

発電所のフィールドサービス遠隔支援に適した モバイルクラウドカメラシステムの共創による開発

Collaborative Approach for Developing Mobile Cloud Camera System Adapted to Remote Support of Field Services for Power Plants

権藤 俊一 GONDO Shunichi 峰松 美佳 MINEMATSU Mika 有川 賢 ARIKAWA Ken 中田 祐司 NAKATA Yuji

発電所のフィールドサービスでは、熟練指導員が遠隔地から複数の現場の作業員を同時並行で支援することで、業務の効率化と顧客満足度の向上を図ることが求められている。現場派遣と変わらないレベルで支援するには、遠隔から現場状況を視聴覚的に確認するためのカメラシステムに課題がある。

東芝グループは、フィールドサービス事業部門と研究開発部門の共創により、遠隔からのリアルなケーススタディーで課題解決できる、実用レベルのモバイルクラウドカメラシステムを開発した。国内複数の発電所で改善調整を行い、遠隔支援に適したHD（1,280×720画素）解像度の映像を、実用可能な200 Ki（キビ：2¹⁰）ビット/sで圧縮伝送できることを確認した。

In the field services of power plants, demand has been growing for new services in which experienced personnel can simultaneously support personnel working at multiple sites from a remote location so as to improve business efficiency and customer satisfaction. However, it has been difficult for camera systems to audiovisually grasp the on-site situation at a level of accuracy comparable to that attained by dispatching personnel to the actual site.

Through a process of collaboration between field service and R&D departments involving actual case studies from a remote location, the Toshiba Group has developed a mobile cloud camera system for field services that has sufficient resolution to solve this problem. We have conducted trials at several power plants in Japan and confirmed that the newly developed mobile cloud camera system can transmit compressed high-definition (HD: 1 280 × 720 pixels) images at a practical data rate of 200 kibibit/s, meeting the requirements for remote support of a wide range of field services.

1. まえがき

発電所の定期点検は、電力需要が減少する秋春の短期間に集中する。社会的に人手不足が深刻であり、現場作業員・顧客を支援する熟練指導員も例外ではない。人員の確保や機動的な出張調整など、ほかの業務にも影響する問題である。

そこで、熟練指導員が遠隔地から複数の現場を同時並行で支援できれば、単なる業務の効率化・省人化にとどまらず、様々な顧客の要望に応える余力や、支援内容の拡充が期待できる。現場派遣と変わらない支援を実現するには、適切なツールが欠かせない。特に、熟練指導員が遠隔から現場状況を視聴覚的に確認できることは、遠隔臨場⁽¹⁾と要件が同じであり、極めて重要である。

タービン発電機の分解・点検検査・組み立ての作業支援では、対象物・作業エリアは大きいのが、部品や微細な対象もあり、高い作業精度が求められる⁽²⁾。そこで必要な視線は、フロアを俯瞰（ふかん）するマクロ視点と、手元に着目するミクロ視点である。

このうちマクロ視点について、監視カメラや会議システム

での実現を試みたが、新たな手間やコストの負担に見合う機能・性能が得られなかった。重量物の運搬設置や、細かい機器設定、画質・視認性、カメラ1台のカバー範囲などのほか、モバイル通信回線を使って数週間から数か月の間、連続稼働させるときの通信速度や安定性などに、改善が必要なことが分かった。

そこで、実用レベルのモバイルクラウドカメラシステムを、フィールドサービス事業部門と研究開発部門の共創により開発した。ここでは、モバイルクラウドカメラシステムの概要と、実践的な課題解決例について述べる。

2. 課題解決のアプローチとフィジビリティスタディー

フィールドサービス遠隔支援のためのカメラシステムはどうあるべきか、課題や要件を明確化するために、実際に現場でケーススタディーを重ねた。現場で、撮影画面を見ながら、実際の対象物や見たいところを特定し、カメラの設置場所・アングル・圧縮伝送を調整・検討することで、間違いない課題解決のアプローチとフィジビリティスタディーが可能になり、実現すべきこと・達成レベル・実現の見通しを、より早く明確にできる。

現場状況を確認できるカメラや映像伝送システムがあれば、遠隔からリアルなケーススタディーが可能になる。フィールドサービス事業部門と研究開発部門の開発担当者が、確認対象を共に視認して課題を共有し、どのような改善が望ましいか、実践的に解決できるはずである。

