

3-3 国難災害に備える機関横断情報通信システム (X-ICS) —災害実動機関の情報共有DXに向けた研究開発と実動訓練による検証—

3-3 *X-ICS: A Cross-Agency Information and Communication System for National-Scale Disasters* — *Research, Development, and Operational Validation Toward DX-Enabled Information Sharing Among Emergency Response Organizations* —

大和田 泰伯 佐藤 剛至 重松 直子
OWADA Yasunori, SATO Goshi, and SHIGEMATSU Naoko

南海トラフ地震や首都直下地震などの国難級災害の発生が懸念されている。これらの大規模災害では、広域かつ長期間にわたり通信インフラが被災し、災害対応に必要な情報共有が困難となる可能性が高い。特に、消防、警察、自衛隊等の災害実動機関は、公衆通信網が利用できない環境下においても、組織横断で連携しながら救助・救命活動を継続しなければならない。

我々は、こうした課題を解決するため、戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第3期「スマート防災ネットワークの構築」の一環として、機関横断情報通信システム (Cross-Agency Information and Communication System : X-ICS) の研究開発を進めている。本稿では、研究開発の背景、災害実動機関における情報共有の課題、システムの位置付けと構成、それらを支える要素技術および実動訓練「SIP防災OKINAWA2025」における実証結果について報告する。

Catastrophic disasters such as the Nankai Trough Earthquake may severely disrupt communication infrastructure, making information sharing among emergency response organizations difficult. Fire departments, police forces, the Self-Defense Forces, DMAT, and other agencies must continue coordinated operations even when public networks are unavailable. To address this challenge, we are developing the Cross-Agency Information and Communication System (X-ICS) under the Strategic Innovation Promotion Program (SIP) Phase 3, “Smart Disaster Prevention Network.” This paper outlines the background of the project, the architecture and key technologies of X-ICS, and the results of operational validation conducted during the SIP Disaster Prevention OKINAWA 2025 exercise.

1 まえがき

1.1 国難災害への備えと情報通信の重要性

令和6年8月に発生した日向灘の地震を契機として、政府は初めて南海トラフ地震臨時情報(巨大地震注意)を発表した。幸いにも巨大地震の発生には至らなかったが、南海トラフ巨大地震は今後30年以内に高い確率で発生すると予測されており [1]、その被害規模は東日本大震災を大きく上回る可能性が指摘されている。

内閣府の被害想定によれば、南海トラフ巨大地震が発生した場合、東海地方から近畿、四国、九州に至る広範囲で停電や通信障害が発生し、固定電話および携帯電話の多くが利用できなくなると推定されている [2]。

特に被害の大きな地域では、通信途絶が数週間以上継続する可能性もある。2011年の東日本大震災では、津波による通信設備の被災や長期間の停電により多数の携帯電話基地局が停止し、被害状況の把握、安否確認、応援部隊との連絡などに大きな支障が生じた。その後の熊本地震や令和6年能登半島地震においても、同様の通信障害が広域で発生している [3]。

近年ではStarlinkに代表される低軌道衛星通信システムが実用化され、災害時の通信確保手段として期待されている。しかし、衛星通信端末は「点」としての通信環境を確保できても、広域に展開する多数の利用者全員に対して、高速通信を利用可能にすることは容易ではない。また、携帯端末が直接低軌道衛星と通信す

るDirect to Cell (D2C) 技術も実用化が進んでいるが、現行の高度550 km軌道の衛星ではアップリンクの通信速度がビームあたり数Mbps～十数Mbps程度であり、被災現場から画像や映像を送信するなどの用途での使用は難しい。より低い340～360 km軌道のD2C向け衛星の打ち上げも進行中であり、将来的に通信速度は改善されることが見込まれるが、それまでの間に有事が発生した場合に対応が難しいことには変わりはない。安全保障上の懸念も含めたあらゆるリスクを考慮し、常に代替となる手段を備えておく必要がある。

このような背景から、災害時における情報共有を支える通信基盤には、「利用可能な通信手段は最大限活用し、利用できないときでも現場で情報共有を継続できる」というレジリエンスが求められる。

1.2 災害対応における情報共有の重要性

大規模災害の発生直後には、被害状況の把握と人命救助が同時並行で進行する。限られた人員、重機、医療資源、輸送手段をどこへ優先的に投入するかを判断するためには、現場からの情報を迅速かつ正確に集約する必要がある。

東日本大震災では、被災地の通信インフラが壊滅的な被害を受け、被災地の被害状況の全容を把握するのに長時間を要したため、遠方から派遣・投入された救助部隊を配分する際に、情報が無い初動段階では人口のエリア分布に応じて部隊を配分せざるを得なかった。地域の事情に精通した地元警察、消防、消防団からの情報がより早期に収集・共有できる手段があれば、初動段階から最適な資源配分が可能であったと考えられる。また、令和6年能登半島地震では、被災地へ進入可能な経路、通行可能な車種等の情報が応援部隊間でタイムリーに共有することが困難であったため、応援部隊の被災地到着に時間を要した。災害対応における情報共有は単なる連絡手段ではなく、人命救助の成否や資源配分の効率性に直接影響する重要な要素である。

1.3 NICTにおける取組

NICTでは、これまで「レジリエントICT」、すなわち災害や障害が発生した状況下においても可能な限り機能を維持し、迅速に復旧できる情報通信技術の研究開発を進めてきた。その代表的な研究成果の1つがNerveNetである[4][5]。NerveNetは、メッシュ型ネットワーク、分散データベース、分散サービス基盤を統合したネットワークプラットフォームであり、インターネットから切り離された環境においてもサービスを継続できる特徴を有する。和歌山県白浜町や宮崎県延岡市などで実運用が行われ、地域ネットワークや防災用途への活用が進められている。

