

分散型クラウドを活用した リアルタイム組込みプラットフォームの 研究開発と評価



はじめに

組込みシステム技術協会

当協会と会員企業15社は、分散型クラウドを活用したリアルタイム組込みプラットフォーム（以下、本プラットフォーム）を2020年10月～2021年2月の期間で研究開発した。階層構造をもった分散型クラウドによって、IoTデバイスなどユーザー端末における処理のリアルタイム性を確保する。同時に本プラットフォームを用いて、4件の実証実験を実施し有効性を検証した。

プロジェクトを通して、会員企業から計11件の特許が出願された。2021年度以

降は、本プラットフォームの機能拡張などのブラッシュアップを続けるとともに、会員企業における新規事業の展開につながる予定である。2025年における市場規模は3500億円を見込んでいる。

以下、本プロジェクトの概要を報告する。より詳細な内容については、当協会のホームページに掲載する予定である。なお本プロジェクトは、経済産業省の令和2年度補正「産業技術実用化開発事業費補助金（地域分散クラウド技術開発事業）」からの助成を得ている。

図1-1に建築・土木現場における組込みシステムの事例を示す。IoTデバイスなどユーザー端末からは大量のデータがインターネットを介してクラウドに送られる。IoTシステムに対するユーザーニーズの多様化、センサーの性能や機能の向上によって、こうしたデータは日増しに増えているのが現状である。

図1-1は温度や湿度といった環境データ、現場労働者からの血圧や体温などの

図1-1 組込みシステム構築のトレンド

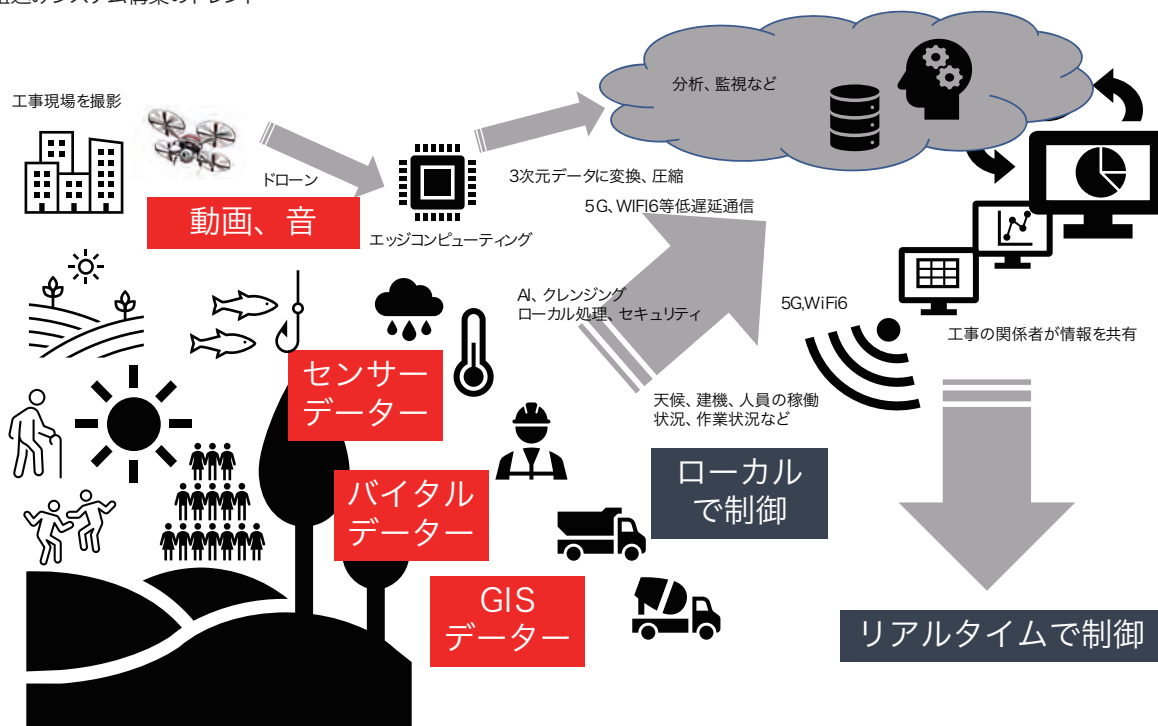
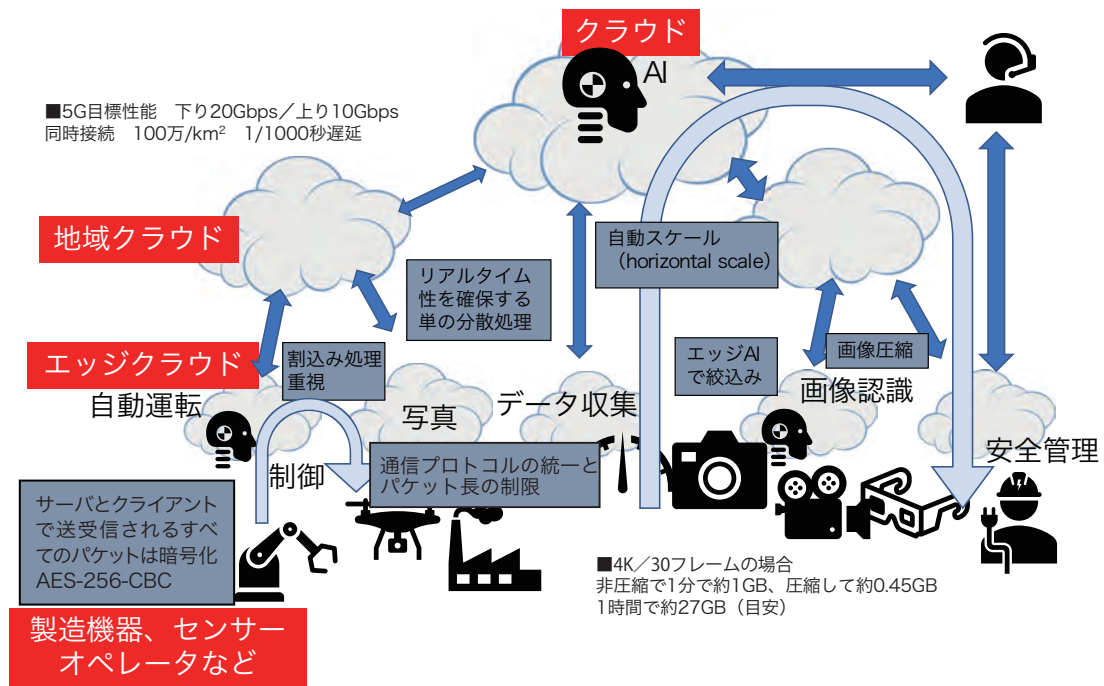


