

製造現場における 5G/ ローカル 5G 通信機器の効果的な 活用方法に関する ガイドライン

多様なユースケースに応じて
通信パフォーマンスを向上させるために



概要版

目次

1	目的	1
1-1	ガイドラインの作成背景・目的	1
1-2	ガイドラインの想定読者	1
1-3	本概要版の位置づけ	1
2	製造現場における5G/L5G通信機器の活用に向けて	2
2-1	5G/L5G通信機器を利用するうえでの壁	2
2-2	本ガイドラインのアプローチ	3
3	標準パラメータの概要と設定・調整にあたっての留意点	4
3-1	標準パラメータの一覧と影響関係	4
3-2	設定値の考え方	7
3-3	標準パラメータを設定・調整するにあたっての留意点	9
4	ケース別5G/L5Gシステムの挙動把握およびそれを踏まえた設定方法	10
4-1	機器の制御に関連するケース：AGV/AMRの操作・映像取得	11
4-2	機器の制御に関連するケース：機械に関する動作制御・遠隔操作	18
4-3	設備・資産管理に関連するケース：工場内の設備や備品及び資産管理 (部品管理・在庫管理・資産管理)	25
4-4	安全管理・品質に関連するケース：カメラ映像を用いた現場モニタリング	32

1-1 ガイドラインの作成背景・目的

近年、製造現場では、生産ラインの柔軟な組換えや、データ連携等による自律的・全体最適な稼働を通じた競争力の向上が求められており、配線の制約を受けない無線通信の活用に注目が集まっている。とりわけ、低遅延、高速大容量、多数同時接続といった特徴を持つ5G/ローカル5G(以下、「5G/L5G」という)通信機器は、こうした特徴を活かすことで、製造現場の多様なユースケースへの適用が期待されている。

5G/L5G通信機器の性能を十分に引き出すには、環境や用途に応じてパラメータを適切に設定することが重要であるが、導入・運用時には、機器の設定や調整に関する様々な課題が存在する。

ガイドライン本編および概要版は、製造現場において5G/L5G通信機器の導入・運用に携わる方々(生産技術の現場管理者等。以下、「現場担当者」という)が、以下の事項を実現できるようにすることを目的としている。

- 自社のユースケースに関連する標準パラメータ^{*}を特定し、その役割と5G/L5Gとの関係を理解できる。
- 通信性能に関する課題が生じた際に、標準パラメータの挙動を把握し、調整の方向性を判断できる。
- 標準パラメータの調整だけでは対応が困難な場合に、他の対応方法(アプリケーションの運用設計の見直し等)を含む改善策を検討できる。

^{*} 本ガイドラインでは、標準パラメータを「5G/L5G通信機器の動作・性能に影響を与える機器内部の主要な設定項目」と定義する。

1-2 ガイドラインの想定読者

ガイドライン本編および概要版は、主に次のような方を読者として想定している。

- 5G/L5G通信機器の導入に向けて具体的な準備・設計を進めている現場担当者
- 5G/L5G通信機器の運用中に、通信性能上の課題に直面している、または性能改善に取り組んでいる現場担当者

なお、標準パラメータの実際の設定・調整は、通信機器提供事業者やシステム構築事業者が担うことが多い。本ガイドラインは、現場担当者がこれらの事業者とパラメータの設定・調整について協議する際の参考資料としても活用できるよう作成した。

1-3 本概要版の位置づけ

この「製造現場における5G/ローカル5G通信機器の効果的な活用方法に関するガイドライン(概要版)」は、製造現場で5G/L5G通信機器の導入・運用に携わる現場担当者にとって重要な事項を抜粋し、全体像と実務上の着眼点を把握しやすいように整理したものである。より詳しい内容については、ガイドライン本編をご参照いただきたい。

なお、本概要版では、ガイドライン本編および概要版に共通する内容を述べる場合に、両者をあわせて「本ガイドライン」と表記する。

2 製造現場における 5G/L5G 通信機器の活用に向けて

5G/L5G 通信機器を製造現場で活用するにあたり、現場担当者は、パラメータの理解や設定・調整に関して、複数の壁に直面している。本ガイドラインでは、こうした壁に対して、①標準パラメータを正しく理解する、②ユースケースに応じた状況把握と対応方法の検討・実施、の2つの観点からアプローチし、現場担当者がユースケースに応じて 5G/L5G 通信機器を調整できる状態を目指している。

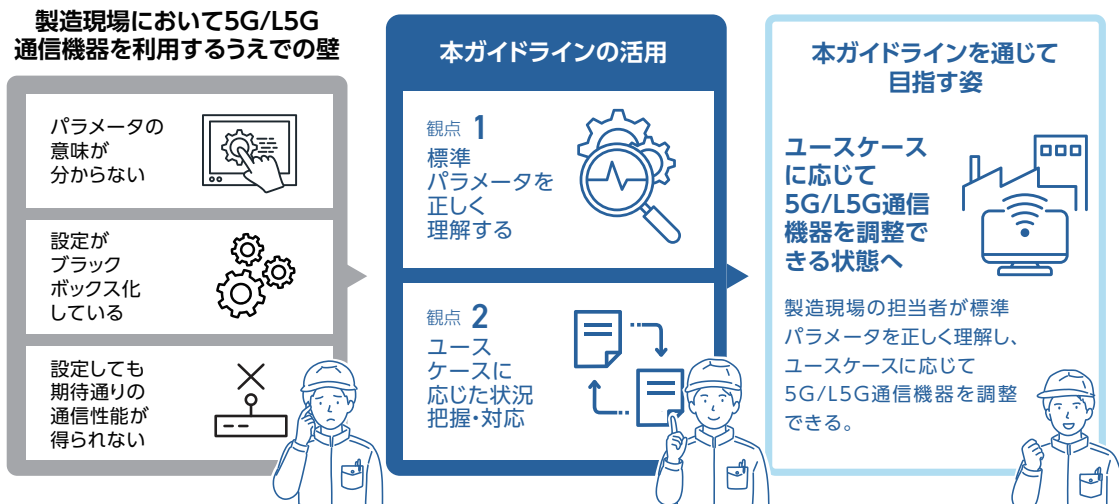


図1 5G/L5G 通信機器を利用するうえでの壁に対するアプローチと目指す姿

以下では、5G/L5G 通信機器を利用するうえでの壁と、それらに対するアプローチを説明する。

2-1 5G/L5G 通信機器を利用するうえでの壁

5G/L5G 通信機器を製造現場で活用するにあたり、多くの現場担当者が以下のような壁に直面している。

壁 1：パラメータの意味がわからず、何を設定すればよいか判断できない。

5G/L5G 通信機器には動作・性能に影響を与える多数のパラメータが存在する。パラメータの数が多いうえ、それぞれの役割や通信性能への影響関係も複雑であるため、全体像を把握すること自体が容易ではない。

壁 2：通信機器の設定がブラックボックス化（設定が見えない、変更できない状態）していて調整が難しい。

通信機器の設定が見えない、あるいは変更できない場合があり、現場担当者が自ら調整を行うことが難しい。

壁 3：設定可能なパラメータを調整してみたものの、期待通りの通信性能が得られない。

パラメータを調整しても、実環境では接続端末台数の増加や通信負荷の変動などにより、理論値やカタログスペックとは異なる通信性能になることがある。

2-2 本ガイドラインのアプローチ

これらの壁に対し、本ガイドラインでは以下の2つの観点でアプローチする。

アプローチ①：標準パラメータを正しく理解する

標準パラメータの全体像を把握することで、課題が発生した際に、着目すべきパラメータの候補を絞り込みやすくなる。ガイドライン本編の第3章では、各標準パラメータについて、役割、5G/L5Gの特徴との関係、設定値の考え方等を解説している。本概要版ではその要点を抜粋して紹介する。

表1：ガイドライン本編 第3章での記載内容

記載事項	読者が得られること
① 標準パラメータの役割・意味	その標準パラメータの定義や役割がわかる。
② 5G/L5Gの特徴との関係	低遅延、高速大容量、多数同時接続のどれに影響するかがわかる。
③ 設定値の考え方	重視する観点（低遅延 / 高速大容量等）に応じた設定方針がわかる。

アプローチ②：ユースケースに応じて標準パラメータの状況を把握し、対応方法を検討・実施する

標準パラメータの意味や役割を理解していても、それだけで実際の現場における通信性能上の課題に対応できるとは限らない。そのため、実際に発生している現象を起点として、どの標準パラメータが影響しているのかを見極め、状況を把握したうえで対応方法を検討することが重要になる。

ガイドライン本編の第4章では、具体的なユースケースごとに、現象の把握から対応方法の検討までの進め方を示している。本概要版ではその要点を抜粋して紹介する。

表2：ガイドライン本編 第4章での記載内容

記載事項	読者が得られること
① 概要・前提	取り上げるケースの想定状況、運用構成、通信への要求条件がわかる。
② 現場において発生しやすい現象	事前評価や運用時に起こりやすい現象と、その影響がわかる。
③ 影響を与えていると考えられる標準パラメータ	現象の原因候補となる標準パラメータと、簡易的な確認方法がわかる。
④ 標準パラメータの状況を把握する方法	原因を裏付けるための測定手順、結果パターンの例とその読み取り方がわかる。
⑤ 対応方法	具体的な設定内容・設定値の決め方、および設定が適切かの確認方法（判定基準含む）がわかる。
⑥ 同様の対応が有効なユースケース	他のユースケースへの応用条件と、適用時の留意点がわかる。

3 標準パラメータの概要と設定・調整にあたっての留意点

本章では、5G/L5G 通信機器の動作や通信性能に影響する標準パラメータについて、全体像と設定・調整の考え方を紹介する。あらかじめ標準パラメータごとの役割や特徴を整理しておくことで、設定や調整を検討する際の着眼点をつかみやすくなる。

本概要版では、その要点を中心にまとめている。より詳しい内容は、ガイドライン本編第3章を参照いただきたい。

3-1 標準パラメータの一覧と影響関係

本ガイドラインでは、5G/L5G 通信機器の動作・性能に影響を与える 16 の標準パラメータを、以下のカテゴリーに分類している。

表 3：5つのカテゴリーの概要

カテゴリー	説明
周波数利用効率 / エラー耐性	1回の送信にどれだけ情報を詰め込むか、エラー耐性にどう備えるか。
無線リソース(時間軸)	いつ・どのタイミングで送信するか。
無線リソース(割当量)	各端末にどれだけ通信枠を配分するか。
通信の優先制御	どのデータを優先して届けるか。
通信の接続制御	端末の接続状態をどう管理するか。

