



5Gの挑戦と課題

Empowering Trust™





高品質の通信やモノのインターネット (IoT) などのトレンドに牽引され、ネットワークに接続されたデバイスの数は、2019年の10倍以上になると予想されています。このような接続デバイスの増加と、高速化するデータ通信や信頼性の要求に対応するため、セルラーネットワークの技術標準は「5G」と呼ばれる第5世代へと進化しています。この第5世代は、高速大容量、多数同時接続、高信頼・超低遅延の通信を目指しています。これにより、拡張現実 (AR) や仮想現実 (VR)、自動車の自動運転、スマート医療サービス、スマートビルディングなど、以前より実現が期待されていた新しい技術の開発と導入が可能になります。しかしながら、これらの挑戦には課題が伴います。5Gは、そのメリットを十分に享受するためには、大規模なインフラ投資が必要になります。また、ハードウェア、ソフトウェア、原材料、通信アーキテクチャ、アプリケーションに求められる技術は、これまでのセルラー世代に求められていたものとは根本的に異なります。自動車の自動運転など、5Gの拡張する接続性やリスクの高いアプリケーションの増加により、セキュリティ上の課題も増えています。このホワイトペーパーでは、5Gの進化、その技術的要件、産業分野での挑戦、セキュリティ上の課題について概説します。

本ホワイトペーパーの論点



1Gから5Gへの進化と
主要技術



5Gの3つの主要な
アプリケーションシナリオと
技術的進歩



5Gによって
加速する分野



5G フルエコシステム規格



需要が後押しする モバイル通信の技術開発

3G/4G時代に開発されたスマートフォンは、人々のライフスタイルを変えました。携帯電話の機能が増えるにつれ、電話、ファックス、スキャナー、レコーダー、カメラ、ビデオカメラ、テレビ、ステレオ、リモコンなど、多くのデバイスと携帯電話が入り代わりました。また、ライフスタイルの変化に伴い、新しいニーズが生まれました。デジタル世代がソーシャルメディア上でセルフブランディングを始めたことで、データ量や通信速度への要求が高まることとなりました。そこで、携帯電話のメモリやプロセッサの容量を超える大量の映像や音声情報のニーズに対応するために、リアルタイムのクラウドストレージとコンピューティングサービスが開発されました。携帯電話とクラウド間の接続をよりスムーズに行うために、ネットワークの伝送速度と音声・映像の品質に対する要求が高まっていました。

5Gは、4Gと比較して、帯域幅の拡大、超高速ネットワーク、低遅延の信頼性の3つが主に改善されています。これらの技術進歩により、スマートヘルスケア、スマートビルディング、スマート家電、自動車の自動運転、VR・ARデバイスを含むIoTの実現が可能になります。

消費者のニーズ	使用事例	市場
低遅延	ゲーム、AR/VR、テレプレゼンス、産業・医療分野における自動化、自動車の自動運転	民生品、ヘルスケア、産業、自動車、自治体
大規模接続	スマートシティ、車車間・路車間通信(V2X)、娯楽施設、スマートホーム	民生品、自動車、自治体
高い信頼性	V2X、自動車の自動運転、スマートシティ、産業・医療分野における自動化、2つのミッションクリティカル通信(V2X、緊急時位置情報などの用途向け)	自動車、自治体、ヘルスケア、産業
高いトラフィック密度	ショッピングモール、スタジアム、公開イベント、eコマース	消費者、小売
大量のデータ	AR/VR/複合現実(MR)、超高精細テレビ、スマートシティインフラストラクチャシステム、機械学習、人工知能	消費者、政府、研究、産業、地方自治体、小売

1Gから5Gへの進化と主要技術

各セルラー世代の進化は、主に伝送速度の違いで分かります。しかし、消費者は定量的な改善に加えて、定性的な進歩、すなわち革新的なアプリケーションを推進しながら、その課題も解決できる技術に期待しています。表1では、1Gから4Gで利用可能な周波数帯域が増えたことに加え、機能やネットワーク接続にも違いがあることを示しています。

