園芸では長期間にわたって収穫可能な栽培方法となるため、設置するセンサ等の IoT デバイスは、バッテリー等の交換なしで長期間動作することが求められる。しかし、使用するデバイス、通信方式によって消費電力が大きく異なるため、消費電力を考慮したデバイスの設計が必要となる。省電力を実現するには、デバイスから一方的にセンサデータを送信する片方向通信が有利である。しかし、外部からの要求により設定を変更する必要があり、双方向での通信が必要となる場合が多い。本課題では、給電方式毎に別の方法で実現している。

【バッテリー動作（双方向通信）】

開発したデバイスを図 6 に示す。このユニットでは通信は双方向で行われ、外部からのデータ要求に対して応答できるようにになっている。そのため、常時電源をオンにして受信可能な状態になっている。通信方式は、BLE、LoRa(プライベート、LoRaWAN)、Wi-Fi であり、モジュールは交換可能であるほか、データフォーマットを共通化し、できるだけインタフェースが同じになるように設計している。また、ユニット内には 5 種類のセンサを内蔵し、外部に追加でセンサを接続できる。ユニットに搭載される MPU には、外部との通信インタフェース以外に、HTIP による運用管理インタフェースを持つ。

課題 I の実証では、LoRaWAN デバイスは課題 IV と連携して接続し、それ以外は課題 1 の GW と接続を行っている。

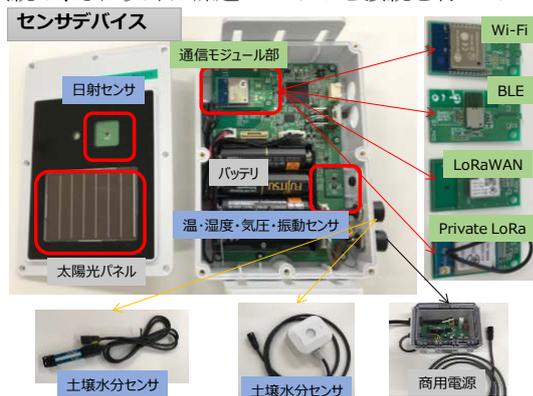


図 6. 双方向通信デバイス

【バッテリーレス動作（片方向通信）】

開発したデバイスを図 7 に示す。双方向通信を行う場合、外部からの要求を待ち受けるために常時電源をオンにする必要があり、消費電力が大きくなりバッテリーレス化が図りにくい。そこで、デバイスから定期的にセンサ値を送信する方式のデバイスを開発した。

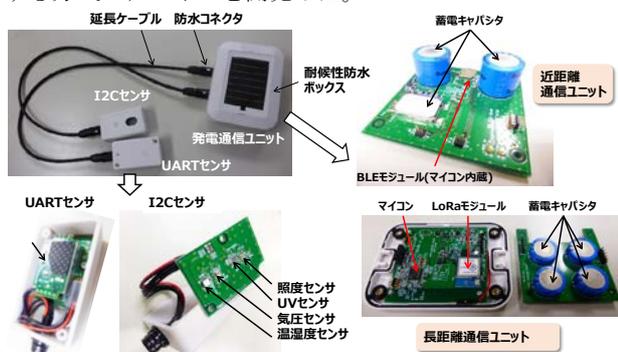


図 7. バッテリーレスデバイス(片方向通信)

通信方式は、BLE と LoRa(プライベート)の 2 方式である。太陽電池で駆動する電池交換不要な方式として、発電でき

ない夜間のために蓄電素子を内蔵した。1 回の送信に必要な電力が、LoRa では BLE の 1,000 倍必要となるため、発電通信ユニットは共通化できていないが、センサのインタフェースは共通化されておりセンサユニットは共通となっている。

太陽電池を用いた安定動作を実現するために、2 つの電力制御技術を開発した。1 つは蓄電素子を利用した時の電圧変動の抑制を、安定化回路を使わずに実現する技術で、蓄電素子を半減させることに成功した。もう 1 つは、発電量と蓄電残量をモニタすることによって、電力不足にならないようにデータ送信前に必要な電力が確保されているかを確認する機能を実現した。

