

相互接続のための技術的手引

2023年3月

第1部：ローカル5G導入を検討するユーザ企業に向けた手引

第1章 ローカル5Gの動向と相互接続

第2章 相互接続の効果について

第2部：導入企業等を支援するSIer等に向けた手引

第3章 対象とするインターフェース

第4章 相互接続に必要なパラメータ・環境

第5章 接続時の試験項目

第6章 相互接続検証結果

第7章 相互接続不良時の対応・各種運用規定

1. 背景及び目的

- 第5世代移動通信システム（5G）は、超高速・超低遅延・多数同時接続といった特長を有しており、我が国の経済成長に不可欠な Society 5.0 を支える基幹インフラとして、様々な産業分野での活用が期待されています。
- 5Gの中でも、令和元年12月24日に制度化されたローカル5Gは、企業や自治体等の様々な主体が自らの建物や敷地内で柔軟にネットワークを構築できることから、様々な分野における課題の解決や新たな価値の創造への活用デジタルトランスフォーメーションの推進等にも寄与することが期待されています。
- 全国の様々な業界・団体でローカル5Gへの期待や導入希望が高まる中、ローカル5Gシステム構築に係る設備の低廉化は市場原理に基づき進むものの、中小企業等をはじめとする民間企業や自治体等の各団体が個別で導入するには依然、導入・運用のための費用等が課題になっており、これらの状況の打破に向けては、ローカル5Gシステムの異ベンダー組合せによる柔軟な機器構成の実現（以下、「相互接続」）とローカル5G交換設備を共用できる仕組みの確立（以下、「コア共用」）が望まれます。
- このような仕組みは、同一ユーザ内の他、産業集積エリアなど、複数の異なるユーザ間や、特定の業種においてサプライチェーンを構成する企業グループ間で、共用形態を運用するなど、柔軟なネットワークを実現し、ローカル5Gの最適な活用に寄与すると考えられます。

2. 本技術的手引の位置づけ・意義

- 相互接続を実現するには、ローカル5Gの無線設備を運用する上での課題やそのノウハウを導入検討事業主体が取り入れ、システム構築をしやすい環境を整備することが肝要です。
- 標準化等が進み3GPPに準拠した製品間での相互接続が期待されますが、国際標準規格に準拠した機器同士であっても、相互接続が不能となる、あるいは接続が安定しないといった組み合わせが存在することが確認されています。このように、現時点では異なるベンダーを組み合わせたローカル5Gシステムの構築には難しさが伴います。
- 一方で、今後、ローカル5Gのネットワーク・システムの構成や利用形態が多様化していくことが見込まれる中、柔軟性、拡張性の高いネットワークの実現、また中小企業等や自治体等様々な主体によるローカル5Gの有効な活用の実現に向け、相互接続モデルは有効であります。
- 企業の実情等に応じた柔軟なシステム構成を実現することで、ローカル5G導入を検討する企業等の導入障壁を軽減すること、及び導入する企業等を支援するSIer等の技術面での負担を軽減することが望めます。
- 上記の点から、本技術的手引は、異なるベンダー間の相互接続の実現に向けて、今後ローカル5Gシステムの導入を検討する企業やそれを支援するSIer向けに参照頂くことを目的としています。
- なお、異なるユーザ間の相互接続のうち、交換設備（コアネットワーク）等の共用実現のための設備面・技術面・運用面に係る手引については「ローカル5G交換設備等共用のための技術的手引」を参照ください。

3. 各章の概要

本技術的手引は2部構成となっており、第1部はローカル5G導入を検討するユーザ企業等向けの手引、第2部はユーザ企業等を支援するSIer等向けの手引となります。それぞれの概要は、以下のとおりです。

第1部：ローカル5G導入を検討するユーザ企業等に向けた手引

企業の実情に応じた柔軟なシステム構成を実現することでローカル5G導入を検討するユーザ企業の導入障壁を軽減することを目的として、相互接続の必要性、意義、効果、留意事項等について説明します。各章の概要は以下のとおりです。

- 第1章「ローカル5Gの動向と相互接続」では、ローカル5Gの特長、ローカル5Gネットワークを構成する各要素や各要素間のインターフェース、国際標準化動向との関係等について説明します。
- 第2章「相互接続の効果について」では、相互接続の定義及び目的と狙い、および相互接続の具体的な効果等について説明します。

第2部：ユーザ企業等を支援するSIer等に向けた手引

ローカル5Gの導入企業等を支援するSIer等の技術面での負担を軽減することを目的として、具体的に相互接続を行う場合の技術的な要件等について説明します。各章の概要は以下のとおりです。

- 第3章「対象とするインターフェース」では、本技術的手引の対象となるインターフェースについて説明します。
- 第4章「相互接続に必要なパラメータ・環境」では、それぞれのインターフェースで設定すべきパラメータや通信の要件等について説明します。
- 第5章「相互接続時の検証項目」では、相互接続が正常に行われ、期待される性能が発揮されていることを確認するための有効な検証項目について説明します。
- 第6章「相互接続検証結果」では、異ベンダー間の相互接続検証を行った結果について説明します。
- 第7章「相互接続不良時の対応・各種運用規定」では、相互接続が不可となった場合の対応例、最適な運用体制について説明します。

第1部

ローカル5G導入を検討する ユーザ企業に向けた手引

1. ローカル5Gの整備・運用の特徴、公衆網との違い

- ローカル5Gは、企業や自治体等の様々な主体が自らの建物や敷地内で柔軟にネットワークを構築できることから、様々な分野における課題の解決や新たな価値の創造への活用・デジタルトランスフォーメーションの推進等にも寄与することが期待されています。ローカル5Gは、28GHz帯（ミリ波）に加えて4.6GHz-4.9GHz帯（Sub6）においても利用が可能となる等、ローカル5Gの導入・利活用が更に活発化していくことが見込まれています。
- ローカル5Gは、自らの建物や敷地内で、柔軟にネットワークを構築できる5Gネットワークです。特に、高速・大容量、低遅延、多数同時接続といった5Gの特徴を活かし、高精細映像を活用したソリューション（リアルタイム映像伝送による遠隔監視・巡視点検、遠隔作業支援・指導、AIによる画像解析）やモビリティの遠隔制御等で活用が期待されています。
- ローカル5Gは、キャリア網と比較して、規模を確保し経済合理性を高めることが期待できないため、普及展開に向けては、需要と供給のバランスが成立するモデルを先行的に打ち出していくことが肝要です。
- キャリア5Gでは、携帯電話事業者がエリア整備を行います。ローカル5Gでは、建物や土地の所有者または、所有者より依頼を受けた者が、独自に5G環境を構築することができます。したがって、実現したい時期や、ユースケース・要件等にあわせて、柔軟にネットワークを構築できます。

表 1-1-1 キャリア5Gとローカル5Gの比較

	キャリア5G	ローカル5G
使用エリア	日本全国	地方自治体や企業、団体などの建物または土地内といった限定エリア
サービス提供者	携帯電話事業者	建物や土地の所有者 また、所有者より依頼を受けた者
主な用途	全国向けの通信サービス	限定エリア向けの通信サービス
周波数帯	3.7GHz帯、4.5GHz帯 28GHz帯	4.7GHz帯（4.6～4.9GHz） 28GHz帯（28.2～29.1GHz）

- ローカル5Gの特長の1つに、準同期TDD方式での運用があります。これは、キャリア5Gなどの同期運用しているシステムと基本的な無線通信のタイミングを揃えつつ、同期システムがダウンリンク通信に使用している時間帯の一部をアップリンク通信に使用することで、同期運用への影響を最小限に抑えてアップリンク通信の割合を増やす方式です。アップリンク通信の割合を増やすことは、アップリンク通信の速度が増すことにつながります。これにより、ローカル5Gでは、より多様なユースケースに対応できることが期待されています。
- ローカル5Gには、大手通信機器ベンダー等による垂直統合（以下「垂直統合」：1つのベンダー等がネットワーク装置の各機能をすべて提供するケース）と、マルチベンダーによる相互

接続（以下「相互接続：複数のベンダー等がネットワーク装置の各機能をそれぞれ提供するケース）の2つのケースがあります。垂直統合は、接続が保証された機器をシステムもしくはサービスとしてベンダー等から提供を受けるものです。これに対し相互接続は、ユーザ企業がユースケースや要件に合わせてカスタマイズする必要がありますが、より柔軟かつ拡張性の高いネットワークを構築することができます。

- 本章では、ローカル5Gの導入企業等が、相互接続でローカル5Gネットワークを構築するにあたって、把握しておくべき事項等について説明します。

表 1-1-2 ローカル5Gの提供形態例

	垂直統合	相互接続
概要	1つのベンダー等が各機能をすべて提供	複数のベンダー等が各機能をそれぞれ提供
イメージ図		

2. 異ベンダーの機器毎の性能特性、ユーザニーズ・要件に応じた構築の重要性

5G/ローカル5Gの製品は、多様なベンダーが独自の技術等で製品の差別化を図っていることから機器毎に特徴がありますが、留意しなければならない点として以下が挙げられます。

① 5Gは製品によって性能が異なる

- 5Gは、高速大容量、低遅延、多数同時接続を満たす移動体通信システムとして、性能要件がグローバル標準として定められています。具体的には、携帯電話システムの国際標準団体である3GPP¹が、ITU-R（国際電気通信連合 無線通信部門）が定める5Gの技術性能要件を満たすための技術仕様について標準化を実施しています。
- 世界中のベンダー等がこの標準化された性能要件を満たす5G機器を開発・生産しています。しかしながら、5G製品の市場への投入にあたっては、3GPP標準を待つ必要はなく、各ベンダーが独自の規格で製品を開発し、それを売り出すこともあります。3GPPの標準化に沿う場合は、仕様策定後に技術検証等を経て、一般的に1~2年後に製品が市場へ投入されます。どの時点（リリース）の仕様に沿うかによって、製品の性能も異なるため、同じ5G製品でも規格が異なるものが併存している状態になります。
- また、重要なのは、3GPPが国際標準化した規格であっても、企業独自の規格であっても、ITU-Rが定める5Gの技術性能要件（高速大容量・超低遅延・多数同時接続のいずれか）を満たしていれば「5G」と呼ばれる点です。そのため、5Gであっても、異なる規格や性能を具備した機器が存在します。こうしたベンダーの製品化方針や技術力の違い等に起因して、実際にはベンダーや製品ごとに性能は大きく異なります。

② 異なる5Gは製品同士が繋がらない場合がある

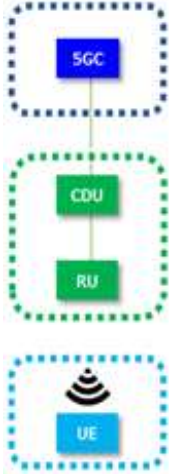
- 上述した国際標準においては、異なるベンダーの製品間で相互運用を可能とするための統一規格として、機器間で通信を確立するためのインターフェースが標準化されています。そのため、5G技術を具備したローカル5Gシステムを構成する各機器については、異なるベンダー間においても相互に接続利用できる仕様となっています。これにより、ユーザ企業やSIer（システムインテグレータ）等はそれぞれの要件に適した性能の機器を組み合わせるローカル5Gシステムを構築することが可能となります。
- しかしながら、国際標準規格に準拠した機器同士であっても、相互接続が不能となる、あるいは接続が安定しないといった組み合わせが存在することが確認されています。このように、現時点では異なるベンダーを組み合わせるローカル5Gシステムの構築にはリスクが伴います。これにより、ローカル5G機器は結果的にベンダーロックインの構図となっているのが実情です。
- ユーザの所要性能や予算に応じた最適なローカル5G環境を導入するためには、コア設備や基地局等を異なるベンダーから選定できることが極めて重要です。そのため、ユーザ企業から機器の標準化やマルチベンダー環境の構築に対する期待が高まっています。

¹3rd Generation Partnership Project の略。移動体通信システムの仕様の規格策定を行う国際的な標準化団体であり、3Gの規格策定以降、4G(LTE)、5Gの標準化も行っています。

3. ローカル5Gネットワークを構成する各要素の定義

- ローカル5Gのネットワークは下表の通り、コアネットワーク、基地局、端末の3つの要素に分けることができます。
- コアネットワークとは、交換機及び加入者情報管理装置などで構成されるネットワークの総称です。基地局及び端末を収容する装置として、ユーザセッションの確立やユーザデータの転送処理などを行います。
- 基地局は、その役割によって3つに分けることができます。
 - ・CU：主にデータ処理を行います。
 - ・DU：主に無線信号処理を行います。
 - ・RU：送受信されるデジタル信号の無線周波数変換や電力の増幅を担います。
- 端末は、ローカル5Gと直接通信を行う専用端末（ルータ等）です。

表 1-3-1 ローカル5Gネットワークの通信機器の概要と接続イメージ

分類	名称	説明	接続イメージ
コアネットワーク	5GC	5th Generation Core network の略。 UE 認証・制御処理やユーザデータのルーティング（通信経路設定）等の基幹統制を行う設備	
基地局	CU/DU	CU：Central Unit、DU：Distributed Unit の略。 無線信号処理機能。無線アクセスネットワークにおける集約ノード機能（CU）と分散ノード機能（DU）。	
	RU	Radio Unit の略。 無線装置（無線送受信機）	
端末	UE	User Equipment の略。 ローカル5Gと直接通信を行う専用端末。	

4. 各要素間のインターフェースの定義

- 本技術的手引では、コアネットワーク・基地局間、基地局・端末間を、対象のインターフェースとしています。これは、基地局・端末間が最もニーズがあり、かつ実現性の高いインターフェースであるためです。その次に期待されているのがコアネットワーク・基地局間です。これは、様々なタイプの端末や基地局を、ユースケースや要件によって使い分けたいというニーズに基づくものです。
- ローカル5Gシステムは、「図1-4-1 インターフェースの整理」に記載する14の要素によって分類可能であり、各要素は主に7つのインターフェースによって接続されます。早期環境整備の点からは、SIMの認証、ユーザ情報の整理・運用を担うコア、無線部の制御を行い、通信性能の要となる基地局、そしてユーザとのインターフェースを取り持つ端末という3つの機器において、異ベンダー間の相互接続を整備することで、各企業、SIer等はそれぞれの要件に適したベンダーの機器を用いてローカル5Gシステムを構築することが可能となります。
- 図1-4-1に赤枠で示している部分が、本技術的手引の主な対象となります。

