

非地上系ネットワーク (NTN) での計測器活用事例

～宇宙・衛星・航空などでの通信品質の課題と試験ソリューション～

非地上系ネットワーク (NTN) は、地上系ネットワークがカバーできない山岳部や空域、海域などに、通信環境を提供するネットワークです。NTNは、衛星コンステレーションや高高度プラットフォームステーション (High Altitude Platform Station : HAPS) などを活用して、セルラの通信エリア拡大や災害時の通信確保、超高速/超低遅延の通信サービスを無線・光のハイブリッドで実現するネットワークです。次世代の情報通信基盤の確立などを背景に宇宙や衛星の利用が拡大しています。

アンリツは、セルラ (5G/LTE) やネットワークインフラの評価で培ってきた経験と知識を活かした測定ソリューションで宇宙/衛星・防衛・航空・船舶などさまざまな通信品質の評価に貢献します。

NTNはすでに、静止軌道 (GEO)、中軌道 (MEO)、低軌道 (LEO) の衛星や航空機など、さまざまなプラットフォームを活用しています。また、無人航空機システム (UAS) 領域では、HAPSやドローン (UAV) などの実証実験を進めています。

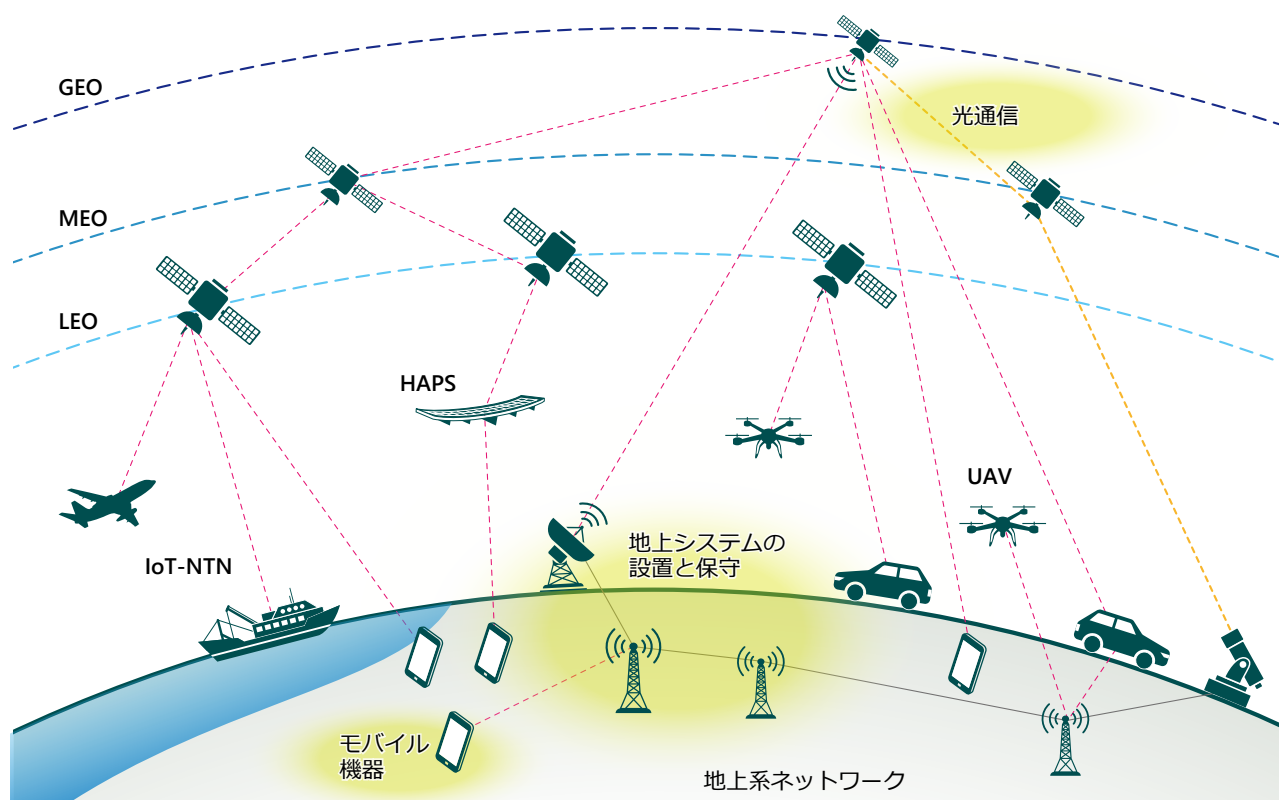


図1 非地上系ネットワーク (NTN) の構成

NTN市場動向

世界の5G非地上系ネットワークの市場規模は、Global Information, Inc.によると、予測期間の2024年～2031年にCAGR 25.40%で拡大し、2023年の51億米ドルから2031年には311億9,000万米ドルに成長すると予測されています^[1]。

これまでは、GEOによる通信サービスの提供が主流でしたが、最近では、SpaceXのStarlinkやAmazonのKuiper、OneWebなどの衛星通信事業者が大規模なLEOのコンステレーションを展開し、一般ユーザ向けもしくは企業向けを対象とした通信サービスの提供を開始しています。

たとえば、Starlinkは、2024年4月時点で約6000基の衛星を打ち上げており、通信速度が下り最大220 Mbps、上り最大25 Mbpsのベストエフォート型のサービスを提供しています。一方、OneWebは、通信帯域を保証した専用線サービスで、通信速度が下り195 Mbps、上り32 Mbpsのサービスを提供しています。衛星通信では、高度が高いものほど、1基あたりのカバー可能な通信エリアが広がるメリットがあります。しかし、衛星と地上との距離が長いことによるデータ伝送遅延の発生や、衛星の打ち上げや運用に要するコストが高額などといったデメリットがあります。

また、地上から20 km以上の成層圏を飛行するHAPSの開発や検証が進められています。HAPSは、ロケットによる打ち上げを伴う衛星とは異なりコストは低く、空中への展開も比較的容易です。災害時など、特定の地域に迅速に配備することもできます。しかし、衛星に比べて高度が低いため、カバーエリアの範囲は限定されます。また、長期間の飛行が求められているのに対し、バッテリー持続時間や太陽パネルによる充電効率による飛行時間の制限が課題です。

[1] 出典：Global Information Inc.

<https://www.gii.co.jp/report/mx1536767-5g-ntn-market-assessment-by-component-by-geography.html>

衛星通信事業者は、世界各国で通信サービスを提供するにあたり、表1に示すモバイル通信事業者や通信機器ベンダと協業し、衛星ブロードバンドや衛星とスマートフォンなどの端末間で直接通信するDirect-to-Device (D2D)、衛星IoTなどのサービスの開始に向けた準備を進めています。ネットワーク間のローミングとモビリティをサポートするために、さまざまなネットワークアーキテクチャが提案されています。

表1 NTNエコシステム

衛星コンステレーションオペレータ (SCO) / 衛星通信プロバイダ (SCP)	モバイルネットワークオペレータ (MNO) /ベンダ
SpaceX (Starlink)	T-Mobile, Rogers, KDDI, Softbank, NTT docomo, Optusなど
Globalstar	Apple
OneWeb	Orange, Softbank, KDDI
Viasat Skylo Technologies*	Softbank, Deutsche Telekom, Telus, Verizon, Telefónica, Soracomなど
Link	Vodafone, Rogersなど
SES-Intelsat	Deutsche Telekom, NTT docomo, Reliance Jioなど
AST Space Mobile	AT&T, Vodafone, Verizon, Orange, Telefónica, Rakutenなど
Amazon (Amazon Leo)	Verizon, Vodafone, NTT docomoなど
Omnispace	MTN, Nelco
Echostar Mobile	Swisscom

*：衛星サービスプロバイダ (SSP)

技術動向 - NTNプラットフォーム -

NTNでは、静止軌道 (GEO)、中軌道 (MEO)、低軌道 (LEO) 衛星などの人工衛星、航空機など、さまざまなプラットフォームがすでに活用されています。航空機のカテゴリの中では、HAPSや、無人航空機システム (Unmanned Aircraft System : UAS) などを利用したNTNを実用化するため、実証実験が進められています。

衛星は、高度が高いものほど、1基あたりのカバー可能な通信エリアが広がるメリットがあります。しかし、衛星と地上との距離が長いことによるデータ伝送遅延の発生や、衛星の打ち上げや運用に要するコストが高額などといったデメリットがあります。データ伝送の遅延量は、衛星 — 地上間の距離により異なります。

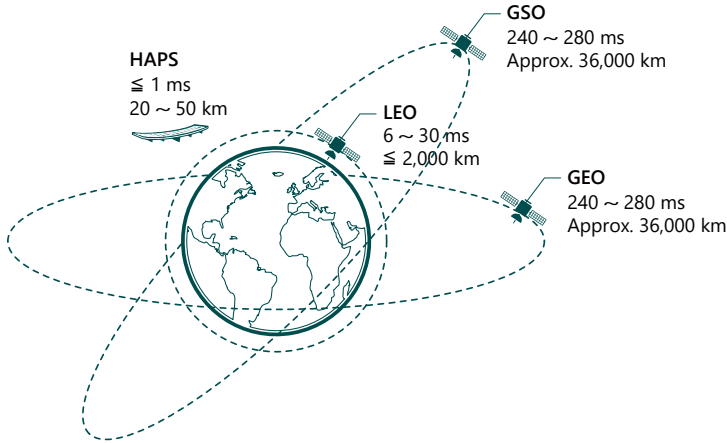


図2 プラットホームの高度と遅延時間

表2 NTNプラットフォーム

プラットフォーム	特徴	主なユースケース
低軌道衛星 (Low Earth Orbit : LEO)	<ul style="list-style-type: none">高度 300~1500 km地上のカバレッジ範囲 100~1000 km地球を周回する円軌道遅延が小さい衛星1基あたりのカバー範囲が他の衛星に比べ狭いカバレッジに必要な衛星の数が多い	<ul style="list-style-type: none">山岳地や農村地域などへの接続国際宇宙ステーション (ISS)、ハッブル宇宙望遠鏡、通信など
中軌道衛星 (Medium Earth Orbit : MEO)	<ul style="list-style-type: none">高度 7000~25000 km地上のカバレッジ範囲 100~1000 km地球を周回する円軌道LEOに比べて高度が高いため、遅延は大きいLEOに比べてカバレッジに必要な衛星の数は少ない	<ul style="list-style-type: none">GPS、GLONASS、Galileoなどの全地球航法衛星システム (GNSS)、通信、リモートセンシングなど
静止軌道衛星 (Geostationary Earth Orbit : GEO)	<ul style="list-style-type: none">赤道上空約36000 kmに位置地上のカバレッジ範囲 200~3500 km軌道傾斜角が0度、つまり赤道上空の円軌道衛星の公転周期と地球の自転が一致衛星は、同じ地点の上空に固定	<ul style="list-style-type: none">通信、放送、気象観測など
対地同期軌道衛星 (Geosynchronous Orbit : GSO)	<ul style="list-style-type: none">高度 約36000 km地上のカバレッジ範囲 200~3500 km地球を周回する円軌道または楕円軌道衛星の公転周期と地球の自転周期が一致しているのみ軌道傾斜角軌道離心率に関する制約はなし特定の地点の上空近傍に固定GEOはGSOの一種	<ul style="list-style-type: none">通信、準天頂衛星みちびきなどの測位サービス
高高度プラットフォームステーション (High Altitude Platform Station : HAPS)	<ul style="list-style-type: none">高度 20~50 kmの成層圏で運用地上のカバレッジ範囲 2~200 km無人プラットフォームLEOに比べ遅延が小さい衛星に比べてメンテナンス性が高い気球、飛行船も含む	<ul style="list-style-type: none">通信、監視、環境モニタリングなど
無人航空機システム (Unmanned Aircraft System : UAS)	<ul style="list-style-type: none">Unmanned Aerial Vehicle (UAV) / ドローンが含まれるドローンの高度 90~150 m以下に制限国や地域、飛行エリアなどの条件に依存	<ul style="list-style-type: none">通信、監視、配送など自然災害などの発生地域で迅速に展開可能

引用 : 3GPP TR 38.821 V16.2.0 (2023-03)

技術動向 – 技術仕様 –

NTNの技術仕様については、標準化団体であるThe 3rd Generation Partnership Project (3GPP) で議論が進められています。5G NTNの標準化は2017年に開始され、基本的な仕様は2022年のリリース17で策定されました。