パラメータ	1G	2G	3G	4G
年	1980	1993	2001	2009
テクノロジー	AMPS (Advanced Mobile Phone System)、NMT、TACS	IS-95、GSM	IMT2000、WCDMA	LTE、WiMAX
ネットワークプロトコル / アーキテクチャ	FDMA	TDMA、CDMA	CDMA	CDMA
情報変換	回線交換	音声：回線交換 データ：パケット交換	パケット交換 (無線を除く)	パケット交換
速度(データレート)	2.4 Kbps ~ 14.4 Kbps	14.4 Kbps	3.1 Mbps	100 Mbps
機能	音声のみ	音声、データ	音声、データ	音声、データ
インターネット機能	無し	ナローバンド	ブロードバンド	高速ブロードバンド
帯域幅	アナログ	25 MHz	25 MHz	100 MHz
周波数	800 MHz	GSM：900MHz、 1800MHz CDMA： 800MHz	2100 MHz	850 MHz、1800 MHz
サブ帯域幅	30 KHz	200 KHz	5 MHz	15 MHz

表1：モバイル通信の進化¹

伝送速度の高速化、伝送距離の延長、同時接続ユーザー数の増加など、5Gの可能性を実現するためには、図1に示すように、下記新技术が必要であることがわかります。

- 大容量の携帯電話 / 基地局のインフラ整備
- データ伝送量を増やすためのより高い周波数帯域と広い帯域幅
- スペクトル利用率の向上のための効率的な通信アーキテクチャ / プロトコル

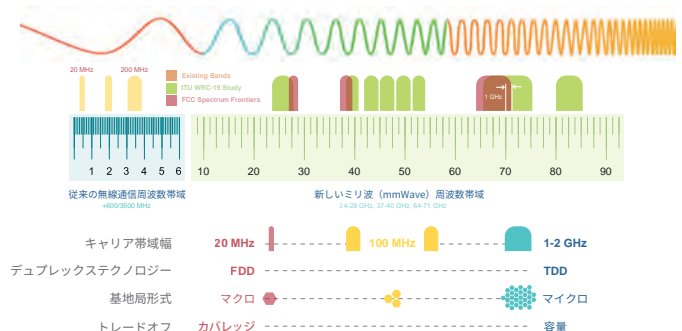


図1：スペクトルとテクノロジー²

- ミリ波(mmWave)の高周波損失を低減し、ノイズを抑制するためのアンテナ、ウェーハ製造、ウェーハ材料、回路基板、発振器、シールド材料などの主要材料・部品・組立技術の改善

これらの技術は現在、下記のように展開されています。

- コアテクノロジーを保有する国/地域：
ヨーロッパ(システム、アプリケーション)、米国(システム、アプリケーション)、中国(アプリケーション)、韓国(アプリケーション、部品、デバイス)、台湾(部品、デバイス、材料、アプリケーション)、日本(部品、材料)
- 長距離セルラー IoT 通信プロトコル：Cat-M1、NB-IOT
- 基地局製造業者(Huawei、Ericsson、Nokiaなど)
- 主要な携帯電話製造業者(Apple、Google、Samsung、Huaweiなど)
- チップセット設計業者(Qualcomm、Broadcom、MediaTek、Samsung、Huaweiなど)
- 仮想化技術(Red Hat, Inc. や Altium など)