(2) 課題イ：自律運用エージェントの開発

【開発目標】

Wi-Fi、BLE 等に対応した IoT デバイスを接続する通信モジュールに対して、運用管理エージェントを搭載し、GW と連携して運用管理の自律化を実現する。エージェントは、OSS 化された HTIP(G.9973)スタックと通信モジュールからなり、異なる通信方式・異なる製品間でも共通インタフェースとなるような開発ガイドラインを作成する。

【運用エージェントの開発】

HTIP は Ethernet を前提にした通信規格であり、非 Ethernet の通信方式を利用している場合に運用情報を通信するためには工夫が必要である。本課題では、課題 I で開発した WoT-GW の運用管理機能に接続する必要があるが、こちらは Ethernet を利用しており HTIP に準拠している。一方で、IoT デバイスは主に無線を利用しており、非 Ethernet 通信方式における HTIP 情報の通信方法が必要となる。

GW と IoT デバイスを非 Ethernet で接続するときの構成を図 8 示した。GW 内では、課題アで開発した IoT デバイスの通信方式に対応する通信モジュールを接続する。この通信モジュールは HTIP マネージャとして動作し、HTIP エージェントから得た情報を取得する。この通信モジュールと WoT-GW との間は、他の通信方式と共通化するために、USB 等の汎用シリアルインタフェースで接続したうえで、HTIP で規定されるペイロードをそのまま利用することとした。例えば、課題 III で開発した HTIP 対応のネットワーク機器では、WoT-GW との接続は Ethernet となるが、ペイロードは HTIP であるため共通化することが可能である。

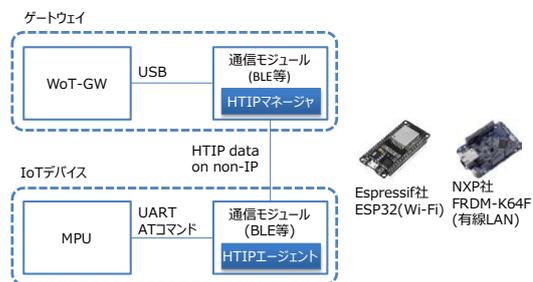


図 8. 運用情報収集の共通化

一方で、通信モジュール間での HTIP 通信は、元の通信方式の特徴により左右される。特に、無線通信の場合には、1 回で送信できるメッセージ長が短いことが多く、HTIP で規定されるペイロードを一度に送信できないことが考えられる。HTIP ではメッセージを分割して送信する方法が規定されているが、通信回数が増えることで IoT デバイスの消費電力が増えてしまうため、課題アで開発したバッテリー駆動、及びバッテリーレスのデバイスには向いていな

い。そのため、ペイロードの短縮表現形式を検討し、できるだけ1回の通信で終わらせるようにしている。課題Ⅱで開発した機能は、農業分野以外でも利用可能であり、様々な用途への適用が期待される。

2.4 IoT エリアネットワーク自律運用技術（課題Ⅲ）

(1) 課題ア：IoT エリアネットワークシミュレータの開発【開発目標】

Ethernet、Wi-Fi、BLE 等から2つ以上の接続方式を選定し、エリアネットワークにて様々な無線システムが混在する環境を模擬し、通信の輻輳の発生可能性等を検証するエリアネットワークシミュレータを開発する。また、デバイスやネットワーク、中継装置等の構成を入力する GUI を開発する。

【エリアネットワークシミュレータ】

エリアネットワークのトポロジ構成、通信方式、物理配置を、実際のフィールドに設置する前に動作確認を行なうことを目的としたエリアネットワークシミュレータを開発した。シミュレートする通信方法としては Ethernet と Wi-Fi を基本とし、干渉源として Wi-Fi と同じ周波数帯(2.4GHz)を利用する BLE が存在する場合のシミュレーションが行えるしくみを実現した。