3GPPで定義されたNTNの主な通信規格は、以下の2種です。

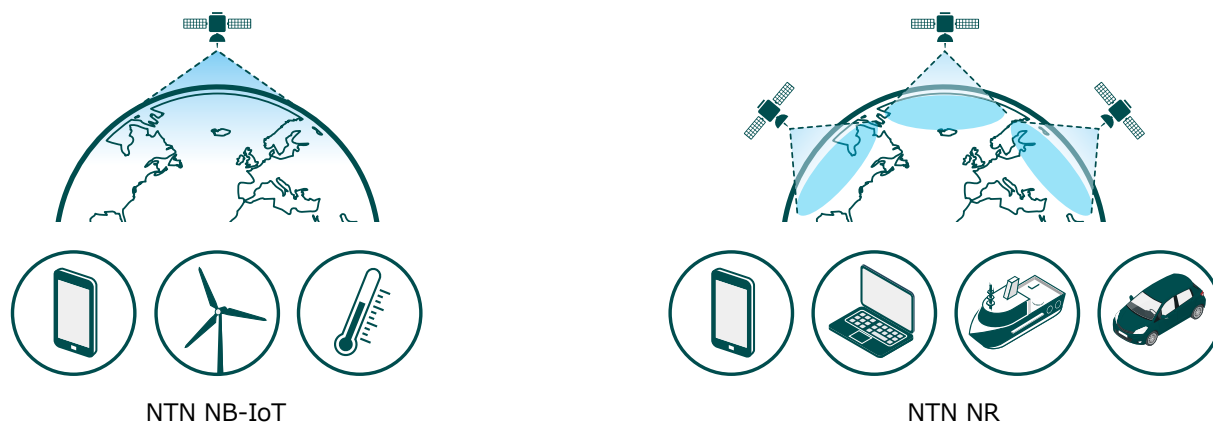


図3 NTN通信規格と用途

NTN NB-IoT

NTN NB-IoTは、多数のIoTデバイスのネットワーク接続を実現する通信技術の一種 NB-IoTをNTN向けに拡張した規格であり、LTEの技術をベースにしています。簡単なテキストの伝送に加えて、農業における環境センサや物流における貨物の追跡など、長時間のバッテリー持続時間が求められる一方、ネットワーク接続のリアルタイム性は求められない小容量の通信に利用されます。

NTN NR

NTN NRは、地上系ネットワークがカバーしていない地域での高速通信を目的とした規格です。テキストや音声の伝送に加えて、画像や動画などのデータ伝送への利用を想定しています。

NTNの効率化や実用化のための拡張機能は、リリース18以降でも検討が進められています。

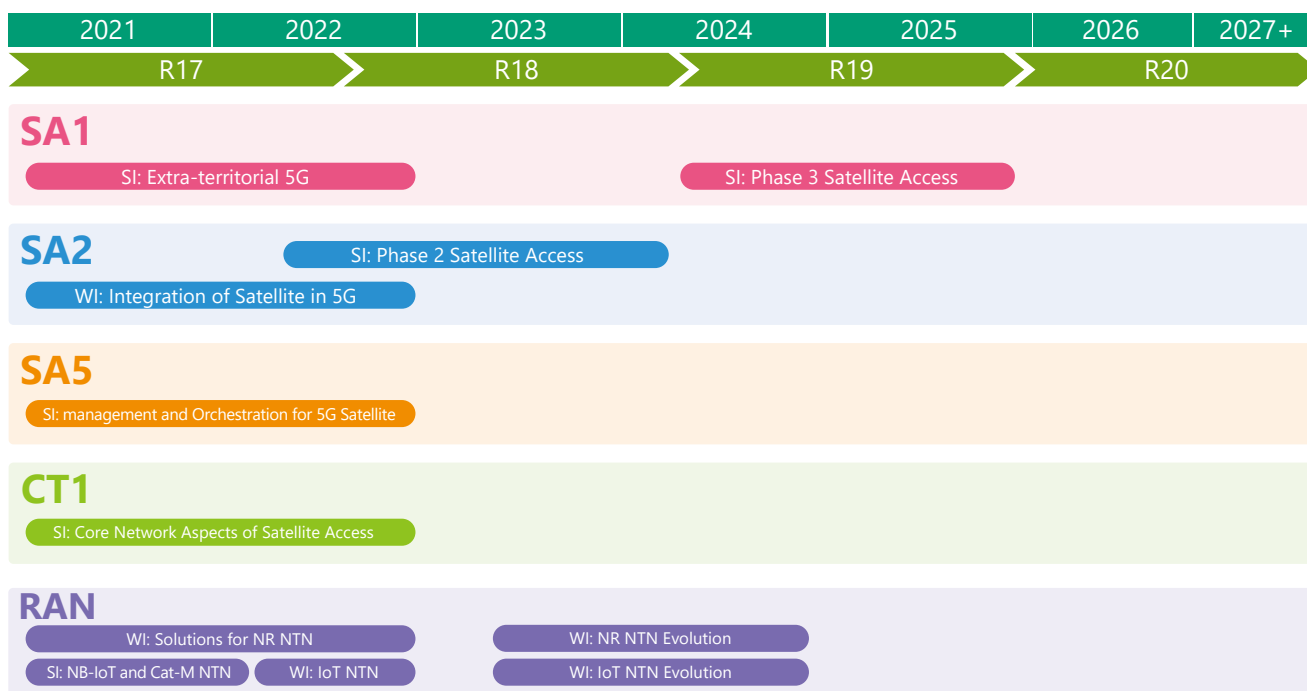


図4 3GPPにおけるNTN標準化スケジュール

技術動向 – NTNのアーキテクチャ –

NTNアーキテクチャには、2つの重要な通信経路があります。また、衛星の中継方式も2種類あります。

サービスリンク

サービスリンクは、衛星またはHAPSとユーザ端末間の通信経路です。地上の通信網に依存せず、衛星を介して直接接続されるため、広域にわたる通信が可能です。

フィーダリンク

衛星またはHAPSと地上局（ゲートウェイ）間の通信経路です。このリンクは、衛星が地上ネットワークと接続し、インターネットや他の広域ネットワーク（たとえば、地上のバックボーンネットワーク）とのデータ交換を可能にする役割を持っています。衛星から地上局へ向かう通信をダウンリンク、地上ゲートウェイから衛星へ向かう通信をアップリンクと呼びます。

透過中継型ペイロード

この構成では、衛星はフィーダリンクおよびサービスリンクのアナログRF中継器として機能し、RFフィルタリング、周波数変換、増幅を行います。その結果、ペイロードによって繰り返される波形信号は変更されません。5G接続の場合、衛星はフィーダリンクからサービスリンクまで5G NR-Uu無線インタフェースを中継します。

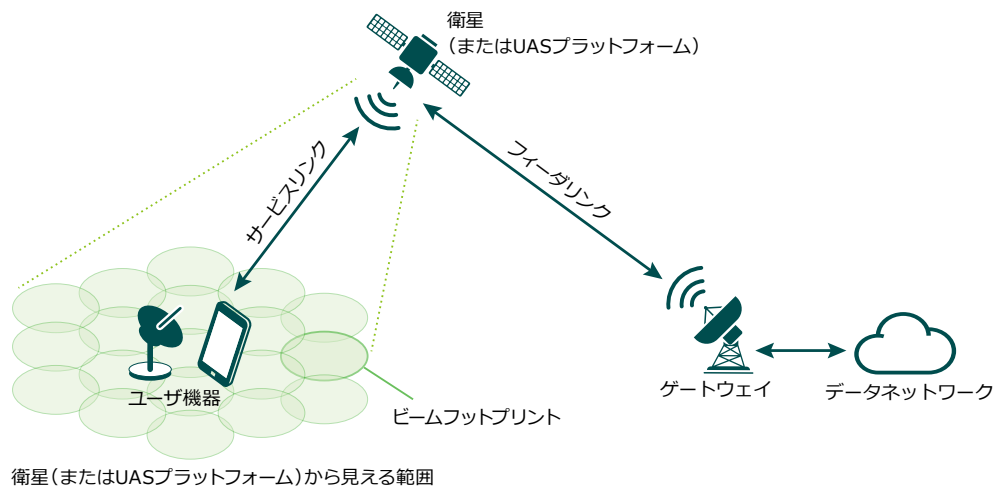


図5 透過中継型ペイロード

再生中継型ペイロード

この構成では衛星は空中のgNBまたは5G 基地局として機能し、RFフィルタリング、周波数変換、増幅、復調/デコード、スイッチングおよび/またはルーティング、コーディング/変調を実行します。衛星が地球から受信した信号は再生されて、サービスリンクではNR-Uuインタフェースとして動作し、フィーダリンクでは衛星無線インタフェース経由のN2とN3として動作します。

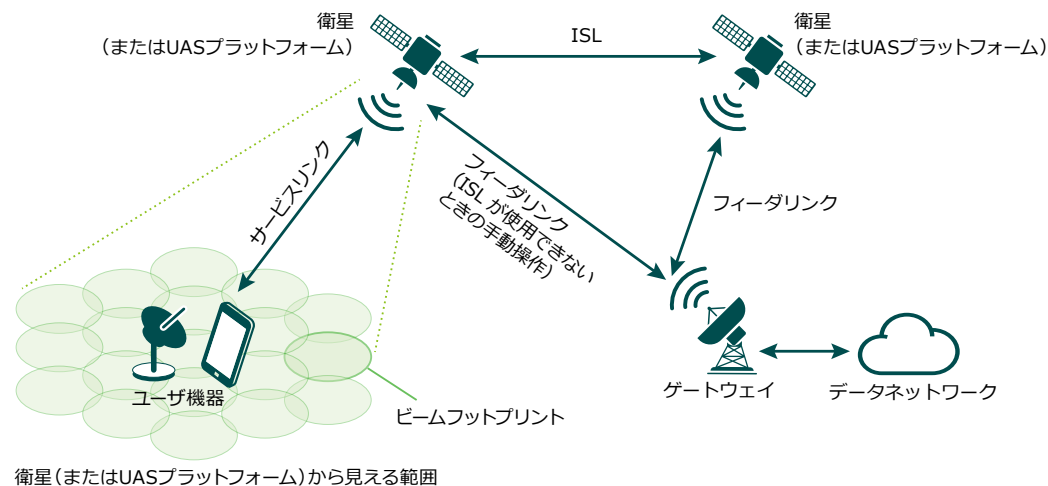


図6 再生中継型ペイロード

技術動向 – NTN モバイル/IoT機器との直接通信 (Direct to Device) –

衛星を利用した通信サービスでは、これまで、衛星通信用のアンテナを持つ地上局を固定設置するか、モバイルまたはIoT機器などのユーザ機器 (UE) 側に衛星通信用のアンテナを搭載する必要がありました。しかし、最近では、衛星通信用のアンテナを持つ地上局を経由せず、衛星とモバイルまたはIoT機器との間での直接通信 (Direct to Device : D2D) サービスが注目されています。

D2Dには以下の利点があります。

- ・衛星通信の地上局を介さないことで、通信時のデータ伝送遅延を最小限に抑制
- ・モバイル通信事業者は、自然災害や非常にアクセスが困難な地域での通信サービス提供を実現

ここで、D2Dの3つの方式を紹介します。

独自方式/Proprietary

通信事業者や機器メーカーによる独自の通信プロトコルや技術を用いる方式です。LEO衛星が使うマイクロ波帯を利用し、UEとLEO衛星間で直接通信します。標準化された方式ではないため、他の事業者のNTNとの相互運用性はありません。

UEに変更を加えない方式/Unmodified UE

UEに変更を加えることなく、4Gの通信方式をそのまま使用してD2D通信を行う方式です。UEがNTNネットワークを利用する際に、通信技術やプロトコルを変更する必要がなく、既存の標準化された通信方式に基づいて動作します。一方、衛星側には、4Gの通信方式への対応が求められます。モバイル通信で標準化された通信技術を使用するため、異なる機器やネットワーク間での相互運用性が高いと言われています。

3GPPの技術仕様にに基づくNTNを利用する方式

3GPPのNTNの技術仕様をUEおよび衛星側に実装し、両方でD2D通信します。この方式では小容量通信のNTN NB-IoTと、高速大容量通信のNTN NRが適用されます。