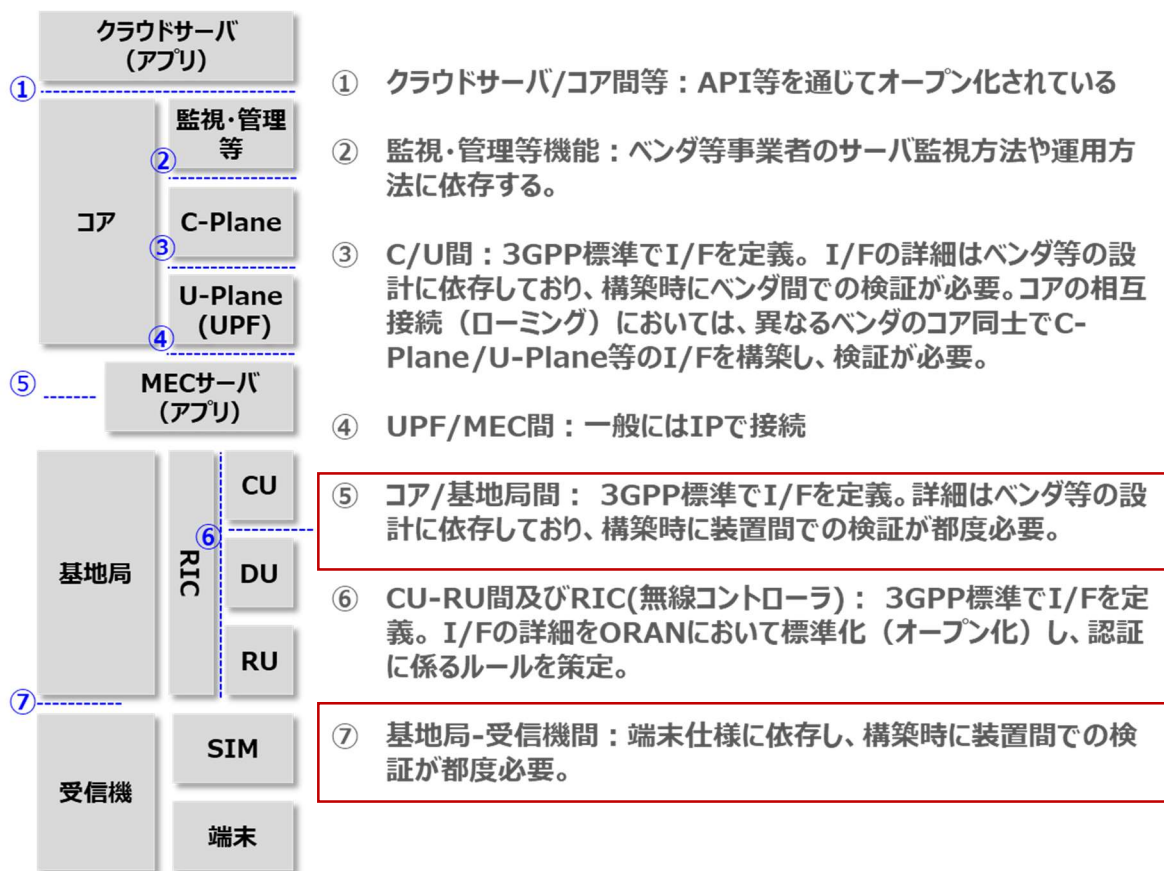


図1-4-1 インターフェースの整理

5. 3GPP/0-RANなどの標準化動向の概要

5Gに係る標準化の動向と前項で説明したネットワーク要素やインターフェースとの対応関係について概説します。

① 5Gの標準化の特徴

- 移動体システムの標準化においては、周波数、無線技術、通信手順や信号インターフェースなどを統一化する取組みが行われています。5Gにおいては基地局をはじめとするネットワークの構成等について、4Gから大きく進化させるために標準化がなされています。
- 4Gでは、基地局は「電波を制御する装置(RRH)」と「信号を処理する装置(BBU)」に物理的に分けた構成となっており、その間の通信路を規定するインターフェース(CPRI)が規定されました。しかしながら同インターフェースが十分に標準化されていなかったことから、各ベンダーが独自に規定していました。そのため、異なるベンダーが提供するRRHやBBUを相互に接続することが困難でした。また、CPRIはアンテナの数に比例して必要帯域が増加するという特性があったため、4Gと比較してアンテナの数が大幅に増加する5Gでは対処が難しいという課題が生じました。
- このような背景の下、5Gでは国際標準化機関3GPPにおいて大幅な見直しが行われ、伝送速度や遅延時間等に係る要件を満たすために工夫がなされました。具体的には、BBUの機能をDUとCUに配置し、RRHの機能をRUに配置する構成へ変更されました。つまり、RRH/BBUの2段構成から、RU/DU/CUの3段構成へ、配置と機能の分離へ再定義されました。
- 上記のネットワークを構成する要素の分離をどこで実施するかについては、分離する位置で処理する通信容量とその複雑性のトレードオフの関係にあります。RUでは電波というアナログ信号とデジタル信号を変換する機能を備えるため技術が複雑化します。他方で、CUやDUはアンテナなど末端の装置を束ねている上位の装置では処理する通信容量は大きい一方で、処理するための技術は末端に比べると容易になります。特にCUについては、必要となる処理能力は比較的軽く、仮想化技術を使った汎用サーバ上で十分な性能を発揮することが可能ですが、DUでは5Gのアンテナ技術であるMIMOの信号分離演算や復号演算の処理が大規模になると言われています。そのため、CU寄りで分離する方が複雑性を軽減でき、異なるベンダーの機器を相互接続しやすくなる特徴を有しています。

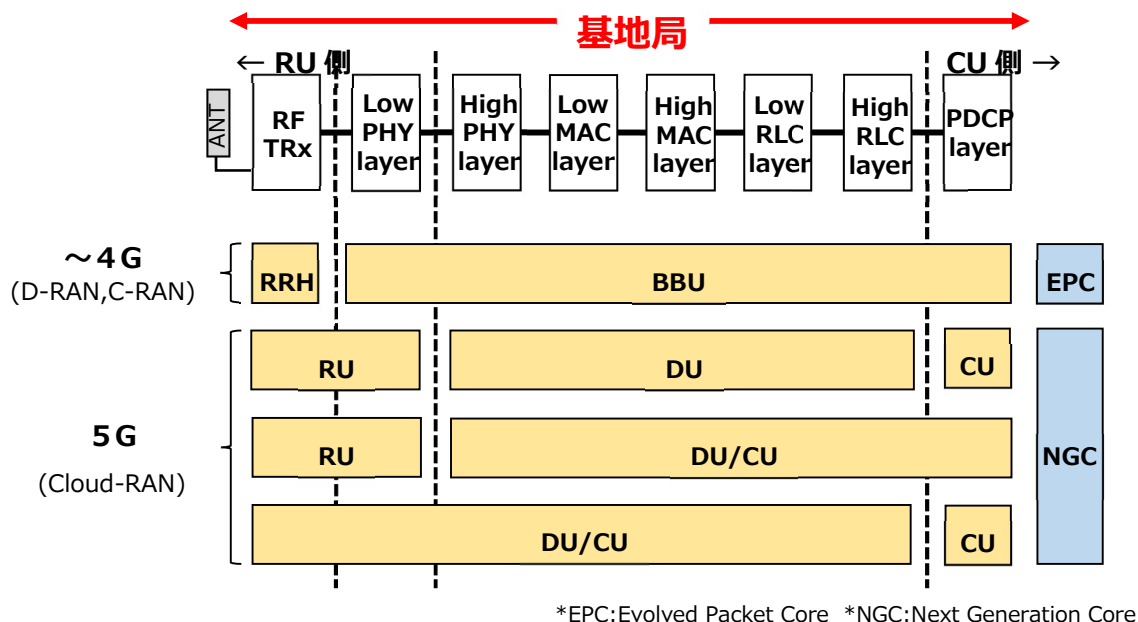


図 1-5-1 5Gの基地局に係る標準化

② 0-RANにおけるオープン標準

- 上述の5Gの標準規定に基づき、DUとCUの間のインターフェースについて、グローバルの業界団体Open RAN Alliance(0-RAN)において規定されています。0-RANは、2018年2月にNTTドコモを含む世界の携帯電話会社5社によって設立された団体です。
- 0-RANでは、世界各国における移動体のトラフィックの増加に伴い、携帯電話網とそれを構成する装置に関しては、ソフトウェアによる機能の実現、仮想化、柔軟性、インテリジェント、省エネルギーなどの要素がより強く求められてきており、0-RAN Allianceでは無線アクセスネットワーク(RAN)²についてオープンで標準化されたインターフェースやAI技術等を活用することでインテリジェントなものに進化することを目的とした活動です。
- 世界の主要な携帯電話事業者が0-RANで規定されたインターフェースを採用していくことを宣言しています。これにより、5Gを構成するネットワークの標準化やマルチベンダー環境が整いつつあります。

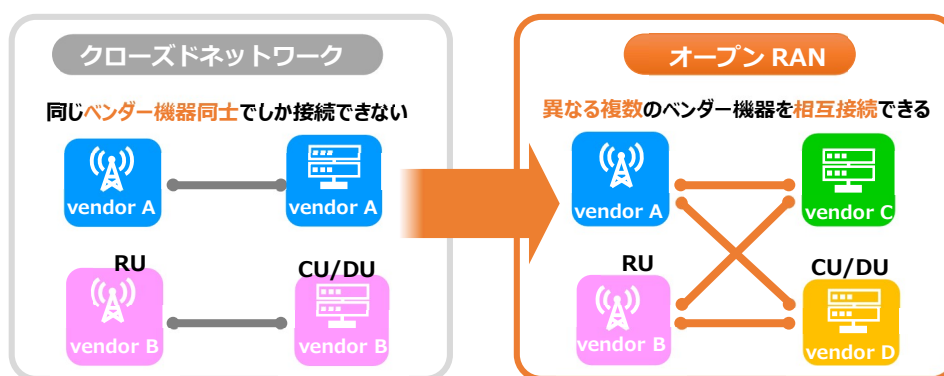


図 1-4-2 0-RANの概要

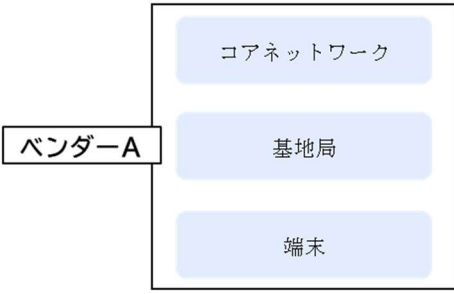
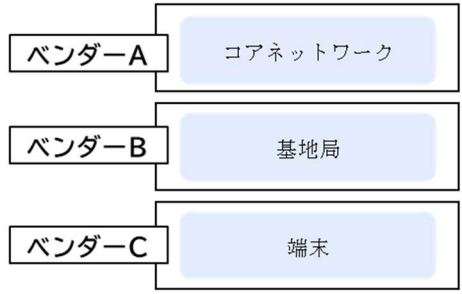
- このように、4Gまでは各ベンダーが独自のインターフェースを規定していたことから、RANは1つのベンダーに閉じることが通例でした。5Gにおいてはインターフェースの標準化と0-RANにおけるベンダー独自の設定を排除した規定により、仮想化技術の活用とともに「マルチベンダー」による構成が可能となり、ネットワークのオープン化が進展しています。

² コア装置と端末の間に位置する基地局などで構成される領域を指します

6. 相互接続にあたってのユーザとしての留意点

- 相互接続を行う場合には、導入コスト（機器費等）だけでなく、相互接続に係る検証・システムインテグレーションや、運用体制も考慮しておく必要があります。
- 相互接続に係る検証・システムインテグレーションとして、費用や期間を考慮しておく必要があります。各機器間の検証テストを、毎回1から行うとなると、相応の費用・期間を要してしまいますが、参照すべきパラメータや接続実績を公開することで、効率化が図れると考えられ、本技術的手引（主に第2部）の狙いでもあります。
- 接続不良やシステム異常発生時の運用体制について、異なるベンダー間の相互接続を行った際には原因と考えられるベンダーが複数存在することになります。適切なベンダーに問い合わせをするために、ユーザ企業またはユーザ企業を支援するSIerにて一時切り分けを実施する必要があります。その際の一般的な切り分け手法について本技術手引き（第2部）に記載いたします。

表 1-6-1 相互接続における主な留意事項

	垂直統合	相互接続
システムインテグレート	接続が保証された機器をシステムもしくはサービスとしてベンダー等から提供を受ける	各機器間の検証等が必要
運用	接続不良や故障時は、提供ベンダー等（1社）が取りまとめて対応可能	ユーザ企業もしくはユーザ企業を支援するSIer等にて、一次切り分けをした上で、各ベンダーへ問い合わせする形が想定
イメージ図	<p>1つのベンダー等が各機能をすべて提供</p> 	<p>複数のベンダー等が各機能をそれぞれ提供</p> 

1. 相互接続の概要および狙い

① ローカル5Gの今後の展開と相互接続

- ローカル5Gは、多様な分野・業態においてユースケースの具現化が進んでおり、今後は屋内に加え屋外利用、同一ユーザによる複数拠点でのシームレスな利用、災害時に強いインフラとしての活用など利便性や強靭性等を追求した様々なユーザニーズを起点としてユースケースが拡大していくことが想定されます。これに伴い、ローカル5Gのネットワーク・システムの構成や利用形態は多様化していくことが予想されます。
- 全国の様々な業界・団体でローカル5Gへの期待や導入希望が高まる中、ローカル5Gシステム構築に係る設備の低廉化は市場原理に基づき進むものの、中小企業等をはじめとする民間企業や自治体等の各団体が個別で導入するには依然、導入・運用のための費用等が課題になっており、これらの状況の打破に向けては、ローカル5Gシステムの異ベンダー組合せによる柔軟な機器構成の実現（相互接続）することで、ローカル5Gの導入にあたって多様な選択肢を用意することが肝要です。

② 相互接続の目的・狙いとは

- ローカル5Gは、2019年に制度化されて以降、工場、プラント、鉄道、農業など、様々な産業において実証事業が進められ、大企業等において商用化事例も増えてきました。一方で、現状は、垂直統合モデルが大多数を占めています。今後、ローカル5Gのネットワーク・システムの構成や利用形態が多様化していくことが見込まれる中、柔軟性、拡張性の高いネットワークの実現に向け、相互接続モデルは有効です。また、相互接続モデルによって、さらに導入コストの低廉化が進めば、中小企業等や自治体等様々な主体が活用できるようになります。

③ RANオープン化等のグローバル潮流

- ローカル5Gの仕様は、3GPP等の標準化団体において標準化されています。3GPPでの標準化は、各国及び各ベンダー間の仕様の指標となっており、3GPPに準拠した製品間での相互接続が今後期待されています。これまでの4Gと異なり、ネットワークの機能がきめ細かく分かれたことも5Gの特徴です。これにより、相互接続が行いやすくなりました。
- 通信事業者のネットワークにおいて、相互接続の実現に向けたオープン化の取組みが進んでいます。2018年に、無線アクセスネットワークのオープン化やインテリジェント化を目的とした業界団体「0-RAN ALLIANCE」が設立されており、2023年2月時点で、世界各国の通信事業者・ベンダー計300社以上がメンバーとなっています。この0-RANに準拠した基地局製品も市場に出ています。
- 海外では、MicrosoftやAWS等のクラウドベンダーによって、クラウド型のコアネットワークに、基地局を接続する提供モデルが出てきています。このような事例からも、相互接続への期待が高まり実現が近づいていると言えます。
- ローカル5Gにおいては、現状は垂直統合が中心ですが、0-RANの仕組みを活かして相互接続に取り組む基盤が整ってきています。

2. 相互接続の具体的な効果

- 相互接続を行うことによる具体的な効果として、性能面、運用面、経済面の3点があります。
- 性能面の効果は、柔軟性の高いネットワークが構築できるという点です。ローカル5Gは、様々な産業での活用が期待されていることから、それぞれの環境やユースケースに合わせた機器選定・ネットワーク構築が必要になります。一例ですが、農業での利用では、基地局を屋外の厳しい環境に設置することがあります。こういった場合には、耐環境性を備えた基地局を選定する必要があります。また、設置スペースや電源が限られる場合には、各機能を一体型とした基地局を選定することも可能です。自動運転や工場の製造機器に関わるようなミッションクリティカルなシステムにおいては、より低遅延性の高い製品選定、ネットワーク構築が必要になります。
- 運用面の効果は、拡張性の高いネットワークが構築できるという点です。ローカル5Gに限らず、システムにおいては将来の拡張を考慮することが肝要です。ローカル5Gは、Wi-Fiと比較してカバーエリアが広いいため、少ない基地局の台数で、広いエリアをカバーすることができます。つまり、ローカル5Gを通信インフラとして、複数のソリューションを利用することもできるため新たなユースケースや要件が増えた際には、追加の製品を既存設備と接続するような拡張性が高い相互接続は有効であると言えます。
- 経済面の効果は、導入コストの低廉化を実現できるという点です。ユースケースや要件に応じたスペックの製品を選定することで無駄なコストを生まず導入コストの低廉化につなげることができます。

	垂直統合モデル	相互接続モデル
性能面	ベンダー等が提供する機器の組み合わせで、ネットワークを構築	様々な環境やユースケースに合わせた、柔軟性の高いネットワークの構築が可能
運用面	新たなユースケースや要件が増えた際には、同じベンダー等が提供する機器を利用して、ネットワークを構築	新たなユースケースや要件が増えた際に、追加の製品を既存設備と接続するような、拡張性の高いネットワークの構築が可能
経済面	ベンダー等が提供するシステムもしくはサービスを利用	ユースケースや要件に応じたスペックの製品を選定することで、導入コストの低廉化が可能

図 2-2-1 相互接続の3つの効果

3. 相互接続を有効活用できるケース例

- 相互接続が有効活用されるケースとしては、2つのケースに大別されます。

ケース1：他社製の基地局等を追加で導入するケース

ケース2：他のローカル5Gシステムと接続するケース

- ケース1は、主にローカル5Gソリューションを利用する企業等、ケース2は主にローカル5Gを活用したソリューションをサービス提供する企業等がターゲットとして想定されます。それぞれのイメージを図2-3-1に示します。

- 今後、ローカル5Gのネットワーク・システムの構成や利用形態が多様化していく中で、これら以外のケースが増えていくことも想定されます。一例としては、5Gのインフラシェアリングが普及した際に、他のローカル5Gシステムや、携帯電話事業者が提供するキャリア5Gとの接続等、相互接続の重要性が問われる運用が増えていくことが考えられます。

- 将来的には、通信の需要が爆発的に増えていく中で、セキュリティの重要性や、通信の安定性といった観点で、プライベートネットワークが注目される流れにあります。特定のエリアにおける通信手段として、ローカル5Gが一般的になってきた際には、今まで以上に、相互接続の重要性が問われる運用が増えていくことも想定されます。