4Gが異なる周波数帯を持っているのと同様に、5Gは図2に示すように、ローバンド、ミッドバンド、ハイバンドという周波数グループを使用します。

- ローバンドは主にアメリカ、韓国、ヨーロッパで使われています。
- ミッドバンドは、5Gの導入を計画しているほとんどの国で使用されると予想されています。

24.25 GHzを超えるハイバンドでは、高周波数のストレスに耐えるための新しい部品や材料が必要になります。これは現在、米国、中国、台湾、日本で構築されています。多くの国が今後数年間で、この周波数帯での開発を計画しています。

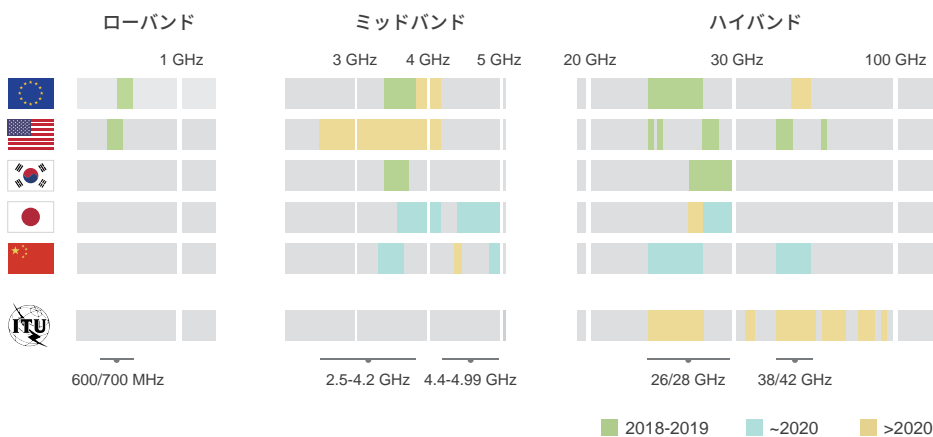


図2：世界の5G周波数帯分布³



5Gでは、多様なニーズに対応するために、より高い帯域幅、より高性能な機器、インテリジェントな通信技術が必要です



5Gの3つの主要なアプリケーションシナリオと技術的進歩

通信規格を策定したThe 3rd Generation Partnership Project (3GPP)は、5G技術の主要なコンセプトとして、高速大容量(eMBB)、多数同時接続(mMTC)、高信頼・超低遅延(URLLC)を提示しています。

5Gのこの3つの主要なコンセプトを実現するためには、高周波半導体技術、基地局通信の高密度化、ネットワークプロトコルとアーキテクチャの効率化という3つの技術分野で突破口を開く必要があります。

高周波半導体技術に依存するブロードバンド機能

ブロードバンド機能は、第3世代の半導体技術のより高い周波数と出力電力に依存しています。様々な高周波半導体の出力電力と周波数範囲を図3に示します。また、市場の発展は、ローバンド、ミッドバンドとハイバンドの可用性に影響を与えます。

- ローバンド・ミッドバンド：シリコン発振器の周波数(9 GHz未満)を使用でき、その技術は低コスト化を達成しています。
- ハイバンド、ハイパワー領域：窒化ガリウム(GaN)やガリウムヒ素(GaAs)のような新しい技術の半導体を使用する必要があります。このような半導体の部品を作り出せる世界的な製造業者はほとんど存在しません。これらのキーテクノロジーをリードしてきたのはアメリカと日本であり、台湾は大量生産に対応できる生産能力を有しています。

