

レジリエントICTのイノベーションと展開

国立研究開発法人情報通信研究機構 レジリエントICT研究センター 研究センター長 いのうえ ますぎ
井上 真杉

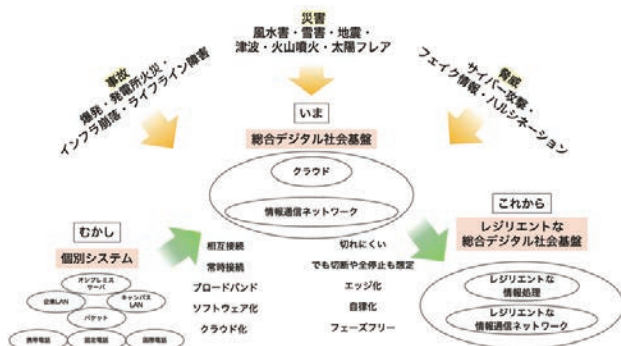


1. はじめに

本稿では、レジリエントな性質も備えたフェーズフリーな情報通信ネットワークへの潮流とその課題に触れた後、NICTで取り組んできたレジリエントな無線通信技術、光ネットワーク技術、エッジクラウド技術、自然環境センシング技術の研究開発と成果展開を紹介する。

2. 情報通信ネットワークとレジリエンス

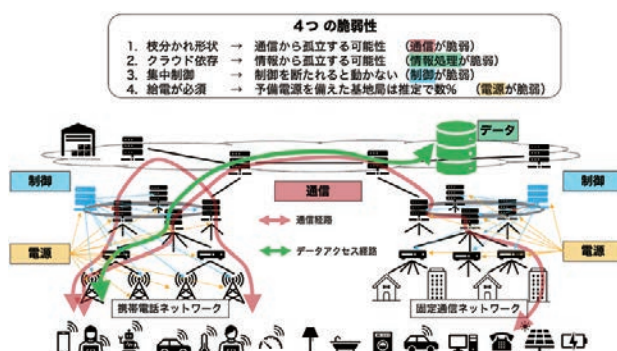
個別目的ごとに存在していた各ネットワークシステムは相互に接続、統合されて総合的なデジタル社会基盤に成長した(図1)。大規模な災害や事故、そしてサイバー攻撃に加えて生成AIの普及に伴い顕在化したサイバー的脅威はこれを脅かす存在である。したがってこれからは、平時から利用される基盤であっても、強力なレジリエンス性をあらかじめ備えていることが必然であると考えている。



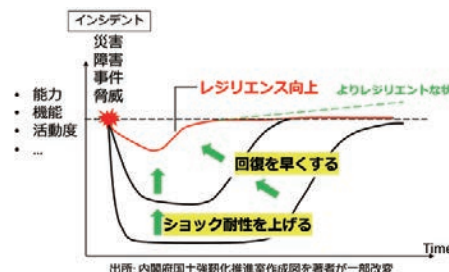
■図1. レジリエントな社会基盤への潮流

そのコアとなる情報通信ネットワークは本質的に4つの脆弱性を抱えている(図2)。第1は「通信の脆弱性」である。ネットワークは上から下へ枝分かれする形状であり、各通信装置の障害がそれより下部の通信途絶をもたらす。第2は「情報処理の脆弱性」である。クラウド主体の現在は、途中の通信不全やクラウド側の不全によりサービスが停止する。第3は「制御の脆弱性」である。全体を制御する装置群が存在する現在主流の中央制御型では、各装置が制御装置との間で制御通信が行えないと停止するリスクがある。最後は「電源の脆弱性」である。東日本大震災を契機に