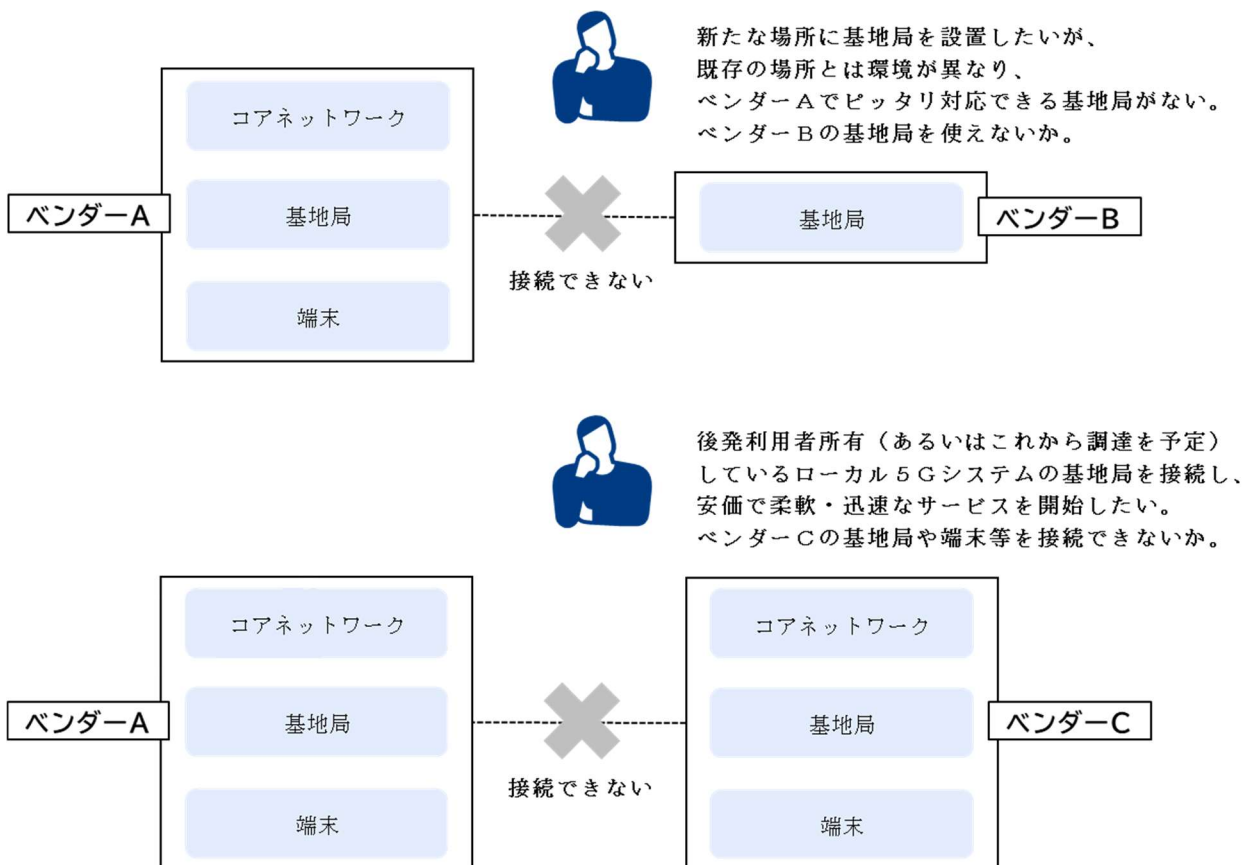


図 2-3-1 相互接続を有効活用できるケース例

4. それぞれの効果における、直接・間接、短期・中長期の整理

- ローカル5Gは、通信事業者が提供する通信サービスとは異なり、ユーザ企業が構築するネットワークです。しかしながら、ユーザ企業が普段使用するようなITシステムとは異なる印象を持たれているのが現状です。このような状況から、SIerやベンダー等によるエリア構築等に係るコンサルティングサービス、保守・運用サービスが活用されています。
- 将来像として、他のITシステムと同様にユーザ企業のIT担当者がトレーニングを受けて設定や運用ができるようになることが目指すべき姿です。
- 現状は、垂直統合モデルが大多数を占めていますが、相互接続モデルの事例が増加するにしたがって、技術面・運用面の向上が進んでいくことが想定されます。同時に、様々なベンダーの参入が期待でき、市場拡大に伴って導入コストの低廉化が見込まれます。
- このように、ステークホルダーを巻き込んだ、好循環が生まれることが期待されます。

利便性

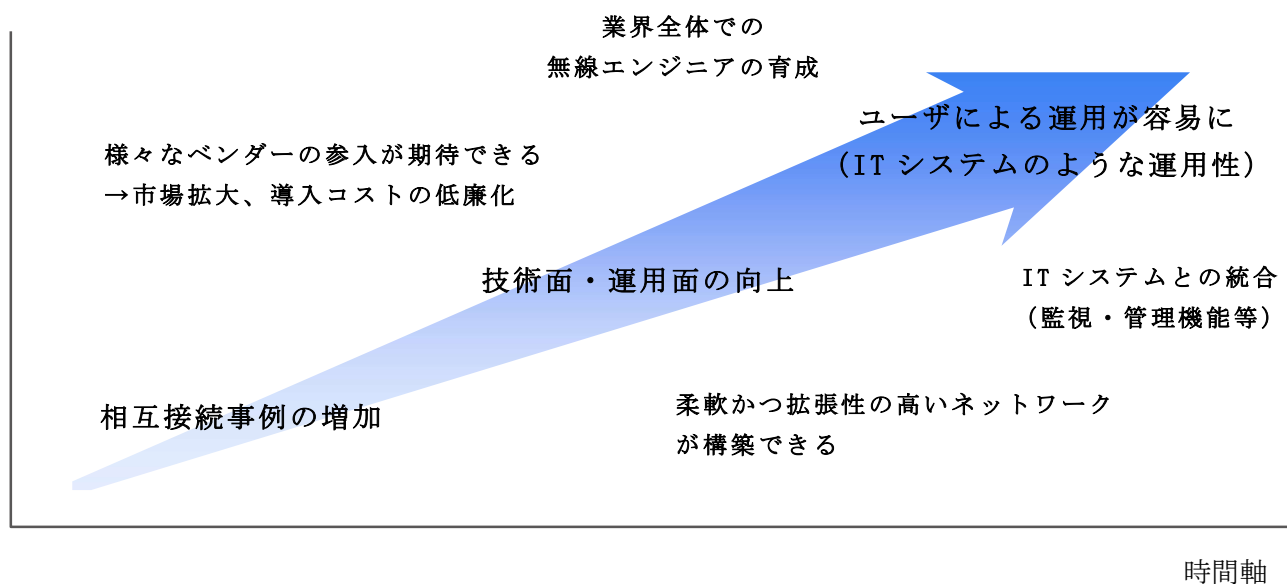


図 2-4-1 将来像のイメージ図

第 2 部
ユーザ企業を支援する
SIer 等に向けた手引

1. 本手引書の検討対象とその理由

本手引書では、相互接続において考慮が必要な事項やパラメータについて、検証結果に基づいてご説明します。

本手引書の検証内容の詳細については「ローカル5Gの交換設備の接続・共用の在り方に関する調査研究の請負」の報告書（令和3年度/令和4年度）を参照ください。

- ローカル5Gシステムを導入する際、ユーザ個別の所要性能や予算に応じたローカル5G機器の導入ニーズが生じることが想定されます。今後ローカル5Gのさらなる普及を見据えると、異ベンダーでの構成でシステムを正常に稼働させることが求められます。
- 異ベンダー機器間接続によるシステム構成が将来的に普及していくためには、相互接続が実現されたパターン数を増やしていくと共に、パターン毎の伝送性能を整理することが必要です。今般、コア2台、基地局3台、端末6台を用いて計35の組み合わせで相互接続検証を実施し、相互接続が不可となるパターンについて必要な対処を確認し、相互接続のために考慮が必要なパラメータの整理を行いました。
- 基地局に関してはO-RAN（Open-RAN Alliance）に準拠した製品と未準拠の製品それぞれを用意し、相互接続実現に対してO-RANの関連性についての検証を実施しました。
 - ・O-RAN Split Option7.2 準拠：2機種
 - ・O-RAN 未準拠：1機種

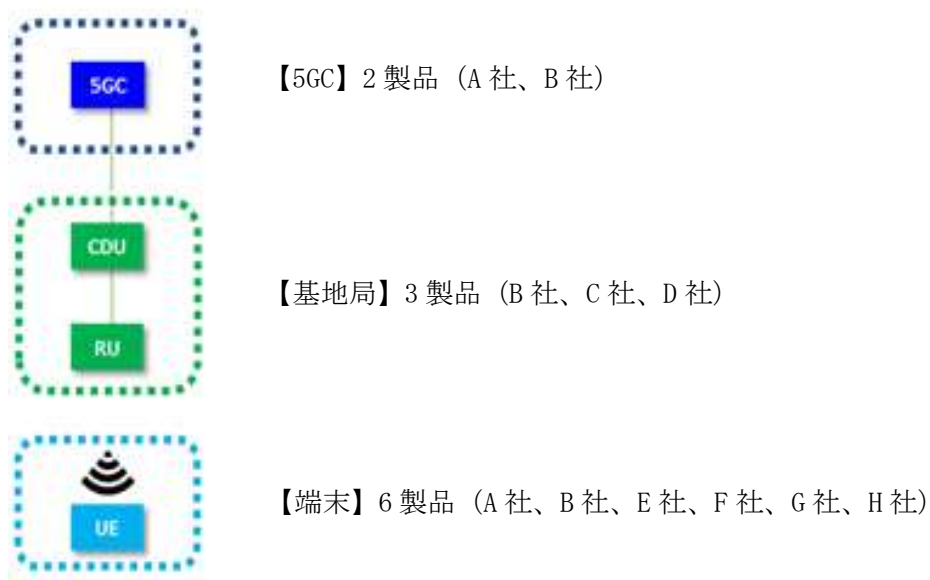


図 3-1-1 マルチベンダー構成での相互接続検証

- 計 35 の相互接続の組み合わせパターンについて、表 3-1-1 に示します。

表 3-1-1 計 35 の相互接続の組み合わせパターン

パターン No.	コア	基地局	端末
1	A 社	D 社	A 社
2	A 社	D 社	F 社
3	A 社	D 社	E 社
4	A 社	D 社	G 社
5	A 社	D 社	B 社
6	A 社	D 社	H 社
7	A 社	C 社	A 社
8	A 社	C 社	F 社
9	A 社	C 社	E 社
10	A 社	C 社	G 社
11	A 社	C 社	B 社
12	A 社	C 社	H 社
13	A 社	B 社	A 社
14	A 社	B 社	E 社
15	A 社	B 社	G 社
16	A 社	B 社	F 社
17	A 社	B 社	B 社
18	A 社	B 社	H 社
19	B 社	D 社	A 社
20	B 社	D 社	E 社
21	B 社	D 社	G 社
22	B 社	D 社	F 社
23	B 社	D 社	B 社
24	B 社	D 社	H 社
25	B 社	C 社	A 社
26	B 社	C 社	E 社
27	B 社	C 社	G 社
28	B 社	C 社	F 社
29	B 社	C 社	B 社
30	B 社	C 社	H 社
31	B 社	B 社	A 社
32	B 社	B 社	E 社
33	B 社	B 社	G 社
34	B 社	B 社	F 社
35	B 社	B 社	H 社

2. 検討対象のインターフェースの詳細説明

① ローカル5Gネットワークを構成する各要素の定義

- 5Gでは、コアネットワーク・基地局・端末と大きく3つの要素に分けることができます。コアネットワーク（コア）とは、交換機及び加入者情報管理装置などで構成されるネットワークの総称です。コアに基地局が接続しており、さらに基地局に端末が接続する多段構成となっています。

② 3GPPの標準化仕様との関係性

- なお、本技術的手引においては、3GPPにおける規格として、TS23.501 Figure 4.2.3-1 5G system architectureを参照して、整理しています。

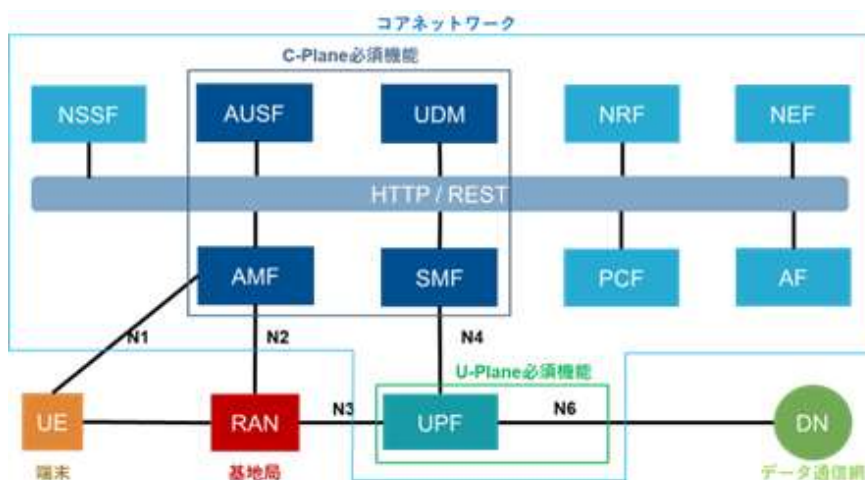


図 3-2-1 5Gのネットワークの構成

- 次ページに掲載する表 3-2-1 において、これらの各要素の概要を説明します。

表 3-2-1 5Gのネットワークの構成要素の説明

種別	略	機能概要
AMF	Access and Mobility management Function	モビリティ管理機能（無線の制御、ハンドオーバーなどの移動制御等）
SMF	Session Management Function	セッション管理機能（端末のアドレス管理等）
UDM	Unified Data Management	加入者情報データ管理・処理機能（加入者の管理、SIMの制御等）
AUSF	Authentication Sever Function	認証処理機能（SIMの認証等）
UPF	User Plane Function	ユーザデータ処理機能（データトラヒックの制御等）
PCF	Policy Control Function	QoS および課金のためのポリシー制御機能（ポリシーの管理、QoSや課金管理等）
NSSF	Network Slice Selection Function	ネットワークスライスの選択機能
NRF	Network Repository Function	ネットワークサービス管理・検索機能
NEF	Network Exposure Function	各NFのサービスを公開する機能（コアの外部向けAPI等）
AF	Application Function	外部アプリケーション機能、トラヒック制御や監視・解析機能等

③ 各要素間のインターフェースの定義

- 5Gでは、これらの各要素を連携させる方法として、サービスベースアーキテクチャ(SBA)と称する方式が採用されています。SBAは、サービスを構成するために、前述したネットワークを構成する個別の機能群を定義されており、これら個別機能群がインターフェース(API)を介して互いに接続しています。このように、サービスの機能とネットワークの機能をAPIで連携しているのが5Gネットワークの特徴です。

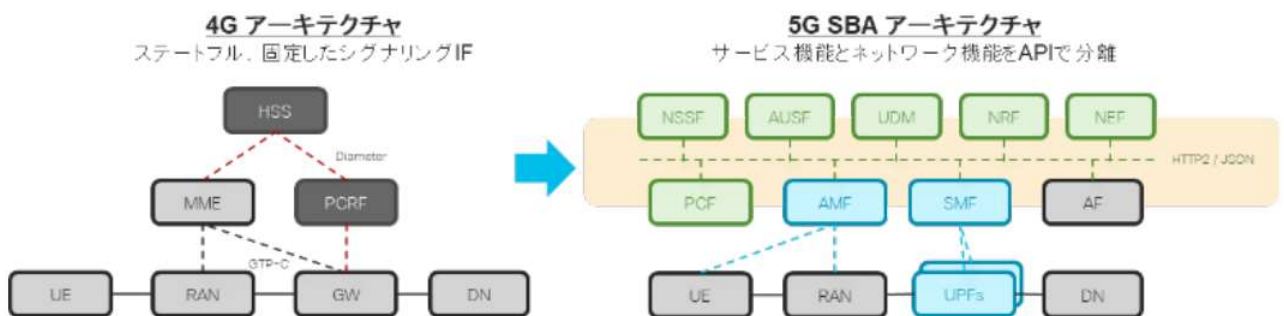
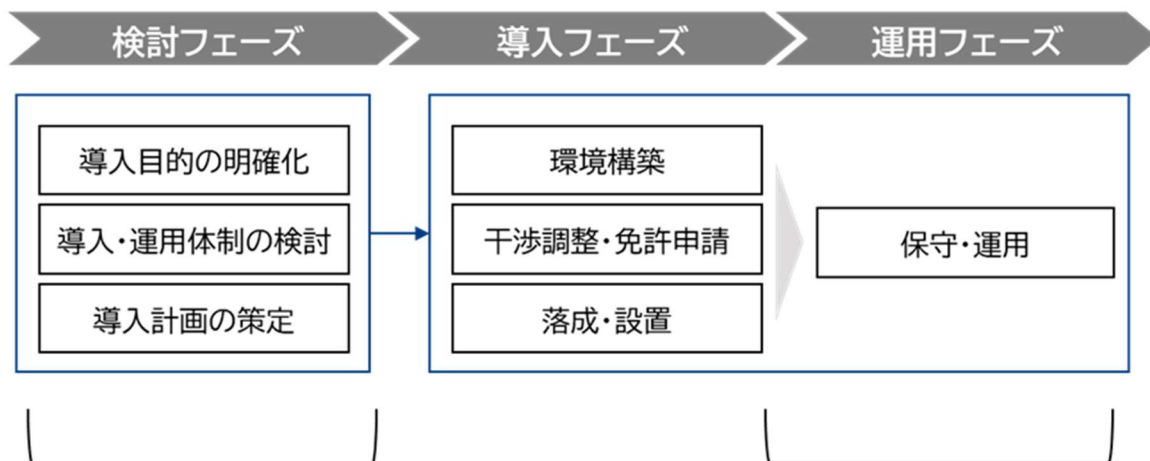