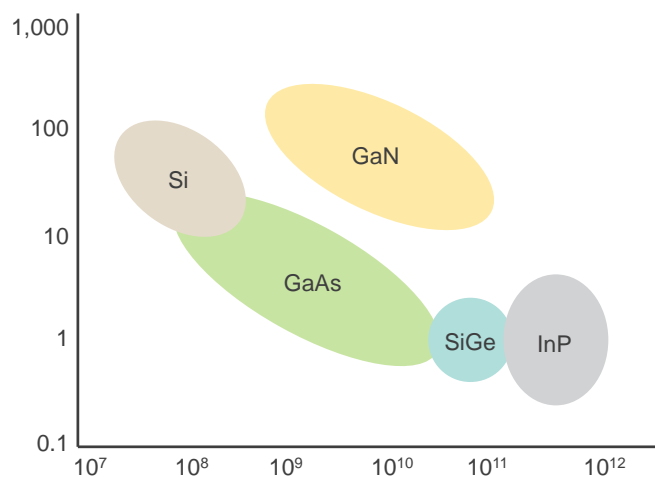


図3：様々な高周波半導体技術の動作周波数と出力電力⁴



一方、高周波信号の干渉や損失を低減するためには、適切な絶縁材料と無線透過材料を適用する必要があります。ハイバンドで使用される絶縁材料や無線透過材料は、数十GHz帯、さらには数百GHz帯の波長がミリ波レベルに達していることから、ミリ波(mmWave)材料と呼ばれています。そのため、ミリ波材料の絶縁性やRF透過性に対する要求が高くなっています。現在、このような技術を保有しているのは、米国や日本など一部の国に限られています。高周波発振器、波動伝送材料、絶縁材料の3つの主要な技術は、プリント基板と同じようにまだ十分に成熟していません。そのため、ハイバンドで使用される材料の単価はローバンドの約10倍になります。これでは、ハイバンド技術の発展に限界が生じてしまいます。また、ミッドバンド域では電力に課題がありますが、ローバンド域ではそのような課題はありません。

スマートネットワークアーキテクチャに依存する大規模IoT通信と信頼性の高い低遅延通信

大規模IoT通信と信頼性の高い低遅延通信は、インテリジェントネットワークアーキテクチャに依存するものでなければなりません。その理由は、従来のモバイル通信はデータ監視や決済管理の対象となり、図4に示すように、スター型トポロジーやメッシュ型トポロジーを採用しているものが多いからです。

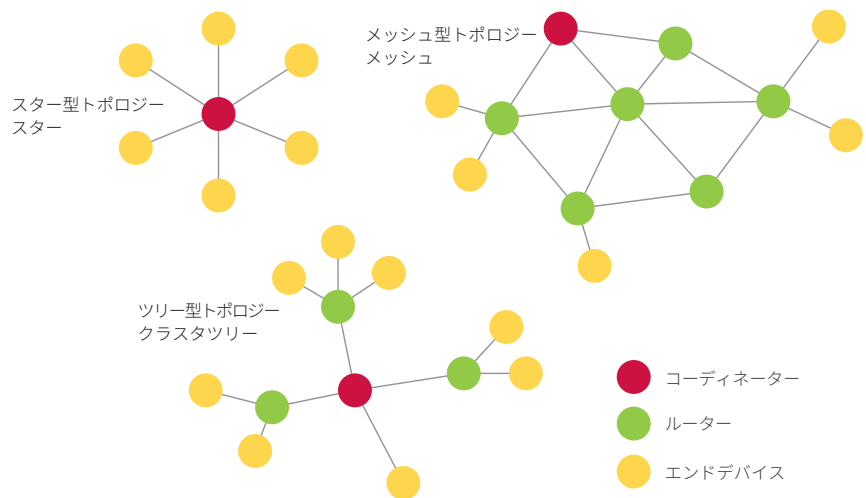


図4：モバイル通信のネットワーク・トポロジ⁵

このアーキテクチャでは、ユーザー数や伝送データを増加させるには、ノードデバイスを追加する必要があります。ただし、交換のためにはすべての信号を基地局に伝送しなければなりません。最も単純なローカルエリアネットワークや自動化された回線であっても、直接、相互接続するのではなく、最初にデータをアップロードする必要があります。そのため、不要なデータフローや速度の低下、ネットワークの不安定性などのリスクが高まり、基地局設置の投資やメンテナンスが必要になります。また、基地局が危険にさらされると、通信がダウンしてしまいます。

逆に、図4のようにピアツーピア(P2P)通信プロトコルとアーキテクチャの概念を適用すれば、各デバイスは、送信、受信、中継ができる基地局になることができます。ユーザーエリアが密集しているほど、伝送速度は速くなります。ただし、利用可能なリソースの分割、比較、マージ、送信、受信、計算を伴うため、より優れたデータプロセッサと特殊なアルゴリズムが必要になります。また、課金や情報監視、セキュリティについても、国の監視体制によって規制されることになります。