各標準パラメータと 5G/L5G の特徴（低遅延・高速大容量・多数同時接続）との関係は図 2 のとおりである。

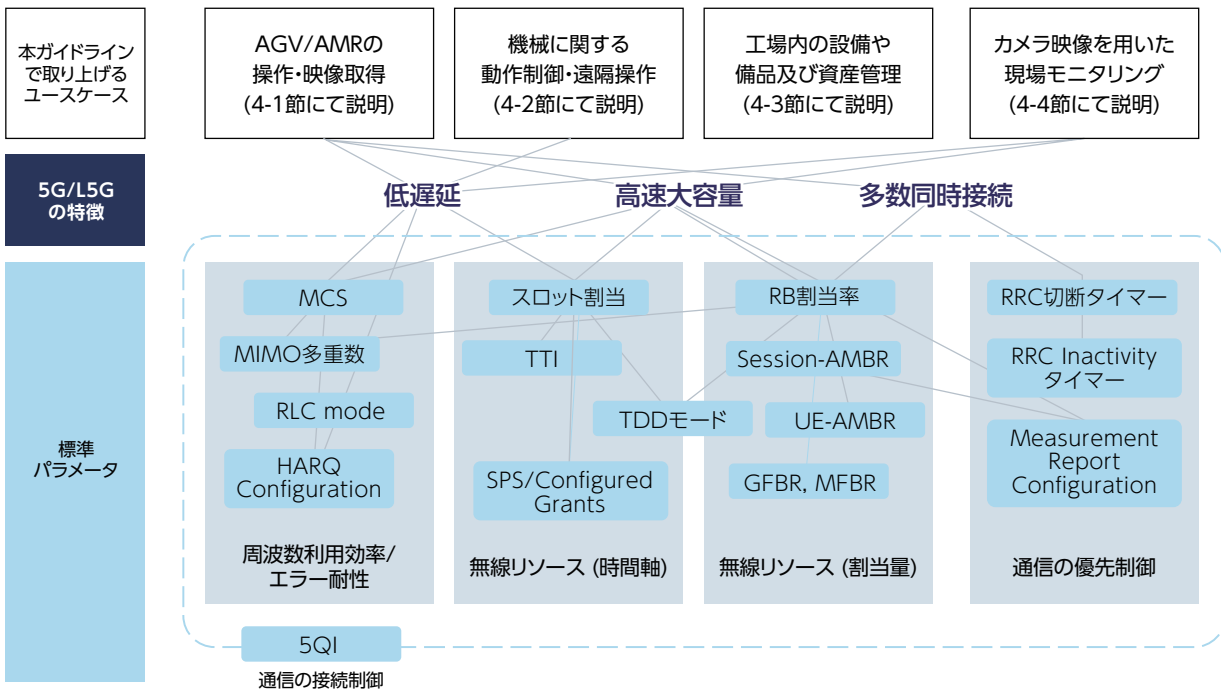


図2 5G/L5Gの特徴と標準パラメータの影響関係

標準パラメータごとに関係する5G/L5Gの特徴が異なることから、製造現場のユースケースに合わせて、どの標準パラメータの調整が必要かを理解することが重要である。

表4に各標準パラメータの概要と、5G/L5Gの特徴との関係の強さを整理した。表中の「低遅延」「高速大容量」「多数同時接続」の列には、各標準パラメータとの関係の強さを3段階で示している。

- ◎：パラメータの設定変更が当該特徴の性能に直接的な影響を与え、かつ設定変更による効果大きい
- ：5G/L5Gの特徴に関係あるが適用場面や設定上の制約がある
- △：特定の条件下において影響を与える（設定が不適切な場合や副次的な影響）

表 4：標準パラメータの概要

カテゴリー	標準パラメータ名	概要	低遅延	高速大容量	多数同時接続
周波数利用率 ～ エラー耐性	MCS	変調方式と符号化率の組合せにより、1回の送信に詰め込む情報量を決める。	◎	◎	—
	MIMO 多重数	複数アンテナによる同時送受信において、アンテナの使い方を決める。	○	◎	—
	RLC mode	無線区間でデータが正しく届かなかった場合に再送するか否かを決める。	◎	○	—
	HARQ Configuration	無線区間での高速再送の有無や最大回数を決める。	◎	○	—
無線リソース (時間軸)	スロット割当	直接設定できない場合が多いため、アプリケーション側の通信周期調整や Configured Grants の適用を検討する。	○ ²	—	—
	TTI	無線区間でデータをひとかたまりとして送信する時間の基本単位であり、値が短いほどデータ1回分の送信が早く完了する。	○ ³	○ ³	—
	TDD モード	自営基地局の DL/UL パターンを隣接する他事業者の基地局と合わせるか、一部独自のパターンとするかを決める。	◎	◎	—
	SPS/Configured Grants	あらかじめ決めた周期で無線リソースを固定的に予約・割当することで、送信のたびに行う無線リソース割当要求の手順を省略する。	◎	△	—
無線リソース (割当量)	RB 割当率	同一基地局に接続する複数端末への無線リソースの配分比率を決める。	○ ⁴	○ ⁴	○ ⁴
	Session-AMBR	端末と 5G ネットワーク間に確立される論理的な通信路に対して、通信速度の上限値を設定する。	△	◎	◎
	UE-AMBR	1台の端末が使用できる通信速度の合計上限値を定義する。	△	◎	◎
	GFBR, MFBR	帯域保証型 (GBR) の通信に対し、最低保証速度 (GFBR) と許容上限速度 (MFBR) を定義する。	○	◎	◎
通信の優先制御	5QI	データの優先度・許容遅延・許容パケットロス率などの品質基準をまとめて指定する。	◎	○	○
通信の接続制御	RRC 切断タイマー	通信終了後、端末が通信可能な状態から待機状態に移行するまでの時間を制御する。	○	—	◎
	RRC Inactivity タイマー	通信中の端末が一定時間データのやり取りを行わなかった場合に、省電力待機状態へ移行させるまでの時間を制御する。	○	—	◎
	Measurement Report Configuration	端末が周囲の基地局の電波品質を計測・報告の挙動を規定し、その結果に基づく接続先基地局の切替えに影響を与える。	◎	○	—

² 多くの基地局では直接設定できないが、TDD モードの変更や Configured Grants の適用により間接的に改善できる場合がある。

³ 日本国内の Sub-6GHz 帯 L5G では、他事業者の基地局との干渉調整の観点から、実質的にサブキャリア間隔が固定されることが多い。

⁴ 多くの基地局では直接設定できないが、UE-AMBR や GFBR 等の関連パラメータにより間接的に調整できる場合がある。

3-2 設定値の考え方

以下に、各標準パラメータについて、重視する観点（低遅延・高速大容量・多数同時接続）に応じた設定値の考え方を紹介する。ここで紹介する内容は、設定方針を考える際の目安である。実際の設定にあたっては、利用する機器やネットワーク構成、ユースケースごとの要件を踏まえて判断することに加え、実際に設定した後の挙動の変化を確認し、適切な値に落とし込んでいくことが必要である。

各パラメータの詳細な設定値の考え方及び 5G/L5G の特徴との関係についてはガイドライン本編の第 3 章を参照いただきたい。

表 5：標準パラメータごとの設定値の考え方

カテゴリー	標準パラメータ名	低遅延	高速大容量	多数同時接続
周波数利用率、エラー耐性	MCS	MCS Index の上限値を低めに設定する。	MCS Index の上限値を高めに設定する。	—
	MIMO 多重数	多重数を減らす。	多重数を増やす。	—
	RLC mode	UM(非確認応答モード)を選択する。	AM(確認応答モード)を選択する。	—
	HARQ Configuration	最大再送回数を少なく設定する。	最大再送回数を標準的な上限値(4回など)に設定する。	—
無線リソース(時間軸)	スロット割当	直接設定できない場合が多いため、アプリケーション側の通信周期調整や Configured Grants の適用を検討する。	—	—
	TTI	広い SCS(30kHz や 60kHz など)を選択する。	標準的な SCS(15kHz や 30kHz)を選択する。	—
	TDD モード	準同期モードを選択する。	DL 重視なら同期モード、UL 重視なら準同期モードを選択する。	—
	SPS/Configured Grants	SPS/Configured Grants を「有効」にする。	SPS/Configured Grants を「無効」にする。	—
無線リソース(割当量)	RB 割当率	直接設定できない場合が多いため、UE-AMBR や QoS 機能で無線リソースの偏りを調整する。	直接設定できない場合が多いため、端末の設置場所や電波環境の調整で無線リソースの偏りを調整する。	直接設定できない場合が多いため、UE-AMBR で無線リソースの偏りを調整する。
	Session-AMBR	ピーク時の通信速度以上の値を設定する。	設定値を十分に大きな値(基地局や端末の最大通信速度以上)に設定する。	1セッションあたりの速度上限を設定する。
	UE-AMBR	実際の通信速度に対して余裕を持った値を設定する。	端末の最大スループット以上に設定する。	1台あたりの上限を必要最低限に制限する。
	GFBR, MFBR	GFBR と MFBR を同じ値に設定する。	GFBR を平均、MFBR をピーク時のスループットに設定する。	1台あたりの GFBR を必要最小限に設定する。

カテゴリー	標準パラメータ名	低遅延	高速大容量	多数同時接続
通信の優先制御	5QI	低遅延保証の 5QI の設定値 (例: 5QI 82, 83, 85) とする。	帯域保証なしの 5QI の設定値 (例: 5QI 8, 9) とする。	帯域保証なしの 5QI の設定値 (例: 5QI 8, 9) とする。
通信の接続制御	RRC 切断タイマー	タイマー値を通信間隔よりも長く設定する。	—	タイマー値を通信間隔よりも短く設定する。
	RRC Inactivity タイマー	タイマー値を通信間隔よりも長く設定する。	—	タイマー値を通信間隔よりも短く設定する。
	Measurement Report Configuration	オフセットやヒステリシスを大きめに設定する。	オフセットやヒステリシスを小さめに設定する。	—