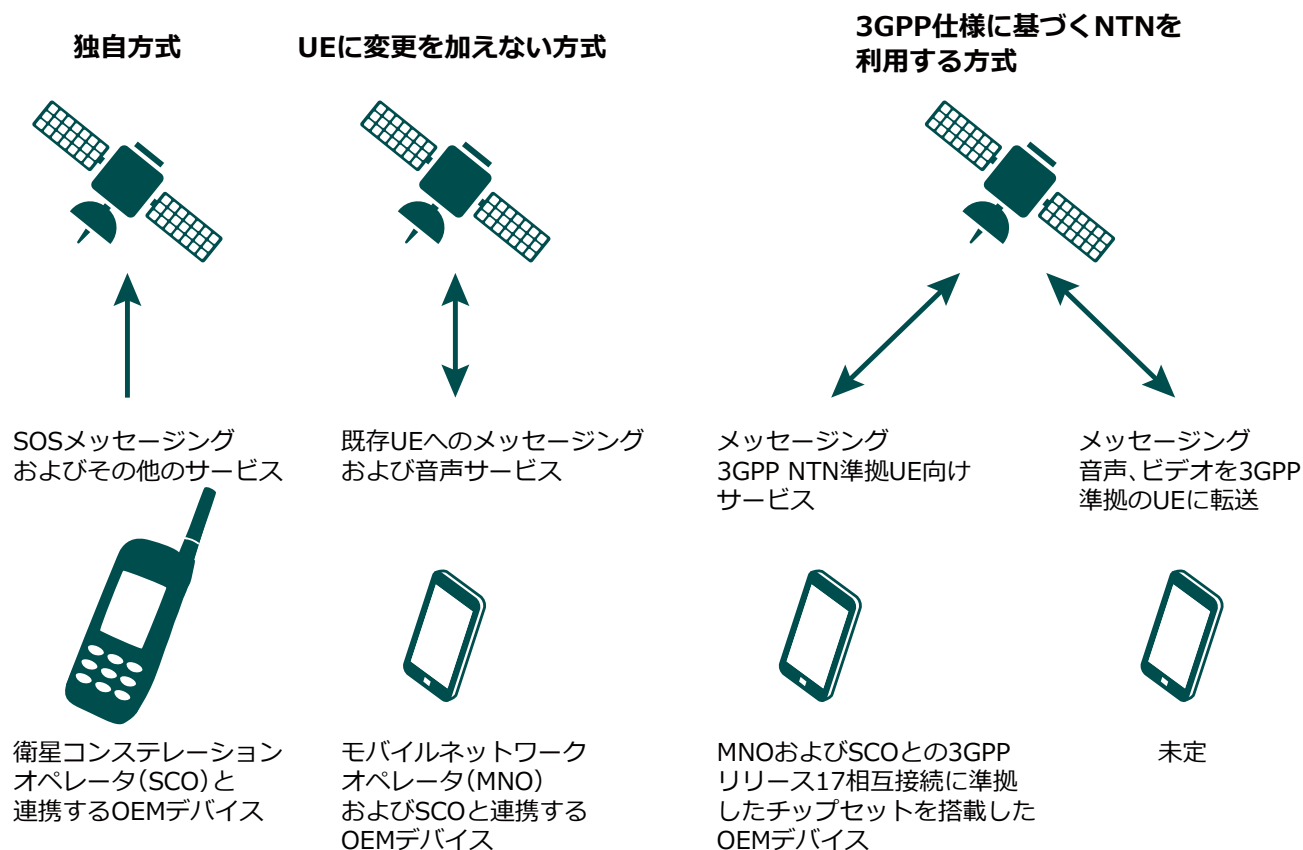


図7 D2D方式別の用途

技術動向 – NTNの周波数割り当て –

NTNの国際的な周波数割り当ての動向について紹介します。無線周波数の国際的な管理や調整は、ITU-Rが担っています。2023年12月に開催された世界無線通信会議WRC-23では、NTNや国際移動通信（IMT）の周波数割り当ての調整が実施されました。

従来のNTNは、移動衛星通信サービス（Mobile Satellite Service : MSS）と固定衛星サービス（Fixed Satellite Service : FSS）の2つに分類されます。MSSは、船舶や車両、あるいは専用携帯電話などに使用されます。一方、FSSは、固定された地上局への衛星通信サービスを表し、家庭や企業向けの衛星通信に使用されます。NTNでは、ここに、モバイル端末による通信が新たに加わることになります。

周波数割り当ては、一次（Primary）業務と二次（Secondary）業務に分類されます。一次業務は、当該周波数を使用できる衛星通信や移動体通信、電波天文などの主要な業務を表し、一次・二次業務からの干渉に対する保護を受けることができます。一方、二次業務の周波数帯では、一次業務の無線局に対して有害な干渉を発生させて一次業務の運用を妨害してはならず、一次業務からの干渉に対しての保護を要求できず、許容する必要があります。

- 一次業務周波数帯：この周波数は、NTN通信において重要な役割を果たしており、一部の周波数帯は従来のMSSおよびFSS通信と同等に利用可能です。
- 二次業務周波数帯：前述したように、干渉に対する保護を要求できないため、他の通信サービスから受ける干渉などの問題を考慮する必要があります。

具体的な周波数帯の用途については、次のように分類されています。

低周波数帯（Sub6周波数帯）：

主にMSS用途として使用されます。この帯域は帯域幅が狭く、緊急時やメッセージ・音声通話中心の通信に適しています。衛星と地上のセルラとの通信の利用が拡大しつつあります。

高周波数帯（10 GHz以上）：

主にFSS用途として使用されます。これらの周波数帯では、地上端末が高性能なアンテナを備えており大容量のデータ伝送に優れ、ブロードバンドサービスの提供が可能です。一方、この周波数帯での衛星とセルラとの通信は実現の途上です。

そのほかに衛星間でのデータ通信を行うための専用の周波数帯域も存在します。このリンクは、衛星間の相互通信を支え、広域のカバレッジを可能にします。

NTN通信向けの周波数は今後（WRC-27等）も増える見込みです。

表3 NTNの周波数割り当て

NTNバンド	アップリンク(MHz)	ダウンリンク(MHz)	モード	チャンネル帯域幅(MHz)
n253 extension	1663-1675	1518-1525	FDD	3, 5, 10
n254 (L+S)	1610-1626.5	2483.5-2500	FDD	5, 10, 15
n255 (L)	1626.5-1660.5	1525-1559	FDD	5, 10, 15, 20, 30
n256 (S)	1980-2010	2170-2200	FDD	5, 10, 15, 20, 30
n510	27500-28350	17300-20200	FDD	50, 100, 200, 400
n511	28350-30000	17300-20200	FDD	50, 100, 200, 400
n512	27500-28350	17300-20200	FDD	50, 100, 200, 400

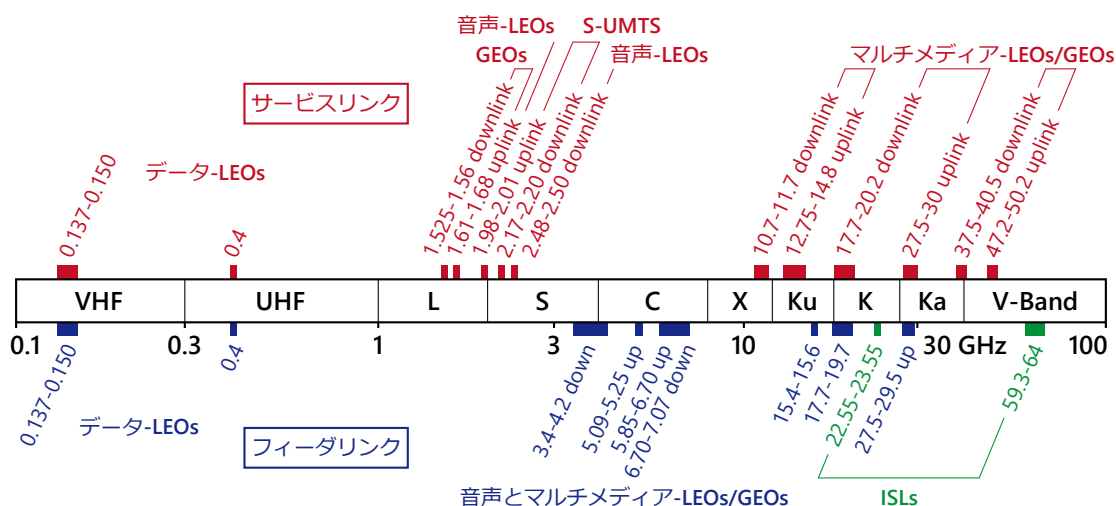


図8 NTNの周波数割り当て

アンリツのNTN試験ソリューション(1/2)

研究・開発

デバイスや材料の伝送特性、群遅延、リターンロス



ME7869A



ME7838シリーズ



MS46122B



MT8862A



MG362x1A

5G NRモバイルデバイス試験

New Radio RFコンFORMANCEテスト



ME7834NR



ME7873NR

チップセットおよびデバイス開発・製造

3G/4Gデバイス開発



MT8821C

4Gプロトコル試験



MD8430A

5Gプロトコル試験/RF測定



MT8000A

RF測定 (製造)



MT8870A

光通信

光スペクトラム、
波長、パワー



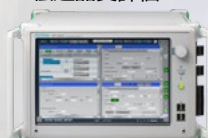
MS9740B

アイパターン、ビットエラーレート



MP2110A

デジタル信号の
伝送品質評価



MP1900A

光デバイスの伝送特性



ME7848A

電波環境測定・監視

リアルタイムスペクトラム測定



MS2090A

スペクトラム測定



MS276xA

スペクトラム監視



MS2720xA

スペクトラム測定



MS2840A/MS2850A

ネットワーク性能

スループット、遅延時間測定



MT1000A

スループット



MT1040A

スループット、遅延時間測定



MX109030PC、MX109031PC

アンリツのNTN試験ソリューション(2/2)

行程	試験対象	試験内容	測定器	ページ
R&D	チップセットとセルラ	プロトコル、RF性能	シグナリングテスタ	10
	FWA/CPE	RFパラメトリック試験	RFテスタ ワイヤレスLANテスタ	12
	フェーズドアレイアンテナ	放射パターン	ネットワークアナライザ スペクトラムアナライザ 信号発生器	13
	ミリ波、マイクロ波 モジュール/コンポーネント	透過・反射特性、インピーダンス	ネットワークアナライザ	15
	ミリ波材料	誘電率と誘電損失の測定	ネットワークアナライザ	17
	衛星間、衛星－地上間光通信 モジュール	光源の出力特性	光スペクトラムアナライザ	18
		デジタル信号品質 ビット誤り率 アイパターン	シグナルクオリティアナライザ ビットエラーテスタ オシロスコープ	19
		光通信モジュールのE/O、O/E、O/O特性	ネットワークアナライザ	20
設置・保守	地上局	妨害波・干渉波探索	ハンドヘルド スペクトラムアナライザ	21
	スペクトラム監視	妨害波・干渉波・希望波モニタリング	スペクトラムアナライザ	24
	NTN 通信遅延・通信品質	スループット、遅延測定	フィールドトランスポートテスタ ネットワーク性能測定ツール	25
	オートモティブ	スループット、遅延測定	フィールドトランスポートテスタ ネットワーク性能測定ツール	28

チップセット・モバイル端末の3GPP試験(1/2)

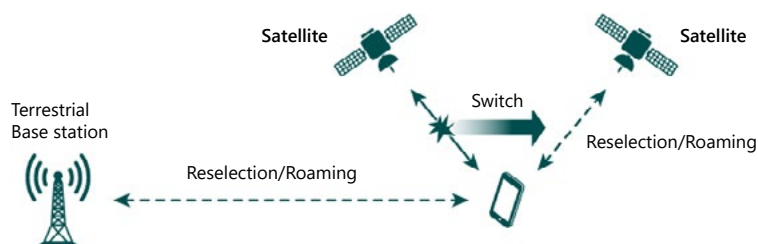
技術課題

NTNでは、衛星間もしくは衛星と地上間の通信の際、電波の伝搬遅延に加えて、無線の周波数が変化するドップラーシフトが発生します。ドップラーシフトは衛星―基地局間の相対速度と無線周波数から算出でき、衛星の中で相対速度が大きいLEOではドップラーシフトが顕著に発生します。ドップラーシフトを補正するためには、基地局またはIoT機器と、衛星双方の移動速度および位置の把握が不可欠です。

また、NTNと地上系ネットワーク(TN)では、電波の受信強度差をモニタしながら両ネットワークを切り替えるリセクションが実行されます。ここで、NTNのリセクションは、地上系ネットワークのような電波の受信強度差だけでなく、衛星や通信端末の正確な位置情報も反映して実行されます。このため、地上系ネットワークのリセクションに比べて複雑な動作になります。さらに国境を容易に越える衛星通信では、NTN事業者からTN事業者へなどといったローミングが発生します。したがって、NTN対応の通信端末の開発時には、事業者間のローミングが行えるように、3GPP規格に準拠したローミング動作を確認する必要があります。

課題を解決するソリューション

- IoT/モバイル端末のRF試験、プロトコル試験
- 地上系・非地上系ネットワークのシミュレーション
- OTA環境でのRF試験



試験ソリューション

アンリツは、NTN機器に対して、3GPPに準拠したプロトコルテストとRF送受信試験ソリューションを提供しています。今後も、NTNの課題解決や検証効率の改善に貢献できるよう、試験機能の拡充を進めています。

