

本庄工場でのローカル5GのPoC検証

浅野 欽也 高橋 直矢
金丸 忠宏 浜口 雅春

超高速／大容量・超低遅延／高信頼性・多数同時接続といった特徴を持つ「第5世代移動通信システム(5G)」を、局所的にプライベートなネットワークを構築して利用可能とする「ローカル5G」の実証実験が、さまざまな分野のユースケースを想定して実施されている。

OKIは2020年度、総務省の国プロ¹⁾と連携し、本庄工場でローカル5G²⁾+外観異常判定システム^{3), 4)}のPoC検証を行った。本稿では、その検証結果を報告するとともに、ローカル5Gの本格導入に向けた2021年度の取組み状況を紹介する。

製造分野へのローカル5G適用

昨今の日本が抱える問題として、少子高齢化に伴う労働力不足や、働き方改革による労働時間制限などがある。製造分野では、熟練技術者の減少による若年作業者の育成や技術継承、少量多品種生産に対する生産ラインの頻繁なレイアウト変更への対応などといった問題がある。また地域では、労働者の減少・流出に伴う外国人労働者の雇用によるコミュニケーション問題も挙げられる。このような問題を踏まえ、製造分野では省人化・無人化による生産性の向上、自動化・AI活用による製品品質の維持、無線化によるレイアウトの柔軟性が求められる。さらに生産工場では、稼働の継続性や情報漏洩防止のための信頼性や秘匿性の確保が求められる。

省人化・無人化及び自動化・AI活用を実現するための手段として、外観異常判定システムが挙げられる。同システムは、作業者の目視による組立工程・検査工程で、高精細カメラ及びAI画像解析により外観の異常有無を判定する。一方、無線化に伴う信頼性・秘匿性を確保するための手段として、免許が必要なローカル5Gの利用が挙げられる。超高速・大容量の特徴を持つローカル5Gは、高精細カメラの映像データを伝送するための手段としても適している。特に、製造分野でローカル5Gは最適な無線通信システムと考えられる。

ローカル5Gの検証

外観異常判定システムと組み合わせた検証を実施する前に、ローカル5G単体での特性を検証した。図1に本PoC検証で用いたローカル5Gのシステム構成を示す。

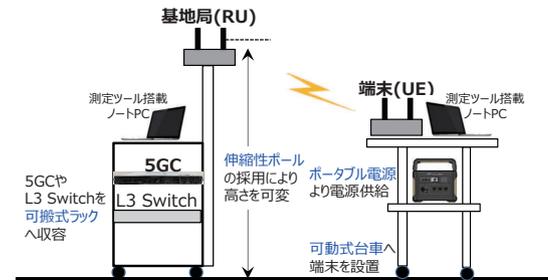


図1 ローカル5Gのシステム構成

基地局側は5GC(5G Core)とL3 Switchと基地局(RU:Radio Unit)で構成され、端末側は端末(UE:User Equipment)で構成される。本PoC検証では、工場内の検証エリアを移動範囲とする実験試験局の免許を取得した。RUの位置や高さを変更して測定するために、5GCなどの機器は可搬式ラックへ収容し、RUは伸縮性ポールに設置した。UEは検証エリア内の複数箇所測定するために可動式台車へ設置した。基地局側・端末側へ測定用ノートPCを接続し、ダウンリンク／アップリンクそれぞれのTCP／UDPスループット、通信遅延時間、受信電力などを測定した。表1にPoC検証で用いたローカル5G機器の無線諸元を示す。

表1 ローカル5G機器の無線諸元

項目	基地局 (RU)	端末 (UE)
無線局種別	実験試験局	
送信周波数	4800 MHz	
占有帯域幅	100 MHz (4750~4850 MHz)	
送信出力	60 mW(17.8 dBm)	
空中線の利得	2 dBi (水平無指向, 垂直偏波)	
実効放射電力	19.8 dBm e.i.r.p.	
変調方式	OFDM (1次変調: 64QAM固定)	
受信ダイバーシティ	最大比合成 (アンテナ2本)	
誤り訂正	HARQなし	
送信タイミング	非同期	
伝送スループット	ダウンリンク: 約27Mbps	アップリンク: 約110Mbps
備考	SA構成	