一方で、災害実動機関同士の組織横断的な情報共有という観点では、さらに異なる要求条件への対応が必要となる。そこで、NerveNetで培った技術を基盤として、災害実動機関向けに特化した情報通信システムとして開発を進めているのがX-ICSである[6]。

2 災害実動機関における情報共有の現状と課題

2.1 現地合同調整所における情報共有

消防、警察、自衛隊、海上保安庁、TEC-FORCE（緊急災害対策派遣隊）、DMAT（Disaster Medical Assistance Team：災害派遣医療チーム）などの災害実動機関は、それぞれ独自の指揮命令系統と通信手段を有している。しかし、実際の災害対応ではこれらの組織が連携しながら活動する必要があるため、被災地内には「現地合同調整所」が設置される。現地合同調整所では、各組織が収集した情報を持ち寄り、地図やホワイトボードに記入しながら状況認識を共有する。

この方法は簡便であり、電源や通信回線がなくても運用できる利点がある。その一方で、次のような課題も存在する。

- ・その場に行かなければ情報が得られない
- ・情報共有のタイミングが限定される
- ・記録として残りにくく、時系列管理が困難である
- ・口頭伝達による誤聞や伝達ミスが発生し得る

特に国難級災害では複数県にまたがる広域被災が発生するため、現地合同調整所単位での情報共有だけでは全体状況の把握が困難となる。

2.2 SOBO-WEBと現場情報共有のギャップ

政府は2024年度より、新総合防災情報システム（SOBO-WEB）の運用を開始している[7]。SOBO-WEBは、国や自治体、指定公共機関などから収集した情報を統合し、政府災害対策本部における意思決定を支援するシステムである。しかし、SOBO-WEBに登録される情報は、現場で収集された情報を整理・集約した後に入力されることが前提となっている。一方、災害実動機関が現場活動で必要とする情報は、数分単位で変化する状況、個別の救助案件、被災者の状態、道路閉塞情報、重機の配置状況など、より細粒度で即時性が求められる情報である。このため、現場レベルの情報共有と政府レベルの情報統合の間には、依然として大きなギャップが存在しており、現場で活動する複数の組織間で、得られた詳細な情報を容易かつタイムリーに共有するための情報共有手段が求められる。

3 X-ICSの研究開発

3.1 SIP第3期における位置付け

災害対応における情報共有の重要性は以前から認識されていたものの、消防、警察、自衛隊、海上保安庁、DMAT、TEC-FORCEなどの災害実動機関が現場において共通で利用できる情報共有のためのシステムは存在していなかった。各組織は独自の情報システムや通信手段を保有しているが、それらは組織内での利用を前提として設計されており、異なる組織間でシームレスに情報を共有することは容易ではない。

この課題に対して、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第3期「スマート防災ネットワークの構築」サブ課題C「災害実動機関における組織横断の情報共有・活用」では主要研究課題の1つと位置づけている [8]。その目的は、災害発生直後の超急性期において、異なる組織が保有する情報をリアルタイムに共有し、状況認識の統一と迅速な意思決定を支援することである。

図1に、サブ課題Cを構成するシステム群の全体像を示す。サブ課題Cでは、最前線の部隊の活動を支援する情報入出力ユーザインターフェースを提供するX-FACE [9]、通信インフラを担うX-ICS、情報集約・機関間調整の中核となる共通状況図 (Common Operational Picture : COP) を提供するWebGISアプリケーションのOpen-Xedge [10]の3つの「災害対応のシステム」と、DSG-SIMによる現実に即した仮想的な災害状況の再現と災害対応アクションが仮想災害状況

へ与える影響のシミュレーション、生成AIによる訓練状況付与、訓練プログラムの3つの「訓練のシステム」を、一体的に研究開発を進めている。我々はこのうち情報通信基盤であるX-ICSの研究開発を担当しており、防災科学技術研究所 (NIED) が開発するOpen-Xedge等のアプリケーション群と連携しながら、通信環境の良否に依存せず利用可能な情報共有プラットフォームの実現を目指している。

3.2 X-ICSのコンセプト

X-ICSの開発において重視したのは、「切れない通信」と「業務の継続」の両立である [11]。従来のクラウド型システムは、高機能で利便性が高い反面、インターネット接続を前提としており、通信インフラが被災するとサービスそのものが利用できなくなる可能性がある。一方、完全なオフラインシステムは通信障害には強いが、広域な情報共有やデータ集約には不向きである。

そこでX-ICSでは、通信可能な場合はクラウドと連携し、通信が途絶した場合はローカルで動作を継続し、再接続時には自動的に同期するというハイブリッドなアーキテクチャを採用した。利用者は通信環境を意識することなく、普段と同じ操作で情報を登録・閲覧でき、システム側がネットワーク状態を判断して最適な通信経路や保存先を自動的に選択する。この設計思想は、災害時において利用者へ追加の負担を与えないという観点からも重要である。