RF送受信試験

アンリツのRF送受信試験ソリューションは、NTNでのIoT機器や移動端末の安定した通信を実現するために、3GPP規格に準拠した送受信試験環境を提供します。簡単な操作と柔軟なパラメータ設定により、RF送受信試験を効率よく実施できます。



ラジオコミュニケーション
テストステーション
MT8000A

5GやNTN NRの疑似基地局の機能によるFR1(～7.125 GHz)からFR2(ミリ波帯)のRF送受信試験



ラジオコミュニケーションアナライザ
MT8821C

スマートフォンやIoTモジュールなど、通信端末の開発向けRF送受信試験で、NTN NB-IoTのRF送受信試験に対応



製品の詳細はこちら



ユニバーサルワイヤレステストセット
MT8870A

5G NR sub-6 GHz、NB-IoT、無線LANなどの各種無線規格に対応した通信機器の量産試験用測定器



チップセット・モバイル端末の3GPP試験(2/2)

プロトコル試験

NTN対応のチップセットやモジュールに実装されたプロトコルを正確に評価するためには、衛星との接続環境を再現することに加え、任意の伝搬遅延環境下でのシミュレーションやNTN-TN間のローミングなど、多様なテストケースを確認する必要があります。アンリツのシグナリングテストMD8430Aは、これらのテストケースの迅速な作成と評価をサポートし、チップセットやモジュールの開発・性能検証を効率的に行うことができます。



ラジオコミュニケーション
テストステーション
MT8000A

5Gの疑似基地局の機能によるFR1(～7.125 GHz)からFR2(ミリ波帯)のプロトコル試験



シグナリングテスト
MD8430A

スマートフォンをはじめとするLTE対応マルチシステム端末のサービス・通信機能試験を1台で実現する基地局シミュレータで、NTN NB-IoTに対応



製品の詳細はこちら



ユニバーサルワイヤレステストセット
MT8870A

5G NR sub-6 GHz、NB-IoT、無線LANなどの各種無線規格に対応した通信機器の量産用測定器



コンFORMANCE試験

NTN対応のIoT機器や移動端末の品質を確保するためには、最新の3GPP規格に準拠したコンFORMANCEテストが必要です。アンリツは、NTNを実現するチップセットやデバイスの認証試験へ向けた試験ソリューションを提供しています。New Radio RFコンFORMANCEテストシステム ME7873NRと5G NRモバイルデバイステストプラットフォーム ME7834NRにより、3GPPに準拠したテストケースをお客様の期待に合わせてタイムリーに提供し、お客様の製品の市場投入を加速します。



New Radio RFコンFORMANCE
テストシステム
ME7873NR

3GPP規格に準拠し、NTN NB-IoTおよびNTN NRに対応。GCFとPTCRBの認証を取得したテストプラットフォーム



5G NR モバイルデバイス
テストプラットフォーム
ME7834NR

NTN NB-IoTおよびNTN NRに対応した、モバイルデバイス向けの3GPP準拠プロトコルコンFORMANCE試験および事業者受入テストプラットフォーム



FWA・CPEのRF性能試験

業界課題

光ファイバネットワークの敷設が困難な地域では、固定無線アクセス (FWA) の活用が広がっています。FWAは、モバイルネットワークの基地局から利用者の建物までのラストワンマイルで利用されています。基地局に何らかのトラブルが生じると、FWAは通信が不安定になります。このような問題に対して、モバイルネットワークとNTNの併用によりネットワーク機能に冗長性を持たせることで、通信の安定性を強化する検討がなされています。これは、利用者の宅内に設置される顧客構内機器 (CPE) についても同様です。

通信モジュールベンダは通常、モジュール単体の3GPPおよびIEEE 802.11規格への準拠を保証しています。しかし、FWA (CPE) 機器の設計によっては、製品の材質や、電源/電気部品/その他RFデバイスの内部配置が原因で、RF特性が悪化し、劣化する可能性があります。

課題を解決するソリューション

- RFパラメトリック試験

試験ソリューション

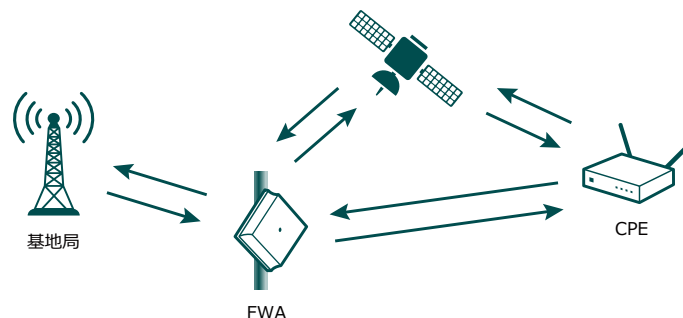
FWAやCPEの無線通信品質を検証するために、以下の試験の実施を推奨します。

RF TRx試験

- 5G NR 3GPP試験
- 無線LAN IEEE 802.11

アプリケーション試験

- IPスループット試験



製品の詳細はこちら



ラジオコミュニケーション
テストステーション
MT8000A

5GやNTN NRの疑似基地局の機能によるFR1 (~7.125 GHz) からFR2 (ミリ波帯) のRF送受信試験とプロトコル試験



ラジオコミュニケーション
アナライザ
MT8821C

スマートフォンやIoTモジュールなど、通信端末の開発向けRF送受信試験で、NTN NB-IoTのRF送受信試験に対応



ワイヤレスコネクティビティ
テストセット
MT8862A

無線LAN IEEE 802.11a/b/g/n/ac/ax/be (2.4 GHz帯、5 GHz帯、6 GHz帯) 対応機器のRF送受信試験



ユニバーサルワイヤレス
テストセット
MT8870A

5G NR sub-6 GHz、NB-IoT、無線LANなどの各種無線規格に対応した通信機器の量産用測定器



製品の詳細はこちら

大型フェーズドアレイアンテナのRF特性評価(1/2)

技術課題

フェーズドアレイアンテナは複数のアンテナ素子をマトリックス状に配置し、各素子の位相制御や放射パターンの合成により、ビームフォーミングや指向性を精密にコントロールします。フェーズドアレイアンテナの性能を最大限に生かすためには、各素子の電波強度や位相などの制御が期待通りに機能していることを検証する必要があります。

課題を解決するソリューション

- 大型アレイアンテナの検証方法
- 近傍界を遠方界へ換算し、放射特性を把握

遠方界で評価する場合には、長距離かつ広範囲の試験系およびスペースが必要となります。

他方、測定した近傍界の電波の振幅・位相情報から遠方界への換算することは可能です。この場合、試験系およびスペースは小規模に留められます。しかし、試験に使用する同軸などのケーブルが長いと位相ずれが発生しやすく、近傍界から遠方界への換算で誤差が大きくなる懸念があります。

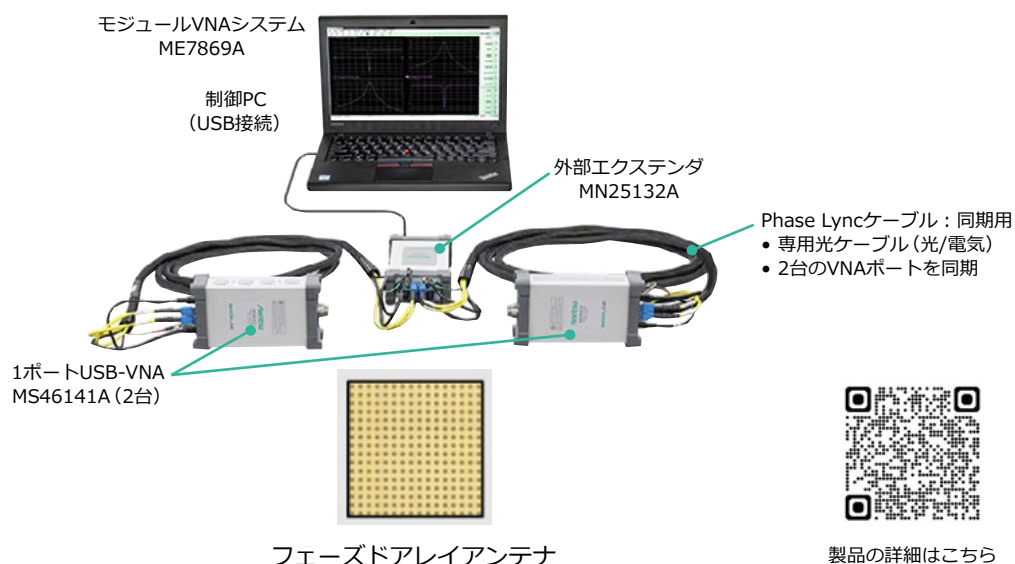
試験ソリューション

大型アレイアンテナの放射パターン(近傍界)評価ソリューション

試験用ケーブルに起因する測定誤差発生にお悩みの方にお勧めするのが、独立した2つのVNAポートを持つ、アンリツのモジュールベクトルネットワークアナライザ(VNA) システム ME7869Aです。

特徴

- 独立した2つのVNAポートにより、被測定物の近くに柔軟に設置可能
- 位相ずれが生じにくい専用の光ケーブル(PhaseLync、光/電気)でVNAポートを接続することで、悩みの種であった位相誤差を抑制
- 2つのVNAポートが離れていても、ベクトル(振幅・位相)での伝送特性の評価を実現
- 大きなアレイアンテナの評価が容易に



参考：一般的なVNAの場合

- 端子(測定ポート)が測定器の表面に固定。
- 同軸ケーブルを被測定物まで延ばし、可能な限り同軸ケーブルが動かないように測定系を組む必要あり。
- 大型のアレイアンテナを評価の場合、同軸ケーブルは数mと長くする必要あり。
- 測定時に同軸ケーブルが動くことで、位相変化が発生。
- 位相が変化すると、ケーブル内の定在波の条件が変化するため振幅値も変動。これが測定誤差要因になります。

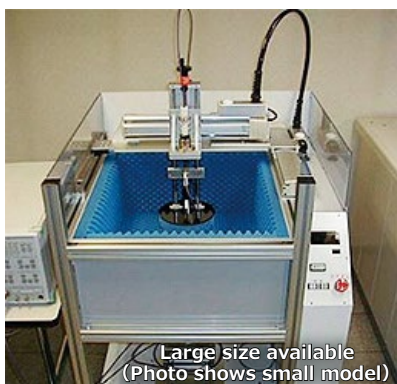
大型フェーズドアレイアンテナのRF特性評価(2/2)

モジュールVNAシステムME7869A(アンリツ)と平面アンテナスキャナ(東海テクノ様)を組み合わせた近傍界アンテナ測定システム



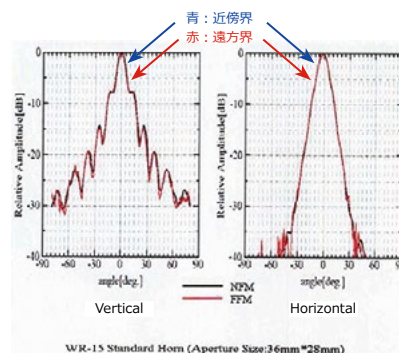
特徴

- 水平スキャン方式：
測定アンテナと受信アンテナを平行に設置
高さ方向の設置空間が不要
- 大型平面アンテナスキャナ：
大型(数m)のアレイアンテナにも対応可能
- 近傍界/遠方界 変換アルゴリズム：
近傍界の振幅と位相の情報から遠方界のパターンを算出できるアルゴリズム(アンリツ)により高い相関性を実現