低軌道通信衛星は、 超長距離・低遅延通信を実現

超長距離・低遅延通信では、高密度化する低軌道通信衛星システム(低軌道(LEO))を使用する必要があります。36,000 km 圏にある既存の通信衛星と比較して、500kmから1,200kmの軌道にあるものを低軌道通信衛星と呼んでいます。低軌道通信衛星は通信距離が短いため、遅延は1/10程度と大気圏内での無線通信の遅延に近く、打ち上げコストが安価になります。これにより、製造コストの削減を図れますが、現在、この場所での通信周波数帯域は、大気干渉を避けるために、Ku (10.7~14.5GHz) または Ka (17.3~30GHz) の周波数帯を使用する必要があります。

現在、アメリカでは、低軌道衛星の開発が急速に進んでいます。新興衛星事業者には、Space X、OneWeb、Telesat、そしてAmazon、SoftBank、Facebook、Googleなどの巨大企業も含まれます。調査によると、現在実用化されている人工衛星の数は1700~1800機で、今後10年で17000機に達すると推定されています。これらの衛星は主に通信に使用される予定です。また、超小型衛星通信地球局(VSAT)や地上受入装置の需要も高まっています。

上記の技術に加えて、現在のネットワーク環境では、既存の分散アーキテクチャは扱いにくいものになっています。効率化、管理の簡素化、スペース節約のために、新世代のソフトウェア定義ネットワーク(SDN)、ネットワーク機能仮想化(NFV)、データ収集装置の近くでデータのリアルタイム処理と分析を可能にするエッジコンピューティングという技術があります。クラウドや一元化されたデータ処理システムには、データを直接アップロードする必要がありません。どちらも5Gで期待されているテクノロジーです。



高周波・高出力の半導体、
材料技術、新しい通信
アーキテクチャ、LEO衛
星通信が5Gのキーテクノ
ロジーとなります

5Gの恩恵を受ける業界

5Gは、メディアやエンターテインメント向けの音声と映像を高品質化するとともに、IoTとデジタルファイナンス向けの産業オートメーションの構築を加速し、未来のスマートシティを牽引します。次の業界は、5Gテクノロジーの恩恵を受けることが期待されています。

- 無人機配送、スマートランドリー、スマート家電、スマートホーム、自動運転車、ドローンなど、食品、衣料品、旅行、エンターテインメントなどの分野にまたがる自動化されたスマートアプリケーション
- スマートロボット、無人工場、スマートグリッド、デジタル製造などの産業用オートメーションアプリケーション
- ビッグデータ分析や仮想・拡張現実感技術などによって強化された、リモート・デジタル医療やヘルスケアなどの医療アプリケーション

考慮すべき健康、安全、セキュリティの12のリスク

5Gによって実現されるスマートテクノロジーの多くは、高速データ通信に重点を置いているため、アプリケーション側での開発にはあまり注意が払われていません。しかし、設計者はアプリケーションレベルで様々なセキュリティの脆弱性を考慮する必要があります。次のようなリスクがあると考えられます。

1. 無害な低電力と周波数帯が、より高速で効率的になり、その電磁力を増加させることで、神経系を乱したり、脳にも影響を与えるなど、生体に悪影響を与えることはないか。
2. 送信デバイスの増加に伴い、電磁力や付加的な発光エネルギーが増加すると、送受信アンテナで電子機器の動作信号が干渉し、コマンドを読み違えて誤った指令を出したり、危険な状態を引き起こすことはないか。
3. 送信中にデータが傍受され、個人情報や企業の機密情報などが開示される危険性はないか。
4. データ伝送やデバイスの設定が遠隔操作で変更され、予期せぬ動作が発生することはないか。
5. 突然の停電 / 中断 / 復旧、トラフィックや電氣的な過負荷により、デバイス自体や周辺機器のハードウェア・ソフトウェアが損傷を受け、機能安全システムの動作に影響を与えることはないか。