3-3 標準パラメータを設定・調整するにあたっての留意点

製造現場において最終的に求められるのは、5G/L5G 通信機器単体の性能向上ではなく、各アプリケーションが期待どおりに動作することである。標準パラメータの設定・調整は、その実現に向けた一つの手段である。以下は映像伝送を例としたシステム全体の構成例である。

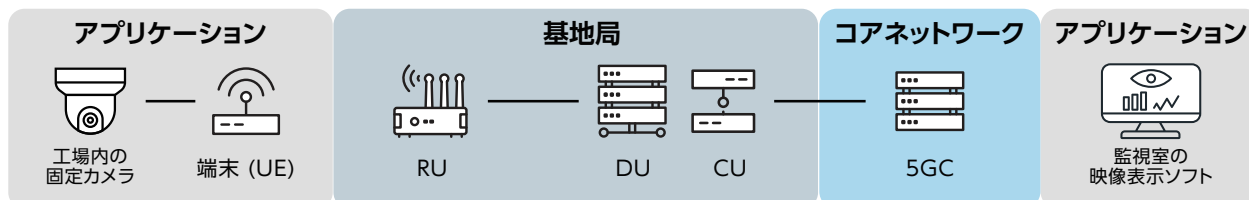


図3 アプリケーション動作に関わるシステム全体の構成例(映像伝送の場合)⁵

アプリケーションが期待どおりに動作するかどうかは、標準パラメータだけで決まるものではない。カメラ等のアプリケーション機器から基地局、コアネットワーク、監視室の映像表示ソフトなど、通信に関わるシステム全体の状態が影響する。

そのため、アプリケーションを期待どおりに動作させるために、標準パラメータの調整だけでなく、以下のようなアプリケーションやネットワーク全体の調整も視野に入れて検討いただきたい。調整可能な要素としては、例えば以下のようなものが挙げられる。

表 6：標準パラメータ以外で調整可能な要素の例

調整項目	調整例
通信プロトコル	TCP から UDP への変更 等。
送信タイミング・頻度	送信間隔の拡大、送信タイミングの分散 等。
送信するデータ量	映像の場合はコーデックの変更、解像度・フレームレートの低減 等。
帯域制御	QoS 機能を持つ端末またはスイッチによる帯域制限 等。

⁵ 出典：NEDO「製造現場における無線通信技術の導入ガイドライン ～無線活用シーン・ユースケースに応じた導入・運用のポイント～(2024)」をもとに作成

4

ケース別 5G/L5G システムの挙動把握およびそれを踏まえた設定方法

本章では、製造現場における具体的なユースケースを想定し、現場で発生しやすい現象の原因の確かめ方と対応方法を紹介する。なお、本章で紹介する手順・対応方法は、5G/L5G システム上で単一のユースケースを運用することを前提としている。複数ユースケースの混在環境における設定方法については本編 4-1 節を参照いただきたい。本章で取り上げるケースは以下のとおりである。

表 7：本章で取り上げるケース

ケース	関連するユースケース例
AGV/AMR の操作・映像取得	パトロールの自動化（移動ロボット、遠隔ロボット）、ドローン+温度センサによる工場環境計測（移動ロボット等）、動画像による異常検知
機械に関する動作制御・遠隔操作	パトロールの自動化（移動ロボット、遠隔ロボット）、ロボット等によるプラント内点検
工場内の設備や備品及び資産管理（部品管理・在庫管理・資産管理）	製品数カウント等、検査データの取得・書き込み（映像含む）
カメラ映像を用いた現場モニタリング（稼働監視）	動画像による異常検知、カメラを用いた不法侵入者の検知（進入禁止エリア検知含む）

4-1 機器の制御に関連するケース：AGV/AMR の操作・映像取得

本ケースでは、複数台の AGV/AMR が L5G を介して映像を伝送する環境において、運用規模拡大時に発生しやすい映像品質劣化への対応の考え方を紹介する。

POINT

発生する現象とメカニズム

- 1 台での事前検証では問題がなくとも、AGV/AMR を複数台に増やすと、一部の端末で映像が乱れることがある。特に、電波環境の悪い端末が影響を受けやすい。
- この現象は、基地局が持つ RB（無線リソース）を複数端末で分け合う中で、電波環境の悪い端末が必要な帯域を確保できなくなることによって発生する。
- 5G/L5G では、基地局が RB を接続中の端末に動的に割り当てながら通信を行う。基地局全体で利用できる RB は有限であり、その割り当ては各端末に一律に等しく行われるわけではない。基地局の実装や制御方針によっては、通信効率の良い端末に RB が偏る場合がある。
- 一方、電波環境の悪い端末は、同じ映像データを送るためにより多くの RB を必要とする。そのため、電波環境の良い端末に RB が多く割り当てられると、電波環境の悪い端末は必要な帯域を確保できなくなり、映像の乱れが発生しやすくなる。

本現象への対応方法

- 対応の基本は、電波環境の良い端末の通信を映像伝送に必要な範囲に抑え、RB が過剰に割り当てられないように制御することである。
- 具体的には、UE-AMBR（端末ごとの通信速度の上限）を用いて各端末の通信速度に上限を設定し、映像伝送に必要な帯域を超える過剰な通信を抑制することで、過剰な RB の消費を抑える。
- UE-AMBR だけで改善が不十分な場合は、映像レート（解像度・フレームレート・ビットレート）の引き下げにより送信データ量自体を減らす、あるいは外部の帯域制限デバイスで物理的に通信速度を制限する、といった補助的な手段を組み合わせることが有効と考えられる。

本節の想定する状況と対応方法は以下のとおりである。

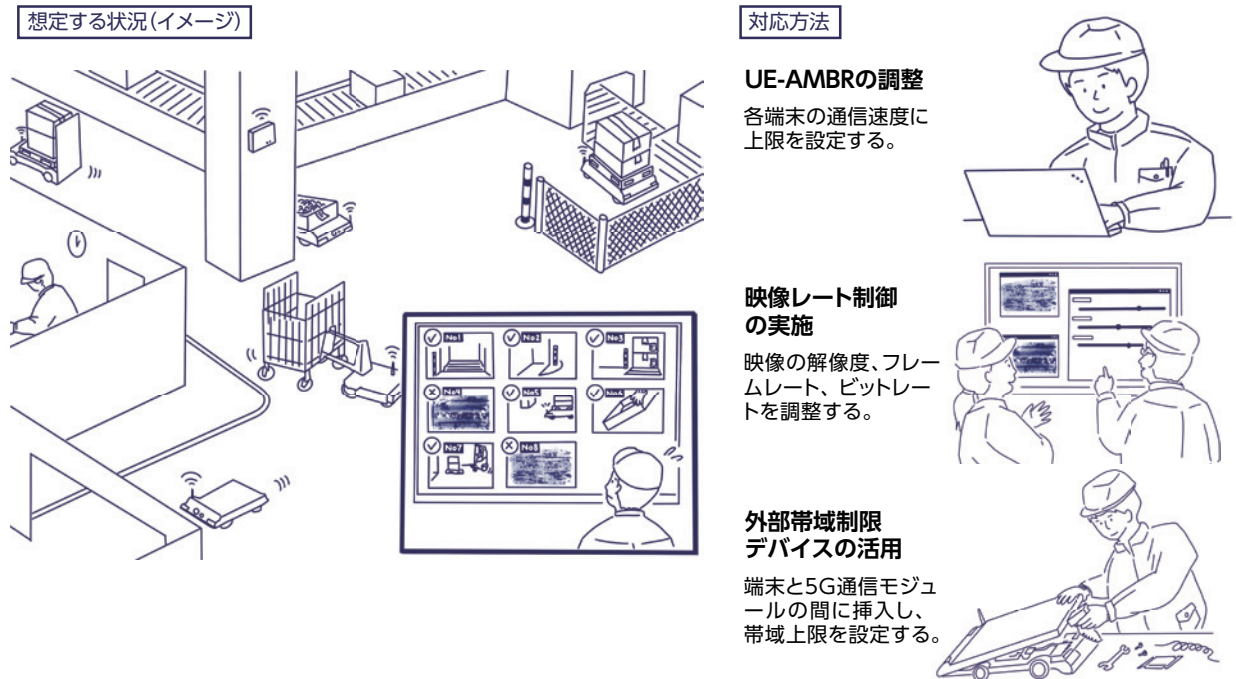


図4 想定する状況と対応方法

本節では以下の標準パラメータに着目する。

表 8： 4-1 節で扱う標準パラメータ

標準パラメータ	概要	ガイドライン本編における参照先
RB 割当率	同一基地局に接続する複数端末への無線リソースの配分比率を決める。	P32
UE-AMBR	1 台の端末が使用できる通信速度の合計上限値を定義する。	P37

(1) 概要・前提

自動車部品の製造工場で、10 台の AGV/AMR を L5G で接続し、搭載カメラの映像を中央監視システムへリアルタイム伝送する運用を想定する。中央監視システムでは各 AGV/AMR の映像を確認し、必要に応じて遠隔で走行指示や停止指示を行う。1 台での事前検証では問題なかったが、10 台で同時運用したところ、一部の AGV/AMR で映像の途切れ・コマ落ち・ブロックノイズが発生した。

本ケースでは、AGV/AMR から中央監視システムへの映像アップロードが通信量の大部分を占める。そのため、複数台の AGV/AMR が同時に稼働しても、安定した映像品質と制御応答性を維持できることが求められる。また、屋内外を移動する中で電波環境が変化しても、極端な通信品質の劣化が生じないことが重要である。通信への要求は表 9 のとおりである。

表 9：本ケース (AGV/AMR の操作・映像取得) における通信への要求

通信	方向	要求性能
映像伝送	UL	3～8Mbps/台、遅延は 150～500 ミリ秒以内、ブロックノイズ・コマ落ちが許容範囲内
制御・指示	DL	遅延は 100 ミリ秒以内、数 kbps～数十 kbps/台

(2) 確認・対応の流れ

本ケースでは、運用拡大時に映像品質の劣化が見られた場合、まず現場で発生している現象を確認し、影響を与えていると考えられる標準パラメータとしてRB 割当率に着目する。そのうえで、RB 割当率に起因するスループット低下と考えられる場合は、UE-AMBR の調整を起点として、アプリケーション側での映像レート制御や外部帯域制限デバイスの活用を検討する。

