



渡邊 齊\*

# 光・高周波デバイスの最新動向と将来展望

The Latest Status and Future Outlook of Optical and High Frequency Devices

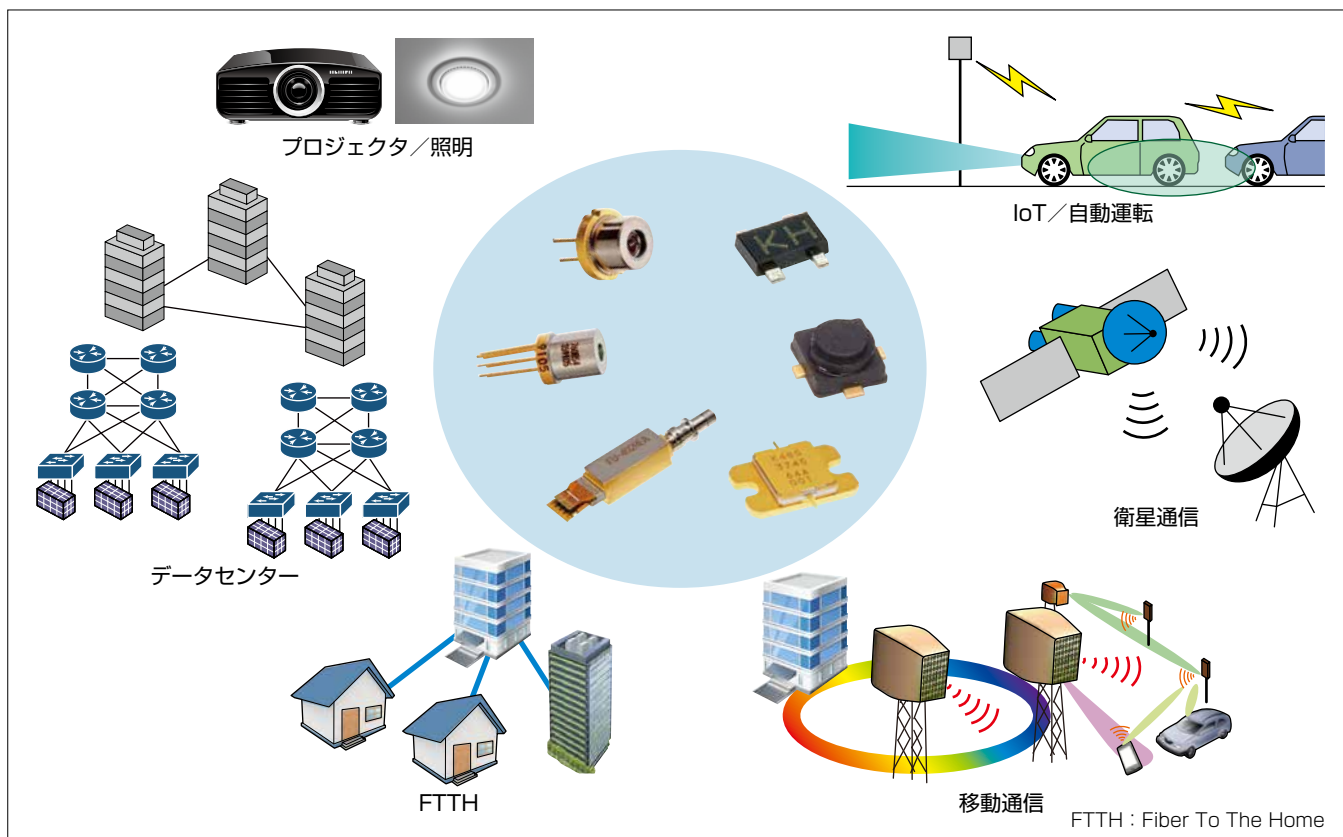
Hitoshi Watanabe

## 要 旨

スマートフォンやタブレット端末等の移动通信機器が普及し、その機能も世代交代のたびに向上するため、世界の移动通信データ総量は飛躍的かつ継続的に増大している。自動車を含め、あらゆるものがインターネットにつながるIoT(Internet of Things)時代の到来がこれを加速する。IoTによって新ビジネスが創出され、新たな需要を喚起する。生産性の向上にも寄与し、人口減少や生産コスト上昇の問題を解決して社会の持続的な成長をアシストする<sup>(1)(2)</sup>。これらの進展を支える移动通信システムでは、第5世代(5G)の通信規格が標準化され、高速で大きな通信容量を確保できる3.5GHz~ミリ波帯の高い周波数での無線通信の実用化が進み、この周波数帯で高効率であり、消費電力の抑制が可能なGaN(窒化ガリウム)デバイスの開発が急ピッチで進