工場内でのエリアカバレッジを考慮し、周波数帯としてSub6帯(4.7GHz帯)を選定し、アンテナは無指向のものを選定した。また導入時のコストを考慮してSA(Stand Alone)構成を採用し、アップリンク偏重の外観異常判定システムを考慮して非同期のものを採用した。なお本PoC検証は、Sub6帯が制

度化された2020年12月より以前に実施し、現在は非同期での運用は困難な状況(同期または準同期での運用が基本)となっている。図2に工場内レイアウトと測定ポイントを示す。

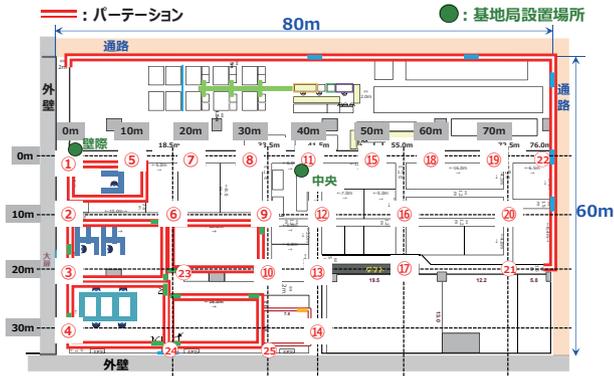


図2 工場内レイアウトと測定ポイント

検証エリアの面積は約4800㎡(約80m×約60m)である。RUは検証エリアの中央/壁際に、高さを3m/4mに変更しながら測定した。端末は高さを1mとし、見通し/見通し外などを含む25箇所を測定した。一例として、図3に基地局の位置を中央、高さを3mに設置した場合の各測定ポイントでのアップリンクTCPスループットの測定結果、図4に同条件下で各測定ポイントでの伝搬損失測定結果を示す。スループット、伝搬損失とも測定時間は1分間とし、その平均値を示している。

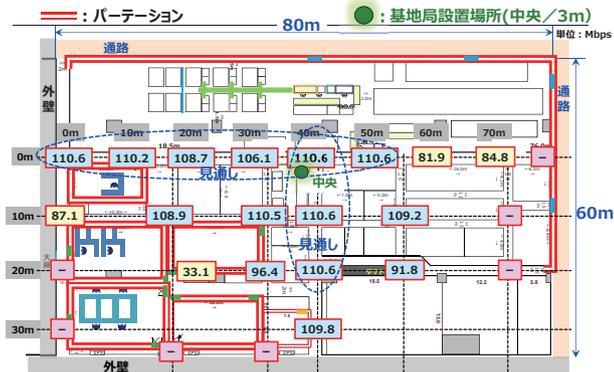


図3 アップリンクTCPスループット(中央/3m)

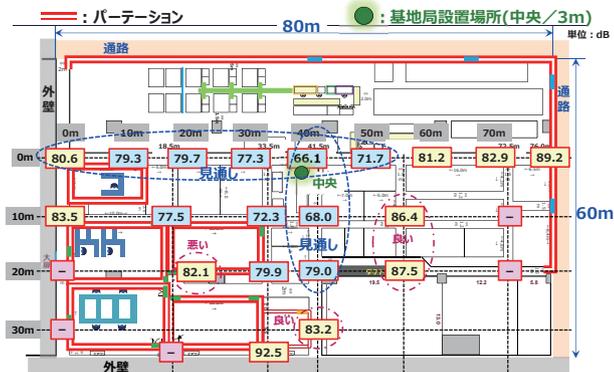


図4 伝搬損失(中央/3m)

一定の距離内かつ見通しの地点では、良好なスループット特性が得られることを確認した。一方、見通し外であっても生産設備の反射波などにより受信電力が高い地点では、相応のスループット特性を得られる傾向があることを確認した。工場内では、生産設備のほかパーティション・壁・作業員などによるさまざまな反射波が複合的に存在すると推測され、同様の通信距離であっても受信電力には差異が発生すると考えられる。