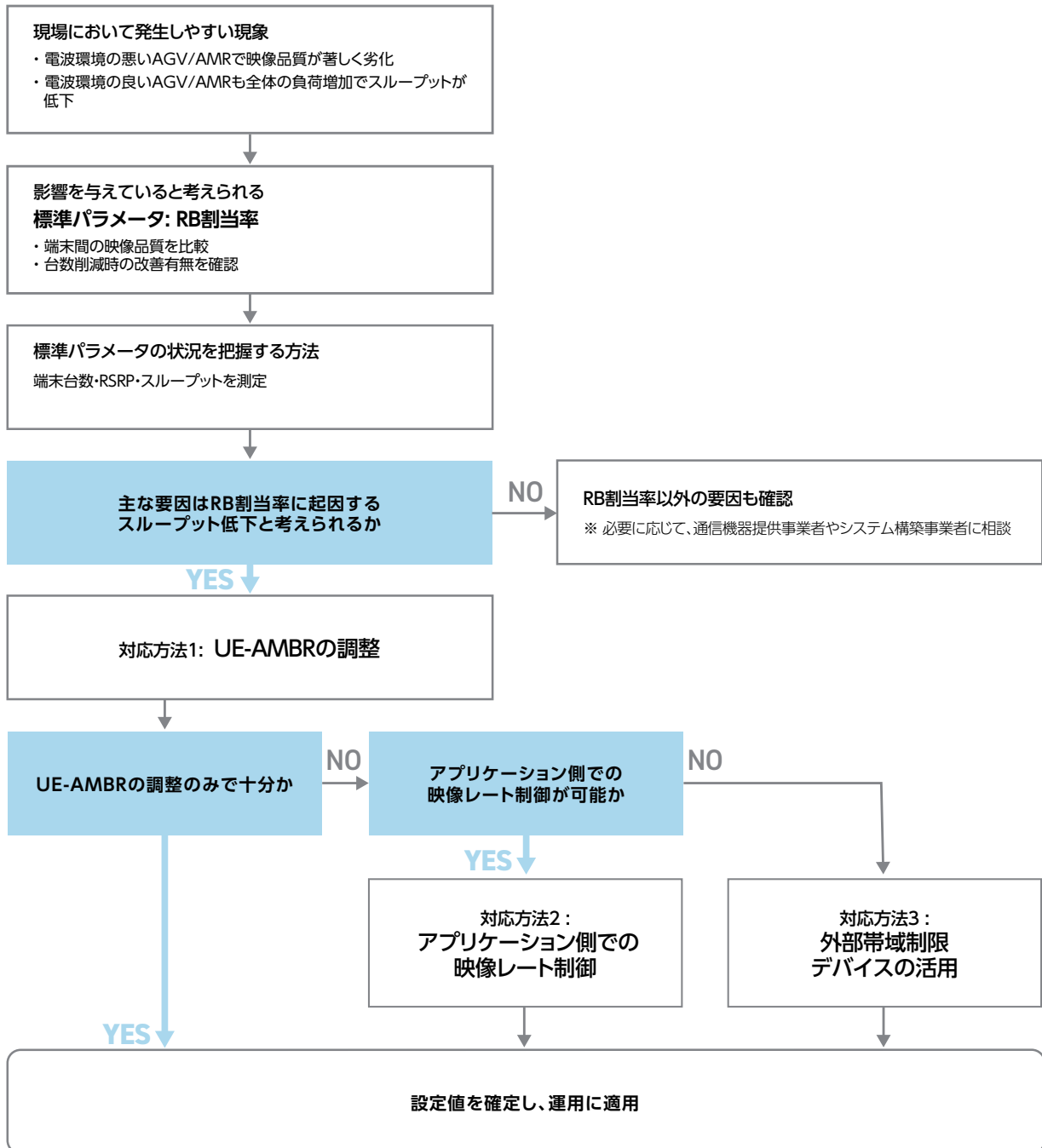


図5 AGV/AMRの操作・映像取得における確認・対応の流れ

(3) 現場で発生しやすい現象と影響を与えている標準パラメータ

① 現場において発生しやすい現象

単体では問題なく動作していても、10台規模で同時運用すると、次のような現象が生じることがある。

- 基地局から遠い位置や金属設備の遮蔽がある位置を走行する AGV/AMR で、映像の途切れやコマ落ちが発生する。
- 全体の通信負荷が高まると、電波環境の良い AGV/AMR でも映像品質が低下する。

② 影響を与えていると考えられる標準パラメータ

このような現象は、端末台数の増加に伴って1台あたりに利用できる無線リソース（RB）が減少し、電波環境の悪い AGV/AMR から影響が現れやすくなる場合に生じやすい。本ケースでは、影響を与えていると考えられる標準パラメータとして RB 割当率に着目する。

5G/L5G では、基地局が持つ RB を複数の端末で共有する。電波環境の良い端末は少ない RB でも必要なスループットを確保しやすい一方、電波環境の悪い端末は同じスループットを得るためにより多くの RB を必要とする。そのため、端末台数が増えて1台あたりに配分される RB が減少すると、電波環境の悪い端末ほど必要なスループットを確保しにくくなり、映像品質が低下しやすい。

簡易的には、AGV/AMR の稼働台数を減らしたときに映像品質が改善するか、また基地局に近い端末と遠い端末で影響の出方に差があるかを確認すると、RB 割当率の影響を切り分けやすい。

RB（Resource Block）とは

- RB は、5G/L5G で基地局が端末に割り当てる無線リソースの単位であり、無線通信で使う周波数と時間を細かく区切って定められている。
- 基地局は、この単位で各端末に通信機会を割り当てており、割り当てられる RB が多いほど、一定時間内に送れるデータ量も大きくなる。

③ 標準パラメータの状況を把握する方法

RB 割当率は基地局の管理ツール等から直接確認することができない場合が多い。そのため、本ケースでは、各 AGV/AMR の RSRP と実効スループットを測定し、端末台数の増加に伴う変化を確認する。特に、複数台が同時に映像をアップロードする状況で、電波環境の悪い AGV/AMR ほどスループットが低下している場合は、RB 割当率の影響が考えられる。

(4) 対応方法

RB 割当率に起因するスループット低下が原因と考えられる場合は、RB 割当率そのものは多くの基地局で直接制御できないため、まず UE-AMBR の調整を起点に、必要に応じてアプリケーション側での映像レート制御や外部帯域制限デバイスの活用を検討する。

① 対応方法 1：UE-AMBR の調整【標準パラメータの調整】

UE-AMBR により端末ごとの通信速度に上限を設定することで、電波環境の良い AGV/AMR が必要以上に RB を消費することを抑え、電波環境の悪い AGV/AMR にも RB が配分されやすくする。

設定値は、映像伝送に必要なビットレートに一定の余裕を持たせた値を目安とする。例えば、平均 5Mbps 程度の映像伝送であれば、UE-AMBR を 6～7.5Mbps 程度に設定する。設定後は、多端末環境で各 AGV/AMR の映像品質が安定しているか、特に電波環境の悪い AGV/AMR で改善が見られるかを確認いただきたい。

なぜ UE-AMBR の調整が有効か

- 電波環境の良い AGV/AMR は、高い通信速度で送信しやすく、通信速度に上限を設けない場合は、映像伝送に必要な帯域を超えて通信してしまうことがある。基地局の実装や制御方針によっては、そのような電波環境の良い端末に RB が偏る場合がある。
- UE-AMBR で各端末の通信速度の上限を「映像伝送に必要な分+少しの余裕」に設定すると、電波環境の良い端末が RB を過剰に消費するのを防ぐことができる。その結果、電波環境の悪い端末でも必要な RB を確保しやすくなり、全体として映像品質の安定化が期待できる。

② 対応方法 2：アプリケーション側での映像レート制御【標準パラメータの調整以外の手段】

UE-AMBR だけで改善が不十分な場合は、映像の解像度、フレームレート、ビットレートを調整し、必要な RB 数を減らすことが有効である。例えば、RSRP の低下に応じて映像レートを段階的に下げ的方法や、固定ビットレートで上限を抑える設定が考えられる。設定後は、電波環境の変化時にも映像の視認性と伝送安定性が維持されるかを確認いただきたい。

なぜ映像レート制御が有効か

- UE-AMBR の調整は「通信速度の上限を設定する」アプローチだが、映像レート制御は「そもそも送信するデータ量を減らす」アプローチである。
- 電波環境が悪化すると、低い MCS となり、同じ映像を送るのに多くの RB が必要となる。このとき、映像の解像度・フレームレート・ビットレートを下げて送信データ量自体を減らせば、必要な RB も減るため、限られた RB の範囲内で映像伝送を継続しやすくなる。
- UE-AMBR と組み合わせることで、「過剰な通信を抑える」(UE-AMBR) と「必要なデータ量自体を減らす」(映像レート制御) の両面から、電波環境の悪い場所でも安定した映像伝送が可能になる。

③ 対応方法 3：外部帯域制限デバイスの活用【標準パラメータの調整以外の手段】

アプリケーション側での調整が難しい場合や、UE-AMBR のみでは改善が不十分な場合は、L2 スイッチやルータ等で端末ごとの帯域上限を制限する方法もある。端末ごとの通信量を一定範囲に抑えることで、特定端末への帯域集中を防ぎ、全体の通信安定化を図ることができる。

なぜ外部帯域制限デバイスの活用が有効か

- アプリケーション側で映像レートを変更できない場合（既製品のカメラを使用している等）や、UE-AMBR の調整が基地局側で対応できない場合の代替手段である。
- 端末と 5G 通信モジュールの間にこれらの機器を挟み、UL 方向の通信速度に上限をかけることで、UE-AMBR の調整と同様の効果を得ることができる。

(5) 同様の対応が有効なユースケース

本節で紹介した対応方法は、複数端末が同時に UL 方向の映像トラフィックを送信し、かつ端末ごとに電波環境の差が生じやすいユースケースで有効である。例えば、次のようなケースが挙げられる。

- パトロールの自動化（移動ロボット、遠隔ロボット）
- ドローン+温度センサによる工場環境計測（移動ロボット等）
- 動画像による異常検知

一方で、DL 主体の通信では、端末側からの映像アップロードが主となる本節のケースとは通信の特徴が異なるため、UE-AMBR や映像レート制御では改善が見込めない場合がある。

4-2 機器の制御に関連するケース：機械に関する動作制御・遠隔操作

本ケースでは、複数の組立ラインにおいて、PLC・制御盤間の制御通信およびセンサデータ収集を L5G で無線化した環境を対象に、端末台数の増加に伴って発生しやすい遅延・ジッタ増大への対応の考え方を紹介する。