図1-2 地域分散型クラウドを活用したリアルタイム組込みシステム

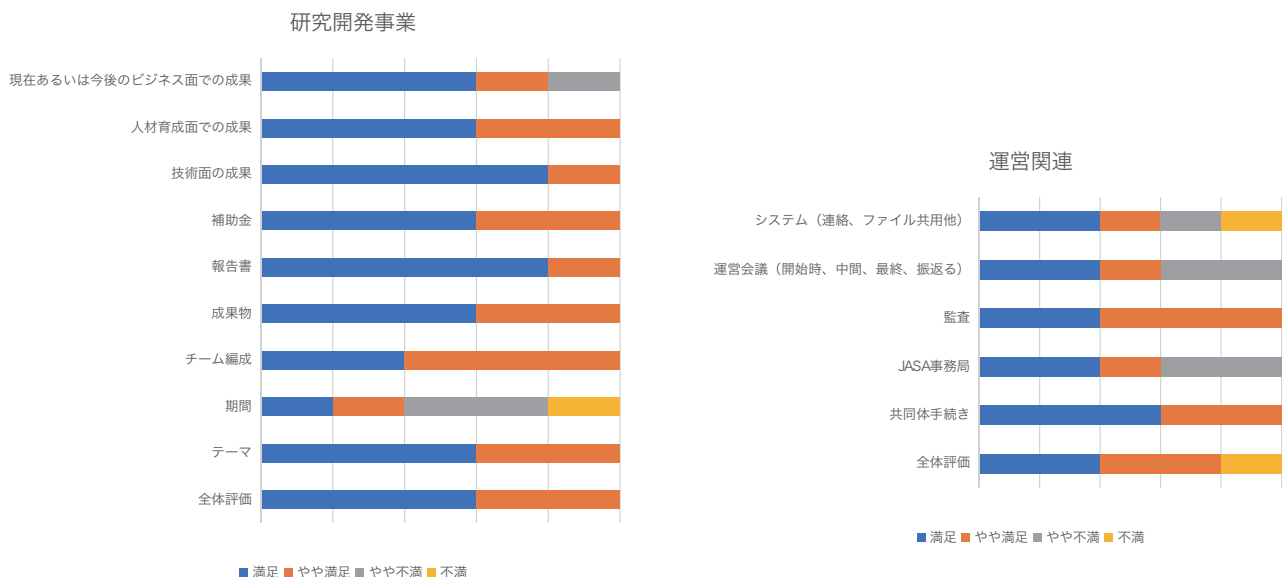


バイタルデータ、ドローンからの動画や音声などのデータが、クラウドでの分析や監視のために送信されることを示している。ここで問題になるのが、データ量の増加による負荷の増大、クラウドとのデータ送受信に伴う通信遅延、クラウドでのデータ処理に伴う遅延である。遅延に関しては、時間の長さとともに変動の大きさが、リアルタイム性のあるシステムを設計する上での課題となる。

本プラットフォームは、クラウドをエッジクラウド、地域クラウド、クラウドの3層構造にして分散配置することで、IoT端末からクラウドに至るまでの経路におけるボトルネックを解消し、リアルタイム性のある処理を可能にするところに特徴がある(図1-2)。

すなわち、①通信遅延と処理時間を予測できる分散処理システム、②エッジに近いエッジクラウドで処理することによるデータ量の低減と負荷分散、③センサーやカメラなどの設置台数の増大に対するスケーラブルな対応の3点を本プラットフォーム開発の要件とした。

図1-3 アンケート



本プラットフォームは、多くのユーザー間で遅延のないコミュニケーションを実現するDiarkisエンジン(株式会社Diarkis製)をベースに、分散処理やリアルタイム処理などの機能を拡張した。リアルタイム処理では、OpenEL C# APIへの対応などリアルタイム性の高いシステム開発を容易にする機能を付け加えた。詳細については後述する。

本プロジェクトでは、以下に示す4つの

実証実験で有効性を確認した。

I. ニューノーマル時代の次世代展示会プラットフォーム

II. ニューノーマルを守る働き方改革システム

III. 分散型スマートファクトリ

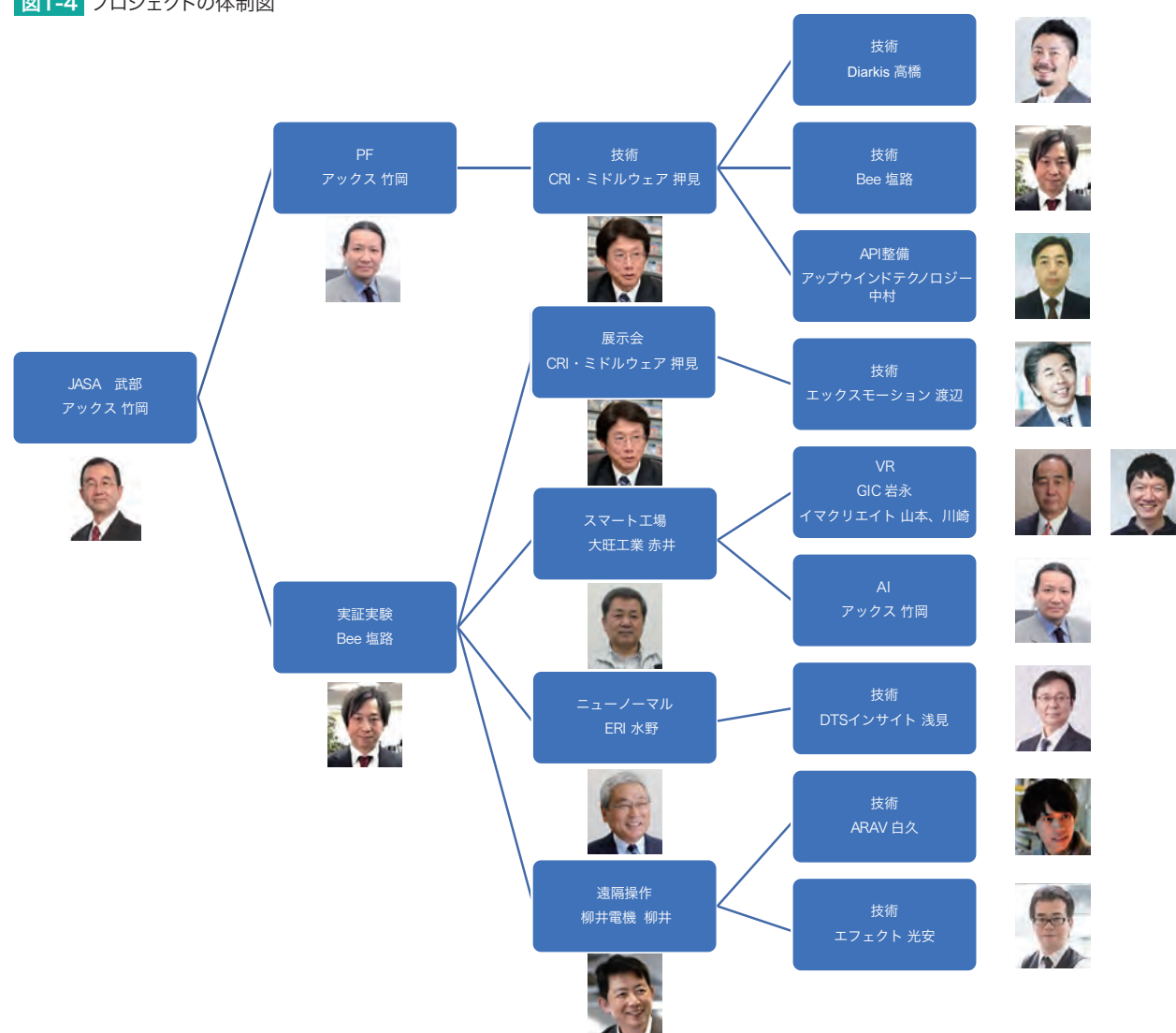
IV. 5G時代の建設機械リモート操作・安全担保システム

具体的には、リアルタイム性を実現するための情報の取得、エッジに割り当てる分

散処理の検討、通信経路と遅延の分析、分散型クラウドでの役割分担の検討などを行った。

図1-3の本プロジェクトの事業面と運用面についての参加企業からのアンケート結果を示す。初めての試みで行き届かない面が少なくなかった。今後に生かしたいと考える。図1-4は、当協会と会員企業15社で構成した本プロジェクトの開発体制(コンソーシアム)である。

図1-4 プロジェクトの体制図



一般社団法人組込みシステム技術協会(JASA) 専務理事 武部桂史
株式会社アクセス 代表取締役会長兼社長 竹岡尚三
株式会社Bee 代表取締役 塩路直大
株式会社Diarkis 代表取締役社長 高橋信頼
アップウインドテクノロジー・インコーポレイテッド 本社長 中村憲一
株式会社CRI・ミドルウェア 代表取締役社長 押見正雄
株式会社エックスモーション 代表取締役社長 渡辺博之
大旺工業株式会社 生産部部长 赤井悟

グローバルバージョンコンサルティング株式会社(GIC) 代表取締役社長 岩永智之
イマクリエイト株式会社 代表者 山本彰洋、川崎仁史
株式会社イーアールアイ(ERI) 代表取締役 水野節郎
株式会社DTSインサイト 代表取締役社長 浅見伊佐夫
柳井電機工業株式会社 代表取締役社長 柳井智雄
株式会社エフェクト 代表取締役 光安淳
ARAV株式会社 代表取締役 白久レイエス樹

(敬称略)

組込み向け分散クラウドプラットフォームの開発

株式会社Bee 株式会社Diarkis 株式会社CRI・ミドルウェア アップウィンドテクノロジー・インコーポレイテッド

組込みシステムの構築において、リアルタイム性の高いクラウドプラットフォームの必要性が高まっている。この傾向は、同時接続性が高く低遅延の5G環境の普及に伴い強まることが予想される。リアルタイム性の高いクラウドプラットフォームの研究開発が組込みシステム業界にとって喫緊の課題になっているといえる。