6. 異なる通信プロトコルがお互いに干渉して、間違ったコマンドにならないか。
7. 電磁波が金属に過剰な渦電流を発生させ、オーバーヒートの原因にならないか。
8. 通常のオフィス環境や個人使用を想定していた通信ネットワーク機器が、高い信頼性を必要とする用途や過酷な産業環境、危険な場所で悪用されることはないか。
9. 高温チップを含むこれらの通信デバイスに長時間触れたり、身につけたりすることで、火傷の可能性はないか。あるいは、発汗によってデバイスの各種素材が腐食する可能性はないか。
10. 頻繁にアップグレードされるネットワークについて、適切かつ包括的な上位互換性または下位互換性の評価が実施されているか。
11. スマート制御を可能にするために使用する温度、湿度、圧力、赤外線、画像認識レンズや光源などのセンサーは常に安定しており、想定されるあらゆる使用環境において、正常な信号を発するようになっているか。
12. 高度に自動化されたプロセスは、制御不能や障害などの緊急時に手動で中断できるか。

実験室で試験が実施されておらず、リスクが軽減されていない製品は、最終的に市場に出ると、怪我や消費者の信頼喪失、高額なリコールを引き起こす可能性があります。このような事例は、テクノロジーが複雑になるにつれて増加しています。最近のメディア記事では、ロボットによる一部の生体情報プライバシー法の違反、自動運転事故、フライトセンサーの故障、リチウムイオン電池の発火など、技術上のリスクが浮き彫りになっています。人工知能(AI)によるプライバシーの侵害、アルゴリズムの失敗、安全性を無視した商業的な考えが優先されるなど、いずれもスマートテクノロジーの制御を失うことで生じる安全とセキュリティの問題なのです。革新的な技術が市場に受け入れられるようにするために、ULでは、製品開発を検討する際に、常に安全性とセキュリティを最優先することを推奨しています。



ワイヤレス通信に依存するIoTセキュリティリスクはより複雑で評価が困難です



5Gのフル エコシステム規格

消費者が望む接続性と品質を実現するために、5Gのエコシステム全体の技術・開発のサポートが必要になります。技術が制御不能に陥らないようにするためには、安全基準が必要です。125年以上の安全科学の実績を持つULは、原材料から無線ネットワーク、5Gアプリケーションの製品セキュリティ要件に至るまで、エコシステム全体の規格開発を支援しています。

電気安全・防火安全に基づいて

ULは、電気通信の時代から、その後IEC 60950-1に進化したUL 1950や、音声/映像情報通信技術機器の規格であるUL 62368など、様々な安全規格を開発し続けてきました。これはハザードベース安全工学(HBSE)の原則に基づいた、新世代の通信製品の安全規格です。パーソナル通信機器、基地局、データセンターの機器に適用することができます。

モバイル機器のバッテリーの安全性を維持するために、ULはリチウムバッテリーの安全規格(UL 1642、リチウムバッテリー規格)を最初に開発し、国際規格IEC 62133の開発を支援しました。ポータブル充電器の安全性については、パワーバンクの安全性に関する調査の概要であるUL 2056が制定されています。UL 1973は、小型蓄電システム用に開発された、定置用大型バッテリー、軽鉄道(LER)用のバッテリーの規格です。大規模なコンピュータールームやコンテナレベルの蓄電システムは、蓄電システムと機器の規格であるUL 9540に準拠し、システムの安全性が評価されています。

クラウド型データセンターでは、モジュール型データセンターの電気的安全性を評価するために、UL 2755「モジュール型データセンターに関する調査概要」を使用し、ULデータセンター認証プログラムの基準として、UL 3223「データセンター認証に関する調査概要」を使用しています。