また、シミュレータの設定を GUI で直感的に行えるしくみを実装した(図 9)。エリアネットワークにおいては無線通信区間におけるノード間の距離や障害物、有線通信区間での媒体長や経路、各装置への電源の供給可能な範囲など、様々な制約があった中で配置を行なう必要がある。本 GUI では図面上での配置と、図面上での各種パラメータの付与という直感的な手段でエリアネットワークを設計し、その設計内容をシミュレータで即座に評価し、その結果によって GUI で修正を加えるという形で動的な設計を行なうことができるようになっている。

これにより、設計が容易になるだけでなく、障害が生じた際の原因究明にも役立つなど、多様なシミュレータの利用方法が期待できる。

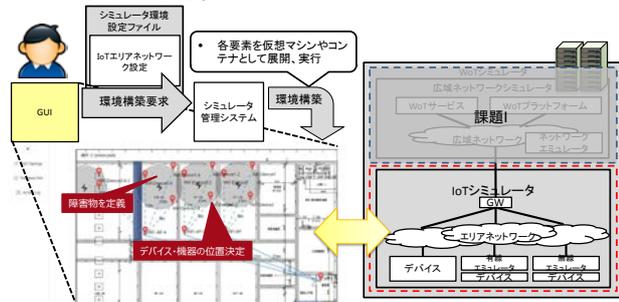


図 9. エリアネットワークシミュレータ

(2) 課題イ：IoT エリアネットワーク自律運用機器の開発【開発目標】

IoT エリアネットワークを構成する中継装置、ネットワーク機器等の運用管理エージェントの開発を行い、IoT エリアネットワークで多く使用される2種類以上の通信方式に適用する。また、この運用管理エージェントより、IoT エリアネットワークにおけるデバイスやネットワークの状況を収集し、機械学習を利用して、IoT エリアネットワークの運用中に発生するネットワークやデバイスの障害を検出し、原因の分析を行う。

【HTIP 搭載中継機器の開発】

HTIP を実装した中継機器として、Ethernet L2 スイッチと Wi-Fi アクセスポイントを各 60 台製作し、課題 1 で構

築した実証環境に提供した。施設に設置されたゲートウェイボックス内のスイッチとアクセスポイントを図 10 に示す。

施設園芸での利用を考慮し、通常のネットワーク機器に求められるより厳しい温度条件(-20℃~70℃)で動作可能にしている。また、電源の少ない園芸施設での利用を考慮して、L2 スイッチについては PoE (Power over Ethernet) による稼働も可能としている。HTIP エージェントとしての実装においては、電波強度、関連デバイス数、アクティブノード数、無線品質、CPU 使用率、メモリ使用率など、障害解析に必要な項目を追加した。



図 10. 開発した L2 スイッチ及びアクセスポイント

【機械学習による障害検出】

収集した情報を用いて自律的に診断を行なうための技術として、HTIP で収集した機器疎通情報(接続先、L2/L7 疎通有無等)、通信品質情報(RSSI、応答時間等)、稼働情報情報(CPU・メモリ使用率、ロードアベラージュ等)を用い、時系列変化を可視化するツール(図 11)および障害要因の推定アルゴリズムを開発した。また、人が経験とカンで行っていた機械学習のパラメータ調整を、通信途絶やデータ取得失敗等の客観的に判断可能な障害事象の発生と、学習の判定結果が一致するように、パラメータを自動調整する方式を実装した。