役場や災害病院など重要箇所の携帯電話基地局にバッテリーが整備されてきているが、まだ不十分である(改正電波法により整備が加速される予定)。



■図2. 情報通信ネットワークの脆弱性



■図3. レジリエントな情報通信ネットワークの定義例

レジリエントな情報通信ネットワークとは、自然災害や障害などの「インシデント」が発生しても、「情報通信能力」の「低下を最大限に抑制し」かつ発生前の能力への「回復が最大限に早く」、更に発生前に比べてむしろ能力向上も可能な性能や機能を備えているものと定義することが考えられる(図3)。システムチェックかつ定量的なアプローチをとりながら、個別技術だけでなく、ネットワークシステム全体のアーキテクチャの研究開発も進むことが理想である。

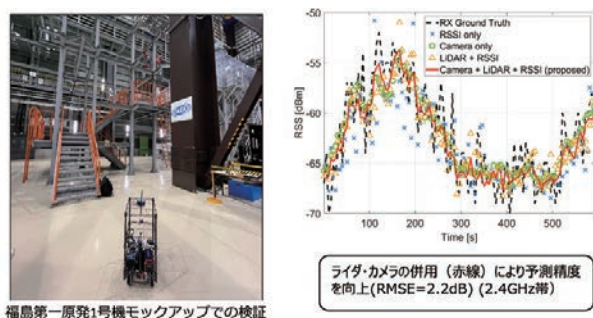
3. レジリエントICTのイノベーションと展開

NICTのレジリエントICT研究センターは、東日本大震災を契機に、災害に強いICTの研究開発と社会実装を推進するために2012年に発足した組織である。2021年度以降の研究開発と成果展開の一部を紹介する。

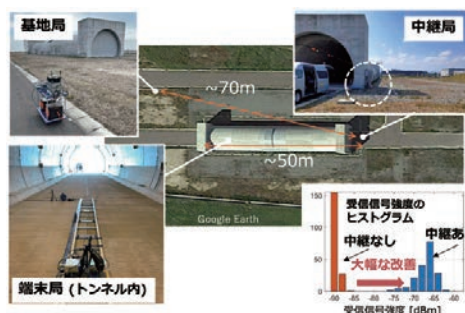


3.1 レジリエント無線通信技術

従来技術では通信が最も困難な電波環境、例えば、5G (3GPP Release17) で許容される150dBを更を超える伝搬損失を生じる環境や電波が過密で雑音が多い環境でも、低遅延・高信頼な通信の実現を目標にしている。タフ環境の代表例が鉛で覆われかつ内部構造が複雑な原子力発電所である。我々はカメラ映像やLiDARで取得された空間内構造物の凹凸情報も活用してAIにより数秒先の電波伝搬を高精度に予測する技術を開発中で、最初の適用先として、廃炉作業に投入される群ロボットの無線制御への適用を目指している。複数の周波数帯ごとに方式を研究開発し、福島原発1号機モックアップ (日本原子力研究開発機構所有) での検証も行い、約1秒先の予測精度 (電波強度の予測誤差が $\pm 3\text{dB}$ 以内となる確率) 95%以上を確認している。



■図4. AIを用いた電波伝搬 (受信電界強度) 予測



■図5. 通信圏外のトンネル内への低遅延無線中継に成功

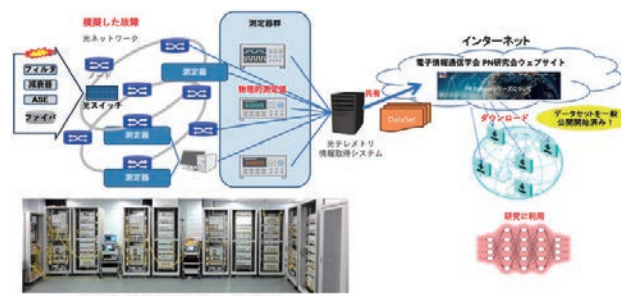
群ロボットを協調制御するにはサブミリ秒 (ミリ秒未満) の低遅延も必須である。中継器で通信範囲を延伸する際に従来技術ではその達成が困難であった。そこでロボット無線制御の候補周波数の2GHz帯と4.9GHz帯を対象に中継時の処理を大幅に圧縮する新方式を研究開発し、4.9GHz帯での実環境検証では目標遅延をはるかに下回る2マイクロ秒未満の遅延で中継が可能なことを確認した。本成果は既に3GPP Release18 (5G-Advanced) のNetwork-controlled repeater標準TS38.213等に採用された。通信方式や標準