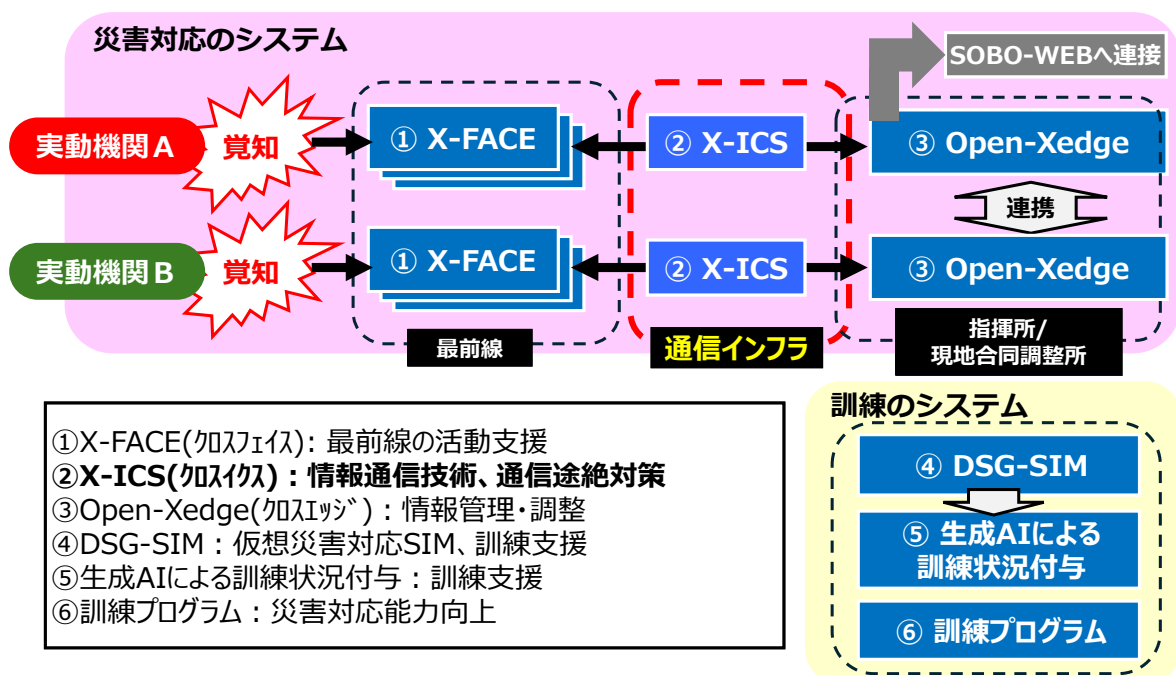


図1 SIP第3期サブ課題C「災害実動機関における組織横断の情報共有・活用」の全体構成

3.3 Open-Xedgeとの連携

X-ICSは単独のシステムとして動作するものではなく、災害現場における情報共有アプリケーションとして、防災科学技術研究所が開発しているOpen-Xedgeと連携して動作する。Open-XedgeはWebGIS技術を利用した情報共有プラットフォームであり、被害状況、救助活動状況、避難所情報、道路情報などを地図上のレイヤとして重ね合わせ、共通状況図(Common Operational Picture：COP)として可視化することができる。

利用者はスマートフォンやタブレット、ノートPCなどからブラウザ経由でOpen-Xedgeへアクセスし、情報の入力や閲覧を行う。通常時にはクラウド上のOpen-Xedgeサーバとリアルタイムにデータ同期を行うことでクラウドのプロキシサーバとして動作し、通信途絶時にはX-ICS内部で動作するローカルOpen-Xedge単体でも動作を継続する。利用者から見ればいずれも同じ画面であり、通信状態を意識する必要はない。

3.4 SIP4D・SOBO-WEBとの連携

X-ICSやOpen-Xedgeは現場レベルの情報共有のみを目的としたシステムではない。災害現場で収集されOpen-Xedgeに入力された情報は、必要に応じて上位の災害情報共有のためのシステムであるSIP4DやSOBO-WEBへ連携される。SIP4D(Shared Information Platform for Disaster Management)は防災科学技術研究所が開発した災害情報流通基盤であり[13]、さらに、近年内閣府により運用が開始された新総合防災情報システム(SOBO-WEB)は、政府災害対策本部にお

ける意思決定支援に活用されることが国の防災基本計画にも記されている[14]。

X-ICSは、これら上位システムとの橋渡しを行うエッジ基盤として設計されている。現場で収集された情報はまずX-ICS内部で動作するOpen-Xedgeを介してX-ICSのデータ同期基盤へ保存され、インターネット接続が利用可能になった時点で自動的にSIP4DやSOBO-WEBと接続しているOpen-Xedgeのサブシステム内で動作するX-ICSのデータ同期基盤と同期・連携される仕組みである。これにより、現場から現地合同調整所、自治体、都道府県、政府という情報流通経路をシームレスに実現できる。

3.5 小型・省電力X-ICSの開発

実動訓練を通じて、初期試作機に対しては、「より小型化してほしい」「車両以外にも搭載したい」「被災現場へ持ち込みやすくしてほしい」、といった要望を各機関から頂いた。初期試作機は高性能なCPUや大容量バッテリーを搭載していたため、可搬性に課題があった。

そこで、データの同期・運搬に特化することで低消費電力CPUでも動作するようにシステムを見直し、新たに小型・省電力のX-ICSを開発した。図2に、初期試作から車載型、ドローン搭載型、四足歩行ロボット搭載型、二輪搭載型に至る装置群の外観と機能比較を示す。ドローン搭載型は、道路が寸断された地域や孤立集落への迅速な展開を目的とし、総重量を大幅に削減して小型無人航空機への搭載を可能とした。二輪搭載型は、陸上自衛隊や消防機関が保有する偵察バイクやオフロードバイクへの搭載を想定している。図2に



図2 X-ICS装置の種類と機能比較

示すとおり、これらの小型機は、初期試作機（内蔵バッテリー駆動時間30分）に対し、バッテリーのみで6時間以上の連続運用を可能としつつ、LTE/5G回線、Wi-Fi AP/STA、Wi-Fi HaLowといった従来機と同等の通信機能を維持している。

これらの開発により、X-ICSは車両だけでなく、ドローン、バイク、UGV（無人地上車両）、さらには四足歩行ロボットなど、多様なモビリティへの搭載が可能となった。

4 X-ICSを支える技術

X-ICSの最大の特徴は、通信インフラが正常な環境から完全途絶環境まで、幅広い状況で情報共有を継続できる点にある。図3にX-ICS内部のソフトウェア構成を示す。X-ICSでは全ての機能をコンテナ（マイクロサービス）として実装しており、Proxy機能を提供するedgeserver、隣接装置の発見とDB・ファイル同期