POINT

発生する現象とメカニズム

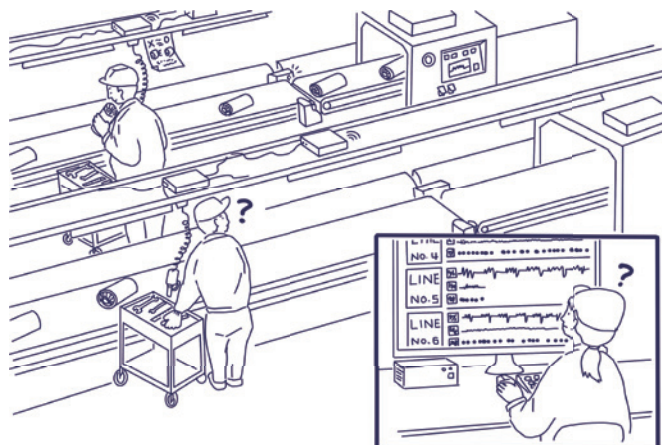
- 制御信号やセンサデータのように、小さなデータを短い周期で送信する UL 通信を多数の端末で行うと、台数の増加に伴い遅延・ジッタが増大しやすい。
- この現象は、UL 方向の送信機会が不足することによって発生する。5G/L5G では、DL と UL に利用できる時間がそれぞれスロットとして割り当てられており、端末が常に任意のタイミングで送信できるわけではない。これをスロット割当と呼ぶ。
- DL と UL にどの程度の時間を割り当てるかは TDD モードと呼ばれる設定によって異なり、代表的な設定として同期モードと準同期モードがある。このうち同期モードは、準同期モードと比べて UL スロットが少ない。
- そのため、同期モードで多数の端末が同時に UL 通信を行うと、限られた UL スロットに送信要求が集中し、送信したいタイミングで送信できない端末が生じる。この待ち時間が遅延として現れる。
- さらに、一定時間データ送信がない端末では、送信再開時に基地局による無線リソース割当を待つ必要がある。そのため、送信再開時の待ち時間にばらつきが生じ、ジッタが増大する場合がある。

本現象への対応方法

- 対応の基本は、UL 方向の送信機会を増やすことで、送信要求の集中による待ち時間を抑えることである。
- 具体的には、TDD モードの変更（同期モードから準同期モードへの変更）を行い、UL スロットの周期を短くするとともに、UL に割り当てる時間を増やす。これにより、多数の端末が同時に UL 通信を行う場合でも、送信待ちを生じにくくなる。
- TDD モードの変更だけで改善が不十分な場合は、低ビットレートの背景トラフィックを継続的に付加する方法を補助的に組み合わせることが有効である。背景トラフィックにより UL 通信を継続的に発生させることで、送信再開時の無線リソース割当待ちを抑えやすくなる。

本節の想定する状況と対応方法は以下のとおりである。

想定する状況(イメージ)



対応方法

TDDモードの変更

同期モードから準同期モードに変更する。



背景トラフィックの付加

低ビットレートの背景トラフィックを継続的に送信する。

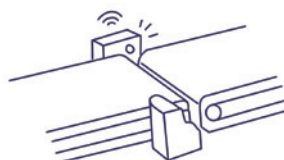


図6 想定する状況と対応方法

本節では以下の標準パラメータに着目する。

表 10： 4-2 節で扱う標準パラメータ

標準パラメータ	概要	ガイドライン本編における参照先
スロット割当	時間方向の無線リソースを端末にどのような周期で割り当てるかを定める。	P23
TDD モード	自営基地局の DL/UL パターンを隣接する他事業者の基地局と合わせるか、一部独自のパターンとするかを定める。	P27

(1) 概要・前提

① 想定する状況

自動車部品の組立工場で、コンベア制御通信（PLC と制御盤間の指令・応答）とセンサデータ収集（振動・温度・圧力等）の 2 種類の通信を L5G で無線化し、配線削減とライン組み替えの迅速化を計画した。いずれも小パケット・数十ミリ秒周期の通信であり、許容遅延は 100 ミリ秒程度である。

小規模な初期検証では安定動作したが、複数ラインに拡大し端末台数が増加したところ、制御応答やセンサデータの遅延が散発的に 100 ミリ秒を超過し、コンベア動作タイミングのばらつきや設備異常検知の遅れが発生した。

複数の組立ラインそれぞれに PLC・制御盤、センサ端末を配置し、ライン管理サーバおよびセンサデータ収集サーバと L5G で接続する。本ケースでは、制御盤から PLC への制御応答と、センサ端末からサーバへのセンサデータ送信が通信量の大部分を占め、いずれも UL 通信である。通信への要求は表 11 のとおりである。

表 11：本ケース（機械に関する動作制御・遠隔操作）における通信への要求

通信	方向	送信周期	データサイズ	許容遅延
制御応答 (制御盤→PLC)	UL	数十ミリ秒	50～200Byte/回程度	100ミリ秒以下
センサデータ送信 (端末→サーバ)	UL	数十ミリ秒	50～200Byte/回程度	100ミリ秒以下
制御指令 (PLC→制御盤)	DL	数十ミリ秒	50～100Byte/回程度	50ミリ秒以下

(2) 確認・対応の流れ

本ケースでは、複数ライン同時稼働時に遅延やジッタが増大した場合、まず現場において発生している現象を確認し、影響を与えていると考えられる標準パラメータとしてスロット割当／TDDモードに着目する。そのうえで、UL無線リソース競合が原因と考えられる場合は、TDDモードの変更を起点として、必要に応じて背景トラフィックの付加を検討する。

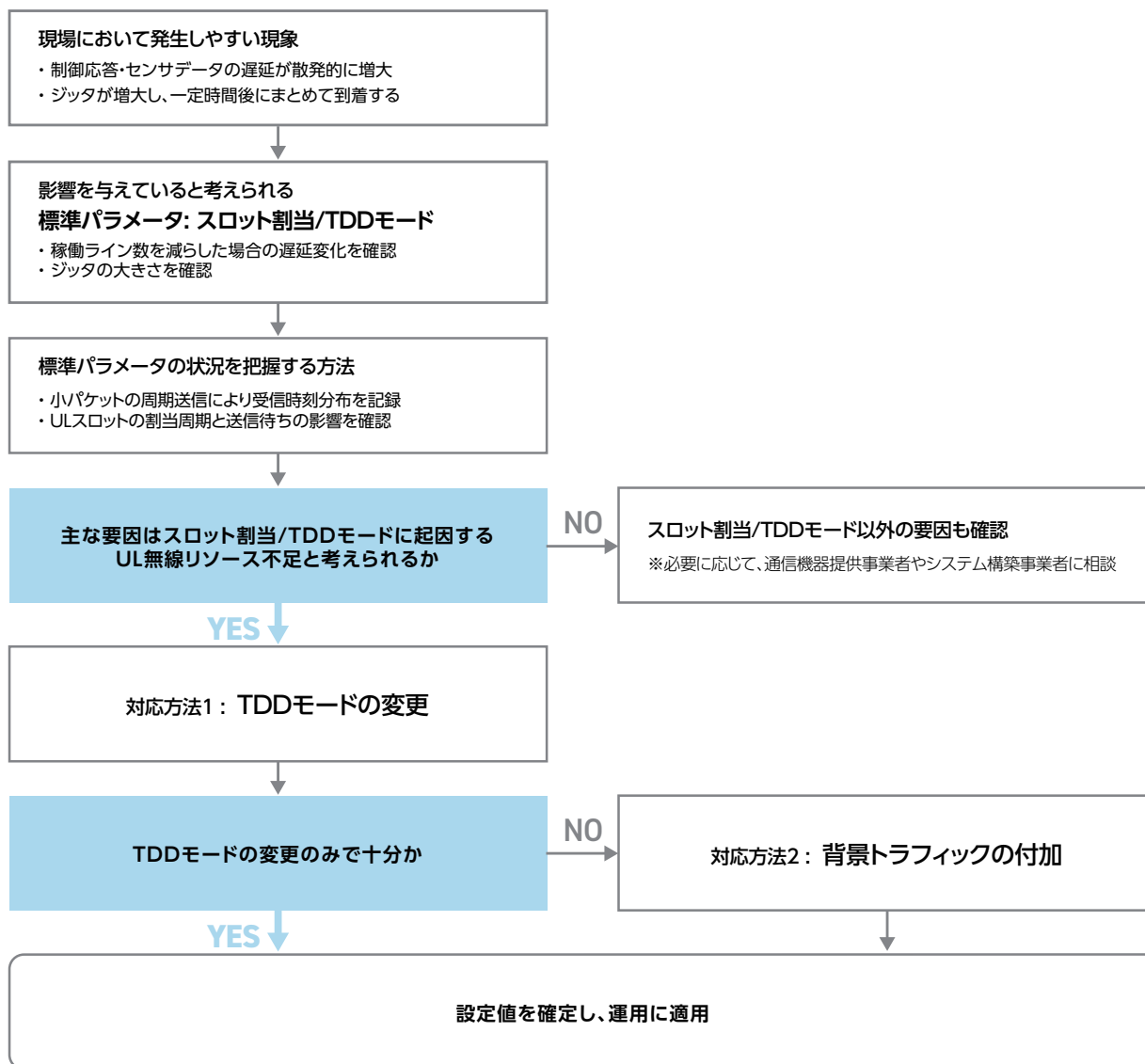


図7 機械に関する動作制御・遠隔操作における確認・対応の流れ

(3) 現場で発生しやすい現象と影響を与えている標準パラメータ

① 現場において発生しやすい現象

単体では問題なく動作していても、複数ラインへ展開し端末台数が増加すると、次のような現象が生じることがある。

- 制御応答やセンサデータの遅延が散発的に増大し、許容遅延である 100 ミリ秒を超過することがある。その結果、コンベアの起動・停止タイミングのばらつきや設備異常検知の遅れが発生する。
- また、一定時間データが届かず、その後まとめて届くようなジッタ増大が見られる場合もある。

② 影響を与えていると考えられる標準パラメータ

このような現象は、端末台数の増加に伴って UL 無線リソース競合が生じる場合に発生しやすい。本ケースでは、影響を与えていると考えられる標準パラメータとしてスロット割当および TDD モードに着目する。