また工場内では、1日のサイクル(製造スケジュール)に応じて、測定地点周辺での作業員や台車などの移動、部材や完成品などの移動など、環境変動による電波の遮蔽や反射などの変化が発生すると想定される。各時間帯で1時間程度の連続測定を実施して、伝搬環境の変化をスループット、受信電力、BLER(BLock Error Rate)で確認した。一例として、図5に朝の時間帯の測定地点⑦での連続測定結果を示す。

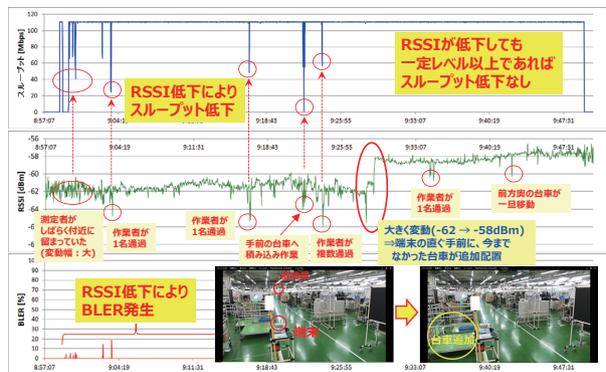


図5 連続測定の結果(朝の時間帯)

作業員や台車の通過などの一時的な遮蔽により、受信電力に2~4dB程度の劣化が発生する。それに伴いBLERが発生し、スループットが低下する場合があることを確認した。また、部材などの積載や台車の配置換えなどにより電波伝搬環境に変化が発生し、受信電力が約4dB変化することを確認した。従って置局設計時の回線設計では、少なくとも6~8dB程度の設計マージンを見積もる必要があると考えられる。

ローカル5G+外観異常判定システムのPoC検証

ローカル5Gのソリューションとして外観異常判定システムを適用し、機能面・効果面でのPoC検証を行った。図6に外観異常判定システムの適用例を示す。

外観異常判定システムは、組立・検査工程で、作業員が目視で実施している外観異常の検査を、高精細カメラ及びAI画像解析/判定処理(AIエッジコンピューター)を用いて自動化するシステムである。具体的な動作は下記のとおりである。

- ①検査台の高精細映像データをローカル5GによりAIエッジコンピューター(AE2100)に伝送。

- ② 検査対象の基板・製品などが検査台に設置されたことをAE2100が検知し、照明制御と連動して画像データを撮像。対象物に応じた学習モデルを活用して画像解析を行い、異常有無を判定。
- ③ 判定結果をリアルタイムに作業側モニターへ通知。
- ④ 判定結果、検査画像、及び基板・製品情報などの証跡データを管理サーバーへ蓄積。(品質管理や分析に活用)

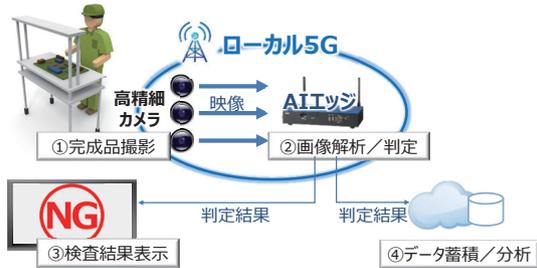


図6 外観異常判定システムの適用例

図7に外観異常判定システムの外観とPoC検証の対象工程を示す。

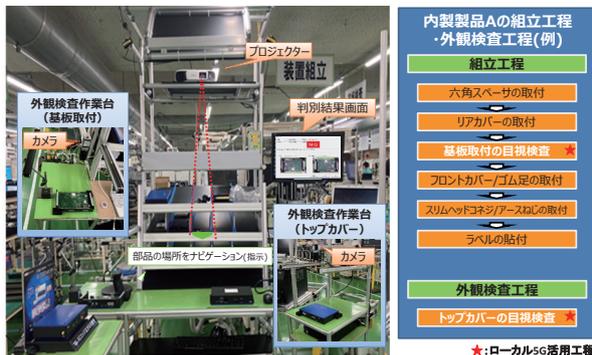


図7 外観異常判定システム外観とPoC検証対象工程

本PoC検証では、基板取付の目視検査とトップカバーの目視検査の2工程を対象とした。基板取付検査では、13箇所のうち2箇所の「ねじ」を外した状態、トップカバー検査では、12箇所に「傷」を付けた状態(うち本庄工場での標準品質基準に即した判定基準NGは7箇所)を模擬して検証した。表2に機能面での検証結果を示す。

