高精細映像の無線伝送システムの開発と現場への適用

辻岡　高志*
Tsujioka Takashi

1. はじめに

近年，山岳トンネル工事ではICT技術の開発や適用が進み，切羽付近のライブ映像を活用する事例が増えてきている．すなわち，従来から行われてきた切羽の監視に加えて，無人化施工や岩判定の遠隔臨場等の作業のために，切羽付近にネットワークカメラを設置して，映像をリアルタイムに確認する事例が増えてきている．これらの作業には高度かつ正確な判断が伴うため，従来のカメラシステムと比較してより精細な映像が必要となる．また，従来はLANケーブル等による有線通信で映像を伝送するケースが多かったが，切羽の進行に伴う移設作業や劣化したケーブル類の交換作業等が必要であり，担当職員の業務時間の増加が問題になっていた．

以上の背景から著者は，高精細な映像を無線通信で伝送することが可能なシステムの開発を行った．また，開発したシステムをドリルジャンボの遠隔操作時に活用して，システムの妥当性や作業効率の向上効果について検証した．

2. 高精細映像の無線伝送システムの概要

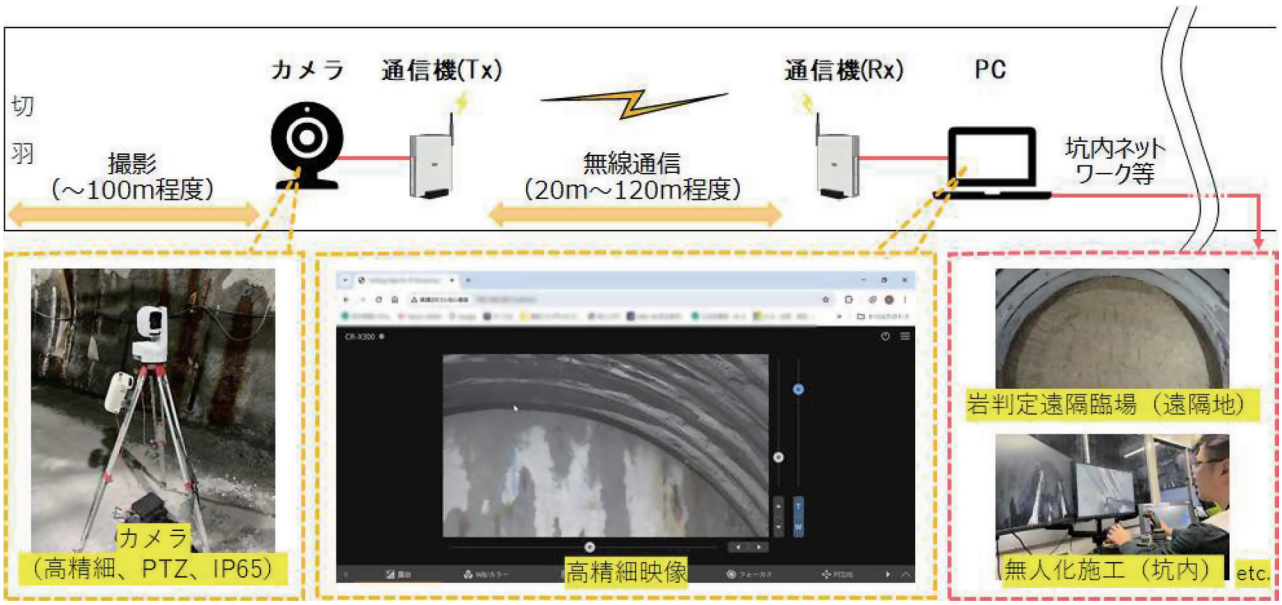
本システムの概要を**図―1**に示す．切羽付近に設置したネットワークカメラの映像が無線機器を通して坑内のPCへ伝送され，さらに坑内ネットワーク等を介して接続された各所のPCへ伝送される．本システムを用いることで，高精細かつ低遅延な映像を，坑内や遠隔地で確認することが可能となる．

トンネル内の精細な映像を取得するために，4K解像度でPTZ（パン・チルト・ズーム）機能を備えたカメラを使用している．カメラのPTZ機能は坑内や遠隔地のPCから操作することができるため，作業時に注目したい箇所にピントを合わせることが可能である．また，トンネル内の厳しい環境条件に耐えるため，保護等級IP65相当の防塵・防水性能を有したカメラを選定した．