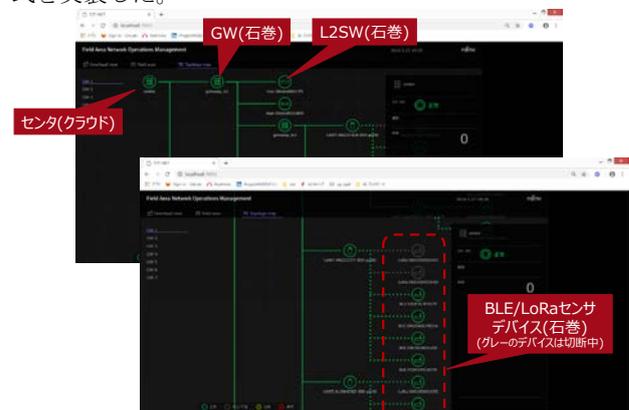


図 11. 設置したセンサの動作状況

2.4 IoT トラヒックに対応した広域ネットワーク自律運用技術（課題Ⅳ）

(1) 課題ア：広域ネットワーク自律運用技術の開発【開発目標】

IoT デバイスが 1000 台接続されたエリアネットワークにおける IoT のトラヒック状況や広域ネットワーク内の状況に応じて、ネットワーク機能(通信帯域、経路等)を自律的に制御するための運用管理機能を開発する。

【広域ネットワーク運用効率化】

IoT デバイスが接続された IoT エリアネットワークや広域ネットワークからトラヒック等に関する各種データを収集する機能、収集したデータを一元的に可視化する機能を、OSS を利用して実現した。広域ネットワークは

nwEPCを利用し、OpenStackの仮想環境上に実現した。この上で、Grafana等を活用し、広域ネットワークのスライス環境ステータス情報、スライス環境構成情報、スライス環境統計情報等を収集し、可視化を行う(図12)。IoTエリアネットワーク異常時に、広域ネットワークへの影響を最小化するために、スライシング機能等と連携した運用管理を実現している。OSSのPrometheusを利用して、VNFやスライスの追加や削除を行い、動的に構成管理データベースへ更新されることを確認した。この結果、OSS利用においてもサービス品質保証の観点における自動化、効率化についての有効性が確認できた。

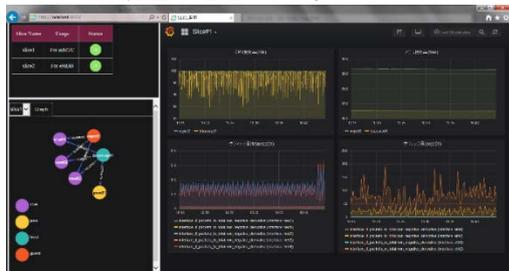


図12. 広域ネットワークのスライス監視画面

(2) 課題イ：ゲートウェイ運用管理連携技術の開発

【開発目標】

GWに分散配備されたエリアネットワークの運用管理機能(トラヒック等)を開発するとともに、広域ネットワークの運用管理機能とGWとの間でトラヒック等の情報をやりとりできるインタフェースを開発する。また、異常トラヒック発生時には自律的に復旧を実施するための機能を開発する。

【LoRaWANを利用した連携技術】

ネットワークサーバは各GWから定期的にチャンネル使用状況を取得し、取得した情報をもとに最適なチャンネルとデータレートの分析を行った。分析結果をもとに最適なチャンネル/データレートをネットワークサーバから端末へ指示する方式を実装した。チャンネルの有効活用およびデータレートとの組み合わせによるチャンネル負荷分散によりコリジョン頻度の低減を実現可能となった。

GW側とネットワークサーバ側の二か所で端末からのデータを受信した時間を計測した。遅延と判定する閾値を検討し、その閾値を超えた場合、ネットワークサーバから端末に対し受信タイミングを遅らせるよう指示する方式を実装した。GWとネットワークサーバ間のネットワークが輻輳した時の端末へのダウンリンク到達率の向上を実現可能となった。

GWはホワイトリストの情報をもとにフィルタリングを行い、複数GWからアップリンクを受信した場合、無線状況が悪いGW側のホワイトリストから該当端末の情報を削除する。これにより不要な通信をGWで破棄することで、広域ネットワークの通信量の低減を実現可能となった。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取組

【事業化】:

