

最新情報通信技術が切り拓く DXによる地域創生

東京大学大学院 情報学環 教授 なかお あきひろ 中尾 彰宏さん

一般に聞かれるようになったデジタル革命・デジタルトランスフォーメーション（DX：Digital transformation）とは、情報通信技術（ICT：Information and Communication Technology）の利活用の浸透が人々の社会生活の質を革命的に改善するという概念である。DXを支える情報通信技術の1つが第5世代移動通信システム（5G）[1][2]であり、特に、5GやLocal 5Gの利活用により地域創生が促進され、我が国全体の生活の質（QoL：Quality of Life）の底上げに期待が集まっている。

筆者の研究室では、「世界の公共性に奉仕する大学」としての使命を踏まえ、地球と人類社会の未来への貢献に向けた協創を効果的に推進することを目的として設立された、東京大学未来社会協創推進本部（FSI：Future Society Initiative）のプロジェクトとして、さまざまな企業と連携し、5Gの地域での利活用や、成功モデルケースの横展開による国全体の技術利活用の進展に取り組んでいる。

こうしたプロジェクトの活動を進める際や、一般向け講演などで、しばしば聞かれる質問に、5Gが地域創生に最も有益なユースケースは何か？という問いがある。当方は、いくつかの5Gの地域展開の実証実験を手がけた経験から、大容量通信を利用する高精細映像遠隔監視、低遅延通信を利用する遠隔制御、超多数接続通信を利用する環境センシングを適用すること、と回答している。これらは、危険を伴う負担の大きい作業を、高精細なVR（Virtual Reality）映像や五感通信によるリアルタイムセンシングと、人間の知覚と同等以上の反応速度での遠隔制御で置き換えることを主眼としている。また、本稿の執筆時点では依然、世界は新型コロナウイルス感染症の脅威にさらされている。多数の犠牲者が

出ているグローバルな逆境の中で、人間の移動を、5Gなどの最新の情報通信による遠隔の社会活動で解決を図ることは、今後、人類が考えなくてはならない重要な課題とも言える。

本稿では、これらの観点から、ドコモとの共同研究により、農林水産業に代表される一次産業のDXを図るため、大容量通信と低遅延通信の同時利活用例として「5Gと水中ドローンを活用した漁場遠隔監視の実証実験」[3]を紹介する。その他、2018年度は、ドコモとの「5GとMECを活用した協調運転支援の実証」（2018年11月報道発表）[4]も実施しているが、本稿では紹介を割愛する。

本共同研究では、異種の無線技術の連携（Wi-Fiと5G）を利活用し、低コストWi-Fi商用機器である水中ドローンにより漁場の状態を遠隔監視・遠隔制御する手法を提案している（図1）。一般にスマートフォン以外の民生機器市場では、5Gの通信モジュールのインテグレーション*1に時間を要することが予想されることから、普及率の高いWi-Fi民生機器の通信範囲を5Gにより拡張する技術提案とその評価が目的である。

図2に示すように、水中ドローン制御のWi-Fiの通信範囲を拡張するために、2つのVPN（Virtual Private Network）*2ルータを用いて5GネットワークにおけるVPNトンネルを構築する。移動局側には、5G移動局、ARM開発ボード、水中ドローン [5] と水中ドローンのWi-Fi基地局を含む4つのデバイスを用いる。ARM開発ボードでは、水中ドローンのWi-Fi基地局にアクセスするためにネットワークアドレス変換（NAT：Network Address Translation）*3を設定する。基地局側には、5G基地局、Wi-Fiアクセスポイント、Androidデバイスを含む3つのデバ



Profile

1991年東京大学理学部，1994年同大学院修士課程修了。IBMテキサスオースチン研究所，東京基礎研究所などを経て，プリンストン大学大学院コンピュータサイエンス学科にて修士・博士学位取得。2005年，東京大学大学院情報学環 助教授に就任。2014年2月教授（現職）。2014年第5世代移動通信推進フォーラム（5GMF）ネットワーク委員長兼任。2016年学際情報学専攻長兼任。2019年より情報学環副学環長，東京大学総長補佐兼任。2020年より東京大学総長特任補佐兼任。専門は情報通信。5G/IoTに関する複数の産学連携プロジェクトのリーダーを務める。