一般的な TDD 設定では DL に多くの時間が割り当てられていることが多いが、本ケースでは制御応答やセンサデータ送信など UL 通信が中心となるため、UL スロット不足が遅延の要因となりやすい。また、送信再開時には基地局による無線リソース割当を待つ必要があり、この待ち時間が遅延やジッタの増大につながる場合がある。

簡易的には、稼働ライン数を減らしたときに遅延が改善するか、また Ping の連続送信でジッタの最大値と最小値の差が大きいかを確認すると、UL 無線リソース競合が生じているかを判断しやすい。

なぜ UL の無線リソース競合が生じるのか

- 5G/L5G では、無線で送受信する時間が「スロット」と呼ばれる細かい単位に区切られており、端末はその限られた時間枠の中でデータを送信する。
- 複数の端末がほぼ同じタイミングで UL 通信を行う場合は、このスロットを複数端末で分け合うことになるため、送信待ちが発生しやすくなる。
- その結果、端末数が増えるほど遅延やジッタが増大することがある。

③ 標準パラメータの状況を把握する方法

スロット割当やTDDモードの影響を確認するためには、小パケットを周期送信し、送信時刻と受信時刻の分布を確認することが有効である。受信タイミングが特定の周期に偏る場合はULスロット割当の影響、受信間隔が周期的に変動する場合は送信タイミングとULスロットのずれによる待ち時間の影響が考えられる。

(4) 対応方法

ULの無線リソース競合が原因と考えられる場合は、TDDモードの変更を行い、必要に応じて背景トラフィックの付加を検討する。

① 対応方法1：TDDモードの変更【標準パラメータの調整】

同期モードから準同期モードへ変更することで、ULスロットの周期を短くし、UL帯域を増加させる。多数の端末がUL無線リソースを共有する本ケースでは、ULスロットの増加が遅延改善につながりやすい。

ただし、使用機器や免許条件により設定変更が制限される場合があるため、事前確認が必要である。設定後は、複数ライン同時稼働時でも遅延やジッタが安定しているか確認いただきたい。

なぜTDDモードの変更が有効か

- 本ケースのようにUL通信が中心の用途では、ULスロットの多さが遅延性能を左右する。
- 同期モードは準同期モードよりULスロットが少ないため、多数の端末がULスロットを奪い合う状態になりやすい。これを準同期モードに変更すると、ULスロットの数が増える。結果として、送信待ち時間が短縮され、遅延・ジッタが改善する。

② 対応方法 2：背景トラフィックの付加【標準パラメータの調整以外の手段】

TDD モードの変更だけで改善が不十分な場合は、低ビットレートの背景トラフィックを継続的に送信し、送信再開時の待ち時間を抑える方法がある。例えば、数百 Byte/ パケット、数百 kbps/ 台程度を初期値とすることが考えられる。

一方で、背景トラフィックを増やしすぎると制御通信を圧迫するため、影響の大きい端末から段階的に適用することが重要である。設定後は、背景トラフィックの付加により、制御応答およびセンサデータ送信の遅延やジッタが安定しているかを、測定や実運用での動作確認を通じて確認いただきたい。

なぜ背景トラフィックの付加が有効か

- 小パケット通信では、UL スロットが割り当てられていても、ただちに送信されず、一定量のデータがたまってからまとめて送信されるような挙動が見られる場合がある。
- 背景トラフィックにより UL 通信を継続的に発生させることで、小パケットが一定量たまるまで、送信されない挙動を抑えやすくなる。

(5) 同様の対応が有効なユースケース

本節で紹介した対応方法は、小パケット・数十ミリ秒周期の UL 通信が多数の端末から発生し、許容遅延 100 ミリ秒程度の要件を持つユースケースに有効である。例えば、次のようなケースが挙げられる。

- **パトロールの自動化（移動ロボット、遠隔ロボット）**
- **ロボット等によるプラント内点検**

一方で、映像帯域が通信量の大部分を占めるケースでは、映像データそのものの帯域不足が主因となるため、TDD モードの変更や背景トラフィックの付加では改善が見込めない場合がある。また、通信頻度が低いイベントトリガー型のケースでは、UL スロットの競合自体が発生しにくいいため、本節の対応が不要な場合がある。

4-3 設備・資産管理に関連するケース：工場内の設備や備品及び資産管理 (部品管理・在庫管理・資産管理)

本ケースでは、物流倉庫等において、ハンディターミナルを用いた部品管理、在庫管理、資産管理を L5G で無線化した環境を対象に、無通信状態の後に発生しやすい初送遅延への対応の考え方を紹介する

POINT

発生する現象とメカニズム

- ハンディターミナルによるスキャンのように、操作時のみ通信が発生する場合、連続してスキャンしている間は問題なくても、無通信状態が続いた後の 1 回目のスキャンで応答が遅くなることがある。
- この現象は、端末が無通信状態のまま一定時間経過すると、通信可能状態から待機状態へ移行することで発生する。
- 端末の通信可能状態を維持し続けると、基地局側の接続管理負荷が増加する。また、基地局ごとに同時に管理できる端末数には上限がある。そのため、5G/L5G では、無線リソースや制御処理を効率的に使うために、一定時間通信がない端末は待機状態へ移行する仕組みとなっている。
- RRC 切断タイマーは、端末が通信可能状態 (RRC 接続状態) から待機状態へ移るまでの時間を制御するパラメータである。タイマーが満了すると、端末は待機状態へ移行する。
- 待機状態の端末は、次回通信時に再通信手順が必要となる。この手順に要する時間が、初送遅延の要因となる。

本現象への対応方法

- 対応の基本は、無通信後も端末の通信可能状態を維持し、次回通信時の再通信手順をできるだけ発生させないことである。
- 具体的には、RRC 切断タイマーを延長することで、端末の通信可能状態をより長く維持する。これにより、次回通信時の再接続手順の発生を避け、初送遅延を抑えることができる。
- 端末ごとに個別に対応したい場合は、接続維持用の定期通信を周期的に送信し、RRC 切断タイマーの満了を防ぐ方法がある。
- ただし、通信可能状態を維持する端末が増えると、基地局側の接続管理負荷が増加し、最大同時接続数の上限に近づくおそれがある。そのため、RRC 切断タイマーの延長や定期通信の追加は、最大同時接続数への影響を確認しながら適用する必要がある。

本節の想定する状況と対応方法は以下のとおりである。



図8 想定する状況と対応方法

本節では以下の標準パラメータに着目する。

表 12： 4-3 節で扱う標準パラメータ

標準パラメータ	概要	ガイドライン本編における参照先
RRC 切断タイマー	通信終了後、端末が通信可能な状態から待機状態に移行するまでの時間を制御する。	P44

(1) 概要・前提

物流倉庫で、ハンディターミナルを L5G 接続し、RFID タグやバーコードを読み取って在庫管理サーバへ照会する運用を想定する。端末では照合結果に応じて画面表示や確認音による通知を行う。3 台での事前検証では問題なかったが、実際の作業パターンを想定した追加検証では、移動や棚探しの後にスキャンすると確認音が鳴るまで 1 秒近くかかる場合があり、しばらく通信がない状態からの 1 回目のスキャンで初送遅延が発生することが分かった。

本ケースでは、スキャン操作時のみ通信が発生し、それ以外は無通信状態となる。照会・応答および入出庫記録のデータが欠落することは業務上許容されず、信頼性の確保も求められる。通信への要求は表 13 のとおりである。

表 13：本ケース（工場内の設備や備品及び資産管理（部品管理・在庫管理・資産管理））における通信への要求

通信	方向	送信タイミング	許容遅延
読み取り照会 （端末→サーバ）	UL	スキャン操作時	スキャンから応答表示まで 200 ミリ秒以内（初送遅延を含む）
照会応答 （サーバ→端末）	DL	照会受信後即時	上記を含む
入出庫データ送信 （端末→サーバ）	UL	タグ読み取り後	タグ読み取りから処理完了まで 200 ミリ秒以内
入出庫処理応答 （サーバ→端末）	DL	データ受信後即時	上記を含む

(2) 確認・対応の流れ

本ケースでは、無通信状態の後に発生する初送遅延が見られた場合、まず現場において発生している現象を確認し、影響を与えていると考えられる標準パラメータとして RRC 切断タイマーに着目する。そのうえで、RRC 切断タイマーに起因する初送遅延が考えられる場合は、RRC 切断タイマーの調整や接続維持用の定期通信の送信を検討する。