このような目的を実現するには、フィジビリティースタディーの段階で、次の二つを見極める必要がある。一つ目は、現状の課題が技術的に解決できるかどうか、二つ目は、解決策を実用レベルで検証できるかどうかである。

2.1 研究所や工場での事前検証

現場に近い環境で事前検証とケーススタディーをするために、工場の建屋内で現場と類似の対象・環境で撮影し、現状の理解・課題・要件を明確化し、解決手法を検討した。

まず、現場撮影に適したカメラデバイスの要件を明確にするために、複数種類のカメラで撮影して比較・検証した。対象物・作業エリアが大きくて薄暗く、終夜稼働も必要のため、レンズ交換可能な広角・低照度ボードカメラが最も良好な結果を得た。対象物や作業の内容に応じて、設置場所や撮影対象を柔軟に変更するために、カメラ全体が小型でカメラヘッドが分離できるとよい。また、配線や設定を簡便にするため、カメラがモバイル通信回線に直接つながり、電源の接続だけで利用できることが望ましい。

次に、解像度や映像圧縮の検証と要件の明確化を実施した。広角で俯瞰した映像は情報量が多く、SD (720×480画素) 解像度では細部がつぶれるため、最低HD解像度が必要である。昼夜や撮影対象を変えて必要なビットレートを検証した結果、一般的な監視カメラ相当の映像とするには2 Mビット/s以上が必要であり、遠隔臨場の要件とも合致することが分かった。また、単純にビットレートを下げると、極端に画質が悪化することを確認した。2 Mビット/s以上では、月間600 Gバイトを超えるデータ量となり、海外も含むモバイル通信回線による伝送の実現性や通信コストに懸念が生じる。

一方、検証の結果、フレームレートは4フレーム/s程度でよいという結果を得た。このフレームレートであれば動きの意図まで判別できる上、重量物のゆっくりした動きは滑らかな映像よりも4フレーム/sに間引いた方が見やすいことを確認した。この結果は、人の注視点が周期的に切り替わり、視界全体の動きは1秒に4回程度しか捉えられないという研究結果³⁾とも合致する。このとき、一般的な監視カメラ相当の画質では1 Mビット/s程度必要となるが、エンコーダーの符号量制御を工夫すれば、画質を維持したまま、更に月間100～200 Gバイト程度までデータ量の削減は可能との

見通しを得た。

2.2 開発者向け映像集配信サーバーレスサービスの活用

実用レベルの映像集配信システムで、実践的な課題解決を可能とする方法を検討した結果、クラウド事業者が提供する開発者向けサーバーレスサービスを活用して、映像集配信システムを新たに構築することとした。このサービスを選択した理由は、開発者向けであるため機能の拡張や検証への活用が容易なことや、開発工数や運用コストを最小限に抑えられること、ISMAP⁴⁾やFedRAMP⁵⁾など国家レベルの高度なセキュリティ制度に準拠していること、ほかのSaaS (Software as a Service) と比較して安価であること、グローバル対応も可能であること、AIとの親和性が高いことなどである。シンプルなAPI (Application Programming Interface) で最小限の機能が提供されており、事前の接続実験で、映像圧縮のパラメーター変更に対する仕様の制約が少なく、自由度が高いことも確認できた。

2.3 IoT通信プラットフォームサービスの活用


発電所は一般に人口密集地域への設置はなく、海外も想定するため、モバイル通信回線を安定して利用できないリスクがある。これに対し、IoT (Internet of Things) 通信プラットフォームサービスの活用で、現状の理解と、課題・要件の明確化が可能になった。例えば、通常は通信会社しかアクセスできない回線の情報収集・診断、及び通信網側でのパケットキャプチャーが可能である。また、セキュアな時間遠隔アクセスでカメラのデバッグやメンテナンスもできる。回線側での遠隔切り離しも可能で、万一セキュリティ上の懸念が生じた場合にも対応できる。

モバイル通信回線の調査から、データ容量や、提供帯域、グローバル化、適正コストなどを考慮すると、月間100 Gバイトのデータ量若しくは常時200 Kiビット/sの通信速度が、必要になるという見込みを得た。

3. モバイルクラウドカメラシステム

2章に述べたフィジビリティースタディーの結果、現状の課題が技術的に解決できそうであり、解決策を実用レベルで検証するシステムの構築も実現性が高いことが分かった。これを踏まえて、現場に持ち込み、遠隔からリアルなケーススタディーで課題解決できる、実用レベルのモバイルクラウドカメラシステムを開発した。