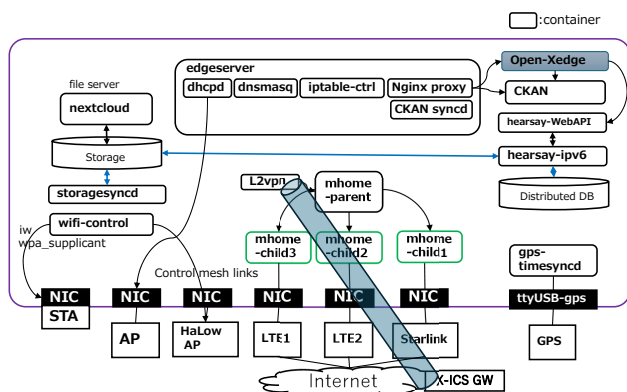


図3 X-ICS内部のソフトウェア構成

を担うhearsay-ipv6、複数のインターネット回線を束ねるマルチパス統合機能(mhome)、クラウド上のX-ICSとVPN接続する機能などが、Open-XedgeサーバコンテナとともにX-ICS上で動作する。以下では、これらを構成する主要な要素技術について述べる。

4.1 マルチパス通信技術

災害時には利用可能な通信回線が限定される恐れがある。ある地域ではあるキャリアの携帯電話回線のみが利用でき、別の地域ではStarlinkのみが利用可能であり、またローカル5Gが利用可能な場合や、自治体ネットワークが残存している場合もある。X-ICSは、これら複数の通信回線を自動的に認識し、その回線の状態を把握して複数と同時に利用できるマルチパス通信技術を搭載している。

図4に外部接続のマルチパス化の構成を示す。X-ICS装置は、インターネット上のX-ICSゲートウェイと通信が可能であれば、そことの間にSSL/TLSセッションを構築し、その中にEthernetフレームをそのまま透過させるVPNを自動的に構築する。もしX-ICS装置がインターネット接続可能な複数の回線を持っている場合には、Multipath TCPを用いて複数の回線にVPNセッションに対するサブフローを動的に割り当てる。例えば5G回線(docomoおよびau)、Starlink、ローカル5Gでそれぞれインターネット接続が利用可能な場合、それらを同時に利用して通信帯域を増加させることができる。また、一部の回線が途絶した場合でも残存する回線で通信が維持できるため、利用者は通信障害を意識する必要がない。X-ICSゲートウェイは、X-ICS装置からの通信をそのままIPマスカレードして転送する。図4に示すとおり、この仕組みはX-ICSに

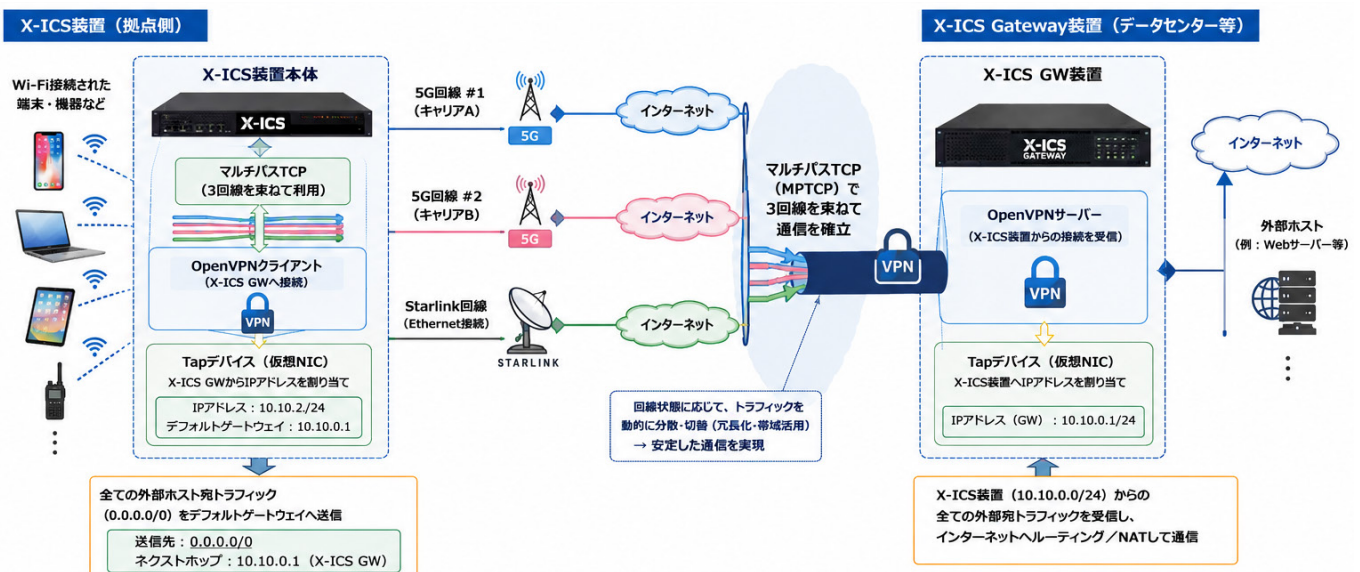


図4 外部接続のマルチパス化の構成

接続する端末や、端末の通信相手であるサーバ側のいずれにもMultipath TCP対応を要求せず、途中でマルチパス化を行う。つまり、端末はX-ICSに接続するだけでマルチパス通信による冗長化と帯域ボンディングの効果を享受できる。