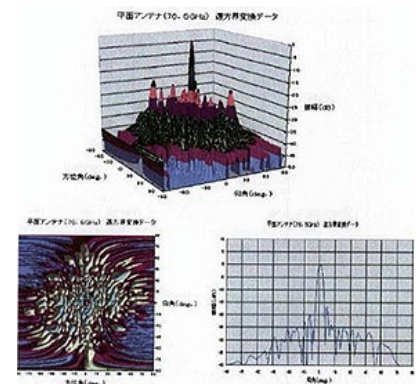
平面アンテナスキャナ

- 水平スキャン方式
- 大型アレイアンテナにも対応



近傍界/遠方界データ比較

- 近傍界(青線)と遠方界(赤線)で相関性の高いデータ取得が可能



平面アンテナ遠方界変換データ例

- 絶対利得・偏波・2次元パターンを測定して評価可能

出展(上図3点): 株式会社 東海テクノ様 <https://tk-techno.co.jp/ant/>

【ポイント】

- **水平スキャン方式：**
測定アンテナと受信アンテナは被測定物の上と下に平行に設置します。VNAが小型軽量なのでこのような構造が可能になります。
- **大型平面アンテナスキャナ：**
写真は小型ですが、大型アレイアンテナの場合には数m(例: 7 m × 1 m)でも実績があります。受信アンテナとモジュールはクレーンゲームのように前後左右に移動しますが、専用光ケーブルで位相補正されるので位相ずれがおきません。最終部分の測定端とアンテナを短いケーブルで接続していますが、ここは動かないように固定します。
- **アルゴリズム：**
重要なポイントが変換アルゴリズムです。近傍界での振幅/位相のデータをもとに遠方界と相関性のある放射パターンを算出できます。青と赤のグラフがほとんど重なっていることから相関性があることがわかります。
さらに東海テクノ様のシステムでは、測定する波長に合わせてプロットする距離と間隔を設定して、自動的に測定したり、遠方界の変換データとして絶対利得・偏波・2次元パターンなどをグラフで検証できたりします。
- **遠方界のデメリット：**
アンテナから数m離して測定する場合、測定対象範囲はかなり広くなります。そのため大規模な電波暗室などの評価環境が必要となり、建物の総工費が膨大になります。
また、周波数が高いほど空間を伝搬する減衰量が大きくなります。そのため「サイドローブ(グラフの裾)がノイズに埋もれて特性がつかめない」というケースがあります。
- **近傍界のメリット：**
測定ポートと被測定物が近いので出力を抑えることができます。そのため平面アンテナスキャナの電波吸収体で十分であり、大規模な電波暗室は不要です。さらに平面で測定できるので設置場所の高さ方向も不要となります。
また、近傍界のデータから換算するので「サイドローブ(グラフの裾)」の特性も確認できます。

ミリ波の部品・デバイスの特性評価

技術課題

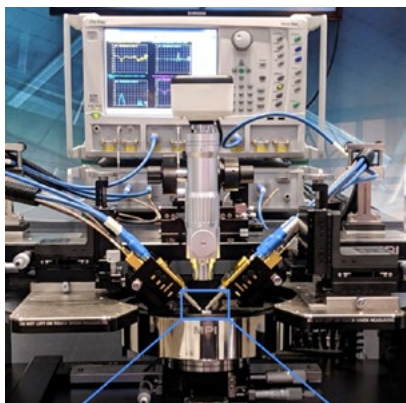
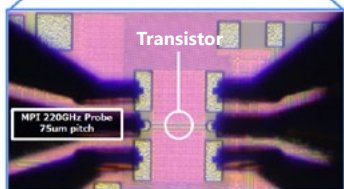
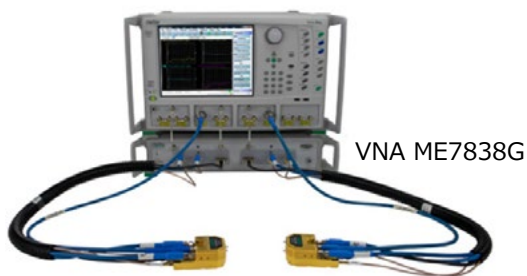
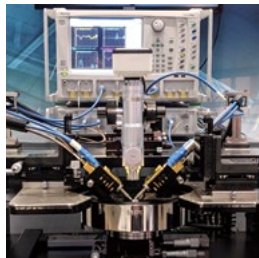
ミリ波帯では、導体損失や絶縁体損失が増加します。これにより、信号の減衰が大きくなり、通信の効率が低下します。また、ミリ波のデバイスは、マイクロ波に比べてサイズが小さいため微細化や集積化が難しく、パッケージングや基板設計に工夫が求められます。このため、伝送損失や利得、帯域幅などの特性を試験し、デバイスが設計通りの性能を保持しているかを確認する必要があります。

課題を解決するソリューション

- ミリ波の部品/デバイスのSパラメータ評価
- 複数バンドをワンシステムで一括測定

試験ソリューション

ベクトルネットワークアナライザ (VNA) は、ミリ波の基板や部品、デバイスなどの透過、反射、Sパラメータなどの特性の評価に不可欠です。



MPI社
プローブステーション



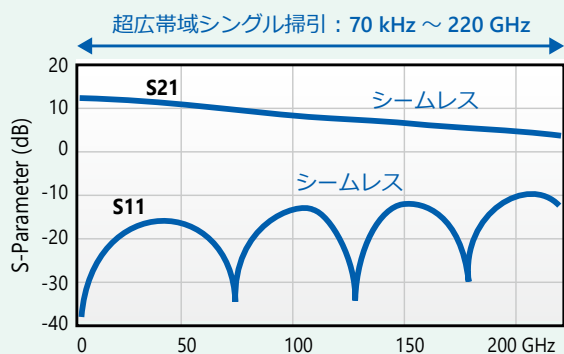
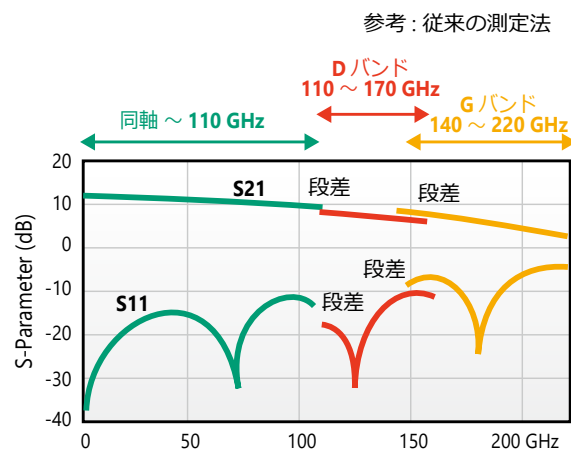
専用プローブチップ
(MA25400A + プローブチップ)



製品の詳細はこちら

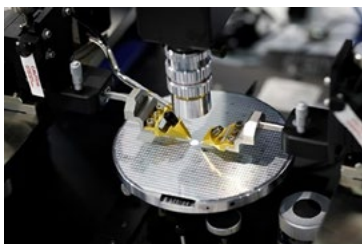
特徴

- 70 kHzから220 GHzまで一括測定できます。
- 導波管モジュールを交換する必要がないので、データのつなぎ合わせもなく、段差もありません。



ミリ波の部品・デバイス特性評価用プローブ

アンリツのプローブは、小型・軽量を実現しており、省スペースかつコンパクトなプローブ測定系を構築可能です。
プローブステーション、プローブチップ、校正基板は、用途に合わせてお選びください。



プローブステーション (例)

プローブチップ：同軸コネクタ
□ ～110 GHz、1 mm



広帯域モデル

70 kHz～125 GHz

- 広帯域 VNA ME7838AX
- ミリ波モジュール3743AX
(1 mm コネクタ)

プローブチップ：導波管
□ 110 GHz～170 GHz、WR-6



110 GHz～170 GHz

- VNA MS4644B/MS4647B
- Test Set 3739C
- ミリ波導波管 Extender Module
(WR-6.5)

**プローブチップ：
0.6 mm 同軸インタフェース**
□ ～220 GHz、0.6 mm



広帯域モデル

70 kHz～220 GHz

- 広帯域 VNA ME7838G
- ミリ波モジュール MA25400A
(0.6 mm コネクタ)

プローブチップ：導波管
□ 220 GHz～325 GHz、WR-3.4



220 GHz～330 GHz

- VNA MS4644B/MS4647B
- テストセット 3739C
- ミリ波導波管 Extender Module
(WR-3.4)

ミリ波向け材料の誘電率測定

技術課題

NTNの衛星－地上局間の通信に使用されるミリ波には、減衰しやすい、電波の直進性が高いなどの特性があります。特に28 GHz帯の電波は、降雨や結露で付着する水滴により減衰が大きくなります。そこで、屋外に設置するアンテナなどの無線通信機器には、水滴が付着しにくい防水塗料・材料が求められます。同時に、通信機器の性能を確保する必要があるため、両性能を満足する誘電体材料の実現が課題となっています。

課題を解決するソリューション

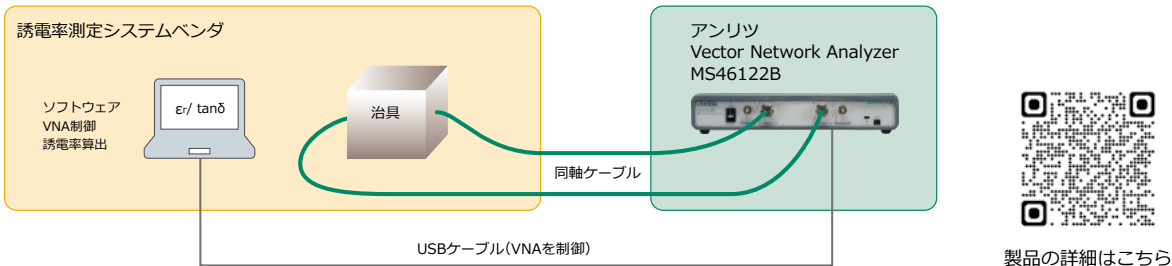
- ミリ波材料の誘電率、誘電損失測定
- 薄膜や基板材料、塗料など、材料の形状に応じた測定治具の活用

試験ソリューション

ミリ波材料の誘電率は以下の構成を用いて測定ができます。

- (1) ベクトルネットワークアナライザ
- (2) 誘電率測定治具：測定対象の材料の試料を取り付けます。
- (3) 誘電率測定ソフトウェア：VNAを自動制御し、試料の周波数特性を測定します。

試料の誘電率や誘電正接は、測定データを元に算出します。治具やソフトウェアは誘電率測定システムのベンダが供給しており、VNAはアンリツが提供しています。



製品の詳細はこちら

誘電率測定治具は、試料の種類や形状、測定条件に応じて最適なものを選択します。

TM空洞共振器法



試験対象の試料	シリカなど粉体、電池材料、フィルム、セラミックス、樹脂、液体など
測定周波数	200 MHz～10 GHz (単点測定) 300 MHz、1、2、2.45、3、5、5.8、10 GHz
比誘電率	測定範囲：1～150 繰り返し精度：±1%
誘電正接	測定範囲：0.0001～0.05 繰り返し精度：±3%
特徴	• 高精度のため、樹脂はもとより粉体でも正確に測定可能 • フィルム、低損失液体測定が可能

フリースペース法 (Sパラメータ法)



試験対象の試料	塗料、多層体、接着剤、液体
測定周波数	18 GHz～170 GHz
比誘電率	測定範囲：2～200 繰り返し精度：治具は動かないため、VNAの精度に依存 実精度目安 ±10%
誘電正接	測定範囲：0.01～20 繰り返し精度：治具は動かないため、VNA精度が反映される 実精度目安 ±20%
試料のサイズ	@18 GHz 150 mm × 150 mm以上 @76.5 GHz 80 mm × 80 mm以上
特徴	• 自由空間で測定可能で、電波暗室が不要 • 切断できない試料や厚い材料向き

NTNでの光通信 – 光通信モジュールの光学性能評価

技術課題

衛星間もしくは衛星－地上局間の光通信は、次世代の通信インフラとして注目されています。光の周波数帯は電波法の範囲外であるため免許不要であり、電波に比べて高速大容量かつ低遅延な通信を実現するものとして期待されています。現在、Starlinkでは衛星間光通信が運用されています。また、小型で持ち運びが容易なポータブル光地上局の実証実験も進められています。将来的には、一般ユーザの身近にポータブル光地上局が設置される可能性もあります。

衛星および地上局に設置される光の送受信モジュールには、光源、光増幅器、送受信信号処理部などが組み込まれています。宇宙での過酷な環境でも光通信品質を確保するためには、光源や光増幅器の物理特性を検証しておくことが重要です。