められている。

通信インフラの基幹部を担う光通信ネットワークでも、高速・大容量化が急速に進む。第5世代移动通信向けやデータセンター向けのネットワークでは、100Gbps対応の機器導入が活発化し、400Gbpsでの実用化も進展している。これらの機器に搭載される光デバイスには高速性・低消費電力性・高信頼性等のほか、省スペース性やコストの妥当性も強く求められている。通信分野以外にも、プロジェクト光源、照明、センサ、レーザ加工機、電源用途など、幅広い分野で化合物半導体を用いた光・高周波デバイスの新たな応用が創出されている。このように、光・高周波デバイスは、未来社会を拓き、その持続的な成長を支えるキーデバイスとして、果たすべき役割は大きい。



## 三菱電機の光・高周波デバイスの適用分野

当社の光・高周波デバイスは、情報通信分野、自動車分野、各種電化製品など幅広い分野に適用されている。

## 1. ま え が き

スマートフォンやタブレット端末等の移動通信機器の普及と、その機能の向上に伴い、世界の移動通信データ総量は飛躍的かつ継続的に増大し、IoT時代の到来がこれを加速する。データセンターとそれにつながる通信インフラでも、高精細動画を扱うコンテンツサービスやクラウドサービス等の普及に伴い、通信データ総量が堅調に増大する。第5世代の移動通信や、これを利用したIoT等の新たなICT(Information and Communication Technology)は、より付加価値の高い新サービスを提供し、新しいビジネスを創出する<sup>(1)(2)</sup>。化合物半導体を用いた光・高周波デバイスは、このような社会の進展を支えるキーデバイスであり、上記以外にも、プロジェクト光源、車のヘッドライトを含む照明、センサ、レーザ加工機、電源用途など新たな分野へ適用範囲が広がっている。

本稿では、これらの光・高周波デバイスについて、その最新動向と将来展望について述べる。

## 2. 高周波デバイス

### 2.1 第5世代移動通信

移動通信の世代交代に伴い、全世界での移動通信のデータ総量は、過去5年間で約10倍に増えた。さらに、現在の第4世代移動通信システムに続く第5世代の本格的なサービスが2020年から始まること等に牽引(けんいん)され、データ総量は現在も年率約50%で増加している<sup>(3)</sup>。第5世代ではシステムを更に高度化して、新たな価値を提供することを目標としており、①高速・大容量化、②超多数端末接続、③超低遅延・超高信頼、④省電力化・低コスト化を進めている。

高速化については、現在の第4世代(4G)より1桁以上の速度(10Gbps)に向上させることで、通信需要の増加に応えるとともに、従来はデータ容量の制限によって実現できなかった8K(スーパーハイビジョン)動画や仮想現実(Virtual Reality: VR)、拡張現実(Augmented Reality: AR)といった新たな体験を可能にする。さらに、このようなユーザー体験を同時に多数の人が楽しむことができるように、単位サービスエリア当たりには供給できる通信容量も飛躍的に増やす必要がある。

通信容量を増やすには、従来のマクロセル局に加えてスモールセル局を多数設けてエリア当たりの基地局密度を増加させることが有効である(図1)。しかしながら基地局を設置できるスペースは限られており局数には限界がある。そこで、一つの基地局で多数のアンテナを用いてMIMO(Multi Input Multi Output)通信を行うことによって同一周波数で多数の情報を送る手法が採用されつつある。スペクトル効率を上げることによって、限られた基地局で大き

な通信容量を実現できるため、マクロセル局に比べて小さな出力の送信器を多数備えたMIMOアンテナが今後の主流となる。限られたアンテナの大きさと多数の送信器から出る熱を排熱することが課題となるため、効率が高く、小型化可能なGaNデバイスが用いられる。

通信帯域を広げることによっても通信容量を増やせることから、従来の0.8~2.7GHzに加えて3.5~6.0GHzやミリ波帯が新たな通信周波数帯として割り当てられる。既に北米では28GHz帯でのサービスが始まっており、今後は、24GHz、39GHz帯等の様々なミリ波帯でのサービスが全世界で計画されている。