図 3-2-2 インターフェースの整理

3. 本手引書で対象としているフェーズ

- ローカル5G導入の流れとしては、検討フェーズ、導入フェーズ、運用フェーズに大別できます。将来も見据えて、より効果的にローカル5Gを導入するためには、検討フェーズにおいて、導入目的の明確化、導入・運用体制の検討、導入計画の策定を行うことが重要です。
- 本技術的手引においては、以下図3-3-1のとおり、相互接続を活用するために、主に検討フェーズで活用頂ける情報となります。つまり、相互接続の効果を示すとともに、具体的に実現するためのインターフェース、パラメータ、試験項目等の情報を記載しています。相互接続実現時には、システムインテグレート、運用面の課題を乗り越える必要があります。第7章：相互接続不良時の対応、第8章：各種運用規定の内容については、検討フェーズで計画したものを、ローカル5G導入後の運用フェーズにおいて、実際に活用する流れになります。



第3章 対象とするインターフェース

第4章 相互接続に必要なパラメータ、環境

第5章 相互接続時の試験項目

第6章 相互接続検証結果

第7章 相互接続不良時の対応

第8章 各種運用規定

第7章 相互接続不良時の対応

第8章 各種運用規定

図3-3-1 ローカル5Gの導入フェーズとの対応

1. 検討対象パラメータに係る問題意識・課題等

① 問題意識・課題等

- 相互接続を行う場合には、3GPP 等のガイドラインに規定されているインターフェースを最低限把握する必要があります。ローカル5G機器を構築する場合、一部例外はありますが、基本的に各インターフェースはIP通信によって結ばれます。よって、装置間の接続に際しては、インターフェース間をネットワークとして結ぶ必要が出てきますので、ローカル5Gネットワークを構築する前提として、インターフェースの理解は重要となります。
- 3GPP に準拠した仕様になっていることを事前に確認、照合することは多大な労力が必要となります。このため、最小限のパラメータ確認だけを行い、以降は実際の相互接続試験で検証していくことが現実的であると言えます。
- gNB-Core 間の接続における C-plane は N2 がメインですが、gNB が UE に対して通知する情報によっては、N1 の接続の仕方が変わるなど基地局としては繋がっても、UE に影響が出ている場合があります。そのため、3GPP で必須動作となっていない要求事項についても留意が必要です。このすり合わせを机上で実施する場合は、3GPP の N1/N2 の実装状況を把握する必要がありますが、これはあくまで机上のため、確定させるためにはこの内容を確認できる検証環境を用意する必要があります。
- 接続不良時等において、どの手順で失敗しているのか、という 3GPP で規定されている各接続手順をログやパケットキャプチャーを通じて見つける事が最優先です。大量のシーケンスから成功パターンとの比較をする必要があります。成功時のコールフローを理解しておく必要があります。各ベンダーとの協議によりこれらを確認しておくことで、解析が進みやすくなることも考えられます。
- 今後ローカル5GでもURLLCのようにEnd-to-Endで整合が必要な機能も導入されていきます。End-to-Endで低遅延を実現するためには、基地局やコア設備だけでなく、その間の伝送装置（フロントホール、ミッドホール、バックホール）も含めたトータルの整合や最適化、検証も必要となってきます。まずは、Configured-Grant、Mini-slot等、5G装置の中だけで完結できる遅延低減策を割り当てていくとともに、ユーザが求める遅延の要件に合わせて、各装置、ネットワークの遅延を足し算していくことが最善策と考えられます。
- ローカル5Gを様々なユーザに有効に活用頂くために、基地局ベンダー、端末ベンダー等の協力を得て、関係者が連携し合いながら、対処していくことが理想的な姿と言えます。

② 本章で取り扱う内容

- 3GPP 等に規定されるインターフェースに関して、説明します。
- 実際に検証を行う中で、考慮が必要とわかったパラメータについても説明します。

2. 検討対象パラメータの説明

① 3GPPにおいて整合が必要と規定されるパラメータ

- 相互接続の実現に向けて5GC、基地局、端末のパラメータを合わせる必要があります。3GPPにおいて整合が必要とされる項目及び内容は、以下の「表4-2-1 5GC-基地局間の相互接続に関するパラメータ」、「表4-2-2 5GC-端末間の相互接続に関するパラメータ」のとおりです。

表4-2-1 5GC-基地局間の相互接続に関するパラメータ

パラメータ	パラメータ概要	3GPP原文 記載内容 (抜粋)
IPアドレス	N2,N3通信用IPのIPアドレス(5GC/CDU)	—
PLMNID	ネットワークの事業者識別番号。 ローカル5G向けのPLMNは総務省様ガイドラインにて規定。	TS23.003, 12.1 PLMN Identifier A Public Land Mobile Network is uniquely identified by its PLMN identifier. PLMN-Id consists of Mobile Country Code (MCC) and Mobile Network Code (MNC)
TAI TAC	単体～複数のセルで構成されるセル単位。5GC側からUEの位置情報管理に用いられる。	TS23.003, 19.4.2.3 Tracking Area Identity (TAI) Tracking Area Code (TAC) is a fixed length code (of 2 octets) identifying a Tracking Area within a PLMN.
SST	ネットワークスライシングのサービスタイプ。サービスタイプ毎にNW特性を設定。	TS23.501, 5.15.2.1 General, 5.15.2.2 Standardised SST values A Slice/Service type (SST), which refers to the expected Network Slice behaviour in terms of features and services
SD	同タイプのネットワークスライシングを識別するための情報。	TS23.501, 5.15.2.1 General A Slice Differentiator (SD), which is optional information that complements the Slice/Service type(s) to differentiate amongst multiple Network Slices of the same Slice/Service type.

表 4-2-2 5GC-UE 間の相互接続に関するパラメータ

パラメータ	パラメータ概要	3GPP原文 記載内容 (抜粋)
OPc値	UE認証で使用するパラメータ。	TS33.834 5.3 OP / Opc / TOP / TOPc OP, OPc, TOP and TOPc are used to provide separation between the functionality of the algorithms when the same algorithm (e.g. MILENAGE or TUAK) is used by different operators. TS35.205 8.3 Analysis of the role of OP and Opc The 128-bit value OP is the Operator Variant Algorithm Configuration Field, which the Task Force was asked to include to provide separation between the functionality of the algorithms when used by different operators.
K値	UE認証で使用するパラメータ。	TS33.834 5.2 K / Ki The K (sometimes referred to as the Ki) is the permanent key securely stored on the USIM on a UICC and in the Authentication Centre AuC / HSS.
PLMNID	ネットワークの事業者識別番号。 ローカル5G向けのPLMNは総務省様ガイドラインにて規定。	TS23.003, 12.1 PLMN Identifier A Public Land Mobile Network is uniquely identified by its PLMN identifier. PLMN-Id consists of Mobile Country Code (MCC) and Mobile Network Code (MNC)
TAI TAC	単体～複数のセルで構成されるセル単位。5GC側からUEの位置情報管理に用いられる。	TS23.003, 19.4.2.3 Tracking Area Identity (TAI) Tracking Area Code (TAC) is a fixed length code (of 2 octets) identifying a Tracking Area within a PLMN.
SST	ネットワークスライシングのサービスタイプ。サービスタイプ毎にNW特性を設定。	TS23.501, 5.15.2.1 General, 5.15.2.2 Standardised SST values A Slice/Service type (SST), which refers to the expected Network Slice behaviour in terms of features and services
SD	同タイプのネットワークスライシングを識別するための情報。	TS23.501, 5.15.2.1 General A Slice Differentiator (SD), which is optional information that complements the Slice/Service type(s) to differentiate amongst multiple Network Slices of the same Slice/Service type.
APN	アクセスポイントの名称。	TS23.003, 9.1 Structure of APN The APN Network Identifier; this defines to which external network the GGSN/PGW is connected and optionally a requested service by the MS. This part of the APN is mandatory
AMF	コアネットワークノードとUEとの間の通信を処理する非アクセス層。 TS 33.102のAnnex HにAMFの各ビットの記述有り。	TS 33.102, Annex H (normative): Usage of the AMF The 16 bits in the AMF are numbered from "0" to "15" where bit "0" is the most significant bit and bit "15" is the least significant bit (see subclause 3.4) Bit "0" is called the "AMF separation bit". It is used for the purposes of EPS (Evolved Packet System) and is specified in - TS 33.401 [28] for E-UTRAN access to EPS; - TS 33.402 [29] for non-3GPP access to EPS; - TS 33.501 [42] for 5G-RAN access to 5G System. Bits "1" to "7" are reserved for future standardization use. Bits "1" to "7" shall be set to 0 while not yet specified for a particular use. Bits "8" to "15" can be used for proprietary purposes. See Annex F for examples usages. Annex F (informative): Example uses of the proprietary part of the AMF F.1 Support multiple authentication algorithms and keys F.2 Changing sequence number verification parameters F.3 Setting threshold values to restrict the lifetime of cipher and integrity keys
CK,IK生成アルゴリズム	SIMカードの認証に用いられるハッシュ値の計算アルゴリズム。	TS 35.205 [8] MILENAGE = authentication and key generation algorithm as specified in 3GPP TS 35.205 [8]
秘匿・インテグリティアルゴリズム	NULLは暗号化、インテグリティなしを意味する。 SNOW3Gは3GPP特有のブロック暗号方式。 AESは一般的な共通鍵暗号方式。	TS33.401 5.1.3.2 Algorithm Identifier Values All algorithms specified in this subclause are algorithms with a 128-bit input key except Null ciphering algorithm. NOTE: Deviations from the above requirement have to be indicated explicitly in the algorithm identifier list below. Each EPS Encryption Algorithm (EEA) will be assigned a 4-bit identifier. Currently, the following values have been defined for NAS, RRC and UP ciphering: "00002" EEA0 Null ciphering algorithm "00012" 128-EEA1 SNOW 3G based algorithm "00102" 128-EEA2 AES based algorithm TS33.401, 5.1.4.2 Algorithm Identifier Values All algorithms specified in this subclause are algorithms with a 128-bit input key. NOTE: Deviations from the above requirement have to be indicated explicitly in the algorithm identifier list below. Each EPS Integrity Algorithm (EIA) will be assigned a 4-bit identifier. Currently, the following values have been defined: "00002" EIA0 Null Integrity Protection algorithm "00012" 128-EIA1 SNOW 3G "00102" 128-EIA2 AES

② 3GPP の規定上明確な指定がないもののコアの設定について考慮が必要なパラメータ

- また、3GPP の規定上明確な指定がないにも関わらず、実際は相互接続のために考慮が必要な項目が 3 点あります。次ページの表 4-2-3 に示します。

表 4-2-3 異ベンダー間の相互接続実現に考慮が必要となる項目

項番	確認・改修対象	改修内容
(a)	コア	“InitialContextSetupRequest” メッセージ内の当該フィールドを削除
(b)	コア	“PDUSessionEstablishmentAccept” メッセージ内へ当該フィールドを追加
(c)	コア	“NASSecurityModeCommand” 内の構成を V15.3 以降のシーケンスに対応する措置を実施

(a) 図 4-2-1 において、Masked IMEISV の Presence 列は “O” となっており、オプションであることが確認できます。また、Assigned Criticality は “ignore” となっており、仮に UE 側がサポートしていない場合にはこのフィールドは無視してよいと見えます。しかし、5GC-UE 間の相互接続では、当該フィールドを UE 側がサポートしていないと相互接続できないため、5GC 側で “InitialContextSetupRequest” メッセージ内の当該フィールドを削除する必要があります。

IE/Group Name	Presence	Range	IE type and reference	Semantics description	Criticality	Assigned Criticality
Message Type	M		9.3.1.1		YES	reject
AMF UE NGAP ID	M		9.3.3.1		YES	reject
RAN UE NGAP ID	M		9.3.3.2		YES	reject
Old AMF	O		AMF Name 9.3.3.21		YES	reject
UE Aggregate Maximum Bit Rate	C- ifPDUsess ionResour ceSetup		9.3.1.58		YES	reject
Core Network Assistance Information for RRC INACTIVE	O		9.3.1.15		YES	ignore
GUAMI	M		9.3.3.3		YES	reject
PDU Session Resource Setup Request List		0..1			YES	reject
>PDU Session Resource Setup Request Item		1..<maxno ofPDUses sions>			-	
>>PDU Session ID	M		9.3.1.50		-	
>>PDU Session NAS-PDU	O		NAS-PDU 9.3.3.4		-	
>>S-NSSAI	M		9.3.1.24		-	
>>PDU Session Resource Setup Request Transfer	M		OCTET STRING	Containing the PDU Session Resource Setup Request Transfer IE specified in subclause 9.3.4.1.	-	
Allowed NSSAI	M		9.3.1.31	Indicates the S- NSSAIs permitted by the network	YES	reject
UE Security Capabilities	M		9.3.1.86		YES	reject
Security Key	M		9.3.1.87		YES	reject
Trace Activation	O		9.3.1.14		YES	ignore
Mobility Restriction List	O		9.3.1.85		YES	ignore
UE Radio Capability	O		9.3.1.74		YES	ignore
Index to RAT/Frequency Selection Priority	O		9.3.1.61		YES	ignore
Masked IMEISV	O		9.3.1.54		YES	ignore
NAS-PDU	O		9.3.3.4		YES	ignore

図 4-2-1 Masked IMEISV

(出典 3GPP 文書 : TS 38.413 9.2.2.1 INITIAL CONTEXT SETUP REQUEST)

(b) 図 4-2-2 において、Extended protocol configuration options の Presence 列は “O” となっておりオプションであることが確認できます。このフィールドの値が設定されていなくても問題ないはずですが、実際にはこのフィールドが設定されていないと PDU セッションの確立に失敗しますので、5GC 側で “PDU session establishment accept” メッセージ内へ当該フィールドを追加する必要があります。

IEI	Information Element	Type/Reference	Presence	Format	Length
	Extended protocol discriminator	Extended protocol discriminator 9.2	M	V	1
	PDU session ID	PDU session identity 9.4	M	V	1
	PTI	Procedure transaction identity 9.6	M	V	1
	PDU SESSION ESTABLISHMENT ACCEPT message identity	Message type 9.7	M	V	1
	Selected PDU session type	PDU session type 9.11.4.11	M	V	1/2
	Selected SSC mode	SSC mode 9.11.4.16	M	V	1/2
	Authorized QoS rules	QoS rules 9.11.4.13	M	LV-E	6-65538
	Session AMBR	Session-AMBR 9.11.4.14	M	LV	7
59	5GSM cause	5GSM cause 9.11.4.2	O	TV	2
29	PDU address	PDU address 9.11.4.10	O	TLV	7, 11 or 15
56	RQ timer value	GPRS timer 9.11.2.3	O	TV	2
22	S-NSSAI	S-NSSAI 9.11.2.8	O	TLV	3-10
8-	Always-on PDU session indication	Always-on PDU session indication 9.11.4.3	O	TV	1
75	Mapped EPS bearer contexts	Mapped EPS bearer contexts 9.11.4.8	O	TLV-E	7-65538
78	EAP message	EAP message 9.11.2.2	O	TLV-E	7-1503
79	Authorized QoS flow descriptions	QoS flow descriptions 9.11.4.12	O	TLV-E	6-65538
7B	Extended protocol configuration options	Extended protocol configuration options 9.11.4.6	O	TLV-E	4-65538
25	DNN	DNN 9.11.2.1B	O	TLV	3-102

図 4-2-2 DNS IE

(出典：3GPP 文書：TS 24.501 8.3.2 PDU session establishment accept)

なお、Extended protocol configuration options の詳細は、TS 24.008 に記載があります。

<p>9.11.4.6 Extended protocol configuration options See subclause 10.5.6.3A in 3GPP TS 24.008 [12].</p> <p>TS 24.008</p> <p>10.5.6.3A Extended protocol configuration options</p> <p>10.5.6.3 Protocol configuration options</p> <p>10.5.6.3.1 General</p> <p>Table 10.5.154/3GPP TS 24.008: Protocol configuration options information element Network to MS direction:</p> <p>– 000DH (DNS Server IPv4 Address);</p>
--

