

ローカル 5G による生産現場の遠隔モニタリング

阿部 顕一、千家 雅之 (情報・生産技術部 システム技術グループ)

水矢 亨 (企画部 経営戦略課 新事業戦略グループ)

長尾 達明 (情報・生産技術部)

松日楽 信人、加藤 宏一郎 (芝浦工業大学)

1. はじめに

コロナ禍により、人と人との接触を避けるためにも、IoT 機器やリモートロボットを介した作業の実現が求められている。特に、リモートロボットで遠隔作業を行うには移動の束縛とならない無線での通信が必要になるが、画像通信は不安定であり、時間遅れも大きく、作業が効率的にできないことが問題となる。無線通信の主力は、多接続、高速、低遅延の 5G 通信へと切り替わろうとしているが、現場での実性能は十分明らかになってはおらず、性能の把握が課題となっている。神奈川県立産業技術総合研究所 (KISTEC) では令和 3 年度より、通信範囲が特定領域に限定されたローカル 5G (L5G) 通信設備を開設している。

本開発の目的は、KISTEC 内に仮想の生産現場を設定し、各種機器を L5G で接続し、接続機器を一元管理できる遠隔モニタリングシステム構築することである。L5G を用いた遠隔モニタリングシステムの現状での実用性や問題点を明らかにする。

2. 実験システム

2.1. 実験環境

L5G による遠隔モニタリングを実現し効果を測るための実験環境として、KISTEC 内の各種工作機械が設置されている実験室を利用した。実験室を工場製造現場と見立て、現場を遠隔モニタリングできるシステムを構築する。実験室のレイアウトを図 1 に示す。

実験室には、13 台の加工機が設置されている。今回、環境カメラ 1 台、台車ロボット 2 台、監視対象となる加工機 1 台、ロボットアーム 1 台、オペレータ用 PC 1 台を L5G に接続し、遠隔モニタリングシステムとして構築した。

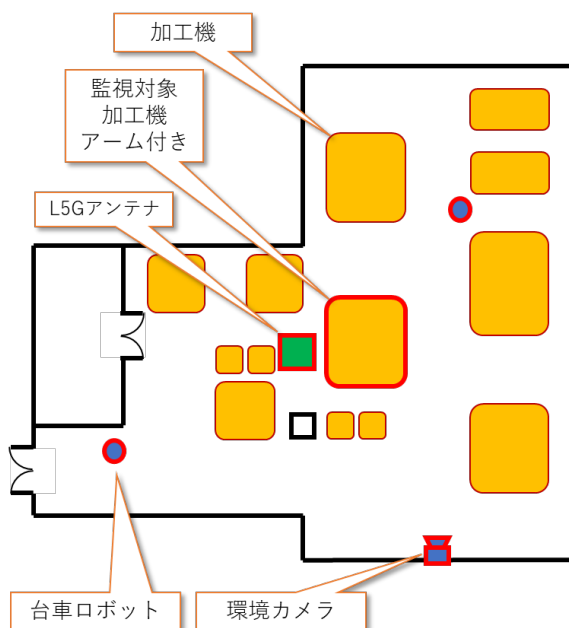


図1 実験室レイアウト

2.2. ローカル 5G 通信機器仕様

5G は、多接続、高速、低遅延を特徴とする第 5 世代移動通信システムである。KISTEC の L5G は、4.8~4.9GHz の周波数帯 (いわゆるサブ 6GHz 帯に含まれる) を利用するスタンドアロン (SA) 構成のものである。

2.3. 通信規約

本研究計画で求めるネットワーク環境下における複数台のセンサーやロボットなどのリモート制御を実現するためには、異なるメーカーの多種多様な装置とデータを送受信できる共通の通信規約を利用する必要がある。

本研究計画では過去の実績から RSi (Robot Service initiative) が策定した RSNP (Robot Service Network Protocol) を採用することとした。XML ベースの通信で、仕様が簡易であり、機器毎にレコードの定義を自由に設定できるので拡張性が高い。リアルタイム性は無いが、同期をとらないため機器間の調整は不要であり、機器の追加や削除が容易である。RSNP の構成を図 2 に示す。