4.2 Open-Xedge Proxy機能

Open-XedgeのWebGISサーバは通常、クラウド上で運用されているため、通信途絶状態ではアクセスできない。そこでX-ICSでは、Open-Xedge Proxy機能を実装している。これは、図3に示したedgeserverコンテナにより、端末からのOpen-Xedgeサーバへの接続先をedgeserverコンテナ内のnginx proxyがローカルで動作するOpen-Xedgeコンテナへ転送することで、インターネット接続が途絶したとしても端末にはクラウドのOpen-Xedgeへ接続しているかのように振る舞うことができる。また、SIP4Dが提供するカタログDB (CKAN)、ファイルサーバ、メタデータ管理機能なども最新の情報をローカル環境へ複製し、一時的にSIP4Dの代理サーバとしても動作させる機能も有する。これにより、利用者から見ると、クラウドへ接続している場合と全く同じ操作で情報の検索や閲覧、登録を行うことができ、通信回復後には自動的にクラウド側と同期が行われる。

4.3 隣接発見と差分同期技術

災害現場では限られた通信資源を効率的に利用するため、X-ICSでは変更された部分のみを抽出して同期する差分同期技術を採用している。図5に、X-ICS同士の隣接発見・DB同期・ファイル同期の仕組みを示す。各X-ICSはIPv6リンクローカルブロードキャストによるビーコンを送出しており、装置同士が直接接続されると接続を自動検出し、IPv6リンクローカルユニキャストを用いてDBの差分検出と同期を独自プロトコルにより実行する。X-ICS上で動作するアプリケーションコンテナに対しては、WebAPI経由でデータの書き込み、読み込み、差分通知の機能を提供する。

また、図5に示すとおり、DBテーブル内の制御用

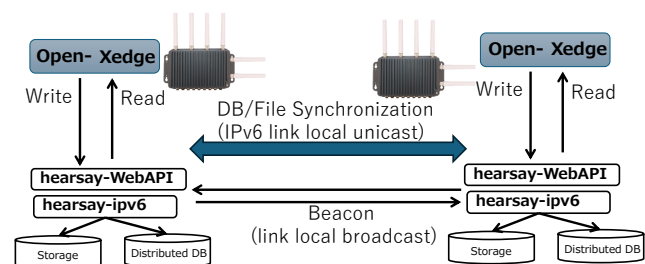


図5 X-ICS同士の隣接発見・DB同期・ファイル同期の仕組み

コラムの値に基づき、レコードごとに同期に使用する回線や同期優先度を制御できる。これにより、例えば帯域の限られたWi-Fi HaLowや狭帯域IoT無線経由では重要かつ即時性が求められる少量のテキスト情報のみを同期するといった運用が可能であり、低帯域通信環境においても大きな効果を発揮する。

4.4 情報のバケツリレー

X-ICSを特徴付ける技術の1つが、情報の「バケツリレー」である。通常の通信システムでは、受信者と送信者（サーバとクライアント）が同時・双方向に通信可能であることが前提となる。しかし災害時には、通信エリアの分断や中継設備の不在により、直接目的の相手と通信できない状況が発生する。

そこでX-ICSは、装置自体が移動することを前提として、中継ノードが情報を運んで届けるよう設計されている。前節で述べた隣接発見・差分同期の仕組みにより、装置同士が接近すると自動的に通信可能な相手を発見し、保持している情報を交換する。その後、別の場所へ移動して再び情報交換を行う。この動作を繰り返すことで、インターネットを使わずに広範囲へ情報を伝搬できる。これは、DTN (Delay/Disruption Tolerant Network) [15]の考え方を災害実動機関向けの情報共有へ適用したものと位置付けることができる。ただし、すでに標準化されているTCP/IPの通信をバンドル層によって模擬し中継を行うDTNプロトコルとは異なり、X-ICSではファイルやデータベースの同期を行う機能やDNS Masqにより、アプリケーションサーバの機能自体を分散化してProxyとして動作させ、そのアプリケーションがアクセスするデータベースやファイルが自動的に装置間で同期される仕組みにより実現している。

4.5 長距離通信可能な端末間通信用無線機の併用

X-ICSでは、通常のWi-Fiに加えてWi-Fi HaLowを利用している。Wi-Fi HaLowは920 MHz帯を利用する無線LAN規格であり、通常のWi-Fiと比較して長距離通信が可能である。伝送速度は低いものの、テキスト情報、制御情報、状況通知などの伝送には利用できる。さらに、AP間のマルチホップ通信機能 (IEEE802.11sのメッシュ機能の一部) によりAP同士が相互接続できる機能を利用し、X-ICS同士のアドホック通信を実現している。また、公共ブロードバンドのガードバンドにおいて利用が検討されている長距離通信が可能なVHF-IoT無線 (VHF帯を用いた狭帯域IoT無線) [16]の無線機や、各機関が保有するアドホックIP通信装置も組み合わせて、X-ICS同士の通信回線として利用することができる設計としている。

5 SIP防災OKINAWA2025における実証

5.1 実証の目的

SIPにおいて研究開発を行っている、X-ICSやOpen-Xedge、X-FACEなどの「災害実動機関における組織横断の情報共有・活用技術」は、複数の災害実動機関が救助活動現場や合同調整所において、シームレスに取得した情報を共有し、各機関同士で各種資機材および人的資源の調整を行うために開発したシステムである。しかし、消防・警察・自衛隊などの災害実動機関は単独で独立して活動できることを前提に組織が構成されており、各機関が単独で行う訓練では他機関との合同調整を行うこと自体が困難であり、システムの有効性検証ができなかった。

そこで、2025年12月21日に沖縄県南城市において、SIP受託研究機関が主導となり「SIP防災OKINAWA2025」を企画・実施し[17]、消防、警察、自衛隊、海上保安庁、DMATなど複数の災害実動機関や自治体、災害関連機関と連携しながら開発したシステムの実証を行った[18]。この訓練は、事前に被害の状況や要救助者の有無などが全く分からない状態から開始し、訓練における搜索活動により初めて要救助者や被害の状況が明らかになっていく、実際の活動に近い完全ブラインド型の実動訓練として実施しており、南西諸島地域での大規模地震災害を想定し、離島地域においては通信インフラが利用できなくなった状況を再現した実動訓練である。本実証では、単なる通信性能の評価ではなく、災害実動機関が実際に収集した情