図 4-2-3 Extended protocol configuration options の詳細

(c) NAS の Security Mode Command procedure が V15.3.1 から仕様が変わっており、以前のシーケンスと互換性がなく、再接続に失敗するケースがあります。また、CR0488 によって AMF から UE に送信している horizontal derivation parameter が、K_AMF_change_flag に変わっています。このため、5GC 側の “NAS Security mode command” 内のフィールド構成を V15.3.1 以降のシーケンスへ対応させる必要があります。

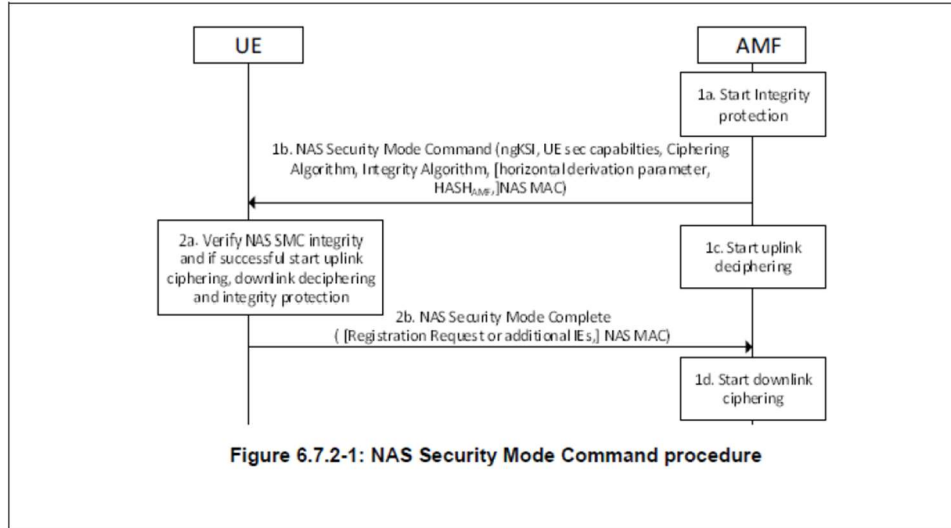


図 4-2-4 V15.2 のシーケンス

(出典 3GPP 文書 : TS 24.501 Figure 6.7.2-1: NAS Security Mode Command procedure)

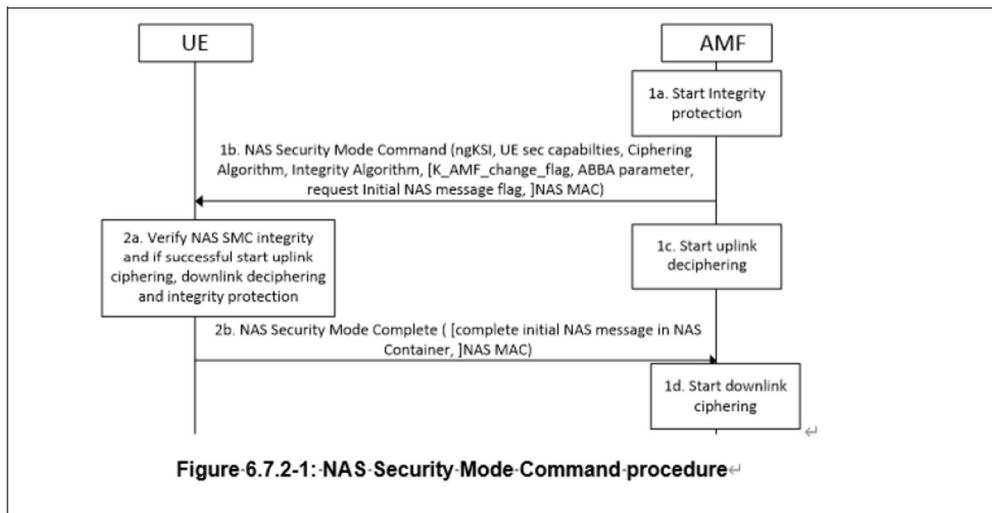


図 4-2-5 V15.3.1 以降のシーケンス

(出典 3GPP 文書 : TS 24.501 Figure 6.7.2-1: NAS Security Mode Command procedure)

③ 共用構成をとる場合に考慮が必要なネットワークパラメータ

- 今般、これらの『3GPP において整合が必要と規定されるパラメータ』及び『規定上明確な指定がないもののコアの設定について考慮が必要なパラメータ』を合わせた上で、相互接続検証を行いました。その中で、WAN 回線を利用してローカル 5 G ネットワークを構築する場合には、更に留意しなければならないポイントがあることがわかりました。具体的には、コアと基地局間の MTU(Maximum Transmission Unit)サイズに留意する必要があります。
- 検証において、MTU のサイズ指定が NW 回線に不適合なため接続不可となる事象が発生しました。MTU はネットワークに接続されているデバイスが受け取る最大のデータパケットを表す値で、一般的なネットワーク回線の MTU サイズは最大で 1500 となります。しかし、実際に利用可能な最大のデータパケットはネットワーク回線や使用するプロトコルに応じて変化します。回線やプロトコルにより制限されたヘッダー長を考慮した MTU サイズを設定することが必要です。
- 今回の検証では、5GC/CU 区間をネットワーク回線で結びました。これは TS23. 501 5G NR Network Architecture における N1、N2、N3 区間に当たります。該当区間はそれぞれ SCTP/GTP によって伝達されるため、対象プロトコルのヘッダー値を考慮する必要があります。
- 上記に則り、ネットワーク回線 MTU が 1500 の場合の適切な MTU 値を計算すると 1300 になります。図 4-2-6、4-2-7 に示すとおり、相互接続に成功したパターンでは”UERadioCapabilityInfoIndication” のフレームが確認できますが、認証が不可となったパターンでは該当のフレームが確認できません。特定の端末が不可となる事象は、対象フレームの不通により発生していたことがわかります。よって、基地局、5GC の MTU サイズを 1300 と設定することで下記の通り該当フレームの疎通に成功し、端末の認証に成功しました。

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Leng	Info
1	0.000000	10.190.0.34	10.101.10.7	NGAP/NAS-5GS/NAS-...	190	InitialUEMessage, Registration request, Registration request
2	0.004631	10.101.10.7	10.190.0.34	NGAP/NAS-5GS	106	SACK (Ack=0, Arwnd=106496), DownlinkNASTransport, Identity request
3	0.039126	10.190.0.34	10.101.10.7	NGAP/NAS-5GS	146	SACK (Ack=0, Arwnd=106496), UplinkNASTransport, Identity response
4	0.056928	10.101.10.7	10.190.0.34	NGAP/NAS-5GS	146	SACK (Ack=1, Arwnd=106496), DownlinkNASTransport, Authentication request
5	0.119257	10.190.0.34	10.101.10.7	NGAP/NAS-5GS	150	SACK (Ack=1, Arwnd=106496), UplinkNASTransport, Authentication response
6	0.128020	10.101.10.7	10.190.0.34	NGAP/NAS-5GS	122	SACK (Ack=2, Arwnd=106496), DownlinkNASTransport, Security mode command
7	0.159171	10.190.0.34	10.101.10.7	NGAP/NAS-5GS/NAS-...	194	SACK (Ack=2, Arwnd=106496), UplinkNASTransport, Security mode complete, Registration request
8	0.185770	10.101.10.7	10.190.0.34	NGAP/NAS-5GS	226	SACK (Ack=3, Arwnd=106496), InitialContextSetupRequest, Registration accept
9	0.241240	10.190.0.34	10.101.10.7	NGAP	638	SACK (Ack=3, Arwnd=106496), UERadioCapabilityInfoIndication
0.280338	10.190.0.34	10.101.10.7	NGAP/NAS-5GS	118	UplinkNASTransport, Registration complete	

図 4-2-6 相互接続が実現したパターンのパケットキャプチャー

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Leng	Info
316	357.159560	10.190.0.35	10.101.10.7	NGAP/NAS-5GS	134	InitialUEMessage, Registration request
371	357.186378	10.101.10.7	10.190.0.35	NGAP/NAS-5GS	146	SACK (Ack=1, Arwnd=106496), DownlinkNASTransport, Authentication request
376	357.243128	10.190.0.35	10.101.10.7	NGAP/NAS-5GS	142	SACK (Ack=1, Arwnd=106496), UplinkNASTransport, Authentication response
396	357.256341	10.101.10.7	10.190.0.35	NGAP/NAS-5GS	122	SACK (Ack=2, Arwnd=106496), DownlinkNASTransport, Security mode command
402	357.288863	10.190.0.35	10.101.10.7	NGAP/NAS-5GS/NAS-5GS	190	SACK (Ack=2, Arwnd=106496), UplinkNASTransport, Security mode complete, Registration request
488	357.332237	10.101.10.7	10.190.0.35	NGAP/NAS-5GS	226	SACK (Ack=3, Arwnd=106496), InitialContextSetupRequest, Registration accept
494	357.409506	10.190.0.35	10.101.10.7	SCTP	62	SACK (Ack=3, Arwnd=106496)
495	357.439734	10.190.0.35	10.101.10.7	NGAP	82	InitialContextSetupResponse
496	357.439764	10.101.10.7	10.190.0.35	SCTP	66	SACK (Ack=3+2, Arwnd=106477)
497	357.439778	10.190.0.35	10.101.10.7	NGAP/NAS-5GS	118	UplinkNASTransport, Registration complete

図 4-2-7 相互接続が実現しなかったパターンのパケットキャプチャー

3. 0-RAN 準拠・未準拠による相互接続への影響について

- 基地局に関しては 0-RAN (Open-RAN Alliance) に準拠した製品と未準拠の製品それぞれを用意し、相互接続実現に対しての 0-RAN 関連性についての検証を実施しました。
 - ・0-RAN Split Option 7.2 準拠：2 機種
 - ・0-RAN 未準拠：1 機種
- 全 35 パターンの相互接続検証のうち、0-RAN 準拠の基地局を使用した検証が 23 パターン、0-RAN 未準拠の基地局を使用した検証が 12 パターンありました。検証の結果として、全 35 パターンの相互接続を実現することができました。ただし、3GPP で規定されるパラメータ以外に、表 4-2-3 に記載するコアの設定に関する 3 つのパラメータと、基地局とコア間の MTU サイズの設定に留意が必要であることが判明しました。
- 通信性能の評価においても、0-RAN 準拠、未準拠による特段の差異は確認されませんでした。この結果から、3GPP 準拠の装置に対して、上記で示すようなパラメータを適切に設定した場合においては、0-RAN 準拠/未準拠による差異はないと言えます。
- キャリア 5G を提供する携帯電話事業者においては、全国で大規模にサービスを行うためにフロントホール（基地局）の数が膨大になります。そのため、基地局内（RU と CU/DU 間）の相互接続による、ネットワーク全体の価格低減の可能性、サプライチェーンリスクの軽減、装置ラインナップの強化等のメリットがあると考えられます。一方で、ローカル 5G のようなエリア限定の小規模システムの場合には、様々なユースケースや要件への対応が重視されるため、基地局内（RU と CU/DU 間）よりも、5GC/基地局/端末間の相互接続が重要になると考えられます。これにはもう 1 つの観点があり、全国で大規模にサービスを行う携帯電話事業者であれば、相互接続性の担保（SIer 等による接続検証の実施）、異なるベンダー設備それぞれに必要な管理システムの導入、不具合発生時の切り分け作業、将来の機能導入時やソフトウェア更新時のための相互接続検証等に対応できますが、ローカル 5G の法人ユーザ 1 社で担うのはハードル高いと考えられます。そのため、まずは、相互接続における環境を再現しやすい、5GC/基地局/端末間の相互接続から普及していくと考えられます。
- 0-RAN 準拠/未準拠による差異はないという結論となりましたが、将来的には、基地局内（RU と CU/DU 間）の相互接続も含め、広がっていくことが理想的と言えます。そのためには、基地局ベンダー、端末ベンダーの協力が不可欠と考えられます。

4. ベンダー等による差異・独自の解釈・設定、及び機器の仕様で留意すべき点

- コア 2 台、基地局 3 台、端末 6 台の計 35 の組み合わせで相互接続検証を実施しました。結果として、3GPP で規定されるパラメータ以外に、表 4-2-3 に記載するコアの設定に関する 3 つのパラメータと、基地局とコア間の MTU サイズの設定に留意が必要であることが判明しました。
- 3GPP 準拠の装置に対して、上記で示すようなパラメータを適切に設定した場合においては、ベンダーの違いや機器の仕様による、パラメータの留意事項はないと言えます。このため今後、様々なベンダーの機器間で相互接続が広がっていくことが期待できます。
- 本手引書記載のパラメータに限らず、相互接続不良時の対応等においては、ベンダーとの連携が重要になります。これらについては、第 7 章をご参照ください。

1. 検証の目的・流れ

- 異なるメーカーのコア装置・基地局・端末の接続について、正常性を確認すること、また正常な接続に至らない場合に正常性を実現することが検証の目的になります。
- 検証の流れとしては、正常な接続を確認した上で、通信の評価・考察を行う流れとなります。以下図 5-1-1 に概略イメージを示します。相互接続検証を行い、正常な接続が確認された場合には、通信の評価・考察に移ります。正常な接続が確認できなかった場合には、要因分析、実現方策を行い、正常な接続を確認できた上で、通信の評価・考察に移ります。

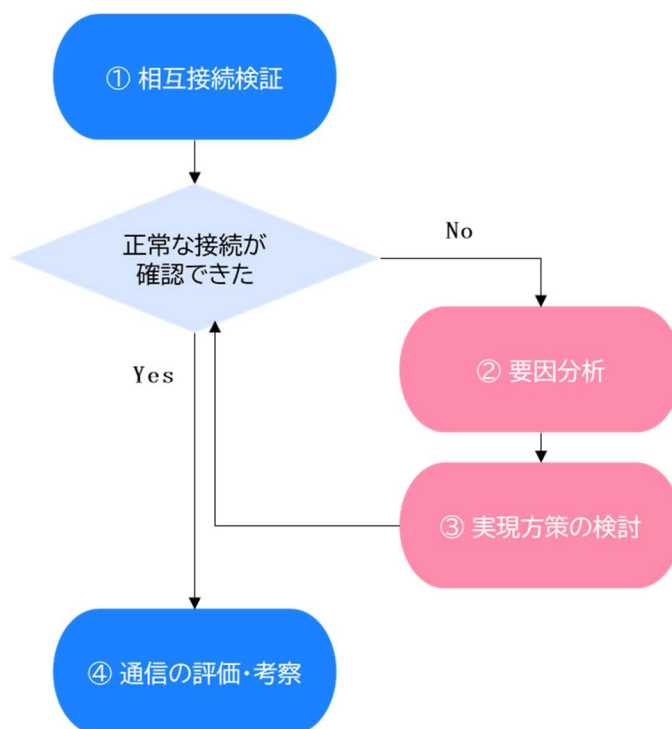


図 5-1-1 相互接続検証の流れ

- それぞれの項目における検証内容は、以下表 5-1-1 のとおりです。

表 5-1-1 検証内容

項番	検証項目	検証内容
①	相互接続検証	コアと基地局、端末をそれぞれ接続し、端末の接続可否を確認
②	要因分析	相互接続の結果、正常に端末が接続されなかった組み合わせパターンについて、原因の特定と要因を分析
③	実現方策の検討	特定された要因に対して改修を行い、相互接続を実現
④	通信の評価・考察	相互接続が実現した組み合わせパターンについて、通信の品質や性能を確認

2. 検証内容

① 相互接続検証

- 第 4 章に記載のパラメータを設定の上、検証対象となる対象コアと基地局、基地局とコアを接続します。

② 要因分析

- 相互接続が不可の場合には、メーカー独自に解釈しているパラメータや、接続のために調整しているパラメータの存在や調整状況を分析します。

③ 実現方策の検討

- 特定された要因に対して改修等を行います。

④ 通信の評価・考察

- 表 5-2-1 に示す評価・検証項目に沿って、通信の評価・考察を行います。

表 5-2-1 評価・検証項目

大項目	評価項目	確認方法
接続断後、再接続時の挙動	電源 ON/OFF 動作時の挙動確認	基地局 (CU/DU/RU) および端末の電源をそれぞれ ON/OFF させ、再度起動した際、コアや端末と正常に接続できることを確認する
	電波 ON/OFF 動作時の挙動確認	停波後、発波させた際、コアや端末と正常に接続できることを確認する
認証時間	認証時間の確認	Wireshark を用いて、端末の SIM 認証開始から認証完了までの時間を確認する
長期安定性	長期安定試験	無操作状態とした環境においてエラーログの出力が無く、48 時間の疎通試験上異常が無いことを確認する
遅延	遅延の確認	端末からセンタ UPF へ ping 疎通試験を実施し、遅延時間を確認する
通信品質	通信性能の確認	iperf による伝送スループット試験を実施し、性能差分を評価する
	準同期の動作確認 (※)	準同期 TDD1/2/3 それぞれのパターンにおいて正常に接続できること確認し、性能差分を評価する