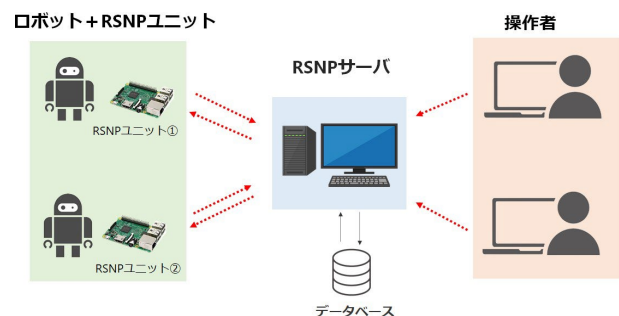


図2 RSNPの構成

2.4. 環境カメラ

環境カメラは、自律走行するロボットの動作確認やロボット周囲の状況確認のための固定設置された遠隔監視用カメラである。本研究では、パナソニック社製の広角 4K ネットワークカメラ AW-UE4KGN を採用した。環境カメラの外観を図 3 に示す。

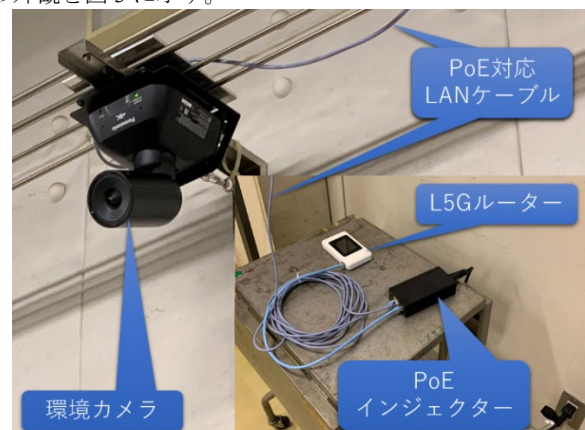


図3 環境カメラ

映像配信プロトコルとして RTMP を選択した。RTMP サーバーは 5G コアネットワークと有線で接続する方法を採用した。RTMP サーバーの仕様を表 1 に示す。

表 1 RTMP サーバー仕様

名称	Raspberry Pi 3 Model B+
OS	Raspberry Pi OS Lite (Legacy)
ソフトウェア	Nginx, nginx-rtmp-module

2.5. 台車ロボット

環境カメラでは認識できない詳細な状況把握をするために 2 台の台車ロボット (①、②) を配置した。2 台の台車ロボットの外観を図 3、4 に、2 台の台車ロボットの仕様を表 2 に示す。

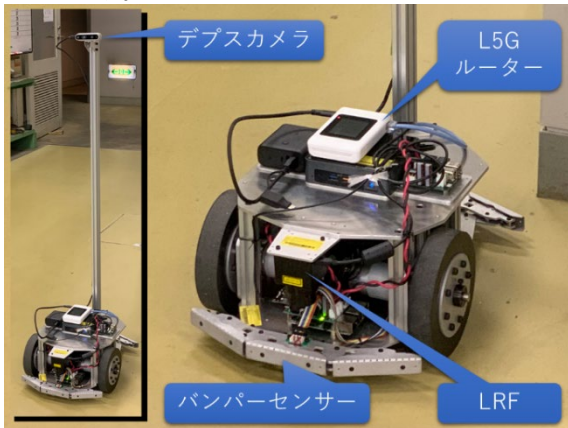


図 3 台車ロボット ①

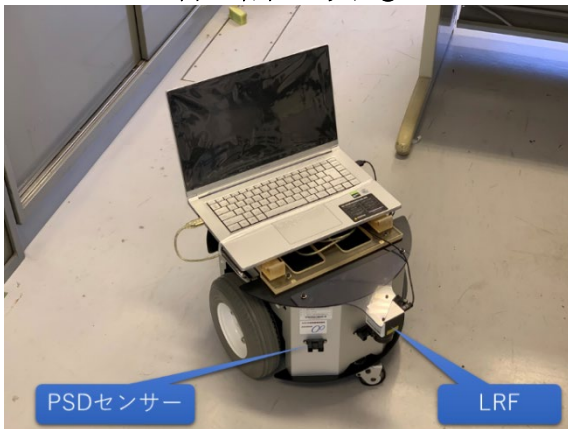


図 4 台車ロボット ②

表 2 台車ロボット仕様

	台車ロボット ①	台車ロボット ②
名称	ヴィストン メガローバー Ver2.0	イクシス iWS09-MS
寸法	L396 mm x W353 mm x H166 mm	φ 45 mm x H277 mm
積載重量	40 kg	15 kg
駆動方式	2 輪駆動	2 輪駆動
最高速度	1.4 m/s	1.0 m/s
センサー	LRF 1 個 バンパーセンサー 2 個 デプスカメラ 1 個	LRF 1 個 位置検出素子センサー 6 個

