

# ROEC NEWS

TOHOKU UNIVERSITY

RESEARCH  
ORGANIZATION OF  
ELECTRICAL COMMUNICATION

NOVEMBER 2018

# 11



## CONTENTS

[ 巻頭言 ]

## W字型機能回復モデルの構築

[ プロジェクト紹介 ]

新たな社会インフラを担う革新的光ネットワーク技術の研究開発

- 1 高効率光アクセスメトロ技術
- 2 マルチコア大容量光伝送システム技術

[ 研究最前線 ]

[ TOPICS ]

[ Message ]

[ WHAT'S NEW ]

【巻頭言】

## W字型機能回復モデルの構築



国立研究開発法人  
防災科学技術研究所

理事長

林 春男

Haruo Hayashi

東日本大震災の発生を受けて東北大学に生まれた「災害復興新生研究機構」の中核機関のひとつとして電気通信研究機構があります。東日本大震災で情報通信ネットワークが経験した課題を解決した「災害に強い情報通信ネットワーク」の実現をめざしています。学内の複数の部局にまたがる電気・情報系の研究者が結集し、産学官連携のもと、オールジャパン体制での取り組みが続けられてきています。機構には諮問委員会が設けられています。情報通信については素人ながら、長年防災研究を続けてきたということで、私も発足当時からその末席をけがさせていただきます。

第1回の諮問委員会に参加して、東日本大震災での情報通信機能の復旧について知った事実は「W字型の回復パターン」でした。これまでの地震災害でも情報通信ネットワークは機能停止していました。機能障害は発災直後に最大となり、その後時間経過とともに機能回復が進む、いわゆる「V字型の回復パターン」を示すのが普通でした。

東日本大震災の場合でも、他の地震災害と同様に発災直後に最大の落ち込みが起きました。その後順調に回復がすすむと思われましたが、3日後に再び大規模な機能停止が起きました。地震や津波に耐え、生き残っていた情報通信施設が一斉に電池切れを起こし、機能を喪失したためでした。結果として、これまでの災害復旧にはない「W字型の回復パターン」となりました。このことは、東日本大震災のように被災地が600kmにもわたって拡がる超広域災

害では、従来考えられてきた対策だけでは不十分であることを示しています。この問題を解決するためには、新たな復旧戦略の構築と、それを実現できる要素技術の開発が必要です。これこそが「災害に強い情報通信ネットワーク」の実現をめざす電気通信研究機構の使命ではないかと、その時思いました。

わが国は、21世紀前半に南海トラフ地震津波災害を確実に経験しようとしています。国の被害想定によれば、地震規模がM8.7の場合でも約100兆円、最悪M9.0の場合には230兆円の被害が予想される未曾有の超広域災害です。静岡県から西の太平洋岸の10県に被害をもたらす南海トラフ地震でも情報通信は大きな被害を受けると予想されます。そしてその機能回復には東日本大震災の際に経験した以上の困難が存在することが危惧されます。

一方で、発生の可能性が最も高いと推定される2030年代までには、電気通信研究機構での情報通信の機能復旧についての「W字型機能回復モデル」の研究が大いに発展すると期待しています。それが被害防止策についての研究成果と合体され、南海トラフ地震津波による情報通信の機能停止を最小化するため総合戦略として、電気通信研究機構から広く発信され、被害軽減に役立つことを切に願っています。



# 新たな社会インフラを担う革新的光ネットワーク技術の研究開発 —高効率光アクセスメトロ技術—

東北大学電気通信研究機構

助教

葛西 恵介

教授

廣岡 俊彦

准教授

吉田 真人

特任教授

中沢 正隆

4K・8Kの高精細映像の流通やIoT (Internet of Things)の普及、5G(第5世代移動通信システム)等モバイルシステムの進展により、今後も通信トラヒックはますます増大していくものと想定されています。特に基地局とコアネットワークをつなぐモバイルバックホール及び基地局と張り出し基地局(アンテナ部)をつなぐモバイルフロントホールに適用されるアクセスメトロ網の大容量化・高効率化は急務となっています。加えて、近年のOpenConfigやOpenROADMに代表されるような、アクセスメトロ網を構成する光伝送装置のマルチベンダ化への動きが急速に進展し、監視・制御の複雑化への対応も強く求められています。そこで本研究では、アクセスメトロ網の大容量化・高効率化へ向けて、(課題1)400 Gbpsを超える高速大容量光アクセス技術を確認するとともに、(課題2)監視・制御の複雑化に対応した効率の良いネットワーク監視・制御基盤技術の確認を目指します(図1)。本プロジェクトは慶応義塾大学、沖電気工業、日本電気、KDDI総合研究所、エピフォニクスとの共同研究であり、東北大学は沖電気工業と共に(課題1)を担当しています。

