

# 衛星ネットワーク技術を用いた建設DXの実現性について

Feasibility of Construction DX using Satellite Network Technology.

(株)砂子組	○正員	工藤 仁 (Hitoshi Kudo)
(株)砂子組	正員	八戸 政人 (Masato Hachinohe)
(株)砂子組	正員	山本 公志 (Takayuki Yamamoto)
(株)砂子組	非会員	高島 優花 (Yuka Takabatake)
(株)砂子組	非会員	吉田 翔 (Sho Yoshida)

## 1. 背景および研究目的

近年の建設現場では、ICT を活用することで飛躍的な生産性向上が実現しているが、ICT を網羅的に運用するためには、既存インフラであるモバイルネットワーク網の圏内であるという地理的条件が必須となる。しかし、当社が拠点を置く北海道においては、未だ不感地帯が多く、キャリア会社のエリアマップ上では圏内となっても、実際には通信が微弱で不安定であることも多いため、現場でどの程度まで ICT を活用できるか、事前に慎重に通信状況を確認する必要がある (図 1)。さらには、キャリア会社毎に通信可能なエリアも異なるため、万全な事前準備を行ったつもりであっても、想定外の問題に悩まされることが少なくない。

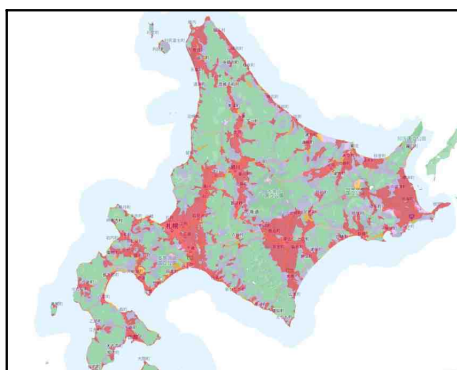


図 1: 北海道内における LTE 通信網

また、現状では、建機や測量機器等、各デバイスがそれぞれ SIM カードを内蔵し個別に通信を行うため、通信費用が幾重にも重複して発生してしまうという問題も抱えている。もし、あらゆる現場で安定した Wi-Fi 網を構築し、現場や事務所のみならず、本社や発注者等、あらゆる拠点とリアルタイムに大容量データをやりとりする環境を創出することができれば、将来的に“情報”の意味が変容し、物理的な距離による隔たりは限りなく希薄となり、全ての事象が連動した真の意味における建設 DX が実現するための土壌が均される。本稿では、上述の背景を踏まえ、衛星ネットワーク技術を用いた高速・大容量通信環境の実現と、その応用可能性について探り、現場での実例を交えてその有効性について考察するものである。

## 2. スターリンクを用いたネットワーク環境構築

スターリンクとは、米国の民間航空宇宙会社 SpaceX が展開する衛星コンステレーション (低軌道上に配置された無数の小型衛星群) および通信サービス網のことであり、2022 年 10 月より日本国内でのサービスが開始されている。専用のアンテナを購入し、屋外で上空に向けて設置するだけで容易に Wi-Fi 通信環境を構築することが出来る (図 2)。既往の静止衛星を用いた衛星通信サービスや、大規模拡張アンテナを幾重にも追加して Wi-Fi エリアを拡充するシステムと比較しても、非常に安価で通信速度も速いため、様々なロケーションでの活用が期待される強力なゲームチェンジャーである。



図 2: スターリンクアンテナ (左) とルーター (右)

専用アンテナが衛星を受信すると、常時安定して 100Mbps 以上の速度が出ることから、大容量データの送受信もストレスなく可能となる (図 3)。

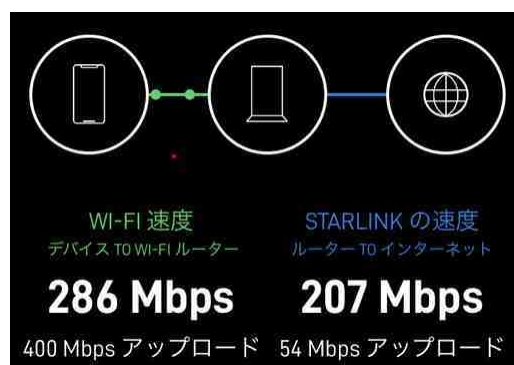


図 3: 付属アプリによる速度テスト

スターリンクを用いたブロードバンド通信環境を構築することで、これまでは現場条件により断念、もしくは限定的にしか運用できなかった各種 ICT を包括的に活用できるほか、これまでは想定されなかった大容量通信に基づく新たな技術導入が可能となる。また、ICT 建機については、通常の MC 機は勿論のこと、近年普及が拡大している後付 MG システムとの親和性が高いため、技術普及における期待度が極めて高いと言える。以下に、スターリンクによる Wi-Fi 網を用いることで可能となると考えられる ICT の幾つかを列挙する。

