

高速衛星通信を使った無人化施工システムの検討

大成建設(株) 技術センター 生産技術開発部 正会員 青木 浩章

○正会員 市村 朋也

正会員 市川 裕駿

1. はじめに

無人化施工は 2 次災害が懸念される災害復旧等の作業において、建設機械を使った作業を遠方の安全地帯から行う方法として、1990 年代の雲仙普賢岳の噴火による災害復旧工事を契機に現在も活用し続けている工法で、無線通信インフラが充実していることが条件である。現状では、特定小電力無線や Wi-Fi といった通信インフラが適用されることが多いが、これらが廉価無免許である故、屋外通信の範囲がそう広くないため、施工の範囲が限定されてしまうところがネックの 1 つであった。そこで筆者らは、2022 年から日本国内でもサービスされるようになった米国スペース X 社の高速衛星通信サービス「スターリンク」(図-1) に注目した。本製品により衛星経由での無人化施工の可能性を視野に通信試験を行った。以下に、その結果について報告する。



図-1 スターリンク
(starlink.com より引用)

2. 実験概要

スターリンクは大量の衛星を用いたグローバルインターネットサービスであり、低軌道を周回する数千個の小型衛星により、衛星通信が可能な場所で常にインターネットサービスを使用することができる。通信速度を実測したところ(図-2)、UL: 10~30Mbps, DL: 150Mbps 程度、通信遅延は 30ms 程度であり、従来の衛星と比べ高速かつ低遅延の通信が可能であるので、映像伝送や制御の必要な無人化施工への活用も検討できると考えた。

図-3 に実験の概要図を示す。通常、建設機械の遠隔操作を行う場合、現場等に設けた制御室と重機間での通信を行うため、制御室側として遠隔操作用の HMI PC、重機側として制御 PC を設定し、それぞれにスターリンク機器を接続して衛星経由で相互に通信が行えるか確認した。また衛星からインターネットに接続されるため、制御室側と重機側で直接通信を行うことは不可能である。そのため VPN (Virtual Private Network) を使用し、疑似的にローカルネットワークを構築することで通信を行った。VPN 通信には VPN ソフトウェアの「SoftEther VPN」を使用した。

また、通信速度の計測は iperf を使用した。iperf は構築したサーバとクライアント間の通信トラフィックを確認するツールである。そして HMI PC をサーバ、制御 PC をクライアントとしたアップリンクと、逆のダウンリンクについて通信トラフィックの計測を行った。