重要となる製品の使用環境や電磁干渉

ULは、IEC 61000、CISPR（国際無線障害特別委員会）をはじめ、軍事産業や自動車産業向けの電磁干渉(EMI)から反電磁干渉(EMS、20 V/m以上)まで、様々な試験の重要度や分野にあわせて電磁適合性試験を実施することで、産業用IoT環境での使用を保証しています。

高分子材料の長期特性評価規格であるUL 746Bは、長期加速応力試験により、高分子材料の長期耐熱性を評価することができます。また、ISO 16750を使用して、温度と湿度のサイクルの影響下で二次システムの加速応力試験を実施することもできます。



効率性や通信品質だけでなく、電気的安全性や接続の安全性も考慮する必要があります

パフォーマンスの向上とより安全な接続

IoTベースの家電製品や産業用制御機器には、ハードウェアとソフトウェアのセキュリティ制御の信頼性評価が必要です。ULは、IEC 60335(家電製品)、IEC 60730(コントローラ)、IEC 61508/UL 991, Standard for Tests for Safety-Related Controls Employing Solid-State Devices / UL 1998, Standard for Software in Programmable Components（ソフトウェアとハードウェアのアーキテクチャ）、UL 1740, Standard for Robots and Robotic Equipment / ISO 10218（産業用ロボット）、ISO 13849（産業用ロボット制御）の評価・試験をサポートしており、接続されたスマートデバイスのセキュリティ制御アルゴリズムの確保に貢献しています。

IoTとの接続切断や侵入を防ぐため、米国連邦政府は、2016年2月にUL 2900シリーズの規格を使用した「サイバーセキュリティ国家行動計画」と呼ばれる国家安全保障計画を発表しました。ネットワークに接続された製品やシステムのネットワークセキュリティ試験ガイドラインを提供し、ソフトウェアの脆弱性や弱点の評価、侵入リスクの低減、既知のマルウェアの処分、セキュリティ管理項目の見直し、公共の安全意識の向上を実現します。

その他の国や地域では、産業用制御システム、医療機器、自動車、暖房・換気・空調(HVAC)、冷凍機器、照明製品、スマートホーム、電化製品、警報システム、火災警報システム、ビルオートメーション、スマートメーター、ネットワーク機器、家電製品など、ネットワーク接続可能な製品向けソフトウェアのサイバーセキュリティに関する規格である、UL 2900に準拠したIEC 62443シリーズのIoT情報セキュリティサービスも提供しています。

エコシステムの有効性を評価することは不可欠であり、ULはベンチマークによる性能評価を実施することで、消費者が第三者の客観的な視点からニーズに合ったハードウェアやソフトウェアを選択できるようにしています。ULは、ノートパソコンやタブレット、スマートフォンなどのデバイスの性能を評価し、セットアップや安定性に関する問題点を発見するための複数のベンチマークを用意しています。同様のシステムのスコアを比較することで、5G移行時のパフォーマンスの継続的な向上を確実にするために、システムやコンポーネントの適切なアップグレードを選定するのに役立ちます。

さらなる安全性とセキュリティ強化へ向けて

5Gが完全に導入されると、よりスマートで完全に自動化された建物が実現します。エネルギー、メンテナンス、快適性、効率性、安全性の5つの側面で、ユーザーと住宅の価値に大きな影響を与えます。2019年2月、ULと米国電気通信工業会(TIA)は、共同でスマートビルディング規格の開発・普及に向けて協力し、スマートビルディングの各種試験の規格を策定することを発表しました。

ULの専門家は、500以上の国際委員会や100以上の地域委員会に参加し、安全規格の策定を支援しています。5Gを利用する可能性のある製品に適用される規格の例として、UL 4600と呼ばれる、自律走行製品評価の安全規格があります。ULはMITRE、ECRと協力して、無人機器の安全規格UL 4600を作成し、無人機器の安全規格の枠組みを確立しました。この画期的な製品安全の自己申告方法により、製造業者は製品安全性について、より慎重かつ総合的に検討できるようになることが期待されています。さらに、産業界、政府、学術機関との協力も積極的に行っており、サービスロボット規格のUL 3300、スマートビルディング規格、AR/VR/MR空間コンピューティング規格のUL 8400など、革新的な製品規格の開発にも貢献しています。今後の安全規格は、5G技術によって可能になったAIと機械学習に焦点が当てられることになるでしょう。