ここでは4社で共同開発・検証した「組込み向け分散クラウドプラットフォーム(図1-2、以下、本分散クラウドプラットフォーム)」について紹介する。ゲーム開発向け分散型リアルタイムエンジン「Diarkis」をベースに、OpenEL C# APIへの対応などリアルタイム性の高いシステム開発を容易にする機能を付け加えた。

Diarkisは、大量の接続があっても多くのユーザー間で遅延のないコミュニケーションを実現するエンジンである。大きく6つの特徴を備える。分散クラウド機能、大規模ユーザー間でのコミュニケーション機能、低遅延を実現するRoom機能、類似した属性を見つけるマッチング機能、近傍からの通信を監視・検知する機能、時限性のイベントを管理する機能である。

本分散クラウドプラットフォームの開発

にあたっては、以下をスコープとした。

- ①Amazon(AWS)やGoogle(GCP)といったクラウドシステムに依存しないDiarkisサーバーを構築し、分散クラウドプラットフォームとして稼働させる
 - ②Diarkis社提供のクライアントSDKおよび各種ツールの検証
 - ③クライアントSDKの組込み機器利用者向けOpenELライブラリへの拡張
 - ④分散クラウドプラットフォーム環境上での性能確認
 - ・性能検証(速度、遅延時間)
 - ・接続性検証(多種多様な組込みデバイスでの接続検証)
 - ・機能検証(Diarkisが提供するサーバー機能の検証)
 - ⑤分散クラウドを利用した組込みシステムの実験
 - ・分散環境の可視化実験
 - ・複数拠点のCO₂センサーを使ったリアルタイム性能チェック
 - ・ボイスチャット機能の性能チェック
 - ・5G、WiFi6を使った、P2P(ピアツーピア)でのラジコン制御の性能チェック
- ①と②は問題なく稼働・検証しており、③以降について以下に紹介する。

③OpenEL C#に対応

Diarkis向けに組込み向けライブラリOpenELを拡張し、Diarkis Client SDKにOpenEL C#を実装した。これによって、組込み向け分散クラウド環境におけるリアルタイム性の高いシステム開発をサポートする環境が整った。OpenELのバージョンは3.2。OpenEL3.2からは、従来のOSなし、Windows、Linuxの環境に加え、MacOSでも利用可能になる。OpenEL 3.2については、API要件定義書、API仕様書(OpenEL 3.2仕様書)、ソフトウェア詳細設計書、テスト仕様書兼報告書、評価プログラム、マニュアルが入手可能である。

④遅延時間を計測、接続性を検証

クライアント(エッジ端末)AとクライアントB間でメッセージの送信から受信までの時間を計測した。ブロードバンド回線と5G回線の2種類を使った。いずれの回線でも、レイヤー4のプロトコルにTCPとUDPを用いて計測を行った。図2-2に結果を示す。

このほか新しいクライアントがクラウドへ入ってきた時の所要時間も計測した。クライアント接続要求後、接続完了を示すまでの時間である。ブロードバンド回線では最速

図2-1 プロジェクトの概要

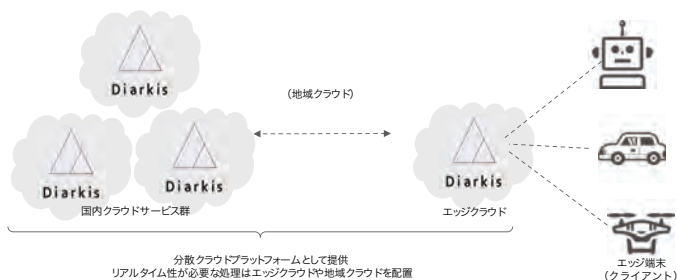
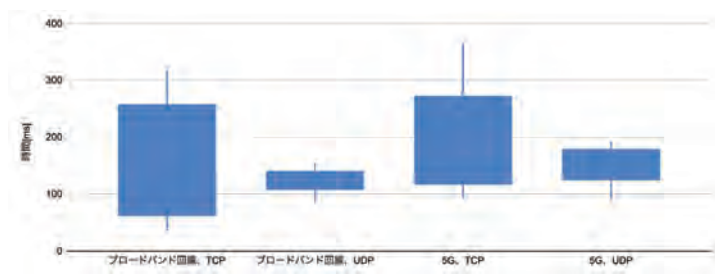


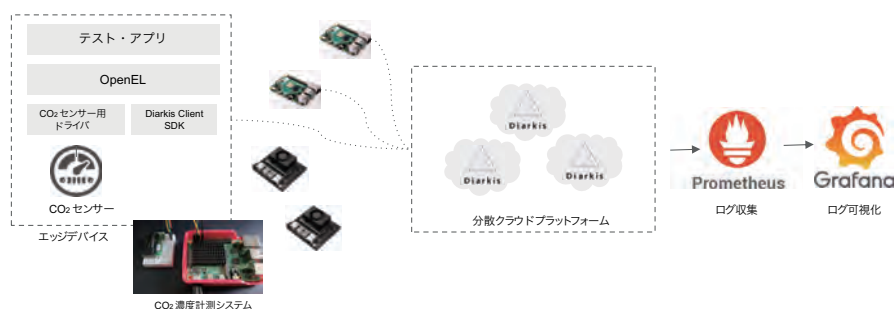
図2-2 分散クラウドプラットフォームの性能



値で413ms、最遅値で520ms、平均440.6msだった。5G回線ではそれぞれ512ms、823ms、710.9msの結果を得た。

接続性は、多種多様なクライアントから接続できるかどうかを確認めた。OS (Windows、MacOS、Ubuntu、FreeTOS、iOSなど) による接続性の優劣はなく、Diarkis Client SDK (C#) 実行環境がある端末では自立してサーバーに接続可能であることを確認できた。

図2-3 CO₂濃度可視化デモの構成と結果



⑤-1 分散処理を可視化

AWSやGCPといった事業者を跨いだ分散クラウド環境を作成したが、分散処理を行っていることをクライアントから確認するのは容易ではない。そこで、Diarkisの提供するメトリクス機能を利用し分散状態を可視化する仕組みを用意した。

具体的な仕組みは以下の通りである。クライアント(エッジ端末)から本分散クラウドプラットフォームに接続し、クライアント同士で通信を行う。インフラ監視ツールのPrometheusを使って、15秒おきにメトリクスをサーバーから収集する。この収集したログを、オープンソースのGrafanaを用いて可視化し、動作を確認した。

⑤-2 OpenELを使い動作を検証

Diarkis向けに拡張した組込み向けライブラリOpenELを用いた動作検証をCO₂センサーを使って実施した。構成を図2-3に示す。複数拠点に置いたセンサーからCO₂の濃度情報を取得し、エッジサーバー(Raspberry Pi、Jetson Xavier NX)経由で分散クラウドに送信(通知)する。通知には、クライアント同士の通信を実現するDiarkisのField機能を使う。Field機能を利用して、同一座標位置の機器に通知をブロードキャストする。通知データのログをPrometheusで収集し、Grafanaで各拠点のCO₂濃度の推移を可視化する。ローカルとクラウドの双方のセンサーから取得したCO₂と温度、湿度を計測した。遅延時間は200ms以下と小さいことが確認できた。

⑤-3 ボイスチャットで低遅延を確認

ボイスチャットを用いて、分散クラウド環境における低遅延、連続性、多接続性を確認した。違和感のないボイスチャットを行うには、低遅延とデータの連続性(音声途切れしない)、かつ分散した拠点からの多接続性が欠かせない。本分散クラウドプラットフォームの性能評価にはうってつけである。

ボイスチャットには、低遅延を実現するDiarkisのRoom機能とCRI・ミドルウェア製のADX Talk Libraryを用いた。ADX Talk Libraryは、複数音声のミキシングを圧縮したまま実行できる音声圧縮コーデックHCA-MXに対応しており、サーバーでの処理負荷を低減できる。

今回の実証実験で計測したボイスチャットの遅延時間は約440ms(ネットワークを介さないローカルサーバーでは369ms)と、会話用途では許容できる範囲に収まった。本分散クラウドプラットフォームによる遅延は約55~66msだった。また東京AWSと大阪GCPの遅延差は11msと小さく、クラウドを国内拠点に分散させることに問題はないことが確認できた。