課題を解決する試験ソリューション

- 光源の出力パワー、波長の安定性
- 光増幅器のノイズ特性、増幅特性

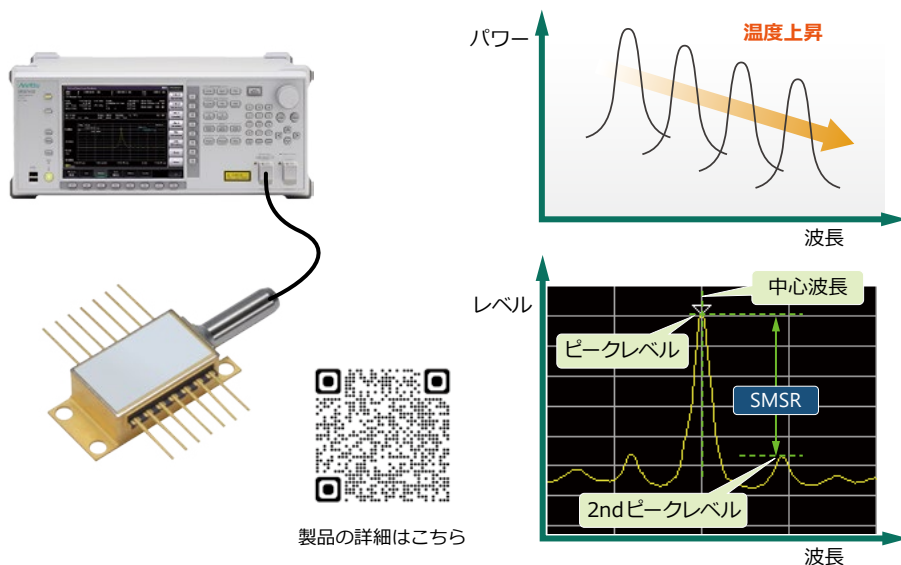
試験ソリューション

光源の特性

光源の出力特性は、光スペクトラムアナライザ MS9740Bで評価できます。

衛星間光通信においてデファクト化が進められている波長1550 nmの光源の評価にも対応しています。

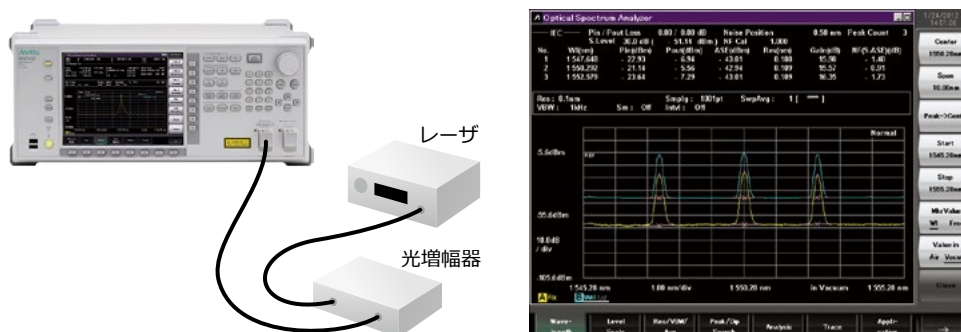
光源の出力パワー、波長、サイドモード抑圧比 (SMSR)、光信号対雑音比 (OSNR) などを検証できます。



光増幅器の特性

衛星間光通信の光増幅器として利用されるEDFAのNFやゲインも、MS9740Bで評価することができます。

ノイズフィッティングによるASE補完法に加えて、偏波マリング法やパルス法にも対応しています。



NTNでの光通信 – 光通信モジュールの品質評価(1/2)

技術課題

衛星間や衛星－地上局間の光通信の実用化が進められています。たとえば日本では、2024年現在、約4万キロ離れた衛星間で約1.8 Gbpsの通信速度を実現しています。また、Starlinkでは、LEO衛星間での100 Gbpsの光通信がすでに運用されているとのこと。NTNでは今後、通信容量の増大が見込まれていることから、さらなる高速大容量通信の実現へ向けて研究開発が進められています。

光通信モジュールの構成は、チップ、電気/光配線、コネクタなど多岐にわたります。これらの設計やデバイスの開発は、試作、デバッグ、設計検証といったR&Dの各工程を経て完了します。これらの工程で、エンジニアは、高速デジタル信号の劣化を抑え、動作マージンを十分に確保するため、光通信モジュールの送受信特性の評価と改善を繰り返し実施する必要があります。

課題を解決するソリューション

- 光通信モジュールのデジタル信号波形、アイ開口
- ビットエラーレート、ジッタトレランスなどの動作マージン

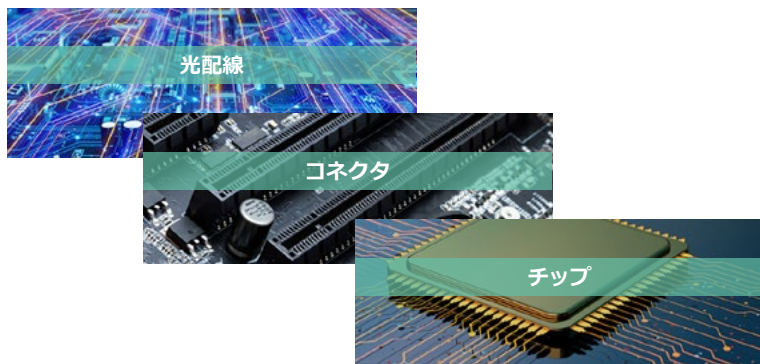
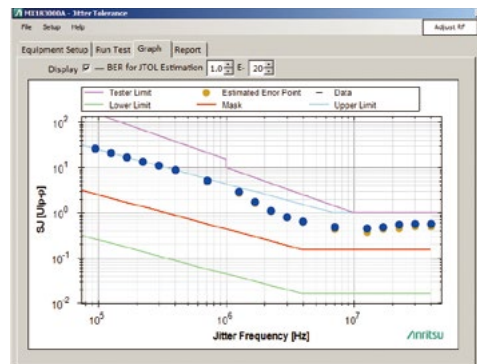
試験ソリューション

デジタル信号波形の評価

アンリツのサンプリングオシロスコープ BERTWave MP2110Aは、デジタル信号波形のアイパターン解析を実行し、各アイの振幅、ジッタ、スキュー（時間差）などの値を評価できます。



さらに、信号発生 (PPG) 機能とビット誤り率測定機能を持つシグナルクオリティアナライザ-R MP1900Aを活用すれば、デジタル信号にノイズやジッタなどのストレスを印加し、USBデバイスのジッタトレランス、クロストーク、動作マージンなどを評価可能です。



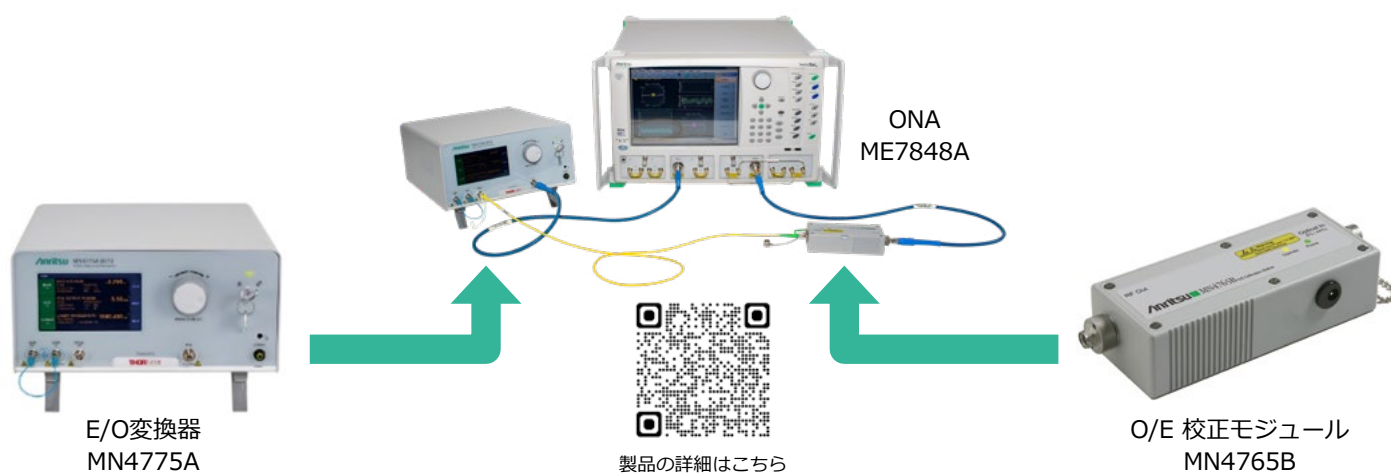
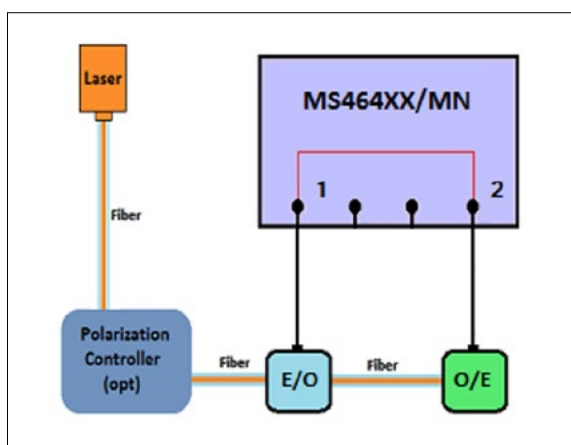
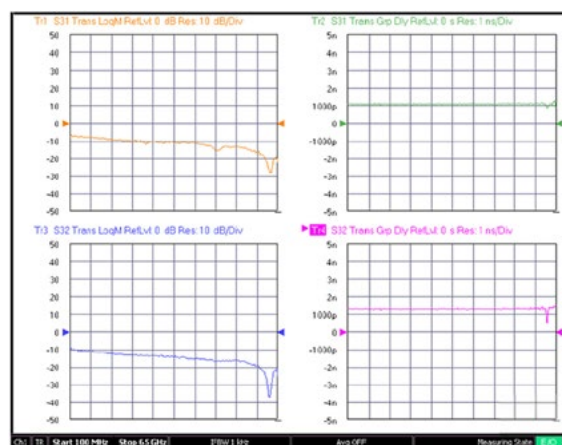
NTNでの光通信 – 光通信モジュールの品質評価(2/2)

課題を解決するソリューション

- 光通信モジュール内の部品や信号線の挿入損失、反射測定
- 光通信モジュールの信号劣化要因の特定

試験ソリューション

アンリツのオプトエレクトロニックネットワークアナライザ ME7848Aは、光通信モジュールの挿入損失、反射特性、軍遅延などを評価可能です。電気信号を光信号に変換するE/O変換器、光信号を電気信号に変換するO/E変換器を利用することで、光波長850、1310、1550 nmに対する光通信モジュールのE/O、O/E、O/O特性を検証できます。



NTN地上局での妨害波・干渉波の探索(1/3)

技術課題

Satellite Interference Reduction Group (SIRG) の調査によると、衛星通信事業者500社以上の半数以上が月に1回以上、衛星通信事業者の17%が日々の運用で継続的に電波干渉を受けていると回答しています。この電波干渉は地上系ネットワークの5Gの電波などが原因であり、衛星地上局が使用する電波に干渉します。

妨害波や干渉波は、NTNの通信速度の低下や通信エラーを引き起こす可能性があり、最悪の場合には通信が完全に遮断するおそれもあります。これらの事態を避けるためには、妨害波や干渉波の存在を確認し、不要電波があればその発生源を突き止め、取り除くなどの対処が必要です。

妨害波・干渉波の例

- 衛星信号よりも電波強度が高い他の信号 (5G セルラなど) からのエミッション
- 航空機による電波干渉
- 高出力レーダによる電波干渉
- 衛星地上局のその他の干渉源
- 他の衛星地上局から発生する、スプリアスまたは帯域外の不要なエミッション

課題を解決するソリューション

- スペクトル測定による妨害波・干渉波の存在や発生源を特定
- 屋外・屋内の不要電波強度のマッピング

試験ソリューション

妨害波や干渉波の探索には、アンリツが提供する可搬型のスペクトラムアナライザが適しています。



フィールドマスタ プロ
MS2090A



スペクトラムマスタ
MS276xA



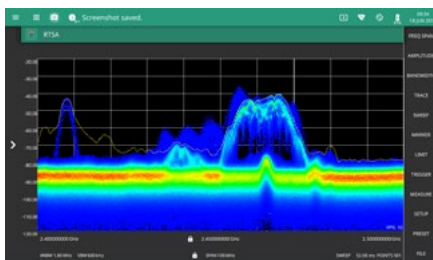
製品の詳細はこちら



妨害波や干渉波を捉える3つのステップ

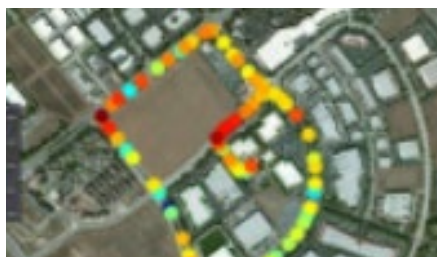
Step 1 : 妨害波や干渉波の存在を把握

- これらの不要電波の周波数、強度、発生頻度をリアルタイム測定により捕捉
- 瞬間的/バースト的な変化も観測可能



Step 2 : 不要電波の発生エリアの推定

- 周辺の電波環境を測定
- 不要電波の強度を地図上にマッピングすることで、不要電波の発生エリアを絞り込み



Step 3 : 不要電波の発生源の特定

- スペクトラムアナライザと可搬型の指向性アンテナを活用し、不要電波の発生源を特定



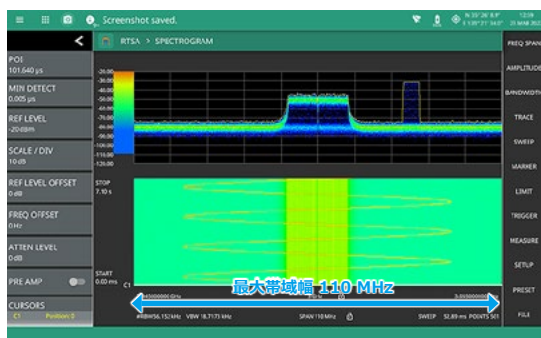
NTN地上局での妨害波・干渉波の探索(2/3)