送信に用いる増幅器には、出力電力が0.1W以下の小電力用途ではSi(シリコン)系のCMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)デバイスやSiGe(シリコンゲルマニウム)デバイスが多用されるが、動作電圧が低くて出力電力に限界がある。化合物半導体にはSiよりもバンドギャップの大きい材料があり、それらは絶縁破壊電圧が高く高電圧で動作させることが可能で、大電力を容易に出力できる。具体的には1W以上の出力では高電圧動作が可能なGaAs(ガリウムヒ素)デバイス、数十~数百Wの電力では、GaAsよりもバンドギャップが大きく更に高電圧動作が可能なGaNが使われる。

また、年々通信容量が増えることによって通信インフラのエネルギー消費も増大するため、地球環境のためにグリーンICTが強く求められている。基地局等の設備に用いられている半導体デバイスでも省電力化が必須であり、通信用デバイスばかりでなく、電源用デバイスでも消費電力が少なくてスイッチング周波数を上げられるGaNやSiC(シリコンカーバイド)デバイスが使われつつある。

### 2.2 衛星通信

通信を支えるインフラの一つとして衛星通信システムがある。主な特長として、①地上の通信システムが整備されていない地域に対して都市部と同等の通信サービスを提供する広域通信の提供、②飛行機、船舶、鉄道、身に付けて持ち運び可能な携帯トランシーバ(マンパック)やニュース

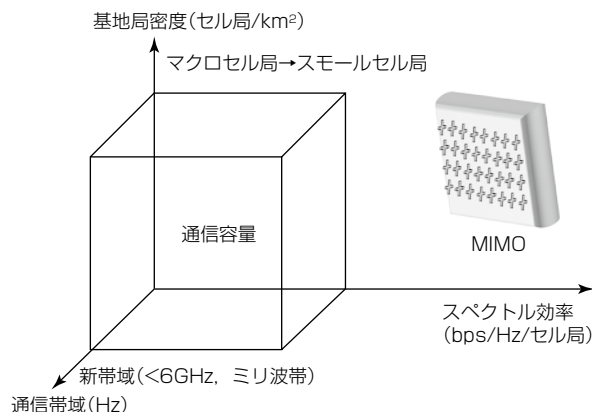


図1. 通信容量

現場から映像・音声の中継が可能なSNG (Satellite News Gathering)等、各種移動体への通信の提供、③災害時に地上通信が使用不能になった際の緊急通信サービスの提供が挙げられる。

衛星通信では、地球上の高軌道で運用する静止衛星以外に、近年は低軌道での非静止衛星を用いたサービスが活発化している(図2)。高軌道上に配置する静止衛星は、衛星1機で広い領域をカバーでき、数台ではほぼ全世界へのサービスをサポートする。一方、非静止衛星は地上数千km辺りの低軌道で周回しており、数百~数千機の衛星を打ち上げることによって全世界へのサービスをサポートする。低軌道の非静止衛星は数多くの衛星でカバーしていることから、高軌道の静止衛星よりも通信可能エリアが広く、時間帯によらず常時通信を確保できる特長がある。また、低軌道のため地上との距離が短く低遅延での通信が可能であり、IoTや自動運転に必要な低遅延性に対して優位である。現在、低軌道衛星サービスは、企業主体での運用が計画されており、通信量が逼迫(ひっばく)しているC帯より高い周波数で通信帯域確保が可能なKu帯、Ka帯、V帯が用いられる。

人工衛星には面積・質量・消費電力に厳しい制限があり、小型・低消費電力化に優れた半導体デバイスが必須である。一方、宇宙空間には地上にはない過酷な放射線が存在して半導体デバイスの故障原因となることから、放射線に対して高い信頼性を持つ半導体が求められている。信号増幅器としては、進行波管増幅器(Traveling Wave Tube Amplifier : TWT A)やGaAsを用いた固体電力増幅器(Solid State Power Amplifier : SSPA)が用いられていたが、2000年代からはGaNデバイスの適用が進んでいる。これは、GaNではGaAsと同様にHEMT(High Electron Mobility Transistor)構造が実現できるため、Ku帯やKa