(※) 準同期の動作確認は、実際の利用予定やユースケースにあわせて、実施をご検討ください。

3. 検証環境および評価・検証方法

① 検証環境

- 今回実施した検証では、センタ拠点に設置したコア装置と、エンド拠点に設置した基地局・端末を WAN 回線経由で接続しました。検証環境の構成イメージを図 5-3-1 に示します。
なお、基地局と端末間は電界強度による検証への影響を避けるため、遮蔽物の無い見通し環境で検証を行うことが望ましいです。
- なお、今回実施した検証では、WAN 回線経由でセンタ拠点とエンド拠点を接続していますが、コア装置、基地局、端末をすべてエンド拠点に設置して、検証を行うことも可能です。

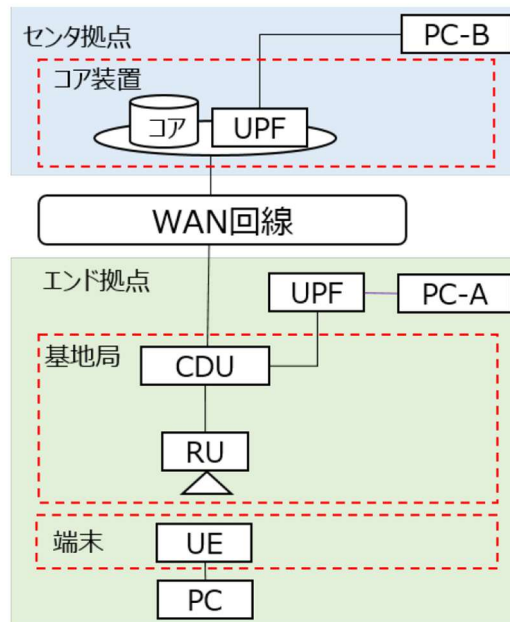


図 5-3-1 検証環境の構成イメージ (WAN 回線経由の接続ケース)

② 評価・検証方法

- 今回実施した検証で使用した測定ツールを参考として、表 5-3-1 に示します。

表 5-3-1 測定ツール

項目	測定内容および具体的なツール
測定ツール	伝送スループット：iperf 等の測定ツール
	伝送疎通試験：ping 試験

1. 相互接続検証の前提条件

① 相互接続検証の前提条件

- 相互接続の実現に向けて、第4章に記載のパラメータの設定を行った上で、検証を実施する必要があります。具体的に3つの考慮するポイントがあり、以下図6-1-1に示します。詳細は、第4章をご参照ください。

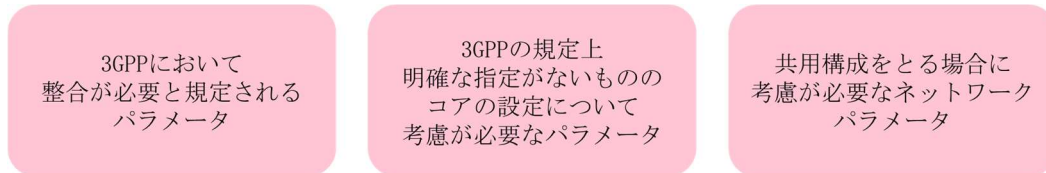


図6-1-1 3つのパラメータ設定のポイント（詳細は第4章ご参照）

② 問題意識・課題等

- SIer等にとって、完全に新規の相互接続を実施するのはハードルが高いと思われます。相互接続の実現にあたっては、各メーカーそれぞれで、動作確認ができている5GC/基地局/端末の情報を公表することが有効になると考えられます。
- 相互接続の実現に向け、5GC/基地局/端末相互接続検証結果について、今後、基地局ベンダーや端末ベンダー等によって、公開していく動きが活発化していくことが理想的であると考えられます。

③ 本章で取り扱う内容

- 相互接続検証を行った、5GC/基地局/端末相互接続の組み合わせ結果について、整理・考察します。

2. 異ベンダーの組み合わせパターンの相互接続結果

本項では、参考として今般実施した 35 パターンの検証内容と得られた知見を記載いたします。

① 相互接続検証結果

- 全 35 パターンの組み合わせの相互接続検証結果は、以下の表 6-2-1 の通りです。すべてのパターンで相互接続が実現できました。
- うち、3つの組み合わせパターンにおいて、標準的な（規定上の）パラメータの設定のみでは、接続不能となりましたが、MTU サイズの設定により、相互接続が実現できました。また、その他の組み合わせにおいては、標準的な（規定上の）パラメータの設定のみで相互接続が実現しております。（表 6-2-1 の接続可否において※を記載しているパターンです。）

表 6-2-1 相互接続検証結果

パターン No.	コア	基地局	端末	接続可否
1	A 社	D 社	A 社	○ (※)
2	A 社	D 社	F 社	○
3	A 社	D 社	E 社	○
4	A 社	D 社	G 社	○
5	A 社	D 社	B 社	○
6	A 社	D 社	H 社	○
7	A 社	C 社	A 社	○
8	A 社	C 社	F 社	○
9	A 社	C 社	E 社	○
10	A 社	C 社	G 社	○
11	A 社	C 社	B 社	○
12	A 社	C 社	H 社	○
13	A 社	B 社	A 社	○ (※)
14	A 社	B 社	E 社	○
15	A 社	B 社	G 社	○
16	A 社	B 社	F 社	○
17	A 社	B 社	B 社	○
18	A 社	B 社	H 社	○
19	B 社	D 社	A 社	○
20	B 社	D 社	E 社	○
21	B 社	D 社	G 社	○
22	B 社	D 社	F 社	○
23	B 社	D 社	B 社	○
24	B 社	D 社	H 社	○
25	B 社	C 社	A 社	○
26	B 社	C 社	E 社	○

27	B社	C社	G社	○
28	B社	C社	F社	○
29	B社	C社	B社	○
30	B社	C社	H社	○
31	B社	B社	A社	○ (※)
32	B社	B社	E社	○
33	B社	B社	G社	○
34	B社	B社	F社	○
35	B社	B社	H社	○

○ : 正常接続 × : 接続不可

3. 品質や安定性等の性能に関する検証結果

① 通信の品質・安定性に関する検証結果

- 相互接続が実現した全 35 パターンに対して、通信の品質・安定性に関する検証を行った結果を示します。接続断後、再接続時の挙動、認証時間、長期安定性、遅延、通信品質の 4 つの項目毎に整理します。
- なお、評価・検証項目については、第 5 章で記載した表 5-2-1 のとおりです。以下に再掲します。

表 6-3-1 評価・検証項目（表 5-2-1 の再掲）

大項目	評価項目	確認方法
接続断後、 再接続時の挙動	電源 ON/OFF 時の 正常接続	基地局（CU/DU/RU）および端末の電源をそれぞれ ON/OFF させ、再度起動した際、コアや端末と正常に接続できることを確認する
	機内モード ON/OFF 時の 正常接続	停波後、発波させた際、コアや端末と正常に接続できることを確認する
認証時間	認証時間の確認	Wireshark を用いて、端末の SIM 認証開始から認証完了までの時間を確認する
長期安定性	長期安定試験	無操作状態とした環境においてエラーログの出力が無く、48 時間の疎通試験上異常が無いことを確認する
遅延	遅延の確認	端末からセンタ UPF へ ping 疎通試験を実施し、遅延時間を確認する
通信品質	通信性能の確認	iperf による伝送スループット試験を実施し、性能差分を評価する
	準同期の動作確認（※）	準同期 TDD1/2/3 それぞれのパターンにおいて正常に接続できること確認し、性能差分を評価する

(a) 接続断後、再接続時の挙動

- 組み合わせパターン毎に基地局（CU/DU/RU）および端末の電源をそれぞれ ON/OFF させ、再度起動する検証と、組み合わせパターン毎に停波、発波を実施し、コアと端末と接続する検証を行いました。結果は、表 6-3-2 のとおり、全ての組み合わせにおいて、相互接続の挙動に問題の無いことを確認いたしました。
- 具体的には、基地局、端末の電源 ON/OFF、端末の機内モード ON/OFF によって再度の認証が行われた場合であっても、接続を復旧することを確認しました。ON/OFF 切り替えにおける復帰動作の遅延や挙動不備等は一切なく、相互接続組み合わせにおいて問題がない結果であることを確認しました。

表 6-3-2 接続断後、再接続時の挙動に関する検証結果

No.	パターンの概要			接続断後、再接続時の挙動		
				電源 ON/OFF 時の正常接続		機内モード ON/OFF 時の正常接続
	コア	基地局	端末	基地局	端末	
1	A社	D社	A社	○	○	○
2	A社	D社	F社	○	○	○
3	A社	D社	E社	○	○	○
4	A社	D社	G社	○	○	○
5	A社	D社	B社	○	○	○
6	A社	D社	H社	○	○	—
7	A社	C社	A社	○	○	○
8	A社	C社	F社	○	○	○
9	A社	C社	E社	○	○	○
10	A社	C社	G社	○	○	○
11	A社	C社	B社	○	○	○
12	A社	C社	H社	○	○	—
13	A社	B社	A社	○	○	○
14	A社	B社	E社	○	○	○
15	A社	B社	G社	○	○	○
16	A社	B社	F社	○	○	○
17	A社	B社	B社	○	○	○
18	A社	B社	H社	○	○	—
19	B社	D社	A社	○	○	○
20	B社	D社	E社	○	○	○
21	B社	D社	G社	○	○	○
22	B社	D社	F社	○	○	○
23	B社	D社	B社	○	○	○
24	B社	D社	H社	○	○	—
25	B社	C社	A社	○	○	○
26	B社	C社	E社	○	○	○
27	B社	C社	G社	○	○	○
28	B社	C社	F社	○	○	○
29	B社	C社	B社	○	○	○
30	B社	C社	H社	○	○	—
31	B社	B社	A社	○	○	○
32	B社	B社	E社	○	○	○
33	B社	B社	G社	○	○	○
34	B社	B社	F社	○	○	○
35	B社	B社	H社	○	○	—

○：正常接続 ×：接続不可

※—(ハイフン)と記載しているパターンは、端末(H社製)に機内モードが実装されていないため測定していない項目となります。

(b) 認証時間

- 組み合わせパターン毎に端末の認証に要する時間を計測しました。結果は、表 6-3-3 のとおり、端末毎に認証にかかる時間に差があることが分かりました。
- A 社製端末を除く端末間では認証時間は 4 秒以内完了し、大きな差はありませんでしたが、A 社製端末のみ認証に 40 秒程度を要しました（表中に赤太字で示す）。これは端末の仕様に起因しており、端末が起動し認証が開始されてからモデムの起動が完了し通信が可能となるまでに時間がかかります。
- 基地局、コア間では、全ての組み合わせで認証に要する時間は端末毎に差分はほとんどありません。認証時間は端末仕様に依存する結果であり、相互接続組み合わせパターンによる認証時間の遅延や課題等はないと考えられます。

表 6-3-3 認証時間に関する検証結果

No.	パターンの概要			認証時間 [秒]
	コア	基地局	端末	
1	A 社	D 社	A 社	40.04
2	A 社	D 社	F 社	—
3	A 社	D 社	E 社	—
4	A 社	D 社	G 社	—
5	A 社	D 社	B 社	2.83
6	A 社	D 社	H 社	1.95
7	A 社	C 社	A 社	—
8	A 社	C 社	F 社	—
9	A 社	C 社	E 社	—
10	A 社	C 社	G 社	—
11	A 社	C 社	B 社	1.26
12	A 社	C 社	H 社	3.75
13	A 社	B 社	A 社	40.20
14	A 社	B 社	E 社	3.33
15	A 社	B 社	G 社	1.63
16	A 社	B 社	F 社	1.12
17	A 社	B 社	B 社	2.48
18	A 社	B 社	H 社	2.24
19	B 社	D 社	A 社	40.28
20	B 社	D 社	E 社	1.96
21	B 社	D 社	G 社	1.67
22	B 社	D 社	F 社	1.38
23	B 社	D 社	B 社	1.41
24	B 社	D 社	H 社	2.05
25	B 社	C 社	A 社	40.08
26	B 社	C 社	E 社	3.33
27	B 社	C 社	G 社	1.40
28	B 社	C 社	F 社	1.07
29	B 社	C 社	B 社	1.46
30	B 社	C 社	H 社	2.07

31	B社	B社	A社	40.59
32	B社	B社	E社	2.00
33	B社	B社	G社	1.87
34	B社	B社	F社	1.37
35	B社	B社	H社	2.32

※令和3年度検証においては、認証時間確認を未実施のため、－(ハイフン)と表記。

(c) 長期安定性

- 組み合わせパターン毎に端末からコア 48 時間の ping 疎通試験を行い、通信の成功率を計測しました。結果は、表 6-3-4 のとおり、全ての組み合わせにおいて、長時間の通信時も端末の切断や多数の通信エラーが発生しないことを確認しました。
- 相互接続状態の継続により、エラーの蓄積や装置への過負荷などは発生していないと考えられます。

表 6-3-4 長期安定性に関する検証結果

No.	パターンの概要			疎通率 [%]	判定
	コア	基地局	端末		
1	A社	D社	A社	100	○
2	A社	D社	F社	—	○
3	A社	D社	E社	—	○
4	A社	D社	G社	—	○
5	A社	D社	B社	100	○
6	A社	D社	H社	99.0	○
7	A社	C社	A社	—	○
8	A社	C社	F社	—	○
9	A社	C社	E社	—	○
10	A社	C社	G社	—	未実施
11	A社	C社	B社	97.7	○
12	A社	C社	H社	99.0	○
13	A社	B社	A社	99.1	○
14	A社	B社	E社	99.9	○
15	A社	B社	G社	99.9	○
16	A社	B社	F社	99.9	○
17	A社	B社	B社	99.9	○
18	A社	B社	H社	99.9	○
19	B社	D社	A社	99.9	○
20	B社	D社	E社	99.0	○
21	B社	D社	G社	100	○
22	B社	D社	F社	100	○
23	B社	D社	B社	100	○
24	B社	D社	H社	100	○
25	B社	C社	A社	100	○
26	B社	C社	E社	99.2	○
27	B社	C社	G社	99.1	○

28	B社	C社	F社	97.6	○
29	B社	C社	B社	100.0	○
30	B社	C社	H社	99.6	○
31	B社	B社	A社	99.9	○
32	B社	B社	E社	99.7	○
33	B社	B社	G社	99.7	○
34	B社	B社	F社	99.8	○
35	B社	B社	H社	99.7	○

○：疎通率≥90% ×：疎通率<90%

※令和3年度検証においては、疎通率確認を未実施のため、－(ハイフン)と表記。

(d) 遅延

- 組み合わせパターン毎に、各 TDD パターンにおいて端末からコアへ ping を送付し、遅延の測定を行いました。結果は、表 6-3-5 のとおり、すべての組み合わせパターンで 100msec 以下となっており、基本的なユースケースにおいて問題なく使用できると考えられます。
- なお、組み合わせパターンごとで遅延に差があり、基地局、端末間で差が開く傾向がありました。表中の TDD パターン毎に最も優れた遅延の組み合わせを、赤太字で示しています。
- また、コア、基地局毎の平均遅延に着目すると、D 社製基地局は端末、コアに依らずに遅延が短く、平均遅延は 35ms 以下になっています。こうした結果から、遅延性能は、主に基地局の処理性能に依存していると推察されます。

表 6-3-5 遅延に関する検証結果

	パターンの概要			同期 [msec]	準同期 TDD1 [msec]	準同期 TDD2 [msec]	準同期 TDD3 [msec]
	コア	基地局	端末				
1	A社	D社	A社	26	27	28	26
2	A社	D社	F社	35	36	34	31
3	A社	D社	E社	40	36	31	34
4	A社	D社	G社	39	40	34	35
5	A社	D社	B社	40	32	30	30
6	A社	D社	H社	32	26	31	26
7	A社	C社	A社	39	40	33	—
8	A社	C社	F社	32	28	36	—
9	A社	C社	E社	30	29	43	—
10	A社	C社	G社	27	30	35	—
11	A社	C社	B社	34	36	37	—
12	A社	C社	H社	31	32	31	—
13	A社	B社	A社	54	42	43	38
14	A社	B社	E社	58	64	49	43
15	A社	B社	G社	87	46	61	49
16	A社	B社	F社	42	45	61	46
17	A社	B社	B社	35	45	43	33
18	A社	B社	H社	38	40	42	43
19	B社	D社	A社	30	26	26	27