⑤-4 P2Pでのリアルタイム性検証

本分散クラウドプラットフォームでリアルタイムのリモート制御が可能かを検証した。具体的には、DiarkisのP2P機能を利用してクラウド越しにリモコンでラジコンカーを制

御する構成を採った。遅延時間は平均142msだった。操作にストレスを感じない200ms以下に収めることができた。

組込み開発での実用性を確認

本分散クラウドプラットフォームは以下のように評価できる。

事業者を越えたプラットフォームを構築することができるメリットは大きい。複数の物理的な拠点に分散したクラウドプラットフォームを提供することが可能なので、ネットワーク障害リスクの軽減が見込める。また、要求される遅延性能に応じて、パブリッククラウド以外にもエッジクラウドなども選択肢となる。

Diarkisの機能が、組込み用途で有用なことも確認できた。組込み機器向けのリアルタイム通信にはMQTT(TCP上に構築されているプロトコル)などがよく利用されているが、DiarkisはTCP/UDPパケットのレベルでコネクションを張ることが可能なため、無駄な処理やデータ通信を抑えることができる。

独自の暗号化技術が標準装備されており、喫緊の課題となっているIoT機器のセキュリティ確保にも有用である。また、Room機能を用いたクライアントを束ねた同報配信、Field機能を使った位置情報を利用した制御、P2P機能による高速な直接通信なども組込み機器に応用可能であり、これらをプラットフォームとして標準で提供できるメリットは大きい。

ニューノーマル時代の 次世代型展示会プラットフォームに関する実証実験

株式会社CRI・ミドルウェア 株式会社エクスマーシオン

コロナ禍に伴い、従来型のリアルな展示会は開催が困難になっている。ニューノーマルな企業・社会活動の拡大が今後予想され、オンライン展示会への移行は進むものと思われる。しかし、現状のオンライン展示会は来場者・出展社双方にとって満足できる内容とはなっていない。単なるリアルの代替ではなく、デジタルならではのメリットを最大限活かし、出展社にとってROI(費用対効果)の高いリード獲得の機会を実現できる展示会プラットフォームの開発が喫緊の課題となっている。

オンライン展示会の3つの課題

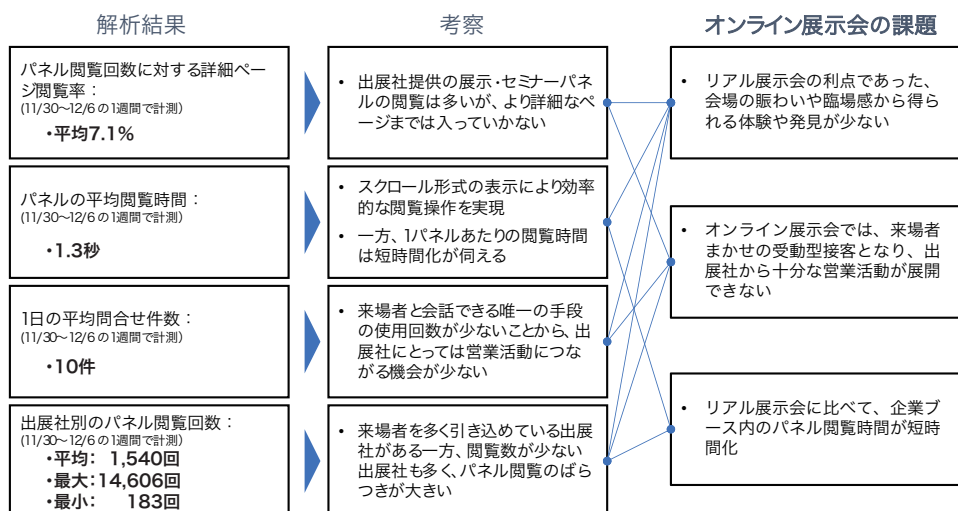
当協会は、2020年11月～12月に催したET&IoT展を「ET&IoT Digital 2020」とし、CRI・ミドルウェア製のWeb展示会プラットフォーム「DXExpo」を用い、すべての日程をオンラインで開催した。本稿ではそこで得た実データ(ログデータ)を用いて、組込み向け分散クラウドプラットフォームを展示会に適用するシミュレーションを行い、その有効性を検証した。

検証項目は以下の通りである。

- リアルタイム性: 実データを入力して、希望の時間内で出力を得られるか。
- スケーラビリティ: 大量の来場者に対しても耐えるスケーラビリティを確保できるか。来場者のデータが多すぎる場合に、クラウド・サーバーを動的に増設可能か。
- 処理性能: 来場者の嗜好分析にかかる時間はどの程度か。来場者のマッチングをリアルタイムに行えるかどうかの判定材料を得る。

以下、組込み向け分散型クラウドプラットフォームを次世代型展示会に展開した実証実験について、概要を報告する。

図3-1 オンライン展示会の課題



オンライン展示会では、リアルな展示会における多くの利点が失われている。

具体的には大きく3つの課題がある。①多くのオンライン展示会が採用している「バナー表示型」では、会場の混雑度合いや会場を回遊することで得られる新たな発見や出会いがない。②スライドやパネルだけのイメージ展示では、実物展示によるリアル感が得られない。③来場者まかせの受動型接客になってしまい、十分な営業活動ができない、である。

デジタル技術を十分に活用できていないことも課題である。単にオンライン上に場所を変えただけに過ぎず、すべて来場者まかせになっている。出展者から来場者にアプローチする積極的なマッチングを実現できていないのが実情である。出展社にとってROIの高いリードを獲得できているとはいえない。

ET&IoT Digital 2020で得られた実データをもとに、オンライン展示会の抱える

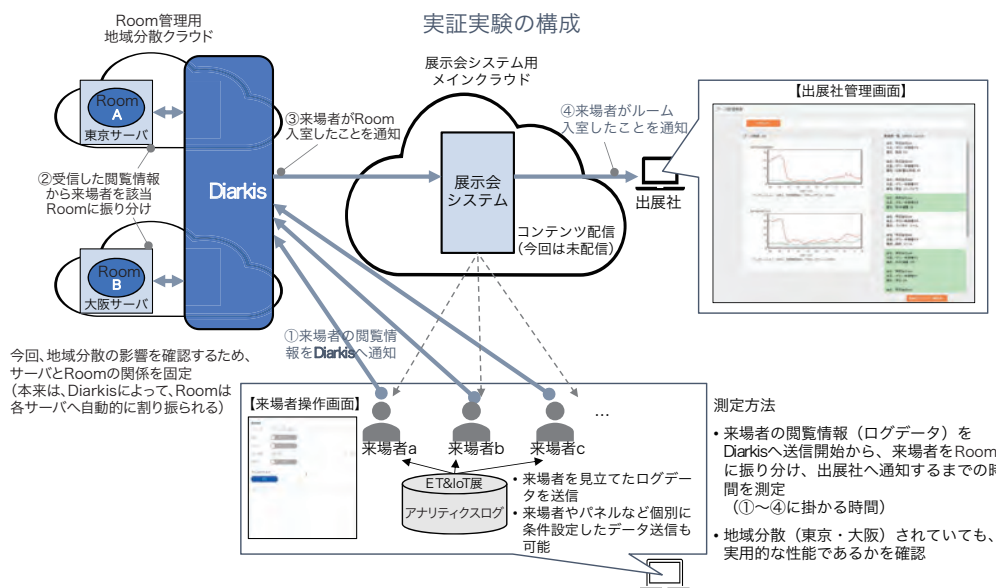
課題を分析したのが図3-1である。こうした課題を、組込み向け分散型クラウドプラットフォームの備える機能を活用することによって解決できるのか、さらにその機能が性能的に見て実用性があるのかどうかを検証することが本稿の目的である。

課題解決に向けたユースケースを創出

課題解決には、第1に来場者の関心がもつと出展社パネルに向くように、「混雑状況」や「賑わい」を演出・表現できる仕組みが必要である。例えば、パネルを同時に閲覧している来場者を来場者向けにアイコンで表示する、閲覧人数の変化をリアルタイムに表示する、「いいね」「お気に入り」を定量的に提示して人気の度合いを表現する、といった仕組みである。