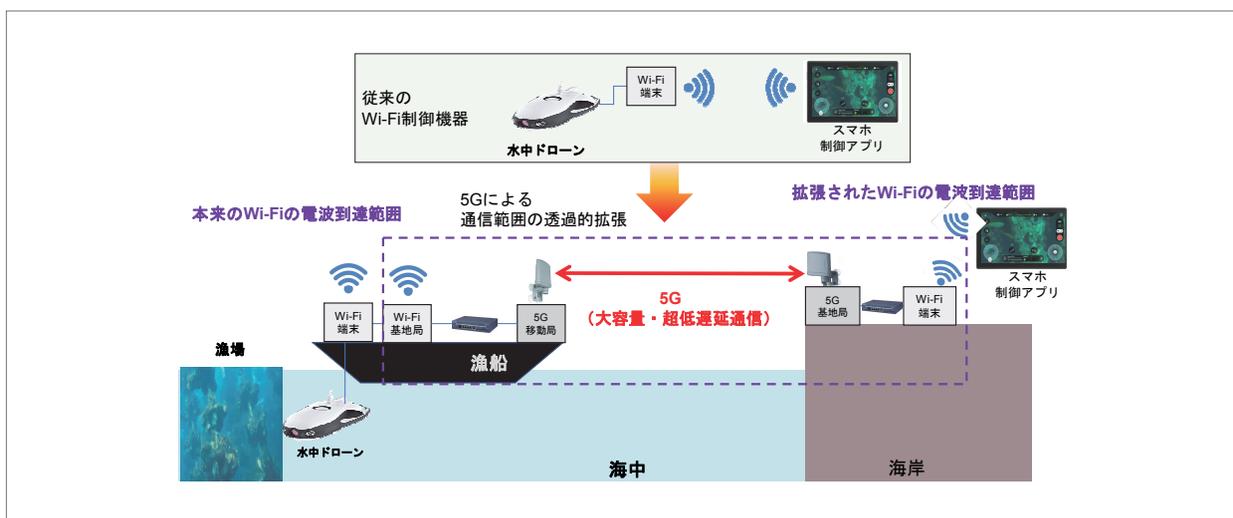


図1 Wi-Fi制御機器（スマートフォンからWi-Fi制御する水中ドローンなど）の制御範囲を5G通信により透過的に拡張する通信制御の実証実験

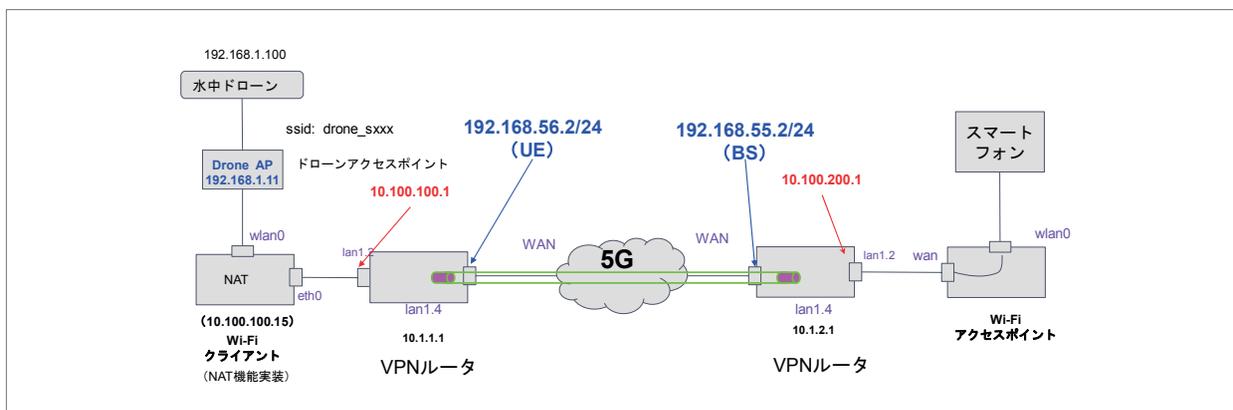


図2 Wi-Fi制御機器（スマホからWi-Fi制御する水中ドローンなど）の制御範囲を5G通信により透過的に拡張する通信制御方式

イスがある。Androidデバイスは，Wi-Fiアクセスポイントを経由して5G基地局に接続し，ドローン制御とライブ映像受信機として機能する。5G移動局と5G基地局の間の伝送の詳細は別途論文を参照されたい [6].