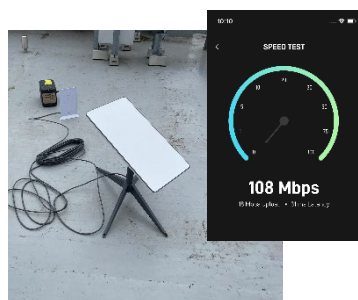


図-2 計測状況

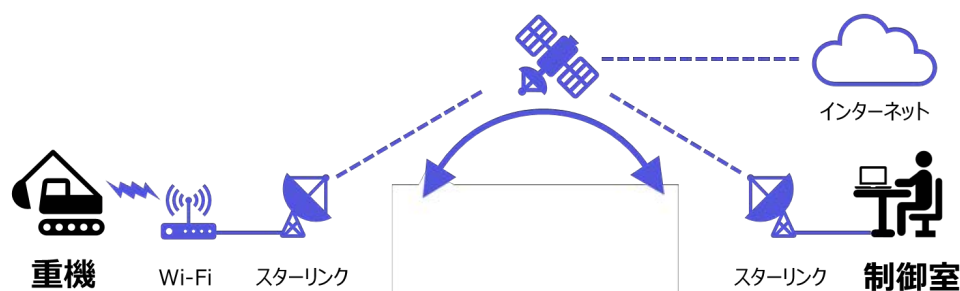


図-3 実験の概要

キーワード 衛星通信, 遠隔操作, VPN, 通信速度, 無線通信インフラ

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター生産技術開発部 TEL 045-814-7229

3. 実験結果及び考察

筆者らのこれまでの調査より無人化施工の通信には車載映像：10Mbps/台、制御：0.1Mbps/台程度が必要なのことがわかっている。図-4, 5 にそれぞれの測定結果を示す。縦軸が通信速度(Mbps)、横軸が時間(s)である。各パターンについて5分間計測を行ったところ、通信速度についてはUL：平均7.2[Mbps]、DL：平均6.5[Mbps]であり、UL、DLでの有意な差は見られなかった。これは図-4の場合、重機側からアップロードし、インターネットを経由して制御室側はダウンロードをするため、より低速な通信速度が最大の達成可能速度を制限している可能性が考えられる。図-5の場合も同様である。そのため速度の低いスターリンクのアップロード速度以上が出ないと推測される。また接続の安定性が悪く、速度1～15Mbps程度で常に変動しており、数秒以上の通信途絶が発生した。通信途絶についてはスターリンク単体の場合でも発生しており、スターリンクアンテナ上空の視界の条件によって発生頻度は異なった。今回アンテナは上空の見通しの良い環境に設置しているにもかかわらず、このような通信途絶が頻発した。これはスターリンク衛星が低軌道で周回していることで接続する衛星が切り替わり、その影響で発生していると考えられる。これらの結果より無人化施工への適用は難しいと言える。

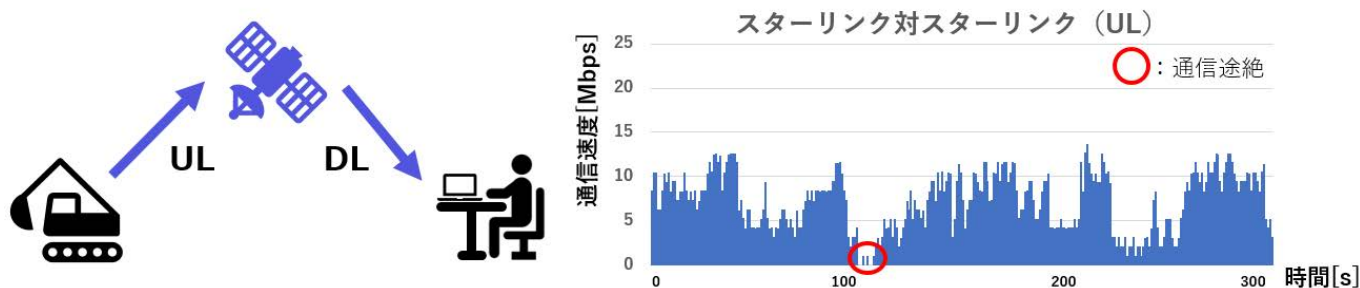


図-4 無人化施工の車載映像 (UL) のイメージ

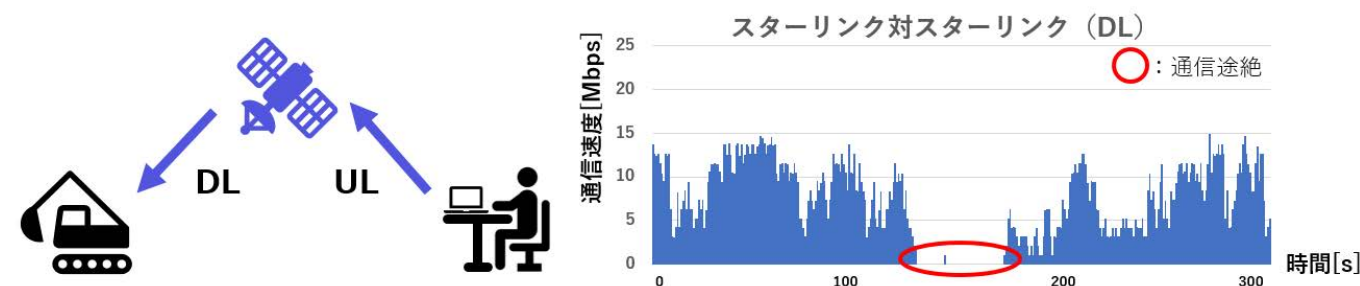


図-5 無人化施工のテレコントロール (DL) のイメージ図

4. まとめ

本実験では建設機械の無人化・自動化において、衛星通信サービスのスターリンクを経由したVPN通信による遠隔操作性についての調査を行った。その結果、衛星通信が不安定であることやVPN接続による通信速度の低下傾向が見られた。建設機械の無人化・自動化施工は制御室と重機の通信が常に接続されていることが必須の要件であり、速度も一定以上必要となることから、スターリンク経由での遠隔操作の実用は難しいと考えられる。しかしながら、今回実証を行ったのはスターリンクの一般向けのプランであり、接続の優先度が上がるビジネスプランという上位プランも存在し、そちらは安定性が向上する可能性がある。またスターリンク衛星はこれからも増大される予定で、衛星の性能も向上すると発表されており、今回の実験で判明した問題も改善される可能性があると考えられ、今後の衛星通信技術の発展・向上に期待したい。