通信技術に関しては、ULは長年にわたり、ミリ波関連の試験の策定に携わってきたほか、3GPP無線通信試験の開発にも積極的に参加しています。ULは、PTCRBやGCFなどの委員会の上級メンバーでもあります。5Gエコシステムの各要素については、機能・性能要件、コンプライアンス試験、通信業界の受け入れ試験などの準備が進められています。ULは、車載レーダー、ワイヤレスHD、8-2.11ad、eバンド、P2Pなど、様々なアプリケーション向けのmmWave試験サービスで20年以上の実績があります。ULはこの実績を生かし、5G新規周波数帯での試験を実施しています。2020年半ばの時点で、ULは、米国、英国、中国、韓国、日本、シンガポールで、ローバンドとミッドバンドの周波数で5Gの試験を実施しています。ハイバンドミリ波周波数での試験は、米国と韓国で実施されています。追加の試験場は今後も継続して開設される予定です。

科学技術を活用して、産業界、政府、学界、その他のステークホルダーとの連携を図っていきたく考えています。ULは、安全性とセキュリティ試験の正しく適切な実証済みのアプローチを導入し、5Gを使用する製品に関連する安全規格のコンセンサスに基づいた開発を支援していきます。将来を見据えた企業を支援することで、安全な研究室環境でイノベーションの安全性を証明する機会が増えることにつながります。



ULは、5Gフルエコシステムに関連する規格の開発を継続的に支援し、業界と協力して、安全性とセキュリティの向上を目指します



5G アプリケーションに関する セキュリティと安全性の問題

質問:5GはVR、自動車の自動運転、スマートビルなどのスマート技術を可能にしますが、安全面で考慮すべき点は何ですか？

回答:他のハイパワー無線ソリューションと同様に、いくつかの懸念事項があります。例えば、生物への強い電磁波の干渉や電子機器の動作、長期間の装着や低温火傷、腐食などの生物学的安全性、データの傍受や改ざんなどのセキュリティリスク、異なる通信プロトコルの干渉、機器の発熱、ハードウェアリスク、ソフトウェアやハードウェアのアップデートなどによるシステムの互換性などを考慮しなければなりません。

質問:5G 接続デバイスを検討する際に従うべき国際的な規格はありますか？

回答:安全性やユーザー体験に影響を与える様々な規格を考慮する必要があります。これらには、性能、通信品質、電気的安全性、相互接続性が含まれます。

5Gの動向と認証/試験サービスについてオンデマンドセミナー
で詳しくご紹介しております。あわせてご覧ください。

https://ctech.ul.com/ja/knowledge-center/5g_202005/

脚注：参考文献

1. <http://www.zseries.in/telecom%20lab/telecom%20generations/#.XXcIMigzbBU>
2. http://www.techplayon.com/wp-content/uploads/2017/05/5g_sptectr.png <https://img.technews.tw/wp-content/uploads/2018/07/06163153/5G-Characteristics-of-Different-Bands.png>
3. <https://www.zdnet.com/article/5g-new-radio-the-technical-background/>
4. https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1276329#
5. <https://www.datarespons.com/wp-content/uploads/2015/06/Network-Topologies-1024x684.png>





UL.com

本書の情報は、発行時点で当社が有する最善の知識、情報、確信の範囲内で正確なものです。
本内容は一般的な情報を提供するもので、法的並びに専門的助言を与えることを意図したものではありません。
ULの名称、ULのロゴ、ULの認証マークはUL LLCの商標です © 2020