また、パネル閲覧者同士でパネルを見ながらテキストでチャットできたり、閲覧しながらのボイスチャットによって「賑わい感」を演出できたりすることも有効だと考えられる。

図3-2 実証実験の構成と方法



課題解決の第2は、出展者側から来場者に能動的にアプローチする仕組みである。例えば、招待客情報の事前登録による出展社からの能動的なアプローチや、登録した招待者がログインした際に出展社側から案内メッセージを自動的に送信する仕組みが考えられる。

問題解決の第3は、来場者が閲覧するわずかな時間内に、来場者情報をリアルタイムに把握する仕組みである。例えば、出展社パネルの閲覧者や問合せがあった来場者の属性情報を出展社の管理画面にリアルタイムで表示したり、出展社がパネル閲覧者

に対して選択的（あるいは全員）にメッセージを送信したりできる仕組みが有用だと考えられる。

これらのユースケースで共通する処理を考えると、地域分散型クラウドやDiarkisエンジンが備えるRoom機能が、実現手段として有用であることが分かる。つまり、パネル数の増加やRoom処理に伴う負荷を分散できる仕組みとして地域分散型クラウドが使えるそうだし、地域分散クラウドを管理できるプラットフォームとして、共通処理を実現するRoom機能を備えるDiarkisエンジンが有望だと判断できる。

実用上問題ないことを確認

そこでDiarkisのRoom機能の実用性を検証するために、ET&IoT Digital 2020で収集した実データを使い実証実験を行った（図3-2）。東京と大阪に設置した地域分散クラウドを接続したシミュレーション環境を構築し、①来場者に見立てた閲覧情報（ログデータ）のDiarkisエンジンへの通知から、Roomへ振り分け、出展社への通知までの時間、②出展社から来場者にテキストメッセージを送信するまでの時間を測った。遅延時間の目標値はWeb開発で一般的な指標である500msとした。

測定によって、Room内でのメッセージ送受信は、期待以上の低遅延であることを確認した。また地域間でRoom移動する場合でも、実用上問題のない性能であることが分かった。

今回の実証実験で得られた成果を図3-3にまとめた。組込み向け分散型クラウドプラットフォームが備えるRoom機能は、次世代展示会プラットフォームの課題解決の手段として有用である。地域分散された環境であっても、実用上、問題のない性能であることを確認した。以上の機能価値と性能の検証から、組込み向け分散型クラウドプラットフォームは次世代型展示会システムの構築に有用だと判断できた。

図3-3 実証実験の結論

1.機能の有用性・価値検証の成果	2.機能の実用性・性能検証の成果
- 課題解決のユースケース実現に必要な共通処理には、パネルと閲覧者のグループ化が必要である - 地域分散クラウドプラットフォームの持つ機能（Room）は、その共通処理の実現に有用な手段である - パネル毎のRoom処理や、将来のパネル増加に対応する上では、負荷分散が必要である - 課題解決に必要な機能を持ち、地域分散クラウドに伴う複雑化を吸収できる、地域分散クラウドプラットフォームが有用である	- 地域分散クラウドプラットフォームが持つRoom機能が、性能的に実用性があるのか検証する必要がある - Room内通信においては、期待以上の低遅延通信が可能である - 地域内のRoom移動については、実用上は問題とならない時間である - 地域間を移動したRoom入室においても、実用上は問題とならない時間である
結論 - 地域分散クラウドプラットフォームの持つ機能は、オンライン展示会の課題解決の実現手段として有用である - その機能の性能について、地域分散された環境においても実用上問題がないことが確認できた	

4 分散型スマートファクトリの実証実験

製造プロセス:大旺工業株式会社、株式会社アックス

教育プロセス:グローバルイノベーションコンサルタント株式会社、イマクリエイト株式会社

群馬県太田市に拠点を置く大旺工業は、地域に8つの工場を持ち、設備関連、製造関連、人材育成関連、システム面での問題を抱えている。こうした問題は、地方の中堅製造業に共通する悩みと言える。本稿ではまず問題解決の第一歩として、製造プロセスのスマート化と教育プロセスのスマート化を紹介する。

まず製造設備関連では、工場が分散していることによって情報の連携が弱く、作業状況や安全性、勤怠状況を把握しにくいといった悩みを抱える。製造関連では、紙による管理のためチェックしづらく効率が悪い、仕掛部品の進捗状況が把握できない、加工処理過程の運動性が低い、他工場からの資材の受渡しに紙ベースの指示のため輸送時に部品が欠損するなど非効率といった課題がある。

人材面やシステム面の課題も見逃せない。人材面では技術レベルに属人性があり品質にムラが生じる、正式な作業マニュアルが存在しない、といった問題が挙げられる。システム面では会計システムと生産システムが連動しておらず、効率が悪いといっ

た問題が未解決のまま残されている。

今回、AIを導入した分散型スマートファクトリを構築し、製造プロセスのスマート化を行い、分散型クラウドの有用性について検証した。併せて人材教育プロセスのスマート化にも言及する。

誤配置検出AIで不良品発生を抑える

製造プロセスのスマート化(スマート工場)の第一段として、折り曲げ(バンダー)加工プロセスを可視化・監視するインフラを構築した。品質課題の多いバンダー機器による加工プロセスをカメラで監視して人的ミスを軽減し、同時に作業の統計データを収集する。

図4-1にスマート工場の全体イメージを示した。各工程でエッジクラウドと5G通信を用いることで、データ量や処理量の増大に備える。工程では、曲げ加工時に逆曲げ(製品の表裏を間違えること)の不良が多発している。しかし作業員への意識づけだけでは限界があり、ITによる解決を求められる。今回、画像認識で製品の表・裏を判別する「誤配置検出AI」を開発した。誤配置を

検出した場合は、警告ランプが点灯する。

図4-2は誤配置検出AIのシステム構成図である。分散型クラウドでAI学習を行い、学習済みのモデルをエッジ端末にダウンロードして推論を実行する。課題は、光の差し込み具合で検出精度が変化することである。光の差し込みを一定になるように環境を整えることで対処可能である。

もう一つの解決が急がれたのは、仕掛品や製品のトレーサビリティの確保である。仕掛品と製品が工場内に存在するのか、あるいは他工場に運んだのかがハッキリしないことが、たびたび起こっていた。そこでビーコンを用いて位置を検出することにした。具体的には工場内の台車やパレットにビーコンを取り付けタブレットで確認する仕組みを構築した。これによって台車の位置が把握可能となり、仕掛品や製品のトレーサビリティが高まった。

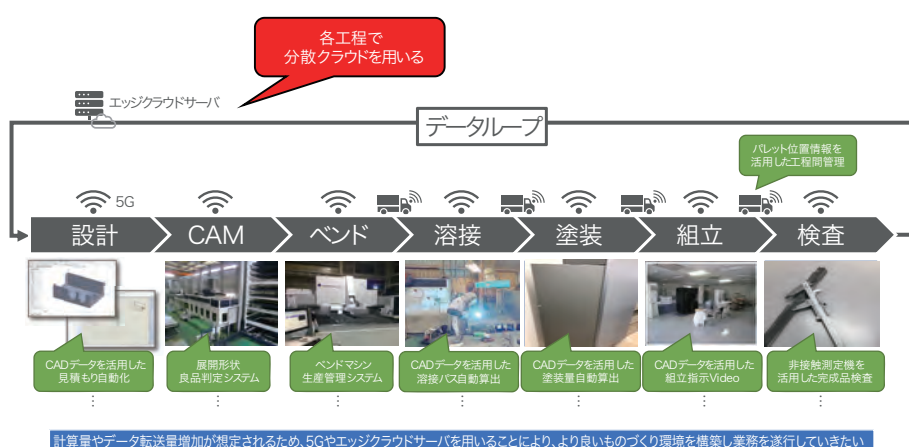
台車・パレットにビーコン、部屋の4隅に受信機を4台設置する。ビーコンはクレスコワイヤレス株式会社製のBLEビーコン、受信機にはRaspberry Pi Zero WHを用いた。クラウドサーバー(Raspberry Pi4を利用)で位置を計算し、地図上にプロットする。タブレット(Webブラウザ)からのhttp要求に対して位置情報を返す。実証試験では位置検出時に2mほどの誤差が発生したが、AIによる誤差修正で対処可能である。