本課題ではコヒーレント多値光伝送技術とPON (Passive Optical Network)技術を組み合わせた大容量コヒーレント光アクセス伝送技術の確認を目標としています。光アクセス系にコヒーレント多値伝送を適用するためには、送受信システムを低コストで実現することが不可欠となります。また、PONシステムに特有のバースト信号に対応した多値信号受信技術を確認することも重要となります。これらの課題を解決して目標を達成するために、東北大学では以下の研究開発に取り組んでいます。

課題1-1:コヒーレントPONにおいて、低コストな伝送システムを実現するためには、上り・下り両信号用に配置される光源の数を削減する必要があります。そこで、送信・局発両光源の役割を担わせた波長可変レーザをOLT (Optical Line Terminal)、ONU (Optical Network Unit)にそれぞれ1台ずつ配置した簡便な構成の双方向コヒーレント伝送システムを構築します(図2)。

課題1-2:多値データ信号を正確に復調するためには、伝送されてきたデータ信号と局発光源間の高精度な光位相同期が不可欠です。特にランダムに受信される上りバースト多値信号の光位相同期には高速応答性が強く求められます。そこで本伝送システムでは、光注入同期法と短いパイロットシンボルを用いたデジタル位相補償技術を組み合わせ、上りバースト多値信号を1  $\mu$ s以下で光位相同期する高速光位相同期技術を確認します(図2)。

図1 本研究プロジェクトの概要

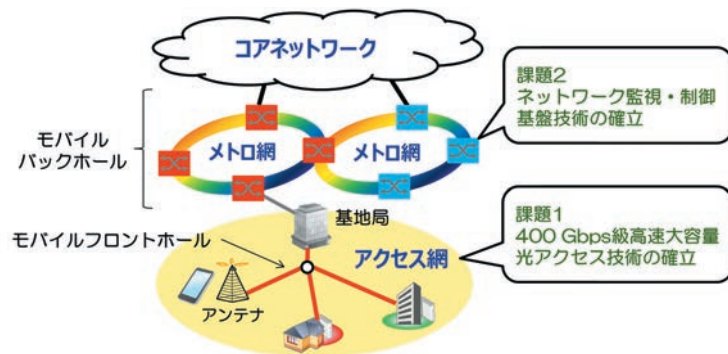
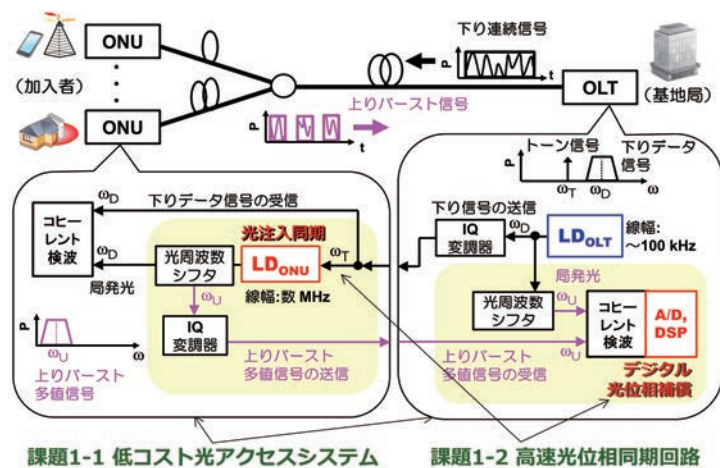