20	B社	D社	E社	25	26	27	28
21	B社	D社	G社	29	29	35	32
22	B社	D社	F社	33	28	30	28
23	B社	D社	B社	26	27	26	28
24	B社	D社	H社	23	26	24	26
25	B社	C社	A社	36	40	32	—
26	B社	C社	E社	35	39	34	—
27	B社	C社	G社	34	36	38	—
28	B社	C社	F社	35	35	36	—
29	B社	C社	B社	35	35	36	—
30	B社	C社	H社	29	32	38	—
31	B社	B社	A社	45	38	43	41
32	B社	B社	E社	49	43	43	56
33	B社	B社	G社	45	46	41	46
34	B社	B社	F社	44	49	48	45
35	B社	B社	H社	42	42	41	40

※一(ハイフン)と記載しているパターンは、基地局(C社製)にTDD3が実装されていないため測定していない項目となります。

表 6-3-6 (参考) ローカル5Gのユースケース例と遅延の関係性

ユースケース (例)			遅延 [msec]
タイプ	用途例		
高速 大容量 ↑	遠隔監視・巡視点検	4K/8K 映像配信	100-200
	遠隔指導・作業支援	AR/VRによる遠隔作業支援	50-100
↓ 超低遅延	自律ロボット/自動運転 車両等の遠隔制御	AMR/ドローン等の自律走行	1-50
		AGVの自動運転	1-50
	大容量/多様なデータ活用	電気メータ等のデータ収集	10-100
	機器等のリアルタイム制御	生産設備の制御	1-10

出所) 5G 利活用型社会デザイン推進コンソーシアム「ローカル5G 関連市場調査レポート」をもとに、三菱総合研究所作成

(e) 通信性能

- 組み合わせパターン毎に通信性能を確認する試験を行いました。端末からコアへ iperf を実施し、TDD パターン毎に DL/UL のスループットを測定しました。
- 結果は、表 6-3-7 のとおり、DL スループットは同期での値が最も大きく、準同期 TDD1、準同期 TDD2、準同期 TDD3 の順に小さくなっていき、UL スループットは同期での値がもっとも小さく、準同期 TDD1、準同期 TDD2、準同期 TDD3 の順に大きくなっていくという傾向は、基本的に共通していました。こちらの結果により、複数の組み合わせで相互接続における準同期 TDD1、準同期 TDD2、準同期 TDD3 に対応することを確認しました。

表 6-3-7 通信性能に関する検証結果

単位 : Mbps

No.	パターンの概要	同期	準同期	準同期	準同期 TDD3
-----	---------	----	-----	-----	----------

						TDD1		TDD2			
	コア	基地局	端末	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
1	A社	D社	A社	652	61.8	402	142	201	181	152	241
2	A社	D社	F社	300	65	200	150	279	132	150	244
3	A社	D社	E社	180	77	180	135	249	159	162	233
4	A社	D社	G社	250	30	280	80	227	130	182	219
5	A社	D社	B社	309 (674)	84.3	314 (484)	128	250	133	163	223
6	A社	D社	H社	305	65.8	241	115	228	131	185	219
7	A社	C社	A社	300	28	170	60	152	129	未実装	未実装
8	A社	C社	F社	200	28	100	58	168	120	未実装	未実装
9	A社	C社	E社	150	30	150	60	172	126	未実装	未実装
10	A社	C社	G社	250	30	115	60	206	128	未実装	未実装
11	A社	C社	B社	314 (476)	51.0	240	99.3	172	128	未実装	未実装
12	A社	C社	H社	451	50.9	275	103	125	130	未実装	未実装
13	A社	B社	A社	691	67.1	585	110	431	140	135	190
14	A社	B社	E社	317 (787)	57.5	317 (644)	106	317 (459)	143	134	189
15	A社	B社	G社	686	42.7	462	90.7	403	152	135	184
16	A社	B社	F社	661	60.7	516	110	423	130	132	166
17	A社	B社	B社	310 (768)	59.4	305 (524)	115	312 (452)	135	133	157
18	A社	B社	H社	666	60.9	497	133	390	163	139	2.91
19	B社	D社	A社	608	86.7	409	174	240	201	188	244
20	B社	D社	E社	317 (641)	75.8	314 (428)	123	142	200	137	165
21	B社	D社	G社	606	79.1	426	119	208	178	178	233
22	B社	D社	F社	695	94	494	144	250	168	168	254
23	B社	D社	B社	313 (714)	76.8	307 (450)	137	149	140	137	161
24	B社	D社	H社	325	76.3	247	153	226	157	190	239
25	B社	C社	A社	447	50.5	234	102	171	126	未実装	未実装
26	B社	C社	E社	315 (460)	49.6	239	103	162	126	未実装	未実装
27	B社	C社	G社	379	50.6	222	103	166	129	未実装	未実装
28	B社	C社	F社	455	51.0	225	102	159	128	未実装	未実装
29	B社	C社	B社	315 (435)	50.9	236	103	172	129	未実装	未実装
30	B社	C社	H社	434	50.7	276	102	128	129	未実装	未実装
31	B社	B社	A社	691	53.1	546	117	416	144	306	177
32	B社	B社	E社	301 (787)	58.1	317 (608)	106	317 (443)	136	210	149
33	B社	B社	G社	598	54.9	590	99.3	432	128	297	150
34	B社	B社	F社	682	53.1	553	111	425	138	304	171
35	B社	B社	H社	678	67.7	493	136	398	142	313	3.38

(※)・括弧書きの数値は基地局のログから計測した伝送量になります。

- ・B社、E社の端末については、テザリング機能を用いてスループットの計測を実施したため、USB2.0の規格信号速度480Mbps、実行値310Mbps程度がスループットの上限となっています。

そのため、iperf によるスループット測定時の基地局でのログを用いて伝送量を計測しました。ただし、こちらは iperf による計測用のデータ以外も含む伝送量のため、参考値として掲載します。

- 一方で、組み合わせパターン毎にスループットに差分があり、基地局、端末間で差が開く傾向がありました。表 6-3-7 の結果を、同期パターン毎に DL/UL での測定結果をグラフに整理しました。

- ・「図 6-3-1 同期 DL のスループット」
- ・「図 6-3-2 準同期 TDD1 DL のスループット」
- ・「図 6-3-3 準同期 TDD2 DL のスループット」
- ・「図 6-3-4 準同期 TDD3 DL のスループット」
- ・「図 6-3-5 同期 UL のスループット」
- ・「図 6-3-6 準同期 TDD1 UL のスループット」
- ・「図 6-3-7 準同期 TDD2 UL のスループット」
- ・「図 6-3-8 準同期 TDD3 UL のスループット」

- 図 6-3-8 に示すとおり、準同期 TDD3 での UL スループットが極端に低い値となりました。解析の結果、2 台の端末を接続した時、上り方向の無線通信に高い割合でエラーが発生していることが判明しました。これは基地局側が端末の無線を正常に解釈できていないことに起因しています。H 社製端末は準同期 TDD3 パターンをメーカーとしてサポートしていないことと、MediaTek 社製のチップセットを採用しており Qualcomm 社製のチップセットを採用しているその他 UE とは仕様が異なることにより、こうした事象が発生している可能性があります。
- したがって、各ベンダーのサポートしない TDD パターンを利用する場合、通信に異常が発生する可能性がありますので、構築前の確認が必要と考えられます。

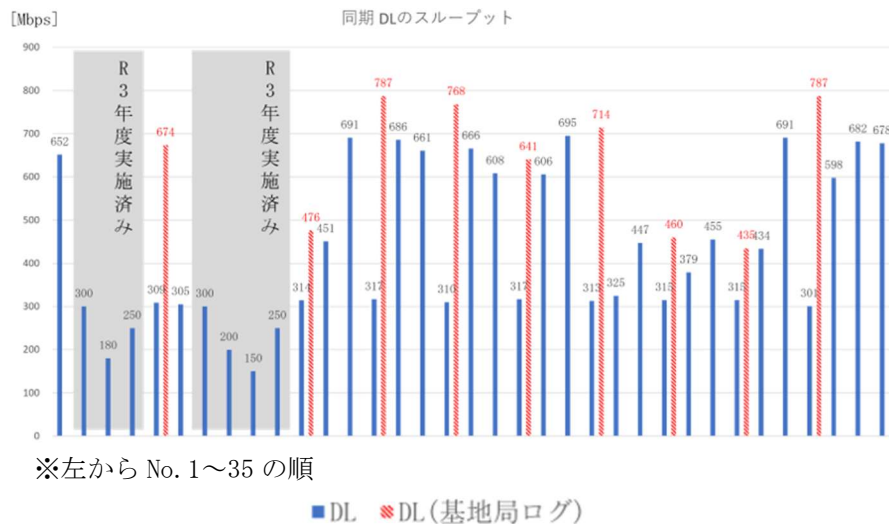
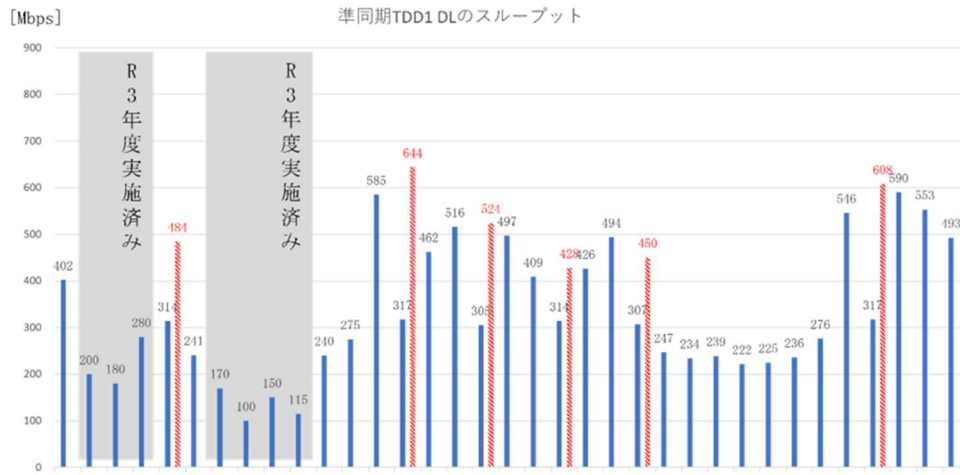


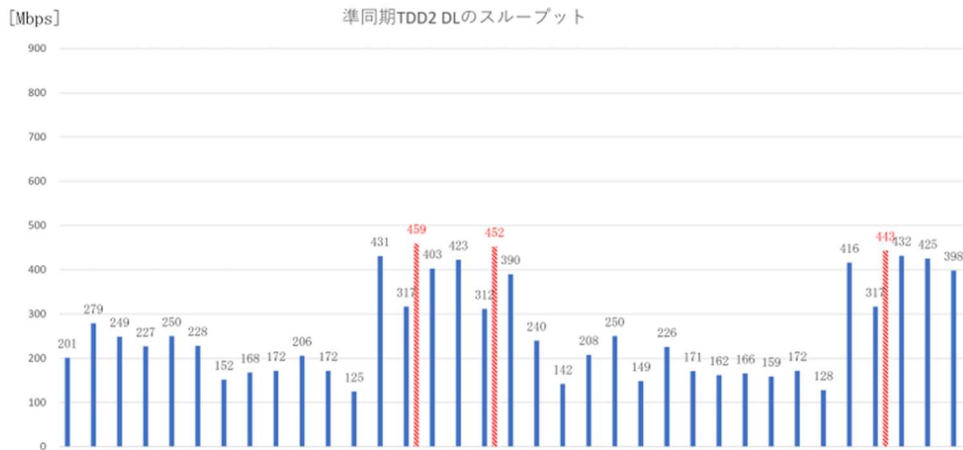
図 6-3-1 同期 DL のスループット



※左から No. 1~35 の順

■ DL ■ DL(基地局ログ)

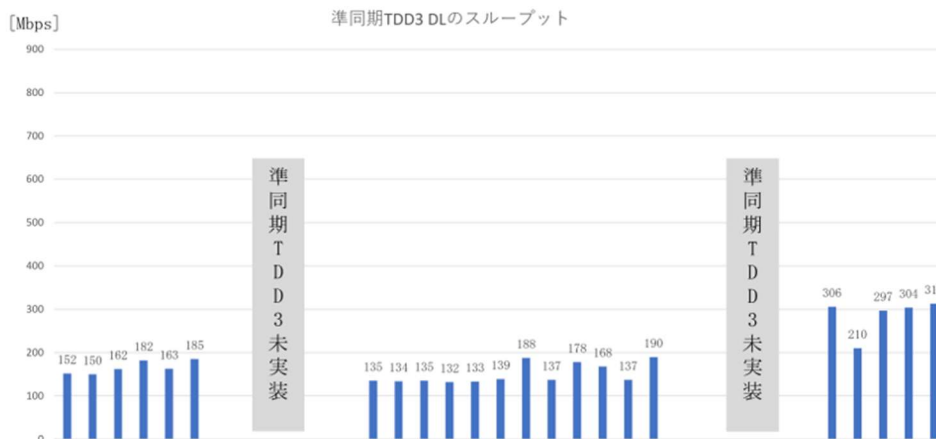
図 6-3-2 準同期 TDD1 DL のスループット



※左から No. 1~35 の順

■ DL ■ DL(基地局ログ)