図3は提案方式を研究室内の予備実験において評

価した結果である。有線，LTE，5Gの3種類の通信におけるRTT (Round Trip Time)*4を比較する。イーサネットの有線通信が最小であるが，今回のユースケースには明らかに適合しない。LTE通信の平均RTTは108msに達し，5G通信よりも約5倍高い。このような大きな遅延は，高解像度のライブ映

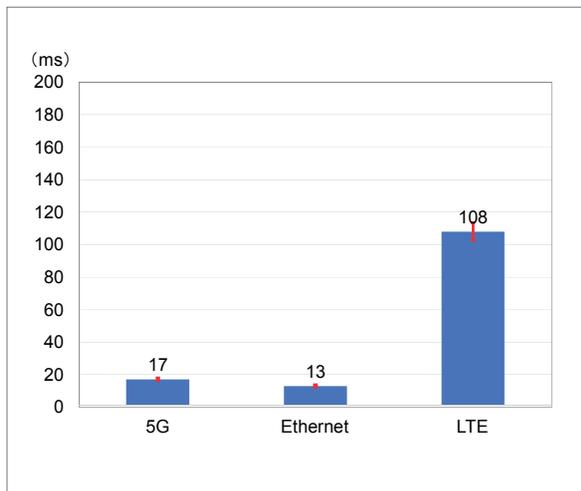


図3 有線 (Ethernet) 無線 (5G・LTE) エンド・ツー・エンドの遅延の比較

像を円滑に配信することができず、さらにヘッドマウントディスプレイなどを用いたリアルタイム遠隔制御は困難となる。一方、5G通信の平均RTTは17msで、有線通信よりも4ms (17ms-13ms=4ms) だけ大きく、LTE通信よりもはるかに小さい。この予備実験により、5G通信がWi-Fiカバレッジの拡張に最適であることがわかる。

上記の予備実験評価を根拠とし、2019年11月に広島県江田島市の牡蠣養殖場でフィールド実験によるユースケース検証した結果を報告する。具体的には、5G移動局を海上に停泊する小型漁船に設置し、5G移動局機器に有線接続された水中ドローンをカキ養殖場の水中に配置する。水中ドローンのカメラで撮影した高精細ライブ映像を5G基地局に無線送信すると同時に、タイムラグのない水中ドローンの制御信号も5G基地局から5G移動局に無線伝送する。漁船は、カキ養殖場のいかだの位置に応じて、基地局から100~150mの範囲で係留される (漁船も将来的

には遠隔制御をすることが想定されている)。この距離において最大のアップリンク伝送速度は300Mbpsに達する。その結果、5Gの大容量通信によりドローンのカメラから高精細なライブ映像を取得し、5Gの低遅延通信によりタイムラグなしで水中ドローンの遠隔制御が可能となる。

水中ドローンからスマートフォンへのビデオストリーミングはUDP (User Datagram Protocol)^{*5}ベースのRTP (Real-time Transport Protocol)^{*6}/RTSP (Real Time Streaming Protocol)^{*7}プロトコルを使用する。ビデオストリーミングのビットレートは約3.8Mbpsである。一方、スマートフォンから水中ドローンへの制御信号はHTTPプロトコルを使用している。制御信号のビットレートは約12kbpsである。映像の伝送と比べ、水中ドローンの操縦信号はビットレートは十分小さいものの、タイムラグなく水中ドローン进行操作するためには、5Gの低遅延通信を用いて無線区間の伝送遅延時間を削減することが重要となる。

本共同研究の結果は、ドコモオープンハウス2020にて一般公開し、多くの反響を呼んでいる。今回は単なる5Gの基本性能の確認だけではなく、5G端末の民生機器の市場が未熟である中で、すでに普及している異種の無線技術と5Gを組み合わせ、迅速に展開可能な技術の連携によりユースケースへの適用事例を示した点で大きな意義があると考えている。