VRアプリで教育をスマート化

地方の工場では現在、大きく3つの教育上の問題を抱える。

第1は、各工場における作業員の安全運用管理研修が難しいことである。原因としては、新型コロナによって「非対面」が必須だが、システムや設備の問題があり非対面の

図4-1 スマート工場の全体イメージ



研修ができない、研修のために本社から工場まで出向く必要がある、本社に置いた管理室で一括管理ができない、新入社員や外国人技能実習生の研修で多国語対応が十分でない、などが挙げられる。

第2は、作業手順を守らないことによる不良品の多発である。例えば、作業に慣れると手順をスキップするケースが生じる。リマインドする機会も時間もないことが、作業手順の遵守が徹底しない理由として挙げられる。

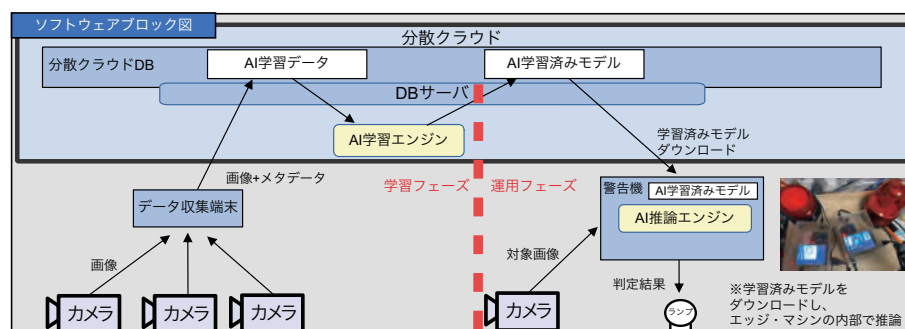
第3は、新型コロナの影響もあり工場の視察が難しいことである。画像や動画で視察する手もあるが、リアルな現場をイメージしづらい。

こうした問題に3つのシステムで対応した。

①eラーニングシステム

オープンソースのeラーニングプラットフォームMoodleをベースに構築した。本社のコントロールセンターから研修コンテンツ（多言語対応）をクラウド経由で配信し、作業員は各工場で研修を受ける。本社のコントロールセンターは、作業員の研修受講ステータスやテスト結果をシステム経由で一

図4-2 誤配置検出AIのシステム構成図



括管理する。研修では、プレス機やベンディング機の基本操作を紹介するMoodleコンテンツの閲覧とビデオの視聴を並行して実施する。

②VR研修アプリ

事故の体験を含め、リアルに近い感覚で作業を体験できる。Moodleコンテンツの閲覧とビデオの視聴を並行して実施する。

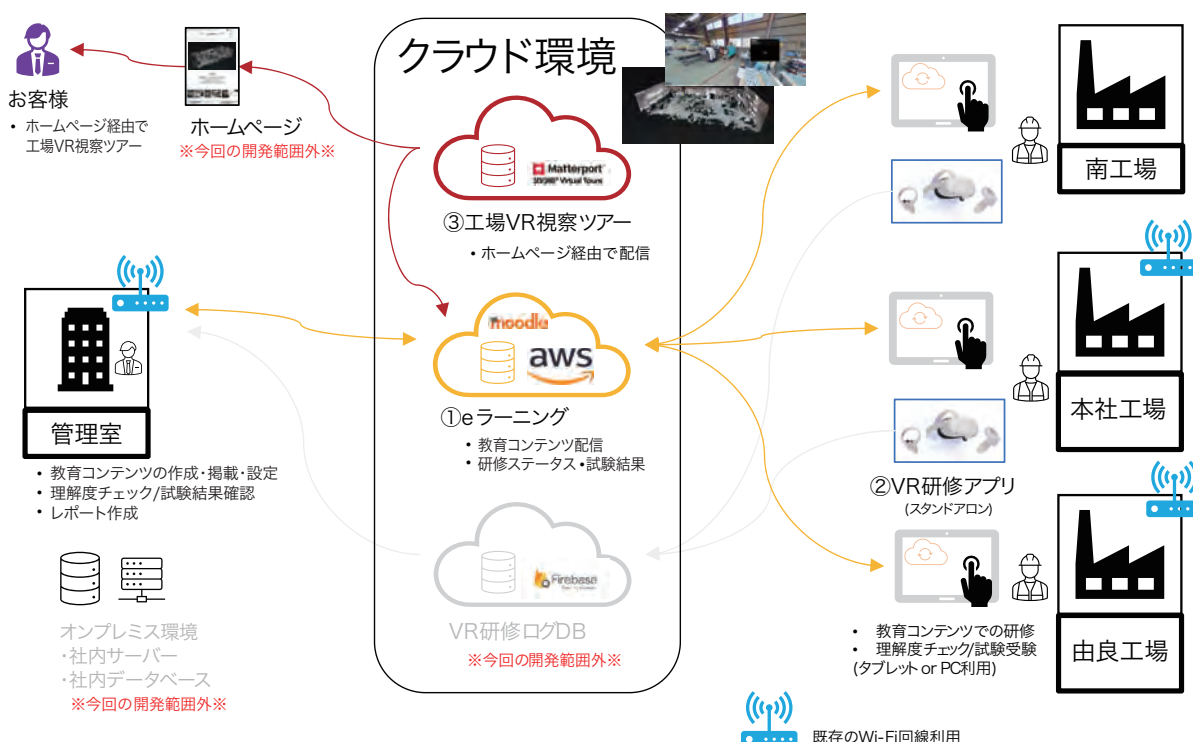
VR体験型のアプリでは、工場を3次元で再現し、3次元空間内を自由に歩行することが可能である。作業の熟練度にかかわらず、

材料の運搬から機器の操作など、実際の作業をリアルに体験できる。機器の巻き込みなどの事故も体感できるので、従業員の安全意識の向上につなげられる。

③工場VR視察ツアー

マターポート（Matterport）フレームワーク（クラウド）を活用し、工場の3次元モデルを再現する。工場内設備の視察がインターネット経由で可能となる。リンク先から設備や機械の説明やビデオを視聴することもできる。

図4-3 社内教育をスマート化



ニューノーマルを守る 働き方改革対応システムに関する実証実験

人の動きの見える化:株式会社イーアールアイ
バイタルデータの監視:株式会社DTSインサイト

組込み向け地域分散型クラウドを使った働き方改革対応システムを構築した。このシステムを用いた低遅延でのフィードバック制御によって、コロナ禍で重要になった「3密(密集、密接、密閉)」を避けソーシャルディスタンスを確保できることと、個人のバイタルデータの監視によって感染拡大抑制に繋がれることを確認した。

人の動きを見える化し 濃厚接触を検知

ウイズコロナの働き方を支援するシステムでは、大きく5つの機能が必要となる。

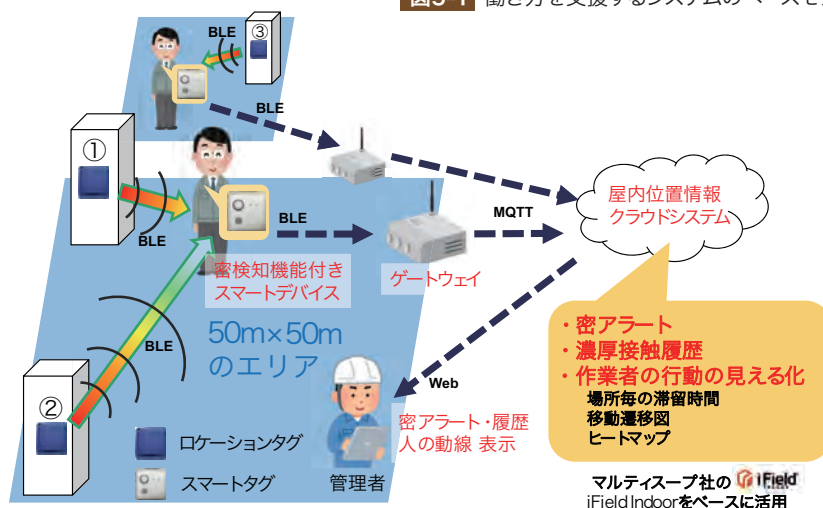
- ①人との距離を常に監視して、アラームが出せる
- ②個人の健康状態を常にモニタリングして異常を検知し、異常時にアラームを出せる
- ③個人情報を守る
- ④簡易的に使えるがセキュリティが堅牢
- ⑤システムが低価格である、あるいは既存のインフラを活用できる