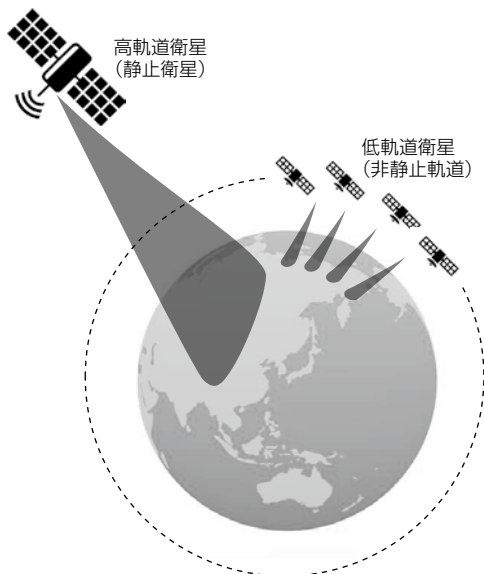


図2. 高軌道静止衛星と低軌道非静止衛星

帯といった高速(高周波)動作に対応しやすいという特長があることに加えて、GaAsよりも電力密度を高くできるので、地上との通信に大電力出力デバイスを必要とする人工衛星で、デバイスの所要数を大幅に削減し、省スペース化が可能のためである。

### 2.3 IoTと自動運転

人と人との通信に加えて、IoTや車載のレーダ・カメラ及び車車間・路車間通信を用いた自動運転が現実のものとなりつつある。これらを実現するため、①膨大な数のセンサや車をネットワークにつなげる多数接続技術、②遅延なく通信することによってリアルタイムな制御を可能にする低遅延技術、③人間に代わり必要な情報を取得するセンサ技術の開発が進んでおり、様々なユースケースに対応した新たなビジネスが創出されつつある。例えば農業では、温度や水量、日射量、風量といった情報をセンサから集め、自動で栽培管理すること等によって省力化・効率化を図るビジネスが考えられている。

膨大な数が使用されるセンサは安価であることが必須なため、Si系デバイスが使われるが、センサとの無線通信を担う基地局は大きな出力の電波を出すため、効率の高いGaNデバイスが使われ、省電力化に寄与している。

低遅延性については、遠隔地から機械をリアルタイム制御できるので、例えば建設機械の自動制御や工場の制御が検討されている。車では車車間通信による前車の情報の把握によってトラックの自動隊列走行が可能になる。医療ではセンサによって生体データをリアルタイムにモニタして、きめ細かく管理することが可能になり、問題のある場合には瞬時に医療機関に通知するといったサービスが可能になる。

近年では、世界各国で車の自動運転技術の開発が進められ、長足の進歩を遂げている。自動運転を実現するには車の周囲の状況を正確に把握する必要があり、各種センサによって感知するシステムが開発されている。障害物検知にはカメラや超音波に加えて、霧や雨の中でも信頼性の高いミリ波レーダが用いられている(図3)。前方には77GHz帯の電波を出してその反射波を検知することによって、150m以上先の車や障害物の位置や速度を検知して運転に反映している。側方や後方の確認には短距離であることから24GHz帯レーダが用いられる。分解能と信頼性の高

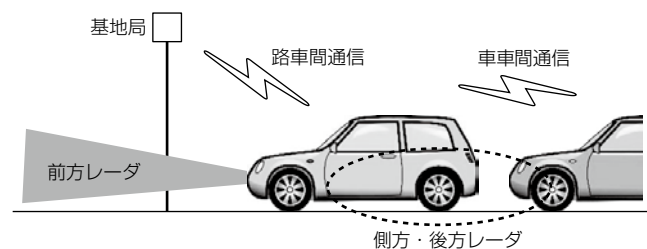


図3. 自動運転に用いるレーダと車通信



いレーダが必要なことから、高周波特性に優れるGaAsやSiGeの送受デバイスが用いられている。

より安全性を高めるとともに渋滞を避ける等スムーズな運転を行うため、センサ情報に加えて車車間や路車間通信によって、道路や交差点の状況、周囲の車の動きに関する情報を把握してより高度な制御を行う技術が開発されており、これに使用する通信用デバイスにも高周波性能に優れるGaAsやGaNデバイスが用いられている。人間の感覚を超えた情報を活用できることから、近未来には人間より安全な完全自動運転が期待されている。