- ・動画、点群等大容量データのリアルタイム送受信
- ・遠隔臨場、ネットワークカメラの安定化
- ・緊急連絡体制の即時化
- ・UAV や GNSS ローパー、ICT 建機への補正情報配信
- ・AI ソリューションにおけるリアルタイム機械学習

### 3. 検証実験

#### 3.1. Wi-Fi エリア

スターリンクは、ルータを中心に半径 60m 程度の Wi-Fi エリアがドーム状に広がるとされているが、現場状況により変動する場合もあり、実測有効半径は約 40m と推定される。工事現場での実利用を想定する場合、数百m程度にエリアを拡張したいため、指向性拡張アンテナをフィールド内に設置し、300mまでエリアを広げることになった(図4、図5)。



図 4：屋外用拡張アンテナ

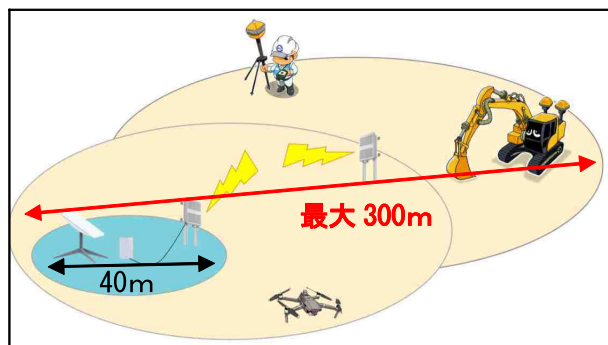


図 5：Wi-Fi エリア拡張イメージ

エリア拡張にあたっては、平面図上に通信距離を模した円形状の透明なフィルムを重ねて、簡易的な図上シミュレーションを行うことで、作業箇所毎にスターリンク

ルータと拡張アンテナ及び各種デバイスの最適な配置を事前検討し、システム的能力を最大限に活用することが可能となる(図6)。

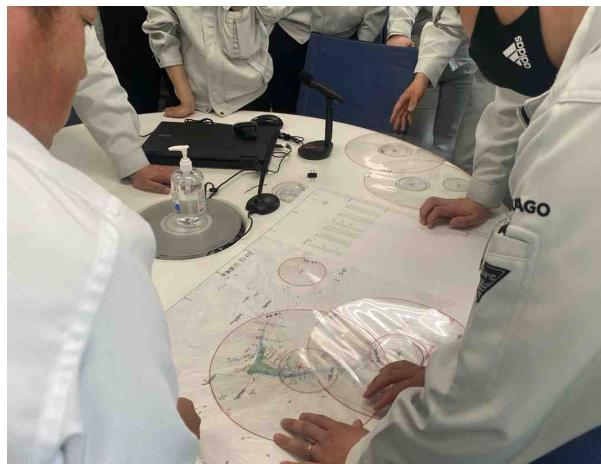


図 6：図上ネットワークプランニングの様子

#### 3.2. 各種機器との接続試験

基本的にスマートフォンやタブレット等、Wi-Fi に対応しているコントロール端末があれば、どのような機器であっても問題なく接続が可能であるが、現在のところ、各機器メーカー側もこうした接続方法を想定していない場合が多く、例を挙げると一部の ICT 建機においてはコントロールボックスが直接 Wi-Fi に繋がらない機器仕様となっており、小規模な改造処理を施さなければスムーズに接続できない場合がある(表1)。また、DNS の割り付けが正常に行われない等、機器同士の相性の問題が発生する場合もあり、そうした諸問題を解決し、安定的な環境を構築するためには、ネットワーク技術に長けた人材によるサポート体制があることが望ましい。

表 1：各種機器との接続試験結果

機器	目的	結果
RTK-UAV用 コントローラ端末	補正情報の受信、 計測データの送信	接続可能
測量制御端末	補正情報の受信、 測量データの送受信	接続可能
ICT建機	補正情報の受信 設計・施工履歴 データの送受信	接続可能 (メーカーにより条件有)
Webカメラ	画像・動画データの送信 音声データの受信	接続可能 (メーカーにより条件有)