台車ロボットは、オープンライセンスソフトウェアのロボット制御ソフトウェアである ROS で制御し、外界センサーとして LRF センサー、内界センサーとして駆動輪の回

転情報から、マッピングやナビゲーションを実現している。ROS に RSNP ノードを組み込むことで、RSNP ユニット不要で、L5G で RSNP サーバーと接続され、センサーデータの送信、オペレータからの指令の受信を行う。

2.6. 監視対象加工機

実験室には 13 台の加工機が配置されており、その内の NC フライス加工機 (イワシタ社 NR2) を監視対象とした。NC フライス加工機は UDP のソケット通信のプロトコルで RSNP ユニットへデータを送信する。RSNP ユニットにより UDP のソケット通信データを MQTT に変換してから、L5G で RSNP サーバーへデータを送信する。NC フライスの外観を図 5、システム構成を図 6 に示す。



図 5 監視対象加工機

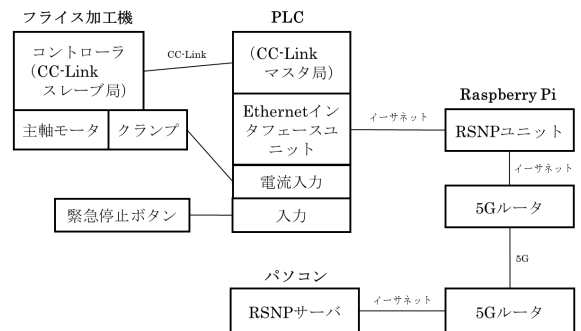


図 6 システム構成

2.7. リモートロボットアーム

監視対象加工機には、遠隔操作が可能なロボットアームを配置した。ロボットアームの外観を図 7、ロボットアームの仕様を表 3 に示す。

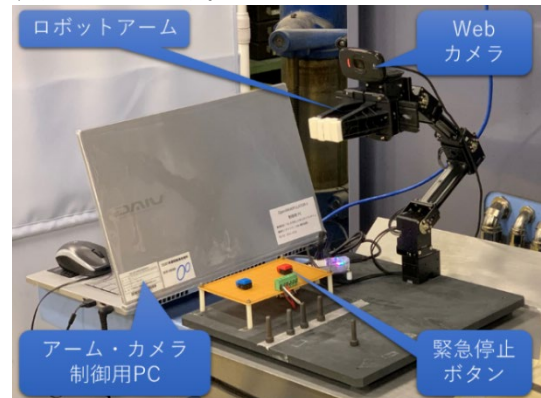


図 7 ロボットアーム

表3 ロボットアーム仕様

名称	ROBOTIS OpenMANIPULATOR-X
自由度	4軸+グリッパ
リーチ長	380 mm
可搬重量	500 g
軸角速度	46 RPM
繰返し精度	0.2 mm 以下

制御用ノート PC の ROS で制御し、ROS に RSNP ノードを組み込むことで、L5G で RSNP サーバーと接続される。

2.8. 制御システム

遠隔モニタリングシステム全体の情報管理は、RSNP サーバーで行う。RSNP サーバーは、OS を含め、複数のオープンライセンスソフトウェアを組み合わせた環境に、RSNP サーバソフトウェアを組み込んだものである。RSNP サーバーの仕様を表4に示す。

表4 RSNP サーバー仕様

OS	Ubuntu 20.04.3 LTS
Web サーバー	Apache 2.4.41
APP サーバー	Apache Tomcat 9.0.31
RDB 管理システム	MySQL 8.0.26-0ubuntu0.20.04.3 for Linux on x86_64
RSNP サーバー	RSNP 2.3.0r49

オペレータはオペレータ用 PC を通じて遠隔モニタリングシステムを利用する。オペレータ用 PC は WEB アプリで RSNP サーバーにアクセスできる。PC やタブレット、スマートホンで利用できる。