報を用いて、情報共有システムとしての有効性を検証した。

5.2 訓練シナリオとシステム構成

訓練では、大地震の発生を想定し、南城市役所を除く南城市内全域で有線網および携帯電話網が使用不能となる通信途絶環境を設定した。沖縄県南城市沖に位置する久高島を通信孤立地域とし、現地の消防団および医療関係者が収集した被害情報・傷病者情報を、本島側の南城市役所内に設置した現地合同調整所および内閣府SOBO-WEBまで伝達する一連の運用シナリオをX-ICS、X-FACE、Open-Xedgeにより検証した。

図6に、訓練におけるシステム全体の配置を示す。久高島診療所には事前に車載型X-ICS装置を配備し、訓練開始と同時に、スマートフォンからの音声認識により簡単に情報入力が行えるアプリケーション「X-FACE Type3A」を用いて、X-ICS内で動作するOpen-Xedgeへ現地情報が入力された。通信途絶環境下では情報は久高島内のX-ICSに蓄積され、装置の物理運搬およびX-ICS装置間の同期を介して本島側へ伝達される構成とした。本島側のあざまサンサンビーチには車載型X-ICSおよびローカル5G基地局(スタンドアロン型)を、南城市役所にもX-ICSとローカル5G基地局(スタンドアロン型)を設置し、ローカル5G端末機能を持つX-ICS装置が拠点間を移動することで、それぞれの拠点に蓄積された情報をローカル5G経由でバケツリレーのように同期共有する。市役所側のX-ICSは、2つの5Gモジュール(公共安全モバイルサー



図6 SIP防災OKINAWA2025におけるシステム全体の配置

ビス：docomoおよびau）とStarlinkの計3回線を、4.1節で述べたマルチパス通信技術により束ねて運用した。

当初は、ドローン搭載型X-ICSを久高島および本島側に配備し、海上空域でドローン同士がすれ違いざまにデータ同期を行う運用を計画していた。しかし、訓練当日は強風のため、安全性を考慮してドローンによる長距離海上飛行を中止し、久高島で情報を蓄積した車載型X-ICSをフェリーで本島へ運搬する運用へ変更した。なお、上空でのドローン同士のデータ同期については、訓練とは切り離れた機能検証として、ビーチにて2台のドローン搭載型X-ICSを互いにWi-Fiの届かない位置から離陸させ、上空で接近させて同期する検証を別途実施した。

5.3 実証結果

図7に、訓練における各装置の運用とデータ同期の動作結果を示す。久高島では9時10分よりX-FACE Type3Aを用いて訓練データ16件(写真画像、位置情報、文字情報を含む計約37.9 MB)が入力された。これらの情報はX-ICS同士が接触した際に自動的に差分同期され、フェリーによる運搬、あざまサンサンビーチでの装置間同期、ローカル5G経由での二輪搭載型X-ICSへの同期を経て、南城市役所(現地合同調整所)およびクラウド上のOpen-Xedgeまで確実に伝達された。

良好な通信環境下では16件全データの同期が約6秒で完了し、離れた車内に格納された装置同士間の通信環境が悪い条件下でも約2分6秒で同期が完了するなど、環境によらず同期処理が継続されることを確認した。

特に興味深い結果として、訓練計画で想定していなかった経路を介して情報が伝搬した事例が確認された。装置ログの解析により、久高島からフェリーで運搬された車載型X-ICSがビーチ駐車場に到着したタイミングと、機能検証を終えたドローン2台を南城市役所へ運搬するため車両へ積載するタイミングが数分間重なっており、その間にWi-Fi接続による自動同期が行われ、ドローン搭載型X-ICSが久高島のデータを市役所まで運搬していたことが判明した。当初のシナリオでは陸上自衛隊の偵察バイクに搭載した二輪搭載型X-ICSが久高島の情報を市役所へ届ける想定であったが、実際にはそれより先にドローンを南城市役所へ運んだタイミングで情報が南城市役所へ到達していた(図8)。これは想定外の挙動ではあるものの、X-ICSが周囲の装置を自律的に発見して差分同期を行うという本来期待される動作が正しく機能した結果であり、利用可能な接続機会を活用して情報が自律的に拡散することが実証されたといえる。