図2 東北大学が担当する研究課題



# 新たな社会インフラを担う革新的光ネットワーク技術の研究開発 —マルチコア大容量光伝送システム技術—

東北大学電気通信研究機構

准教授

吉田 真人

助教

葛西 恵介

教授

廣岡 俊彦

特任教授

中沢 正隆

グローバルな通信基盤である海底光伝送ネットワークにおいて、急速に増大する通信トラフィックを将来に渡って持続的に収容可能とするために、既存海底ケーブルシステム(FASTER: 60Tb/s)のケーブル容量の大幅な増大が望まれています。光海底ケーブルシステムでは、100心を超えるような多芯ケーブルの利用が可能な陸上システムとは異なり、数1000mの水圧や種々の外圧等に耐えるケーブル構造が必要であり、ファイバを収容できるケーブルスペースは限定的であります。さらに、海底ケーブルシステムの光増幅器(中継器)への電力は陸揚げ局の電源装置から供給するため、システムに収容できる光増幅器の数には制限があります。そのため、現状大洋横断クラスの海底ケーブルシステムでは、ケーブルに収容できるファイバ心線ペア数は6~8ファイバペアが主であります。一方、長距離伝送におけるファイバ心当りの伝送容量は、デジタルコヒーレント伝送技術の進展により現状の2.5倍程度の向上は見込まれますが、それ以上の容量増大は、ファイバ中の非線形光学効果等により限界が見えてきています。

これらの技術背景を鑑み、本プロジェクトではマルチコアファイバを用いた新しい空間多重伝送技術を用いて1ケーブル当りの総容量が既存海底ケーブルの5倍以上のマルチコア大容量光伝送方式とその要素基盤技術の開発を行います。本プロジェクトは民間企業(KDDI総合研究所、住友電気工業、古河電気工業、日本電気およびオプトクエスト)との共同研究であり、東北大学は以下の2つの課題を担当しています(図)。

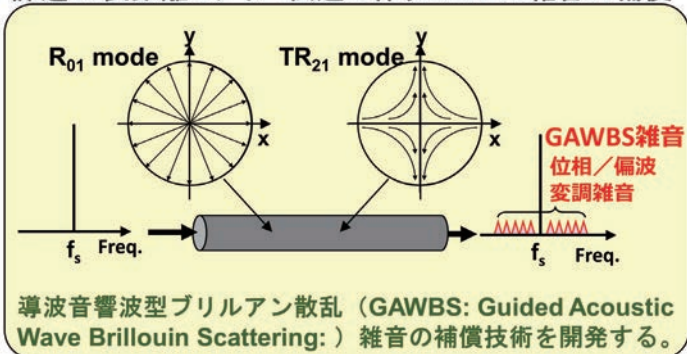
課題1: 光ケーブルの総伝送容量の増大に向け、マルチコアファイバ伝送に伴う光雑音の補償精度を高め、信号の高多値化を図ることが重要であります。特に、数1000 kmの長距離伝送において、導波音響波型ブリルアン散乱(Guided Acoustic Wave Brillouin Scattering: GAWBS)がその伝送特性に強く影響を及ぼすことが最近の私達の研究で明らかになっています。ここで、GAWBSとは熱平衡状態にある光ファイバ中で生じる音響振動モード(ブリルアン散乱)の影響により光位相および偏波変調雑音が誘起される現象であり、それらの変調の

大きさは伝送距離に比例して増大する関係にあります。本課題では、長距離伝送時におけるGAWBS雑音の補償技術を開発します。

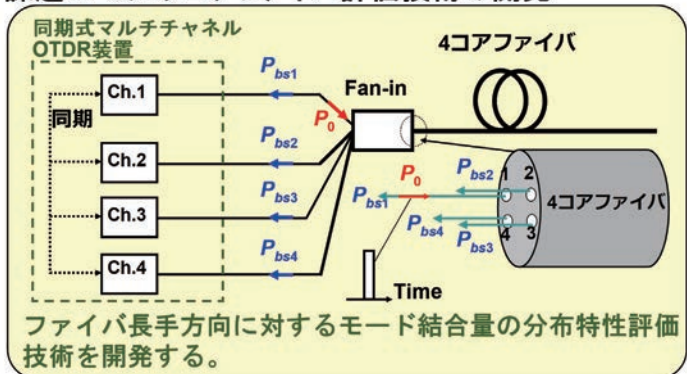
課題2: マルチコアファイバの光学特性は、ファイバの構造異常、曲げ、側圧などの影響により、局所的な変化も伴います。本課題では、私達が開発してきた時間領域光リフレクトメトリ(Optical Time Domain Reflectometry: OTDR)測定技術を用いて、長距離伝送に使用する長尺マルチコアファイバ(1スパン60 km程度)の局所的な光学特性変化の評価技術を開発します。

図 本研究開発で東北大学が担当する2つの課題

## 課題1: 長距離ファイバ伝送に伴うGAWBS雑音の補償



## 課題2: マルチコアファイバ評価技術の開発



### 光子を用いた量子情報通信・計測技術の開発



東北大学電気通信研究所  
量子光情報工学(枝松・三森・Sadgrove)研究室

教授 枝松 圭一

研究室メンバー

(平成30年8月現在)