に依存しない特長があり、プラント等に導入済みの無線通信システムの通信範囲の拡大にも適用できる。

このほか、複数の分散局間の協調コヒーレント通信を対象に、利得維持とオーバーヘッド削減を両立する局間同期手法を開発し、3GPP Release 19のNR MIMO Phase 5の標準に採用見込みである。基地局でのマルチユーザ分離受信に対して量子アニーリングを適用する手法も研究中であり、4台同時接続を屋外実験で世界初実証している。

3.2 レジリエント光ネットワーク技術

光ネットワークは、その長距離・大容量の特性を生かし、コア・メトロネットワークからアクセスネットワークまで幅広く使われている。災害だけでなく機器故障やデバイスの経年劣化等によるスループット低下や通信断は極めて大きな影響をもたらすため、未然防止が重要である。そこで我々は、障害の予兆までも検知するために、保有する大規模な光ネットワーク実験設備を活用し、各種障害を模擬的に発生させつつネットワーク構成なども切り替えながら光ネットワークの各種物理的測定値を長時間にわたり蓄積する光テレメトリ情報取得システムを研究開発した。取得したデータセットは電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会ウェブサイトを通じて研究用途で公開を開始している。本データセットを利用すれば、障害の予兆を検知して能動的に回避するネットワーク制御方式の研究が可能である。実際、マルチコアファイバ光ネットワークにおけるコア間クロストークの経時変化による伝送品質劣化に着目し、光信号の時系列データに基づき論理的な通信リンクダウン障害の発生を予測する機械学習モデルを設計し、通信リンクダウンの予兆検知に成功している。



■図6. 障害予兆検知に向けた障害情報の収集と公開

非常時における事業者間ローリングが実現されようとしているように、事業者同士はもちろんのこと、クラウドサービスの普及に伴いクラウド事業者も含めた連携への期待が大きい。我々は米国UC-Davisと共同で通信事業者・クラウド事業者間の新たな連携アーキテクチャを研究開発した。

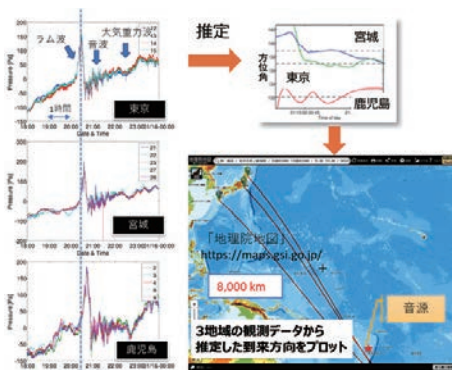
体を制御管理する装置はなく自律分散で動作する。公衆通信途絶エリアではWi-Fiによる装置間直接通信で情報をパケットリレー的に伝搬でき、インターネットとは複数回線を束ねて通信容量を最大化する。2025年度には機能開発を終了し、実動機関との実証を重ねていく。



■図9. X-ICS（クロスイクス）の概要

3.4 レジリエント自然環境センシング技術

インフラサウンド（津波・火山噴火等で生じる可聴周波数以下の音波）を対象に、従来の精密微気圧計と同等の帯域幅と感度を持ちながら、MEMSセンサと小型マイクロホンを用いて省電力とコスト低減を実現したセンサを開発し、国内25か所に設置して観測している。データの一部は日本気象協会ウェブサイトから研究目的で公開している。観測データから音源位置（津波・火山噴火の発生場所に相当）を可視化・解析する手法を開発し、例えば、トンガ海底火山噴火（2022年11月）に起因する津波の発生位置と到来方向推定が可能であることを確認している。