3.1 モバイルクラウドカメラシステムの構成

開発したモバイルクラウドカメラシステムの構成を、1に示す。開発者向け映像集配信サーバーレスサービスAmazon Kinesis Video Streams (KVS)TMを活用し、クラウド映像伝送システムを構築した。カメラから商用LTE (Long Term

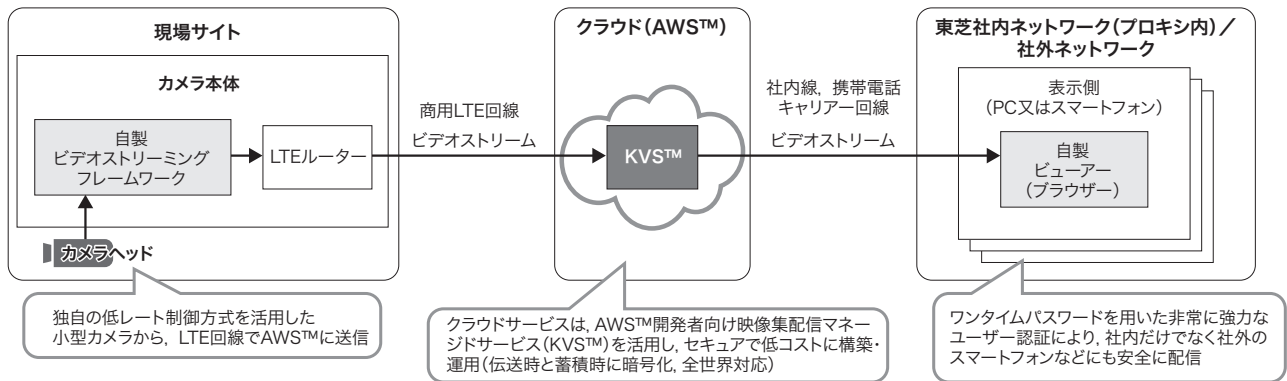


図1. モバイルクラウドカメラシステムの構成

クラウドサービス事業者の開発者向けサーバーレスサービスやIoT通信プラットフォームサービスを活用しており、遠隔からのリアルなケーススタディーで課題を解決するための検証・実証も可能である。

Configuration of mobile cloud camera system

Evolution) モバイル通信回線に映像を送信してKVS™で受信・配信し、ウェブブラウザ上に実現したプレーヤーを使って社内ネットワーク上のPC (パソコン) やスマートフォンなどで再生・表示が可能である。

セキュリティ面では、伝送時・データ蓄積時の暗号化や、アクセス権限認証の制限を実施している。万一、カメラ上の認証情報が漏洩(ろうえい)しても、KVS™への送信だけが可能な権限となっているため、映像が流出するリスクはない。逆に、ブラウザー側の表示では、ワンタイムパスワードを用いた非常に強力な2段階ユーザー認証を実現している。2段階ユーザー認証は、Amazon Cognito™と組み合わせて実現した。

クラウド映像伝送システムは数週間、2段階ユーザー認証は数日で構築した。自社開発では2段階ユーザー認証だけでも数年掛かると考えられ、開発期間・コストを大幅に削減できる。

運用面では、接続状況や詳細なアクセス履歴をAmazon CloudWatch™で確認することも可能であるが、基本的にはAWS™ (Amazon Web Services) 側に任せることができる。

3.2 柔軟・簡便な現場設置が可能なモバイルカメラ

現場に設置するカメラ本体は、現場の作業員が単独で、特別な指導なしで設置できるように、電源接続だけによる起動・クラウド送信を可能にした。カメラの安全な設置・固定ができるように、カメラヘッドとストリーミングユニットを分離可能として、設置形態の柔軟性を実現した(図2)。カメラヘッドはボードカメラで、ストリーミングユニットはLTE通信部とエンコード処理部で構成しており、USB (Universal Serial Bus) ケーブルで接続する。各機材は、輸出・海外対応も可能な仕様を採用した。カメラに搭載するソフトウェ