【教授】枝松 圭一 理学博士  
【准教授】三森 康義 博士(理学)  
【准教授】Mark Sadgrove Ph. D

【助教】(学際科学フロンティア研究所) 松本 伸之 博士(理学)  
【助教】(学際科学フロンティア研究所) 金田 文寛 博士(工学)  
【助教】Soyoung Baek Ph. D

研究室 Web ページ <http://www.quantum.riec.tohoku.ac.jp/>

量子情報通信は、光や電子の量子的性質を利用した新しい情報通信技術で、量子コンピュータや量子暗号などがその代表例です。本研究室では、光の量子である「光子」を用いた新しい量子情報通信および量子計測技術の研究に挑戦しています。

#### 1. 新たな量子光源、検出技術の開発

光の量子である光子は、量子情報の伝送媒体としてたいへん重要です。特に、「単一光子」や「量子もつれ光子」の発生・検出技術は、量子情報通信の実用化に不可欠な基盤技術です。本研究室では、半導体や非線形光学結晶を用いた単一光子や量子もつれ光子の発生・制御・検出方法について研究し、半導体を用いた量子もつれ光子の発生(世界初)、ダイヤモンドからの無偏光単一光子の発生(図1)、等の成果を発表しています。また、情報通信研究機構(NICT)未来ICT研究所と共同で、超伝導光子検出器アレイを用いた革新的光計測および量子情報通信技術の研究開発を進め、H28~H29年度NICT-東北大学マッチング研究支援事業にも採択されています。

#### 2. 新たな量子計測技術の開発

量子情報通信や量子計測における「測定」では、結果

が確率的であったり、系の状態が不可逆的に変化してしまうといった、量子に特有の特徴を持っています。また、測定誤差と擾乱との間の「不確定性関係」は、量子情報通信でも重要な意味を持っています。本研究室では、光子の偏光を用いて誤差・擾乱の不確定性関係を検証する実験を行い、量子力学の誕生以来信じられてきたハイゼンベルグの関係式が破れ、新たに提唱された関係式(小澤・ブランシアードの不等式)が成立していることを検証しました。また、ミリグラムオーダーの巨視的機械振動子(振り子)を量子的状態が観測できる程度まで冷却し、その運動状態を計測する技術の開発も行っています。巨視的物体を含む量子計測技術の新たな応用を拓くことが目標です。

#### 3. ナノ量子構造を用いた量子情報通信デバイスの開発

量子情報通信への応用を目指し、半導体ナノ量子構造の光物性および量子光学的な性質を研究しています。さらに、半導体ナノ量子構造や固体中の局在電子中心とナノ光ファイバとの強い結合を実現して、超高性能な単一光子源や量子位相ゲートの実現を目指す新たな研究開発にも取り組んでいます。その一例として、ナノ光ファイバに金ナノ粒子を付着した複合系において、光の偏光と進行方向が相関して「カイラリティ」をもつ現象を、理論・実験の両面から明らかにしました(図2)。

図1 ダイヤモンド中の不純物欠陥(NV中心)を用いた無偏光単一光子発生(量子サイコロ)

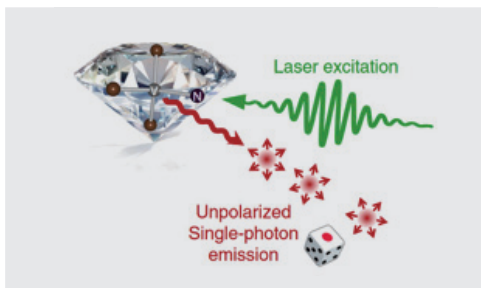
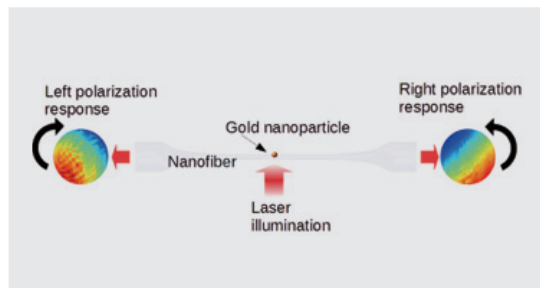