3. 実験

3.1. 実験方法

仮想設定した状況対応に沿って、遠隔モニタリングシステムの活用を試みることにした。発生事象および対応行動を時系列順に以下に示す。

- ① オペレータは、生産現場に設置された環境カメラを監視中、作業中のある加工機の異常に気付く。
- ② オペレータは、異常が発生した加工機の状況を、加工機自身から送信される状態データにより異常が発生していることを認識する。
- ③ オペレータは、より詳細な情報を得るために、台車ロボット（台車ロボット）を異常状態の加工機に向かわせる。
- ④ 台車ロボットが、異常状態の加工機に到着する。
- ⑤ オペレータは、台車ロボットを遠隔手動操作し、搭載した Web カメラからの遠隔画像で状況（加工機への材料装填不良）を認識する。
- ⑥ オペレータは、加工機に設置された遠隔作業用ロボットアームを遠隔操作し、ロボットアーム手先 Web カメラからの遠隔画像で詳細な状況を確認し、加工機を遠隔停止させる。その後、ロボットアームにより材料を再装填する。
- ⑦ オペレータは、加工機からの状態データが正常になったこと、さらに台車ロボットやロボットアームからの遠隔画像からも確認する。
- ⑧ オペレータは、台車ロボットを待機位置に帰還させる。

3.2. 実験結果

環境カメラ、加工機、台車ロボット（+Web カメラ）2台、ロボットアーム（+Web カメラ）、オペレータ用 PC、すべてを同時に L5G でネットワークに接続した。

その内、台車ロボット（+Web カメラ）2台、加工機、ロボットアーム（+Web カメラ）、合計7台を同時に RSNP サーバーに接続した。図8にサーバーへの接続状態を示す。

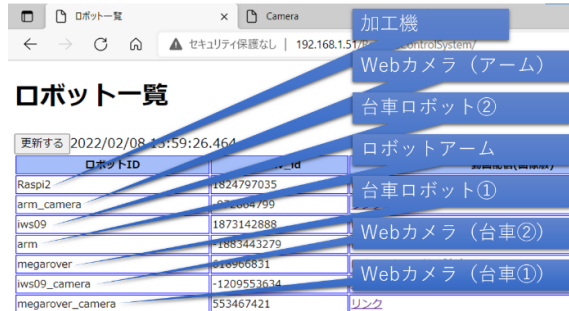


図8 RSNP サーバーへの同時接続

異常事態に対する実験結果を時系列順に以下に示す。

- ① 環境カメラから出力される画像データはオペレータ用 PC の WEB アプリから取得できた。視覚的にはフレーム欠落は認識できず、画像情報は安定して受信できたが、5～10 秒程度の時間遅れが発生した。環境カメラからの画像データを図9に示す。



図9 環境カメラ 4K 画像

- ② 加工機の制御装置から出力される状態データは RSNP ユニット経由で RSNP サーバーに送信された。状態データはオペレータ用 PC の WEB アプリから取得できた。
- ③ オペレータ用 PC の WEB アプリから RSNP サーバー経由で台車ロボットに巡回を指示、さらに任意の加工機への移動を指示し、指示通りに動作することを確認した。動作開始に数秒の時間遅れが発生した。台車ロボットに搭載した Web カメラからの画像データは RSNP サーバー経由でオペレータ用 PC の Web アプリで取得できた。フレームレートは 10 fps 程度であった。台車ロボットカメラからの画像データを図10に示す。

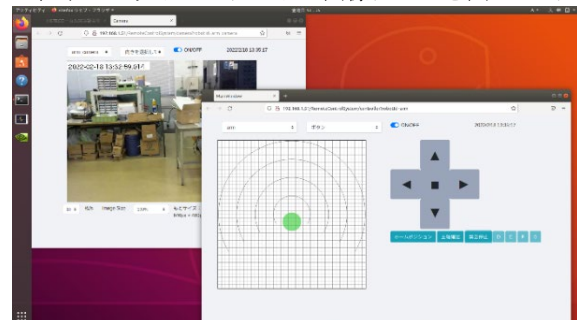


図10 台車ロボットカメラ画像と台車ロボット移動指示

- ④ 台車ロボットは移動に際し、LRF で外界を認識し、自律的に障害物を避けて目的地に達することができた。走行は蛇行が見られた。台車ロボットから出力される位置データは RSNP ノード経由で RSNP サーバーに送信された。位置データはオペレータ用 PC の WEB アプリから取得できた。台車ロボット位置情報を図 11 に示す。



図 11 台車位置情報

- ⑤ ロボットアーム手先カメラから出力される画像データは RSNP ノードを経由で RSNP サーバーに送信された。画像データはオペレータ用 PC の WEB アプリから取得できた。手先カメラからの画像データを図 12 に示す。