表2 機能面での検証結果

検査項目	カメラ解像度パターン 解像度 必要帯域(Mbps)	システム応答時間(秒)	LSG伝送可否	判定結果
1 基板のねじ有無検査	5472x3648 500~800	2.979	×	2/2 (検知数/ねじ無箇所)
	4104x2736 200~450	2.825	×	2/2 (検知数/ねじ無箇所)
	2736x1824 90~200	2.037	○	2/2 (検知数/ねじ無箇所)
	1368x912 20~60	1.790	○	2/2 (検知数/ねじ無箇所)
2 トップカバーの傷有無検査	5472x3648 500~800	3.605	×	全体:10/12 (検知数/傷箇所) 不良品と判断すべき傷:7/7
	4104x2736 200~450	3.454	×	全体:10/12 (検知数/傷箇所) 不良品と判断すべき傷:5/7
	2736x1824 90~200	1.007	○	全体:9/12 (検知数/傷箇所) 不良品と判断すべき傷:5/7
	1368x912 20~60	1.042	○	全体:6/12 (検知数/傷箇所) 不良品と判断すべき傷:5/7

機能面の検証では、画像解像度を4段階に変更しながら判定精度を測定した。画像解像度が基準値以上であれば、基板取付検査、トップカバー検査とも判定精度を確保できることを確認した。「L5G伝送可否」が×の箇所は、今回採用したローカル5G機器では実現できない伝送速度であったため、有線(Gbit Ethernet)を用いて測定した。画像解像度を基準値より低くした場合に、トップカバー検査での傷の検出率が低下していることから、画像解像度(解析精度・システム応答時間)とネットワーク帯域にはトレードオフの関係があることが分かる。

効果面の検証では、熟練者1名、若年者4名の合計5名に対して、システム導入前・後の作業時間、作業ミスと比較測定した。併せて、被験者に作業の負担度合いの変化をヒアリング調査した。図8にシステム導入前・後の作業時間の比較測定結果を示す。

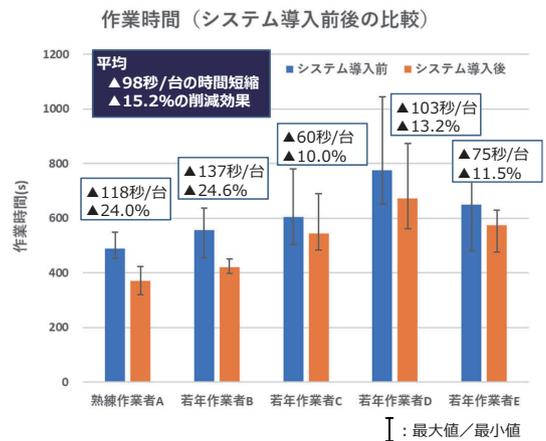


図8 システム導入前・後の作業時間の比較

熟練者・若年者いずれも平均15%程度の作業時間を低減できることを確認した。図9にシステム導入前・後の作業ミスの比較測定結果を示す。

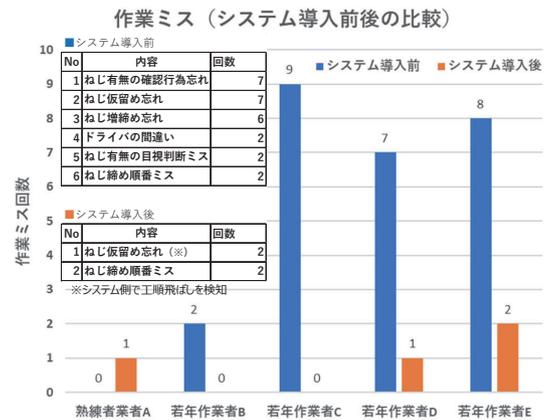


図9 システム導入前・後の作業ミスの比較

若年者の作業ミス大幅に削減できることを確認した。本PoC検証による外観異常判定システムの有効性は確認できたが、今後は行為判定機能も追加することで、更に品質向上が実現可能になると考える。