図2 ナノ光ファイバー・金ナノ球複合体の偏光のカイラリティの概念図



## 災害に強い 情報通信ネットワーク 導入ガイドライン(第2版)の公表

平成30年6月に開催された耐災害ICT研究協議会<sup>※</sup>において「災害に強い情報通信ネットワーク導入ガイドライン(第2版)」が作成されました。

当該研究協議会では、東日本大震災での経験を踏まえ、大規模な災害が発生した場合であっても、自治体の業務遂行を支援することのできる情報通信ネットワーク・サービスの導入についてのガイドラインを平成26年に公表しています。

しかし、その策定から4年が経ち、耐災害ICT技術が進歩したこと等を踏まえ、今回改訂がなされたものです。

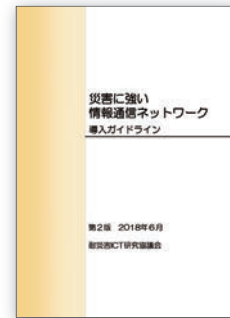
東北大学電気通信研究機構は、東北総合通信局、NICT耐災害ICT研究センター、宮城県庁、宮城県多賀城市役所、宮城県山元町役場、仙台市商工会議所等の関係者と改訂作業に参画しました。

第2版では、自治体が耐災害ICTシステムの導入を検討する際に役立てていただけるように、過去に発生した実際の災害事例を踏まえ、それぞれの事例に有効となる情報通信ネットワーク・サービスをケーススタディ的に紹介するなど、わかり易い工夫がなされています。

自治体の方はもとより、企業の方にも活用していただけるものと思います。本ガイドラインは以下のURLでご覧いただけます。

[http://www.soumu.go.jp/menu\\_seisaku/ictseisaku/ictR-D/saigai/index.html](http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/ictR-D/saigai/index.html)

(塩崎 充博)



※注 総務省、情報通信研究機構(NICT)、東北大学電気通信研究機構、民間企業等が連携・協力して、耐災害ICT研究の実用化に向け活動している団体。

### Message

## 新任副機構長の挨拶

副機構長

小川 裕之

平成10年東京大学工学部電気工学科卒業。同年郵政省(現総務省)入省。以来、電波政策課、技術政策課、放送技術課、在ロシア日本大使館等に勤務し、無線通信分野の研究開発推進、電波利用料制度、地デジ日本方式の海外展開、ICT分野の研究開発戦略の策定等に従事。



本年8月に電気通信研究機構の副機構長を拝命しました小川裕之です。

どうぞよろしくお願い申し上げます。

前職の総務省では、ICT分野の研究開発戦略の策定・推進などに従事致しました。東日本大震災の際は電波有効利用研究開発の担当として、補正予算による耐災害ICT研究開発の立ち上げの検討にも携わりました。

電気通信研究機構は、2016年から21年にかけての第2期の中間地点を迎えようとしております。第2期においては、第1期における優れた研究成果の着実な社会実装を図るとともに、これ

らを更に発展させた最先端リジリエンス ICT の研究開発に取り組んでいくこととしており、このような時期に副機構長を拝命し非常に身の引き締まる思いです。

震災後も、我が国では大規模な自然災害が毎年のように発生しており、ICT化の進展に伴い耐災害ICTの果たすべき役割はますます重要になっております。

今後も、自身のこれまでの経験も踏まえ、電気通信研究機構における更なる耐災害ICT研究開発の推進と、産官学連携による研究成果の社会実装に取り組んで参りますので、関係各位のご指導、ご支援の程、何卒よろしくお願い申し上げます。

# WHAT'S NEW

## 加藤教授が第68回「電波の日」 東北総合通信局長表彰を受賞

東北総合通信局が東北電気通信協会と共催で、平成30年度「電波の日・情報通信月間」記念式典が6月1日に開催されました。東北地域において情報通信の発展に貢献のあった2個人、10団体に対し、東北総合通信局長及び東北電気通信協会会長からの表彰があり、加藤寧教授が「電波の日」東北総合通信局長表彰を受賞しました。

(岩月 勝美)



平成30年度「電波の日・情報通信月間」記念式典表彰式

## スマホ de リレー<sup>®</sup> コンソーシアム設立

2018年7月2日、スマートフォンによるリレー通信イノベーションコンソーシアム(SmaRIC: Smartphone Relay communication for social Innovation Consortium)が設立されました。同コンソーシアムは、災害等による通信途絶状況下でもスマートフォン同士のアドホック通信によって情報を送ることが出来る「スマホdeリレー」の利活用により、通信途絶の社会課題解決、情報発信の補完、社会利便性の向上を実現させることを目的としており、株式会社構造計画研究所、株式会社NTTドコモ、株式会社仙台放送の三者体制で発足しました。