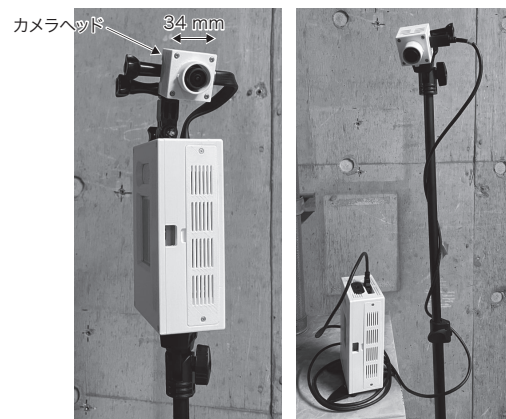


図2. 現場設置するカメラ本体

カメラヘッドとストリーミングユニットを分離できるので、設置場所やアングルの調整が容易である。

On-site camera

アには、独自のビデオストリーミングフレームワークを用いている。このシステムでは、USBカメラ入力とKVS™送信のモジュールを、エンコーダー処理のモジュールと組み合わせて構成した。

3.3 遠隔からリアルなケーススタディーで課題を解決

カメラに搭載したソフトウェアでは、独自のビデオストリーミングフレームワークのエンコーダー処理モジュールで、映像圧縮処理の方式・アルゴリズム・パラメーターなどの変更が可能である。この特長を生かし、画質を維持したまま低レート化する独自の符号量制御方式を、実際に現場で動作させたカメラに遠隔から実装し、最適な条件を検討した。検討時には、実際の映像送信に影響がないように、複数のエンコード映像をKVS™送信することが可能であり、同時に

改善前後の映像を見比べて評価することもできる。

複数の現場で継続的に、遠隔から現場カメラのエンコーダーのアルゴリズムやパラメーターを調整した結果、一般的な監視カメラ相当の1.5 Mビット/s前後の画質を、200 Kiビット/sで実現できた。これは、グローバルな視点でのターゲット値を満たすため、通信回線のコスト・リスクの削減につながり、適用可能な現場が広がる。また、同一コストでカメラ台数を数倍に増やしたり、映像データの保存期間を延長したりすることも可能になる。

4. 実用上のその他の課題

開発したモバイルクラウドカメラシステムで、当初の目的は達成できた。実際に、現場に行かなくても遠隔から現場の課題を認識し、改善できた。一方、定期点検中の発電所を実際に視察する機会も得て、遠隔では分からない課題も認識し、解決のための技術の検討・検証を実施した。その中から、今後の進展が期待される項目について述べる。

4.1 可搬型プライベートLTE通信システムの活用

建屋内の奥まったところでは、LTE通信の電波が届かず、クラウドシステムに映像送信できないことがある。電波状態が良い場所にLTEルーターを設置し、無線LANで接続することも考えられるが、ほかの機器との電波干渉などの懸念がある。

そこで、建屋内で1.9 GHz帯のプライベートLTEを用いた中継システムの実現性を検証した。これは、構内PHSの置

き換えとしての音声・データ通信システムであり、一般的な映像伝送に適用するには、通信速度が十分とはいえない。

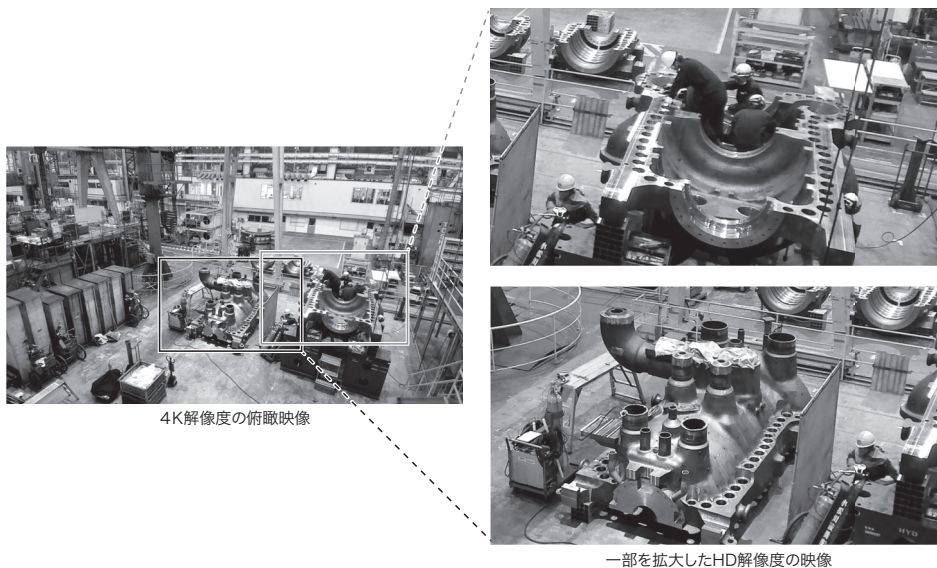
3.3節で述べた200 Kiビット/sでの低レート映像伝送技術を用いることで、LTEルーター配下のプライベートLTE通信システムを活用してクラウドシステムに映像伝送できることを確認した(図3)。現場作業員が簡単に設置・撤去できる自営通信システムとして利用できる。また、今後の多接続5G(第5世代移動通信システム)でも通信端末ごとの通信速度を抑えることになるため、狭帯域映像伝送で多数のカメラ