また被験者に実施したヒアリング調査では、肉体的及び精神的な負担が軽減された、作業難易度が緩和されたとの意見を取得した。

PoC検証のまとめ

本PoC検証では、当時入手可能なローカル5G専用の機器を採用した。キャリア向け5G機器は導入コストに課題があるため選定対象から外したが、ローカル5G専用の機器には機能・性能面での制約があり、高精細な画像で精度の高い画像解析処理を行うには、デバイス(カメラ)に近いエッジ領域で画像解析処理(エッジ処理)を行う構成が有効であると考えられる。今後はスループット性能の向上や多数デバイス接続性の確保が望まれる。

製造分野のユースケースとしては、センサーデータや検査データのアップロードなど、アップリンク偏重のデータ通信形態が多い。本PoC検証時は、Sub6帯の制度化前であったため非同期での運用が許容されたが、2020年12月の制度化により同期または準同期での運用が基本となった。但し準同期であっても、アップリンクへのTDDスロット割当はダウンリンクと同数であるため、更にアップリンク偏重のTDDスロット割当が可能となることを期待したい。

本格導入に向けた取組み

本PoC検証結果より、ローカル5G+外観異常判定システムの有用性を確認できた。今後も引き続き、本庄工場への本格導入に向けた検証に取り組む。まずは各生産ラインへのローカル5G+外観異常判定システムの実装を目指す。また各種生産設備を無線化することにより、検査データをローカル5Gで集約することも想定している。

現在、各機器ベンダより3GPP Release 15へほぼ完全に準拠し、より高性能な機器がリリースされ始めている。導入時のコストダウンの面からも、マルチベンダ化が可能なO-RAN準拠可否も考慮して機器を選定する予定である。また各種機器のソフトウェア化、5GCのOSS(Open Source Software)化/クラウド化などもコストダウンの有効な要素であると考えられる。

製造分野以外へローカル5Gを適用するユースケース拡大の検討も重要である。図10に示すとおり、ローカル5Gはあくまで一部のエリアまたは建物・敷地内でのプライベートなネットワークであり、AIエッジと組み合わせることによりロー

カル5Gの特徴を活かしたソリューションの創出が可能と考えている。今後、OKIが注力する事業領域に対して「AIエッジ×ローカル5G」によるDXを加速し、より安全で便利となるよう社会インフラの高度化を推進していく。◆◆



図10 ローカル5G×AIエッジソリューション

参考文献

- 1) OKIプレスリリース、総務省「地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証に係る工場分野におけるローカル5G等の技術的条件等に関する調査検討の請負」を受託、2020年9月17日
<https://www.oki.com/jp/press/2020/09/z20050.html>
- 2) OKIプレスリリース、ローカル5G支援サービスの販売開始、2020年11月17日
<https://www.oki.com/jp/press/2020/11/z20084.html>
- 3) OKIプレスリリース、映像とカメラにより生産現場での作業ミスのゼロ化を支援する「プロジェクトンアッセンブリーシステム」を販売開始、2018年8月28日
<https://www.oki.com/jp/press/2018/08/z18034.html>
- 4) OKIプレスリリース、映像AIを活用して組立工程の作業ミス見逃しを防止する「外観異常判定システム」の販売開始、2021年6月1日
<https://www.oki.com/jp/press/2021/06/z21018.html>

●筆者紹介

- 浅野 欽也:Kinya Asano. ソリューションシステム事業本部 DX事業推進センター
 高橋 直矢:Naoya Takahashi. ソリューションシステム事業本部 DX事業推進センター
 金丸 宏忠:Tadahiro Kanemaru. ソリューションシステム事業本部 DX事業推進センター
 浜口 雅春:Masaharu Hamaguchi. ソリューションシステム事業本部 DX事業推進センター