### 3. 光通信用光デバイス

#### 3.1 市場・技術動向

通信インフラの基幹部を担う光通信ネットワークでは、高精細動画を扱うコンテンツサービスやクラウドサービス等の普及に伴うデータセンターの増設・大規模化や第5世代移動通信の導入等によって、通信データ総量の着実な増大が見込まれている。このような通信需要の拡大に対応して、全てのネットワーク階層で、光ファイバ伝送容量の増強が進められている。すなわち、大都市間等の数百km以上にも及ぶコアネットワーク、都市間をリング状につなげる距離数十km～数百kmのメトロネットワーク、データセンター内やデータセンター間のネットワーク、さらには無線基地局とメトロネットワークを結ぶ移動通信バックホール(Mobile BackHaul: MBH)や無線基地局とアンテナ局間を結ぶ移動通信フロントホール(Mobile FrontHaul: MFH)に至るまで、高速・大容量化が進められている(図4)。

移動通信アクセスネットワークと並び超高速インターネットの末端を支える光アクセスシステムでも、従来のGE-PON(Gigabit Ethernet-Passive Optical Network)やG-PON(Gigabit-PON)に加えて、最高10Gbpsを実現する10G-EPON(10 Gigabit-Ethernet PON)やXG-PON(10 Gigabit capable-PON)の導入が本格化している。また、中国が導入を決定したXGS-PON(10 Gigabit-capable Symmetric-PON)や、40Gbps級のNG-PON2(Next Generation-PON2)の今後の伸びも期待されている。こ

れらの要求を実現するネットワークの物理層を提供するため、光デバイスにはより多くの情報量を少ない消費電力で伝送するために、高速化、多値化、高集積化、高効率化が要求されている。

従来、光強度のONとOFFで“1”と“0”を表現して1ビットを伝送するOOK(On Off Keying)では、1波長当たりの伝送容量を増大させる手段として、光デバイスの変調速度を速めて、同一時間内に伝送できるビット数を増やすことが求められてきた。さらに近年、移動通信ネットワークやデータセンター用途では、このアプローチに加えて、4段階の光強度への変調を実現することで、単位時間当たりの伝送容量を倍増できるPAM-4(Pulse Amplitude Modulation-4)に代表される多値化が進んでいる。

また、異なる波長の送受信デバイスを並列動作させて伝送容量を増やす波長多重方式も併用されるが、同時に装置の小型化への対応も要求される。現在では、小型のモジュールパッケージの中に波長の異なるDFB-LD(Distributed FeedBack Laser Diode)又はEML(Electro-absorption Modulated Laser diode)のチップを4個並べて、一つのパッケージで4倍の伝送容量を実現する集積TOSA(Transmitter Optical Subassembly)が送信デバイスとして標準的に使用されるようになっており、400Gbps伝送用TOSAまで製品化されている。受信用の集積ROSA(Receiver Optical Subassembly)も同様に製品化が進んでいる。データセンターや波長多重(WDM)伝送システム等、多くの光トランシーバを一括して使用するシステムの設置場所では光トランシーバの消費電力低減が大きな課題であり、DSP(Digital Signal Processor)と並んでその消費電力の大部分を占める光デバイスの温度制御機構の消費電力を低減するために、光素子の動作温度範囲を拡大する取組みが進められている。さらにSiプラットフォーム上に光パッシブ回路、光変調器、受光素子を集積化し、別途、化合物半導体で作製したレーザチップを接着したシリコンフォトニクスと総称される集積機能デバイスが、大容量化・低コスト化の観点から有望視されており、データセンター短距離通信用として商用化されるに至っている。

コアネットワークでは、波長・変調速度当たりの伝送容量をさらに拡大するために、同一波長で互いに偏波面が90度直交した二つの光に対して、それぞれに位相変調を施し、90度ずつ異なる4位相を使って2ビットを表現した、偏波多重4値位相変調(Dual-Polarization Quadrature Phase Shift Keying: DP-QPSK)や、光の振幅と位相の両方を多値変調した直角位相振幅変調(Quadrature Amplitude Modulation: QAM)と呼ばれる変調方式に代表される、デジタルコヒーレント通信方式が広く用いられている。