また，高精細映像の安定した伝送を可能とするために，低遅延かつ高帯域幅を確保できる最新の無線通信プロトコルを採用している．使用する通信帯域は，免許が不要な60 GHz帯（Vバンド帯）である．

3. システムの検証

当社施工中のトンネル現場にて，ドリルジャンボを遠隔操作して発破孔を削孔する際に本システムを活用し，映像伝送遅延や映像の鮮明さを検証した（**図―2**）．過年度に開発したドリルジャンボの遠隔操作システム『Tunnel RemOS-Jumbo』[1)]の試行では特に支保工周辺の映像が判断しづらくビットを孔口に合わせるのに時間を要していたことから，本システムの試行の場として選定した．



図―1　高精細映像の無線伝送システムの概要

*技術研究所土木技術グループ

映像伝送遅延については，1 ミリ秒単位まで表示されるインターネット時計を直接目視した場合と本システムを通してモニタで確認した場合の表示時刻の差を求めることで検証した（**図—3**）．その結果，本システムによる遅延は約 207 ms であり，微小であることが確認できた（**図—4**）．また，オペレータへのヒアリングからも，違和感なく遠隔操作できる程度の遅延であることを確認できた．

映像の鮮明さについては，本システムを活用することによって従来のカメラよりも向上することを目視で確認できたものの（**図—5**），定量的に評価することが難しいことから，遠隔操作で切羽 1 断面分の発破孔を削孔するのに要した時間を，実機搭乗時の作業時間と比較することで間接的に検証することとした．実機搭乗時には作業時間が平均約 45 分であるのに対し，本システムを用いて遠隔操作を行った場合には約 60 分で作業を完了することができた．一般に遠隔操作時には周囲状況把握のための視覚情報の不足や操作インターフェースの相違等が原因で作業効率が実機搭乗時と比べて半分程度になるのに対して，今回の検証では遅延を 2 割 5 分程度に抑えることができたのは，映像が鮮明であったことが一因であると考える．

以上の結果から，本システムによって鮮明な映像を低遅延で伝送できることを確認できた．また，本システムを重機の遠隔操作時に活用することによって，オペレータが危険な箇所に直接立ち入ることなく切羽周囲の状況を迅速かつ鮮明に確認しながら作業を行うことが可能となり，安全性や作業性の向上につながることが確認された．

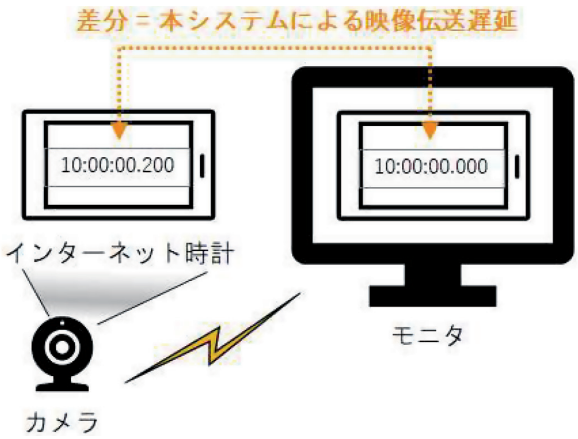
4. まとめ

今回，高精細映像の無線伝送システムを開発し，当社施工中の山岳トンネル現場における重機の遠隔操作時に活用して，妥当性や効果の検証を行った．その結果，本システムが鮮明な映像を低遅延で伝送できることや，重機の遠隔操作時の安全性・作業性の向上に寄与し得ることも確認できた．今後は，さらなる現場試験を通して本システムの継続的な改良を行うとともに，他のトンネル作業や工事現場への応用可能性についても検討してシステムの普及を図る．

参考文献

1）纐纈善孝，塚田純一，櫛島秀一，高橋真琴：山岳トンネルにおけるドリルジャンボの遠隔操作システムの開発，令和 5 年度建設施工と建設機械シンポジウム，No. 40，2023.
2）橋本毅，山内元貴，山田充，油田信一：無人化施工における施工効率低下要因の検討，建設機械施工，Vol. 74，No. 6，2022.

図—2　本システムを活用した遠隔操作状況



図—3　映像伝送遅延の測定イメージ

図—4　映像伝送遅延の測定結果

図—5　本システムで伝送された鮮明な映像