妨害波・干渉波の発生エリアの推定や発生源の特定には、指向性アンテナと、電波が到来する方位を把握できるポーラメータの活用をお勧めします。

- MS2090Aが不要信号を検出すると、MS2090Aから音が発生
- 検出した信号強度に合わせて、MS2090Aの音のピッチや音量が変化
- MS2090Aの画面を見ることなく、音で電波の強弱を判別

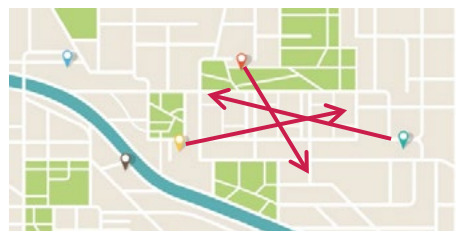


フィールドマスター プロ
MS2090A



少し距離が離れた3か所以上からの測定により、妨害波/干渉波の発生エリアを絞り込みできます。

測定地点から妨害波/
干渉波の方位を確認



地図にて測定地点(緯度経度)と方位から発生源を
推測

指向性アンテナ

■ 周波数 ≤ 6 GHz以下の不要電波を探索時



インターフェアレンス・ハンター
MA2700A



製品の詳細はこちら

■ 周波数 ≥ 6 GHz以上の不要電波を探索時

市販の指向性アンテナ
と、ポーラメータの活用
をお勧めします。

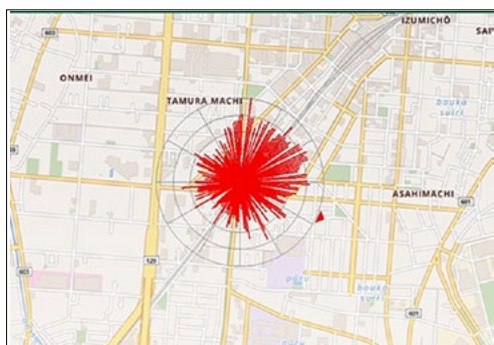


インターフェアレンス ファインダーとハンターを組み合わせることで、電波強度の高いエリアを地図上で確認できます。
インターフェアレンス・ハンターには電子コンパスが内蔵されており、方位検出機能とMS2090A本体は連動しています。

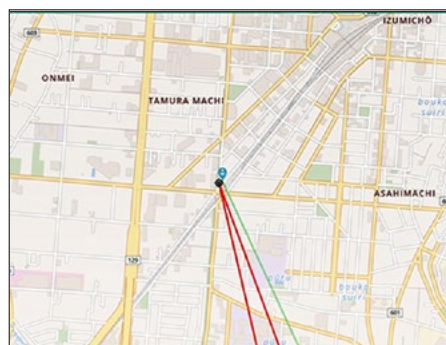
Polar画面： 方位ごとの電波強度の変化を描画します。電波が強い方位を探索するのに便利です。

Map画面： Polar画面で方位の見当をつけたらMap画面で絞り込んでいきます。緑のラインはアンテナが向いている方位です。
電波が強い方位でハンターのトリガスイッチを押すと赤いラインで記録されます。

少し距離が離れた数か所(例：3か所)から同様に測定することで、妨害波/干渉波の発生源を探索できます。



Polar画面



Map画面

NTN地上局での妨害波・干渉波の探索(3/3)

マイクロ波からミリ波の妨害波や干渉波の探索には、ポケットサイズのスペクトラムアナライザがもう一つの選択肢です。

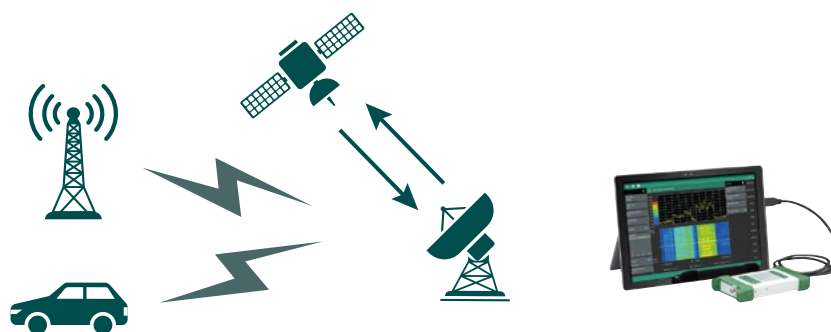
スペクトルマスタMS276xAは超小型かつ255 gと軽量なので、

- 片手で空間の電波測定が可能
- 小型無人機 (UAV) への搭載や、NTN地上局の信号ライン周辺への組み込み可能
- 損失が多いケーブル不要で直接接続可能
- 外部ダウンコンバータ不要で、異なる周波数帯域を測定可能

フィールドでのNTNの設置・保守作業の効率化に貢献します。



スペクトラムマスタ
MS276xA



以下の評価項目を可視化

- チャンネルパワー
- スペクトル
- 隣接チャネル漏洩電力
- スプリアスエミッション
- 占有帯域幅
- など

NTN地上局での衛星信号・不要電波のモニタリング

技術課題

衛星から地上局へ到来するダウンリンクの電波の周波数は、地上系ネットワークやその他の用途のものと共存しています。ダウンリンクの電波強度は大気による吸収や降雨による減衰などにより非常に低くなるため、その他の電波との干渉を受けやすい状況といえます。

安定した通信を確保するためには、衛星―地上間の電波を継続的にモニタリングする必要があります。また、その隣接する周波数帯域の電波を継続的にモニタリングし、干渉などの異常があれば不要電波をフィルタリングするなど直ちに対処することが必要です。

課題を解決するソリューション

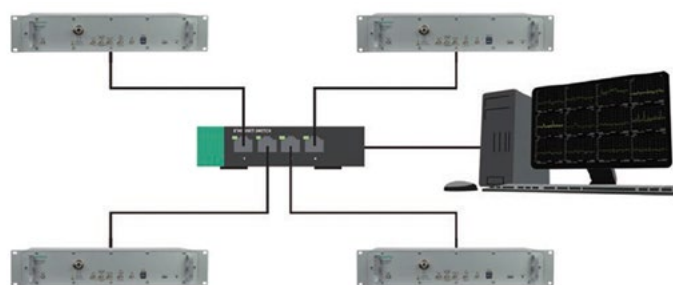
- 衛星信号の継続的なモニタリング
- スペクトラムモニタリングによる妨害波・干渉波の発見
- 複数の地上局に設置したスペクトラムモニタを遠隔から集中制御

試験ソリューション

衛星信号や、妨害・干渉電波の常時監視には、アンリツのリモートスペクトラムモニタが最適です。



- 大型タッチパネルなど無駄なコストを省き、リモート制御に特化したスペクトラムアナライザ
- 長期間記録とアラーム/アラートによる干渉監視：専用ソフトウェア (Vision™)
- 電源断からの電源回復時には自動復旧でき、電源断前と同じ状態でモニタリングを再開
- 複数のアンテナを持つ地上局に対して、アンテナごとにMS27201Aを配置し、遠隔地に設置したPCから監視可能



長期モニタリングデータ (Vision™)

- **長期間モニタに適した機能：**
長期間の信号をモニタして測定結果を保存
定期的にデータベースにアップロード
任意のスケジュールで数ヶ月/数年の履歴を記録
- **短期的/断続的な信号を補足：**
自動アラームのリミットラインを設定して抽出
- **保存データの検索：**
検索にて調査対象の信号の有無をチェック
たとえば違法/無許可の信号の存在を立証する際にも有効

NTNの通信遅延時間・通信品質の検証(1/3)

技術課題

NTNの通信は、衛星間や衛星―地上間で、最大36000 kmもの超長距離に及びます。通信遅延時間は伝送距離に依存します。このため、地上系ネットワークでの遅延時間は数百 μ s未満と小さいのに対し、たとえばGSOやGEOの場合、片道で約120 ms、往復で約240 msもの大きな遅延時間が発生します。また、GEOより低高度のLEOでは往復で6～30 ms、さらに低高度のHAPSでは1 ms未満となります(図2)。

このように大きな遅延に対応するため、3GPPでは、無線信号を送信する側が伝送遅延を考慮して送信タイミングを補正する仕組みが規定されています。しかし今後、NTNの発展により高度の異なる衛星やHAPSが中継局として組み合わせられる複雑な通信経路が一般化すると、通信経路ごとに遅延特性が異なり、固定的あるいは単純な補正モデルでは対応が困難になります。したがって、NTNの遅延補正は、機能の実装のみでは不十分であり、想定どおりに機能しているかを実通信に近い条件で検証することが重要な試験課題となります。

さらに、多くのサービスがクラウド基盤上で提供される通信環境では、無線区間の遅延だけでなく、クラウドサーバ内の処理遅延を含めたEnd-to-Endの通信品質評価が不可欠です。しかし、仮想化されたクラウド環境にハードウェア測定器を設置することは困難なため、これらに対応した試験方法が求められます。

課題を解決するソリューション

- NTNの実際の遅延時間検証
- クラウド/仮想環境も含めたネットワークでのトラブルや事故を未然に防ぐためのEnd-to-Endでの通信品質の評価

試験ソリューション

NTNの遅延補正や通信品質の評価には、ハードウェアベースの試験ソリューションであるネットワークマスタ プロ MT1000Aまたは、ソフトウェアベースの試験ソリューションであるVirtual Network Master for AWS*1 MX109030PCとVirtual Network Master for KVM*2 MX109031PCが最適です。

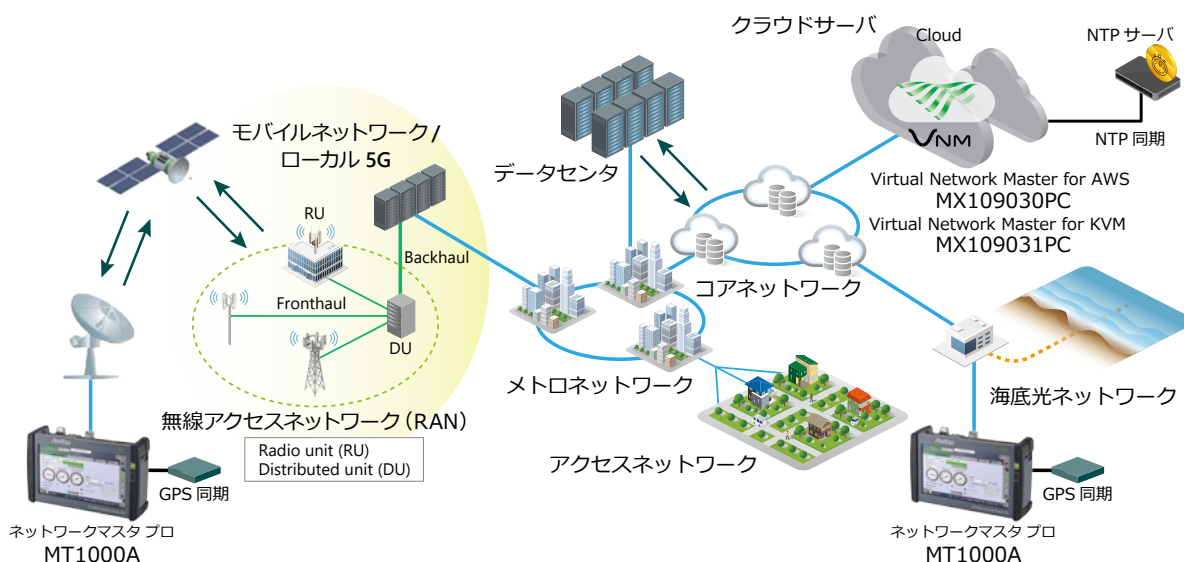
地上局やネットワーク内の通信機器に測定器を直接接続できる環境では、MT1000Aを使用することで遅延時間や通信スループットを高精度に評価できます。これにより、無線区間やネットワーク機器間における遅延補正効果を、物理層・トランスポート層レベルで検証できます。

一方、ネットワークの通信品質評価で測定ポイントがクラウドサーバ上のアプリケーションになる場合、ソフトウェアベースのVirtual Network Masterが有効です。Virtual Network Masterは、ネットワークマスタ プロの主要な試験機能をソフトウェアとして提供し、クラウドプラットフォーム上で動作します。仮想サーバや仮想ネットワーク内に測定ポイントを柔軟に配置することで、無線区間からクラウドアプリケーションまでを含むEnd-to-Endの遅延時間や通信スループットを定量的に評価できます。