■ 図10. トンガ海底火山噴火の音源推定

市販カメラによる高精細映像を公衆モバイル回線で圧縮伝送できる技術をベースに、受信映像に機械学習を適用して噴煙・波浪高・有害鳥獸等を検知する手法を研究開発してきた。例えば、特に検出が難しい噴煙でも高い検出率（F値90%以上）で検出可能な手法を開発し、演算の軽量化も図ることで、電力や計算能力に乏しい火山近傍での噴煙検



出を可能とし、桜島で検証中である。富山県の護岸には波浪高観測システムを設置し夜間を含む連続実証を行い、昼夜を通じて従来の接触型センサでは困難な護岸高を超える波も所望の精度で計測できる可能性が確認できている。



図11. 自立電源・高精細映像による火山監視

独自に低電力管理技術を開発し、太陽光を主体とする自立電源のみで長期的なインフラサウンドと映像による観測を可能とし、霧島硫黄山（宮崎・鹿児島県境）で3年以上運用中である（図11）。映像は周辺3自治体へも試験提供中で、高精細を活かして噴煙の量や方向等の確認に日々利用され、当該自治体による火山防災訓練にも活用されている。

3.5 レジリエントICTの展開

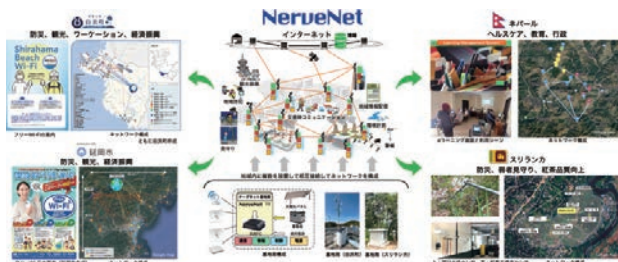


図12. 地域デジタル・通信基盤NerveNetの導入事例

X-ICSの前身でもあるNerveNet（ナーブネット）は、図2で示した4機能すべてを備えて脆弱性を克服した基地局を地域内に複数設置し相互接続して構成するネットワークである。部分的な障害であれば全体は破綻せず、障害が回復すれば自動で全体が正常に戻る復元性もある。障害箇所を迂回した経路で通信を維持でき、インターネットと分断されても内蔵する情報処理機能により一定のサービスも維持できる。一般の携帯電話基地局よりも低消費電力であり、停電しても太陽光パネルと蓄電池で、例えば、最低3日間動作する。災害にも強い地域の通信とデジタルの基盤として日本国内とネパールとスリランカで実利用が始まっている。

内閣府SIPの下で研究開発し実用化した防災チャットボツ

ト『SOCDA』（ソクダ）は、災害対応で多忙となる自治体職員に代わって被災住民と自動で対話して被災情報の収集・分析や支援を行うシステムである。現在までに120自治体が導入している。

利用が広がる 防災チャットボット『SOCDA』（ソクダ）



図13. 防災チャットボット『SOCDA』（ソクダ）の概要



図14. ITU、APT、3GPPへの貢献とガイドブック発行

各研究成果はITUやAPTのレポートや3GPP標準へ反映しているほか、当センターが事務局を務める耐災害ICT研究協議会が主に自治体を対象に災害に強い情報通信ネットワーク導入ガイドブックを作成・発行しウェブ公開し、国内外のレジリエンス向上に取り組んでいる。

4. おわりに

あらゆるモノやコトにレジリエンスが求められ期待が大きくなり、永続的なテーマである。技術面では個別パーツだけでなくアーキテクチャも含めた研究開発と、その成果普及のためにレジリエンスの基準策定や評価手法が必要である。そして基準と評価に基づく導入施策など、ICT以外の業界も含め社会全体で手段を講じていく必要もある。その一員として技術研究開発と成果展開に今後も取り組む。

謝辞

ここに記載した技術を創出したレジリエントICT研究センター各位に感謝する。