東日本大震災を受けて2011年に東北大学でスタートしたスマホdeリレーの研究開発は、およそ6年の歳月をかけて理論研究から応用研究、そして実用化

へと至りました。そしてこの度、その社会実装・利活用の促進に向けたコンソーシアムの発足により、通信途絶解消という最終目的達成に向けた活動は新たなフェーズに突入することになります。

一度発生すれば国の存亡をも揺るがしかねない巨大災害は、首都直下地震や南海トラフ巨大地震の切迫が指摘されているように、たとえ発生頻度は少なくとも、今後も繰り返し起こりえる現実の脅威です。これに備えるためには、東日本大震災の教訓でもあるレジリエンスの考え方を踏まえ、社会インフラを高度化していくことが求められます。通信途絶という社会課題の解決を通じて、このコンソーシアムがレジリエントな社会の実現に貢献していくことが期待されます。

(西山 大樹)



SmaRIC設立総会



SmaRICホームページ  
<https://www.smaric.org/>

## 加藤教授、西山准教授の科学技術分野の 文部科学大臣表彰 科学技術賞の受賞

加藤教授と西山准教授が中心となって進めてきた「レジリエントなアドホックメッシュネットワークの先駆的研究」がこの度、文部科学大臣表彰科学技術賞を受賞しました。

携帯電話網など既存の通信インフラが壊滅的被害を受ける大規模災害時には、応急的なアドホックメッシュネットワークによる通信の確保が必要とされ、刻一刻と変化する被災地域の通信要求に対する適応力(レジリエンス性)を備えることが求められています。このような背景のもと、本研究ではWi-Fiアクセスポイント等の固定通信装置に加えてスマートフォン等の移動通信端末も活用するアドホックメッシュネットワークを提案し、通信要求の変化に合わせて最適な通信経路を動的に決定

する手法と、移動通信端末のモビリティに合わせて情報伝送方式を適切に決定する手法を考案しました。この新たな手法を用いることで、固定通信装置間のトラフィック集中による通信性能の低下を抑制するとともに、移動通信端末群からなるネットワークにおける情報伝送効率を飛躍的に向上させることに成功しました。また、通信要求の時間的変動と空間的広がりに対するレジリエンス性を実現しました。

以上の成果は、避難所等を中心とした被災地域に通信手段を提供するための技術として利用可能であり、その一部については既に技術移転を経て商用化されて自治体への導入が進められるなど、今後の国の防災・減災に寄与することが期待されています。

(川本 雄一)



授賞式の様子  
(左:西山准教授 右:加藤教授)

## 中沢正隆 特任教授が 「東北大学ディスティングイッシュトプロフェッサー」に

中沢正隆教授は、平成30年3月末日の退職により、電気通信研究機構の特任教授に就任されました。これまで付与されていた「東北大学ディスティングイッシュトプロフェッサー」の称号の付与期間が満了となるため、部局長の推薦と外部委員を含めた審査委員会を経て、平成30年4月1日付けで「東北大学ディスティングイッシュトプロフェッサー」の称号が、70歳の年度末日までを期限として付与されることになりました。

東北大学のディスティングイッシュトプロフェッサー制度は、専門分野において極めて高い業績を有し、かつ先導的な役割を担う教授に対し、その活動をサポートするものです。

(岩月 勝美)



中沢正隆特任教授

## 高知市に スマホdeリレー<sup>®</sup>が導入

南海トラフ地震に備え、高知市では、津波避難ビルに長期浸水で取り残された住民の避難情報を把握するため、スマホdeリレーを津波避難情報収集システムに採用し、同市での訓練の様子が高知新聞にて紹介されました。

<https://www.smart-relay.kke.co.jp/case>

(岩月 勝美)

### 編集後記

9月6日に発生した北海道胆振東部地震では、全道停電により、住民の多くは、携帯端末で情報収集を行ったとのことで、改めて、ICTの耐災害性強化の必要性が認識されました。加えて、電力網への耐災害性強化も喫緊の課題であることが浮き彫りにされました。このたびの地震で犠牲となられた方々のご冥福をお祈りするとともに被災されたすべての方々に心よりお見舞い申し上げます。(1)

### 編集委員

安達 文幸 / 石川 いずみ / 岩月 勝美 (委員長) / 小川 裕之 / 金子 雅人 / 北形 元 / 末松 憲治 / 中沢 正隆 ※敬称略、50音順