これにより、NTN特有の遅延補正がクラウドサービスを含めた実運用環境で要求に従い機能していることを検証できるようになります。

*1 : Amazon Web Services、AWS は Amazon.com, Inc. またはその関連会社の登録商標です。

*2 : Kernel based Virtual Machine (KVM) は Linuxカーネルに組み込まれたオープンソースの仮想化技術です。



NTNの通信遅延時間・通信品質の検証(2/3)

MT1000Aでは、専用のGPSレシーバを用いてGPSから時刻情報を取得し、離れた複数拠点(図は2拠点のイメージ)の間の片方向遅延時間を測定します。

Virtual Network Masterは、Webブラウザを通じて測定の設定や結果の確認を行うことができます。NTPサーバから取得した時刻情報を用いて測定フレームにタイムスタンプを付与することで、クラウド環境内での片方向遅延時間の測定を実現します。クラウド側にインストールしたVirtual Network Masterと、ユーザ端末側またはフィールド側に設置したMT1000Aを対向接続することで、クラウド上のアプリケーションからユーザ端末までの片方向遅延時間をEnd-to-Endで測定することが可能です。



遅延時間の変動量のグラフ例 (MT1000A)

MT1000Aの通信品質の評価項目

- 遅延時間
- スループット
- フレームロス
- パケットジッタ
- など



製品の詳細はこちら



スループットの時間変化グラフ例 (MX109030PC)

MX109030PC、MX109031PCの通信品質の評価項目

- 遅延時間
- スループット
- フレームロス
- パケットジッタ

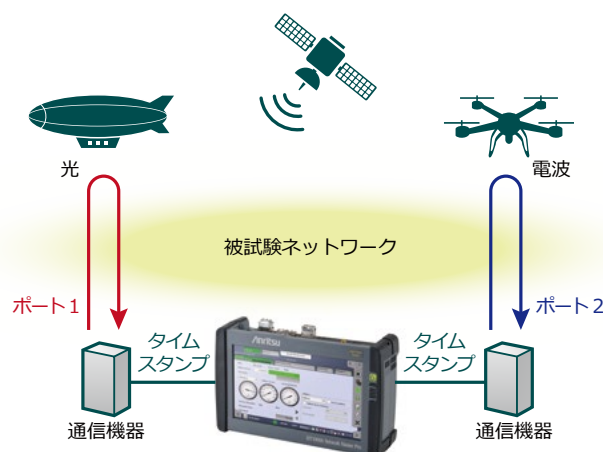


製品の詳細はこちら

異なる通信経路の遅延時間の比較

ネットワーク側にループバックでパケットを返す機能がある場合、測定器から試験パケットを送信して、異なる通信経路の遅延時間を比較することが可能です。

右図は、電波と光のハイブリッドに対応したネットワークの例で、両ネットワークのスループット・遅延・ジッタなどのネットワーク性能を評価する測定系を表しています。



NTNの通信遅延時間・通信品質の検証(3/3)

ネットワークマスタ プロの特徴

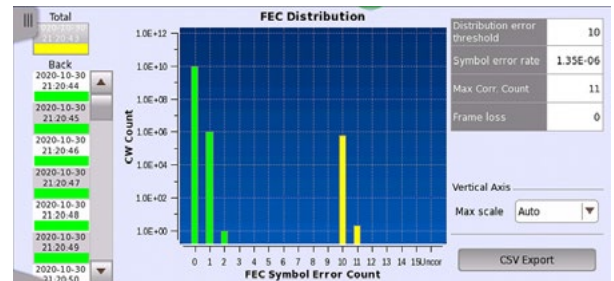
- トランスポートネットワークのあらゆるフィールド試験に対応
- 400ZRおよびOpen ZR+に対応 (OpenROADM QSFP-DDにも対応)
- OTDRモジュールの使用により、光ファイバネットワークの故障箇所を特定
- 試験シナリオの活用による試験自動化

多様な通信プロトコルをサポート

イーサネット : 10 Mbps to 400 Gbps
OTN : 2.5G/10G/40G/100G
モバイルxホール : eCPRI/RoE/CPRI/OBSAI

測定機能

遅延
スループット
フレームロス
パケットジッタ
ビットエラーレートFEC解析
など



ビットエラーレートFEC解析

Virtual Network Masterの特徴

- オープンソースの測定ツールと比べて、安定したトラフィック生成/測定が可能
- NTPを使って時刻同期することで、片方向遅延を正確に測定

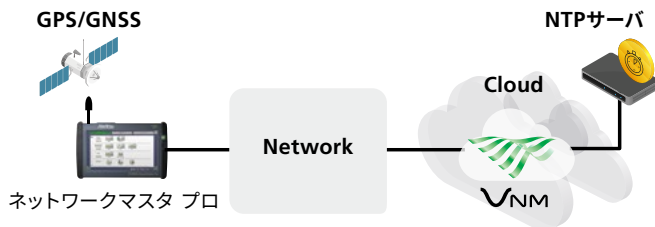


Figure 3: Screenshot of the Virtual Network Master software interface showing Ethernet - Multi Stream Throughput and Ethernet - Multi Stream Frame loss data.

Total		
Ethernet - Multi Stream Throughput		
	Tx	Rx
Stream 1 (fps)	8	8
(bps)	92.960 k	92.960 k
Stream 2 (fps)	0	0
(bps)	0	0
Stream 3 (fps)	0	0
(bps)	0	0
Stream 4 (fps)	0	0
(bps)	0	0

Ethernet - Multi Stream Frame loss		
	Frames	%
Stream 1	1	0.24038
Stream 2	N/A	N/A
Stream 3	N/A	N/A
Stream 4	N/A	N/A

スループット、フレームロスの表示

測定機能

遅延
スループット
フレームロス
パケットジッタ



ネットワークマスタ プロ
MT1040A



製品の詳細はこちら



ネットワークマスタ プロ
MT1040A



製品の詳細はこちら



Virtual Network Master for AWS MX109030PC
Virtual Network Master for KVM MX109031PC



製品の詳細はこちら

オートモティブ 通信遅延時間の検証(1/2)

業界動向

現在、自動車の外部ネットワークとの無線通信には地上系モバイルネットワークが広く使用されています。しかし、非地上系ネットワーク (NTN) は、地上系ネットワークがカバーできない地域に通信環境を提供できるため、特に注目されています。NTNは、自然災害などによる物理的な損傷の影響を受けにくい、緊急時のネットワークの冗長性を確保できるものと期待されています。NTNを活用すれば、衛星や成層圏での通信を通じて、従来の地上ネットワークが届かない地域の車両にシームレスな通信サービスを提供することができます。この取り組みは、緊急通報や監視、エンターテインメントサービスの拡充にも寄与するでしょう。将来的には、ソフトウェア・デファインド・ビークル (SDV) やコネクテッドカー向けの通信サービス、さらにC-V2Xや自動運転技術におけるNTNの利用が進むと予想されています。このように、NTNは自動車通信の未来において重要な役割を果たすことが期待されています。

技術課題

リアルタイム性が求められる自動運転やコネクテッドカーのシステムでは、通信遅延が安全性や性能に直接的な影響を及ぼします。たとえば、自動運転車両が周囲の環境をリアルタイムで認識して迅速に判断を下す必要がある場面では、通信遅延が発生すると判断や制御のタイミングが遅れ、事故や危険な状況を引き起こす可能性があります。

NTNが車両通信に適用されると、地上系ネットワークと比べて通信遅延が大きく、かつ経路や衛星高度によって遅延が変動するため、実フィールド環境における遅延特性を定量的に把握・検証する必要性が高まると考えられます。特に、自動運転や高度な運転支援では、平均遅延だけでなく、時間帯や通信負荷によって変動する遅延も含めた評価が重要となります。

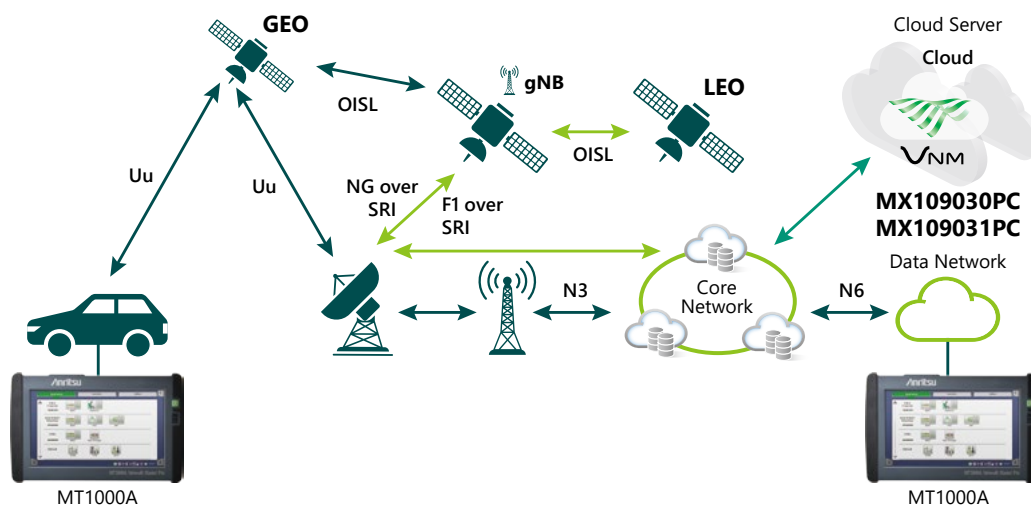
また、SDVやコネクテッドカー向けサービスの多くはクラウド基板上で提供されており、車両はクラウド上のアプリケーションと継続的に通信を行います。そのため、無線区間や車載ネットワークだけでなく、クラウド内の処理を含めたエンドツーエンドでの通信遅延評価が不可欠となります。しかし、仮想化されたクラウド環境にハードウェア測定器を設置することは困難であり、従来の測定手法では、アプリケーションから車両までの実効的な通信遅延を正確に評価することができません。このため、クラウド環境とフィールド環境をまたいだ遅延測定を実現する測定手段が求められます。

課題を解決するソリューション

- 実際の遅延時間の検証
- クラウド/仮想環境を含むネットワークでのトラブルや事故を未然に防ぐためのEnd-to-Endでの通信品質の評価

試験ソリューション

車載機器やネットワーク内の機器の通信品質検証には、ハードウェアベースの試験ソリューションであるネットワークマスタ プロ MT1000Aまたは、ソフトウェアベースの試験ソリューションであるVirtual Network Master for AWS MX109030PCとVirtual Network Master for KVM MX109031PCが最適です。



車載機器などに測定器を直接接続できる環境では、MT1000Aを使用することで遅延時間や通信スループットを高精度に評価できます。一方、ネットワークの通信品質評価で測定ポイントがクラウドサーバ上のアプリケーションになる場合、ソフトウェアベースのVirtual Network Masterが有効です。Virtual Network Masterは、ネットワークマスタ プロの主要な試験機能をソフトウェアとして提供し、クラウドプラットフォーム上で動作します。仮想サーバや仮想ネットワーク内に測定ポイントを柔軟に配置することで、無線区間からクラウドアプリケーションまでを含むEnd-to-Endの遅延時間や通信スループットを定量的に評価できます。

オートモティブ 通信遅延時間の検証(2/2)

また、NTPサーバから時刻情報を取得しているVirtual Network Masterと、GPSから高精度な時刻情報を取得しているMT1000Aを対向配置することで、クラウド上のアプリケーションから車両(ユーザ端末)までの片方向遅延時間を測定できます。これは、自動運転やコネクテッドカーで重要となる「実際に制御や判断に影響する片方向の遅延」を把握するうえで有効です。さらに、時刻情報と遅延時間を連続的に記録・評価することで、通信負荷の変動や時間帯による遅延のばらつきなど、フィールド環境における動的な遅延特性も捉えることができます。



遅延時間の変動量のグラフ例 (MT1000A)

MT1000Aの通信品質の評価項目

- 遅延時間
 - スループット
 - フレームロス
 - パケットジッタ
- など



製品の詳細はこちら

Ethernet - Multi Stream Latency			
	Min.	Max.	Avg.
Stream 1	20581.630 us	265008.220 us	63799.524 us
Stream 2	N/A	N/A	N/A
Stream 3	N/A	N/A	N/A
Stream 4	N/A	N/A	N/A

Ethernet - Multi Stream Jitter			
	Min.	Max.	Avg.
Stream 1	146.520 us	110662.460 us	20827.422 us
Stream 2	N/A	N/A	N/A
Stream 3	N/A	N/A	N/A
Stream 4	N/A	N/A	N/A

遅延時間とジッタの表示例 (MX109030PC)

MX109030PC、MX109031PCの通信品質の評価項目

- 遅延時間
- スループット
- フレームロス
- パケットジッタ



製品の詳細はこちら