なお、当方研究室では、以下の技術に取り組んでおり、今後はRAN (Radio Access Network) スライスを活用し、低遅延と大容量通信の独立性 (アイソレーション) を確実に実現することに取り組む計画である。

・「ネットワークスライシング^{*8}」 [7] [8] 多様な

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

アプリケーションを干渉なく収容可能としサービス提供の利便性を向上

- ・「ネットワークソフトウェア化」ソフトウェア実装のインフラに高度な機能を柔軟に実装し、セキュリティ高度化、通信効率化・障害予測などを実現
- ・「エッジコンピューティング」ネットワークエッジに配置される計算・ストレージ資源を駆使し、超低遅延通信により人間の知覚遅延に匹敵する低遅延通信制御の実現
- ・「機械学習・AIによる運用自動化」[9] ネットワークに導入される機械学習やAIを駆使し、運用人手不足問題の解決・自動的に最適な通信の提供を実現
- ・「IoT・AIによる地域創生」リモートセンシングやデータ解析による事象予測を駆使し、地域の課題解決や地場産業振興の推進

最後に、このような共同研究の機会をいただいたドコモ5Gイノベーション推進室、中国支社の皆様方に感謝をし、本技術報告とさせていただきます。

文 献

- [1] ITU-R M: "Minimum Requirements Related to Technical Performance for IMT-2020 Radio Interface(s)," IMT-2020.TECH PERF REQ, Nov. 2017.
- [2] 3GPP TR38. 802: "Study on New Radio (NR) Access Technology Physical Layer Aspects," Mar. 2017.
- [3] NTTドコモ報道発表資料: "5Gと水中ドローンを活用した漁場遠隔監視の実証実験に成功～水産業界における労働者の負担削減に向けた取り組み～," Nov. 2019. https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_r

release/topics_191127_00.pdf

- [4] NTTドコモ報道発表資料: "5GとMECを活用した協調運転支援の実証実験に成功～次世代モビリティの実現に向けた取り組み～," Nov. 2018. https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_181128_00.pdf
- [5] 臻迪日本株式会社: "PowerRay." <https://www.powervision.me/jp/product/powerray>
- [6] 外園 悠貴, 南田 智昭, 油川 雄司, 杜 平, 中尾 彰宏: "5Gにおける28GHz帯を用いた水中ドローン遠隔制御実験," 信学技報, NS2019-241, May 2020.
- [7] GSA white paper: "5G network slicing for vertical industries," Sep. 2017.
- [8] A. Nakao, P. Du, Y. Kiriha, F. Granelli, A. A. Gebremariam, T. Taleb and M. Baggaa: "End-to-End network slicing for 5g mobile networks," IPSJ Journal of Information Processing, Vol.25, pp.153-163, 2017.
- [9] A. Nakao and P. Du: "Toward in-network deep machine learning for identifying mobile applications and enabling application specific network slicing," IEICE Transactions on Communications, E101-B, Vol.14, pp.153-163, 2018.

- *1 インテグレーション: 装置、またはシステムを、オペレータが運用しているネットワークに組み込むこと。
- *2 VPN: 同一サービスのIP装置を論理的に接続する仮想ネットワーク。
- *3 ネットワークアドレス変換 (NAT): 独立した2つのネットワークにおいてパケットのIPアドレスを変換すること。
- *4 RTT: 装置間の往復伝送に要する遅延時間であり、再送時では初回送信と再送を行うまでに要する時間。
- *5 UDP: トランスポート層のプロトコルの1つで、送達確認や輻輳制御などを行わないため処理が軽く、途中でデータが抜け落ちても問題が少ない通信に用いられる。
- *6 RTP: 音声や映像のストリーミングデータをリアルタイムに配送するための通信プロトコル。
- *7 RTSP: ストリーミングサーバに対し、コンテンツの再生、停止などの制御を行う通信プロトコル。
- *8 ネットワークスライシング: 5G時代の次世代ネットワークの実現形態の1つ。ユースケースやビジネスモデルなどのサービス単位でコアネットワーク分割して最適化するアーキテクチャ。