### 4. 建設現場における実利用

#### 4.1 圃場整備現場での試験運用

スターリンクによる Wi-Fi 網の有効性の実証および長期利用・常時接続における課題を抽出するため、北海道空知地方美瑛市内の圃場整備現場において試験運用を行った。なお、当該現場はモバイル通信圏内であるため、通常モバイルネットワーク利用との比較検証も行った。圃場整備現場は非常に広大なフィールドとなるため、指向性アンテナを用いた Wi-Fi 網の拡充、各種 ICT 建機の運用、RTK-UAV、Web カメラ、現場写真管理、資材搬入・出来高管理システム等に活用した(図7)。

圃場整備現場は、一般に広大なフィールドであることが多いため、従来の管理手法では現場全体の管理が行き届かない場合がある。今回の試験運用の例のように Wi-Fi 網による高速ネットワーク化を図ることで、ICT 建機を含めた複数デバイスの一元化、移動時間の短縮、確認行為の簡略化等、少人数による施工管理や、労働時間の大幅な縮減に大きく寄与するであろうことが予想される。



図 7：圃場整備現場での試験運用状況

#### 4.2.山間地域現場における試験運用

モバイル通信圏外である山間地域の現場では、ネットワーク技術を前提とした ICT は基本的に使用できない。また、日常的な遠隔連絡手段も、特定小電力無線等、非常に制限の多い旧来のシステムに頼らざるを得ない。

今回、そうしたロケーションにおけるスターリンクの有効性を確認するために、北海道三笠市内の採掘現場及びダム事業の一環として行われる林道整備現場で実証試験を行った。これまでは、近傍の基準点に別途固定局用アンテナを立て、無線 RTK による運用を行っていた ICT 建機のコンソールをネットワークに接続し、事務所に設置したオリジナル電子基準点による Ntrip 補正情報を受信することで、安定した精度で RTK-GNSS(以下 RTK)測位が可能であることが確認された(図 8)。



図 8：Ntrip 補正情報を受信して MG

また、拠点となる事務所と現場をリアルタイムに接続し、遠隔臨場やアプリ通話による緊急連絡体制の構築等においても有効性が確認された(図 9)。



図 9：山間部現場における遠隔臨場

しかし、山間地域における Wi-Fi 網の構築は、ルータからの距離以外に、地形や樹木等の静的地物によるオクルージョンも影響するため、3.1 で述べたような事前の綿密な図上ネットワークプランニングが必須となる。また、起工測量時に取得した詳細な点群地形モデルを元に、より詳細なプランニングを行うことも重要となる(図 10)。今後は、アンテナ特性や電波強度等、複数のパラメータを用いた高精度なシミュレーション等も視野に入れて、さらなる最適な手法の検討を進めたい。

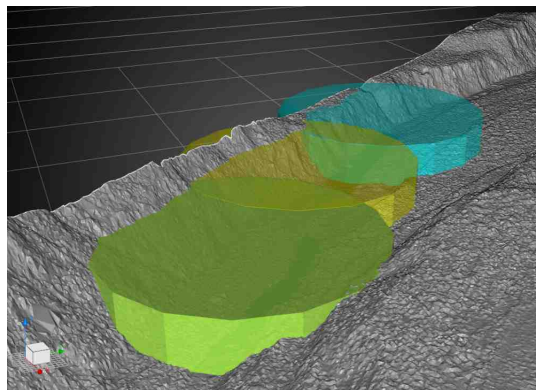


図 10：地形モデル 3D ネットワークプランニング

### 5. 各技術の個別説明 有効性

試験運用によって、各デバイス毎の SIM カードに依存することなくネットワーク化が可能となるスターリンク Wi-Fi 網の有効性が確認された。それらの中から特に有用であると思われるものを幾つか具体的に述べる。

#### 5.1.GNSS 補正情報の送受信

スマートコンストラクションの多くは、ICT 建機等、正確な位置情報をリアルタイムに取得する RTK の利用が前提となる技術で成り立っている。RTK は、現場近傍の基準点上に固定局を設置して無線で補正情報を移動局へ送信するローカル RTK と、電子基準点およびコントロールセンターよりインターネット回線を通じて補正情報を送信する(Ntrip 方式)、ネットワーク型 RTK (以下 NW-RTK) の 2 種類に分類される。近年では、固定局用アンテナセットを別途用意しなくても良い NW-RTK が主流となっているが、公的な電子基準点に基づく仮想基準点方式よりも簡便・安価かつ高精度な結果が望めるオリジナル電子基準点を用いた手法も増えつつある(図 11)。ネットワーク経由での補正情報のやりとりは、不感地帯においては当然利用不可能であるが、ス