図3. 可搬型プライベートLTE通信システム

機内持ち込み可能なサイズのトランクに収納でき、建屋入り口に設置することで、建屋内に中継が可能である。

Portable private Long-Term Evolution (LTE) communication system



4K解像度の俯瞰映像

一部を拡大したHD解像度の映像

図4. 4Kカメラ撮影映像の部分切り出しによるHD解像度での拡大表示例

4K解像度の俯瞰映像から、対象物だけをHD解像度で切り出すことが可能である。

Examples of enlarged images with HD resolution segmented from image with 4K (3 840 × 2 160 pixels) resolution

の取容が可能になる。

4.2 4Kカメラ映像の部分切り出しによる拡大表示

マクロ視点の俯瞰映像で、部分的に拡大して確認したいときがある。カメラが4K (3,840×2,160画素) 解像度であれば、HD解像度の映像を切り出すことで、拡大ズームと同等の効果が得られる。実際に4K解像度のウェブカメラで実験したところ、十分な画質が得られることが分かった(図4)。つまり、伝送・表示はHD解像度程度であっても、撮影映像が4K解像度であることに価値がある。これは、8K (7,680×4,320画素) 解像度の小型360度カメラでも同様である。いずれも、高性能な光学レンズ付きの業務用機材ではなく、民生用の市販品を使って検証した結果である。

現場で連続稼働できる仕様の、4K解像度ボードカメラや8K解像度小型360度カメラの製品が、拡充されることを期待する。

5. あとがき

フィールドサービス事業部門と研究開発部門の対話・連携により、遠隔からリアルなケーススタディーを行いながら課題を解決し、モバイルクラウドカメラシステムを開発した。

今後は、狭帯域の現場映像伝送システムという特長を生かし、低速・低額な回線や、LTEモバイル通信が存在しない場合の衛星通信などについて、実用性を検証していく。同時に、音声も含めた狭帯域化や低遅延化など、マイクロ視点に適した技術確立にも取り組んでいく。

文 献

- (1) 国土交通省 大臣官房技術調査課. 建設現場の遠隔臨場に関する試行要領(案). 国土交通省, 2021, 15p. <<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001397221.pdf>>, (参照 2022-05-16).
- (2) 東芝エネルギーシステムズ. 定期点検工期短縮施策による稼働率の向上について. <<https://www.global.toshiba/jp/company/energy/topics/thermal/service-pv1.html>>, (参照 2022-05-16).
- (3) Fuller-Wright, L. The spotlight of attention is more like a strobe, say researchers. Princeton University, 2018. <<https://www.princeton.edu/news/2018/08/22/spotlight-attention-more-strobe-say-researchers>>, (accessed 2022-05-16).
- (4) ISMAP運営委員会. ISMAP - 政府情報システムのためのセキュリティ評価制度. ISMAPポータル. <<https://www.ismap.go.jp/>>, (参照 2022-05-16).
- (5) FedRAMP Program Management Office. SECURING CLOUD SERVICES FOR THE FEDERAL GOVERNMENT. <<https://www.fedramp.gov/>>, (accessed 2022-05-16).

・ Amazon Web Services, その他のAWSサービスは、米国その他の諸国における、Amazon.com, Inc. 又はその関連会社の商標。



権藤 俊一 GONDO Shunichi
研究開発センター 情報通信プラットフォーム研究所
コンピュータ&ネットワークシステムラボラトリー
Computer and Network Systems Lab.



峰松 美佳 MINEMATSU Mika
研究開発センター 情報通信プラットフォーム研究所
コンピュータ&ネットワークシステムラボラトリー
Computer and Network Systems Lab.



有川 賢 ARIKAWA Ken
東芝エネルギーシステムズ(株)
パワーシステム事業部 フィールドサービス部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



中田 祐司 NAKATA Yuji
東芝エネルギーシステムズ(株)
パワーシステム事業部 火力フィールド技術部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.