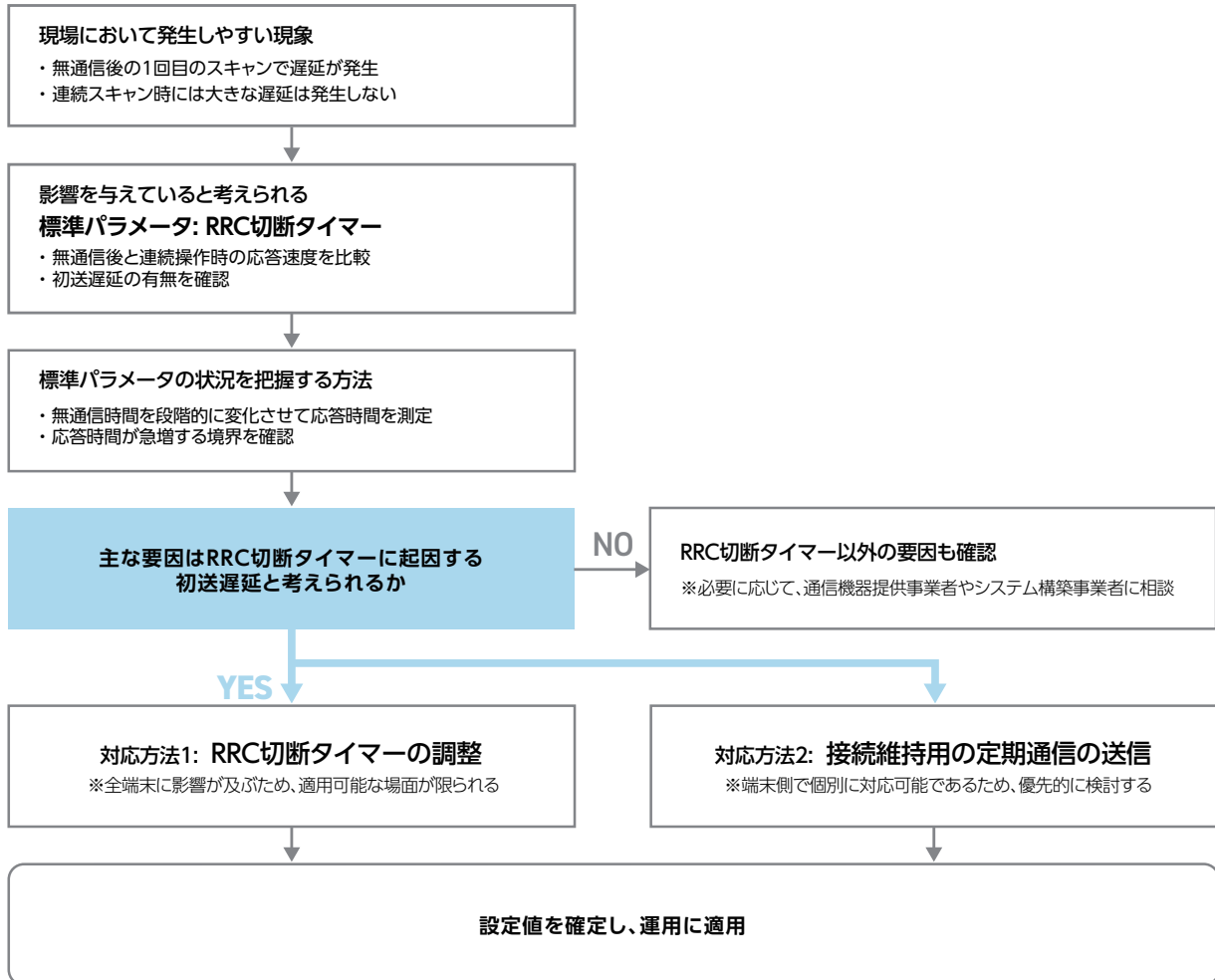


図8 工場内の設備や備品及び資産管理(部品管理・在庫管理・資産管理)における確認・対応の流れ

(3) 現場で発生しやすい現象と影響を与えている標準パラメータ

① 現場において発生しやすい現象

連続してスキャンしている間は問題がなくても、しばらく通信がない状態の後では、次のような現象が生じることがある。

- 1 回目のスキャンで応答時間が 200 ミリ秒以上、場合によっては 1 秒程度に増大することがある。

② 影響を与えていると考えられる標準パラメータ

このような現象は、無通信状態が一定時間続いた後に端末が待機状態へ移行し、その後の再接続手順が必要になる場合に生じやすい。本ケースでは、影響を与えていると考えられる標準パラメータとして RRC 切断タイマーに着目する。

5G/L5G では、通信していない端末についても接続状態を維持し続けると、基地局側で管理する対象が増え続けるため、一定時間通信がない端末は自動的に待機状態へ移行する仕組みになっている。RRC 切断タイマーは、この待機状態へ移行するまでの時間を決めるものであり、タイマーを満了すると、RRC 接続が解除される。RRC 接続が解除されると、次回通信時に基地局との再接続手順が発生し、再接続後に一定の時間を要するため、初送遅延が発生する。

③ 標準パラメータの状況を把握する方法

RRC 切断タイマーが実際に初送遅延の原因となっているかを確認するためには、無通信時間を段階的に変化させながら通信を実行し、応答時間の変化を測定する。例えば、一定の無通信時間を超えた時点で応答時間が急増する場合は、RRC 切断タイマー満了後の再接続が初送遅延の原因である可能性が高い。

（4） 対応方法

RRC 切断タイマーの満了による初送遅延が原因と考えられる場合は、RRC 切断タイマーの調整や接続維持用の定期通信の送信を検討する。RRC 切断タイマーの調整はすべての端末に影響するため、まずは端末側で対応可能な接続維持用の定期通信の送信を実施することが望ましい。

ただし、RRC 接続を維持すると同時接続数が増加し、基地局の最大同時接続数の上限に達する可能性がある。このため、最大同時接続数とのバランスを考慮した対応が求められる。なお、最大同時接続数はシステムによって異なるため、必要に応じて通信機器提供事業者やシステム構築事業者に確認いただきたい。

① 対応方法 1：RRC 切断タイマーの調整【標準パラメータの調整】

基地局設定の変更が可能な場合は、RRC 切断タイマーを延長することで、無通信後も RRC 接続を維持しやすくなり、初送遅延を抑えやすくなる。

ただし、この設定はすべての端末に影響し、同時接続数の増加につながるため、適用範囲や最大同時接続数への影響を確認したうえで実施する必要がある。設定後は、無通信後の初送遅延が改善しているかを通じて確認いただきたい。

RRC 切断タイマーを調整する際の注意点

- RRC 切断タイマーを調整したことによる影響は基地局が管理する端末すべてに及び、多数の端末が常時接続状態で待機することになり、基地局の接続管理負荷が増加する。
- このため、本対応は「ほぼすべての端末で初送遅延の改善が必要」「同時接続数の上限に十分な余裕がある」場合に適している。一部の端末だけ改善したい場合は、次の定期通信での対応の方が適切である。

② 対応方法 2：接続維持用の定期通信の送信【標準パラメータの調整以外の手段】

端末側で個別に対応する方法として、接続維持用の定期通信を周期的に送信し、RRC 切断タイマーの満了を防ぐ方法がある。これにより、イベント発生時にも RRC 接続を維持したまま通信しやすくなり、初送遅延を抑えやすくなる。

一方で、定期通信を増やしすぎると同時接続数や帯域負荷に影響するため、必要な端末を優先して適用することが重要である。設定後は、無通信後の初送遅延が改善しているか、定期通信の追加による同時接続数の増加が許容範囲内に収まっているかを確認いただきたい。

(5) 同様の対応が有効なユースケース

本節で紹介した対応方法は、イベントトリガー型の通信で、操作直後に即応答が必要である一方、無通信時間が生じやすいユースケースに有効である。例えば、以下のようなケースが挙げられる。

- 製品数カウント等
- 検査データの取得・書き込み（映像含む）

一方で、カメラ映像を用いた現場モニタリングのように高頻度・連続的に通信が行われるケースや、機械に関する動作制御・遠隔操作のように周期的に通信が行われるケースでは、RRC 切断タイマーが満了する前に次の通信が発生しやすいため、本節の対応が不要な場合がある。

4-4 安全管理・品質に関連するケース： カメラ映像を用いた現場モニタリング

本ケースでは、製造ラインに設置した複数のカメラから L5G を介して映像を常時伝送する環境を対象に、複数台運用時に発生しやすい映像品質劣化への対応の考え方を紹介する。

POINT

発生する現象とメカニズム

- 製造ラインに設置した複数のカメラから映像を常時伝送する場合、基地局から離れた位置や金属設備の陰にあるカメラでは、ブロックノイズやコマ落ちが発生しやすくなる。
- この現象は、電波品質の変動に応じて無線伝送効率が変化し、映像伝送に必要な帯域を安定して確保できなくなることによって発生する。
- 5G/L5G では、この無線伝送効率が MCS によって自動的に調整される。一般に、高い MCS では 1 回の送信で多くのデータを送れる一方で、電波品質の変動に対する耐性は低い。逆に、低い MCS では 1 回の送信で送れるデータ量は少ないが、電波品質が悪い場合でも通信を維持しやすい。
- そのため、電波品質が悪化すると、MCS は低く調整されて通信は継続しやすくなる一方、1 回の送信で送れるデータ量は減少する。この結果、同じ映像ビットレートを維持しようとしても必要な帯域を確保しにくくなり、映像品質が低下しやすくなる。
- さらに、電波品質が急激に変動する場合には、MCS が電波品質の変化に追従するまでの間に通信が不安定になることがあり、ブロックノイズやコマ落ちが発生しやすくなる。

本現象への対応方法

- 対応の基本は、電波品質が変動した場合でも通信が不安定になりにくいようにし、映像伝送を安定させることである。
- 具体的には、MCS 上限を下げることで、必要以上に高い MCS が選択されることを抑え、電波品質が変動した場合でも通信の安定性を高める。
- ただし、MCS 上限を下げると最大スループットも低下するため、全カメラで必要な帯域を確保できるかをあわせて確認する必要がある。
- MCS 上限の設定だけで改善が不十分な場合や、必要帯域を確保できない場合は、映像ビットレートを引き下げて必要帯域そのものを削減することが有効と考えられる。

本節の想定する状況と対応方法は以下のとおりである。

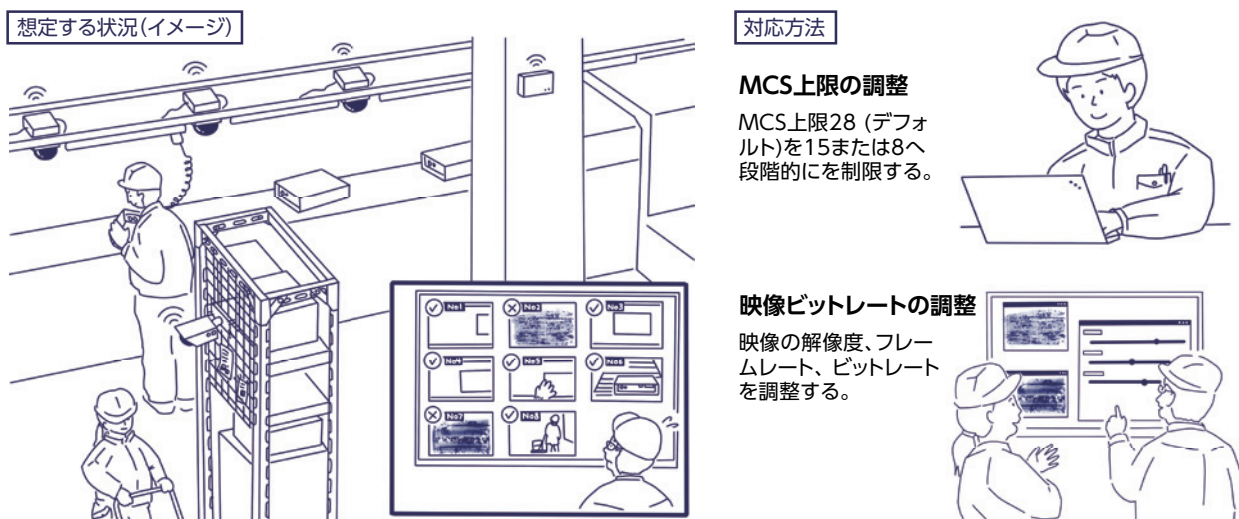


図9 想定する状況と対応方法

本節では以下の標準パラメータに着目する。

表 14： 4-4 節で扱う標準パラメータ

標準パラメータ	概要	ガイドライン本編における参照先
MCS	変調方式と符号化率の組合せにより、1回の送信に詰め込む情報量を決める。	P12

(1) 概要・前提

自動車部品の製造工場で、製造ラインに 10 台のカメラを設置し、L5G で映像を管理室へ常時伝送 (HD・30fps (約 3Mbps/台) の映像) する運用を想定する。3 台での事前検証では問題なかったが、10 台へ拡大したところ、特定のカメラでブロックノイズが頻発し、基地局から離れた位置や金属設備の陰で映像品質が低下することが確認された。