また、ローカル5Gを活用した同期では、Wi-Fiより

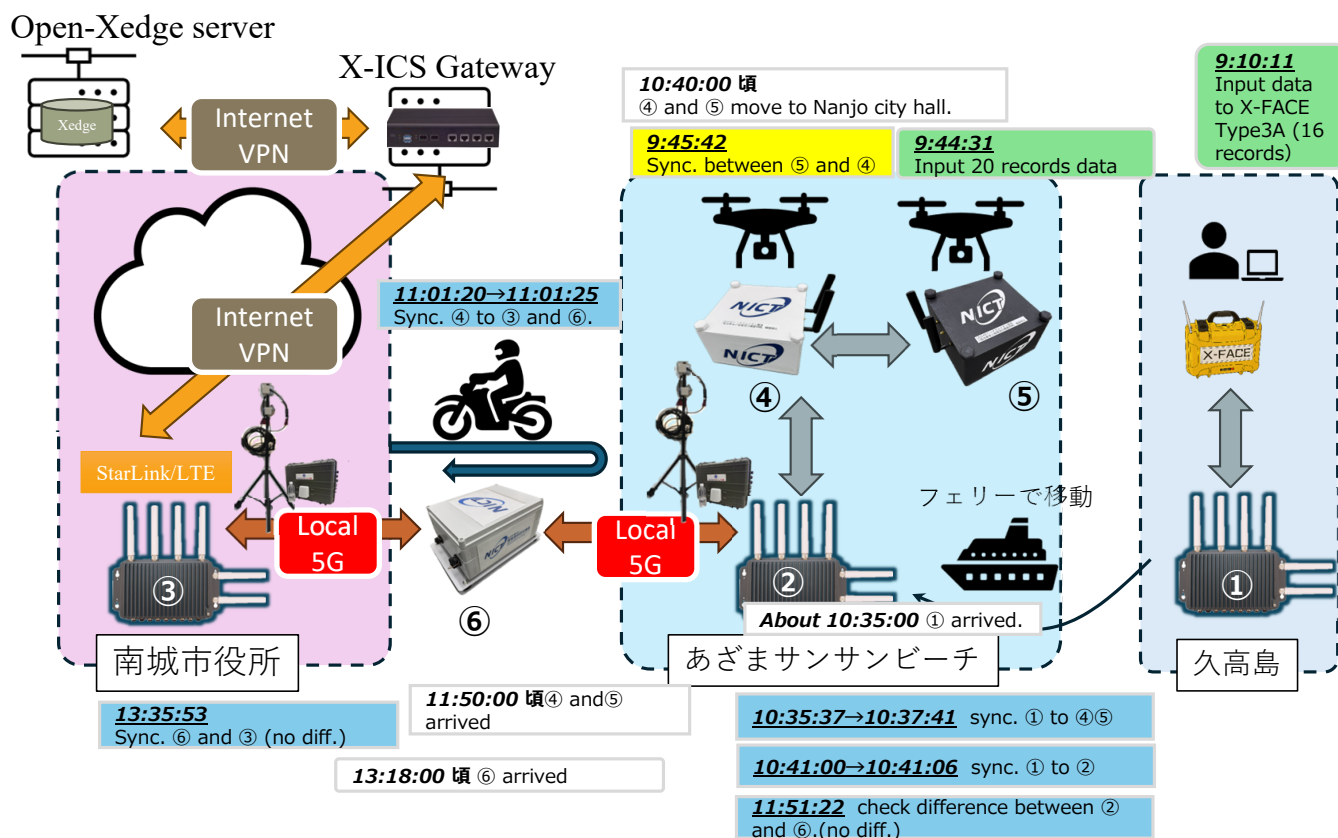


図7 訓練における運用と各装置間のデータ同期結果

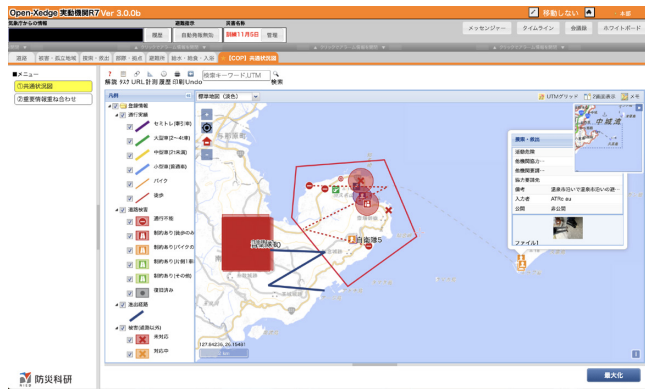


図8 南城市役所の合同調整所のOpen-Xedgeに共有された久高島の情報

も広範囲で接続が行えること、接続から同期開始までの時間および通信時間がWi-Fiより短いことが確認され、従来の無線LANでは難しかった広範囲での安定したデータ共有も実現した。

5.4 考察

今回の実証により、X-ICSは通信環境の変化に柔軟に適用しながら情報共有を継続できることが確認された。特に重要な成果は、通信回線の有無そのものではなく「情報を届ける」という目的に着目した設計思想の有効性が実証されたことである。災害現場では通信品質やネットワーク構成が刻々と変化するため、常に安定した通信経路を前提とした設計では十分ではない。X-ICSは、通信可能な時には高速に同期し、通信できないときには装置の移動そのものを利用して情報を運搬するという柔軟な仕組みを実現しており、将来的な大規模災害対応において有効な情報共有手段となる可能性を示している。

6 今後の展望とまとめ

本稿では、災害実動機関における情報共有の課題に対する取組として、機関横断情報通信システム (X-ICS) の研究開発について紹介した。大規模災害発生時には通信インフラそのものが被災し、通常の情報共有手段が利用できなくなる可能性がある一方で、救助・救命活動や応急復旧活動のためには現場の情報を継続的に共有し続ける必要がある。X-ICSは、この課題に対して「切れない通信」と「業務の継続」の実現を目指して開発されたシステムであり、マルチパス通信、差分同期、バケツリレー、Proxy、Wi-Fi HaLow等のデバイス間無線通信などの技術を組み合わせることで、通信環境の良否に依存しないデータ同期基盤を実現している。

SIP防災OKINAWA2025をはじめとする実動訓練では、実際の災害対応を想定した条件下でシステム検証

を行い、その有効性を確認できた。一方で、実証を通じて、装置台数の増加に伴う同期制御の最適化、大容量データ共有時の帯域利用効率の向上、異なる通信手段間における優先制御、情報の重要度に応じた伝送制御など、新たな研究開発課題も明らかになっている。これらに今後取り組む予定である。

また、近年急速に発展している生成AIやエージェント技術との融合も重要なテーマである。現在、我々は自己産出型エッジクラウドと呼ぶ、分散した計算機 (エッジノード) 同士の利用可能な計算機リソースを自律的に発見・再構成してエッジノード間同士が協調して1つの意味のあるAI処理を実行する環境を実現する技術の研究開発を行っており、将来的には、災害現場に分散配置されたX-ICS上でAIエージェントが動作し、収集された情報の要約、分類、優先順位付けを、インターネットやクラウドに頼らず自律的に実施することが期待される。さらに、ドローンやUGV、四足歩行ロボットなどの自律移動体との連携も進めることで、オフライン環境での複数ロボットの協調制御への応用も期待ができる。