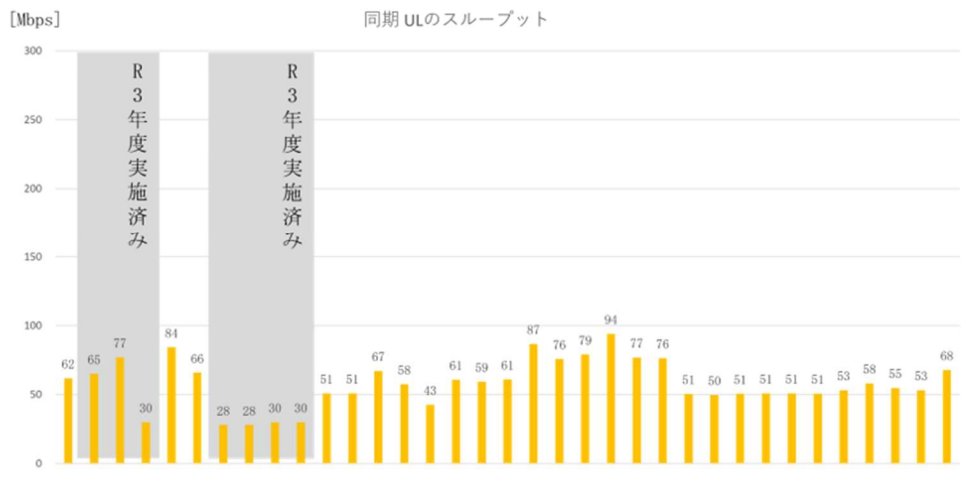
図 6-3-3 準同期 TDD2 DL のスループット



※左から No. 1~35 の順

■ DL

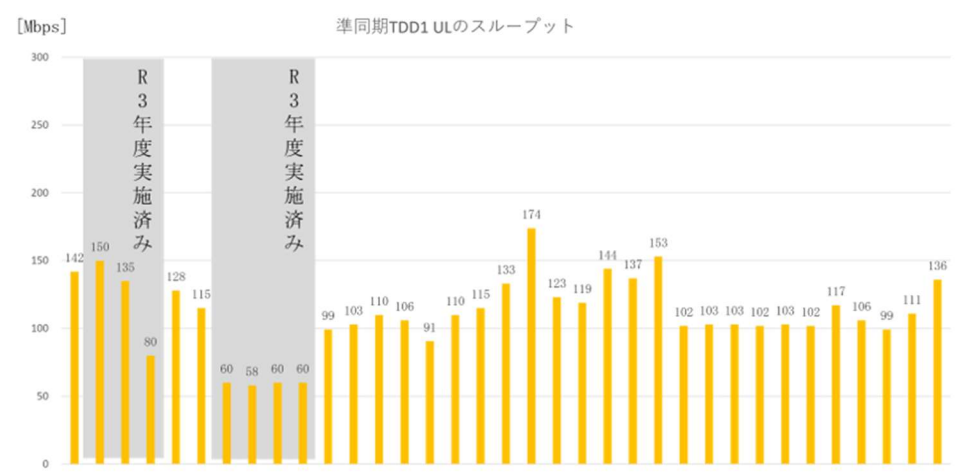
図 6-3-4 準同期 TDD3 DL のスループット



※左から No. 1～35 の順

■ UL

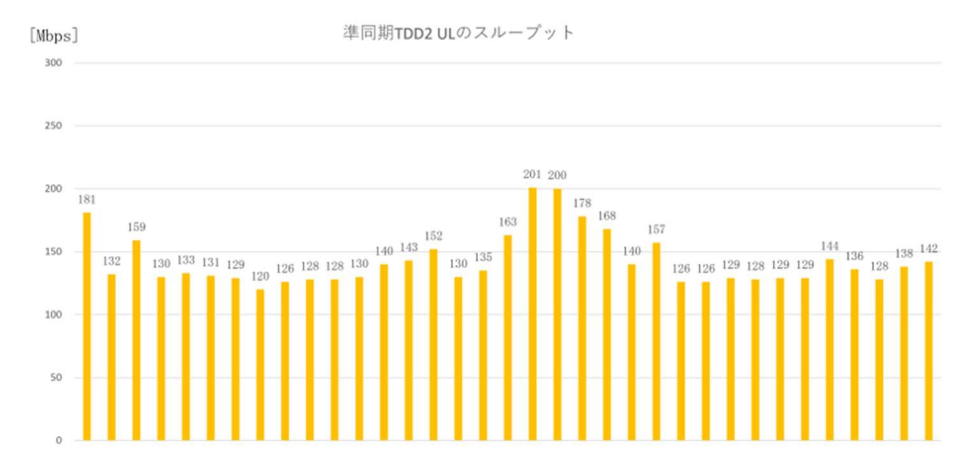
図 6-3-5 同期 UL のスループット



※左から No. 1～35 の順

■ UL

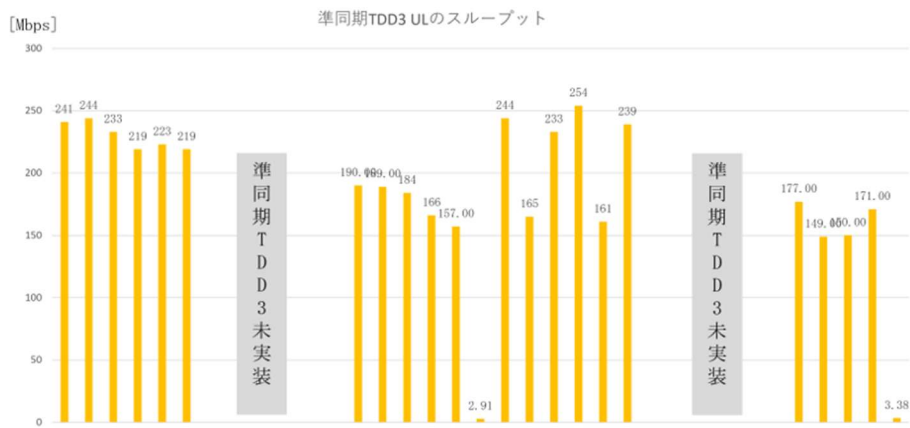
図 6-3-6 準同期 TDD1 UL のスループット



※左から No. 1～35 の順

■ UL

図 6-3-7 準同期 TDD2 UL のスループット



※左から No. 1~35 の順

図 6-3-8 準同期 TDD3 UL のスループット

4. 組み合わせパターン毎の接続結果・考察

今回の検証におけるコア/基地局の組み合わせパターンにおける接続結果・考察について、一例として、A 社製コアと D 社製基地局の接続結果・考察を以下に示します。

表 6-4-1 A 社製コアと D 社製基地局の接続結果・考察 (例)

項目	検証結果・考察
相互接続可否	以下 6 つの異なるベンダー製端末と相互接続に成功 ・ A 社、B 社、E 社、F 社、G 社、H 社
電源 ON/OFF、機内モード ON/OFF 時の挙動	基地局、端末の電源 ON/OFF 時、端末の機内モード ON/OFF 時に再度端末が正常に認証されることを確認
認証時間	【端末の認証にかかる時間】 平均認証時間：2.39 秒 ※仕様により特に認証に時間のかかる A 社製端末は除いて平均値を算出
長期安定性	【48 時間の連続 Ping 疎通】 平均疎通率：98.9% ※ R4 年度検証分を集計
遅延時間	【同期】 平均遅延：33ms 【準同期 TDD1】 平均遅延：28ms 【準同期 TDD2】 平均遅延：32ms 【準同期 TDD3】 平均遅延：30ms ※ R4 年度検証分を集計 ※端末配下のサーバと UPF 配下のサーバ間での Ping 応答時間 (50 回分) の平均
伝送スループット	【同期】 平均 DL：479Mbps / 平均 UL：71Mbps 【準同期 TDD1】 平均 DL：322Mbps / 平均 UL：128Mbps 【準同期 TDD2】 平均 DL：239Mbps / 平均 UL：144Mbps 【準同期 TDD3】 平均 DL：166Mbps / 平均 UL：230Mbps ※ R4 年度検証分を集計 ※端末配下のサーバと UPF 配下のサーバ間の最大伝送スループットを iperf により測定 ※動的な変調方式の調整機能を有効にして測定 ※最大 MIMO レイヤー数：DL 2layer / UL 2layer ※対応変調方式：DL 256QAM まで / UL 256QAM まで ※DL スループットについてはテザリングによりスループットが制限されてしまった B 社製端末を除いて平均値を算出
考察	<ul style="list-style-type: none"> ・今回検証で使用した全ての端末との相互接続が可能 ・認証時間、長期安定性、遅延時間はすべて正常、特に遅延時間は短い傾向にある ・同期、準同期 TDD1、準同期 TDD2、準同期 TDD3 の適用が可能 ・UL 2Layer かつ 256QAM 変調に対応した設定での安定的な通信であり、高い UL スループットが確認できた。 <p>■ 総合的に問題なく相互接続が可能と考えられます。</p>

1. 相互接続不良・運用面に係る問題意識・課題等

① 問題意識・課題等

- SIer 等が一次切り分けを行うにあたっては、製品に対する理解を深める必要があります。例えば、切り分け手順、確認のポイントなどを、製品ベンダーから研修等で SIer 等が学ぶことができれば理解が深まります。問い合わせ窓口におけるトークスクリプトや QA 集、切り分けのマニュアル等の情報も可能な限りベンダーから共有を受けられることができると、SIer 等で対応できる範囲が増えるため、都度ベンダーと相談・協議しながら、進めていくのが望ましいと言えます。
- 相互接続不良時の対応として、各インターフェースのログ、装置ログが重要になります。ネットワークの切り分けにおいて、より細かい単位にネットワークを分けながら原因箇所を割り出していくことが重要であり、ログを取得できれば、ベンダーから共有されるドキュメントと照らし合わせて、動作が正しいかどうかまでの切り分けは行うことが可能となります。
- 商用と全く同じパラメータ設定の機器をもう 1 式用意して、問題を再現して特定するのは事業者側の提供コストが増大することにつながります。よって、まずは環境再現のしやすいコア・基地局・端末間の相互接続から普及していくと考えられます。
- 3GPP にもリリースの違いがあり、同じリリース内でもリビジョンの違いがあります。3GPP 準拠同士であっても、相互接続が担保できないケースがあると思われます。相互接続においては、①メーカ推奨の製品選定の実施、②相互接続構成を組み入念な検証の実施、③メーカを含めた運用体制の構築が重要です。
- ③のメーカを含めた運用体制の構築においては、ユーザが求める様々なユースケースに対応するために重要です。例えば工場でのユースケースにあわせた確認ポイント（組み合わせの種類、確認する必要がある基本動作等）等について、SLA の中で、サービス提供内容やレベルを事前に協議することで対応できます。またさらに、今度相互接続が普及し、国内外様々なベンダーが参入した場合を想定すると重要度は高いと言えます。
- 無線部分の切り分けなどを含むすべての対応を SIer が行うことは難しいと考えられます。相互接続が不可となった場合の改修などは当該ベンダー間の調整になりますが、各ベンダーとも OEM 等による製品提供の場合、修正の反映に時間がかかるケースが予想されます。したがって、相互接続実施前の契約条件の合意などが必要です。
- ローカル 5 G を様々なユーザに有効に活用頂くために、基地局ベンダー、端末ベンダー等の協力を得て、関係者が連携し合いながら、対処していくことが理想的な姿と言えます。

② 本章で取り扱う内容

- 今般検証を行う中で、相互接続不良となった場合に行った対応について一例として紹介します。
- ユーザ・SIer・ベンダー等の運用・連携体制の在り方について、考察します。

2. 相互接続不良時の対応例

- 相互接続不良は、検証時と運用時に発生することが想定されます。検証時の相互接続不良時の対応について、図 7-2-1 にイメージを示します。検証時の相互接続不良時には、要因分析を実施の上、特定された要因に対して改修を行う流れとなります。

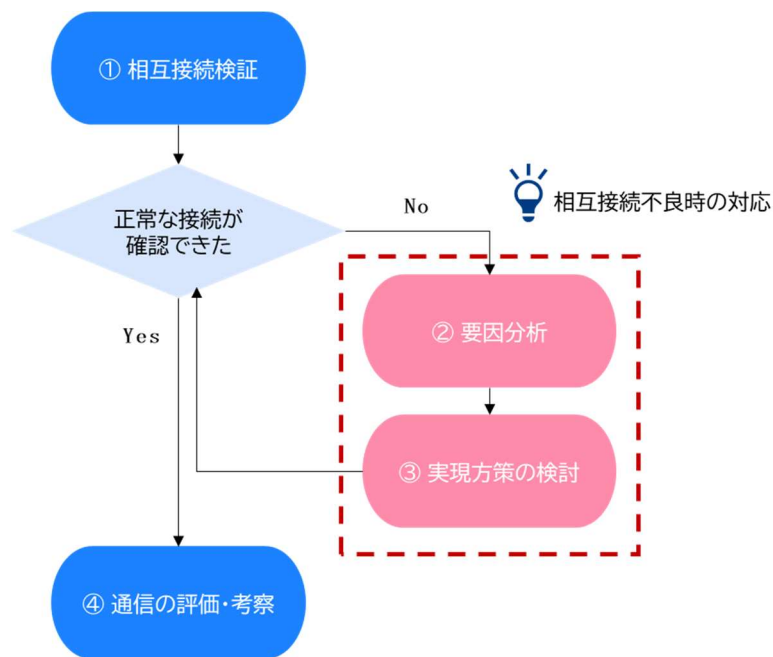


図 7-2-1 相互接続不良時の対応（図 5-1-1 に加筆）

- 要因分析の例について、一般的な切り分け手法を整理します。
- また、これは相互接続実現のための検証においても重要なポイントであり、本技術的手引のまとめとして次ページに整理します。

① パラメータの確認

・3GPPにおいて整合が必要と規定されるパラメータ

表4-2-1、表4-2-2に記載する3GPPで整合が必要とされるパラメータが、適切に設定されていることを確認する。（詳細は第4章をご参照ください）

・3GPPの規定上明確な指定がないもののコアの設定について考慮が必要なパラメータ

表7-2-1に示す3点について、パラメータが適切に設定されていることを確認する。

・共用構成をとる場合に考慮が必要なネットワークパラメータ

機器を導入するネットワーク環境に合わせたパラメータ調整を行う。WAN回線を利用してローカル5Gネットワークを構築する場合は、MTU(Maximum Transmission Unit)のサイズ指定に留意する。

表 7-2-1 異ベンダー間の相互接続実現に考慮が必要となる項目（表 4-2-3 の再掲）

項番	確認・改修対象	改修内容
①	コア	“InitialContextSetupRequest” メッセージ内の当該フィールドを削除
②	コア	“PDUSessionEstablishmentAccept” メッセージ内へ当該フィールドを追加
③	コア	“NASSecurityModeCommand” 内の構成を V15.3 以降のシーケンスに対応する措置を実施

3GPPにおいて
整合が必要と規定される
パラメータ

3GPPの規定上
明確な指定がないものの
コアの設定について
考慮が必要なパラメータ

共用構成をとる場合に
考慮が必要なネットワーク
パラメータ

図7-2-2 留意すべきパラメータ設定の概要（図6-1-1の再掲）

② 受信レベルの確認

- ・端末側で受信レベルを確認し、十分な電波強度で受信できているかどうかを確認する。
- ・必要に応じて基地局のレベルダイヤの調整等を行い、無線区間の品質を充足させる。

③ ネットワーク構成の確認

- ・ローカル5Gシステムを構築するにあたり、各機器間を繋ぐインターフェースでの疎通が可能であることを確認する。（対象は主にN1、N2、N3、N4、N6）
- ・U-Planeの通信を発生させ、仕様および設計どおりの性能が得られていることを確認する。

④ エラーメッセージ等の確認

- ・各機器のログ情報より、相互接続の正常性を確認する。
- ・各インターフェース間の接続パケットをキャプチャーし内容を確認する。

3. ユーザ・SIer・ベンダー等の運用・連携体制の在り方

- マルチベンダー製品による相互接続を行う場合、障害の原因調査に時間を要することが課題として挙げられます。これにはいくつかの要因があり、以下が例として考えられます。
 - ・各ベンダーのサービスレベル（対応範囲や対応内容）が異なり、サービス時間や保守範囲などのサービス内容に歪みが生じている
 - ・SIerにおける一次切り分けに時間を要する。一次切り分けをおこなうための情報がSIerに不足している
 - ・障害の再現性検証をするための環境がない 等
- こういった課題を顕在化させないために、①メーカ推奨の製品選定、②入念な相互接続検証、③運用体制の構築を行う必要があります。これらが、実際の接続不良時の対応に紐づいてきます。
- 以下の図7-3-1には、ベンダー・SIer・ユーザの連携例を示します。これは一例となりますので、実際にはこういった例を参考に対応頂く形になりますが、ベンダー・SIer・ユーザが、連携し合って対処していくことが、何より重要となります。

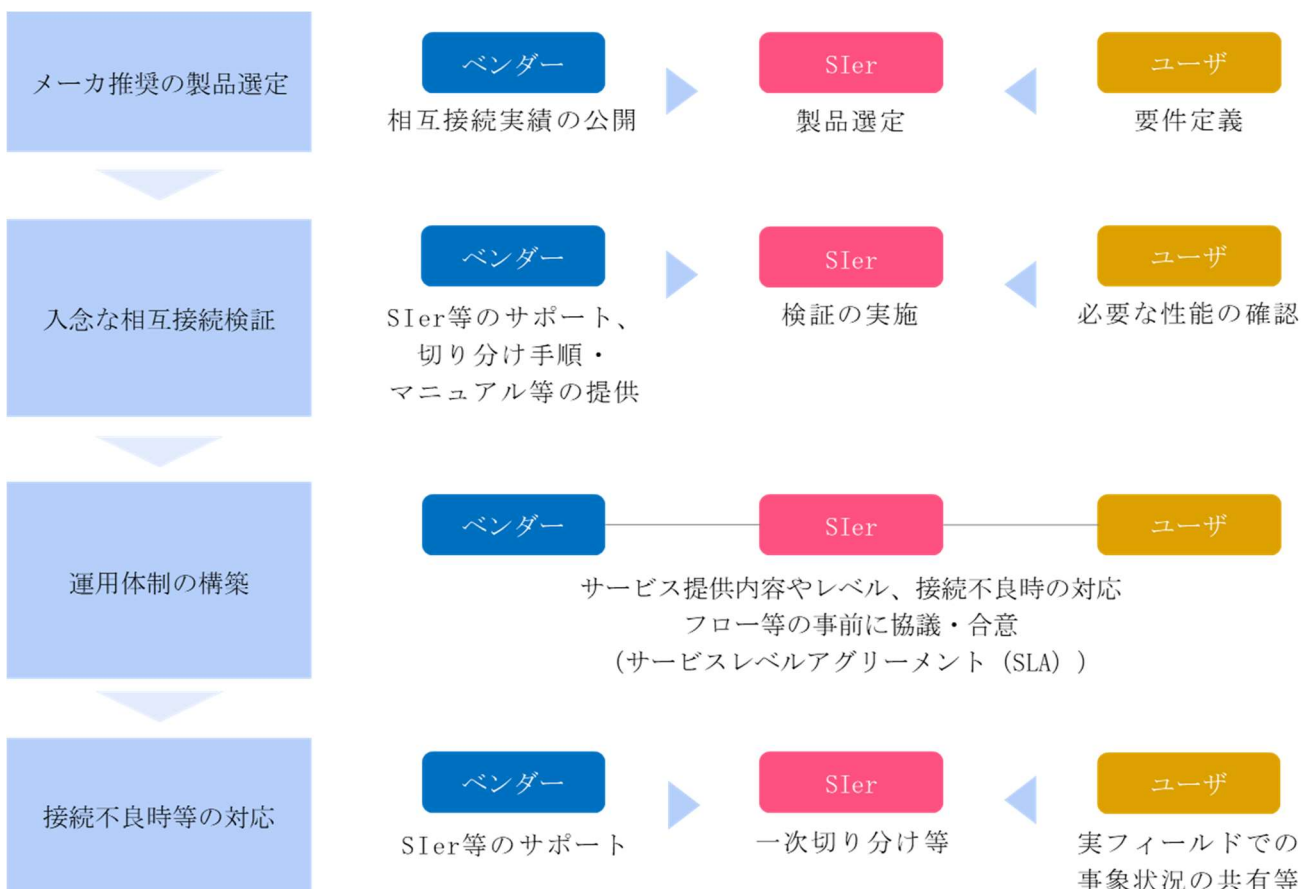


図 7-3-1 ユーザ・SIer・ベンダー等の運用・連携体制の在り方 (例)