商業施設2か所を含む、4か所で実証環境を構築。商業施設は1ha超の施設であり、基本的な動作については確認完了。事業化に向けては、まずはWoT基盤技術(課題I)を先行し、デバイス(課題II)、エリアネットワーク(課題III)、広域ネットワーク(課題IV)の順に進める予定。W3C WoTは、2019年5月に勧告候補文書(CR)が承認さ

れ、12月までに勧告化の見込み。ITU-T Y.4409の実装ガイドラインについても11月に合意が得られる予定。

【成果の普及】:

各課題での事業化による普及の他に、北陸先端大が開発したシミュレータやOSSを広めることでWoTやHTIPを活用する企業等が増える活動を行う。具体的には、情報通信技術委員会(TTC)やスマートIoT推進フォーラムでの活動を継続し、新規開発者の支援となる実装・運用ガイドライン等を策定することで技術への理解と普及に努める。また、課題IVについて元施策と連携して実装を進める予定である。

4. むすび

元施策(IoT共通基盤技術)の成果を補強し、農業分野への適用を行った。実証を行った施設園芸(ハウス栽培)は、元施策で実証を行った住宅や工場とは異なり、ネットワークや電源コンセントが十分に用意されている環境ではなく、無線通信を行い無給電で動作するセンサを前提にする必要があった。大規模な施設園芸では広さが10haを超えることもあり、100mの距離を通信可能な無線を利用する必要があった。また、無線や無給電で動作するセンサネットワークでは、運用管理機能が重要であり、何か問題が発生したときに、少なくとも遠隔からその問題の発生を検出し、原因を特定する機能がなければ安心して利用することができない。PRISM追加課題では、こうした問題に取り組むために、必要なセンサデバイス、ネットワーク機器を開発し、G.9973に対応した運用管理機能を実現している。1,000台のセンサを設置後6か月が経過したが、現在でもほとんどのデバイスが無給電で動作し続けている。本課題で開発した技術は、システムのアーキテクチャ、インタフェースについては、国際規格として既に勧告化、もしくは勧告化準備中である。また、TTC等で技術レポートとして実装ガイドラインを作成しているため、実装する際には参考になる。運用管理の通信規格であるHTIPスタックについては、OSSを開発しており、Linux OSやFreeRTOSで動作する。また、WoTスタックについても、node-wotがWoT-WGメンバを中心に開発されている。関心のある方は、是非ご連絡頂きたい。最後にプロジェクトを進めるにあたり、実証環境を提供された農業・食品産業技術総合研究機構(農研機構)、株式会社デ・リーフデ北上、ベルファーム株式会社、豊橋科学技術大学、センサを提供頂いた物質・材料研究機構をはじめとして、多くの方のご支援を頂いた。皆様に深く感謝申し上げます。

【査読付発表論文リスト】

- [1] Yuki Nishiguchi, Ai Yano, Takeshi Ohtani and Ryuichi Matsukura, "IoT Fault Management Platform with Device Virtualization", The 2018 IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IOT 2018), (2018.2.5-8)
- [2] Takahisa Suzuki, Masayuki Fukui, Ryuichi Matsukura, "A device virtualization gateway for Web of Things", IoT Enabling Sensing/Network/AI and Photonics Conference 2019 (IoT-SNAP 2019), (2019.4.22-26)
- [3] Ryuichi Matsukura, Takehisa Suzuki, Takuki Kamiya, "A WoT gateway with legacy devices virtualization", Second W3C Workshop on the Web of Things, (2019.6.3-5)

【取得特許リスト】

3件出願中。

【国際標準提案・獲得リスト】

- [1]World Wide Web Consortium(W3C)・WoT-IG/WG Joint F2F in Princeton、“Security Metadata Description Example”、2019年2月1日
- [2]ITU-T SG20, SG20-C454, “Implementation Guidelines to ITU-T Y.4409”, 2018年12月7日
- [3]ITU-T SG20 Q4, Q4-20-Feb19-C-22, “Implementation Guidelines to ITU-T Y.4409”, 2019年2月27日