国難級災害への備えにおいて、情報共有は人命救助や被害軽減の根幹を支える重要な要素である。X-ICSは、そのための新しい情報通信基盤として研究開発を進めており、今後も災害実動機関や自治体との連携を通じて改良を重ねながら、社会実装に向けた取り組みを進め、最終的には、実災害時において災害実動機関の活動を支援し、迅速かつ的確な災害対応に貢献することを目指している。

謝辞

本研究の一部は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第3期「スマート防災ネットワークの構築」(研究推進法人:国立研究開発法人 防災科学技術研究所) によって実施された。また、X-ICSの開発にあたりOpen-Xedgeの提供・技術支援をいただいた防災科学技術研究所の伊勢正様、磯野猛様に感謝致す。さらに、SIP防災OKINAWA2025の実証にご協力いただいた関係機関の皆様およびX-FACEをご提供いただいた株式会社国際電気通信基礎技術研究所、ローカル5Gを提供いただいたNECネットエスアイ株式会社、ドローンを提供いただいたイームズロボティクス株式会社、4足歩行ロボットを提供いただいた株式会社エス・ティ・ジャパンに感謝する。

【参考文献】

- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 「活断層及び海溝型地震の長期評価結果一覧 (2025年版)」, (参照 2026-07-07).
<https://www.jishin.go.jp/>
- 中央防災会議 防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ, 「南海トラフ巨大地震の被害想定について (第二次報告) ~施設等の被害~」, 2013.
- 総務省, 「令和6年版 情報通信白書」令和6年能登半島地震の概要, (参照 2026-07-07) 2024.
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r06/pdf/n1110000.pdf>
- M. Inoue and Y. Owada, "NerveNet Architecture and Its Pilot Test in Shirahama for Resilient Social Infrastructure," IEICE Transactions on Communications, vol.E100-B, no.9, pp.1526-1537, 2017.
- M. Inoue, M. Ohnishi, C. Peng, R. Li, and Y. Owada, "NerveNet: A Regional Platform Network for Context-Aware Services with Sensors and Actuators," IEICE Transactions on Communications, vol.E94-B, no.3, pp.618-629, 2011.
- 大和田 泰伯 ほか, 「大規模災害時における機関横断情報通信システム」, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.124, no.384, SeMI2024-89, pp.24-29, 2025年2月.
- 内閣府, 「令和6年版 防災白書」, (参照 2026-07-07).
<https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r6.html>
- 内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局, 「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第3期 スマート防災ネットワークの構築 研究開発計画」, 2023.
- T. Sakano, B. Ojetunde, A. Nakamura, and G. Fukada, "Proposal of a Portable ICT System Integrated with AI Processing for Enhancing Disaster Front-Line Operation," Proceedings of the 3rd International Symposium on Disaster Resilience and Sustainable Development, vol.3, pp.199-215, 2025.
- 伊勢 正, ほか, "Open-Xedge 技術仕様書・同解説 - 第5 版: Open-Xedge への改名と自律分散型データ調整管理技術の実装 等 -, " 防災科学技術研究所研究資料, 第525号, 2025年12月.
- 大和田 泰伯, 「国難災害に備えるレジリエントな情報通信システム」, KDDI総研 季刊Nexcom, vol.60, pp.4-14, 2024年12月.
- Y. Usuda et al., "The Shared Information Platform for Disaster Management - The Research and Development Regarding Technologies for Utilization of Disaster Information", Journal of Disaster Research, vol.14, no.2, pp.279-291, 2019.
- 防災科学技術研究所, 「SIP4D (基盤的防災情報流通ネットワーク)」, (参照 2026-07-07).
<https://www.sip4d.jp/>
- 内閣府 中央防災会議, 「防災基本計画」, 令和7年7月, (参照 2026-07-07).
https://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/pdf/kihon_basicplan.pdf
- K. Fall, "A Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internets," Proceedings of SIGCOMM 2003, pp.27-34, 2003.
- 総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会報告 諮問第2046号 「V-High帯における公共ブロードバンド移動通信システム及び狭帯域IoT通信システムに関する技術的条件」のうち「公共ブロードバンド移動通信システムの周波数拡張及び狭帯域IoT通信システムの導入に係る技術的条件」, 令和7年12月, (参照 2026-07-07).
https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban13_02000131.html
- 防災科学技術研究所, 「SIP防災OKINAWA2025 技術検証結果報告」, 防災科研機関リポジトリ, (参照 2026-07-07).
<https://nied-repo.bosai.go.jp/records/7559>
- 大和田 泰伯, 佐藤 剛至, 重松 直子, 磯野 猛, 伊勢 正, 「機関横断情報通信システム (X-ICS) を用いた実動訓練での検証」, 電子情報通信学会技術研究報告, SeMI2025-77, pp.64-69, 2026年3月.



大和田 泰伯 (おおわだ やすのり)

レジリエントICT研究センター
サステナブルICTシステム研究室
研究マネージャー
博士 (工学)
分散システム、アクセスネットワーク

【受賞歴】

2026年 第63回 電子情報通信学会業績賞
2021年 第66回 前島密賞 奨励賞
2020年 文部科学大臣表彰科学技術賞



佐藤 剛至 (さとう ごうし)

レジリエントICT研究センター
サステナブルICTシステム研究室
主任研究技術員
博士 (ソフトウェア情報学)
IoT、LPWA、ネットワークシステム

【受賞歴】

2025年 情報処理学会MBL研究会 優秀ポスター賞
2019年 電子情報通信学会NS研究会 若手研究奨励賞



重松 直子 (しげまつ なおこ)

レジリエントICT研究センター
サステナブルICTシステム研究室
有期研究技術員
デジタルツイン、分散処理システム、クラウド管理技術