①と⑤に焦点を当て、3つ技術を開発し働き方改革対応システムに組み込んだ。名札やバッジなどに簡単なハードウェアを組

込んで人々の位置情報を取得し動きを認識する技術、スマホなどを使って人と人の距離を測定する技術、人の動きから作業内容を識別する技術である。

図5-1が働き方を支援するシステムのベースモデルである。イーアールアイで開発中の動作分析・改善ツール(InQross)のスマートタグとロケーションタグを使い、密情報と作業者の行動情報を提供する「働き方

図5-1 働き方を支援するシステムのベースモデル



改革対応の分散型クラウドシステム」のベースモデルを開発した。このシステムの機能「密アラート」「濃厚接触履歴」「作業者の行動の見える化」が感染抑制に使えるかを確認した。

スマートタグの位置情報をもとに作業者の行動を見える化したのが図5-2である。ヒートマップや個人ごとのエリア別滞在時間などが把握できる。

図5-2 作業者の行動を見える化



スマートタグで“密”を検知

5cm角と小型のスマートタグを使い、スマートタグ同士でアドバタイズを受信して受信信号強度RSSIを測る。RSSIが閾値を上回った時間が15分間継続した場合にアラートパケットを送信する。例えば1mの距離での接触が15分間続いたら、ゲートウェイを介して分散クラウドのアプリケーションに「密アラート」を通知する。マップ上に密状態であることが表示される。同時に、管理者には対象者名と接触者名、接触時間、場所が記載された「密アラートメール」が届く。濃

こうしたシステムを構築することで密集エリアが特定でき、レイアウト変更が可能となる。感染者が発生した場合には、「濃厚接触者履歴」から濃厚接触者に対して在宅勤

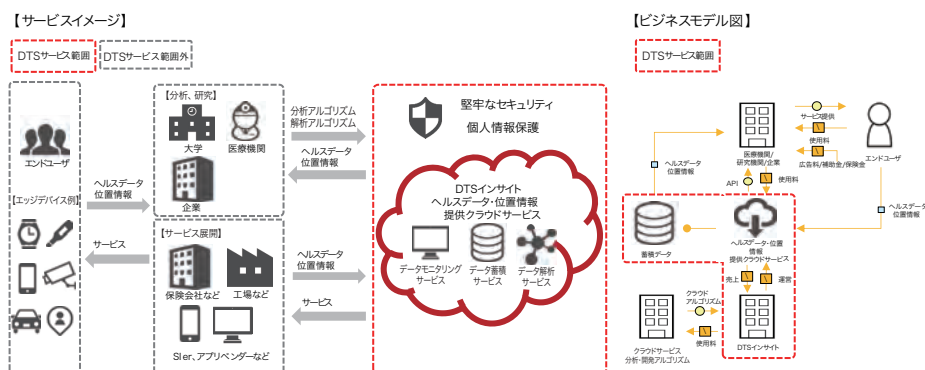
実証実験ではベースモデルを開発するためにゲートウェイを3台(1つのゲートウェイでスマートタグは10台)とした。しかし1万人

規模の工場・オフィスを想定すると、ゲートウェイからのデータが集中するクラウドの負荷が高まる。遅延のない情報提供には、Diarkisエンジンをベースにリアルタイム性を拡張した分散型クラウドプラットフォームが必要と考える。

図5-3 バイタルデータ収集インフラを使ったサービス

こうした現状を打ち破るには、生体データ（バイタルデータ）の収集を共同で行え、個人の健康と生命を守るサービスを短期間でリリースできる「バイタルデータ収集インフラ」の構築が不可欠である。

バイタルデータ収集インフラは、体温計やウェアラブルデバイス、車載ECUなどのエッジ端末から大量のヘルスデータや位置情報を収集し、各種組織・団体からのデータ



へのアクセスを可能にする(図5-3)。つまり様々なエッジデバイスからデータを集め、医療機関やサービス提供会社が分析・モニタリングすることで、健康状態をリアルタイムに監視するエコシステム構築につなげる。

分散クラウドでオーバーヘッド低減

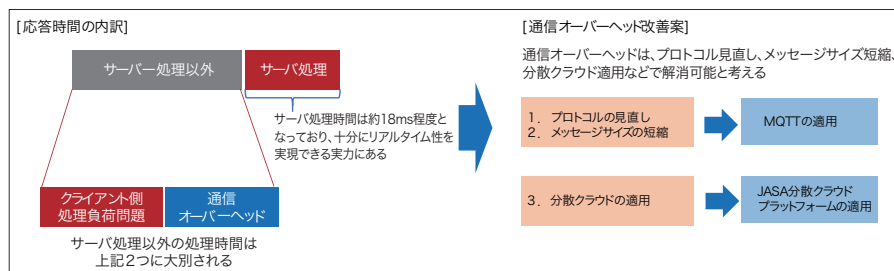
このエコシステムでは、大量リクエストがあつたとしても、ユーザーがストレスなく利用できる低遅延でリアルタイムな双方向通信が不可欠である。そこで、どのような課題があり、どのような解決策が考えられるかを検証した。低遅延、リアルタイムな双方向通信

としては、価値のあるサービスを展開し事業拡大へと繋げるために500msの応答時間を目標とした。

検証は、開発したスマートウォッチとWebを利用したサービスの簡易版、AWS ELB構成のデータ蓄積サービスの環境で実施した。インフラサービスを想定するリクエスト量に対して低遅延で応答できるかを確かめた。条件としては、ユーザー数を1350人、リクエスト周期を1秒、データサイズを100バイト/リクエストとした。ユーザー数の1350人は、ある保険会社のコロナ保険の利用者(1万人超)の10%から導いた。またリクエストのデータは、ユーザーIDと生体データ、位置情報で構成する。

1350ユーザで利用した場合、応答時間500msの目標に対して、更新で平均462.8ms、参照で平均1564.6msの結果となった。バイトルデータ収集は可能なレベルだが、目標には達しなかった。地域分散型クラウドの利用による通信オーバーヘッドの低減が有効な手立てとなると考える(図5-4)。

図5-4 通信オーバーヘッドの要因と改善案



5G時代の建設機械リモート操作・安全担保システムの実証実験

ストリーミング定点監視とドローン制御、遠隔地支援：柳井電機工業株式会社
安全管理と自動危険回避：株式会社エフェクト
建設機器の遠隔操作：ARAV株式会社、柳井電機工業株式会社

建設・インフラ事業のDX化として、「BIM」と呼ばれる管理手法の導入が推進されている。また現場作業従事者のDX技術への期待は、「安全」「リアルタイムな情報・技術の共有」に重きがあるとの分析がなされている。

今回の開発では、リアルタイムな映像分析・映像送受信技術を軸とした「作業現場のDXプラットフォーム構築」を目標とする。

ビジネス化・商材化を最優先に

開発に当たって3つの方針を立てた。①ビジネス化・商材化を最優先した開発、②リアルタイム映像通信の新たなニーズの深耕、③オープンソースの活用、標準規格準拠、市販汎用部材の積極導入である。

①では早期の社会実装を最優先に考え、建設・インフラ業界がDXに期待する「安全性」「リアルタイムな情報・技術の共有」に寄与する技術の開発を目標とした。②については、TV会議の普及などで、映像を用いた

遠隔地間コミュニケーションの有効性が広く認知されたなか、新たなニーズを掘り起こすデモ機・デモシステムを完成させ営業活動につなげていく。③では、ソフトウェア開発において機能ごとのAPI定義と実装を行い、将来的なアプリケーション拡張を容易にすることに留意した。

機能・仕様では以下の目標を置いた。リアルタイム性は、経産省「平成30年度自動走行システムの社会実装に向けた研究開発、実証事業」を参考に、遠隔操作で最低許容量1.0秒以下、目標遅延量0.5秒以下とした。安全システムは、重機などの現場作業車両と現場作業者の移動速度から目標遅延量を0.125秒以下とした。