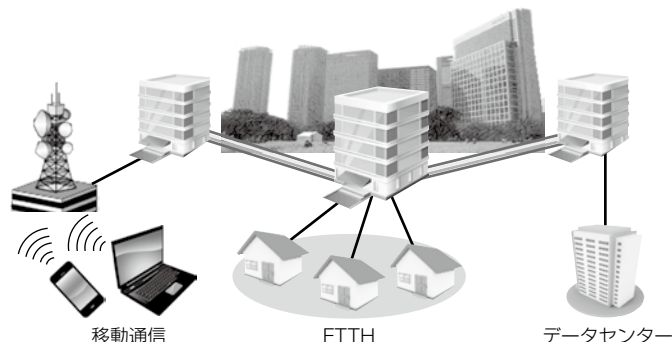


図4. 光通信ネットワーク



図5. 光デバイスの新たな分野への応用例

### 3.2 今後の展望

今後の展望として、現在シリコンフォトニクス分野で盛んに研究されているシリコンラマンレーザはチップサイズ、効率等の基本性能でまだ広く実用されるレベルには至っておらず、高効率の光通信光源は引き続き化合物半導体のレーザが担うと考えられる。市場で要求される、更なる高速・大容量通信に対応した高性能化と、消費電力低減要求を満たす更なる高効率化を、従来よりも高い次元で実現するために、化合物半導体の光デバイスチップの設計・作製技術の向上が進められてゆく。同時に、規格化された寸法のパッケージ内により多くの波長と機能を収納するため、光デバイスの諸々の機能が1チップ上にモノリシックに集積される、又は1パッケージ内にハイブリッドに集積されるという形で集積度が増すであろう。これら高性能化、高効率化、高集積化を同時に兼ね備えたデバイス技術の向上によって、化合物半導体の光デバイスは今後も通信インフラを支え続けると考えられる。

### 4. その他の光デバイス

化合物半導体の光デバイスを用いた新たな分野として、プロジェクタ光源・自動車のヘッドライト含む照明・センサ・加工機への応用がある(図5)。

映像表示装置であるディスプレイやプロジェクタには、実物に限りなく近い表示を実現する色再現性と消費電力低減の両立が求められている。この要請に応えるために、不足する色域を補うレーザ光を追加する方法や、最初から3原色(RGB)のレーザ光源を使い、これらを合成するRGBレーザプロジェクタの構成によって、光源として従来用いられてきた蛍光管、ランプ、LED、蛍光体レーザ励起等よりも優れた性能を実現している。

照明用途では、自動車のヘッドライトに、従来のランプやLEDに替えて青色レーザと蛍光体を組み合わせたものを用いることで、発光点が小さく高輝度な白色光源が構成でき、小型化・配光制御及び照射距離拡大が可能になるレーザヘッドライトの実用化が進められている。

センサ用途では、スマートフォンに搭載されている三次元顔認証システムには、小型、低コスト、安価な光源

として近赤外域の波長の面発光レーザ(Vertical Cavity Surface Emitting Laser: VCSEL)が使われており、データセンター向け短距離光通信に代わって面発光レーザの主要用途になることが予測されている。また、将来の完全自動運転を目的として、カメラやミリ波レーダを補完するために、レーザ光を照射・検出して車周辺の三次元地図をリアルタイムに作成するLiDAR(Laser imaging Detection And Ranging)への応用が期待されている。

加工機用途では、従来のガスレーザに代わって固体レーザ、ファイバレーザによる溶接・切断加工が導入されている。高出力固体レーザの励起光源として、半導体レーザはランプと比べて小型・低コスト・長寿命という利点から置き換えが進んでいる。一方、小型・低出力装置を中心に高出力半導体レーザのレーザ光を直接加工対象に照射する方式も採用されている。

今後の展開としては、半導体レーザの高い電力効率を生かした高出力化の要求が継続するとともに、プロジェクタ用途等に要求される長時間安定動作を可能にする高い信頼性を求められる。これらの課題に応えるために、レーザ光射出端面での光学損傷防止、半導体内部欠陥の低減など、地道な信頼性向上の努力が今後も必要である。

### 5. むすび

情報通信分野を始めとする光・高周波デバイスの最新動向と将来展望について述べた。現在、及び将来の社会生活を支えるキーデバイスとして化合物半導体を用いた光・高周波デバイスは不可欠であり、その適用分野はますます拡大している。当社は、より良いデバイスを提供し、活力とゆとりある社会の実現に向けて貢献していく。

### 参考文献

- (1) 総務省：平成29年版 情報通信白書
- (2) 総務省：平成30年版 情報通信白書
- (3) Ericsson：Ericsson Mobility Report Q2 2018 Update  
<https://www.ericsson.com/assets/local/mobility-report/documents/2018/emr-q2-update-2018.pdf>