ターリンクによる Wi-Fi 網を構築することで、ICT 建機、GNSS 測量機、RTK-UAV 等、高精度 GNSS 測位を前提とした各機材の性能を最大限に発揮出来る。



図 11：現場事務所に設置したオリジナル電子基準

## 5.2.写真管理

現場における日々の写真管理は、工事の品質・トレーサビリティを担保する重要な仕事の一つであるが、これまでは現場で写真撮影後、事務所帰着後にカテゴリズや属性付与等の事務作業に追われ、長時間残業の主な原因の一つともなっていた。100Mbps 以上の Wi-Fi 環境下では、撮影画像はその場で瞬時にクラウドに自動転送され、事務所や本社に控えるサブ人員によるリアルタイム整理が行われ、撮影者本人が事務所に着いたころには、すでに整理作業が完了しているといったスタイルが確立できる (図 12)。

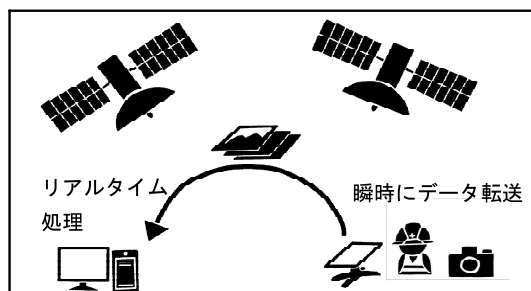


図 12：クラウド写真管理の高速化イメージ

## 5.3.連絡体制の即時化

今回試験運用した現場では、現場事務所から現場まで、およそ 5km 程度離れており、アクセス路は、幅員の狭い林道しかない。車で移動する場合、片道 40 分～50 分程度かかり、日々の往復における事故のリスクも無視できない。そこでスターリンクを現場に設置し、朝礼時における作業確認や日々の打合せをリモート化、緊急時の連絡体制をこれまでの業務用無線から Wi-Fi によるアプリ通話および IP 電話に置き換えることで位置情報の送信等、これまで以上にデータを活用した詳細なやり取りも可能になり、移動時間の短縮、安全性の向上およびコスト削減に成功した。



図 13：現地に設けた PC で作業員に指示および確認

## 5.4.サーバーを介した大容量データ活用

点群データや、それらに基づいた詳細な地形モデルは、データ量が大きく、ストレージを圧迫しやすいことから、手元のデバイスよりも、サーバーを介したクラウド処理によってやり取りするのが一般的である。サーバーを介したデータ活用の例として、近年注目を集めている拡張現実 (以下 AR) が挙げられる。スマホやタブレットの画面上で作業時のイメージ確認や、地先関係者への説明、新人教育・育成等、旧来の 2 次元図面では表現しきれない直観的な理解を助ける有用なツールである。それら AR 用のモデルデータをサーバー上に格納し、QR コードを読み込むことにより、誰でもその場で簡単にアクセスが可能となるが、高速 Wi-Fi 環境を用いることで、100Mb クラスの地形情報等を含む、リアルな AR モデルを数秒間程度のウエイトタイムで現実空間に投影することが出来た (図 14)。



図 14：QR コードで地形入り AR モデルにアクセス

## 6. まとめ

本稿では、スターリンクによる高速大容量データ通信網を現場に構築することの有用性について述べたが、ネットワーク強度の距離減衰や電波障害、衛星群の動きに伴うネットワークの瞬断等、解決すべき課題も幾つか残っている。今後の建設現場では、そうした課題に対応すべく、ネットワークエンジニアリングの重要性が急激に上がってくることが予想され、そうしたスキルに長けた人材の確保・育成も急務となるだろう。しかし、今後こうした次世代ネットワーク技術は益々拡充・発展するものと考えられ、利用データの大容量化も必然であり、建設 DX へ向けた動きを加速化する一つの要因となるであろう。本稿においては、既存の ICT をどこまで適用可能かという範囲での検証に留まっているが、将来的には、リアルタイム学習を伴う AI 技術への応用も期待できる。そうした新たなユースケースについての検討も進めて行きたい。

## 参考文献

- 1) 葎本陸斗・山本典隆・西本広行 (2019) : 不感地帯における ICT の施工事例について、第 63 回北海道開発技術研究発表会論文
- 2) 門脇裕樹・祐成亮一・小田部悟士・仁平勝利 (2021) : 携帯電話不感地域の工事現場における通信環境導入試験について(第一報)、中部森林技術交流発表集