本ケースでは、10 台のカメラからの映像伝送により UL 帯域の利用が大きく、電波環境の変動が映像品質に影響しやすい。通信への要求は表 15 のとおりである。

表 15：本ケース (カメラ映像を用いた現場モニタリング (稼働監視)) における通信への要求

通信	方向	送信タイミング	許容遅延
映像伝送 (カメラ→サーバ)	UL	10 台で約 30Mbps マージン 1.5 倍で約 45Mbps 程度を確保	表示遅延: 1 秒以内 (リアルタイム監視) AI 検査連携時: 500 ミリ秒以内が望ましい

(2) 確認・対応の流れ

本ケースでは、複数台運用時に映像品質の劣化が見られた場合、まず現場において発生している現象を確認し、影響を与えていると考えられる標準パラメータとしてMCSに着目する。そのうえで、MCS変動に伴う映像品質の劣化が疑われる場合は、MCS上限の設定値の調整や映像ビットレートの調整を検討する。

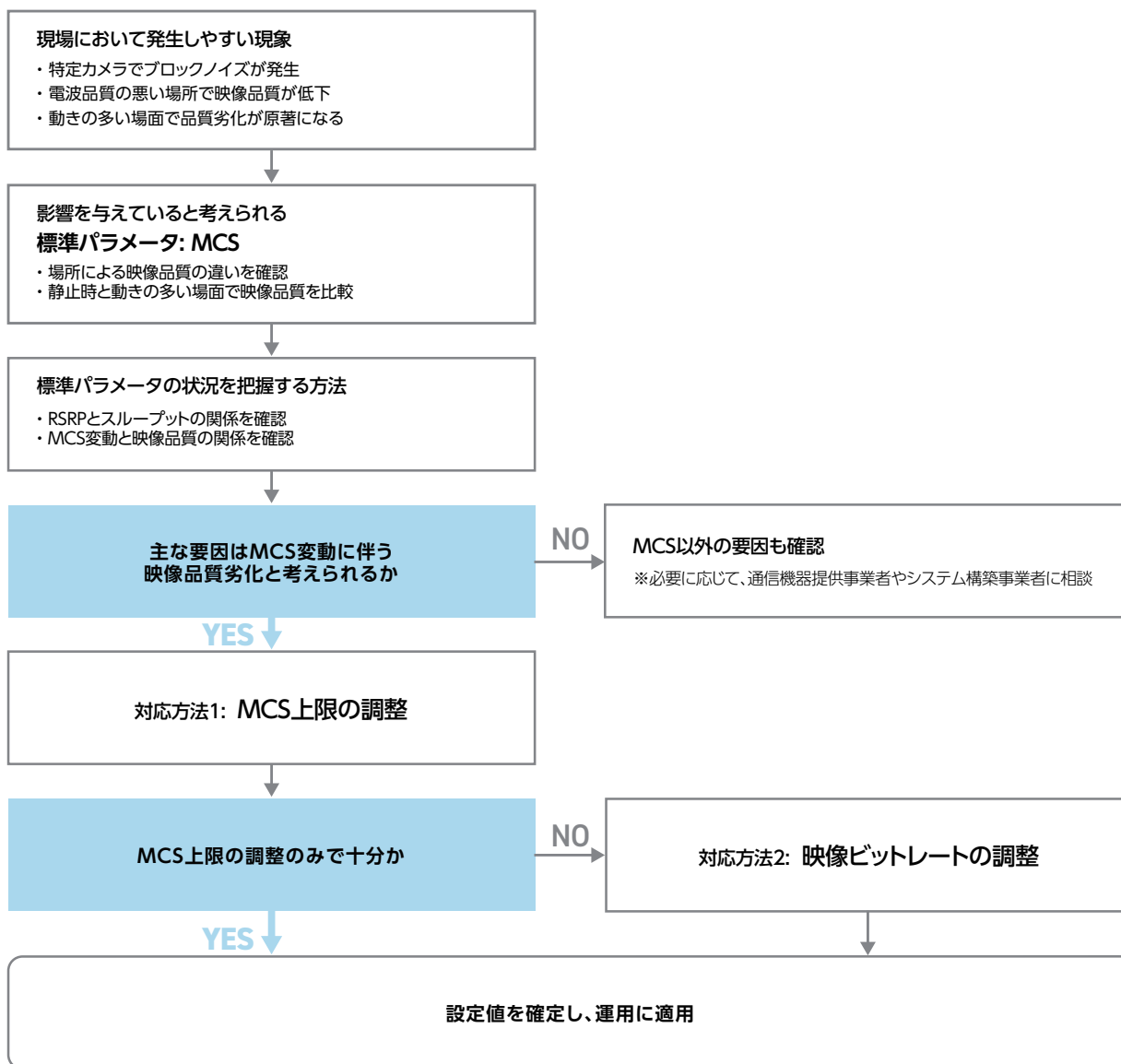


図10 カメラ映像を用いた現場モニタリングにおける確認・対応の流れ

(3) 現場で発生しやすい現象と影響を与えている標準パラメータ

① 現場において発生しやすい現象

少数台では問題が見えにくいですが、複数台運用に拡大すると、特定のカメラでブロックノイズやコマ落ちが発生することがある。特に、基地局から遠い位置や金属設備の陰では映像品質が低下しやすく、動きの多い場面では品質劣化が顕著になりやすい。

(4) 影響を与えていると考えられる標準パラメータ

このような現象は、電波品質の変動に応じて無線伝送効率が変化する場合に生じやすい。本ケースでは、影響を与えていると考えられる標準パラメータとして MCS に着目する 5G/L5G では、電波品質に応じて MCS が自動調整される。電波品質が悪化した状態で高い MCS が維持されると、映像データの一部が正しく届かず、ブロックノイズやコマ落ちとして現れる場合がある。

簡易的には、基地局に近いカメラと遠いカメラ、静止場面と動きの多い場面で映像品質を比較すると、MCS 変動に伴う映像劣化であるかを判断しやすい。

(5) 標準パラメータの状況を把握する方法

MCS が実際に映像品質劣化の原因となっているかを確認するためには、各カメラ設置場所における RSRP とスループットの関係、および MCS 変動と映像品質の関係を把握することが有効である。具体的には、各カメラ設置場所で RSRP とスループットを測定し、電波品質の違いによって必要な帯域が確保できているかを確認する。

また、端末ログ取得ツール等を用いて MCS の時系列変化を取得し、映像品質の低下タイミングと比較することで、MCS 変動とブロックノイズやコマ落ちの関係を把握することができる。MCS 上限を下げると通信の安定性は向上しやすい一方で、最大スループットは低下するため、必要総帯域を確保できるかを併せて確認することが重要である。

(6) 対応方法

MCS 変動に伴う映像劣化が原因と疑われる場合は、まず MCS 上限の設定値を調整し、電波変動に対する通信の安定性を高める。ただし、MCS 上限を下げると基地局全体のスループットも下がるため、帯域状況に応じて対応方法 2 を併用する。

① 対応方法 1：MCS 上限の調整【標準パラメータの調整】

MCS 上限を制限することで、電波品質が変動しても安定した通信を維持しやすくなり、映像品質の改善が期待できる。例えば、MCS 上限 28（デフォルト）を 15 または 8 へ段階的に下げることが考えられる。

ただし、下げすぎると必要な帯域を確保しにくくなるため、各カメラの映像品質と全体の通信量を確認しながら設定する必要がある。設定後は、ブロックノイズやコマ落ちが改善しているか、また必要な帯域が確保できているかを確認いただきたい。

MCS 上限を調整する際の注意点

- 本対応は「映像の安定性」と「最大スループット」のトレードオフを伴う。MCS 上限を下げるほど通信の安定性は高まるが、1 台あたりの最大帯域は下がる。
- 判断の基準となるのは、複数台運用時の必要総帯域と基地局のセルスループットの関係である。
- 具体的には、MCS 上限を下げててもセルスループットが必要総帯域を上回る場合は本対応のみで対処可能であるが、必要総帯域を下回る場合には映像ビットレートの調整を併用する必要がある。
- 事前に RSRP とスループットの関係性を測定し、どこまで MCS 上限を下げられるかを確認した上で設定値を決めることが重要である。

② 対応方法 2：映像ビットレートの調整【標準パラメータの調整以外の手段】

MCS 上限の設定値の調整だけでは帯域が不足する場合や、電波環境が特に厳しいカメラがある場合は、映像ビットレートを低減して必要帯域を削減することが有効である。例えば、フレームレートの低減（30fps → 15fps に変更）や圧縮率の高いコーデックの採用、可変ビットレート（VBR）の活用等が考えられる。

ただし、ビットレートを下げすぎると監視目的に必要な視認性や AI 検知精度に影響する可能性があるため、必要な映像品質とのバランスを踏まえ、設定することが重要である。設定後は、監視や検査に必要な映像品質が維持されているかを確認いただきたい。

(7) 同様の対応が有効なユースケース

本節で示した対応方法は、高帯域の映像を常時送信し、かつ金属設備等により電波環境が変動しやすいユースケースに有効である。例えば、以下のようなケースが挙げられる。

- 動画像による異常検知
- カメラを用いた不法侵入者の検知（進入禁止エリア検知を含む）

一方で、定期的な静止画取得のように帯域消費が小さいケースや、少数カメラかつ電波環境が良好なケースでは、MCS 変動による品質劣化が問題になりにくいいため、本節の対応が不要な場合がある。