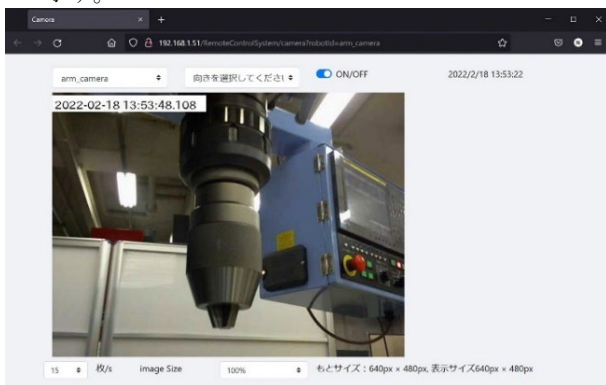


図 12 手先カメラ画像

- ⑥ オペレータ用 PC の WEB アプリから RSNP サーバー経由でロボットアームに動作指示を与え、指示通りに動作することを確認した。動作開始に数秒間の時間遅れが発生した。ロボットアームは加工機の停止ボタンを押下し、模擬的な材料装填動作が実行できた。
- ⑦ 台車ロボットの画像データや加工機の状態データで加工機の状態を確認できた。
- ⑧ オペレータ用 PC の WEB アプリから RSNP サーバー経由で台車ロボットに待機位置への復帰を指示し、指示通りに動作することを確認した。

3.3. 実験結果からの問題点と改善

実験により明らかになった問題点および今後の改善点は以下のとおりである。

- ・ L5G の応答速度：
端末とサーバー間で 50 ms の遅れがあり、リアルタイム遠隔制御での障害となっている。KISTEC 内の L5G 機材に由来するものであるため、改善には機材の改修や交換が必要である。
- ・ 環境カメラの時間遅れ：
環境カメラの画像データは、L5G でネットワークに接続され画像データを保管する RTMP サーバーに送信される。時間遅れの原因は RTMP サーバーの処理能力不足が考え

られたため、追加実験として RTMP サーバーを変更して検証した。RTMP サーバーのハードウェアを Raspberry Pi から、より処理能力の高い PC に変更した所、時間遅れは軽減されたため、Raspberry Pi では性能不足であることがわかった。

- ・ 台車ロボットやロボットアームへの指示の時間遅れ：
オペレータ用 PC から台車ロボットやロボットアームへ RSNP サーバー経由で指示を送信し、実行が開始されるまでに数秒の時間遅れが発生する。時間遅れの原因は、RSNP の仕様、RSNP の使用方法、ROS 等の制御プログラムの設定等が考えられる。今後、問題点を特定し改良していく予定である。
- ・ 台車ロボットの蛇行：
実験室の床は、油が飛散しやすい環境ではあるが、車輪のスリップは見られない。
台車ロボットの制御には ROS を利用しているが、LRF の性能不足による位置情報の精度不足と走行に関わる制御パラメータの調整不足と考えられる。今後、LRF を変更、制御パラメータを調整し、蛇行を低減する予定である。

4. おわりに

本開発の成果は以下のとおりである。

- ・ L5G を利用した遠隔モニタリングシステムを構築した。
- ・ ロボット、センサー、加工機を一元的に監視・制御できるようになった。
- ・ RSNP、ROS、Raspberry Pi 等のサービスロボット等に活用できる技術の取得ができた。

また、今後は得られた成果により以下の展開を検討している。

- ・ 新たな L5G 開発・支援事業のテストベッド
- ・ サービスロボットの開発支援
- ・ RSNP 技術利用の拡大

今後、あらゆるものが IoT 化していく中で、5G 通信技術を用いた技術開発の重要性は増していく。5G 通信技術は、多接続、高速、低遅延の特徴から、将来的にはロボットのリアルタイム制御にも活用できると思われる。

本開発により、いち早く、種々のロボット等を 5G 通信技術で活用するための知見を集積しつつある。今後は、情報提供や技術支援により、関連企業の技術、製品開発に貢献する。

謝辞：

本開発は公益財団法人 JKA による競輪の補助を受けて実施しました。

テクノツール株式会社 島田 努氏、株式会社 MEMO テクノス 渡邊 将文氏には、本研究の開始にあたり、研究内容において有益なご提案をいただきましたこと、お礼申し上げます。