ドローン自律飛行・遠隔操作システム

常態化する自然災害などに対して、僻地インフラ施設の精密な点検をすぐさま始めるには、小型軽量のトイドローンと分散クラウドを用いたリアルタイム点検・保守安全

サービスが有効な手立てとなる。今回は、航空法規制外の小型トイドローン（重量：80g）を用いた自律飛行・遠隔操作システムの実証実験で有効性を確かめた（図6-1）。

ポイントとなるのは2つ。一つはエッジクラウドでの機体追跡による自律飛行。もう一つは地上映像視点とドローン視点映像を使った遠隔操作である。実証実験の結果、熟練を必要としないレベルでの遠隔操作が可能であることを確認した。

安全担保を重視し、機体飛散防止と異常発生時に備える有線結索（最長20m）によるドローン緊急回収装置も併せて試作した。80g機体と200g機体の双方で機体飛散防止と巻取り動作を確認した。

ドローン緊急回収装置は、気象（風速、風向、雨量）センサーと連動させ、飛行中の降雨や強風、カメラでの追跡不能、通信異常発生の際に稼働する。飛行前の気象条件によっては、飛行を禁止することもできる。着陸時には、ドローンの位置捕捉情報に基づ

図6-1 自律飛行・遠隔操作システムの実証実験

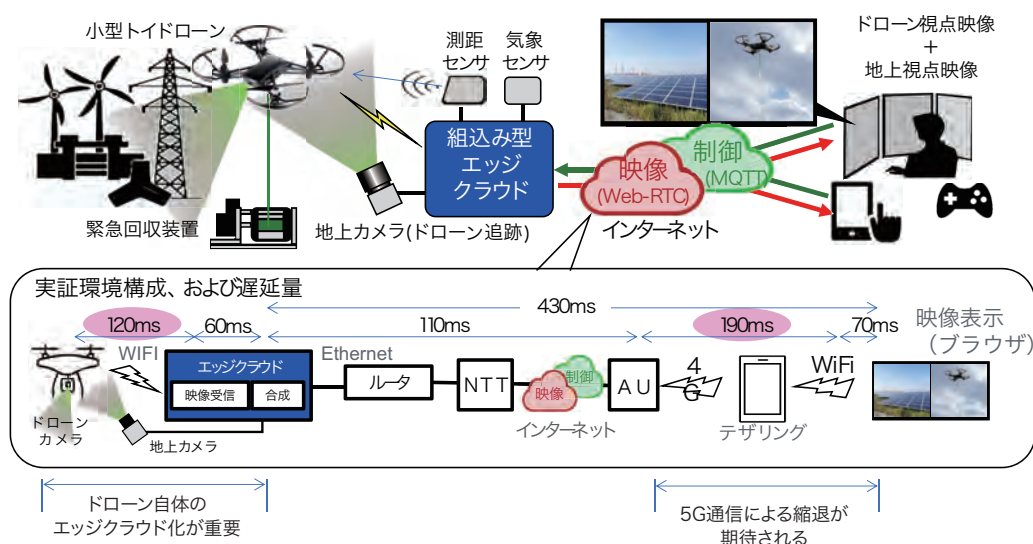
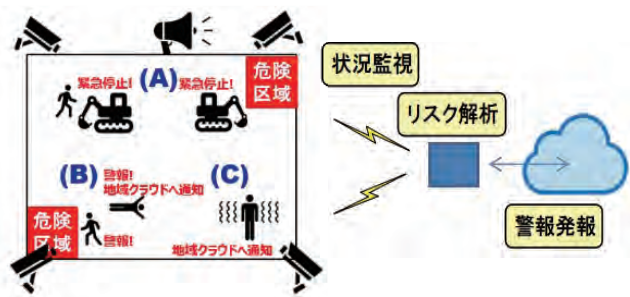


図6-2 作業現場の安全管理



き巻取り動作を行う。

テレビ会議の普及によって遠隔地間の映像通信の有用性が広く認知された結果、多くの顧客がスマートグラスやARグラスを用いた遠隔作業支援に興味を示し始めている。そこで代表的な市販素材を比較評価して、実用性検討を実施した。

評価の結果、ARグラスによる作業効率化の可能性が認められたが、「作業現場で体を動かして操作することに不安がある」といった、マンマシンインターフェースの改善への要望が多数あった。現場作業従事者からのヒアリングシートをもとに、現場作業、遠隔作業支援でのマンマシンインタフェース改善について検討した。

作業現場の危険防止システムを検証

エッジクラウドによる作業現場全体の把握と、危険防止システムの実証実験を行った。上位クラウドと連動させて作業現場の俯瞰地図を表示し、リスク回避を促す。

実証実験の背景には、建設・土木現場での重機事故の大半(51.2%)が作業員との接触という現状がある(国土交通省の「安全啓発リーフレット(令和元年度版)」)。原因は合図・確認の不徹底、誤操作などだが、とりわけ周辺確認の困難な遠隔操縦を考えた場合に自律的な安全監視システムの導入が不可欠である。

危険防止システムは2つの機能を備える。一つは、重機が人物または危険区域に接近したら重機の自動停止命令発行する機能

(図6-2の(A))、もう一つは人物が危険区域に接近したら警報を発出する機能である(図6-2の(B))。健康状態監視システム(図6-2の(C))についても基礎的な検討を併せて実施した。

危険防止システムで用いる現場の俯瞰地図はLidarで作る。人物と重機の位置の把握にはそれぞれ俯瞰カメラとLidarを用いており、リアルタイムでの推定が可能である。情報は、エッジクラウドのJetson AGX Xavierに統合し、俯瞰地図上での位置を算出し危険かどうかを判定する。地域クラウドでは俯瞰地図と警報の表示を行う。

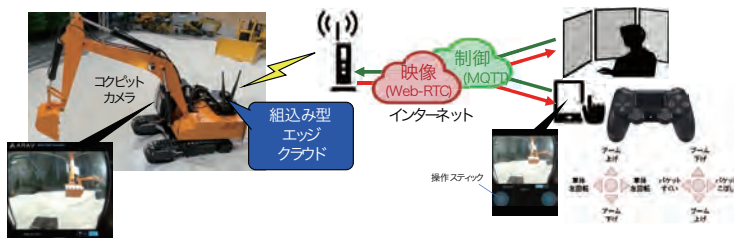
危険防止システムでは、人と重機が指定距離以内に接近すると危険と判定して、警報音を鳴動させるなどのエマージェンシー処理を実行する。

システムに遅延がある場合、人や重機がその遅延時間で移動する距離に応じたセーフティーマージンを取る必要がある。実証実験によって、セーフティーマージンを確保できるかどうかを検証した。

セーフティーマージンの目標値は成人の1歩(0.5m)に相当する距離以内とした。遅延時間は以下で求められる。重機の場合は通常最大で 5.5km/時(1.5m/秒)程度、成人の小走りは2.5m/秒程度であり、重機と人の相対速度は最大で4m/秒程度となる。遅延時間の目標は $0.5\text{m} \div (4\text{m/秒}) = 125\text{ms}$ と計算できる。

WiFi-6と4G回線を用いた遅延時間は、俯瞰カメラ/Lidarで90ms、エッジクラウド

図6-3 建設機械(バックホー)の遠隔操作



で10ms、通信で240msとなり、合計340msに達する。距離にすると1.4mであり許容範囲を超える。

システム遅延時間の71%(240ms)が通信による。ここにローカル5G回線を用いれば、通信遅延を1ms(総務省の「5G・ローカル5Gの普及・高度化に向けた取り組み」による)に短縮できる。遅延時間は101ms(距離で40cm)となり許容範囲に収まる。

建機の遠隔操作システムの動作を確認

以下に示す環境で、建設機械(バックホー)の遠隔操作を確認した(図6-3)。

①実機を再現した建機模型と操作環境

建設機械(バックホー)の遠隔操作を、実機稼働メカニズムと同様となるように改造した、油圧動作式大型模型(1/12サイズ)と、実際の作業現場と同様の挙動を得るための微細砂礫を敷いたテストフィールドを準備した。

②プラットフォーム化したエッジクラウド

バックホー車体上部に組み込み型エッジクラウド装置を配置し、ここに全ての操作制御(車体走行、ブーム、アーム、バケット)を行うAPIを実装。将来的なアプリケーション拡張を容易にした。

③ブラウザとスマホでの簡単操作

約950km離れた静岡県富士市のテストフィールドと福岡市を結んで遠隔操作を実施し、実用上問題のないことを確認した。遅延は約0.3~0.4秒であり目標値をクリアした。